

VI-2-3 原子炉本体の耐震性に関する説明書

VI-2-3-1 原子炉本体の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉本体の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉本体に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉本体の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉本体	炉心	燃料集合体	—	有	VI-2-3-2-1	—	—	—
	炉心支持構造物	炉心シュラウド	S	無	VI-2-3-2-2-2	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1
		シュラウドサポート	S	有	VI-2-3-2-2-3	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1
		上部格子板	S	無	VI-2-3-2-2-4	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1
		炉心支持板	S	無	VI-2-3-2-2-5	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/4)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉 本体	炉心支持 構造物	燃料支持金具	S	—*2	VI-2-3-2-2-6	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1	
		制御棒案内管	S	有	VI-2-3-2-2-7	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*1	
	原子炉圧力 容器	原子炉圧力容器	S	有	VI-2-3-3-1-2	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*3	
		原子炉圧力 容器 付属 構造物	原子炉圧力容器スタ ビライザ	S	有	VI-2-3-3-2-1	—	—	—
			原子炉格納容器スタ ビライザ	S	有	VI-2-3-3-2-2	—	—	—
			制御棒駆動機構ハウ ジング支持金具	S	有	VI-2-3-3-2-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/4)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉 本体	原子炉 圧力 容器 付 属 構 造 物	ジェットポンプ計測配管 貫通部シール	S	無	VI-2-3-3-2-4	—	—	—
		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)	S	無	VI-2-3-3-2-5	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	—	—*3
	原子炉 圧力 容器 内 部 構 造 物	蒸気乾燥器	S	有	VI-2-3-3-3-2	—	—	—
		気水分離器及びスタンド パイプ	S	有	VI-2-3-3-3-3	—	—	—
		シュラウドヘッド	S	無	VI-2-3-3-3-4	—	—	—
		ジェットポンプ	S	無	VI-2-3-3-3-5	(原子炉冷却系 統施設に記載)	有	VI-2-3-3-3-5
給水スパージャ	S	無	VI-2-3-3-3-6	(原子炉冷却系 統施設及び原子 炉格納施設に記 載)	有	VI-2-3-3-3-6		

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/4)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉 本体	原子炉 圧力容器	原子炉 圧力容器 内部 構造物	高压及び低压炉心スプレ イスパージャ	S	無	VI-2-3-3-3-7	(原子炉冷却系 統施設に記載)	有	VI-2-3-3-3-7
			低压注水系配管(原子炉圧 力容器内部)	S	無	VI-2-3-3-3-8	(原子炉冷却系 統施設及び原子 炉格納施設に記 載)	有	VI-2-3-3-3-8
			高压及び低压炉心スプレ イ系配管(原子炉圧力容器 内部)	S	無	VI-2-3-3-3-9	(原子炉冷却系 統施設に記載)	有	VI-2-3-3-3-9
			差圧検出・ほう酸水注入系 配管(原子炉圧力容器内 部)	S	無	VI-2-3-3-3-10	(原子炉冷却系 統施設, 計測制 御系統施設及び 原子炉格納施設 に記載)	有	VI-2-3-3-3-10
			原子炉中性子計装案内管	S	有	VI-2-3-3-3-11	—	—	—

注記*1: 炉心支持構造物については, 重大事故等対処設備の耐震評価は, 設計基準対象施設の耐震評価に包絡されることから評価省略

*2: 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外

*3: 原子炉圧力容器については, 重大事故等対処設備の耐震評価は, 設計基準対象施設の耐震評価に包絡されることから評価省略

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 評価結果	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 評価結果	19
5.6 まとめ	20
6. 引用文献	54
付録1 応力計算結果の応力分類処理方法	55

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機能は、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 J E A G 4 6 0 1 ・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ことから、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面が制御棒^{*1}の通路を構成する。</p>	<p>9×9燃料（A型）^{*2}の燃料集合体は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り，9×9燃料（B型）は1本の角管のウォータチャンネルがある。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機能は、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機能は、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 1-1987（(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

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（=9.80665）	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	燃料被覆管の外表面周方向最大温度差	°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

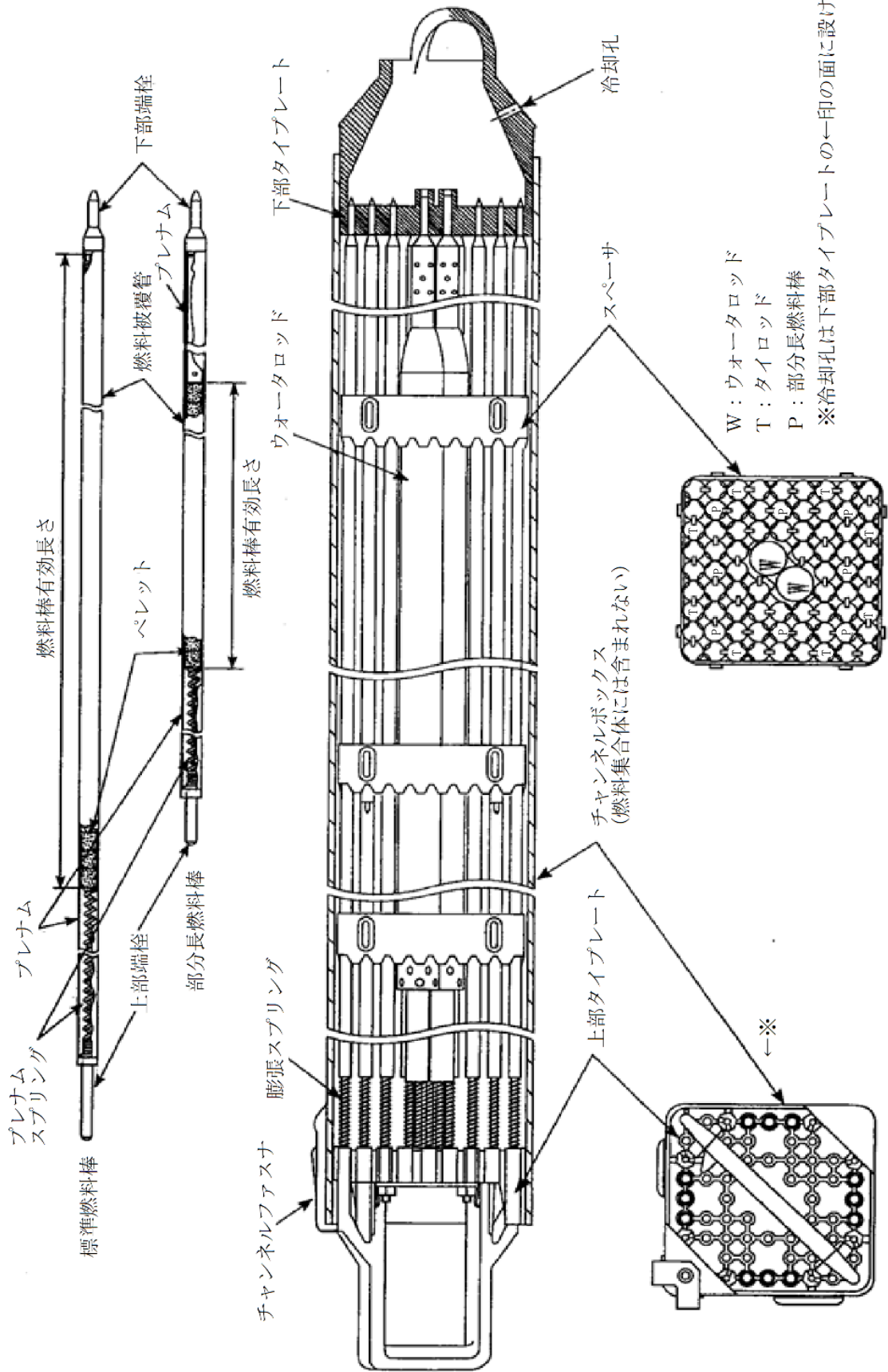


図 2-1 9 × 9 燃料 (A 型) 燃料集合体の詳細図

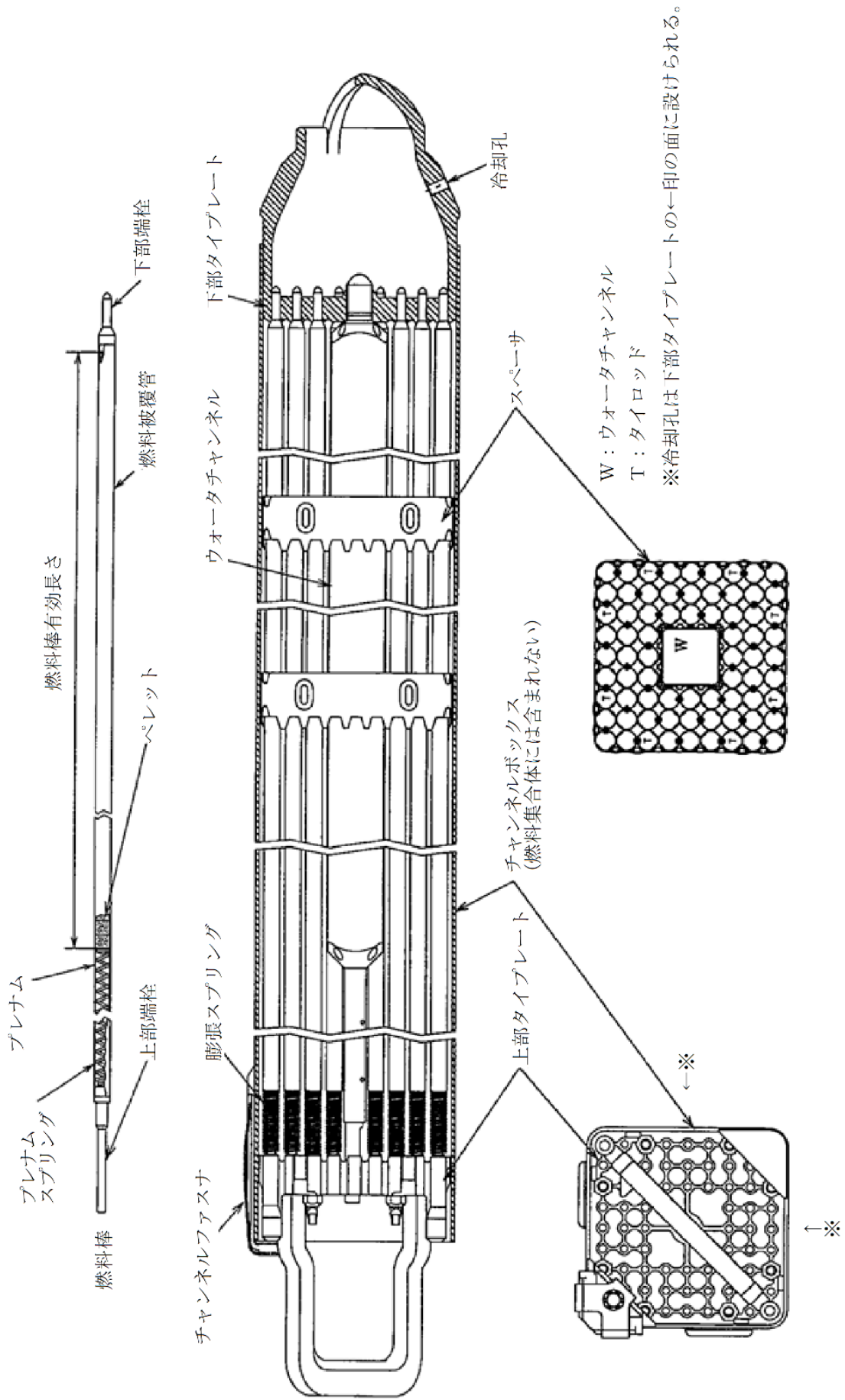


図 2-2 9 × 9 燃料 (B 型) 燃料集合体の詳細図

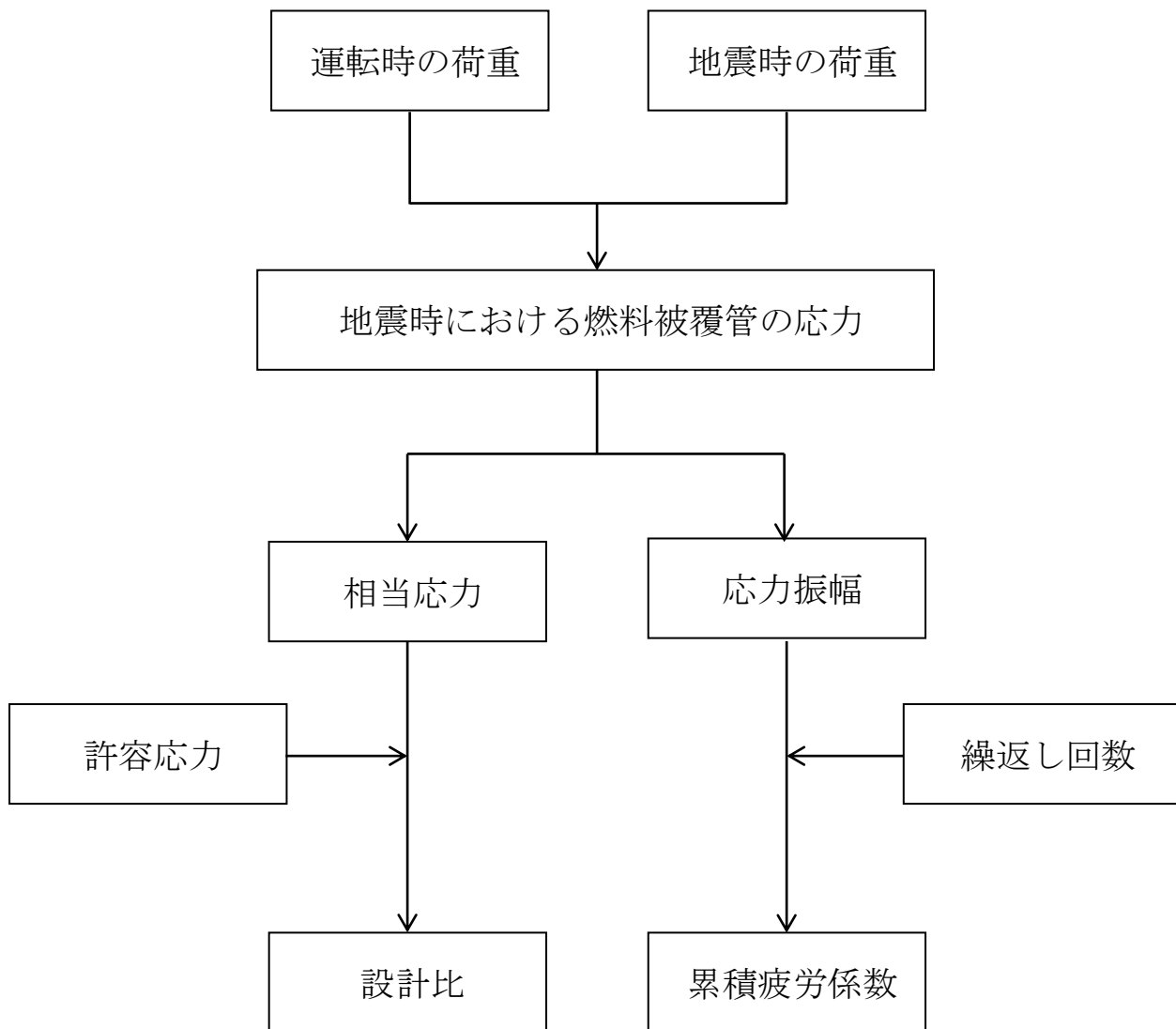


図 2-3 地震時の燃料被覆管の耐震評価フロー

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、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を適用する。

応答解析は、時刻歴応答解析法を適用して建物の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ケースを考慮した解析も実施している。

地震時に燃料集合体へ要求される制御棒挿入機能の確保、崩壊熱除去可能な形状維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持の評価においては、基本ケース及び材料物性の不確かさケース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/s² (S s), 38.9m/s² (S d) 及び最大鉛直加速度 15.1m/s² (S s), 7.6m/s² (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/s² (S s), 21.6m/s² (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へ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。そのため、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5-6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5-7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 5-8 及び図 5-9 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。

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 評価結果

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5-10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5-11から図5-13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 5-14 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 「圧力容器の構造—特定規格 附属書 8 (規定) 圧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 5-15 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 5-15 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) は、150 回 (S s) 及び 300 回 (S d) を用いる。

5.5.4 評価結果

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 まとめ

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、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 ^{*4}	
		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。

*4：「実用発電用原子炉の燃料体に対する地震の影響の考慮について（平成29年2月15日，原子力規制庁）」に基づき許容限界を設定する。

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) ^{*1}	40.2 (S_s)／38.9 (S_d)
鉛直方向加速度： G_v (m/s^2) ^{*1}	15.1 (S_s)／7.6 (S_d)
燃料集合体変位： Y (mm) ^{*2}	35.0 (S_s)／33.9 (S_d)

注記*1：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。なお、鉛直方向加速度は、設計用震度 I（基準地震動 (S_s , S_d)) を上回る設計震度

*2：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」に記載の値を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する。

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 _{cr}	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	$\pi (r_1^4 - r_2^4) / (4r_1)$	
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) ^{*1}	40.2 (S_s)／38.9 (S_d)
鉛直方向加速度： G_v (m/s^2) ^{*1}	15.1 (S_s)／7.6 (S_d)
燃料集合体変位： Y (mm) ^{*2}	35.0 (S_s)／33.9 (S_d)

注記*1：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。なお、鉛直方向加速度は、設計用震度 I（基準地震動 (S_s , S_d)) を上回る設計震度

*2：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」に記載の値を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する。

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	地震時
燃料棒のたわみに基づく曲げ荷重（曲げ応力）	
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* : 燃料の全寿命を通した疲労累積係数 (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* : 燃料の全寿命を通した疲労累積係数 (約 0.006, 引用文献(6)参照) を付加しても 1 を下回っている。

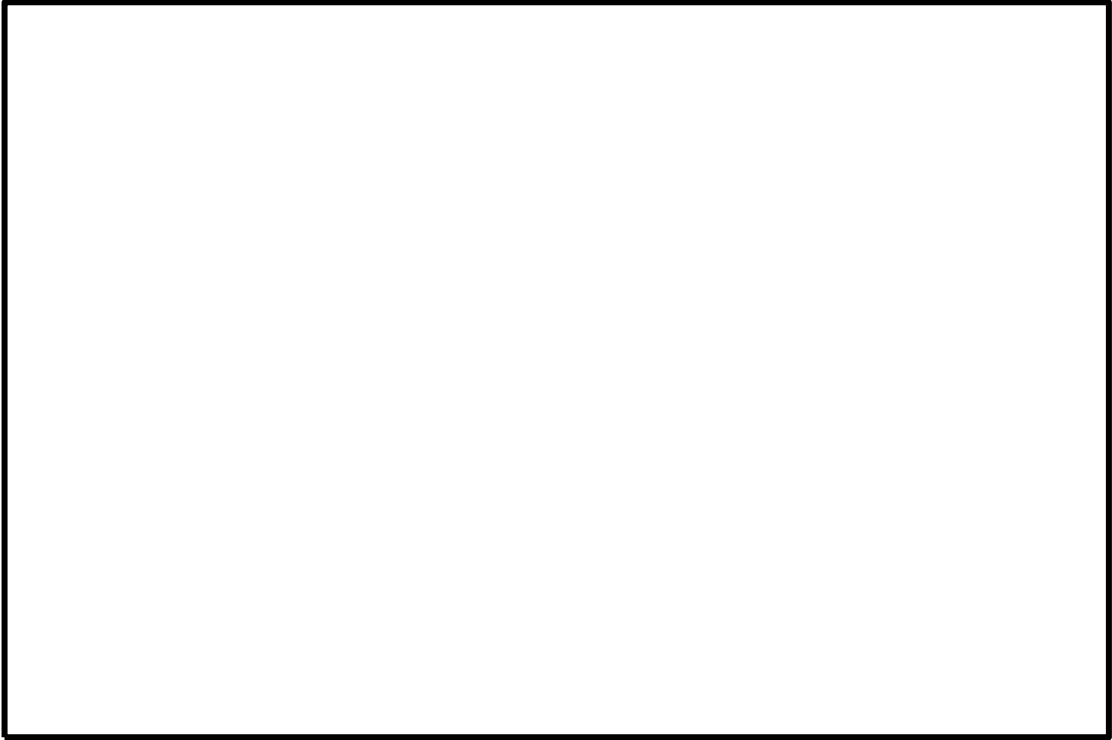


図 5-1 ジルカロイ-2 降伏応力の設計値 (公称値*) (9×9 燃料 (A型))

注記* : データ分布上の公称値を示す。

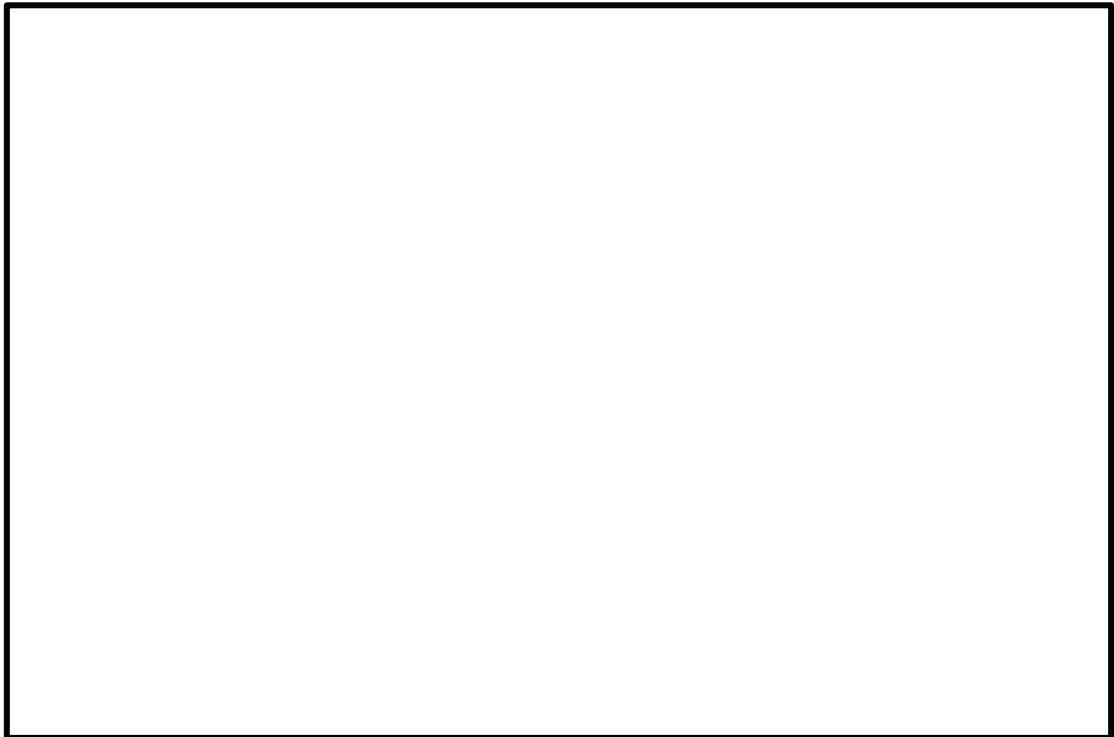


図 5-2 ジルカロイ-2 引張強さの設計値 (公称値*) (9×9 燃料 (A型))

注記* : データ分布上の公称値を示す。

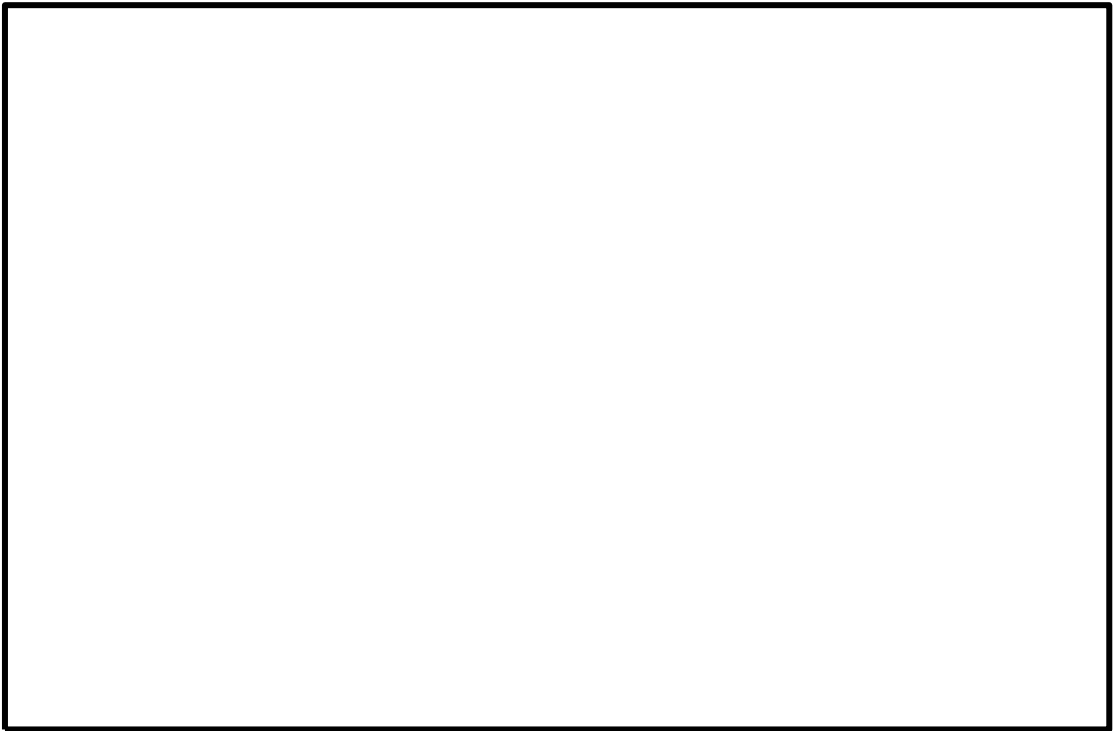


図 5-3 ジルカロイ-2 降伏応力及び引張強さの設計値 (95%確率下限値)
(9 × 9 燃料 (A型) 下部端栓溶接部)

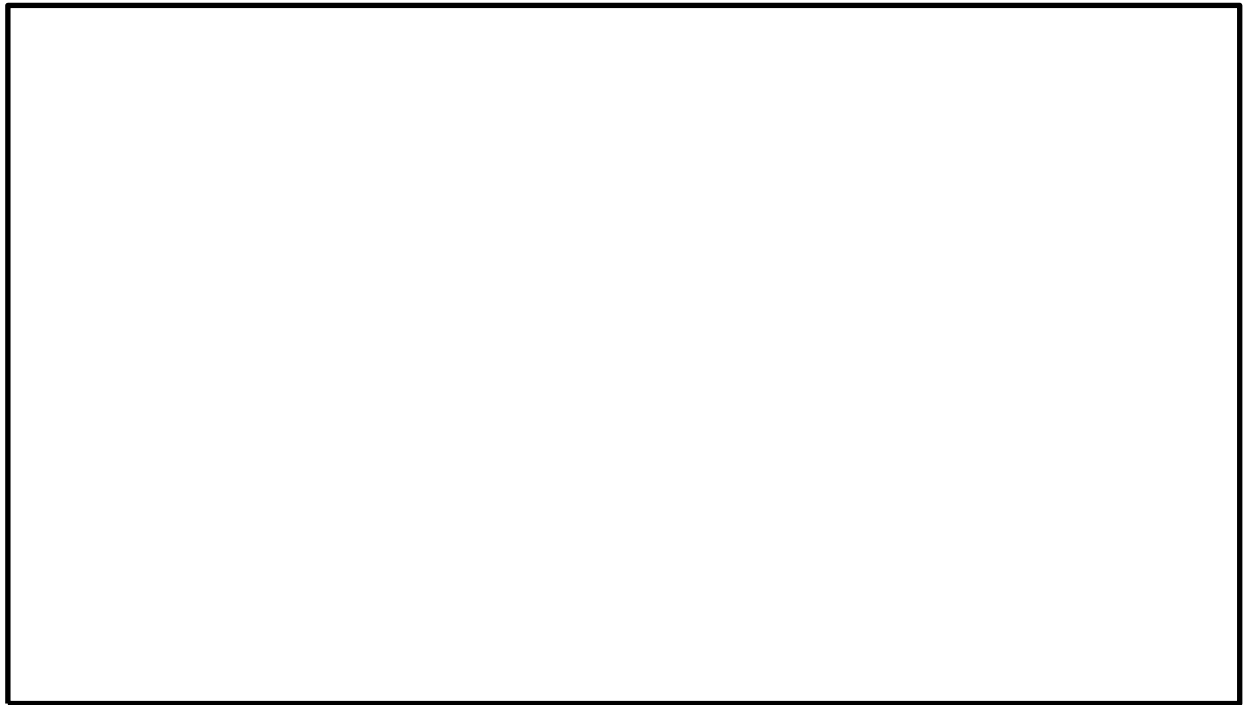


図 5-4 ジルカロイ-2 降伏応力の設計値（公称値*）
（9×9燃料（B型）スペーサ間及びスペーサ部）

注記*：データ分布上の公称値を示す。

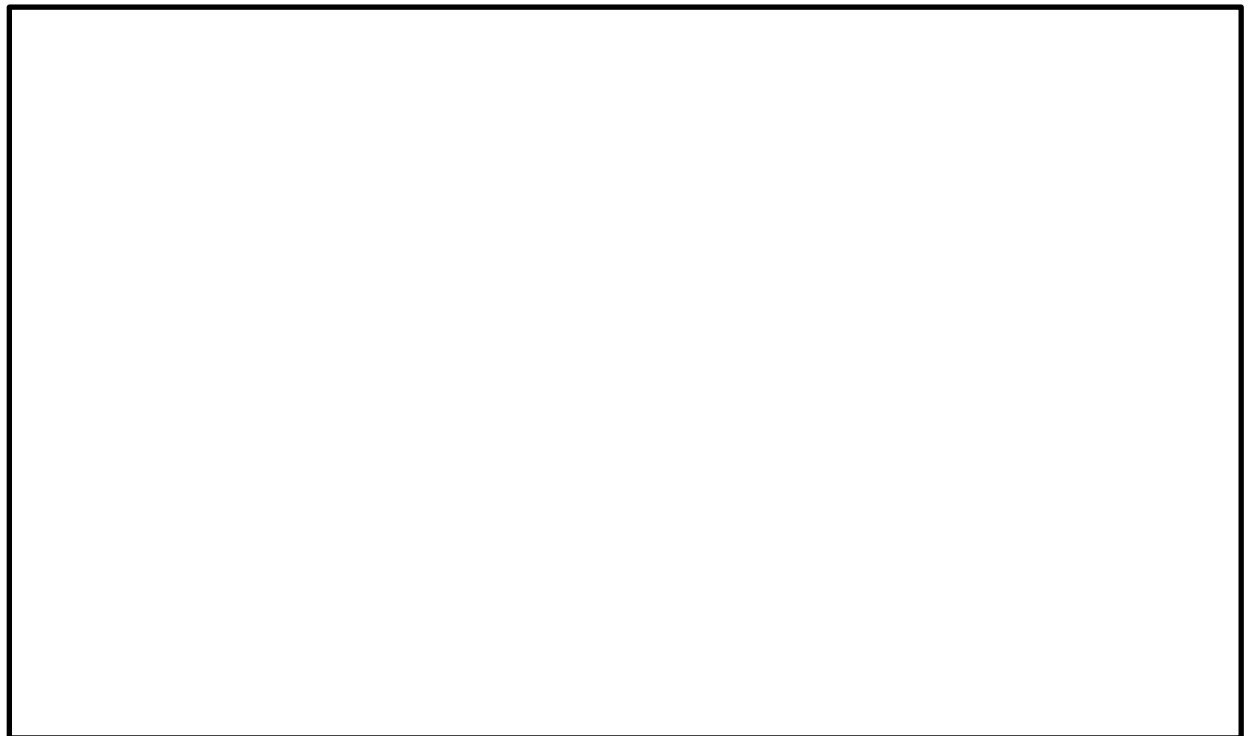


図 5-5 ジルカロイ-2 引張強さの設計値（公称値*）
（9×9燃料（B型）スペーサ間及びスペーサ部）

注記*：データ分布上の公称値を示す。

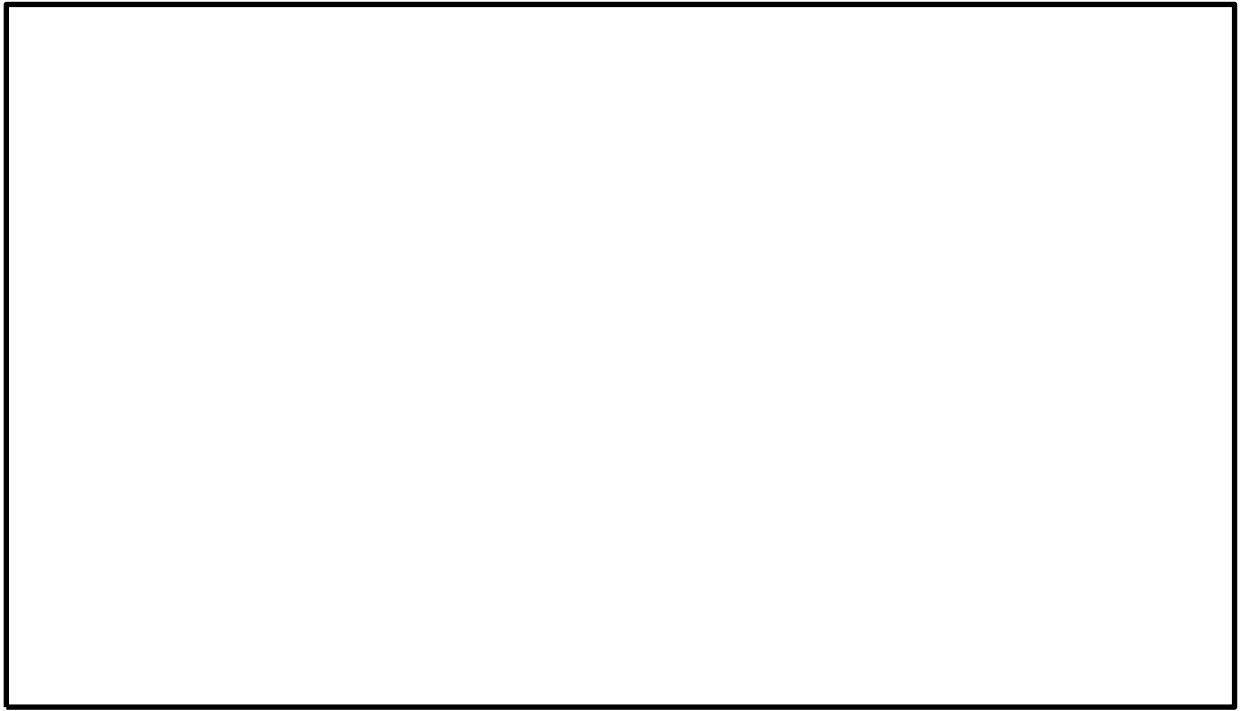


図 5-6 ジルカロイ-2 降伏応力及び引張強さの設計値 (95%確率下限値)
(9 × 9 燃料 (B 型) 下部端栓溶接部)

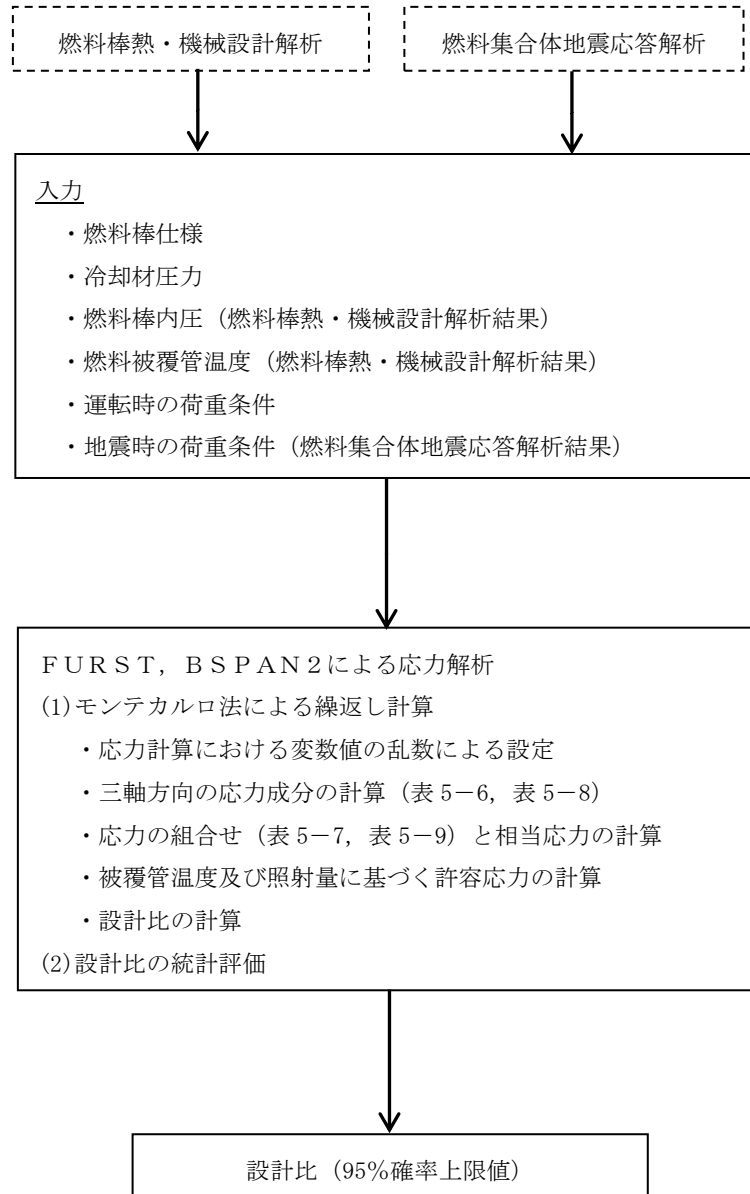


図 5-7 地震時のスペーサ間及びスペーサ部の応力評価のフロー

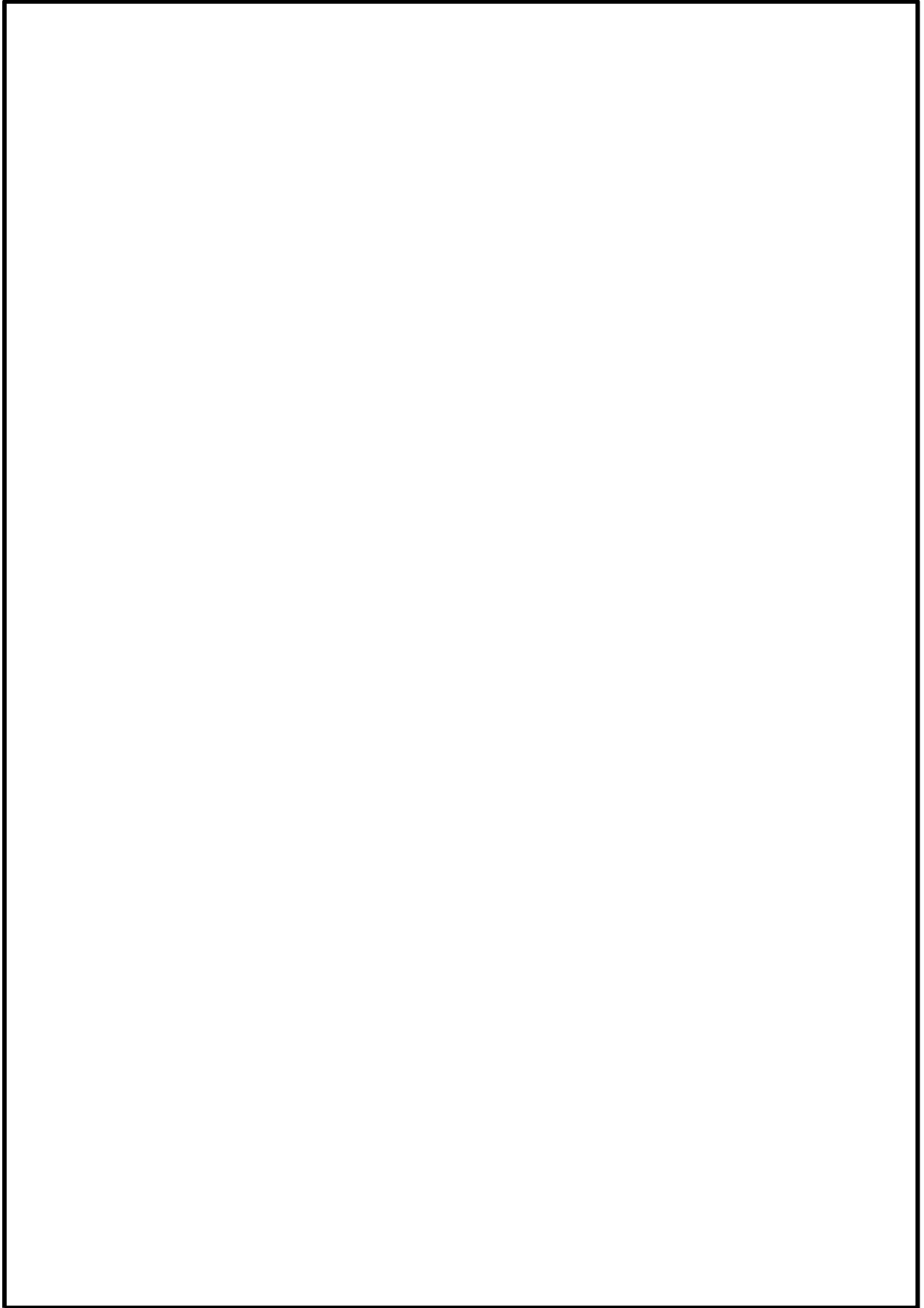


図 5-8 スペーサ間及びスペーサ部の応力の模式図（9×9燃料（A型））

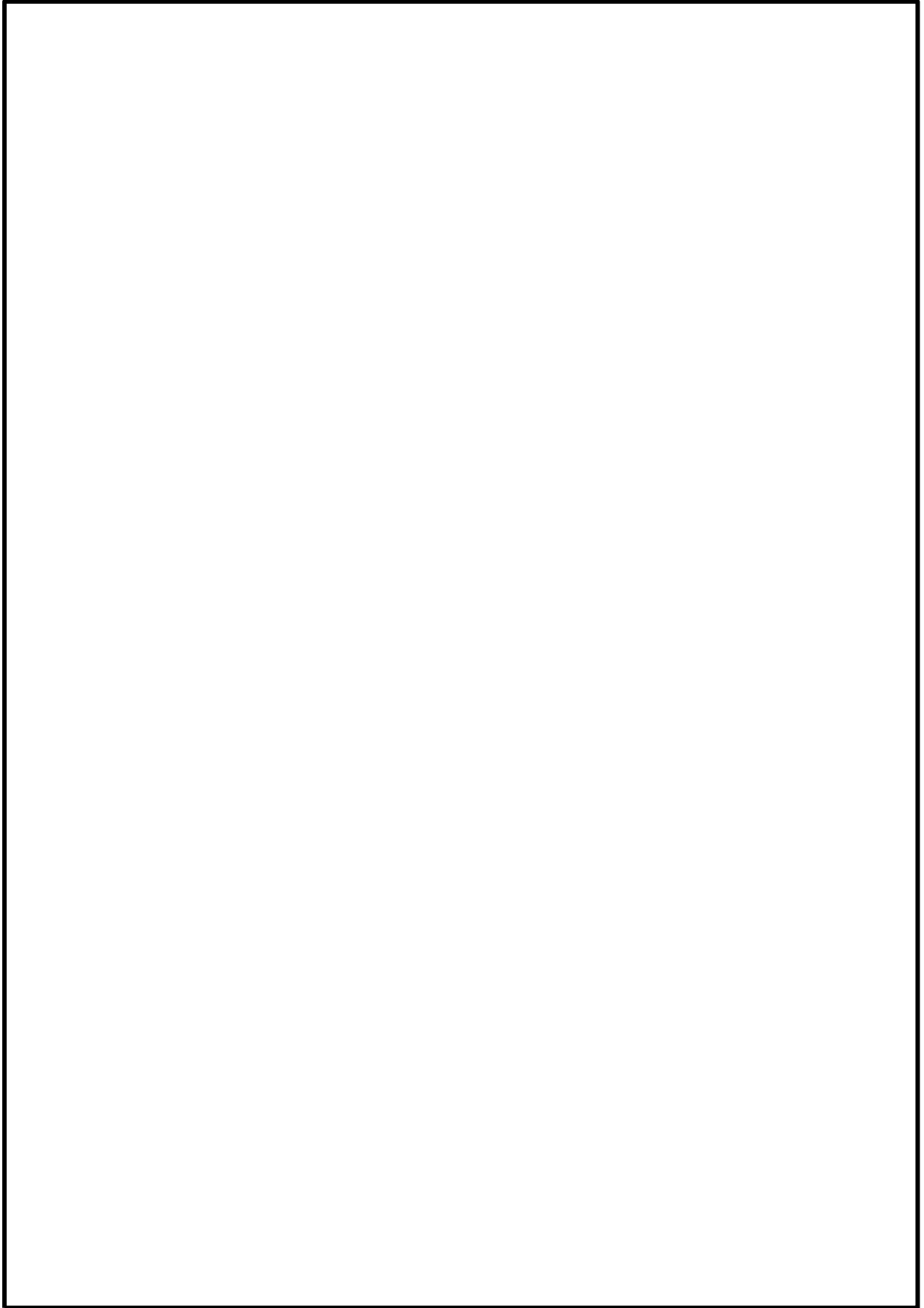


図 5-9 スペーサ間及びスペーサ部の応力の模式図（9×9燃料（B型））

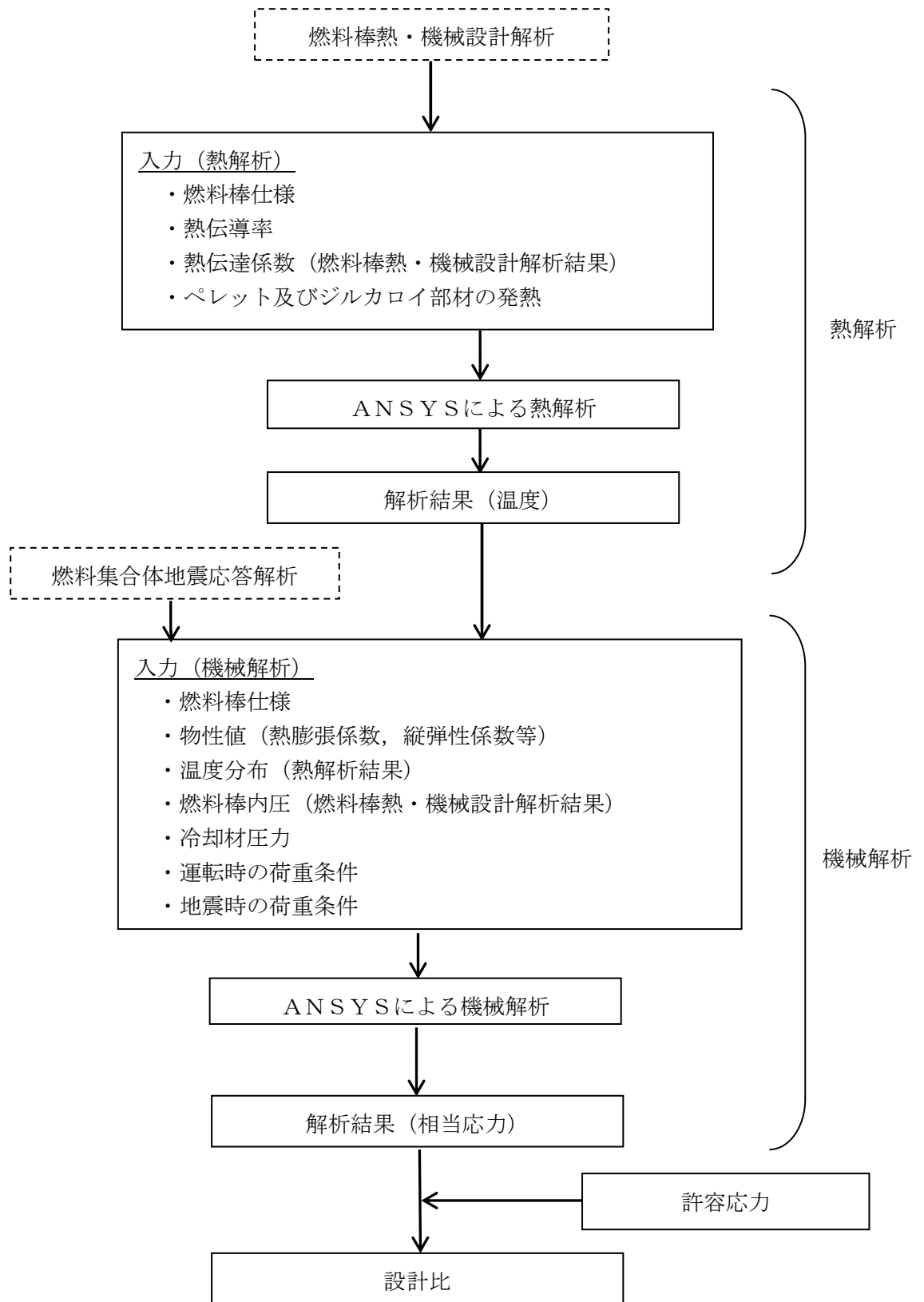


図 5-10 地震時の下部端栓溶接部の応力評価のフロー

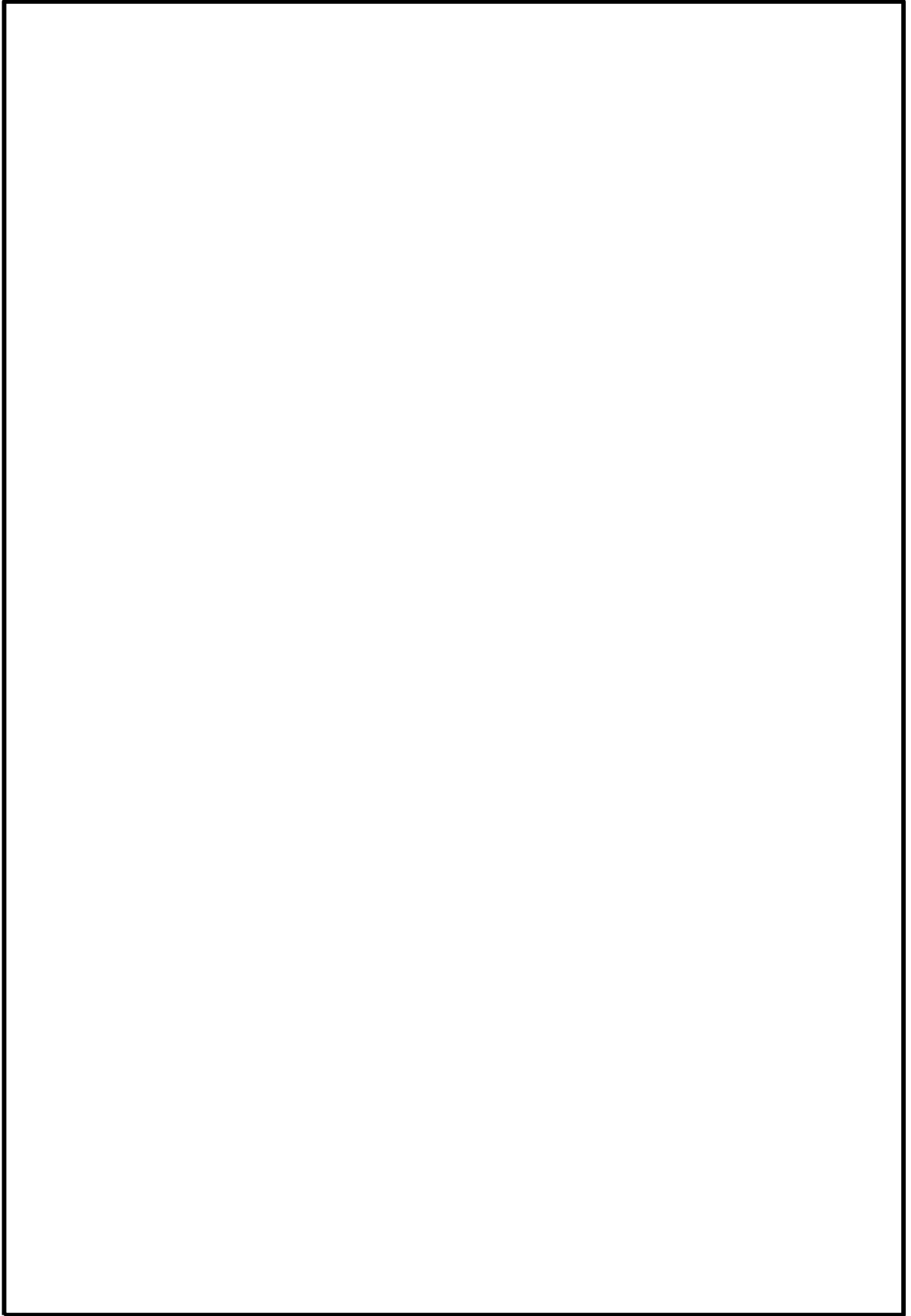


図 5-11 下部端栓溶接部の応力評価における熱解析モデル（9×9燃料（A型））

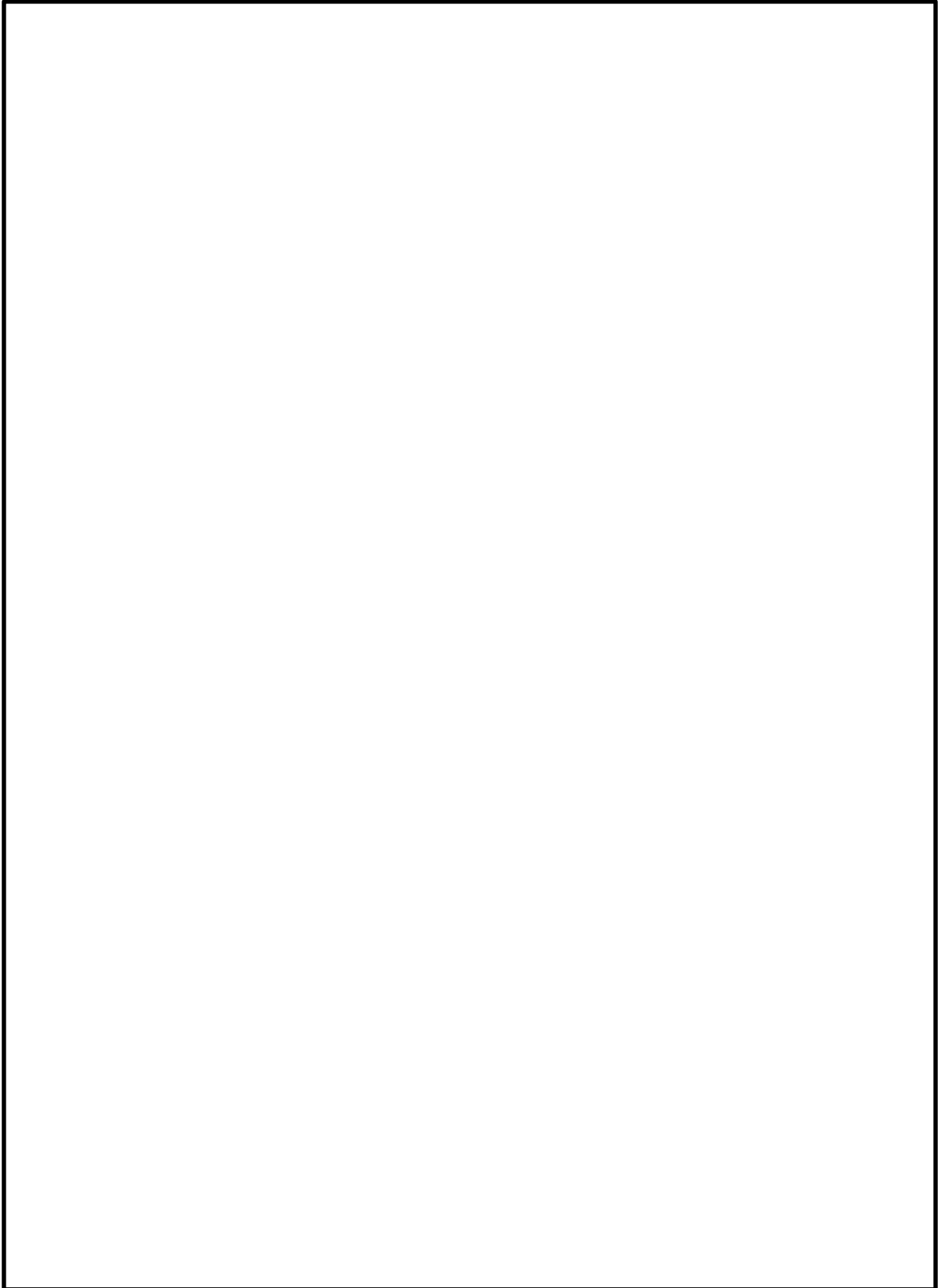


図 5-12 下部端栓溶接部の応力評価における機械解析モデル (9 × 9 燃料 (A型))

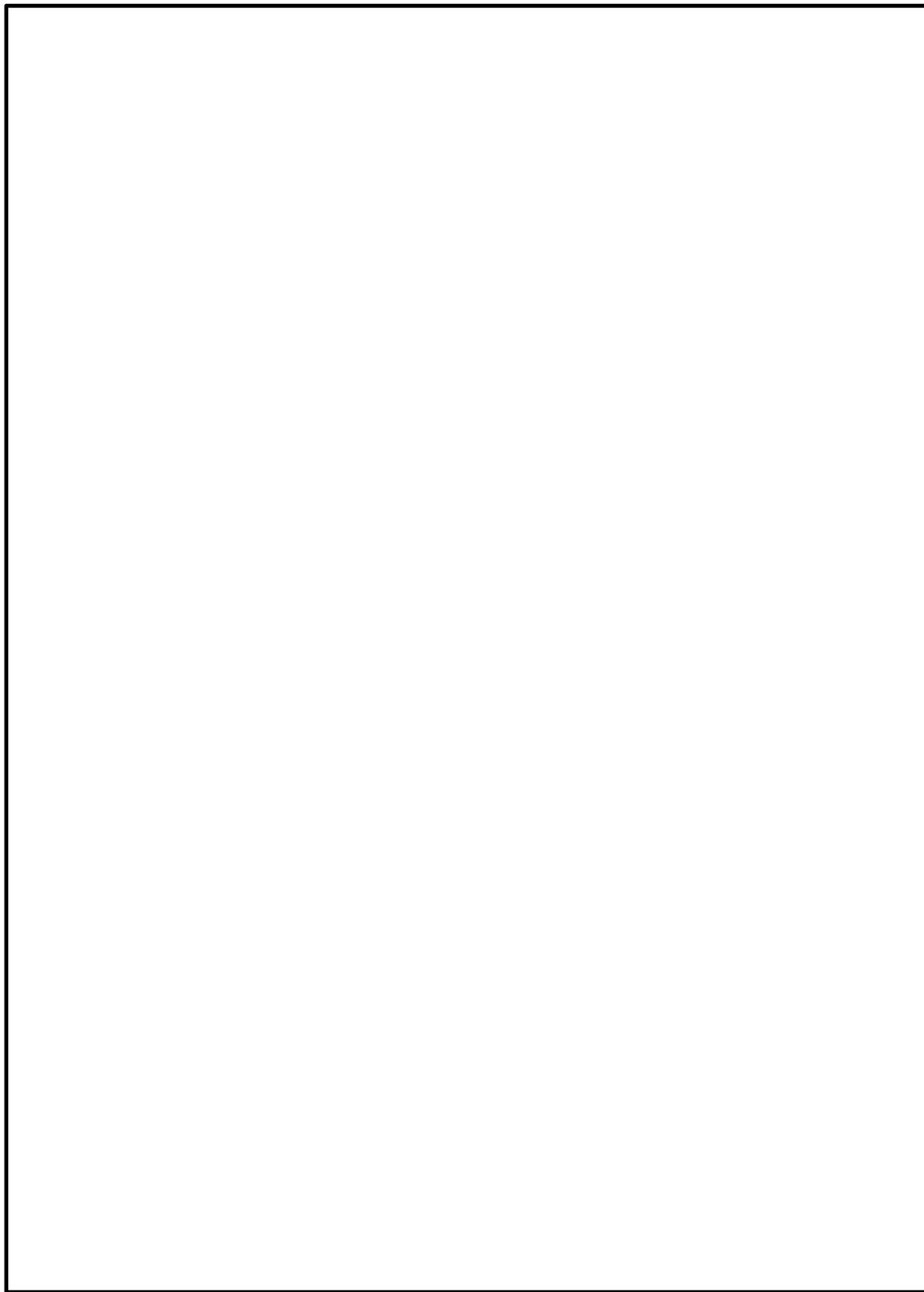


図 5-13 下部端栓溶接部の応力評価における熱・機械解析モデル (9 × 9 燃料 (B型))

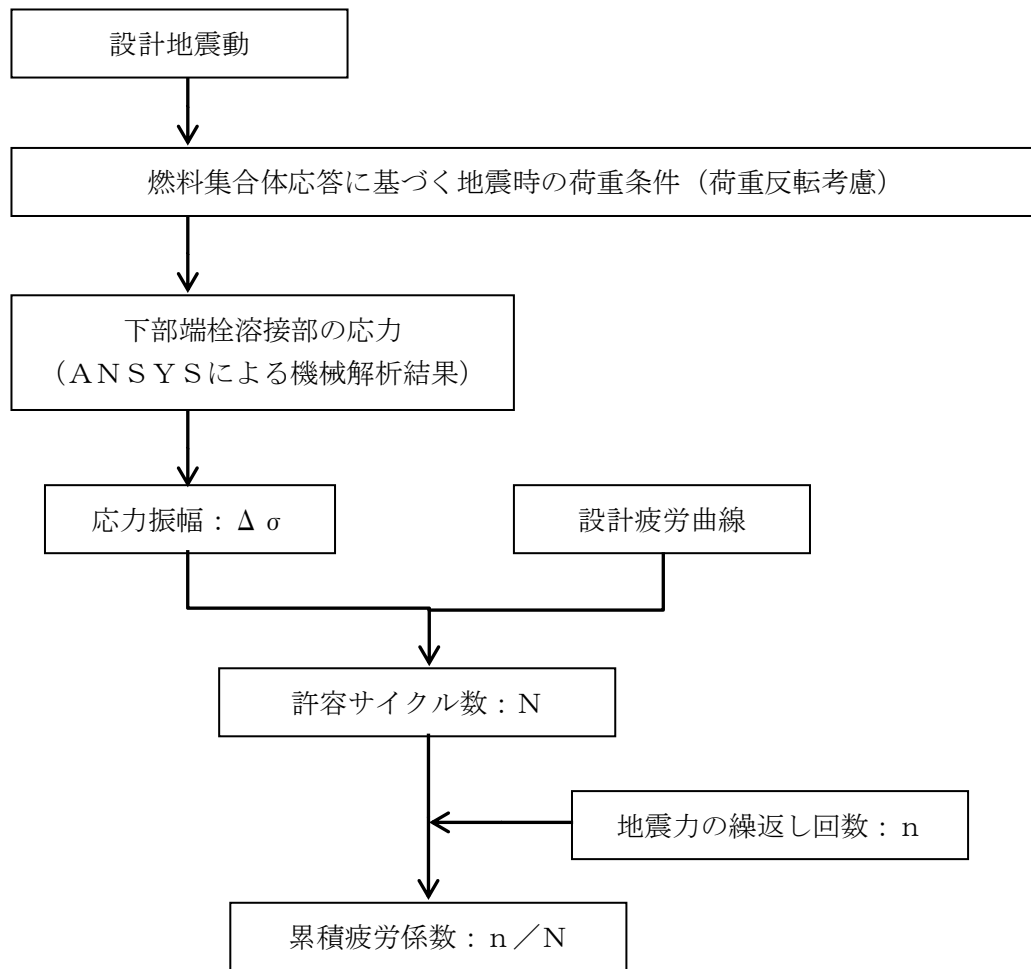


図 5-14 地震時の下部端栓溶接部の疲労評価のフロー

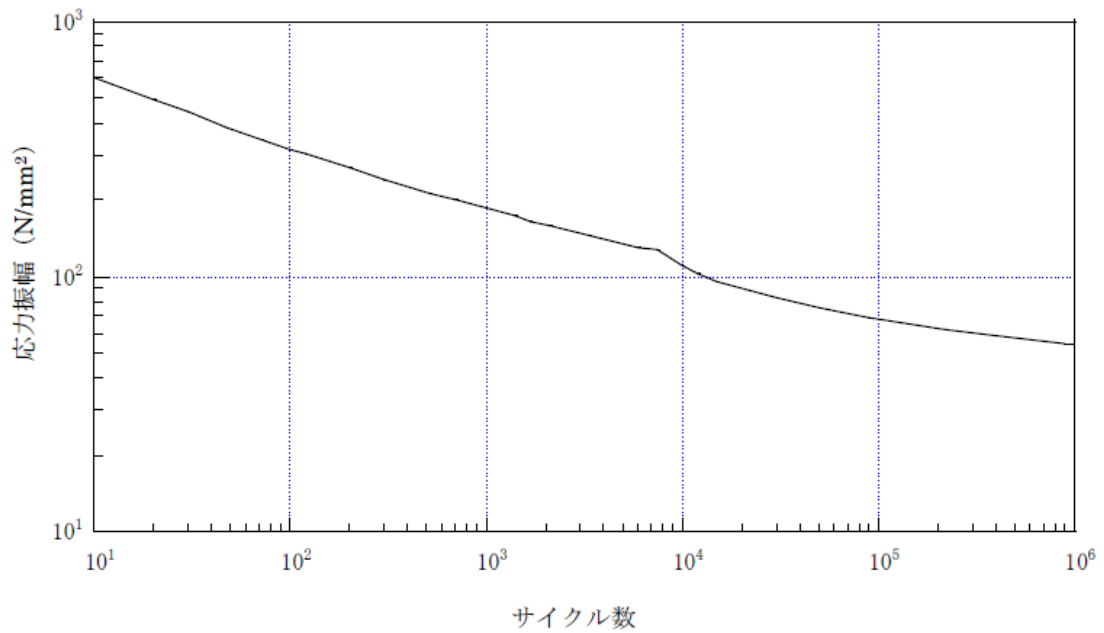


図 5-15 ジルカロイの設計疲労曲線*

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

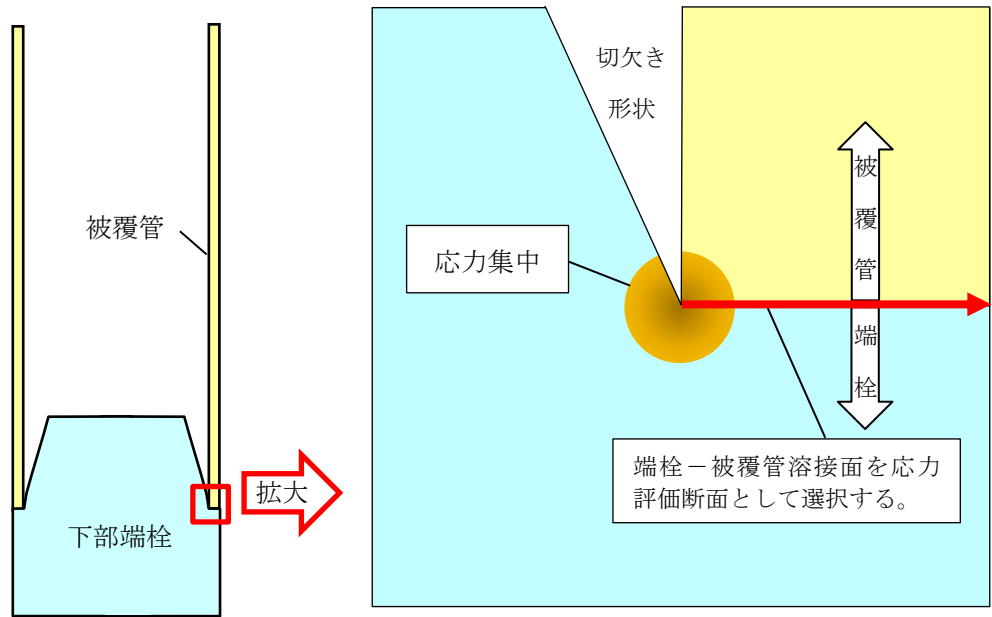
燃料被覆管下部端栓溶接部は、切欠き形状を含む複雑な形状（付図-1 参照）であるため有限要素法を用いた解析コード「ANSYS」により発生応力を求めており、算出される応力値には（一次応力+二次応力+ピーク応力）の全応力成分が含まれる（付図-2 参照）。

