

VI-2-3 原子炉本体の耐震性に関する説明書

VI-2-3-2 炉心の耐震性についての計算書

VI-2-3-2-1 燃料集合体の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	構造計画	2
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	4
2.4	記号の説明	5
2.4.1	9×9燃料（A型）	5
2.4.2	9×9燃料（B型）	7
3.	燃料集合体の地震応答解析	12
4.	地震時の制御棒挿入性試験検討	13
5.	地震時の燃料被覆管の応力評価	14
5.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.2	燃料被覆管の応力評価における評価部位	14
5.3	評価対象燃料の炉内滞在期間と評価に用いる許容応力	15
5.4	スペーサ間及びスペーサ部の燃料被覆管の応力評価	15
5.4.1	スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる地震加速度及び相対変位	15
5.4.2	地震時のスペーサ間及びスペーサ部の応力評価の方法	15
5.4.3	検討内容	16
5.5	下部端栓溶接部の燃料被覆管の応力評価	17
5.5.1	下部端栓溶接部の応力評価に用いる地震加速度及び相対変位	17
5.5.2	地震時の下部端栓溶接部の応力評価の方法	17
5.5.3	下部端栓溶接部の疲労評価	18
5.5.4	検討内容	19
5.6	検討結果	20
6.	引用文献	53
	付録1 応力計算結果の応力分類処理方法	54

1. 概要

本計算書は、燃料集合体の耐震性について示すものである。

地震時において燃料集合体に要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保、崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持である。

制御棒の挿入機能の確保については、原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984（(社)日本電気協会）に従って、地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い、基準地震動 S_s に対し制御棒の挿入性が確保されることを、VI-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」にて説明する。

崩壊熱除去可能な形状の維持については、VI-2-3-2-2「炉心支持構造物の耐震性についての計算書」にてその詳細を示すとおり、燃料集合体を支持している炉心支持構造物が耐震設計上の重要度分類 S クラスで設計され、その支持機能は地震時においても維持されるので、崩壊熱除去可能な形状は維持されると考えられる。燃料被覆管自体の損傷は必ずしも崩壊熱除去可能な形状の喪失を意味するわけではないが、ここではVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、燃料被覆管の地震時応力を弾性解析によって求め、燃料被覆管が健全であり、崩壊熱除去可能な形状が維持されることを確認する。

燃料被覆管の閉じ込め機能の維持については、通常運転時の状態で燃料被覆管に作用する荷重及び運転時の異常な過渡変化時の状態のうち地震によって引き起こされるおそれのある事象によって燃料被覆管に作用する荷重と地震力を組み合わせても、燃料被覆管に発生する応力が放射性物質の閉じ込め機能に影響しないことを確認する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料集合体の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 燃料集合体の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>炉心は最外周部の一部を除き十字型制御棒とそれを囲む4体の燃料集合体を1セルとして構成される。</p> <p>燃料集合体の下部は下部タイプレートとの着座面が炉心支持板上の燃料支持金具に嵌合して支持される。上部はセルを構成する燃料集合体が上部格子板内で水平方向に支持される。</p> <p>上下部タイプレート、スペーサ、ウォータロッド（又はウォータチャンネル）及びタイロッドは結合又は支持により骨格を形成する。燃料集合体の上下方向は、タイロッドを下部タイプレートにねじ留めするとともに上部タイプレートにナット留めすることで結合している。4体の燃料集合体の外側にはめたチャンネルボックスの外周が制御棒^{*1}の通路を構成する。</p>	<p>9×9燃料（A型）の燃料集合体^{*2}は74本の燃料棒と2本のウォータロッドを、9×9燃料（B型）^{*3}の燃料集合体は72本の燃料棒と1本のウォータチャンネルを、それぞれ9×9の正方格子に配列して7個のスペーサにより束ね、それらの上下端が上部タイプレート及び下部タイプレートと嵌合することにより形成される。9×9燃料（A型）の74本の燃料棒のうち、8本は長さの短い部分長燃料棒であり、これらは5個のスペーサにより束ね、部分長燃料棒下部を下部タイプレートにねじ留めする。</p> <p>燃料集合体を炉心に装荷する際には、外側にはチャンネルボックスをはめる。</p>	

注記*1：制御棒の構造計画の詳細は、VI-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」に示す。

*2：9×9燃料（A型）燃料集合体の詳細図を図 2-1 に示す。

*3：9×9燃料（B型）燃料集合体の詳細図を図 2-2 に示す。

燃料集合体には9×9燃料（A型）と9×9燃料（B型）があり，9×9燃料（A型）には2本の太径のウォータロッドがあるが，9×9燃料（B型）は1本の角管のウォータチャンネルがあり，また，9×9燃料（A型）のみに部分長燃料棒が存在するといった違いがある。

2.2 評価方針

地震時において燃料集合体に要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保、崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持であり、地震時においてチャンネルボックスに要求されるのは、制御棒の挿入機能の確保である。

制御棒の地震時挿入性の評価については、炉心を模擬した実物大の部分モデルによる加振時制御棒挿入試験結果から挿入機能に支障を与えない燃料集合体の最大相対変位を求め、地震応答解析から求めた燃料集合体の最大応答相対変位がその燃料集合体の最大相対変位を下回ることを確認する。制御棒の地震時挿入性の評価は、VI-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」に示す。

崩壊熱除去可能な形状の維持については、燃料集合体を支持している炉心支持構造物の支持機能が維持され、燃料被覆管の一次応力により構造的に崩壊するような状態となることを防ぐことで崩壊熱除去可能な形状は維持されると考えられる。燃料被覆管自体の損傷は必ずしも崩壊熱除去可能な形状の喪失を意味するわけではないが、保守的に燃料被覆管の地震時応力を弾性解析で求め、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会) に規定されている評価基準に従い許容限界以下であることを確認する。

燃料被覆管の地震時応力は、運転時 (通常運転時及び地震によって引き起こされるおそれのある過渡変化時) に燃料被覆管に作用している荷重と地震力を組み合わせて評価する。また、運転中に燃料に生じる燃料被覆管の腐食等の照射の影響を考慮して、燃料被覆管の地震時応力を求める。

燃料被覆管の閉じ込め機能の維持については、運転時と地震時に燃料被覆管に作用する荷重を組み合わせても、燃料被覆管の応答がおおむね弾性状態にとどまり、燃料被覆管に発生する応力が許容限界以下であること、地震時の繰返し荷重により燃料被覆管に応力振幅が作用しても疲労破壊しないことを確認する。

地震時の燃料被覆管の耐震評価フローを、図 2-3 に示す。

崩壊熱除去可能な形状の維持に関する燃料集合体の耐震評価の方法は、平成 16 年 11 月 9 日付け平成 16・08・05 原第 32 号にて認可された工事計画の実績に基づいている。

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

2.4.1 9×9燃料（A型）

記号	記号の説明	単位
A	スペーサの接触力に基づく応力計算に用いる定数	—
P_c	冷却材圧力	MPa
P_g	燃料棒内圧* ¹	MPa
r_1	燃料被覆管の外半径* ²	mm
r_2	燃料被覆管の内半径* ²	mm
r_m	燃料被覆管の平均半径* ²	mm
t	燃料被覆管の肉厚* ²	mm
d	燃料被覆管の楕円度	mm
q_{cr}	燃料被覆管の臨界座屈荷重	MPa
f	スペーサ接触力	N
α	燃料被覆管の熱膨張率	°C ⁻¹
E	燃料被覆管の縦弾性係数	MPa
ν	燃料被覆管のポアソン比	—
ℓ	スペーサ間距離	mm
δ	水力振動による燃料棒の振幅	mm
T_0	燃料被覆管の外表面温度	°C
ΔT_1	燃料被覆管の内外面温度差	°C
ΔT_2	燃料被覆管の円周方向温度差	°C
F	膨張スプリング等による軸方向荷重に基づき燃料棒に作用する力	N
G _h	地震時の水平方向最大加速度	m/s ²
G _v	地震時の鉛直方向最大加速度	m/s ²
W _r	燃料棒の全質量	kg
W _s	スペーサ間距離当たりの燃料棒質量	kg
Z	燃料被覆管の断面係数* ²	mm ³
L	燃料棒の全長	mm
Y	地震時の燃料集合体の最大変位	mm
$\Delta \sigma$	地震期間中の繰返し荷重による応力振幅（応力強さの振幅）	MPa
N	$\Delta \sigma$ に対応するジルカロイの設計疲労曲線の許容サイクル数	回
n	地震力の繰返し回数	回
S _y	燃料被覆管（ジルカロイ）の降伏応力* ³	MPa
S _u	燃料被覆管（ジルカロイ）の引張強さ* ³	MPa

注記*1 :

*2 : 燃料被覆管の , 照射に伴う腐食減肉を考慮。

*3 : 燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮。

2.4.2 9×9燃料（B型）

記号	記号の説明	単位
P_i	燃料棒内圧	MPa
P_o	冷却材圧力	MPa
r_i	燃料被覆管の内半径* ¹	mm
r_o	燃料被覆管の外半径* ²	mm
r_m	燃料被覆管の平均半径* ²	mm
D_o	燃料被覆管の外径* ²	mm
D_i	燃料被覆管の内径* ¹	mm
t	燃料被覆管の肉厚* ²	mm
ν	燃料被覆管のポアソン比	—
E	燃料被覆管の縦弾性係数	MPa
I	燃料被覆管の断面二次モーメント	mm ⁴
ω	燃料被覆管の楕円度	mm
$P_{c r}$	燃料被覆管の臨界座屈荷重	MPa
l	スペーサ間距離	mm
A	水力振動による燃料棒の振幅	mm
L	燃料棒の全長	mm
W_o	燃料要素単位長質量* ³	kg/mm
W	実際の燃料要素単位長質量	kg/mm
g	重力加速度	m/s ²
G_h	地震時の水平方向最大加速度	m/s ²
G_v	地震時の鉛直方向最大加速度	m/s ²
Y	地震時の燃料集合体の最大変位	mm
$C_1 \sim C_7$	定数	—
T	燃料被覆管温度	°C
ΔT	燃料被覆管の内外面温度差	°C
ΔT_i	燃料被覆管の内面周方向最大温度差	°C
ΔT_o	燃料被覆管の外周方向最大温度差	°C
δ	燃料被覆管の外径と内径の比	—
α_r	燃料被覆管の半径方向熱膨張係数	°C ⁻¹
α_z	燃料被覆管の軸方向熱膨張係数	°C ⁻¹
P	燃料要素と支持格子の接触力	N
N_1	燃料体当たりの支持格子数	—
N_2	タイロッド燃料要素数	—

記号	記号の説明	単位
N_3	標準燃料要素数	—
μ	支持格子—燃料要素間の摩擦係数	—
S	燃料被覆管断面積	mm ²
F_i	プレナムスプリング力	N
F_e	膨張スプリング力	N
S_y	燃料被覆管（ジルカロイ）の降伏応力*4	MPa
S_u	燃料被覆管（ジルカロイ）の引張強さ*4	MPa

注記*1：燃料被覆管の

*2：燃料被覆管の ，照射に伴う腐食減肉を考慮。

*3：鉛直地震加速度に基づく応力は，地震時鉛直方向最大加速度を見かけの質量増加として扱い，燃料要素単位長質量 W_0 で考慮している。

*4：燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮。

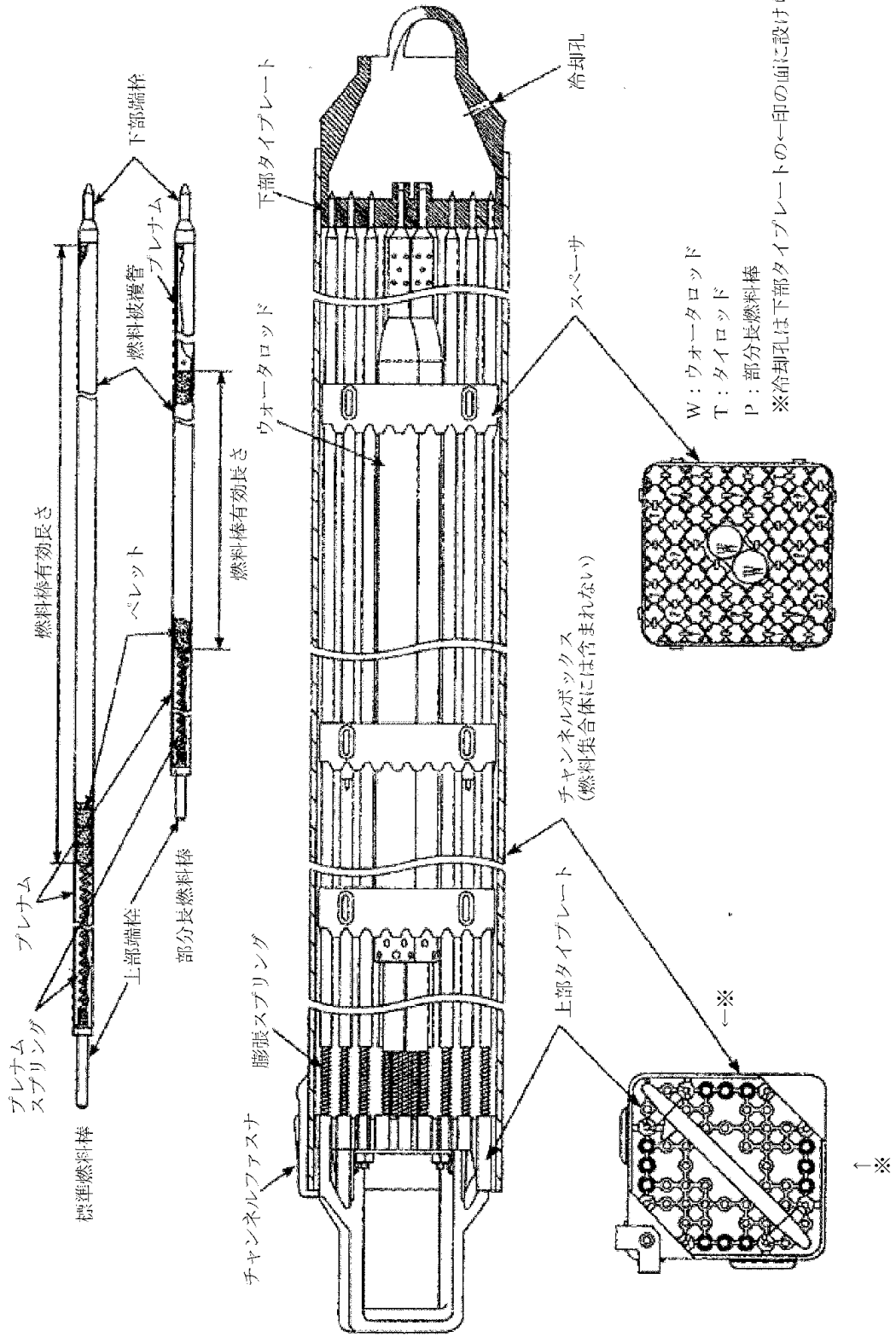


図 2-1 9 × 9 燃料 (A 型) 燃料集合体の詳細図

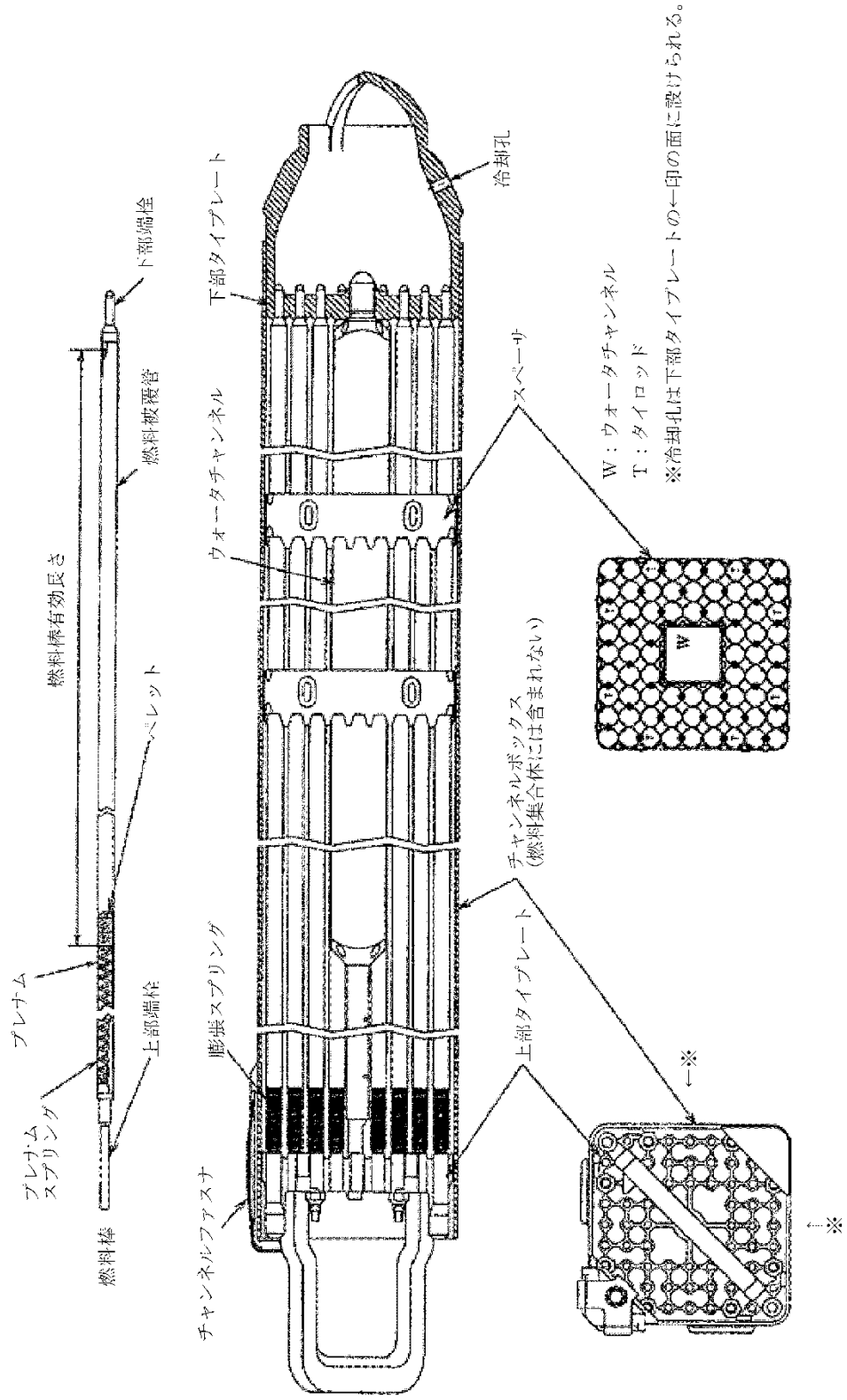


図 2-2 9 × 9 燃料 (B 型) 燃料集合体の詳細図

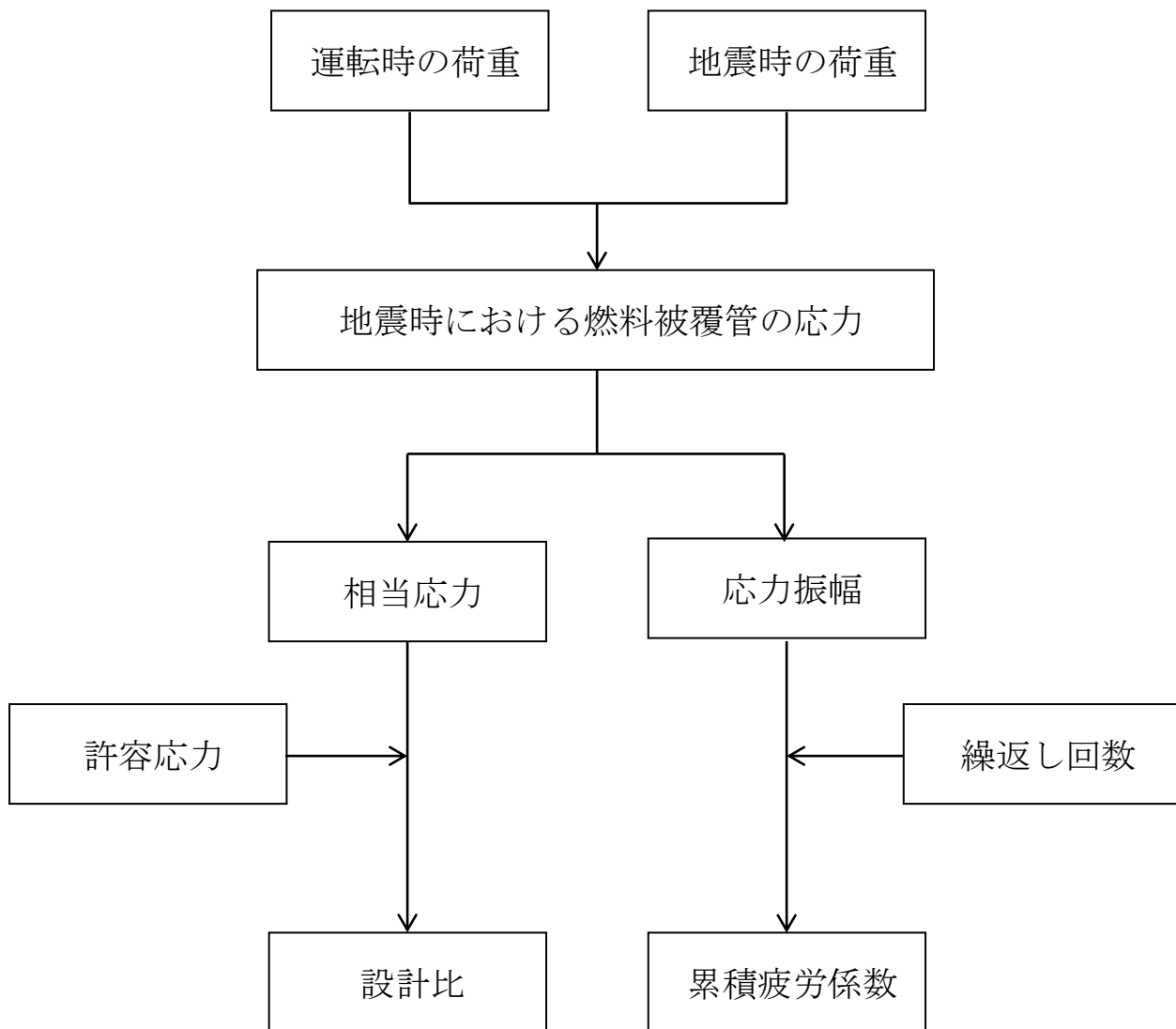


図 2-3 地震時の燃料被覆管の耐震評価フロー

3. 燃料集合体の地震応答解析

燃料集合体の地震応答解析は原子炉压力容器内部構造物の一部として実施されており、この詳細はVI-2-2-1「炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示されている。

燃料集合体の剛性はチャンネルボックスにより支配され、燃料集合体の質量は燃料タイプによらずほぼ同等であることから、燃料集合体の地震応答は燃料タイプによらず、この燃料集合体の地震応答解析結果が適用可能である。設計用地震波としては、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を採用している。

応答解析は、時刻歴応答解析法を適用して建屋のNS及びEWの水平方向並びに鉛直方向について、基本ケースの他に材料物性の不確かさ等を考慮した最大応答相対変位 35.0mm (S_s)、33.9mm (S_d)、最大水平加速度 40.2m/s^2 (S_s)、 38.9m/s^2 (S_d) 及び最大鉛直加速度 15.1m/s^2 (S_s)、 7.6m/s^2 (S_d) を用いる。また、下部端栓溶接部の応力評価では、水平地震加速度として下部端栓溶接部直上の下部タイププレートスペース間の燃料棒に作用する水平加速度の最大値 21.7m/s^2 (S_s)、 21.6m/s^2 (S_d) を用いる。

4. 地震時の制御棒挿入性試験検討

地震時における制御棒挿入性についての検討方法は、3章で設定した最大応答相対変位 35.0mm が、制御棒挿入性試験にて確認された挿入機能に支障を与えない最大燃料集合体変位を下回ることを確認する。

VI-2-6-2-1「制御棒の耐震性についての計算書」にその詳細を示すとおり制御棒挿入機能は確保される。

5. 地震時の燃料被覆管の応力評価

5.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

地震時に燃料集合体に要求される崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する燃料被覆管の応力評価は、表 5-1 及び表 5-2 に示す荷重の組合せにより燃料被覆管に発生する応力を弾性解析で求める。表 5-1 及び表 5-2 の地震荷重 S_d^* 及び S_s 以外の荷重については、通常運転時及び地震によって引き起こされるおそれのある過渡事象として炉心出力が上昇する（出力過渡）事象及び炉心圧力が上昇する（圧力過渡）事象において燃料集合体に作用する荷重を考慮する。また、地震荷重 S_d^* は、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震荷重であるが、本評価では静的地震力より大きい弾性設計用地震動 S_d による地震力が対象となる。表 5-1 及び表 5-2 のそれぞれの評価で対象とする応力分類について、せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づく相当応力を計算し、当該の許容応力に対する比（設計比）を評価する。

(1) 崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価

崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価では、表 5-1 に示すように、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）に基づき一次応力を対象として、許容応力 $0.7 \cdot S_u$ に対する設計比を評価する。崩壊熱除去可能な形状の維持に用いる手法は、平成 16 年 11 月 9 日付け平成 16・08・05 原第 32 号にて認可された工事計画の実績に基づいている。

(2) 燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価

燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価では、表 5-2 に基づき、静的地震力より大きい弾性設計用地震動 S_d における荷重条件に対して燃料被覆管がおおむね弾性状態にとどまること、基準地震動 S_s における荷重条件に対して破断延性限界に余裕を有していることを確認するため、一次応力+二次応力を対象として、許容応力として弾性設計用地震動 S_d に対して S_y 、基準地震動 S_s に対して S_u を適用し、設計比を評価する。

5.2 燃料被覆管の応力評価における評価部位

地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する燃料被覆管の応力評価では、2.1 節に記載した燃料集合体内の燃料棒の構造より、スペーサ間及びスペーサ部、並びに下部端栓溶接部（閉じ込め機能維持の評価のみ）について評価を行う。ここで、スペーサ間及びスペーサ部では、ジルカロイ-2 製の燃料被覆管の内面にジルコニウムが内張り（ジルコニウムライナ）されているが、 としており、ジルカロイ-2 部が応力評価の対象となる。また、下部端栓の材料は燃料被覆管と同じジルカロイ-2 であり、下部端栓と燃料被覆管の突合せ部は溶加材を用いない TIG 溶接により溶接されており、ジルカロイ-2 部が応力評価の対象となる。

5.3 評価対象燃料の炉内滞在期間と評価に用いる許容応力

炉内には炉内滞在期間の異なる種々の燃料が混在しているが、地震時の燃料被覆管応力評価では、それらの燃料から炉内滞在期間が0年、2.2年、8.0年の燃料で代表させて、それぞれ寿命初期、寿命中期、寿命末期として、燃料棒熱・機械設計解析により個々の応力評価部位の解析条件を設定する。また、応力評価の対象であるジルカロイ-2の許容応力には、個々の応力評価部位における燃料被覆管の温度及び照射の影響を考慮して、図5-1から図5-5の設計値を用いる。

5.4 スペーサ間及びスペーサ部の燃料被覆管の応力評価

5.4.1 スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる地震加速度及び相対変位

地震時におけるスペーサ間及びスペーサ部の応力評価では、燃料集合体の相対変位（閉じ込め機能維持の評価のみ）、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度として、3章で設定した35.0mm、40.2m/s²及び15.1m/s²（S s）並びに33.9mm、38.9m/s²及び7.6m/s²（S d）を用いる。

崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関するスペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる地震加速度及び燃料集合体の相対変位等の解析条件を表5-3(1)及び表5-4(1)、スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる数値又は数式を表5-3(2)及び表5-4(2)に示す。

5.4.2 地震時のスペーサ間及びスペーサ部の応力評価の方法

地震時におけるスペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる解析コードは9×9型(A型)については「FURST」、9×9型(B型)については「BSPAN2」により実施する。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震時のスペーサ間及びスペーサ部の応力評価のフローを図5-6に、その詳細を以下に示す。

(1) 応力の計算

応力計算は、以下の(2)に示すように、通常運転時及び地震によって引き起こされるおそれのある過渡時の応力に地震により発生する応力を加え合せて三軸方向（半径方向、円周方向及び軸方向）について解析し、それらより相当応力を計算する。

(2) 発生応力

通常運転時及び過渡時並びに地震時に発生する応力として、表5-5を考慮する。

燃料被覆管に発生する各応力については、燃料被覆管を厚肉円筒と見なし、複数のスペーサで支持された燃料棒を梁と見なして個々の応力の計算式を設定している。燃料被覆管

に発生する応力の計算式を表 5-6 及び表 5-8, 燃料被覆管に発生する応力の模式図を図 5-7 及び図 5-8 に示す。また, 地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関するスペーサ間及びスペーサ部の地震時の応力評価における応力の組合せを, 表 5-7 及び表 5-9 に示す。

(3) 設計比の評価

設計比の評価では, 燃料被覆管温度, 燃料棒内圧, 炉心条件, 燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し, モンテカルロ法により統計評価を行う。ここで, 燃料被覆管温度及び燃料棒内圧については, 9×9型(A型)は燃料棒熱・機械設計コード「PRIME」(引用文献(1), (2)参照), 9×9型(B型)は燃料棒熱・機設計コード「CARO」(引用文献(3)参照)による解析結果をそれぞれ用いる。

なお, 燃料被覆管温度及び燃料棒内圧の評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については, VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

モンテカルロ法による評価では, 1回の試行ごとに乱数を用い, 統計的分布に従い設定される入力条件から1つの設計比が得られる。この試行を繰り返すことにより設計比の統計的分布を求め, 設計比の95%確率上限値が1以下であることをもって, 燃料集合体の耐震性を確認する。

5.4.3 検討内容

崩壊熱除去可能な形状及び燃料被覆管の閉じ込め機能が維持されることを確認するため, 通常運転時及び地震によって引き起こされるおそれのある過渡変化時に燃料被覆管に作用する荷重に加えて, 地震時における水平地震加速度, 燃料集合体相対変位(燃料被覆管の閉じ込め機能の維持の評価のみに使用)及び鉛直地震加速度を考慮した燃料被覆管応力評価を実施する。

(1) 崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価

VI-2-3-2-2「炉心支持構造物の耐震性についての計算書」にてその詳細を示すとおり, 燃料集合体を支持している炉心支持構造物は, 地震時にもその支持機能は維持されるので, 崩壊熱除去可能な形状は維持されると考えられる。崩壊熱除去可能な形状の維持についてはさらに, 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による地震力並びに静的地震力に対し崩壊熱除去可能な形状が維持されることを確認するため, 燃料被覆管の地震時応力を弾性解析によって求めた結果, 設計比の95%確率上限値が1を下回る結果を得た。

地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価の結果を, 表 5-10 及び表 5-11 に示す。

(2) 燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価

燃料被覆管の閉じ込め機能が維持されることを確認するため, 基準地震動 S_s による地震力に対して許容応力を S_u , 弾性設計用地震動 S_d による地震力に対して許容応力を S

yとして燃料被覆管の地震時応力を弾性解析によってそれぞれ求めた結果、設計比の95%確率上限値が1を下回る結果を得た。

地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価の結果を、表5-12及び表5-13に示す。

5.5 下部端栓溶接部の燃料被覆管の応力評価

5.5.1 下部端栓溶接部の応力評価に用いる地震加速度及び相対変位

地震時における下部端栓溶接部の応力評価では、燃料集合体相対変位、燃料集合体に作用する水平地震加速度及び鉛直地震加速度として、3章で設定した35.0mm、 21.7m/s^2 及び 15.1m/s^2 (S s)並びに33.9mm、 21.6m/s^2 及び 7.6m/s^2 (S d)を用いる。なお、水平地震加速度 21.7m/s^2 (S s)及び 21.6m/s^2 (S d)は、下部端栓溶接部直上の下部タイプレート—スペーサ間の燃料棒に作用する水平加速度である。

5.5.2 地震時の下部端栓溶接部の応力評価の方法

地震時における下部端栓溶接部の応力評価は、端栓溶接部の形状が複雑なため有限要素法による汎用の解析コード「ANSYS」を用いて発生応力を評価し、許容応力として弾性設計用地震動S dでは S_y 、基準地震動S sでは S_u に対する相当応力の比(設計比)を評価する。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

地震時の下部端栓溶接部の応力評価のフローを、図5-9に示す。

(1) 下部端栓溶接部の応力評価モデル

下部端栓溶接部の応力評価では、最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓、燃料被覆管及びペレットをモデル化し、有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。

次に、熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み、熱膨張差による熱応力の分布、運転時及び地震時の荷重条件に基づき発生する応力分布を有限要素法を用いた機械解析により評価する。機械解析では、

を用いた発生応力が大きくなる解析モデルを用いている。

熱解析モデル及び機械解析モデルを、それぞれ図5-10から図5-12に示す。

(2) 下部端栓溶接部の熱解析での入力データ

通常運転時及び過渡時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため、表5-14の項目を考慮している。

なお、解析モデル上下端は断熱の境界条件とし、ペレット—下部端栓接触面には熱抵抗

がないものとして、上記の保守側の入力と合わせて、下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。

(3) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重

通常運転時及び過渡時並びに地震時に下部端栓溶接部に作用する荷重として、表 5-15 を考慮する。なお地震時には、水平地震加速度、燃料集合体の相対変位及び鉛直地震加速度により発生する軸方向荷重が反転することを考慮して、軸方向の引張応力及び圧縮応力の絶対値が個々に大きくなるように組合わせた解析を実施する。

(4) 設計比の評価

設計比の評価では、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、それぞれの 95% 確率上/下限値に基づき解析結果が保守側となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。ここで、燃料被覆管温度及び燃料棒内圧については、9×9 型 (A 型) は燃料棒熱・機械設計コード「PRIME」(引用文献(1)、(2)参照)、9×9 型 (B 型) は燃料棒熱・機械設計コード「CARO」(引用文献(3)参照) による解析結果をそれぞれ用いる。

応力計算は、厳しい条件となる過渡時の炉心条件に地震による荷重を加え合せて、下部端栓溶接部に発生する三軸方向 (半径方向、円周方向及び軸方向) の応力を解析し、それらより相当応力を計算する。また、燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する評価では、一次応力+二次応力を対象としているが、解析コード「ANSYS」での有限要素法による端栓溶接部の応力解析においては、応力集中によるピーク応力を含む結果となっている。

このため、付録 1 に示す応力分類処理方法に従って、全発生応力から一次応力+二次応力を分類する。

燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する評価で要求されている許容応力は、弾性設計用地震動 S_d に対して S_y 、基準地震動 S_s に対して S_u であるが、それぞれの許容応力について下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の 95% 確率下限値を用いる。

5.5.3 下部端栓溶接部の疲労評価

5.5.2 項の有限要素法を用いた解析コード「ANSYS」で得られる応力集中によるピーク応力を含む下部端栓溶接部の応力強さに基づき、地震期間中に負荷される繰返し荷重による燃料被覆管の疲労評価を実施する。疲労評価は一次+二次+ピーク応力を評価対象とするため、ピーク応力が発生する下部端栓溶接部を評価対象部位とする。

燃料被覆管の疲労限界に対する設計基準は、累積損傷の法則 (Miner の仮説) 及び Langer-0¹ Donnell の考え方に基づく。

燃料装荷から取出しまでの炉内滞在期間を 8 年とした炉内滞在期間中に燃料被覆管に作用する温度、圧力及び出力の予測サイクルによる疲労に加え、地震動による繰返し荷重を考

慮し、疲労累積係数が 1.0 以下であることを確認する。

地震時の下部端栓溶接部の疲労評価のフローを、図 5-13 に示す。

(1) 地震期間中の繰返し荷重による応力振幅

地震期間中に下部端栓溶接部に負荷されるピーク応力を含む応力振幅 ($\Delta \sigma$) の評価においては、作用方向が反転する地震の繰返し荷重により三軸方向の応力成分の大小関係が大きく変化するため主応力の方向が有意に変化する。このため、 9×9 燃料 (A型) については、日本産業規格 J I S B 8 2 6 6 「压力容器の構造—特定規格 附属書 8 (規定) 压力容器の応力解析及び疲労解析」の 3.2.1 a)2) の主応力方向が変動する場合の応力強さ振幅の算出手法に基づき、応力強さの振幅を評価する。 9×9 燃料 (B型) については、延性材料に対する評価においてよく一致することが知られているせん断歪エネルギー説 (von Mises 理論) に基づき、燃料被覆管の相当応力の振幅を評価する。

(2) ジルカロイの設計疲労曲線

燃料被覆管の疲労評価に用いるジルカロイの設計疲労曲線 (引用文献(4)参照) を、図 5-14 に示す。(1)の方法で評価された地震期間中の繰返し荷重による応力振幅 (主応力の方向が変化する場合の応力強さの振幅, $\Delta \sigma$) を、図 5-14 と対比することにより、許容サイクル数 (N) を求める。

(3) 地震力の繰返し回数に基づく疲労累積係数の評価

地震力の繰返し回数 (n) を(2)で求めた許容サイクル数 (N) で除すことにより、地震力が繰り返された場合の疲労累積係数を評価する。なお、地震力の繰返し回数 (n) には、150 回 (S s) 及び 300 回 (S d) を用いる。

5.5.4 検討内容

燃料被覆管の閉じ込め機能が維持されることを確認するため、基準地震動 S s による地震力に対して許容応力を S u, 弾性設計用地震動 S d による地震力に対して許容応力を S y として下部端栓溶接部の地震時応力を解析コード「ANSYS」で求めた結果、それぞれ設計比が 1 を下回る結果を得た。

地震時における下部端栓溶接部の応力評価の結果を、表 5-16 及び表 5-17 に示す。

燃料被覆管の閉じ込め機能が維持されることを確認するため、基準地震動 S s 又は弾性設計用地震動 S d による地震力がそれぞれ繰り返された場合の応力振幅と繰返し回数より疲労累積係数を評価した結果、地震動による疲労累積係数増分を加えても疲労累積係数は 1 を下回る結果を得た。

地震時における下部端栓溶接部の疲労評価の結果を、表 5-18 及び表 5-19 に示す。

5.6 検討結果

通常運転時及び地震によって引き起こされるおそれのある過渡変化時に燃料被覆管に作用する荷重に加えて、水平地震加速度、燃料集合体の相対変位（閉じ込め機能維持の評価のみ）及び鉛直地震加速度を考慮した燃料被覆管応力評価を実施した。

その結果、崩壊熱除去可能な形状の維持に関する燃料被覆管の設計比が最大となるのは寿命初期で、その値は9×9燃料（A型）で0.40、9×9燃料（B型）で0.44であり、設計比が1を下回っていることから、地震時にも崩壊熱除去可能な形状は維持されることを確認した。

地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する燃料被覆管の設計比が最大となるのは寿命初期であり、スペーサ間及びスペーサ部では9×9燃料（A型）で0.80、9×9燃料（B型）で0.79、下部端栓溶接部では9×9燃料（A型）で0.72、9×9燃料（B型）で0.69で、設計比は1を下回っている。また、地震時の繰返し荷重に基づく燃料被覆管の疲労累積係数は9×9燃料（A型）で0.002（S s）及び0.003（S d）、9×9燃料（B型）で0.005（S s）及び0.005（S d）であり、燃料の全寿命を通した疲労累積係数（9×9燃料（A型）で約0.003、9×9燃料（B型）で約0.006、引用文献(5)、(6)参照）に付加しても1を下回っている。これらの結果より、地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能が維持されることを確認した。

表 5-1 崩壊熱除去可能な形状維持の評価で考慮する荷重の組合せ及び許容限界

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界	
		一次応力	
D + P + M + S _d [*]	III _A S	0.7 · S _u ^{*1, *2}	
D + P + M + S _s	IV _A S		

注記*1：せん断ひずみエネルギー説に基づく相当応力に対して評価する。

*2：使用温度及び照射の効果を考慮して許容値を設定する。

表 5-2 閉じ込め機能維持の評価で考慮する荷重の組合せ及び許容限界

荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界	
		一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
D + P + M + S _d [*]	III _A S	S _y ^{*1, *2}	S _d 又はS _s 地震動のみによる*3 疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱ における累積疲労係数との和が 1.0以下であること。
D + P + M + S _s	IV _A S	S _u ^{*1, *2}	

注記*1：せん断ひずみエネルギー説に基づく相当応力に対して評価する。

*2：使用温度及び照射の効果を考慮して許容値を設定する。

*3：運転時の異常な過渡変化時として、運転状態Ⅲの制御棒引抜きについても考慮する。

表 5-3(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる解析条件
(9×9燃料 (A型))

項目	解析条件
寿命時期	寿命初期／中期／末期
評価部位	スペーサ間／スペーサ部
計算機コード	FURST
地震動	基準地震動 S_s / 弾性設計用地震動 S_d
水平方向加速度 : G_h (m/s^2)	40.2 (S_s) / 38.9 (S_d)
鉛直方向加速度 : G_v (m/s^2)	15.1 (S_s) / 7.6 (S_d)
燃料集合体変位 : Y (mm) *	35.0 (S_s) / 33.9 (S_d)

注記* : 燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する評価にのみ使用

表 5-3(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる数値又は数式
(9×9燃料 (A型))

記号	単位	数値又は数式	特記事項
A	—		
P _c	MPa		圧力過渡時の冷却材圧力
P _g	MPa		燃料棒熱・機械設計解析結果 <input type="text"/>
r ₁	mm	r ₂ + t	
r ₂	mm		<input type="text"/>
r _m	mm	(r ₁ + r ₂) / 2	
t	mm		<input type="text"/> 照射に伴う腐食減肉を考慮
d	mm		
q _{c r}	MPa		
f	N		
α	°C ⁻¹		
E	MPa		
ν	—		
ℓ	mm		
δ	mm		
T ₀	°C		燃料棒熱・機械設計解析結果
ΔT ₁	°C		燃料棒熱・機械設計解析結果
ΔT ₂	°C		
F	N		
W _r	kg		
W _s	kg		
Z	mm ³	$\pi (r_1^4 - r_2^4) / (4 r_1)$	
L	mm		
S _y	MPa	図 5-1 参照*1	燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮
S _u	MPa	図 5-2 参照*1	燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮

注記*1：統計分布を考慮。

*2：寿命初期，寿命中期及び寿命末期の値。

表 5-4(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる解析条件
(9×9燃料 (B型))

項目	解析条件
寿命時期	寿命初期／中期／末期
評価部位	スペーサ間／スペーサ部
計算機コード	B S P A N 2
地震動	基準地震動 S_s / 弾性設計用地震動 S_d
水平方向加速度 : G_h (m/s^2)	40.2 (S_s) / 38.9 (S_d)
鉛直方向加速度 : G_v (m/s^2)	15.1 (S_s) / 7.6 (S_d)
燃料集合体変位 : Y (mm) *	35.0 (S_s) / 33.9 (S_d)

注記* : 燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する評価にのみ使用

表 5-4(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる数値又は数式
(9×9燃料(B型))(1/2)

記号	単位	数値又は数式	特記事項
P_i	MPa		燃料棒熱・機械設計解析結果 []
P_o	MPa		圧力過渡時の冷却材圧力
r_i	mm	$D_i/2$	
r_o	mm	$D_o/2$	
r_m	mm	$(r_i + r_o)/2$	
D_o	mm	$D_i + 2t$	
D_i	mm		[]
t	mm		照射に伴う腐食減肉を考慮
ν	—		
E	MPa		
I	mm ⁴	$\pi (D_o^4 - D_i^4) / 64$	
ω	mm		
P_{cr}	MPa		
l	mm		
A	mm		
L	mm		
W_o	kg/mm		鉛直加速度を見かけの質量増加として考慮
W	kg/mm		
g	m/s ²	9.80665	
C_1	—		
C_2	—		
C_3	—		
C_4	—		
C_5	—		
C_6	—		
C_7	—		
T	°C		
ΔT	°C		
ΔT_i	°C		

表 5-4(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価に用いる数値又は数式
(9×9燃料 (B型)) (2/2)

記号	単位	数値又は数式	特記事項
ΔT_o	°C		
δ	—	D_o/D_i	
α_r	°C ⁻¹		
α_z	°C ⁻¹		
P	N		
N_1	—		
N_2	—		
N_3	—		
μ	—		
S	mm ²	$\pi (r_o^2 - r_i^2)$	
F_i	N		
F_e	N		
S_y	MPa	図 5-4 参照*1	燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮
S_u	MPa	図 5-4 参照*1	燃料被覆管の温度及び照射の効果を考慮

注記*1：統計分布を考慮。

*2：寿命初期，寿命中期及び寿命末期の値。

表 5-5 燃料被覆管に発生する応力

考慮する応力	スペーサ間	スペーサ部	条件
内外圧力差に基づく応力	○	○	通常運転時 及び過渡時
水力振動に基づく応力	○	○*1	
楕円度に基づく応力	○	○	
スペーサの接触力に基づく応力	—	○	
半径方向温度差に基づく熱応力	○	○	
円周方向温度差に基づく熱応力	○	○	
膨張スプリング等による軸方向荷重に基づく応力	○	○	
ウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力	○*2	○*2	
燃料棒のたわみに基づく応力	○	○	地震時
チャンネルボックスのたわみに基づく応力	○	○	
鉛直方向地震加速度に基づく応力	○	○	

注記*1：9×9燃料（A型）の場合に考慮。

*2：9×9燃料（B型）の場合に考慮。

表 5-6(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (通常運転時及び過渡時)

9 × 9 燃料 (A型) (1/2)

応力の種類	応力の成分	外面	内面
(1) 内外圧力差に基づく応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(2) 水力振動に基づく応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(3) 楕円度に基づく応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(4) スペーサの接触力に基づく応力 (二次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(5) 半径方向温度差に基づく熱応力 (二次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(6) 円周方向温度差に基づく熱応力 (二次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		

表 5-6(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (通常運転時及び過渡時)
(9×9燃料 (A型)) (2/2)

応力の種類	応力の成分	外面	内面
(7) 膨張スプ リング等に よる軸方向 荷重に基づ く応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		

表 5-6(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (地震時)
(9×9燃料 (A型))

応力の種類	応力の成分	外面	内面
(8) スペーサ間での燃料棒の たわみに基づく応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(9) スペーサ部での燃料棒の たわみに基づく応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(10) チャンネルボックスの たわみに基づく応力 (二次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		
(11) 鉛直地震加速度に基づ く応力 (一次応力)	半径方向		
	円周方向		
	軸方向		

表 5-7 スペーサ間及びスペーサ部の地震時の応力評価における応力の組合せ
(9×9燃料 (A型))

解析分類	評価位置	応力分類	応力組合せ*
崩壊熱除去可能な形状の維持	スペーサ間	一次応力	(1)+(2)+(3)+(7)+(8)+(11)
	スペーサ部		(1)+(2)+(3)+(7)+(9)+(11)
閉じ込め機能の維持	スペーサ間	一次応力	(1)+(2)+(3)+(5)+(6)+(7)+(8)+(10)+(11)
	スペーサ部	+二次応力	(1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)+(7)+(9)+(10)+(11)

注記* : 表 5-6 の応力の種類を示す各番号の応力の組合せを示す。

表 5-8(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (通常運転時及び過渡時)
(9×9燃料 (B型) (1/2))

応力の種類	応力の成分	内面	外面
(1) 冷却材外圧及び燃料要素内圧によって生じる応力 (一次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(2) 燃料被覆管楕円度による曲げ応力 (一次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(3) 水力振動による応力 (一次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(4) 支持格子保持力による応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(5) 燃料被覆管径方向温度勾配による応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		

表 5-8(1) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (通常運転時及び過渡時)
(9×9燃料 (B型) (2/2))

応力の種類	応力の成分	内面	外面
(6) 燃料被覆管 周方向温度勾配 による応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(7) ウォータチ ャンネルと燃料 被覆管の熱膨張 差による応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(8) 膨張スプリ ング及びプレナ ムスプリングに よる応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		

表 5-8(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力の計算式 (地震時)

(9×9 燃料 (B型))

応力の種類	応力の成分	内面	外面
(9) 支持格子間たわみによる応力 (一次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		
(10) チャンネルボックスのたわみに基づく応力 (二次応力)	円周方向		
	半径方向		
	軸方向		

表 5-9 スペーサ間及びスペーサ部の地震時の応力評価における応力の組合せ

(9×9 燃料 (B型))

解析分類	評価位置	応力分類	応力組合せ*
崩壊熱除去可能な形状の維持	スペーサ間	一次応力	(1)+(2)+(3)+(9)
	スペーサ部		(1)+(2)+(9)
閉じ込め機能の維持	スペーサ間	一次応力	(1)+(2)+(3)+(5)+(6)+(7)+(8)+(9)+(10)
	スペーサ部	+二次応力	(1)+(2)+(4)+(5)+(6)+(7)+(8)+(9)+(10)

注記* : 表 5-8 の応力の種類を示す各番号の応力の組合せを示す。

表 5-10 地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価結果

9 × 9 燃料 (A型)

地震動	許容応力	運転条件*	寿命時期	スペーサ間 (設計比)	スペーサ部 (設計比)
				一次応力	一次応力
基準地震動 S s	0.7 S u	圧力過渡	寿命初期	0.40	0.38
			寿命中期	0.24	0.23
			寿命末期	0.25	0.24

注記* : 解析対象が一次応力であるため出力過渡時に大きくなる熱応力が影響しないので圧力過渡のみを評価対象とした。

表 5-11 地震時の崩壊熱除去可能な形状の維持に関する応力評価結果

9 × 9 燃料 (B型)

地震動	許容応力	運転条件*	寿命時期	スペーサ間 (設計比)	スペーサ部 (設計比)
				一次応力	一次応力
基準地震動 S s	0.7 S u	圧力過渡	寿命初期	0.44	0.44
			寿命中期	0.33	0.33
			寿命末期	0.31	0.31

注記* : 解析対象が一次応力であるため出力過渡時に大きくなる熱応力が影響しないので圧力過渡のみを評価対象とした。

表 5-12 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価結果
9 × 9 燃料 (A型)

地震動	許容 応力	運転 条件	寿命時期	スペーサ間 (設計比)	スペーサ部 (設計比)
				一次応力+ 二次応力	一次応力+ 二次応力
基準地震動 S _s	S _u	圧力過渡	寿命初期	0.46	0.42
			寿命中期	0.28	0.26
			寿命末期	0.24	0.24
		出力過渡	寿命初期	0.45	0.37
			寿命中期	0.29	0.27
			寿命末期	0.25	0.23
弾性設計用 地震動 S _d	S _y	圧力過渡	寿命初期	0.80	0.77
			寿命中期	0.30	0.27
			寿命末期	0.26	0.25
		出力過渡	寿命初期	0.77	0.67
			寿命中期	0.32	0.30
			寿命末期	0.27	0.25

表 5-13 地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する応力評価結果
9×9燃料 (B型)

地震動	許容 応力	運転 条件	寿命時期	スペーサ間 (設計比)	スペーサ部 (設計比)
				一次応力+ 二次応力	一次応力+ 二次応力
基準地震動 S _s	S _u	圧力過渡	寿命初期	0.48	0.48
			寿命中期	0.34	0.31
			寿命末期	0.30	0.28
		出力過渡	寿命初期	0.48	0.46
			寿命中期	0.36	0.33
			寿命末期	0.29	0.27
弾性設計用 地震動 S _d	S _y	圧力過渡	寿命初期	0.76	0.79
			寿命中期	0.36	0.33
			寿命末期	0.31	0.29
		出力過渡	寿命初期	0.74	0.74
			寿命中期	0.39	0.35
			寿命末期	0.30	0.27

表 5-14 下部端栓溶接部の熱解析で考慮する項目

考慮する項目
ペレットの発熱
ジルカロイ部材の γ 発熱*
ペレット-被覆管ギャップ熱伝達係数 <input type="text"/>
被覆管表面熱伝達係数 <input type="text"/>
ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率

注記*：9×9燃料（A型）の場合に考慮。

表 5-15 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重

考慮する荷重	条件
下部端栓及び被覆管部における温度分布（熱解析結果を読み込む）	通常運転時及び過渡時
燃料棒内圧 <input type="text"/>	
冷却材圧力 <input type="text"/>	
内外圧力差による軸方向荷重（軸方向応力）	
膨張スプリング等による軸方向荷重（軸方向応力）* ¹	
被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲がりに基づく曲げ荷重（曲げ応力）* ¹	
燃料棒のたわみに基づく曲げ荷重（曲げ応力）	地震時
チャンネルボックスのたわみに基づく曲げ荷重（曲げ応力）	
鉛直地震加速度に基づく軸方向荷重（軸方向応力）* ²	

注記*¹：9×9燃料（A型）の場合に考慮。

*²：9×9燃料（B型）の場合、鉛直方向地震加速度は地震時にかかる荷重への質量増加として考慮。

表 5-16 地震時の下部端栓溶接部の応力評価結果
(9×9燃料 (A型))

地震動	許容応力	運転条件*	寿命時期	下部端栓溶接部 (設計比)
				一次応力+ 二次応力
基準地震動 S _s	S _u	圧力過渡	寿命初期	0.40
			寿命中期	0.31
			寿命末期	0.26
弾性設計用 地震動 S _d	S _y	圧力過渡	寿命初期	0.72
			寿命中期	0.34
			寿命末期	0.26

注記*：下部端栓溶接部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の
応力より小さいため，圧力過渡時のみを評価対象とした。

表 5-17 地震時の下部端栓溶接部の応力評価結果
(9×9燃料 (B型))

地震動	許容応力	運転条件*	寿命時期	下部端栓溶接部 (設計比)
				一次応力+ 二次応力
基準地震動 S s	S u	圧力過渡	寿命初期	0.40
			寿命中期	0.37
			寿命末期	0.35
弾性設計用 地震動 S d	S y	圧力過渡	寿命初期	0.69
			寿命中期	0.56
			寿命末期	0.52

注記*：下部端栓溶接部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため，圧力過渡時のみを評価対象とした。

表 5-18 地震時の下部端栓溶接部の疲労評価結果
(9×9燃料 (A型))

地震動	寿命時期	応力振幅 (MPa)	許容 サイクル数	地震荷重の 繰返し回数	疲労係数の 増分*
基準地震動 S s	寿命初期	71	6.4×10^4	150	0.00234
	寿命中期	70	7.0×10^4	150	0.00214
	寿命末期	71	6.4×10^4	150	0.00234
弾性設計用 地震動 S d	寿命初期	66	1.2×10^5	300	0.00250
	寿命中期	66	1.2×10^5	300	0.00250
	寿命末期	66	1.2×10^5	300	0.00250

注記* : 燃料の全寿命を通じた疲労累積係数 (約 0.003, 引用文献(5)参照) を付加しても 1 を下回っている。

表 5-19 地震時の下部端栓溶接部の疲労評価結果
(9×9燃料 (B型))

地震動	寿命時期	応力振幅 (MPa)	許容 サイクル数	地震荷重の 繰返し回数	疲労係数の 増分*
基準地震動 S s	寿命初期	87	2.8×10^4	150	0.00532
	寿命中期	85	3.0×10^4	150	0.00496
	寿命末期	84	3.2×10^4	150	0.00476
弾性設計用 地震動 S d	寿命初期	73	6.6×10^4	300	0.00458
	寿命中期	71	7.2×10^4	300	0.00416
	寿命末期	71	7.6×10^4	300	0.00393

注記* : 燃料の全寿命を通じた疲労累積係数 (約 0.006, 引用文献(6)参照) を付加しても 1 を下回っている。

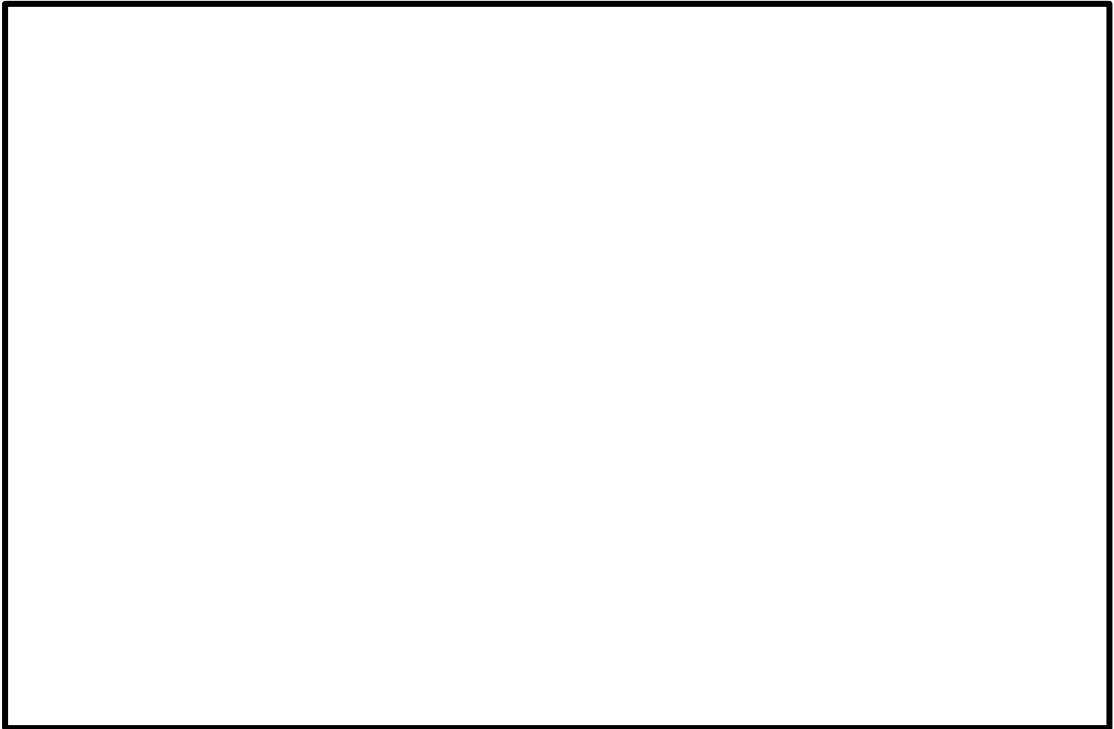


図 5-1 ジルカロイ-2 降伏応力の設計値 (公称値*) (9 × 9 燃料 (A型))

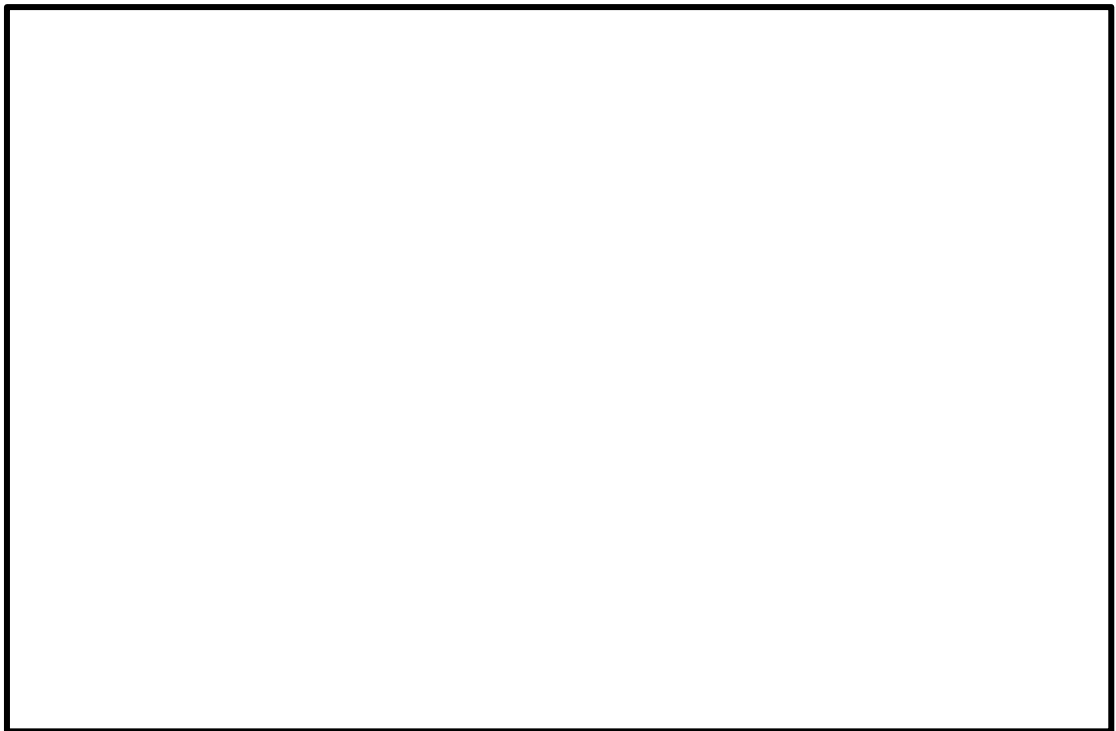


図 5-2 ジルカロイ-2 引張強さの設計値 (公称値*) (9 × 9 燃料 (A型))

注記* : データ分布上の公称値を示す。

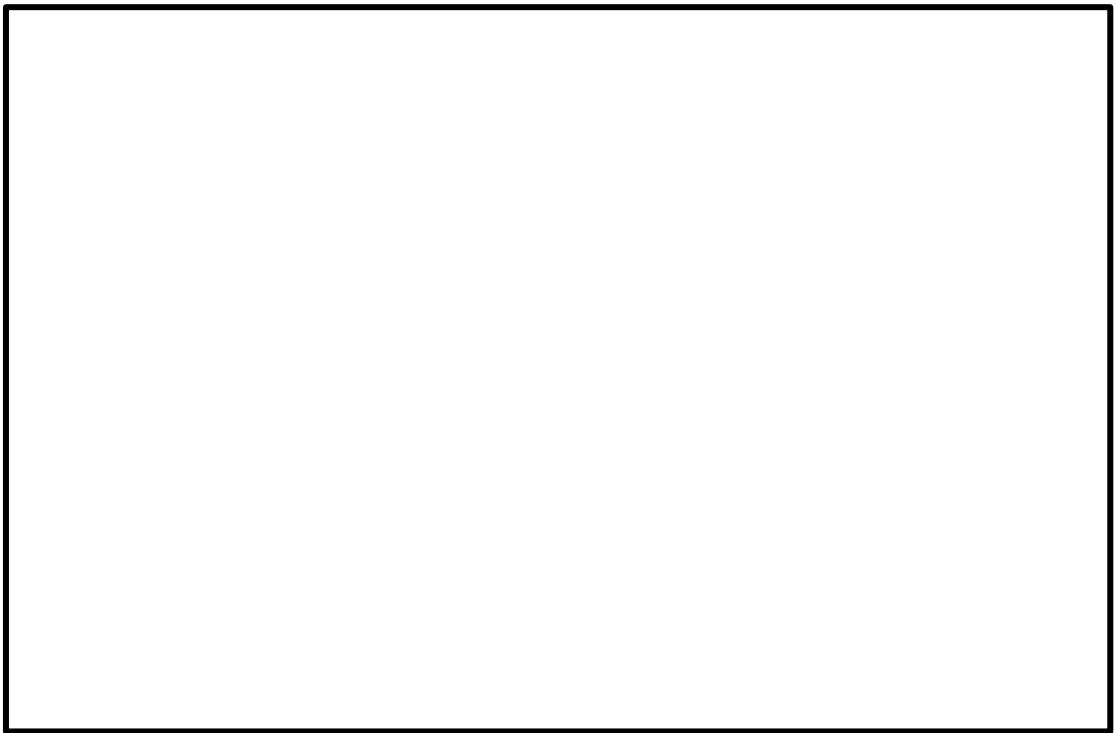


図 5-3 ジルカロイ-2 降伏応力及び引張強さの設計値 (95%確率下限値)
(9 × 9 燃料 (A型) 下部端栓溶接部)

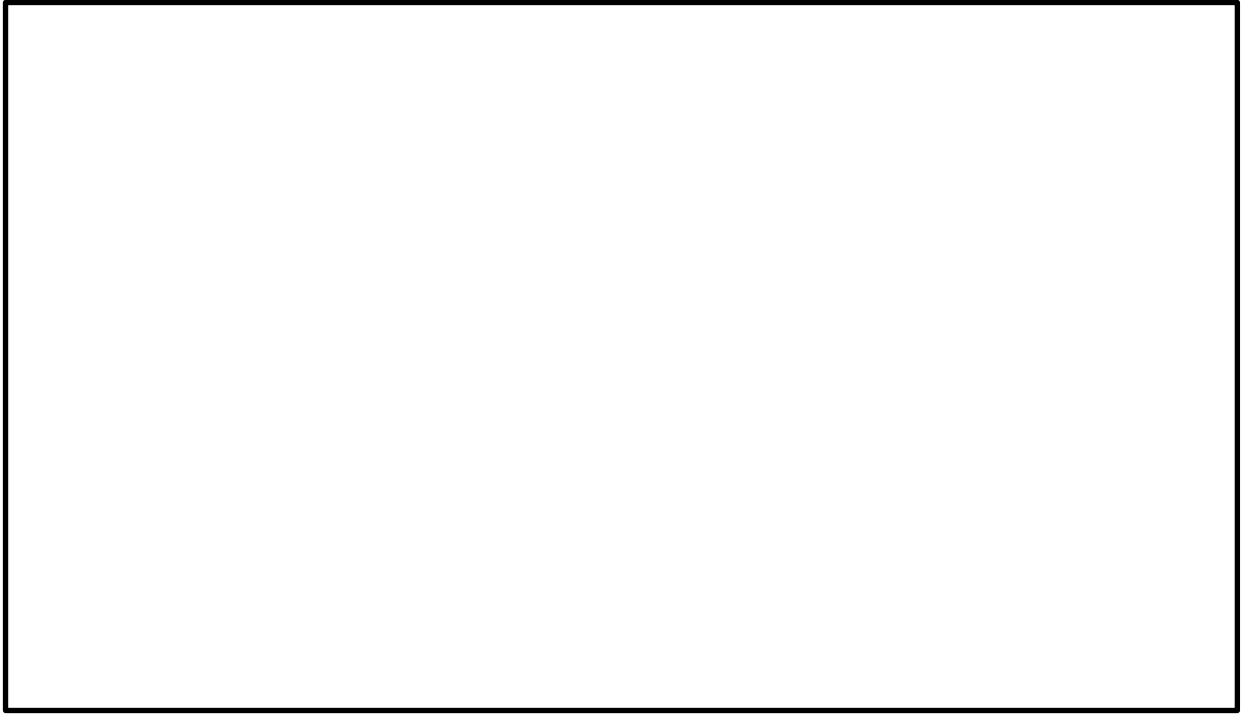


図 5-4 ジルカロイ-2 降伏応力及び引張強さの設計値 (公称値*)
(9×9 燃料 (B 型) スペーサ間及びスペーサ部)

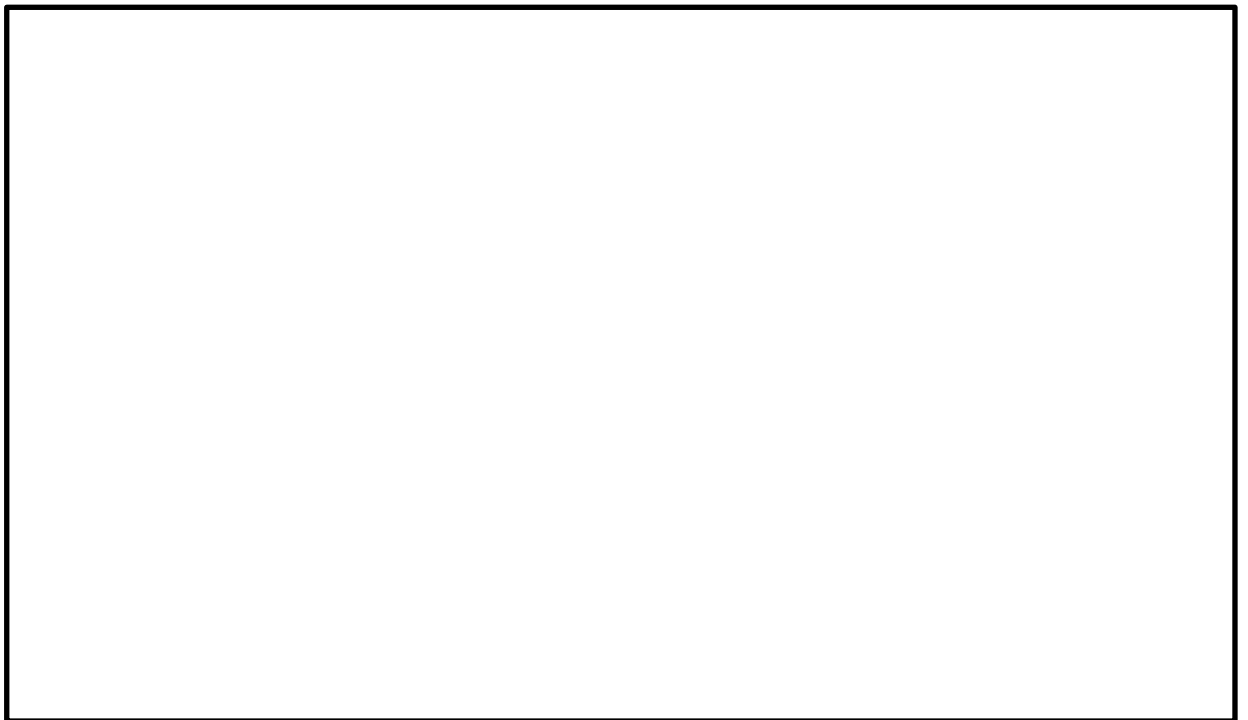


図 5-5 ジルカロイ-2 降伏応力及び引張強さの設計値 (95%確率下限値)
(9×9 燃料 (B 型) 下部端栓溶接部)

注記* : データ分布上の公称値を示す。

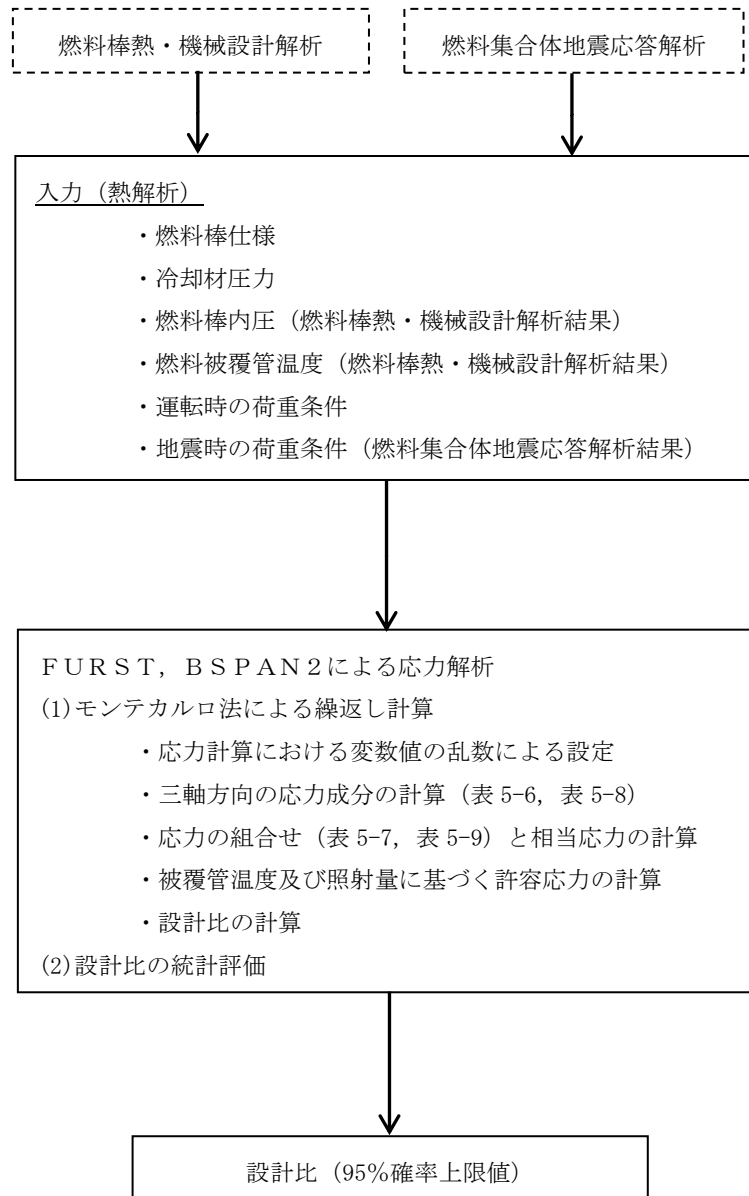


図 5-6 地震時のスぺーサ間及びスぺーサ部の応力評価のフロー

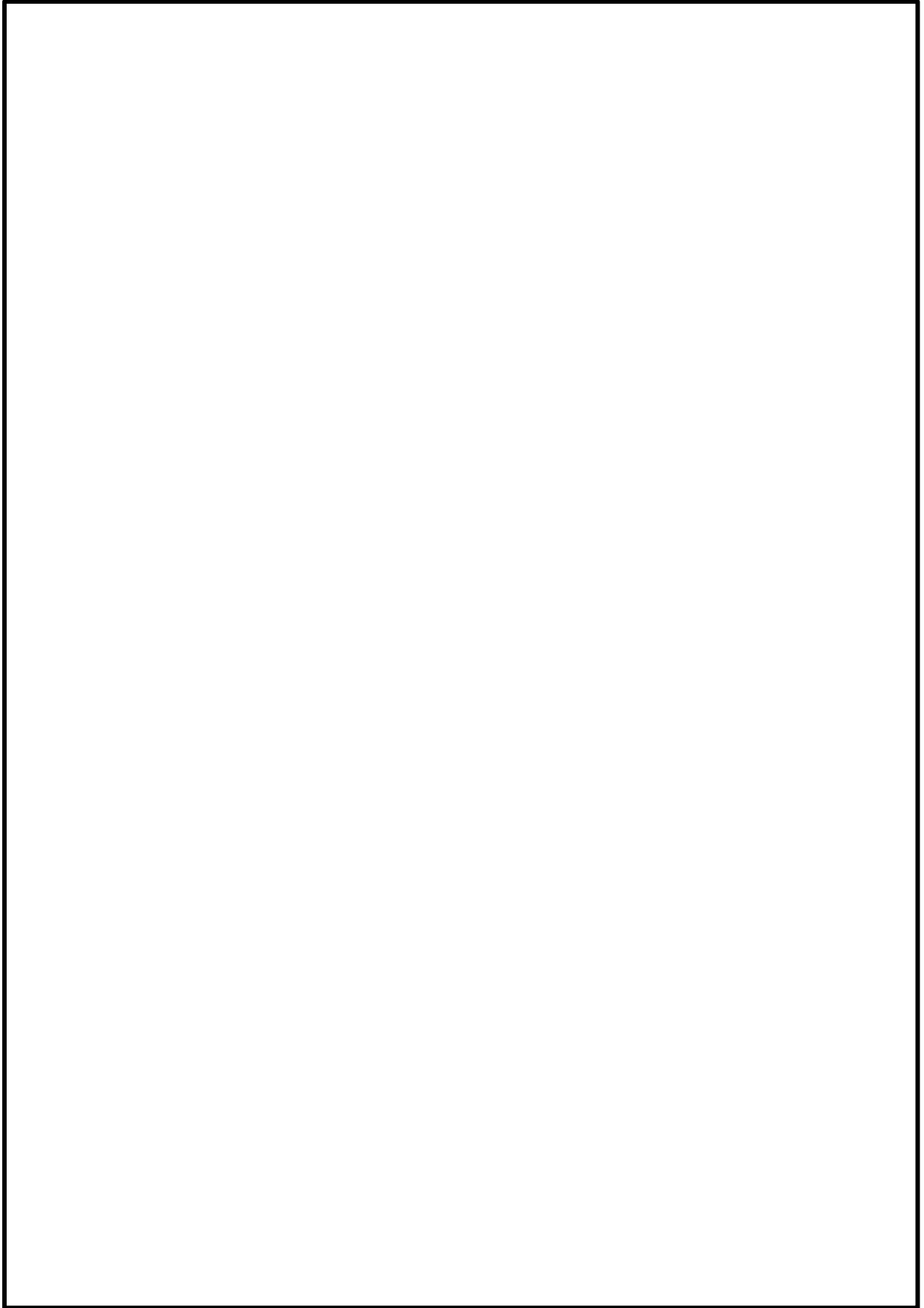


図 5-7 スペーサ間及びスペーサ部の応力の模式図（9×9燃料（A型））

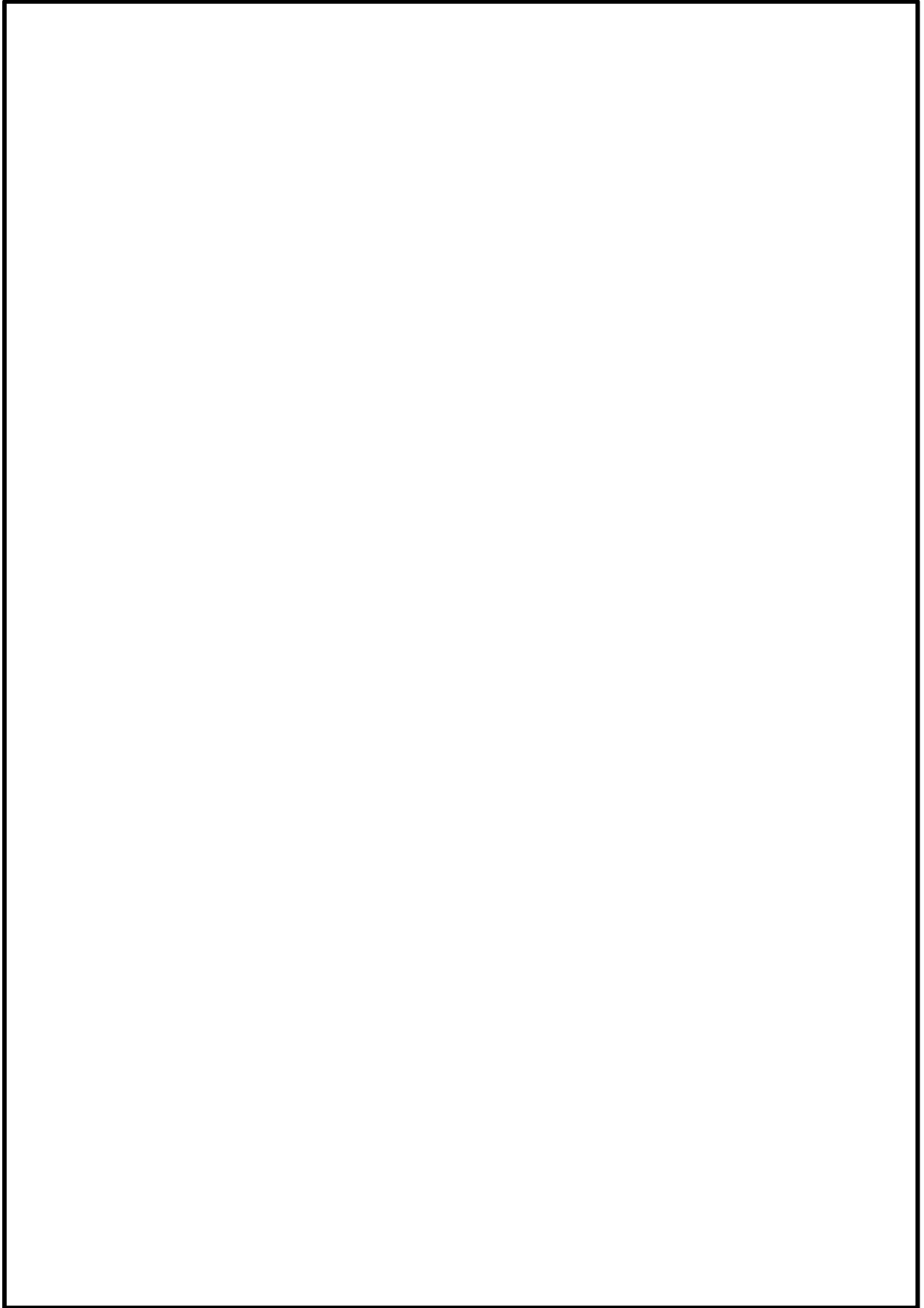


図 5-8 スペーサ間及びスペーサ部の応力の模式図（9×9燃料（B型））

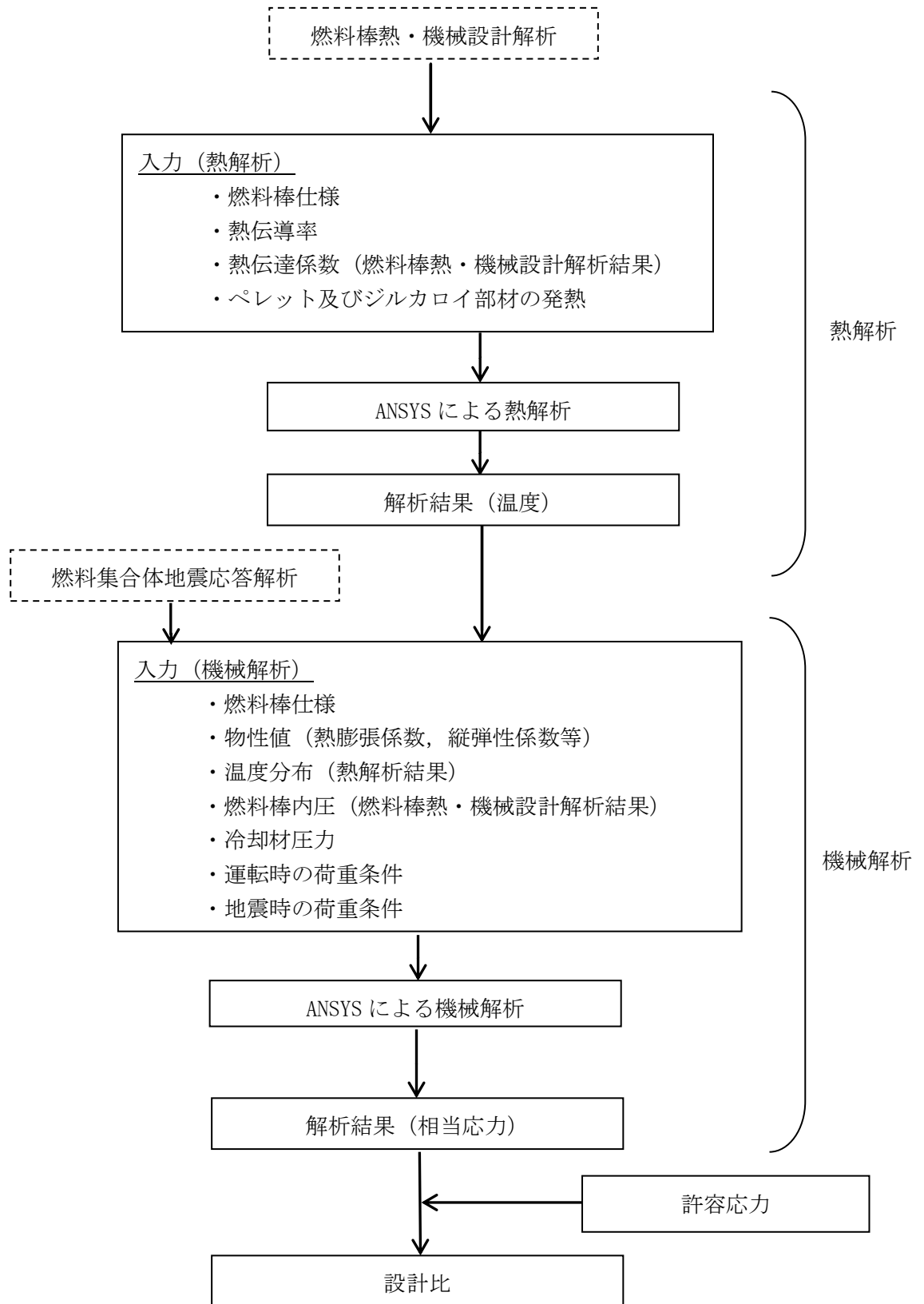


図 5-9 地震時の下部端栓溶接部の応力評価のフロー

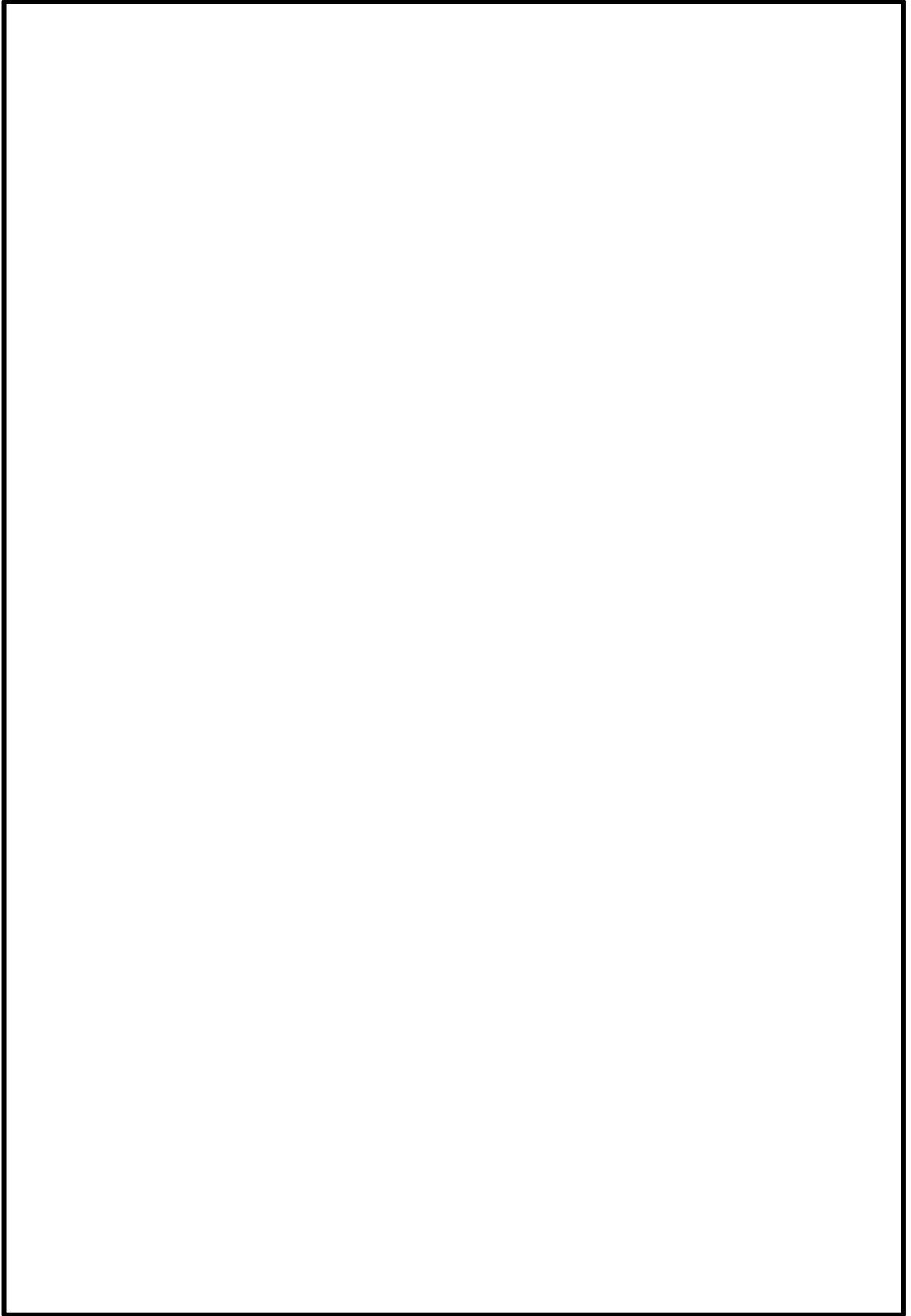


図 5-10 下部端栓溶接部の応力評価における熱解析モデル (9×9燃料 (A型))

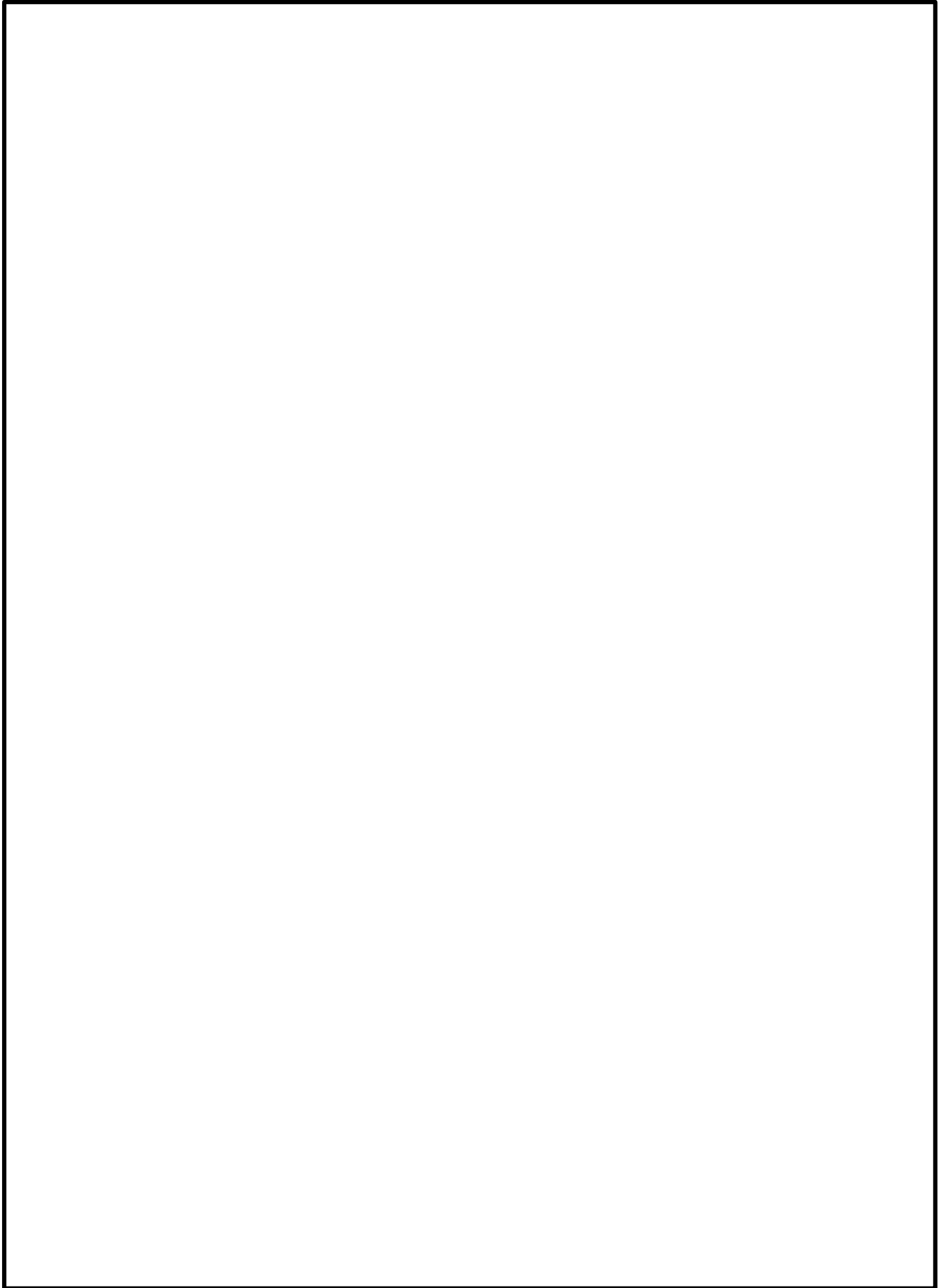


図 5-11 下部端栓溶接部の応力評価における機械解析モデル (9 × 9 燃料 (A型))

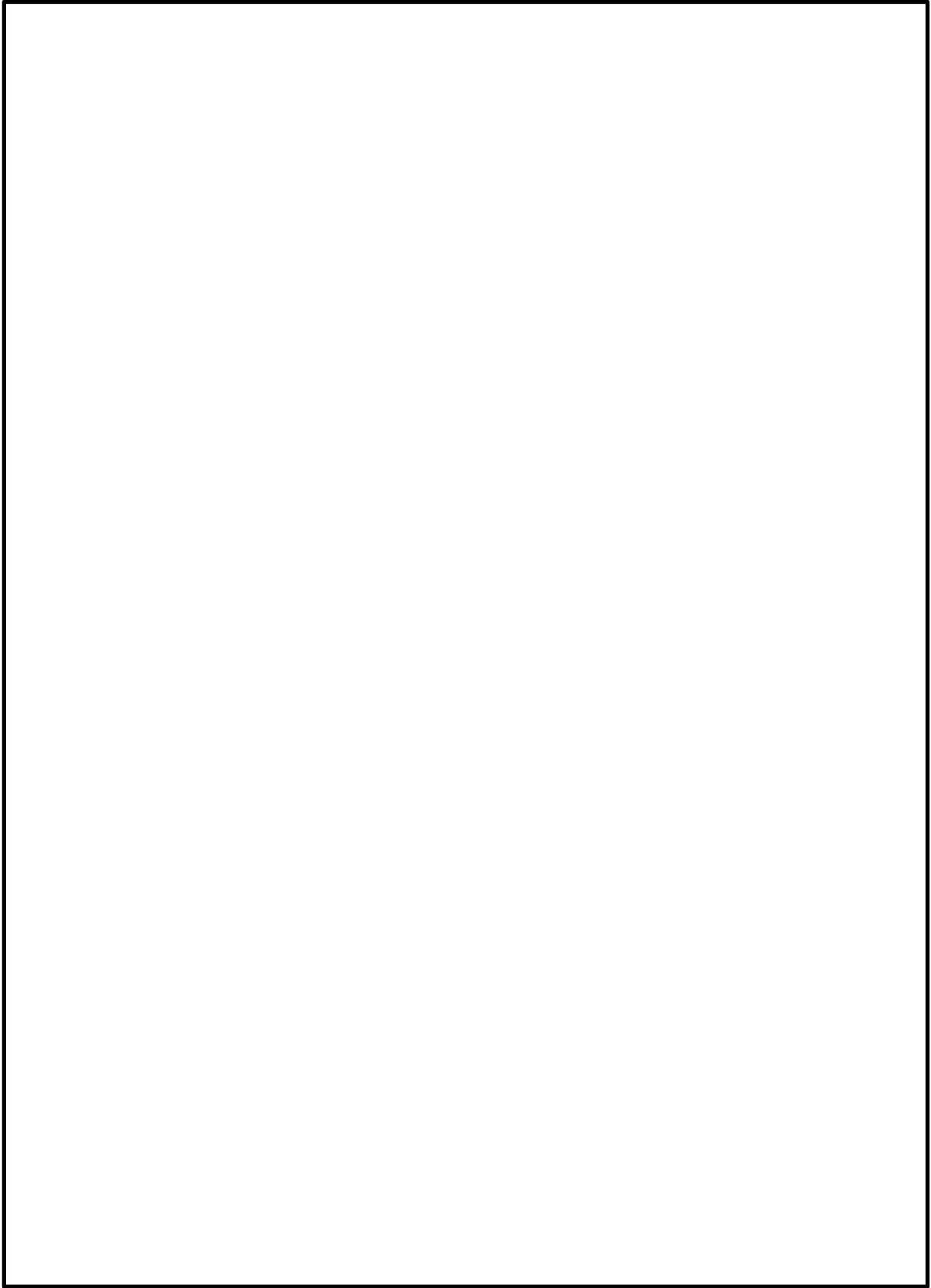


図 5-12 下部端栓溶接部の応力評価における熱・機械解析モデル (9 × 9 燃料 (B型))

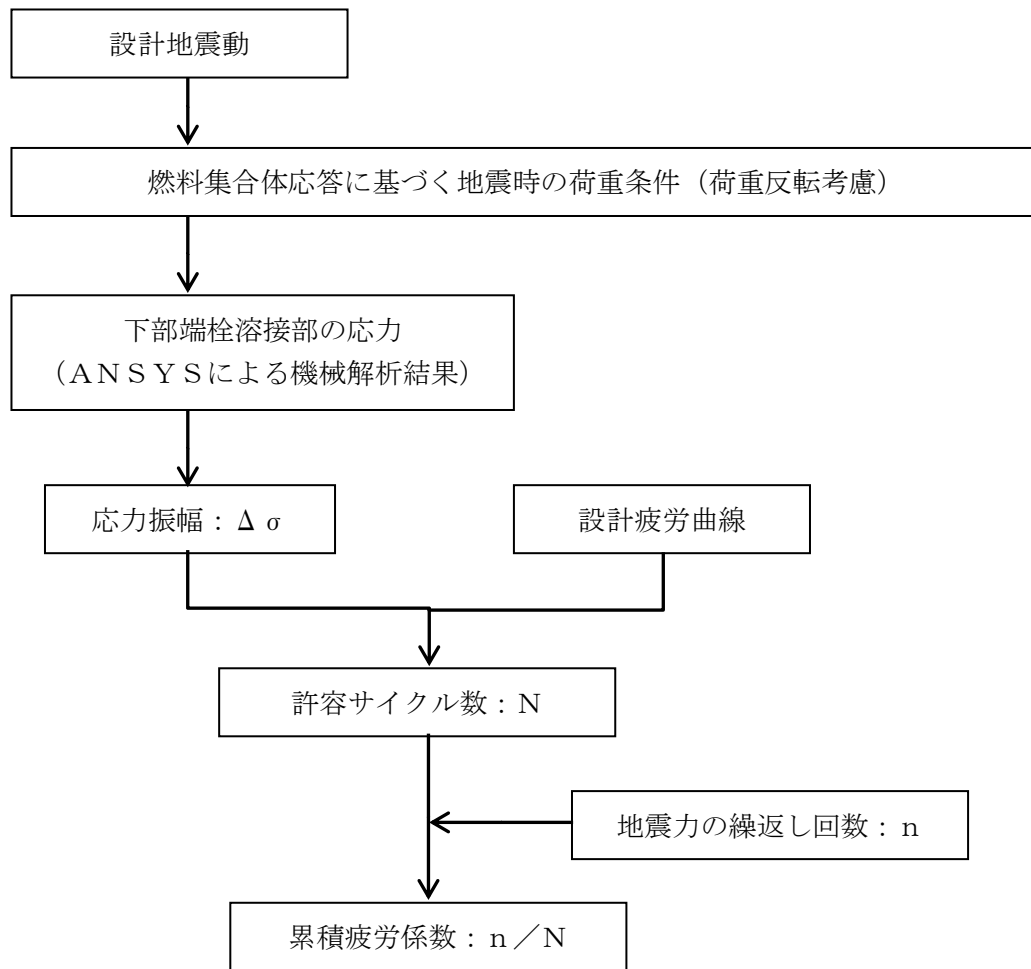


図 5-13 地震時の下部端栓溶接部の疲労評価のフロー

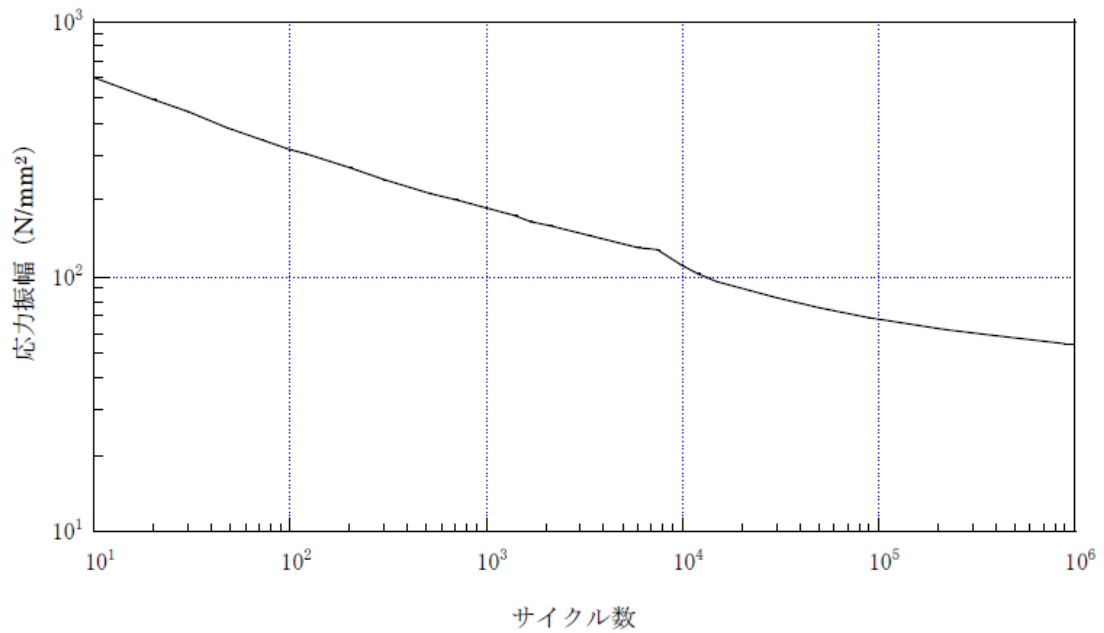


図 5-14 ジルカロイの設計疲労曲線*

注記* : ジルカロイ設計疲労曲線は、引用文献(4)に基づき、ジルカロイ-2 の未照射材及び照射材についての疲労試験結果をベースに、ジルカロイ-4 等の機械特性及び疲労特性がジルカロイ-2 とほぼ同等であることを確認し、がジルカロイ-2, 3 及び 4 共通の設計曲線として設定したものである。Langer-0¹ Donnell は、設計曲線を保守側に見積もるため、未照射材及び照射材それぞれについて応力を 1/2, サイクル数を 1/20 とし、未照射材及び照射材の両者の包絡線を Langer-0¹ Donnell の設計疲労曲線としている。

6. 引用文献

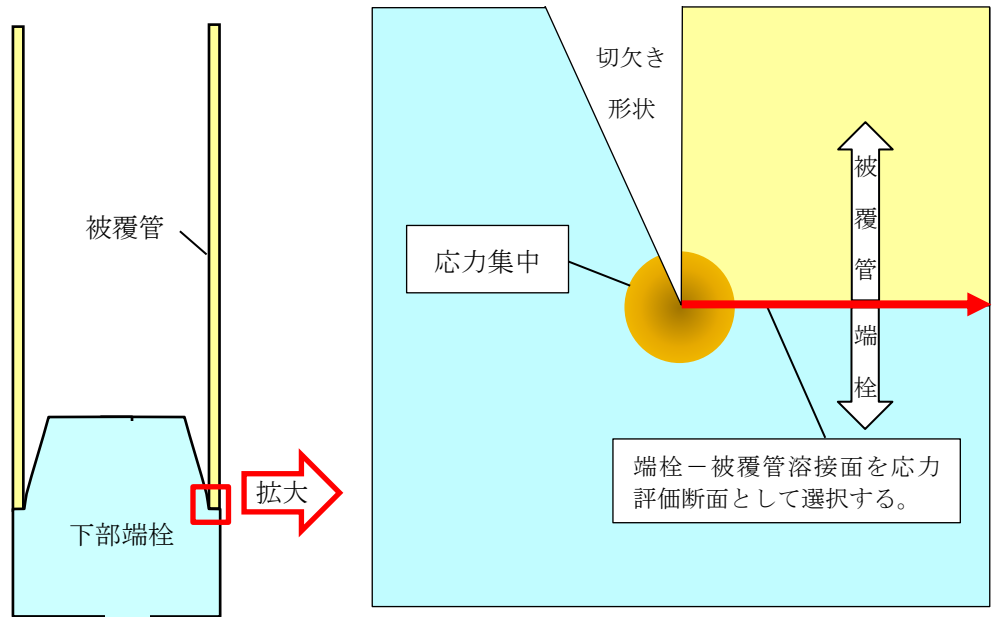
- (1) 「沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について」, 株式会社日立製作所, H L R-033訂1, 平成10年2月
- (2) 「沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について」, 株式会社東芝, T L R-045改訂1, 平成10年1月
- (3) 「沸騰水型軽水炉用燃料の設計手法について」, 原子燃料工業株式会社, N L R-14, 昭和62年12月
- (4) W. J. O'Donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964)
- (5) 島根原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」(GNF燃設認第30号, 平成21年1月7日認可)
- (6) 島根原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」(20原燃東 第805号, 平成21年3月27日認可)

付録1 応力計算結果の応力分類処理方法

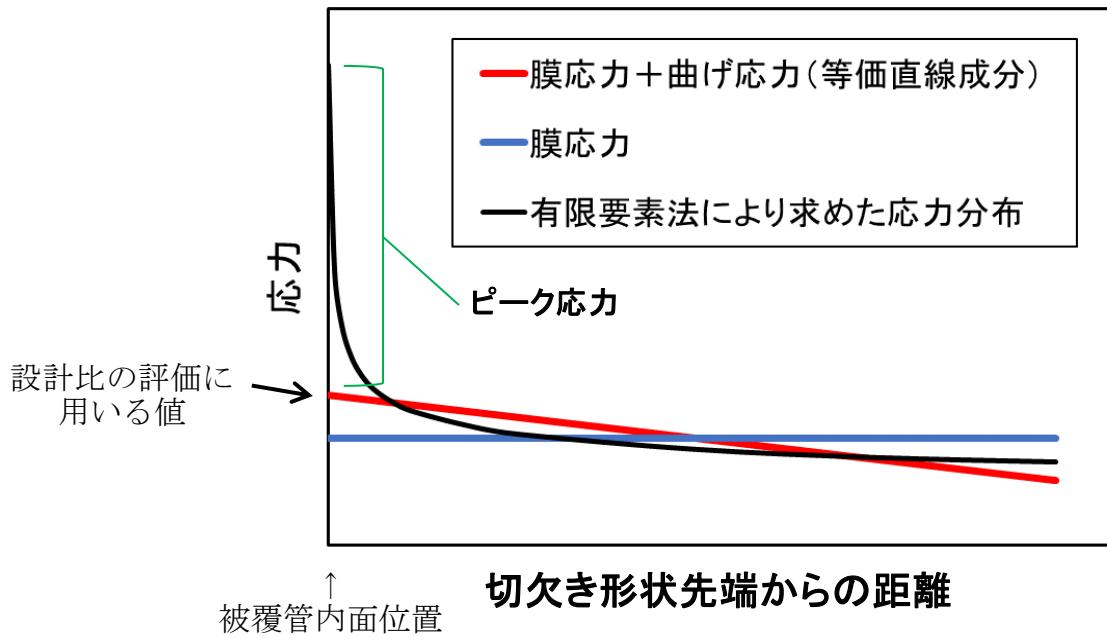
燃料被覆管下部端栓溶接部は、切欠き形状を含む複雑な形状（付図-1 参照）であるため有限要素法を用いた解析コード「ANSYS」により発生応力を求めており、算出される応力値には（一次応力+二次応力+ピーク応力）の全応力成分が含まれる（付図-2 参照）。ピーク応力は、応力集中又は局部熱応力により、一次応力又は二次応力に付加される応力の増加分として定義されており、その特徴は、それによって大きな変形は起こらないが、それが繰り返されると疲労破壊の原因となることがあるとされている（「設計・建設規格」参照）。原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）においてもピーク応力は疲労破壊が対象とされている。よって、解析コード「ANSYS」の計算モデル中のメッシュ要素の節点での応力解析結果から、下記に示す応力分類処理を行い、一次応力+二次応力及びピーク応力を求める。

- (1) 応力評価断面として、付図-1 に示す端栓-被覆管溶接面を選択する。
- (2) (1) で選んだ応力評価断面に対して、断面内の全ての節点の応力を積分し、断面平均応力（膜応力）及び断面内での曲げの釣合いが等価となる曲げ応力の等価直線成分を求める。この膜応力と曲げ応力の等価直線成分を合計したものを一次応力+二次応力とする（付図-2 参照）。
- (3) 応力評価断面における応力分布と(2) で求めた一次応力+二次応力（膜応力と曲げ応力の等価直線成分の合計）との差をピーク応力とする（付図-2 参照）。

応力が最も厳しい条件となるのはピーク応力の方向と正味の曲げモーメントの方向が一致するケースであり、下部端栓溶接部の応力解析では燃料被覆管内面位置が該当する。よって、付図-2 に示すように、設計比の評価には燃料被覆管内面位置での応力を用いる。



付図-1 下部端栓部の有限要素法による応力解析体系の模式図



付図-2 応力分布と応力分類処理結果の模式図

VI-2-3-2-2 炉心支持構造物の耐震性についての計算書

VI-2-3-2-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書

目 次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	2
1.3 解析範囲	2
1.4 計算結果の概要	2
2. 計算条件	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 材料	5
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.5 荷重の組合せ及び応力評価	5
2.6 許容応力	5
2.7 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L02)	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	6
3.3.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	6
4. 応力強さの評価	7
4.1 一次一般膜応力強さの評価	7
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7
5. 特別な応力の評価	8
5.1 座屈に対する評価	8
5.1.1 計算データ	8
5.1.2 荷重	8
5.1.3 圧縮応力	8
5.1.4 許容応力	9
5.1.5 座屈に対する評価	10

図 表 目 次

図1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
表1-1	計算結果の概要	4
表2-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表2-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12
表2-3	座屈に対する評価	13

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの耐震性についての計算書である。

シュラウドサポートは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、シュラウドサポートは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-2-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。また、本書においては、設計用地震力を除く荷重によるシュラウドサポートの応力評価は、添付書類「VI-3-別添 6-1 炉心支持構造物の強度計算書」の5章「シュラウドサポートの強度計算」（以下「強度計算」という。）による。

注：以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート及び炉心シュラウド下部胴を、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」及び「下部胴」という。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	レグ1本当たりの断面積	mm ²
B	レグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
f_c	許容応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	レグの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
T	レグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a.における ν	—

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

表1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
レグ NCF600-P	Ⅲ A S	131	246	P03 -P04	131	369	P03 -P04
	Ⅳ A S	218	334	P03 -P04	218	501	P03 -P04
シリンドラ NCF600-P	Ⅲ A S	61	246	P07 -P08	61	369	P07 -P08
	Ⅳ A S	101	334	P07 -P08	101	501	P07 -P08
プレート NCF600-P	Ⅲ A S	21	221*	P11' -P12'	21	332*	P11' -P12'
	Ⅳ A S	35	300*	P11' -P12'	35	450*	P11' -P12'
下部胴 SUS316L	Ⅲ A S	86	128*	P17 -P18	86	192*	P17 -P18
	Ⅳ A S	143	205*	P17 -P18	143	308*	P17 -P18

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
レグ NCF600-P	Ⅲ A S	125	233
	Ⅳ A S	212	248

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.6 許容応力

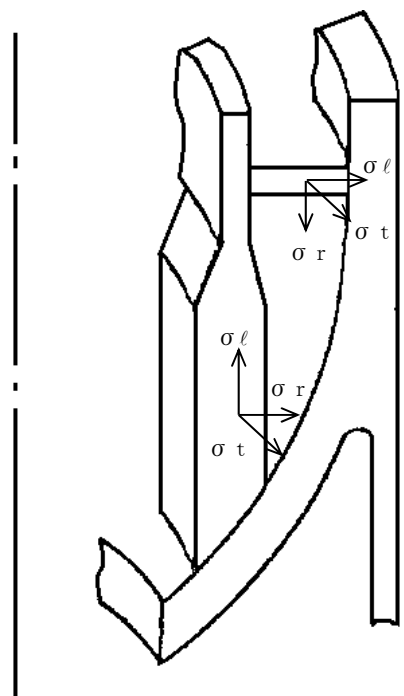
許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

2.7 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)b.に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、「強度計算」の5.9.2項に定めるとおりである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(2)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、「強度計算」の5.9.2項に定めるとおりである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.1.2項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-1に示す。

表2-1より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-2に示す。

表2-2より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 計算データ

(1) 座屈長さ l_k

$$l_k = C \cdot l = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$l : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

(2) 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ 1 本当たりの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \boxed{} = \boxed{}$$

5.1.2 荷重

シュラウドサポートに作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(2)に示す。

5.1.3 圧縮応力

各許容応力状態においてレグに発生する圧縮応力を表2-3に示す。

レグに発生する圧縮応力は、応力評価面P03'-P04'での一次一般膜応力 (σ_l) を示す。

5.1.4 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 SSB-3121を準用して計算する。

(1) 許容応力状態ⅢA S

許容応力状態ⅢA Sにおける許容応力 f_c は、次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比：} \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times \boxed{}}} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

ここで、 F ：許容応力度 = $\boxed{}$ MPa

E ：縦弾性係数 = $\boxed{}$ MPa ($\boxed{}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\boxed{} \right)^2 \right\} \times \boxed{} = 233 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、 $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$

$$= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\boxed{} \right)^2 = \boxed{}$$

(2) 許容応力状態ⅣA S

許容応力状態ⅣA Sにおける許容応力 f_c は、次のように得られる。

$$\begin{aligned} \text{限界細長比：} \Lambda &= \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \boxed{}}{0.6 \times \boxed{}}} \\ &= \boxed{} \end{aligned}$$

ここで、 F^* ：許容応力度 = $\boxed{}$ MPa

E ：縦弾性係数 = $\boxed{}$ MPa ($\boxed{}$ °Cにおける値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\boxed{} \right)^2 \right\} \times \boxed{} = 248 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ここで, } \nu &= 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \\
 &= 1.5 + \frac{2}{3} \times \left(\boxed{}\right)^2 = \boxed{}
 \end{aligned}$$

5.1.5 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表2-3に示す。

表2-3より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

表2-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	72	221*	120	300*
P01' P02'	62	221*	110	300*
P03 P04	131	246	218	334
P03' P04'	112	246	199	334
P05 P06	57	246	94	334
P05' P06'	48	246	85	334
P07 P08	61	246	101	334
P07' P08'	54	246	94	334
P09 P10	49	246	81	334
P09' P10'	42	246	74	334
P11 P12	19	221*	33	300*
P11' P12'	21	221*	35	300*
P13 P14	9	246	17	334
P13' P14'	12	246	19	334
P15 P16	10	221*	15	300*
P15' P16'	9	221*	14	300*
P17 P18	86	128*	143	205*
P17' P18'	77	128*	134	205*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表2-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	72	332*	120	450*
P01' P02'	62	332*	110	450*
P03 P04	131	369	218	501
P03' P04'	112	369	199	501
P05 P06	57	369	94	501
P05' P06'	48	369	85	501
P07 P08	61	369	101	501
P07' P08'	54	369	94	501
P09 P10	49	369	81	501
P09' P10'	42	369	74	501
P11 P12	19	332*	33	450*
P11' P12'	21	332*	35	450*
P13 P14	9	369	17	501
P13' P14'	12	369	19	501
P15 P16	10	332*	15	450*
P15' P16'	9	332*	14	450*
P17 P18	86	192*	143	308*
P17' P18'	77	192*	134	308*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表2-3 座屈に対する評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	圧縮応力	許容応力
P03'-P04'	Ⅲ A S	125	233
	Ⅳ A S	212	248

VI-2-3-3 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-1 原子炉圧力容器本体の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
3. 計算条件	8
3.1 評価対象機器	8
3.2 形状及び寸法	9
3.3 物性値	9
3.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.5 許容応力	9
3.6 許容応力評価条件	9
4. 荷重条件	10
4.1 設計条件	10
4.2 運転条件	10
4.3 荷重の組合せ及び応力評価	11
5. 応力評価の手順	12
5.1 応力の評価	12
5.1.1 主応力	12
5.1.2 応力強さ	12
5.1.3 一次応力強さ	12
5.1.4 一次+二次応力強さ	12
5.2 繰返し荷重の評価	13
5.2.1 疲労解析	13
5.3 特別な応力の評価	14
5.3.1 純せん断応力の評価	14
5.3.2 座屈の評価	14
5.4 原子炉圧力容器基礎ボルトの評価	14
6. 評価結果の添付	15
6.1 応力評価結果	15
7. 引用文献	16
8. 参照図書	16

図 表 目 次

図2-1	原子炉圧力容器の耐震評価フロー	4
図3-1	全体断面図	17
表2-1	原子炉圧力容器の構造計画	3
表3-1	繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値	18
表3-2	荷重の組合せ及び許容応力状態	19
表3-3	許容応力（クラス1容器及び重大事故等クラス2容器）	21
表3-4	許容応力（クラス1支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）	22
表3-5	許容応力評価条件	23
表4-1	外荷重	24
表4-2	荷重の組合せ	34
表5-1	繰返しピーク応力強さの割増し方法	35

1. 概要

本書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉压力容器（制御棒駆動機構ハウジング、原子炉中性子計装ハウジング、原子炉压力容器支持スカート及び原子炉压力容器基礎ボルトを含む。）に関する応力解析の方針を説明するものである。

なお、本書においては、設計用地震力に対する評価について記載するものとし、設計用地震力を除く荷重による原子炉压力容器本体の応力評価は、8章に示す以下の工事計画認可申請書添付書類（以下「既工認」という。）による。

- ・第5回工事計画認可申請書 添付書類（60資庁第11431号 昭和60年12月25日認可）
- ・第2回工事計画認可申請書 添付書類（59資庁第8283号 昭和59年9月17日認可）

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、VI-2-3-3-1-2「原子炉压力容器の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-1-1-1「原子炉压力容器の応力計算書」（以下「計算書」という。）に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器の構造計画を表2-1に示す。

原子炉圧力容器は、下記の機器により構成される。

- (1) 円筒胴
- (2) 上鏡, 上ぶたフランジ, 胴体フランジ及びスタッドボルト
- (3) 下鏡
- (4) 制御棒貫通孔
- (5) 原子炉中性子計装孔
- (6) 再循環水出口ノズル (N1)
- (7) 再循環水入口ノズル (N2)
- (8) 主蒸気ノズル (N3)
- (9) 給水ノズル (N4)
- (10) 低圧炉心スプレイノズル (N5)
- (11) 低圧注水ノズル (N6)
- (12) 上ぶたスプレイノズル (N7)
- (13) 計測及びベントノズル (N8)
- (14) ジェットポンプ計測ノズル (N9)
- (15) ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11)
- (16) 計測ノズル (N12, N13, N14)
- (17) ドレンノズル (N15)
- (18) 高圧炉心スプレイノズル (N16)
- (19) 予備ノズル (N18)
- (20) 原子炉圧力容器支持スカート
- (21) ブラケット類
- (22) 原子炉圧力容器基礎ボルト

表2-1 原子炉压力容器の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉压力容器支持スカートが原子炉压力容器を支持する。原子炉压力容器基礎ボルトが原子炉压力容器支持スカートを原子炉压力容器ペダスタルに固定する。</p>	<p>原子炉压力容器は、円筒胴、上鏡、上ぶたフランジ、胴体フランジ及びスタッドボルト、下鏡、制御棒貫通孔、原子炉中性子計装孔、再循環水出口ノズル、再循環水入口ノズル、主蒸気ノズル、給水ノズル、低圧炉心スプレイノズル、低圧注水ノズル、上ぶたスプレイノズル、計測及びベントノズル、ジェットポンプ計測ノズル、ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル、計測ノズル、ドレンノズル、高圧炉心スプレイノズル、予備ノズル、ブラケット類より構成される。</p>	

2.2 評価方針

原子炉压力容器の構造強度評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」及び「3. 計算条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉压力容器の各機器を踏まえ各計算書にて設定する箇所において、「4. 荷重条件」にて設定した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価の手順」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を各計算書に示す。

原子炉压力容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

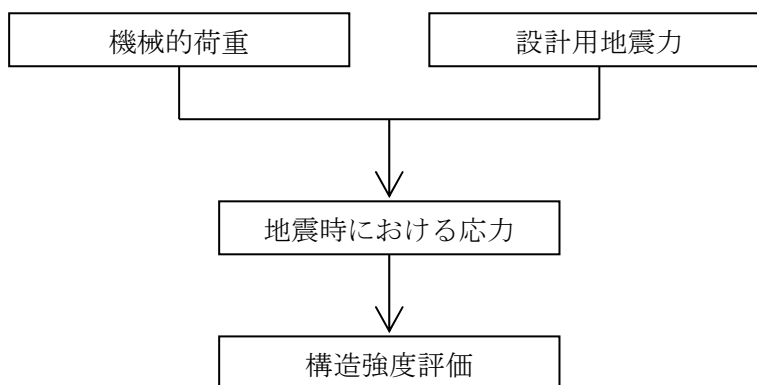


図2-1 原子炉压力容器の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991追補版((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

注：本書及び各計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

2.4 記号の説明

本書及び各計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書及び各計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、各計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
A_0	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
a	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
B_0	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
E	縦弾性係数	MPa
E_0	設計疲労線図に使用されている縦弾性係数	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
F_x	水平力	N
F_y	鉛直力	N
F_z	軸力	N
H	水平力	N
i	応力振幅のタイプ	—
K	簡易弾塑性解析に使用する係数	—
K_e	簡易弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
k	応力振幅のタイプの総数	—
M	モーメント	N・m
M_z	ねじりモーメント	N・m
N_a	S_i' に対応する許容繰返し回数	回
N_c	実際の繰返し回数	回
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
q	簡易弾塑性解析に使用する係数	—

記号	記号の説明	単位
S	10 ⁶ 回又は10 ¹¹ 回に対する許容繰返しピーク応力強さ	MPa
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S _n	運転状態 I 及び II における一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
S _n ^{#1}	地震荷重 S _d * による一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
S _n ^{#2}	地震荷重 S _s による一次＋二次応力の応力差最大範囲	MPa
S _p	一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _p ^{#1}	地震荷重 S _d * による一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _p ^{#2}	地震荷重 S _s による一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における設計降伏点	MPa
U _f	疲労累積係数 (U _n + U _{S_d} 又は U _n + U _{S_s})	—
U _n	運転状態 I 及び II における疲労累積係数	—
U _{S_d}	地震荷重 S _d * による疲労累積係数	—
U _{S_s}	地震荷重 S _s による疲労累積係数	—
V	鉛直力	N
α	形状係数 (純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比, 又は1.5のいずれか小さい方の値)	—
σ ₁	主応力	MPa
σ ₂	主応力	MPa
σ ₃	主応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{ℓ}	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa
III A S	設計・建設規格の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
IV A S	設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
V A S	運転状態V（重大事故等時の状態）相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—

3. 計算条件

3.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。(表2-1及び図3-1参照)

機器名称		評価対象	
		耐震性についての計算書 (許容応力状態に対する評価)	
		ⅢA S, IV A S	V A S
(1)	円筒胴	○	○
(2)	上鏡, 上ぶたフランジ, 胴体フランジ及びスタッドボルト	×*1	×*1
(3)	下鏡	○	○
(4)	制御棒貫通孔	○	○
(5)	原子炉中性子計装孔	○	○
(6)	再循環水出口ノズル (N1)	○	○
(7)	再循環水入口ノズル (N2)	○	○
(8)	主蒸気ノズル (N3)	○	○
(9)	給水ノズル (N4)	○	○
(10)	低圧炉心スプレイノズル (N5)	○	○
(11)	低圧注水ノズル (N6)	○	○
(12)	上ぶたスプレイノズル (N7)	○	○
(13)	計測及びベントノズル (N8)	○	○
(14)	ジェットポンプ計測ノズル (N9)	○	○
(15)	ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11)	○	○
(16)	計測ノズル (N12, N13, N14)	○	○
(17)	ドレンノズル (N15)	○	○
(18)	高圧炉心スプレイノズル (N16)	○	○
(19)	予備ノズル (N18)	×*1	×*1
(20)	原子炉压力容器支持スカート	○	×*2
(21)	スタビライザブラケット	○	×*2
(22)	蒸気乾燥器ホールダウンブラケット	×*3	×*3
(23)	ガイドロッドブラケット	×*3	×*3
(24)	蒸気乾燥器支持ブラケット	○	×*2
(25)	給水スパーチャブラケット	○	×*2
(26)	炉心スプレイブラケット	○	×*2
(27)	吊金具	×*3	×*3
(28)	原子炉压力容器基礎ボルト	○	×*2

注：「○」は評価対象，「×」は評価対象外を示す。

注記*1：作用する主たる荷重は内圧であり，地震力を負担するような部位ではなく，既工認からの変更はないため，評価対象機器としない。

*2：設計基準対象施設としてのみ申請する施設

*3：使用条件が一時的（機器搬出入時又は事故時の蒸気乾燥器浮上がり等）なものであり，通常運転時に外荷重が作用せず，既工認からの変更はないため，評価対象機器としない。

3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、各計算書に示す。

3.3 物性値

地震荷重による繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値を表3-1に示す。

3.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉压力容器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-2(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2(2)に示す。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

なお、原子炉压力容器については、重大事故等対処設備の評価は、設計基準対象施設の評価に包絡される。

3.5 許容応力

- (1) 原子炉压力容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-3に示す。この表に記載のない圧縮荷重を受ける場合に対する許容応力は、各計算書に記載するものとする。
- (2) 原子炉压力容器基礎ボルトの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-4に示す。

3.6 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASの一次応力の評価には、運転状態Ⅰ及びⅡにおける流体の最高温度（℃）に対する許容応力を用いる。許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価には、運転温度として定格出力運転時の蒸気温度（℃）に対する許容応力を用いる。
- (2) 原子炉压力容器の許容応力評価条件を表3-5に示す。

なお、原子炉压力容器基礎ボルトの許容応力評価条件及び各機器で使用される材料は、各計算書に示す。

4. 荷重条件

原子炉压力容器は，以下の荷重条件に耐えることを確認する。

各機器の応力評価には，本章に示す荷重を考慮する。

4.1 設計条件

設計条件は既工認からの変更はなく，参照図書(1)a.に定めるとおりである。

4.2 運転条件

運転条件及び記号は，既工認からの変更はなく，参照図書(1)a.に定めるとおりである。

各機器の応力評価において考慮する外荷重の値を表4-1に示す。

表4-1において考慮する設計用地震力は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」及びVI-2-2-1「炉心，原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた荷重，若しくはそれらの条件を包絡するように定めた保守的な荷重とする。

また，地震荷重の繰返し回数は，地震動に対する応答特性等を考慮して，地震荷重 S_d^* については300回，地震荷重 S_s については150回とする。

4.3 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表4-2に示す。表4-2及び各計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては、機器ごとに適切に組み合わせる。

荷重	記号
(1) 内圧*	[L01]
(2) 差圧*	[L02]
(3) 死荷重	[L04]
(4) 熱変形力（熱膨張差により生じる荷重）	[L07]
(5) 活荷重（流体反力，スクラム反力）	[L08]
(6) 熱負荷（温度分布計算で求めた温度分布に基づき算定する荷重）	[L10]
(7) ボルト荷重	[L11]
(8) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_d^* （一次荷重）	[L14]
(9) 配管又は機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 S_d^* （二次荷重）	[L15]
(10) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_s （一次荷重）	[L16]
(11) 配管又は機器の拘束点の地震時の相対変位による地震荷重 S_s （二次荷重）	[L17]

注記*：許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASの応力評価には、運転状態Ⅰ及びⅡにおける内圧及び差圧を用いる。

なお、許容応力状態Ⅴ_ASで考慮する内圧及び差圧は、設計基準対象施設としての応力評価における内圧及び差圧に包絡される。

5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

5.1 応力の評価

外荷重による応力は表4-1に示す外荷重より計算する。

5.1.1 主応力

計算した応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t 、 σ_ℓ 、 σ_r 、 $\tau_{t\ell}$ 、 $\tau_{\ell r}$ 、 τ_{rt} の6成分を持つが、主応力 σ は、引用文献(1)の1・3・6項により、次式を満足する3根 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ & - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 \\ & + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

5.1.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.1.3 一次応力強さ

許容応力状態ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sにおいて生じる一次一般膜応力、一次局部膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.5節に示す許容応力を満足することを示す。

ただし、一次局部膜応力より一次膜＋一次曲げ応力の方が発生値及び許容応力の観点で厳しくなることから、一次局部膜応力強さの評価については省略する。

5.1.4 一次＋二次応力強さ

許容応力状態ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sにおいて生じる一次＋二次応力の応力差最大範囲($S_n^{\#1}$ 、 $S_n^{\#2}$)が、3.5節に示す許容応力を満足することを示す。

本規定を満足しない応力評価点については、5.2節で述べる設計・建設規格 PVB-3300に基づいた簡易弾塑性解析を行う。

5.2 繰返し荷重の評価

繰返し荷重の評価は、運転状態Ⅰ及びⅡによる荷重並びに許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASによる荷重を用いて、次の方法によって行う。

5.2.1 疲労解析

以下の手順で疲労解析を行う。

- (1) 運転状態Ⅰ及びⅡにおいて生じる一次＋二次＋ピーク応力の応力差の変動並びに許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASにおいて生じる一次＋二次＋ピーク応力の応力差の変動を求める。また、この変動の繰返し回数として、参照図書(1)a.に示す各運転条件の繰返し回数及び4.2節に示す地震荷重の繰返し回数を考慮する。
- (2) 応力差の変動とその繰返し回数より、一次＋二次＋ピーク応力の応力差範囲 (S_p , $S_p^{\#1}$ 及び $S_p^{\#2}$)及びこの応力振幅の繰返し回数を求める。
- (3) 繰返しピーク応力強さは、次式により求める。

$$S_\ell = \frac{S_p}{2}$$

ただし、一次＋二次応力の応力差最大範囲 (S_n , $S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$)が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点については、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析の適用性の検討を行い、適合する場合は、表5-1に示す方法により繰返しピーク応力強さの割増しを行う。

- (4) 設計疲労線図に使用している縦弾性係数 (E_0) と解析に用いる縦弾性係数 (E) との比を考慮し、繰返しピーク応力強さを次式で補正する。

$$S_\ell' = S_\ell \cdot \frac{E_0}{E}$$

なお、 E と E_0 は表3-1に示す。

- (5) 疲労累積係数 (U_f)

疲労累積係数 (U_f) は、 S_ℓ' に対応する許容繰返し回数が 10^6 回以下（低合金鋼及び炭素鋼）又は 10^{11} 回以下（オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金）となる応力振幅について、次式により求める。設計・建設規格 PVB-3114又はPVB-3315に従って、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数 U_n と許容応力状態Ⅲ_ASにおける疲労累積係数 U_{sd} 又は許容応力状態Ⅳ_ASにおける疲労累積係数 U_{ss} の和 U_f ($U_n + U_{sd}$ 又は $U_n + U_{ss}$) が、1.0以下であることを示す。

オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金の場合、繰返しピーク応力強さ194MPa以下の設計疲労線図は、設計・建設規格 表 添付4-2-2の曲線Cを用いる。

$$\text{疲労累積係数 } (U_f) = \sum_{i=1}^k \frac{N_c(i)}{N_a(i)}$$

5.3 特別な応力の評価

5.3.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、設計・建設規格 PVB-3115により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法は参照図書(1)v.に示し、許容応力は表3-3に示す。

(1) ブラケット類

5.3.2 座屈の評価

軸圧縮荷重を受ける部分は、設計・建設規格 PVB-3117により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法及び許容応力は、各計算書に示す。

(1) 制御棒貫通孔スタブチューブ

(2) 原子炉圧力容器支持スカート

5.4 原子炉圧力容器基礎ボルトの評価

原子炉圧力容器基礎ボルトの評価方法は参照図書(2)に示す。基礎ボルトは引張応力とせん断応力を同時に受けるため、引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min.} (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

[記号の説明]

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値

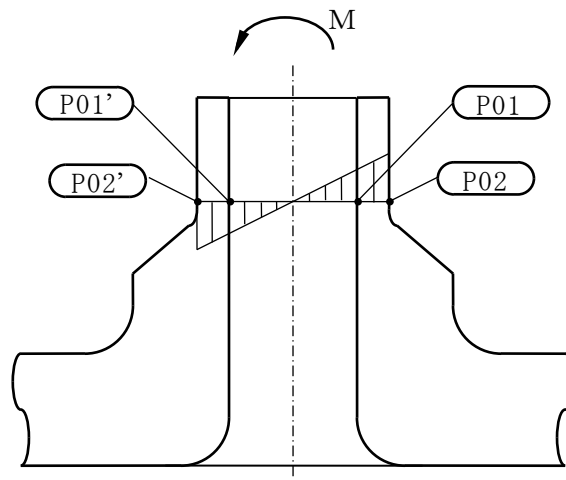
F* : 設計・建設規格 SSB-3133に定める値

6. 評価結果の添付

応力評価点番号は、機器ごとに記号P01からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、各計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点にはプライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



6.1 応力評価結果

- (1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。
 - a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
 - b. 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
 - c. 一次＋二次応力強さの評価のまとめ
 - d. 疲労累積係数の評価のまとめ
- (2) $S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える機器について、以下の評価過程を記載する。
 - a. 最も厳しい応力評価点における疲労累積係数
- (3) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、結果を記載する。
 - a. 純せん断応力
 - b. 座屈
- (4) 原子炉压力容器基礎ボルトの評価は、次の応力評価結果を記載する。
 - a. 引張応力
 - b. せん断応力

7. 引用文献

文献番号は、本書及び各計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)

8. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類

- a. IV-3-1-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針
- b. IV-3-1-1-2 原子炉圧力容器の穴と補強についての計算書
- c. IV-3-1-1-3 円筒胴の応力計算書
- d. IV-3-1-1-4 上鏡及び主フランジの応力計算書
- e. IV-3-1-1-5 下鏡及び原子炉圧力容器支持スカート of 応力計算書
- f. IV-3-1-1-6 制御棒貫通孔の応力計算書
- g. IV-3-1-1-7 原子炉中性子計装孔の応力計算書
- h. IV-3-1-1-8 再循環水出口ノズル (N1) の応力計算書
- i. IV-3-1-1-9 再循環水入口ノズル (N2) の応力計算書
- j. IV-3-1-1-10 主蒸気ノズル (N3) の応力計算書
- k. IV-3-1-1-11 給水ノズル (N4) の応力計算書
- l. IV-3-1-1-12 低圧炉心スプレイノズル (N5) の応力計算書
- m. IV-3-1-1-13 低圧注水ノズル (N6) の応力計算書
- n. IV-3-1-1-14 上ぶたスプレイノズル (N7) の応力計算書
- o. IV-3-1-1-15 計測及びベントノズル (N8) の応力計算書
- p. IV-3-1-1-16 ジェットポンプ計測ノズル (N9) の応力計算書
- q. IV-3-1-1-17 ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) の応力計算書
- r. IV-3-1-1-18 計測ノズル (N12, N13, N14) の応力計算書
- s. IV-3-1-1-19 ドレンノズル (N15) の応力計算書
- t. IV-3-1-1-20 高圧炉心スプレイノズル (N16) の応力計算書
- u. IV-3-1-1-21 予備ノズル (N18) の応力計算書
- v. IV-3-1-1-22 ブラケット類の応力計算書

- (2) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書 添付書類

- IV-2-3-1 原子炉圧力容器基礎ボルトの耐震性についての計算書

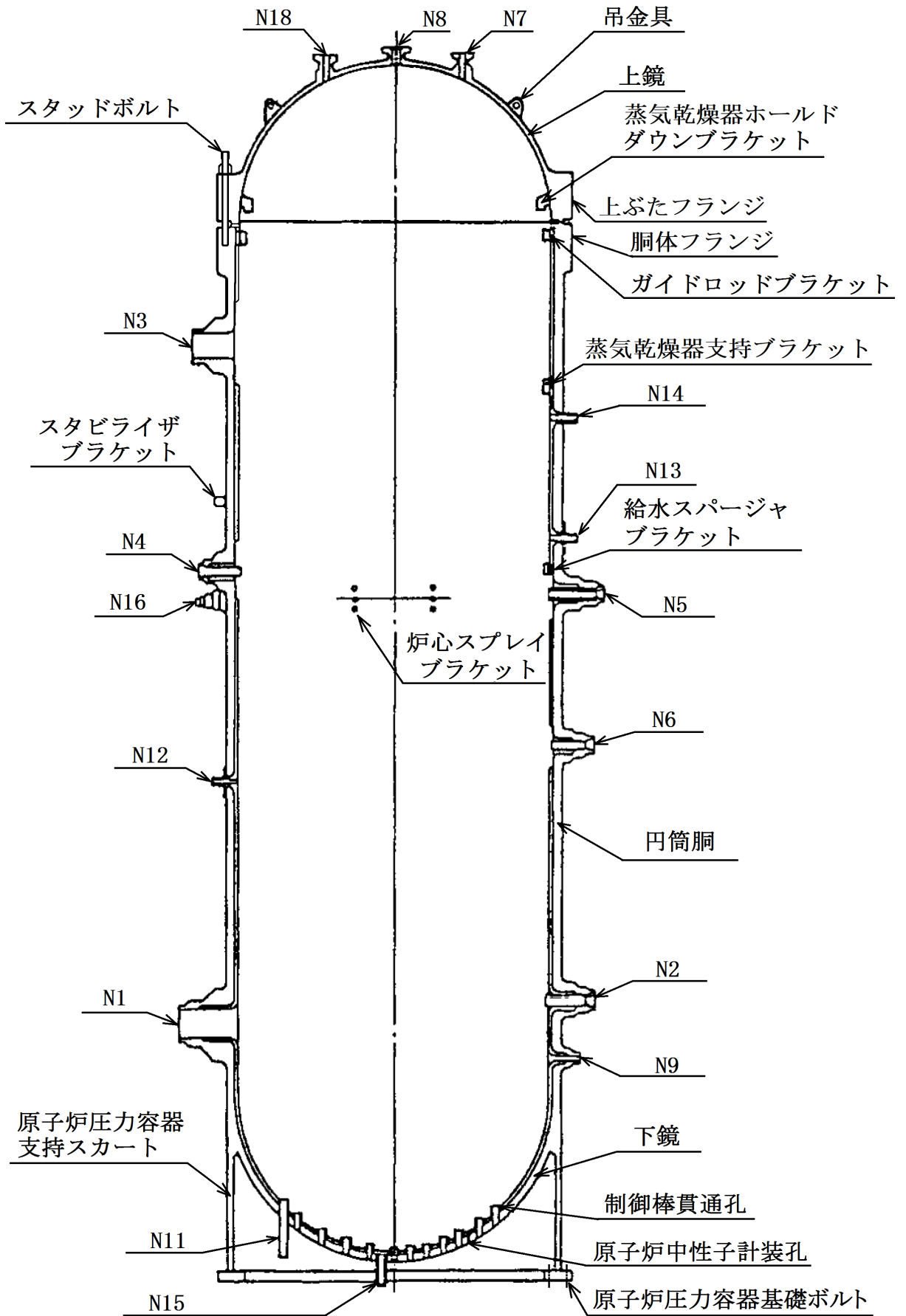


図3-1 全体断面図

表3-1 繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値

材料	E ×10 ⁵ (MPa)	S _m (MPa)	S (MPa)	E ₀ ×10 ⁵ (MPa)	q	A ₀	B ₀
SQV2A					3.1	1.0	1.25
SFVQ1A					3.1	1.0	1.25
SFVC2B					3.1	0.66	2.59
SUSF316					3.1	0.7	2.15
SUS316TP					3.1	0.7	2.15
SUS316LTP					3.1	0.7	2.15
NCF600-B					3.1	0.7	2.15

[記号の説明]

- E : 運転温度 (°C) に対する縦弾性係数
- S_m : 運転温度 (°C) に対する設計応力強さ
- S : 設計・建設規格 表 添付 4-2-1の S_u ≤ 550MPaの10⁶回に対する繰返しピーク応力強さ及び設計・建設規格 表 添付4-2-2の曲線Cの10¹¹回に対する繰返しピーク応力強さ
- E₀ : 設計・建設規格 添付4-2に記載された縦弾性係数
- q, A₀, B₀ : 設計・建設規格 表 PVB-3315-1に示された簡易弾塑性解析に使用する係数の値

表3-2(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉本体	原子炉 圧力容器	原子炉圧力容器	S	クラス1容器*	$D + P + M + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	ⅣA S
					$D + P + M + S_s$	

[記号の説明]

D : 死荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く。）における圧力荷重

M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ，Ⅴは除く。）で設備に作用している機械的荷重

 S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力 P_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている圧力荷重 M_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故の直後を除き，その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重 S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

注記* : クラス1支持構造物を含む。

表3-2(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 *1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器	原子炉 圧力容器	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 *2 クラス2 容器	$D + P_L + M_L + S_d^*$	IVAS
					$D + P + M + S_s$	
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	

[記号の説明]

D : 死荷重

 P_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後生じている圧力荷重 M_L : 地震との組合せが独立な運転状態IVの事故の直後を除き、その後生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重 S_d^* : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV，Vは除く。）における圧力荷重

M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態IV，Vは除く。）で設備に作用している機械的荷重

 S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力 P_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する圧力荷重 M_{SAL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））に作用する機械的荷重 S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力 P_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する圧力荷重 M_{SALL} : 重大事故等時の状態（運転状態V）で長期的（長期（L））より更に長期的（長期（LL））に作用する機械的荷重

注記*1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2 : 重大事故等クラス2支持構造物を含む。

表 3-3 許容応力（クラス 1 容器及び重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1				
	一次一般膜応力	一次膜＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力	純せん断 応力
ⅢAS	S _y と2/3・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については1.2・S _m とする。	左欄のα倍の値*2	3・S _m *3 S _d 又はS _s 地震動*4 のみによる応力振幅に ついて評価する。	S _d 又はS _s 地震動*4 のみによる疲労解析を 行い、運転状態Ⅰ及びⅡ における疲労累積係数 との和が1.0以下である こと。	0.6・S _m
ⅣAS	2/3・S _u ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については2/3・S _u と2.4・S _m の小さい方。	左欄のα倍の値*2			0.4・S _u
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)					

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：αは純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比、又は1.5のいずれか小さい方の値とする。

*3：3・S_mを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：クラス1容器及び重大事故等クラス2容器においては、S_d*又はS_s地震力を考慮する。

表 3-4 許容応力 (クラス 1 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)		

[記号の説明]

f_t : 許容引張応力 ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(1)に定める値

f_s : 許容せん断応力 ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(2)に定める値

f_t^* : 上記の f_t の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の1.2倍の値と読み替えて計算した値

f_s^* : 上記の f_s の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値の1.2倍の値と読み替えて計算した値

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-1(1) 外荷重

円筒胴, 下鏡及び原子炉圧力容器支持スカート外荷重

記号	荷重名称	鉛直力			水平力		モーメント	
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	V ₃ (kN)	H _s (kN)	H (kN)	M _s (kN・m)	M (kN・m)
L04	死荷重 (通常時)							
L08	制御棒貫通孔 スクラム反力							
L14	地震荷重 S _d *							
L16	地震荷重 S _s							

--

表4-1(2) 外荷重
制御棒貫通孔外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力		モーメント	
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H ₁ (kN)	H ₂ (kN)	M ₁ (kN・m)	M ₂ (kN・m)
L04	死荷重						
L08-01	活荷重A ^{*1}						
L08-02	活荷重B ^{*2}						
L08-03	活荷重C ^{*3}						
L08-04	活荷重D ^{*4}						
L14	地震荷重S _d [*]						
L16	地震荷重S _s						

--

表4-1(3) 外荷重

原子炉中性子計装孔外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力		モーメント	
		V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	H ₁ (kN)	H ₂ (kN)	M ₁ (kN・m)	M ₂ (kN・m)
L04	死荷重						
L14	地震荷重 S d *						
L16	地震荷重 S s						

--

表4-1(4) 外荷重

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用点 位置 (mm)
			H (kN)	F _z (kN)	M (kN・m)	M _z (kN・m)	
再循環水 出口ノズル (N1)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
再循環水 入口ノズル (N2)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
主蒸気ノ ズル (N3)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
給水ノズ ル (N4)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
低圧炉心 スプレイ ノズル (N5)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
低圧注水 ノズル (N6)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					

表4-1(4) 外荷重 (続)

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用点 位置 (mm)
			H (kN)	F _z (kN)	M (kN・m)	M _z (kN・m)	
上ぶたス プレイノ ズル (N7)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
計測及び ベントノ ズル (N8)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
ジェット ポンプ計 測ノズル (N9)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
ほう酸水 注入及び 炉心差圧 計測ノズ ル (N11)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
計測ノズ ル (N12, N13, N14)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
ドレンノ ズル (N15)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					

表4-1(4) 外荷重 (続)

ノズル外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用点 位置 (mm)
			H (kN)	F _z (kN)	M (kN・m)	M _z (kN・m)	
高圧炉心 スプレイ ノズル (N16)	L04	死荷重					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					

--	--	--	--	--	--	--	--

表4-1(5) 外荷重

ノズルサーマルスリーブ外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用点位置 (mm)
			H (kN)	F _z (kN)	M (kN・m)	M _z (kN・m)	
再循環水 入口ノズル (N2)	L04	死荷重 (流体反力含む)					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
給水ノズル (N4)	L04	死荷重 (流体反力含む)					
	L07	熱変形力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
低圧炉心 スプレイ ノズル (N5)	L04	死荷重					
	L07-01	熱変形力 (通常時)					
	L07-02	熱変形力 (冷水注水時)					
	L08	流体反力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					
低圧注水 ノズル (N6)	L04	死荷重					
	L07-01	熱変形力 (通常時)					
	L07-02	熱変形力 (冷水注水時)					
	L08	流体反力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					

S2 補 VI-2-3-3-1-1 R0

表4-1(5) 外荷重 (続)
ノズルサーマルスリーブ外荷重

ノズル	記号	荷重名称	力		モーメント		荷重作用点 位置 (mm)
			H (kN)	F _z (kN)	M (kN・m)	M _z (kN・m)	
高圧炉心 スプレイ ノズル (N16)	L04	死荷重					
	L07-01	熱変形力 (通常時)					
	L07-02	熱変形力 (冷水注水時)					
	L08	流体反力					
	L14	地震荷重 S d* (一次)					
	L15	地震荷重 S d* (二次)					
	L16	地震荷重 S s (一次)					
	L17	地震荷重 S s (二次)					

S2 補 VI-2-3-3-1-1 R0

表4-1(6) 外荷重
ブラケット外荷重

ブラケット名	荷重名称	力					
		F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)			
スタビライザブラケット	地震荷重 S d*						
	地震荷重 S s						
蒸気乾燥器支持ブラケット	地震荷重 S d*						
	地震荷重 S s						
給水スパージャブラケット	地震荷重 S d*						
	地震荷重 S s						
炉心スプレイブラケット	地震荷重 S d*						
	地震荷重 S s						

表4-1(7) 外荷重
原子炉压力容器基礎ボルト外荷重

記号	荷重名称	軸力		せん断力	曲げモーメント
		N(最大) (kN)	N(最小) (kN)	Q (kN)	M (kN・m)
—	運転状態 I 及び II				
—	運転状態 IV* ¹				
L14	地震荷重 S _d * [*]				
L16	地震荷重 S _s * ^{*2}				

表4-2 荷重の組合せ

状態	荷重の組合せ	応力評価
運転状態Ⅰ及びⅡ	L01+L02+L04+L07+L08+L10+L11	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態ⅢA S	L01+L02+L04+L08+L11+L14	P_m $P_L + P_b$
	L14+L15	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析
許容応力状態ⅣA S	L01+L02+L04+L08+L11+L16	P_m $P_L + P_b$
	L16+L17	$P_L + P_b + Q$ 疲労解析

表5-1 繰返しピーク応力強さの割増し方法

S_n	S_ℓ
3・ S_m 未満	$S_\ell = \frac{S_p}{2}$
3・ S_m 以上	$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$ <p>K_eは、次の手順により計算する。</p> <p>(1) $K < B_0$</p> <p>① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}$</p> $K_e = 1 + A_0 \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - \frac{1}{K}\right)$ <p>② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_0}{K} - 1\right)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q-1)}}{2 \cdot A_0}$</p> $K_e = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$ <p>(2) $K \geq B_0$</p> <p>① $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}$</p> $K_e = a \cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + 1 - a$ <p>② $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \geq \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}}{a}$</p> $K_e = 1 + (q-1) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n}\right)$ <p>ここで、</p> $K = \frac{S_p}{S_n}$ $a = A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) + (q-1) - 2 \cdot \sqrt{A_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K}\right) \cdot (q-1)}$

注1: q , A_0 , B_0 は、表3-1に示す。

注2: 地震荷重 S_d^* 及び地震荷重 S_s にあつては、 S_n をそれぞれ $S_n^{\#1}$, $S_n^{\#2}$ と読み替え、 S_p をそれぞれ $S_p^{\#1}$, $S_p^{\#2}$ と読み替えるものとする。

VI-2-3-3-2 原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-2-3 制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
3. 評価部位	5
4. 地震応答解析及び構造強度評価	6
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
4.3 固有周期	7
4.4 設計用地震力	7
4.5 計算方法	8
4.6 計算条件	8
4.7 応力の評価	8
5. 参照図書	9

図 表 目 次

図 2-1	CRDハウジング支持金具の耐震評価フロー	3
図 3-1	レストレントビームの形状及び主要寸法	10
図 3-2	レストレントビームの応力評価点	11
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	使用材料表	10
表 3-2	応力評価点	11
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	12
表 4-2	許容応力（クラス 1 支持構造物）	13
表 4-3	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	14
表 4-4	設計用地震力（水平方向）	15
表 4-5	設計用地震力（鉛直方向）	15
表 4-6	評価結果まとめ	16

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構ハウジング（以下「CRDハウジング」という。）支持金具が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

CRDハウジング支持金具は設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注：本計算書においては、昭和60年12月25日付け60資庁第11431号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

CRDハウジング支持金具の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>CRDハウジング支持金具は原子炉圧力容器ペダスタルに支持される。</p>	<p>CRDハウジング支持金具は鋼製の支持構造物である。 CRDハウジングの地震時横揺れを防止する。</p>	<p>原子炉圧力容器ペダスタル</p> <p>CRDハウジング</p> <p>CRDハウジング支持金具</p> <p>CRDハウジング支持金具拡大図</p>
		(単位：mm)

2.2 評価方針

CRDハウジング支持金具の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

CRDハウジング支持金具の耐震評価フローを図2-1に示す。

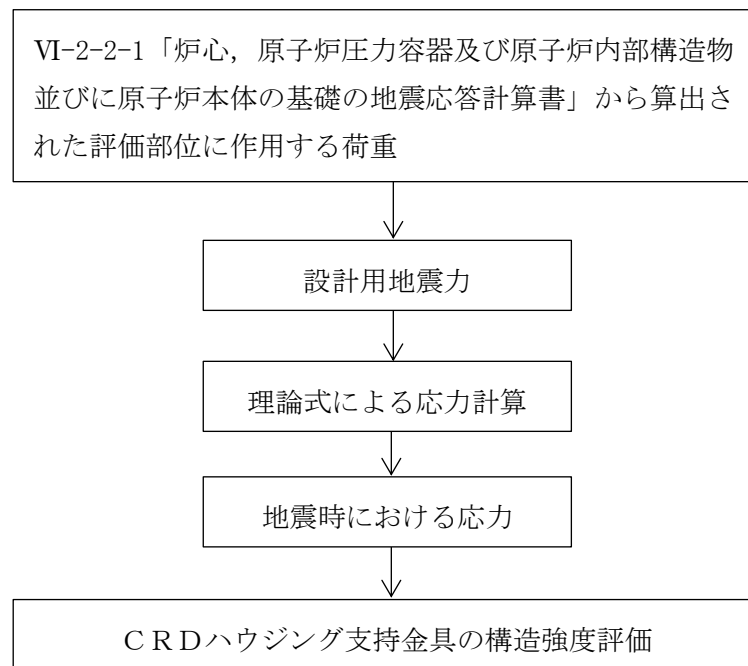


図2-1 CRDハウジング支持金具の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
H	水平地震荷重	N
l	長さ	mm
M	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く。）で設備に作用している機械的荷重	—
P	地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く。）における圧力荷重	—
S	許容引張応力 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値	MPa
$S_y (R T)$	40℃における設計降伏点 設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値	MPa
τ	せん断応力	MPa

3. 評価部位

本計算書で評価する箇所形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料を表 3-1 に示す。

なお、CRDハウジング支持金具のうち、地震時にCRDハウジングを支持するレストレントビームを評価部材とする。レストレントビームの応力評価点は、レストレントビームを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 3-2 及び図 3-2 に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) レストレントビームは、原子炉圧力容器ペダスタルの内周側に固定され、CRDハウジングの水平地震荷重を原子炉圧力容器ペダスタルに伝達する構造である。

レストレントビームの耐震評価は、「4.4 設計用地震力」に示す水平地震荷重及び鉛直地震力を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い、「4.5 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。

(2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

(3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

4.2.4 設計荷重

(1) 最高使用温度及び死荷重

最高使用温度及び死荷重は、既工認からの変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

4.3 固有周期

レストレントビームは、原子炉圧力容器ペデスタルからの支持長さが短いため、固有周期は十分に小さく剛である。

よって、固有周期の計算は省略する。

4.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-4 及び表 4-5 に示す。

レストレントビームに加わる地震荷重 S_d^* 及び地震荷重 S_s での水平地震荷重は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において、レストレントビームがばね要素としてモデル化されているため、ばね反力として求めた水平地震荷重を上回る荷重を基に、図 3-2 に示す応力評価点のレストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ荷重を考慮して設定する。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による鉛直地震力は、「4.3 固有周期」に示すとおり鉛直方向で剛であることから、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。

4.5 計算方法

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)に示すとおりである。

4.6 計算条件

応力計算に用いる荷重を「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 設計地震力」に示す。

4.7 応力の評価

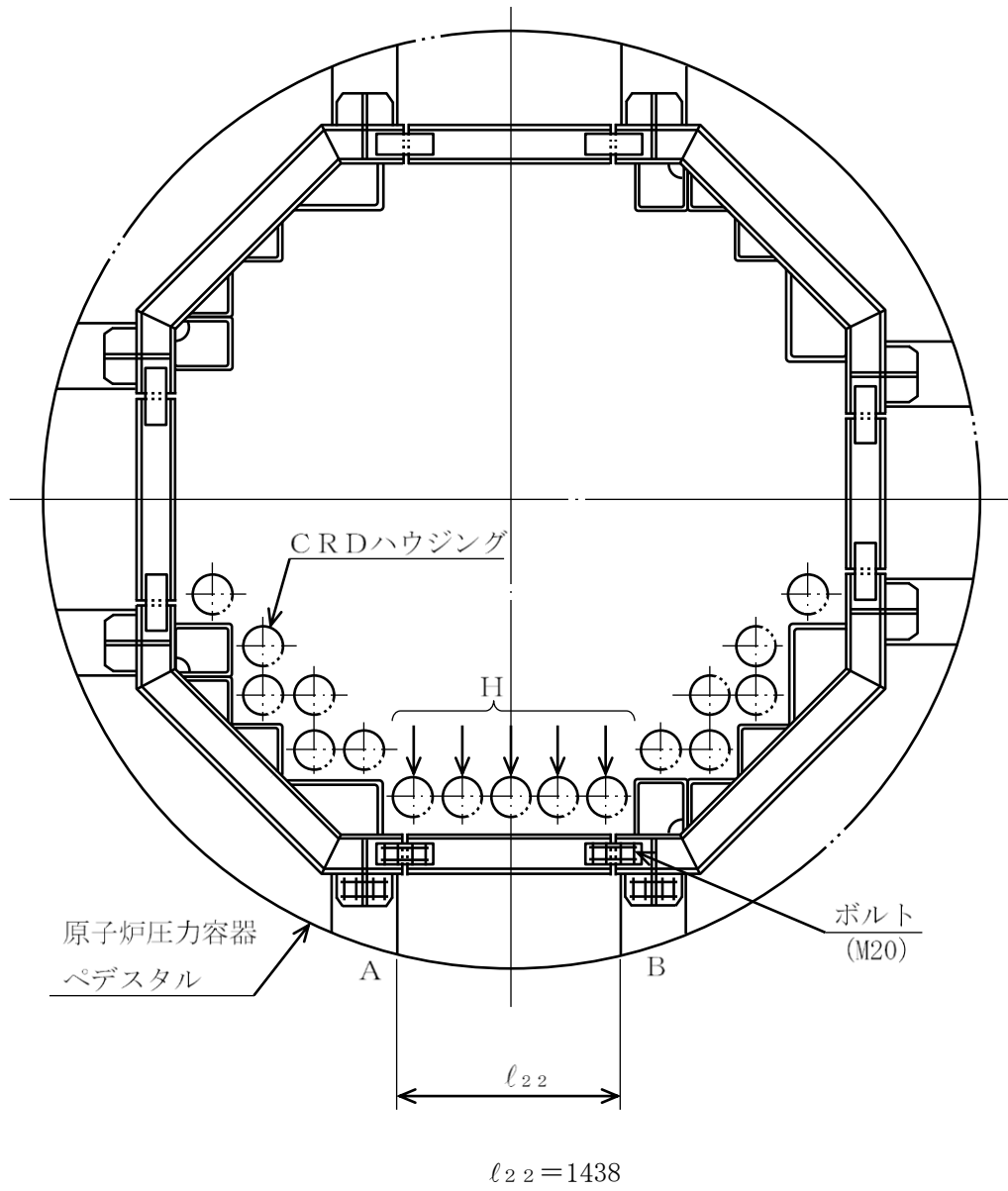
各許容応力状態における評価を表 4-6 に示す。

表 4-6 より，各許容応力状態の各応力は，「4.2.2 許容応力」に示す許容応力を満足する。

5. 参照図書

(1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書

IV-2-2-11 「制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書」



(単位：mm)

図 3-1 レストレントビームの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

部材	使用材料	備考
レストレントビーム	SS41	SS400 相当
レストレントビーム 結合ボルト	SCM435	—

表 3-2 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	レストレントビーム一般部
P 2	レストレントビーム端部
P 3	レストレントビーム結合ボルト

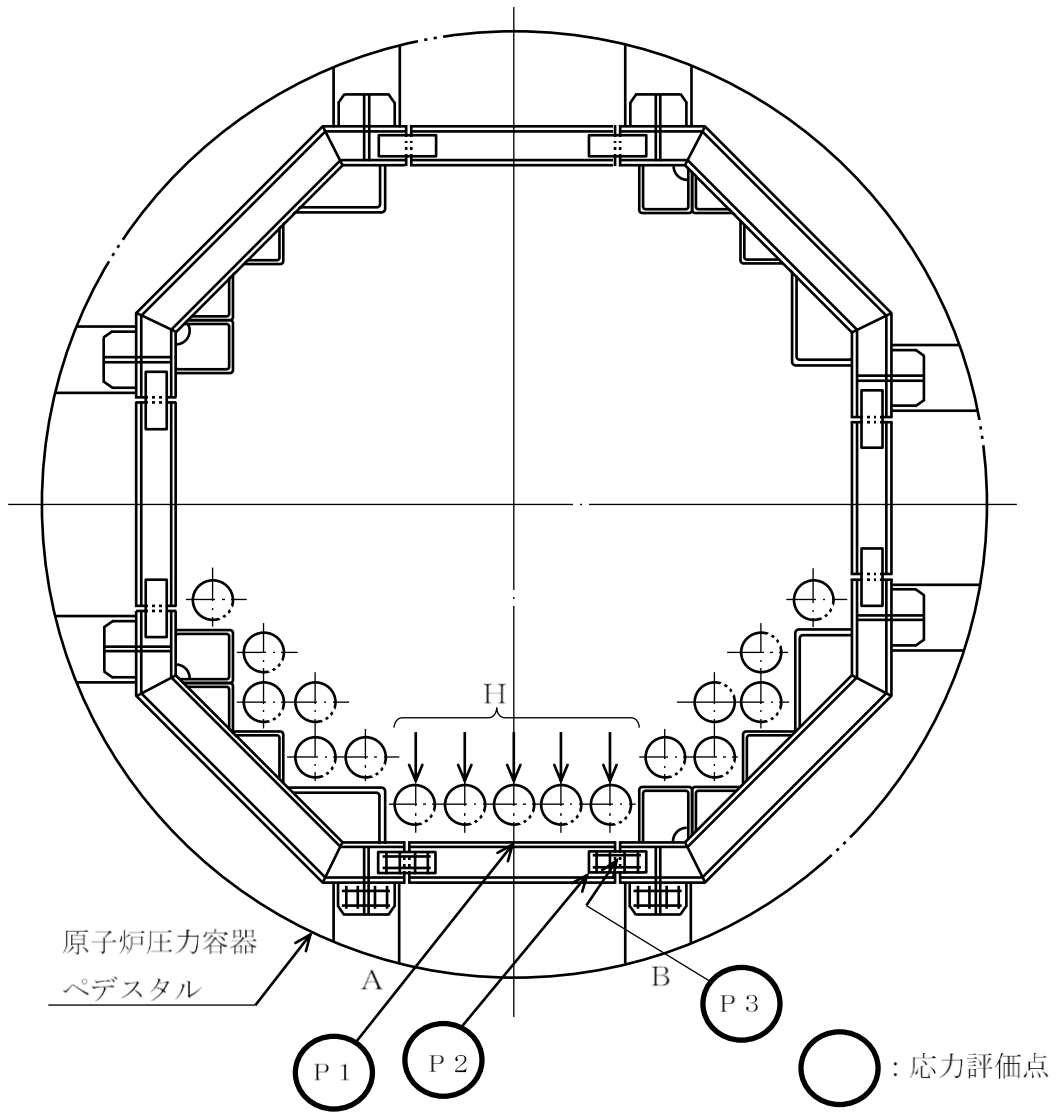


図 3-2 レストレントビームの応力評価点

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉本体	原子炉圧力 容器付属 構造物	CRDハウジング 支持金具	S	—*	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

表4-2 許容応力 (クラス1 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料		温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境 温度					
レストレントビーム	鋼板	SS41*	周囲環境 温度	171	—	201	373	—
レストレントビーム 結合ボルト	棒鋼	SCM435	周囲環境 温度	171	—	642	847	—

注記* : SS400相当

表 4-4 設計用地震力（水平方向）

	地震荷重 S_d^*	地震荷重 S_s
水平地震荷重 $H(N)^*$	□	□

注記*：VI-2-2-1「炉心，原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を基に，図 3-2 に示す応力評価点のレストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ荷重を考慮して設定する。

表 4-5 設計用地震力（鉛直方向）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉本体 基礎 EL □	—*1	—*1	—	$C_v=0.56^{*2}$	—	$C_v=1.14^{*3}$

注記*1：固有周期は十分に小さく，計算を省略する。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

表 4-6 評価結果まとめ

評価対象 設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		Ⅳ _A S	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
				MPa	MPa	MPa	MPa
CRDハウジング 支持金具	P 1	レストレントビーム一般部	曲げ応力	123	201	153	241
	P 2	レストレントビーム端部	曲げ応力	80	201	99	241
	P 3	レストレントビーム結合ボルト	引張応力	2	264*	3	179*
			せん断応力	224	342	277	342

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$ より算出

VI-2-3-3-2-5 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーよりN11ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 形状・寸法・材料	5
2.6 解析範囲	5
2.7 計算結果の概要	5
3. 計算条件	8
3.1 設計条件	8
3.2 運転条件	8
3.3 材料	8
3.4 物性値	8
3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.6 荷重の組合せ及び応力評価	8
3.7 許容応力	8
4. 外荷重の条件	9
4.1 計算方法	9
4.2 解析モデル	9
4.3 設計震度	9
4.4 計算結果	9
4.4.1 固有周期	9
4.4.2 死荷重及び地震荷重	9
5. 応力計算	10
5.1 応力評価点	10
5.2 内圧による応力	10
5.2.1 荷重条件 (L01)	10
5.2.2 計算方法	10
5.3 外荷重による応力	10
5.3.1 荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)	10
5.3.2 計算方法	10
5.4 応力の評価	10

6. 応力強さの評価	11
6.1 一次一般膜応力強さの評価	11
6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	11
6.3 一次＋二次応力強さの評価	11
7. 繰返し荷重の評価	12
7.1 疲労解析	12
7.1.1 疲労累積係数	12
8. 参照図書	13

図 表 目 次

図 2-1	差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フロー	4
図 2-2	形状・寸法・材料・応力評価点	6
図 4-1	解析モデル	14
表 2-1	差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画	3
表 2-2	計算結果の概要	7
表 4-1	外荷重	15
表 5-1	応力集中係数	16
表 6-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17
表 6-2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18
表 6-3	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	19
表 7-1	疲労累積係数の評価のまとめ	20

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）は、クラス 1 配管であるが、設計・建設規格 PPB-1210 の規定により、設計・建設規格 PVB-3110 の規定を適用し、VI-2-3-3-1-1「原子炉压力容器の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

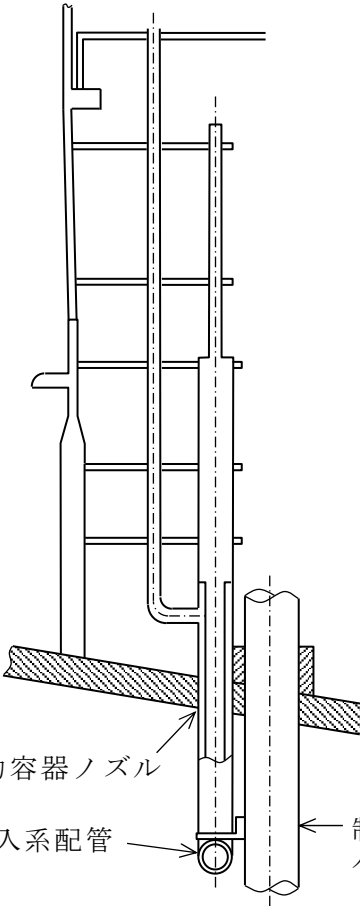
注：本計算書においては、昭和60年12月25日付け60資庁第11431号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 差圧検出・ほう酸水注入系配管の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉圧力容器ノズルに溶接され、制御棒駆動機構ハウジングにUボルトにて支持される。	差圧検出管が外管、ほう酸水注入管が内管の二重構造となっている。	 <p>原子炉圧力容器ノズル</p> <p>差圧検出・ほう酸水注入系配管</p> <p>制御棒駆動機構ハウジング</p>

2.2 評価方針

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の構造強度評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」及び「応力解析の方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の部位を踏まえ「2.6 解析範囲」にて設定する箇所において、「4. 外荷重の条件」にて設定した荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「応力解析の方針」にて示す方法にて確認することで実施する。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

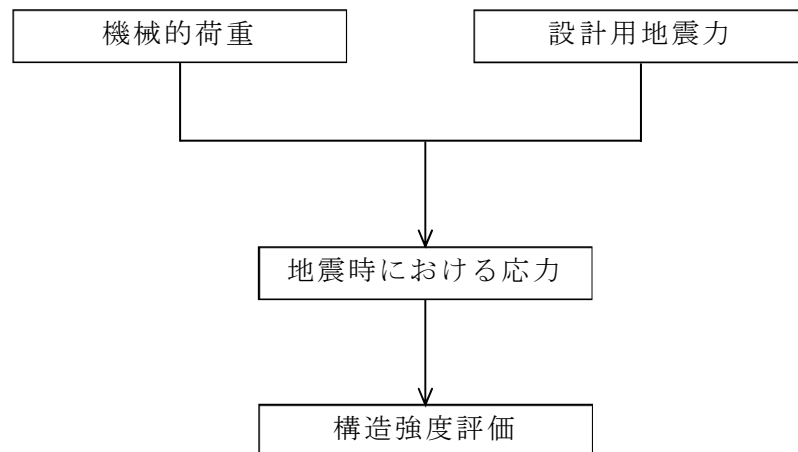


図 2-1 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

注：本計算書において，設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△ △(◇)a. (a)」として示す。

2.4 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
F	軸力	N
S	せん断力	N
T	ねじりモーメント	N・m
M	曲げモーメント	N・m
K_n	引張りに対する応力集中係数	—
K_b	曲げに対する応力集中係数	—

2.5 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図2-2に示す。

2.6 解析範囲

解析範囲を図2-2に示す。

2.7 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-2に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

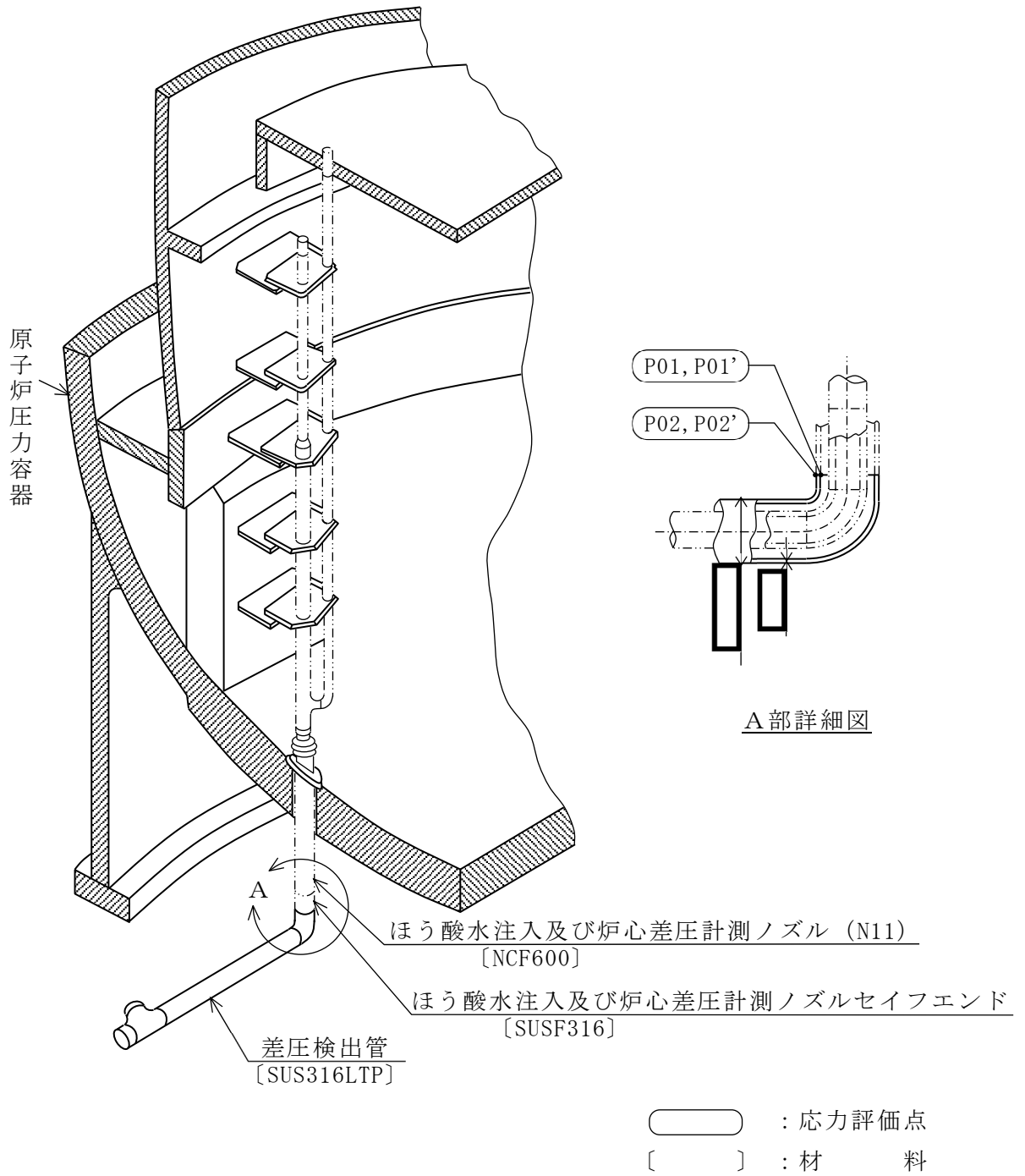


図 2-2 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-2 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力 (MPa)			一次＋二次応力 (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力評価点
差圧検出管 SUS316LTP	Ⅲ A S	42	114	P01-P02	43	159	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ A S	45	228	P01-P02	58	318	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	89	288	P01	0.043	1	P01
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	233	288	P01			

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

3. 計算条件

3.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

3.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

3.3 材料

各部の材料を図 2-2 に示す。

3.4 物性値

地震荷重による繰返し荷重の評価に使用する材料の物性値を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

3.5 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

3.6 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

4. 外荷重の条件

4.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「4.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

考慮する設計用地震力は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた荷重，若しくはそれらの条件を包絡するように定めた保守的な荷重とする。

4.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく参照図書(1)a.に定めるとおりである。参照図書(1)a.に定める解析モデルを図4-1に示す。

4.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	1.41 ^{*1}	0.69 ^{*1}
基準地震動 S _s	2.58 ^{*2}	1.83 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

4.4 計算結果

4.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく参照図書(1)a.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Z 方向	
1 次	□	—	—	—

4.4.2 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を表4-1に示す。

5. 応力計算

5.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 2-2 に示す。また、応力集中を生じる箇所の応力集中係数を表 5-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

5.2 内圧による応力

5.2.1 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

5.2.2 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での内圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

5.3 外荷重による応力

5.3.1 荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)

外荷重を表 4-1 に示す。

5.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく参照図書(1)b. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

5.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

6. 応力強さの評価

6.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容応力を満足する。

6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 6-2 に示す。

表 6-2 より，各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容応力を満足する。

6.3 一次＋二次応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 6-3 に示す。

表 6-3 より，すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は， $3 \cdot S_m$ 以下であり，「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容応力を満足する。

7. 繰返し荷重の評価

7.1 疲労解析

差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

7.1.1 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表 7-1 に示す。

表 7-1 より、各応力評価点において疲労累積係数は 1.0 以下であり、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

8. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
- a. IV-2-2-9 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部及びティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震性についての計算書
 - b. IV-3-1-3-5 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の応力計算書

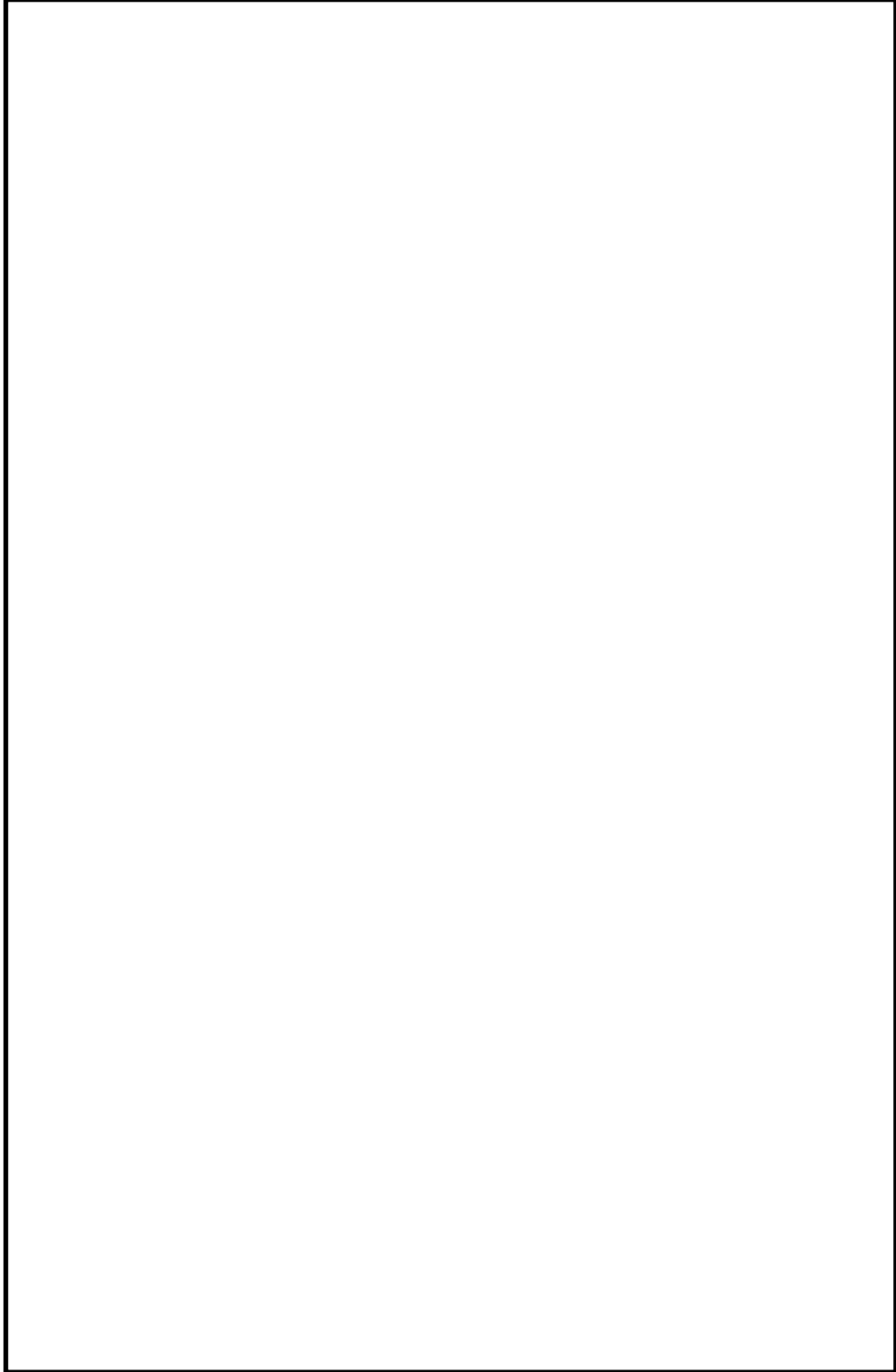


図 4-1 解析モデル

表 4-1 外荷重

記号	荷重名称	荷重作用点	軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント
			F (N)	S (N)	T (N・m)	M (N・m)
L04	死荷重	A				
L14	地震荷重 S_d^* (一次)	A				
L15	地震荷重 S_d^* (二次)	A				
L16	地震荷重 S_s (一次)	A				
L17	地震荷重 S_s (二次)	A				

--	--	--	--	--	--	--

表 5-1 応力集中係数

応力評価点	K_n	K_b
P01, P02	5.0	5.0

注：設計・建設規格 PVB-3130 の規定による。

表 6-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	114	45	228
P01' P02'	42	114	45	228

表 6-2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	43	159	58	318
P01' P02'	42	159	56	318

表 6-3 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \#1$	$S_n \#2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	89	233	288
P01'	89	233	288
P02	89	233	288
P02'	89	233	288

表 7-1 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	—	0.001	0.043	0.043	1
P01'	—	0.001	0.043	0.043	1
P02	—	0.001	0.043	0.043	1
P02'	—	0.001	0.043	0.043	1

注記*：疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

VI-2-3-3-3 原子炉压力容器内部構造物の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-3-11 原子炉中性子計装案内管の
耐震性についての計算書

目 次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 設計条件	4
2.2 運転条件	4
2.3 材料	4
2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.5 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.6 許容応力	4
3. 外荷重の条件	5
3.1 計算方法	5
3.2 解析モデル	5
3.3 設計震度	5
3.4 計算結果	5
3.4.1 固有周期	5
3.4.2 死荷重及び地震荷重	6
4. 応力計算	7
4.1 応力評価点	7
4.2 差圧による応力	7
4.2.1 荷重条件 (L02)	7
4.2.2 計算方法	7
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図 表 目 次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	解析モデル	9
図 3-2	原子炉中性子計装案内管とスタビライザの配置及びグループ分割	10
図 3-3	振動モード図	12
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	固有周期	11
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	16

1. 一般事項

本計算書は、原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書である。

原子炉中性子計装案内管は、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉中性子計装案内管は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

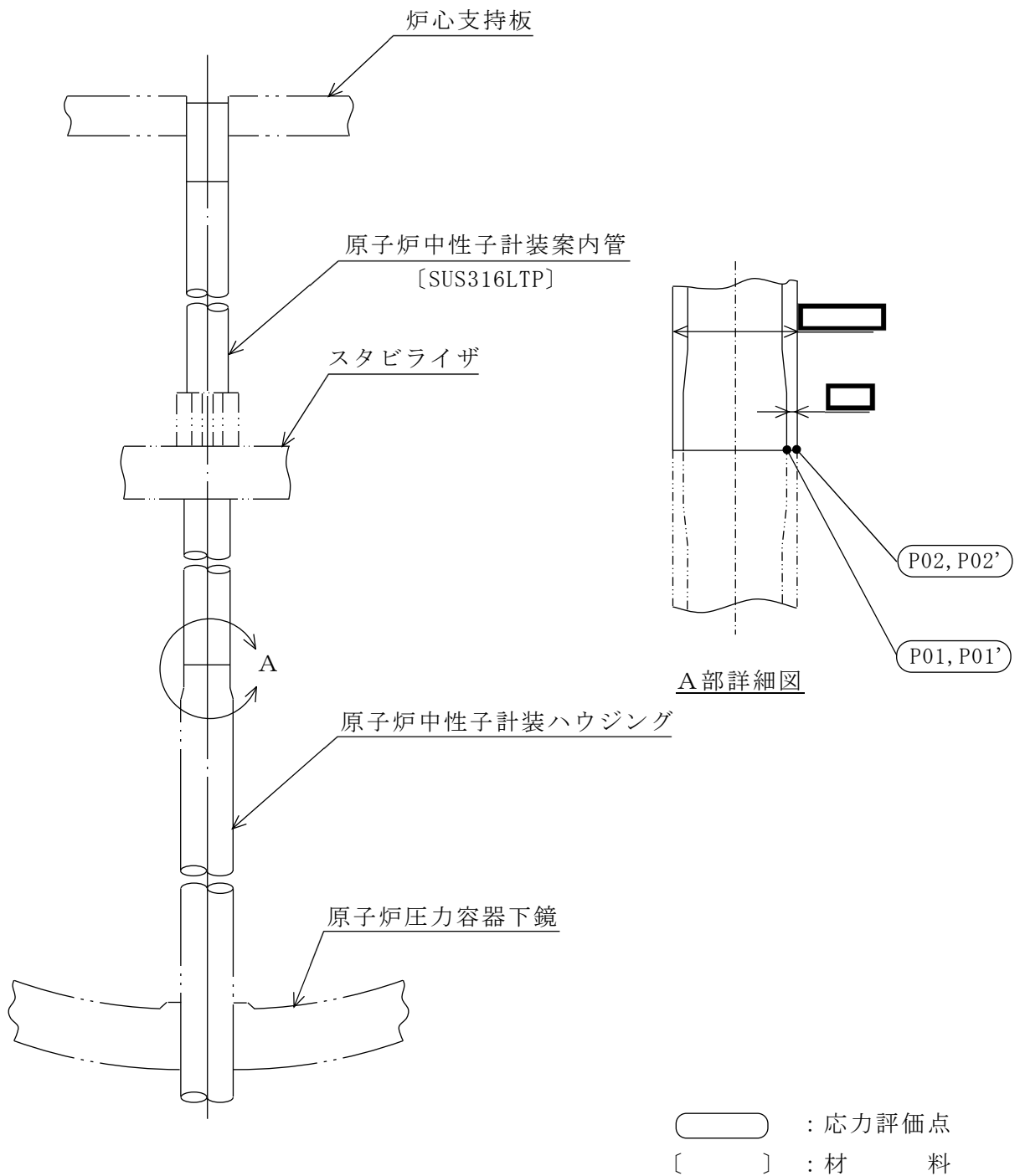


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
原子炉中性子 計装案内管 SUS316LTP	Ⅲ A S	3	92*	P01-P02	107	139*	P01-P02
	Ⅳ A S	4	148*	P01-P02	158	222*	P01-P02

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.3 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 外荷重の条件

3.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定める解析モデルを図3-1に示す。

本計算モデルは，図3-2に示すように

である。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	据付位置における設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度	0.65 ^{*1}
基準地震動 S_s	据付位置における設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度	1.83 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計震度

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を表3-1に，振動モード図を図3-3に示す。

また，鉛直方向の固有周期は0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

3.4.2 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(10)に示す。

4. 応力計算

4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r. に定めるとおりである。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r. に定めるとおりである。

4.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(10)に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

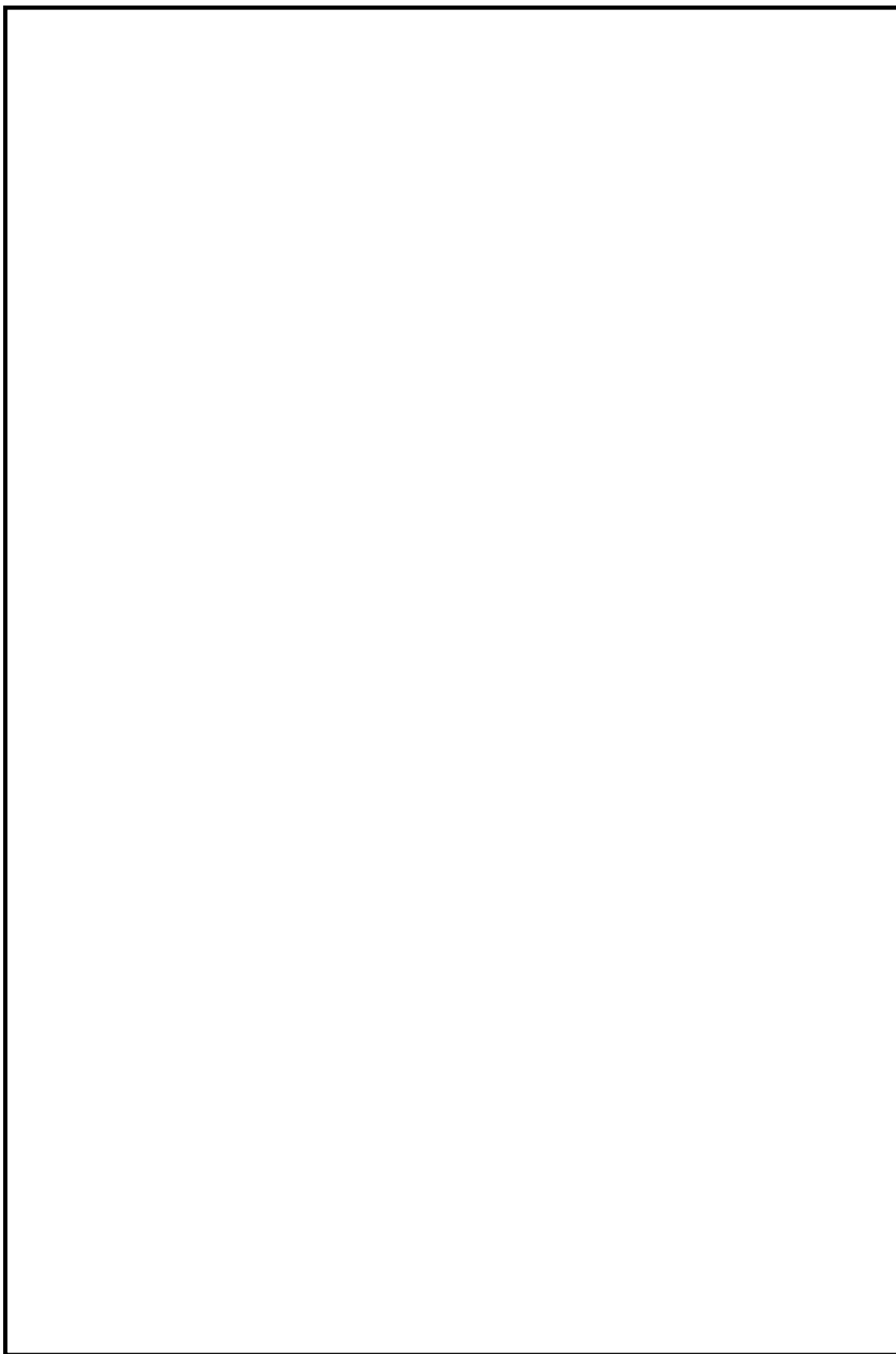


図 3-1 解析モデル

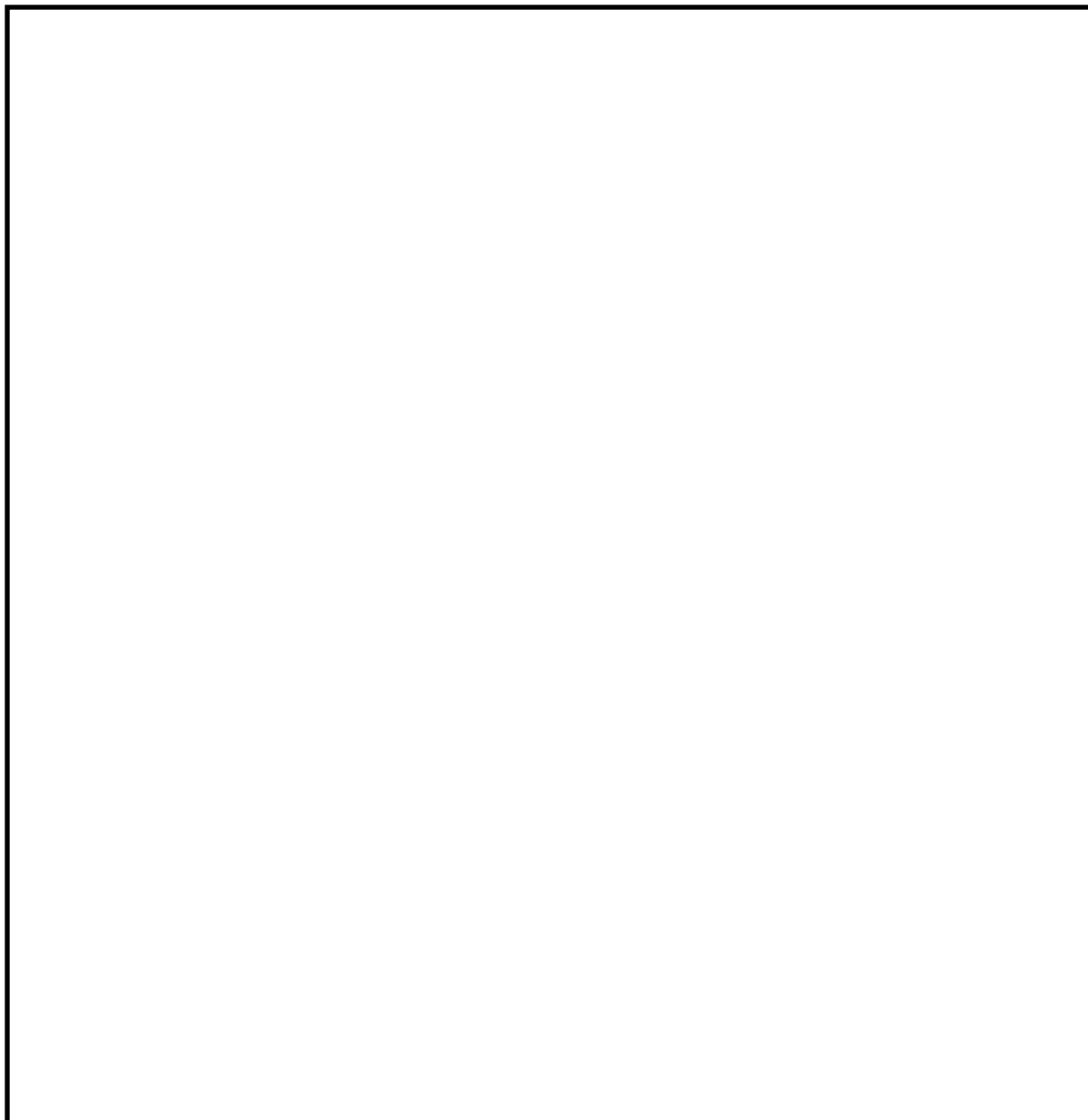


図 3-2 原子炉中性子計装案内管とスタビライザの配置及びグループ分割

表 3-1 固有周期

モード*	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平				—
2次	水平				—
3次	水平				—
4次	水平				—
5次	水平				—
6次	水平				—
7次	水平				—

注記*：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

(単位 : Hz)

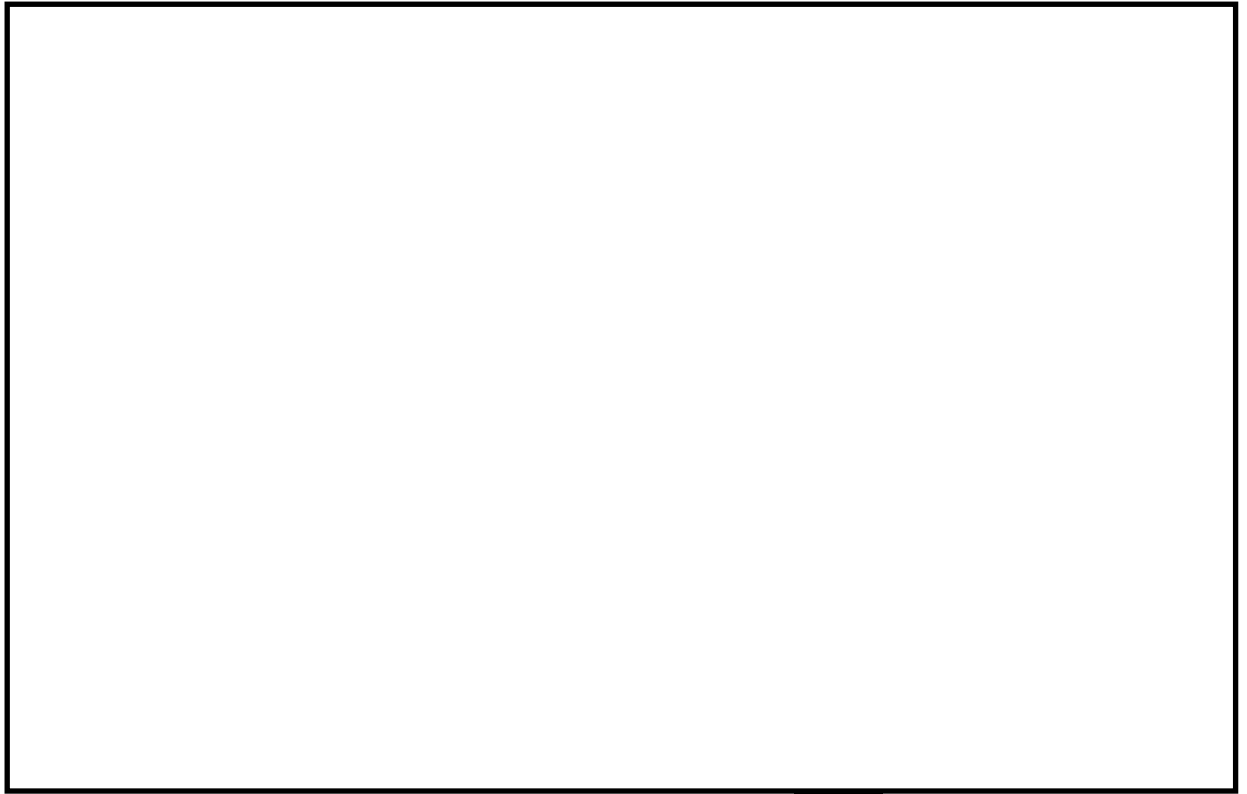


図 3-3(1) 振動モード図 (1次 s)

(単位 : Hz)

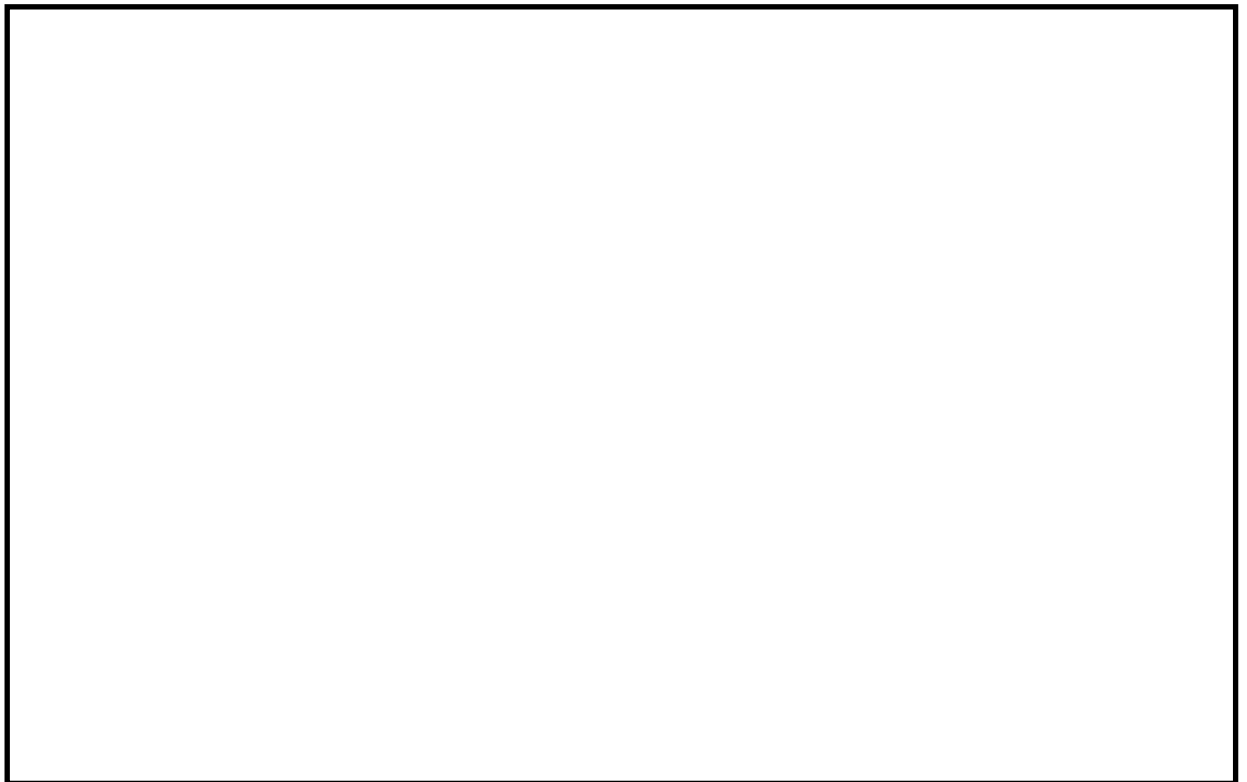


図 3-3(2) 振動モード図 (2次 s)

(単位 : Hz)



図 3-3(3) 振動モード図 (3次 s)

(単位 : Hz)

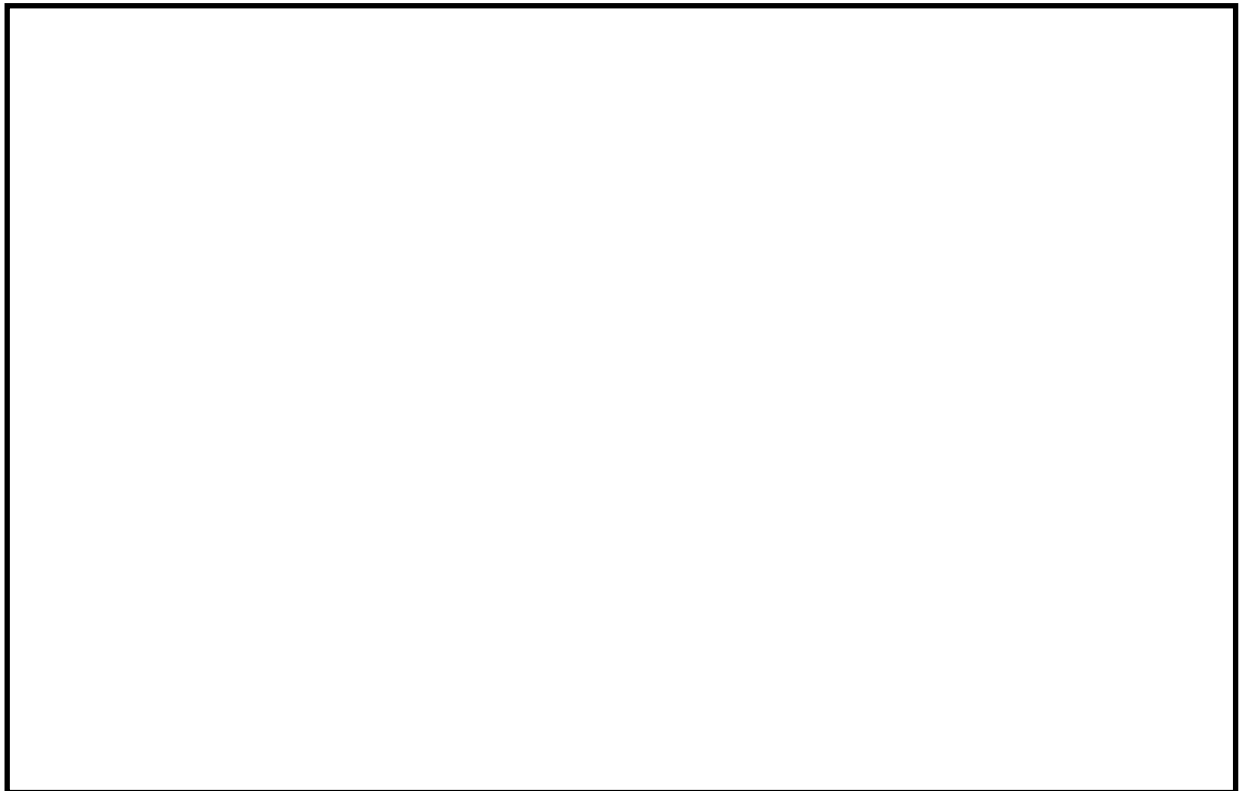


図 3-3(4) 振動モード図 (4次 s)

(単位 : Hz)



図 3-3(5) 振動モード図 (5 次 s)

(単位 : Hz)

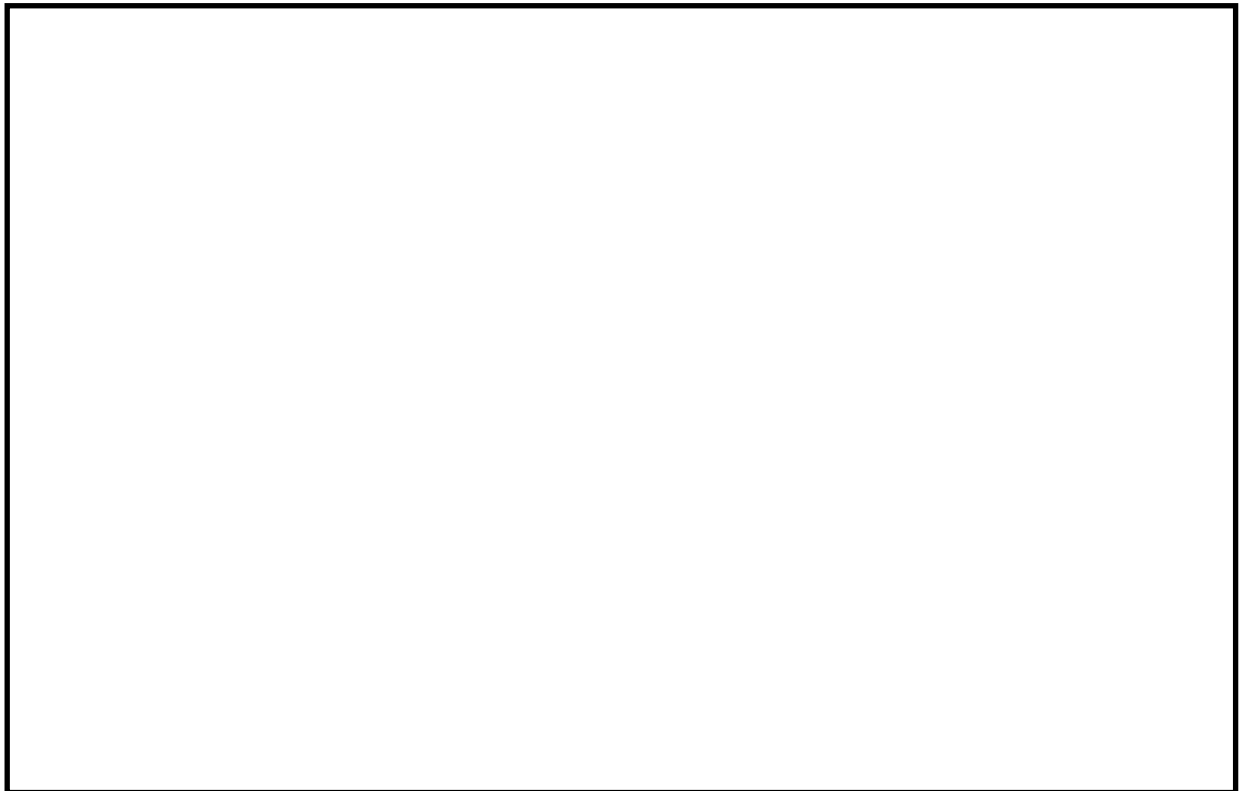


図 3-3(6) 振動モード図 (6 次 s)

(単位 : Hz)



図 3-3(7) 振動モード図 (7次 s)

S2 補 VI-2-3-3-3-11 R0

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	92*	4	148*
P01' P02'	3	92*	4	148*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	107	139*	158	222*
P01' P02'	106	139*	158	222*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性に関する説明書

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25
別添 解析モデルの寸法	38

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で原子炉建物の燃料プールの床に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトで固定されている。共通ベースは、燃料プール床に取り付けてある基礎ボルトにより固定されている。</p>	<p>たて置きラック式 (ボロン添加ステンレス鋼製板構造)</p>	<p>(ベース部断面) Aから見る</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

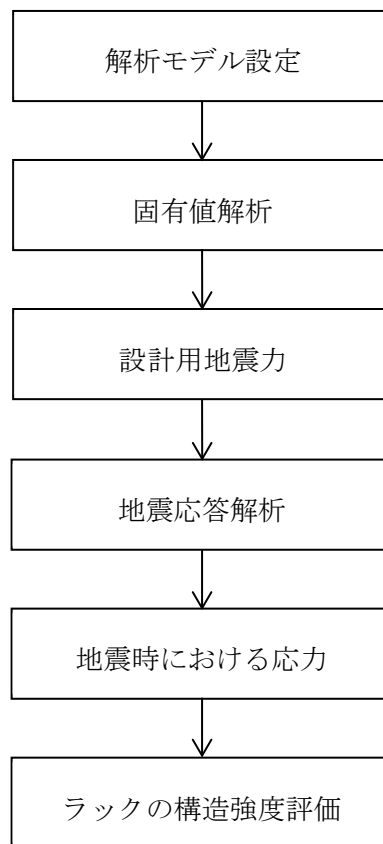


図2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
d	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _{a i}	ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{b i}	共通ベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{c i}	143 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{d i}	144 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
f _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに働く引張力 (1 本当たり) * ¹ , * ²	N
f _s	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	共通ベース高さ	mm
l _{g i}	ラックベース端から重心まで又は共通ベース端の支点部から重心までの距離* ¹	mm
l _{j i}	ラックベース端からラック取付ボルトまで又は共通ベース端の支点部から基礎ボルトまでの距離* ¹ , * ²	mm
M _{a i}	ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{b i}	共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{c i}	143 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{d i}	144 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{e i}	143 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{f i}	144 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm

記号	記号の説明	単位
M t i	ラック据付時の全体の転倒モーメント*1	N・mm
m a	使用済燃料貯蔵時のラック全質量	kg
m a t h	ラックの排除水質量*3	kg
m b	共通ベースの全質量	kg
m b t	共通ベースの質量	kg
m b t h	共通ベースの排除水質量*3	kg
m c	143 体ラックの全質量	kg
m c t	使用済燃料貯蔵時の 143 体ラックの質量	kg
m c t h	143 体ラックの排除水質量*3	kg
m d	144 体ラックの全質量	kg
m d t	使用済燃料貯蔵時の 144 体ラックの質量	kg
m d t h	144 体ラックの排除水質量*3	kg
m F	使用済燃料の質量	kg
m R	ラックの質量	kg
m t	ラック据付時の共通ベースの全質量	kg
m w	ラックに含まれる水の質量	kg
n	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの全本数	—
n j i	ラック取付ボルト又は基礎ボルト各部の本数*1, *2	—
S u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t	部材の板厚	mm
σ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_x, σ_y	部材に生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
τ_b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{xy}	部材に生じるせん断応力	MPa

注記*1: $F_{ai}, F_{bi}, F_{ci}, F_{di}, f_{ji}, l_{gi}, l_{ji}, M_{ai}, M_{bi}, M_{ci}, M_{di},$
 M_{ei}, M_{fi}, M_{ti} 及び n_{ji} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=N$: NS方向

$i=E$: EW方向

*2: f_{ji}, l_{ji} 及び n_{ji} の添字*j*はボルトの列番号を示す。

*3：排除水質量とは，機器が流体中にある場合に，機器が排除する流体の質量であり，ラック及び共通ベースの質量として考慮する，使用済燃料，ラック及び共通ベース自身，ラックに含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位又は第 2 位の場合は，小数点以下第 1 位又は第 2 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる板、シートプレート、ラックベース、ラック取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

なお、ラックの種類としては、貯蔵体数及び配列の異なる100体ラック、110体ラック、120体ラック、130体ラック、132体ラック、143体ラック及び144体ラックがあるが、この中で許容応力に対する裕度が一番小さくなる143体ラックについて記載する。

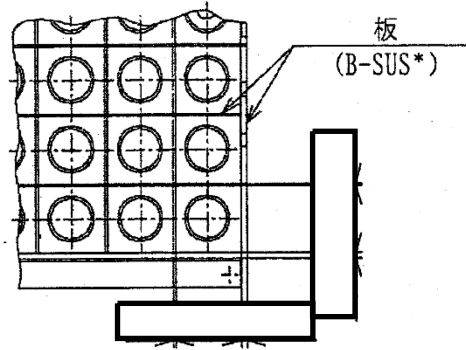
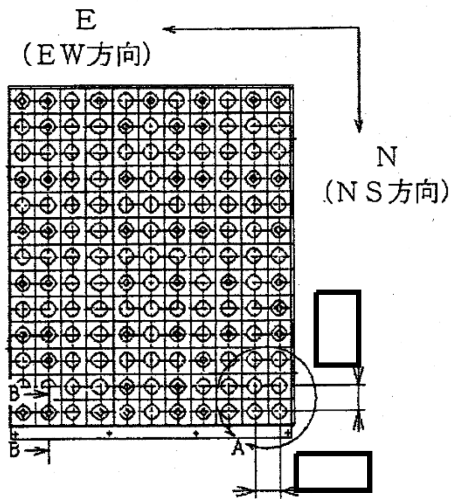
ラックの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

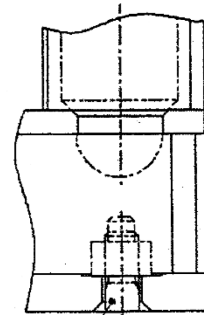
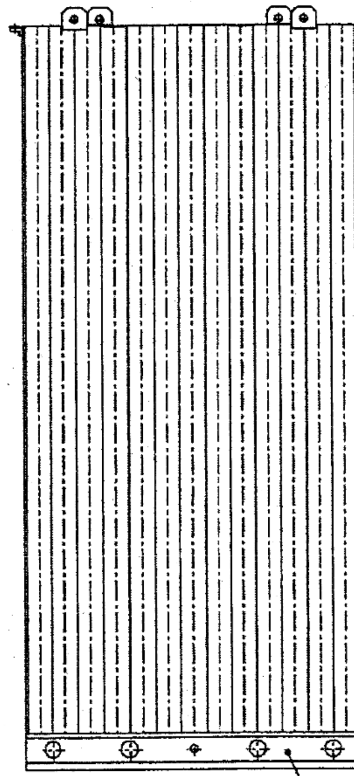
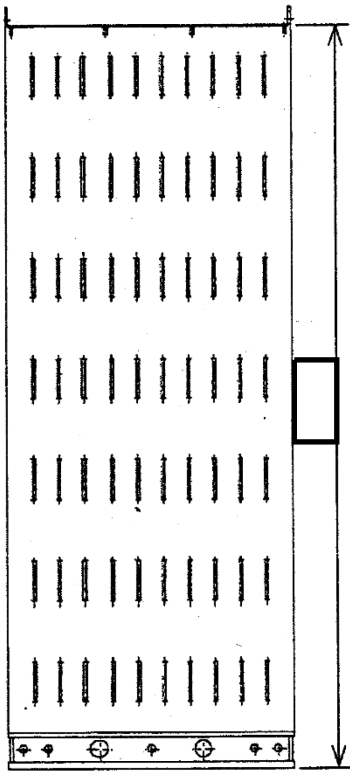
- (1) ラックは、原子炉建物の燃料プールの底部（EL 30.83m）に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 地震応答解析時のラックの質量には、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の付加質量*を考慮する。
- (3) 構造強度評価時のラックの質量は、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量とする。また、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (4) 地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。
ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。
- (5) 構造概要図（143体ラック）を図4-1に、全体組立図（143、144体ラック）を図4-2に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。



A部詳細図

注記* : B-SUS はボロン添加ステンレス鋼板を示す。



ラック取付ボルト (SUS304)

B~B部断面図

シートプレート (SUS304L)

ラックベース (SUS304L)

図4-1 構造概要図 (143体ラック) (単位: mm)

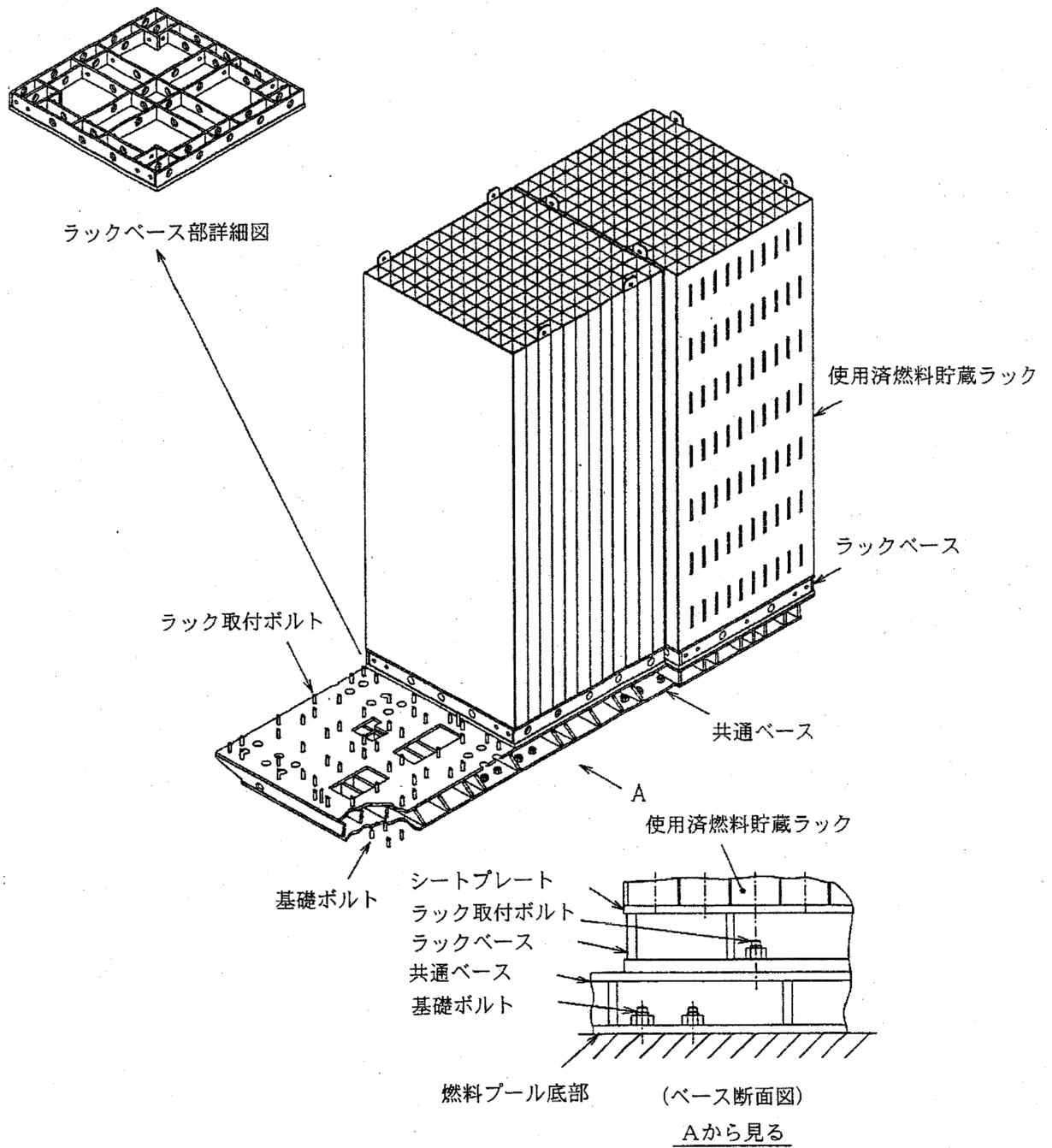


図 4-2 全体組立図 (143, 144 体ラック)

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	III _A S
	貯蔵設備			$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵ラック	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IV _A S
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*1 : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2 : 重大事故等その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3 : 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (その他の支持構造及び重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
Ⅲ _A S	引張り	せん断	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	引張り	せん断	引張り	せん断
	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
板	ボロン添加ステンレス鋼板	66	—	188 *	479 *	205 *
シートプレート ラックベース	SUS304L	66	—	160	443	175
ラック取付ボルト 基礎ボルト	SUS304	66	—	188	479	205

注記* : ボロン添加ステンレス鋼板の S_y, S_u の値は, SUS304 の規格値を上回っているが, 安全側の評価とするため, SUS304 の値を使用する。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R _T) (MPa)
板	ボロン添加ステンレス鋼板	100	—	171 *	441 *	205 *
シートプレート ラックベース	SUS304L	100	—	145	408	175
ラック取付ボルト 基礎ボルト	SUS304	100	—	171	441	205

注記* : ボロン添加ステンレス鋼板の S_y, S_u の値は, SUS304 の規格値を上回っているが, 安全側の評価とするため, SUS304 の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図4-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ラックはシェル要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) ラックはラックベース底部でラック取付ボルトを介し共通ベースに固定されている。共通ベースは剛構造であるため、ラックは独立した系として計算する。なお、ラック取付ボルト部は剛体として評価する。
- (3) ラックの質量には使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び付加質量を考慮し、これら使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及び付加質量は板全長にわたって等分布に与える。
- (4) 本ラックに使用するボロン添加ステンレス鋼板のボロン添加量は であり、ボロン添加ステンレス鋼板の縦弾性係数はボロン添加量の増加に従って漸増する傾向にあるため、縦弾性係数は固有周期が大きくなる側となるボロン添加量の下限の値を用いるものとする。
- (5) 固有値、荷重及び部材の応力は、解析コード「SAP-IV」を用いて求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

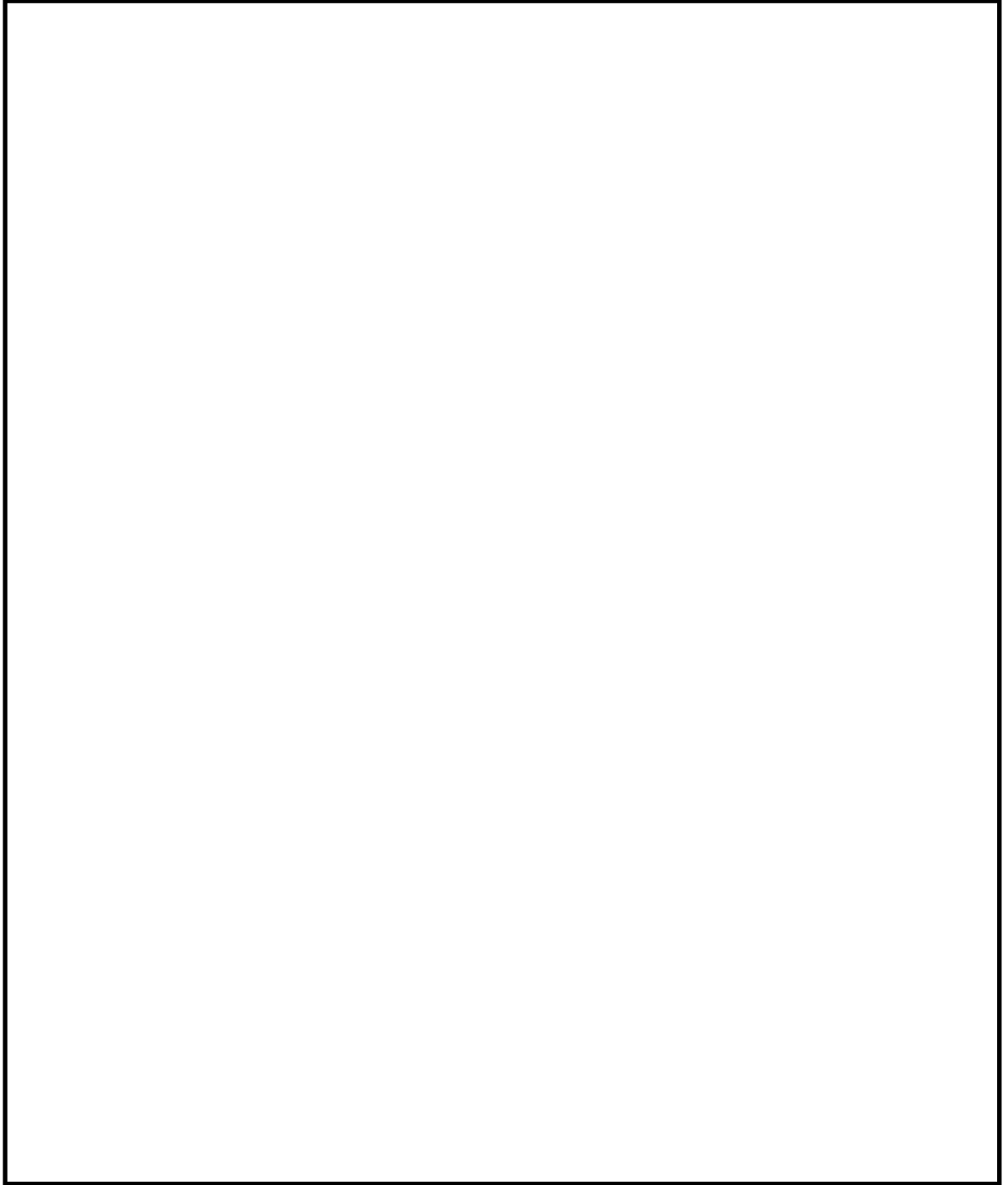


図 4-3 解析モデル (143 体ラック)

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-6 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平				

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})	□	0.05 以下	C _H =0.99 ^{*2}	C _V =0.93 ^{*2}	C _H =1.73 ^{*3}	C _H =2.32 ^{*3}	C _V =1.73 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.73 ^{*2}	C _H =2.32 ^{*2}	C _V =1.73 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 部材の応力

部材についての応力計算は、図 4-3 の解析モデルにて、板、シートプレート、ラックベースからなる系全体での応力計算を解析コード「SAP-IV」を使用して行い、引張応力、せん断応力を求め、本項に示す計算方法に従って組合せ応力を計算する。

解析コード内では、各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y の働く向きを図 4-4 に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上述で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて (4.6.1) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

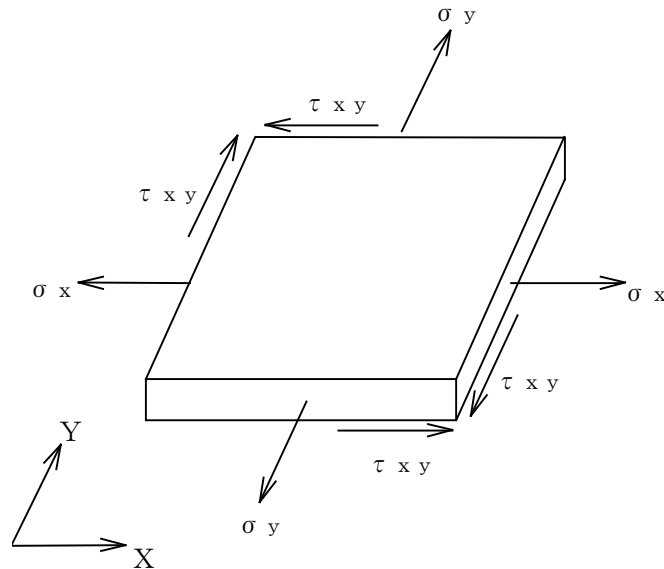


図 4-4 部材の応力計算モデル

4.6.2 ボルトの応力

4.6.2.1 ラック取付ボルト

図4-3の解析モデルにて，ラックの系全体での荷重を計算機コード「SAP-IV」を使用して算出し，求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント M_{ai} 及びラックベース底部に作用するせん断力 F_{ai} が，ラックに図4-5のように負荷されるものとしてラック取付ボルトの応力を求める。

ラック取付ボルトの荷重状態を図4-5に示す。

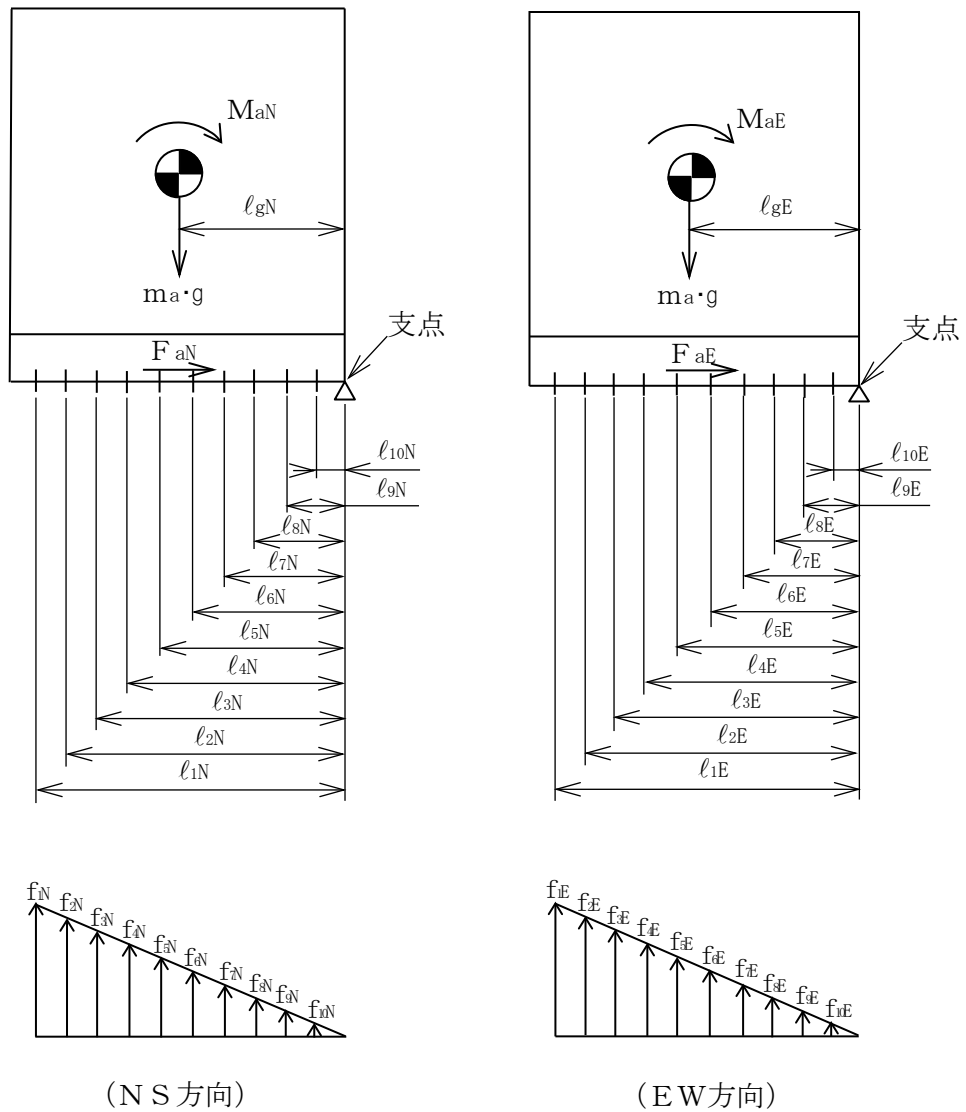


図4-5 ラック取付ボルトの荷重状態

ラックの全質量は，(4.6.2) 式より使用済燃料の質量，ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量の合計から排除水質量を減じて求める。

$$m_a = m_F + m_R + m_W - m_{ath} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

ここで， m_{ath} は排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）を示す。

(1) 引張応力

図 4-5 において支点回りのモーメントの平衡によりラック取付ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (4.6.3) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\ell_{1i} \cdot \left\{ \sqrt{M_{ai}^2 + (C_V \cdot m_a \cdot g \cdot \ell_{gi})^2} - m_a \cdot g \cdot \ell_{gi} \right\}}{n_{1i} \cdot \ell_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \ell_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \ell_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

したがって，引張力 f_{1i} によりラック取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は，(4.6.4) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積 A_b は，(4.6.5) 式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.5)$$

ただし， f_{1i} の値が負となった場合は，引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{ai} によりラック取付ボルトに生じるせん断応力 τ_b は，(4.6.6) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{ai}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.6)$$

ここで，ボルトの軸断面積 A_b は，(4.6.5) 式による。

4.6.2.2 基礎ボルト

共通ベースの種類としては 132 体ラック 2 台設置用が 1 台, 110 体ラック 2 台設置用が 1 台, 110 体ラック 1 台と 120 体ラック 1 台と 132 体ラック 1 台設置用が 1 台, 100 体ラック 1 台と 110 体ラック 1 台設置用が 3 台, 110 体ラック 1 台と 120 体ラック 2 台設置用が 3 台, 130 体ラック 1 台と 143 体ラック 1 台設置用が 1 台, 143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用が 1 台及び 144 体ラック 2 台設置用が 1 台あり, この中で質量条件が大きく, 応力が最も大きくなる 143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用について以下に示す。

本ケースのラック及び共通ベースに作用する水平方向の力は合計 48 本の共通ベース基礎ボルトで固定される。地震時に発生するラック据付時の全体の転倒モーメント M_{ti} 及び共通ベース底部に作用するせん断力 F_{bi} が, ラック及び共通ベースからなる系全体において図 4-6 のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図 4-6 に示す。

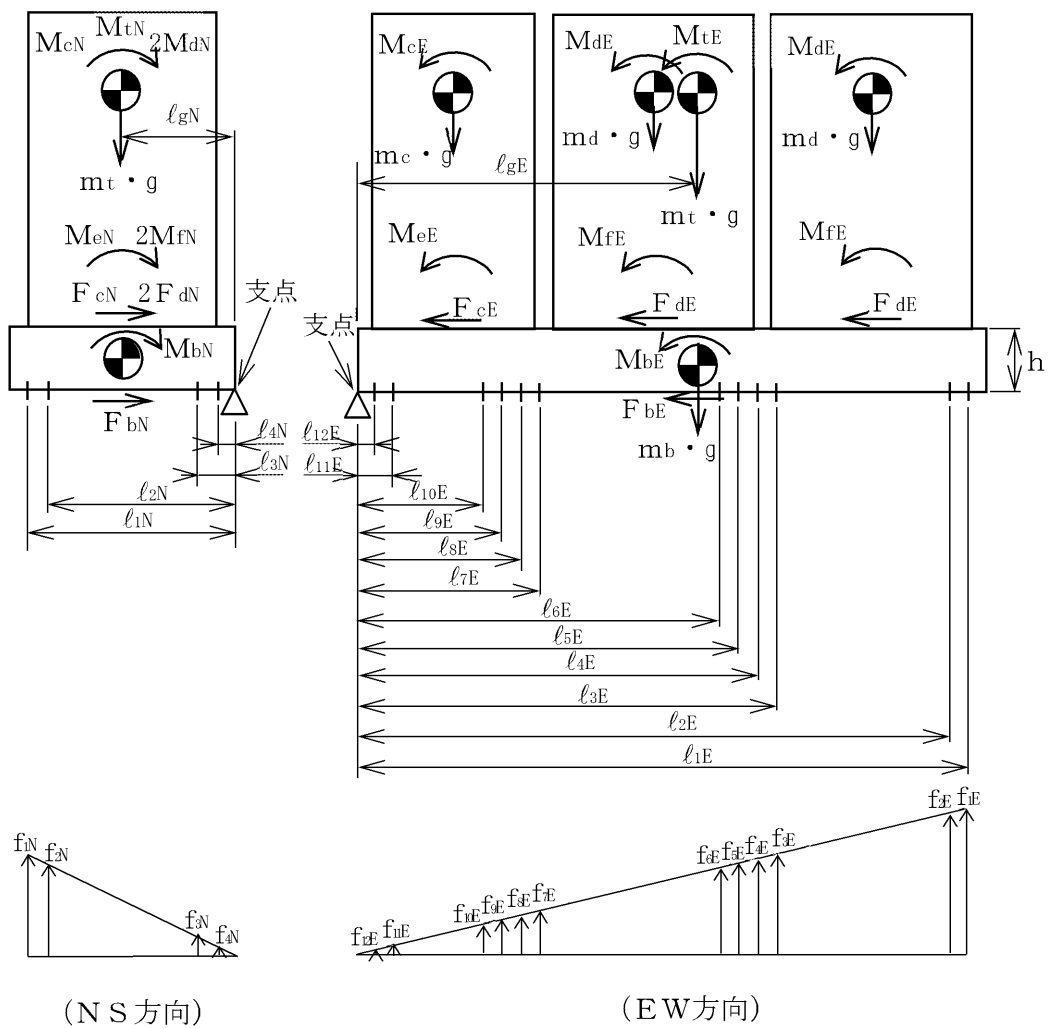


図 4-6 基礎ボルトの荷重状態

ラック据付時の共通ベースの全質量は、(4.6.7) 式より共通ベースの質量及び使用済燃料貯蔵時のラックの質量から排除水質量を減じた質量で求める。

$$m_t = m_b + m_c + 2 \cdot m_d \quad \dots\dots\dots (4.6.7)$$

ここで、

$$m_b = m_{bt} - m_{bth}$$

$$m_c = m_{ct} - m_{cth}$$

$$m_d = m_{dt} - m_{dth}$$

m_{bth} , m_{cth} , m_{dth} は排除水質量(水中に設置される機器が排除する水の質量)を示す。

(1) 引張応力

図4-6において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト1本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを(4.6.8)式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\ell_{1i} \cdot \{\sqrt{M_{ti}^2 + (C_v \cdot m_t \cdot g \cdot \ell_{gi})^2} - m_t \cdot g \cdot \ell_{gi}\}}{n_{1i} \cdot \ell_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \ell_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \ell_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.8)$$

ここで、

$$M_{ti} = M_{bi} + M_{ci} + 2 \cdot M_{di} + M_{ei} + 2 \cdot M_{fi}$$

$$M_{bi} = C_H \cdot m_b \cdot g \cdot h / 2$$

$$M_{ei} = F_{ci} \cdot h$$

$$M_{fi} = F_{di} \cdot h$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.9)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.9)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{bi} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.10)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{bi}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.10)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1項で求めた各部材の引張応力 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、4.6.1項で求めた各部材のせん断応力 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_s 以下であること。ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

注：ボロン添加ステンレス鋼板の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、F、F*値はSUS304の値を使用する。

4.8.2 ボルトの応力評価

4.6.2項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1)$$

また、4.6.2項で求めたボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S sによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック)	S	原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})	□	0.05 以下	C _H =0.99 ^{*2}	C _V =0.93 ^{*2}	C _H =1.73 ^{*3}	C _H =2.32 ^{*3}	C _V =1.73 ^{*3}	—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 機器諸元

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	□	□	0.3
シートプレート	SUS304L		191000	0.3
ラックベース	SUS304L		191000	0.3

注記*：ボロン添加量 □ における実験値

1.2.2 板、シートプレート、ラックベース

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	188 *	479 *	205 *	205	246
シートプレート	SUS304L	160	443	175	175	210
ラックベース	SUS304L	160	443	175	175	210

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板の S_y、S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

1.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m_a (kg)	$m_{a\ t\ h}$ (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{10N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)
143体ラック						1962	1806	1650	1494	1338	1182	870	558	246	90	1650	1494	1338	1182	1026

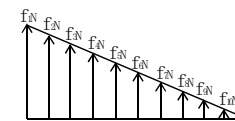
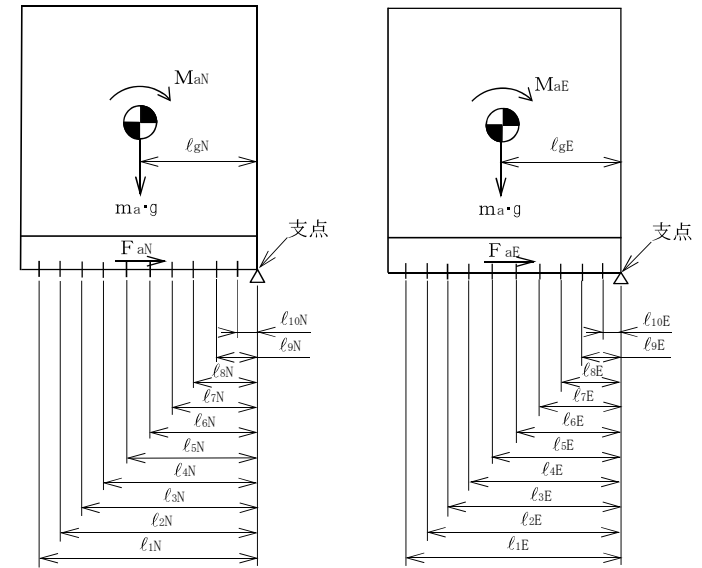
l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{10E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{10N}
870	714	558	246	90	1026	870	36 (M36)	1.018×10^3	47	6	2	2	6	1	6	6	7	4	7

n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}
6	2	2	6	7	1	7	2	8	6

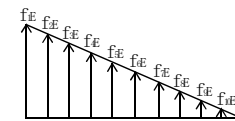
ラック取付 ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
SUS304	188	479	205	205	246

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	4.988×10^5	4.988×10^5	1.132×10^9	1.135×10^9
基準地震動S _s	8.717×10^5	1.169×10^6	1.978×10^9	2.660×10^9



(NS方向)



(EW方向)

S2 補 VI-2-4-2-2 R0

1.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	m_{bt} (kg)	m_{bth} (kg)	m_c (kg)	m_{ct} (kg)	m_{ctb} (kg)	m_d (kg)	m_{dt} (kg)	m_{dth} (kg)	h (mm)	ℓ_{1N} (mm)	ℓ_{2N} (mm)	ℓ_{3N} (mm)	ℓ_{4N} (mm)	ℓ_{1E} (mm)	ℓ_{2E} (mm)	ℓ_{3E} (mm)	ℓ_{4E} (mm)	ℓ_{5E} (mm)	ℓ_{6E} (mm)	ℓ_{7E} (mm)	ℓ_{8E} (mm)	ℓ_{9E} (mm)
共通ベース											195	1538	1334	314	110	5218.25	5049.75	3870.25	3701.75	3429.25	3260.75	2081.25	1912.75	1640.25

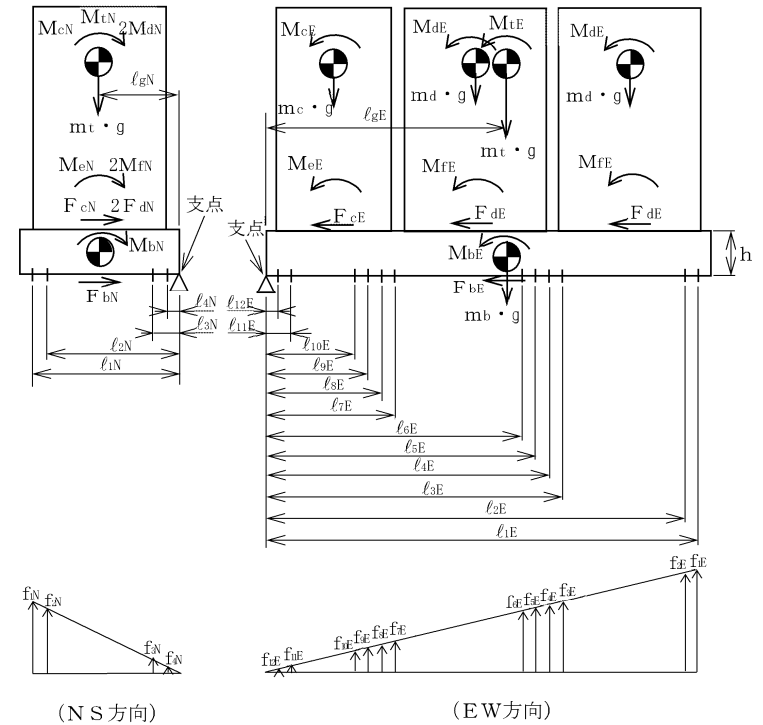
ℓ_{10E} (mm)	ℓ_{11E} (mm)	ℓ_{12E} (mm)	ℓ_{gN} (mm)	ℓ_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}	n_{11E}	n_{12E}	
1471.75	292.25	123.75	830.75	2705.25	39 (M39)	1.195×10^3	48	12	12	12	12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

基礎ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304	188	479	205	205	246

注記*：周囲環境温度(66°C)で算出

地震力の種類	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)	F_{cN} (N)	F_{cE} (N)	F_{dN} (N)	F_{dE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	1.553×10^6	1.553×10^6	4.988×10^5	4.988×10^5	5.024×10^5	5.024×10^5
基準地震動 S_s	2.713×10^6	3.639×10^6	8.717×10^5	1.169×10^6	8.779×10^5	1.177×10^6

M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)	M_{cN} (N・mm)	M_{cE} (N・mm)	M_{dN} (N・mm)	M_{dE} (N・mm)
4.798×10^6	4.798×10^6	1.132×10^9	1.135×10^9	1.140×10^9	1.142×10^9
8.385×10^6	1.124×10^7	1.978×10^9	2.660×10^9	1.991×10^9	2.675×10^9



1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
143体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張り σ_x	13	5	28	11
		引張り σ_y	3	23	6	55
		せん断 τ_{xy}	24	33	50	72
		組合せ σ_{fa}	42	61	89	134

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
143体ラック	SUS304L	引張り σ_x	6	8	11	17
		引張り σ_y	26	31	55	72
		せん断 τ_{xy}	3	5	6	11
		組合せ σ_{fa}	25	29	51	68

1.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
143体ラック	SUS304	引張り σ_b	21	28	49	83
		せん断 τ_b	11	11	19	25

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
共通ベース	SUS304	引張り σ_b	66	11	141	67
		せん断 τ_b	27	27	48	64

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

ラック	方向	固有周期
143 体ラック	水平方向	
	鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張り	$\sigma_x = 5$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 11$	$f_t = 246$
		引張り	$\sigma_y = 23$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 55$	$f_t = 246$
		せん断	$\tau_{xy} = 33$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 72$	$f_s = 142$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 61$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 134$	$f_t = 246$

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304L	引張り	$\sigma_x = 8$	$f_t = 175$	$\sigma_x = 17$	$f_t = 210$
		引張り	$\sigma_y = 31$	$f_t = 175$	$\sigma_y = 72$	$f_t = 210$
		せん断	$\tau_{xy} = 5$	$f_s = 101$	$\tau_{xy} = 11$	$f_s = 121$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 29$	$f_t = 175$	$\sigma_{fa} = 68$	$f_t = 210$

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304	引張り	$\sigma_b = 28$	$f_{ts} = 153^*$	$\sigma_b = 83$	$f_{ts} = 184^*$
		せん断	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 25$	$f_{sb} = 142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張り	$\sigma_b = 66$	$f_{ts} = 153^*$	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 180^*$
		せん断	$\tau_b = 27$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL. 30.83 (EL. 30.5 ^{*1})		0.05 以下	—	—	C _H =1.73 ^{*2}	C _H =2.32 ^{*2}	C _V =1.73 ^{*2}	—	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

2.2.1 機器諸元

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
板	ボロン添加 ステンレス鋼板			0.3
シートプレート	SUS304L		191000	0.3
ラックベース	SUS304L		191000	0.3

注記*: ボロン添加量 における実験値

2.2.2 板, シートプレート, ラックベース

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	171 *	441 *	205 *	—	230
シートプレート	SUS304L	145	408	175	—	195
ラックベース	SUS304L	145	408	175	—	195

注記*: ボロン添加ステンレス鋼板の S_y, S_u の値は, SUS304 の規格値を上回っているが, 安全側の評価とするため, SUS304 の値を使用する。

2.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m_a (kg)	$m_{a\ t\ h}$ (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{10N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)
143体ラック						1962	1806	1650	1494	1338	1182	870	558	246	90	1650	1494	1338	1182	1026

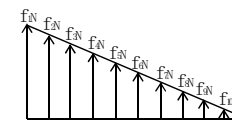
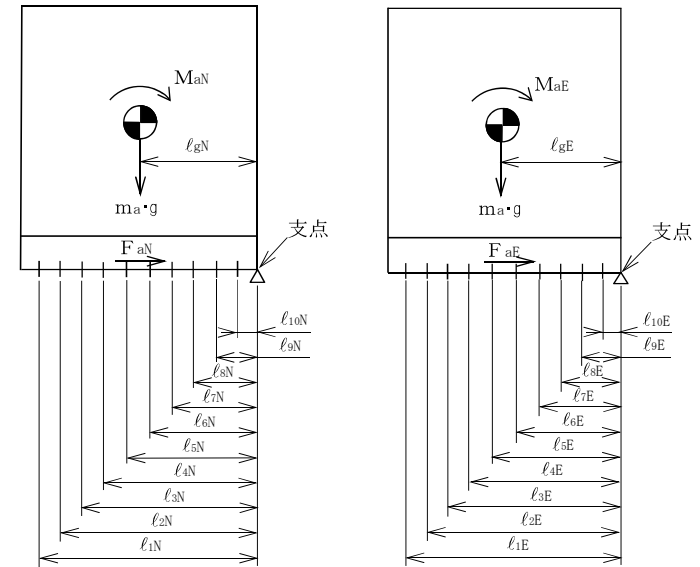
l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{10E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{10N}
870	714	558	246	90	1026	870	36 (M36)	1.018×10^3	47	6	2	2	6	1	6	6	7	4	7

n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}
6	2	2	6	7	1	7	2	8	6

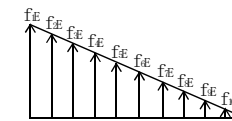
ラック取付 ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
SUS304	171	441	205	—	230

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)
弾性設計用地震動S _d 又は静的震度	—	—	—	—
基準地震動S _s	8.717×10^5	1.169×10^6	1.978×10^9	2.660×10^9



(NS方向)



(EW方向)

S2 補 VI-2-4-2-2 R0

2.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	m_{bt} (kg)	m_{bth} (kg)	m_c (kg)	m_{ct} (kg)	m_{cth} (kg)	m_d (kg)	m_{dt} (kg)	m_{dth} (kg)	h (mm)	ℓ_{1N} (mm)	ℓ_{2N} (mm)	ℓ_{3N} (mm)	ℓ_{4N} (mm)	ℓ_{1E} (mm)	ℓ_{2E} (mm)	ℓ_{3E} (mm)	ℓ_{4E} (mm)	ℓ_{5E} (mm)	ℓ_{6E} (mm)	ℓ_{7E} (mm)	ℓ_{8E} (mm)	ℓ_{9E} (mm)
共通ベース											195	1538	1334	314	110	5218.25	5049.75	3870.25	3701.75	3429.25	3260.75	2081.25	1912.75	1640.25

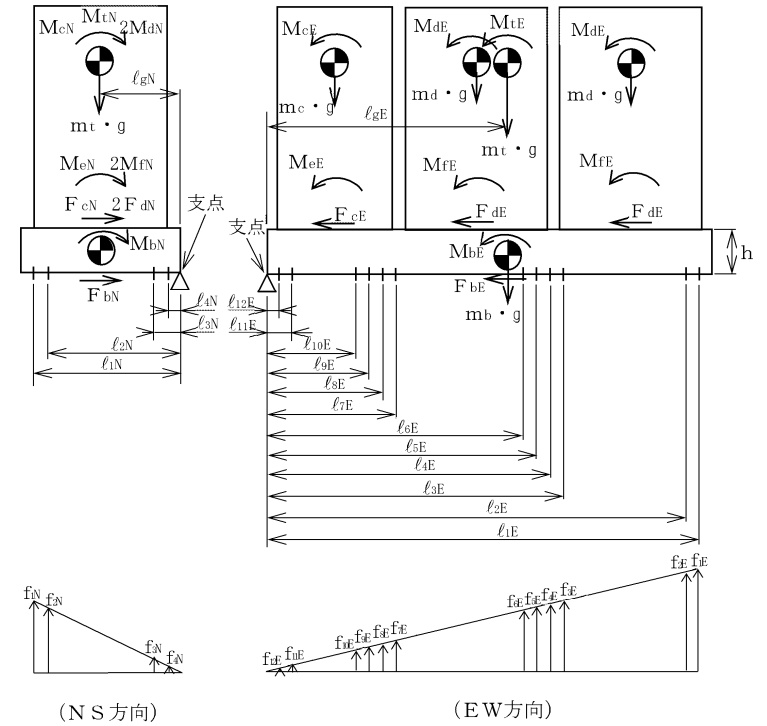
ℓ_{10E} (mm)	ℓ_{11E} (mm)	ℓ_{12E} (mm)	ℓ_{gN} (mm)	ℓ_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}	n_{11E}	n_{12E}	
1471.75	292.25	123.75	830.75	2705.25	39 (M39)	1.195×10^3	48	12	12	12	12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

基礎ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304	171	441	205	—	230

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出

地震力の種類	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)	F_{cN} (N)	F_{cE} (N)	F_{dN} (N)	F_{dE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—	—	—
基準地震動 S_s	2.713×10^6	3.639×10^6	8.717×10^5	1.169×10^6	8.779×10^5	1.177×10^6

M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)	M_{cN} (N・mm)	M_{cE} (N・mm)	M_{dN} (N・mm)	M_{dE} (N・mm)
—	—	—	—	—	—
8.385×10^6	1.124×10^7	1.978×10^9	2.660×10^9	1.991×10^9	2.675×10^9



2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張り σ_x	—	—	28	11
		引張り σ_y	—	—	6	55
		せん断 τ_{xy}	—	—	50	72
		組合せ σ_{fa}	—	—	89	134

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
143 体ラック	SUS304L	引張り σ_x	—	—	11	17
		引張り σ_y	—	—	55	72
		せん断 τ_{xy}	—	—	6	11
		組合せ σ_{fa}	—	—	51	68

2.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
143 体ラック	SUS304	引張り σ_b	—	—	49	83
		せん断 τ_b	—	—	19	25

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
共通ベース	SUS304	引張り σ_b	—	—	141	67
		せん断 τ_b	—	—	48	64

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

ラック	方向	固有周期
143 体ラック	水平方向	
	鉛直方向	0.05 以下

2.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張り	—	—	$\sigma_x = 11$	$f_t = 230$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 55$	$f_t = 230$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 72$	$f_s = 132$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 134$	$f_t = 230$

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304L	引張り	—	—	$\sigma_x = 17$	$f_t = 195$
		引張り	—	—	$\sigma_y = 72$	$f_t = 195$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 11$	$f_s = 112$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 68$	$f_t = 195$

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 83$	$f_{ts} = 172^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 25$	$f_{sb} = 132$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

(3) 基礎ボルトに生じる応力

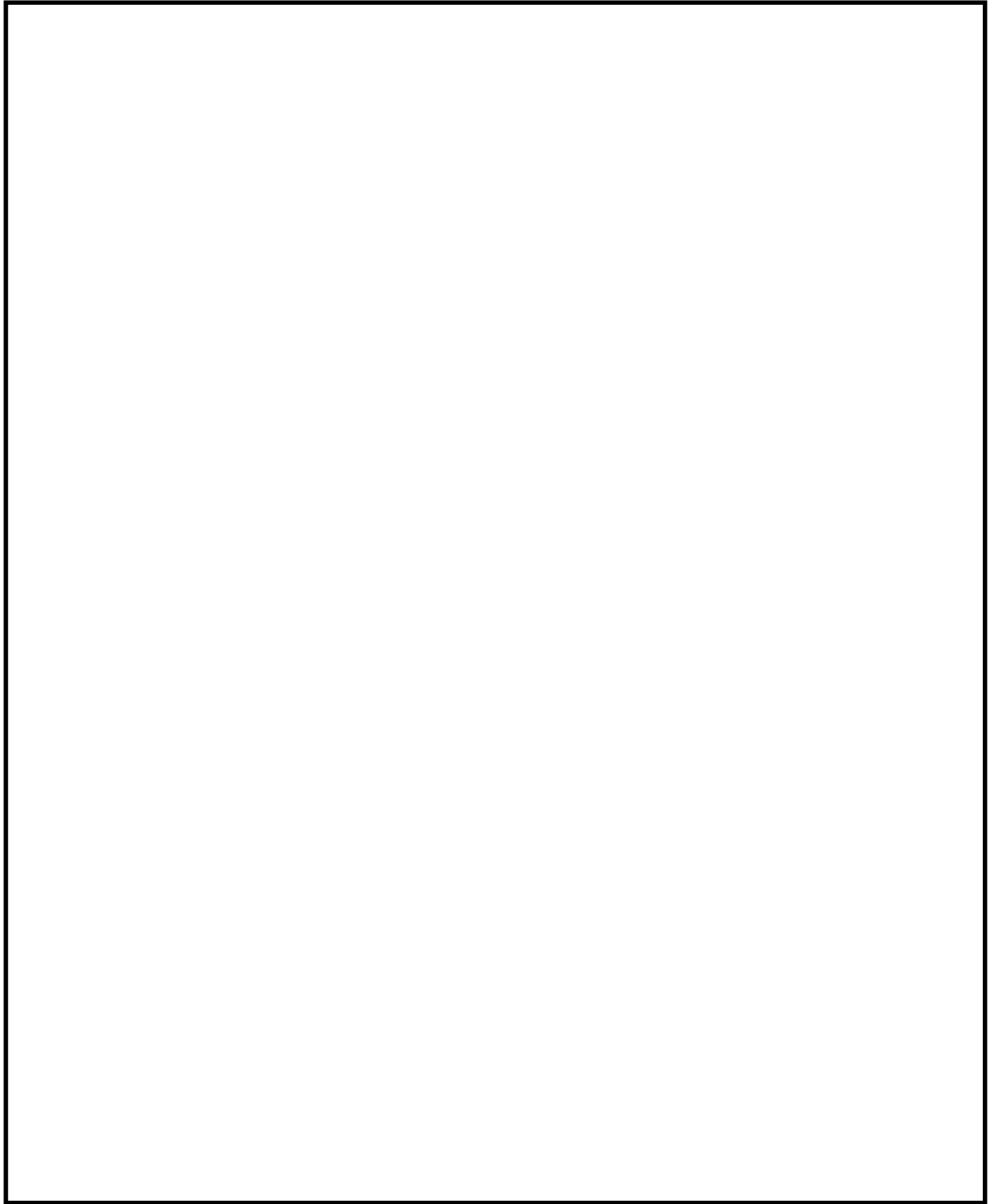
(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 132$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

別添 解析モデルの寸法



付図1 解析モデルの寸法 (143体ラック)

VI-2-4-3 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1 燃料プール冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	21
5.5 計算条件	33
5.6 応力の評価	33
6. 評価結果	35
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	35
7. 引用文献	35

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、燃料プール冷却系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

燃料プール冷却系熱交換器は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却系熱交換器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を2個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>水室側に鏡板，胴側に平板を有する横置一胴円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

燃料プール冷却系熱交換器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料プール冷却系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

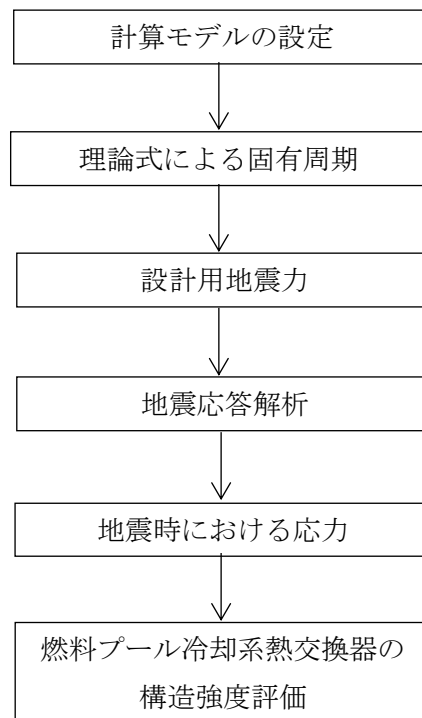


図 2-1 燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—

記号	記号の説明	単位
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
l_0	脚中心間距離	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{\ell1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{0l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

燃料プール冷却系熱交換器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- b. 容器の胴は 2 個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- c. 胴は剛体とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- d. 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。
その他の場合は、固定とする。
- e. 第 2 脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力はすべて第 1 脚で受けるものとする。
- f. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 4-1～図 4-4 に示す。

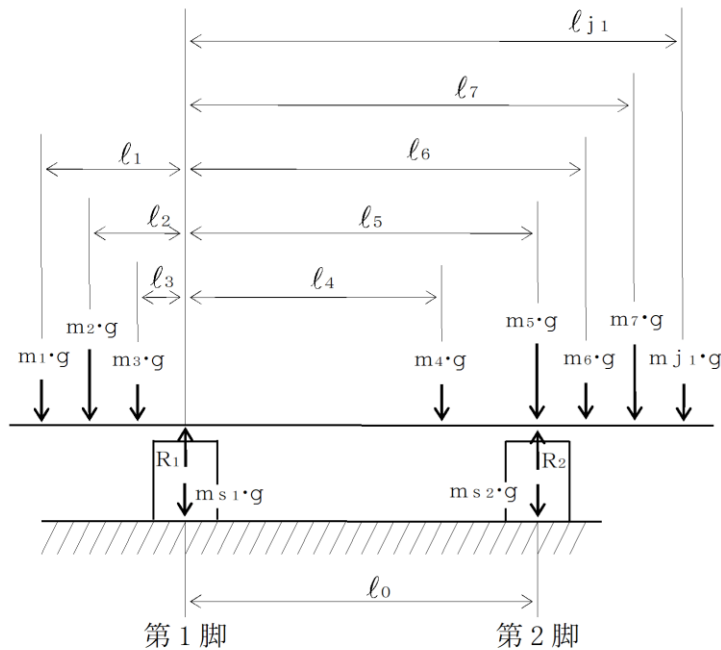


図4-1 荷重状態

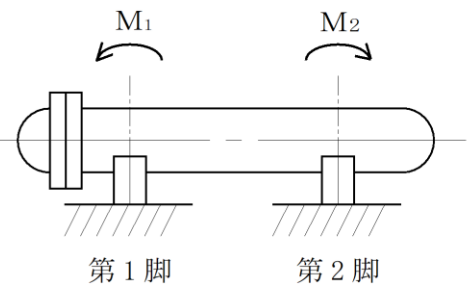


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

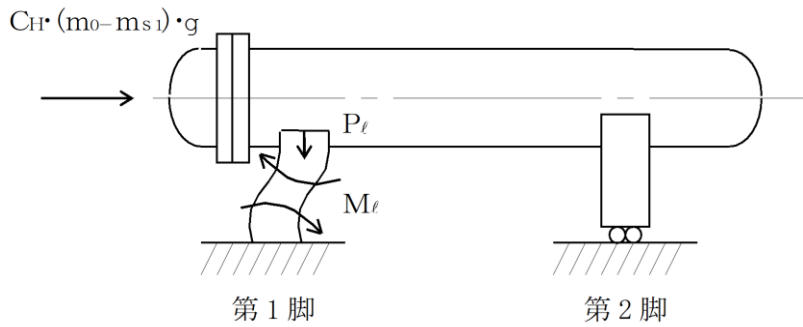


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

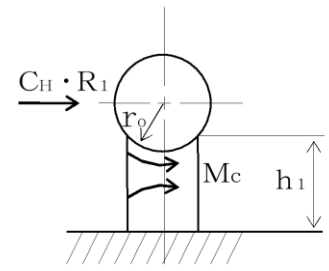


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

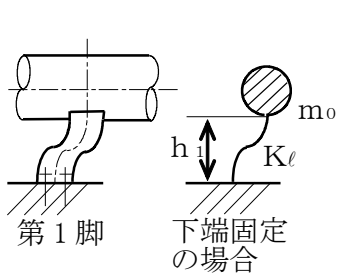


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

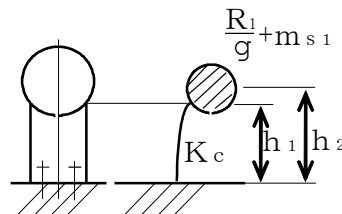


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

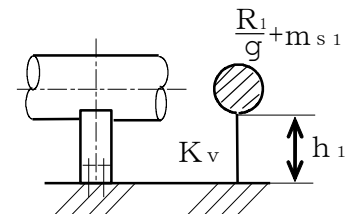


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平			
鉛直			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項a.～f.のほか、次の条件で計算する。概要図を図5-1に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

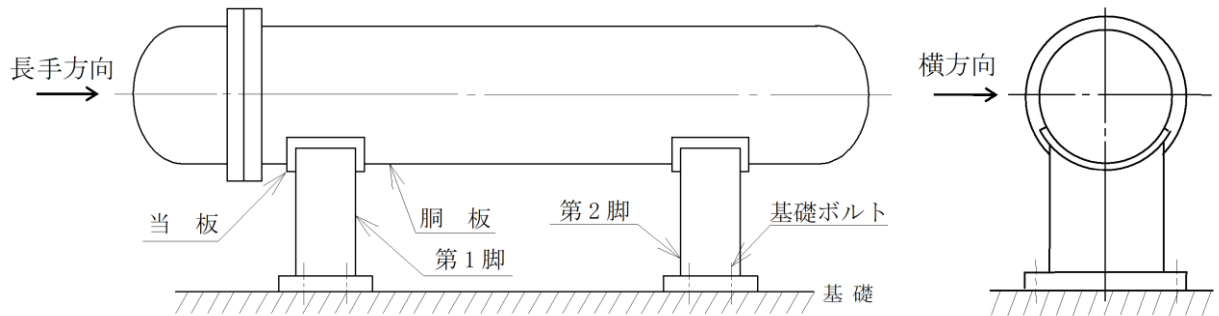


図5-1 概要図

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

燃料プール冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2及び表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	燃料プール冷却系熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IVAS	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)				

注記*1：座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張り	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * (V _A SとしてIV _A Sの許容限界 を用いる。)	1.5・f _t * 	1.5・f _s *
V _A S			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	100				
胴	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	100	—	221	373	—
脚	SM41A ^{*1} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使用温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS41 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

注記 *1 : SM400A 相当

*2 : SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	C _H =2.07 ^{*2}	C _V =2.39 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算における水平方向と鉛直方向の組合せについて、SRSS法を用いる。

5.4.1.1 胴の計算方法

(1) 曲げモーメント

図4-1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4-2において脚付け根部における曲げモーメント M_1 及び M_2 は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |l_i| \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j_1-j_3+1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |l_i - l_0| \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5-2に 2θ で示される円殻である。したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

ここで,

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

であり、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さとする。

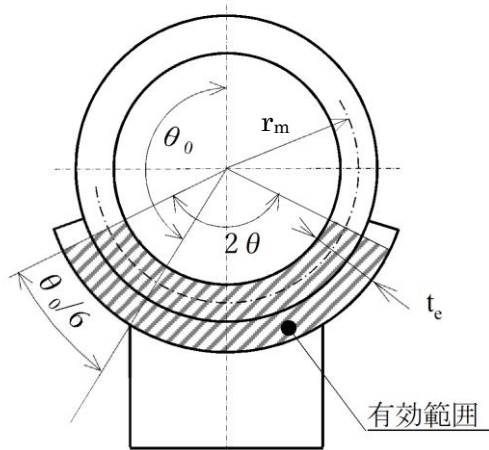


図5-2 脚付け根部の有効範囲

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

一次応力のうち、周方向応力 $\sigma_{\phi 3}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 3}$ は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力 P を入力し、FEM解析により求める。

一次応力のうち、周方向応力 $\sigma_{\phi 71}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 71}$ 並びに二次応力のうち、周方向応力 $\sigma_{\phi 72}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 72}$ は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力 P_e を入力し、FEM解析により求める。

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

$$P_{\ell} = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

一次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 411}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 411}$ 並びに二次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 421}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 421}$ は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメント M_{ℓ} を入力し，FEM解析により求める。

一次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 412}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 412}$ 並びに二次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 422}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 422}$ は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに鉛直荷重 P_{ℓ} を入力し，FEM解析により求める。

また，水平方向荷重により胴には，次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

したがって，曲げモーメント M_{ℓ} ，鉛直荷重 P_{ℓ} 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

また，長手方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は， R_1 を R_2 に置き換える。

横方向地震が作用した場合，第1脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

一次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 51}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 51}$ 並びに二次応力のうち，周方向応力 $\sigma_{\phi 52}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 52}$ は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメント M_c を入力し，FEM解析により求める。

また，横方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{ol} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{ol\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{olx}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

ここで,

$$\sigma_{ol\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{olx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x6}^2 + \sigma_{x413}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{oc} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{oc\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{ocx}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

ここで,

$$\sigma_{oc\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{ol}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{oc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 41}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{\sigma_{x 51}^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{1c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

とする。

- c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値
鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2}$$

..... (5.4.1.1.37)

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2}$$

..... (5.4.1.1.38)

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x 41} + \sigma_{x 42})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2}$$

..... (5.4.1.1.39)

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2}$$

..... (5.4.1.1.40)

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2}$$

..... (5.4.1.1.41)

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x 51} + \sigma_{x 52})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2}$$

..... (5.4.1.1.42)

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \}$$

..... (5.4.1.1.43)

とする。

5.4.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

とする。

5.4.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

鉛直荷重は

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

とする。

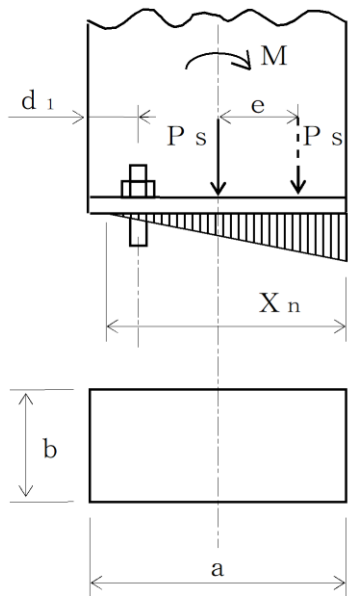


図5-3 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

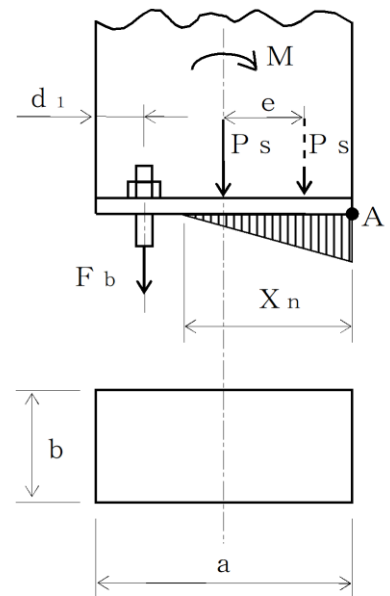


図5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図5-3のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-4のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

のとき、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-4において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 R_1 を R_2 に置き換える。

a. 引張応力

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして引張応力は求められるが、 M を M_{c1} 、 P_s を P_{s1} 、 d_1 を d_2 、 a を b 、 b を a 及び n_1 を n_2 に置き換え、得られた基礎ボルトの応力を σ_{b2} とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.12)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.3.13)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.3.14)$$

5.4.2 解析モデル及び緒元

燃料プール冷却系熱交換器の解析モデルを図 5-5 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の緒元を本計算書【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

- (1) 燃料プール冷却系熱交換器の胴について、脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化した F E M モデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、胴の両端部を完全拘束とする。なお、脚は剛体とし、規格式により得られた荷重及びモーメントを脚に入力することで、胴の応力のうち脚付け根部の応力を F E M 解析により求める。荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方向を図 5-6 に示す。
- (3) 解析コードは「S i m c e n t e r N a s t r a n」を使用し、胴の応力のうち脚付け根部の応力を F E M 解析により求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については VI-5 「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

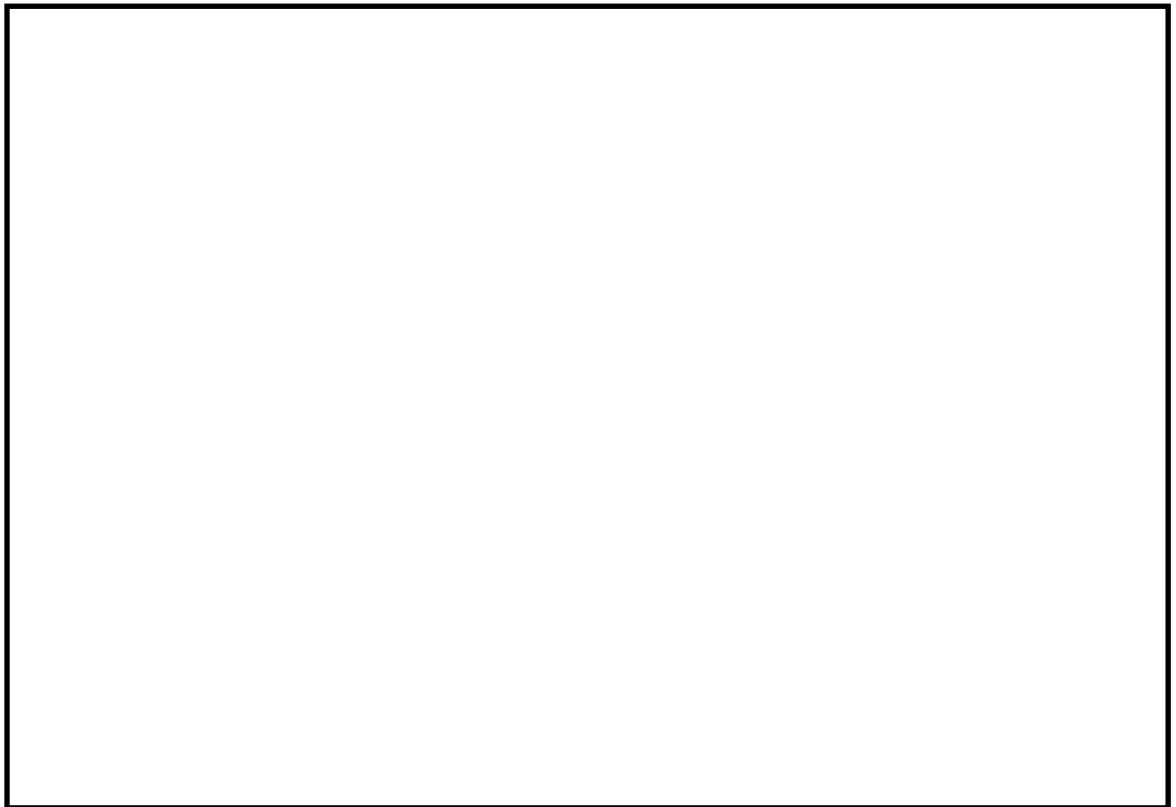


図 5-5 解析モデルの概要

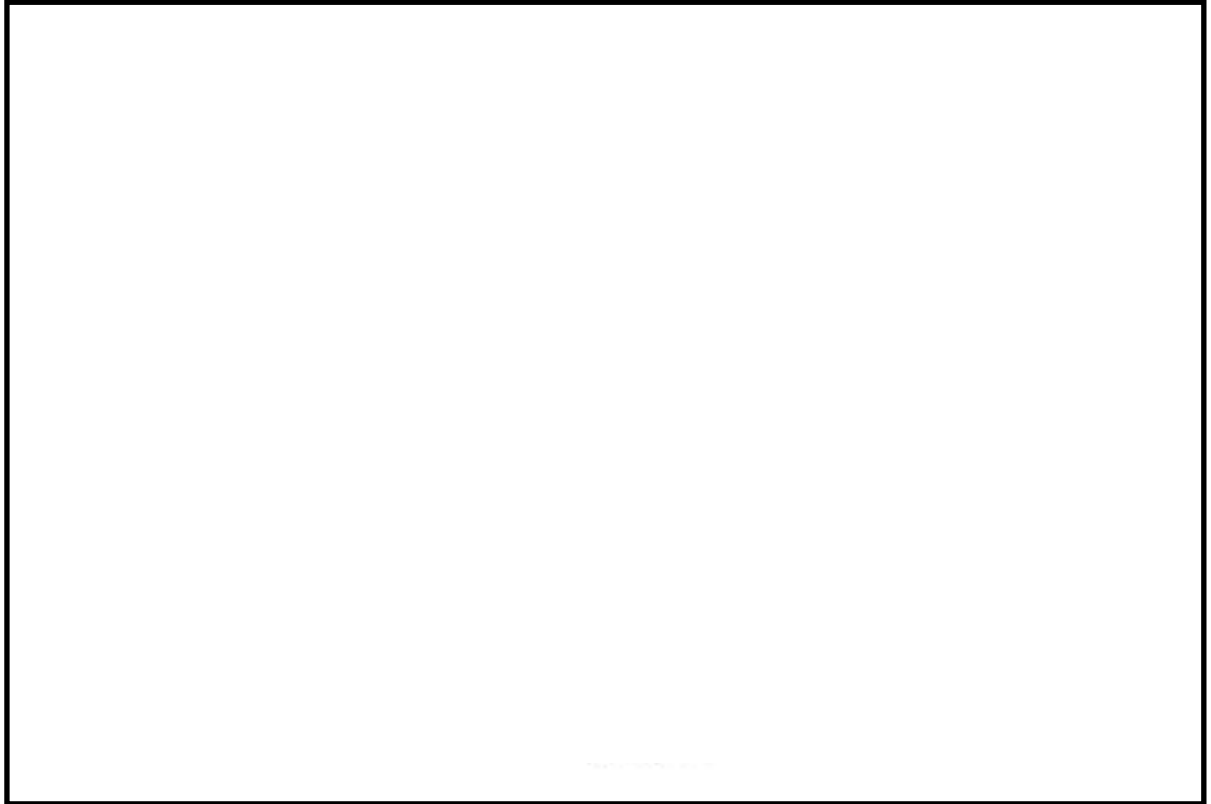


図 5-6 荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方向

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a
	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲労解析は不要とする。