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。

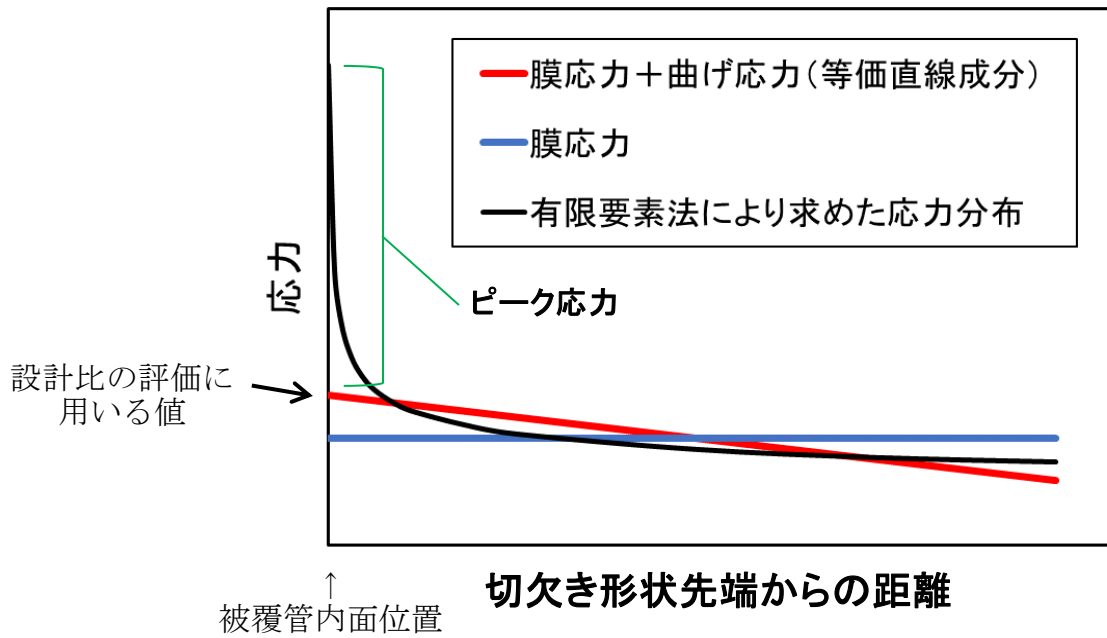
よって、解析コード「ANSYS」の計算モデル中のメッシュ要素で求められた応力を節点まで補間した応力解析結果から、下記に示す応力分類処理を行い、一次応力+二次応力及びピーク応力を求める。

- (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-2-3-2-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針

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
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 計算条件	7
3.1 評価対象機器	7
3.2 形状及び寸法	7
3.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.4 許容応力	7
3.5 許容応力評価条件	7
3.6 溶接部の継手効率	8
4. 荷重条件	9
4.1 設計条件	9
4.2 運転条件	9
4.3 外荷重条件	9
4.4 荷重の組合せ	9
5. 応力評価の手順	10
5.1 応力の評価	10
5.1.1 主応力	10
5.1.2 応力強さ	10
5.1.3 一次応力強さ	10
5.2 特別な応力の評価	11
5.2.1 支圧応力の評価	11
5.2.2 座屈の評価	11
6. 評価結果の添付	12
6.1 応力評価結果	12
7. 引用文献	13
8. 参照図書	13
添付1 溶接部の継手効率	28

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、炉心支持構造物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炉心支持構造物（燃料支持金具を除く。）の応力評価は、8章に示す以下の工事計画認可申請書 添付書類及び工事計画届出書 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）

シュラウドサポート

上部格子板

炉心支持板

制御棒案内管

- ・炉心シュラウド修理工事 工事計画届出書 添付書類

（電原運第 24 号 平成 16 年 7 月 1 日届出）

炉心シュラウド

注 1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各計算書に示す。

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

炉心支持構造物の構造計画を表 2-1 に示す。

炉心支持構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 炉心シュラウド
- (2) シュラウドサポート
- (3) 上部格子板
- (4) 炉心支持板
- (5) 燃料支持金具
- (6) 制御棒案内管

表 2-1 炉心支持構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>炉心を構成する燃料集合体、制御棒は、炉心シュラウド内に設けられる。</p> <p>炉心シュラウドは、原子炉圧力容器下鏡に溶接されたシュラウドサポートにより支持される。</p> <p>燃料集合体は、燃料支持金具を介して制御棒案内管（ただし、周辺燃料支持金具を介する場合は炉心支持板）によって支持される。また、水平方向については、上部格子板及び炉心支持板によって支持される。</p>	<p>炉心支持構造物は、炉心シュラウド、シュラウドサポート、上部格子板、炉心支持板、燃料支持金具、制御棒案内管により構成される。</p>	

2.2 評価方針

炉心支持構造物の構造強度評価は、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」にて示す炉心支持構造物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。

炉心支持構造物の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

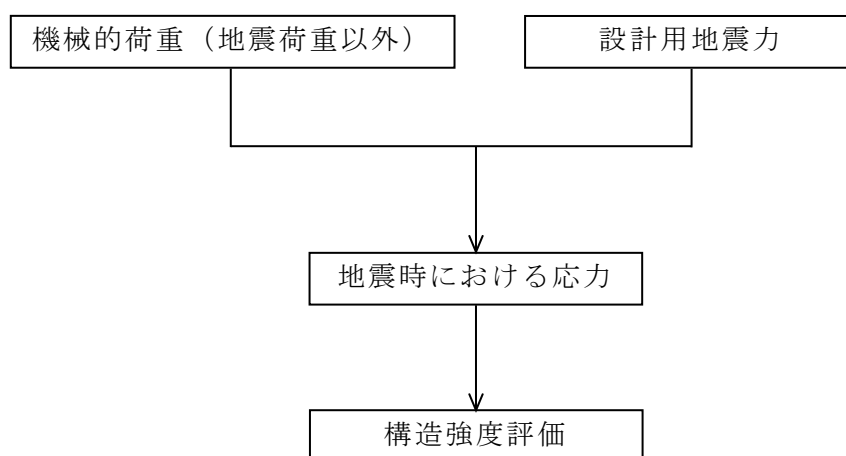


図 2-1 炉心支持構造物の耐震評価フロー

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）（以下「J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」という。）
- ・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、本書添付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
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	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_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_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
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
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

記号	記号の説明	単位
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	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
荷重名称	死荷重*1	—*2	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁目
	地震荷重	—*2	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁目
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
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：上部格子板，炉心支持板及び燃料支持金具を対象とする。

*2：機器毎に考慮する荷重に応じた単位を適用する。

*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許容応力は、比例法により保管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. 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)	
		Ⅲ A S, Ⅳ A S	V A S
(1)	炉心シュラウド	○	○
(2)	シュラウドサポート	○	○
(3)	上部格子板	○	○
(4)	炉心支持板	○	○
(5)	燃料支持金具	○	○
(6)	制御棒案内管	○	○

注：「○」は評価対象を示す。

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 荷重の組合せ及び許容応力状態

炉心支持構造物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(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1(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、炉心支持構造物については、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。

3.4 許容応力

炉心支持構造物の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2に示す。

3.5 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態Ⅲ A S及び許容応力状態Ⅳ A S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。
- (2) 炉心支持構造物の許容応力評価条件を表 3-3 に示す。
なお、各機器で使用される材料は、各計算書に示す。

3.6 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は、材料の許容応力に継手効率を乗じたものとし、各計算書に示す。

4. 荷重条件

炉心支持構造物は、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.及び参照図書(2)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.及び参照図書(2)a.に定めるとおりである。

4.3 外荷重条件

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。

なお、既工認に記載のない燃料支持金具の運転条件については、計算書に示す。

4.4 荷重の組合せ

荷重の組合せを表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) 原子炉圧力容器の内圧（シュラウドサポートのみ）*	[L01]
(2) 差圧*	[L02]
(3) 死荷重	[L04]
(4) 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]
(5) 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]

注記*：許容応力状態ⅢA S及び許容応力状態ⅣA S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ⅤA S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。

各機器の応力評価において考慮する差圧の値を図4-1に示す。

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。荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。

5.1.1 主応力

荷重ごとに計算した応力を重ね合わせた結果から、主応力を求める。

応力成分は一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分であるが、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。

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

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 III A S 及び許容応力状態 IV A S において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.4 節に示す許容応力を満足することを示す。

5.2 特別な応力の評価

5.2.1 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-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(2)a.に示し、許容応力は表 3-2 に示す。

- (1) 炉心シュラウドの上部格子板支持面
- (2) 炉心シュラウドの炉心支持板支持面

5.2.2 座屈の評価

軸圧縮荷重を受ける部分は、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 又は設計・建設規格 SSB-3121.1 に従って評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法及び許容応力は、参照図書(2)a.及び各計算書に示す。

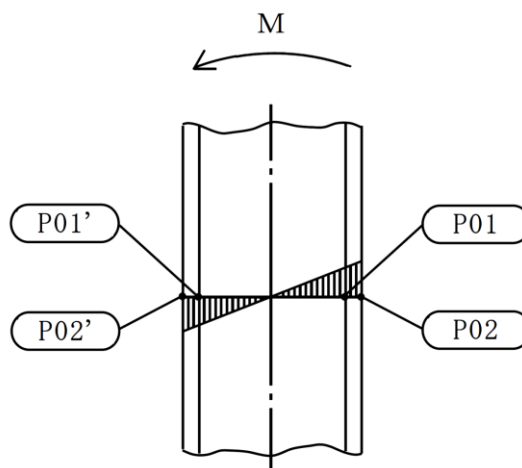
- (1) 炉心シュラウドのひび除去加工部
- (2) シュラウドサポートレグ

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。応力評価点を含む断面が円筒形状の場合、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。形状が複雑な部位については応力評価点毎に評価を行う。



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. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
- (2) 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. 支圧応力
 - b. 座屈

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 α 3 (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-2-2-3(1) 炉心支持構造物の応力解析の方針
- b. IV-2-2-3(2)b シュラウドサポートの応力計算書
- c. IV-2-2-3(2)c 上部格子板の応力計算書
- d. IV-2-2-3(2)d 炉心支持板の応力計算書
- e. IV-2-2-3(2)e 制御棒案内管の応力計算書

- (2) 島根原子力発電所第2号機 炉心シュラウド修理工事 工事計画届出書 添付書類

- a. IV-3-1-1 炉心シュラウドの応力計算書

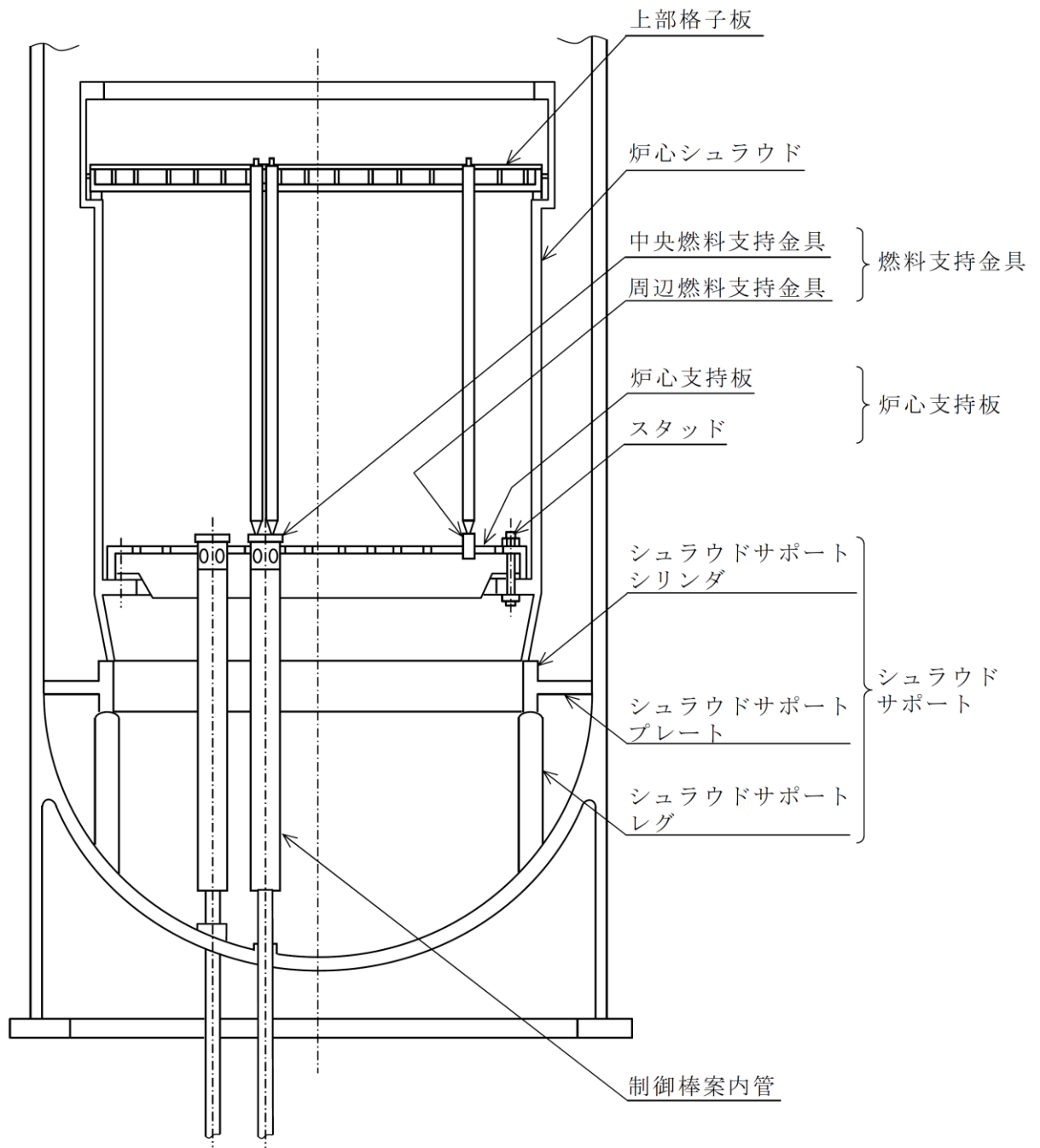
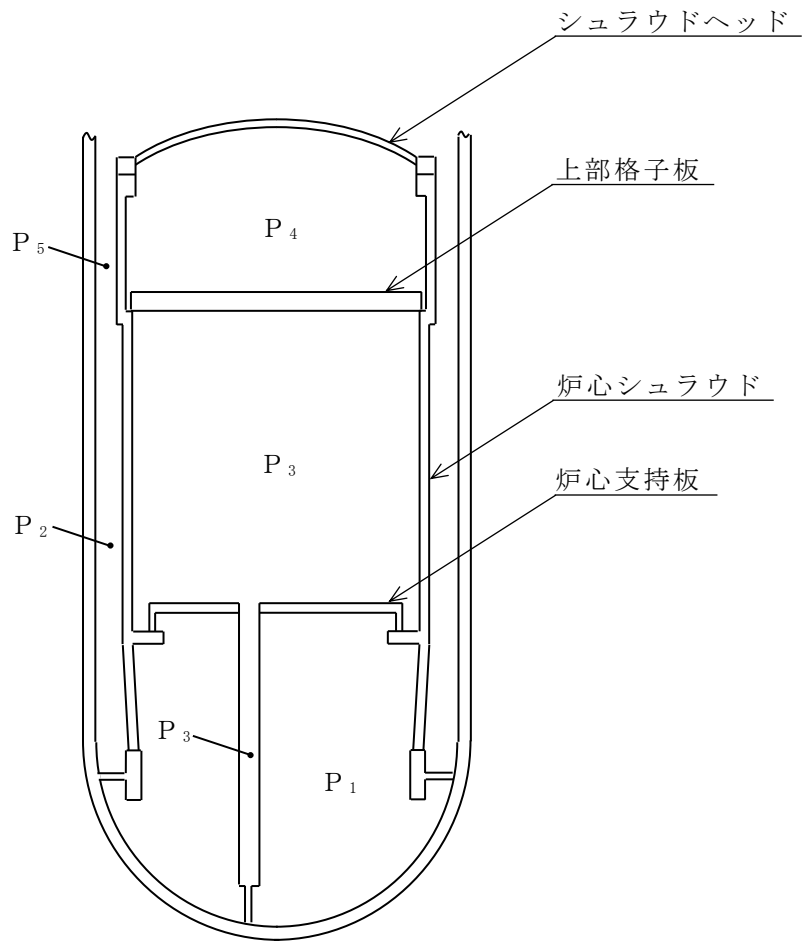


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		許容応力状態		
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	V A S
炉心シュラウド	$P_{12} = P_1 - P_2$	0.24	0.24	—*
	$P_{32} = P_3 - P_2$	0.07	0.07	—*
	$P_{45} = P_4 - P_5$	0.07	0.07	—*
シュラウドサポート	$P_{12} = P_1 - P_2$	0.24	0.24	—*
上部格子板	$P_{34} = P_3 - P_4$	0.002	0.002	—*
炉心支持板	$P_{13} = P_1 - P_3$	0.18	0.18	—*
燃料支持金具	$P_{13} = P_1 - P_3$	0.18	0.18	—*
制御棒案内管	$P_{13} = P_1 - P_3$	0.18	0.18	—*

注記*：各計算書において使用しないため記載を省略する。

図 4-1 炉心支持構造物の応力評価において考慮する差圧

表 3-1(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	炉心支持 構造物	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管	S	炉心支持構造物	$D+P+M+S d^*$	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

表 3-1(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
原子炉 本体	炉心支持 構造物	炉心シュラウド シュラウドサポート 上部格子板 炉心支持板 燃料支持金具 制御棒案内管	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB 拡張)	—	$D + P_L + M_L + S_d^*$	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_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* : 「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。

表 3-2 許容応力 (炉心支持構造物)

許容応力状態	許容限界*		
	一次一般膜応力	一次一般膜+一次曲げ応力	支圧応力
ⅢAS	$1.5 \cdot S_m$	左欄の 1.5 倍の値	$1.5 \cdot S_y$
ⅣAS	$2/3 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	$2 \cdot S_y$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣAS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 3-3 許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
炉心支持 構造物	オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUS304L	流体の最高温度				
		SUS316L	流体の最高温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
		SCS19A	流体の最高温度				
		NCF600	流体の最高温度				

表 4-1(1) 外荷重

炉心シュラウド外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L14	地震荷重 S _d *	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			
L16	地震荷重 S _s	A			
		B			
		C			
		D			
		E			
		F			
		G			

S2 補 VI-2-3-2-2-1 R1

S2 補 VI-2-3-2-2-1 R1



表 4-1(2) 外荷重

シュラウドサポート外荷重

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

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

表 4-1(3) 外荷重

上部格子板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力*1	水平力*2
		V (kN)	H (kN)
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

炉心支持板外荷重

記号	荷重名称	鉛直力			水平力 ^{*1}
		V ₁ ^{*2} (kN)	V ₂ ^{*3} (kN)	V ₃ ^{*4} (kN)	H (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S _d [*]				
L16	地震荷重 S _s				

表 4-1(5) 外荷重

燃料支持金具外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点 *1	鉛直力	水平力
			V *2 (kN)	H *2 (kN)
L04	死荷重			
L14	地震荷重 S d *			
L16	地震荷重 S s			



表 4-1(6) 外荷重

制御棒案内管外荷重

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

--	--

S2 補 VI-2-3-2-2-1 R1

表 4-2 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ A S	(L01) * + L02 + L04 + L14	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ A S	(L01) * + L02 + L04 + L16	P_m $P_m + P_b$

注記* : シュラウドサポートについては () 内の荷重を組み合わせる。

添付 1 溶接部の継手効率

炉心支持構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、付表-1 のとおりに定められる。

付表-1(1)

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
炉心シュラウド	胴とリングの周継手			
	胴と胴の周継手			
炉心シュラウドとシュラウドサポートシリンダの溶接継手	胴と胴の周継手			
シュラウドサポート	胴（シリンダ）の長手継手			
	プレートとプレートの継手			
	胴（シリンダ）とプレートの継手			
	プレートと原子炉圧力容器の周継手			
	胴（シリンダ）とレグの継手			
	レグと原子炉圧力容器の継手			
上部格子板	胴の長手継手			
	リングセクタ同士の継手			
	胴とリングの周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P T + R T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める A の検査

P P T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める C の検査

P T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める E の検査

付表-1(2)

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
炉心支持板	板と板の継手			
	胴の長手継手			
	胴と補強ビームの継手			
	板と補強ビームの継手			
燃料支持金具	周辺燃料支持金具と 炉心支持板の継手			
	胴の長手継手			
制御棒案内管	胴の周継手			
	胴とベースの周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P T + R T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める A の検査

P T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める E の検査

VI-2-3-2-2-2 炉心シュラウド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	1
1.3 解析範囲	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	5
2.8 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	7
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5. 特別な応力の評価	9
5.1 支圧応力の評価	9
5.1.1 支圧面積	9
5.1.2 支圧荷重	9
5.1.3 平均支圧応力	9
5.1.4 支圧応力の評価	9
5.2 座屈に対する評価	10

5.2.1	座屈評価の方法	10
5.2.2	座屈に対する評価	10

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの耐震性についての計算書である。

炉心シュラウドは、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、炉心シュラウドは、炉心支持構造物であるため、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。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
f _b	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
Z	断面係数	mm ³
α	安全率	—
δ	断面二次モーメントを定義する中立軸の図心からのずれ	mm
σ _c	平均支圧応力	MPa
σ _{ca}	許容支圧応力	MPa

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。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、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」に記載する。

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

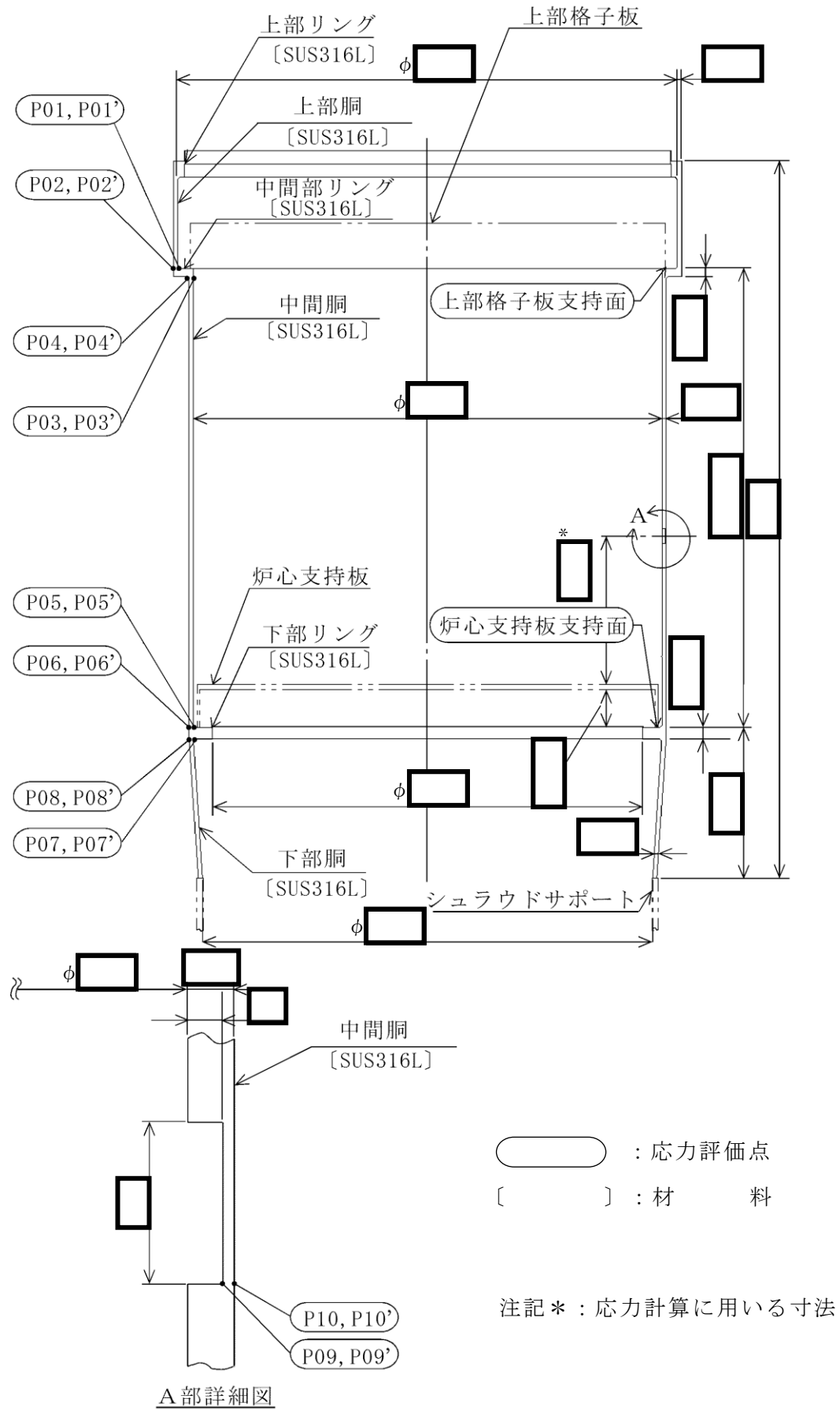


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-1 計算結果の概要(1/3)

(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
上部胴 SUS316L	Ⅲ A S	14	92*	P01'-P02'	14	139*	P01'-P02'
	Ⅳ A S	25	148*	P01'-P02'	25	222*	P01'-P02'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	26	92*	P03'-P04'	26	139*	P03'-P04'
	Ⅳ A S	43	148*	P03'-P04'	43	222*	P03'-P04'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	54	92*	P05'-P06'	54	139*	P05'-P06'
	Ⅳ A S	95	148*	P05'-P06'	95	222*	P05'-P06'
下部胴 SUS316L	Ⅲ A S	67	92*	P07'-P08'	67	139*	P07'-P08'
	Ⅳ A S	110	148*	P07'-P08'	110	222*	P07'-P08'
中間胴 SUS316L	Ⅲ A S	63	142	P09'-P10'	63	214	P09'-P10'
	Ⅳ A S	97	228	P09'-P10'	97	342	P09'-P10'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1 計算結果の概要 (2/3)

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力	
		平均支圧応力	許容応力
上部格子板支持面 SUS316L	Ⅲ A S	3	157
	Ⅳ A S	5	210
炉心支持板支持面 SUS316L	Ⅲ A S	1	157
	Ⅳ A S	2	210

表 1-1 計算結果の概要 (3/3)

部分及び材料	許容応力状態	座屈評価	
		座屈応力 との比	許容値
中間胴 (P09', P10') SUS316L	Ⅲ A S	0.45	1
	Ⅳ A S	0.78	1

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

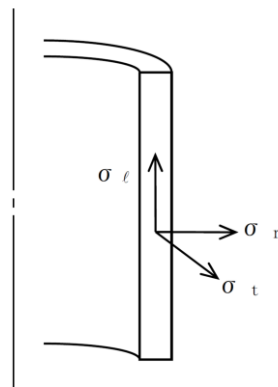
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

2.8 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
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力



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。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

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(2)a.に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_l = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4 \cdot A} \cdot P$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$ 下記評価点以外

$$Y = \frac{D_o}{D_i + 2 \cdot d} \quad \text{ひび除去加工部 (P09, P10)}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧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。

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(1)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

ただし、ひび除去加工部 (P09, P10) については次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \left(\frac{D_o}{2} + \delta \right)$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重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。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には，それぞれの鉛直力により支圧応力が生じるため，支圧応力の評価を行う。

ひび除去加工部（P09'，P10'）については，J E A G 4 6 0 1・補-1984を用いて，地震時の軸圧縮荷重と曲げモーメントによる座屈に対する評価を行う。

5.1 支圧応力の評価

5.1.1 支圧面積

(1) 上部格子板支持面（図5-1(1)参照）

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は，以下のとおりである。

$$A = \boxed{\phantom{\hspace{10em}}} \text{mm}^2$$

(2) 炉心支持板支持面（図5-1(2)参照）

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は，以下のとおりである。

$$A = \boxed{\phantom{\hspace{10em}}} \text{mm}^2$$

5.1.2 支圧荷重

各許容応力状態における上部格子板支持面及び炉心支持板支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

5.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_c は，鉛直力と評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_c = \frac{V}{A}$$

5.1.4 支圧応力の評価

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，各許容応力状態の平均支圧応力は，「応力解析の方針」の3.4項に示す許容応力を満足する。

5.2 座屈に対する評価

5.2.1 座屈評価の方法

各許容応力状態において、軸圧縮応力の座屈応力（ f_c ）に対する比と曲げ応力の座屈応力（ f_b ）に対する比の和が1以下であることを示す。

ひび除去加工部（P09'、P10'）の座屈に対する評価は次式による。

$$\frac{\alpha \cdot \left(\frac{V}{A}\right)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot \left(\frac{M}{Z}\right)}{f_b} \leq 1$$

ここで、

$$Z = \frac{I}{\left(\frac{D_o}{2} + \delta\right)}$$

なお、 α 、 f_c 、 f_b は、「応力解析の方針」の参照図書(2)a.より以下の値である。

$$\alpha = 1.21$$

$$f_c = 106 \text{ MPa}$$

$$f_b = 116 \text{ MPa}$$

評価においては、軸圧縮荷重に対して死荷重及び地震荷重による鉛直力を、曲げモーメントに対して地震荷重によるモーメントを考慮する。ただし、炉心支持構造物差圧による軸方向応力は引張応力であるため、保守的に考慮しない。それぞれの荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

5.2.2 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5-2に示す。

表5-2より、各許容応力状態の軸圧縮荷重及び曲げモーメントは、ひび除去加工部（P09'、P10'）において座屈に対する評価式を満足する。

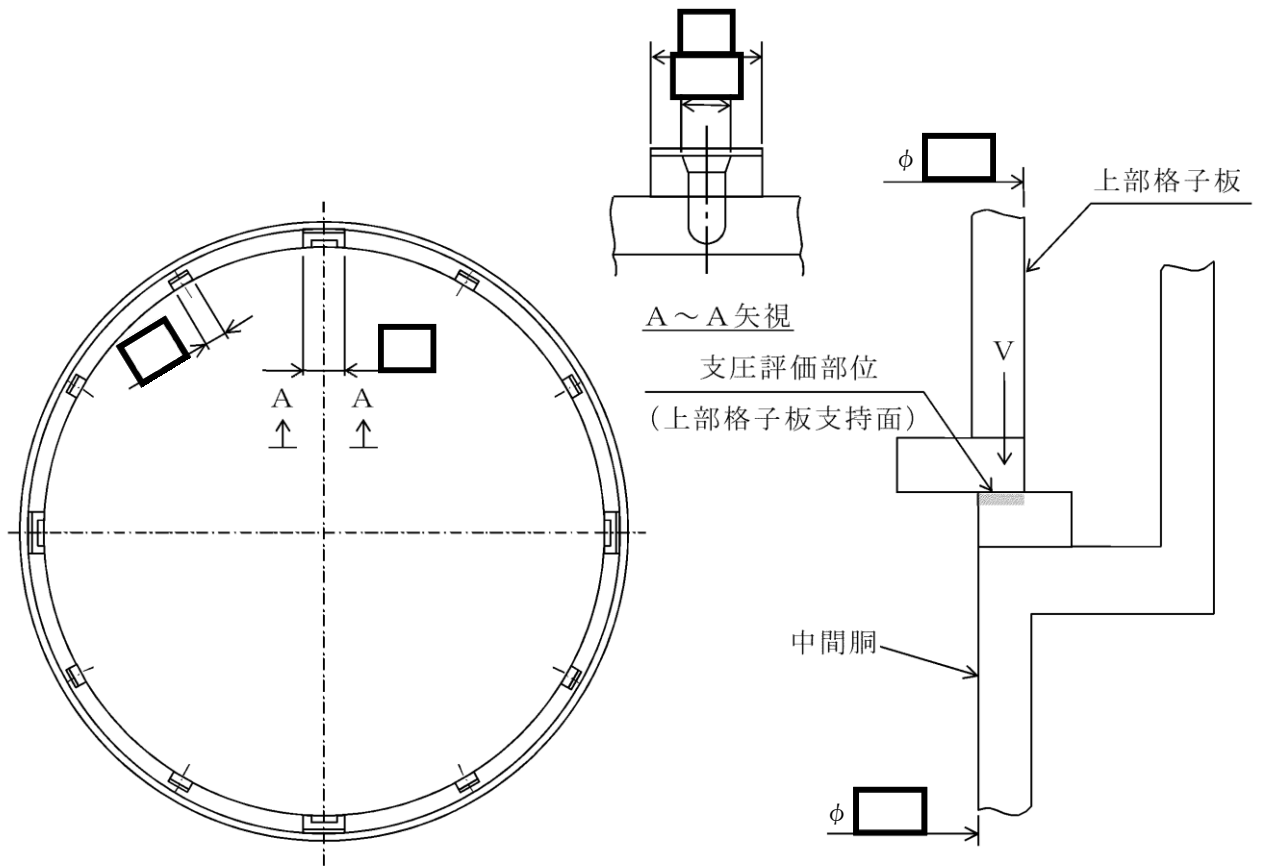


図 5-1(1) 支圧荷重の支持面（上部格子板）（単位：mm）

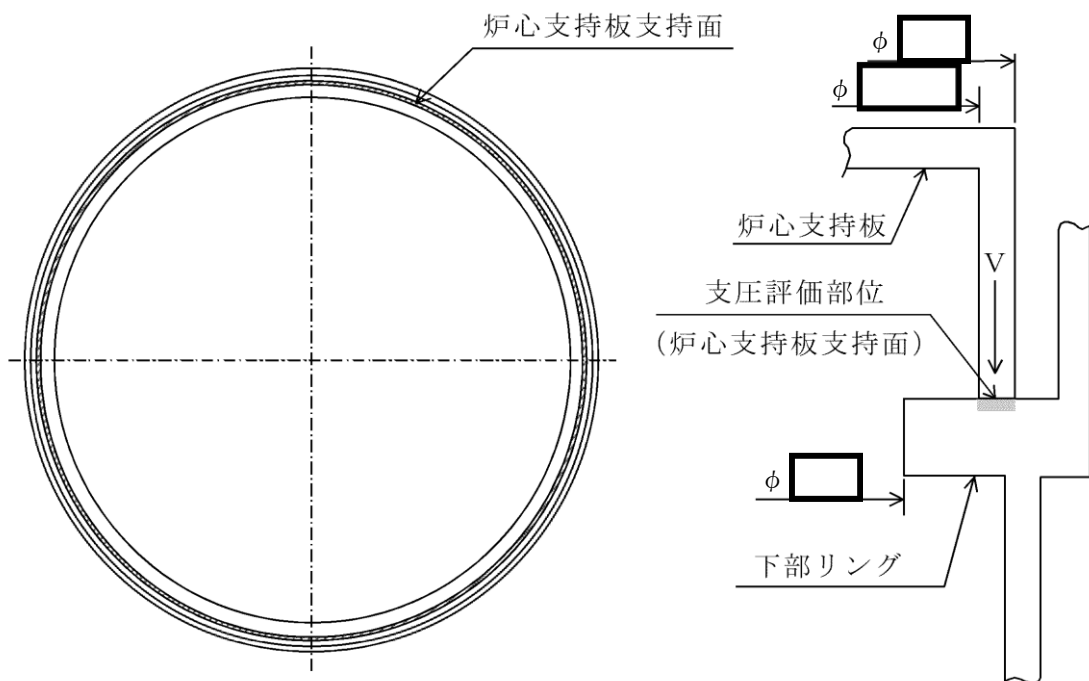
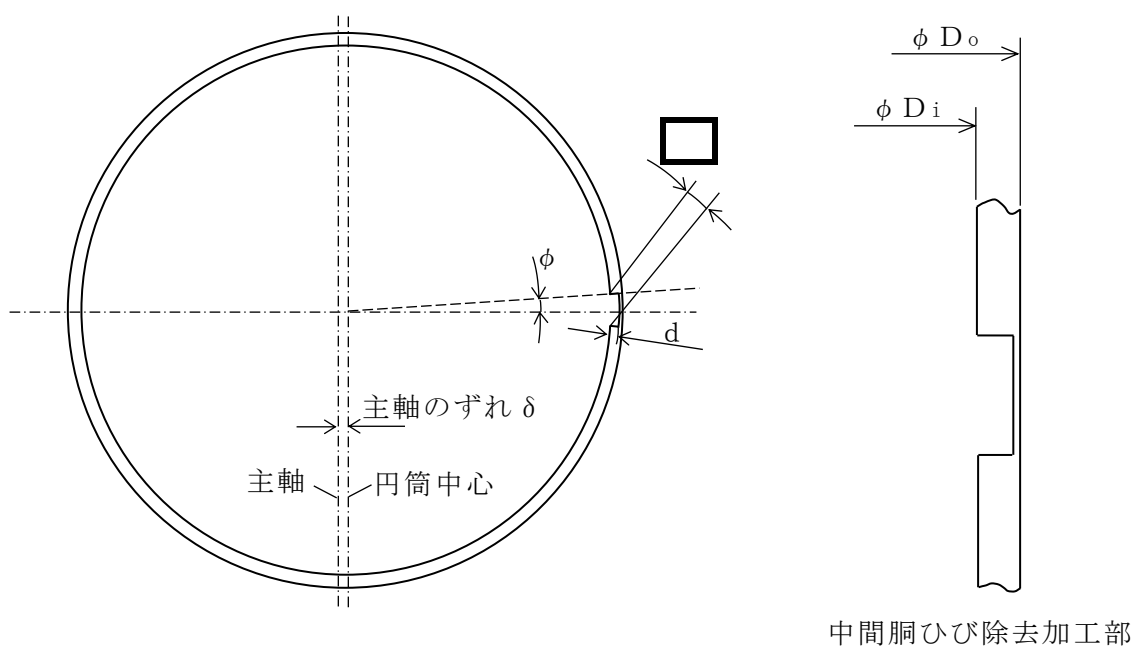


図 5-1(2) 支圧荷重の支持面（炉心支持板）（単位：mm）

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm^2)	I (mm^4)	備考
P01, P02					
P03, P04					
P05, P06					
P07, P08					
P09, P10					加工部位

注記*：断面積A及び断面二次モーメントIの算出式を以下に示す。



(1) 断面積

$$A = \frac{\pi \cdot (D_o^2 - D_i^2)}{4} - \phi \cdot (D_i \cdot d + d^2)$$

(2) 断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot (D_o^4 - D_i^4)}{64} - \frac{2 \cdot \phi + \sin 2\phi}{16} \cdot (D_i^3 \cdot d + 3 \cdot D_i^2 \cdot d^2 + 4 \cdot D_i \cdot d^3 + 2 \cdot d^4) - \delta^2 \cdot A$$

ここで、

$$\delta = \frac{1}{6} \cdot \frac{3 \cdot D_i^2 \cdot d + 6 \cdot D_i \cdot d^2 + 4 \cdot d^3}{A} \cdot \sin \phi = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\phi = \frac{\boxed{}}{D_i} = \boxed{} \text{ rad}$$

$$d = \boxed{} \text{ mm}$$

表 4-1 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	11	92*	22	148*
P01' P02'	14	92*	25	148*
P03 P04	23	92*	39	148*
P03' P04'	26	92*	43	148*
P05 P06	50	92*	89	148*
P05' P06'	54	92*	95	148*
P07 P08	61	92*	102	148*
P07' P08'	67	92*	110	148*
P09 P10	44	142	77	228
P09' P10'	63	142	97	228

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 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	11	139*	22	222*
P01' P02'	14	139*	25	222*
P03 P04	23	139*	39	222*
P03' P04'	26	139*	43	222*
P05 P06	50	139*	89	222*
P05' P06'	54	139*	95	222*
P07 P08	61	139*	102	222*
P07' P08'	67	139*	110	222*
P09 P10	44	214	77	342
P09' P10'	63	214	97	342

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1 支圧応力の評価 (1/2)

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均支圧応力	許容応力
上部格子板 支持面	Ⅲ A S	3	157
	Ⅳ A S	5	210

表 5-1 支圧応力の評価 (2/2)

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均支圧応力	許容応力
炉心支持板 支持面	Ⅲ A S	1	157
	Ⅳ A S	2	210

表 5-2 座屈に対する評価

部分及び材料	許容応力状態	座屈評価	
		座屈応力 との比	許容値
中間胴 (P09', P10')	Ⅲ A S	0.45	1
	Ⅳ A S	0.78	1

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 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	5
2.8 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

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、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、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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

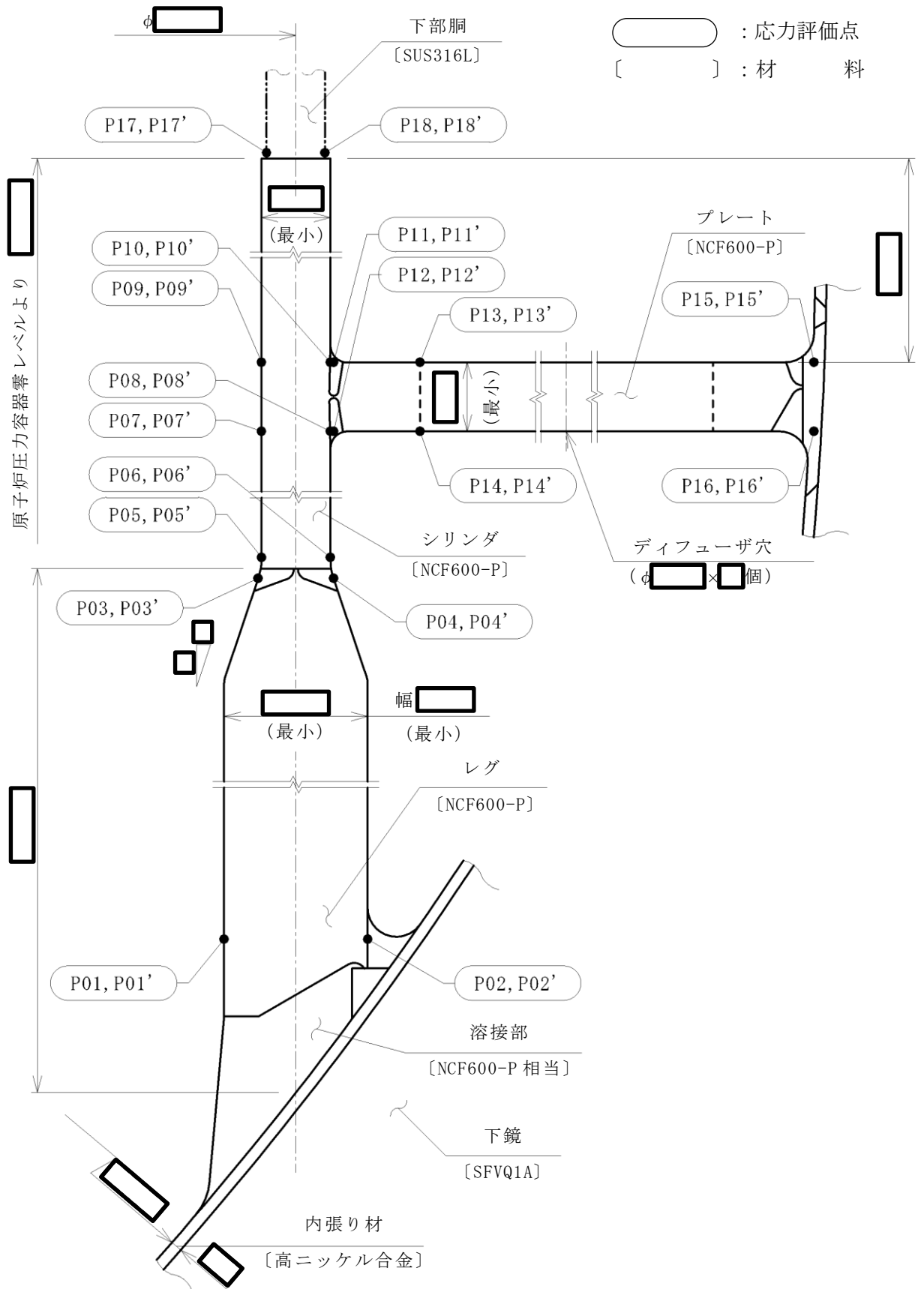


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要(1/2)

(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	ⅢA S	131	246	P03 -P04	131	369	P03 -P04
	ⅣA S	218	334	P03 -P04	218	501	P03 -P04
シリンダ NCF600-P	ⅢA S	61	246	P07 -P08	61	369	P07 -P08
	ⅣA S	101	334	P07 -P08	101	501	P07 -P08
プレート NCF600-P	ⅢA S	21	221*	P11' -P12'	21	332*	P11' -P12'
	ⅣA S	35	300*	P11' -P12'	35	450*	P11' -P12'
下部胴 SUS316L	ⅢA S	86	128*	P17 -P18	86	192*	P17 -P18
	ⅣA 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 計算結果の概要(2/2)

(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	ⅢA S	125	233
	ⅣA 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項に示す。

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項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.5 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3.3項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

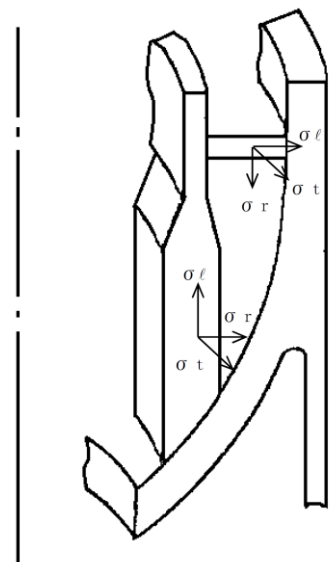
許容応力を「応力解析の方針」の3.4項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6項に示す。

2.8 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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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4-1に示す。

表4-1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項及び3.6項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4-2に示す。

表4-2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項及び3.6項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5-1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ⅢAS

許容応力状態ⅢAS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、

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

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ⅣAS

許容応力状態ⅣAS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5-1に示す。

表5-1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4-1 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4-2 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5-1 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-2-3-2-2-4 上部格子板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	1
1.3 解析範囲	1
1.4 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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 許容応力	4
2.8 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
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	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の耐震性についての計算書である。

上部格子板は、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、上部格子板は、炉心支持構造物であるため、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。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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	断面積	mm ²
b	グリッドプレートの厚さ	mm
h	グリッドプレートの高さ	mm
L	最長グリッドプレートの長さ	mm
ℓ	グリッドプレート1スパンの長さ	mm
Z _y	断面係数	mm ³
Z _z	断面係数	mm ³

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、形状不連続部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

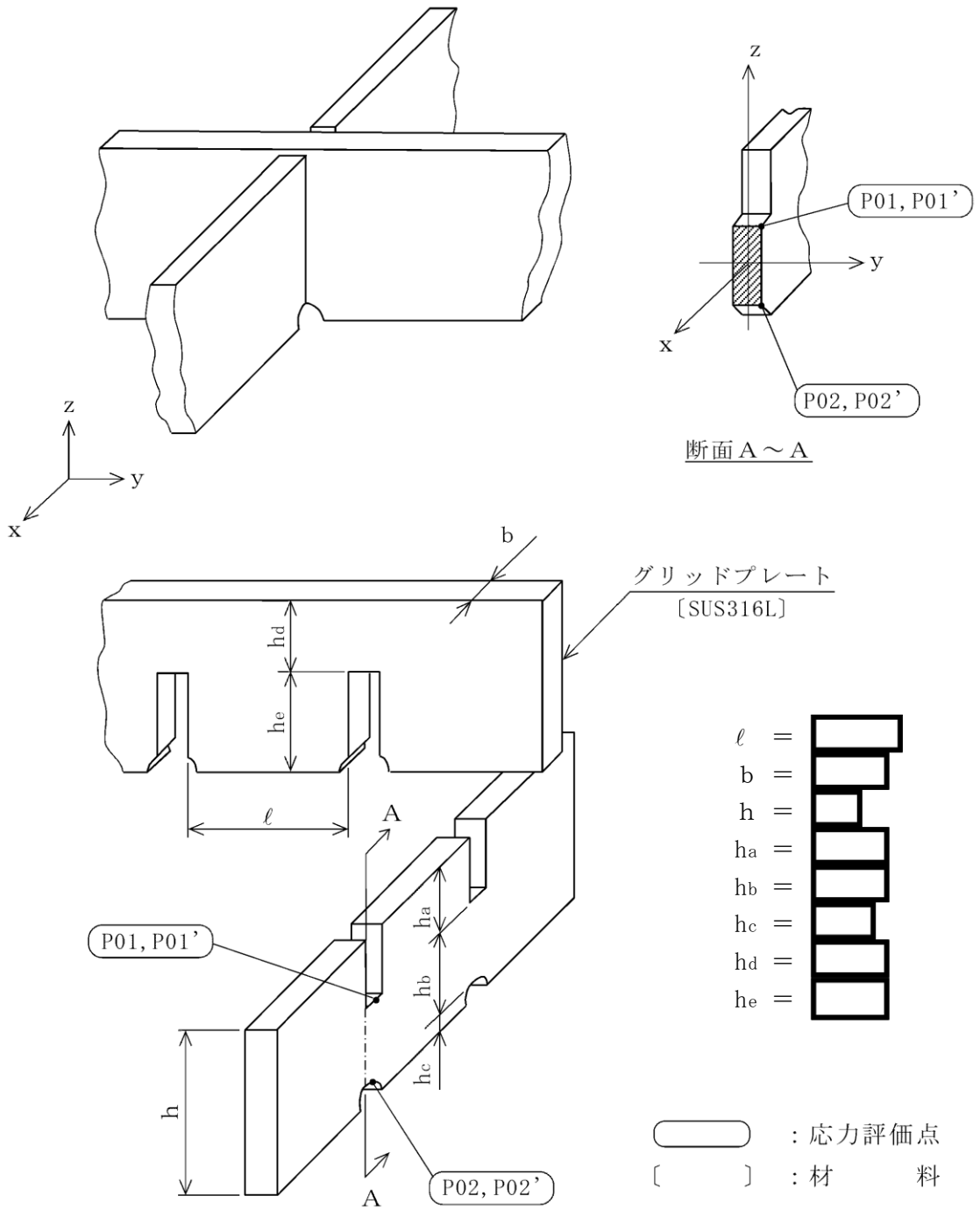


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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	応力評価点
グリッド プレート SUS316L	Ⅲ A S	14	142	P01-P02	157	214	P01
	Ⅳ A S	22	228	P01-P02	256	342	P01

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

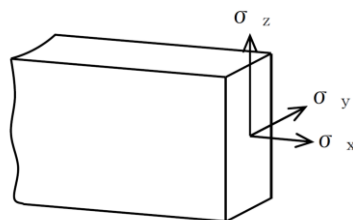
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

2.8 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。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.1.1 項に示される式において、 σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

σ_x : x 方向応力
 σ_y : y 方向応力
 σ_z : z 方向応力
 τ_{xy} : せん断応力
 τ_{yz} : せん断応力
 τ_{zx} : せん断応力



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。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

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(2)a. に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による一次応力は、最大応力の発生する最長グリッドプレートを、図 3-1(1) に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し、以下により求める。

(1) 差圧 P_{34} による荷重

$$W_p = -P_{34} \cdot b \cdot L$$

(2) 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_p \cdot L}{12}$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{Z_y}$$

(4) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_p}{2 \cdot A}$$

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(3)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による一次応力は、以下により求める。

(1) 鉛直方向荷重による応力

最大応力の発生する最長グリッドプレートを，図 3-1(1)に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し，以下により求める。

a. グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_v = V$$

b. グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_v = \frac{W_v \cdot L}{12}$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_v}{Z_y}$$

d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_v}{2 \cdot A}$$

(2) 水平方向荷重による応力

格子 1 個当たりのグリッドプレートを，図 3-1(2)に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し，以下により求める。

- a. 格子 1 個当たりの水平方向荷重

$$W_H = \frac{4 \cdot H}{\square}$$

- b. 格子の端部におけるモーメント

$$M_H = \frac{W_H \cdot \ell}{12}$$

- c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_H}{Z_z}$$

- d. せん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{W_H}{2 \cdot A}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ，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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項に示す許容応力を満足する。

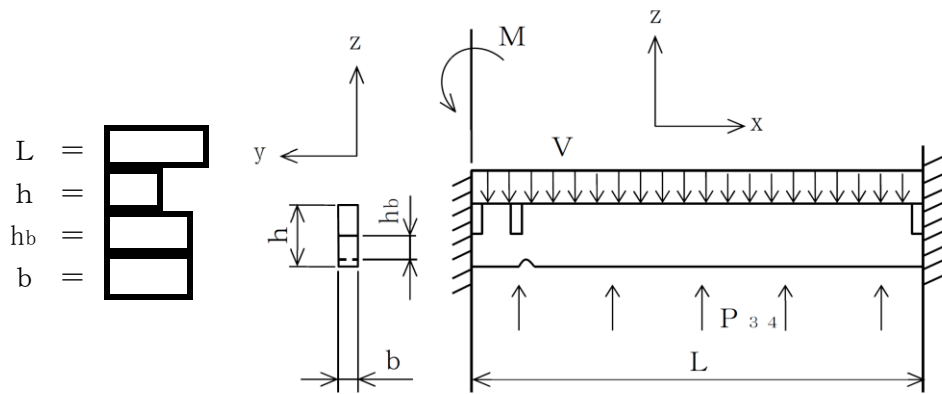


図 3-1(1) 応力計算モデル (鉛直方向荷重) (単位: mm)

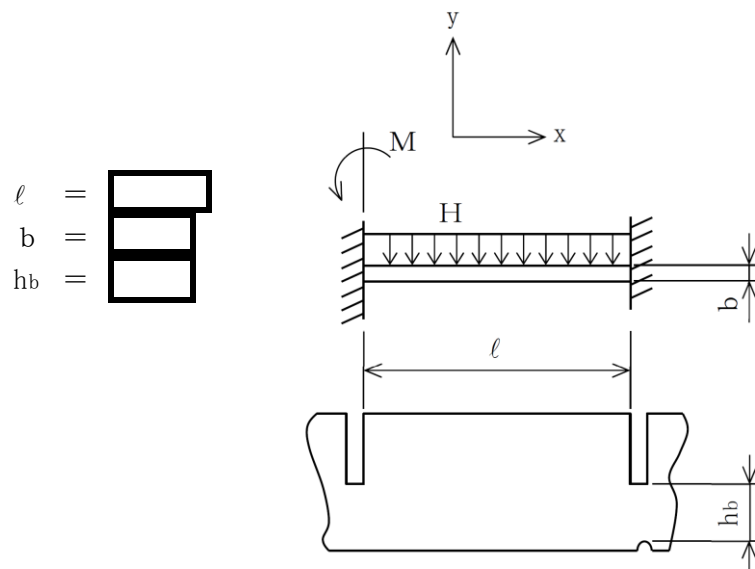


図 3-1(2) 応力計算モデル (水平方向荷重) (単位: mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	hb (mm)	A (mm ²)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)
P01, P02					

表 4-1 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	14	142	22	228
P01' P02'	14	142	22	228

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	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	157	214	256	342
P01'	141	214	240	342
P02	141	214	240	342
P02'	157	214	256	342

VI-2-3-2-2-5 炉心支持板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	7
2.1 設計条件	7
2.2 運転条件	7
2.3 外荷重条件	7
2.4 材料	7
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
2.6 荷重の組合せ	7
2.7 許容応力	7
2.8 応力の記号と方向	8
3. 応力計算	9
3.1 応力評価点	9
3.2 差圧による応力	9
3.2.1 荷重条件 (L02)	9
3.2.2 計算方法	9
3.3 外荷重による応力	15
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	15
3.3.2 計算方法	15
3.4 応力の評価	18
4. 応力強さの評価	19
4.1 一次一般膜応力強さの評価	19
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	19

1. 一般事項

本計算書は、炉心支持板の耐震性についての計算書である。

炉心支持板は、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、炉心支持板は、炉心支持構造物であるため、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。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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	断面積	mm ²
a _i	補強ビーム長さ	mm
b _e	等価幅	mm
D	制御棒案内管用穴径	mm
D _o	支持板の外径	mm
e	中立軸からの距離	mm
h _c	支持板の厚さ	mm
h _o	補強ビーム高さ	mm
h ₁	補強ビーム高さ	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
l _i	補強ビーム長さ	mm
l _p	補強ビーム1スパン当たりの長さ	mm
t	補強ビーム厚さ	mm

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，応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

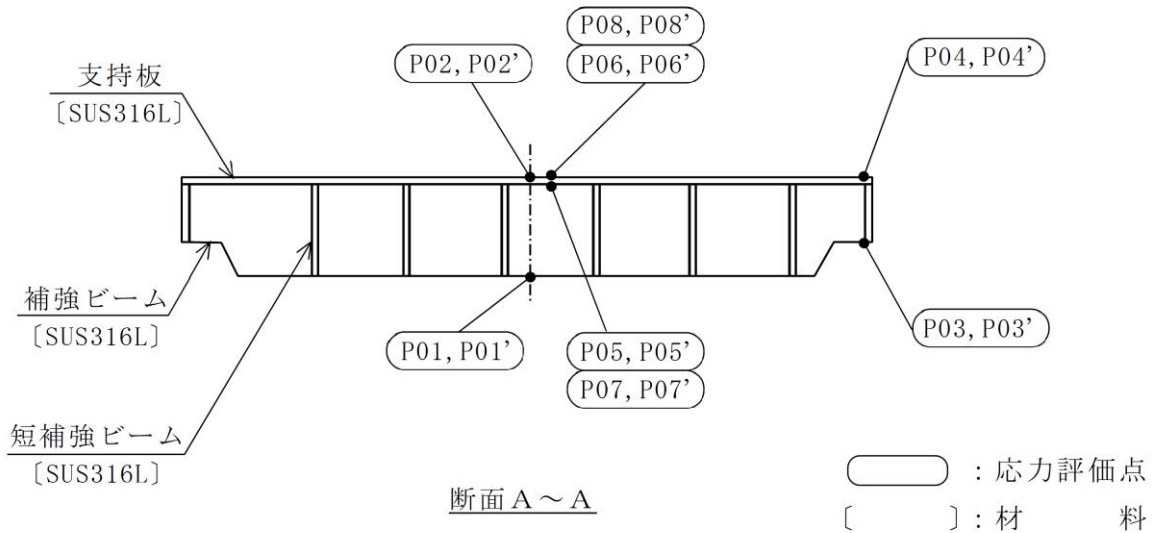
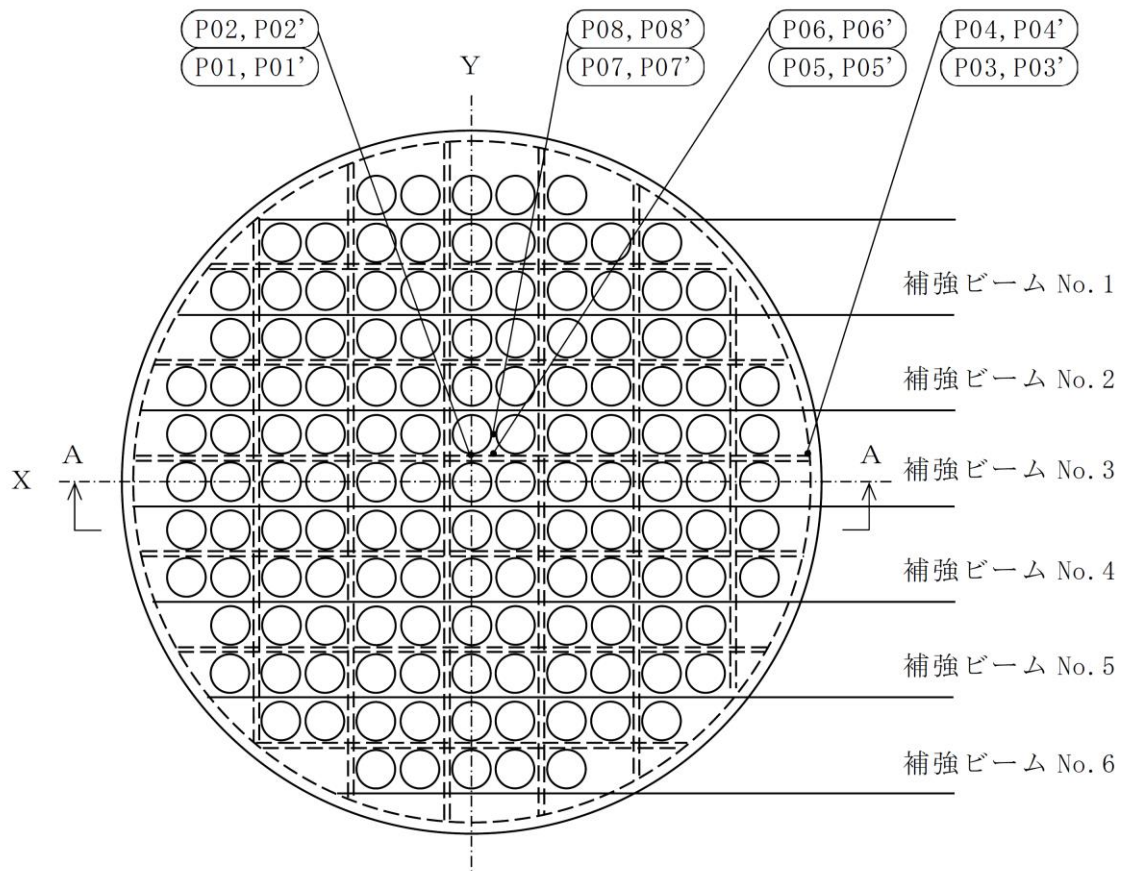
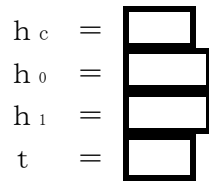
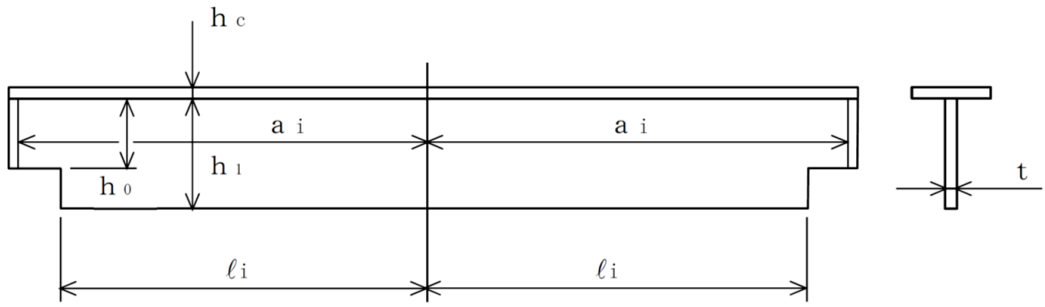


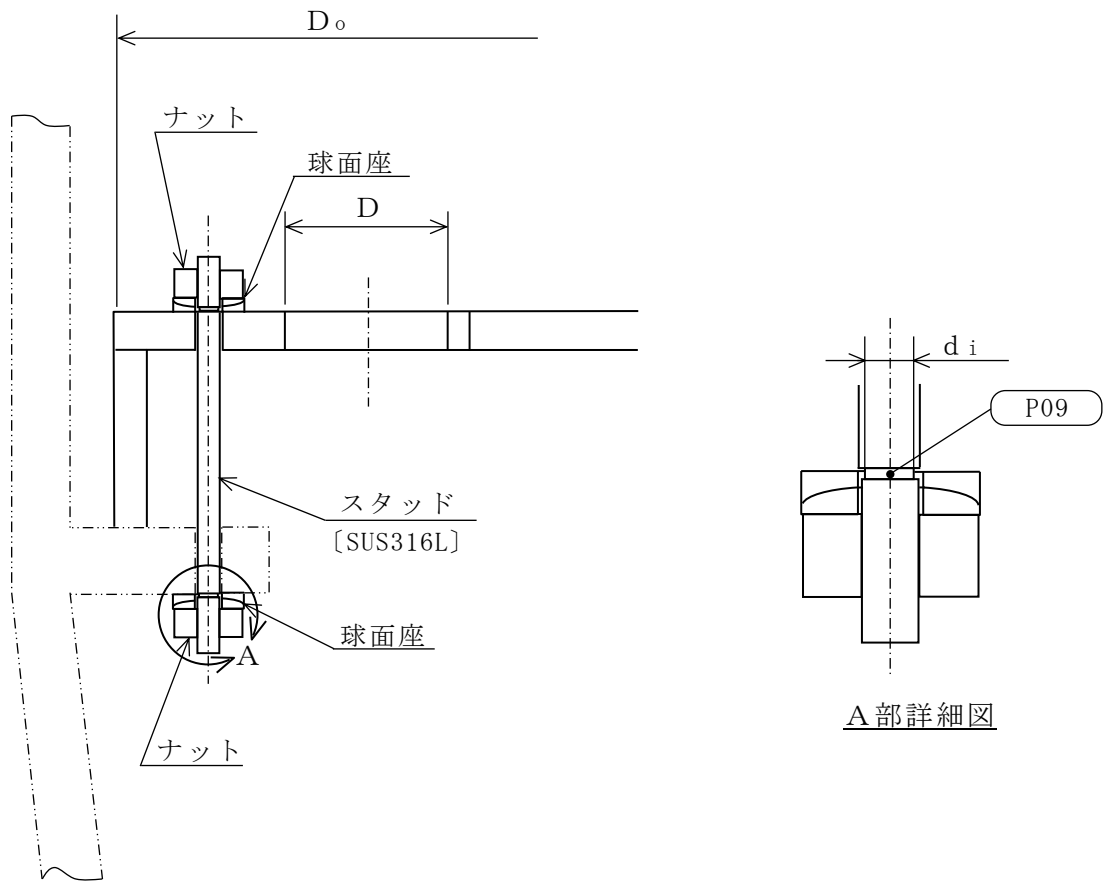
図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (炉心支持板)






各補強ビームの a_i , l_i の寸法

番号 i	補強ビーム番号	a_i	l_i
1	No. 1		
2	No. 2		
3	No. 3		
4	No. 4		
5	No. 5		
6	No. 6		

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点（補強ビーム）（単位：mm）



$D =$ 
 $D_o =$ 
 $d_i =$  (逃げの径)

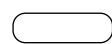

 : 応力評価点
 : 材 料

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (スタッド) (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	応力評価点
補強ビーム SUS316L	Ⅲ A S	10	85 ^{*1}	P04	52	139 ^{*2}	P03'
	Ⅳ A S	11	136 ^{*1}	P04	56	222 ^{*2}	P03'
支持板 SUS316L	Ⅲ A S	43	142	P07	168	214	P08'
	Ⅳ A S	59	228	P07	228	342	P08'
スタッド SUS316L	Ⅲ A S	15	142	P09	15	214	P09
	Ⅳ A S	16	228	P09	16	342	P09

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。*2：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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

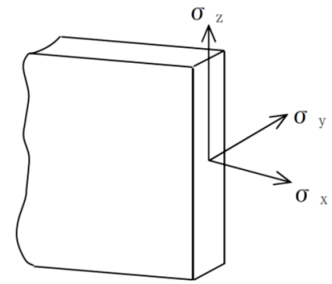
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

2.8 応力の記号と方向

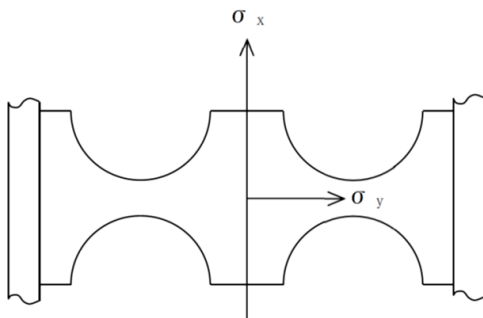
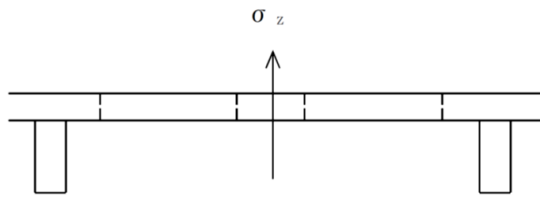
応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、補強ビーム及び支持板の主応力の算出は、「応力解析の方針」の5.1.1項に示される式において、 σ_t 、 σ_ℓ 、 σ_r 、 $\tau_{t\ell}$ 、 $\tau_{\ell r}$ 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。

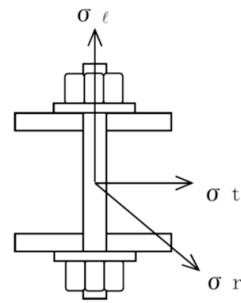
- σ_x : x 方向応力
- σ_y : y 方向応力
- σ_z : z 方向応力
- τ_{xy} : せん断応力
- τ_{yz} : せん断応力
- τ_{zx} : せん断応力



補強ビーム



支持板



スタッド

- 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

応力計算において、荷重は各補強ビームに加わると考えて計算する。

3.1 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、表 3-1 に示すとおりである。

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(2)a. に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

(1) 補強ビーム

補強ビームの差圧による各応力は、図 3-1 に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し、以下により求める。

a. 差圧による荷重

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 w_b は、次式で求める。

$$w_b = P_{13} \cdot \frac{1}{l_p} \cdot (2 \cdot l_p^2 - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

b. 曲げ応力 (一次応力)

図 3-1 に示す補強ビームのモデルにより曲げ応力を求める。ここで、断面二次モーメント I_0 、 I_1 は、支持板を穴の部分の面積を除いたものと等しい面積を持つ穴のない帯状の板に置き換えて計算する。穴としては、制御棒案内管の入る穴及び原子炉中性子計装案内管の入る穴を考慮する。

(a) $0 \leq x \leq l_1$ のとき

イ. モーメント

$$M = -M_A + \frac{w_b}{2} \cdot (a_1^2 - x^2)$$

ロ. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

(b) $\ell_i \leq x \leq a_i$ のとき

イ. モーメント

$$M = M_A + \frac{wb}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

ロ. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{I_0} \cdot e_0 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_0} \cdot e_0' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ここで, M_A : 固定端モーメント

$$M_A = \frac{\frac{wb}{2} \cdot \ell_i \cdot \left(a_i^2 - \frac{\ell_i^2}{3} \right) \cdot (I_0 - I_1) + I_1 \cdot \frac{wb}{3} \cdot a_i^3}{(I_0 - I_1) \cdot \ell_i + I_1 \cdot a_i}$$

I_0 : I_0 部の断面二次モーメント = mm⁴

I_1 : I_1 部の断面二次モーメント = mm⁴

c. せん断応力（一次一般膜応力）

補強ビームの固定端でせん断力は最大となり，補強ビームの中央でせん断力は 0 になる。

補強ビームの固定端におけるせん断応力は，次式で求める。

$$\tau_{zx} = \frac{F}{A_0}$$

ここで， F : 固定端におけるせん断力

$$F = w_b \cdot a_i$$

A_0 : 固定端の断面積

$$A_0 = b_e \cdot h_c + h_o \cdot t$$

(2) 支持板

支持板の差圧による各応力は，図 3-2 に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し，以下により求める。

a. 差圧による荷重

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 w_p は，次式で求める。

$$w_p = P_{13} \cdot \frac{1}{2 \cdot \ell_4} \cdot (2 \cdot \ell_4 \cdot \ell_p - 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2)$$

b. 曲げ応力（一次応力）

図 3-2 に示す支持板の応力計算モデルにより曲げ応力を求める。

(a) モーメント

$$M = M_A - w_p \cdot \ell_4 \cdot y + \frac{w_p}{2} \cdot y^2$$

(b) 曲げ応力

固定端における曲げ応力は，次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_2} \cdot \left(\frac{h_c}{2}\right) \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_2} \cdot \left(-\frac{h_c}{2}\right) \quad (\text{支持板の上面})$$

また， $y = \boxed{}$ mm における曲げ応力は，次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_{(y=\boxed{})}}{I_3} \cdot \left(\frac{h_c}{2}\right) \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = \frac{M_{(y=\boxed{})}}{I_3} \cdot \left(-\frac{h_c}{2}\right) \quad (\text{支持板の上面})$$

ここで， M_A ：固定端モーメント

$$M_A = \left[\frac{2 \cdot l_4^3 - \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (l_3^3 - l_2^3 - 3 \cdot l_3^2 \cdot l_4 + 3 \cdot l_2^2 \cdot l_4)}{6 \cdot \left\{ l_4 + \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (l_3 - l_2) \right\}} \right] \cdot W_p$$

$$I_2 : I_2 \text{ 部の断面二次モーメント} = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$I_3 : I_3 \text{ 部の断面二次モーメント} = \boxed{} \text{ mm}^4$$

c. せん断応力（一次一般膜応力）

固定端におけるせん断応力は，次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_p \cdot l_4}{h_c \cdot l_5}$$

$y = \boxed{}$ mm におけるせん断応力は，次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_p}{h_c \cdot l_6} \cdot (l_4 - y)$$

(3) スタッド

スタッドの形状，寸法を図 1-1(3)に示す。

a. 差圧による荷重

差圧によりスタッドに加わる荷重は，次式で求める。

$$W_s = P_{13} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 - n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$$

b. 引張応力

$$\sigma_\ell = \frac{W_s}{\square \cdot A_i}$$

ここで， n ：制御棒案内管用穴の総数 = \square

$$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = \square \text{ mm}^2$$

d_i ：スタッドの逃げの径 = \square mm

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(4)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 補強ビーム

補強ビームの外荷重による各応力は、図 3-1 に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し、以下により求める。

a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 w_b は、次式で求める。

$$w_b = -\frac{V_2}{\ell_p}$$

b. 鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重

鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重 w_b は、次式で求める。

$$w_b = \pm \frac{V_2}{\ell_p}$$

c. 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1)項と同様にして求める。

(2) 支持板

支持板の外荷重による応力は、図 3-2 に示す等分布荷重を受ける両端固定ばりにモデル化し、以下により求める。

a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 w_p は、次式で求める。

$$w_p = -\frac{V_3}{2 \cdot \ell_4}$$

b. 鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重

鉛直方向地震荷重による単位長さ当たりの分布荷重 w_p は、次式で求める。

$$w_p = \pm \frac{V_3}{2 \cdot \ell_4}$$

c. 水平方向地震荷重による荷重

図 3-2 に示す 1 本の制御棒案内管が支持板に与える水平方向荷重 H_p は、次の値を用いる。

$$H_p = \frac{4 \cdot H}{\square}$$

ここで、 H は水平方向地震荷重で、「応力解析の方針」の表 4-1(4) に示すとおりである。

d. 曲げ応力及びせん断応力

(a) 鉛直方向荷重（死荷重及び鉛直方向地震荷重）

3.2.2(2) 項と同様にして求める。

(b) 水平方向地震荷重

図 3-2 に示す支持板の応力計算モデルにより曲げ応力を求める。

イ. モーメント

固定端におけるモーメント M_A

$$M_A = \left(-\boxed{} + \frac{\boxed{}}{2 \cdot \ell_4} \right) \cdot H_p$$

$y = \boxed{}$ mm におけるモーメント M_B

$$M_B = \frac{\boxed{}}{2 \cdot \ell_4} \cdot H_p$$

- ロ. 曲げ応力（一次応力）
固定端における曲げ応力

$$\sigma_y = \frac{M_A}{I_A} \cdot \frac{\ell_5}{2}$$

$y = \boxed{}$ mm における曲げ応力

$$\sigma_y = \frac{M_B}{I_B} \cdot \frac{\ell_6}{2}$$

ここで、

$$I_A = \frac{h_c \cdot \ell_5^3}{12} = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$I_B = \frac{h_c \cdot \ell_6^3}{12} = \boxed{} \text{ mm}^4$$

- ハ. せん断応力（一次一般膜応力）
固定端におけるせん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{H_p}{h_c \cdot \ell_5}$$

$y = \boxed{}$ mm におけるせん断応力

$$\tau_{xy} = \frac{H_p}{h_c \cdot \ell_6}$$

(3) スタッド

スタッドの形状，寸法を図 1-1(3)に示す。

スタッドに加わる外荷重のうち，鉛直下向きの荷重による応力は発生しない。また，水平方向の地震荷重を受けた場合，炉心支持板のスタッド用穴と，スタッドとは十分にギャップがあり，かつ，球面座を介して取付けられているので，水平方向の地震荷重を受けても応力は発生しない。

スタッドの応力は，鉛直上方向の荷重を受けたときのみ発生する。よって地震荷重としては，鉛直上向きのみを考慮する。

a. 鉛直上向きの地震荷重

鉛直上向きの地震荷重は，「応力解析の方針」の表 4-1(4)に示すとおりである。

b. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_s}{A_i}$$

ここで， W_s ：炉心支持板に加わる鉛直上向きの地震荷重

$$A_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = \boxed{} \text{ mm}^2$$

$$d_i = \text{スタッドの逃げの径} = \boxed{} \text{ mm}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ，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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

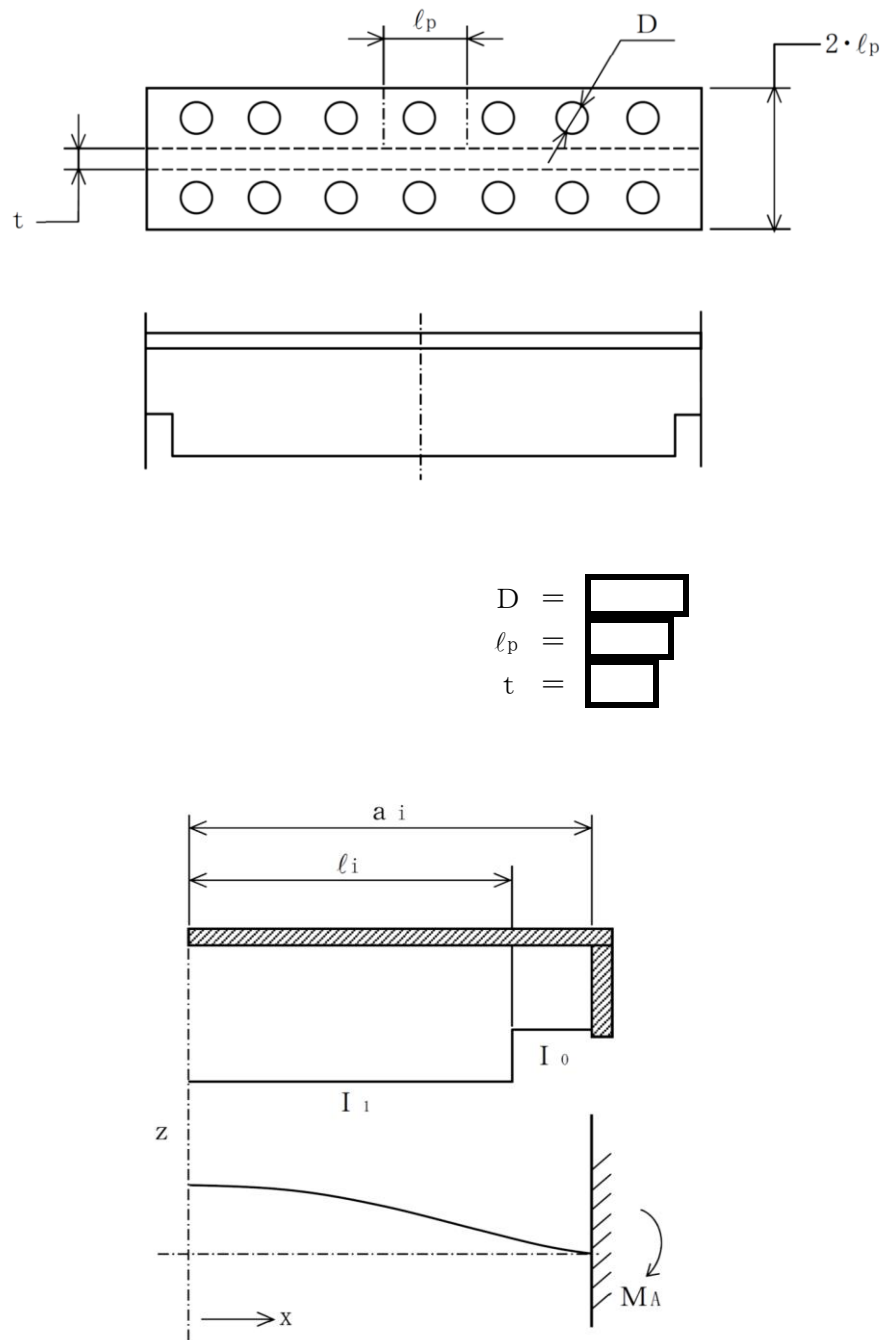


図 3-1(1) 補強ビームの応力計算モデル (単位: mm)

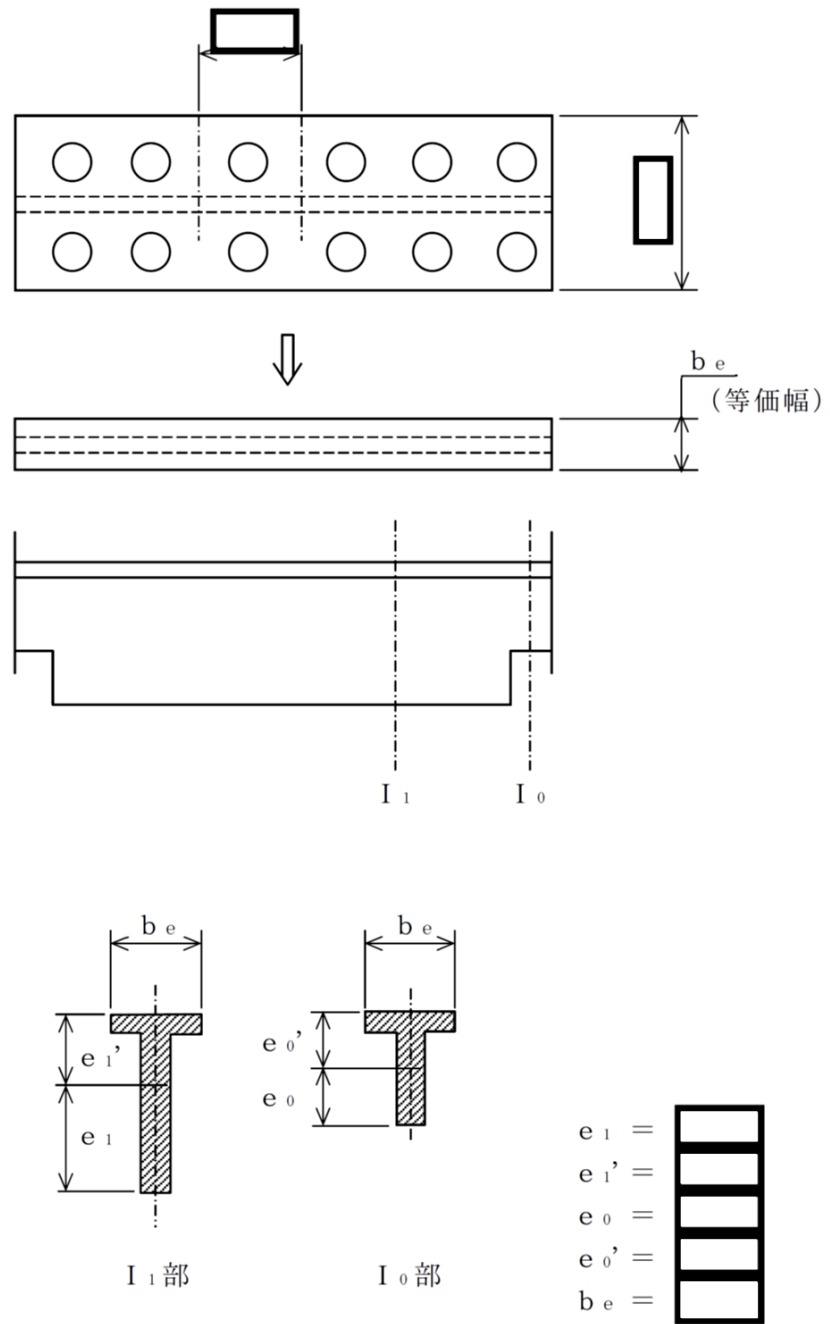
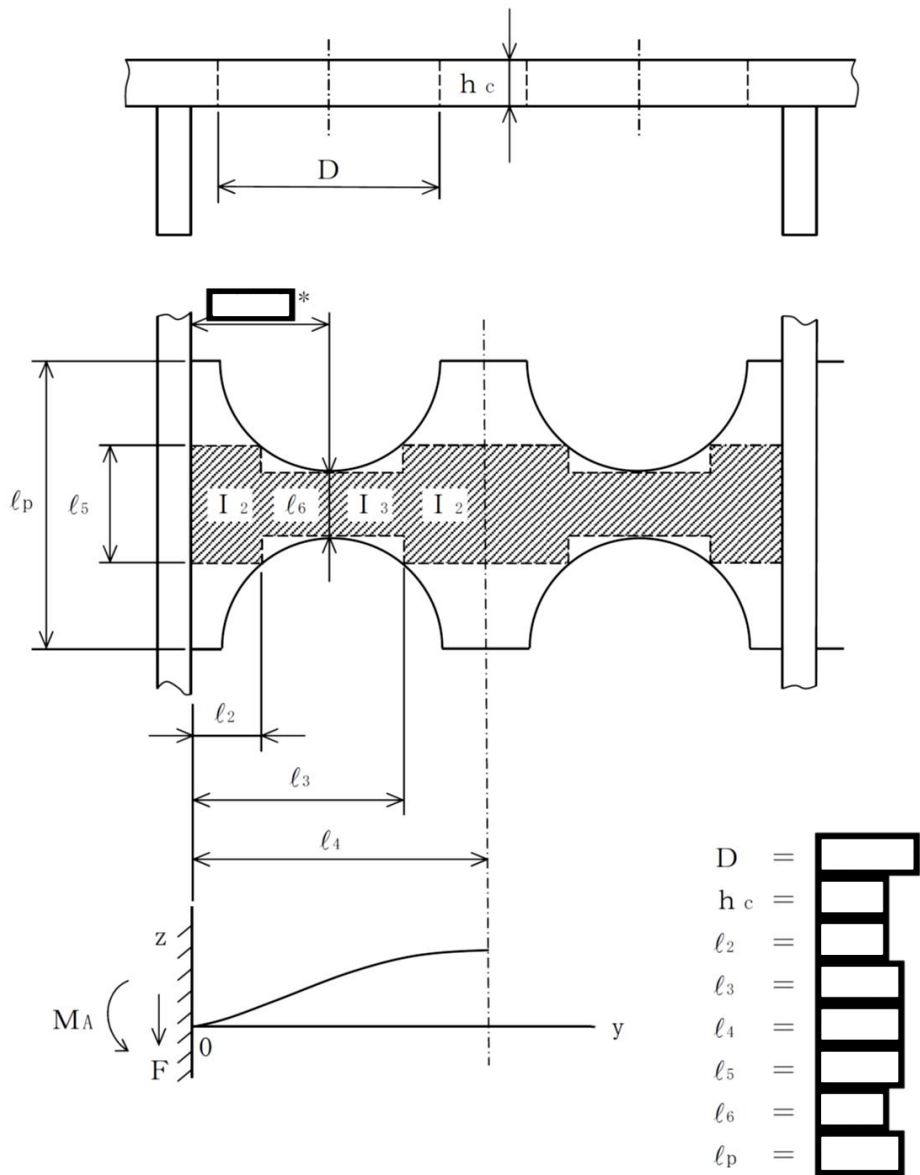


図 3-1(2) 補強ビームの応力計算モデル (単位: mm)



注記* : 固定端から最小幅になる部分までの距離

図 3-2(1) 支持板の応力計算モデル (単位 : mm)

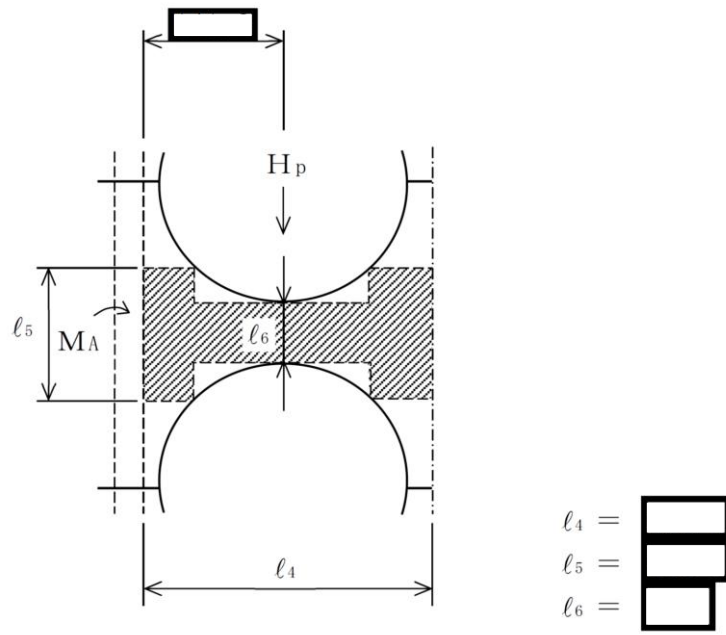


図3-2(2) 支持板の応力計算モデル (単位: mm)

表 3-1 断面性状

応力 評価点	断面積 A (mm ²)	補強ビームに平行な軸		補強ビームに垂直な軸	
		断面二次モーメント I (mm ⁴)	中立軸からの距離 e (mm)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	中立軸からの距離 e (mm)
P01, P01'					
P02, P02'					
P03, P03'					
P04, P04'					
P05, P05'					
P06, P06'					
P07, P07'					
P08, P08'					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	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	0	142	0	228
P01'	0	142	0	228
P02	0	85 ^{*1}	0	136 ^{*1}
P02'	0	85 ^{*1}	0	136 ^{*1}
P03	10	92 ^{*2}	11	148 ^{*2}
P03'	10	92 ^{*2}	9	148 ^{*2}
P04	10	85 ^{*1}	11	136 ^{*1}
P04'	10	85 ^{*1}	9	136 ^{*1}
P05	12	85 ^{*1}	16	136 ^{*1}
P05'	12	85 ^{*1}	16	136 ^{*1}
P06	12	142	16	228
P06'	12	142	16	228
P07	43	142	59	228
P07'	43	142	59	228
P08	43	142	59	228
P08'	43	142	59	228
P09	15	142	16	228

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	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	18	214	16	342
P01'	20	214	22	342
P02	8	128 ^{*1}	8	205 ^{*1}
P02'	9	128 ^{*1}	10	205 ^{*1}
P03	47	139 ^{*2}	43	222 ^{*2}
P03'	52	139 ^{*2}	56	222 ^{*2}
P04	21	128 ^{*1}	20	205 ^{*1}
P04'	22	128 ^{*1}	23	205 ^{*1}
P05	45	128 ^{*1}	58	205 ^{*1}
P05'	33	128 ^{*1}	47	205 ^{*1}
P06	24	214	36	342
P06'	54	214	68	342
P07	157	214	215	342
P07'	162	214	222	342
P08	151	214	209	342
P08'	168	214	228	342
P09	15	214	16	342

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-2-2-6 燃料支持金具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	1
1.3 解析範囲	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	5
2.8 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	7
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

1. 一般事項

本計算書は、燃料支持金具の耐震性についての計算書である。

燃料支持金具は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、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、燃料支持金具は、炉心支持構造物であるため、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。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ	高さ	mm
t	厚さ	mm

1.2 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。

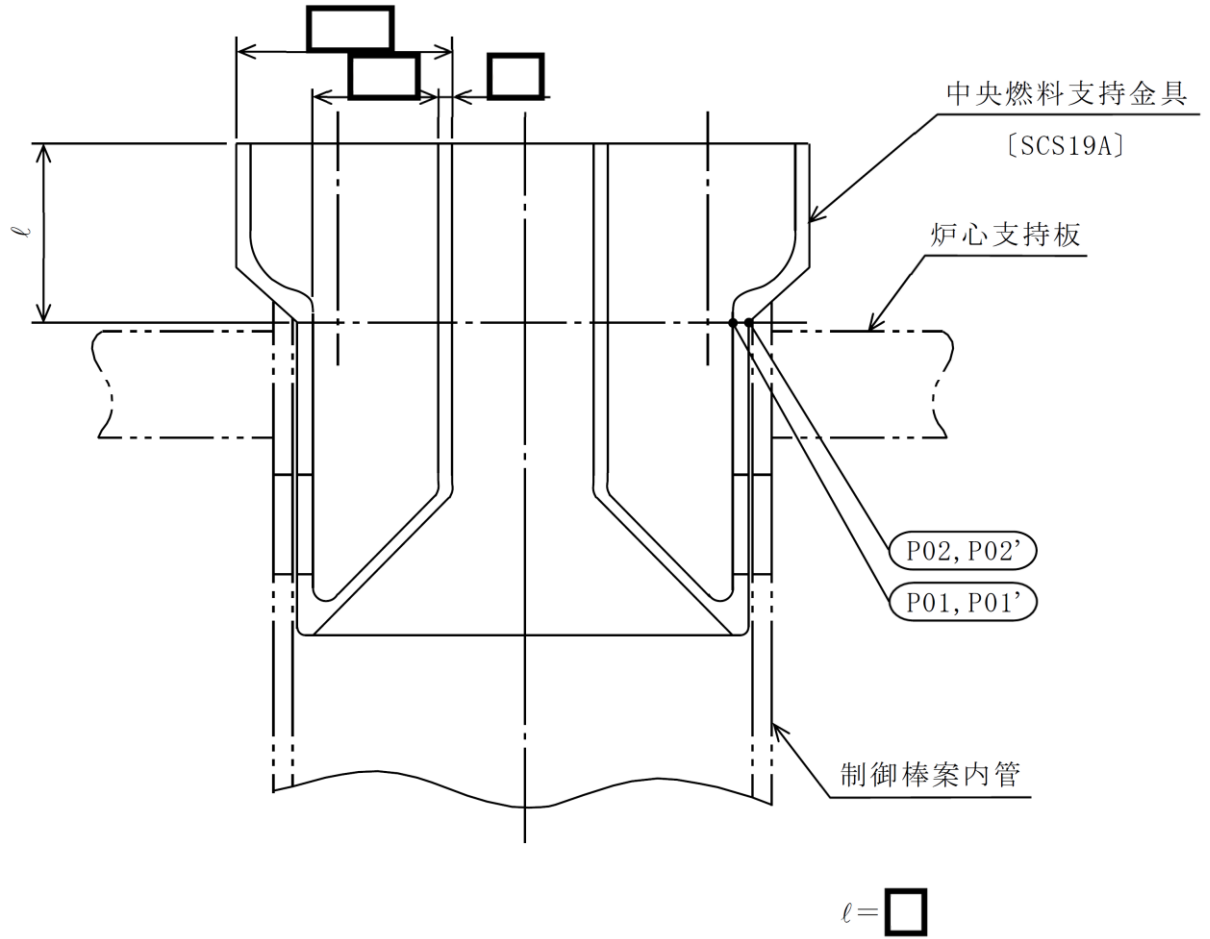
1.3 解析範囲

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。



: 応力評価点
 : 材 料

図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm) (1/2)

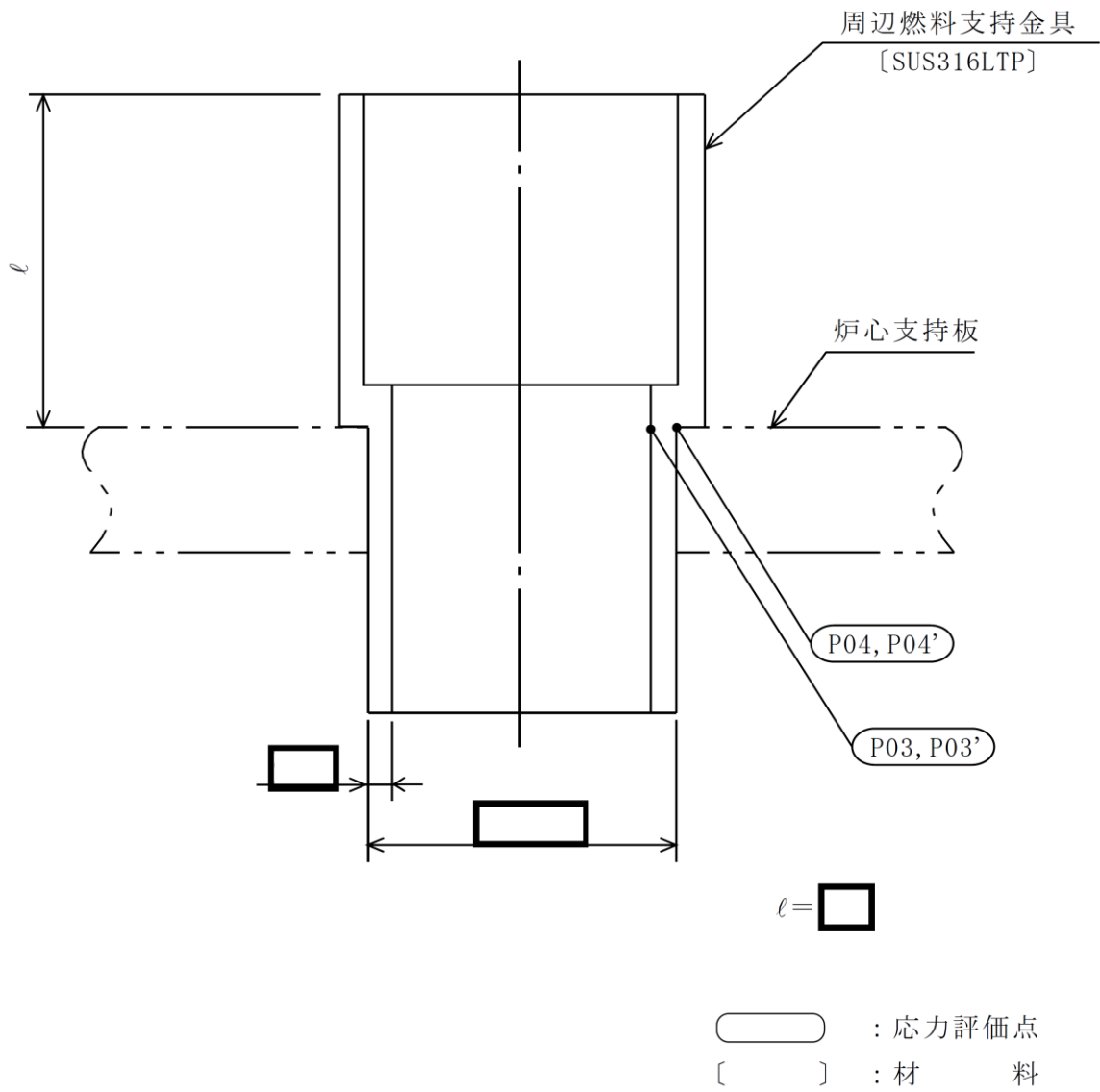


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm) (2/2)

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
中央燃料 支持金具 SCS19A	Ⅲ A S	36	172	P01'-P02'	36	259	P01'-P02'
	Ⅳ A S	44	248	P01'-P02'	44	372	P01'-P02'
周辺燃料 支持金具 SUS316LTP	Ⅲ A S	20	56*	P03'-P04'	20	85*	P03'-P04'
	Ⅳ A S	24	91*	P03'-P04'	24	136*	P03'-P04'

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

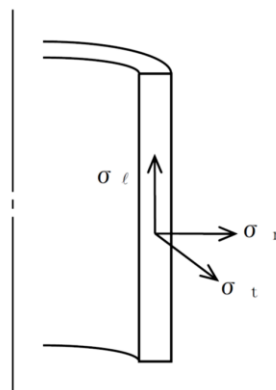
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

2.8 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
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力



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。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

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、「応力解析の方針」の参照図書(2)a.に定める差圧 P_{13} である。

3.2.2 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を mm とし、かつ、厚さが最小となる円筒を考え、内圧を受ける円筒にモデル化し、計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算のモデルを図 3-1 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\ell = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜+一次曲げ応力

差圧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。

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(5)に示す。

3.3.2 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面で、その断面の最小幅を内径とし、かつ、厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算のモデルを図 3-2 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

ここで、M：応力評価点での水平力Hにより発生するモーメント

$$M = H \cdot \ell$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重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。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

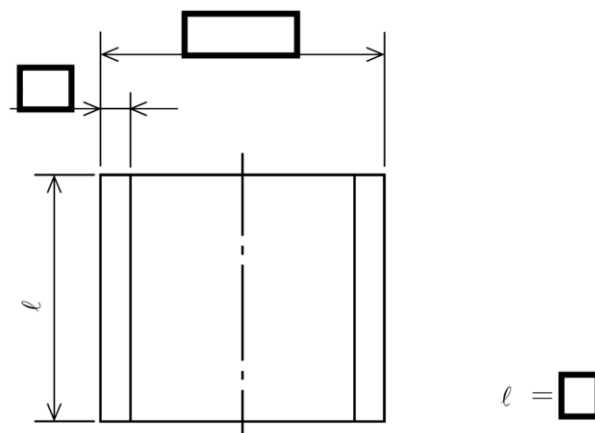


図 3-1 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位 : mm)

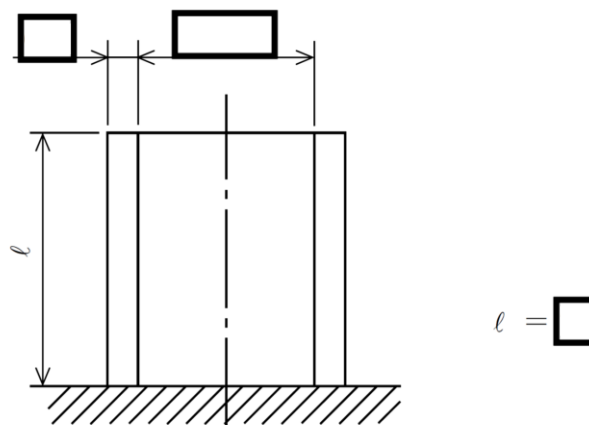


図 3-2 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02*					
P03, P04					

注記*：上段は差圧による応力計算モデルの断面性状を示し，下段は外荷重による応力計算モデルの断面性状を示す。

表 4-1 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	31	172	39	248
P01' P02'	36	172	44	248
P03 P04	17	56*	21	91*
P03' P04'	20	56*	24	91*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 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	31	259	39	372
P01' P02'	36	259	44	372
P03 P04	17	85*	21	136*
P03' P04'	20	85*	24	136*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-2-2-7 制御棒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 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	1
1.3 解析範囲	1
1.4 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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 許容応力	4
2.8 応力の記号と方向	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
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

1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の耐震性についての計算書である。

制御棒案内管は、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、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、制御棒案内管は、炉心支持構造物であるため、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。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm

1.2 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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

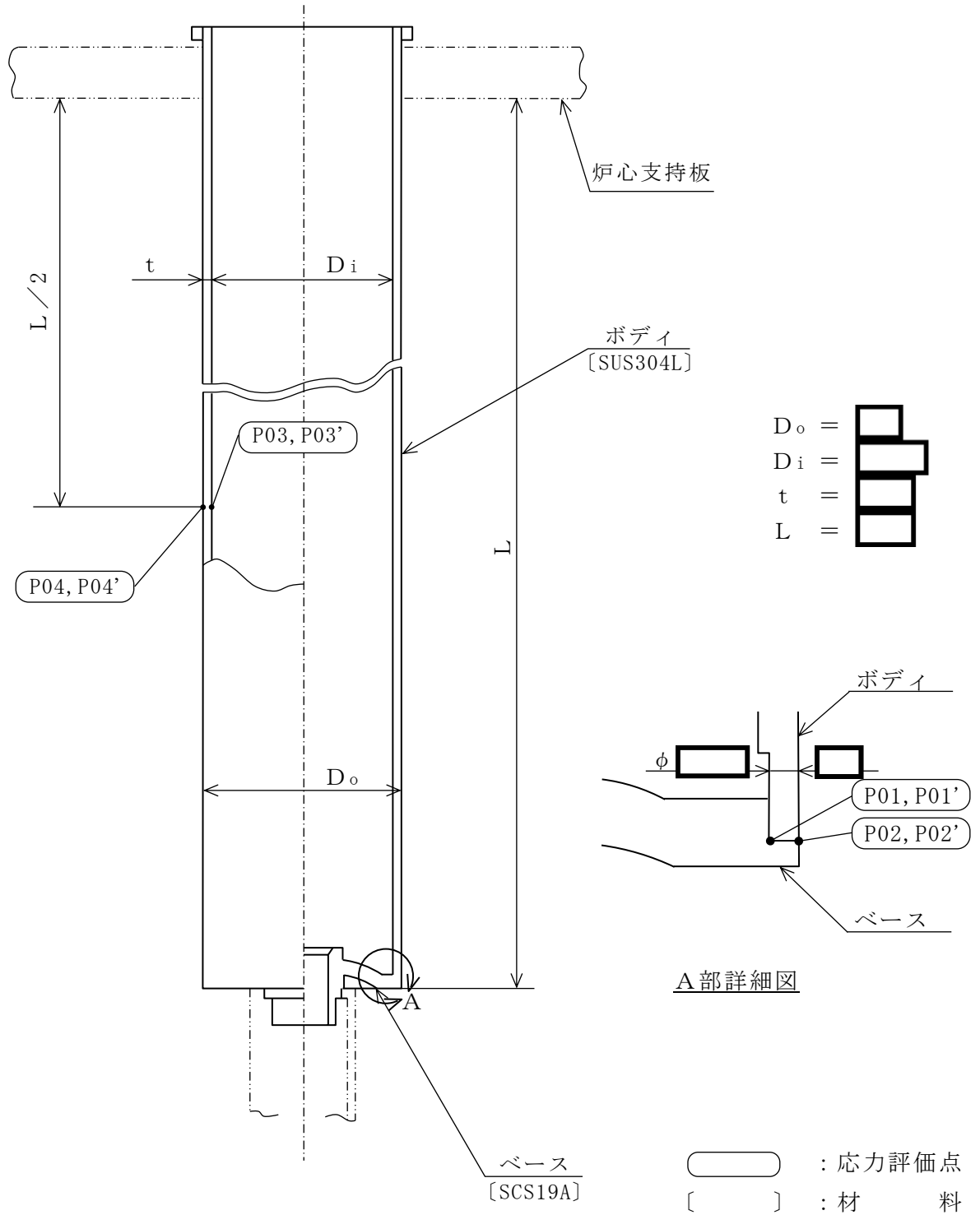


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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
下部溶接部 SUS304L	Ⅲ A S	10	94*	P01'-P02'	10	141*	P01'-P02'
	Ⅳ A S	15	151*	P01'-P02'	15	226*	P01'-P02'
長手中央部 SUS304L	Ⅲ A S	43	145	P03'-P04'	43	218	P03'-P04'
	Ⅳ A S	58	233	P03'-P04'	58	349	P03'-P04'

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

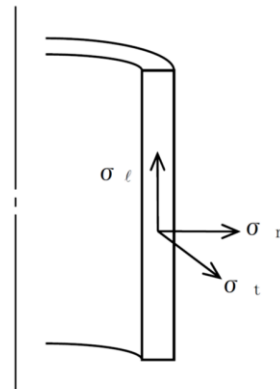
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

2.8 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
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力



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。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

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(2)a.に定めるとおりである。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、外圧を受ける円筒にモデル化し、次式で求める。

なお、制御棒案内管は片端開放であるから、軸方向応力は発生しない。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_l = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで、 } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧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。

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(6)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重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。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				

表 4-1 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	8	94*	12	151*
P01' P02'	10	94*	15	151*
P03 P04	40	145	56	233
P03' P04'	43	145	58	233

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 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	8	141*	12	226*
P01' P02'	10	141*	15	226*
P03 P04	40	218	56	349
P03' P04'	43	218	58	349

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

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 原子炉压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
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
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 外荷重条件	10
4.4 荷重の組合せ	11
5. 応力評価の手順	12
5.1 計算に使用する解析コード	12
5.2 荷重条件の選定	12
5.3 応力の評価	12
5.3.1 主応力	12
5.3.2 応力強さ	12
5.3.3 一次応力強さ	12
5.3.4 一次+二次応力強さ	13
5.4 繰返し荷重の評価	13
5.4.1 疲労解析不要の検討	13
5.4.2 疲労解析	13
5.5 特別な応力の評価	14
5.5.1 純せん断応力の評価	14
5.5.2 座屈の評価	14
5.6 原子炉圧力容器基礎ボルトの評価	15

6. 評価結果の添付	16
6.1 応力評価結果	16
6.2 繰返し荷重の評価結果	17
7. 引用文献	17
8. 参照図書	17

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。

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）

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。

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 (N1)、再循環水入口ノズル (N2)、主蒸気ノズル (N3)、給水ノズル (N4)、低圧炉心スプレイノズル (N5)、低圧注水ノズル (N6)、上ぶたスプレイノズル (N7)、計測及びベントノズル (N8)、ジェットポンプ計測ノズル (N9)、ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11)、計測ノズル (N12, N13, N14)、ドレンノズル (N15)、高圧炉心スプレイノズル (N16)、予備ノズル (N18)、ブラケット類より構成される。</p>	<p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉圧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」にて示す原子炉圧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。

原子炉圧力容器の耐震評価フローを図2-1に示す。

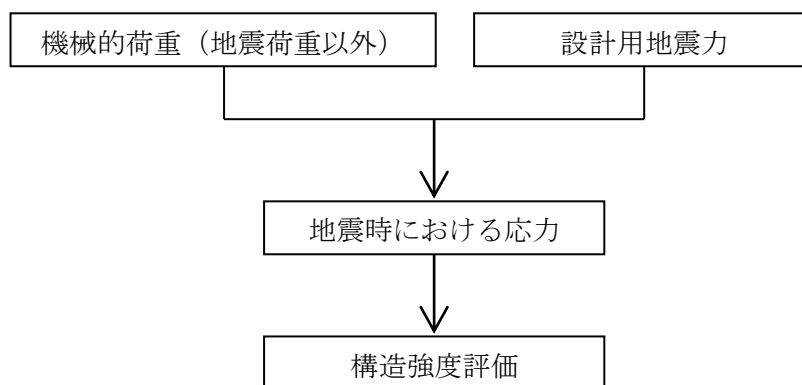


図 2-1 原子炉圧力容器の耐震評価フロー

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_{ts}	せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	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	軸力	N
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，せん断力	MPa, N
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
σ _b	引張応力	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

記号	記号の説明	単位
τ_b	せん断応力	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
ⅢA 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	—
ⅣA 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	—

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
地震荷重	—*1	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
主応力	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
特別な応力	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
座屈に対する評価	—	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
疲労累積係数	—	小数点以下第4位	切上げ	小数点以下第3位

注記*1：機器ごとに考慮する荷重に応じた単位を適用する。

*2：原子炉中性子計装孔の表示桁は小数点以下第3位とし、制御棒貫通孔、ノズル、ブラケット類及びジェットポンプ計測配管貫通部シールの表示桁は小数点以下第1位とする。円筒胴、下鏡、原子炉压力容器支持スカート、原子炉压力容器基礎ボルトの表示桁は地震荷重以外の荷重の表示桁に合わせ、処理方法は切上げとする。

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)	
		III A 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)	原子炉圧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)	給水スパージャブラケット	○	×*2
(26)	炉心スプレイブラケット	○	×*2
(27)	吊金具	×*3	×*3
(28)	原子炉圧力容器基礎ボルト	○	×*2
(29)	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) *4	○	○
(30)	ジェットポンプ計測配管貫通部シール*4	○	×*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。

*4：クラス1管であるが，設計・建設規格 PPB-3112の規定により，クラス1容器として本応力解析の方針を適用する。

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

原子炉圧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、原子炉圧力容器については、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) 原子炉圧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) 原子炉圧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ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sの一次応力の評価には、保守的な評価となるよう、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ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sの一次＋二次応力及び繰返し荷重の評価は、運転状態Ⅰ及びⅡを代表する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) 原子炉圧力容器の許容応力評価条件を表3-5に示す。

なお、原子炉圧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。

4.3 外荷重条件

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。

4.4 荷重の組合せ

荷重の組合せを表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 計算に使用する解析コード

解析コードは「ABAQUS」を用いる。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。

5.2 荷重条件の選定

応力解析においては、4章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。

5.3 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。荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表4-2に示す。

5.3.1 主応力

荷重ごとに計算した応力を重ね合わせた結果から、主応力を求める。

応力成分は一般に σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} 、 τ_{lr} 、 τ_{rt} の6成分であるが、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。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ & - \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 \\ & + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 - 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

5.3.2 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。

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

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

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

5.3.3 一次応力強さ

許容応力状態ⅢAS及び許容応力状態ⅣAS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。

5.3.4 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, 5.4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。

5.4 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ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sによる荷重を用いて, 次の方法によって行う。

5.4.1 疲労解析不要の検討

本項の検討は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき, 設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを示す。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。

5.4.2 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ⅢA S及び許容応力状態ⅣA S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4.3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_e' 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_{S_d} 又は許容応力状態Ⅳ_ASにおける疲労累積係数 U_{S_s} の和 U_f ($U_n + U_{S_d}$ 又は $U_n + U_{S_s}$) 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194 MPa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。

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

5.5 特別な応力の評価

5.5.1 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

5.5.2 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

5.6 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

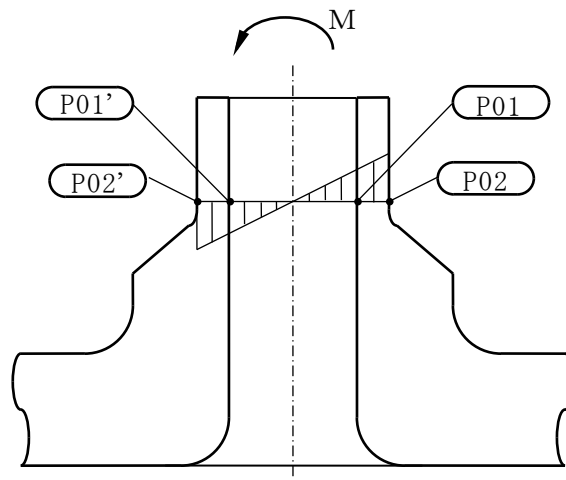
F* : 設計・建設規格 SSB-3133に定める値

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

6.2 繰返し荷重の評価結果

運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労累積係数に許容応力状態ⅢA S又は許容応力状態ⅣA Sのいずれか大きい方の疲労累積係数を加えた計算については、部分ごとの最も厳しい結果について添付する。

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 ((社)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」

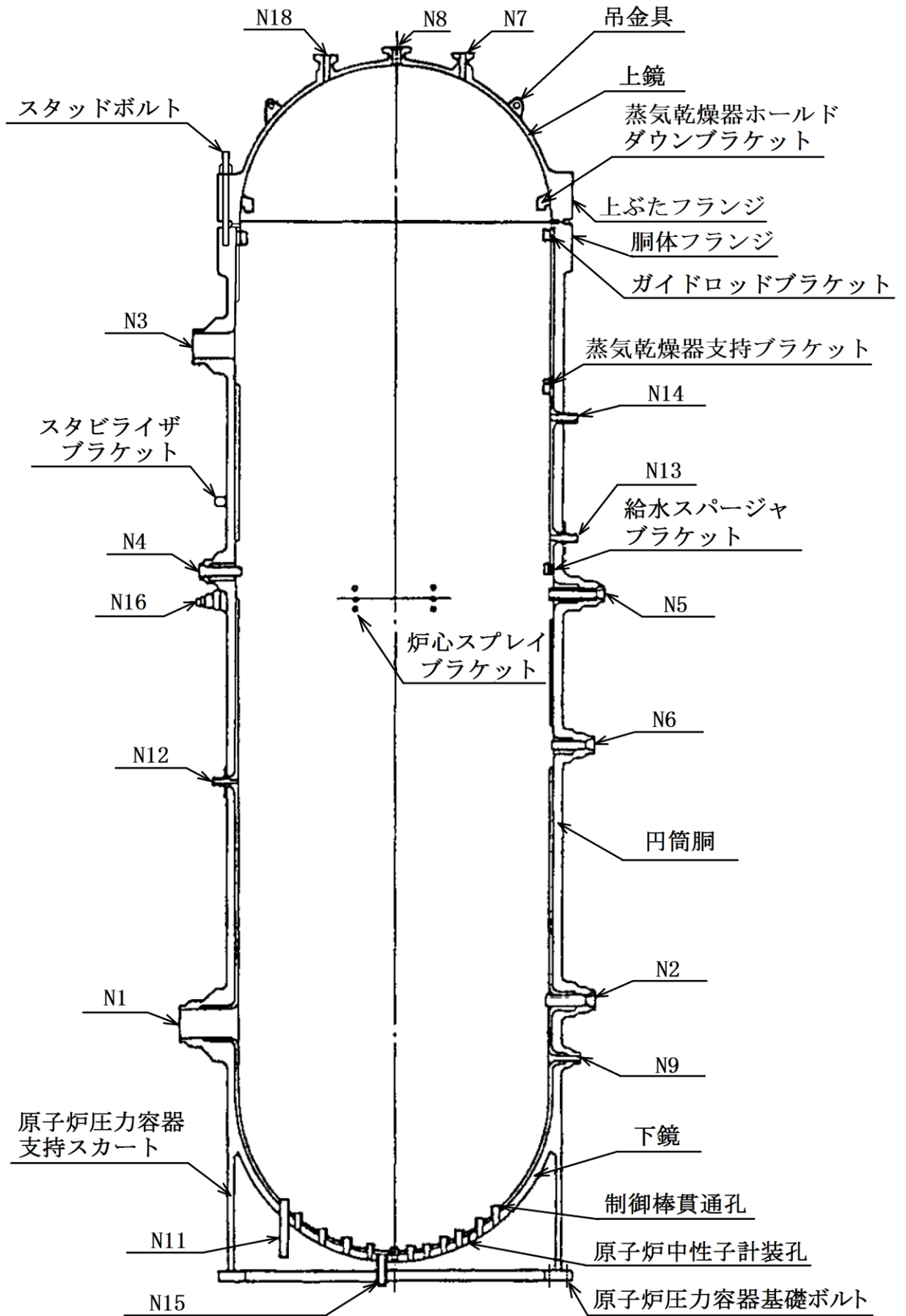


図3-1 全体断面図

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 _o ×10 ⁵ (MPa)	q	A _o	B _o
SQV2A	1.84	184	86	2.07	3.1	1.0	1.25
SFVQ1A	1.76	184	86	2.07	3.1	1.0	1.25
SFVC2B	1.86	127	86	2.07	3.1	0.66	2.59
SUSF316	1.76	120	94	1.95	3.1	0.7	2.15
SUS316TP	1.76	120	94	1.95	3.1	0.7	2.15
SUS316LTP	1.76	96	94	1.95	3.1	0.7	2.15
NCF600-B	1.98	164	94	1.95	3.1	0.7	2.15

[記号の説明]

- E : 運転温度 (□℃) に対する縦弾性係数
- S_m : 運転温度 (□℃) 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
- E_o : 設計・建設規格 添付4-2に記載された縦弾性係数
- q, A_o, B_o : 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 : 地震と組み合わせす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_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
Ⅲ A S	S_y と $2/3 \cdot S_u$ 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 $1.2 \cdot S_m$ とする。	左欄の α 倍の値 *2	$3 \cdot S_m$ *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。*5	$0.6 \cdot S_m$
Ⅳ A S	$2/3 \cdot S_u$ 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。	左欄の α 倍の値 *2			$0.4 \cdot S_u$
Ⅴ A S (Ⅴ A S としてⅣ A S 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： $3 \cdot S_m$ 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。

*5：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。

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3-5 許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
原子炉 圧力容器	炭素鋼 及び 低合金鋼	SQV2A	流体の最高温度				
			運転温度				
		SFVQ1A	流体の最高温度				
			運転温度				
		SFVC2B	流体の最高温度				
			運転温度				
	オーステナイト系 ステンレス鋼及び 高ニッケル合金	SUSF316	流体の最高温度				
			運転温度				
		SUS316TP	流体の最高温度				
			運転温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
			運転温度				
		NCF600-B	流体の最高温度				
			運転温度				

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							

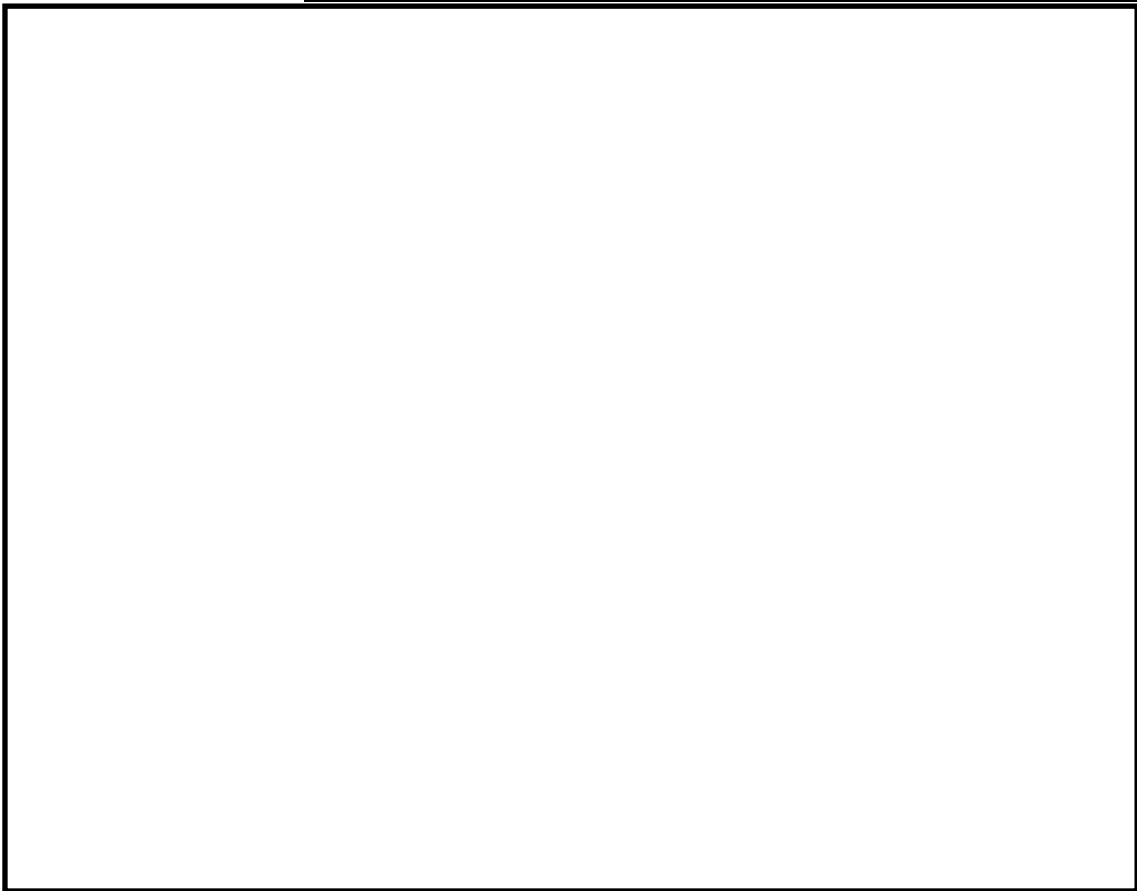


表4-1(2) 外荷重
制御棒貫通孔外荷重

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)					

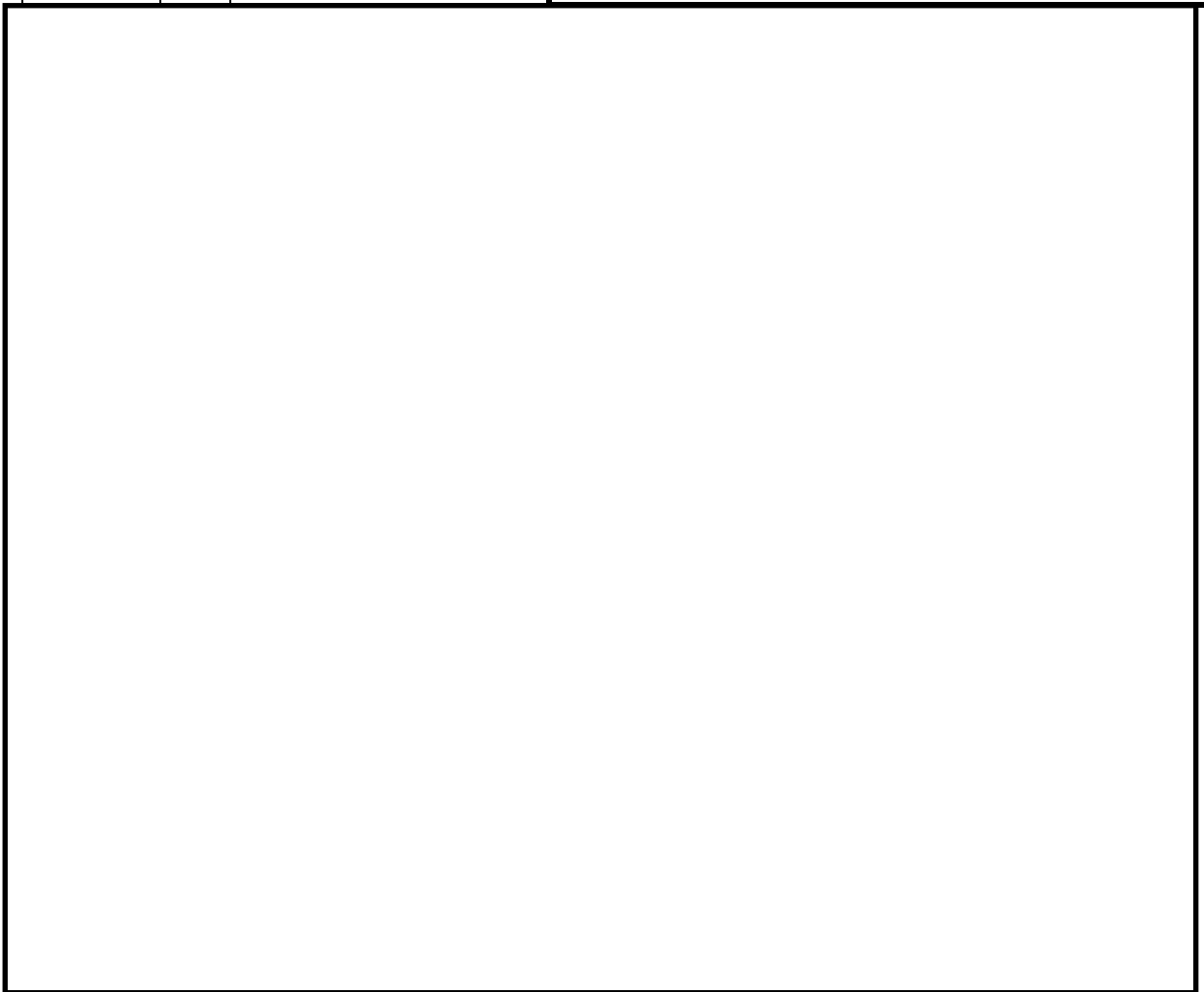


表4-1(5) 外荷重

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 R1

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 R1

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*				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

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-2-3-3-1-2 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書

目 次
(概要)

1. 概要 1-1

目 次
(円筒胴)

2. 円筒胴の応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 形状・寸法・材料	2-1
2.1.2 解析範囲	2-1
2.1.3 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-4
2.2.1 設計条件	2-4
2.2.2 運転条件	2-4
2.2.3 外荷重条件	2-4
2.2.4 材料	2-4
2.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-4
2.2.6 荷重の組合せ	2-4
2.2.7 許容応力	2-4
2.3 応力計算	2-4
2.3.1 応力評価点	2-4
2.3.2 内圧による応力	2-4
2.3.3 外荷重による応力	2-5
2.3.4 応力の評価	2-5
2.4 応力強さの評価	2-5
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	2-5
2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-5
2.4.3 一次＋二次応力強さの評価	2-5
2.5 繰返し荷重の評価	2-6
2.5.1 疲労解析	2-6

目 次
(下鏡)

3. 下鏡の応力計算	3-1
3.1 一般事項	3-1
3.1.1 形状・寸法・材料	3-1
3.1.2 解析範囲	3-1
3.1.3 計算結果の概要	3-1
3.2 計算条件	3-4
3.2.1 設計条件	3-4
3.2.2 運転条件	3-4
3.2.3 外荷重条件	3-4
3.2.4 材料	3-4
3.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	3-4
3.2.6 荷重の組合せ	3-4
3.2.7 許容応力	3-4
3.3 応力計算	3-4
3.3.1 応力評価点	3-4
3.3.2 内圧による応力	3-4
3.3.3 外荷重による応力	3-5
3.3.4 応力の評価	3-5
3.4 応力強さの評価	3-5
3.4.1 一次一般膜応力強さの評価	3-5
3.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価	3-5
3.4.3 一次+二次応力強さの評価	3-5
3.5 繰返し荷重の評価	3-6
3.5.1 疲労解析	3-6

目 次
(制御棒貫通孔)

4. 制御棒貫通孔の応力計算	4-1
4.1 一般事項	4-1
4.1.1 記号の説明	4-1
4.1.2 形状・寸法・材料	4-1
4.1.3 解析範囲	4-1
4.1.4 計算結果の概要	4-1
4.2 計算条件	4-4
4.2.1 設計条件	4-4
4.2.2 運転条件	4-4
4.2.3 外荷重条件	4-4
4.2.4 材料	4-4
4.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4-4
4.2.6 荷重の組合せ	4-4
4.2.7 許容応力	4-4
4.3 応力計算	4-4
4.3.1 応力評価点	4-4
4.3.2 内圧による応力	4-4
4.3.3 外荷重による応力	4-5
4.3.4 応力の評価	4-5
4.4 応力強さの評価	4-5
4.4.1 一次一般膜応力強さの評価	4-5
4.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	4-5
4.4.3 一次＋二次応力強さの評価	4-5
4.5 繰返し荷重の評価	4-6
4.5.1 疲労解析	4-6
4.6 特別な応力の評価	4-6
4.6.1 座屈に対する評価	4-6

目 次
(原子炉中性子計装孔)

5. 原子炉中性子計装孔の応力計算	5-1
5.1 一般事項	5-1
5.1.1 形状・寸法・材料	5-1
5.1.2 解析範囲	5-1
5.1.3 計算結果の概要	5-1
5.2 計算条件	5-4
5.2.1 設計条件	5-4
5.2.2 運転条件	5-4
5.2.3 外荷重条件	5-4
5.2.4 材料	5-4
5.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5-4
5.2.6 荷重の組合せ	5-4
5.2.7 許容応力	5-4
5.3 応力計算	5-4
5.3.1 応力評価点	5-4
5.3.2 内圧による応力	5-4
5.3.3 外荷重による応力	5-5
5.3.4 応力の評価	5-5
5.4 応力強さの評価	5-5
5.4.1 一次一般膜応力強さの評価	5-5
5.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	5-5
5.4.3 一次＋二次応力強さの評価	5-5
5.5 繰返し荷重の評価	5-6
5.5.1 疲労解析	5-6

目 次
(再循環水出口ノズル (N1))

6.	再循環水出口ノズル (N1) の応力計算	6-1
6.1	一般事項	6-1
6.1.1	形状・寸法・材料	6-1
6.1.2	解析範囲	6-1
6.1.3	計算結果の概要	6-1
6.2	計算条件	6-4
6.2.1	設計条件	6-4
6.2.2	運転条件	6-4
6.2.3	外荷重条件	6-4
6.2.4	材料	6-4
6.2.5	荷重の組合せ及び許容応力状態	6-4
6.2.6	荷重の組合せ	6-4
6.2.7	許容応力	6-4
6.3	応力計算	6-4
6.3.1	応力評価点	6-4
6.3.2	内圧による応力	6-4
6.3.3	外荷重による応力	6-5
6.3.4	応力の評価	6-5
6.4	応力強さの評価	6-5
6.4.1	一次一般膜応力強さの評価	6-5
6.4.2	一次膜+一次曲げ応力強さの評価	6-5
6.4.3	一次+二次応力強さの評価	6-6
6.5	繰返し荷重の評価	6-6
6.5.1	疲労解析	6-6

目 次
(再循環水入口ノズル (N2))

7. 再循環水入口ノズル (N2) の応力計算	7-1
7.1 一般事項	7-1
7.1.1 形状・寸法・材料	7-1
7.1.2 解析範囲	7-1
7.1.3 計算結果の概要	7-1
7.2 計算条件	7-4
7.2.1 設計条件	7-4
7.2.2 運転条件	7-4
7.2.3 外荷重条件	7-4
7.2.4 材料	7-4
7.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	7-4
7.2.6 荷重の組合せ	7-4
7.2.7 許容応力	7-4
7.3 応力計算	7-4
7.3.1 応力評価点	7-4
7.3.2 内圧及び差圧による応力	7-4
7.3.3 外荷重による応力	7-5
7.3.4 応力の評価	7-5
7.4 応力強さの評価	7-5
7.4.1 一次一般膜応力強さの評価	7-5
7.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	7-5
7.4.3 一次＋二次応力強さの評価	7-6
7.5 繰返し荷重の評価	7-6
7.5.1 疲労解析	7-6

目 次
(主蒸気ノズル (N3))

8. 主蒸気ノズル (N3) の応力計算	8-1
8.1 一般事項	8-1
8.1.1 形状・寸法・材料	8-1
8.1.2 解析範囲	8-1
8.1.3 計算結果の概要	8-1
8.2 計算条件	8-4
8.2.1 設計条件	8-4
8.2.2 運転条件	8-4
8.2.3 外荷重条件	8-4
8.2.4 材料	8-4
8.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	8-4
8.2.6 荷重の組合せ	8-4
8.2.7 許容応力	8-4
8.3 応力計算	8-4
8.3.1 応力評価点	8-4
8.3.2 内圧による応力	8-4
8.3.3 外荷重による応力	8-5
8.3.4 応力の評価	8-5
8.4 応力強さの評価	8-5
8.4.1 一次一般膜応力強さの評価	8-5
8.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価	8-5
8.4.3 一次+二次応力強さの評価	8-6
8.5 繰返し荷重の評価	8-6
8.5.1 疲労解析	8-6

目 次
(給水ノズル (N4))

9. 給水ノズル (N4) の応力計算	9-1
9.1 一般事項	9-1
9.1.1 形状・寸法・材料	9-1
9.1.2 解析範囲	9-1
9.1.3 計算結果の概要	9-1
9.2 計算条件	9-4
9.2.1 設計条件	9-4
9.2.2 運転条件	9-4
9.2.3 外荷重条件	9-4
9.2.4 材料	9-4
9.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	9-4
9.2.6 荷重の組合せ	9-4
9.2.7 許容応力	9-4
9.3 応力計算	9-4
9.3.1 応力評価点	9-4
9.3.2 内圧及び差圧による応力	9-4
9.3.3 外荷重による応力	9-5
9.3.4 応力の評価	9-5
9.4 応力強さの評価	9-5
9.4.1 一次一般膜応力強さの評価	9-5
9.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	9-5
9.4.3 一次＋二次応力強さの評価	9-6
9.5 繰返し荷重の評価	9-6
9.5.1 疲労解析	9-6

目 次
(低圧炉心スプレインズル (N5))

10. 低圧炉心スプレインズル (N5) の応力計算	10-1
10.1 一般事項	10-1
10.1.1 形状・寸法・材料	10-1
10.1.2 解析範囲	10-1
10.1.3 計算結果の概要	10-1
10.2 計算条件	10-4
10.2.1 設計条件	10-4
10.2.2 運転条件	10-4
10.2.3 外荷重条件	10-4
10.2.4 材料	10-4
10.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	10-4
10.2.6 荷重の組合せ	10-4
10.2.7 許容応力	10-4
10.3 応力計算	10-4
10.3.1 応力評価点	10-4
10.3.2 内圧及び差圧による応力	10-4
10.3.3 外荷重による応力	10-5
10.3.4 応力の評価	10-5
10.4 応力強さの評価	10-5
10.4.1 一次一般膜応力強さの評価	10-5
10.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	10-5
10.4.3 一次＋二次応力強さの評価	10-6
10.5 繰返し荷重の評価	10-6
10.5.1 疲労解析	10-6

目 次
(低圧注水ノズル (N6))

11. 低圧注水ノズル (N6) の応力計算	11-1
11.1 一般事項	11-1
11.1.1 形状・寸法・材料	11-1
11.1.2 解析範囲	11-1
11.1.3 計算結果の概要	11-1
11.2 計算条件	11-4
11.2.1 設計条件	11-4
11.2.2 運転条件	11-4
11.2.3 外荷重条件	11-4
11.2.4 材料	11-4
11.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	11-4
11.2.6 荷重の組合せ	11-4
11.2.7 許容応力	11-4
11.3 応力計算	11-4
11.3.1 応力評価点	11-4
11.3.2 内圧及び差圧による応力	11-4
11.3.3 外荷重による応力	11-5
11.3.4 応力の評価	11-5
11.4 応力強さの評価	11-5
11.4.1 一次一般膜応力強さの評価	11-5
11.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	11-5
11.4.3 一次＋二次応力強さの評価	11-6
11.5 繰返し荷重の評価	11-6
11.5.1 疲労解析	11-6

目 次
(上ぶたスプレイノズル (N7))

12.	上ぶたスプレイノズル (N7) の応力計算	12-1
12.1	一般事項	12-1
12.1.1	形状・寸法・材料	12-1
12.1.2	解析範囲	12-1
12.1.3	計算結果の概要	12-1
12.2	計算条件	12-4
12.2.1	設計条件	12-4
12.2.2	運転条件	12-4
12.2.3	外荷重条件	12-4
12.2.4	材料	12-4
12.2.5	荷重の組合せ及び許容応力状態	12-4
12.2.6	荷重の組合せ	12-4
12.2.7	許容応力	12-4
12.3	応力計算	12-4
12.3.1	応力評価点	12-4
12.3.2	内圧による応力	12-4
12.3.3	外荷重による応力	12-5
12.3.4	ボルト荷重による応力	12-5
12.3.5	応力の評価	12-5
12.4	応力強さの評価	12-5
12.4.1	一次一般膜応力強さの評価	12-5
12.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	12-6
12.4.3	一次＋二次応力強さの評価	12-6
12.5	繰返し荷重の評価	12-6
12.5.1	疲労解析	12-6

目 次
(計測及びベントノズル (N8))