5.6.2 脚の応力評価

5.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却系 熱交換器	常設耐震/防止	原子炉建物 EL 34.8*1			—	—	$C_H=2.07^{*2}$	$C_V=2.39^{*2}$	1.37	100	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

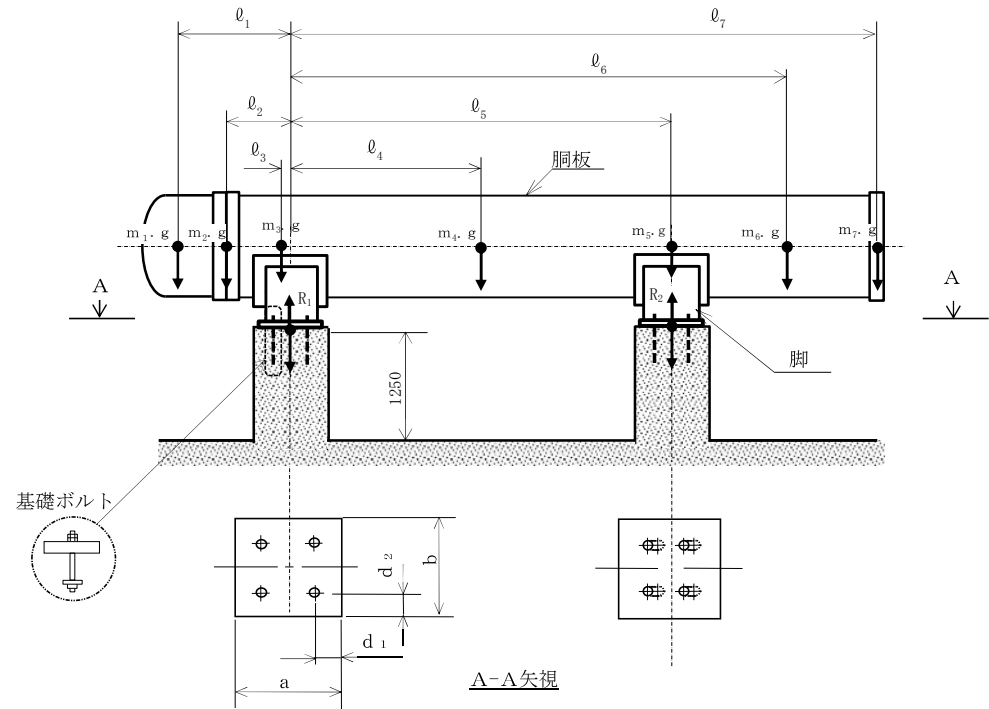
*2: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

l_1 (mm)	l_2 (mm)	l_3 (mm)	l_4 (mm)	l_5 (mm)	l_6 (mm)	l_7 (mm)
700	450	0	1350	2700	3520	4040

M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)
4.643×10^6	7.769×10^6	2.219×10^4	2.489×10^4



m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
			650	9.0	9.0	2700	345	550

I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
1.156×10^9	1.147×10^9	4.205×10^6	5.734×10^6	2.211	1.299

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
4.500×10^4	198000	76100	2.000×10^4	2.750×10^4	1.481×10^4	2.037×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
9.13	4	2	2	450	600	30 (M30)	594	115	75

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
221	373	212	373	254	212	373	254

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=42$	—	$\sigma_{x 6}=42$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=6$	—	—
組合せ応力		—		—		$\sigma_{0 \ell}=85$		$\sigma_{0 c}=85$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=18$	—	$\sigma_{x 2}=18$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=42$	—	$\sigma_{x 6}=42$
運転時質量による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=7$	$\sigma_{x 3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=7$	$\sigma_{x 3}=3$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=9$	$\sigma_{x 7 1}=5$	$\sigma_{\phi 7 1}=9$	$\sigma_{x 7 1}=5$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1}=20$	$\sigma_{x 4 1 1}=5$	$\sigma_{\phi 5 1}=32$	$\sigma_{x 5 1}=9$
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 2}=7$	$\sigma_{x 4 1 2}=2$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=14$		$\tau_c=5$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{1 \ell}=103$		$\sigma_{1 c}=96$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=42$	—	$\sigma_{x6}=42$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=23$	$\sigma_{x71}=5$ $\sigma_{x72}=28$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=23$	$\sigma_{x71}=5$ $\sigma_{x72}=28$
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=26$	$\sigma_{x41}=12$	$\sigma_{\phi 51}=32$	$\sigma_{x51}=9$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=40$ $\sigma_{\phi 422}=17$	$\sigma_{x421}=33$ $\sigma_{x422}=22$	$\sigma_{\phi 52}=80$	$\sigma_{x52}=60$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=57$	$\sigma_{x42}=54$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_t=14$		$\tau_c=5$	
組合せ応力		—	—	—	$\sigma_{2t}=215$		$\sigma_{2c}=235$		

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=4$	$\sigma_{s3}=8$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=7$	$\tau_{s3}=3$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{st}=13$	$\sigma_{sc}=10$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=65$	$\sigma_{b2}=69$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=41$	$\tau_{b2}=23$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
銅板	SM41A *1 (厚さ ≤ 16mm)	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 85$	$S_a = 223$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 103$	$S_a = 334$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 235$	$S_a = 442$
脚	SM41A *1 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 13$	$f_t = 254$
基礎ボルト	SS41 *2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	引張り	—	—	$\sigma_b = 69$	$f_{ts} = 190^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 41$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記 *1: SM400A 相当

*2: SS400 相当

*3: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
縦弾性係数	E	MPa	198000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	4321
節点数	—	個	4328

VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	23
3.5 設計用地震力	24
4. 解析結果及び評価	25
4.1 固有周期及び設計震度	25
4.2 評価結果	37
4.2.1 管の応力評価結果	37
4.2.2 支持構造物評価結果	39
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	40
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	41

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

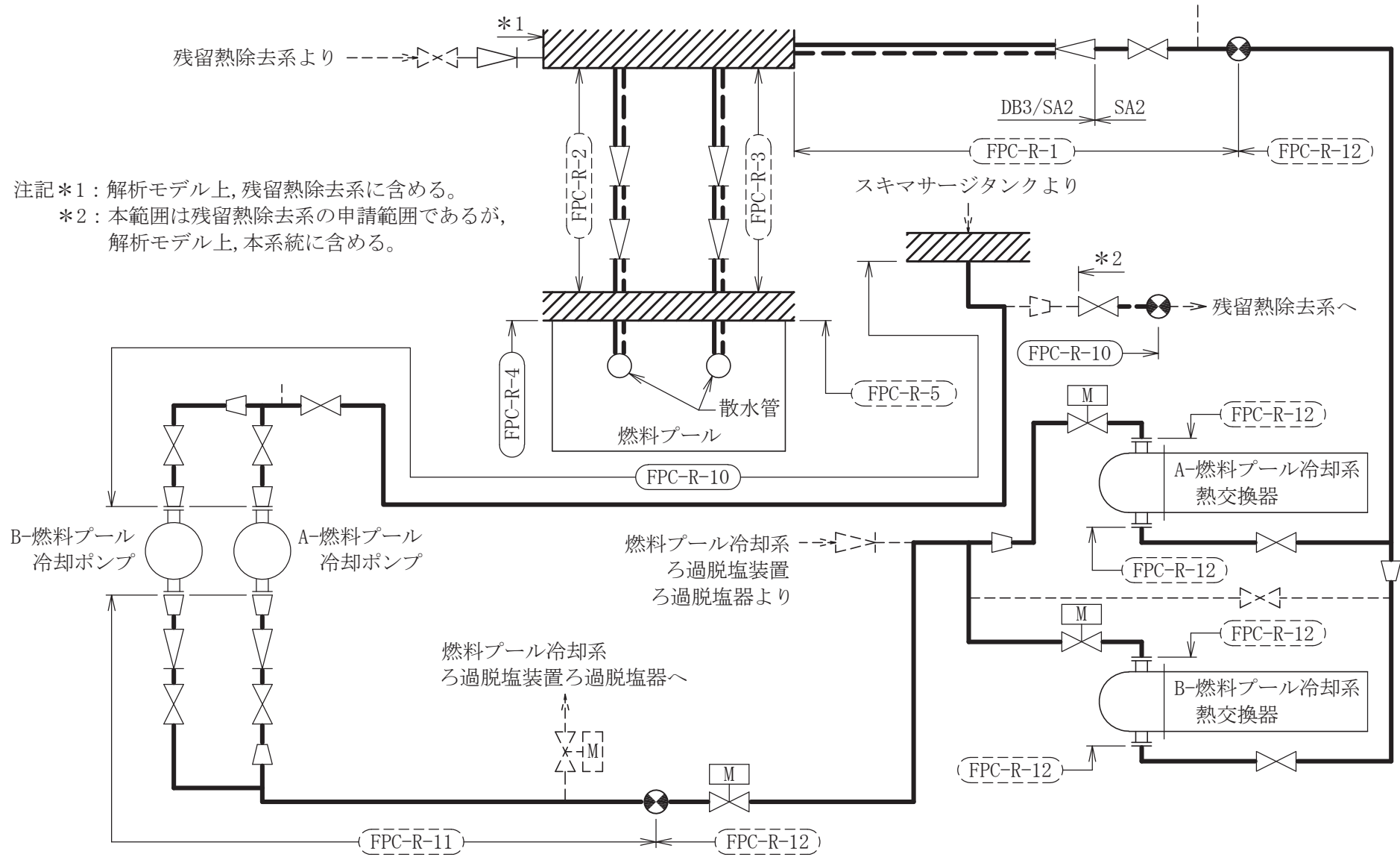
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



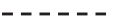


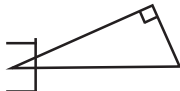


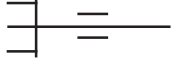
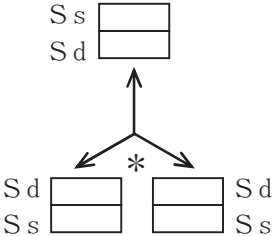

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

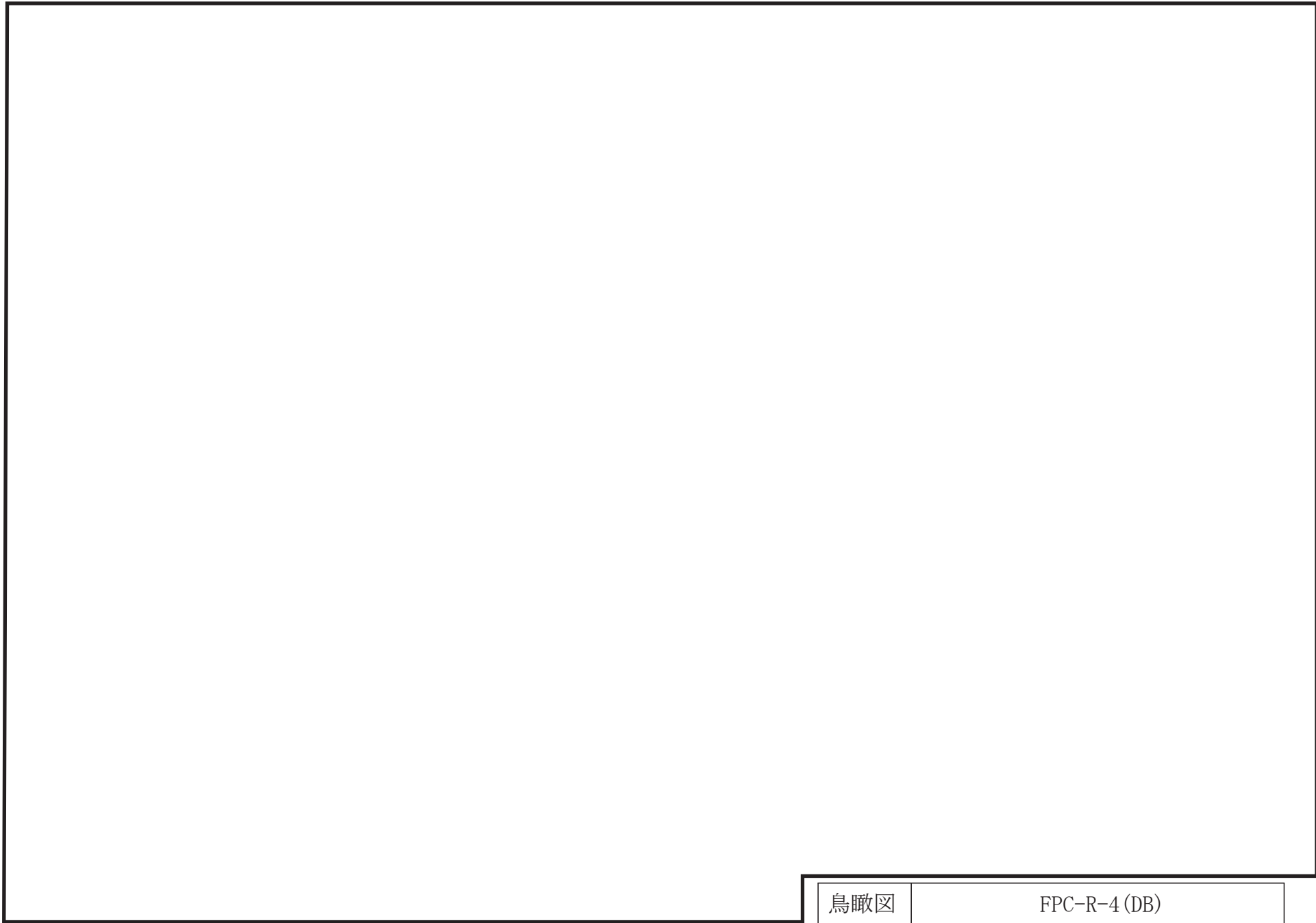


燃料プール冷却系概略系統図

2.2 鳥瞰図

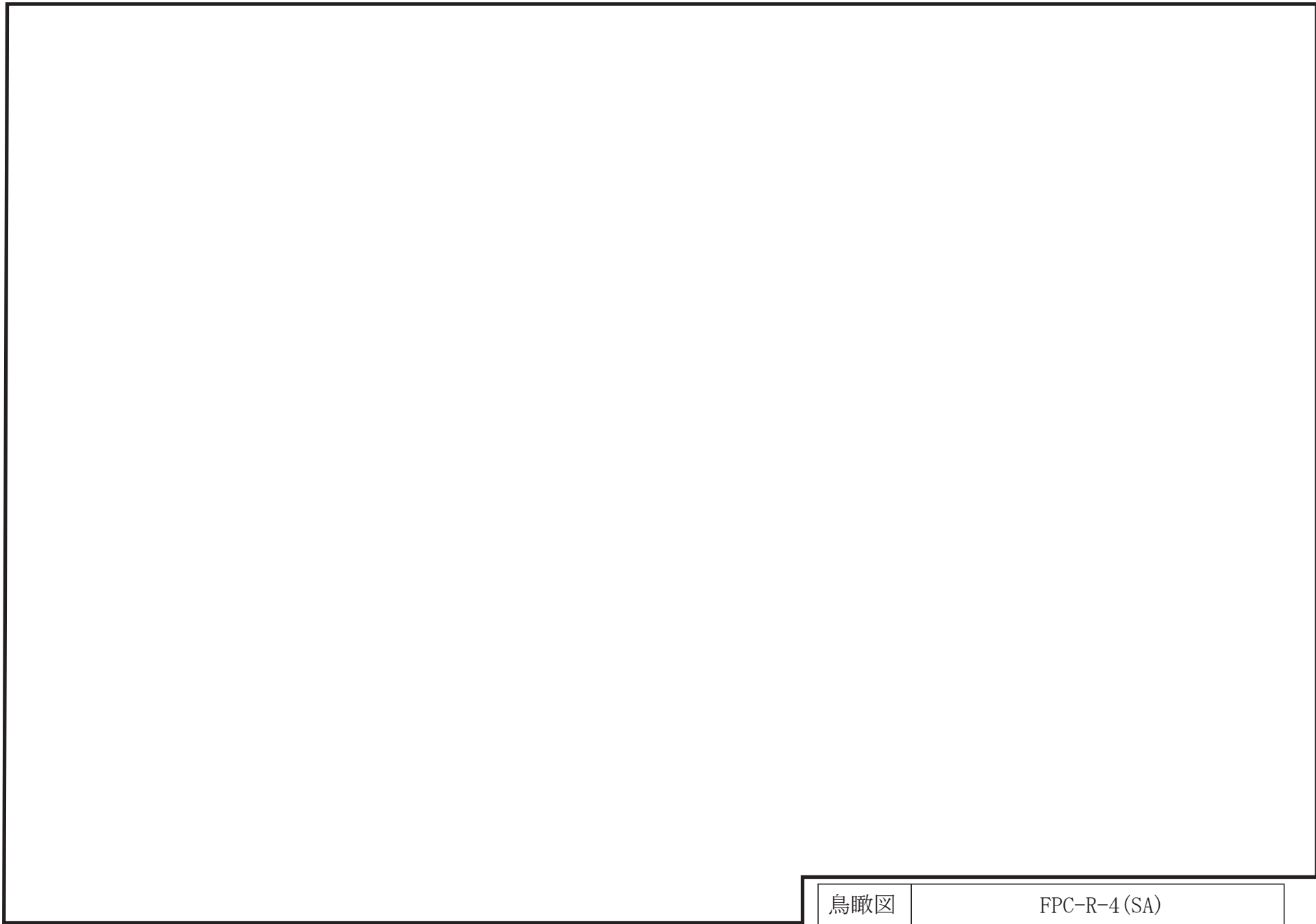
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s機能維持の範囲はS s地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

FPC-R-4 (DB)



鳥瞰図

FPC-R-4(SA)

7

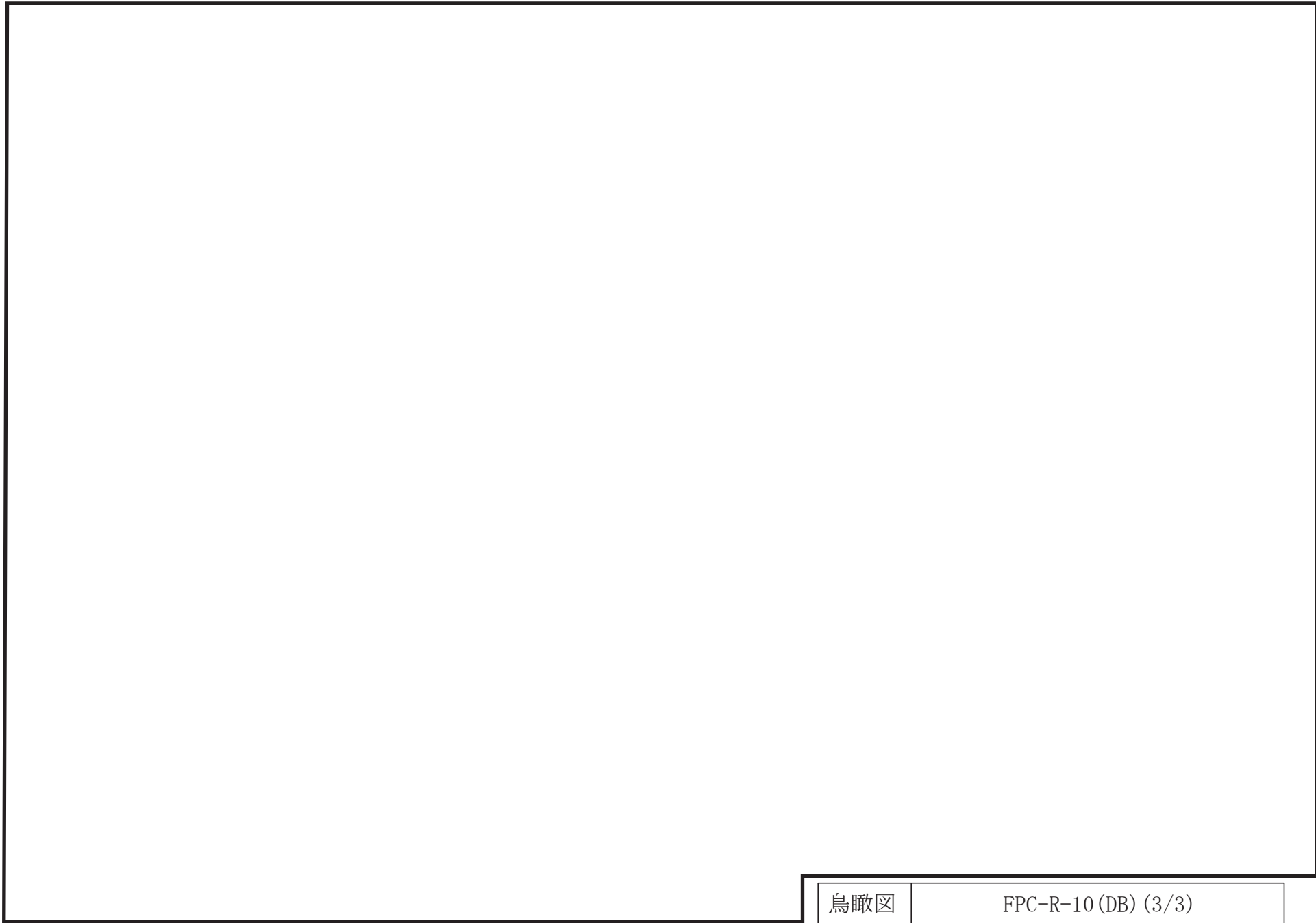
鳥瞰図

FPC-R-10 (DB) (1/3)

∞

鳥瞰図

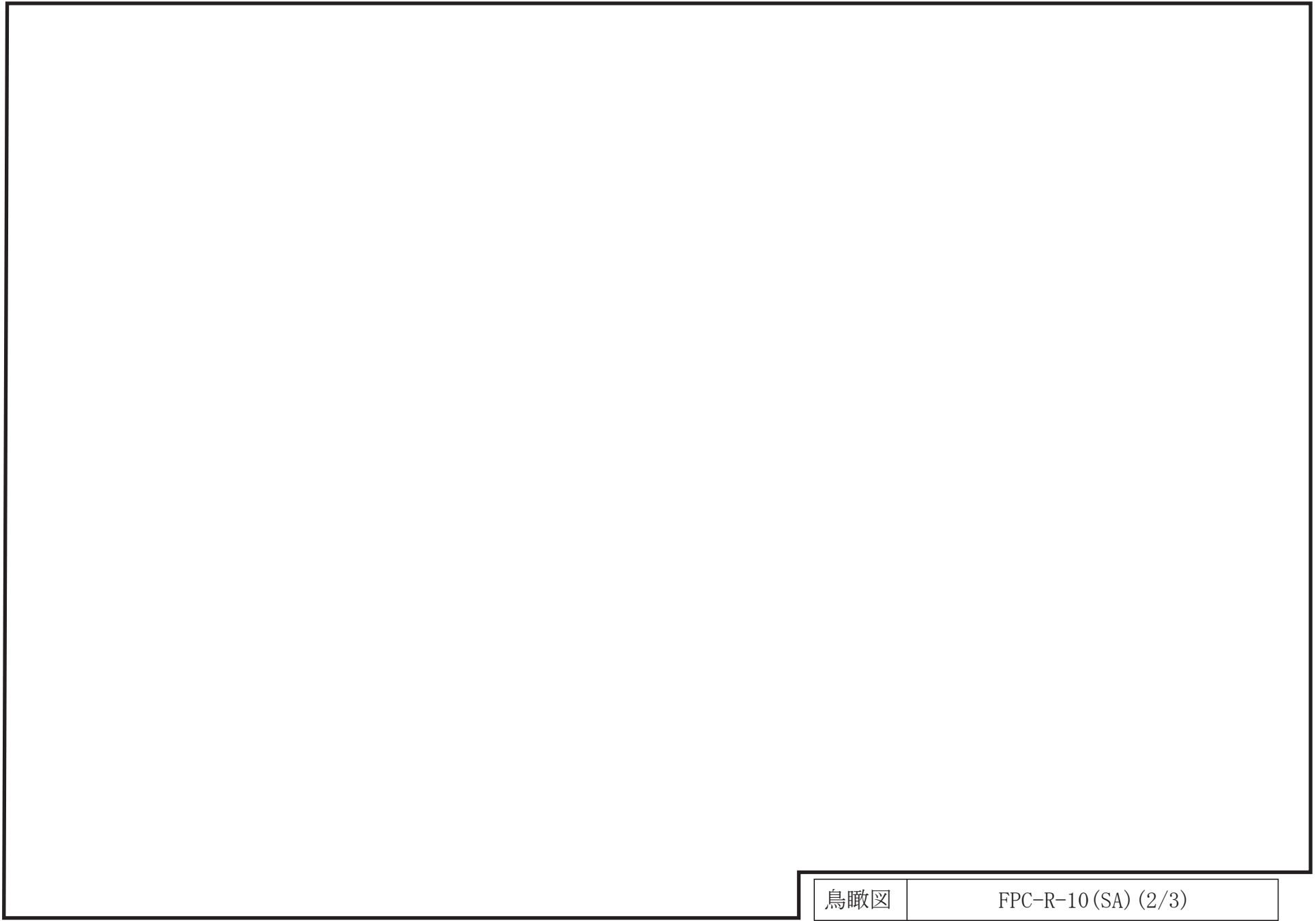
FPC-R-10 (DB) (2/3)



10

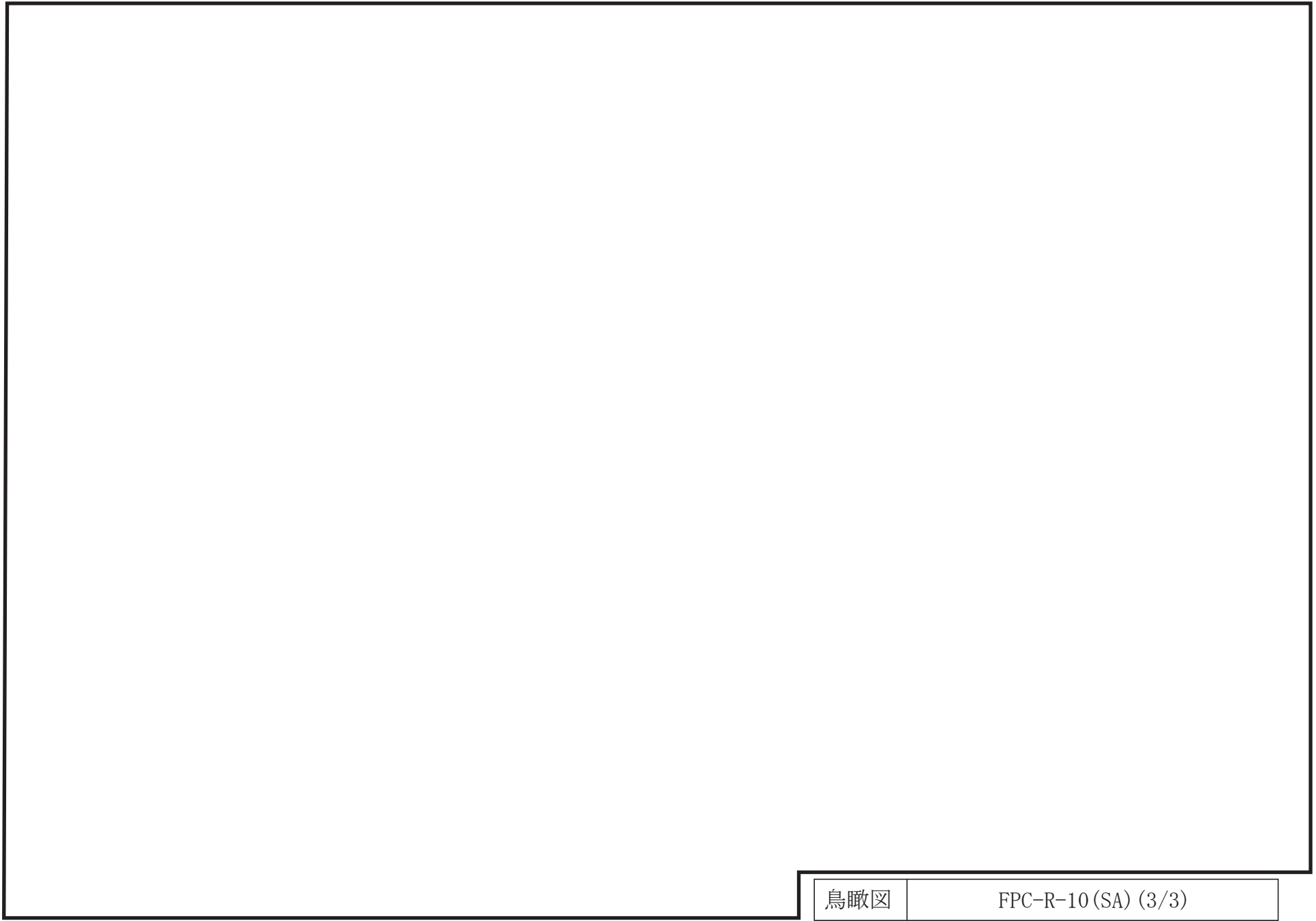
鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (1/3)



鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (2/3)



鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
			SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界を使用し，許容応力状態Ⅳ_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-4

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~12	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	S	193400

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
5						
9						

設計条件


鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-10

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2	1.37	66	216.3	8.2	STPT410	S	200920
2	37~38, 37~62	静水頭	66	318.5	10.3	STPT42	—	200920
3	38~39	静水頭	66	318.5	10.3	SUS304TP	—	192840
4	63~76	1.37	66	318.5	10.3	STPT42	—	200920
5	77~80, 81~89 75~92, 93~101	1.37	66	267.4	9.3	STPT42	—	200920
6	90~91N, 102~103N	1.37	66	216.3	8.2	STPT42	—	200920

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点
	85F, 86F, 97F, 98F
	91N, 103N

弁部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2～3		62～63
	80～81, 92～93		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FPC-R-10

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				62~63			
80~81				92~93			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
39						
49						
** 49 **						
55						
64						
78						
78						
82						
** 82 **						
91N						
94						
** 94 **						
103N						

S2 補 VI-2-4-3-1-3 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	126
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	66	—	231	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
FPC-R-4	原子炉建物		
FPC-R-10	原子炉建物		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-4

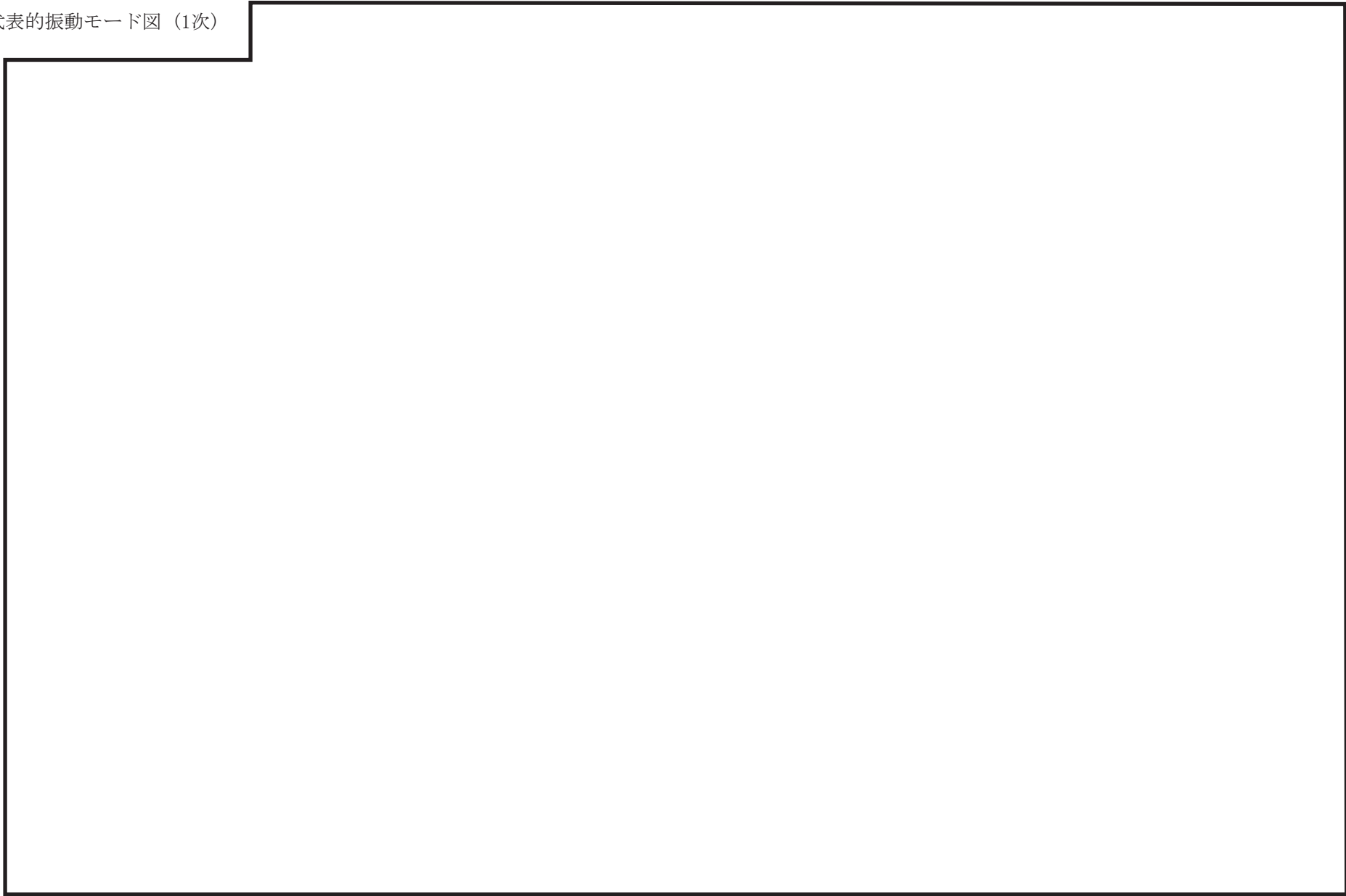
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

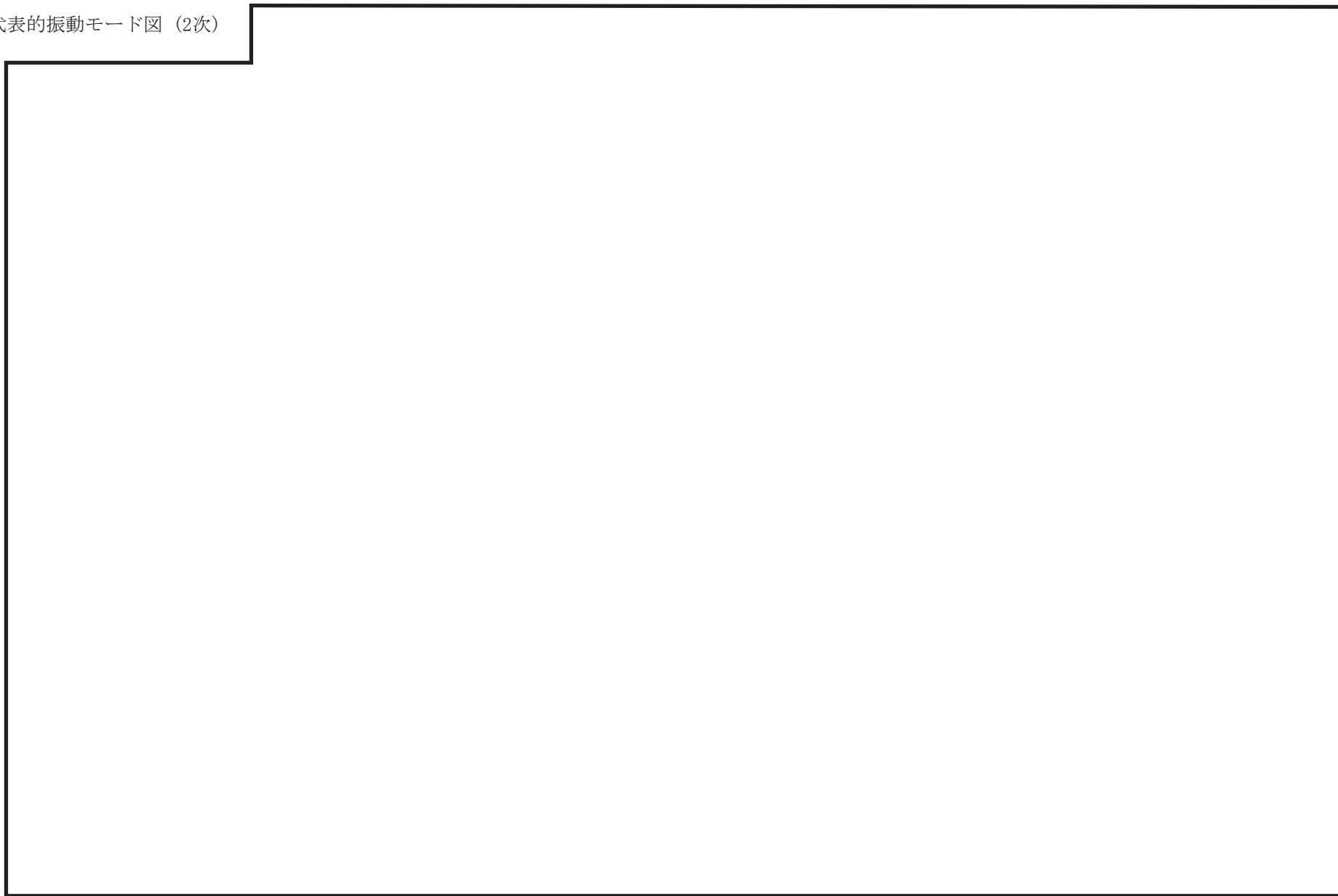
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

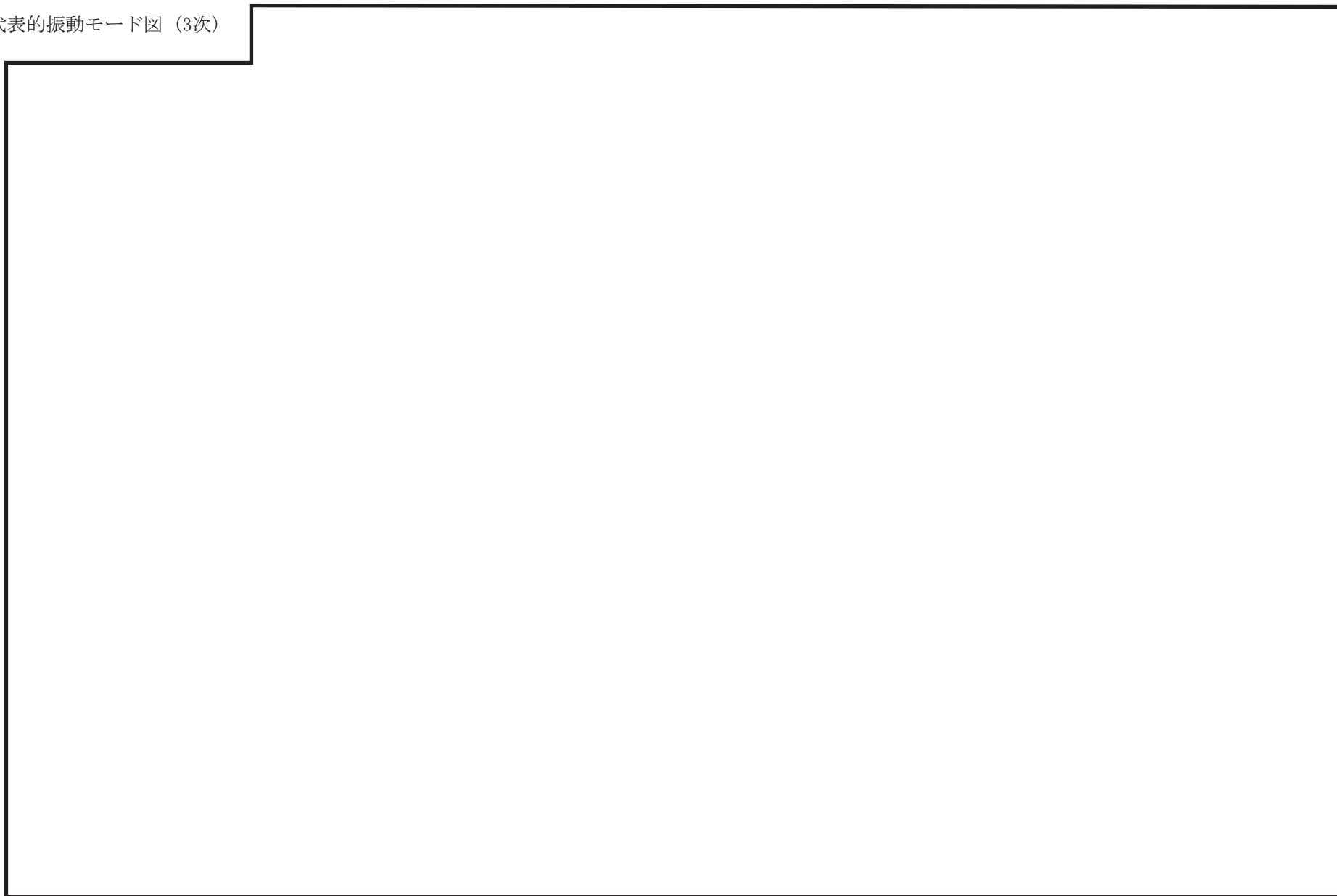


代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

30



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-10

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
13次								
動的震度*4								
静的震度*5								

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

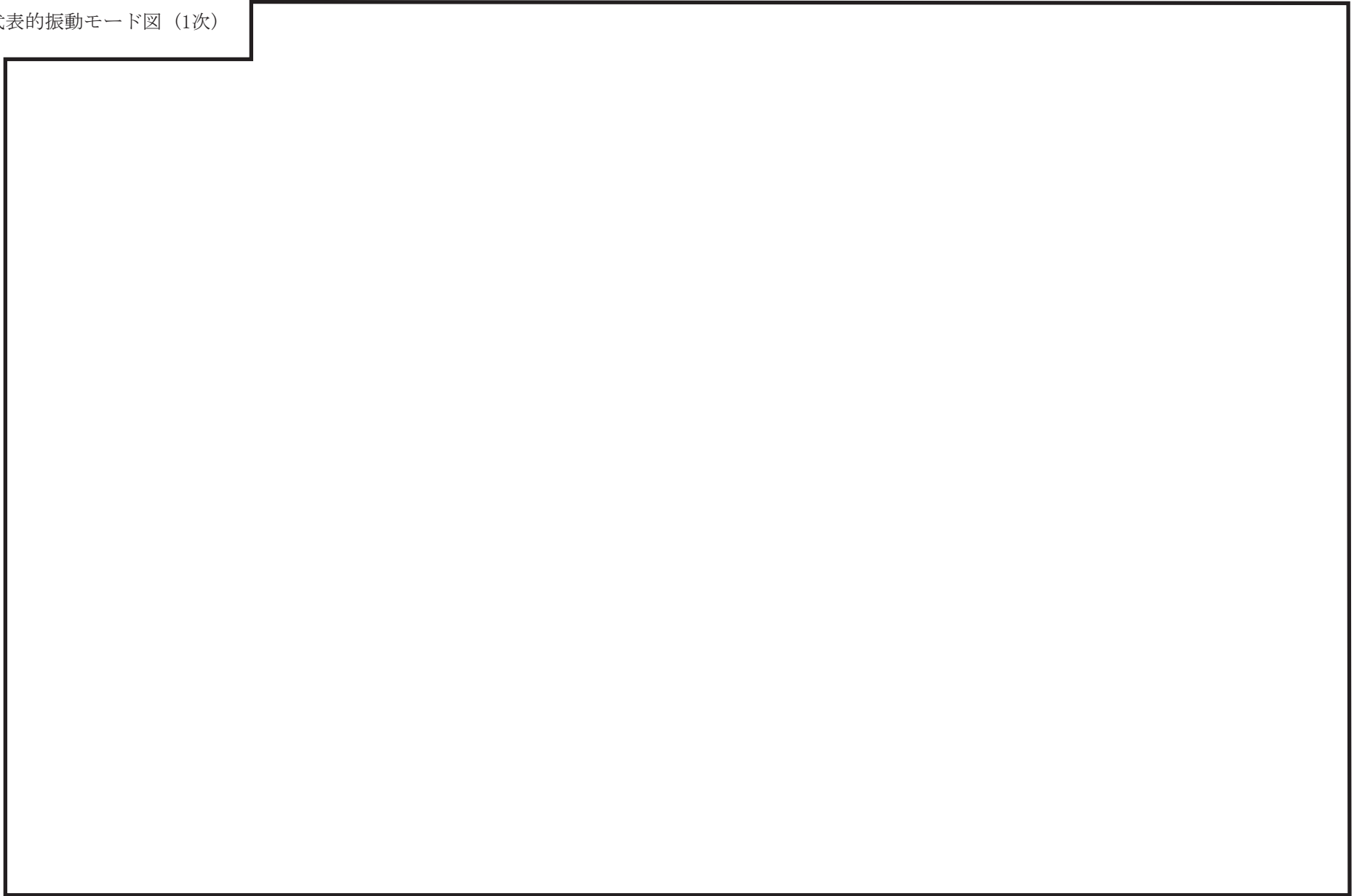
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

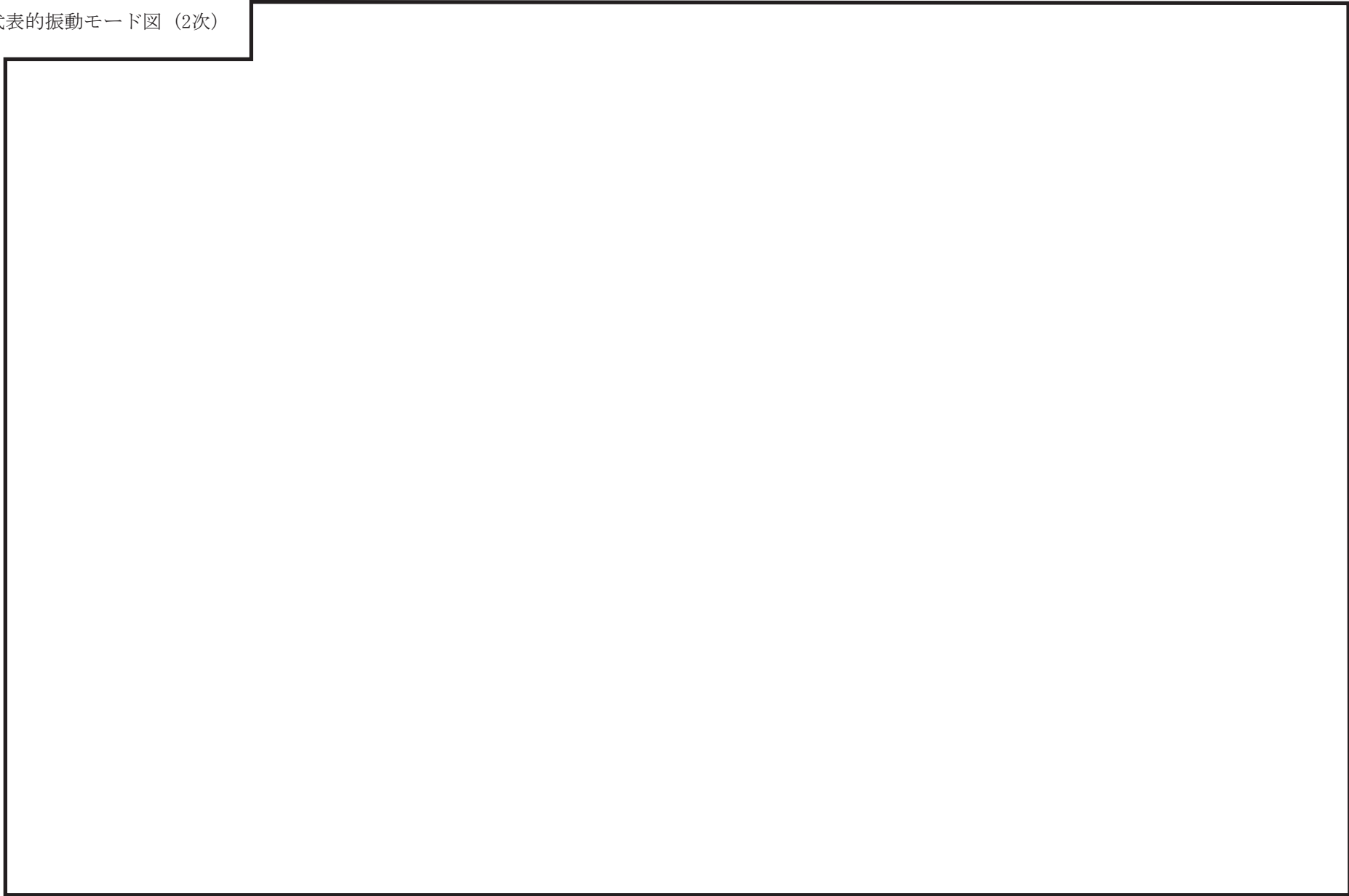
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

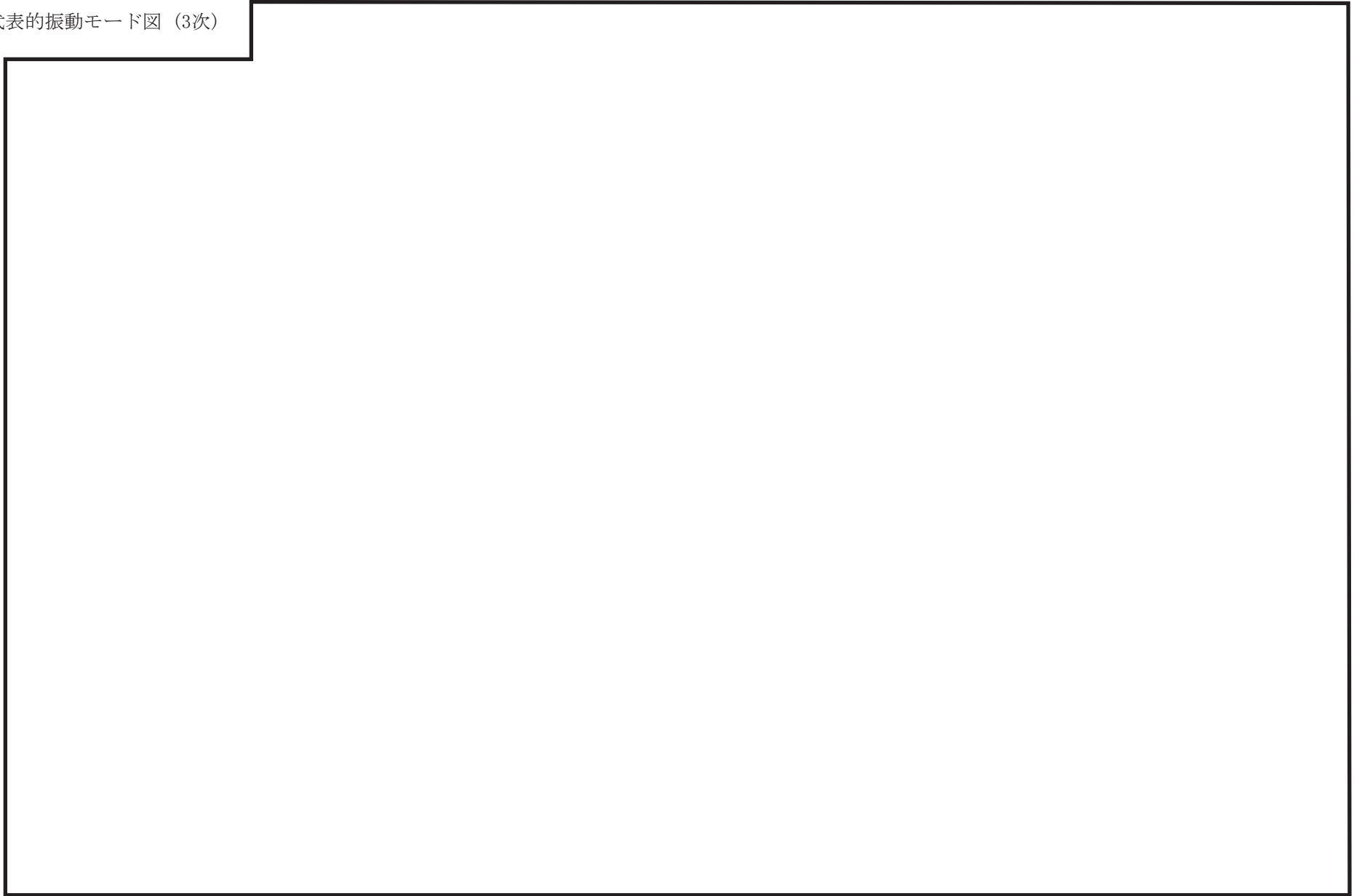


代表的振動モード図 (2次)



35

代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
Ⅲ _A S	一次応力(S_y^{*2})	FPC-R-4	9	103	188	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	FPC-R-4	9	186	376	—
Ⅳ _A S Ⅴ _A S ^{*1}	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	FPC-R-10	1A	192	366	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	FPC-R-10	1A	326	462	—

注記*1：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は，許容応力状態Ⅳ_ASと許容応力状態Ⅴ_ASを包絡した結果を記載する。

*2：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については， S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
V _A S	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	FPC-R-10	90	203	366	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	FPC-R-10	90	377	462	—

注：許容応力状態IV_ASの評価が許容応力状態V_ASの評価に包絡されるため、許容応力状態IV_ASの評価記載を省略する。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—
SNO-FPC-361	オイルスナップ	SN-3			13	45
RE-FPC-387	ロッドレストレイント	RSA-3			20	54
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FPC-269	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	97	0	—	—	—	組合せ	65	235
AN-FPC-201	アンカ	ラグ	SUS304	100	13	16	27	3	13	10	組合せ	22	59

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FPC-R-1	19	27	188	6.96	—	19	31	376	12.12	—	—
2	FPC-R-2	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
3	FPC-R-3	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
4	FPC-R-4	9	103	188	1.82	○	9	186	376	2.02	—	○
5	FPC-R-5	9	103	188	1.82	—	9	186	376	2.02	—	—
6	FPC-R-10	1A	113	231	2.04	—	1A	169	462	2.73	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管又は重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S及びV _A S*										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	19	31	431	13.90	—	19	38	376	9.89	—	—
2	FPC-R-2	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
3	FPC-R-3	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
4	FPC-R-4	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
5	FPC-R-5	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
6	FPC-R-10	1A	192	366	1.90	○	1A	326	462	1.41	—	○

注記*：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は、許容応力状態IV_ASと許容応力状態V_ASを包絡した結果を記載する。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態V _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	8	30	431	14.36	—	8	35	376	10.74	—	—
2	FPC-R-10	90	203	366	1.80	○	90	377	462	1.22	—	○
3	FPC-R-11	39	80	366	4.57	—	39	133	462	3.47	—	—
4	FPC-R-12	106	74	431	5.82	—	106	113	376	3.32	—	—

注：許容応力状態IV_ASの評価が許容応力状態V_ASの評価に包絡されるため、許容応力状態IV_ASの評価記載を省略する。

VI-2-4-3-2 燃料プールスプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






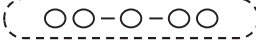

(3) 弁

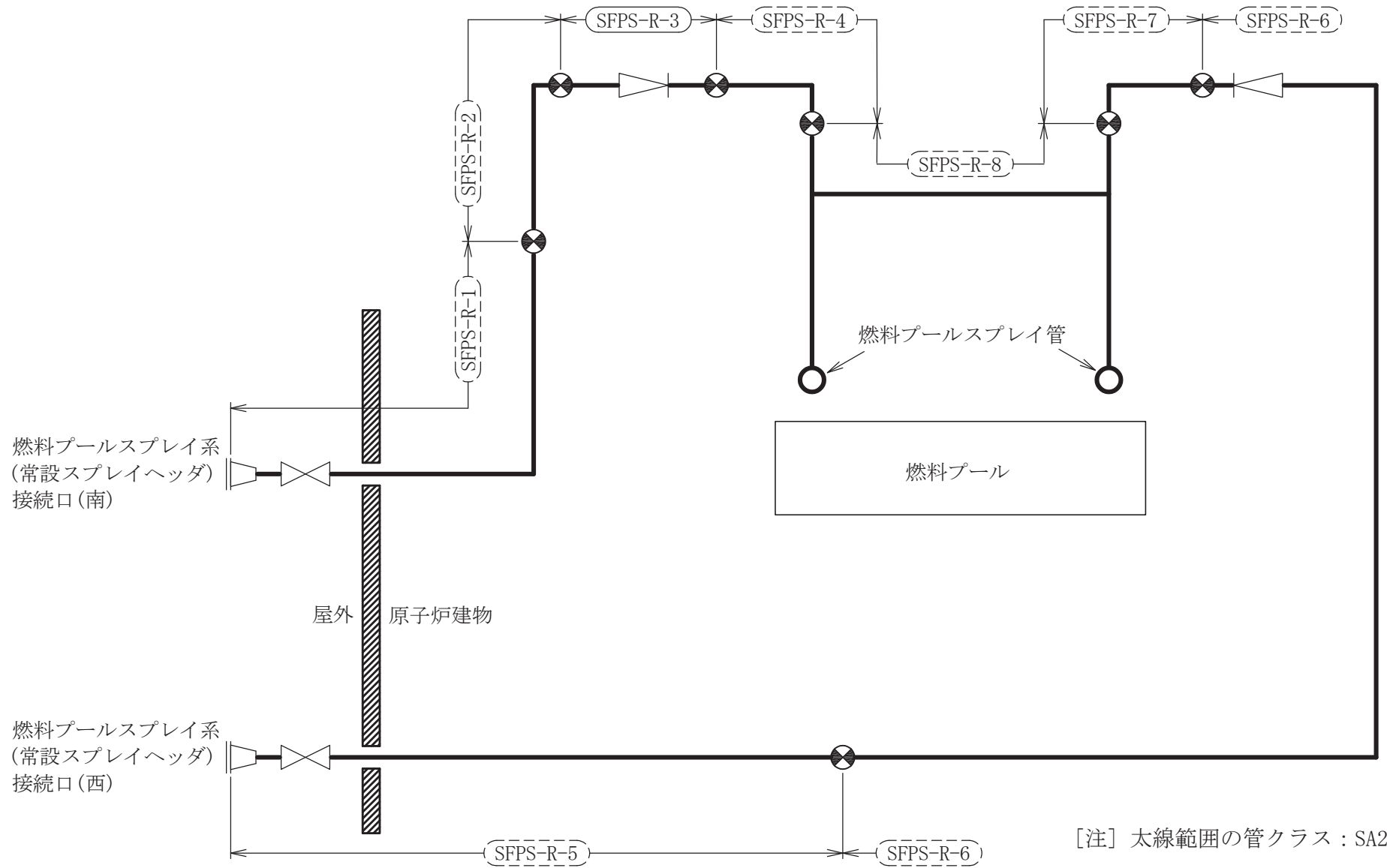
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



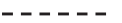


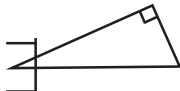


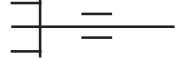
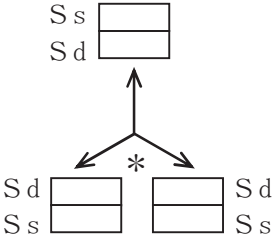

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

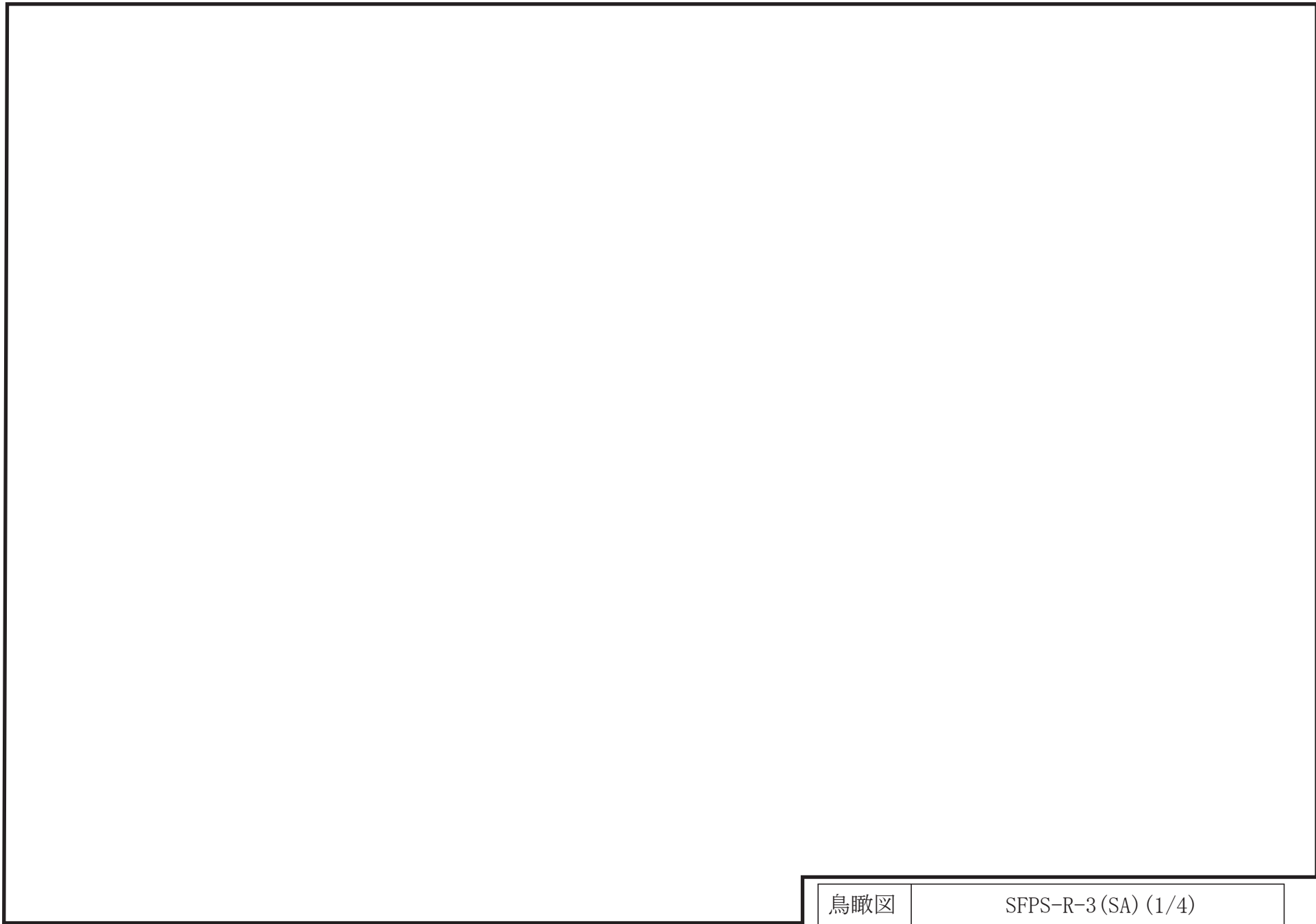


燃料プールスプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

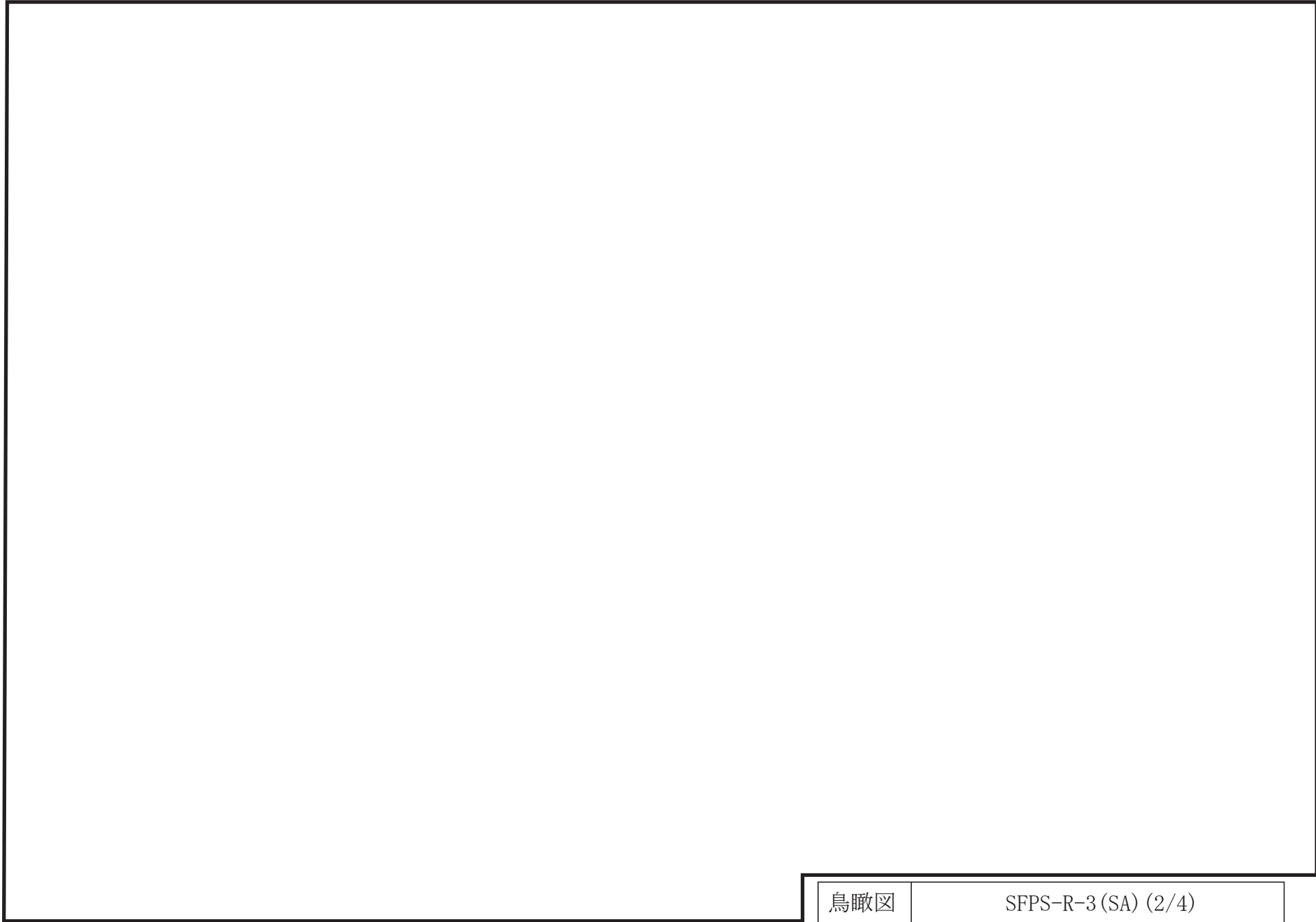
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



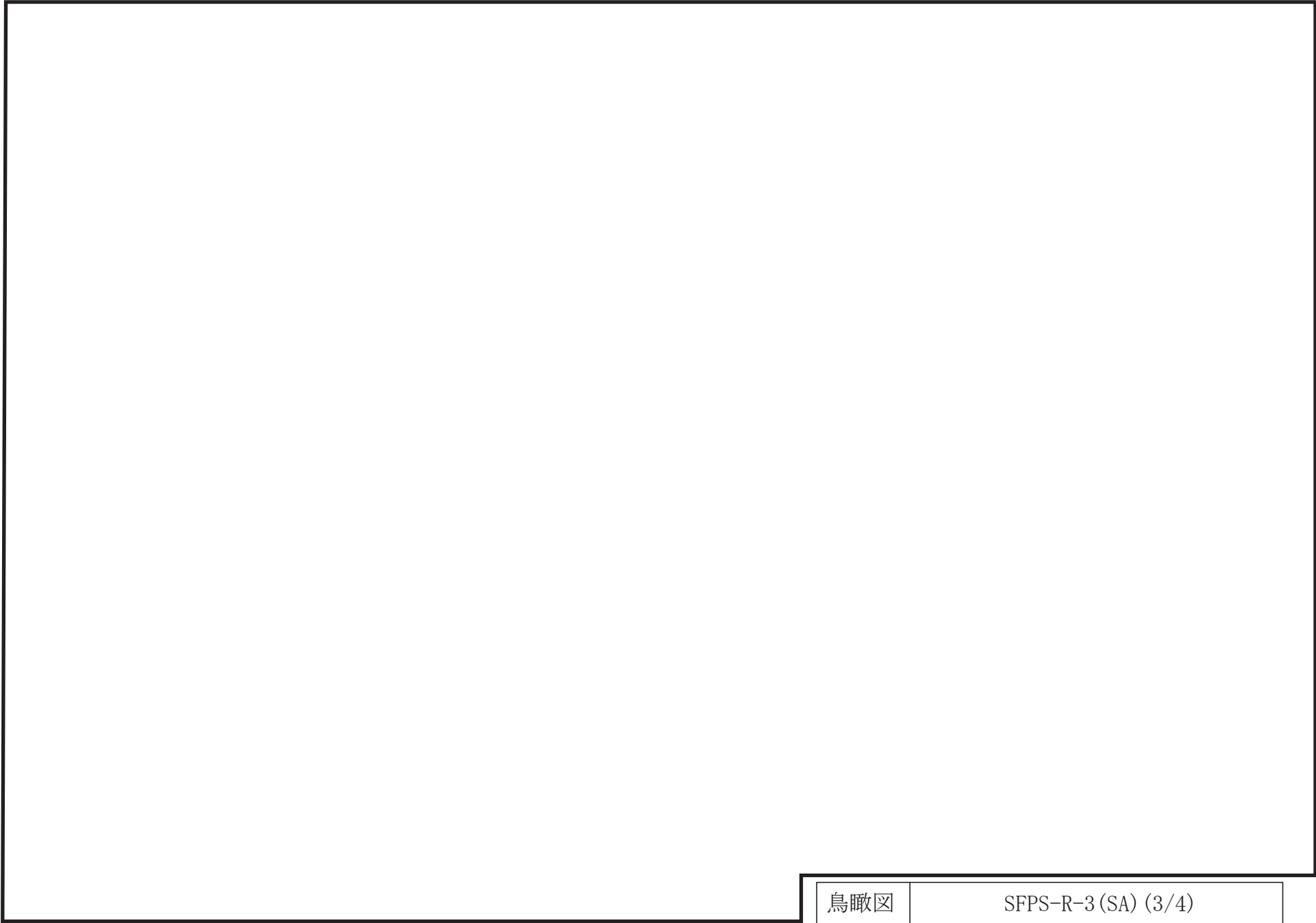
鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (1/4)



鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (2/4)



鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (3/4)

8

鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (4/4)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プールスプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2, 3~141A	2.45	66	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667

弁部の質量

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

質量	対応する評価点
	2～3

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
11						
16						
20						
30						
34						
40						
43						
47						
4901						
52						
58						
62						
67						
73						
77						
82						
88						
92						
97						
103						
107						
112						
118						
122						
1241						
127						
133						
137						
141A						

S2 補 VI-2-4-3-2-1 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
SFPS-R-3	原子炉建物		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
動的震度*3				

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

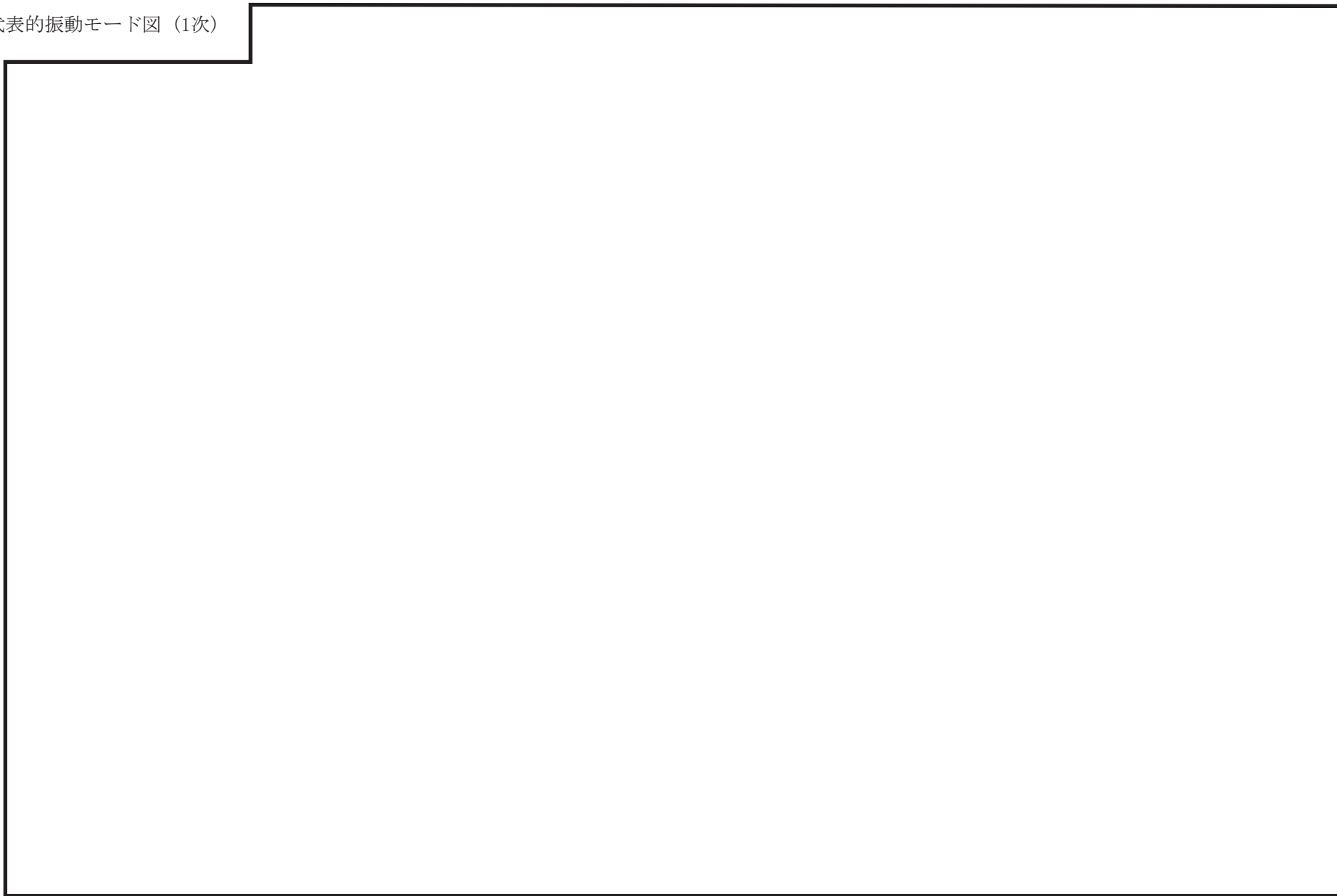
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

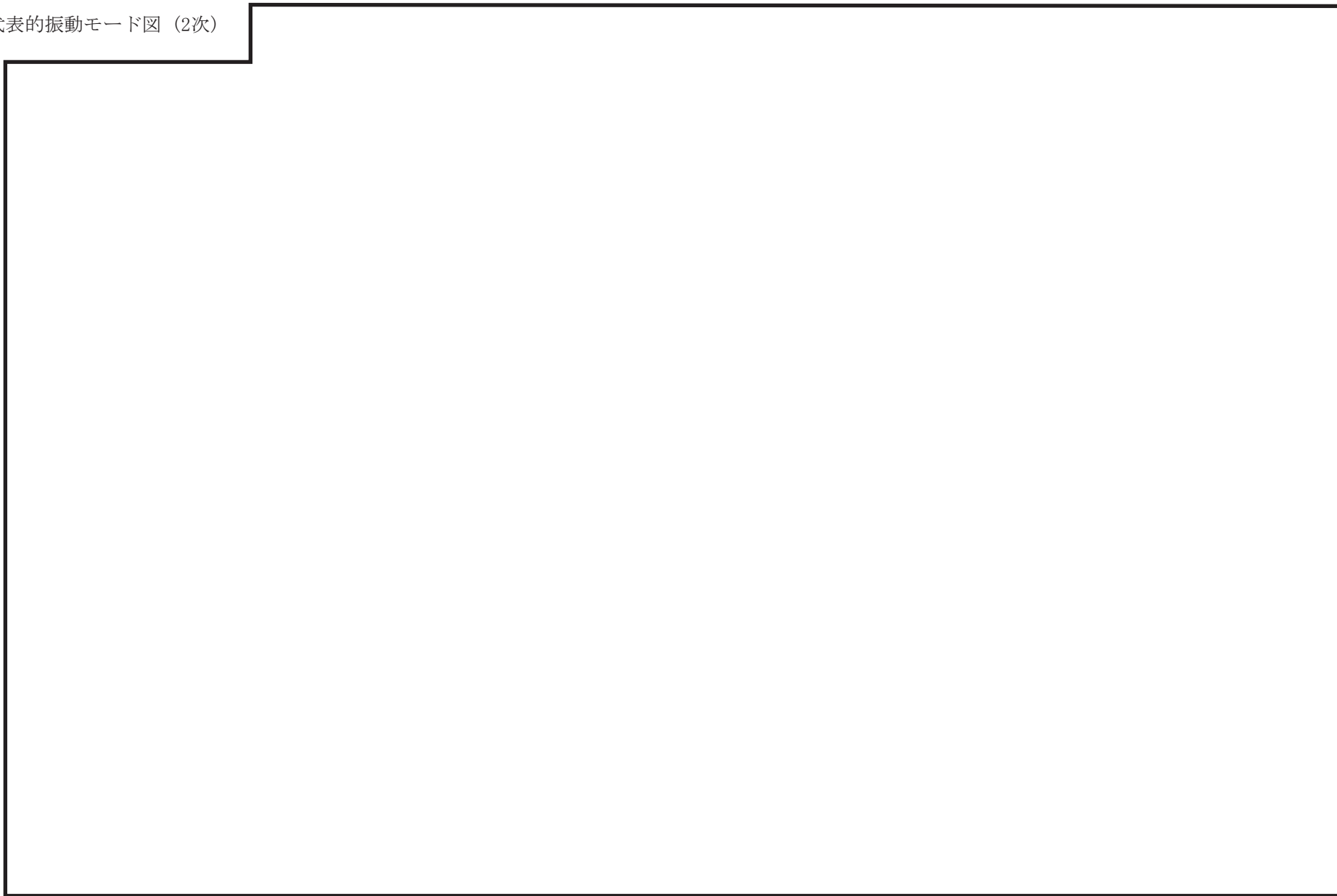
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

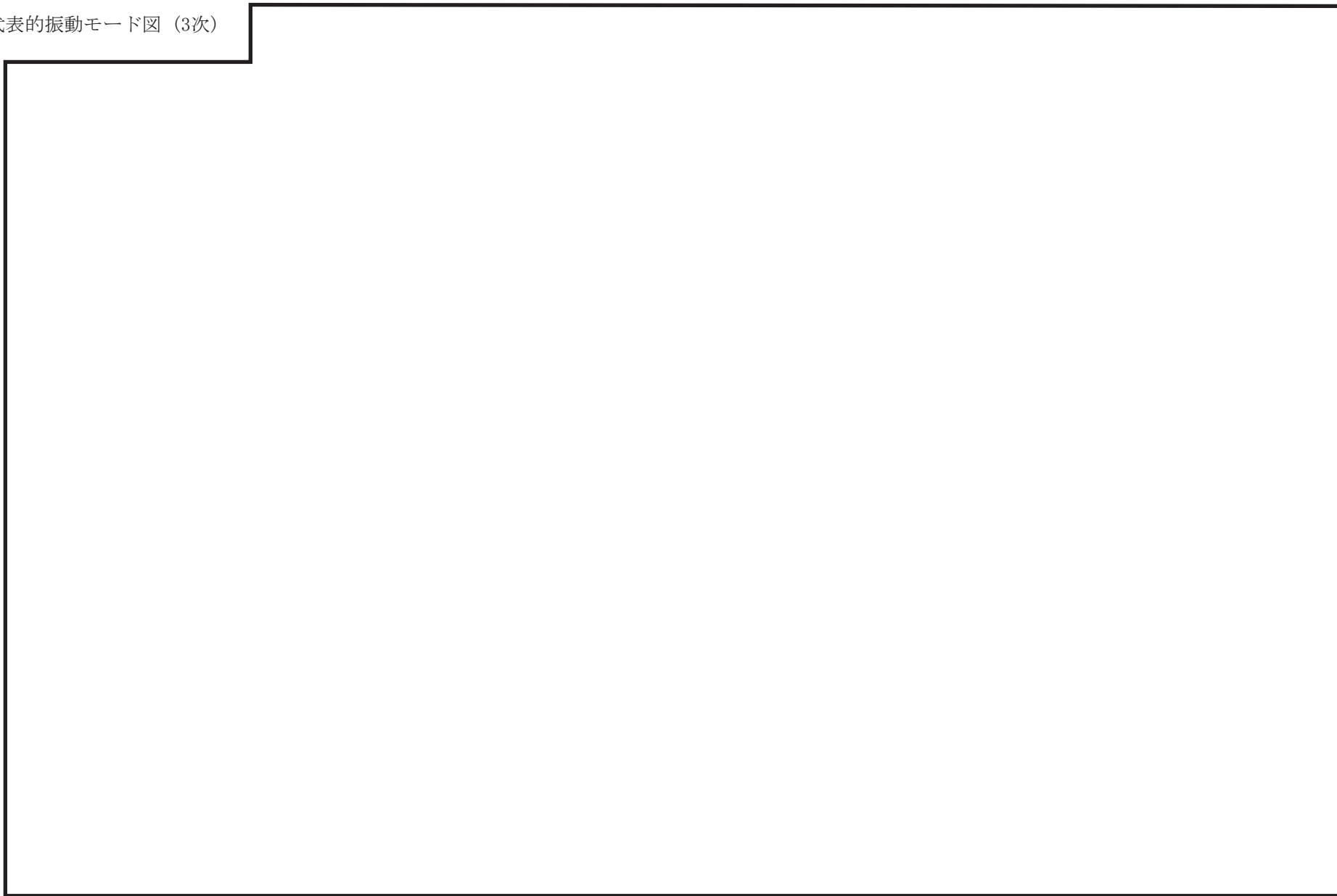
20



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
V _A S	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	SFPS-R-3	98	192	431	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	SFPS-R-3	98	356	376	—

注：許容応力状態IV_ASの評価が許容応力状態V_ASの評価に包絡されるため、許容応力状態IV_ASの評価記載を省略する。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照		—	—
—	オイルスナップ	—			—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SFPS-27	レストレイント	Uボルト	SM400B	100	0	3	17	—	—	—	組合せ	112	150
AN-SFPS-58	アンカ	ラグ	SUS304	100	8	9	5	2	4	3	引張	35	132

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態V _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	SFPS-R-1	4	106	431	4.06	—	4	164	376	2.29	—	—
2	SFPS-R-2	37	143	431	3.01	—	37	257	376	1.46	—	—
3	SFPS-R-3	98	192	431	2.24	○	98	356	376	1.05	—	○
4	SFPS-R-4	43	73	431	5.90	—	42	109	376	3.44	—	—
5	SFPS-R-5	4	186	431	2.31	—	4	311	376	1.20	—	—
6	SFPS-R-6	90A	67	431	6.43	—	90A	81	376	4.64	—	—
7	SFPS-R-7	1A	102	431	4.22	—	1A	148	376	2.54	—	—
8	SFPS-R-8	139	119	431	3.62	—	139	199	376	1.88	—	—

注：許容応力状態IV_ASの評価が許容応力状態V_ASの評価に包絡されるため、許容応力状態IV_ASの評価記載を省略する。

VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-5-2 原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-2-1 原子炉再循環系の耐震性についての計算書

VI-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	26
4.1 固有周期及び設計震度	26
4.2 評価結果	32
4.2.1 管の応力評価結果	32
4.2.2 支持構造物評価結果	33
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	34
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	35

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

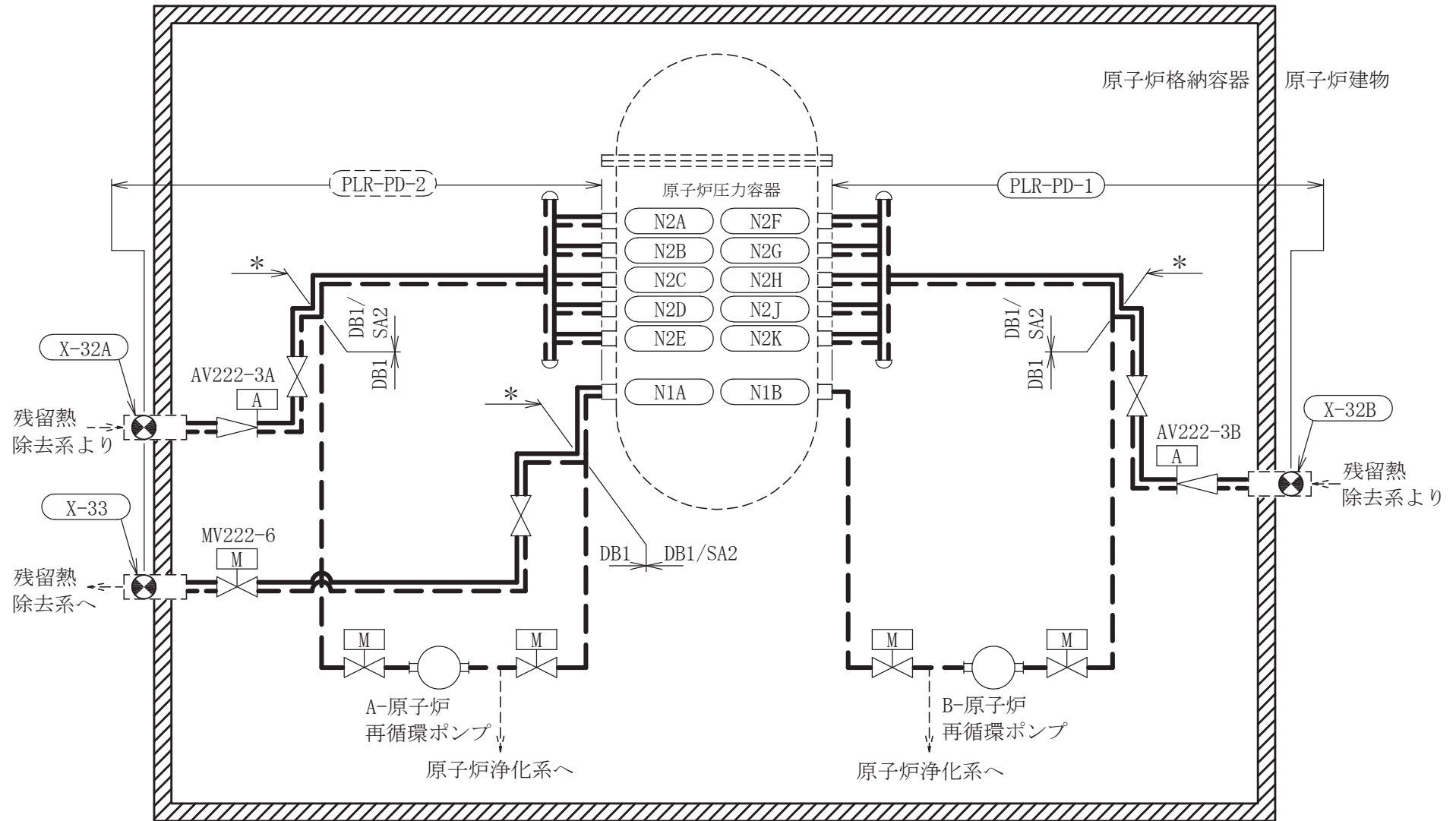
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管






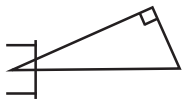


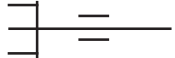
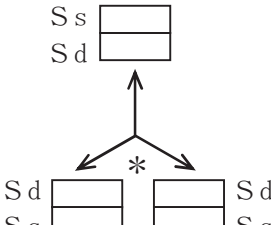


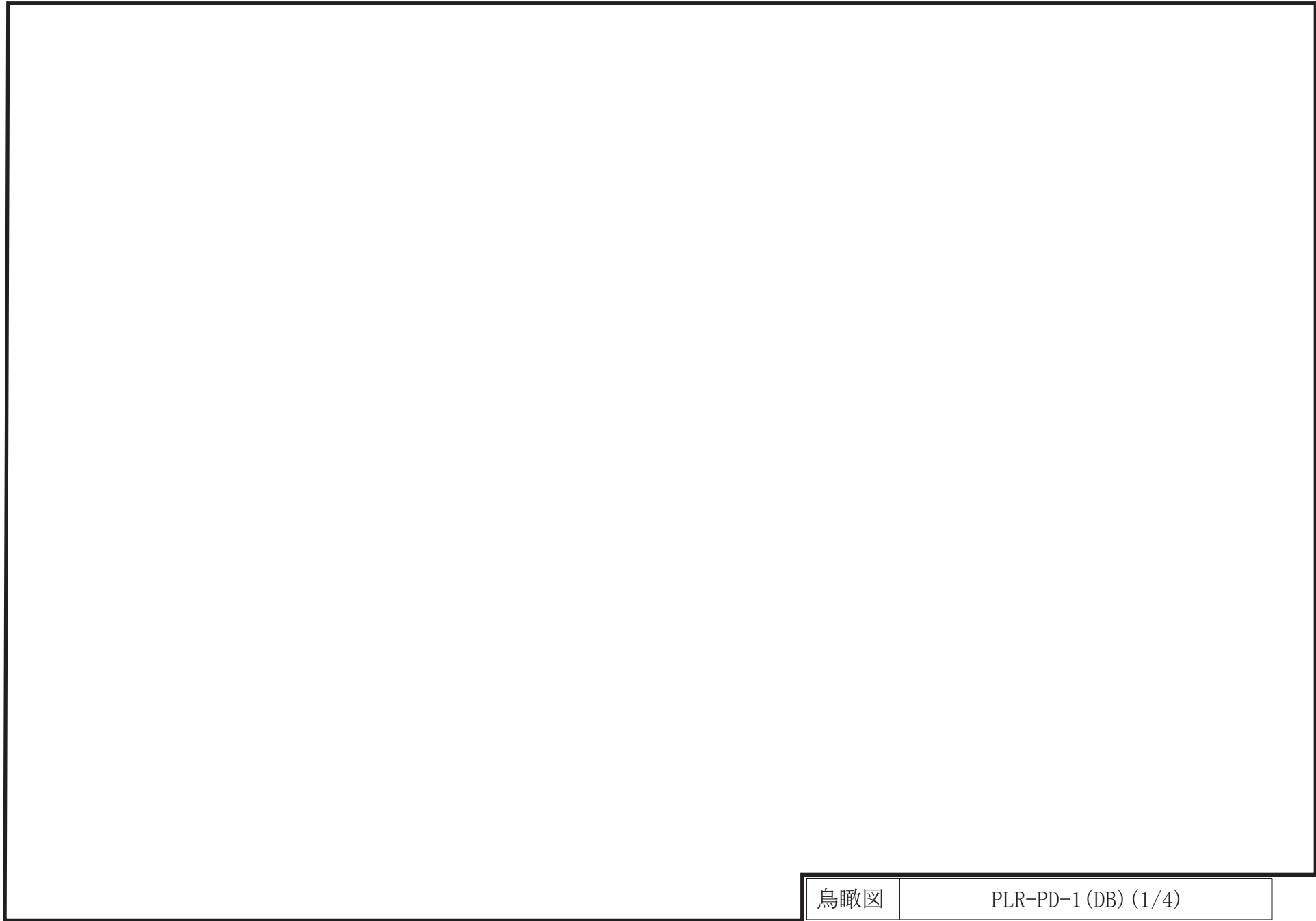
注記* : 本範囲は残留熱除去系の申請範囲であるが、解析モデル上、本システムに含める。

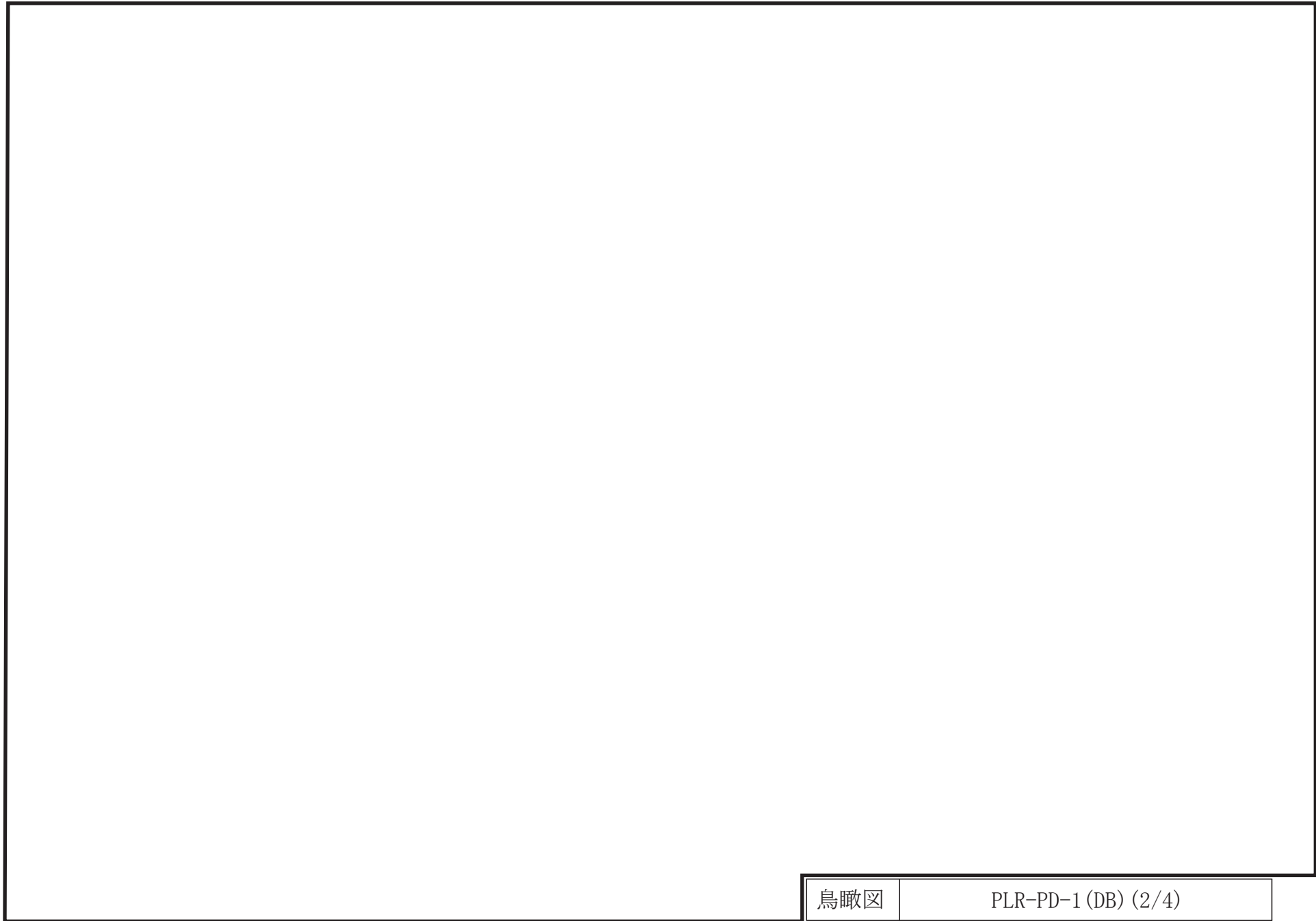
原子炉再循環系概略系統図

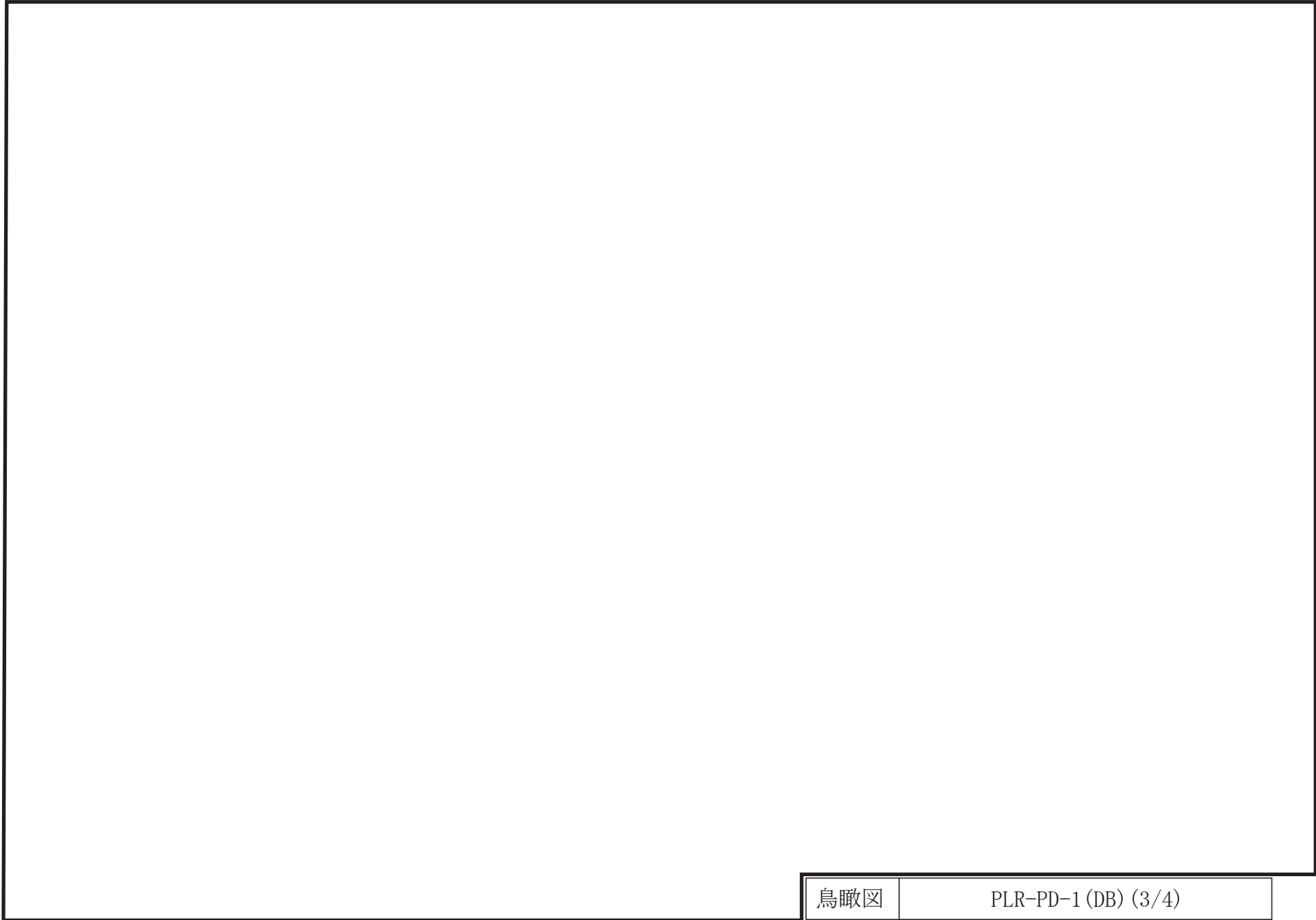
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s機能維持の範囲はS s地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



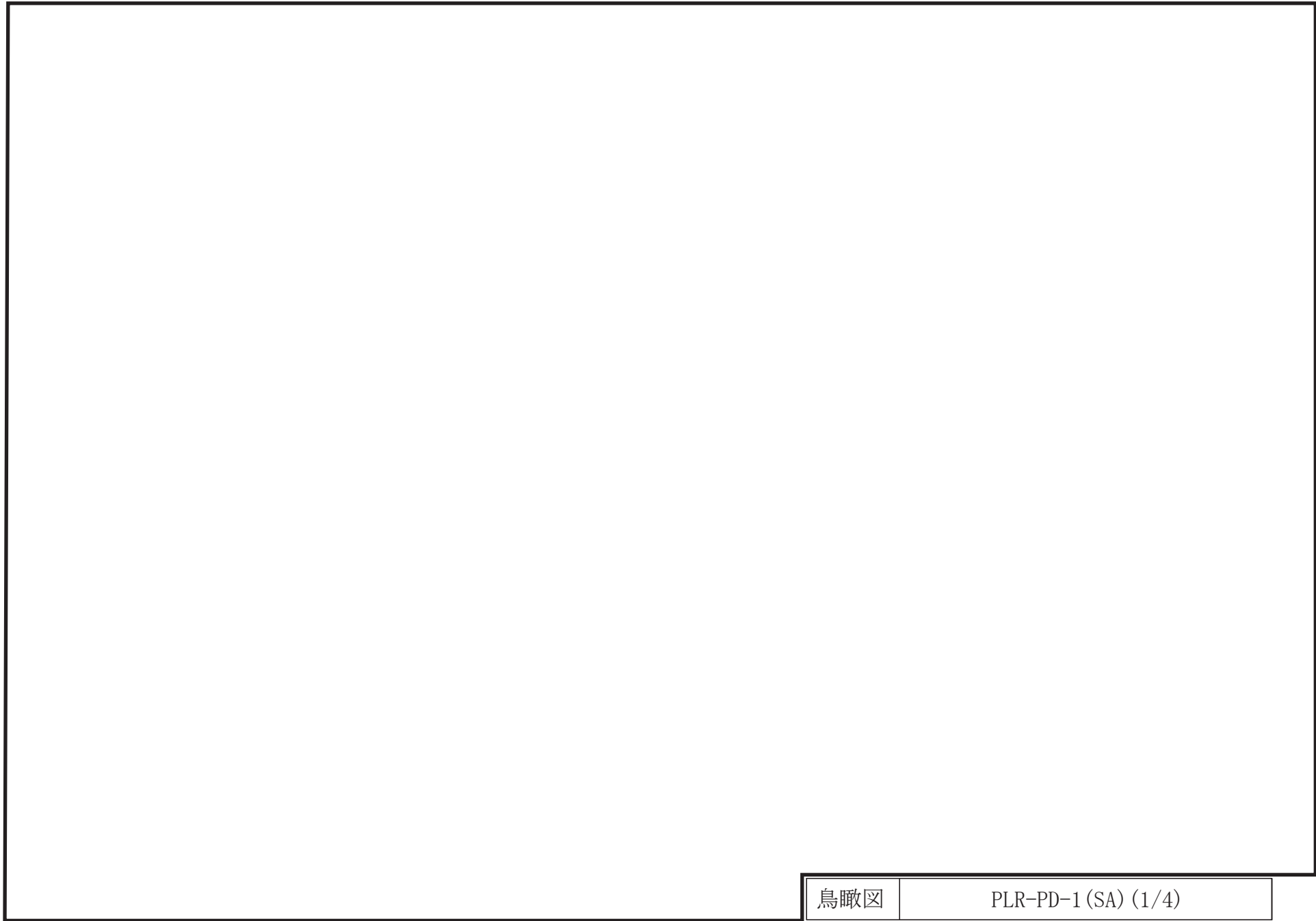


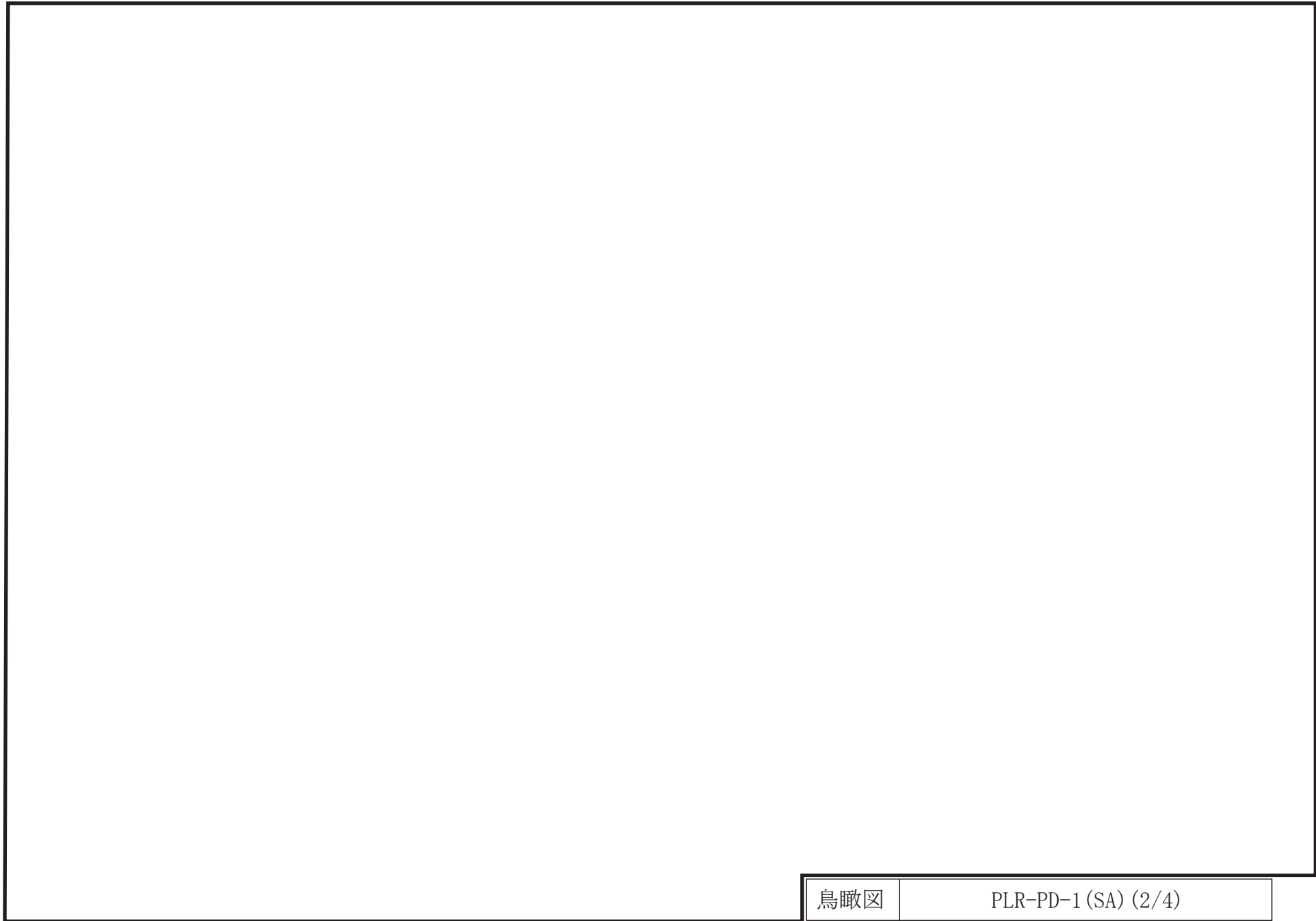


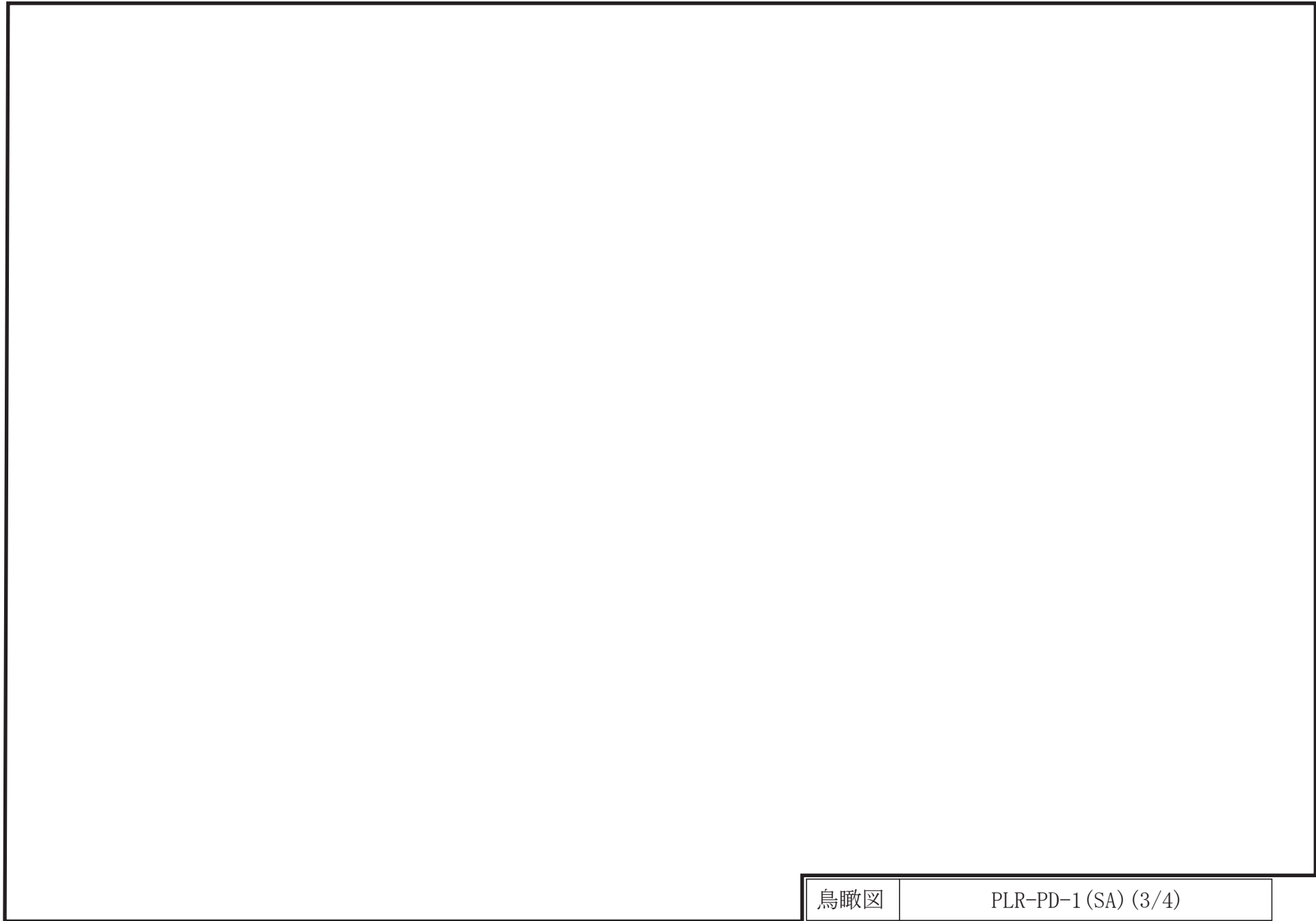
8

鳥瞰図

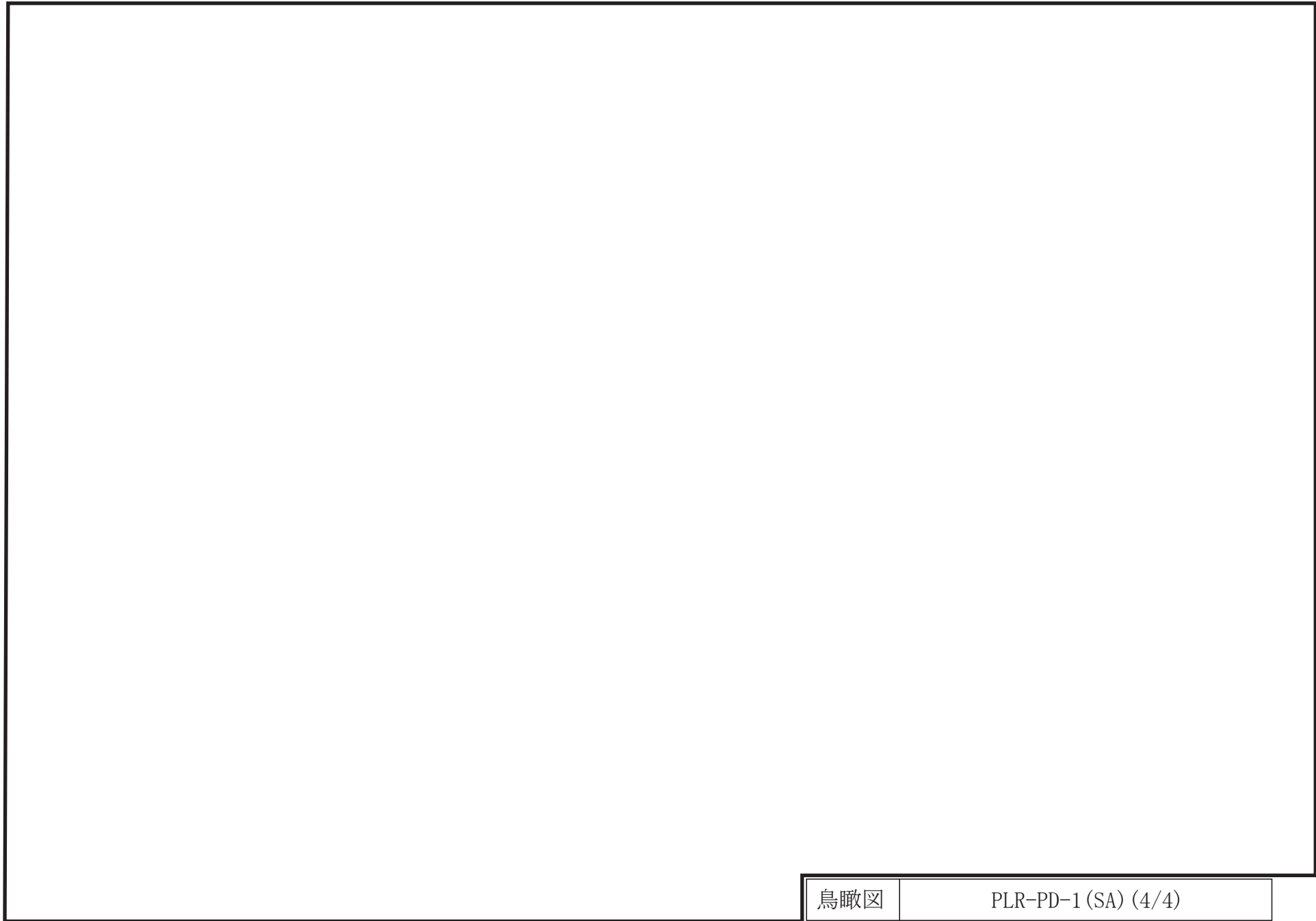
PLR-PD-1 (DB) (4/4)







鳥瞰図	PLR-PD-1(SA) (3/4)
-----	--------------------



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	原子炉再循環系	DB	—	クラス1管	S	$I_L + S_d$	III_{AS}
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV_{AS}
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d$	
	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管	S	$I_L + S_d$	III_{AS}
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV_{AS}
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d$	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	S A	常設／防止 (D B拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d	
							V _{L(L)} + S _d	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s	

注記*1：D Bは設計基準対象施設，S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止(D B拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	8.62	302	523.0	33.7	SUSF316	S	176960
2	2~6, 12~14	8.62	302	508.0	26.2	SUSF316	S	176960
3	6~12	8.62	302	508.0	26.2	SUS316TP	S	176960
4	18~24	8.62	302	508.0	30.5	SUS316TP	S	176960
5	24~26	8.62	302	508.0	30.5	SUSF316	S	176960
6	47~51, 55~59	10.40	302	508.0	30.5	SUS316TP	S	176960
7	59~60, 62~66	10.40	302	508.0	30.5	SUSF316	S	176960
8	60~62, 66~67	10.40	302	550.0	51.5	SUSF316	S	176960
9	67~68, 106~140	10.40	302	267.4	18.2	SUSF316	S	176960
	114~150, 126~160 134~170							
10	68~71N, 140~143N	10.40	302	267.4	18.2	SUS316TP	S	176960
	150~153N, 160~163N 170~173N							
11	67~100, 67~120	10.40	302	422.0	34.8	SUSF316	S	176960
12	100~105, 107~113	10.40	302	406.4	27.0	SUSF316	S	176960
	115~116, 120~125 127~133, 135~136							
13	105~107, 113~115	10.40	302	450.0	48.8	SUSF316	S	176960
	125~127, 133~135							

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
14	61～201	10.40	302	267.4	18.2	SUSF316	S	191800
15	201～208	10.40	302	267.4	18.2	SUS316TP	S	191800
16	209～215, 216～222	10.40	302	267.4	18.2	STS42	S	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

質量	対応する評価点
	1N~2
	2~5001, 64~66
	5001~14, 18~26, 47~51, 55~60, 62~64
	60~62
	66~67
	6700~71N, 1400~143N, 1500~153N, 1600~163N, 1700~173N 2011~2070
	67~100, 67~120
	100~105, 107~113, 115~116, 120~125, 127~133 135~136
	105~107, 113~115, 125~127, 133~135
	61~2011, 2070~208, 209~215, 216~222

弁部の質量

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14~15, 15~18		51~52, 52~55
	14, 18, 51, 55		15, 52
	16, 53		17, 54
	208~209		215~216

弁部の寸法

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15							
16~17							
51~52							
53~54							
208~209							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
N1						
5						
** 8 **						
** 11 **						
** 11 **						
1101						
21						
** 22 **						
** 22 **						
** 28 **						
** 29 **						
** 30 **						
** 31 **						
** 32 **						
38						
37						
36						
35						
** 43 **						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 45 **						
** 44 **						
** 48 **						
** 49 **						
50						
** 56 **						
** 63 **						
** 6301 **						
N101						
101						
** 103 **						
** 1031 **						
** 111 **						
** 1111 **						
121						
** 123 **						
** 1231 **						
130						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 131 **						
N201						
N301						
N401						
N501						
205						
2071						
** 210 **						
** 210 **						
211						
213						
219						
226A						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUSF316	302	118	—	—	—
SUS316TP	302	118	—	—	—
STS42	302	122	—	—	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
PLR-PD-1	原子炉圧力容器ペデスタル		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
9次								
動的震度*4								
静的震度*5								

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

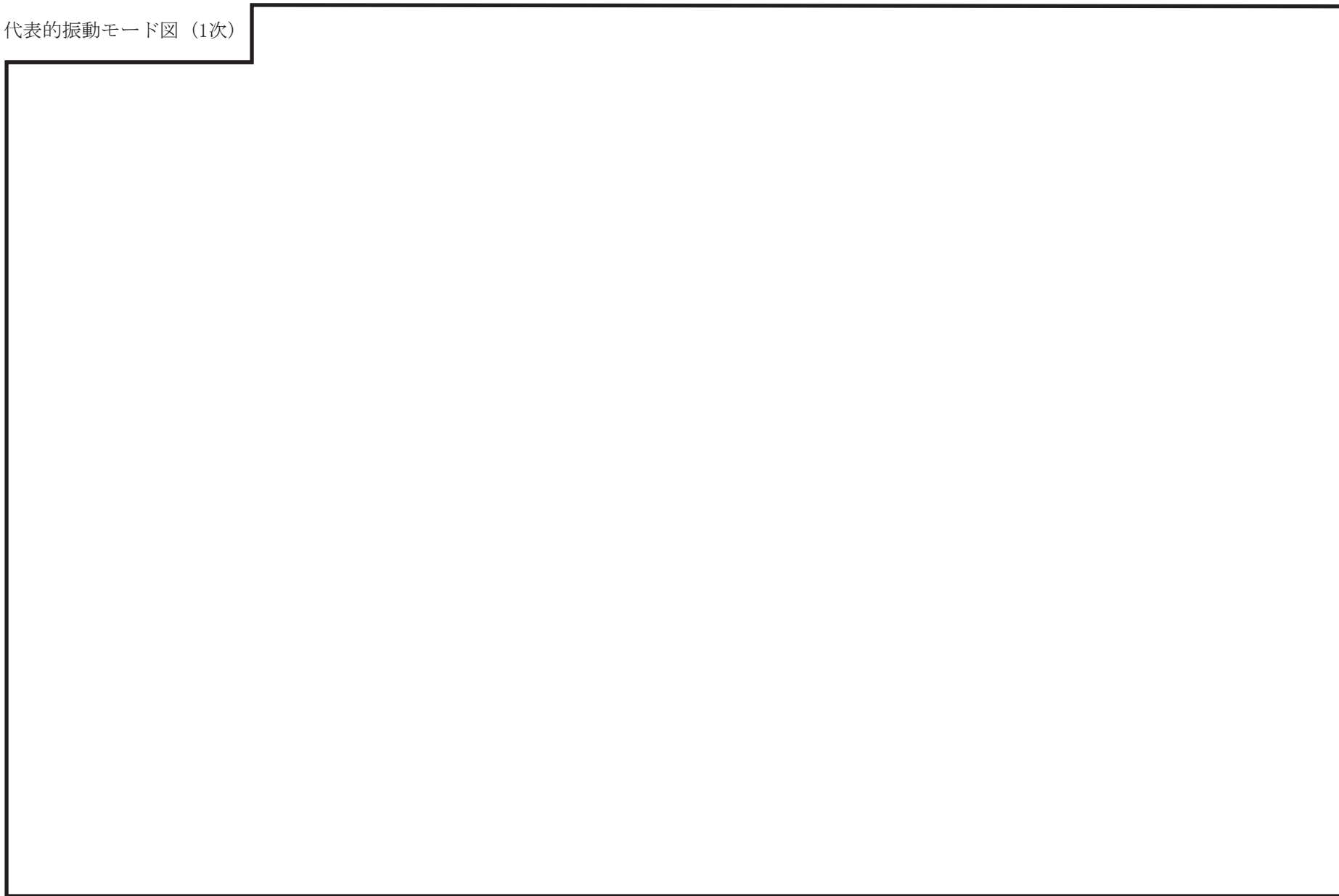
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

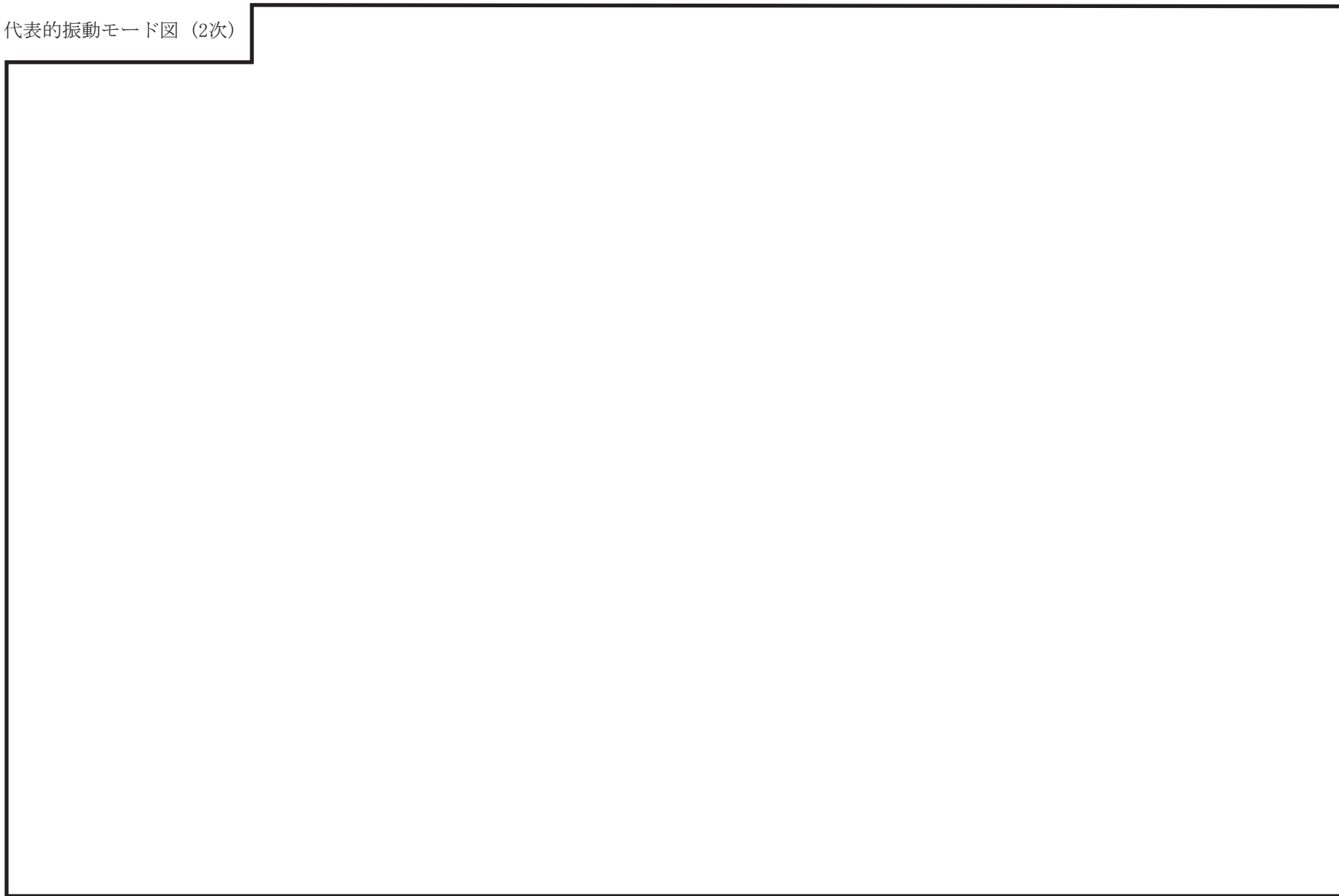
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

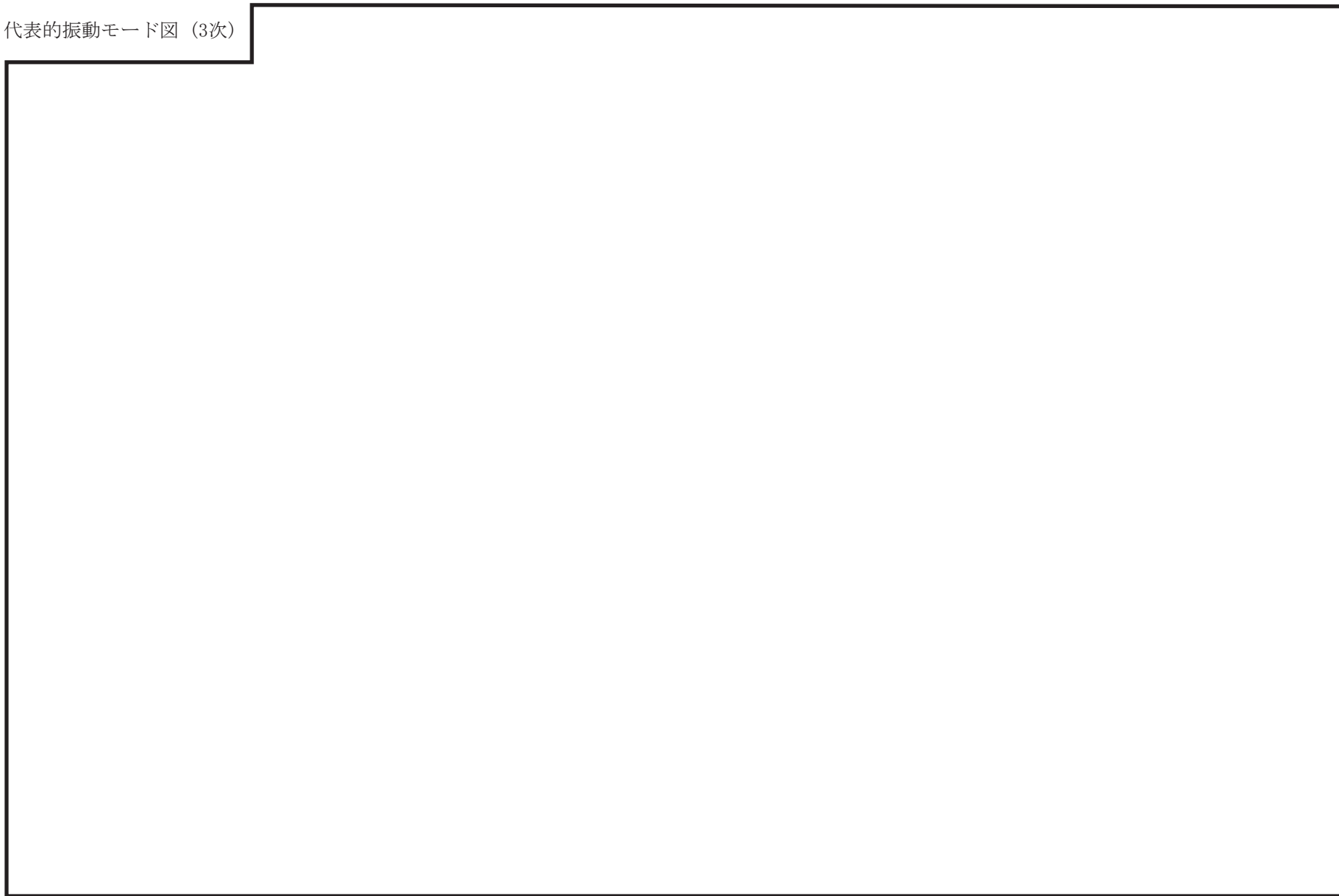


代表的振動モード図 (2次)

30



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管又は重大事故等クラス2管であってクラス1管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢAS	一次応力	膜+曲げ(2.25・Sm)	PLR-PD-1	14	ELBOW	128	265	—
		ねじり(0.55・Sm)	PLR-PD-1	14	ELBOW	59	64	—
		ねじり+曲げ(1.8・Sm)	PLR-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力(3・Sm)		PLR-PD-1	67	TEE	255	354	—
	疲労累積係数		PLR-PD-1	61	TEE	—	—	0.0093
ⅣAS VAS*	一次応力	膜+曲げ(3・Sm)	PLR-PD-1	14	ELBOW	196	354	—
		ねじり(0.73・Sm)	PLR-PD-1	14	ELBOW	110	86	—
		ねじり+曲げ(2.4・Sm)	PLR-PD-1	14	ELBOW	154	283	—
	一次+二次応力(3・Sm)		PLR-PD-1	67	TEE	464	354	0.0128
	疲労累積係数		PLR-PD-1	26	ELBOW	—	—	0.0154

注記*：重大事故等クラス2管であってクラス1管の場合は，許容応力状態ⅣASと許容応力状態VASを包絡した結果を記載する。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	
SNO-PLR-50	オイルスナップ	SN-100		991	1500	
RE-PLR-44	ロッドレストレイント	RTS-60		734	1080	
SH-PLR-34	スプリングハンガ	VS-18		53	54	
—	コンスタントハンガ	—		—	—	
—	リジットハンガ	—		—	—	

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
—	レストレイント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管又は重大事故等クラス2管であってクラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	PLR-PD-1	14	128	265	2.07	○	67	255	354	1.38	○	61	0.0093	○
2	PLR-PD-2	14	118	265	2.24	—	67	216	354	1.63	—	61	0.0077	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管又は重大事故等クラス2管であってクラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S及びV _A S*												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PLR-PD-1	14	196	354	1.80	○	67	464	354	0.76	○	26	0.0154	○
2	PLR-PD-2	14	176	354	2.01	—	14	390	354	0.90	—	26	0.0109	—

注記*：重大事故等クラス2管であってクラス1管の場合は、許容応力状態IV_ASと許容応力状態V_ASを包絡した結果を記載する。

VI-2-5-3 原子炉冷却材の循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1 主蒸気系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	10
4.1 固有周期	10
4.2 構造強度評価	12
5. 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	25
5.1 固有周期	25
5.2 構造強度評価	27
6. 評価結果	37
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	37
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	37
7. 引用文献	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、アキュムレータが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画

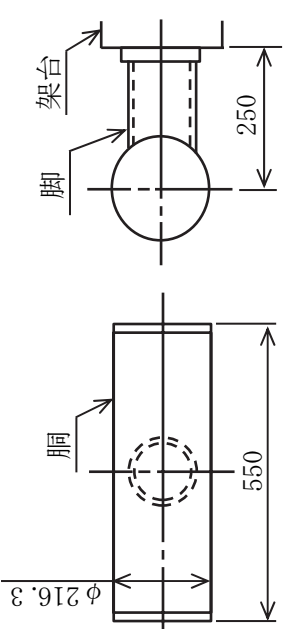
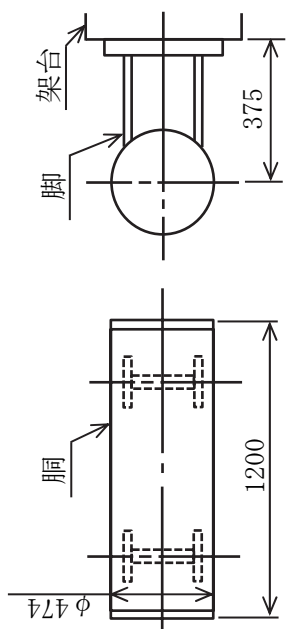
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>脚を 1 個の脚で支持し、脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>両端に平板を有する横置円筒形</p>	<p>【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ】</p>  <p>(単位：mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>脚を 2 個の脚で支持し、脚を溶接で架台に据え付ける。</p>	<p>両端に平板を有する横置円筒形</p>	<p>【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ】</p>  <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 及び 5.1 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.2 及び 5.2 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

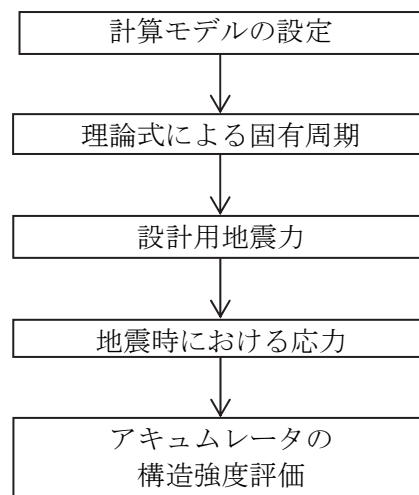


図 2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の鉛直方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の鉛直方向に対するせん断断面積	mm^2
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(1)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{lj}	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(1)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_1	脚の鉛直方向幅の2分の1	mm
C_2	脚の長手方向幅の2分の1	mm
D_i	胴の内径	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
h_1	架台から脚の胴付け根部までの長さ	mm
h_2	架台から胴の中心までの長さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{cj}, K_{lj}	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの補正係数（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
K_ℓ	ばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_c	ばね定数（胴の鉛直方向に鉛直力が作用する場合）	N/m
ℓ_0	脚中心間距離	mm
M	運転時質量により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_c	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_0	容器の運転時質量	kg

記号	記号の説明	単位
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P_c	横方向に地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_l	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_r	最高使用圧力	MPa
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚付け根部における胴の外半径	mm
r_s	胴付け根部における脚の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の鉛直方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s3}	長手方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	横方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x 1}$	内圧により胴に生じる周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}, \sigma_{x 2}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}, \sigma_{x 4}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x 5}$	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{x 41}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の曲げモーメントにより生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 42}, \sigma_{x 42}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の反力により生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 3}, \sigma_{2x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2\phi 4}, \sigma_{2x 4}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x 5}$	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 41}, \sigma_{2x 41}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の曲げモーメントにより生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 42}, \sigma_{2x 42}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の反力により生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
τ_d	運転時質量により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{de}	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、胴及び脚について評価を実施する。

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震評価部位を表2-1及び表2-2の概略構造図に示す。

4. 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

4.1 固有周期

4.1.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは胴を 1 個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けられているため、固定端として評価する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 4-1 及び図 4-2 に示す。

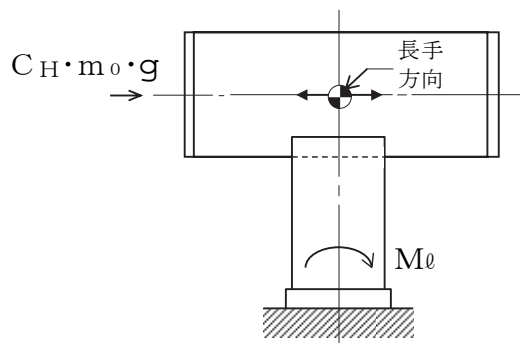


図 4-1 長手方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

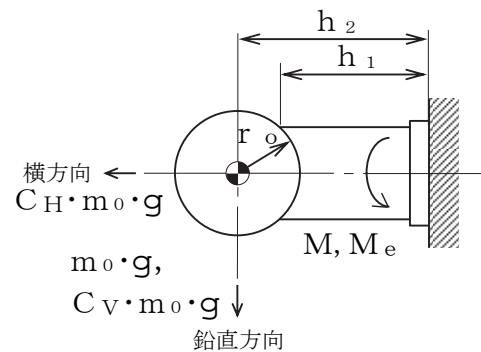


図 4-2 鉛直方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、図 4-3 のような 1 質点系振動モデルとして考え、固有周期は長手方向及び鉛直方向について計算する。

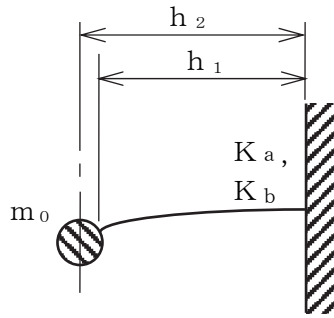


図 4-3 固有周期計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 4-3 における長手方向のばね定数は

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots \dots \dots (4.1.1.1)$$

固有周期は

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \dots \dots \dots (4.1.1.2)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

胴の鉛直方向に荷重が作用する場合の固有周期（鉛直方向振動）は、胴の長手方向に荷重が作用する場合の固有周期と同じであるので省略する。

4.1.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.1.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（単位：s）

水平		
鉛直		

4.2 構造強度評価

4.2.1 構造強度評価方法

4.1.1(1)a. から e. のほか、地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとして計算する。

4.2.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2.2 許容応力

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4及び表4-5のとおりとする。

4.2.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-7に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉冷却材 の循環設備	S	クラス3容器 [*]	D + P _D + M _D + S _d [*]	III _A S
	制御系 統施設			D + P _D + M _D + S _s	IV _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉冷却材 の循環設備	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 ^{*2} クラス2容器	D + P _D + M _D + S _s ^{*3}	IV _A S
	計測制御系 統施設			D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容 限界を用い る。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-4 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2}	
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力
III _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S _t の大きい方	弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみ ^{*3} による疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は不要
IV _A S		
V _A S (V _A S として IV _A S の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3: 2・S_y を超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_m は 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-5 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界* (脚)
	一次応力
	組合せ
III _A S	1.5・f _t
IV _A S	1.5・f _t *
V _A S	
(V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	

注記* : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設) *1

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SUS304TP SUS304	最高使用温度	113	150	413	—
		171	113	150	413	—
脚	STPT42*2 SM41A*3 (板厚 ≤ 16mm)	周囲環境温度	—	211	404	—
		171	—	201	373	—

注記*1：上段は逃がし安全弁逃がし弁機能用アキムレータの値を示し，下段は逃がし安全弁自動減圧機能用アキムレータの値を示す。

*2：STPT410 相当

*3：SM400A 相当

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SUS304TP	最高使用温度	111	144	402	—
		200	111	144	402	—
脚	STPT42*1	周囲環境温度	—	207	404	—
		200	—	207	404	—

注記*1：STPT410 相当

4.2.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-8 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器 附帯 EL 27.907*1	[]		$C_H=1.37$ *2	$C_V=0.72$ *2	$C_H=1.97$ *3	$C_V=1.47$ *3

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 4-9 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器 附帯 EL 27.907*1	[]		—	—	$C_H=1.97$ *2	$C_V=1.47$ *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

4.2.4 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの計算方法

4.2.4.1 応力の計算方法

4.2.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による脚付け根部の応力

運転時質量により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M = m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.3)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.4)$$

この曲げモーメントMにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(1)より次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図4-4に示す。

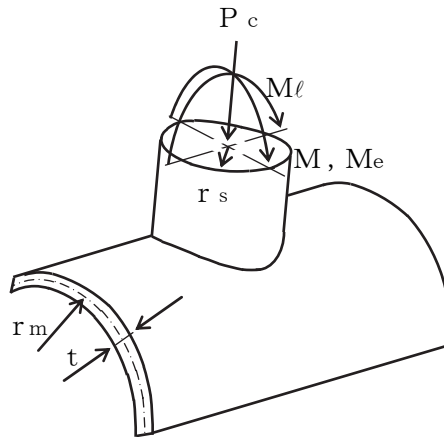


図 4-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.5)$$

$$\beta = 0.875 \cdot r_s / r_m \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.6)$$

ただし、

$$\beta \leq 0.5$$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.7)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.8)$$

また、運転時質量が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_d = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.9)$$

(3) 鉛直方向地震による脚付け根部の応力

鉛直方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_c = C_v \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.10)$$

曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図により値（以下*を付記するもの）を求めることにより（4.2.4.1.1.11）式～

（4.2.4.1.1.14）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.11)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.12)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.13)$$

$$\sigma_{2 \times 3} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.14)$$

また、鉛直方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{de} = \frac{C_v \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \dots\dots\dots (4.2.4.1.15)$$

(4) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_l = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \dots\dots\dots (4.2.4.1.16)$$

曲げモーメント M_l により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（4.2.4.1.17）式～（4.2.4.1.20）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_l / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_l}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.17)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{N_x}{M_l / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_l}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.18)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 4} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_l / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_l}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.19)$$

$$\sigma_{2 x 4} = \left\{ \frac{M_x}{M_l / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_l}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.20)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \dots\dots\dots (4.2.4.1.21)$$

(5) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震により脚付け根部に生じる反力は次式で求める。

$$P_c = C_H \cdot m_o \cdot g \dots\dots\dots (4.2.4.1.22)$$

半径方向荷重 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値

(以下*を付記するもの) を求めることにより (4.2.4.1.1.23) 式～
(4.2.4.1.1.26) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.23)$$

$$\sigma_{x 5} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.24)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.25)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.26)$$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出される脚付け根部に生じる胴の応力を以下のように組合せる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{o\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{ox}) \} \dots (4.2.4.1.1.27)$$

ここで,

$$\sigma_{o\phi} = \sigma_{\phi 1} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{ox} = \sigma_{x 1} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.29)$$

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1l} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1l\phi} + \sigma_{1lx}) + \sqrt{(\sigma_{1l\phi} - \sigma_{1lx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de} + \tau_l)^2} \right\} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1l\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{1lx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.32)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de})^2} \right\}$$

..... (4.2.4.1.1.33)

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.34)}$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.35)}$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\theta}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \}$$

..... (4.2.4.1.1.36)

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{de} + \tau_{\ell})^2}$$

..... (4.2.4.1.1.37)

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 4} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.38)}$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 4} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.39)}$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_{de}^2}$$

..... (4.2.4.1.1.40)

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 5} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.41)}$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 5} \quad \text{..... (4.2.4.1.1.42)}$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\theta}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \}$$

..... (4.2.4.1.1.43)

とする。

4.2.4.1.2 脚の応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.1)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{A_{s4}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.3)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g}{A_{s4}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.4)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sy}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.5)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.6)$$

(4) 横方向地震による圧縮応力

$$\sigma_{s4} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.8)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2})^2} \dots\dots (4.2.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{sl}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.10)$$

とする。

4.2.5 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.2.6 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの応力の評価

4.2.6.1 胴の応力評価

4.2.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

4.2.6.2 脚の応力評価

4.2.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

5.1 固有周期

5.1.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは胴を 2 個の脚で支持し、脚は溶接で架台に据え付けられているため、固定端として評価する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 5-1 及び図 5-2 に示す。

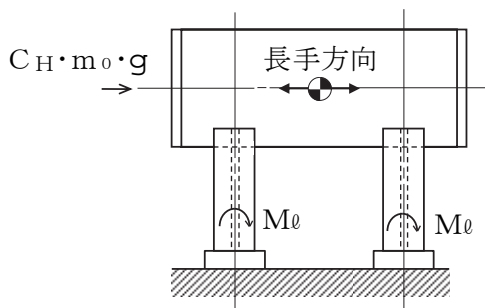


図 5-1 長手方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

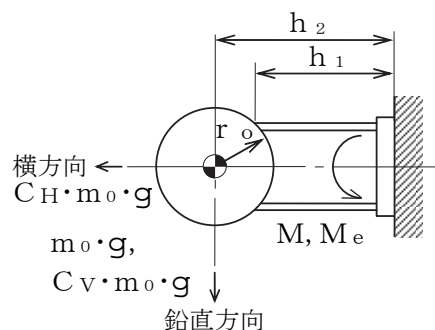


図 5-2 鉛直方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント

- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、図 5-3 のような 1 質点系振動モデルとして考え、固有周期は長手方向及び鉛直方向について計算する。

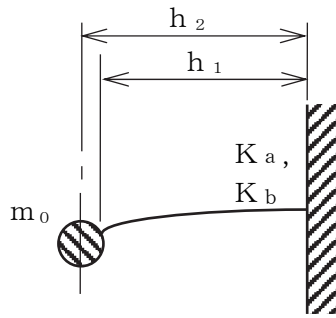


図 5-3 固有周期計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 5-3 における長手方向のばね定数は,

$$K_{\ell 1} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (5.1.1.1)$$

固有周期は

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0/2}{K_{\ell}}} \dots\dots\dots (5.1.1.2)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

図 5-3 における鉛直方向のばね定数は,

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1/2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \dots\dots\dots (5.1.1.3)$$

固有周期は,

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0/2}{K_c}} \dots\dots\dots (5.1.1.4)$$

5.1.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

5.1.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 5-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 5-1 固有周期 (単位: s)

水平			
鉛直			

5.2 構造強度評価

5.2.1 構造強度評価方法

5.1.1(1)a. から e. のほか、地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとして計算する。

5.2.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に示す。

5.2.2.2 許容応力

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4及び表4-5のとおりとする。

5.2.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に示す。

5.2.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-2 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-2 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度*2	鉛直方向 設計震度*2	水平方向 設計震度*3	鉛直方向 設計震度*3
原子炉格納容器 附帯 EL 27.907*1			C _H =1.37	C _V =0.72	C _H =1.97	C _V =1.47

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d ）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

5.2.4 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの計算方法

5.2.4.1 応力の計算方法

5.2.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による脚付け根部の応力

運転時質量により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M = \frac{1}{2} \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.3)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.4)$$

この曲げモーメント M により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(1)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図 5-4 に示す。

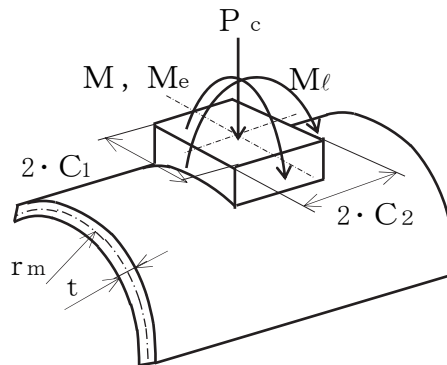


図 5-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで，シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.5)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.6)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.7)$$

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.8)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.9)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_\phi}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.10)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.11)$$

また、運転時質量が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_d = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.12)$$

(3) 鉛直方向地震による脚付け根部の応力

鉛直方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_c = \frac{1}{2} \cdot C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot r_0 \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.13)$$

曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図により値（以下*を付記するもの）を求めることにより (5.2.4.1.1.14) 式～ (5.2.4.1.1.17) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.14)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.15)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{2 \times 3} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots (5.2.4.1.17)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、(5.2.4.1.1.9) 式と同様である。
ただし、二次応力を求める場合は、更に K_{cj} を乗じた値とする。

また、鉛直方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{de} = \frac{\frac{1}{2} \cdot C_v \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.2.4.1.18)$$

(4) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_l = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \right) \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.2.4.1.19)$$

長手方向地震による反力は次式で求める。

$$P_l = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{l_0} \dots\dots\dots (5.2.4.1.20)$$

曲げモーメント M_l により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより(5.2.4.1.1.21)式～(5.2.4.1.1.24)式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_l / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_l}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\phi 1} \dots (5.2.4.1.21)$$

$$\sigma_{x 41} = \left\{ \frac{N_x}{M_l / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_l}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\phi 2} \dots (5.2.4.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 41} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_l / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_l}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.23)$$

$$\sigma_{2 x 41} = \left\{ \frac{M_x}{M_l / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_l}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.24)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.2.4.1.25)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、二次応力を求める場合は、更に Kl_j を乗じた値とする。

反力 P_l による応力

一次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_l / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_l}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 42} = \left(\frac{N_x}{P_l / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_l}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 42} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_l} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_l}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{2x 42} = \left(\frac{M_x}{P_l} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_l}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.29)$$

したがって、長手方向地震による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.30)$$

$$\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.31)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 4} = \sigma_{2\phi 41} + \sigma_{2\phi 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.32)$$

$$\sigma_{2x 4} = \sigma_{2x 41} + \sigma_{2x 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.33)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_l = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.34)$$

(5) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震により脚付け根部に生じる反力は次式で求める。

$$P_c = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.35)$$

半径方向荷重 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより (5.2.4.1.1.36) 式～

(5.2.4.1.1.39) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x 5} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.37)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.39)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{1j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.40)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$1/4 \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{2j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.41)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出される脚付け根部に生じる胴の応力を以下のように組合せる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0x}) \} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.42)$$

ここで、

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.43)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.44)$$

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1l} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1l\phi} + \sigma_{1lx}) + \sqrt{(\sigma_{1l\phi} - \sigma_{1lx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de} + \tau_l)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.45)$$

ここで,

$$\sigma_{1l\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.46)$$

$$\sigma_{1lx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.47)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.48)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.50)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{1l}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{1c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.51)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2l} = (\sigma_{2l\phi} + \sigma_{2lx}) + \sqrt{(\sigma_{2l\phi} - \sigma_{2lx})^2 + 4 \cdot (\tau_{de} + \tau_l)^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.52)$$

ここで,

$$\sigma_{2l\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{2lx} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{2x3} + \sigma_{2x4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.54)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_{de}^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.55)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.56)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x3} + \sigma_{x5} + \sigma_{2x3} + \sigma_{2x5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.57)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2l}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.58)$$

とする。

5.2.4.1.2 脚の応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot Z_{sx}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.1)$$

せん断応力は

$$\tau_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s4}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{Cv \cdot m_0 \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot Z_{sx}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.3)$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{Cv \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s4}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.4)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ応力は

$$\sigma_{s3} = \frac{M\ell}{Z_{sy}} + \frac{P\ell}{A_s} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.5)$$

せん断応力は

$$\tau_{s3} = \frac{CH \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s3}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.6)$$

(4) 横方向地震による圧縮応力

$$\sigma_{s4} = \frac{CH \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_s} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.8)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.10)$$

とする。

5.2.5 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.2.6 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの応力の評価

5.2.6.1 胴の応力評価

5.2.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。

ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の0.6倍
一次応力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲れ解析は不要とする。	

5.2.6.2 脚の応力評価

5.2.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。

ただし、 f_t は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

6.1.1 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.1.2 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	挿付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力	最高使用温度	周囲環境温度
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	S	原子炉格納容器附帯 EL. 27.907 *1			*2 C _H =1.37	*2 C _V =0.72	*3 C _H =1.97	*3 C _V =1.47	1.77	171	171

注記*1：基準レベルを示す。

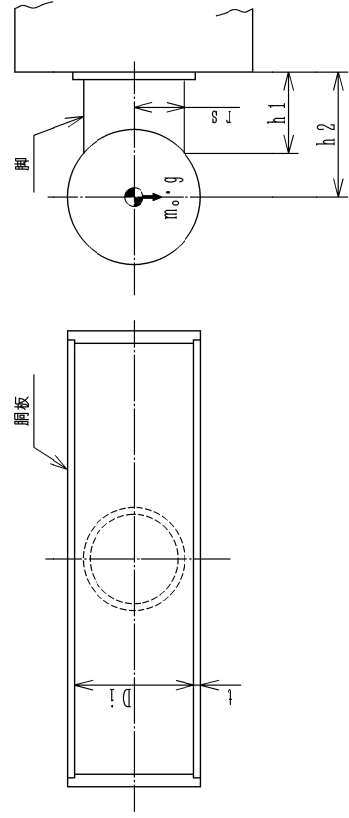
*2：設計用震度 II (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	r _s (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)	Z _{s x} (mm ³)	Z _{s y} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)
	199.9	8.2	180	250	82.6	1.104×10 ⁷	1.104×10 ⁷	1.337×10 ⁵	1.337×10 ⁵	3.526×10 ³	193000 *1	74200 *1

A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2.351×10 ³	2.351×10 ³	1.763×10 ³	1.763×10 ³



S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 *2	413 *2	113 *2	211 *1	404 *1	211	253

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	$\sigma_0 = 23$		$\sigma_0 = 23$	

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
内圧による応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
	引張り	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$	$\sigma_{\phi 1} = 23$	$\sigma_{x1} = 12$	$\sigma_{\phi 1} = 23$
$\sigma_{\phi 2} = 1$		$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{\phi 2} = 1$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{\phi 2} = 1$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{\phi 2} = 1$	$\sigma_{x2} = 2$
せん断	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$
	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 2$	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 2$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$
引張り	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$
	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 1$	$\sigma_{\phi 4} = 2$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 4} = 2$	$\sigma_{x4} = 2$
引張り	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$
	$\sigma_{1f} = 27$	$\sigma_{1f} = 27$	$\sigma_{1f} = 26$	$\sigma_{1f} = 26$	$\sigma_{1f} = 28$	$\sigma_{1f} = 28$	$\sigma_{1f} = 27$	$\sigma_{1f} = 27$
せん断								
組合せ応力	$\sigma_{1f} = 27$		$\sigma_{1f} = 26$		$\sigma_{1f} = 28$		$\sigma_{1f} = 27$	

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度						基準地震動 S s					
	長手方向			横方向			長手方向			横方向		
	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 2$	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 2$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x3} = 3$
	$\sigma_{2\phi 3} = 6$	$\sigma_{2x3} = 3$	$\sigma_{2\phi 3} = 6$	$\sigma_{2x3} = 3$	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x3} = 6$	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x3} = 6$	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x3} = 6$	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x3} = 6$
水平方向地震による応力	$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$		
	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 1$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$
	$\sigma_{2\phi 4} = 3$	$\sigma_{2x4} = 4$	$\sigma_{2\phi 5} = 5$	$\sigma_{2x5} = 3$	$\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{2x4} = 6$	$\sigma_{2\phi 5} = 6$	$\sigma_{2x5} = 4$	$\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{2x4} = 6$	$\sigma_{2\phi 5} = 6$	$\sigma_{2x5} = 4$
組合せ応力	$\tau_{t} = 1$			—			$\tau_{t} = 1$			—		
	$\sigma_{2t} = 22$			$\sigma_{2c} = 24$			$\sigma_{2t} = 39$			$\sigma_{2c} = 41$		

1.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度						基準地震動 S s					
	長手方向			横方向			長手方向			横方向		
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} = 2$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$	$\sigma_{s3} = 2$	$\tau_{s3} = 3$	$\sigma_{s1} = 2$	$\tau_{s1} = 1$	$\sigma_{s2} = 2$	$\tau_{s2} = 1$	$\sigma_{s3} = 3$	$\tau_{s3} = 3$
	$\sigma_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 1$	$\sigma_{s5} = 1$	$\tau_{s5} = 1$	$\sigma_{s6} = 1$	$\tau_{s6} = 1$	$\sigma_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 1$	$\sigma_{s5} = 1$	$\tau_{s5} = 1$	$\sigma_{s6} = 1$	$\tau_{s6} = 1$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s1} = 2$			$\tau_{s1} = 1$			$\sigma_{s2} = 2$			$\tau_{s2} = 1$		
	$\sigma_{s3} = 2$			$\tau_{s3} = 3$			$\sigma_{s4} = 1$			$\tau_{s4} = 1$		
水平方向地震による応力	—			—			—			—		
	$\tau_{s3} = 1$			$\sigma_{s4} = 1$			$\tau_{s3} = 1$			$\sigma_{s4} = 1$		
組合せ応力	$\sigma_{st} = 4$			$\sigma_{sc} = 3$			$\sigma_{st} = 6$			$\sigma_{sc} = 4$		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304TP	一次一般膜	$\sigma_0 = 23$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 23$	$S_a = 248$
		一次	$\sigma_1 = 27$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 28$	$S_a = 372$
		一次+二次	$\sigma_2 = 24$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 41$	$S_a = 300$
脚	STPT42	組合せ	$\sigma_s = 4$	$f_t = 211$	$\sigma_s = 6$	$f_t = 253$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	挿付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキユムレータ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉格納容器附帯 *1 EL. 27.907	水平方向 鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	2.20	200	200
				—	—	C _H = 1.97	C _V = 1.47			

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

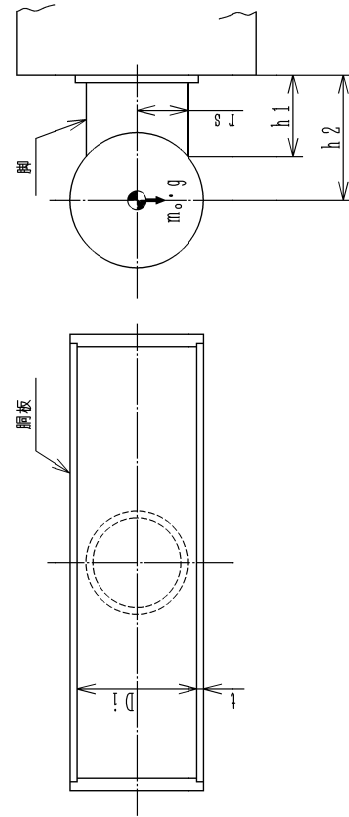
m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	r _s (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)	Z _{s x} (mm ³)	Z _{s y} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)
	199.9	8.2	180	250	82.6	1.104×10 ⁷	1.104×10 ⁷	1.337×10 ⁵	1.337×10 ⁵	3.526×10 ³	191000	73500

A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2.351×10 ³	2.351×10 ³	1.763×10 ³	1.763×10 ³

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	F (胴板) (MPa)	F* (胴板) (MPa)
144	402	111	207	404	207	248

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 29$	$\sigma_{x1} = 14$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	—	—	$\sigma_0 = 29$	—

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による応力	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{11} = 34$	$\tau_{12} = 1$	$\sigma_{13} = 32$	$\tau_{14} = 1$

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
鉛直方向地震による応力	引張り	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 3$
	せん断	—	—	—	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x 3} = 6$	$\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{2x 3} = 6$
水平方向地震による応力	引張り	—	—	—	$\tau_{de} = 1$	—	$\tau_{de} = 1$	—
	せん断	—	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x 4} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 2$
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{2x 4} = 6$	$\sigma_{2\phi 5} = 6$	$\sigma_{2x 5} = 4$
組合せ	—	—	—	—	$\tau_{\ell} = 1$	—	—	—
組合せ	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell} = 39$	—	$\sigma_{2c} = 41$	—

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
運転時質量による応力	曲げ	—	—	—	$\sigma_{s 1} = 2$	—	$\sigma_{s 1} = 2$	—
	せん断	—	—	—	$\tau_{s 1} = 1$	—	$\tau_{s 1} = 1$	—
鉛直方向地震による応力	曲げ	—	—	—	$\sigma_{s 2} = 2$	—	$\sigma_{s 2} = 2$	—
	せん断	—	—	—	$\tau_{s 2} = 1$	—	$\tau_{s 2} = 1$	—
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	—	$\sigma_{s 3} = 3$	—	—	—
	圧縮	—	—	—	—	$\sigma_{s 4} = 1$	—	—
組合せ応力	せん断	—	—	—	$\tau_{s 3} = 1$	—	—	—
	組合せ	—	—	—	$\sigma_{s \ell} = 6$	—	$\sigma_{s c} = 4$	—

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304TP	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 29$	$S_a = 241$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 34$	$S_a = 361$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 41$	$S_a = 288$
脚	SPT42	組合せ	—	$\sigma_s = 6$	$f_t = 248$	

すべて許容応力以下である。

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキムレータの耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設

3.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
逃がし安全弁自動減圧機能用アキムレータ	S	原子炉格納容器附帯 EL. 27.907 *1			*2 C _H =1.37	*2 C _V =0.72	*3 C _H =1.97	*3 C _V =1.47	1.77	171	171

注記*1: 基準レベルを示す。

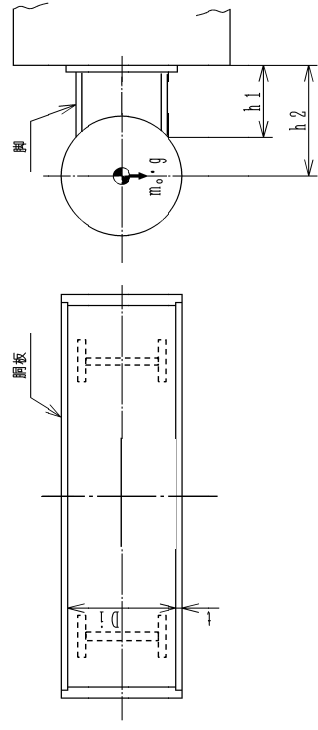
*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度のいずれか大きい方, 若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

3.2 機器要目

m ₀ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)	Z _{s x} (mm ³)	Z _{s y} (mm ³)	A _s (mm ²)
	450	12.0	700	221	375	180	60	1.252×10 ⁸	3.504×10 ⁶	6.956×10 ⁵	5.840×10 ⁴	6.912×10 ³

E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	A _{s 3} (mm ²)	A _{s 4} (mm ²)	K _{1 1} *2	K _{1 2} *2	K _{2 1} *2	K _{2 2} *2	K _{ℓ 1}	K _{ℓ 2}	K _{c 1}	K _{c 2}	C _{ℓ 1}	C _{ℓ 2}	C _{c 1}	C _{c 2}
*1 193000	*1 74200	2.977×10 ³	4.153×10 ³	1.966×10 ³	3.578×10 ³												



S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
*3 150	*3 413	*3 113	*1 201 (厚さ ≤ 16mm)	*1 373	*1 201	241

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 表中で上段は一次応力, 下段は二次応力の係数とする。

*3: 最高使用温度で算出

3.3 計算数値

3.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}
内圧による応力	35	18	35	18
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	$\sigma_0 = 35$		$\sigma_0 = 35$	

(単位：MPa)

(2) 一次応力

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
内圧による応力	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}	周方向応力 $\sigma_{\phi 1}$	軸方向応力 σ_{x1}
	引張り	35	18	35	18	35	18	35
せん断	2	4	2	4	2	4	2	4
せん断	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$	$\tau_d = 1$
引張り	1	3	1	3	3	6	3	6
せん断	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$	$\tau_{de} = 1$
引張り	3	2	2	2	4	2	3	3
せん断	$\tau_f = 1$	$\tau_f = 1$	—	—	$\tau_f = 2$	—	—	—
組合せ応力	$\sigma_{lf} = 40$		$\sigma_{lc} = 39$		$\sigma_{lf} = 42$		$\sigma_{lc} = 41$	

(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度						基準地震動 S s					
	長手方向			横方向			長手方向			横方向		
	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 3$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 3$	$\sigma_{x3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 6$	$\sigma_{x3} = 6$	$\sigma_{\phi 3} = 3$	$\sigma_{x3} = 6$
	$\sigma_{2\phi 3} = 8$	$\sigma_{2x3} = 4$	$\sigma_{2\phi 3} = 8$	$\sigma_{2x3} = 4$	$\sigma_{2\phi 3} = 4$	$\sigma_{2x3} = 4$	$\sigma_{2\phi 3} = 15$	$\sigma_{2x3} = 7$	$\sigma_{2\phi 3} = 7$	$\sigma_{2x3} = 15$	$\sigma_{2\phi 3} = 15$	$\sigma_{2x3} = 7$
水平方向地震による応力	$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$			$\tau_{de} = 1$		
	$\sigma_{\phi 4} = 3$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$	$\sigma_{\phi 4} = 4$	$\sigma_{x4} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x5} = 2$	$\sigma_{\phi 5} = 3$	$\sigma_{x5} = 3$
	$\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{2x4} = 5$	$\sigma_{2\phi 5} = 7$	$\sigma_{2x5} = 4$	$\sigma_{2\phi 5} = 4$	$\sigma_{2x5} = 4$	$\sigma_{2\phi 4} = 6$	$\sigma_{2x4} = 7$	$\sigma_{2\phi 5} = 7$	$\sigma_{2x5} = 9$	$\sigma_{2\phi 5} = 9$	$\sigma_{2x5} = 5$
組合せ応力	$\tau_{f} = 1$			—			$\tau_{f} = 2$			—		
	$\sigma_{2f} = 30$			$\sigma_{2c} = 34$			$\sigma_{2f} = 52$			$\sigma_{2c} = 59$		

3.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度						基準地震動 S s					
	長手方向			横方向			長手方向			横方向		
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} = 1$			$\sigma_{s1} = 1$			$\sigma_{s1} = 1$			$\sigma_{s1} = 1$		
	$\tau_{s1} = 1$			$\tau_{s1} = 1$			$\tau_{s1} = 1$			$\tau_{s1} = 1$		
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s2} = 1$			$\sigma_{s2} = 1$			$\sigma_{s2} = 2$			$\sigma_{s2} = 2$		
	$\tau_{s2} = 1$			$\tau_{s2} = 1$			$\tau_{s2} = 1$			$\tau_{s2} = 1$		
水平方向地震による応力	$\sigma_{s3} = 5$			—			$\sigma_{s3} = 7$			—		
	—			$\sigma_{s4} = 1$			—			$\sigma_{s4} = 1$		
組合せ応力	$\tau_{s3} = 2$			—			$\tau_{s3} = 2$			—		
	$\sigma_{sf} = 8$			$\sigma_{sc} = 3$			$\sigma_{sf} = 11$			$\sigma_{sc} = 4$		

3.4 結論

3.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
鉛直方向	

3.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 35$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 35$	$S_a = 248$		
		一次	$\sigma_1 = 40$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 42$	$S_a = 372$		
		一次十二次	$\sigma_2 = 34$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 59$	$S_a = 300$		
脚	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 8$	$f_t = 201$	$\sigma_s = 11$	$f_t = 241$		

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1-2 残留熱除去ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	10
3.4 固有周期	10
3.5 設計用地震力	11
3.6 計算条件	11
4. 機能維持評価	12
4.1 動的機能維持評価方法	12
5. 評価結果	13
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	13

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

残留熱除去ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

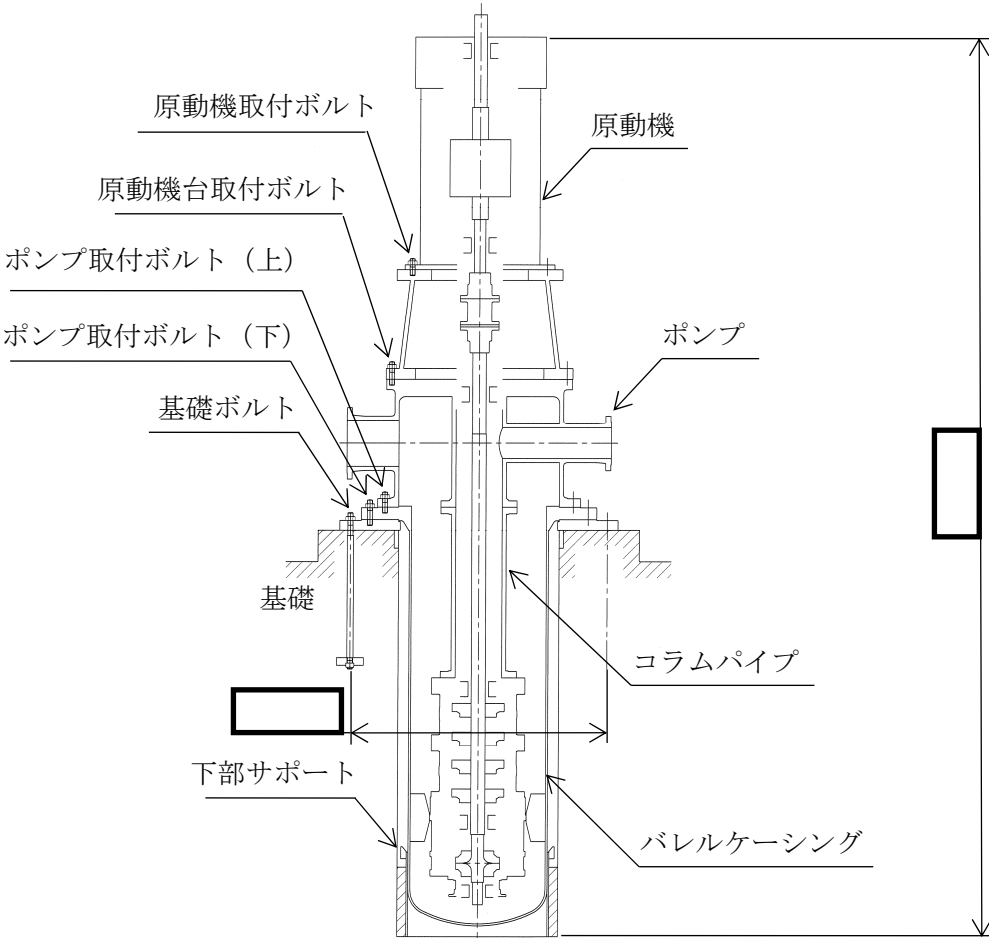
なお、残留熱除去ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプは基礎ボルトで中央付近の基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	 <p>(単位：mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

残留熱除去ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱除去ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	残留熱除去ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	残留熱除去ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)
	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	残留熱除去ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

(続き)

原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備 原子炉格納容 器安全設備	残留熱除去ポンプ*4	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1: 「常設／防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2: 重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*4: A, B-残留熱除去ポンプが対象。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)			基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	

注記* : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	185	—	188	373
コラムパイプ	最高使用温度	185	—	188	373	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	185	—	635	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	

∞

□

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	185	—	—	373	—
コラムパイプ		最高使用温度	185	—	—	373	—
基礎ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	185	—	635	847	—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	185	—	635	847	—
原動機台取付ボルト		最高使用温度	185	—	635	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—

□

3.3 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.031	—	—	—

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.031	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.031	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱除去ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

残留熱除去ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
残留熱除去ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	0.031	0.05 以下	C _H =0.90*2	C _V =0.47*2	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _p =0.06	185	□	1.37	3.92

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	4.456×10 ⁶	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	188* (16mm<厚 さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	188* (16mm<厚 さ≦40mm)	373*	432	38.0

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R0

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.031
鉛直方向	0.05 以下

15

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=9$	$f_{ts1}=455^*$	$\sigma_{b1}=39$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=6$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	$\tau_{b3}=3$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4}=8$	$f_{ts4}=444^*$	$\sigma_{b4}=20$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	$\tau_{b4}=6$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	$\sigma_{b5}=5$	$f_{ts5}=455^*$	$\sigma_{b5}=12$	$f_{ts5}=455^*$
		せん断	$\tau_{b5}=4$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$	S _a = 188
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$	S _a = 223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 23$	S _a = 188
		基準地震動 S _s	$\sigma = 23$	S _a = 223

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6	7.033×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6	1.658×10^7
3	3-4	1		1.886×10^7	3.771×10^7
4	4-5	1		1.886×10^7	3.771×10^7
5	5-6	1		1.886×10^7	3.771×10^7
6	6-7	1		1.630×10^7	3.261×10^7
7	7-8	1		1.630×10^7	3.261×10^7
8	8-9	1		1.886×10^7	3.771×10^7
9	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
10	10-11	3		8.942×10^7	1.788×10^8
11	11-12	5		5.967×10^6	1.193×10^7
12	12-13	5		2.485×10^7	4.970×10^7
13	13-14	5		1.536×10^7	3.072×10^7
14	15-16	2		9.025×10^8	1.805×10^9
15	16-17	2		2.884×10^9	5.769×10^9
16	17-18	2		2.884×10^9	5.769×10^9
17	18-19	2		3.336×10^9	6.673×10^9
18	19-20	2		3.336×10^9	6.673×10^9
19	20-21	2		1.559×10^9	3.119×10^9
20	21-22	2		1.559×10^9	3.119×10^9
21	22-23	2		1.559×10^9	3.119×10^9
22	23-36	2		1.559×10^9	3.119×10^9
23	24-25	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
33	35-36	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
34	36-37	4		3.766×10^{10}	7.532×10^{10}
35	37-38	5		9.961×10^9	1.992×10^{10}
36	38-39	5		9.961×10^9	1.992×10^{10}
37	39-40	5		1.385×10^{10}	2.771×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	
3	17	
6	20	
9	23	
12	38	
13	39	
17	27	
13	39	
31	33	
31	33	

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	185	1.89×10^5		0.3	
2	185	1.92×10^5		0.3	
3	□	1.99×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	1.99×10^5		0.3	

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R0

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
残留熱除去ポンプ	常設/防止(D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.031	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _P =0.06	185	□	1.37	3.92

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	685*1 (径≦60mm)	847*1 (径≦60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	—	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	4.456×10 ⁶	635*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	—	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	4.456×10 ⁶	685*1 (径≦60mm)	847*1 (径≦60mm)	—	592

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	373*	432	38.0

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=5)	—		—		—	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.031
鉛直方向	0.05 以下

23

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=39$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	$\sigma_{b4}=20$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	—	—	$\sigma_{b5}=12$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$ $S_a = 223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 23$ $S_a = 223$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度

又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6	7.033×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6	1.658×10^7
3	3-4	1		1.886×10^7	3.771×10^7
4	4-5	1		1.886×10^7	3.771×10^7
5	5-6	1		1.886×10^7	3.771×10^7
6	6-7	1		1.630×10^7	3.261×10^7
7	7-8	1		1.630×10^7	3.261×10^7
8	8-9	1		1.886×10^7	3.771×10^7
9	9-10	1		4.909×10^6	9.817×10^6
10	10-11	3		8.942×10^7	1.788×10^8
11	11-12	5		5.967×10^6	1.193×10^7
12	12-13	5		2.485×10^7	4.970×10^7
13	13-14	5		1.536×10^7	3.072×10^7
14	15-16	2		9.025×10^8	1.805×10^9
15	16-17	2		2.884×10^9	5.769×10^9
16	17-18	2		2.884×10^9	5.769×10^9
17	18-19	2		3.336×10^9	6.673×10^9
18	19-20	2		3.336×10^9	6.673×10^9
19	20-21	2		1.559×10^9	3.119×10^9
20	21-22	2		1.559×10^9	3.119×10^9
21	22-23	2		1.559×10^9	3.119×10^9
22	23-36	2		1.559×10^9	3.119×10^9
23	24-25	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
33	35-36	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
34	36-37	4		3.766×10^{10}	7.532×10^{10}
35	37-38	5		9.961×10^9	1.992×10^{10}
36	38-39	5		9.961×10^9	1.992×10^{10}
37	39-40	5		1.385×10^{10}	2.771×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	
3	17	
6	20	
9	23	
12	38	
13	39	
17	27	
13	39	
31	33	
31	33	

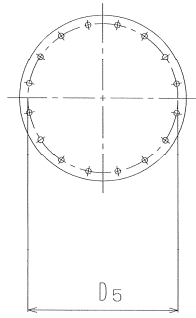
(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

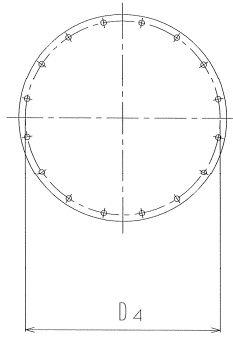
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	185	1.89×10^5	7.740×10^{-6}	0.3	
2	185	1.92×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
3	<input type="checkbox"/>	1.97×10^5	7.850×10^{-6}	0.3	
4	<input type="checkbox"/>	1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
5	<input type="checkbox"/>	1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	

原動機取付ボルト



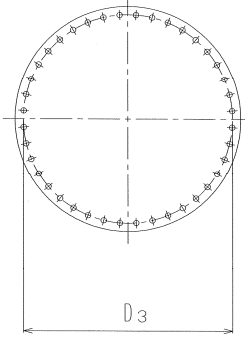
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



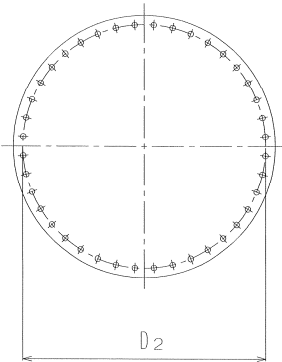
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



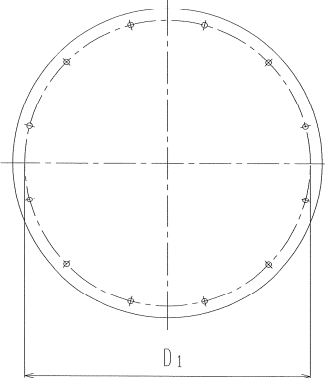
C~C矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

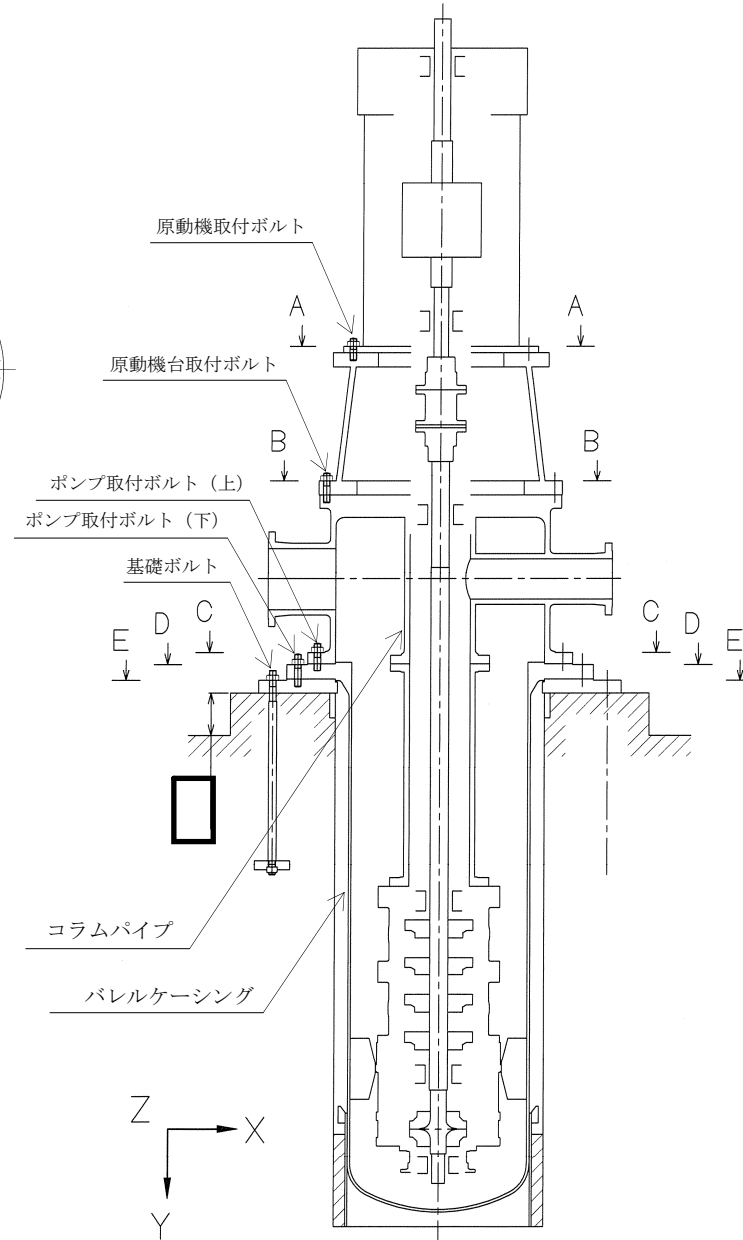


D~D矢視図

基礎ボルト



E~E矢視図



VI-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の
耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1 高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	10
3.6 計算条件	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプは基礎ボルトで中央付近の基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	<p>原動機取付ボルト</p> <p>原動機</p> <p>原動機台取付ボルト</p> <p>ポンプ取付ボルト (上)</p> <p>ポンプ取付ボルト (下)</p> <p>ポンプ</p> <p>基礎ボルト</p> <p>基礎</p> <p>コラムパイプ</p> <p>下部サポート</p> <p>バレルケーシング</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

高圧炉心スプレイポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	高圧炉心スプレイポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	高圧炉心スプレイポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)			基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	

注記* : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	100	—	212	373
コラムパイプ	最高使用温度	100	—	226	438	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	110	—	—	373
コラムパイプ	最高使用温度	110	—	—	438	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	110	—	678	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	110	—	678	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	110	—	678	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	685	847	—	

□

□

3.3 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.045	—	—	—

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.045	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.045	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R0

【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	0.045	0.05 以下	C _H =0.90*2	C _V =0.47*2	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _p =0.11	100	□	1.37	12.2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	—	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	1.263×10 ⁷	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	1.263×10 ⁷	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	1.263×10 ⁷	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	1.263×10 ⁷	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	226*	438*	432	38.0

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R0

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.05 以下

14

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=18$	$f_{ts1}=455^*$	$\sigma_{b1}=57$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=27$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=12$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	$\tau_{b3}=5$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	$\sigma_{b4}=21$	$f_{ts4}=444^*$	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	$\tau_{b4}=10$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=18$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	$\sigma_{b5}=11$	$f_{ts5}=455^*$	$\sigma_{b5}=26$	$f_{ts5}=455^*$
		せん断	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=12$	$f_{sb5}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$	$S_a = 212$
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$	$S_a = 223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 70$	$S_a = 226$
		基準地震動 S _s	$\sigma = 70$	$S_a = 262$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R0

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶	4.021×10 ⁶
2	2-3	1		4.773×10 ⁶	9.545×10 ⁶
3	3-4	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
4	4-5	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
5	5-6	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
6	6-7	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
7	7-8	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
8	8-9	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
9	9-10	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
10	10-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
11	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
12	12-13	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
14	14-15	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	15-16	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	16-17	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
17	17-18	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
18	18-19	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
19	19-20	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
20	20-21	1		1.318×10 ⁷	2.635×10 ⁷
21	21-22	1		3.217×10 ⁷	6.434×10 ⁷
22	22-23	1		1.630×10 ⁷	3.261×10 ⁷
23	23-24	3		2.915×10 ⁸	5.831×10 ⁸
24	24-25	6		1.886×10 ⁷	3.771×10 ⁷
25	25-26	6		1.150×10 ⁸	2.300×10 ⁸
26	26-27	6		4.100×10 ⁷	8.200×10 ⁷
27	28-29	2		5.201×10 ⁸	1.040×10 ⁹
28	29-30	2		1.920×10 ⁹	3.840×10 ⁹
29	30-31	2		1.920×10 ⁹	3.840×10 ⁹
30	31-32	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
31	32-33	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
32	33-34	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
33	34-35	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
34	35-36	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
35	36-37	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
36	37-38	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
37	38-39	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
38	39-40	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
39	40-41	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
40	41-42	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
41	42-43	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
42	43-44	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
43	44-45	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
44	45-46	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
45	46-47	2		1.559×10^9	3.119×10^9
46	47-48	2		1.559×10^9	3.119×10^9
47	48-49	2		1.559×10^9	3.119×10^9
48	49-75	2		1.559×10^9	3.119×10^9
49	50-51	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
57	58-59	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
58	59-60	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
59	60-61	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
60	61-62	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
61	62-63	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
62	63-64	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
63	64-65	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
64	65-66	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
65	66-67	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
66	67-68	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
67	68-69	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
68	69-70	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
69	71-72	4		2.379×10^{12}	4.759×10^{12}
70	72-73	2		1.249×10^{12}	2.498×10^{12}
71	73-74	2		6.562×10^{10}	1.312×10^{11}
72	74-75	2		5.630×10^{10}	1.126×10^{11}
73	75-76	4		5.630×10^{10}	1.126×10^{11}
74	76-77	5		2.187×10^{10}	4.374×10^{10}
75	77-78	5		2.187×10^{10}	4.374×10^{10}
76	78-79	5		1.496×10^{10}	2.993×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	28	
3	30	
5	32	
7	34	
9	36	
11	38	
13	40	
15	42	
17	44	
19	46	
22	49	
25	77	
26	78	
31	54	
26	78	
70	72	
70	72	

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	100	1.96×10^5		0.3	
2	100	1.98×10^5		0.3	
3	□	1.99×10^5		0.3	
4	□	2.00×10^5		0.3	
5	□	2.00×10^5		0.3	
6	□	1.99×10^5		0.3	

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイポンプ	常設/防止(D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.045	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _p =0.11	110	□	1.37	12.2

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	—	685*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	1.263×10 ⁷	678*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	1.263×10 ⁷	678*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	1.263×10 ⁷	678*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	1.263×10 ⁷	685*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	—	592

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	438*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—			
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—			
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—			
原動機取付ボルト (i=5)	—		—			

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.05 以下

25

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=57$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=27$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=18$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	—	—	$\sigma_{b5}=26$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=12$	$f_{sb5}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 86$	$S_a = 223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 70$	$S_a = 262$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶	4.021×10 ⁶
2	2-3	1		4.773×10 ⁶	9.545×10 ⁶
3	3-4	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
4	4-5	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
5	5-6	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
6	6-7	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
7	7-8	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
8	8-9	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
9	9-10	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
10	10-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
11	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
12	12-13	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
14	14-15	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	15-16	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	16-17	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
17	17-18	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
18	18-19	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
19	19-20	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
20	20-21	1		1.318×10 ⁷	2.635×10 ⁷
21	21-22	1		3.217×10 ⁷	6.434×10 ⁷
22	22-23	1		1.630×10 ⁷	3.261×10 ⁷
23	23-24	3		2.915×10 ⁸	5.831×10 ⁸
24	24-25	5		1.886×10 ⁷	3.771×10 ⁷
25	25-26	5		1.150×10 ⁸	2.300×10 ⁸
26	26-27	5		4.100×10 ⁷	8.200×10 ⁷
27	28-29	2		5.201×10 ⁸	1.040×10 ⁹
28	29-30	2		1.920×10 ⁹	3.840×10 ⁹
29	30-31	2		1.920×10 ⁹	3.840×10 ⁹
30	31-32	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
31	32-33	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
32	33-34	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
33	34-35	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
34	35-36	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
35	36-37	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
36	37-38	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
37	38-39	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
38	39-40	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
39	40-41	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰
40	41-42	2		7.927×10 ⁹	1.585×10 ¹⁰

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
42	43-44	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
43	44-45	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
44	45-46	2		7.927×10^9	1.585×10^{10}
45	46-47	2		1.559×10^9	3.119×10^9
46	47-48	2		1.559×10^9	3.119×10^9
47	48-49	2		1.559×10^9	3.119×10^9
48	49-75	2		1.559×10^9	3.119×10^9
49	50-51	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
57	58-59	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
58	59-60	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
59	60-61	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
60	61-62	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
61	62-63	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
62	63-64	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
63	64-65	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
64	65-66	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
65	66-67	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
66	67-68	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
67	68-69	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
68	69-70	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
69	71-72	4		2.379×10^{12}	4.759×10^{12}
70	72-73	2		1.249×10^{12}	2.498×10^{12}
71	73-74	2		6.562×10^{10}	1.312×10^{11}
72	74-75	2		5.630×10^{10}	1.126×10^{11}
73	75-76	4		5.630×10^{10}	1.126×10^{11}
74	76-77	5		2.187×10^{10}	4.374×10^{10}
75	77-78	5		2.187×10^{10}	4.374×10^{10}
76	78-79	5		1.496×10^{10}	2.993×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	28	
3	30	
5	32	
7	34	
9	36	
11	38	
13	40	
15	42	
17	44	
19	46	
22	49	
25	77	
26	78	
31	54	
26	78	
70	72	
70	72	

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

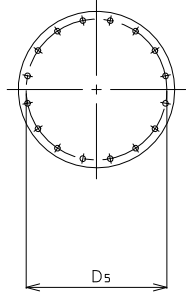
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	

(5) 材料物性値

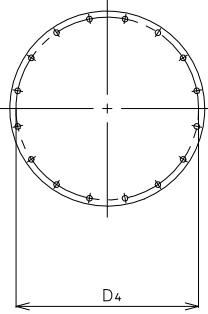
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	110	1.95×10^5	7.740×10^{-6}	0.3	
2	110	1.97×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
3		1.97×10^5	7.850×10^{-6}	0.3	
4		1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
5		1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	

原動機取付ボルト



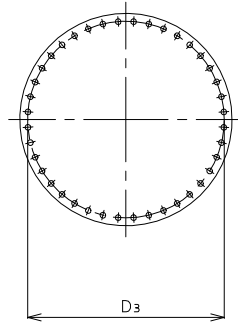
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



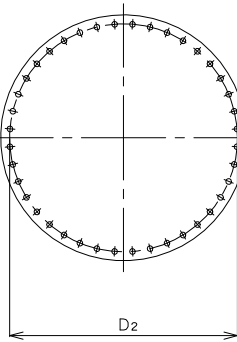
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



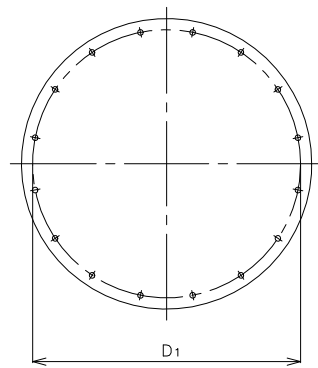
C~C矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

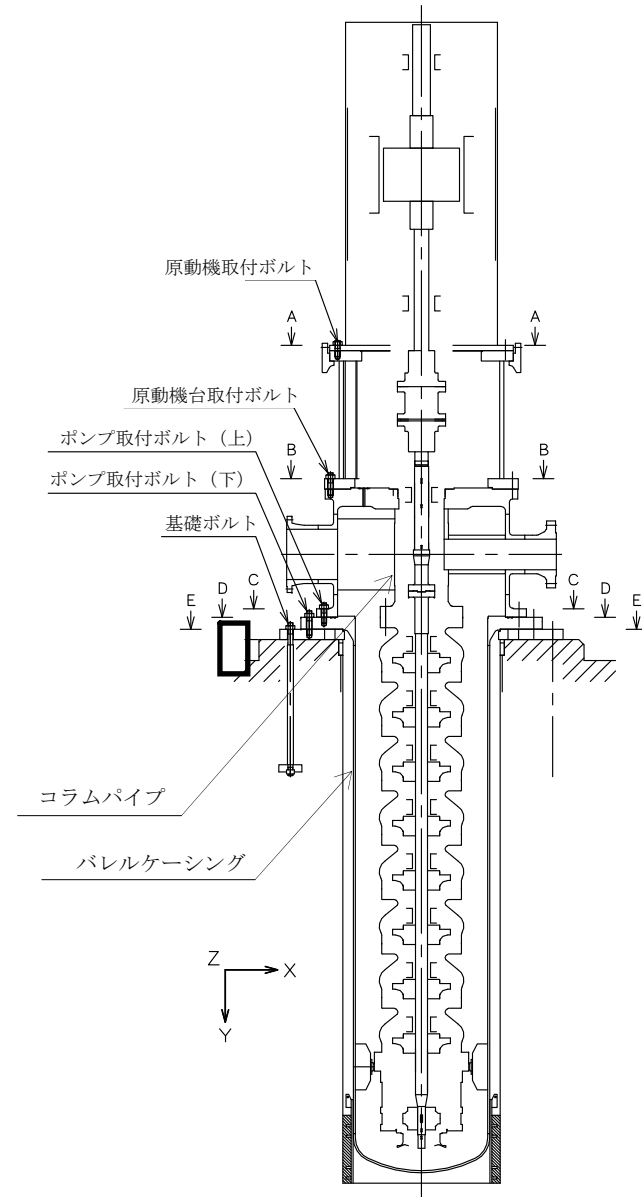


D~D矢視図

基礎ボルト



E~E矢視図



VI-2-5-5-2 低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	10
3.6 計算条件	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧炉心スプレイポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

低圧炉心スプレイポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、低圧炉心スプレイポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプは基礎ボルトで中央付近の基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

低圧炉心スプレイポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

低圧炉心スプレイポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	低圧炉心スプレイポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	低圧炉心スプレイポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)			基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	

注記* : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	100	—	212	373
コラムパイプ	最高使用温度	100	—	212	373	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	



表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	116	—	—	373	—
コラムパイプ		最高使用温度	116	—	—	373	—
基礎ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	116	—	674	847	—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	116	—	674	847	—
原動機台取付ボルト		最高使用温度	116	—	674	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—

∞

□

3.3 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.034	—	—	—

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.034	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.034	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

低圧炉心スプレイポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R0

【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3* ¹	0.034	0.05 以下	C _H =0.90* ²	C _V =0.47* ²	C _H =1.79* ³	C _V =0.94* ³	C _p =0.06	100	□	1.37	4.41

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	7.242×10 ⁶	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	7.242×10 ⁶	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	7.242×10 ⁶	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	7.242×10 ⁶	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	432	38.0

注記*：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R0

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.034
鉛直方向	0.05 以下

14

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
			基礎ボルト (i=1)	引張り	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=455^*$
	せん断	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=350$	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=342$	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	引張り	$\sigma_{b3}=7$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b3}=4$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=7$	$f_{sb3}=342$	
原動機台取付ボルト (i=4)	引張り	$\sigma_{b4}=11$	$f_{ts4}=444^*$	$\sigma_{b4}=26$	$f_{ts4}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b4}=7$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=13$	$f_{sb4}=342$	
原動機取付ボルト (i=5)	引張り	$\sigma_{b5}=5$	$f_{ts5}=455^*$	$\sigma_{b5}=14$	$f_{ts5}=455^*$	
	せん断	$\tau_{b5}=5$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=8$	$f_{sb5}=350$	

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$ S _a = 212
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$ S _a = 223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 25$ S _a = 212
		基準地震動 S _s	$\sigma = 25$ S _a = 223

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度

又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R0

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10 ⁶	7.033×10 ⁶
2	2-3	1		8.291×10 ⁶	1.658×10 ⁷
3	3-4	1		1.886×10 ⁷	3.771×10 ⁷
4	4-5	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
5	5-6	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
6	6-7	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
7	7-8	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
8	8-9	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
9	9-10	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
10	10-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
11	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
12	12-13	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
14	14-15	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	15-16	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	16-17	1		1.318×10 ⁷	2.635×10 ⁷
17	17-18	1		3.217×10 ⁷	6.434×10 ⁷
18	18-19	1		1.630×10 ⁷	3.261×10 ⁷
19	19-20	3		2.915×10 ⁸	5.831×10 ⁸
20	20-21	5		7.187×10 ⁶	1.437×10 ⁷
21	21-22	5		5.153×10 ⁷	1.031×10 ⁸
22	22-23	5		1.536×10 ⁷	3.072×10 ⁷
23	24-25	2		9.014×10 ⁸	1.803×10 ⁹
24	25-26	2		2.884×10 ⁹	5.769×10 ⁹
25	26-27	2		2.884×10 ⁹	5.769×10 ⁹
26	27-28	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
27	28-29	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
28	29-30	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
29	30-31	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
30	31-32	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
31	32-33	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
32	33-34	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
33	34-35	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
34	35-36	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
35	36-37	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
36	37-38	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
37	38-39	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
38	39-40	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
39	40-41	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
40	41-63	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
42	43-44	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
43	44-45	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
44	45-46	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
45	46-47	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
46	47-48	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
47	48-49	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
48	49-50	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
49	50-51	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
57	59-60	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
58	60-61	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
59	61-62	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
60	62-63	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
61	63-64	4		4.655×10^{10}	9.310×10^{10}
62	64-65	5		1.643×10^{10}	3.287×10^{10}
63	65-66	5		1.643×10^{10}	3.287×10^{10}
64	66-67	5		1.385×10^{10}	2.771×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	24	
3	26	
5	28	
7	30	
9	32	
11	34	
13	36	
15	38	
18	41	
21	65	
22	66	
26	45	
22	66	
58	60	
58	60	

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	100	1.96×10 ⁵		0.3	
2	100	1.98×10 ⁵		0.3	
3	□	1.99×10 ⁵		0.3	
4	□	2.00×10 ⁵		0.3	
5	□	1.99×10 ⁵		0.3	

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイポンプ	常設/防止(D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.034	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _p =0.06	116	□	1.37	4.41

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	685*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	7.242×10 ⁶	674*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	7.242×10 ⁶	674*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	7.242×10 ⁶	674*2 (径 ≤ 60mm)	847*2 (径 ≤ 60mm)	—	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	7.242×10 ⁶	685*1 (径 ≤ 60mm)	847*1 (径 ≤ 60mm)	—	592

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	373*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—			
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—			
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—			
原動機取付ボルト (i=5)	—		—			

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.034
鉛直方向	0.05 以下

25

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=49$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=7$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	$\sigma_{b4}=26$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=13$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	—	—	$\sigma_{b5}=14$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=8$	$f_{sb5}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t oi}]$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$	$S_a = 223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 25$	$S_a = 223$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R0

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10 ⁶	7.033×10 ⁶
2	2-3	1		8.291×10 ⁶	1.658×10 ⁷
3	3-4	1		1.886×10 ⁷	3.771×10 ⁷
4	4-5	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
5	5-6	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
6	6-7	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
7	7-8	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
8	8-9	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
9	9-10	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
10	10-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
11	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
12	12-13	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
14	14-15	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	15-16	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	16-17	1		1.318×10 ⁷	2.635×10 ⁷
17	17-18	1		3.217×10 ⁷	6.434×10 ⁷
18	18-19	1		1.630×10 ⁷	3.261×10 ⁷
19	19-20	3		2.915×10 ⁸	5.831×10 ⁸
20	20-21	5		7.187×10 ⁶	1.437×10 ⁷
21	21-22	5		5.153×10 ⁷	1.031×10 ⁸
22	22-23	5		1.536×10 ⁷	3.072×10 ⁷
23	24-25	2		9.014×10 ⁸	1.803×10 ⁹
24	25-26	2		2.884×10 ⁹	5.769×10 ⁹
25	26-27	2		2.884×10 ⁹	5.769×10 ⁹
26	27-28	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
27	28-29	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
28	29-30	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
29	30-31	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
30	31-32	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
31	32-33	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
32	33-34	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
33	34-35	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
34	35-36	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
35	36-37	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
36	37-38	2		1.912×10 ⁹	3.824×10 ⁹
37	38-39	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
38	39-40	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
39	40-41	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹
40	41-63	2		1.559×10 ⁹	3.119×10 ⁹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
42	43-44	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
43	44-45	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
44	45-46	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
45	46-47	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
46	47-48	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
47	48-49	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
48	49-50	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
49	50-51	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
57	59-60	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
58	60-61	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
59	61-62	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
60	62-63	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
61	63-64	4		4.655×10^{10}	9.310×10^{10}
62	64-65	5		1.643×10^{10}	3.287×10^{10}
63	65-66	5		1.643×10^{10}	3.287×10^{10}
64	66-67	5		1.385×10^{10}	2.771×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	24	
3	26	
5	28	
7	30	
9	32	
11	34	
13	36	
15	38	
18	41	
21	65	
22	66	
26	45	
22	66	
58	60	
58	60	




(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

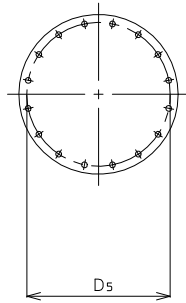
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	

(5) 材料物性値

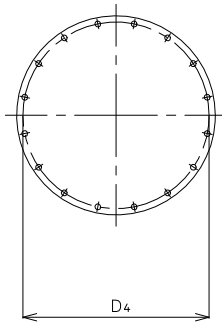
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	116	1.95×10^5	7.740×10^{-6}	0.3	
2	116	1.97×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
3		1.97×10^5	7.850×10^{-6}	0.3	
4		1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	
5		1.98×10^5	7.860×10^{-6}	0.3	

原動機取付ボルト



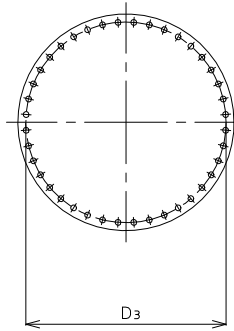
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



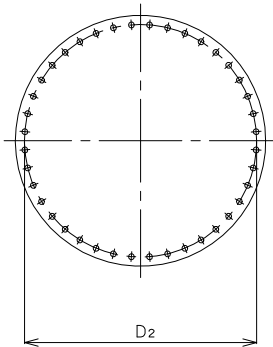
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



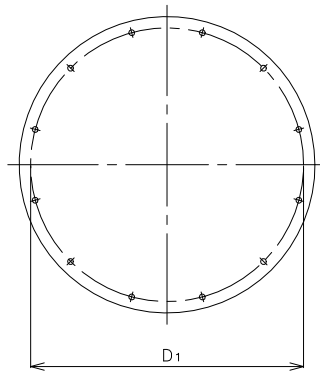
C~C矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

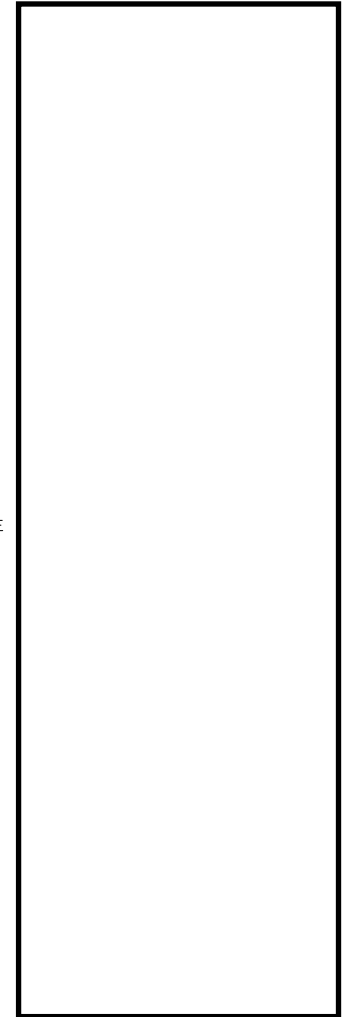
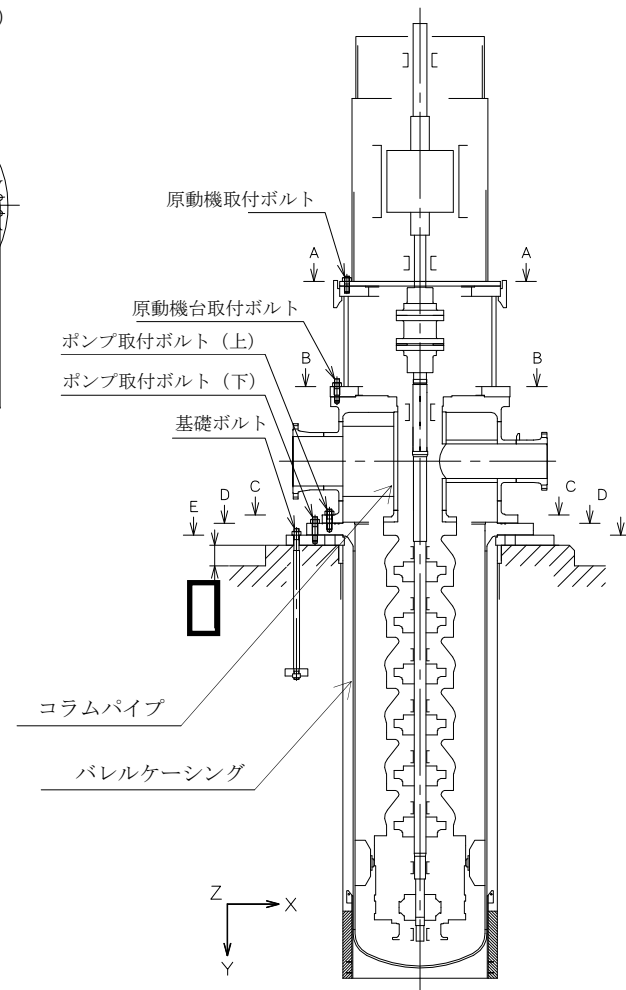


D~D矢視図

基礎ボルト



E~E矢視図



VI-2-5-5-3 高圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-3-1 高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧原子炉代替注水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧原子炉代替注水ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、構造強度評価はVI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。また、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンが一体構造の横形ポンプであるため、加振試験で得られた機能確認済加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧原子炉代替注水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧原子炉代替注水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧原子炉代替注水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧原子炉代替注水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧原子炉代替注水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本評価資料の【高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備 その他原子炉 注水設備	高圧原子炉代替注水 ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	高圧原子炉代替注水 ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	100	673	759	—
ポンプ取付ボルト	SNB7 相当 (径≤63mm)	最高使用温度	120	663	759	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧原子炉代替注水ポンプの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度が動的機能維持確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

なお、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンと一体構造の横形ポンプであり、既往の研究によって機能維持が確認された適用機種と構造・作動原理が異なることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を動的機能確認済加速度とする。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
高圧原子炉代替注水ポンプ	ターボ形横形ポンプ	水平	□
		鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧原子炉代替注水ポンプの重大事故等の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧原子炉 代替注水 ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL. 1.3 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	C _H =1.41 ^{*3}	C _V =1.05 ^{*3}	C _P =1.08	120	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f_i} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							12	6
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{y_i} (MPa)	S _{u_i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	673 ^{*2} (径≦63mm)	759 ^{*2}	—	531	—	軸方向	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	663 ^{*3} (径≦63mm)	759 ^{*3}	—	531	—	軸方向	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
□	□

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=306$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SNB7 相当	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=82$	$f_{ts2}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=306$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

10

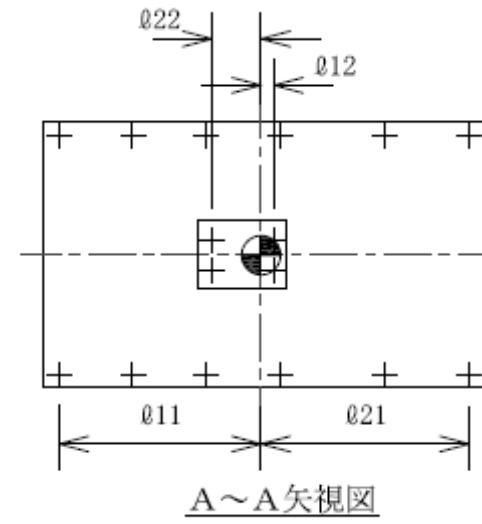
1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

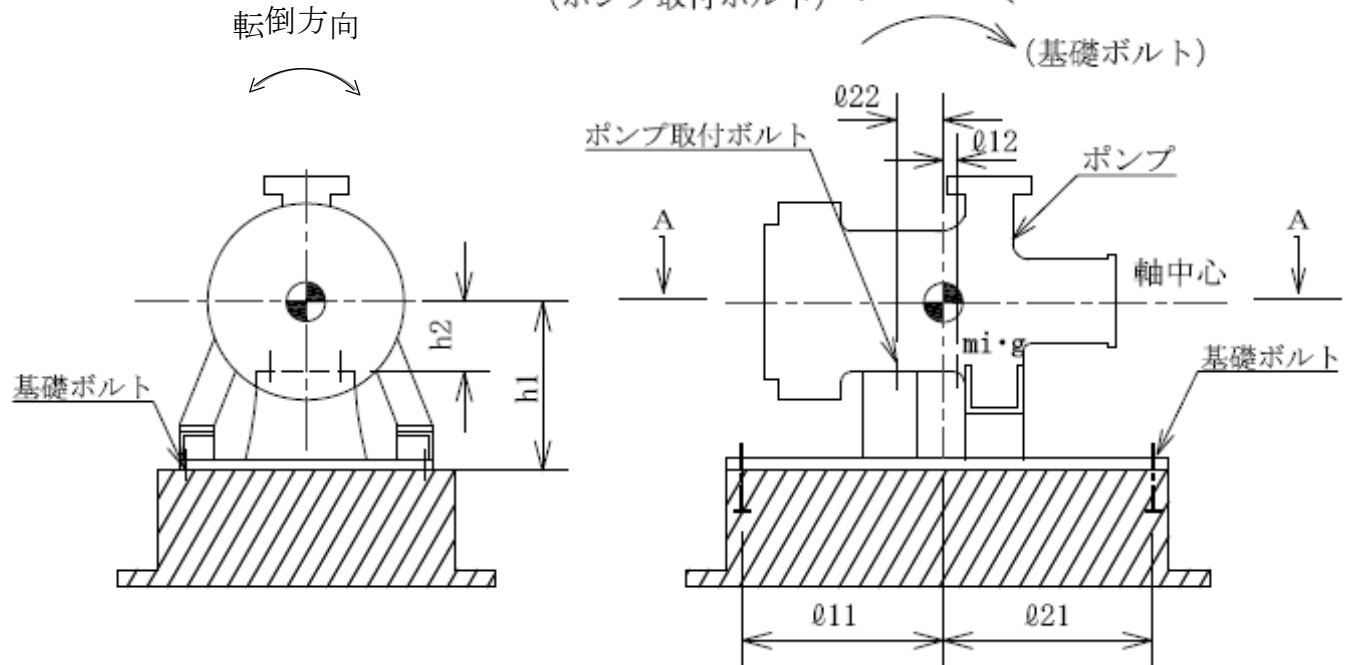
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.87	

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向
 (ポンプ取付ボルト) ←
 (基礎ボルト) →



VI-2-5-6 原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	<p>ポンプ取付ボルト (張掛)</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ポンプベース</p> <p>ポンプ</p> <p>基礎</p>

(単位：mm)

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉 冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	原子炉隔離時冷却 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	730	868	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	868	—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	685	847	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	100	685	847	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却 ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =0.90*3	C _V =0.47*3	C _H =1.79*4	C _V =0.94*4	C _p =0.38	66	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f_i} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s		
基礎ボルト (i=1)	730*2 (径≦60mm)	868*2 (径≦60mm)	607	607	軸直角	軸	1.281×10 ⁶	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≦60mm)	868*3 (径≦60mm)	607	607	軸直角	軸直角	1.281×10 ⁶	1.281×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)
□	

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=18$	$f_{ts1}=455^*$	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

10

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度II（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _P =0.38	100	□

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	685*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592	—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	685*3 (径≤60mm)	847*3 (径≤60mm)	—	592	—	軸直角	1.281×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)
□	□

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

12

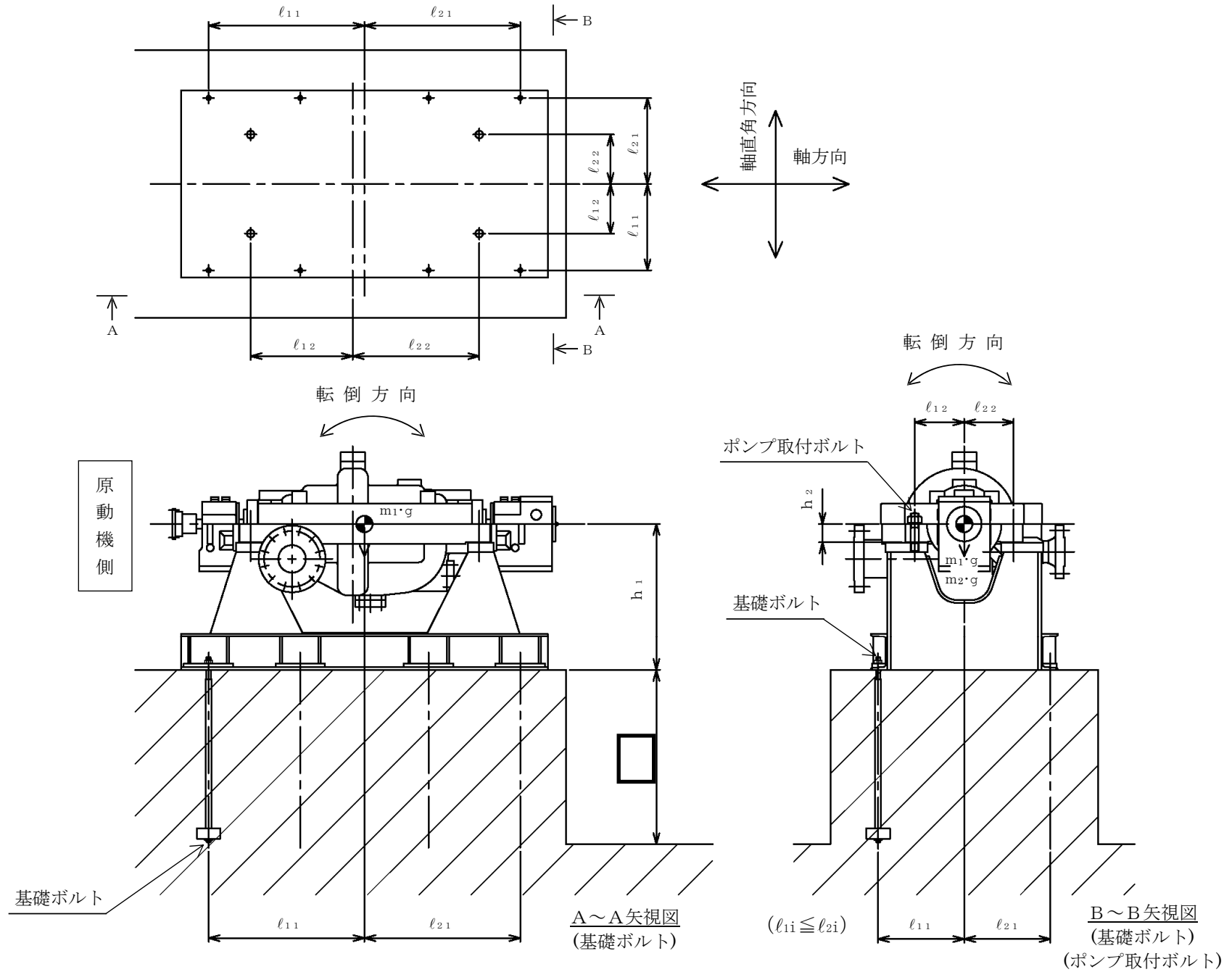
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度II（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
タービンはタービンベースに固定され、タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	背圧式蒸気タービン	<p>(単位:mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉 冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設／防止 (DB拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	100			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ駆動用タービン	背圧式蒸気タービン	水平	2.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =0.90*3	C _V =0.47*3	C _H =1.79*4	C _V =0.94*4		302	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
タービン取付ボルト (i=2)							6	1
								2

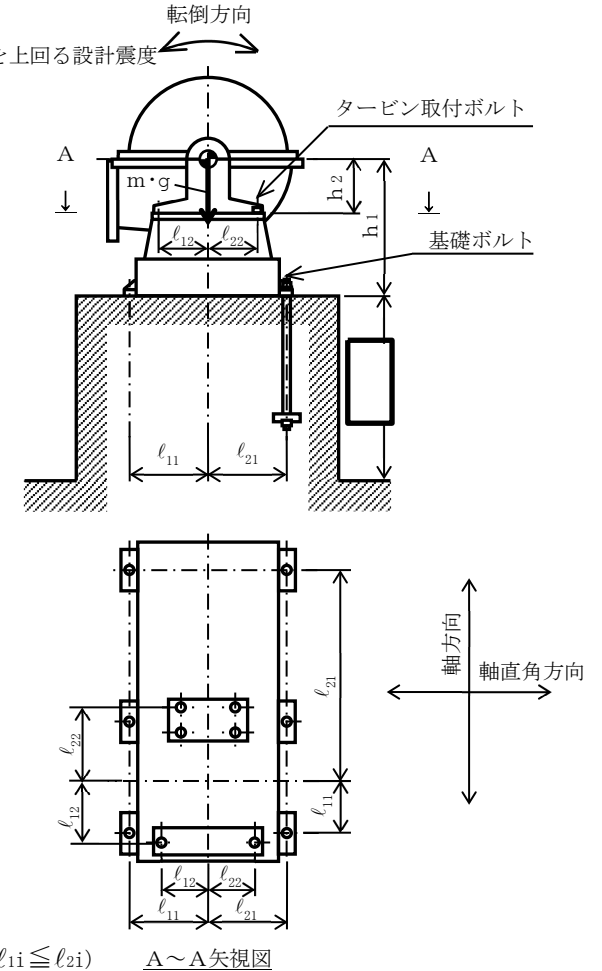
部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					軸直角	軸直角	
タービン取付ボルト (i=2)					軸直角	軸直角	

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出



(ℓ_{1i} ≦ ℓ_{2i}) A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
タービン取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} = 21$	$f_{ts1} = 455^*$	$\sigma_{b1} = 40$	$f_{ts1} = 455^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 12$	$f_{sb1} = 350$	$\tau_{b1} = 21$	$f_{sb1} = 350$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} = 33$	$f_{ts2} = 443^*$	$\sigma_{b2} = 64$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 10$	$f_{sb2} = 341$	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用 タービン	水平方向	1.17	2.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3		302	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} *1 (mm)	l _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1	
基礎ボルト (i=1)								6	3
タービン取付ボルト (i=2)								6	1
									2
									2

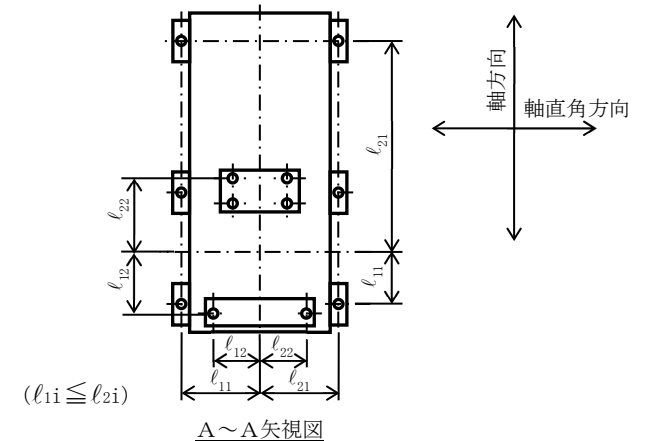
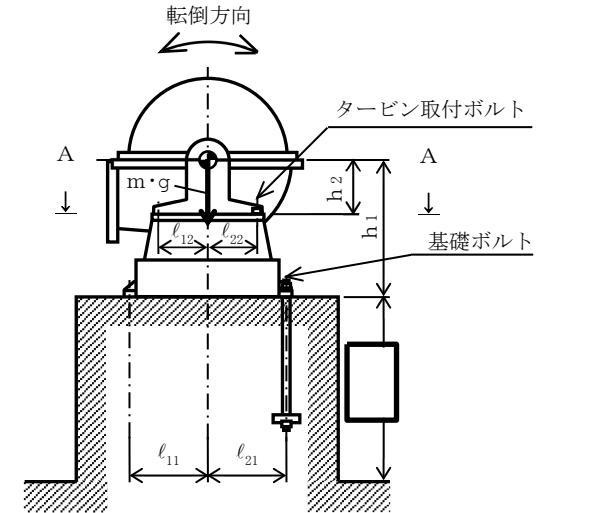
部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角	
タービン取付ボルト (i=2)			—		—	軸直角	

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
タービン取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 40$	$f_{ts1} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 21$	$f_{sb1} = 342$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 64$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用 タービン	水平方向	1.17	2.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1 原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系の
耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1-2 原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉補機冷却水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横形ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉補機冷却水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ	S	クラス3ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	753	894	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	85	701	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	229	391	—



6

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	685	847	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	85	701	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	212	373	—



4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機冷却水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-1-2 R0

【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設
1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却水 ポンプ	S	原子炉建物 EL 15.3*1	—*2	—*2	C _H =1.56*3	C _V =0.75*3	C _H =3.17*4	C _V =1.50*4	C _p =0.11	85	□

注記*1：基準床レベルを示す。
 *2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。
 *3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度
 *4：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	753*2 (径≤60mm)	894*2 (径≤60mm)	626	626	軸直角	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	701*3 (径≤60mm)	847*3 (径≤60mm)	592	592	軸直角	軸直角	1.910×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)	229*2 (16mm<径≤40mm)	391*2	229	274	軸直角	軸直角	1.910×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)
□	□

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
 下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。
 *2：周囲環境温度で算出
 *3：最高使用温度で算出

G

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=21$	$f_{ts1}=469^*$	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=469^*$
		せん断	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=361$	$\tau_{b1}=27$	$f_{sb1}=361$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=25$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=21$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=10$	$f_{ts3}=172^*$	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=205^*$
		せん断	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=132$	$\tau_{b3}=21$	$f_{sb3}=158$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.92	1.4
	鉛直方向	0.97	1.0
原動機	水平方向	0.92	4.7
	鉛直方向	0.97	1.0

注記*：設計用震度 I（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却水 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 15.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =3.17*3	C _V =1.50*3	C _P =0.11	85	□

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f_i} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{y_i} (MPa)	S _{u_i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	685*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	701*3 (径≤60mm)	847*3 (径≤60mm)	—	592	—	軸直角	1.910×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)	212*2 (16mm<径≤40mm)	373*2	—	254	—	軸直角	1.910×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=27$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=25$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=21$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=21$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

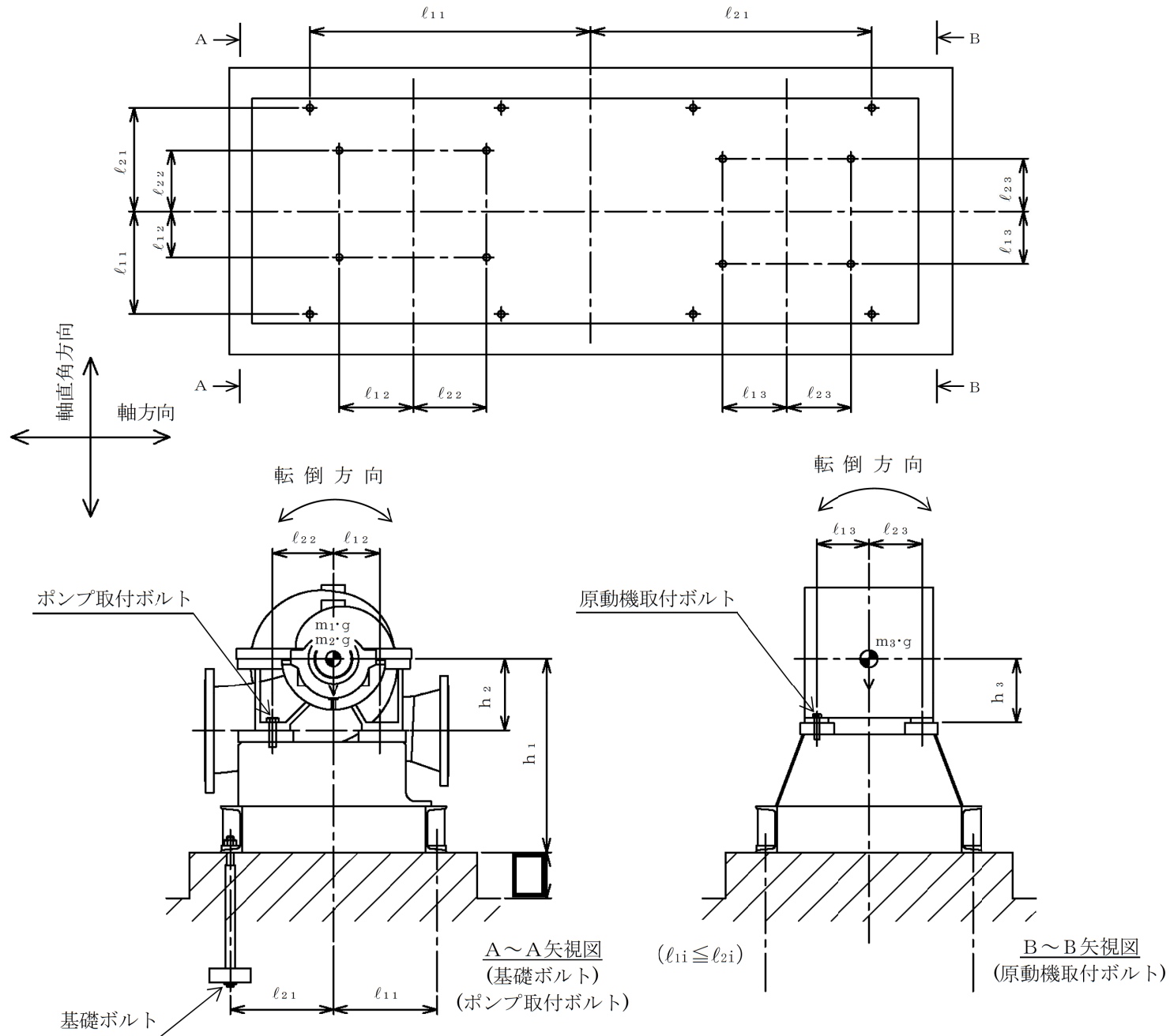
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.92	1.4
	鉛直方向	0.97	1.0
原動機	水平方向	0.92	4.7
	鉛直方向	0.97	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-7-1-5 原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機海水ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉補機海水ストレーナは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機海水ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	バスケット形ダブルストレーナ	<p>(N1-N2 直角方向)</p> <p>(N1-N2 方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉補機海水ストレーナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉補機海水ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉補機海水ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

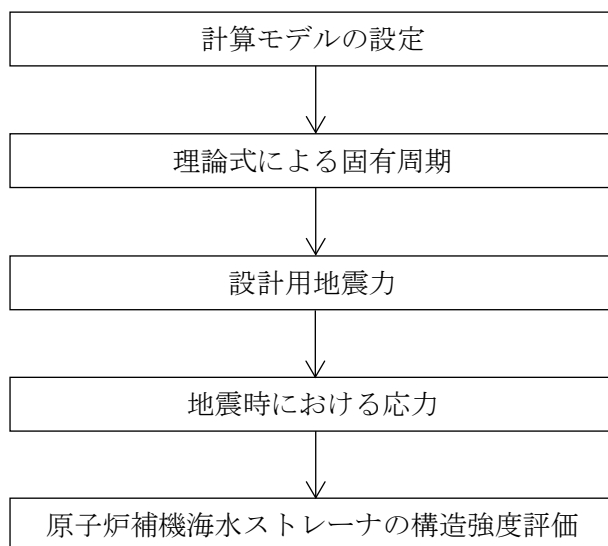


図 2-1 原子炉補機海水ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	脚の断面二次モーメント	mm^4
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉補機海水ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。原子炉補機海水ストレーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

原子炉補機海水ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 原子炉補機海水ストレーナの質量は重心に集中するものとする。
- b. 原子炉補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. 原子炉補機海水ストレーナは，図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

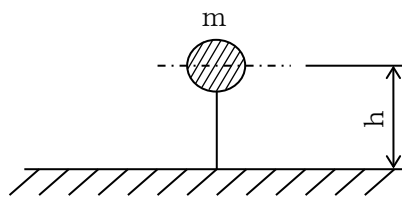


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.012
鉛直	—*

注記*：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は原子炉補機海水ストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1, 図 5-2 における N1-N2 直角方向及び N1-N2 方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉補機海水ストレーナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機海水ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機海水ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	$C_H=1.97^{*3}$	$C_V=0.95^{*3}$	$C_H=3.45^{*4}$	$C_V=2.13^{*4}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	—	—	$C_H=3.45^{*3}$	$C_V=2.13^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

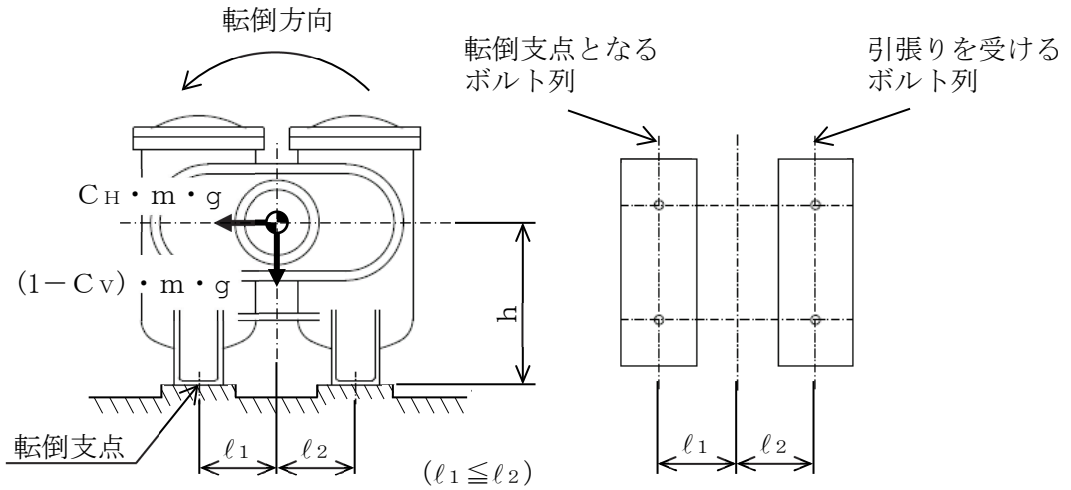
*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

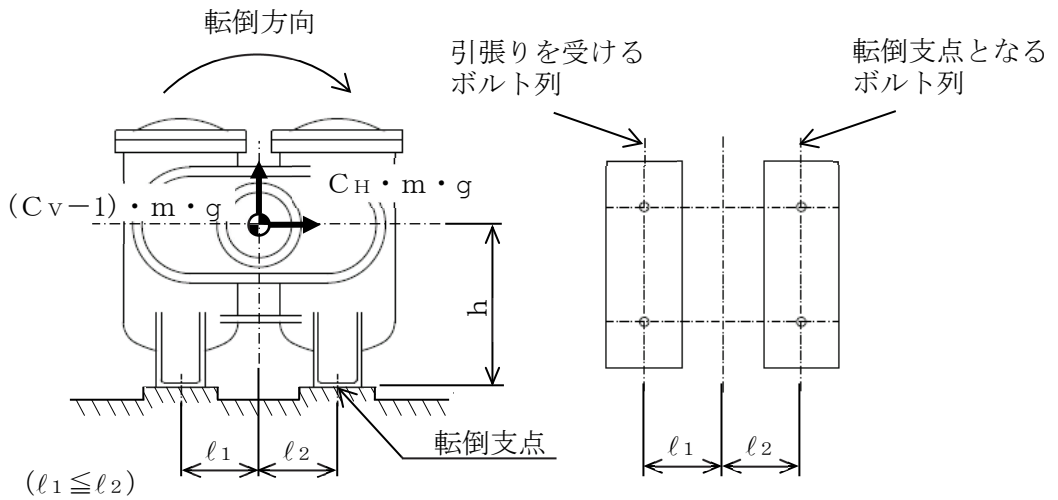
5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。



$(1 - C_v) \geq 0$ の場合

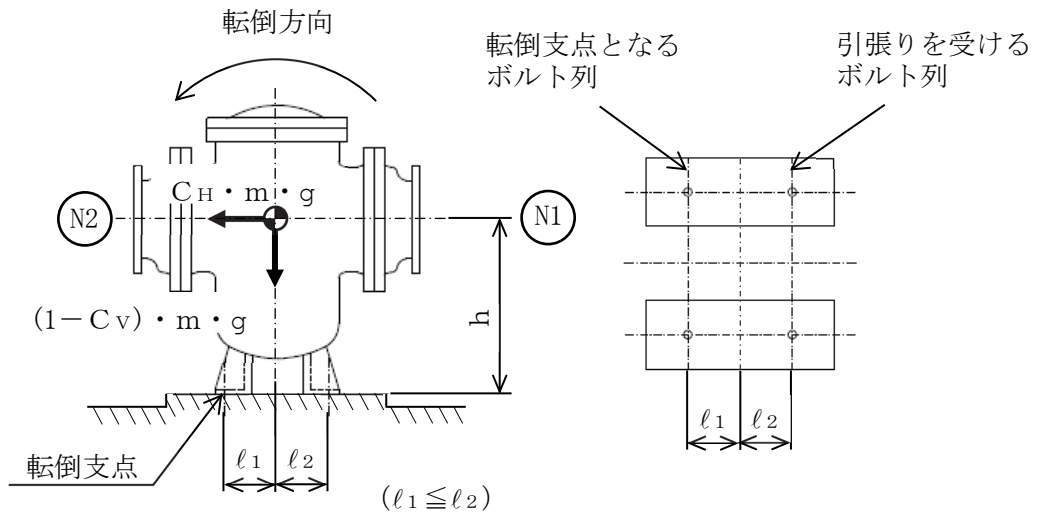
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



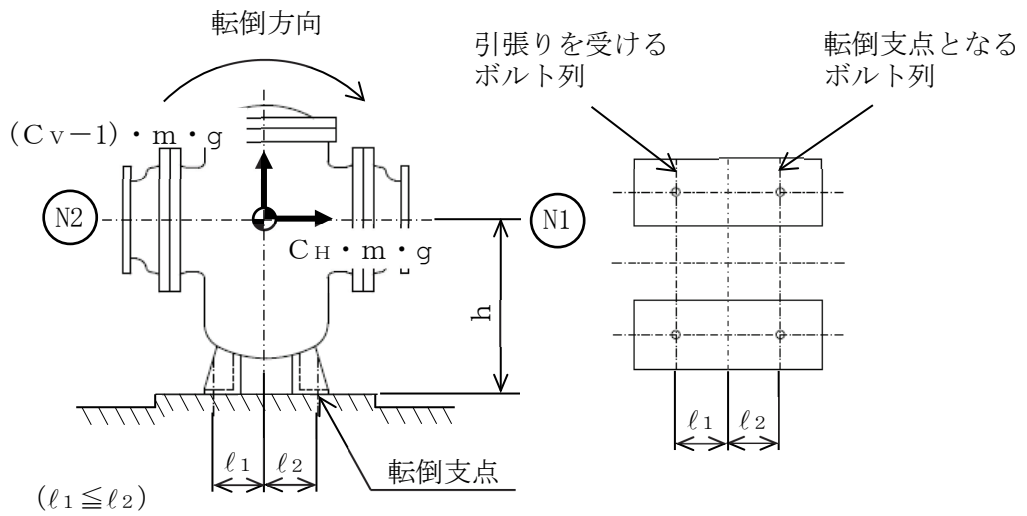
$(1 - C_v) < 0$ の場合

(基準地震動 S_s の場合)

図 5-1 計算モデル (N1-N2 直角方向転倒)



($1 - C_V \geq 0$) の場合
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



($1 - C_V < 0$) の場合
(基準地震動 S_s の場合)

図 5-2 計算モデル (N1-N2 方向転倒)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

【 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張力

【 $(1 - C_v) < 0$ の場合 (基準地震動 S_s の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機海水ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機海水ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉補機海水ストレーナ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	C _H =1.97*3	C _V =0.95*3	C _H =3.45*4	C _V =2.13*4	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	21000	1550	42 (M42)	750	750	4	2
				600	600		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	1.385×10 ³	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	634	634	N1-N2	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	3.896×10 ¹⁰	8.828×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段はN1-N2 直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段はN1-N2 方向転倒に対する評価時の要目を示す。

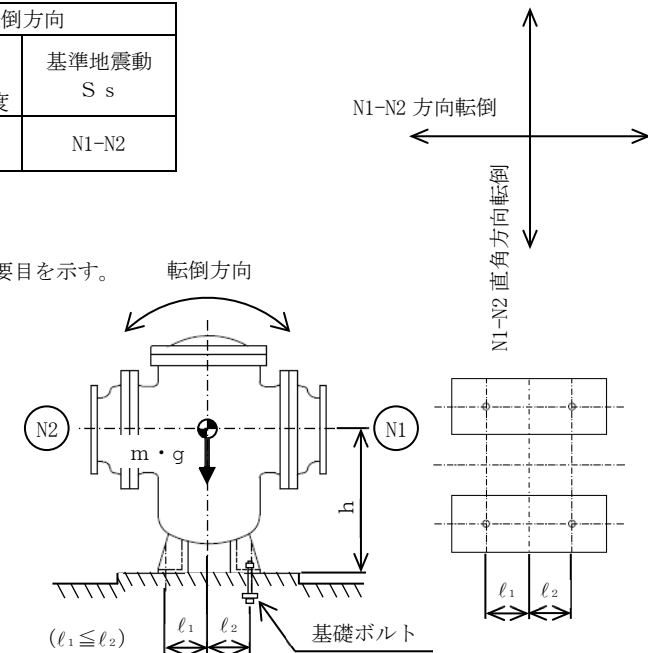
*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	2.594×10 ⁵	5.170×10 ⁵	4.057×10 ⁵	7.105×10 ⁵



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水 平 方 向	$T_H=0.012$
鉛 直 方 向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	$\sigma_b=188$	$f_{ts}=475^*$	$\sigma_b=374$	$f_{ts}=460^*$
		せん断	$\tau_b=74$	$f_{sb}=366$	$\tau_b=129$	$f_{sb}=366$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉補機海水ストレーナ	常設/防止 (DB拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	—	—	C _H =3.45*3	C _V =2.13*3	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	21000	1550	42 (M42)	750	750	4	2
				600	600		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	1.385×10 ³	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	—	634	—	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	3.896×10 ¹⁰	8.828×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段はN1-N2直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段はN1-N2方向転倒に対する評価時の要目を示す。

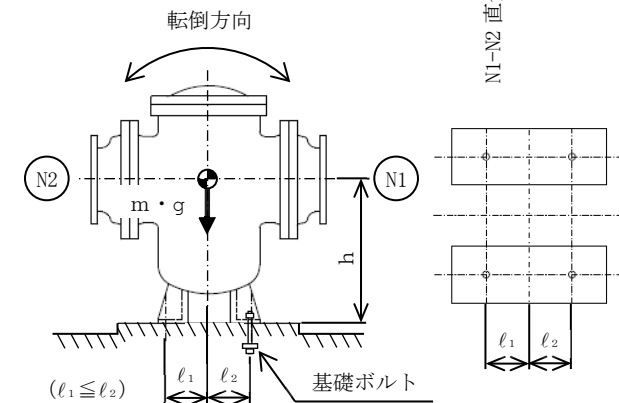
*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	5.170×10 ⁵	—	7.105×10 ⁵



2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水 平 方 向	$T_H=0.012$
鉛 直 方 向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_b=374$	$f_{ts}=460^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=129$	$f_{sb}=366$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-5-7-2 高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ
補機海水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	<p>ポンプ取付ボルト</p> <p>ポンプ</p> <p>軸端</p> <p>原動機取付ボルト</p> <p>原動機</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 冷却水ポンプ	S	クラス 3 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 冷却水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	764	906	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	868	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	231	394	—

□

6

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	764	906	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	868	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	231	394	—

□

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレィ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレィ 補機冷却水ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =1.07*3	C _V =0.49*3	C _H =2.13*4	C _V =0.99*4	C _p =0.11	66	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	634	634	軸直角	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≤60mm)	868*3 (径≤60mm)	607	607	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276	軸	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=475^*$	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=475^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=366$	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=350$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=5$	$f_{ts3}=173^*$	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=207^*$
		せん断	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=133$	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.13*3	C _V =0.99*3	C _P =0.11	66	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	—	634	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≤60mm)	868*3 (径≤60mm)	—	607	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	—	276	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 8$	$f_{ts1} = 475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 10$	$f_{sb1} = 366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 9$	$f_{ts2} = 455^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 4$	$f_{sb2} = 350$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 13$	$f_{ts3} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 10$	$f_{sb3} = 159$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

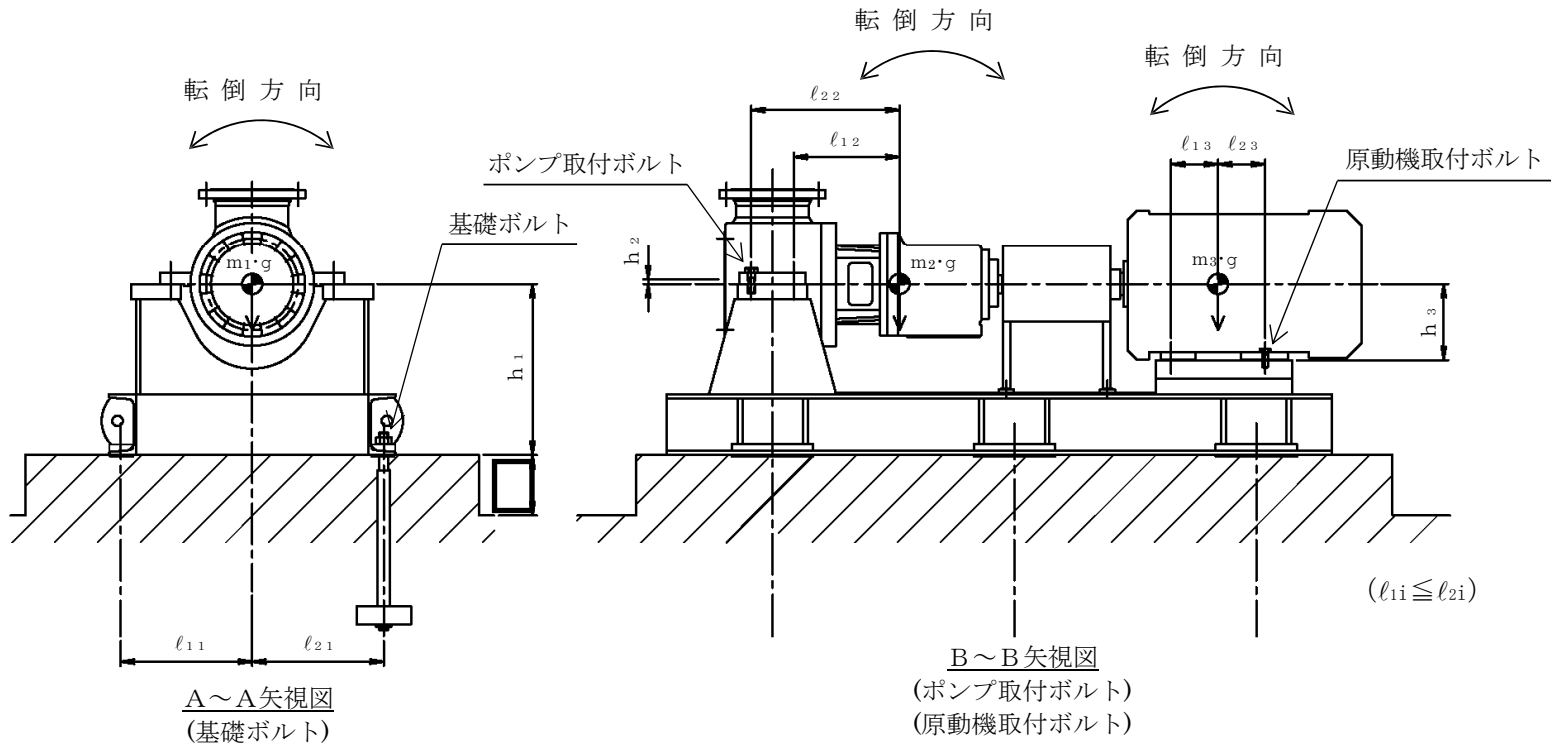
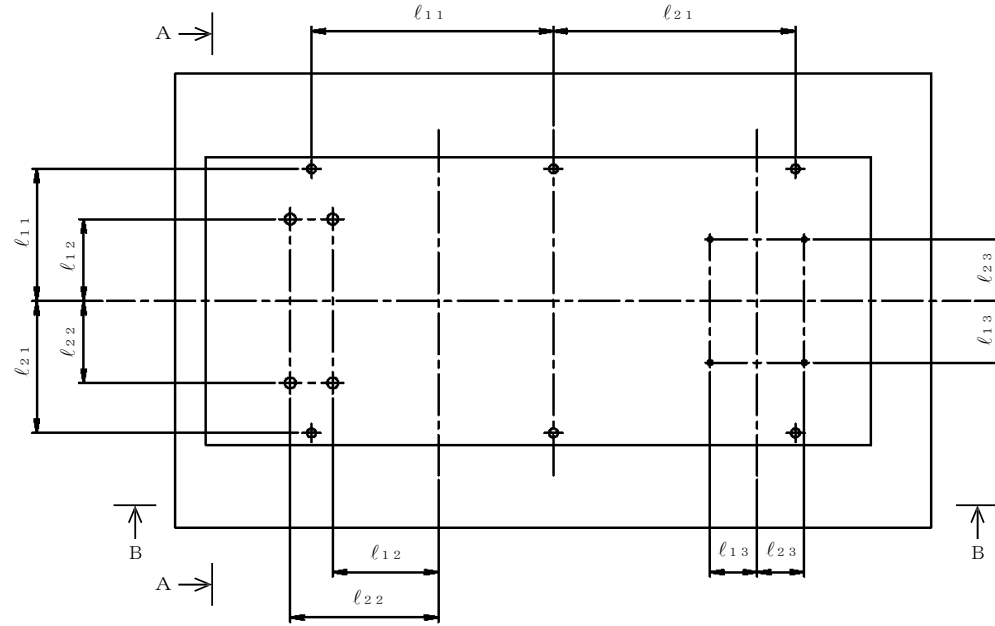
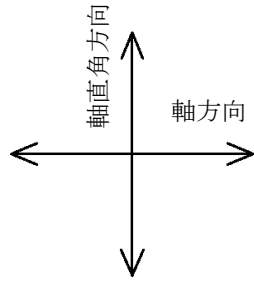
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度II（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-7-2-5 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>バスケット形ダブルストレーナ</p>	<p style="text-align: center;">(N1-N2 直角方向) (N1-N2 方向)</p> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

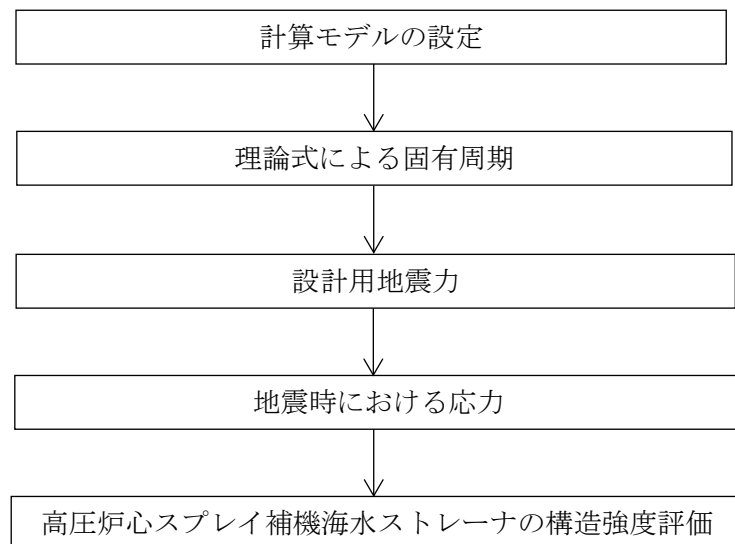


図 2-1 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	脚の断面二次モーメント	mm^4
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの質量は重心に集中するものとする。
- b. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

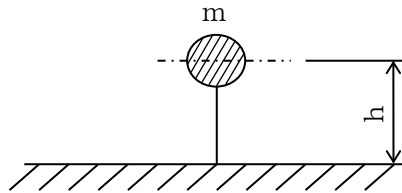


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{A_s \cdot G} \right)} \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.007
鉛直	—*

注記*：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1, 図 5-2 における N1-N2 直角方向及び N1-N2 方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1*1	0.007	—*2	$C_H=1.97^{*3}$	$C_V=0.95^{*3}$	$C_H=3.45^{*4}$	$C_V=2.13^{*4}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1*1	0.007	—*2	—	—	$C_H=3.45^{*3}$	$C_V=2.13^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

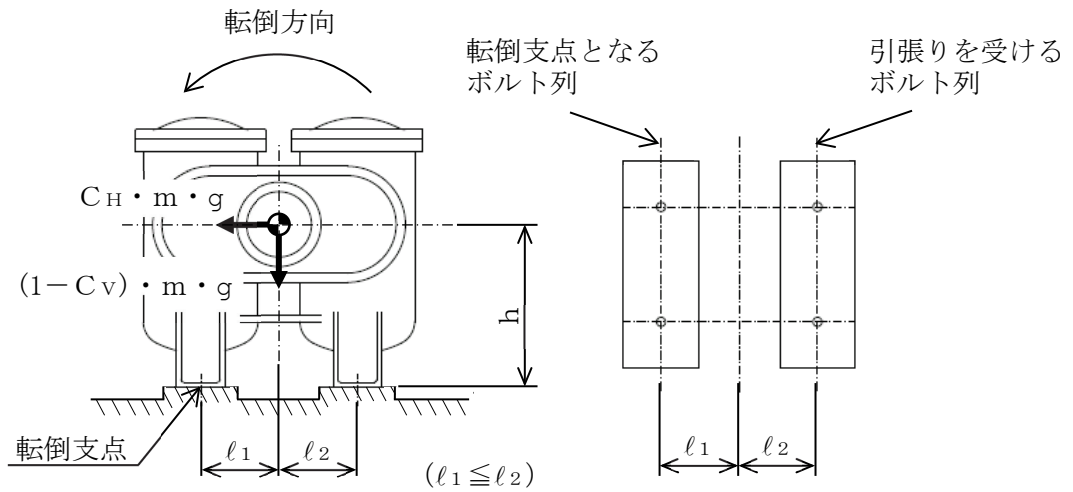
*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

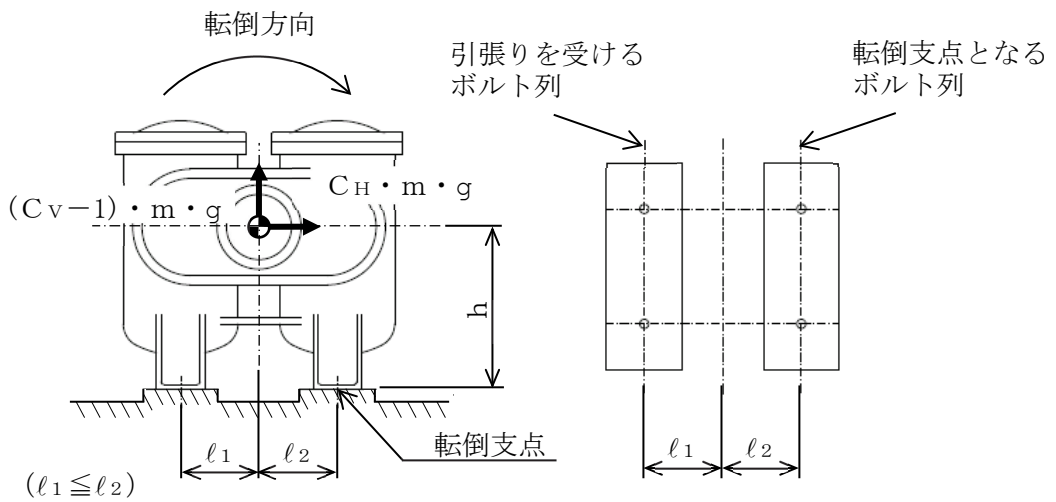
5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。



$(1 - C_v) \geq 0$ の場合

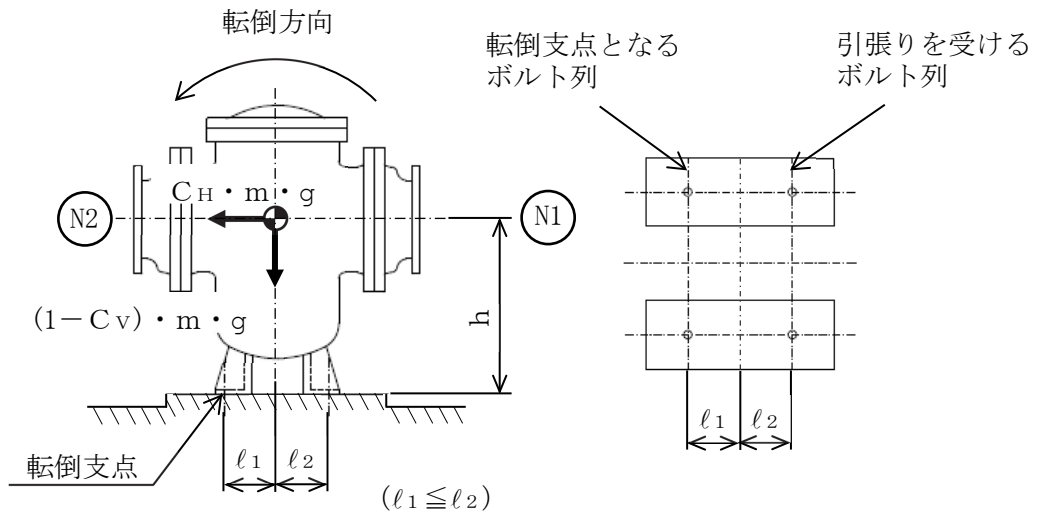
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



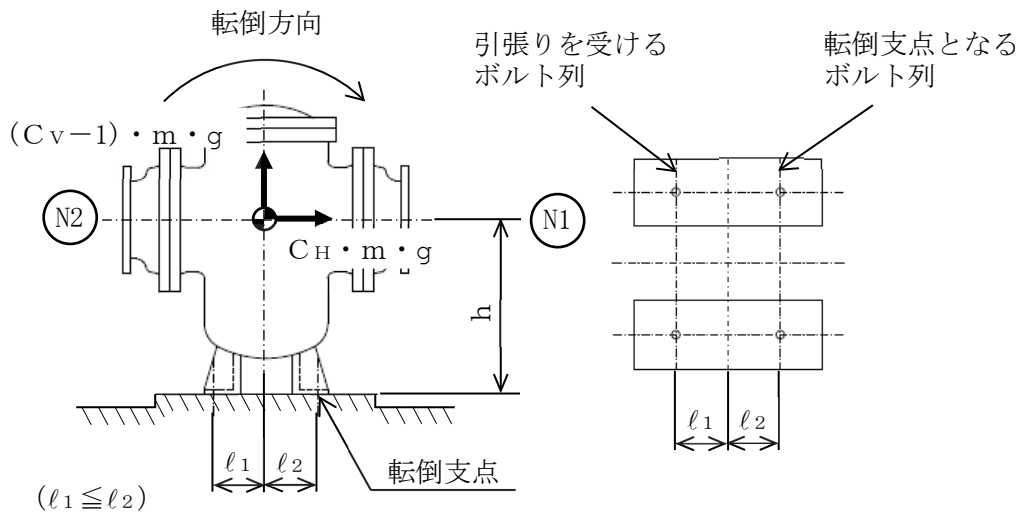
$(1 - C_v) < 0$ の場合

(基準地震動 S_s の場合)

図 5-1 計算モデル (N1-N2 直角方向転倒)



($1 - C_v \geq 0$) の場合
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



($1 - C_v < 0$) の場合
(基準地震動 S_s の場合)

図 5-2 計算モデル (N1-N2 方向転倒)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

【 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張力

【 $(1 - C_v) < 0$ の場合 (基準地震動 S_s の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレー補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
高圧炉心スプレー補機海水ストレーナ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.007	—*2	$C_H=1.97^{*3}$	$C_V=0.95^{*3}$	$C_H=3.45^{*4}$	$C_V=2.13^{*4}$	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	l_1^{*1} (mm)	l_2^{*1} (mm)	n	n_f^{*1}
基礎ボルト	3100	660	20 (M20)	325	325	4	2
				225	225		2

部材	A_b (mm ²)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	314.2	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	634	634	N1-N2	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A_s (mm ²)
201000*2	77300*2	1.510×10^9	1.834×10^5

注記*1：基礎ボルトにおける上段はN1-N2直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段はN1-N2方向転倒に対する評価時の要目を示す。

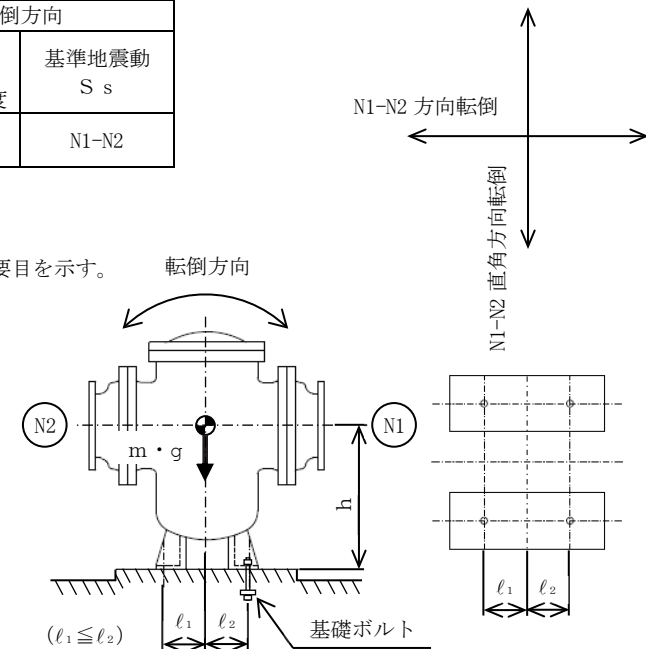
*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	4.354×10^4	8.550×10^4	5.989×10^4	1.049×10^5



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水 平 方 向	$T_H=0.007$
鉛 直 方 向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	$\sigma_b=139$	$f_{ts}=475^*$	$\sigma_b=273$	$f_{ts}=475^*$
		せん断	$\tau_b=48$	$f_{sb}=366$	$\tau_b=84$	$f_{sb}=366$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	常設/防止 (DB拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.007	—*2	—	—	C _H =3.45*3	C _V =2.13*3	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	3100	660	20 (M20)	325	325	4	2
				225	225		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	314.2	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	—	634	—	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	1.510×10 ⁹	1.834×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段はN1-N2直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段はN1-N2方向転倒に対する評価時の要目を示す。

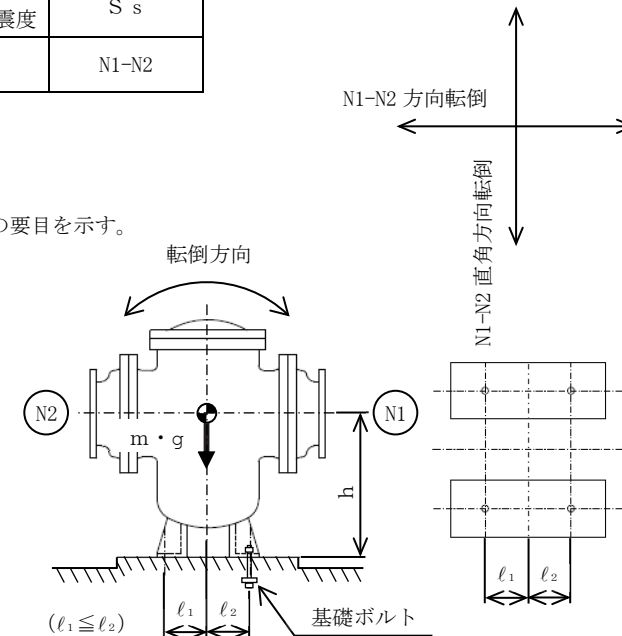
*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	8.550×10 ⁴	—	1.049×10 ⁵



2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水 平 方 向	$T_H=0.007$
鉛 直 方 向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_b=273$	$f_{ts}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=84$	$f_{sb}=366$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-5-8 原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-8-1 原子炉浄化系の耐震性についての計算書

VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	20
3.5 設計用地震力	21
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	28
4.2.1 管の応力評価結果	28
4.2.2 支持構造物評価結果	29
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	30
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

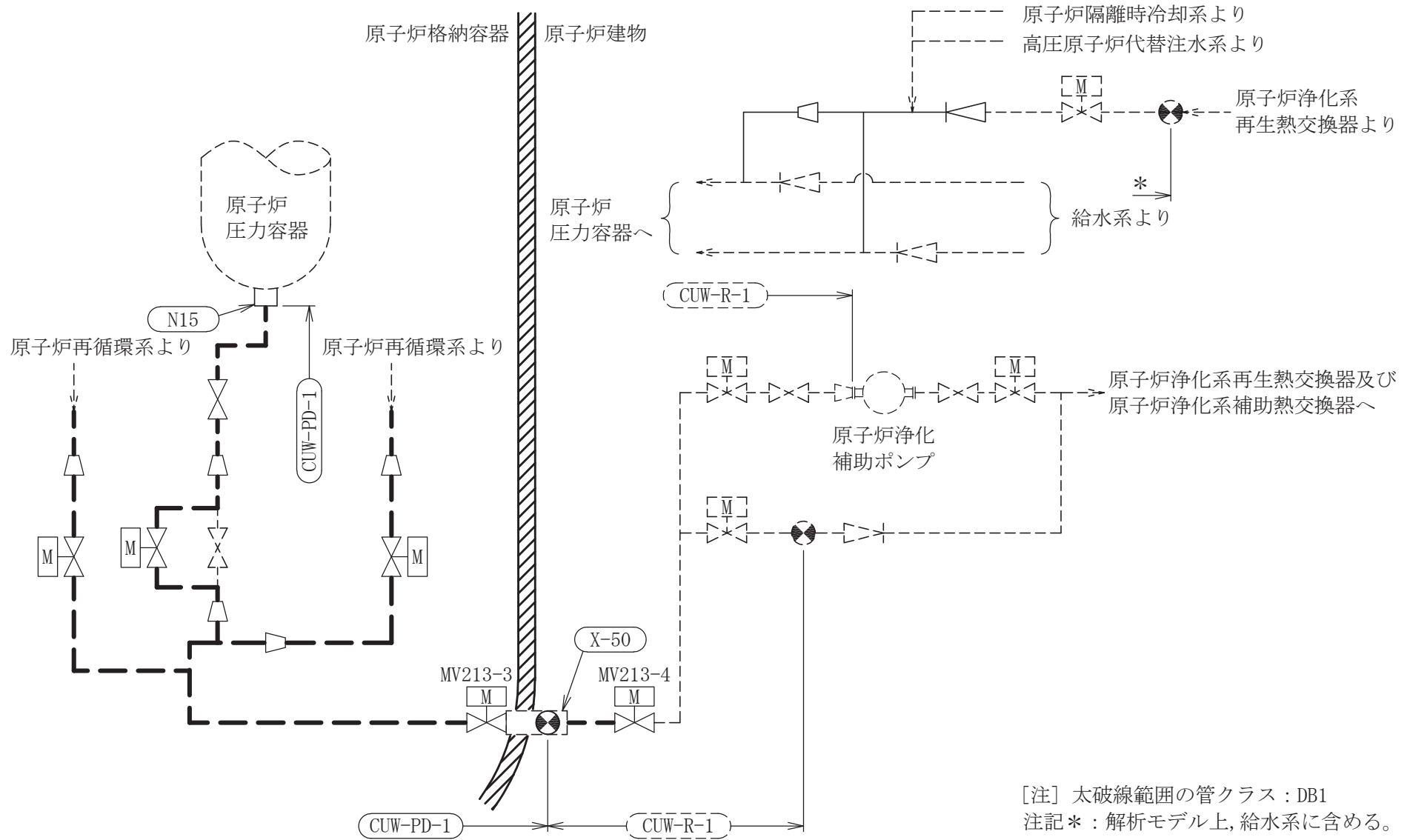
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例






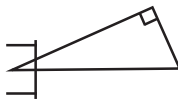


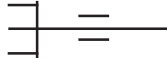
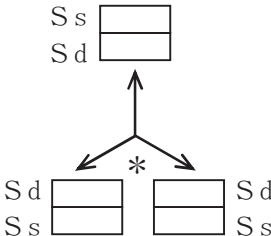
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

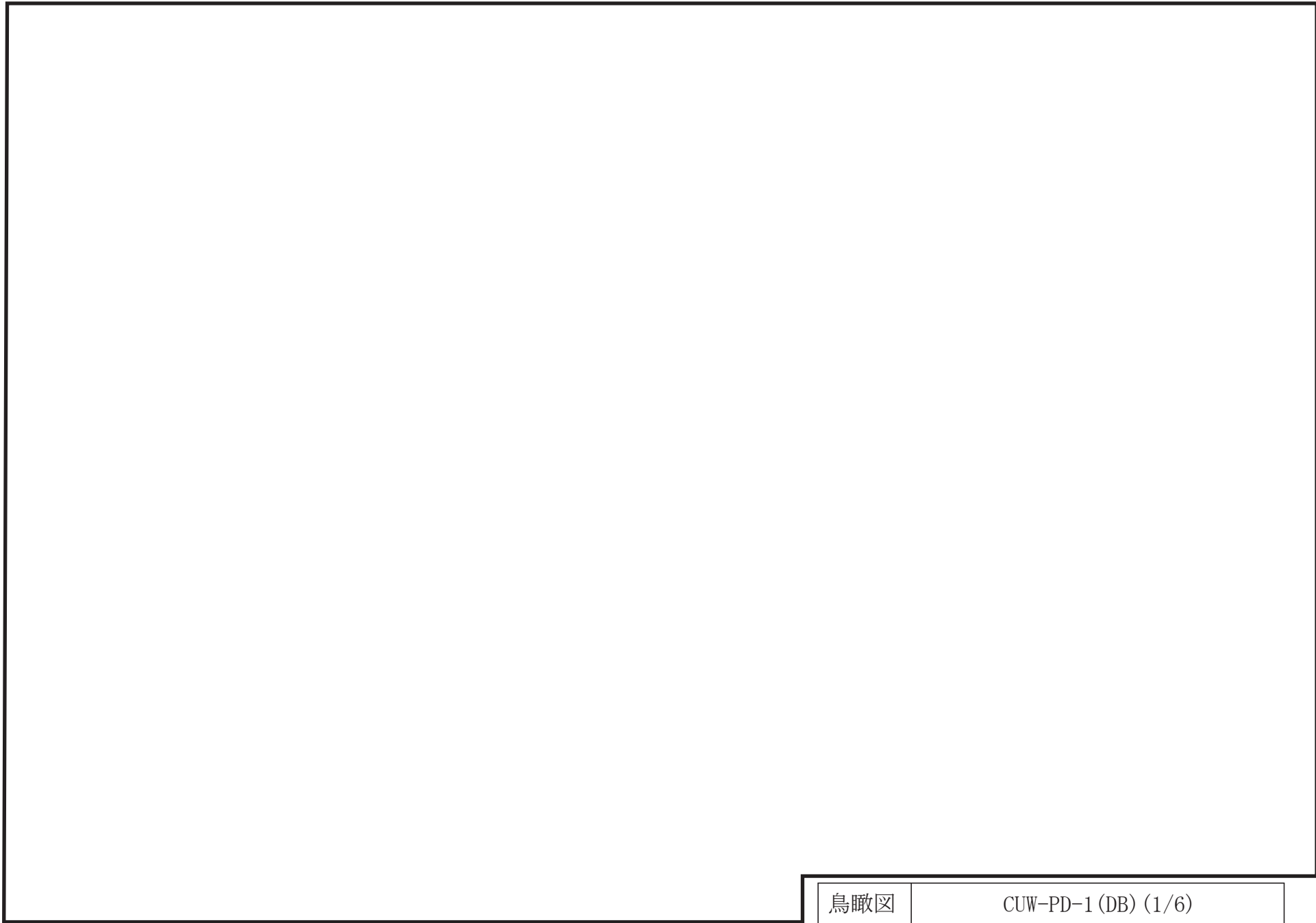


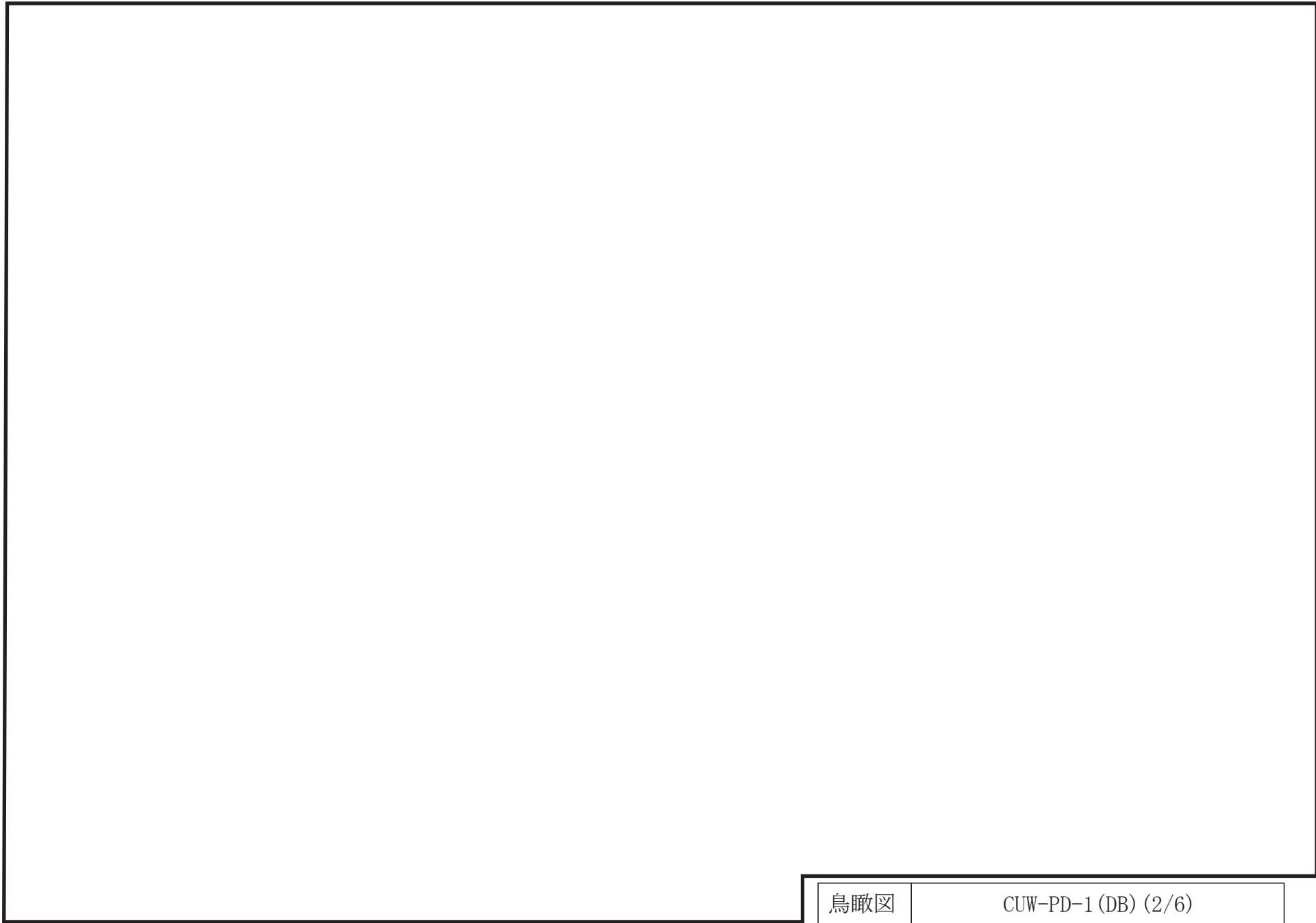
原子炉浄化系概略系統図

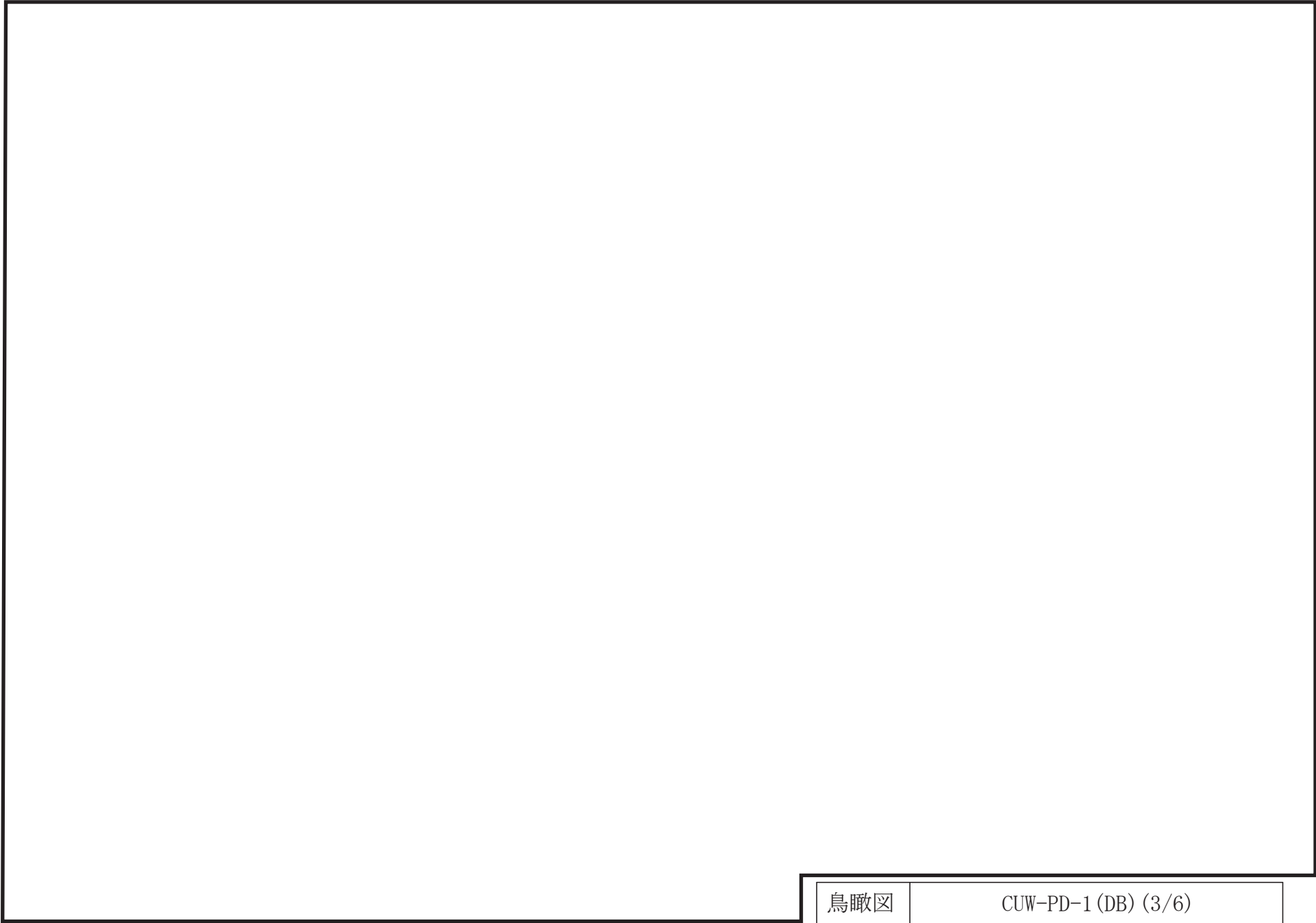
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s機能維持の範囲はS s地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