13. 計測及びベントノズル (N8) の応力計算	13-1
13.1 一般事項	13-1
13.1.1 形状・寸法・材料	13-1
13.1.2 解析範囲	13-1
13.1.3 計算結果の概要	13-1
13.2 計算条件	13-4
13.2.1 設計条件	13-4
13.2.2 運転条件	13-4
13.2.3 外荷重条件	13-4
13.2.4 材料	13-4
13.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	13-4
13.2.6 荷重の組合せ	13-4
13.2.7 許容応力	13-4
13.3 応力計算	13-4
13.3.1 応力評価点	13-4
13.3.2 内圧による応力	13-4
13.3.3 外荷重による応力	13-5
13.3.4 ボルト荷重による応力	13-5
13.3.5 応力の評価	13-5
13.4 応力強さの評価	13-5
13.4.1 一次一般膜応力強さの評価	13-5
13.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	13-6
13.4.3 一次＋二次応力強さの評価	13-6
13.5 繰返し荷重の評価	13-6
13.5.1 疲労解析	13-6

目 次
(ジェットポンプ計測ノズル (N9))

14. ジェットポンプ計測ノズル (N9) の応力計算	14-1
14.1 一般事項	14-1
14.1.1 形状・寸法・材料	14-1
14.1.2 解析範囲	14-1
14.1.3 計算結果の概要	14-1
14.2 計算条件	14-4
14.2.1 設計条件	14-4
14.2.2 運転条件	14-4
14.2.3 外荷重条件	14-4
14.2.4 材料	14-4
14.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	14-4
14.2.6 荷重の組合せ	14-4
14.2.7 許容応力	14-4
14.3 応力計算	14-4
14.3.1 応力評価点	14-4
14.3.2 内圧による応力	14-4
14.3.3 外荷重による応力	14-5
14.3.4 応力の評価	14-5
14.4 応力強さの評価	14-5
14.4.1 一次一般膜応力強さの評価	14-5
14.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	14-5
14.4.3 一次＋二次応力強さの評価	14-6
14.5 繰返し荷重の評価	14-6
14.5.1 疲労解析	14-6

目 次

(ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11))

15.	ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) の応力計算	15-1
15.1	一般事項	15-1
15.1.1	形状・寸法・材料	15-1
15.1.2	解析範囲	15-1
15.1.3	計算結果の概要	15-1
15.2	計算条件	15-5
15.2.1	設計条件	15-5
15.2.2	運転条件	15-5
15.2.3	外荷重条件	15-5
15.2.4	材料	15-5
15.2.5	荷重の組合せ及び許容応力状態	15-5
15.2.6	荷重の組合せ	15-5
15.2.7	許容応力	15-5
15.3	応力計算	15-5
15.3.1	応力評価点	15-5
15.3.2	内圧による応力	15-5
15.3.3	外荷重による応力	15-6
15.3.4	応力の評価	15-6
15.4	応力強さの評価	15-6
15.4.1	一次一般膜応力強さの評価	15-6
15.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	15-6
15.4.3	一次＋二次応力強さの評価	15-7
15.5	繰返し荷重の評価	15-7
15.5.1	疲労解析	15-7

目 次
(計測ノズル (N12))

16. 計測ノズル (N12) の応力計算	16-1
16.1 一般事項	16-1
16.1.1 形状・寸法・材料	16-1
16.1.2 解析範囲	16-1
16.1.3 計算結果の概要	16-1
16.2 計算条件	16-4
16.2.1 設計条件	16-4
16.2.2 運転条件	16-4
16.2.3 外荷重条件	16-4
16.2.4 材料	16-4
16.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	16-4
16.2.6 荷重の組合せ	16-4
16.2.7 許容応力	16-4
16.3 応力計算	16-4
16.3.1 応力評価点	16-4
16.3.2 内圧による応力	16-4
16.3.3 外荷重による応力	16-5
16.3.4 応力の評価	16-5
16.4 応力強さの評価	16-5
16.4.1 一次一般膜応力強さの評価	16-5
16.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	16-5
16.4.3 一次＋二次応力強さの評価	16-5
16.5 繰返し荷重の評価	16-6
16.5.1 疲労解析	16-6

目 次
(計測ノズル (N13))

17. 計測ノズル (N13) の応力計算	17-1
17.1 一般事項	17-1
17.1.1 形状・寸法・材料	17-1
17.1.2 解析範囲	17-1
17.1.3 計算結果の概要	17-1
17.2 計算条件	17-4
17.2.1 設計条件	17-4
17.2.2 運転条件	17-4
17.2.3 外荷重条件	17-4
17.2.4 材料	17-4
17.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	17-4
17.2.6 荷重の組合せ	17-4
17.2.7 許容応力	17-4
17.3 応力計算	17-4
17.3.1 応力評価点	17-4
17.3.2 内圧による応力	17-4
17.3.3 外荷重による応力	17-5
17.3.4 応力の評価	17-5
17.4 応力強さの評価	17-5
17.4.1 一次一般膜応力強さの評価	17-5
17.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	17-5
17.4.3 一次＋二次応力強さの評価	17-5
17.5 繰返し荷重の評価	17-6
17.5.1 疲労解析	17-6

目 次
(計測ノズル (N14))

18. 計測ノズル (N14) の応力計算	18-1
18.1 一般事項	18-1
18.1.1 形状・寸法・材料	18-1
18.1.2 解析範囲	18-1
18.1.3 計算結果の概要	18-1
18.2 計算条件	18-4
18.2.1 設計条件	18-4
18.2.2 運転条件	18-4
18.2.3 外荷重条件	18-4
18.2.4 材料	18-4
18.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	18-4
18.2.6 荷重の組合せ	18-4
18.2.7 許容応力	18-4
18.3 応力計算	18-4
18.3.1 応力評価点	18-4
18.3.2 内圧による応力	18-4
18.3.3 外荷重による応力	18-5
18.3.4 応力の評価	18-5
18.4 応力強さの評価	18-5
18.4.1 一次一般膜応力強さの評価	18-5
18.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	18-5
18.4.3 一次＋二次応力強さの評価	18-5
18.5 繰返し荷重の評価	18-6
18.5.1 疲労解析	18-6

目 次
(ドレンノズル (N15))

19. ドレンノズル (N15) の応力計算	19-1
19.1 一般事項	19-1
19.1.1 形状・寸法・材料	19-1
19.1.2 解析範囲	19-1
19.1.3 計算結果の概要	19-1
19.2 計算条件	19-4
19.2.1 設計条件	19-4
19.2.2 運転条件	19-4
19.2.3 外荷重条件	19-4
19.2.4 材料	19-4
19.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	19-4
19.2.6 荷重の組合せ	19-4
19.2.7 許容応力	19-4
19.3 応力計算	19-4
19.3.1 応力評価点	19-4
19.3.2 内圧による応力	19-4
19.3.3 外荷重による応力	19-5
19.3.4 応力の評価	19-5
19.4 応力強さの評価	19-5
19.4.1 一次一般膜応力強さの評価	19-5
19.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	19-5
19.4.3 一次＋二次応力強さの評価	19-6
19.5 繰返し荷重の評価	19-6
19.5.1 疲労解析	19-6

目 次
(高圧炉心スプレインズル (N16))

20.	高圧炉心スプレインズル (N16) の応力計算	20-1
20.1	一般事項	20-1
20.1.1	形状・寸法・材料	20-1
20.1.2	解析範囲	20-1
20.1.3	計算結果の概要	20-1
20.2	計算条件	20-4
20.2.1	設計条件	20-4
20.2.2	運転条件	20-4
20.2.3	外荷重条件	20-4
20.2.4	材料	20-4
20.2.5	荷重の組合せ及び許容応力状態	20-4
20.2.6	荷重の組合せ	20-4
20.2.7	許容応力	20-4
20.3	応力計算	20-4
20.3.1	応力評価点	20-4
20.3.2	内圧及び差圧による応力	20-4
20.3.3	外荷重による応力	20-5
20.3.4	応力の評価	20-5
20.4	応力強さの評価	20-5
20.4.1	一次一般膜応力強さの評価	20-5
20.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	20-5
20.4.3	一次＋二次応力強さの評価	20-6
20.5	繰返し荷重の評価	20-6
20.5.1	疲労解析	20-6

目 次
(原子炉压力容器支持スカート)

21. 原子炉压力容器支持スカートの応力計算	21-1
21.1 一般事項	21-1
21.1.1 記号の説明	21-1
21.1.2 形状・寸法・材料	21-1
21.1.3 解析範囲	21-1
21.1.4 計算結果の概要	21-1
21.2 計算条件	21-4
21.2.1 設計条件	21-4
21.2.2 運転条件	21-4
21.2.3 外荷重条件	21-4
21.2.4 材料	21-4
21.2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	21-4
21.2.6 荷重の組合せ	21-4
21.2.7 許容応力	21-4
21.3 応力計算	21-4
21.3.1 応力評価点	21-4
21.3.2 内圧による応力	21-4
21.3.3 外荷重による応力	21-5
21.3.4 応力の評価	21-5
21.4 応力強さの評価	21-5
21.4.1 一次一般膜応力強さの評価	21-5
21.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	21-5
21.4.3 一次＋二次応力強さの評価	21-5
21.5 繰返し荷重の評価	21-6
21.5.1 疲労解析	21-6
21.6 特別な応力の評価	21-6
21.6.1 座屈に対する評価	21-6

目 次
(ブラケット類)

22. ブラケット類の応力計算	22-1
22.1 一般事項	22-1
22.1.1 形状・寸法・材料	22-1
22.1.2 解析範囲	22-1
22.1.3 計算結果の概要	22-1
22.2 計算条件	22-7
22.2.1 設計条件	22-7
22.2.2 材料	22-7
22.2.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	22-7
22.2.4 荷重の組合せ	22-7
22.2.5 許容応力	22-7
22.2.6 応力の記号と方向	22-7
22.3 応力計算	22-8
22.3.1 応力評価点	22-8
22.3.2 外荷重による応力	22-8
22.3.3 応力の評価	22-8
22.4 応力強さの評価	22-9
22.4.1 ブラケット付根の応力強さの評価	22-9
22.4.2 ロッド穴周辺の応力強さの評価	22-9

目 次
(原子炉压力容器基礎ボルト)

23. 原子炉压力容器基礎ボルトの応力計算	23-1
23.1 一般事項	23-1
23.1.1 形状・寸法・材料	23-1
23.1.2 解析範囲	23-1
23.1.3 計算結果の概要	23-1
23.2 計算条件	23-4
23.2.1 設計条件	23-4
23.2.2 材料	23-4
23.2.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	23-4
23.2.4 荷重の組合せ	23-4
23.2.5 許容応力	23-4
23.2.6 許容応力評価条件	23-4
23.3 応力計算	23-4
23.3.1 外荷重による応力	23-4
23.4 応力の評価	23-5

1. 概要

本計算書は、原子炉圧力容器の耐震性についての計算書である。

本計算書の各機器は、VI-2-3-3-1-1「原子炉圧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。

本計算書は、原子炉圧力容器であって、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・ 円筒胴
- ・ 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 (N1)
- ・ 再循環水入口ノズル (N2)
- ・ 主蒸気ノズル (N3)
- ・ 給水ノズル (N4)
- ・ 低圧炉心スプレイノズル (N5)
- ・ 低圧注水ノズル (N6)
- ・ 上ぶたスプレイノズル (N7)
- ・ 計測及びベントノズル (N8)
- ・ ジェットポンプ計測ノズル (N9)
- ・ ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11)
- ・ 計測ノズル (N12, N13, N14)
- ・ ドレンノズル (N15)
- ・ 高圧炉心スプレイノズル (N16)
- ・ 原子炉圧力容器支持スカート
- ・ ブラケット類
- ・ 原子炉圧力容器基礎ボルト

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号及び昭和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（「応力解析の方針」の参照図書(1)及び(2)）を「既工認」という。

2. 円筒胴の応力計算

2.1 一般事項

本章は、円筒胴の応力計算について示すものである。

円筒胴は、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。

2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.2 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

2.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1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，部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い，応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

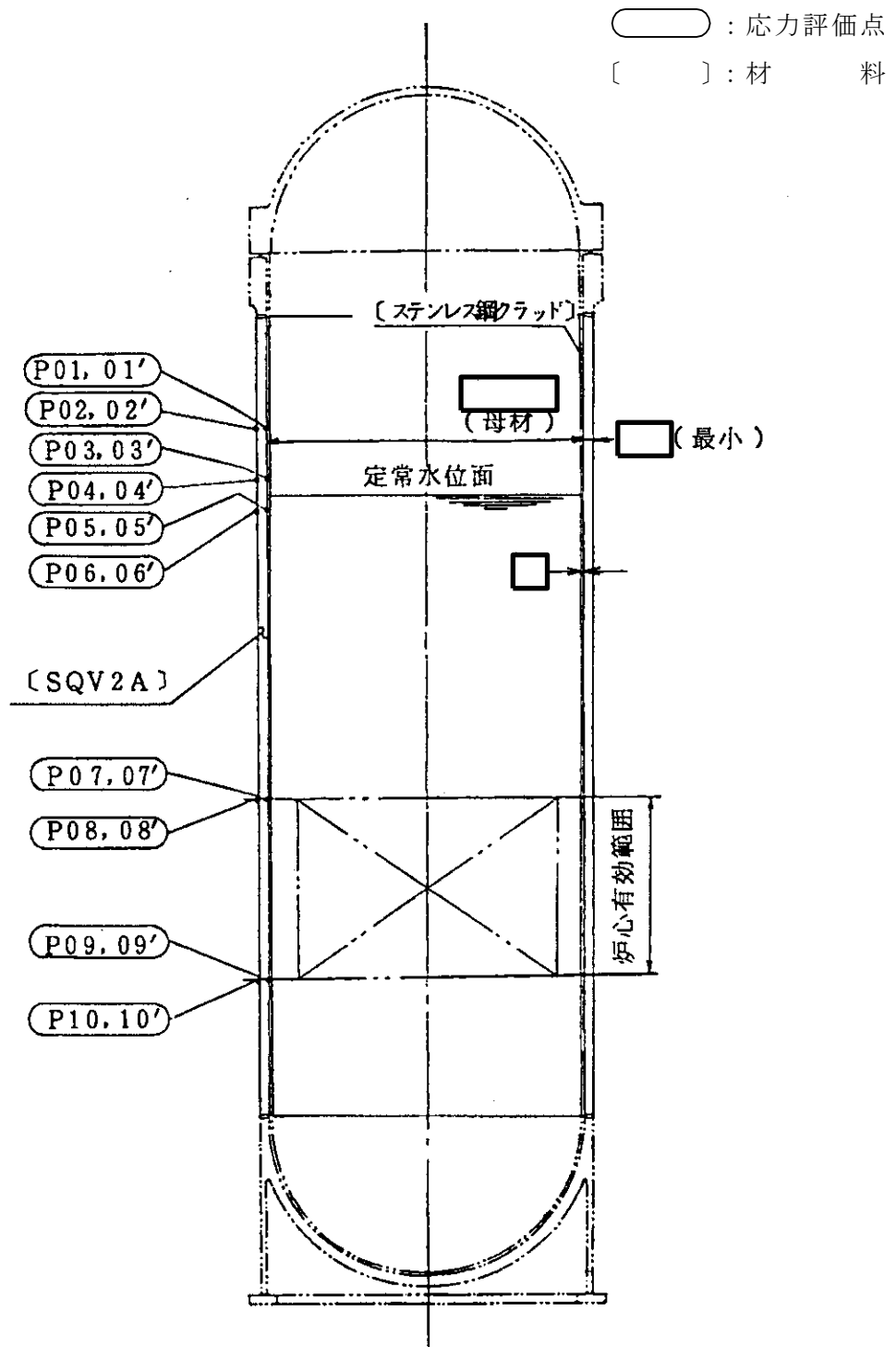


図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表2-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
円筒胴	ⅢA S	175	303	P01 - P02	175	395	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	183	326	P01' - P02'	183	425	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
SQV2A	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	91	552	P02	0.005	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	177	552	P02	1.0	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。

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

2.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

2.2.4 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.5 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項に示す。

2.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図2-1に示す。

2.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

2.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L08, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

(2) 計算方法

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

2.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

2.4 応力強さの評価

2.4.1 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2-2に示す。

表2-2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項に示す許容応力を満足する。

2.4.2 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2-3に示す。

表2-3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項に示す許容応力を満足する。

2.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表2-4に示す。

表2-4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項に示す許容応力を満足する。

2.5 繰返し荷重の評価

2.5.1 疲労解析

円筒胴の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表2-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表2-6に示す。

表2-6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項に示す許容値を満足する。

表2-2 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	175	303	181	326
P01' P02'	175	303	183	326
P03 P04	175	303	181	326
P03' P04'	175	303	183	326
P05 P06	175	303	181	326
P05' P06'	175	303	183	326
P07 P08	175	303	181	326
P07' P08'	175	303	183	326
P09 P10	175	303	181	326
P09' P10'	175	303	183	326

表2-3 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	175	395	181	425
P01' P02'	175	395	183	425
P03 P04	175	395	181	425
P03' P04'	175	395	183	425
P05 P06	175	395	181	425
P05' P06'	175	395	183	425
P07 P08	175	395	181	425
P07' P08'	175	395	183	425
P09 P10	175	395	181	425
P09' P10'	175	395	183	425

表2-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	88	170	552
P01'	88	170	552
P02	91	177	552
P02'	91	177	552
P03	88	170	552
P03'	88	170	552
P04	91	177	552
P04'	91	177	552
P05	88	170	552
P05'	88	170	552
P06	91	177	552
P06'	91	177	552
P07	88	170	552
P07'	88	170	552
P08	91	177	552
P08'	91	177	552
P09	88	170	552
P09'	88	170	552
P10	91	177	552
P10'	91	177	552

表2-5 疲労累積係数

応力評価点 —— P01

材 料 —— SQV2A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	87	—	87	44	49	1000000	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	170	—	170	85	95	443118	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.001
疲労累積係数 $U_n =$								0.004
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.005

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表2-6 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	0.004	0.001	0.001	0.005	1.0
P01'	0.004	0.001	0.001	0.005	1.0
P02	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P02'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P03	0.003	0.001	0.001	0.004	1.0
P03'	0.003	0.001	0.001	0.004	1.0
P04	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P04'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P05	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P05'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P06	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P06'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P07	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P07'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P08	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P08'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P09	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P09'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P10	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P10'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0

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。

3. 下鏡の応力計算

3.1 一般事項

本章は、下鏡の応力計算について示すものである。

下鏡は、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。

3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図3-1に示す。

3.1.2 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

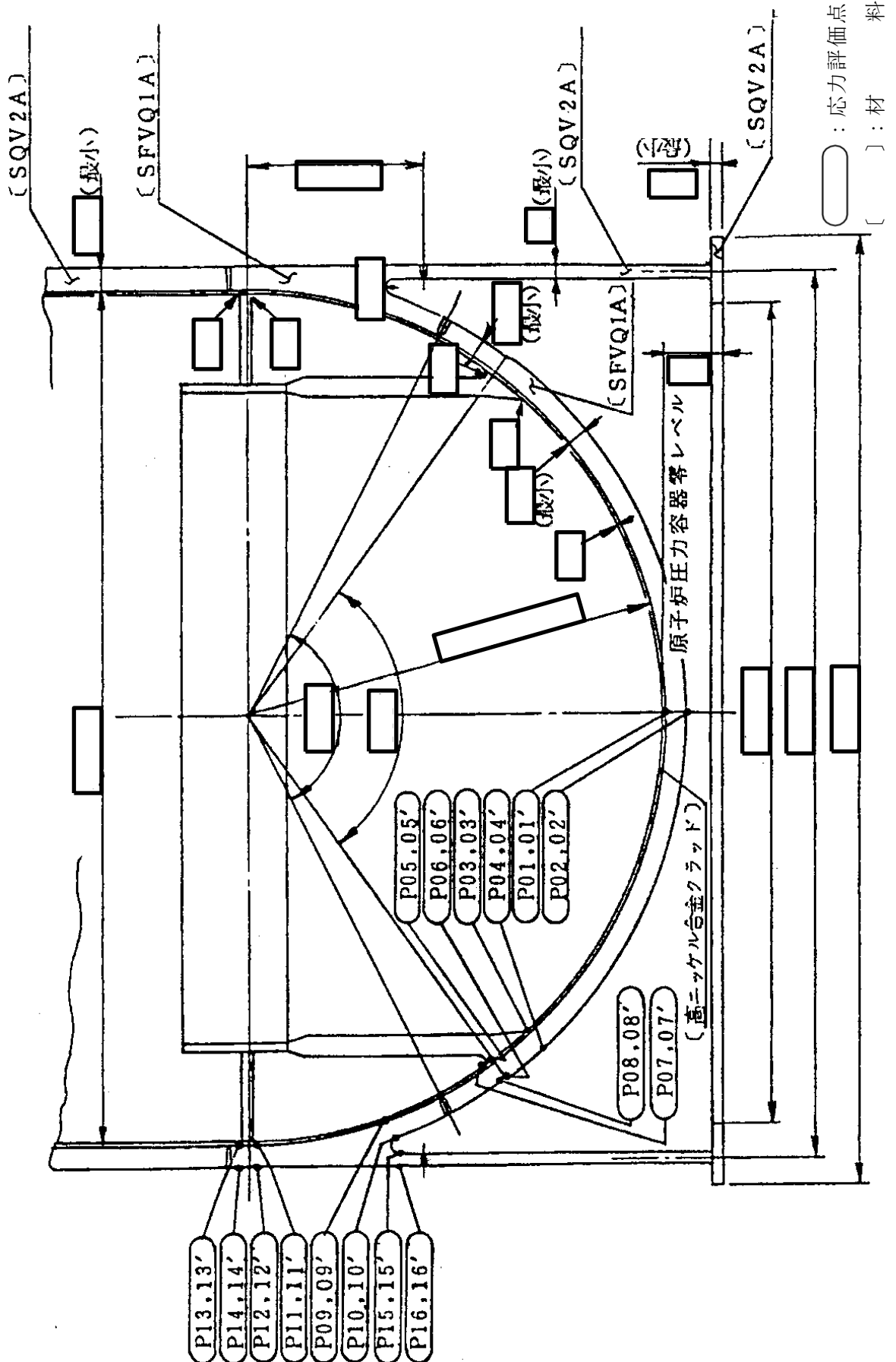


図3-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表3-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)				一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)				一次+二次応力強さ (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	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	疲労*累積係数	許容値	応力評価点
下鏡	ⅢA S	173	303	P01 - P02	202	395	P01 - P02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	173	320	P01 - P02	212	417	P01 - P02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	552	P04	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	213	552	P04	0.009	1.0	P10	
下鏡と円筒胴の接合部	ⅢA S	178	303	P13 - P14	100	395	P13 - P14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	178	320	P13 - P14	115	417	P13 - P14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61	552	P11	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	118	552	P11	0.016	1.0	P13	
原子炉圧力容器支持スカートと円筒胴の接合部	ⅢA S	72	303	P15' - P16'	72	391	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	125	320	P15' - P16'	110	413	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	126	552	P16	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	245	552	P16	0.407	1.0	P15	

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。

3.2 計算条件

3.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

3.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

3.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

3.2.4 材料

各部の材料を図3-1に示す。

3.2.5 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項に示す。

3.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

3.3 応力計算

3.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図3-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

3.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.45 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

3.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L08, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

(2) 計算方法

ボルト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)e.に定めるとおりである。

3.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

3.4 応力強さの評価

3.4.1 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3-2に示す。

表3-2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項に示す許容応力を満足する。

3.4.2 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3-3に示す。

表3-3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項に示す許容応力を満足する。

3.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表3-4に示す。

表3-4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項に示す許容応力を満足する。

3.5 繰返し荷重の評価

3.5.1 疲労解析

下鏡の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表3-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表3-6に示す。

表3-6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項に示す許容値を満足する。

表3-2 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	173	303	173	320
P01'				
P02'	173	303	173	320
P03				
P04	101	303	105	320
P03'				
P04'	92	303	87	320
P05				
P06	88	303	88	320
P05'				
P06'	88	303	88	320
P07				
P08	92	303	92	320
P07'				
P08'	92	303	92	320
P09				
P10	92	303	92	320
P09'				
P10'	92	303	92	320
P11				
P12	103	303	113	320
P11'				
P12'	92	303	92	320
P13				
P14	178	303	178	320
P13'				
P14'	178	303	178	320
P15				
P16	45	303	98	320
P15'				
P16'	72	303	125	320

表3-3 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	202	395	212	417
P01' P02'	182	395	173	417
P03 P04	126	395	164	417
P03' P04'	75	395	64	417
P05 P06	106	395	136	417
P05' P06'	56	395	36	417
P07 P08	117	395	145	417
P07' P08'	71	395	48	417
P09 P10	105	395	121	417
P09' P10'	78	395	76	417
P11 P12	93	395	100	417
P11' P12'	92	395	98	417
P13 P14	100	395	115	417
P13' P14'	83	395	77	417
P15 P16	57	391	103	413
P15' P16'	72	391	110	413

表3-4(1) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	19	37	552
P01'	19	37	552
P02	24	49	552
P02'	24	49	552
P03	94	204	552
P03'	94	204	552
P04	100	213	552
P04'	100	213	552
P05	42	90	552
P05'	42	90	552
P06	71	153	552
P06'	71	153	552
P07	55	115	552
P07'	55	115	552
P08	48	104	552
P08'	48	104	552
P09	38	87	552
P09'	38	87	552
P10	52	107	552
P10'	52	107	552
P11	61	118	552
P11'	61	118	552
P12	27	58	552
P12'	27	58	552
P13	30	61	552
P13'	30	61	552
P14	52	94	552
P14'	52	94	552

表3-4(2) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P15	94	179	552
P15'	94	179	552
P16	126	245	552
P16'	126	245	552

表3-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P10
材 料 —— SFVQ1A

No.	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ *1 (MPa)	S _ℓ '*2 (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	52	—	96	48	56	1000000	300	0.000
疲労累積係数 U _{S_d} =								0.001
2	107	—	196	98	115	186875	150	0.001
疲労累積係数 U _{S_s} =								0.001
疲労累積係数 U _n =								0.008
疲労累積係数 U _f = U _n + U _{S_s} =								0.009

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2：S_ℓに（E₀/E）を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表3-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P13

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	30	—	66	33	39	1000000	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	19	—	117	59	69	1000000	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.001
疲労累積係数 $U_n =$								0.016
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.016

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表3-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P15

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	63	—	132	66	78	1000000	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	117	—	244	122	144	79375	150	0.002
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.002
疲労累積係数 $U_n =$								0.405
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.407

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表3-6 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	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P01'	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P02	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P02'	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P03	0.000	0.001	0.002	0.002	1.0
P03'	0.000	0.001	0.002	0.002	1.0
P04	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P04'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P05	0.003	0.001	0.001	0.004	1.0
P05'	0.003	0.001	0.001	0.004	1.0
P06	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P06'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P07	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P07'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P08	0.004	0.001	0.001	0.004	1.0
P08'	0.004	0.001	0.001	0.004	1.0
P09	0.006	0.001	0.001	0.007	1.0
P09'	0.006	0.001	0.001	0.007	1.0
P10	0.008	0.001	0.001	0.009	1.0
P10'	0.008	0.001	0.001	0.009	1.0
P11	0.015	0.001	0.002	0.016	1.0
P11'	0.015	0.001	0.002	0.016	1.0
P12	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P12'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P13	0.016	0.001	0.001	0.016	1.0
P13'	0.016	0.001	0.001	0.016	1.0
P14	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P14'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P15	0.405	0.001	0.002	0.407	1.0
P15'	0.405	0.001	0.002	0.407	1.0
P16	0.027	0.001	0.002	0.029	1.0
P16'	0.027	0.001	0.002	0.029	1.0

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。

4. 制御棒貫通孔の応力計算

4.1 一般事項

本章は、制御棒貫通孔の応力計算について示すものである。

制御棒貫通孔は、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。

注：以下、制御棒駆動機構ハウジングを「ハウジング」、制御棒貫通孔スタブチューブを「スタブチューブ」という。

4.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

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
R_i	スタブチューブの内半径	mm
t	スタブチューブの最小厚さ	mm
A	スタブチューブの断面積	mm ²
Z	スタブチューブの断面係数	mm ³
σ_{ca}	許容応力	MPa
L	スタブチューブの最大長さ	m

4.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図4-1に示す。

4.1.3 解析範囲

解析範囲を図4-1に示す。

4.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表4-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

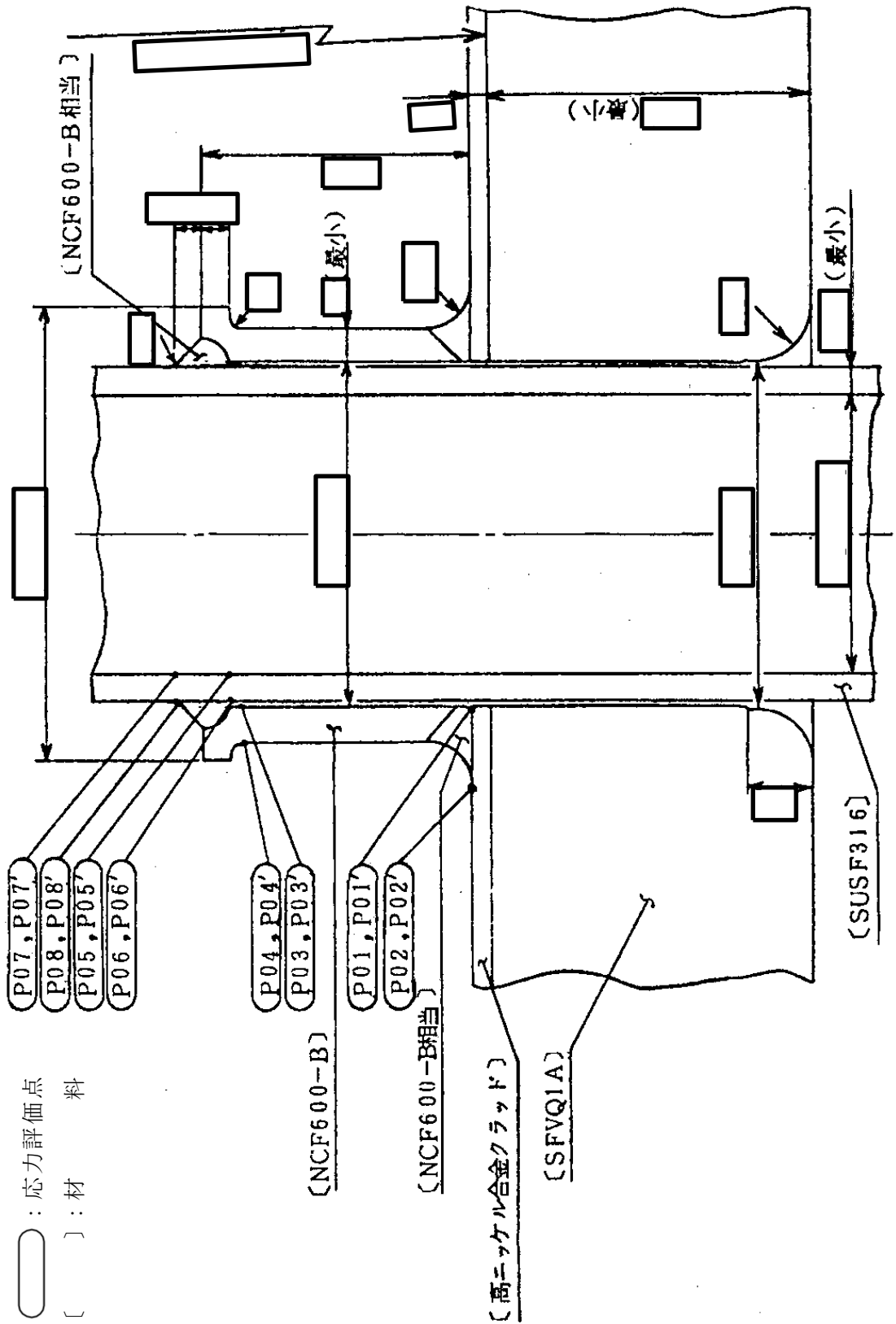


図4-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表4-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	疲労*累積係数	許容値	応力評価点
スタブチューブ	Ⅲ A S	52	196	P01 - P02	83	271	P03 - P04	—	—	—	—	—	
	Ⅳ A S	55	334	P01 - P02	123	460	P03 - P04	—	—	—	—	—	
NCF600-B NCF600-B相当	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	162	492	P03	0.187	P03	
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	348	492	P03	—	—	
ハウジング	Ⅲ A S	61	143	P05' - P06'	89	198	P05' - P06'	—	—	—	—	—	
	Ⅳ A S	62	284	P05' - P06'	115	395	P05' - P06'	—	—	—	—	—	
SUSF316	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	82	360	P06	0.059	P06	
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	193	360	P08	—	—	

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。

表4-1(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
スタブチューブ NCF600-B	Ⅲ A S	52	99
	Ⅳ A S	103	124

4.2 計算条件

4.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

4.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

4.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

4.2.4 材料

各部の材料を図4-1に示す。

4.2.5 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項に示す。

4.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

4.3 応力計算

4.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図4-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定めるとおりである。

4.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.45 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

4.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L08, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(2)に示す。

(2) 計算方法

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

4.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

4.4 応力強さの評価

4.4.1 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4-2に示す。

表4-2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項に示す許容応力を満足する。

4.4.2 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4-3に示す。

表4-3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項に示す許容応力を満足する。

4.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表4-4に示す。

表4-4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項に示す許容応力を満足する。

4.5 繰返し荷重の評価

4.5.1 疲労解析

スタブチューブ及びハウジングの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表4-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表4-6に示す。

表4-6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項に示す許容値を満足する。

4.6 特別な応力の評価

4.6.1 座屈に対する評価

スタブチューブには、制御棒貫通孔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。

(1) 計算データ

スタブチューブの内半径 $R_i =$ mm

スタブチューブの最小厚さ $t =$ mm

スタブチューブの断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \text{} = \text{} \text{ mm}^2$$

スタブチューブの断面係数

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_i + t)^4 - R_i^4}{R_i + t} = \frac{\pi}{4} \times \frac{\text{}}{\text{}}$$

$$= \text{} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

スタブチューブ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。

(3) 圧縮応力

計算データ（断面性能）を基に、表4-7に示す各許容応力状態の荷重によってスタブチューブに発生する圧縮応力を表4-8に示す。

(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 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = 164 \text{ MPa}$$

$$B = 83 \text{ MPa}$$

(°Cにおける値)

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\text{}} = 0.0246063$$

を用いて、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図7より

$$B = 83 \text{ MPa}$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 83 = 99 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態ⅣAS

許容応力状態ⅣASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 83 = 124 \text{ MPa}$$

(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4-8に示す。

表4-8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4-2 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	52	196	55	334
P01' P02'	48	196	48	334
P03 P04	52	196	55	334
P03' P04'	48	196	48	334
P05 P06	59	143	58	284
P05' P06'	61	143	62	284
P07 P08	7	143	11	284
P07' P08'	2	143	6	284

表4-3 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	36	271	77	460
P01' P02'	38	271	78	460
P03 P04	83	271	123	460
P03' P04'	48	271	72	460
P05 P06	44	198	44	395
P05' P06'	89	198	115	395
P07 P08	31	198	70	395
P07' P08'	25	198	65	395

表4-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	38	80	492
P01'	38	80	492
P02	23	52	492
P02'	23	52	492
P03	162	348	492
P03'	162	348	492
P04	24	54	492
P04'	24	54	492
P05	24	68	360
P05'	24	68	360
P06	82	133	360
P06'	82	133	360
P07	33	53	360
P07'	33	53	360
P08	70	193	360
P08'	70	193	360

表4-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P03

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	161	—	807	403	397	16554	300	0.018
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.019
2	348	—	1740	870	857	870	150	0.172
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.173
疲労累積係数 $U_n =$								0.014
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.187

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表4-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P06

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	81	—	406	203	225	359583	300	0.001
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	133	—	663	332	367	24406	150	0.006
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.007
疲労累積係数 $U_n =$								0.052
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.059

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表4-6 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	0.000	0.000	0.001	1.0
P01'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P02	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P02'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P03	0.014	0.019	0.173	0.187	1.0
P03'	0.014	0.019	0.173	0.187	1.0
P04	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P04'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P05	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P05'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P06	0.052	0.001	0.007	0.059	1.0
P06'	0.052	0.001	0.007	0.059	1.0
P07	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P07'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P08	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P08'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0

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。

表4-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力*1 V (kN)	モーメント*2 M (kN・m)
ⅢAS	86.8	12.3
ⅣAS	109.6	27.2

注記*1：「応力解析の方針」の4.2項に示す $V_1 + V_2$ の値

*2：「応力解析の方針」の4.2項に示す $M_1 + M_2 + (H_1 + H_2) \cdot L$ の値

Lは、スタブチューブの最大長さ= mである。

表4-8 座屈に対する評価

(単位：MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
ⅢAS	52	99
ⅣAS	103	124

5. 原子炉中性子計装孔の応力計算

5.1 一般事項

本章は、原子炉中性子計装孔の応力計算について示すものである。

原子炉中性子計装孔は、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。

5.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図5-1に示す。

5.1.2 解析範囲

解析範囲を図5-1に示す。

5.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表5-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

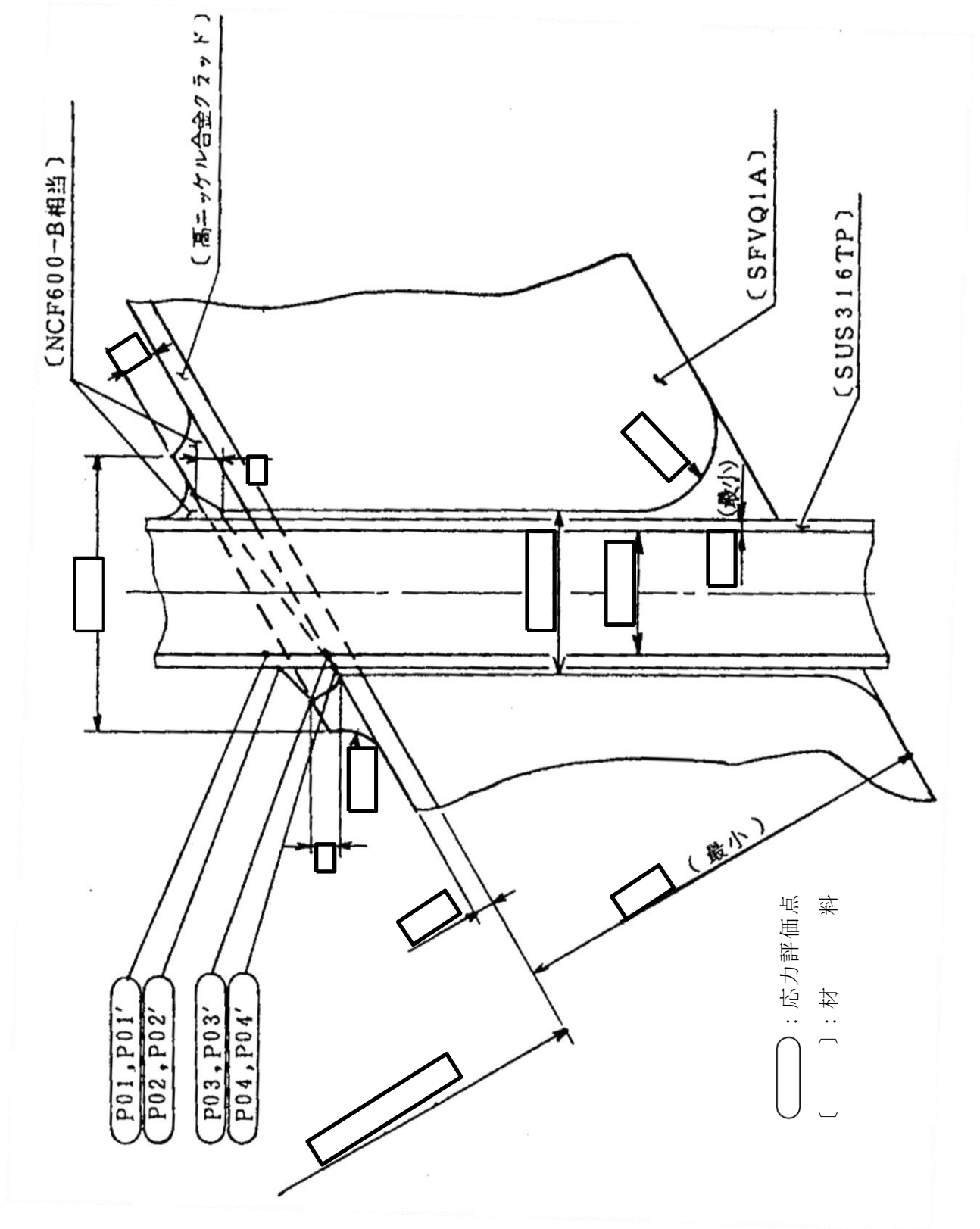


図5-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表5-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
原子炉 中性子計装 ハウジング SUS316TP	ⅢA S	48	143	P03 - P04	181	202	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	102	284	P03' - P04'	240	403	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	371*2	360	P02	0.963	1.0	P04
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	463*2	360	P02	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により，応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため，設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

5.2 計算条件

5.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

5.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

5.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

5.2.4 材料

各部の材料を図5-1に示す。

5.2.5 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項に示す。

5.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

5.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

5.3 応力計算

5.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図5-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所に応力集中係数の計算方法は、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。

5.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.59 MPa

(2) 計算方法

内圧による応力の計算方法は、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。

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

5.3.3 外荷重による応力

(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(3)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算方法は、「応力解析の方針」の参照図書(1)f.と同様である。

5.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

5.4 応力強さの評価

5.4.1 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5-2に示す。

表5-2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項に示す許容応力を満足する。

5.4.2 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5-3に示す。

表5-3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項に示す許容応力を満足する。

5.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表5-4に示す。

表5-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04及びP04'

一次+二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

5.5 繰返し荷重の評価

5.5.1 疲労解析

原子炉中性子計装孔の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表5-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表5-6に示す。

表5-6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項に示す許容値を満足する。

表5-2 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	3	143	4	284
P01' P02'	4	143	5	284
P03 P04	48	143	101	284
P03' P04'	47	143	102	284

表5-3 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	171	202	230	403
P01' P02'	181	202	240	403
P03 P04	81	202	190	403
P03' P04'	57	202	166	403

表5-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_{n\#1}$	$S_{n\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	61	115	360
P01'	61	115	360
P02	371 *	463 *	360
P02'	371 *	463 *	360
P03	47	38	360
P03'	47	38	360
P04	113	375 *	360
P04'	113	375 *	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表5-5 疲労累積係数

応力評価点 —— P04

材 料 —— SUS316TP

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	113	—	538	269	298	72769	300	0.004
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.005
2	375	1.568	1714	1344	1489	163	150	0.920
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.921
疲労累積係数 $U_n =$								0.042
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.963

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, \quad E = \boxed{} \text{MPa}$$

表5-6 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	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.000	0.004	0.018	0.018	1.0
P02'	0.000	0.004	0.018	0.018	1.0
P03	0.031	0.000	0.000	0.031	1.0
P03'	0.031	0.000	0.000	0.031	1.0
P04	0.042	0.005	0.921	0.963	1.0
P04'	0.042	0.005	0.921	0.963	1.0

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。

6. 再循環水出口ノズル (N1) の応力計算

6.1 一般事項

本章は、再循環水出口ノズル (N1) の応力計算について示すものである。

再循環水出口ノズル (N1) 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。

6.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図6-1に示す。

6.1.2 解析範囲

解析範囲を図6-1に示す。

6.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表6-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

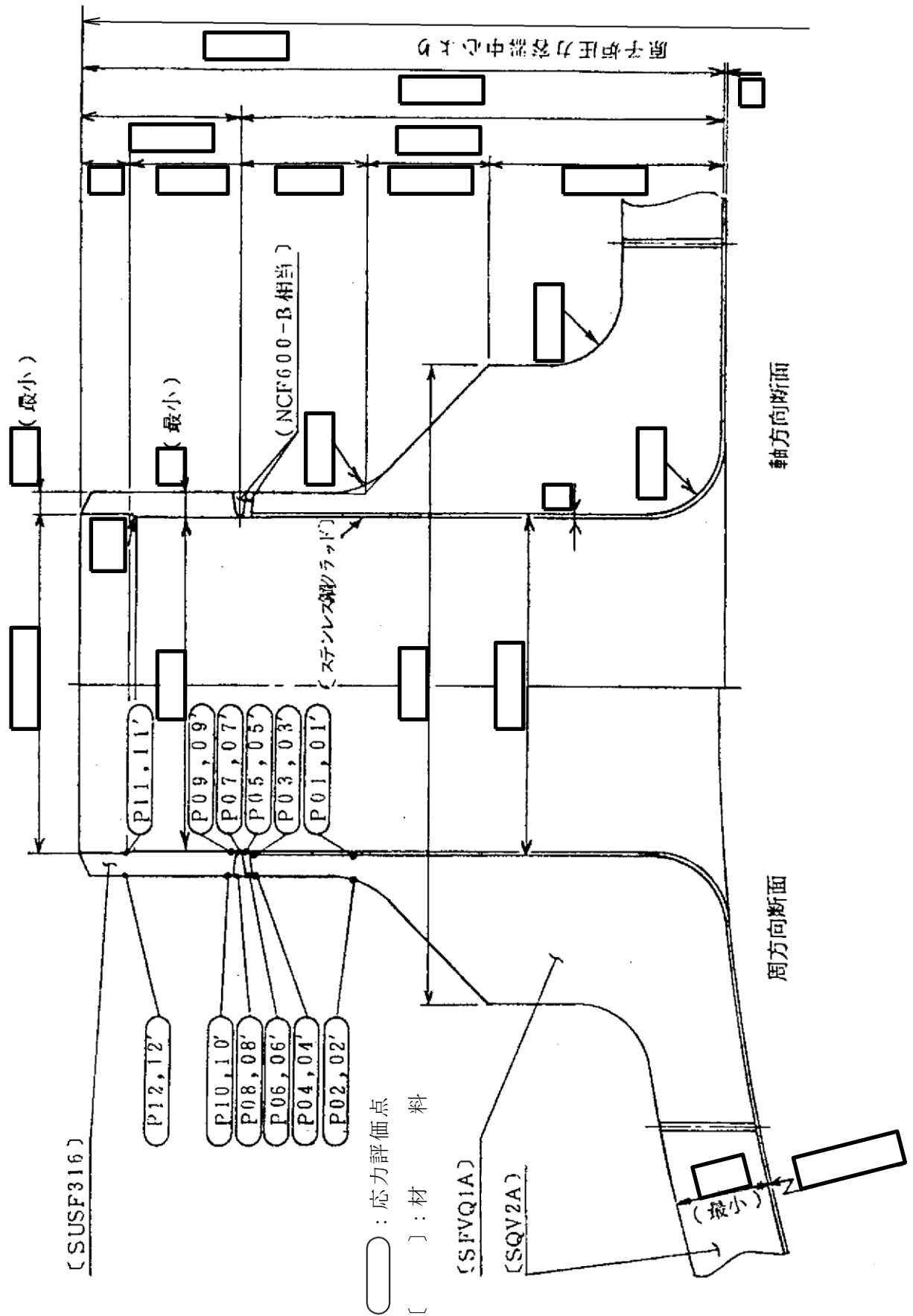


図6-1 形状・寸法・材料・应力評価点 (単位: mm)

表6-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド	ⅢA S	87	303	P01 - P02	225	406	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	106	320	P01 - P02	387	429	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
SFVQ1A	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	337	552	P02	0.137	P02	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	629*2	552	P02	—	—	
ノズル－ セーフエンド	ⅢA S	72	196	P05 - P06	175	266	P05 - P06	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	88	334	P05 - P06	300	452	P05' - P06'	—	—	—	—	—	
溶接部 NCF600-B相当	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	285	492	P05	0.003	P05	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	532*2	492	P05	—	—	
ノズル セーフエンド	ⅢA S	74	143	P11 - P12	173	193	P09 - P10	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	90	284	P11 - P12	296	385	P09' - P10'	—	—	—	—	—	
SUSF316	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	279	360	P09	0.021	P09	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	521*2	360	P09	—	—	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

6.2 計算条件

6.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

6.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

6.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

6.2.4 材料

各部の材料を図6-1に示す。

6.2.5 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項に示す。

6.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

6.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

6.3 応力計算

6.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図6-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

6.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

6.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

6.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

6.4 応力強さの評価

6.4.1 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6-2に示す。

表6-2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項に示す許容応力を満足する。

6.4.2 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6-3に示す。

表6-3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項に示す許容応力を満足する。

6.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表6-4に示す。

表6-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P05, P05', P06, P06', P07, P07', P08, P08', P09, P09', P10, P10',
P11, P11', P12及びP12'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

6.5 繰返し荷重の評価

6.5.1 疲労解析

ノズルエンド及びノズルセーフエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表6-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表6-6に示す。

表6-6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項に示す許容値を満足する。

表6-2 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	87	303	106	320
P01'				
P02'	86	303	102	320
P03				
P04	87	303	106	320
P03'				
P04'	86	303	102	320
P05				
P06	72	196	88	334
P05'				
P06'	71	196	84	334
P07				
P08	72	196	88	334
P07'				
P08'	71	196	84	334
P09				
P10	72	143	88	284
P09'				
P10'	71	143	84	284
P11				
P12	74	143	90	284
P11'				
P12'	73	143	86	284

表6-3 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	225	406	387	429
P01'				
P02'	225	406	387	429
P03				
P04	208	406	355	429
P03'				
P04'	208	406	356	429
P05				
P06	175	266	300	452
P05'				
P06'	175	266	300	452
P07				
P08	173	266	296	452
P07'				
P08'	173	266	296	452
P09				
P10	173	193	296	385
P09'				
P10'	173	193	296	385
P11				
P12	163	193	275	385
P11'				
P12'	162	193	276	385

表6-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	113	210	552
P01'	113	210	552
P02	337	629 *	552
P02'	337	629 *	552
P03	286	534	552
P03'	286	534	552
P04	273	511	552
P04'	273	511	552
P05	285	532 *	492
P05'	285	532 *	492
P06	271	507 *	492
P06'	271	507 *	492
P07	281	524 *	492
P07'	281	524 *	492
P08	276	515 *	492
P08'	276	515 *	492
P09	279	521 *	360
P09'	279	521 *	360
P10	268	501 *	360
P10'	268	501 *	360
P11	234	438 *	360
P11'	234	438 *	360
P12	267	500 *	360
P12'	267	500 *	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表6-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	336	—	391	196	230	15467	300	0.019
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.020
2	629	1.279	731	468	550	1110	150	0.135
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.136
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.137

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表6-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P05

材 料 —— NCF600-B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	284	—	284	142	140	3230615	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	531	1.155	531	307	302	67129	150	0.002
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.003
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.003

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表6-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P09

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	278	—	278	139	154	2159084	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	520	1.647	520	428	475	7444	150	0.020
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.021
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.021

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表6-6 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	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.001	0.020	0.136	0.137	1.0
P02'	0.000	0.020	0.136	0.136	1.0
P03	0.002	0.008	0.026	0.028	1.0
P03'	0.000	0.008	0.026	0.026	1.0
P04	0.000	0.007	0.023	0.023	1.0
P04'	0.002	0.007	0.023	0.025	1.0
P05	0.000	0.000	0.003	0.003	1.0
P05'	0.000	0.000	0.003	0.003	1.0
P06	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P06'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P07	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P07'	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P08	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P08'	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P09	0.000	0.001	0.021	0.021	1.0
P09'	0.000	0.001	0.021	0.021	1.0
P10	0.000	0.001	0.015	0.015	1.0
P10'	0.000	0.001	0.015	0.015	1.0
P11	0.000	0.000	0.006	0.006	1.0
P11'	0.000	0.000	0.006	0.006	1.0
P12	0.000	0.001	0.015	0.015	1.0
P12'	0.000	0.001	0.015	0.015	1.0

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。

7. 再循環水入口ノズル (N2) の応力計算

7.1 一般事項

本章は、再循環水入口ノズル (N2) の応力計算について示すものである。

再循環水入口ノズル (N2) 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。

7.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図7-1に示す。

7.1.2 解析範囲

解析範囲を図7-1に示す。

7.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表7-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

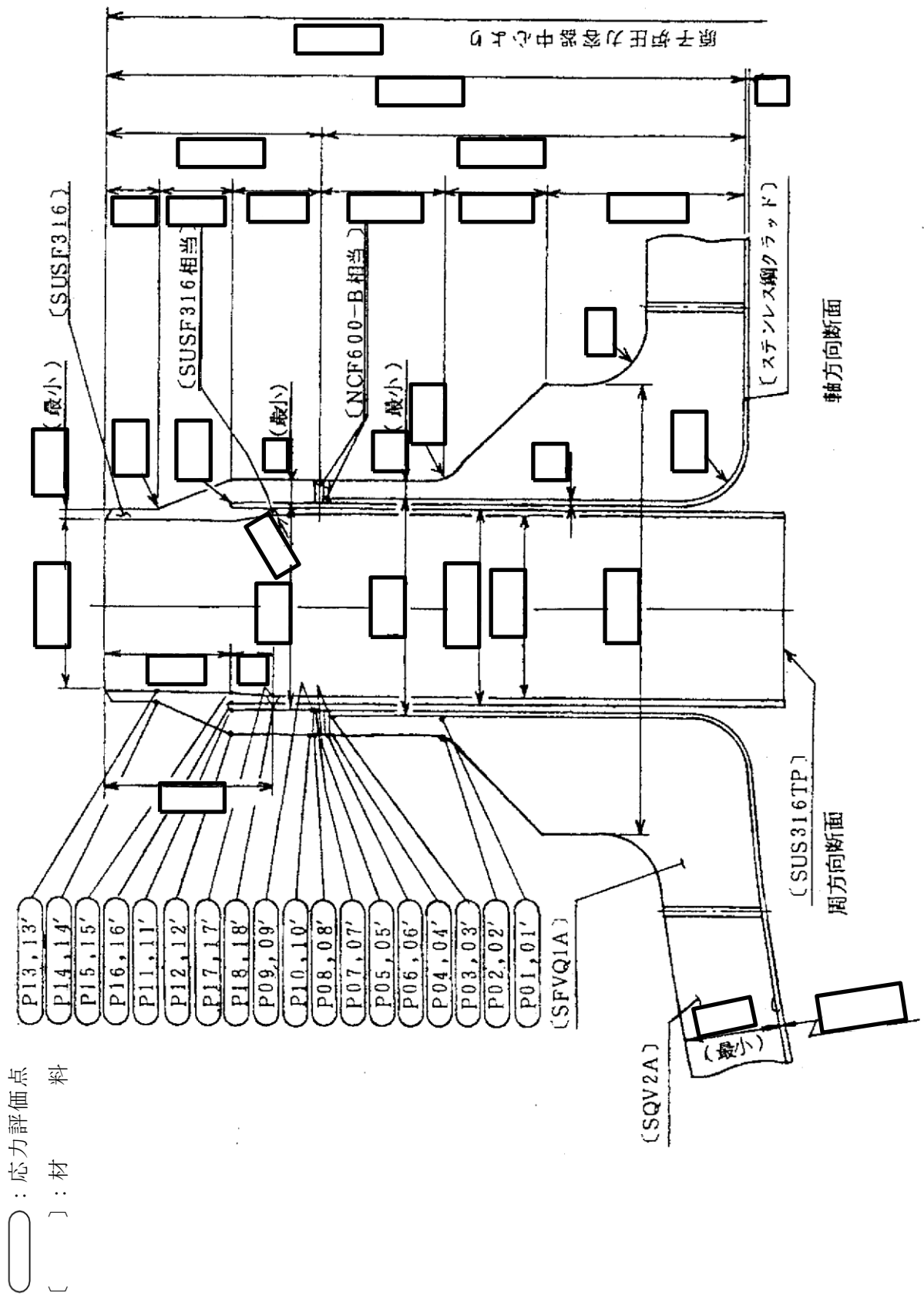


表7-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド	ⅢA S	59	303	P01 - P02	125	414	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	68	320	P01 - P02	198	438	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	145	552	P04	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	301	552	P04	0.007	P02	
ノズル- セーフエンド	ⅢA S	47	196	P05 - P06	103	272	P05 - P06	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	55	334	P05 - P06	161	463	P05 - P06	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	154	492	P08	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	320	492	P08	0.001	P08	
溶接部 NCF600-B相当	ⅢA S	86	143	P13 - P14	177	193	P13 - P14	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	100	284	P13 - P14	295	384	P13' - P14'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	355	360	P14	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	735*2	360	P14	0.625	P11	
ノズルセーフエ ンド-サーマル スリーブ溶接部 SUSF316相当	ⅢA S	37	143	P17' - P18'	144	188	P17' - P18'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	60	284	P17' - P18'	201	375	P17' - P18'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	262	360	P17	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	542*2	360	P17	0.002	P18'	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

7.2 計算条件

7.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

7.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

7.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

7.2.4 材料

各部の材料を図7-1に示す。

7.2.5 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項に示す。

7.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

7.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

7.3 応力計算

7.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図7-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

7.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

差圧 : 1.73 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

7.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)及び表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

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

7.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

7.4 応力強さの評価

7.4.1 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7-2に示す。

表7-2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項に示す許容応力を満足する。

7.4.2 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7-3に示す。

表7-3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項に示す許容応力を満足する。

7.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表7-4に示す。

表7-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P11, P11', P14, P14', P17及びP17'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

7.5 繰返し荷重の評価

7.5.1 疲労解析

ノズルエンド、ノズルセーフエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表7-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表7-6に示す。

表7-6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項に示す許容値を満足する。

表7-2 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	59	303	68	320
P01' P02'	58	303	65	320
P03 P04	59	303	68	320
P03' P04'	58	303	65	320
P05 P06	47	196	55	334
P05' P06'	47	196	53	334
P07 P08	47	196	55	334
P07' P08'	47	196	53	334
P09 P10	47	143	55	284
P09' P10'	47	143	53	284
P11 P12	47	143	55	284
P11' P12'	47	143	53	284
P13 P14	86	143	100	284
P13' P14'	85	143	96	284
P15 P16	20	143	33	284
P15' P16'	21	143	34	284
P17 P18	36	143	57	284
P17' P18'	37	143	60	284

表7-3 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	125	414	198	438
P01' P02'	121	414	195	438
P03 P04	123	414	192	438
P03' P04'	119	414	188	438
P05 P06	103	272	161	463
P05' P06'	100	272	158	463
P07 P08	103	272	160	463
P07' P08'	99	272	157	463
P09 P10	103	198	160	395
P09' P10'	99	198	157	395
P11 P12	101	198	156	395
P11' P12'	98	198	153	395
P13 P14	177	193	295	384
P13' P14'	177	193	295	384
P15 P16	80	194	114	387
P15' P16'	86	194	121	387
P17 P18	132	188	189	375
P17' P18'	144	188	201	375

表7-4(1) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	61	125	552
P01'	61	125	552
P02	144	298	552
P02'	144	298	552
P03	115	238	552
P03'	115	238	552
P04	145	301	552
P04'	145	301	552
P05	119	247	492
P05'	119	247	492
P06	150	310	492
P06'	150	310	492
P07	124	256	492
P07'	124	256	492
P08	154	320	492
P08'	154	320	492
P09	119	247	360
P09'	119	247	360
P10	148	306	360
P10'	148	306	360
P11	261	540 *	360
P11'	261	540 *	360
P12	64	132	360
P12'	64	132	360
P13	91	189	360
P13'	91	189	360
P14	355	735 *	360
P14'	355	735 *	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表7-4(2) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P15	71	146	360
P15'	71	146	360
P16	163	338	360
P16'	163	338	360
P17	262	542 *	360
P17'	262	542 *	360
P18	165	341	360
P18'	165	341	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表7-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	144	—	167	83	98	390284	300	0.001
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	298	—	345	173	203	23122	150	0.006
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.007
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.007

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表7-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P08

材 料 —— NCF600-B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	154	—	154	77	76	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	319	—	319	160	157	1988683	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.001

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表7-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P11

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	260	—	649	324	359	27236	300	0.011
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.011
2	540	1.740	1345	1171	1297	241	150	0.622
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.623
疲労累積係数 $U_n =$								0.002
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.625

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表7-5(4) 疲労累積係数

応力評価点 —— P18'

材 料 —— SUSF316相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	164	—	164	82	91	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	341	—	341	170	189	1094310	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.001
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.002

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表7-6(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	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.001	0.007	0.007	1.0
P02'	0.000	0.001	0.007	0.007	1.0
P03	0.001	0.001	0.002	0.003	1.0
P03'	0.001	0.001	0.002	0.003	1.0
P04	0.000	0.001	0.005	0.005	1.0
P04'	0.001	0.001	0.005	0.006	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P06'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P11	0.002	0.011	0.623	0.625	1.0
P11'	0.001	0.011	0.623	0.624	1.0
P12	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P12'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14	0.000	0.001	0.264	0.264	1.0
P14'	0.000	0.001	0.264	0.264	1.0
P15	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P15'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P16	0.001	0.001	0.010	0.011	1.0
P16'	0.000	0.001	0.010	0.010	1.0

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。

表7-6(2) 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^*	
P17	0.000	0.001	0.050	0.050	1.0
P17'	0.000	0.001	0.050	0.050	1.0
P18	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P18'	0.001	0.000	0.001	0.002	1.0

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。

8. 主蒸気ノズル (N3) の応力計算

8.1 一般事項

本章は、主蒸気ノズル (N3) の応力計算について示すものである。

主蒸気ノズル (N3) 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。

8.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図8-1に示す。

8.1.2 解析範囲

解析範囲を図8-1に示す。

8.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表8-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

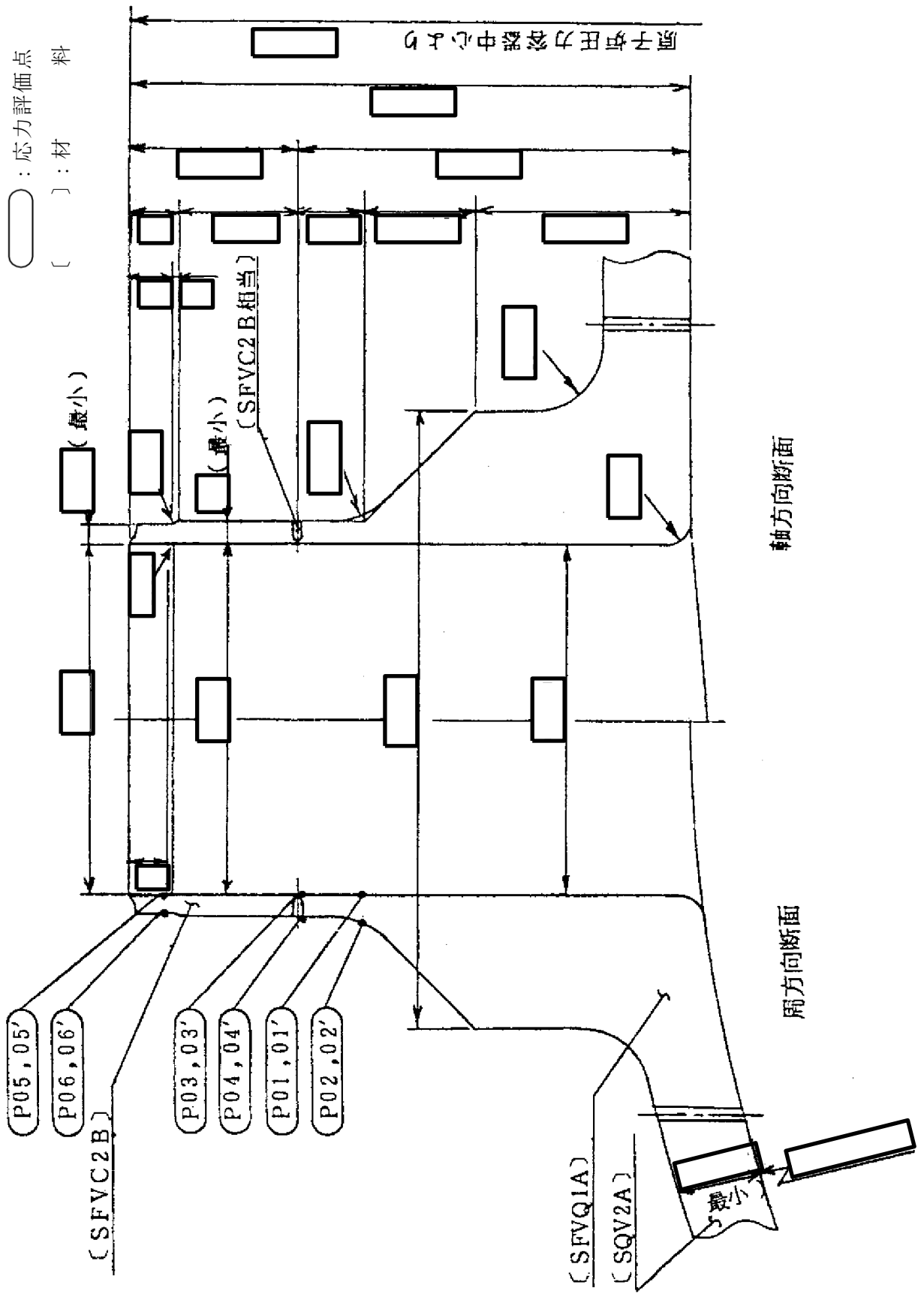


図8-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表8-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)				一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)				一次+二次応力強さ (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	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド SFVQ1A	ⅢA S	90	303	P01 - P02	227	405	P01 - P02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	94	320	P01 - P02	258	429	P01 - P02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	657*2	552	P02	0.444	1.0	P02'	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	776*2	552	P02	—	—	—	—
ノズル— セーフエンド 溶接部 SFVC2B相当	ⅢA S	90	188	P03 - P04	215	252	P03 - P04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	94	292	P03 - P04	245	390	P03 - P04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	582*2	383	P04	0.317	1.0	P04	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	688*2	383	P04	—	—	—	—
ノズル セーフエンド SFVC2B	ⅢA S	106	188	P05 - P06	226	250	P05 - P06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	110	292	P05 - P06	257	388	P05 - P06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	714*2	383	P06	0.728	1.0	P06	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	844*2	383	P06	—	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により，応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため，設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

8.2 計算条件

8.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

8.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

8.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

8.2.4 材料

各部の材料を図8-1に示す。

8.2.5 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項に示す。

8.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

8.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

8.3 応力計算

8.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図8-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

8.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)j.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

8.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

8.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

8.4 応力強さの評価

8.4.1 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8-2に示す。

表8-2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項に示す許容応力を満足する。

8.4.2 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8-3に示す。

表8-3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項に示す許容応力を満足する。

8.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表8-4に示す。

表8-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P03, P03', P04, P04', P05, P05', P06及びP06'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

8.5 繰返し荷重の評価

8.5.1 疲労解析

ノズルエンド及びノズルセーフエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表8-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表8-6に示す。

表8-6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項に示す許容値を満足する。

表8-2 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	90	303	94	320
P01' P02'	87	303	89	320
P03 P04	90	188	94	292
P03' P04'	87	188	89	292
P05 P06	106	188	110	292
P05' P06'	102	188	105	292

表8-3 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	227	405	258	429
P01' P02'	226	405	258	429
P03 P04	215	252	245	390
P03' P04'	215	252	244	390
P05 P06	226	250	257	388
P05' P06'	226	250	256	388

表8-4 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	247	291	552
P01'	247	291	552
P02	657 *	776 *	552
P02'	657 *	776 *	552
P03	545 *	643 *	383
P03'	545 *	643 *	383
P04	582 *	688 *	383
P04'	582 *	688 *	383
P05	485 *	573 *	383
P05'	485 *	573 *	383
P06	714 *	844 *	383
P06'	714 *	844 *	383

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表8-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02'
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	657	1.335	762	508	598	877	300	0.342
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.342
2	776	1.606	900	723	851	339	150	0.442
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.443
疲労累積係数 $U_n =$								0.002
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.444

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表8-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P04

材 料 —— SFVC2B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	582	1.717	582	500	556	1079	300	0.278
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.278
2	688	1.930	688	664	738	475	150	0.316
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.316
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.317

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表8-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P06

材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	714	1.973	714	704	783	413	300	0.726
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.727
2	843	2.146	843	905	1007	226	150	0.664
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.664
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.728

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表8-6 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	0.002	0.004	0.004	0.006	1.0
P01'	0.001	0.004	0.004	0.005	1.0
P02	0.001	0.342	0.443	0.443	1.0
P02'	0.002	0.342	0.443	0.444	1.0
P03	0.001	0.200	0.231	0.232	1.0
P03'	0.001	0.200	0.231	0.231	1.0
P04	0.001	0.278	0.316	0.317	1.0
P04'	0.001	0.278	0.316	0.316	1.0
P05	0.000	0.152	0.187	0.187	1.0
P05'	0.001	0.152	0.187	0.188	1.0
P06	0.001	0.727	0.664	0.728	1.0
P06'	0.001	0.727	0.664	0.727	1.0