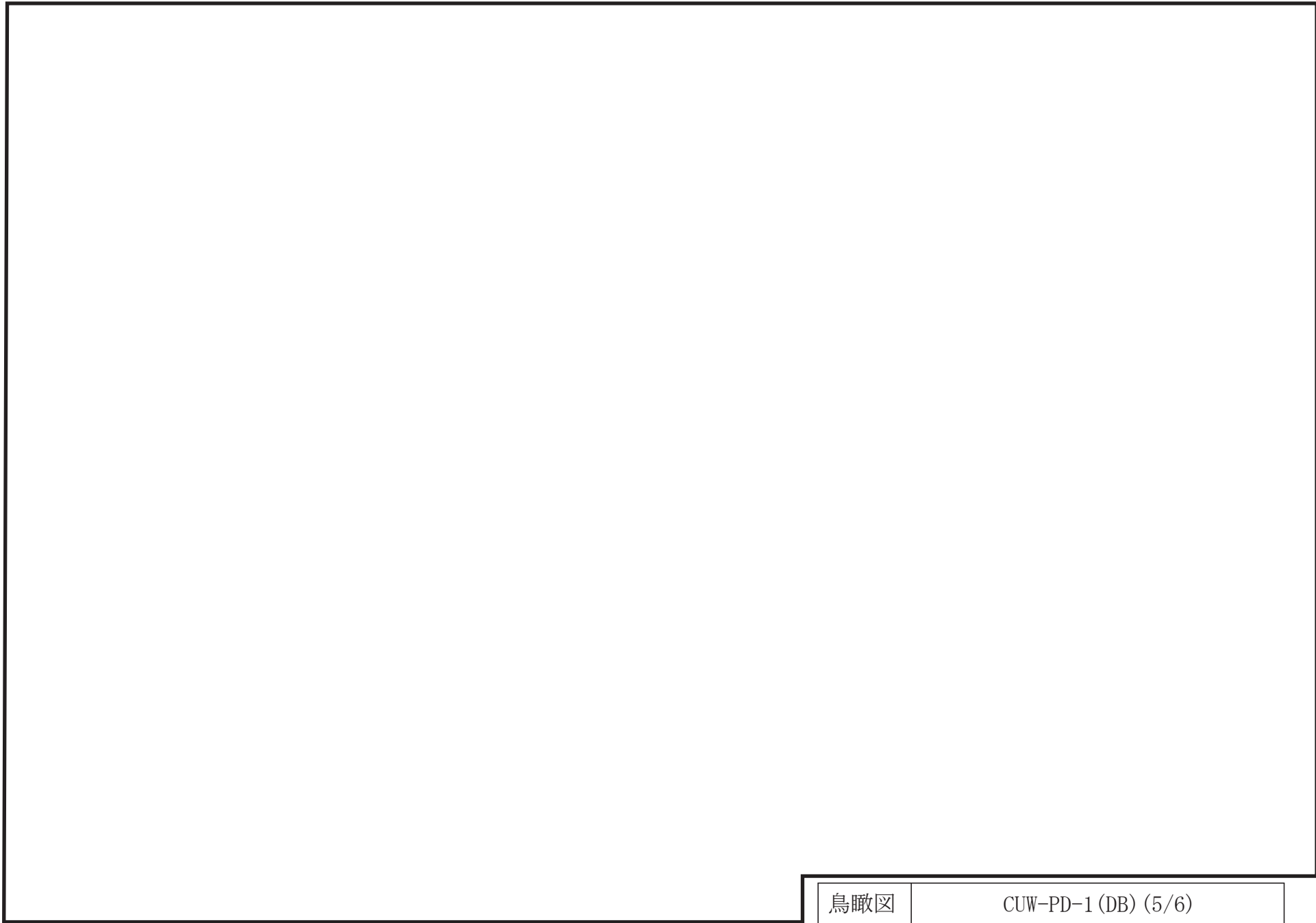


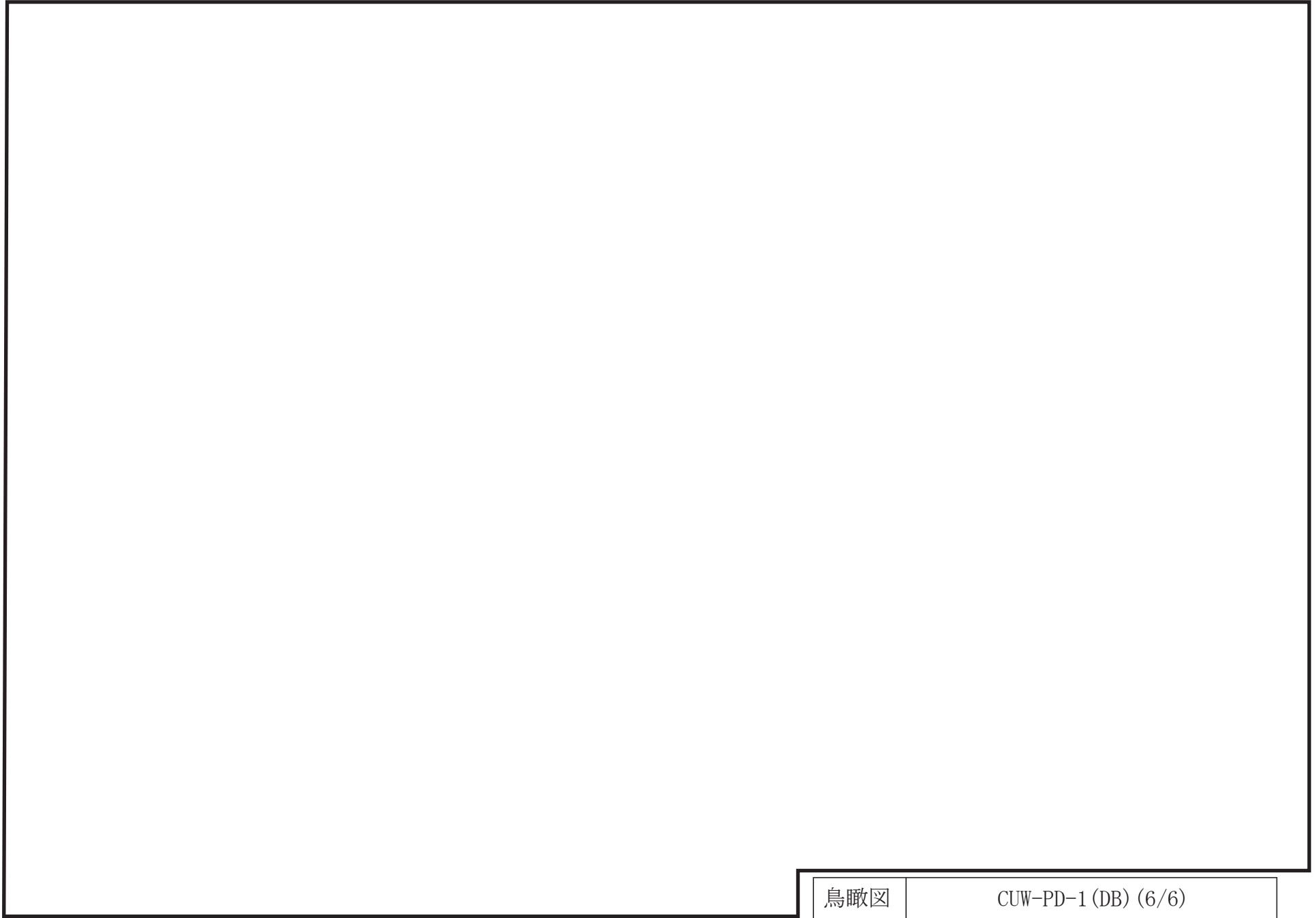


∞

鳥瞰図

CUW-PD-1 (DB) (4/6)





3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉浄化系	DB	—	クラス1管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
							Ⅳ _{L(L)} +S _d	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1~3, 234~236	8.62	302	165.2	11.0	SUSF316	S	176960
2	3~8, 229~234	8.62	302	165.2	11.0	SUS316TP	S	176960
3	9~29, 30~34 66~205, 206~228	8.62	302	216.3	12.7	SUS316TP	S	176960
4	35~100	8.62	302	267.4	15.1	SUS316TP	S	176960
5	48~306	8.62	302	114.3	8.6	SUS316TP	S	176960
6	307~313, 324~330 313~407, 408~324	8.62	302	89.1	7.6	SUS316TP	S	176960
7	331~333, 334~374N	8.62	302	60.5	8.7	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

質量	対応する評価点
	1～8, 229～236
	9～1601, 1801～23, 27～29, 30～31, 3301～34 66～202, 204～205, 206～2072, 2120～2140, 2150～2170 226～228
	1601～1801, 23～27, 31～3301, 202～204, 2072～2120 2140～2150, 2170～226
	35～37, 40～42, 4501～5001, 54～57, 6401～69 7201～7801, 81～8202, 86～8801, 97～100
	37～40, 42～4501, 5001～54, 57～6401, 69～7201 7801～81, 8202～86, 8801～97, 48～302, 305～306
	302～305
	307～3070, 3110～313, 324～328, 329～330, 313～4020 4060～407, 408～324
	3070～3110, 328～329, 4020～4060
	331～3310, 3320～333, 334～339, 347～351, 357～360 362～368, 3710～374N
	3310～3320, 339～347, 351～357, 360～362, 368～3710

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R0

弁部の質量

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	29～2901, 2901～30		205～2051, 2051～206
	29, 30, 205, 206		2901, 2051
	2902, 2052		2904, 2054
	100～1001, 1001～101		100, 101
	1001		1002
	1005		333～334
	407～4071, 4071～408		407, 408
	4071		4072
	4074		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
29～2901							
2902～2903							
2901～30							
1001～1002							
1003～1004							
1001～101							
2051～2052							
2053～2054							
333～334							
4071～4072							
4073～4074							

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
11						
** 14 **						
** 24 **						
28						
28						
** 2903 **						
** 2903 **						
32						
41						
** 45 **						
** 6001 **						
61						
64						
68						
** 74 **						
** 74 **						
77						
** 82 **						
** 83 **						
95						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 99 **						
** 99 **						
** 1003 **						
108A						
2053						
** 2053 **						
2071						
208						
** 209 **						
** 210 **						
** 215 **						
** 223 **						
225						
** 225 **						
236						
** 326 **						
332						
** 332 **						
** 336 **						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 341 **						
343						
** 346 **						
** 346 **						
350						
** 350 **						
356						
** 356 **						
** 362 **						
N1						
402						
** 403 **						
** 406 **						
** 4073 **						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUSF316	302	118	—	—	—
SUS316TP	302	118	—	—	—
STS42	302	122	—	—	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
CUW-PD-1	原子炉圧力容器ペデスタル		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
15次								
動的震度*4								
静的震度*5								

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

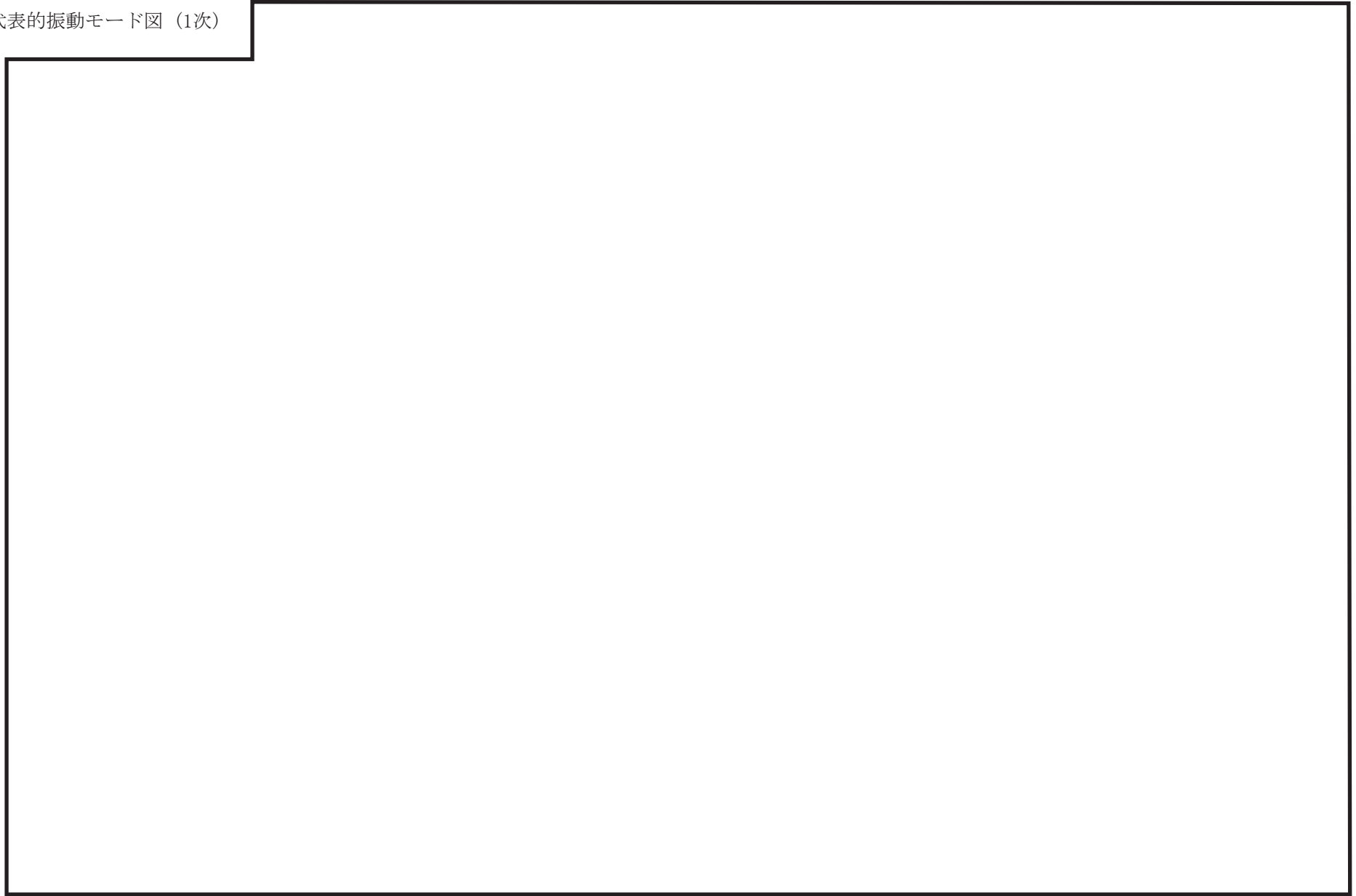
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
15次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

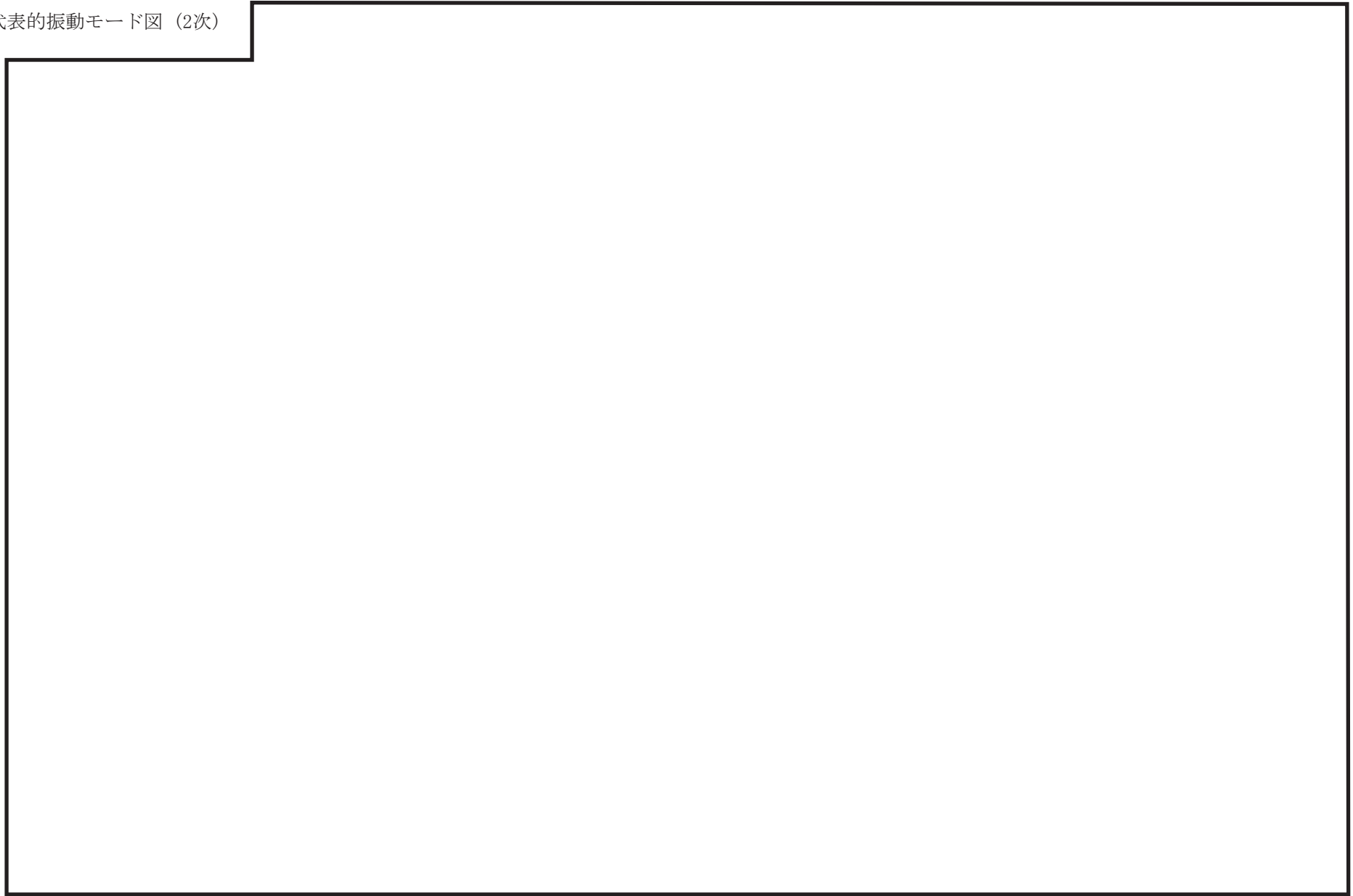
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

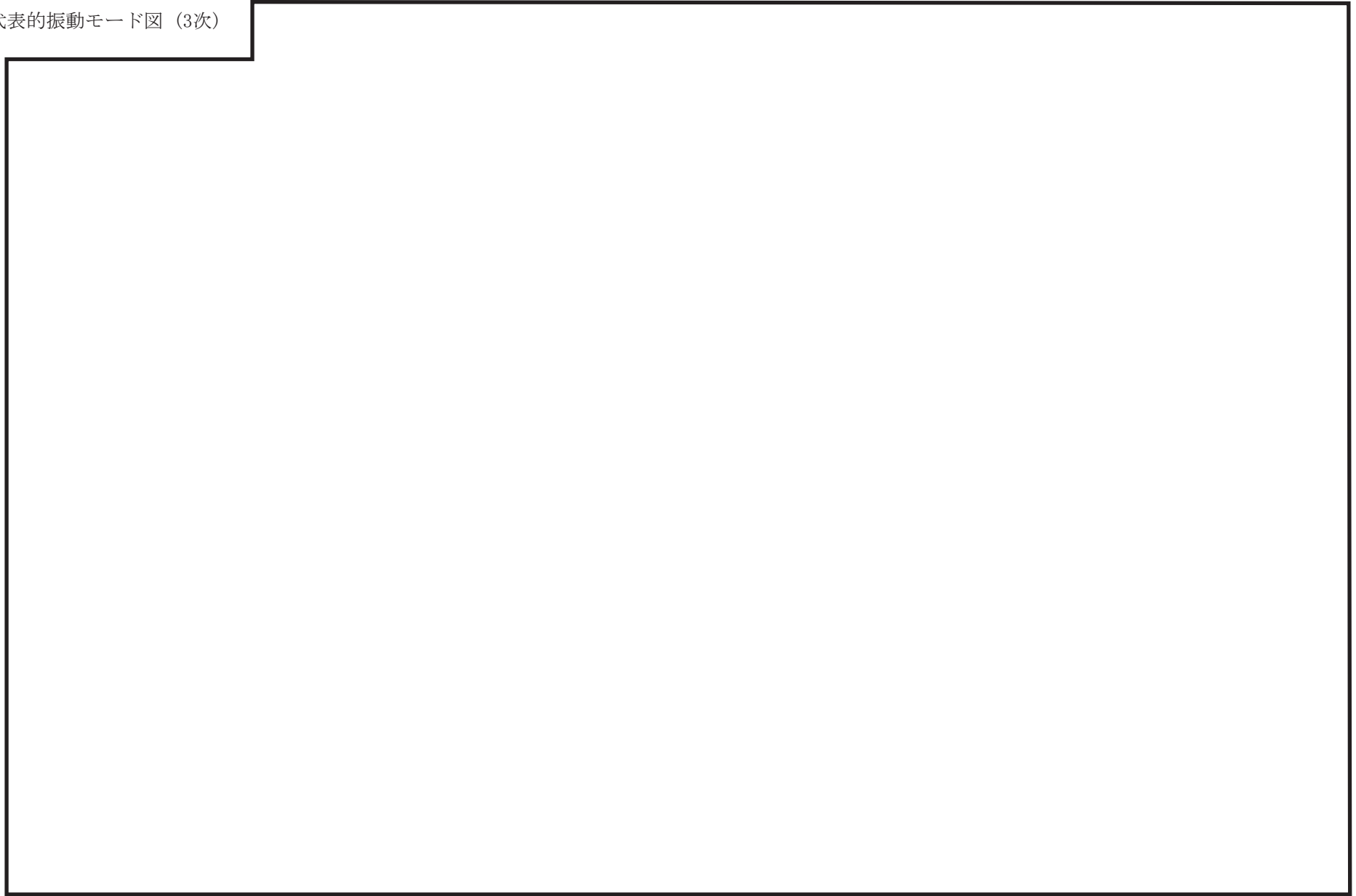


25

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次応力	膜+曲げ(2.25・S m)	CUW-PD-1	324	TEE	110	265	—
		ねじり(0.55・S m)	CUW-PD-1	4	ELBOW	45	64	—
		ねじり+曲げ(1.8・S m)	CUW-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力(3・S m)		CUW-PD-1	4	ELBOW	274	354	—
	疲労累積係数		CUW-PD-1	331	REDUCER	—	—	0.7792
ⅣA S	一次応力	膜+曲げ(3・S m)	CUW-PD-1	324	TEE	161	354	—
		ねじり(0.73・S m)	CUW-PD-1	405	ELBOW	86	86	—
		ねじり+曲げ(2.4・S m)	CUW-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力(3・S m)		CUW-PD-1	4	ELBOW	460	354	0.0159
	疲労累積係数		CUW-PD-1	331	REDUCER	—	—	0.7792

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—
SNO-CUW-44	オイルスナップ	SN-6			48	90
RE-CUW-18-2	ロッドレストレイント	RSA-6			57	108
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-CUW-13	レストレイント	パイプバンド	STKR400	302	0	58	0	—	—	—	圧縮	24	99
AN-CUW-201	アンカ	ラグ	SGV480	302	166	78	128	49	77	62	組合せ	59	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
MV213-3	止め弁	α (S s)	3.7	1.0	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV213-4	止め弁	α (S s)	3.1	1.2	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	CUW-PD-1	324	110	265	2.40	○	4	274	354	1.29	○	331	0.7792	○
2	CUW-R-1	2	74	265	3.58	—	2	35	354	10.11	—	2	0.0025	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	CUW-PD-1	324	161	354	2.19	○	4	460	354	0.76	○	331	0.7792	○
2	CUW-R-1	2	83	354	4.26	—	2	62	354	5.70	—	2	0.0025	—

VI-2-6 計測制御系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-6-2 制御材の耐震性についての計算書

VI-2-6-2-1 制御棒の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 燃料集合体の地震応答解析	3
4. 制御棒の挿入性試験	4
4.1 試験装置	4
4.2 試験方法	4
4.3 試験結果	5
5. 制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価	11
5.1 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ	11
5.2 燃料集合体の浮上り	11
6. 評価結果	12
7. 引用文献	12

1. 概要

本計算書は、制御棒の耐震性について示すものである。

地震時において制御棒に要求される機能は、制御棒の挿入機能の確保である。

制御棒の挿入機能の確保については、原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）に従って、地震時における制御棒の挿入性についての検討を行い、基準地震動 S_s に対し制御棒の挿入性が確保されることを確認する。ここで、地震時に制御棒の挿入性を阻害する支配的要因は、燃料集合体の水平方向地震による相対変位であることから、制御棒挿入性試験は水平方向地震に対して実施する。また、鉛直方向地震に対してはその影響を評価する。

制御棒の挿入機能確保に必要な形状を維持するための構造部材は、シース、ハンドル、タイロッド及び落下速度リミッタであり、制御棒挿入性試験により挿入機能が確認される。

なお、ボロンカーバイド型制御棒及びハフニウム棒型制御棒の運転寿命は、核的寿命、機械的寿命のうち短い方で規定される。

このうち、ボロンカーバイド型制御棒のボロンカーバイド粉末を充填した中性子吸収棒については、中性子照射によるガス等の発生に伴い中性子吸収棒の内圧が上昇するが、寿命末期において中性子吸収棒の変形は生じない。

一方、ハフニウム棒型制御棒のハフニウム棒は、ボロンカーバイド型制御棒のボロンカーバイド粉末を充填した中性子吸収棒のように内圧を保持する構造ではないため、機械的変形要因はない。また、ハフニウム棒型制御棒は、ハフニウム棒と構造部材の熱膨張差や寿命末期におけるハフニウム棒の中性子照射による形状変化の影響を及ぼさない構造としている。

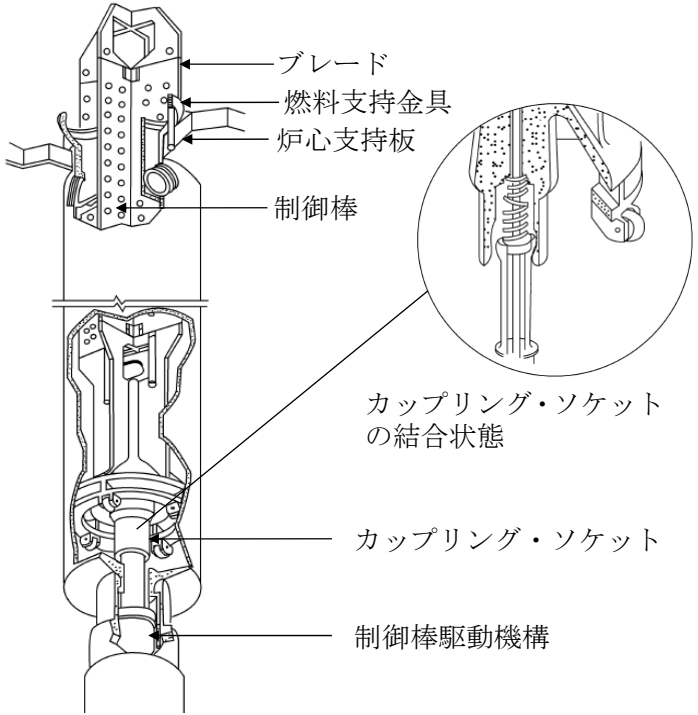
以上より、制御棒の寿命中において中性子吸収材によるシースの変形はないことから、制御棒の挿入性に影響を与えることはない。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒は、カップリング・ソケットにより制御棒駆動機構に支持される。</p>	<p>十字形（フォロワ付） 制御棒の長さは 4530mm であり、ブレード幅は 249mm である。</p>	 <p>ブレード 燃料支持金具 炉心支持板 制御棒 カップリング・ソケットの結合状態 カップリング・ソケット 制御棒駆動機構</p>

3. 燃料集合体の地震応答解析

燃料集合体の地震応答解析は原子炉压力容器内部構造物の一部として実施されており、この詳細はVI-2-2-1「炉心，原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示されている。

制御棒挿入性の評価においては、材料物性の不確かさを考慮して計算された最大相対変位 35.0mm 及び最大鉛直加速度 $1.35 \times 9.8\text{m/s}^2$ を用いる。

4. 制御棒の挿入性試験

水平方向地震により燃料集合体に相対変位が生じた状態で制御棒の挿入性が確保されることを確認するため、試験を実施している。

なお、試験は二種類の制御棒について実施している。これらの制御棒は中性子吸収材が異なっており、ボロンカーバイド粉末を使用したもの、ハフニウム棒を使用したものがある。以下、制御棒の区分を容易にするため、上記制御棒をそれぞれボロンカーバイド型制御棒、ハフニウム棒型制御棒と称する。ボロンカーバイド型制御棒の試験は昭和54年までに当時の株式会社 日立製作所（現在の日立GEニュークリア・エナジー株式会社）にて実施したものである。ハフニウム棒型制御棒の試験は昭和62年までに当時の株式会社 日立製作所（現在の日立GEニュークリア・エナジー株式会社）にて実施したものである。

4.1 試験装置

試験装置の概要を図4-1に示す。

試験装置は炉心を模擬するために、試験容器内に上部格子板、燃料集合体、制御棒案内管を据え付け、下部に制御棒駆動機構ハウジングを接続している。

試験用機器仕様の概要を表4-1に示す。

燃料集合体は質量を模擬するため燃料ペレットに鉛を使用している。水圧制御ユニット、制御棒及び制御棒駆動機構等の供試体は実機仕様である。

計測装置の概要を図4-2に示す。

4.2 試験方法

試験条件を表4-2に示す。

図4-1に示す試験容器内に4体の質量模擬燃料集合体を組み込んで、試験容器中央部に設けられている油圧加振機により試験容器を介して燃料集合体を強制加振し、スクラム試験を実施した。

試験では、図4-2に示す計測装置により、燃料集合体の相対変位（振幅）及び制御棒の挿入時間を測定した。

4.3 試験結果

図4-3及び図4-4に燃料集合体相対変位と75%ストロークスクラム時間の関係を示す。

図4-3及び図4-4に示すとおり、燃料集合体の相対変位が約40mmまでは、75%ストロークスクラム時間がそれぞれ1.62秒以内であることを確認した。

なお、制御棒挿入性試験において制御棒の外観に有意な変化がないことを確認した。

表 4-1 試験用機器仕様の概要

試験用機器	仕様の概要
燃料集合体	質量模擬燃料集合体 (質量模擬のため燃料ペレットに鉛を使用)
制御棒	実機仕様
燃料支持金具	実機仕様
制御棒案内管	実機仕様
制御棒駆動機構	実機仕様 (高速スクラム型)
水圧制御ユニット	実機仕様 (高速スクラム型)
油圧加振器	駆動力 : <input type="text"/> N ストローク : <input type="text"/> mm

表 4-2 試験条件

項目	条件
温度	
圧力	
加振条件	
スクラム開始時の制御棒位置	全引き抜き状態

--

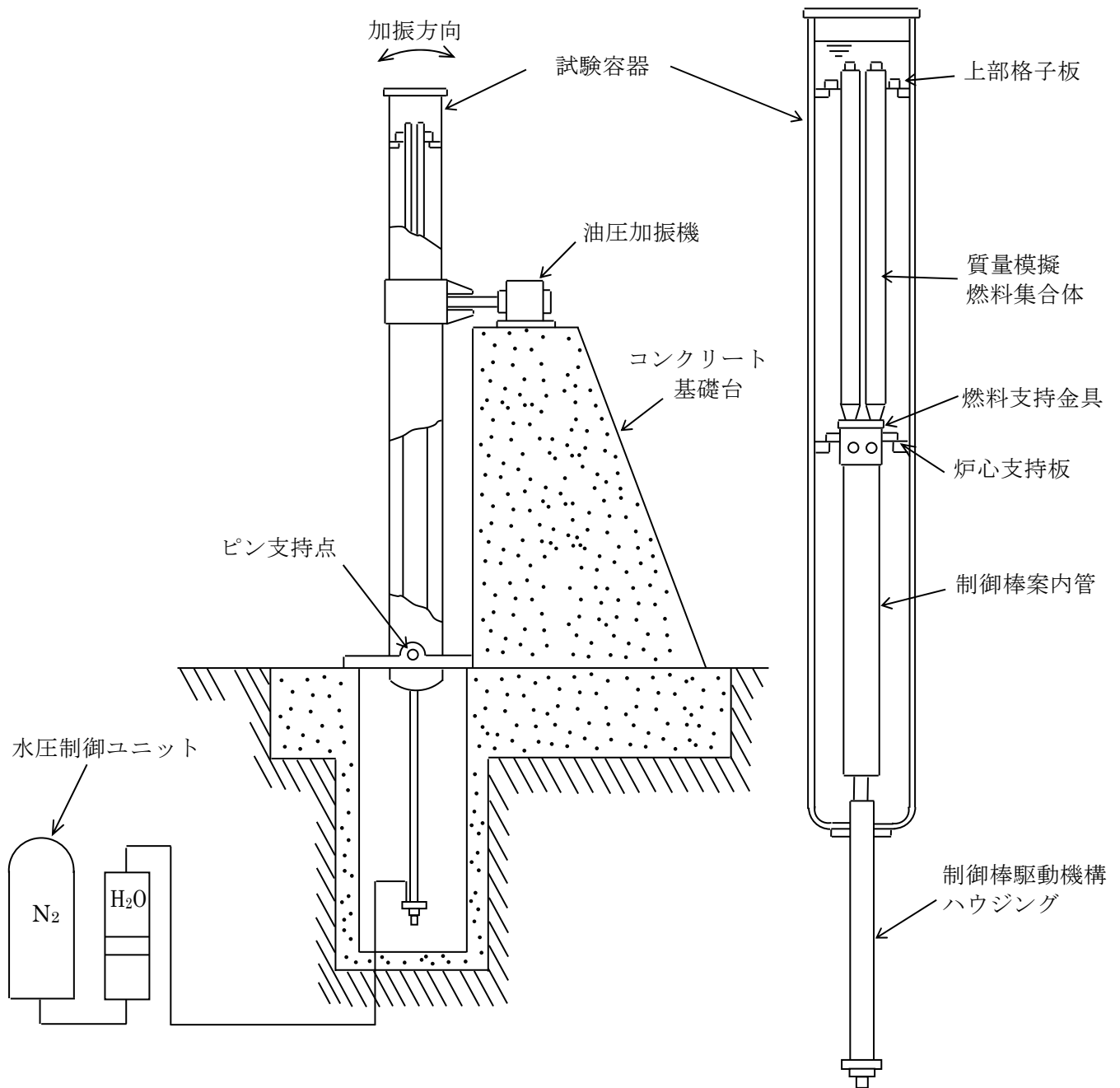


図 4-1 試験装置の概要

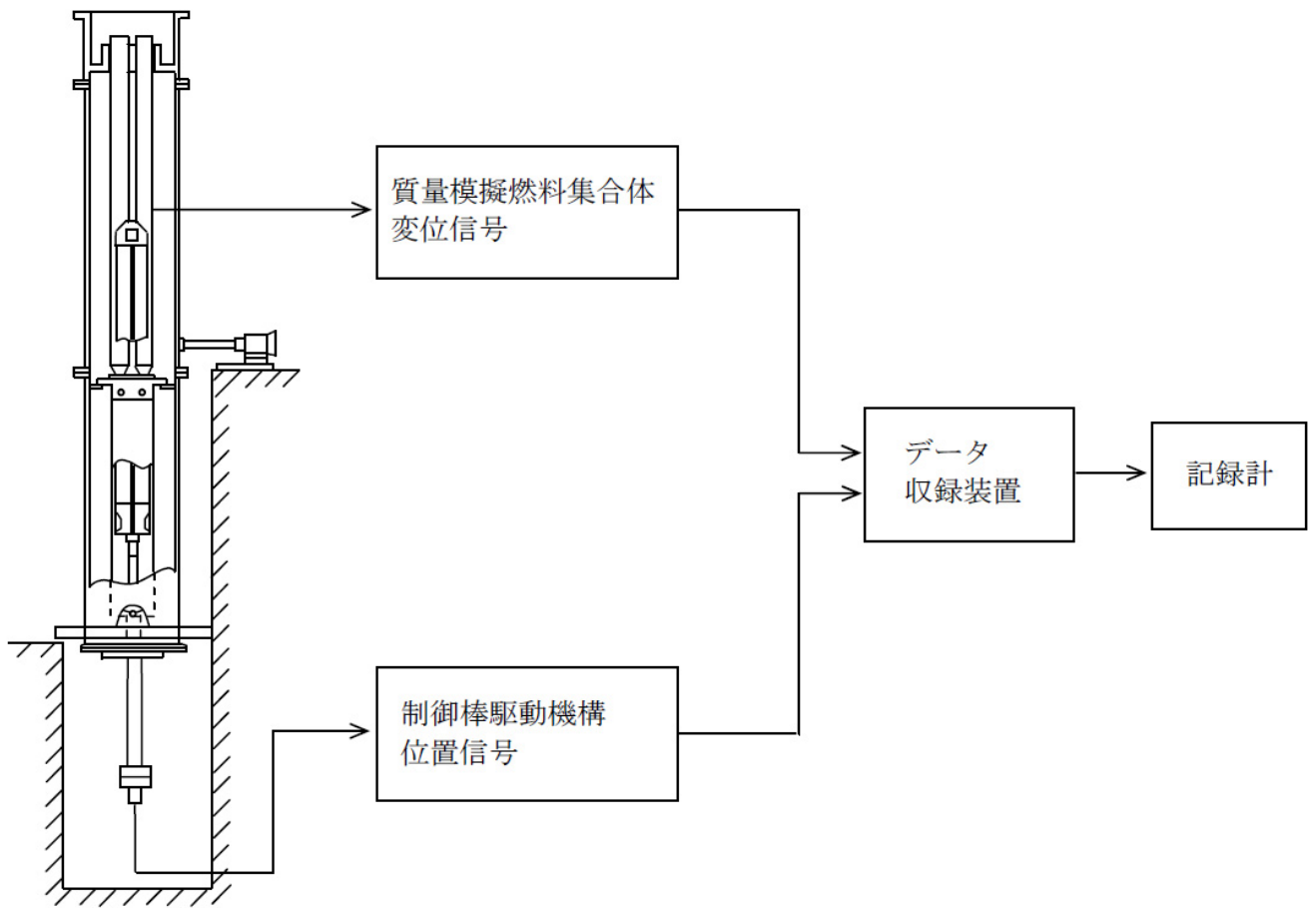


図 4-2 計測装置の概要

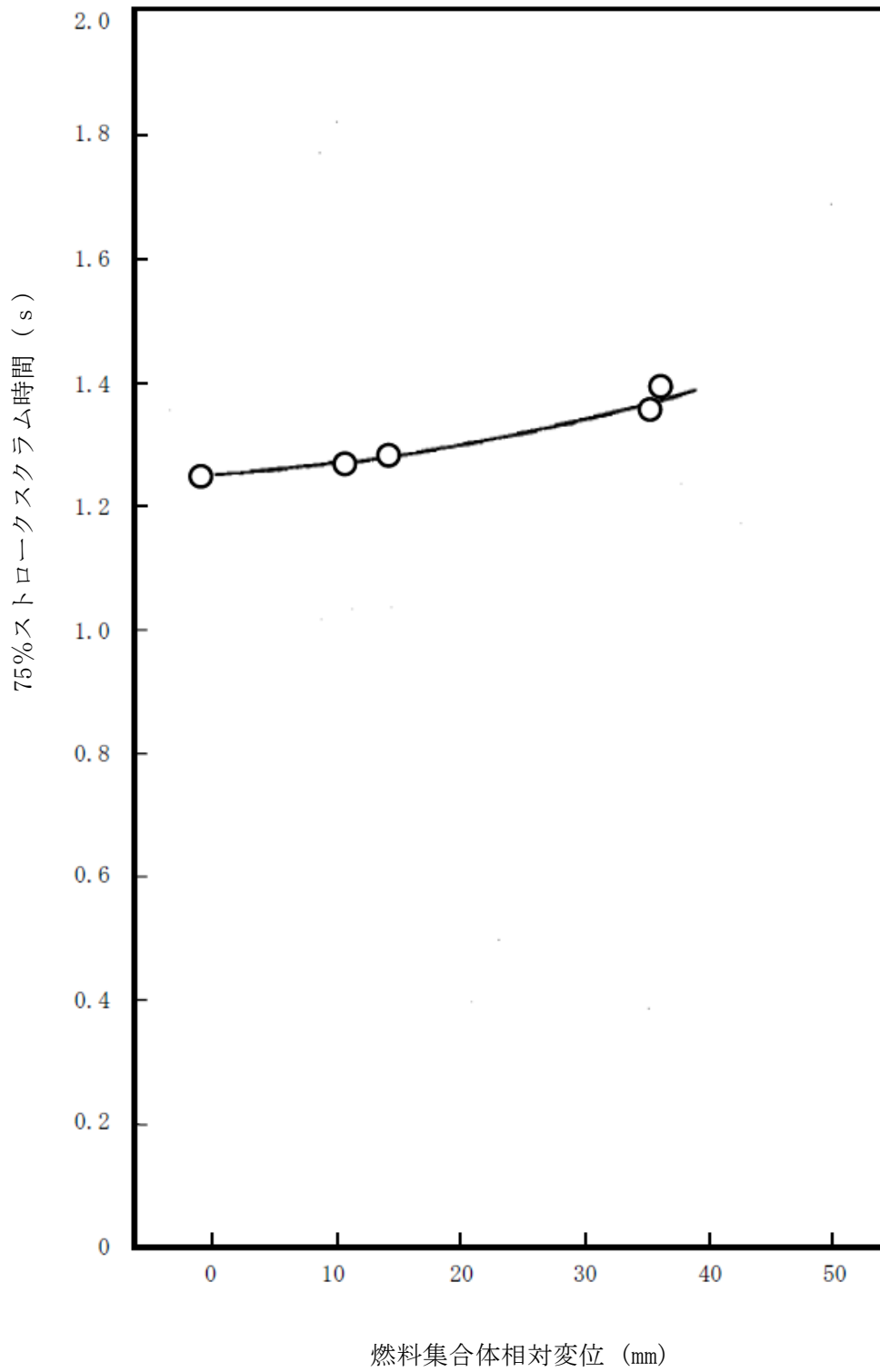


図 4-3 燃料集合体相対変位のスクラム時間に及ぼす影響
(ボロンカーバイド型制御棒)

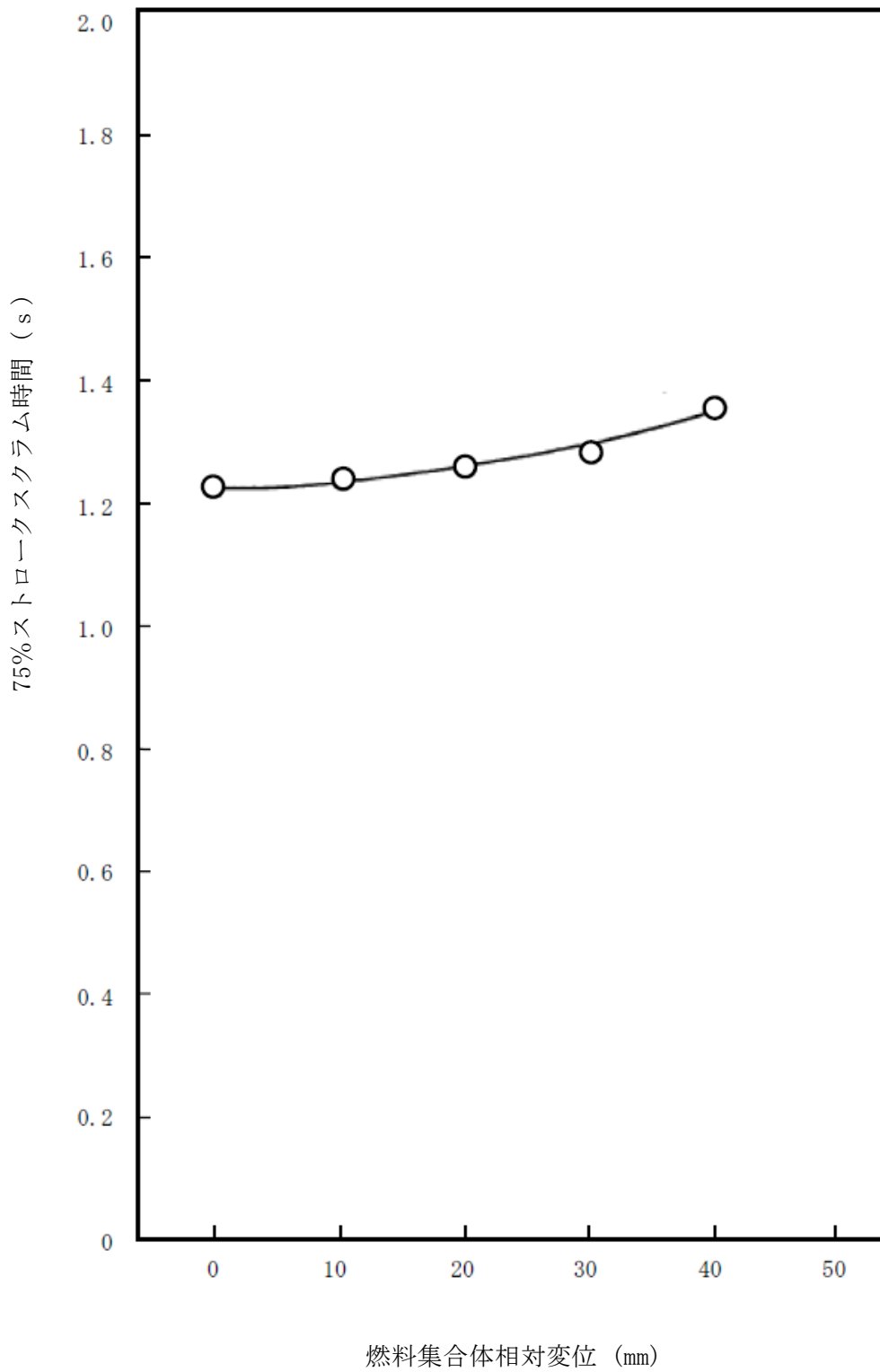


図 4-4 燃料集合体相対変位のスクラム時間に及ぼす影響
(ハフニウム棒型制御棒)

5. 制御棒挿入性に対する鉛直方向地震による影響評価

鉛直方向地震により制御棒の挿入性に与える影響について、次の観点で評価する。

- (1) 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ
- (2) 燃料集合体の浮上り

5.1 鉛直方向の作用荷重及びそれに伴う挿入時間遅れ

制御棒に作用する荷重について、制御棒に作用する鉛直方向地震力と地震スクラムにより生じるその他の荷重との大小関係を確認し、評価した。その結果、交番荷重である鉛直地震動の加速度 $1.35 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ が、仮に常時制御棒の挿入方向と逆向き（下向き）に作用した場合でも、制御棒の挿入力（上向き）は下向きの力に対して、大きくなっており、鉛直方向の作用荷重による制御棒挿入性への影響はない。

また、鉛直方向の作用荷重は、実際には交番荷重として作用することから、挿入時間の遅れに対する影響は小さく、スクラム目安時間を超えることはない。

5.2 燃料集合体の浮上り

鉛直方向地震による燃料集合体の浮上りの制御棒挿入性への影響については、引用文献(1)及び(2)で評価している。引用文献に基づいた影響評価により、島根原子力発電所第2号機における鉛直方向地震に対して燃料集合体が燃料支持金具設置深さ60mmを超えるような浮上りは生じないことを確認した。

また、鉛直方向地震に加え水平方向地震が作用し燃料支持金具の面に沿って上方向に移動する事象を想定する場合でも、燃料支持金具からの離脱は生じないことを確認した。

6. 評価結果

燃料集合体の地震応答解析の結果、燃料集合体の最大応答相対変位は 40mm 以下である。

また、制御棒挿入性試験の結果より、燃料集合体の相対変位が約 40mm までの範囲においても、通常のスラム仕様値 75% ストローク 1.62 秒以下で挿入できること、並びに、制御棒挿入性試験後、制御棒の外観に有意な変化がないことを確認した。

さらに、鉛直方向地震による制御棒挿入性への影響について、制御棒に作用する荷重、挿入時間遅れ及び燃料集合体の浮上りに対して問題ないことを確認した。

したがって、基準地震動 S_s に対する制御棒の挿入性と健全性は確保される。

7. 引用文献

- (1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 17 年度「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 2 (BWR 制御棒挿入性) に係る報告書」(平成 18 年 9 月)
- (2) 独立行政法人 原子力安全基盤機構 平成 17 年度「原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 3 (総合評価) に係る報告書」(平成 18 年 8 月)

VI-2-6-3 制御材駆動装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	16
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

制御棒駆動機構は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
制御棒駆動機構は、原子炉圧力容器下部から延長している制御棒駆動機構ハウジング内に収容する一体構造物で、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジに締付ボルトで接合される。	水圧駆動ピストンラッチ方式	

2.2 評価方針

制御棒駆動機構の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す制御棒駆動機構の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

制御棒駆動機構の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

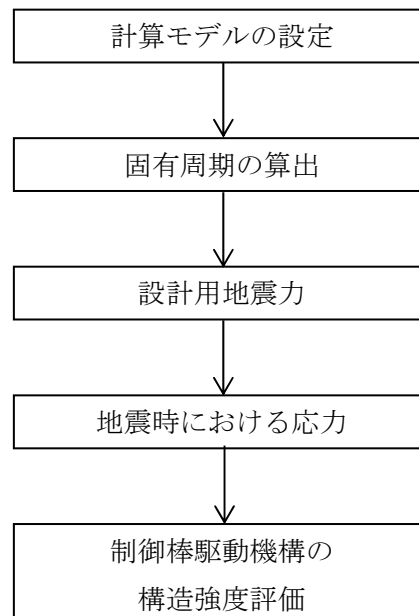


図 2-1 制御棒駆動機構の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
B ₁ , B ₂	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次応力の計算に使用するもの)	—
C ₂	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (一次+二次応力の計算に使用するもの)	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D ₀	管の外径	mm
E	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1 に定める値	MPa
F _w	制御棒駆動機構の自重による荷重	N
F _{s c r}	スクラム反力により制御棒駆動機構に生じる荷重	N
F _v	鉛直方向震度により制御棒駆動機構に生じる地震荷重	N
K ₂ , K _e	設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数 (ピーク応力の計算に使用するもの)	—
M _{h s g}	水平方向震度により制御棒駆動機構ハウジングに生じる モーメント	N・mm
M _{i p}	管の機械的荷重(地震による慣性力を含む。)により生じる モーメント	N・mm
M _{i s}	管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの 全振幅	N・mm
n _i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N _i	繰返し荷重 i に対し, 設計・建設規格 PPB-3534 にしたがって 算出された許容繰返し回数	回
P	地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S _h	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 に定める材料の 最高使用温度における値	MPa
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1 に定める値	MPa
S _n	一次+二次応力	MPa
S _p	ピーク応力	MPa
S _{p r m}	一次応力	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t	管の厚さ	mm
U	疲労累積係数	—
Z _i	管の断面係数	mm ³

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
温度	°C	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
外径	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
厚さ	mm	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
断面係数	mm ³	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
疲労累積係数	—	小数点以下第 5 位	切上げ	小数点以下第 4 位

注記*1：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

制御棒駆動機構の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品であるフランジについて、耐震評価上厳しくなる最小板厚部を管とみなし、地震荷重として制御棒駆動機構ハウジング部分の応答の最大値が作用するものとして実施する。制御棒駆動機構の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

表 2-1 の構造計画図に示すように、制御棒駆動機構は制御棒駆動機構ハウジングに据付部材を介さずに、締結ボルトにて直接接続される構造である。VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において，制御棒駆動機構ハウジングの固有周期は 以下であることが確認でき，剛構造とみなすことができるため，固有周期の計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品であるフランジの最小板厚部を管とみなし、地震荷重として制御棒駆動機構ハウジング部分の応答の最大値が作用するものとする。
- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 耐震評価は、設計基準対象施設と重大事故等対処設備の包絡条件で実施する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

制御棒駆動機構の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	S	—*2	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	

注記*1：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*2：クラス1管の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御材駆動 装置	制御棒駆動機構	常設耐震／防止	—*3	$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	
					$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$	Ⅴ _A S (Ⅴ _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*3：クラス1管の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力 (クラス 1 管及び重大事故等クラス 2 管 (クラス 1 管))

許容応力状態	許容限界* ¹		
	一次応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	$2.25 \cdot S_m$	$3 \cdot S_m$	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労累積係数と運転状態Ⅰ,Ⅱにおける疲労累積係数の和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S Ⅴ _A S* ²	$3 \cdot S_m$	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	

注記*¹: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*²: 許容応力状態Ⅴ_ASは許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態Ⅳ_ASとして評価を実施する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度						
制御棒駆動機構 フランジ		最高使用温度	302	114	—	—	—	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度						
制御棒駆動機構 フランジ		最高使用温度	302	114	—	—	—	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> EL 13.054 (EL 17.499* ¹)	—* ²	—* ²	—* ³	C _v =0.64* ⁴	—* ³	C _v =1.29* ⁵

注記*1：基準床レベルを示す。

- *2：制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。
- *3：水平方向震度により発生する荷重は、制御棒駆動機構ハウジングの地震応答解析結果を用いるため、記載は省略する。
- *4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度
- *5：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> EL 13.054 (EL 17.499* ¹)	—* ²	—* ²	—	—	—* ³	C _v =1.29* ⁴

注記*1：基準床レベルを示す。

- *2：制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。
- *3：水平方向震度により発生する荷重は、制御棒駆動機構ハウジングの地震応答解析結果を用いるため、記載は省略する。
- *4：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

制御棒駆動機構ハウジングの下端フランジとの接合部品であるフランジの最小板厚部を管とみなし、地震荷重として制御棒駆動機構ハウジング部分の応答の最大値が作用するものとして実施する。

耐震評価モデルを図 5-1 に示す。

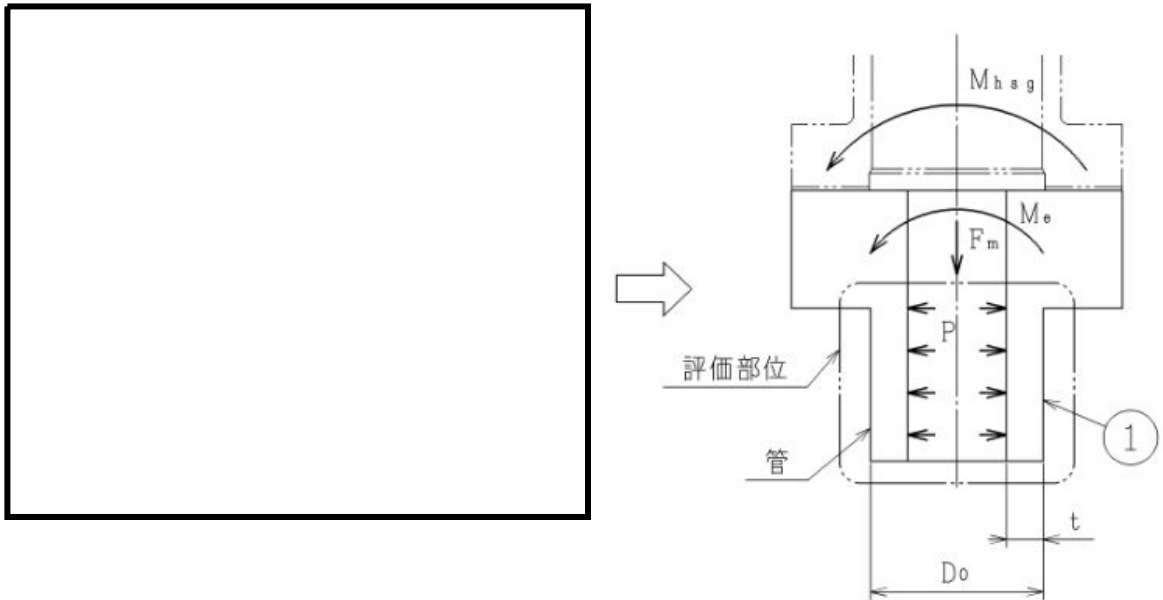


図 5-1 耐震評価モデル

5.4.1 管に作用するモーメント

図 5-1 の評価部位において、鉛直方向に作用する荷重 F_m を管に作用するモーメント M_e へ換算する換算式は以下となる。

$$M_e = \frac{D_0^2 + (D_0 - 2t)^2}{8D_0} F_m \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1)$$

(1) 管の機械的荷重（地震による慣性力を含む。）により生じるモーメント

機械的荷重として自重とスクラム反力による荷重，地震による慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{ip} = M_{hsg} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2t)^2}{8D_0} \cdot (F_w + F_{scr} + F_v) \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2)$$

(2) 管の地震動の慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅

相対変位は生じないことから、地震動の慣性力として地震動による鉛直荷重と応答モーメントを考慮すると以下となる。

$$M_{i s} = \left\{ M_{h s g} + \frac{D_0^2 + (D_0 - 2t)^2}{8D_0} \cdot F_v \right\} \times 2 \quad \dots \dots (5.4.1.3)$$

5.4.2 耐震性についての計算

(1) 一次応力

$$S_{p r m} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_0}{2t} + \frac{B_2 \cdot M_{i p}}{Z_i} \quad \dots \dots (5.4.2.1)$$

ここで、

$$Z_i = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_0^4 - (D_0 - 2t)^4}{D_0} \quad \dots \dots (5.4.2.2)$$

とする。

(2) 一次+二次応力

$$S_n = \frac{C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} \quad \dots \dots (5.4.2.3)$$

(3) ピーク応力

$$S_p = \frac{K_2 \cdot C_2 \cdot M_{i s}}{Z_i} \quad \dots \dots (5.4.2.4)$$

(4) 繰返しピーク応力強さ

$$S_\ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2} \quad \dots \dots (5.4.2.5)$$

(5) 疲労累積係数

$$\sum \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \leq 1.0 \quad \dots \dots (5.4.2.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 設計条件

制御棒駆動機構の耐震評価に用いる設計条件を表 5-8 に示す。

表 5-8 設計条件

管番号	対応する 評価点	最高 使用圧力 (MPa)	最高 使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性 係数 (MPa)
1	最小断面	8.62	302				S	

注記* : 最高使用温度における値

5.5.2 制御棒駆動機構の耐震評価の計算条件

耐震評価に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.3 運転条件

制御棒駆動機構の耐震評価に用いる運転条件を表 5-9 に示す。

表 5-9 運転条件

運転状態	運転条件	回数
I 及び II	耐圧試験（最高使用圧力以下）	
	起動（昇温）	
	タービントリップ及びその他のスクラム	
	定格出力運転（制御棒駆動機構隔離）	
	定格出力運転（単一制御棒スクラム）	
	燃料交換（スクラム）	
	原子炉給水ポンプ停止	
	逃がし安全弁誤作動	
III	過大圧力	
	自動減圧系誤作動	
	誤起動	
IV	冷却材喪失事故	

運転条件領域区分：制御棒駆動機構ハウジング面より下の領域

運転条件図：図 5-2 参照

運転状態区分		運転状態 I 及び II	
運転条件	C02	C03, C04	C10, C11
運転名称	耐圧試験 (最高使用圧力以下)	起動	タービントリップ及びその他スクラム
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
圧力 (MPa)			

図 5-2 (1) 運転条件図

運転状態区分		運転状態 I 及び II	
運転条件	C12	C13, C14, C15, C16, C17	C19
運転名称	定格出力運転	停止	燃料交換
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
圧力 (MPa)			

図 5-2 (2) 運転条件図

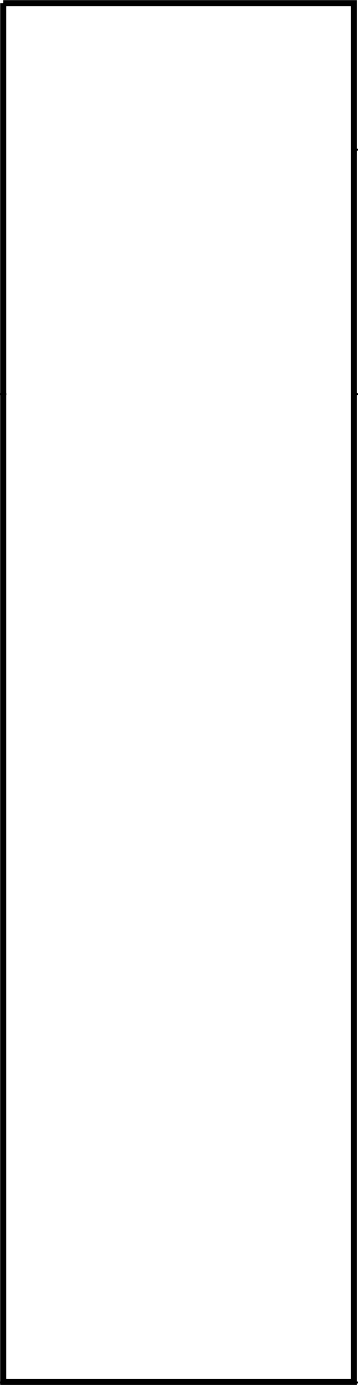
運転状態区分		運転状態 I 及び II	
運転条件	C20	C21	
運転名称	原子炉給水ポンプ停止	逃がし安全弁誤作動	
圧力 (MPa)			
			

図 5-2(3) 運転条件図

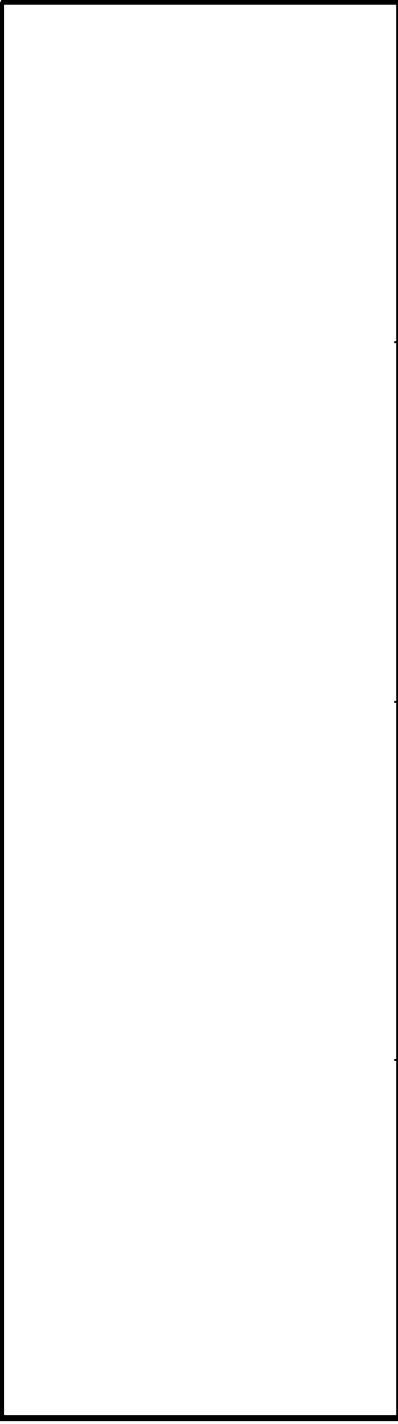
運転状態区分		運転状態 III		運転状態 IV	
運転条件	C22	C23	C26	C27	
運転名称	過大圧力	自動減圧系誤作動	誤起動	冷却材喪失事故	
圧力 (MPa)					
					

図 5-2(4) 運転条件図

5.6 応力の評価

5.4.2 項で求めた組合せ応力が最高使用温度における許容応力以下であること。ただし、許容応力は下表による。

応力の種類	許容応力*	
	許容応力状態Ⅲ _A S	許容応力状態Ⅳ _A S
一次応力	設計応力強さ S_m の 2.25 倍	設計応力強さ S_m の 3 倍
一次+二次応力	設計応力強さ S_m の 3 倍 ただし、弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる 応力振幅について評価する。	
一次+二次 +ピーク応力	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労累積係数と 運転状態Ⅰ，Ⅱにおける疲労累積係数の和が 1.0 以下 であること。	

注記*：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒駆動機構の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	S	EL 13.054 (EL 17.499*1)	—*2	—*2	—*3	C _v =0.64*4	—*3	C _v =1.29*5	302	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。

*3：水平方向震度により発生する荷重は、制御棒駆動機構ハウジングの地震応答解析結果を用いるため、記載は省略する。

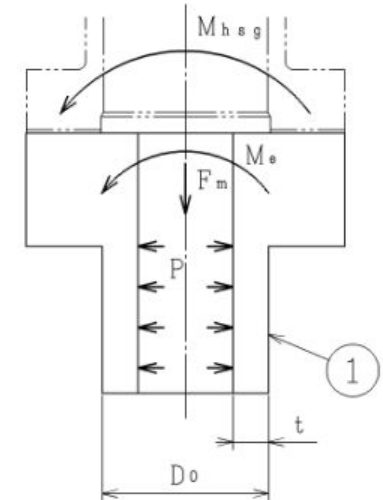
*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	D _o (mm)	t (mm)	M _{hsg} (N・mm)		F _w (N)
			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
管番号1					

部材	F _{scr} (N)	F _v (N)		P (MPa)	n _i (回)
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		
管番号1					



部材	Z _i (mm ³)	B ₁	B ₂	C ₂	K ₂	K _e	S _m (MPa)	S _y (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)
管番号1									

注記*1：運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数（150回）を加えた回数

*2：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

管に作用するモーメント

部 材	M _{i p} (N・mm)		M _{i s} (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
管番号 1				

許容繰返し回数

部 材	S _p (MPa)		S _ℓ (MPa)		N _i (回)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
管番号 1						

1.4 結論

1.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
			一次応力 S _{p r m} (S _d)	許容応力 2.25・S _m	一次+二次応力 S _n (S _d)	許容応力 3・S _m	疲労累積係数 U+U S _d
			S _{p r m} (S _s)	3・S _m	S _n (S _s)	3・S _m	U+U S _s
ⅢA S	管番号1 最小断面	S _{p r m} (S _d)	33	258	—	—	—
ⅢA S		S _n (S _d)	—	—	38	344	—
ⅢA S		U+U S _d	—	—	—	—	0.0000
ⅣA S		S _{p r m} (S _s)	55	344	—	—	—
ⅣA S		S _n (S _s)	—	—	81	344	—
ⅣA S		U+U S _s	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
制御棒駆動機構	常設耐震/防止	EL 13.054 (EL 17.499* ¹)	—* ²	—* ²	—	—	—* ³	C _v =1.29* ⁴	302	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 制御棒駆動機構ハウジングの解析結果を用いるため、計算は省略する。

*3: 水平方向震度により発生する荷重は、制御棒駆動機構ハウジングの地震応答解析結果を用いるため、記載は省略する。

*4: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

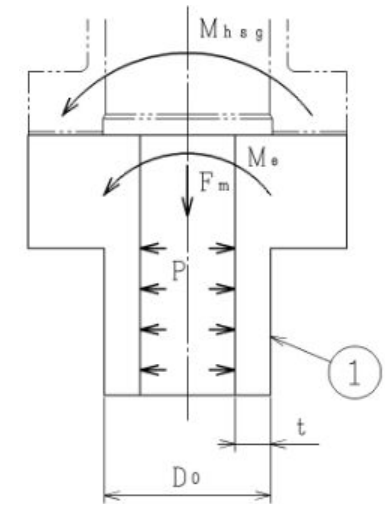
部材	D _o (mm)	t (mm)	M _{hsg} (N・mm)		F _w (N)
			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
管番号1			—		

部材	F _{scr} (N)	F _v (N)		P (MPa)	n _i (回)
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		
管番号1		—			

部材	Z _i (mm ²)	B ₁	B ₂	C ₂	K ₂	K _e	S _m (MPa)	S _y (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)
管番号1								—	

注記*1: 運転条件の回数に設計用地震応力繰返し回数 (150 回) を加えた回数

*2: 最高使用温度で算出



2.3 計算数値

管に作用するモーメント

部 材	M _{ip} (N・mm)		M _{is} (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
管番号1	—		—	

許容繰返し回数

部 材	S _p (MPa)		S _ℓ (MPa)		N _i (回)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
管番号1	—		—		—	

2.4 結論

2.4.1 応力

許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
			一次応力 S _{pr m} (S _s)	許容応力 3・S _m	一次+二次応力 S _n (S _s)	許容応力 3・S _m	疲労累積係数 U+U S _s
VAS	管番号1 最小断面	S _{pr m} (S _s)	55	344	—	—	—
VAS		S _n (S _s)	—	—	81	344	—
VAS		U+U S _s	—	—	—	—	0.0000

すべて許容応力以下である。

VI-2-6-3-2 制御棒駆動水圧設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-3-2-1 制御棒駆動水圧系の耐震性についての計算書

VI-2-6-3-2-1-1 水圧制御ユニットの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	14
4.5 設計用地震力	15
4.6 計算方法	16
4.6.1 応力の計算方法	16
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	18
4.8.1 フレームの応力評価	18
4.8.2 取付ボルトの応力評価	19
5. 機能維持評価	20
5.1 動的機能維持評価方法	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、水圧制御ユニットが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

水圧制御ユニットは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

水圧制御ユニットの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水圧制御ユニットのフレームは、十分剛な水圧制御ユニット支持架構及び床に取付ボルトにより固定されている。</p>	<p>配管ユニット，計装ユニット等の構成部品がフレームに取り付けられた構造</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

水圧制御ユニットの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに、許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す水圧制御ユニットの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、制御棒駆動水圧系スクラム弁の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

水圧制御ユニット及び制御棒駆動水圧系スクラム弁の耐震評価フローを図2-1に示す。

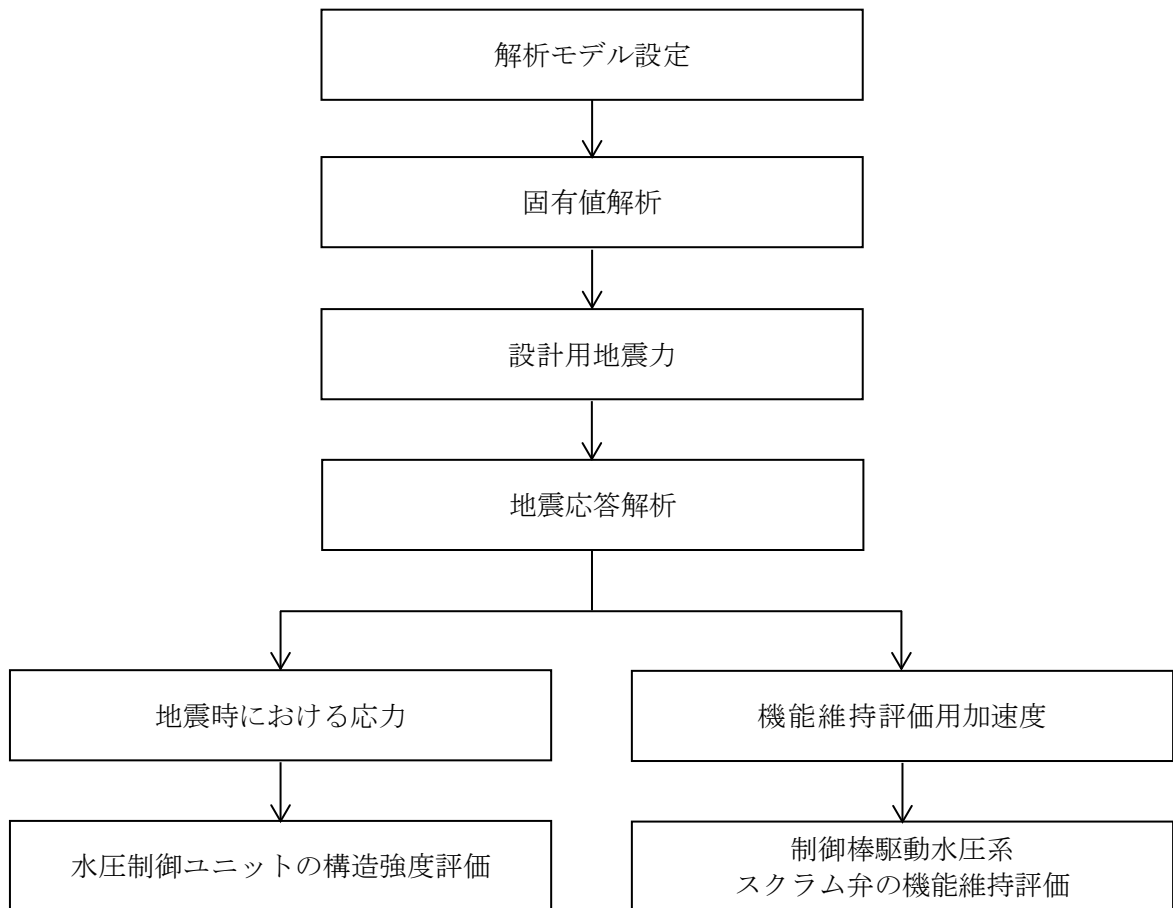


図2-1 水圧制御ユニット及び制御棒駆動水圧系スクラム弁の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	フレームの断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D ₀	フレームの外径	mm
D _i	フレームの内径	mm
d _o	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _b	取付ボルトに作用する引張力	N
F _x	フレームの軸力 (x 方向)	N
F _y	フレームのせん断力 (y 方向)	N
F _z	フレームのせん断力 (z 方向)	N
f _b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f _c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f _s	フレーム又はボルト等の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	フレーム又はボルト等の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
l	取付ボルト間の距離	mm
l _k	座屈長さ	mm
M _x	フレームのねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M _y	フレームの曲げモーメント (y 軸)	N・mm
M _z	フレームの曲げモーメント (z 軸)	N・mm
m _i	荷重位置の質量 (i = a, b, c, d)	kg
m	水圧制御ユニット解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	フレームと壁及び床の取付部 1 箇所当たりの取付ボルトの本数	—
n _f	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
Q _b	取付ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
X, Y, Z	絶対(節点)座標軸	—
x, y, z	局所(要素)座標軸	—
Z_p	フレームのねじり断面係数	mm ³
Z_y	フレームの断面係数(y軸)	mm ³
Z_z	フレームの断面係数(z軸)	mm ³
I_y	フレームの断面二次モーメント(y軸)	mm ⁴
I_z	フレームの断面二次モーメント(z軸)	mm ⁴
Λ	フレームの限界細長比	—
λ	フレームの有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		°C	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入	小数点以下第1位 ^{*3}
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

水圧制御ユニットの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム及び取付ボルトについて実施する。なお、水圧制御ユニットは、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であればスクラム機能を維持できるため、フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。水圧制御ユニットの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 水圧制御ユニットのフレームは、十分に剛な水圧制御ユニット支持架構及び床に取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 水圧制御ユニットの質量には、フレーム自身の質量のほか、配管ユニット、スクラムパイロット弁、スクラム弁、チェック弁、ゲート弁、アキュムレータ、窒素容器、計装ユニット及びそれらに内容する水の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、水圧制御ユニットに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

水圧制御ユニットの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

水圧制御ユニットの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

水圧制御ユニットの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御棒駆動 水圧設備	水圧制御ユニット	S	クラス2 支持構造物	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統 施設	制御棒駆動 水圧設備	水圧制御ユニット	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2支持構造物	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界を 用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
フレーム	[Redacted]	周囲環境温度	50	—	205	365	—
		周囲環境温度	50	—	241	394	—
取付ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記*1 : [Redacted]

*2 : [Redacted]

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
フレーム	[Redacted]	周囲環境温度	50	—	205	365	—
		周囲環境温度	50	—	241	394	—
取付ボルト	[Redacted]	周囲環境温度	50	—	211	394	—

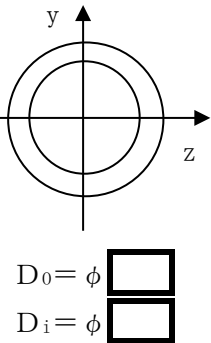
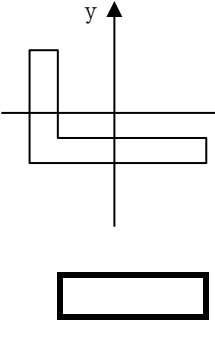
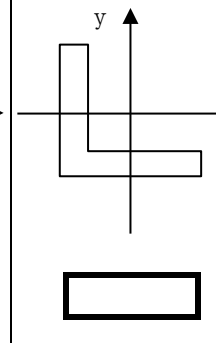
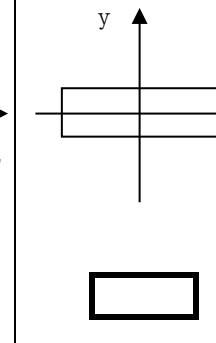
注記*1 : [Redacted]

*2 : [Redacted]

4.3 解析モデル及び諸元

水圧制御ユニットの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 図 4-1 中○内の数字は部材番号（要素番号），数字は節点番号を示す。
- (2) 図 4-1 中の ● は荷重位置を示し， m_a , m_b は kg, m_c は kg, m_d は kg, m_e は kg で総質量は kg である。
- (3) 図 4-1 中実線はフレーム部材，点線は質量 m_a , m_b , m_c , m_d , m_e とフレーム部材を結ぶ剛要素を示す。
- (4) 拘束条件は，フレーム下端及び上端を固定（ボルトによる固定）とする。フレーム中段をフレーム軸方向自由，フレーム軸直角方向固定（Uボルトによる固定）とする。
- (5) 部材の応力算出に必要な機器要目を下表に示す。
- (6) 解析コードは「SAP-IV」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

材料	<input type="text"/>			
対象要素	①—⑬	⑭—⑯	⑰—⑲	⑳—㉔
A (mm ²)	<input type="text"/>			
I _y (mm ⁴)				
I _z (mm ⁴)				
Z _y (mm ³)				
Z _z (mm ³)				
Z _p (mm ³)				
断面形状 (mm)	 $D_0 = \phi$ <input type="text"/> $D_i = \phi$ <input type="text"/>	 <input type="text"/>	 <input type="text"/>	 <input type="text"/>

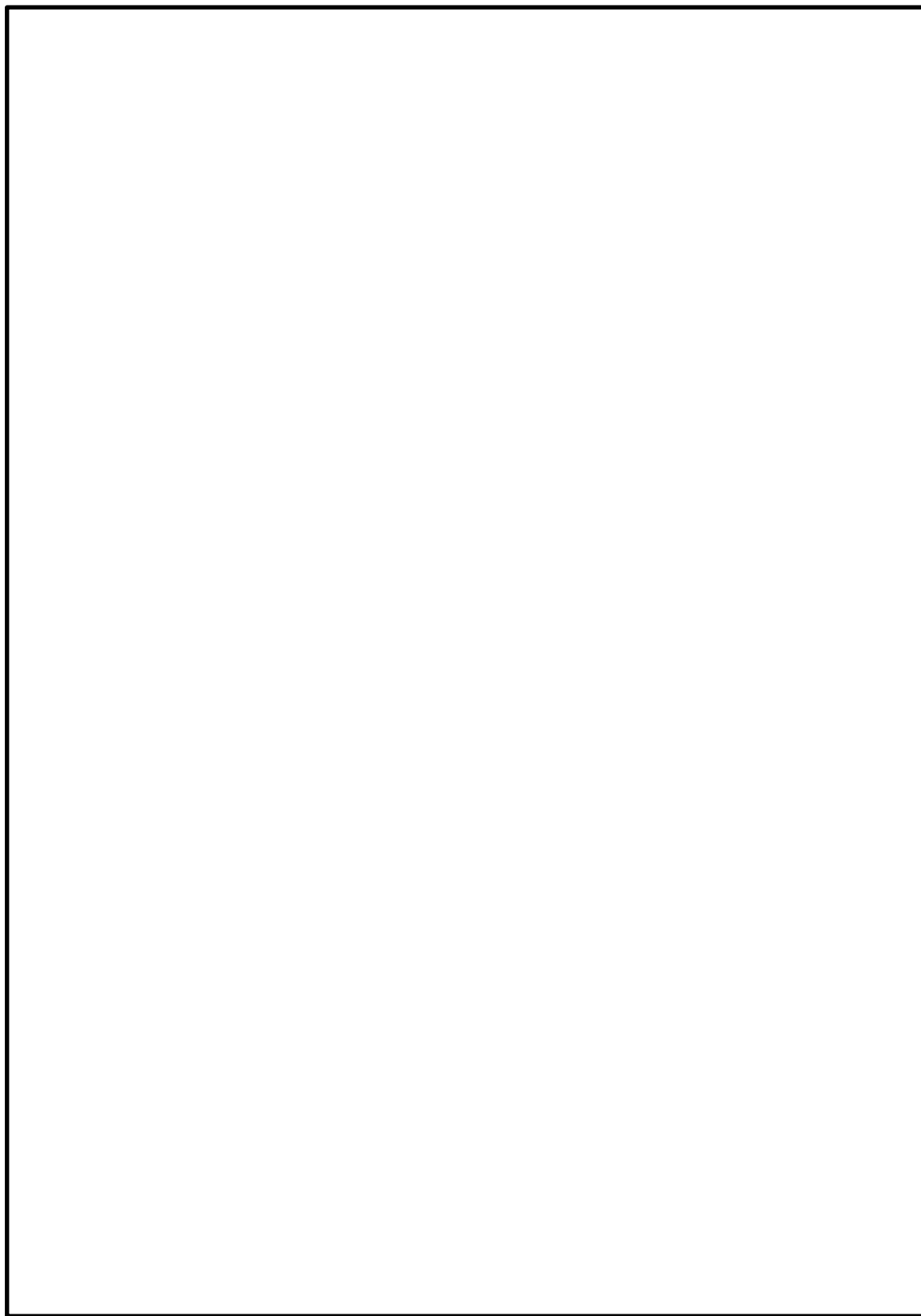


図 4-1 水圧制御ユニット解析モデル (単位 : mm)

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-6 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.023	—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 23.8 ^{*1}	0.023	0.05 以下	C _H =1.17 ^{*2} (NS 方向) C _H =1.20 ^{*2} (EW 方向)	C _V =0.98 ^{*2}	C _H =2.17 ^{*3} (NS 方向) C _H =2.07 ^{*3} (EW 方向)	C _V =1.95 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 23.8 ^{*1}	0.023	0.05 以下	—	—	C _H =2.17 ^{*2} (NS 方向) C _H =2.07 ^{*2} (EW 方向)	C _V =1.95 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- (1) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

- (2) せん断応力

$$\tau = \text{Max} \left\{ \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2}, \sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A} + \frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2} \right\} \dots\dots (4.6.1.1.3)$$

- (3) 曲げ応力

鋼管の場合

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{M_y}{Z_y}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{Z_z}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

形鋼の場合

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

- (4) 組合せ応力

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

ここで、

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A} + \sigma_b \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

4.6.1.2 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。水圧制御ユニットの取付ボルト部の概要を図 4-2 に示す。

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は、図 4-2 に示すフレームの軸力 F_x とモーメント M_z を考え、これを保守的に片側のボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_b = |F_y| + \frac{|M_z|}{\ell} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、フレームと床の取付部 1 箇所当たりの取付ボルトの本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{|F_x|^2 + \left(|F_z| + \frac{|M_x|}{D_i} + \frac{|M_y|}{\ell} \right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.1.2.3) 式による。

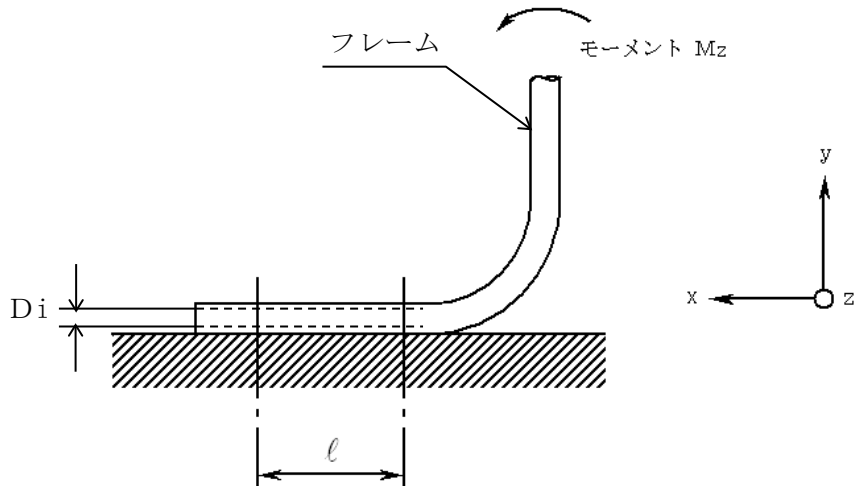


図 4-2 取付ボルト部の概要

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（水圧制御ユニット）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 フレームの応力評価

4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

基準地震動 S s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

制御棒駆動水圧系スクラム弁の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

制御棒駆動水圧系スクラム弁は、地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
制御棒駆動水圧系スクラム弁	水平	6.0
	鉛直	6.0

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

水圧制御ユニットの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

水圧制御ユニットの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【水圧制御ユニットの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
水圧制御ユニット	S	原子炉建物 EL 23.8* ¹	0.023	0.05 以下	C _H =1.17* ² (NS 方向) C _H =1.20* ² (EW 方向)	C _V =0.98* ²	C _H =2.17* ³ (NS 方向) C _H =2.07* ³ (EW 方向)	C _V =1.95* ³	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

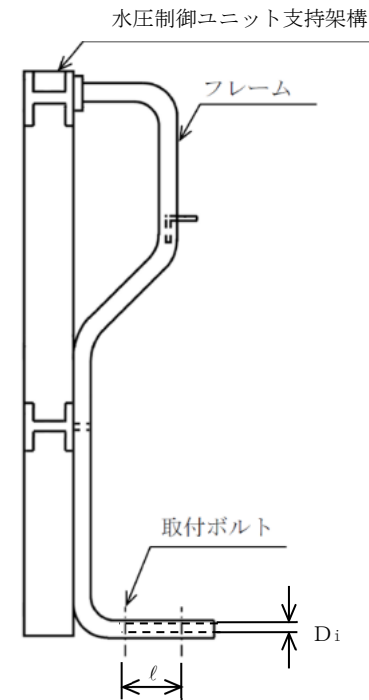
*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

m (kg)	ℓ (mm)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	D _i (mm)
				2	1	

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	205	246
		241 (厚さ ≤ 16mm)	394 (厚さ ≤ 16mm)	241	276
取付ボルト		211 (径 > 40mm)	394 (径 > 40mm)	211	253



材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν'
[Empty Box]							

注記 *1: 弾性設計用地震動 Sd 又は静的震度による荷重との組合せの場合
 *2: 基準地震動 Ss による荷重との組合せの場合

	要素番号		
	⑧ ⑩ ⑭ ⑯	⑰	⑳ ㉑
材料	[Empty Box]		
A (mm ²)			
Z _y (mm ³)			
Z _z (mm ³)			
Z _p (mm ³)			

要素 番号	節点 番号	荷重 方向	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合 (2/2)					
			フレームの荷重			フレームのモーメント		
			F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑰	20	X						
		Y						
		Z						
		自重						
⑱	21	X						
		Y						
		Z						
		自重						
㉑	21	X						
		Y						
		Z						
		自重						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	荷重 方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による荷重との組合せの場合					
			フレームの荷重			フレームのモーメント		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑬	16	X						
		Y						
		Z						
		自重						
⑬	18	X						
		Y						
		Z						
		自重						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

28

要素 番号	節点 番号	荷重 方向	基準地震動 S _s による荷重との組合せの場合					
			フレームの荷重			フレームのモーメント		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑬	16	X						
		Y						
		Z						
		自重						
⑬	18	X						
		Y						
		Z						
		自重						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向	0.023
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
フレーム		引張り ^{*1}	⑧	10	$\sigma_t = 6$	$f_t = 205$	$\sigma_t = 10$	$f_t = 246$
		圧縮 ^{*1}	⑧	10	$\sigma_c = 6^{*4}$	$f_c = 157$	$\sigma_c = 10^{*4}$	$f_c = 179$
		せん断 ^{*1}	⑬	16	$\tau = 7$	$f_s = 118$	$\tau = 11$	$f_s = 142$
		曲げ ^{*1}	⑭	14	$\sigma_b = 40$	$f_b = 205$	$\sigma_b = 69$	$f_b = 246$
		組合せ ^{*2}	⑩	12	$\sigma_f = 44$	$f_t = 205$	$\sigma_f = 76$	$f_t = 246$
		引張り ^{*1}	⑳	21	$\sigma_t = 2$	$f_t = 241$	$\sigma_t = 4$	$f_t = 276$
		圧縮 ^{*1}	㉑	21	$\sigma_c = 2^{*4}$	$f_c = 219$	$\sigma_c = 4^{*4}$	$f_c = 247$
		せん断 ^{*1}	⑲	20	$\tau = 11$	$f_s = 139$	$\tau = 17$	$f_s = 159$
		曲げ ^{*1}	㉒	21	$\sigma_b = 38$	$f_b = 241$	$\sigma_b = 65$	$f_b = 276$
		組合せ ^{*2}	㉒	21	$\sigma_f = 41$	$f_t = 241$	$\sigma_f = 69$	$f_t = 276$
取付ボルト		引張り ^{*3}	⑬	16	$\sigma_{tb} = 19$	$f_{ts} = 158^{*5}$	$\sigma_{tb} = 34$	$f_{ts} = 189^{*5}$
		せん断 ^{*3}	⑬	18	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 121$	$\tau_b = 9$	$f_{sb} = 146$

注記*1：フレームの引張り、圧縮、せん断、曲げ応力の算出応力は、荷重方向（X、Y、Z、自重）ごとの応力を用いて以下のように求める。
ここで、荷重方向（X、Y、Z、自重）ごとの応力は4.6.1.1項により求める。

$$(\text{算出応力}) = |(\text{自重方向による応力})| + \sqrt{(\text{X軸方向による応力})^2 + (\text{Y軸方向による応力})^2 + (\text{Z軸方向による応力})^2}$$

*2：フレームの組合せ応力は*1で求めた引張り、圧縮、せん断、曲げ応力を用いて4.6.1.1項により求める。

*3：取付ボルトの引張り、せん断応力は*1と同様の順序で求める。ただし、応力の算出には4.6.1.2項を用いる。

*4：絶対値を記載

*5： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御棒駆動水圧系 スクラム弁	水平方向	NS 方向 : 1.02 EW 方向 : 0.98	6.0
	鉛直方向	1.28	6.0

注記* : 設計用震度 I (基準地震動 S s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
水圧制御ユニット	常設耐震/防止	原子炉建物 EL 23.8*1	0.023	0.05 以下	—	—	C _H =2.17*2 (NS 方向) C _H =2.07*2 (EW 方向)	C _H =1.95*2	—	50

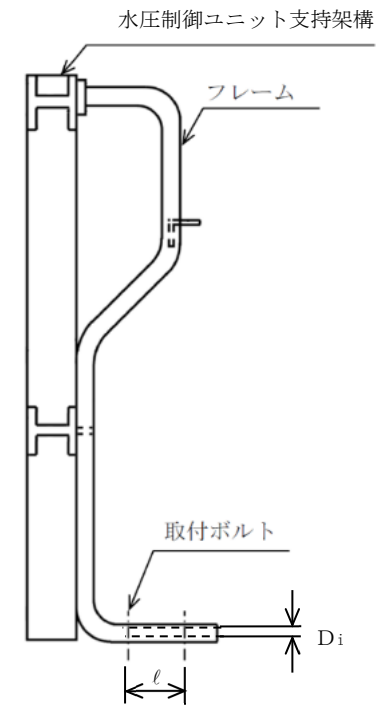
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

m (kg)	ℓ (mm)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f	D _i (mm)
				2	1	

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	—	246
		241 (厚さ ≤ 16mm)	394 (厚さ ≤ 16mm)	—	276
取付ボルト		211 (径 > 40mm)	394 (径 > 40mm)	—	253



材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν'
[Redacted]							

注記 * : 基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

	要素番号		
	⑧ ⑩ ⑭ ⑯	⑰	⑳ ㉑
材料	[Redacted]		
A (mm ²)			
Z _y (mm ³)			
Z _z (mm ³)			
Z _p (mm ³)			

要素 番号	節点 番号	荷重 方向	基準地震動 S _s による荷重との組合せの場合 (2/2)					
			フレームの荷重			フレームのモーメント		
			F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _x (N・mm)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
⑰	20	X	[Blank Box]					
		Y						
		Z						
		自重						
⑱	21	X						
		Y						
		Z						
		自重						
㉑	21	X						
		Y						
		Z						
		自重						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素 番号	節点 番号	荷重 方向	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合					
			フレームの荷重			フレームのモーメント		
			F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	16	X						
		Y						
		Z						
		自重						
⑬	18	X						
		Y						
		Z						
		自重						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位 : s)

方向	固有周期
水平方向	0.023
鉛直方向	0.05 以下

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
					算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
フレーム		引張り ^{*1}	⑧	10	—	—	$\sigma_t = 10$	$f_t = 246$
		圧縮 ^{*1}	⑧	10	—	—	$\sigma_c = 10^{*4}$	$f_c = 179$
		せん断 ^{*1}	⑬	16	—	—	$\tau = 11$	$f_s = 142$
		曲げ ^{*1}	⑭	14	—	—	$\sigma_b = 69$	$f_b = 246$
		組合せ ^{*2}	⑩	12	—	—	$\sigma_f = 76$	$f_t = 246$
		引張り ^{*1}	⑳	21	—	—	$\sigma_t = 4$	$f_t = 276$
		圧縮 ^{*1}	㉑	21	—	—	$\sigma_c = 4^{*4}$	$f_c = 247$
		せん断 ^{*1}	⑲	20	—	—	$\tau = 17$	$f_s = 159$
		曲げ ^{*1}	㉒	21	—	—	$\sigma_b = 65$	$f_b = 276$
		組合せ ^{*2}	㉓	21	—	—	$\sigma_f = 69$	$f_t = 276$
取付ボルト		引張り ^{*3}	⑬	16	—	—	$\sigma_{tb} = 34$	$f_{ts} = 189^{*5}$
		せん断 ^{*3}	⑬	18	—	—	$\tau_b = 9$	$f_{sb} = 146$

注記*1：フレームの引張り、圧縮、せん断、曲げ応力の算出応力は、荷重方向（X、Y、Z、自重）ごとの応力を用いて以下のように求める。
ここで、荷重方向（X、Y、Z、自重）ごとの応力は4.6.1.1項により求める。

$$(\text{算出応力}) = |(\text{自重方向による応力})| + \sqrt{(\text{X軸方向による応力})^2 + (\text{Y軸方向による応力})^2 + (\text{Z軸方向による応力})^2}$$

*2：フレームの組合せ応力は*1で求めた引張り、圧縮、せん断、曲げ応力を用いて4.6.1.1項により求める。

*3：取付ボルトの引張り、せん断応力は*1と同様の順序で求める。ただし、応力の算出には4.6.1.2項を用いる。

*4：絶対値を記載

*5： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.3 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御棒駆動水圧系 スクラム弁	水平方向	NS 方向 : 1.02 EW 方向 : 0.98	6.0
	鉛直方向	1.28	6.0

注記* : 設計用震度 I (基準地震動 S s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-6-3-2-1-2 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力	28
3.5 設計用地震力	29
4. 解析結果及び評価	30
4.1 固有周期及び設計震度	30
4.2 評価結果	47
4.2.1 管の応力評価結果	47
4.2.2 支持構造物評価結果	48
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	49
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	50

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全12モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






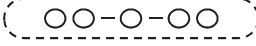

(3) 弁

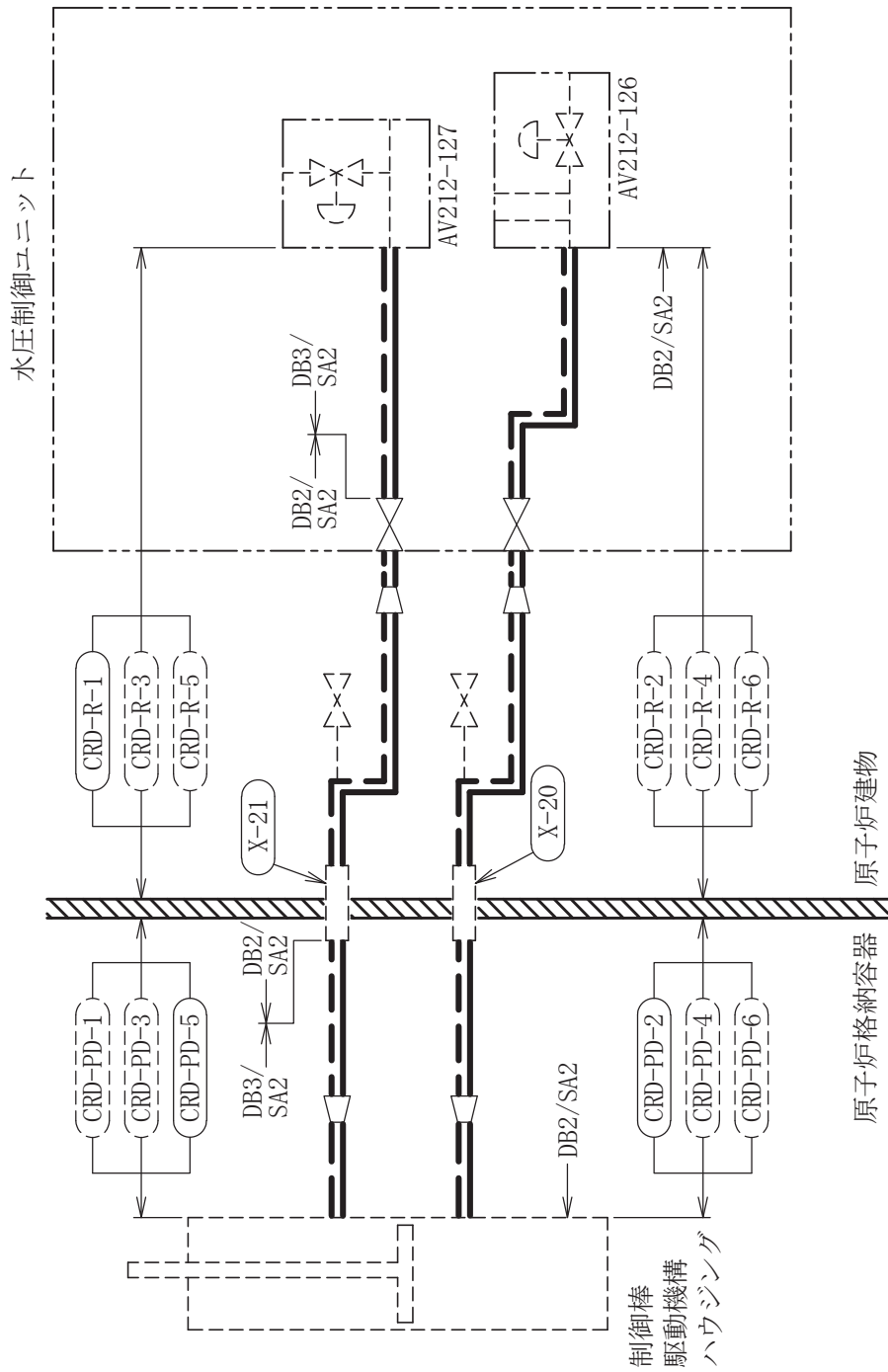
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例






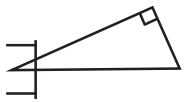
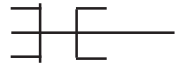

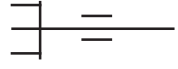
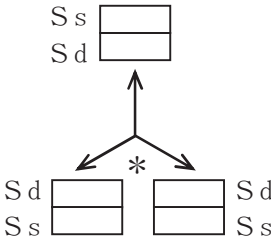
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

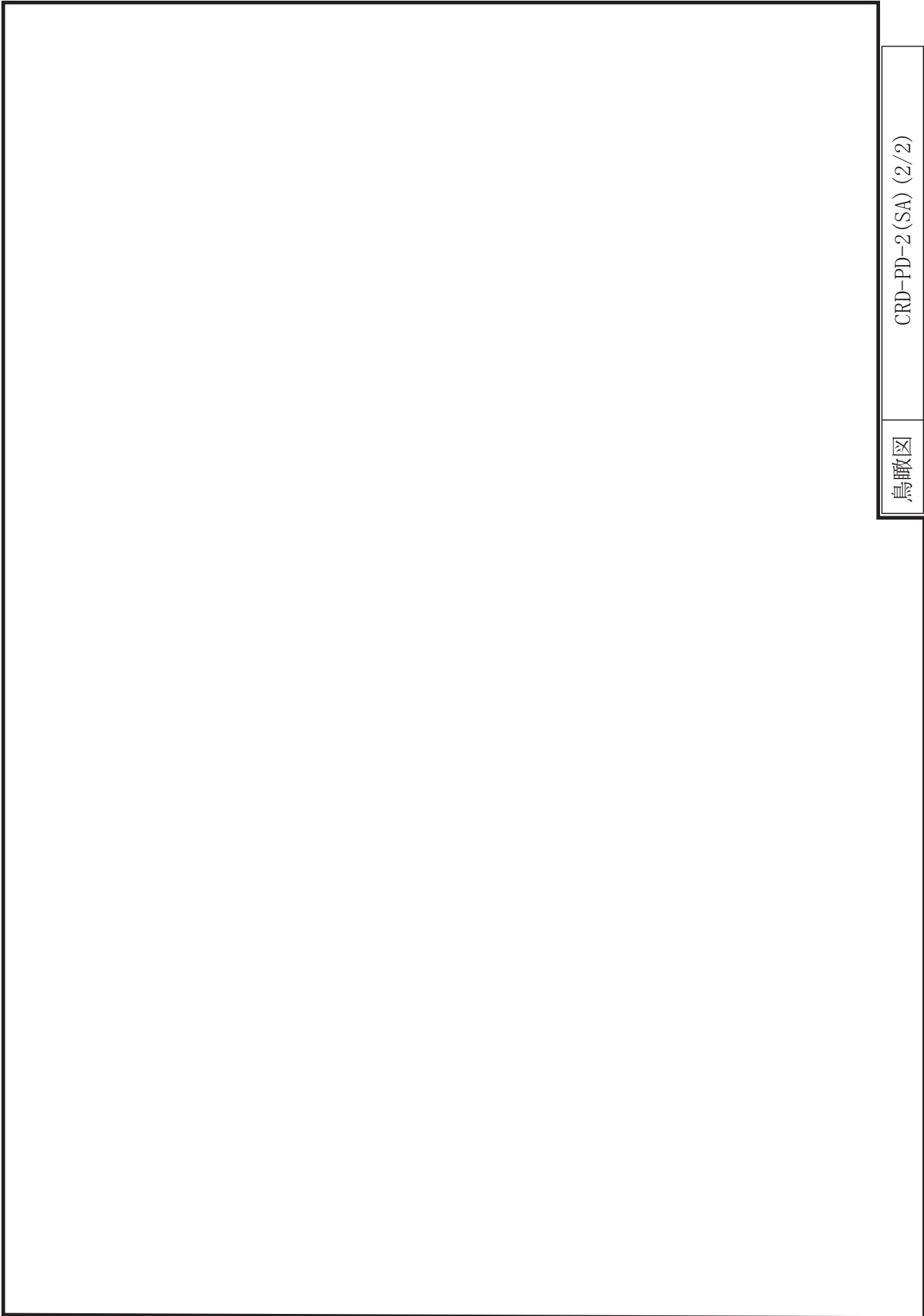


制御棒駆動水圧系概略系統図

2.2 鳥瞰図

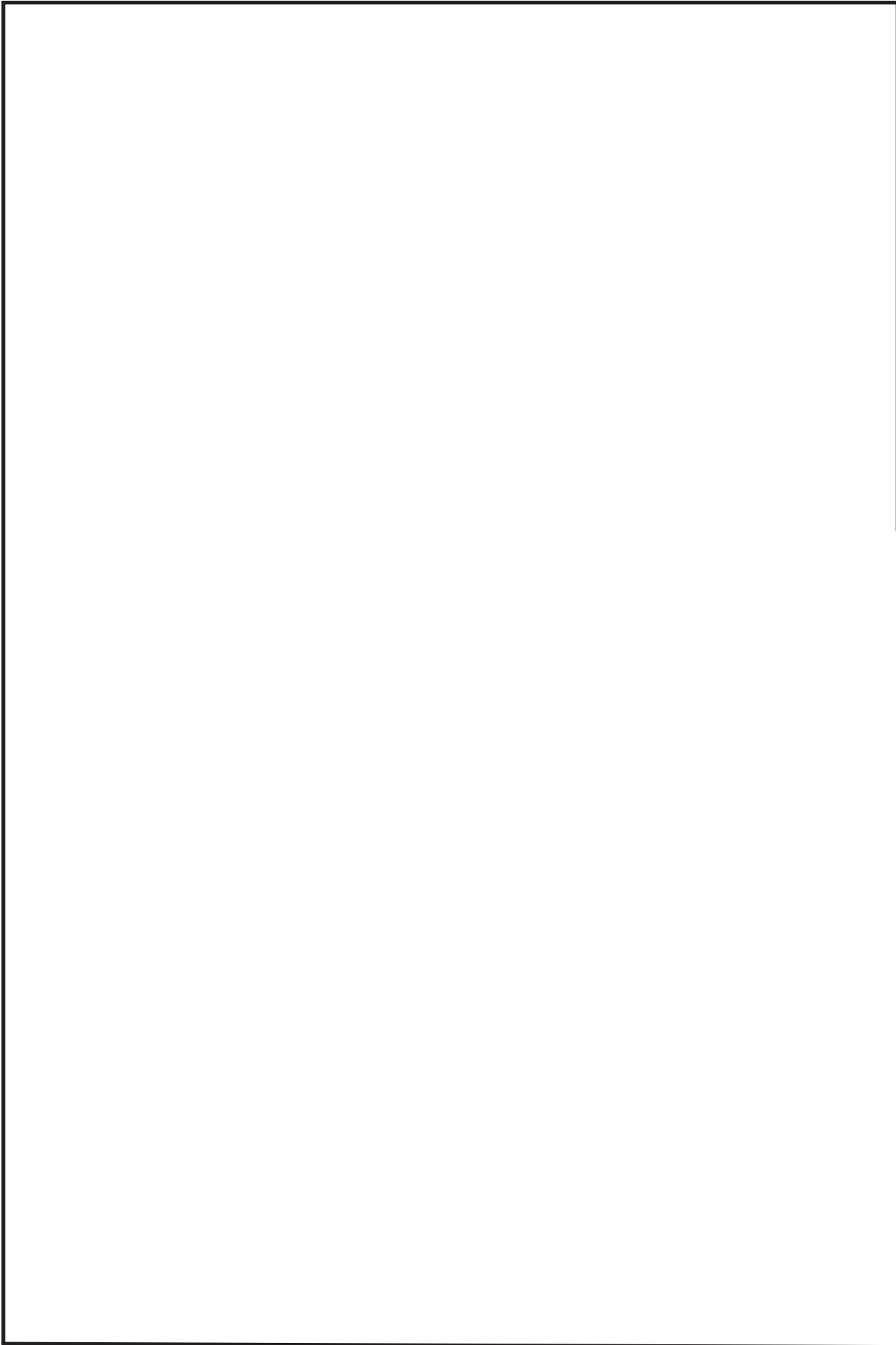
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

CRD-PD-2 (SA) (2/2)



鳥瞰図

CRD-PD-5(DB) (1/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
計測制御系統施設	制御棒駆動水圧設備	制御棒駆動水圧系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
計測制御系統施設	制御棒駆動水圧設備	制御棒駆動水圧系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
							V _L (L)+S _d ^{*6, *7}	V _A S
							V _L (L L)+S _s ^{*8}	
							V _L +S _s ^{*9}	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉格納容器バウンダリは，事象の進展によつては，重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから，保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*7：原子炉格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）における荷重条件を適用する。

*8：原子炉格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）における荷重条件を適用する。

*9：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CRD-PD-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～38	13.80	66	42.7	4.9	SUS316LTP	S	193000
2	39～44N	13.80	66	27.2	3.9	SUS316LTP	S	193000

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
4						
8						
** 8 **						
13						
16						
19						
2401						
26						
31						
** 31 **						
** 31 **						
44N						

S2 補 VI-2-6-3-2-1-2 R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CRD-PD-5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～42	13.80	66	34.0	4.5	SUS316LTP	S	193000
2	43～48N	13.80	66	27.2	3.9	SUS316LTP	S	193000

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-PD-5

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
5						
8						
** 8 **						
15						
18						
21						
2301						
26						
31						
** 31 **						
** 31 **						
39						
48N						

S2 補 VI-2-6-3-2-1-2 R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CRD-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	7～36, 36～44	13.80	200	34.0	4.5	SUS316LTP	S	193667
2	45～46	13.80	200	27.2	3.9	SUS316LTP	S	193667
3	47～53N	13.80	66	27.2	3.9	SUS304TP	S	193667

弁部の質量

鳥 瞰 図 CRD-R-1

質量	対応する評価点
	46～47

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CRD-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
46~47			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CRD-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
8						
13						
18						
23						
25						
30						
34						
43						
48						
53N						

S2 補 VI-2-6-3-2-1-2 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS316LTP	66	—	159	459	108
SUS316LTP	200	—	120	407	107
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下
表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」
に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方
針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
CRD-PD-2	ガンマ線遮蔽壁		
CRD-PD-5	ガンマ線遮蔽壁		
CRD-R-1	原子炉建物		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CRD-PD-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

*5：3.6・C_I及び1.2・C_Vより定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CRD-PD-2

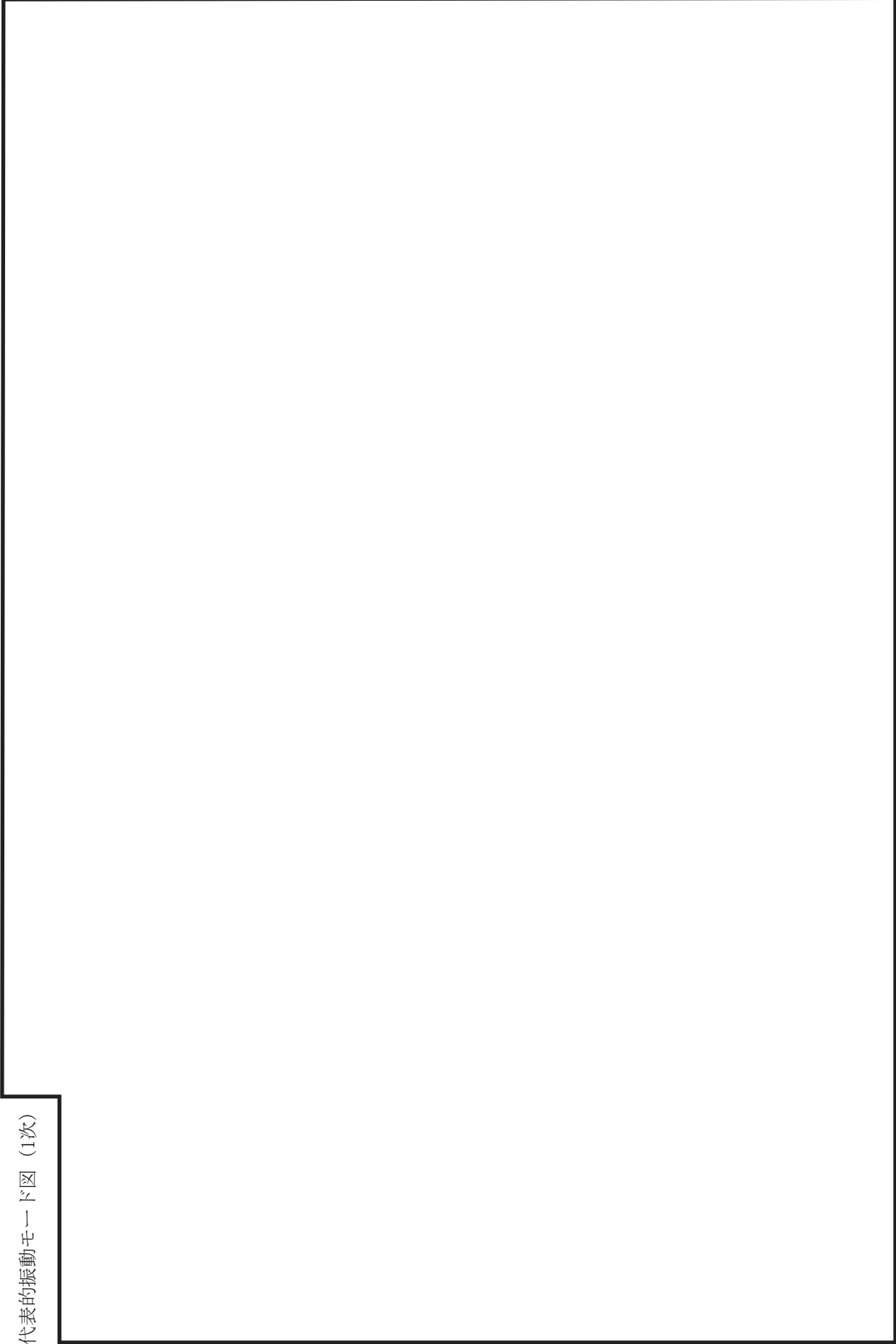
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

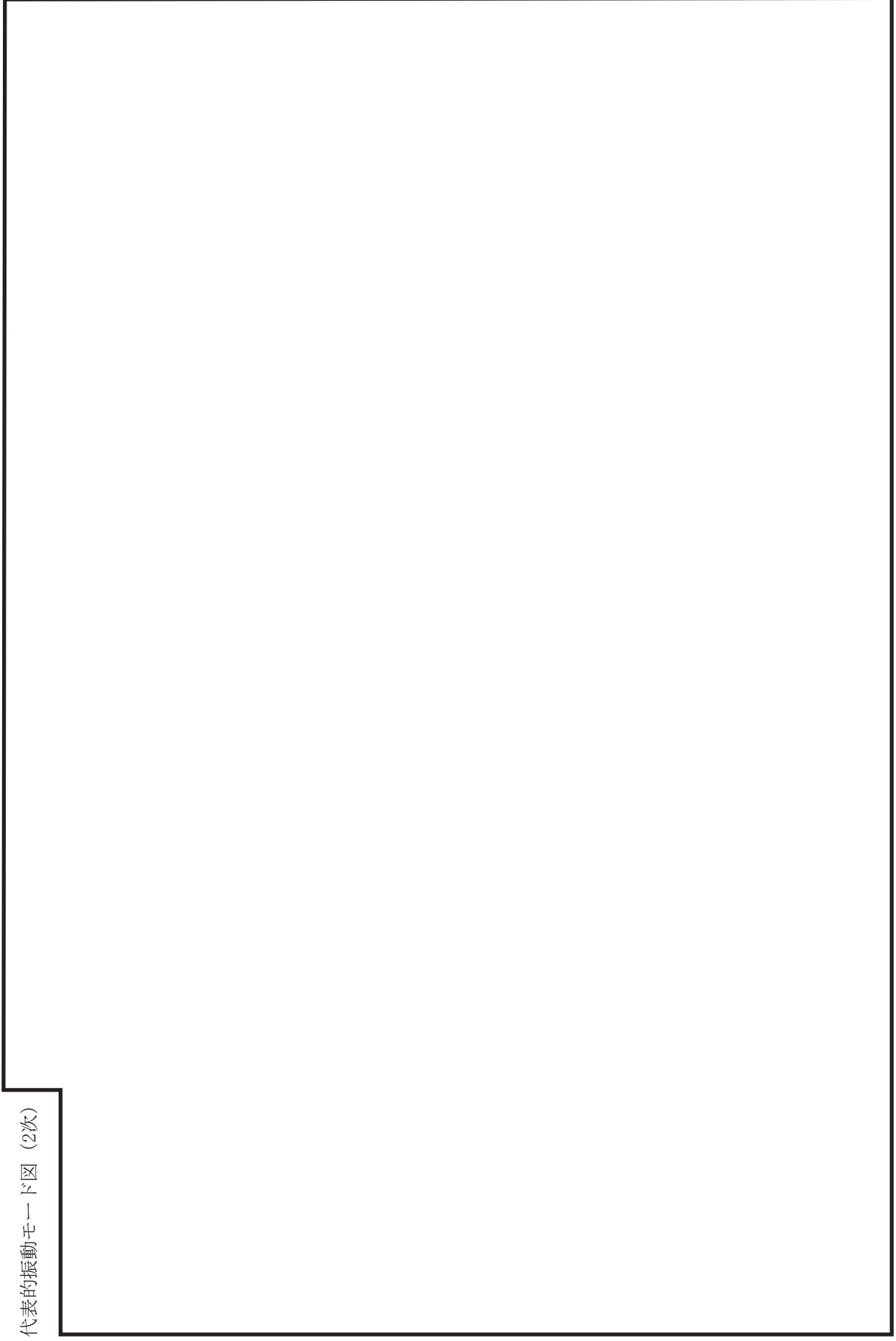
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

CRD-PD-2

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

CRD-PD-2

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CRD-PD-5

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CRD-PD-5

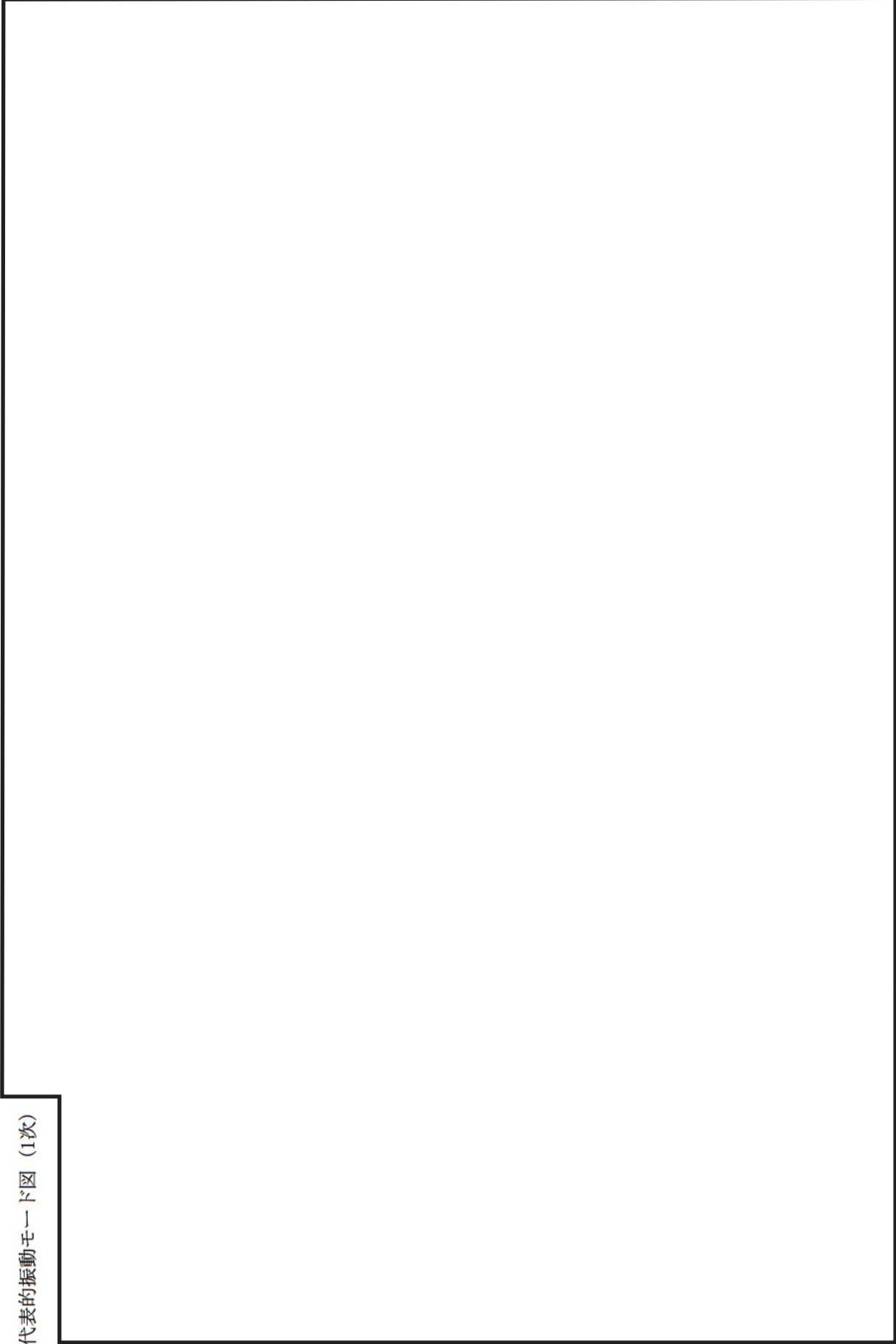
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

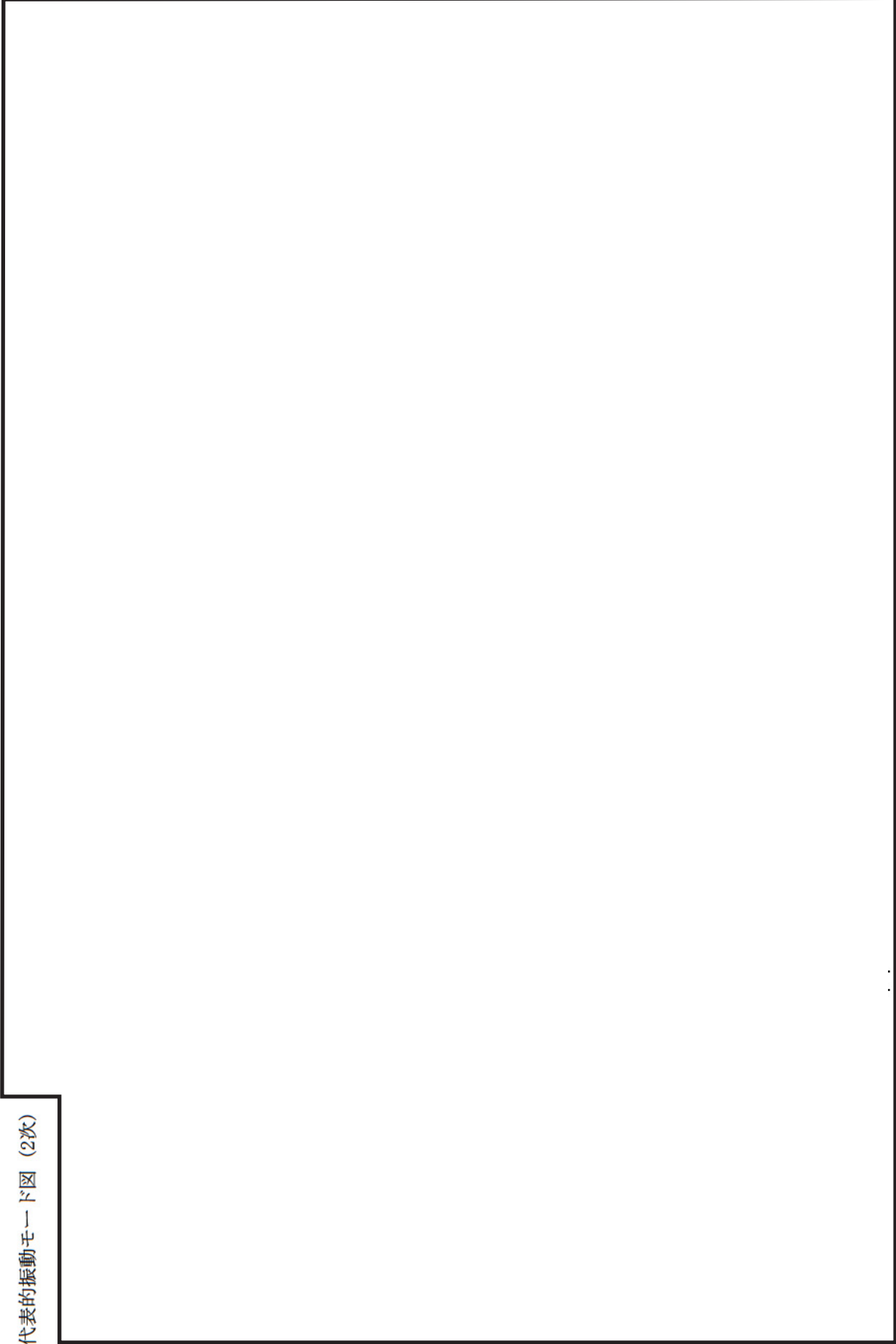
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

CRD-PD-5

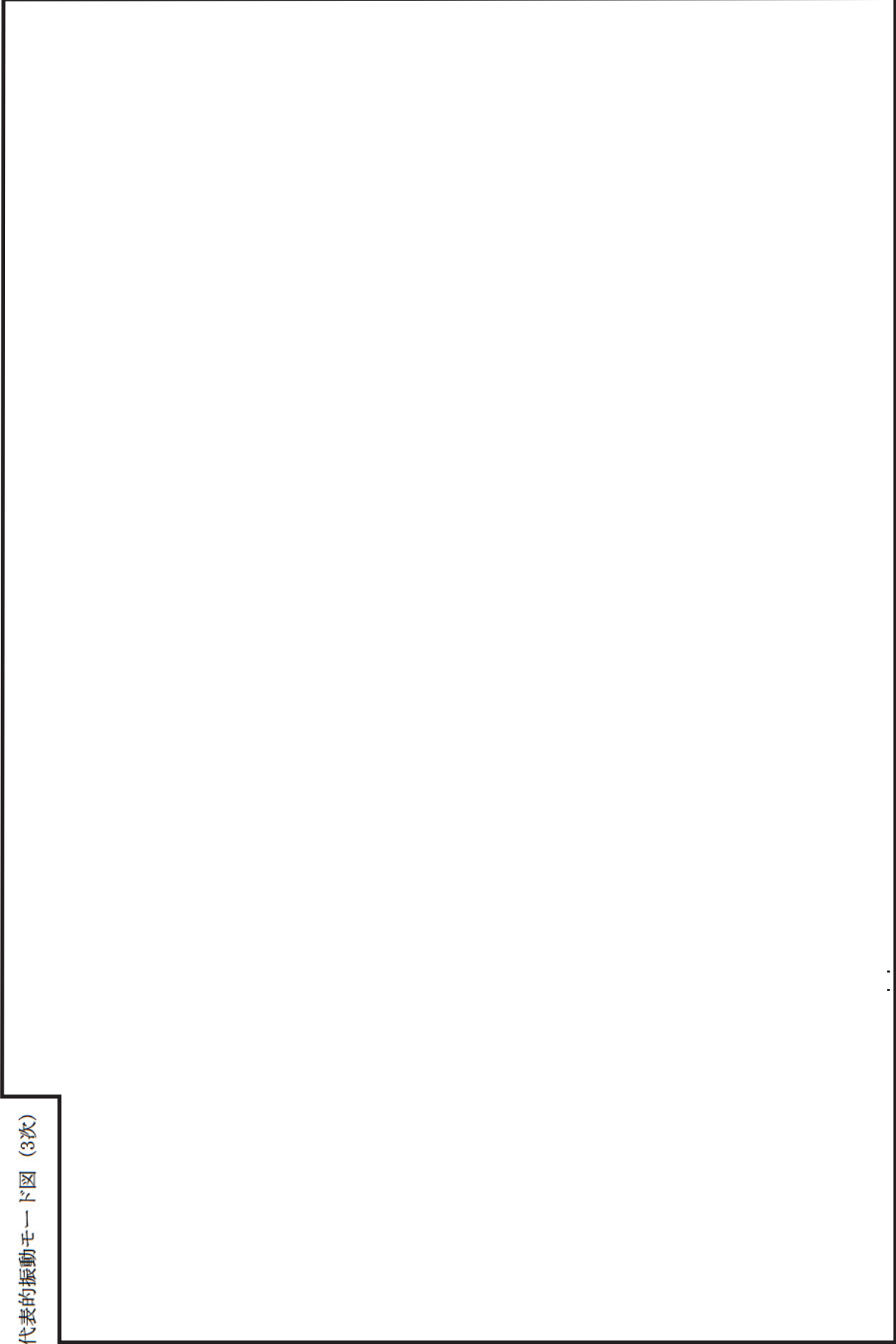
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

CRD-PD-5

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

CRD-PD-5

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CRD-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CRD-R-1

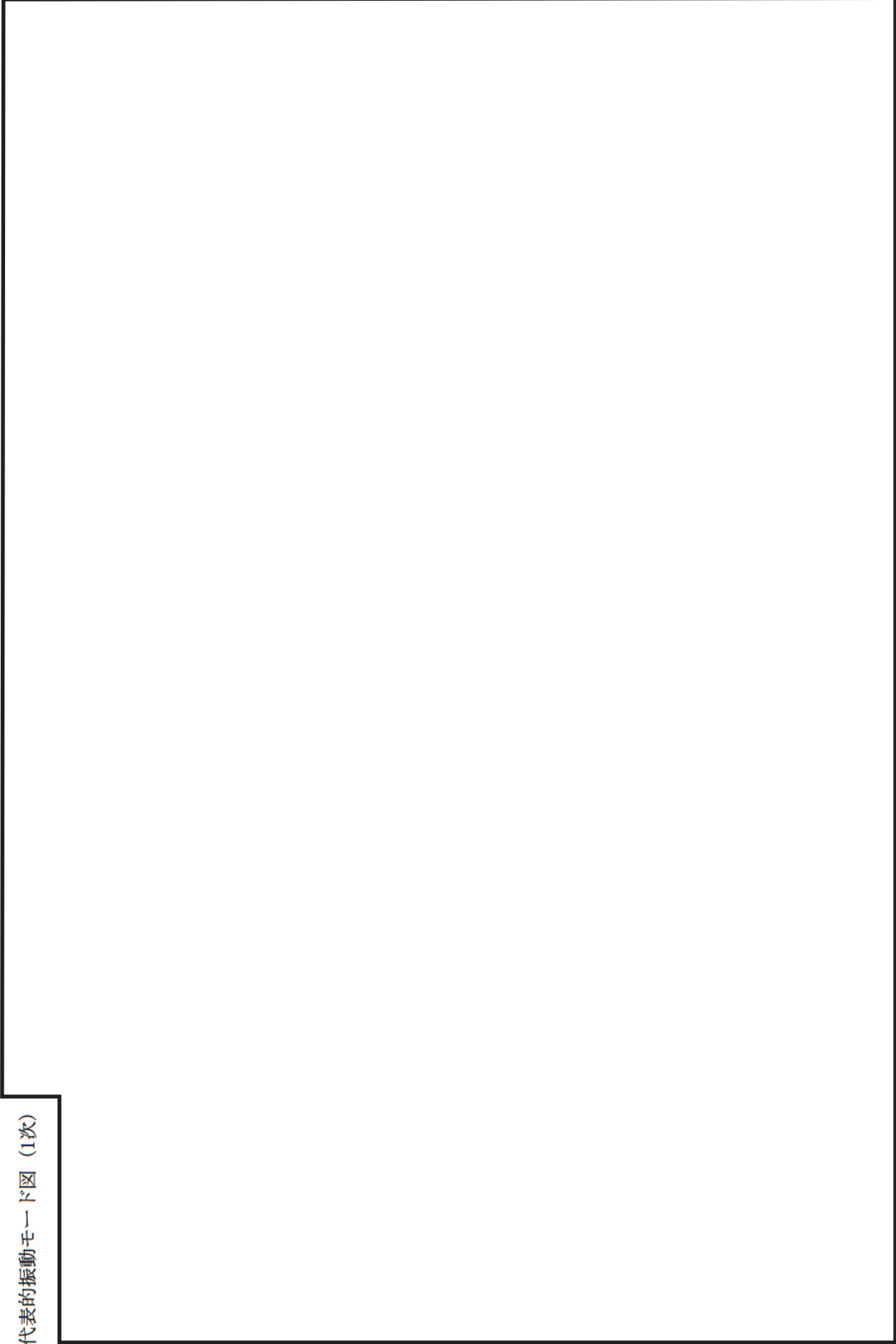
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

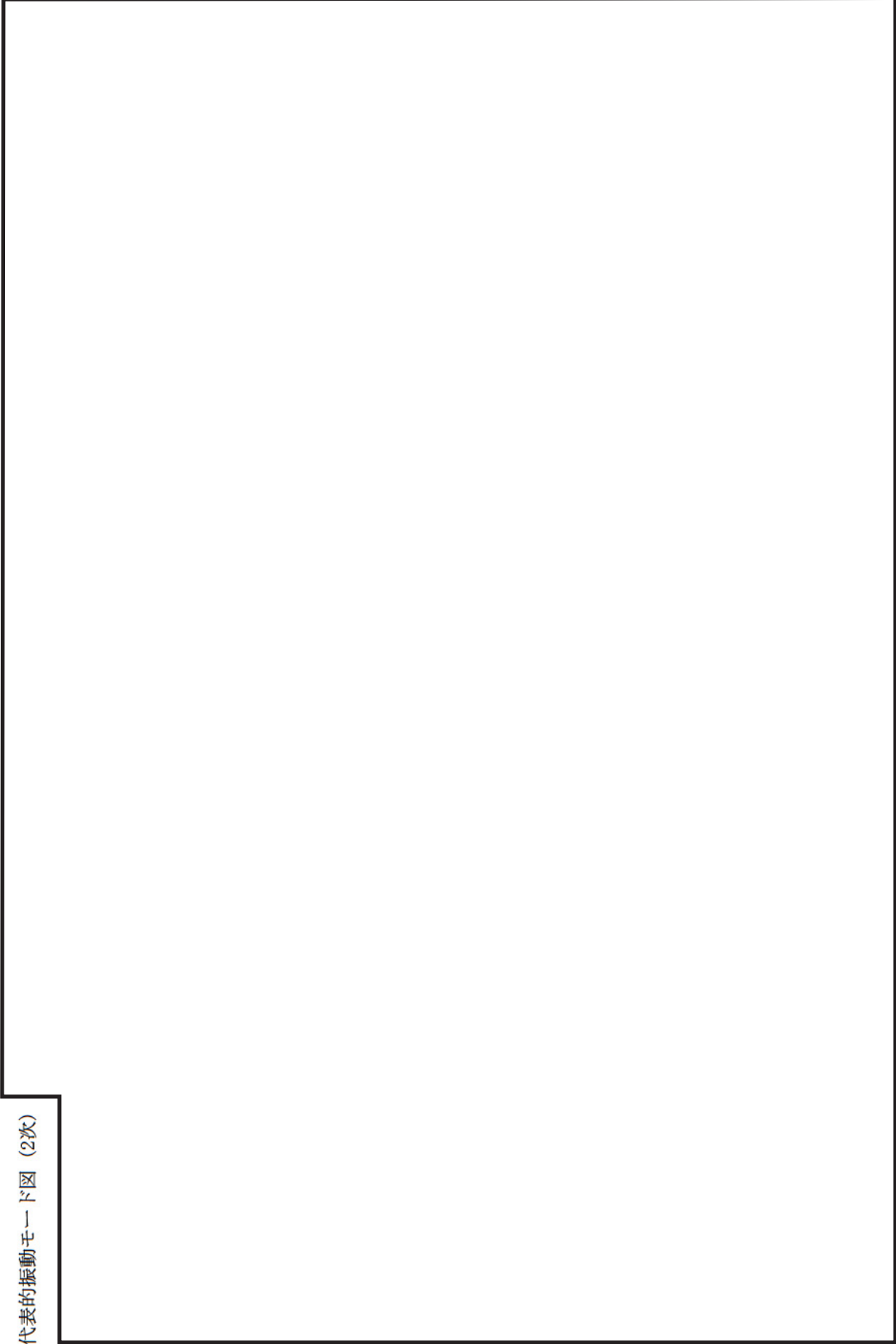
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

CRD-R-1

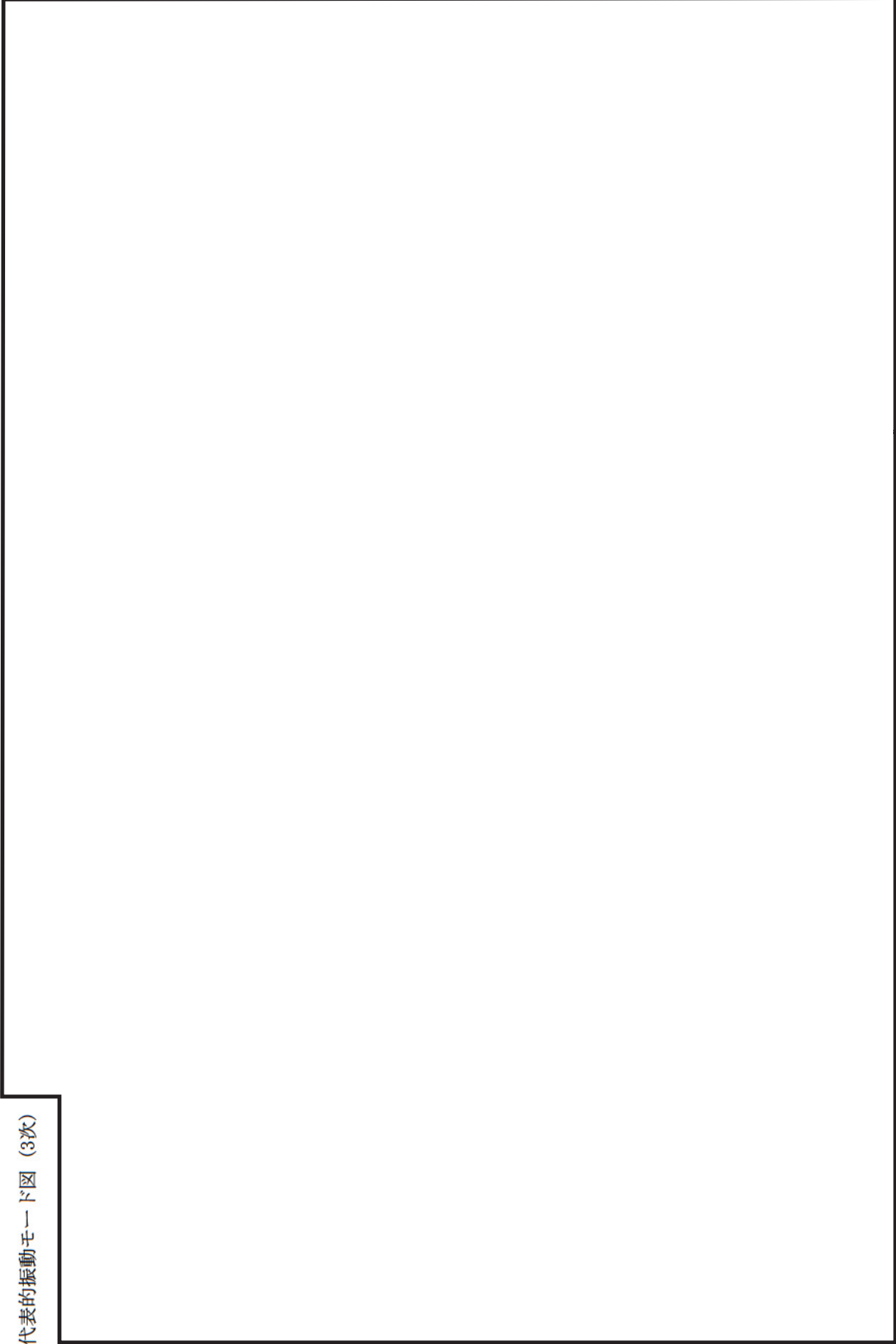
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

CRD-R-1

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

CRD-R-1

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

許容応力状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図番号	最大応力評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力(MPa)	許容応力(MPa)	
Ⅲ _A S	一次応力(S_y^{*2})	CRD-R-1	7	85	128	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	CRD-PD-2	44N	227	318	—
Ⅳ _A S Ⅴ _A S ^{*1}	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	CRD-PD-5	8	151	413	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	CRD-PD-2	44N	418	318	0.3068

注記*1：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は、許容応力状態Ⅳ_ASと許容応力状態Ⅴ_ASを包絡した結果を記載する。

*2：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F x	F y	F z	M x	M y	M z			
RE-CRD-5F	レストレイント	Uプレート	SUS304	66	0.3	0.4	3.7	—	—	—	組合せ	44	205
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能*1	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度*2 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果*2 (MPa)				
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (Ss)：基準地震動Ss，弾性設計用地震動Sd時に動的機能が要求されるもの
- α (Sd)：弾性設計用地震動Sd時に動的機能が要求されるもの
- β (Ss)：基準地震動Ss，弾性設計用地震動Sd後に動的機能が要求されるもの
- β (Sd)：弾性設計用地震動Sd後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	CRD-PD-1	8	82	159	1.93	—	44N	189	318	1.68	—	—
2	CRD-PD-2	8	64	159	2.48	—	44N	227	318	1.40	—	○
3	CRD-PD-3	7	78	159	2.03	—	45N	107	318	2.97	—	—
4	CRD-PD-4	7	68	159	2.33	—	45N	121	318	2.62	—	—
5	CRD-PD-5	8	93	159	1.70	—	48N	119	318	2.67	—	—
6	CRD-PD-6	31	87	159	1.82	—	48N	135	318	2.35	—	—
7	CRD-R-1	7	85	128	1.50	○	7	107	240	2.24	—	—
8	CRD-R-2	7	78	128	1.64	—	7	85	240	2.82	—	—
9	CRD-R-3	17	77	128	1.66	—	12	104	240	2.30	—	—
10	CRD-R-4	17	64	128	2.00	—	12	69	240	3.47	—	—
11	CRD-R-5	17	77	128	1.66	—	12	104	240	2.30	—	—
12	CRD-R-6	34	71	128	1.80	—	12	69	240	3.47	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S及びV _A S*										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	CRD-PD-1	8	115	413	3.59	—	44N	343	318	0.92	0.1152	—
2	CRD-PD-2	8	80	413	5.16	—	44N	418	318	0.76	0.3068	○
3	CRD-PD-3	7	109	413	3.78	—	45N	184	318	1.72	—	—
4	CRD-PD-4	7	86	413	4.80	—	45N	213	318	1.49	—	—
5	CRD-PD-5	8	151	413	2.73	○	8	229	318	1.38	—	—
6	CRD-PD-6	31	125	413	3.30	—	48N	237	318	1.34	—	—
7	CRD-R-1	7	128	366	2.85	—	7	196	240	1.22	—	—
8	CRD-R-2	7	112	366	3.26	—	7	157	240	1.52	—	—
9	CRD-R-3	17	106	366	3.45	—	17	164	240	1.46	—	—
10	CRD-R-4	17	99	366	3.69	—	12	144	240	1.66	—	—
11	CRD-R-5	17	105	366	3.48	—	17	160	240	1.50	—	—
12	CRD-R-6	17	97	366	3.77	—	12	145	240	1.65	—	—

注記*：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は、許容応力状態IV_ASと許容応力状態V_ASを包絡した結果を記載する。

VI-2-6-4 ほう酸水注入設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-4-1 ほう酸水注入系の耐震性についての計算書

VI-2-6-4-1-2 ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ほう酸水貯蔵タンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ほう酸水貯蔵タンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、ほう酸水貯蔵タンクは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-5 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ほう酸水貯蔵タンクの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴下端を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に平板を有するたて置円筒形容器)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ほう酸水貯蔵タンクの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-5 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ほう酸水貯蔵タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ほう酸水貯蔵タンクの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ほう酸水貯蔵タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	S	クラス 2 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	ほう酸水 注入設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止	重大事故等* ² クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備その他 原子炉注水設備 ほう酸水注入系	ほう酸水貯蔵タンク	常設／緩和	重大事故等* ² クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)
	非常用炉心 冷却設備その他 原子炉注水設備 水の供給設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等* ² クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ほう酸水貯蔵タンク	常設／緩和	重大事故等* ² クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要	
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)				

注記*1: 座屈による評価は, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	66	108	159
基礎ボルト	SS41* (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*：SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	66	—	159
基礎ボルト	SS41* (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*：SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ほう酸水貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ほう酸水貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	S	原子炉建物 EL 34.8*1			$C_H=1.67^{*2}$	$C_V=0.99^{*2}$	$C_H=2.87^{*3}$	$C_V=1.87^{*3}$	静水頭	66	50	1.07

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

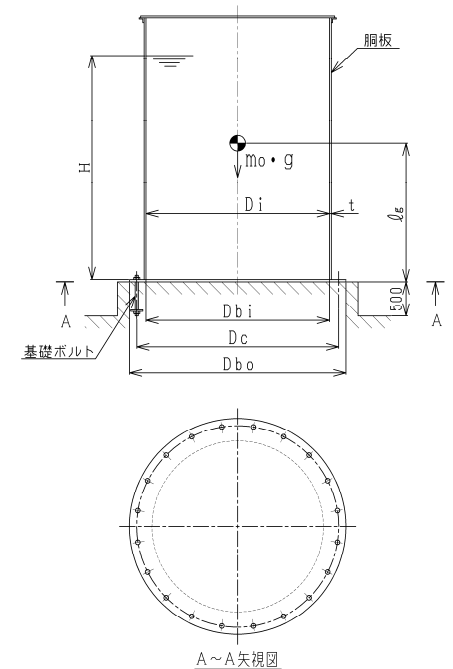
m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	l_g (mm)	H (mm)	s	n
		3000	8.0	192000*1	73800*1	1750	3316	15	20

D_c (mm)	D_{b_o} (mm)	D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	M_s (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
3150	3250	3000	24 (M24)	452.4	8.397×10^8	1.443×10^9

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
159*1	459*1	108*1	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	231	276

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=7$	—	—	$\sigma_{\phi 1}=7$	—	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2}=7$	—	—	$\sigma_{\phi 2}=13$	—	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 2}=1$	—	—	$\sigma_{x 2}=1$	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	$\sigma_{x 3}=1$	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4}=15$	$\tau =13$	—	$\sigma_{x 4}=26$	$\tau =22$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi}=13$	$\sigma_{x t}=15$	—	$\sigma_{\phi}=19$	$\sigma_{x t}=25$
	圧縮側	$\sigma_{\phi}=-13$	$\sigma_{x c}=16$	—	$\sigma_{\phi}=-19$	$\sigma_{x c}=26$
組合せ応力	引張り	$\sigma_{o t}=27$		$\sigma_{o t}=44$		
	圧縮	$\sigma_{o c}=21$		$\sigma_{o c}=35$		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 2}=7$	$\sigma_{x 3}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=13$	$\sigma_{x 3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4}=15$	$\tau =13$	—	$\sigma_{x 4}=26$	$\tau =22$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}=7$	$\sigma_{2x t}=15$	—	$\sigma_{2\phi}=13$	$\sigma_{2x t}=26$
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}=-7$	$\sigma_{2x c}=15$	—	$\sigma_{2\phi}=-13$	$\sigma_{2x c}=26$
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2 t}=48$		$\sigma_{2 t}=84$		
	圧縮	$\sigma_{2 c}=42$		$\sigma_{2 c}=71$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	$\sigma_b=60$	$\sigma_b=134$
せん断応力	$\tau_b=53$	$\tau_b=92$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	$\sigma_o=27$	$S_a=159$	$\sigma_o=44$	$S_a=275$
		一次+二次	$\sigma_2=48$	$S_a=318$	$\sigma_2=84$	$S_a=318$
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.12 (無次元)		0.21 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b=60$	$f_{ts}=157^*$	$\sigma_b=134$	$f_{ts}=143^*$
		せん断	$\tau_b=53$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=92$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
ほう酸水貯蔵タンク	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 34.8*1			—	—	$C_H=2.87^{*2}$	$C_V=1.87^{*2}$	静水頭	66	50	1.07

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

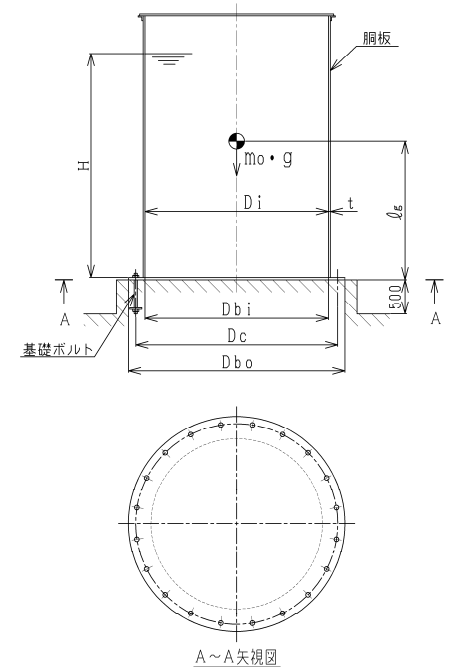
m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	l_g (mm)	H (mm)	s	n
		3000	8.0	192000*1	73800*1	1750	3316	15	20

D_c (mm)	D_{b_o} (mm)	D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	M_s (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
3150	3250	3000	24 (M24)	452.4	—	1.443×10^9

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
159*1	459*1	—	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	—	276

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=7$	—	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=13$	—	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=1$	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=26$	$\tau =22$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=19$	$\sigma_{x t}=25$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-19$	$\sigma_{x c}=26$	—
組合せ応力	引張り	—			$\sigma_{o t}=44$	
	圧縮	—			$\sigma_{o c}=35$	

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=13$	$\sigma_{x 3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=26$	$\tau =22$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=13$	$\sigma_{2x t}=26$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=-13$	$\sigma_{2x c}=26$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—			$\sigma_{2 t}=84$	
	圧縮	—			$\sigma_{2 c}=71$	

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b=134$
せん断応力	—	$\tau_b=92$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=44$	$S_a=275$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=84$	$S_a=318$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	0.21 (無次元)
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_b=134$	$f_{ts}=143^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=92$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-6-4-1-3 管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力	31
3.5 設計用地震力	32
4. 解析結果及び評価	33
4.1 固有周期及び設計震度	33
4.2 評価結果	43
4.2.1 管の応力評価結果	43
4.2.2 支持構造物評価結果	44
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

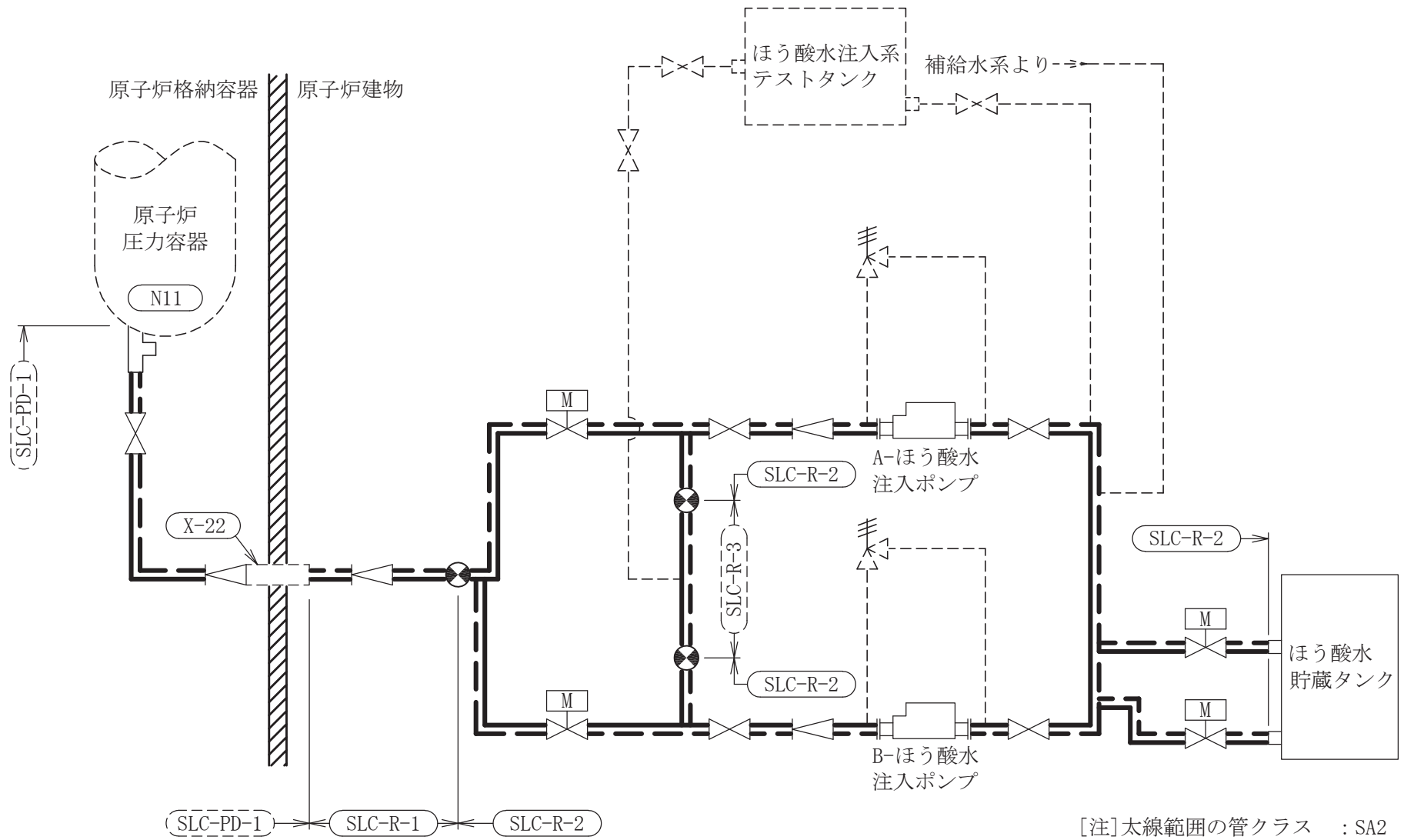
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管






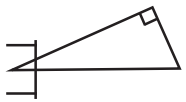
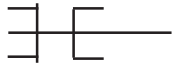

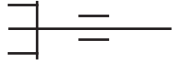
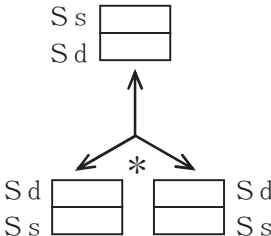


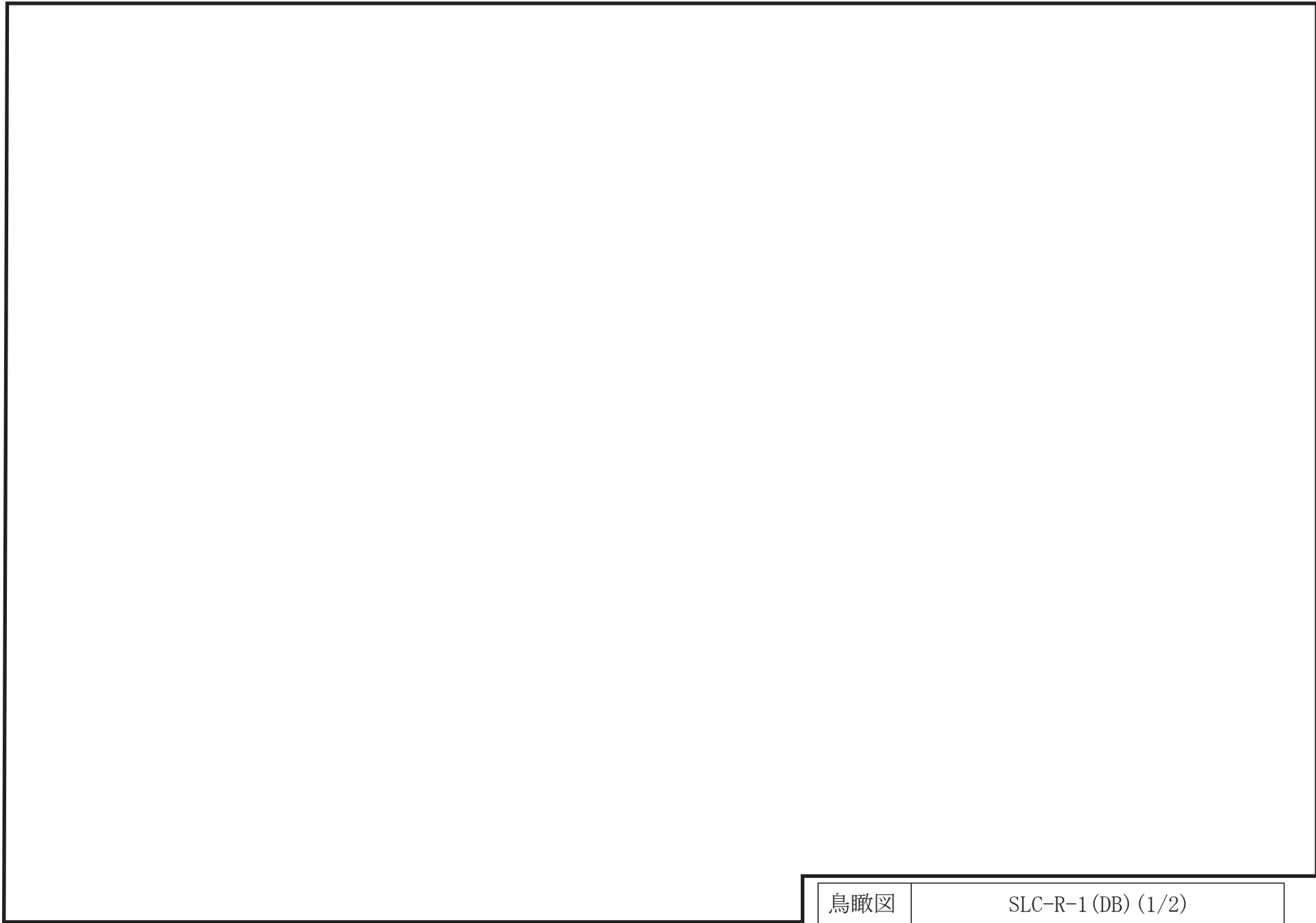
[注] 太線範囲の管クラス : SA2
 太破線範囲の管クラス : DB2

ほう酸水注入系概略系統図

2.2 鳥瞰図

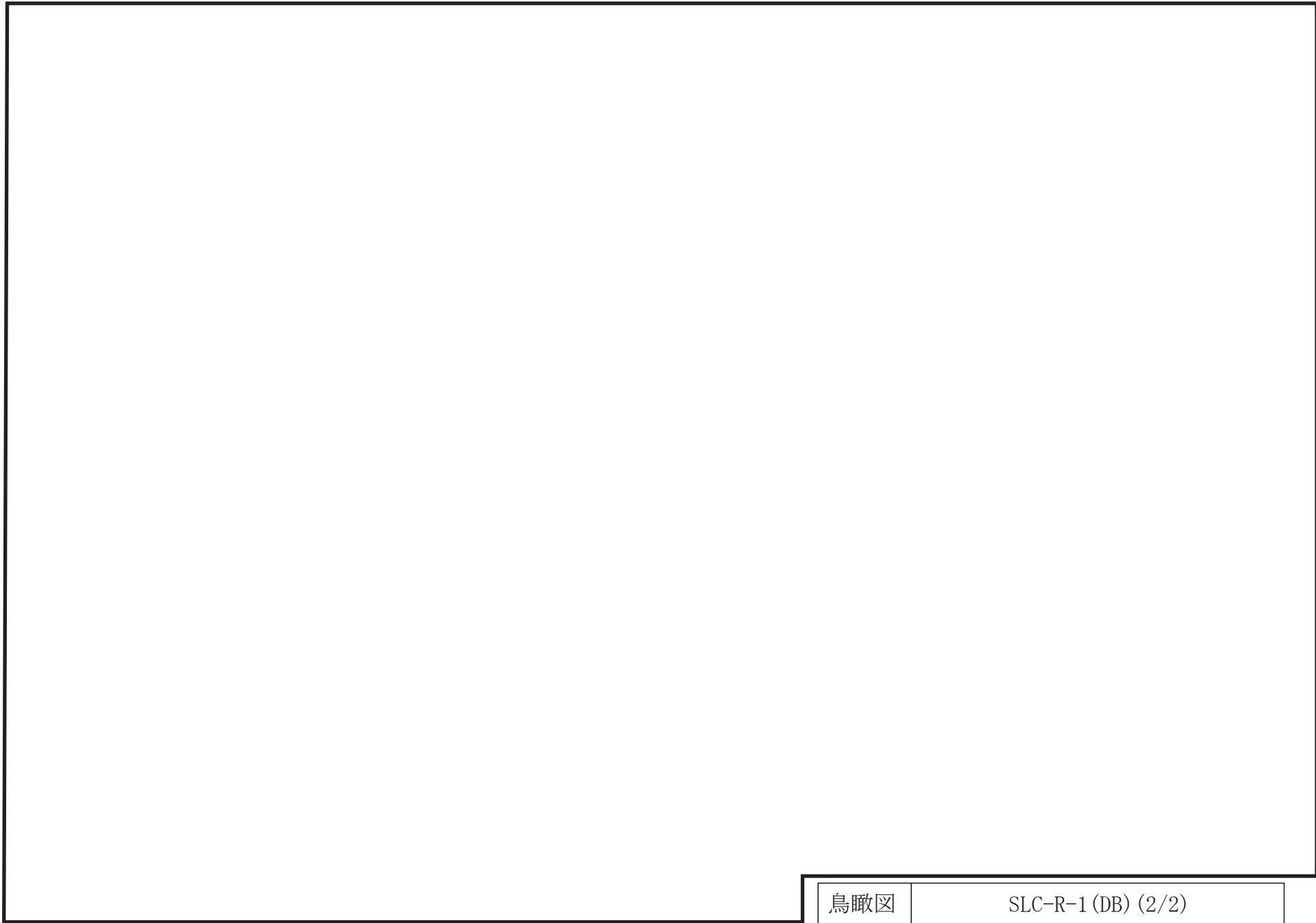
鳥瞰図記号凡例

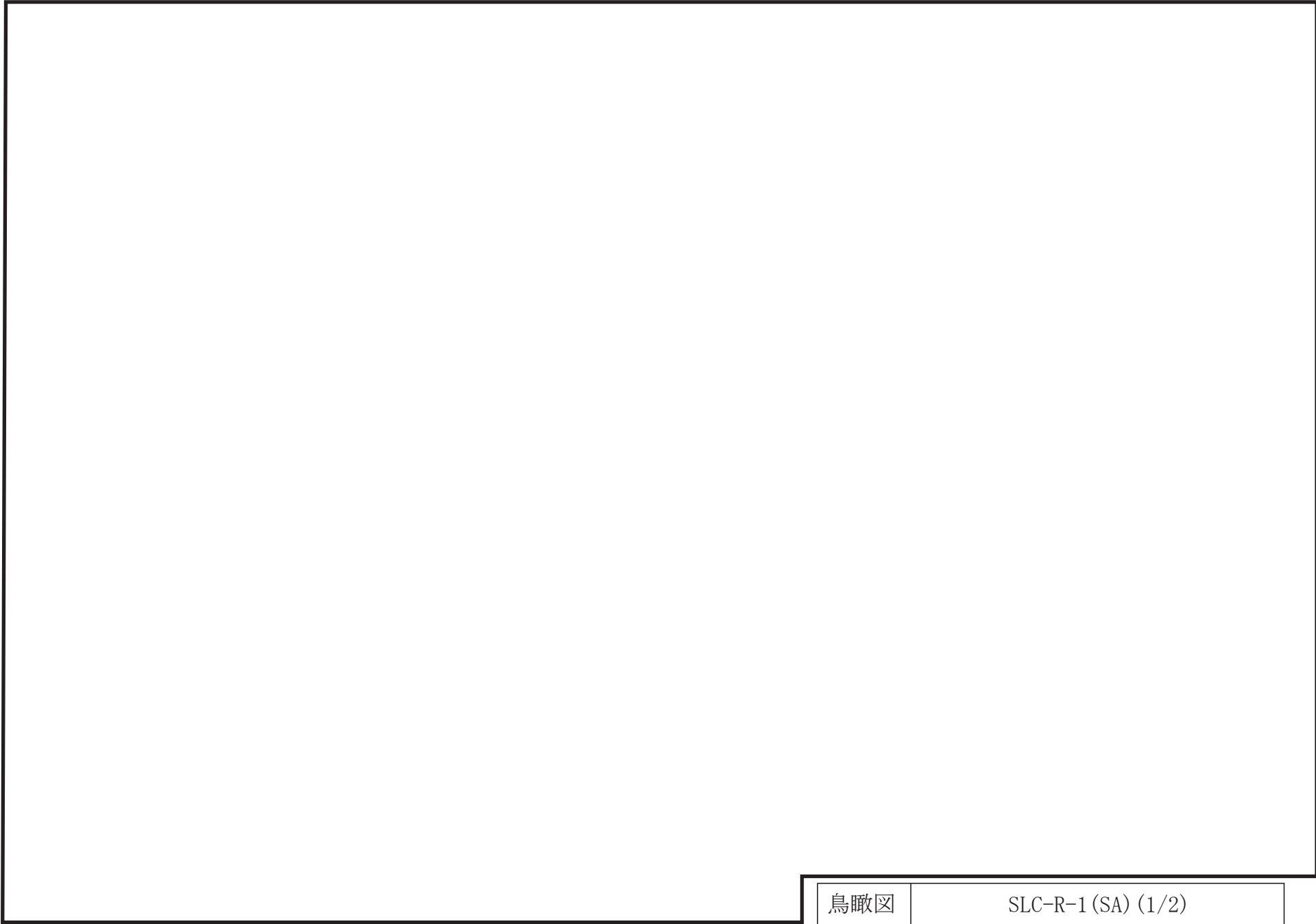
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

SLC-R-1 (DB) (1/2)





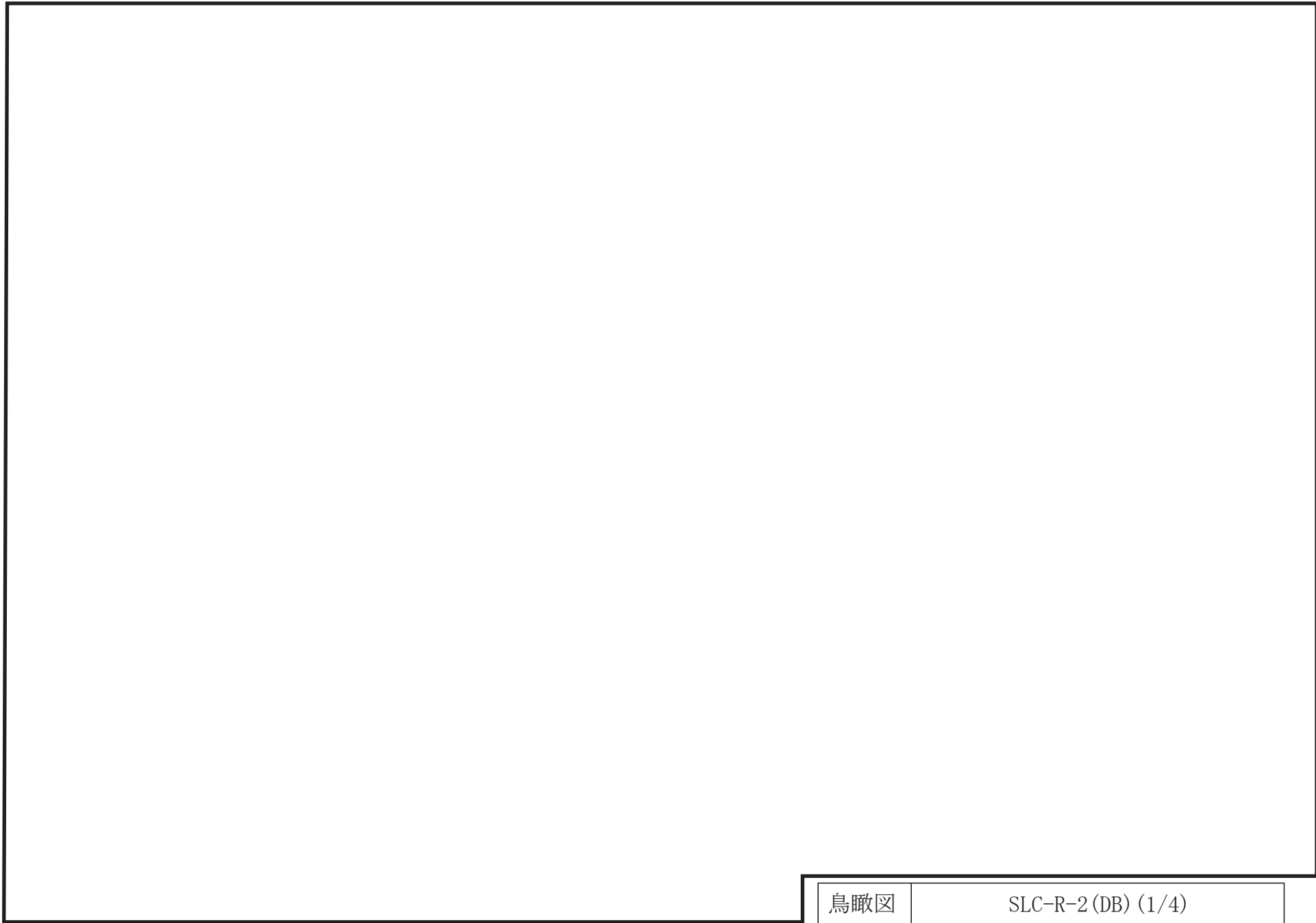
鳥瞰図

SLC-R-1 (SA) (1/2)

8

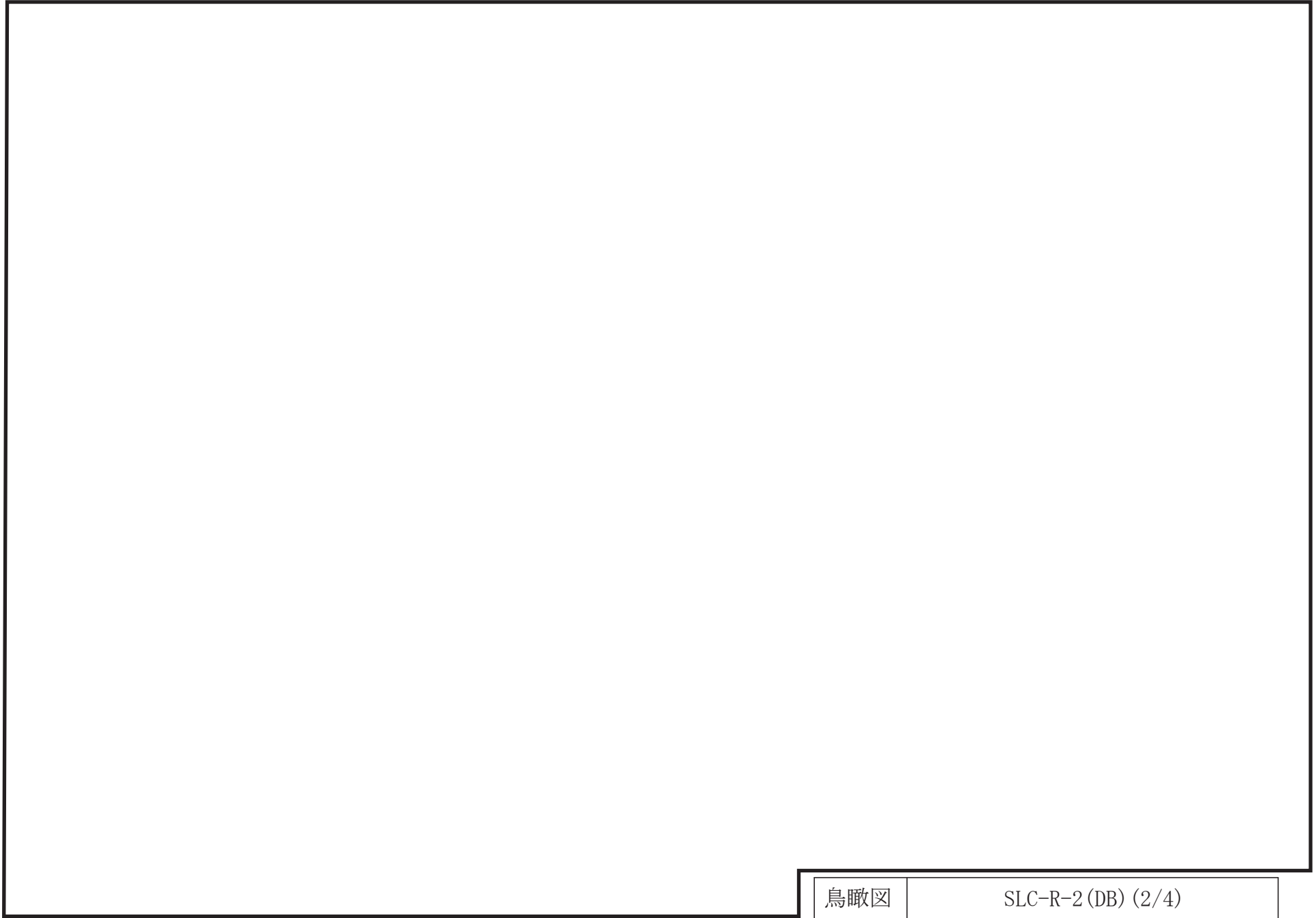
鳥瞰図

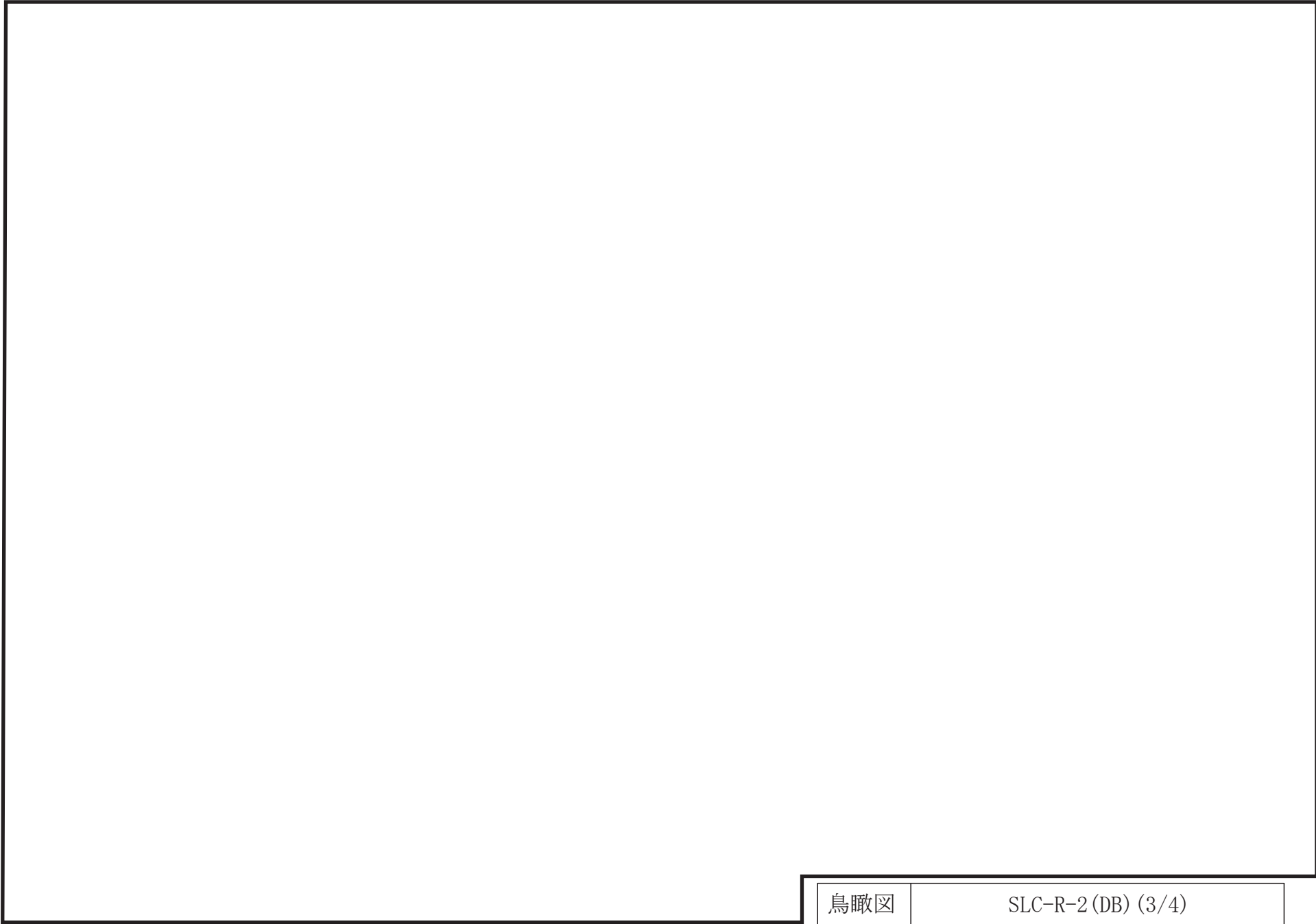
SLC-R-1 (SA) (2/2)



鳥瞰図

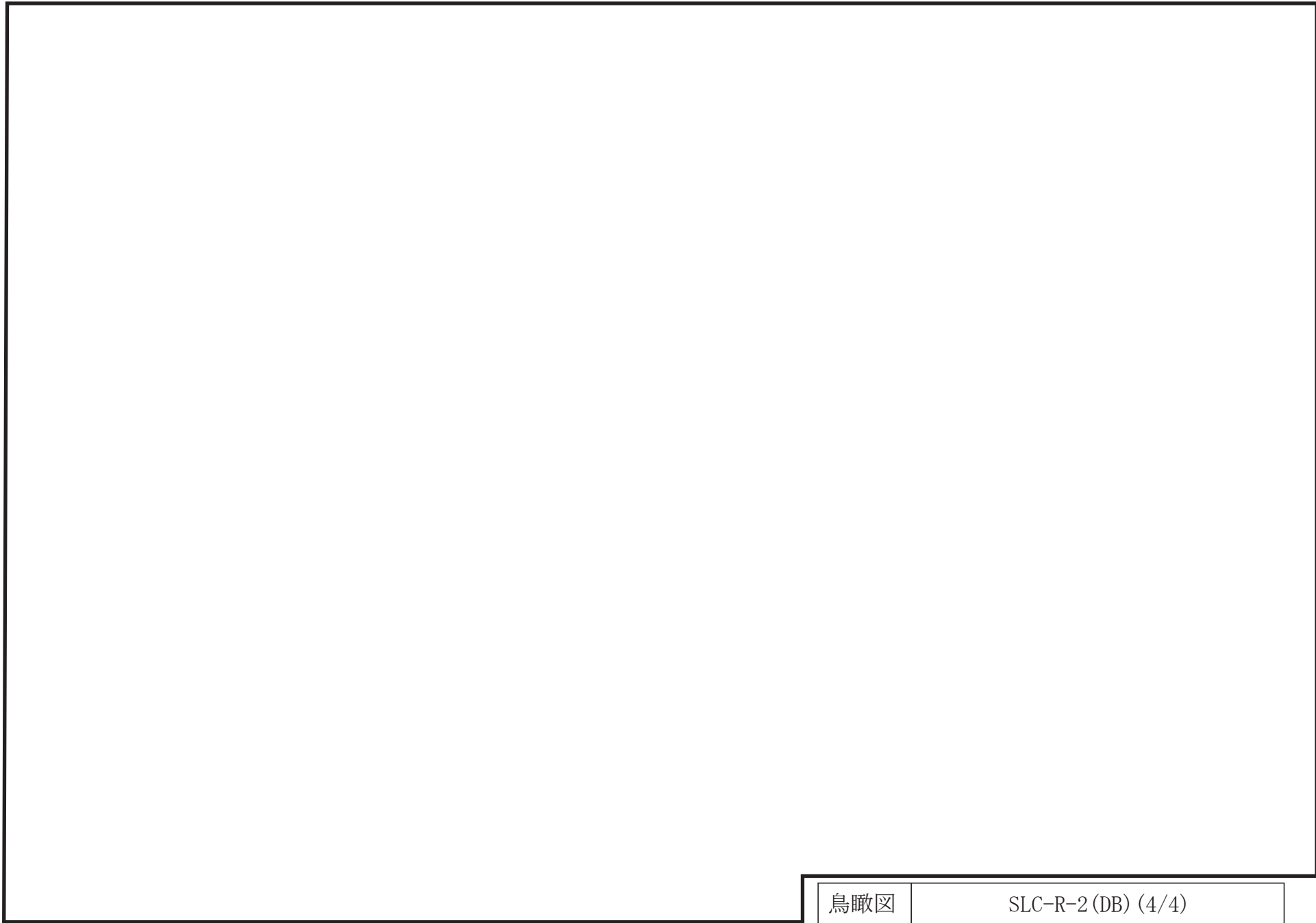
SLC-R-2(DB) (1/4)

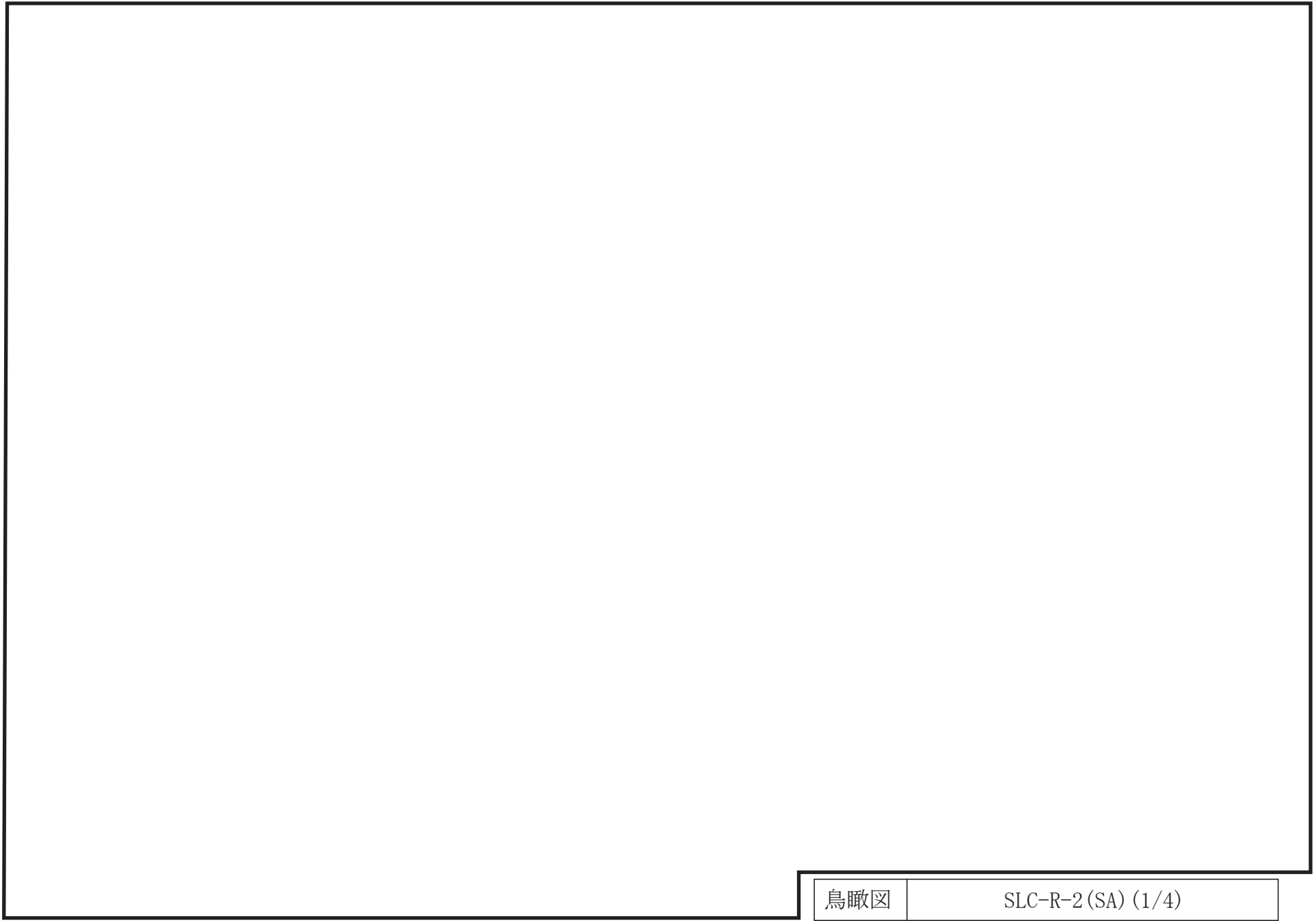




鳥瞰図

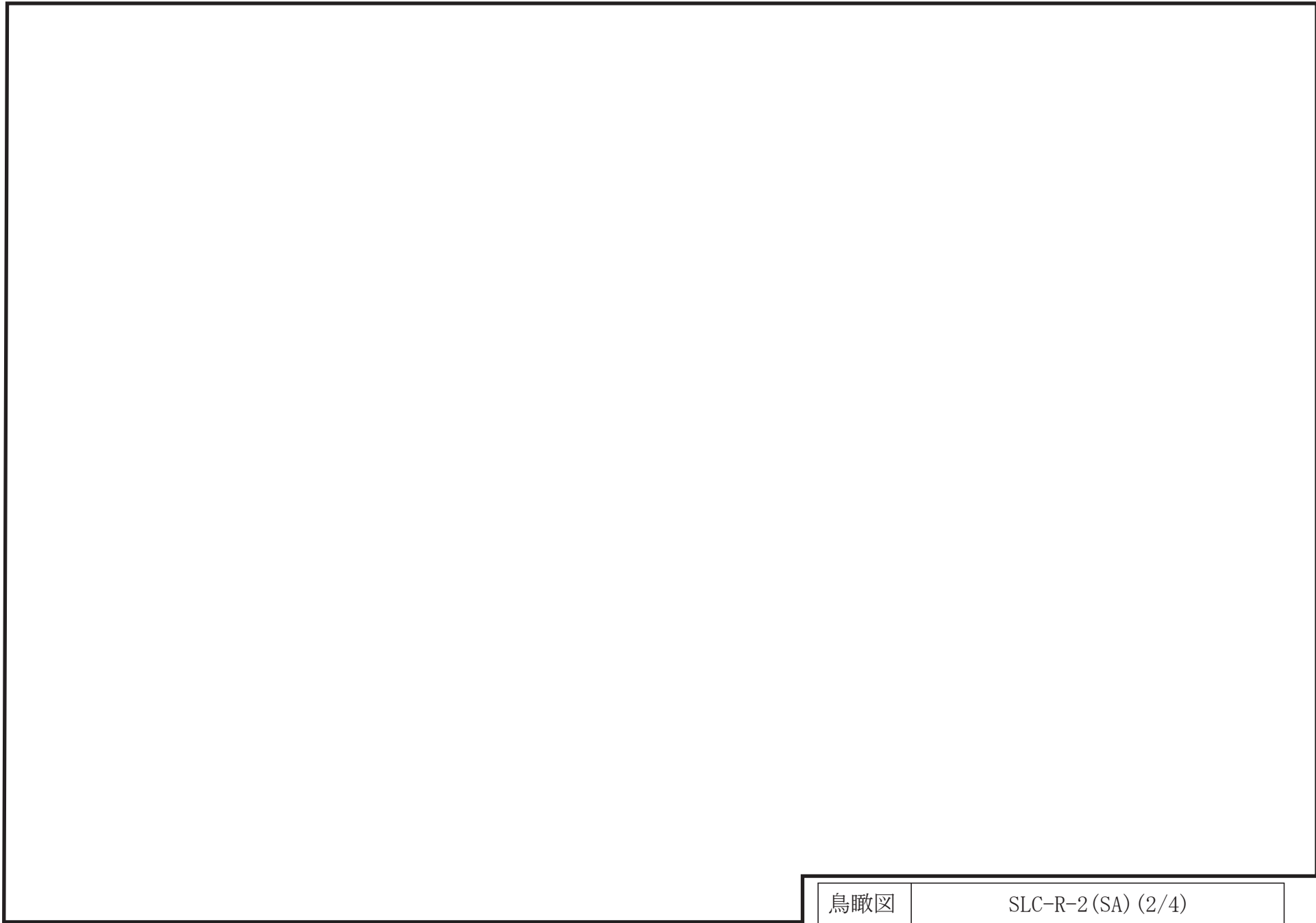
SLC-R-2(DB) (3/4)





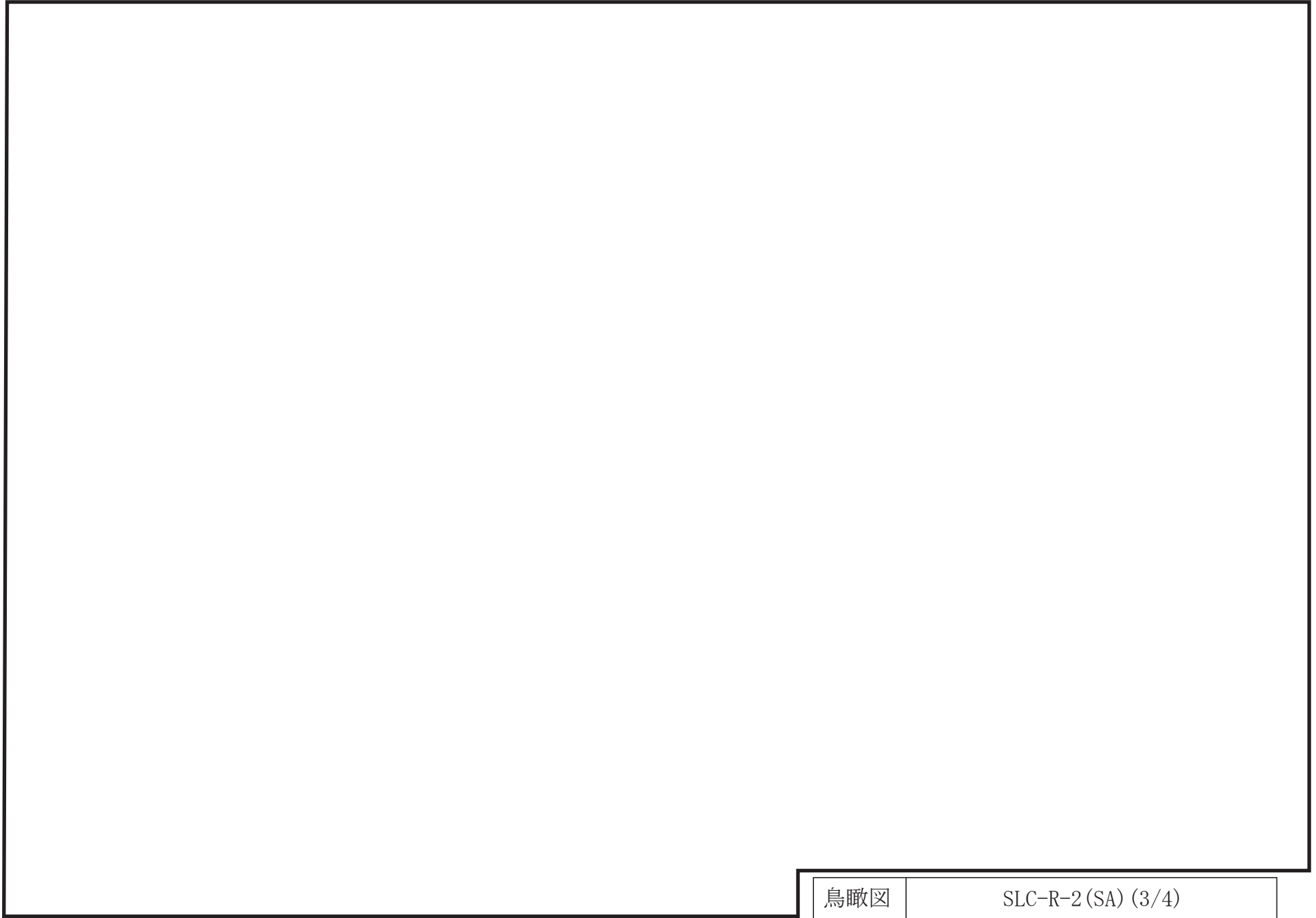
鳥瞰図

SLC-R-2(SA) (1/4)



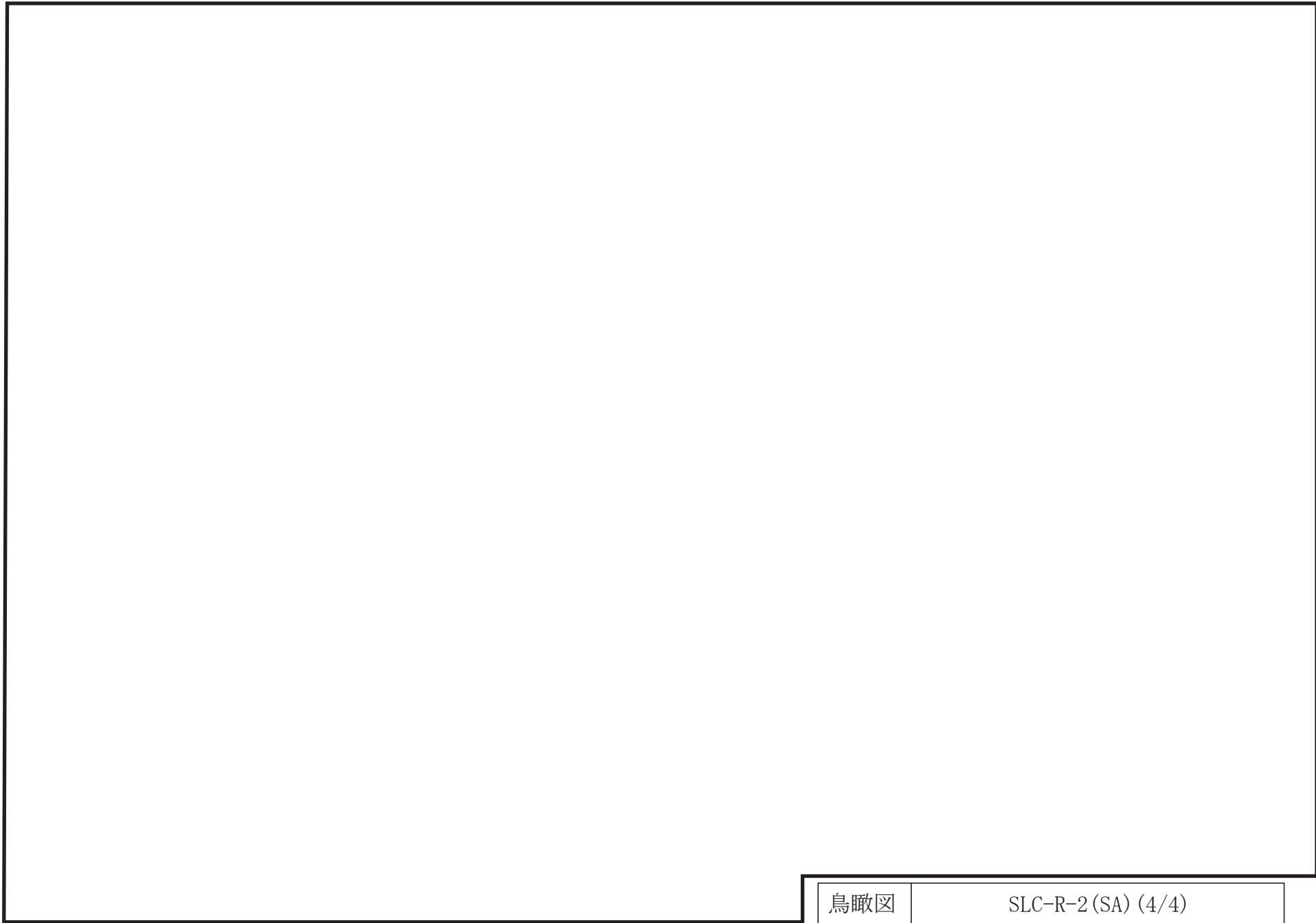
鳥瞰図

SLC-R-2(SA) (2/4)



鳥瞰図

SLC-R-2(SA) (3/4)



鳥瞰図

SLC-R-2(SA) (4/4)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S_d$	Ⅲ _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	Ⅳ _A S
							$II_L + S_s$	
			SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	Ⅳ _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7}$	Ⅴ _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*8}$	
$V_L + S_s^{*9}$								
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	Ⅳ _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7}$	Ⅴ _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*8}$	
							$V_L + S_s^{*9}$	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	ほう酸水注入系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*8}	
							V _L + S _s ^{*9}	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉格納容器バウンダリは，事象の進展によっては，重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから，保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*7：原子炉格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）における荷重条件を適用する。

*8：原子炉格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）における荷重条件を適用する。

*9：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SLC-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～531W, 532W～58W	8.62	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	193667
2	59W～67W	8.62	302	48.6	5.1	SUS316LTP	S	193667

弁部の質量

鳥 瞰 図 SLC-R-1

質量	対応する評価点
	58W～59W

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SLC-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
58W~59W			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SLC-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
5						
15						
23						
26						
301						
33						
38						
41						
44						
46						
51						
53						
551						
63						
68N						

S2 補 VI-2-6-4-1-3 R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SLC-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~9, 10~37 38~46N, 27~49 24~56	0.93	66	89.1	5.5	SUS304TP	S	193667
2	52~53N, 59~60N	静水頭	66	89.1	5.5	SUS304TP	S	193667
3	83~85W, 86W~87W 88W~93W, 124W~129W 130W~131W, 132W~134 83~151N, 134~153N 91~170A, 126~179A	11.80	66	48.6	5.1	SUS304TP	S	193667
4	94W~115A, 106~123W	8.62	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	193667


配管の付加質量

鳥 瞰 図 SLC-R-2

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	52～53N, 59～60N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 SLC-R-2

質量	対応する評価点
	1N, 46N
	151N, 153N

弁部の質量

鳥 瞰 図 SLC-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	9~10, 37~38		49, 52, 56, 59
	50, 57		51, 58
	5101, 5801		85W~86W, 131W~132W
	87W~88W, 129W~130W		123W, 124W, 93W, 94W
	1231, 9301		1230, 9311
	1233, 9303		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SLC-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
9~10				37~38			
49~50				50~51			
51~5102				5102~5101			
50~52				56~57			
57~58				58~5802			
5802~5801				57~59			
85W~86W				87W~88W			
93W~9301				9301~9311			
9311~9302				9302~9303			
9301~94W				123W~1231			
1231~1230				1230~1232			
1232~1233				1231~124W			
129W~130W				131W~132W			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SLC-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
13						
22						
22						
31						
34						
46N						
48						
5102						
5102						
53N						
55						
5802						
5802						
60N						
89						
9302						
9302						
9701						
102						
104						
1081						
115A						
120						
** 122 **						
1232						
1241						
128						
151N						
153N						

S2 補 VI-2-6-4-1-3 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SLC-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
170A						
179A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	302	—	126	391	110
SUS316LTP	302	—	104	373	94
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下
表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」
に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方
針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
SLC-R-1	原子炉建物		
SLC-R-2	原子炉建物		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SLC-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SLC-R-1

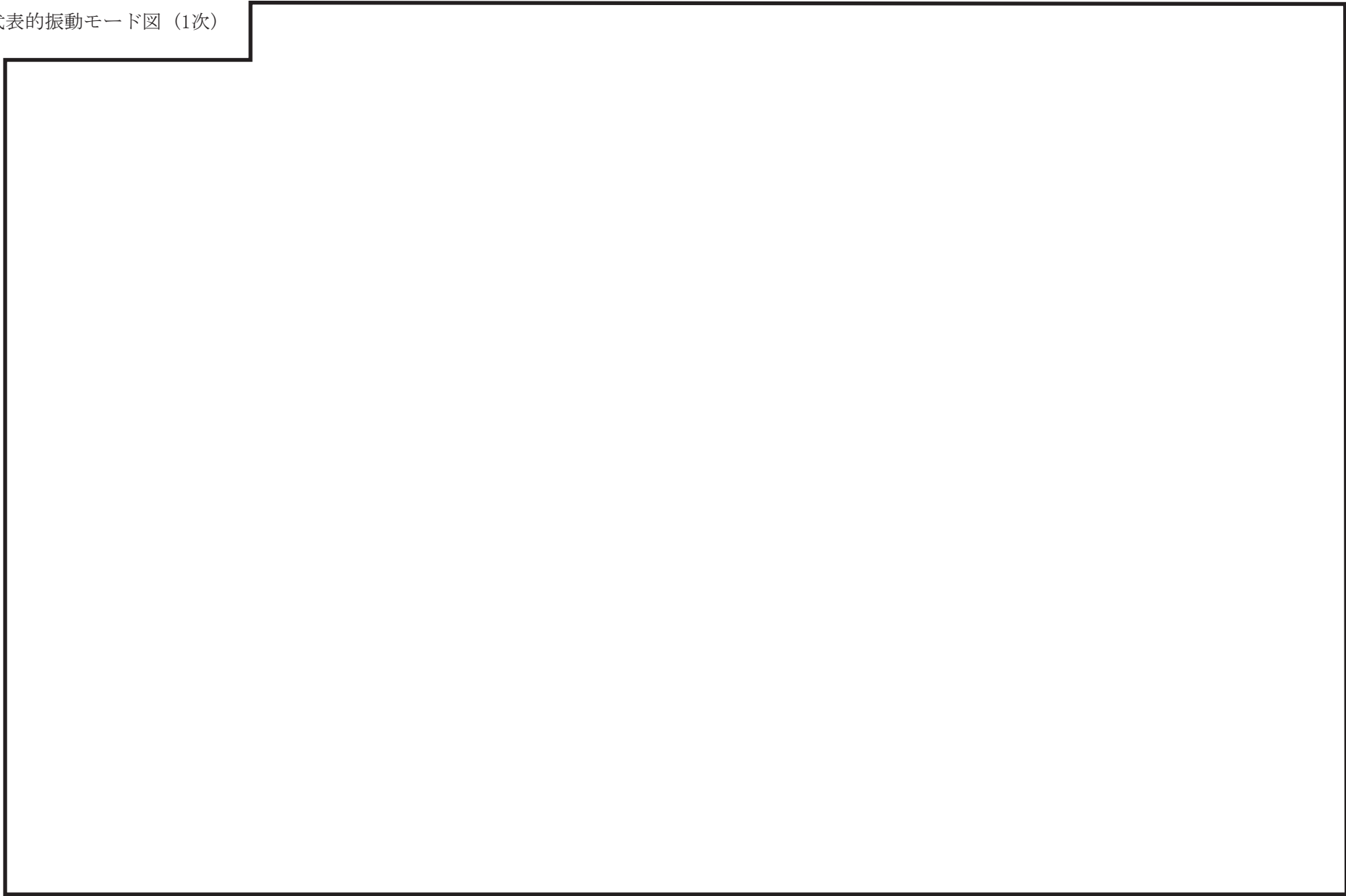
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

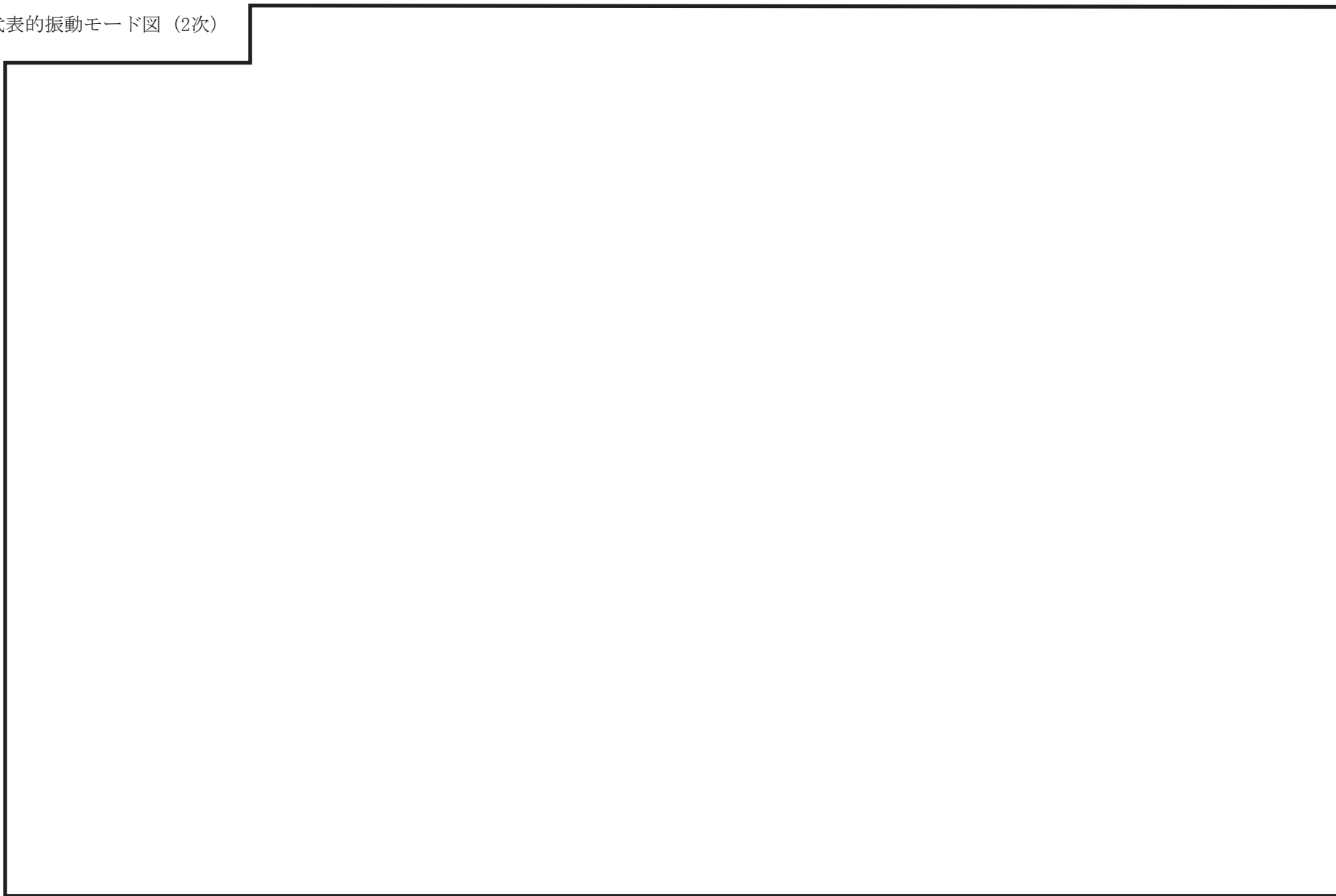
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

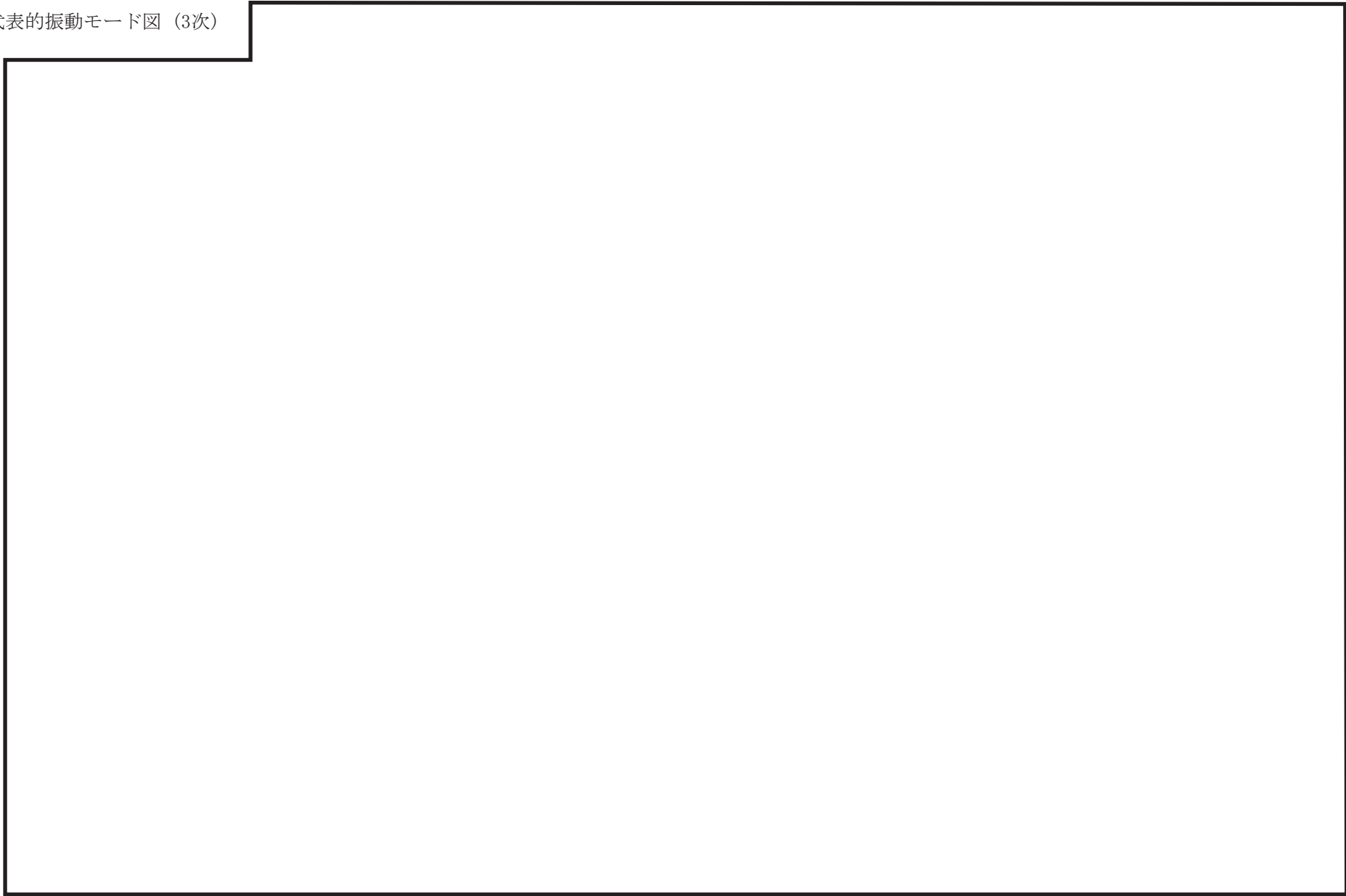
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



38

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SLC-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*4							
静的震度*5							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S d)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S d)又はこれを上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)又はこれを上回る設計震度

*5： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SLC-R-2

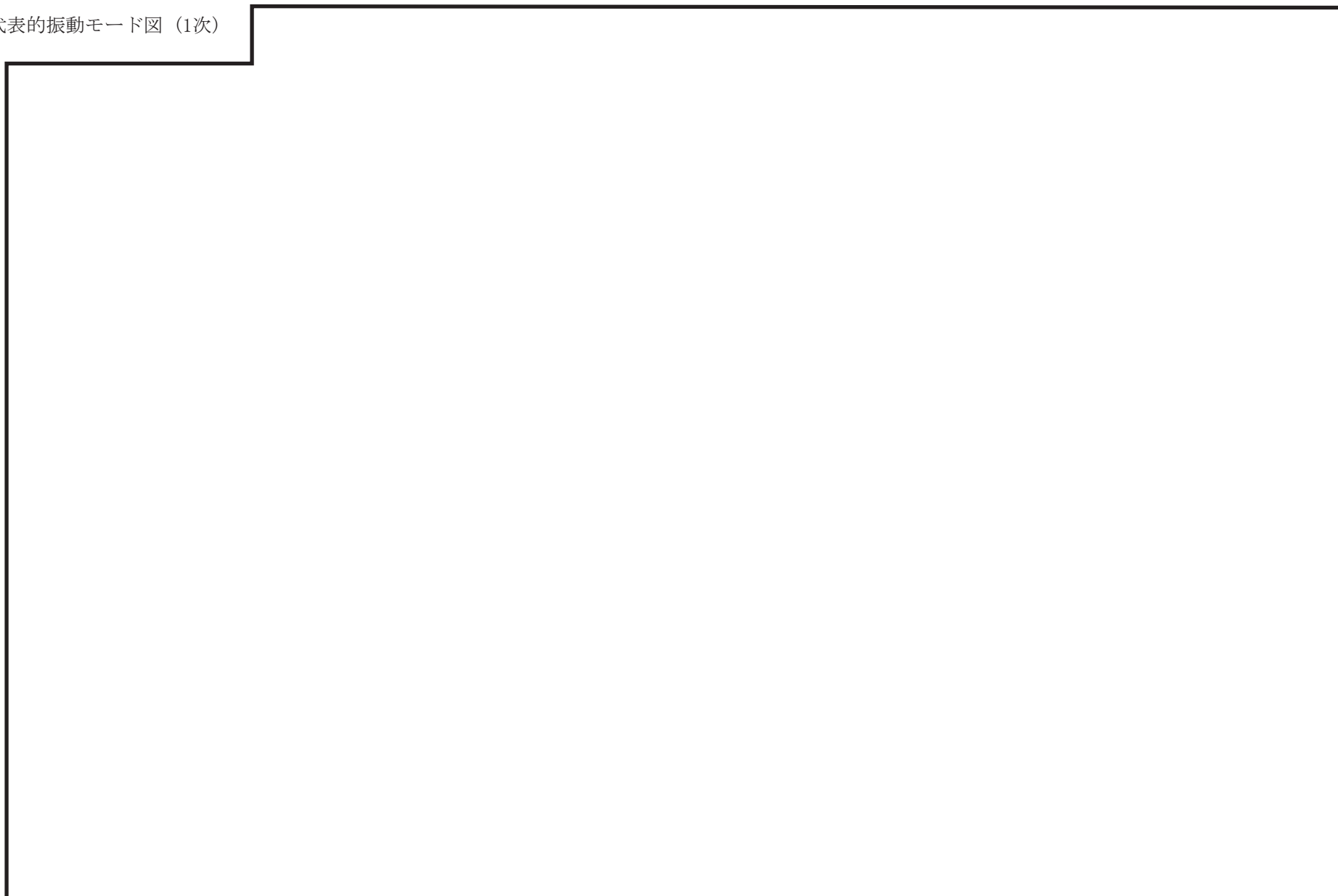
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



42

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
Ⅲ _A S	一次応力(S_y^{*2})	SLC-R-2	93W	119	188	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	SLC-R-1	57W	126	252	—
Ⅳ _A S Ⅴ _A S ^{*1}	一次応力($0.9 \cdot S_u$)	SLC-R-2	93W	169	431	—
	一次+二次応力($2 \cdot S_y$)	SLC-R-1	57W	235	252	—

注記*1：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は，許容応力状態Ⅳ_ASと許容応力状態Ⅴ_ASを包絡した結果を記載する。

*2：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については， S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照		—	—
SNO-SLC-203	オイルスナップ	SHP-03			0.4	4.5
RE-SLC-209	ロッドレストレイント	RSA-3			13	54
SH-SLC-206	スプリングハンガ	VS-5			1.2	1.3
—	コンスタントハンガ	—			—	—
—	リジットハンガ	—			—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SLC-3242	レストレイント	Uボルト	SS400	100	0	7	3	—	—	—	組合せ	143	261
AN-SLC-3201	アンカ	ラグ	SUS304	302	1	2	2	1	1	1	組合せ	69	98

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	SLC-PD-1	58W	45	112	2.48	—	79W	45	208	4.62	—	—
2	SLC-R-1	15	64	132	2.06	—	57W	126	252	2.00	—	○
3	SLC-R-2	93W	119	188	1.57	○	124W	134	376	2.80	—	—
4	SLC-R-3	1A	46	188	4.08	—	1A	26	376	14.46	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IVAS及びVAS*										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	SLC-PD-1	58W	59	335	5.67	—	78W	82	208	2.53	—	—
2	SLC-R-1	15	92	351	3.81	—	57W	235	252	1.07	—	○
3	SLC-R-2	93W	169	431	2.55	○	93W	211	376	1.78	—	—
4	SLC-R-3	1A	51	431	8.45	—	1A	34	376	11.05	—	—

注記*：重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管の場合は、許容応力状態IVASと許容応力状態VASを包絡した結果を記載する。

VI-2-6-5 計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-5-1 中性子源領域計装／中間領域計装の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	9
4.3 固有値解析結果	11
5. 地震応答解析及び構造強度評価	12
5.1 地震応答解析方法	12
5.2 構造強度評価方法	14
5.3 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
5.3.2 許容応力	14
5.3.3 使用材料の許容応力評価条件	14
5.3.4 溶接部の継手効率	14
5.4 設計用地震力	19
5.5 計算方法	21
5.5.1 応力の計算方法	21
5.6 計算条件	26
5.6.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力計算条件	26
5.7 応力の評価方法	26
5.7.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力評価	26
6. 評価結果	27
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	27
7. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、中性子源領域計装／中間領域計装が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

中性子源領域計装／中間領域計装は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中性子源領域計装／中間領域計装の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>中性子源領域計装及び中間領域計装は、中性子源領域計装／中間領域計装ドライチューブ内で、検出器駆動機構によって設置位置を保持される。</p> <p>中性子源領域計装／中間領域計装ドライチューブは、上端を上部格子板の穴に挿入し、プランジャ（ばね）により支持され、下端部は原子炉中性子計装案内管に炉心支持板位置でリングにより支持される。</p> <p>炉心支持板より下方では、原子炉中性子計装案内管及び原子炉中性子計装ハウジングでガイドされ、原子炉中性子計装ハウジング下端に取り付けられたフランジに固定される。</p>	<p>核分裂電離箱</p> <p>（中性子源領域計装／中間領域計装ドライチューブは外径 mm の長尺円筒形の炉内構造物である。）</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

中性子源領域計装／中間領域計装の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す中性子源領域計装／中間領域計装の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力、死荷重及び外圧による応力が許容限界内に収まることを、「5. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

中性子源領域計装／中間領域計装の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

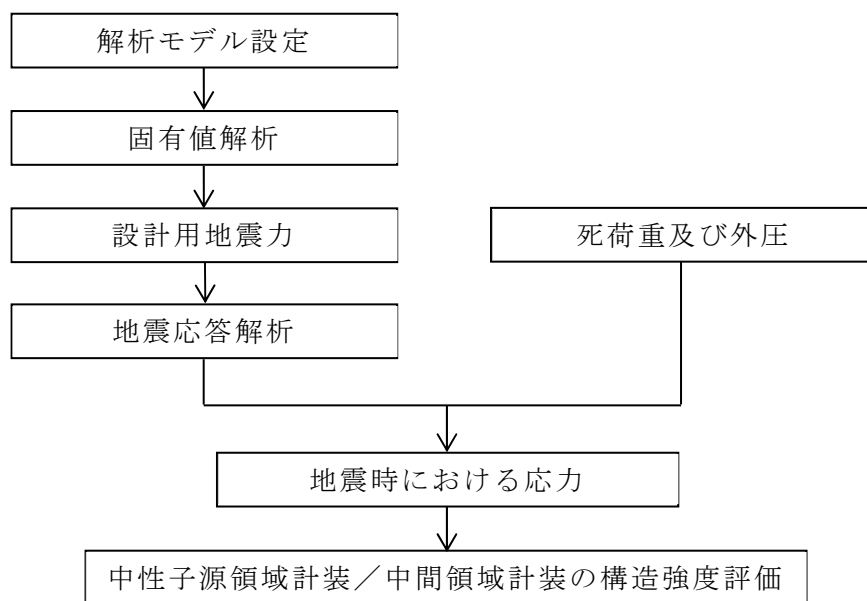


図 2-1 中性子源領域計装／中間領域計装の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 （（社）日本電気協会）
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 （（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _E	応力評価点のせん断力	N
H	水平力	N
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	リングからプランジャ先端までの長さ	mm
l	リングからチャンネルボックスに接触する点までの距離	mm
l'	リングから応力評価点までの距離	mm
M _E	応力評価点の曲げモーメント	N・mm
P _B	チャンネルボックスからの支持反力	N
P _o	外圧	MPa
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S _u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
V _D	死荷重による鉛直力	N
V _S	地震荷重による鉛直力	N
w	等分布荷重	N/mm
Y	外径と内径の比	—
δ_D	設計たわみ量	mm
η	溶接部の継手効率	—
ν	ポアソン比	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ_{lr}	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
τ_{tl}	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 3 桁目	四捨五入	有効数字 2 桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
応力強さ	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

なお、計算過程に用いる値の場合は、小数点以下第 1 位を四捨五入、整数位までの値とする。

*2：べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計応力強さ及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

中性子源領域計装／中間領域計装の耐震評価は、「5.2 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるドライチューブについて実施する。中性子源領域計装／中間領域計装の耐震評価部位を図 3-1 に示す。

なお、応力評価点は構造の不連続を考慮して、応力評価上最も厳しい箇所を選び、応力評価点を含む断面を、応力評価面と呼ぶ。

また、地震荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は (P01) と表し、極小となる方位の応力評価点にはプライム (') を付けて (P01') と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面 (応力評価面) について行う。

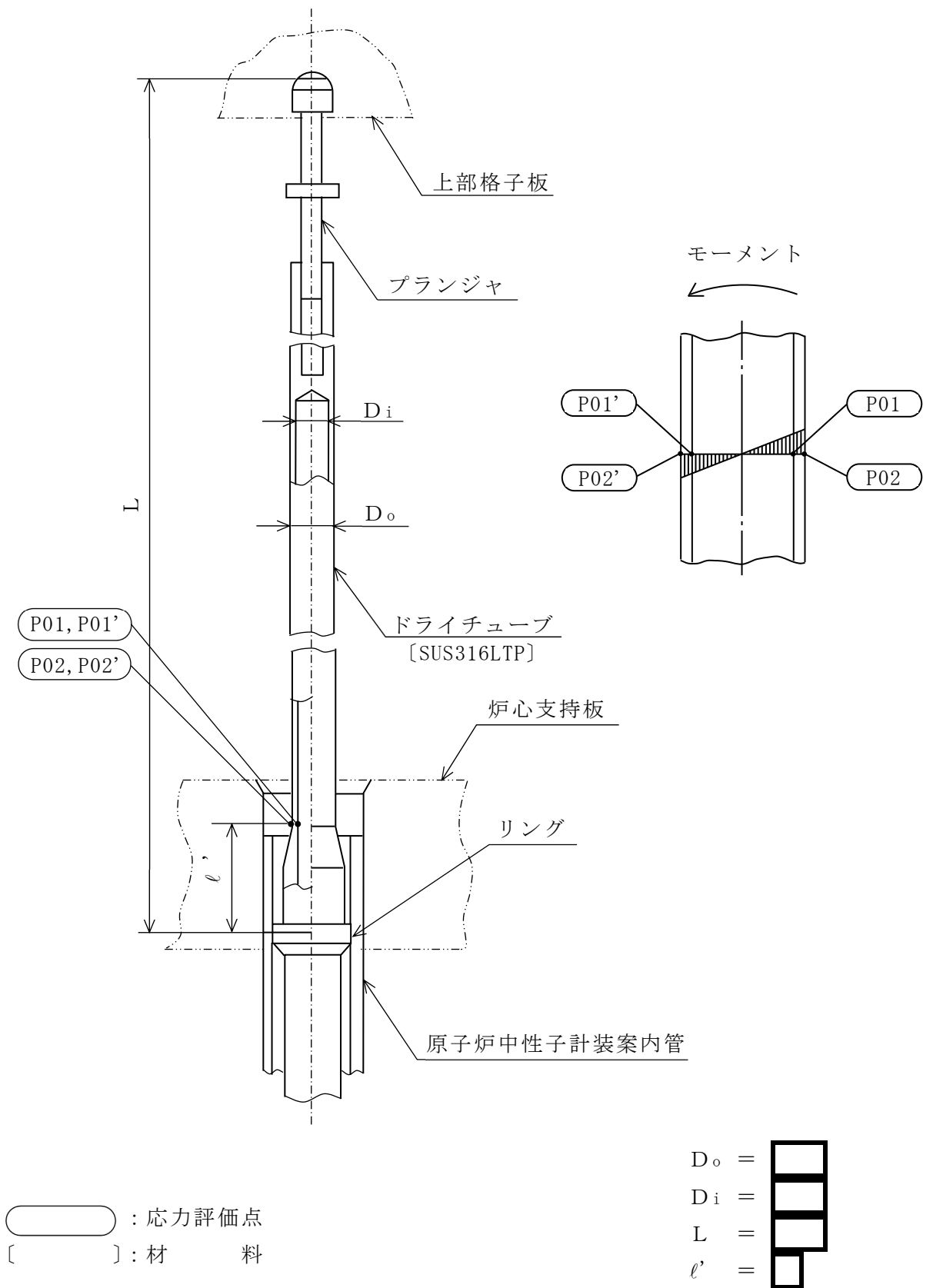


図 3-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

中性子源領域計装／中間領域計装の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 中性子源領域計装／中間領域計装は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

中性子源領域計装／中間領域計装の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【中性子源領域計装／中間領域計装の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 強度上重要で、耐震上の条件が最も厳しくなる炉心支持板と上部格子板間の中性子源領域計装／中間領域計装ドライチューブをモデル化する。

- (2)
- (3)

- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

- (5) 計算機コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性評価等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

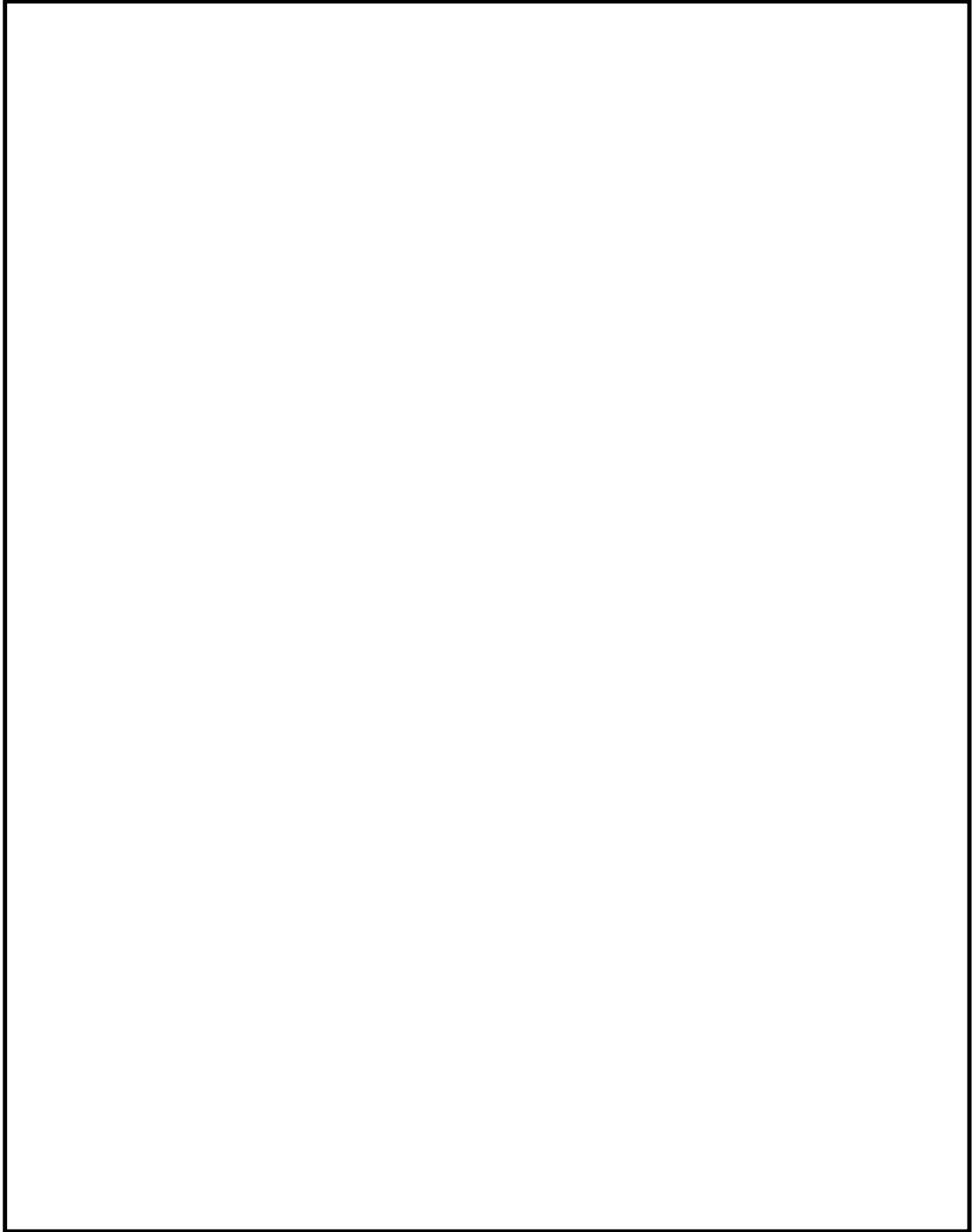


図 4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 に示す。

また、鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

なお、各次数の振動モード図（刺激関数モード）は、各節点において、各次数の刺激係数の絶対値に振動モードを乗じて求めた刺激関数を、最大の刺激関数（1 次）で正規化したものである。

表 4-1 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	刺激係数*2	
			水平方向*3	鉛直方向
1 次	水平			—
2 次	水平			—

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：固有値解析より得られる各次数の刺激係数の絶対値に振動モードの最大値を乗じて求めた刺激関数を示す。

*3：X 方向と Z 方向は同一である。

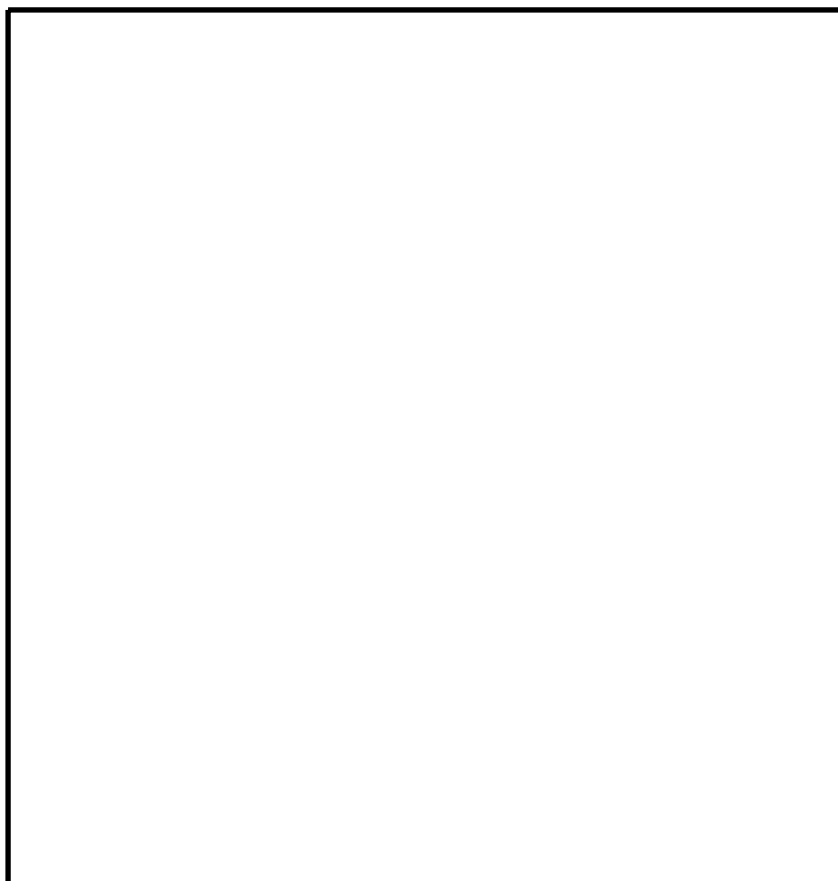


図 4-2 振動モード図（刺激関数モード）

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析方法

4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

動的応答加速度は、スペクトルモーダル法により求めた応答加速度に、保守的に支持点の加速度（動的加速度と静的加速度の包絡値）を加えて求める。中性子源領域計装／中間領域計装の動的応答加速度分布図を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

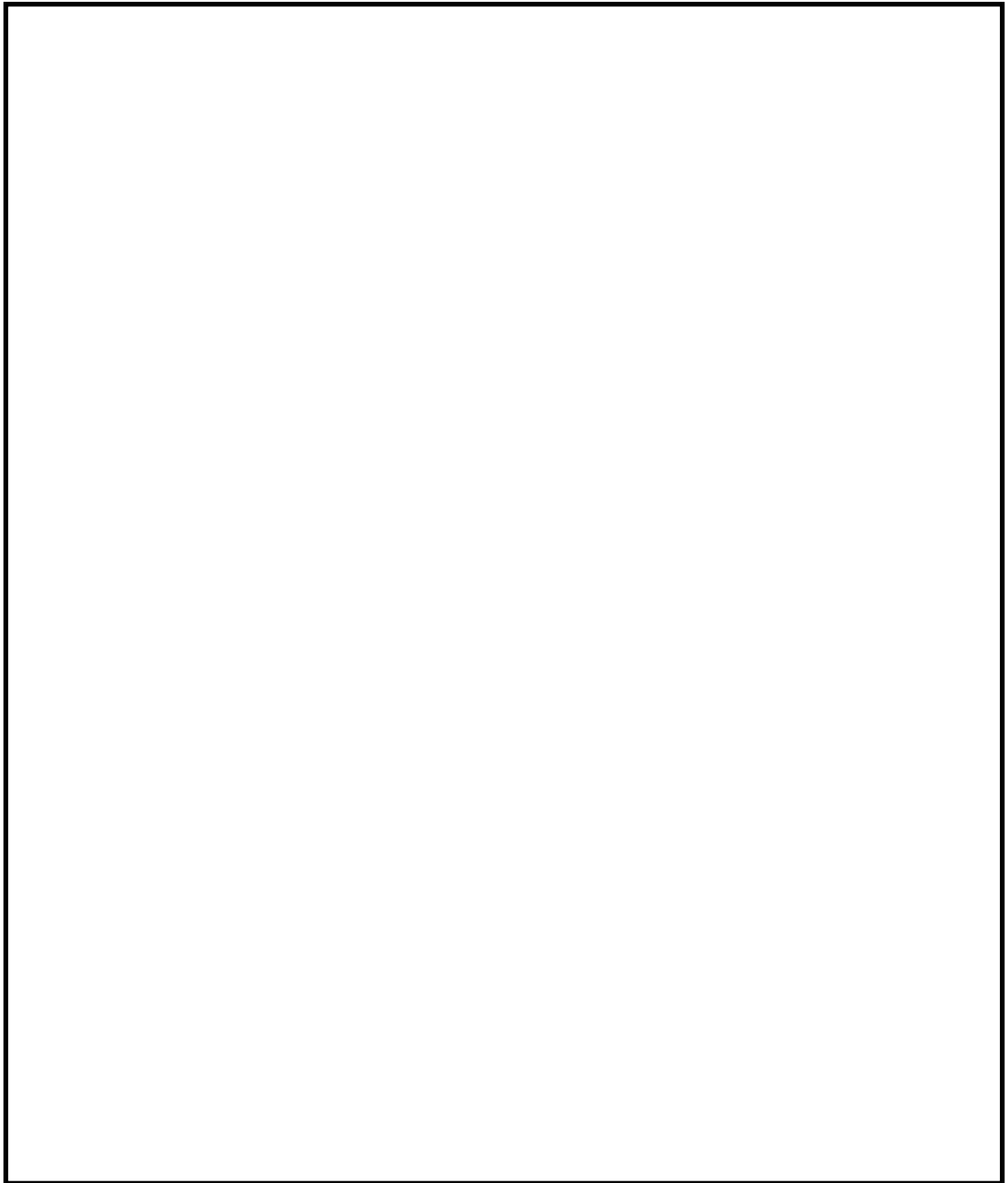


図 5-1 動的応答加速度分布図（弾性設計用地震動 S d）

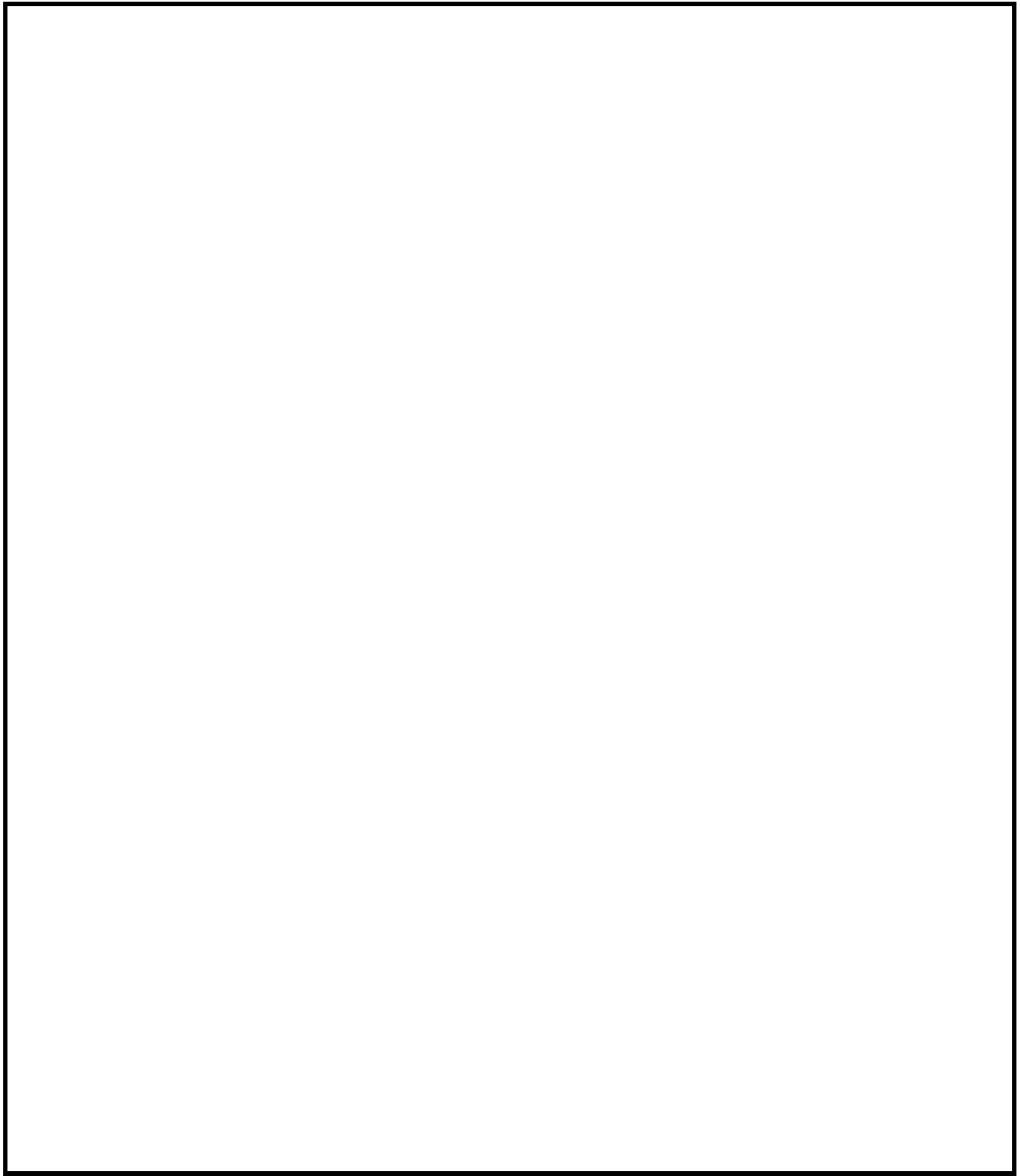


図 5-2 動的応答加速度分布図（基準地震動 S_s ）

5.2 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、中性子源領域計装／中間領域計装に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.3 荷重の組合せ及び許容応力

5.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中性子源領域計装／中間領域計装の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.3.2 許容応力

中性子源領域計装／中間領域計装の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.3.3 使用材料の許容応力評価条件

中性子源領域計装／中間領域計装の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

5.3.4 溶接部の継手効率

応力評価点は、溶接部でないため $\eta = 1.00$ を用いる。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測 装置	中性子源領域計装/ 中間領域計装	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	中性子束高	—	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	中性子束計装不作動	—	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S

注記*：原子炉圧力容器内部に位置するため、炉内構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測 装置	中性子源領域計装/ 中間領域計装	常設耐震/ 防止	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：原子炉圧力容器内部に位置するため、炉内構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力 (炉内構造物)

許容応力状態	許容限界* (ボルト等以外)	
	一次一般膜応力	一次一般膜+一次曲げ応力
Ⅲ A S	$1.5 \cdot S_m$	左欄の 1.5 倍の値
Ⅳ A S	$2/3 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値
Ⅴ A S (Ⅴ A SとしてⅣ A S の許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方	

注記* : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_u (MPa)
ドライチューブ	SUS316LTP	流体の最高温度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_u (MPa)
ドライチューブ	SUS316LTP	流体の最高温度	<input type="text"/>	<input type="text"/>

5.4 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉格納容器内 EL 8.800 (EL 25.843 ~ 21.571* ¹)					
固有周期(s)		水平：□* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	□	4.32	3.48	—	9.11	7.55	—
2 次	□	5.99	5.11	—	18.57	21.96	—
動的震度* ⁶		1.38	1.45	0.72	2.93	2.79	2.03
静的震度* ⁷		0.86	0.85	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度 II（基準地震動 S s）又はこれらを上回る設計震度

*7： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉格納容器内 EL 8.800 (EL 25.843 ~ 21.571* ¹)					
固有周期(s)		水平：□* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	□	—	—	—	9.11	7.55	—
2 次	□	—	—	—	18.57	21.96	—
動的震度* ⁵		—	—	—	2.93	2.79	2.03
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

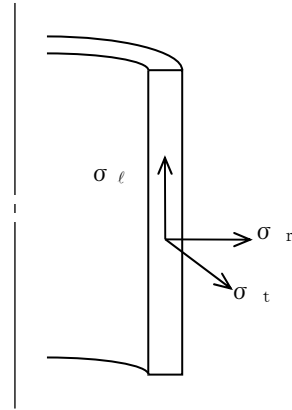
*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

5.5 計算方法

5.5.1 応力の計算方法

中性子源領域計装／中間領域計装の応力計算における，応力の記号とその方向は，以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力



中性子源領域計装／中間領域計装に作用する外圧を表 5-8，死荷重を表 5-9 及び地震荷重を表 5-10 に示す。

以下，外圧，死荷重及び地震荷重による応力をそれぞれ求める。

表 5-8 中性子源領域計装／中間領域計装に作用する外圧

許容応力状態	外圧
	P_o (MPa)
Ⅲ A S	
Ⅳ A S	
Ⅴ A S	

表 5-9 中性子源領域計装／中間領域計装に作用する死荷重

荷重名称	鉛直力
	V_D (N)
死荷重	<input type="text"/>

表 5-10 中性子源領域計装／中間領域計装に作用する地震荷重

荷重名称	鉛直力	水平力*1	地震時 中性子源領域計装 ／中間領域計装 設計たわみ量*2
	V_s (N)	H (N)	δ_D (mm)
弾性設計用地震動 S d 又は静的地震力	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
基準地震動 S s	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：水平力Hは質量と動的応答加速度の積であり中性子源領域計装／中間領域計装に一樣に加わる。

*2：燃料集合体の相対変位（地震時たわみ量）及び水平移動量と中性子源領域計装／中間領域計装の移動量の合計。燃料集合体の相対変位はVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に基づき設定する。



5.5.1.1 外圧による応力

(1) 一次一般膜応力

外圧 P_o による一次一般膜応力は，下式により計算する。

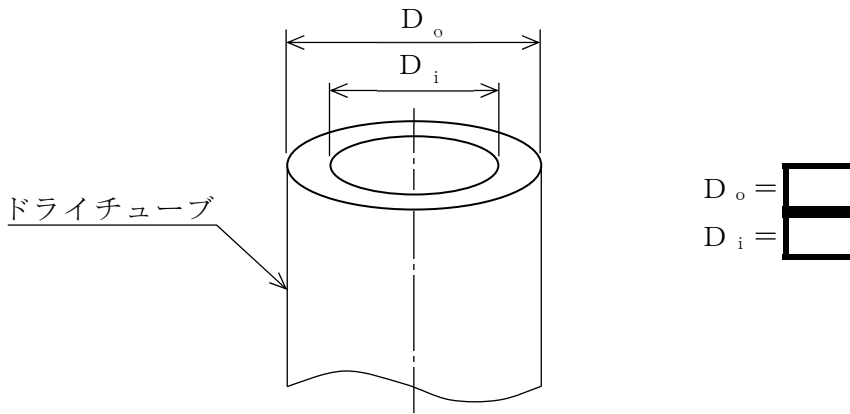
$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_o \quad \dots\dots\dots (5.5.1.1.1)$$

$$\sigma_\ell = -\frac{Y^2}{Y^2-1} \cdot P_o \quad \dots\dots\dots (5.5.1.1.2)$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_o \quad \dots\dots\dots (5.5.1.1.3)$$

ここで，外径と内径の比 Y は，次式により求める。

$$Y = \frac{D_o}{D_i} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.1.4)$$



(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

外圧 P_o による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜+一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

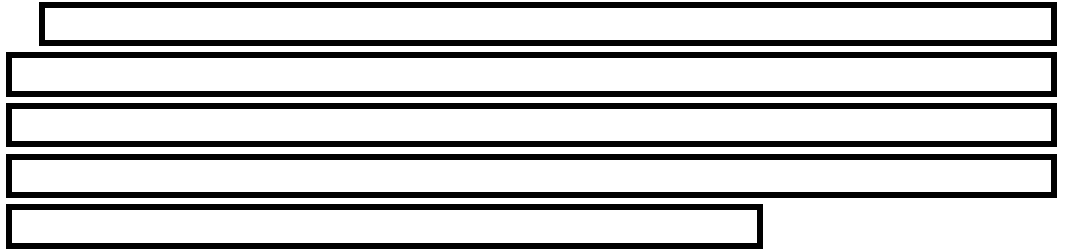
5.5.1.2 死荷重による応力

死荷重による応力は，下式により計算する。

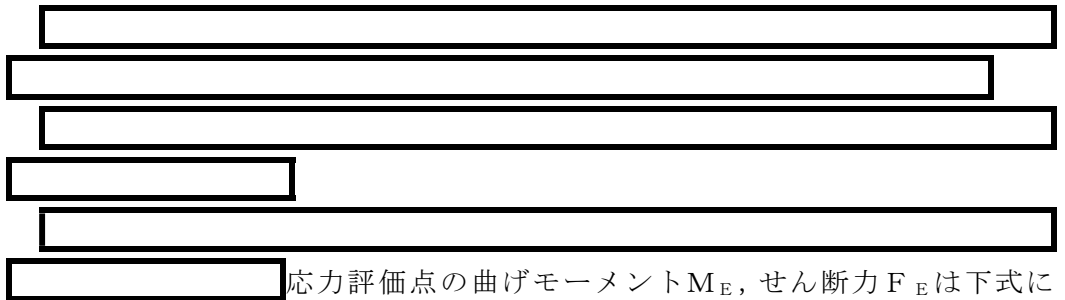
$$\sigma_\ell = -\frac{V_D}{A} \quad \dots\dots\dots (5.5.1.2.1)$$

5.5.1.3 地震荷重による応力

(1) 水平方向地震荷重による応力



応力計算モデルを，図 5-3 に示す。



応力評価点の曲げモーメント M_E ，せん断力 F_E は下式により計算する。

$$M_E = P_B \cdot (\ell - \ell') - \frac{1}{2} \cdot w \cdot (\ell - \ell')^2 \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.1)$$

$$F_E = w \cdot (\ell - \ell') - P_B \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.2)$$

ここで， P_B ， w ， ℓ は，下式により求める。

$$P_B = \frac{w \cdot \ell}{3} \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.3)$$

$$w = \frac{H}{L} \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.4)$$

$$\ell = \left(\frac{72 \cdot \delta_D \cdot E \cdot I}{w} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.5)$$

したがって，応力評価点に生じる一次曲げ応力は，次式により計算する。

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{M_E}{I} \cdot \frac{D_o}{2} \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.6)$$

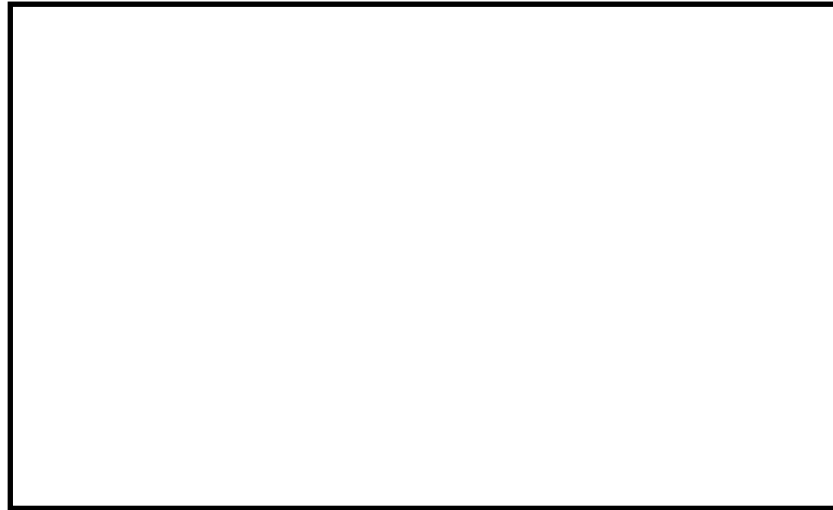
また，応力評価点に生じる一次一般膜応力は，次式により計算する。

$$\tau_{\ell} = \pm \frac{F_E}{A} \quad \dots \dots \dots (5.5.1.3.7)$$

(2) 鉛直方向地震荷重による応力

鉛直方向地震荷重による応力は，次式により計算する。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V_s}{A} \dots\dots\dots (5.5.1.3.8)$$



(単位：mm)

図 5-3 水平方向地震荷重による応力の計算モデル

5.5.1.4 主応力及び応力強さ

(1) 主応力

計算した応力は，応力の分類ごとに重ね合わせ，組合せ応力を求める。

組合せ応力は，一般に σ_t ， σ_{ℓ} ， σ_r ， $\tau_{t\ell}$ ， $\tau_{\ell r}$ ， τ_{rt} の 6 成分を持つが，主応力 σ は，引用文献(1)の 1・3・6 項により，次式を満足する 3 根 σ_1 ， σ_2 ， σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_{\ell} + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_{\ell} + \sigma_{\ell} \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ & - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_{\ell} \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_{\ell} \cdot \tau_{rt}^2 \\ & + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \dots\dots\dots (5.5.1.4.1) \end{aligned}$$

(2) 応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2 \dots\dots\dots (5.5.1.4.2)$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3 \dots\dots\dots (5.5.1.4.3)$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1 \dots\dots\dots (5.5.1.4.4)$$

5.6 計算条件

5.6.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中性子源領域計装／中間領域計装の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.7 応力の評価方法

5.7.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力評価

5.5.1 項で求めた中性子源領域計装／中間領域計装の各応力強さが下表で定めた許容応力以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力の許容応力	$1.5 \cdot S_m$	$2/3 \cdot S_u$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方
一次一般膜＋一次曲げ応力の許容応力	上欄の1.5倍の値	上欄の1.5倍の値

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中性子源領域計装／中間領域計装の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中性子源領域計装／中間領域計装の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)

【中性子源領域計装／中間領域計装の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		流体の最高温度 (°C)		外圧(MPa)	
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S	Ⅳ A S
中性子源領域計装 ／中間領域計装	S	原子炉格納容器内 EL 8.800 (EL 25.843 ~ 21.571*1)	<input type="text"/>	0.05 以下	C _H =1.45*2 又は*3	C _V =0.72*2	C _H =2.93*4 又は*5	C _V =2.03*4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

- *2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度
- *3：設計用床応答スペクトルⅠ（弾性設計用地震動 S_d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度
- *4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度
- *5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

部材	V _D (N)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	E (MPa)	L (mm)	ℓ' (mm)	S _m (MPa)	S _u (MPa)
ドライチューブ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.3 計算数値

部材	V _s (N)		H (N)		δ _D (mm)		w (N/mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ドライチューブ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ (mm)		P _B (N)		F _E (N)		M _E (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ドライチューブ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	応力評価面	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ドライチューブ	SUS316LTP	一次一般膜応力強さ	P01-P02	27	142	28	228
			P01'-P02'	27	142	28	228
		一次一般膜＋一次曲げ 応力強さ	P01-P02	169	214	253	342
			P01'-P02'	171	214	256	342

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS316LTP
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	10
節点数	—	個	11
継手効率	η	—	1.00

(2) 要素の断面性状

要素番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

(3) 節点の質量

節点番号	節点質量 (kg)
1	—
2	<input type="text"/>
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	<input type="text"/>
11	

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		流体の最高温度 (°C)	外圧(MPa)
			水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	V _A S	V _A S
中性子源領域計装 ／中間領域計装	常設耐震 ／防止	原子炉格納容器内 EL 8.800 (EL 25.843 ~ 21.571*1)	<input type="text"/>	0.05 以下	—	—	C _H =2.93*2 又は*3	C _V =2.03*2	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

部材	V _D (N)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	E (MPa)	L (mm)	ℓ' (mm)	S _m (MPa)	S _u (MPa)
ドライチューブ	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2.3 計算数値

部材	V _s (N)		H (N)		δ _D (mm)		w (N/mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ドライチューブ	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

部材	ℓ (mm)		P _B (N)		F _E (N)		M _E (N・mm)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ドライチューブ	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 中性子源領域計装／中間領域計装の応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	応力評価面	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ドライチューブ	SUS316LTP	一次一般膜応力強さ	P01-P02	—	—	31	226
			P01'-P02'	—	—	31	226
		一次一般膜＋一次曲げ 応力強さ	P01-P02	—	—	255	339
			P01'-P02'	—	—	258	339

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS316LTP
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	10
節点数	—	個	11
継手効率	η	—	1.00

(2) 要素の断面性状

要素番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

(3) 節点の質量

節点番号	節点質量 (kg)
1	—
2	<input type="text"/>
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	<input type="text"/>
11	

VI-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性に関する説明書

VI-2-7-3 固体廃棄物処理系の耐震性に関する説明書

VI-2-7-3-1 サイトバンカ設備の耐震性に関する説明書

VI-2-7-3-1-1 管の耐震性に関する説明書

まえがき

本書は、サイトバンカ設備の管の耐震計算について説明するものであり、以下より構成される。

- (Ⅰ) 基本方針
- (Ⅱ) 計算書

(I) 基本方針

目 次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用規格・基準等	1
2. 耐震支持設計方針	2
2.1 管経路の設計	2
2.2 支持構造物配置の設計	2
2.3 支持構造物構造の設計	3
3. 計算方法	4
3.1 荷重の組合せ	4
3.2 管の耐震計算	4
3.3 支持構造物の耐震計算	5
3.4 計算精度と数値の丸め方	6
4. 計算書の構成	7

1. 一般事項

1.1 概要

本書は、サイトバンカ設備の管の耐震計算の基本方針について説明するものである。
なお、計算対象は管及び管に取り付く支持構造物とする。

1.2 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 （（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2. 耐震支持設計方針

管及び管に取り付く支持構造物を含む配管系の設計は、管経路の設計、支持構造物配置の設計、支持構造物構造の設計の手順で実施する。各設計項目における設計方法を以下に示す。

2.1 管経路の設計

管経路は建物形状、機器配置や系統設計条件を考慮するとともに、保守点検性の確保を考慮して決定する。この際、管内部にドレン溜りやエアポケットが生じることのないようにする。

なお、次項の支持構造物配置の設計において、管経路の変更が必要であると判断された場合は、管経路の再検討を実施する。

2.2 支持構造物配置の設計

支持構造物配置の検討に当たっては、三次元多質点系はりモデルによる解析を実施する。解析においては、原則として、固定点から固定点までを独立した1つのブロックとして配管系をモデル化し、配管系の固有値、並びに自重や地震等により管及び支持点に作用する荷重を算定する。なお、支持構造物の配置は、建物との共振のおそれがない配置となるよう決定する。

支持構造物配置の成立性確認として、以下に示す項目を確認する。

- (1) 配管系の固有値を確認し、配管系が建物との共振のおそれがないことを確認する。
- (2) 解析により算定した管に作用する荷重に基づき計算した管の応力が、許容応力以下となることを確認する。
- (3) 解析により算定した支持点荷重が過大でないことを確認する。
- (4) 建物や他構造物の配置を考慮した上で、解析上の支持点に支持構造物が設置可能であることを確認する。

確認の結果、上述の条件を満たさない場合は、支持構造物配置の再検討を実施する。支持構造物配置の再検討で成立性確認が困難と判断される場合は、必要に応じて管経路の再検討を実施する。

なお、解析は計算機コード「HISAP」により実施する。また、配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則として固定点から固定点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを十分に

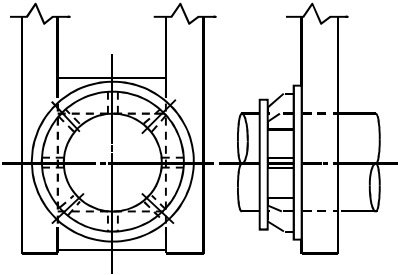
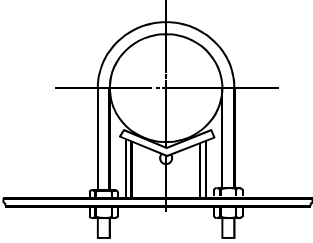
- 表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
- a. レストレイント：拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. アンカ：6方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は、配管自体の質量の他に弁等の集中質量、保温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (9) 解析においては、以下に示す荷重条件を考慮する。
- a. 内圧
 - b. 機械的荷重（自重その他の長期的荷重）
 - c. 地震荷重（配管系重心レベル上階の静的震度による慣性力）

2.3 支持構造物構造の設計

支持構造物は、三次元多質点系はりモデルによる配管系の解析により算定した自重、地震等による支持点荷重が作用した際に生じる応力が、許容応力以下となるよう構造を決定する。また、建物と共振しないように十分な剛性を有する構造とする。

本工事範囲において使用する支持構造物の種類、機能及び用途を表 2-1 に示す。

表 2-1 支持構造物の種類、機能及び用途

種類	概略図	機能	用途
アンカ		変位及び回転を完全に拘束する。	配管系の解析における解析モデルの境界点として固定点を設ける際に使用する。
レストレイント		一定方向の変位を拘束する。	管に作用する慣性力により生じる応力の低減を目的として、変位を拘束する際に使用する。

3. 計算方法

3.1 荷重の組合せ

耐震計算において考慮する荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

設備	管クラス	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態
サイトバンカ設備	クラス 3 管	B	$D + P_d + M_d + S_B$	BAS

注：本表に使用する記号について、Dは死荷重、 P_d は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重、 M_d は当該設備に設計上定められた機械的荷重、 S_B はBクラスの設備に適用される静的地震力、BASはBクラス設備の地震時の許容応力状態を示す。

3.2 管の耐震計算

許容応力状態BASにおける一次応力が許容応力以下であることを確認する。

計算式を以下に示す。また、計算式の記号説明を表 3-2 に示す。

$$S_{pr m} = P \cdot D_o / 4 \cdot t + 0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq S_y^*$$

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方の値とする。

表 3-2 計算式の記号説明（管の耐震計算）

記号	単位	定義
D_o	mm	管の外径
i_1	—	応力係数で設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値
M_a	N・mm	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生じるモーメント
M_b	N・mm	管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント
P	MPa	地震と組合せるべき運転状態における圧力
S	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料の最高使用温度における許容引張応力
$S_{pr m}$	MPa	一次応力
S_y	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点
t	mm	管の厚さ
Z	mm ³	管の断面係数

3.3 支持構造物の耐震計算

許容応力状態BASにおける一次応力が許容応力以下であることを確認する。
計算式を以下に示す。また、計算式の記号説明を表3-3に示す。

(1) 部材

a. 引張応力

$$\sigma_t = F_t / A \leq 1.5 \cdot f_t$$

b. せん断応力

(a) 管軸直角方向 (Y方向, Z方向)

$$\tau_y = F_y / A_y \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \tau_z = F_z / A_z \leq 1.5 \cdot f_s$$

(b) ねじり

$$\tau_p = M_p / Z_p \leq 1.5 \cdot f_s$$

c. 圧縮応力

$$\sigma_c = F_c / A \leq 1.5 \cdot f_c$$

d. 曲げ応力 (管軸直角方向 (Y方向, Z方向))

$$\sigma_{by} = M_y / Z_y \leq 1.5 \cdot f_b, \quad \sigma_{bz} = M_z / Z_z \leq 1.5 \cdot f_b$$

e. 組合せ応力

$$\sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)} \leq 1.5 \cdot f_t, \quad \sigma = \sigma_t + \sigma_{by} + \sigma_{bz}, \quad \tau = \sqrt{(\tau_y^2 + \tau_z^2)} + \tau_p$$

(2) 溶接部

a. 引張応力

$$\sigma_t = F_t / A_w \leq 1.5 \cdot f_s$$

b. せん断応力

(a) 管軸直角方向 (Y方向, Z方向)

$$\tau_y = F_y / A_{yw} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \tau_z = F_z / A_{zw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

(b) ねじり

$$\tau_p = M_p / Z_{pw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

c. 曲げ応力 (管軸直角方向 (Y方向, Z方向))

$$\sigma_{by} = M_y / Z_{yw} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \sigma_{bz} = M_z / Z_{zw} \leq 1.5 \cdot f_s$$

d. 組合せ応力

$$\sqrt{(\sigma^2 + \tau^2)} \leq 1.5 \cdot f_s, \quad \sigma = \sigma_t + \sigma_{by} + \sigma_{bz}, \quad \tau = \sqrt{(\tau_y^2 + \tau_z^2)} + \tau_p$$

表 3-3 計算式の記号説明 (支持構造物の耐震計算)

記号	単位	定義
A	mm^2	部材の断面積
A_w	mm^2	溶接部の断面積
A_y, A_z	mm^2	部材の有効せん断面積 (Y方向, Z方向)
A_{yw}, A_{zw}	mm^2	溶接部の有効せん断面積 (Y方向, Z方向)
F_c	N	圧縮荷重
F_t	N	引張荷重
F_y, F_z	N	せん断荷重 (Y方向, Z方向)
f_b	MPa	許容曲げ応力
f_c	MPa	許容圧縮応力
f_s	MPa	許容せん断応力
f_t	MPa	許容引張応力
M_p	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ねじりモーメント
M_y, M_z	$\text{N}\cdot\text{mm}$	曲げモーメント (Y方向, Z方向)
Z_p	mm^3	部材の極断面係数
Z_{pw}	mm^3	溶接部の極断面係数
Z_y, Z_z	mm^3	部材の断面係数 (Y方向, Z方向)
Z_{yw}, Z_{zw}	mm^3	溶接部の断面係数 (Y方向, Z方向)
σ	MPa	組合せ応力 (引張方向)
σ_{by}, σ_{bz}	MPa	曲げ応力 (Y方向, Z方向)
σ_c	MPa	圧縮応力
σ_t	MPa	引張応力
τ	MPa	組合せ応力 (せん断方向)
τ_p, τ_y, τ_z	MPa	せん断応力 (ねじり, Y方向, Z方向)

3.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は表3-4に示すとおりとする。

表 3-4 表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
評価結果	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
	許容応力*	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
	支持点荷重	kN, $\text{kN}\cdot\text{m}$	小数点第1位	切上げ	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 及び表 8 に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

4. 計算書の構成

サイトバンカ設備の管は、安全重要度クラスⅢのBクラスに属することから、以下に示す構成で計算書を作成するものとする。

(1) 概要

本基本方針に基づき、管及び支持構造物の耐震計算を実施した結果を示す旨を記載する。

(2) 概略系統図及び鳥瞰図

a. 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

b. 鳥瞰図

工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の許容応力／計算応力（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として解析モデル図を添付する。

(3) 評価結果

a. 管の応力評価結果

工事計画記載範囲の管のうち、裕度が最小となる解析モデルにおける最大応力評価点の評価結果を記載する。

b. 支持構造物の応力評価結果

工事計画記載範囲の支持点のうち、支持点荷重が最大となる支持点を代表として、裕度が最小となる応力分類の評価結果を記載する。

(II) 計算書

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 評価結果	12
3.1 管の応力評価結果	12
3.2 支持構造物の応力評価結果	13

1. 概要

本書は、(I) 基本方針に基づき、管及び支持構造物の耐震計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示すとおりとする。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、最大応力評価点の許容応力／計算応力（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図及び最大応力評価点の評価結果を記載する。



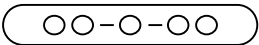
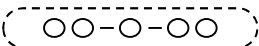

(2) 支持構造物

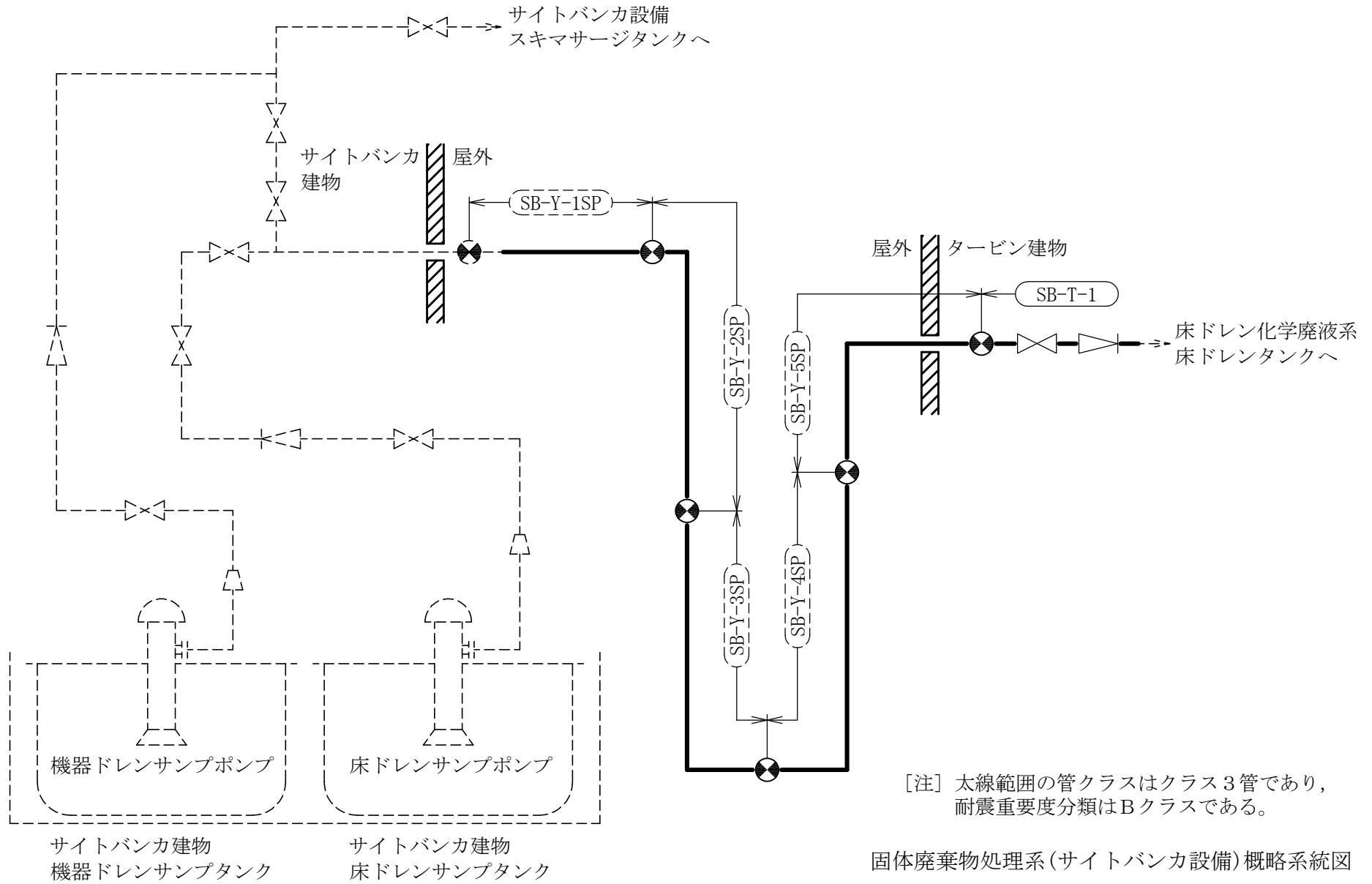
工事計画記載範囲の支持点のうち、支持点荷重が最大となる支持点を代表として、裕度が最小となる応力分類の評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


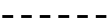


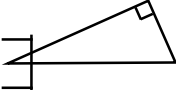
概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。) 注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

∞

鳥瞰図

SB-T-1(4/7)

鳥瞰図

SB-T-1(7/7)

3. 評価結果

3.1 管の応力評価結果

下表に示すごとく最大応力は許容応力以下である。

クラス3管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 S _{prm}	許容応力 S _y *
SB-T-1	B A S	153	24	234

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、S_yと1.2・Sのうち大きい方の値とする。

3.2 支持構造物の応力評価結果

下表に示すごとく計算応力は許容応力以下である。

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
AN-SB-26619	アンカ	ラグ	SGV410	60	1	1	1	1	1	1	組合せ	113	124

VI-2-8 放射線管理施設の耐震性に関する説明書

VI-2-8-3 換気設備の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-1 中央制御室空調換気系の耐震性についての計算書

VI-2-8-3-1-2 中央制御室送風機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	8
4.1 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、中央制御室送風機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

中央制御室送風機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、中央制御室送風機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室送風機の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファンは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

中央制御室送風機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

中央制御室送風機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室送風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室送風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室送風機	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（その他支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (原動機側軸受台)	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
基礎ボルト (吸込口側軸受台)	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト (原動機側軸受台)	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
基礎ボルト (吸込口側軸受台)	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

中央制御室送風機の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

中央制御室送風機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型 ファン	水平	2.3
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室送風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室送風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室送風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設
1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室送風機	S	廃棄物処理建物 EL 22.1 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	C _H =1.15 ^{*3}	C _V =0.79 ^{*3}	C _H =2.77 ^{*4}	C _V =1.58 ^{*4}		—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト（原動機側軸受台） (i=1)							6	3
								2
基礎ボルト（吸込口側軸受台） (i=2)							4	2
								2
ケーシング取付ボルト (i=3)	8	2						
		4						
原動機取付ボルト (i=4)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト（原動機側軸受台） (i=1)	211 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	394 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—
基礎ボルト（吸込口側軸受台） (i=2)	211 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	394 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=3)	211 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	394 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	211	253	軸直角	軸直角	1.432×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=4)	211 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	394 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	211	253	軸直角	軸直角	1.432×10 ⁶

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (原動機側軸受台) (i=1)				
基礎ボルト (吸込口側軸受台) (i=2)				
ケーシング取付ボルト (i=3)				
原動機取付ボルト (i=4)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (原動機側軸受台) (i=1)	SS41	引張り	$\sigma_{b1} = 46$	$f_{ts1} = 158^*$	$\sigma_{b1} = 131$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 20$	$f_{sb1} = 122$	$\tau_{b1} = 45$	$f_{sb1} = 146$
基礎ボルト (吸込口側軸受台) (i=2)	SS41	引張り	$\sigma_{b2} = 17$	$f_{ts2} = 158^*$	$\sigma_{b2} = 43$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 5$	$f_{sb2} = 122$	$\tau_{b2} = 11$	$f_{sb2} = 146$
ケーシング取付ボルト (i=3)	SS41	引張り	$\sigma_{b3} = 30$	$f_{ts3} = 158^*$	$\sigma_{b3} = 88$	$f_{ts3} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 11$	$f_{sb3} = 122$	$\tau_{b3} = 25$	$f_{sb3} = 146$
原動機取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	$\sigma_{b4} = 13$	$f_{ts4} = 158^*$	$\sigma_{b4} = 33$	$f_{ts4} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 9$	$f_{sb4} = 122$	$\tau_{b4} = 20$	$f_{sb4} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.10	2.3
	鉛直方向	0.92	1.0
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.92	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室送風機	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 22.1*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.77*3	C _V =1.58*3		—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト（原動機側軸受台） (i=1)							6	3
								2
基礎ボルト（吸込口側軸受台） (i=2)							4	2
								2
ケーシング取付ボルト (i=3)							8	2
								4
原動機取付ボルト (i=4)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト（原動機側軸受台） (i=1)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—
基礎ボルト（吸込口側軸受台） (i=2)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=3)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸直角	1.432×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=4)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸直角	1.432×10 ⁶

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (原動機側軸受台) (i=1)				
基礎ボルト (吸込口側軸受台) (i=2)				
ケーシング取付ボルト (i=3)				
原動機取付ボルト (i=4)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (原動機側軸受台) (i=1)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=131$	$f_{ts1}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=45$	$f_{sb1}=146$
基礎ボルト (吸込口側軸受台) (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=43$	$f_{ts2}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=146$
ケーシング取付ボルト (i=3)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=88$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=25$	$f_{sb3}=146$
原動機取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4}=33$	$f_{ts4}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=20$	$f_{sb4}=146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

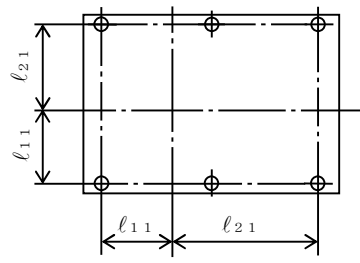
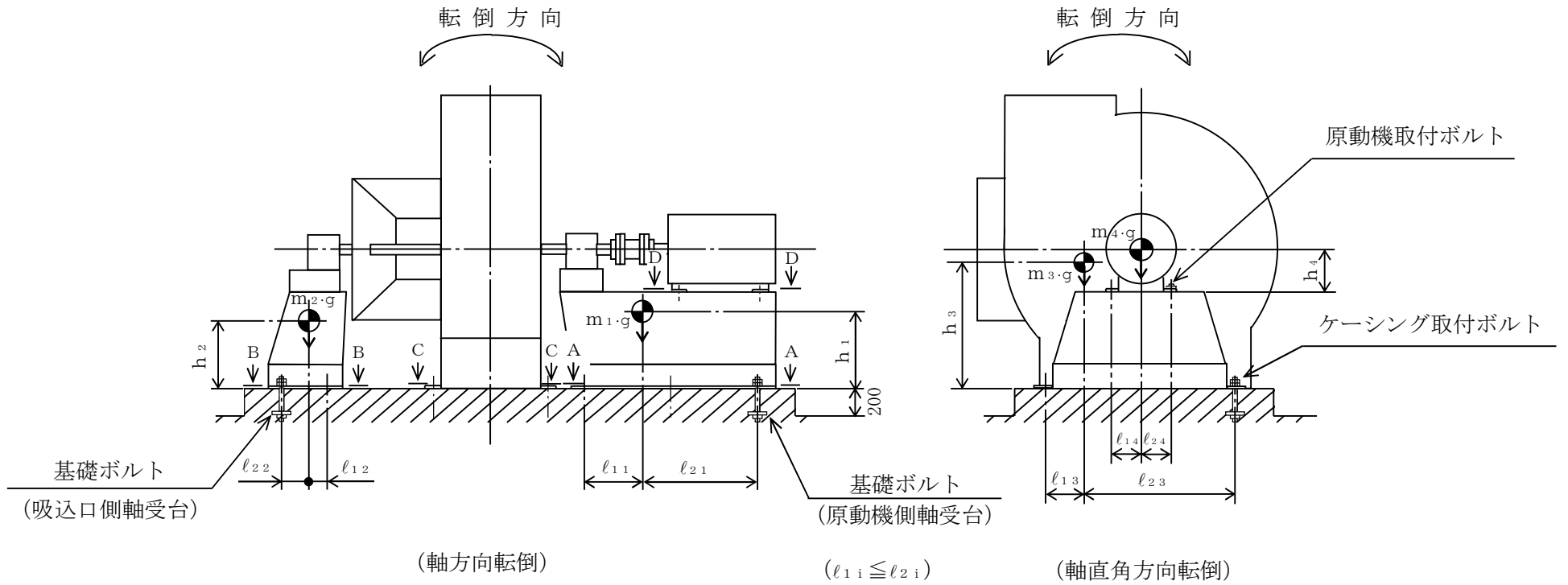
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

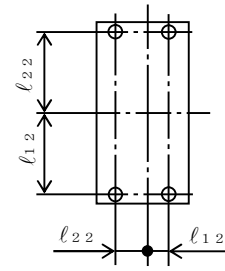
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.10	2.3
	鉛直方向	0.92	1.0
原動機	水平方向	1.10	4.7
	鉛直方向	0.92	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

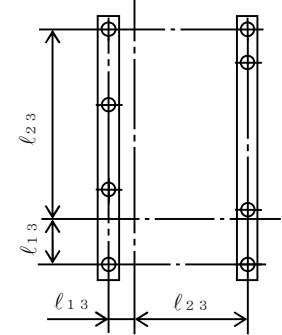
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



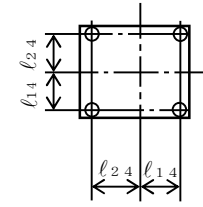
A~A 矢視図
(基礎ボルト (原動機側軸受台))



B~B 矢視図
(基礎ボルト (吸込口側軸受台))



C~C 矢視図
(ケーシング取付ボルト)



D~D 矢視図
(原動機取付ボルト)

VI-2-8-3-1-3 中央制御室非常用再循環送風機の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	8
4.1 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、中央制御室非常用再循環送風機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

中央制御室非常用再循環送風機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

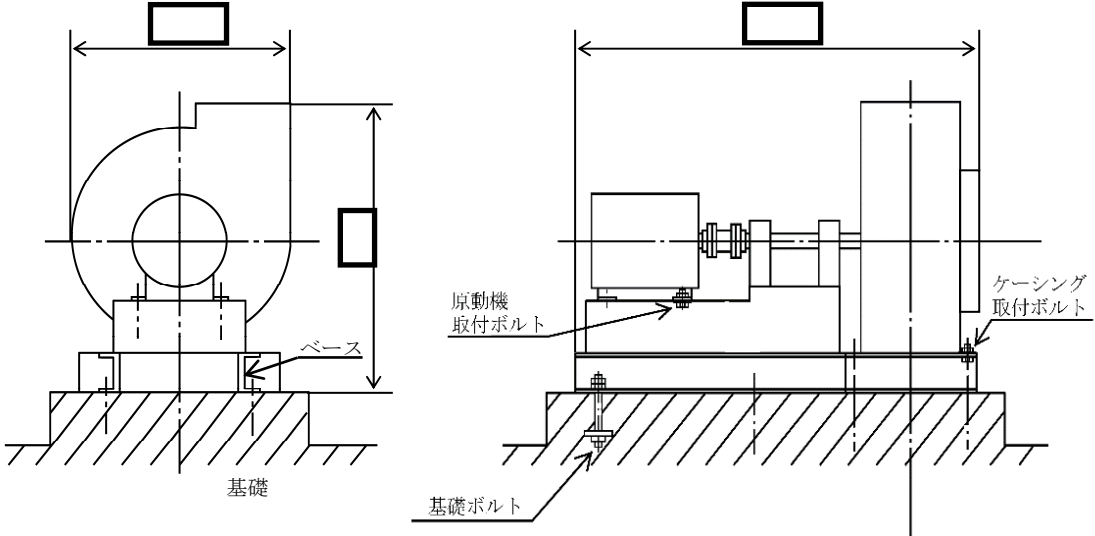
なお、中央制御室非常用再循環送風機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室非常用再循環送風機の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファンはベースに固定され、ベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	 <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

中央制御室非常用再循環送風機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室非常用再循環送風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

中央制御室非常用再循環送風機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室非常用再循環送風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室非常用再循環送風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室非常用再循環送風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室非常用再循環送風機	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（その他支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

中央制御室非常用再循環送風機の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

中央制御室非常用再循環送風機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型 ファン	水平	2.3
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室非常用再循環送風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室非常用再循環送風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室非常用再循環送風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		送風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室 非常用再循環送風機	S	廃棄物処理建物 EL 25.3 (EL 22.1*1, 26.7*1)	—*2	—*2	C _H =1.27*3	C _V =0.82*3	C _H =2.77*4	C _V =1.64*4		—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} *1 (mm)	l _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	211	253	軸直角	軸直角	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ケーシング取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張り	$\sigma_{b1} = 48$	$f_{ts1} = 158^*$	$\sigma_{b1} = 122$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 14$	$f_{sb1} = 122$	$\tau_{b1} = 30$	$f_{sb1} = 146$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	$\sigma_{b2} = 16$	$f_{ts2} = 158^*$	$\sigma_{b2} = 40$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 9$	$f_{sb2} = 122$	$\tau_{b2} = 18$	$f_{sb2} = 146$
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張り	$\sigma_{b3} = 9$	$f_{ts3} = 158^*$	$\sigma_{b3} = 22$	$f_{ts3} = 190^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 6$	$f_{sb3} = 122$	$\tau_{b3} = 12$	$f_{sb3} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.21	2.3
	鉛直方向	0.96	1.0
原動機	水平方向	1.21	4.7
	鉛直方向	0.96	1.0

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
中央制御室 非常用再循環送風機	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 25.3 (EL 22.1* ¹ , 26.7* ¹)	—* ²	—* ²	—	—	C _H =2.77* ³	C _V =1.64* ³		—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} * ¹ (mm)	l _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f i} * ¹
基礎ボルト (i=1)							8	2
								2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	211* ² (40mm<径≤100mm)	394* ² (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸直角	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	211* ² (40mm<径≤100mm)	394* ² (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	211* ² (40mm<径≤100mm)	394* ² (40mm<径≤100mm)	—	253	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ケーシング取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 122$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 30$	$f_{sb1} = 146$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 40$	$f_{ts2} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 18$	$f_{sb2} = 146$
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 22$	$f_{ts3} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 12$	$f_{sb3} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

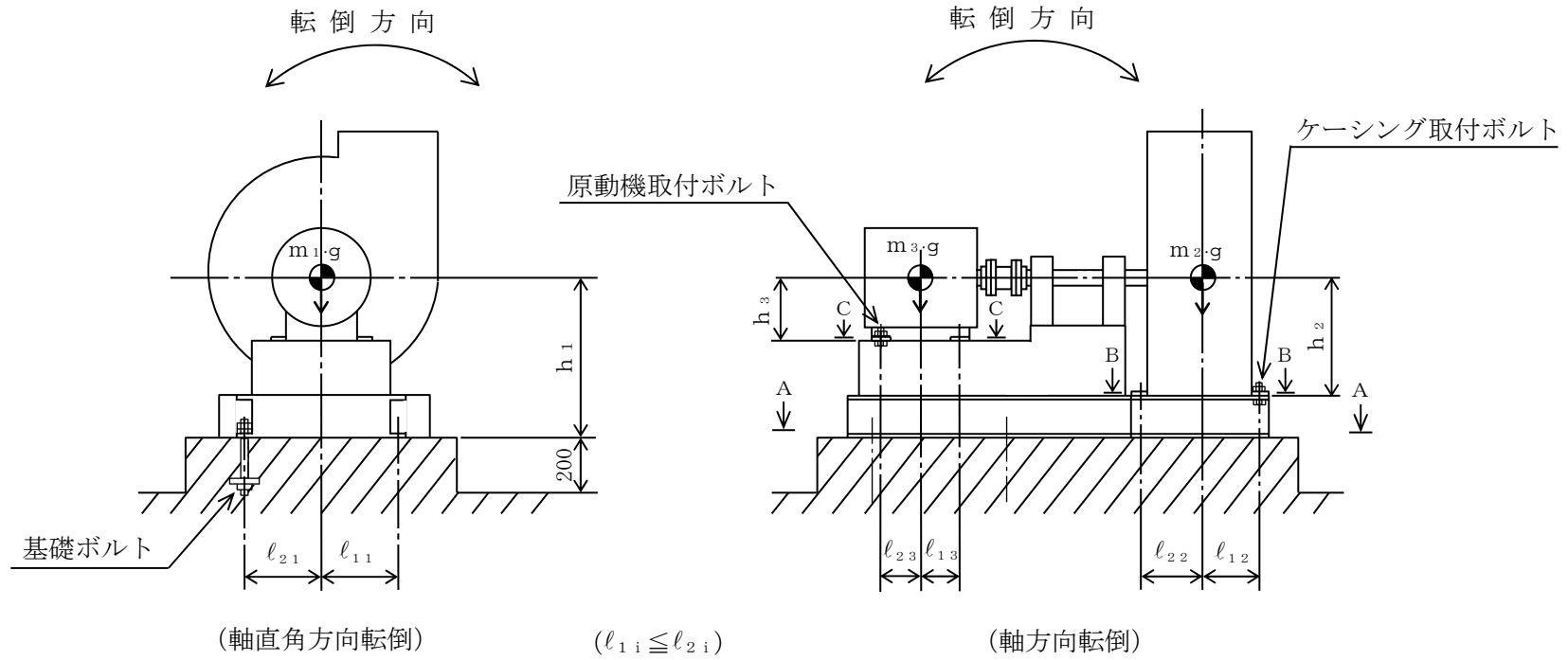
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

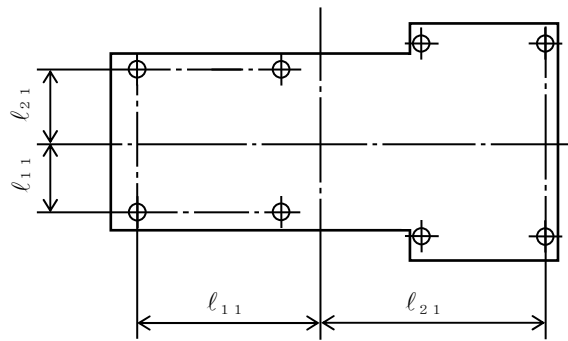
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.21	2.3
	鉛直方向	0.96	1.0
原動機	水平方向	1.21	4.7
	鉛直方向	0.96	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

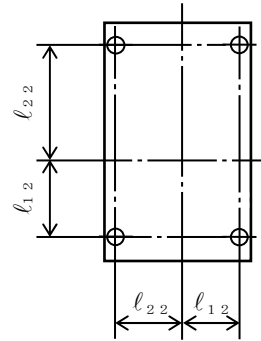
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



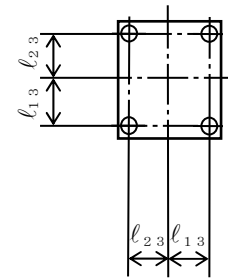
14



A~A 矢視図
(基礎ボルト)



B~B 矢視図
(ケーシング取付ボルト)



C~C 矢視図
(原動機取付ボルト)

VI-2-8-3-1-4 中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処施設としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、中央制御室非常用再循環処理装置フィルタが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

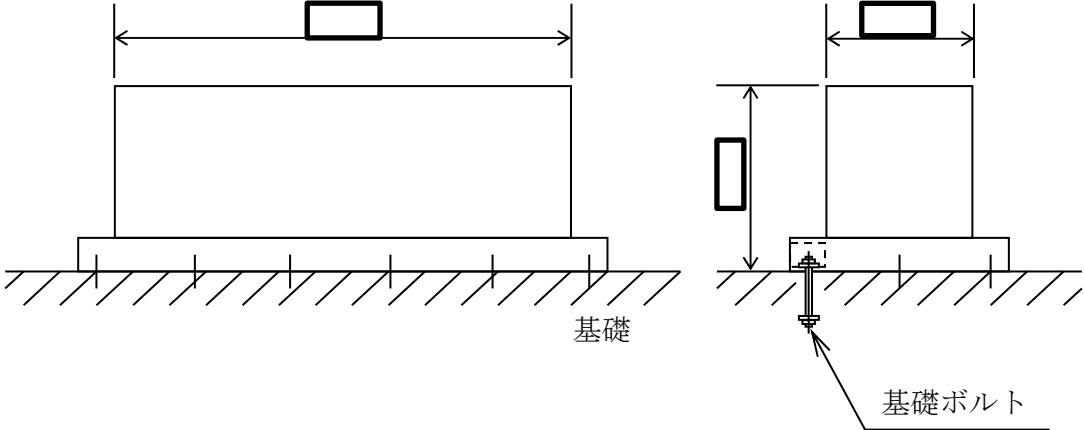
中央制御室非常用再循環処理装置フィルタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
中央制御室非常用再循環処理装置フィルタは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造	 <p>The diagram shows two views of a rectangular structure. The left view is a top-down perspective showing a horizontal rectangle with a smaller rectangle centered on top. Dimension lines indicate the width of the top rectangle and the overall width of the base. The right view is a side elevation showing the vertical profile of the structure. It features a vertical rectangular section on top of a wider base. A bolt is shown passing through the base into the ground, with a label '基礎ボルト' (Foundation Bolt) and an arrow pointing to it. The ground is represented by a hatched area.</p>
		(単位 : mm)

2.2 評価方針

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震評価フローを図2-1に示す。

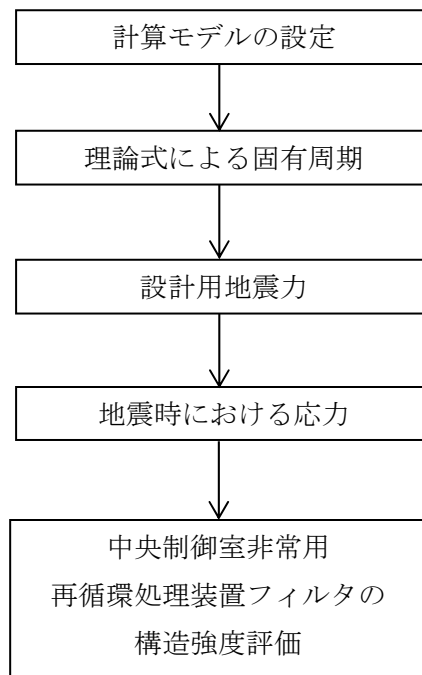


図2-1 中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの質量は重心に集中するものとする。
- b. 中央制御室非常用再循環処理装置フィルタは据付台床上にあり，据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

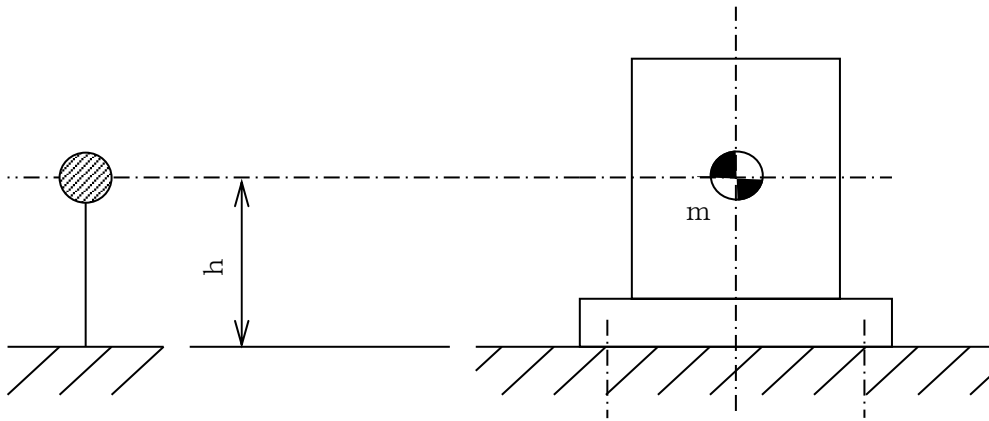


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot Ae}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

したがって，固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A_e}} \dots \dots \dots (4.1.3)$$

したがって、固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \dots \dots \dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表4-1に示す。計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平		
鉛直		

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a. ～c. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は中央制御室非常用再循環処理装置フィルタに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図5-1、図5-2における短辺方向及び長辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室非常用 再循環処理装置 フィルタ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 施設	換気設備	中央制御室非常用 再循環処理装置 フィルタ	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211

注記* : SS400 相当

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-6及び表5-7に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
廃棄物 処理建物 EL 25.3 (EL 22.1* ¹ , 26.7* ¹)			C _H =1.27* ²	C _V =0.82* ²	C _H =2.77* ³	C _V =1.64* ³

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
廃棄物 処理建物 EL 25.3 (EL 22.1* ¹ , 26.7* ¹)			—	—	C _H =2.77* ²	C _V =1.64* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

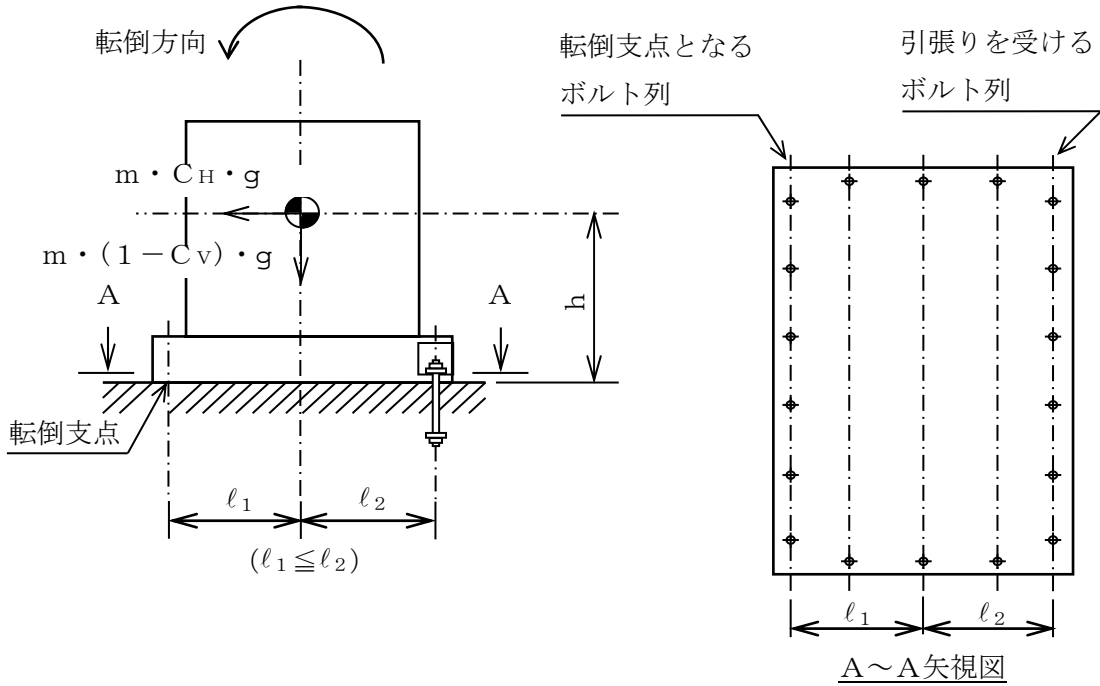


図 5-1(1) 計算モデル (短辺方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

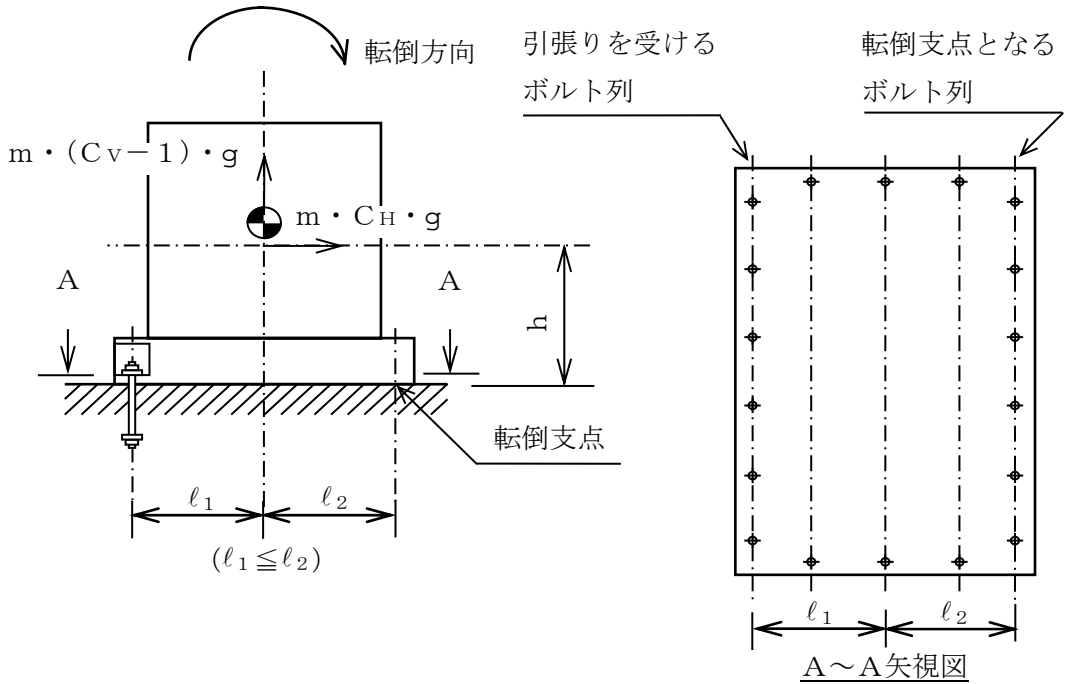


図 5-1(2) 計算モデル (短辺方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

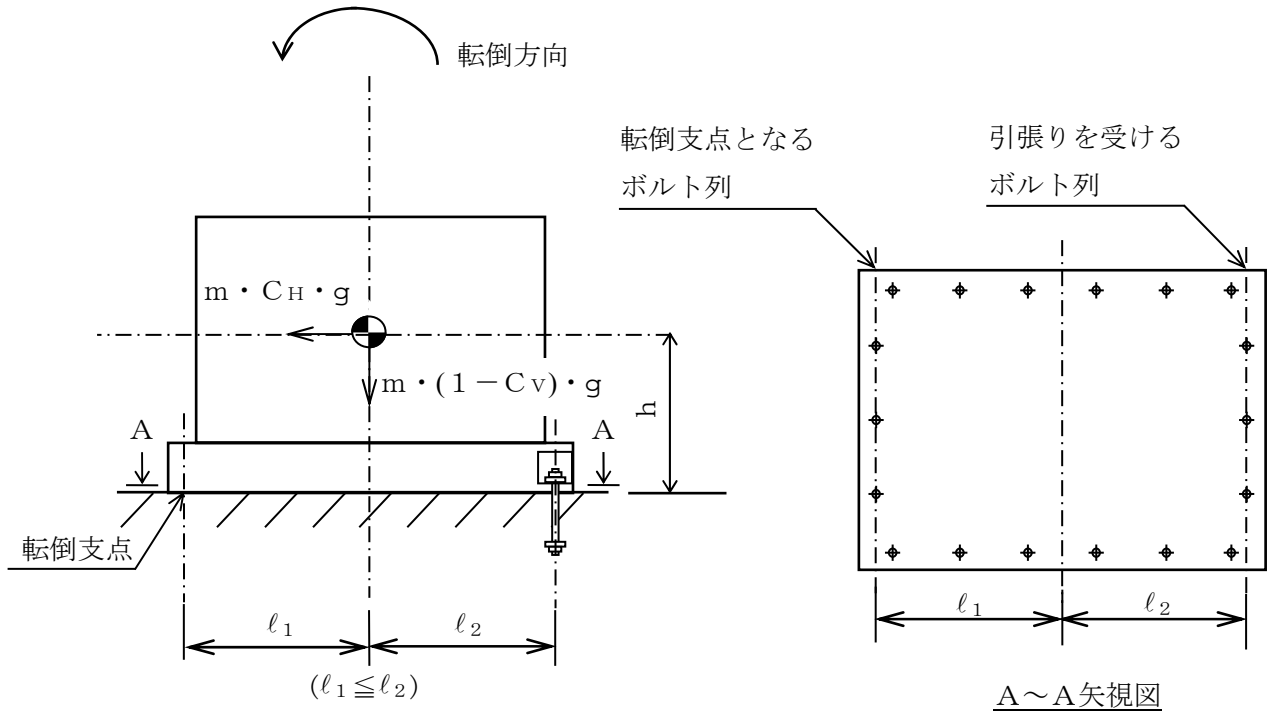


図 5-2(1) 計算モデル (長辺方向転倒-1 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合)

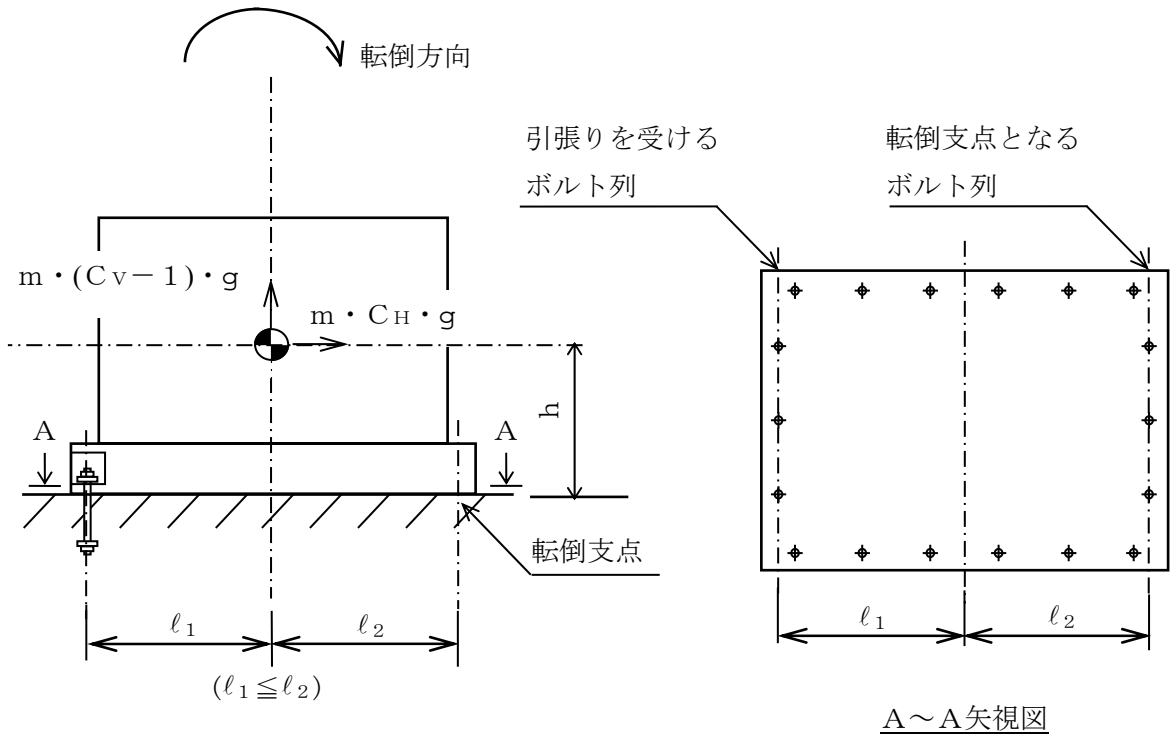


図 5-2(2) 計算モデル (長辺方向転倒-2 $(1 - C_v) < 0$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

(1 - C_v) ≥ 0 のとき

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \dots (5.4.1.1)$$

(1 - C_v) < 0 のとき

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \dots (5.4.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \dots (5.4.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots (5.4.1.4)$$

ただし、F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots \dots (5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室非常用再循環処理装置フィルタの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
中央制御室 非常用再循環 処理装置 フィルタ	S	廃棄物処理建物 EL 25.3 (EL 22.1* ¹ , 26.7* ¹)			C _H =1.27* ²	C _V =0.82* ²	C _H =2.77* ³	C _V =1.64* ³	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	l ₁ * ¹ (mm)	l ₂ * ¹ (mm)	n	n _f
基礎ボルト						18	3 6

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト		211* ² (40mm<径≤100mm)	394* ² (40mm<径≤100mm)	211	253	長辺	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	[Redacted]			

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	[Redacted]
鉛直方向	[Redacted]

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b = 19$	$f_{ts} = 158^*$	$\sigma_b = 125$	$f_{ts} = 147^*$
		せん断	$\tau_b = 35$	$f_{sb} = 122$	$\tau_b = 75$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
中央制御室 非常用再循環 処理装置 フィルタ	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 25.3 (EL 22.1*1, 26.7*1)			—	—	C _H =2.77*2	C _V =1.64*2	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	l ₁ *1 (mm)	l ₂ *1 (mm)	n	n f
基礎ボルト						18	3 6

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト		211*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	394*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	253	—	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	[Redacted]			

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	[Redacted]
鉛直方向	

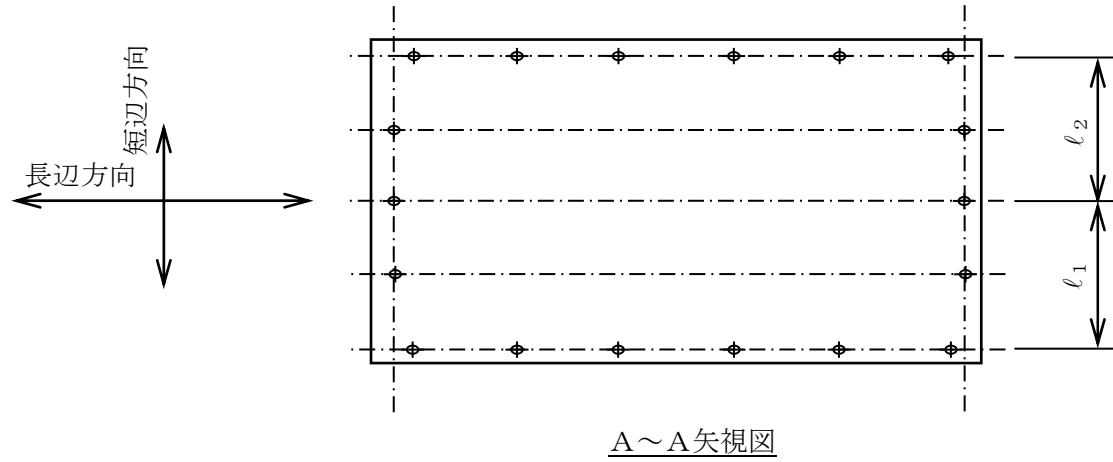
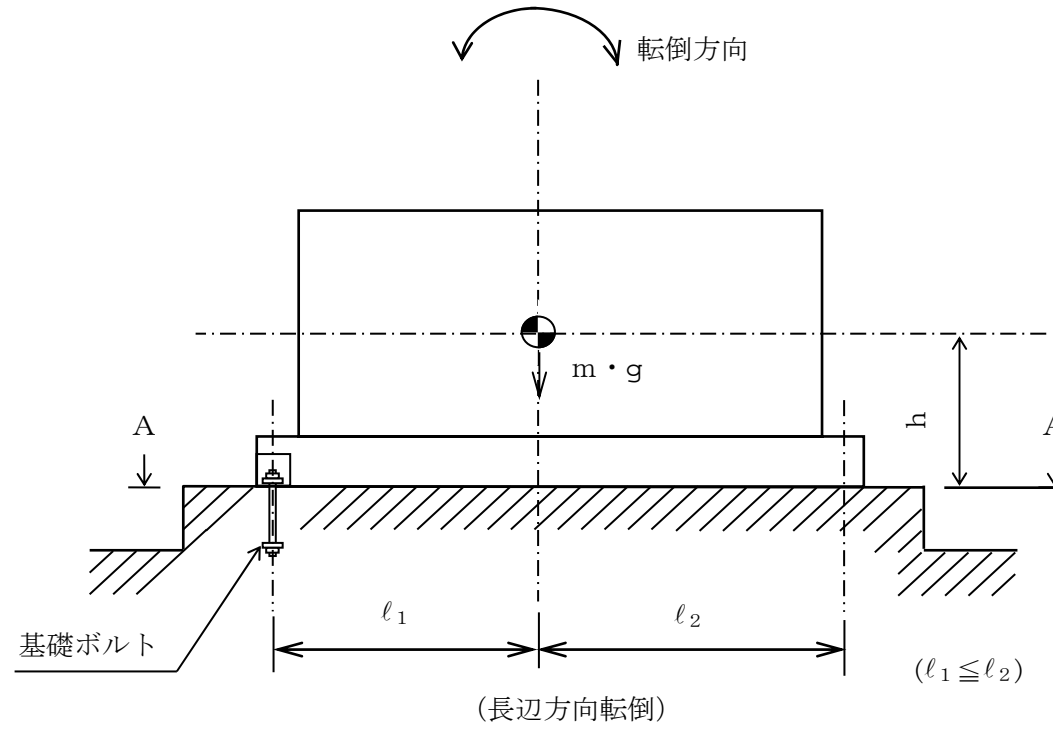
2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張り	-	-	$\sigma_b = 125$	$f_{ts} = 147^*$
		せん断	-	-	$\tau_b = 75$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$



VI-2-9 原子炉格納施設の耐震性に関する説明書

VI-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-6 機器搬入口の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26
7. 参照図書	29

図 表 目 次

図 2-1	機器搬入口の耐震評価フロー	3
図 3-1	機器搬入口の形状及び主要寸法	5
図 5-1	機器搬入口の応力評価点	19
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	使用材料表	6
表 4-1	固有周期（設計基準対象施設）	7
表 4-2	固有周期（重大事故等対処設備）	7
表 5-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	9
表 5-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	10
表 5-3	クラスMC 容器の許容応力	11
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	12
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	12
表 5-6	設計用地震力（設計基準対象施設）	15
表 5-7	設計用地震力（重大事故等対処設備）	16
表 5-8	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-9	水平方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-10	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-11	水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-12	応力評価点	18
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _d *）	22
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _s ）	23
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P _L + M _L + S _d *）	24
表 6-3	許容応力状態Ⅳ _A S に対する疲労評価結果	25
表 6-4(1)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d ）	27
表 6-4(2)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s ）	28

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、機器搬入口が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

機器搬入口は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による機器搬入口の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

機器搬入口の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>機器搬入口はドライウエルに支持される。</p> <p>機器搬入口の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>ドライウエル</p> <p>シヤラグ</p> <p>原子炉建物</p> <p>原子炉建物基礎スラブ</p> <p>機器搬入口</p> <p>円筒胴</p> <p>フランジ</p> <p>鏡板</p> <p>機器搬入口 拡大図</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

機器搬入口の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

機器搬入口の耐震評価フローを図2-1に示す。

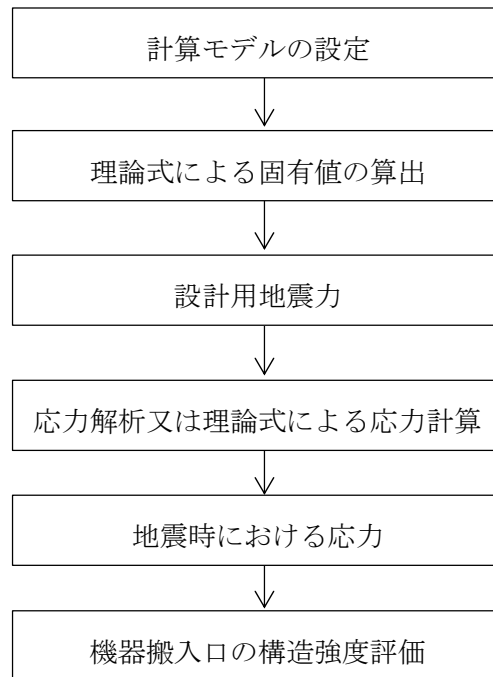


図2-1 機器搬入口の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

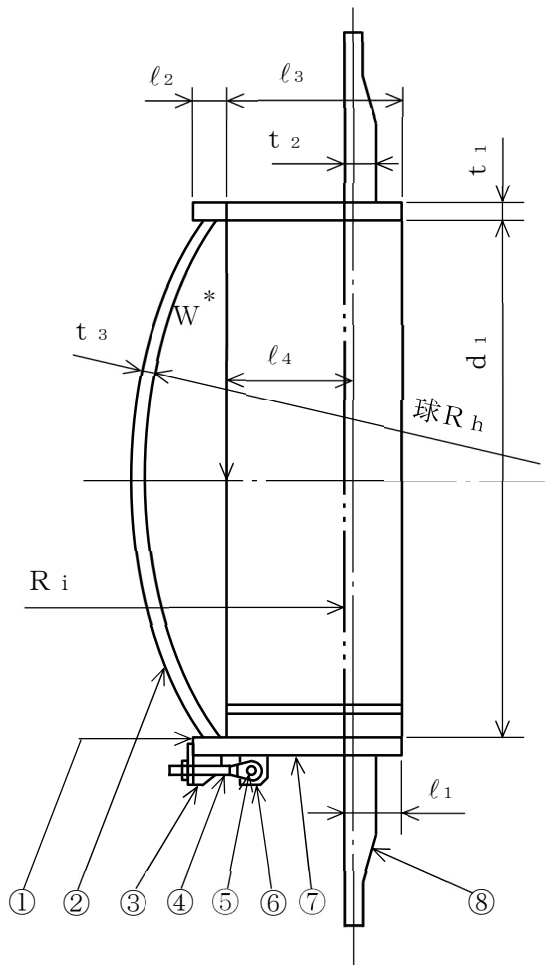
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_i	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R_h	半径	mm
R_i	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	荷重	—

3. 評価部位

機器搬入口の形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び使用部位を表3-1に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ①フランジ ②鏡板 ③ブラケット ④スイングボルト
- ⑤ピン ⑥ブラケット ⑦円筒胴 ⑧補強板

$d_1 =$ $t_1 =$ $t_2 =$ $t_3 =$ $l_1 =$
 $l_2 =$ $l_3 =$ $l_4 =$ $R_i = 11400$ $R_h = 3600$

(単位 : mm)

図3-1 機器搬入口の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
スイングボルト	SNCM439	—
ピン	SNCM439	—

4. 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-1 に示す。水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 機器搬入口の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

機器搬入口の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

機器搬入口の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

機器搬入口の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

機器搬入口の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ* ¹		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入口	S	クラスMC容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d ** ²	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入口	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	$3 \cdot S$ * ²	* ³ , * ⁴ S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S* ⁵				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
機器搬入口	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
機器搬入口	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	131	248	453	—
	SPV50* ⁴	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 機器搬入口の自重 N

(b) ドライウエルの自重

機器搬入口より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

機器搬入口より上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの機器搬入口設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 機器搬入口

設計基準対象施設として機器搬入口の応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。ここで，機器搬入口の評価においては，表 5-6 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として機器搬入口の応力計算に用いる，ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-8 に，水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力





a. 機器搬入口

重大事故等対処設備として機器搬入口の応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。ここで，機器搬入口の評価においては，表 5-7 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として機器搬入口の応力計算に用いる，ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-10 に，水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*1, *2 水平方向 設計震度 C _H		*1 鉛直方向 設計震度 C _V	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*3 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*4	Y方向*4	Z方向*4	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.34	2.34	—	4.41	4.41	—	1.0*5	—
EL				0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76		
				0.63	0.63	0.24	—	—	—		

注記*1：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度を示す。

*4：機器搬入口に対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S_d^{*1}			基準地震動 S_s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*2, *3 水平方向 設計震度 C_H		*2 鉛直方向 設計震度 C_V	*3, *4 水平方向 設計震度 C_H		*4 鉛直方向 設計震度 C_V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*5	Y方向*5	Z方向*5	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.34	2.34	—	4.41	4.41	—	1.0*6	—
EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76			
			0.63	0.63	0.24	—	—	—			

注記*1：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S_d に加えて静的震度を考慮する。

*2：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

*3：X方向とY方向の最大震度を示す。

*4：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度を示す。

*5：機器搬入口に対し、X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*6：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s
[Redacted]					

表 5-9 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	3.460×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	7.580×10 ¹¹

表 5-10 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s
[Redacted]		

表 5-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	3.460×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	7.580×10 ¹¹

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

機器搬入口の応力評価点は、機器搬入口を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 8 及び P 9 は既工認の各荷重による応力を比倍（圧力比，荷重比等）し評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ピン取付部
P 6 *	スイングボルト
P 7 *	ピン
P 8	機器搬入口円筒胴 (P 8-A~P 8-C)
P 9	機器搬入口本体と補強板との結合部 (P 9-A~P 9-C)

注記* : P 1 ~ P 7 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

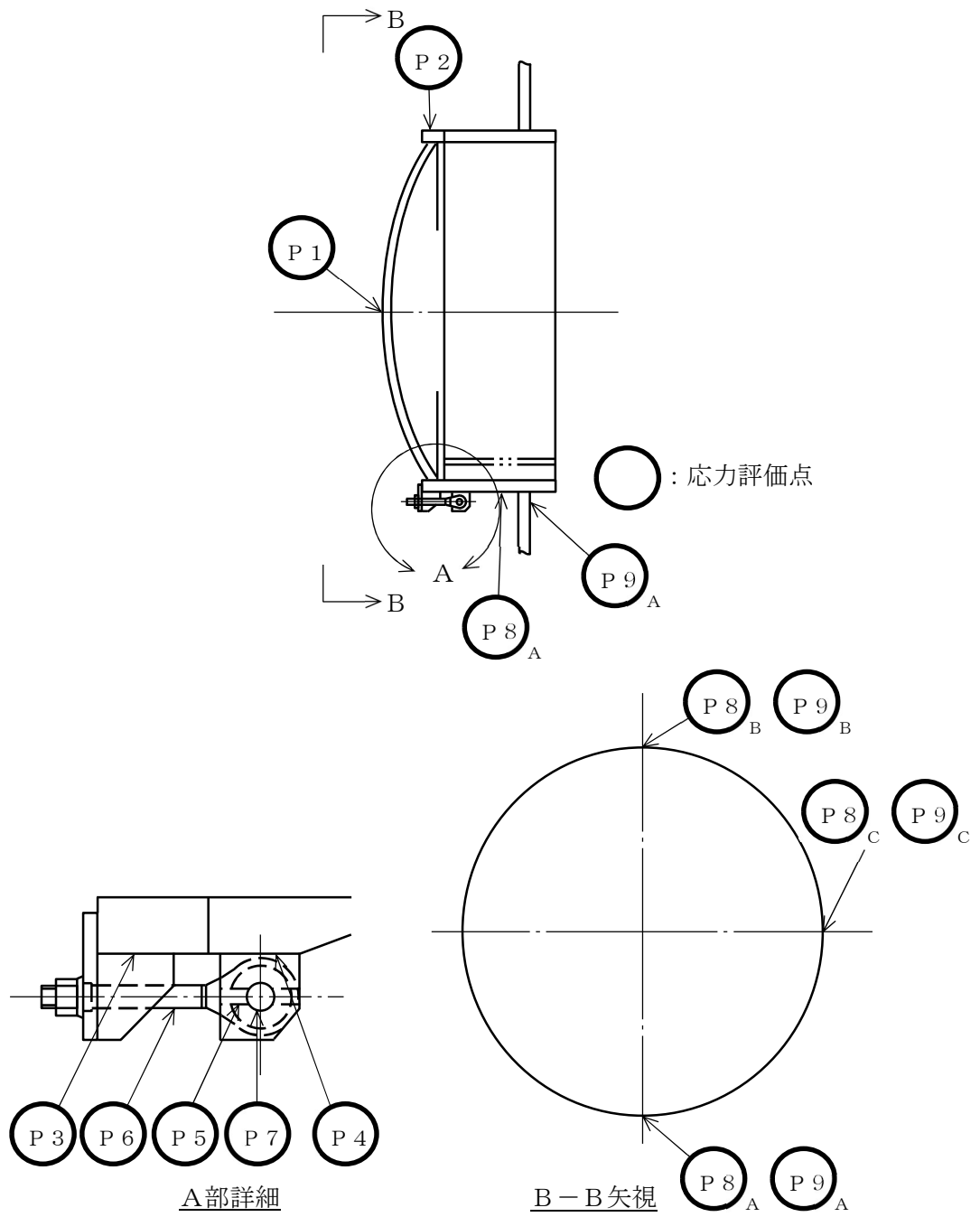


図 5-1 機器搬入口の応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

機器搬入口の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	5	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	5	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	5	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	5	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	8	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	344	○	(11)	
			一次+二次応力	16	393	○	(11)	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	61	495	○	(11)	
			一次+二次応力	244	501	○	(11)	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	52	495	○	(11)	
			一次+二次応力	216	501	○	(11)	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(11)	
			一次+二次応力	350	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(13)	
			一次+二次応力	12	393	○	(13)	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(13)	
			一次+二次応力	12	393	○	(13)	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	12	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	380	○	(13)	
			一次+二次応力	24	393	○	(13)	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	118	495	○	(13)	
			一次+二次応力	463	501	○	(13)	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	101	495	○	(13)	
			一次+二次応力	418	501	○	(13)	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	495	○	(13)	
			一次+二次応力	671	501	×*	(13)	
疲労評価			0.838	1.0	○	単位なし		

注記* : P 9 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	8	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	(17)	
			一次+二次応力	8	393	○	(17)	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	495	○	(17)	
			一次+二次応力	118	501	○	(17)	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(17)	
			一次+二次応力	102	501	○	(17)	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	495	○	(17)	
			一次+二次応力	146	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P9-C	671							0.838

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬入口の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_AS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L) -1	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	242	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	118	501	○	V (L) -1	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	239	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	102	501	○	V (L) -1	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	236	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	146	501	○	V (L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L L) -1	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	174	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	230	501	○	V (L L) -1	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	198	501	○	V (L L) -1	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	167	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	277	501	○	V (L L) -1	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-5 「機器搬入口の強度計算書」

VI-2-9-2-7 逃がし安全弁搬出ハッチの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25
7. 参照図書	28

図 表 目 次

図 2-1	逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価フロー	3
図 3-1	逃がし安全弁搬出ハッチの形状及び主要寸法	5
図 5-1	逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価点	19
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	使用材料表	6
表 4-1	固有周期（設計基準対象施設）	7
表 4-2	固有周期（重大事故等対処設備）	7
表 5-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	9
表 5-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	10
表 5-3	クラスMC容器の許容応力	11
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	12
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	12
表 5-6	設計用地震力（設計基準対象施設）	15
表 5-7	設計用地震力（重大事故等対処設備）	16
表 5-8	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-9	水平方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-10	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-11	水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-12	応力評価点	18
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A Sに対する評価結果（D+P+M+S _d *）	22
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A Sに対する評価結果（D+P+M+S _s ）	23
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A Sに対する評価結果（D+P _L +M _L +S _d *）	24
表 6-3(1)	許容応力状態Ⅴ _A Sに対する評価結果（D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d ）	26
表 6-3(2)	許容応力状態Ⅴ _A Sに対する評価結果（D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s ）	27

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、逃がし安全弁搬出ハッチが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

逃がし安全弁搬出ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による逃がし安全弁搬出ハッチの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

逃がし安全弁搬出ハッチの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>逃がし安全弁搬出ハッチはドライウエルに支持される。</p> <p>逃がし安全弁搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>逃がし安全弁搬出ハッチ</p> <p>ドライウエル</p> <p>シヤラグ</p> <p>原子炉建物</p> <p>原子炉建物基礎スラブ</p> <p>フランジ</p> <p>鏡板</p> <p>円筒胴</p> <p>逃がし安全弁搬出ハッチ 拡大図</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価フローを図2-1に示す。

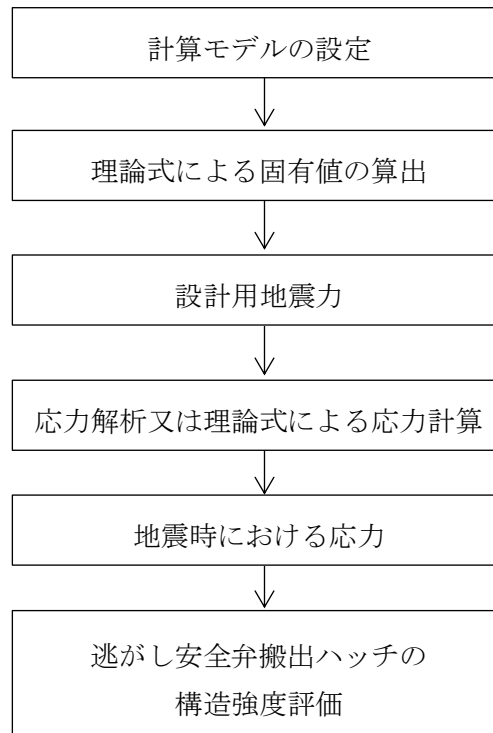


図2-1 逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

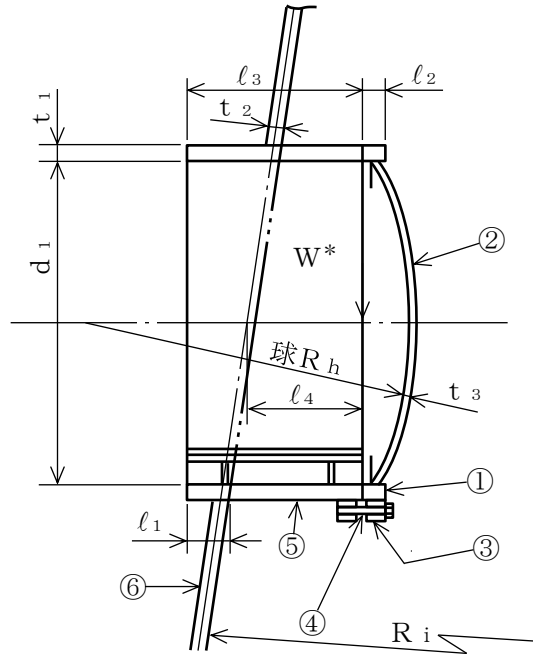
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_i	直径	mm
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R_h	半径	mm
R_i	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_m	設計応力強さ	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	荷重	—

3. 評価部位

逃がし安全弁搬出ハッチの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び使用部位を表3-1に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ① フランジ ② 鏡板 ③ ブラケット ④ ボルト ⑤ 円筒胴 ⑥ 補強板

$d_1 =$	<input type="text"/>	$t_1 =$	<input type="text"/>	$t_2 =$	<input type="text"/>	$t_3 =$	<input type="text"/>
$l_1 =$	<input type="text"/>	$l_2 =$	<input type="text"/>	$l_3 =$	<input type="text"/>	$l_4 =$	<input type="text"/>
$R_h =$	1900	$R_i =$	11400				

(単位 : mm)

図3-1 逃がし安全弁搬出ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	—

4. 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-1 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	□
水平方向（軸直角）	□
鉛直方向（軸直角）	□

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	□
水平方向（軸直角）	□
鉛直方向（軸直角）	□

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 逃がし安全弁搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて、既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁搬出ハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

逃がし安全弁搬出ハッチの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁搬出ハッチの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	逃がし安全弁搬出ハッチ	S	クラスMC容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ ^{*2}		許容応力状態 ^{*3}
原子炉格納施設	原子炉格納容器	逃がし安全弁搬出ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V_{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*1}	$3 \cdot S$ ^{*2} S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	^{*3, *4} S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*1}		
V _A S ^{*5}				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
逃がし安全弁搬出ハッチ	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
逃がし安全弁搬出ハッチ	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	131	248	453	—
	SPV50* ⁴	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 逃がし安全弁搬出ハッチの自重 N

(b) ドライウエルの自重

逃がし安全弁搬出ハッチより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

逃がし安全弁搬出ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの逃がし安全弁搬出ハッチ設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 逃がし安全弁搬出ハッチ

設計基準対象施設として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-8 に、水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 逃がし安全弁搬出ハッチ

重大事故等対処設備として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-10 に、水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			減衰定数(%)	
	水平方向		鉛直方向	*1, *2 水平方向 設計震度 C _H		*1 鉛直方向 設計震度 C _V	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*3 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*4	Y方向*4	Z方向*4	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器 EL	□	□	□	2.45	2.45	—	6.85	6.85	—	1.0*5	—
				1.00	1.00	0.63	3.49	3.49	1.21		
				0.86	0.86	0.29	—	—	—		

注記*1：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度を示す。

*4：逃がし安全弁搬出ハッチに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d *1			基準地震動 S s			減衰定数(%)	
	水平方向		鉛直方向	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*2 鉛直方向 設計震度 C _V	*3, *4 水平方向 設計震度 C _H		*4 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*5	Y方向*5	Z方向*5	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器 EL	□	□	□	2.45	2.45	—	6.85	6.85	—	1.0*6	—
				1.00	1.00	0.63	3.49	3.49	1.21		
				0.86	0.86	0.29	—	—	—		

注記*1：重大事故等対処設備の評価に対し，弾性設計用地震動 S d に加えて静的震度を考慮する。

*2：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

*3：X方向とY方向の最大震度を示す。

*4：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度を示す。

*5：逃がし安全弁搬出ハッチに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*6：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

(単位：N)

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 5-9 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d * による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.470×10 ⁷	1.880×10 ¹¹	5.650×10 ⁷	4.080×10 ¹¹

表 5-10 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 5-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d * による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.470×10 ⁷	1.880×10 ¹¹	5.650×10 ⁷	4.080×10 ¹¹

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価点は、逃がし安全弁搬出ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 6 及び P 7 は既工認の各荷重による応力を比倍（圧力比，荷重比等）し評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ボルトのねじ部
P 6	逃がし安全弁搬出ハッチ円筒胴 (P 6 - A ~ P 6 - C)
P 7	逃がし安全弁搬出ハッチ本体と補強板との結合部 (P 7 - A ~ P 7 - C)

注記* : P 1 ~ P 5 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。

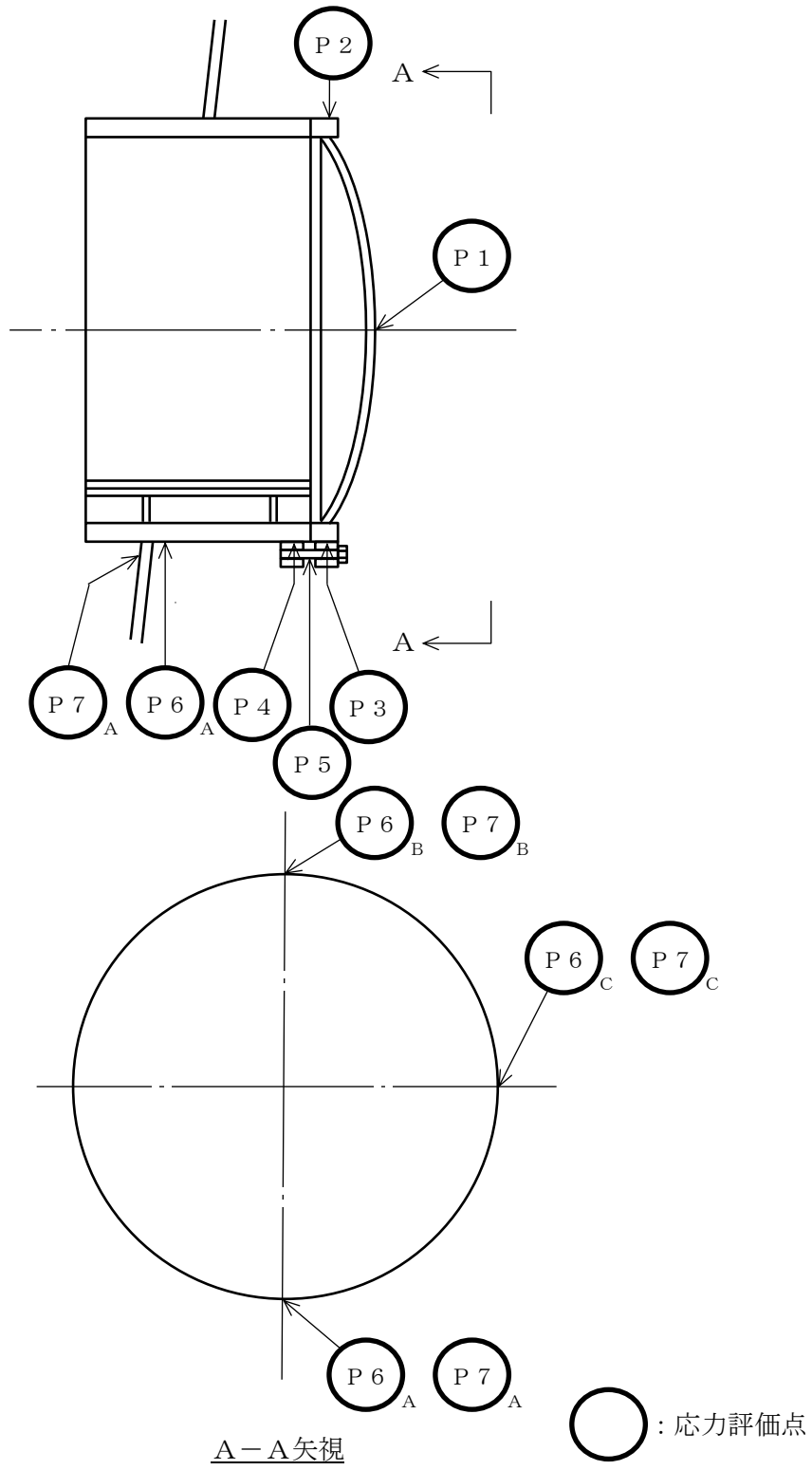


図 5-1 逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

逃がし安全弁搬出ハッチの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	4	393	○	(11)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	4	393	○	(11)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	495	○	(11)	
			一次+二次応力	130	501	○	(11)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	52	495	○	(11)	
			一次+二次応力	128	501	○	(11)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	54	495	○	(11)	
			一次+二次応力	163	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(13)	
			一次+二次応力	8	393	○	(13)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(13)	
			一次+二次応力	8	393	○	(13)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	8	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	(13)	
			一次+二次応力	16	393	○	(13)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	495	○	(13)	
			一次+二次応力	304	501	○	(13)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	111	495	○	(13)	
			一次+二次応力	306	501	○	(13)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	495	○	(13)	
			一次+二次応力	422	501	○	(13)	

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	3	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	3	380	○	(17)	
			一次+二次応力	2	393	○	(17)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	380	○	(17)	
			一次+二次応力	2	393	○	(17)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	83	495	○	(17)	
			一次+二次応力	100	501	○	(17)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(17)	
			一次+二次応力	104	501	○	(17)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(17)	
			一次+二次応力	126	501	○	(17)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

逃がし安全弁搬出ハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_AS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	2	393	○	V (L) -1	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	2	393	○	V (L) -1	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	140	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	100	501	○	V (L) -1	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	145	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	104	501	○	V (L) -1	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	143	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	126	501	○	V (L) -1	

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	7	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L L) -1	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	127	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	230	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	246	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	304	501	○	V (L L) -1	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-6「逃がし安全弁搬出ハッチの強度計算書」

VI-2-9-2-8 制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	27
7. 参照図書	32

図 表 目 次

図 2-1	制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価フロー	3
図 3-1	制御棒駆動機構搬出ハッチの形状及び主要寸法	5
図 5-1	制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価点	19
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	使用材料表	6
表 4-1	固有周期（設計基準対象施設）	7
表 4-2	固有周期（重大事故等対処設備）	7
表 5-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	9
表 5-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	10
表 5-3	クラスMC 容器の許容応力	11
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	12
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	12
表 5-6	設計用地震力（設計基準対象施設）	15
表 5-7	設計用地震力（重大事故等対処設備）	16
表 5-8	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-9	水平方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-10	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-11	水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-12	応力評価点	18
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _d *）	22
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _s ）	23
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P _L + M _L + S _d *）	25
表 6-3	許容応力状態Ⅳ _A S に対する疲労評価結果	26
表 6-4(1)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d ）	28
表 6-4(2)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s ）	29
表 6-5	許容応力状態Ⅴ _A S に対する疲労評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構搬出ハッチが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

制御棒駆動機構搬出ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による制御棒駆動機構搬出ハッチの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構搬出ハッチの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒駆動機構搬出ハッチはドライウエルに支持される。</p> <p>制御棒駆動機構搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価フローを図2-1に示す。

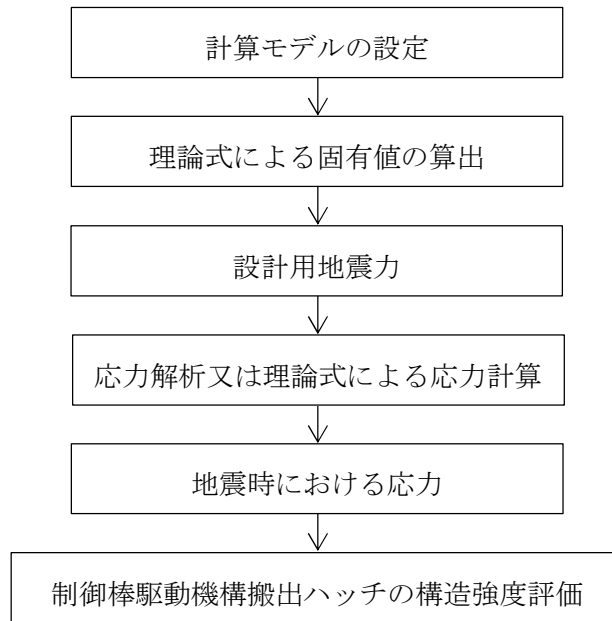


図2-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

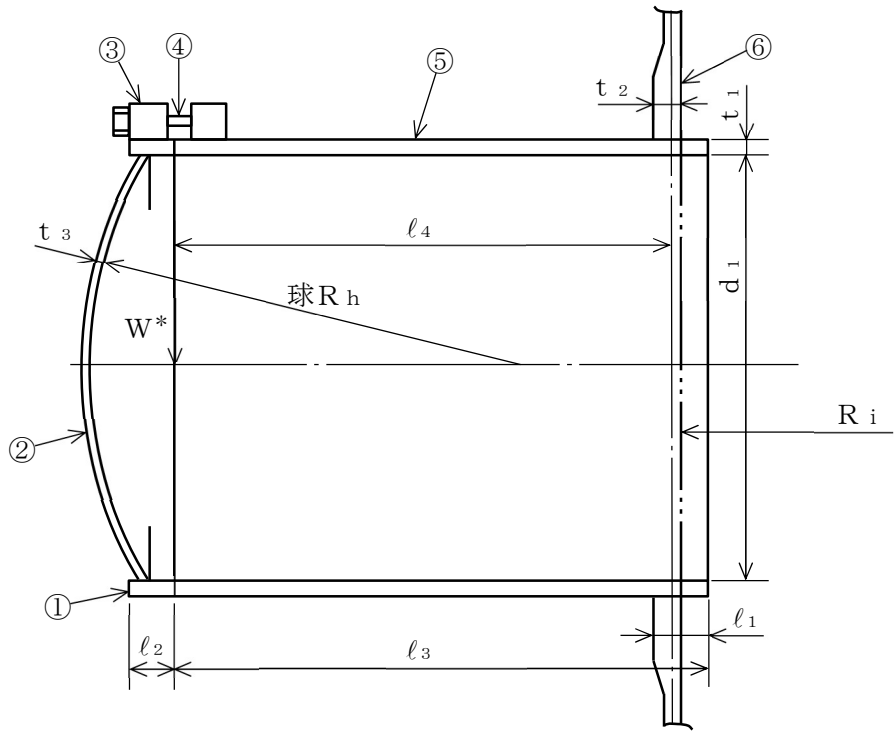
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_i	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R_h	半径	mm
R_i	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	荷重	—

3. 評価部位

制御棒駆動機構搬出ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ①フランジ ②鏡板 ③ブラケット ④ボルト
 ⑤円筒胴 ⑥補強板

$d_1 =$ <input type="text"/>	$t_1 =$ <input type="text"/>	$t_2 =$ <input type="text"/>	$t_3 =$ <input type="text"/>	$l_1 =$ <input type="text"/>
$l_2 =$ <input type="text"/>	$l_3 =$ <input type="text"/>	$l_4 =$ <input type="text"/>	$R_i = 11400$	$R_h = 1400$

(単位 : mm)

図 3-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	—

4. 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-1 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 制御棒駆動機構搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構搬出ハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

制御棒駆動機構搬出ハッチの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構搬出ハッチの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	S	クラスMC 容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*1}	$3 \cdot S$ ^{*2} S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	^{*3, *4} S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値 ^{*1}		
V _A S ^{*5}				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
制御棒駆動機構搬出ハッチ	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
制御棒駆動機構搬出ハッチ	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	131	248	453	—
	SPV50* ⁴	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 制御棒駆動機構搬出ハッチの自重 N

(b) ドライウエルの自重

制御棒駆動機構搬出ハッチより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

制御棒駆動機構搬出ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの制御棒駆動機構搬出ハッチ設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 制御棒駆動機構搬出ハッチ

設計基準対象施設として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。ここで、制御棒駆動機構搬出ハッチの評価においては、表 5-6 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-8 に、水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力





a. 制御棒駆動機構搬出ハッチ

重大事故等対処設備として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。ここで、制御棒駆動機構搬出ハッチの評価においては、表 5-7 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-10 に、水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*1, *2 水平方向 設計震度 C _H		*1 鉛直方向 設計震度 C _V	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*3 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*4	Y方向*4	Z方向*4	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.62	2.62	1.87	4.98	4.98	3.75	1.0*5	1.0*5
EL 				0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76		
				0.63	0.63	0.24	—	—	—		

注記*1：上段は設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度 (3.0・C_i及び1.0・C_v) を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：上段は設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度を示す。

*4：制御棒駆動機構搬出ハッチに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S_d^{*1}			基準地震動 S_s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*2, *3 水平方向 設計震度 C_H		*2 鉛直方向 設計震度 C_v	*3, *4 水平方向 設計震度 C_H		*4 鉛直方向 設計震度 C_v	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*5	Y方向*5	Z方向*5	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.62	2.62	1.87	4.98	4.98	3.75	1.0*6	1.0*6
EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76		
				0.63	0.63	0.24	—	—	—		

注記*1：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S_d に加えて静的震度を考慮する。

*2：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

*3：X方向とY方向の最大震度を示す。

*4：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度を示す。

*5：制御棒駆動機構搬出ハッチに対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*6：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時		燃料交換時			
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s
[Redacted]					

表 5-9 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	4.300×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	9.460×10 ¹¹

表 5-10 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s
[Redacted]		

表 5-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	4.300×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	9.460×10 ¹¹

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価点は、制御棒駆動機構搬出ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 6 及び P 7 は既工認の各荷重による応力を比倍（圧力比，荷重比等）し評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ボルト
P 6	制御棒駆動機構搬出ハッチ円筒胴 (P 6 - A ~ P 6 - C)
P 7	制御棒駆動機構搬出ハッチ本体と補強板 との結合部 (P 7 - A ~ P 7 - C)

注記*：P 1 ~ P 5 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

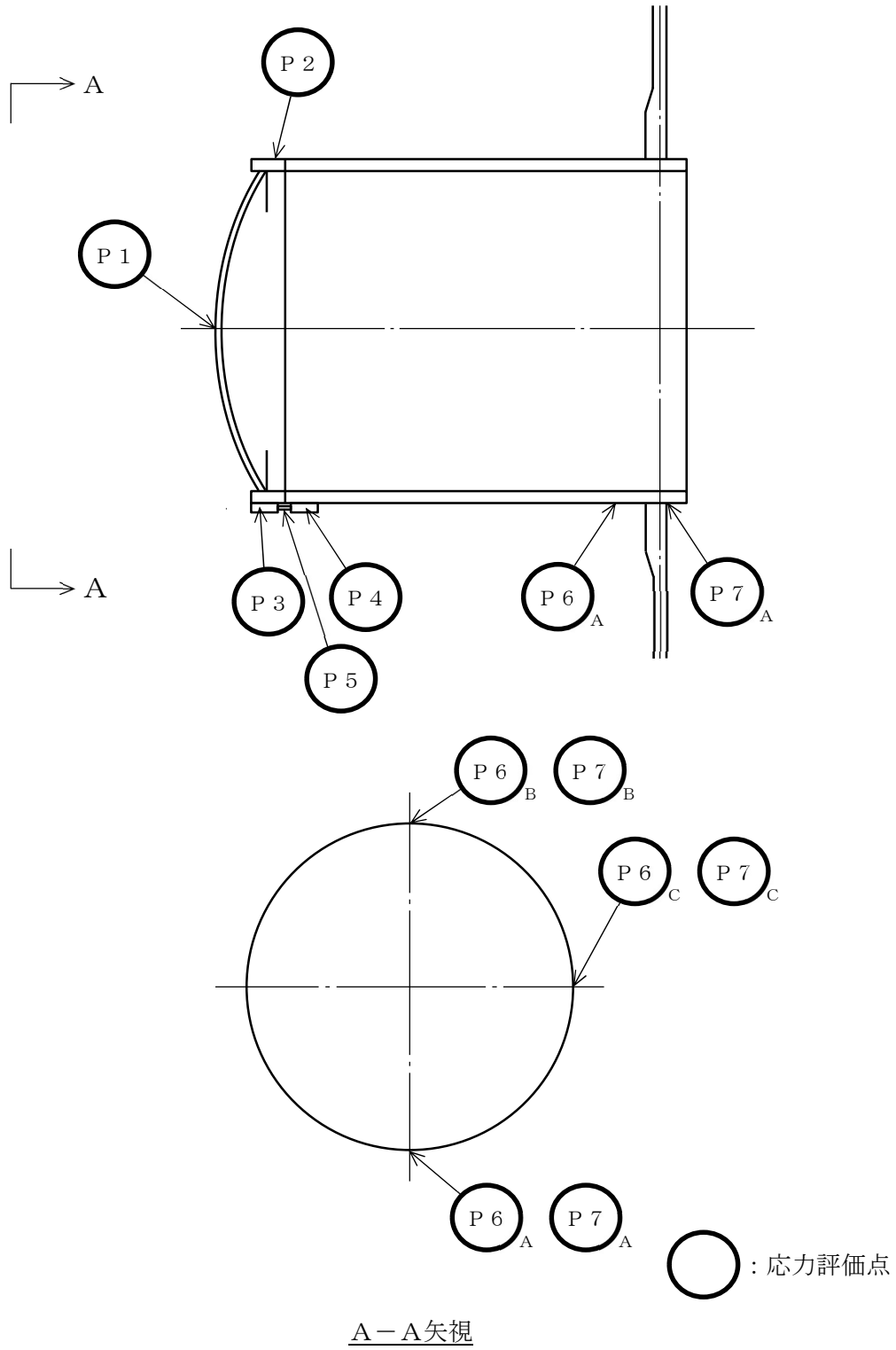


図 5-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構搬出ハッチの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	344	○	(11)	
			一次+二次応力	26	393	○	(10), (11)	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	229	○	(10), (11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	344	○	(10), (11)	
			一次+二次応力	26	393	○	(10), (11)	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	11	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	(11)	
			一次+二次応力	22	393	○	(11)	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	63	495	○	(11)	
			一次+二次応力	340	501	○	(11)	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	56	495	○	(11)	
			一次+二次応力	265	501	○	(11)	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	55	495	○	(11)	
一次+二次応力			367	501	○	(11)		

表 6-2(1) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P+M+S s) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P6-A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	31	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	31	380	○	(13)	
			一次+二次応力	55	393	○	(13)	
	P6-B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	31	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	31	380	○	(13)	
			一次+二次応力	55	393	○	(13)	
	P6-C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	19	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	19	380	○	(13)	
			一次+二次応力	38	393	○	(13)	

表 6-2(1) 許容応力状態Ⅳ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	119	495	○	(13)	
			一次+二次応力	663	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.798	1.0	○		単位なし
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	102	495	○	(13)	
			一次+二次応力	510	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.290	1.0	○		単位なし
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	99	495	○	(13)	
			一次+二次応力	673	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.843	1.0	○		単位なし

注記*：P 7 - A, P 7 - B及びP 7 - Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	380	○	(17)	
			一次+二次応力	26	393	○	(17)	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	380	○	(17)	
			一次+二次応力	26	393	○	(17)	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	11	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	380	○	(17)	
			一次+二次応力	18	393	○	(17)	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	145	495	○	(17)	
			一次+二次応力	295	501	○	(17)	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	147	495	○	(17)	
			一次+二次応力	222	501	○	(17)	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	130	495	○	(17)	
			一次+二次応力	322	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P7-A	663							0.798
P7-B	510							0.290
P7-C	673							0.843

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構搬出ハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて，設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため，一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-5 に示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	19	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	19	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	26	393	○	V (L) -1	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	18	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	26	393	○	V (L) -1	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	13	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	18	393	○	V (L) -1	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	257	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	295	501	○	V (L) -1	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	259	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	222	501	○	V (L) -1	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	241	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	322	501	○	V (L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	30	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	30	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	51	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	30	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	30	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	51	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	17	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	30	393	○	V (L L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	198	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	581	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.434	1.0	○		単位なし
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	426	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	170	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	606	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.518	1.0	○		単位なし

注記* : P 7 - A 及び P 7 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 7 - A	581							0.434
P 7 - C	606							0.518

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-7 「制御棒駆動機構搬出ハッチの強度計算書」

VI-2-9-2-10 所員用エアロックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
3. 評価部位	5
4. 固有周期	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26
7. 参照図書	30

図 表 目 次

図 2-1	所員用エアロックの耐震評価フロー	3
図 3-1	所員用エアロックの形状及び主要寸法	5
図 5-1	所員用エアロックの応力評価点	19
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	使用材料表	6
表 4-1	固有周期（設計基準対象施設）	7
表 4-2	固有周期（重大事故等対処設備）	7
表 5-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	9
表 5-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	10
表 5-3	クラスMC 容器の許容応力	11
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	12
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	12
表 5-6	設計用地震力（設計基準対象施設）	15
表 5-7	設計用地震力（重大事故等対処設備）	16
表 5-8	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-9	水平方向地震荷重（設計基準対象施設）	17
表 5-10	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-11	水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）	17
表 5-12	応力評価点	18
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _d *）	22
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _s ）	23
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P _L + M _L + S _d *）	24
表 6-3	許容応力状態Ⅳ _A S に対する疲労評価結果	25
表 6-4(1)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d ）	27
表 6-4(2)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s ）	28
表 6-5	許容応力状態Ⅴ _A S に対する疲労評価結果	29

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、所員用エアロックが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

所員用エアロックは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による所員用エアロックの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

所員用エアロックの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>所員用エアロックはドライウェルに支持される。</p> <p>所員用エアロックの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> ~ <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の扉等で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>所員用エアロック 拡大図 (単位：mm)</p>

2.2 評価方針

所員用エアロックの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

所員用エアロックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

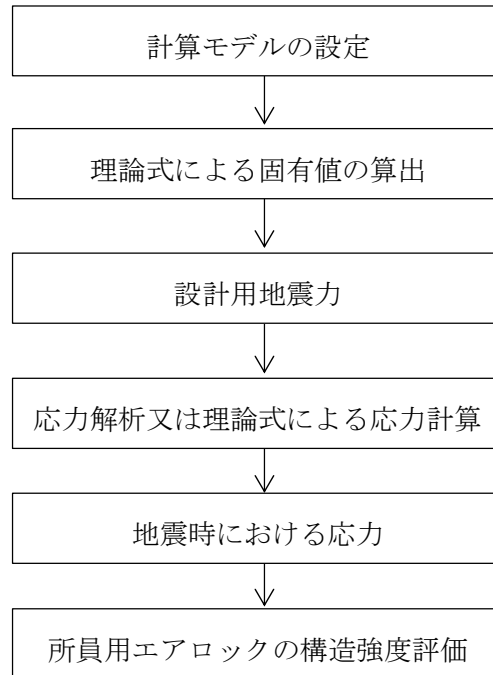


図 2-1 所員用エアロックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

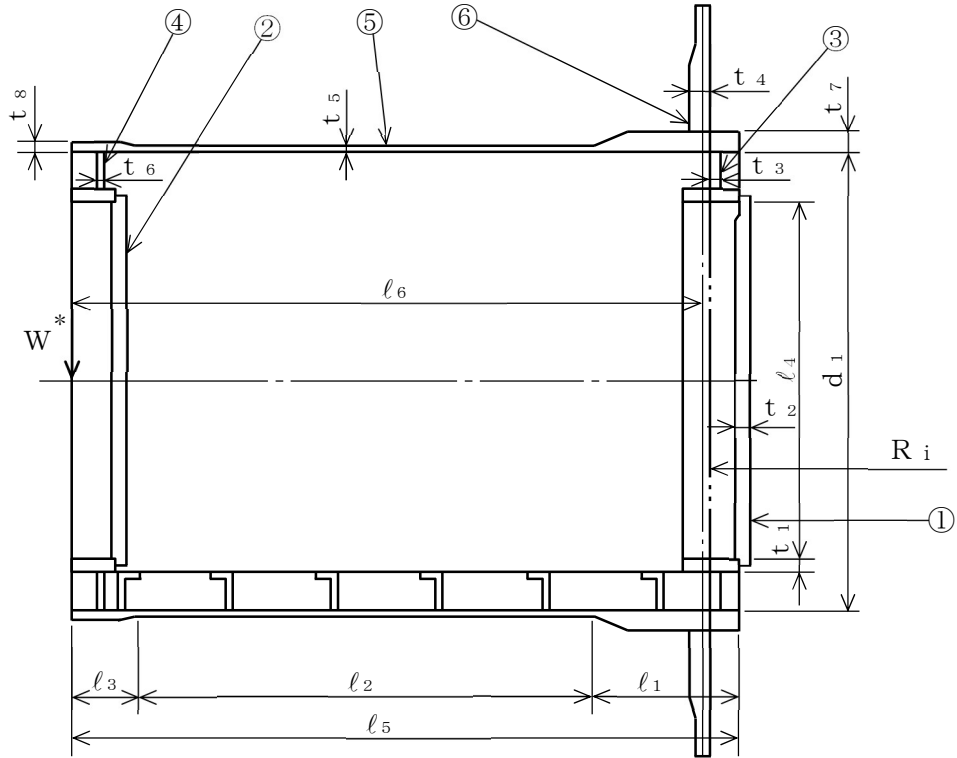
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_i	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l_i	長さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R_i	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
t_i	厚さ ($i = 1, 2, 3 \dots$)	mm
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	荷重	—

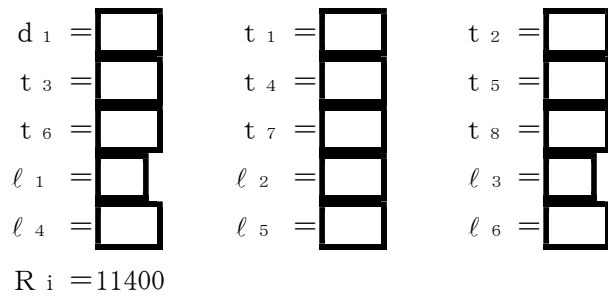
3. 評価部位

所員用エアロックの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-1 に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ① 内側扉 ② 外側扉 ③ 内側隔壁 ④ 外側隔壁 ⑤ 円筒胴 ⑥ 補強板



(単位 : mm)

図 3-1 所員用エアロックの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
内側扉	SGV49	SGV480 相当
外側扉	SGV49	SGV480 相当
内側隔壁	SGV49	SGV480 相当
外側隔壁	SGV49	SGV480 相当
垂直, 水平ビーム	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当

4. 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-1 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 所員用エアロックの水平方向地震荷重はシャラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

所員用エアロックの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

所員用エアロックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

所員用エアロックの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

所員用エアロックの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ* ¹		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S _d ** ²	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	$3 \cdot S$ * ²	* ³ , * ⁴ S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S* ⁵				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
所員用エアロック	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
所員用エアロック	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	131	248	453	—
	SPV50* ⁴	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 所員用エアロックの自重 N

(b) ドライウエルの自重

所員用エアロックより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

所員用エアロックより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6～表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの所員用エアロック設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 所員用エアロック

設計基準対象施設として所員用エアロックの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。ここで、所員用エアロックの評価においては、表 5-6 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として所員用エアロックの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-8 に、水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力





a. 所員用エアロック

重大事故等対処設備として所員用エアロックの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。ここで、所員用エアロックの評価においては、表 5-7 に記載の設計震度を上回る震度を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として所員用エアロックの応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 5-10 に、水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*1, *2 水平方向 設計震度 C _H		*1 鉛直方向 設計震度 C _V	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*3 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*4	Y方向*4	Z方向*4	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.43	2.43	2.11	4.09	4.09	4.37	1.0*5	1.0*5
EL				0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76		
				0.63	0.63	0.24	—	—	—		

注記*1：上段は設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度 (3.0・C_i及び1.0・C_v) を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：上段は設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度を示す。

*4：所員用エアロックに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S_d^{*1}			基準地震動 S_s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*2, *3 水平方向 設計震度 C_H		*2 鉛直方向 設計震度 C_V	*3, *4 水平方向 設計震度 C_H		*4 鉛直方向 設計震度 C_V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*5	Y方向*5	Z方向*5	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				2.43	2.43	2.11	4.09	4.09	4.37	1.0*6	1.0*6
EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.53	0.53	0.41	0.99	0.99	0.76			
			0.63	0.63	0.24	—	—	—			

注記*1：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S_d に加えて静的震度を考慮する。

*2：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ ）を示す。

*3：X方向とY方向の最大震度を示す。

*4：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度を示す。

*5：所員用エアロックに対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*6：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 5-8 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s
[Redacted]					

表 5-9 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	4.300×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	9.460×10 ¹¹

表 5-10 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s
[Redacted]		

表 5-11 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10 ⁷	4.300×10 ¹¹	6.100×10 ⁷	9.460×10 ¹¹

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

所員用エアロックの応力評価点は、所員用エアロックを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表5-12及び図5-1に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点P 1 1及びP 1 2は既工認の各荷重による応力を比倍（圧力比，荷重比等）し評価する。

表5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	内側扉
P 2 *	外側扉
P 3 *	内側隔壁板
P 4 *	内側隔壁垂直ビーム
P 5 *	内側隔壁上部水平ビーム
P 6 *	内側隔壁下部水平ビーム
P 7 *	外側隔壁板
P 8 *	外側隔壁垂直ビーム
P 9 *	外側隔壁上部水平ビーム
P 1 0 *	外側隔壁下部水平ビーム
P 1 1	所員用エアロック円筒胴 (P 1 1-A~P 1 1-C)
P 1 2	所員用エアロック本体と補強板との結合部 (P 1 2-A~P 1 2-C)

注記*：P 1 ~P 1 0については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

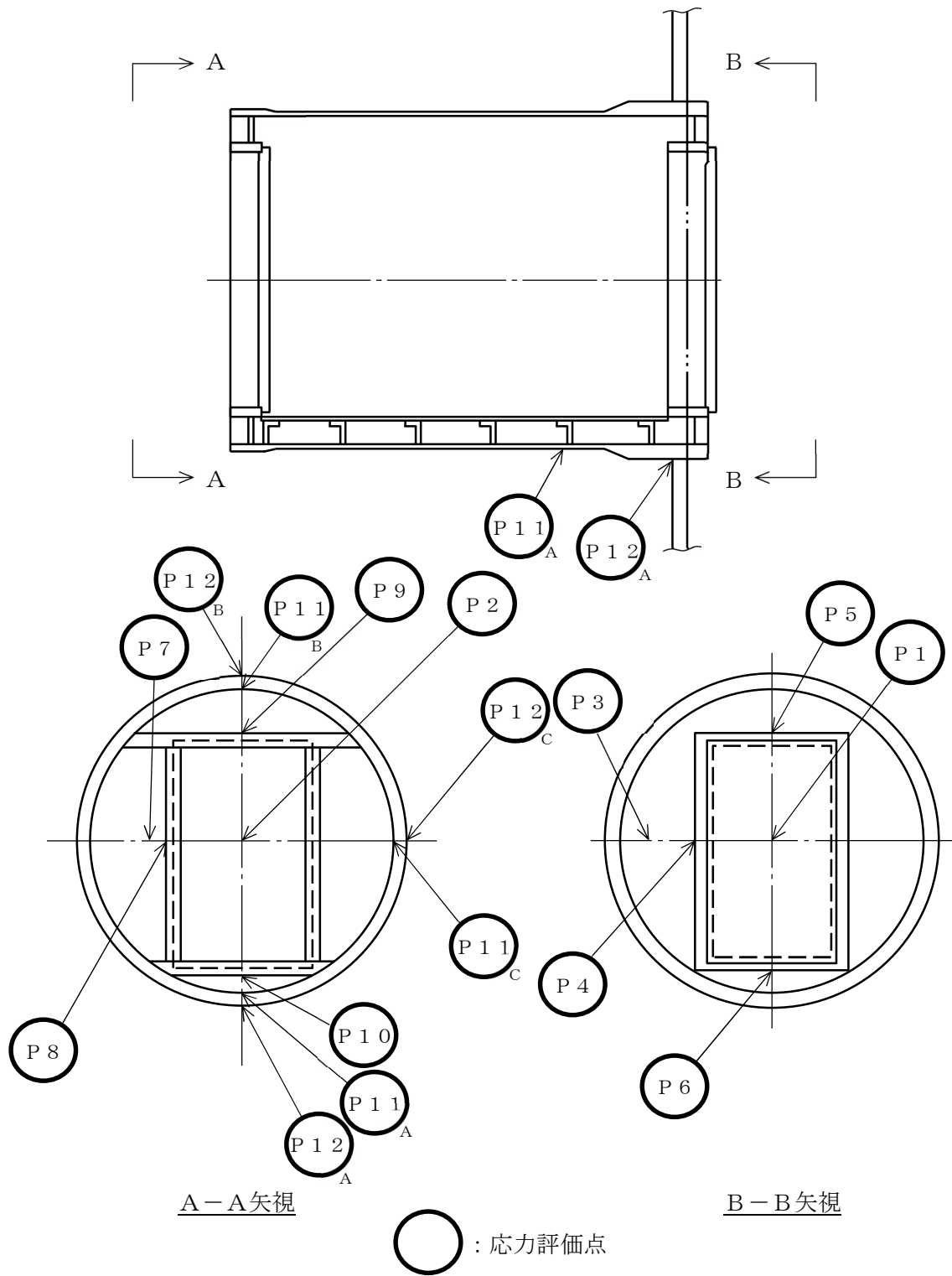


図 5-1 所員用エアロックの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

所員用エアロックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	344	○	(11)	
			一次+二次応力	65	393	○	(11)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	344	○	(11)	
			一次+二次応力	65	393	○	(11)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	27	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	27	344	○	(11)	
			一次+二次応力	53	393	○	(11)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	80	495	○	(11)	
			一次+二次応力	289	501	○	(11)	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	64	495	○	(11)	
			一次+二次応力	228	501	○	(11)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	495	○	(11)	
			一次+二次応力	399	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	73	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	380	○	(13)	
			一次+二次応力	126	393	○	(13)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	73	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	380	○	(13)	
			一次+二次応力	126	393	○	(13)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	44	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	44	380	○	(13)	
			一次+二次応力	87	393	○	(13)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	147	495	○	(13)	
			一次+二次応力	581	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.475	1.0	○		単位なし
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	123	495	○	(13)	
			一次+二次応力	455	501	○	(13)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(13)	
			一次+二次応力	685	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.909	1.0	○		単位なし

注記* : P 1 2 - A及びP 1 2 - Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	42	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	42	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	35	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	35	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	142	495	○	(17)	
			一次+二次応力	238	501	○	(17)	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	495	○	(17)	
			一次+二次応力	185	501	○	(17)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	138	495	○	(17)	
			一次+二次応力	344	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IV_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 2 - A	581	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.475
P 1 2 - C	685							0.909

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

所員用エアロックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-5 に示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象 設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	53	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	53	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	56	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	56	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	50	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	50	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	252	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	238	501	○	V (L) -1	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	269	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	185	501	○	V (L) -1	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	248	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	344	501	○	V (L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象 設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	64	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	64	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	85	393	○	V (L L) -1	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	66	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	66	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	85	393	○	V (L L) -1	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	51	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	51	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	71	393	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	208	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	479	501	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	213	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	369	501	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	595	501	×*	V (L L) -1	
疲労評価			0.477	1.0	○	単位なし		

注記* : P 1 2 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 2 - C	595							0.477

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-4「所員用エアロックの強度計算書」

VI-2-9-2-12 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 地震応答解析モデル及び諸元	13
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32

図 表 目 次

図 2-1	電気配線貫通部の耐震評価フロー	3
図 3-1	電気配線貫通部の形状及び主要寸法	6
図 4-1	電気配線貫通部の地震応答解析モデル (X-100A~D)	13
図 4-2	振動モード図 (設計基準対象施設)	15
図 4-3	振動モード図 (重大事故等対処設備)	16
図 4-4	電気配線貫通部の応力評価点	22
図 4-5	電気配線貫通部の応力解析モデル (X-100A~D)	24
表 2-1	構造計画	2
表 3-1	電気配線貫通部の主要寸法	6
表 3-2	使用材料表	6
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)	8
表 4-2	荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)	9
表 4-3	クラスMC 容器の許容応力	10
表 4-4	使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)	11
表 4-5	使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)	11
表 4-6	地震応答解析モデルの機器諸元	14
表 4-7	固有周期 (設計基準対象施設)	15
表 4-8	固有周期 (重大事故等対処設備)	16
表 4-9	設計用地震力 (設計基準対象施設)	18
表 4-10	原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位 (設計基準対象施設)	19
表 4-11	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重 (設計基準対象施設)	19
表 4-12	水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)	19
表 4-13	設計用地震力 (重大事故等対処設備)	20
表 4-14	原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位 (重大事故等対処設備)	21
表 4-15	鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重 (重大事故等対処設備)	21
表 4-16	水平方向地震荷重 (重大事故等対処設備)	21
表 4-17	応力評価点	22
表 4-18	応力解析モデルの機器諸元	25
表 5-1	許容応力状態Ⅲ _{A S} に対する評価結果 (D + P + M + S _d *)	28
表 5-2(1)	許容応力状態Ⅳ _{A S} に対する評価結果 (D + P + M + S _s)	29
表 5-2(2)	許容応力状態Ⅳ _{A S} に対する評価結果 (D + P _L + M _L + S _d *)	30
表 5-3	許容応力状態Ⅳ _{A S} に対する疲労評価結果	31
表 5-4(1)	許容応力状態Ⅴ _{A S} に対する評価結果 (D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d)	33
表 5-4(2)	許容応力状態Ⅴ _{A S} に対する評価結果 (D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s)	34
表 5-5	許容応力状態Ⅴ _{A S} に対する疲労評価結果	35

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、電気配線貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

電気配線貫通部は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

電気配線貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>電気配線貫通部はドライウエルに支持される。</p> <p>電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>円筒形スリーブ、アダプタ及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

電気配線貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

電気配線貫通部の耐震評価フローを図2-1に示す。

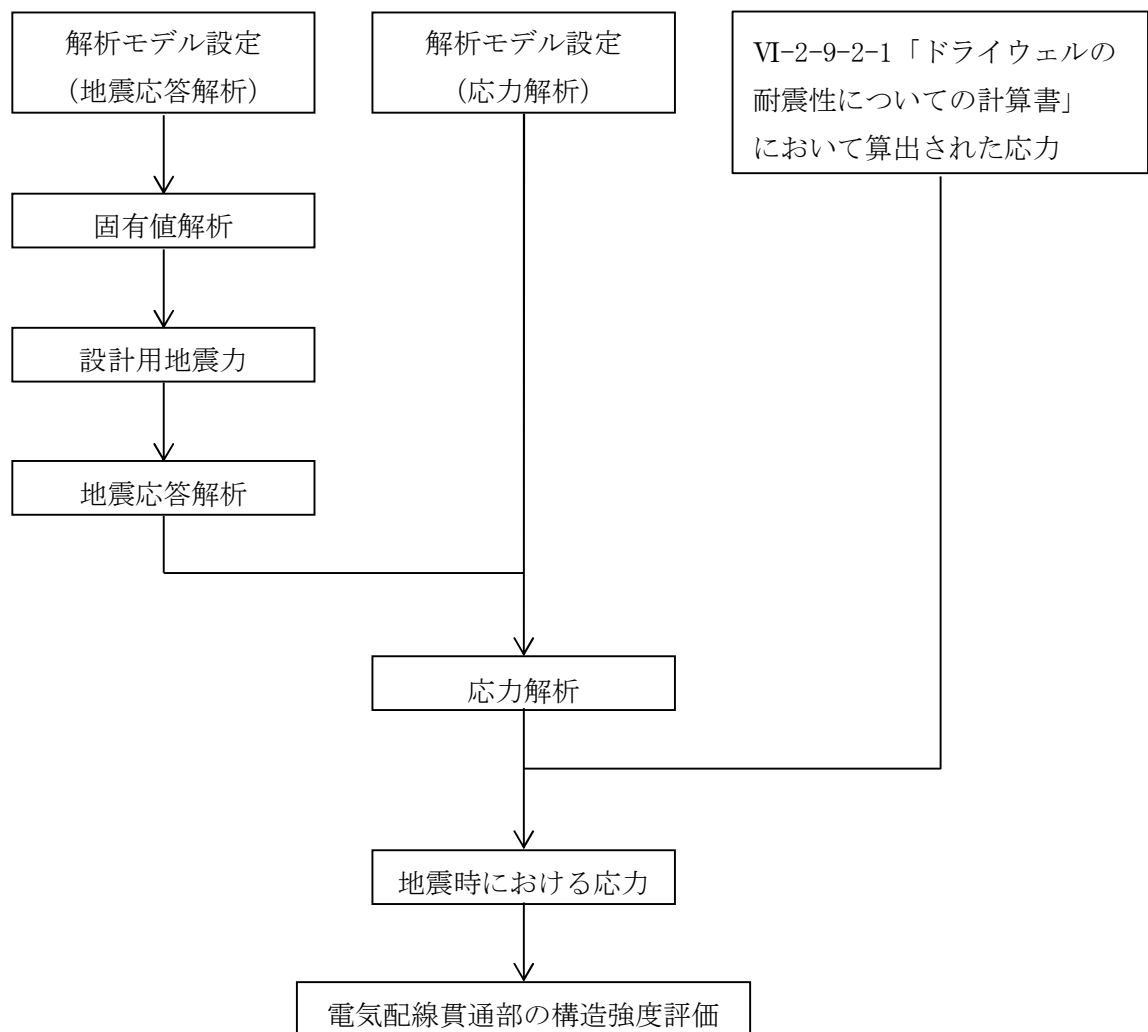


図2-1 電気配線貫通部の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_o	外径	mm
d_i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
L_i	長さ ($i = 1, 2$)	mm
m_o	質量	kg
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
ν	ポアソン比	—

3. 評価部位

電気配線貫通部の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

なお、電気配線貫通部のうち口径が最大である X-100A~D の形状及び寸法にて構造強度評価を行う。

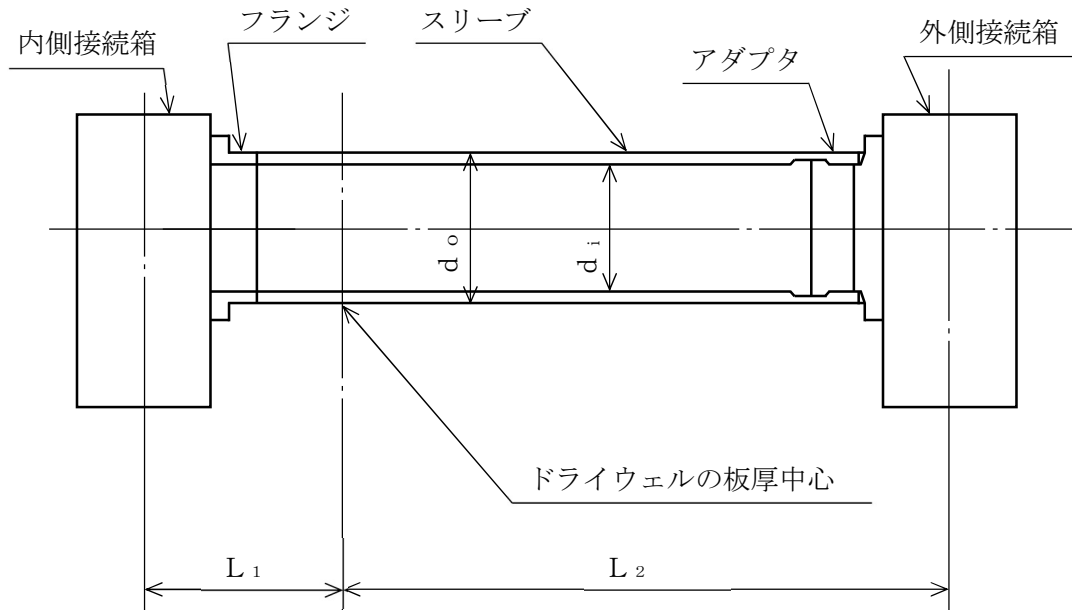


図 3-1 電気配線貫通部の形状及び主要寸法

表 3-1 電気配線貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部 番号	d_o	d_i	L_1	L_2
X-100A~D				

表 3-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ドライウェル	SPV50	SPV490 相当
アダプタ	STS42	STS410 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

電気配線貫通部の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重及び相対変位を用いて構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

電気配線貫通部の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

電気配線貫通部の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

電気配線貫通部の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(17)	Ⅳ _A S

8

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V_{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	$3 \cdot S$ * ²	* ³ , * ⁴ S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の 1.5倍の値* ¹	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S* ⁵				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50*	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*：SPV490 相当

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SPV490 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧） 327 kPa

外圧 14 kPa

温度（最高使用温度） 171 °C

b. ドライウエルの自重

電気配線貫通部より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 電気配線貫通部の自重

「4.6.1 応力評価点」の応力評価点に作用する電気配線貫通部の自重による鉛直荷重は、以下のとおりとする。

鉛直荷重 N・mm

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL} 660 kPa（SA後長期）

内圧 P_{SALL} 380 kPa（SA後長々期）

温度 T_{SAL} 200 °C（SA後長期）

温度 T_{SALL} 70 °C（SA後長々期）

4.3 地震応答解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての地震応答解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、スリーブ（内部ケーブル含む）及び接続箱の質量を考慮して固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモード解析法を用いる。

地震応答解析モデルの概要を以下に示す。

- a. 電気配線貫通部は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。地震応答解析モデルを図4-1に、機器の諸元について表4-6に示す。
- b. 質量は、接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定する。

c.



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

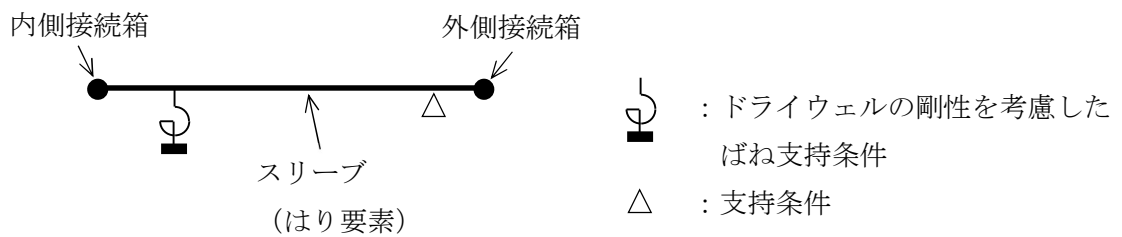


図4-1 電気配線貫通部の地震応答解析モデル (X-100A～D)

表 4-6 地震応答解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
質量	m_0	kg	
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-7 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-8 に、振動モード図を図 4-3 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9～表 4-16 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの電気配線貫通部設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 電気配線貫通部

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-9 に、地震による相対変位を表 4-10 に示す。ここで、電気配線貫通部の評価においては、表 4-9 に記載の設計震度及び表 4-10 に記載の相対変位を上回る震度及び相対変位を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-11 に、水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。ここで、電気配線貫通部の評価においては、表 4-11 及び表 4-12 に記載の地震荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 電気配線貫通部

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-13 に、地震による相対変位を表 4-14 に示す。ここで、電気配線貫通部の評価においては、表 4-13 に記載の設計震度及び表 4-14 に記載の相対変位を上回る震度及び相対変位を用いて評価を実施する。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-15 に、水平方向地震荷重を表 4-16 に示す。ここで、電気配線貫通部の評価においては、表 4-15 及び表 4-16 に記載の地震荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*1, *2 水平方向 設計震度 C _H		*1 鉛直方向 設計震度 C _V	*2, *3 水平方向 設計震度 C _H		*3 鉛直方向 設計震度 C _V	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*4	Y方向*4	Z方向*4	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				—	—	1.46	—	—	2.84	—	1.0*5
EL	□	□	□	0.60	0.60	0.48	1.18	1.18	0.88		
				0.66	0.66	0.29	—	—	—		

注記*1：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度を示す。

*4：電気配線貫通部に対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*5：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 4-10 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（設計基準対象施設）

（単位：mm）

弾性設計用地震動 S_d^* による 水平方向相対変位 ^{*1, *2}	基準地震動 S_s による 水平方向相対変位 ^{*1, *2}
1.8	3.1

注記*1：相対変位量の絶対値を示す。

*2：相対変位による設計荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

表 4-11 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S_d^*	S_s		S_d^*	S_s

表 4-12 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d^* による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.740×10^7	4.780×10^{11}	6.270×10^7	1.060×10^{12}

表 4-13 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S_d^{*1}			基準地震動 S_s			減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	*2, *3 水平方向 設計震度 C_H		*2 鉛直方向 設計震度 C_v	*3, *4 水平方向 設計震度 C_H		*4 鉛直方向 設計震度 C_v	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*5	Y方向*5	Z方向*5	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
原子炉 格納容器				—	—	1.46	—	—	2.84	—	1.0*6
EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.60	0.60	0.48	1.18	1.18	0.88			
			0.66	0.66	0.29	—	—	—			

注記*1：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S_d に加えて静的震度を考慮する。

*2：上段は設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）又はこれを上回る設計震度，下段は静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

*3：X方向とY方向の最大震度を示す。

*4：上段は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度，中段は設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度を示す。

*5：電気配線貫通部に対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*6：溶接構造物に適用される減衰定数の値。

表 4-14 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（重大事故等対処設備）

（単位：mm）

弾性設計用地震動 S d *による 水平方向相対変位*1, *2, *3	基準地震動 S s による 水平方向相対変位*1, *3
1.8	3.1

注記*1：相対変位量の絶対値を示す。

*2：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S d に加えて静的変位を考慮する。

*3：相対変位による設計荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

表 4-15 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

鉛直荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 4-16 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d * による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.740×10^7	4.780×10^{11}	6.270×10^7	1.060×10^{12}

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

電気配線貫通部の応力評価点は、電気配線貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-17 及び図 4-4 に示す。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ドライウエルとスリーブとの結合部 (P 1-A~P 1-C)

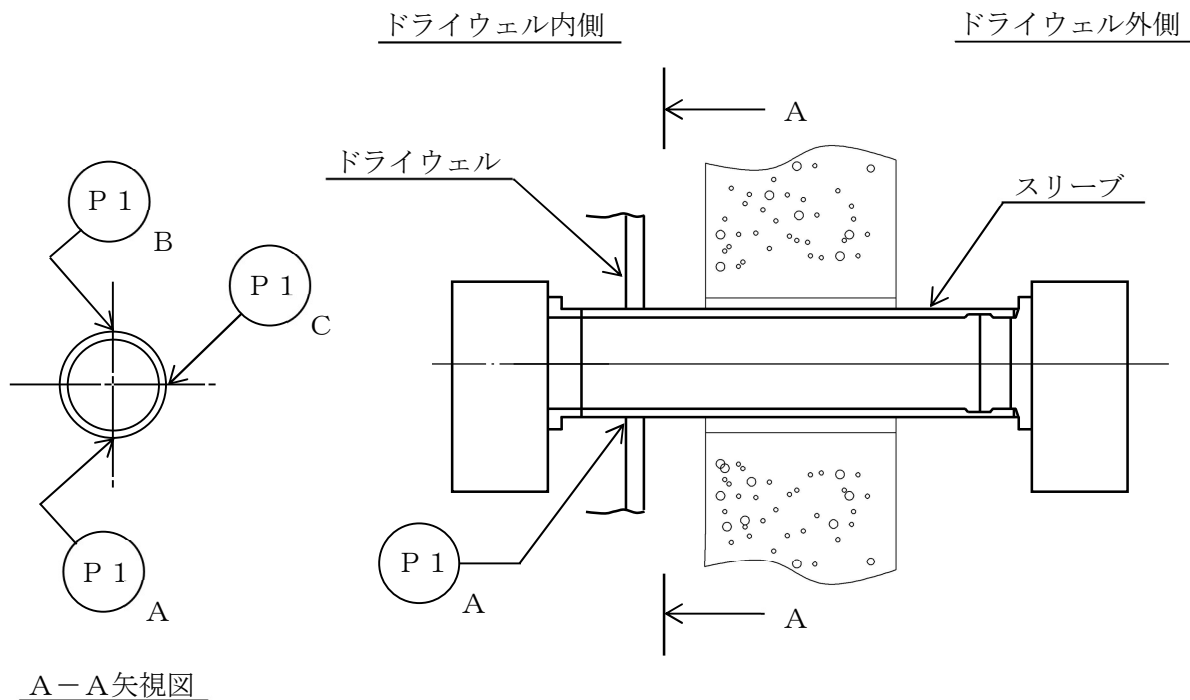


図 4-4 電気配線貫通部の応力評価点

4.6.2 応力解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての応力解析モデル

設計基準対象施設としての評価における，電気配線貫通部の応力解析モデルの概要を以下に示す。

a. 電気配線貫通部の応力解析モデルは，3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

応力解析モデルを図4-5に，機器の諸元について表4-18に示す。

b. 電気配線貫通部の自重及び地震荷重に対し，電気配線貫通部先端に単位荷重を負荷する。

c.



d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し，応力を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての応力解析モデル

重大事故等対処設備としての応力解析モデル及び諸元は，設計基準対象施設と同じとする。

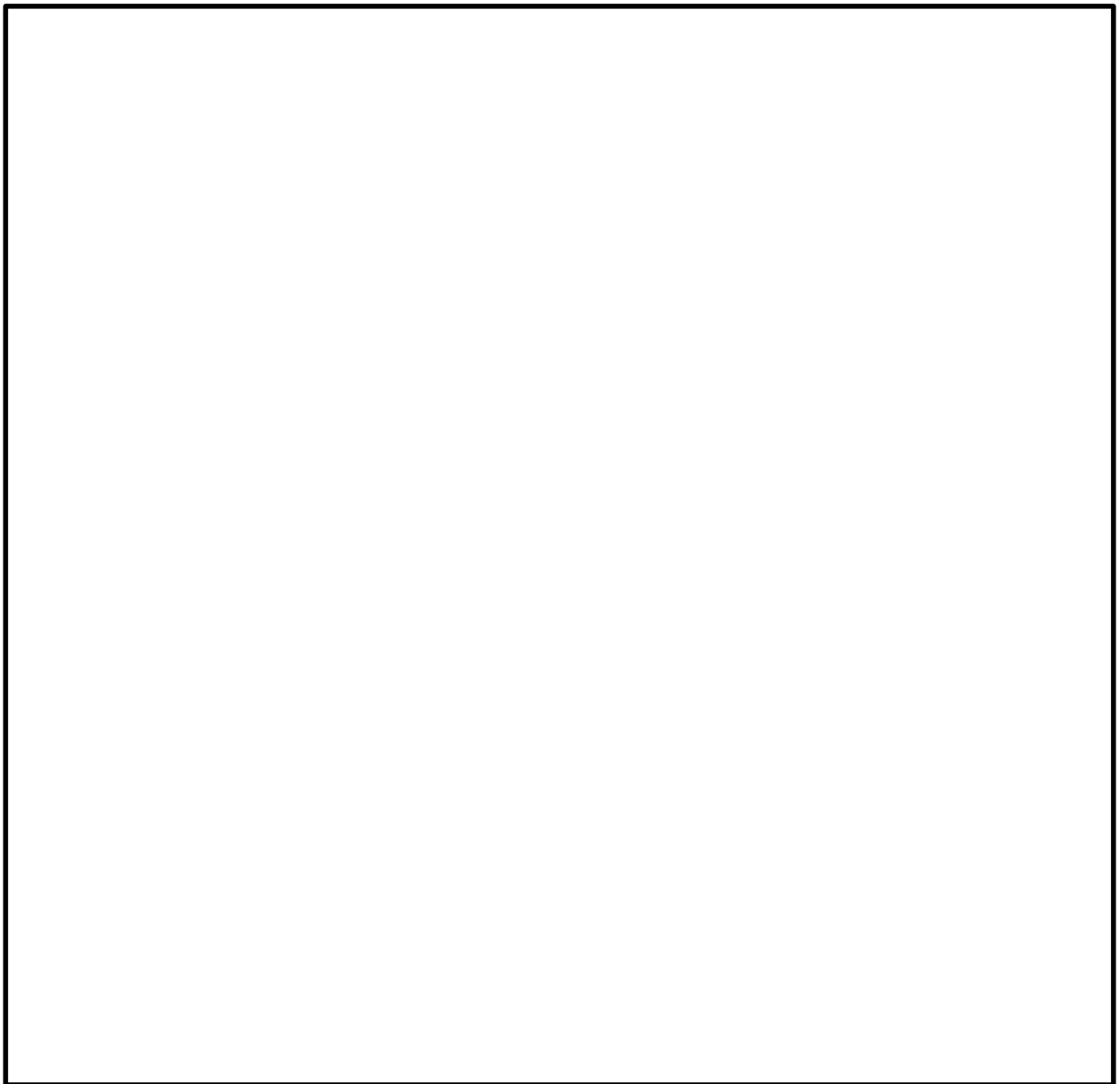


図 4-5 電気配線貫通部の応力解析モデル (X-100A~D)

表 4-18 応力解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50 (SPV490相当) STS42 (STS410相当)
質量	m _o	kg	—*
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記*：単位荷重による解析のため，質量は定義不要。

4.6.3 応力計算方法

電気配線貫通部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. 電気配線貫通部に作用する荷重による応力

電気配線貫通部に作用する自重及び地震荷重による応力を 4.6.2 項の応力解析モデルにて算出する。

b. ドライウエルに作用する荷重による応力

ドライウエルに作用する圧力，自重及び地震荷重による応力は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」において算出された応力を用いる。

c. 応力の組合せ

応力評価点 P 1 の応力は，a. 項で求めた電気配線貫通部に作用する荷重による応力と，b. 項で求めたドライウエルに作用する荷重による応力を組み合わせることで算出する。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は，設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を，「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし，一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は，設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

電気配線貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	82	495	○	(11)	
			一次+二次応力	350	501	○	(10), (11)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	91	495	○	(11)	
			一次+二次応力	346	501	○	(10), (11)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	85	495	○	(11)	
			一次+二次応力	222	501	○	(11)	

表 5-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	161	495	○	(13)	
			一次+二次応力	684	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.708	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	495	○	(13)	
			一次+二次応力	682	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.705	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	163	495	○	(13)	
			一次+二次応力	446	501	○	(13)	

注記* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	495	○	(17)	
			一次+二次応力	350	501	○	(17)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(17)	
			一次+二次応力	346	501	○	(17)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	495	○	(17)	
			一次+二次応力	216	501	○	(17)	

表 5-3 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 - A	684							0.708
P 1 - B	682							0.705

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-5 に示す。

表 5-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	350	501	○	V (L) -1	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	212	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	346	501	○	V (L) -1	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	191	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	216	501	○	V (L) -1	

表 5-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	684	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.647	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	682	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.644	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	159	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	436	501	○	V (L L) -1	

注記* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 - A	684	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.647
P 1 - B	682							0.644

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

VI-2-9-3 原子炉建物の耐震性についての計算書

VI-2-9-3-2 原子炉建物機器搬出入口の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	固有周期	8
3.1	固有周期の計算方法	8
3.1.1	水平方向	8
3.1.2	鉛直方向	9
3.2	固有周期の計算条件	10
3.3	固有周期の計算結果	11
4.	構造強度評価	12
4.1	評価対象部位	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.2.1	耐震評価上考慮する荷重	15
4.2.2	荷重の設定	16
4.3	許容限界	18
4.3.1	使用材料	18
4.3.2	許容限界	19
4.4	計算方法	20
4.4.1	荷重計算方法	20
4.4.2	応力評価	27
4.5	計算条件	29
5.	評価結果	31

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物機器搬出入口の扉（以下「機器搬出入扉」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

機器搬出入扉は、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

機器搬出入扉の設置位置を図2-1に示す。

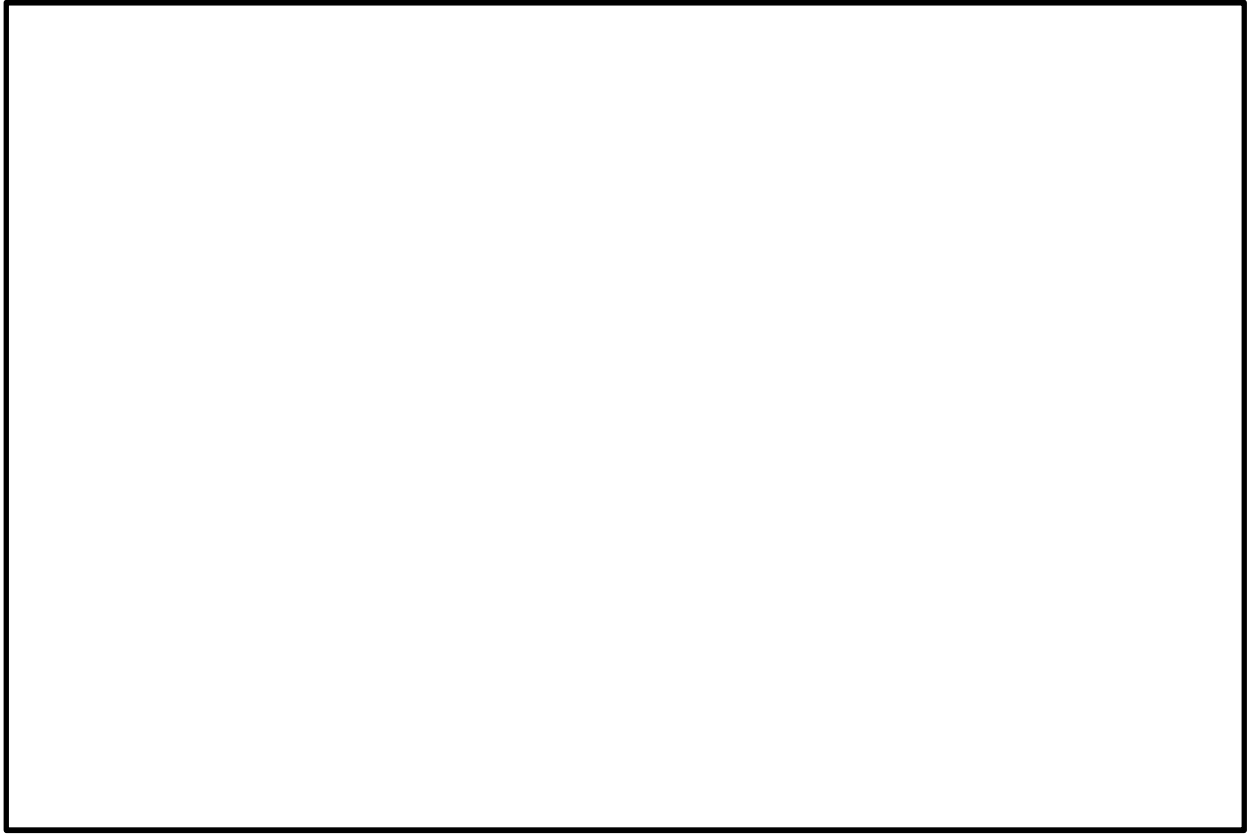
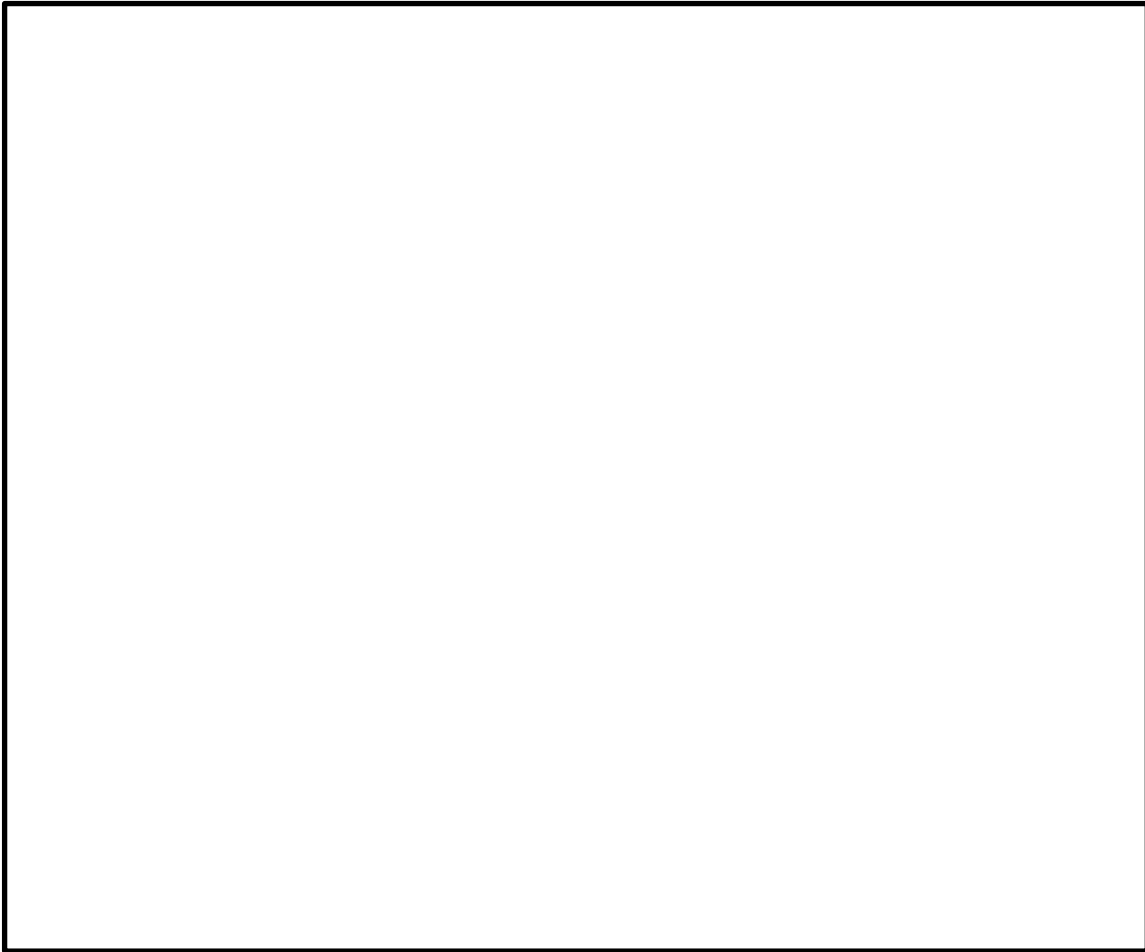


図 2-1 設置位置図 (EL 15.3m)

2.2 構造概要

機器搬出入扉の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画構造	
支持構造	主体構造
<p>大扉の扉開放時は、ヒンジにより大扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、大扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、大扉と扉枠を一体化する構造とする。また、扉枠を周辺躯体にアンカーボルトで固定する構造とする。くぐり戸の扉開放時は、ヒンジによりくぐり戸が大扉に固定され、扉閉止時においては、くぐり戸に配したカンヌキを大扉内のカンヌキ受けに差し込むことにより、大扉に一体化する構造とする。</p>	<p>大扉は片開型の鋼製扉とし、扉板に芯材を取り付け、大扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、大扉と扉枠を一体化させる構造とする。くぐり戸は片開型の鋼製扉とし、くぐり戸に設置されたくぐり戸用カンヌキを大扉に設置されたカンヌキ受けに差し込み、くぐり戸と大扉を一体化させる構造とする。また、大扉と建物躯体及びくぐり戸と大扉の接続はヒンジを介する構造とする。</p>
概略構造図	
	

2.3 評価方針

機器搬出入扉の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造概要」にて示す機器搬出入扉の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、設計用地震力により生じる応力度が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

機器搬出入扉の耐震評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては、材料物性の不確かさを考慮する。

機器搬出入扉の耐震評価フローを図2-2に示す。

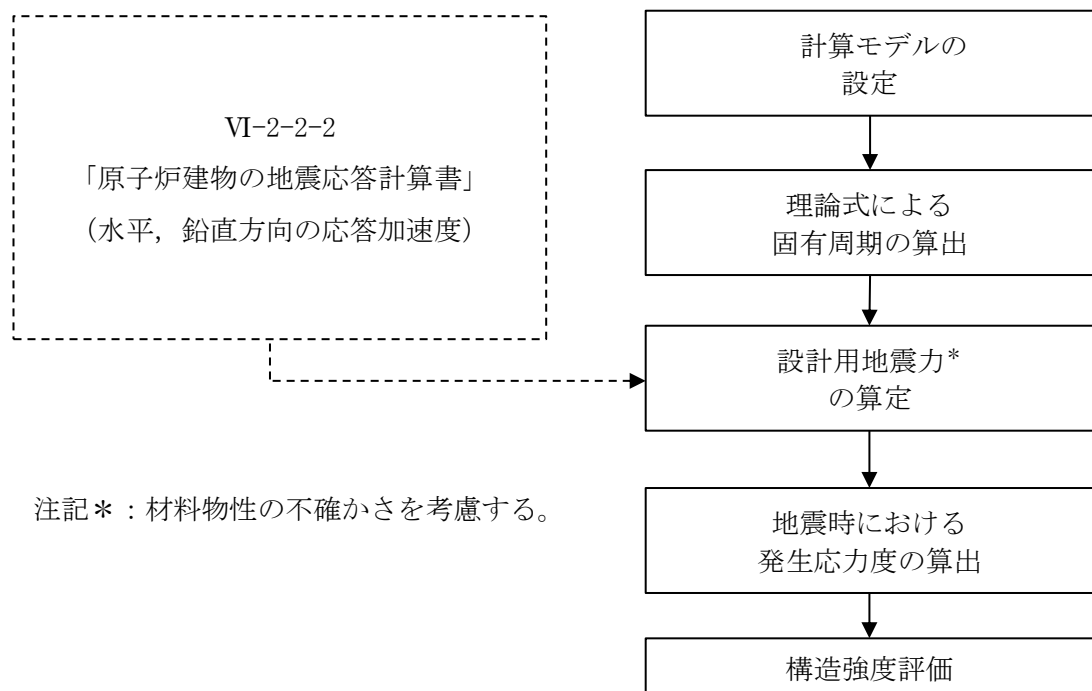


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- (4) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) J I S B 1 0 5 4－1－2013 耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質
- (8) 構造力学公式集（土木学会）

2.5 記号の説明

機器搬出入扉の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 耐震評価に用いる記号

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	f	機器搬出入扉の 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	mm ⁴	
	ℓ	モデル化に用いる芯材の長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _x	扉体自重	kN	
	W ₁	扉体幅	mm	
	H ₁	扉体高	mm	
	P _{N1}	圧力荷重 (内圧)	kN/m ²	
	P _{N2}	圧力荷重 (外圧)	kN/m ²	
ヒンジ部	共通	L _j	ヒンジ間距離	mm
		L _r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L _t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R _r	扉体幅方向自重反力	N
		R _t	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ アーム	A ₁	ヒンジアームの断面積	mm ²
		T ₁	ヒンジアームの引張力	N
		L ₁	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M ₁	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q ₁	ヒンジアームのせん断力	N
		Z ₁	ヒンジアームの断面係数	mm ³
		σ _{t1}	ヒンジアームの引張応力度	N/mm ²
		σ _{b1}	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x1}	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm ²
		τ ₁	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm ²

表 2-2(2) 耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジ ピン	A_2	ヒンジピンの断面積	mm^2
		A_2'	ヒンジピンの受圧面積	mm^2
		L_2	ヒンジピンの軸支持間距離	mm
		N_2	ヒンジピンの圧縮力	N
		M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
		Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm^3
		σ_{c2}	ヒンジピンの圧縮応力度	N/mm^2
		σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x2}	ヒンジピンの組合せ応力度	N/mm^2
	τ_2	ヒンジピンのせん断応力度	N/mm^2	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
		n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
		T_3	ヒンジボルトの引張力	N
		Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
		σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力度	N/mm^2
	τ_3	ヒンジボルトのせん断応力度	N/mm^2	
カンヌキ部	共通	F_H'	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	A_4	カンヌキの断面積	mm^2
		L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
		M_4	カンヌキの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		n	カンヌキの本数	本
		Q_4	カンヌキのせん断力	N
		Z_4	カンヌキの断面係数	mm^3
		σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x4}	カンヌキの組合せ応力度	N/mm^2
	τ_4	カンヌキのせん断応力度	N/mm^2	

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式により計算する。機器搬出入扉は、ヒンジ及びカンヌキにより扉と扉枠を固定する構造であることから扉閉止時の大扉については両端固定はり、くぐり戸は四辺支持の長方形板に、扉開放時については、ヒンジ、自由端はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは扉高さとする。

ここで、固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉体面内方向）については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいので、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する機器搬出入扉（大扉）については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する機器搬出入扉（くぐり戸）については扉板とする。なお、扉開放時は芯材の有無に関わらず同一の評価式を用いる。扉閉止時及び扉開放時の固有値計算モデルを図3-1及び図3-2に示す。

3.1.1 水平方向

(1) 扉閉止時

a. 両端固定はりモデル（大扉：芯材をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

b. 四辺支持の長方形板モデル（くぐり戸：扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{2b^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

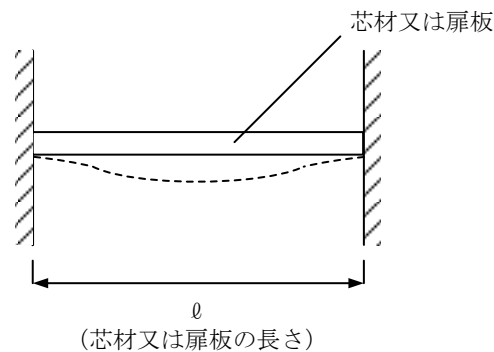


図3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

(2) 扉開放時（大扉及びくぐり戸：芯材又は扉板をモデル化）

扉開放時において機器搬出入扉は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端はりモデル

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

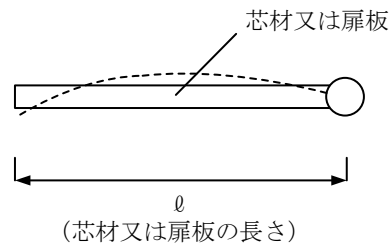


図 3-2 固有値計算モデル（扉開放時）

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表3-1に示す。

表3-1(1) 固有周期の計算条件 (大扉)

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
質量分布	m	kg/m	

表3-1(2) 固有周期の計算条件 (くぐり戸)

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
質量分布	m	kg/m	
定数	λ	—	
モデル化に用いる扉板の長さ	b	m	
モデル化に用いる扉板の厚さ	h	m	
ポアソン比	ν	—	
材料の密度	ρ	kg/m ³	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有周期

扉名称	扉の開閉状況	固有振動数(Hz)	固有周期(s)
機器搬出入扉 (大扉)	閉止時		
	開放時		
機器搬出入扉 (くぐり戸)	閉止時		
	開放時		

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位

機器搬出入扉の評価対象部位は、「2.2 構造概要」に示す機器搬出入扉の構造を踏まえ、機器搬出入扉に作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

機器搬出入扉の大扉に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。また、大扉の重量にはくぐり戸の重量を含めて評価する。

機器搬出入扉のくぐり戸に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）に伝わり、十分な裕度を有する溶接にて支持する。くぐり戸は扉開放時には、ヒンジにより扉が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造としていることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

なお、扉枠についてはボルト、アンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落は生じないことから評価対象としないこととする。

機器搬出入扉の地震荷重の作用イメージと評価部位を図4-1に示す。

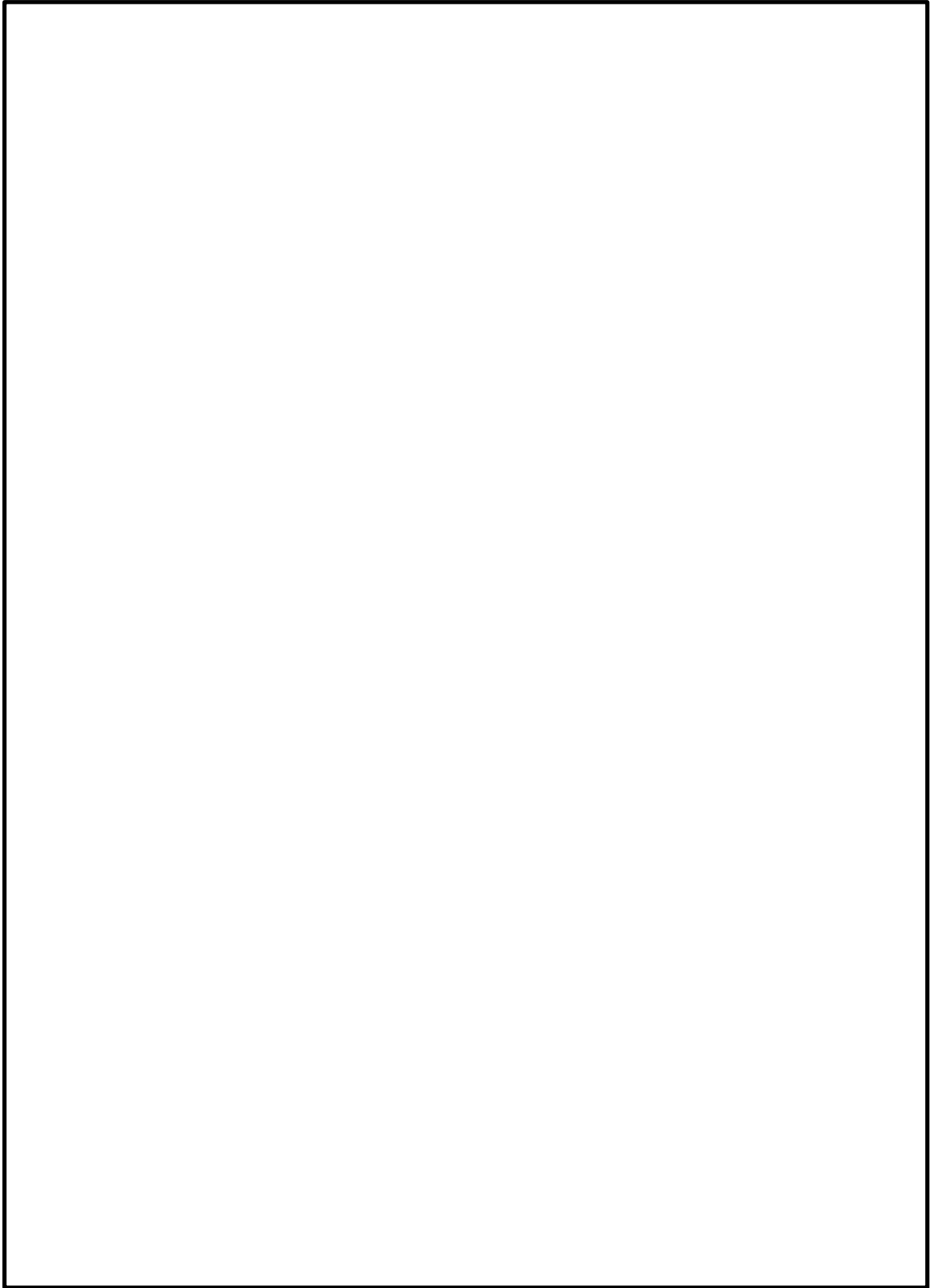


図 4-1(1) 扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価部位

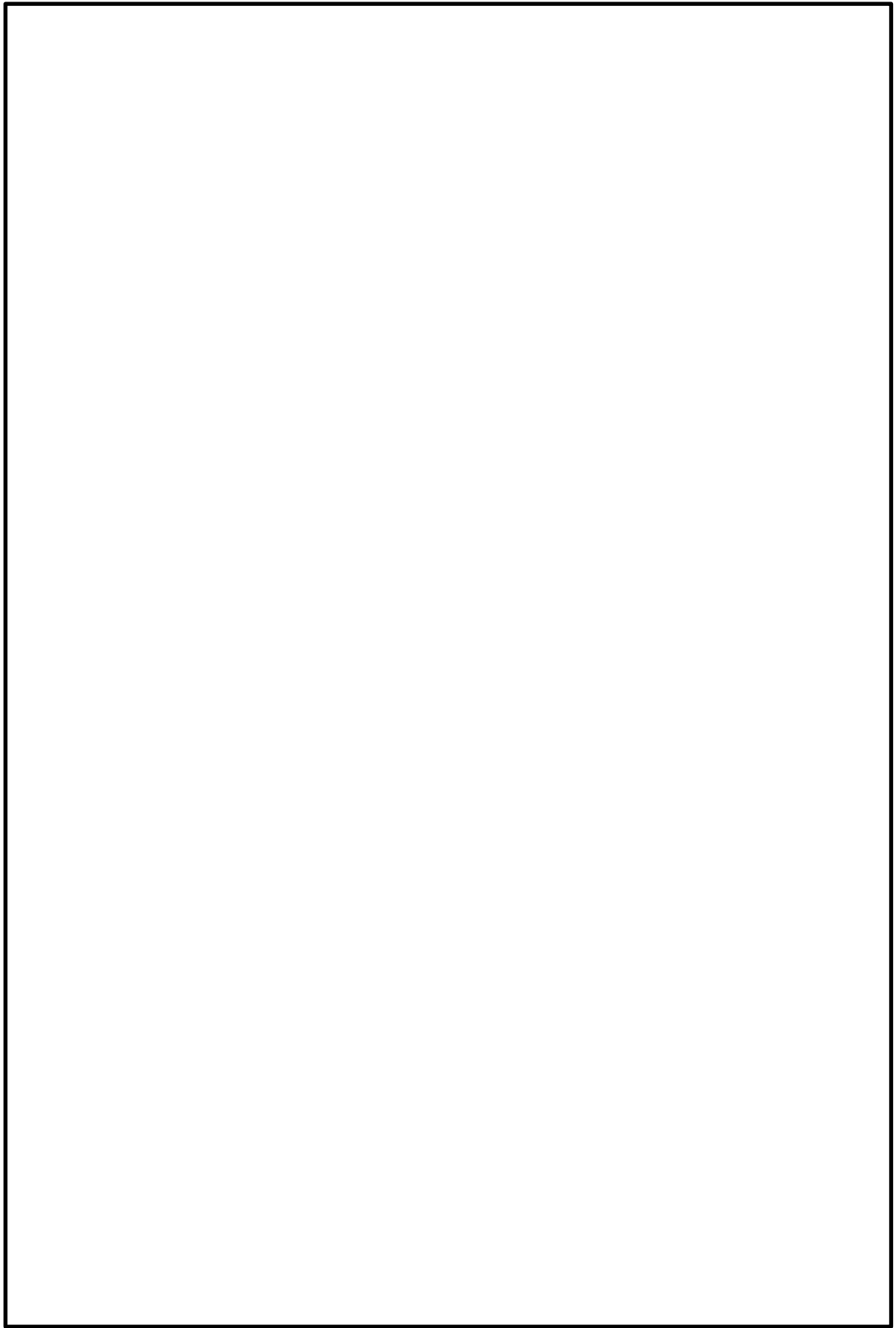


図 4-1(2) 扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに基づき設定する。

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動 S_s による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

機器搬出入扉の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- G : 扉の固定荷重
- P : 通常時の圧力荷重
- S_s : 基準地震動 S_s による地震力

4.2.2 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

機器搬出入扉の固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

扉名称	固定荷重 (kN)
機器搬出入扉 (大扉)	
機器搬出入扉 (くぐり戸)	

注：大扉の固定荷重 はくぐり戸の固定荷重 を含む。

(2) 圧力荷重 (P)

機器搬出入扉に作用する圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は機器搬出入扉の建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧 (負圧) は機器搬出入扉に対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

種類	圧力荷重 (kN/m ²)
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.981

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして VI-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」によることとし、設置床面と上階床面のうち、最大の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、S_s : 基準地震動 S_s による地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

扉名称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
機器搬出入扉	EL 15.3m (EL 23.8m)	1.02	1.28

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

機器搬出入扉を構成するヒンジ部、カンヌキ部の使用材料を表4-4に示す。

表4-4(1) 使用材料（大扉）

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		

表4-4(2) 使用材料（くぐり戸）

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		

4.3.2 許容限界

(1) ヒンジ部及びカンヌキ部

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）」に基づき設定する。各部材の許容限界を表 4-5 に示す。

表 4-5 ヒンジ部及びカンヌキ部の許容限界

材質		許容限界(N/mm ²)			
		圧縮	曲げ	引張り	せん断
		235	235	235	135
		215	215	215	124
		205	205	205	118
		700	700	700	404
		651	651	651	375
		345	345	345	199

4.4 計算方法

機器搬出入扉の耐震評価は、地震により生じる応力度が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

4.4.1 荷重計算方法

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から、各部材に発生する応力度を算定する。なお、圧力荷重はヒンジ部に作用しない構造である。ヒンジ部に生じる荷重を図4-2に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

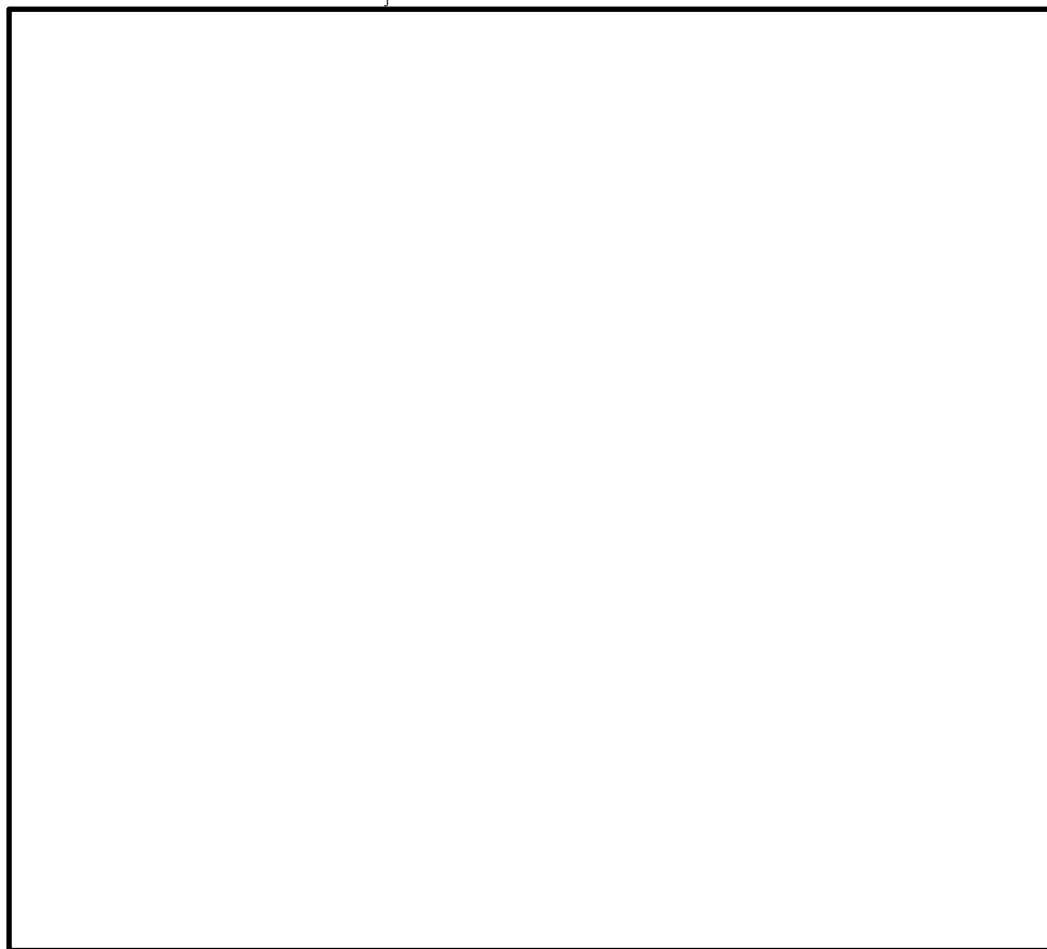


図4-2 ヒンジ部に生じる荷重

a. ヒンジアーム

ヒンジアームは、引張応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図4-3にヒンジアームに生じる荷重を示す。

(a) 引張力

ヒンジアームに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_1 = R_r + \frac{F_H}{2}$$

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジアームに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

(c) せん断力

ヒンジアームに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

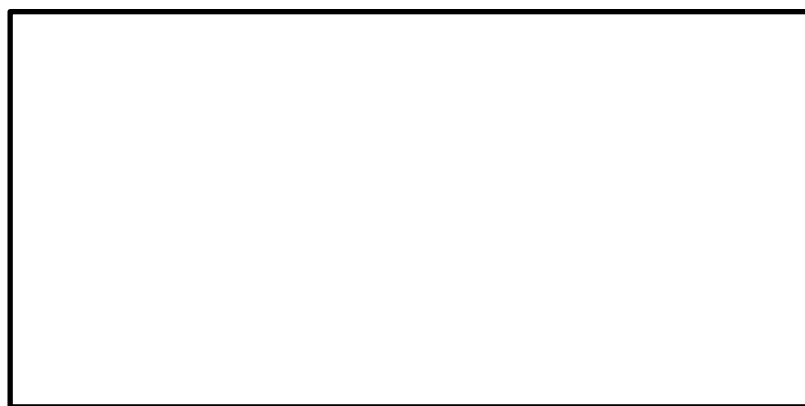


図4-3 ヒンジアームに生じる荷重

b. ヒンジピン

ヒンジピンは、圧縮応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。

図 4-4 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

(a) 圧縮力

ヒンジピンに生じる圧縮力及び圧縮応力度を次式により算定する。

$$N_2 = W_x + F_v$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

(c) せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

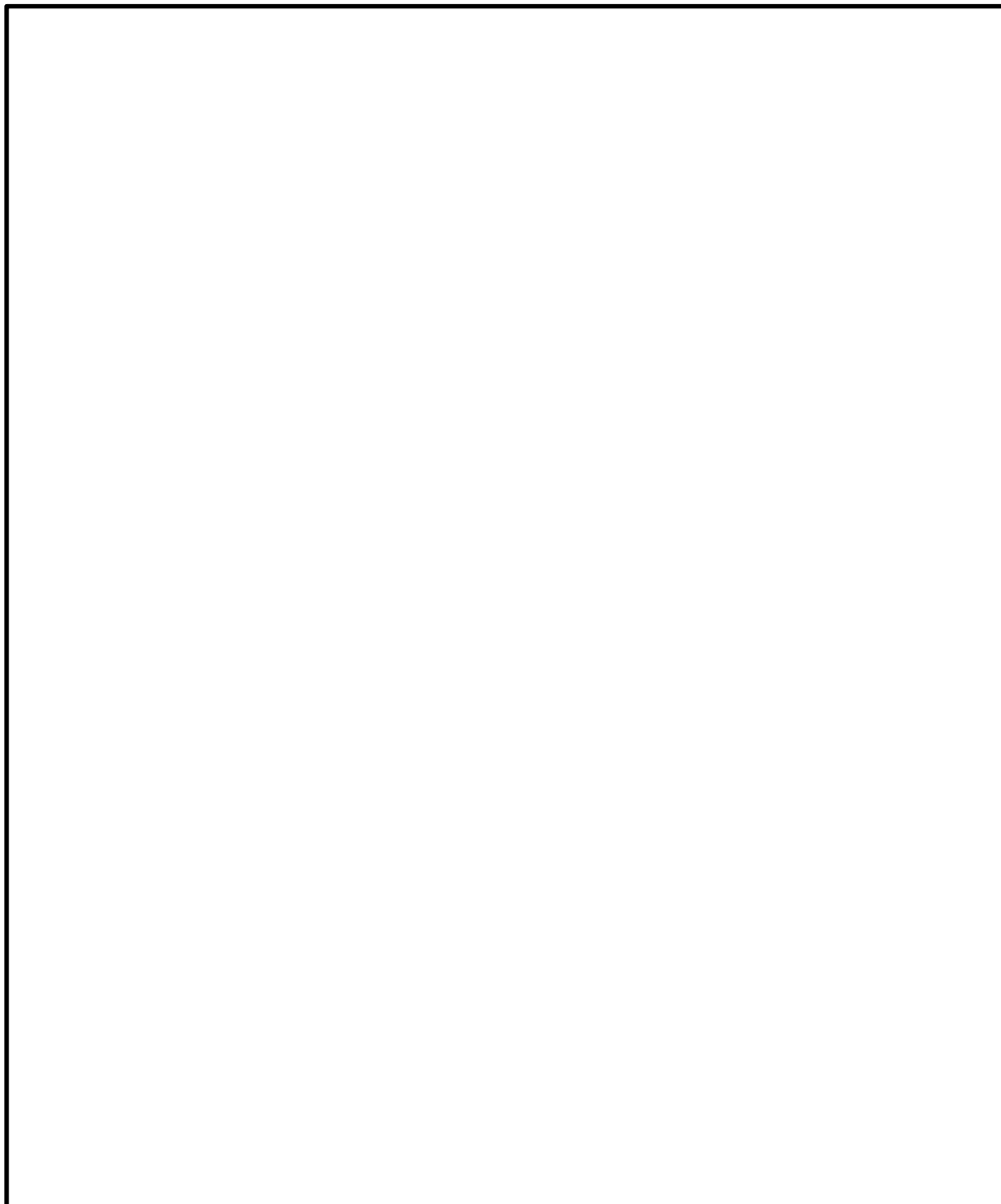


図 4-4 ヒンジピンに生じる荷重

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトは、引張応力度及びせん断応力度について評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は、扉の開放角度が90°の時には引張力として作用し、扉の開放角度が0°の時には、せん断力として作用することから次式により算定する。なお、45°や135°等の上記以外の開放状況下においては、ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ90°開放時の引張力、0°開放時のせん断力に包絡されるため、開放状況は90°と0°を想定するものとする。また、2か所設置しているヒンジ部のうち、上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して、下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから、下部のヒンジボルトを対象に評価する。図4-5に下部のヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

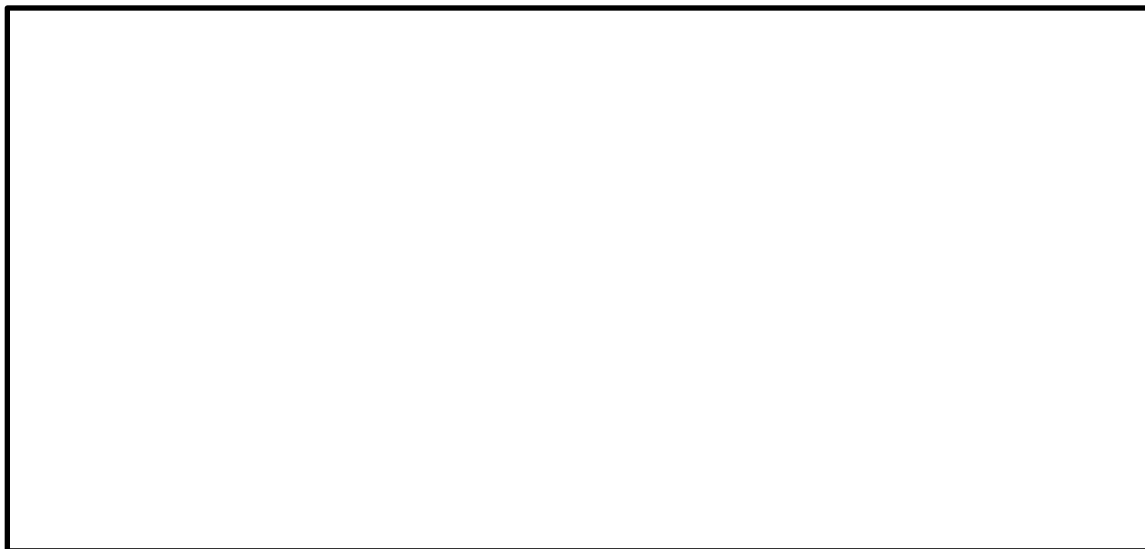


図4-5 下部のヒンジボルトに生じる荷重

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（内圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図 4-6 に、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-7 に示す。なお、圧力荷重（外圧）は扉体から扉枠に直接伝達され、カンヌキ部には作用しない構造である。

$$F_H' = W_X \cdot C_H + P_{N1} \cdot W_1 \cdot H_1$$



図 4-6 扉体に生じる荷重



図 4-7 カンヌキ部に生じる荷重

a. カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

(a) 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

(b) せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

4.4.2 応力評価

各部材に生じる応力度等が、許容限界以下であることを確認する。

なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、荷重の組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる引張応力度、曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジアームに生じる引張応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる圧縮応力度、曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジピンに生じる圧縮応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6(1) 耐震評価に用いる計算条件(大扉)

評価部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	1.02
		C_V	—	鉛直震度	1.28
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{N1}	kN/m ²	圧力荷重(内圧)	0.000
		P_{N2}	kN/m ²	圧力荷重(外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジ アーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ピン	A_2	mm ²	断面積	
		$A_{2'}$	mm ²	受圧面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	
	カンヌキ部	カンヌキ	A_4	mm ²	断面積
L_4			mm	作用点間距離	
n			本	本数	
Z_4			mm ³	断面係数	

表 4-6(2) 耐震評価に用いる計算条件 (くぐり戸)

評価部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	1.02
		C_V	—	鉛直震度	1.28
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{N1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P_{N2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジ アーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ピン	A_2	mm ²	断面積	
		A_2'	mm ²	受圧面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
		Z_2	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	
カンヌキ部	カンヌキ	A_4	mm ²	断面積	
		L_4	mm	作用点間距離	
		n	本	本数	
		Z_4	mm ³	断面係数	

5. 評価結果

機器搬出入扉の評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており，設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1(1) 耐震評価結果（大扉）

評価部位		分類	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	引張り	5	205	OK
		曲げ	35	205	OK
		せん断	6	118	OK
		組合せ	37	205	OK
	ヒンジ ピン	圧縮	32	345	OK
		曲げ	127	345	OK
		せん断	29	199	OK
		組合せ	137	345	OK
	ヒンジ ボルト	引張り	93	651	OK
		せん断	93	375	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	34	345	OK
		せん断	3	199	OK
		組合せ	35	345	OK

表 5-1(2) 耐震評価結果 (くぐり戸)

評価部位		分類	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	引張り	2	215	OK
		曲げ	42	215	OK
		せん断	4	124	OK
		組合せ	43	215	OK
	ヒンジ ピン	圧縮	12	345	OK
		曲げ	39	345	OK
		せん断	7	199	OK
		組合せ	41	345	OK
	ヒンジ ボルト	引張り	26	651	OK
		せん断	26	375	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	41	700	OK
		せん断	2	404	OK
		組合せ	42	700	OK

VI-2-9-3-3 原子炉建物エアロックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	7
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	9
2.5 記号の説明	10
3. 固有周期	12
3.1 固有周期の計算方法	12
3.1.1 水平方向	12
3.1.2 鉛直方向	13
3.2 固有周期の計算条件	14
3.3 固有周期の計算結果	15
4. 構造強度評価	16
4.1 評価部位	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	18
4.2.1 耐震評価上考慮する荷重	18
4.2.2 荷重の設定	19
4.3 許容限界	21
4.3.1 使用材料	21
4.3.2 許容限界	22
4.4 計算方法	23
4.5 計算条件	32
5. 評価結果	34

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物エアロックが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉建物エアロックは、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建物エアロックの設置位置を図2-1に示す。

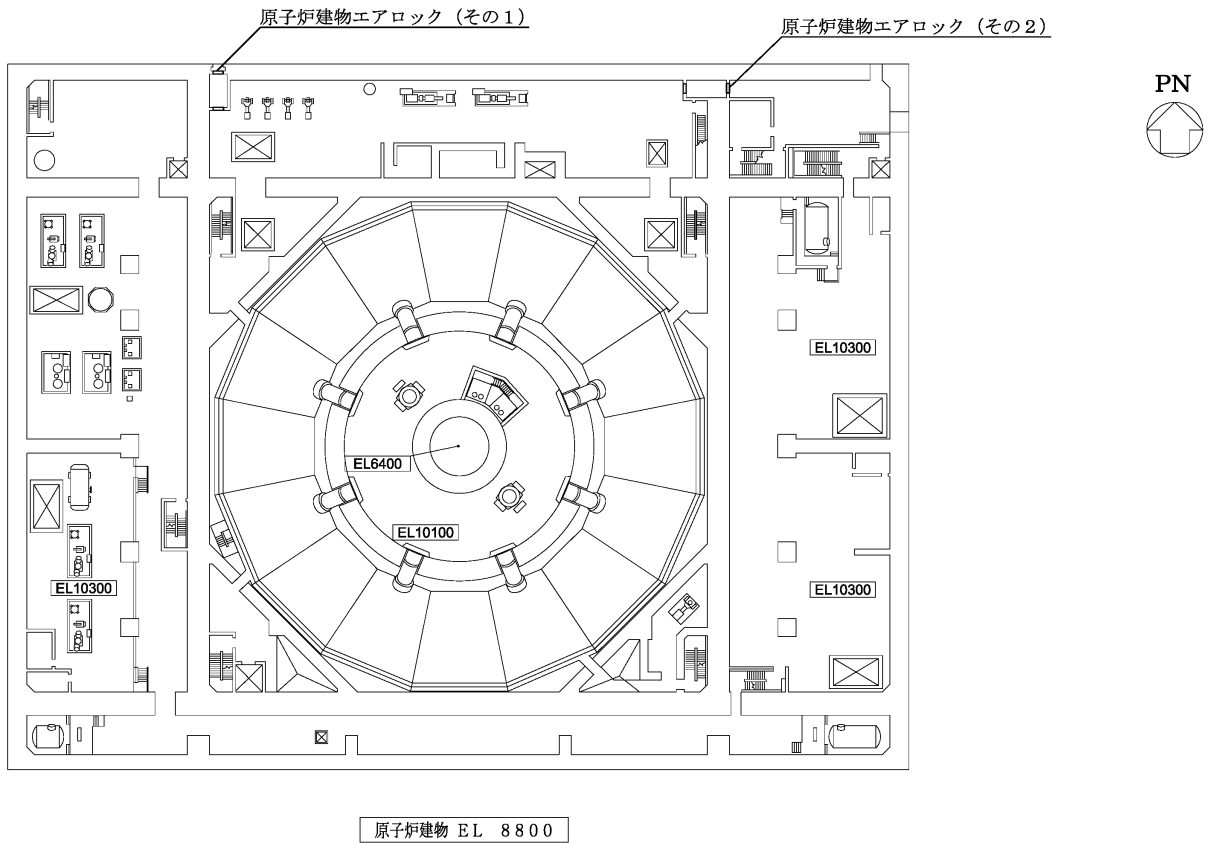


図 2-1(1) 設置位置図

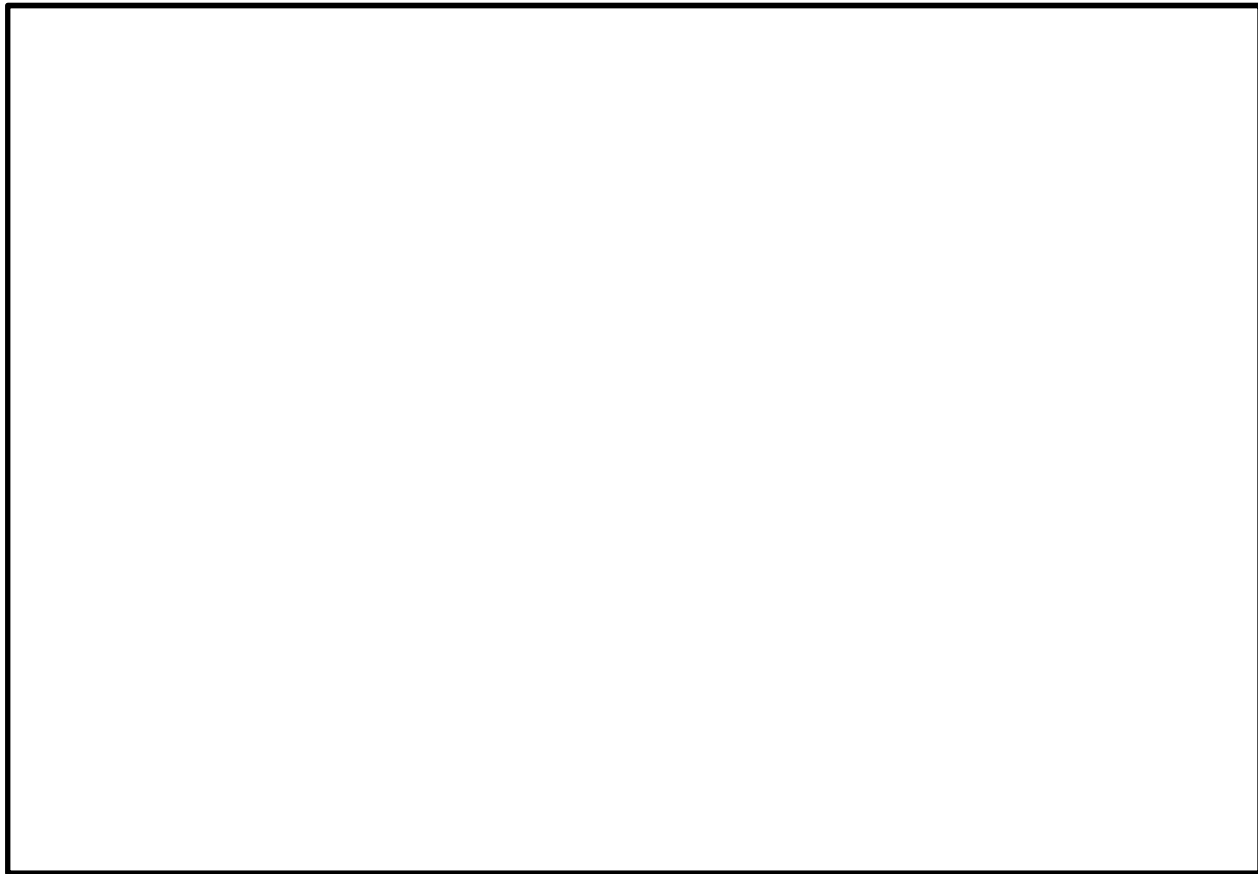
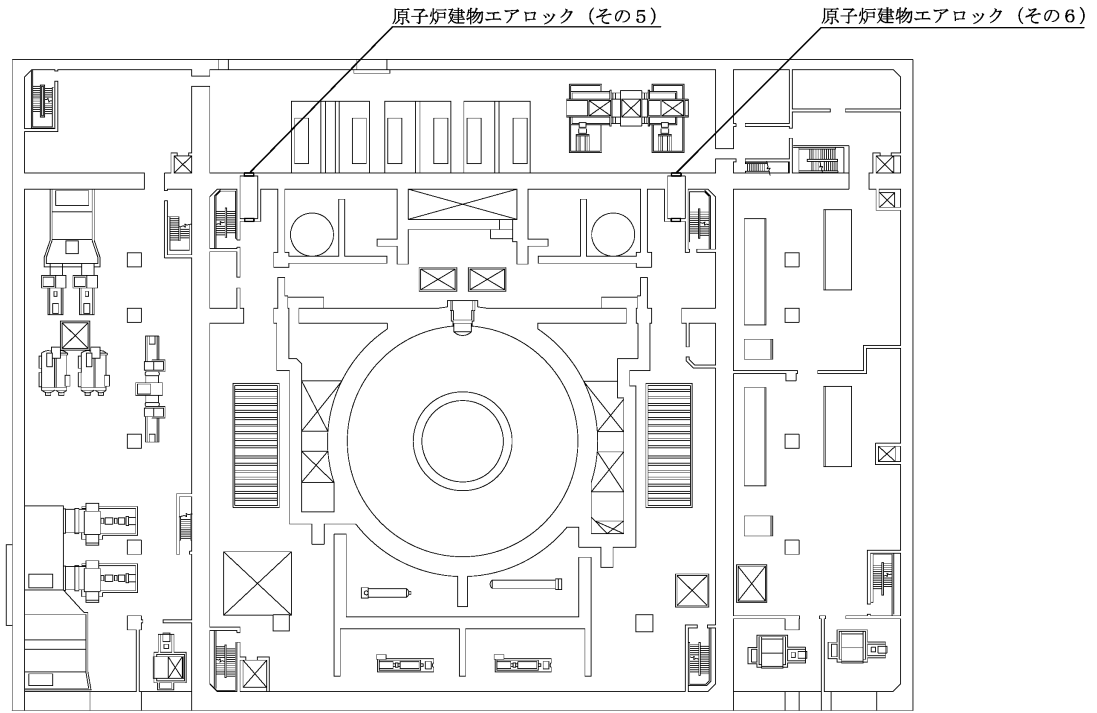


図 2-1(2) 設置位置図



原子炉建物 EL 23800

図 2-1(3) 設置位置図

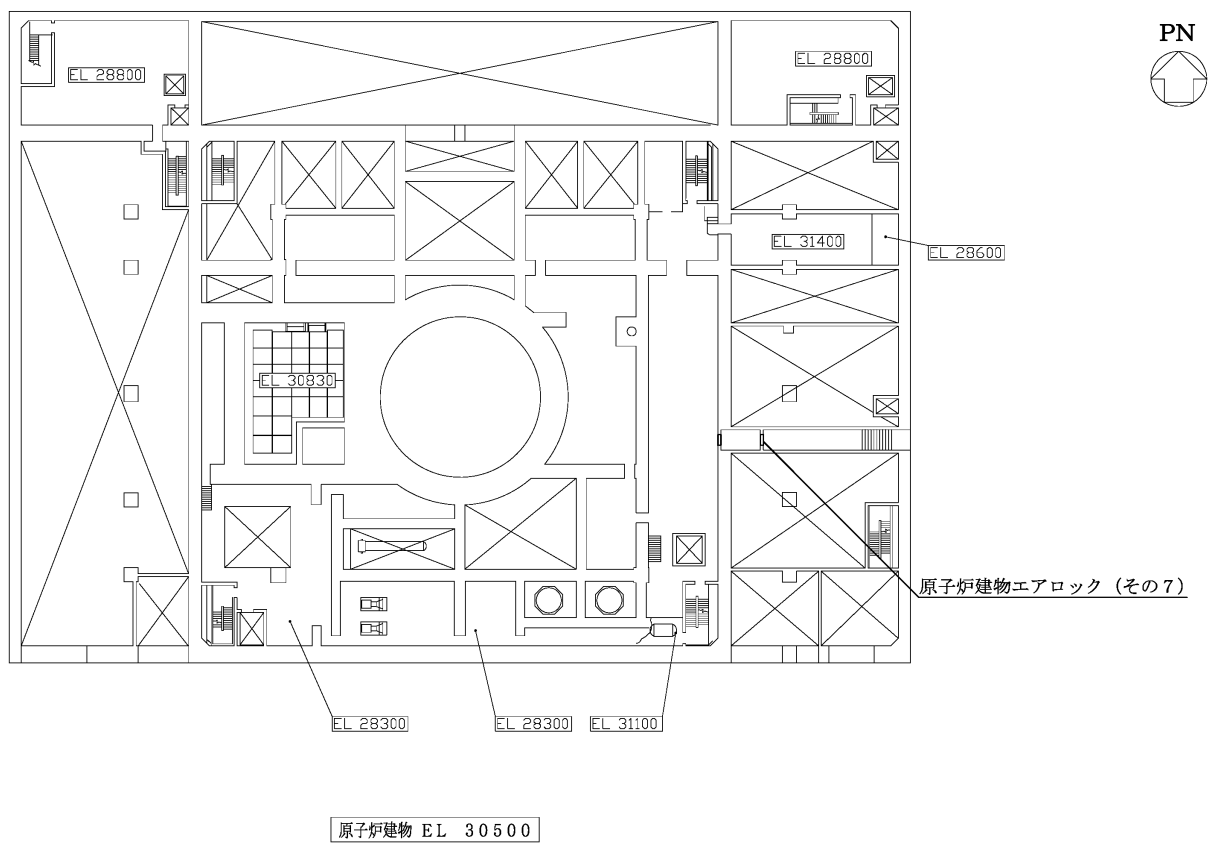


図 2-1(4) 設置位置図

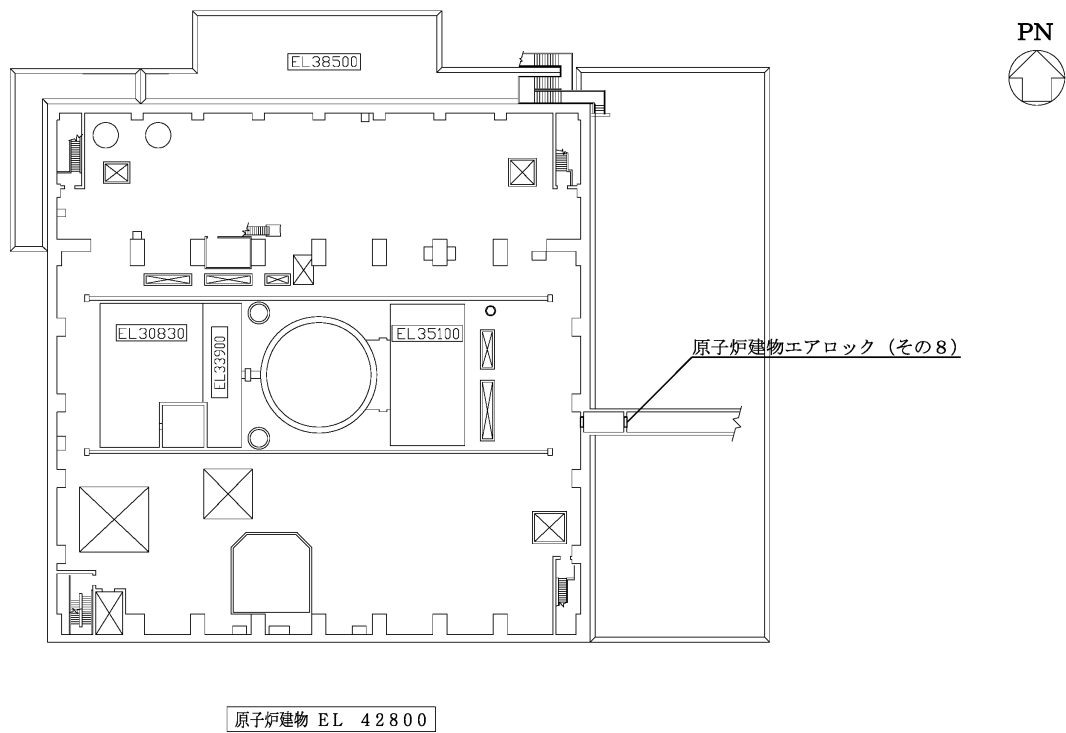


図 2-1(5) 設置位置図

2.2 構造計画

原子炉建物エアロックの構造計画を表 2-1、概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要	
支持構造	主体構造
エアロックを閉止する際に、カンヌキにより扉が扉枠に固定される構造とする。また、扉枠を躯体の開口部周辺に、スタッドにより固定する構造とする。	開き戸形式の鋼製扉とし、鋼製の芯材に表側鋼板を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み、扉を扉枠と一体化させる構造とする。また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。

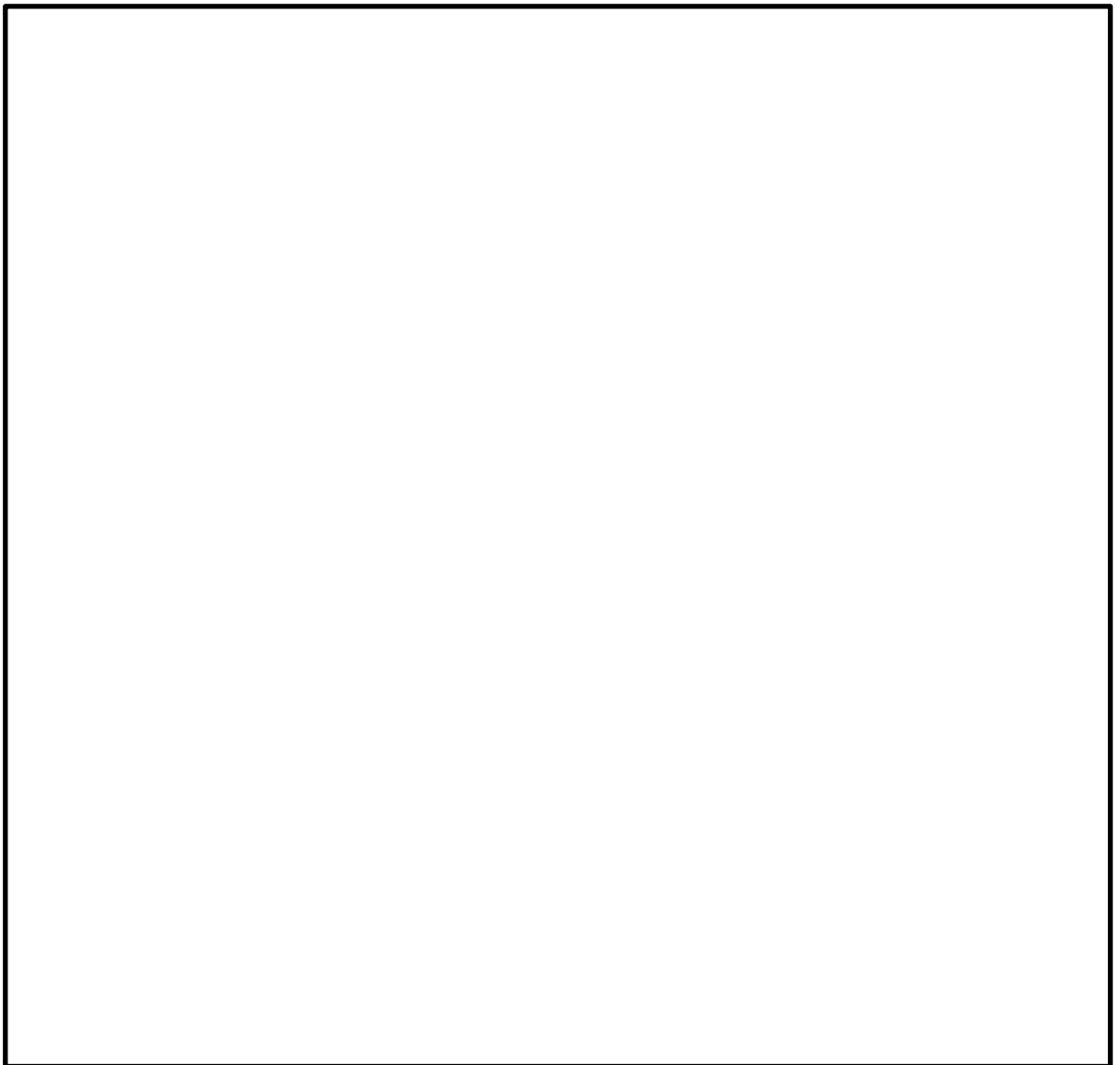


図 2-2 概略構造図

2.3 評価方針

原子炉建物エアロックの耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造計画」にて示す原子炉建物エアロックの部位を踏まえ、「4.1 評価部位」にて設定する部位において、設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

原子炉建物エアロックの耐震評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

なお、図 2-1 で示すように、原子炉建物内にはエアロック扉が 8 箇所あるが、いずれも同一構造の扉であることから、最も設計用地震が大きいエアロック扉 1 箇所（原子炉建物エアロック（その 8）を代表）について評価を実施する。

原子炉建物エアロックの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

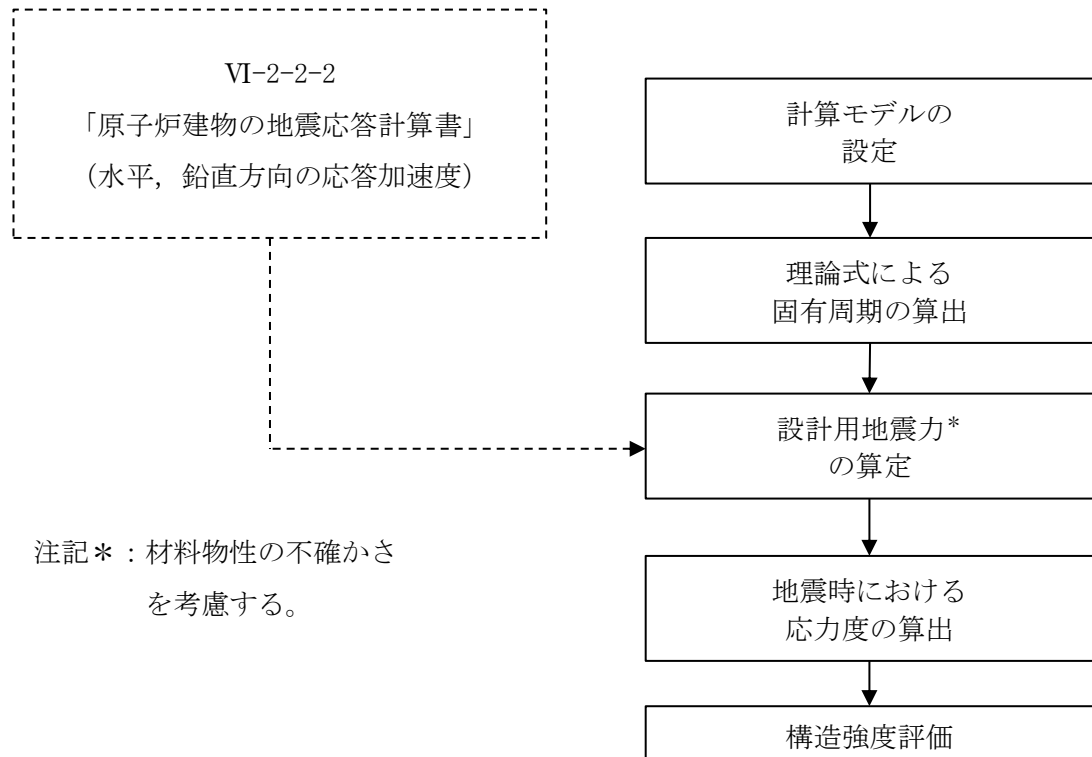


図 2-3 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- (4) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) 構造力学公式集（土木学会）

2.5 記号の説明

原子炉建物エアロックの耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 耐震評価に用いる記号

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング率	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建物エアロックの1次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	m ⁴	
	ℓ	はり長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _x	扉体自重	kN	
	W ₁	扉体幅	mm	
	H ₁	扉体高	mm	
	P _{E1}	圧力荷重 (内圧)	kN/m ²	
P _{E2}	圧力荷重 (外圧)	kN/m ²		
ヒンジ部	共通	L _j	ヒンジ中心間距離	mm
		L _r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L _t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R _r	扉体幅方向自重反力	N
		R _t	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジアーム	A ₁	ヒンジアームの断面積	mm ²
		L ₁	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M ₁	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q ₁	ヒンジアームのせん断力	N
		Z ₁	ヒンジアームの断面係数	mm ³
		σ _{b1}	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x1}	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm ²
	τ ₁	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm ²	
	ヒンジピン	A ₂	ヒンジピンの断面積	mm ²
L ₂		ヒンジピンの軸支持間距離	mm	

表 2-2(2) 耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジピン	M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
		Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm^3
		σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x2}	ヒンジピンの組合せ応力度	N/mm^2
		τ_2	ヒンジピンのせん断応力度	N/mm^2
	ヒンジボルト	A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
		n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
		Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
		T_3	ヒンジボルトの引張力	N
		σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力度	N/mm^2
		τ_3	ヒンジボルトのせん断応力度	N/mm^2
カンヌキ部	共通	F_H'	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	A_4	カンヌキの断面積	mm^2
		L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
		M_4	カンヌキの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		n	カンヌキの本数	本
		Q_4	カンヌキのせん断力	N
		Z_4	カンヌキの断面係数	mm^3
		σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x4}	カンヌキの組合せ応力度	N/mm^2
		τ_4	カンヌキのせん断応力度	N/mm^2
	カンヌキ受けピン	A_5	カンヌキ受けピンの断面積	mm^2
		L_5	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
		M_5	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		Q_5	カンヌキ受けピンのせん断力	N
		Z_5	カンヌキ受けピンの断面係数	mm^3
		σ_{b5}	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	N/mm^2
		τ_5	カンヌキ受けピンのせん断応力度	N/mm^2
	カンヌキ受けボルト	A_{b6}	カンヌキ受けボルトの断面積	mm^2
		n_{b6}	カンヌキ受けボルトの本数	本
		T_6	カンヌキ受けボルトの引張力	N
		σ_{t6}	カンヌキ受けボルトの引張応力度	N/mm^2

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、図 3-1 及び図 3-2 に示すはりモデルとして、「土木学会 構造力学公式集」に基づき計算する。

ここで、扉閉止時は、カンヌキにより扉枠に固定される構造であることから端部の境界条件を固定とする。

扉開放時は、片側ヒンジ、片側自由端のはりとしてモデル化する。

また、モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

3.1.1 水平方向

(1) 扉閉止時

扉閉止時の水平方向の固有周期は、図 3-1 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

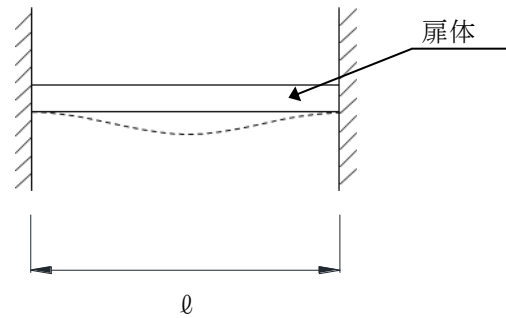


図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

(2) 扉開放時

扉開放時の水平方向の固有周期は、図 3-2 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

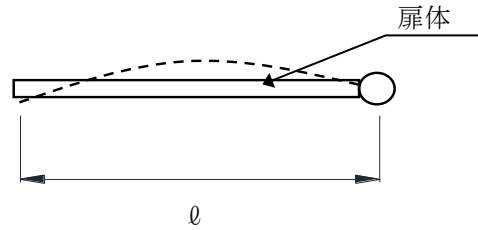


図 3-2 固有値計算モデル（扉開放時）

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング率	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有周期

扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
閉止時		
開放時		

4. 構造強度評価

4.1 評価部位

原子炉建物エアロックの評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示すエアロックの構造を踏まえ、エアロックに作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

エアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部及びカンヌキ部から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

なお、扉枠からは直接躯体に荷重の伝達をしているため、扉枠と躯体を接合しているスタッドについては、評価対象としないこととする。

原子炉建物エアロックの地震荷重の作用イメージと評価部位を図4-1に示す。

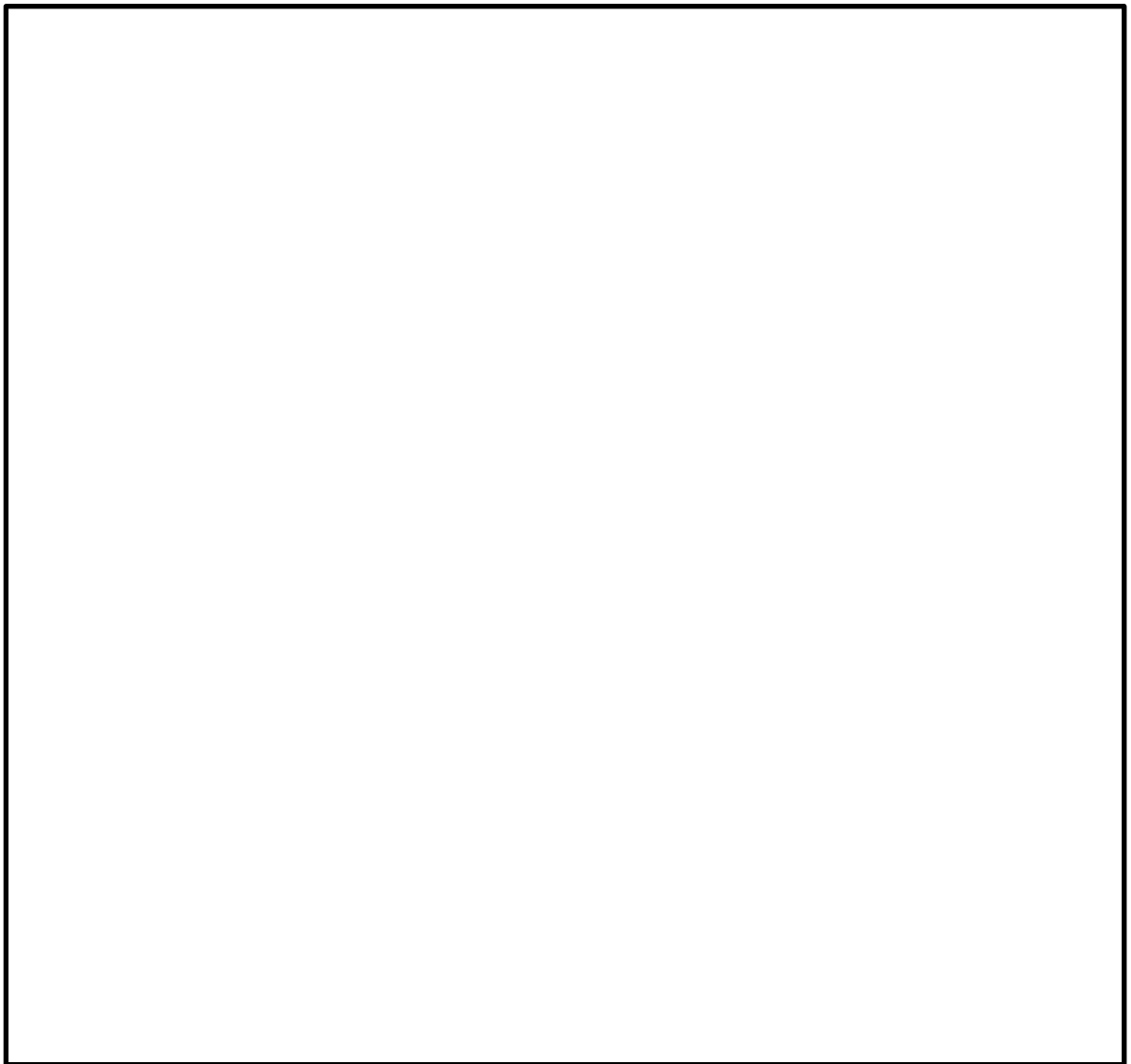


図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに準じて設定する。

VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処施設の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動 S_s による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

原子炉建物エアロックの耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

G	: 固定荷重(kN)
P	: 圧力荷重(kN/m ²)
S_s	: 基準地震動 S_s による地震力(kN)

4.2.2 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

原子炉建物エアロックの固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

固定荷重 (kN)	

(2) 圧力荷重 (P)

原子炉建物エアロックにかかる圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は原子炉建物エアロックの建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧 (負圧) はエアロックに対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

種類	圧力荷重 (kN/m ²)
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.981

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_sによる荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」によることとし、設置階及びその上階の値のうち大きい方とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、S_s : 基準地震動 S_sによる地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

エアロック名称	設置場所	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
原子炉建物エアロック (その 1)	EL 8800	0.92	0.97
原子炉建物エアロック (その 2)	EL 8800	0.92	0.97
原子炉建物エアロック (その 3)	EL 15300	1.02	1.28
原子炉建物エアロック (その 4)	EL 15300	1.02	1.28
原子炉建物エアロック (その 5)	EL 23800	1.46	1.44
原子炉建物エアロック (その 6)	EL 23800	1.46	1.44
原子炉建物エアロック (その 7)	EL 30500	1.46	1.49
原子炉建物エアロック (その 8)	EL 42800	2.00	1.51

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

原子炉建物エアロックを構成するヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		
	カンヌキ受けピン		
	カンヌキ受けボルト		

4.3.2 許容限界

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「S 規準」という。）に準じて設定する。各部材の許容限界を表 4-5 に示す。

表 4-5 ヒンジ部及びカンヌキ部の許容限界

材質	許容限界 (N/mm ²)		
	曲げ	引張り	せん断
	235	235	135
	205	205	118
	345	345	199
	651	651	375

4.4 計算方法

原子炉建物エアロックの耐震評価は、地震により生じる応力度または荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

(1) 荷重計算方法

a. ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から、各部材に発生する応力度を算定する。ヒンジ部に生じる荷重を図4-2に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

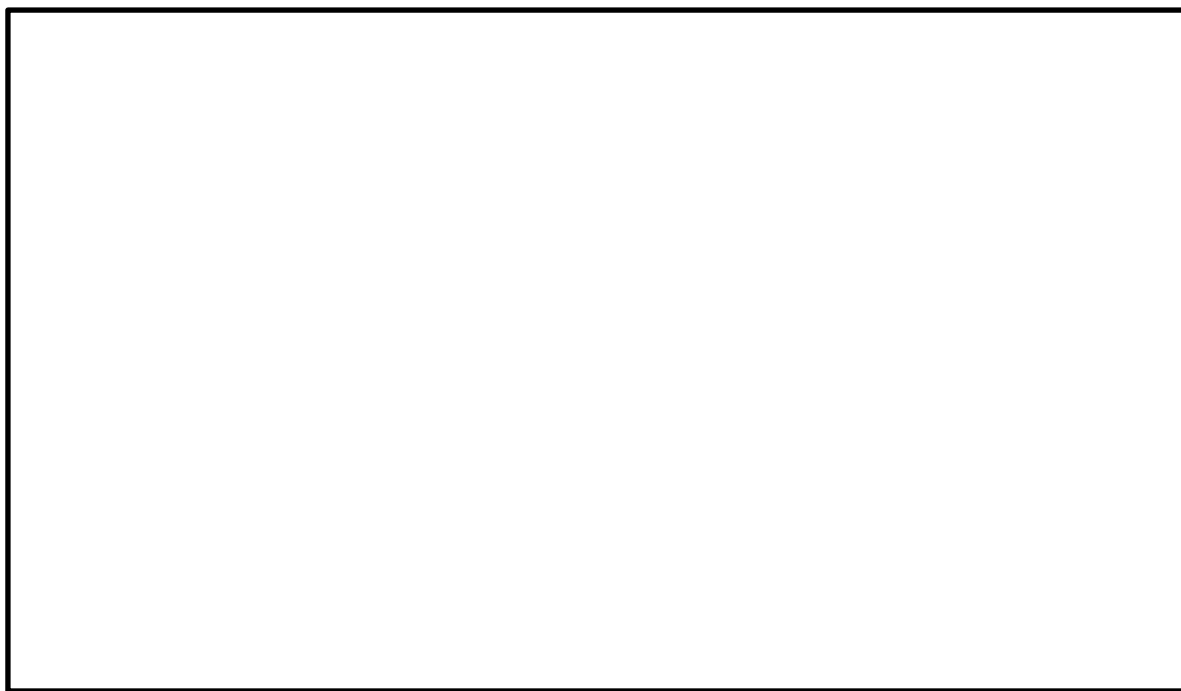


図4-2 ヒンジ部に生じる荷重

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-3 にヒンジアームに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジアームに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{bl} = \frac{M_1}{Z_1}$$

ロ. せん断力

ヒンジアームに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$



図 4-3 ヒンジアームに生じる荷重

(b) ヒンジピン

ヒンジピンは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-4 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

ロ. せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

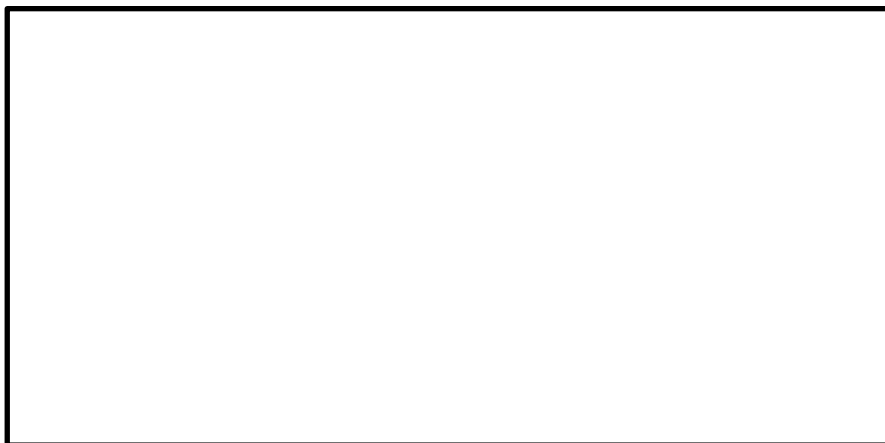


図 4-4 ヒンジピンに生じる荷重

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトは、引張応力度及びせん断応力度について評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は、扉の開放角度が90°の時には引張力として作用し、扉の開放角度が180°の時には、せん断力として作用することから次式により算定する。なお、45°や135°等の上記以外の開放状況下においては、ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ90°開放時の引張力、180°開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は90°と180°を想定するものとする。また、2か所設置しているヒンジ部のうち、上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して、下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから、下部のヒンジボルトを対象に評価する。図4-5にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$



図4-5 ヒンジボルトに生じる荷重

b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（外圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図4-6に、カンヌキ部に生じる荷重を図4-7に示す。

$$F_H' = W_X \cdot C_H + P_{E2} \cdot W_1 \cdot H_1$$



図4-6 扉体に生じる荷重

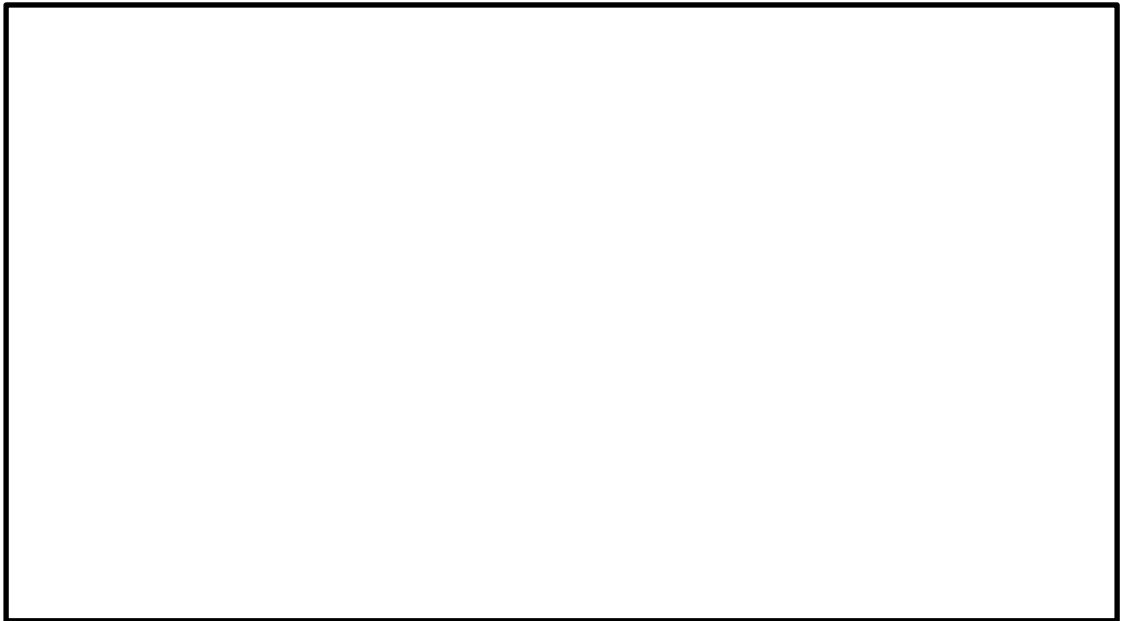


図4-7 カンヌキ部に生じる荷重

(a) カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

イ. 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

ロ. せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンは、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。なお、端部を単純支持として評価するため、曲げとせん断の組合せについては評価を行わないものとする。

イ. 曲げモーメント

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_5$$

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

ロ. せん断力

カンヌキ受けピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトは、引張応力度について評価する。カンヌキ受けボルトに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_6 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

(2) 応力の評価

各部材に生じる応力度等が、許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、荷重の組合せを考慮する。

a. ヒンジ部

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジアームに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

(b) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジピンに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

b. カンヌキ部

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、カンヌキ受けピンに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6(1) 耐震評価に用いる計算条件

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	2.00
		C_V	—	鉛直震度	1.51
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{E1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P_{E2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジアーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジピン	A_2	mm ²	断面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
		Z_2	mm ³	断面係数	
	ヒンジボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	

表 4-6(2) 耐震評価に用いる計算条件

対称部位		記号	単位	定義	数値
カ ン ヌ キ 部	カンヌキ	A_4	mm^2	断面積	
		L_4	mm	作用点間距離	
		n	本	本数	
		Z_4	mm^3	断面係数	
	カンヌキ受け ピン	A_5	mm^2	断面積	
		L_5	mm	作用点間距離	
		Z_5	mm^3	断面係数	
	カンヌキ受け ボルト	A_{b6}	mm^2	断面積	
		n_{b6}	本	本数	

5. 評価結果

エアロックの評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており、設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1 耐震評価結果
原子炉建物エアロック (その 8)

評価部位		分類	発生値	許容限界	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	曲げ(N/mm ²)	44	235	OK
		せん断(N/mm ²)	5	135	OK
		組合せ(N/mm ²)	45	235	OK
	ヒンジ ピン	曲げ(N/mm ²)	28	345	OK
		せん断(N/mm ²)	18	199	OK
		組合せ(N/mm ²)	41	345	OK
ヒンジ ボルト	引張り(N/mm ²)	83	651	OK	
	せん断(N/mm ²)	83	375	OK	
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ(N/mm ²)	44	205	OK
		せん断(N/mm ²)	5	118	OK
		組合せ(N/mm ²)	45	205	OK
	カンヌキ受け ピン	曲げ(N/mm ²)	162	345	OK
		せん断(N/mm ²)	10	199	OK
	カンヌキ受け ボルト	引張り(N/mm ²)	33	651	OK

VI-2-9-4 圧力低減設備その他安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-4 残留熱代替除去系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-4-1 残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱代替除去ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

残留熱代替除去ポンプは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

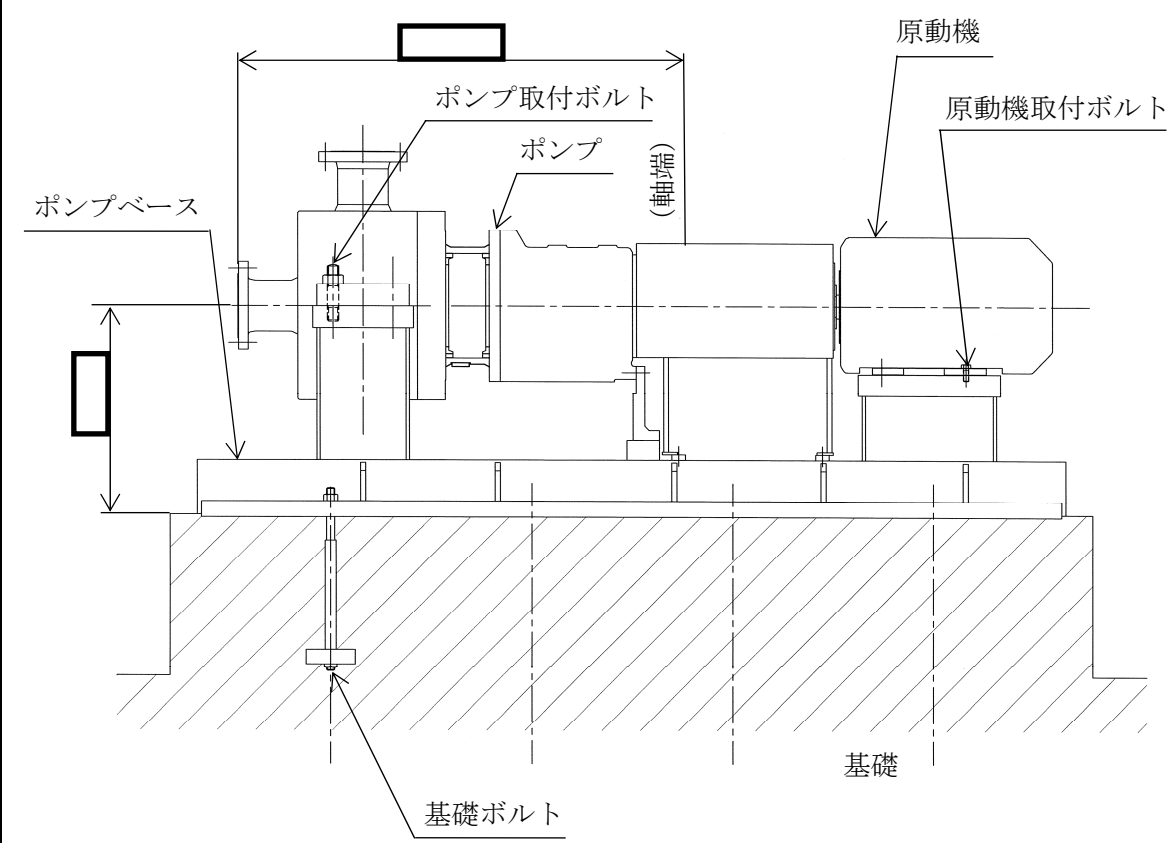
なお、残留熱代替除去ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱代替除去ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	 <p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

残留熱代替除去ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱代替除去ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-1に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱代替除去ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-2のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱代替除去ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-3に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備 原子炉格納容 器安全設備	残留熱代替除去ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

5

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	699	803	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	185	637	759	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	225	385	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱代替除去ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

残留熱代替除去ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱代替除去ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱代替除去ポンプ	常設/緩和	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.13*3	C _V =0.99*3	C _D =0.11	185	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	699*2 (径≤63mm)	803*2 (径≤63mm)	—	562	—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	637*3 (径≤63mm)	759*3 (径≤63mm)	—	531	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	225*2 (16mm<径≤40mm)	385*2	—	270	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=324$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=306$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=12$	$f_{ts3}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=155$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能維持の評価結果

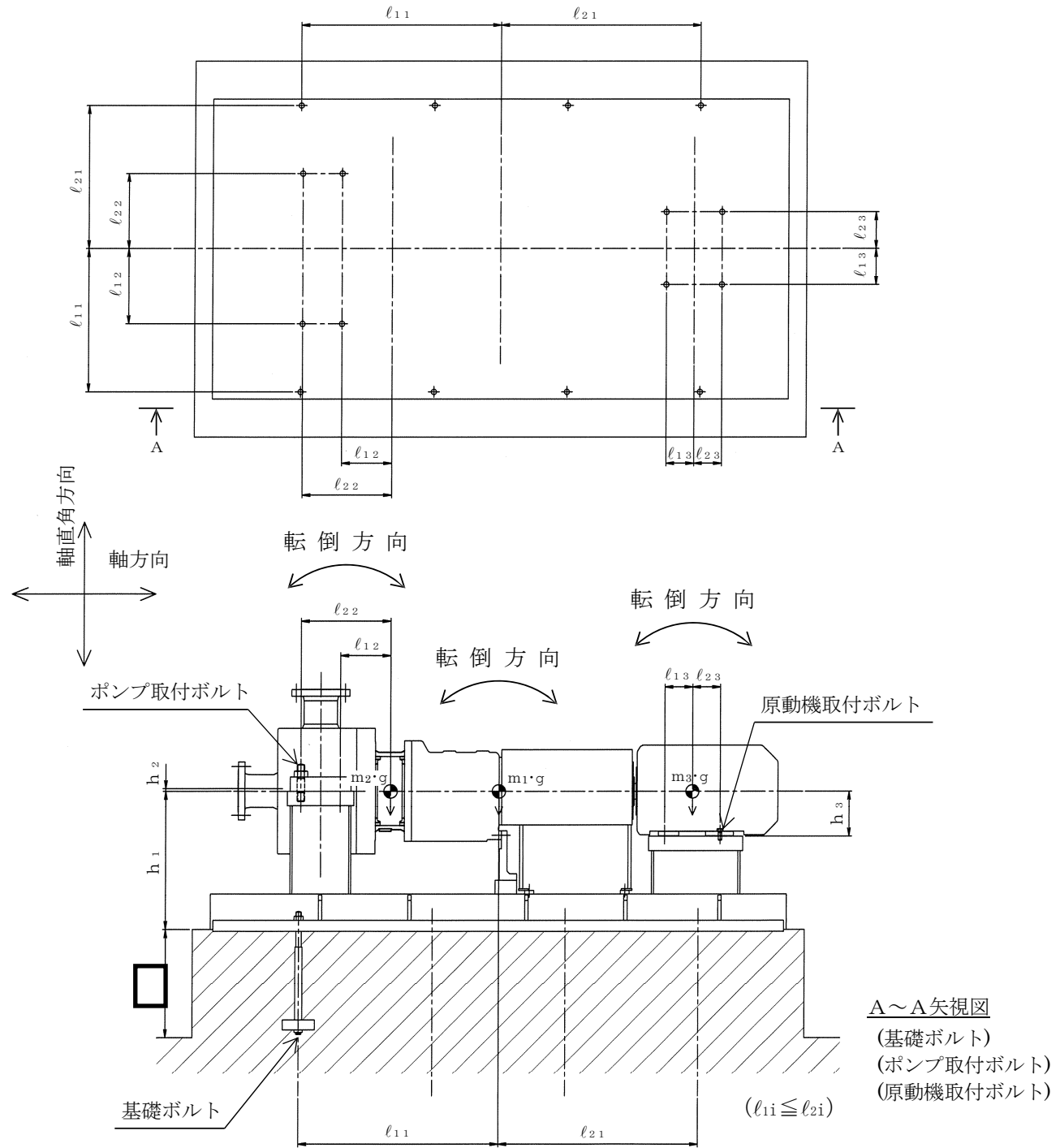
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

S2 補 VI-2-9-4-4-4-1 ROE



VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1-2 非常用発電装置の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機
の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	16
5.4 計算方法	17
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	26
6. 機能維持評価	27
6.1 動的機能維持評価方法	27
7. 評価結果	28
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ディーゼル機関及び発電機は機関取付ボルト，発電機固定子取付ボルト及び発電機軸受台取付ボルトで直接据付台床に取り付ける。据付台床は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>4 サイクル単動無気噴油式ディーゼル機関及び同期発電機 (ディーゼル機関及び三相同期発電機)</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価フローを図2-1に示す。

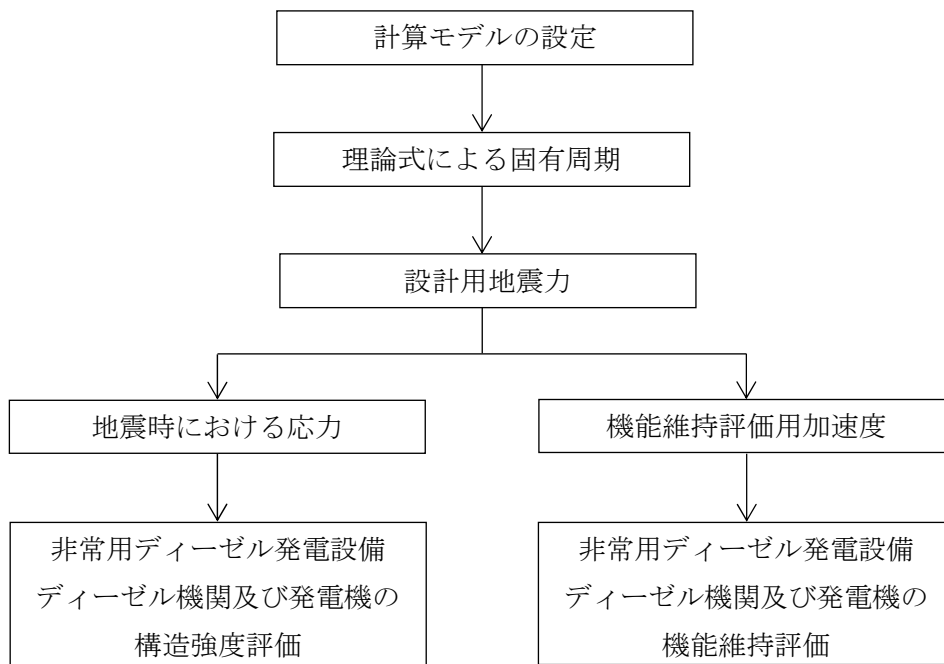


図2-1 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _{b i}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A _s	最小有効せん断断面積	mm ²
C _{EH}	ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	—
C _{EV}	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F _i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F _{b i}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h _i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l _{1 i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l _{2 i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
M _{E1}	ディーゼル機関回転により作用するモーメント	N・mm
M _{E2}	発電機回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量* ²	kg
N	回転数 (ディーゼル機関の定格回転数)	rpm
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	ディーゼル機関出力	kW
Q _{b i}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
T _H	水平方向固有周期	s
T _V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ _{b i}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ _{b i}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ディーゼル機関取付ボルト

$i=3$: 発電機固定子取付ボルト

$i=4$: 発電機軸受台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: ディーゼル機関取付面

$i=3$: 発電機固定子取付面

$i=4$: 発電機軸受台取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. ディーゼル機関及び発電機，各機器の質量は重心に集中するものとする。
- b. ディーゼル機関及び発電機は据付台床上にあり，据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。また，ディーゼル機関，発電機固定子及び発電機軸受台は，据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. ディーゼル機関及び発電機は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

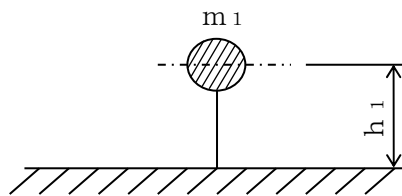


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \dots (4.1.2)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平			
鉛直			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1～図 5-8 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	常設／防止 (DB 拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	299	498	—
ディーゼル機関 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機固定子 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	299	498	—
ディーゼル機関 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機固定子 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			C _H =0.65 ^{*2}	C _V =0.48 ^{*2}	C _H =1.84 ^{*3}	C _V =0.95 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			—	—	C _H =1.84 ^{*2}	C _V =0.95 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

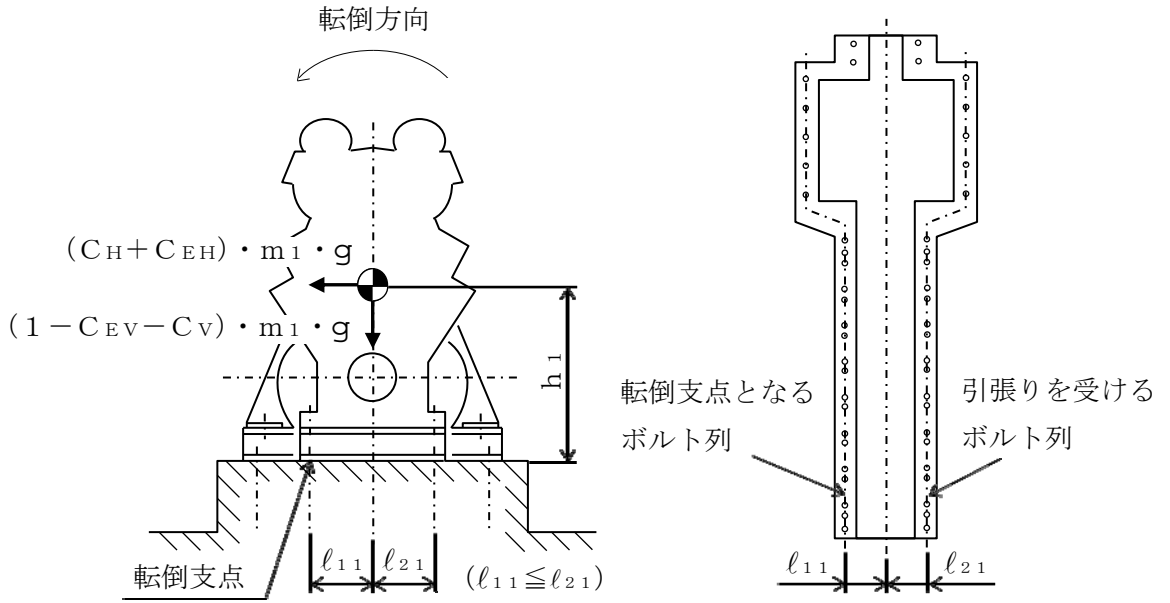


図 5-1 計算モデル（軸直角方向転倒）

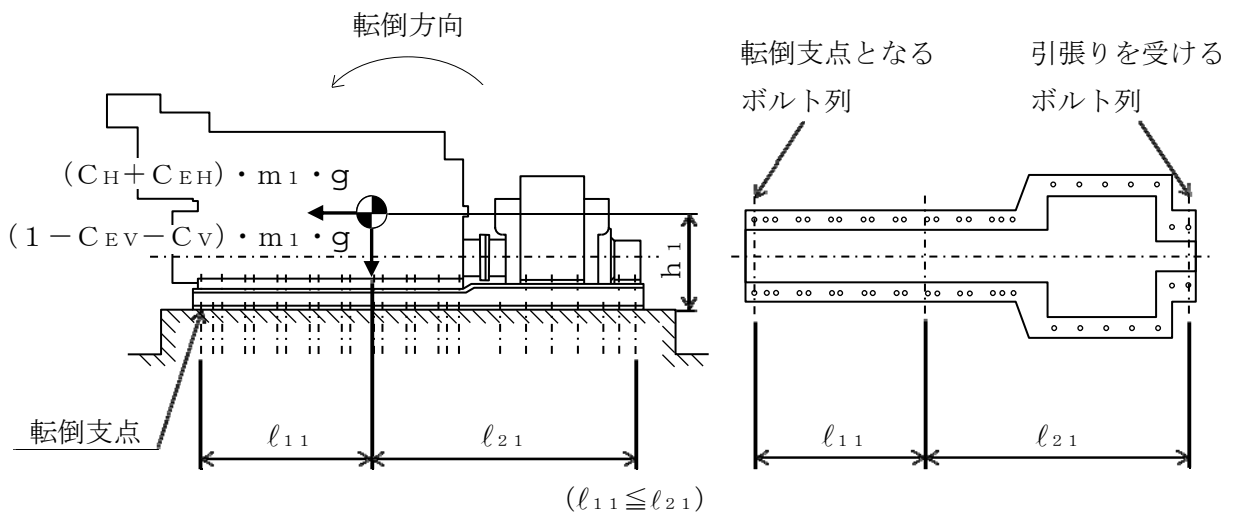


図 5-2 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-2 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメントは、作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{11}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ただし、 F_{b1} が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ディーゼル機関取付ボルトの計算方法

ディーゼル機関取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

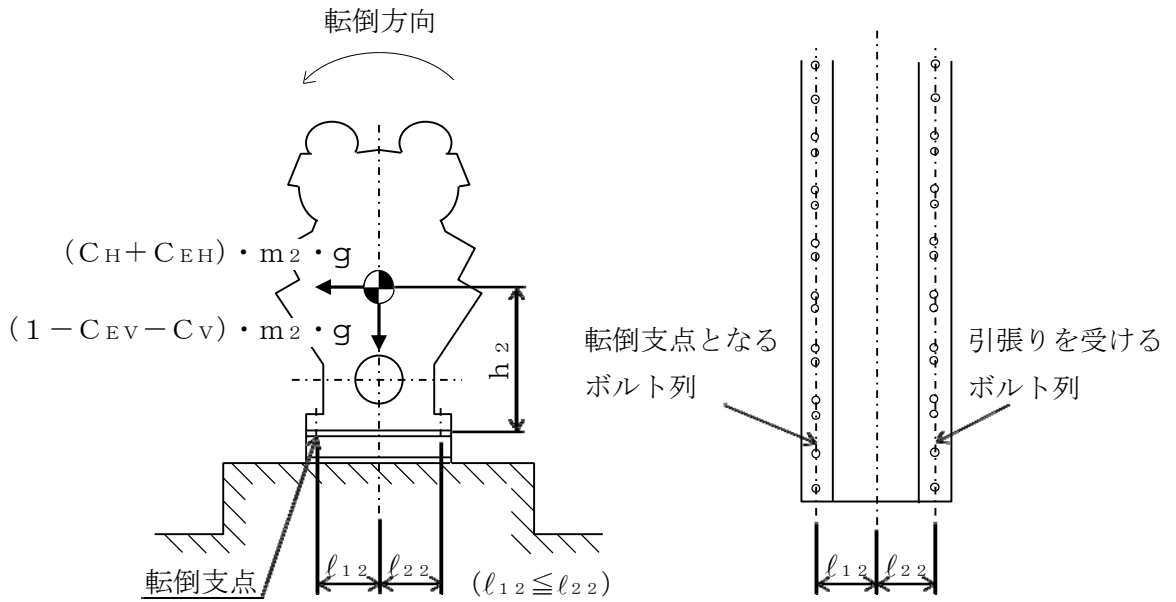


図 5-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

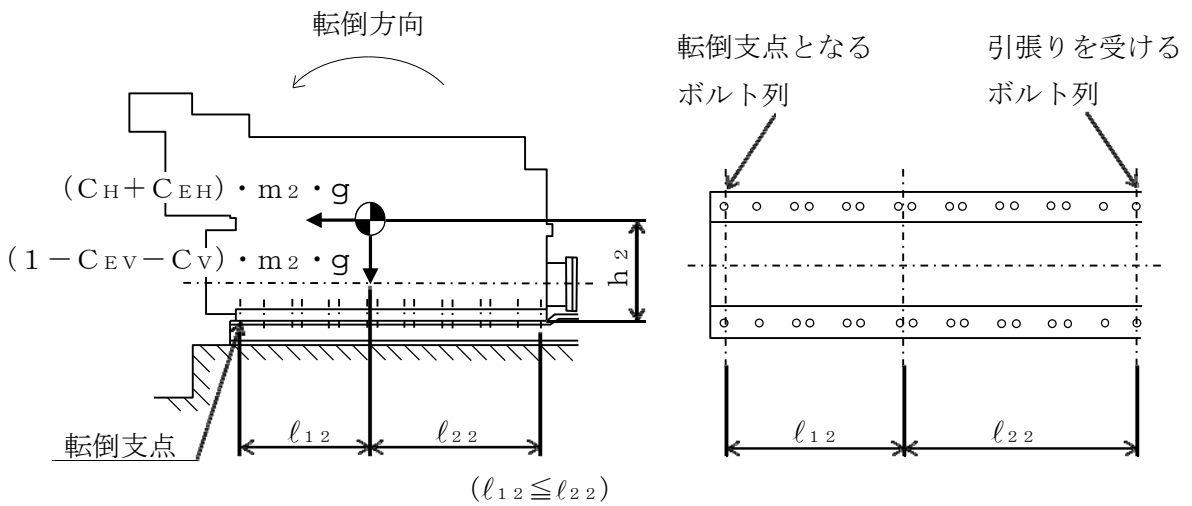


図 5-4 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

ディーゼル機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-3 及び図 5-4 でディーゼル機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列のディーゼル機関取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-4 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_{E1} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot l_{12}}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。また、ディーゼル機関回転によるモーメント M_{E1} は次式により求める。

注記* : $M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P$
 (1kW = 10^6 N·mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、ディーゼル機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

ただし、 F_{b2} が負のときディーゼル機関取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ディーゼル機関取付ボルトに対するせん断力はディーゼル機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 発電機固定子取付ボルトの計算方法

発電機固定子取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

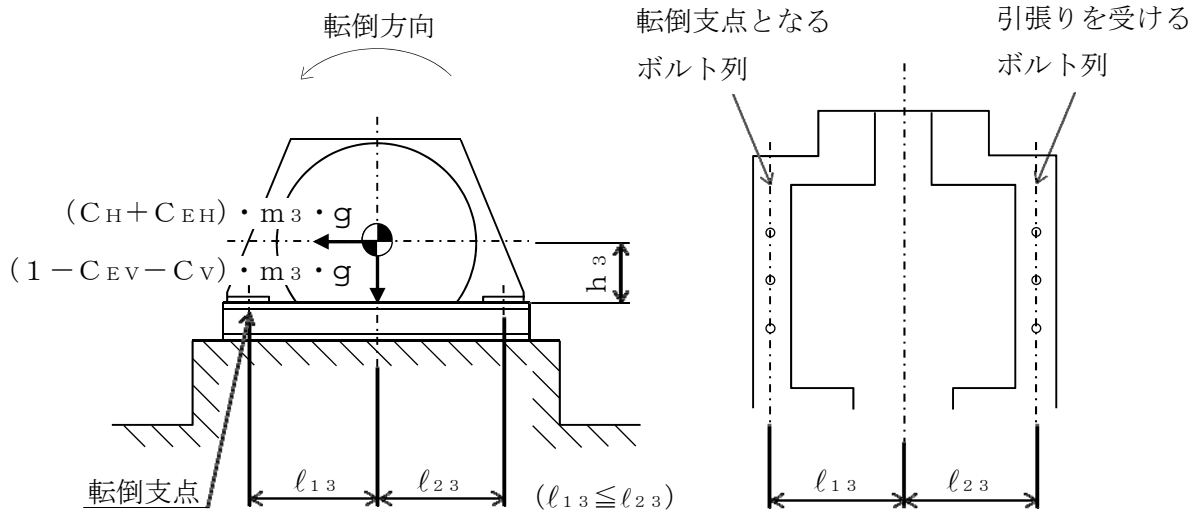


図 5-5 計算モデル（軸直角方向転倒）

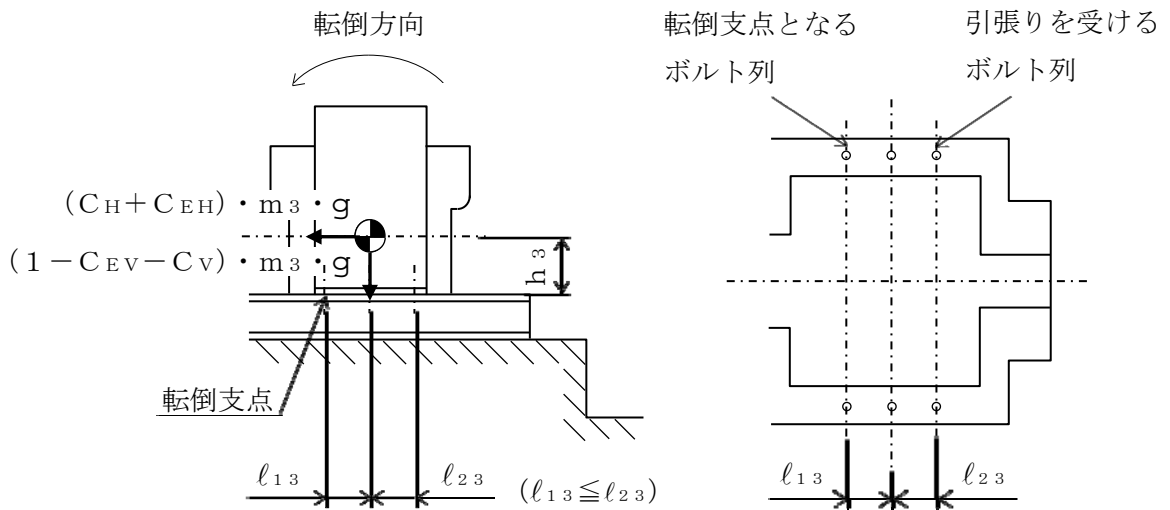


図 5-6 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機固定子取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-5 及び図 5-6 で発電機固定子取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機固定子取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-6 の場合は、発電機回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_3 + M_{E2} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_3 \cdot g \cdot l_{13}}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。また、発電機回転によるモーメント M_{E2} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E2} = M_{E1} = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、発電機固定子取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

ただし、 F_{b3} が負のとき発電機固定子取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

発電機固定子取付ボルトに対するせん断力は発電機固定子取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 発電機軸受台取付ボルトの計算方法

発電機軸受台取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

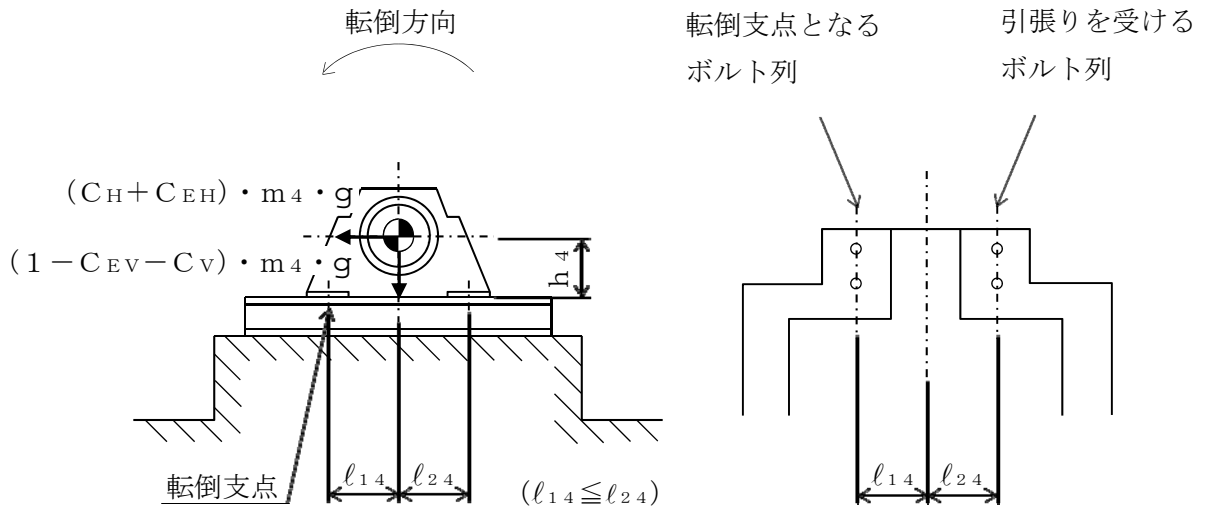


図5-7 計算モデル（軸直角方向転倒）

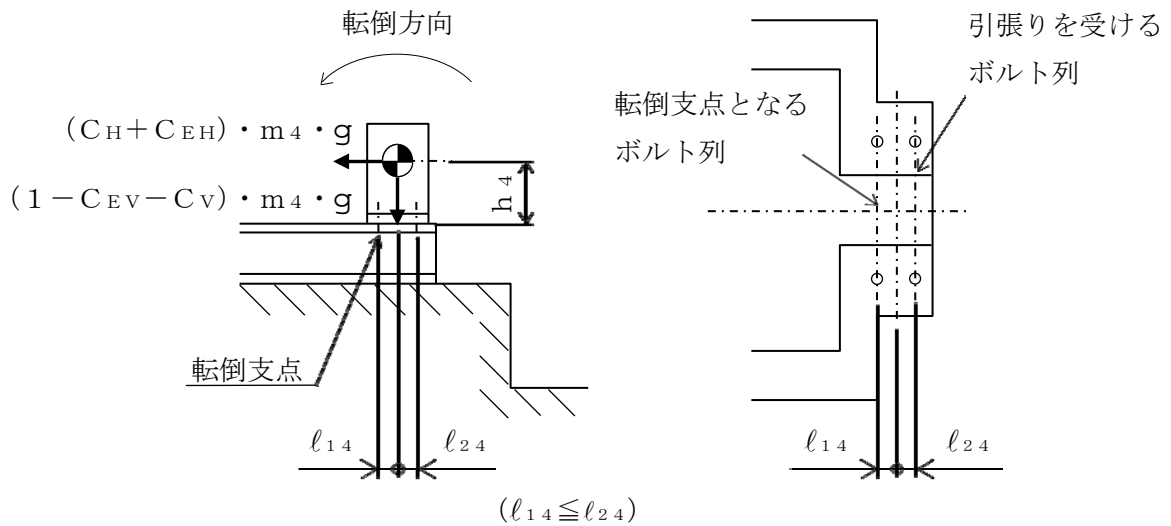


図5-8 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機軸受台取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-7 及び図 5-8 で発電機軸受台取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機軸受台取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \cdot h_4 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_4 \cdot g \cdot \ell_{14}}{n_{f4} \cdot (\ell_{14} + \ell_{24})} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

ここで、発電機軸受台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

ただし、 F_{b4} が負のとき発電機軸受台取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

発電機軸受台取付ボルトに対するせん断力は発電機軸受台取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b4} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 ディーゼル機関取付ボルトの応力計算条件

ディーゼル機関取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.3 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

発電機固定子取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.4 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

発電機軸受台取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
機 関	中速形 ディーゼル機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0
発電機	横形すべり軸受	水平	2.6
		鉛直	1.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	S	原子炉建物 EL 1.3*1			C _H =0.65*2	C _V =0.48*2	C _H =1.84*3	C _V =0.95*3	C _{EH} =0.02	C _{EV} =0.02	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)		1700	48 (M48)	915	915	50	23
				4632	5861		2
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)		1700	56 (M56)	915	915	32	16
				2735	3515		2
発電機固定子取付ボルト (i=3)		637.2	48 (M48)	1600	1600	6	3
				625	625		2
発電機軸受台取付ボルト (i=4)		637.2	42 (M42)	600	600	4	2
				200	200		2

部材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	1.810×10 ³	299*2 (40mm<径≤100mm)	498*2 (40mm<径≤100mm)	299	348	軸直角	軸	—
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	2.463×10 ³	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	634	634	軸直角	軸	1.143×10 ⁸
発電機固定子取付ボルト (i=3)	1.810×10 ³	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	634	634	軸	軸	—
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	1.385×10 ³	211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—

P (kW)	N (rpm)	E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
6150	514	201000*2	77300*2	1.504×10 ¹²	1.288×10 ⁵

注記*1：ボルトにおける上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)				
ディーゼル機関取付ボルト (i = 2)				
発電機固定子取付ボルト (i = 3)				
発電機軸受台取付ボルト (i = 4)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	S35C	引張り	$\sigma_{b1} = 15$	$f_{ts1} = 224^*$	$\sigma_{b1} = 130$	$f_{ts1} = 261^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 12$	$f_{sb1} = 173$	$\tau_{b1} = 34$	$f_{sb1} = 201$
ディーゼル機関 取付ボルト (i=2)	SCM435	引張り	$\sigma_{b2} = 12$	$f_{ts2} = 475^*$	$\sigma_{b2} = 107$	$f_{ts2} = 475^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 9$	$f_{sb2} = 366$	$\tau_{b2} = 25$	$f_{sb2} = 366$
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	SCM435	引張り	$\sigma_{b3} = 6$	$f_{ts3} = 475^*$	$\sigma_{b3} = 62$	$f_{ts3} = 475^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 15$	$f_{sb3} = 366$	$\tau_{b3} = 41$	$f_{sb3} = 366$
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	$\sigma_{b4} = 44$	$f_{ts4} = 158^*$	$\sigma_{b4} = 156$	$f_{ts4} = 187^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 18$	$f_{sb4} = 122$	$\tau_{b4} = 49$	$f_{sb4} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機関	水平方向	0.81	1.1
	鉛直方向	0.58	1.0
ガバナ	水平方向	0.81	1.8
	鉛直方向	0.58	1.0
発電機	水平方向	0.81	2.6
	鉛直方向	0.58	1.0

注記*: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1			—	—	C _H =1.84*2	C _V =0.95*2	C _{EH} =0.02	C _{EV} =0.02	—	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)		1700	48 (M48)	915	915	50	23
				4632	5861		2
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)		1700	56 (M56)	915	915	32	16
				2735	3515		2
発電機固定子取付ボルト (i=3)		637.2	48 (M48)	1600	1600	6	3
				625	625		2
発電機軸受台取付ボルト (i=4)		637.2	42 (M42)	600	600	4	2
				200	200		2

部材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	1.810×10 ³	299*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	498*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	348	—	軸	—
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	2.463×10 ³	764*2 (径 ≤ 60mm)	906*2 (径 ≤ 60mm)	—	634	—	軸	—
発電機固定子取付ボルト (i=3)	1.810×10 ³	764*2 (径 ≤ 60mm)	906*2 (径 ≤ 60mm)	—	634	—	軸	—
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	1.385×10 ³	211*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	394*2 (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	253	—	軸	—

P (kW)	N (rpm)	E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
6150	514	201000*2	77300*2	1.504×10 ¹²	1.288×10 ⁵

注記*1: ボルトにおける上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	—		—	
発電機固定子取付ボルト (i=3)	—		—	
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	S35C	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=130$	$f_{ts1}=261^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=34$	$f_{sb1}=201$
ディーゼル機関 取付ボルト (i=2)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=107$	$f_{ts2}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=25$	$f_{sb2}=366$
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=62$	$f_{ts3}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=41$	$f_{sb3}=366$
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4}=156$	$f_{ts4}=187^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=49$	$f_{sb4}=146$

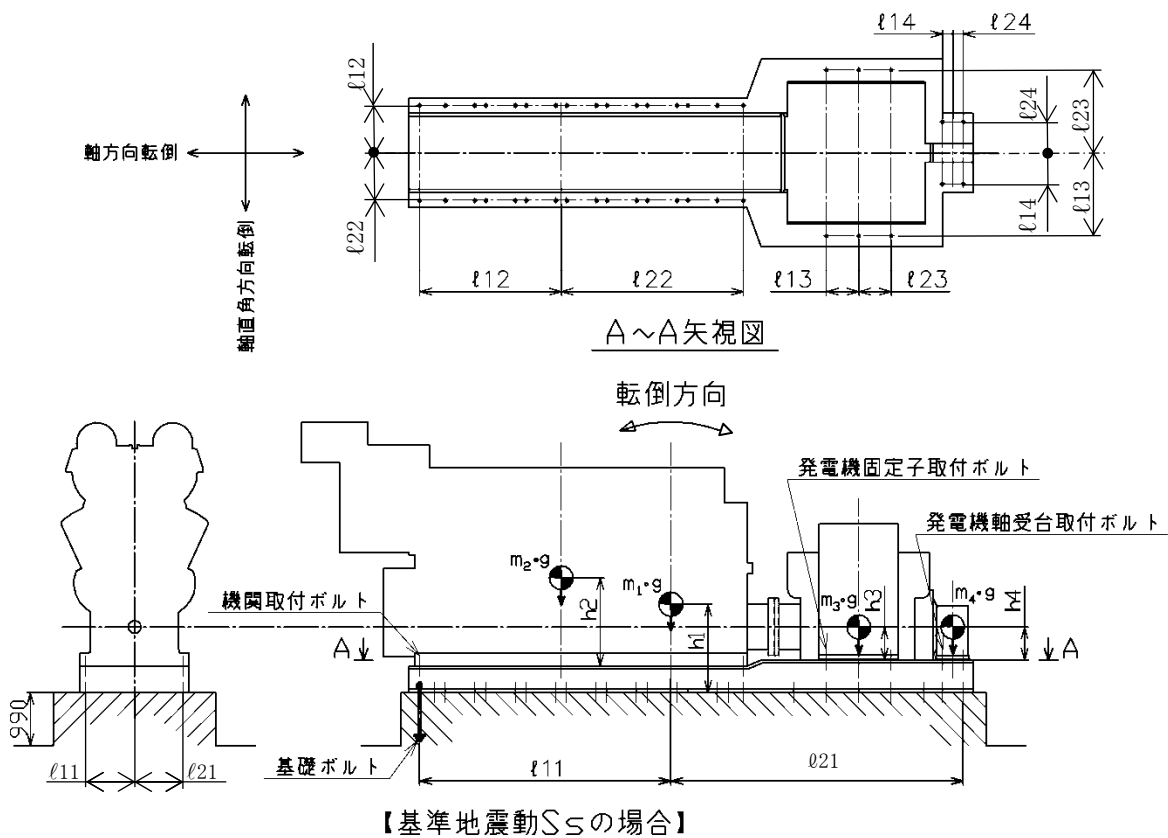
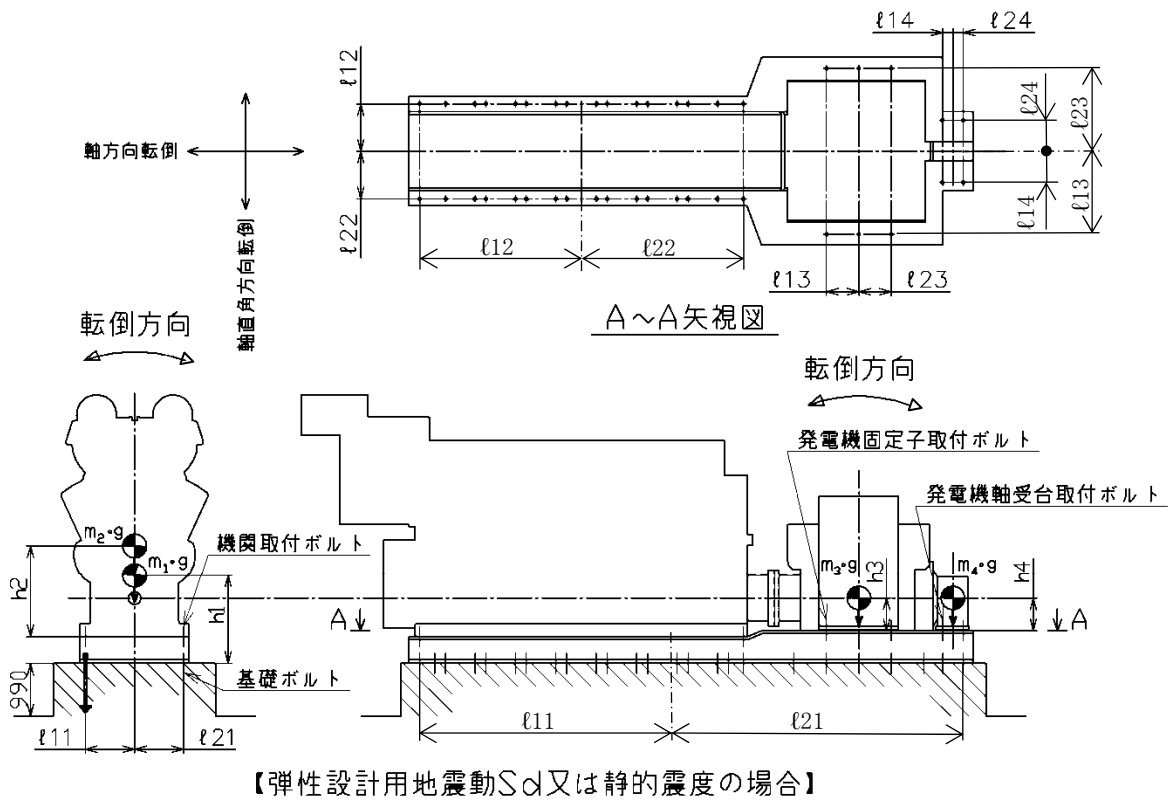
すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.3 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機関	水平方向	0.81	1.1
	鉛直方向	0.58	1.0
ガバナ	水平方向	0.81	1.8
	鉛直方向	0.58	1.0
発電機	水平方向	0.81	2.6
	鉛直方向	0.58	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-10-1-2-1-3 非常用ディーゼル発電設備空気だめの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ディーゼル発電設備空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

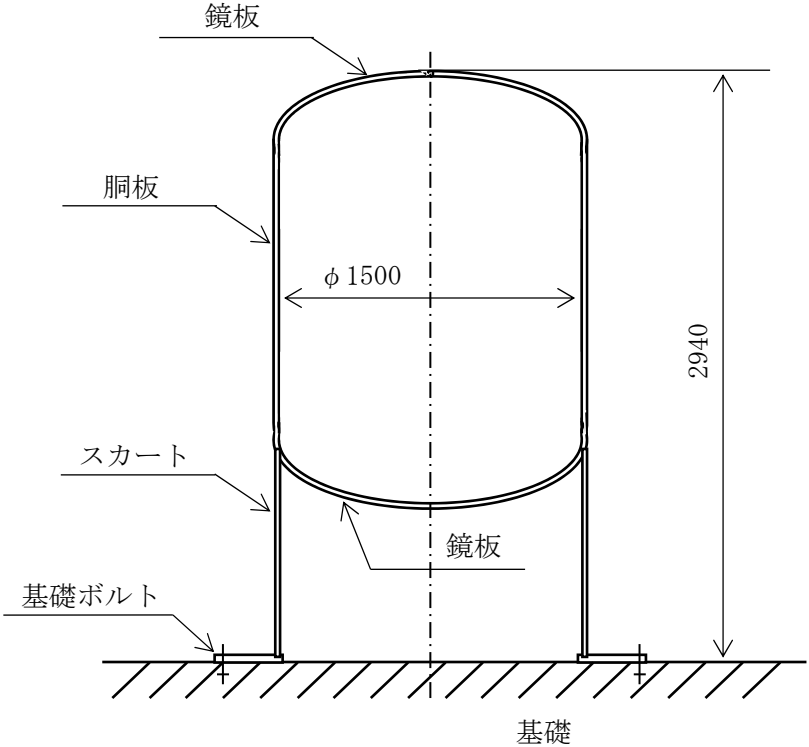
なお、非常用ディーゼル発電設備空気だめは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡板 を有するスカート支持 たて置円筒形容器)</p>	 <p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備空気だめの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備空気だめの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備空気だめの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備空気だめの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ディーゼル発電設備空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 ^{*2} クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	ⅣA S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V A S (V A Sとして ⅣA Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)			基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1: 座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SB46* ¹	最高使用温度	100	—	220	433	—
スカート	SM41A* ² (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* ³ (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SB450 相当

*2 : SM400A 相当

*3 : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SB46* ¹	最高使用温度	100	—	220	433	—
スカート	SM41A* ² (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* ³ (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SB450 相当

*2 : SM400A 相当

*3 : SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$C_H=0.66^{*2}$	$C_V=0.48^{*2}$	$C_H=1.87^{*3}$	$C_V=0.96^{*3}$	3.24	100	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1500	25.0	1519	6.0	198000*1	201000*2	76200*1	77300*2

\varnothing (mm)	\varnothing_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)
971	699	400	155.2	—	15	12	1630	1710

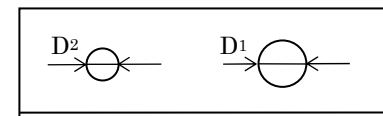
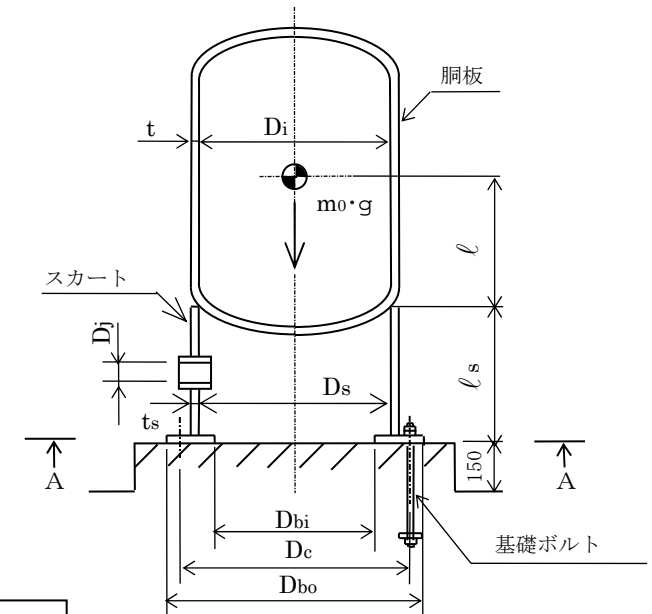
D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	M_s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
1350	20 (M20)	314.2	560	4.540×10^7	1.286×10^8

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
220*1	433*1	—	241*2 (厚さ ≤ 16mm)	394*2 (厚さ ≤ 16mm)	241	276

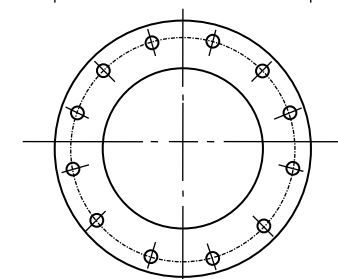
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	231	276

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—
運転時質量による引張応力		—	$\sigma_{x 2}=0$	—	—	$\sigma_{x 2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力		—	$\sigma_{x 5}=0$	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
空質量による圧縮応力		—	$\sigma_{x 3}=1$	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	$\sigma_{x 6}=1$	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力		—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau =1$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=51$	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=52$	—
	圧縮側	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-49$	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-48$	—
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0 t}=100$			$\sigma_{0 t}=100$		
	圧縮	—			—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力		—	$\sigma_{x 5}=0$	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	$\sigma_{x 6}=1$	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力		—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau =1$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=2$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2 t}=2$			$\sigma_{2 t}=5$		
	圧縮	$\sigma_{2 c}=2$			$\sigma_{2 c}=6$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力		$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =9$	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =22$
鉛直方向地震による応力		$\sigma_{s 3}=1$		$\sigma_{s 3}=2$	
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s 2}=6$		$\sigma_{s 2}=16$	
	せん断	$\tau_s =3$		$\tau_s =6$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b =15$	$\sigma_b =61$
せん断応力	$\tau_b =8$	$\tau_b =21$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	$\sigma_o=100$	$S_a=220$	$\sigma_o=100$	$S_a=259$
		一次+二次	$\sigma_z=2$	$S_a=440$	$\sigma_z=6$	$S_a=440$
スカート	SM41A	組合せ	$\sigma_s=9$	$f_t=241$	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.04 (無次元)		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=173^*$	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	$\tau_b=8$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	常設/防止 (D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	□	□	—	—	C _H =1.87 ^{*2}	C _V =0.96 ^{*2}	3.24	100	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
□	□	1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}

φ (mm)	φ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
971	699	400	155.2	—	15	12	1630	1710

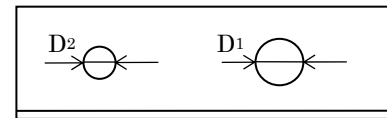
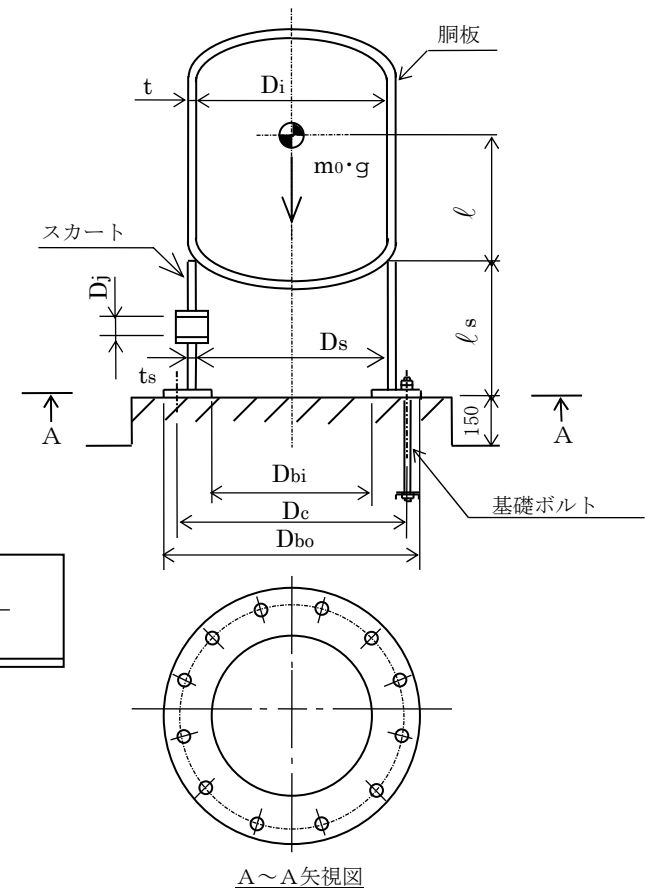
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
1350	20 (M20)	314.2	560	—	1.286 × 10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ ≤ 16mm)	394 ^{*2} (厚さ ≤ 16mm)	—	276

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	394 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	—	276

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。

A~A 矢視図

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=52$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-48$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{o t}=100$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる 一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=2$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2 t}=5$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2 c}=6$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =22$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s 3}=2$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2}=16$	
	せん断		$\tau_s =6$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b =61$
せん断応力	—	$\tau_b =21$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=100$	$S_a=259$
		一次+二次	—	—	$\sigma_z=6$	$S_a=440$
スカート	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の
耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル
機関及び発電機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	16
5.4 計算方法	17
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	26
6. 機能維持評価	27
6.1 動的機能維持評価方法	27
7. 評価結果	28
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
7.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の構造計画を表2-1-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ディーゼル機関及び発電機は機関取付ボルト，発電機固定子取付ボルト及び発電機軸受台取付ボルトで直接据付台床に取り付ける。据付台床は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>4 サイクル単動無気噴油式ディーゼル機関及び同期発電機 (ディーゼル機関及び三相同期発電機)</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

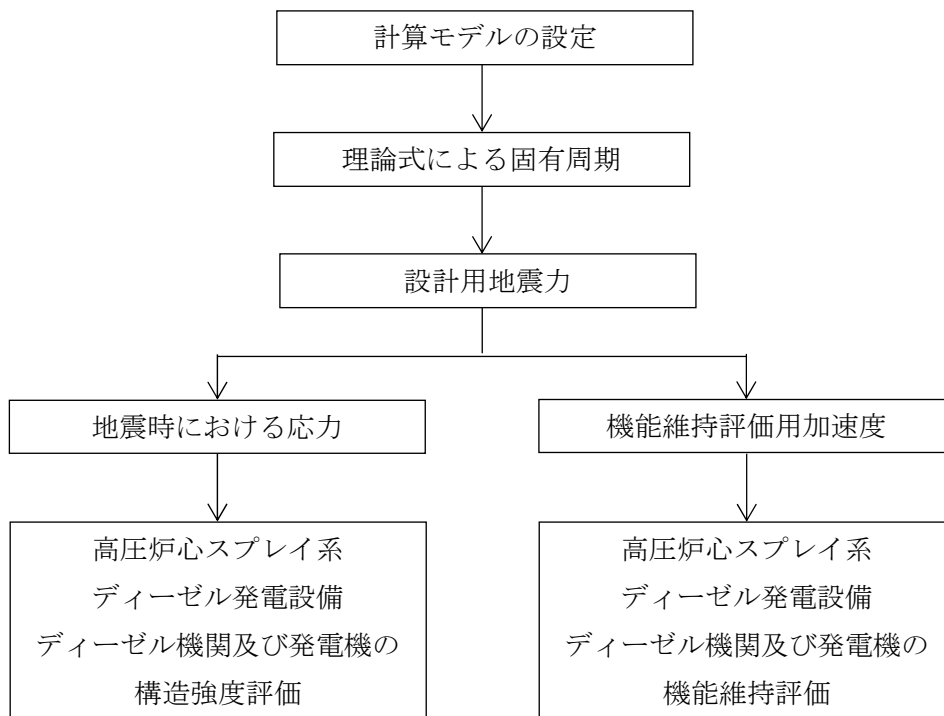


図 2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _{b i}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A _s	最小有効せん断断面積	mm ²
C _{EH}	ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	—
C _{EV}	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F _i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F _{b i}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f _{s b i}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f _{t o i}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f _{t s i}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h _i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l _{1 i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l _{2 i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
M _{E1}	ディーゼル機関回転により作用するモーメント	N・mm
M _{E2}	発電機回転により作用するモーメント	N・mm
m _i	運転時質量* ²	kg
N	回転数 (ディーゼル機関の定格回転数)	rpm
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
P	ディーゼル機関出力	kW
Q _{b i}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S _{u i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S _{y i}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
S _{y i} (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
T _H	水平方向固有周期	s
T _V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ _{b i}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ _{b i}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: ディーゼル機関取付ボルト

$i=3$: 発電機固定子取付ボルト

$i=4$: 発電機軸受台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: ディーゼル機関取付面

$i=3$: 発電機固定子取付面

$i=4$: 発電機軸受台取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. ディーゼル機関及び発電機，各機器の質量は重心に集中するものとする。
- b. ディーゼル機関及び発電機は据付台床上にあり，据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。また，ディーゼル機関，発電機固定子及び発電機軸受台は，据付台床上に取付ボルトで固定されるものとする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. ディーゼル機関及び発電機は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

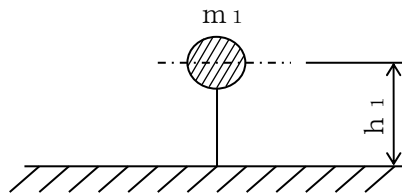


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \left(\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{1000} \cdot \frac{h_1}{A \cdot E}} \quad \dots (4.1.2)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平		
鉛直		

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1～図 5-8 における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	常設／防止 (DB 拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	299	498	—
ディーゼル機関 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機固定子 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	S35C (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	299	498	—
ディーゼル機関 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機固定子 取付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—
発電機軸受台 取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			C _H =0.65 ^{*2}	C _V =0.48 ^{*2}	C _H =1.84 ^{*3}	C _V =0.95 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			—	—	C _H =1.84 ^{*2}	C _V =0.95 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

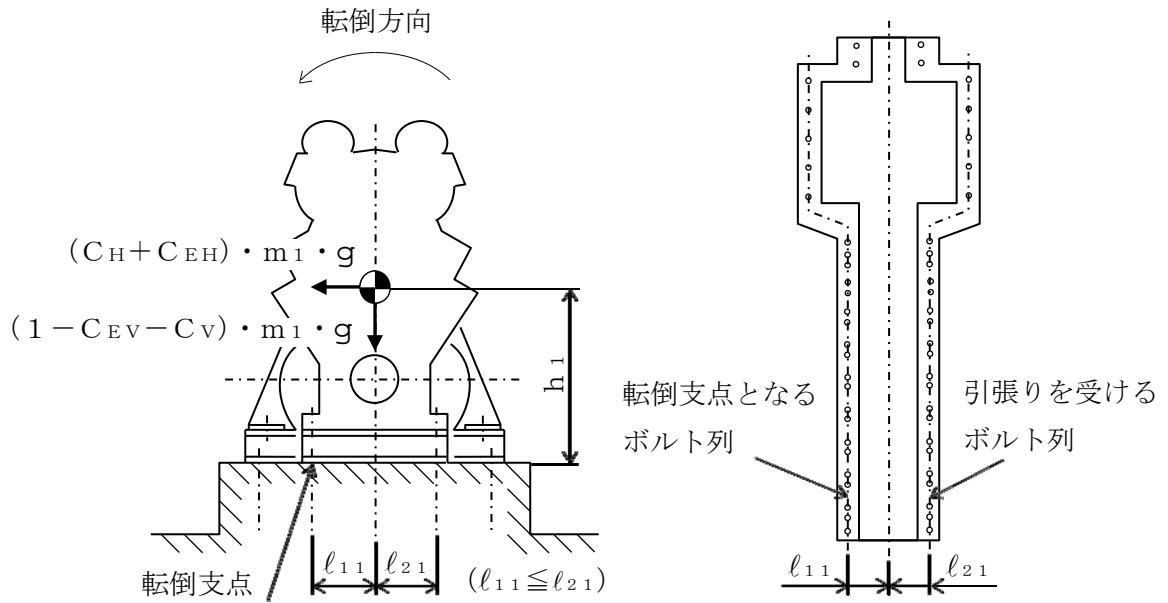


図 5-1 計算モデル（軸直角方向転倒）

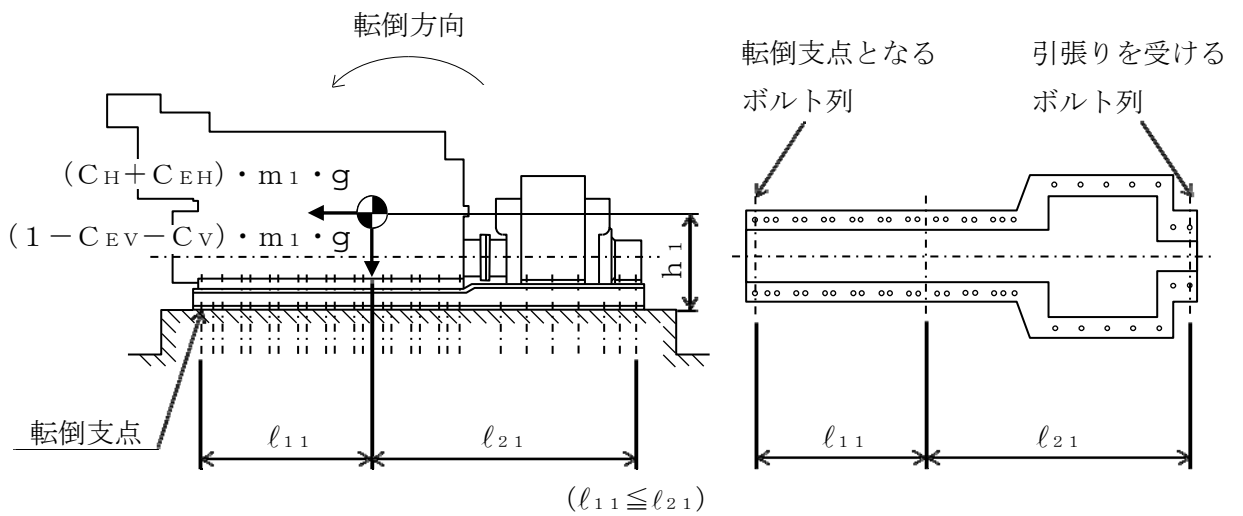


図 5-2 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-2 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメントは、作用しない。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_1 \cdot g \cdot \ell_{11}}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ただし、 F_{b1} が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_1 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ディーゼル機関取付ボルトの計算方法

ディーゼル機関取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及びディーゼル機関回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

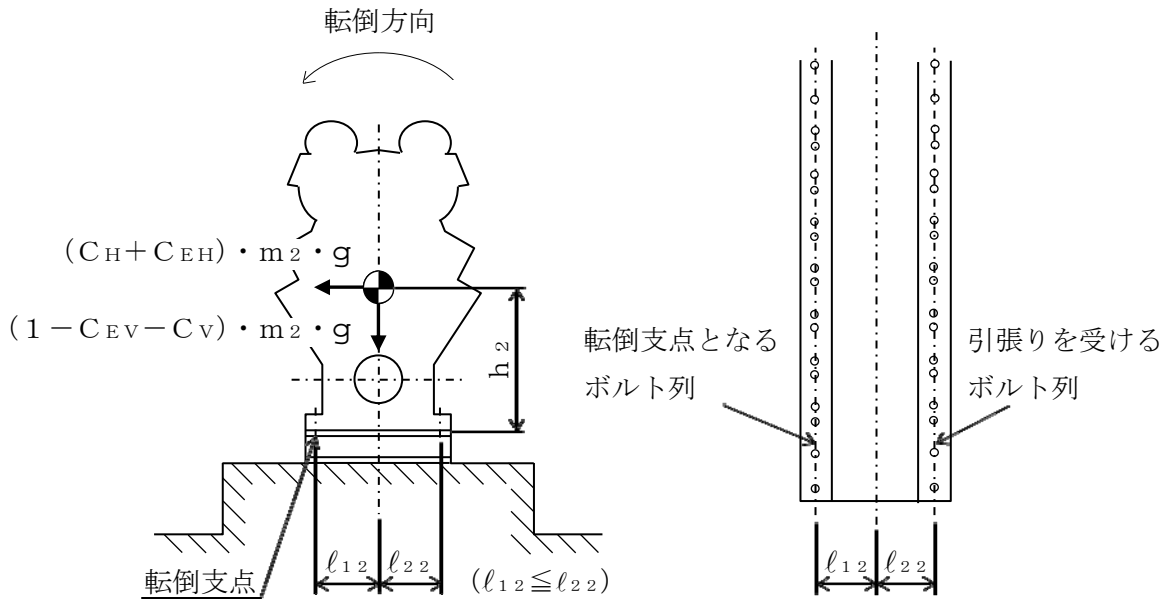


図5-3 計算モデル（軸直角方向転倒）

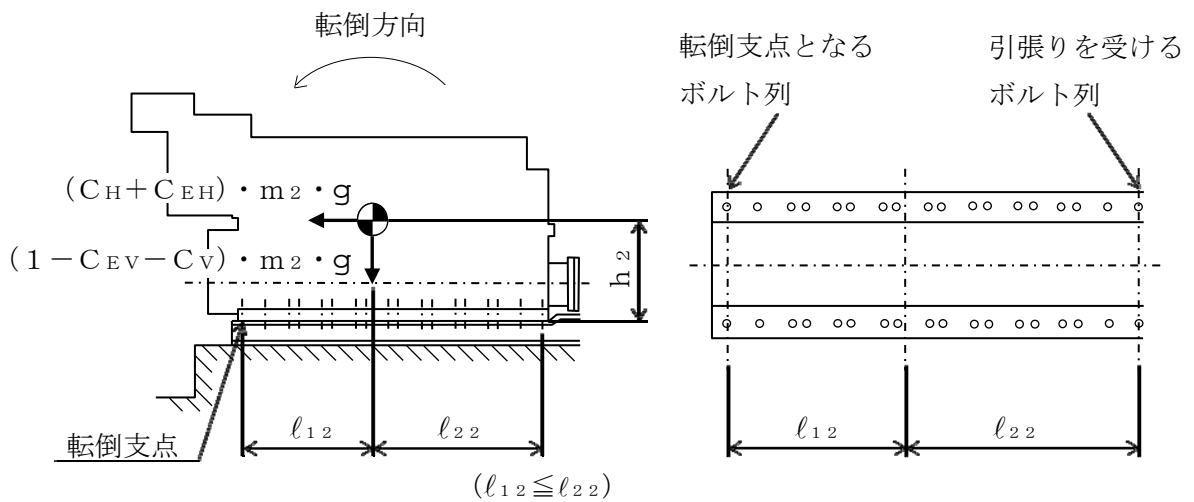


図5-4 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

ディーゼル機関取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-3 及び図 5-4 でディーゼル機関取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列のディーゼル機関取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-4 の場合は、ディーゼル機関回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b2} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \cdot h_2 + M_{E1} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_2 \cdot g \cdot \ell_{12}}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。また、ディーゼル機関回転によるモーメント M_{E1} は次式により求める。

$$\text{注記* : } M_{E1} = \left[\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right] \cdot 10^6 \cdot P \quad (1\text{kW} = 10^6 \text{N} \cdot \text{mm/s})$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、ディーゼル機関取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

ただし、 F_{b2} が負のときディーゼル機関取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ディーゼル機関取付ボルトに対するせん断力はディーゼル機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_2 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 発電機固定子取付ボルトの計算方法

発電機固定子取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度及び発電機回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

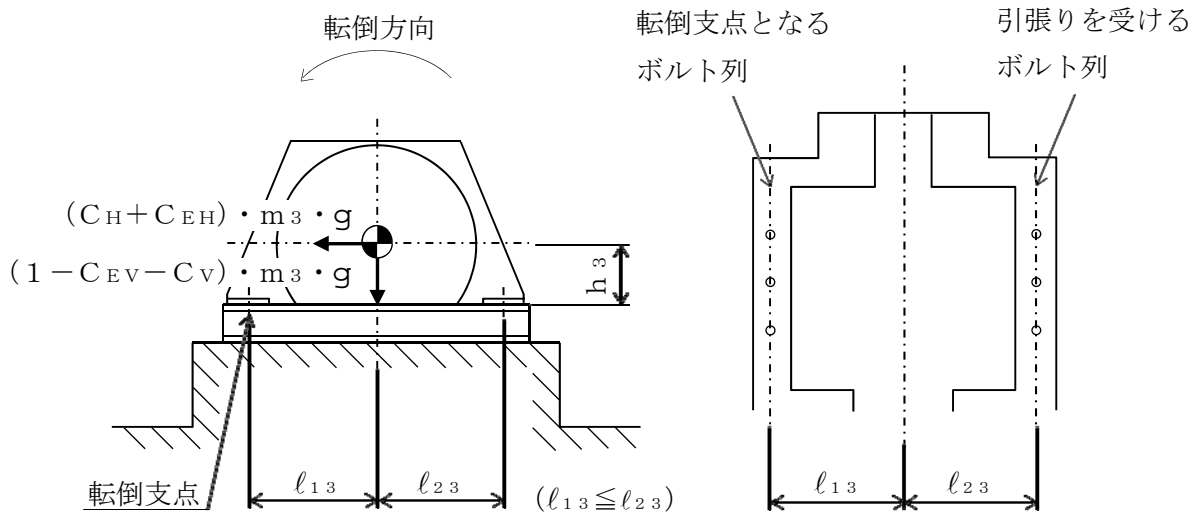


図 5-5 計算モデル（軸直角方向転倒）

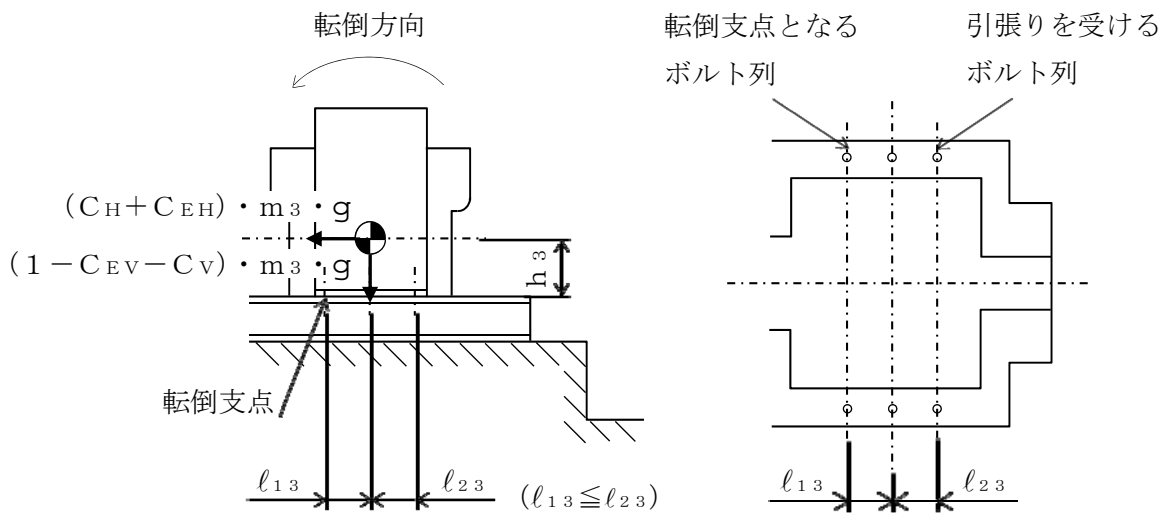


図 5-6 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機固定子取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-5 及び図 5-6 で発電機固定子取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機固定子取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、計算モデル図 5-6 の場合は、発電機回転によるモーメント*は作用しない。

引張力

$$F_{b3} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \cdot h_3 + M_{E2} - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_3 \cdot g \cdot l_{13}}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。また、発電機回転によるモーメント M_{E2} は次式により求める。

$$\text{注記*} : M_{E2} = M_{E1} = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

(1kW=10⁶N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、発電機固定子取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

ただし、 F_{b3} が負のとき発電機固定子取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

発電機固定子取付ボルトに対するせん断力は発電機固定子取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_3 \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 発電機軸受台取付ボルトの計算方法

発電機軸受台取付ボルトの応力は地震による震度，ディーゼル機関の往復運動による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

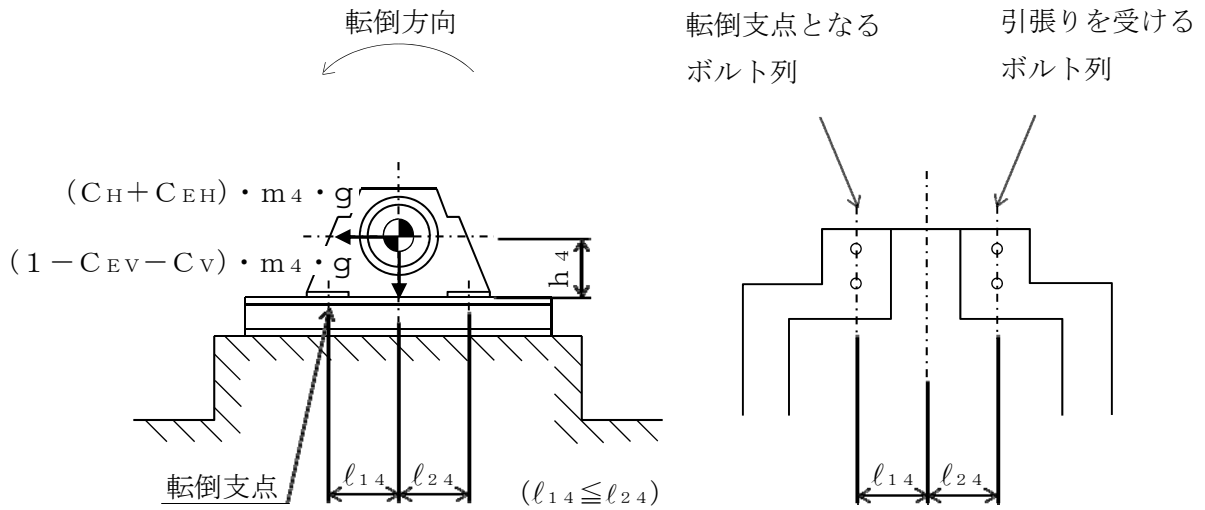


図5-7 計算モデル（軸直角方向転倒）

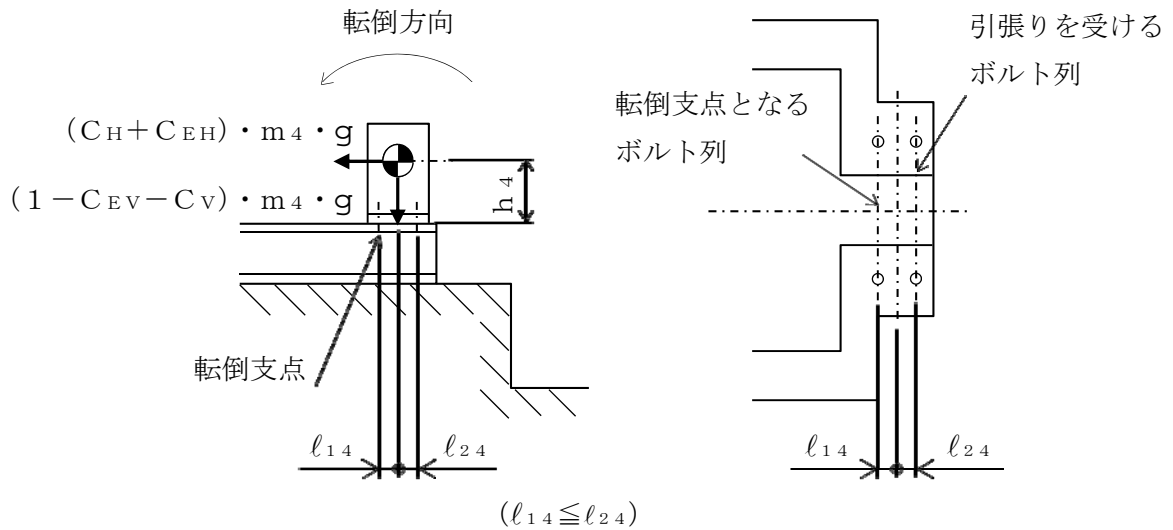


図5-8 計算モデル（軸方向転倒）

(1) 引張応力

発電機軸受台取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-7 及び図 5-8 で発電機軸受台取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の発電機軸受台取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{(C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \cdot h_4 - (1 - C_{EV} - C_V) \cdot m_4 \cdot g \cdot \ell_{14}}{n_{f4} \cdot (\ell_{14} + \ell_{24})} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