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。

9. 給水ノズル (N4) の応力計算

9.1 一般事項

本章は、給水ノズル (N4) の応力計算について示すものである。

給水ノズル (N4) 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。

9.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図9-1に示す。

9.1.2 解析範囲

解析範囲を図9-1に示す。

9.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表9-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

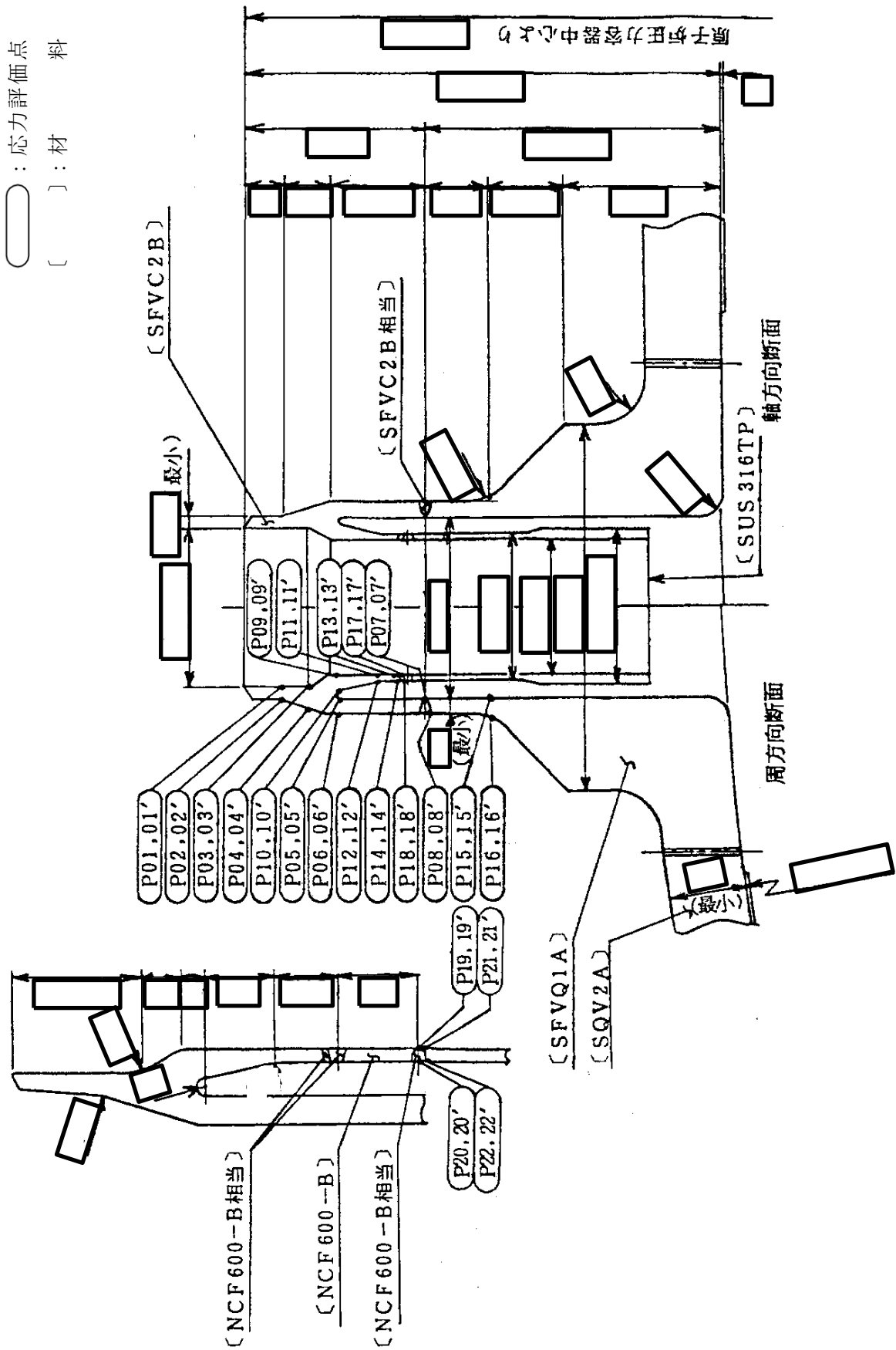


図9-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表9-1 計算結果の概要

部分及びび材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)				一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)				一次+二次応力強さ (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	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド	ⅢA S	110	188	P01 - P02	247	252	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	118	292	P01 - P02	284	390	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SFVC2B	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	604*2	383	P12	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	719*2	383	P12	0.966	1.0	P05	
ノズルエンド	ⅢA S	80	303	P15 - P16	193	409	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	84	320	P15 - P16	222	433	P15' - P16'	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SFVQ1A	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	487	552	P16	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	580*2	552	P16	0.092	1.0	P16
サーマル スリーブ	ⅢA S	10	143	P21 - P22	83	189	P21 - P22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	11	284	P21 - P22	97	377	P21 - P22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NCF600-B相当 SUS316TP	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	426	492	P17	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	507*2	492	P17	0.009	1.0	P21'	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

9.2 計算条件

9.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

9.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

9.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

9.2.4 材料

各部の材料を図9-1に示す。

9.2.5 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項に示す。

9.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

9.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

9.3 応力計算

9.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図9-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

9.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

差圧 : 0.325 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

9.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)及び表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

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

9.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

9.4 応力強さの評価

9.4.1 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9-2に示す。

表9-2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項に示す許容応力を満足する。

9.4.2 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9-3に示す。

表9-3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項に示す許容応力を満足する。

9.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表9-4に示す。

表9-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P05, P05', P07, P07', P08, P08', P12, P12', P13, P13', P14, P14',
P16, P16', P17及びP17'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

9.5 繰返し荷重の評価

9.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表9-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表9-6に示す。

表9-6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項に示す許容値を満足する。

表9-2(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	110	188	118	292
P01' P02'	108	188	115	292
P03 P04	59	188	63	292
P03' P04'	58	188	62	292
P05 P06	80	188	84	292
P05' P06'	78	188	82	292
P07 P08	80	188	84	292
P07' P08'	78	188	82	292
P09 P10	5	188	5	292
P09' P10'	4	188	5	292
P11 P12	14	188	16	292
P11' P12'	13	188	15	292
P13 P14	14	188	16	292
P13' P14'	13	188	15	292
P15 P16	80	303	84	320
P15' P16'	78	303	82	320
P17 P18	10	196	11	334
P17' P18'	9	196	11	334
P19 P20	10	196	11	334
P19' P20'	9	196	11	334

表9-2(2) 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
P21 P22	10	143	11	284
P21' P22'	9	143	11	284

表9-3(1) 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	243	252	279	390
P01'				
P02'	247	252	284	390
P03				
P04	128	261	147	405
P03'				
P04'	130	261	149	405
P05				
P06	174	254	199	394
P05'				
P06'	177	254	203	394
P07				
P08	183	254	210	394
P07'				
P08'	186	254	214	394
P09				
P10	41	259	48	401
P09'				
P10'	39	259	46	401
P11				
P12	130	246	152	382
P11'				
P12'	125	246	147	382
P13				
P14	124	246	146	382
P13'				
P14'	119	246	141	382
P15				
P16	191	409	219	433
P15'				
P16'	193	409	222	433
P17				
P18	87	260	103	442
P17'				
P18'	84	260	99	442
P19				
P20	83	260	97	442
P19'				
P20'	79	260	94	442

表9-3(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
P21 P22	83	189	97	377
P21' P22'	79	189	94	377

表9-4(1) 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	267	318	383
P01'	267	318	383
P02	573 *	682 *	383
P02'	573 *	682 *	383
P03	319	380	383
P03'	319	380	383
P04	218	260	383
P04'	218	260	383
P05	526 *	627 *	383
P05'	526 *	627 *	383
P06	235	280	383
P06'	235	280	383
P07	348	414 *	383
P07'	348	414 *	383
P08	346	412 *	383
P08'	346	412 *	383
P09	141	168	383
P09'	141	168	383
P10	150	178	383
P10'	150	178	383
P11	299	356	383
P11'	299	356	383
P12	604 *	719 *	383
P12'	604 *	719 *	383
P13	508 *	604 *	383
P13'	508 *	604 *	383
P14	366	435 *	383
P14'	366	435 *	383

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表9-4(2) 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 $3 \cdot S_m$
P15	209	249	552
P15'	209	249	552
P16	487	580 *	552
P16'	487	580 *	552
P17	426	507 *	492
P17'	426	507 *	492
P18	321	382	492
P18'	321	382	492
P19	279	333	492
P19'	279	333	492
P20	312	372	492
P20'	312	372	492
P21	268	319	360
P21'	268	319	360
P22	296	353	360
P22'	296	353	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表9-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P05

材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	505	1.516	942	714	795	399	300	0.752
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.752
2	601	1.763	1121	988	1100	183	150	0.820
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.820
疲労累積係数 $U_n =$								0.146
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.966

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表9-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P16

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	487	—	563	282	331	4946	300	0.061
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.061
2	580	1.185	670	397	467	1713	150	0.088
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.088
疲労累積係数 $U_n =$								0.004
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.092

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表9-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P21'

材 料 —— SUS316TP

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	1	—	1	1	1	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	1	—	1	1	1	1000×10^8	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.009
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.009

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表9-6(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	0.038	0.004	0.004	0.042	1.0
P01'	0.010	0.004	0.004	0.013	1.0
P02	0.010	0.387	0.430	0.440	1.0
P02'	0.021	0.387	0.430	0.451	1.0
P03	0.003	0.016	0.014	0.019	1.0
P03'	0.001	0.018	0.016	0.018	1.0
P04	0.001	0.002	0.002	0.003	1.0
P04'	0.001	0.002	0.002	0.002	1.0
P05	0.146	0.752	0.820	0.966	1.0
P05'	0.075	0.752	0.820	0.894	1.0
P06	0.002	0.003	0.003	0.004	1.0
P06'	0.007	0.003	0.003	0.010	1.0
P07	0.001	0.012	0.016	0.017	1.0
P07'	0.001	0.012	0.016	0.016	1.0
P08	0.001	0.011	0.015	0.015	1.0
P08'	0.001	0.011	0.015	0.016	1.0
P09	0.076	0.001	0.001	0.076	1.0
P09'	0.086	0.001	0.001	0.087	1.0
P10	0.017	0.003	0.004	0.020	1.0
P10'	0.016	0.003	0.004	0.019	1.0
P11	0.006	0.007	0.006	0.013	1.0
P11'	0.005	0.007	0.006	0.012	1.0
P12	0.007	0.532	0.544	0.551	1.0
P12'	0.007	0.532	0.544	0.551	1.0
P13	0.003	0.136	0.168	0.171	1.0
P13'	0.003	0.136	0.168	0.171	1.0
P14	0.003	0.013	0.024	0.026	1.0
P14'	0.003	0.013	0.024	0.026	1.0
P15	0.001	0.002	0.002	0.003	1.0
P15'	0.001	0.002	0.002	0.003	1.0
P16	0.004	0.061	0.088	0.092	1.0
P16'	0.002	0.061	0.088	0.089	1.0

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。

表9-6(2) 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^*	
P17	0.000	0.001	0.001	0.002	1.0
P17'	0.000	0.001	0.001	0.002	1.0
P18	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P18'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P19	0.004	0.000	0.000	0.004	1.0
P19'	0.004	0.000	0.000	0.004	1.0
P20	0.003	0.001	0.001	0.003	1.0
P20'	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P21	0.009	0.000	0.000	0.009	1.0
P21'	0.009	0.000	0.000	0.009	1.0
P22	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P22'	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0

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。

10. 低圧炉心スプレインズル（N5）の応力計算

10.1 一般事項

本章は、低圧炉心スプレインズル（N5）の応力計算について示すものである。

低圧炉心スプレインズル（N5）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。

10.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図10-1に示す。

10.1.2 解析範囲

解析範囲を図10-1に示す。

10.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表10-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

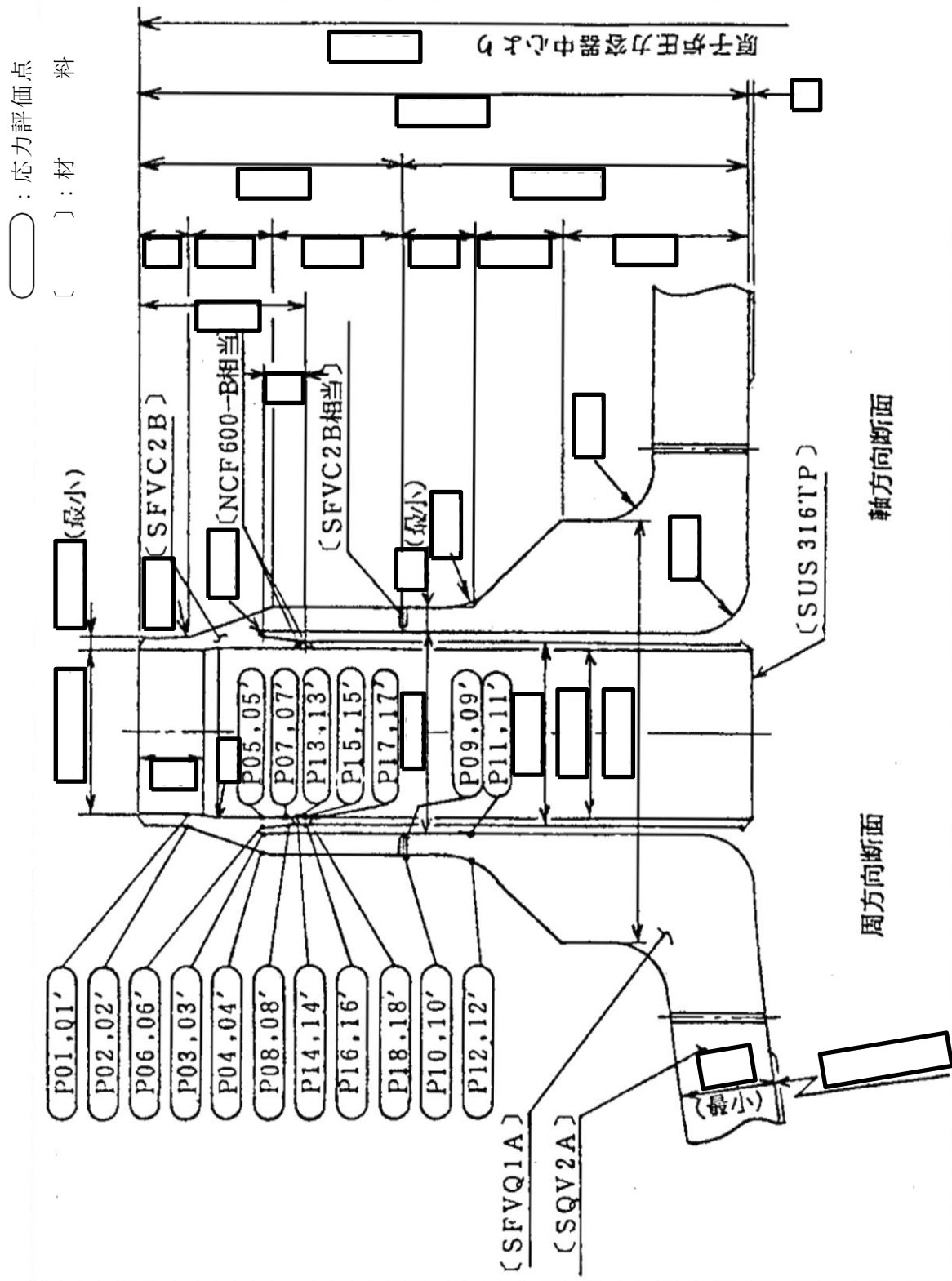


図10-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表10-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエント SFVC2B SFVC2B相当	ⅢA S	78	188	P01 - P02	145	246	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	78	292	P01 - P02	145	382	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	457*2	383	P08	0.091	P08'	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	457*2	383	P08	—	—	
ノズルエント SFVQ1A	ⅢA S	46	303	P11 - P12	79	419	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	46	320	P11 - P12	79	443	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	154	552	P12	0.001	P12	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	154	552	P12	—	—	
サーマル スリーブ NCF600-B相当 SUS316TP	ⅢA S	18	143	P17 - P18	102	189	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	18	284	P17 - P18	102	377	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	325	360	P17	0.001	P14	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	325	360	P17	—	—	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

10.2 計算条件

10.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

10.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

10.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

10.2.4 材料

各部の材料を図10-1に示す。

10.2.5 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項に示す。

10.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

10.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

10.3 応力計算

10.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図10-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1) *ℓ*. に定めるとおりである。

10.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1) *ℓ*. に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

10.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)及び表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

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

10.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

10.4 応力強さの評価

10.4.1 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10-2に示す。

表10-2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項に示す許容応力を満足する。

10.4.2 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10-3に示す。

表10-3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項に示す許容応力を満足する。

10.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表10-4に示す。

表10-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P08及びP08'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

10.5 繰返し荷重の評価

10.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表10-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表10-6に示す。

表10-6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項に示す許容値を満足する。

表10-2 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	78	188	78	292
P01' P02'	78	188	78	292
P03 P04	52	188	52	292
P03' P04'	52	188	52	292
P05 P06	14	188	14	292
P05' P06'	11	188	11	292
P07 P08	25	188	25	292
P07' P08'	21	188	21	292
P09 P10	46	188	46	292
P09' P10'	46	188	46	292
P11 P12	46	303	46	320
P11' P12'	46	303	46	320
P13 P14	18	196	18	334
P13' P14'	15	196	15	334
P15 P16	18	196	18	334
P15' P16'	15	196	15	334
P17 P18	18	143	18	284
P17' P18'	15	143	15	284

表10-3 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	137	252	137	390
P01' P02'	136	252	136	390
P03 P04	87	258	87	400
P03' P04'	89	258	89	400
P05 P06	80	252	80	390
P05' P06'	72	252	72	390
P07 P08	145	246	145	382
P07' P08'	130	246	130	382
P09 P10	76	260	76	403
P09' P10'	78	260	78	403
P11 P12	77	419	77	443
P11' P12'	79	419	79	443
P13 P14	102	260	102	442
P13' P14'	92	260	92	442
P15 P16	102	260	102	442
P15' P16'	92	260	92	442
P17 P18	102	189	102	377
P17' P18'	92	189	92	377

表10-4(1) 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	76	76	383
P01'	76	76	383
P02	229	229	383
P02'	229	229	383
P03	272	272	383
P03'	272	272	383
P04	55	55	383
P04'	55	55	383
P05	161	161	383
P05'	161	161	383
P06	291	291	383
P06'	291	291	383
P07	345	345	383
P07'	345	345	383
P08	457 *	457 *	383
P08'	457 *	457 *	383
P09	111	111	383
P09'	111	111	383
P10	119	119	383
P10'	119	119	383
P11	62	62	552
P11'	62	62	552
P12	154	154	552
P12'	154	154	552
P13	335	335	492
P13'	335	335	492
P14	395	395	492
P14'	395	395	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表10-4(2) 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 $3 \cdot S_m$
P15	331	331	492
P15'	331	331	492
P16	290	290	492
P16'	290	290	492
P17	325	325	360
P17'	325	325	360
P18	273	273	360
P18'	273	273	360

表10-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P08'
材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	456	1.338	501	335	373	3394	300	0.088
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.089
2	456	1.338	501	335	373	3394	150	0.044
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.045
疲労累積係数 $U_n =$								0.003
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.091

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表10-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P12
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	154	—	179	89	105	282561	300	0.001
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	154	—	179	89	105	282561	150	0.001
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.001
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.001

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表10-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P14

材 料 —— NCF600-B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	395	—	433	217	213	494297	300	0.001
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	395	—	433	217	213	494297	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.001
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.001

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表10-6(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	0.001	0.001	0.001	1.0
P01'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.003	0.005	0.003	0.008	1.0
P02'	0.002	0.005	0.003	0.007	1.0
P03	0.004	0.054	0.027	0.058	1.0
P03'	0.001	0.054	0.027	0.055	1.0
P04	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P04'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P05	0.007	0.001	0.001	0.007	1.0
P05'	0.007	0.001	0.001	0.007	1.0
P06	0.001	0.025	0.013	0.026	1.0
P06'	0.002	0.025	0.013	0.027	1.0
P07	0.002	0.011	0.006	0.013	1.0
P07'	0.002	0.011	0.006	0.013	1.0
P08	0.002	0.089	0.045	0.090	1.0
P08'	0.003	0.089	0.045	0.091	1.0
P09	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P09'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P10	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P10'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P11	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P11'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P12	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P12'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P13	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P13'	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P14	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P14'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P15	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P15'	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P16	0.000	0.000	0.000	0.001	1.0
P16'	0.000	0.000	0.000	0.001	1.0

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。

表10-6(2) 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^*	
P17	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P17'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P18	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P18'	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0

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。

11. 低圧注水ノズル (N6) の応力計算

11.1 一般事項

本章は、低圧注水ノズル (N6) の応力計算について示すものである。

低圧注水ノズル (N6) 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。

11.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図11-1に示す。

11.1.2 解析範囲

解析範囲を図11-1に示す。

11.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表11-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

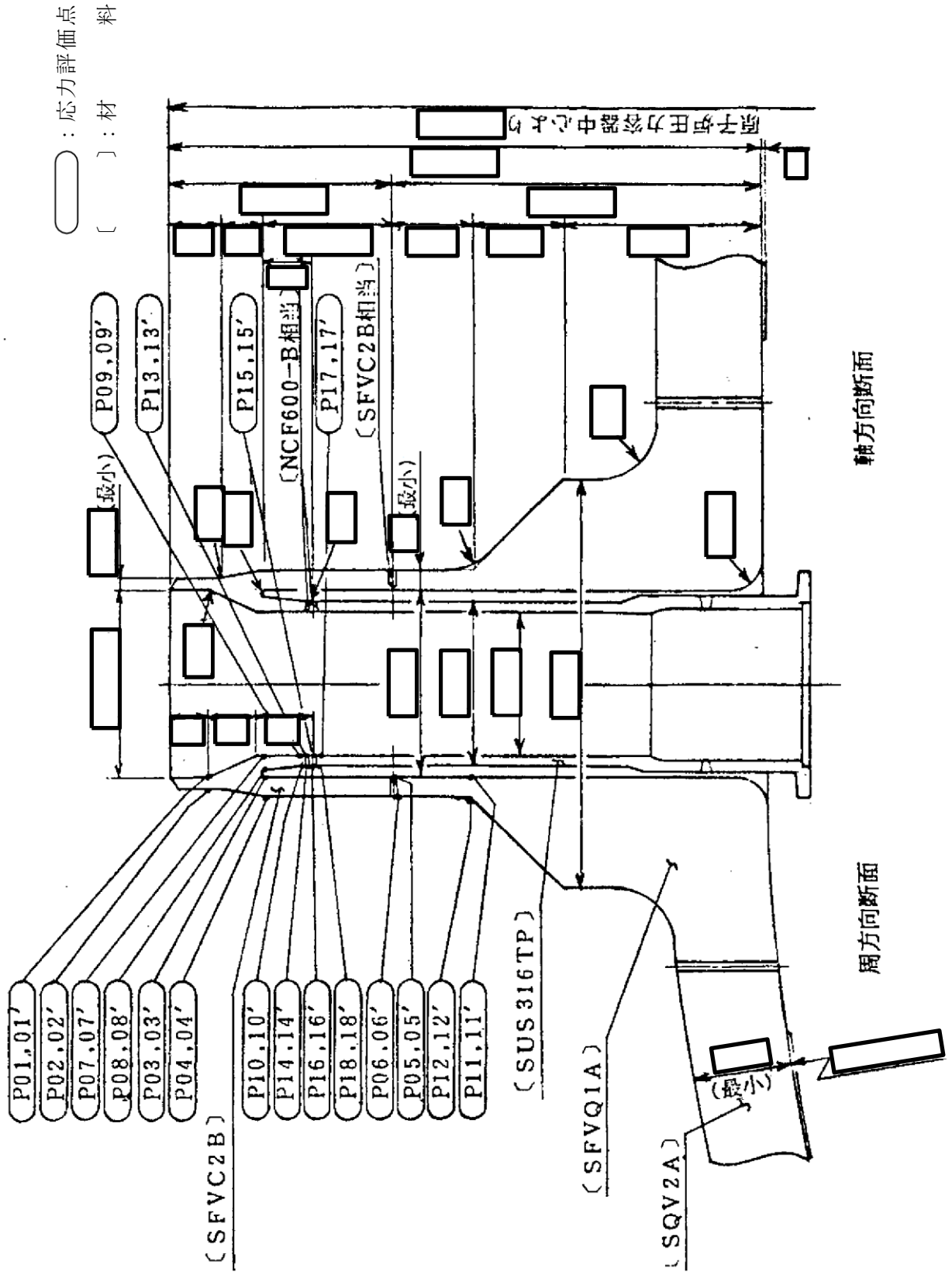


図11-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表11-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエント SFVC2B SFVC2B相当	ⅢA S	87	188	P01 - P02	236	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	97	292	P01 - P02	346	390	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	409*2	383	P01	0.747	1.0	P03
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	674*2	383	P01	—	—	—
ノズルエント SFVQ1A	ⅢA S	53	303	P11 - P12	173	418	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	58	320	P11 - P12	253	442	P11' - P12'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	367	552	P12	0.108	1.0	P12
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	604*2	552	P12	—	—	—
サーマル スリーブ NCF600-B相当 SUS316TP	ⅢA S	15	143	P17 - P18	61	191	P17 - P18	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	16	284	P17 - P18	79	381	P17 - P18	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	103	360	P18	0.001	1.0	P17'
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	170	360	P18	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により，応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため，設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

11.2 計算条件

11.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

11.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

11.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

11.2.4 材料

各部の材料を図11-1に示す。

11.2.5 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項に示す。

11.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

11.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

11.3 応力計算

11.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図11-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

11.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

11.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)及び表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

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

11.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

11.4 応力強さの評価

11.4.1 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11-2に示す。

表11-2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項に示す許容応力を満足する。

11.4.2 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11-3に示す。

表11-3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項に示す許容応力を満足する。

11.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表11-4に示す。

表11-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P01, P01', P02, P02', P03, P03', P05, P05', P06, P06', P12及びP12'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

11.5 繰返し荷重の評価

11.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表11-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表11-6に示す。

表11-6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項に示す許容値を満足する。

表11-2 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	87	188	97	292
P01' P02'	86	188	93	292
P03 P04	53	188	58	292
P03' P04'	52	188	55	292
P05 P06	53	188	58	292
P05' P06'	52	188	55	292
P07 P08	11	188	12	292
P07' P08'	10	188	11	292
P09 P10	17	188	19	292
P09' P10'	16	188	18	292
P11 P12	53	303	58	320
P11' P12'	52	303	55	320
P13 P14	13	196	14	334
P13' P14'	12	196	13	334
P15 P16	15	196	16	334
P15' P16'	14	196	15	334
P17 P18	15	143	16	284
P17' P18'	14	143	15	284

表11-3 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	236	252	345	390
P01' P02'	236	252	346	390
P03 P04	150	260	218	402
P03' P04'	154	260	223	402
P05 P06	162	260	237	402
P05' P06'	166	260	242	402
P07 P08	48	255	62	395
P07' P08'	38	255	52	395
P09 P10	72	250	93	387
P09' P10'	57	250	78	387
P11 P12	169	418	249	442
P11' P12'	173	418	253	442
P13 P14	53	264	69	449
P13' P14'	42	264	58	449
P15 P16	61	263	79	446
P15' P16'	48	263	66	446
P17 P18	61	191	79	381
P17' P18'	48	191	66	381

表11-4(1) 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	409 *	674 *	383
P01'	409 *	674 *	383
P02	321	529 *	383
P02'	321	529 *	383
P03	339	559 *	383
P03'	339	559 *	383
P04	170	280	383
P04'	170	280	383
P05	255	419 *	383
P05'	255	419 *	383
P06	257	423 *	383
P06'	257	423 *	383
P07	73	120	383
P07'	73	120	383
P08	93	154	383
P08'	93	154	383
P09	132	219	383
P09'	132	219	383
P10	103	170	383
P10'	103	170	383
P11	127	208	552
P11'	127	208	552
P12	367	604 *	552
P12'	367	604 *	552
P13	122	201	492
P13'	122	201	492
P14	98	162	492
P14'	98	162	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表11-4(2) 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 $3 \cdot S_m$
P15	100	166	492
P15'	100	166	492
P16	107	177	492
P16'	107	177	492
P17	99	164	360
P17'	99	164	360
P18	103	170	360
P18'	103	170	360

表11-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P03
材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	339	—	692	346	385	3070	300	0.098
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.098
2	558	1.660	1141	947	1054	203	150	0.739
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.739
疲労累積係数 $U_n =$								0.009
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.747

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表11-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P12

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	366	—	423	211	249	11905	300	0.025
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.026
2	604	1.228	697	428	503	1408	150	0.107
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.107
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.108

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表11-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P17'
材 料 —— SUS316TP

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	99	—	99	49	55	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	164	—	164	82	91	1000×10^8	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.001

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表11-6(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	0.003	0.049	0.435	0.438	1.0
P01'	0.004	0.049	0.435	0.439	1.0
P02	0.001	0.009	0.086	0.086	1.0
P02'	0.001	0.009	0.086	0.086	1.0
P03	0.009	0.098	0.739	0.747	1.0
P03'	0.002	0.098	0.739	0.741	1.0
P04	0.000	0.001	0.003	0.003	1.0
P04'	0.000	0.001	0.003	0.003	1.0
P05	0.000	0.004	0.018	0.018	1.0
P05'	0.001	0.004	0.018	0.018	1.0
P06	0.000	0.004	0.019	0.019	1.0
P06'	0.000	0.004	0.019	0.019	1.0
P07	0.006	0.001	0.001	0.006	1.0
P07'	0.004	0.001	0.001	0.004	1.0
P08	0.002	0.001	0.003	0.005	1.0
P08'	0.001	0.001	0.003	0.003	1.0
P09	0.002	0.001	0.001	0.003	1.0
P09'	0.003	0.001	0.001	0.004	1.0
P10	0.002	0.001	0.001	0.002	1.0
P10'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P11	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P11'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P12	0.001	0.026	0.107	0.108	1.0
P12'	0.001	0.026	0.107	0.107	1.0
P13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P15	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P15'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P16	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P16'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0

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。

表11-6(2) 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^*	
P17	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P17'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P18	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P18'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0

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。

12. 上ぶたスプレイノズル (N7) の応力計算

12.1 一般事項

本章は、上ぶたスプレイノズル (N7) の応力計算について示すものである。

上ぶたスプレイノズル (N7) 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。

12.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図12-1に示す。

12.1.2 解析範囲

解析範囲を図12-1に示す。

12.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表12-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

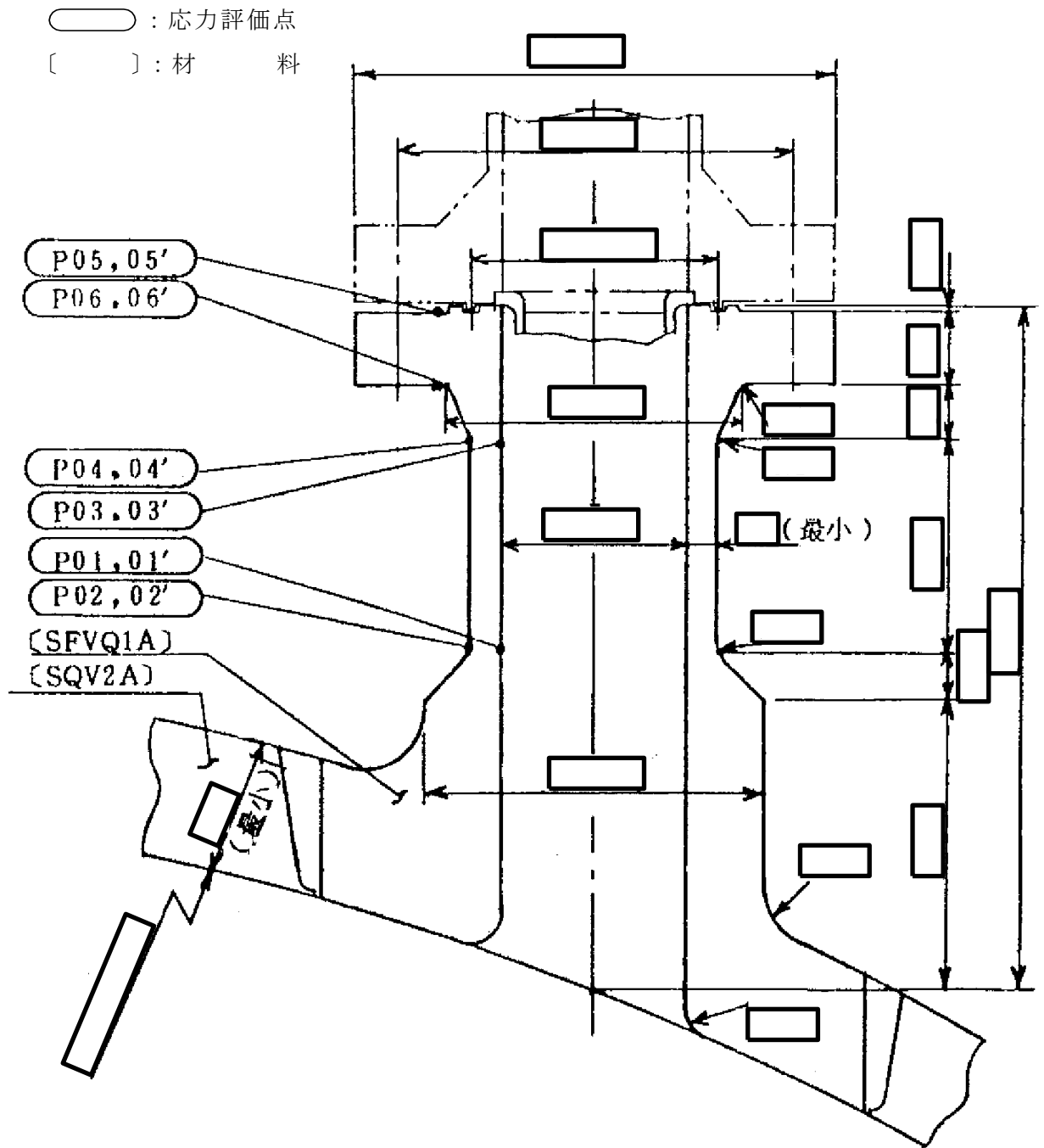


図12-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表12-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド	ⅢA S	38	303	P01 - P02	86	426	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	39	320	P01 - P02	96	451	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	678*2	552	P02	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	791*2	552	P02	0.601	1.0	P02
フランジ	ⅢA S	38	303	P03 - P04	94	426	P03' - P04'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	39	320	P03 - P04	102	451	P03' - P04'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	587*2	552	P04	—	—	—
SFVQ1A	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.288	1.0	P04

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

12.2 計算条件

12.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

12.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

12.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

12.2.4 材料

各部の材料を図12-1に示す。

12.2.5 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項に示す。

12.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

12.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

12.3 応力計算

12.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図12-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

12.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

12.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

12.3.4 ボルト荷重による応力

(1) 荷重条件 (L11)

ボルト荷重は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

ボルト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)n.に定めるとおりである。

12.3.5 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

12.4 応力強さの評価

12.4.1 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12-2に示す。

表12-2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項に示す許容応力を満足する。

12.4.2 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12-3に示す。

表12-3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項に示す許容応力を満足する。

12.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表12-4に示す。

表12-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04及びP04'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

12.5 繰返し荷重の評価

12.5.1 疲労解析

ノズルエンド及びフランジの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表12-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表12-6に示す。

表12-6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項に示す許容値を満足する。

表12-2 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	38	303	39	320
P01' P02'	38	303	38	320
P03 P04	38	303	39	320
P03' P04'	38	303	38	320

表12-3 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	86	426	96	451
P01' P02'	84	426	95	451
P03 P04	72	426	80	451
P03' P04'	94	426	102	451
P05 P06	7	454	7	481
P05' P06'	14	454	14	481

表12-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	136	159	552
P01'	136	159	552
P02	678 *	791 *	552
P02'	678 *	791 *	552
P03	112	130	552
P03'	112	130	552
P04	587 *	685 *	552
P04'	587 *	685 *	552
P05	95	111	552
P05'	95	111	552
P06	102	119	552
P06'	102	119	552

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表12-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	677	1.432	856	613	721	504	300	0.595
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.596
2	791	1.634	999	817	960	253	150	0.593
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.593
疲労累積係数 $U_n =$								0.005
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.601

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表12-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P04

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	587	1.251	722	452	531	1218	300	0.246
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.247
2	685	1.428	843	602	708	532	150	0.282
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.282
疲労累積係数 $U_n =$								0.006
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.288

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表12-6 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	0.001	0.001	0.002	1.0
P01'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P02	0.005	0.596	0.593	0.601	1.0
P02'	0.004	0.596	0.593	0.600	1.0
P03	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P03'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P04	0.006	0.247	0.282	0.288	1.0
P04'	0.003	0.247	0.282	0.285	1.0
P05	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P05'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P06	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P06'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0

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。

13. 計測及びベントノズル (N8) の応力計算

13.1 一般事項

本章は、計測及びベントノズル (N8) の応力計算について示すものである。

計測及びベントノズル (N8) 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。

13.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図13-1に示す。

13.1.2 解析範囲

解析範囲を図13-1に示す。

13.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表13-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

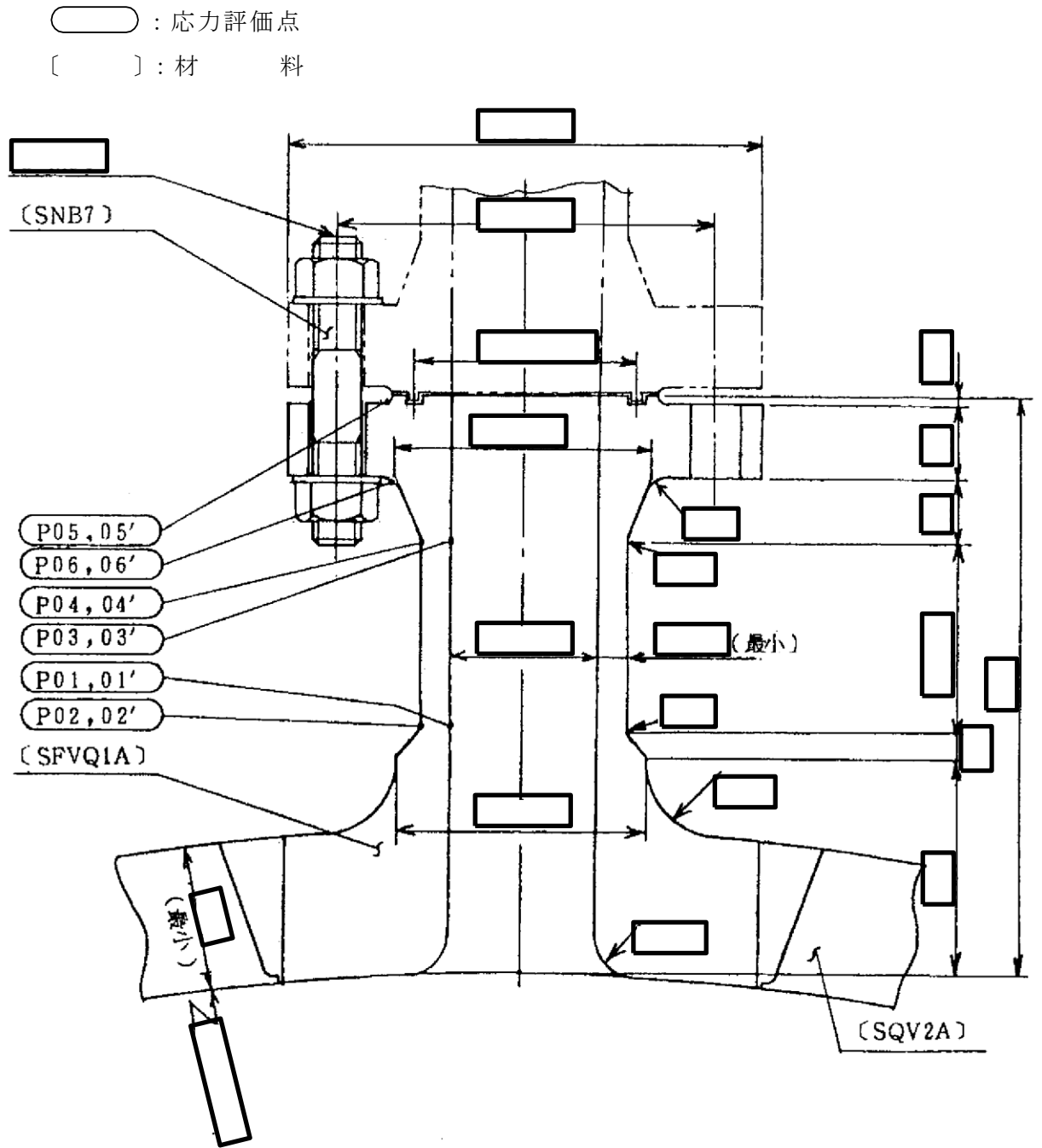


図13-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表13-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド	ⅢA S	39	303	P01 - P02	78	425	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	40	320	P01 - P02	87	449	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	670*2	552	P02	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	769*2	552	P02	0.657	P02	
フランジ	ⅢA S	39	303	P03 - P04	79	425	P03' - P04'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	40	320	P03 - P04	86	449	P03' - P04'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	553*2	552	P04	—	—	
SFVQ1A	ⅣA S	—	—	—	—	—	635*2	552	P04	0.178	1.0	P04	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

13.2 計算条件

13.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

13.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

13.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

13.2.4 材料

各部の材料を図13-1に示す。

13.2.5 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項に示す。

13.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

13.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

13.3 応力計算

13.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図13-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)ο.に定めるとおりである。

13.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)ο.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

13.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

13.3.4 ボルト荷重による応力

(1) 荷重条件 (L11)

ボルト荷重は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)o.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

ボルト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)o.に定めるとおりである。

13.3.5 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

13.4 応力強さの評価

13.4.1 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13-2に示す。

表13-2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項に示す許容応力を満足する。

13.4.2 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13-3に示す。

表13-3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項に示す許容応力を満足する。

13.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表13-4に示す。

表13-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04及びP04'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

13.5 繰返し荷重の評価

13.5.1 疲労解析

ノズルエンド及びフランジの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表13-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表13-6に示す。

表13-6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項に示す許容値を満足する。

表13-2 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	39	303	40	320
P01' P02'	39	303	40	320
P03 P04	39	303	40	320
P03' P04'	39	303	40	320

表13-3 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	78	425	87	449
P01' P02'	77	425	86	449
P03 P04	67	425	73	449
P03' P04'	79	425	86	449
P05 P06	4	454	4	481
P05' P06'	4	454	4	481

表13-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	97	112	552
P01'	97	112	552
P02	670 *	769 *	552
P02'	670 *	769 *	552
P03	124	143	552
P03'	124	143	552
P04	553 *	635 *	552
P04'	553 *	635 *	552
P05	62	72	552
P05'	62	72	552
P06	79	91	552
P06'	79	91	552

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表13-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	670	1.439	887	638	750	457	300	0.656
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.657
2	769	1.602	1017	815	959	254	150	0.591
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.591
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.657

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表13-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P04

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	553	1.183	675	399	469	1693	300	0.177
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.178
2	634	1.330	775	515	606	843	150	0.178
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.178
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.178

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表13-6 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	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.657	0.591	0.657	1.0
P02'	0.000	0.657	0.591	0.657	1.0
P03	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P03'	0.001	0.001	0.001	0.002	1.0
P04	0.000	0.178	0.178	0.178	1.0
P04'	0.000	0.178	0.178	0.178	1.0
P05	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P05'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P06	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P06'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0

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。

14. ジェットポンプ計測ノズル (N9) の応力計算

14.1 一般事項

本章は、ジェットポンプ計測ノズル (N9) の応力計算について示すものである。

ジェットポンプ計測ノズル (N9) 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。

14.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図14-1に示す。

14.1.2 解析範囲

解析範囲を図14-1に示す。

14.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表14-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

○ : 応力評価点
 [] : 材 料

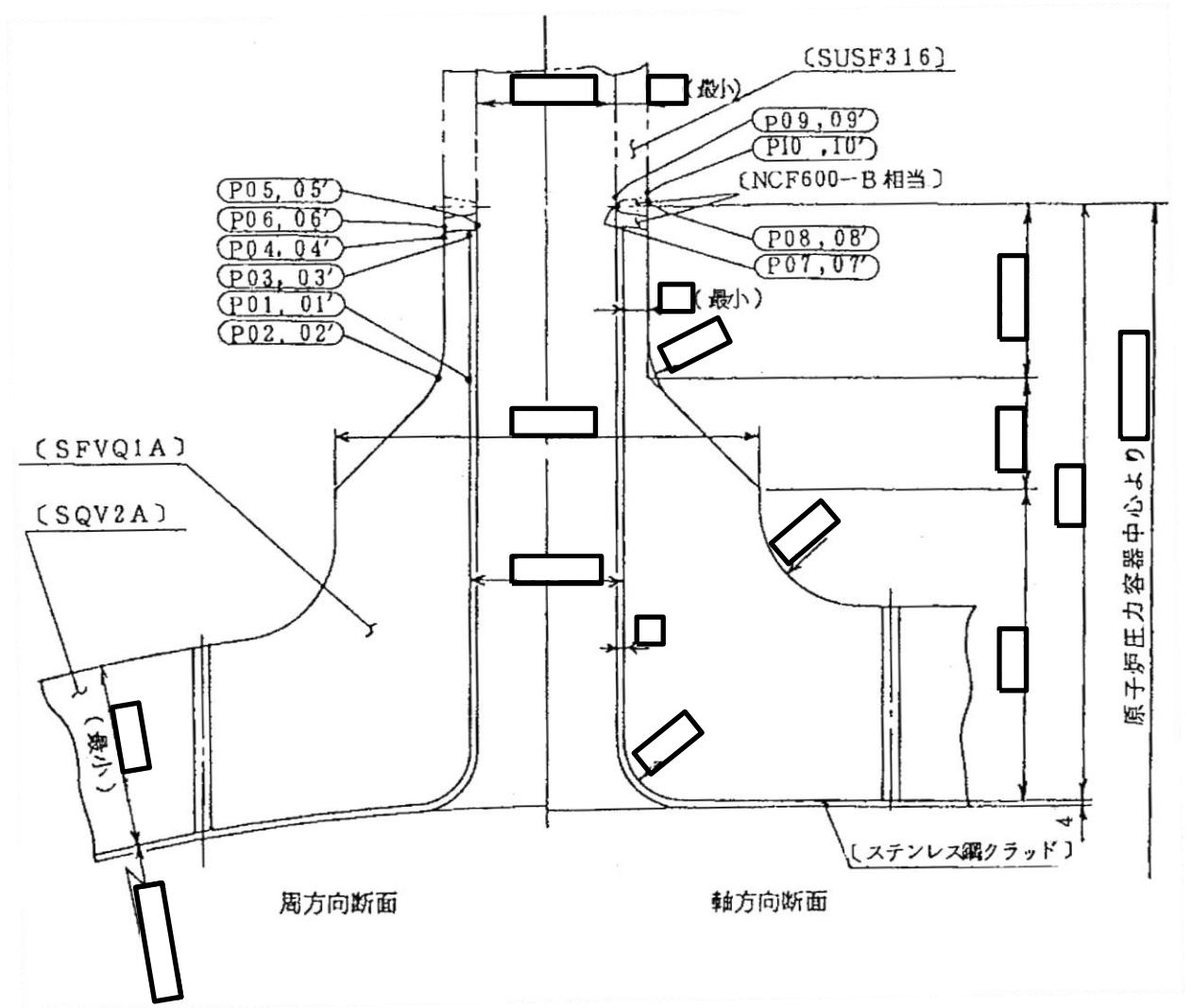


図14-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表14-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズルエンド	ⅢA S	92	303	P01' - P02'	276	427	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	136	320	P01' - P02'	406	451	P01' - P02'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	431	552	P02	0.159	1.0	P02
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	650*2	552	P02	—	—	—
溶接部	ⅢA S	71	196	P05' - P06'	193	287	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	105	334	P05' - P06'	284	487	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
NCF600-B相当	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	426	492	P06	0.020	1.0	P06
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	643*2	492	P06	—	—	—
ペネシール	ⅢA S	71	143	P09' - P10'	188	208	P09' - P10'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	105	284	P09' - P10'	278	416	P09' - P10'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	394*2	360	P10	0.051	1.0	P10
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	595*2	360	P10	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

14.2 計算条件

14.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

14.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

14.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

14.2.4 材料

各部の材料を図14-1に示す。

14.2.5 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項に示す。

14.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

14.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

14.3 応力計算

14.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図14-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p.に定めるとおりである。

14.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)p.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

14.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

14.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

14.4 応力強さの評価

14.4.1 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14-2に示す。

表14-2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項に示す許容応力を満足する。

14.4.2 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14-3に示す。

表14-3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項に示す許容応力を満足する。

14.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表14-4に示す。

表14-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04, P04', P06, P06', P08, P08', P09, P09', P10及びP10'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

14.5 繰返し荷重の評価

14.5.1 疲労解析

ノズルエンド及びペネシールの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表14-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表14-6に示す。

表14-6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項に示す許容値を満足する。

表14-2 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	90	303	134	320
P01' P02'	92	303	136	320
P03 P04	90	303	134	320
P03' P04'	92	303	136	320
P05 P06	70	196	104	334
P05' P06'	71	196	105	334
P07 P08	70	196	104	334
P07' P08'	71	196	105	334
P09 P10	70	143	104	284
P09' P10'	71	143	105	284

表14-3 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	270	427	396	451
P01' P02'	276	427	406	451
P03 P04	242	427	354	451
P03' P04'	248	427	365	451
P05 P06	188	287	276	487
P05' P06'	193	287	284	487
P07 P08	184	287	269	487
P07' P08'	188	287	278	487
P09 P10	184	208	269	416
P09' P10'	188	208	278	416

表14-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	157	237	552
P01'	157	237	552
P02	431	650 *	552
P02'	431	650 *	552
P03	277	419	552
P03'	277	419	552
P04	422	637 *	552
P04'	422	637 *	552
P05	274	414	492
P05'	274	414	492
P06	426	643 *	492
P06'	426	643 *	492
P07	266	402	492
P07'	266	402	492
P08	398	601 *	492
P08'	398	601 *	492
P09	260	393 *	360
P09'	260	393 *	360
P10	394 *	595 *	360
P10'	394 *	595 *	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表14-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	430	—	498	249	293	7143	300	0.042
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.042
2	650	1.316	753	495	583	947	150	0.158
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.159
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.159

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表14-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P06

材 料 —— NCF600-B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	425	—	425	213	209	567622	300	0.001
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	642	1.491	642	479	471	7648	150	0.020
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.020
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.020

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表14-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P10

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	394	1.180	394	232	258	159736	300	0.002
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.002
2	595	1.829	595	544	603	2951	150	0.051
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.051
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.051

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表14-6 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	0.000	0.001	0.002	0.002	1.0
P01'	0.000	0.001	0.002	0.002	1.0
P02	0.000	0.042	0.159	0.159	1.0
P02'	0.000	0.042	0.159	0.159	1.0
P03	0.001	0.007	0.013	0.014	1.0
P03'	0.001	0.007	0.013	0.014	1.0
P04	0.000	0.025	0.094	0.094	1.0
P04'	0.001	0.025	0.094	0.095	1.0
P05	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P05'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P06	0.000	0.001	0.020	0.020	1.0
P06'	0.000	0.001	0.020	0.020	1.0
P07	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P07'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P08	0.000	0.001	0.011	0.011	1.0
P08'	0.000	0.001	0.011	0.011	1.0
P09	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P09'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P10	0.000	0.002	0.051	0.051	1.0
P10'	0.000	0.002	0.051	0.051	1.0

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。

15. ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) の応力計算

15.1 一般事項

本章は、ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) の応力計算について示すものである。

ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) 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。

15.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図15-1に示す。

15.1.2 解析範囲

解析範囲を図15-1に示す。

15.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表15-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

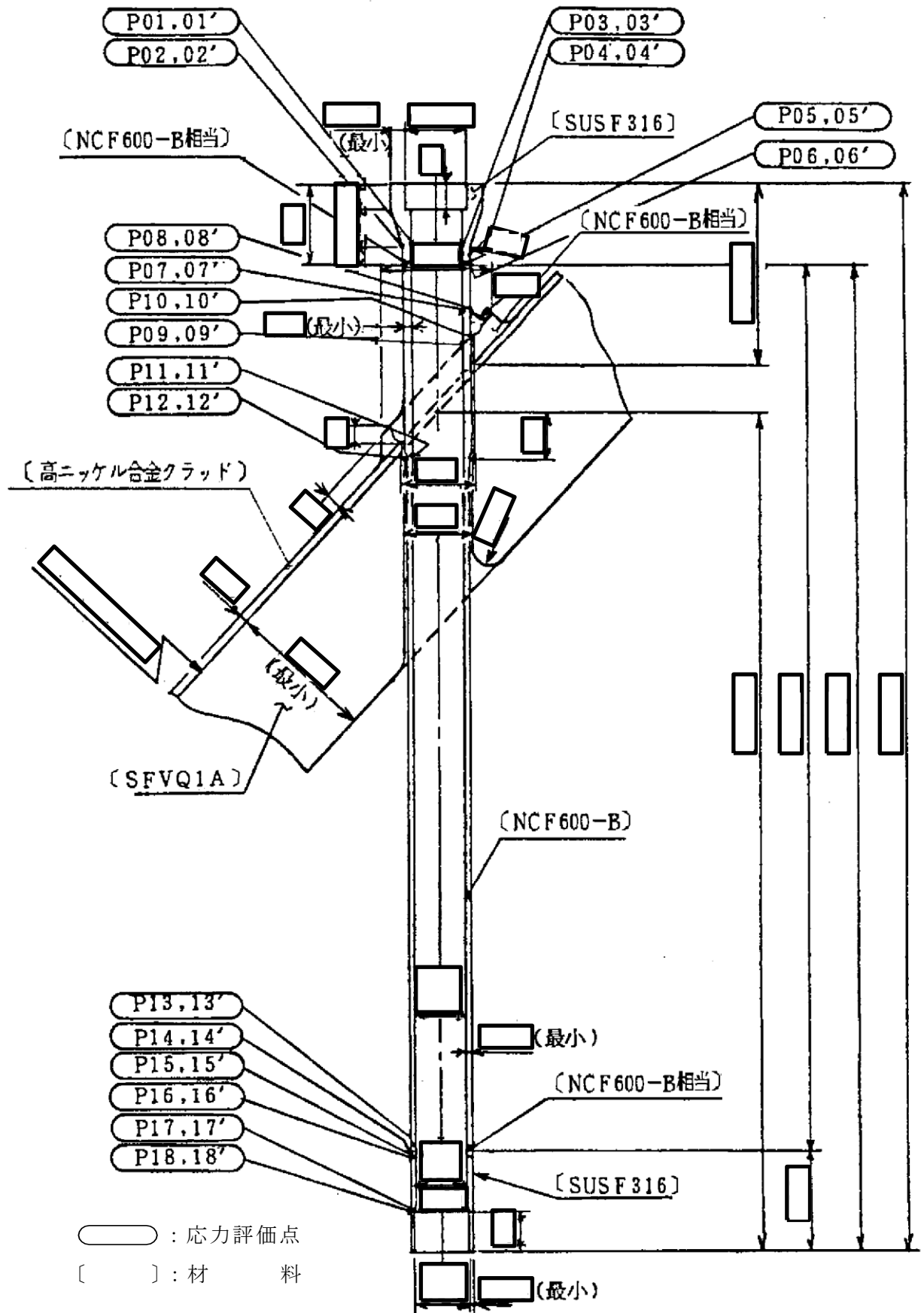


図15-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表15-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
カップリング	ⅢA S	0	143	P01 - P02	0	206	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	0	284	P01 - P02	0	410	P01 - P02	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	0	360	P01	0.000	1.0	P01
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	0	360	P01	—	—	—
ノズル下鏡 内面側	ⅢA S	0	196	P05 - P06	6	283	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	0	334	P05 - P06	6	481	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	0	492	P05	0.000	1.0	P05
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	0	492	P05	—	—	—
ノズル下鏡 外面側	ⅢA S	55	196	P11 - P12	101	272	P11 - P12	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	55	334	P11 - P12	101	462	P11 - P12	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	660*2	492	P12	0.868	1.0	P10
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	660*2	492	P12	—	—	—
ノズル セーフエントド 溶接部 NCF600-B相当	ⅢA S	55	196	P13 - P14	71	272	P13 - P14	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	55	334	P13 - P14	71	462	P13 - P14	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	271	492	P14	0.000	1.0	P14
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	271	492	P14	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

表15-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエントド SUSF316	ⅢA S	59	143	P17 - P18	71	197	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	59	284	P17 - P18	71	392	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	263	360	P16	0.002	P16'	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	263	360	P16	—	—	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により，応力評価は不要である。

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。

15.2 計算条件

15.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

15.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

15.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

15.2.4 材料

各部の材料を図15-1に示す。

15.2.5 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項に示す。

15.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

15.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

15.3 応力計算

15.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図15-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q.に定めるとおりである。

15.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)q.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.45 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

15.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

15.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

15.4 応力強さの評価

15.4.1 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15-2に示す。

表15-2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項に示す許容応力を満足する。

15.4.2 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15-3に示す。

表15-3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項に示す許容応力を満足する。

15.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表15-4に示す。

表15-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P12及びP12'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

15.5 繰返し荷重の評価

15.5.1 疲労解析

カップリング、ノズル及びノズルセーフエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表15-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表15-6に示す。

表15-6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項に示す許容値を満足する。

表15-2 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	0	143	0	284
P01' P02'	0	143	0	284
P03 P04	0	143	0	284
P03' P04'	0	143	0	284
P05 P06	0	196	0	334
P05' P06'	0	196	0	334
P07 P08	0	196	0	334
P07' P08'	0	196	0	334
P09 P10	34	196	34	334
P09' P10'	34	196	34	334
P11 P12	55	196	55	334
P11' P12'	55	196	55	334
P13 P14	55	196	55	334
P13' P14'	55	196	55	334
P15 P16	55	143	55	284
P15' P16'	55	143	55	284
P17 P18	59	143	59	284
P17' P18'	59	143	59	284

表15-3 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	0	206	0	410
P01' P02'	0	206	0	410
P03 P04	0	206	0	410
P03' P04'	0	206	0	410
P05 P06	0	283	0	481
P05' P06'	0	283	0	481
P07 P08	6	283	6	481
P07' P08'	6	283	6	481
P09 P10	60	283	60	481
P09' P10'	41	283	41	481
P11 P12	101	272	101	462
P11' P12'	101	272	101	462
P13 P14	71	272	71	462
P13' P14'	68	272	68	462
P15 P16	71	198	71	394
P15' P16'	68	198	68	394
P17 P18	71	197	71	392
P17' P18'	66	197	66	392

表15-4(1) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	0	0	360
P01'	0	0	360
P02	0	0	360
P02'	0	0	360
P03	0	0	360
P03'	0	0	360
P04	0	0	360
P04'	0	0	360
P05	0	0	492
P05'	0	0	492
P06	0	0	492
P06'	0	0	492
P07	0	0	492
P07'	0	0	492
P08	0	0	492
P08'	0	0	492
P09	60	60	492
P09'	60	60	492
P10	472	472	492
P10'	472	472	492
P11	202	202	492
P11'	202	202	492
P12	660 *	660 *	492
P12'	660 *	660 *	492
P13	207	207	492
P13'	207	207	492
P14	271	271	492
P14'	271	271	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表15-4(2) 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P15	203	203	360
P15'	203	203	360
P16	263	263	360
P16'	263	263	360
P17	212	212	360
P17'	212	212	360
P18	255	255	360
P18'	255	255	360

表15-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P01

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	0	—	0	0	0	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	0	—	0	0	0	1000×10^8	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.000

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表15-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P05

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	0	—	0	0	0	1000×10^8	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	0	—	0	0	0	1000×10^8	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.000

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表15-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P10

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	471	1.000	2336	1168	1150	347	300	0.865
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.865
2	471	1.000	2336	1168	1150	347	150	0.432
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.433
疲労累積係数 $U_n =$								0.003
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.868

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表15-5(4) 疲労累積係数

応力評価点 —— P12

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	660	1.534	904	693	682	1861	300	0.161
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.162
2	660	1.534	904	693	682	1861	150	0.081
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.081
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.162

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表15-5(5) 疲労累積係数

応力評価点 —— P14

材 料 —— NCF600-B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	271	1.000	271	135	133	3953859	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.000
2	271	1.000	271	135	133	3953859	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.000

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表15-5(6) 疲労累積係数

応力評価点 —— P16'
材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	262	1.000	262	131	145	2763505	300	0.000
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.001
2	262	1.000	262	131	145	2763505	150	0.000
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.000
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.002

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表15-6(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	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10	0.003	0.865	0.433	0.868	1.0
P10'	0.002	0.865	0.433	0.867	1.0
P11	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P11'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P12	0.000	0.162	0.081	0.162	1.0
P12'	0.000	0.162	0.081	0.162	1.0
P13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P15	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P15'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P16	0.000	0.001	0.000	0.001	1.0
P16'	0.001	0.001	0.000	0.002	1.0

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。

表15-6(2) 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^*	
P17	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P17'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P18	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P18'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0

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。

16. 計測ノズル (N12) の応力計算

16.1 一般事項

本章は、計測ノズル (N12) の応力計算について示すものである。

計測ノズル (N12) 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。

16.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図16-1に示す。

16.1.2 解析範囲

解析範囲を図16-1に示す。

16.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表16-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

表16-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド	ⅢA S	72	143	P01' - P02'	182	214	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	94	284	P01' - P02'	226	427	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
SUSF316	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	454*2	360	P06	0.172	1.0	P01'
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	597*2	360	P06	—	—	—
ノズルエンド	ⅢA S	67	196	P07' - P08'	212	295	P09' - P10'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	88	334	P07' - P08'	261	501	P09' - P10'	—	—	—	—	—	—
NCF600-B NCF600-B相当	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	553*2	492	P10	0.318	1.0	P14
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	714*2	492	P10	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

16.2 計算条件

16.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

16.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

16.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

16.2.4 材料

各部の材料を図16-1に示す。

16.2.5 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項に示す。

16.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

16.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

16.3 応力計算

16.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図16-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、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。

16.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

内圧による応力の計算方法は、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、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

16.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算方法は、「応力解析の方針」の参照図書(1)h.と同様である。

16.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

16.4 応力強さの評価

16.4.1 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16-2に示す。

表16-2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項に示す許容応力を満足する。

16.4.2 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16-3に示す。

表16-3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項に示す許容応力を満足する。

16.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表16-4に示す。

表16-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04, P04', P06, P06', P08, P08', P10及びP10'

一次+二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

16.5 繰返し荷重の評価

16.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表16-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表16-6に示す。

表16-6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項に示す許容値を満足する。

表16-2 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	71	143	94	284
P01' P02'	72	143	94	284
P03 P04	67	143	88	284
P03' P04'	67	143	88	284
P05 P06	67	143	88	284
P05' P06'	67	143	88	284
P07 P08	67	196	88	334
P07' P08'	67	196	88	334
P09 P10	67	196	88	334
P09' P10'	67	196	88	334
P11 P12	35	196	47	334
P11' P12'	36	196	47	334
P13 P14	27	196	35	334
P13' P14'	27	196	35	334

表16-3 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	154	214	191	427
P01' P02'	160	214	200	427
P03 P04	149	214	185	427
P03' P04'	154	214	193	427
P05 P06	178	214	219	427
P05' P06'	182	214	226	427
P07 P08	178	295	219	501
P07' P08'	182	295	226	501
P09 P10	209	295	255	501
P09' P10'	212	295	261	501
P11 P12	155	295	187	501
P11' P12'	155	295	188	501
P13 P14	127	295	153	501
P13' P14'	126	295	152	501

表16-4 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	264	351	360
P01'	264	351	360
P02	409 *	545 *	360
P02'	409 *	545 *	360
P03	220	292	360
P03'	220	292	360
P04	403 *	535 *	360
P04'	403 *	535 *	360
P05	235	309	360
P05'	235	309	360
P06	454 *	597 *	360
P06'	454 *	597 *	360
P07	245	321	492
P07'	245	321	492
P08	469	615 *	492
P08'	469	615 *	492
P09	180	238	492
P09'	180	238	492
P10	553 *	714 *	492
P10'	553 *	714 *	492
P11	111	143	492
P11'	111	143	492
P12	366	465	492
P12'	366	465	492
P13	57	74	492
P13'	57	74	492
P14	324	410	492
P14'	324	410	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表16-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P01'
材 料 —— SUSF316

No.	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ ^{*1} (MPa)	S _ℓ ' ^{*2} (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	264	—	1179	589	653	2179	300	0.138
疲労累積係数 U _{S_d} =								0.138
2	351	—	1544	772	855	875	150	0.171
疲労累積係数 U _{S_s} =								0.172
疲労累積係数 U _n =								0.000
疲労累積係数 U _f = U _n + U _{S_s} =								0.172

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2：S_ℓに (E₀/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表16-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P10

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	553	1.245	714	445	438	10340	300	0.029
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.029
2	713	1.652	919	759	748	1366	150	0.110
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.110
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.110

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表16-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P14

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	283	—	1674	837	825	983	300	0.305
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.306
2	358	—	2109	1054	1039	473	150	0.317
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.318
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.318

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表16-6 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	0.000	0.138	0.172	0.172	1.0
P01'	0.000	0.138	0.172	0.172	1.0
P02	0.000	0.003	0.029	0.029	1.0
P02'	0.000	0.003	0.029	0.029	1.0
P03	0.000	0.066	0.088	0.088	1.0
P03'	0.000	0.066	0.088	0.088	1.0
P04	0.000	0.003	0.025	0.025	1.0
P04'	0.000	0.003	0.025	0.025	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.000	0.012	0.052	0.052	1.0
P06'	0.000	0.012	0.052	0.052	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P08'	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P09	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10	0.000	0.029	0.110	0.110	1.0
P10'	0.000	0.029	0.110	0.110	1.0
P11	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P11'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P12	0.000	0.037	0.046	0.046	1.0
P12'	0.000	0.037	0.046	0.046	1.0
P13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14	0.000	0.306	0.318	0.318	1.0
P14'	0.000	0.306	0.318	0.318	1.0

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。

17. 計測ノズル (N13) の応力計算

17.1 一般事項

本章は、計測ノズル (N13) の応力計算について示すものである。

計測ノズル (N13) 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。

17.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図17-1に示す。

17.1.2 解析範囲

解析範囲を図17-1に示す。

17.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表17-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

表17-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド	ⅢA S	72	143	P01' - P02'	182	214	P05' - P06'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	94	284	P01' - P02'	226	427	P05' - P06'	—	—	—	—	—	
SUSF316	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	454*2	360	P06	0.172	1.0	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	597*2	360	P06	—	—	
ノズルエンド	ⅢA S	67	196	P07' - P08'	212	295	P09' - P10'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	88	334	P07' - P08'	261	501	P09' - P10'	—	—	—	—	—	
NCF600-B NCF600-B相当	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	553*2	492	P10	0.318	1.0	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	714*2	492	P10	—	—	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

17.2 計算条件

17.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

17.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

17.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

17.2.4 材料

各部の材料を図17-1に示す。

17.2.5 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項に示す。

17.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

17.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

17.3 応力計算

17.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図17-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、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。

17.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

内圧による応力の計算方法は、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、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

17.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算方法は、「応力解析の方針」の参照図書(1)h.と同様である。

17.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

17.4 応力強さの評価

17.4.1 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17-2に示す。

表17-2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項に示す許容応力を満足する。

17.4.2 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17-3に示す。

表17-3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項に示す許容応力を満足する。

17.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表17-4に示す。

表17-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P04, P04', P06, P06', P08, P08', P10及びP10'

一次+二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

17.5 繰返し荷重の評価

17.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表17-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表17-6に示す。

表17-6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項に示す許容値を満足する。

表17-2 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	71	143	94	284
P01' P02'	72	143	94	284
P03 P04	67	143	88	284
P03' P04'	67	143	88	284
P05 P06	67	143	88	284
P05' P06'	67	143	88	284
P07 P08	67	196	88	334
P07' P08'	67	196	88	334
P09 P10	67	196	88	334
P09' P10'	67	196	88	334
P11 P12	35	196	47	334
P11' P12'	36	196	47	334
P13 P14	27	196	35	334
P13' P14'	27	196	35	334

表17-3 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	154	214	191	427
P01' P02'	160	214	200	427
P03 P04	149	214	185	427
P03' P04'	154	214	193	427
P05 P06	178	214	219	427
P05' P06'	182	214	226	427
P07 P08	178	295	219	501
P07' P08'	182	295	226	501
P09 P10	209	295	255	501
P09' P10'	212	295	261	501
P11 P12	155	295	187	501
P11' P12'	155	295	188	501
P13 P14	127	295	153	501
P13' P14'	126	295	152	501