ここで、 C_{EH} 及び C_{EV} はディーゼル機関の往復運動による起振力及びディーゼル機関の回転数を考慮して定める値である。

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

ここで、発電機軸受台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

ただし、 F_{b4} が負のとき発電機軸受台取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

発電機軸受台取付ボルトに対するせん断力は発電機軸受台取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b4} = (C_H + C_{EH}) \cdot m_4 \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 ディーゼル機関取付ボルトの応力計算条件

ディーゼル機関取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.3 発電機固定子取付ボルトの応力計算条件

発電機固定子取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.4 発電機軸受台取付ボルトの応力計算条件

発電機軸受台取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
機 関	中速形 ディーゼル機関	水平	1.1
		鉛直	1.0
ガバナ		水平	1.8
		鉛直	1.0
発電機	横形すべり軸受	水平	2.6
		鉛直	1.0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル機関及び発電機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ディーゼル機関 往復運動による 水平方向震度	ディーゼル機関 往復運動による 鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	S	原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			C _H =0.65 ^{*2}	C _V =0.48 ^{*2}	C _H =1.84 ^{*3}	C _V =0.95 ^{*3}	C _{EH} =0.02	C _{EV} =0.02	—	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度のいずれか大きい方, 若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)		1650	48 (M48)	915	915	54	25
5148				6165	2		
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)		1615	56 (M56)	915	915	36	18
3310				3720	2		
発電機固定子取付ボルト (i=3)	637.2	48 (M48)	1600	1600	6	3	
625			625	2			
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	637.2	42 (M42)	600	600	4	2	
200			200	2			

部材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)
						弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	1.810×10 ³	299 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	498 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	299	348	軸直角	軸	—
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	2.463×10 ³	764 ^{*2} (径≤60mm)	906 ^{*2} (径≤60mm)	634	634	軸直角	軸	6.465×10 ⁷
発電機固定子取付ボルト (i=3)	1.810×10 ³	764 ^{*2} (径≤60mm)	906 ^{*2} (径≤60mm)	634	634	軸	軸	—
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	1.385×10 ³	211 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	394 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	211	253	軸	軸	—

P (kW)	N (rpm)	E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
3480	514	201000 ^{*2}	77300 ^{*2}	1.576×10 ¹²	1.274×10 ⁵

注記*1: ボルトにおける上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し, 下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)				
発電機固定子取付ボルト (i=3)				
発電機軸受台取付ボルト (i=4)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	S35C	引張り	$\sigma_{b1} = 14$	$f_{ts1} = 224^*$	$\sigma_{b1} = 126$	$f_{ts1} = 261^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 13$	$f_{sb1} = 173$	$\tau_{b1} = 34$	$f_{sb1} = 201$
ディーゼル機関 取付ボルト (i=2)	SCM435	引張り	$\sigma_{b2} = 10$	$f_{ts2} = 475^*$	$\sigma_{b2} = 100$	$f_{ts2} = 475^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 9$	$f_{sb2} = 366$	$\tau_{b2} = 25$	$f_{sb2} = 366$
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	SCM435	引張り	$\sigma_{b3} = 6$	$f_{ts3} = 475^*$	$\sigma_{b3} = 62$	$f_{ts3} = 475^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 15$	$f_{sb3} = 366$	$\tau_{b3} = 42$	$f_{sb3} = 366$
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	$\sigma_{b4} = 45$	$f_{ts4} = 158^*$	$\sigma_{b4} = 161$	$f_{ts4} = 185^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 19$	$f_{sb4} = 122$	$\tau_{b4} = 51$	$f_{sb4} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機関	水平方向	0.81	1.1
	鉛直方向	0.58	1.0
ガバナ	水平方向	0.81	1.8
	鉛直方向	0.58	1.0
発電機	水平方向	0.81	2.6
	鉛直方向	0.58	1.0

注記*: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ディーゼル機関往復運動による水平方向震度	ディーゼル機関往復運動による鉛直方向震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル機関及び発電機	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			—	—	C _H =1.84 ^{*2}	C _V =0.95 ^{*2}	C _{EH} =0.02	C _{EV} =0.02	—	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)		1650	48 (M48)	915	915	54	25
					5148		6165
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)		1615	56 (M56)	915	915	36	18
					3310		3720
発電機固定子取付ボルト (i=3)	637.2	48 (M48)	1600	1600	6	3	
				625		625	2
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	637.2	42 (M42)	600	600	4	2	
				200		200	2

部材	A _{bi} (mm ²)	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _E (N・mm)
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	1.810×10 ³	299 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	498 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	348	—	軸	—
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	2.463×10 ³	764 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	906 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	—	634	—	軸	—
発電機固定子取付ボルト (i=3)	1.810×10 ³	764 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	906 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	—	634	—	軸	—
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	1.385×10 ³	211 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	394 ^{*2} (40mm < 径 ≤ 100mm)	—	253	—	軸	—

P (kW)	N (rpm)	E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
3480	514	201000 ^{*2}	77300 ^{*2}	1.576×10 ¹²	1.274×10 ⁵

注記*1: ボルトにおける上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ディーゼル機関取付ボルト (i=2)	—		—	
発電機固定子取付ボルト (i=3)	—		—	
発電機軸受台取付ボルト (i=4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	S35C	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=126$	$f_{ts1}=261^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=34$	$f_{sb1}=201$
ディーゼル機関 取付ボルト (i=2)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=100$	$f_{ts2}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=25$	$f_{sb2}=366$
発電機固定子 取付ボルト (i=3)	SCM435	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=62$	$f_{ts3}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=42$	$f_{sb3}=366$
発電機軸受台 取付ボルト (i=4)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b4}=161$	$f_{ts4}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=51$	$f_{sb4}=146$

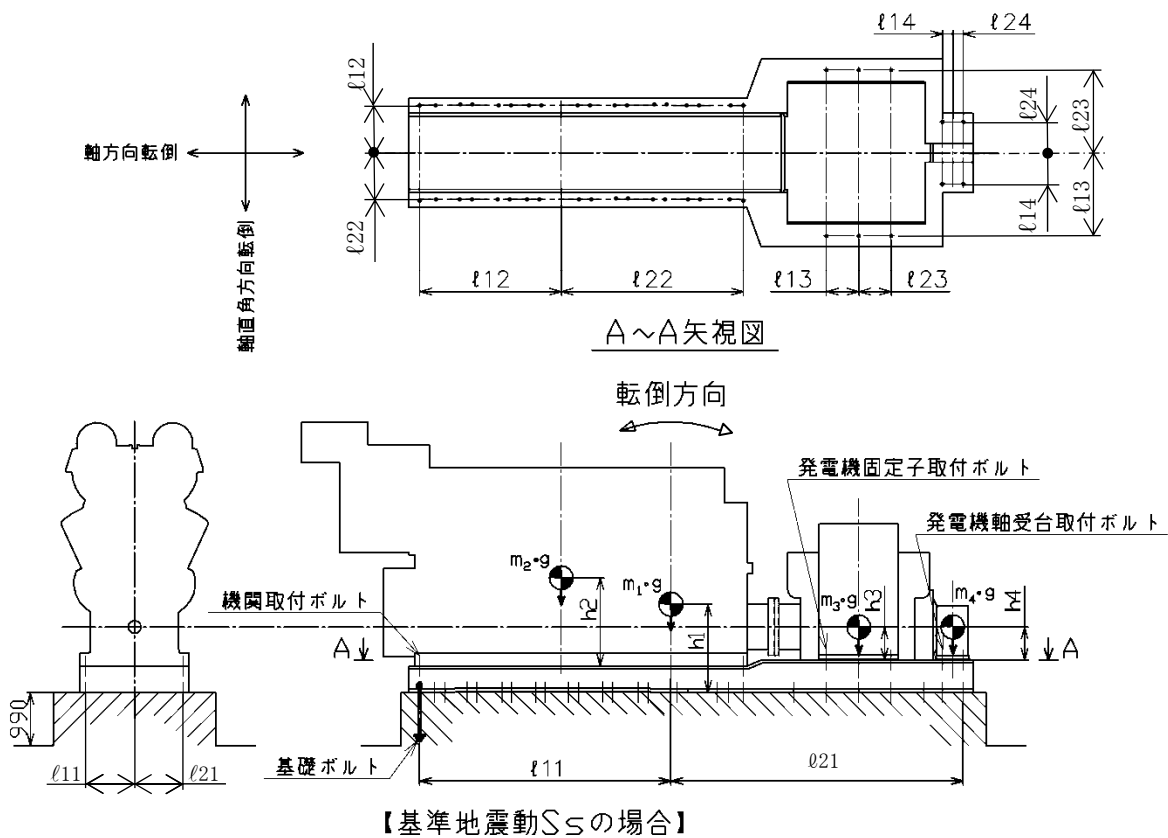
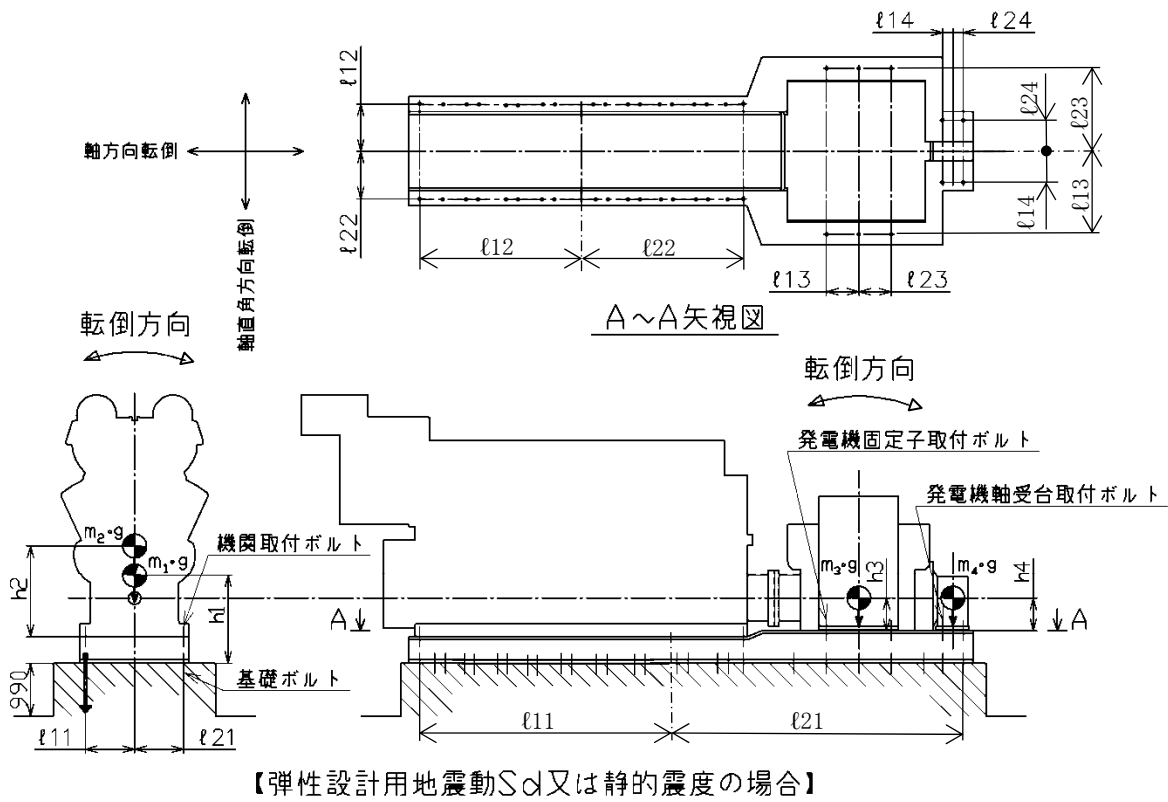
すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.3 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
機関	水平方向	0.81	1.1
	鉛直方向	0.58	1.0
ガバナ	水平方向	0.81	1.8
	鉛直方向	0.58	1.0
発電機	水平方向	0.81	2.6
	鉛直方向	0.58	1.0

注記*: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-10-1-2-2-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
空気だめの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡板 を有するスカート支持 たて置円筒形容器)</p>	

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 空気だめ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 空気だめ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 ^{*2} クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	ⅣA S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V A S (V A Sとして ⅣA Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)			基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1: 座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SB46* ¹	最高使用温度	100	—	220	433	—
スカート	SM41A* ² (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* ³ (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SB450 相当

*2 : SM400A 相当

*3 : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SB46* ¹	最高使用温度	100	—	220	433	—
スカート	SM41A* ² (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* ³ (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SB450 相当

*2 : SM400A 相当

*3 : SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備空気だめの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電設備空気だめ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$C_H=0.66^{*2}$	$C_V=0.48^{*2}$	$C_H=1.87^{*3}$	$C_V=0.96^{*3}$	3.24	100	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1500	25.0	1519	6.0	198000*1	201000*2	76200*1	77300*2

ϕ (mm)	ϕ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)
971	699	400	155.2	—	15	12	1630	1710

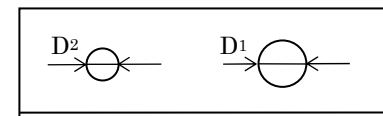
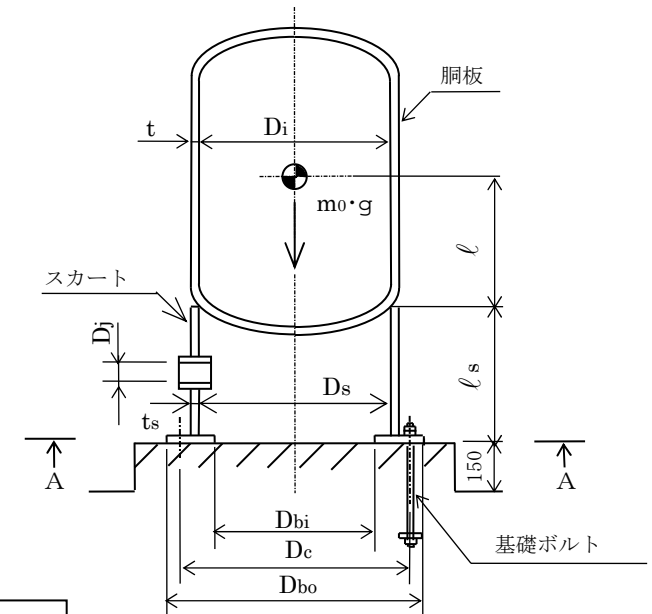
D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	M_s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
1350	20 (M20)	314.2	560	4.540×10^7	1.286×10^8

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
220*1	433*1	—	241*2 (厚さ ≤ 16mm)	394*2 (厚さ ≤ 16mm)	241	276

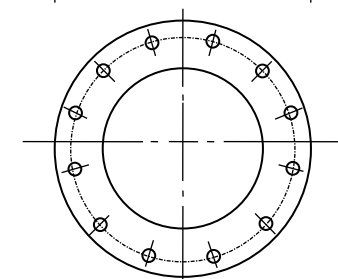
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	231	276

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—
運転時質量による引張応力		—	$\sigma_{x 2}=0$	—	—	$\sigma_{x 2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力		—	$\sigma_{x 5}=0$	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
空質量による圧縮応力		—	$\sigma_{x 3}=1$	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	$\sigma_{x 6}=1$	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力		—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau =1$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=51$	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=52$	—
	圧縮側	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-49$	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-48$	—
組合せ応力	引張り	$\sigma_{0 t}=100$			$\sigma_{0 t}=100$		
	圧縮	—			—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
		周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力		—	$\sigma_{x 5}=0$	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力		—	$\sigma_{x 6}=1$	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力		—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau =1$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=2$	—
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2 t}=2$			$\sigma_{2 t}=5$		
	圧縮	$\sigma_{2 c}=2$			$\sigma_{2 c}=6$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力		$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =9$	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =22$
鉛直方向地震による応力		$\sigma_{s 3}=1$		$\sigma_{s 3}=2$	
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s 2}=6$		$\sigma_{s 2}=16$	
	せん断	$\tau_s =3$		$\tau_s =6$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b =15$	$\sigma_b =61$
せん断応力	$\tau_b =8$	$\tau_b =21$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	$\sigma_o=100$	$S_a=220$	$\sigma_o=100$	$S_a=259$
		一次+二次	$\sigma_z=2$	$S_a=440$	$\sigma_z=6$	$S_a=440$
スカート	SM41A	組合せ	$\sigma_s=9$	$f_t=241$	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.04 (無次元)		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	$\sigma_b=15$	$f_{ts}=173^*$	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	$\tau_b=8$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレー系ディーゼル 発電設備空気だめ	常設/防止 (D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}			—	—	C _H =1.87 ^{*2}	C _V =0.96 ^{*2}	3.24	100	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
		1500	25.0	1519	6.0	198000 ^{*1}	201000 ^{*2}	76200 ^{*1}	77300 ^{*2}

∅	∅ _s	D ₁	D ₂	D ₃	s	n	D _c	D _{bo}
971	699	400	155.2	—	15	12	1630	1710

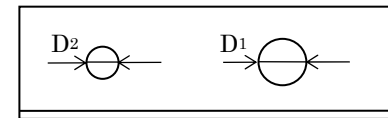
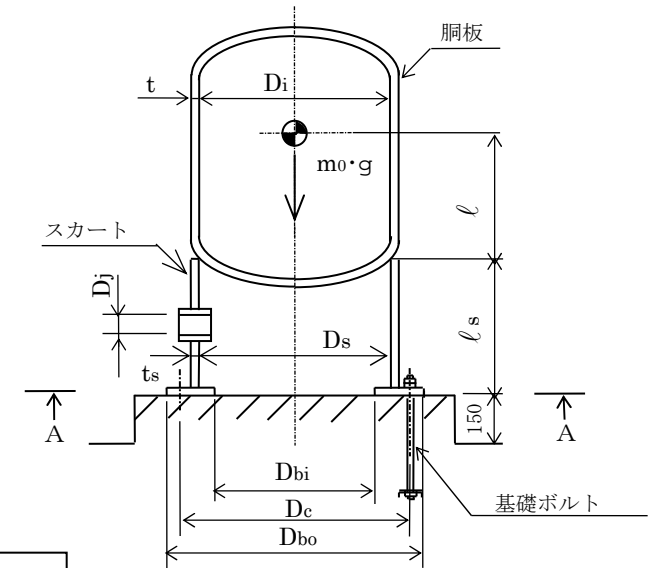
D _{bi} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
1350	20 (M20)	314.2	560	—	1.286 × 10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
220 ^{*1}	433 ^{*1}	—	241 ^{*2} (厚さ ≤ 16mm)	394 ^{*2} (厚さ ≤ 16mm)	—	276

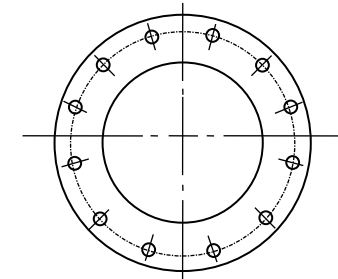
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
231 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	394 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	—	276

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=100$	$\sigma_{x 1}=50$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=0$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi}=100$	$\sigma_{x t}=52$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi}=-100$	$\sigma_{x c}=-48$	—
組合せ応力	引張り	—	—	$\sigma_{o t}=100$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる 一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 5}=0$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau =2$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x t}=2$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=0$	$\sigma_{2x c}=2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—	—	$\sigma_{2 t}=5$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2 c}=6$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s =22$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s 3}=2$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2}=16$	
	せん断		$\tau_s =6$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b =61$
せん断応力	—	$\tau_b =21$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB46	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=100$	$S_a=259$
		一次+二次	—	—	$\sigma_z=6$	$S_a=440$
スカート	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s=22$	$f_t=276$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			—		0.10 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張り	—	—	$\sigma_b=61$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=21$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-10-1-2-3 ガスタービン発電機の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-3-1 ガスタービン発電機ガスタービン機関及び発電機
の耐震性についての計算書

目 次

1. ガスタービン機関	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	8
1.3 評価部位	9
1.4 固有周期	10
1.4.1 固有値解析方法	10
1.4.2 解析モデル及び諸元	10
1.4.3 固有値解析結果	11
1.5 構造強度評価	12
1.5.1 構造強度評価方法	12
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
1.5.3 設計用地震力	16
1.5.4 計算方法	17
1.5.5 計算条件	21
1.5.6 応力の評価	21
1.6 機能維持評価	22
1.6.1 基本方針	22
1.6.2 評価対象部位	22
1.6.3 評価基準値	22
1.6.4 記号の説明	23
1.6.5 評価方法	23
1.7 評価結果	33
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	33
2. 発電機	41
2.1 概要	41
2.2 一般事項	41
2.2.1 構造計画	41
2.3 構造強度評価	43
2.3.1 構造強度評価方法	43
2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	43
2.3.3 計算条件	43

2.4	機能維持評価	47
2.4.1	動的機能維持評価方法	47
2.5	評価結果	48
2.5.1	重大事故等対処設備としての評価結果	48

1. ガスタービン機関

1.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ガスタービン機関が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

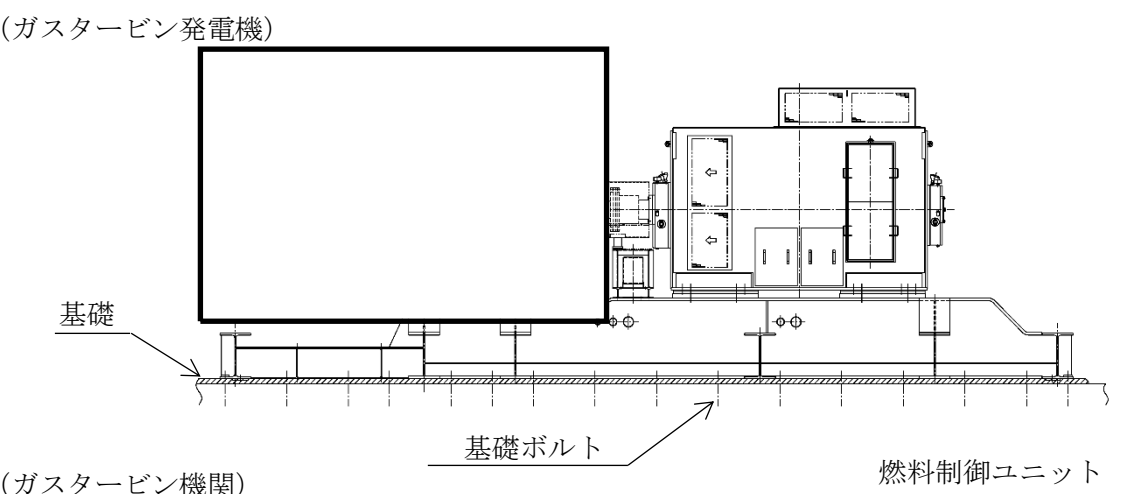
ガスタービン機関は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

ガスタービン機関の構造計画を表 1-2-1 に示す。

表 1-2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ガスタービン機関は、台板に取付ボルトにより固定する。台板は、基礎ボルトにて床面に固定する。</p> <p>燃料制御ユニットは、ガスタービン機関に取付ボルトにより固定する。</p>	<p>単純開放サイクル1軸式ガスタービン機関</p> <p>燃料制御ユニット (調速装置)</p>	<p>(ガスタービン発電機)</p>  <p>(ガスタービン機関)</p> <p>燃料制御ユニット</p>

1.2.2 評価方針

ガスタービン機関の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示すガスタービン機関の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、ガスタービン機関の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

ガスタービン機関の耐震評価フローを図 1-2-1 に示す。

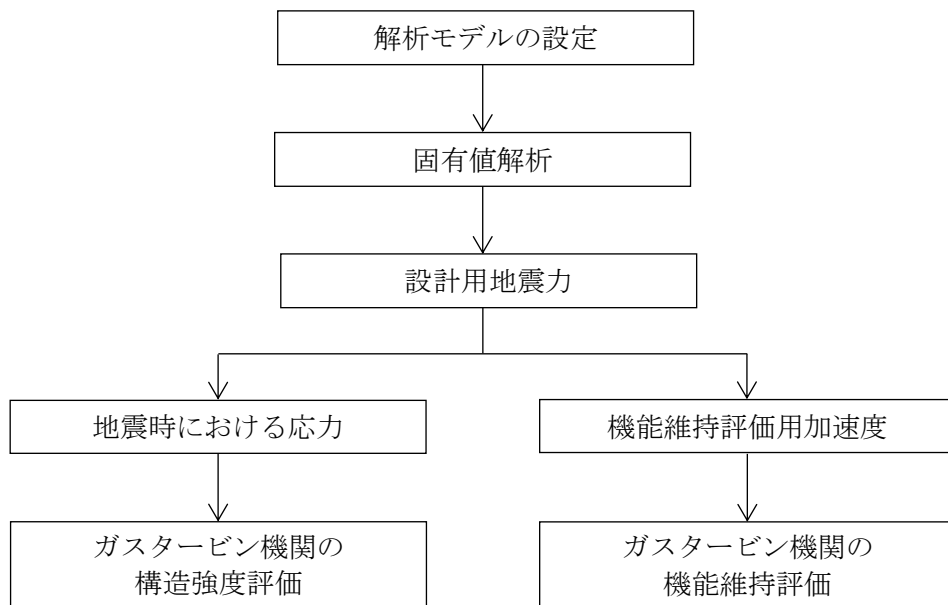


図 1-2-1 ガスタービン機関の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

1.2.4 記号の説明

1.2.4.1 記号説明

記号	記号の説明	単位
C_P	ガスタービン機関振動による震度	—
$C_{P'}$	ガスタービン発電機振動による震度	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($g=9.80665$)	m/s^2
I	断面二次モーメント	mm^4
P	原動機出力	kW
R	発電機定格回転数	rpm
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値*	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—

注記*： F_i 、 F_i^* 、 f_{sbi} 、 f_{toi} 、 f_{tsi} 、 S_{ui} 、 S_{yi} 及び $S_{yi}(RT)$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$ ：基礎ボルト

$i=2$ ：ガスタービン機関取付ボルト

1.2.4.2 基礎ボルトの構造強度評価の記号説明

記号	記号の説明	単位
m_1	台板質量 (ガスタービン機関, 発電機, エンクロージャ含む)	kg
d_1	基礎ボルトの呼び径	mm
A_{bt1}	基礎ボルト軸断面積	mm ²
n_1	基礎ボルト本数	—
n_{t11}	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
h_1	ボルト据付面からガスタービン機関重心までの高さ	mm
ℓ	ボルト間距離	mm
L_{11}	支点となる取付ボルトから重心までの距離 (L_{11} 側)	mm
L_{21}	支点となる取付ボルトから重心までの距離 (L_{21} 側)	mm
a_H	水平方向評価用加速度	m/s ²
a_V	鉛直方向評価用加速度	m/s ²
a_{P1}	回転体振動による加速度	m/s ²
M_{P1}	回転体回転により働くモーメント	N・mm
p_1	予想最大両振幅	μ m
F_{bt1}	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
σ_{bt1}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
Q_{b1}	基礎ボルトに作用するせん断力	N
τ_{b1}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.4.3 ガスタービン機関取付ボルトの構造強度評価の記号説明

記号	記号の説明	単位
A_{bt2}	取付ボルト軸断面積	mm^2
d_2	取付ボルトの呼び径	mm
a_H	水平方向評価用加速度	m/s^2
a_V	鉛直方向評価用加速度	m/s^2
a_{P2}	回転体振動による加速度	m/s^2
h_2	取付面からガスタービン機関重心までの高さ	mm
L_{12}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離	mm
L_{22}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離	mm
L_{32}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離	mm
L_{42}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離	mm
L_{52}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離	mm
L_{G2}	支点となる取付ボルトから重心までの距離	mm
m_2	ガスタービン機関質量	kg
M_{P2}	回転体回転により働くモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n_2	取付ボルト本数	—
n_{t12}	L_{12} の長さ面に設けた取付ボルトの片側本数	—
n_{t22}	L_{22} の長さ面に設けた取付ボルトの片側本数	—
n_{t32}	L_{32} の長さ面に設けた取付ボルトの片側本数	—
n_{t42}	L_{42} の長さ面に設けた取付ボルトの片側本数	—
n_{t52}	L_{52} の長さ面に設けた取付ボルトの片側本数	—
p_2	予想最大両振幅	μm
F_{bt21}	軸直角方向の取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F_{bt22}	軸方向の取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
σ_{bt2}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{bt21}	軸直角方向の取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{bt22}	軸方向の取付ボルトに生じる引張応力	MPa
Q_{b2}	取付ボルトに作用するせん断力	N
τ_{b2}	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2-2 に示すとおりである。

表 1-2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

1.3 評価部位

ガスタービン機関の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部およびガスタービン機関取付ボルト部について実施する。ガスタービン機関の耐震評価部位については、表 1-2-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 固有値解析方法

ガスタービン発電機の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ガスタービン機関を含むガスタービン発電機は、「1.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元 FEM モデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

ガスタービン発電機の解析モデルを図 1-4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【ガスタービン機関の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) ガスタービン発電機の主要機器及び主要補機の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。エンクロージャの扉は、質量のみ考慮することとし、扉取付部周辺フレームに付加する。エンクロージャの外板も質量のみ考慮することとし、フレームに分散して付加する。配管、ケーブルトレイは、等分布荷重として、当該質量のみをモデル全体に付加する。
- (2) ガスタービン発電機の主要機器及び主要補機の重心位置については、公称値による重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、基礎ボルト部を完全拘束とする。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN Ver. 2008.0.4」を使用し、固有値を求める。解析の結果、固有周期が 0.05 秒以下である場合は、剛構造として評価を実施する。固有周期が 0.05 秒を超える場合は、スペクトルモーダル解析による地震応答解析を実施する。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

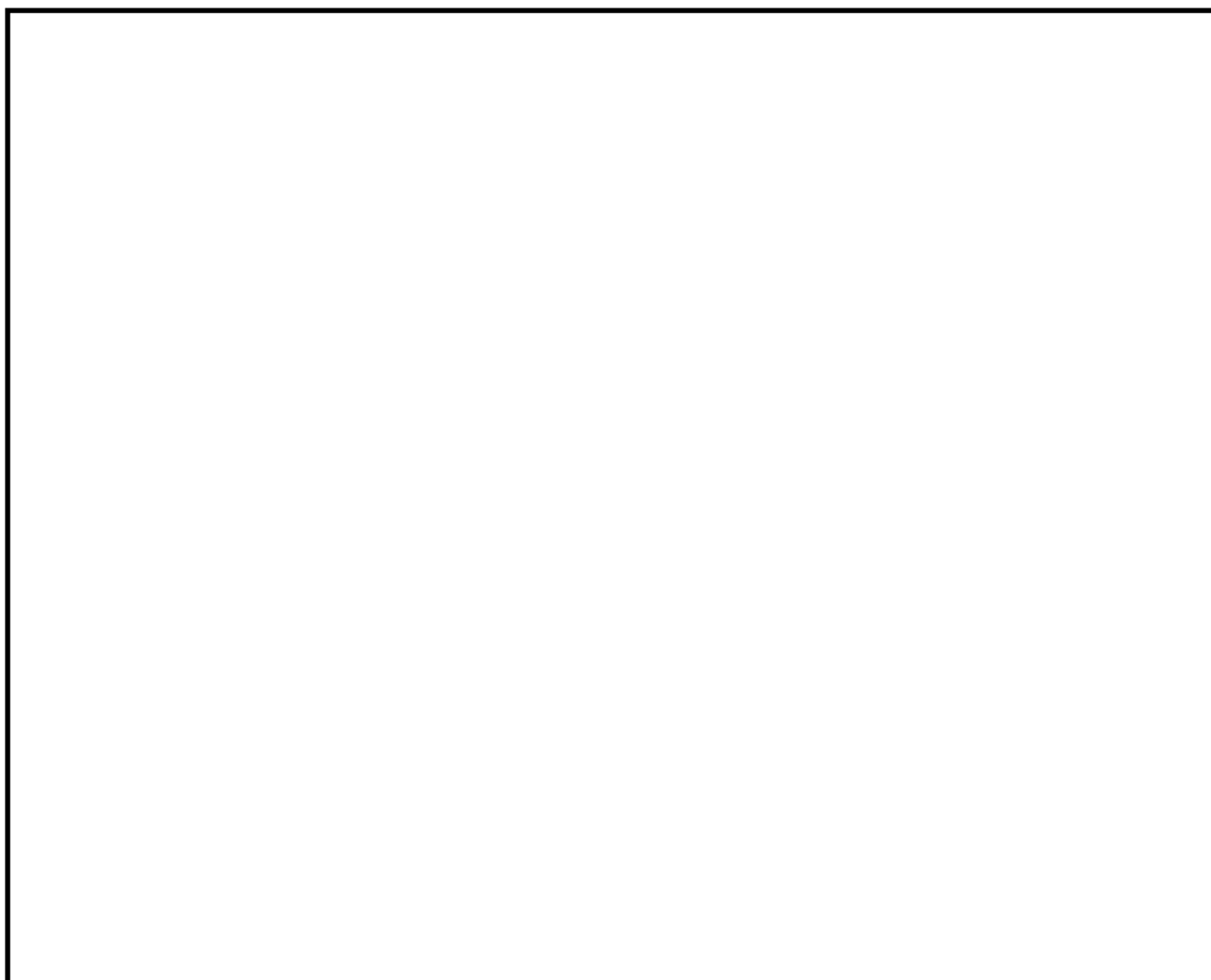


図 1-4-1 解析モデル

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 1-4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	鉛直	0.044	—	—	—

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

1.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、ガスタービン機関に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は、ガスタービン発電機を正面より見て左右に転倒する場合を「軸方向転倒」、前後に転倒する場合を「軸直角方向転倒」という。計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ガスタービン機関の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5-1 に示す。

1.5.2.2 許容応力

ガスタービン機関の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-5-2 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ガスタービン機関の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5-3 に示す。

表 1-5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	ガスタービン機関	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5-2 許容応力 (重大事故等その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	40			
ガスタービン機関 取付ボルト		周囲環境温度	75			

1.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 1-5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
ガスタービン発電機 建物 EL 47.550 (EL 54.500* ¹)	0.05 以下	0.044	—	—	$C_H = 2.96^{*2}$	$C_V = 1.00^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 基礎ボルトの応力評価方法

基礎ボルトの応力評価を行う。応力評価に当たっては、図1-5-1に示す地震による水平及び鉛直加速度，運転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力にて評価を行う。

(1) 引張応力の評価

基礎ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の列のボルトで受けるものとして計算する。

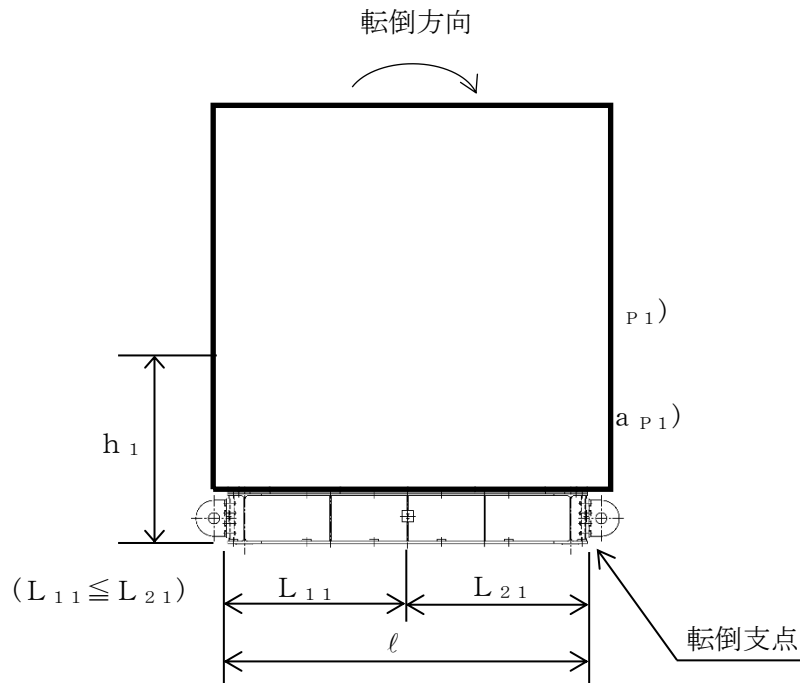


図1-5-1 台板の軸直角方向基礎ボルトの計算モデル図

図1-5-1に示すモーメントの釣合い式より以下の各計算式が得られる。

軸直角方向の引張力

$$F_{bt1} = \frac{m_1 \cdot (a_H + a_{P1}) \cdot h_1 + M_{P1} - m_1 \cdot (g - a_V - a_{P1}) \cdot L_{21}}{n_{t11} \cdot \ell}$$

..... (1.5.4.1.1.1)

ここで、 a_{P1} はガスタービン機関の回転体振動の振幅及びガスタービン機関の回転数を考慮して定める値である。ガスタービン機関の出力及び定格回転速度と発電機の出力及び定格回転速度が作用し、相殺されるため M_{P1} は作用しない。また、ガスタービン機関回転によるモーメント M_{P1} 、回転体振動による加速度 a_{P1} は次式により求める。

注記：

$$a_{P1} = \frac{P_1}{2} \cdot \left(\frac{2\pi R}{60} \right)^2 \cdot 10^{-6}$$

$$M_{P1} = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot R} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

(1kW=10⁶ N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{bt1} = \frac{F_{bt1}}{A_{bt1}} \dots \dots \dots (1.5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{bt1} は次式により求める。

$$A_{bt1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (1.5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力の評価

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot (a_H + a_{P1}) \dots \dots \dots (1.5.4.1.1.4)$$

せん断応力

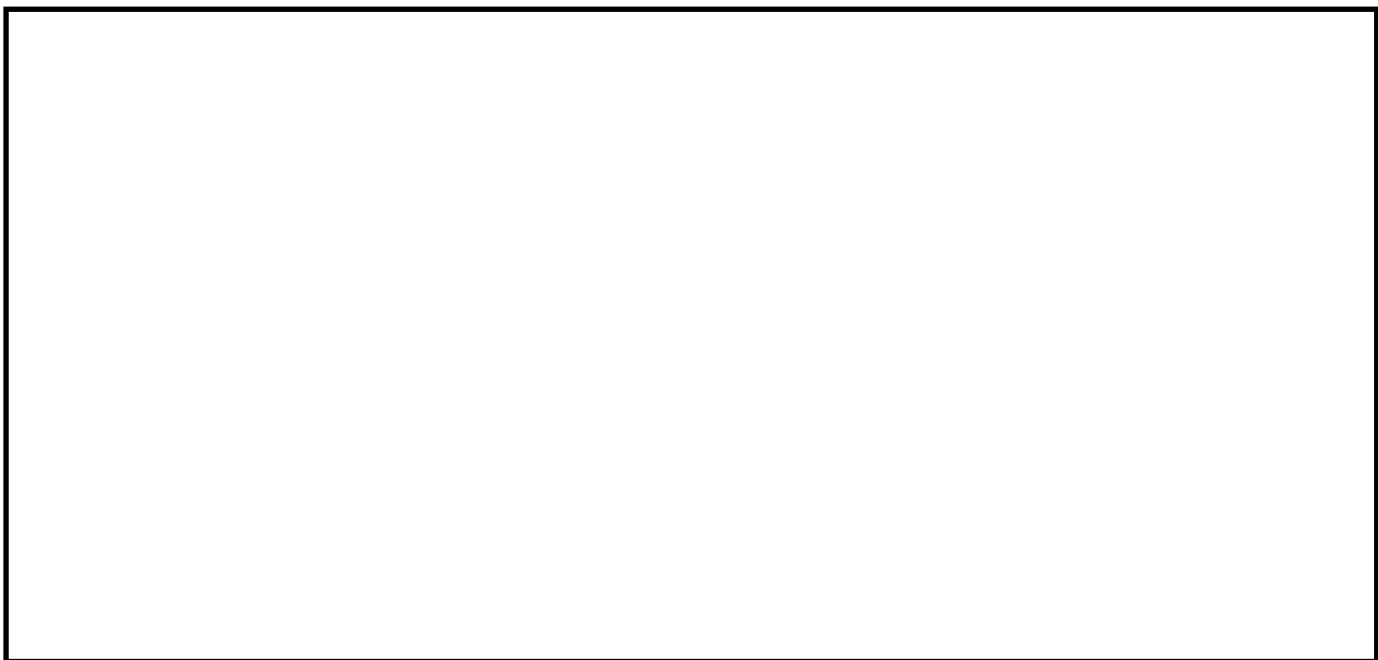
$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{bt1}} \dots \dots \dots (1.5.4.1.1.5)$$

1.5.4.1.2 ガスタービン機関取付ボルトの応力評価方法

ガスタービン機関取付ボルトの応力評価を行う。応力評価に当たっては、図1-5-2に示す地震による水平及び鉛直加速度，運転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力にて評価を行う。

(1) 引張応力の評価

ガスタービン機関取付ボルトに対する引張力は，ガスタービン機関取付ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の列のボルトで受けるものとして計算する。



(軸直角方向の計算モデル)

(軸方向の計算モデル)

図1-5-2 ガスタービン機関取付ボルトの計算モデル図

図1-5-2に示すモーメントの釣合い式より以下の各計算式が得られる。

軸直角方向の引張力

$$F_{bt21} = \frac{\{m_2 \cdot (a_H + a_{P2}) \cdot h_2 + M_{P2} - m_2 \cdot (g - a_V - a_{P2}) \cdot L_{G2}\} \cdot L_{52}}{(n_{t12} \cdot L_{12}^2 + n_{t22} \cdot L_{22}^2 + n_{t32} \cdot L_{32}^2 + n_{t42} \cdot L_{42}^2 + n_{t52} \cdot L_{52}^2)} \dots \dots (1.5.4.1.2.1)$$

ここで， a_{P2} はガスタービン機関の回転体振動の振幅及びガスタービン機関の回転数を考慮して定める値である。また，ガスタービン機関回転によるモーメント M_{P2} ，回転体振動による加速度 a_{P2} は次式により求める。

注記：

$$a_{P2} = \frac{p_2}{2} \cdot \left(\frac{2\pi R}{60} \right)^2 \cdot 10^{-6}$$

$$M_{P2} = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot R} \right) \cdot 10^6 \cdot P$$

(1kW=10⁶ N・mm/s)

引張応力

$$\sigma_{bt21} = \frac{F_{bt21}}{A_{bt2}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.2)$$

ここで、ガスタービン機関取付ボルトの軸断面積 A_{bt2} は次式により求める。

$$A_{bt2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.3)$$

軸方向の引張力

$$F_{bt22} = \frac{m_2 \cdot (a_H + a_{P2}) \cdot h_2 - m_2 \cdot (g - a_V - a_{P2}) \cdot L_{G2}}{n_{t12} \cdot L_{12}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.4)$$

引張応力

$$\sigma_{bt22} = \frac{F_{bt22}}{A_{bt2}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.5)$$

$$\sigma_{bt2} = \text{Max}(\sigma_{bt21}, \sigma_{bt22}) \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.6)$$

(2) せん断応力の評価

ガスタービン機関取付ボルトのせん断力は、ガスタービン機関取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot (a_H + a_{P2}) \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.7)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{bt2}} \quad \dots \dots \dots (1.5.4.1.2.8)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン機関の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.5.2 ガスタービン機関取付ボルトの応力計算条件

ガスタービン機関取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン機関の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4 項で求めたボルトの引張応力 σ_{bti} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \dots \dots \dots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 基本方針

ガスタービン機関の地震後の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。また、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.6.2 評価対象部位

ガスタービン機関における評価対象部位は、J E A G 4 6 0 1-1991 追補版に記載の非常用ディーゼル発電機及びポンプ駆動用タービンの機能維持評価項目にならい、以下の部位とする。

- (1) 基礎ボルト、ガスタービン機関取付ボルト
- (2) 軸とケーシングのクリアランス
- (3) 軸受
- (4) 燃料制御ユニット

このうち「(1) 基礎ボルト、ガスタービン機関取付ボルト」については、「1.5 構造強度評価」に従い評価を行った「1.7 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

以上より、以下の機能維持評価においては、軸とケーシングのクリアランス、軸受及び燃料制御ユニットを評価対象部位とする。

1.6.3 評価基準値

軸とケーシングのクリアランスについては、メーカー規定の最小クリアランス値を、軸受については、メーカー規定の基本静定格荷重（メーカー保証値）を評価基準値として設定する。燃料制御ユニットの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の燃料制御ユニット単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

1.6.4 記号の説明

ガスタービン機関の動的機能維持評価に用いる記号を表1-6-1に示す。

表1-6-1 記号説明

記号	記号の説明	単位
a_H'	水平方向評価用加速度	m/s^2
a_V'	鉛直方向評価用加速度	m/s^2
g	重力加速度 ($g=9.80665$)	m/s^2
X_0	静ラジアル荷重係数	—
Y_0	静アキシアル荷重係数	—
P_0	軸受に発生する静等価荷重	N
F_a	軸受に作用するアキシアル荷重	N
F_r	軸受に作用するラジアル荷重	N
F_s	運転時の最大スラスト荷重	N
M_m	回転軸の質量	kg
M_{m1}, M_{m2}	片側の軸受にかかる質量	kg

1.6.5 評価方法

1.6.5.1 軸とケーシングのクリアランス

- (1) 軸とケーシングのクリアランスは、ガスタービン機関回転軸の地震時のたわみ量（変位量）を解析にて算出することにより評価する。ガスタービン機関回転軸の解析モデルは、1次元はり要素を用いたモデルとし、評価モデルの各要素に自重、地震荷重及びアンバランスにより生じる荷重を負荷し、静的解析を実施する。
- (2) ケーシングは、運転時の高圧に耐えかつ高速回転する回転軸を支える厚肉構造であることから、変形しない剛体として扱う。
- (3) 「a. 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せが作用することによりガスタービン機関回転軸に発生するたわみ量（変位量）を「(4) 評価モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて算出する。なお、両端を軸受で支持された軸のたわみ量の算出において、軸受自体の剛性による変位は 程度と許容クリアランスに比べると十分小さく、軸とケーシングのクリアランスを評価する上では有意とはならないため考慮しない。一方、軸受による軸の支持条件は単純支持として、軸のたわみ量が大きくなるよう保守的に評価する。

各評価部位のたわみ量が許容クリアランス内に収まることを確認する。評価部位を図1-6-1に示す。

評価部位は、

とする。

なお、水平方向地震動による変位量と鉛直方向地震動による変位量は、安全側の評価と

して絶対値和とする。

a. 荷重及び荷重の組合せ

(a) 荷重の種類

たわみ量算出に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

イ. 死荷重 (D)

死荷重は、ガスタービン機関回転軸の自重とする。

ロ. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動S_sによる地震力とする。

ハ. アンバランス (U)

アンバランス荷重は、ガスタービン機関回転軸のたわみ量の算出において考慮する。なお、アンバランス荷重に相当するたわみ量として、主軸振動に対するメーカー管理値を用いるものとする。

(b) 荷重の組合せ

たわみ量算出に用いる荷重の組合せを表 1-6-2 に示す。

表 1-6-2 荷重の組合せ

設備名称	地震動	荷重の組合せ
ガスタービン機関回転軸	基準地震動 S _s	D + S _s + U

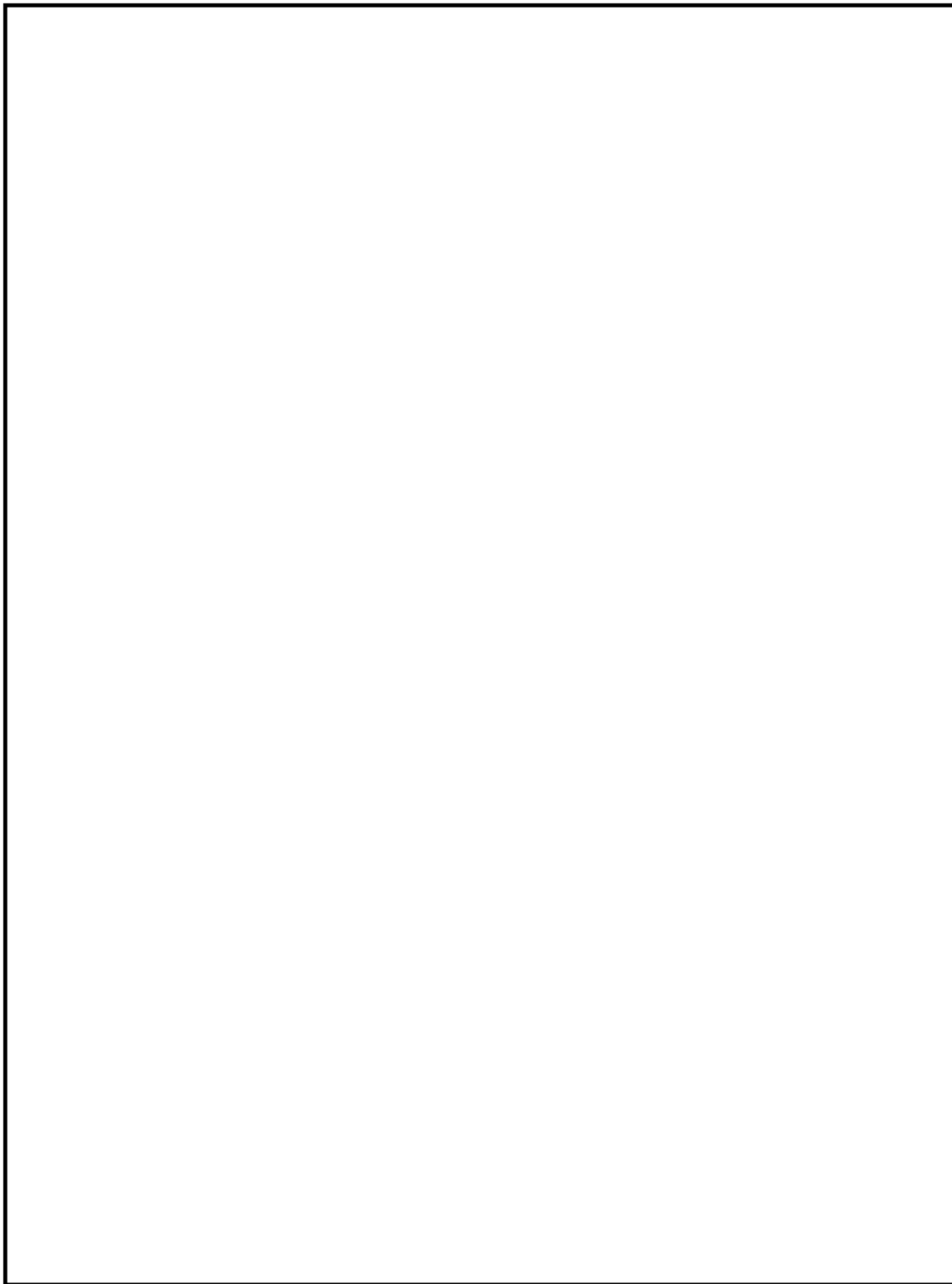


図1-6-1 軸とケーシングのクリアランス評価部位

(4) 評価モデル及び諸元

ガスタービン機関回転軸の構成図と2つのはり要素を結合した解析モデルを図1-6-2に、円筒形状に置き換えたガスタービン機関回転軸のイメージ図を図1-6-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【ガスタービン機関の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- a. クリアランスの評価にあたっては、ガスタービン機関回転軸とケーシングとの相対変位が評価対象となるが、ケーシングは運転時の高圧に耐えかつ高速回転する回転軸を支える厚肉構造であることから変形しない剛体として扱い、回転軸のみモデル化して地震時の応答加速度に対するたわみ量（変位量）を評価する。
- b. ガスタービン機関回転軸は、中心のメインシャフトの外周に位置するインペラ、カップリングロータ及びタービンディスク（以下、これらをロータと記す。）並びにメインシャフトからなる2重構造である。この内外2つの構造を各々はり要素でモデル化する。特に、インペラ、タービンディスク等の複雑な翼形状を持つロータ部品は、全体を一様なはり要素でモデル化できないため、実機構造と等価な剛性、質量を持つ円筒形状に諸元を置き換えてモデル化する。
- c. 内側の中実形状のメインシャフトと外周の円筒形状に置き換えたロータを各々はり要素でモデル化し、2つのモデルを実機構造と同様に両端の第1段インペラ部及びNO.2ベアリングシャフト部と中央のカップリングロータ部の3箇所を結合する。
- d. 軸受は、軸受自体の変位は地震時に 程度と許容クリアランスに比べると十分小さいため剛体とし、拘束条件としては、軸受部A（玉軸受）を並進3方向固定、軸受部B（ころ軸受）を並進2方向（軸直方向）固定として設定する。
- e. アンバランス荷重による変位は、運転中に生じる主軸振動の管理値以下になるよう調整されているため、保守的に主軸振動に対するメーカー管理値をアンバランス荷重による変位として用いる。この変位を解析モデルから算出したたわみ量（変位量）に重畳（絶対和）する。
- f. 解析コードはMSC NASTRAN Ver.2011.1（以下「MSC NASTRAN」という）を使用する。なお、評価に用いる解析コードMSC NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図1-6-2 ガスタービン機関回転軸の構成図及び解析モデル図

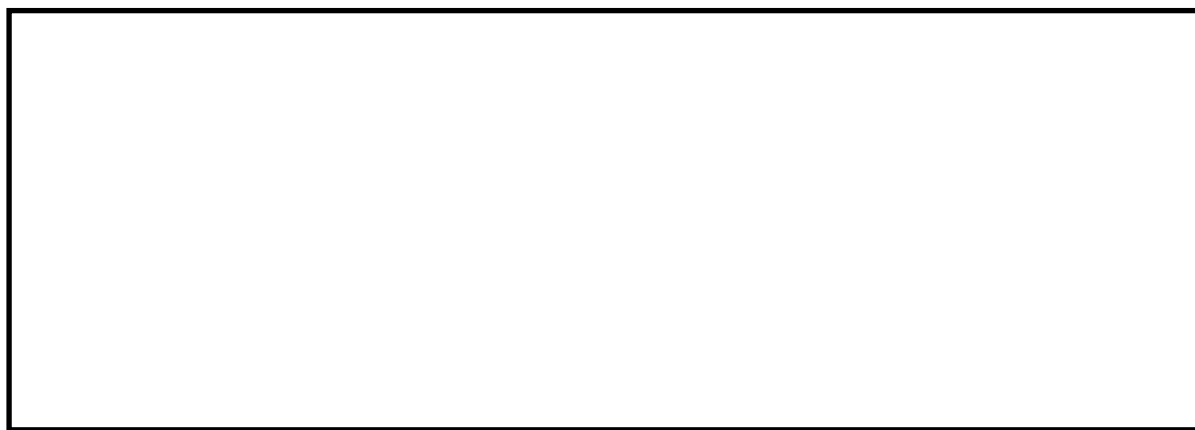


図1-6-3 円筒形状に置き換えたガスタービン機関回転軸のイメージ図

- (5) 軸とケーシングのクリアランスは、メーカ規定の最小クリアランス値を評価基準値として設定する。各評価部位の許容クリアランスを表 1-6-3 に示す。

表 1-6-3 軸とケーシングの許容クリアランス

評価部位	許容クリアランス (mm)

- (6) ガスタービン機関回転軸の変位量を表 1-6-4 に、ガスタービン機関回転軸のたわみ変形図を図 1-6-4 に示す。

表 1-6-4 ガスタービン機関回転軸の変位量

評価部位	変位量 (mm)
	0.072
	0.087
	0.107

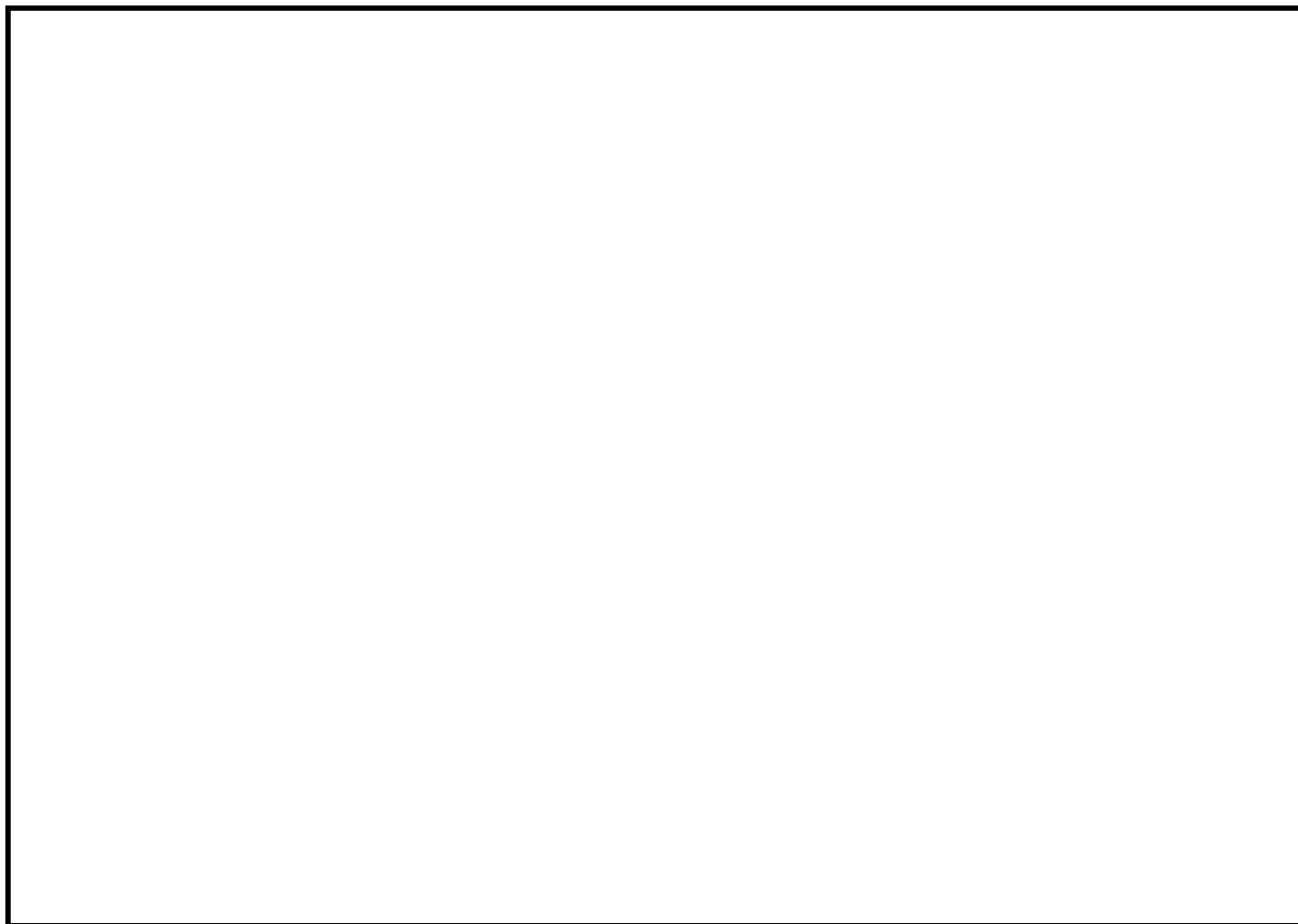


図1-6-4 ガスタービン機関回転軸のたわみ変形図

1.6.5.2 軸受

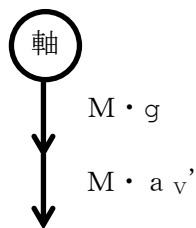
- (1) 軸受は、軸受に作用する荷重が許容される荷重以下であることで評価する。
- (2) 軸受には、アキシアル荷重、ラジアル荷重が作用するものとする。これらの荷重と JIS(JIS B 1519-2009)に基づく計算式を用いて、地震時に軸受に作用する静等価荷重を評価する。
- (3) ガスタービン機関回転軸に地震力が作用することにより軸受に発生する静等価荷重を求め、メーカー規定の軸受の基本静定格荷重（メーカー保証値）以下であることを確認する。地震力により回転軸に生じる全荷重を2箇所の軸受が均等に受けるものとする。軸受に作用する荷重には、アキシアル荷重とラジアル荷重がある。アキシアル荷重は水平方向評価用加速度から算出した荷重と運転中に生じるスラスト荷重を重畳（絶対値和）したものであり、ラジアル荷重は鉛直方向評価用加速度と重力加速度を重畳した加速度から算出したものである。両者を合成する2種類の算出式から最大となる方の荷重を静等価荷重として評価する。軸受に発生する静等価荷重の計算式を表1-6-5示す。また、軸受の評価部位を図1-6-5に示す。

表1-6-5 軸受に発生する静等価荷重の計算に使用する計算式

項目	計算式
アキシアル荷重	$F_a = M_m \cdot a_H' + F_s$
ラジアル荷重	$F_r = M(g + a_v')^*$
静等価荷重	$P_0 = \text{Max}(X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a, F_r)$

注記*：片側の軸受にかかる質量Mは発電機・反発電機側それぞれの値である
 M_{m1}, M_{m2} を用いて両方評価する。

ラジアル荷重： F_r



アキシアル荷重： F_a

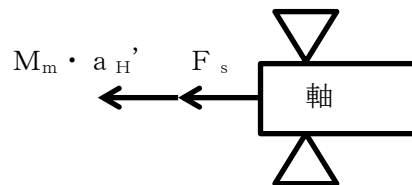




図1-6-5 軸受評価部位

- (4) 軸受は、メーカー規定の軸受の基本静定格荷重を評価基準値として設定する。メーカー規定の軸受の基本静定格荷重を表 1-6-6 に示す。

表1-6-6 軸受の基本静定格荷重

軸受型式	基本静定格荷重 (N)
玉軸受	
ころ軸受	

- (5) 軸受の静等価荷重を、表 1-6-7 に示す。

表1-6-7 軸受の静等価荷重

軸受型式	地震力の 組合せ	静等価荷重 (N)
玉軸受	鉛直+軸平行	6.880×10^3
	鉛直+軸直角	6.310×10^3
ころ軸受	鉛直+軸平行	2.630×10^3
	鉛直+軸直角	6.150×10^3

1.6.5.3 燃料制御ユニット

燃料制御ユニットの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の燃料制御ユニット単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。また、加振試験の結果から、固有周期は前後、左右及び鉛直方向において 0.05 秒以下であるため剛構造として扱い、ガスタービン機関と一様に挙動するものとする。

機能確認済加速度を表 1-6-8 に示す。

表 1-6-8 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料制御ユニット	水平	13.0
	鉛直	13.0

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ガスタービン機関の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能及び電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価及び電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスタービン機関の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備
1.1 設計条件

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		ガスタービン 機関振動 による震度	ガスタービン 発電機振動 による震度	周囲環境温度 (°C)	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			基礎ボルト	ガスタービン 機関取付ボルト
ガスタービン機関	ガスタービン 発電機建物 EL 47.550 (EL 54.500*1)	0.05 以下	0.044	—	—	C _H =2.96*2	C _V =1.00*2	C _P =0.10	C _{P'} =0.15	40	75

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動S_s）又はこれを上回る設計震度

S2 補 VI-2-10-1-2-3-1 R0

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	L_{1i}^{*1} (mm)	L_{2i}^{*1} (mm)	L_{3i}^{*1} (mm)	L_{4i}^{*1} (mm)	L_{5i}^{*1} (mm)	L_{6i}^{*1} (mm)	L_{7i}^{*1} (mm)	L_{8i}^{*1} (mm)
基礎ボルト ($i=1$)											
ガスタービン機関 取付ボルト ($i=2$)											

部材	L_{9i}^{*1} (mm)	L_{10i}^{*1} (mm)	L_{11i}^{*1} (mm)	L_{12i}^{*1} (mm)	L_{13i}^{*1} (mm)	L_{14i}^{*1} (mm)	L_{15i}^{*1} (mm)	L_{Gi}^{*1} (mm)	ℓ^{*1} (mm)
基礎ボルト ($i=1$)									
ガスタービン機関 取付ボルト ($i=2$)									

部材	n_i	n_{t1i}^{*1}	n_{tki}^{*1}	n_{t15i}^{*1}
基礎ボルト ($i=1, k=2\sim 14$)				
ガスタービン機関 取付ボルト ($i=2, k=2\sim 5$)				

部材	A_{bti} (mm ²)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_{Pi} (N・mm)	p_i (μm)
						弾性設計用 地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		
基礎ボルト ($i=1$)						—	軸直角	—	
ガスタービン機関 取付ボルト ($i=2$)						—	軸	2.760×10^7	

P (kW)	R (rpm)	E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A_s (mm ²)
5,200		—	—	—	—

注記*1：ボルトにおける上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bti}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	5.378×10 ⁴	—	1.634×10 ⁶
ガスタービン機関取付ボルト (i=2)	—	7.640×10 ⁴	—	4.383×10 ⁵

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水 平 方 向	T _H =0.05 以下
鉛 直 方 向	T _V =0.044

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ _{bt1} =119	
		せん断	—	—	τ _{b1} =91	
ガスタービン機関取付ボルト		引張り	—	—	σ _{bt2} =109	
		せん断	—	—	τ _{b2} =52	

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 機能維持の評価結果

(1) 軸とケーシングのクリアランス

(単位：mm)

		たわみ量	許容クリアランス
		0.072	
		0.087	
		0.107	

すべて許容値（許容クリアランス）以下である。

(2) 軸受

(単位：N)

		静等価荷重	基本静定格荷重
玉軸受	鉛直+軸平行	$P_0 = 6.880 \times 10^3$	
	鉛直+軸直角	$P_0 = 6.310 \times 10^3$	
ころ軸受	鉛直+軸平行	$P_0 = 2.630 \times 10^3$	
	鉛直+軸直角	$P_0 = 6.150 \times 10^3$	

すべて許容値（基本静定格荷重）以下である。

(3) 燃料制御ユニット

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料制御ユニット	水平方向	1.43	13.0
	鉛直方向	0.69	13.0

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

1.5.1 固有値解析

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_1	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

注記*：総質量を示す。ガスタービン機関・発電機・台板はそれぞれ [] である。

1.5.2 軸とケーシングのクリアランス

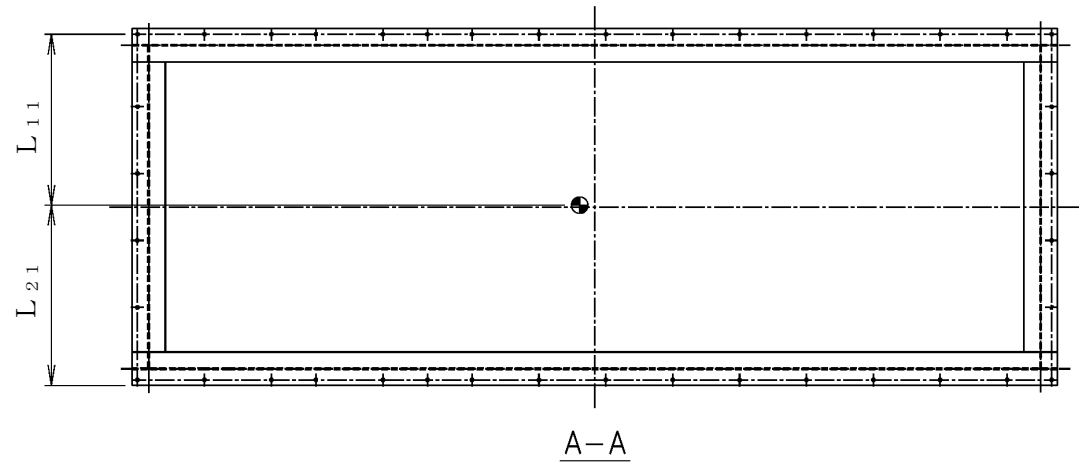
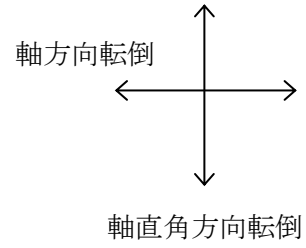
項目	記号	単位	入力値
材質*	—	—	
質量	M_m	kg	
温度条件 (最高使用温度)	T	°C	
縦弾性係数*	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	
アンバランス	U	mm	

注記*：対象部位はそれぞれ、[] を示す。

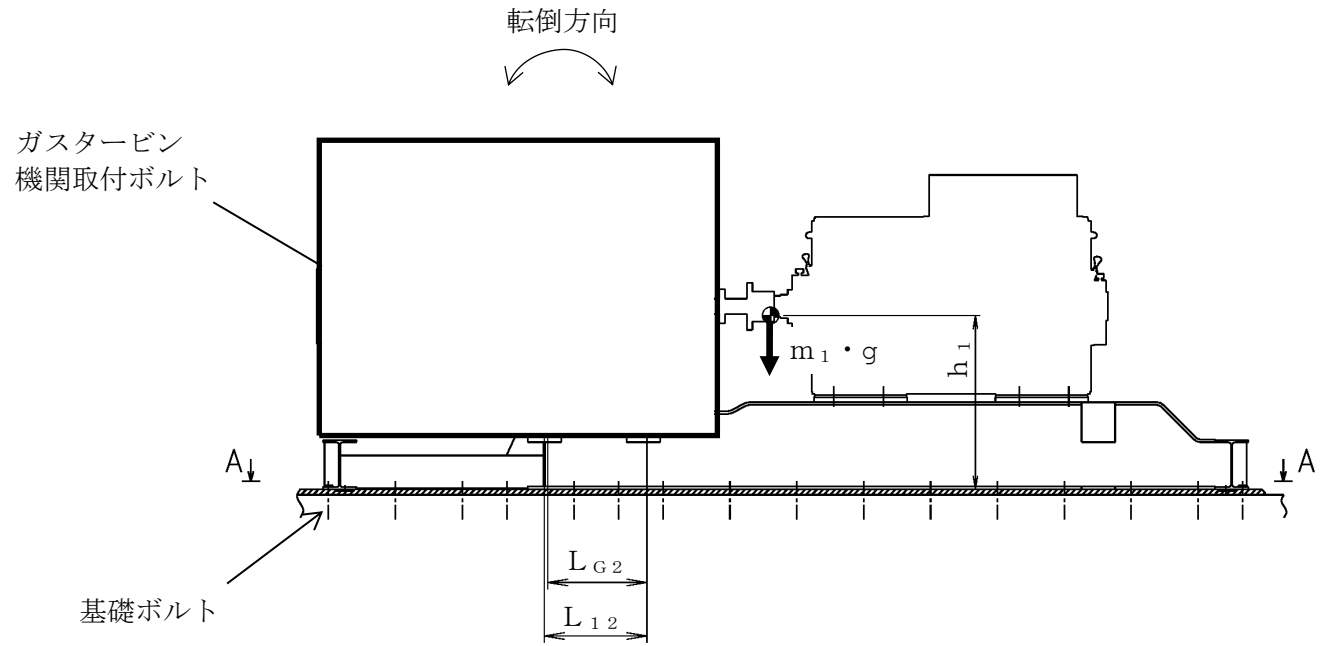
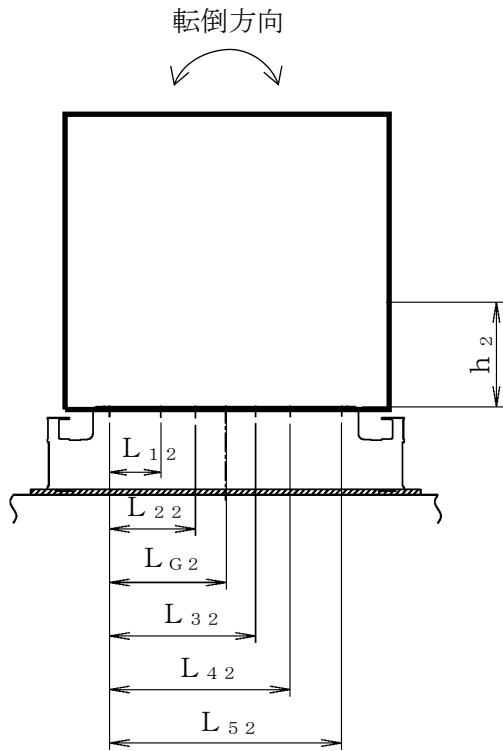
1.5.3 軸受

項目	記号	単位	入力値
質量	M_m	kg	
	M_{m1}	kg	
	M_{m2}	kg	
運転時の最大 スラスト荷重*	F_s	N	
静ラジアル 荷重係数*	X_0	—	
静アキシアル 荷重係数*	Y_0	—	

注記*：対象部位はそれぞれ、①が玉軸受、②がころ軸受を示す。



40



2. 発電機

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、発電機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

発電機は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、発電機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

発電機の構造計画を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>発電機は，台板に発電機取付ボルトにて固定する。台板は，基礎ボルトにて床面に固定する。</p>	<p>横置・円筒回転界磁形・開放保護形・自由通流自力通流形・三相同期発電機</p>	

2.3 構造強度評価

2.3.1 構造強度評価方法

発電機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

発電機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-3-1 に示す。

2.3.2.2 許容応力

発電機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 2-3-2 のとおりとする。

2.3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

発電機の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-3-3 に示す。

2.3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【発電機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 2-3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	発電機 ^{*2}	常設耐震／防止 常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-3-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)
		周囲環境温度				
発電機取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	75	712	847	—

2.4 機能維持評価

2.4.1 動的機能維持評価方法

発電機の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

発電機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-4-1 に示す。

表 2-4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
発電機	横形転がり 軸受	水平	4.7
		鉛直	1.0

2.5 評価結果

2.5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

発電機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【発電機の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		発電機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
発電機	常設耐震/防止 常設/緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.550 (EL 54.500* ¹)	—* ²	—* ²	—	—	C _H =2.96 * ³	C _V =1.00 * ³	C _P =0.15	75	75

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ * ¹ (mm)	ℓ ₂ * ¹ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f * ¹
発電機 取付ボルト	13,500	795	730	730	M36	1.018×10 ³	8	4
			990	1,120				2

*

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
発電機 取付ボルト	712* ²	847* ²	—	592	—	軸方向	2.546×10 ⁷

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)
80	1,800

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
発電機取付ボルト	—	8.284×10 ⁴	—	4.117×10 ⁵

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
発電機取付ボルト	SCM435	引張り	—	—	σ _b =82	f _{ts} =444*
		せん断	—	—	τ _b =51	f _{sb} =341

すべて許容応力以下である。

注記*：f_{ts} = Min[1.4・f_{to} - 1.6・τ_b, f_{to}]

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発電機	水平方向	1.43	4.7
	鉛直方向	0.69	1.0

注記*：設計用震度 I（基準地震動S_s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置の
耐震性についての計算書

目 次

1. 発電機制御盤	
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	7
1.4 固有値解析	8
1.4.1 固有値解析方法	8
1.4.2 解析モデル及び諸元	8
1.4.3 固有値解析結果	9
1.5 構造強度評価	10
1.5.1 構造強度評価方法	10
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
1.5.3 設計用地震力	13
1.5.4 計算方法	14
1.5.5 計算条件	17
1.5.6 応力の評価	17
1.6 機能維持評価	18
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	18
1.7 評価結果	19
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19

2. 予備発電機制御盤	
2.1 概要	24
2.2 一般事項	24
2.2.1 構造計画	24
2.2.2 評価方針	26
2.2.3 適用規格・基準等	27
2.2.4 記号の説明	28
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	29
2.3 評価部位	30
2.4 固有値解析	31
2.4.1 固有値解析方法	31
2.4.2 解析モデル及び諸元	31
2.4.3 固有値解析結果	32
2.5 構造強度評価	33
2.5.1 構造強度評価方法	33
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	33
2.5.3 設計用地震力	36
2.5.4 計算方法	37
2.5.5 計算条件	40
2.5.6 応力の評価	40
2.6 機能維持評価	41
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	41
2.7 評価結果	42
2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	42

1. 発電機制御盤

1.1 概要

本計算書は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき, 発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し, 電氣的機能を維持できることを説明するものである。

発電機制御盤は, 重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下, 重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

発電機制御盤の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
発電機制御盤は、 基礎に埋め込まれた チャンネルベースに 取付ボルトで設置する。	自立型 (鋼材及び鋼板を組み 合わせた自立閉鎖型の 盤)	<p>【発電機制御盤】</p> <p>正面 7400</p> <p>側面 1900</p> <p>盤</p> <p>取付ボルト</p> <p>床</p> <p>チャンネルベース</p> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

1.2.2 評価方針

発電機制御盤の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示す発電機制御盤の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有値解析」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、発電機制御盤の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

発電機制御盤の耐震評価フローを図2-1に示す。

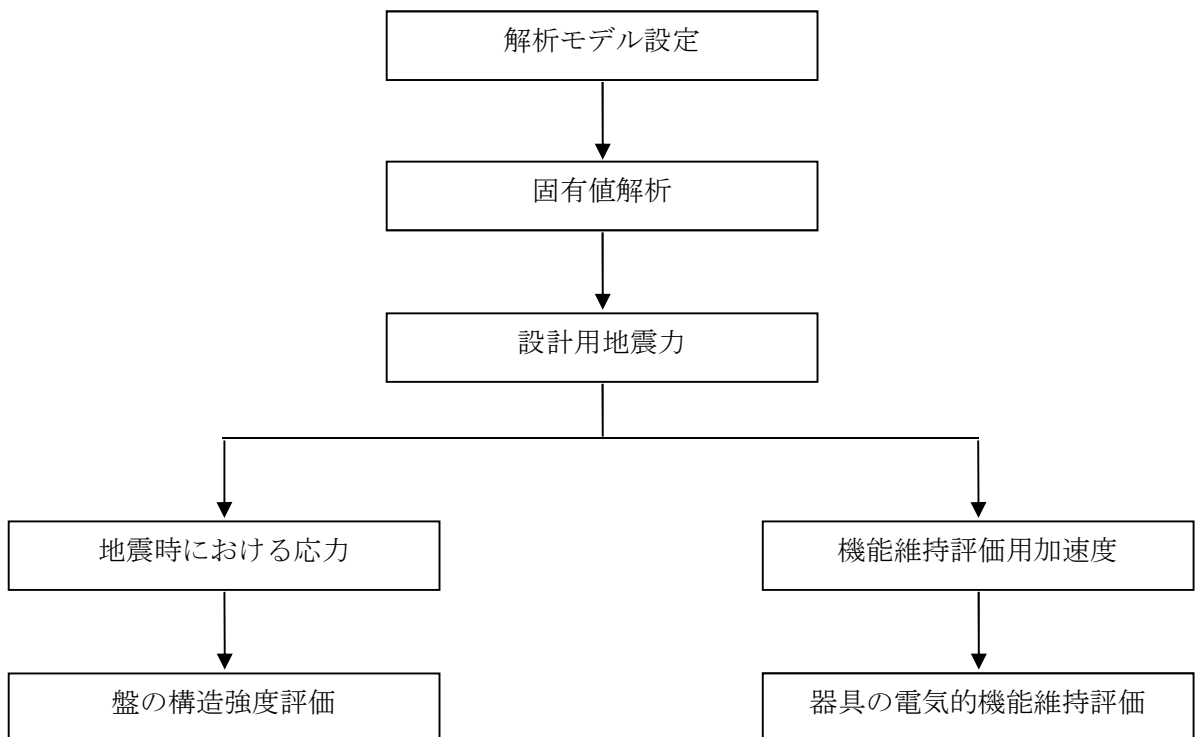


図2-1 発電機制御盤の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会, 2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

1.2.4 記号の説明

記号	説明	単位
F_{bi}	引張力	N
Q_{bi}	せん断力	N
σ_1	引張応力	MPa
τ_1	せん断応力	MPa
f	最大応力	MPa
m_1	全体の質量 (盤)	kg
g	重力加速度	m/s^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
h_1	全体重心位置 (鉛直) (盤)	mm
L_1	全体重心位置 (左右)	mm
L_1'	全体重心位置 (前後)	mm
n_1	ボルト本数	—
ℓ_1	転倒支点からボルトまでの距離	mm
A_1	ボルト呼び径断面積	mm^2
d	ボルト径	mm

(注) 図 5-1 の添字 a, b, c, x はボルト列を示す。

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

1.3 評価部位

発電機制御盤の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。発電機制御盤の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

1.4 固有値解析

1.4.1 固有値解析方法

発電機制御盤の固有値解析方法を以下に示す。

(1) 発電機制御盤は、「1.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元 FEM モデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

発電機制御盤の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【発電機制御盤の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

(1) 発電機制御盤の質量は、その重心に集中するものとする。

(2) 拘束条件は、基礎部を完全拘束とする。

(3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(4) 解析コードは、「MSC NASTRAN(Ver. 2008.0.4)」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

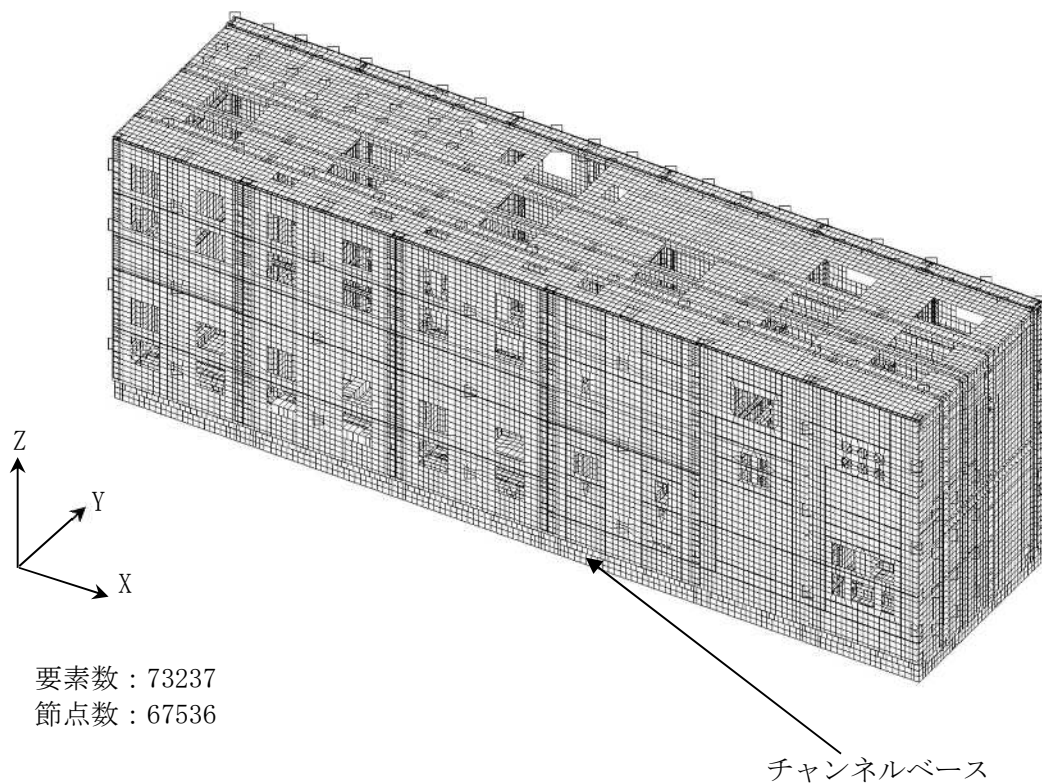


図 4-1 解析モデル

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。

固有周期は 0.05 秒以下であり,剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	水平	0.039	—	—	—

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は基礎部で完全拘束とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

発電機制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

1.5.2.2 許容応力

発電機制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

発電機制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	発電機制御盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・ f_t * (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	1.5・ f_s *
V _A S		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		取付ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	40	235

1.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

設置場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
ガスタービン 発電機建物 EL 47.5 ^{*1}	0.039	0.05 以下	—	—	$C_H=1.71^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

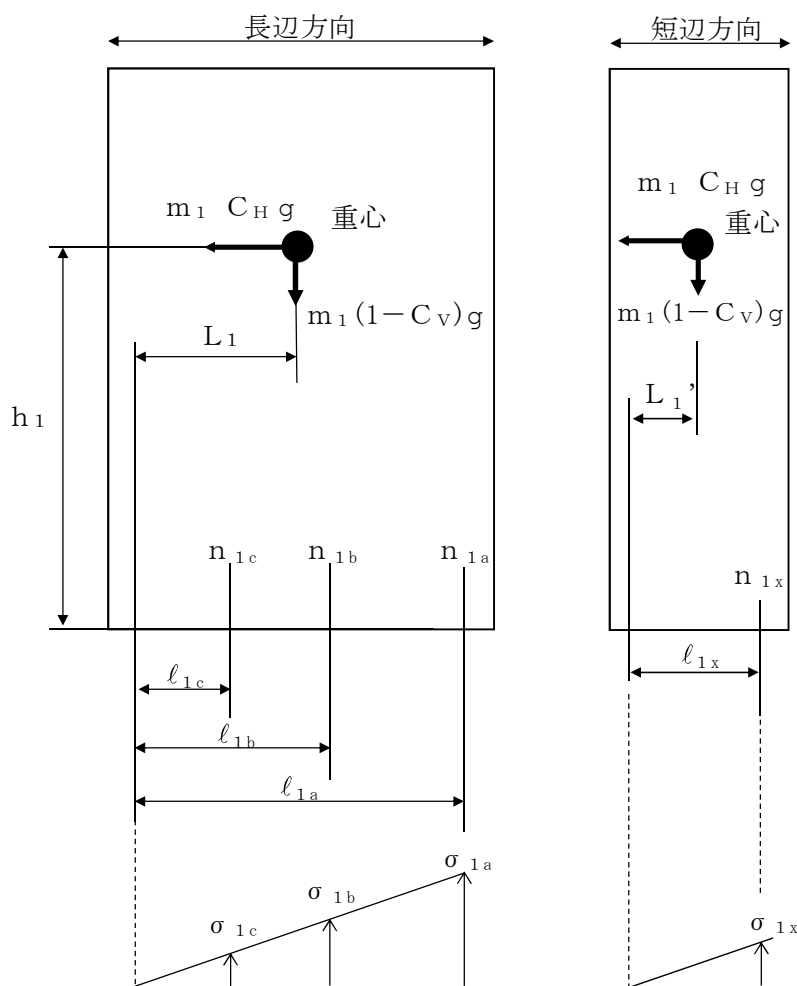


図5-1 取付ボルト配置概念図

(1) 長辺方向

地震時の引張応力は、ボルト端列を支点とし、各ボルト列応力が支点からの距離に比例するとして、モーメントのつり合い式より算出する。

$$\frac{\sigma_{1a}}{\ell_{1a}} = \frac{\sigma_{1b}}{\ell_{1b}} = \frac{\sigma_{1c}}{\ell_{1c}}$$
$$(n_{1a} \cdot A_1) \sigma_{1a} \cdot \ell_{1a} + (n_{1b} \cdot A_1) \sigma_{1b} \cdot \ell_{1b} + (n_{1c} \cdot A_1) \sigma_{1c} \cdot \ell_{1c} \\ = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1$$

$$F_{bi} = \frac{\ell_{1a} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1\}}{(n_{1a} \cdot \ell_{1a}^2 + n_{1b} \cdot \ell_{1b}^2 + n_{1c} \cdot \ell_{1c}^2)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{bi}}{A_1}$$

ここで、ボルトの断面積 A_1 は次式により求める。

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_{bi} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1 \cdot A_1}$$

(2) 短辺方向

長辺方向と同様にモーメントのつり合い式より算出する。

$$(n_{1x} \cdot A_1) \sigma_{1x} \cdot l_{1x} = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g (1 - C_V) \cdot L_1'$$

$$F_{bi} = \frac{m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1'\}}{n_{1x} \cdot l_{1x}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{bi}}{A_1}$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_{bi} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1 \cdot A_1}$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【発電機制御盤の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

発電機制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

発電機制御盤の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
発電機制御盤	水平	5.1
	鉛直	3.0

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

発電機制御盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【発電機制御盤の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
発電機制御盤	常設耐震/防止 常設/緩和	ガスタービン発電機建物 EL 47.5* ¹	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71* ²	C _V =1.10* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A ₁ (mm ²)	n ₁ '	S _y (MPa)	S _u (MPa)
取付ボルト	13100	1100	20 (M20)	314	72	235 (16mm<径≦40mm)	400

部材	ℓ _{1x} * (mm)	ℓ _{1y} * (mm)	ℓ _{1z} * (mm)	F*	弾性設計用地震動 S _d または静的震度	基準地震動 S _s (MPa)
取付ボルト	1800	1125	475	280	—	161

注記*：転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）となる短辺方向の値を記載する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト	—	4770	—	219679

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_i=16$	$f_{ts1}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_i=10$	$f_{sb1}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

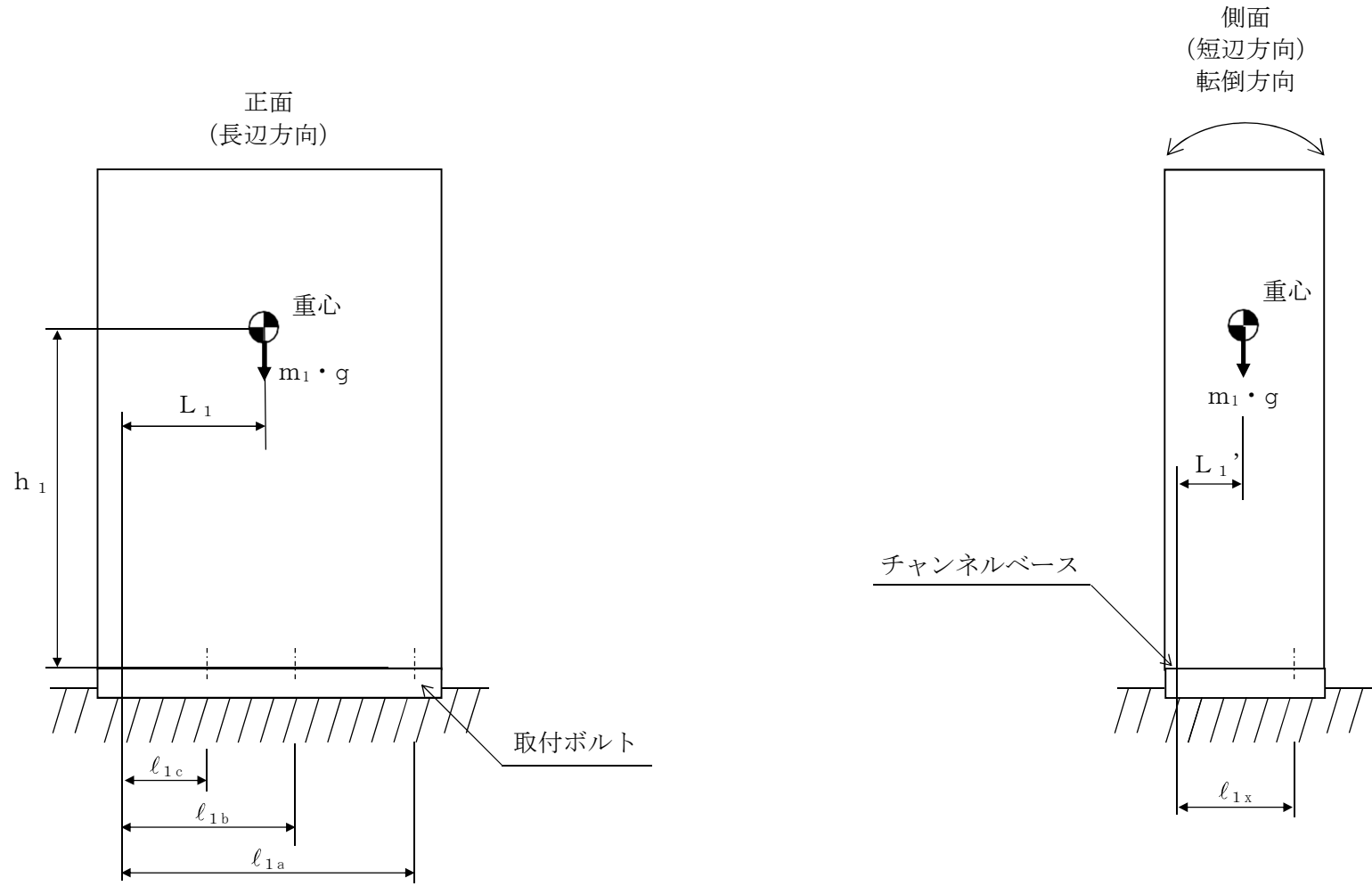
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発電機制御盤	水平方向	1.43	5.1
	鉛直方向	0.92	3.0

注記*：設計用震度II（基準地震動 S s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度は全て機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
質量	m	kg	13100
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	201667
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	73237
節点数	—	個	67536



2. 予備発電機制御盤

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、予備発電機制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

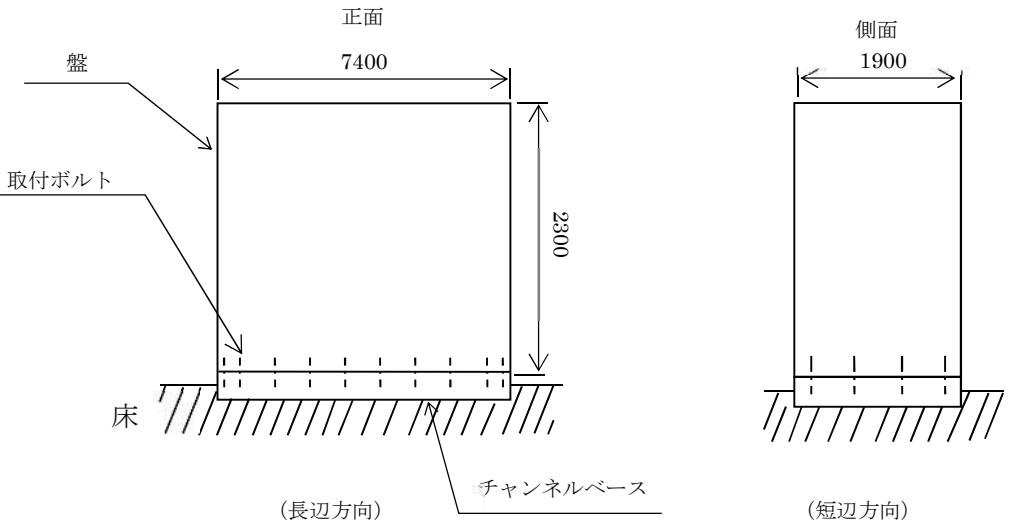
予備発電機制御盤は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

予備発電機制御盤の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>予備発電機制御盤は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>自立型 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【予備発電機制御盤】</p>  <p>(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

予備発電機制御盤の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す予備発電機制御盤の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有値解析」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、予備発電機制御盤の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

予備発電機制御盤の耐震評価フローを図2-1に示す。

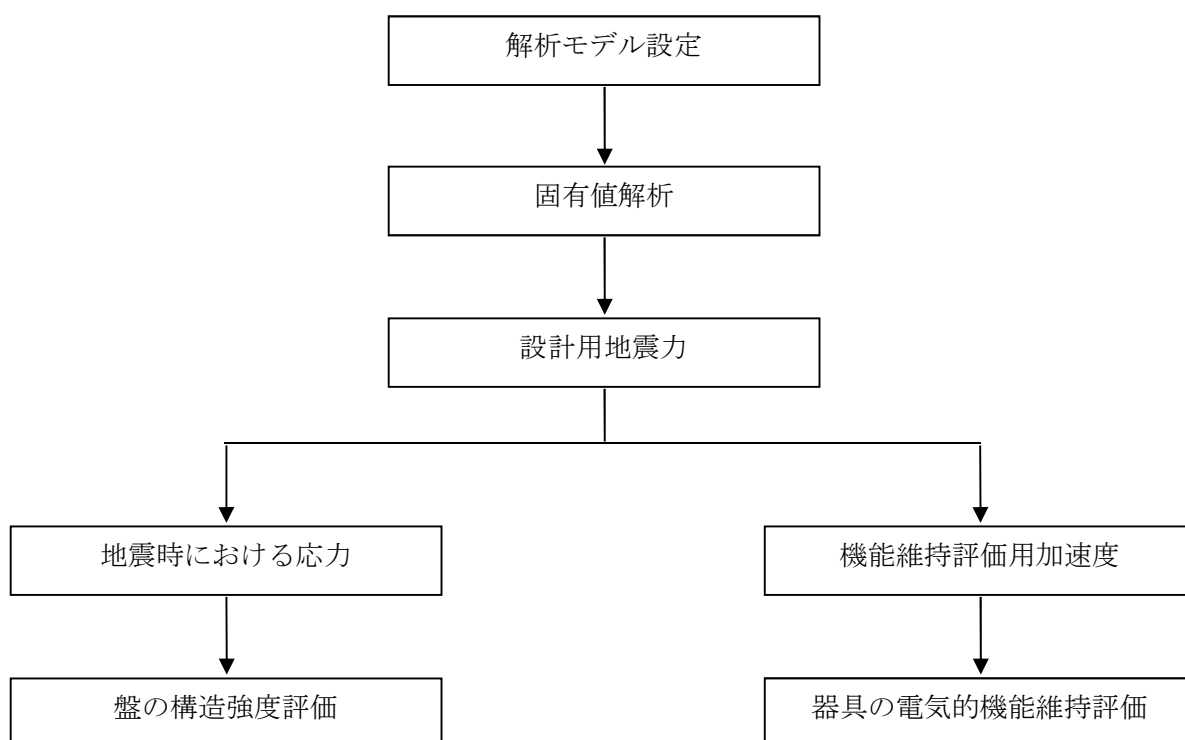


図2-1 予備発電機制御盤の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会, 2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.2.4 記号の説明

記号	説明	単位
F_{bi}	引張力	N
Q_{bi}	せん断力	N
σ_1	引張応力	MPa
τ_1	せん断応力	MPa
f	最大応力	MPa
m_1	全体の質量（盤）	kg
g	重力加速度	m/s^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
h_1	全体重心位置（鉛直）（盤）	mm
L_1	全体重心位置（左右）	mm
L_1'	全体重心位置（前後）	mm
n_1	ボルト本数	—
ℓ_1	転倒支点からボルトまでの距離	mm
A_1	ボルト呼び径断面積	mm^2
d	ボルト径	mm

(注) 図 5-1 の添字 a, b, c, x はボルト列を示す。

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
力	N	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.3 評価部位

予備発電機制御盤の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。予備発電機制御盤の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

2.4 固有値解析

2.4.1 固有値解析方法

予備発電機制御盤の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 予備発電機制御盤は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元 FEM モデルとして考える。

2.4.2 解析モデル及び諸元

予備発電機制御盤の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【予備発電機制御盤の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 予備発電機制御盤の質量は、その重心に集中するものとする。
- (2) 拘束条件は、基礎部を完全拘束とする。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN (Ver. 2008.0.4)」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

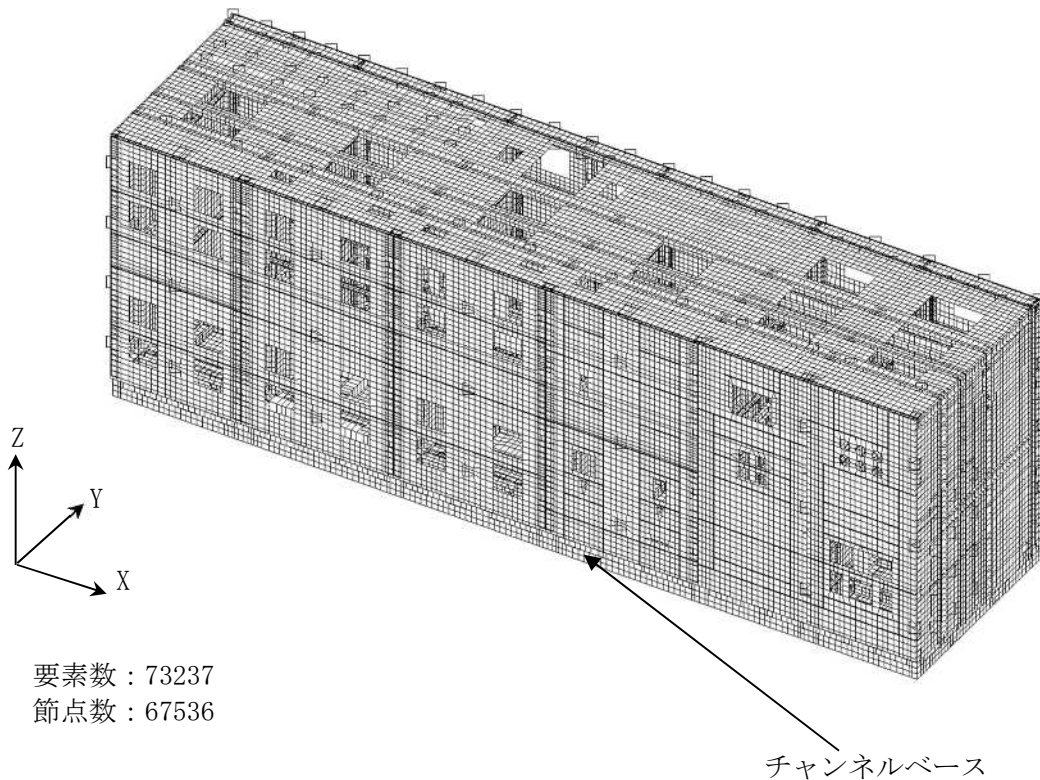


図 4-1 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。

固有周期は 0.05 秒以下であり,剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X 方向	Y 方向	
1 次	水平	0.039	—	—	—

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は基礎部で完全拘束とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

予備発電機制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

2.5.2.2 許容応力

予備発電機制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

予備発電機制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	予備発電機制御盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・ f_t * (V_{AS} としてIV _A Sの 許容限界を用いる。)	1.5・ f_s *
V _A S		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		取付ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	40	235

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

設置場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
ガスタービン 発電機建物 EL 47.5 ^{*1}	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71 ^{*2}	C _V =1.10 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

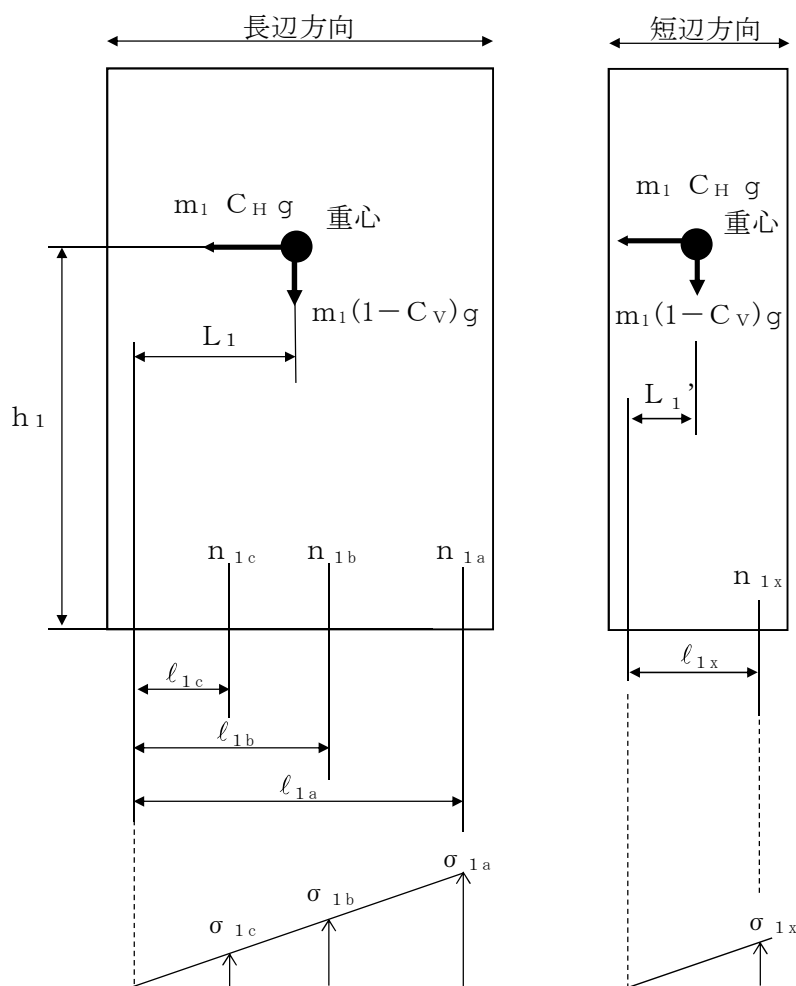


図5-1 取付ボルト配置概念図

(1) 長辺方向

地震時の引張応力は、ボルト端列を支点とし、各ボルト列応力が支点からの距離に比例するとして、モーメントのつり合い式より算出する。

$$\frac{\sigma_{1a}}{l_{1a}} = \frac{\sigma_{1b}}{l_{1b}} = \frac{\sigma_{1c}}{l_{1c}}$$
$$(n_{1a} \cdot A_1) \sigma_{1a} \cdot l_{1a} + (n_{1b} \cdot A_1) \sigma_{1b} \cdot l_{1b} + (n_{1c} \cdot A_1) \sigma_{1c} \cdot l_{1c}$$
$$= m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1$$

$$F_{bi} = \frac{l_{1a} \cdot m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1\}}{(n_{1a} \cdot l_{1a}^2 + n_{1b} \cdot l_{1b}^2 + n_{1c} \cdot l_{1c}^2)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{bi}}{A_1}$$

ここで、ボルトの断面積 A_1 は次式により求める。

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_{bi} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1 \cdot A_1}$$

(2) 短辺方向

長辺方向と同様にモーメントのつり合い式より算出する。

$$(n_{1x} \cdot A_1) \sigma_{1x} \cdot \ell_{1x} = m_1 \cdot C_H \cdot g \cdot h_1 - m_1 \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot L_1'$$

$$F_{bi} = \frac{m_1 \cdot g \{C_H \cdot h_1 - (1 - C_V) \cdot L_1'\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F_{bi}}{A_1}$$

せん断応力は以下の式より算出する。

$$Q_{bi} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$\tau_1 = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1 \cdot A_1}$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【予備発電機制御盤の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{b i}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{t s i}$ 以下であること。ただし、 $f_{t o i}$ は下表による。

$$f_{t s i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}] \quad (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{b i}$ は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{s b i}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b i}$ は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o i}$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b i}$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

予備発電機制御盤の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

予備発電機制御盤の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
予備発電機制御盤	水平	5.1
	鉛直	3.0

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

予備発電機制御盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており, 設計用地震力に対して十分な構造強度を有し, 電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【予備発電機制御盤の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
予備発電機制御盤	常設耐震/防止 常設/緩和	ガスタービン発電機建物 EL 47.5*1	0.039	0.05 以下	—	—	C _H =1.71*2	C _V =1.10*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A ₁ (mm ²)	n ₁ '	S _y (MPa)	S _u (MPa)
取付ボルト	13100	1100	20 (M20)	314	72	235 (16mm<径≦40mm)	400

部材	ℓ _{1x} * (mm)	ℓ _{1y} * (mm)	ℓ _{1z} * (mm)	F*	弾性設計用地震動 S _d または静的震度	基準地震動 S _s (MPa)
取付ボルト	1800	1125	475	280	—	161

注記*：転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値/発生値の小さい方をいう。）となる短辺方向の値を記載する。

S2 補 VI-2-10-1-2-3-2 R0

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト	—	4770	—	219679

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_i=16$	$f_{ts1}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_i=10$	$f_{sb1}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

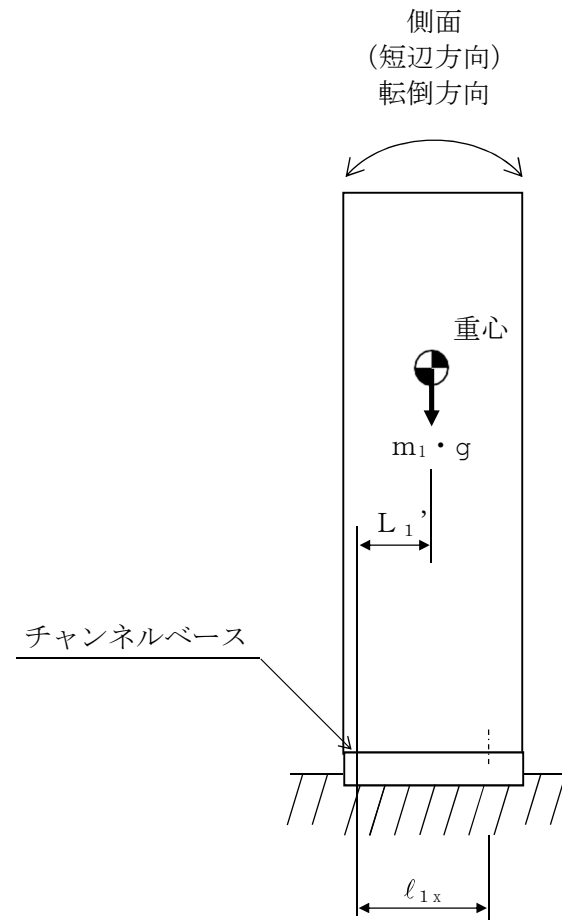
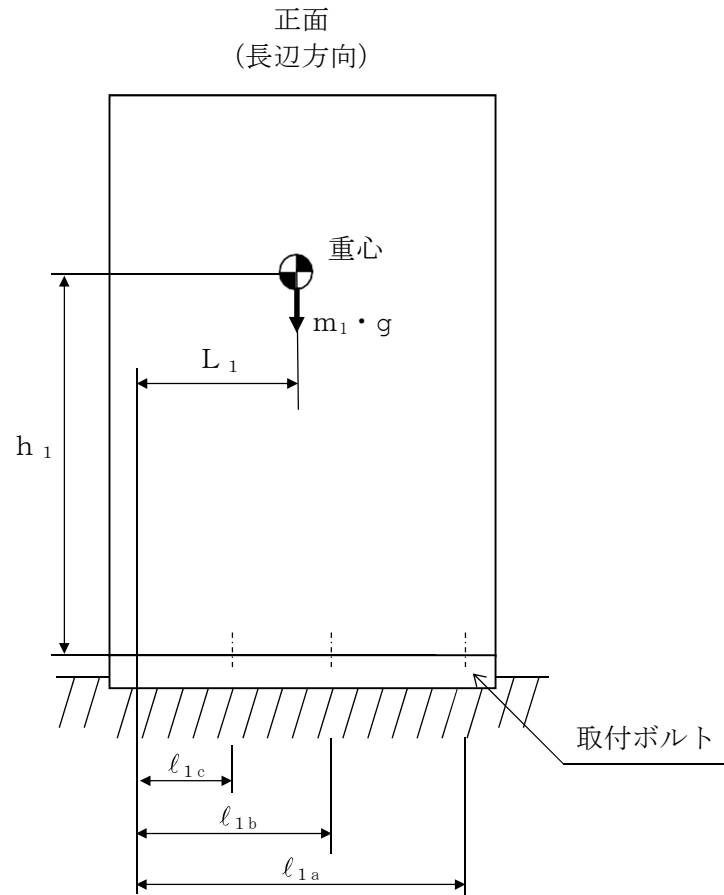
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
予備発電機制御盤	水平方向	1.43	5.1
	鉛直方向	0.92	3.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S s）により定まる加速度又はこれを上回る加速度とする。

機能維持評価用加速度は全て機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
質量	m	kg	13100
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	40
縦弾性係数	E	MPa	201667
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	73237
節点数	—	個	67536



VI-2-10-1-3 その他の電源装置の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-3-5 230V系蓄電池（RCIC）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、230V系蓄電池（RCIC）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

230V系蓄電池（RCIC）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、230V系蓄電池（RCIC）は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

230V系蓄電池（RCIC）の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図								
基礎・支持構造	主体構造									
230V系蓄電池 (RCIC) は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)	<p>【230V系蓄電池 (RCIC)】</p> <table border="1"> <tr> <td>機器名称</td> <td>230V系蓄電池 (RCIC) (4個並び2段1列)</td> <td>230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列)</td> </tr> <tr> <td>たて</td> <td colspan="2" rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> </td> </tr> <tr> <td>横</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>	機器名称	230V系蓄電池 (RCIC) (4個並び2段1列)	230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列)	たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		横	高さ
機器名称	230V系蓄電池 (RCIC) (4個並び2段1列)	230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列)								
たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>									
横										
高さ										

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

230V系蓄電池（RCIC）の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期

(単位：s)

230V系蓄電池（RCIC） （4個並び2段1列）	水平			
	鉛直			
230V系蓄電池（RCIC） （3個並び2段1列）	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

230V 系蓄電池 (RCIC) の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

230V 系蓄電池 (RCIC) の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

230V 系蓄電池 (RCIC) の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

230V 系蓄電池 (RCIC) の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【230V 系蓄電池 (RCIC) (4 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】及び【230V 系蓄電池 (RCIC) (3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	230V系蓄電池 (RCIC)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	230V系蓄電池 (RCIC)	常設耐震／防止	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

230V 系蓄電池（RCIC）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987 において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、230V 系蓄電池（RCIC）の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

230V系蓄電池（RCIC）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

230V系蓄電池（RCIC）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【230V系蓄電池(RCIC)(4個並び2段1列)の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V系蓄電池(RCIC) (4個並び2段1列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3*1			$C_H=0.84^{*2}$	$C_V=0.70^{*2}$	$C_H=2.18^{*3}$	$C_V=1.40^{*3}$	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733*1	16 (M16)	201.1	12	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	420.5*1	420.5*1	4	245	280	短辺方向	長辺方向
	740*1	740*1	2				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	760*1	760*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=74$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V系蓄電池 (RCIC) (4個並び2段1列)	常設耐震/防止	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			—	—	C _H =2.18 ^{*2}	C _V =1.40 ^{*2}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	4	—	280	—	長辺方向
	740 ^{*1}	740 ^{*1}	2				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	760 ^{*1}	760 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

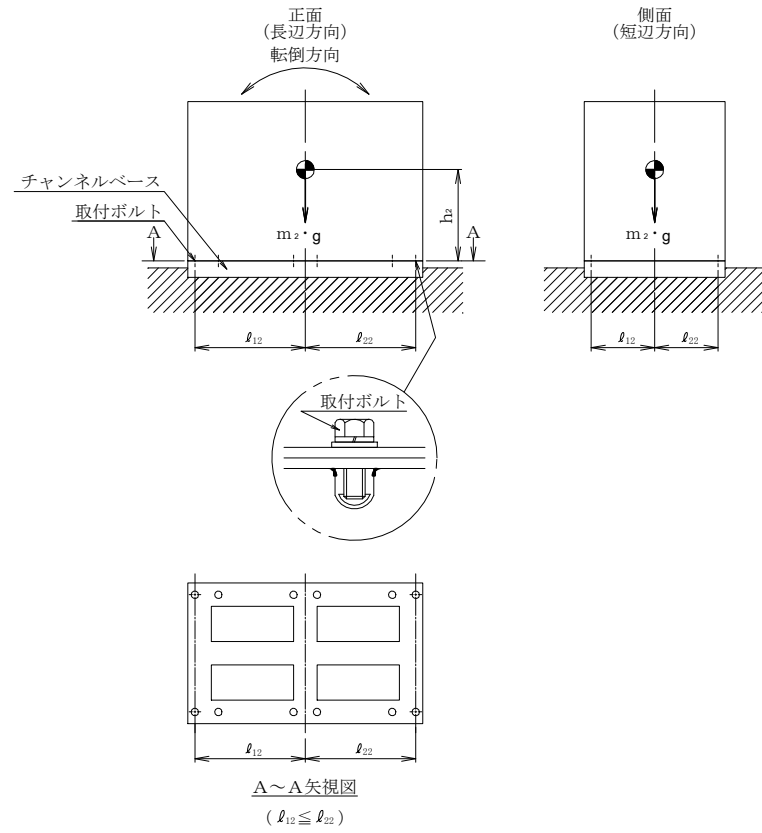
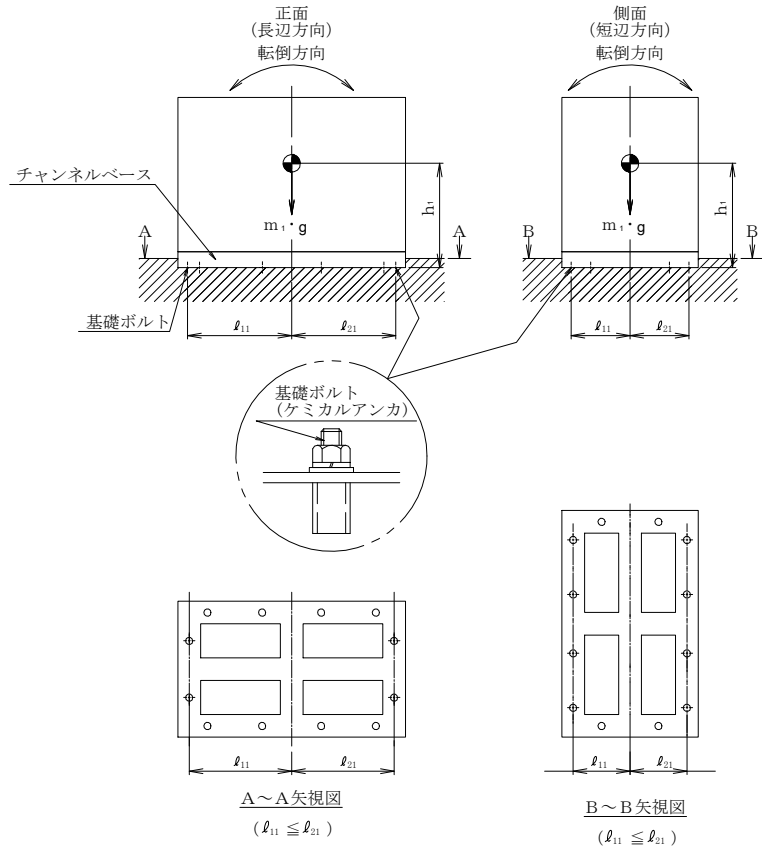
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=74$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



【230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3*1			$C_H=0.84^{*2}$	$C_V=0.70^{*2}$	$C_H=2.18^{*3}$	$C_V=1.40^{*3}$	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733*1	16 (M16)	201.1	10	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	420.5*1	420.5*1	3	245	280	長辺方向	長辺方向
	555*1	585*1	2				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	575*1	605*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=18$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=74$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=20$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V系蓄電池 (RCIC) (3個並び2段1列)	常設耐震/防止	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			—	—	C _H =2.18 ^{*2}	C _V =1.40 ^{*2}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	10	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	3	—	280	—	長辺方向
	555 ^{*1}	585 ^{*1}	2				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

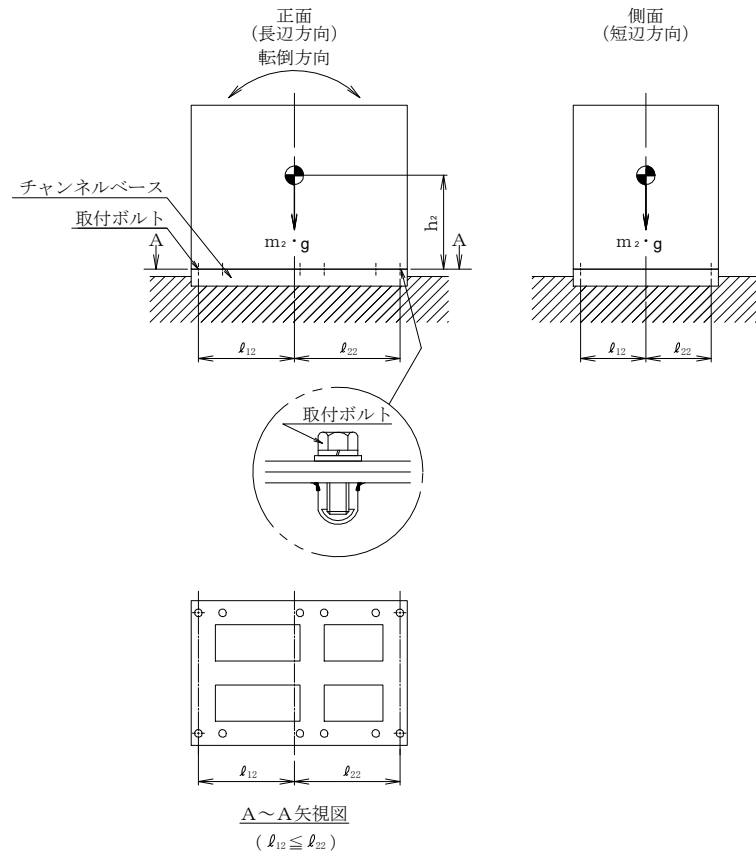
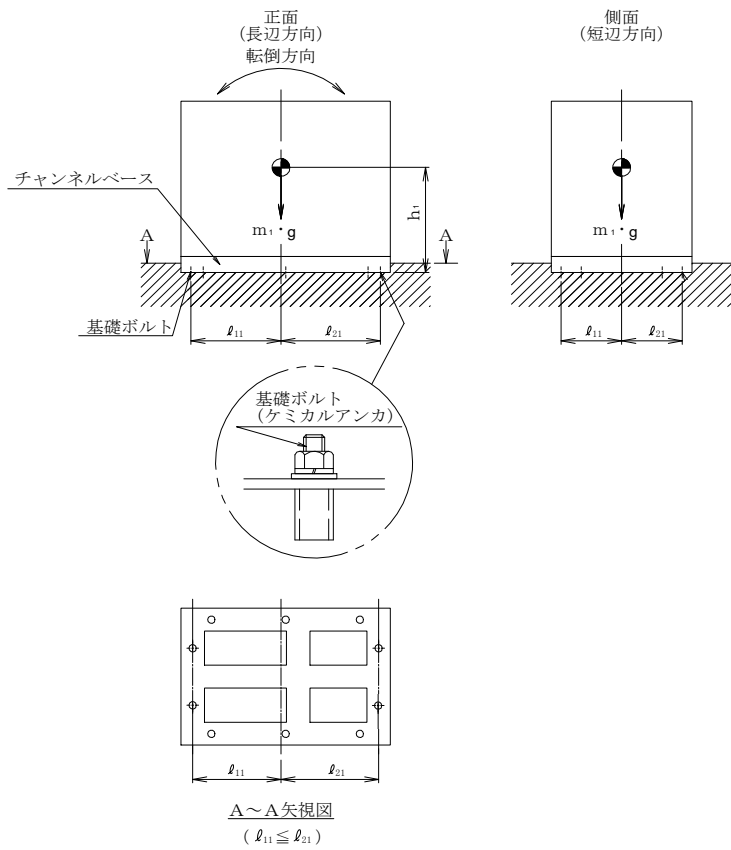
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=74$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=20$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



VI-2-10-1-3-7 B-115V 系蓄電池の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、B-115V系蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

B-115V系蓄電池は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、B-115V系蓄電池は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

B-115V系蓄電池の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図								
基礎・支持構造	主体構造									
<p>B-115V 系蓄電池は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)</p>	<p>【B-115V 系蓄電池】</p> <table border="1" style="margin-top: 20px;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)</th> <th>B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td colspan="2" rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> </td> </tr> <tr> <td>横</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> </tr> </tbody> </table>	機器名称	B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)	たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		横	高さ
機器名称	B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)								
たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>									
横										
高さ										

(単位 : mm)

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

B-115V 系蓄電池の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

B-115V 系蓄電池の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

B-115V 系蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

B-115V 系蓄電池の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

B-115V 系蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【B-115V 系蓄電池（4 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】及び【B-115V 系蓄電池（3 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	B-115V 系蓄電池	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	B-115V 系蓄電池	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてⅣASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

B-115V 系蓄電池の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987 において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、B-115V 系蓄電池の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

B-115V系蓄電池の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため、評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

B-115V系蓄電池の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため、評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			C _H =0.84 ^{*2}	C _V =0.70 ^{*2}	C _H =2.18 ^{*3}	C _V =1.40 ^{*3}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	11	245 (径 ≤ 16mm)	400 (径 ≤ 16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	4	245	280	長辺方向	長辺方向
	740 ^{*1}	740 ^{*1}	1				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	760 ^{*1}	760 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=31$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=147$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-115V 系蓄電池 (4個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			—	—	C _H =2.18 ^{*2}	C _V =1.40 ^{*2}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	11	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	4	—	280	—	長辺方向
	740 ^{*1}	740 ^{*1}	1				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	760 ^{*1}	760 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

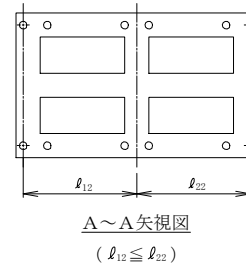
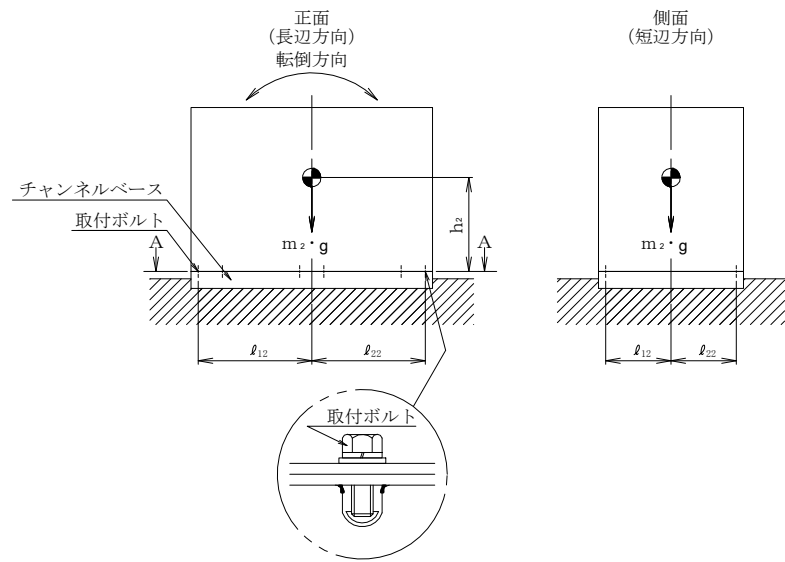
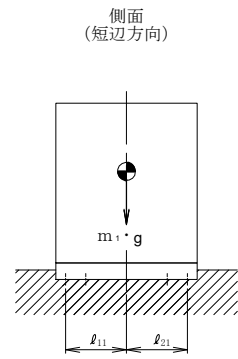
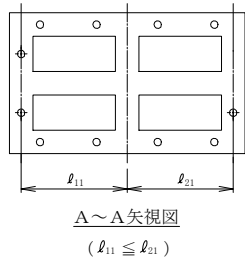
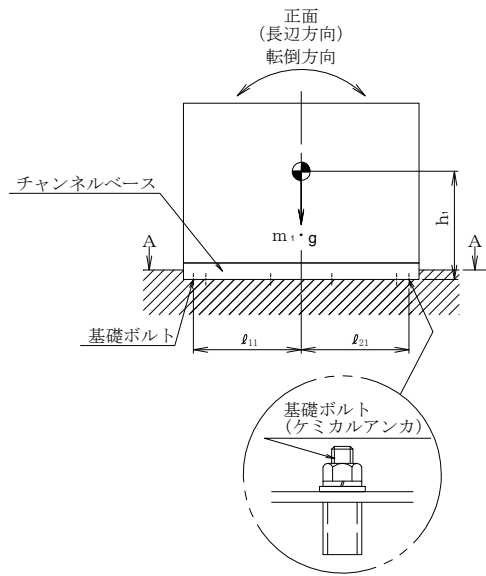
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=147$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



【B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			C _H =0.84 ^{*2}	C _V =0.70 ^{*2}	C _H =2.18 ^{*3}	C _V =1.40 ^{*3}	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	7	245 (径 ≤ 16mm)	400 (径 ≤ 16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	2	245	280	長辺方向	長辺方向
	555 ^{*1}	585 ^{*1}	1				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=36$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=147$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-115V 系蓄電池 (3個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			—	—	C _H =2.18 ^{*2}	C _V =1.40 ^{*2}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	7	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	2	—	280	—	長辺方向
	555 ^{*1}	585 ^{*1}	1				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

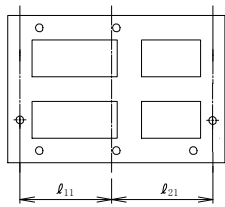
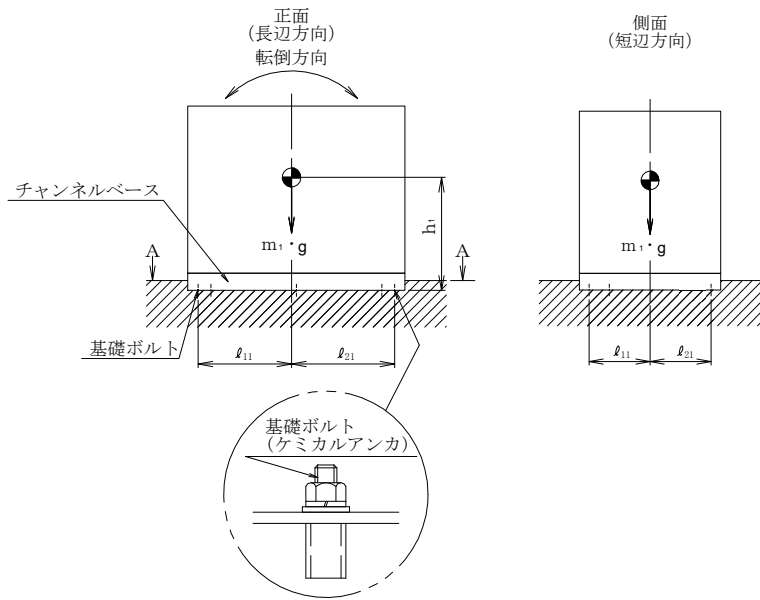
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

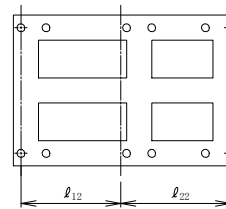
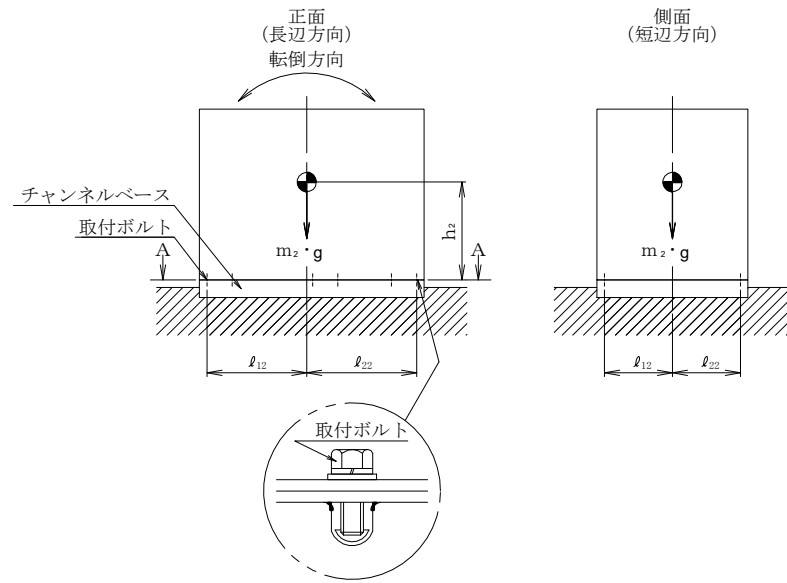
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=147$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



A~A 矢视图
($l_{11} \leq l_{21}$)



A~A 矢视图
($l_{12} \leq l_{22}$)

VI-2-10-1-3-8 B1-115V 系蓄電池 (SA) の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、B1-115V系蓄電池（SA）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

B1-115V系蓄電池（SA）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、B1-115V系蓄電池（SA）は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

B1-115V系蓄電池（SA）の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図										
基礎・支持構造	主体構造											
<p>B1-115V 系蓄電池 (SA) は、取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)</p>	<p>【B1-115V 系蓄電池 (SA)】</p> <table border="1" style="margin-top: 20px;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列)</th> <th>B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)</th> <th>B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td colspan="3" rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> </td> </tr> <tr> <td>横</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>	機器名称	B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列)	B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)	B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)	たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			横	高さ
機器名称	B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列)	B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)	B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)									
たて	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>											
横												
高さ												

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

B1-115V 系蓄電池 (SA) の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

B1-115V 系蓄電池 (SA) の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

B1-115V 系蓄電池 (SA) の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

B1-115V 系蓄電池 (SA) の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

B1-115V 系蓄電池 (SA) の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】、【B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】及び【B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	B1-115V 系蓄電池 (SA)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	B1-115V 系蓄電池 (SA)	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*¹：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

B1-115V 系蓄電池 (SA) の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987 において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、B1-115V 系蓄電池 (SA) の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

B1-115V 系蓄電池 (SA) の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

B1-115V 系蓄電池 (SA) の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【B1-115V系蓄電池 (SA) (4個並び2段1列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V系蓄電池 (SA) (4個並び2段1列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			C _H =1.01 ^{*2}	C _V =0.57 ^{*2}	C _H =2.18 ^{*3}	C _V =1.40 ^{*3}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度のいずれか大きい方, 若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	10	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	3	245	280	短辺方向	短辺方向
	740 ^{*1}	740 ^{*1}	2				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	760 ^{*1}	760 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し,

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=26$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=80$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V 系蓄電池 (SA) (4 個並び 2 段 1 列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1			—	—	C _H =2.18*2	C _V =1.40*2	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733*1	16 (M16)	201.1	10	245 (径 ≤ 16mm)	400 (径 ≤ 16mm)
取付ボルト (i=2)		683*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

部材	ℓ _{1 i} *2 (mm)	ℓ _{2 i} *2 (mm)	n _{f i} *2	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5*1	420.5*1	3	—	280	—	短辺方向
	740*1	740*1	2				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	—	280	—	長辺方向
	760*1	760*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

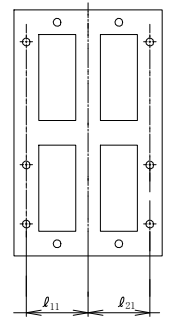
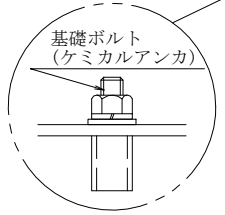
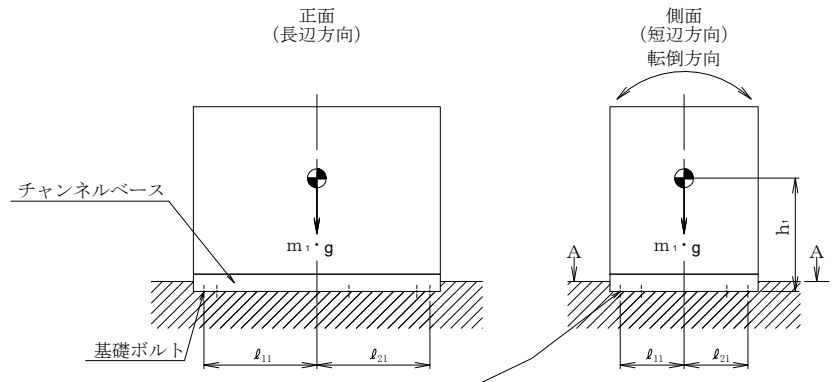
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

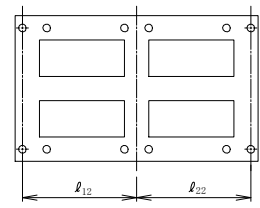
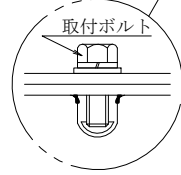
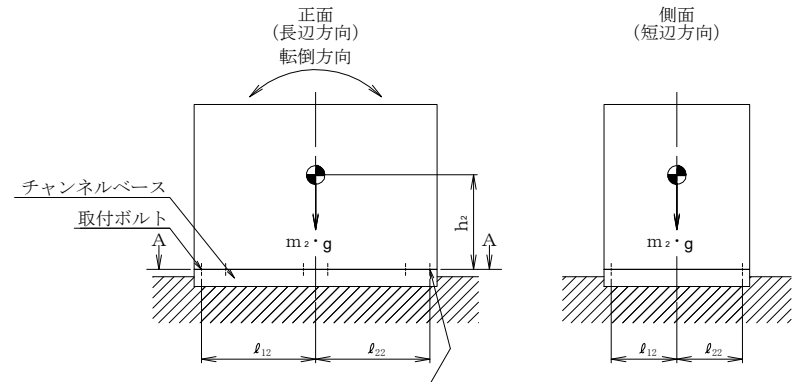
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=80$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



A~A 矢視図
($l_{11} \leq l_{21}$)



A~A 矢視図
($l_{12} \leq l_{22}$)

【B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			C _H =1.01 ^{*2}	C _V =0.57 ^{*2}	C _H =2.18 ^{*3}	C _V =1.40 ^{*3}	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	8	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	2	245	280	短辺方向	短辺方向
	555 ^{*1}	585 ^{*1}	2				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=31$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=96$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V 系蓄電池 (SA) (3 個並び 2 段 1 列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			—	—	C _H =2.18 ^{*2}	C _V =1.40 ^{*2}	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		733 ^{*1}	16 (M16)	201.1	8	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	2	—	280	—	短辺方向
	555 ^{*1}	585 ^{*1}	2				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

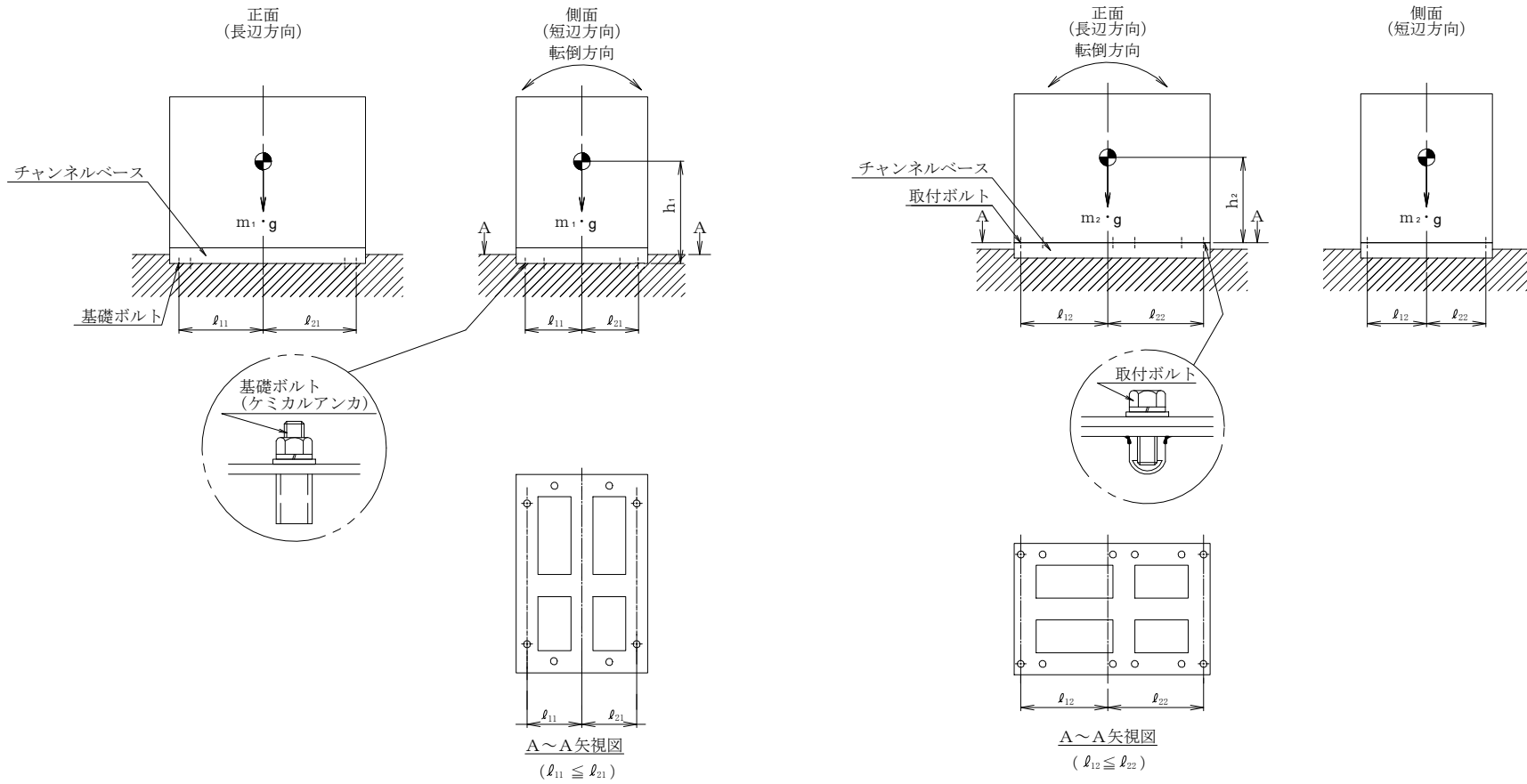
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=96$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



【B1-115V系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 ^{*1}			C _H =1.01 ^{*2}	C _V =0.57 ^{*2}	C _H =2.18 ^{*3}	C _V =1.40 ^{*3}	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度のいずれか大きい方, 若しくはこれを上回る設計震度

*3: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		666 ^{*1}	16 (M16)	201.1	6	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		616 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} ^{*2} (mm)	l _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	420.5 ^{*1}	420.5 ^{*1}	1	245	280	短辺方向	短辺方向
	475 ^{*1}	665 ^{*1}	1				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	235	280	長辺方向	長辺方向
	495 ^{*1}	685 ^{*1}	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=147^*$	$\sigma_{b1}=156$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=113$	$\tau_{b1}=30$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=53$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=14$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B1-115V 系蓄電池 (SA) (2, 3 個並び 2 段 1 列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1			—	—	C _H =2.18*2	C _V =1.40*2	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		666*1	16 (M16)	201.1	6	245 (径≤16mm)	400 (径≤16mm)
取付ボルト (i=2)		616*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} *2 (mm)	l _{2 i} *2 (mm)	n _{f i} *2	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	420.5*1	420.5*1	1	—	280	—	短辺方向
	475*1	665*1	1				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	—	280	—	長辺方向
	495*1	685*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

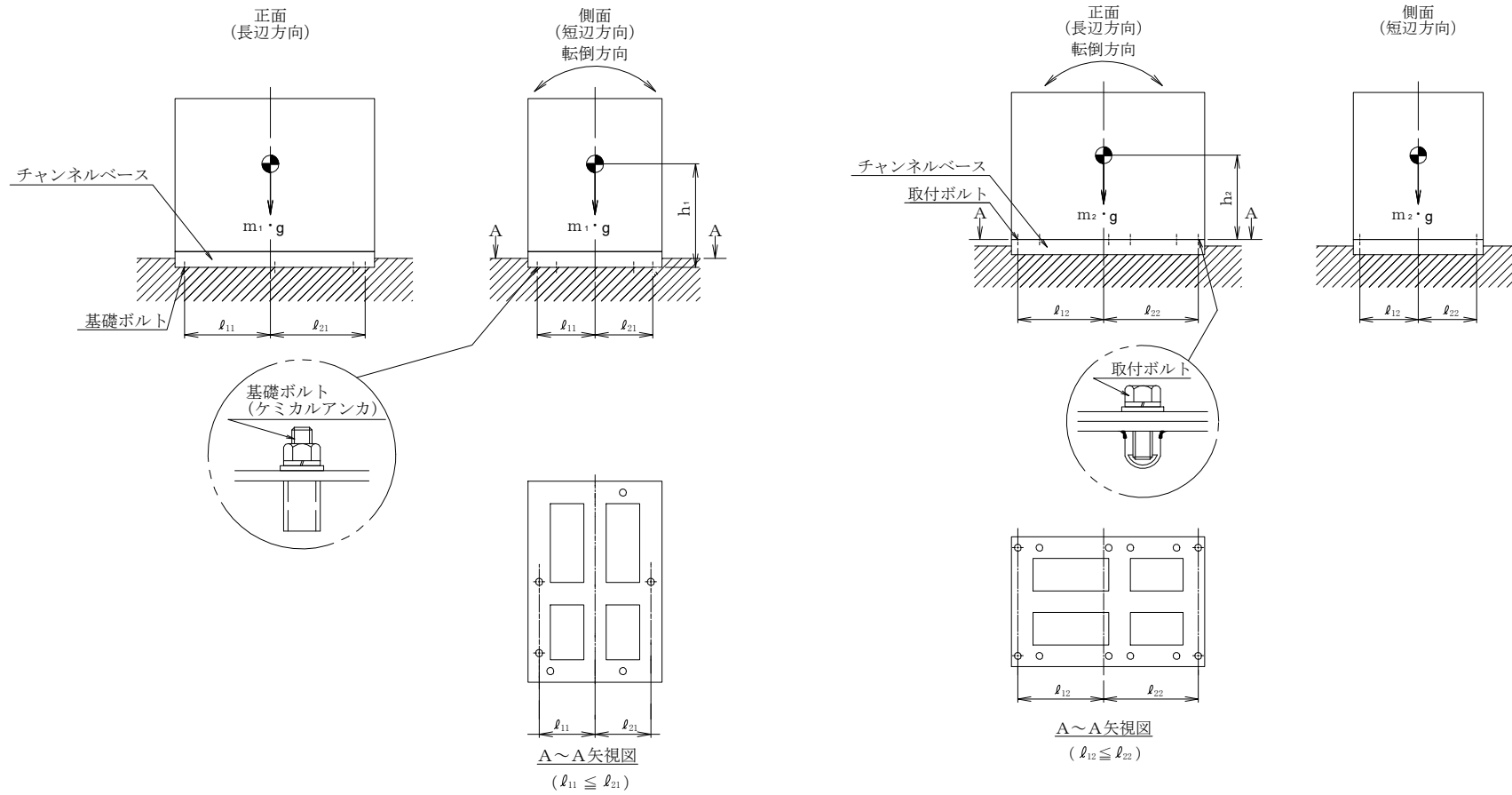
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=156$	$f_{ts1}=168^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=30$	$f_{sb1}=129$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=53$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=14$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



VI-2-10-1-3-9 SA用115V系蓄電池の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、SA用115V系蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

SA用115V系蓄電池は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、SA用115V系蓄電池は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SA用115V系蓄電池の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図															
基礎・支持構造	主体構造																
SA 用 115V 系蓄電池は，取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)	<p>【SA 用 115V 系蓄電池】</p>															
		機器名称	SA 用 115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	SA 用 115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列)	SA 用 115V 系蓄電池 (2, 3 個並び 2 段 1 列)												
		たて	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td></tr> <tr><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td></tr> <tr><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td><td style="width: 25%;"></td></tr> </table>														
		横															
		高さ															

(単位：mm)

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

SA用115V系蓄電池の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

SA用115V系蓄電池 (4個並び2段1列)	水平			
	鉛直			
SA用115V系蓄電池 (3個並び2段1列)	水平			
	鉛直			
SA用115V系蓄電池 (2, 3個並び2段1列)	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SA 用 115V 系蓄電池の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

SA 用 115V 系蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

SA 用 115V 系蓄電池の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

SA 用 115V 系蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【SA 用 115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】、【SA 用 115V 系蓄電池 (3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】及び【SA 用 115V 系蓄電池 (2, 3 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	SA用115V系蓄電池	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

SA 用 115V 系蓄電池の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987 において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、SA 用 115V 系蓄電池の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

SA用115V系蓄電池の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため、評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【SA用115V系蓄電池（4個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SA用115V系蓄電池 (4個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9*1)			—	—	C _H =2.48*2	C _V =1.47*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		749*1	16 (M16)	201.1	16	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)		683*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} *2 (mm)	ℓ _{2 i} *2 (mm)	n _{f i} *2	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	510.5*1	510.5*1	4	—	258	—	短辺方向
	640*1	640*1	4				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	—	280	—	長辺方向
	760*1	760*1	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

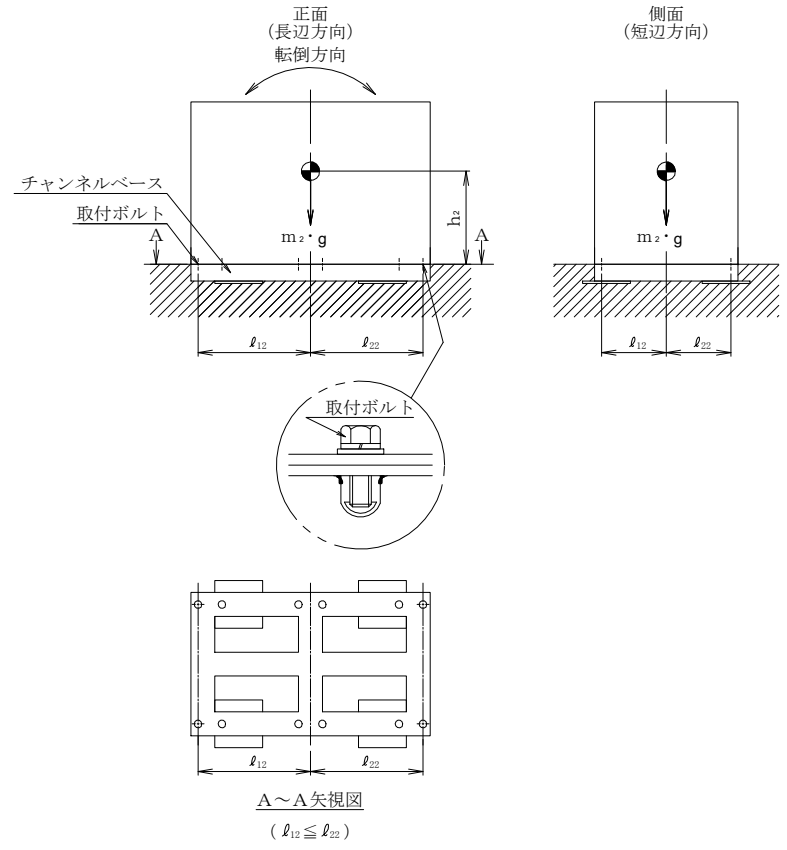
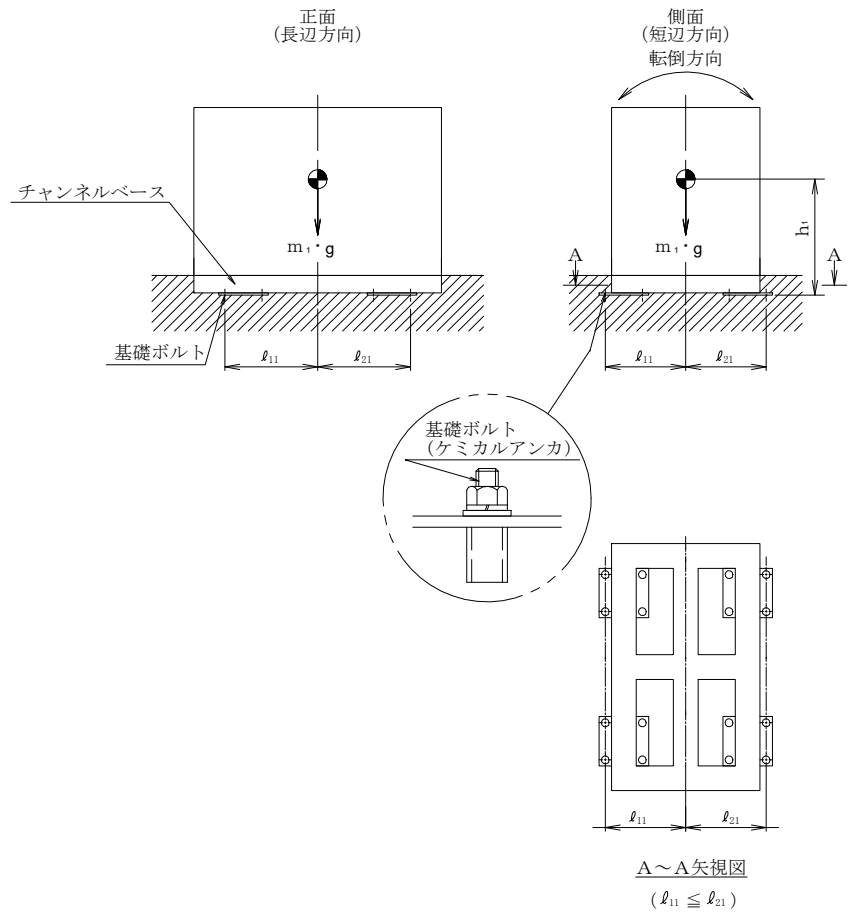
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=60$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=75$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=23$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



【SA用115V系蓄電池（3個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SA用115V系蓄電池 (3個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9 ^{*1})			—	—	C _H =2.48 ^{*2}	C _V =1.47 ^{*2}	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		749 ^{*1}	16 (M16)	201.1	16	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)		683 ^{*1}	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} ^{*2} (mm)	ℓ _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	470 ^{*1}	500 ^{*1}	4	—	258	—	短辺方向
	510.5 ^{*1}	510.5 ^{*1}	4				
取付ボルト (i=2)	430.5 ^{*1}	430.5 ^{*1}	6	—	280	—	長辺方向
	575 ^{*1}	605 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

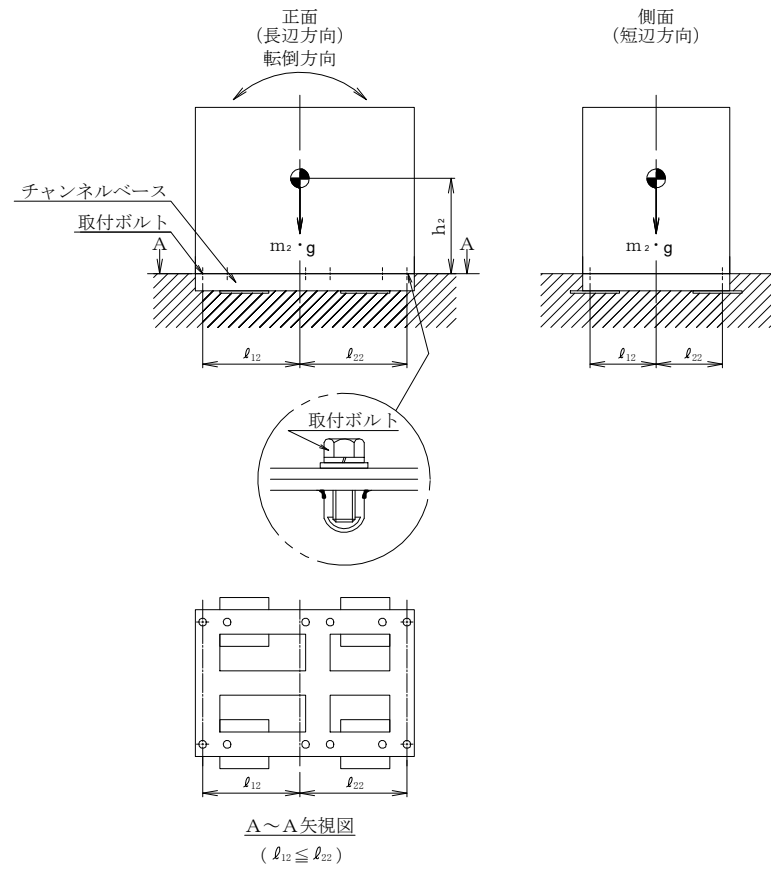
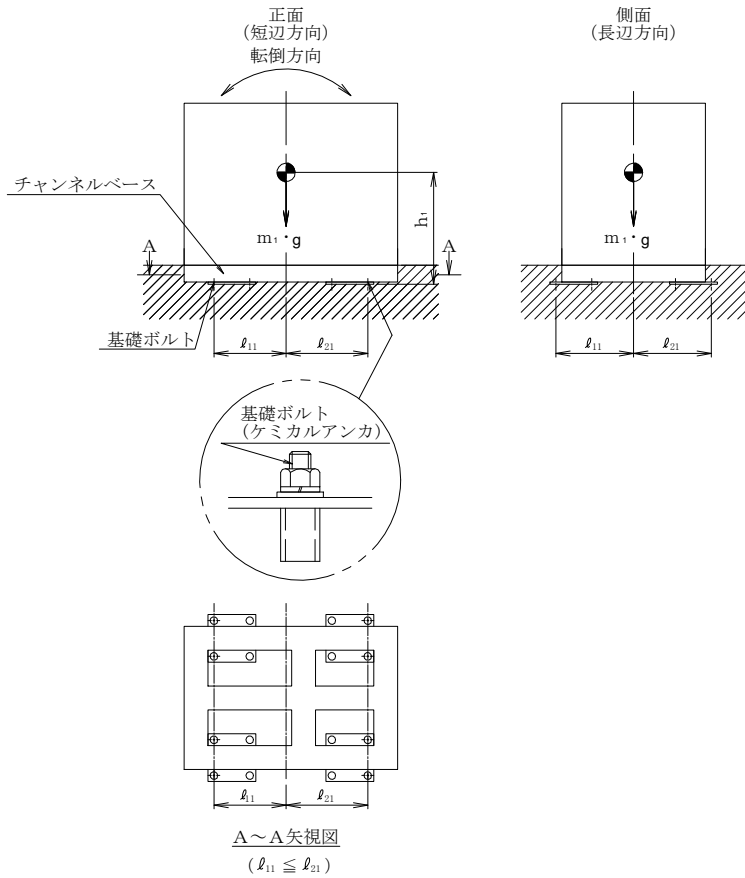
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=50$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=74$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=19$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



【SA用115V系蓄電池(2,3個並び2段1列)の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SA用115V系蓄電池 (2,3個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9*1)			—	—	$C_H=2.48^{*2}$	$C_V=1.47^{*2}$	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度II(基準地震動 S s)又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		682*1	16 (M16)	201.1	16	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)		616*1	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	390*1	580*1	4	—	258	—	短辺方向
	510.5*1	510.5*1	4				
取付ボルト (i=2)	430.5*1	430.5*1	6	—	280	—	長辺方向
	495*1	685*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

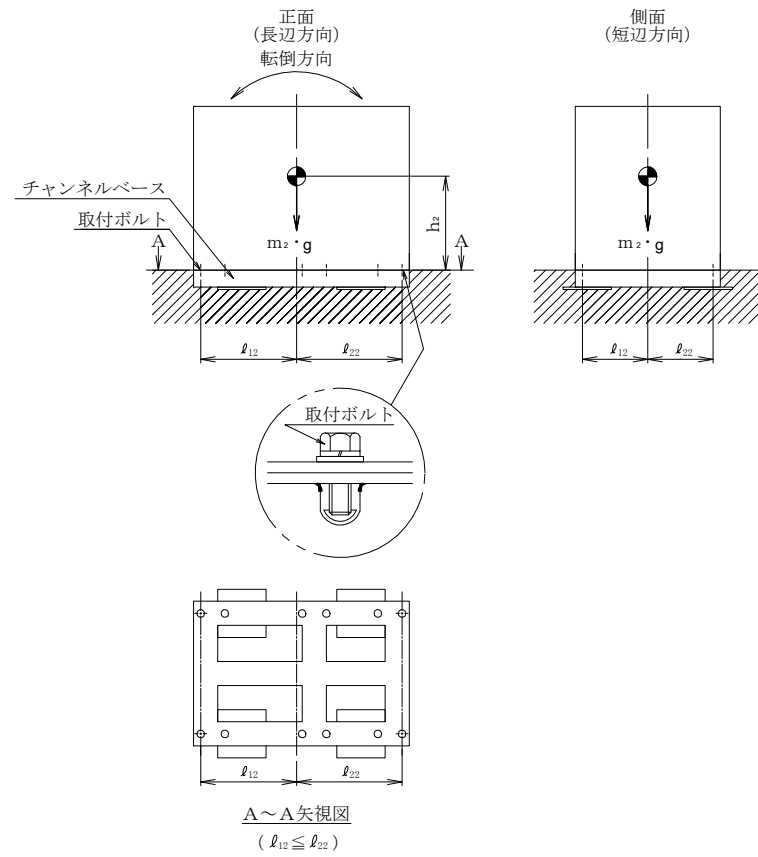
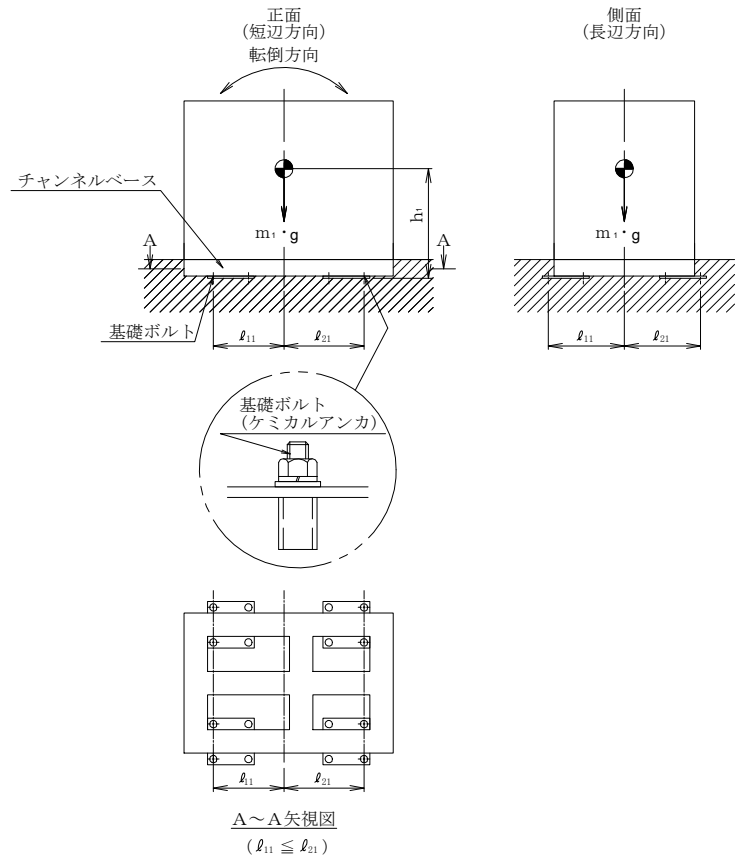
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=42$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=61$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$



VI-2-10-1-3-10 高圧炉心スプレイ系蓄電池の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系蓄電池は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ系蓄電池は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系蓄電池の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>高圧炉心スプレイ系蓄電池は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。</p>	<p>直立形 (鋼製架台に固定されたベント形クラッド式据置鉛蓄電池)</p>	<p>【高圧炉心スプレイ系蓄電池】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>高圧炉心スプレイ系蓄電池 (14 個並び 2 段 1 列)</th> <th>高圧炉心スプレイ系蓄電池 (12 個並び 2 段 1 列)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p>	機器名称	高圧炉心スプレイ系蓄電池 (14 個並び 2 段 1 列)	高圧炉心スプレイ系蓄電池 (12 個並び 2 段 1 列)	たて			横			高さ		
機器名称	高圧炉心スプレイ系蓄電池 (14 個並び 2 段 1 列)	高圧炉心スプレイ系蓄電池 (12 個並び 2 段 1 列)												
たて														
横														
高さ														

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

高圧炉心スプレイ系蓄電池の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位 : s)

高圧炉心スプレイ系蓄電池 (14 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
高圧炉心スプレイ系蓄電池 (12 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系蓄電池の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系蓄電池の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系蓄電池（14個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】及び【高圧炉心スプレイ系蓄電池（12個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	高圧炉心スプレイ系 蓄電池	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	高圧炉心スプレイ系 蓄電池	常設／防止 (DB拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS41* (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

注記* : SS400 相当

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS41* (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

注記* : SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系蓄電池の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、高圧炉心スプレイ系蓄電池の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系蓄電池の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため、評価結果は(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系蓄電池の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため、評価結果は(1)構造強度評価結果による。

【高圧炉心スプレイ系蓄電池（14個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系蓄電池 (14個並び2段1列)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8 ^{*1})			C _H =1.07 ^{*2}	C _V =0.49 ^{*2}	C _H =2.13 ^{*3}	C _V =0.99 ^{*3}	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

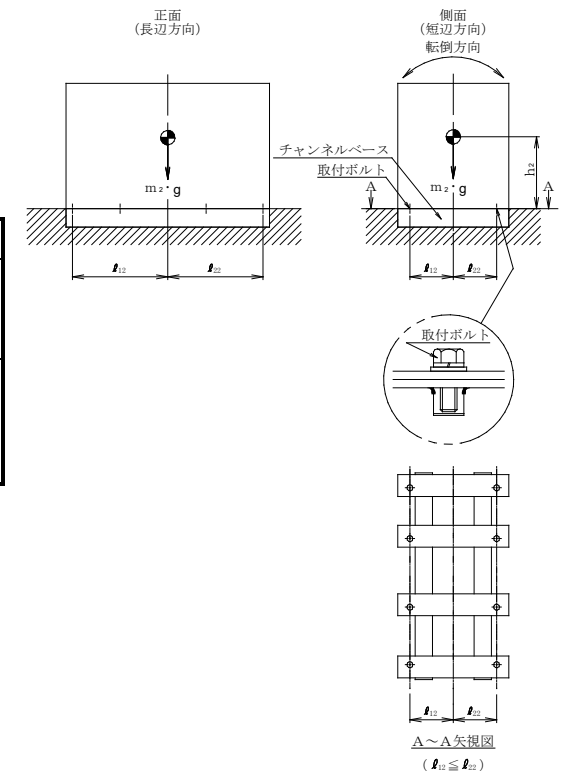
部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		358 ^{*1}	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} ^{*2} (mm)	ℓ _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト (i=2)	238 ^{*1}	262 ^{*1}	4	235	280	短辺方向	短辺方向
	1119 ^{*1}	1131 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

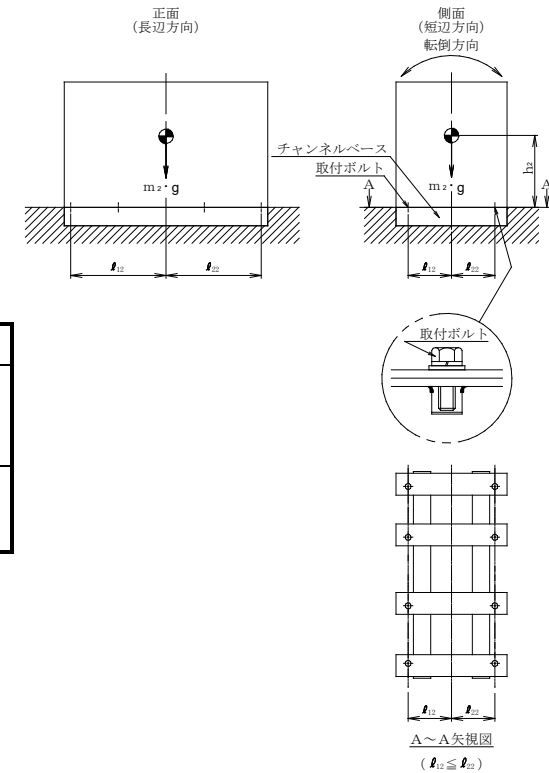
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高压炉心スプレイ系蓄電池 (14個並び2段1列)	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)			—	—	C _H =2.13*2	C _V =0.99*2	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		358*1	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)



部材	l _{1 i} *2 (mm)	l _{2 i} *2 (mm)	n _{f i} *2	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	238*1	262*1	4	—	280	—	短辺方向
	1119*1	1131*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=15$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

【高圧炉心スプレイ系蓄電池（12個並び2段1列）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系蓄電池 (12個並び2段1列)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8 ^{*1})			C _H =1.07 ^{*2}	C _V =0.49 ^{*2}	C _H =2.13 ^{*3}	C _V =0.99 ^{*3}	40

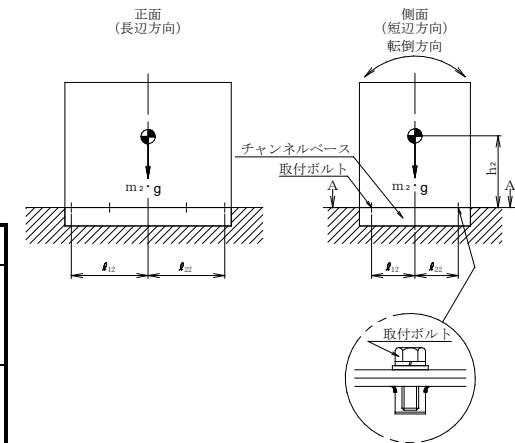
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方，若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		358 ^{*1}	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

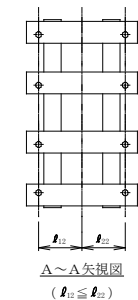


部材	ℓ _{1 i} ^{*2} (mm)	ℓ _{2 i} ^{*2} (mm)	n _{f i} ^{*2}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト (i=2)	238 ^{*1}	262 ^{*1}	4	235	280	短辺方向	短辺方向
	953 ^{*1}	957 ^{*1}	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

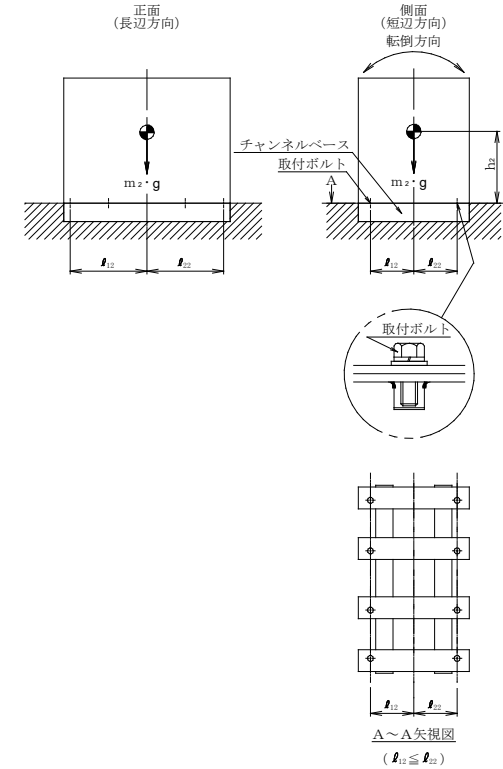
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高压炉心スプレイ系蓄電池 (12個並び2段1列)	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)			—	—	C _H =2.13*2	C _V =0.99*2	40

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) 又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		358*1	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)



部材	ℓ _{1 i} *2 (mm)	ℓ _{2 i} *2 (mm)	n _{f i} *2	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	238*1	262*1	4	—	280	—	短辺
	953*1	957*1	2				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

VI-2-10-1-3-11 原子炉中性子計装用蓄電池の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉中性子計装用蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉中性子計装用蓄電池は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、原子炉中性子計装用蓄電池は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉中性子計装用蓄電池の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
原子炉中性子計装用蓄電池は、基礎に埋め込まれたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 (鋼製架台に固定されたベント形クラッド式据置鉛蓄電池)	<p>【原子炉中性子計装用蓄電池】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>A-原子炉中性子計装用蓄電池</th> <th>B-原子炉中性子計装用蓄電池</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p>	機器名称	A-原子炉中性子計装用蓄電池	B-原子炉中性子計装用蓄電池	たて			横			高さ		
機器名称	A-原子炉中性子計装用蓄電池	B-原子炉中性子計装用蓄電池												
たて														
横														
高さ														

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

原子炉中性子計装用蓄電池の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位 : s)

原子炉中性子計装用蓄電池	水平		
	鉛直		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉中性子計装用蓄電池の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉中性子計装用蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉中性子計装用蓄電池の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉中性子計装用蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉中性子計装用蓄電池の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	原子炉中性子計装用 蓄電池	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	原子炉中性子計装用 蓄電池	常設耐震／防止	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS41* (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—

注記* : SS400 相当

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS41* (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—

注記* : SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉中性子計装用蓄電池の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、原子炉中性子計装用蓄電池の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉中性子計装用蓄電池の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉中性子計装用蓄電池の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【原子炉中性子計装用蓄電池の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉中性子計装用蓄電池	S	廃棄物処理建物 EL 16.9* ¹ EL 12.3			C _H =1.06* ²	C _V =0.74* ²	C _H =2.48* ³	C _V =1.47* ³	40

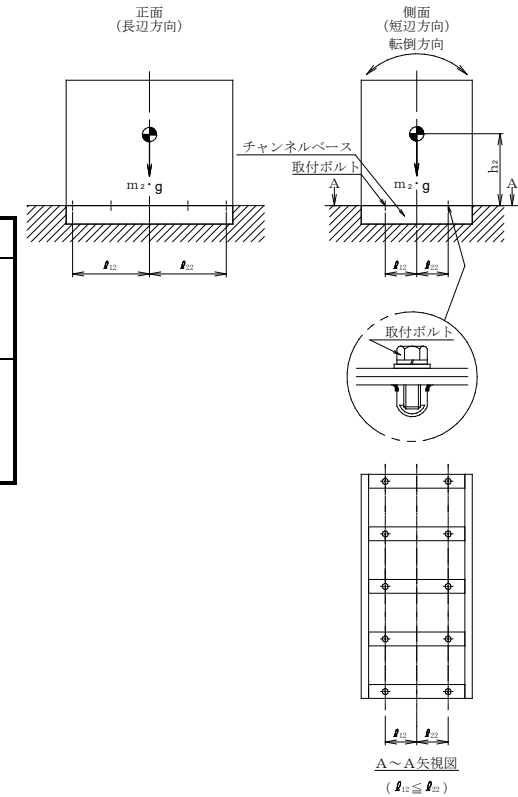
注記*1：基準レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度のいずれか大きい方、若しくはこれを上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		260* ¹	16 (M16)	201.1	10	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)



部材	ℓ _{1 i} * ² (mm)	ℓ _{2 i} * ² (mm)	n _{f i} * ²	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト (i=2)	150* ¹	150* ¹	5	215	258	短辺方向	短辺方向
	970* ¹	970* ¹	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts2}=161^*$	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

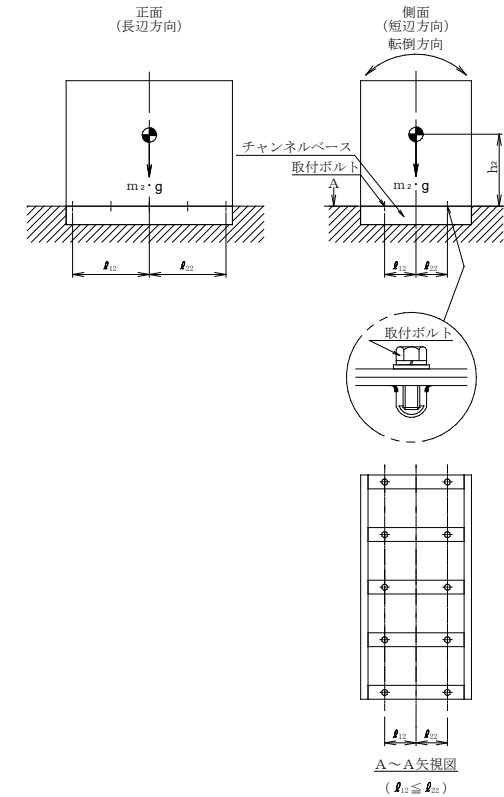
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉中性子計装用蓄電池	常設耐震/防止	廃棄物処理建物 EL 16.9* ¹ EL 12.3			—	—	C _H =2.48* ²	C _V =1.47* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		260* ¹	16 (M16)	201.1	10	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)



部材	l _{1 i} * ² (mm)	l _{2 i} * ² (mm)	n _{f i} * ²	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	150* ¹	150* ¹	5	—	258	—	短辺方向
	970* ¹	970* ¹	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=193^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する
説明書

VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある
下位クラス施設の耐震評価方針

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 耐震評価方針	4
3.1 耐震評価部位	4
3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点	4
3.1.2 接続部の観点	4
3.1.3 建物内施設の損傷，転倒，落下等の観点	5
3.1.4 屋外施設の損傷，転倒，落下等の観点	8
3.2 地震応答解析	12
3.3 設計用地震動又は地震力	12
3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ	12
3.5 許容限界	13
3.5.1 建物・構築物	13
3.5.2 機器・配管系	13
3.5.3 土木構造物	13
3.6 まとめ	13

1. 概要

本資料は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設計する際に、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を説明するものである。

2. 基本方針

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設は、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に基づき、以下「3. 耐震評価方針」に示すとおり、耐震評価部位、地震応答解析方法、設計用地震動又は地震力、荷重の種類及び荷重の組合せ並びに許容限界を定めて耐震評価を実施する。この耐震評価を実施するものとして、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設を、建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物に分けて表 2-1 に示す。

表 2-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設 (1 / 2)

<p>建物・構築物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1号機タービン建物 ・ 1号機廃棄物処理建物 ・ 2号機排気筒モニタ室 ・ 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 ・ 原子炉ウェルシールドプラグ ・ 1号機排気筒 ・ サイトバンカ建物 ・ 1号機原子炉建物
<p>機器・配管系</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃料プール冷却ポンプ室冷却機 ・ 原子炉浄化系補助熱交換器 ・ ガンマ線遮蔽壁 ・ 原子炉建物天井クレーン ・ 燃料取替機 ・ 制御棒貯蔵ハンガ ・ チャンネル着脱装置 ・ 耐火障壁 ・ 中央制御室天井照明 ・ チャンネル取扱ブーム ・ 循環水系配管 ・ タービン補機海水系配管 ・ 給水系配管 ・ タービンヒータドレン系配管 ・ タービン補機冷却系熱交換器 ・ 復水輸送系配管 ・ 復水系配管 ・ グランド蒸気排ガスフィルタ ・ 格納容器空気置換排風機 ・ 消火系配管 ・ 廃棄物処理建物排気処理装置 ・ 取水槽ガントリクレーン ・ 除じん機 ・ タービン補機海水ストレーナ ・ 主排気ダクト ・ 高光度航空障害灯管制器 ・ 建物開口部竜巻防護対策設備

表 2-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設（2 / 2）

<p>土木構造物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備 ・取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備 ・取水槽海水ポンプエリア防水壁 ・2号機放水路 ・3号機放水路 ・1号機取水管 ・施設護岸 ・1号機取水槽ピット部 ・免震重要棟遮蔽壁 ・復水貯蔵タンク遮蔽壁
--------------	---

3. 耐震評価方針

3.1 耐震評価部位

耐震評価部位については、対象設備の構造及び波及的影響の観点を考慮し、J E A G 4 6 0 1 及び工事計画での実績を参照した上で、耐震評価上厳しい箇所を選定する。

3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点

(1) 地盤の不等沈下による影響

不等沈下による影響は、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4.1 不等沈下又は相対変位の観点」に示すように、不等沈下の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

(2) 建物間の相対変位による影響

a. 1号機タービン建物

1号機タービン建物は、相対変位により制御室建物及び2号機タービン建物に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、1号機タービン建物の相対変位による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時に制御室建物及び2号機タービン建物に影響がないことを確認する。

b. 1号機廃棄物処理建物

1号機廃棄物処理建物は、相対変位により制御室建物及び2号機廃棄物処理建物に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、1号機廃棄物処理建物の相対変位による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時に制御室建物及び2号機廃棄物処理建物に影響がないことを確認する。

c. 2号機排気筒モニタ室

2号機排気筒モニタ室は、相対変位により2号機排気筒に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、2号機排気筒モニタ室の相対変位による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時に2号機排気筒に影響がないことを確認する。

d. 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備は、相対変位により2号機排気筒に衝突する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の相対変位による衝突の有無の確認を行い、衝突する場合には衝突時に2号機排気筒に影響がないことを確認する。

3.1.2 接続部の観点

(1) 接続部における相互影響

a. 燃料プール冷却ポンプ室冷却機

原子炉補機冷却系配管に系統上接続されている下位クラス施設である燃料プール冷却ポンプ室冷却機の損傷により、上位クラス施設の原子炉補機冷却系配管の機能喪失の可能性が否定できない。このため、上位クラス施設の原子炉補機冷却系配管と系統上接続されている下位クラス施設の燃料プール冷却ポンプ室冷却機について、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

b. 原子炉浄化系補助熱交換器

原子炉補機冷却系配管に系統上接続されている下位クラス施設である原子炉浄化系補助熱交換器の損傷により、上位クラス施設の原子炉補機冷却系配管の機能喪失の可能性が否定できない。このため、上位クラス施設の原子炉補機冷却系配管と系統上接続されている下位クラス施設の原子炉浄化系補助熱交換器について、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

3.1.3 建物内施設の損傷，転倒，落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒，落下等による影響

a. ガンマ線遮蔽壁

ガンマ線遮蔽壁は、転倒により原子炉圧力容器に衝突し、原子炉圧力容器が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

b. 原子炉建物天井クレーン

原子炉建物天井クレーンは、本体及び吊荷の転倒又は落下により燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材，支持部及び吊具の評価を実施する。

c. 燃料取替機

燃料取替機は、本体及び吊荷の転倒又は落下により燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材，支持部及び吊具の評価を実施する。

d. 制御棒貯蔵ハンガ

制御棒貯蔵ハンガは、転倒又は落下により燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、燃料プール，使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設的设计に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支

持部の評価を実施する。

e. チャンネル着脱装置

チャンネル着脱装置は、転倒又は落下により燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し、燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材、支持部及び吊具の評価を実施する。

f. 耐火障壁

耐火障壁は、転倒により原子炉補機冷却系熱交換器、中央制御室送風機等に衝突し、原子炉補機冷却系熱交換器、中央制御室送風機等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

g. 原子炉ウェルシールドプラグ

原子炉ウェルシールドプラグは、落下により原子炉格納容器に衝突し、原子炉格納容器が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

h. 中央制御室天井照明

中央制御室天井照明は、落下により安全設備制御盤、原子炉制御盤等に衝突し、安全設備制御盤、原子炉制御盤等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

i. チャンネル取扱ブーム

チャンネル取扱ブームは、転倒又は落下により燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに衝突し、燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックが損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

j. 燃料プール冷却ポンプ室冷却機

燃料プール冷却ポンプ室冷却機は、転倒により原子炉補機冷却系配管に衝突し、原子炉補機冷却系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

k. 原子炉浄化系補助熱交換器

原子炉浄化系補助熱交換器は、転倒により原子炉補機冷却系配管に衝突し、原子炉補

機冷却系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

l. 循環水系配管

循環水系配管は、転倒により復水器エリア防水壁及びタービン建物漏えい検知器に衝突し、復水器エリア防水壁及びタービン建物漏えい検知器が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

m. タービン補機海水系配管

タービン補機海水系配管は、落下により原子炉補機海水系配管（放水配管含む）及び復水器エリア防水壁に衝突し、原子炉補機海水系配管（放水配管含む）及び復水器エリア防水壁が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

n. 給水系配管

給水系配管は、落下により原子炉補機海水系配管に衝突し、原子炉補機海水系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

o. タービンヒータドレン系配管

タービンヒータドレン系配管は、落下により原子炉補機海水系配管に衝突し、原子炉補機海水系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

p. タービン補機冷却系熱交換器

タービン補機冷却系熱交換器は、転倒により原子炉補機海水系配管（放水配管）に衝突し、原子炉補機海水系配管（放水配管）が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

q. 復水輸送系配管

復水輸送系配管は、落下により非常用ガス処理系配管に衝突し、非常用ガス処理系配管が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

r. 復水系配管

復水系配管は、落下により非常用ガス処理系配管に衝突し、非常用ガス処理系配管が

損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

s. グランド蒸気排ガスフィルタ

グランド蒸気排ガスフィルタは、転倒により非常用ガス処理系配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管等に衝突し，非常用ガス処理系配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

t. 格納容器空気置換排風機

格納容器空気置換排風機は，転倒により原子炉棟空調換気系入口隔離弁に衝突し，原子炉棟空調換気系入口隔離弁が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，支持部の評価を実施する。

u. 消火系配管

消火系配管は，落下により高圧炉心スプレイ補機海水系配管に衝突し，高圧炉心スプレイ補機海水系配管が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，配管系及び支持部の評価を実施する。

v. 廃棄物処理建物排気処理装置

廃棄物処理建物排気処理装置は，転倒により高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に衝突し，高圧原子炉代替注水ポンプ用電路が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

3.1.4 屋外施設の損傷，転倒，落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒，落下等による影響

a. 取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備

取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備は，落下により原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等に衝突し，原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材の評価を実施する。

b. 取水槽ガントリクレーン

取水槽ガントリクレーンは，転倒及び落下により原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等に衝突し，原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対

して、主要構造部材、支持部及び吊具の評価を実施する。

c. 1号機排気筒

1号機排気筒は、損傷及び転倒により原子炉補機海水ポンプ、2号機原子炉建物等に衝突し、原子炉補機海水ポンプ、2号機原子炉建物等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

d. 除じん機

除じん機は、損傷により原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機海水ポンプに衝突し、原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機海水ポンプが損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

e. 取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備

取水槽循環水ポンプエリア竜巻防護対策設備は、落下により原子炉補機海水系配管、高圧炉心スプレー補機海水系配管等に衝突し、原子炉補機海水系配管、高圧炉心スプレー補機海水系配管等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

f. 取水槽海水ポンプエリア防水壁

取水槽海水ポンプエリア防水壁は、落下により取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に衝突し、取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

g. タービン補機海水ストレーナ

タービン補機海水ストレーナは、転倒により循環水系配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）及び取水槽漏えい検知器に衝突し、循環水系配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）及び取水槽漏えい検知器が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

h. サイトバンカ建物

サイトバンカ建物（増築部含む）は、損傷及び転倒により防波壁に衝突し、防波壁が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

- i. 1号機取水槽ピット部
1号機取水槽ピット部は、損傷及び落下により1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁に衝突し、1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。
- j. 2号機放水路
2号機放水路は、地震により損傷した場合、防波壁に波及的影響を及ぼすおそれが否定できないことから、2号機放水路による波及的影響を踏まえて防波壁の有する機能を保持するよう、防波壁を設計する。
- k. 3号機放水路
3号機放水路は、地震により損傷した場合、防波壁に波及的影響を及ぼすおそれが否定できないことから、3号機放水路による波及的影響を踏まえて防波壁の有する機能を保持するよう、防波壁を設計する。
- l. 1号機取水管
1号機取水管は、地震により損傷した場合、防波壁に波及的影響を及ぼすおそれが否定できないことから、1号機取水管による波及的影響を踏まえて防波壁の有する機能を保持するよう、防波壁を設計する。
- m. 施設護岸
施設護岸は、地震により損傷した場合、防波壁に波及的影響を及ぼすおそれが否定できないことから、施設護岸による波及的影響を踏まえて防波壁の有する機能を保持するよう、防波壁を設計する。
- n. 1号機原子炉建物
1号機原子炉建物は、損傷及び転倒により制御室建物及び2号機廃棄物処理建物を衝突し、制御室建物及び2号機廃棄物処理建物が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。
- o. 1号機タービン建物
1号機タービン建物は、損傷及び転倒により制御室建物、2号機タービン建物等に衝突し、制御室建物、2号機タービン建物等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

p. 1号機廃棄物処理建物

1号機廃棄物処理建物は、損傷及び転倒により制御室建物及び2号機廃棄物処理建物が衝突し、制御室建物及び2号機廃棄物処理建物が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

q. 2号機排気筒モニタ室

2号機排気筒モニタ室は、損傷及び転倒により2号機排気筒に衝突し、2号機排気筒が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

r. 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備は、転倒及び落下により2号機排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に衝突し、2号機排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

s. 主排気ダクト

主排気ダクトは、転倒及び落下により2号機排気筒に衝突し、2号機排気筒が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

t. 免震重要棟遮蔽壁

免震重要棟遮蔽壁は、転倒により緊急時対策所に衝突し、緊急時対策所が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

u. 復水貯蔵タンク遮蔽壁

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、転倒により B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に衝突し、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材の評価を実施する。

v. 高光度航空障害灯管制器

高光度航空障害灯管制器は、転倒により排気筒（非常用ガス処理系用）に衝突し、排気筒（非常用ガス処理系用）が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施

設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、支持部の評価を実施する。

w. タービン補機海水系配管

タービン補機海水系配管は、落下により原子炉補機海水系配管（放水配管）に衝突し、原子炉補機海水系配管（放水配管）が損傷する可能性が否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、配管系及び支持部の評価を実施する。

x. 建物開口部竜巻防護対策設備

建物開口部竜巻防護対策設備は、比較的大型の鋼製構造物であり、地震により破損・脱落した場合、広範囲に波及的影響を及ぼすおそれが否定できないことから、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して、主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

なお、防波壁（西端部）周辺斜面、防波壁（東端部）周辺斜面、2号機南側切取斜面、2号機西側切取斜面、緊急時対策所周辺斜面、ガスタービン発電機建物周辺斜面及び2号機南側盛土斜面については、基準地震動 S_s に対して斜面の崩壊のおそれがないことを確認している。

3.2 地震応答解析

地震応答解析については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.2 地震応答解析」に基づき、下位クラス施設に適用する方法として、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の建物・構築物、機器・配管系又は屋外重要土木構造物それぞれの地震応答解析の方針に従い実施する。

3.3 設計用地震動又は地震力

設計用地震動又は地震力については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.3 設計用地震動又は地震力」に基づき、上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力として、基準地震動 S_s を適用する。

3.4 荷重の種類及び荷重の組合せ

荷重の種類及び荷重の組合せについては、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.4 荷重の種類及び荷重の組合せ」に基づき、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設の運転状態において下位クラス施設に発生する荷重として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の設計基準対象施設又は常設重大事故等対処施設の荷重の組合せを適用し、上位クラス施設が設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のSクラスに属する施設、その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「Sクラス施設等」という。）の場合は運転状態I～IVとして、重大事故等対象施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故

防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要SA施設」という。）の場合は運転状態Vとして発生する荷重を設定する。また、屋外に設置されている施設については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の風荷重及び積雪荷重の組合せの考え方にに基づき設定する。

3.5 許容限界

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価に用いる許容限界については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態において、下位クラス施設が波及的影響を及ぼすおそれがないよう、また、上位クラス施設の機能に影響がないよう、以下、建物・構築物、機器・配管系及び土木構造物に分けて設定する。

3.5.1 建物・構築物

建物・構築物については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、距離、許容応力度、せん断ひずみ及び層間変形角を許容限界とする。

許容応力度においては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき、許容応力度を設定する。せん断ひずみにおいては、J E A G 4 6 0 1-1987に基づく終局点に対応するせん断ひずみを許容限界として設定する。層間変形角においては、「建築基準法及び同施行令」に基づく評価基準値を許容限界として設定する。

3.5.2 機器・配管系

機器・配管系については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、下位クラス施設が破断延性限界に十分な余裕を有していることに相当する許容限界として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す許容応力状態IV_AS及びV_ASの許容限界を設定する。

3.5.3 土木構造物

土木構造物については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5 許容限界」に基づき、構造部材の短期許容応力度又は終局耐力並びに構造物の層間変形角に対して妥当な安全余裕を考慮して設定する。

3.6 まとめ

以上を踏まえ、波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を表3-1に示す。

評価の観点の欄については、VI-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」において設定した以下の4つの設計の観点のうち、当該施設に該当する項目を記載する。

①設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響

- ②耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響
- ③建屋内における下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等による耐震重要施設への影響
- ④建屋外における下位のクラスの施設の損傷，転倒及び落下等による耐震重要施設への影響

評価条件の欄については，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態を想定することから，上位クラス施設がSクラス施設等の場合は「DB」，重要SA施設の場合は「SA」と評価条件に明記する。また，荷重の種類及び荷重の組合せに用いている記号はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく。

各施設の詳細な評価は，VI-2-11-2「波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」以降の各計算書に示す。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (1 / 15)

(建物・構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
1号機タービン建物	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	① 1号機タービン建物と制御室建物及び2号機タービン建物との離隔距離を適用する。
					SA	④ J E A G 4 6 0 1-1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみを適用する。
1号機廃棄物処理建物	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	① 1号機廃棄物処理建物と制御室建物及び2号機廃棄物処理建物との離隔距離を適用する。
					SA	④ J E A G 4 6 0 1-1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみを適用する。
2号機排気筒モニタ室	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	① 2号機排気筒モニタ室と2号機排気筒との離隔距離を適用する。
					SA	④ J E A G 4 6 0 1-1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみを適用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (2 / 15)

(建物・構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
燃料移送ポンプエリア 竜巻防護対策設備	① (相対変位) ④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	①燃料移送ポンプエリア竜巻防護 対策設備と2号機排気筒との離 隔距離を適用する。 ④「建築基準法及び同施行令」に 基づく層間変形角の評価基準値 を許容限界として設定する。
					SA	
原子炉ウェルシールド プラグ	③	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鉄筋コンクリート構造計算規 準・同解説」等に基づき、許容応 力度を設定する。
					SA	
1号機排気筒	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「建築基準法及び同施行令」に基 づく層間変形角の評価基準値を許 容限界として設定する。
					SA	
サイトバンカ建物	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	J E A G 4 6 0 1-1987に基づく終 局点に対応するせん断ひずみを適 用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（3 / 15）

(建物・構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
1号機原子炉建物	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	J E A G 4 6 0 1 -1987 に基づく終局点に対応するせん断ひずみを適用する。
					SA	「建築基準法及び同施行令」に基づく層間変形角の評価基準値を許容限界として設定する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (4 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
燃料プール冷却ポンプ 室冷却機	②, ③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3支持構造物の許容応力(許容応力状態IV _A S)を適用する。
原子炉浄化系補助熱交換器	②, ③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3支持構造物の許容応力(許容応力状態IV _A S)を適用する。
ガンマ線遮蔽壁	③	主要構造部材	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005 改定)」に基づく許容応力度を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（5 / 15）

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
原子炉建物天井 クレーン	③	主要構造部材 支持部 吊具	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他の支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	吊具については、クレーン構造規格及び日本クレーン協会規格に定められた安全率を上回るように設定された許容荷重を適用する。
燃料取替機	③	主要構造部材 支持部 吊具	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他の支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	吊具については、クレーン構造規格及び日本クレーン協会規格に定められた安全率を上回るように設定された許容荷重を適用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (6 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
制御棒貯蔵ハンガ	③	主要構造部材 支持部	S _s	D + P _D + M _D + S _s	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	SA	
チャンネル着脱装置	③	主要構造部材 支持部 吊具	S _s	D + P _D + M _D + S _s	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	SA	
耐火障壁	③	主要構造部材 支持部	S _s	D + P _D + M _D + S _s	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	SA	
中央制御室天井照明	③	主要構造部材 支持部	S _s	D + P _D + M _D + S _s	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。 支持部については「各種合成構造設 計指針・同解説」に基づく許容荷重 を適用する。
				D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s	SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (7 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
チャンネル取扱ブーム	③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
循環水系配管	③	配管系 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス3管及びクラス3支 持構造物の許容応力（許容応力状 態IV _A S）を適用する。
タービン補機海水系配管	③, ④	配管系 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス3管及び重大事故等 クラス2管（クラス3管）並びに クラス3支持構造物及び重大事故 等クラス2支持構造物の許容応力 （許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (8 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
給水系配管	③	配管系 支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス3管及び重大事故等 クラス2管（クラス3管）並びに クラス3支持構造物及び重大事故 等クラス2支持構造物の許容応力 （許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
タービンヒータドレン系 配管	③	配管系 支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス3管及び重大事故等 クラス2管（クラス3管）並びに クラス3支持構造物及び重大事故 等クラス2支持構造物の許容応力 （許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (9 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
タービン補機冷却系熱交換器	③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス3容器及びクラス 3支持構造物の許容応力(許容応 力状態 IV_{AS} 及び V_{AS})を適用 する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
復水輸送系配管	③	配管系 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方 針」に示すクラス3管及び重大 事故等クラス2管(クラス3 管)並びにクラス3支持構造物 及び重大事故等クラス2支持構 造物の許容応力(許容応力状態 IV_{AS} 及び V_{AS})を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（10 / 15）

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
復水系配管	③	配管系 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3管及び重大事故等クラス2管（クラス3管）並びにクラス3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
グラント蒸気排ガスフィルタ	③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
格納容器空気置換排風機	③	支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他の支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S）を適用する

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (11 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
消火系配管	③	配管系 支持部	S s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3管及び重大事故等クラス2管（クラス3管）並びにクラス3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物の許容応力（許容応力状態 $IV_A S$ 及び $V_A S$ ）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
廃棄物処理建物排気処理装置	③	主要構造部材 支持部	S s	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3支持構造物の許容応力（許容応力状態 $IV_A S$ 及び $V_A S$ ）を適用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (12 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
取水槽ガントリ クレーン	④	主要構造部材 支持部 吊具	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他の支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。 吊具については、クレーン構造規格及び日本クレーン協会規格に定められた安全率を上回るように設定された許容荷重を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
除じん機	④	主要構造部材 支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他の支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
タービン補機海水ストレーナ	④	主要構造部材 支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すクラス3容器及びクラス3支持構造物の許容応力（許容応力状態IV _A S及びV _A S）を適用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (13 / 15)

(機器・配管系)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
主排気ダクト	④	主要構造部材 支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すクラス4管及び重大事故等 クラス2管(クラス4管)並びに その他の支持構造物の許容応力 (許容応力状態IV _A S及びV _A S)を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	SA	
高光度航空障害灯管制器	④	支持部	S _s	$D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_s$	DB	VI-2-1-9「機能維持の基本方針」 に示すその他の支持構造物の許容 応力(許容応力状態IV _A S及びV _A S)を適用する。
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_s$	SA	
建物開口部竜巻防護対策 設備	④	主要構造部材 支持部	S _s	$D + S_s + P_s$	DB	「鋼構造設計規準—許容応力度設 計法—((社)日本建築学会, 2005 改 定)」に基づく許容応力度を適用す る。 「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2010 改定)」に 基づくアンカー耐力を適用する。
					SA	

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針 (14/15)

(土木構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
取水槽海水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005 改定)」及び「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010 改定)」に基づく短期許容応力度を適用する。
					SA	
取水槽循環水ポンプエリア 竜巻防護対策設備	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005 改定)」及び「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010 改定)」に基づく短期許容応力度を適用する。
					SA	
取水槽海水ポンプエリア 防水壁	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005 改定)」及び「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010 改定)」に基づく短期許容応力度を適用する。

表 3-1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（15 / 15）

(土木構造物)

設計対象 下位クラス施設	評価の観点	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
1号機取水槽ピット部	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「土木学会マニュアル 2005」に基づく圧縮縁コンクリート限界ひずみ及びせん断耐力を適用する。
免震重要棟遮蔽壁	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	SA	遮蔽壁については「土木学会マニュアル 2005」に基づく圧縮縁コンクリート限界ひずみ及びせん断耐力、鋼管杭については「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（平成 14 年 3 月）」に基づく全塑性モーメント及び終局強度を適用する。
復水貯蔵タンク遮蔽壁	④	主要構造部材	S s	G + P + S s	DB	「コンクリート標準示方書 2002」に基づく終局耐力及び許容応力度を適用する。
					SA	

VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての
計算書

VI-2-11-2-1 建物の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-1-1 1号機原子炉建物の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.2 設計に用いる地震波	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	17
3.5 解析方法	18
3.5.1 地震応答解析モデル	18
3.5.2 解析方法	26
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	27
3.5.4 材料物性の不確かさ等	40
3.6 評価方法	42
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	42
4. 評価結果	43
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	43
4.1.1 層間変形角の評価結果	43
4.1.2 せん断ひずみの評価結果	44

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機原子炉建物が制御室建物及び廃棄物処理建物に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御室建物及び廃棄物処理建物の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、1号機原子炉建物の構造物全体としての変形性能の評価を実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機原子炉建物の設置位置を図2-1に示す。

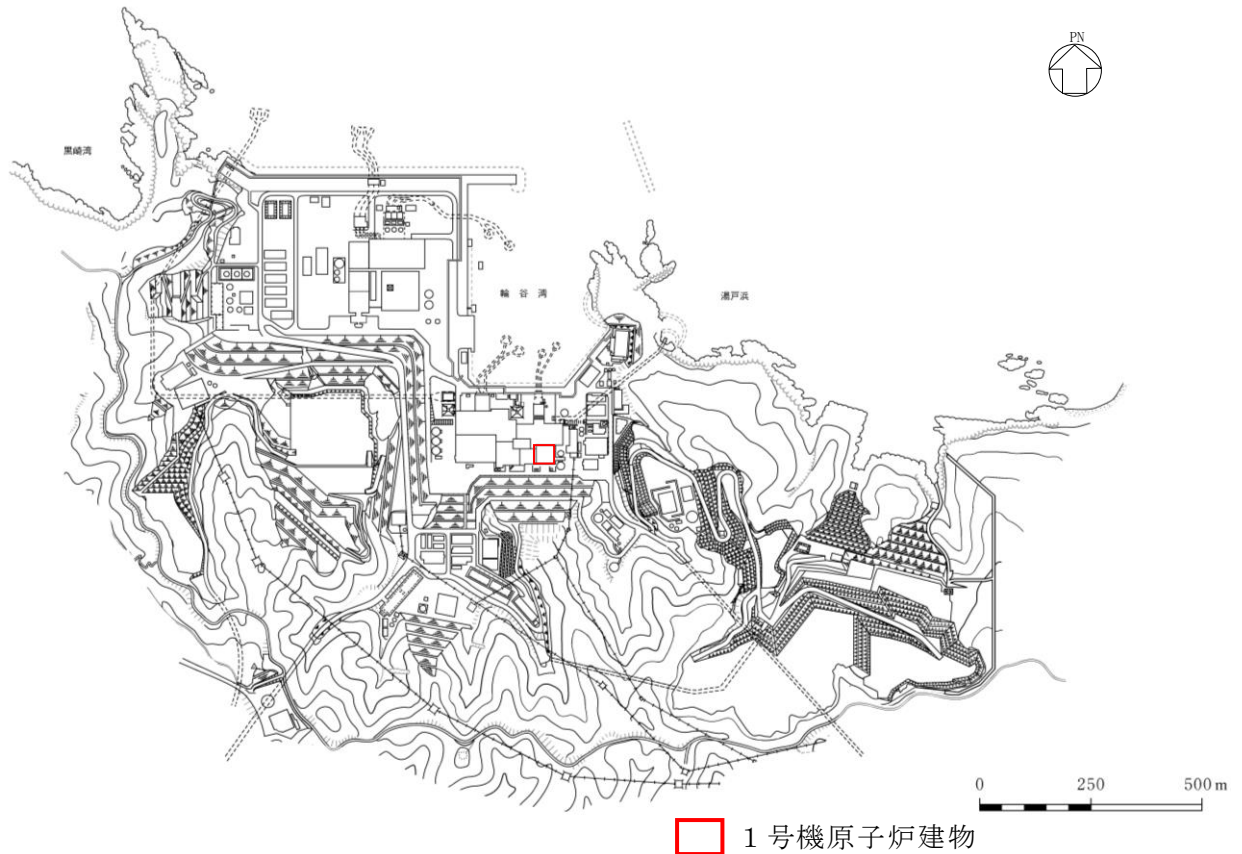


図2-1 1号機原子炉建物の設置位置

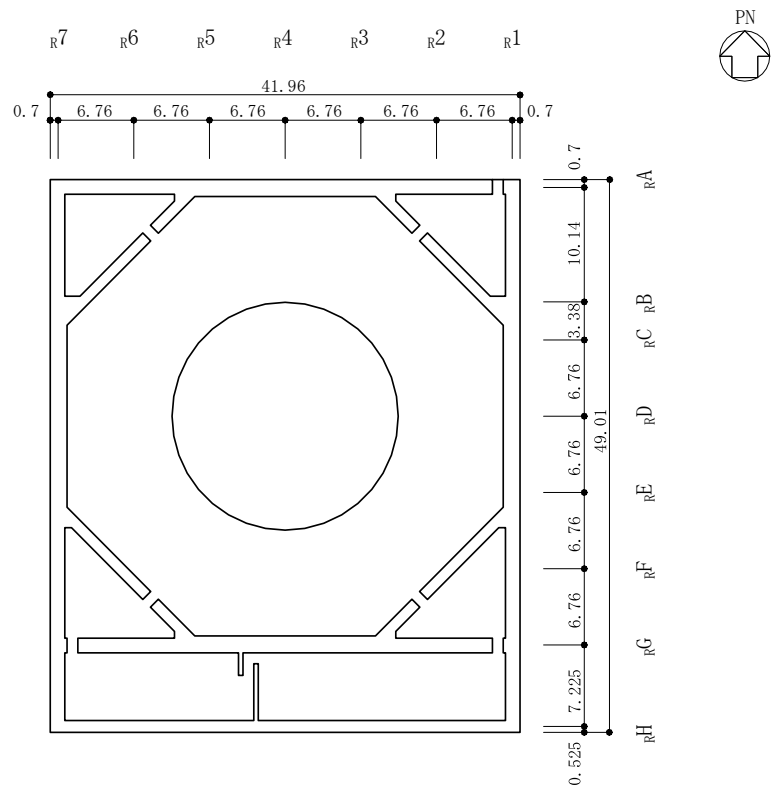
2.2 構造概要

1号機原子炉建物は、地上5階、地下1階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。1号機原子炉建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に示す。

1号機原子炉建物の平面は、49.01m*（NS）×41.96m*（EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは59.7mである。

1号機原子炉建物の基礎は厚さ3.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。



(単位:m)

図 2-2 1号機原子炉建物の概略平面図 (EL 3.1m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

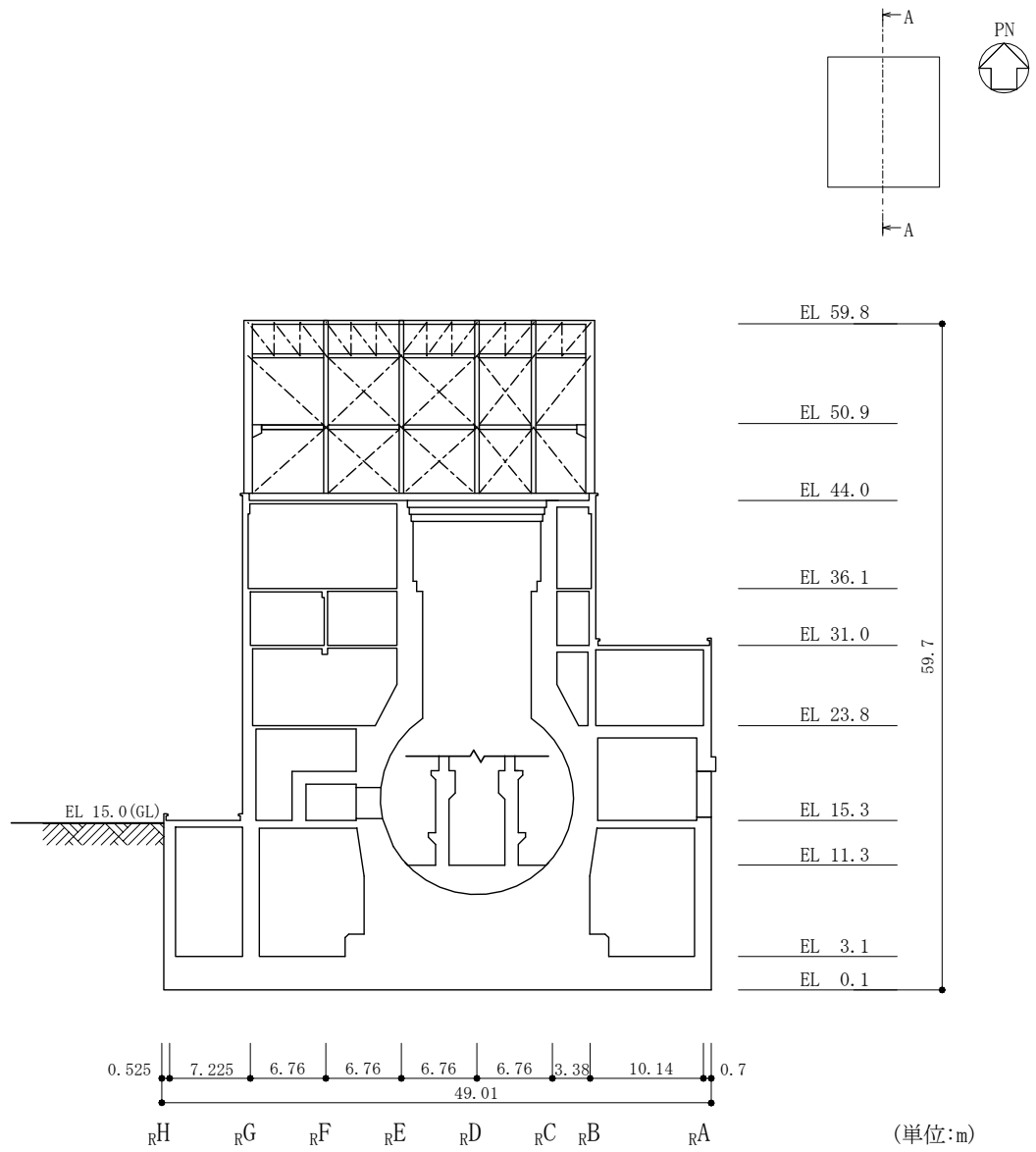


図 2-3(1) 1号機原子炉建物の概略断面図 (A-A断面, N S 方向)

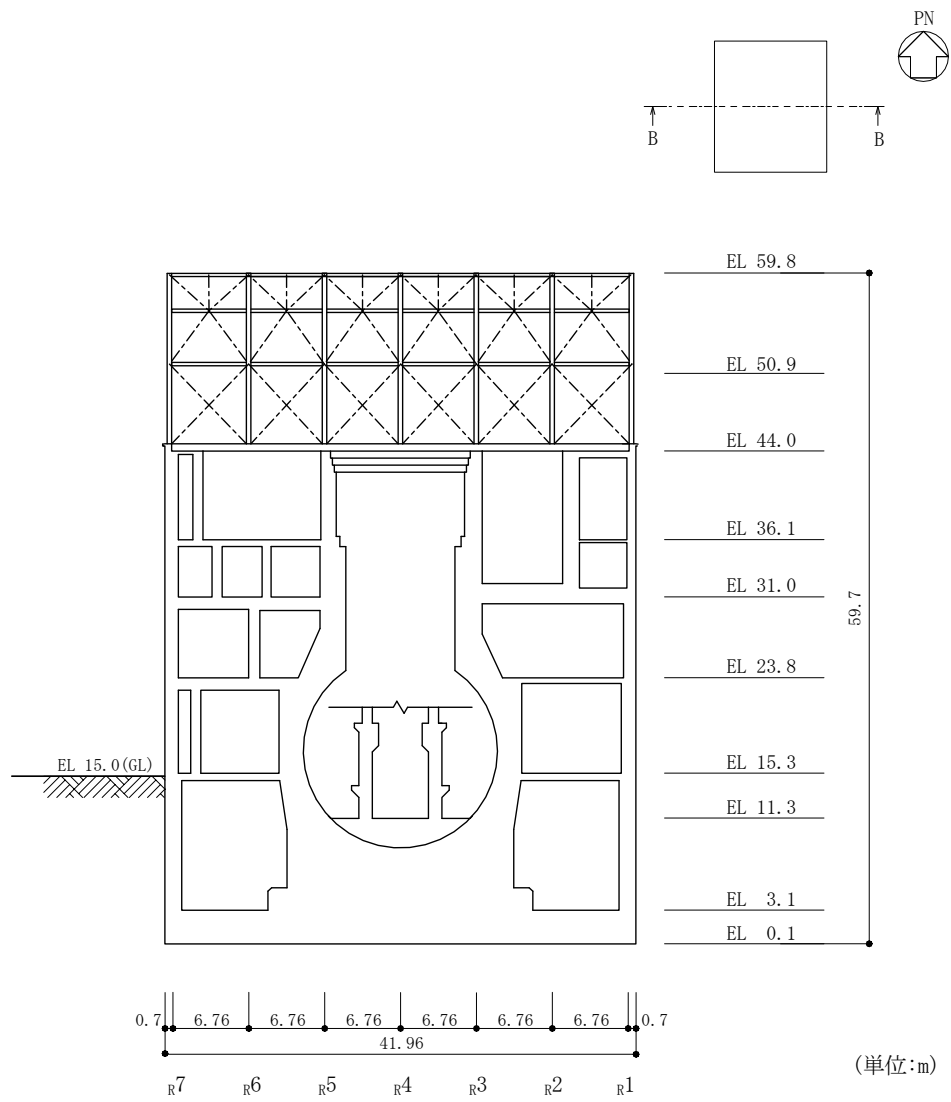


図 2-3(2) 1号機原子炉建物の概略断面図 (B-B断面, EW方向)

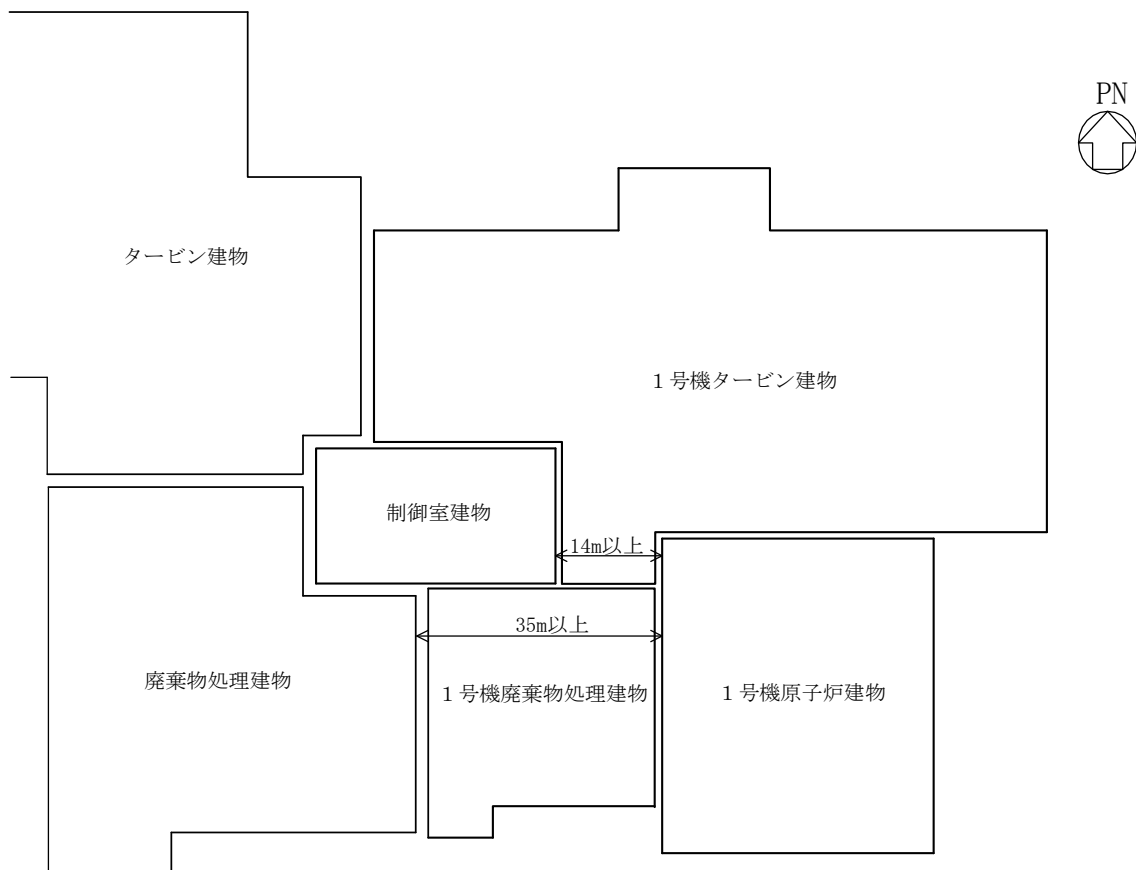


図 2-4 建物配置図

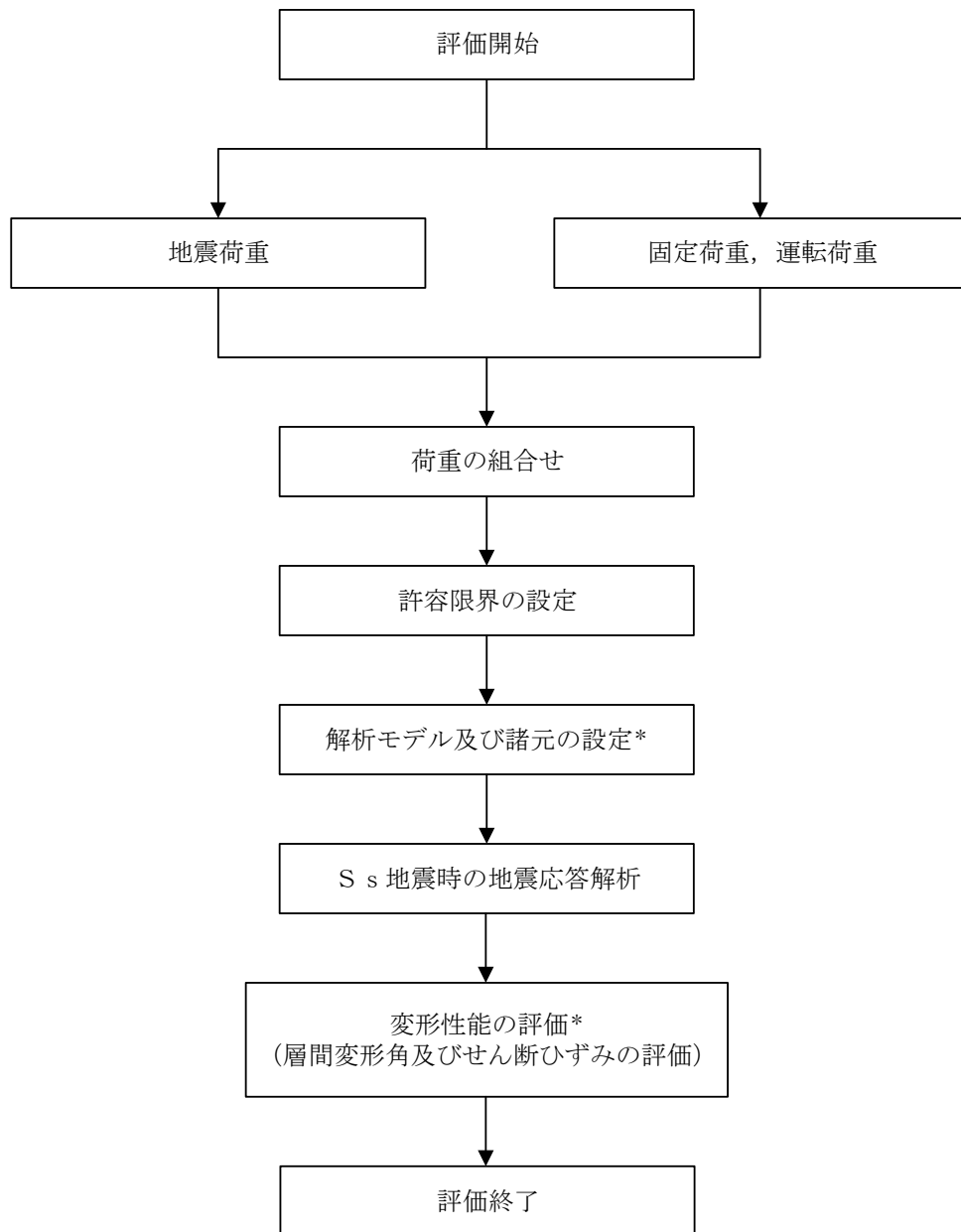
2.3 評価方針

1号機原子炉建物は、制御室建物及び廃棄物処理建物と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

1号機原子炉建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。1号機原子炉建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。なお、1号機原子炉建物は、制御室建物と14m以上、廃棄物処理建物と35m以上離れており、1号機原子炉建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、1号機原子炉建物では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2-5に波及的影響の評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 1号機原子炉建物の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

1号機原子炉建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

1号機原子炉建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

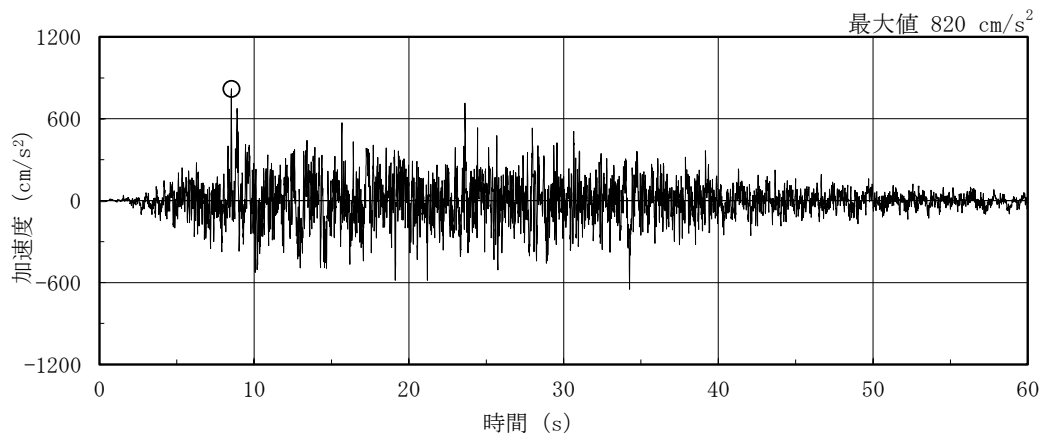
構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる鉄骨部の最大層間変形角及び耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

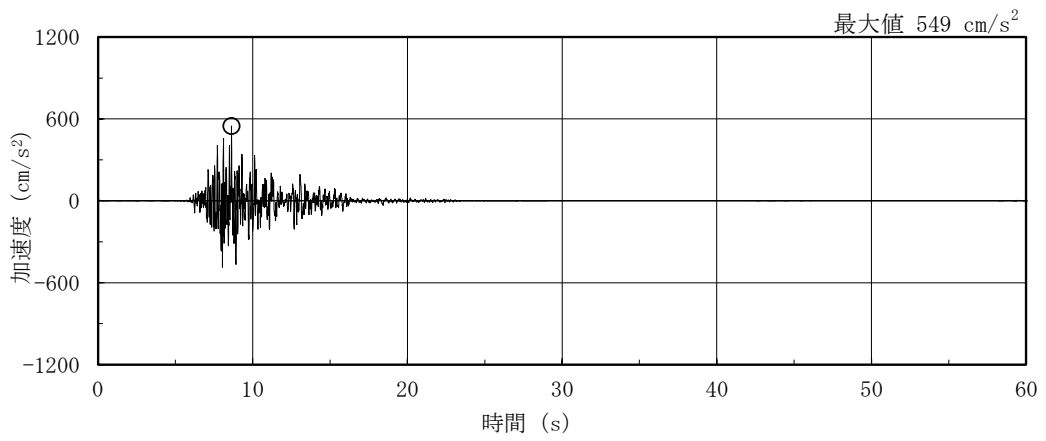
3.2 設計に用いる地震波

1号機原子炉建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御室建物及び廃棄物処理建物の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

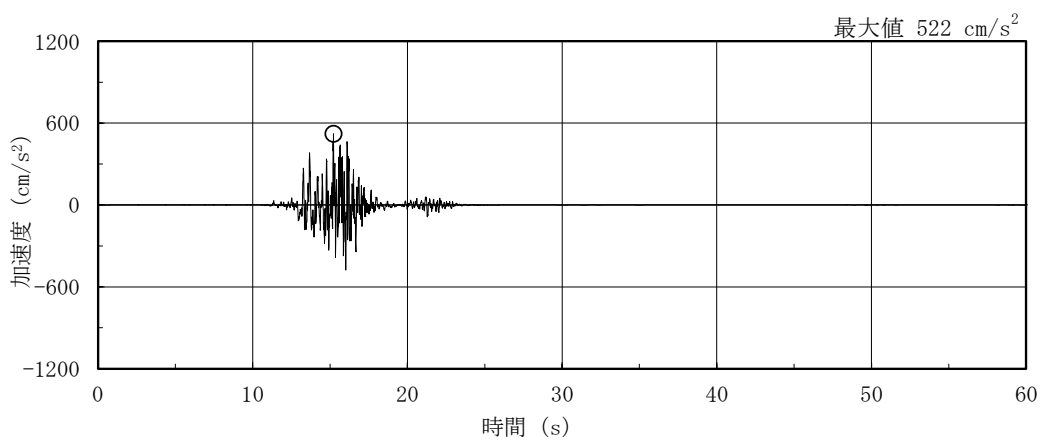
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-3に示す。



(a) S s - D

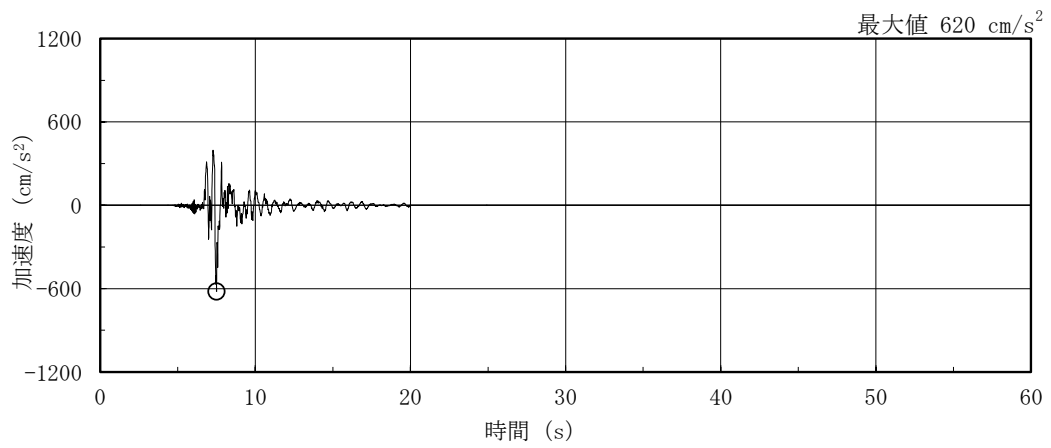


(b) S s - F 1

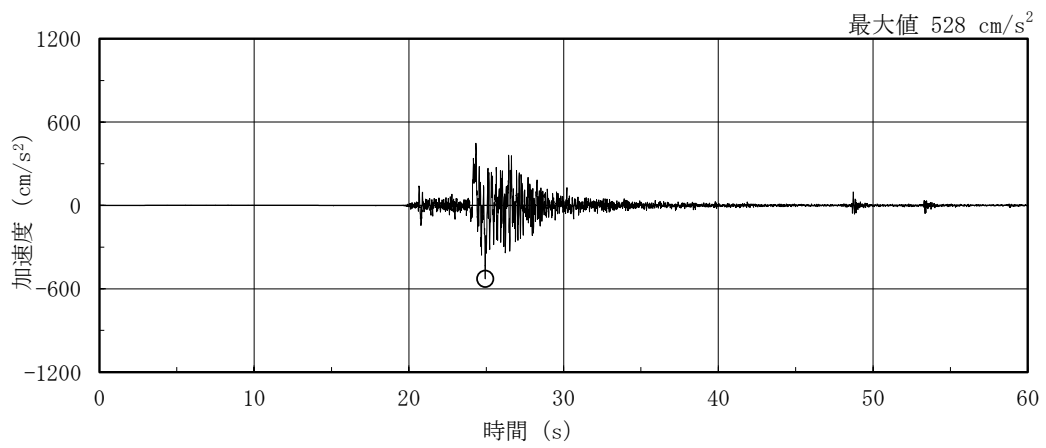


(c) S s - F 2

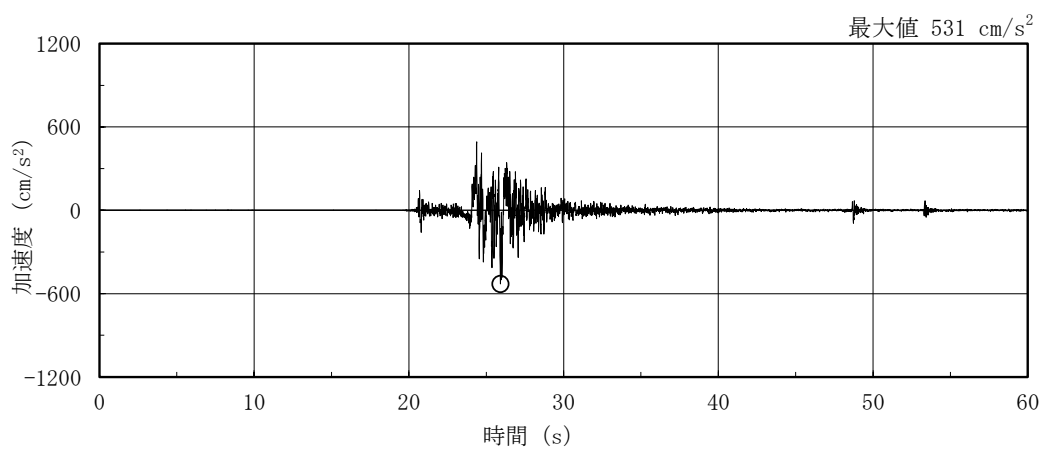
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , NS 方向)



(d) S s - N 1

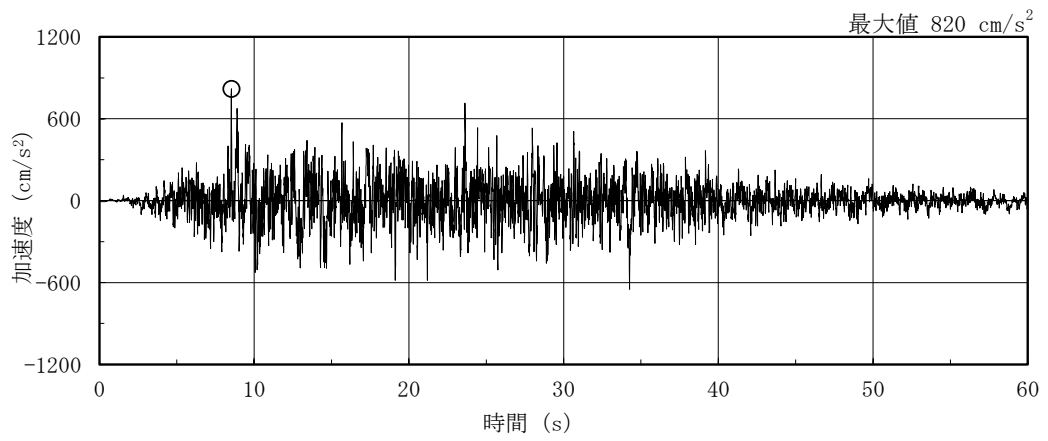


(e) S s - N 2 N S

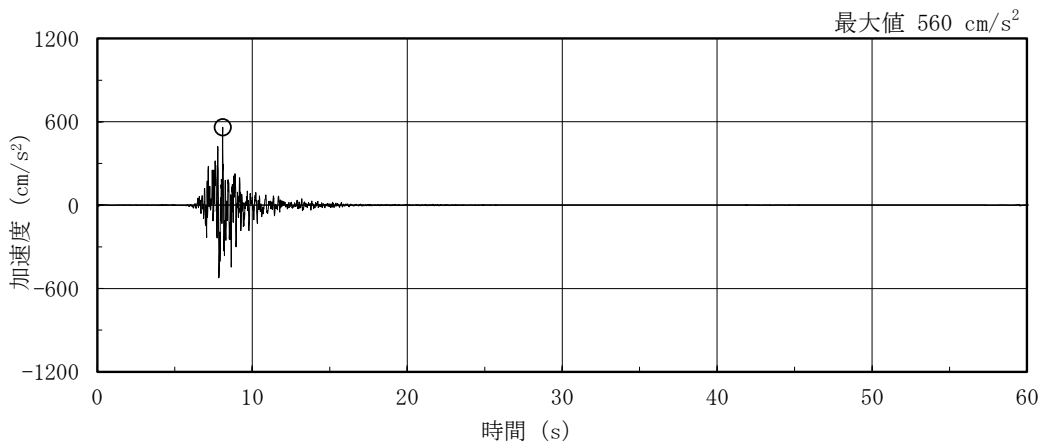


(f) S s - N 2 E W

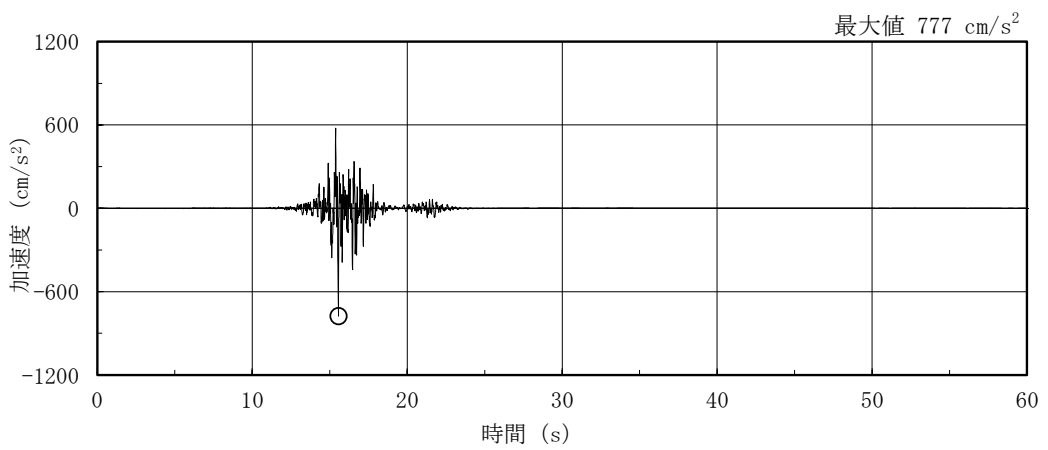
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

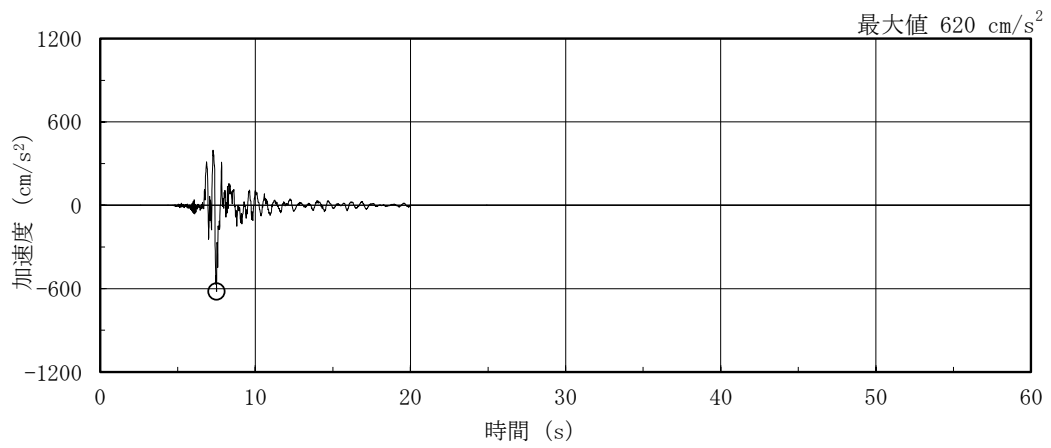


(b) S s - F 1

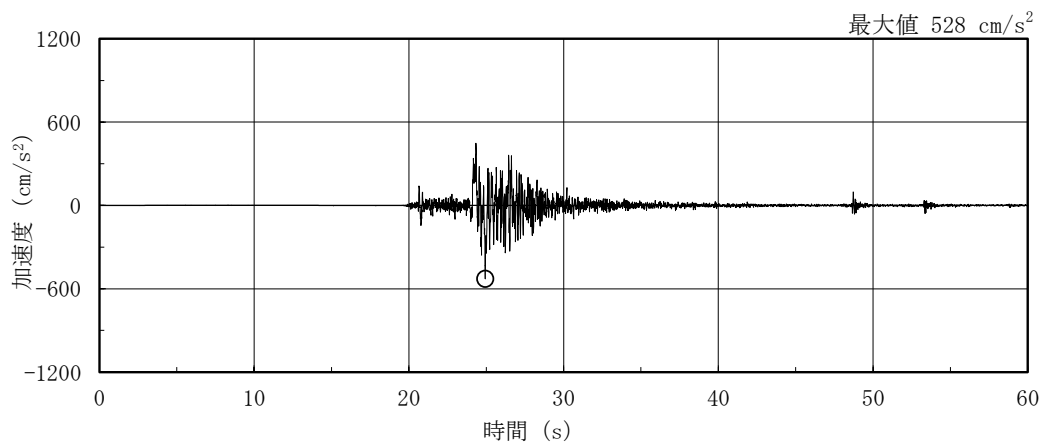


(c) S s - F 2

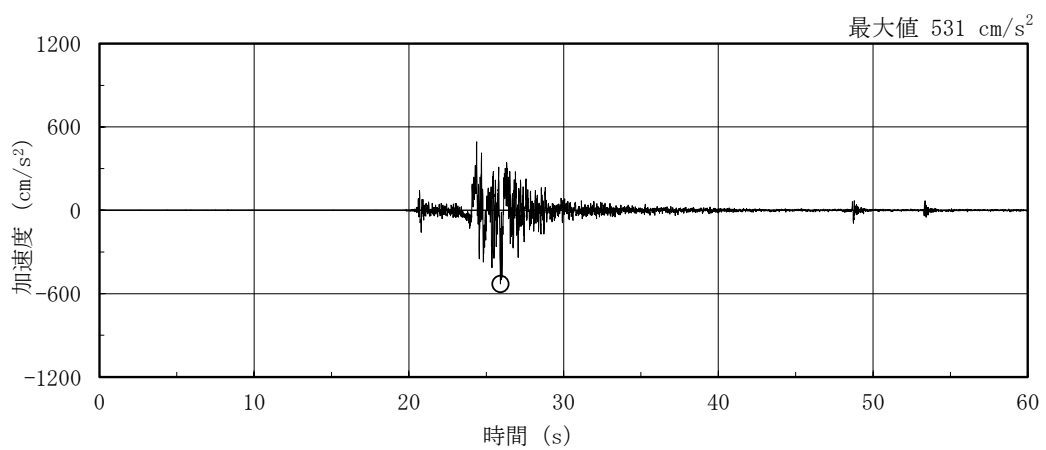
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

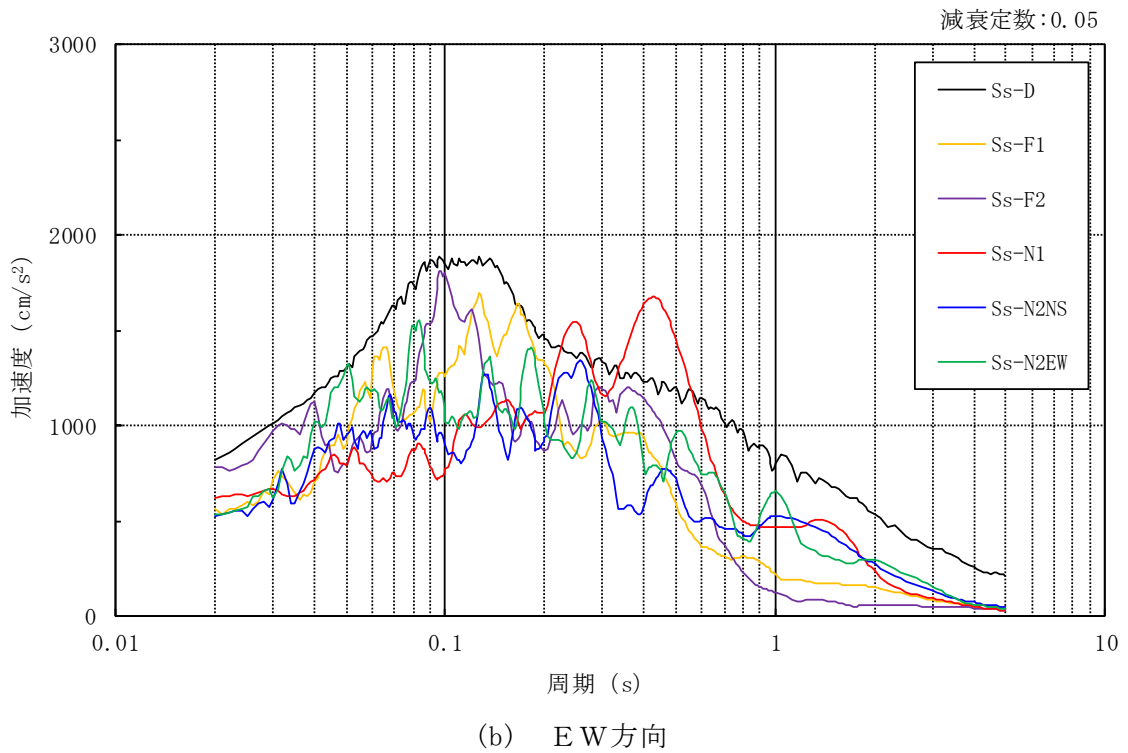
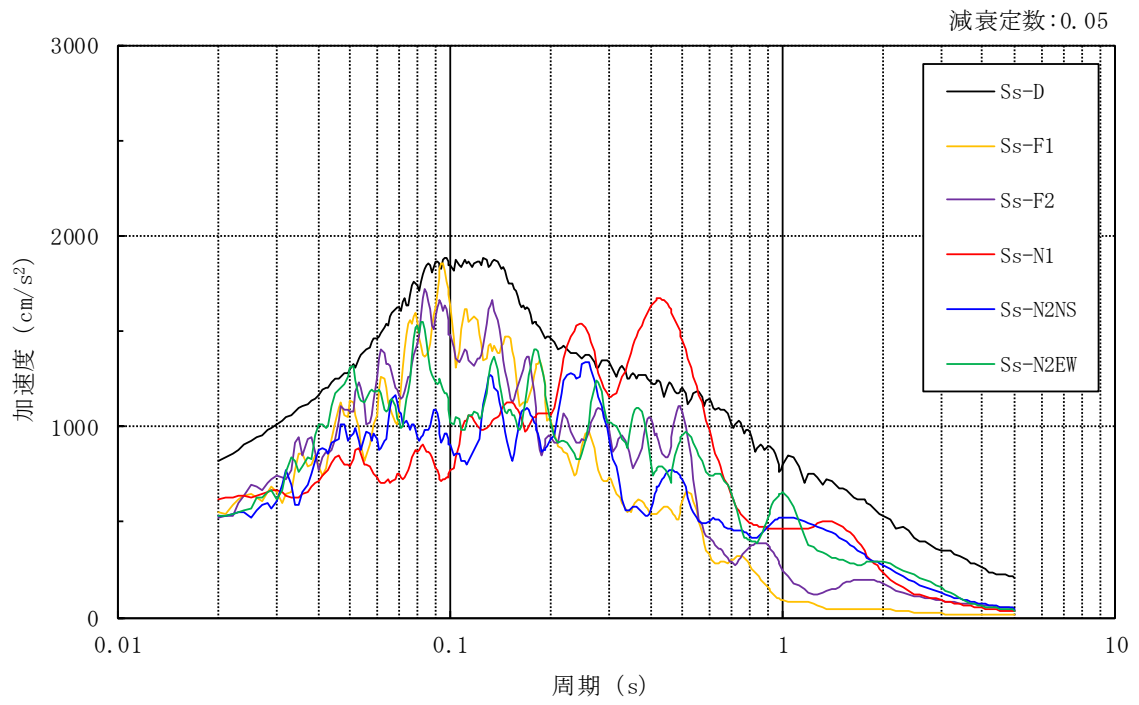


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

1号機原子炉建物の制御室建物及び廃棄物処理建物に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄骨部	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120*
		耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10 ⁻³

注記*：「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」により設定。

表3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄骨部	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120*
		耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10 ⁻³

注記*：「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」により設定。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	—
鉄骨： SS41 (SS400 相当)	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2	EL 59.8m～ EL 44.0m

地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っているが、E W方向においては、燃料プール壁による拘束効果を考慮して回転ばねを取り付けている。

地震応答解析モデルを図 3-4 に示す。

地震応答解析モデルは、地盤を 3次元 F E Mを用いてモデル化した地盤-建物の一体モデルとし、基礎スラブは剛板と仮定した多点拘束を設定する。

地盤は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」により、成層補正を行ったのち、等価な一様地盤としての物性値を定める。なお、基礎底面と地盤の各節点の間には付着力 $0.40\text{N}/\text{mm}^2$ を考慮したジョイント要素を設けることにより基礎の浮上りを評価する。基礎底面のジョイント要素のばね定数は、解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値とする。

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を 1次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を 2次元地盤に入力して有限要素法による応答計算を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。ただし、地盤を 3次元 F E Mでモデル化していることから、基礎底面レベルにおける地盤の応答が入力地震動と一致するように補正した地震動を、地盤モデル底面に入力する。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表 3-5 に示す。表 3-5 に示す地盤物性値のうち、表層①-1については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。

なお、2次元 F E M地盤モデルの側面はエネルギー伝達境界、底面は粘性境界を設けることにより、遠方地盤への波動の逸散を考慮する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-5 に、2次元 F E M地盤モデルを図 3-6 に、基礎底面位置 (EL 0.1m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-7 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「SuperFLUSH」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

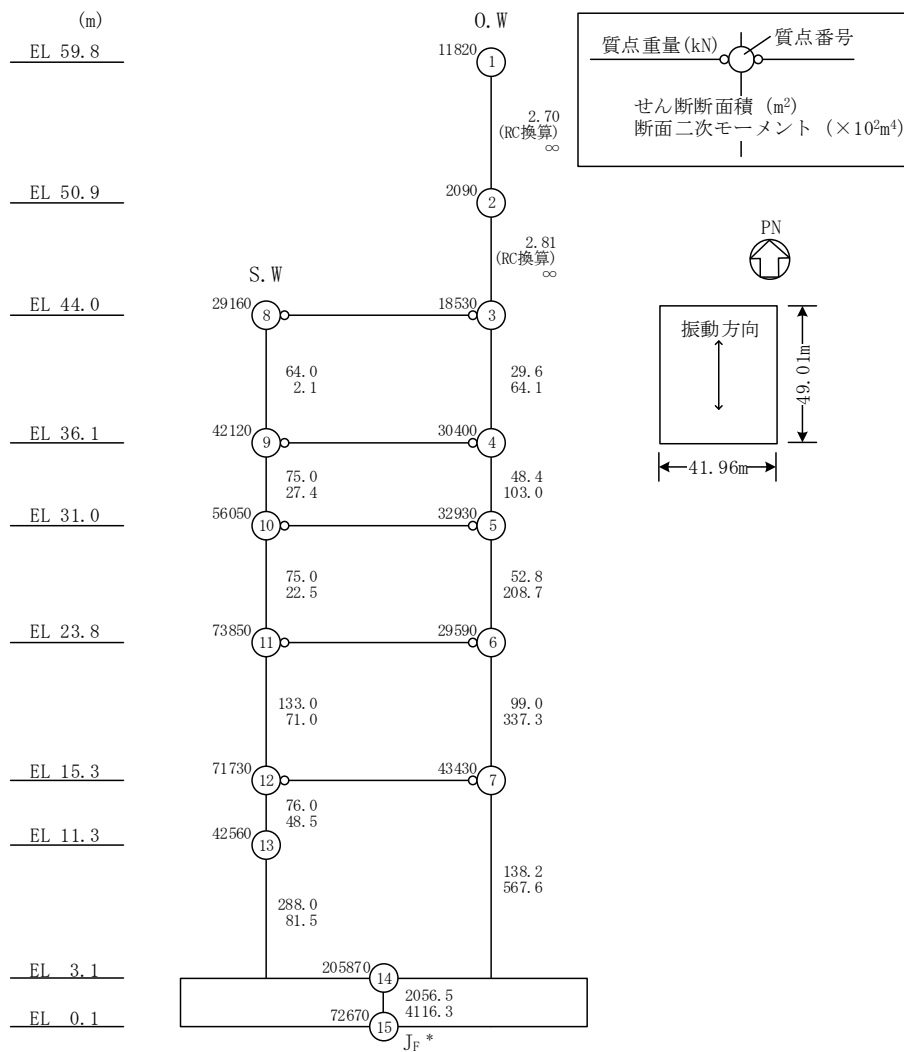
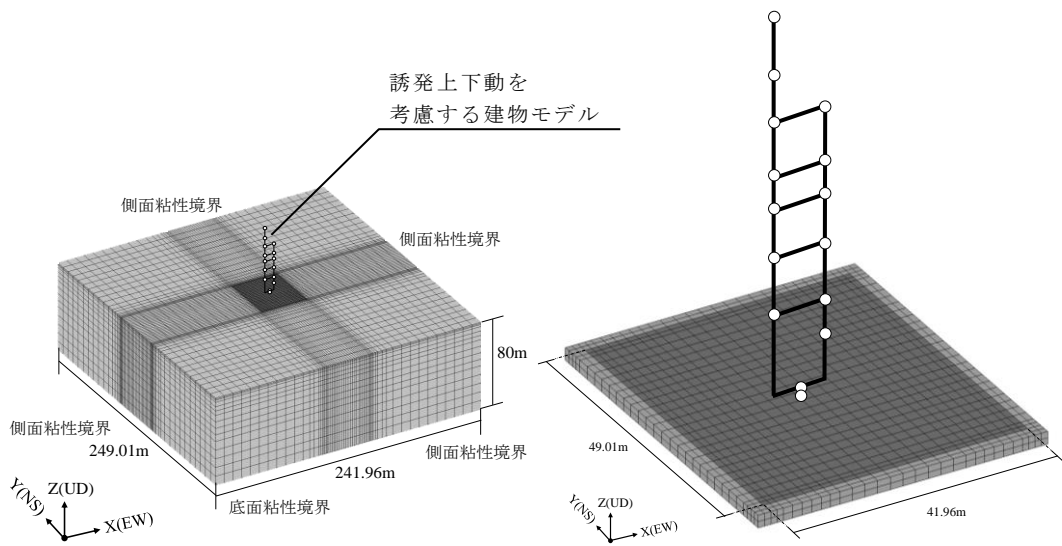
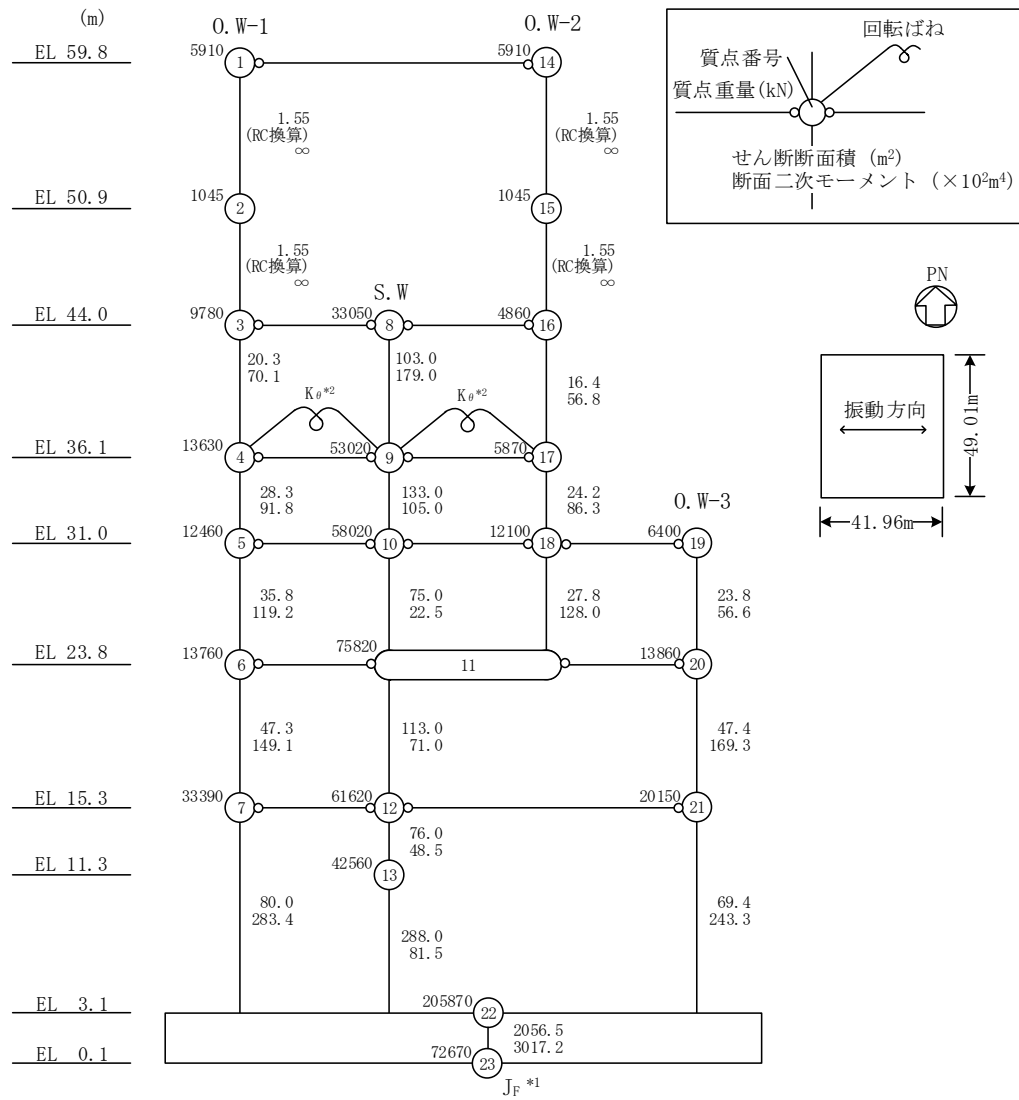
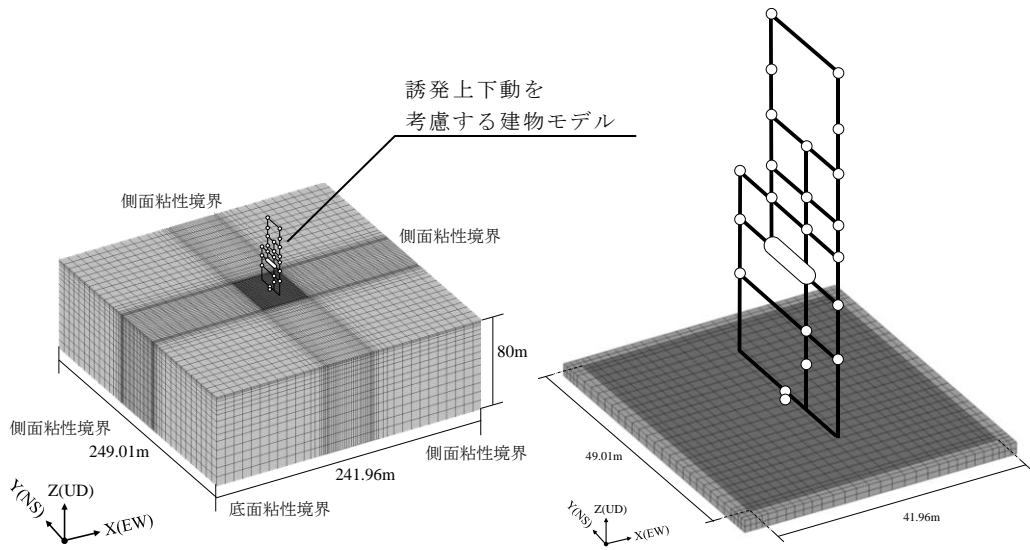


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS方向)



注記*1 : 回転慣性重量(12.77×10⁷kN・m²)

*2 : 燃料プール壁の回転ばね (2.329×10⁹kN・m/rad)

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)

表 3-5 1号機原子炉建物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

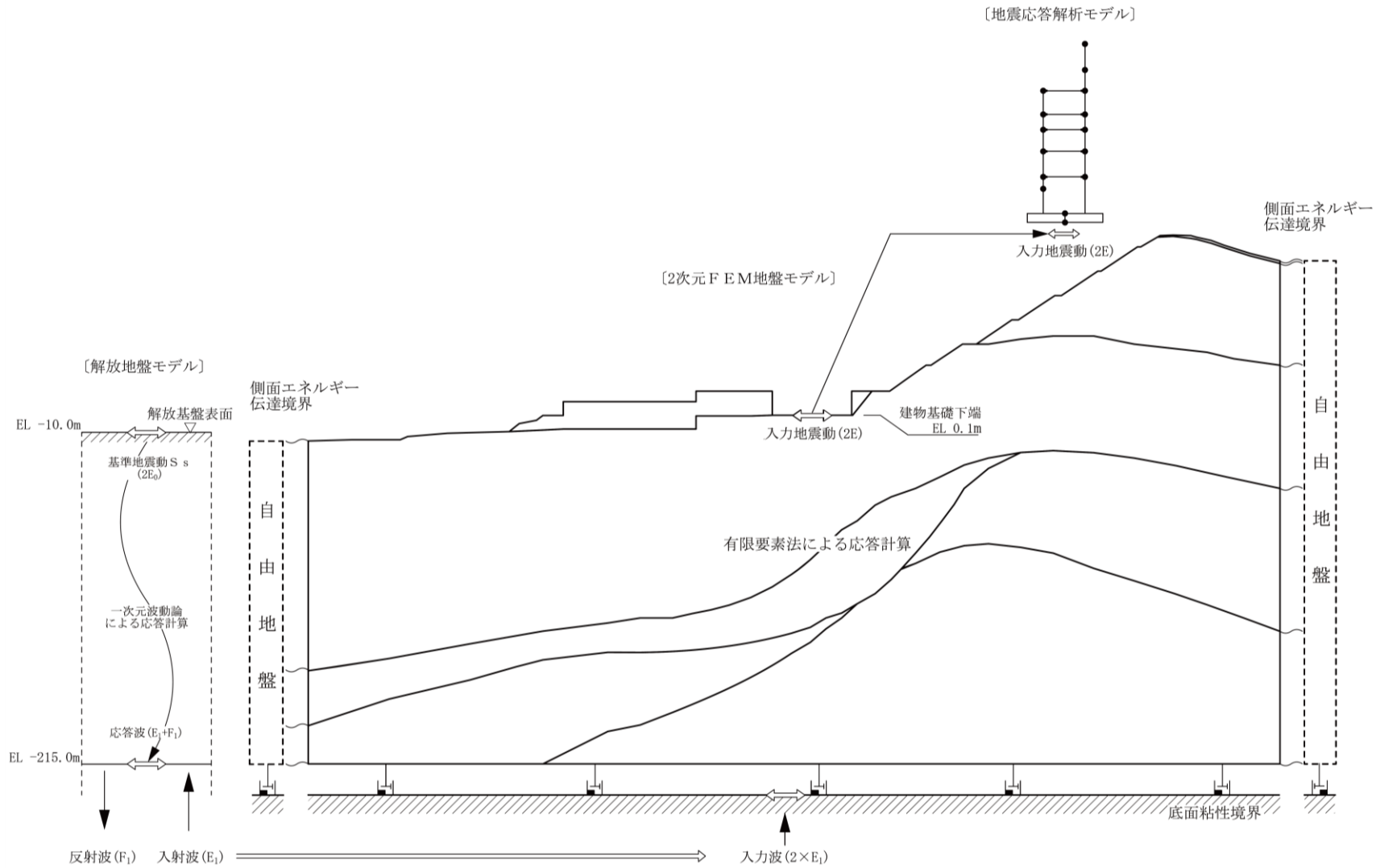
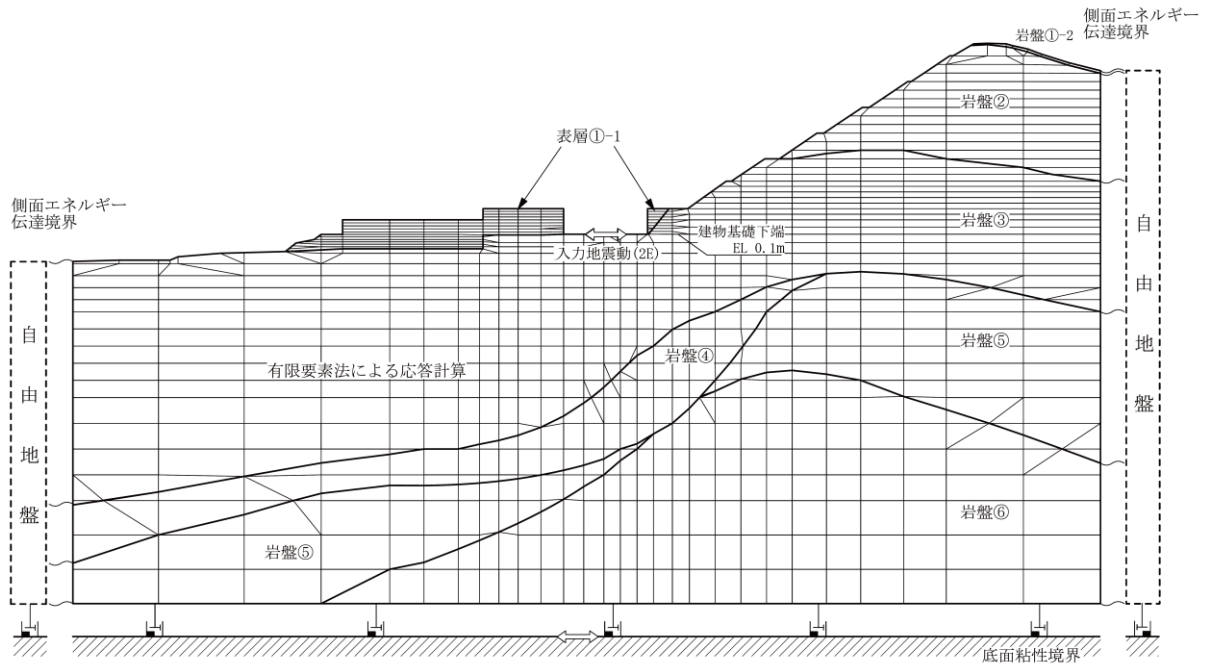
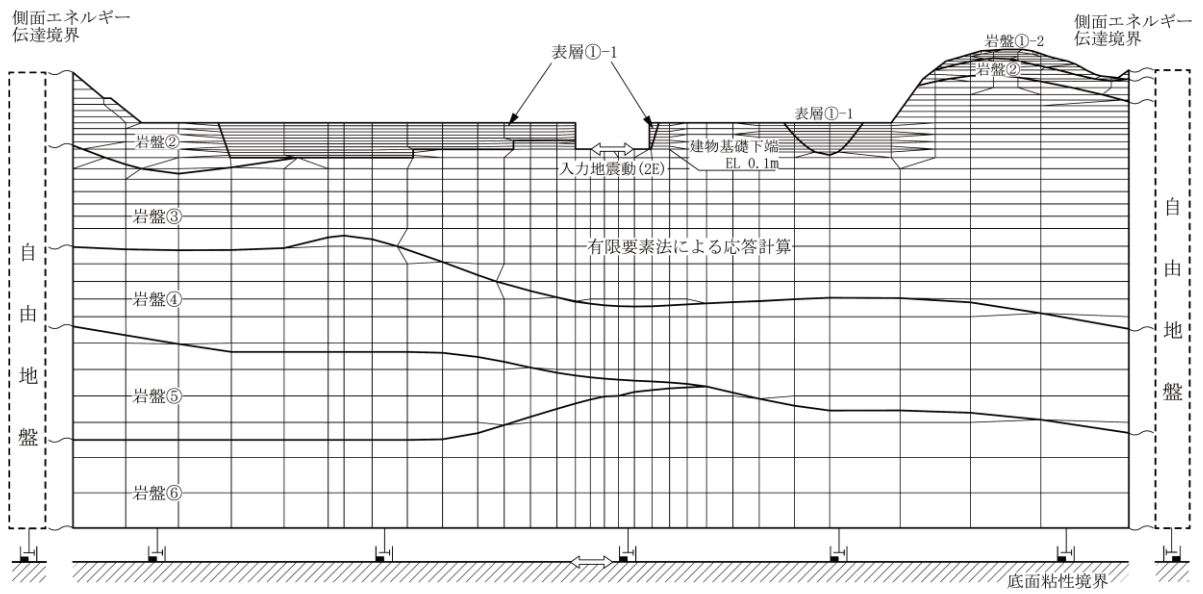


図 3-5 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図



(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-6 2次元FEM地盤モデル

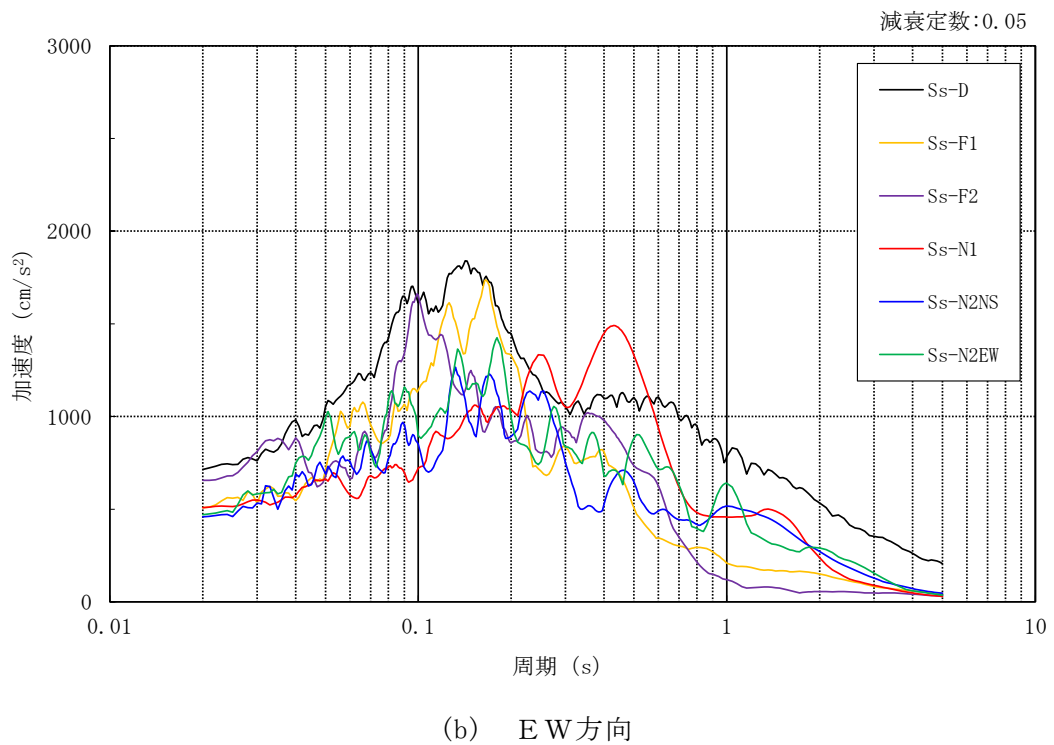
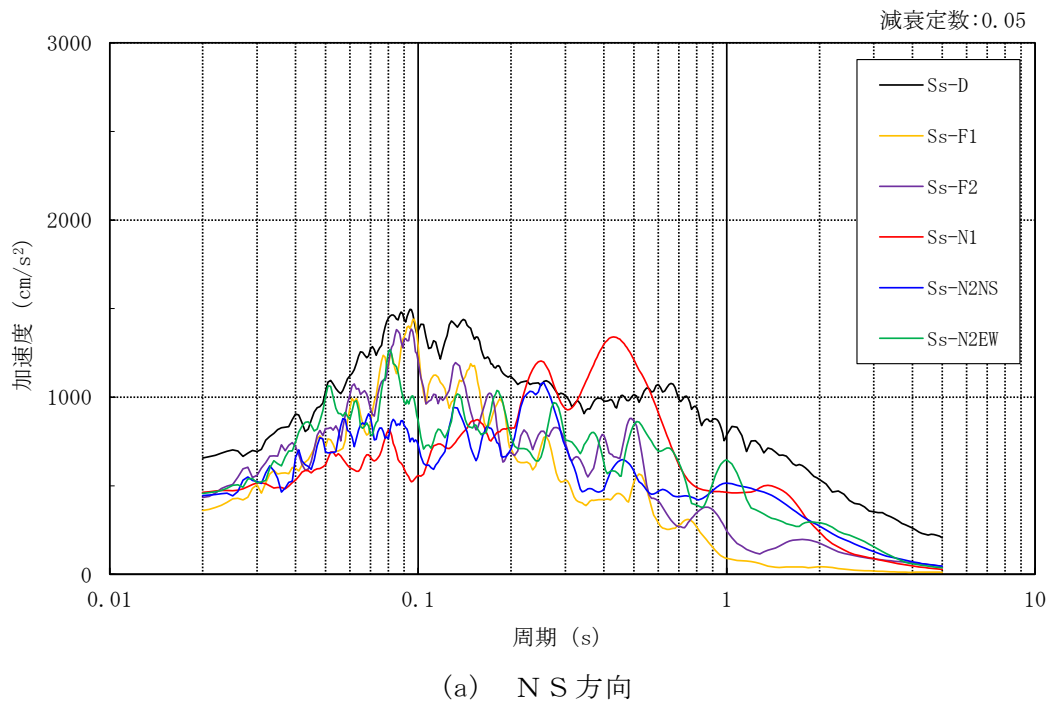


図 3-7 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EL 0.1m)

3.5.2 解析方法

1号機原子炉建物の地震応答解析には、解析コード「NAPISOS」を用いる。

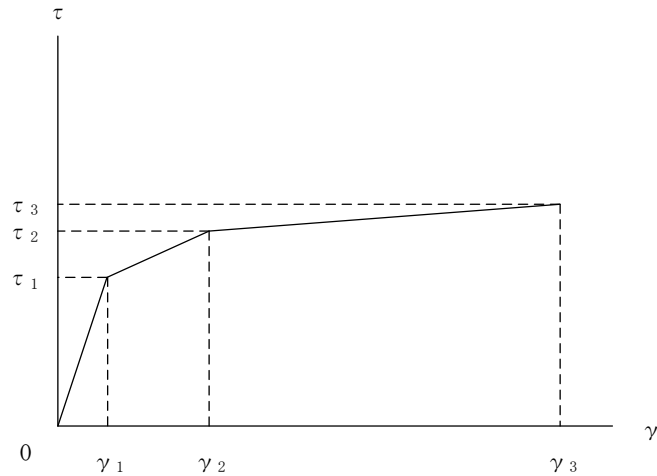
建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-8 に示す。