表17-4 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	264	351	360
P01'	264	351	360
P02	409 *	545 *	360
P02'	409 *	545 *	360
P03	220	292	360
P03'	220	292	360
P04	403 *	535 *	360
P04'	403 *	535 *	360
P05	235	309	360
P05'	235	309	360
P06	454 *	597 *	360
P06'	454 *	597 *	360
P07	245	321	492
P07'	245	321	492
P08	469	615 *	492
P08'	469	615 *	492
P09	180	238	492
P09'	180	238	492
P10	553 *	714 *	492
P10'	553 *	714 *	492
P11	111	143	492
P11'	111	143	492
P12	366	465	492
P12'	366	465	492
P13	57	75	492
P13'	57	75	492
P14	324	410	492
P14'	324	410	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表17-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P01

材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	264	—	1179	589	653	2179	300	0.138
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.138
2	351	—	1544	772	855	875	150	0.171
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.172
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.172

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表17-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P10

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	553	1.245	714	445	438	10340	300	0.029
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.029
2	713	1.652	919	759	748	1366	150	0.110
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.110
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.110

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表17-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P14

材 料 —— NCF600-B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	283	—	1675	838	825	981	300	0.306
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.306
2	359	—	2110	1055	1039	473	150	0.317
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.318
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.318

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表17-6 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	0.000	0.138	0.172	0.172	1.0
P01'	0.000	0.138	0.172	0.172	1.0
P02	0.000	0.003	0.029	0.029	1.0
P02'	0.000	0.003	0.029	0.029	1.0
P03	0.000	0.066	0.088	0.088	1.0
P03'	0.000	0.066	0.088	0.088	1.0
P04	0.000	0.003	0.025	0.025	1.0
P04'	0.000	0.003	0.025	0.025	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.000	0.012	0.052	0.052	1.0
P06'	0.000	0.012	0.052	0.052	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P08'	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P09	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10	0.000	0.029	0.110	0.110	1.0
P10'	0.000	0.029	0.110	0.110	1.0
P11	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P11'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P12	0.000	0.037	0.046	0.046	1.0
P12'	0.000	0.037	0.046	0.046	1.0
P13	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P13'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P14	0.000	0.306	0.318	0.318	1.0
P14'	0.000	0.306	0.318	0.318	1.0

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。

18. 計測ノズル (N14) の応力計算

18.1 一般事項

本章は、計測ノズル (N14) の応力計算について示すものである。

計測ノズル (N14) 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。

18.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図18-1に示す。

18.1.2 解析範囲

解析範囲を図18-1に示す。

18.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表18-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

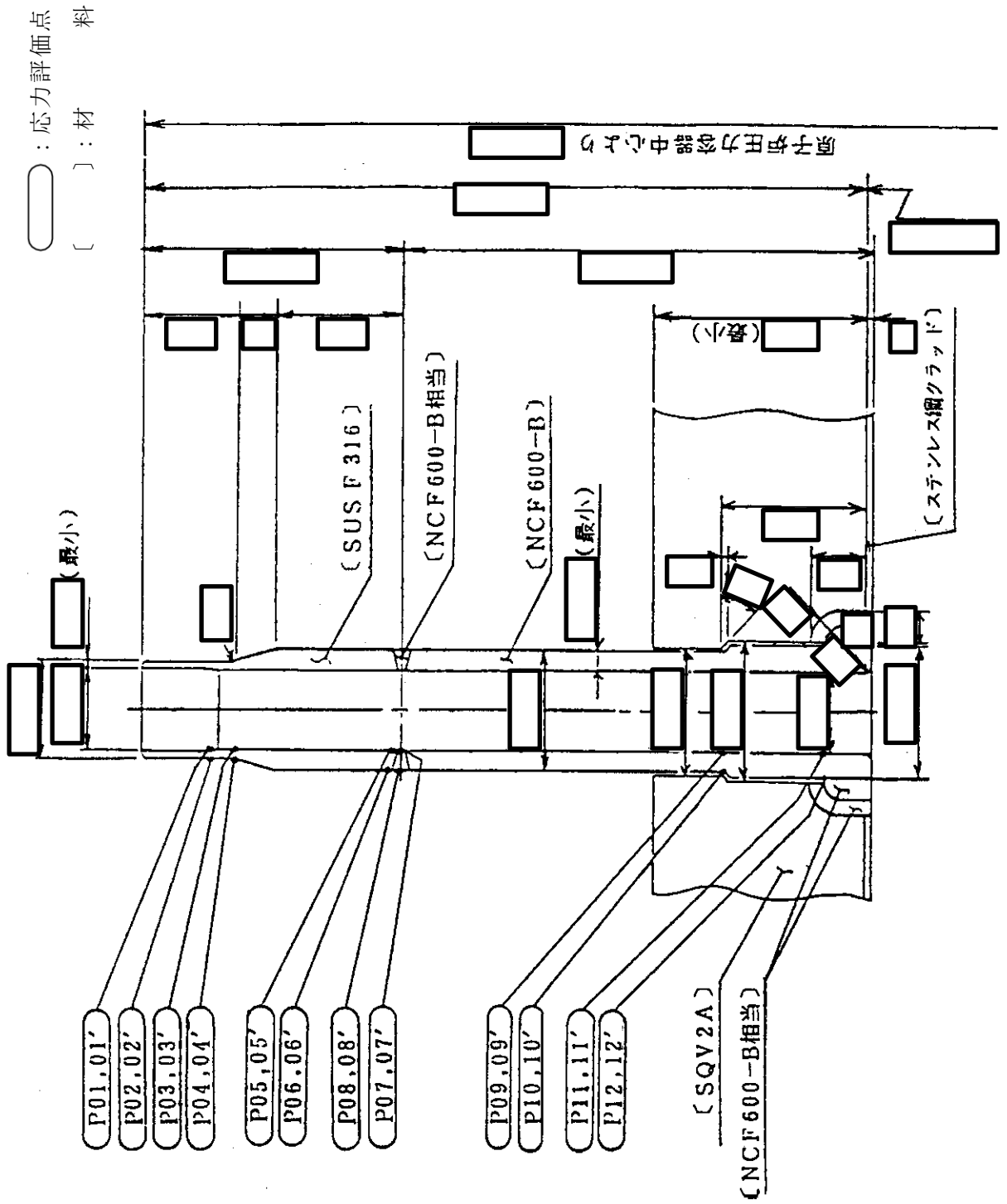


図18-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表18-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド	ⅢA S	70	143	P01 - P02	164	197	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	89	284	P01' - P02'	200	392	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
SUSF316	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	418*2	360	P04	0.049	1.0	P04
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	546*2	360	P04	—	—	—
ノズルエンド	ⅢA S	26	196	P07 - P08	91	295	P09 - P10	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	29	334	P07 - P08	108	501	P09' - P10'	—	—	—	—	—	—
NCF600-B NCF600-B相当	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	212	492	P12	0.082	1.0	P12'
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	268	492	P12	—	—	—

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

18.2 計算条件

18.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

18.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

18.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

18.2.4 材料

各部の材料を図18-1に示す。

18.2.5 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項に示す。

18.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

18.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

18.3 応力計算

18.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図18-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、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。

18.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

内圧による応力の計算方法は、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、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

18.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算方法は、「応力解析の方針」の参照図書(1)h.と同様である。

18.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

18.4 応力強さの評価

18.4.1 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18-2に示す。

表18-2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項に示す許容応力を満足する。

18.4.2 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18-3に示す。

表18-3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項に示す許容応力を満足する。

18.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表18-4に示す。

表18-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P01, P01', P02, P02', P04及びP04'

一次+二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

18.5 繰返し荷重の評価

18.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表18-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表18-6に示す。

表18-6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項に示す許容値を満足する。

表18-2 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	70	143	87	284
P01'				
P02'	70	143	89	284
P03				
P04	64	143	80	284
P03'				
P04'	64	143	81	284
P05				
P06	26	143	29	284
P05'				
P06'	26	143	29	284
P07				
P08	26	196	29	334
P07'				
P08'	26	196	29	334
P09				
P10	26	196	29	334
P09'				
P10'	26	196	29	334
P11				
P12	22	196	24	334
P11'				
P12'	21	196	23	334

表18-3 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	161	197	194	392
P01'				
P02'	164	197	200	392
P03				
P04	153	198	185	396
P03'				
P04'	156	198	191	396
P05				
P06	66	214	79	427
P05'				
P06'	66	214	80	427
P07				
P08	66	295	79	501
P07'				
P08'	66	295	80	501
P09				
P10	91	295	108	501
P09'				
P10'	90	295	108	501
P11				
P12	76	295	90	501
P11'				
P12'	75	295	90	501

表18-4 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	337	445 *	360
P01'	337	445 *	360
P02	374 *	495 *	360
P02'	374 *	495 *	360
P03	217	287	360
P03'	217	287	360
P04	418 *	546 *	360
P04'	418 *	546 *	360
P05	92	120	360
P05'	92	120	360
P06	144	187	360
P06'	144	187	360
P07	96	124	492
P07'	96	124	492
P08	149	193	492
P08'	149	193	492
P09	96	123	492
P09'	96	123	492
P10	207	264	492
P10'	207	264	492
P11	36	48	492
P11'	36	48	492
P12	212	268	492
P12'	212	268	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表18-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P04
材 料 —— SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	417	1.289	479	309	342	34973	300	0.009
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.009
2	546	1.715	625	536	594	3113	150	0.048
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.049
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.049

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表18-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P12'
材 料 —— NCF600-B

No.	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ *1 (MPa)	S _ℓ '*2 (MPa)	N _a	N _c	N _c /N _a
1	174	—	1073	537	528	4844	300	0.062
疲労累積係数 U _{S_d} =								0.062
2	220	—	1351	676	665	2029	150	0.074
疲労累積係数 U _{S_s} =								0.074
疲労累積係数 U _n =								0.008
疲労累積係数 U _f = U _n + U _{S_s} =								0.082

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2：S_ℓに (E₀/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表18-6 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	0.000	0.001	0.007	0.007	1.0
P01'	0.000	0.001	0.007	0.007	1.0
P02	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P02'	0.000	0.001	0.014	0.014	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.009	0.049	0.049	1.0
P04'	0.000	0.009	0.049	0.049	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P10	0.000	0.002	0.003	0.003	1.0
P10'	0.000	0.002	0.003	0.003	1.0
P11	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P11'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P12	0.007	0.062	0.074	0.081	1.0
P12'	0.008	0.062	0.074	0.082	1.0

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。

19. ドレンノズル (N15) の応力計算

19.1 一般事項

本章は、ドレンノズル (N15) の応力計算について示すものである。

ドレンノズル (N15) 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。

19.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図19-1に示す。

19.1.2 解析範囲

解析範囲を図19-1に示す。

19.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表19-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

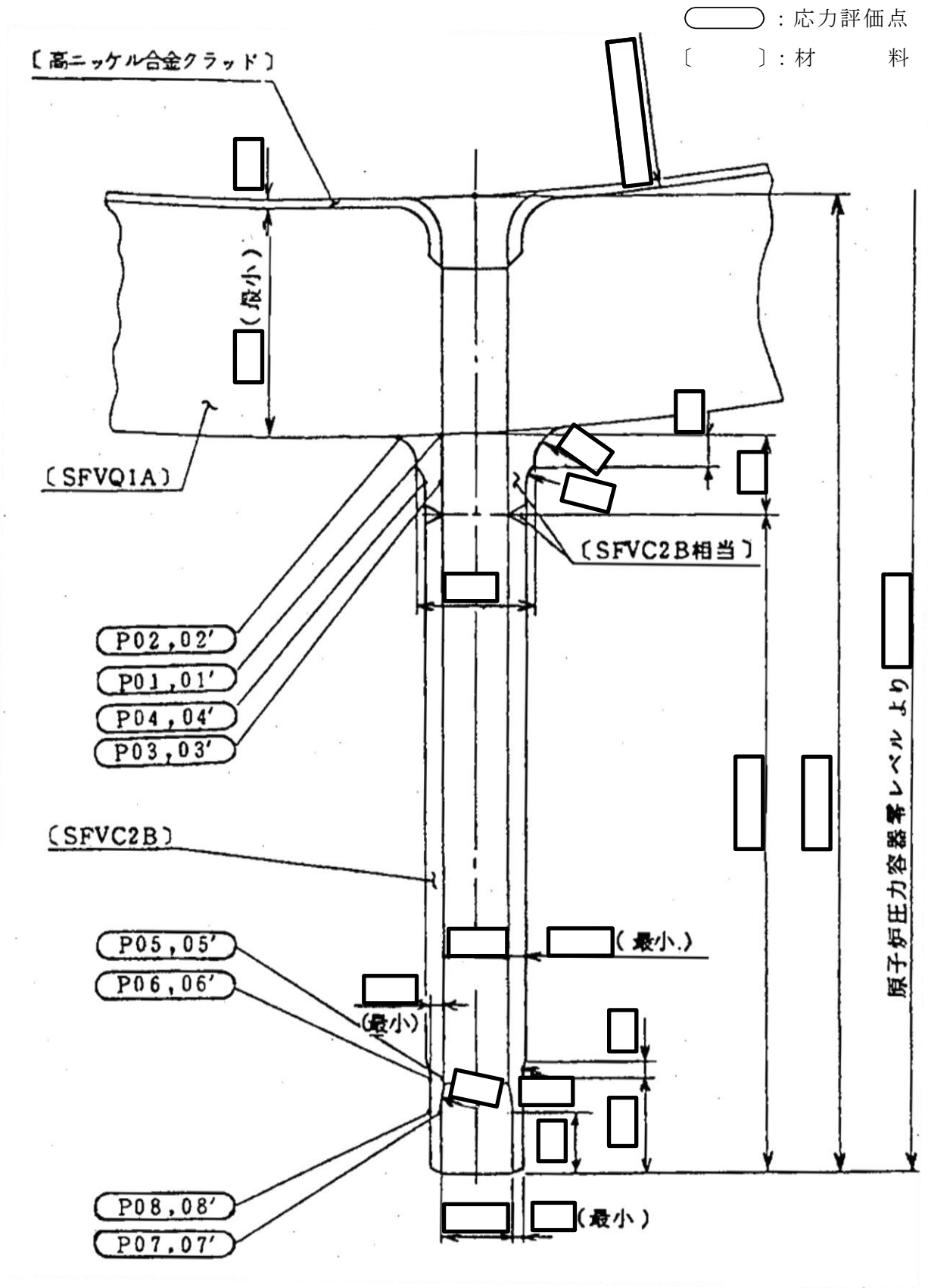


図19-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表19-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル (肉盛溶接部)	ⅢA S	52	188	P03' - P04'	191	271	P03' - P04'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	82	292	P03' - P04'	307	421	P03' - P04'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	327	383	P04	—	—	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	575*2	383	P04	0.226	P04	
ノズル セーフエント	ⅢA S	84	188	P07' - P08'	231	261	P07' - P08'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	133	292	P07' - P08'	367	405	P07' - P08'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	370	383	P06	—	—	
SFVC2B	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	653*2	383	P06	0.321	P06	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

19.2 計算条件

19.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

19.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

19.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

19.2.4 材料

各部の材料を図19-1に示す。

19.2.5 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項に示す。

19.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

19.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

19.3 応力計算

19.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図19-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)s.に定めるとおりである。

19.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)s.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.45 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

19.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

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

19.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

19.4 応力強さの評価

19.4.1 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19-2に示す。

表19-2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項に示す許容応力を満足する。

19.4.2 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19-3に示す。

表19-3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項に示す許容応力を満足する。

19.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表19-4に示す。

表19-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P04, P04', P06, P06', P07, P07', P08及びP08'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

19.5 繰返し荷重の評価

19.5.1 疲労解析

ノズル及びノズルセーフエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表19-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表19-6に示す。

表19-6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項に示す許容値を満足する。

表19-2 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	30	188	45	292
P01' P02'	29	188	45	292
P03 P04	51	188	82	292
P03' P04'	52	188	82	292
P05 P06	74	188	119	292
P05' P06'	75	188	120	292
P07 P08	83	188	132	292
P07' P08'	84	188	133	292

表19-3 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	108	282	172	438
P01' P02'	108	282	173	438
P03 P04	190	271	304	421
P03' P04'	191	271	307	421
P05 P06	209	264	331	410
P05' P06'	212	264	338	410
P07 P08	227	261	360	405
P07' P08'	231	261	367	405

表19-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	102	179	383
P01'	102	179	383
P02	62	112	383
P02'	62	112	383
P03	178	314	383
P03'	178	314	383
P04	327	575 *	383
P04'	327	575 *	383
P05	190	338	383
P05'	190	338	383
P06	370	653 *	383
P06'	370	653 *	383
P07	279	494 *	383
P07'	279	494 *	383
P08	342	606 *	383
P08'	342	606 *	383

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表19-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P04

材 料 —— SFVC2B相当

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	327	—	393	197	219	18245	300	0.016
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.017
2	575	1.701	693	589	656	668	150	0.225
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.225
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.226

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表19-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P06

材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	370	—	405	202	225	16602	300	0.018
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.018
2	653	1.868	714	667	743	469	150	0.320
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.320
疲労累積係数 $U_n =$								0.001
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.321

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表19-6 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	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P02'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P03	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P03'	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P04	0.001	0.017	0.225	0.226	1.0
P04'	0.000	0.017	0.225	0.225	1.0
P05	0.000	0.001	0.005	0.005	1.0
P05'	0.000	0.001	0.005	0.005	1.0
P06	0.001	0.018	0.320	0.321	1.0
P06'	0.000	0.018	0.320	0.320	1.0
P07	0.000	0.007	0.066	0.066	1.0
P07'	0.000	0.007	0.066	0.066	1.0
P08	0.000	0.011	0.171	0.171	1.0
P08'	0.000	0.011	0.171	0.171	1.0

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。

20. 高圧炉心スプレイノズル (N16) の応力計算

20.1 一般事項

本章は、高圧炉心スプレイノズル (N16) の応力計算について示すものである。

高圧炉心スプレイノズル (N16) 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。

20.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図20-1に示す。

20.1.2 解析範囲

解析範囲を図20-1に示す。

20.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表20-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

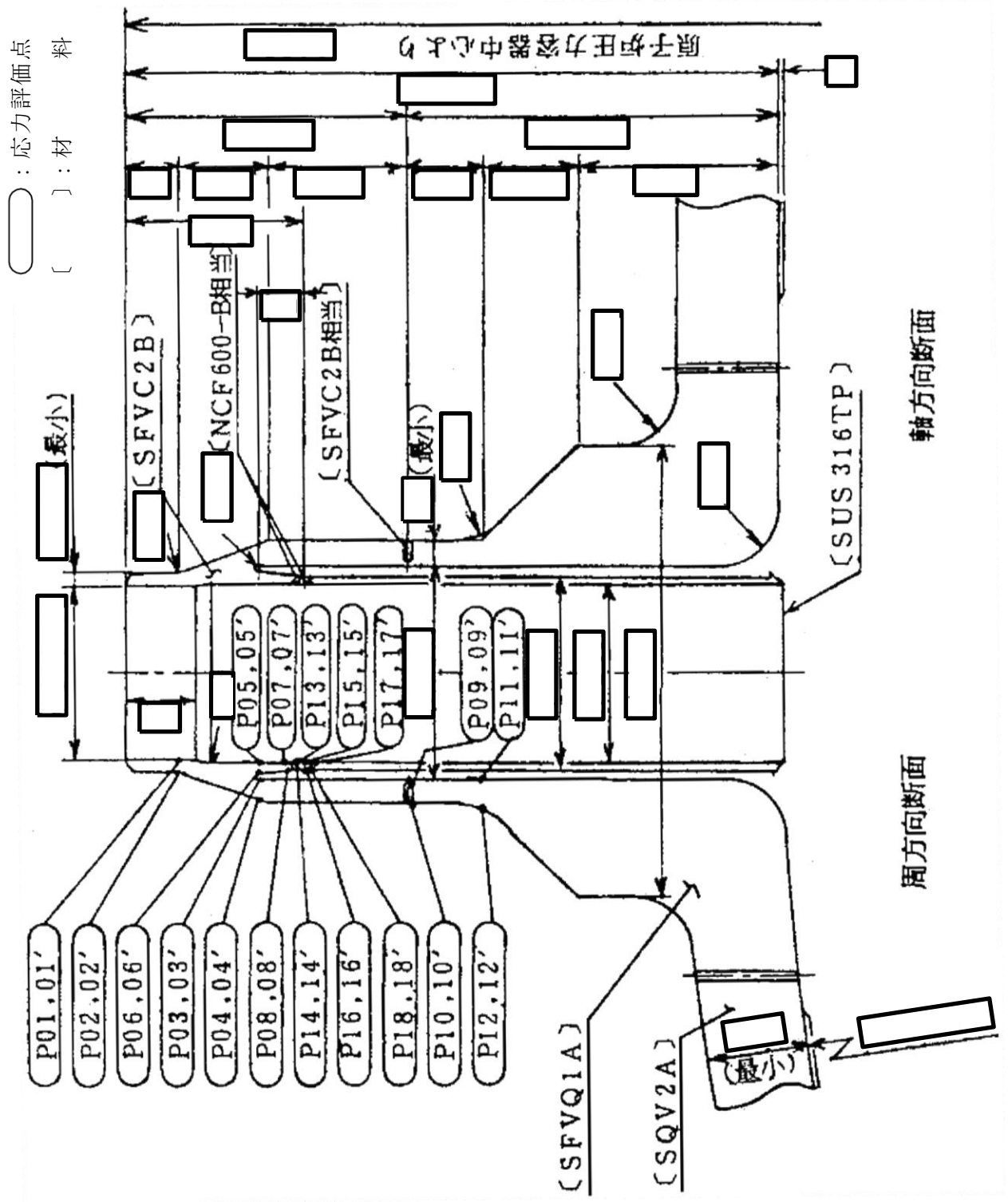


図20-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表20-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B SFVC2B相当	ⅢA S	79	188	P01 - P02	175	246	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	79	292	P01 - P02	175	382	P07 - P08	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	580*2	383	P08	0.361	P08'	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	580*2	383	P08	—	—	
ノズル セーフエンド SFVQ1A	ⅢA S	46	303	P11 - P12	87	419	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	46	320	P11 - P12	87	443	P11' - P12'	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	206	552	P12	0.004	P12	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	206	552	P12	—	—	
サーマル スリーブ NCF600-B相当 SUS316TP	ⅢA S	20	143	P17 - P18	123	189	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅣA S	20	284	P17 - P18	123	377	P17 - P18	—	—	—	—	—	
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	414*2	360	P17	0.004	P17	
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	414*2	360	P17	1.0	P17	

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

20.2 計算条件

20.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

20.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

20.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

20.2.4 材料

各部の材料を図20-1に示す。

20.2.5 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項に示す。

20.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

20.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

20.3 応力計算

20.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図20-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)t.に定めるとおりである。

20.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)t.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

20.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)及び表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

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

20.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

20.4 応力強さの評価

20.4.1 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20-2に示す。

表20-2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項に示す許容応力を満足する。

20.4.2 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20-3に示す。

表20-3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項に示す許容応力を満足する。

20.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表20-4に示す。

表20-4より、以下の評価点を除く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項に示す許容応力を満足する。

P07, P07', P08, P08', P14, P14', P17及びP17'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える上記の応力評価点にあつては、「応力解析の方針」の5.2項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

20.5 繰返し荷重の評価

20.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表20-5に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表20-6に示す。

表20-6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項に示す許容値を満足する。

表20-2 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	79	188	79	292
P01' P02'	79	188	79	292
P03 P04	52	188	52	292
P03' P04'	52	188	52	292
P05 P06	15	188	15	292
P05' P06'	13	188	13	292
P07 P08	29	188	29	292
P07' P08'	24	188	24	292
P09 P10	46	188	46	292
P09' P10'	46	188	46	292
P11 P12	46	303	46	320
P11' P12'	46	303	46	320
P13 P14	20	196	20	334
P13' P14'	17	196	17	334
P15 P16	20	196	20	334
P15' P16'	17	196	17	334
P17 P18	20	143	20	284
P17' P18'	17	143	17	284

表20-3 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	149	252	149	390
P01' P02'	148	252	148	390
P03 P04	97	258	97	400
P03' P04'	99	258	99	400
P05 P06	97	252	97	390
P05' P06'	89	252	89	390
P07 P08	175	246	175	382
P07' P08'	161	246	161	382
P09 P10	85	260	85	403
P09' P10'	87	260	87	403
P11 P12	85	419	85	443
P11' P12'	87	419	87	443
P13 P14	123	260	123	442
P13' P14'	113	260	113	442
P15 P16	123	260	123	442
P15' P16'	113	260	113	442
P17 P18	123	189	123	377
P17' P18'	113	189	113	377

表20-4(1) 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	105	105	383
P01'	105	105	383
P02	322	322	383
P02'	322	322	383
P03	359	359	383
P03'	359	359	383
P04	74	74	383
P04'	74	74	383
P05	210	210	383
P05'	210	210	383
P06	364	364	383
P06'	364	364	383
P07	439 *	439 *	383
P07'	439 *	439 *	383
P08	580 *	580 *	383
P08'	580 *	580 *	383
P09	147	147	383
P09'	147	147	383
P10	158	158	383
P10'	158	158	383
P11	82	82	552
P11'	82	82	552
P12	206	206	552
P12'	206	206	552
P13	427	427	492
P13'	427	427	492
P14	501 *	501 *	492
P14'	501 *	501 *	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表20-4(2) 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 $3 \cdot S_m$
P15	422	422	492
P15'	422	422	492
P16	367	367	492
P16'	367	367	492
P17	414 *	414 *	360
P17'	414 *	414 *	360
P18	346	346	360
P18'	346	346	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表20-5(1) 疲労累積係数

応力評価点 —— P08'
材 料 —— SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	580	1.713	637	545	607	840	300	0.357
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.358
2	580	1.713	637	545	607	840	150	0.179
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.179
疲労累積係数 $U_n =$								0.003
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.361

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表20-5(2) 疲労累積係数

応力評価点 —— P12

材 料 —— SFVQ1A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	205	—	239	119	140	89210	300	0.003
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.004
2	205	—	239	119	140	89210	150	0.002
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.002
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.004

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表20-5(3) 疲労累積係数

応力評価点 —— P17

材 料 —— SUS316TP

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	414	1.272	414	263	292	81771	300	0.004
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.004
2	414	1.272	414	263	292	81771	150	0.002
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.002
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} =$								0.004

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表20-6(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	0.001	0.001	0.002	1.0
P01'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P02	0.003	0.014	0.007	0.017	1.0
P02'	0.002	0.014	0.007	0.016	1.0
P03	0.005	0.130	0.065	0.134	1.0
P03'	0.001	0.130	0.065	0.130	1.0
P04	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P04'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P05	0.018	0.001	0.001	0.018	1.0
P05'	0.018	0.001	0.001	0.018	1.0
P06	0.002	0.051	0.026	0.053	1.0
P06'	0.002	0.051	0.026	0.053	1.0
P07	0.002	0.050	0.025	0.052	1.0
P07'	0.002	0.050	0.025	0.051	1.0
P08	0.002	0.358	0.179	0.359	1.0
P08'	0.003	0.358	0.179	0.361	1.0
P09	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P09'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P10	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P10'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P11	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P11'	0.001	0.001	0.001	0.001	1.0
P12	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P12'	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P13	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P13'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P14	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P14'	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P15	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P15'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P16	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P16'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0

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。

表20-6(2) 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	許容値
P17	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P17'	0.000	0.004	0.002	0.004	1.0
P18	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0
P18'	0.000	0.001	0.001	0.001	1.0

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。

21. 原子炉圧力容器支持スカートの応力計算

21.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器支持スカート（以下「支持スカート」という。）の応力計算について示すものである。

支持スカートは、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。

なお、支持スカートは、設計・建設規格 SSB-3010(1)の規定により、設計・建設規格 PVB-3110からPVB-3117, PVB-3130, PVB-3140及びPVB-3310の規定を適用し、「応力解析の方針」に従い解析する。

21.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4項に示す。

さらに、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
R_m	支持スカートの平均半径	mm
t	支持スカートの板厚	mm
A	支持スカートの断面積	mm ²
Z	支持スカートの断面係数	mm ³
l	座屈長さ	mm
f_c	鉛直方向荷重に対する許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容曲げ応力	MPa
α	安全率	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa

21.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図21-1に示す。

21.1.3 解析範囲

解析範囲を図21-1に示す。

21.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表21-1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、部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

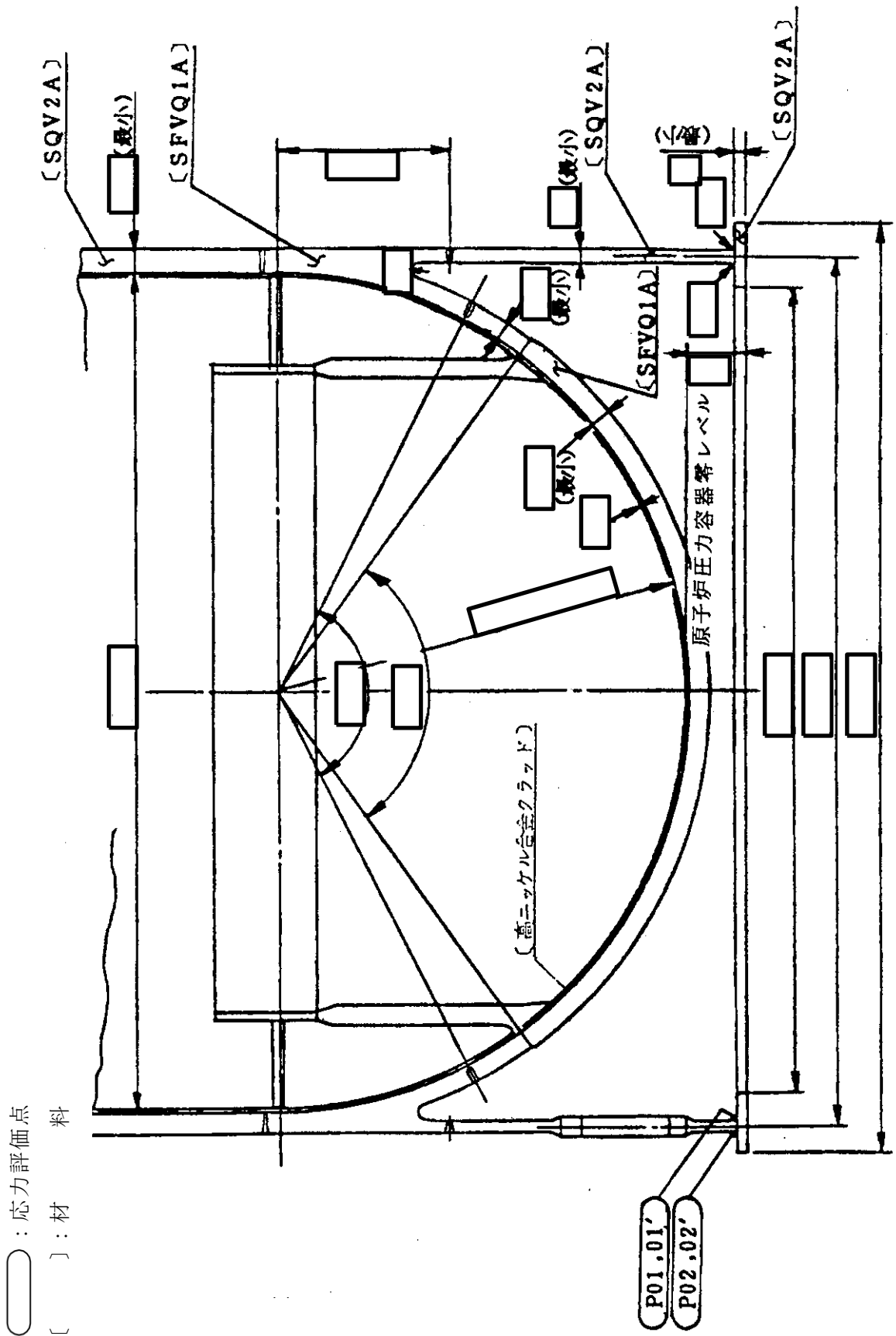


図21-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表21-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	疲労*累積係数	許容値
支持スカート SQV2A	ⅢA S	85	303	P01' - P02'	75	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	151	326	P01' - P02'	132	421	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	186	552	P02	—	—	—	—	—
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	361	552	P02	0.037	1.0	P02		

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。

表21-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		計算結果	許容値
スカート SQV2A	ⅢA S	0.3	1
	ⅣA S	0.5	1

21.2 計算条件

21.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

21.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2項に示す。

21.2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の4.3項に示す。

21.2.4 材料

各部の材料を図21-1に示す。

21.2.5 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項に示す。

21.2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

21.2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

21.3 応力計算

21.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図21-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

21.3.2 内圧による応力

(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「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.45 MPa

(2) 計算方法

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

なお、内圧による応力は、既工認の最高使用圧力による応力に圧力比を乗じて計算する。

21.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L08, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

(2) 計算方法

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

21.3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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5.3.2項に定めるとおりである。

21.4 応力強さの評価

21.4.1 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21-2に示す。

表21-2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項に示す許容応力を満足する。

21.4.2 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21-3に示す。

表21-3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項に示す許容応力を満足する。

21.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表21-4に示す。

表21-4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項に示す許容応力を満足する。

21.5 繰返し荷重の評価

21.5.1 疲労解析

支持スカートの変力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

最も厳しい変力評価点における疲労累積係数の計算結果を表21-5に示す。また、各変力評価点における疲労累積係数を表21-6に示す。

表21-6より、各変力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「変力解析の方針」の3.5項に示す許容値を満足する。

21.6 特別な変力の評価

21.6.1 座屈に対する評価

支持スカートには、鉛直力及びモーメントにより、圧縮変力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮変力の評価を行う。

(1) 計算データ

支持スカートの平均半径 $R_m = \boxed{} \text{ mm}$

支持スカートの板厚 $t = \boxed{} \text{ mm}$ (くされ代を除いた値)

支持スカートの断面積

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot \{(R_m + t/2)^2 - (R_m - t/2)^2\} \\ &= \pi \times \{(\boxed{} + \boxed{}/2)^2 - (\boxed{} - \boxed{}/2)^2\} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

支持スカートの断面係数

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_m + t/2)^4 - (R_m - t/2)^4}{R_m + t/2} \\ &= \frac{\pi}{4} \times \frac{(\boxed{} + \boxed{}/2)^4 - (\boxed{} - \boxed{}/2)^4}{\boxed{} + \boxed{}/2} \\ &= \boxed{} \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

(2) 荷重

支持スカートに作用する鉛直力及びモーメントを「変力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

(3) 評価方法

各許容応力状態において支持スカートに圧縮応力を生じさせる荷重は表21-7に示す鉛直力及びモーメントである。

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以下により行う。

($l/R_m=0.75$)

$$\frac{\alpha \cdot (V_1 + V_2 + V_3) / A}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M / Z)}{f_b} \leq 1$$

ここに、

座屈長さ $l = \boxed{}$ mm

鉛直方向荷重に対する許容圧縮応力 $f_c = F = 303$ MPa

曲げモーメントに対する許容曲げ応力 $f_b = F = 303$ MPa

安全率 $\alpha = 1.0$

設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値 $F = 303$ MPa

(4) 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21-8に示す。

表21-8より、各許容応力状態における座屈に対する評価は、許容値を満足するため、座屈は発生しない。

表21-2 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	57	303	123	326
P01' P02'	85	303	151	326

表21-3 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	50	391	108	421
P01' P02'	75	391	132	421

表21-4 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 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容値 $3 \cdot S_m$
P01	73	140	552
P01'	73	140	552
P02	186	361	552
P02'	186	361	552

表21-5 疲労累積係数

応力評価点 —— P02
材 料 —— SQV2A

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	186	—	307	153	172	38244	300	0.008
疲労累積係数 $U_{S_d} =$								0.008
2	361	—	595	298	335	4782	150	0.031
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.032
疲労累積係数 $U_n =$								0.006
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.037

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.2.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表21-6 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	0.010	0.001	0.002	0.012	1.0
P01'	0.010	0.001	0.002	0.012	1.0
P02	0.006	0.008	0.032	0.037	1.0
P02'	0.006	0.008	0.032	0.037	1.0

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。

表21-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力*1			モーメント*2 M (kN・m)
	V ₁ (kN)	V ₂ (kN)	V ₃ (kN)	
ⅢAS				
ⅣAS				

注記*1：「応力解析の方針」の4.2項に示すV₁、V₂及びV₃の値

*2：「応力解析の方針」の4.2項に示すMの値

表21-8 座屈に対する評価

許容応力状態	計算結果	許容値
ⅢAS	0.3	1
ⅣAS	0.5	1

22. ブラケット類の応力計算

22.1 一般事項

本章は、ブラケット類の応力計算について示すものである。

ブラケット類は、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。

22.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図22-1に示す。

22.1.2 解析範囲

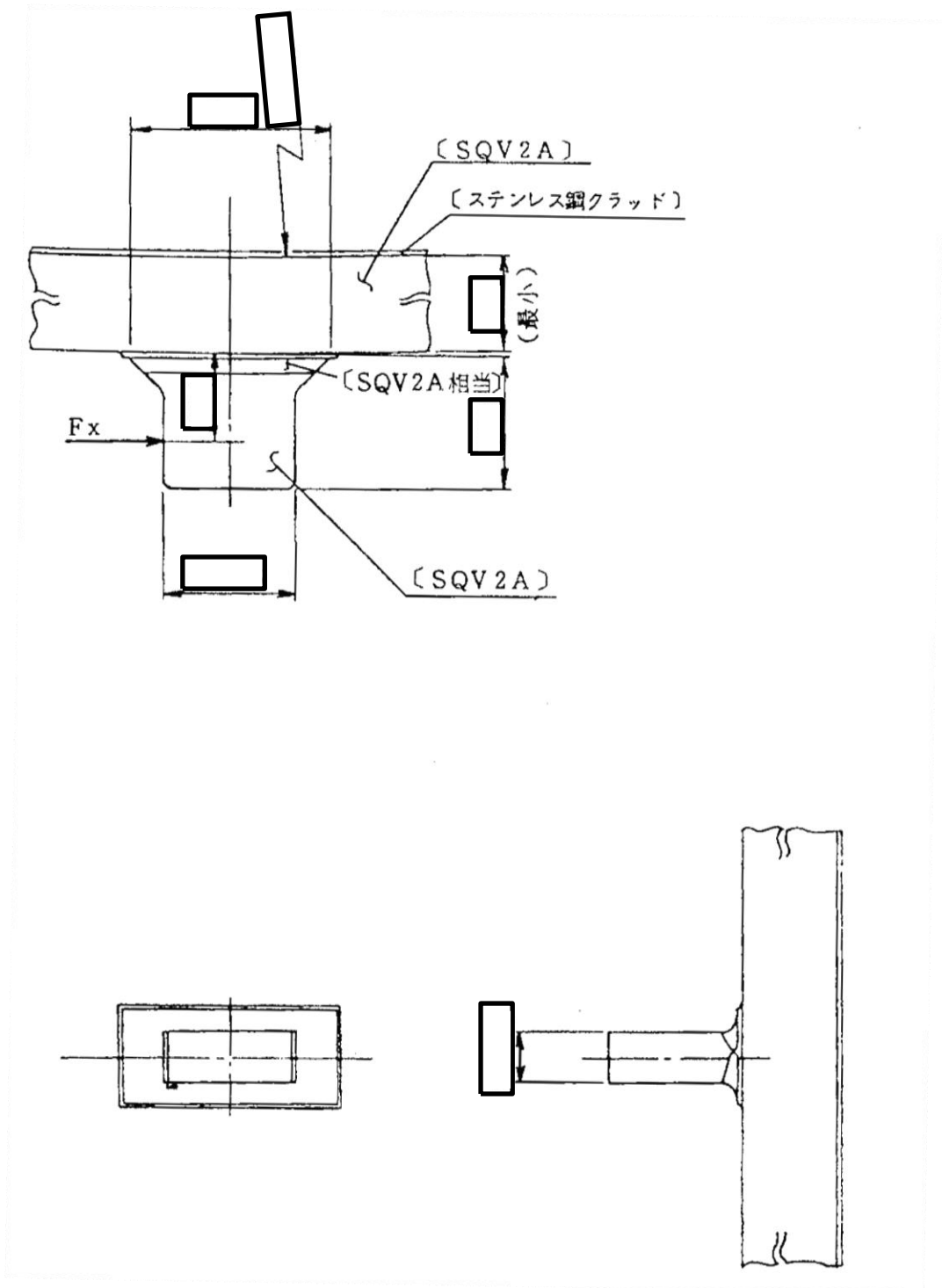
解析範囲を図22-1に示す。

22.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表22-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、モーメントが大きくなるブラケット付根部及び穴により断面の小さくなるロッド穴周辺部に着目し、応力評価上厳しくなる評価点を記載する。

[] : 材 料



S2 補 VI-2-3-3-1-2 R1

図 22-1(1) 形状・寸法・材料 (単位 : mm)
(スタビライザブラケット)

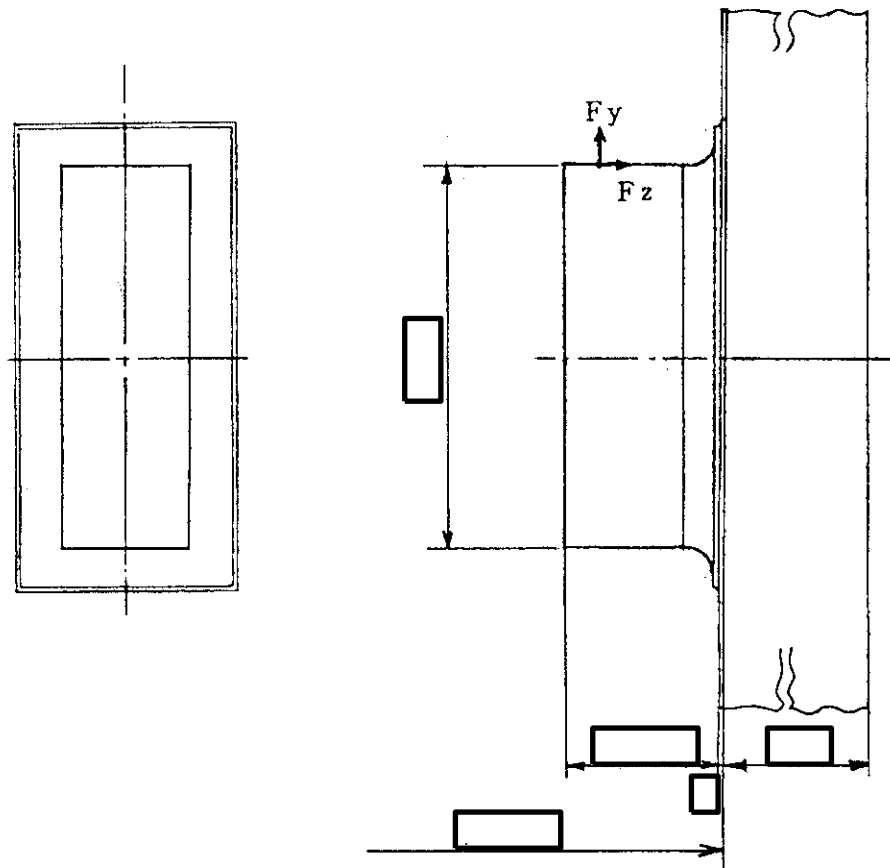
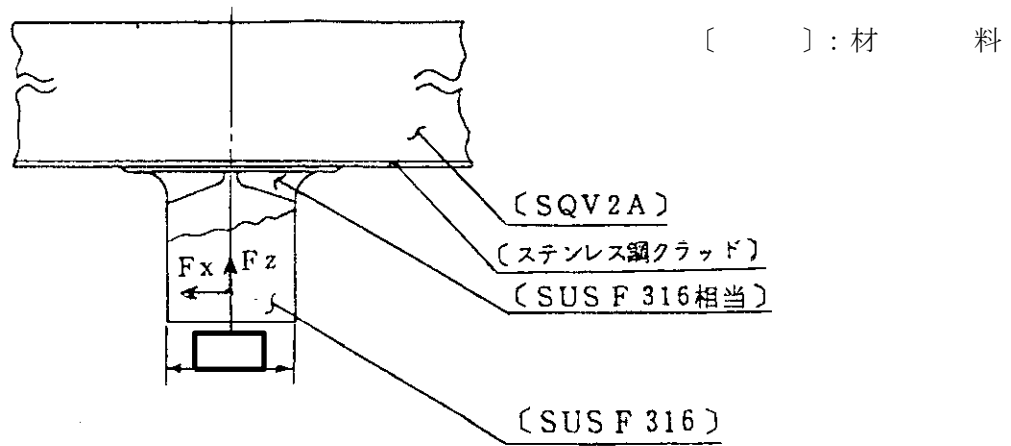


図 22-1(2) 形状・寸法・材料 (単位: mm)
 (蒸気乾燥器支持ブラケット)

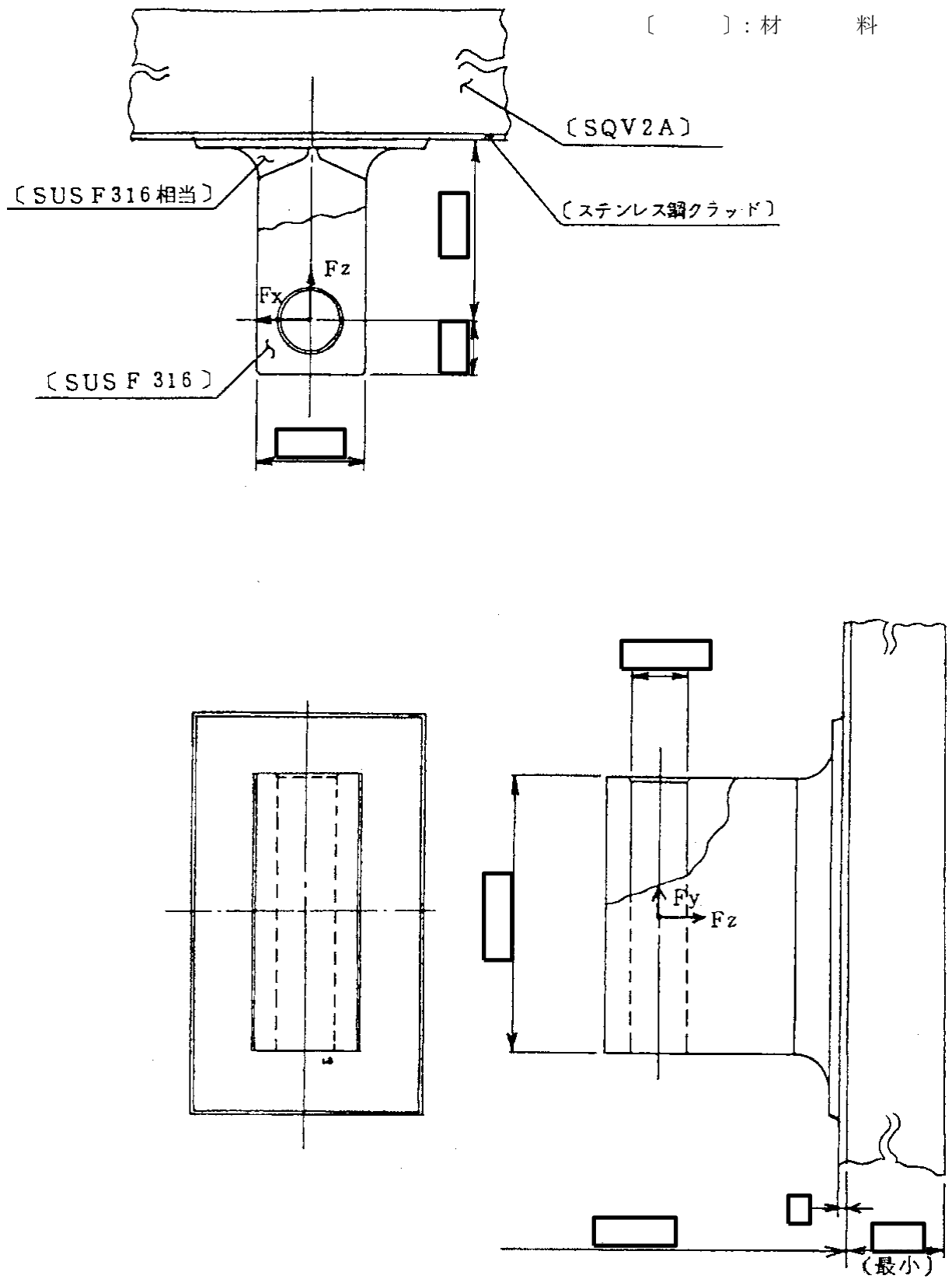


図 22-1(3) 形状・寸法・材料 (単位: mm)
(給水スパージャブケット)

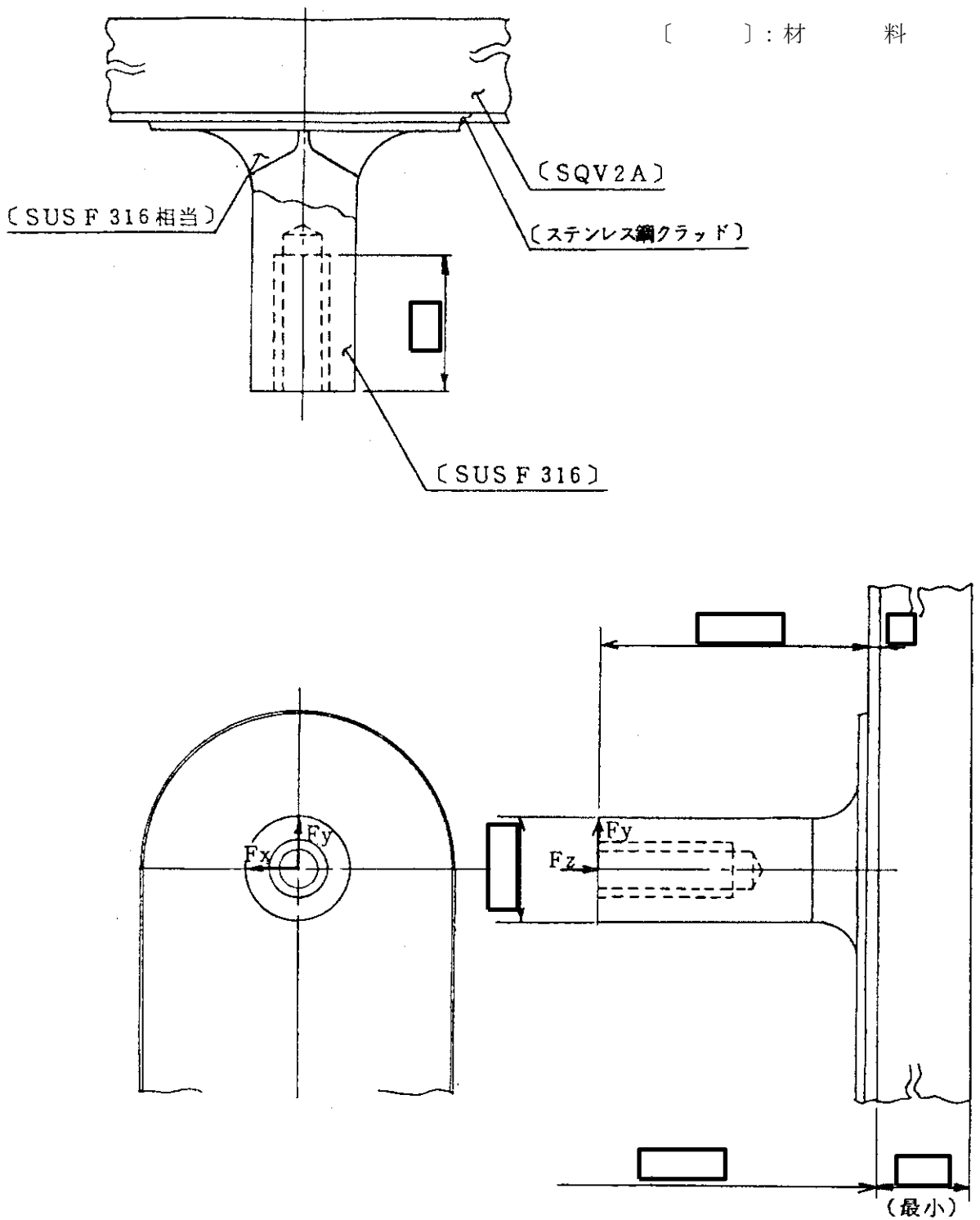


図 22-1(4) 形状・寸法・材料 (単位: mm)
(炉心スプレイブラケット)

表 22-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

ブラケット	許容応力 状態	一次一般膜 応力強さ		一次膜＋一次曲げ 応力強さ		純せん断応力	
		応力 強さ	許容 応力	応力 強さ	許容* 応力	応力	許容 応力
スタビライザ ブラケット	ⅢA S	140	303	298	454	—	—
	ⅣA S	167	326	356	490	—	—
蒸気乾燥器支持 ブラケット	ⅢA S	42	143	172	214	—	—
	ⅣA S	87	284	340	427	—	—
給水スパージャ ブラケット	ⅢA S	3	143	34	214	2	71
	ⅣA S	6	284	71	427	4	170
炉心スプレイ ブラケット	ⅢA S	7	143	71	214	—	—
	ⅣA S	18	284	186	427	—	—

注記*：中実矩形断面の形状係数 $\alpha = 1.5$ を用いた。

22.2 計算条件

22.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1項に示す。

22.2.2 材料

各部の材料を図22-1に示す。

22.2.3 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項に示す。

22.2.4 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の4.4項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

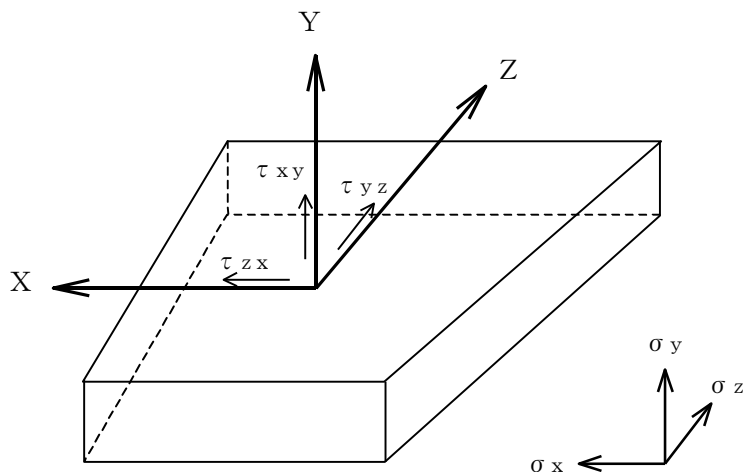
22.2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

22.2.6 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_x : 周方向応力
- σ_y : 軸方向応力
- σ_z : 半径方向応力
- τ_{xy} : せん断応力
- τ_{yz} : せん断応力
- τ_{zx} : せん断応力



22.3 応力計算

22.3.1 応力評価点

応力評価点は、図22-1(1)～図22-1(4)に示すそれぞれのブラケット付根及び図22-1(3)に示すブラケットのロッド穴周辺とする。

22.3.2 外荷重による応力

(1) 荷重条件

ブラケットに作用する外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(6)に示す。

ブラケットの荷重作用点を図22-1に示す。

(2) 計算方法

a. ブラケット付根の応力

ブラケット付根の応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)v.に定めるとおりである。

なお、ブラケット付根は集中荷重を受ける片持ちばりにモデル化し計算する。

b. ロッド穴周辺の応力

給水スパージャブラケットのロッド穴周辺の応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)v.に定めるとおりである。

なお、ロッド穴周辺は矩形断面の円環にモデル化し計算する。

22.3.3 応力の評価

計算された応力から、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5.3.2項に定めるとおりである。

22.4 応力強さの評価

22.4.1 ブラケット付根の応力強さの評価

(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22-2に示す。

表22-2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項に示す許容応力を満足する。

(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22-3に示す。

表22-3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項に示す許容応力を満足する。

22.4.2 ロッド穴周辺の応力強さの評価

(1) 純せん断応力の評価

各許容応力状態における評価を表22-4に示す。

表22-4より、各許容応力状態の純せん断応力は、「応力解析の方針」の3.5項に示す許容応力を満足する。

(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22-5に示す。

表22-5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項に示す許容応力を満足する。

表22-2 ブラケット付根の一次一般膜応力強さの評価

(単位：MPa)

ブラケット	許容応力 状態	応力		主応力			応力強さ	許容応力
		σ_z	τ	σ_1	σ_2	σ_3		
スタビライザ ブラケット	ⅢA S	0	70	0	-70	70	140	303
	ⅣA S	0	83	0	-83	83	167	326
蒸気乾燥器支持 ブラケット	ⅢA S	5	21	0	-18	23	42	143
	ⅣA S	7	43	0	-40	47	87	284
給水スパージャ ブラケット	ⅢA S	1	1	0	0	2	3	143
	ⅣA S	2	3	0	-2	4	6	284
炉心スプレイ ブラケット	ⅢA S	2	3	0	-2	4	7	143
	ⅣA S	6	8	0	-6	11	18	284

表22-3 ブラケット付根の一次膜+一次曲げ応力強さの評価

(単位：MPa)

ブラケット	許容応力 状態	応力		主応力			応力強さ	許容応力*
		σ_z	τ	σ_1	σ_2	σ_3		
スタビライザ ブラケット	ⅢA S	263	70	0	-17	281	298	454
	ⅣA S	314	83	0	-21	335	356	490
蒸気乾燥器支持 ブラケット	ⅢA S	167	21	0	-3	169	172	214
	ⅣA S	328	43	0	-6	334	340	427
給水スパージャ ブラケット	ⅢA S	10	1	0	0	10	10	214
	ⅣA S	27	3	0	0	27	28	427
炉心スプレイ ブラケット	ⅢA S	70	3	0	0	70	71	214
	ⅣA S	185	8	0	0	185	186	427

注記*：中実矩形断面の形状係数 $\alpha = 1.5$ を用いた。

表22-4 ロッド穴周辺の純せん断応力の評価

(単位：MPa)

ブラケット	許容応力状態	純せん断応力	許容応力
給水スパージャ ブラケット	ⅢA S	2	71
	ⅣA S	4	170

表22-5 ロッド穴周辺の一次膜+一次曲げ応力強さの評価

(単位：MPa)

ブラケット	許容応力状態	応力強さ	許容応力*
給水スパージャ ブラケット	ⅢA S	34	214
	ⅣA S	71	427

注記*：中実矩形断面の形状係数 $\alpha = 1.5$ を用いた。

23. 原子炉圧力容器基礎ボルトの応力計算

23.1 一般事項

本章は、原子炉圧力容器基礎ボルト（以下「基礎ボルト」という。）の応力計算について示すものである。

基礎ボルトは、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。

23.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図23-1に示す。

23.1.2 解析範囲

解析範囲を図23-1に示す。

23.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表23-1に示す。

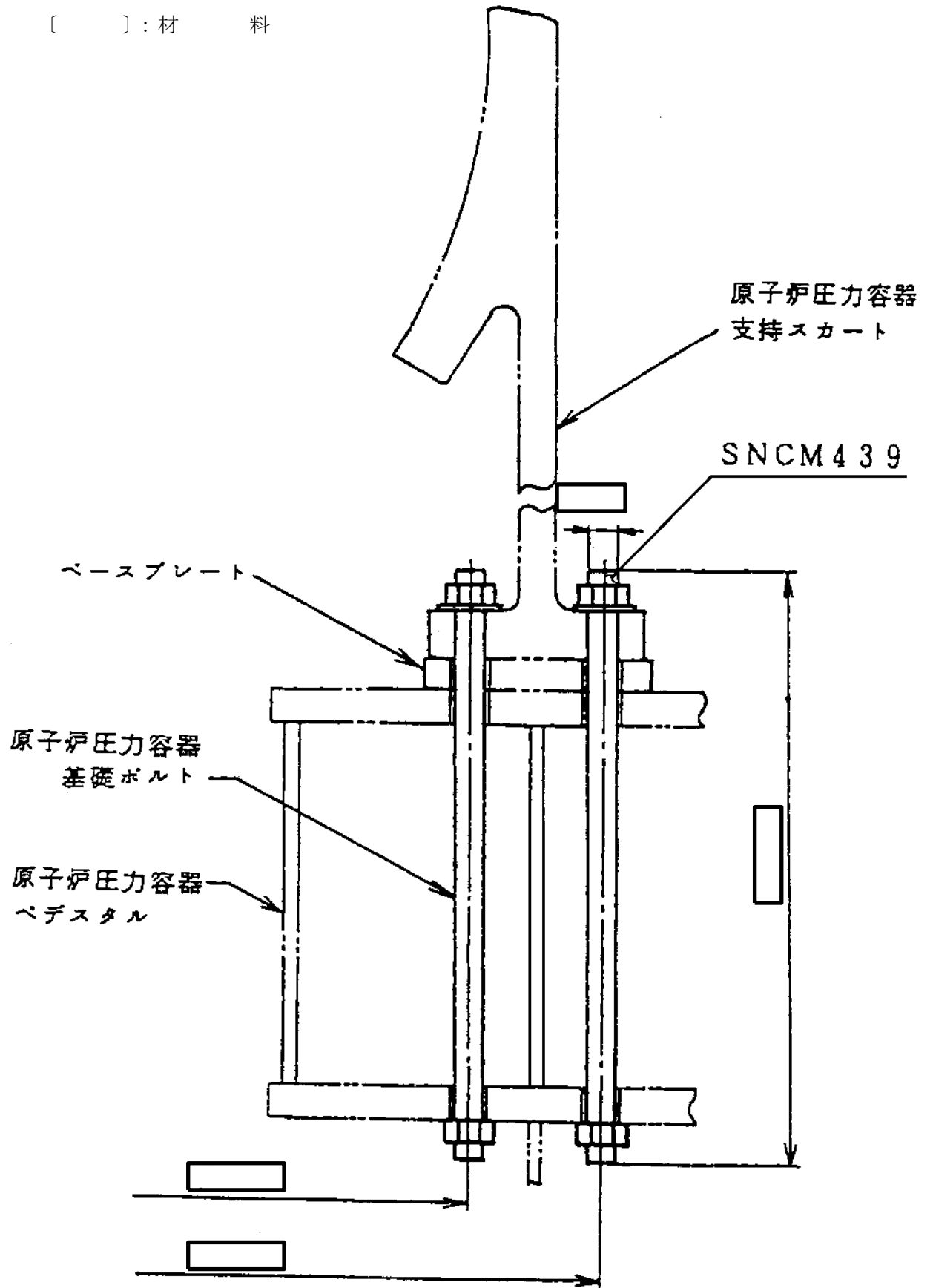


図23-1 形状・寸法・材料 (単位: mm)

表 23-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

許容応力状態	地震荷重	応力の種類	計算結果	許容応力
ⅢAS	S d *	引張	369	499 ^{*1}
		せん断	67	384
ⅣAS	S s	引張	432 ^{*2}	499 ^{*1}
		せん断	82 ^{*2}	384
ⅣAS	S d *	引張	369	458 ^{*1}
		せん断	67	353

注記*1： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2：組合せ係数法を適用した結果を示す。組合せ係数 0.4 は、厳しい結果が得られるよう、鉛直方向の動的地震力に乗じる。

23.2 計算条件

23.2.1 設計条件

設計条件は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(2)に定めるとおりである。

23.2.2 材料

各部の材料を図23-1に示す。

23.2.3 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は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(2)に定めるとおりである。

23.2.4 荷重の組合せ

応力評価は、23.2.3項に示す荷重の組合せにより発生する引張応力及びせん断応力について行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、地震荷重 S_d に対しては絶対値和を、地震荷重 S_s に対しては組合せ係数法を適用する。

23.2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5項に示す。

23.2.6 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sの応力の評価には、運転状態Ⅰ及びⅡの荷重と組み合わせる場合には \square ℃、冷却材喪失事故後の荷重と組み合わせる場合には \square ℃に対する許容応力を用いる。
- (2) 基礎ボルトの許容応力評価条件を表23-2に示す。

23.3 応力計算

23.3.1 外荷重による応力

(1) 荷重条件

基礎ボルトに作用する外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(7)に示す。

(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(2)に定めるとおりである。

なお、引張応力は基礎ボルトを断面積の等しい等価な円筒としてモデル化し、せん断応力は基礎ボルトの本数と断面性能より計算する。

23.4 応力の評価

各許容応力状態における評価を表23-3に示す。

表23-3より、各許容応力状態においてボルトに発生する応力は、「応力解析の方針」の3.5項に示す許容応力を満足する。

表 23-2 許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎 ボルト	SNCM439	運転状態 I 及び II の温度	—	865	951	—
		運転状態 IV の温度*	—	774	873	—

注記*：冷却材喪失事故後の温度を表す。

表 23-3 計算結果

許容応力状態	地震荷重	温度 (°C)	応力の種類	計算結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
Ⅲ A S	S d *		引張	369	499 ^{*1}
			せん断	67	384
Ⅳ A S	S s		引張	432 ^{*2}	499 ^{*1}
			せん断	82 ^{*2}	384
Ⅳ A S	S d *		引張	369	458 ^{*1}
			せん断	67	353

注記*1： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2：組合せ係数法を適用した結果を示す。組合せ係数 0.4 は、厳しい結果が得られるよう、鉛直方向の動的地震力に乗じる。

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-2-3-3-2-1 原子炉压力容器スタビライザ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
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	7
4.1 構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	7
4.3 計算方法	8
4.4 応力の評価	9
5. 参照図書	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、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「スタビライザ」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。

スタビライザ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

スタビライザの構造計画を表 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>スタビライザは、ガンマ線遮蔽壁に設置されたサポートブラケットに溶接される。</p>	<p>ブラケット、ロッド、ナット、ヨーク及び皿ばねで構成される、原子炉圧力容器が揺れた場合にスタビライザブラケットを介してその水平方向を支持するためのものであり、原子炉圧力容器外周に8個等間隔に配置されている鋼製の支持構造物である。</p>	<p>スタビライザ</p> <p>ガンマ線遮蔽壁</p> <p>スタビライザ</p> <p>スタビライザブラケット</p> <p>スタビライザ 拡大図 (平面図)</p> <p>皿ばね</p> <p>ブラケット</p> <p>ヨーク</p> <p>サポートブラケット</p> <p>ロッド</p> <p>M110</p> <p>ナット</p> <p>スタビライザ 拡大図 (正面図)</p>

2.2 評価方針

スタビライザの応力評価は、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内に収まることを、「4. 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。

スタビライザの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

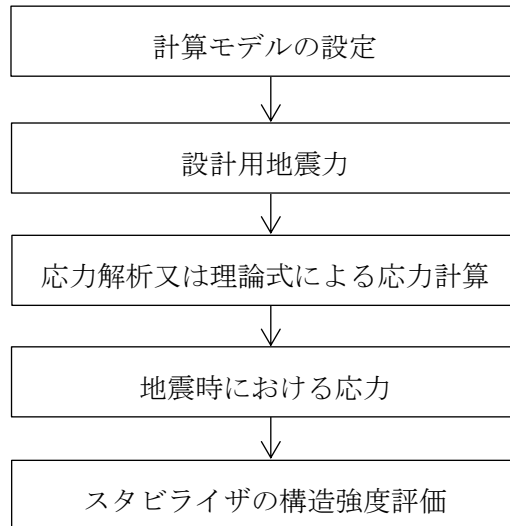


図 2-1 スタビライザの耐震評価フロー

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
A ₁	ブラケット（水平断面評価部）の評価断面積	mm ²
A ₂	ブラケット（底板との溶接部）の評価断面積	mm ²
A ₃	ブラケット（ロッドと取合う縦板）の評価断面積	mm ²
D	死荷重	—
d	ロッドのネジ部直径	mm
F _H	スタビライザ 1 個に加わる最大地震荷重	N
F _{H1}	スタビライザ 1 個に加わる S _d *地震時の最大地震荷重	N
F _{H2}	スタビライザ 1 個に加わる S _s 地震時の最大地震荷重	N
F ₀	初期締付荷重	N
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
H ₁	スタビライザ全体に加わる S _d *地震時の水平地震荷重	N
H ₂	スタビライザ全体に加わる S _s 地震時の水平地震荷重	N
l ₁	ブラケット（ロッドと取合う縦板）の幅	mm
l ₂	ブラケットからロッドまでの長さ	mm
l ₃	ブラケットの高さ	mm
l ₄	ブラケット（水平断面評価部）のモーメントアーム	mm
l ₅	ブラケット（水平断面評価部）の幅	mm
l ₆	ブラケット（水平断面評価部）の長さ	mm
l ₇	ブラケット（底板との溶接部）の長さ	mm
l ₈	ブラケット（底板との溶接部）のモーメントアーム	mm
l ₉	ブラケット（底板との溶接部）の有効のど厚	mm
M	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせす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	—
M _A	ブラケット（ロッドと取合う縦板）の曲げモーメント	N・mm
M _B	ブラケット（水平断面評価部）の曲げモーメント	N・mm
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	—