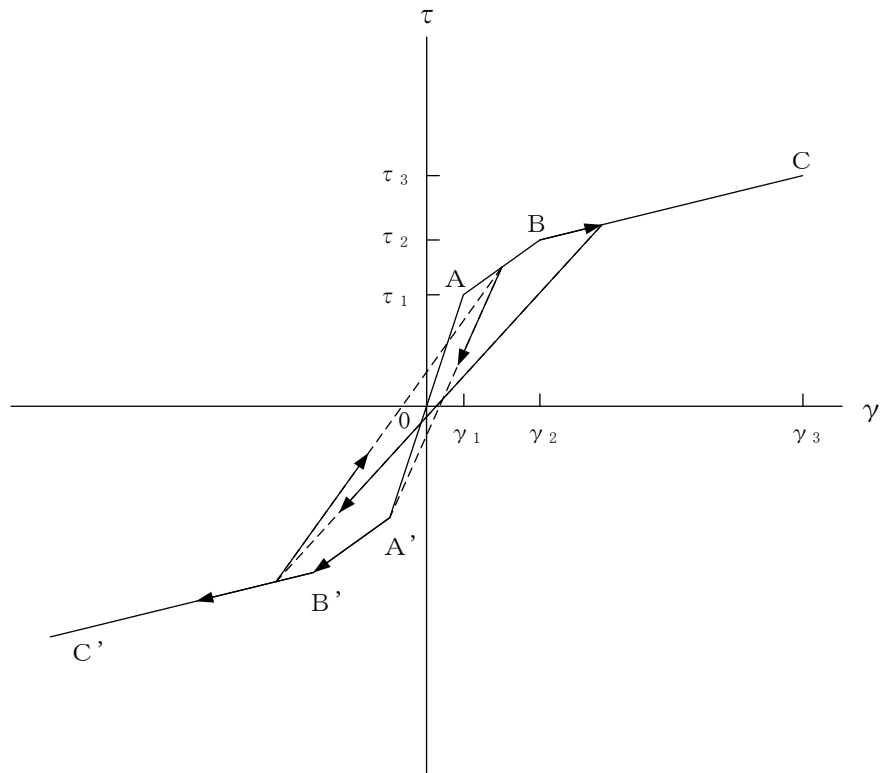


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-9 に示す。

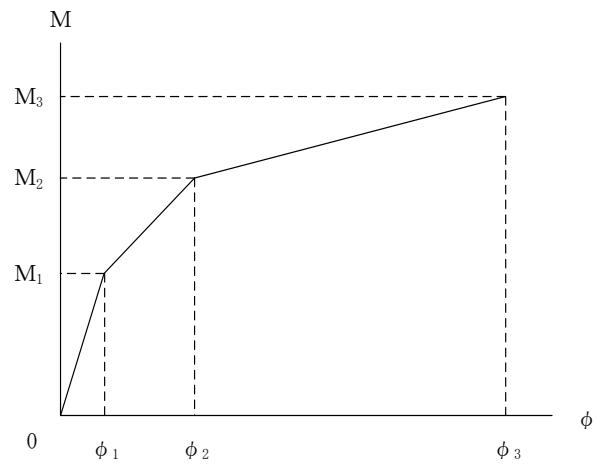


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-10 に示す。

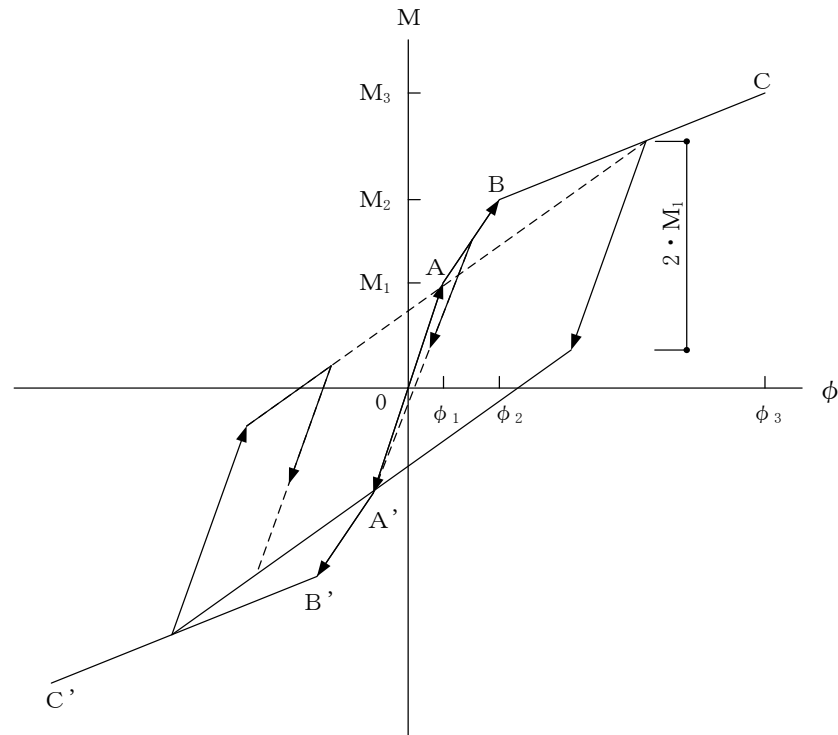


- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
 M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
 M_3 : 終局点の曲げモーメント
 ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
 ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
 ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-11 に示す。

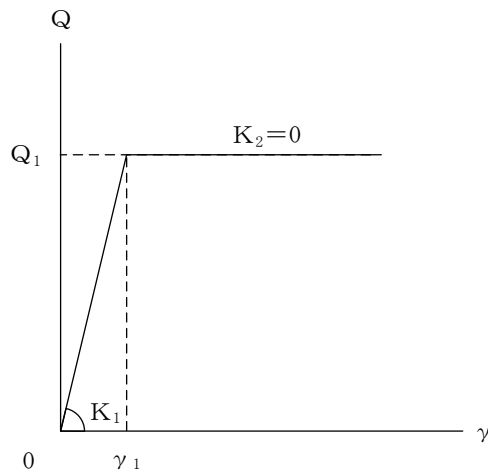


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を超えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を超えていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) 鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係 ($Q-\gamma$ 関係)

鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係 ($Q-\gamma$ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, バイリニア型スケルトン曲線とする。鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係を図 3-12 に示す。



- Q_1 : 第 1 折点のせん断力
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- K_1 : 第 1 せん断剛性
- K_2 : 第 2 せん断剛性

図 3-12 鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係

(6) 鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性

鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、完全弾塑性型モデルとスリップ型モデルの混合型として設定する。鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-13 に示す。

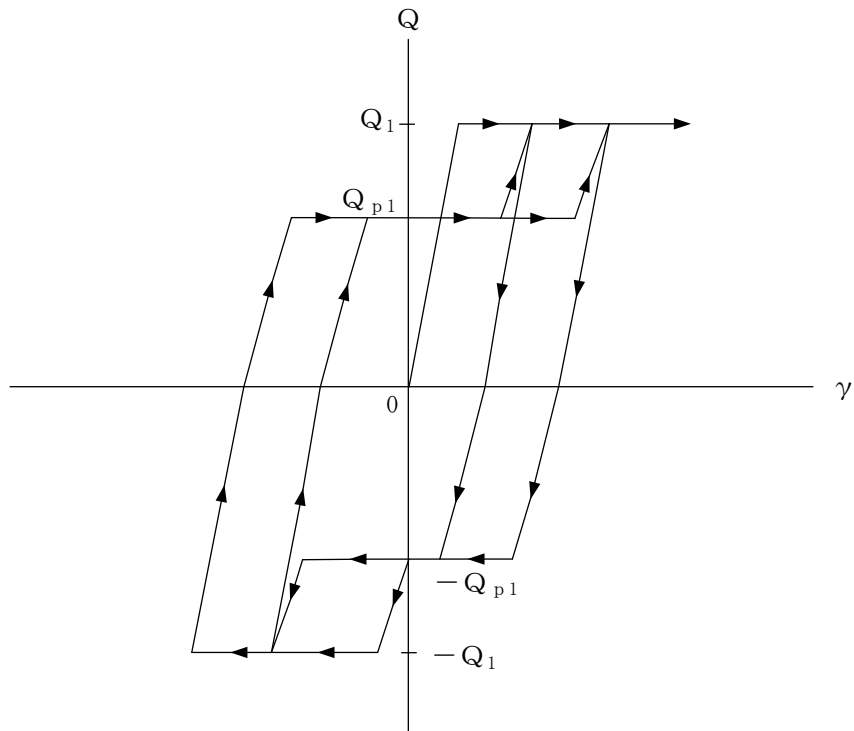


図 3-13 鉄骨部のせん断力-せん断ひずみ関係の履歴特性

(7) スケルトン曲線の諸数値

1号機原子炉建物の各耐震壁及び鉄骨部について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表3-6～表3-9に示す。

表 3-6 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

O. W

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
59.8~50.9	19.9	—	—	2.16	—	—
50.9~44.0	19.3	—	—	2.10	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	4.03	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	4.48	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	4.56	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	4.74	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	4.52	0.206	0.617	4.00

S. W

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
44.0~36.1	1.58	2.13	3.41	0.172	0.515	4.00
36.1~31.0	1.69	2.28	4.28	0.184	0.552	4.00
31.0~23.8	1.63	2.20	4.55	0.178	0.533	4.00
23.8~15.3	1.75	2.37	4.12	0.191	0.573	4.00
15.3~11.3	2.12	2.87	4.39	0.231	0.694	4.00
11.3~3.1	1.89	2.55	4.00	0.206	0.617	4.00

表 3-7(1) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W方向)

0. W-1

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
59.8~50.9	14.2	—	—	1.55	—	—
50.9~44.0	19.4	—	—	2.12	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	4.48	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	4.83	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	4.44	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	4.44	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	3.98	0.206	0.617	4.00

S. W

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
44.0~36.1	1.58	2.13	4.57	0.172	0.515	4.00
36.1~31.0	1.69	2.28	4.69	0.184	0.552	4.00
31.0~23.8	1.63	2.20	4.39	0.178	0.533	4.00
23.8~15.3	1.75	2.37	4.01	0.191	0.573	4.00
15.3~11.3	2.12	2.87	4.14	0.231	0.694	4.00
11.3~3.1	1.89	2.55	4.00	0.206	0.617	4.00

表 3-7(2) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW方向)

0. W-2

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
59.8~50.9	14.2	—	—	1.55	—	—
50.9~44.0	19.4	—	—	2.12	—	—
44.0~36.1	1.65	2.23	3.76	0.180	0.540	4.00
36.1~31.0	1.74	2.34	3.76	0.189	0.567	4.00
31.0~23.8	1.77	2.39	3.63	0.193	0.579	4.00

0. W-3

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
31.0~23.8	1.77	2.39	5.27	0.193	0.579	4.00
23.8~15.3	1.80	2.42	5.20	0.195	0.586	4.00
15.3~3.1	1.89	2.55	4.48	0.206	0.617	4.00

表 3-8 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (N S 方向)

O. W

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
44.0~36.1	0.915	1.82	2.36	6.48	61.2	1220
36.1~31.0	1.62	2.55	3.43	7.12	63.3	1270
31.0~23.8	2.56	6.11	8.43	5.56	50.7	1010
23.8~15.3	4.28	8.32	11.0	5.76	49.9	999
15.3~3.1	6.74	17.5	23.7	5.39	45.2	562

S. W

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
44.0~36.1	0.119	0.200	0.386	25.6	267	4710
36.1~31.0	0.826	1.65	2.44	13.7	140	2180
31.0~23.8	0.578	1.75	2.47	11.7	138	1600
23.8~15.3	1.68	3.65	5.00	10.7	107	1870
15.3~11.3	1.63	3.36	4.34	15.2	118	1380
11.3~3.1	2.34	5.14	6.88	13.1	122	1540

表 3-9(1) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

0. W-1

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
44.0~36.1	0.757	1.33	1.81	4.90	46.7	933
36.1~31.0	1.10	2.22	3.04	5.43	49.5	990
31.0~23.8	1.46	2.59	3.40	5.56	49.5	989
23.8~15.3	1.89	3.94	5.50	5.74	49.6	992
15.3~3.1	3.92	10.6	13.7	6.28	51.5	1030

S. W

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
44.0~36.1	1.85	2.58	4.52	4.69	50.5	943
36.1~31.0	1.78	2.50	4.51	7.68	74.7	1490
31.0~23.8	0.578	1.75	2.47	11.7	138	1600
23.8~15.3	1.68	3.65	5.00	10.7	107	1870
15.3~11.3	1.63	3.36	4.34	15.2	118	1380
11.3~3.1	2.34	5.14	6.88	13.1	122	1540

表 3-9(2) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

0. W-2

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
44.0~36.1	0.614	1.14	1.49	4.91	46.5	930
36.1~31.0	1.01	1.62	1.98	5.31	47.9	958
31.0~23.8	1.56	2.80	3.30	5.53	47.3	946

0. W-3

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
31.0~23.8	0.701	2.13	2.94	5.62	50.5	1010
23.8~15.3	2.16	4.35	6.21	5.78	50.2	1000
15.3~3.1	3.37	7.18	9.29	6.29	51.5	1030

3.5.4 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-10に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-11に示す。

表3-10 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%)	
ケース4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

表 3-11 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

層番号	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	127	153	102
岩盤①-2	250	300	200
岩盤②	900	1080	720
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

3.6 評価方法

1号機原子炉建物の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、層間変形角及び応答せん断ひずみを算定し、最大層間変形角及び最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

4.1.1 層間変形角の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大層間変形角を表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1(工認モデル)の最大層間変形角は、1/233(0. W-2 軸, EL 59.8m ~ EL 50.9m, E W 方向, $S_s - D$) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大層間変形角は、最大で 1/221 (0. W-1 軸, EL 59.8m ~ EL 50.9m, E W 方向, ケース 3, $S_s - D$) であり、いずれの場合においても許容限界 (1/120) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大層間変形角 (EL 59.8m ~ EL 44.0m)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容限界
N S	1/330 ($S_s - D$)	1/316 ($S_s - D$)	1/366 ($S_s - D$)	1/326 ($S_s - D$)	1/120
E W	1/233 ($S_s - D$)	1/250 ($S_s - D$)	1/221 ($S_s - D$)	1/247 ($S_s - D$)	1/120

注：() 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F 1$, $S_s - F 2$, $S_s - N 1$, $S_s - N 2$ N S 及び $S_s - N 2$ E W に対して実施。

4.1.2 せん断ひずみの評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-2 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 0.77×10^{-3} (0. W 軸, EL 44.0m~EL 36.1m, N S 方向, $S_s - N 2 N S$) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.84×10^{-3} (0. W 軸, EL 44.0m~EL 36.1m, N S 方向, ケース 4, $S_s - N 2 N S$) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-2 建物の最大応答せん断ひずみ (EL 44.0m~EL 3.1m)

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容限界
N S	0.77 ($S_s - N 2 N S$)	0.77 ($S_s - D$)	0.63 ($S_s - D$)	0.84 ($S_s - N 2 N S$)	4.0
E W	0.67 ($S_s - N 1$)	0.63 ($S_s - N 1$)	0.72 ($S_s - N 1$)	0.70 ($S_s - N 1$)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F 1$, $S_s - F 2$, $S_s - N 1$, $S_s - N 2 N S$ 及び $S_s - N 2 E W$ に対して実施。

VI-2-11-2-1-2 1号機タービン建物の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	11
3. 評価方法	12
3.1 評価対象部位及び評価方針	12
3.2 設計に用いる地震波	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	18
3.4 許容限界	19
3.5 解析方法	21
3.5.1 地震応答解析モデル	21
3.5.2 解析方法	30
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	31
3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性	42
3.5.5 材料物性の不確かさ等	43
3.6 評価方法	45
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	45
3.6.2 相対変位による評価方法	45
4. 評価結果	46
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	46
4.2 相対変位による評価結果	47

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機タービン建物が制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、1号機タービン建物の構造物全体としての変形性能の評価を、建物間の相対変位による影響では、制御室建物及びタービン建物への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機タービン建物の設置位置を図2-1に示す。

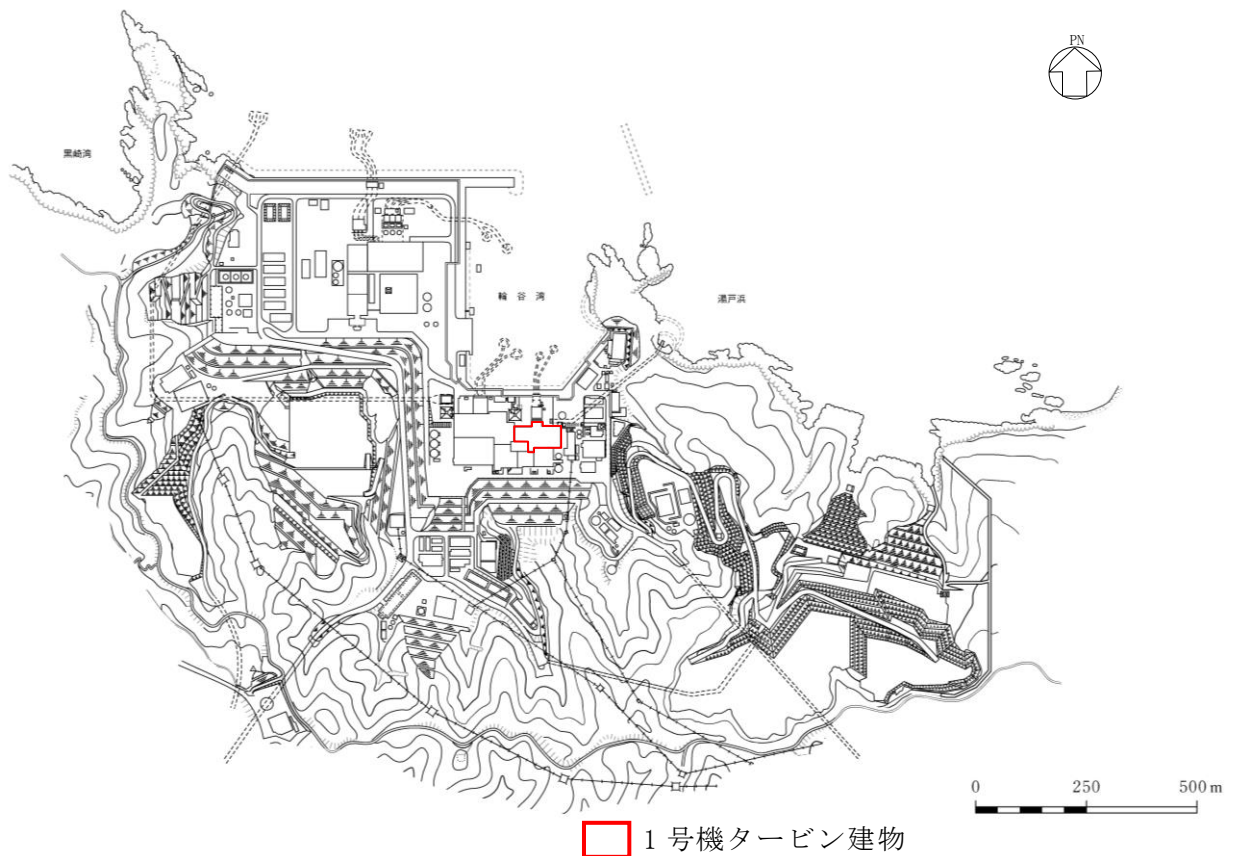


図2-1 1号機タービン建物の設置位置

2.2 構造概要

1号機タービン建物は、地上1階（一部地上2階）、地下2階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物であり、隣接する制御室建物及びタービン建物と構造的に分離している。1号機タービン建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に、1号機タービン建物と制御室建物のクリアランスを図2-5に、1号機タービン建物とタービン建物のクリアランスを図2-6に示す。

1号機タービン建物の平面は、64.75m（一部47.0m）*（NS）×104.0m*（EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは34.0mである。

1号機タービン建物の基礎は厚さ1.7m～2.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

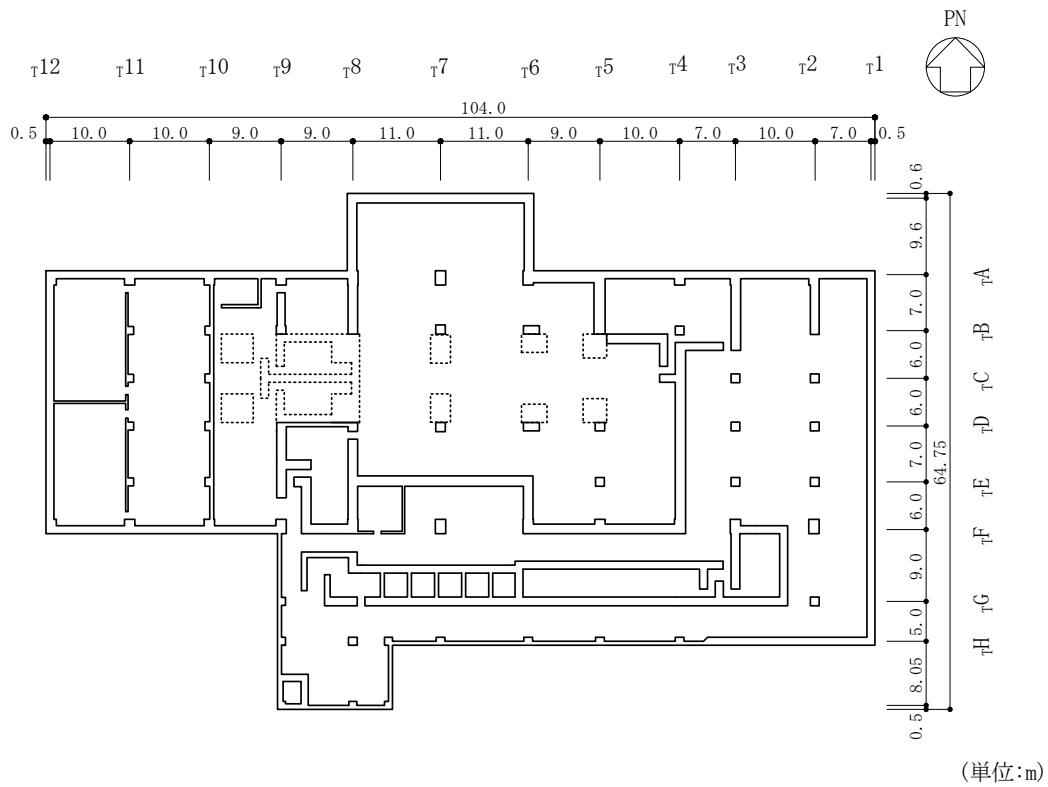


図 2-2 1号機タービン建物の概略平面図 (EL 1.8m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

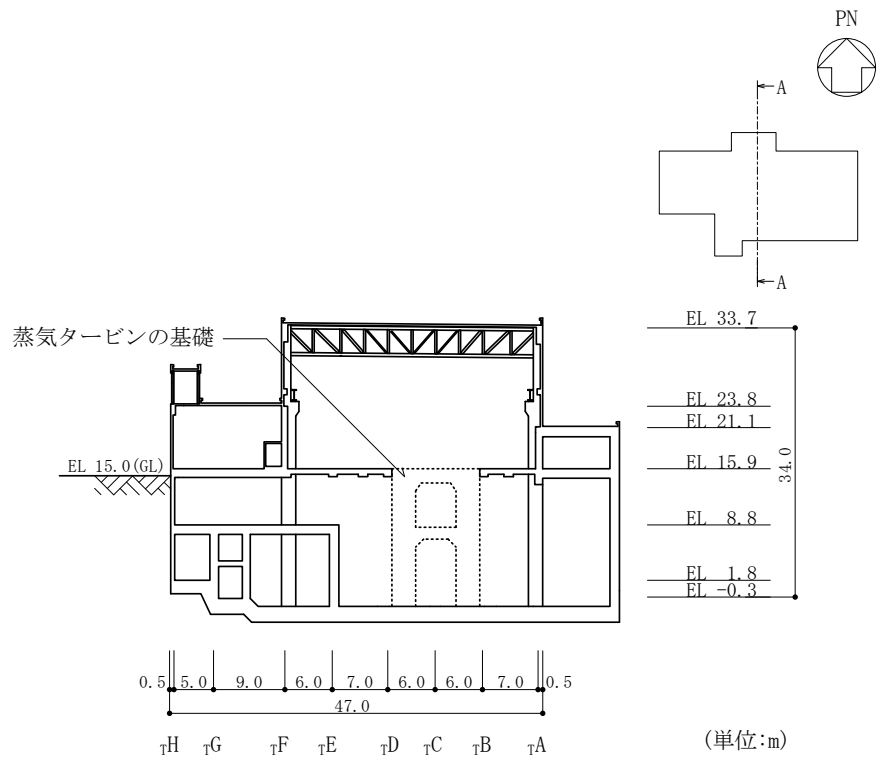


図 2-3(1) 1号機タービン建物の概略断面図 (A-A断面, N S方向)

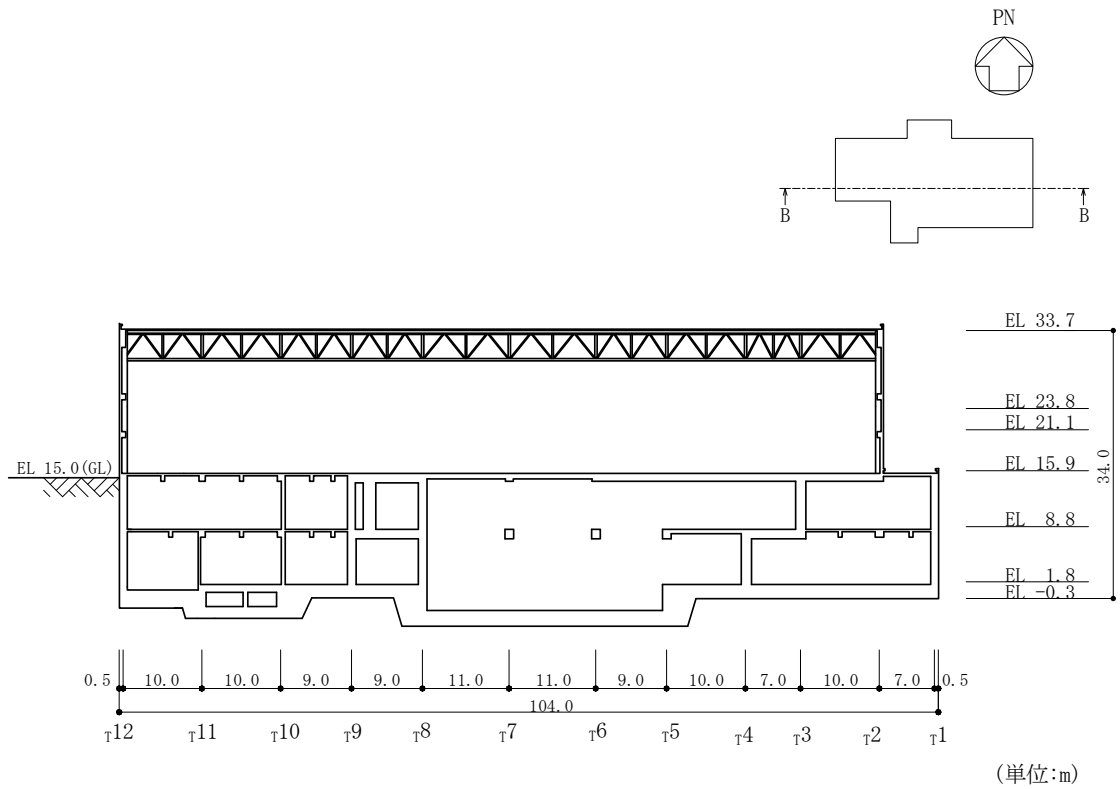


図 2-3(2) 1号機タービン建物の概略断面図 (B-B断面, E W方向)

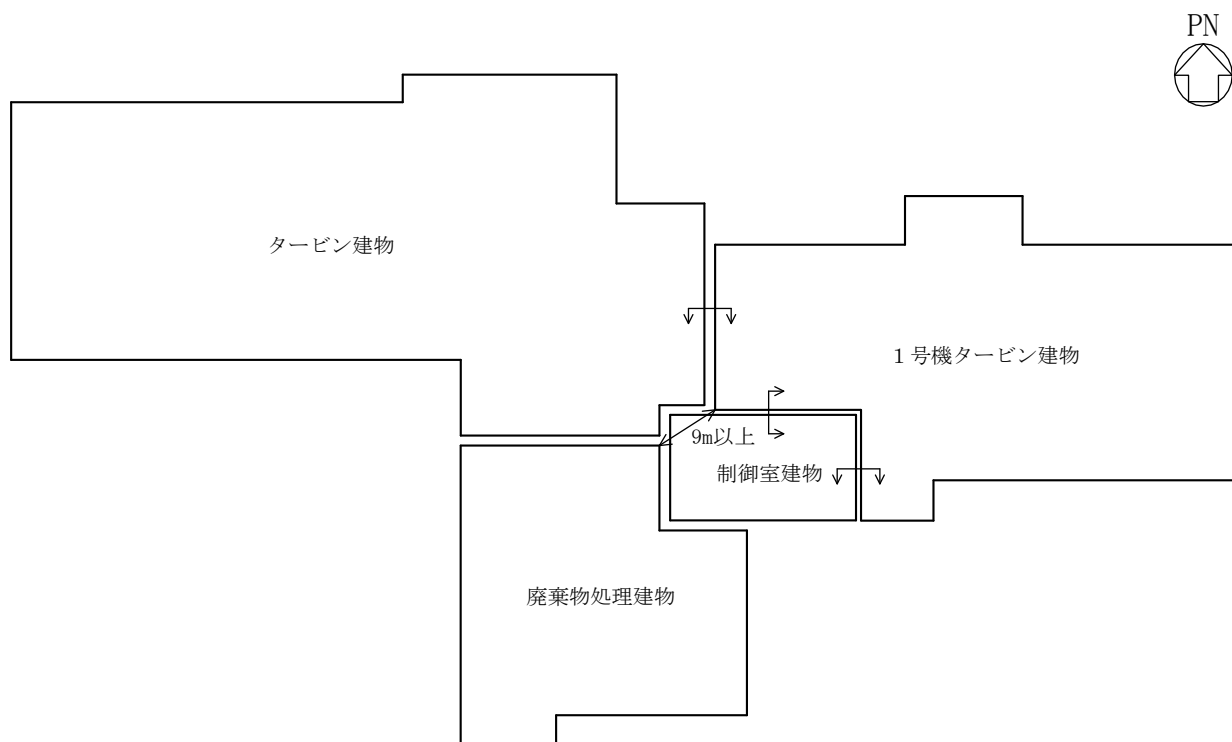


図 2-4 建物配置図

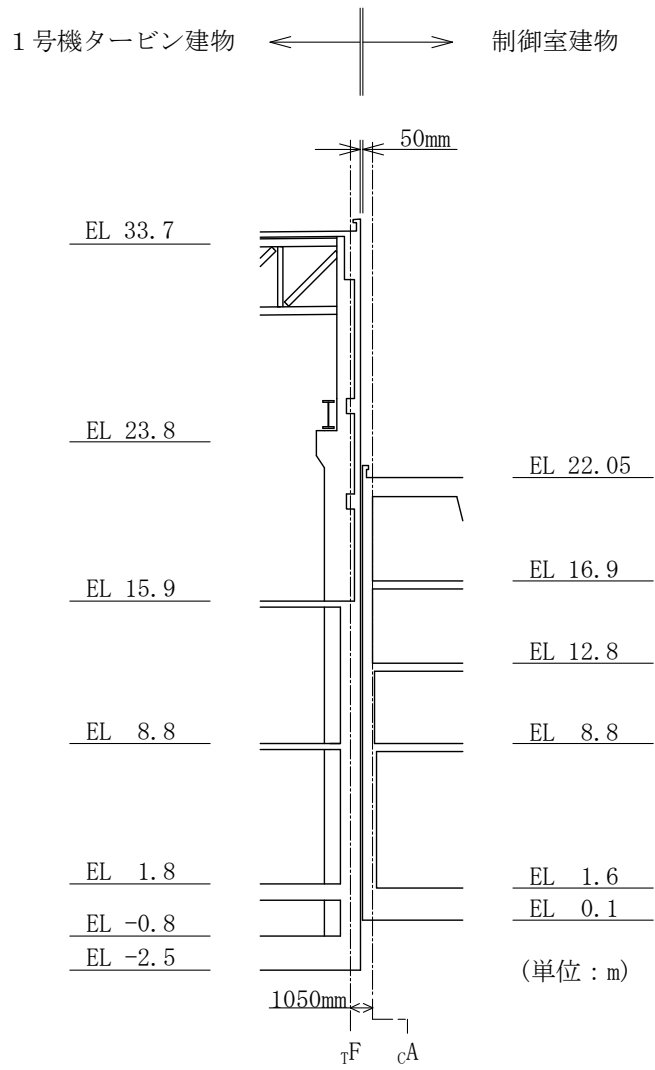


図 2-5(1) 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス
(NS方向)

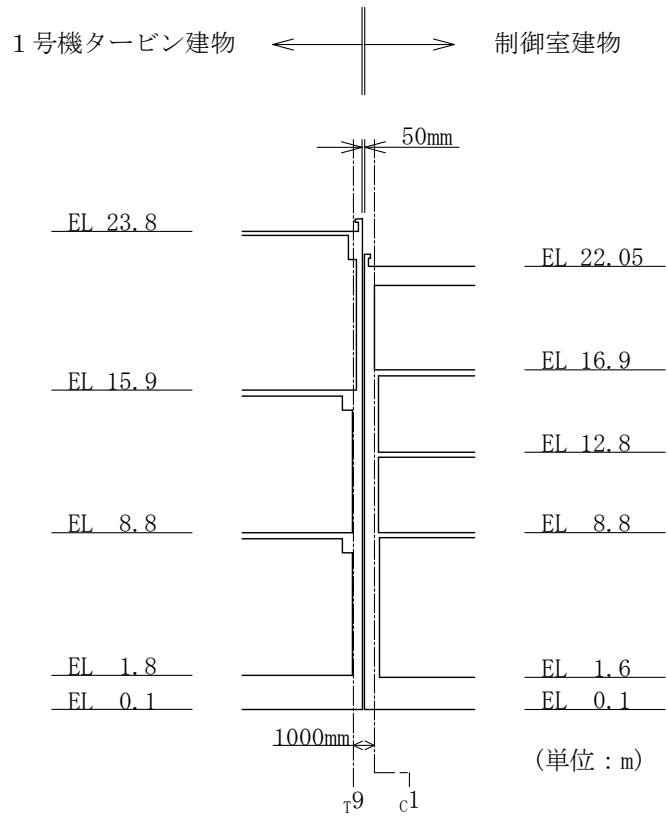


図 2-5(2) 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス (EW方向)

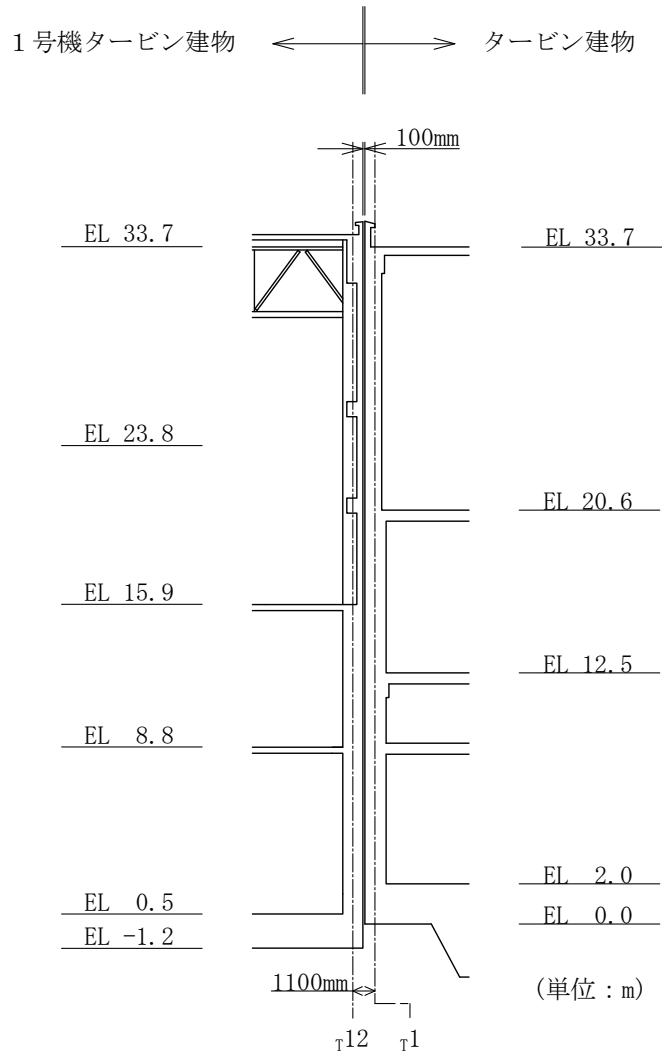


図 2-6 1号機タービン建物とタービン建物のクリアランス (E W方向)

2.3 評価方針

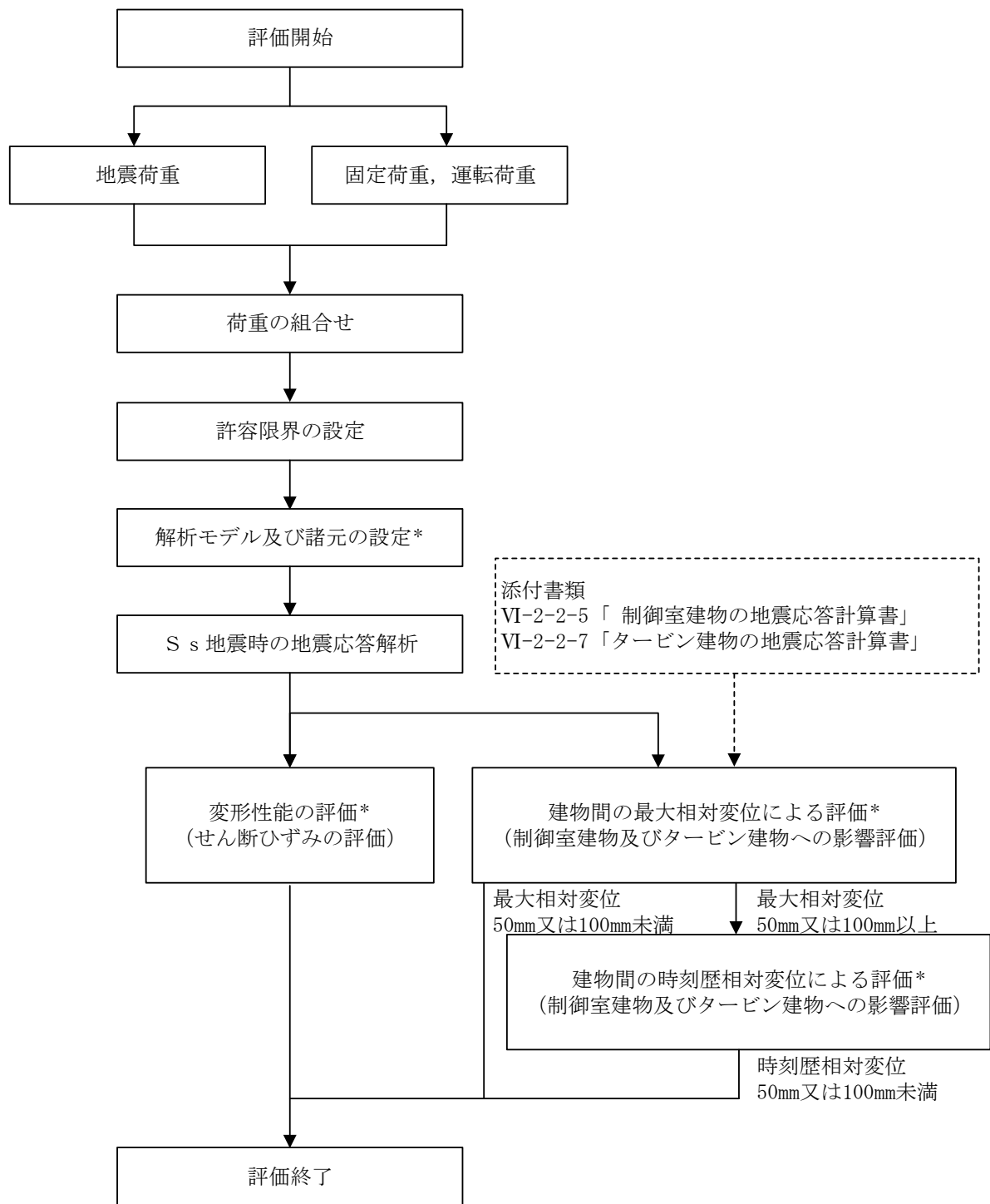
1号機タービン建物は、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

1号機タービン建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。1号機タービン建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。建物間の相対変位による影響では、制御室建物及びタービン建物との相対変位による評価を行うことで、制御室建物及びタービン建物への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、1号機タービン建物の最大応答変位に加えて、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。1号機タービン建物は廃棄物処理建物と9m以上離れており、1号機タービン建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、1号機タービン建物は、その配置上、制御室建物と接触する可能性が高いN-S方向及びE-W方向並びにタービン建物と接触する可能性が高いE-W方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、1号機タービン建物では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2-7に波及的影響の評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-7 1号機タービン建物の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

1号機タービン建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

1号機タービン建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

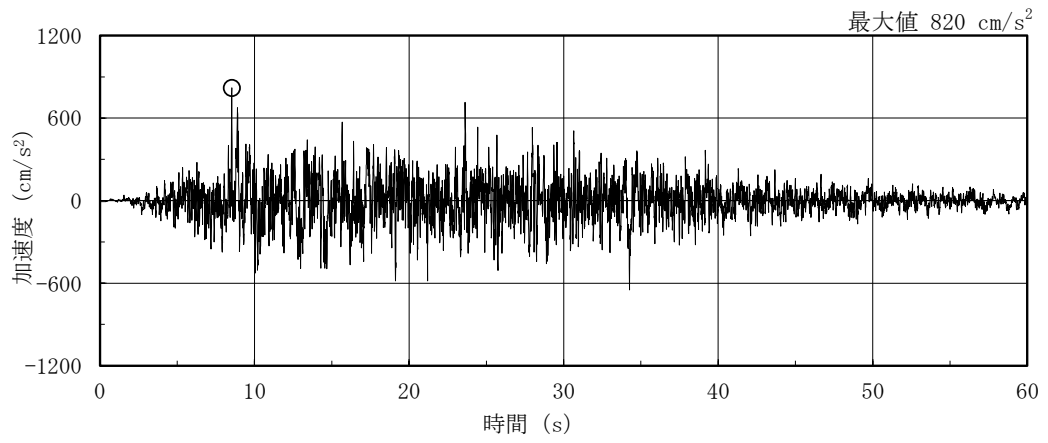
制御室建物及びタービン建物との相対変位による評価では、1号機タービン建物とそれぞれの建物の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建物間のクリアランスの大小関係により、隣接する制御室建物及びタービン建物への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

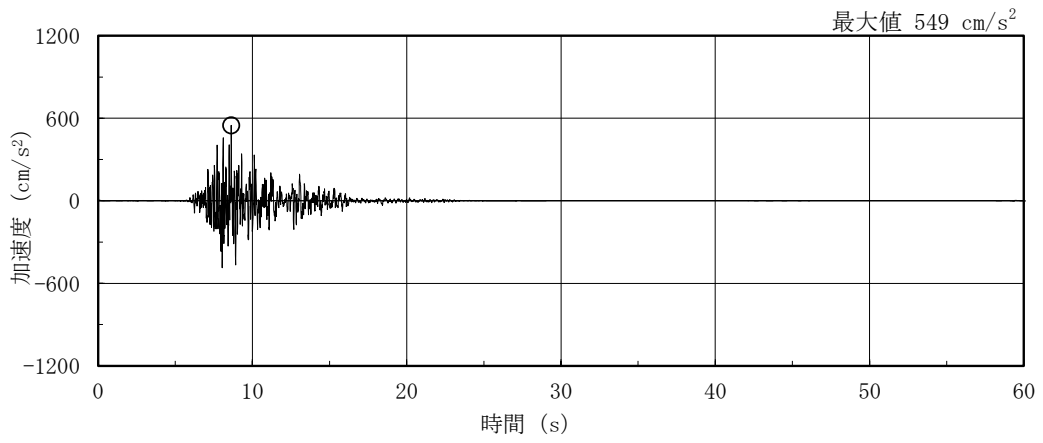
3.2 設計に用いる地震波

1号機タービン建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

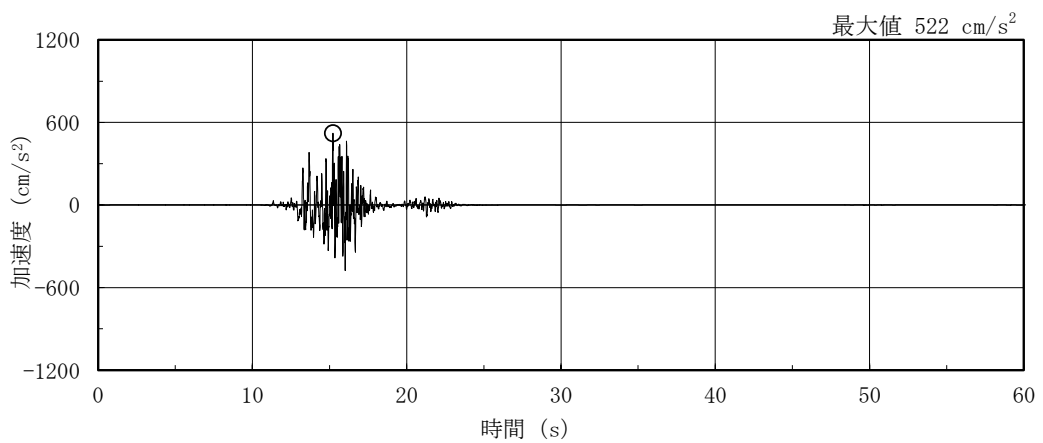
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-3に示す。



(a) S s - D

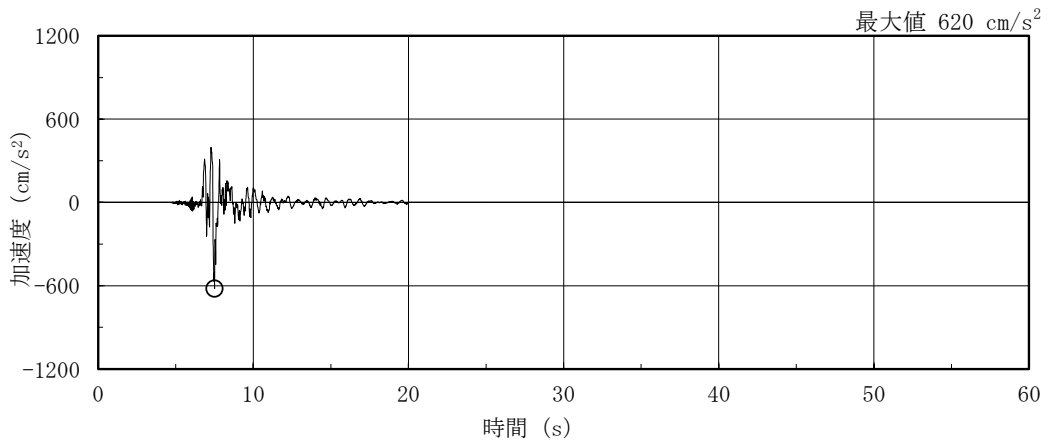


(b) S s - F 1

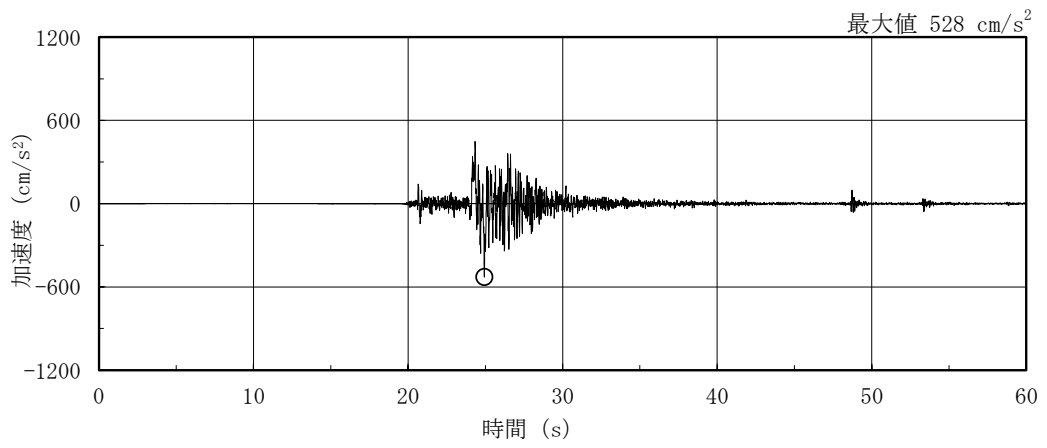


(c) S s - F 2

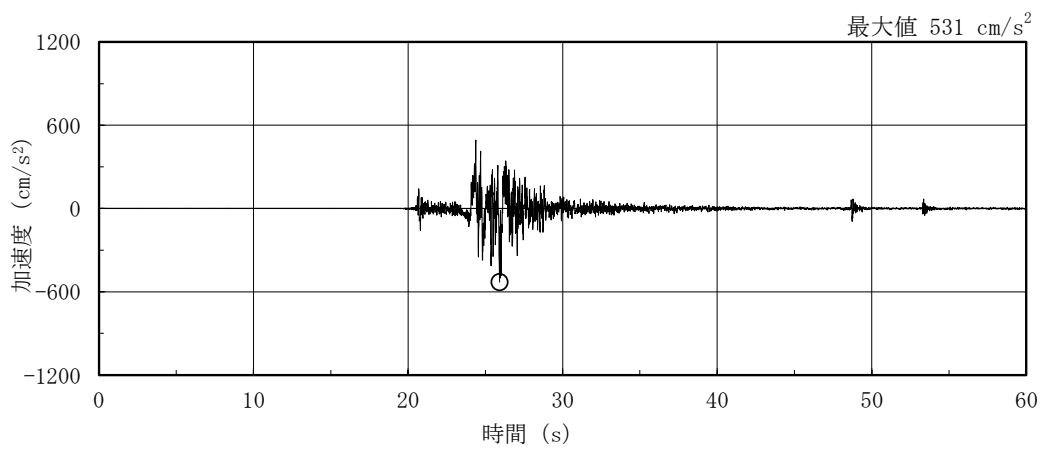
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

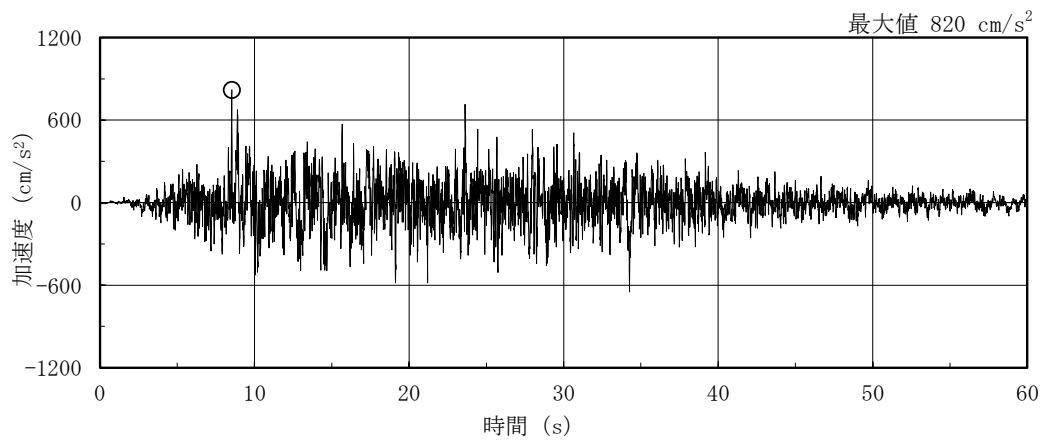


(e) S s - N 2 N S

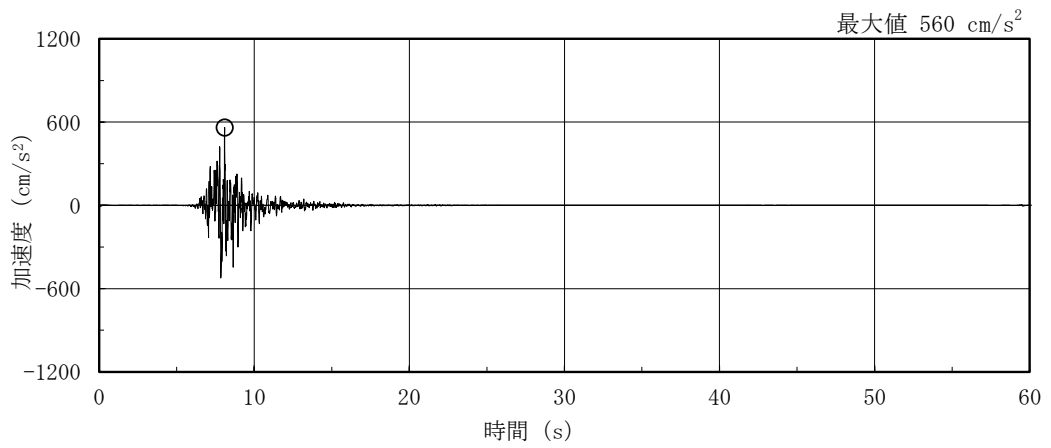


(f) S s - N 2 E W

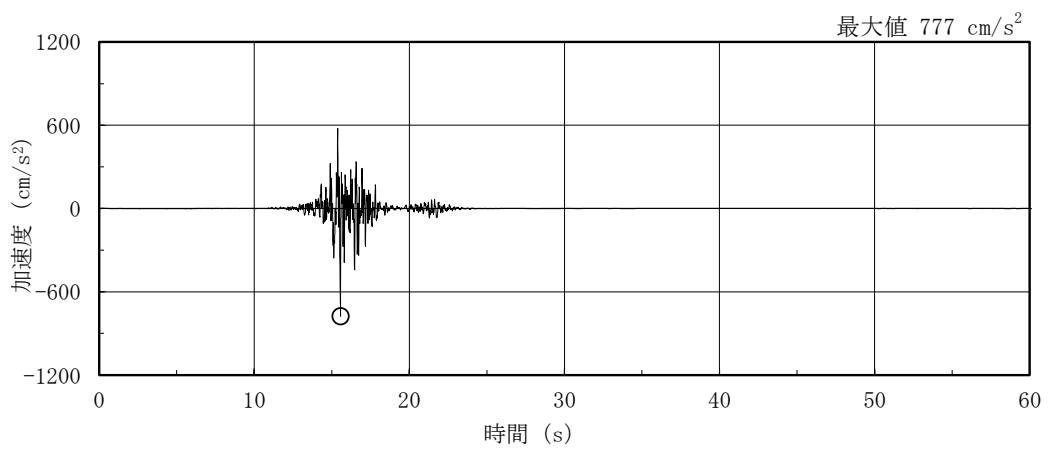
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

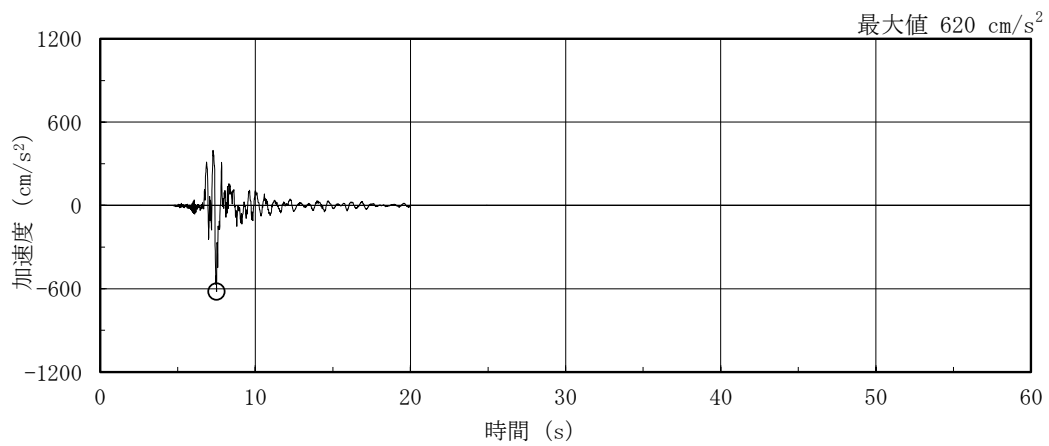


(b) S s - F 1

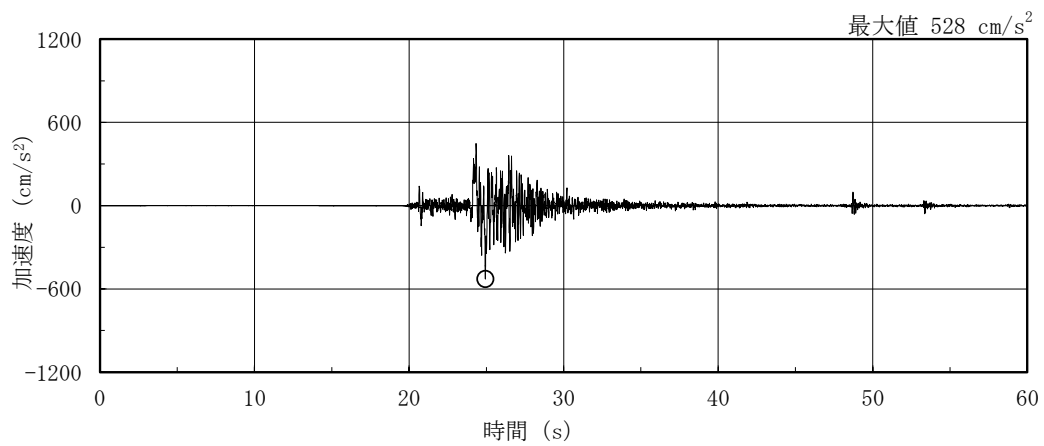


(c) S s - F 2

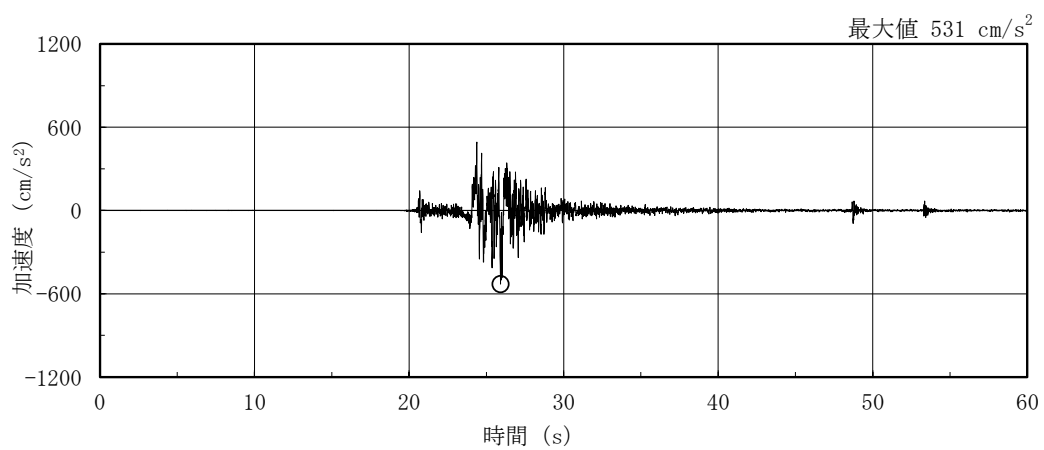
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)

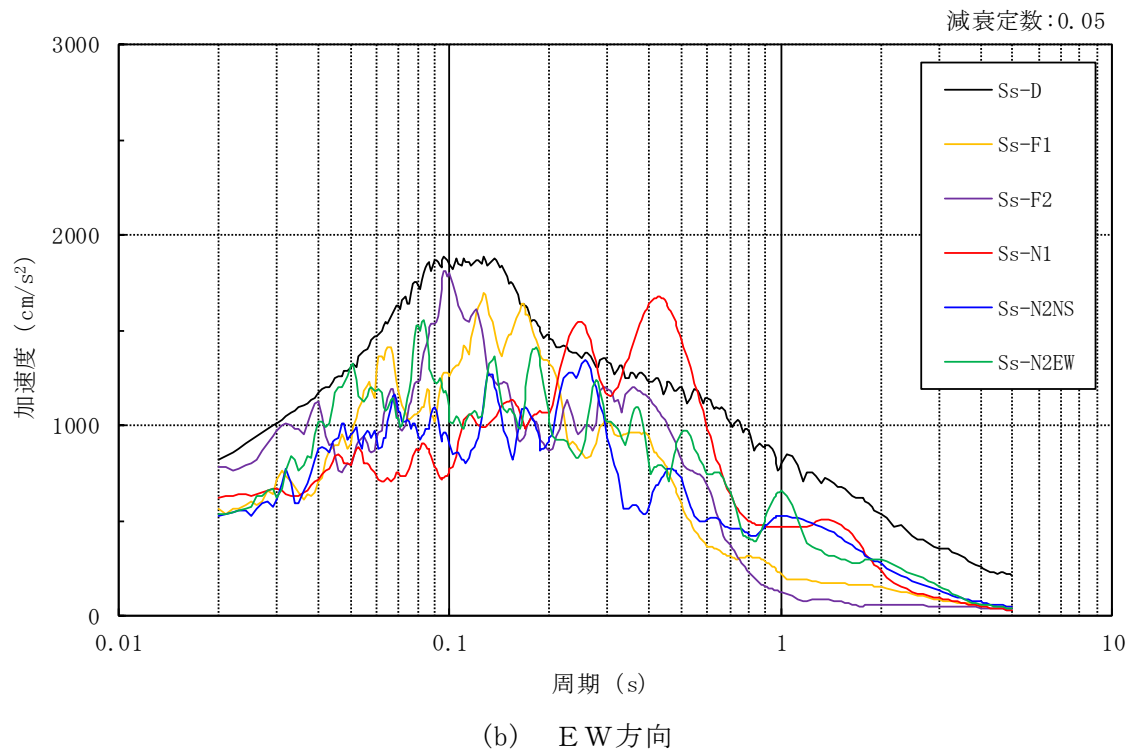
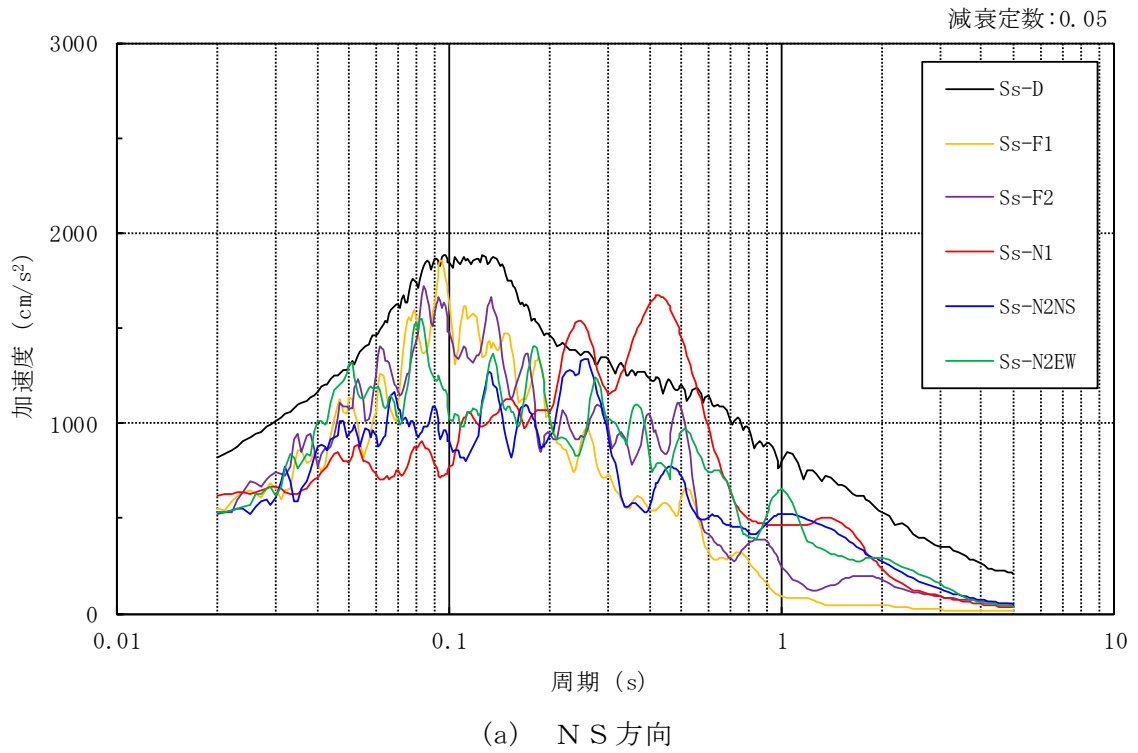


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

1号機タービン建物の制御室建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に対する波及的影響の評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界

(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機タービン建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機タービン建物及びタービン建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には，1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物を波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機タービン建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機タービン建物及びタービン建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	—

地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図 3-4 に示す。

基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばねの定数化の概要を図 3-5 に、地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「A D M I T H F」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を 1 次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を建物位置での地盤をモデル化した 1 次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表 3-6 に示す。表 3-6 に示す地盤物性値のうち、表層①-1 については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。また、建物基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-6 に、1 次元地盤モデルを図 3-7 に、基礎底面位置（EL-0.3m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-8 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「S H A K E」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

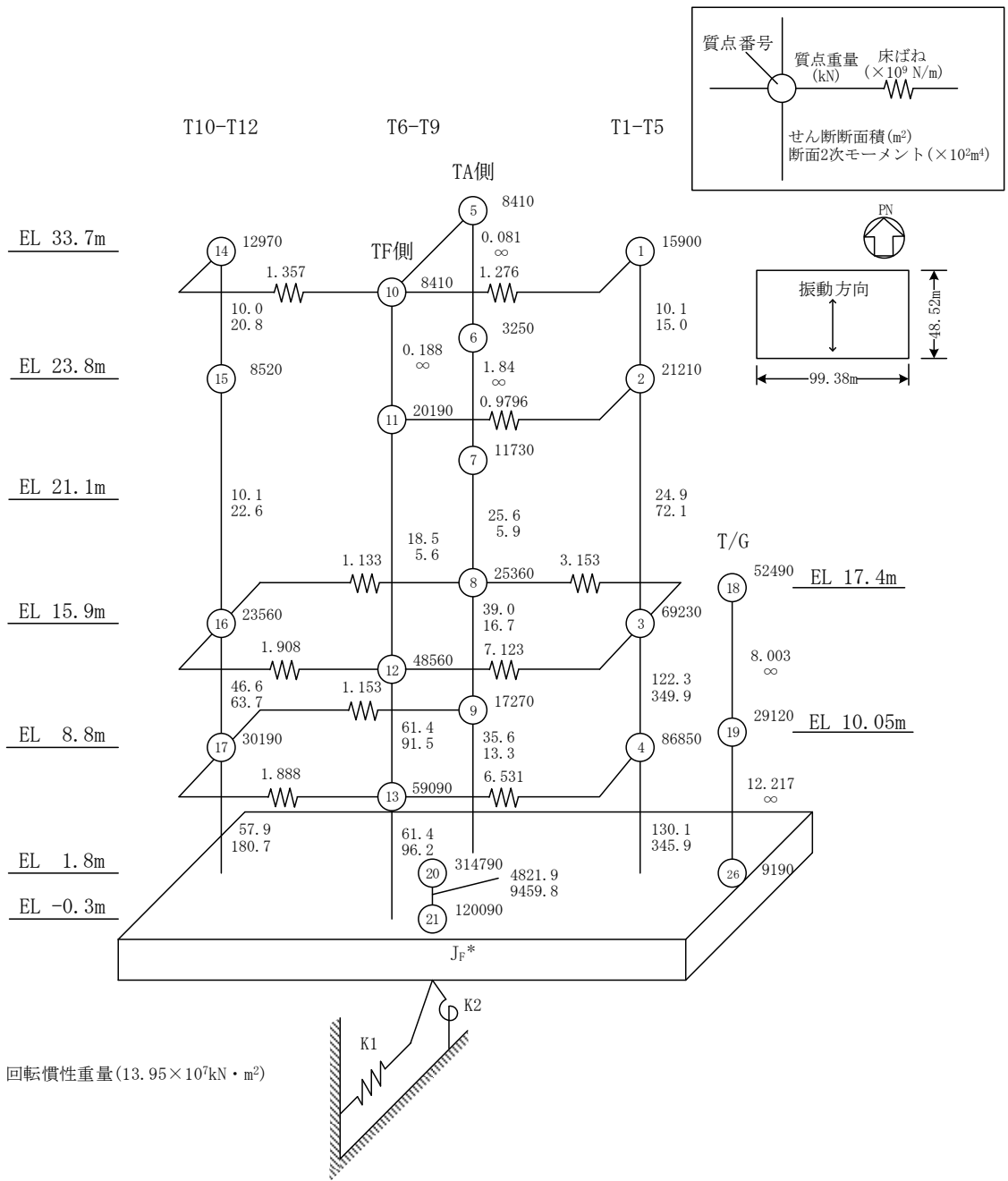


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)

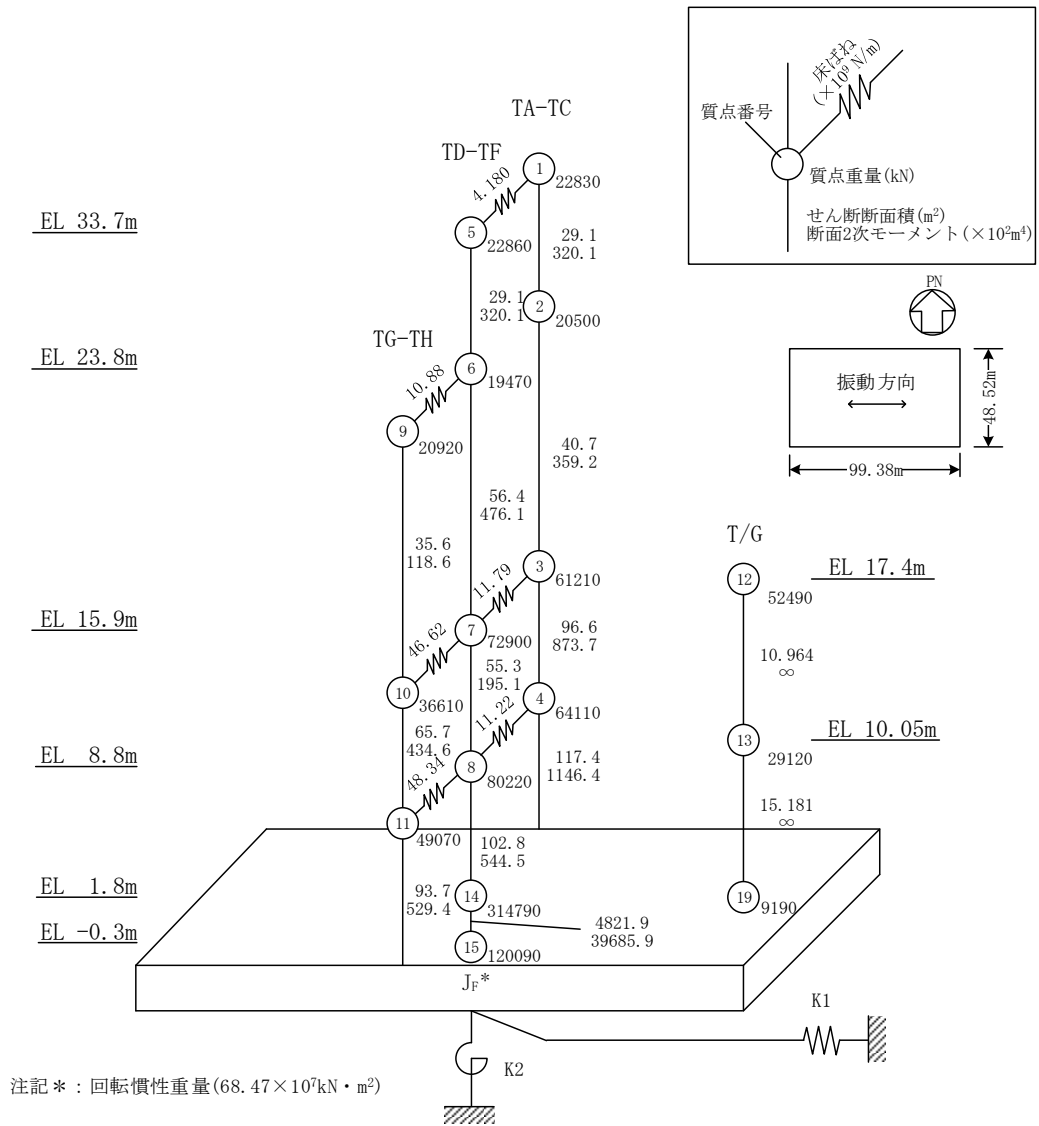
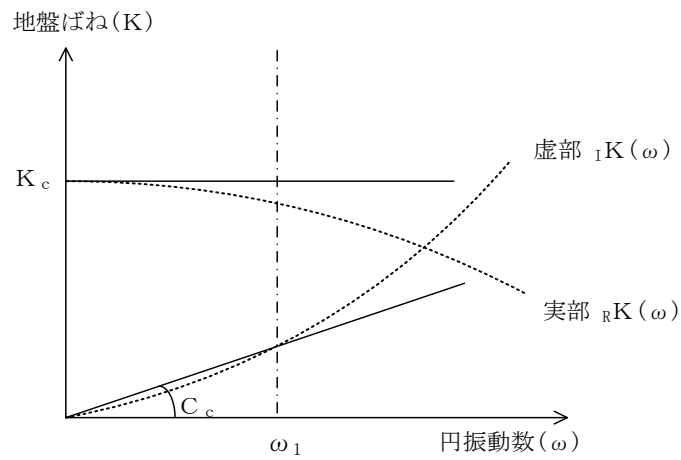


図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)



ばね定数 : 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数 : 地盤－建物連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-5 地盤ばねの定数化の概要

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	1.30×10^9 (kN/m)	1.85×10^7 (kN・s/m)
K2	底面・回転	9.51×10^{11} (kN・m/rad)	2.71×10^9 (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	1.23×10^9 (kN/m)	1.60×10^7 (kN・s/m)
K2	底面・回転	2.67×10^{12} (kN・m/rad)	1.54×10^{10} (kN・m・s/rad)

表 3-6 1号機タービン建物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

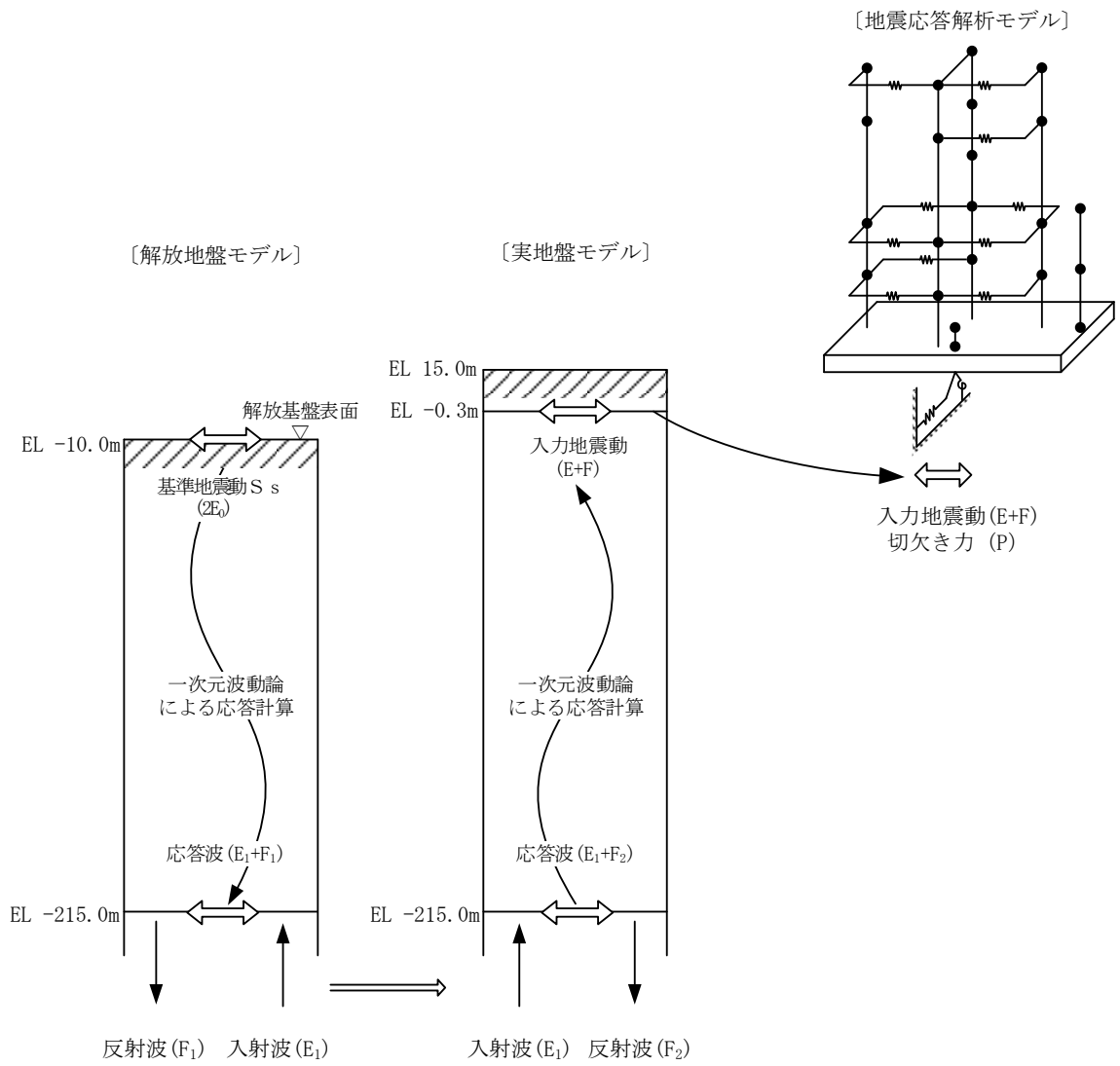


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

[解放地盤モデル]

[実地盤モデル]

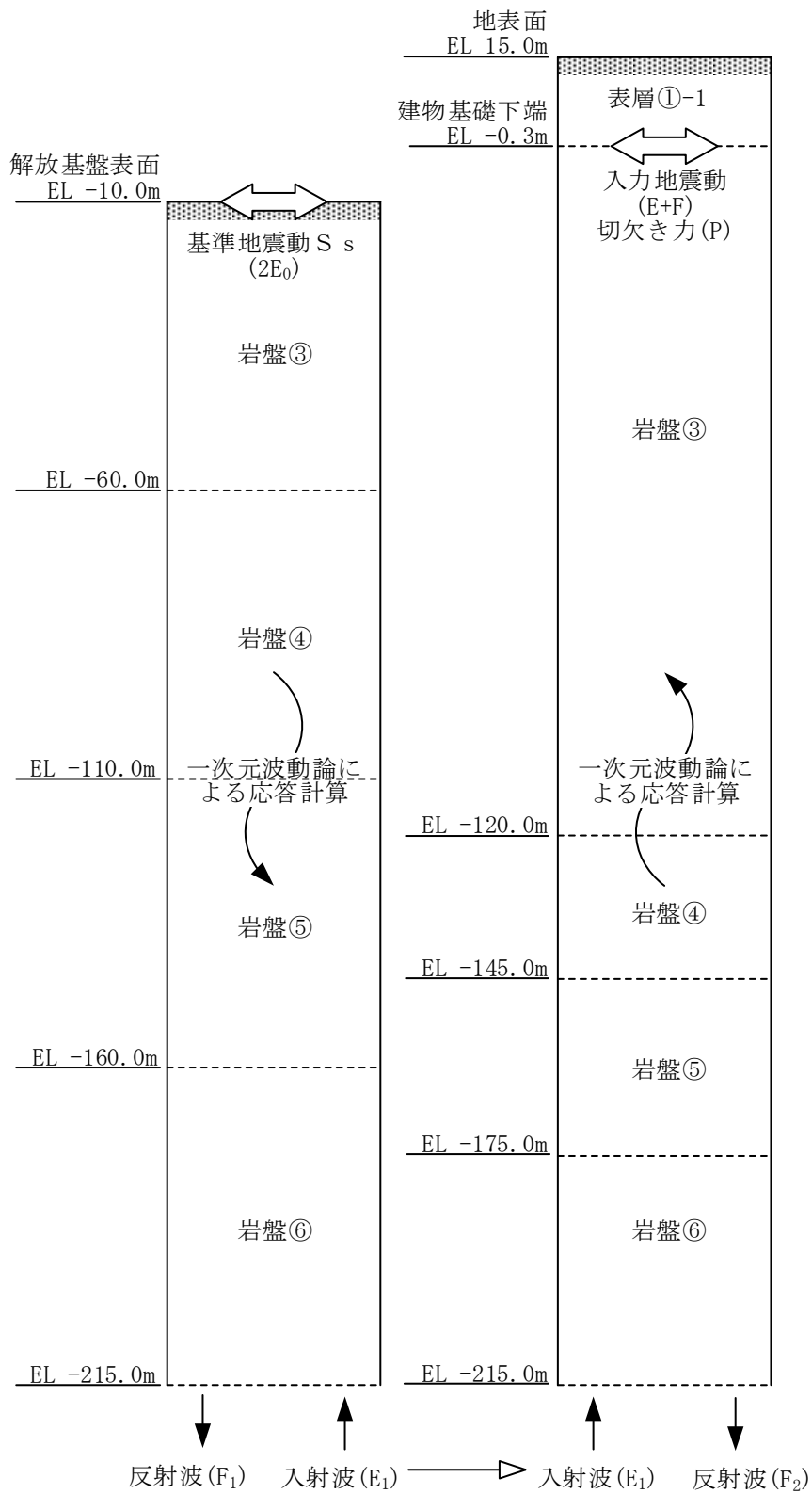
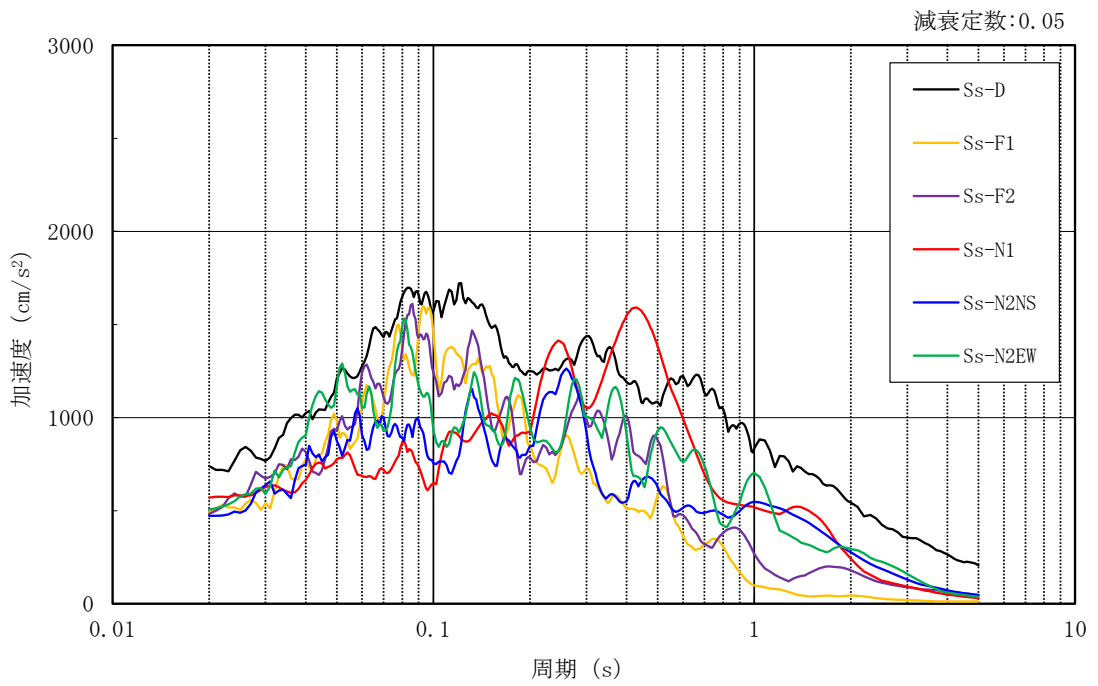
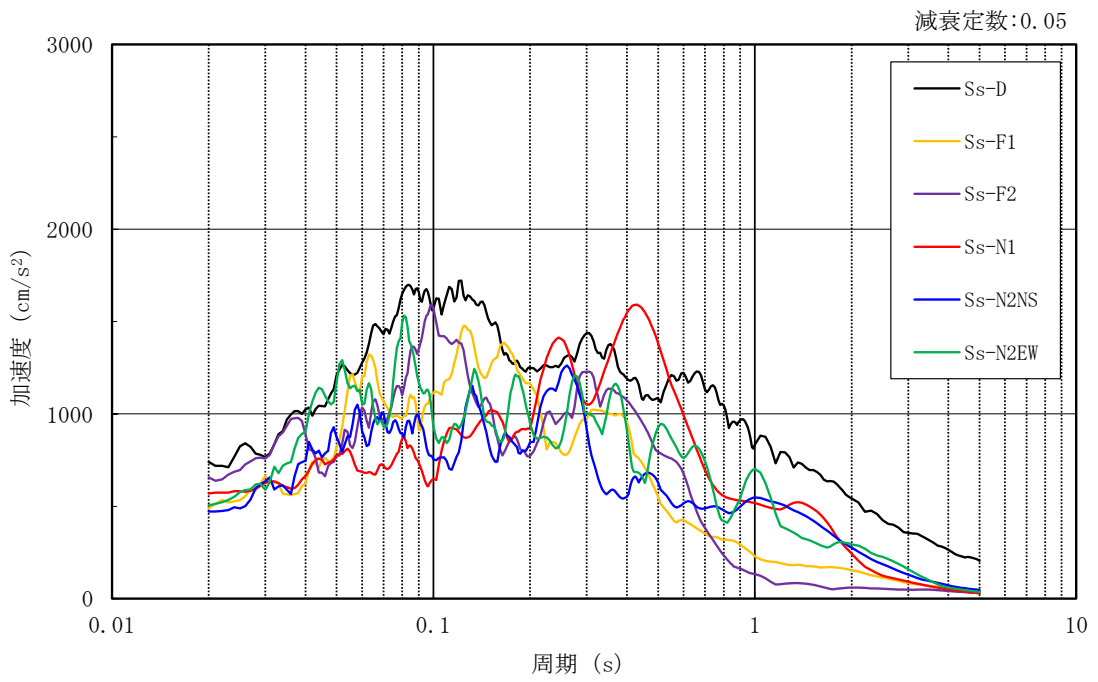


図 3-7 1次元地盤モデル



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EL-0.3m)

3.5.2 解析方法

1号機タービン建物の地震応答解析には、解析コード「NUPP 4」を用いる。

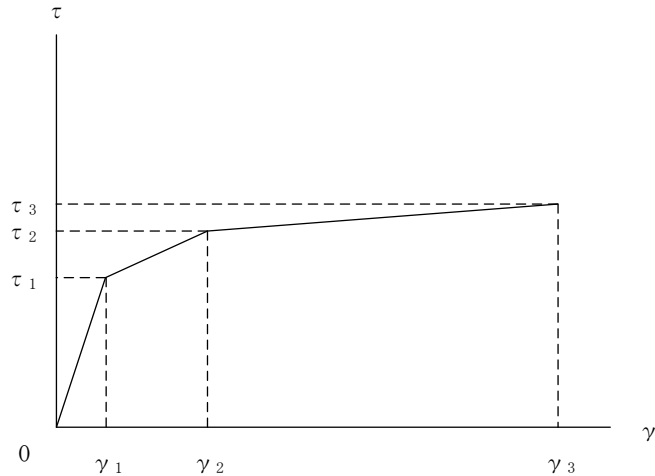
建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-9 に示す。

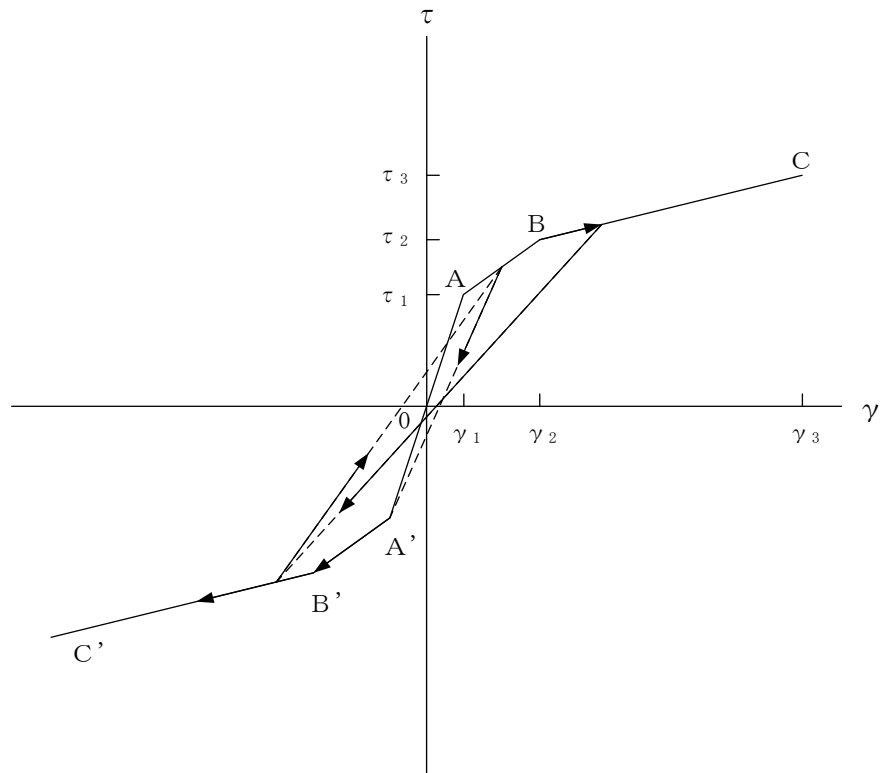


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-10 に示す。

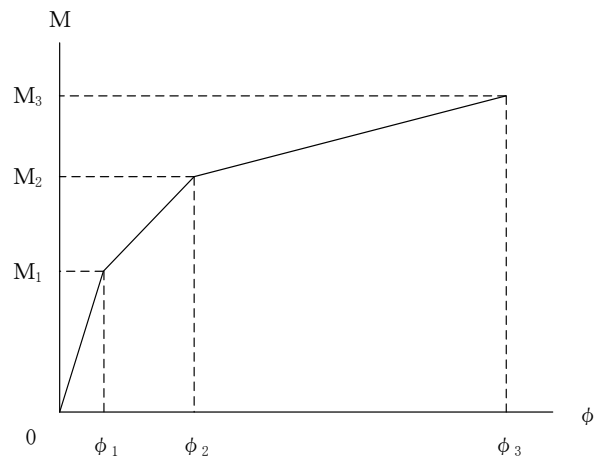


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-10 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-11 に示す。

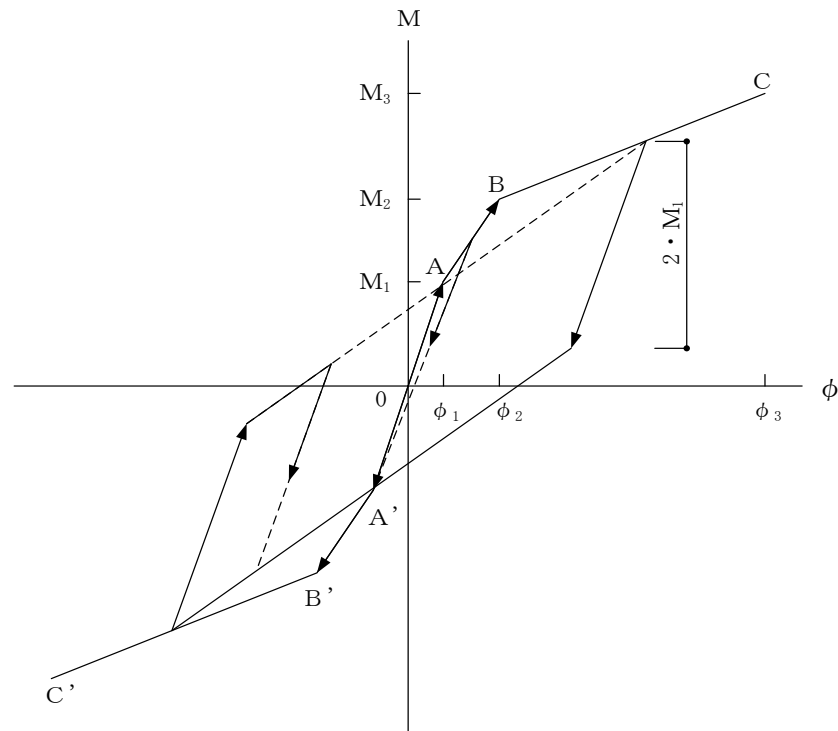


- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
- M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
- M_3 : 終局点の曲げモーメント
- ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
- ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
- ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-12 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を過ぎていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を過ぎていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-12 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

1号機タービン建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表3-7～表3-10に示す。

表 3-7(1) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T1-T5

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.65	2.23	4.14	0.180	0.540	4.00
23.8~15.9	1.68	2.27	4.22	0.183	0.550	4.00
15.9~8.8	1.63	2.20	3.15	0.177	0.532	4.00
8.8~1.8	1.73	2.34	3.72	0.189	0.566	4.00

T6-T9(TA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	—*					
23.8~21.1	—*					
21.1~15.9	1.62	2.18	3.53	0.176	0.529	4.00
15.9~8.8	1.70	2.30	3.20	0.185	0.556	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	2.98	0.194	0.581	4.00

T6-T9(TF側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	—*					
23.8~15.9	1.61	2.17	3.86	0.175	0.526	4.00
15.9~8.8	1.66	2.25	4.23	0.181	0.544	4.00
8.8~1.8	1.82	2.46	4.11	0.199	0.596	4.00

注記* : 線形部材

表 3-7(2) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T10-T12

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.63	2.19	4.14	0.177	0.531	4.00
23.8~15.9	1.74	2.35	3.99	0.190	0.569	4.00
15.9~8.8	1.68	2.26	3.80	0.183	0.548	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	3.99	0.193	0.580	4.00

表 3-8 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

TA-TC

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.97	2.66	4.65	0.215	0.645	4.00
23.8~15.9	2.06	2.78	4.61	0.224	0.671	4.00
15.9~8.8	1.83	2.46	4.41	0.199	0.596	4.00
8.8~1.8	1.85	2.50	4.39	0.201	0.604	4.00

TD-TF

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.98	2.68	4.66	0.216	0.648	4.00
23.8~15.9	1.98	2.67	4.48	0.216	0.647	4.00
15.9~8.8	1.90	2.57	4.39	0.207	0.622	4.00
8.8~1.8	1.97	2.66	4.49	0.215	0.644	4.00

TG-TH

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
23.8~15.9	1.84	2.48	4.47	0.200	0.601	4.00
15.9~8.8	1.80	2.43	4.43	0.196	0.588	4.00
8.8~1.8	1.92	2.59	4.50	0.209	0.626	4.00

表 3-9(1) 曲げスケルトン曲線 (M-φ関係) (NS方向)

T1-T5

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	0.203	0.328	0.425	6.16	62.0	1240
23.8~15.9	0.620	0.801	1.08	3.90	41.4	829
15.9~8.8	3.15	3.59	4.93	4.08	41.9	838
8.8~1.8	2.76	3.47	4.85	3.62	40.1	802

T6-T9(TA側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	—*					
23.8~21.1	—*					
21.1~15.9	0.183	0.272	0.344	14.1	179	3570
15.9~8.8	0.376	0.601	0.855	10.2	112	2250
8.8~1.8	0.296	0.447	0.636	10.1	111	2220

T6-T9(TF側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	—*					
23.8~15.9	0.110	0.208	0.356	8.87	101	2020
15.9~8.8	0.904	1.27	1.92	4.48	52.6	1050
8.8~1.8	1.20	2.05	3.13	5.65	58.8	1180

注記* : 線形部材

表 3-9(2) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (N S 方向)

T10-T12

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	0.254	0.357	0.457	5.56	57.6	1150
23.8~15.9	0.322	0.476	0.587	6.47	59.3	1190
15.9~8.8	0.741	0.993	1.36	5.28	57.5	1150
8.8~1.8	2.75	3.03	3.54	6.92	59.0	1180

表 3-10 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

TA-TC

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	2.01	3.25	4.24	2.86	22.4	448
23.8~15.9	2.41	4.56	5.98	3.04	23.5	375
15.9~8.8	4.16	8.52	12.6	2.16	21.5	195
8.8~1.8	5.92	9.66	13.7	2.34	21.2	387

TD-TF

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	2.03	3.28	4.27	2.88	22.4	449
23.8~15.9	2.68	4.60	6.08	2.55	22.2	445
15.9~8.8	1.53	2.43	3.35	3.55	34.1	663
8.8~1.8	4.03	6.60	9.06	3.35	28.1	423

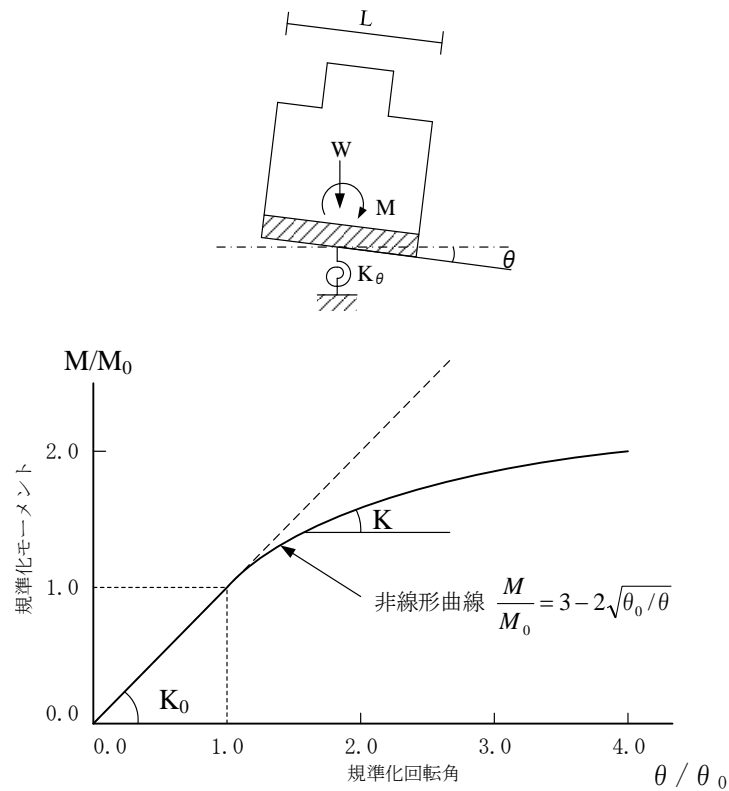
TG-TH

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
23.8~15.9	0.897	1.91	2.88	3.43	32.8	445
15.9~8.8	2.86	3.19	4.27	2.99	27.6	553
8.8~1.8	3.96	5.44	7.42	3.39	29.4	446

3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-13 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-13 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- M_0 : 浮上り限界転倒モーメント (= $W \cdot L / 6$)
- θ : 回転角
- θ_0 : 浮上り限界回転角
- K_0 : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)
- K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)
- W : 建物総重量
- L : 建物基礎幅

図 3-13 地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角関係

3.5.5 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-11に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-12に示す。

表3-11 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%)	
ケース4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

表 3-12 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

層番号	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	127	153	102
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

3.6 評価方法

1号機タービン建物の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.6.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す1号機タービン建物の地震応答解析モデルによる解析結果とVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算定し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算定する際の基準点は、各建物の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算定する。

さらに、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建物の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 1.54×10^{-3} (T10-T12 軸, EL 23.8m~EL 15.9m, NS 方向, S_s-D) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 1.73×10^{-3} (T10-T12 軸, EL 23.8m~EL 15.9m, NS 方向, ケース 2, S_s-D) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容限界
NS	1.54 (S_s-D)	1.73 (S_s-D)	1.36 (S_s-D)	1.63 (S_s-D)	4.0
EW	0.33 (S_s-D)	0.36 (S_s-D)	0.29 (S_s-F2)	0.34 (S_s-D)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 , S_s-N2 NS 及び S_s-N2 EW に対して実施。

4.2 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及び制御室建物間の N S 方向の最大相対変位を表 4-2 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 22.05m で 23.41mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、24.48mm (ケース 2, $S_s - D$) であり、許容限界 (50mm) を超えないことを確認した。

表 4-2 1 号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位
(N S 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

1 号機タービン建物		制御室建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.05	①	22.05	23.41 ($S_s - D$)	24.48 ($S_s - D$)	21.15 ($S_s - D$)	24.19 ($S_s - D$)	50

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

注記* : 制御室建物の質点① (EL 22.05m) の応答変位に加算する 1 号機タービン建物の応答変位は、1 号機タービン建物の上下質点間 (EL 23.8m~EL 15.9m) で線形補間して算定。

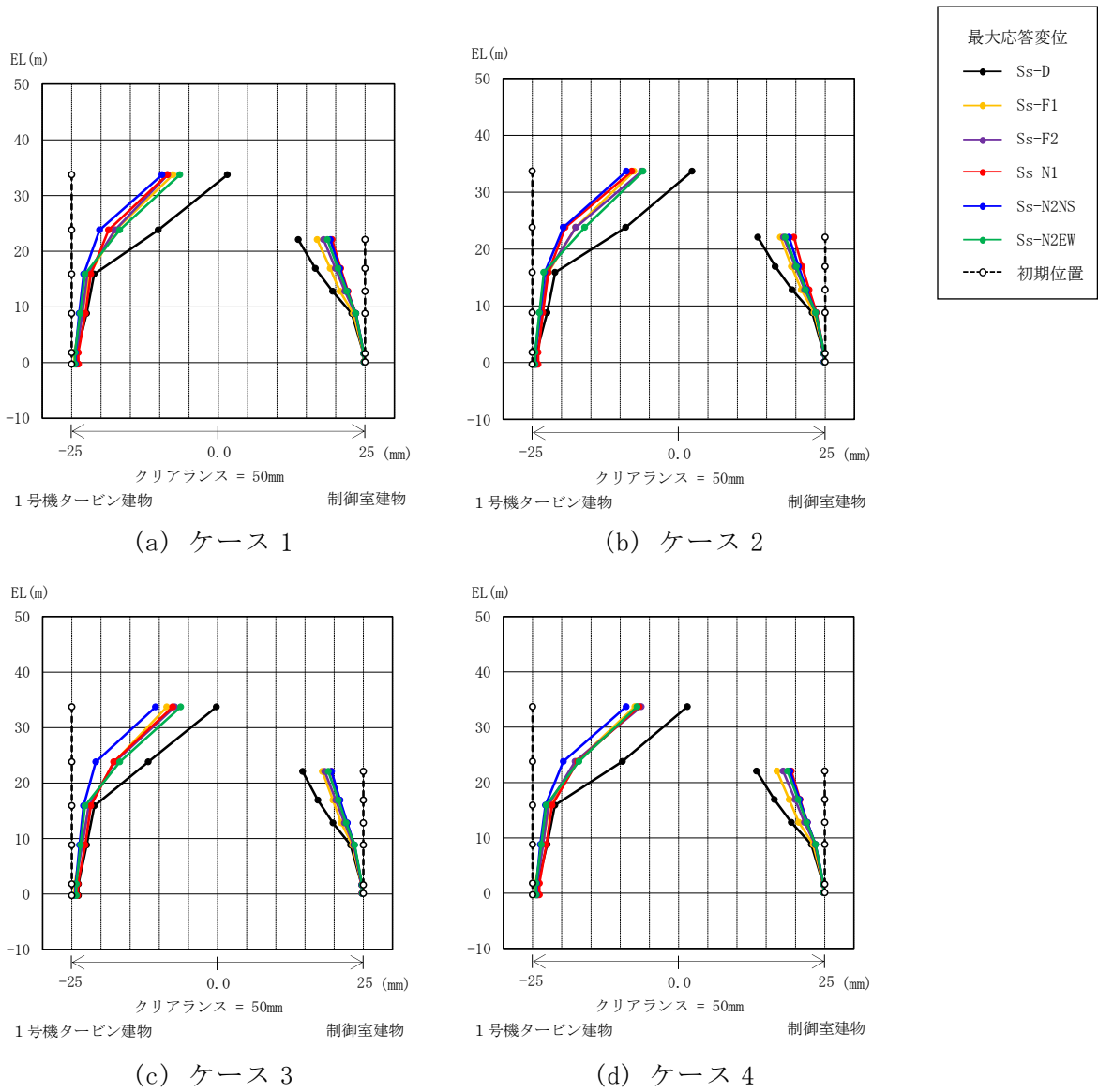


図 4-1 1号機タービン建物と制御室建物の最大応答変位とクリアランス
(NS方向)

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及び制御室建物間の E W 方向の最大相対変位を表 4-3 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-2 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 22.05m で 15.34mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、15.51mm (ケース 4, $S_s - D$) であり、許容限界 (50mm) を超えないことを確認した。

表 4-3 1 号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位
(E W 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

1 号機タービン建物		制御室建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.05	①	22.05	15.34 ($S_s - D$)	15.43 ($S_s - D$)	14.60 ($S_s - D$)	15.51 ($S_s - D$)	50

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F 1$, $S_s - F 2$, $S_s - N 1$, $S_s - N 2 N S$ 及び $S_s - N 2 E W$ に対して実施。

注記* : 制御室建物の質点① (EL 22.05m) の応答変位に加算する 1 号機タービン建物の応答変位は、1 号機タービン建物の上下質点間 (EL 23.8m~EL 15.9m) で線形補間して算定。

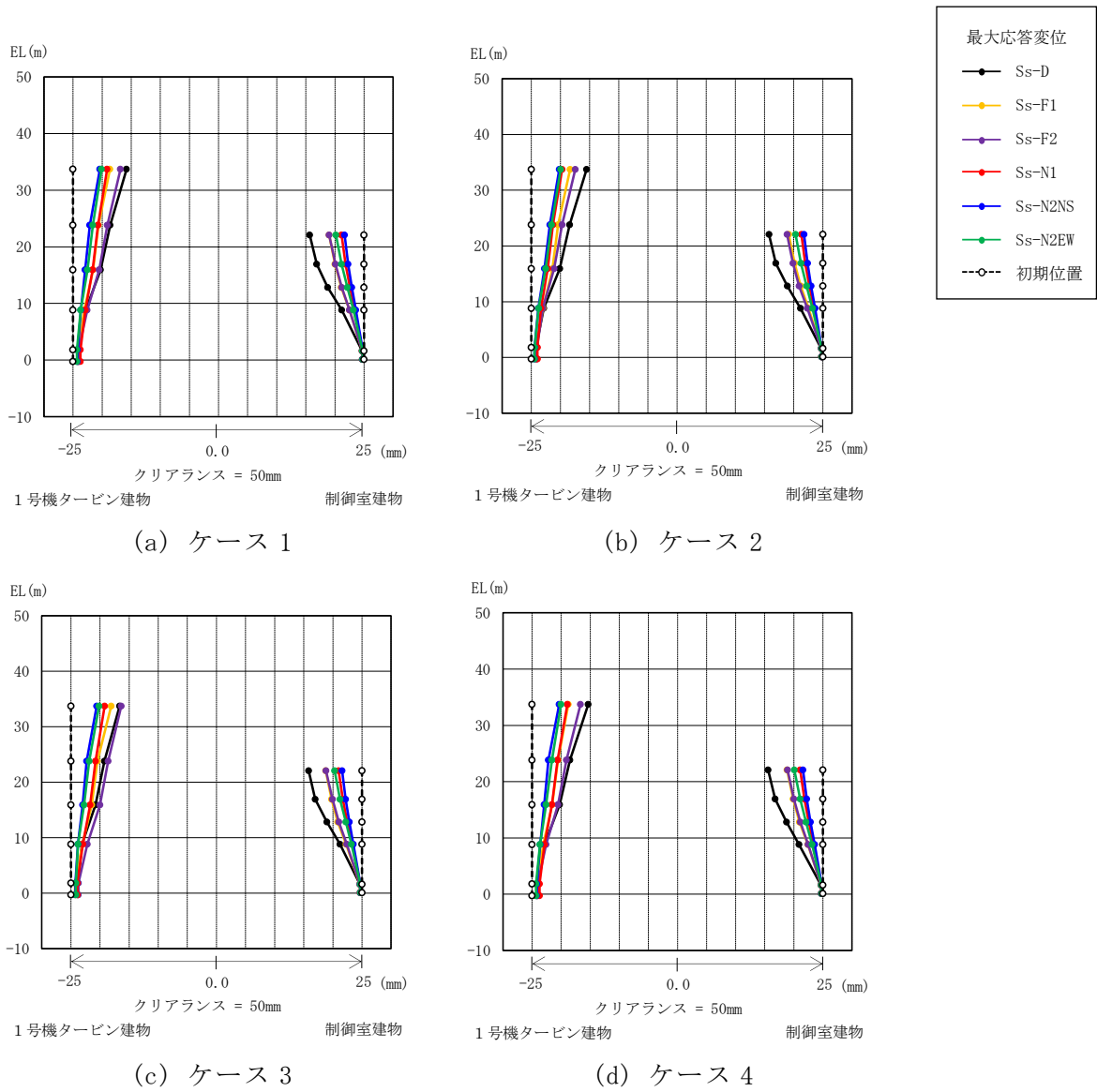


図 4-2 1号機タービン建物と制御室建物の最大応答変位とクリアランス (E W方向)

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及びタービン建物間の EW 方向の最大相対変位を表 4-4 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-3 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 33.7m で 23.20mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、23.90mm (ケース 4, $S_s - D$) であり、許容限界 (100mm) を超えないことを確認した。

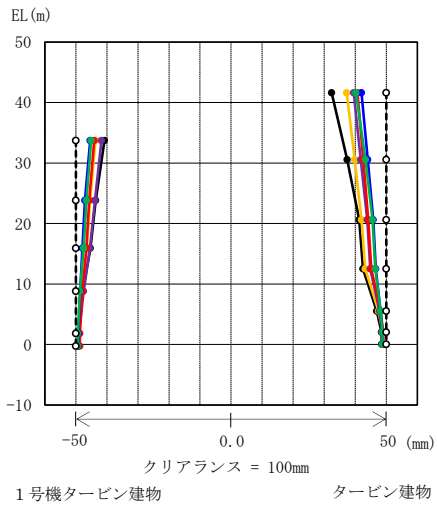
表 4-4 1 号機タービン建物とタービン建物の最大相対変位
(EW 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

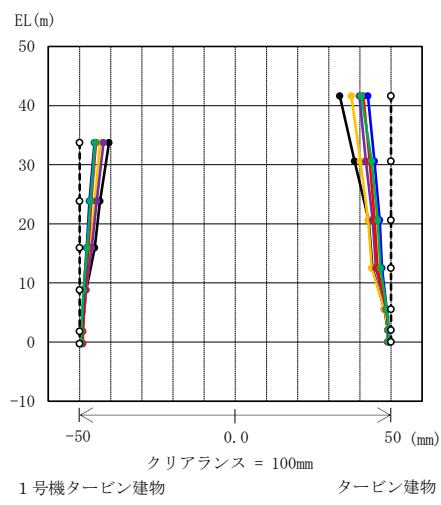
1 号機タービン建物		タービン建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
①, ⑤	33.7	*	33.7	23.20 ($S_s - D$)	22.51 ($S_s - D$)	23.04 ($S_s - D$)	23.90 ($S_s - D$)	100

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

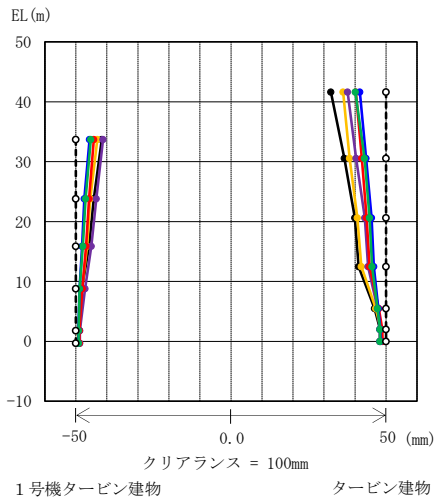
注記* : 1 号機タービン建物の質点①及び⑤ (EL 33.7m) の応答変位に加算するタービン建物の応答変位は、タービン建物の上下質点間 (EL 41.6m~EL 30.55m) で線形補間して算定。



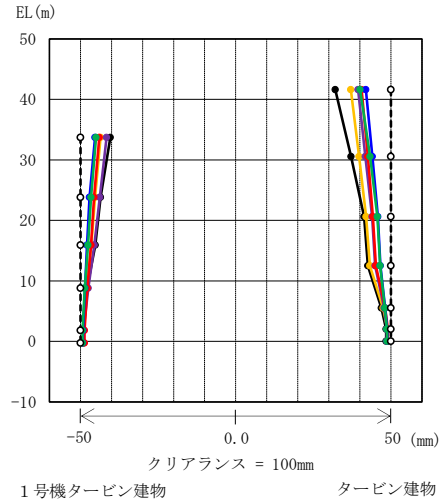
(a) ケース 1



(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4

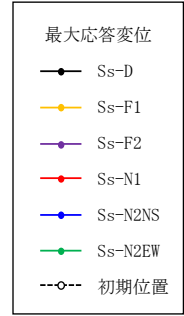


図 4-3 1号機タービン建物とタービン建物の最大応答変位とクリアランス (EW方向)

VI-2-11-2-1-3 1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.2 設計に用いる地震波	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	17
3.5 解析方法	19
3.5.1 地震応答解析モデル	19
3.5.2 解析方法	28
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	29
3.5.4 材料物性の不確かさ等	36
3.6 評価方法	38
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	38
3.6.2 相対変位による評価方法	38
4. 評価結果	39
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	39
4.2 相対変位による評価結果	40

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機廃棄物処理建物が制御室建物及び廃棄物処理建物に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御室建物及び廃棄物処理建物の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、1号機廃棄物処理建物の構造物全体としての変形性能の評価を、建物間の相対変位による影響では、制御室建物及び廃棄物処理建物への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機廃棄物処理建物の設置位置を図2-1に示す。

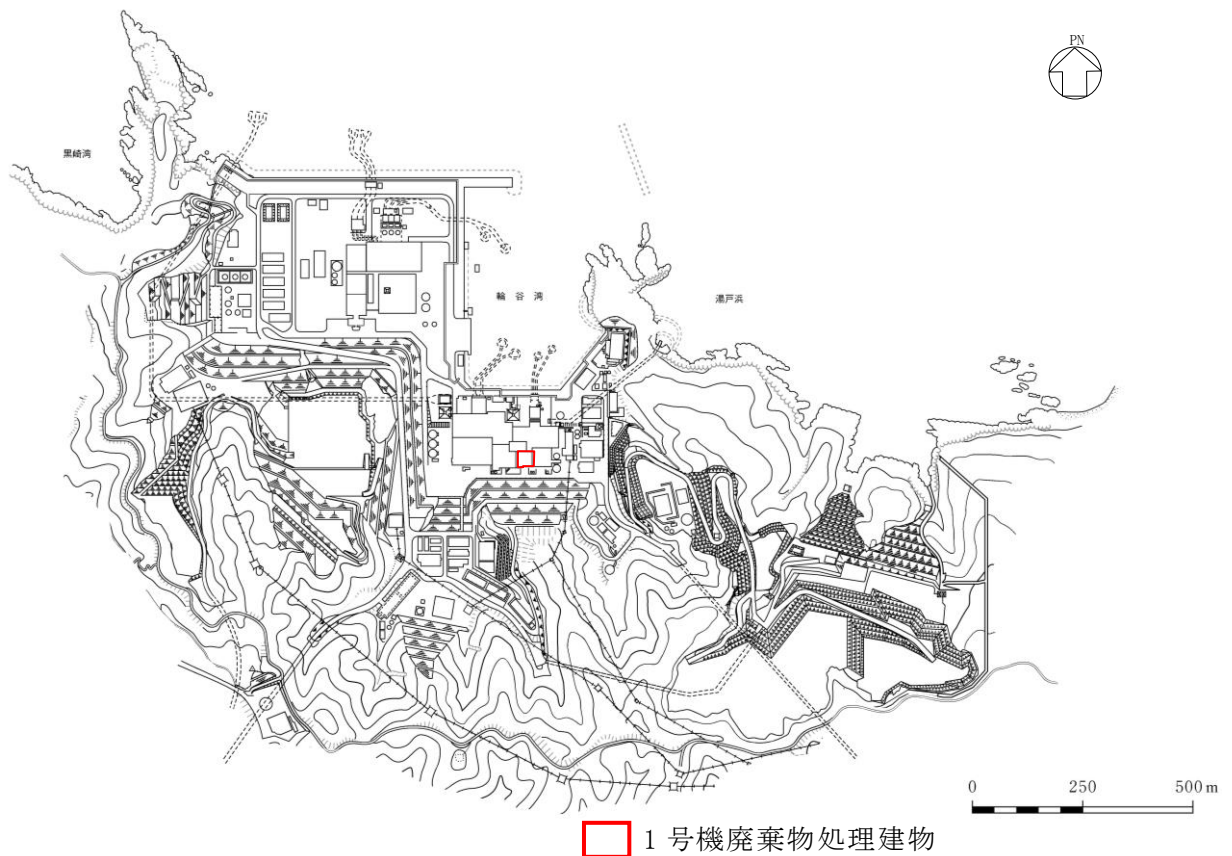


図2-1 1号機廃棄物処理建物の設置位置

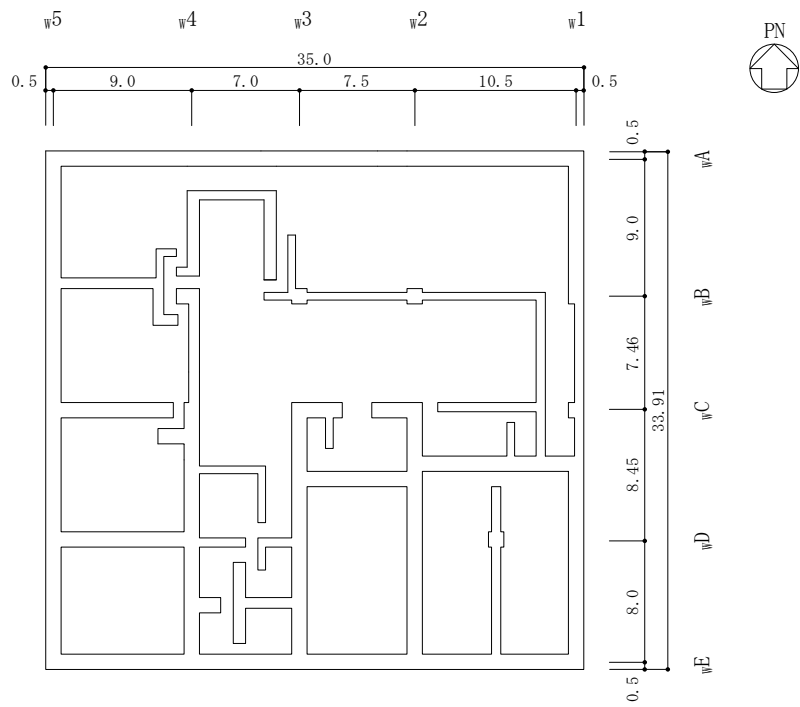
2.2 構造概要

1号機廃棄物処理建物は、地上3階、地下1階建の鉄筋コンクリート造の建物であり、隣接する制御室建物及び廃棄物処理建物と構造的に分離している。1号機廃棄物処理建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に、1号機廃棄物処理建物と制御室建物のクリアランスを図2-5に、1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物のクリアランスを図2-6に示す。

1号機廃棄物処理建物の平面は、33.91m* (NS) × 35.0m* (EW) であり、基礎スラブ底面からの高さは24.0mである。

1号機廃棄物処理建物の基礎は厚さ1.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。



(単位:m)

図 2-2 1号機廃棄物処理建物の概略平面図 (EL 6.5m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

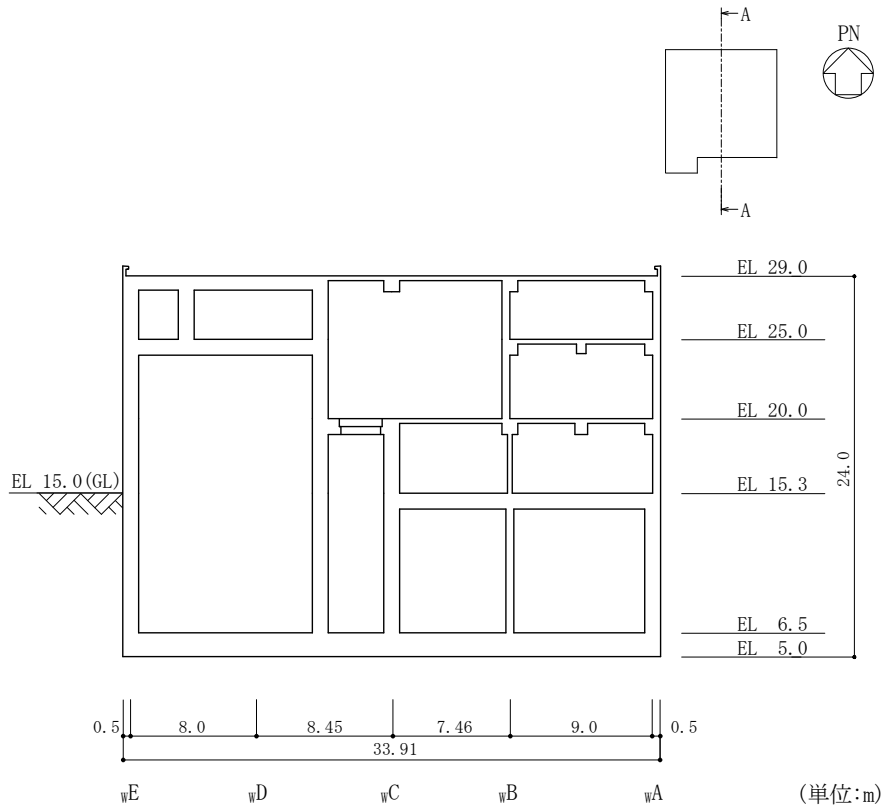


図 2-3(1) 1号機廃棄物処理建物の概略断面図 (A-A断面, N S 方向)

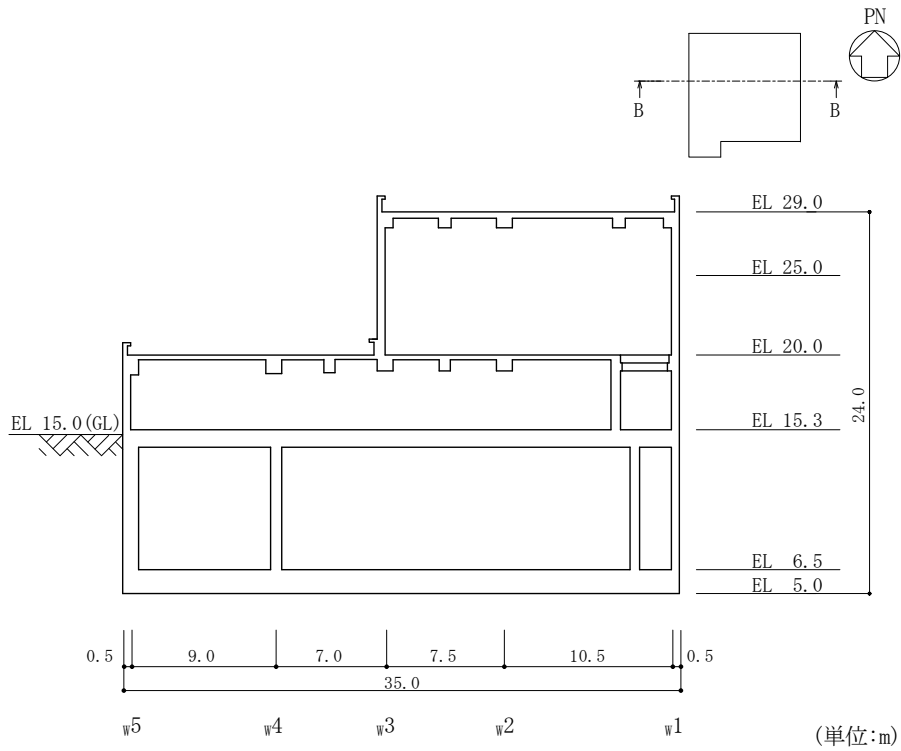


図 2-3(2) 1号機廃棄物処理建物の概略断面図 (B-B断面, E W 方向)

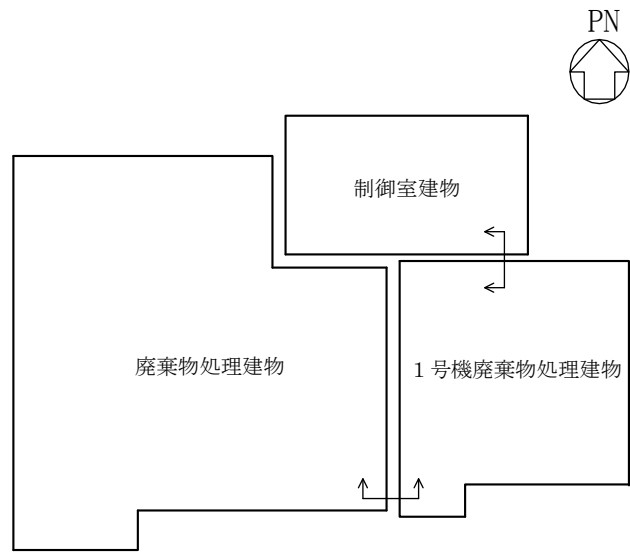


図 2-4 建物配置図

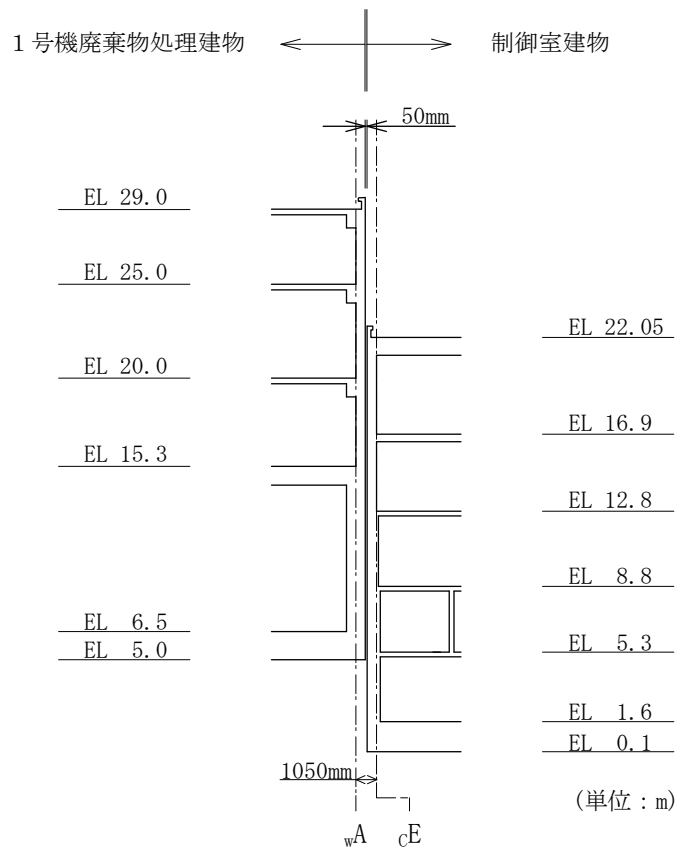


図 2-5 1号機廃棄物処理建物と制御室建物のクリアランス

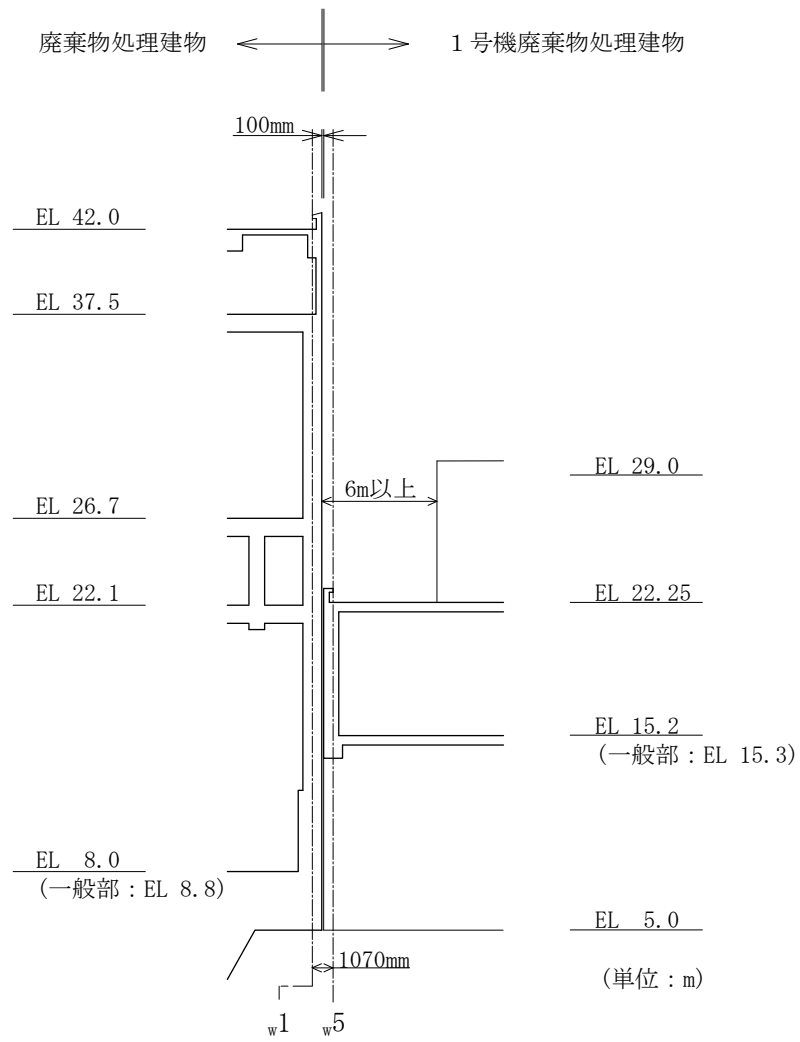


図 2-6 1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物のクリアランス

2.3 評価方針

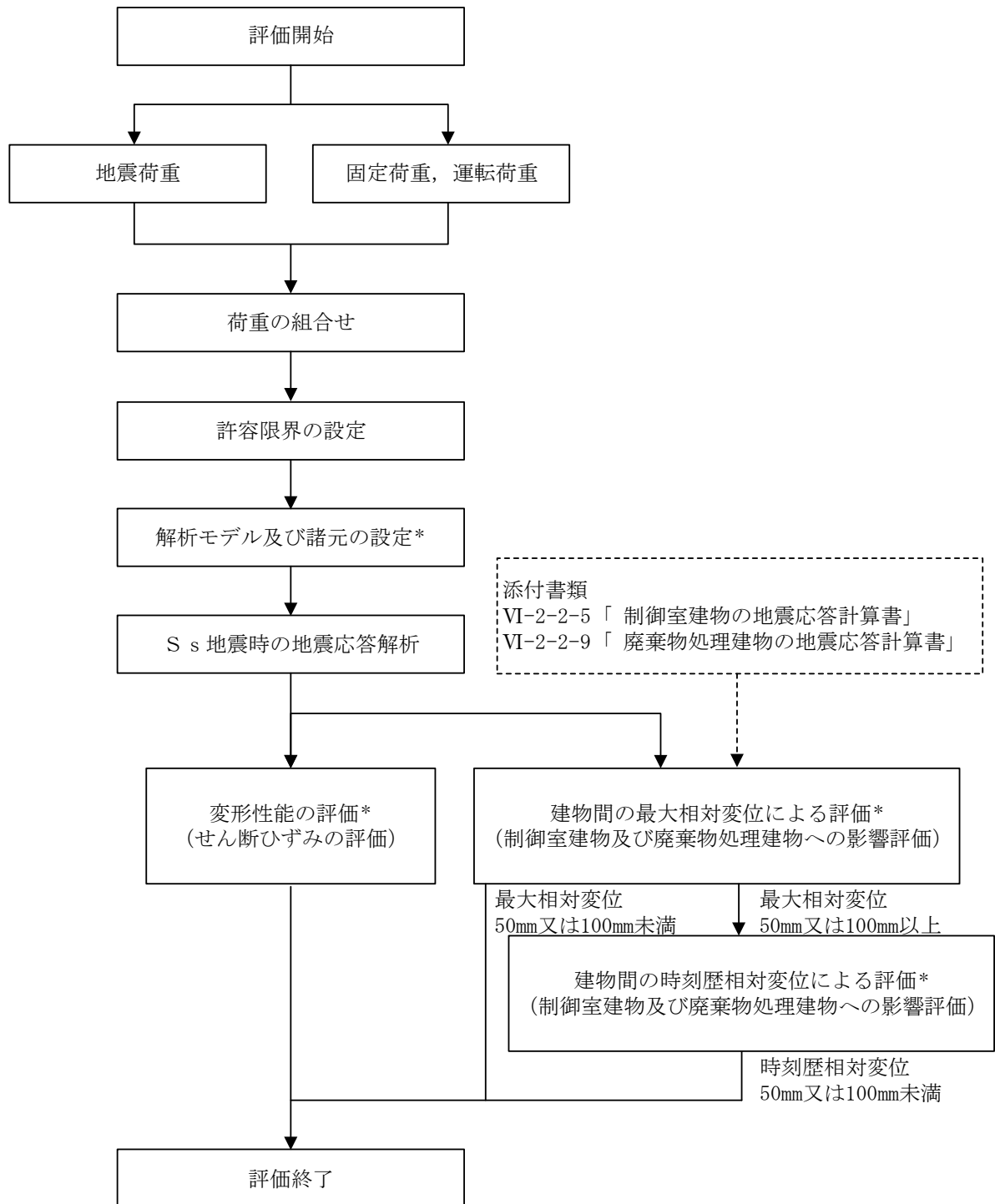
1号機廃棄物処理建物は、制御室建物及び廃棄物処理建物と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

1号機廃棄物処理建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。1号機廃棄物処理建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。建物間の相対変位による影響では、制御室建物及び廃棄物処理建物との相対変位による評価を行うことで、制御室建物及び廃棄物処理建物への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、1号機廃棄物処理建物の最大応答変位に加えて、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、1号機廃棄物処理建物は、その配置上、制御室建物と接触する可能性が高いNS方向及び廃棄物処理建物と接触する可能性が高いEW方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、1号機廃棄物処理建物では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2-7に波及的影響の評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-7 1号機廃棄物処理建物の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

1号機廃棄物処理建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

1号機廃棄物処理建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

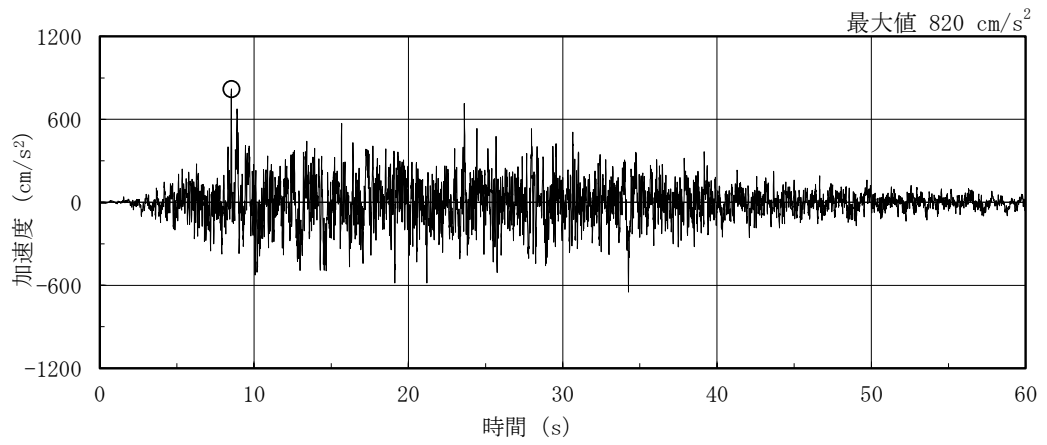
制御室建物及び廃棄物処理建物との相対変位による評価では、1号機廃棄物処理建物とそれぞれの建物の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建物間のクリアランスの大小関係により、隣接する制御室建物及び廃棄物処理建物への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機廃棄物処理建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

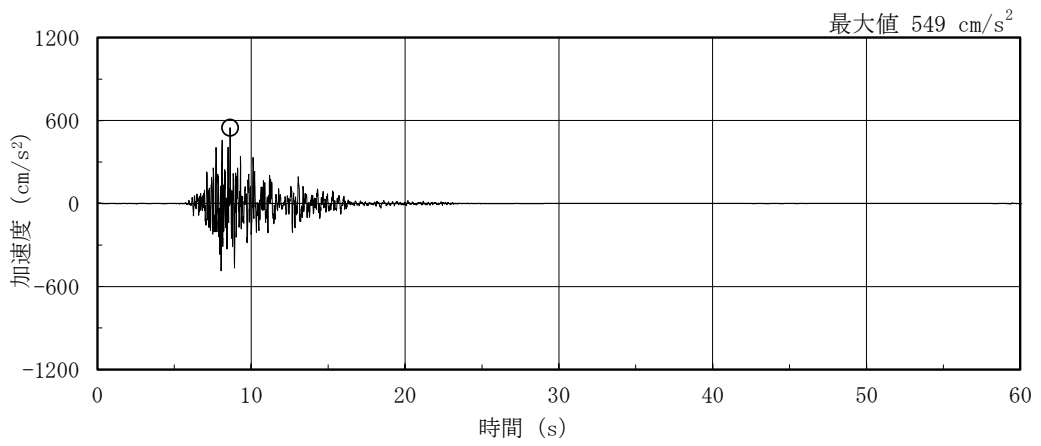
3.2 設計に用いる地震波

1号機廃棄物処理建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御室建物及び廃棄物処理建物の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

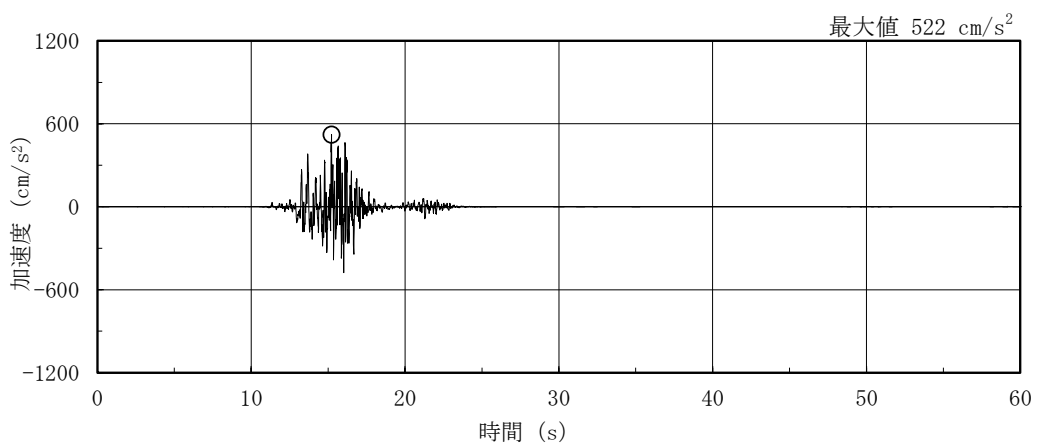
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-3に示す。



(a) S s - D

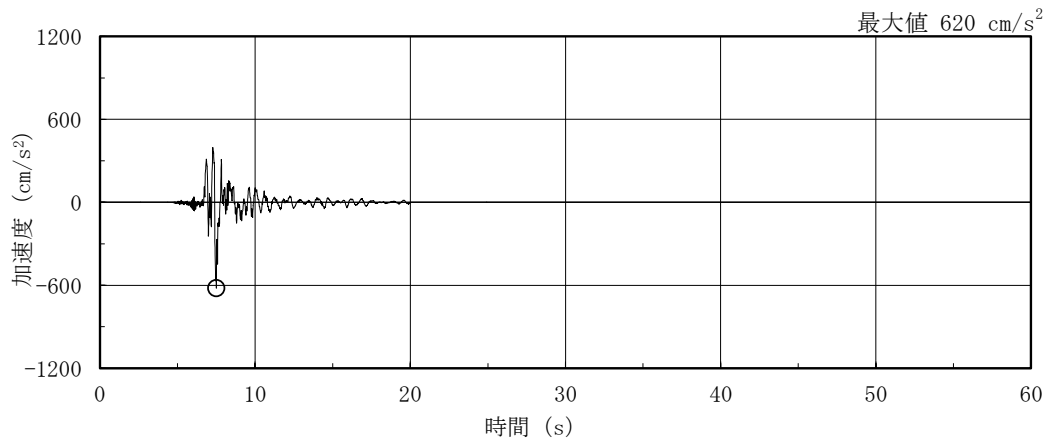


(b) S s - F 1

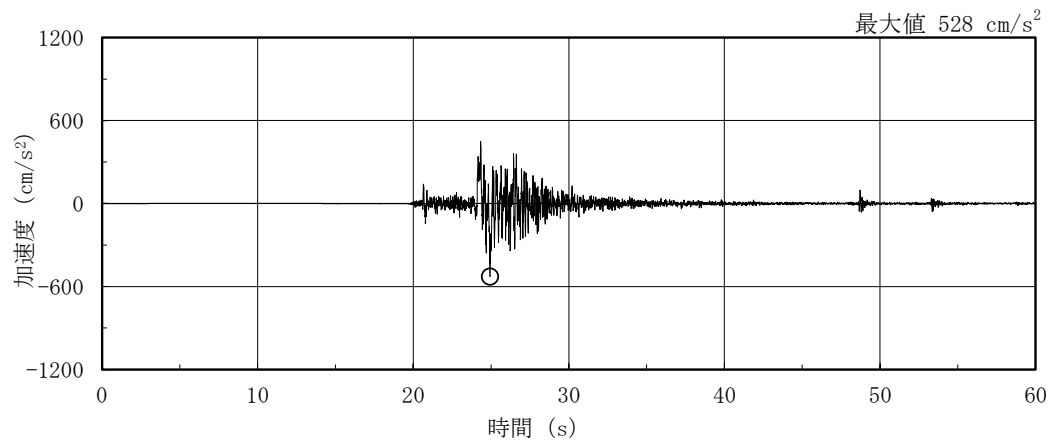


(c) S s - F 2

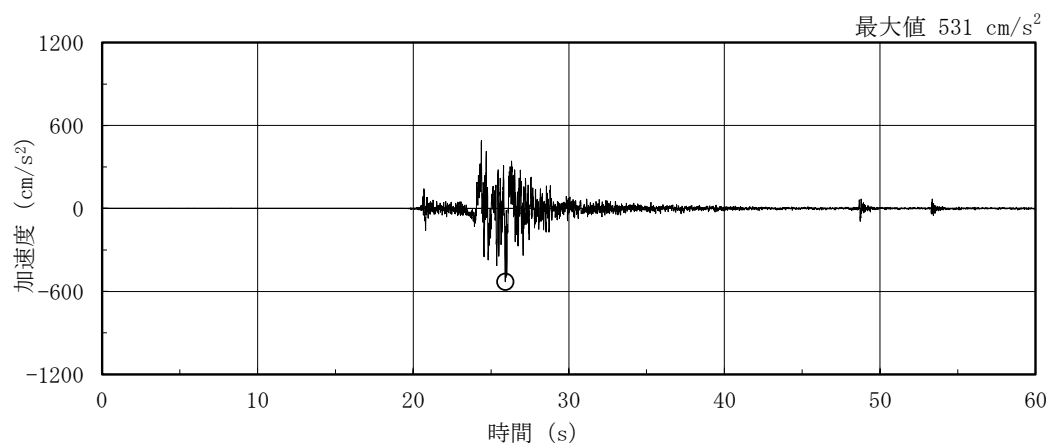
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

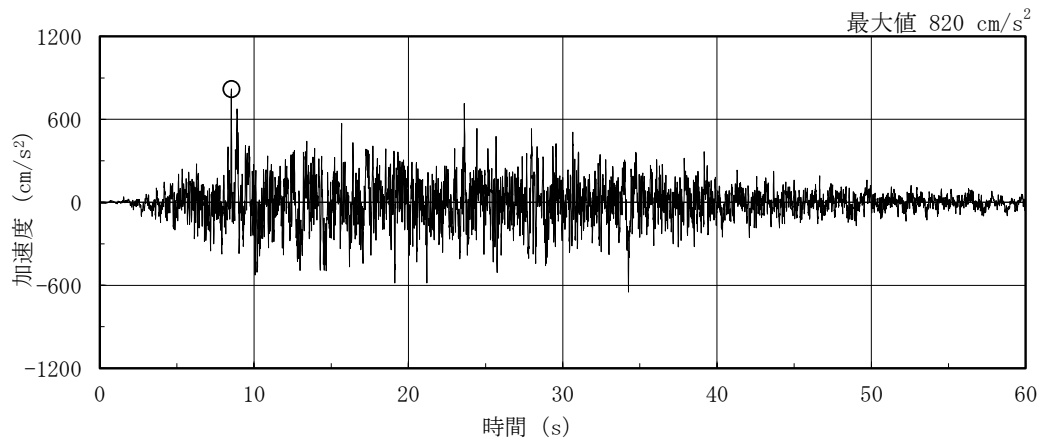


(e) S s - N 2 N S

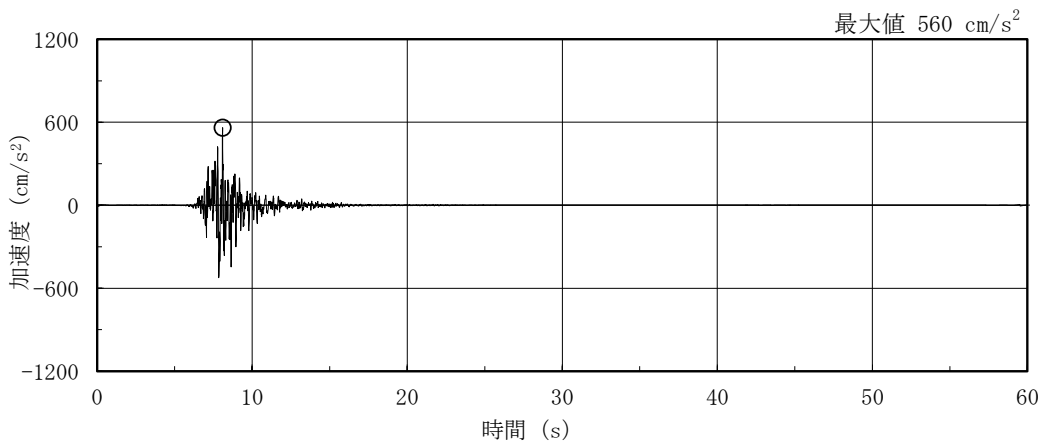


(f) S s - N 2 E W

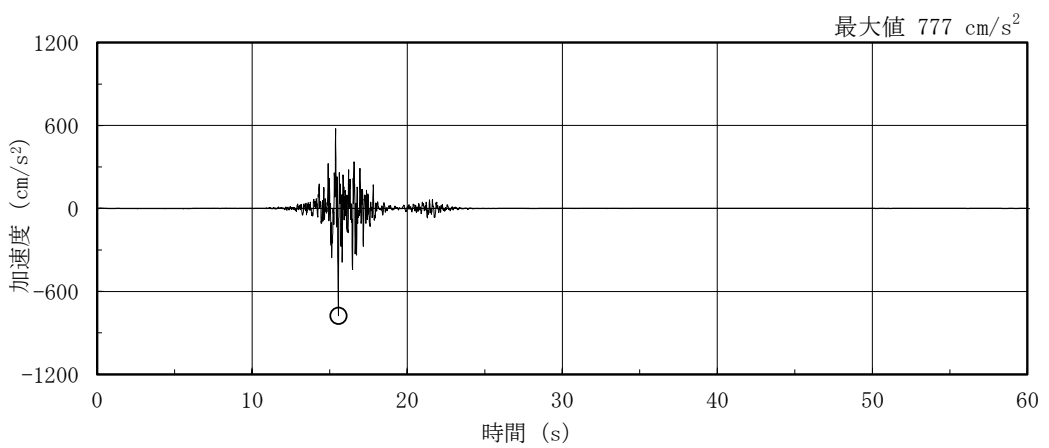
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

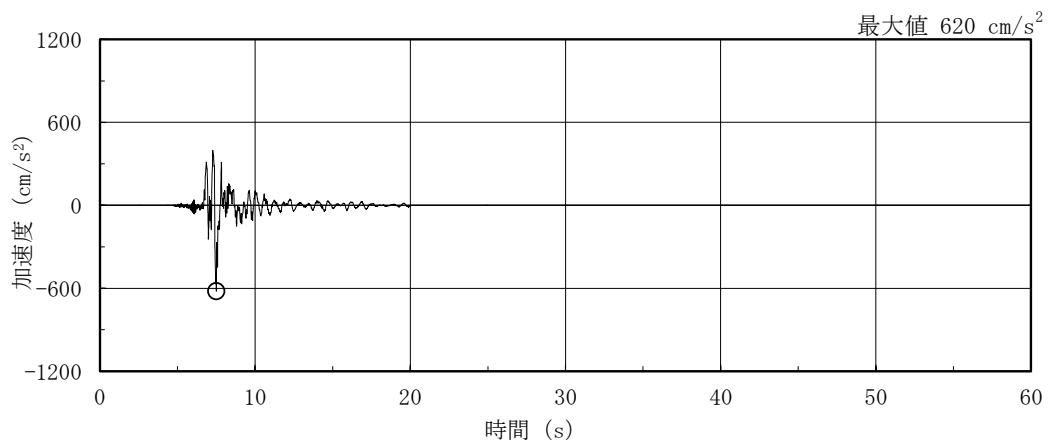


(b) S s - F 1

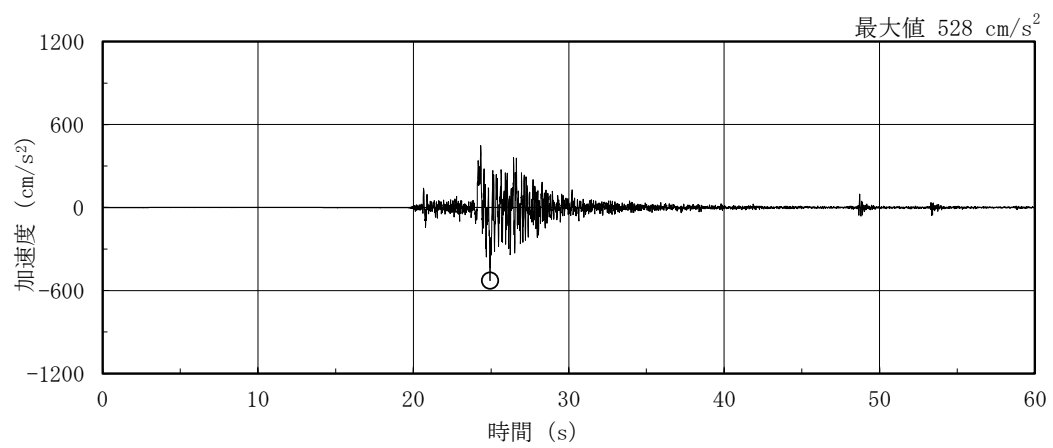


(c) S s - F 2

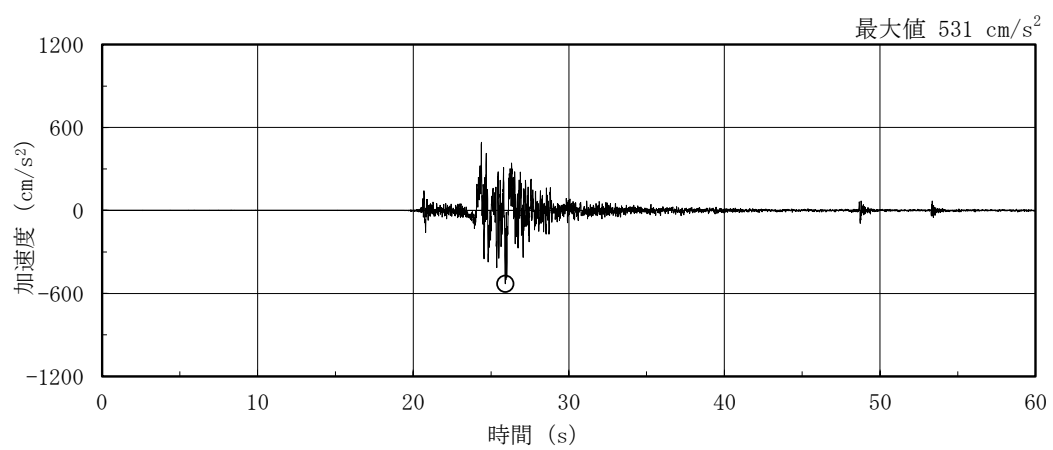
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

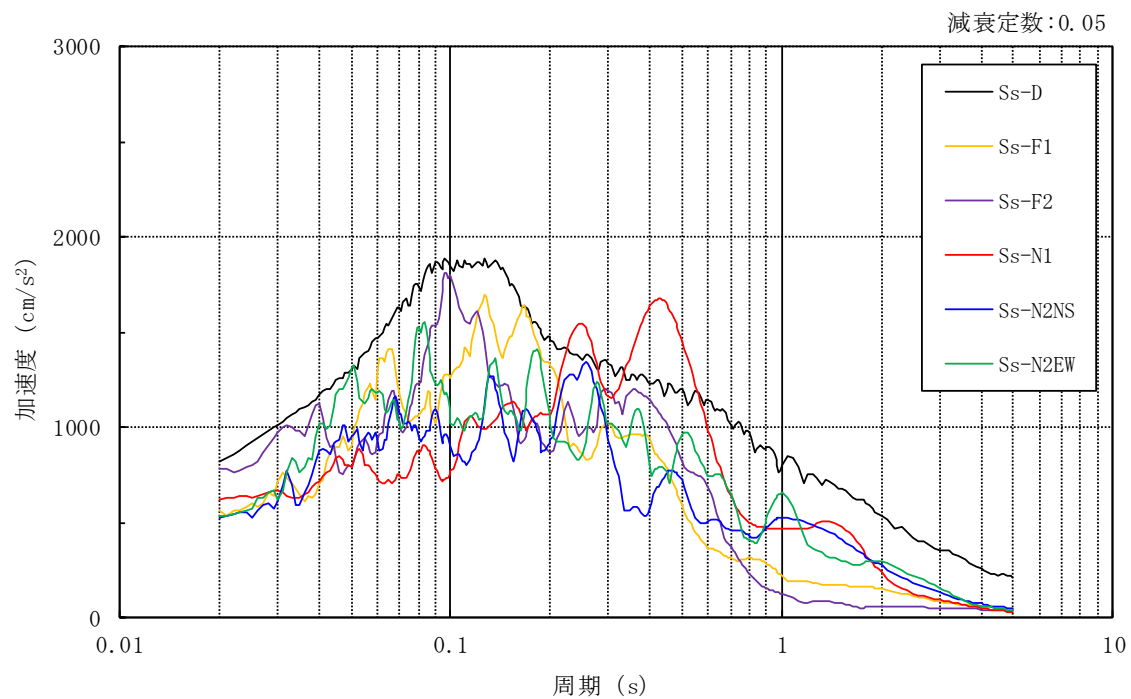
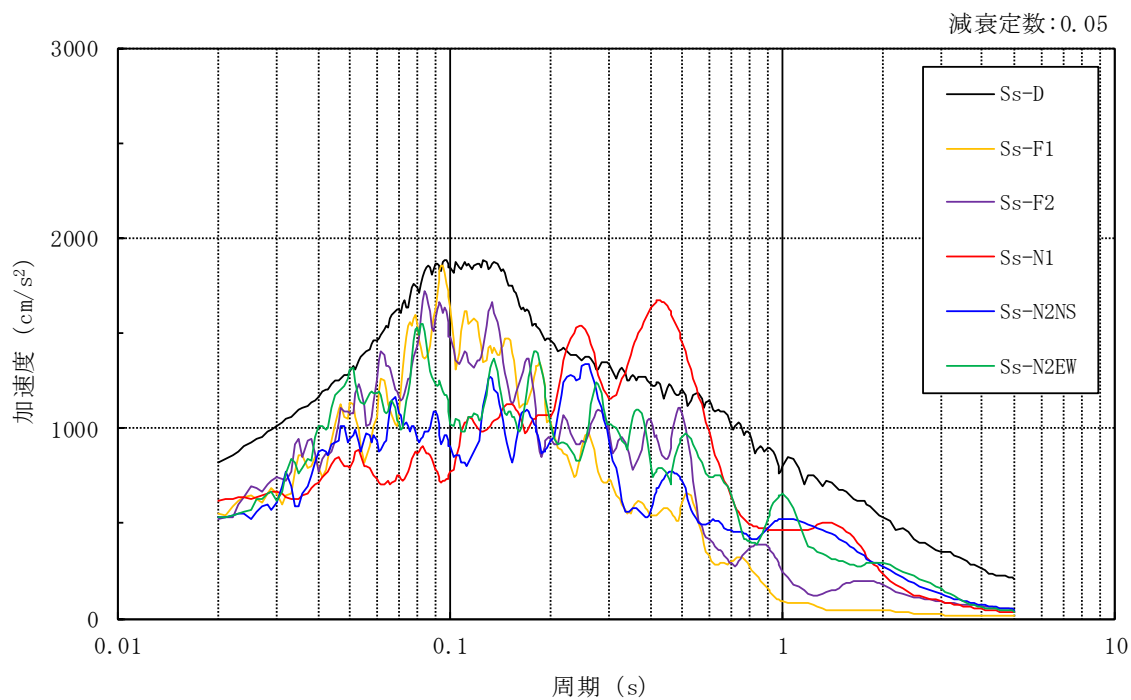


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

1号機廃棄物処理建物の制御室建物及び廃棄物処理建物に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界

(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S_s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機廃棄物処理建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機廃棄物処理建物及び廃棄物処理建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機廃棄物処理建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機廃棄物処理建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機廃棄物処理建物及び廃棄物処理建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機廃棄物処理建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	—

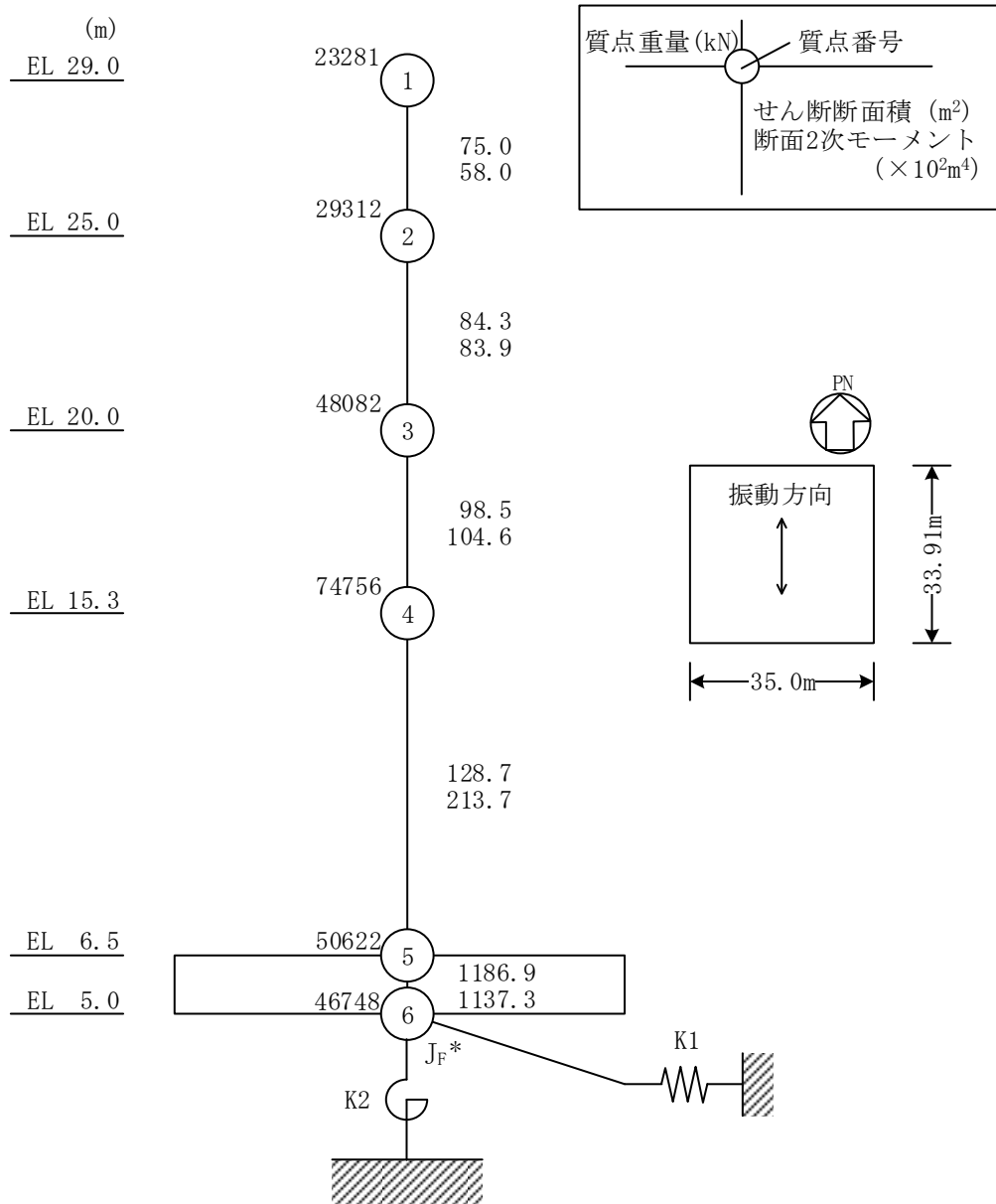
地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図3-4に示す。

基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、建物基礎底面と地盤の間の付着力 0.40N/mm^2 を考慮し、線形とする。地盤ばねの定数化の概要を図3-5に、地盤ばね定数及び減衰係数を表3-5に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「A D M I T H F」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

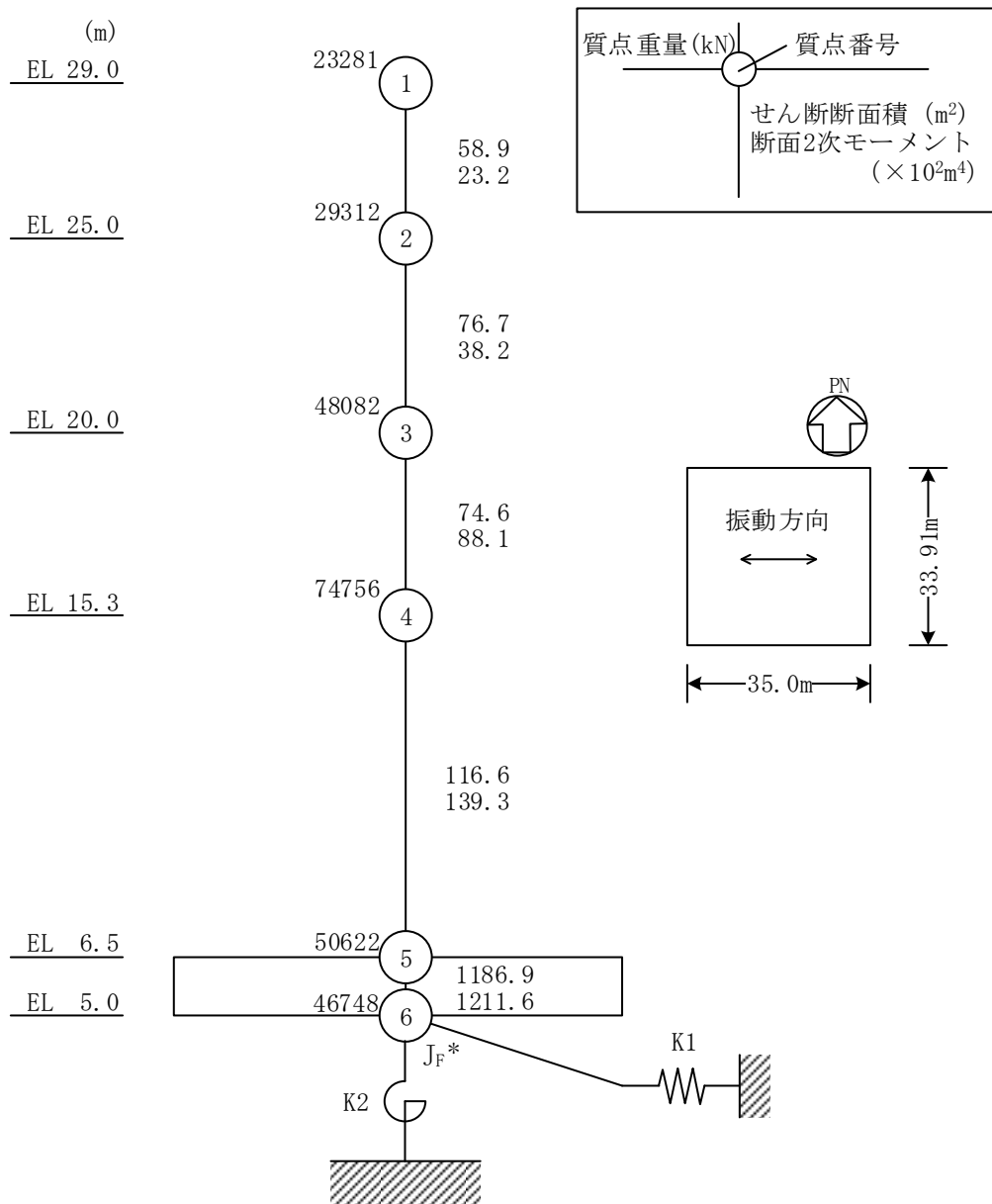
入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を1次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215mの入射波を算定する。算定したEL-215mの入射波を建物位置での地盤をモデル化した1次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表3-6に示す。表3-6に示す地盤物性値のうち、表層①-1については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。また、建物基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-6に、1次元地盤モデルを図3-7に、基礎底面位置（EL 5.0m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-8に示す。入力地震動の算定には、解析コード「S H A K E」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



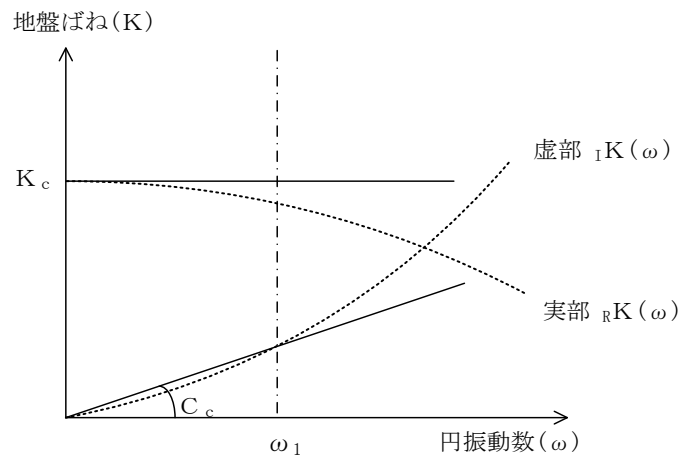
注記* : 回転慣性重量 ($28.31 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$)

図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)



注記* : 回転慣性重量(30.02×10⁶ kN・m²)

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)



ばね定数 : 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数 : 地盤－建物連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-5 地盤ばねの定数化の概要

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	5.99×10^8 (kN/m)	3.90×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	1.84×10^{11} (kN・m/rad)	1.77×10^8 (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	5.98×10^8 (kN/m)	3.87×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	1.92×10^{11} (kN・m/rad)	1.70×10^8 (kN・m・s/rad)

表 3-6 1号機廃棄物処理建物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

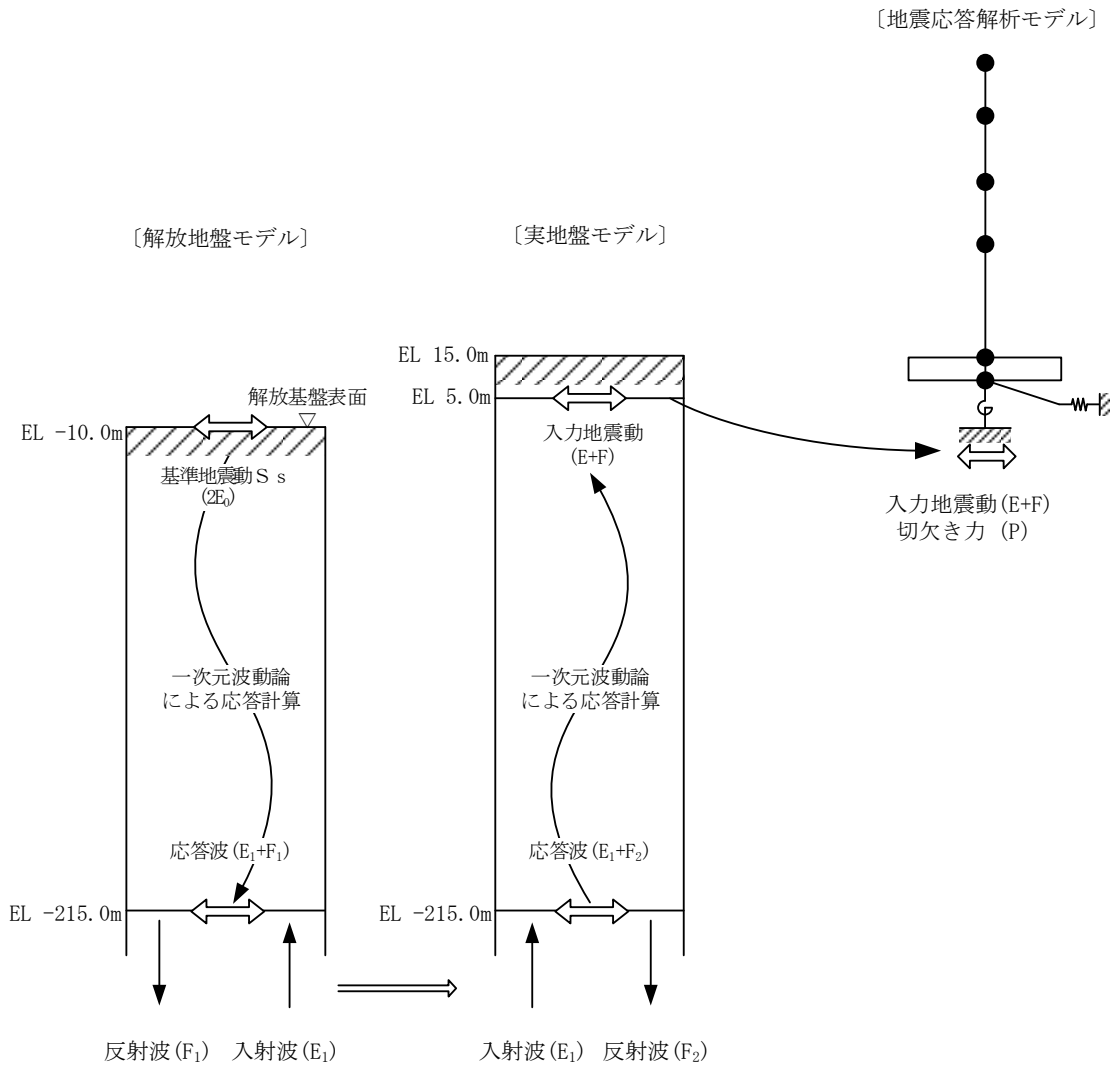


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

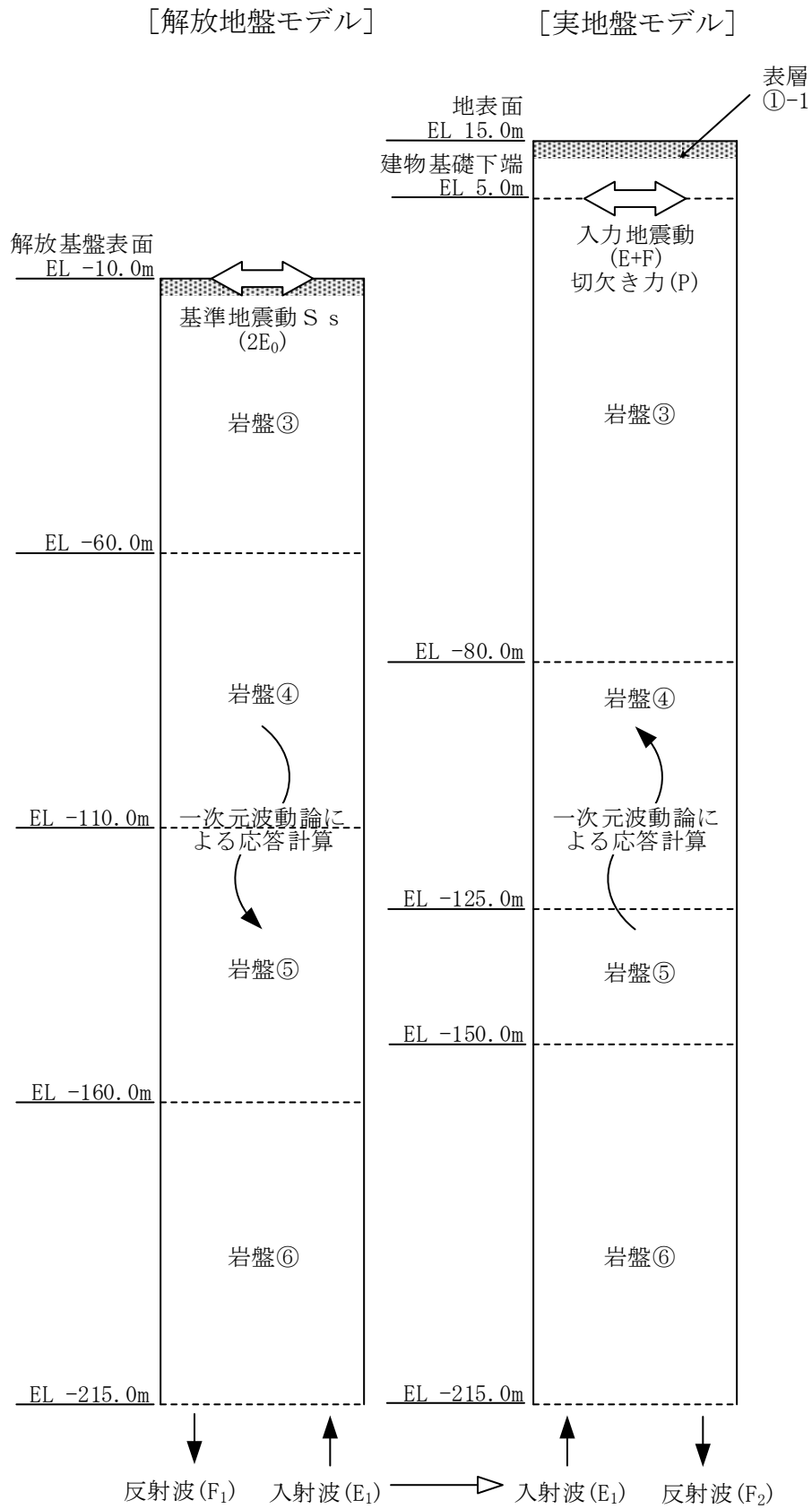
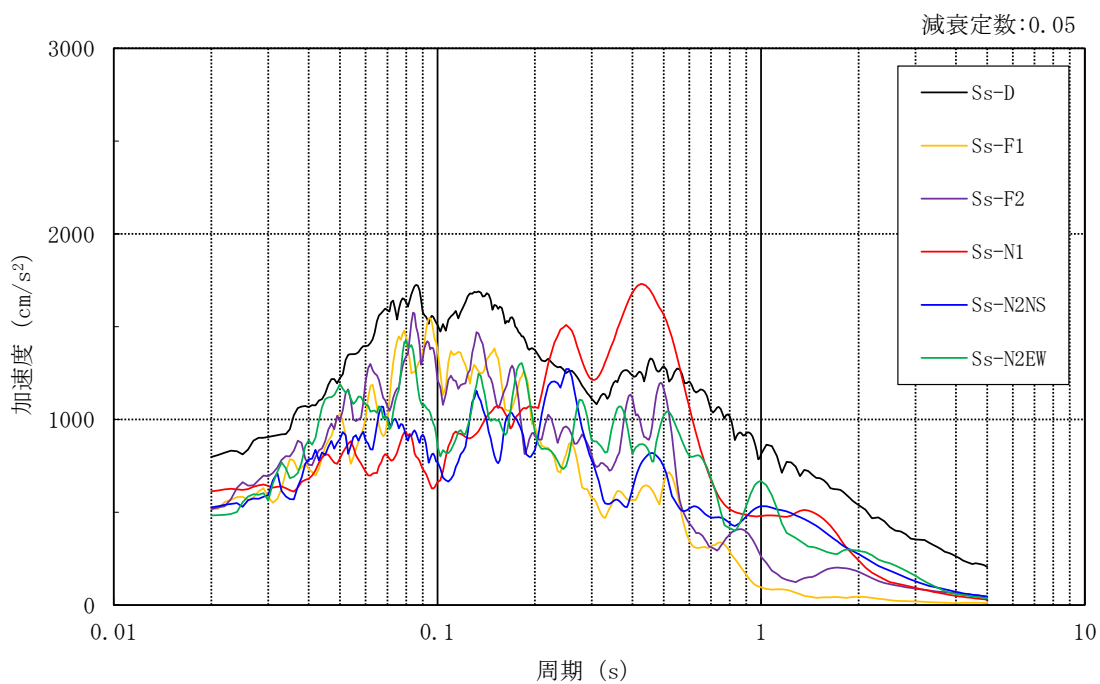
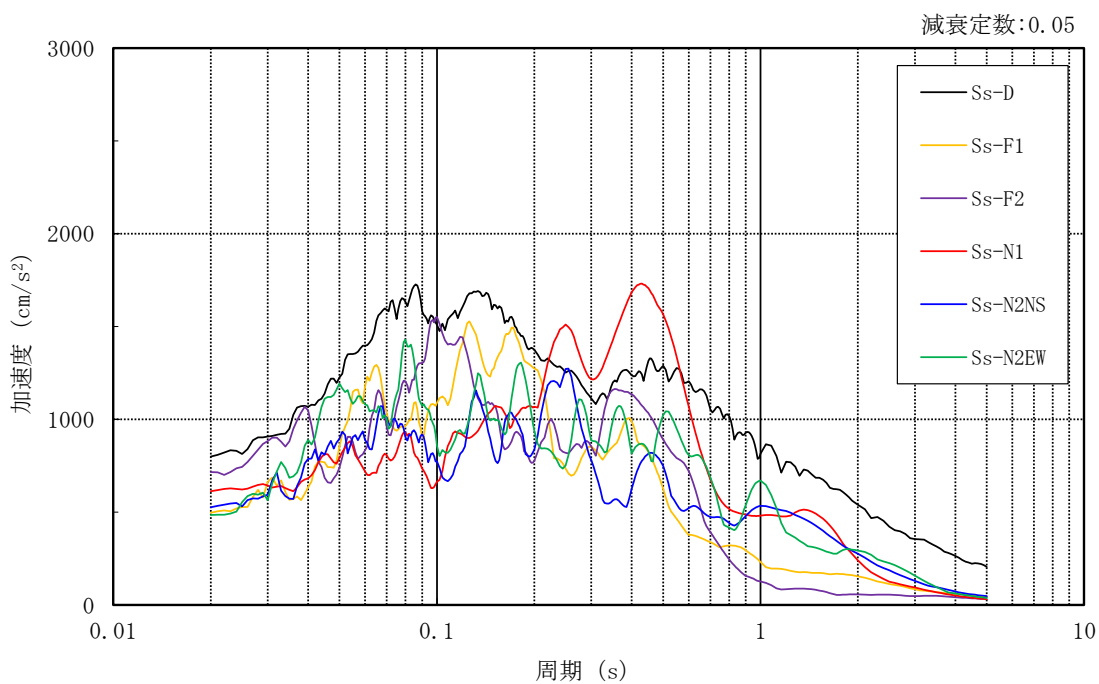


図 3-7 1次元地盤モデル



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EL 5.0m)

3.5.2 解析方法

1号機廃棄物処理建物の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。

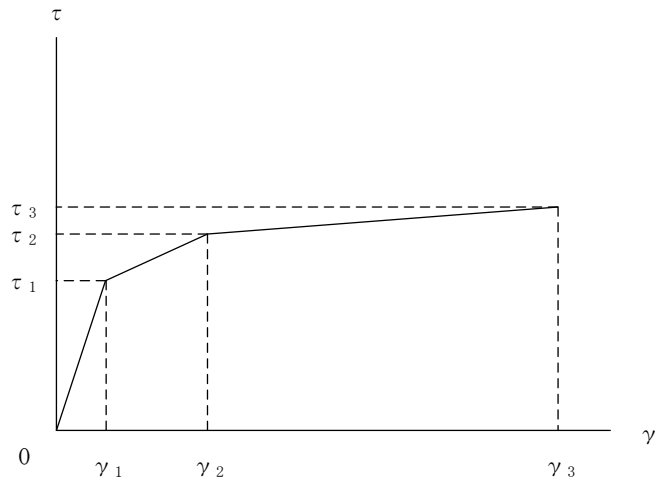
建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-9 に示す。

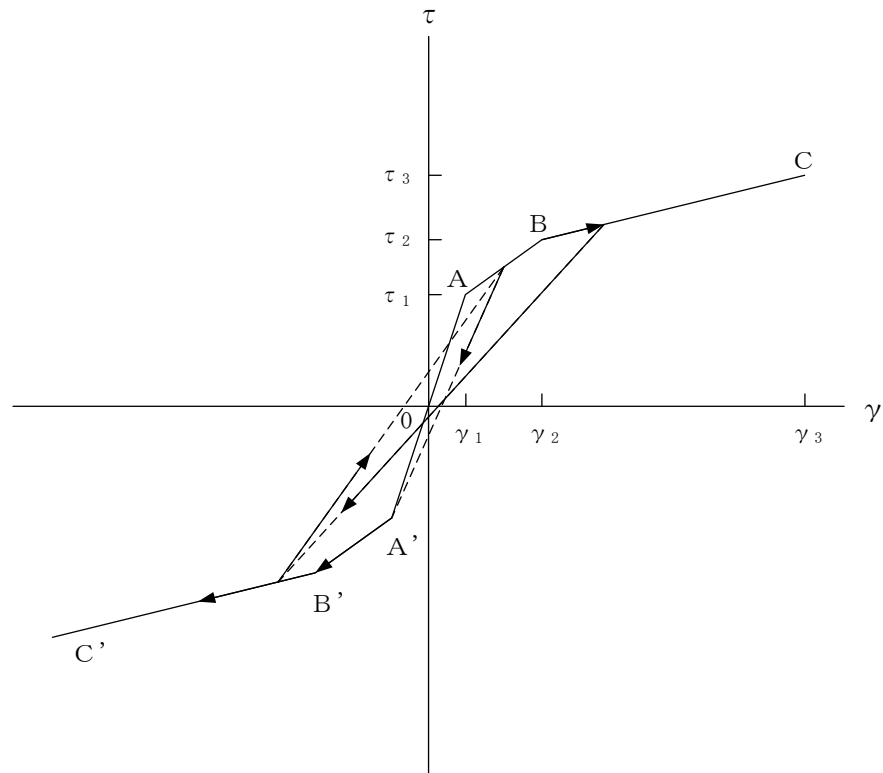


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-10 に示す。

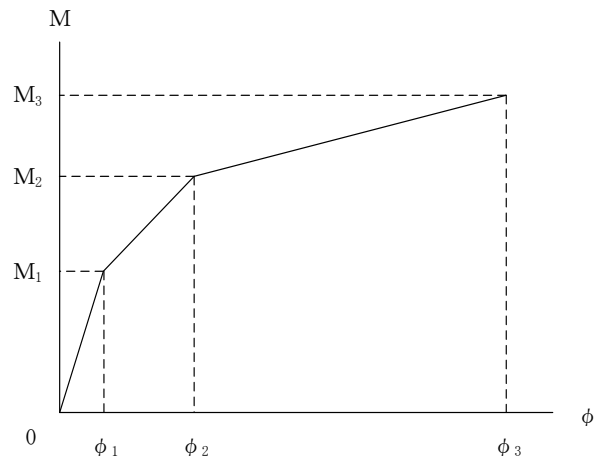


- 0-A 間 : 弾性範囲
- A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- B-C 間 : 負側最大点指向
- 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- 安定ループは面積を持たない。

図 3-10 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-11 に示す。

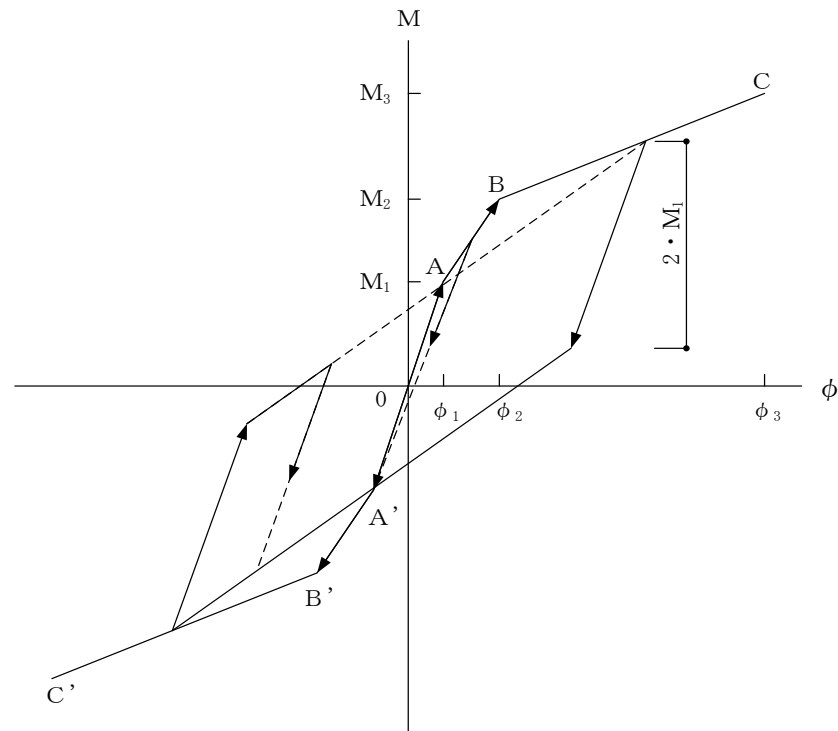


- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
 M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
 M_3 : 終局点の曲げモーメント
 ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
 ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
 ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-12 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を超えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を超えていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-12 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

1号機廃棄物処理建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表3-7～表3-10に示す。

表 3-7 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.0~25.0	1.34	1.81	3.74	0.146	0.508	4.00
25.0~20.0	1.36	1.84	3.59	0.149	0.533	4.00
20.0~15.3	1.76	2.37	4.24	0.191	0.563	4.00
15.3~6.5	1.75	2.36	3.77	0.191	0.581	4.00

表 3-8 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
29.0~25.0	1.44	1.94	3.95	0.157	0.506	4.00
25.0~20.0	1.63	2.21	4.09	0.178	0.533	4.00
20.0~15.3	1.81	2.44	4.36	0.197	0.563	4.00
15.3~6.5	2.03	2.75	4.36	0.222	0.581	4.00

表 3-9 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (N S 方向)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
29.0~25.0	0.769	0.852	1.23	6.01	70.7	1410
25.0~20.0	1.08	1.20	1.65	5.86	63.9	1280
20.0~15.3	1.47	1.76	2.30	6.36	73.2	1470
15.3~6.5	2.73	3.03	3.78	5.80	67.8	1350

表 3-10 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
29.0~25.0	0.412	0.500	0.731	8.05	87.3	1750
25.0~20.0	0.598	0.760	1.09	7.10	90.6	1810
20.0~15.3	1.10	1.35	1.78	5.67	64.2	1280
15.3~6.5	2.10	2.50	3.23	6.83	68.5	1360

3.5.4 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-11に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-12に示す。

表3-11 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%)	
ケース4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

表 3-12 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

層番号	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	127	153	102
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

3.6 評価方法

1号機廃棄物処理建物の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.6.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す1号機廃棄物処理建物の地震応答解析モデルによる解析結果とVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算定し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算定する際の基準点は、各建物の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算定する。

さらに、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建物の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 0.19×10^{-3} (EL 20.0m ~ EL 15.3m, EW 方向, $S_s - D$) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.19×10^{-3} (EL 20.0m ~ EL 15.3m, EW 方向, ケース 2, $S_s - D$) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容限界
N S	0.18 ($S_s - D$)	0.18 ($S_s - D$)	0.18 ($S_s - D$)	0.19 ($S_s - D$)	4.0
E W	0.19 ($S_s - D$)	0.19 ($S_s - D$)	0.19 ($S_s - D$)	0.19 ($S_s - D$)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2$ NS 及び $S_s - N2$ EW に対して実施。

4.2 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する 1 号機廃棄物処理建物及び制御室建物間の最大相対変位を表 4-2 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 22.05m で 16.99mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、17.58mm (ケース 4, $S_s - D$) であり、許容限界 (50mm) を超えないことを確認した。

表 4-2 1 号機廃棄物処理建物と制御室建物の最大相対変位
(NS 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

1 号機廃棄物 処理建物		制御室建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.05	①	22.05	16.99 ($S_s - D$)	17.15 ($S_s - D$)	15.97 ($S_s - D$)	17.58 ($S_s - D$)	50

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

注記* : 制御室建物の質点① (EL 22.05m) の応答変位に加算する 1 号機廃棄物処理建物の応答変位は、1 号機廃棄物処理建物の上下質点間 (EL 25.0m~EL 20.0m) で線形補間して算定。

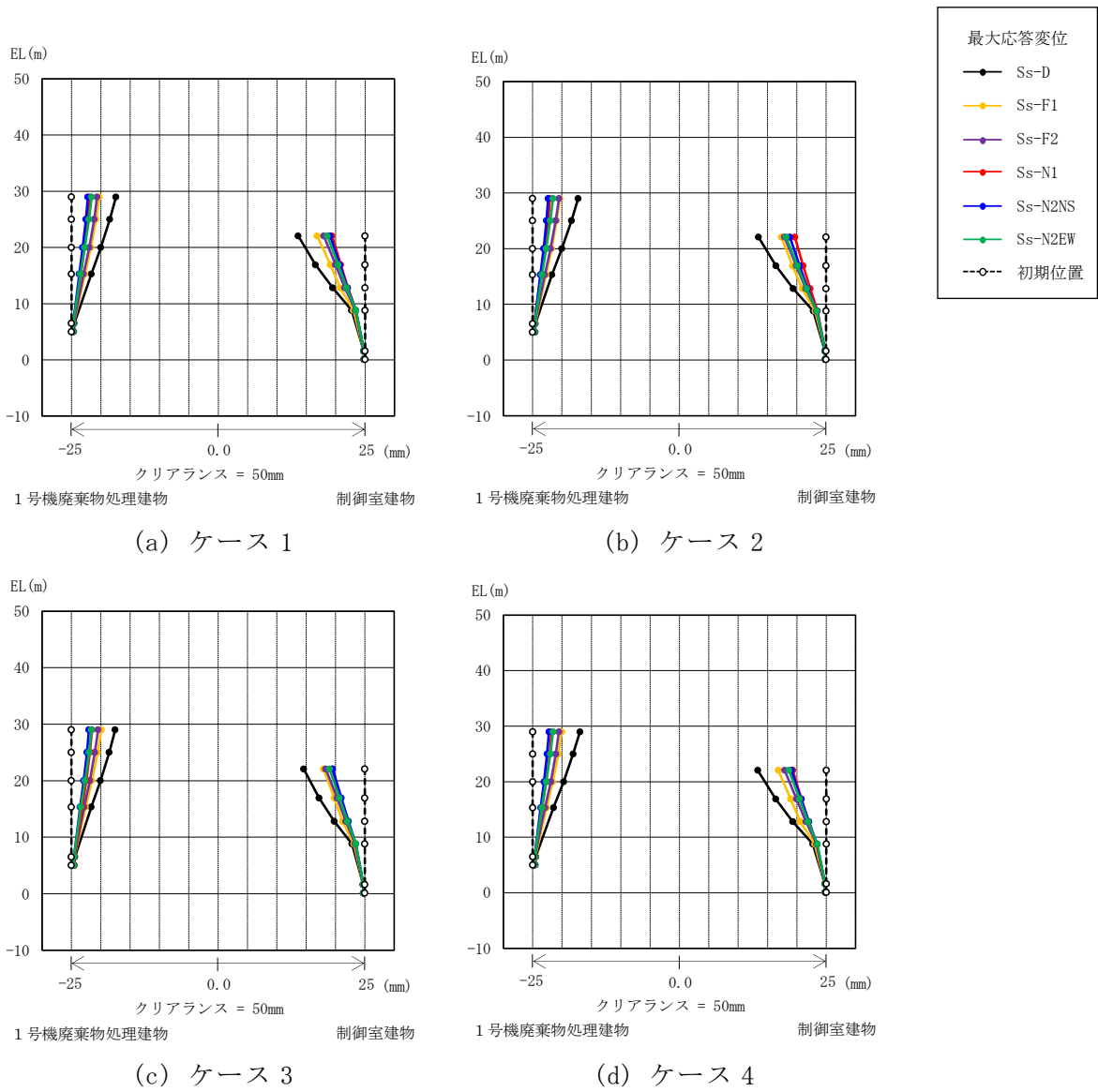


図 4-1 1号機廃棄物処理建物と制御室建物の最大応答変位とクリアランス (NS方向)

基準地震動 S_s に対する 1 号機廃棄物処理建物及び廃棄物処理建物間の最大相対変位を表 4-3 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-2 に示す。

その結果、ケース 1（工認モデル）の最大相対変位は、EL 22.25m で 21.02mm（ $S_s - D$ ）である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、21.34mm（ケース 4， $S_s - D$ ）であり、許容限界（100mm）を超えないことを確認した。

なお、1 号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物間の EL 22.25m から上部においては、クリアランスが十分に大きいため（6m 以上）、評価対象外としている。

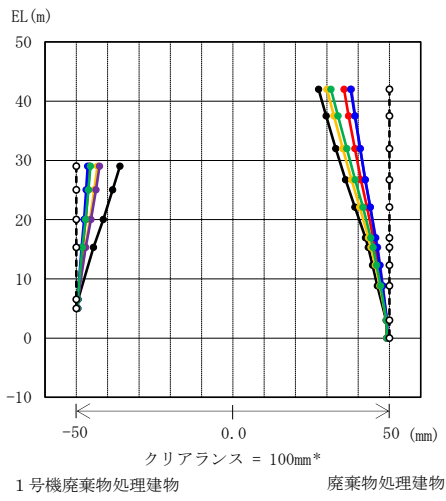
表 4-3 1 号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物の最大相対変位
（EW 方向，絶対値和）

（単位：mm）

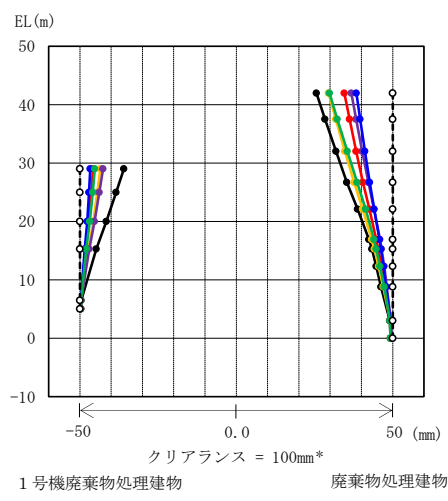
1 号機廃棄物 処理建物		廃棄物 処理建物		ケース 1 （工認モデル）	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.25	*	22.25	21.02 ($S_s - D$)	21.16 ($S_s - D$)	19.86 ($S_s - D$)	21.34 ($S_s - D$)	100

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$ ， $S_s - F1$ ， $S_s - F2$ ， $S_s - N1$ ， $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

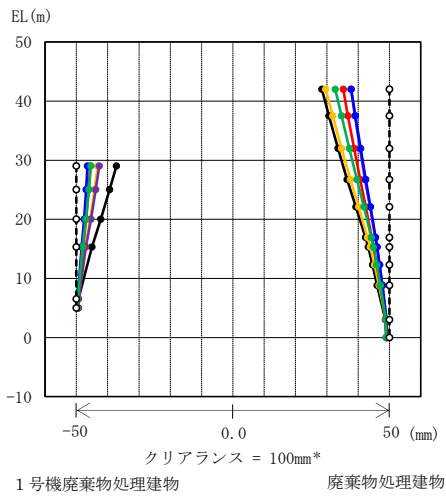
注記*：1 号機廃棄物処理建物の応答変位は上下質点間（EL 25.0m～EL 20.0m）で線形補間して算定。また、廃棄物処理建物の応答変位は上下質点間（EL 26.7m～EL 22.1m）で線形補間して算定。



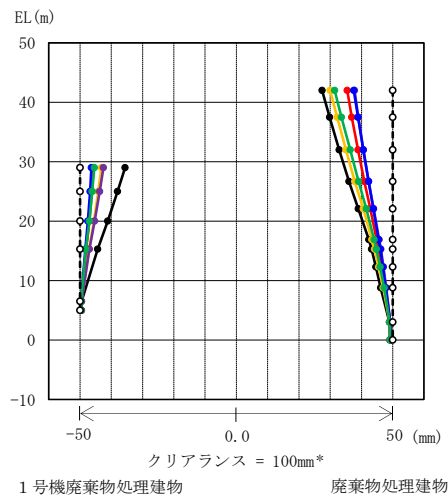
(a) ケース 1



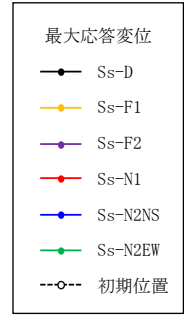
(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4



注記* : EL 22.25m から上部のクリアランスは 6m 以上。

図 4-2 1号機廃棄物処理建物と廃棄物処理建物の最大応答変位とクリアランス (E W方向)

VI-2-11-2-1-4 サイトバンク建物の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 設計に用いる地震波	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	15
3.4 許容限界	16
3.5 解析方法	17
3.5.1 地震応答解析モデル	17
3.5.2 解析方法	24
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	25
3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性	38
3.5.5 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法	39
3.5.6 材料物性の不確かさ	41
3.6 評価方法	43
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	43
4. 評価結果	44
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	44

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、サイトバンカ建物が防波壁に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、防波壁の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、サイトバンカ建物の構造物全体としての変形性能の評価を実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

サイトバンカ建物の設置位置を図2-1に示す。

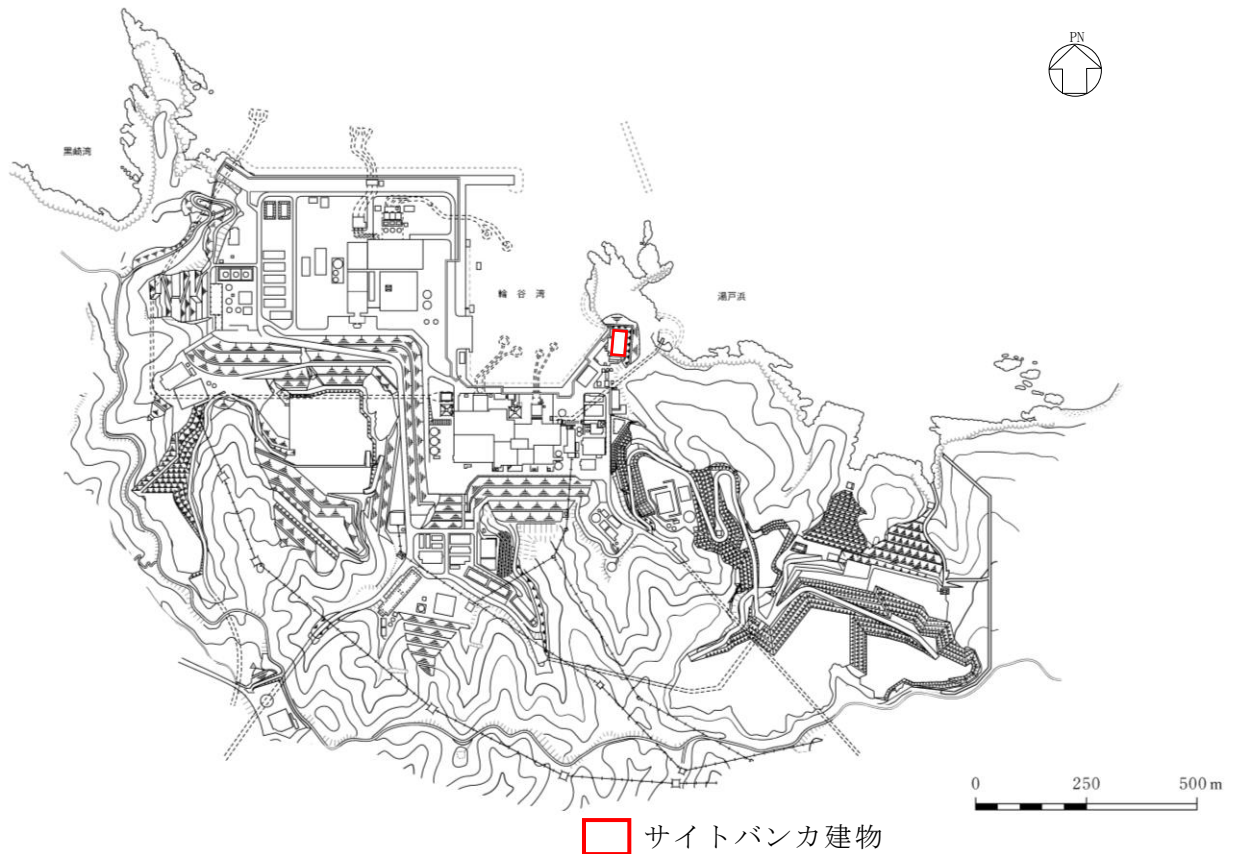


図2-1 サイトバンカ建物の設置位置

2.2 構造概要

サイトバンカ建物は、3階建の鉄筋コンクリート造の建物である。サイトバンカ建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に示す。

サイトバンカ建物の平面は、60.0m*（NS）×30.0m*（EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは29.975mである。

サイトバンカ建物の基礎は厚さ1.5m～2.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

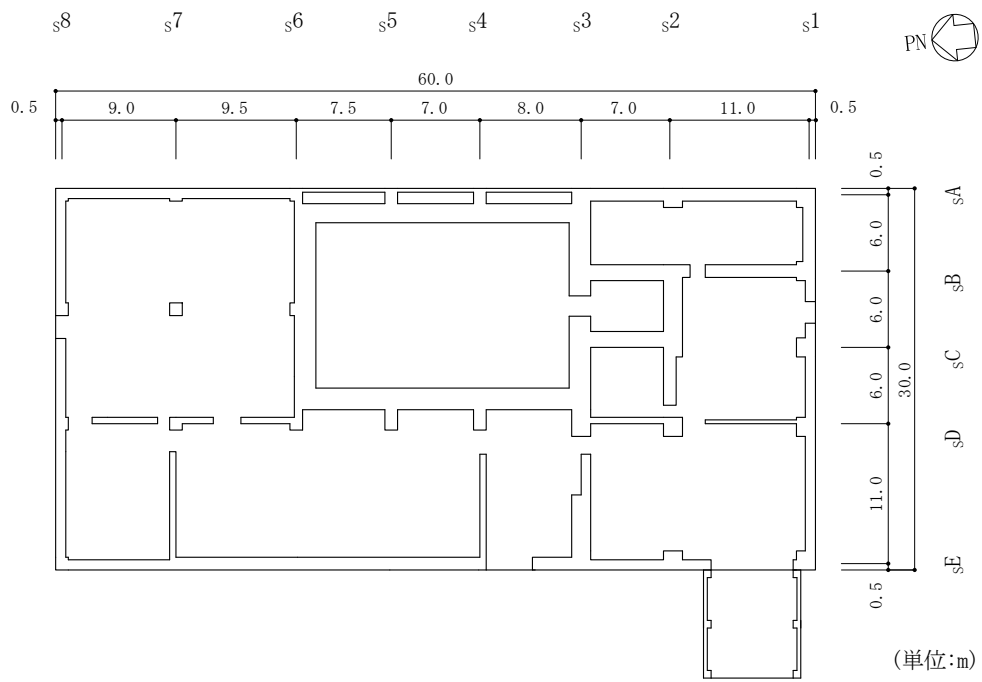


図 2-2 サイトバンカ建物の概略平面図 (EL 8.8m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

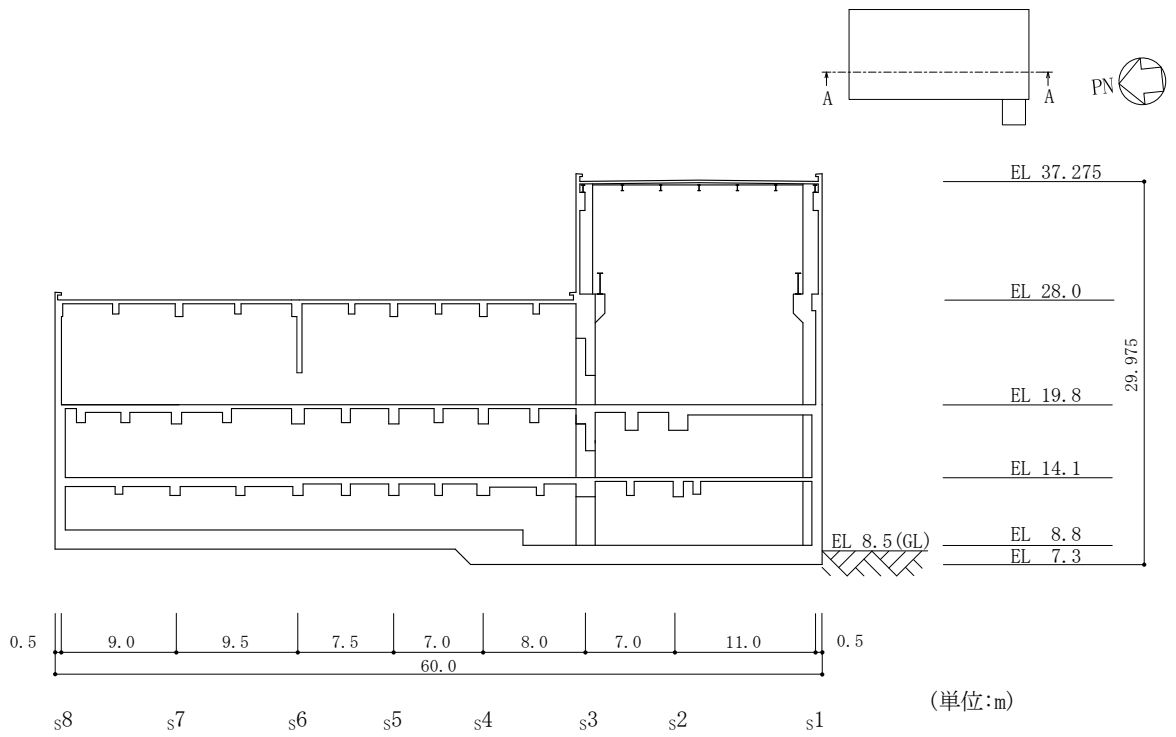


図 2-3(1) サイトバンカ建物の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

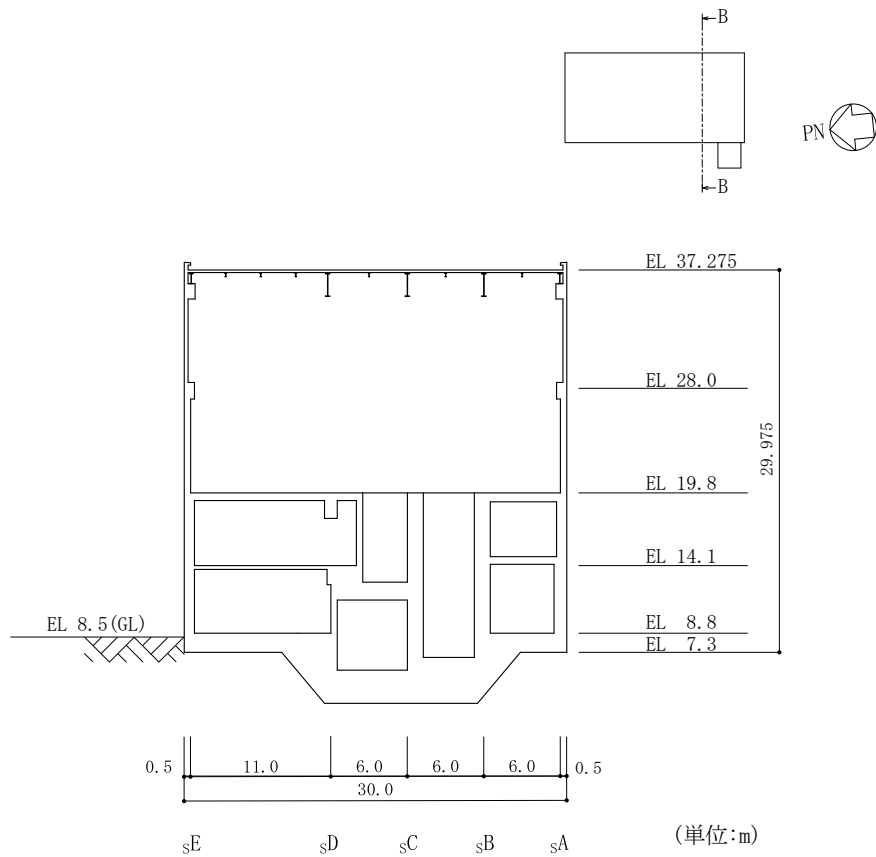


図 2-3(2) サイトバンカ建物の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

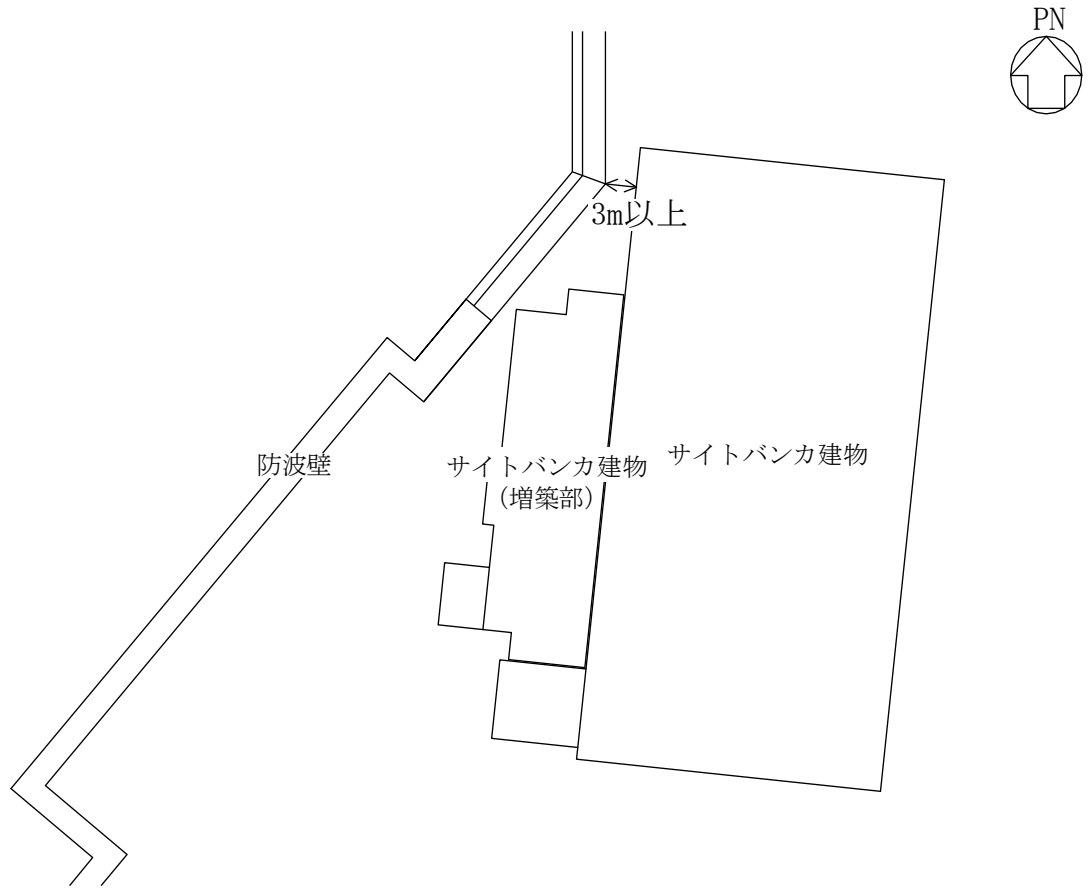


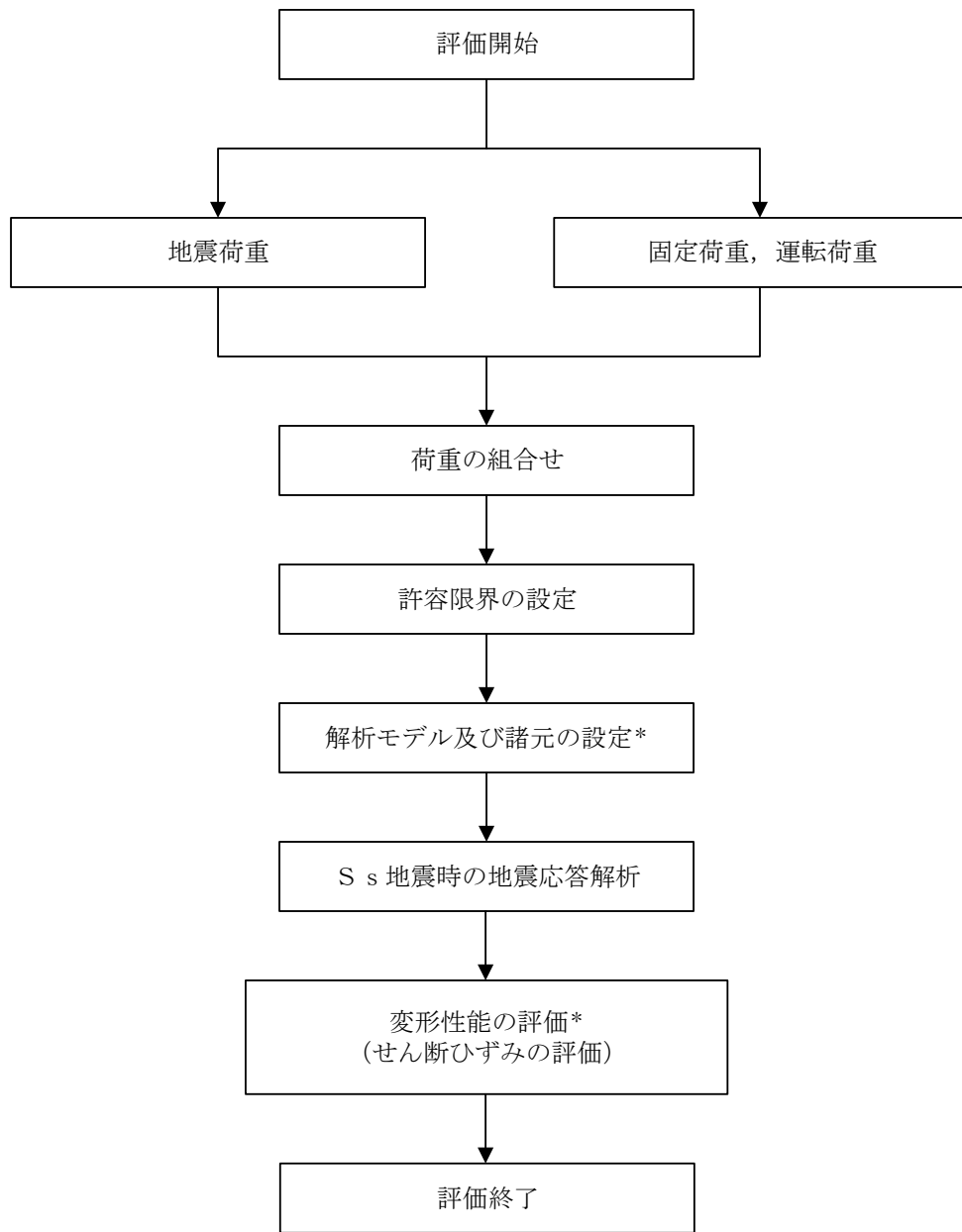
図 2-4 建物配置図

2.3 評価方針

サイトバンカ建物は、防波壁と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価を行う。

サイトバンカ建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。サイトバンカ建物は、防波壁と 3m 以上離れており、サイトバンカ建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 に波及的影響の評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 サイトバンカ建物の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

サイトバンカ建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

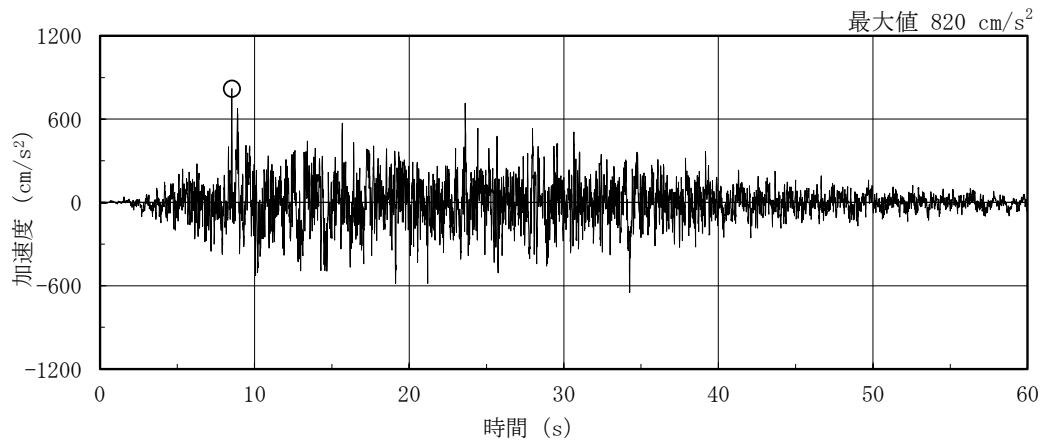
構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

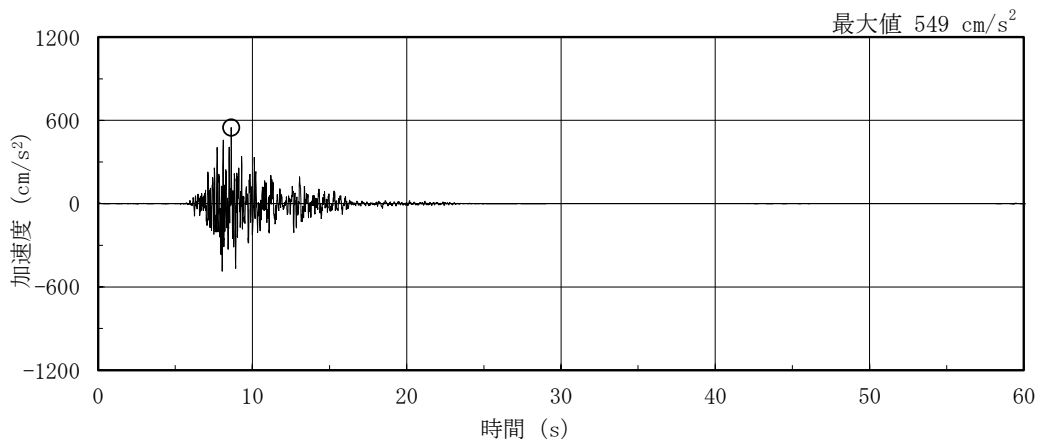
3.2 設計に用いる地震波

サイトバンカ建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である防波壁の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

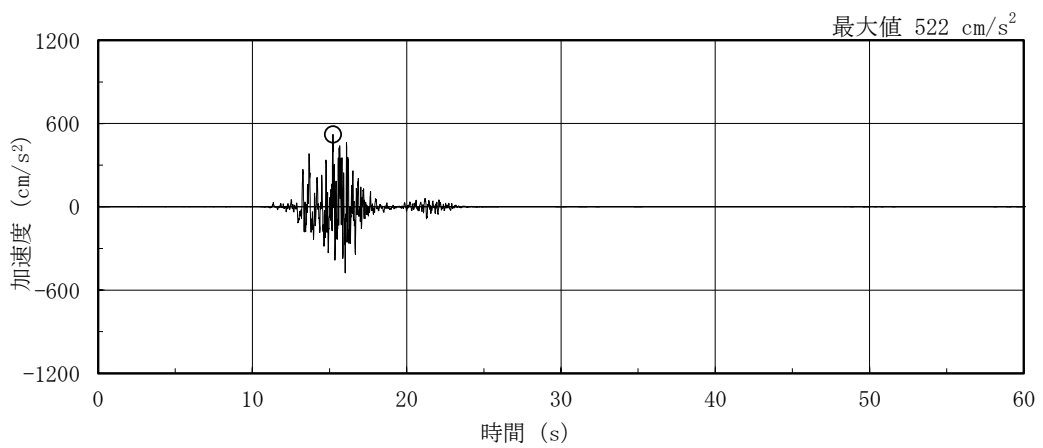
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-1～図 3-3 に示す。



(a) S s - D

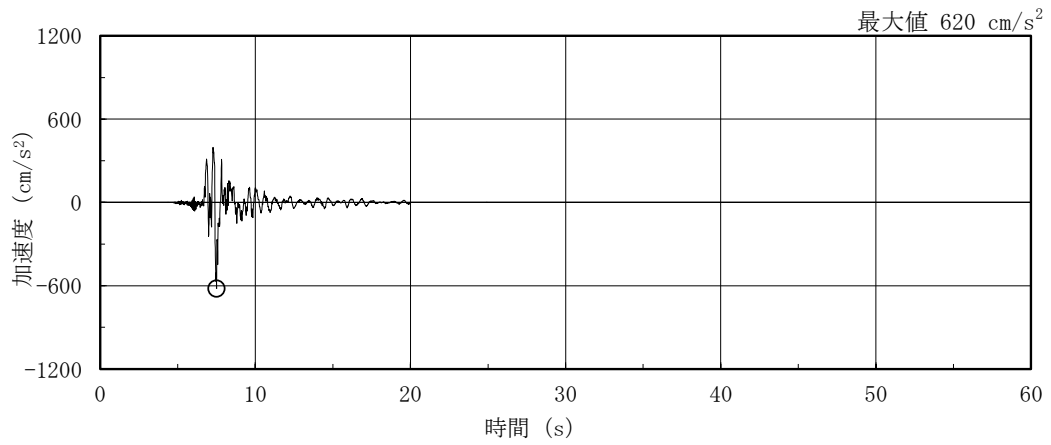


(b) S s - F 1

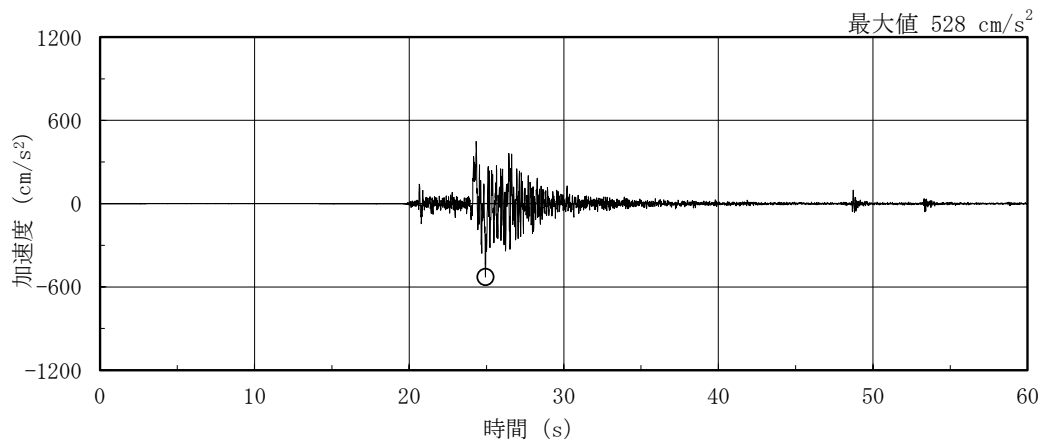


(c) S s - F 2

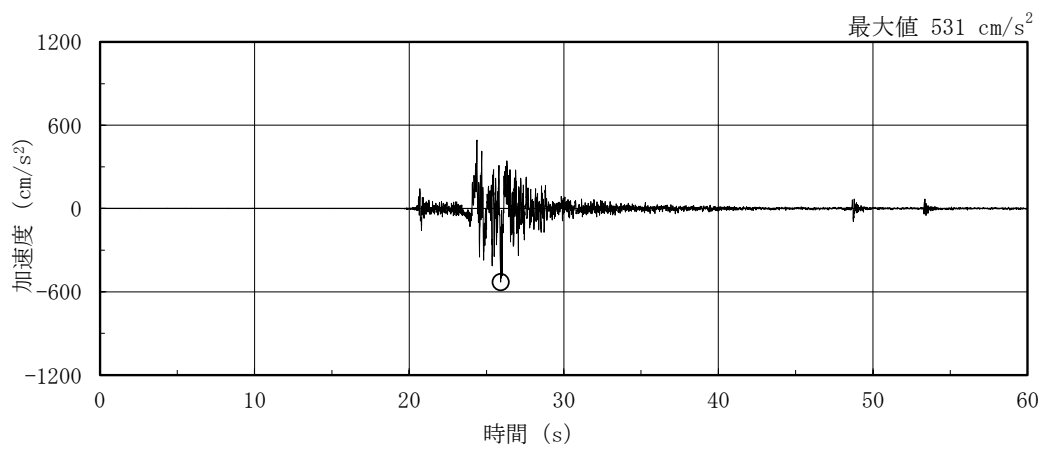
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

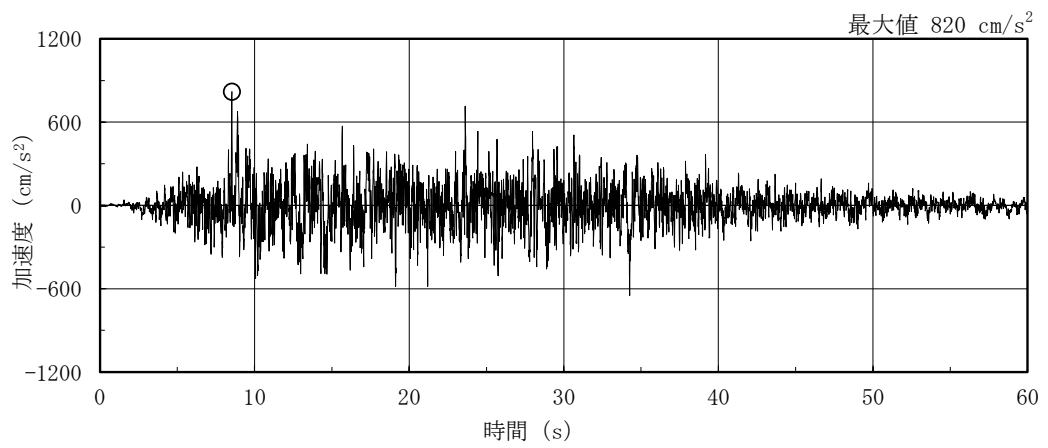


(e) S s - N 2 N S

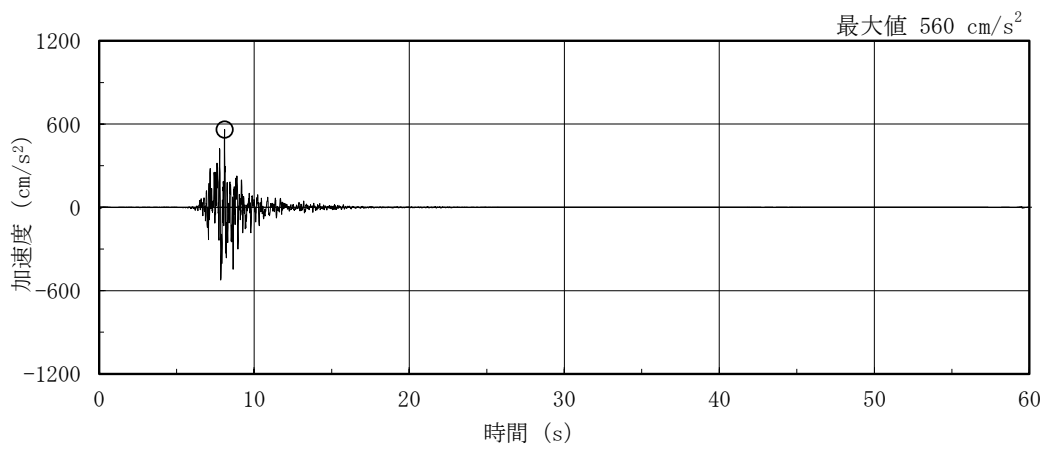


(f) S s - N 2 E W

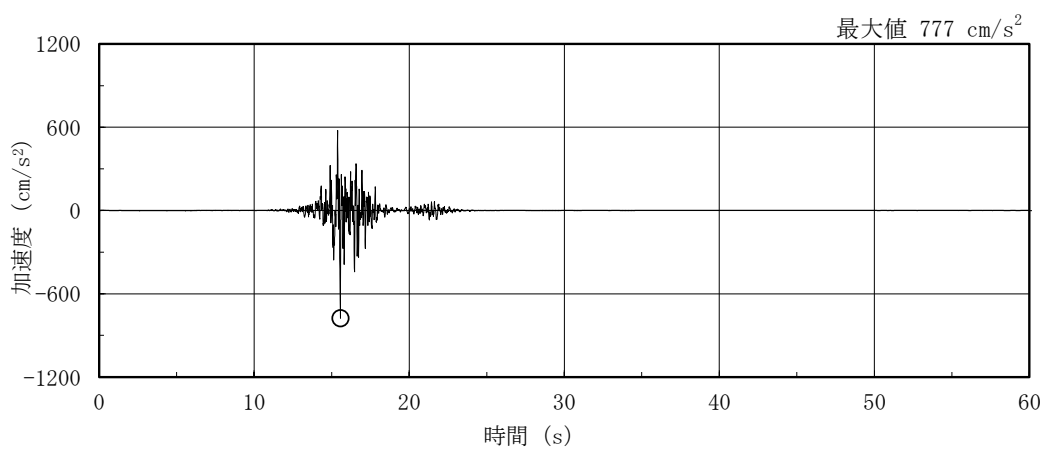
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

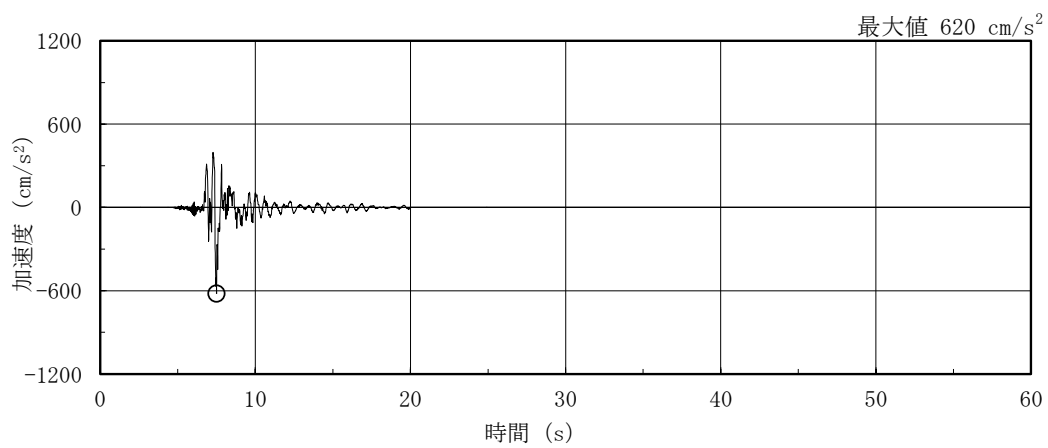


(b) S s - F 1

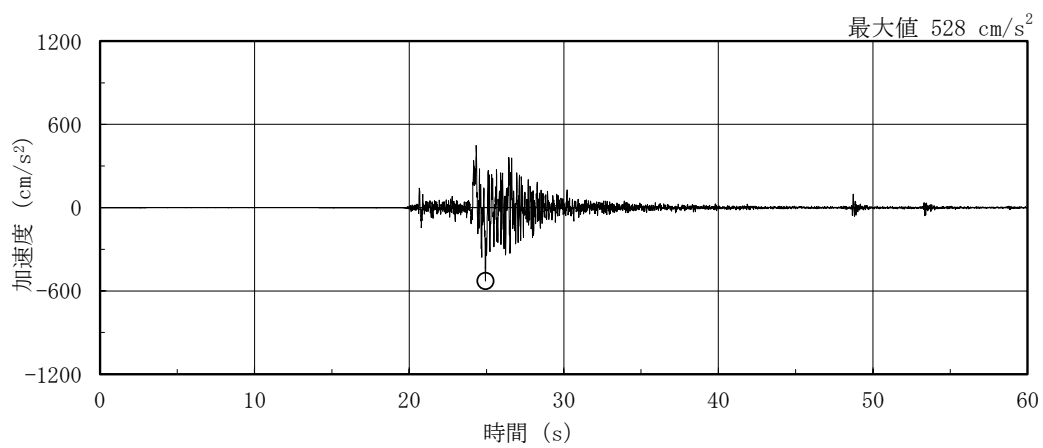


(c) S s - F 2

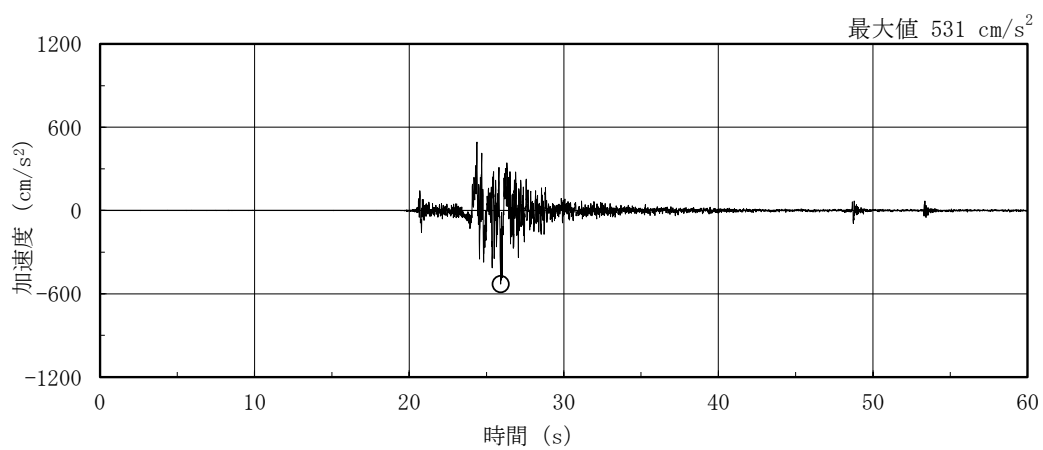
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

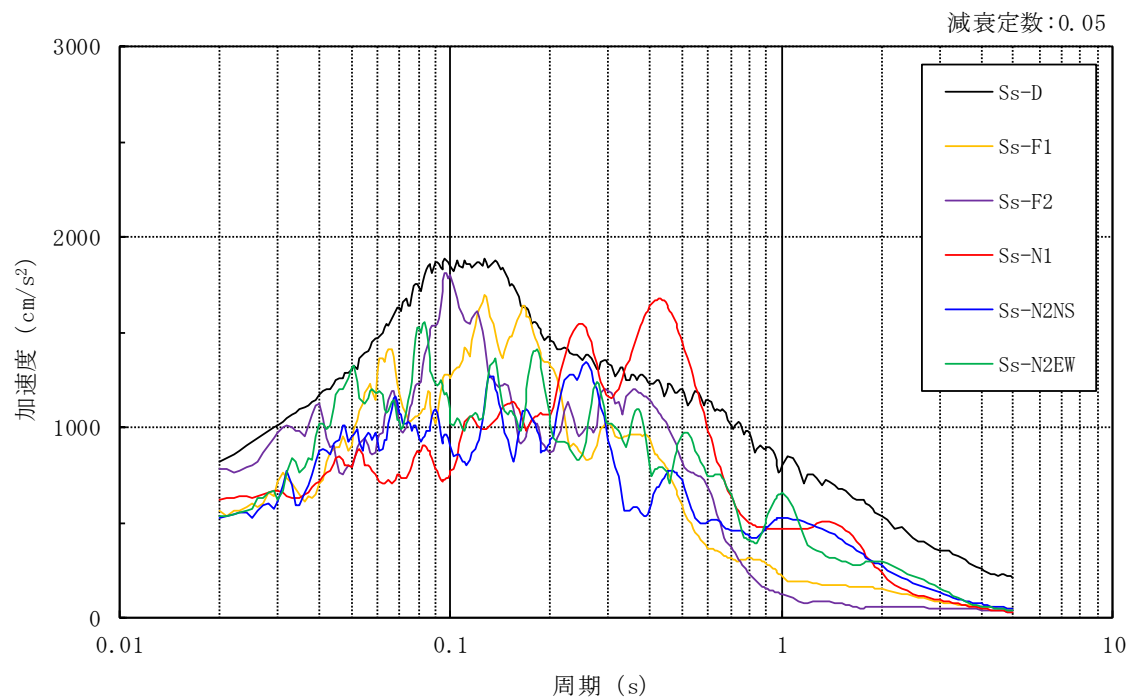
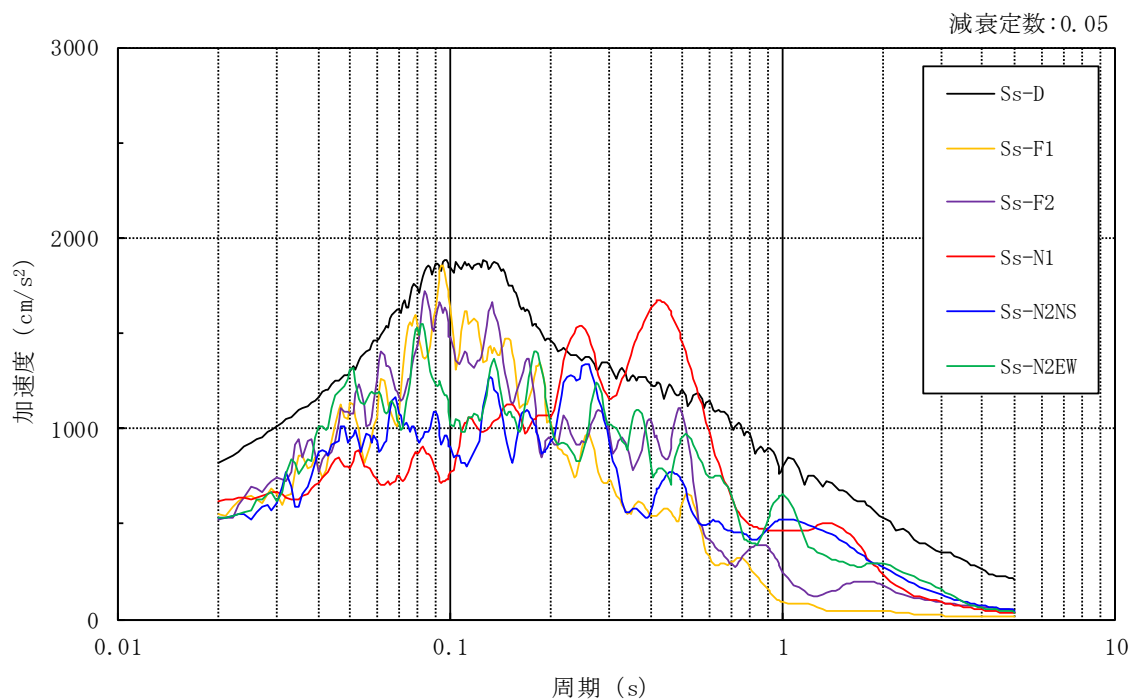


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

サイトバンカ建物の防波壁に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
防波壁に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-3に示す。

表3-3 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=23.5 (N/mm ²) (Fc=240 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.25×10 ⁴	9.38×10 ³	5	—

地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っている。

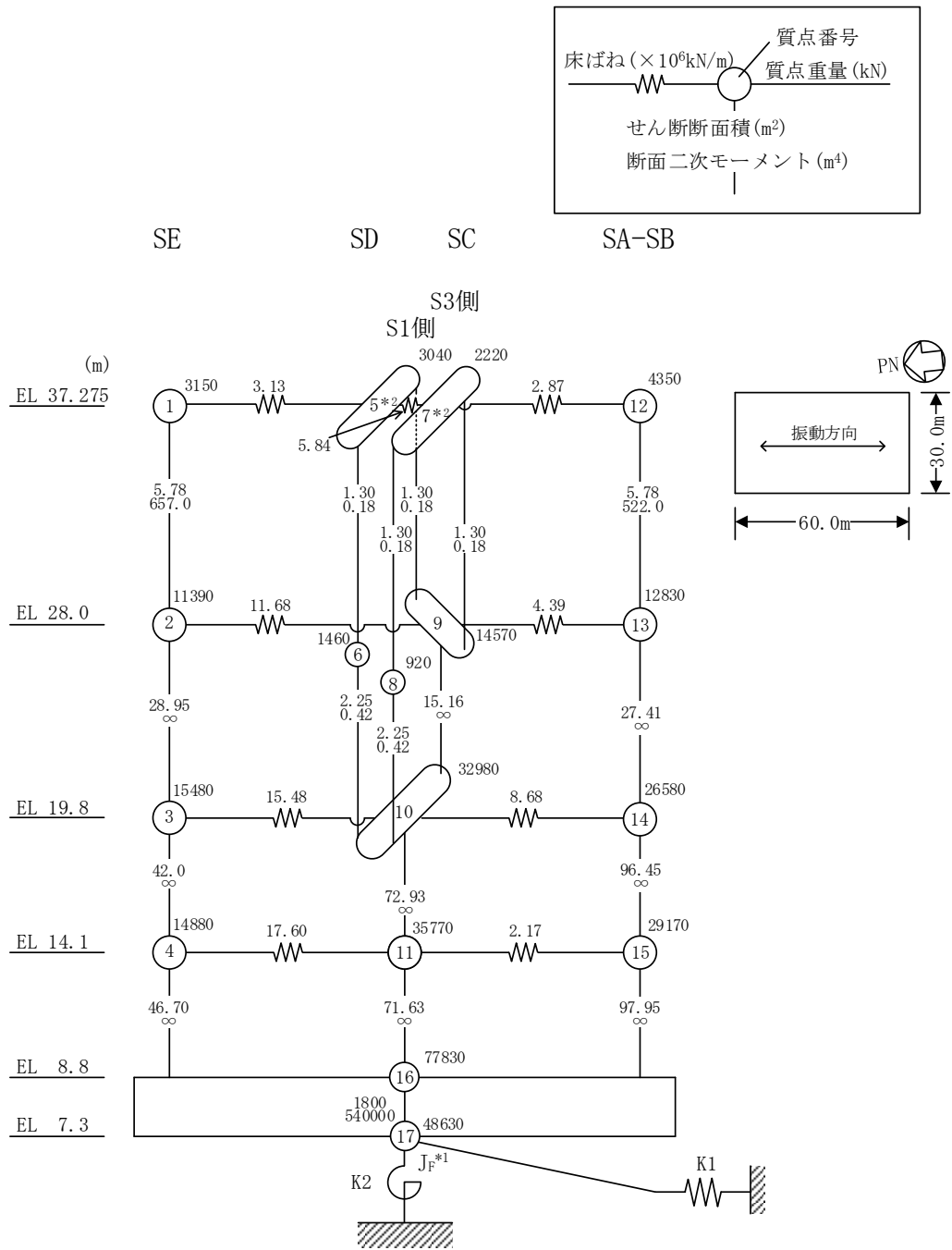
地震応答解析モデルを図3-4に示す。なお、図3-5に示す誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルについては、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008（（社）日本電気協会）」（以下「J E A C 4 6 0 1 -2008」という。）を参考に、水平加振により励起される上下応答を評価するために、耐震壁の軸剛性を考慮した質点系モデルである鉛直方向モデル及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばね K_{VR} についても考慮している。

基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）により、振動アドミタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばねの定数化の概要を図3-6に、地盤ばね定数及び減衰係数を表3-4及び表3-5に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMI THF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

なお、誘発上下動を考慮する場合の鉛直方向モデルの基礎底面地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばね定数の評価法と同様、振動アドミタンス理論に基づき求めた鉛直ばねを、近似法により定数化して用いる。

入力地震動は、「3.1 評価対象部位及び評価方針」に示す基準地震動 S_s を基礎底面レベルに直接入力する。なお、基準地震動 $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ に関しては、サイトバンカ建物の配置に応じて方位を補正した波形を用いる。

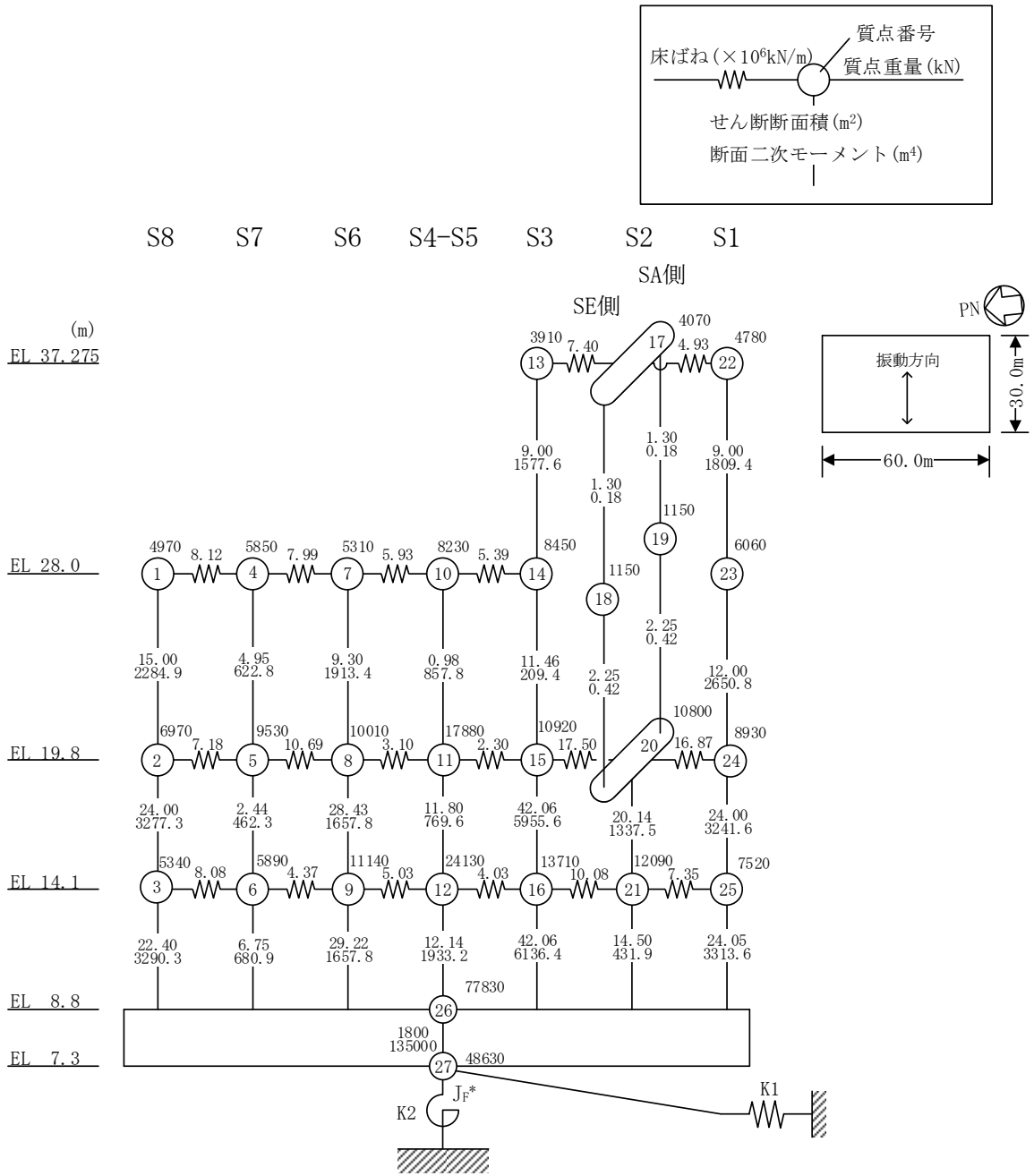
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-7に示す。



注記*1 : 回転慣性重量 ($97.29 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

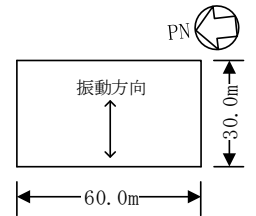
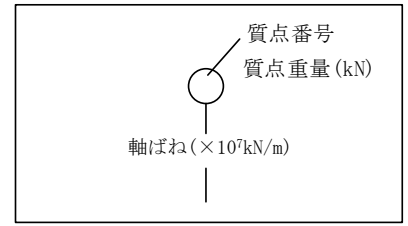
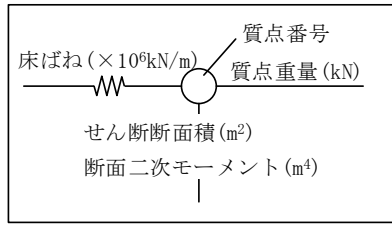
*2 : せん断断面積 (0.83m^2), 断面二次モーメント (0.35m^4)

図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)



注記* : 回転慣性重量 ($25.29 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)



S2 補 VI-2-11-2-1-4 R0

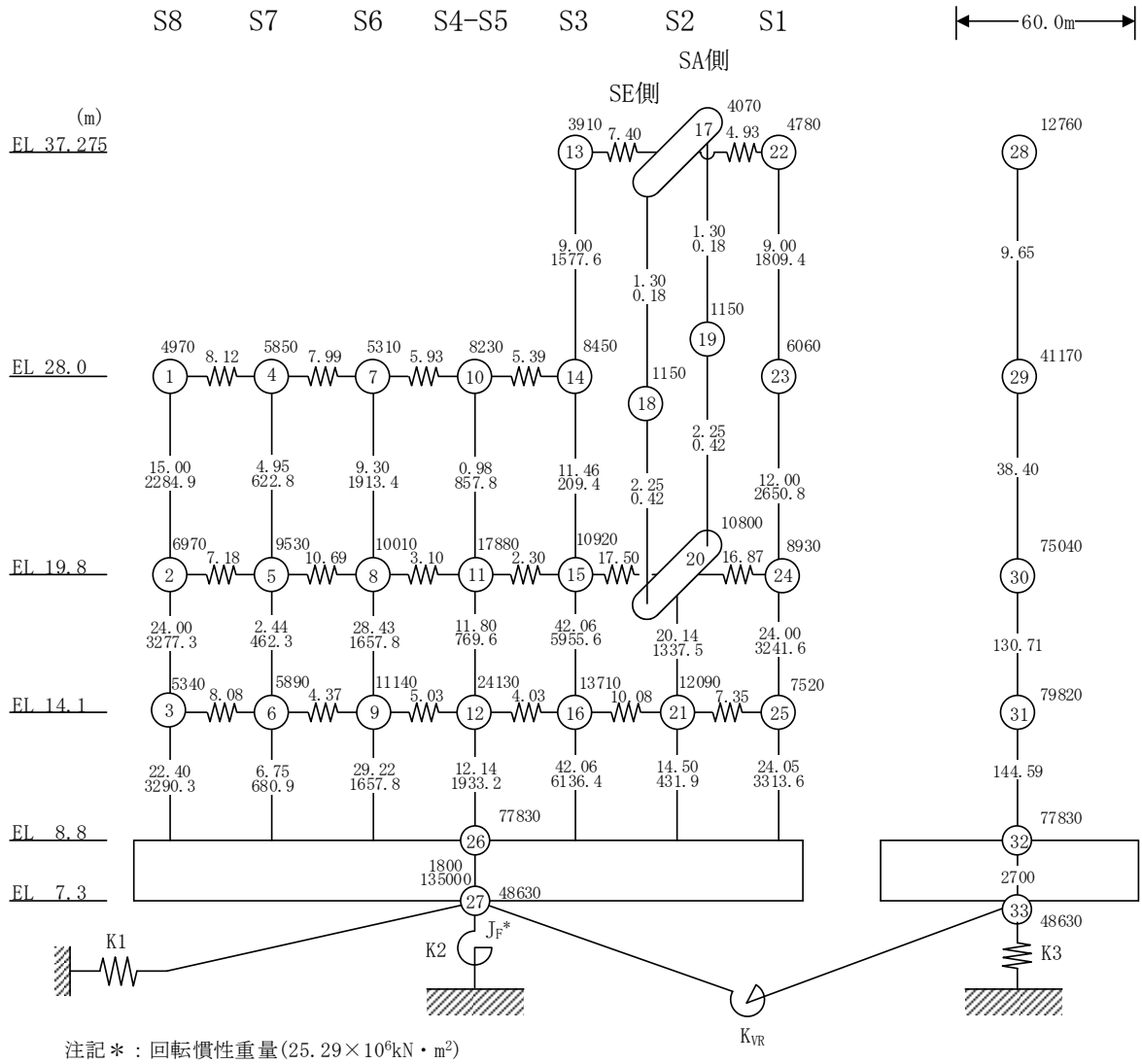
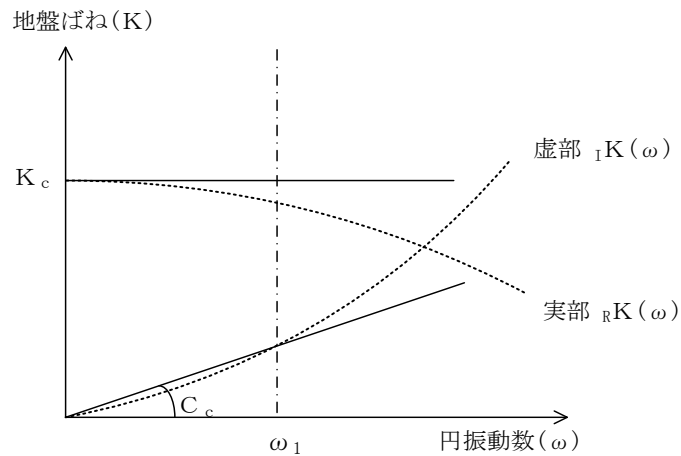


図 3-5 地震応答解析モデル (EW方向)
(誘発上下動を考慮する場合)



ばね定数 : 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数 : 地盤-建物連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	7.05×10^8 (kN/m)	5.72×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	5.90×10^{11} (kN・m/rad)	1.57×10^9 (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	7.49×10^8 (kN/m)	6.49×10^6 (kN・s/m)
K2	底面・回転	2.18×10^{11} (kN・m/rad)	1.97×10^8 (kN・m・s/rad)

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (誘発上下動を考慮する場合の鉛直方向)

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K3	底面・鉛直	9.46×10^8 (kN/m)	1.22×10^7 (kN・s/m)

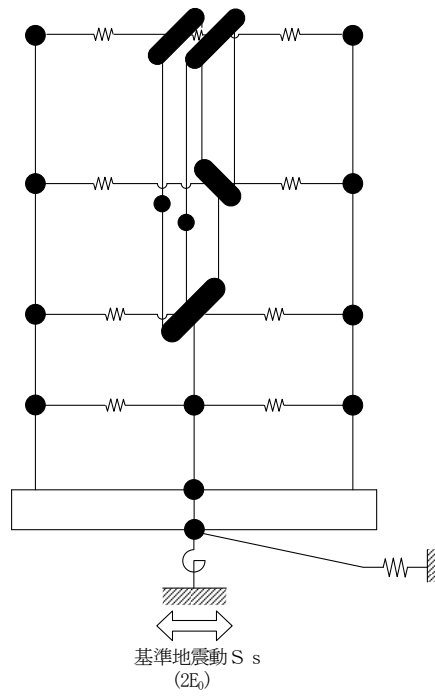


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

3.5.2 解析方法

サイトバンク建物の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

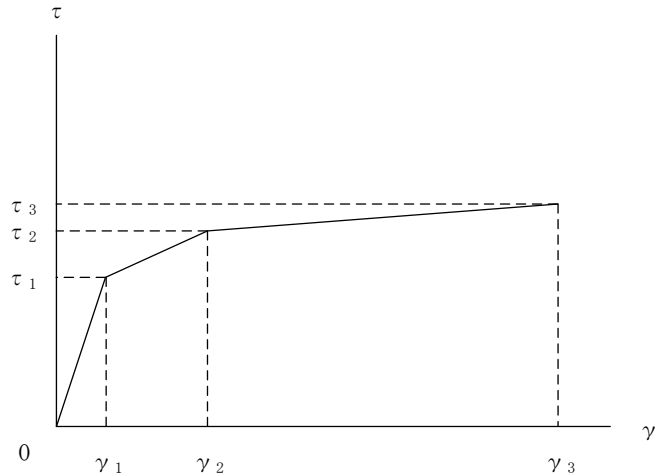
建物・構築物の地震応答解析は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-8 に示す。

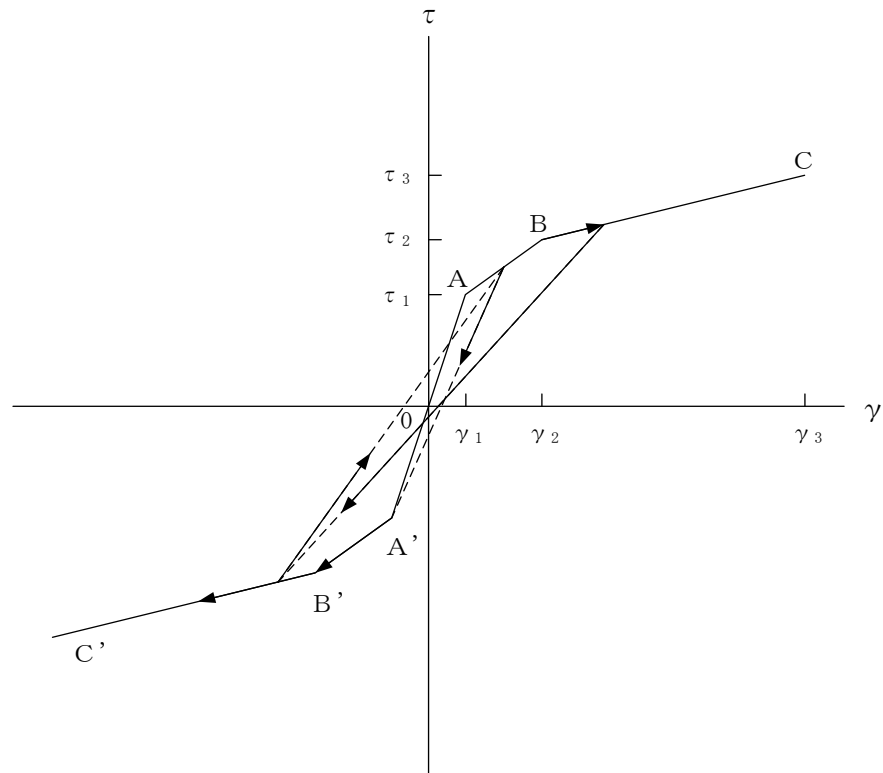


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-9 に示す。

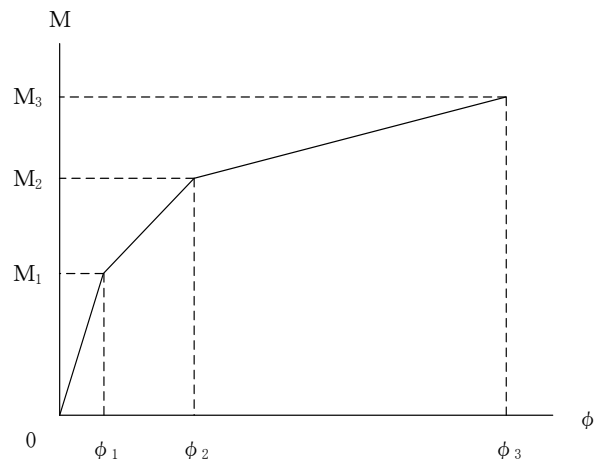


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-10 に示す。



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

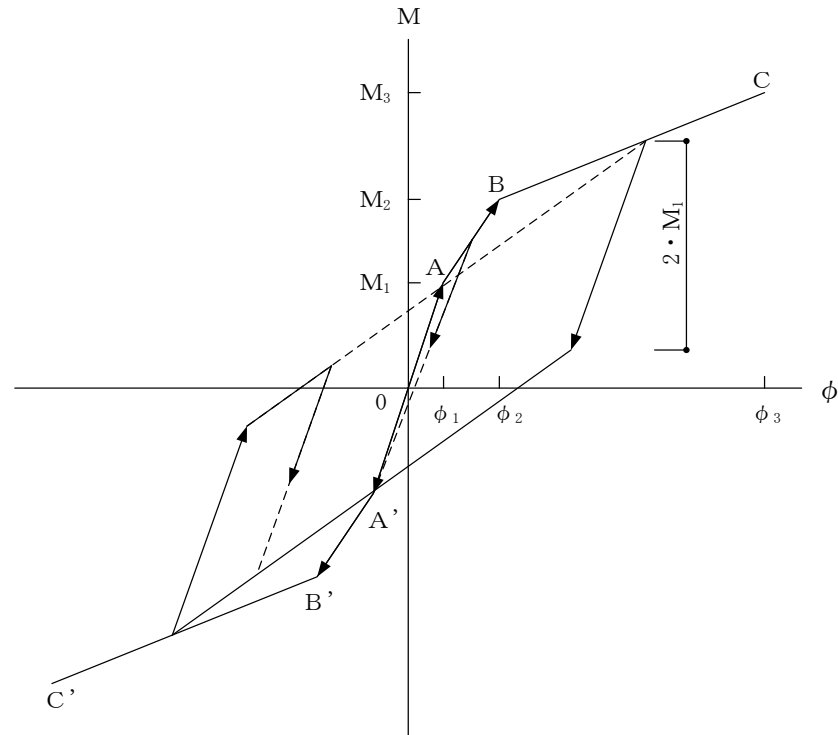
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-11 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を過ぎていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を過ぎていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

サイトバンク建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-6(1) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

SE

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	1.69	2.29	3.74	0.181	0.542	4.00
28.0~19.8	1.71	2.31	3.87	0.182	0.546	4.00
19.8~14.1	1.79	2.41	2.64	0.190	0.571	4.00
14.1~8.8	1.90	2.56	2.92	0.202	0.607	4.00

SD(S1側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

SC(S1側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

SD(S3側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					

注記* : 線形部材

表 3-6(2) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

SC (S3側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					

SC-SD (S3側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
28.0~19.8	1.72	2.33	4.09	0.184	0.567	4.00

SC-SD

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
19.8~14.1	1.61	2.17	2.91	0.171	0.566	4.00
14.1~8.8	1.80	2.42	2.67	0.191	0.617	4.00

SA-SB

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	1.64	2.21	3.87	0.175	0.525	4.00
28.0~19.8	1.65	2.23	3.88	0.176	0.535	4.00
19.8~14.1	1.68	2.27	3.04	0.179	0.538	4.00
14.1~8.8	1.75	2.37	3.02	0.187	0.562	4.00

注記* : 線形部材

表 3-7(1) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W方向)

S8

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
28.0~19.8	1.66	2.25	3.89	0.177	0.532	4.00
19.8~14.1	1.75	2.36	3.68	0.186	0.559	4.00
14.1~8.8	1.86	2.51	3.74	0.198	0.594	4.00

S7

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
28.0~19.8	1.81	2.45	3.90	0.193	0.580	4.00
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	2.39	3.22	4.15	0.255	0.764	4.00

S6

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
28.0~19.8	1.73	2.34	4.21	0.184	0.553	4.00
19.8~14.1	1.67	2.25	3.38	0.178	0.543	4.00
14.1~8.8	1.72	2.32	3.07	0.183	0.576	4.00

S4-S5

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
28.0~19.8	—*					
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	1.07	1.44	1.77	0.114	0.767	4.00

注記* : 線形部材

表 3-7(2) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W方向)

S3

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	1.69	2.28	4.17	0.180	0.539	4.00
28.0~19.8	1.52	2.06	2.12	0.162	0.567	4.00
19.8~14.1	1.77	2.39	3.11	0.189	0.565	4.00
14.1~8.8	1.88	2.54	3.19	0.200	0.601	4.00

S2(SA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2(SE側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
19.8~14.1	1.52	2.05	2.96	0.162	0.559	4.00
14.1~8.8	1.96	2.65	3.19	0.209	0.628	4.00

注記* : 線形部材

表 3-7(3) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W方向)

S1

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
37.275~28.0	1.72	2.32	4.21	0.183	0.549	4.00
28.0~19.8	1.80	2.43	3.70	0.192	0.575	4.00
19.8~14.1	1.84	2.49	3.19	0.196	0.589	4.00
14.1~8.8	1.95	2.64	3.27	0.208	0.624	4.00

表 3-8(1) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

S8

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
28.0~19.8	3.35	7.02	10.2	6.52	68.4	1370
19.8~14.1	5.26	9.44	13.1	7.13	69.3	1390
14.1~8.8	5.74	10.0	13.6	7.75	70.3	1410

S7

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
28.0~19.8	1.45	2.91	3.58	10.4	104	2080
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	1.89	4.22	5.63	12.4	93.9	1880

S6

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
28.0~19.8	2.89	6.74	9.48	6.71	70.5	1410
19.8~14.1	3.83	6.16	8.38	10.3	108	2170
14.1~8.8	4.25	7.24	9.55	11.4	115	2290

S4-S5

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
28.0~19.8	—*					
19.8~14.1	—*					
14.1~8.8	3.19	5.65	7.49	7.33	68.3	1360

注記* : 線形部材

表 3-8(2) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

S3

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
37.275~28.0	2.43	5.92	8.70	6.84	69.8	1400
28.0~19.8	0.627	1.50	1.87	13.3	174	3490
19.8~14.1	8.86	13.4	19.7	6.61	68.3	1370
14.1~8.8	10.2	16.1	22.5	7.40	70.4	1410

S2 (SA側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2 (SE側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
37.275~28.0	—*					
28.0~19.8	—*					

S2

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
19.8~14.1	2.92	6.07	8.67	9.71	105	2100
14.1~8.8	1.62	3.45	4.72	16.7	164	3280

注記* : 線形部材

表 3-8(3) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

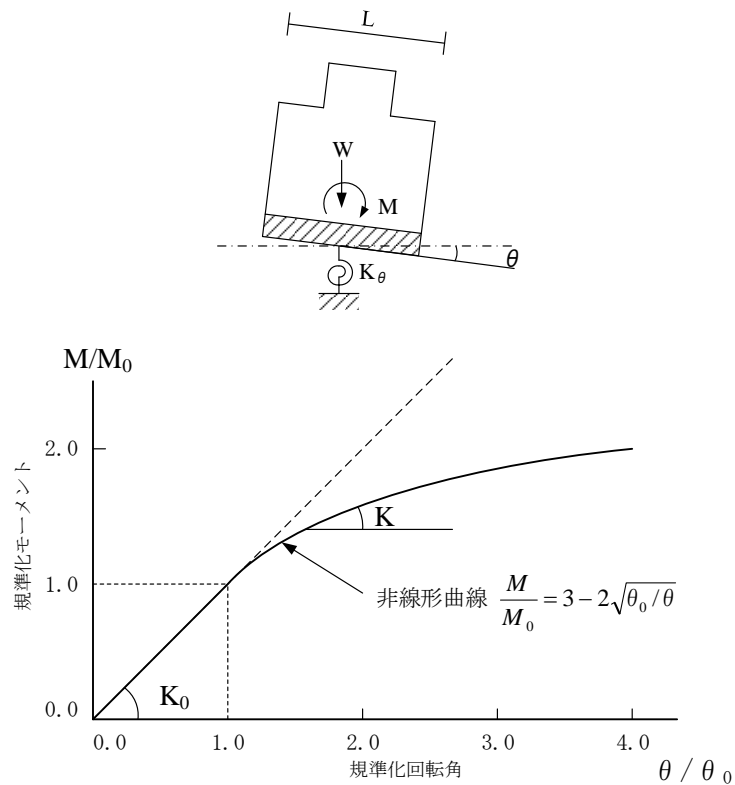
S1

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
37.275~28.0	2.87	6.55	9.33	7.05	69.1	1380
28.0~19.8	4.50	8.45	11.6	7.55	68.0	1360
19.8~14.1	4.87	8.34	12.2	6.67	66.4	1330
14.1~8.8	5.46	9.34	13.6	7.33	67.6	1350

3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-12 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-12 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



M : 転倒モーメント

M_0 : 浮上り限界転倒モーメント ($=W \cdot L / 6$)

θ : 回転角

θ_0 : 浮上り限界回転角

K_0 : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)

K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)

W : 建物総重量

L : 建物基礎幅

図 3-12 地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角関係

3.5.5 誘発上下動を考慮する場合の基礎浮上り評価法

誘発上下動を考慮した地震応答解析モデルでは、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく基礎の浮上り非線形性を考慮できる水平ばね K_{HH} 及び回転ばね K_{RR} に加えて、「J E A C 4 6 0 1 -2008」を参考に、接地率 η_t に応じて時々刻々と変化する鉛直ばね K_{VV} 及び回転・鉛直連成ばね K_{VR} を考慮している。

図 3-13 に誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図を、表 3-9 に基礎が浮上った場合の基礎底面につく地盤ばねの剛性と減衰の評価式を示す。

$$\begin{Bmatrix} P \\ N \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{HH} & 0 & 0 \\ 0 & K_{VV} & K_{VR} \\ 0 & K_{VR} & K_{RR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0 \\ w_0 \\ \theta \end{Bmatrix}$$

ここで、P：水平方向慣性力
 N：鉛直方向慣性力
 M：転倒モーメント
 K_{HH} 、 K_{VV} 、 K_{RR}
 ：水平、鉛直、回転ばねの対角項
 K_{VR} ：回転・鉛直連成ばね
 u_0 、 w_0 、 θ ：基礎底面中心の各変位
 及び回転角

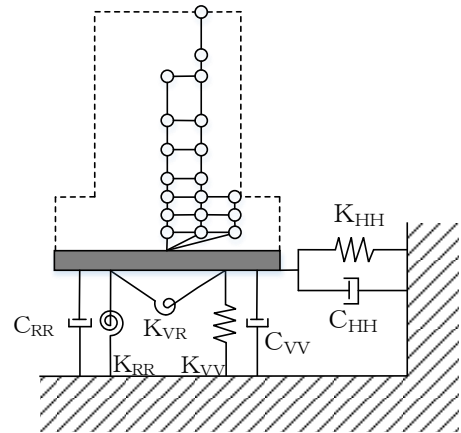


図 3-13 誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルの概念図

表 3-9 誘発上下動考慮モデルの基礎浮上り時の地盤ばねの剛性と減衰

	剛性	減衰係数
鉛直ばね	$K_{VV} = \eta_t^\beta \cdot K_{V0}$	$C_{VV} = C_{V0} \cdot \eta_t^{\frac{\alpha}{2}}$
回転・鉛直 連成ばね	$K_{VR} = \frac{1 - \eta_t}{2} L \cdot K_{VV}$	$C_{VR} = 0$
回転ばね	$K_{RR} = \frac{M - K_{VR} \cdot w_0}{\theta}$	$C_{RR} = C_{R0} \cdot \eta_t^{\frac{\alpha}{2}}$
<p>M：転倒モーメント w_0：基礎スラブ中心の鉛直変位 θ_0：浮上り限界回転角 L：建物基礎幅 K_{V0}：線形域の鉛直ばね剛性 β：0.46 α：地反力分布に応じた値 (三角形分布 6.0) C_{V0}：線形域の鉛直ばねの減衰係数 C_{R0}：線形域の回転ばねの減衰係数</p>		

$$\eta_t = \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)^{\frac{2}{\alpha-2}}$$

θ ：回転角

3.5.6 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-10に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-11に示す。

表3-10 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%)	

表 3-11 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

支持地盤	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
	1600	1760	1440

3.6 評価方法

サイトバンカ建物の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 1.00×10^{-3} (S4-S5 軸, EL 14.1m~EL 8.8m, EW方向, S_s-D) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 1.01×10^{-3} (S4-S5 軸, EL 14.1m~EL 8.8m, EW方向, ケース 2, S_s-D) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	許容限界
N S	0.77 (S_s-D)	0.79 (S_s-D)	0.88 (S_s-D)	4.0
E W	1.00 (S_s-D)	1.01 (S_s-D)	0.99 (S_s-D)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 , S_s-N2 NS 及び S_s-N2 EW に対して実施。

VI-2-11-2-1-5 サイトバンカ建物（増築部）の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.2 設計に用いる地震波	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	17
3.5 解析方法	18
3.5.1 地震応答解析モデル	18
3.5.2 解析方法	23
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	24
3.5.4 材料物性の不確かさ等	33
3.6 評価方法	34
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	34
4. 評価結果	35
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	35

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、サイトバンカ建物（増築部）が防波壁に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、防波壁の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、サイトバンカ建物（増築部）の構造物全体としての変形性能の評価を実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

サイトバンカ建物（増築部）の設置位置を図 2-1 に示す。

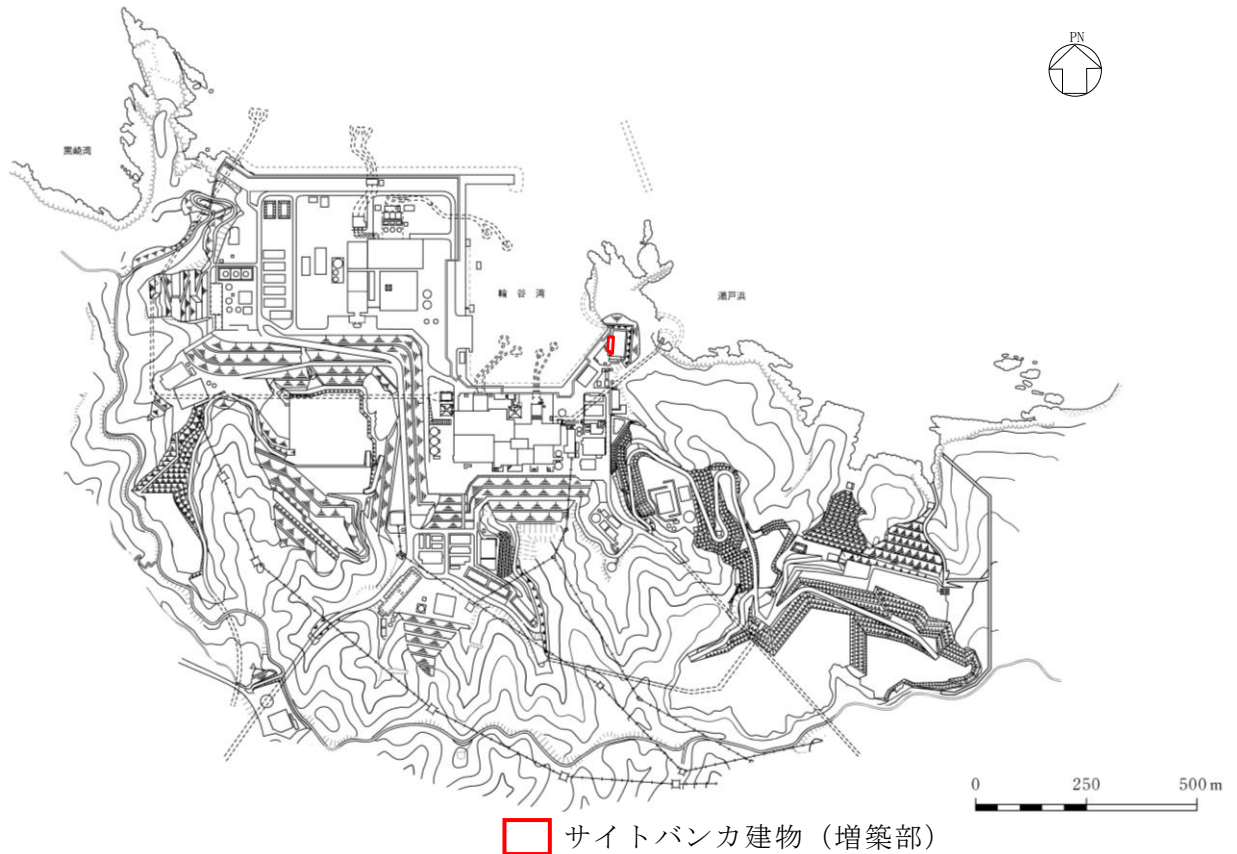


図 2-1 サイトバンカ建物（増築部）の設置位置

2.2 構造概要

サイトバンカ建物（増築部）は、4階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。サイトバンカ建物（増築部）の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に示す。

サイトバンカ建物（増築部）の平面は、 31.3m^* （NS） $\times 10.3\text{m}^*$ （EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは25.9mである。

サイトバンカ建物（増築部）の基礎は厚さ1.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

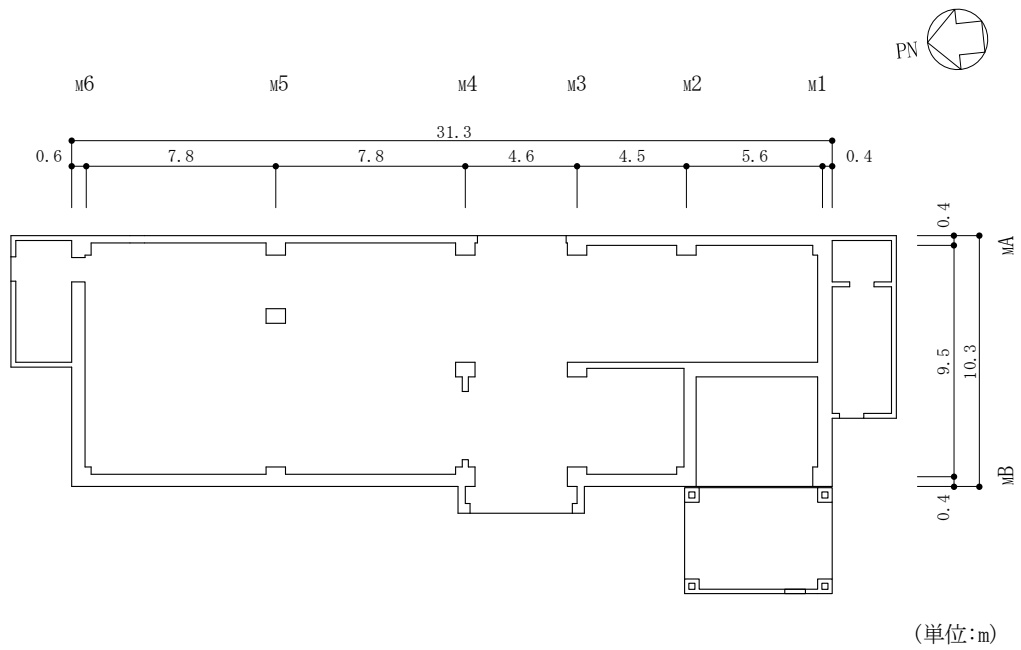


図 2-2 サイトバンカ建物（増築部）の概略平面図（EL 8.8m*）

注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

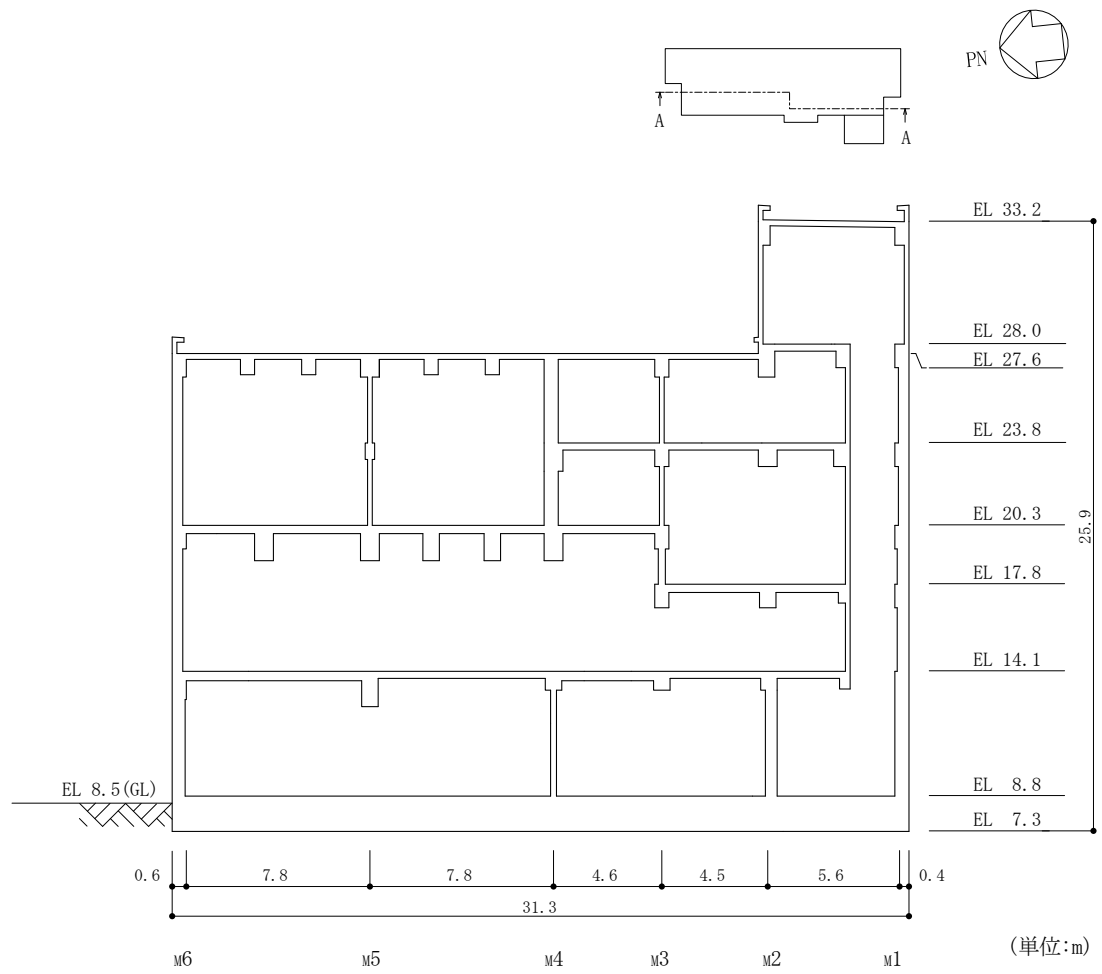


図 2-3(1) サイトバンカ建物（増築部）の概略断面図（A-A断面，NS方向）

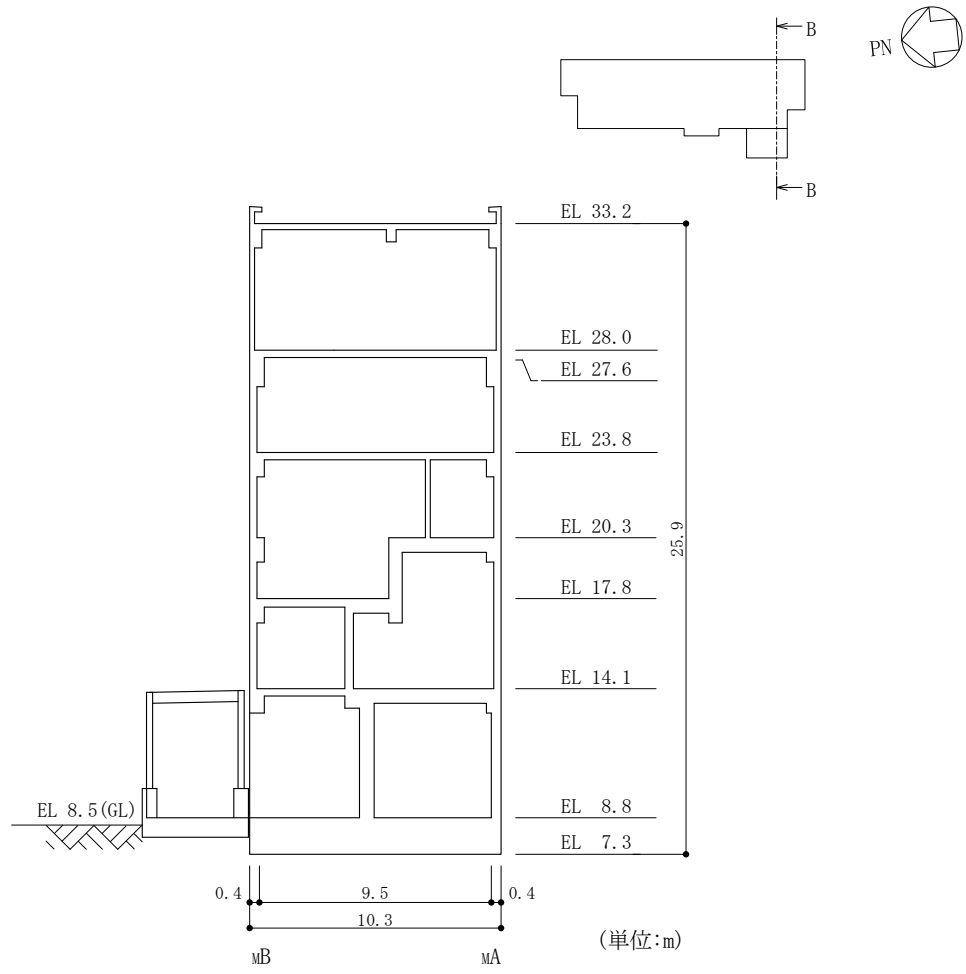


図 2-3(2) サイトバンカ建物 (増築部) の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

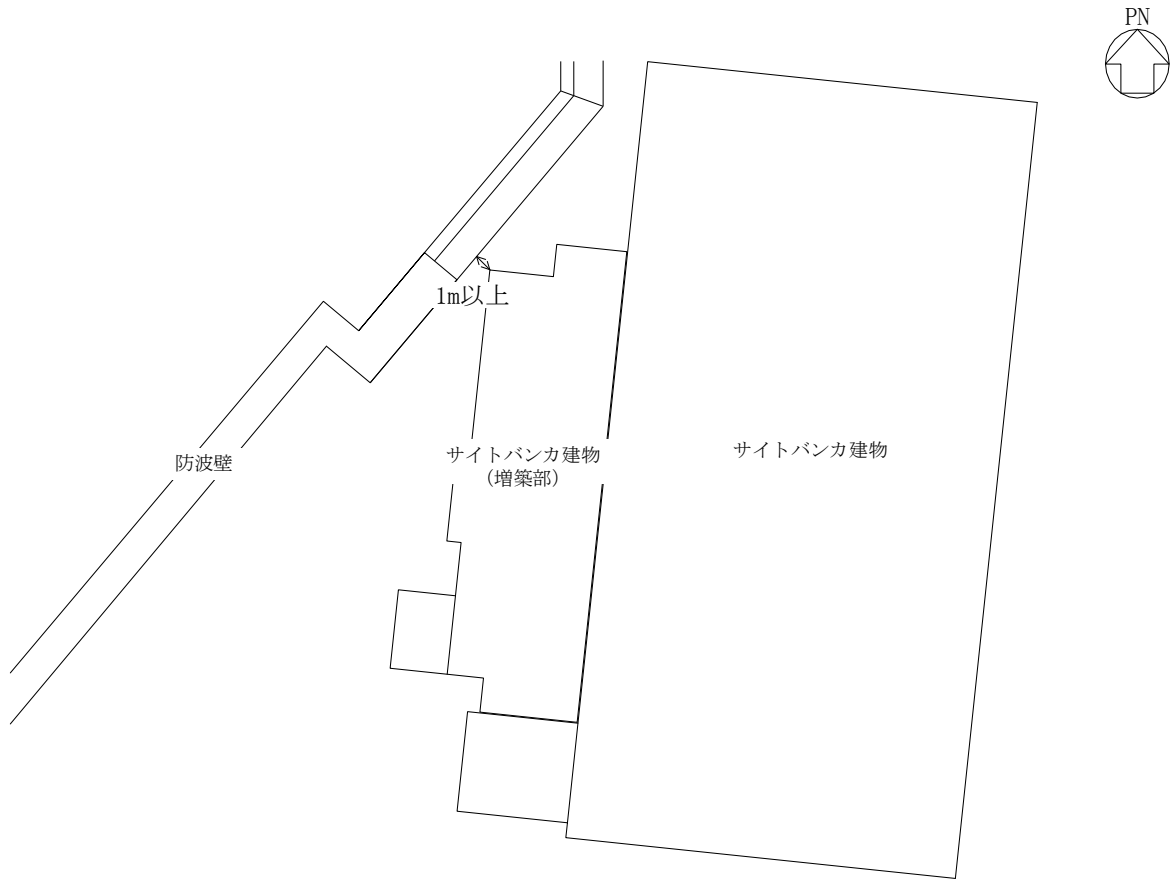


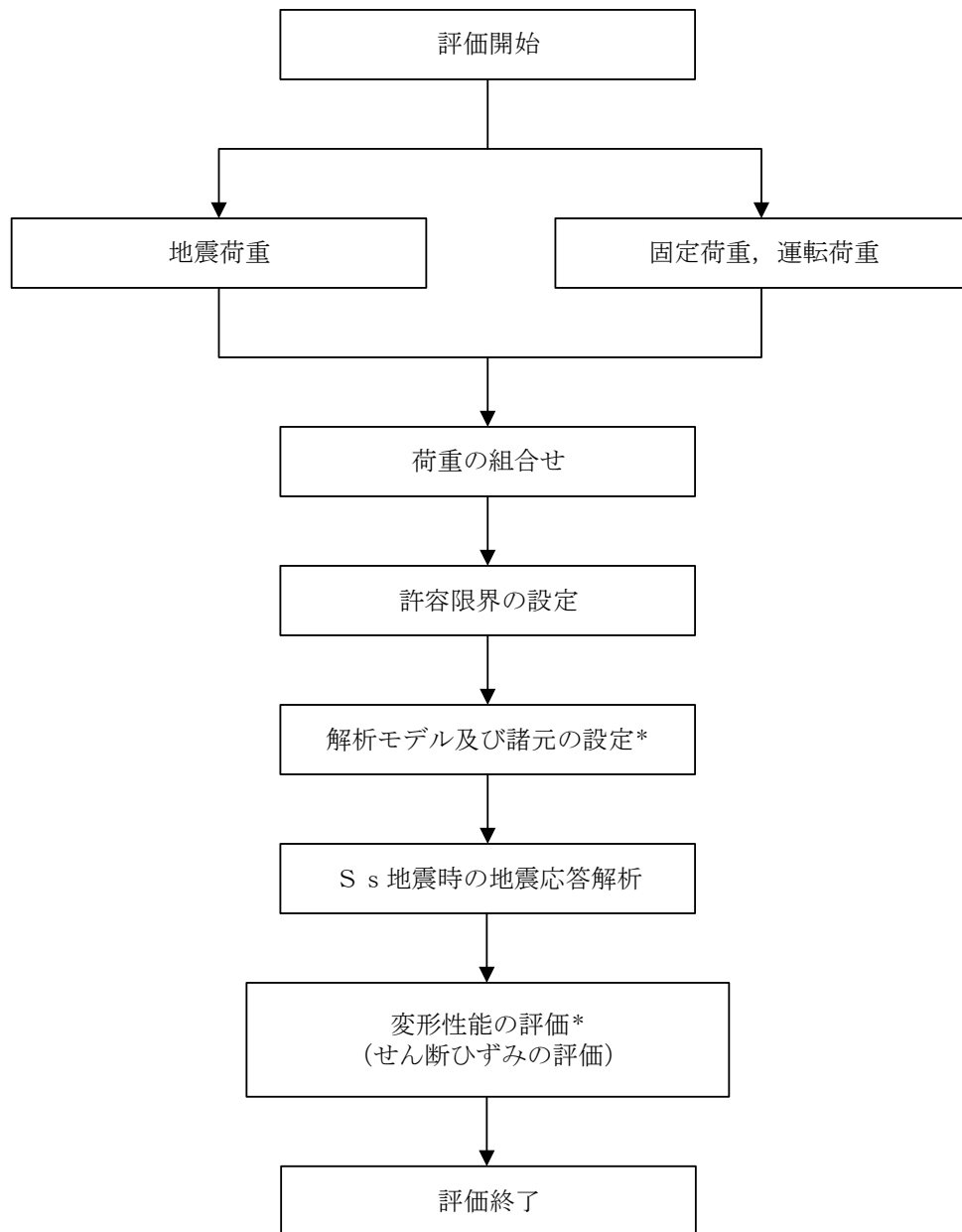
図 2-4 建物配置図

2.3 評価方針

サイトバンカ建物（増築部）は、防波壁と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価を行う。

サイトバンカ建物（増築部）の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。サイトバンカ建物（増築部）の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。サイトバンカ建物（増築部）は、防波壁と 1m 以上離れており、サイトバンカ建物（増築部）が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 に波及的影響の評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-5 サイトバンカ建物 (増築部) の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

サイトバンカ建物（増築部）の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，2005 改定）

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

サイトバンカ建物（増築部）の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

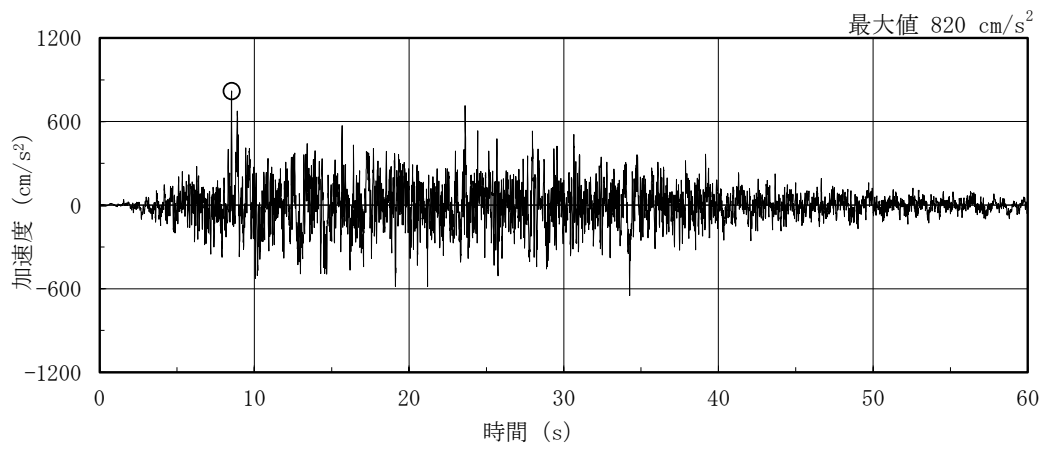
構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

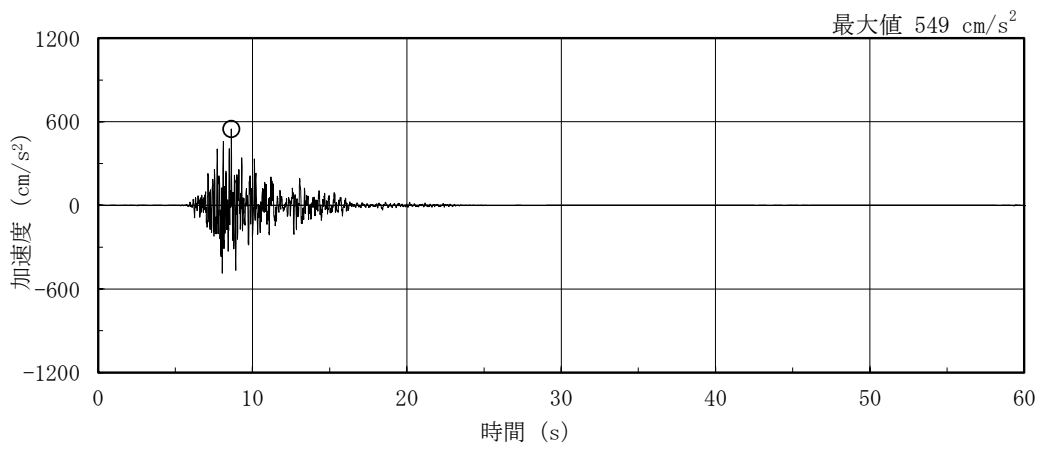
3.2 設計に用いる地震波

サイトバンカ建物（増築部）の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である防波壁の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dの策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動S_sを用いることとする。

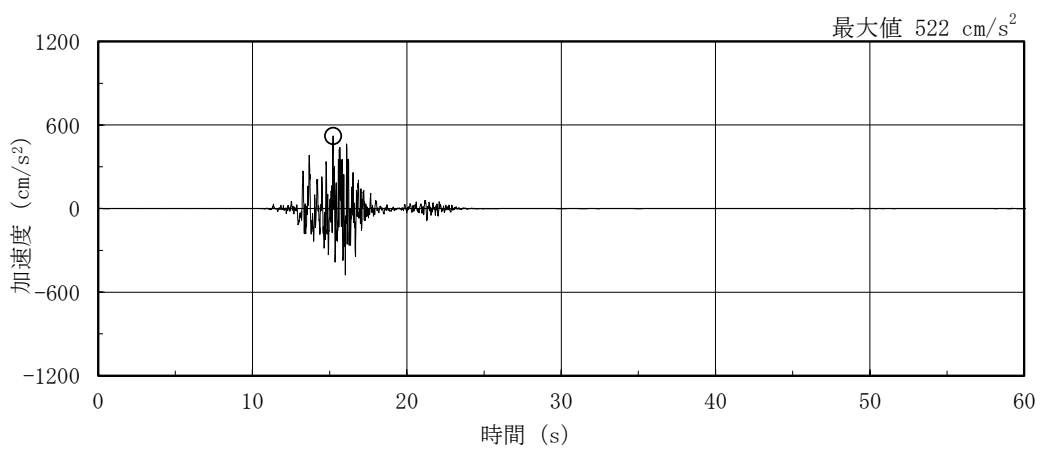
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-3に示す。



(a) S s - D

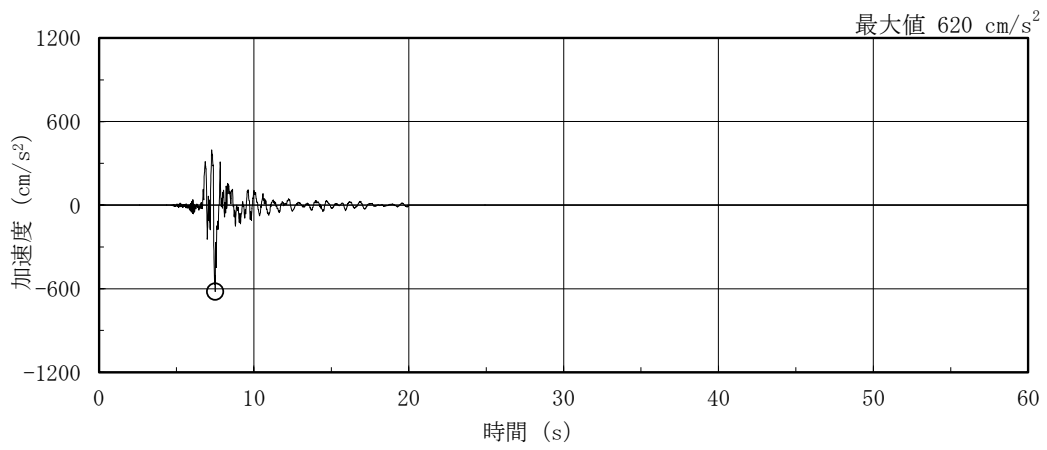


(b) S s - F 1

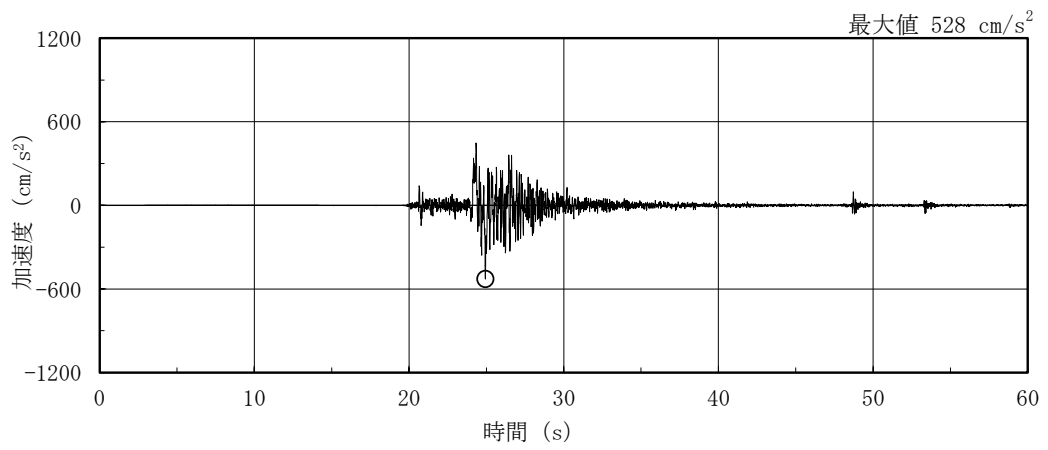


(c) S s - F 2

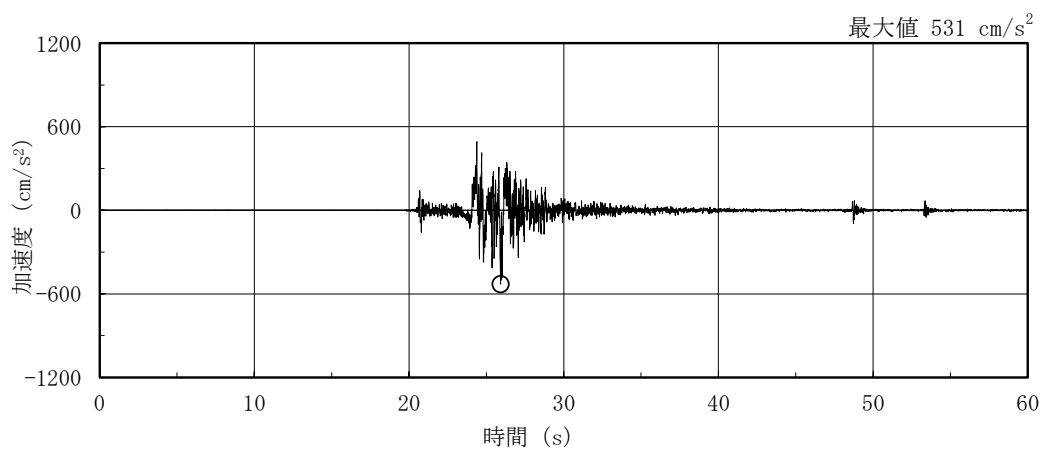
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

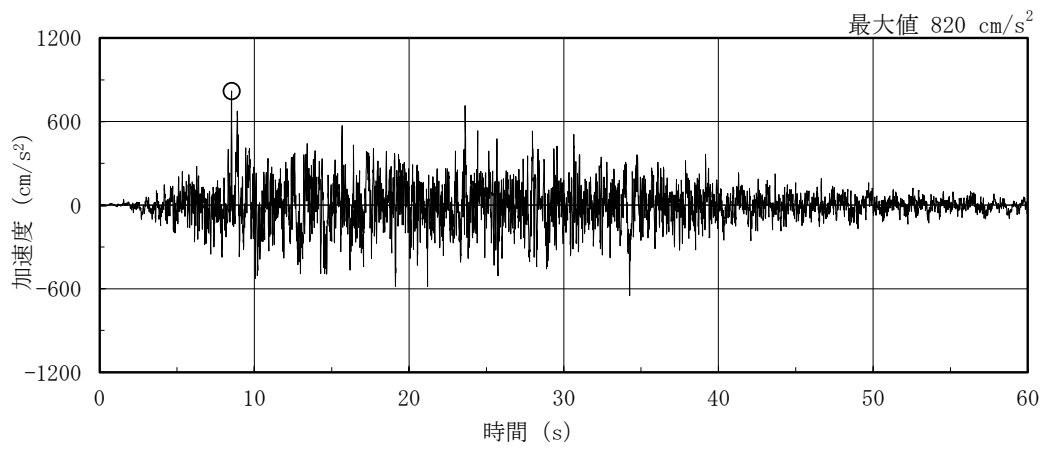


(e) S s - N 2 N S

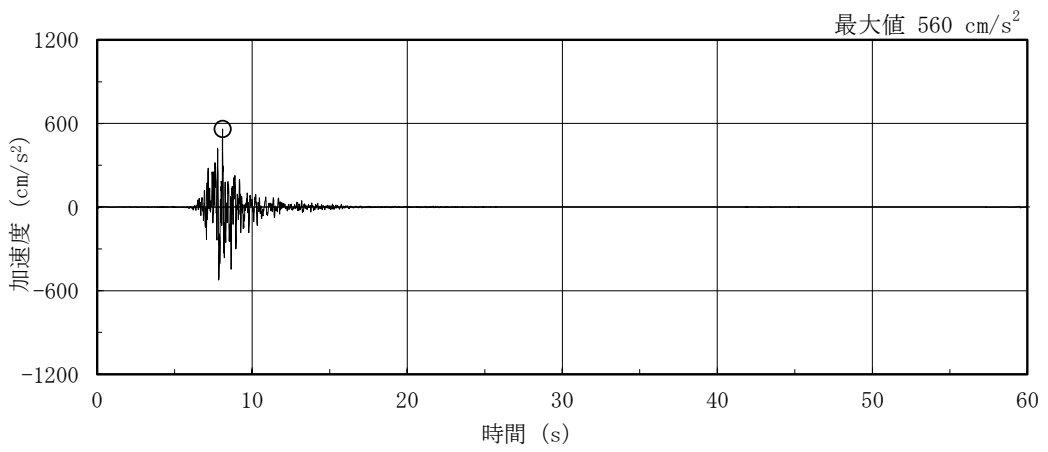


(f) S s - N 2 E W

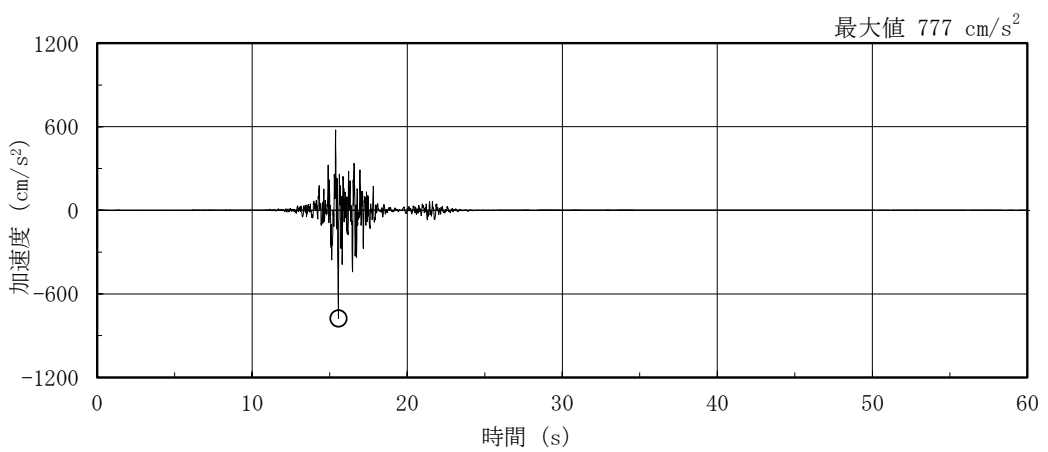
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

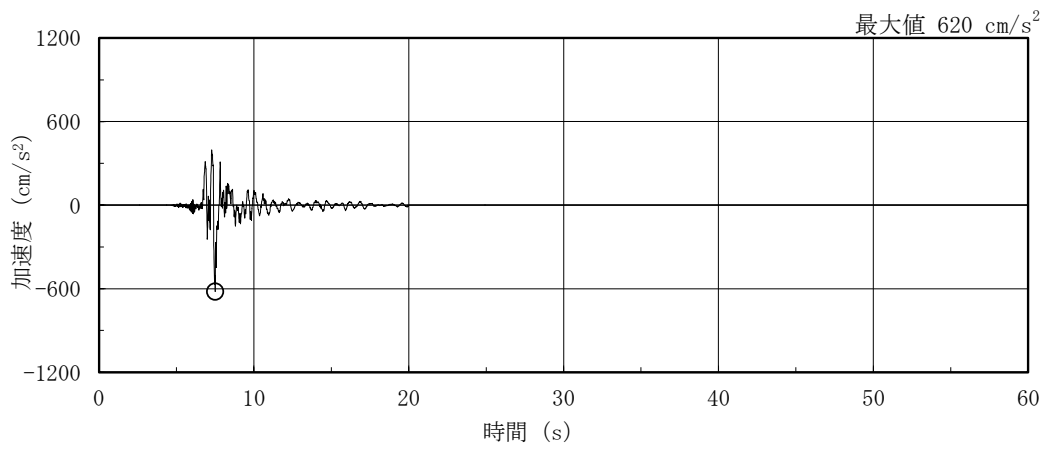


(b) S s - F 1

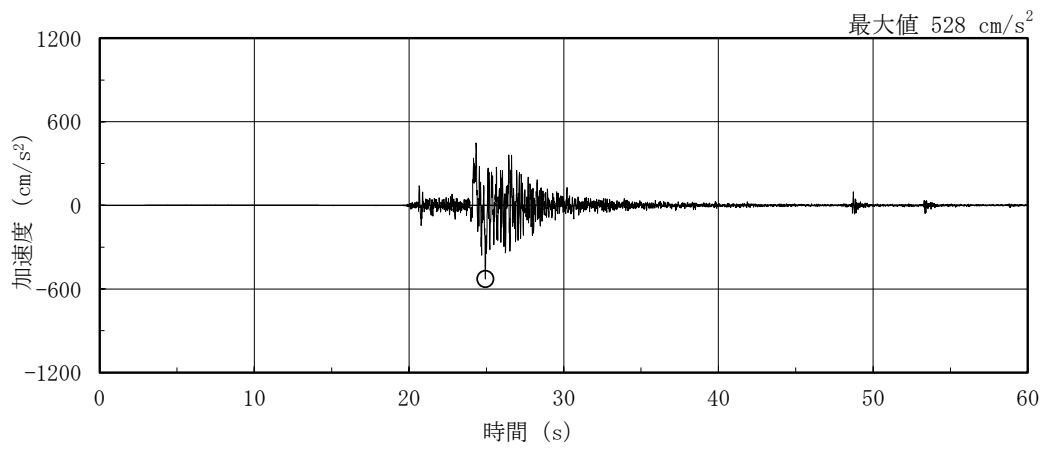


(c) S s - F 2

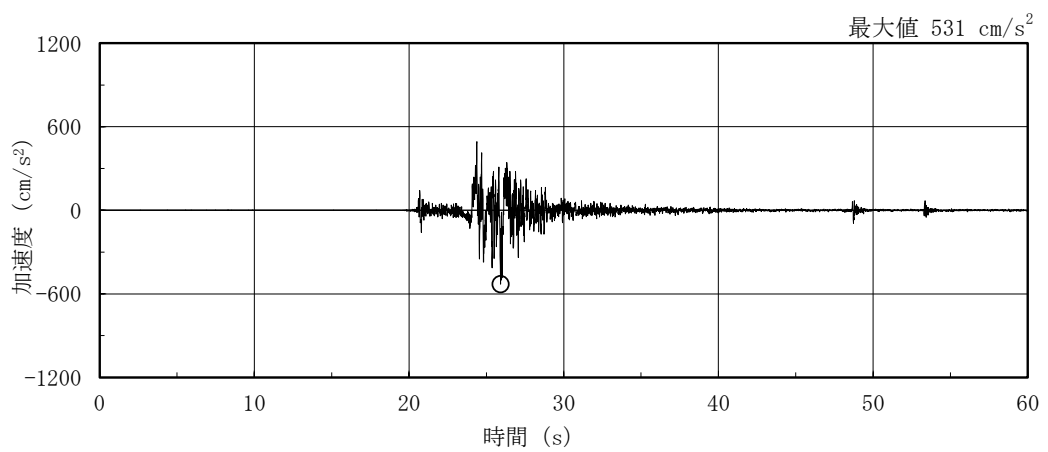
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1

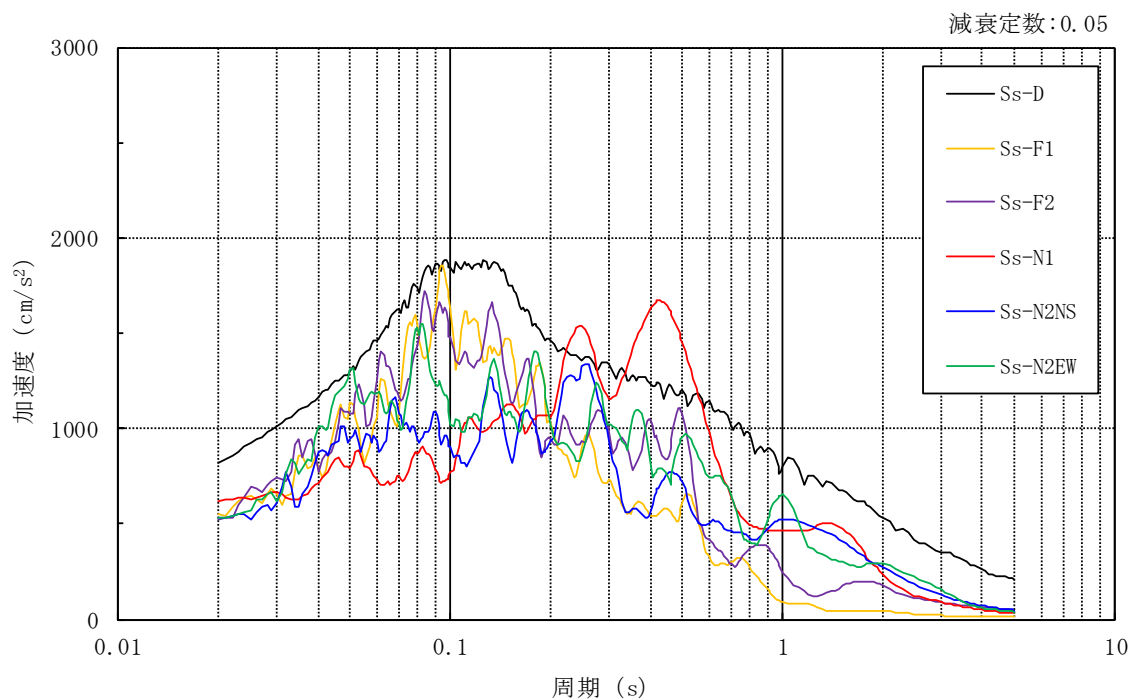


(e) S s - N 2 N S

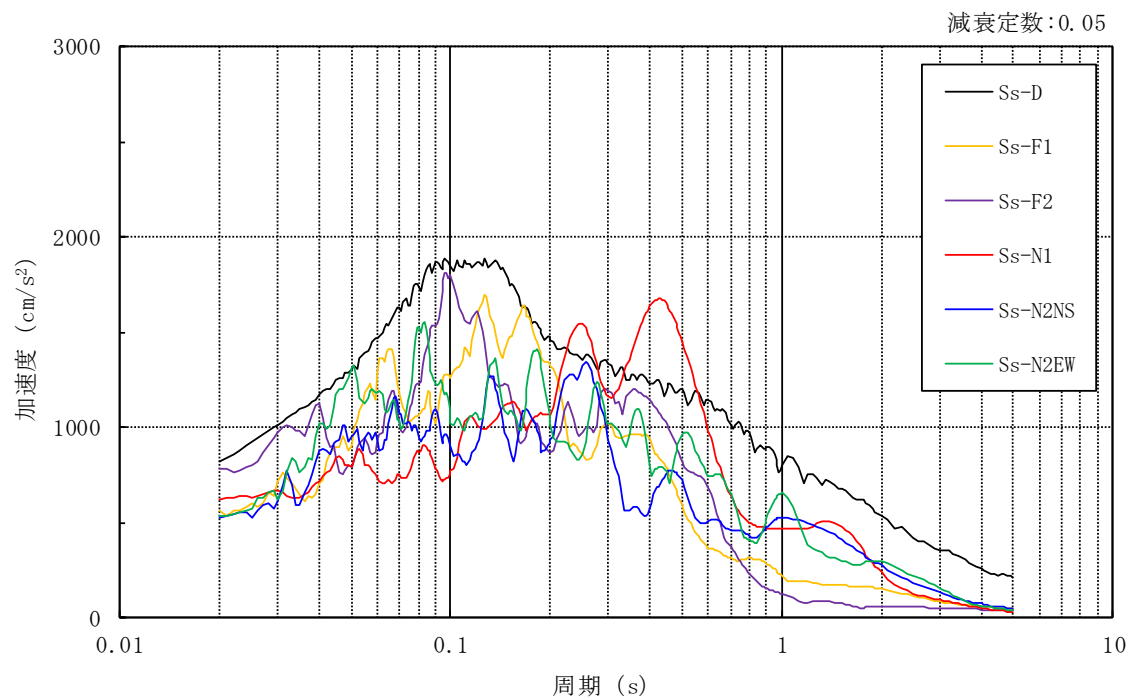


(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

サイトバンカ建物（増築部）の防波壁に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
防波壁に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-3に示す。

表3-3 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=23.5 (N/mm ²) (Fc=240 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD345	2.25×10 ⁴	9.38×10 ³	5	—

地震応答解析モデルは、建物基礎下端を固定し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、NS方向及びEW方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図3-4に示す。

入力地震動は、「3.1 評価対象部位及び評価方針」に示す基準地震動 S_s を基礎底面レベルに直接入力する。なお、基準地震動 $S_s - F_1$ 及び $S_s - F_2$ に関しては、サイトバンカ建物（増築部）の配置に応じて方位を補正した波形を用いる。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-5に示す。

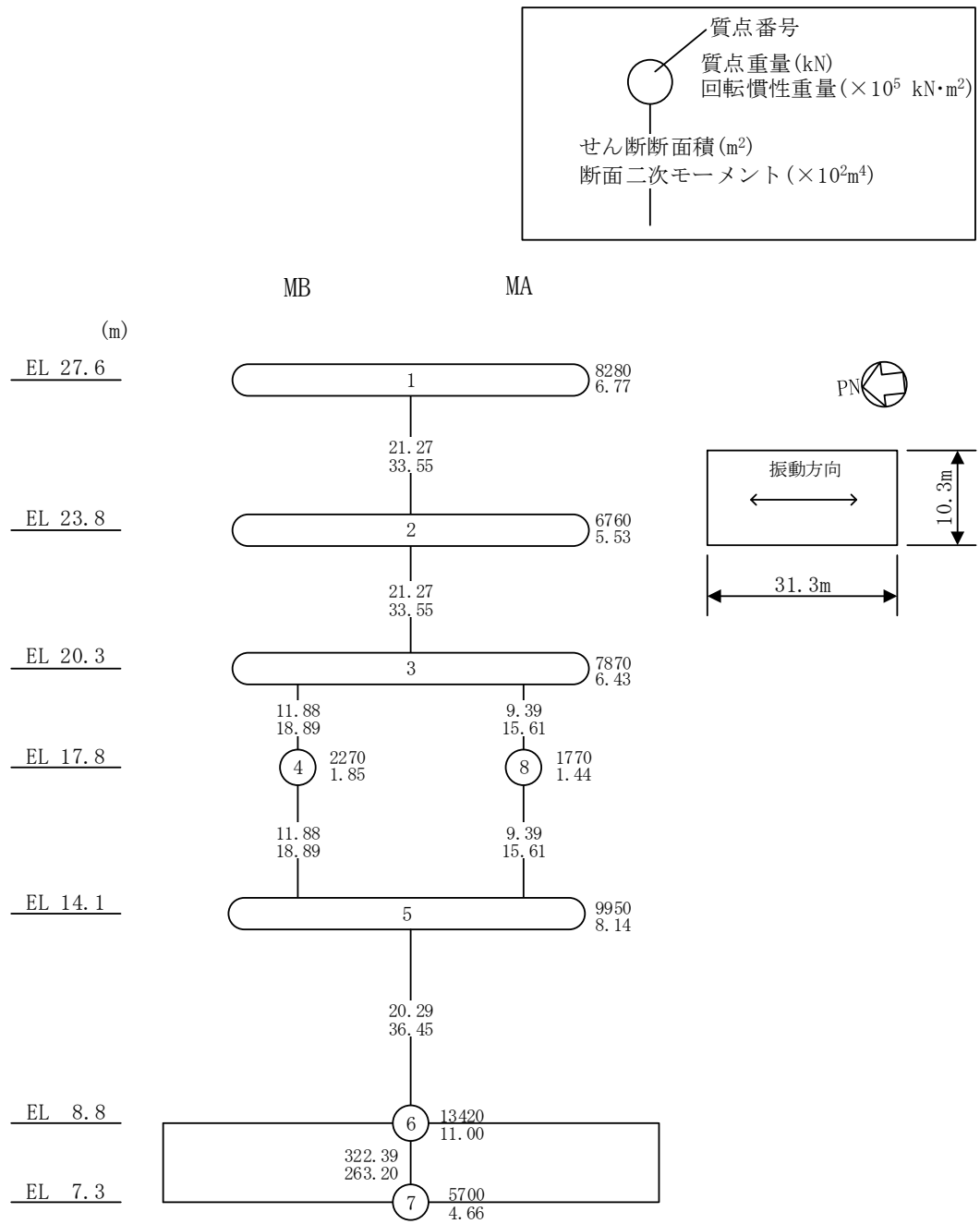


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS方向)

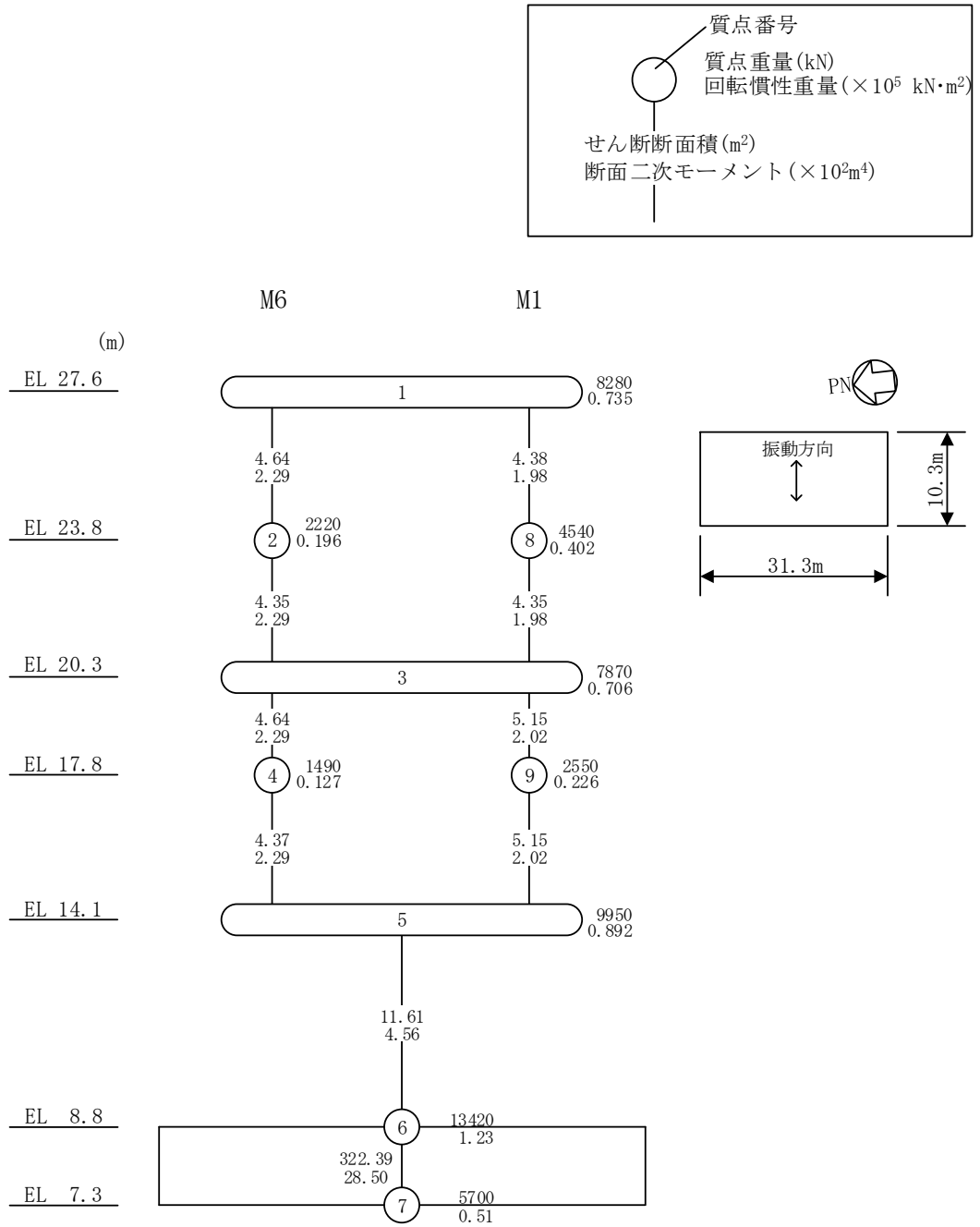


図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)

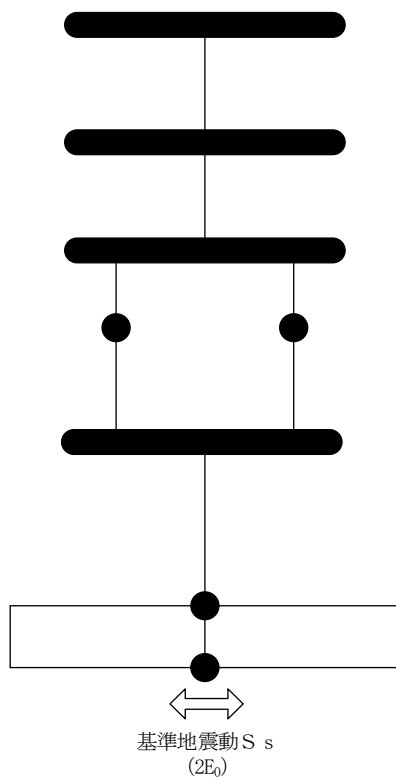


図 3-5 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

3.5.2 解析方法

サイトバンカ建物（増築部）の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。

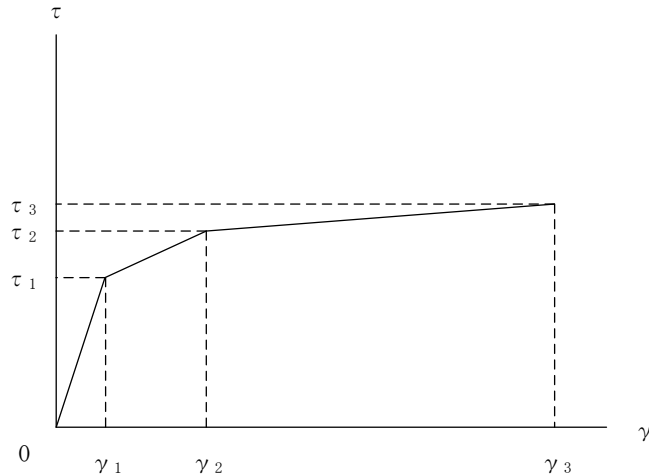
建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-6 に示す。

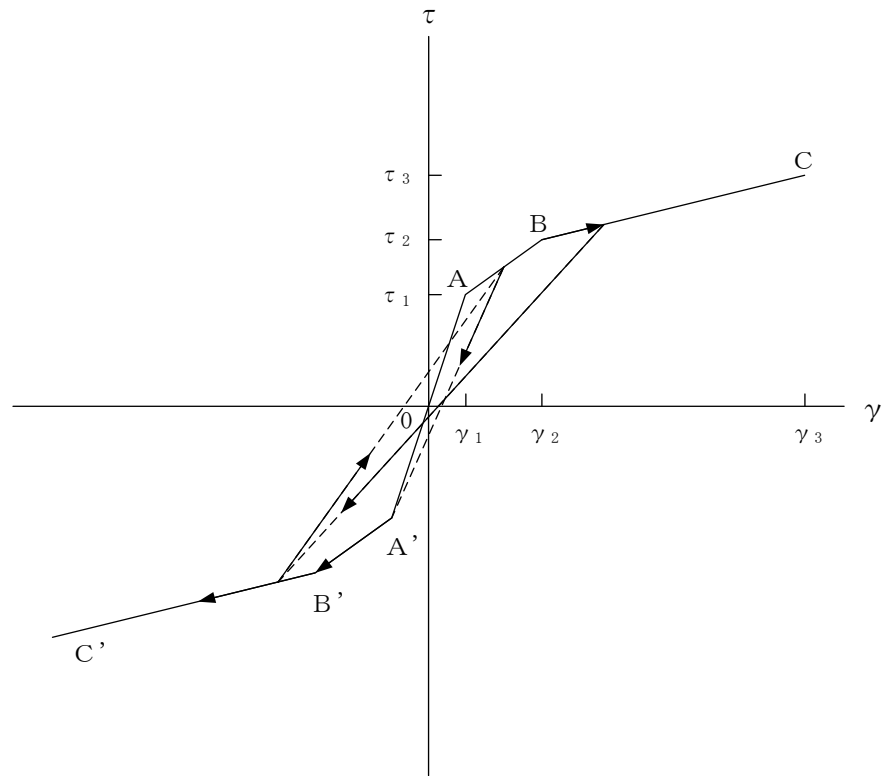


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-6 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-7 に示す。

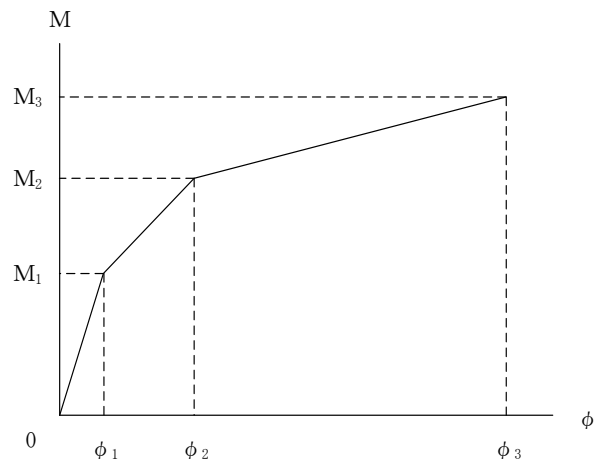


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-7 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-8 に示す。



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

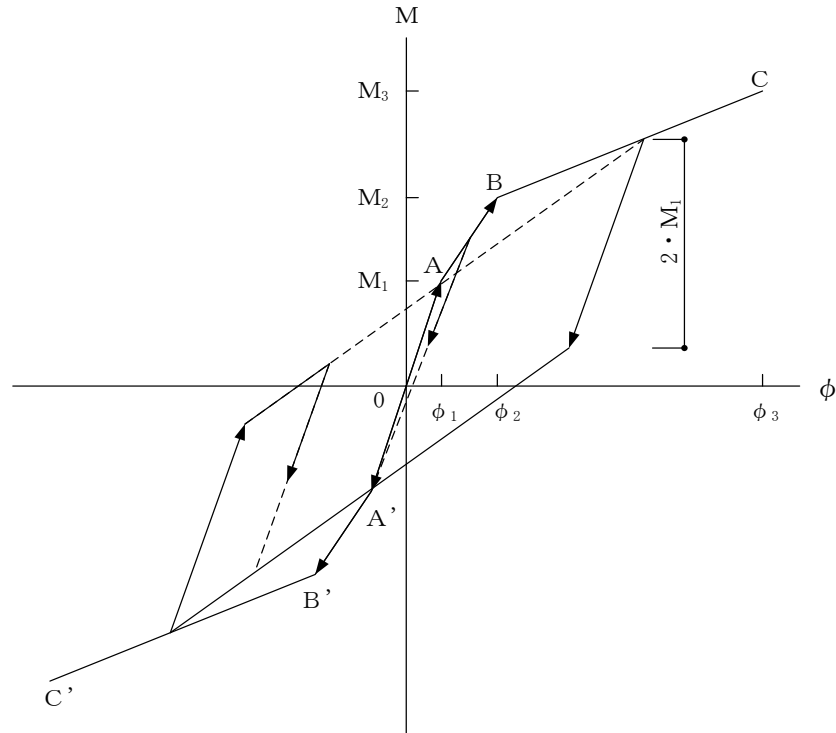
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-8 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-9 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を過ぎていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を過ぎていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-9 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

サイトバンク建物（増築部）の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表 3-4～表 3-7 に示す。

表 3-4 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

MA-MB

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
27.6~23.8	1.68	2.26	4.81	0.179	0.536	4.00
23.8~20.3	1.77	2.39	4.75	0.189	0.567	4.00

MB

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
20.3~17.8	1.86	2.51	4.83	0.198	0.595	4.00
17.8~14.1	1.92	2.59	4.71	0.205	0.615	4.00

MA

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
20.3~17.8	1.87	2.52	4.80	0.199	0.598	4.00
17.8~14.1	1.93	2.60	4.66	0.206	0.617	4.00

MA-MB

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
14.1~8.8	2.03	2.74	4.59	0.216	0.639	4.00

表 3-5 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

M6

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
27.6~23.8	1.64	2.21	4.32	0.175	0.525	4.00
23.8~20.3	1.64	2.22	3.78	0.175	0.546	4.00
20.3~17.8	1.80	2.43	4.23	0.192	0.576	4.00
17.8~14.1	1.78	2.40	3.86	0.189	0.592	4.00

M1

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
27.6~23.8	1.64	2.21	4.21	0.174	0.546	4.00
23.8~20.3	1.76	2.38	4.07	0.188	0.586	4.00
20.3~17.8	1.89	2.55	4.34	0.201	0.604	4.00
17.8~14.1	1.96	2.65	3.94	0.209	0.628	4.00

M1-M6

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
14.1~8.8	1.91	2.58	4.35	0.204	0.629	4.00

表 3-6 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (N S 方向)

MA-MB

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
27.6~23.8	4.75	6.63	9.19	6.30	62.9	1260
23.8~20.3	5.23	7.45	10.1	6.93	64.1	1280

MB

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
20.3~17.8	3.19	5.41	7.13	7.50	66.3	1330
17.8~14.1	3.37	5.71	7.48	7.93	67.0	1340

MA

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
20.3~17.8	2.79	4.76	6.13	7.94	66.8	1340
17.8~14.1	2.95	5.02	6.41	8.39	67.6	1350

MA-MB

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
14.1~8.8	6.53	11.9	15.0	7.97	66.8	1340

表 3-7 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

M6

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
27.6~23.8	0.893	1.20	1.43	17.3	182	3650
23.8~20.3	0.945	1.24	1.39	18.3	183	3670
20.3~17.8	1.05	1.50	1.82	20.5	188	3750
17.8~14.1	1.10	1.51	1.75	21.3	188	3760

M1

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
27.6~23.8	0.906	0.984	1.14	20.3	186	3700
23.8~20.3	1.02	1.13	1.29	22.9	190	3770
20.3~17.8	1.12	1.63	1.96	24.7	195	3910
17.8~14.1	1.20	1.73	2.07	26.4	198	3950

M1-M6

EL (m)	M ₁ (×10 ⁵ kN・m)	M ₂ (×10 ⁵ kN・m)	M ₃ (×10 ⁵ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
14.1~8.8	2.37	3.65	4.57	23.1	195	3890

3.5.4 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示すとおり、基礎下端を固定したモデルであり、入力地震動は建物基礎底面レベルに直接入力することから、考慮しない。また、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-8 に示す。

表 3-8 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

3.6 評価方法

サイトバンカ建物（増築部）の波及的影響の評価は，基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い，以下のとおり評価する。

なお，以下の評価には，材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は，質点系モデルによる地震応答解析を行い，応答せん断ひずみを算定し，最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) 及び材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、 0.64×10^{-3} (EL 14.1m~EL 8.8m, EW方向, ケース 1, S_s-D) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	許容限界
NS	0.52 (S_s-D)	0.48 (S_s-D)	4.0
EW	0.64 (S_s-D)	0.59 (S_s-D)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 , S_s-N2 NS 及び S_s-N2 EW に対して実施。

VI-2-11-2-1-6 排気筒モニタ室の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.2 設計に用いる地震波	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	17
3.5 解析方法	18
3.5.1 地震応答解析モデル	18
3.5.2 解析方法	24
3.5.3 建物・構築物の復元力特性	25
3.5.4 材料物性の不確かさ等	31
3.6 評価方法	32
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	32
3.6.2 相対変位による評価方法	32
4. 評価結果	33
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	33
4.2 相対変位による評価結果	34

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、排気筒モニタ室が排気筒に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、排気筒の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、排気筒モニタ室の構造物全体としての変形性能の評価を、建物・構築物間の相対変位による影響では、排気筒への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

排気筒モニタ室の設置位置を図2-1に示す。

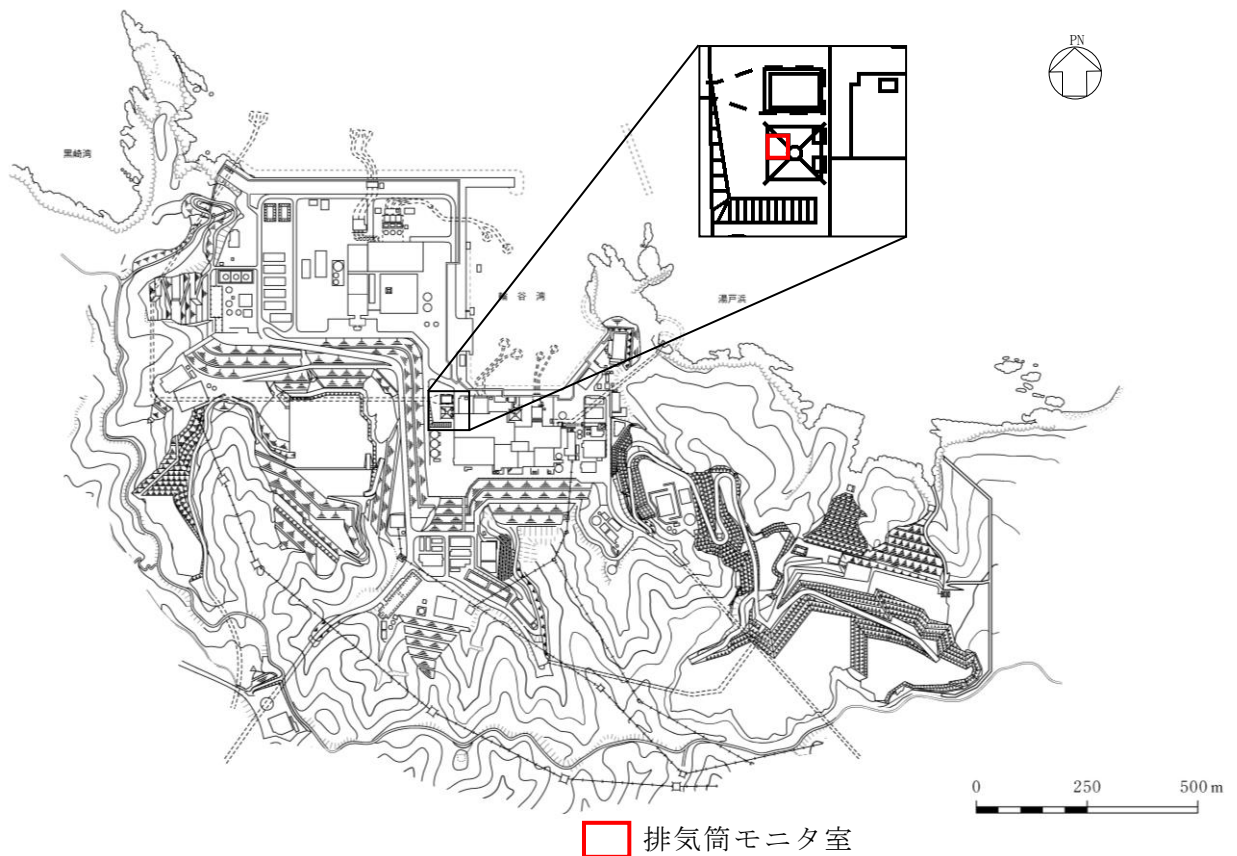


図2-1 排気筒モニタ室の設置位置

2.2 構造概要

排気筒モニタ室は、1階建の鉄筋コンクリート造の建物である。排気筒モニタ室の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に、排気筒モニタ室と排気筒のクリアランスを図2-5に示す。

排気筒モニタ室の平面は、11.55m* (NS) × 11.5m* (EW) であり、1階床面からの高さは3.45mである。

排気筒モニタ室の基礎は排気筒の基礎と一体構造である。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

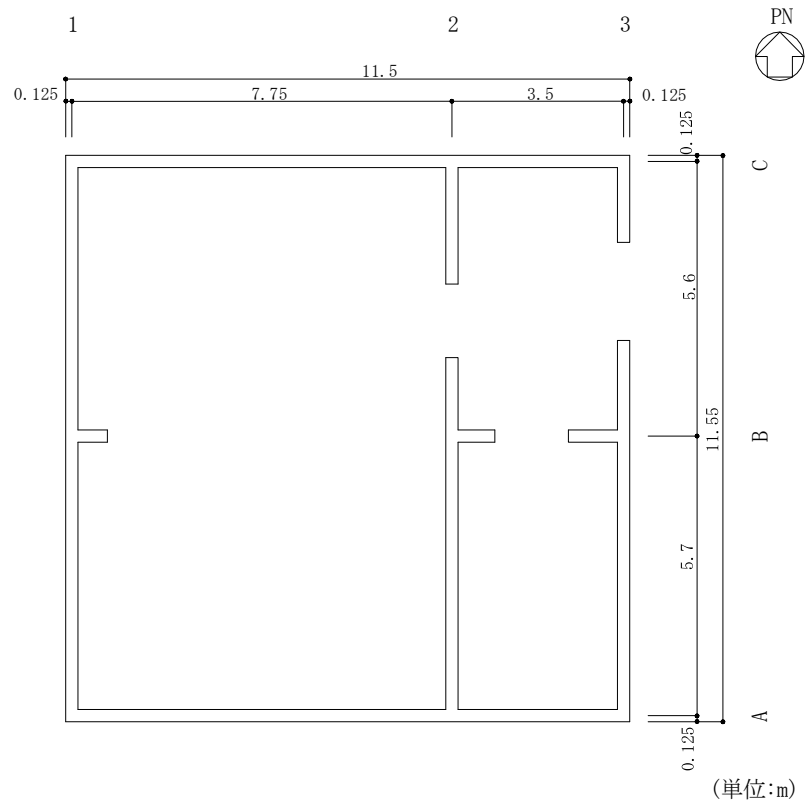


図 2-2 排気筒モニタ室の概略平面図 (EL 8.8m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

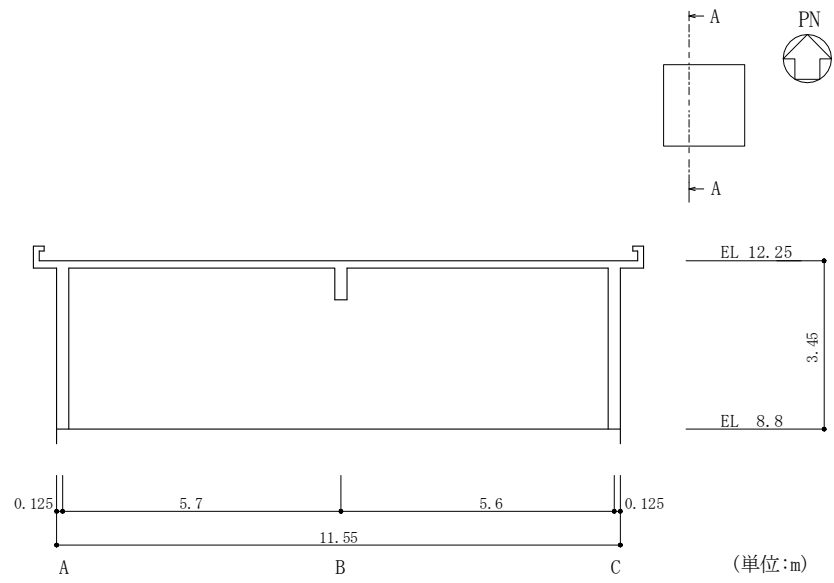


図 2-3(1) 排気筒モニタ室の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)

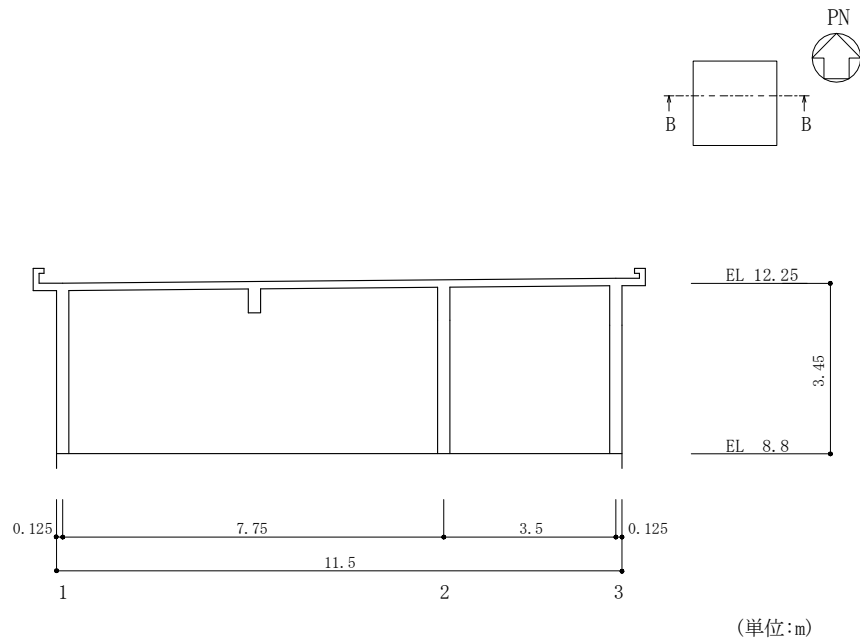


図 2-3(2) 排気筒モニタ室の概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

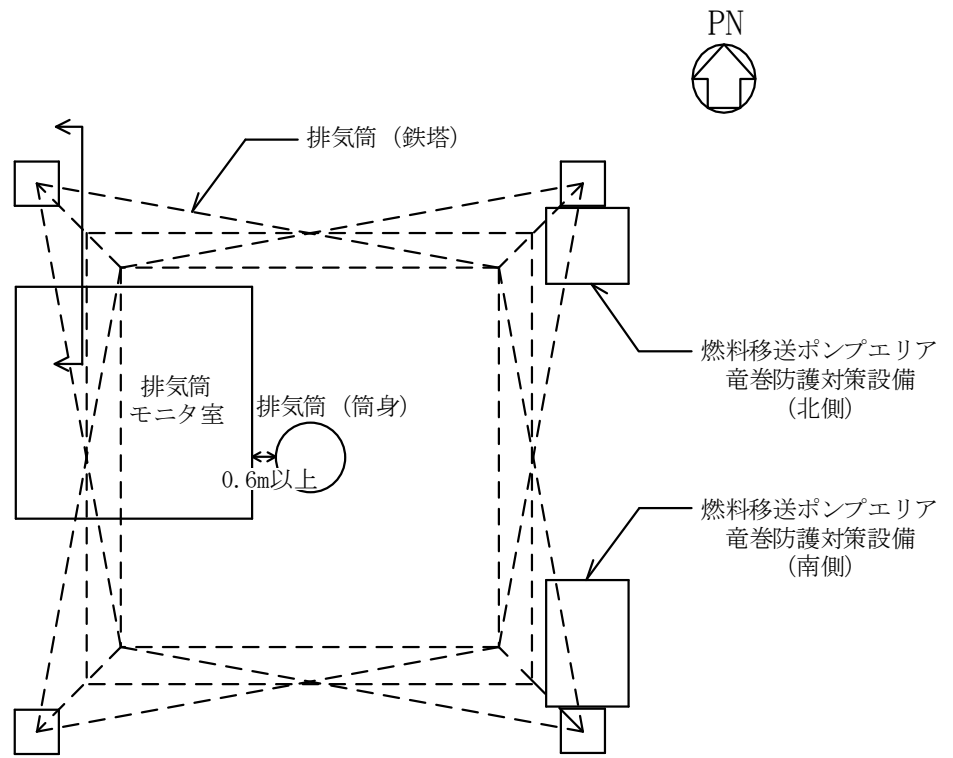


図 2-4 建物配置図

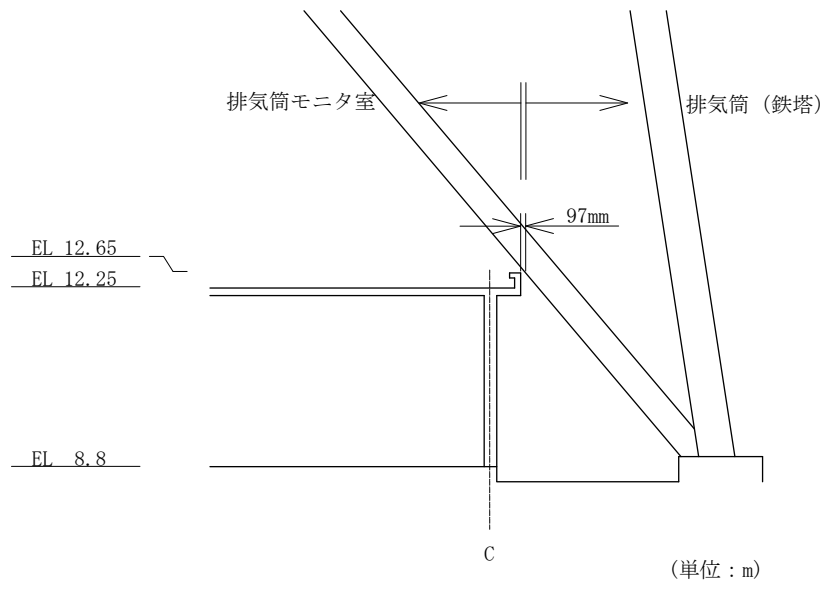


図 2-5 排気筒モニタ室と排気筒 (鉄塔) のクリアランス (N S 方向)

2.3 評価方針

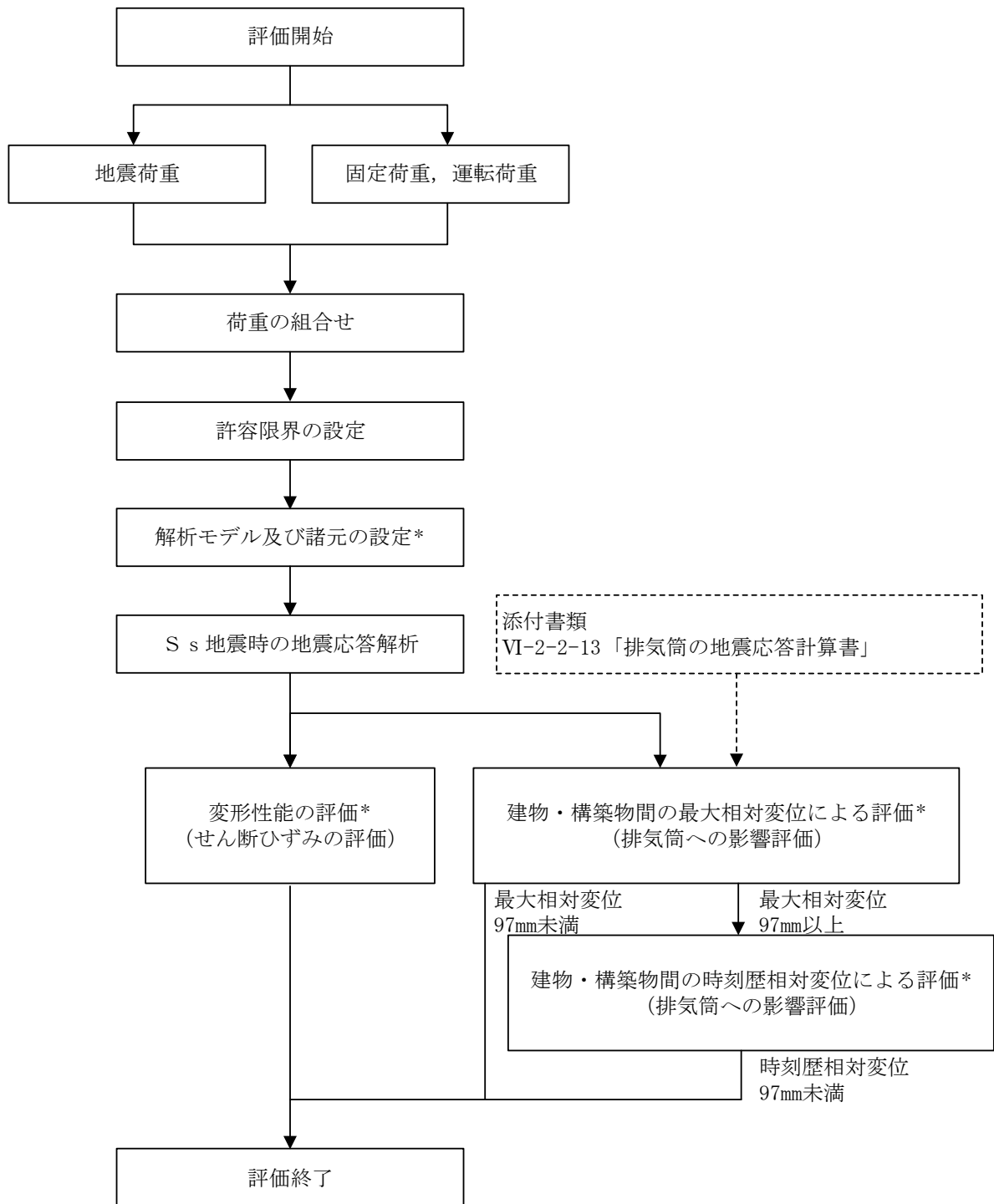
排気筒モニタ室は、排気筒と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

排気筒モニタ室の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。排気筒モニタ室の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。建物・構築物間の相対変位による影響では、排気筒（鉄塔）との相対変位による評価を行うことで、排気筒への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、排気筒モニタ室の最大応答変位に加えて、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、排気筒モニタ室は、排気筒（筒身）と 0.6m 以上離れており、排気筒モニタ室が倒壊しない限り衝突・接触することはない。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、排気筒モニタ室では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図 2-6 に波及的影響の評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-6 排気筒モニタ室の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

排気筒モニタ室の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

排気筒モニタ室の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

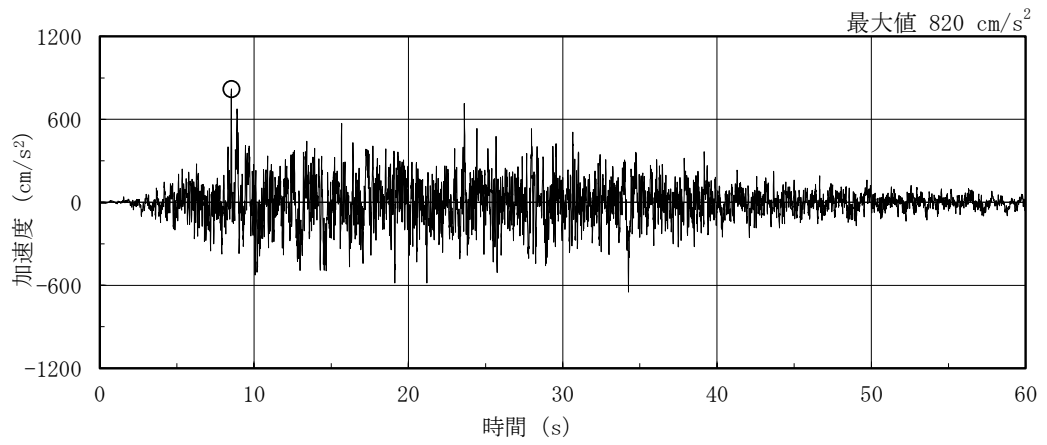
排気筒との相対変位による評価では、排気筒モニタ室と排気筒の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建物・構築物間のクリアランスの大小関係により、隣接する排気筒への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、排気筒モニタ室と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

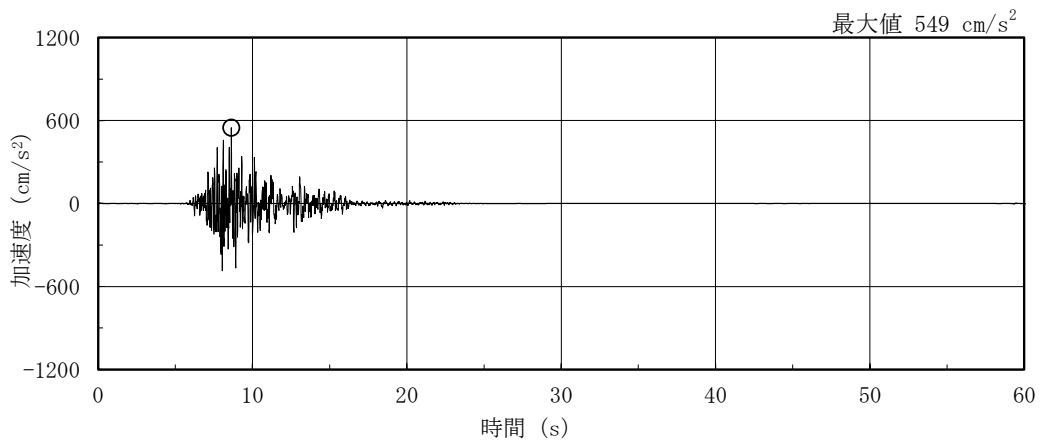
3.2 設計に用いる地震波

排気筒モニタ室の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である排気筒の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

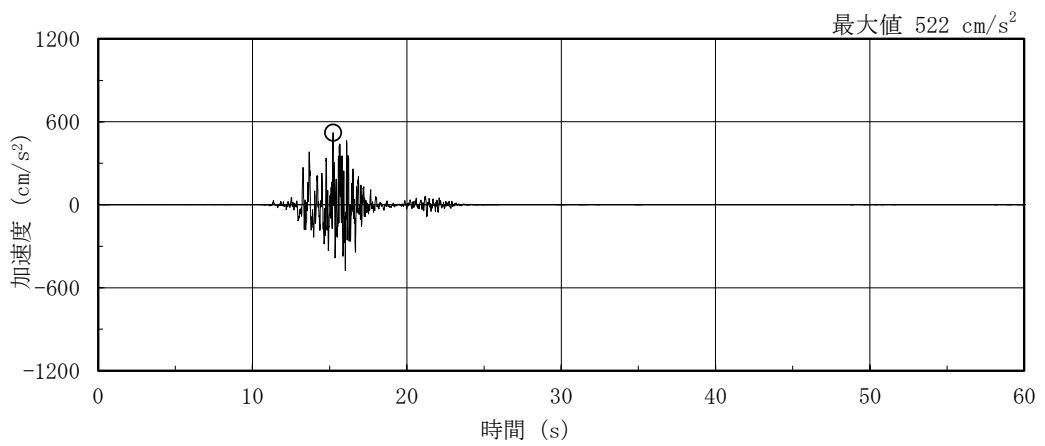
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-1～図 3-3 に示す。



(a) S s - D

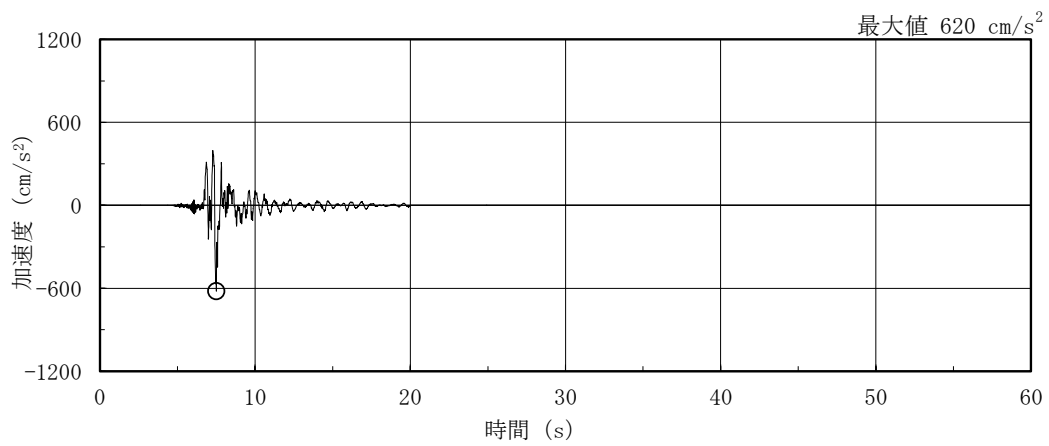


(b) S s - F 1

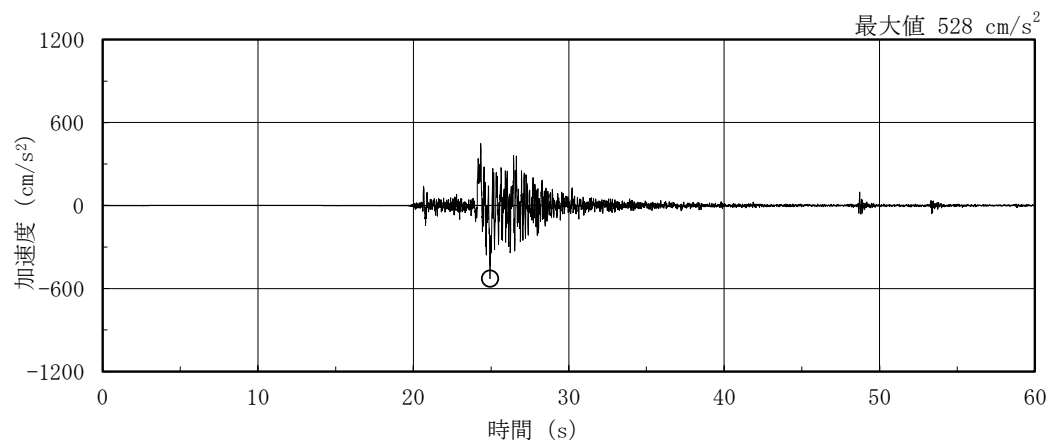


(c) S s - F 2

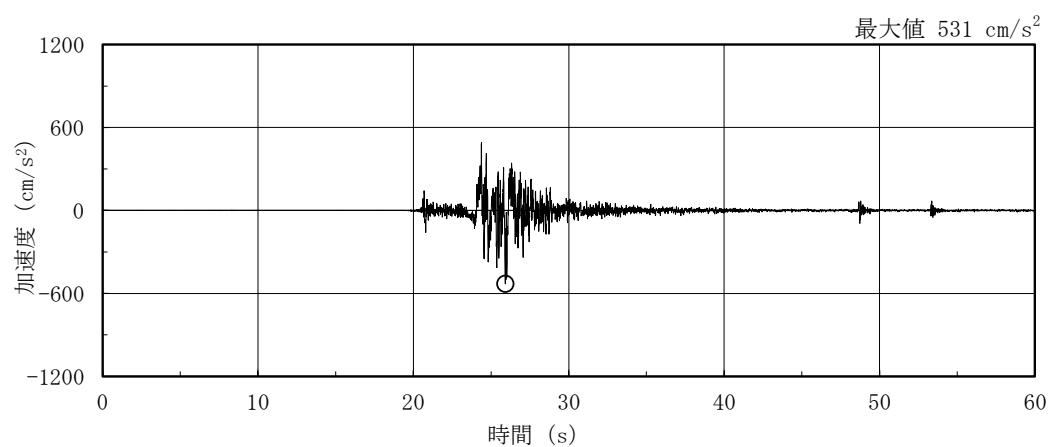
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

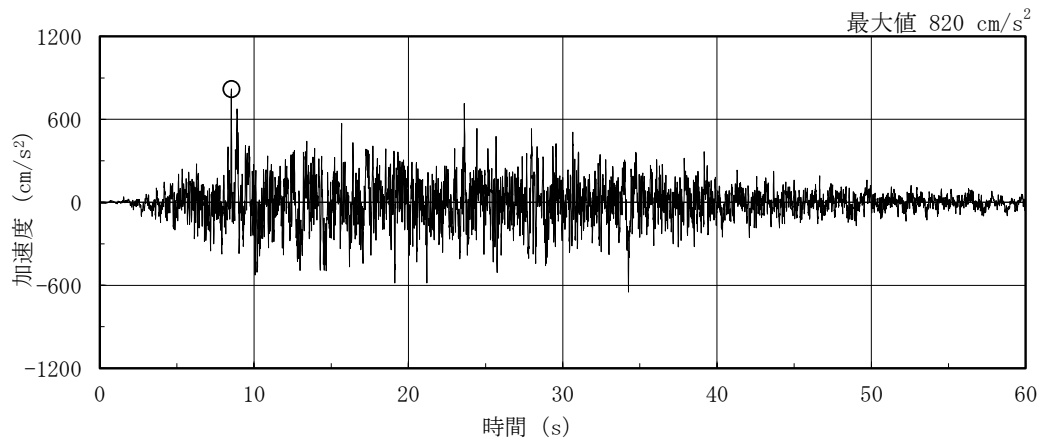


(e) S s - N 2 N S

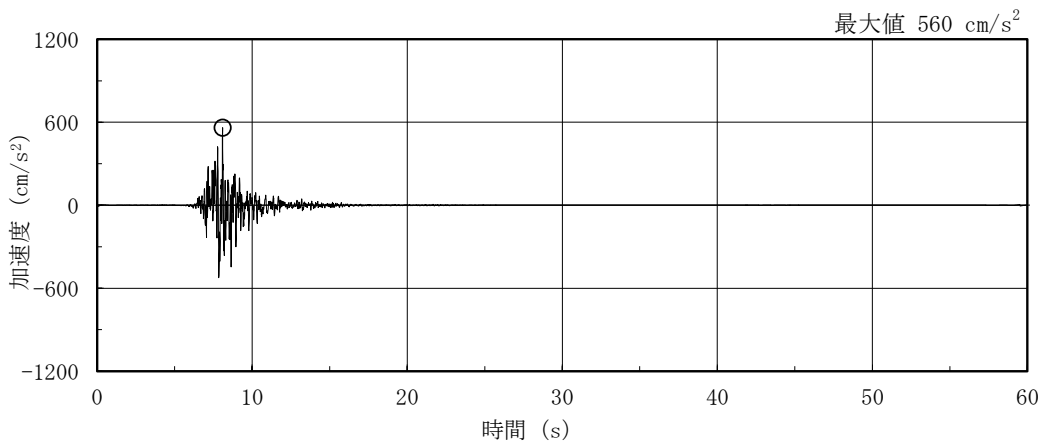


(f) S s - N 2 E W

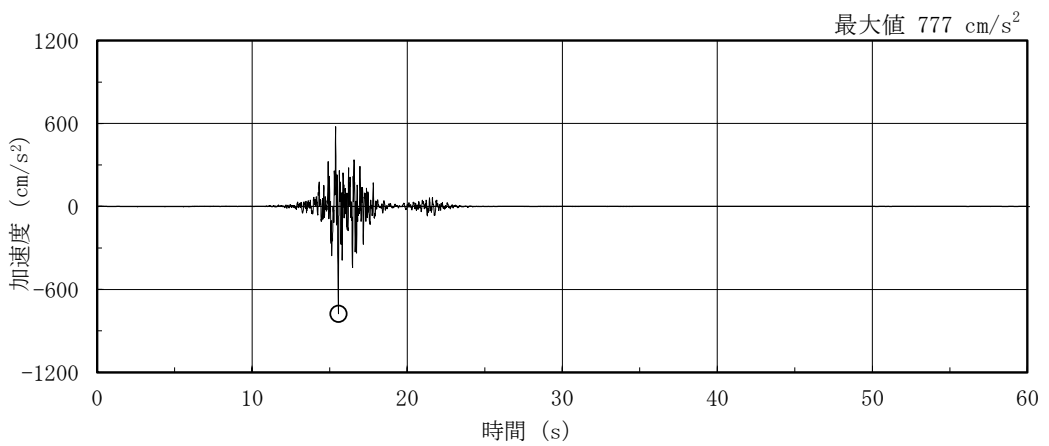
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

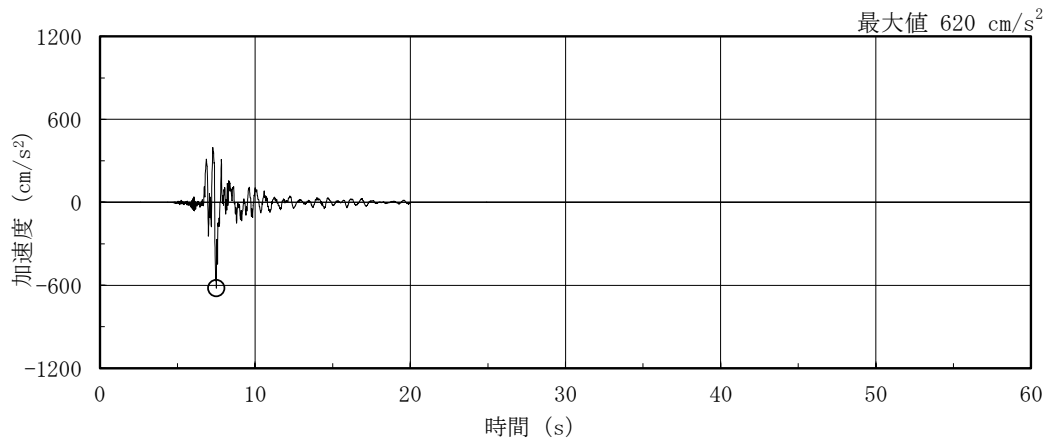


(b) S s - F 1

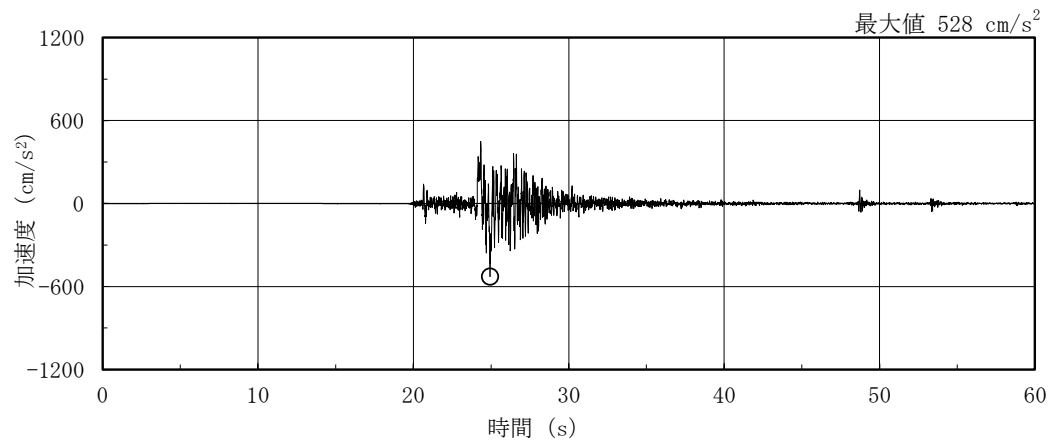


(c) S s - F 2

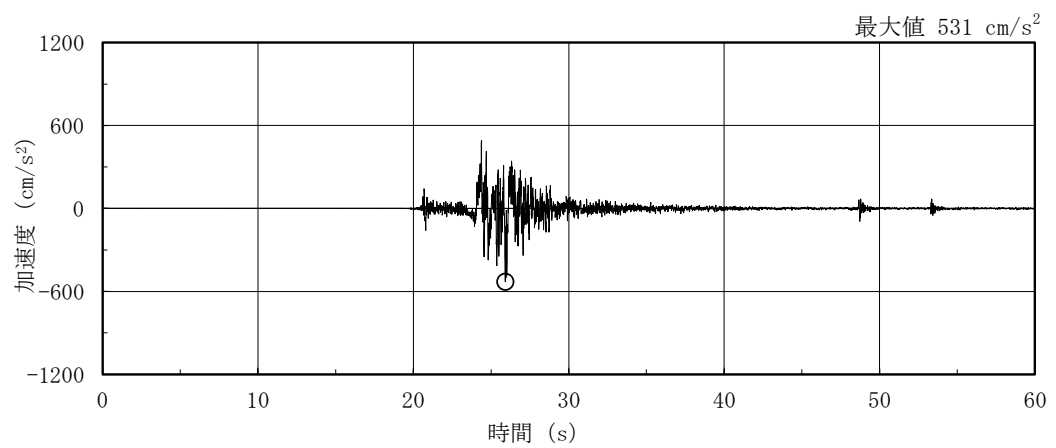
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

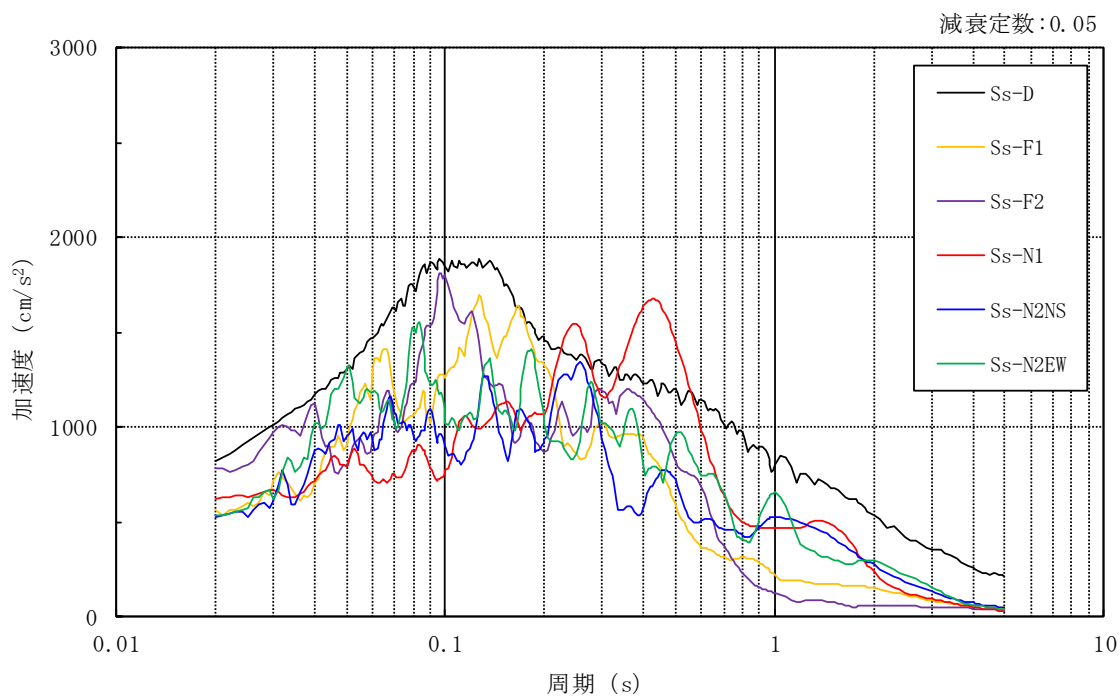
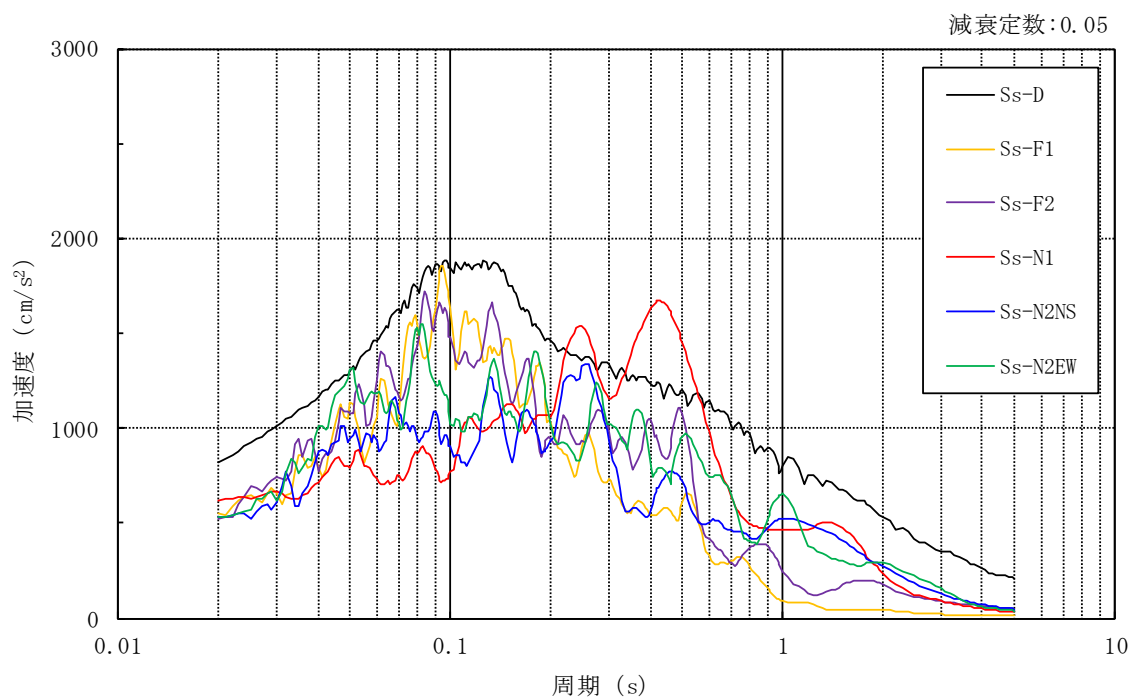


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

排気筒モニタ室の排気筒に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき、表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S_s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		排気筒モニタ室及び排気筒(鉄塔)	建物・構築物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 97mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、排気筒モニタ室と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

表3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S_s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		排気筒モニタ室及び排気筒(鉄塔)	建物・構築物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 97mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、排気筒モニタ室と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=20.6 (N/mm ²) (Fc=210 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.15×10 ⁴	8.98×10 ³	5	—

地震応答解析モデルは、排気筒モニタ室が排気筒の基礎に設置されていることから1階床面（EL 8.8m）を固定し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、NS方向及びEW方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図3-4に示す。

入力地震動は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」で算定した基準地震動 S_s による排気筒（筒身）の基礎上端位置の応答を用いることとし、排気筒モニタ室の1階床面レベルに直接入力する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-5に、排気筒モニタ室への入力地震動とする排気筒（筒身）の基礎上端位置における加速度応答スペクトルを図3-6に示す。

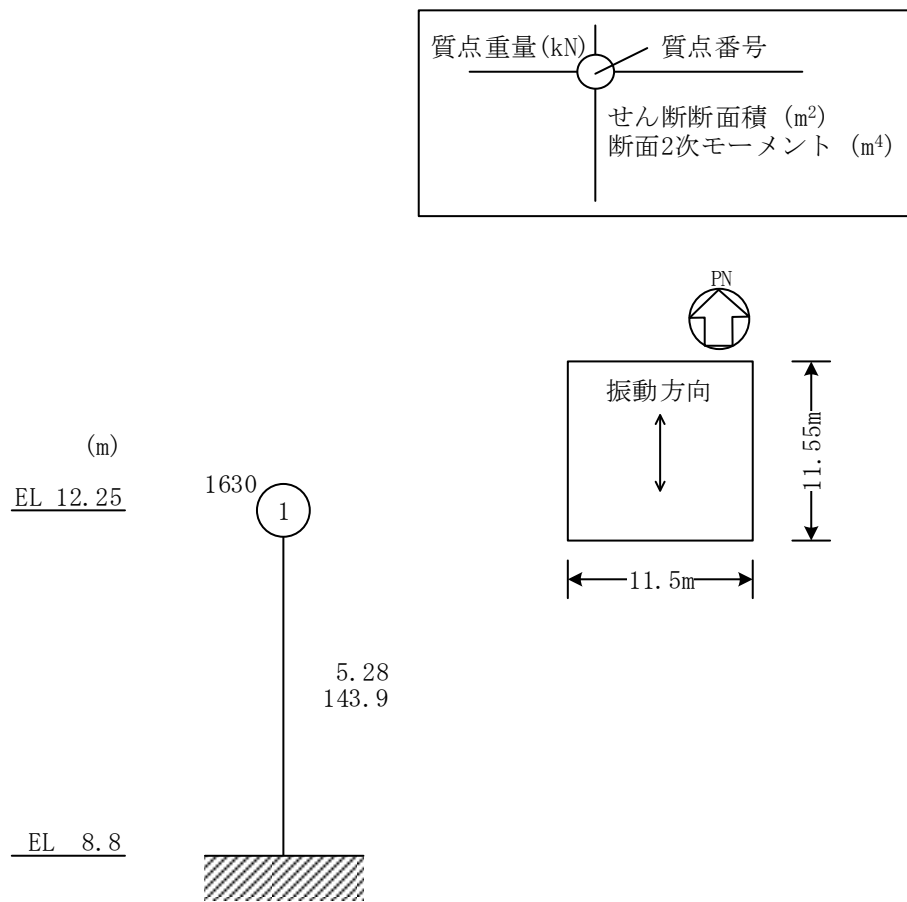


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)

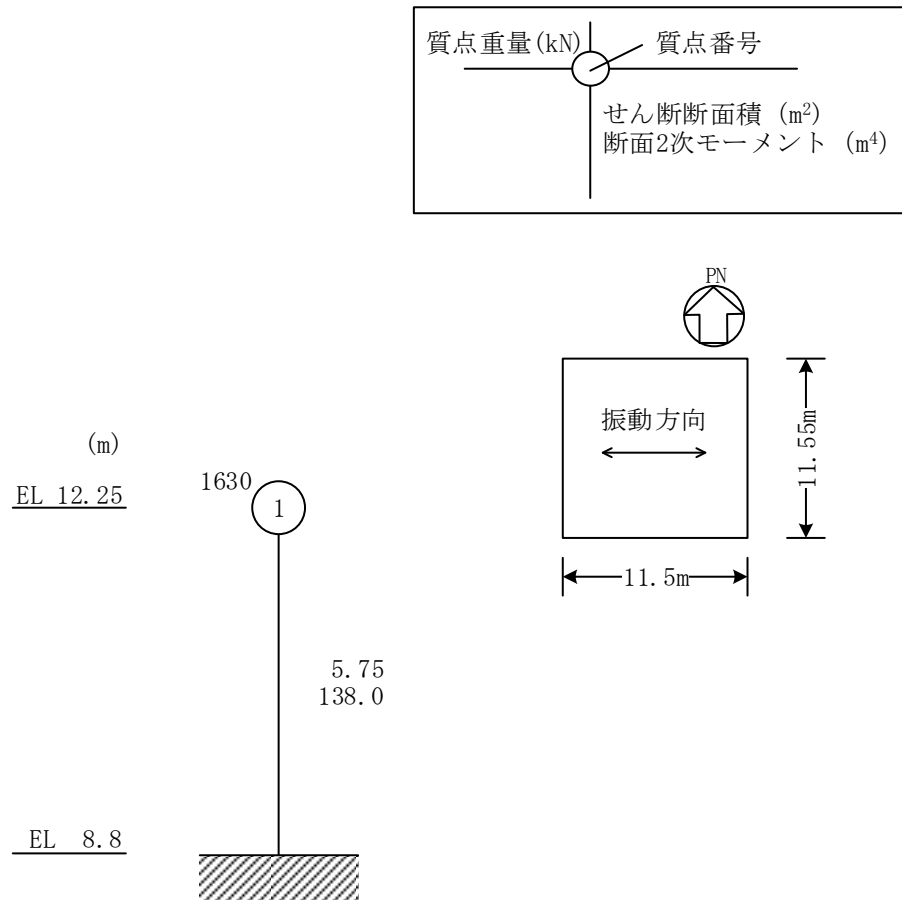
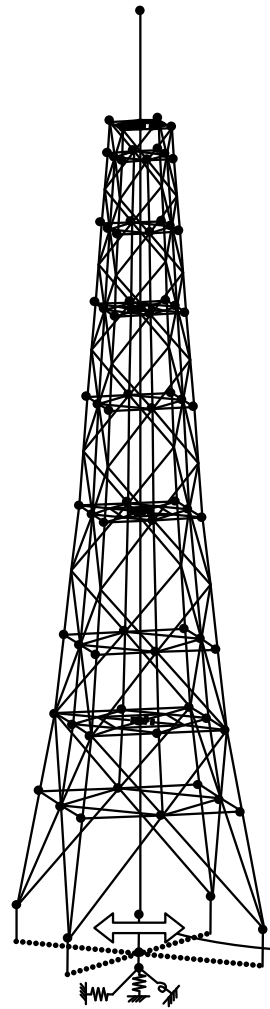
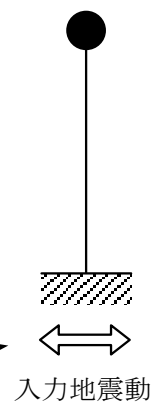


図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)

[排気筒の地震応答解析モデル]



[排気筒モニタ室の地震応答解析モデル]



排気筒（筒身）の基礎上端位置における
基準地震動 S_s の時刻歴応答加速度

図 3-5 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

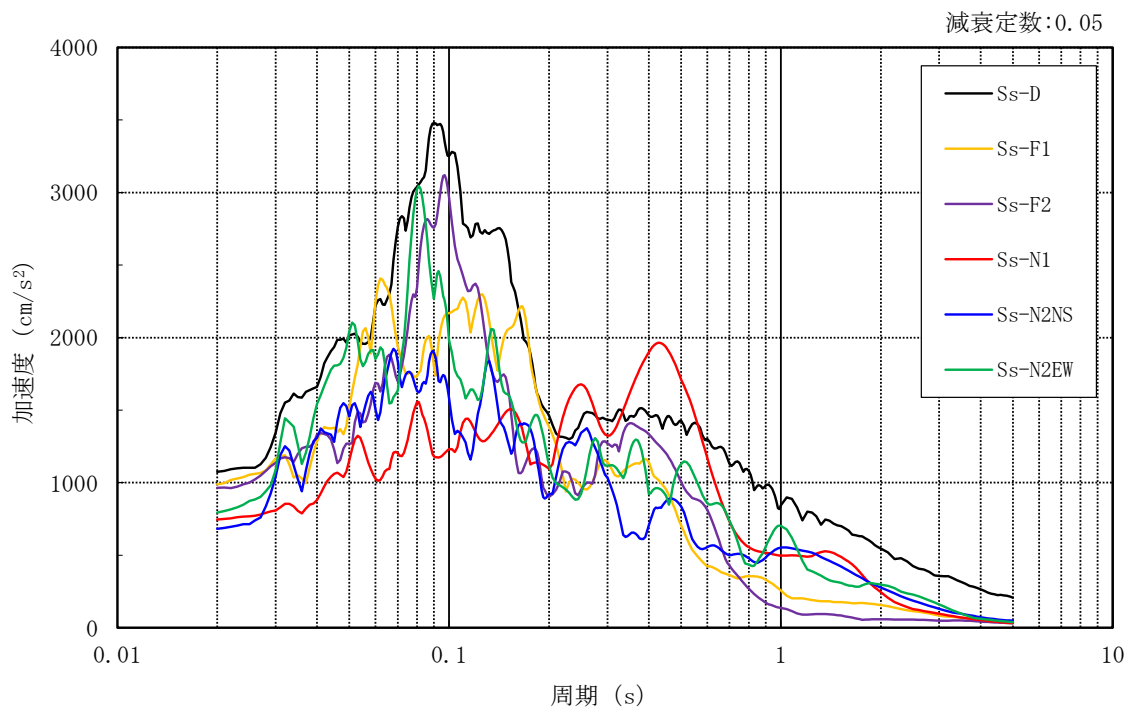
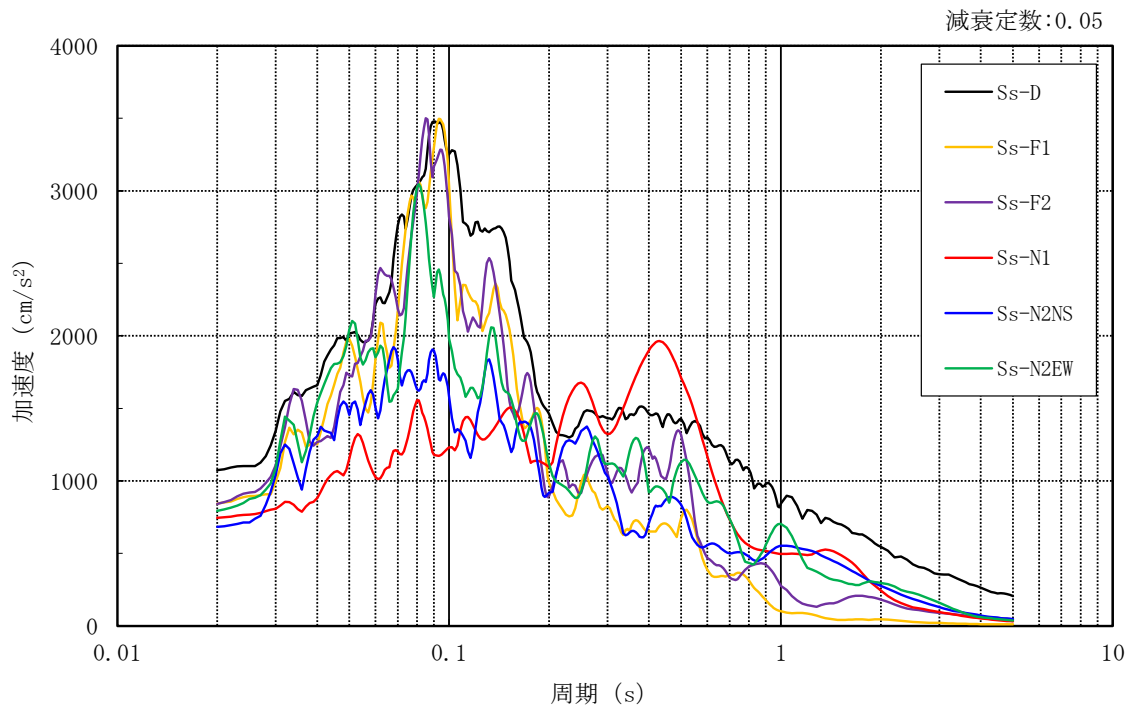


図 3-6 入力地震動の加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，排気筒（筒身）基礎上）

3.5.2 解析方法

排気筒モニタ室の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

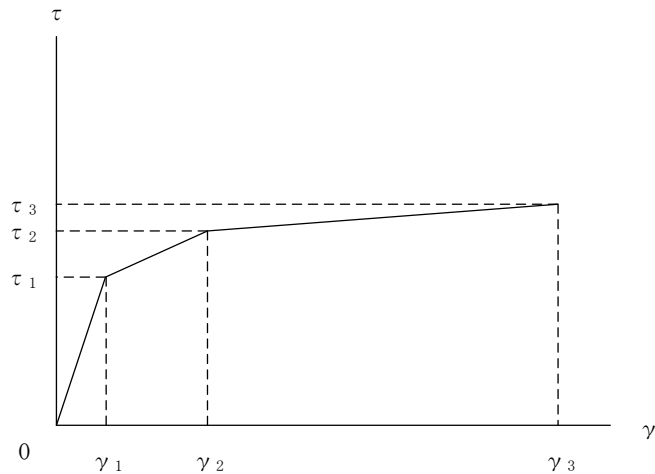
建物・構築物の地震応答解析は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-7 に示す。

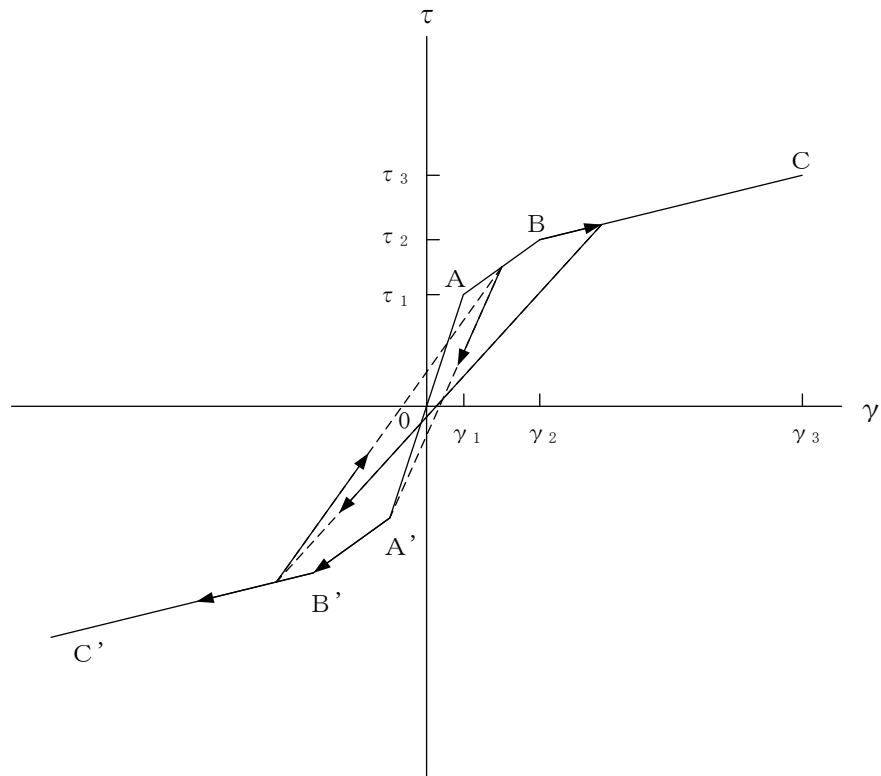


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-7 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-8 に示す。

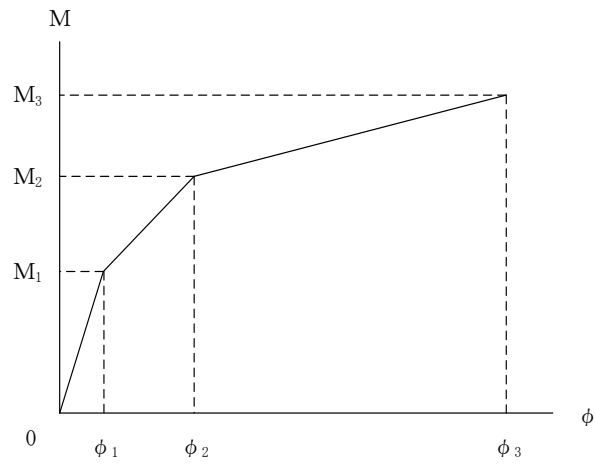


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-8 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は, 「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき, トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-9 に示す。

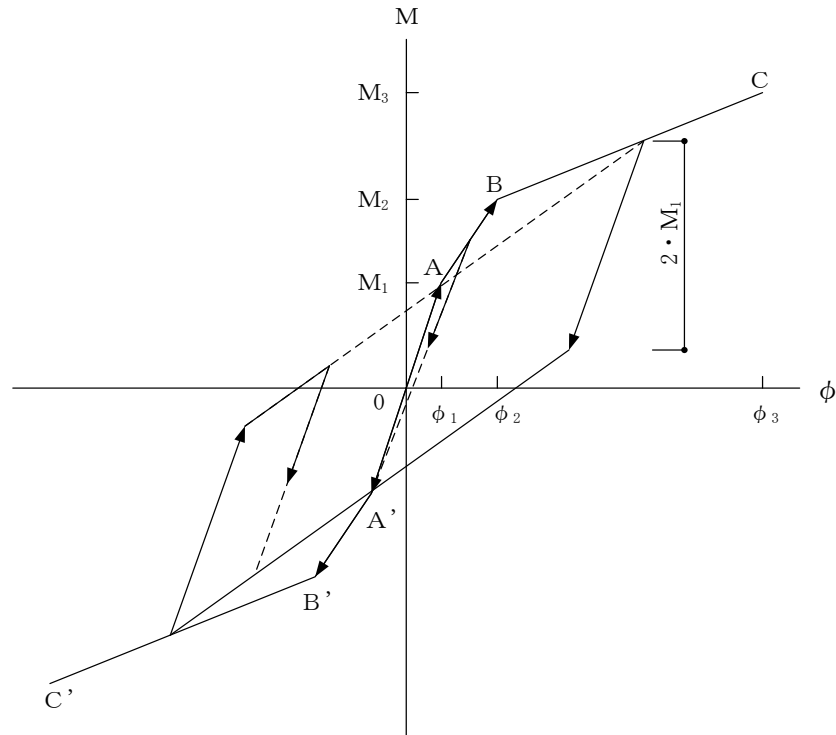


- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
 M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
 M_3 : 終局点の曲げモーメント
 ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
 ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
 ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-9 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-10 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を超えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を超えていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-10 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

排気筒モニタ室の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表 3-5～表 3-8 に示す。

表 3-5 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (N S 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
12.25~8.8	1.48	2.00	4.19	0.165	0.495	4.00

表 3-6 せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W 方向)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
12.25~8.8	1.48	2.00	4.19	0.165	0.495	4.00

表 3-7 曲げスケルトン曲線 ($M - \phi$ 関係) (N S 方向)

EL (m)	M_1 ($\times 10^5$ kN·m)	M_2 ($\times 10^5$ kN·m)	M_3 ($\times 10^5$ kN·m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
12.25~8.8	0.472	0.631	0.833	15.2	166	3320

表 3-8 曲げスケルトン曲線 ($M - \phi$ 関係) (E W 方向)

EL (m)	M_1 ($\times 10^5$ kN·m)	M_2 ($\times 10^5$ kN·m)	M_3 ($\times 10^5$ kN·m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
12.25~8.8	0.454	0.628	0.849	15.3	167	3350

3.5.4 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、排気筒の基礎に設置された建物であることから考慮しない。また、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表 3-9 に示す。

表 3-9 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	—	基本ケース
ケース 2 (積雪)	設計基準強度	—	積雪荷重との 組合せを考慮

3.6 評価方法

排気筒モニタ室の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.6.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す排気筒モニタ室の地震応答解析モデルによる解析結果と VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算定し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算定する際の基準点は、排気筒の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算定する。

さらに、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建物・構築物の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

なお、排気筒モニタ室は1階床面 (EL 8.8m) を固定したモデルのため、地盤物性の不確かさを考慮していないことから、地震応答解析ケースはケース 1 (工認モデル) 及びケース 2 (積雪) の 2 ケースである。一方、排気筒では地盤物性の不確かさ及び制震装置 (粘性ダンパ) の不確かさを考慮しており、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」において地震応答解析ケースを 5 ケースとしている。このため、相対変位による評価について、排気筒モニタ室のケース 1 は排気筒の全 5 ケースと、排気筒モニタ室のケース 2 は排気筒のケース 1 (工認モデル) との相対変位を評価する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 0.04×10^{-3} (NS 方向, $S_s - D$) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.04×10^{-3} (NS 方向, ケース 2, $S_s - D$) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	許容限界
NS	0.04 ($S_s - D$)	0.04 ($S_s - D$)	4.0
EW	0.04 ($S_s - D$)	0.04 ($S_s - D$)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2$ NS 及び $S_s - N2$ EW に対して実施。

4.2 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する建物・構築物間の最大相対変位を表 4-2 に示す。また、各建物・構築物の最大応答変位とクリアランスを図 4-1 に示す。

その結果、材料物性の不確かさを考慮した場合も含め、最大相対変位は、EL 12.25m で 4.29mm ($S_s - D$) であり、許容限界 (97mm) を超えないことを確認した。

表 4-2 排気筒モニタ室と排気筒（鉄塔）の最大相対変位
（NS方向，絶対値和）

（単位：mm）

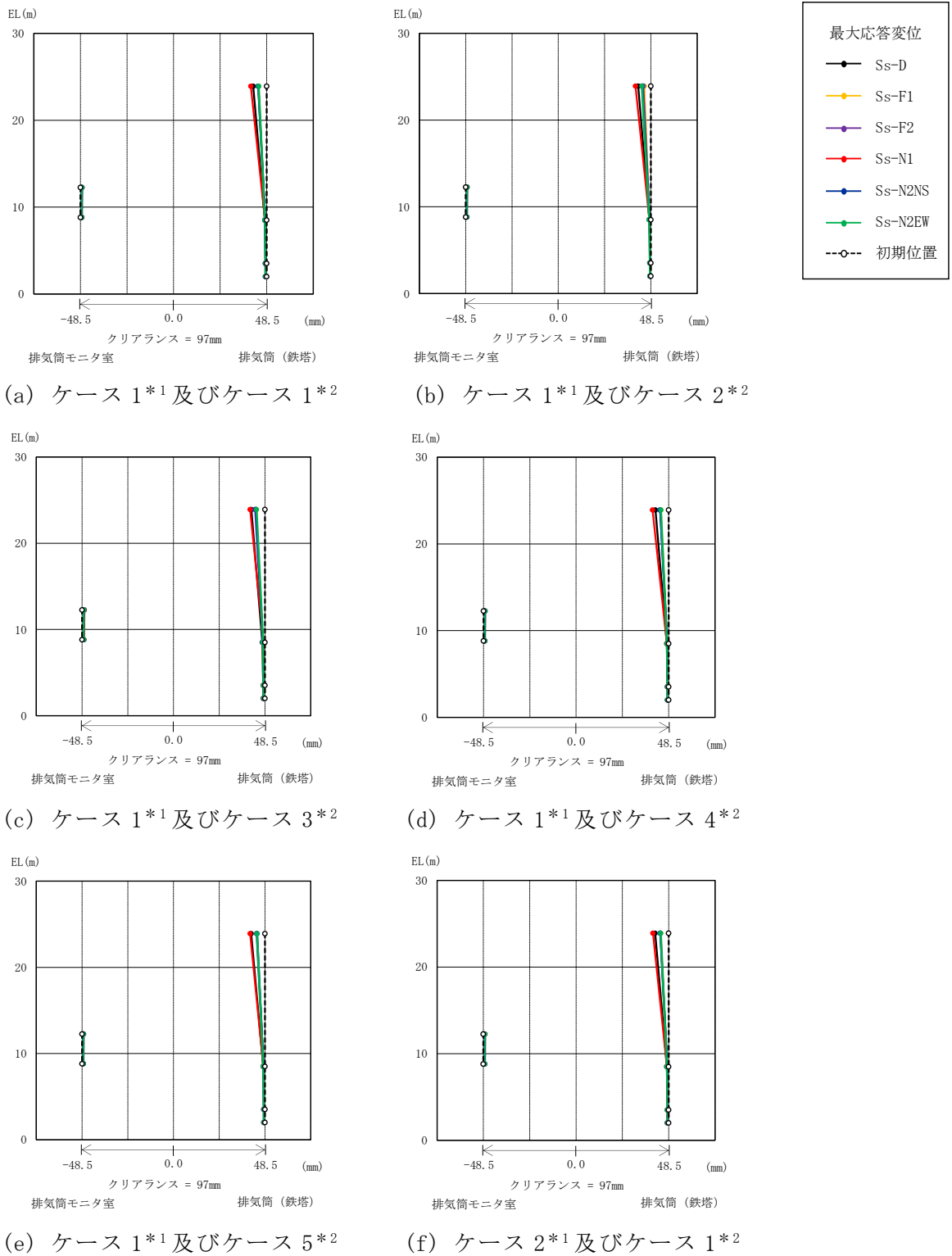
排気筒モニタ室		排気筒 （鉄塔）		ケース 1*1 （工認モデル）					ケース 2*1	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)	ケース 1*2 （工認モデル）	ケース 2*2 （地盤物性+ σ ）	ケース 3*2 （地盤物性- σ ）	ケース 4*2 （減衰係数上限）	ケース 5*2 （減衰係数下限）	ケース 1*2 （工認モデル）	
①	12.25	*3	12.25	3.54 (S s - D)	3.19 (S s - D)	4.29 (S s - D)	3.52 (S s - D)	3.60 (S s - D)	3.54 (S s - D)	97

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は，基準地震動 S s - D，S s - F 1，S s - F 2，S s - N 1，S s - N 2 NS 及び S s - N 2 EW に対して実施。

注記*1：排気筒モニタ室の地震応答解析ケースを示す。

*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

*3：排気筒モニタ室の質点①（EL 12.25m）の応答変位に加算する排気筒の応答変位は，排気筒（鉄塔）の上下質点間（EL23.9m～EL 8.5m）で線形補間して算定。



注記*1：排気筒モニタ室の地震応答解析ケースを示す。

*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

図 4-1 排気筒モニタ室と排気筒（鉄塔）の最大応答変位とクリアランス（NS方向）

VI-2-11-2-2 1号機排気筒の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 評価方法	8
3.1 評価対象部位及び評価方針	8
3.2 設計に用いる地震波	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	17
3.4 許容限界	18
3.5 解析方法	19
3.5.1 地震応答解析モデル	19
3.5.2 解析方法	33
3.5.3 材料物性の不確かさ	34
3.6 評価方法	36
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	36
4. 評価結果	37
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	37

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機排気筒が原子炉補機海水ポンプ、原子炉建物等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、原子炉補機海水ポンプ、原子炉建物等の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、1号機排気筒の構造物全体としての変形性能の評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機排気筒の設置位置を図2-1に示す。

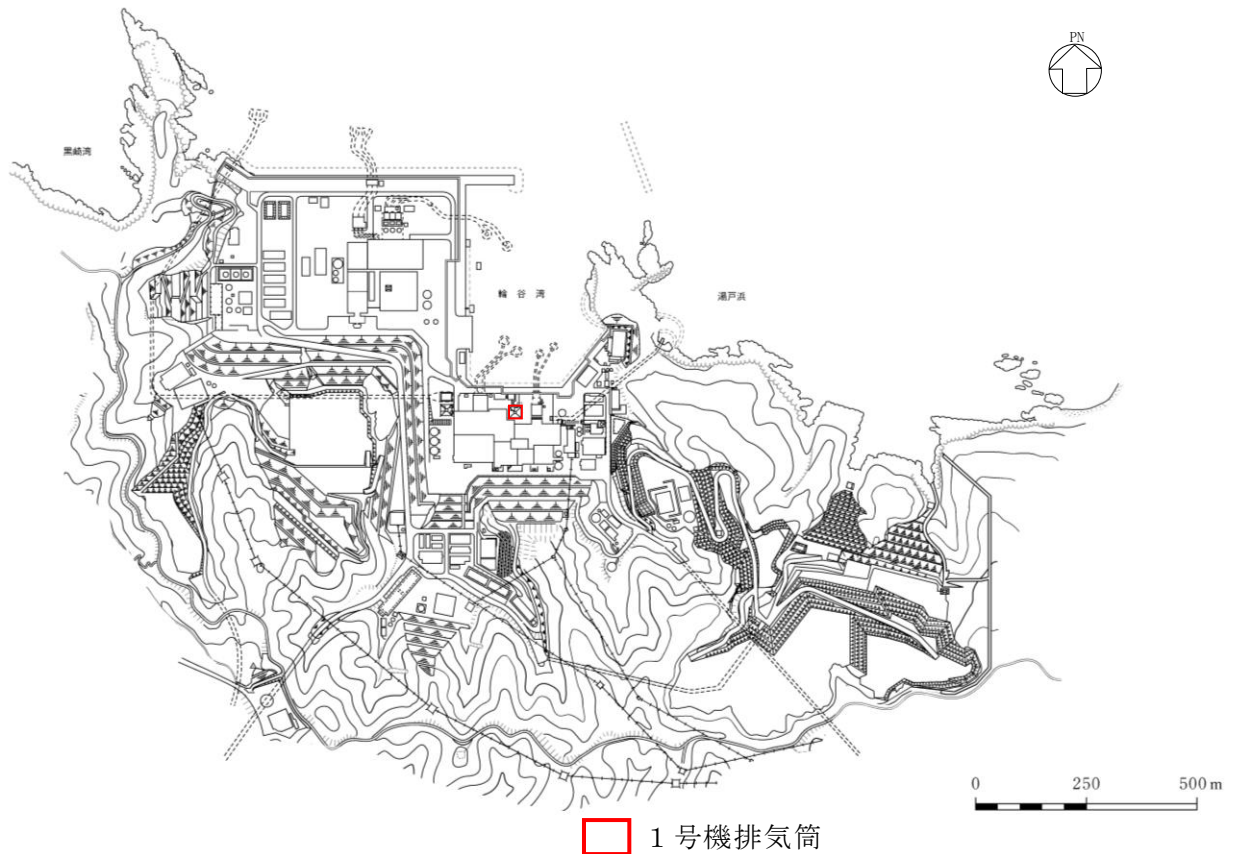


図2-1 1号機排気筒の設置位置

2.2 構造概要

1号機排気筒は、地盤からの高さ120mである内径2.8mの鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

1号機排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり、岩盤に直接設置している。

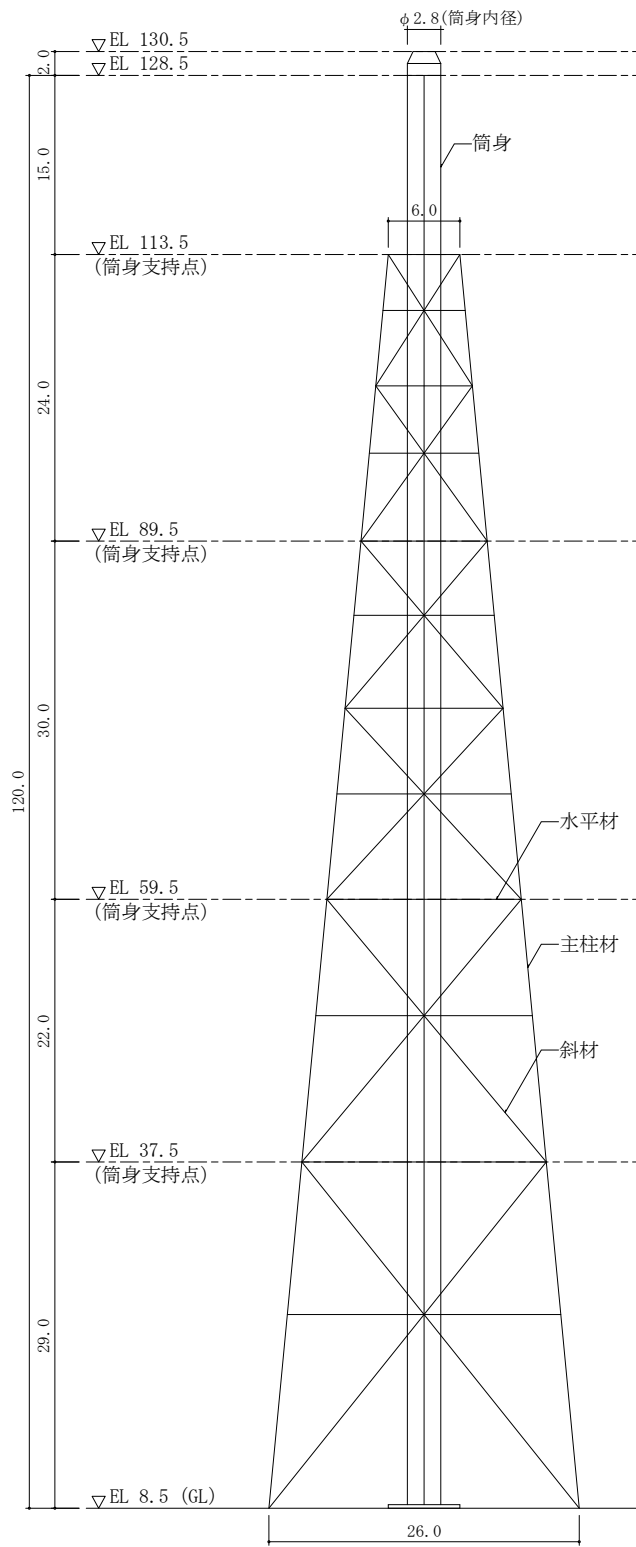
筒身は支持点位置(EL 37.5m, EL 59.5m, EL 89.5m 及び EL 113.5m*)にて鉄塔と接合されている。

1号機排気筒の概要図を図2-2に、配置図を図2-3に示す。

構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型
排気筒高さ	筒身 120.0m (EL 128.5m)
鉄塔高さ	105.0m (EL 113.5m)
鉄塔幅	頂部 6.0m 根開き 26.0m
筒身支持点位置	EL 37.5m, EL 59.5m, EL 89.5m, EL 113.5m
基礎	鉄筋コンクリート造

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



部材リスト (単位: mm)			
主柱材	斜材	水平材	筒身
—	—	—	8
φ 267.4 × 6.6	φ 216.3 × 5.8	H-500 × 200 × 10 × 16*1	12 14 12
φ 355.6 × 6.4	φ 216.3 × 5.8	φ 165.2 × 4.5	8
φ 508.0 × 7.9	φ 267.4 × 6.6	φ 216.3 × 5.8	12 14 12
φ 609.6 × 9.5	φ 318.5 × 6.9	φ 267.4 × 6.6	8
φ 711.2 × 12.7	φ 406.4 × 7.9	φ 355.6 × 6.4	12 14 12
φ 508.0 × 9.5	φ 406.4 × 7.9	φ 508.0 × 9.5	8
φ 812.8 × 16.0	φ 457.2 × 6.4	φ 457.2 × 6.4	12 14 12
φ 508.0 × 9.5	φ 508.0 × 9.5	φ 508.0 × 9.5	8
φ 457.2 × 6.4	φ 457.2 × 6.4	φ 457.2 × 6.4	10
—	—	—	t=8
STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	SM41 (SM400相当)

注記 *1:SS41 (SS400相当)を示す。

図 2-2 1号機排気筒の概要図 (単位: m)

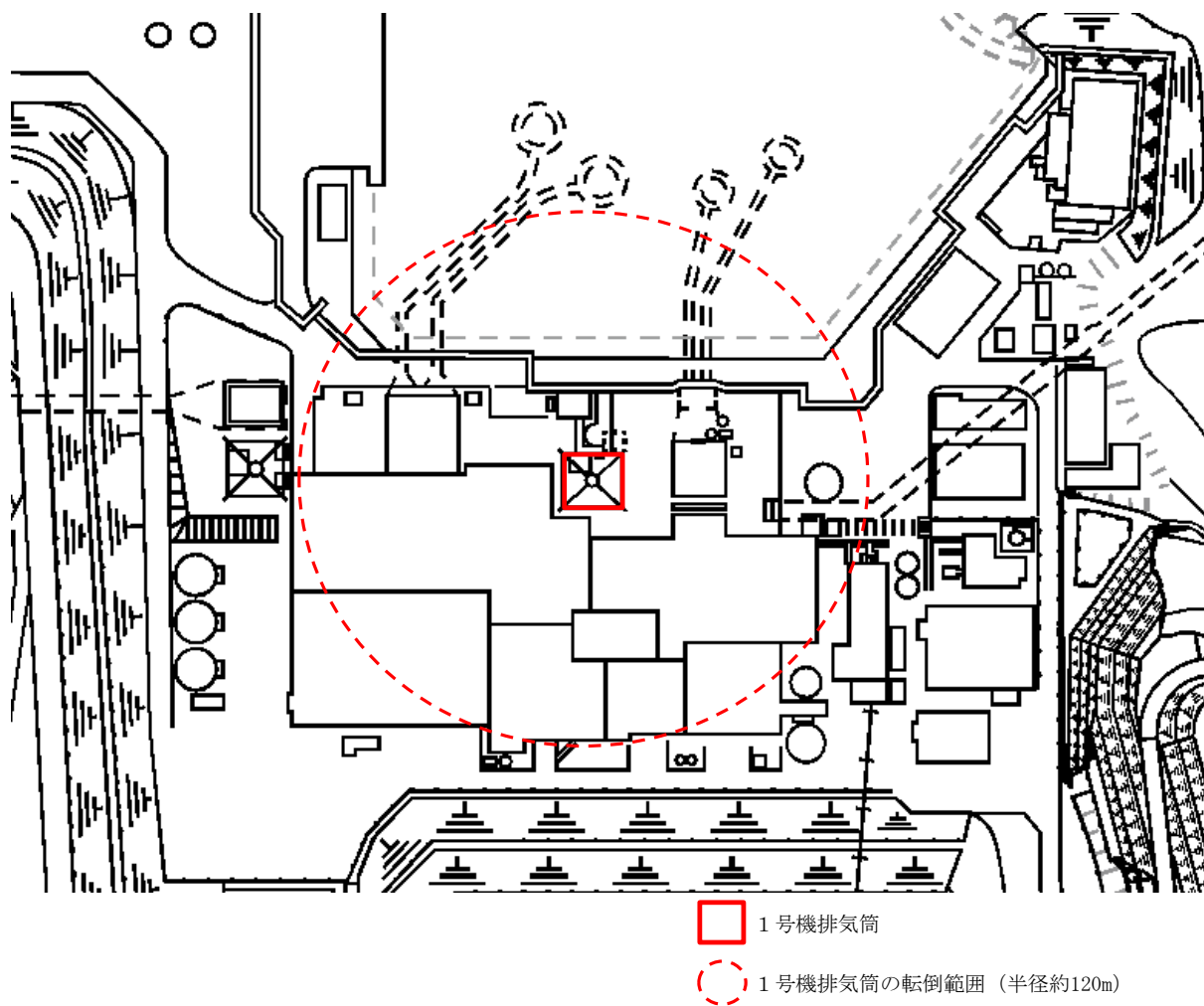


図 2-3 1号機排気筒の配置図

2.3 評価方針

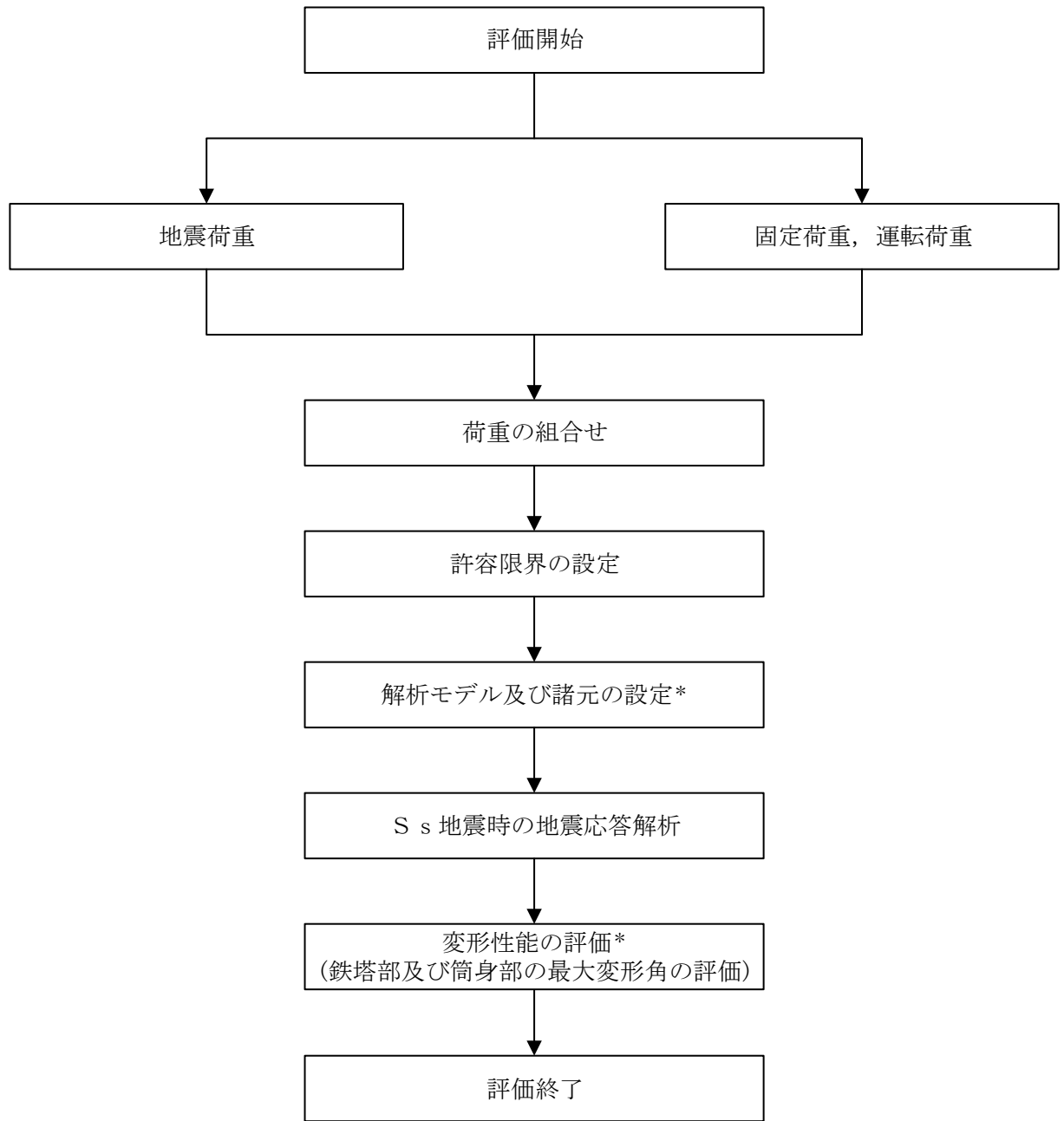
1号機排気筒は、原子炉補機海水ポンプ、原子炉建物等と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

1号機排気筒の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。

1号機排気筒の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、1号機排気筒では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2-4に1号機排気筒の波及的影響の評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-4 1号機排気筒の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

1号機排気筒の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・煙突構造設計施工指針 ((財) 日本建築センター, 1982 年版)
- ・煙突構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2007 制定)
- ・塔状鋼構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 1980 制定)
- ・鋼構造座屈設計指針 ((社) 日本建築学会, 1996 改定)
- ・容器構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

1号機排気筒の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

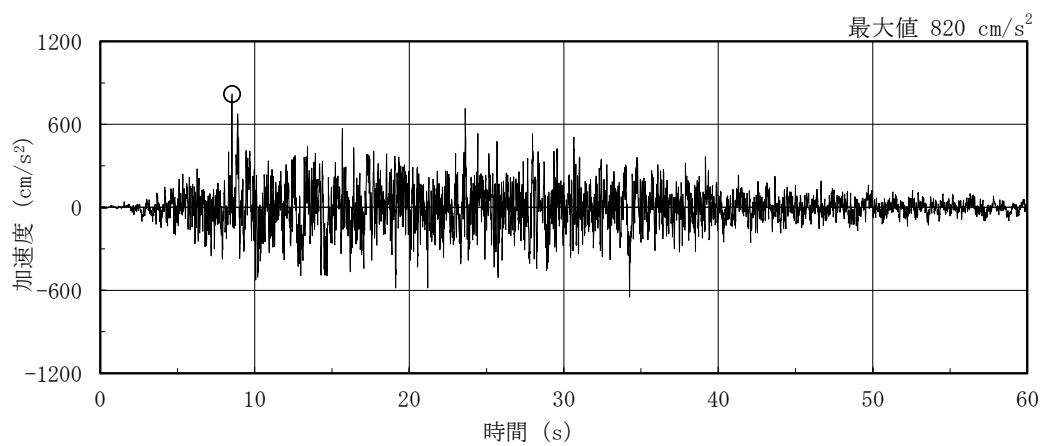
構造物全体としての変形性能の評価では、立体架構モデルを用いた地震応答解析結果により求められる鉄塔部及び筒身部の頂部変位に基づく最大変形角が、「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

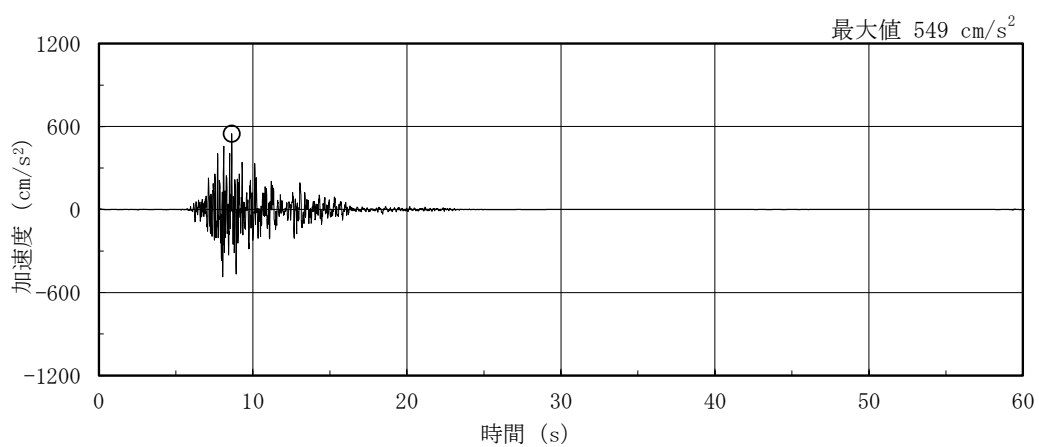
3.2 設計に用いる地震波

1号機排気筒の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ、原子炉建物等の評価に適用したVI-2-1-2「基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dの策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動S_sを用いることとする。

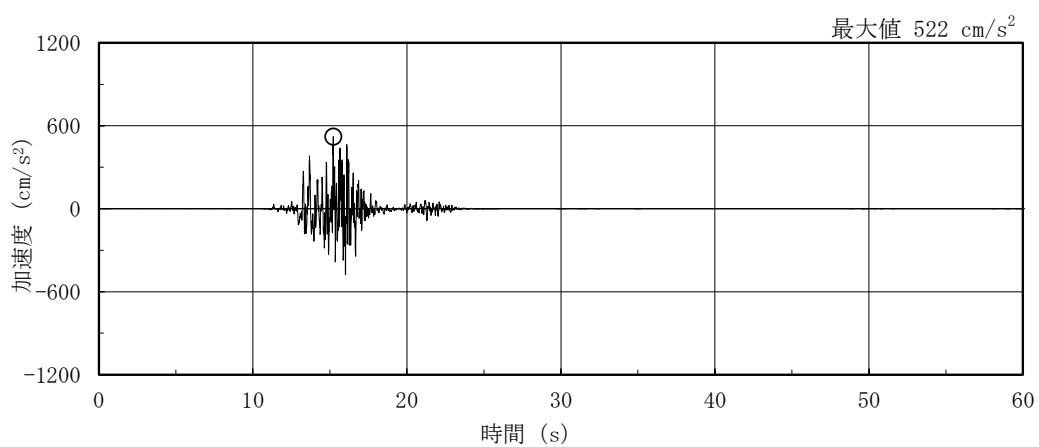
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-4に示す。



(a) S s - D

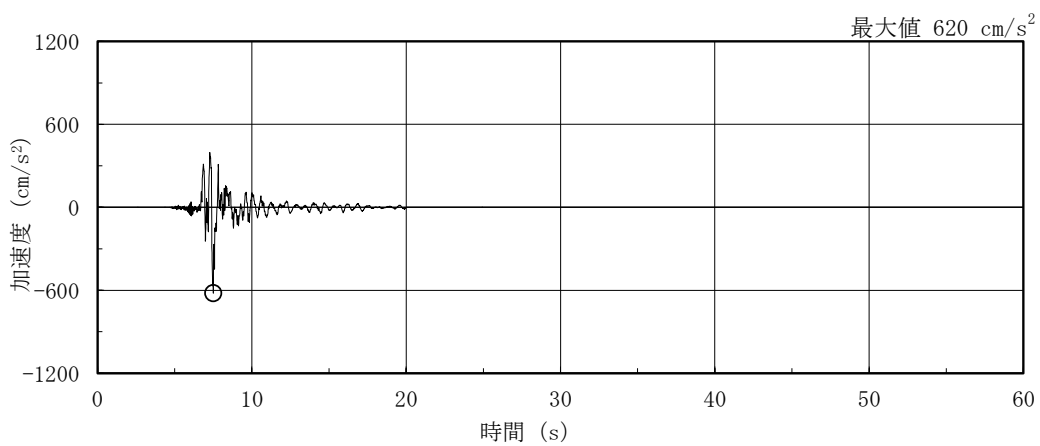


(b) S s - F 1

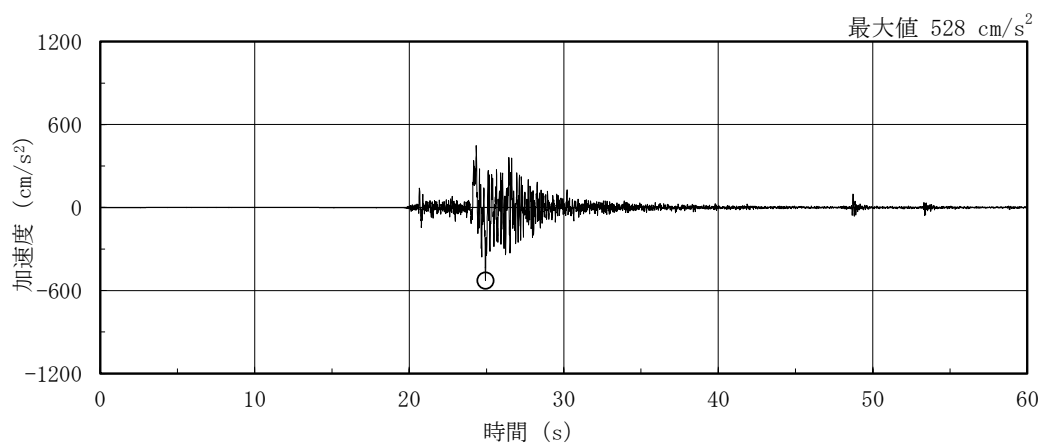


(c) S s - F 2

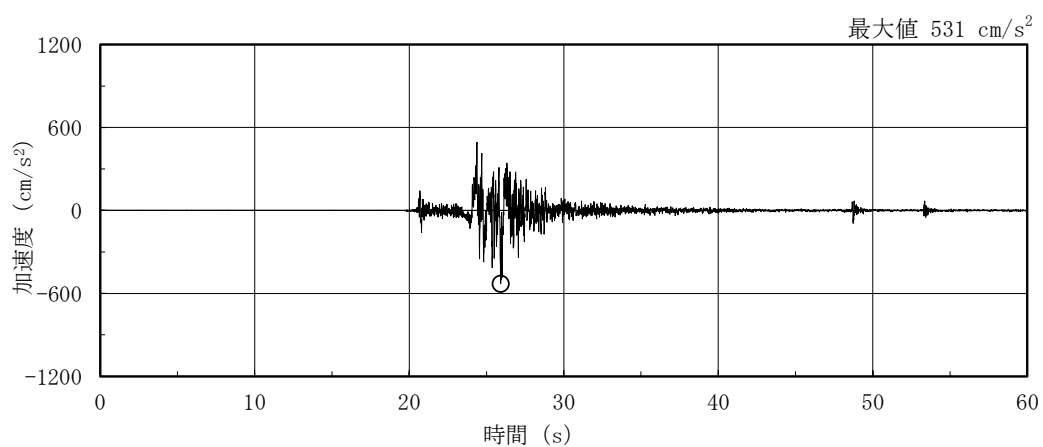
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

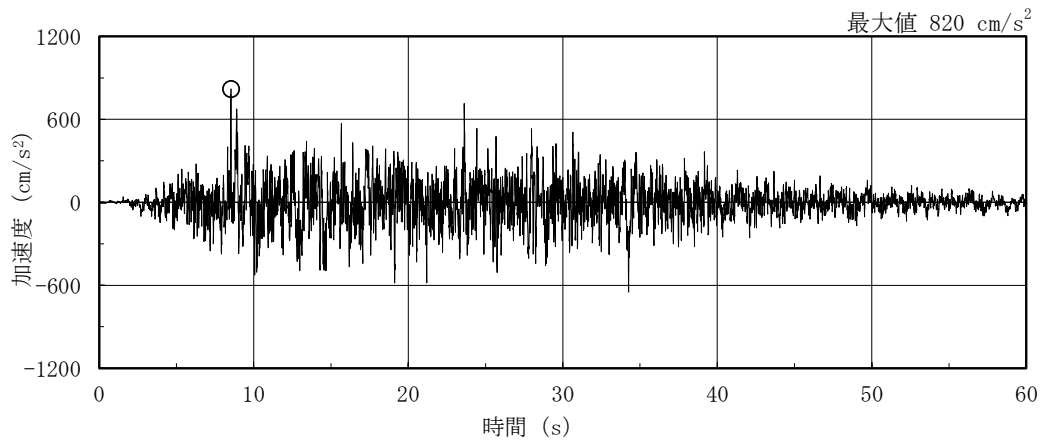


(e) S s - N 2 N S

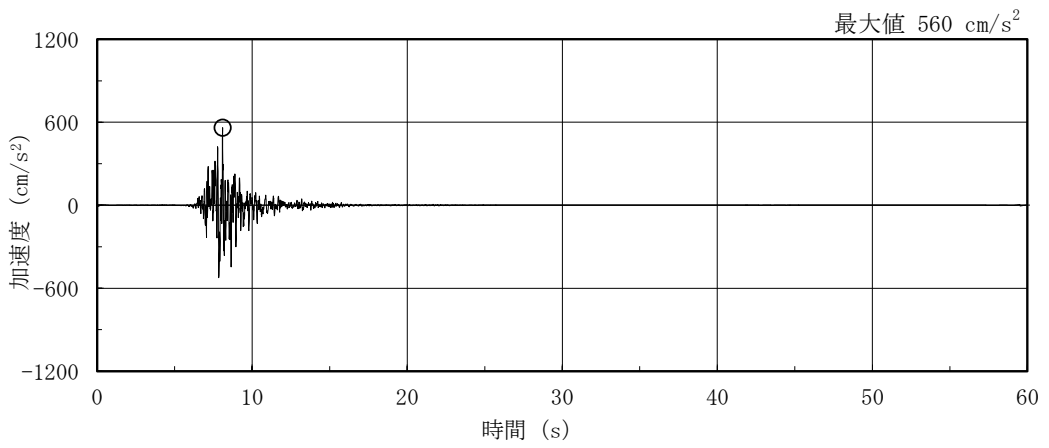


(f) S s - N 2 E W

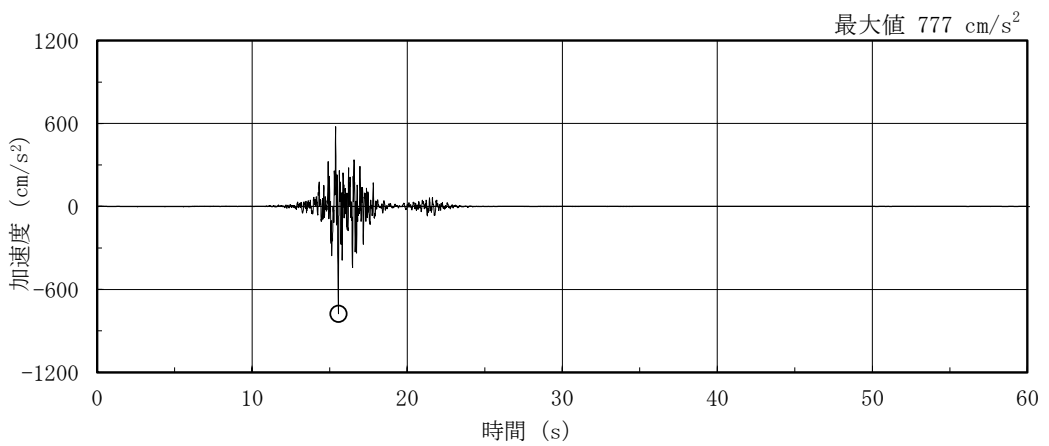
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

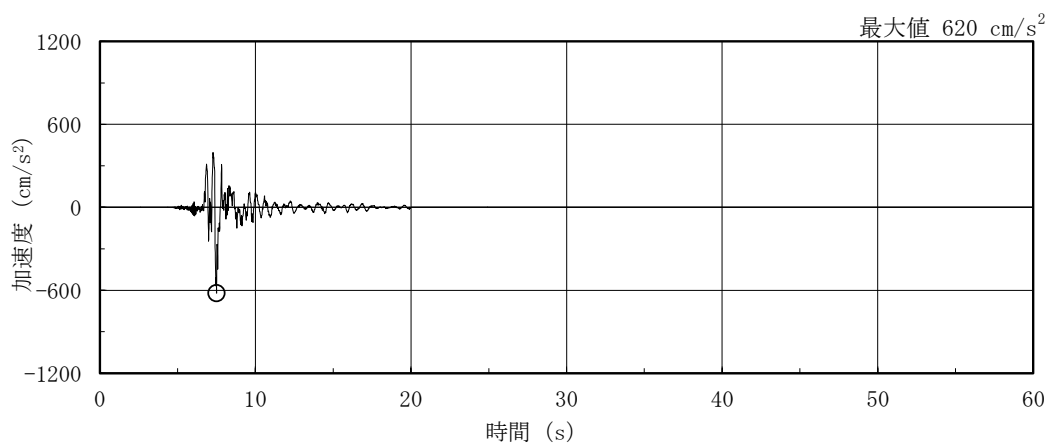


(b) S s - F 1

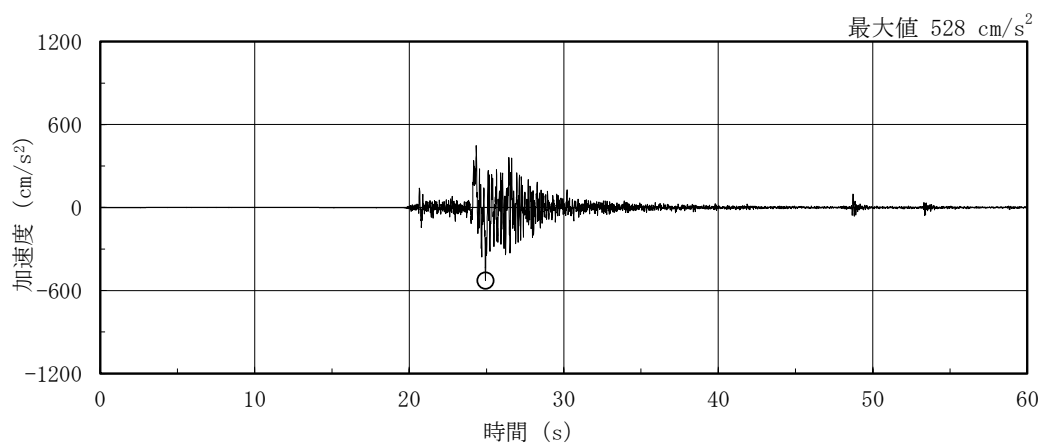


(c) S s - F 2

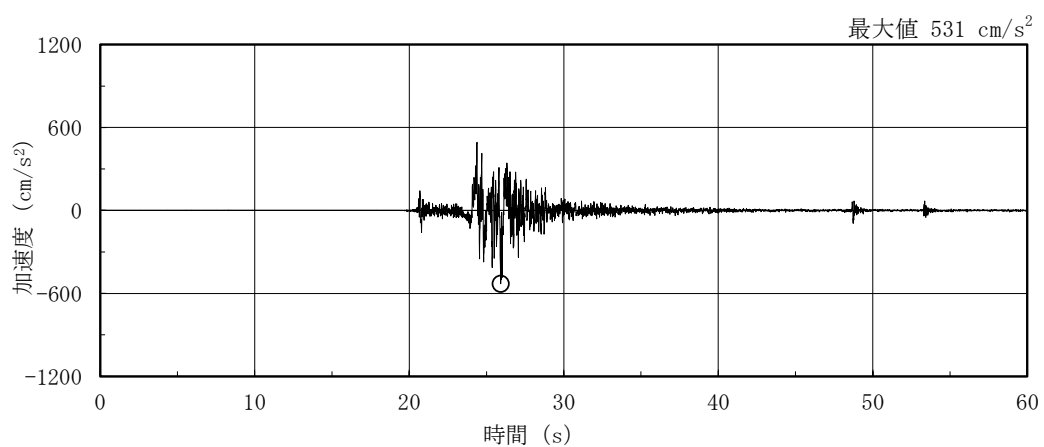
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(d) S s - N 1

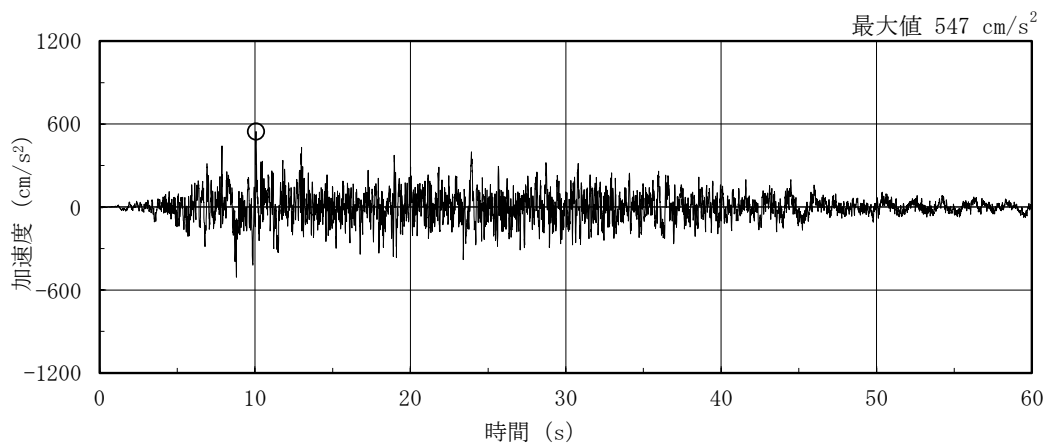


(e) S s - N 2 N S

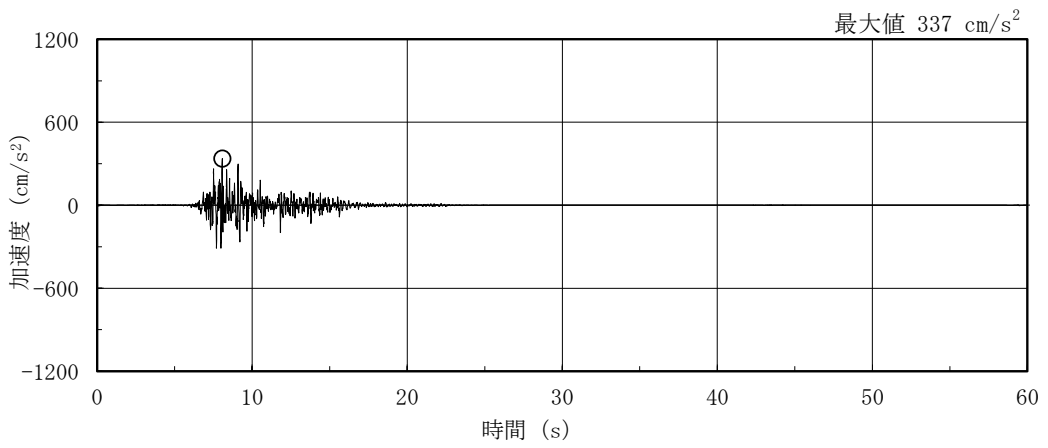


(f) S s - N 2 E W

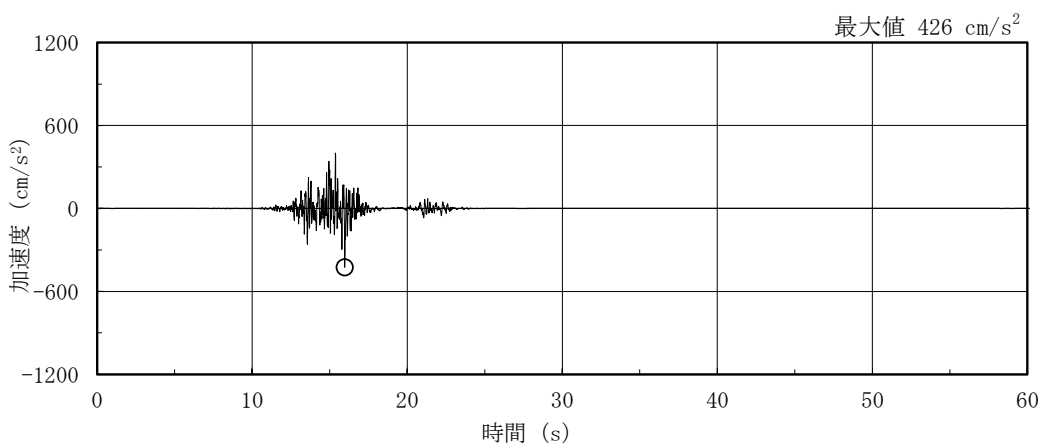
図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)



(a) S s - D

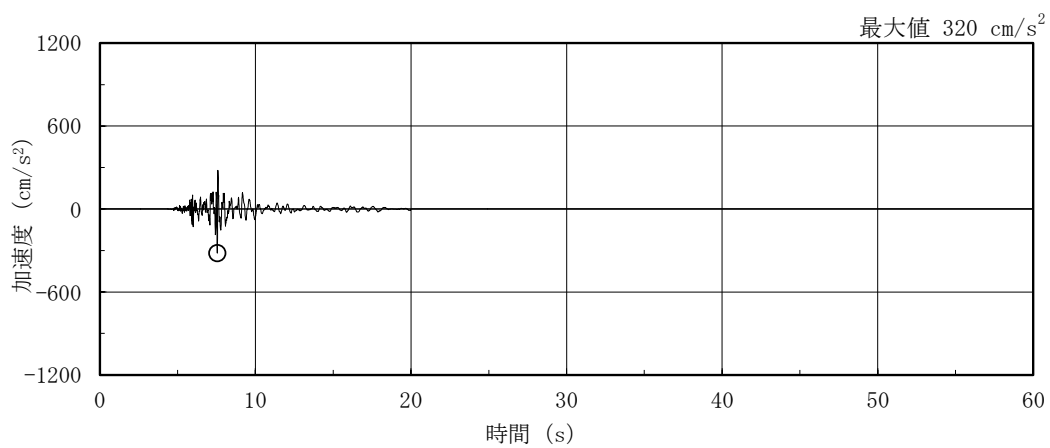


(b) S s - F 1

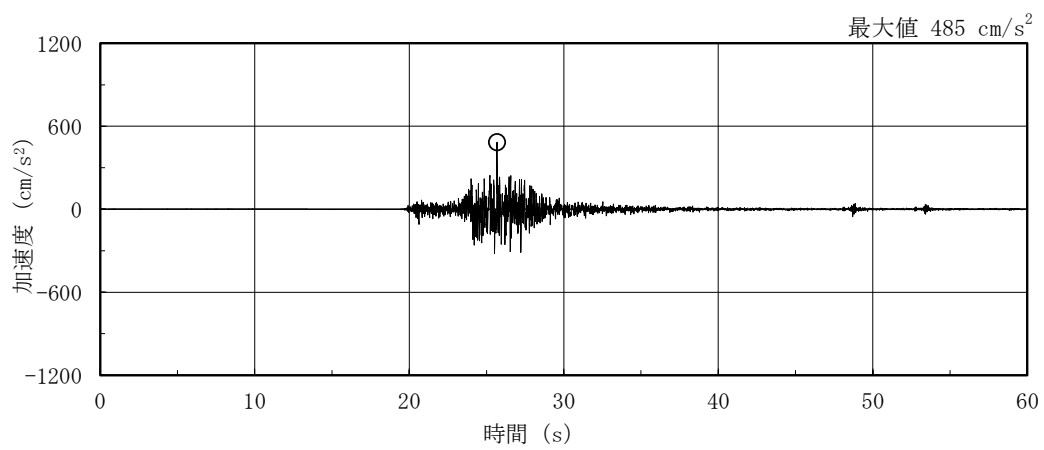


(c) S s - F 2

図 3-3(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2

図 3-3(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向)

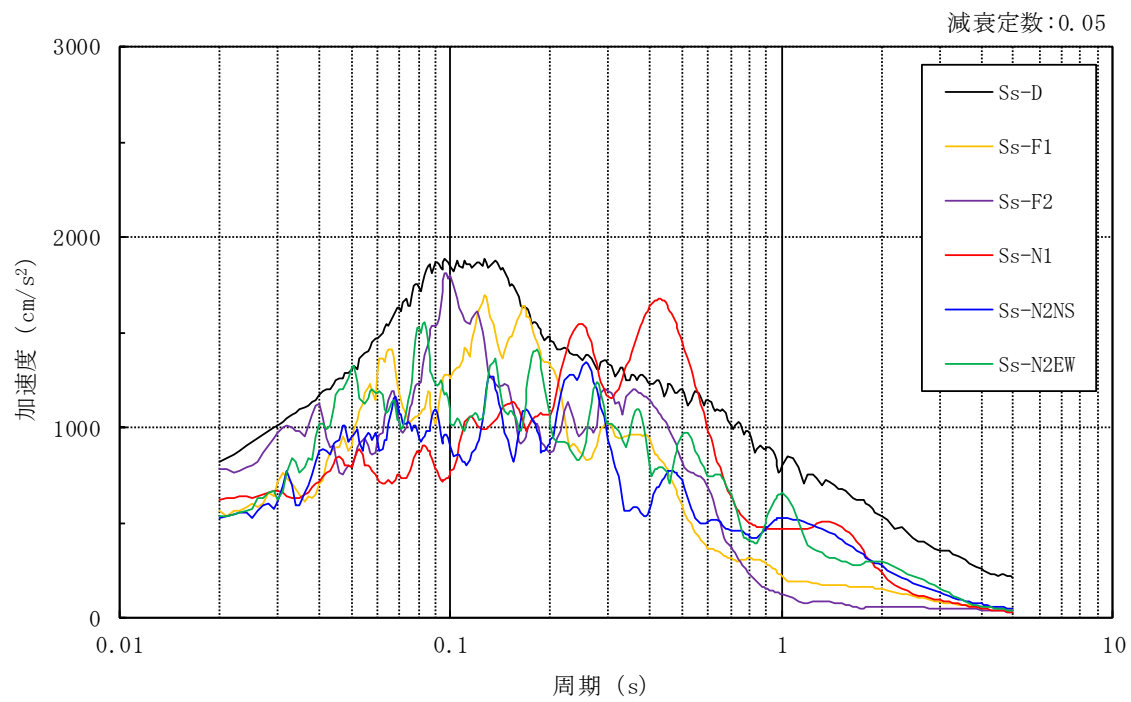
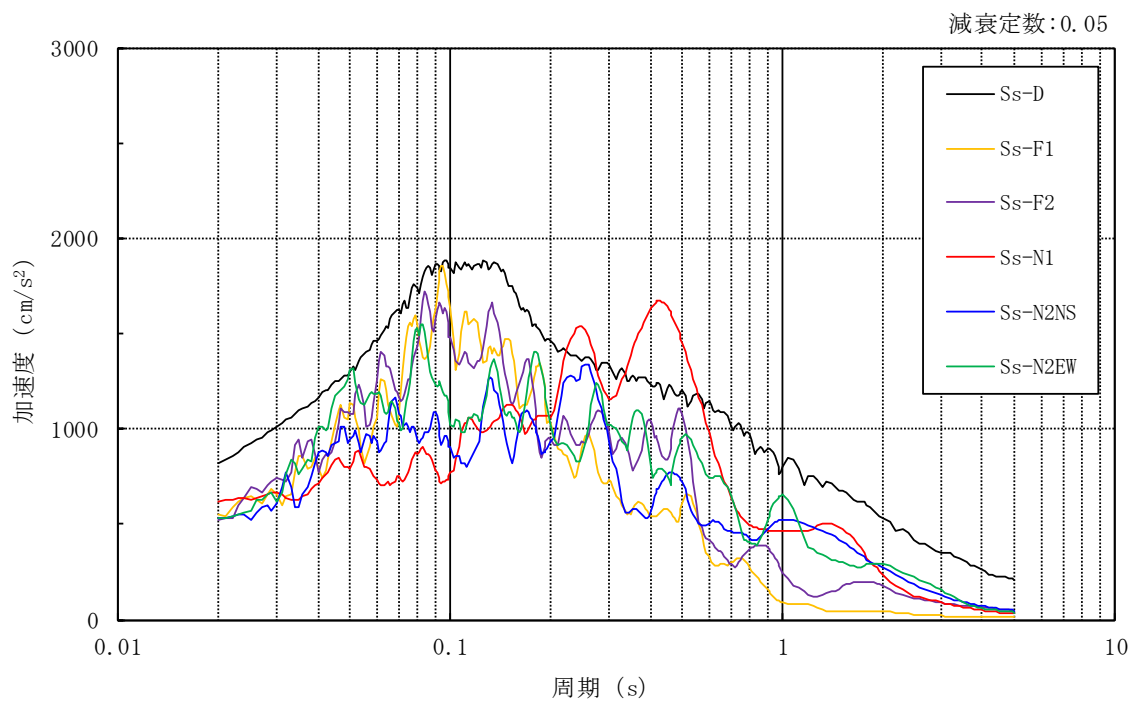


図 3-4(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

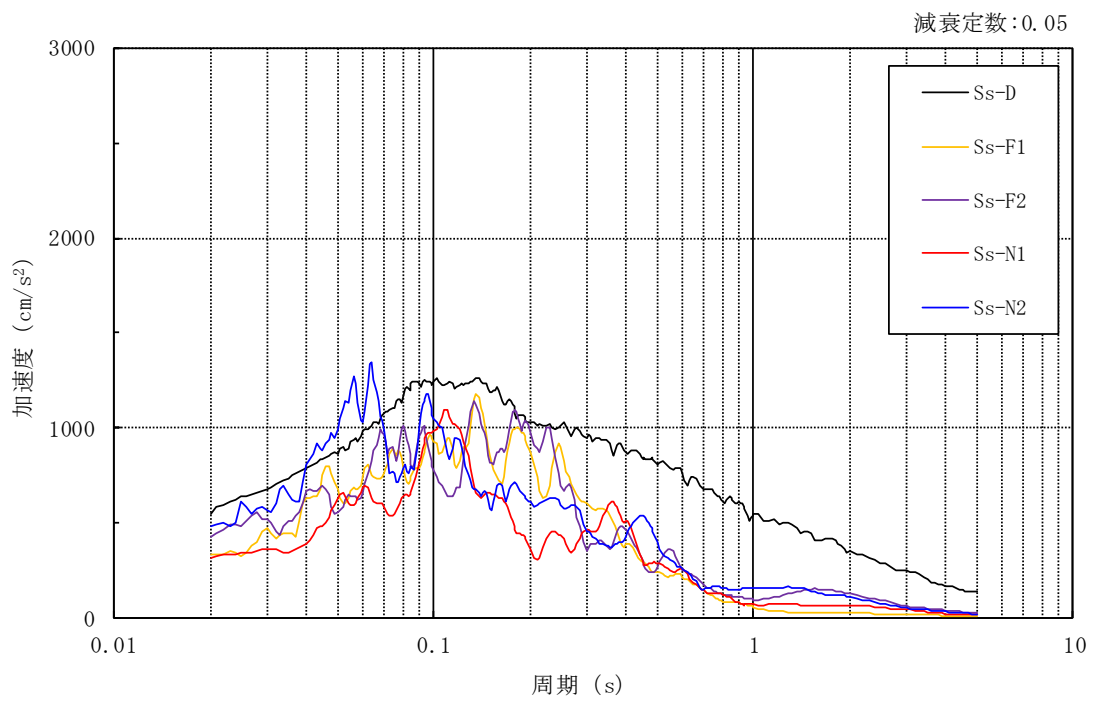


図 3-4(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

1号機排気筒の原子炉補機海水ポンプ，原子炉建物等に対する波及的影響の評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界
(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉補機海水ポンプ，原子炉建物等に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄塔部及び筒身部	最大変形角が構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	1/120*

注記*：「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」により設定。

表3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉補機海水ポンプ，原子炉建物等に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄塔部及び筒身部	最大変形角が構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	1/120*

注記*：「建築基準法施行令第82条の2（層間変形角）」により設定。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	基礎
鋼材： SS41 (SS400 相当) STK41 (STK400 相当)	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2	鉄塔
鋼材： SM41 (SM400 相当)	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	1	筒身

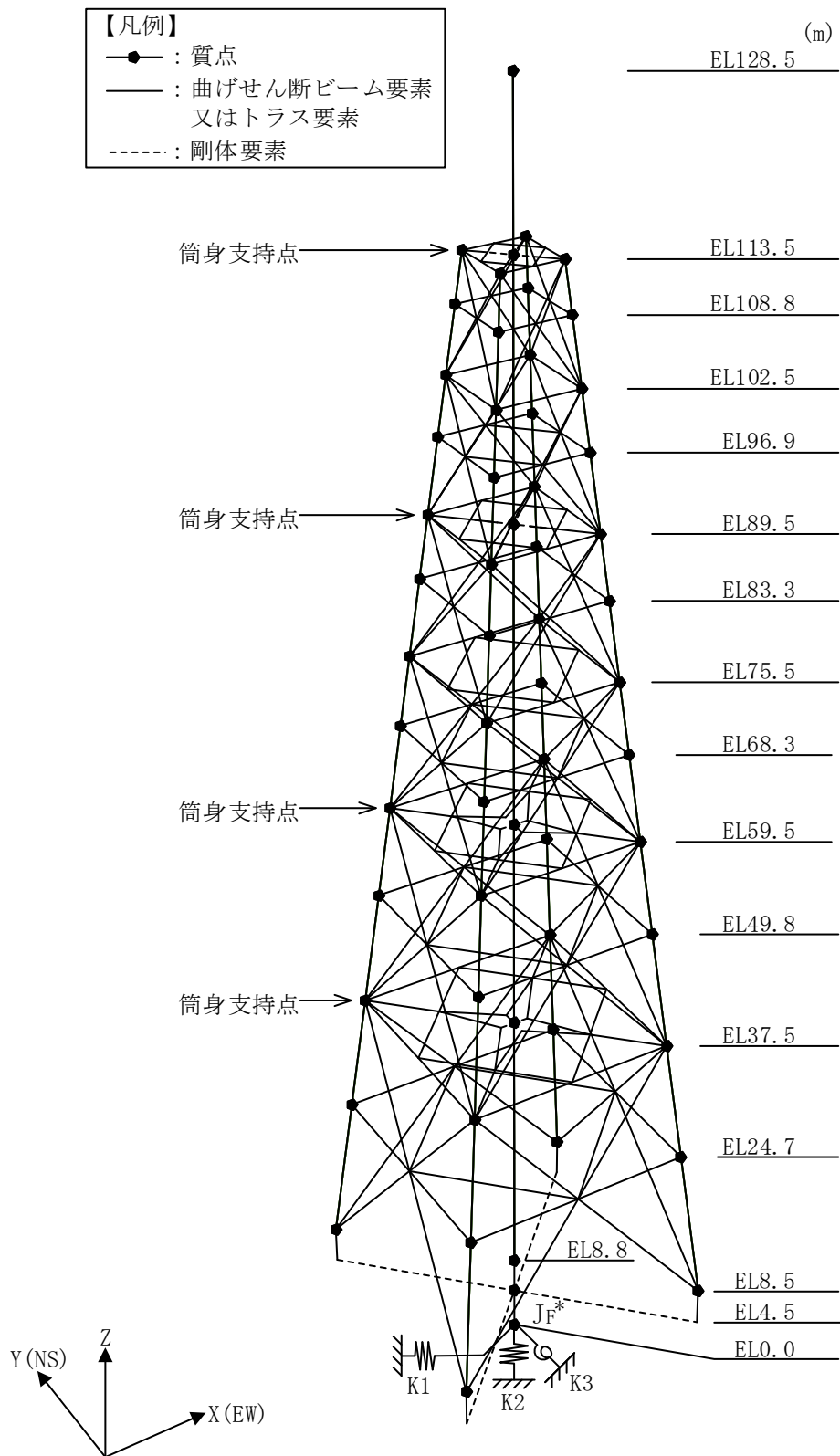
地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、構造物－地盤連成の立体架構モデルとする。1号機排気筒の地震応答解析モデルを図3-5に、部材諸元一覧を表3-5～表3-10に示す。

地震応答解析は、時刻歴応答解析により行う。なお、減衰は剛性比例型減衰（1号機排気筒の水平方向1次固有振動数に対し、筒身は1%、鉄塔は2%、基礎は5%と設定）として評価する。

基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」により、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づき求めたスウェイ、ロッキング及び鉛直の地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。地盤ばねの定数化の概要を図3-6に、地盤ばね定数及び減衰係数を表3-11に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を1次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215mの入射波を算定する。算定したEL-215mの入射波を1号機排気筒位置での地盤をモデル化した1次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、1号機排気筒基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表3-12に示す。表3-12に示す地盤物性値のうち、表層①-1については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。また、1号機排気筒基礎底面レベルにおけるせん断力及び軸力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図3-7に、1次元地盤モデルを図3-8に、基礎底面位置（EL 0.0m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-9に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注記* : 回転慣性重量 ($9.976 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

図 3-5 地震応答解析モデル

表 3-5 筒身部モデル諸元 (断面諸元)

高さ EL (m)	断面形状 (mm)	断面性能			
		断面積 A ($\times 10^3 \text{ mm}^2$)	せん断 断面積 $A_{sx, y}$ ($\times 10^3 \text{ mm}^2$)	断面二次 モーメント $I_{x, y}$ ($\times 10^9 \text{ mm}^4$)	ねじり 定数 J ($\times 10^9 \text{ mm}^4$)
128.5 ~ 8.8	$\phi 2,816 \times 8.0$	71.0	35.5	70.0	139.1
21.3 ~ 13.8	$\phi 2,820 \times 10.0$	88.0	44.0	87.0	174.3
128.5 ~ 8.8	$\phi 2,824 \times 12.0^*$	106.0	53.0	105.0	209.6
128.5 ~ 8.8	$\phi 2,828 \times 14.0^*$	124.0	62.0	123.0	245.0

注記* : 筒身支持点の上下区間の断面形状を示す。

表 3-6 筒身部モデル諸元 (質点重量)

高さ EL (m)	質点重量 (kN)
128.5	40.0
113.5	310.0
89.5	250.0
59.5	260.0
37.5	200.0
8.8	460.0

表 3-7 鉄塔部モデル諸元 (断面諸元)

部材	高さ EL (m)	使用部材 (mm)	断面性能			
			断面積 A (mm ²)	せん断 断面積 A _{S_x, y} (mm ²)	断面二次 モーメント I _{x, y} (×10 ⁶ mm ⁴)	ねじり 定数 J (×10 ⁶ mm ⁴)
主柱材	113.5 ~ 102.5	φ 267.4 × 6.6	5408	2704	46.0	92.0
	102.5 ~ 89.5	φ 355.6 × 6.4	7021	3511	107.1	214.0
	89.5 ~ 75.5	φ 508.0 × 7.9	12410	6205	388.1	776.0
	75.5 ~ 59.5	φ 609.6 × 9.5	17910	8955	806.4	1612.0
	59.5 ~ 37.5	φ 711.2 × 12.7	27870	13935	1700.0	3399.0
	37.5 ~ 8.5	φ 812.8 × 16.0	40050	20025	3180.0	6357.0
斜材	113.5 ~ 89.5	φ 216.3 × 5.8	3836	—	—	—
	89.5 ~ 75.5	φ 267.4 × 6.6	5408	—	—	—
	75.5 ~ 59.5	φ 318.5 × 6.9	6755	—	—	—
	59.5 ~ 37.5	φ 406.4 × 7.9	9890	—	—	—
	37.5 ~ 8.5	φ 508.0 × 9.5	14880	—	—	—
水平材	113.5	H-500 × 200 × 10 × 16*	11080	6400	460.4	0.7021
				5000	21.4	
	108.8	φ 165.2 × 4.5	2272	1136	7.3	14.7
	102.5 ~ 83.3	φ 216.3 × 5.8	3836	1918	21.3	42.5
	75.5 ~ 68.3	φ 267.4 × 6.6	5408	2704	46.0	92.0
	59.5	φ 355.6 × 6.4	7021	3511	107.1	214.0
	49.8	φ 406.4 × 7.9	9890	4945	196.4	392.6
	37.5	φ 508.0 × 9.5	14880	7440	462.3	924.3
24.7	φ 457.2 × 6.4	9064	4532	230.3	460.5	

注記* : H形鋼のせん断断面積及び断面二次モーメントは上段が A_{S_x} 及び I_x, 下段が A_{S_y} 及び I_y を示す。

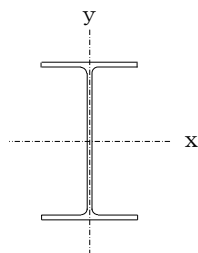


表 3-8 鉄塔部モデル諸元 (質点重量)

高さ EL (m)	質点重量* (kN)
113.5	60.0
108.8	35.2
102.5	46.0
96.9	56.0
89.5	83.2
83.3	75.2
75.5	111.2
68.3	138.0
59.5	233.2
49.8	278.0
37.5	453.2
24.7	473.2
8.5	206.0

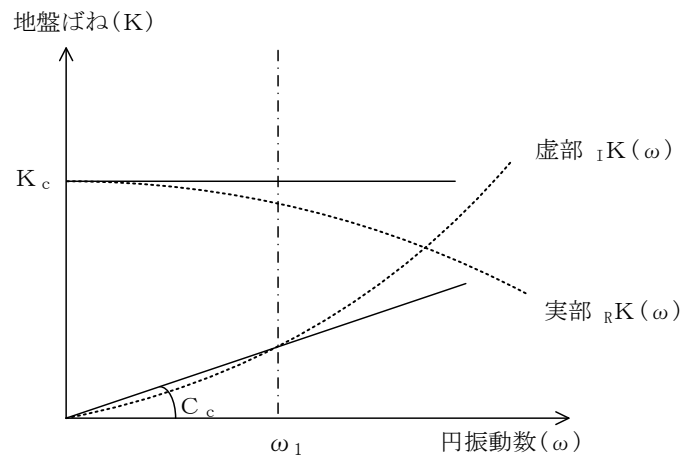
注記* : 各高さの総重量を示す。

表 3-9 基礎部モデル諸元 (断面諸元)

高さ EL (m)	断面形状 (m)	断面性能			
		断面積 A (m ²)	せん断 断面積 A _{Sx, y} (m ²)	断面二次 モーメント I _{x, y} (m ⁴)	ねじり 定数 J (m ⁴)
8.8 ~ 4.5 (筒身部)	6.0×6.0	36.00	30.00	108.00	182.20
8.5 ~ 4.5 (鉄塔部)	4.0×4.0	16.00	13.33	21.33	35.99
4.5 ~ 0.0 (地中梁部)	—	516.0	430.0	59320	35430

表 3-10 基礎部モデル諸元 (質点重量)

高さ EL (m)	質点重量 (kN)
8.8	1760.0
8.5	2980.0
4.5	66420.0
0.0	27330.0



ばね定数 : 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数 : 地盤—建物連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-11 地盤ばね定数と減衰係数

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	4.44×10^8 (kN/m)	2.17×10^6 (kN · s/m)
K2	底面・鉛直	6.00×10^8 (kN/m)	3.99×10^6 (kN · s/m)
K3	底面・回転	8.05×10^{10} (kN · m/rad)	2.75×10^5 (kN · m · s/rad)

表 3-12 1号機排気筒の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

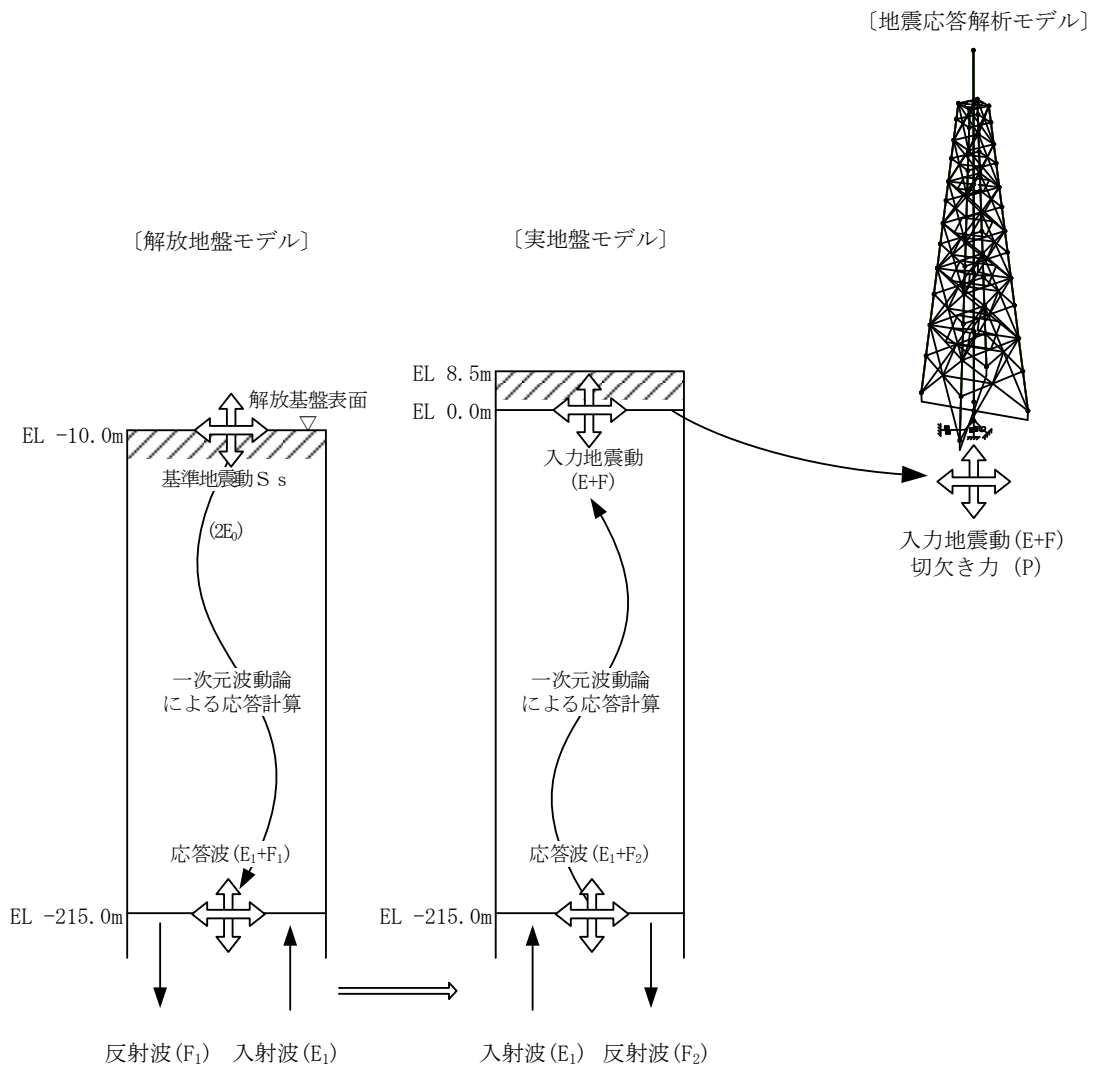


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

[解放地盤モデル]

[実地盤モデル]

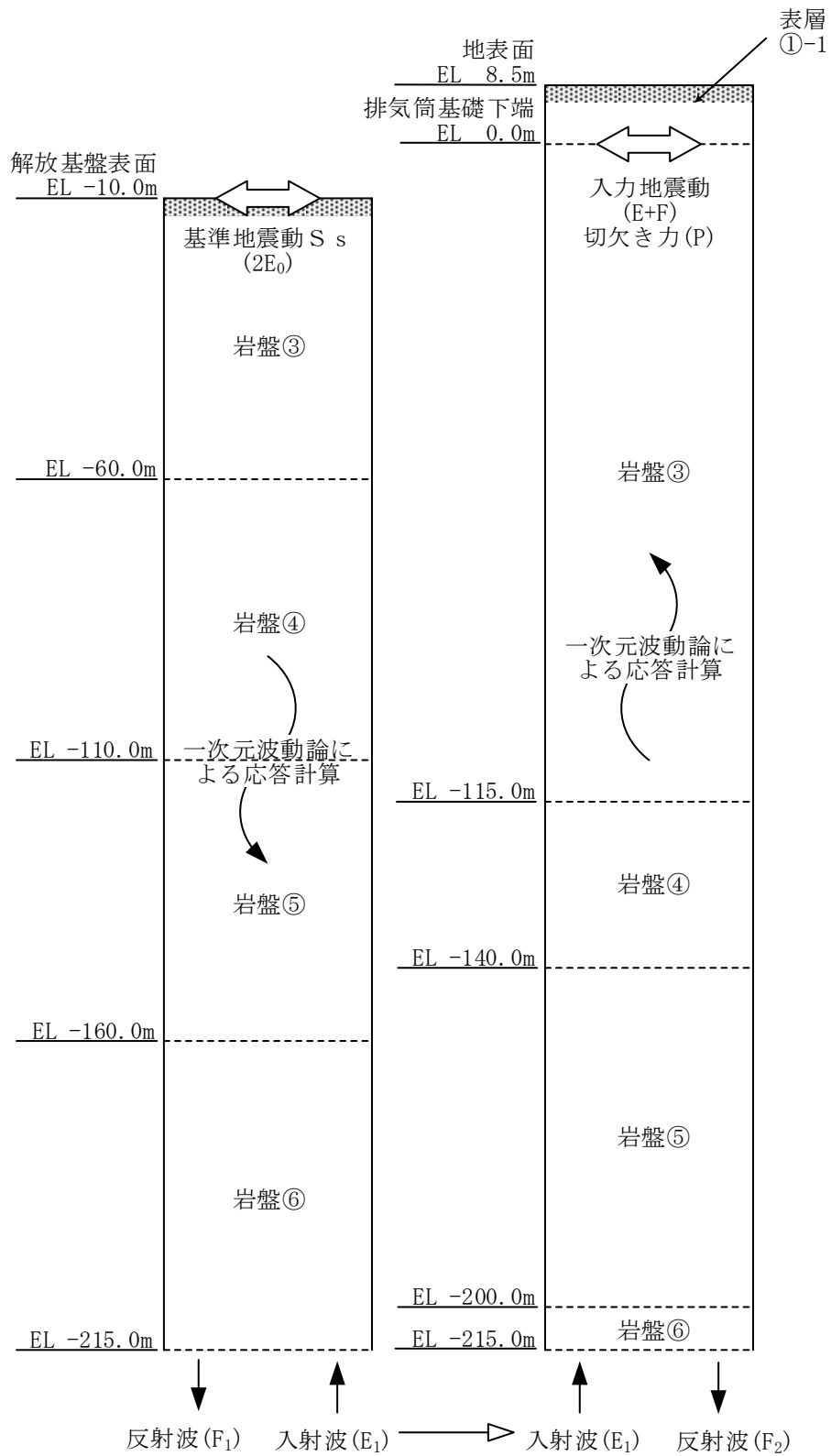


図 3-8(1) 1次元地盤モデル (水平方向)

[解放地盤モデル]

[実地盤モデル]

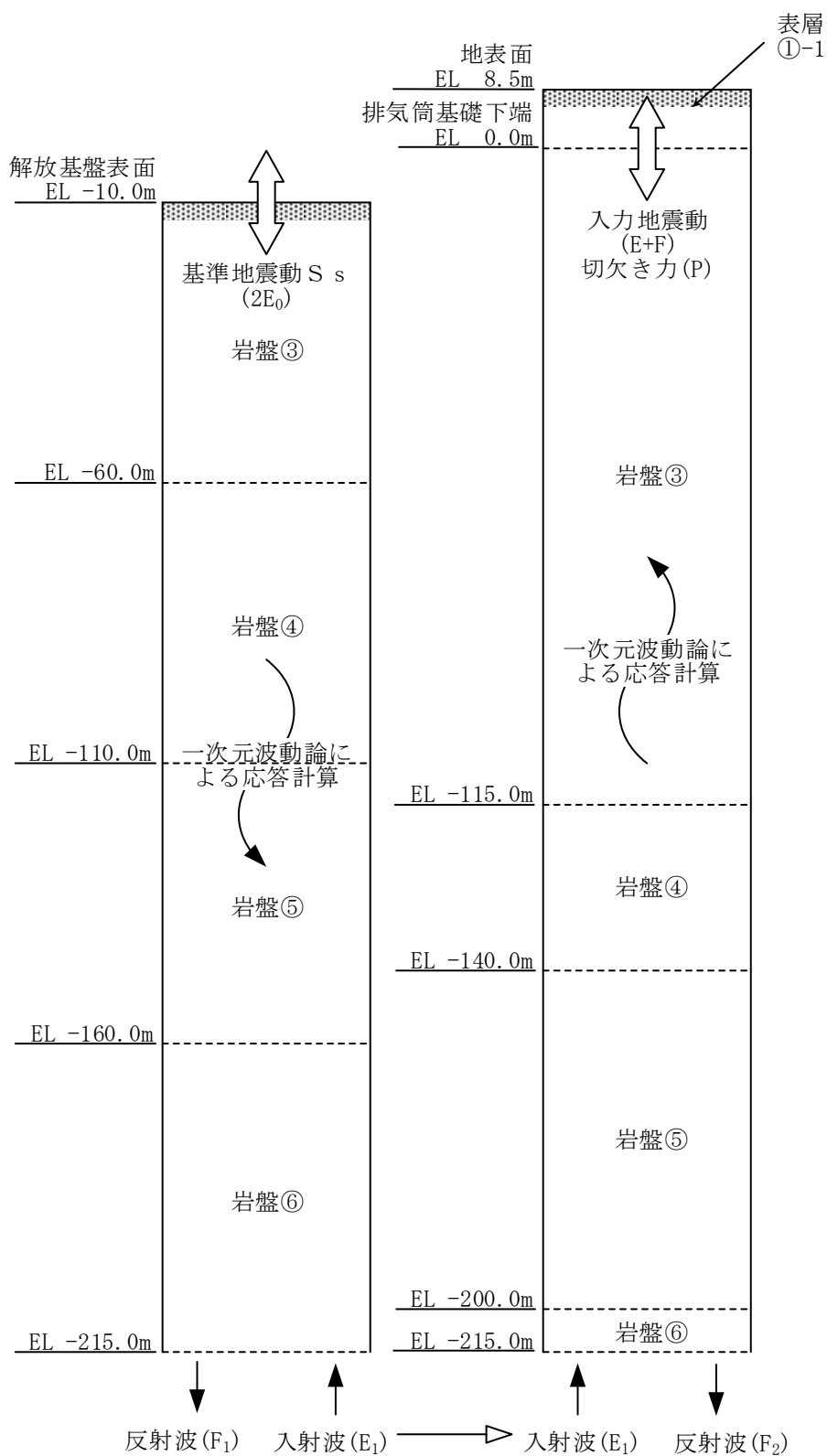
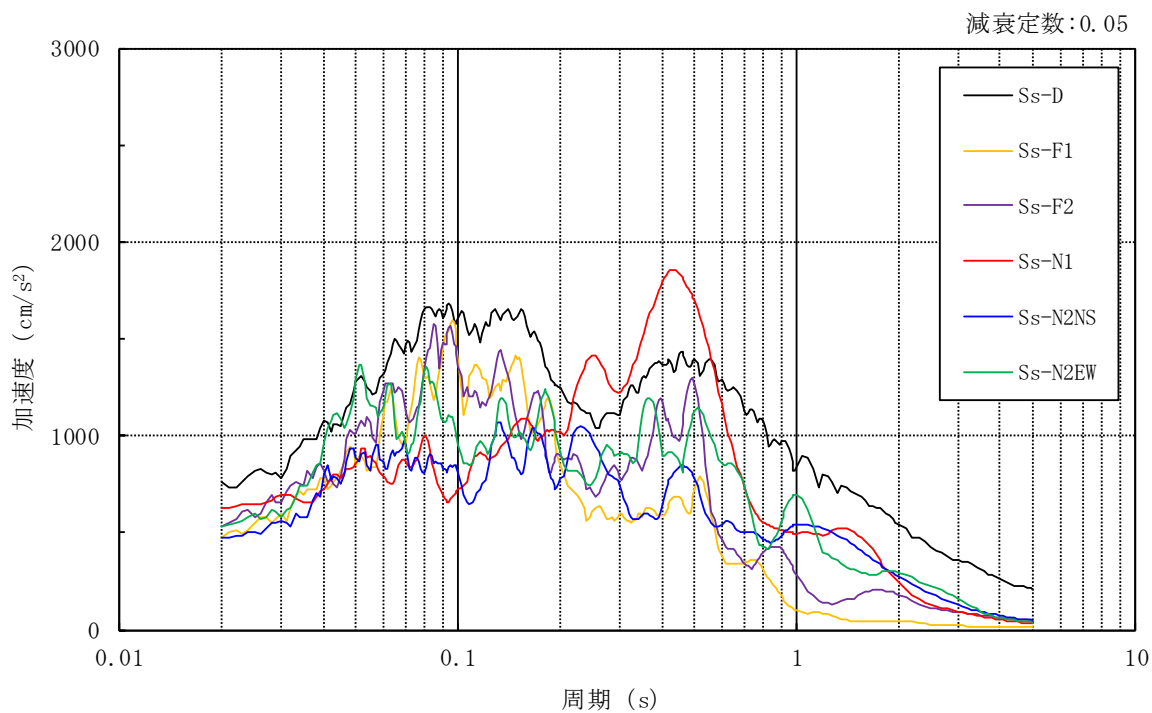
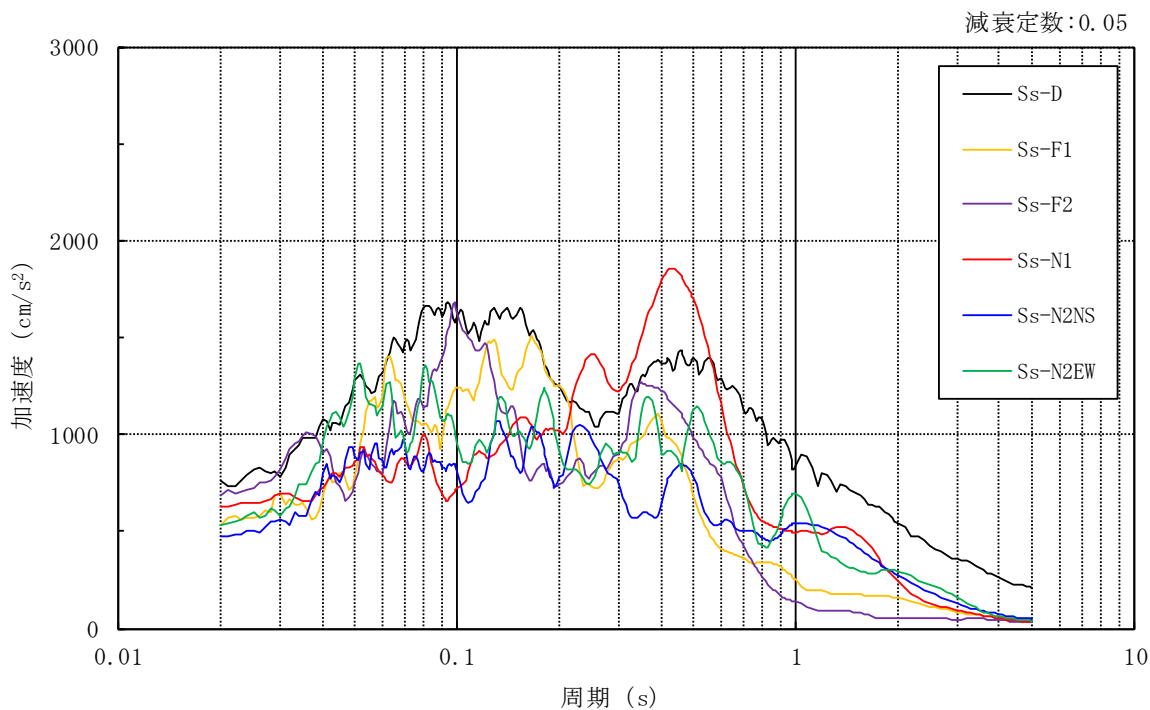


図 3-8(2) 1次元地盤モデル (鉛直方向)



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-9(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S s , EL 0.0m)

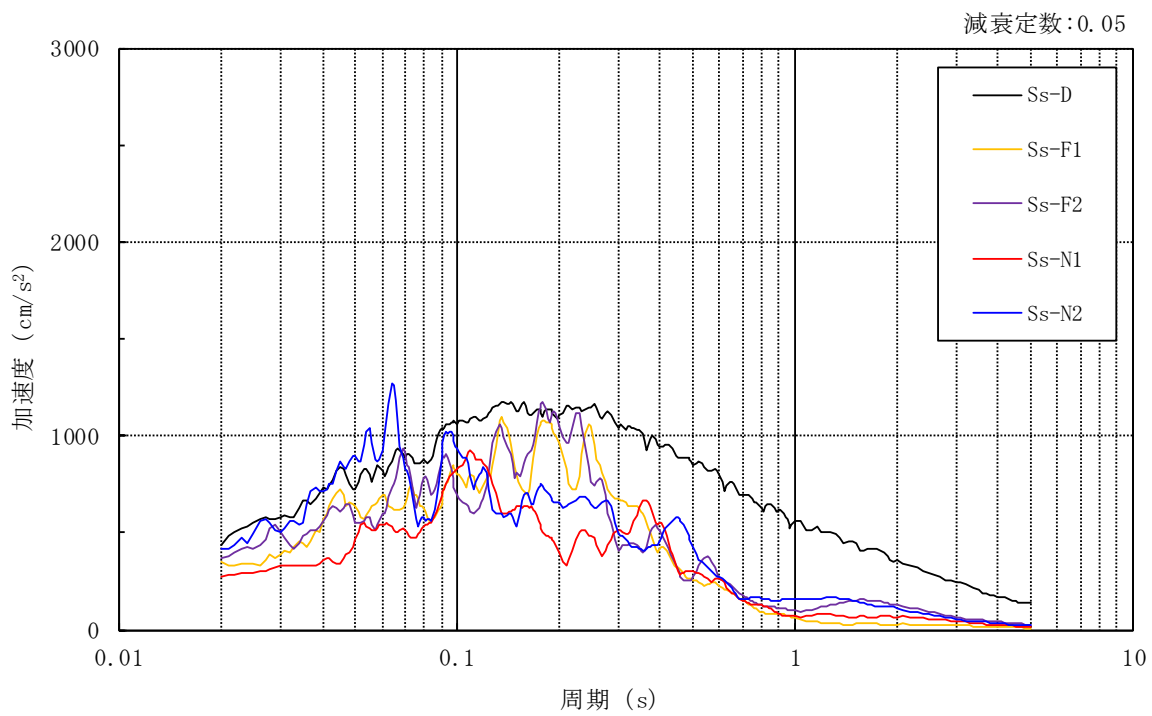


図 3-9(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EL 0.0m)

3.5.2 解析方法

1号機排気筒の地震応答解析には、解析コード「f a p p a s e」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

基準地震動 $S_s - D$ 及び $S_s - N 1$ については、2方向（水平1方向（ 0° 方向又は 45° 方向）及び鉛直方向）の同時入力とする。また、基準地震動 $S_s - F 1$ 、 $S_s - F 2$ 及び $S_s - N 2$ については、3方向（水平2方向及び鉛直方向）の同時入力とする。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、1号機排気筒応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

地盤物性の不確かさについては、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-13に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-14に示す。

表3-13 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%)	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%)	

表 3-14 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

(a) S波速度

層番号	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	127	153	102
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

(b) P波速度

層番号	地盤の P 波速度 V_p (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	422	506	338
岩盤③	3600	3960	3240
岩盤④	4000	4400	3600
岩盤⑤	4050	4455	3645
岩盤⑥	4950	5445	4455

3.6 評価方法

1号機排気筒の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における立体架構モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価では、立体架構モデルによる地震応答解析結果を行い、鉄塔部及び筒身部の頂部変位より最大変形角を算定し、許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する 1 号機排気筒の最大変形角を表 4-1 に示す。

その結果，ケース 1（工認モデル）の最大変形角は，鉄塔部で $1/370$ （ $S_s - D$ ），筒身部で $1/308$ （ $S_s - D$ ）である。また，材料物性の不確かさを考慮した場合の最大変形角は，鉄塔部で $1/355$ （ケース 3， $S_s - D$ ），筒身部で $1/293$ （ケース 3， $S_s - D$ ）であり，いずれの場合においても許容限界（ $1/120$ ）を超えないことを確認した。

表 4-1 1 号機排気筒の最大変形角

項目 \ ケース	鉄塔部			筒身部			許容 限界
	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	
高さ*1 (m)	105.0	105.0	105.0	119.7	119.7	119.7	—
水平 応答変位 (mm)	283.4	276.3	295.4	388.5	378.9	407.7	—
最大*2 変形角	$1/370$ ($S_s - D$)	$1/380$ ($S_s - D$)	$1/355$ ($S_s - D$)	$1/308$ ($S_s - D$)	$1/315$ ($S_s - D$)	$1/293$ ($S_s - D$)	$1/120$

注記*1：鉄塔部は EL 8.5m からの高さ，筒身部は EL 8.8m からの高さを示す。

*2：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は，基準地震動 $S_s - D$ ， $S_s - F 1$ ， $S_s - F 2$ ， $S_s - N 1$ 及び $S_s - N 2$ に対して実施。

VI-2-11-2-6 竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-6-1 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	11
3. 評価方法	12
3.1 評価対象部位及び評価方針	12
3.2 設計に用いる地震波	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	18
3.4 許容限界	19
3.5 解析方法	20
3.5.1 地震応答解析モデル	20
3.5.2 解析方法	29
3.5.3 材料物性の不確かさ	30
3.6 評価方法	31
3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法	31
3.6.2 相対変位による評価方法	31
4. 評価結果	32
4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果	32
4.2 相対変位による評価結果	33

1. 概要

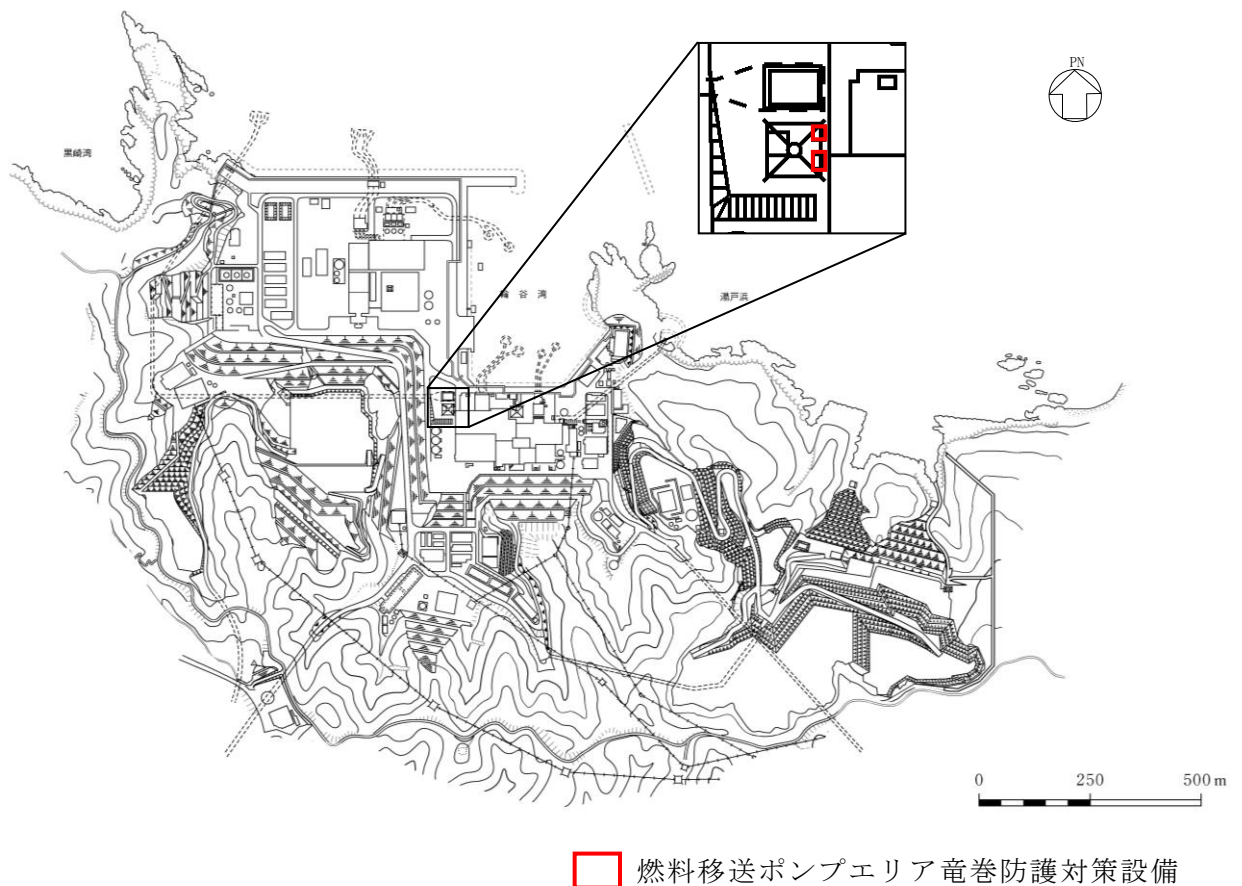
本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備が排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の構造物全体としての変形性能の評価を、建物・構築物間の相対変位による影響では、排気筒への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の設置位置を図 2-1 に示す。



□ 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備

図 2-1 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の設置位置

2.2 構造概要

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備は、鉄骨フレーム及び鋼板から構成される鉄骨造の建物である。燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の概略平面図を図 2-4 に、概略断面図を図 2-5 に示す。また、建物配置図を図 2-6 に、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備と排気筒のクリアランスを図 2-7 に示す。

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の平面は、 3.636m^* （NS） $\times 3.961\text{m}^*$ （EW）であり、高さは 2.1m である。また、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の平面は、 6.036m^* （NS） $\times 3.961\text{m}^*$ （EW）であり、高さは 2.1m である。

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の基礎は排気筒の基礎と一体構造である。

注記*：建物寸法は鋼板外面寸法とする。

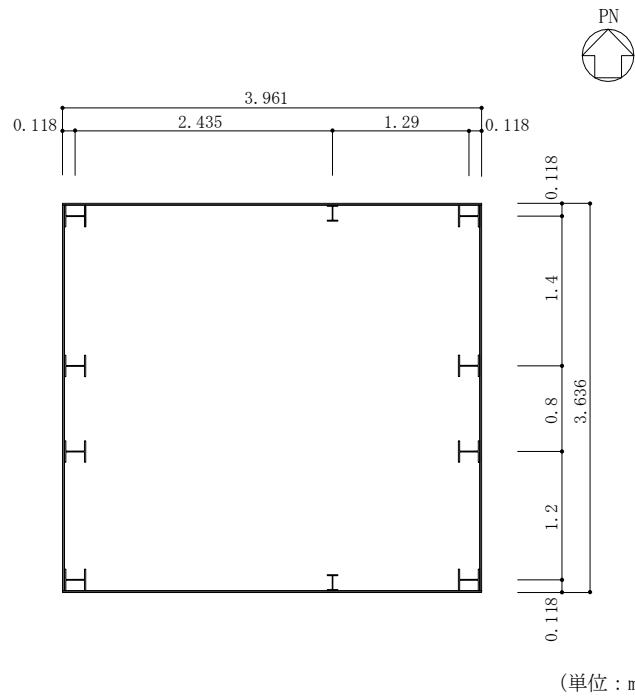


図 2-2 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の概略平面図（EL 8.7m*）

注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

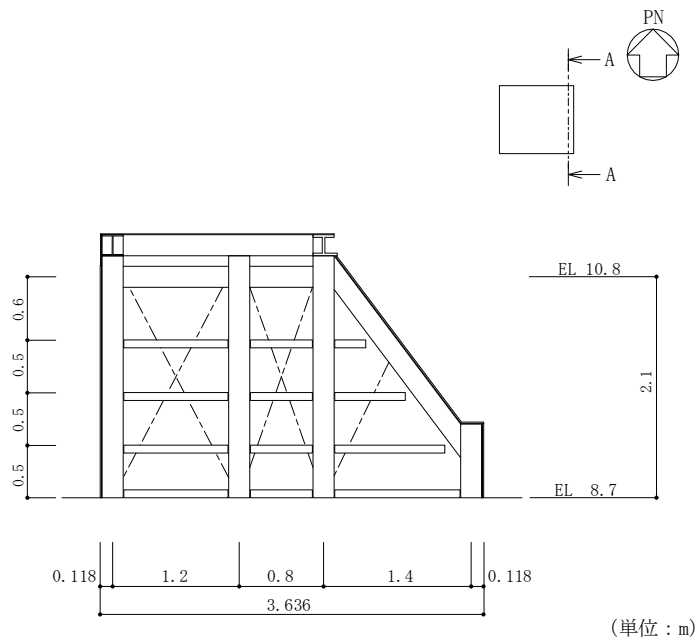


図 2-3(1) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の概略断面図
（A-A断面，NS方向）

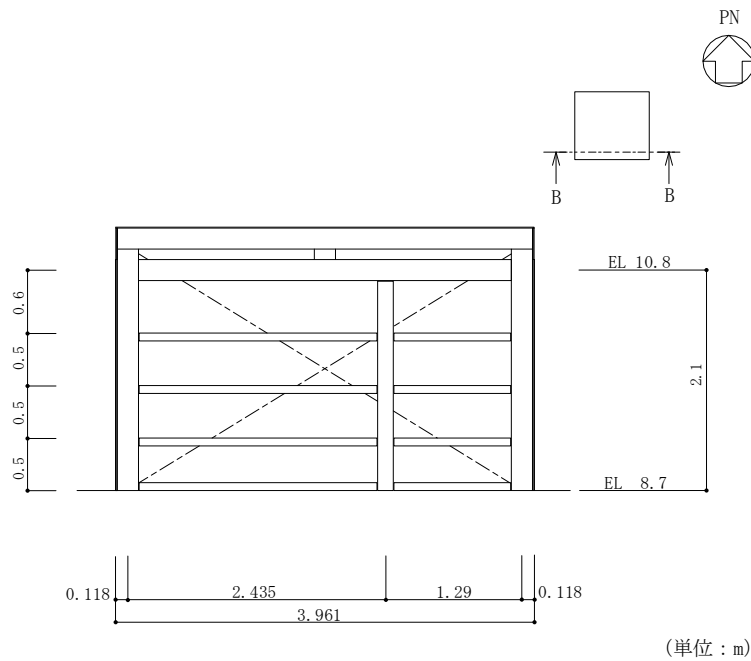


図 2-3(2) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の概略断面図
（B-B断面，EW方向）

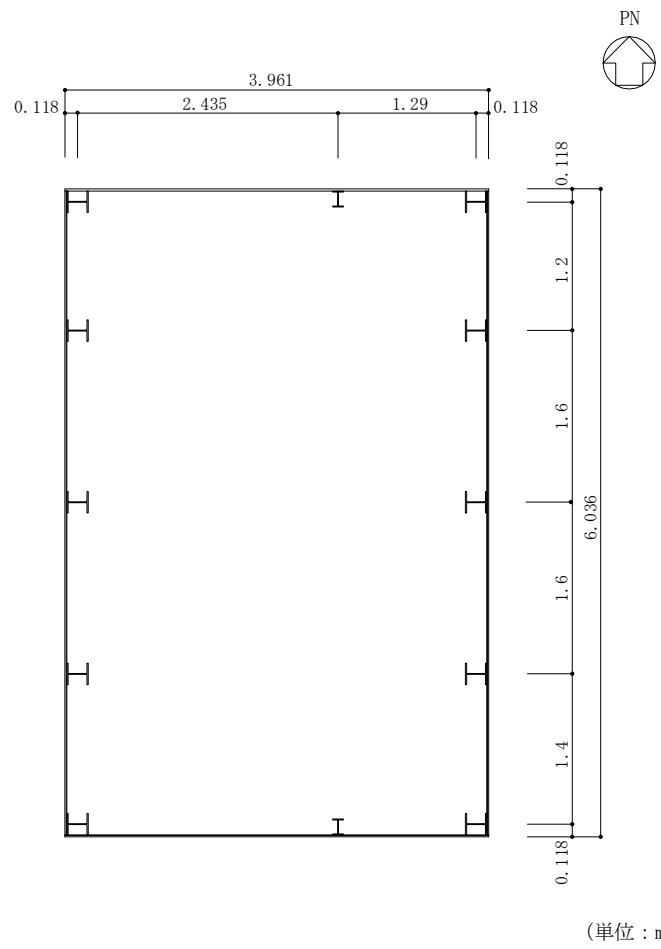
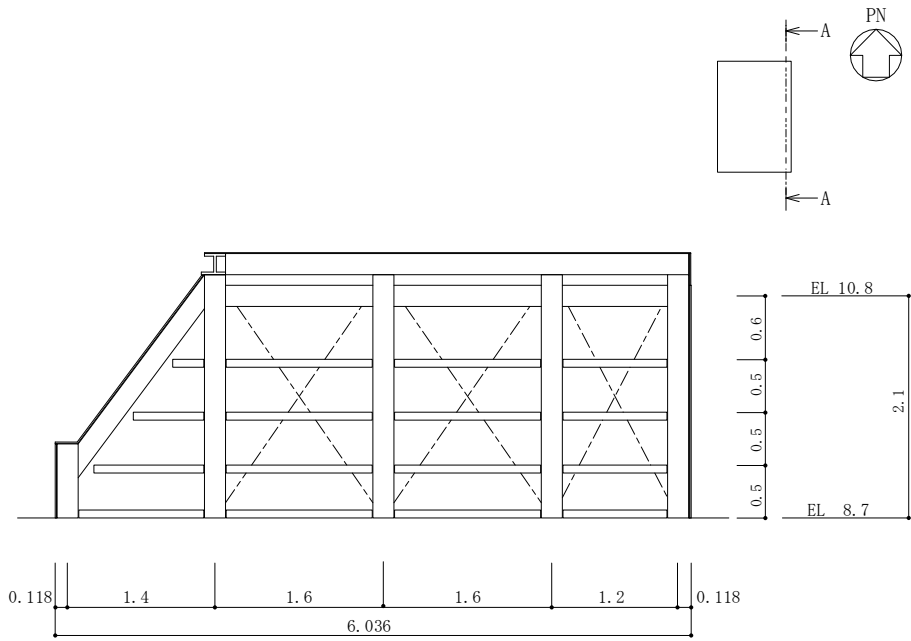
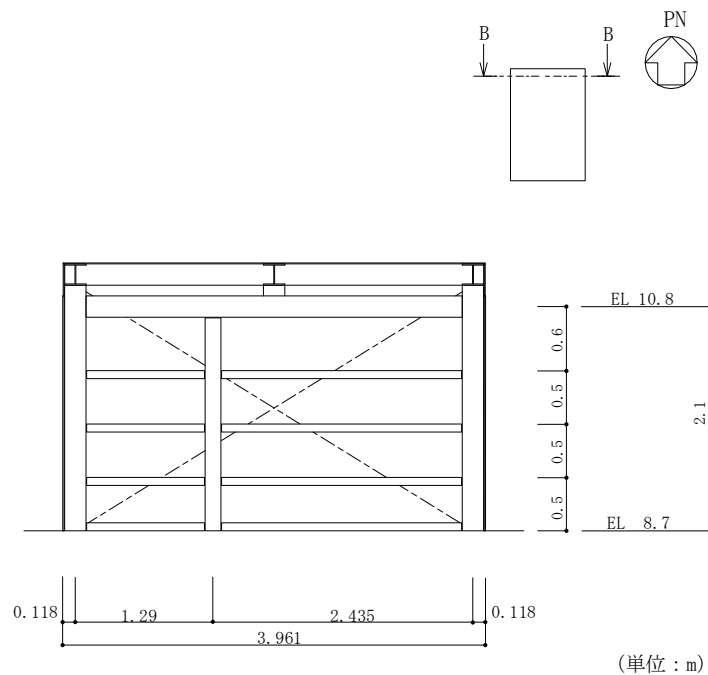


図 2-4 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の概略平面図（EL 8.7m）



(単位：m)

図 2-5(1) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の概略断面図
（A-A断面，NS方向）



(単位：m)

図 2-5(2) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の概略断面図
（B-B断面，EW方向）

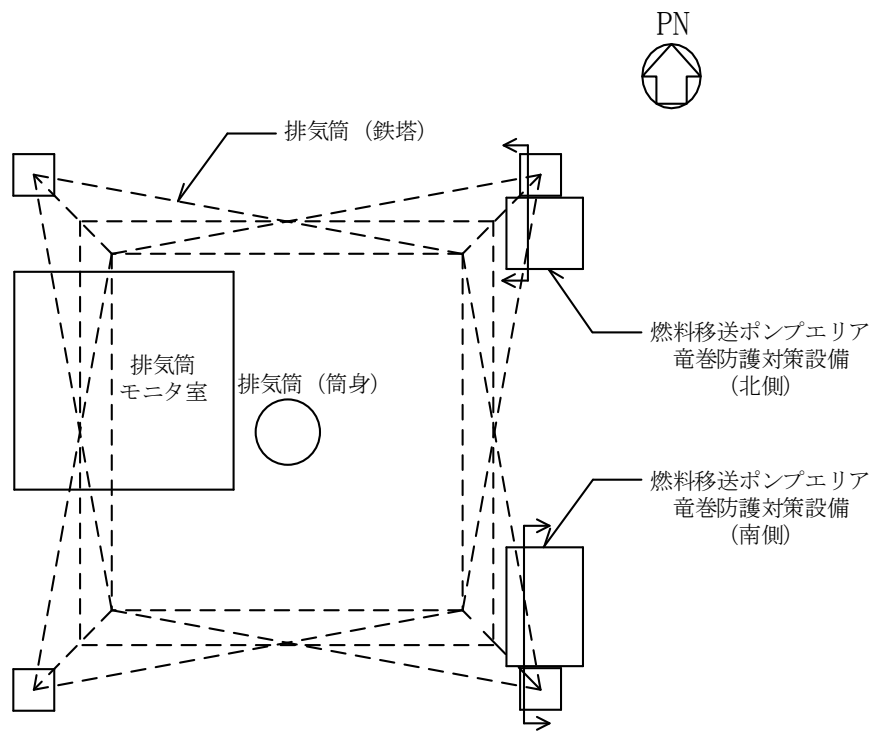


図 2-6 建物配置図

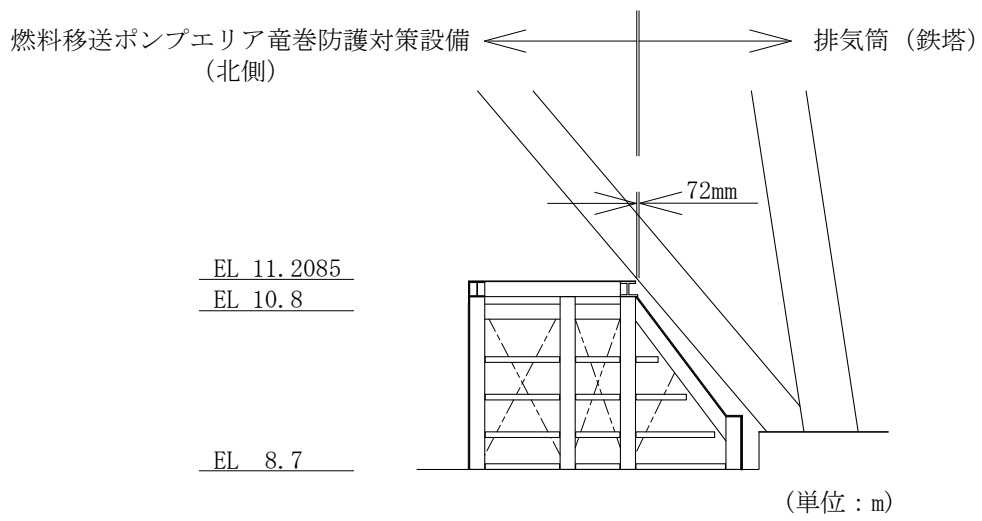


図 2-7(1) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (北側) と排気筒のクリアランス (N S 方向)

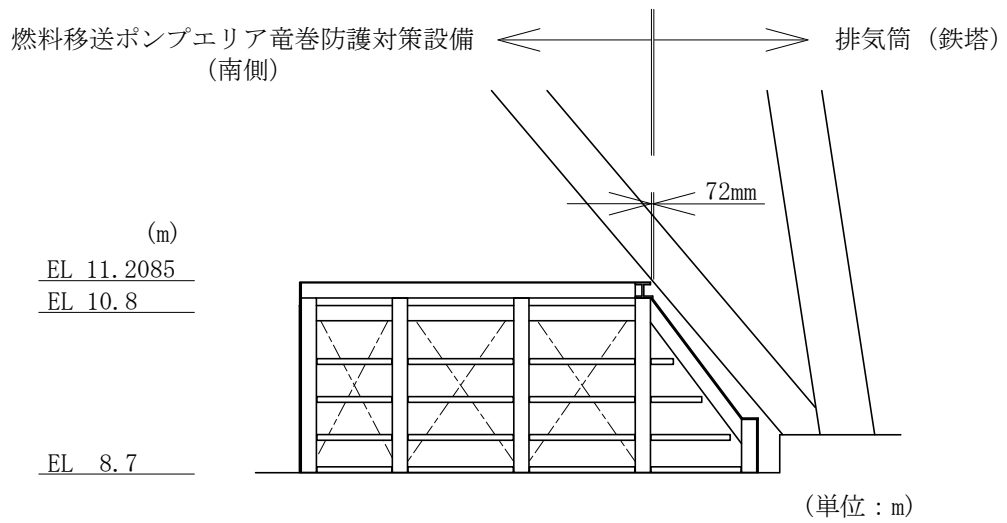


図 2-7(2) 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (南側) と排気筒のクリアランス (N S 方向)

2.3 評価方針

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備は、排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。建物・構築物間の相対変位による影響では、排気筒（鉄塔）との相対変位による評価を行うことで、排気筒への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の最大応答変位に加えて、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。

なお、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備が倒壊しない限り、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に衝突・接触することはない。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図 2-8 に波及的影響の評価フローを示す。

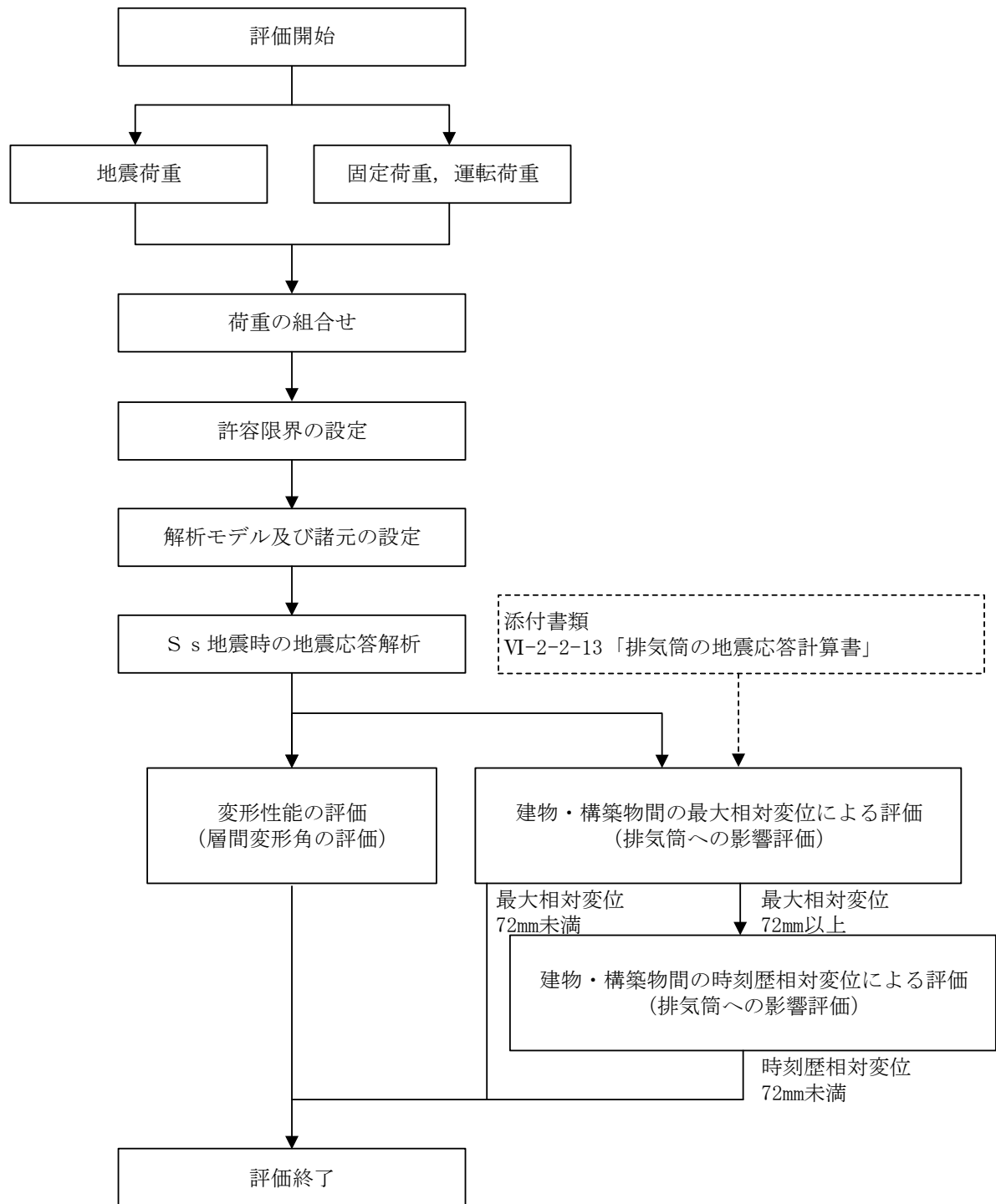


図 2-8 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

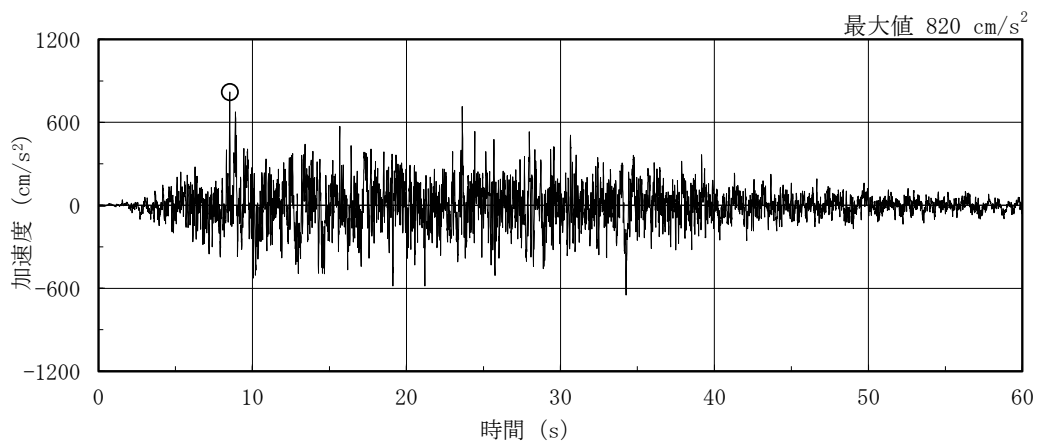
構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる鉄骨フレームの最大層間変形角が、「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

排気筒との相対変位による評価では、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備と排気筒の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建物・構築物間のクリアランスの大小関係により、隣接する排気筒への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

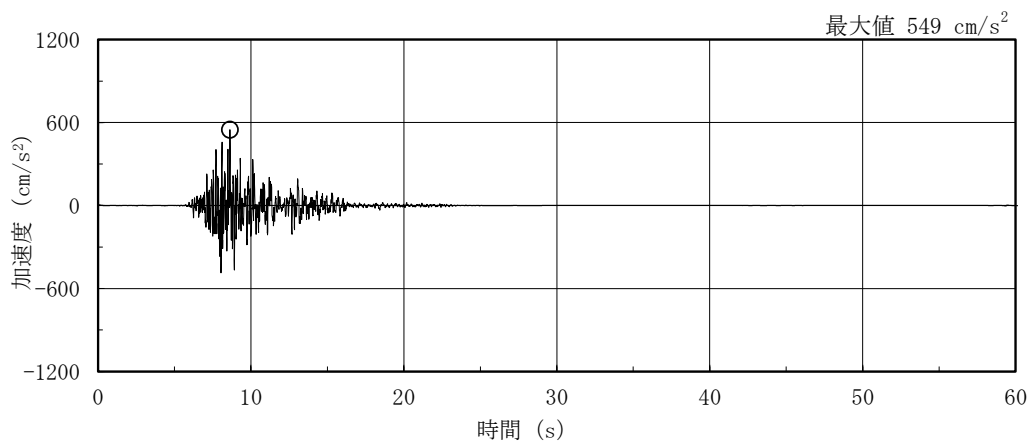
3.2 設計に用いる地震波

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である排気筒、非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等の評価に適用した VI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

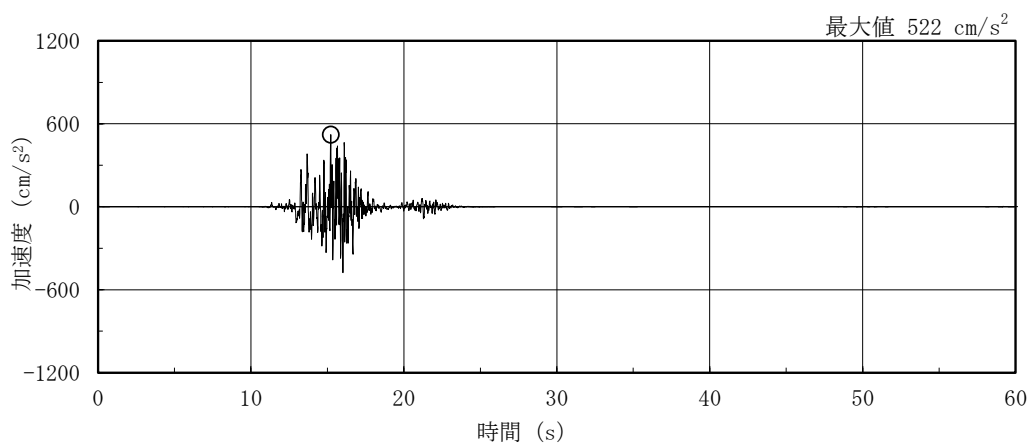
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-1～図 3-3 に示す。



(a) S s - D

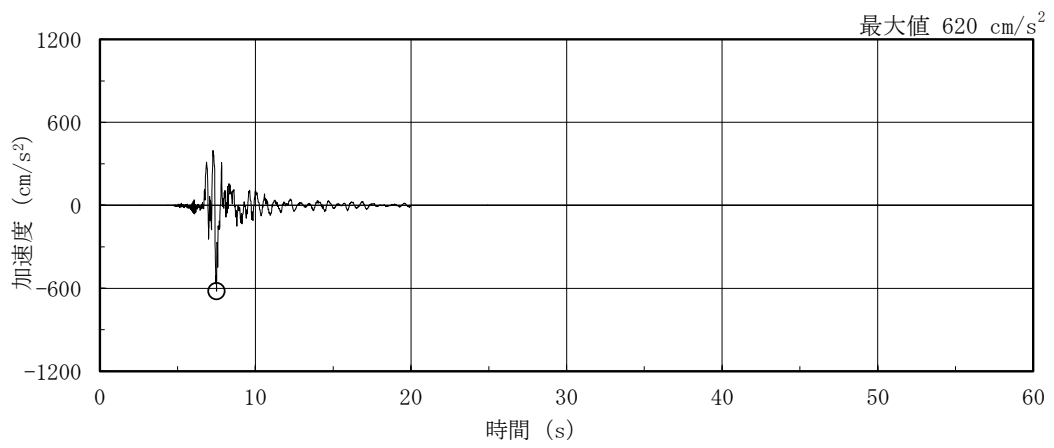


(b) S s - F 1

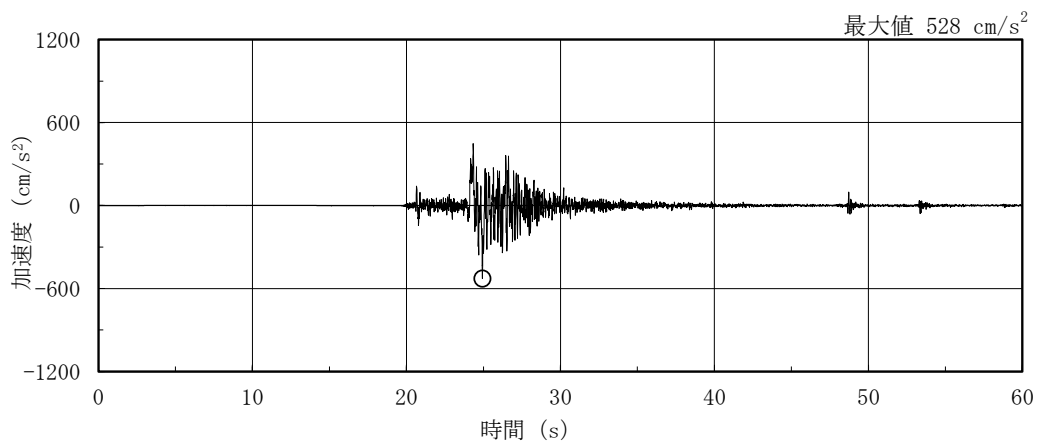


(c) S s - F 2

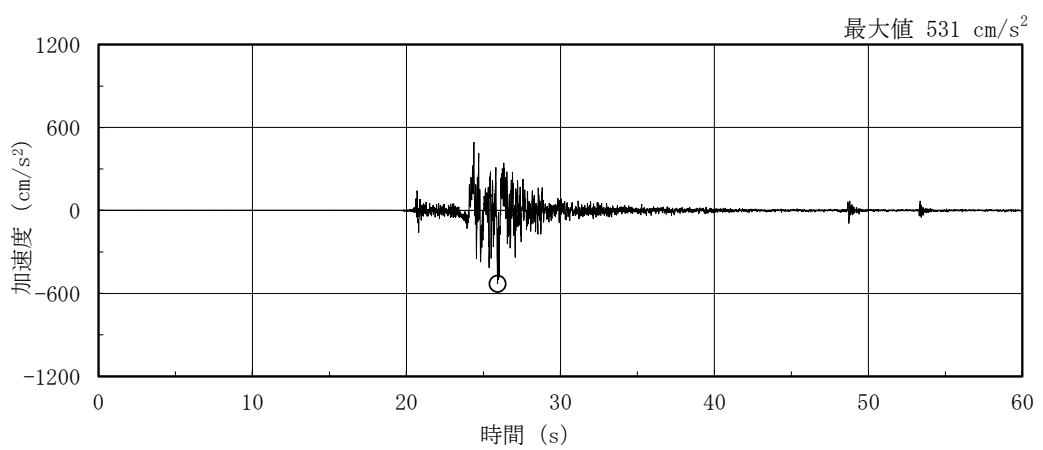
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

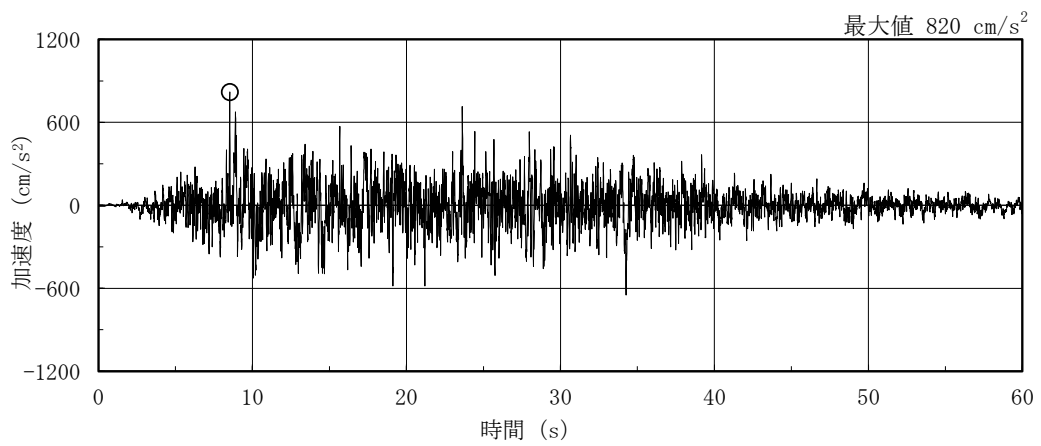


(e) S s - N 2 N S

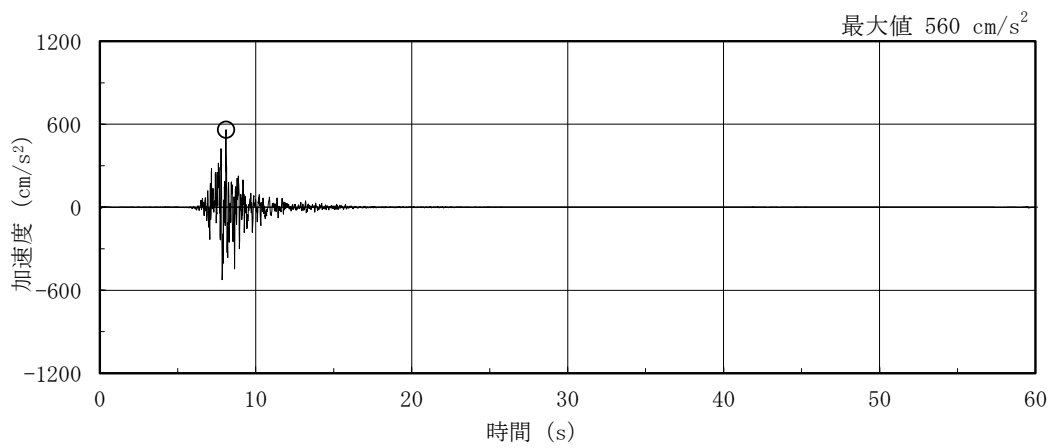


(f) S s - N 2 E W

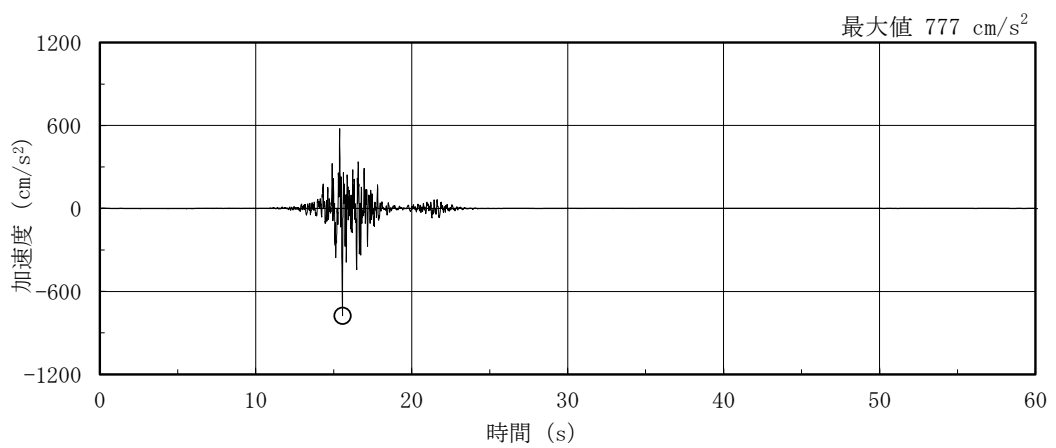
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

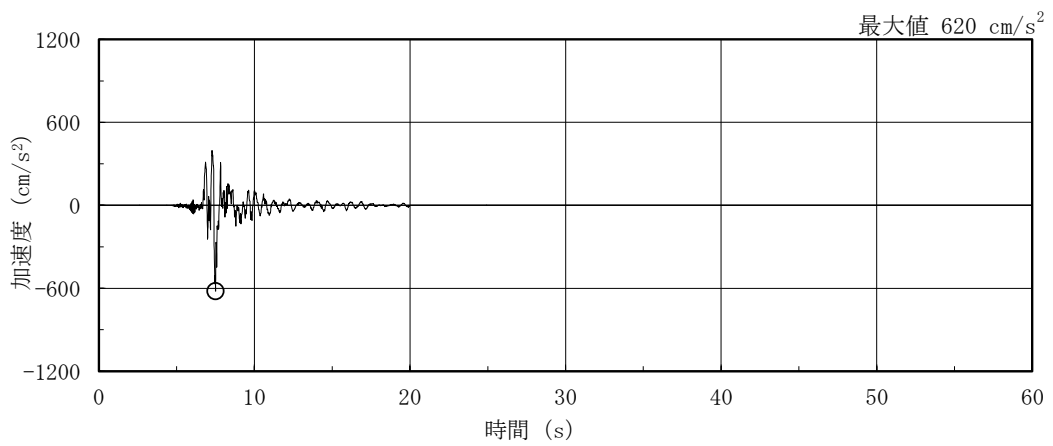


(b) S s - F 1

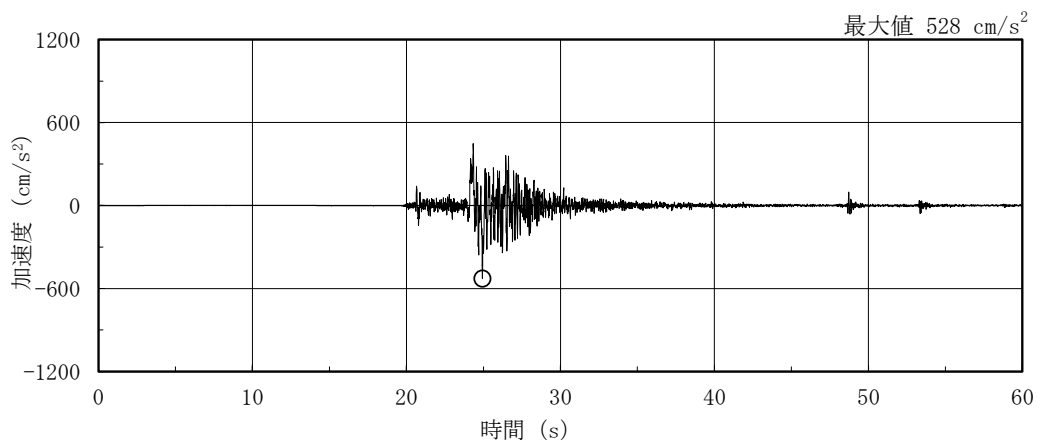


(c) S s - F 2

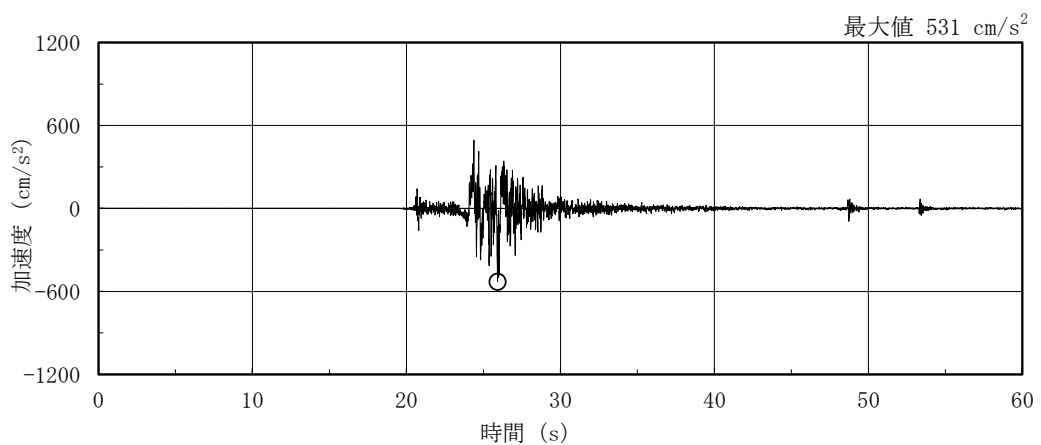
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

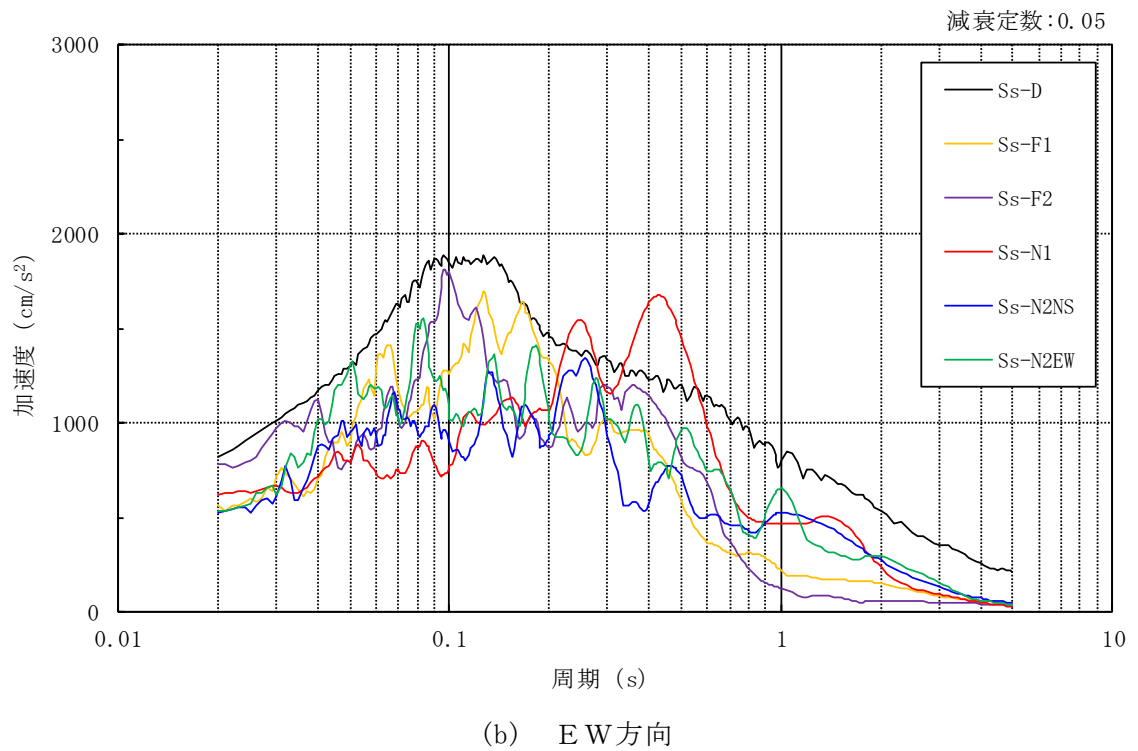
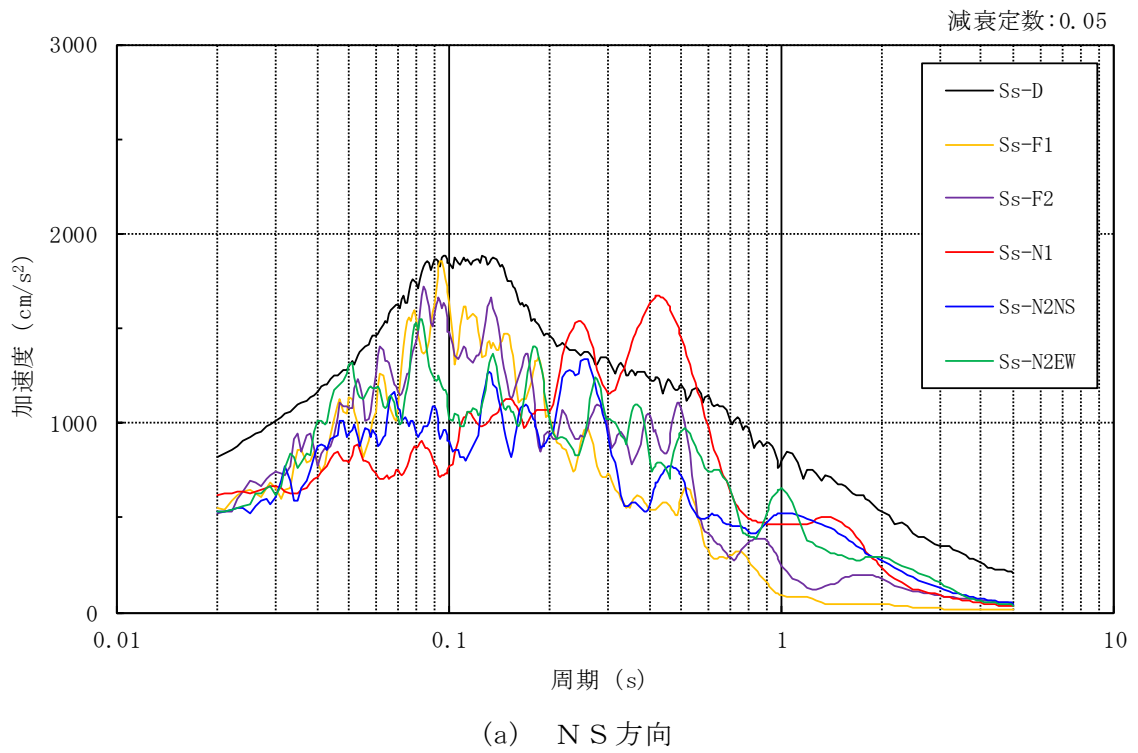


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の排気筒，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に対する波及的影響の評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表 3-2 及び表 3-3 のとおり設定する。

表 3-2 波及的影響の評価における許容限界

(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
排気筒，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄骨フレーム	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120* ¹
		燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備及び排気筒（鉄塔）	建物・構築物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認* ²	相対変位 72mm

注記*1：「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」により設定。

*2：最大相対変位が許容限界を超過する場合には，燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界

(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
排気筒，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ等に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	鉄骨フレーム	最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120* ¹
		燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備及び排気筒（鉄塔）	建物・構築物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認* ²	相対変位 72mm

注記*1：「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」により設定。

*2：最大相対変位が許容限界を超過する場合には，燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備と排気筒の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向について設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄骨： SS400	2.05×10^5	7.90×10^4	2	—

地震応答解析モデルは、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）及び燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）が排気筒の基礎に設置されていることから、建物柱脚レベル（EL 8.7m）を固定し、せん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S 方向及びE W 方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図 3-4 及び図 3-5 に示す。

入力地震動は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」で算定した基準地震動 S_s による排気筒（鉄塔）の基礎上端位置の応答を用いることとし、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の柱脚レベルに直接入力する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-6 に、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備への入力地震動とする排気筒（鉄塔）の基礎上端位置における加速度応答スペクトルを図 3-7 及び図 3-8 に示す。

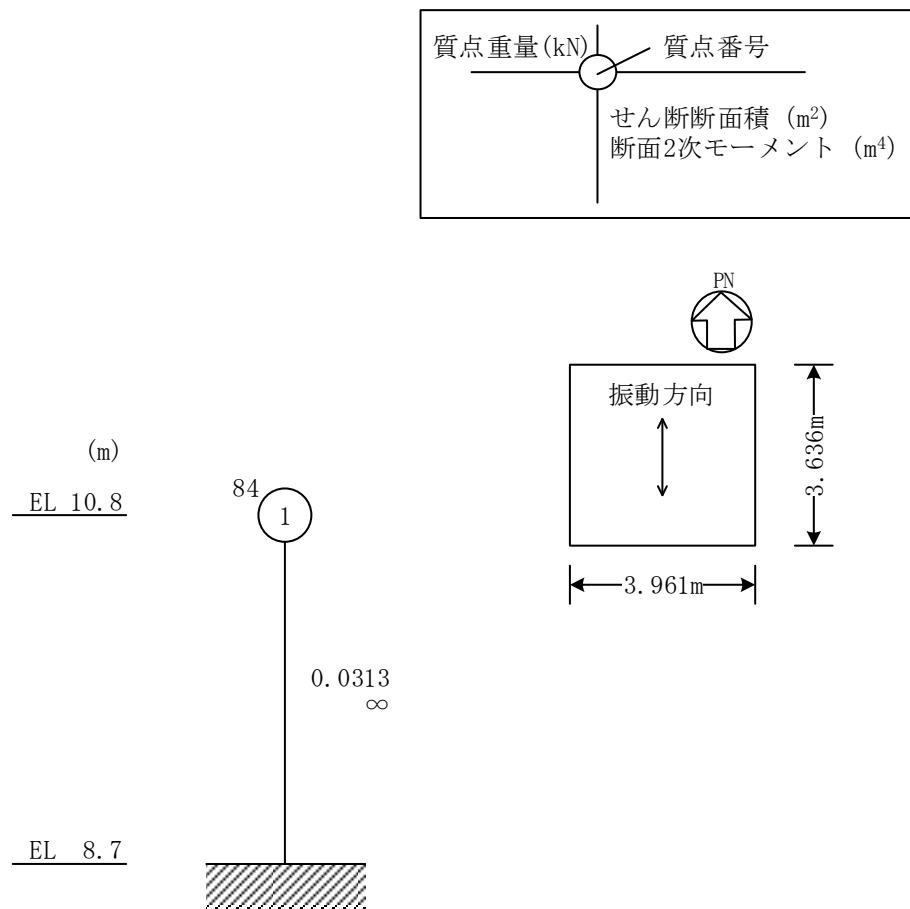


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (北側)

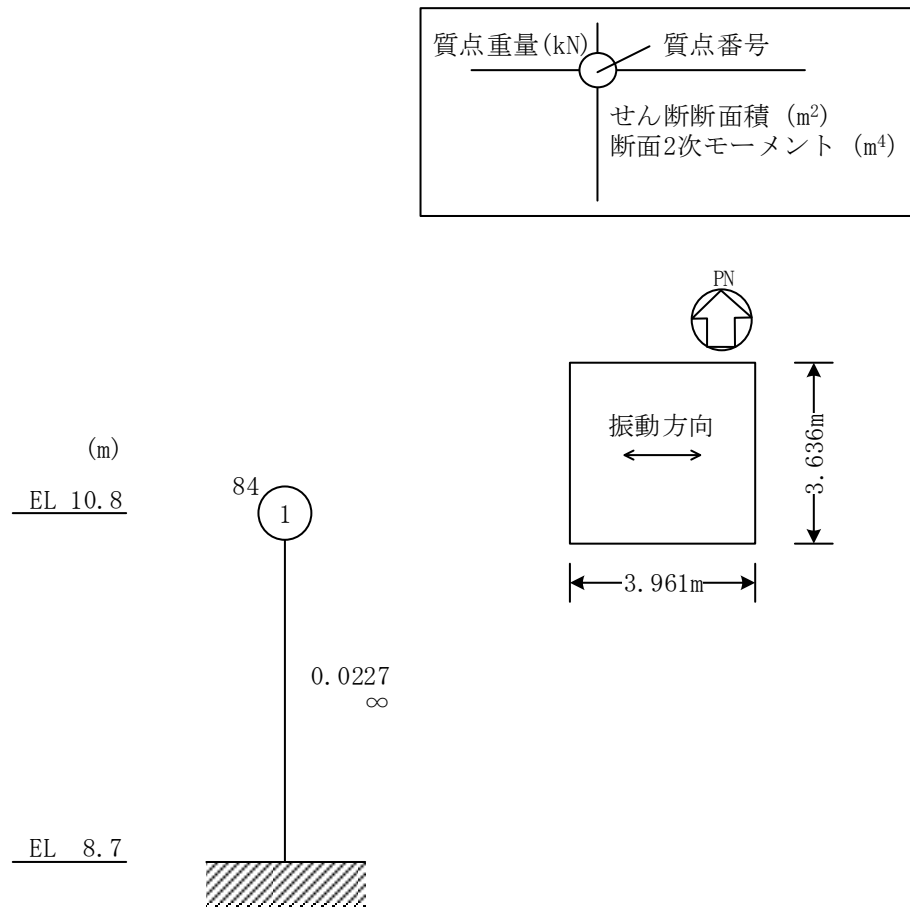


図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (北側)

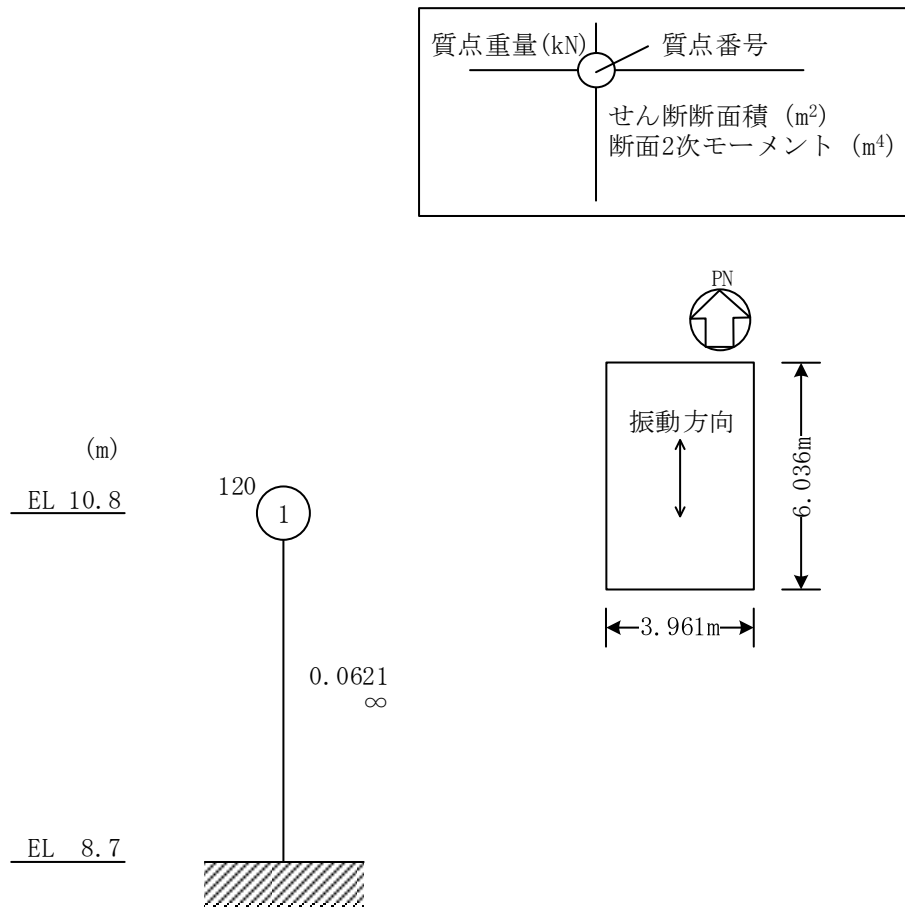


図 3-5(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (南側)