記号	記号の説明	単位
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°C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
t	ブラケット（ロッドと取合う縦板）の厚さ	mm
W	スタビライザ 1 個に加わる最大荷重	N
W_1	スタビライザ 1 個に加わる S_d^* 地震時の最大荷重	N
W_2	スタビライザ 1 個に加わる S_s 地震時の最大荷重	N
Z_A	ブラケット（ロッドと取合う縦板）の断面係数	mm ³
Z_B	ブラケット（水平断面評価部）の断面係数	mm ³
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_k	組合せ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

3. 評価部位

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 3-1 に示す。

なお、スタビライザの応力評価点は、スタビライザ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図 3-2 に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) スタビライザは、ガンマ線遮蔽壁に設置されたサポートブラケット上に溶接され、原子炉圧力容器の水平地震荷重をガンマ線遮蔽壁に伝達させる構造である。スタビライザの耐震評価は、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」により求めた水平地震荷重、若しくはその条件を包絡するように定めた保守的な水平地震荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い、「4.3 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

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 に示す。

4.2.3 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

最高使用温度は、既工認からの変更はなく、以下のとおりである。

温度（最高使用温度） 302 °C

(2) スタビライザに加わる荷重及び設計用地震力

スタビライザに加わる荷重を表 4-4 に示す。

スタビライザの評価に用いる設計用地震力は、水平地震荷重として、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」により求めた水平地震荷重、若しくはその条件を包絡するように定めた保守的な水平地震荷重を用いる。

また、スタビライザ全体に加わる水平地震荷重は、8 個のスタビライザで分担されるので、スタビライザ 1 個の受け持つ最大地震荷重 F_H は下記の値となる。

$$F_{H1} = \frac{1}{4} H_1 = \boxed{} \text{ N}$$

$$F_{H2} = \frac{1}{4} H_2 = \boxed{} \text{ N}$$

スタビライザ 1 個の受け持つ最大荷重 W は以下の式に基づく。

$$W = F_0 + \frac{1}{2} \cdot F_H \quad \left(\frac{1}{2} \cdot F_H \leq F_0 \text{ ばねが両効きとなる場合} \right)$$

$$= F_H \quad \left(\frac{1}{2} \cdot F_H > F_0 \text{ ばねが片効きとなる場合} \right)$$

なお、鉛直地震を考慮してもスタビライザとスタビライザブラケットの鉛直方向の干渉は無く、また、鉛直地震時のスタビライザの質量による鉛直方向荷重は小さく無視できるため、鉛直地震荷重に対する評価は行わない。

4.3 計算方法

ロッドの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。

ブラケットの応力計算方法は、以下に示すとおりである。ブラケットの形状及び寸法を図4-1に示す。

(1) 応力評価点 P 2

a. 曲げ応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{M_A}{Z_A}$$

$$\text{ここで, } M_A : \text{モーメント} = \frac{W \cdot l_1}{8}$$

$$Z_A : \text{断面係数} = \frac{l_3 \cdot t^2}{6}$$

b. せん断応力 τ

$$\tau = \frac{W}{2 \cdot A_3}$$

$$\text{ここで, } A_3 : \text{断面積} = l_3 \times t$$

c. 組合せ応力 σ_k

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(2) 応力評価点 P 3

a. 曲げ応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{M_B}{Z_B}$$

$$\text{ここで, } M_B : \text{モーメント} = \frac{W \cdot l_4}{2}$$

$$Z_B : \text{断面係数} = \frac{l_5 \cdot l_6^2}{6}$$

b. せん断応力 τ

$$\tau = \frac{W}{2 \cdot A_1}$$

$$\text{ここで, } A_1 : \text{断面積} = l_5 \times l_6$$

c. 組合せ応力 σ_k

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(3) 応力評価点 P 4

a. せん断応力 τ

$$\tau = \frac{W}{2 \cdot A_2}$$

ここで、 A_2 : 断面積 = $2 \times l_9 \times l_7$

4.4 応力の評価

各許容応力状態における評価を表 4-5 に示す。

表 4-5 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-3-1-3-1「原子炉圧力容器スタビライザの応力計算書」

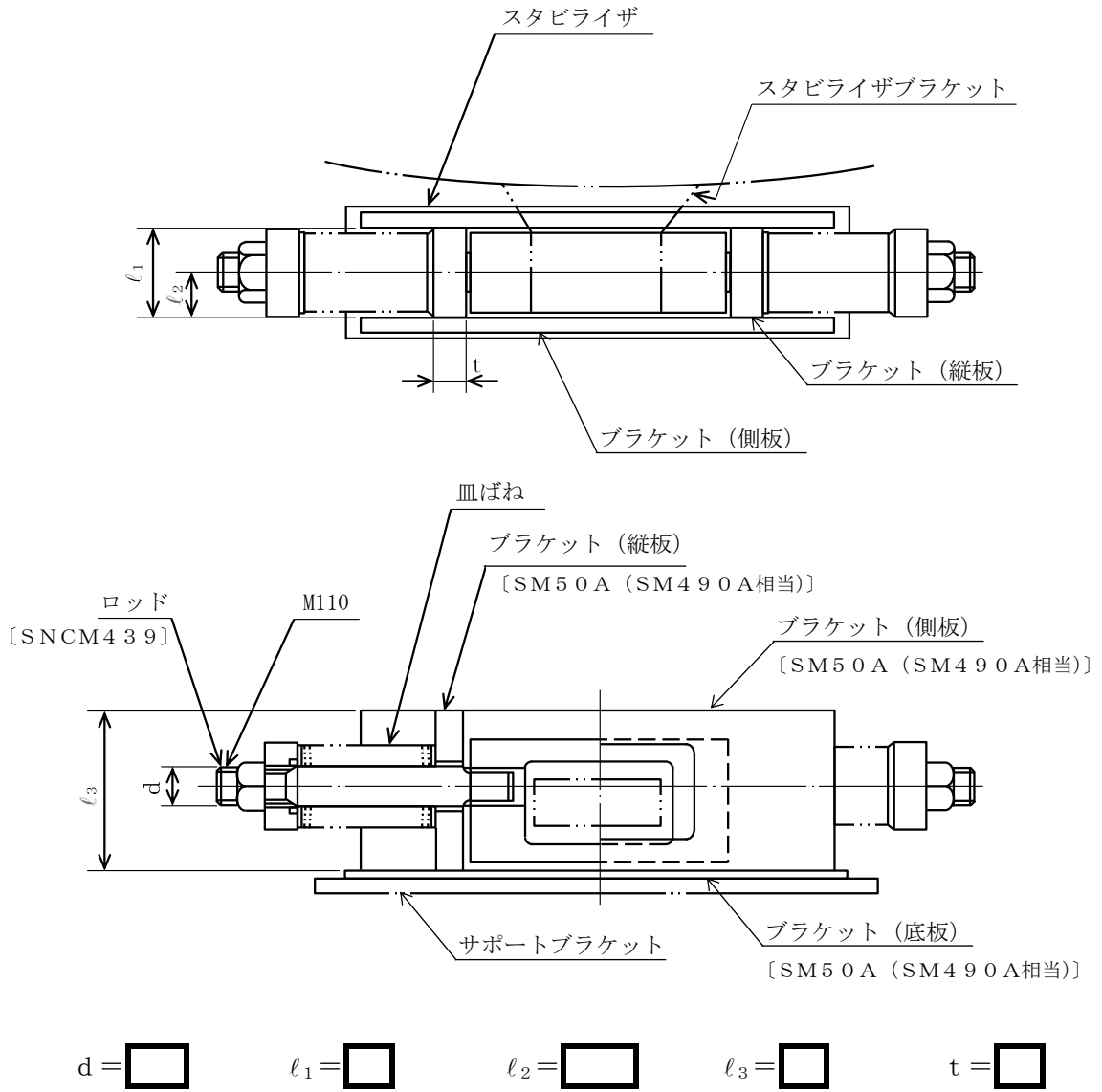


図 3-1 スタビライザの形状・寸法・材料 (単位: mm)

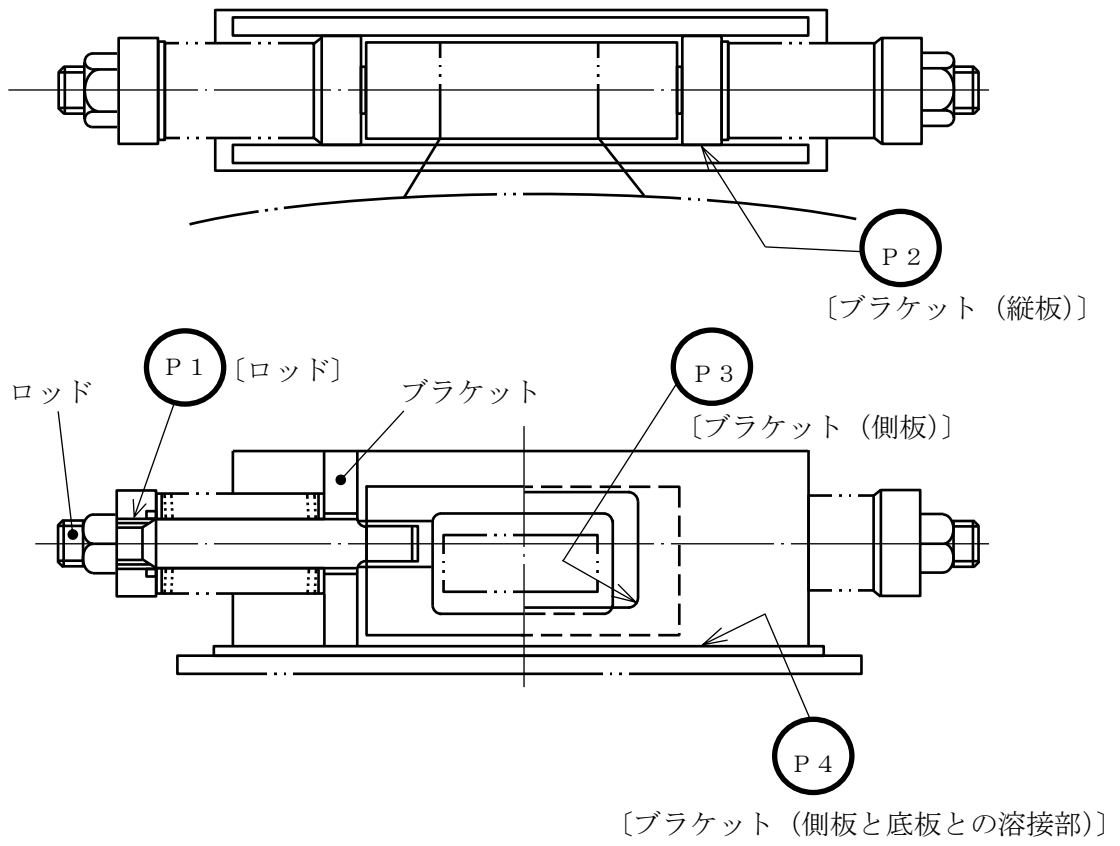
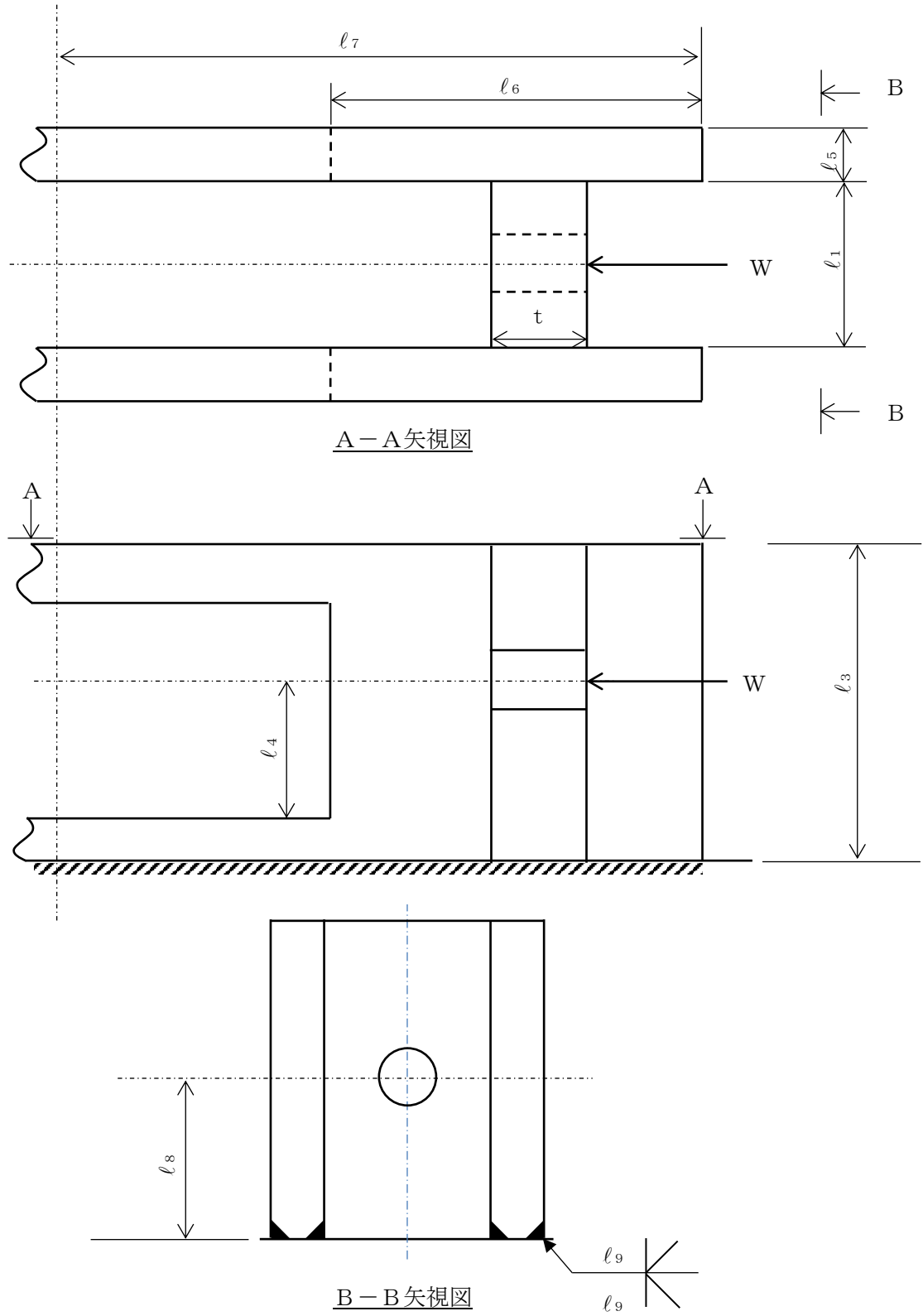


図 3-2 スタビライザの応力評価点



$l_1 = \square$ $l_3 = \square$ $l_4 = \square$ $l_5 = \square$ $l_6 = \square$ $l_7 = \square$ $l_8 = \square$
 $l_9 = \square$ (溶接部の有効のど厚) $t = \square$

図 4-1 ブラケットの形状・寸法 (単位: mm)

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	スタビライザ	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, *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	せん断	曲げ	引張
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料		温度条件		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			(°C)					
ロッド	棒鋼	SNCM439	最高使用温度	302	—	679	839	—
ブラケット	鋼板	SM50A*	最高使用温度	302	—	203	441	—

注記* : SM490A相当

表 4-4 スタビライザに加わる荷重

種別	記号	荷重(N)
初期締付荷重	F_0	<input type="text"/>
スタビライザ全体に加わる S_d^* 地震時の 水平地震荷重 ^{*1}	H_1	<input type="text"/>
スタビライザ全体に加わる S_s 地震時の 水平地震荷重 ^{*1}	H_2	<input type="text"/>
スタビライザ 1 個に加わる S_d^* 地震時の 最大荷重 W^{*2}	W_1	<input type="text"/>
スタビライザ 1 個に加わる S_s 地震時の 最大荷重 W^{*3}	W_2	<input type="text"/>

注記*1：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設計荷重

*2： $\frac{1}{2} \cdot F_{H1} \leq F_0$ より，ばねは両効きになる。

*3： $\frac{1}{2} \cdot F_{H2} > F_0$ より，ばねは片効きになる。

表 4-5 評価結果まとめ

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		ⅣA S	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
				MPa	MPa	MPa	MPa
スタビライザ	P 1	ロッド	引張応力	315	440	419	440
	P 2	ブラケット	曲げ応力	131	234	174	281
			せん断応力	32	117	42	140
			組合せ応力	143	203	189	244
	P 3		曲げ応力	137	234	182	281
			せん断応力	66	117	87	140
			組合せ応力	179	203	237	244
	P 4		曲げ応力	—	—	—	—
			せん断応力	67	117	89	140
			組合せ応力	—	—	—	—

VI-2-3-3-2-2 原子炉格納容器スタビライザ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 計算精度と数値の丸め方	6
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	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 許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	8
4.3 解析モデル及び諸元	8
4.4 固有周期	9
4.5 設計用地震力	9
4.6 計算方法	9
4.7 計算条件	9
4.8 応力の評価	9
5. 参照図書	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、原子炉格納容器スタビライザ（以下「スタビライザ」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。

スタビライザ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)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

スタビライザの構造計画を表 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>スタビライザは、ガンマ線遮蔽壁に溶接され、もう一端はシヤラグにフランジで接続されている。原子炉格納容器とはシヤラグを介して取り合い、ガンマ線遮蔽壁の水平地震荷重を原子炉格納容器に伝達する。</p>	<p>ガセットプレート1箇所及びパイプ2本を1組として、ガンマ線遮蔽壁外周に8組等間隔に配置されている鋼製の支持構造物である。</p>	<p>概略構造図</p> <p>原子炉格納容器</p> <p>スタビライザ</p> <p>ガンマ線遮蔽壁</p> <p>パイプ</p> <p>シヤラグ</p> <p>ガンマ線遮蔽壁</p> <p>フランジ</p> <p>ガセットプレート</p> <p>断面 A-A</p> <p>フランジボルト</p> <p>ガンマ線遮蔽壁</p> <p>スタビライザ 拡大図</p>

2.2 評価方針

スタビライザの応力評価は、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。

スタビライザの耐震評価フローを図2-1に示す。

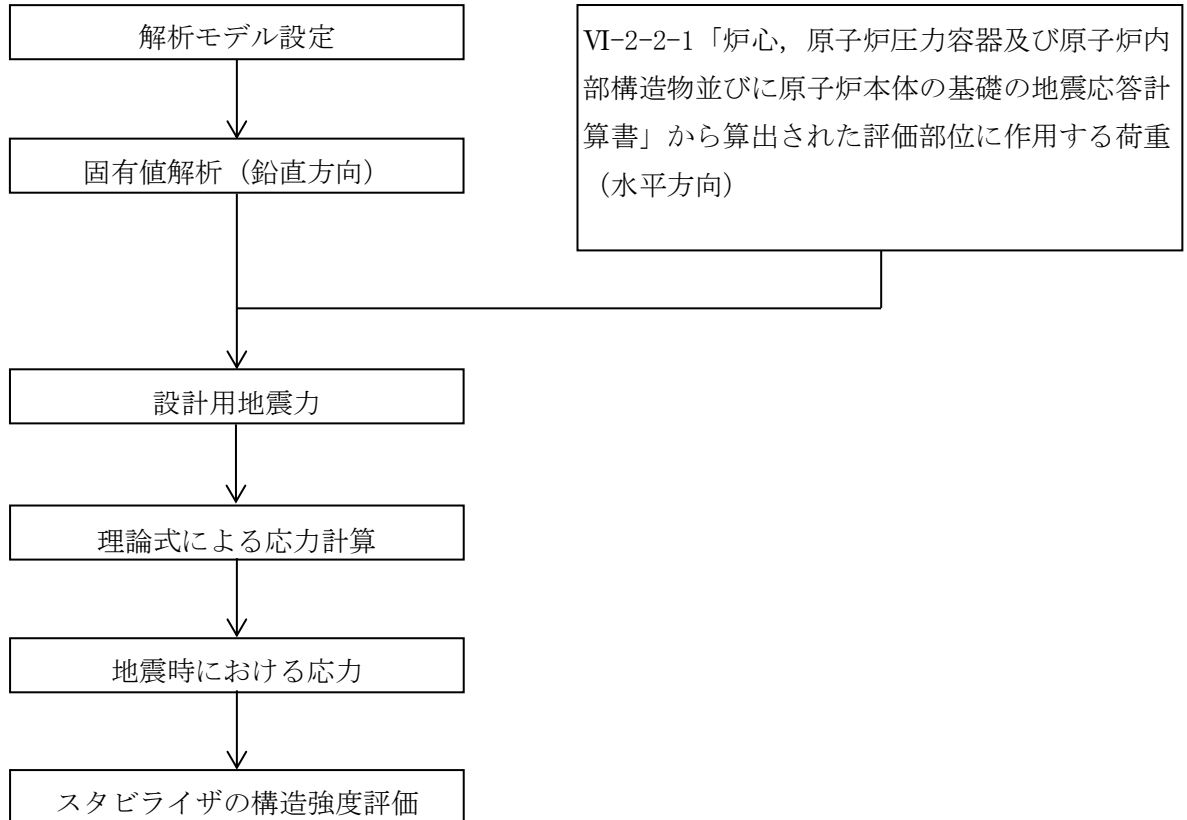


図2-1 スタビライザの耐震評価フロー

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
C _v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
ℓ _i	長さ (i = 1, 2)	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	—
m ₀	全体質量	kg
m ₁	パイプの質量	kg
m ₂	ガセットの質量	kg
m ₃	シヤラグの質量	kg
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	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に定める値	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・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	温度	℃
t ₁	厚さ	mm
W	死荷重	kg
ν	ポアソン比	—

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
刺激係数	—	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	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 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

本計算書で解析する箇所¹の形状・寸法・材料を図 3-1 に示す。

なお、スタビライザの応力評価点は、スタビライザ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) スタビライザは、ガンマ線遮蔽壁に溶接され、シヤラグを介してガンマ線遮蔽壁の水平地震荷重を原子炉格納容器に伝達する構造である。

スタビライザの耐震評価は、「4.5 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、「4.6 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。

(2) 地震力は、スタビライザに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、絶対値和を適用する。

(3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

(4) 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 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

最高使用温度は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

(2) 死荷重

$W = \square \text{ kg}$ (パイプ 1 本当たり)

4.3 解析モデル及び諸元

スタビライザの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元について表 4-4 に示す。

(1) 3次元はり要素及び3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。スタビライザの死荷重は、部材毎にはり要素及びシェル要素に等分布質量を設定する。

(2) 拘束条件は、スタビライザのガンマ線遮蔽壁に対する固定部を固定条件とし、周期的に円形配置されるパイプ 2 本分をモデル化範囲としていることから、対称面は対称条件とする。

(3) 解析コードは「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。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-5 に、振動モード図を図 4-2 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。また、水平方向については、ガンマ線遮蔽壁側はガセットプレート部にて拘束され、原子炉格納容器側はシヤラグ部にて拘束されたトラス形状であることから、構造上明らかに剛構造(0.05 秒以下)である。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

スタビライザに加わる地震荷重 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、スタビライザ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、若しくはその条件を包絡するように定めた保守的な水平地震荷重を用いる。

「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、「4.4 固有周期」に示すとおり鉛直方向で柔構造であることから、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。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。

ここで、スタビライザの評価においては、上記により得られた地震荷重及び地震力に対して設計裕度を考慮した地震荷重及び地震力を用いることとする。

4.6 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。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を「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」で求めた応力が表 4-2 で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

各許容応力状態における評価を表 4-8 に示す。

表 4-8 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2回工事計画認可申請書
IV-3-1-1 「原子炉格納容器スタビライザの強度計算書」

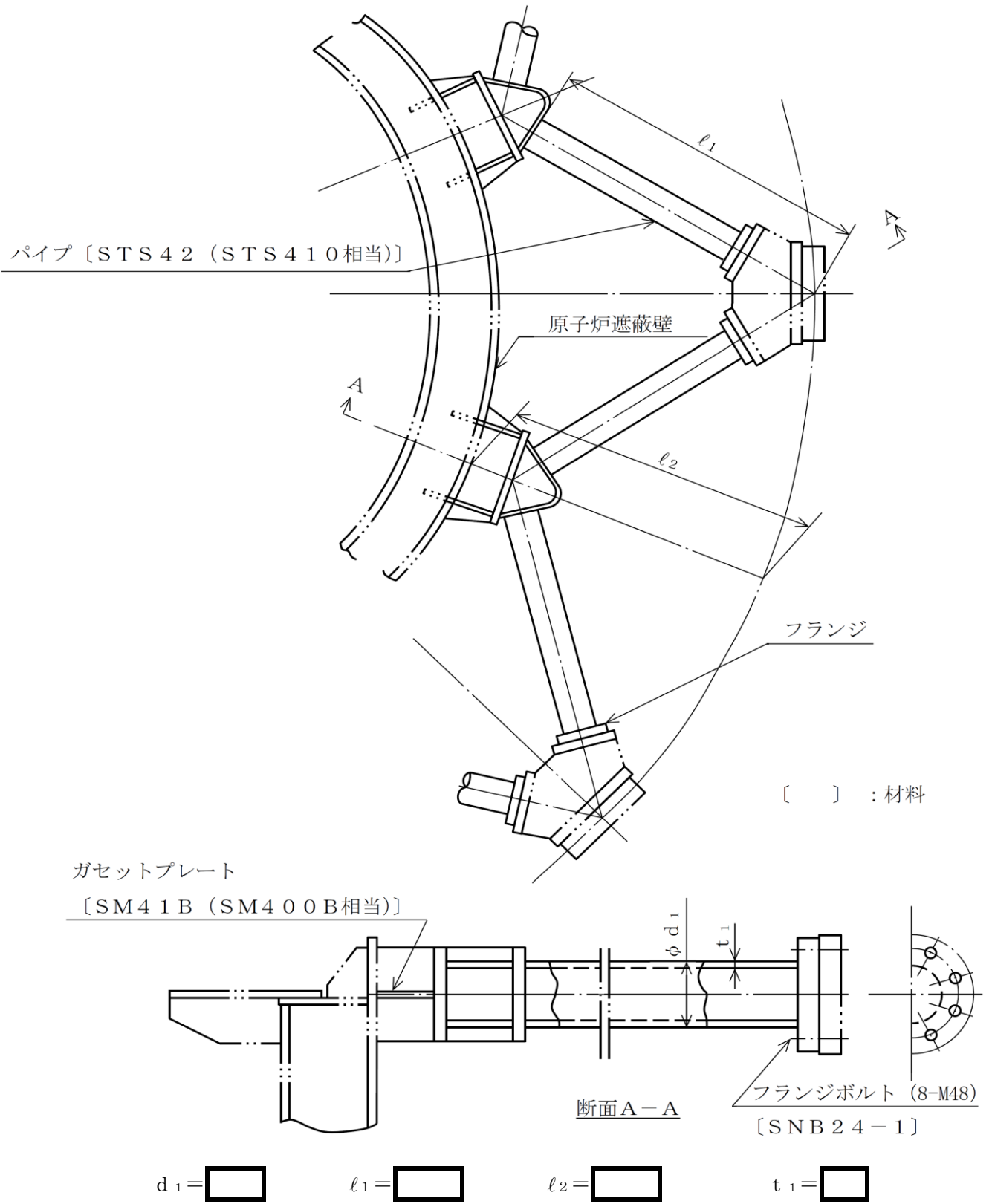
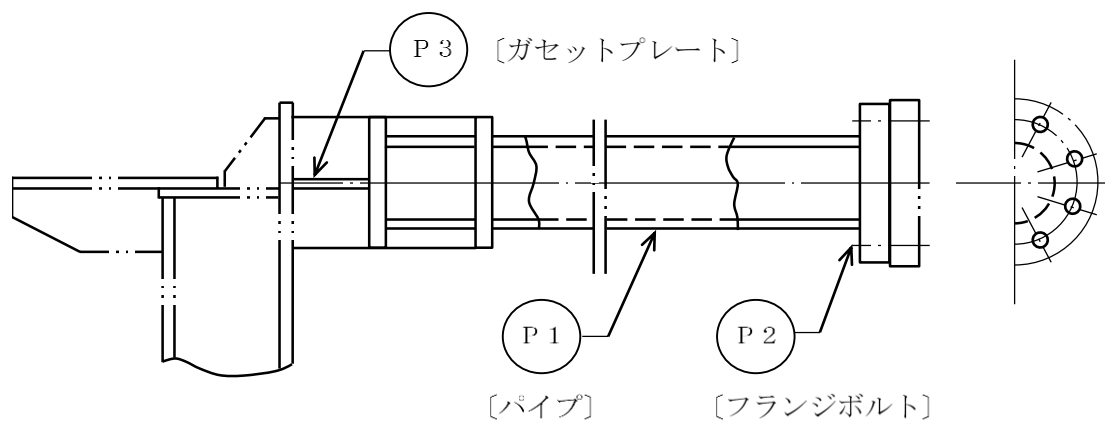


図 3-1 スタビライザの形状・寸法・材料 (単位 : mm)



[] : 応力評価点

図 3-2 スタビライザの応力評価点

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	原子炉压力容器 附属構造物	スタビライザ	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, *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	せん断	圧縮	曲げ	引張
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

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（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					
パイプ	鋼管	STS42* ¹	周囲環境温度	171	—	211	404	—
フランジボルト	棒鋼	SNB24-1	周囲環境温度	171	—	944	1018	—
ガセットプレート	鋼板	SM41B* ²	周囲環境温度	171	—	176	373	—

注記*1：STS410相当

*2：SM400B相当

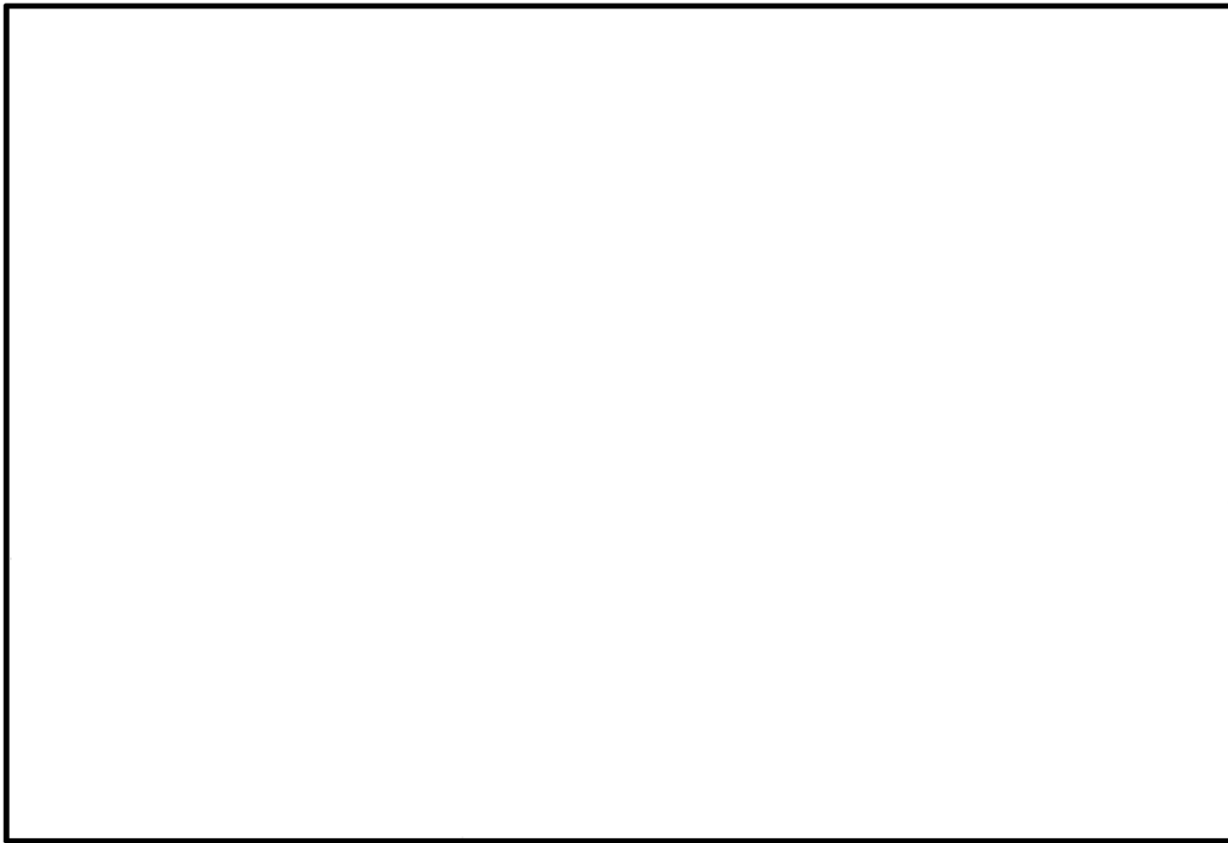


図 4-1 解析モデル

表 4-4 解析モデル諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STS42 (STS410相当) SM41B (SM400B相当) SGV49 (SGV480相当) *
質量 (全体質量)	m_0	kg	
質量 (パイプ)	m_1	kg	
質量 (ガセット)	m_2	kg	
質量 (シヤラグ)	m_3	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* : 解析モデルに含まれるシヤラグ部の材料を示す。

表 4-5 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X	Y	Z
1次	鉛直				
2次	鉛直				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

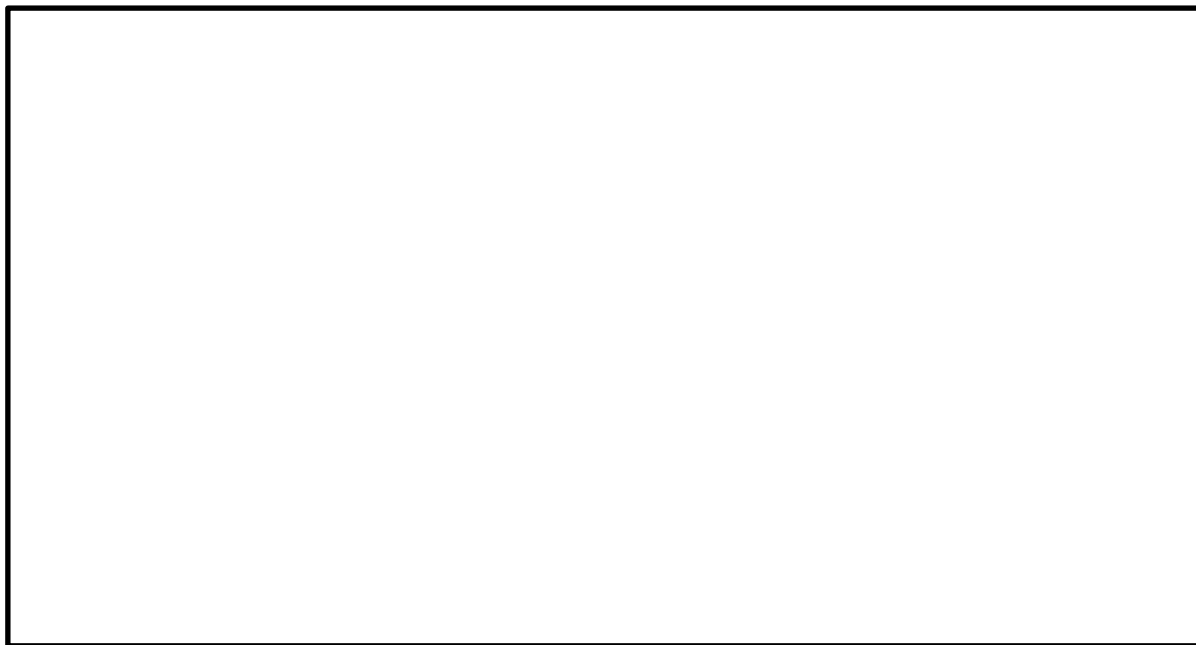


図 4-2 振動モード図

表 4-6 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* (N)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

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設計荷重

表 4-7 設計用地震力（鉛直方向）

据付場所及び床面高さ(m)		ガンマ線遮蔽壁 EL <input type="text"/>	
固有周期(s)		<input type="text"/> *1	
減衰定数(%)		1.0*2	
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	固有周期(s)	応答鉛直震度*3	応答鉛直震度*4
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
動的地震力*5, *6		0.86	1.78
静的地震力*7		0.32	—

注記*1：1次固有周期について記載

*2：溶接構造物に適用される減衰定数

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルより得られる震度

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

*5：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*7：1.2・Cvより定めた震度

表 4-8 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
スタビライザ	P 1	パイプ	引張応力	66	211	117	253
			圧縮応力	66	201	117	239
			曲げ応力	43	211	71	253
			せん断応力	2	121	3	146
			組合せ応力	109	211	188	253
	P 2	フランジボルト	引張応力	253	534	450	534
	P 3	ガセットプレート	曲げ応力	103	176	173	211
			せん断応力	30	101	52	122
			組合せ応力	116	176	195	211

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
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
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	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
4.2.4 設計荷重	8
4.3 解析モデル及び諸元	9
4.4 固有周期	9
4.5 設計用地震力	9
4.6 計算方法	10
4.6.1 応力評価方法	10
4.6.2 レストレントビーム一般部（応力評価点P 1）	10
4.6.3 レストレントビーム端部（応力評価点P 2）	10
4.6.4 レストレントビーム結合ボルト（応力評価点P 3）	11
4.7 計算条件	12
4.8 応力の評価	12
5. 参照図書	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，原子炉圧力容器ペダスタルに溶接されたブラケット，ブラケットにボルトにより取り付けられたレストレントビーム及びレストレントビームをつなぐスプライスプレートとレストレントビーム結合ボルトから構成される鋼製の支持構造物であり，CRDハウジングからの水平荷重を原子炉圧力容器ペダスタルに伝達するように，CRDハウジングを取り囲んでいる。</p>	

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。

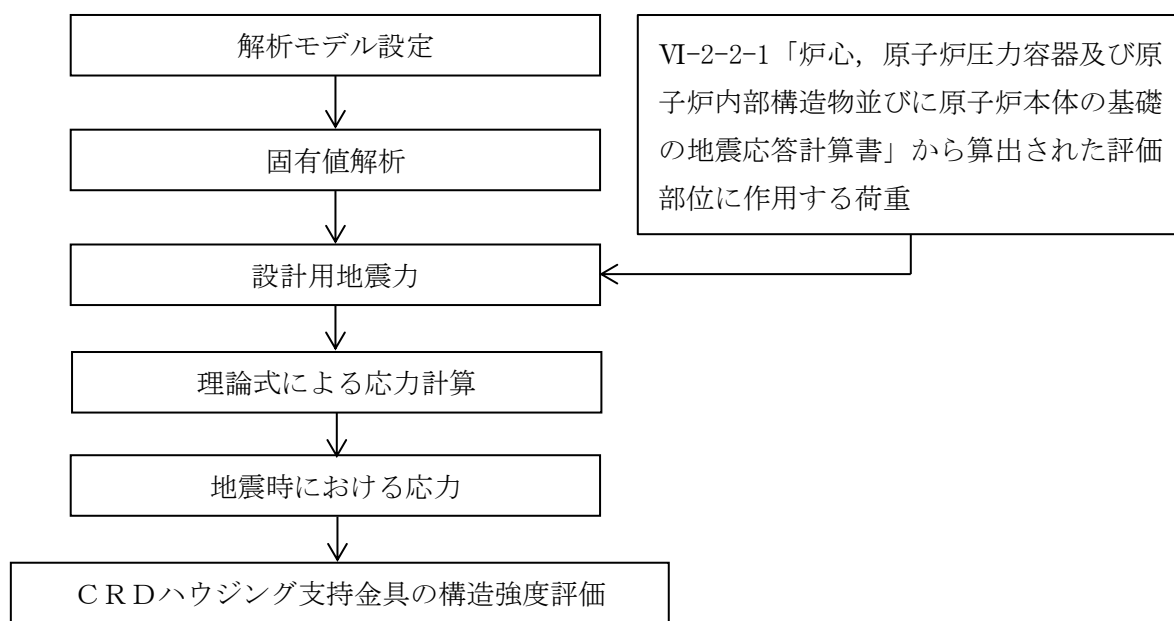


図2-1 CRDハウジング支持金具の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

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。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	レストレントビーム一般部の断面積	mm ²
A_2	レストレントビーム端部の断面積	mm ²
A_3	レストレントビーム結合ボルトの断面積	mm ²
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
E	縦弾性係数	MPa
F	せん断力	N
F_t	ボルト引張荷重	N
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa
f_{tm}	許容引張応力	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
H	レストレントビーム最大支持スパンA-Bが受け持つ水平地震荷重	N
H_1	ばね反力として求めた水平地震荷重を上回る荷重	N
L	レストレントビームの全長	mm
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	—
M_c	レストレントビーム端部の曲げモーメント	N・mm
M_E	レストレントビーム一般部の曲げモーメント	N・mm
m_0	質量	kg
n_1	引張を受けるボルト本数	—
n_2	せん断を受けるボルト本数	—
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	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6 に定める値	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・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 (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	温度	℃
W	レストレントビームの死荷重	N
w	分布荷重	N/mm
Z_c	レストレントビーム端部の断面係数	mm ³
Z_E	レストレントビーム一般部の断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_k	組合せ応力	MPa
τ	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
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
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
力	N	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3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

CRDハウジング支持金具の耐震評価は、「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、実施する。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。CRDハウジング支持金具は、原子炉圧力容器ペDESTALに溶接されたブラケット、ブラケットにボルトにより取り付けられたレストレントビーム及びレストレントビームをつなぐスプライスプレートとレストレントビーム結合ボルトから構成される鋼製の支持構造物であり、CRDハウジングからの水平荷重を原子炉圧力容器ペDESTALに伝達するように、CRDハウジングを取り囲んでいる。

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DESTAL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DESTAL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、「4.5 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、「4.6 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

(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

CRDハウジング支持金具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 に示す。

4.2.2 許容応力

CRDハウジング支持金具の許容応力は、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

CRDハウジング支持金具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 4-3 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、次のとおりである。

温度（最高使用温度）	171 °C
死荷重W	<input type="text"/> N

4.3 解析モデル及び諸元

レストレントビームの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元について表 4-4 に示す。なお、解析においては原子炉本体の基礎との取り合い部で溶接されるため、ブラケット及びレストレントビームをモデル化している。また、スプライスプレートによる結合部は、レストレントビームと同様の剛性でモデル化している。

- (1) 3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。レストレントビームの質量（バンパーの質量含む）は、はり要素に等分布質量を設定する。
- (2) 拘束条件は、レストレントビームの原子炉本体の基礎との取り合い部を固定条件（並進3方向及び3軸回り回転を拘束）とする。
- (3) 解析コードは「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。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-5 に、振動モード図を図 4-2 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。

4.5 設計用地震力

CRDハウジング支持金具の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 及び表 4-7 に示す。

水平方向について、レストレントビームにはCRDハウジングから荷重が作用するため、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」に示す水平方向のモデルにおいて、レストレントビームはばね要素としてモデル化されている。このため、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、ばね反力として求めた水平地震荷重を上回る荷重 H_1 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 H として設定する。なお、レストレントビームの水平方向の地震慣性力については、ばね反力として求めた水平地震荷重に比べて軽微であるため、考慮しない。レストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ荷重は、全 137 本の制御棒駆動機構ハウジングのうち、レストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ範囲に位置する 65 本分を考慮して、次式で算出する。

$$H = H_1 \times \frac{65}{137}$$

なお、鉛直方向についてはCRDハウジングから荷重が作用しないため、「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、「4.4 固有周期」に示すとおり鉛直方向で剛構造であることから、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。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価方法

応力評価は、既工認と同様に、図 3-2 に示すレストレントビーム最大支持スパン A-B に対して実施する。

応力評価点 P 1～P 3 の応力計算方法は、「4.6.2 レストレントビーム一般部（応力評価点 P 1）」、「4.6.3 レストレントビーム端部（応力評価点 P 2）」、及び「4.6.4 レストレントビーム結合ボルト（応力評価点 P 3）」に示すとおりである。「4.7 計算条件」に示す荷重を用いて、図 4-3 に示す両端支持ばりとして、応力評価断面の断面性状により各荷重による応力を算出する。

4.6.2 レストレントビーム一般部（応力評価点 P 1）

(1) 応力計算

a. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_E}{Z_E}$$

ここで

M_E : 曲げモーメント

$$\text{両端支持ばりへの等分布荷重のため } M_E = \frac{w \cdot l_{22}^2}{8}$$

$$w : \text{分布荷重} = \frac{H}{l_{22}} \quad (\text{水平地震})$$

$$= \frac{W}{L} \cdot (1 + C_v) \quad (\text{鉛直地震})$$

L : レストレントビーム全長 = mm

Z_E : 断面係数 = $8.480 \times 10^5 \text{ mm}^3$ (水平地震)

= $2.920 \times 10^5 \text{ mm}^3$ (鉛直地震)

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_1}$$

ここで

F : せん断力

両端支持ばりへの等分布荷重のため $F = H/2$

A_1 : 評価部位の断面積 = $8.998 \times 10^3 \text{ mm}^2$

c. 組合せ応力

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

4.6.3 レストレントビーム端部（応力評価点 P 2）

(1) 応力計算

a. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_c}{Z_c}$$

ここで

M_c : 曲げモーメント

$$\text{両端支持はりへの等分布荷重のため } M_c = \frac{W \cdot l_{23}}{2} \cdot (l_{22} - l_{23})$$

$$w : \text{分布荷重} = \frac{H}{l_{22}} \quad (\text{水平地震})$$

$$= \frac{W}{L} \cdot (1 + C_v) \quad (\text{鉛直地震})$$

$$Z_c : \text{断面係数} = 1.730 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (\text{水平地震})$$

$$= 4.990 \times 10^4 \text{ mm}^3 \quad (\text{鉛直地震})$$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A_2}$$

ここで

F : せん断力

両端支持はりへの等分布荷重のため $F = H/2$

$$A_2 : \text{評価部位の断面積} = 5.760 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

c. 組合せ応力

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

4.6.4 レストレントビーム結合ボルト (応力評価点 P 3)

(1) 応力計算

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{n_1 \cdot A_3}$$

ここで

$$F_t : \text{ボルト引張荷重} = \frac{W}{L} \cdot (1 + C_v) \cdot l_{22}$$

$$A_3 : \text{ボルト断面積} = 3.140 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

n_1 : 引張を受けるボルト本数 = 8 本

b. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{n_2 \cdot A_3}$$

ここで

F : せん断力

両端支持はりへの等分布荷重のため $F = H/2$

$$A_3 : \text{ボルト断面積} = 3.140 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

n_2 : せん断を受けるボルト本数 = 4 本

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 設計地震力」に示す。

4.8 応力の評価

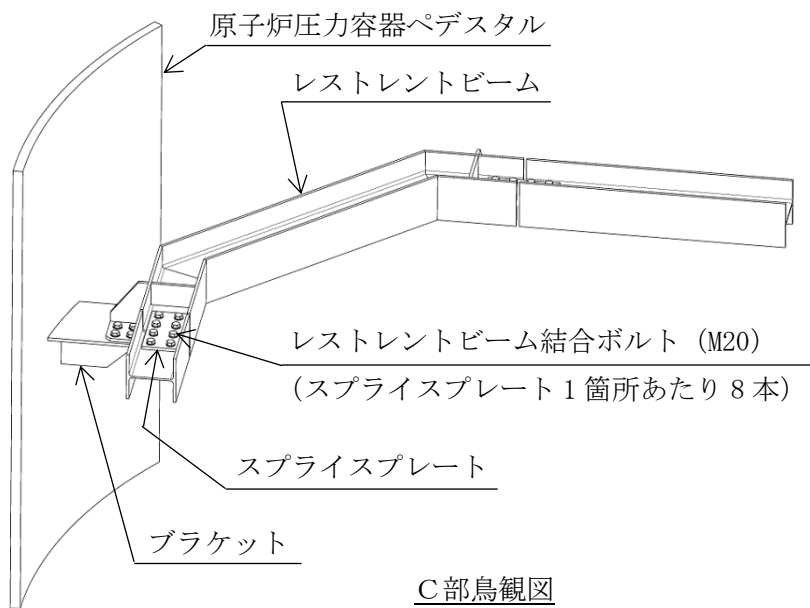
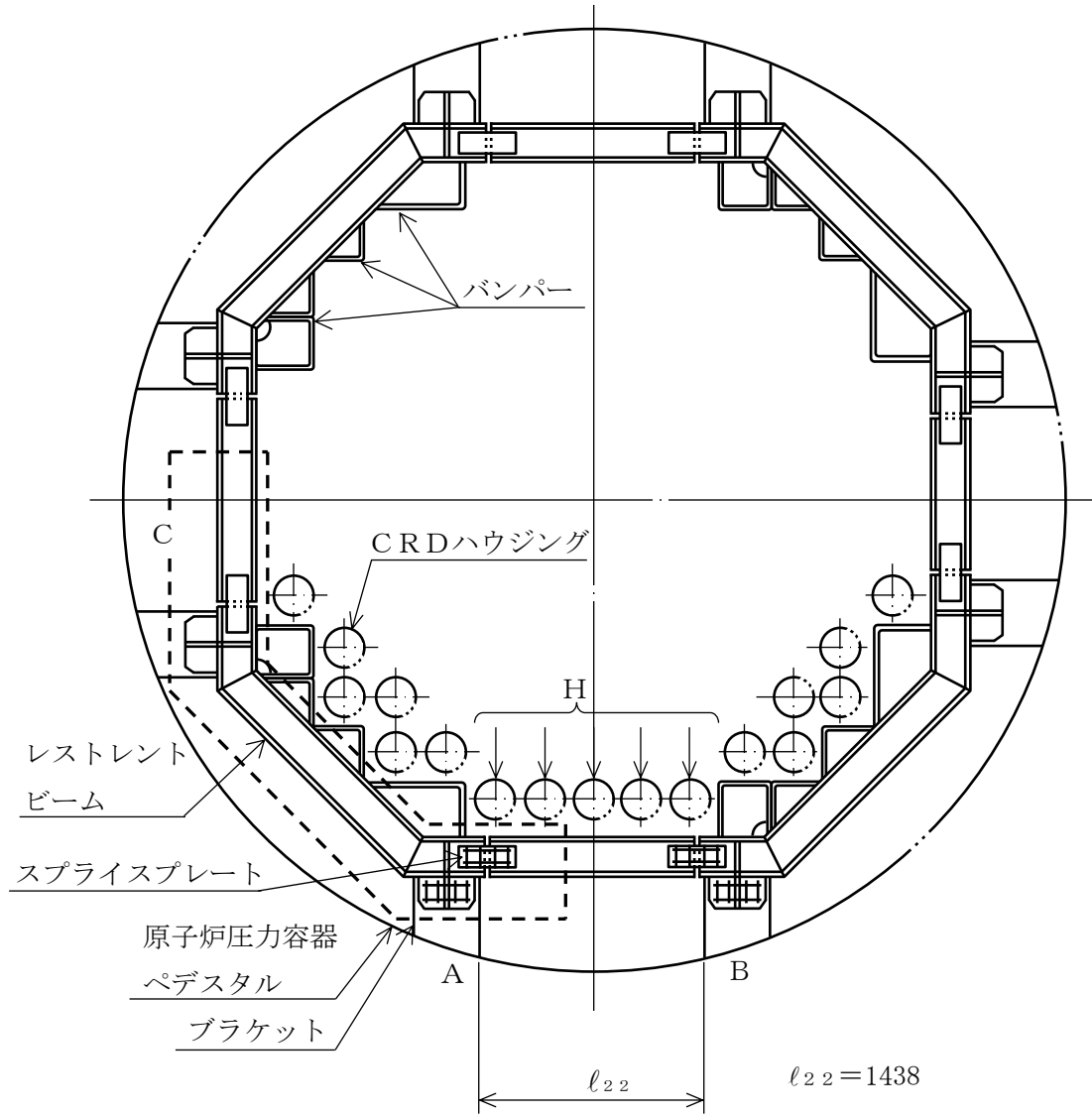
各許容応力状態における評価を表 4-8 に示す。

表 4-8 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」



C部鳥観図

(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

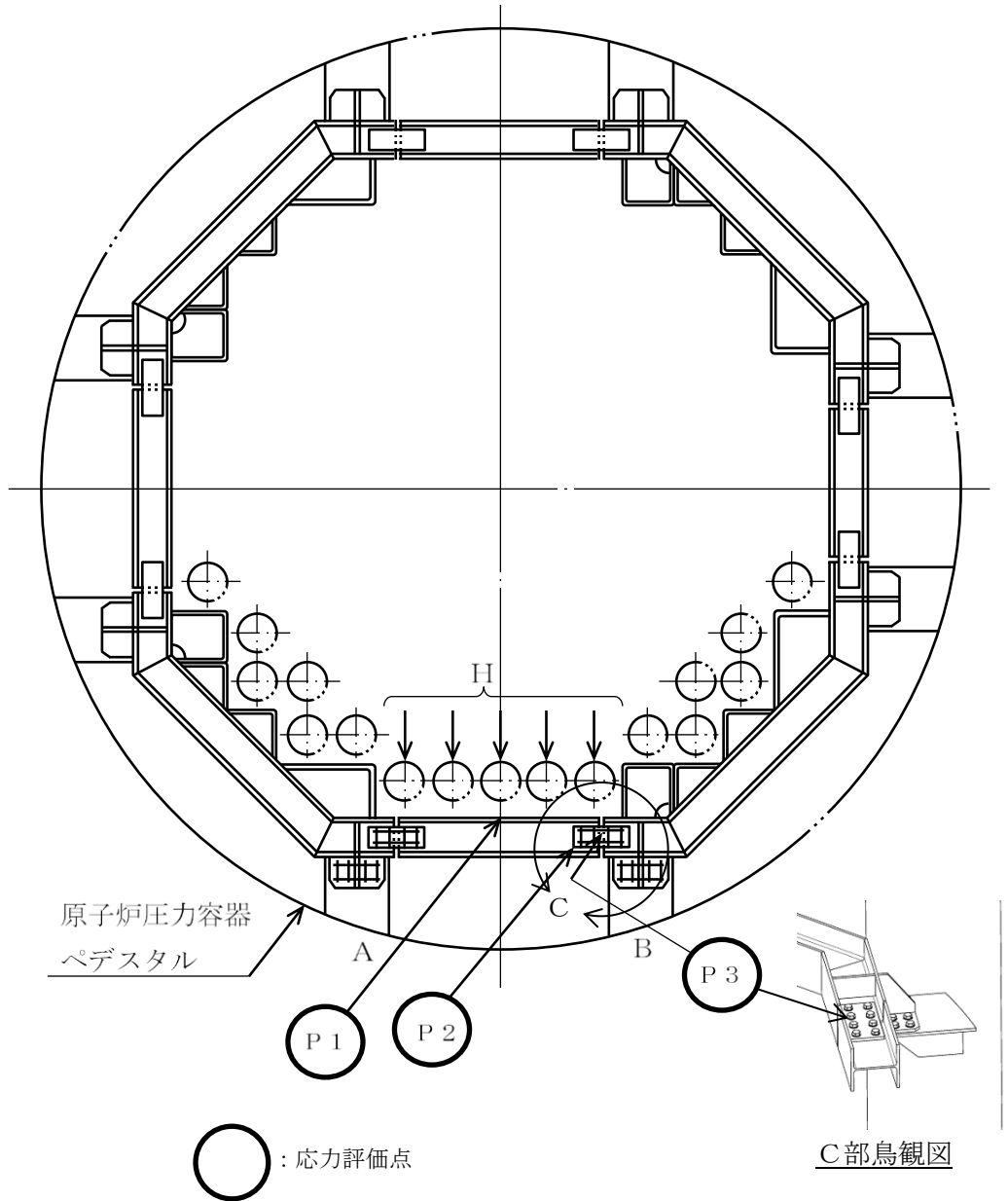


図 3-2 レストレントビームの応力評価点

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 容器附属 構造物	CRDハウジング 支持金具	S	—*1	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**2}$	Ⅳ _A S
					$D + P + M + S_s$	

注記*1：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。

2：CRDハウジング支持金具に対しては，地震と組み合わせるべき運転状態Ⅳの事故後の圧力荷重及び機械的荷重は，地震と組み合わせるべき通常運転時の圧力荷重及び機械的荷重と同じであり，荷重の組合せ $D + P + M + S_d^$ に包絡されるため，評価しない。

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, *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	
	曲げ	せん断	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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	171				
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

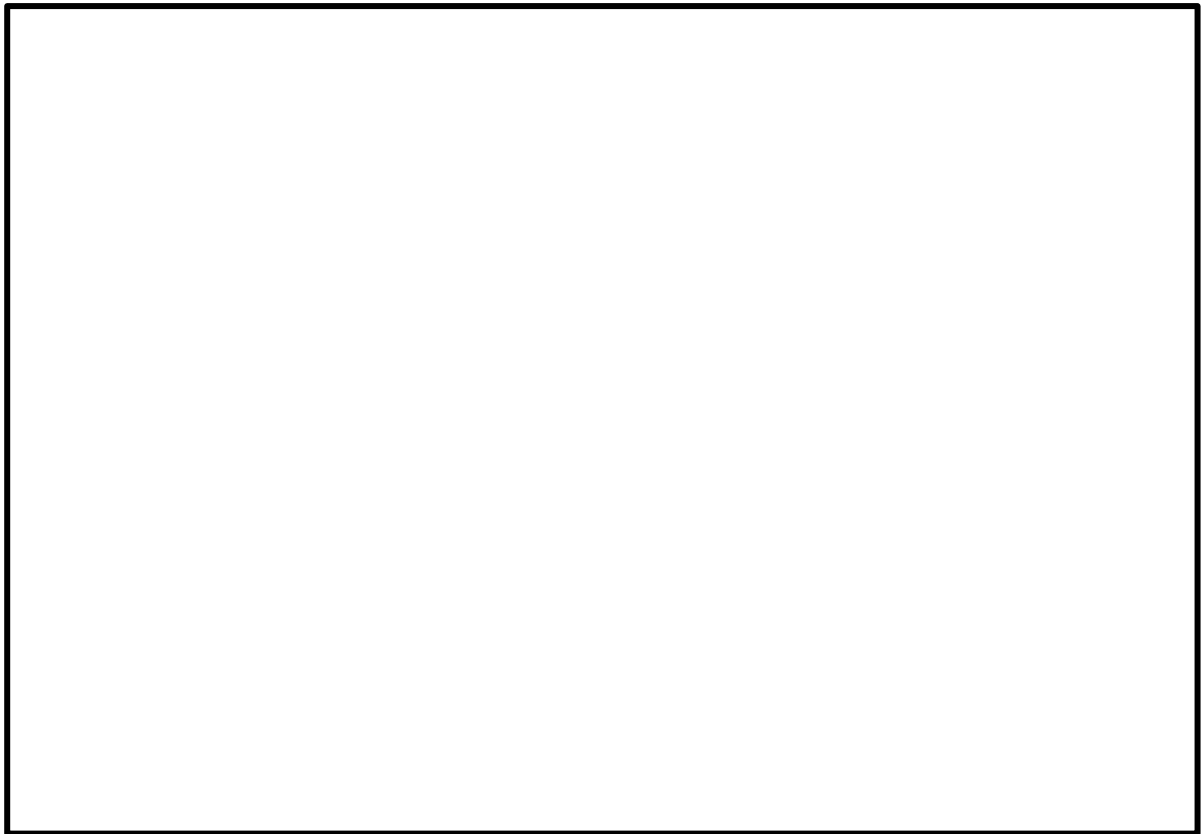


図 4-1 解析モデル

表 4-4 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS41 (SS400相当) SM41A (SM400A相当)
質量	m _o	kg	<input type="text"/>
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	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

表 4-5 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			X	Y	Z
1次	水平		—	—	—

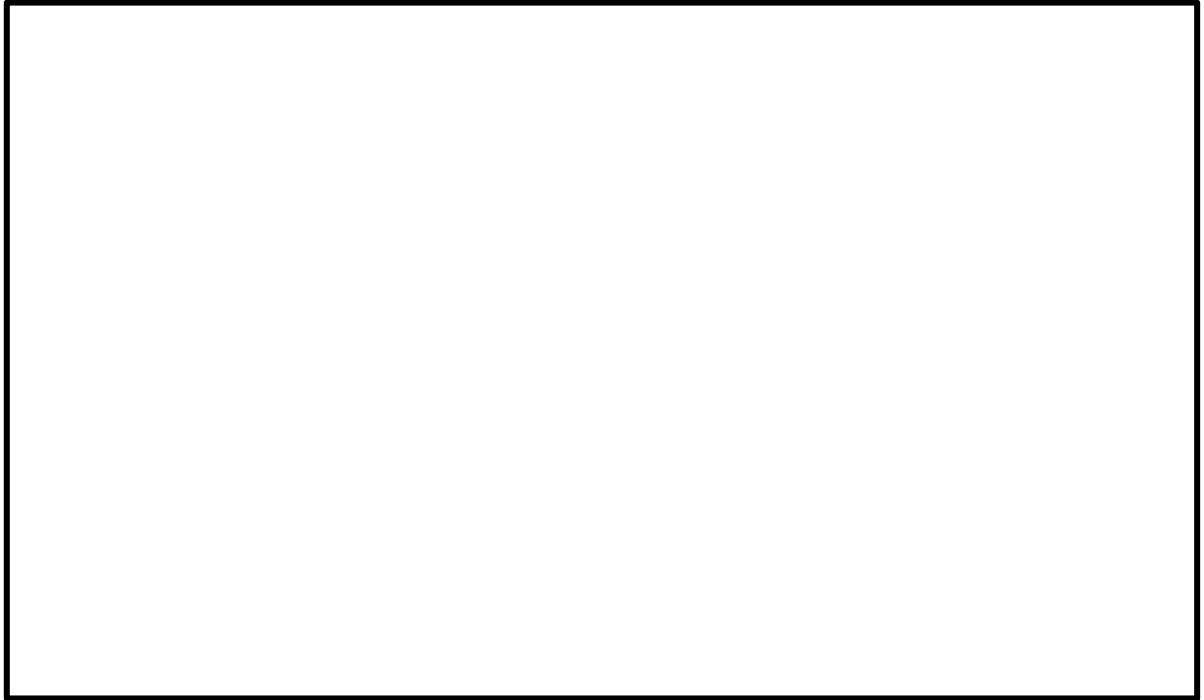


図 4-2 振動モード図

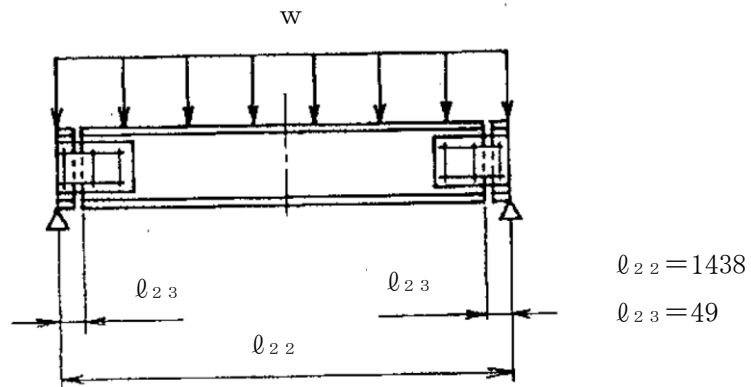


図 4-3 計算モデル (単位 : mm)

表 4-6 設計用地震力（水平方向）

	地震荷重 S_d^*	地震荷重 S_s
ばね反力として求めた水平地震荷重を上回る荷重 $H_1(N)^{*1}$	□	□
レストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ水平地震荷重 $H(N)^{*2}$	□ ^{*3}	□

注記*1：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

*2：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。

3：地震荷重 S_d^ については，保守的に，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，レストレントビーム最大支持スパン A-B が受け持つ荷重として設定する。

表 4-7 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 □	0.05 以下	0.05 以下	—	$C_v=0.56^{*1}$	—	$C_v=1.14^{*2}$

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d ）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

表 4-8 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
			せん断応力	32	116	39	139
			組合せ応力	135	201	168	241
	P 2	レストレントビーム端部	曲げ応力	80	201	99	241
			せん断応力	49	116	61	139
			組合せ応力	117	201	145	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

23

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

VI-2-3-3-2-4 ジェットポンプ計測配管貫通部シール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	2
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 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 内圧による応力	6
3.2.1 荷重条件 (L01)	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, L07, L14, L15, L16 及び L17)	6
3.3.2 計算方法	6
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
4.3 一次＋二次応力強さの評価	8
5. 繰返し荷重の評価	9
5.1 疲労解析	9
6. 参照図書	10

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプ計測配管貫通部シール（以下「貫通部シール」という。）の耐震計算書である。

貫通部シール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。

貫通部シールは、クラス1配管であるが、設計・建設規格 PPB-3112により、設計・建設規格 PVB-3100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を「既工認」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項に示す。

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。なお，ノズルと貫通部シールの溶接部については，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」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。

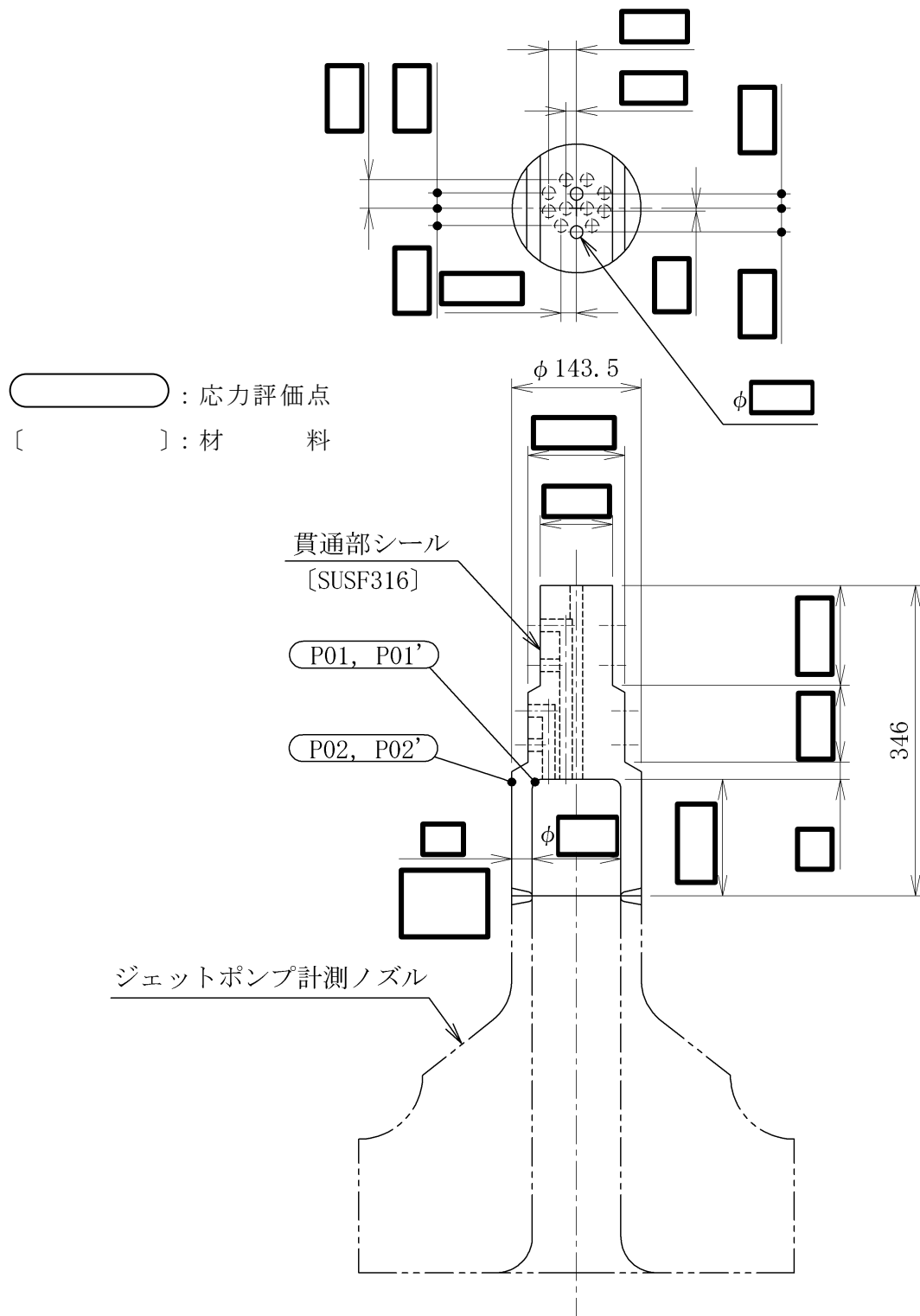


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容 応力 状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ 応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (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*1	許容値	応力 評価点
貫通部シール SUSF316	Ⅲ A S	71	143	P01' - P02'	190	208	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ A S	105	284	P01' - P02'	279	416	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	402*2	360	P02	0.255	1.0	P01
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	607*2	360	P02			

注記*1：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。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300 の簡易弾塑性解析を行う。

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.5 項に示す。

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。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数の計算方法は、既工認から変更はなく参照図書(1)に定めるとおりである。

3.2 内圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更なく、参照図書(1)に定めるとおりである。評価圧力は以下のとおりとする。