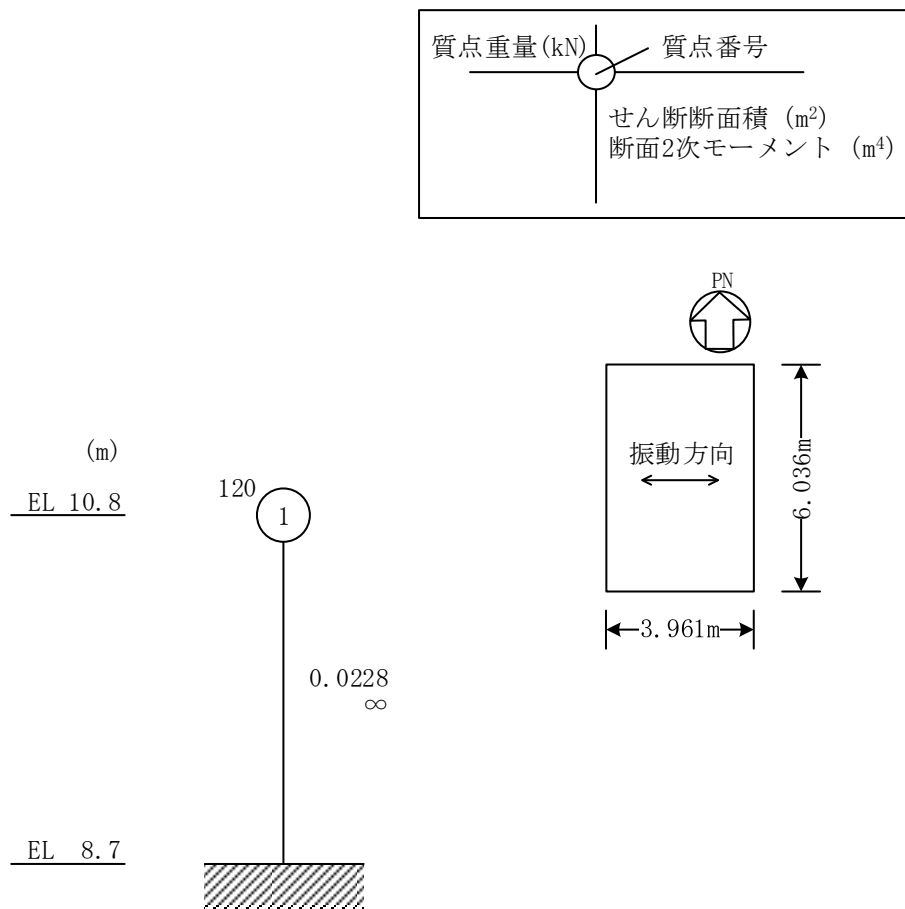
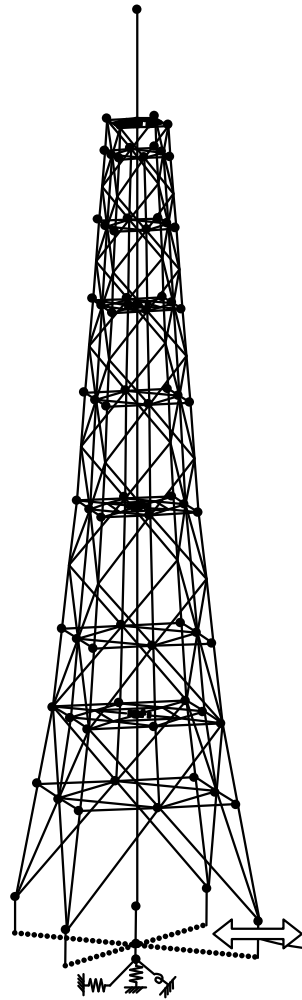
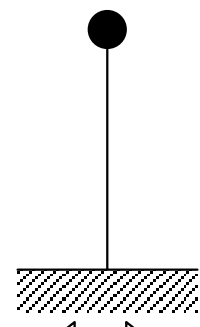


図 3-5(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備 (南側)

[排気筒の地震応答解析モデル]



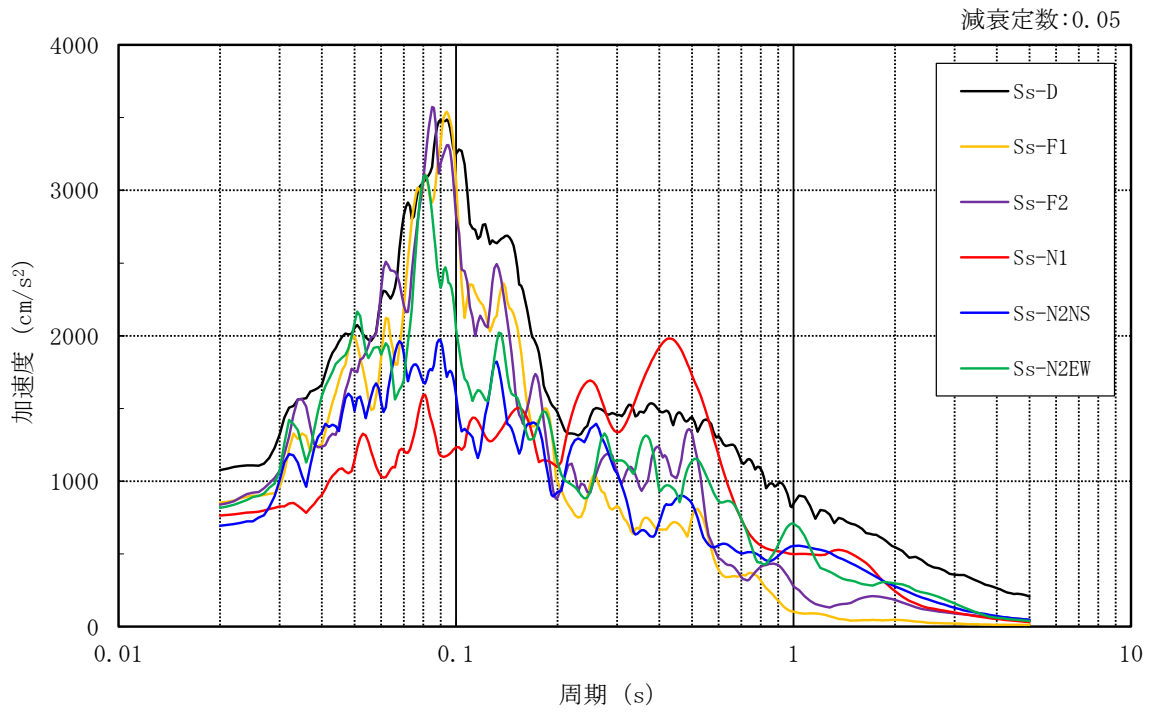
[燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の地震応答解析モデル]



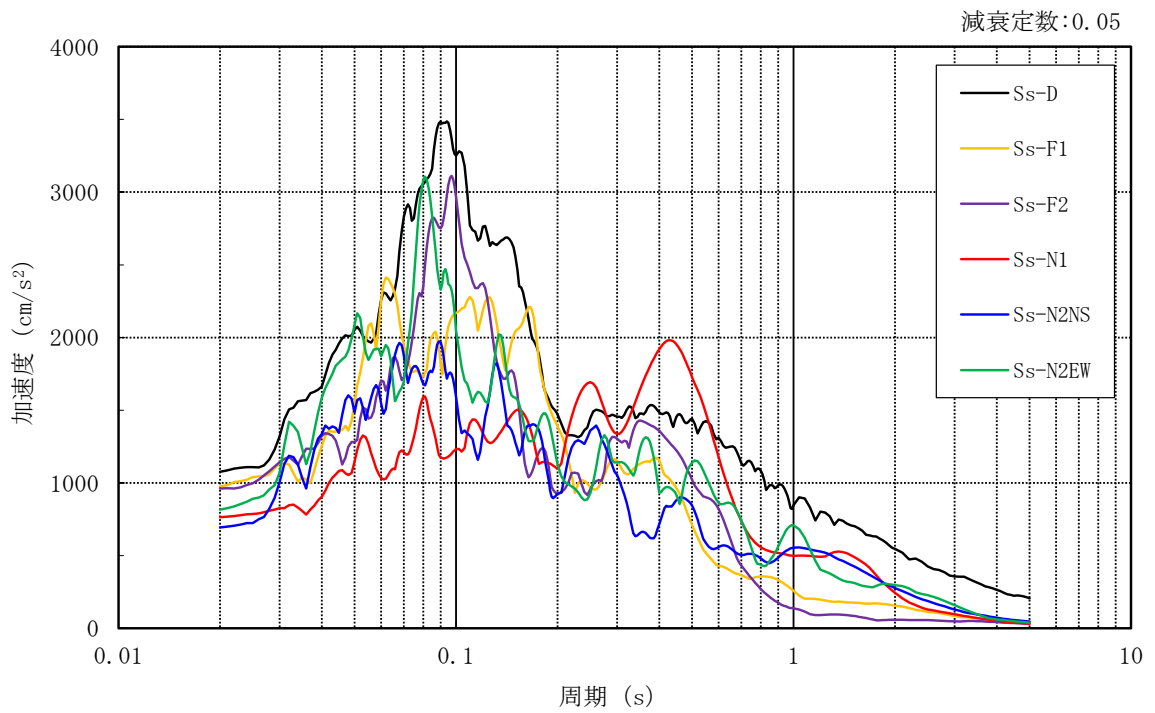
入力地震動

排気筒（鉄塔）の基礎上端位置における
基準地震動 S_s の時刻歴応答加速度

図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

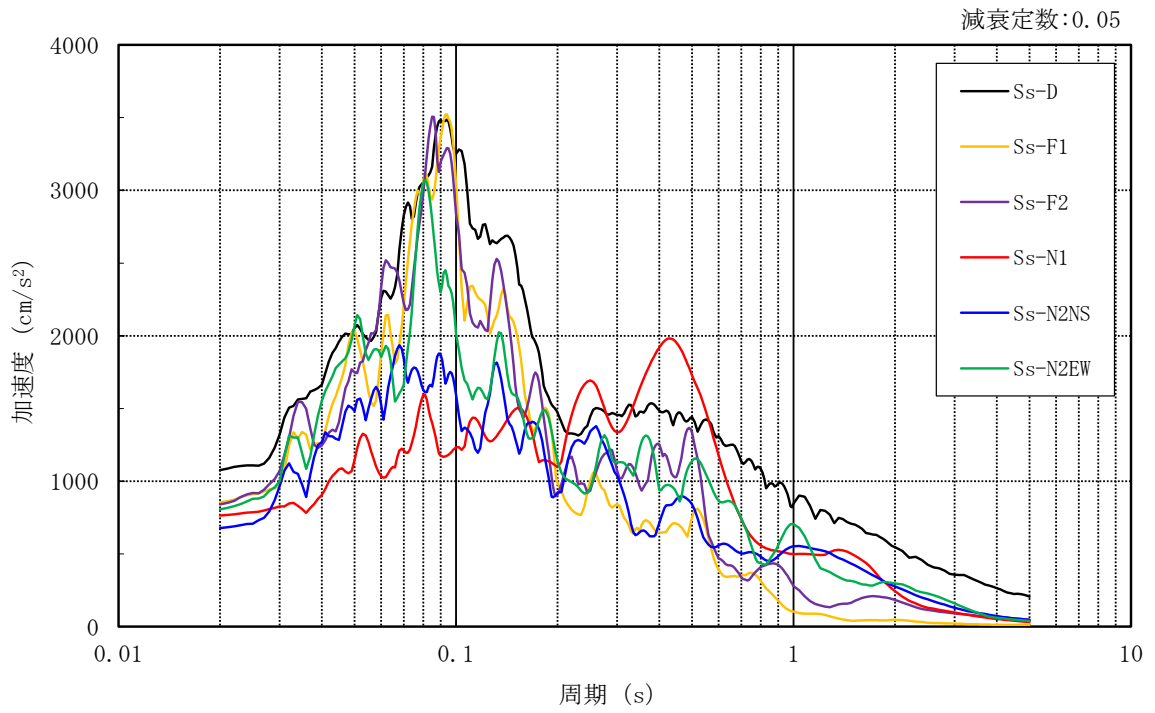


(a) N S 方向

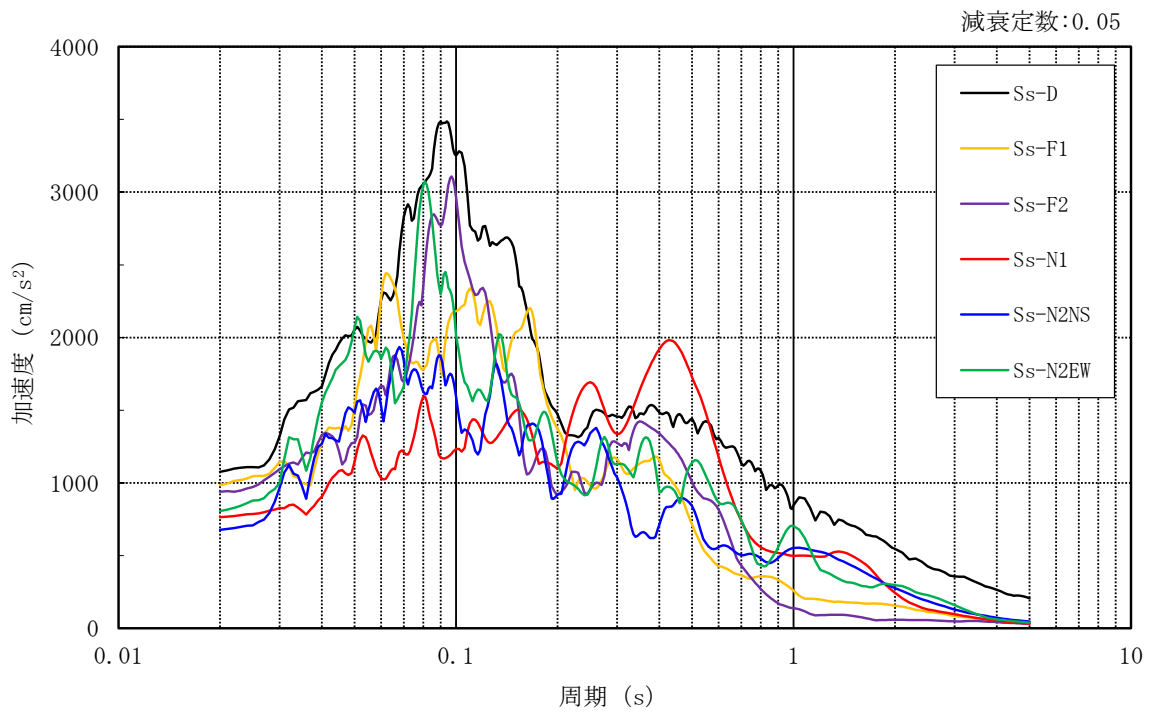


(b) E W 方向

図 3-7 入力地震動の加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，排気筒（鉄塔）基礎上）
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル（基準地震動 S_s ，排気筒（鉄塔）基礎上）
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）

3.5.2 解析方法

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の地震応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 材料物性の不確かさ

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、排気筒の基礎に設置された建物であることから、考慮しない。

地震応答解析ケースを表 3-5 に示す。

表 3-5 地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	—*	—	基本ケース

注記*：鉄骨フレーム及び鋼板から構成される鉄骨造の建物であるため、せん断剛性を考慮する。

3.6 評価方法

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、層間変形角を算定し、最大層間変形角が許容限界を超えないことを確認する。

3.6.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の地震応答解析モデルによる解析結果と VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算定し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算定する際の基準点は、排気筒の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算定する。

さらに、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建物・構築物の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

なお、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備は建物柱脚レベル (EL 8.7m) を固定したモデルのため、地盤物性の不確かさを考慮していないことから、地震応答解析ケースはケース 1 (工認モデル) の 1 ケースである。一方、排気筒では地盤物性の不確かさ及び制震装置 (粘性ダンパ) の不確かさを考慮しており、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」において地震応答解析ケースを 5 ケースとしている。このため、相対変位による評価について、燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備のケース 1 は排気筒の全 5 ケースとの相対変位を評価する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の基準地震動 S_s に対する建物の最大層間変形角を表 4-1 に示す。

その結果、最大層間変形角は、 $1/18102$ （EW 方向， $S_s - D$ ）であり，許容限界（ $1/120$ ）を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大層間変形角
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	許容限界
NS	$1/26863$ ($S_s - D$)	$1/120$
EW	$1/18102$ ($S_s - D$)	$1/120$

注：（ ）内は応答が最大となる地震動を示す。

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の基準地震動 S_s に対する建物の最大層間変形角を表 4-2 に示す。

その結果、最大層間変形角は、 $1/13270$ （EW 方向， $S_s - D$ ）であり，許容限界（ $1/120$ ）を超えないことを確認した。

表 4-2 建物の最大層間変形角
燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	許容限界
NS	$1/37686$ ($S_s - D$)	$1/120$
EW	$1/13270$ ($S_s - D$)	$1/120$

注：（ ）内は応答が最大となる地震動を示す。

4.2 相対変位による評価結果

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の基準地震動 S_s に対する建物・構築物間の最大相対変位を表 4-3 に示す。また、各建物・構築物の最大応答変位とクリアランスを図 4-1 に示す。

その結果、最大相対変位は、EL 10.8m で 4.07mm ($S_s - D$) であり、許容限界 (72mm) を超えないことを確認した。

表 4-3 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）と排気筒（鉄塔）の最大相対変位
（N S 方向，絶対値和）

（単位：mm）

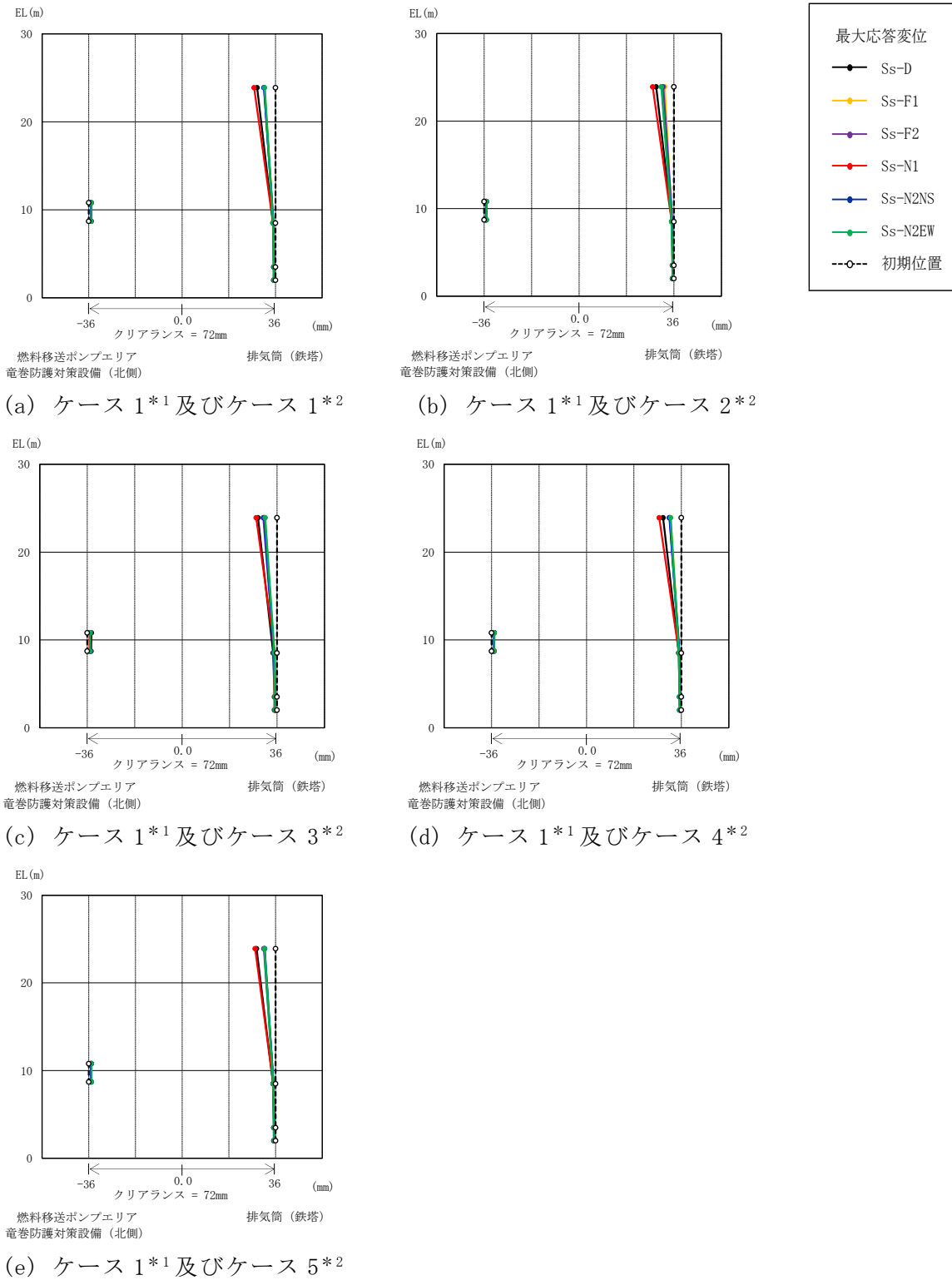
燃料移送ポンプエリア 竜巻防護対策設備（北側）		排気筒 （鉄塔）		ケース 1*1 （工認モデル）					許容 限界
質点 番号	EL （m）	質点 番号	EL （m）	ケース 1*2 （工認モデル）	ケース 2*2 （地盤物性+ σ ）	ケース 3*2 （地盤物性- σ ）	ケース 4*2 （減衰係数上限）	ケース 5*2 （減衰係数下限）	
①	10.8	*3	10.8	3.21 （S s - N 1）	2.98 （S s - N 1）	4.07 （S s - D）	3.26 （S s - N 1）	3.12 （S s - D）	72

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は，基準地震動 S s - D，S s - F 1，S s - F 2，S s - N 1，S s - N 2 N S 及び S s - N 2 E W に対して実施。

注記*1：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の地震応答解析ケースを示す。

*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

*3：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の質点①（EL 10.8m）の応答変位に加算する排気筒の応答変位は，排気筒（鉄塔）の上下質点間（EL23.9m～EL 8.5m）で線形補間して算定。



注記*1：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）の地震応答解析ケースを示す。

*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

図 4-1 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（北側）と排気筒（鉄塔）の最大応答変位とクリアランス（NS方向）

燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の基準地震動 S_s に対する建物・構築物間の最大相対変位を表 4-4 に示す。また、各建物・構築物の最大応答変位とクリアランスを図 4-2 に示す。

その結果、最大相対変位は、EL 10.8m で 4.05mm ($S_s - D$) であり、許容限界 (72mm) を超えないことを確認した。

表 4-4 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）と排気筒（鉄塔）の最大相対変位
（NS方向，絶対値和）

（単位：mm）

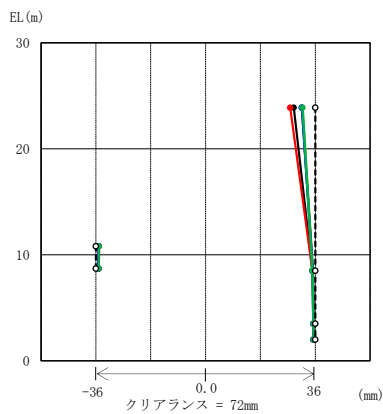
燃料移送ポンプエリア 竜巻防護対策設備（南側）		排気筒 （鉄塔）		ケース 1*1 （工認モデル）					許容 限界
質点 番号	EL （m）	質点 番号	EL （m）	ケース 1*2 （工認モデル）	ケース 2*2 （地盤物性+ σ ）	ケース 3*2 （地盤物性- σ ）	ケース 4*2 （減衰係数上限）	ケース 5*2 （減衰係数下限）	
①	10.8	*3	10.8	3.19 （S _s -N1）	2.96 （S _s -N1）	4.05 （S _s -D）	3.24 （S _s -N1）	3.11 （S _s -N1）	72

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は，基準地震動 S_s-D，S_s-F1，S_s-F2，S_s-N1，S_s-N2NS及びS_s-N2EWに対して実施。

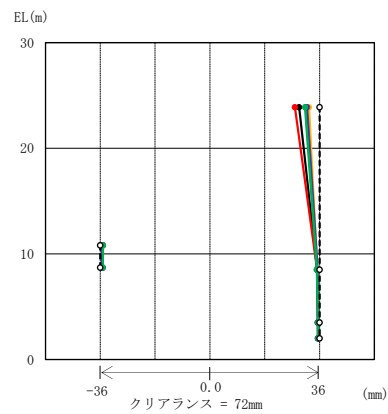
注記*1：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の地震応答解析ケースを示す。

*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

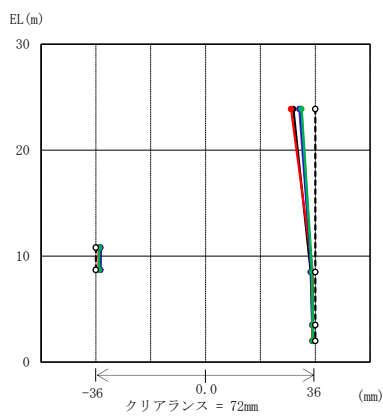
*3：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の質点①（EL 10.8m）の応答変位に加算する排気筒の応答変位は，排気筒（鉄塔）の上下質点間（EL23.9m～EL 8.5m）で線形補間して算定。



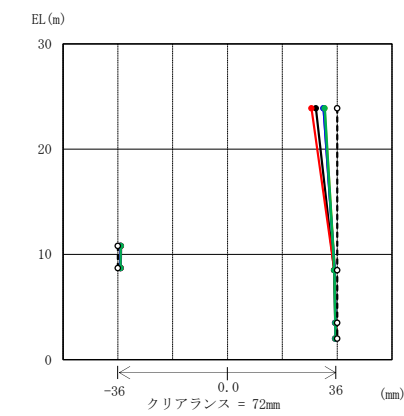
燃料移送ポンプエリア
竜巻防護対策設備（南側）
排気筒（鉄塔）
(a) ケース 1*¹ 及びケース 1*²



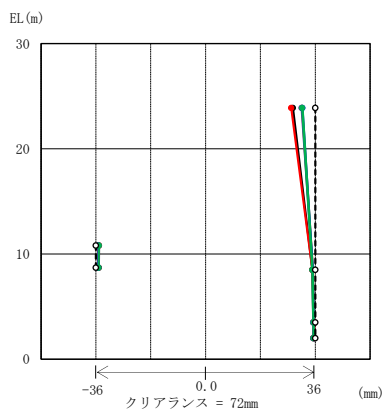
燃料移送ポンプエリア
竜巻防護対策設備（南側）
排気筒（鉄塔）
(b) ケース 1*¹ 及びケース 2*²



燃料移送ポンプエリア
竜巻防護対策設備（南側）
排気筒（鉄塔）
(c) ケース 1*¹ 及びケース 3*²



燃料移送ポンプエリア
竜巻防護対策設備（南側）
排気筒（鉄塔）
(d) ケース 1*¹ 及びケース 4*²



燃料移送ポンプエリア
竜巻防護対策設備（南側）
排気筒（鉄塔）
(e) ケース 1*¹ 及びケース 5*²

注記*1：燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）の地震応答解析ケースを示す。
*2：排気筒の地震応答解析ケースを示す。

図 4-2 燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備（南側）と排気筒（鉄塔）の最大応答変位とクリアランス（NS方向）

VI-2-11-2-6-2 建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	5
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格・基準等	10
2.5 記号の説明	11
2.6 計算精度と数値の丸め方	14
3. 評価部位	15
4. 応力評価及び構造強度評価	16
4.1 応力評価及び構造強度評価方法	16
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	17
4.2.1 荷重の組合せ	17
4.2.2 使用材料の許容応力	17
4.3 解析モデル	18
4.3.1 竜巻防護ネット対策設備	18
4.3.2 竜巻防護鋼板対策設備	19
4.4 固有周期	20
4.4.1 竜巻防護ネット対策設備	20
4.4.2 竜巻防護鋼板対策設備	20
4.5 設計用地震力	21
4.6 応力の計算方法	22
4.6.1 竜巻防護ネット対策設備	22
4.6.2 竜巻防護鋼板対策設備	24
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
4.8.1 フレームの応力評価	26
4.8.2 アンカーボルトの評価	28
5. 評価結果	30

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、建物開口部竜巻防護対策設備が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、周辺に設置された上位クラス施設に対して、建物開口部竜巻防護対策設備の損傷及び脱落による波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

建物開口部竜巻防護対策設備は、原子炉建物及び廃棄物処理建物に設置する。建物開口部竜巻防護対策設備は、竜巻防護ネット対策設備と竜巻防護鋼板対策設備に分類される。本資料では図 2-1 に示す建物開口部竜巻防護対策設備のうち、構造強度評価の評価部位であるフレームとアンカーボルトの裕度が最も厳しい竜巻防護ネット対策設備(2RB-BOP2, 3)及び竜巻防護鋼板対策設備(2RB-BOP1)を代表として、耐震性について示す。なお、その他の竜巻防護ネット対策設備の評価結果については「【竜巻防護ネット対策設備についての計算結果】1.4.3 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果」にて示す。

対象とした設備は建物上部に設置されているため、地震により脱落した場合の影響範囲の限定が難しいことから、周辺に設置された上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

建物開口部竜巻防護対策設備の一覧を表 2-1 に、設置位置を図 2-1 に示す。

表 2-1 建物開口部竜巻防護対策設備一覧

据付場所及び 床面高さ (m)	設備 No.	タイプ
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG1, 3, 4	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG2	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG5	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 34.8*	2RB-3	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 37.2*	2RB-M4	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 51.7*	2RB-BOP1	竜巻防護鋼板対策設備
原子炉建物 EL 51.7*	2RB-BOP2, 3	竜巻防護ネット対策設備 (張出しタイプ)
廃棄物処理建物 EL 26.7*	2RwB-AG1	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)

注記*：基準床レベルを示す。

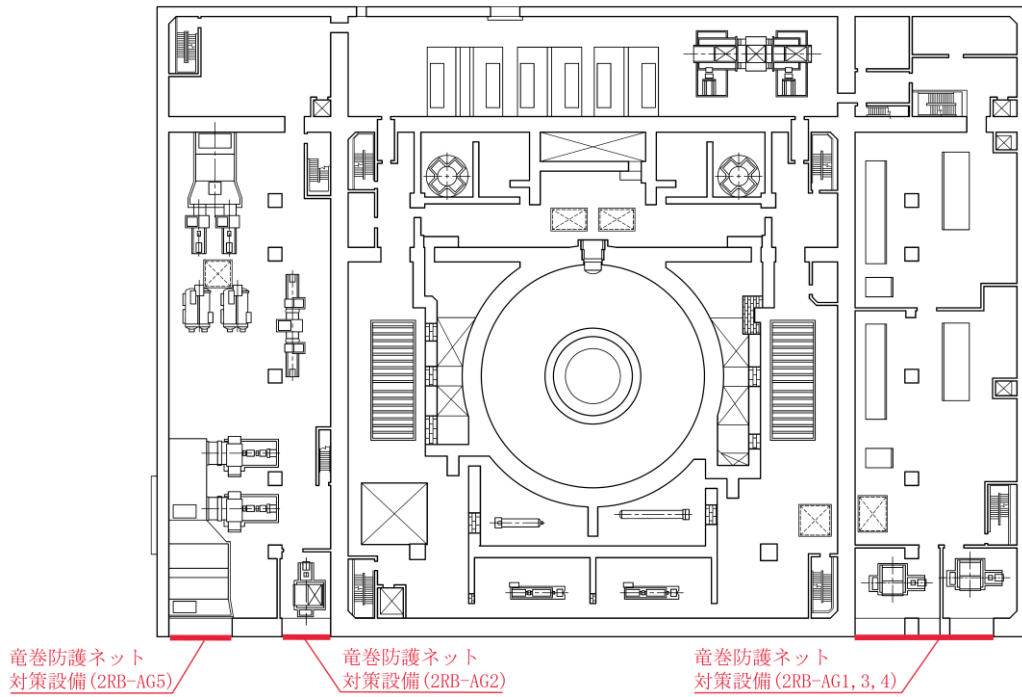


図 2-1(1) 建物開口部蛇巻防護対策設備の設置位置図
(原子炉建物, EL 23.8m)

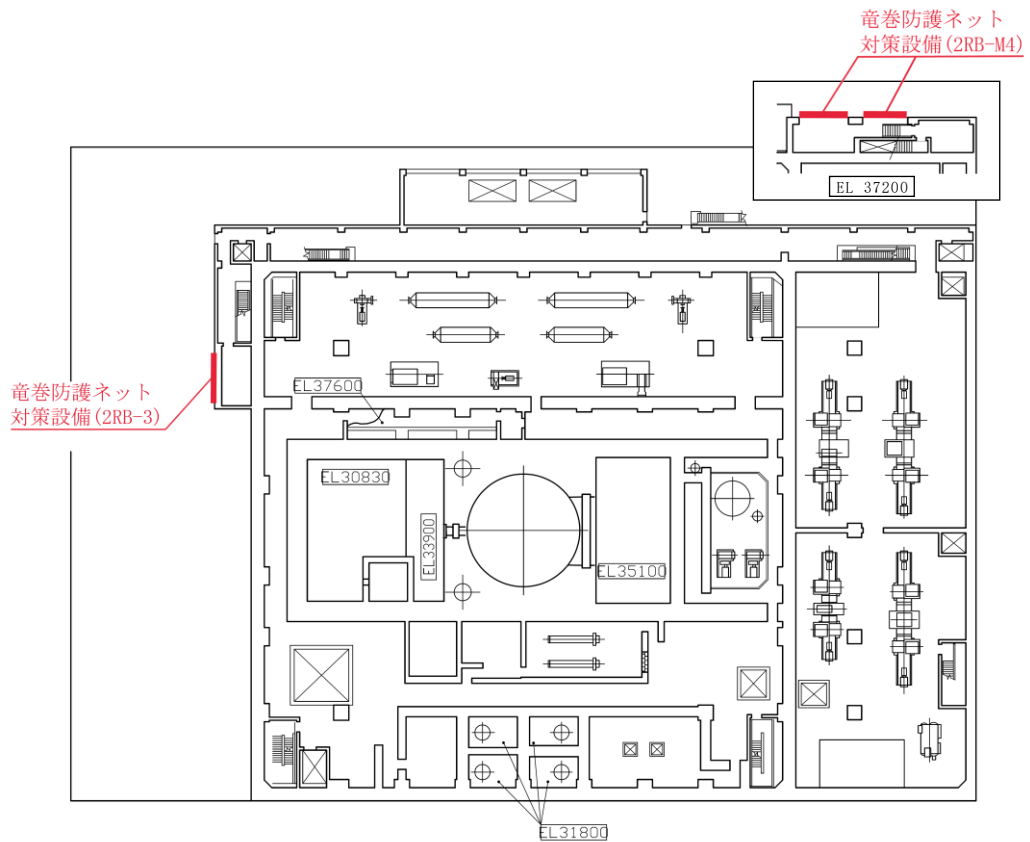


図 2-1(2) 建物開口部蛇巻防護対策設備の設置位置図
(原子炉建物, EL 34.8m)

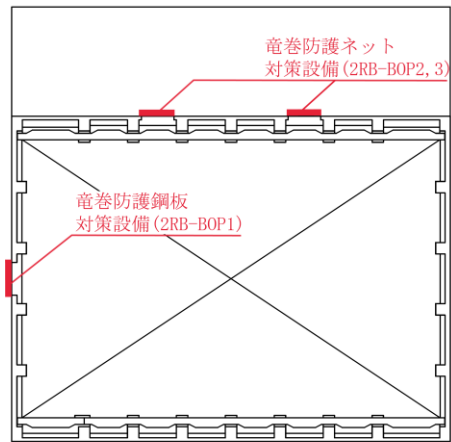


図 2-1(3) 建物開口部竜巻防護対策設備の設置位置図
(原子炉建物, EL 51.7m)

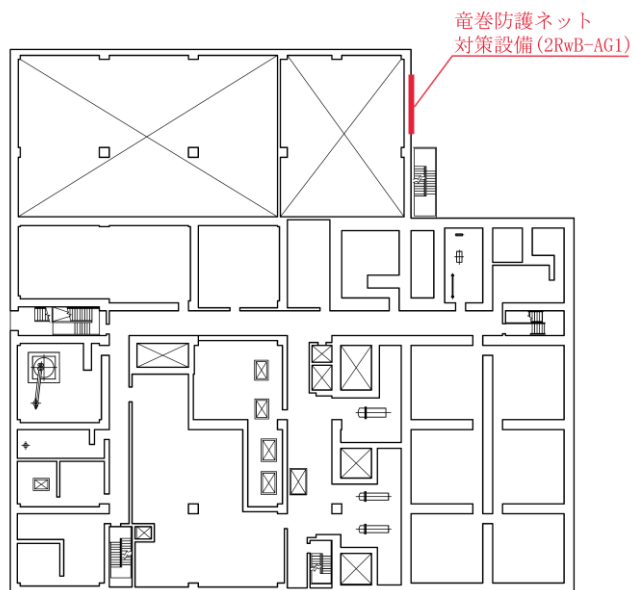


図 2-1(4) 建物開口部竜巻防護対策設備の設置位置図
(廃棄物処理建物, EL 26.7m)

2.2 構造計画

竜巻防護ネット対策設備及び竜巻防護鋼板対策設備の構造計画を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2(1) 構造計画 (竜巻防護ネット対策設備, 張出しタイプ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
アンカーボルトにより建物躯体である床及び壁に固定される。	竜巻防護ネットが取り付けられた鉄骨フレーム	<p> : 評価部位 アンカーボルト (接着系) 竜巻防護ネット (C-C断面) フレーム (鉄骨架構) (A-A断面) アンカーボルト (頭付き) 建物開口部 (B-B断面) </p> <p> C1, B2 : H-600×300×14×25 B1 : H-600×200×11×17 B3 : H-400×200×8×13 </p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-2(2) 構造計画 (竜巻防護ネット対策設備, 壁付けタイプ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
アンカーボルトにより建物躯体である壁に固定される。	竜巻防護ネットが取り付けられた鉄骨フレーム	<p> : 評価部位 アンカーボルト (接着系) フレーム (鉄骨架構) 竜巻防護ネット 建物開口部 </p> <p> (A-A断面) (B-B断面) (C-C断面) </p> <p> C1, B1 : H-1000×300×19×32 C2, B2 : H-800×300×16×32 </p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-3 構造計画（竜巻防護鋼板対策設備）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
アンカーボルトにより建物躯体である壁に固定される。	竜巻防護鋼板が取り付けられた鉄骨フレーム	<p> □ : 評価部位 アンカーボルト (接着系) フレーム (鉄骨架構) 竜巻防護鋼板 建物開口部 C1 : H-800×300×14×26 (単位 : mm) </p>

2.3 評価方針

建物開口部竜巻防護対策設備の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す建物開口部竜巻防護対策設備の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 応力評価及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

建物開口部竜巻防護対策設備の耐震評価フローを図2-2に示す。

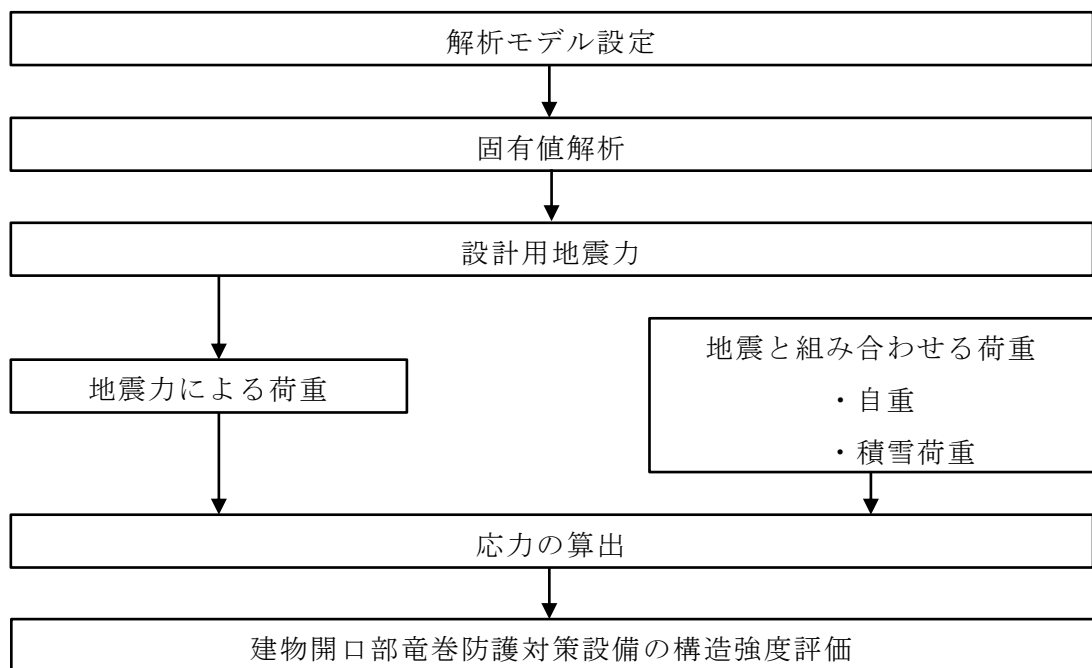


図2-2 建物開口部竜巻防護対策設備の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 2010 年改定)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
s_{ca}	アンカーボルトの断面積	mm^2
A	フレームの断面積	mm^2
A_0	アンカーボルト頭部の支圧面積	mm^2
A_c	引張力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_{sy}	フレームのせん断断面積 (y 軸方向)	mm^2
A_{sz}	フレームのせん断断面積 (z 軸方向)	mm^2
C_{HX}	X 方向設計震度 (絶対座標系)	—
C_{HY}	Y 方向設計震度 (絶対座標系)	—
C_V	鉛直方向設計震度 (絶対座標系)	—
D	アンカーボルトの頭部直径	mm
d	アンカーボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	鋼材の許容応力を決定する場合の基準値	MPa
F_c	コンクリートの設計基準強度	MPa
f	1 次固有振動数	Hz
f_b	フレームの許容曲げ応力	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力	MPa
f_s	フレームの許容せん断応力	MPa
f_t	フレームの許容引張応力	MPa
f_n	アンカーボルト引張時の頭部支圧応力度に対するコンクリートの支圧強度	MPa
i	断面二次半径	mm
I	フレームの断面二次モーメント	mm^4
l	フレームの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
L_{ce}	アンカーボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	アンカーボルトの有効埋込み長さ	mm
M_e	弾性横座屈モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{y1}	降伏モーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_x	フレームの曲げモーメント (x 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y	フレームの曲げモーメント (y 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_z	フレームの曲げモーメント (z 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
m	質量分布	kg/m
w	評価用荷重	N/m
n	フレームと壁及び床の取付部 1 箇所当たりのアンカーボルトの本数	—
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
Z_y	フレームの断面係数（y 軸周り）	mm ³
Z_z	フレームの断面係数（z 軸周り）	mm ³
Λ	フレームの限界細長比	—
λ	フレームの有効細長比	—
λ_b	降伏モーメントに対する曲げ材の基準化細長比	—
$e \lambda_b$	弾性限界細長比	—
$p \lambda_b$	塑性限界細長比	—
ν_c	圧縮座屈に対する安全率	—
ν_b	曲げ座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
N_c	フレームの軸力（圧縮）	N
N_t	フレームの軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の荷重（x 軸方向）	N
R_y	ベースプレート部の荷重（y 軸方向）	N
R_z	ベースプレート部の荷重（z 軸方向）	N
p	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	N
p_a	アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力	N
p_{a1}	アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
p_{a2}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	アンカーボルトの付着力により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
q	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	N
q_a	アンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N
q_{a1}	アンカーボルトのせん断強度により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N

記号	記号の説明	単位
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N
Q_y	フレームのせん断力 (y 軸方向)	N
Q_z	フレームのせん断力 (z 軸方向)	N
ϕ_1	低減係数 長期 : 2/3 短期 : 1.0	—
ϕ_2	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	—
ϕ_3	低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3	—
α_n	へりあき及びアンカーボルトピッチによる付着強度の低減係数 (n = 1, 2, 3)	—
c_n	へりあき及びアンカーボルトピッチの 1/2 (n = 1, 2, 3)	mm
$c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
$c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
$s\sigma_{pa}$	アンカーボルトの引張強度	MPa
$s\sigma_{qa}$	アンカーボルトのせん断強度	MPa
σ_{by}	フレームに生じる曲げ応力 (y 軸周り)	MPa
σ_{bz}	フレームに生じる曲げ応力 (z 軸周り)	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮したアンカーボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	アンカーボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_y	フレームに生じるせん断応力 (y 軸方向)	MPa
τ_z	フレームに生じるせん断応力 (z 軸方向)	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 2-4 に示すとおりとする。

表 2-4 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

3. 評価部位

建物開口部竜巻防護対策設備の耐震評価は、建物開口部竜巻防護対策設備が脱落することにより波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、「4.1 応力評価及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム及びアンカーボルトについて実施する。なお、建物開口部竜巻防護対策設備は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物であるフレーム及びアンカーボルトが健全であれば脱落による損傷を防止できるため、フレーム及びアンカーボルトを評価対象とする。建物開口部竜巻防護対策設備の耐震評価部位については、表 2-2 及び表 2-3 の概略構造図に示す。

4. 応力評価及び構造強度評価

4.1 応力評価及び構造強度評価方法

- (1) 建物開口部竜巻防護対策設備のフレームは、アンカーボルトにより建物躯体である床及び壁に固定されるものとする。
- (2) 建物開口部竜巻防護対策設備の応力評価には、はり要素を用いたフレームモデルにより行う。
- (3) 建物開口部竜巻防護対策設備の質量には、フレーム自身の質量のほか、竜巻防護ネット、竜巻防護鋼板の質量を考慮する。
- (4) 地震力は、建物開口部竜巻防護対策設備に対して水平方向及び鉛直方向に作用するものとし、組合せ係数法を用いて設定する。
- (5) 地震力は、固有値解析結果を踏まえて設定するものとする。
- (6) 積雪による荷重は、評価対象設備に対して鉛直方向に作用するものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ

建物開口部竜巻防護対策設備の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

名称	荷重の組合せ
建物開口部竜巻防護対策設備	$D + S_s + P_s$

D : 自重

S_s : 地震荷重

P_s : 積雪荷重

4.2.2 使用材料の許容応力

フレーム及びアンカーボルトの許容応力を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料の許容応力*¹

(単位 : MPa)

評価部材	材料	材料強度		
		引張り	圧縮 曲げ	せん断
フレーム	SN490B (厚さ ≤ 40mm)	325	325* ²	187
アンカーボルト	SS400	235	235* ²	135

注記*1 : 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 — ((社) 日本建築学会, 2005 改定) による。

注記*2 : 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

4.3.2 竜巻防護鋼板対策設備

竜巻防護鋼板対策設備の解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。

- (1) 解析モデルは、フレームを単純はりとしてモデル化する。
- (2) 拘束条件は、フレームと原子炉建物壁面をアンカーボルトで固定する。なお、固定箇所はピン接合とする。

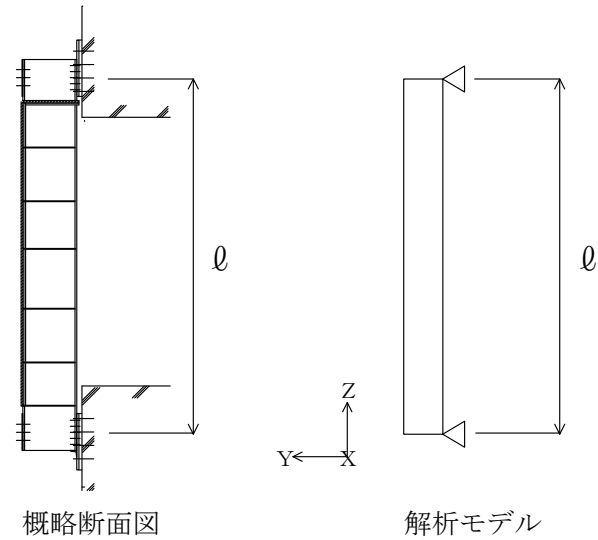


図 4-2 竜巻防護鋼板対策設備の解析モデル

4.4 固有周期

4.4.1 竜巻防護ネット対策設備

竜巻防護ネット対策設備の固有周期は、「4.3.1 竜巻防護ネット対策設備」で示した解析モデルを用いて、解析コード「KANSAS2」を使用し算出する。固有値解析の結果を表4-3に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-3 固有値解析結果（竜巻防護ネット対策設備）

方向	固有周期 (s)	刺激係数		
		水平方向		鉛直方向 Z方向 (UD方向)
		X方向 (EW方向)	Y方向 (NS方向)	
X方向 (EW方向)	0.0363	5.043	0.000	0.000
Z方向 (UD方向)	0.0329	0.000	0.011	1.761
Y方向 (NS方向)	0.0295	0.000	-1.457	-0.378

4.4.2 竜巻防護鋼板対策設備

竜巻防護鋼板対策設備の固有周期は、「4.3.2 竜巻防護鋼板対策設備」で示した解析モデルを用いて、「土木学会構造力学公式集」に基づき下式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi l} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

固有値解析の結果を表4-4に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-4 固有値解析結果（竜巻防護鋼板対策設備）

方向	固有周期 (s)
X方向 (NS方向)	0.0324
Y方向 (EW方向)	0.0156

4.5 設計用地震力

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

建物開口部竜巻防護対策設備は剛構造であることから、建物の地震応答解析に基づいて算定された最大応答加速度又はこれを上回る設計震度を設定する。設計震度を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-5 設計用地震力（竜巻防護ネット対策設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s		
	水平方向		鉛直方向 Z 方向 (UD 方向)	水平方向		鉛直方向 Z 方向 (UD 方向) 設計震度
	X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)		X 方向 (EW 方向) 設計震度	Y 方向 (NS 方向) 設計震度	
原子炉建物 EL 52.4 (EL 51.7*1)	0.0363	0.0295	0.0329	$C_{HX} =$ 7.02*2	$C_{HY} =$ 5.54*2	$C_V =$ 7.43*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 4-6 設計用地震力（竜巻防護鋼板対策設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s		
	水平方向		鉛直方向 Z 方向 (UD 方向)	水平方向		鉛直方向 Z 方向 (UD 方向) 設計震度
	X 方向 (NS 方向)	Y 方向 (EW 方向)		X 方向 (NS 方向) 設計震度	Y 方向 (EW 方向) 設計震度	
原子炉建物 EL 51.9 (EL 51.7*1)	0.0324	0.0156	*2	$C_{HX} =$ 4.43*3	$C_{HY} =$ 9.54*3	$C_V =$ 2.66*3

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：0.05 秒以下

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

4.6 応力の計算方法

4.6.1 竜巻防護ネット対策設備

(1) フレームの応力

フレームの応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 N_t 、 N_c 、せん断力 Q_y 、 Q_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z により各応力を次のように求める。

a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

b. せん断応力

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮又は引張り＋曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}}{f_b}, \frac{\sigma_{b_y} + \sigma_{b_z} + \sigma_t}{f_t} \right)$$

(b) 圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断

$$\max \left(\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3\tau_y^2}, \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3\tau_z^2} \right)$$

引張軸力の場合は σ_c を σ_t とする。

注：添字 y 、 z は要素に与えられた座標軸（ y ：弱軸方向、 z ：強軸方向）

(2) アンカーボルトの荷重

アンカーボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重 R_x 、 R_y 、 R_z により各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x / n$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2} / n$$

注：添字 x 、 y 、 z は要素に与えられた座標軸（ x ：引張方向、 y 及び z ：せん断方向）

4.6.2 竜巻防護鋼板対策設備

(1) フレームの荷重及び応力

フレームの荷重及び応力は、単純はりとして下式により求める。

a. せん断荷重

$$Q_y = \frac{w \cdot C_{HX} \cdot \ell}{2}, \quad Q_z = \frac{w \cdot C_{HY} \cdot \ell}{2}$$

b. 曲げモーメント

$$M_y = \frac{w \cdot C_{HY} \cdot \ell^2}{8}, \quad M_z = \frac{w \cdot C_{HX} \cdot \ell^2}{8}$$

c. せん断応力

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s z}}$$

d. 曲げ応力

$$\sigma_{b y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

e. 組合せ応力

(a) 曲げ+せん断

$$\max \left(\sqrt{(\sigma_{b y} + \sigma_{b z})^2 + 3 \tau_y^2}, \quad \sqrt{(\sigma_{b y} + \sigma_{b z})^2 + 3 \tau_z^2} \right)$$

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸（ y ：弱軸方向， z ：強軸方向）

(2) アンカーボルトの荷重

アンカーボルトの荷重は、はりモデルを用いて計算した引張荷重及びせん断荷重により、次のように求める。

a. 引張荷重

$$R_x = \frac{w \cdot C_{HY} \cdot \ell}{2}$$

$$p = R_x / n$$

b. せん断荷重

$$R_y = \frac{w \cdot C_{HX} \cdot \ell}{2}$$

$$R_z = \frac{w \cdot C_V \cdot \ell}{2}$$

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2} / n$$

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸（x：引張方向, y 及び z：せん断方向）

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【竜巻防護ネット対策設備の耐震性についての計算結果】及び【竜巻防護鋼板対策設備の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 フレームの応力評価

4.6.1(1)項及び4.6.2(1)項で求めた各応力が許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は f_t 以下、又は、応力比の場合は1以下であることを確認する。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\lambda \leq \Lambda$ のとき $\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu_c} \cdot 1.5$ $\lambda > \Lambda$ のとき $\frac{0.277}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \cdot F \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\lambda_b \leq_p \lambda_b$ のとき $\frac{F}{\nu_b} \cdot 1.5$ $_p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b$ のとき $\left\{ 1 - 0.4 \frac{\lambda_b - _p \lambda_b}{_e \lambda_b - _p \lambda_b} \right\} \frac{F}{\nu_b} \cdot 1.5$ $_e \lambda_b < \lambda_b$ のとき $\frac{1}{\lambda_b^2} \cdot \frac{F}{2.17} \cdot 1.5$

ここで,

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}}$$

$$\nu_c = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

$$\nu_b = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_b}{e \lambda_b} \right)^2$$

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_{y1}}{M_e}}$$

$$p \lambda_b = 0.3$$

$$e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

4.8.2 アンカーボルトの評価

4.6.1(2)項及び 4.6.2(2)項で求めたアンカーボルトの引張荷重 p 及びせん断荷重 q が許容値以下であること。また、引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であることを確認する。

(1) 頭付きタイプ

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min [p_{a1}, p_{a2}]$
許容せん断力 q_a	$\min [q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数 ϕ_1 、 ϕ_2 は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2
短期荷重用	1.0	2/3

頭付きアンカーボルトの許容引張時の頭部支圧応力度は、コンクリートの支圧強度以下となるようにする。

$$\frac{p_a}{A_0} \leq f_n$$

短期許容せん断力を確保するためのアンカーボルトの有効埋込み長さ L_e は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c a \leq c \cdot \sigma_t \cdot A_c$$

$$A_c = \pi \cdot L_e (L_e + D)$$

(2) 接着系タイプ

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min [p_{a1}, p_{a3}]$
許容せん断力 q_a	$\min [q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

ただし、

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_{ca}$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

低減係数 ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$$

$$\alpha_n = 0.5 \left(\frac{c_n}{L_e} \right) + 0.5 \quad (n=1, 2, 3)$$

なお、 $(c_n/L_e) \geq 1.0$ の場合は、 $(c_n/L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d$ の場合は、 $L_e = 10d$ とする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg} は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」より、カプセル方式・有機系の $10\sqrt{F_c/21}$ とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカーボルトの有効埋込み長さ L_e は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{s \cdot \sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

建物開口部竜巻防護対策設備の設計条件及び評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【竜巻防護ネット対策設備の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	基準地震動 S_s		
		X方向 (EW方向) 設計震度	Y方向 (NS方向) 設計震度	鉛直方向 (UD方向) 設計震度
竜巻防護ネット 対策設備	原子炉建物 EL52.4 (EL51.7*)	$C_{HX} = 7.02$	$C_{HY} = 5.54$	$C_V = 7.43$

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	材質	E (MPa)	F (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
H-600×300×14×25	SN490B	2.05×10^5	325	—	—
H-600×200×11×17	SN490B	2.05×10^5	325	—	—
H-400×200×8×13	SN490B	2.05×10^5	325	—	—
φ 22 (頭付き)	SS400	2.05×10^5	235	6.021×10^4	6.252×10^4
M20 (接着系)	SS400	2.05×10^5	235	4.110×10^4	4.030×10^4

部材	m^* (kg/m)	A (mm ²)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)	$A_{s y}$ (mm ²)	$A_{s z}$ (mm ²)
H-600×300×14×25	231.7	2.285×10^4	4.820×10^6	7.510×10^5	1.500×10^4	7.700×10^3
H-600×200×11×17	133.0	1.317×10^4	2.520×10^6	2.270×10^5	6.800×10^3	6.226×10^3
H-400×200×8×13	83.6	8.337×10^3	1.170×10^6	1.740×10^5	5.200×10^3	2.992×10^3

注記*：フレームの他，リブプレート等の重量を含む。

部材	d (mm)	$s c a$ (mm ²)	n
φ22 (頭付き)	22	380.1	18
M20 (接着系)	20	245.0	16

1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重

(単位：N)

部材	N_t	N_c	Q_y	Q_z
H-600×300×14×25	4.366×10^5	5.443×10^5	7.690×10^4	4.723×10^4
H-600×200×11×17	3.398×10^5	3.398×10^5	6.648×10^4	8.317×10^4
H-400×200×8×13	7.230×10^5	7.231×10^5	2.249×10^3	1.742×10^3

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸 (Q_y ：弱軸方向, Q_z ：強軸方向)

1.3.2 フレームのモーメント (単位：N・mm)

部材	M_y	M_z
H-600×300×14×25	1.103×10^8	3.337×10^7
H-600×200×11×17	1.140×10^8	2.626×10^7
H-400×200×8×13	7.083×10^6	9.142×10^6

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸 (M_y ：強軸周り, M_z ：弱軸周り)

1.3.3 アンカーボルトの荷重 (単位：N)

部材	R_x	R_y	R_z
$\phi 22$ (頭付き)	6.278×10^5	6.284×10^4	1.266×10^5
M20 (接着系)	5.832×10^5	1.072×10^5	5.580×10^4

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸 (R_x ：引張方向, R_y 及び R_z ：せん断方向)

1.3.4 アンカーボルトに作用する力 (単位：N)

部材	p	q
$\phi 22$ (頭付き)	3.488×10^4	7.853×10^3
M20 (接着系)	3.645×10^4	7.554×10^3

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位 : s)

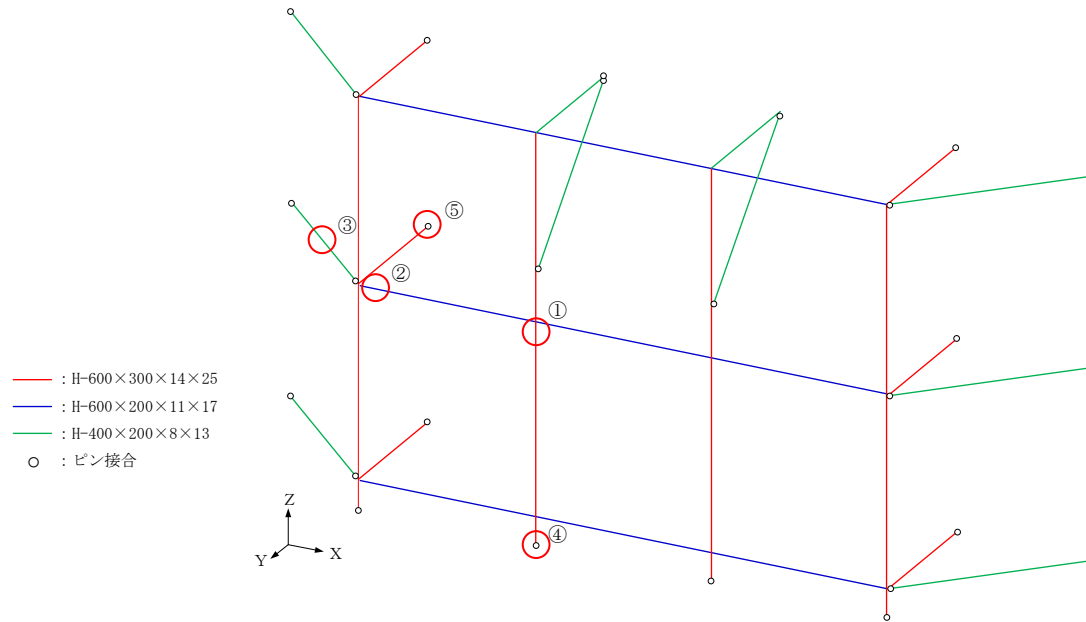
方向	固有周期
X方向 (EW方向)	0.0363
Z方向 (UD方向)	0.0329
Y方向 (NS方向)	0.0295

1.4.2 応力

項目	部材	部位	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
フレーム	H-600×300×14×25	①	引張り	20	325	0.07
			圧縮	24	273	0.09
			せん断	7	187	0.04
			曲げ	45	325	0.14
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	—	—	0.32
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	—	—	0.29
	H-600×200×11×17	②	引張り	26	325	0.08
			圧縮	26	211	0.13
			せん断	14	187	0.08
			曲げ	116	325	0.36
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	—	—	0.69
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	—	—	0.59
	H-400×200×8×13	③	引張り	87	325	0.27
			圧縮	87	211	0.42
			せん断	1	187	0.01
			曲げ	53	325	0.17
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	—	—	0.63
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	—	—	0.46

項目	部材	部位	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	裕度
アンカー ボルト	φ22 (頭付き)	④	引張り	3.488×10^4	6.021×10^4	0.58
			せん断	7.853×10^3	6.252×10^4	0.13
			組合せ (引張り+せん断)	—	—	0.36
	M20 (接着系)	⑤	引張り	3.645×10^4	4.110×10^4	0.89
			せん断	7.554×10^3	4.030×10^4	0.19
			組合せ (引張り+せん断)	—	—	0.83

すべて許容応力以下である。



各部位ごとの最大応力発生部位

1.4.3 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	対象	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	裕度	代表
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG1, 3, 4)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.12	
		アンカーボルト	引張り	1.482×10^4	3.686×10^4	0.41	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG2)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.11	
		アンカーボルト	引張り	1.392×10^4	3.686×10^4	0.38	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG5)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.13	
		アンカーボルト	引張り	1.989×10^4	3.686×10^4	0.54	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-3)	原子炉建物 EL 34.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.11	
		アンカーボルト	引張り	1.363×10^4	3.686×10^4	0.37	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-M4)	原子炉建物 EL 37.2*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.12	
		アンカーボルト	引張り	1.026×10^4	3.686×10^4	0.28	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-BOP2, 3)	原子炉建物 EL 51.7*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.69	○
		アンカーボルト	引張り	3.645×10^4	4.110×10^4	0.89	○
竜巻防護ネット対策設備 (2RwB-AG1)	廃棄物処理建物 EL 26.7*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張り+曲げ)	—	—	0.06	
		アンカーボルト	引張り	4.430×10^3	3.898×10^4	0.12	

すべて許容応力以下である。

注記*：基準床レベルを示す。

【竜巻防護鋼板対策設備の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	基準地震動 S_s		
		X方向 (NS方向) 設計震度	Y方向 (EW方向) 設計震度	鉛直方向 (UD方向) 設計震度
竜巻防護鋼板 対策設備	原子炉建物 EL 51.9 (EL 51.7*)	$C_{HX} = 4.43$	$C_{HY} = 9.54$	$C_V = 2.66$

注記*：基準床レベルを示す。

38

1.2 機器要目

部材	材質	E (MPa)	F (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
H-800×300×14×26	SN490B	2.050×10^5	325	—	—
M20 (接着系)	SS400	2.050×10^5	235	3.488×10^4	4.030×10^4

部材	m^* (kg/m)	\varnothing (mm)	A (mm ²)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)	A_{s_y} (mm ²)	A_{s_z} (mm ²)
H-800×300×14×26	758.3	5280	2.635×10^4	7.160×10^6	7.810×10^5	1.560×10^4	1.047×10^4

注記*：フレームの他、リブプレート及び竜巻防護鋼板等の重量を含む。

部材	d (mm)	s c a (mm ²)	n
M20 (接着系)	20	245.0	9

1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重 (単位：N)

部材	Q_y	Q_z
H-800×300×14×26	3.538×10^4	1.904×10^5

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸 (Q_y ：弱軸方向, Q_z ：強軸方向)

1.3.2 フレームのモーメント (単位：N・mm)

部材	M_y	M_z
H-800×300×14×26	2.513×10^8	4.670×10^7

注：添字 y, z は要素に与えられた座標軸 (M_y ：強軸周り, M_z ：弱軸周り)

1.3.3 アンカーボルトの荷重 (単位：N)

部材	R_x	R_y	R_z
M20 (接着系)	1.904×10^5	3.538×10^4	4.118×10^4

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸 (R_x ：引張方向, R_y 及び R_z ：せん断方向)

1.3.4 アンカーボルトに作用する力 (単位：N)

部材	p	q
M20 (接着系)	2.116×10^4	6.032×10^3

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

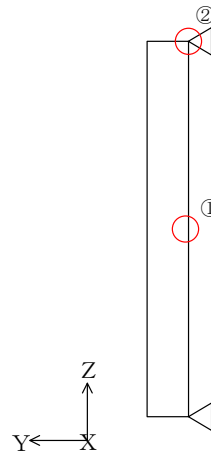
方向	固有周期
X方向 (N S方向)	0.0324
Y方向 (E W方向)	0.0156

1.4.2 応力

項目	部材	部位	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
フレーム	H-800×300×14×26	①	せん断	19	187	0.11
			曲げ	60	325	0.19
			組合せ (曲げ+せん断)	—	—	0.32

項目	部材	部位	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	裕度
アンカー ボルト	M20 (接着系)	②	引張り	2.116×10^4	3.488×10^4	0.61
			せん断	6.032×10^3	4.030×10^4	0.15
			組合せ (引張り+せん断)	—	—	0.40

すべて許容応力以下である。



各部位ごとの最大応力発生部位

VI-2-11-2-7 機器の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-7-1 原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	24
4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法	24
4.6.2 落下防止ラグの応力の計算方法	27
4.6.3 トロリストoppaの応力の計算方法	28
4.6.4 浮上り量の計算方法	29
4.6.5 吊具の荷重計算方法	29
4.7 計算条件	29
4.8 応力の評価	30
4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価	30
4.8.2 落下防止ラグの応力評価	30
4.8.3 トロリストoppaの応力評価	30
4.8.4 浮上り量の評価	31
4.8.5 吊具の評価	31
5. 評価結果	32
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	32
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32
6. 引用文献	32
付録1 時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討	39

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である原子炉建物天井クレーン（Bクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建物天井クレーンは、原子炉建物原子炉棟4階に設置される。原子炉建物天井クレーンは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上に移動可能であることから、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

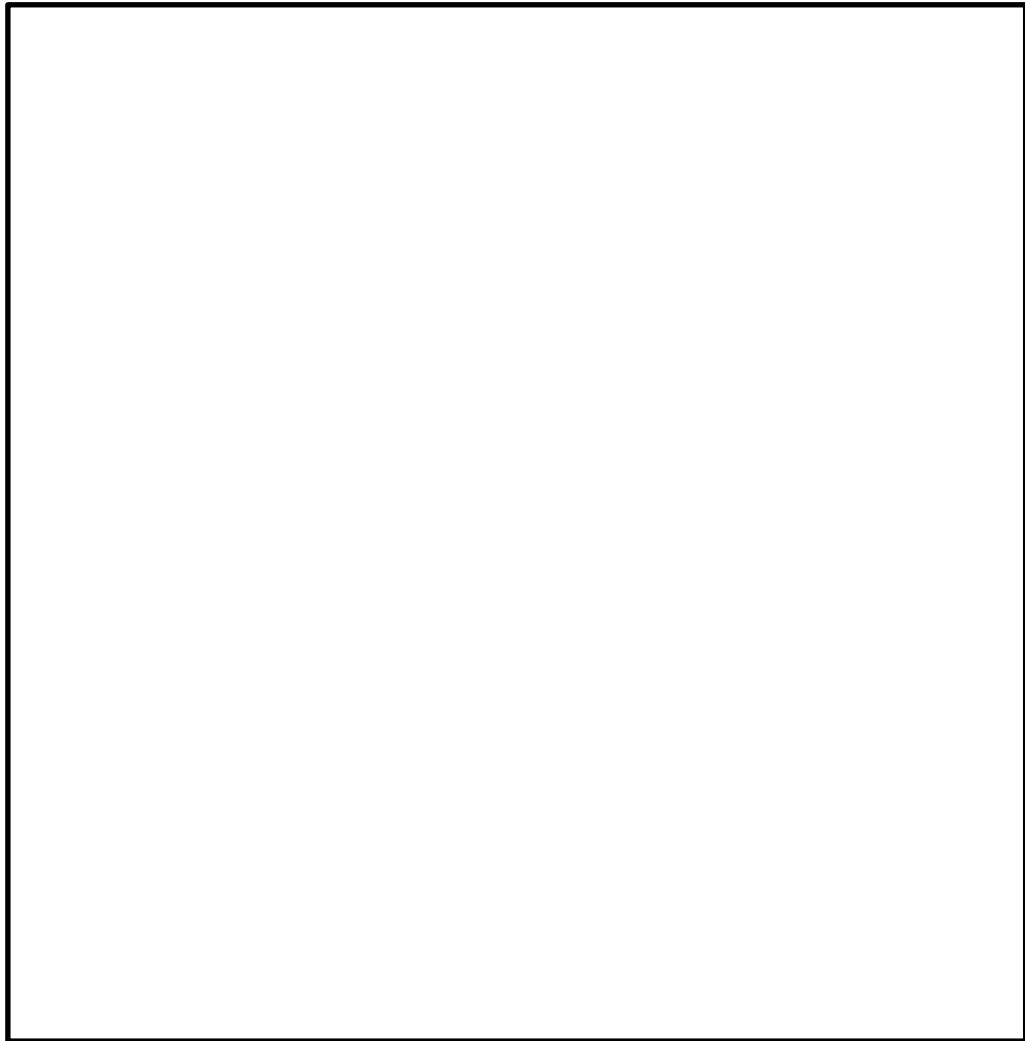


図2-1 原子炉建物天井クレーンの位置関係図

2.2 構造計画

原子炉建物天井クレーンの構造計画を表 2-1 に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建物原子炉棟4階のクレーンガーダ上に設けた走行レール上をクレーン本体ガーダが走行し、クレーン本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。</p> <p>クレーン本体ガーダは落下防止ラグ、トロリはトロリストッパを走行部付近に備えており、各々浮上り代を設けた（鉛直方向の浮上りを拘束しない）構造である。</p> <p>また、吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。</p>	<p>クレーン本体ガーダ トロリ</p>	

(単位：mm)

2.3 評価方針

原子炉建物天井クレーンの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉建物天井クレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動 S_s による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉建物天井クレーンの耐震評価フローを図2-2に示す。

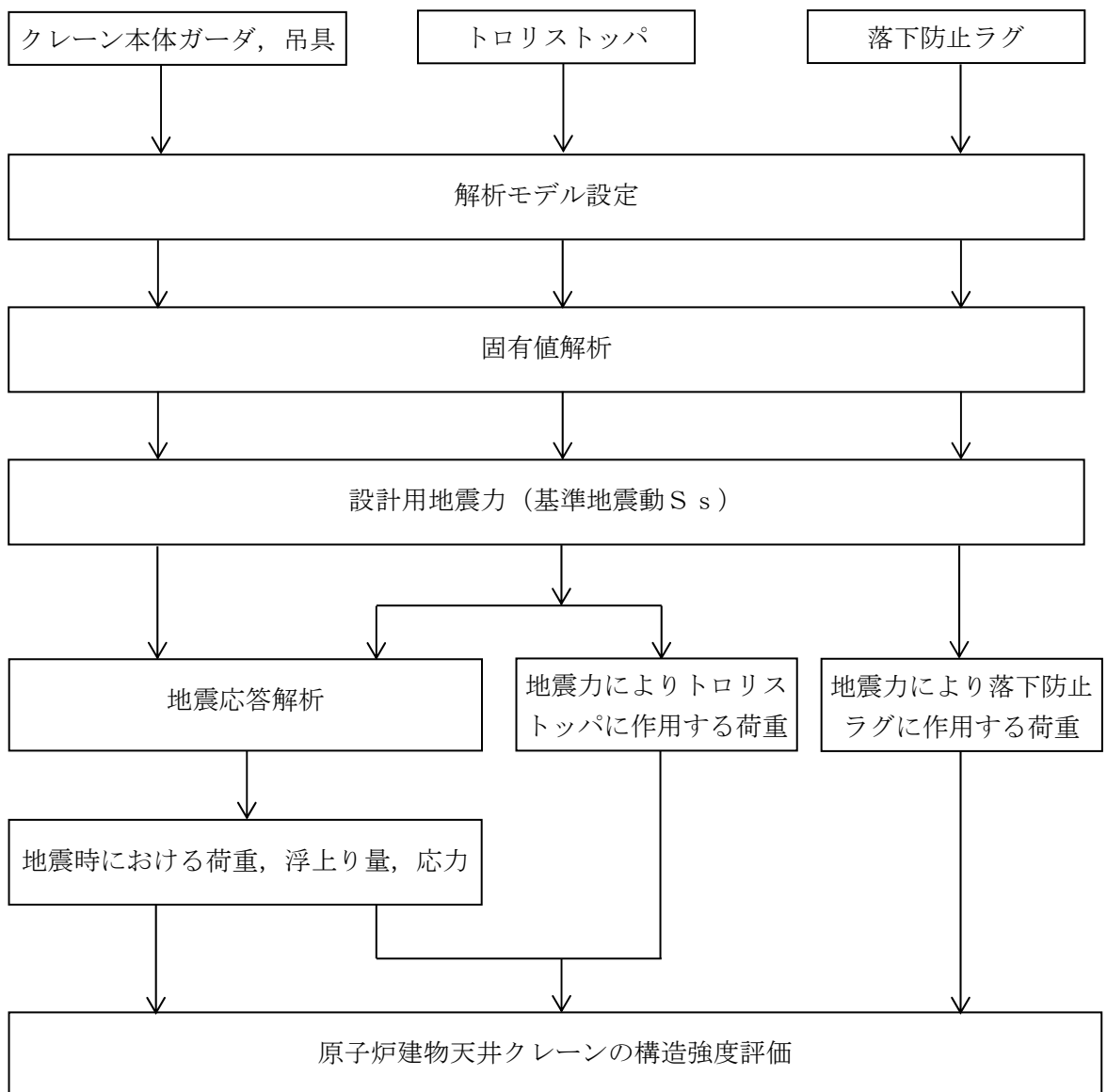


図2-2 原子炉建物天井クレーンの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・クレーン構造規格 (平成 15 年 12 月 19 日厚生労働省告示 399 号)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	落下防止ラグの断面積	mm^2
A_2	トロリストッパの断面積	mm^2
A_V	ガーダ端部の主桁及び補桁の断面積	mm^2
C_H	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (EW 方向)	—
C_{H1}	水平方向設計震度 (NS 方向)	—
D	死荷重	N
E_G	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
E_W	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_1	落下防止ラグ 1 個あたりに作用する力	N
F_2	トロリストッパ 1 個あたりに作用する力	N
f_c	落下防止ラグの許容圧縮応力	MPa
f_s	ガーダ端部の許容せん断応力	MPa
f_{s1}	トロリストッパの許容せん断応力	MPa
f_t	ガーダ中央部の許容引張応力	MPa
f_{t1}	トロリストッパの許容引張応力	MPa
f_{t2}	トロリストッパの許容組合せ応力	MPa
f_{w1}	吊具 (ワイヤロープ) の許容荷重	N
f_{w2}	吊具 (フック) の許容荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_g	ガーダの許容浮上り量	mm
H_t	トロリの許容浮上り量	mm
h_g	ガーダの浮上り量	mm
h_t	トロリの浮上り量	mm
L	トロリストッパ高さ	mm
l_1	落下防止ラグ鉛直材の長さ	mm
l_2	落下防止ラグ水平材の長さ	mm
l_3	トロリストッパ水平材の長さ	mm
M	トロリストッパの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_D	機械的荷重 (設計基準対象施設)	N
M_H	ガーダ中央部の水平曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{SAD}	機械的荷重 (重大事故等対処設備)	N
M_V	ガーダ中央部の鉛直曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガーダ部全質量 (サドル, ロッカービームを含む。)	kg
m_m	主巻定格荷重 (質量)	kg
m_t	トロリ質量 (ワイヤロープ及びフック含む。)	kg
P_D	最高使用圧力による荷重 (設計基準対象施設)	N

記号	記号の説明	単位
P_{SAD}	設計圧力による荷重（重大事故等対処設備）	N
P_W	吊具（ワイヤロープ及びフック）に加わる荷重	N
Q	ガーダ端部のせん断力	N
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_1	落下防止ラグ鉛直材の板厚	mm
t_2	落下防止ラグ水平材の板厚	mm
t_3	トロリストoppa水平材の板厚	mm
Z	トロリストoppaの断面係数	mm ³
Z_x	ガーダ中央部のX軸に関する断面係数	mm ³
Z_y	ガーダ中央部のY軸に関する断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
Σm	クレーン総質量 ($m_t + m_G$)	kg
σ_c	落下防止ラグの圧縮応力	MPa
σ_{Ht}	M_H によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_t	ガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t1}	トロリストoppaの曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t2}	トロリストoppaの組合せ応力	MPa
σ_{vt}	M_v によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
τ	ガーダ端部のせん断応力	MPa
τ_1	トロリストoppaのせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位 ^{*1}
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*2}
	厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*3}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*3}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*3}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：最大静止摩擦係数より求めた震度は、小数点以下第3位表示となる場合がある。

*2：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉建物天井クレーンの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、落下防止ラグ、トロリストッパ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）について実施する。原子炉建物天井クレーンの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 構造概要

図4-1に構造概要図を示す。

耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

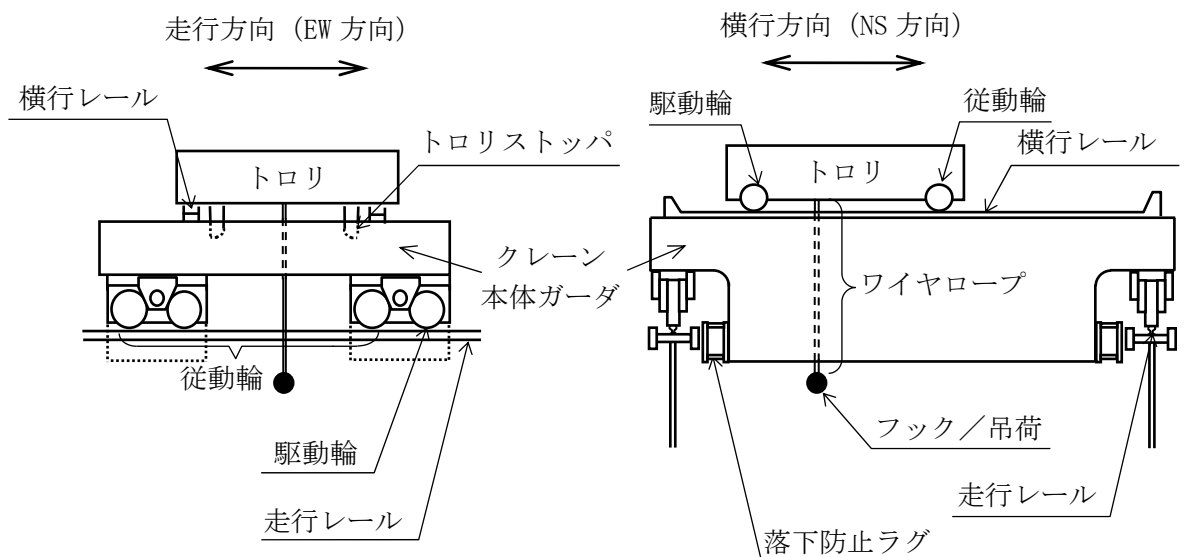


図4-1 構造概要図

(2) 走行方向（EW方向）水平力

- a. クレーンは、クレーン本体ガーダ及びクレーン本体ガーダを介してトロリが走行レール上に載っている構造で建物とは固定されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向（EW方向）に加えられた場合、すべりが生じる。このため、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は8個であり、そのうちの2個は駆動輪、他の6個が従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入ると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- d. 従動輪は、回転部分が連結されていないため、駆動輪のみで水平力を受ける。
- e. トロリは、走行方向（EW方向）水平力が横行レールに対して直角方向であり、トロリがトロリストップで拘束されているため、水平力がクレーン本体ガーダに作用する。

(3) 横行方向（NS方向）水平力

a. ガーダ関係

横行方向（NS方向）は、走行レールに対して直角方向であり、ガーダが落下防止ラグで拘束されているため、水平力がガーダに作用する。

- b. トロリ関係
- (a) トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で、ガーダとは拘束されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合、すべりが生じる。このため、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) トロリの横行車輪は4個であり、そのうちの2個は駆動輪、他の2個は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- (d) トロリの従動輪は、回転部分が連結されていないので、駆動輪のみで水平力を受ける。
- (4) 鉛直方向（UD方向）
- クレーン及びトロリは、レール上にあり、鉛直下向き方向には建物により支持される。鉛直上向き方向には固定されていないため、鉛直方向（UD方向）には浮上りを考慮する。
- (5) 評価ケース
- 表4-1に示すケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対しては、クレーンの運転状態と待機状態を想定しケース1~3について、重大事故等対処設備はクレーンの待機状態を想定しケース3について評価する。

表4-1 評価ケース

評価対象		クレーン本体ガーダ, 浮上り量, 吊具		
		1	2	3
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●*	—	—
	端部	—	●*	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

注記*：吊荷については、落下評価も実施する。

- (6) 地震力
- 地震力は、原子炉建物天井クレーンに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、「基準地震動S_s」を用いる。クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量については、時刻歴加速度波による評価を実施する。また、落下防止ラグ、トロリストoppaについては、設計用地震力による評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建物天井クレーンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建物天井クレーンの許容応力は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

原子炉建物天井クレーンの使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5及び表4-6に, 重大事故等対処設備に用いるものを表4-7に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建物 天井クレーン	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建物 天井クレーン	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	圧縮
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *
VAS (VASとして, IVASの許容限界を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
	ガーダ 端部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
落下防止ラグ			周囲環境温度	50	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	50	—			—

注記* : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	1.294×10^6	6.46	8.368×10^6
フック		周囲環境温度	50	1.226×10^6	9.63	1.181×10^7

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
	ガーダ 端部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
落下防止ラグ			周囲環境温度	100	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	100	—			—

注記* : SS400 相当

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建物天井クレーンの解析モデルを図4-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) クレーンは、はり要素を用いた有限要素モデルとし、クレーンの質量としてガーダ部、トロリ及び吊荷を考慮する。
- (2) クレーンと車輪部については、4.1(1)項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて、解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a. クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦力以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を $\mu=0.3$ とし、クレーン各構造部材に発生する水平力は、走行車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガーダの走行方向（EW方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.075$$

トロリの走行方向（NS方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

b. 浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は、引用文献(1)の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として、を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に、関係図を図4-2に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

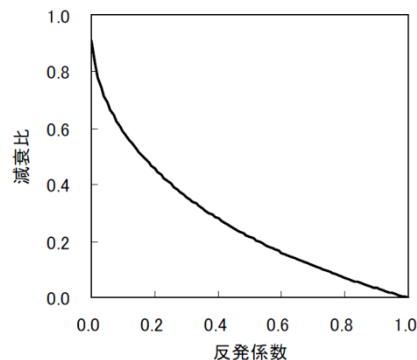


図4-2 反発係数と減衰比の関係

- (3) 固有値解析及び地震応答解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

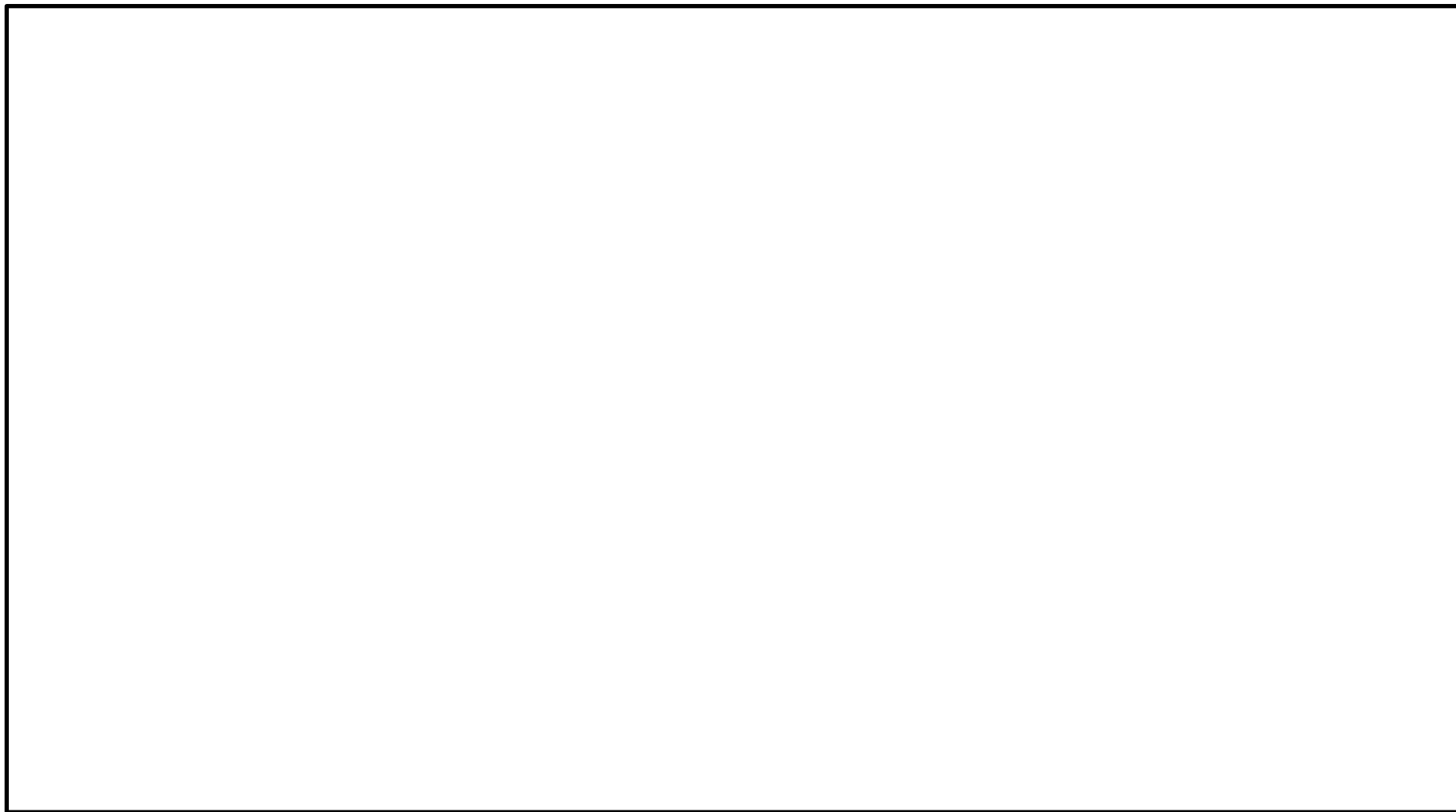


図4-3 原子炉建物天井クレーン解析モデル（トロリ中央位置モデル）

4.4 固有周期

落下防止ラグへの荷重算出に用いる設計震度を算定するために、クレーン横行方向（NS 方向）が卓越する固有周期を求める。設計基準対象施設としての評価ケースにおける固有周期を表 4-8 に、重大事故等対処設備としての評価ケースにおける固有周期を表 4-9 に示す。また、振動モード図について図 4-4 及び図 4-5 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-8 設計基準対象施設の評価ケースの固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	$T=0.016$

表 4-9 重大事故等対処設備の評価ケースの固有周期

方向	固有周期 (s)
横行方向 (NS 方向)	$T=0.016$



図 4-4 設計基準対象施設の評価ケースの振動モード図



図 4-5 重大事故等対処設備の評価ケースの振動モード図

4.5 設計用地震力

落下防止ラグ及びトロリストッパの評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建物 EL 51.7 ^{*1}	— ^{*2}	0.016 ^{*3}	— ^{*2}	^{*4, *5} C _H =0.075	^{*3} C _{H1} =2.27	— ^{*6}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度）

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*5：トロリストッパの評価に適用する。

*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建物 EL 51.7 ^{*1}	— ^{*2}	0.016 ^{*3}	— ^{*2}	^{*4, *5} C _H =0.075	^{*3} C _{H1} =2.27	— ^{*6}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度）

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*5：トロリストッパの評価に適用する。

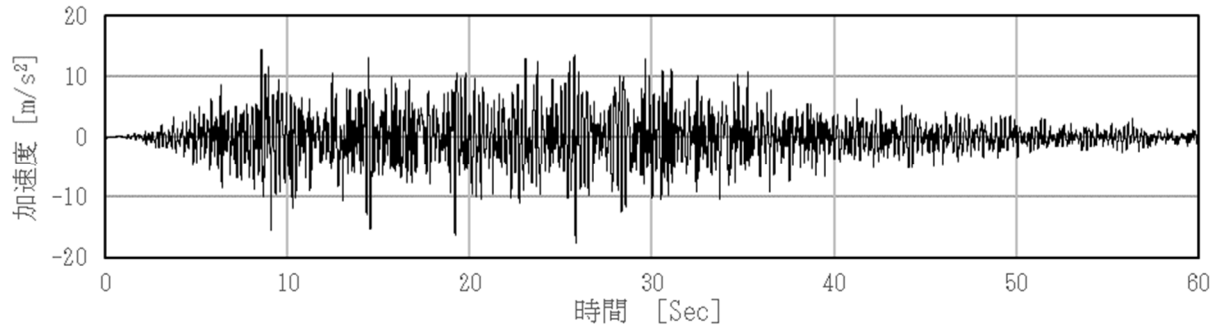
*6：鉛直方向の設計震度は使用しないため、「—」と記載する。

クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量に対する地震応答解析は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」で得られる原子炉建物 EL 51.7m の時刻歴加速度波を入力とし、水平 2 方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。時刻歴加速度波形を次頁以降の(1)～(5)に示す。

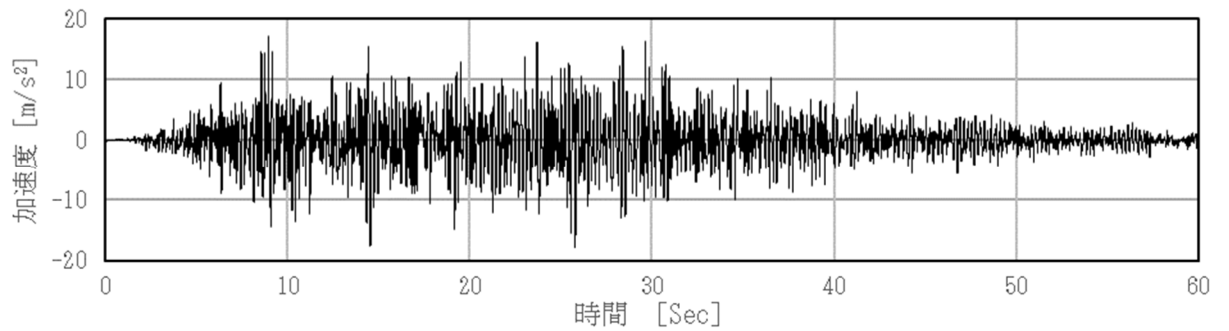
(1) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-D

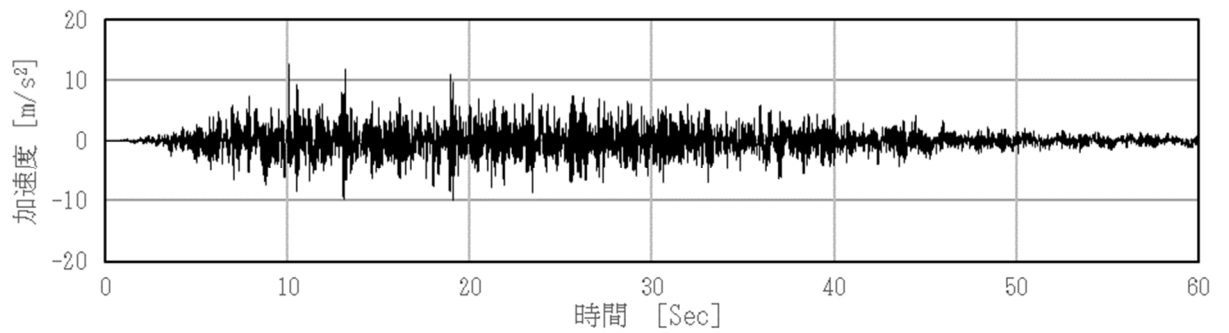
NS 方向



EW 方向

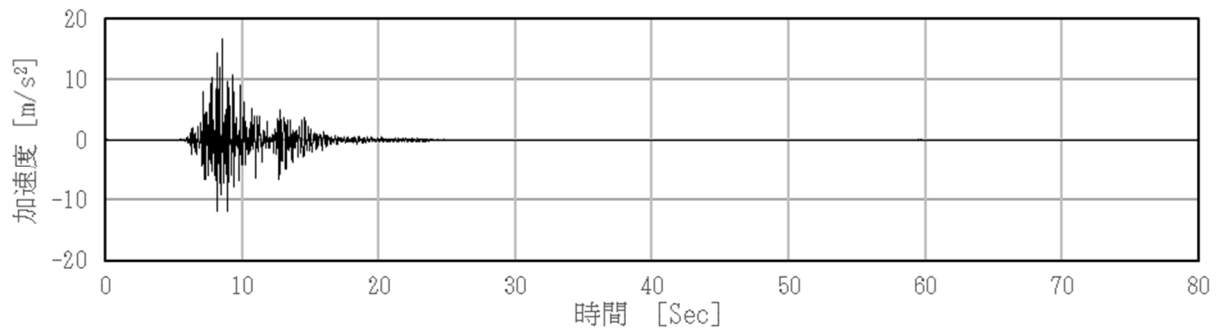


UD 方向

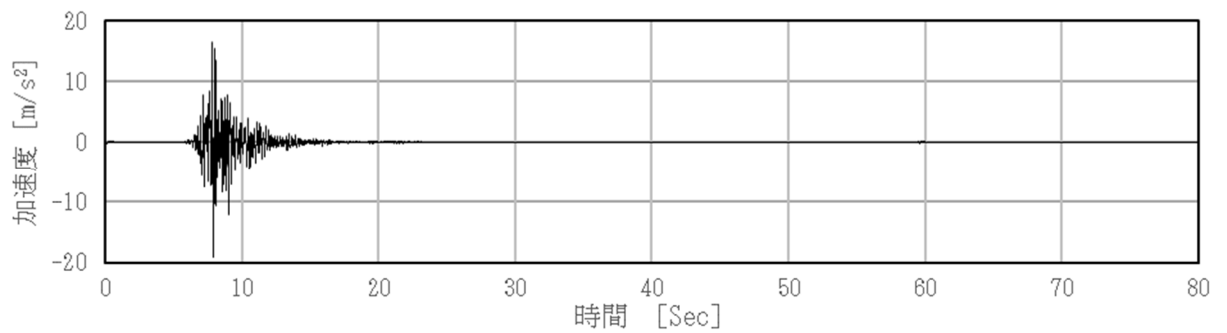


- (2) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：Ss-F1

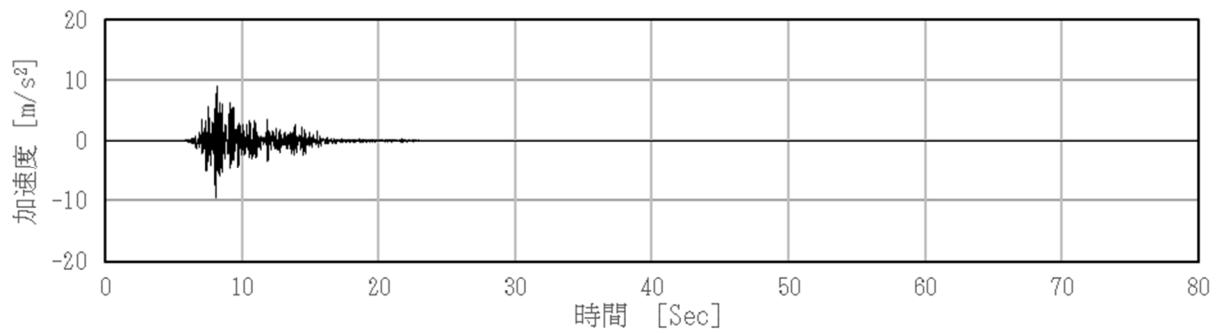
NS 方向



EW 方向

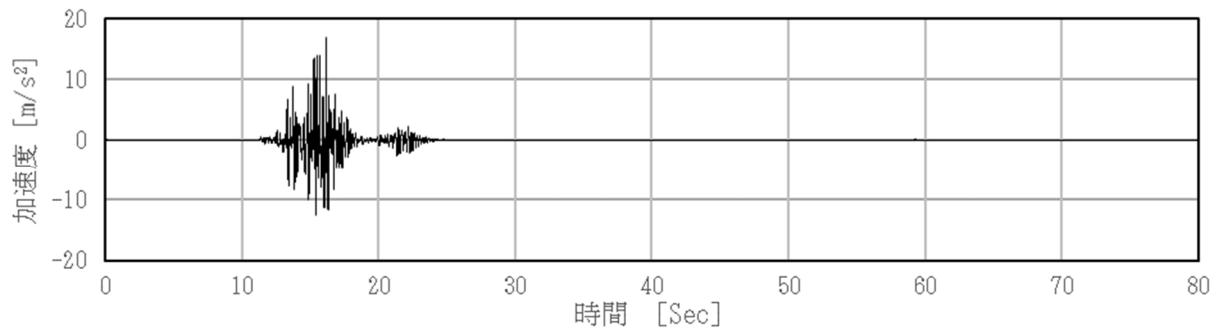


UD 方向

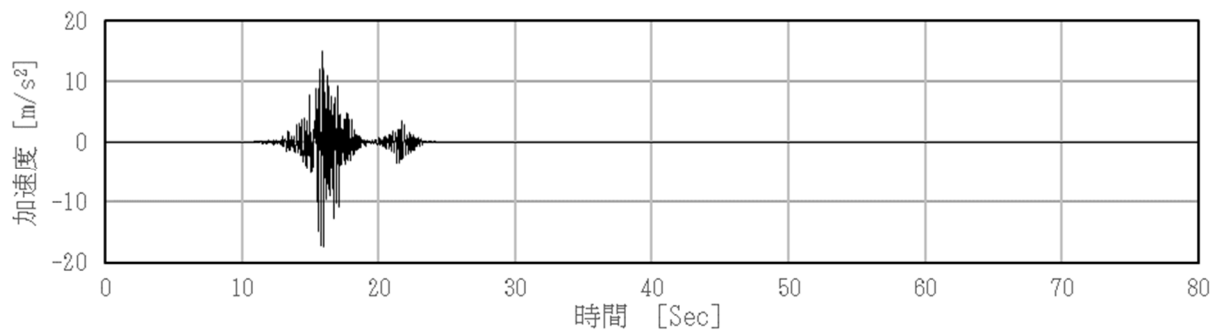


- (3) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：Ss-F2

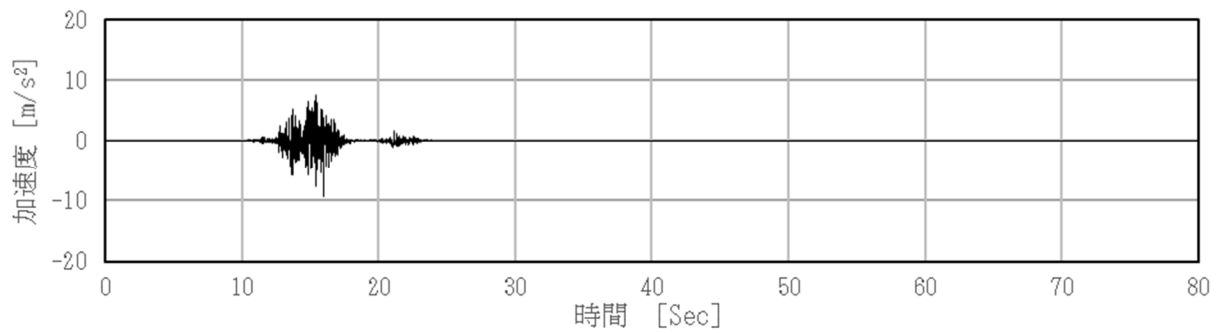
NS 方向



EW 方向

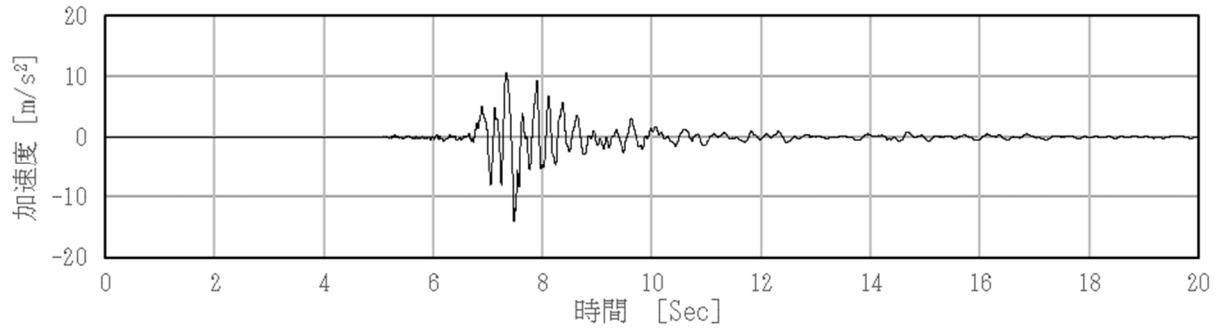


UD 方向

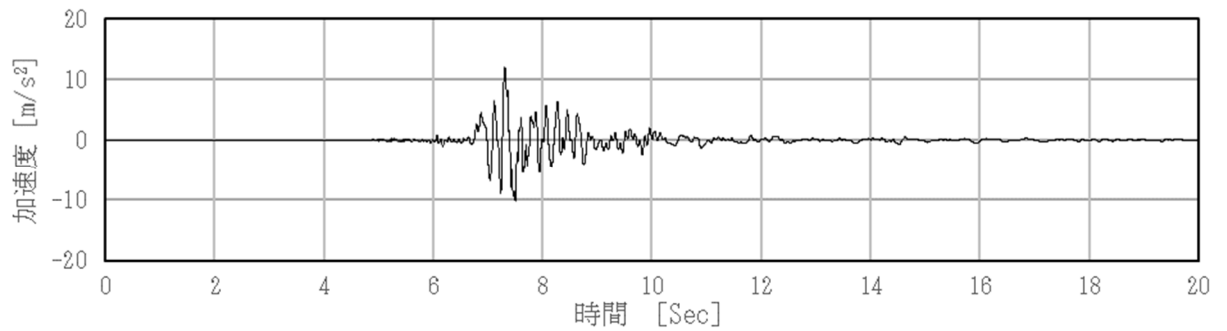


- (4) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：Ss-N1

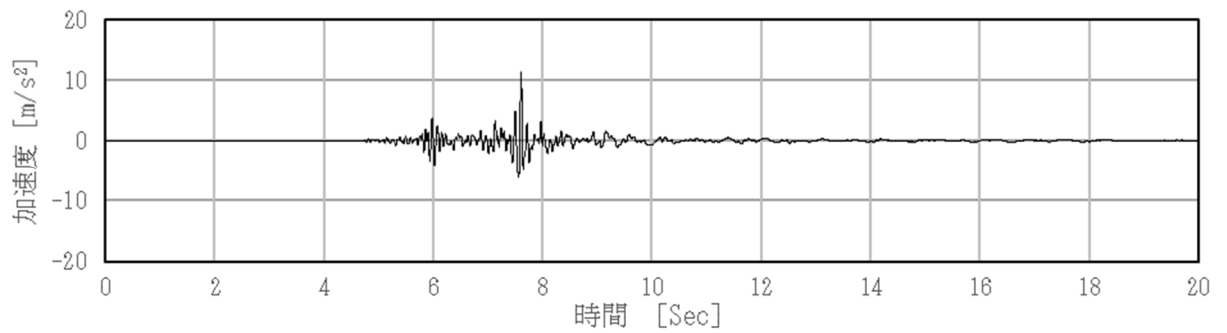
NS 方向



EW 方向

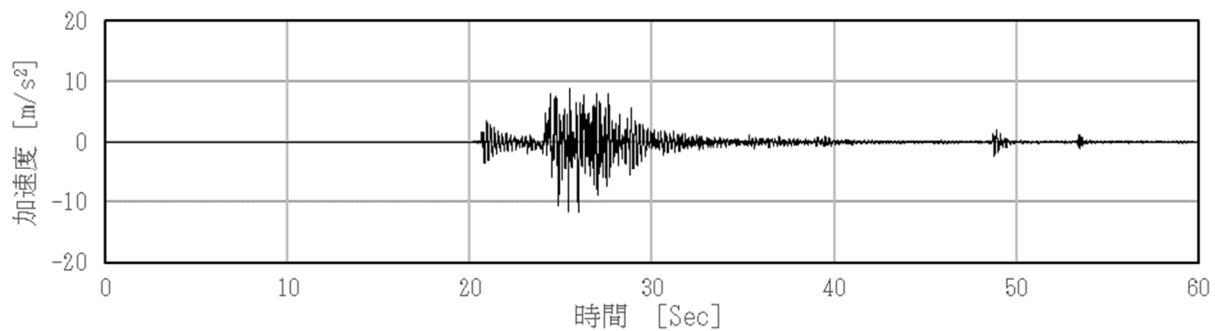


UD 方向

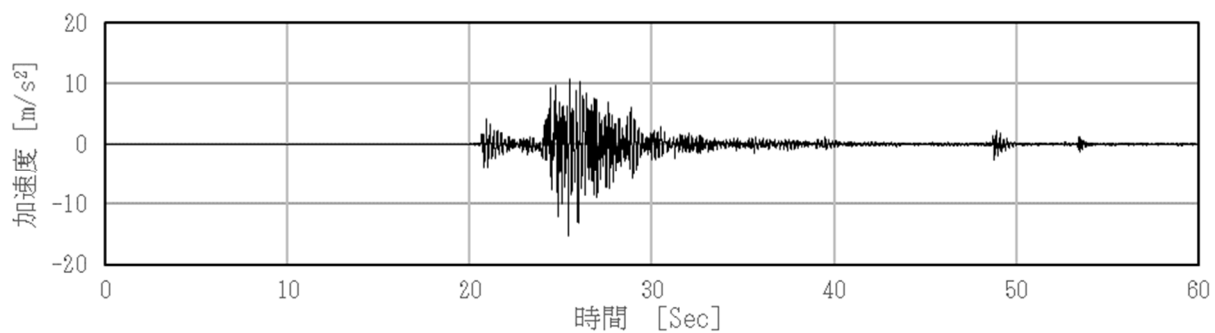


- (5) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：Ss-N2

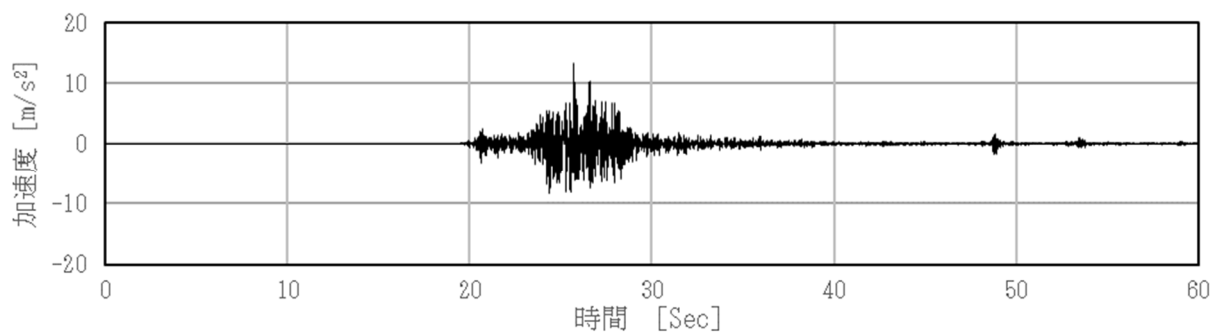
NS 方向



EW 方向



UD 方向



4.6 計算方法

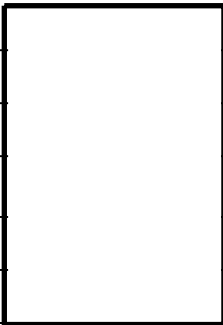
4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法

(1) 設計荷重

ガーダに加わる荷重を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。表 4-12 に解析モデルの概要を示す。

また、本評価の時刻歴解析には、付録 1 に示す時刻歴解析の不確かさを考慮する。

表 4-12 解析モデルの概要

解析モデル			
構造物	クレーン本体ガーダ		
	トロリ		
	吊具	吊荷	
		ワイヤロープ	
車輪部	クレーン本体ガーダ車輪		
	トロリ車輪		
解析モデル図			図 4-3

(2) 曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力を図 4-6 を用いて計算する。

ガーダ中央部の鉛直曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{vt}

$$\sigma_{vt} = \frac{M_v}{Z_x} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ガーダ中央部の水平曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{ht}

$$\sigma_{ht} = \frac{M_h}{Z_y} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_t

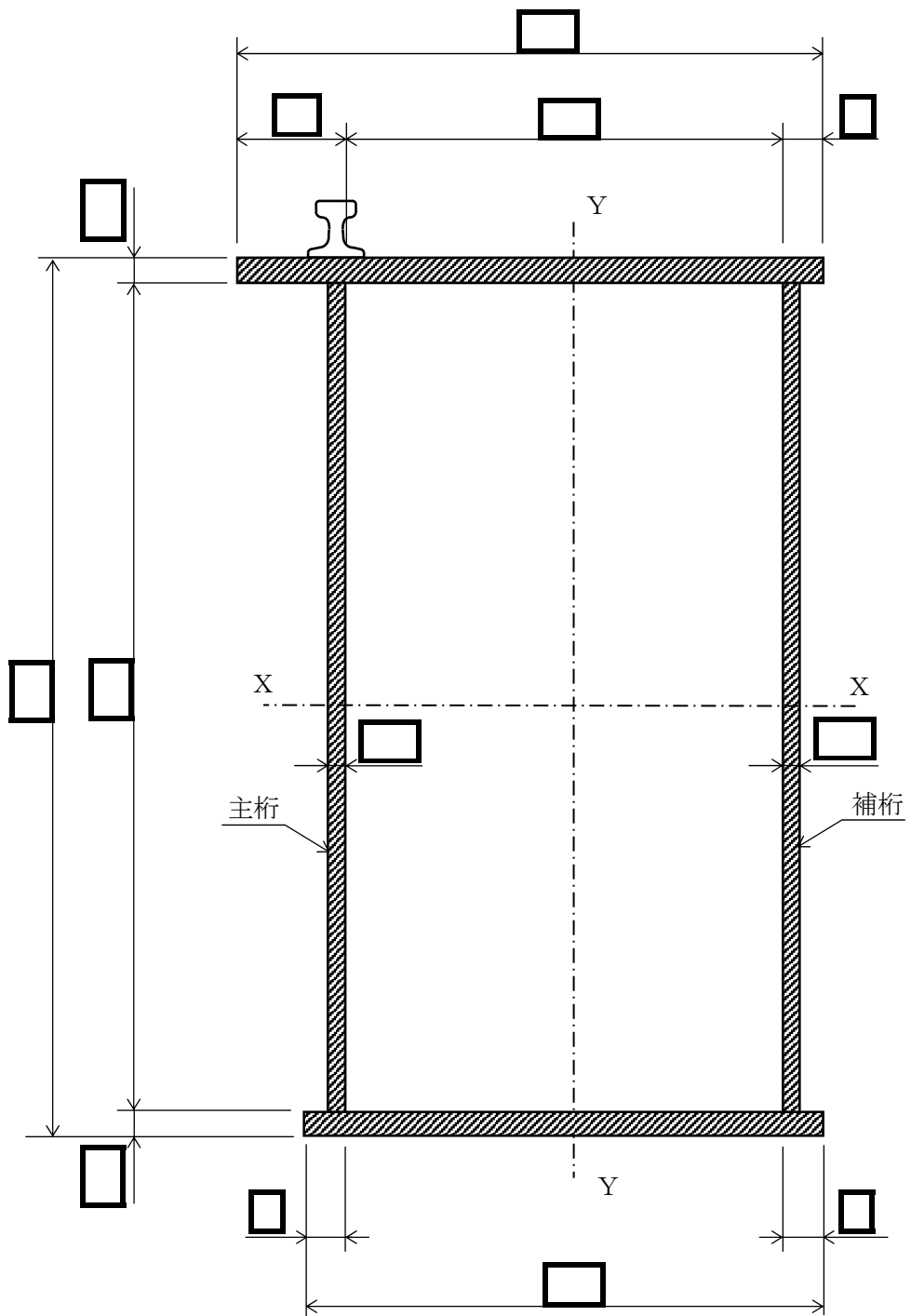
$$\sigma_t = \sigma_{vt} + \sigma_{ht} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(3) せん断応力

ガーダに対する最大のせん断応力を図 4-7 を用いて計算する。

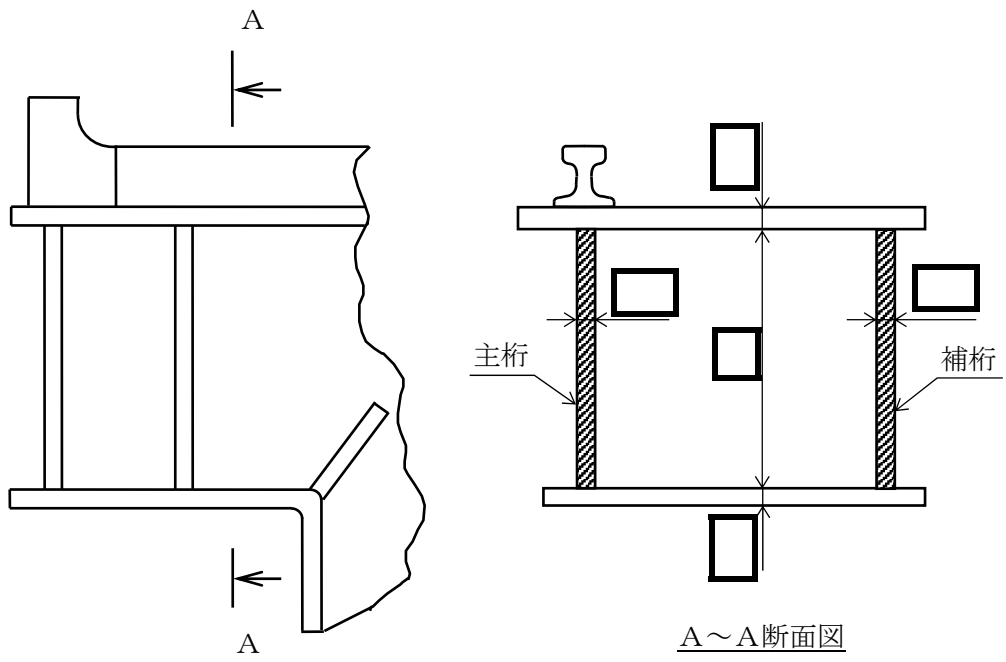
ガーダ端部のせん断応力： τ

$$\tau = \frac{Q}{A_v} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-6 ガーダ中央部詳細 (単位：mm)

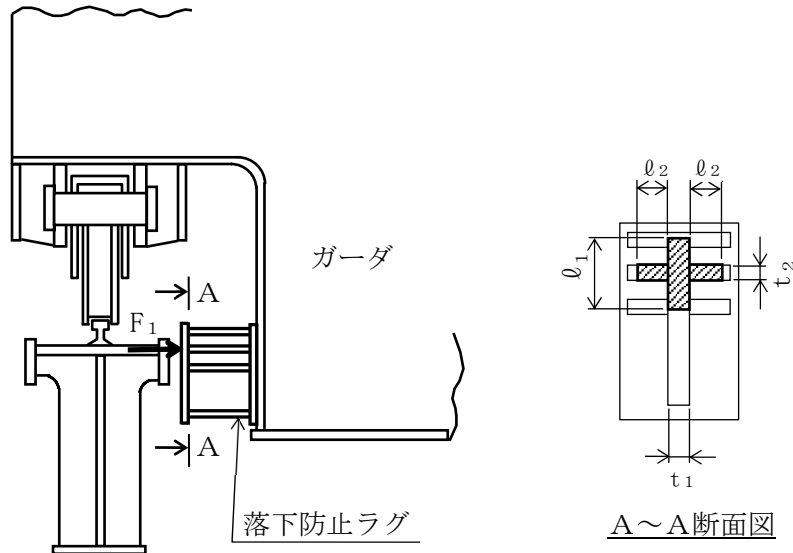


注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-7 ガーダ端部詳細 (単位：mm)

4.6.2 落下防止ラグの応力の計算方法

落下防止ラグには、自重及び水平方向地震（NS 方向）によって水平力が作用する。図 4-8 に落下防止ラグの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-8 落下防止ラグ

落下防止ラグに生じる応力は、自重及び水平方向地震（NS 方向）による水平力を片側にある落下防止ラグ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

落下防止ラグ 1 個あたりに作用する力： F_1

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{H1} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

落下防止ラグの断面積： A_1

$$A_1 = t_1 \cdot l_1 + 2 \cdot t_2 \cdot l_2 \quad \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

落下防止ラグの圧縮応力： σ_c

$$\sigma_c = \frac{F_1}{A_1} \quad \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

4.6.3 トロリストッパの応力の計算方法

トロリストッパには、自重及び水平方向地震（EW 方向）によって水平力が作用する。

図 4-9 にトロリストッパの構造概要図を示す。

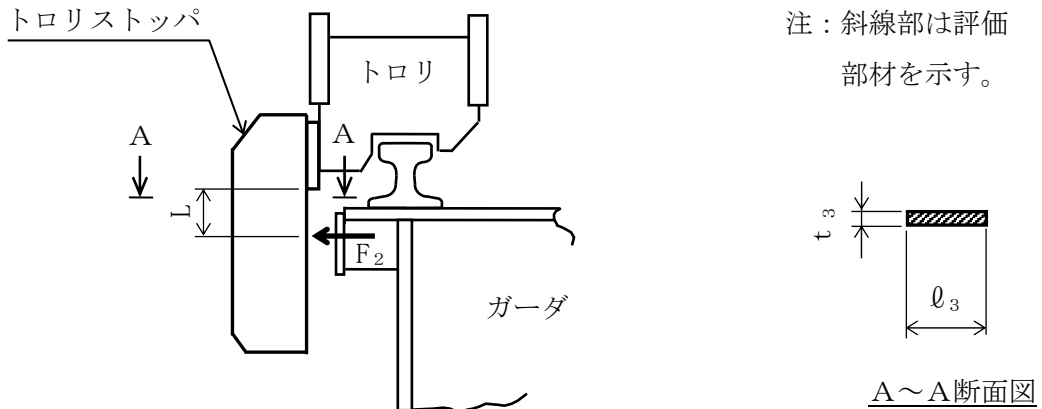


図 4-9 トロリストッパ

トロリストッパに生じる応力は、自重及び水平方向地震（EW 方向）による水平力を片側にあるトロリストッパ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

トロリストッパ 1 個あたりに作用する力： F_2

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

トロリストッパの曲げモーメント： M

$$M = F_2 \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

トロリストッパの断面係数： Z

$$Z = \frac{t_3 \cdot l_3^2}{6} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

トロリストッパの曲げ（引張）応力： σ_{t1}

$$\sigma_{t1} = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

トロリストッパの断面積： A_2

$$A_2 = t_3 \cdot l_3 \quad \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

トロリストッパのせん断応力： τ_1

$$\tau_1 = \frac{F_2}{A_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

トロリストッパの組合せ応力： σ_{t2}

$$\sigma_{t2} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.7)$$

4.6.4 浮上り量の計算方法

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量

ガーダの浮上り量 h_g を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

(2) トロリの浮上り量

トロリの浮上り量 h_t を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

4.6.5 吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重 P_w を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷荷重を受ける部位は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ及びエコライザで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対象とする。
- ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）及びフックブロック（動滑車）の回転により、自動的に荷重を吊合い状態に保つことから、評価では 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
- ・吊荷荷重算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの鉛直方向の荷重を抽出し、その最大値を用いるものとする。
- ・ワイヤロープは、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで、吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。
- ・吊荷の質量は、クレーンの定格質量 とする。
- ・鉛直方向の荷重を考える場合において、ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、ワイヤロープの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体ガーダ、トロリ、吊具）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価

4.6.1(2)項で求めたガーダ中央部の曲げ応力 σ_t が、下記許容引張応力 f_t 以下であること。

4.6.1(3)項で求めたガーダ端部のせん断応力 τ が、下記許容せん断応力 f_s 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.2 落下防止ラグの応力評価

4.6.2項で求めた落下防止ラグの圧縮応力 σ_c が、下記許容圧縮応力 f_c 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容圧縮応力 f_c	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 トロリストップの応力評価

4.6.3項で求めたトロリストップの曲げ応力 σ_{t1} 、せん断応力 τ_1 及び組合せ応力 σ_{t2} が、下記許容引張応力 f_{t1} 、許容せん断応力 f_{s1} 及び許容組合せ応力 f_{t2} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 f_{t1}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{s1}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{t2}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.4 浮上り量の評価

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量の評価

4.6.4(1)項で求めたガーダの浮上り量 h_g が、図4-10に示す許容浮上り量 H_g 以下であること。なお、 H_g は落下防止ラグがクレーンガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

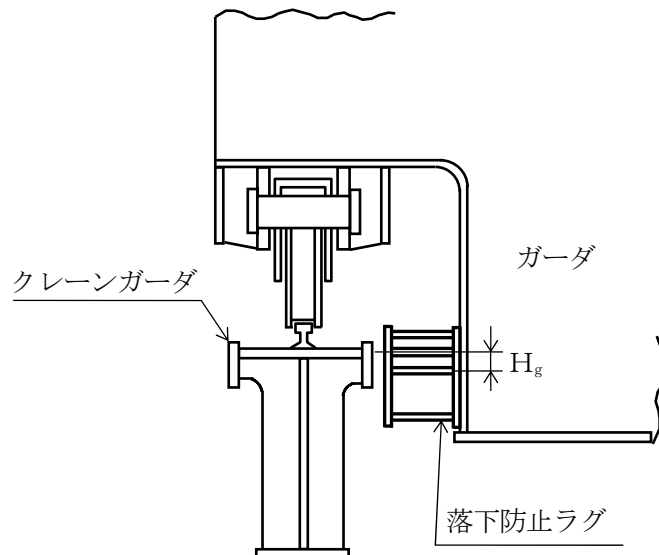


図4-10 許容浮上り量 H_g の概要図

(2) トロリの浮上り量の評価

4.6.4(2)項で求めたトロリの浮上り量 h_t が、図4-11に示す許容浮上り量 H_t 以下であること。なお、 H_t はトロリストoppaがクレーン本体ガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

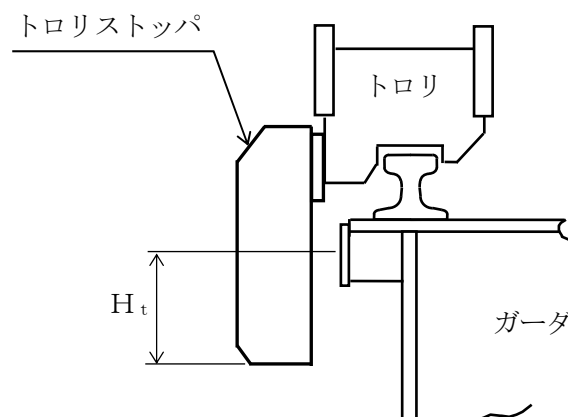


図4-11 許容浮上り量 H_t の概要図

4.8.5 吊具の評価

4.6.5項で求めた吊具の荷重 P_w が、許容荷重 f_{w1} 及び f_{w2} 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建物天井クレーンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) 平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)

【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建物天井クレーン	B	原子炉建物 EL 51.7 ^{*1}	—	0.016 ^{*2}	—	^{*3, *4} C _H =0.075	^{*2} C _{H1} =2.27	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度）

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _t (kg)	m _m (kg)	Σ m (kg)	M _V (N・mm)	M _H (N・mm)	Q (N)	E _G (MPa)	E _w (MPa)	ν

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)

L (mm)	A _v (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z (mm ³)

注記*：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ						落下防止ラグ			トロリストッパ			吊具	
ガーダ中央部			ガーダ端部			S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	f _{w1} (N)	f _{w2} (N)
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)								
241 (厚さ ≤16mm)	394	275	241 (厚さ ≤16mm)	394	275						8.368×10 ⁶	1.181×10 ⁷	

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 237$	$\tau = 80$

曲げ応力，せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.2 落下防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
落下防止ラグ	$\sigma_c = 216$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

1.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1} = 28$	$\tau_1 = 5$	$\sigma_{t2} = 29$

曲げ応力，組合せ応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

1.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 8$
トロリ	$h_t = 30$

クレーン本体ガーダの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果

トロリの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.5 吊荷荷重 (単位：N)

	部材	算出荷重
吊具	ワイヤロープ	$P_w = 5.200 \times 10^6$
	フック	$P_w = 5.200 \times 10^6$

吊具は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.4 評価結果

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	曲げ	$\sigma_t = 237$	$f_t = 275$
	端部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	せん断	$\tau = 80$	$f_s = 158$
落下防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 216$	$f_c = 275$
トロリストoppa			曲げ	$\sigma_{t1} = 28$	$f_{t1} = 275$
			せん断	$\tau_1 = 5$	$f_{s1} = 158$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 29$	$f_{t2} = 275$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 8$	$H_g = 100$
トロリ	$h_t = 30$	$H_t = 250$

すべて許容浮上り量以下である。

1.4.3 吊荷荷重

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		吊荷荷重	$P_w = 5.200 \times 10^6$	$f_{w1} = 8.368 \times 10^6$
	フック		吊荷荷重	$P_w = 5.200 \times 10^6$	$f_{w2} = 1.181 \times 10^7$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震 重要度分類	据付場所 及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S _s			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建物 天井クレーン	—	原子炉建物 EL 51.7*1	—	0.016*2	—	*3, *4 C _H =0.075	*2 C _{H1} =2.27	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度）

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

2.2 機器要目

m _G (kg)	m _t (kg)	Σ m (kg)	M _V (N・mm)	M _H (N・mm)	Q (N)	E _G (MPa)	E _w (MPa)	ν
[Redacted]								

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)
[Redacted]					

L (mm)	A _V (mm ²)	A ₁ (mm ²)	A ₂ (mm ²)	Z _X (mm ³)	Z _Y (mm ³)	Z (mm ³)
[Redacted]						

注記*：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ						落下防止ラグ			トロリストッパ		
ガーダ中央部			ガーダ端部			S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)						
221 (厚さ ≤16mm)	373	261	221 (厚さ ≤16mm)	373	261	[Redacted]					

2.3 計算数値

2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 73$	$\tau = 37$

曲げ応力，せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.2 落下防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
落下防止ラグ	$\sigma_c = 216$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1} = 25$	$\tau_1 = 5$	$\sigma_{t2} = 26$

曲げ応力，せん断応力，組合せ応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 4$
トロリ	$h_t = 17$

クレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.4 評価結果

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	曲げ	$\sigma_t = 73$	$f_t = 261$
	端部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	せん断	$\tau = 37$	$f_s = 150$
落下防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 216$	$f_c = 254$
トロリストッパ			曲げ	$\sigma_{t1} = 25$	$f_{t1} = 254$
			せん断	$\tau_1 = 5$	$f_{s1} = 146$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 26$	$f_{t2} = 254$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 4$	$H_g = 100$
トロリ	$h_t = 17$	$H_t = 250$

すべて許容浮上り量以下である。

付録1 時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示すように、設計用床応答スペクトルは建物の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。本評価では、設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴解析手法を採用していることから、建物の固有周期シフトに対する不確かさを考慮する必要がある。

本評価では、上記の不確かさの考慮として、固有周期シフトを考慮していない時刻歴加速度波による解析以外にASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考に時刻歴加速度波を時間軸方向に床応答スペクトルの拡幅の考慮分として±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。また、±10%シフトさせた設計用床応答スペクトルのピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、ASMEの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。

VI-2-11-2-7-2 燃料取替機の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	9
3.	評価部位	10
4.	地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2	許容応力	11
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	11
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	21
4.6	計算方法	23
4.6.1	燃料取替機構造物フレームの応力	23
4.6.2	脱線防止ラグ、走行レール及び横行レールの応力	25
4.6.3	吊具の荷重計算方法	38
4.6.4	吊具の応力計算方法	42
4.7	計算条件	43
4.8	応力の評価	43
4.8.1	燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、走行レール 及び横行レールの応力評価	43
4.8.2	脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価	43
4.8.3	先端金具の応力評価	43
4.8.4	ワイヤロープの評価	44
5.	評価結果	45
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	45
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	45

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である燃料取替機（Bクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

燃料取替機は原子炉建物原子炉棟4階に設置される。燃料取替機は、図2-1の位置関係図に示すように、燃料交換時において、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上にて作業を実施することから、転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

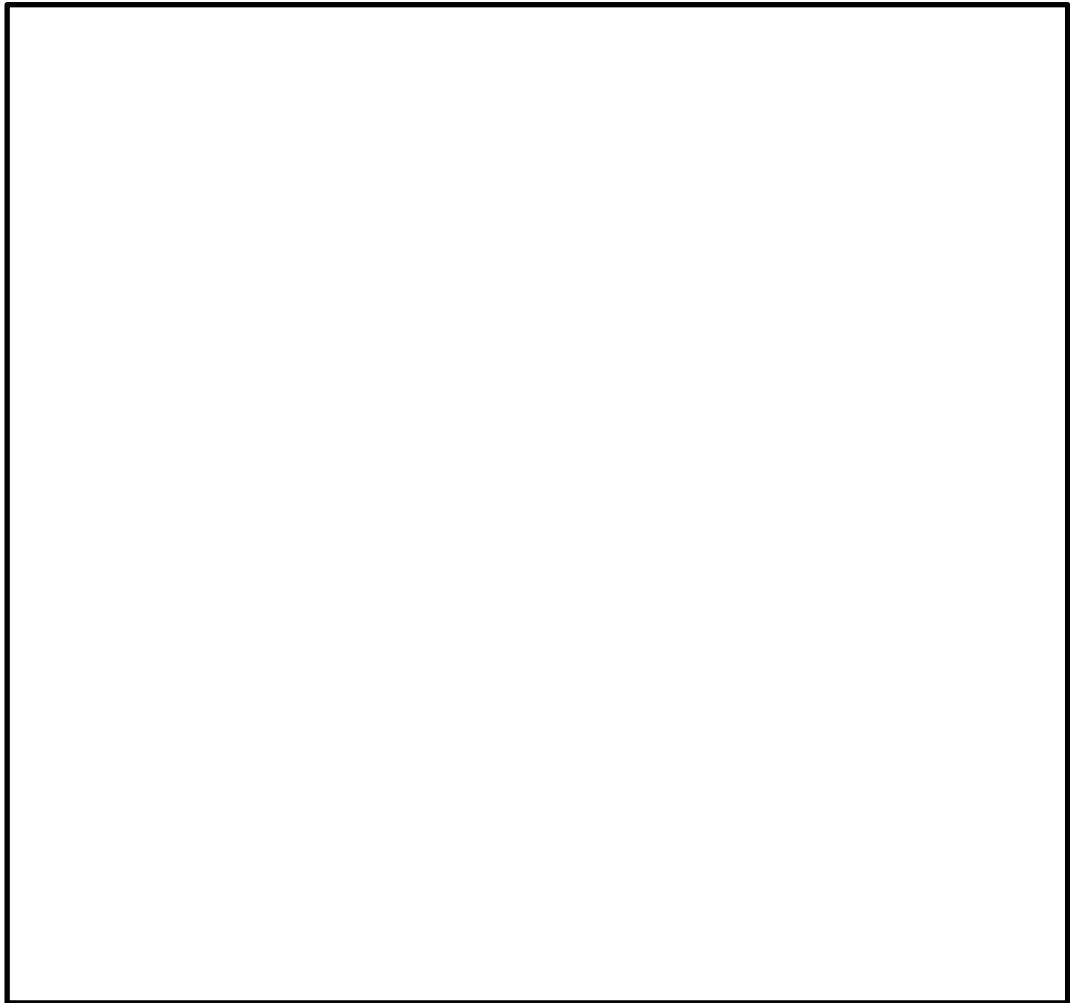


図2-1 燃料取替機と燃料プール等の位置関係

2.2 構造計画

燃料取替機の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建物原子炉棟4階に設けた走行レール上をブリッジが走行し、ブリッジ上部の横行レール上をトロリが横行する。ブリッジ及びトロリは走行部付近に脱線防止ラグを備えており、各々レールを抱え込む構造である。また吊荷はトロリに設置されたホイストからのワイヤロープ及び先端金具を介して吊上げ・吊下げ・移動を行う。</p>	<p>ブリッジ トロリ</p>	<p>The diagram illustrates the mechanical layout of the fuel shifter. It is divided into two views: '横行方向 (NS方向)' (Transverse direction, NS direction) on the left and '走行方向 (EW方向)' (Travel direction, EW direction) on the right. In the NS view, a 'トロリ' (trolley) is shown on a '横行レール' (transverse rail), which is supported by a 'ブリッジ' (bridge) on a '走行レール' (travel rail). 'トロリ脱線防止ラグ (8ヶ所)' (trolley derailment lugs, 8 locations) are positioned between the trolley and the transverse rail. A 'ワイヤロープ' (wire rope) is attached to the trolley, leading to a '先端金具/吊荷' (end fitting/lift load). In the EW view, the 'ブリッジ' is shown on the '走行レール', with 'ブリッジ脱線防止ラグ (12ヶ所)' (bridge derailment lugs, 12 locations) between the bridge and the travel rail. Dimensions are indicated with arrows and boxes at the top of each view.</p>
		(単位: mm)

2.3 評価方針

燃料取替機の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す燃料取替機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく基準地震動 S_s による応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

燃料取替機の耐震評価フローを図2-2に示す。

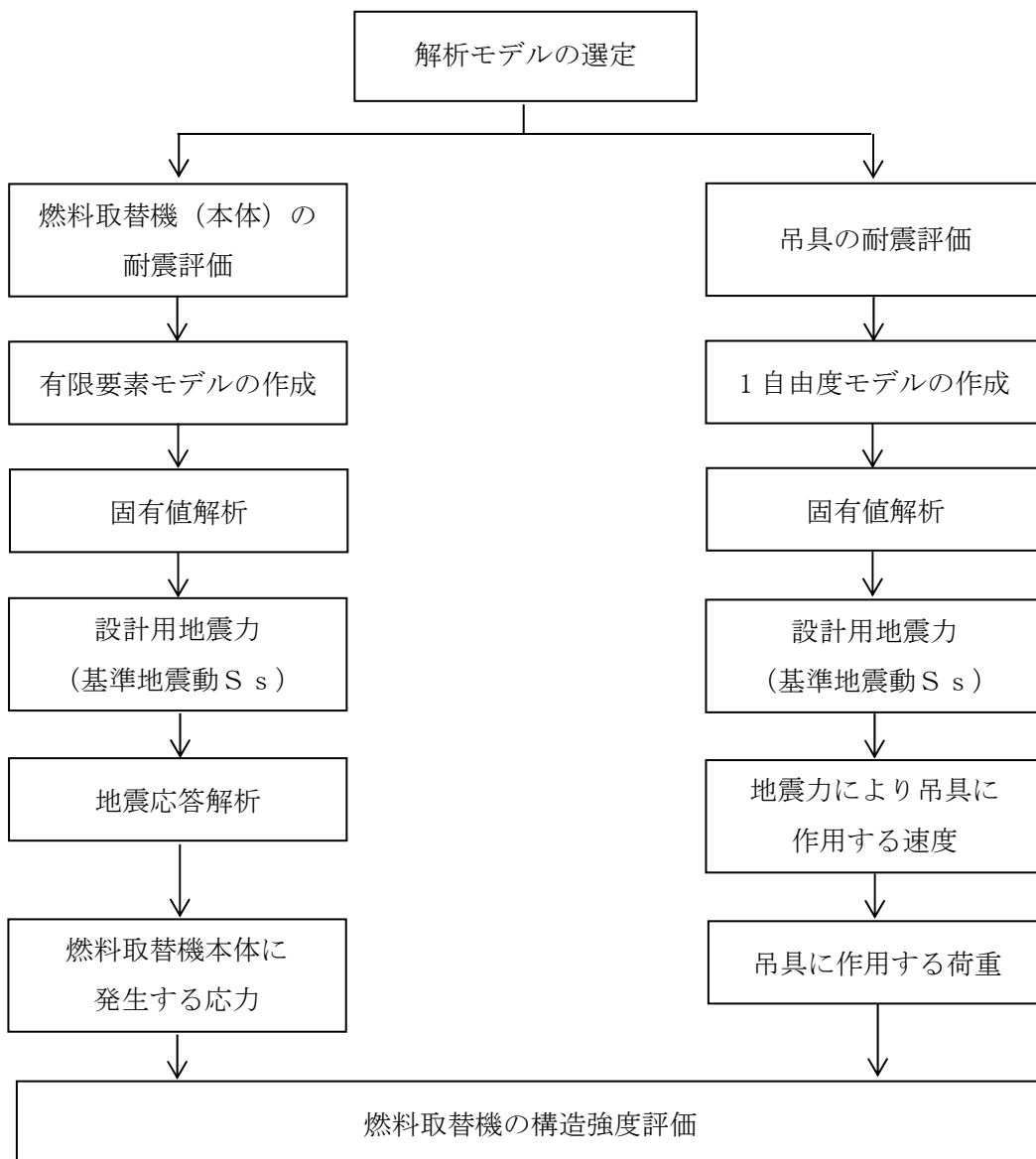


図2-2 燃料取替機の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1F}	燃料取替機構造物フレームの断面積	mm^2
A_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面積	mm^2
A_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面積	mm^2
A_{3B}	走行レール C 部の断面積	mm^2
A_{4B}	走行レール D 部の断面積	mm^2
A_{bB}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本の断面積	mm^2
A_w	ワイヤロープ 1 本の断面積	mm^2
a_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の幅	mm
a_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の幅	mm
a_{3B}	走行レール C 部の厚み	mm
a_{4B}	走行レール D 部の厚み	mm
b_{1B}	負担力 F_{HB} に対するブリッジ脱線防止ラグの負担長さ	mm
b_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグの走行レール面接触長さ	mm
b_{3B}	負担力 F_{Vb} に対する走行レール頭部の負担長さ	mm
b_{4B}	負担力 F_{HB} に対する走行レールウェブの負担長さ	mm
C_{H1}	水平方向設計震度	—
C_{H2}	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	N
d_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
E	燃料取替機構造物フレームの縦弾性係数	MPa
E_w	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{HB}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する水平力	N
F_{HT}	トロリ脱線防止ラグ 1 ヶ所に作用する水平力	N
F_{VB}	ブリッジ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
F_{VT}	トロリ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
F_{Vb}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 個に作用する鉛直力	N
F_{Vt}	トロリ脱線防止ラグ 1 個に作用する鉛直力	N
F_x	燃料取替機構造物フレームに作用する軸力	N
F_y	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_z	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (z 方向)	N
F	吊荷の浮上り後の落下によりワイヤロープ、先端金具に発生する荷重	N
F_w	ワイヤロープ 1 本あたりに発生する支持荷重	N

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ根元部から F_{HB} 作用点までの距離	mm
h_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグフック根元部から F_{vb} 作用点までの距離	mm
h_{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{vb}) から C 部までの距離 (長さ)	mm
h_{4B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) から D 部までの距離 (高さ)	mm
k_w	ワイヤロープのばね定数	N/mm
L_{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{vb}) からブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F_{HB}) までの距離 (高さ)	mm
L_{4B}	走行レール端面から走行レール中心までの距離	mm
L_w	ワイヤロープ長さ	mm
M_D	機械的荷重 (設計基準対象施設)	N
M_{SAD}	機械的荷重 (重大事故等対処設備)	N
M_x	燃料取替機構造物フレームのねじりモーメント	$N \cdot mm$
M_y	燃料取替機構造物フレームの y 軸周り曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_z	燃料取替機構造物フレームの z 軸周り曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{3B}	負担力 F_{vb} による走行レール C 部の曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{4B}	負担力 F_{HB} による走行レール D 部の曲げモーメント	$N \cdot mm$
m_B	ブリッジ質量	kg
m_T	トロリ質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
n_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの本数	—
n_w	ワイヤロープ本数	—
P_D	最高使用圧力による荷重 (設計基準対象施設)	N
P_{SAD}	設計圧力による荷重 (重大事故等対処設備)	N
P_1	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重	N
~		
P_{12}		
P_{13}	地震力によりトロリに加わる荷重	N
~		
P_{20}		
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
T_w	ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	s
v_1	吊荷の最大速度	mm/s
v_2	トロリの最大速度	mm/s
Z_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数（設計基準対象施設）	mm ³
Z_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数（設計基準対象施設）	mm ³
Z_{3B}	走行レールC部の断面係数（設計基準対象施設）	mm ³
Z_{4B}	走行レールD部の断面係数（設計基準対象施設）	mm ³
Z_{p1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm ³
Z_{p2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm ³
Z_{p3B}	走行レールC部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm ³
Z_{p4B}	走行レールD部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm ³
Z_p	燃料取替機構造物フレームのねじり断面係数	mm ³
Z_y	燃料取替機構造物フレームのy軸周り断面係数 （設計基準対象施設）	mm ³
Z_z	燃料取替機構造物フレームのz軸周り断面係数 （設計基準対象施設）	mm ³
Z_{py}	燃料取替機構造物フレームのy軸周り断面係数 （重大事故等対処設備）	mm ³
Z_{pz}	燃料取替機構造物フレームのz軸周り断面係数 （重大事故等対処設備）	mm ³
σ_{1F}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{3B}	走行レールC部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{4B}	走行レールD部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{p1F}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p3B}	走行レールC部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p4B}	走行レールD部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{c1F}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c3B}	走行レールC部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c4B}	走行レールD部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{pc1F}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{pc1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc3B}	走行レールC部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc4B}	走行レールD部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_x	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（x方向）	MPa
σ_y	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（y方向） （設計基準対象施設）	MPa
σ_z	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（z方向） （設計基準対象施設）	MPa
σ_{py}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（y方向） （重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pz}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（z方向） （重大事故等対処設備）	MPa
σ_m	先端金具の引張応力	MPa
τ_{1F}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力	MPa
τ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部のせん断応力	MPa
τ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部のせん断応力	MPa
τ_{3B}	走行レールC部のせん断応力	MPa
τ_{4B}	走行レールD部のせん断応力	MPa
τ_{bB}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa
τ_x	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（x方向）	MPa
τ_y	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（y方向）	MPa
τ_z	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（z方向）	MPa
μ	最大静止摩擦係数	—
ν	燃料取替機構造物フレームのポアソン比	—

注：記号右端添字に_B又は_bが付くものは、ブリッジ脱線防止ラグ及び走行レール評価用を代表で示したものであり、評価中のトロリ脱線防止ラグ及び横行レールについては_B→_T又は_b→_tに置き換えるものとする。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	厚さ	mm	—	小数点以下第1位
断面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

また、小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料取替機の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、燃料取替機及び吊荷の落下により、上位クラス設備が損傷することを防止するために、燃料取替機構造物フレーム、ブリッジ脱線防止ラグ、トロリ脱線防止ラグ、走行レール、横行レール及び吊具（ワイヤロープ及び先端金具）について実施する。燃料取替機の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 構造概要図を図4-1に示す。燃料取替機のブリッジ及びトロリは、各々走行レール及び横行レール上に載っているため地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合にすべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4個であり、そのうち各々2個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の2個は従動輪である。

ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu = 0.3$ とすれば、水平力は以下のとおりとなる。

$$\text{水平力} = \text{鉛直方向荷重} \times \mu \times 2 / 4 = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

- (2) ブリッジ及びトロリは、走行方向に直角な方向に対しては、各々ブリッジ脱線防止ラグ及びトロリ脱線防止ラグによって荷重を支持する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

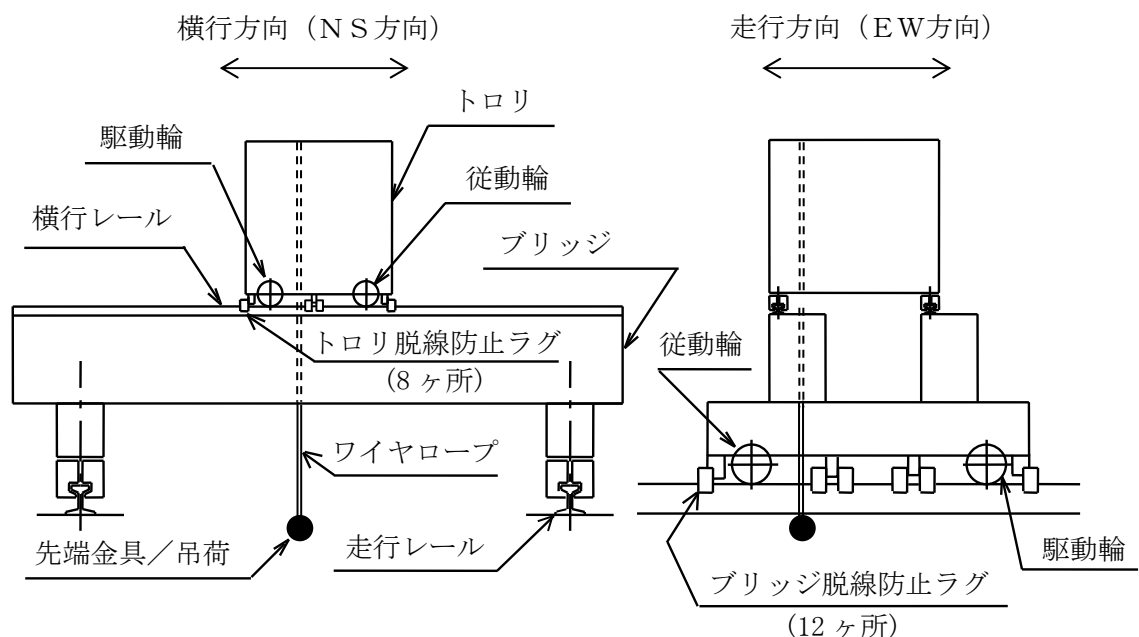


図4-1 構造概要図

(4) 評価ケース

表4-1に示す解析ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の運転状態を想定し、ケース1, 2について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の待機状態を想定し、ケース3について評価する。

表4-1 評価ケース

評価対象		燃料取替機本体, 吊具		燃料取替機 本体
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●	—	—
	端部	—	●	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

(5) 評価方法

燃料取替機の評価は、スペクトルモード解析及び静解析を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料取替機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

燃料取替機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

燃料取替機の使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			許容限界*2 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	引張り	せん断	曲げ	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A Sとして, IV _A Sの許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5(1) 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位			材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	50	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付 ボルト		周囲環境温度	50	—			—
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付 ボルト		周囲環境温度	50	—			—
走行レール				周囲環境温度	50	—			—
横行レール				周囲環境温度	50	—			—
先端金具				周囲環境温度	50	—			—

注記*1 : SM400A/SS400/STKR400 相当

*2 : SM41A/SS41/STKR41 のうち最小の値を設定する。

表 4-5(2) 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	4.413×10^3	8.13	3.590×10^4

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位			材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	100	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—			—
		取付 ボルト		周囲環境温度	100	—			—
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—			—
		取付 ボルト		周囲環境温度	100	—			—
走行レール				周囲環境温度	100	—			—
横行レール				周囲環境温度	100	—			—

注記*1 : SM400A/SS400/STKR400 相当

*2 : SM41A/SS41/STKR41 のうち最小の値を設定する。

4.3 解析モデル及び諸元

燃料取替機の解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 燃料取替機の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) 燃料取替機の質量としてブリッジ、トロリの構造物及び搭載機器を考える。ただし、ブリッジ計算モデルではトロリの質量を考慮していないが、ブリッジとトロリの結合は考慮したモデルとする。
- (3) 境界条件として、燃料取替機本体ガード車輪／脱線防止ラグのNS方向を拘束し、EW方向へはすべる条件とする。また、トロリ車輪／脱線防止ラグのEW方向はガードと結合し、NS方向へはすべる条件とする。ブリッジ及びトロリの鉛直上向き方向は、脱線防止ラグとレールの接触を模擬するため拘束とする。
- (4) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

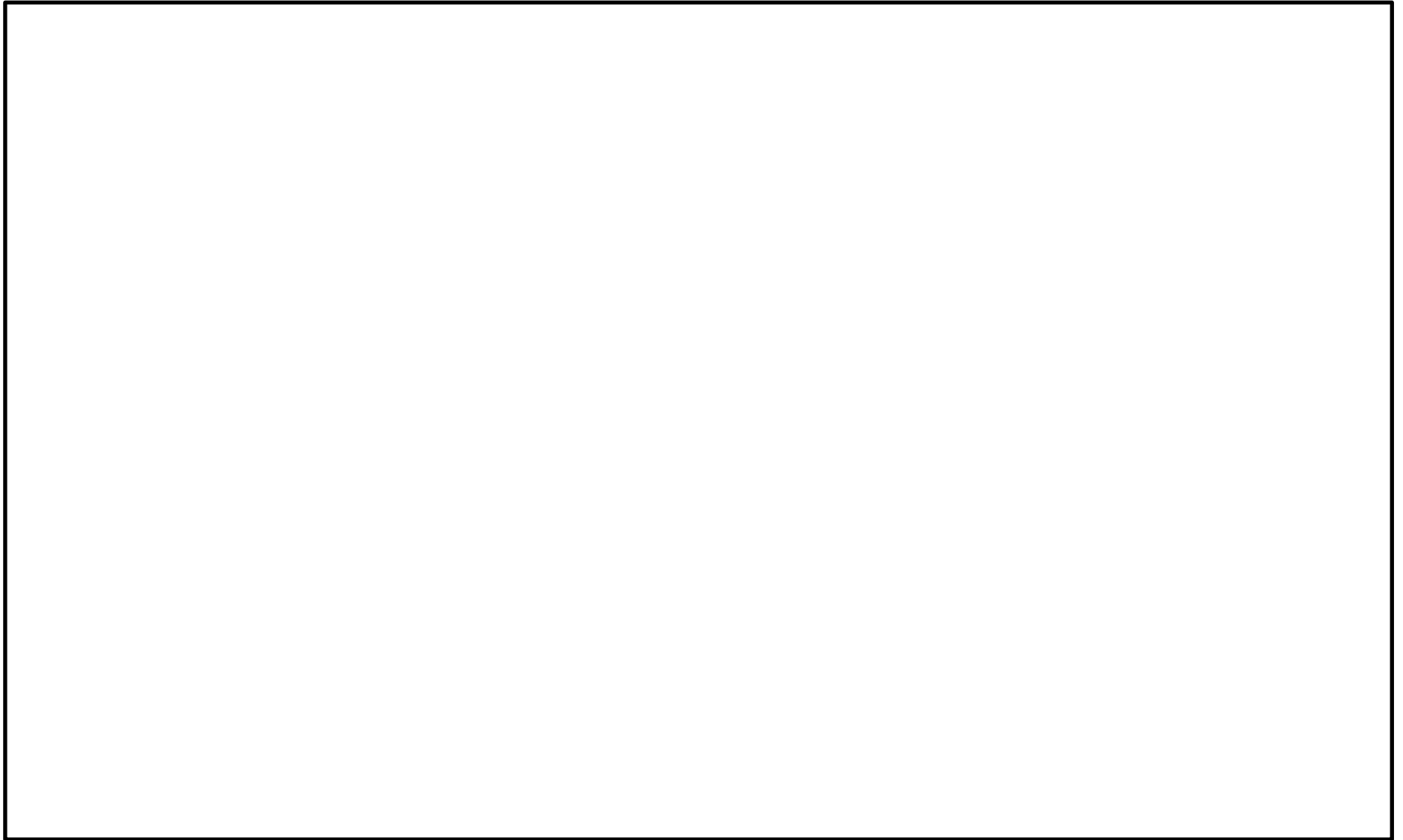


図4-2 燃料取替機計算モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-7に示す。また、振動モード図を図4-3、及び図4-4に示す。

鉛直方向の固有値解析は、ブリッジ計算モデルにトロリ計算モデルを含めた燃料取替機計算モデルにて実施する。水平方向の固有値解析は、トロリは最大静止摩擦係数を超えるとブリッジ上のレールをすべり挙動を考慮した解析を実施することから、トロリによる固有周期への影響がないように、トロリの質量を考慮していないがブリッジとトロリの結合は考慮したブリッジ計算モデルのみで固有値解析を実施する。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表4-7(1) 固有値解析結果（トロリ位置：中央，燃料取替機計算モデル）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			N S 方向	E W 方向	
1	水平 (E W)	0.213	0.00	1.39	0.09
2	水平 (N S)	0.155	1.24	0.00	0.01
3	水平 (E W)	0.108	0.00	0.87	0.37
4	鉛直	0.098	0.19	0.11	0.21
5	鉛直	0.084	0.01	0.20	1.23
6	水平 (E W)	0.056	0.02	0.24	0.08
7	水平 (N S)	0.051	2.31	0.02	0.03
8	水平 (N S)	0.047	—	—	—
9	鉛直	0.045	—	—	—

注：設計基準対象施設としての評価の場合

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-7(2) 固有値解析結果（トロリ位置：中央，ブリッジ計算モデル）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			N S 方向	E W 方向	
1	水平 (E W)	0.099	0.01	1.43	0.05
2	鉛直	0.058	0.01	0.01	1.59
3	鉛直	0.051	0.00	0.12	1.53
4	水平 (N S)	0.051	1.98	0.02	0.05
5	水平 (N S)	0.045	—	—	—
6	水平 (N S)	0.044	—	—	—
7	水平 (N S)	0.041	—	—	—
8	水平 (N S)	0.038	—	—	—

注：設計基準対象施設としての評価の場合

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-7(3) 固有値解析結果（トロリ位置：端部，燃料取替機計算モデル）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			N S方向	E W方向	
1	水平 (N S)	0.159	1.40	0.07	0.16
2	水平 (E W)	0.140	0.01	1.31	0.12
3	水平 (E W)	0.101	0.15	1.00	0.03
4	水平 (E W)	0.092	0.20	0.84	0.13
5	鉛直	0.058	0.12	0.03	1.84
6	鉛直	0.054	0.15	0.28	1.07
7	水平 (N S)	0.051	1.78	0.09	0.51
8	鉛直	0.051	0.23	0.26	0.99
9	鉛直	0.045	—	—	—
10	水平 (N S)	0.045	—	—	—

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

注記*：刺激係数は，モード質量を正規化し固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-7(4) 固有値解析結果（トロリ位置：端部，ブリッジ計算モデル）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			N S方向	E W方向	
1	水平 (E W)	0.099	0.00	1.46	0.04
2	鉛直	0.058	0.02	0.01	1.64
3	鉛直	0.051	0.65	0.08	1.07
4	水平 (N S)	0.051	1.34	0.07	0.96
5	水平 (N S)	0.045	—	—	—
6	水平 (N S)	0.044	—	—	—
7	水平 (N S)	0.041	—	—	—
8	水平 (N S)	0.038	—	—	—
9	水平 (N S)	0.036	—	—	—

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

注記*：刺激係数は，モード質量を正規化し固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

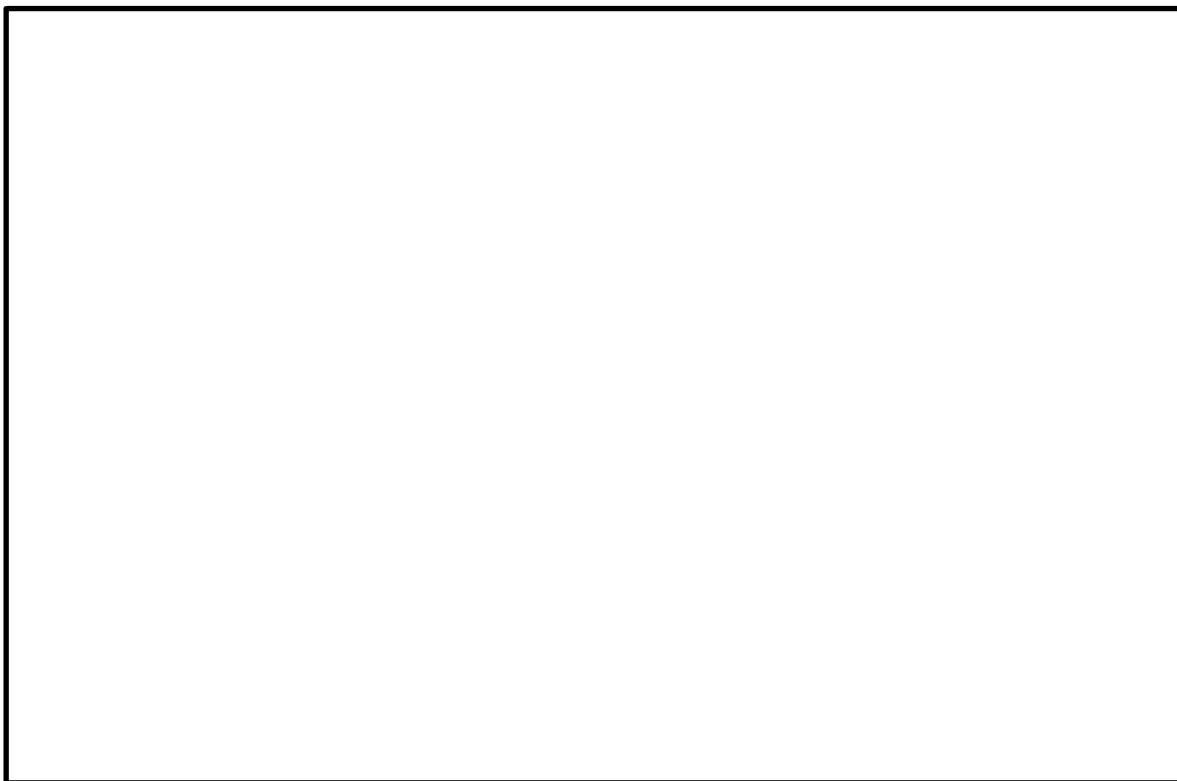


図 4-3 トロリ位置が中央の場合における振動モード図



図 4-4 トロリ位置が端部の場合における振動モード図

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 に示す。「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建物 EL 42.8 ^{*1}				
固有周期 (s)		水平 : 0.038 ^{*2} 鉛直 : 0.084 ^{*2}				
減衰定数 (%)		水平 : 2.0 鉛直 : 2.0(1.5) ^{*3}				
地震力		基準地震動 S s				
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}				応答鉛直震度 ^{*4}
		ブリッジ		トロリ		
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	
1次	0.213	—	—	—	—	1.88
2次	0.155	—	—	—	—	3.79
3次	0.108	—	—	—	—	9.04
4次	0.098	—	—	—	—	10.16
5次	0.084	—	—	—	—	10.21
6次	0.056	—	—	—	—	6.70
7次	0.051	—	—	—	—	5.98
8次	0.047	—	—	—	—	—
動的震度 ^{*5}		$C_{H1}=1.62$	$C_{H2}=0.15^{*6}$	$C_{H2}=0.15^{*6}$	$C_{H2}=0.15^{*6}$	1.81

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値

*3 : ()外は燃料取替機のトロリ位置が中央にある場合、()内は燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合

*4 : 設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5 : 設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*6 : この方向はすべりを生じ最大静止摩擦係数以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
固有周期(s)		水平：0.036* ² 鉛直：0.058* ²				
減衰定数(%)		水平：2.0 鉛直：1.5				
地震力		基準地震動 S s				
モード	固有周期(s)	応答水平震度* ³				応答鉛直震度* ³
		ブリッジ		トロリ		
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	
1次	0.159	—	—	—	—	3.97
2次	0.140	—	—	—	—	5.09
3次	0.101	—	—	—	—	11.11
4次	0.092	—	—	—	—	12.33
5次	0.058	—	—	—	—	9.50
6次	0.054	—	—	—	—	6.88
7次	0.051	—	—	—	—	6.88
8次	0.051	—	—	—	—	6.88
9次	0.045	—	—	—	—	—
動的震度* ⁴		C _{H1} =1.62	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	1.81

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：トロリ位置が端部にある場合の値

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

4.6 計算方法

4.6.1 燃料取替機構造物フレームの応力

(1) 計算方法

燃料取替機構造物フレームに加わる荷重は、モーダルスペクトル解析及び静解析により求める。

a. 燃料取替機構造物フレームの応力

燃料取替機構造物フレームの応力を図4-5を用いて計算する。負担力は、並進力 F_x 、 F_y 、 F_z 、モーメント力 M_x 、 M_y 、 M_z とする。

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_p}, \quad \tau_y = \frac{F_y}{A_{1F}}, \quad \tau_z = \frac{F_z}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}, \quad \sigma_{py} = \frac{M_y}{Z_{py}}, \quad \sigma_{pz} = \frac{M_z}{Z_{pz}} \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

(b) 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4)$$

$$\sigma_{p1F} = \sigma_x + \sigma_{py} + \sigma_{pz} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.5)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.6)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.7)$$

$$\sigma_{pc1F} = \sqrt{\sigma_{p1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.8)$$

燃料取替機構造物フレームの最大応力発生部材を図 4-2 の (a), (b) に示す。

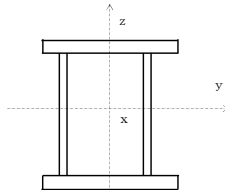


図 4-5(1) ガーダ

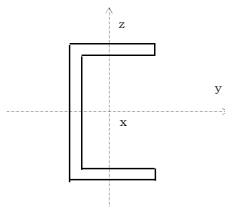


図 4-5(2) ギャラリ

4.6.2 脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力

(1) 計算方法（ブリッジ）

ブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_1 \sim P_{12}$ ）は，モーダルスペクトル解析及び静解析により求める。

a. ブリッジ脱線防止ラグの応力

ブリッジ脱線防止ラグの応力を図4-6を用いて計算する。負担力は， $P_1 \sim P_{12}$ の平均の値を F_{HB} ，及び F_{VB} とする。

鉛直力 F_{VB} はラグー組（2個）に分散し，1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vb} = \frac{F_{VB}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

(a) 曲げ応力

・ A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1B} = F_{HB} \cdot h_{1B} + F_{Vb} \cdot \left[h_{2B} + \frac{a_{1B}}{2} \right] \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1B} = \frac{a_{1B}^2 \cdot b_{1B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

$$Z_{p1B} = \frac{a_{1B}^2 \cdot b_{1B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = \frac{F_{Vb}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B}}{Z_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

$$\sigma_{p1B} = \frac{F_{Vb}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B}}{Z_{p1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.7)$$

・ B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2B} = F_{Vb} \cdot h_{2B} \dots \dots \dots (4.6.2.8)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.9)$$

$$Z_{p2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.10)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2B} = \frac{M_{2B}}{Z_{2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.11)$$

$$\sigma_{p2B} = \frac{M_{2B}}{Z_{p2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.12)$$

(b) せん断応力

・ A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \dots \dots \dots (4.6.2.13)$$

負担力 F_{HB} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \frac{F_{HB}}{A_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.14)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2B} = a_{2B} \cdot b_{2B} \dots \dots \dots (4.6.2.15)$$

負担力 F_{Vb} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2B} = \frac{F_{Vb}}{A_{2B}} \dots \dots \dots (4.6.2.16)$$

(c) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1B} = \sqrt{\sigma_{1B}^2 + 3 \cdot \tau_{1B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.17)$$

$$\sigma_{pc1B} = \sqrt{\sigma_{p1B}^2 + 3 \cdot \tau_{1B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.18)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2B} = \sqrt{\sigma_{2B}^2 + 3 \cdot \tau_{2B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.19)$$

$$\sigma_{pc2B} = \sqrt{\sigma_{p2B}^2 + 3 \cdot \tau_{2B}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.20)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bB} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1B}^2 \dots \dots \dots (4.6.2.21)$$

せん断力は、取付ボルト n_{1B} 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bB} = \frac{\sqrt{F_{HB}^2 + F_{Vb}^2}}{n_{1B} \cdot A_{bB}} \dots \dots \dots (4.6.2.22)$$

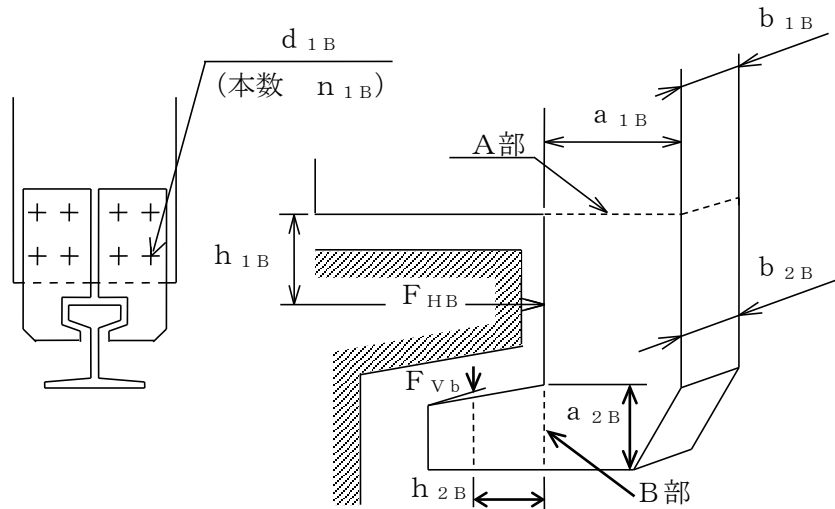


図 4-6 ブリッジ脱線防止ラグ

b. 走行レールの応力

走行レールの応力評価は 4.6.2(1)a 項で求めた荷重 ($P_1 \sim P_{12}$) の平均の値を F_{HB} 、及び F_{Vb} とする。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する鉛直力 F_{Vb} は図 4-7 (BV) に示す斜線部のように走行レールに分散する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する水平力 F_{HB} は図 4-7 (BH) に示す斜線部のように走行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

- ・ C 部

幅は次式となる。

$$b_{3B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{3B} + L_{3B}) \dots \dots \dots (4.6.2.23)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3B} = F_{Vb} \cdot h_{3B} \dots \dots \dots (4.6.2.24)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.25)$$

$$Z_{p3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.26)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3B} = a_{3B} \cdot b_{3B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.27)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3B} = \frac{F_{HB}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B}}{Z_{3B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.28)$$

$$\sigma_{p3B} = \frac{F_{HB}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B}}{Z_{p3B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.29)$$

・ D部

幅は次式となる。

$$b_{4B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{4B} + L_{4B}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.30)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4B} = F_{HB} \cdot h_{4B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.31)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.32)$$

$$Z_{p4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.33)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4B} = a_{4B} \cdot b_{4B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.34)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4B} = \frac{2 \cdot F_{Vb}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B}}{Z_{4B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.35)$$

$$\sigma_{p4B} = \frac{2 \cdot F_{Vb}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B}}{Z_{p4B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.36)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・ C部

$$\tau_{3B} = \frac{F_{Vb}}{A_{3B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.37)$$

・ D部

$$\tau_{4B} = \frac{F_{HB}}{A_{4B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.38)$$

(c) 組合せ応力

・ C 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3B} = \sqrt{\sigma_{3B}^2 + 3 \cdot \tau_{3B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.39)$$

$$\sigma_{pc3B} = \sqrt{\sigma_{p3B}^2 + 3 \cdot \tau_{3B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.40)$$

・ D 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4B} = \sqrt{\sigma_{4B}^2 + 3 \cdot \tau_{4B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.41)$$

$$\sigma_{pc4B} = \sqrt{\sigma_{p4B}^2 + 3 \cdot \tau_{4B}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.42)$$

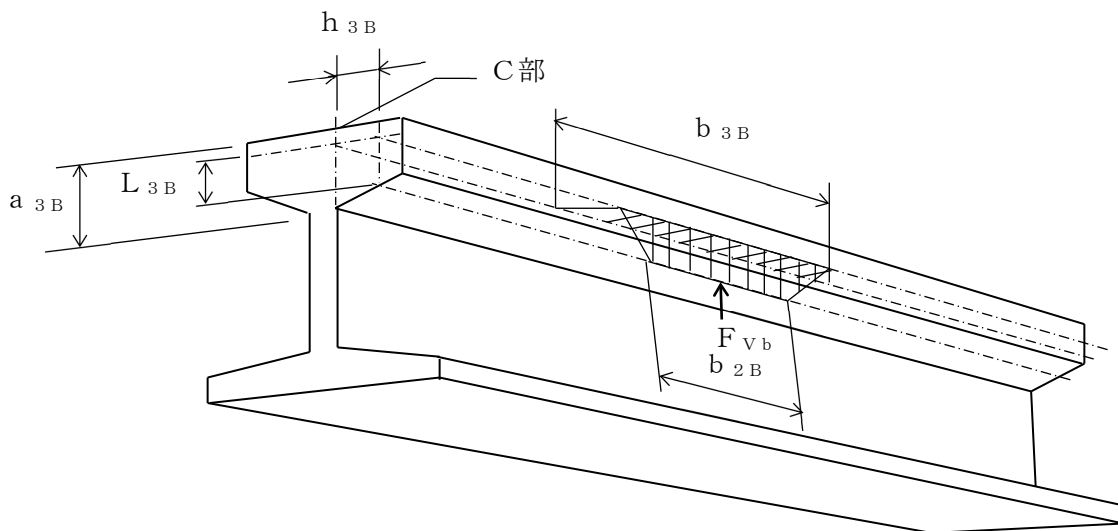


図4-7 (BV) 走行レール

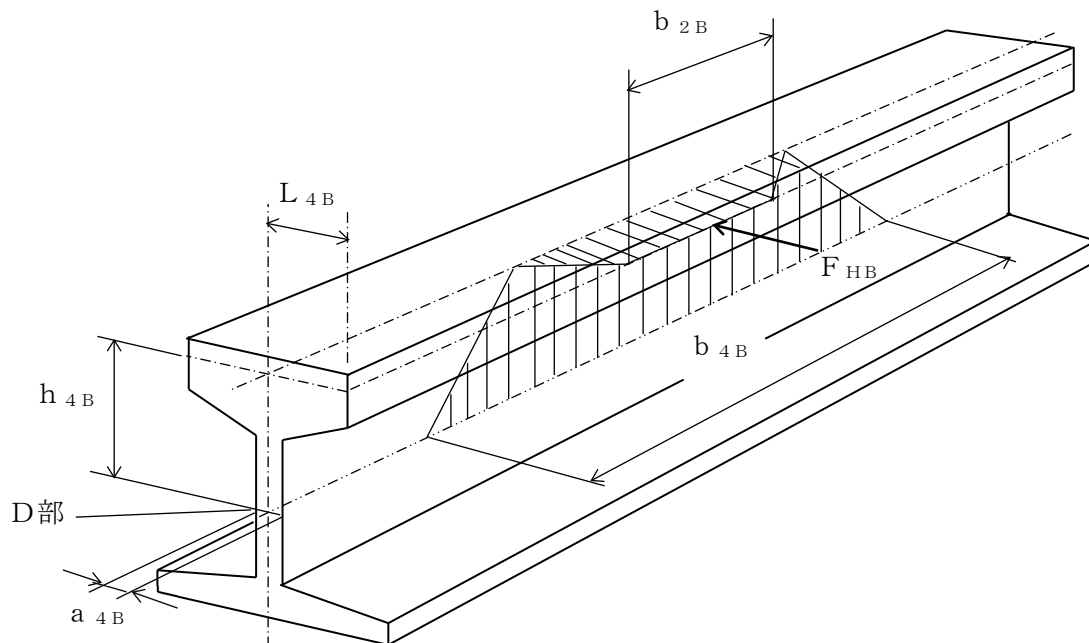


図4-7 (BH) 走行レール

(2) 計算方法（トロリ）

トロリ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_{13} \sim P_{20}$ ）は、モーダルスペクトル解析及び静解析により求める。

a. トロリ脱線防止ラグの応力

トロリ脱線防止ラグの応力を図4-9を用いて計算する。負担力は、 $P_{13} \sim P_{20}$ の平均の値を F_{HT} 、及び F_{VT} とする。

水平力 F_{HT} は図4-8に示すようにトロリ脱線防止ラグに分散する。

鉛直力 F_{VT} はラグー組（2個）に分散し、1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{VT} = \frac{F_{VT}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.43)$$

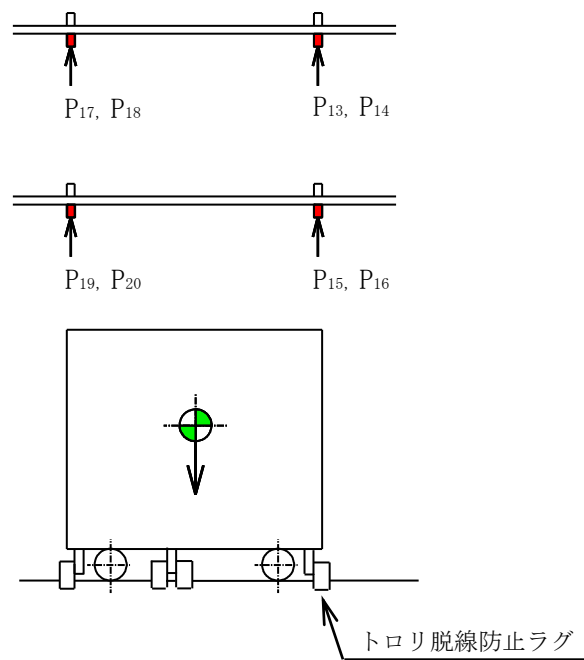


図4-8 計算モデル

(a) 曲げ応力

・ A 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T} = F_{HT} \cdot h_{1T} + F_{Vt} \cdot \left[h_{2T} + \frac{a_{1T}}{2} \right] \quad \dots \quad (4.6.2.44)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T} = \frac{a_{1T}^2 \cdot b_{1T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.45)$$

$$Z_{p1T} = \frac{a_{1T}^2 \cdot b_{1T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.46)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \quad \dots \quad (4.6.2.47)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T} = \frac{F_{Vt}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T}}{Z_{1T}} \quad \dots \quad (4.6.2.48)$$

$$\sigma_{p1T} = \frac{F_{Vt}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T}}{Z_{p1T}} \quad \dots \quad (4.6.2.49)$$

・ B 部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T} = F_{Vt} \cdot h_{2T} \quad \dots \quad (4.6.2.50)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T} = \frac{a_{2T}^2 \cdot b_{2T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.51)$$

$$Z_{p2T} = \frac{a_{2T}^2 \cdot b_{2T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.52)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T} = \frac{M_{2T}}{Z_{2T}} \quad \dots \quad (4.6.2.53)$$

$$\sigma_{p2T} = \frac{M_{2T}}{Z_{p2T}} \quad \dots \quad (4.6.2.54)$$

(b) せん断応力

・ A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.55)$$

負担力 F_{HT} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T} = \frac{F_{HT}}{A_{1T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.56)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T} = a_{2T} \cdot b_{2T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.57)$$

負担力 F_{Vt} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T} = \frac{F_{Vt}}{A_{2T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.58)$$

(c) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T} = \sqrt{\sigma_{1T}^2 + 3 \cdot \tau_{1T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.59)$$

$$\sigma_{pc1T} = \sqrt{\sigma_{p1T}^2 + 3 \cdot \tau_{1T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.60)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T} = \sqrt{\sigma_{2T}^2 + 3 \cdot \tau_{2T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.61)$$

$$\sigma_{pc2T} = \sqrt{\sigma_{p2T}^2 + 3 \cdot \tau_{2T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.62)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bT} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1T}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.63)$$

せん断力は、取付ボルト n_{1T} 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bT} = \frac{\sqrt{F_{HT}^2 + F_{Vt}^2}}{n_{1T} \cdot A_{bT}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.64)$$

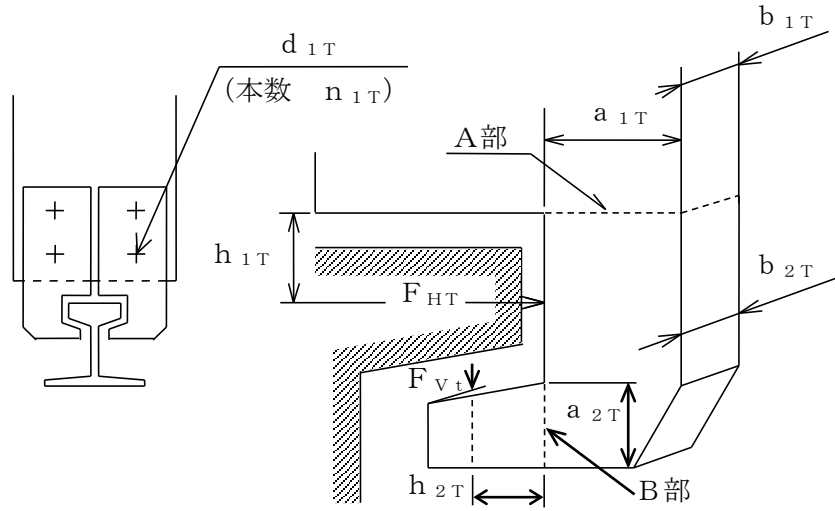


図4-9 トロリ脱線防止ラグ

b. 横行レールの応力

横行レールの応力評価は4.6.2(2)a項で求めた荷重 ($P_{13} \sim P_{20}$) の平均の値を F_{HT} 、及び F_{Vt} とする。

トロリ脱線防止ラグに作用する鉛直力 F_{Vt} は図4-10 (TV) に示す斜線部のように横行レールに分散する。

トロリ脱線防止ラグに作用する水平力 F_{HT} は図4-10 (TH) に示す斜線部のように横行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

・ C部

幅は次式となる。

$$b_{3T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{3T} + L_{3T}) \quad \dots \quad (4.6.2.65)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3T} = F_{Vt} \cdot h_{3T} \quad \dots \quad (4.6.2.66)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3T} = \frac{a_{3T}^2 \cdot b_{3T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.67)$$

$$Z_{p3T} = \frac{a_{3T}^2 \cdot b_{3T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.68)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3T} = a_{3T} \cdot b_{3T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.69)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3T} = \frac{F_{HT}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T}}{Z_{3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.70)$$

$$\sigma_{p3T} = \frac{F_{HT}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T}}{Z_{p3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.71)$$

・ D部

幅は次式となる。

$$b_{4T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{4T} + L_{4T}) \quad \dots \dots \dots (4.6.2.72)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T} = F_{HT} \cdot h_{4T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.73)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T} = \frac{a_{4T}^2 \cdot b_{4T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.74)$$

$$Z_{p4T} = \frac{a_{4T}^2 \cdot b_{4T}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.75)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4T} = a_{4T} \cdot b_{4T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.76)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T} = \frac{2 \cdot F_{Vt}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T}}{Z_{4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.77)$$

$$\sigma_{p4T} = \frac{2 \cdot F_{Vt}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T}}{Z_{p4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.78)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・ C部

$$\tau_{3T} = \frac{F_{Vt}}{A_{3T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.79)$$

・ D部

$$\tau_{4T} = \frac{F_{HT}}{A_{4T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.80)$$

(c) 組合せ応力

・ C 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3T} = \sqrt{\sigma_{3T}^2 + 3 \cdot \tau_{3T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.81)$$

$$\sigma_{pc3T} = \sqrt{\sigma_{p3T}^2 + 3 \cdot \tau_{3T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.82)$$

・ D 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4T} = \sqrt{\sigma_{4T}^2 + 3 \cdot \tau_{4T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.83)$$

$$\sigma_{pc4T} = \sqrt{\sigma_{p4T}^2 + 3 \cdot \tau_{4T}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.84)$$

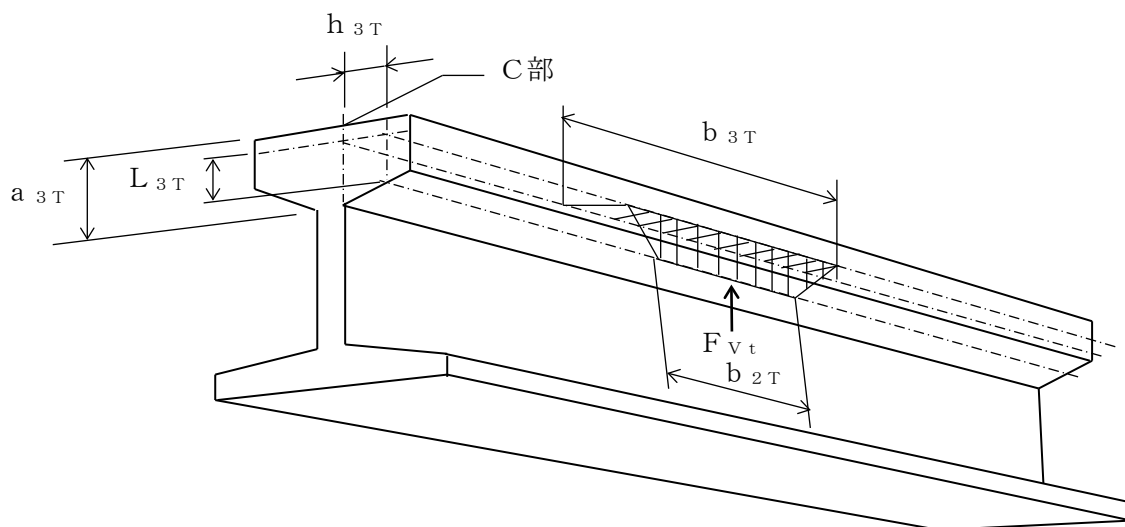


図4-10 (TV) 横行レール

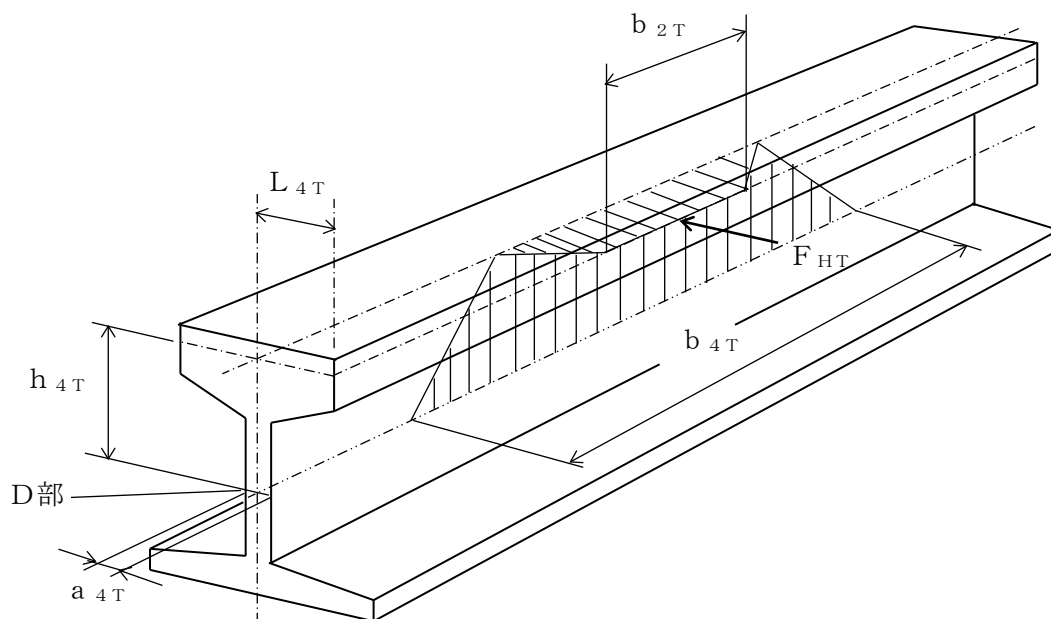


図4-10 (TH) 横行レール

4.6.3 吊具の荷重計算方法

燃料取替機の吊荷荷重を受ける各部は、ブリッジ、トロリ、ワイヤロープ及び先端金具で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープと先端金具を評価対象とする。

ワイヤロープ及び先端金具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷は水中にあり、実際の吊下げでは水の抵抗を受けるが、評価に当たっては、気中での吊下げを想定して保守的に水の抵抗はないものとして行う。
- ・燃料取替機及び吊荷の速度算出に当たっては、燃料取替機、吊荷質量及びワイヤロープ長さの評価条件を、固有周期と床応答スペクトルの関係から評価が厳しくなるように設定する。

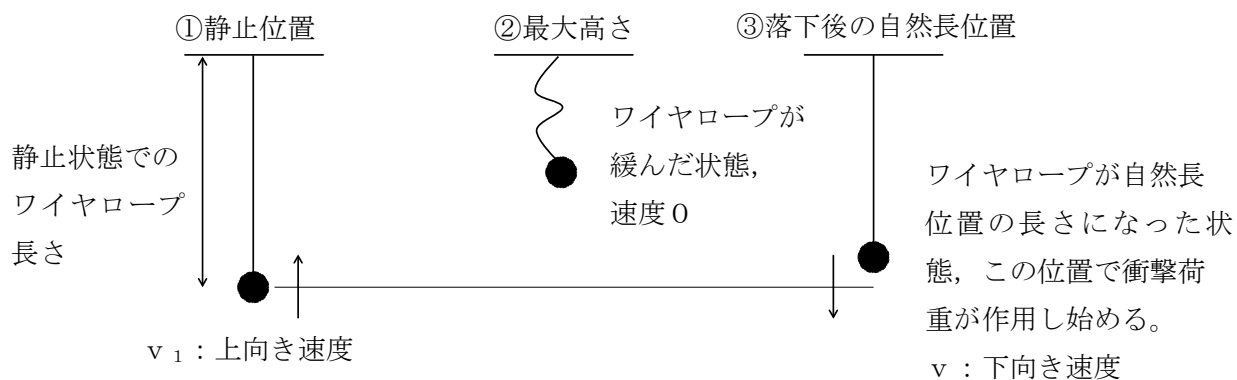
①ワイヤロープ長さは、固有周期に対する床応答特性（加速度）がより厳しくなる長さとする。評価に当たって、ここでのワイヤロープ長さは吊上げ上端位置とする。

②吊荷の質量は、定格質量で評価を実施する。

- ・ワイヤロープ、先端金具の荷重は、吊荷を1自由度モデルにより求めた固有周期に対応する加速度、燃料取替機を4.4項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに、吊荷が一度浮上って落下した後の落下による衝撃荷重を算出する。
- ・燃料取替機と吊荷の位相差が吊荷に及ぼす影響については、吊荷とは逆位相に生じる燃料取替機を速度を、吊荷に作用する相対速度として考慮する。
- ・衝撃荷重は、吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
- ・水平方向地震に伴い、吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが、その影響については、軽微であることから、評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

(1) 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図 4-11 に示すように、鉛直方向に浮上り再び自然長位置に戻った瞬間から、吊具の衝撃荷重を与える。



○ 下向き速度 v

②, ③まではエネルギー保存則より

下向き速度 v は

$$v < v_1$$

となるが、保守的に

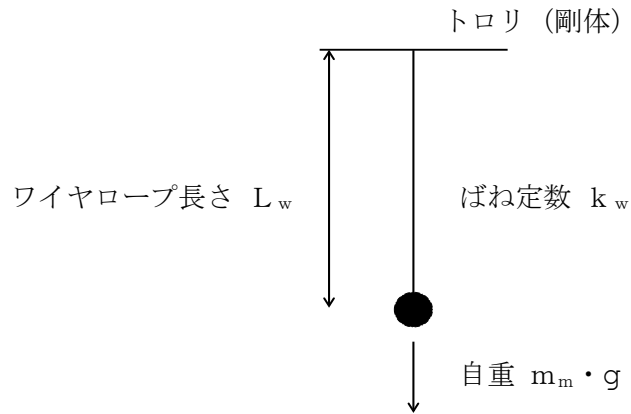
$$v = v_1$$

として評価を行う。

図 4-11 吊荷の浮上りの様子

(2) 吊荷の固有周期

以下のとおり，トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期 T_w を算出する。



$$\text{固有周期： } T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_m}{k_w}}$$

$$\text{ばね定数： } k_w = \frac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$$

(3) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，ワイヤロープ，先端金具に作用する荷重Fを算出する。

図4-12及び図4-13に示すように，ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることから v_1 と v_2 が同値にならないが，保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

$$\text{(力積)} : \int_0^{\frac{T}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt$$

$$\text{(吊荷の運動量の変化)} : m_m \cdot (v_1 + v_2)$$

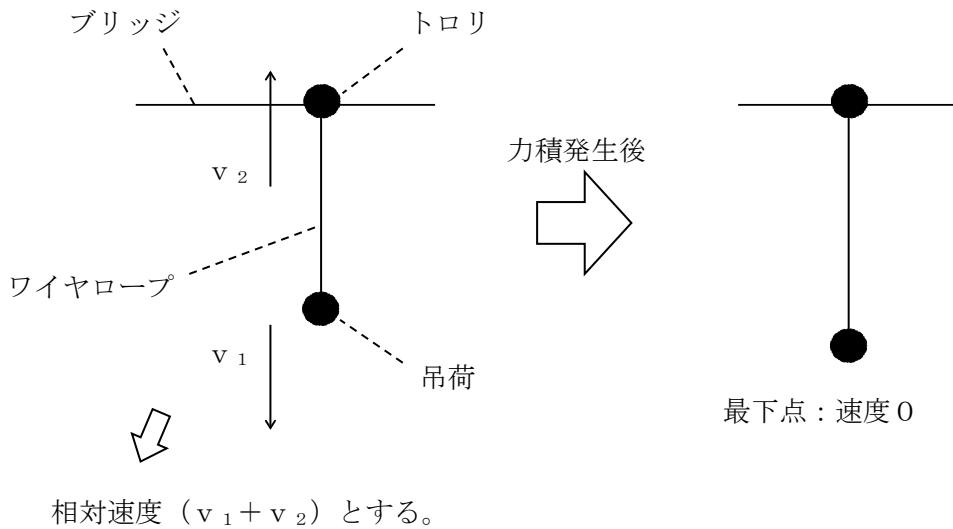


図4-12 吊荷落下後の速度変化

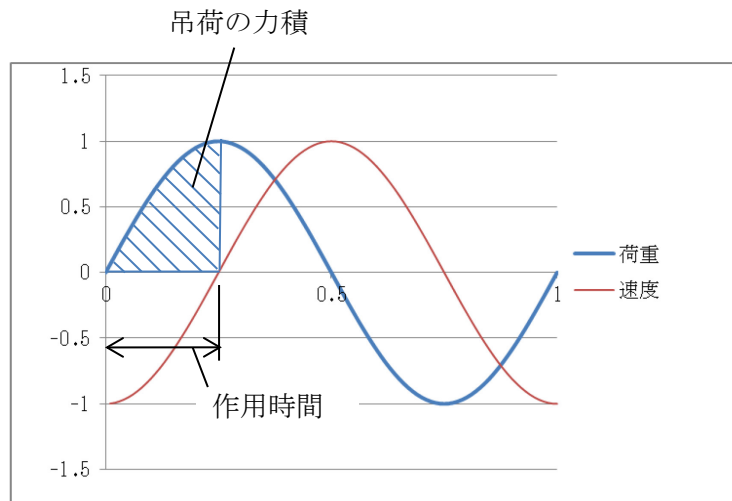


図4-13 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については、ワイヤロープが完全弾性体で、吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば、吊荷の固有周期 T_w の4分の1となる。

以上から、運動量変化及び作用時間をもとに荷重は、自重分を追加して、以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m_m \cdot g$$

4.6.4 吊具の応力計算方法

ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力を、図4-14を用いて計算する。

ワイヤロープの支持荷重は次式となる。

$$F_w = \frac{F}{n_w}$$

先端金具の応力は次式となる。

$$\sigma_m = \frac{F_w}{A_w}$$



図4-14 ワイヤロープ及び先端金具

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（ブリッジ，トロリ，吊荷）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力評価

4.6.1 項及び4.6.2 項で求めた燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの各応力が次式より求めた許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた脱線防止ラグ取付ボルトの応力が次式より求めた許容せん断応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 先端金具の応力評価

4.6.4 項で求めた先端金具の応力が次式より求めた許容引張応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

4.8.4 ワイヤロープの評価

4.6.4項で求めたワイヤロープの支持荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料取替機的设计基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料取替機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震 重要度分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S s				周囲環境 温度 (°C)		
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度						
燃料取替機	B	原子炉建物 EL 42.8* ¹	0.038* ²	0.084* ²	ブリッジ		トロリ		鉛直方向 設計震度	C _v =1.81* ³ 又は *4	50
					NS方向	EW方向	NS方向	EW方向			
					C _{H1} =1.62* ³	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵			

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

1.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N·mm)	M_y (N·mm)	M_z (N·mm)
1.763×10^6	1.493×10^5	8.440×10^5	4.244×10^7	2.362×10^9	4.125×10^8

F_{HB} (N)	F_{VB} (N)	F_{HT} (N)	F_{VT} (N)
5.645×10^5	2.479×10^5	2.836×10^4	1.630×10^5

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)	ν

a_{1T} (mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F} (mm ²)	A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{bB} (mm ²)	A_{1T} (mm ²)	A_{2T} (mm ²)	A_{3T} (mm ²)	A_{4T} (mm ²)	A_{bT} (mm ²)

Z_p (mm ³)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)	Z_{1B} (mm ³)	Z_{2B} (mm ³)	Z_{3B} (mm ³)	Z_{4B} (mm ³)	Z_{1T} (mm ³)	Z_{2T} (mm ³)	Z_{3T} (mm ³)	Z_{4T} (mm ³)

m_m (kg)	T_w (s)	L_w (mm)	A_w (mm ²)	E_w (MPa)	n_w	F_w (N)	k_w (N/mm)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)
						2.962 × 10 ⁴			

燃料取替機構造物フレーム		
[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		

注: []

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]			[]			[]			[]		

49

走行レール		横行レール	
[]		[]	
S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		[]	

先端金具
[]
S _u (MPa)
[]

ワイヤロープ
[]
F _w (N)
35900

1.3 結論

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
燃料取替機構造物フレーム			曲げ σ_{1F}	240	275	
			せん断 τ_{1F}	20	158	
			組合せ σ_{c1F}	242	275	
ブリッジ	脱線防止ラグ		B部	曲げ σ_{2B}	159	253
			せん断 τ_{2B}	48	146	
	取付ボルト		組合せ σ_{c2B}	179	253	
トロッコリ	脱線防止ラグ		A部	せん断 τ_{bB}	320	366
			曲げ σ_{1T}	113	253	
	取付ボルト		せん断 τ_{1T}	7	146	
走行レール	D部	組合せ σ_{c1T}	114	253		
		せん断 τ_{bT}	138	366		
		曲げ σ_{4B}	567	756		
横行レール	D部	せん断 τ_{4B}	53	436		
		組合せ σ_{c4B}	574	756		
		曲げ σ_{4T}	287	483		
		せん断 τ_{4T}	10	278		
		組合せ σ_{c4T}	288	483		

すべて許容応力以下である。

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		支持荷重 F_w	29620	35900

許容荷重以下である。

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
吊具	先端金具		引張り σ_m	262	378

許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S s				周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度				
燃料取替機	—	原子炉建物 EL 42.8* ¹	0.036* ²	0.058* ²	ブリッジ		トロリ		C _v =1.81* ³ 又は *4
					NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	
					C _{H1} =1.62* ³	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	
									100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：トロリ位置が端部にある場合の値

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

2.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N·mm)	M_y (N·mm)	M_z (N·mm)
4.317×10^3	3.105×10^3	4.489×10^2	4.744×10^3	2.267×10^5	1.882×10^6

F_{HB} (N)	F_{VB} (N)	F_{HT} (N)	F_{VT} (N)
2.578×10^5	1.171×10^5	1.985×10^4	3.640×10^4

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)

ν

a_{1T} (mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F} (mm ²)	A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{bB} (mm ²)	A_{1T} (mm ²)	A_{2T} (mm ²)	A_{3T} (mm ²)	A_{4T} (mm ²)	A_{bT} (mm ²)

Z_p (mm ³)	Z_{py} (mm ³)	Z_{pz} (mm ³)	Z_{p1B} (mm ³)	Z_{p2B} (mm ³)	Z_{p3B} (mm ³)	Z_{p4B} (mm ³)	Z_{p1T} (mm ³)	Z_{p2T} (mm ³)	Z_{p3T} (mm ³)	Z_{p4T} (mm ³)

燃料取替機構造物フレーム		
[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		

注： []

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]			[]			[]			[]		

走行レール		横行レール	
[]		[]	
S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		[]	

2.3 結論

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
燃料取替機構造物フレーム			曲げ σ_{p1F}	222	235	
			せん断 τ_{1F}	4	135	
			組合せ σ_{pc1F}	222	235	
ブリッジ	脱線防止ラグ		B部	曲げ σ_{p2B}	75	232
			せん断 τ_{2B}	23	133	
	取付ボルト		組合せ σ_{pc2B}	85	232	
トロリ	脱線防止ラグ		A部	せん断 τ_{bB}	146	341
			曲げ σ_{p1T}	31	232	
	取付ボルト		せん断 τ_{1T}	5	133	
走行レール	D部	組合せ σ_{pc1T}	32	232		
		せん断 τ_{bT}	43	341		
		曲げ σ_{p4B}	259	756		
横行レール	D部	せん断 τ_{4B}	24	436		
		組合せ σ_{pc4B}	263	756		
		曲げ σ_{p4T}	174	483		
		せん断 τ_{4T}	7	278		
		組合せ σ_{pc4T}	174	483		

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-3 チャンネル着脱装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	19
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	26
4.8 応力及び荷重の評価	26
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラスであるチャンネル着脱装置（以下「着脱装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラスである使用済燃料プールに対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は着脱装置の地震応答解析、応力評価及び荷重評価により行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

着脱装置は、原子炉建物 4 階に設置される。着脱装置は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料プールの壁面に設置されており、落下により使用済燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

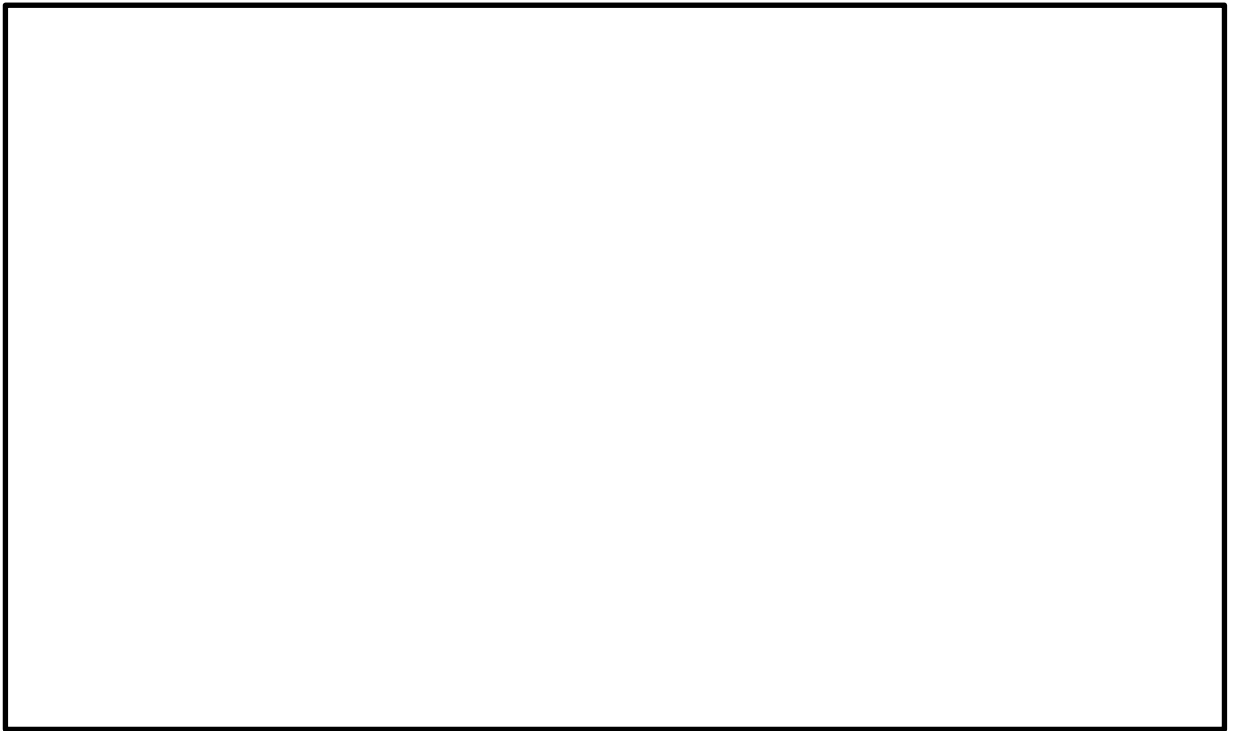



図 2-1 チャンネル着脱装置と使用済燃料プール等の位置関係図

2.2 構造計画

着脱装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ガイドレールは使用済燃料プール壁面の金物に差し込まれており、上部に固定ボルトで取り付けられる。	燃料昇降式(カートがガイドレールに支持され、ローラチェーンを介して上下する昇降装置。)	

2.3 評価方針

着脱装置の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す着脱装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

着脱装置の耐震評価フローを図2-2に示す。

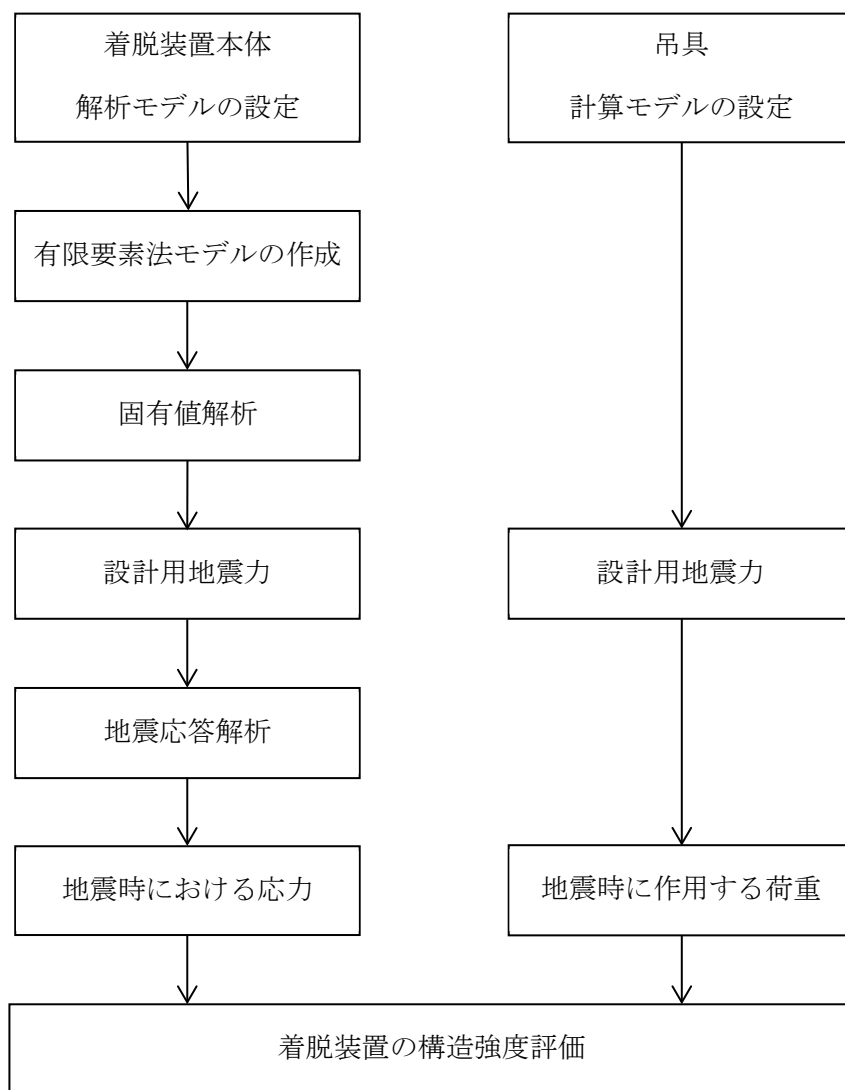


図2-2 着脱装置の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1G}	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	ローラチェーンの許容荷重	N
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	ガイドレール及びカートの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{xG}	ガイドレールに作用する軸力 (x 方向)	N
F_{yG}	ガイドレールに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zG}	ガイドレールに作用するせん断力 (z 方向)	N
F_C	ローラチェーンに作用する荷重	N
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_{xG}	ガイドレールのねじりモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yG}	ガイドレールの曲げモーメント (y 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zG}	ガイドレールの曲げモーメント (z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガイドレールの質量	kg
m_F	カートの質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
m_{wH}	水平方向の排除水質量	kg
S_u	ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
Z_{pG}	ガイドレールのねじり断面係数	mm^3
Z_{yG}	ガイドレールの断面係数 (y 軸)	mm^3
Z_{zG}	ガイドレールの断面係数 (z 軸)	mm^3
ν	ポアソン比	—
θ	最外郭固定ボルト角度	rad
σ_{1G}	ガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{c1G}	ガイドレールの組合せ応力	MPa
σ_{xG}	x 方向の荷重によるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{yG}	y 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{zG}	z 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{1B}	固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{xB}	x 方向の荷重による固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{yB}	y 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{zB}	z 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
τ_{1G}	ガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{xG}	x 方向のモーメントによるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{yG}	y 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{zG}	z 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa

注：記号右端添え字に G が付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、カート評価用については $G \rightarrow F$ 、固定ボルト評価用については $G \rightarrow B$ に置き換えるものとする。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位* ¹
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位* ¹
	厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位

注記*¹：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*²：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*³：設計・建設規格 付録材料図表及び日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017)に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

着脱装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、着脱装置本体及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、主要構造物であるガイドレール、カート、固定ボルト及び吊具（ローラチェーン）について実施する。着脱装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 着脱装置を構成する部材をはり要素にてモデル化した有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析を適用する。
- (2) 地震力及びスロッシング荷重は、ガイドレール及びカートに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組合せるものとする。
- (3) ガイドレールは、使用済燃料プール壁面の固定ボルト及び金物により荷重を支持する構造であるため、該当部位の変位を拘束する。
- (4) カートに設置される使用済燃料は、集中質量として設定する。
- (5) カートはガイドレールに対して鉛直方向にスライド可能とし、鉛直方向はローラチェーンにより支持される。
- (6) カートの位置については、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の条件に対する評価条件としてカート位置が上端及び下端のうち最も厳しい場合について評価する。
- (7) 吊具については、ローラチェーンの鉛直方向を剛構造とみなし、鉛直方向の設計震度に対応した荷重を算出する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

着脱装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

着脱装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

着脱装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

着脱装置の使用材料の許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱装置	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱装置	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を 用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力			一次応力	
	引張り	せん断	組合せ	引張り	せん断
IV _A S					
V _A S (V _A Sとして, IV _A Sの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール		周囲環境温度	66	—			
カート		周囲環境温度	66	—			
固定ボルト		周囲環境温度	66	—			

注記* : J I S H 4 1 0 0 相当

表 4-5 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)
ローラチェーン		周囲環境温度	66	

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール		周囲環境温度	100	—			
カート		周囲環境温度	100	—			
固定ボルト		周囲環境温度	100	—			

注記* : J I S H 4 1 0 0 相当

表 4-7 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		許容荷重 (N)	
ローラチェーン		周囲環境温度	100		

4.3 解析モデル及び諸元

着脱装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ガイドレール及びカートをはり要素でモデル化した有限要素法モデルによって求める。
- (2) 拘束条件は、固定ボルト部を完全拘束とする。また、金物の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向を拘束する。カートについては、ローラチェーン接続部の鉛直方向を拘束する。結合条件として、カート及びガイドレール間の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向のみを結合する。なお、固定ボルト部は剛体として評価する。
- (3) 解析コードは「S A P-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。
なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (4) 質量には着脱装置自身の質量、使用済燃料の質量及び排除水質量を考慮する。

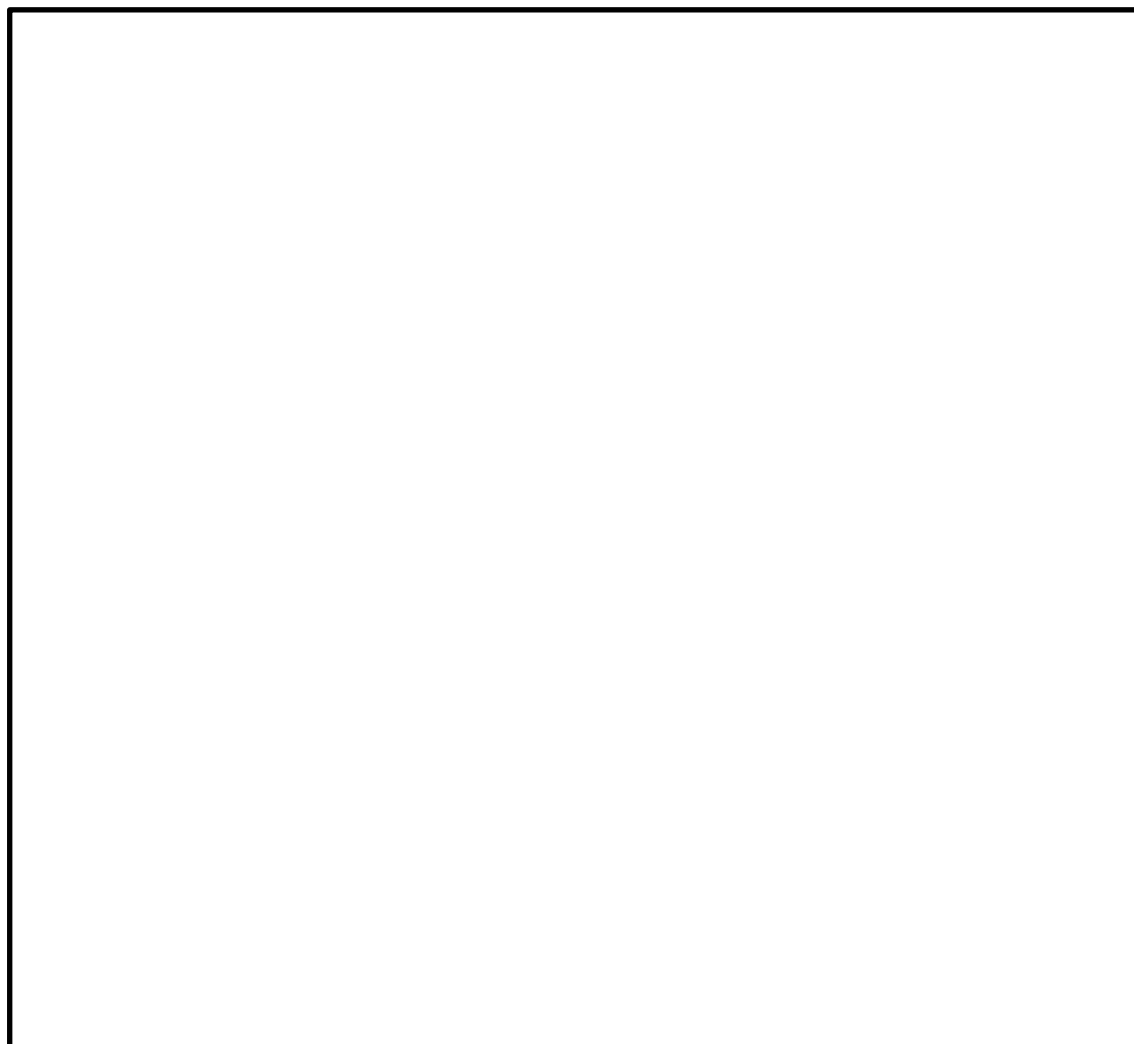


図 4-1 解析モデル

表 4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	ガイドレール	—		
	カート	—		
	固定ボルト	—		
	ローラチェーン	—		
質量	ガイドレール	m_G		
	カート	m_F		
温度条件 (周囲環境温度, 設計基準対象施設)		—	°C	66
温度条件 (周囲環境温度, 重大事故等対処設備)		—	°C	100
縦弾性係数	ガイドレール	E		
	カート	E		
ポアソン比		ν		
要素数		—		
節点数		—		

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-9, 振動モード図を図4-2~図4-6に示す。固有周期は, 0.05秒を超えており, 柔構造であることを確認した。

表4-9 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			NS方向	EW方向	鉛直方向

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

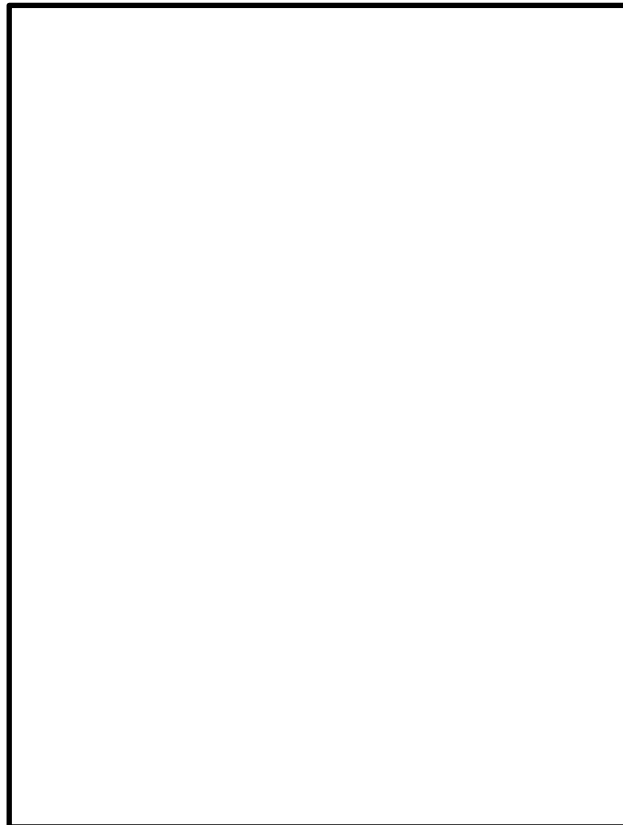


図4-2 振動モード図 (1次)

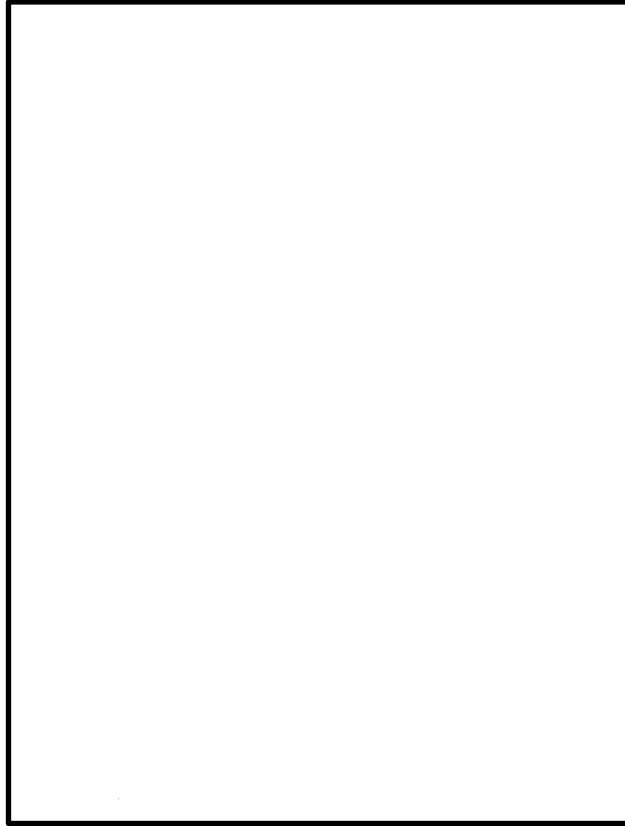


図 4-3 振動モード図 (2 次)

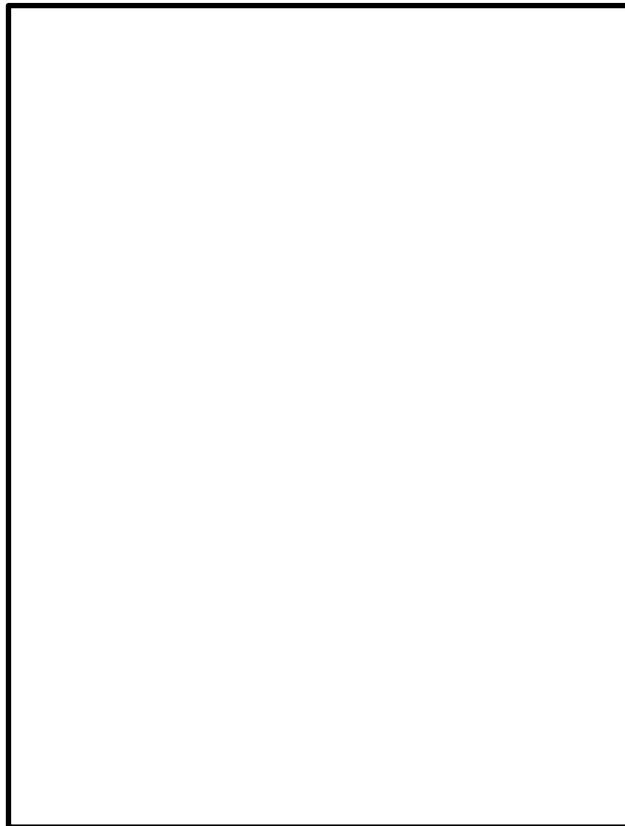


図 4-4 振動モード図 (3 次)

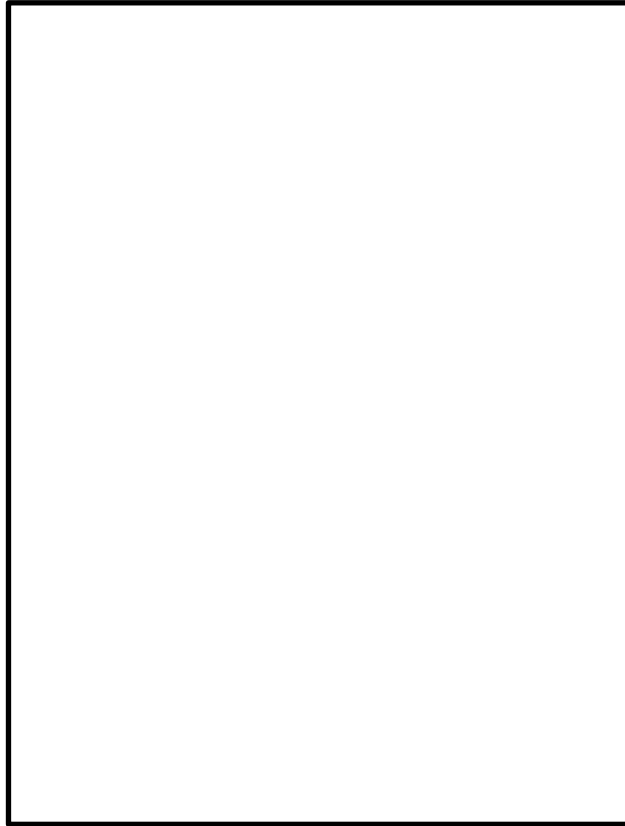


図 4-5 振動モード図 (4 次)

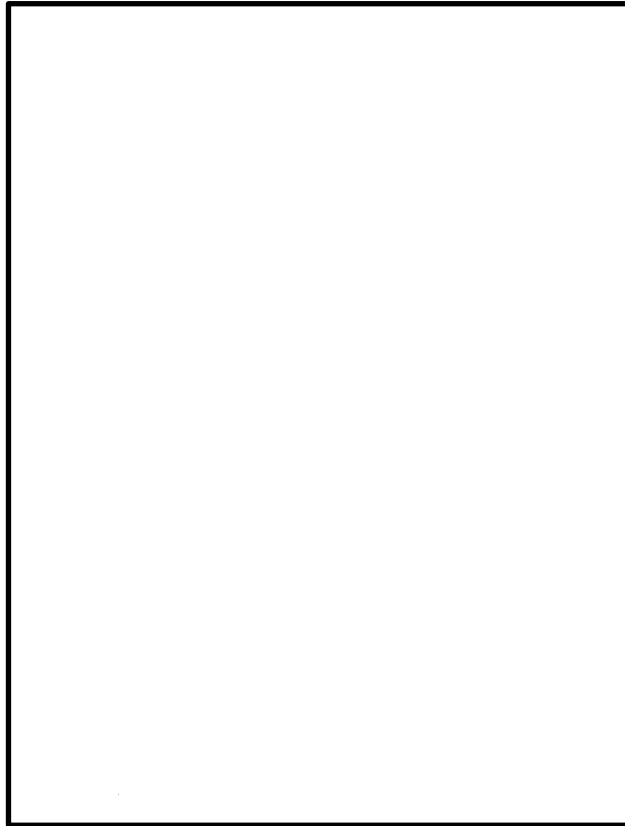


図 4-6 振動モード図 (5 次)

4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
固有周期(s)		NS 方向 : 0.168* ² EW 方向 : 0.175* ² 鉛直方向 : 0.175* ²		
減衰定数(%)		水平 : 2.0* ³ 鉛直 : 2.0* ³		
地震力		基準地震動 S s		
モード* ⁴	固有周期(s)	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向	

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 全体的にボルト締結による構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用震度 II（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
固有周期(s)		NS 方向 : 0.168* ² EW 方向 : 0.175* ² 鉛直方向 : 0.175* ²		
減衰定数(%)		水平 : 2.0* ³ 鉛直 : 2.0* ³		
地震力		基準地震動 S s		
モード* ⁴	固有周期(s)	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向	

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : 全体的にボルト締結による構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) ガイドレールの応力

ガイドレールに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xG} , F_{yG} , F_{zG} , モーメント力 M_{xG} , M_{yG} , M_{zG} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xG} = \frac{F_{xG}}{A_{1G}}, \quad \sigma_{yG} = \frac{M_{yG}}{Z_{yG}}, \quad \sigma_{zG} = \frac{M_{zG}}{Z_{zG}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{xG} = \frac{M_{xG}}{Z_{pG}}, \quad \tau_{yG} = \frac{F_{yG}}{A_{1G}}, \quad \tau_{zG} = \frac{F_{zG}}{A_{1G}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1G} = |\sigma_{xG}| + |\sigma_{yG}| + |\sigma_{zG}| \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1G} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xG}| + |\tau_{yG}|)^2 + |\tau_{zG}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yG}|^2 + (|\tau_{xG}| + |\tau_{zG}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1G} = \sqrt{\sigma_{1G}^2 + 3 \cdot \tau_{1G}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(2) カートの応力

カートに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xF} , F_{yF} , F_{zF} , モーメント力 M_{xF} , M_{yF} , M_{zF} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xF} = \frac{F_{xF}}{A_{1F}}, \quad \sigma_{yF} = \frac{M_{yF}}{Z_{yF}}, \quad \sigma_{zF} = \frac{M_{zF}}{Z_{zF}} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

$$\tau_{xF} = \frac{M_{xF}}{Z_{pF}}, \quad \tau_{yF} = \frac{F_{yF}}{A_{1F}}, \quad \tau_{zF} = \frac{F_{zF}}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = |\sigma_{xF}| + |\sigma_{yF}| + |\sigma_{zF}| \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xF}| + |\tau_{yF}|)^2 + |\tau_{zF}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yF}|^2 + (|\tau_{xF}| + |\tau_{zF}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.9)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.10)$$

(3) 固定ボルトの応力

固定ボルトに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xB} , F_{yB} , F_{zB} , モーメント力 M_{xB} , M_{yB} , M_{zB} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xB} = \frac{F_{xB}}{A_{1B}}, \quad \sigma_{yB} = \frac{M_{yB}}{Z_{yB}}, \quad \sigma_{zB} = \frac{M_{zB}}{Z_{zB}} \quad \dots \quad (4.6.1.11)$$

$$\tau_{xB} = \frac{M_{xB}}{Z_{pB}}, \quad \tau_{yB} = \frac{F_{yB}}{A_{1B}}, \quad \tau_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.1.12)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = |\sigma_{xB}| + |\sigma_{yB}| + |\sigma_{zB}| \quad \dots \quad (4.6.1.13)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \sqrt{(\tau_{yB} + \tau_{xB} \cdot \sin \theta)^2 + (\tau_{zB} + \tau_{xB} \cdot \cos \theta)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.14)$$

ガイドレールの最大応力発生部材を図4-1の①，カートの最大応力発生部位を図4-1の②に示す。

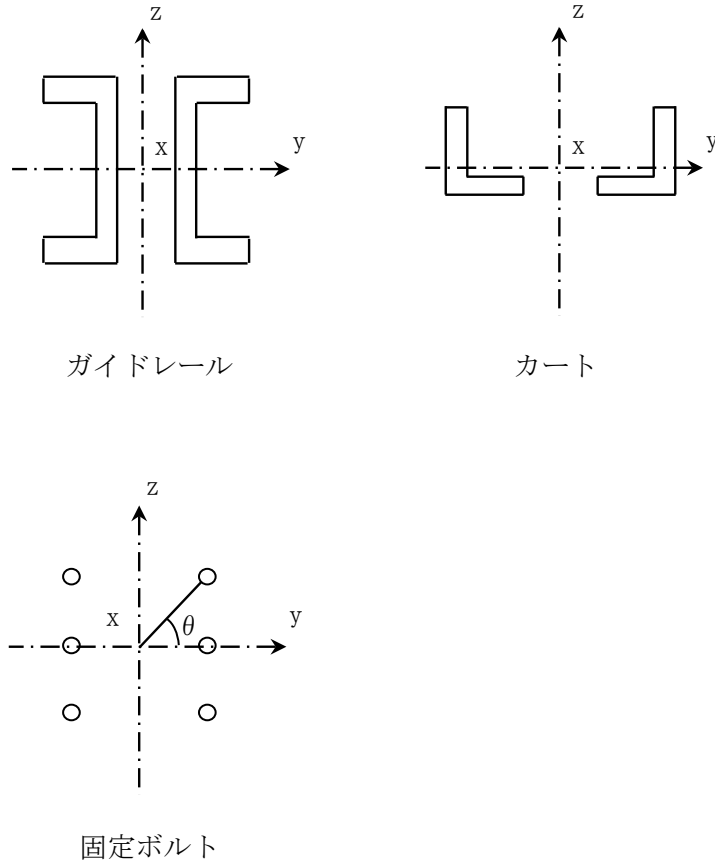


図4-7 部材断面

注：x, y, z は要素に与えられた座標軸で，x 軸は常に要素の長手方向にとる。

4.6.2 荷重の計算方法

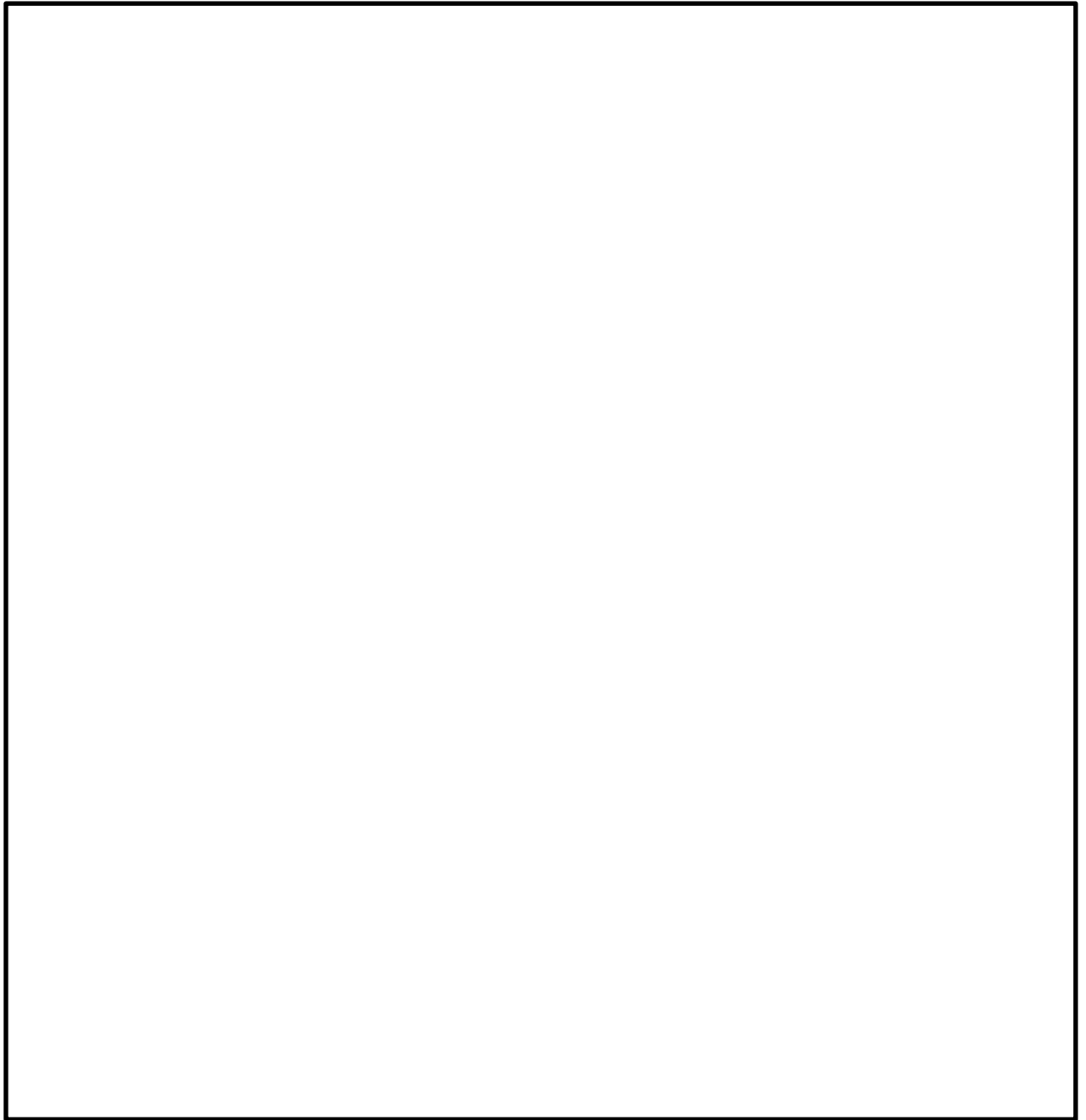


図 4-8 ローラチェーン

4.7 計算条件

耐震解析に用いる自重（着脱装置）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【着脱装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力及び荷重の評価

4.8.1 ガイドレール及びカートの応力評価

4.6.1 項で求めたガイドレール及びカートの各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.2 固定ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた固定ボルトの引張応力 σ_{1B} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}] \dots \dots \dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_{1B} は、せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3 吊具の荷重評価

4.6.2 項で求めたローラチェーンの荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

着脱装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

着脱装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s			最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			NS方向	EW方向	鉛直方向	NS方向設計震度	EW方向設計震度	鉛直方向設計震度		
チャンネル着脱装置	B	原子炉建物 EL 42.8*1							—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L (ローラチェーン) (N)
			NS方向	EW方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm^2)	Z_{pF} (mm^3)	Z_{yF} (mm^3)	Z_{zF} (mm^3)
カート				

部材	A_{1B} (mm^2)	Z_{pB} (mm^3)	Z_{yB} (mm^3)	Z_{zB} (mm^3)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

1.3 計算数値

1.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

1.3.2 カートの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

1.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 184$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 106$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 184$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 105$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 60$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 105$
固定ボルト		引張り	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 349$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。

すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S _s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル 着脱装置	—	原子炉建物 EL 42.8*1							—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）又はこれを上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

33

2.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L (ローラチェーン) (N)
			NS 方向	EW 方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)
カート				

部材	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
ガイドレール					
カート					
固定ボルト					

2.3 計算数値

2.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

2.3.2 カートの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

2.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 182$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 105$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 182$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 103$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 59$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 103$
固定ボルト		引張り	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 341$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出。

すべて許容応力以下である。

2.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S _s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

すべて許容荷重以下である。

VI-2-11-2-7-6 燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 適用規格・基準等	4
3. 構造強度評価	4
3.1 構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.3 計算条件	4
4. 評価結果	7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス設備である燃料プール冷却系ポンプ室冷却機（Bクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機は、原子炉建物原子炉棟中2階に設置される。燃料プール冷却系ポンプ室冷却機は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管に隣接していることから、転倒により原子炉補機冷却系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

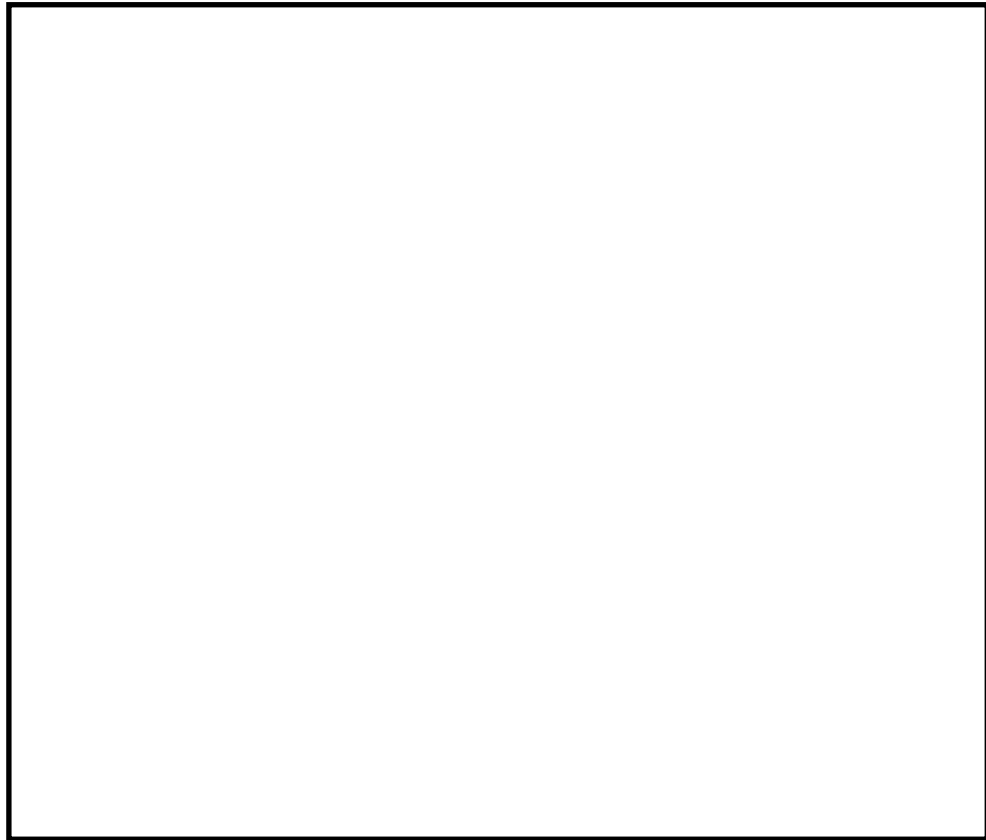


図2-1 燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の位置関係図

2.2 構造計画

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ファンはコイルチャンバに固定され、コイルチャンバは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直動型ファン プレートフィン型冷水コイル	

(単位：mm)

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	燃料プール冷却系 ポンプ室冷却機	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—
ファン取付ボルト	SS41* (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—
原動機取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—

注記* : SS400 相当

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却系ポンプ室冷却機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設
1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却系 ポンプ室冷却機	B	原子炉建物 EL 28.3 (EL 30.5 ^{*1})	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	C _H =3.61 ^{*3}	C _V =2.23 ^{*3}		—	55

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} ^{*1} (mm)	l _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							6	2
								3
ファン取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—
ファン取付ボルト (i=2)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ファン取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

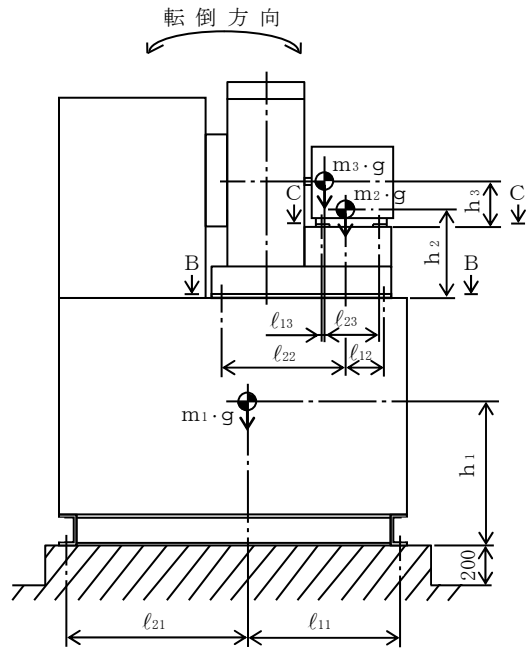
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

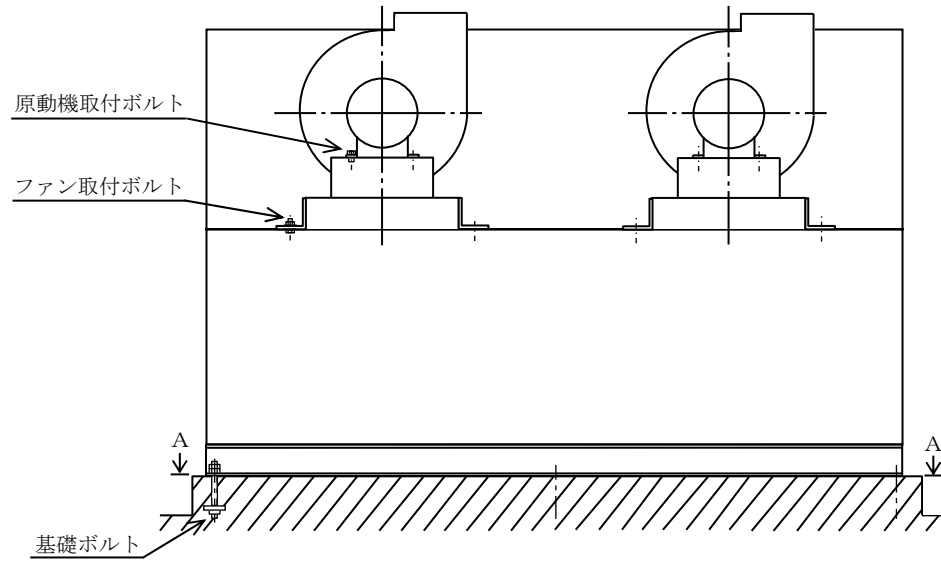
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=116$	$f_{ts1}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=64$	$f_{sb1}=145$
ファン取付ボルト (i=2)	SS41	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=188^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=145$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=188^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=9$	$f_{sb3}=145$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

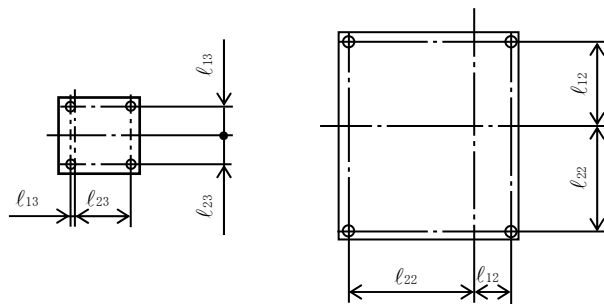


(軸方向転倒)



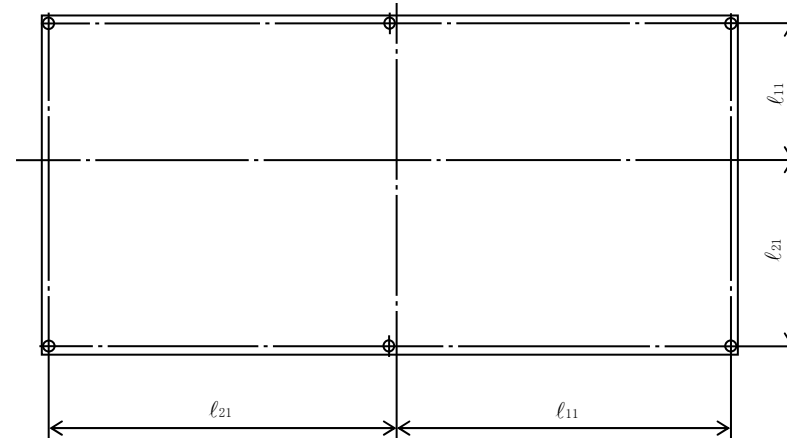
($l_{11} \leq l_{21}$)

(軸直角方向転倒)



C~C 矢視図
(原動機取付ボルト)

B~B 矢視図
(ファン取付ボルト)



A~A 矢視図
(基礎ボルト)

VI-2-11-2-7-12 高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の確認方法	7
4.3 固有周期の確認結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.5 計算条件	15
5.6 応力の評価	15
6. 評価結果	16
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	16
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	16

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、高光度航空障害灯管制器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣に設置された上位クラス施設である排気筒（非常用ガス処理系用）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

高光度航空障害灯管制器は、上位クラス施設である排気筒（非常用ガス処理系用）の隣に設置されており、高光度航空障害灯管制器の転倒時に上記上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがある。高光度航空障害灯管制器と排気筒（非常用ガス処理系用）の位置関係を図 2-1 に示す。

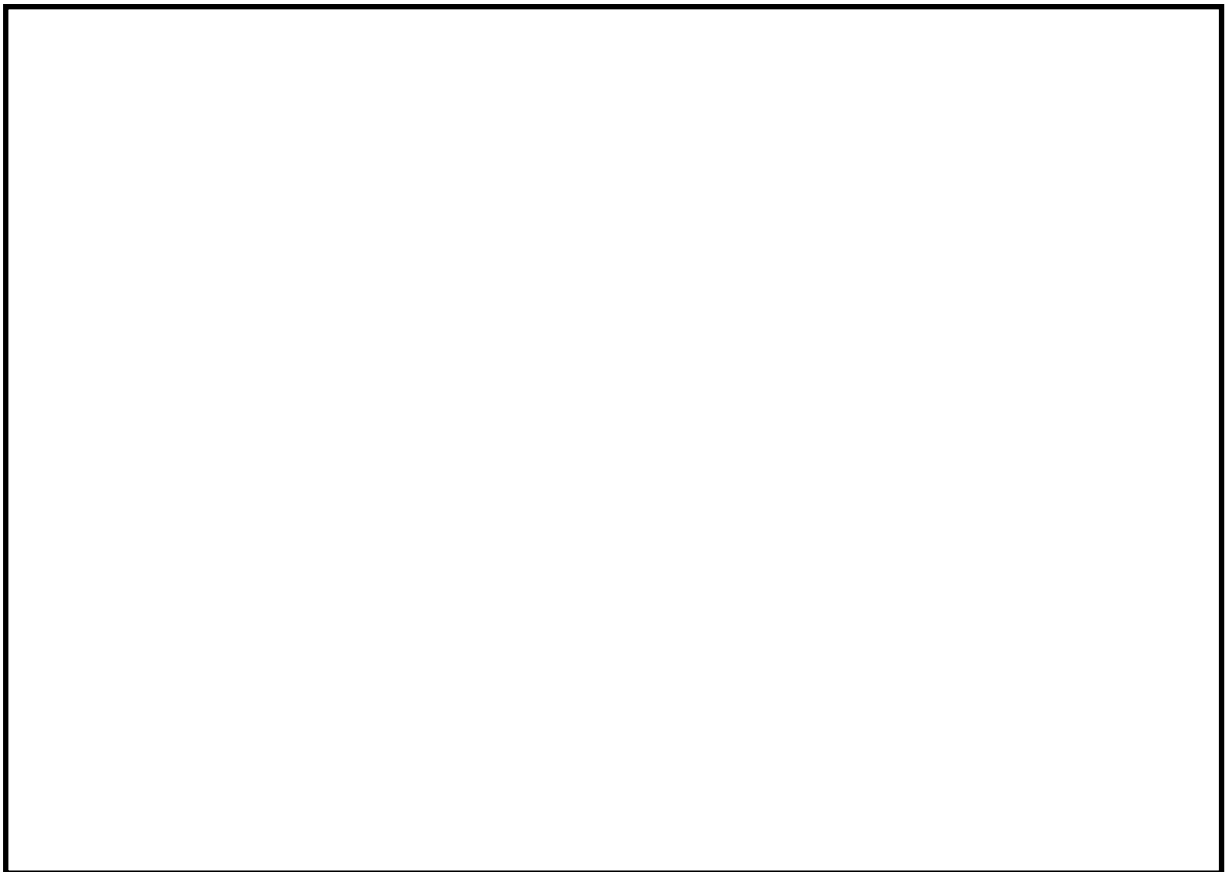


図 2-1 高光度航空障害灯管制器と排気筒（非常用ガス処理系用）の位置関係図

2.2 構造計画

高光度航空障害灯管制器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>高光度航空障害灯管制器は、基礎ボルトで基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【高光度航空障害灯管制器】</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>基礎ボルト</p> <p>コンクリート</p> <p>コンクリート</p> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向) (単位：mm)</p>

2.3 評価方針

高光度航空障害灯管制器の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示す高光度航空障害灯管制器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高光度航空障害灯管制器の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

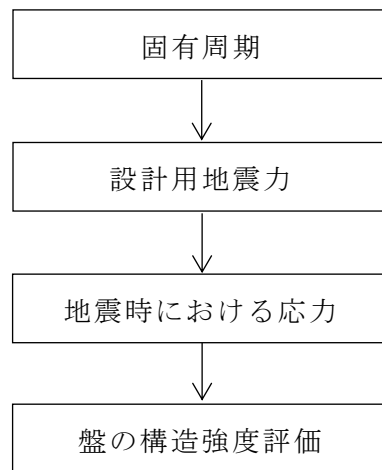


図 2-2 高光度航空障害灯管制器の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・
補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協
会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本
電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）
（以下「設計・建設規格」という。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$f_{s b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	高光度航空障害灯管制器の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P_K	風荷重	N
P_S	積雪荷重	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*： $l_1 \leq l_2$

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
速度圧	N/m ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高光度航空障害灯管制器の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

高光度航空障害灯管制器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

高光度航空障害灯管制器の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。高光度航空障害灯管制器の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 盤は基礎ボルトで床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 盤の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高光度航空障害灯管制器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高光度航空障害灯管制器の許容応力は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高光度航空障害灯管制器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を使用し、高光度航空障害灯管制器の形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 5-6 に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し、高光度航空障害灯管制器の形状を踏まえ、算出する。算出した積雪荷重を表 5-7 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	高光度航空障害灯管制器	—	—*	$D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_S$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	高光度航空障害灯管制器	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504	205

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504	205

表 5-6 基準速度圧（単位：N/m²）

作用する部位	基準速度圧
高光度航空障害灯管制器	855.4

表 5-7 積雪荷重（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
高光度航空障害灯管制器	336.0

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-8 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-8 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排気筒 EL8.5* ¹	□	□	—	—	$C_H = 3.33^{*2}$	$C_V = 1.25^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：柔構造のため固有周期に応じた設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）を用いる。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）又はこれを上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

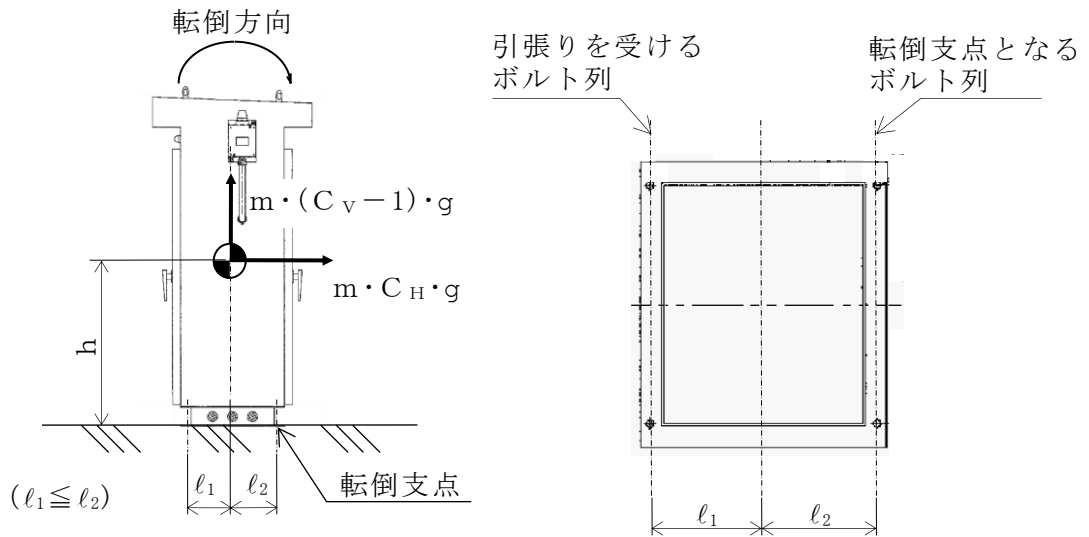


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

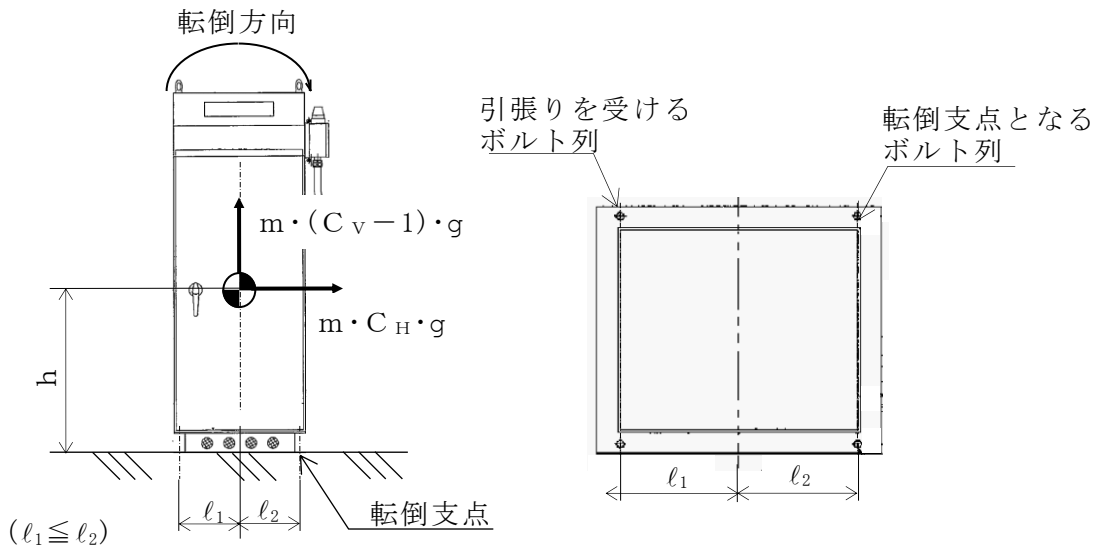


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{(m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot C_H \cdot h + P_K \cdot h - (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = (m \cdot g + 0.35 P_s) \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + P_K}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高光度航空障害灯管制器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件


機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高光度航空障害灯管制器	—	排気筒 EL8.5* ¹			—	—	C _H =3.33* ²	C _V =1.25* ³	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：柔構造のため固有周期に応じた設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を用いる。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

17 1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		825* ¹	12 (M12)	113.1	4	198	504

部材	l ₁ * ² (mm)	l ₂ * ² (mm)	n _f * ²	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	240	240	2	—	205	—	短辺方向
	250	250	2				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

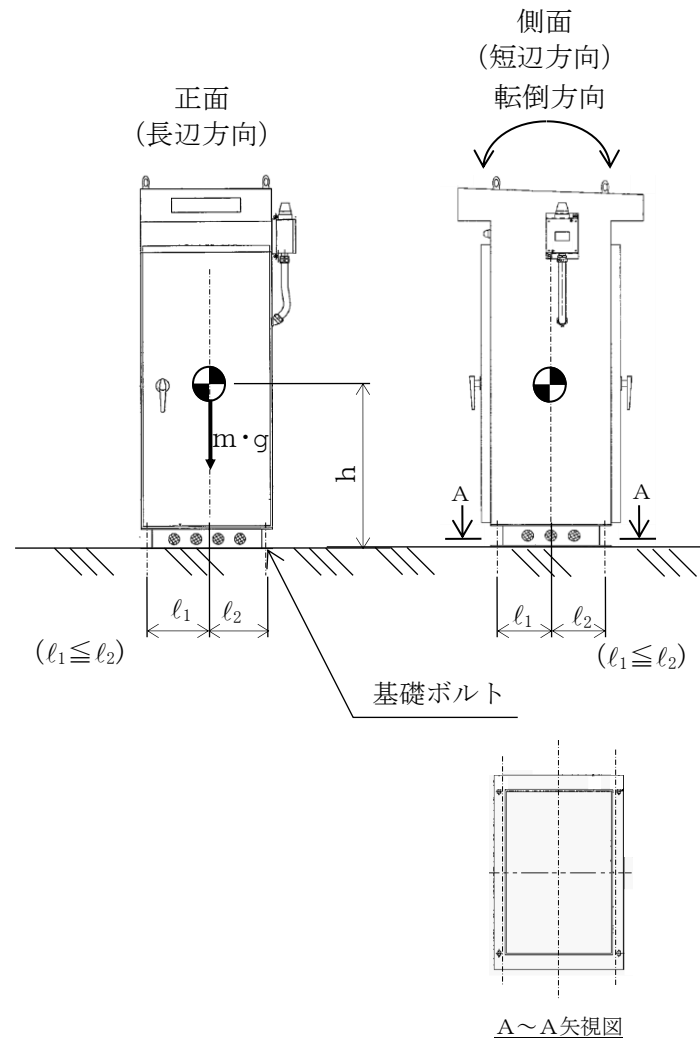
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_b = 111$	$f_{ts} = 123^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 32$	$f_{sb} = 94$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$



VI-2-11-2-9 原子炉ウェルシールドプラグの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
3. 評価部位	5
4. 耐震評価	6
4.1 評価概要	6
4.2 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2.1 荷重	6
4.2.2 荷重の組合せ	7
4.3 評価基準値	8
4.4 使用材料及び材料の許容応力度	9
4.5 応力評価方法	10
4.6 計算条件	10
4.7 評価方法	10
5. 評価結果	11

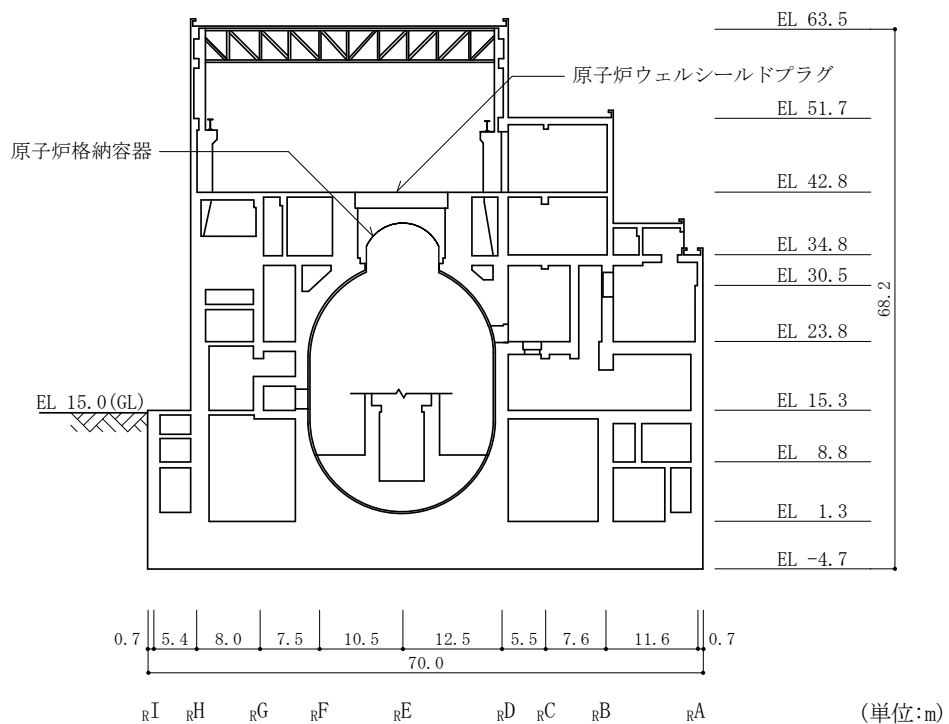
1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉ウェルシールドプラグが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉ウェルシールドプラグは、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉格納容器の上部に設置されており、落下時に原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



注：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

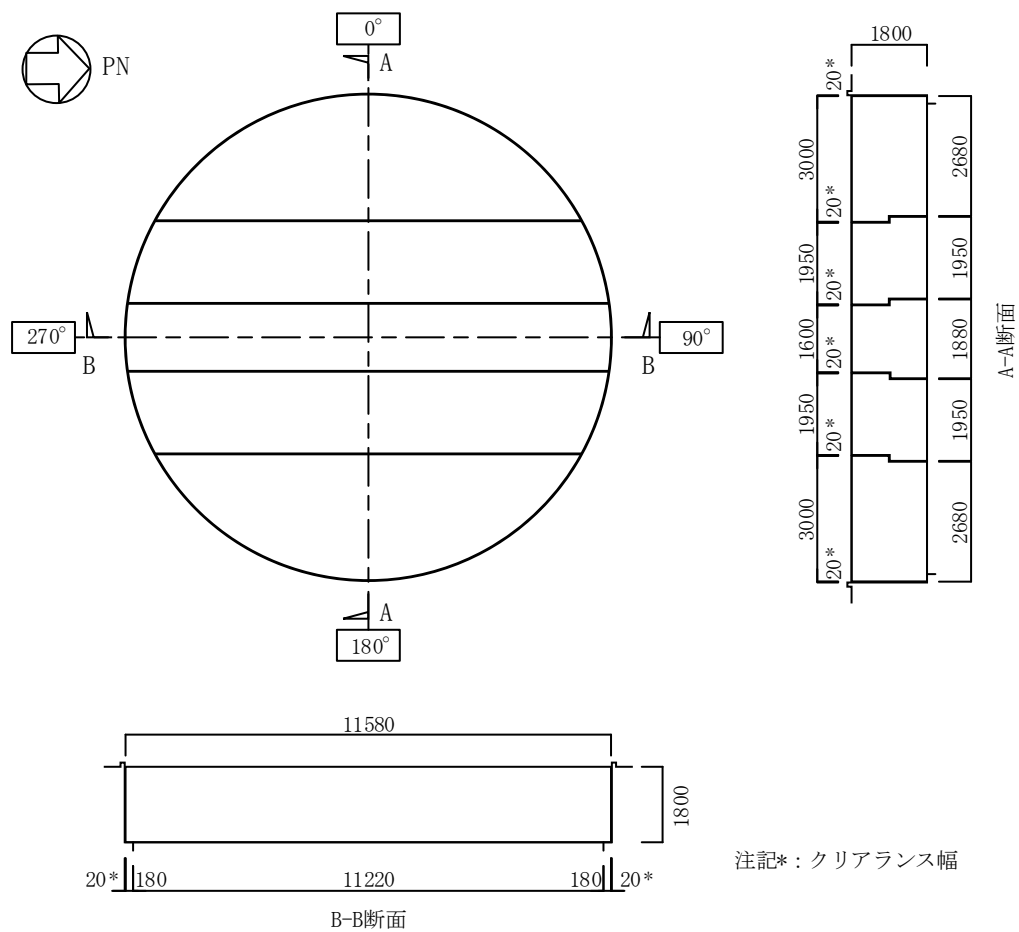
図 2-1 原子炉ウェルシールドプラグと原子炉格納容器の位置関係図

2.2 構造概要

図 2-2 に原子炉ウェルシールドプラグ概要図を示す。原子炉ウェルシールドプラグは、原子炉格納容器直上の燃料取替床 (EL 42.8m) に設置された鉄筋コンクリート造の構造物である。

その大きさは、全体で最外径 11.58m、厚さ 1.8m の円盤状となっており、クレーンでの取外しを考慮して 5 分割で構成されている。

原子炉ウェルシールドプラグは、円盤外周部が原子炉建物躯体に支持されている。



2.3 評価方針

原子炉ウェルシールドプラグの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3. 耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2 構造概要」に示す原子炉ウェルシールドプラグの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する部位において応力が評価基準値内に収まることを、「4. 耐震評価」に示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。地震荷重の設定については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。

原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

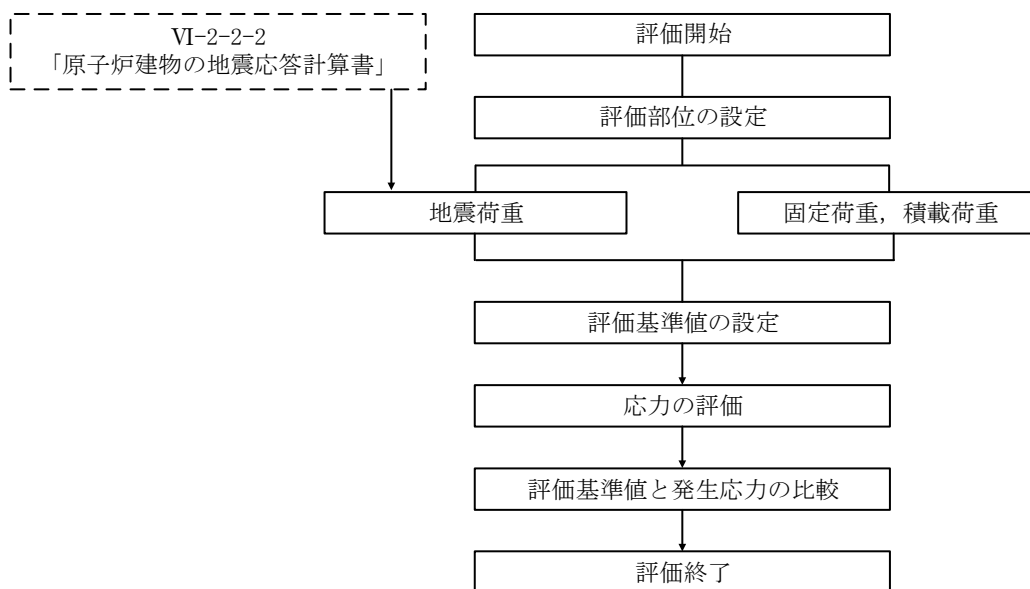


図 2-3 原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉ウェルシールドプラグの波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)

3. 評価部位

原子炉ウェルシールドプラグが落下することにより、波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、原子炉ウェルシールドプラグ本体（以下「シールドプラグ本体」という。）及び原子炉建物躯体の支持部（以下「支持部」という。）を評価部位として選定する。

評価部位を図 3-1 に示す。シールドプラグ本体は、原子炉建物の躯体に端部で支持されているため、耐震評価は支持スパンが最も長い中央のシールドプラグ本体及び支持部について行う。

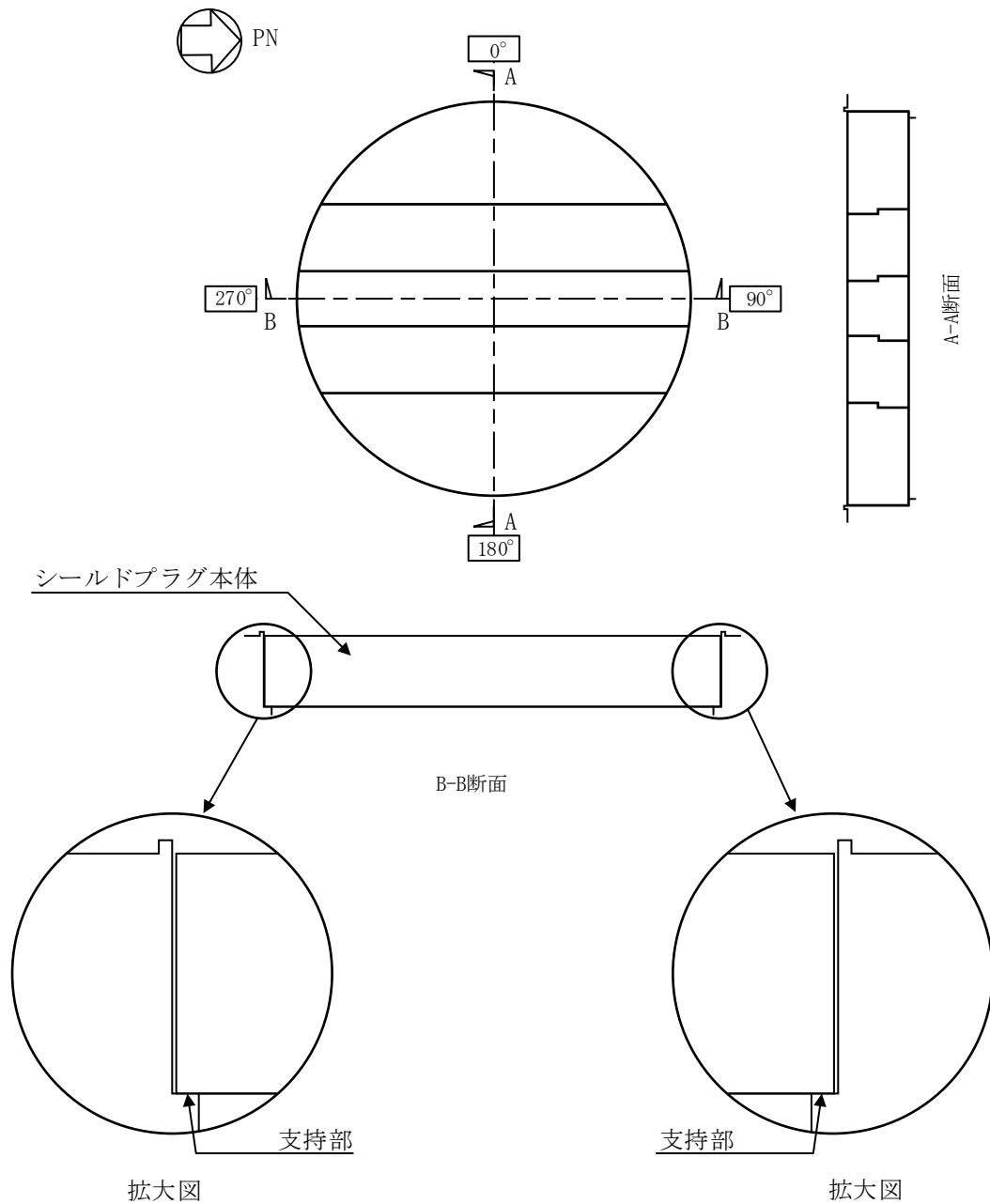


図 3-1 原子炉ウェルシールドプラグの評価部位

4. 耐震評価

4.1 評価概要

シールドプラグ本体及び支持部に対する評価方法を表 4-1 に示す。
評価用応力が評価基準値より小さいことを確認する。

表 4-1 評価方法

部位	評価用応力	評価基準値
シールドプラグ本体	曲げモーメント	許容曲げモーメント
	せん断力	許容せん断力
支持部	圧縮力	許容圧縮力

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、シールドプラグ本体の自重を考慮する。

なお、シールドプラグ本体の重量は、鉄筋コンクリート、鉄板型枠等を考慮して 25.2kN/m^3 とする。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、 0.6kN/m^2 を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。鉛直方向の慣性力によりシールドプラグ本体に作用する地震荷重が面外方向に作用するのに対し、水平方向の慣性力によりシールドプラグ本体に作用する水平荷重は剛性の高い面内方向に作用する。また、水平方向の慣性力が作用した際にシールドプラグ本体を支持する領域は、鉛直方向の慣性力が作用した際にシールドプラグ本体を支持する領域より広いことから、鉛直方向の慣性力に対して検討を行う。

地震荷重はシールドプラグ本体の固定荷重と積載荷重の和に評価用鉛直震度 C_v を乗じた下式により算定する。

$$S_s = (G + P) \cdot C_v \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

評価用鉛直震度 C_v は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による基準地震動 S_s の地震応答解析結果から算定された、シールドプラグ本体の設置レベ

ル (EL 42.8m) における最大応答鉛直加速度から設定する。最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度 C_v を表 4-2 に示す。

表 4-2 最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度

	最大応答鉛直加速度 (m/s ²)					評価用鉛直震度 C_v
	ケース 1*	ケース 2*	ケース 3*	ケース 4*	最大値	
コンクリート剛性	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度		最大値
地盤物性	標準地盤	標準地盤 + σ	標準地盤 - σ	標準地盤		
積雪荷重	非考慮	非考慮	非考慮	考慮		
算定結果	13.35	14.78	12.44	13.39	14.78	

注記* : $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2$ の最大値

4.2.2 荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

荷重の組合せ
G + P + S_s

4.3 評価基準値

評価に用いる許容荷重を以下に示す。

シールドプラグ本体の許容曲げモーメント M_a 及び許容せん断力 Q_a は下式により算定する。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

$$Q_a = f_s \cdot B \cdot j \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

$$j = (7/8) \cdot d \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで、

- a_t : 引張鉄筋量 (m²)
- f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (短期) (N/mm²)
- j : 曲げ材の応力中心距離 (m)
- f_s : コンクリートの許容せん断応力度 (短期) (N/mm²)
- B : シールドプラグ本体部材幅 (m)
- d : 曲げ材の有効せい (m)

支持部の許容圧縮力 N_a は、下式により算定する。

$$N_a = f_c \cdot A_c \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$A_c = B \cdot \varnothing \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

ここで、

- f_c : コンクリートの許容圧縮応力度 (短期) (N/mm²)
- A_c : 支持部水平投影面積 (m²)
- \varnothing : かかり代 (m)

4.4 使用材料及び材料の許容応力度

コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 23.5N/mm^2 とする。鉄筋はSD35（SD345相当）を使用する。各使用材料の許容応力度を表4-4及び表4-5に示す。

表4-4 コンクリートの許容応力度

(単位： N/mm^2)

普通コンクリート	設計基準強度 F_c	短期	
		圧縮 f_c	せん断 f_s
	23.5	15.6	1.08

表4-5 鉄筋の許容応力度

(単位： N/mm^2)

鉄筋	材料種別	短期
		引張 f_t
	SD35 (SD345相当)	345

4.5 応力評価方法

シールドプラグ本体に生じる曲げモーメント M 及びせん断力 Q は、単純ばりとして下式により算定する。

$$M = (1/8) \cdot w \cdot L^2 \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

$$Q = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

ここで、

w : 評価用荷重 (kN/m)

L : 支持スパン (m)

支持部には、シールドプラグ本体からの反力が圧縮力として作用する。支持部に作用する圧縮力 N は、下式により算定する。

$$N = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

4.6 計算条件

評価基準値及び評価用応力の計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 評価基準値及び評価用応力の計算条件

a_t ($\times 10^{-2}m^2$)	d (m)	B (m)	\varnothing (m)	w (kN/m)	L (m)
1.026	1.35	1.88*	0.18	200.47	11.58

注記* : 許容せん断力 Q_a の計算では、安全側にシールドプラグ本体の上端の部材幅 1.60m を用いる。

4.7 評価方法

「4.5 応力評価方法」で求めた曲げモーメント M 、せん断力 Q 及び支持部に作用する圧縮力 N が「4.3 評価基準値」で求めた許容曲げモーメント M_a 、許容せん断力 Q_a 及び許容圧縮力 N_a より小さいことを確認する。

5. 評価結果

原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価結果を表 5-1 に示す。各部の評価用応力は評価基準値を満足しており，下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 原子炉ウェルシールドプラグの耐震評価結果

部位	応力	評価用応力	評価基準値
シールド プラグ本体	曲げモーメント (kN・m)	3361	4180
	せん断力 (kN)	1161	2040
支持部	圧縮力 (kN)	1161	5279