内圧 : 8.28 MPa

3.2.2 計算方法

内圧による応力の計算は、図 3-1 に示す貫通部シールのモデル化範囲を二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「ABAQUS」により行う。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。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図 3-2(a)に示す。

なお、各許容応力状態での内圧による応力は、単位圧力での応力を用いて、圧力比を乗じて計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16 及び L17)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(4)「ジェットポンプ計測ノズル (N9)」に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、図 3-1 に示す貫通部シールのモデル化範囲を二次元軸対称の有限要素でモデル化し、解析コード「ABAQUS」により行う。

応力計算のモデル及び境界条件（拘束条件）を図 3-2(b)に示す。



なお、各荷重での応力は、単位荷重（水平力、軸力等）での応力を用いて、荷重比を乗じて計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.3.2 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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項に示す許容応力を満足する。

4.2 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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項に示す許容応力を満足する。

4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表 4-3 に示す。

表 4-3 より，すべての評価点において一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超えるため，「応力解析の方針」の 5.2 項に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

5. 繰返し荷重の評価

5.1 疲労解析

貫通部シールの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

最も厳しい評価点における疲労累積係数の計算結果を表 5-1 に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表 5-2 に示す。

表 5-2 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 項に示す許容値を満足する。

6. 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
IV-3-1-3-3 「ジェットポンプ計測配管貫通部シールの応力計算書」

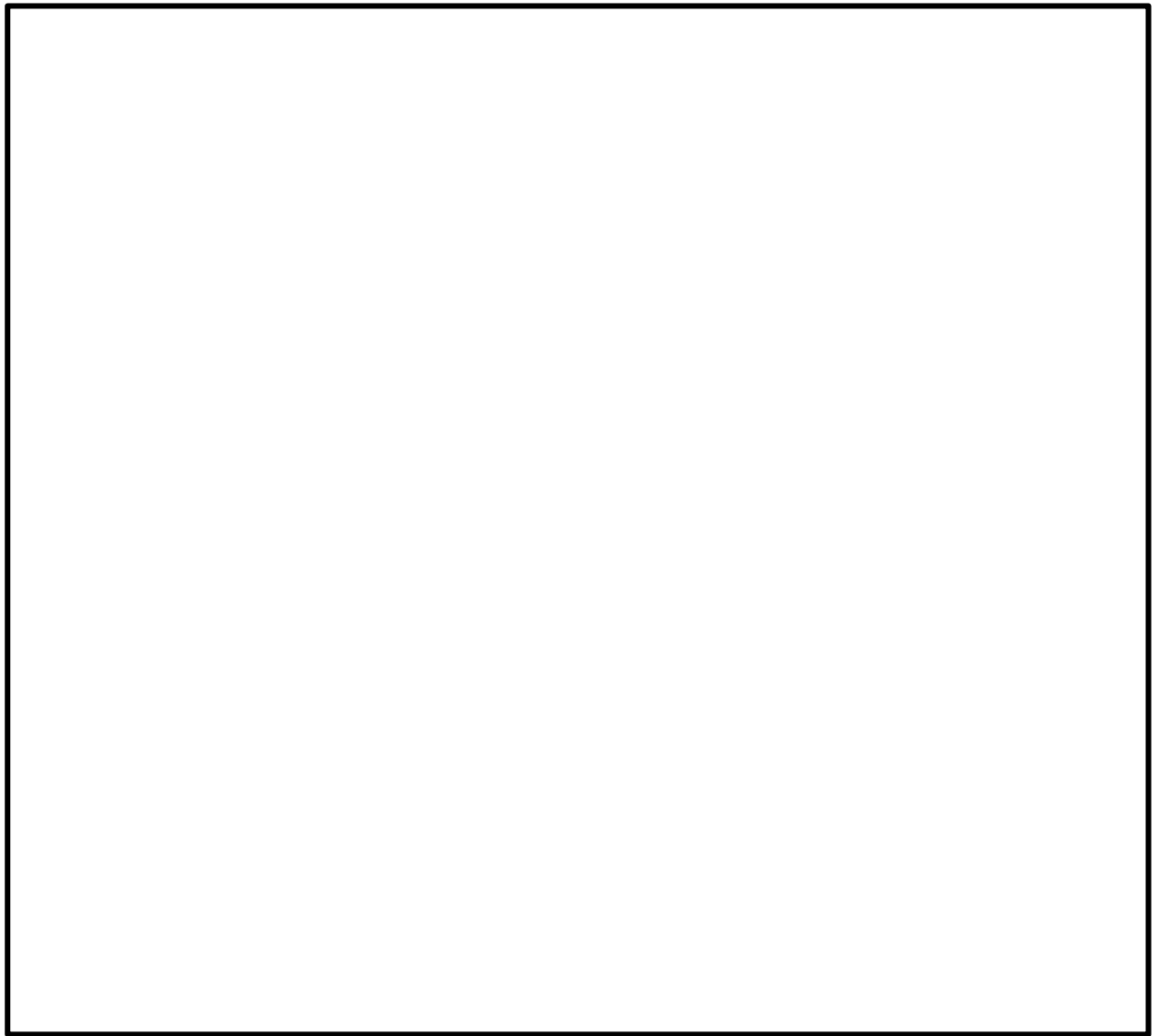


図 3-1 貫通部シールのモデル化範囲

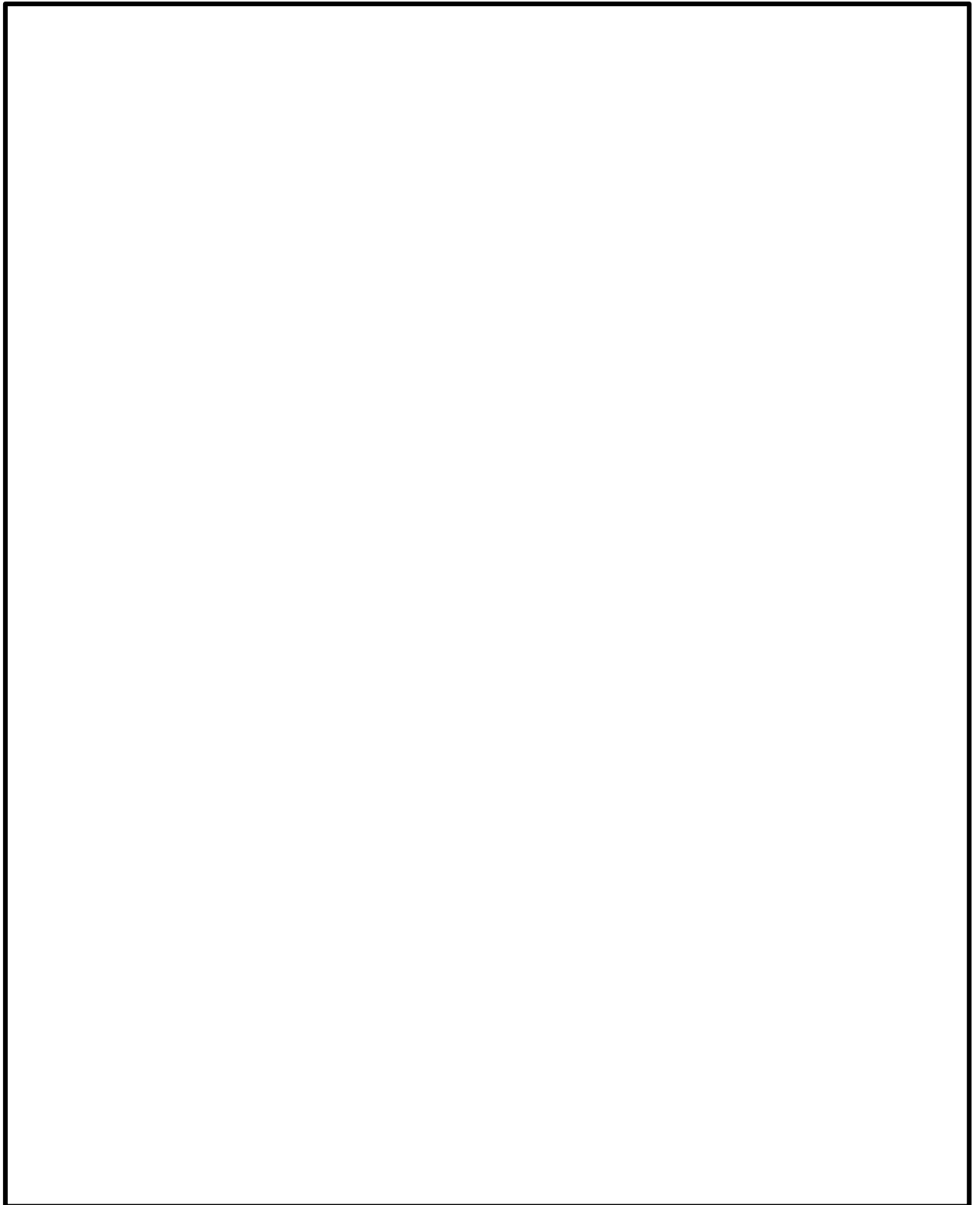


図 3-2 応力計算のモデル

表 4-1 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	70	143	104	284
P01' P02'	71	143	105	284

表 4-2 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	185	208	271	416
P01' P02'	190	208	279	416

表 4-3 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	381*	576*	360
P01'	381*	576*	360
P02	402*	607*	360
P02'	402*	607*	360

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表 5-1 疲労累積係数
 応力評価点 — P01
 材料 — SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c/N_a
1	576	1.788	976	873	967	592	150	0.254
疲労累積係数 $U_{S_s} = 0.254$								
疲労累積係数 $U_n = 0.001$								
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} = 0.255$								
2	381	1.328	646	429	476	7356	300	0.041
疲労累積係数 $U_{S_d} = 0.041$								
疲労累積係数 $U_n = 0.001$								
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_d} = 0.042$								

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.2.1 項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0/E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表 5-2 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	0.041	0.254	0.255	1.0
P01'	0.001	0.041	0.254	0.255	1.0
P02	0.000	0.003	0.066	0.066	1.0
P02'	0.001	0.003	0.066	0.067	1.0

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-2-3-3-2-5 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 外荷重条件	8
3.4 材料	8
3.5 物性値	8
3.6 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.7 荷重の組合せ	8
3.8 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	10
5. 応力計算	11
5.1 応力評価点	11
5.2 内圧による応力	11
5.2.1 荷重条件 (L01)	11
5.2.2 計算方法	11
5.3 外荷重による応力	11
5.3.1 荷重条件 (L04, L14, L15, L16 及び L17)	11
5.3.2 計算方法	11
5.4 応力の評価	11

6. 応力強さの評価	12
6.1 一次一般膜応力強さの評価	12
6.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	12
6.3 一次＋二次応力強さの評価	12
7. 繰返し荷重の評価	13
7.1 疲労解析	13
7.1.1 疲労累積係数	13
8. 参照図書	14

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、クラス 1 容器の規定である設計・建設規格 PVB-3110 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>差圧検出・ほう酸水注入系配管 (単位: mm)</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。

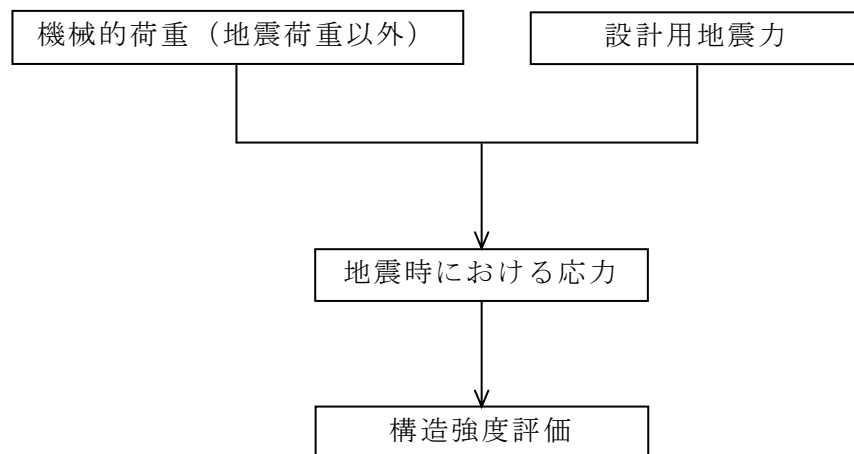


図 2-1 差圧検出・ほう酸水注入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管）の耐震評価フロー

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項に示す。

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。

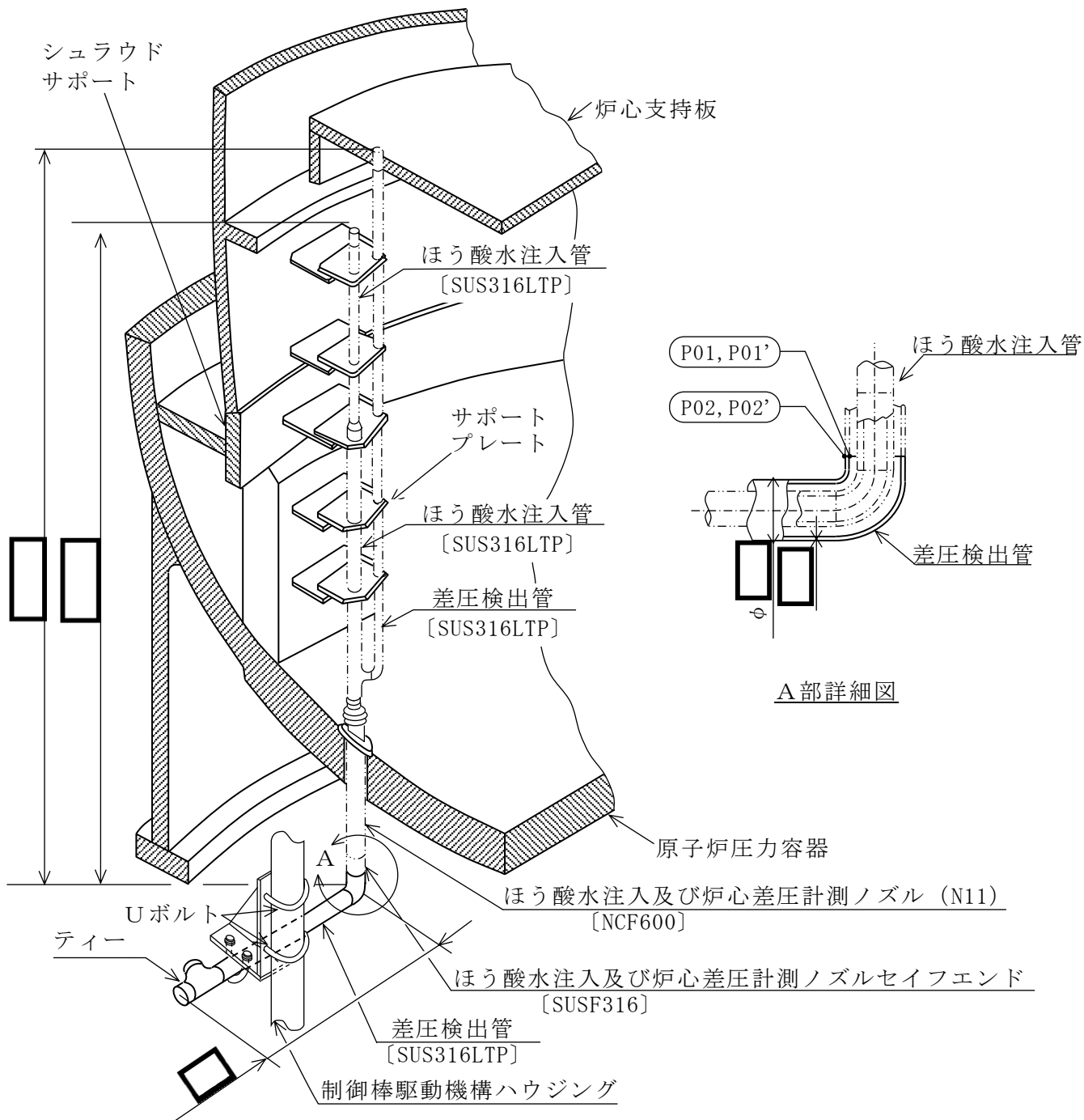
2.6 解析範囲

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。



○ : 応力評価点
[] : 材 料

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 項に示す。

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 項に示す。

3.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

3.4 材料

各部の材料を図 2-2 に示す。

3.5 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 項に示す。

3.6 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 項に示す。

3.7 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.8 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.5 項に示す。

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。

据付場所及び 床面高さ(m)	炉心シュラウド (EL 19.196~21.571) 原子炉圧力容器下鏡 (EL 16.508~18.250)	
	設計震度	
地震力	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）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）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 5.3.2 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 項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 項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 項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

それぞれの部分で最も厳しい応力評価点における疲労累積係数の計算結果を表 7-1 に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表 7-2 に示す。

表 7-2 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 項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（原子炉圧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

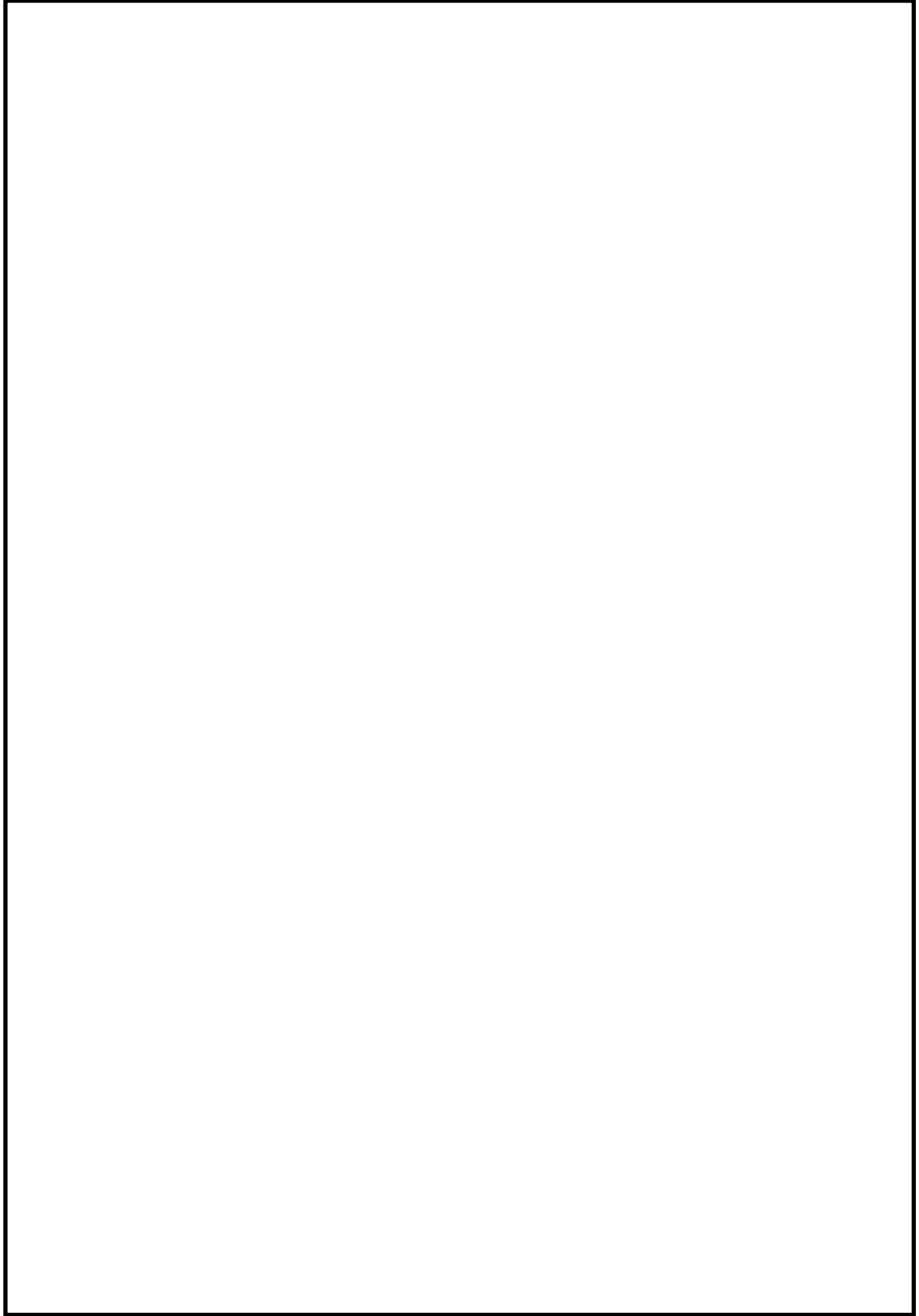


図 4-1 解析モデル

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	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

応力評価点 — P01

材 料 — SUS316LTP

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_{ℓ}^{*1} (MPa)	$S_{\ell}'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	89	—	397	199	221	409360	300	0.001
疲労累積係数 $U_{Sd} =$								0.001
2	233	—	1036	518	574	3552	150	0.043
疲労累積係数 $U_{Ss} =$								0.043
疲労累積係数 $U_f = U_n^{*3} + U_{Ss} =$								0.043

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.2.1 項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_{ℓ} に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = 1.95 \times 10^5 \text{ MPa}, 1.76 \times 10^5 \text{ MPa}$$

*3：参照図書(1)b.のとおり，運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労解析は不要である。

表 7-2 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^{*1}	
P01	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P01'	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P02	—*2	0.001	0.043	0.043	1
P02'	—*2	0.001	0.043	0.043	1

注記*1：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。

*2：参照図書(1)b.のとおり、運転状態Ⅰ及びⅡにおける疲労解析は不要である。

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-2-3-3-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針

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
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 計算条件	7
3.1 評価対象機器	7
3.2 形状及び寸法	7
3.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.4 許容応力	7
3.5 許容応力評価条件	8
3.6 溶接部の継手効率	8
4. 荷重条件	9
4.1 設計条件	9
4.2 運転条件	9
4.3 外荷重条件	9
4.4 荷重の組合せ	9
5. 応力評価の手順	10
5.1 計算に使用する解析コード	10
5.2 応力の評価	10
5.2.1 主応力	10
5.2.2 応力強さ	10
5.2.3 一次応力強さ	10
5.3 特別な応力の評価	11
5.3.1 純せん断応力の評価	11
6. 評価結果の添付	12
6.1 応力評価結果	12
7. 引用文献	13
8. 参照図書	13
添付1 溶接部の継手効率	32

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、原子炉圧力容器内部構造物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圧力容器内部構造物の応力評価は、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）

蒸気乾燥器

気水分離器及びスタンドパイプ

シュラウドヘッド

ジェットポンプ

給水スパージャ

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ

低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）

高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）

原子炉中性子計装案内管

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、各計算書に示す。

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

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表 2-1 に示す。

原子炉圧力容器内部構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 蒸気乾燥器
- (2) 気水分離器及びスタンドパイプ
- (3) シュラウドヘッド
- (4) ジェットポンプ
- (5) 給水スパージャ
- (6) 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ
- (7) 低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）
- (8) 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）
- (9) 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）
- (10) 原子炉中性子計装案内管

表 2-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>蒸気乾燥器は原子炉圧力容器内部のドライヤ支持ブラケットにより支持される。気水分離器及びスタンドパイプはシュラウドヘッドに溶接により接続され、シュラウドヘッドは炉心シュラウド上にシュラウドヘッドボルトによりフランジ接続される。ジェットポンプは再循環水入口ノズルから接続されシュラウドサポート及び原子炉圧力容器により支持される。給水スパージャは給水ノズルから接続され原子炉圧力容器内部のブラケットにより支持される。高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは炉心シュラウドにより支持される。低圧注水系配管は、低圧注水ノズルから接続され炉心シュラウドにより支持される。高圧及び低圧炉心スプレイ系配管は高圧炉心スプレイノズル及び低圧炉心スプレイノズルから接続され原子炉圧力容器内部のブラケット及び炉心シュラウドにより支持される。差圧検出・ほう酸水注入系配管はほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズルから接続され、炉心シュラウド及びシュラウドサポートに設置されたサポートプレートにより支持される。原子炉中性子計装案内管は下部を原子炉中性子計装ハウジングに溶接され、上部は炉心支持板により水平方向を支持される。</p>	<p>原子炉圧力容器内部構造物は蒸気乾燥器、気水分離器及びスタンドパイプ、シュラウドヘッド、ジェットポンプ、給水スパージャ、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ、低圧注水系配管、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管、差圧検出・ほう酸水注入系配管、原子炉中性子計装案内管により構成される。</p>	

2.2 評価方針

原子炉圧力容器内部構造物の構造強度評価は、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」にて示す原子炉圧力容器内部構造物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。

原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フローを図2-1に示す。

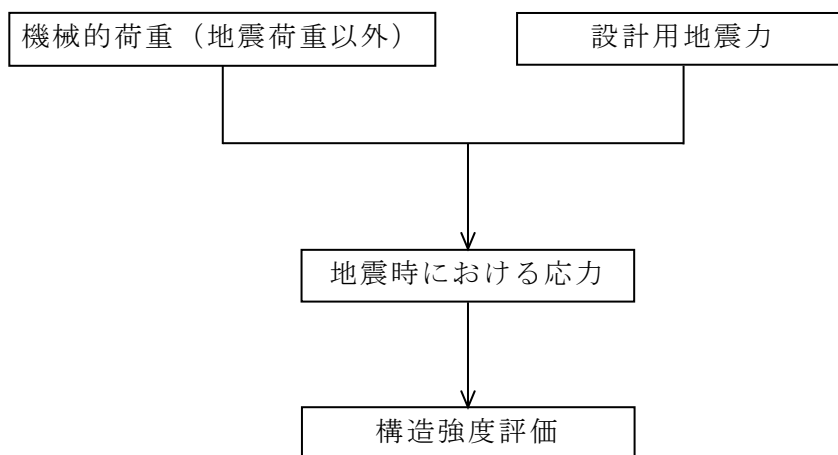


図2-1 原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フロー

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、本書添付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
F	軸力	N
S	せん断力	N
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	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_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_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
T	ねじりモーメント	N・mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
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
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
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	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
荷重名称	死荷重*1	—*2	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁目
	地震荷重	—*2	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁目
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
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：蒸気乾燥器を対象とする。

*2：機器毎に考慮する荷重に応じた単位を適用する。

*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。

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)	
		Ⅲ A S, Ⅳ A S	V A S
(1)	蒸気乾燥器	○	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	○	×*
(3)	シュラウドヘッド	○	×*
(4)	ジェットポンプ	○	○
(5)	給水スパージャ	○	○
(6)	高圧及び低圧炉心スプレイ スパージャ	○	○
(7)	低圧注水系配管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(8)	高圧及び低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(9)	差圧検出・ほう酸水注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	○	○
(10)	原子炉中性子計装案内管	○	×*

注：「○」は評価対象，「×」は評価対象外を示す。

注記*：設計基準対象施設としてのみ申請する機器

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 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉圧力容器内部構造物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(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1(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。

3.4 許容応力

原子炉圧力容器内部構造物の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 に示す。

3.5 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態Ⅲ_{A S}及び許容応力状態Ⅳ_{A S}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。
- (2) 許容応力状態Ⅴ_{A S}の一次応力の評価には、運転状態Ⅴにおける流体の最高温度（℃）を上回る運転状態Ⅲにおける流体の最高温度（℃）に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の許容応力評価条件を表 3-3 に示す。
なお、各機器で使用される材料は、各計算書に示す。

3.6 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は、継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により、設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は、材料の許容応力に継手効率を乗じたものとし、各計算書に示す。

4. 荷重条件

原子炉圧力容器内部構造物は、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)h.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)h.に定めるとおりである。

4.3 外荷重条件

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。

4.4 荷重の組合せ

荷重の組合せを表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) 差圧*	[L02]
(2) 死荷重	[L04]
(3) 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]
(4) 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]

注記*：許容応力状態ⅢA S及び許容応力状態ⅣA Sの応力評価には、運転状態Ⅰ及びⅡにおける差圧を用いる。

また、許容応力状態ⅤA Sの応力評価には、重大事故等時の運転状態を考慮して設定した差圧を用いることとし、各計算書に示す。

各機器の応力評価において考慮する差圧の値を図4-1に示す。

5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

5.1 計算に使用する解析コード

解析コードは「ABAQUS」及び「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。

5.2 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。荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表 4-2 に示す。

5.2.1 主応力

荷重ごとに計算した応力を重ね合わせた結果から、主応力を求める。

応力成分は一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分であるが、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。

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

5.2.2 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。

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

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

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

5.2.3 一次応力強さ

許容応力状態ⅢAS, 許容応力状態ⅣAS 及び許容応力状態ⅤAS において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力の応力強さが、3.4 項に示す許容応力を満足することを示す。

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 CSS-3114 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)i.に示し，許容応力は表 3-2 に示す。

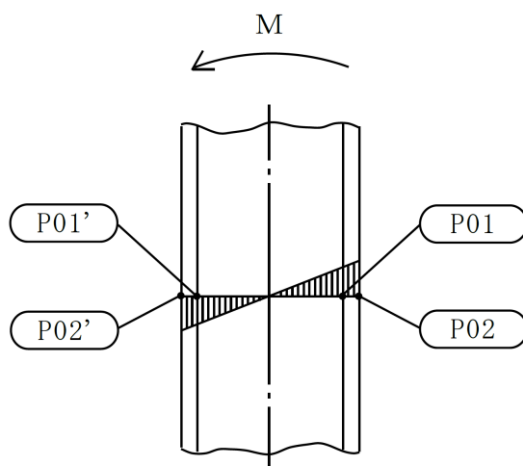
- (1) 蒸気乾燥器の耐震用ブロック

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。応力評価点を含む断面が円筒形状の場合、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。形状が複雑な部位については応力評価点毎に評価を行う。



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. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
- (2) 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

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 α 3 (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-2-2-4 「給水スパーージャの耐震性についての計算書」
 - b. IV-2-2-5 「高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの耐震性についての計算書」
 - c. IV-2-2-6 「ジェットポンプの耐震性についての計算書」
 - d. IV-2-2-7 「低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書」
 - e. IV-2-2-8 「高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の耐震性についての計算書」
 - f. IV-2-2-9 「差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧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」
 - g. IV-2-2-10 「原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書」
 - h. IV-3-1-2-1 「圧力容器内部構造物の応力解析の方針」
 - i. IV-3-1-2-2 「蒸気乾燥器の応力計算書」
 - j. IV-3-1-2-3 「シュラウドヘッドの応力計算書」
 - k. IV-3-1-2-4 「気水分離器及びスタンドパイプの応力計算書」
 - l. IV-3-1-2-5 「給水スパーージャの応力計算書」
 - m. IV-3-1-2-6 「高圧及び低圧炉心スプレイスパーージャの応力計算書」
 - n. IV-3-1-2-7 「ジェットポンプの応力計算書」
 - o. IV-3-1-2-8 「低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書」
 - p. IV-3-1-2-9 「高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書」
 - q. IV-3-1-2-10 「差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算書」
 - r. IV-3-1-2-11 「原子炉中性子計装案内管の応力計算書」

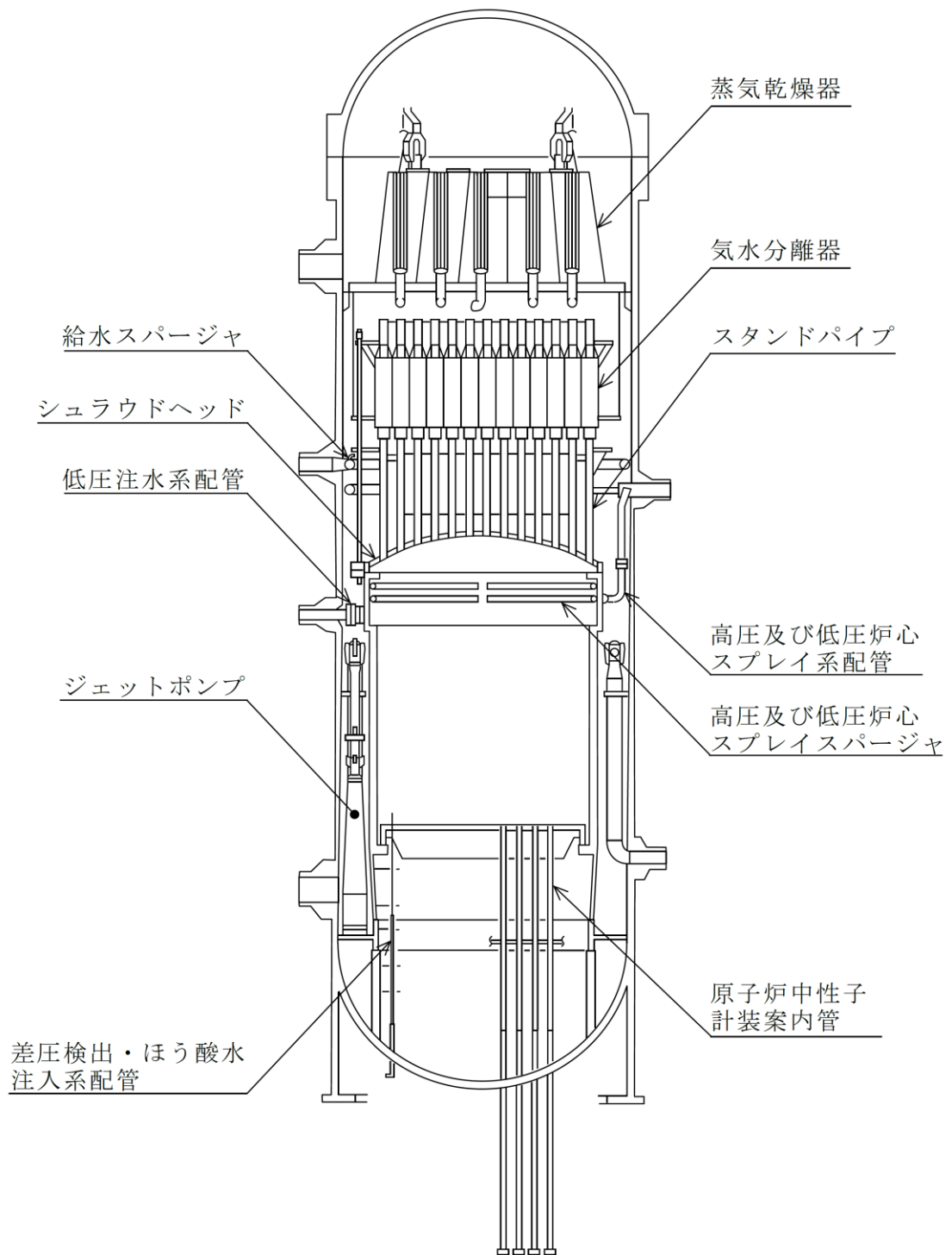
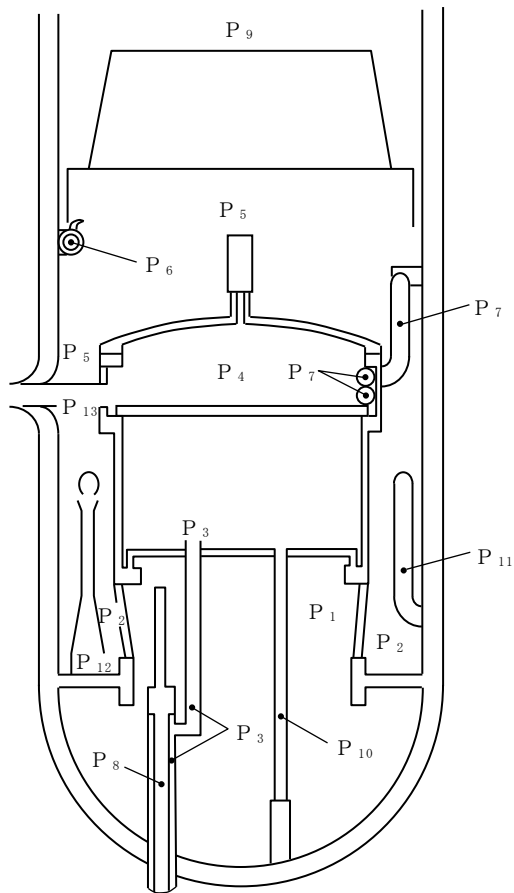


図 3-1 全体断面図



(単位：MPa)

部位		許容応力状態		
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	V A S
蒸気乾燥器	$P_{59} = P_5 - P_9$	0.004	0.004	—*
気水分離器及び スタンドパイプ	$P_{45} = P_4 - P_5$	0.07	0.07	—*
シュラウドヘッド	$P_{45} = P_4 - P_5$	0.07	0.07	—*
ジェットポンプ	$P_{112} = P_{11} - P_2$	2.07	2.07	2.07
	$P_{122} = P_{12} - P_2$	0.24	0.24	0.40
給水スパージャ	$P_{65} = P_6 - P_5$	0.40	0.40	0.40
高圧及び低圧炉心 スプレースパージャ	$P_{74} = P_7 - P_4$	0.65	0.65	0.65
低圧注水系配管	$P_{135} = P_{13} - P_5$	0.07	0.07	0.35
高圧及び低圧炉心 スプレイ系配管	$P_{75} = P_7 - P_5$	0.65	0.65	0.65
差圧検出・ほう酸水 注入系配管	$P_{13} = P_1 - P_3$	0.18	0.18	0.20
	$P_{81} = P_8 - P_1$	0.59	0.59	0.59
	$P_{83} = P_8 - P_3$	0.59	0.59	0.59
原子炉中性子計装案内管	$P_{110} = P_1 - P_{10}$	0.18	0.18	—*

注記*：各計算書において使用しないため記載を省略する。

図 4-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力評価において考慮する差圧

表 3-1(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 内部 構造物	蒸気乾燥器 気水分離器及びスタンド パイプ シュラウドヘッド ジェットポンプ 給水スパージャ 高圧及び低圧炉心 スプレースパージャ	S	—	$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	Ⅲ A S
		低圧注水系配管 （原子炉圧力容器内部） 高圧及び低圧炉心 スプレイ系配管 （原子炉圧力容器内部） 差圧検出・ほう酸水 注入系配管 （原子炉圧力容器内部） 原子炉中性子計装案内管			$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S

[記号の説明]

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又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 : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重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S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

表 3-1(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
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	ジェットポンプ 高圧及び低圧炉心 スプレイスパージャ 高圧及び低圧炉心 スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部)	常設／防止 (DB 拡張)	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
		$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$			VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)	
		給水スパージャ 低圧注水系配管 (原子炉圧力容器内部)	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB 拡張)	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
		$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$			VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)	
		差圧検出・ほう酸水 注入系配管 (原子炉圧力容器内部)	常設耐震／防止 常設／緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
		$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$			VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)	

[記号の説明]

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又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 : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重

注記* : 「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。

表 3-2 許容応力 (炉内構造物)

許容応力状態	許容限界*		
	一次一般膜応力	一次一般膜+一次曲げ応力	純せん断応力
ⅢAS	$1.5 \cdot S_m$	左欄の 1.5 倍の値	$0.9 \cdot S_m$
ⅣAS	$2/3 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	$1.2 \cdot S_m$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣAS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 3-3(1) 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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
原子炉 压力容器 内部 構造物	オーステナイト 系ステンレス鋼 及び高ニッケル 合金	SUS304L	流体の最高温度				
		SUS304LTP	流体の最高温度				
		SUS316	流体の最高温度				
		SUS316L	流体の最高温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
		SUSF316L	流体の最高温度				
		SCS19A	流体の最高温度				
		NCF600	流体の最高温度				

表 3-3(2) 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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)
原子炉 压力容器 内部 構造物	オーステナイト 系ステンレス鋼 及び高ニッケル 合金	SUS316	流体の最高温度				
		SUS316L	流体の最高温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
		SUSF316L	流体の最高温度				

表 4-1(1) 外荷重

蒸気乾燥器外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	
		V_1^{*1} (kN)	V_2^{*2} (kN)	H_1^{*3} (kN)	H_2^{*4} (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

表 4-1(2) 外荷重

気水分離器及びスタンドパイプ外荷重

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

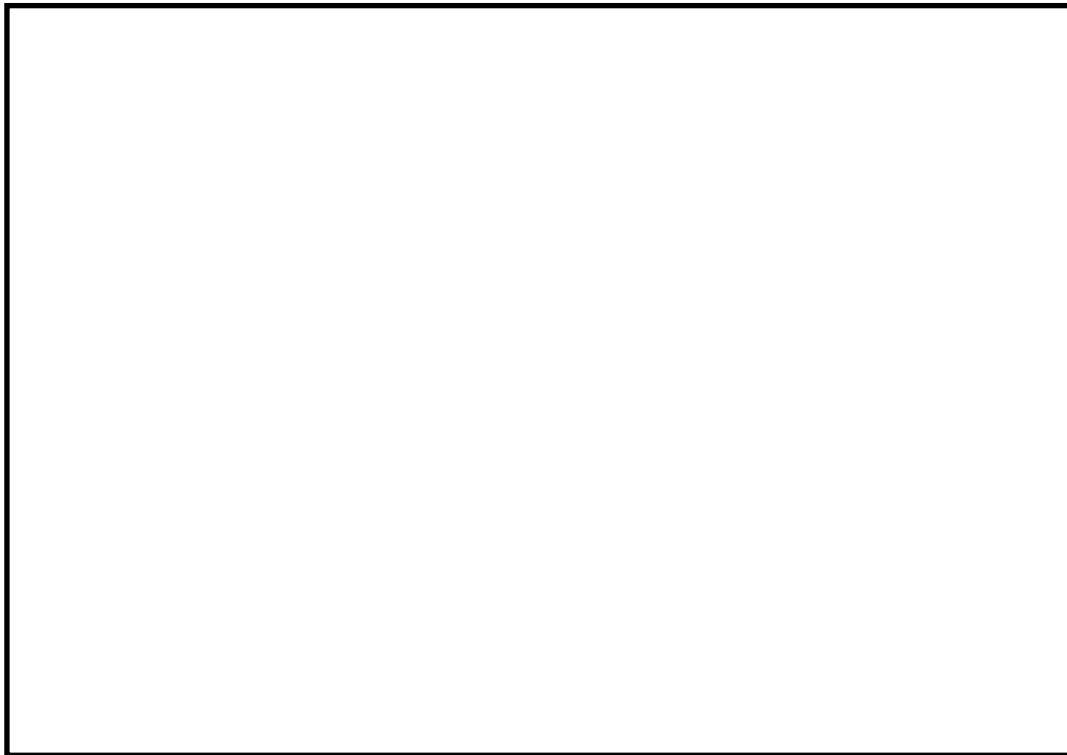


表 4-1(3) 外荷重

シュラウドヘッド外荷重

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

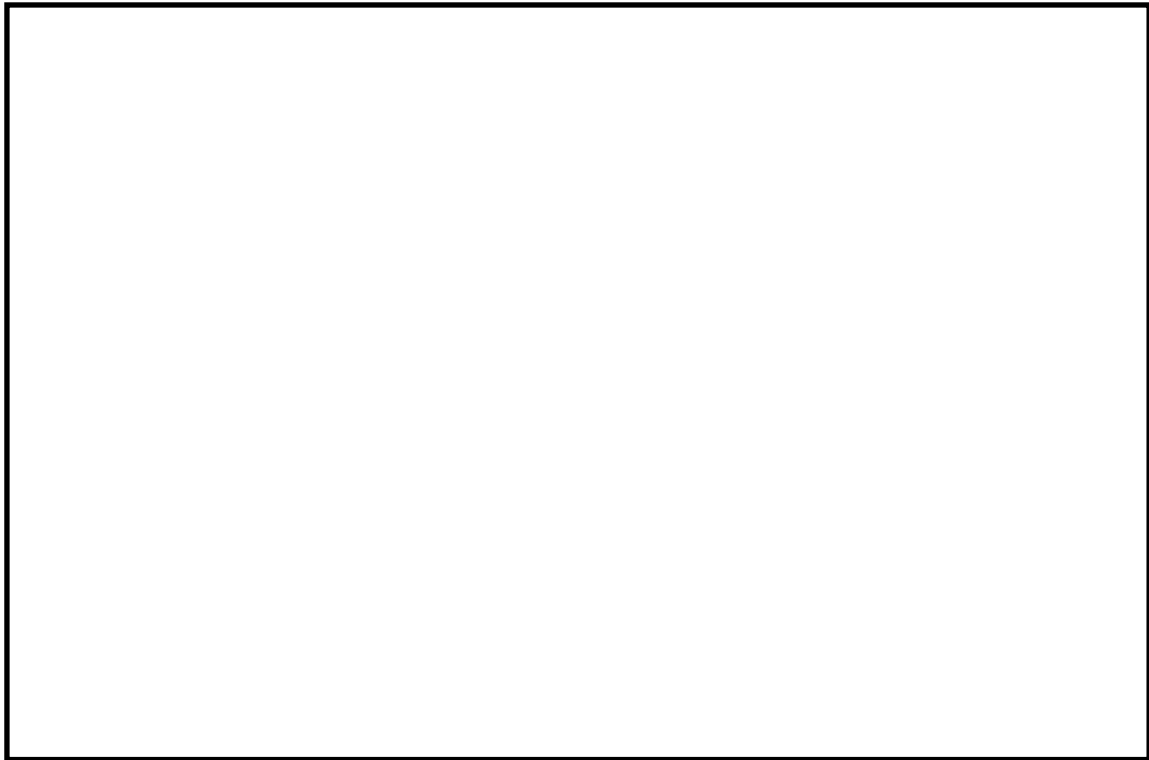


表 4-1(4) 外荷重

ジェットポンプ外荷重

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				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				

--

表 4-1(5) 外荷重

給水スパージャ外荷重

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				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				
		C				

--	--

表 4-1(6) 外荷重

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ外荷重

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				
		B				
L14	地震荷重 S _d *	A				
		B				
L16	地震荷重 S _s	A				
		B				

--

表 4-1(7) 外荷重

低圧注水系配管外荷重

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				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				

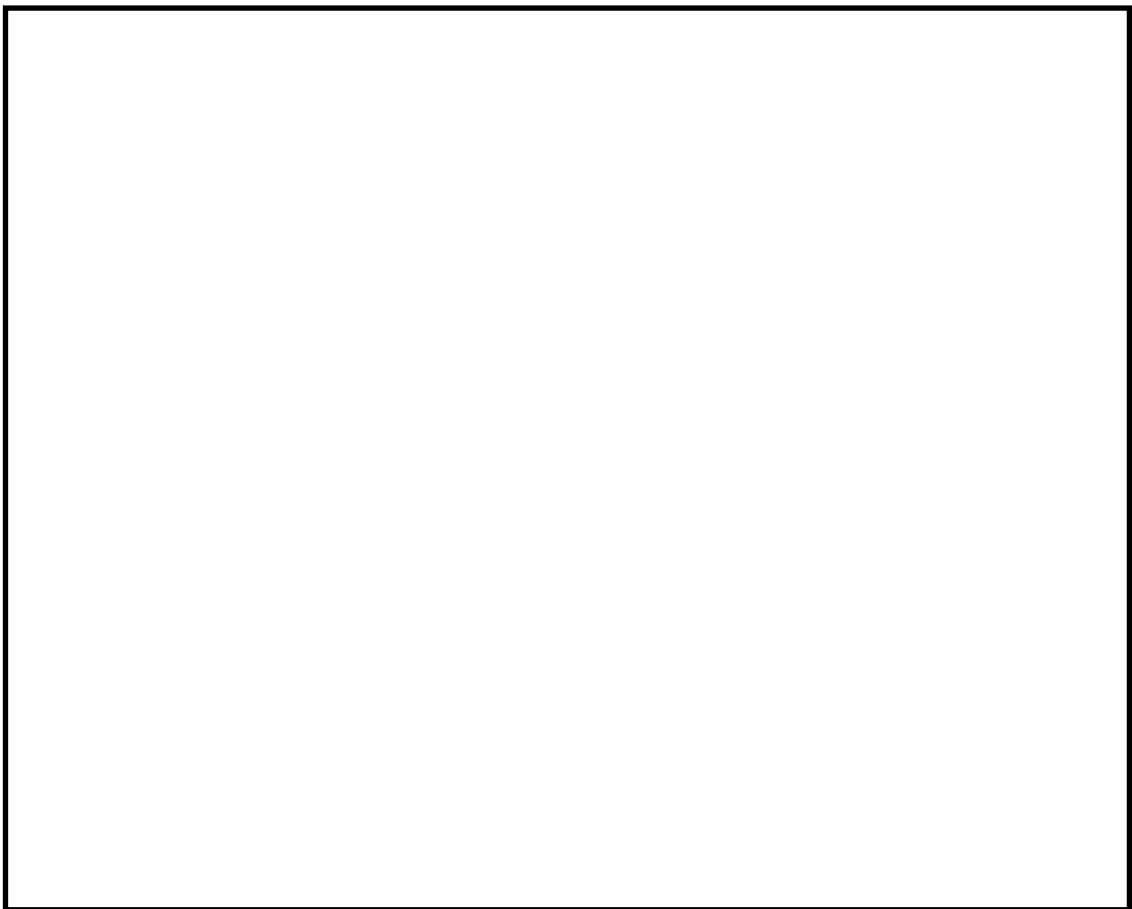


表 4-1(8)-1 外荷重

高压炉心スプレイ系配管外荷重

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				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S s	A				
		B				
		C				

--

表 4-1(8)-2 外荷重

低圧炉心スプレイ系配管外荷重

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				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S d *	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S s	A				
		B				
		C				

--

S2 補 VI-2-3-3-3-1 R1

表 4-1(10) 外荷重

原子炉中性子計装案内管外荷重

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

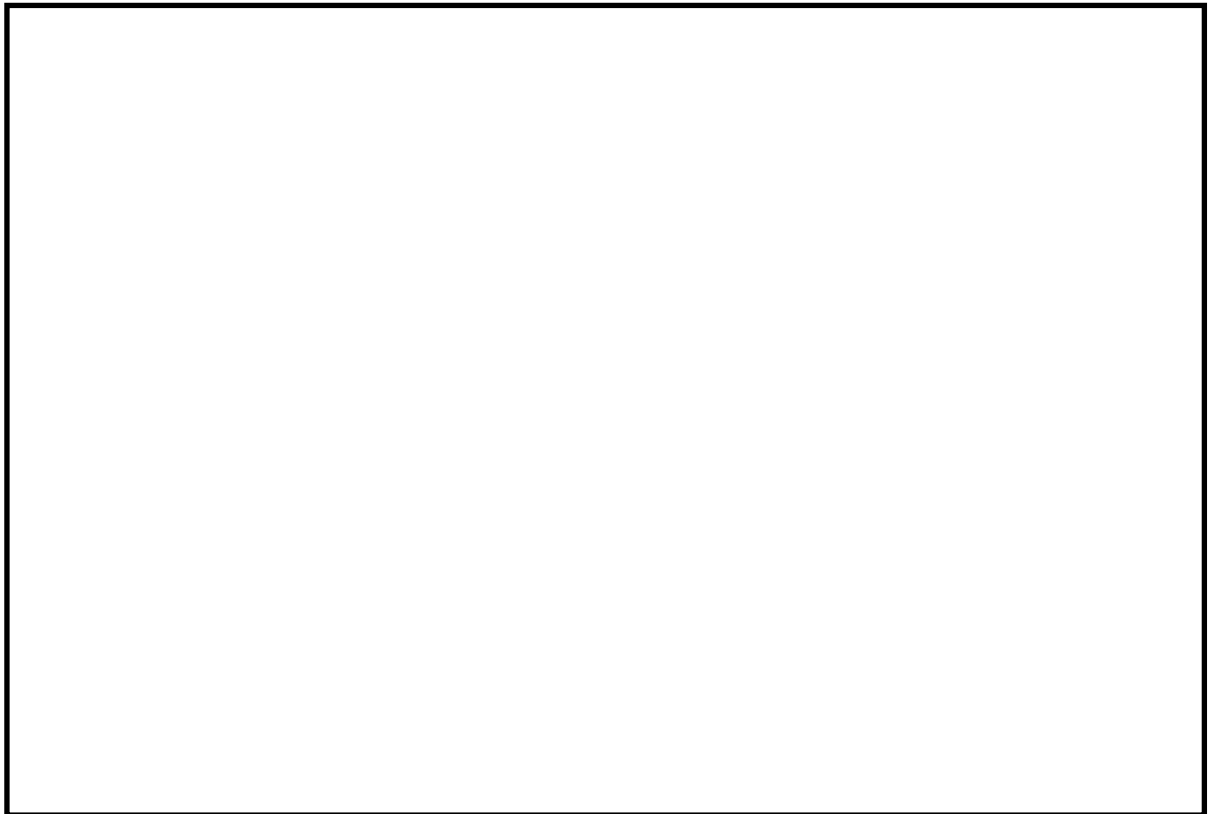


表 4-2 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$
Ⅴ A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

添付 1 溶接部の継手効率

原子炉圧力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、付表-1 のとおりに定められる。

付表-1(1)

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
蒸気乾燥器	リングとブロックの継手			
気水分離器及びスタンドパイプ	管と鏡板の周継手			
シュラウドヘッド	鏡板と胴の周継手			
ジェットポンプ	ディフューザ下部の周継手			
	ライザブレースと原子炉圧力容器内壁との継手			
給水スパージャ	管と管の周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ	管と管の周継手			
低圧注水系配管	フランジネックとリングの周継手			
	サーマルスリーブとフランジネックの周継手			
高圧及び低圧炉心スプレイ系配管	ヘッダと管の周継手			
	管と管の周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

- P P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する C の検査
- R P T + P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査
- P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査

付表-1(2)

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
差圧検出・ほう酸水 注入系配管	管と管の周継手			
	管とアダプタの周 継手			
原子炉中性子計装 案内管	管と管の周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

P P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する C の検査

R P T + P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する D の検査

P T : 設計・建設規格 CSS-3150 に規定する E の検査

VI-2-3-3-3-2 蒸気乾燥器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	6
2.1 設計条件	6
2.2 運転条件	6
2.3 外荷重条件	6
2.4 材料	6
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
2.6 荷重の組合せ	6
2.7 許容応力	6
3. 応力計算	7
3.1 応力評価点	7
3.2 差圧による応力	7
3.2.1 荷重条件 (L02)	7
3.2.2 計算方法	7
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	8
4. 応力強さの評価	9
4.1 一次一般膜応力強さの評価	9
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9
5. 特別な応力の評価	10
5.1 純せん断応力の評価	10

1. 一般事項

本計算書は、蒸気乾燥器の耐震性についての計算書である。

蒸気乾燥器は、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、蒸気乾燥器は、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。

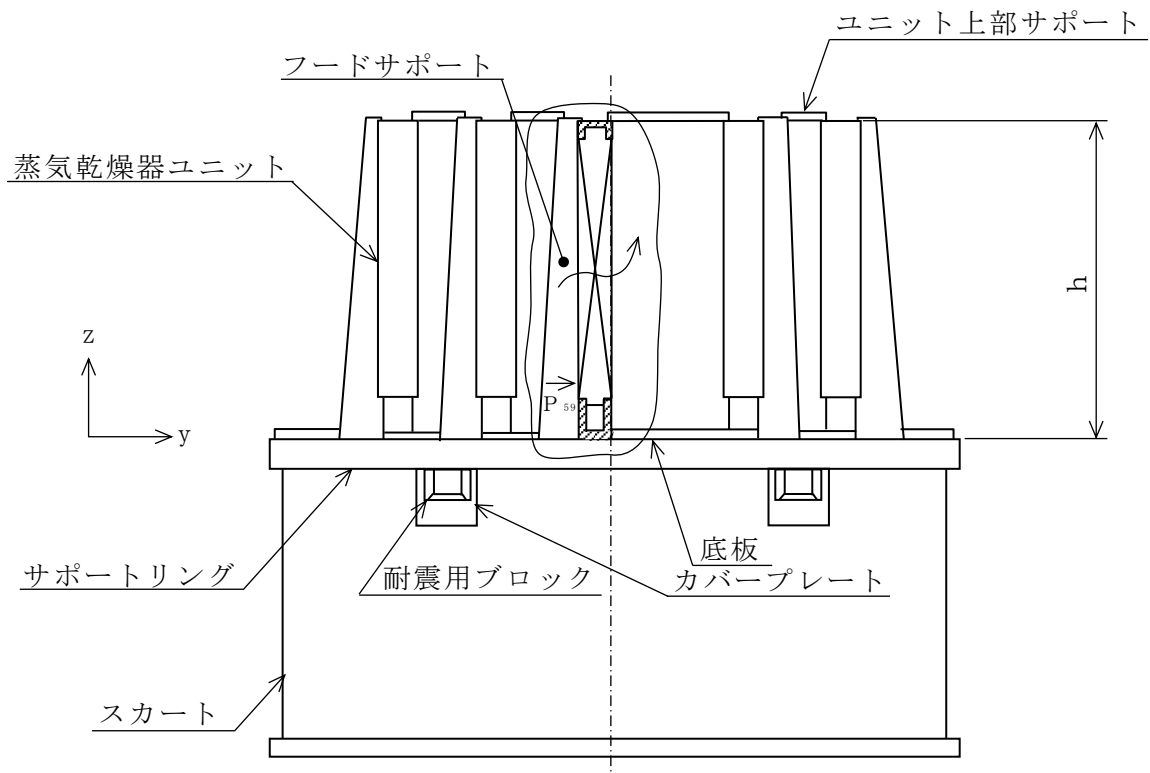
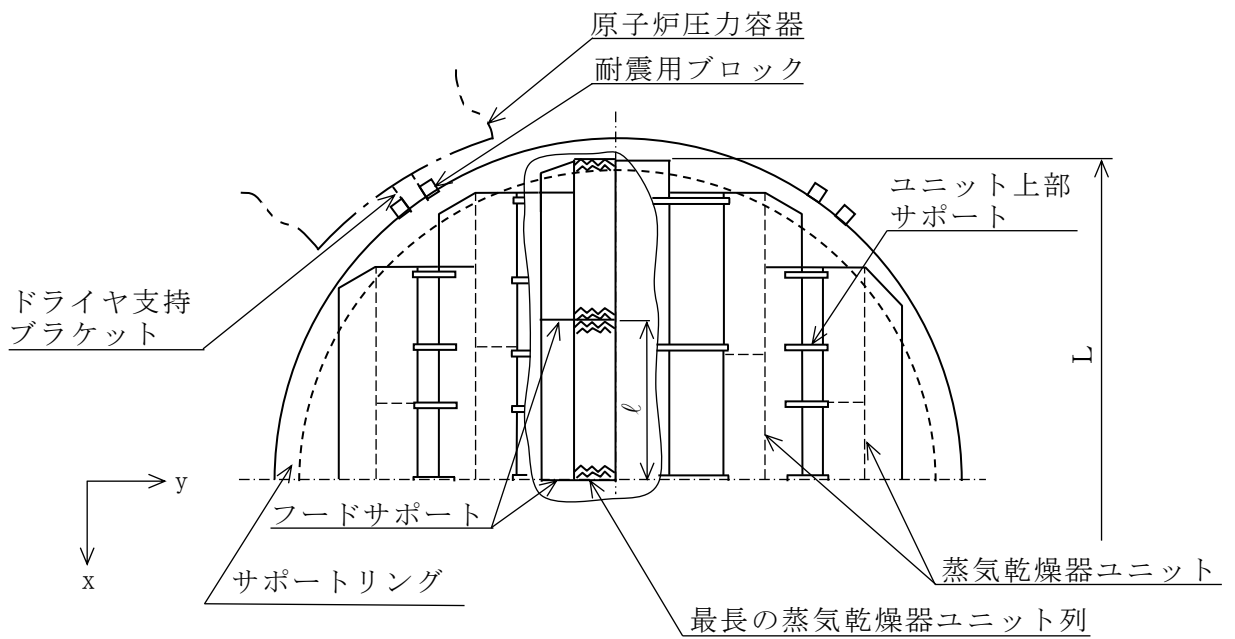
1.2 解析範囲

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。



- L = (最長蒸気乾燥器ユニット列の全長)
- ℓ = (最長蒸気乾燥器ユニット長さ)
- h = (蒸気乾燥器ユニット高さ)

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (蒸気乾燥器) (単位: mm)

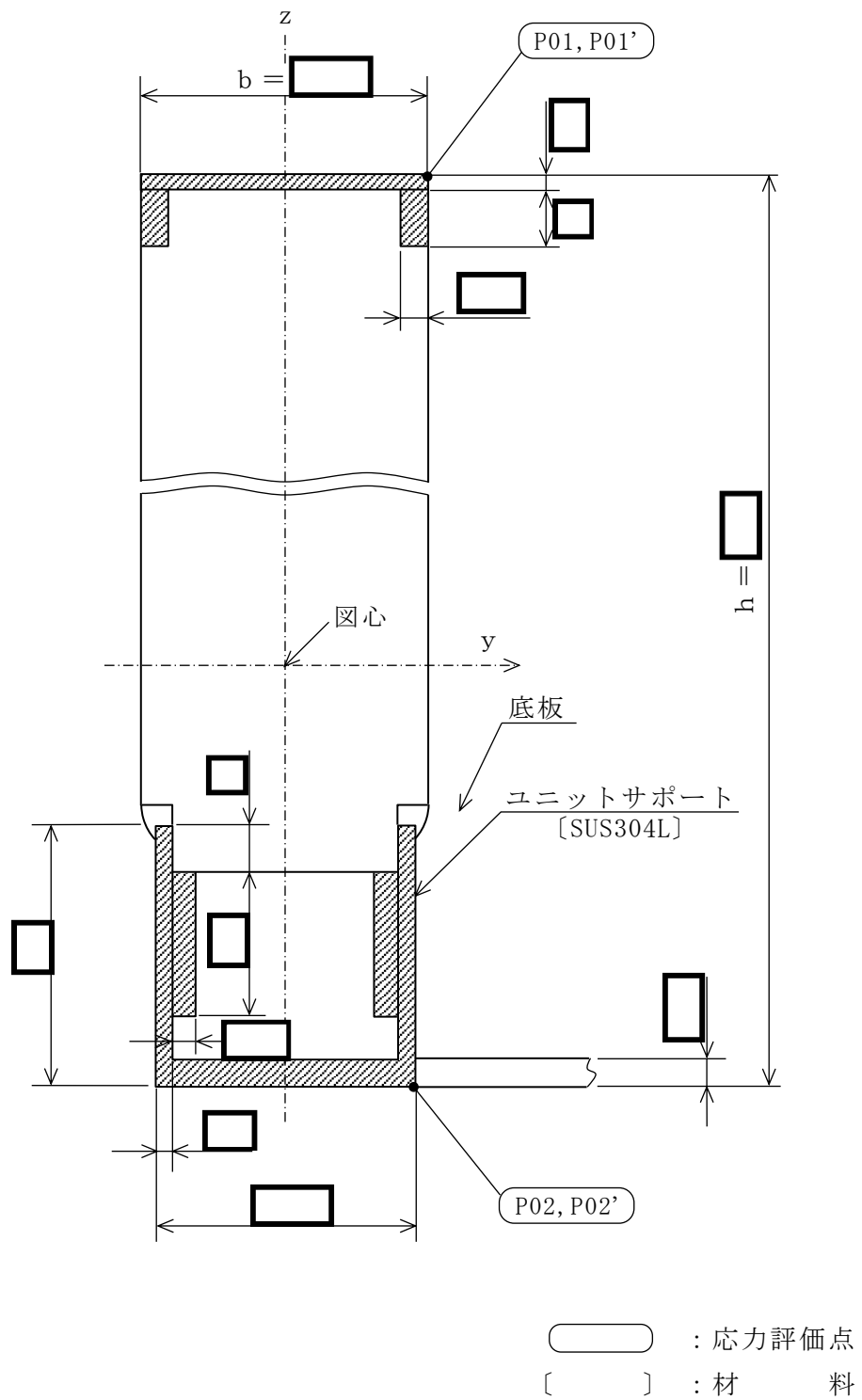


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (蒸気乾燥器ユニット) (単位: mm)

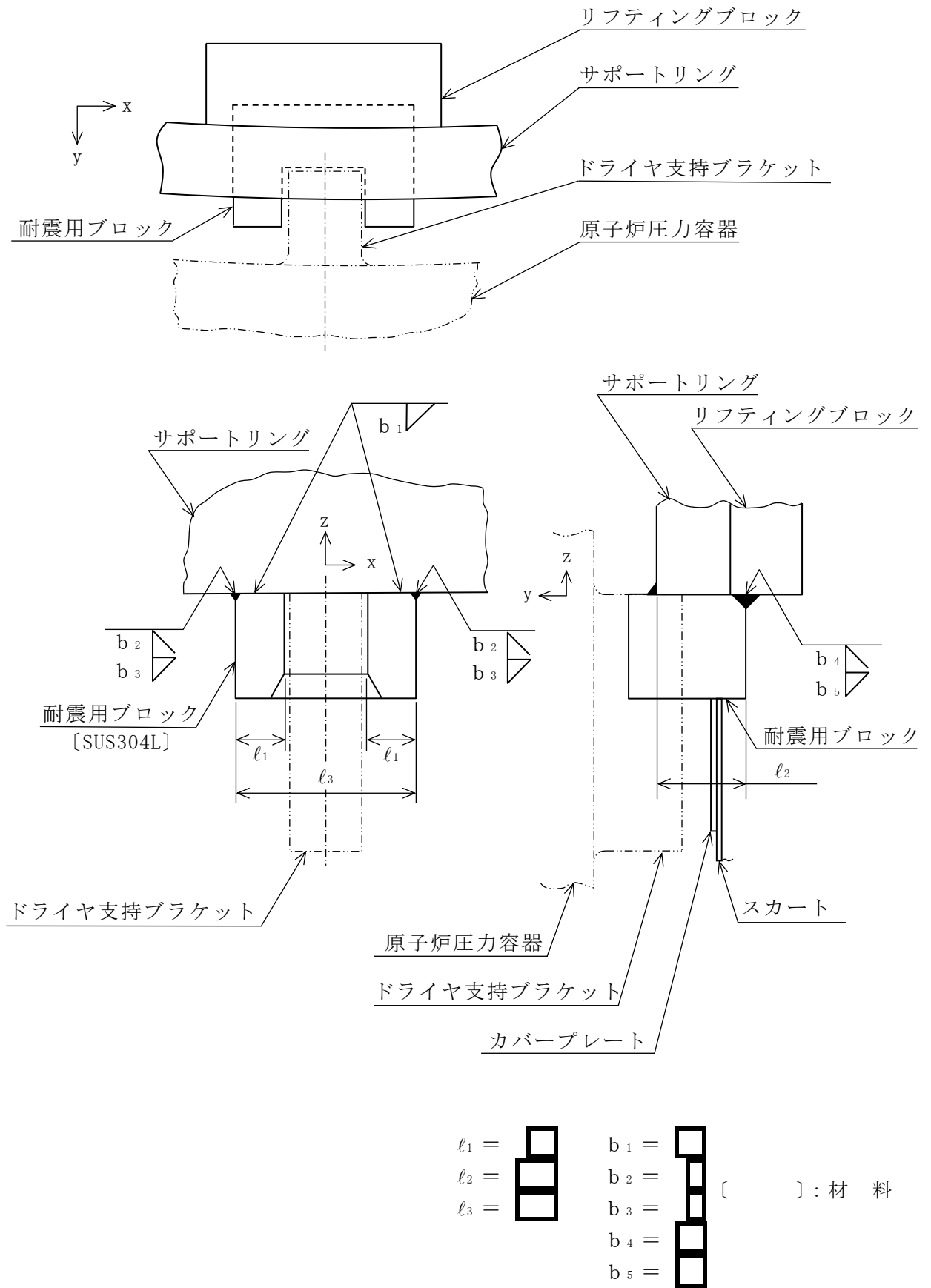


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (耐震用ブロック) (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要 (1/2)

(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	応力評価点
蒸気乾燥器 ユニット SUS304L	Ⅲ A S	4	145	P01-P02	11	218	P01'
	Ⅳ A S	6	233	P01-P02	20	349	P01'

表 1-1 計算結果の概要 (2/2)

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	純せん断応力	
		平均せん断応力	許容応力
耐震用ブロック SUS304L	Ⅲ A S	38	52*
	Ⅳ A S	65	69*

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

蒸気乾燥器には、5 列の蒸気乾燥器ユニットが配置されているが、このうち最長の蒸気乾燥器ユニット列の最大応力の生じる部分について考え、強度は、図 1-1(2)の斜線で示した部分が有効であるとする。

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)i. に定めるとおりである。

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

なお、水平方向は最長の蒸気乾燥器ユニット列のフードサポート間の範囲についてフードサポートを固定端として等分布荷重を受ける両端固定ばりに、鉛直方向は最長の蒸気乾燥器ユニット列についてサポートリングを支持端として等分布荷重を受ける両端支持ばりにモデル化し、各荷重と応力評価断面の断面性状より計算する。

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(1)に示す。

3.3.2 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)i. に定めるとおりである。

なお、水平方向は最長の蒸気乾燥器ユニット列のフードサポート間の範囲についてフードサポートを固定端として等分布荷重を受ける両端固定ばりに、鉛直方向は最長の蒸気乾燥器ユニット列についてサポートリングを支持端として等分布荷重を受ける両端支持ばりにモデル化し、各荷重と応力評価断面の断面性状より計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 純せん断応力の評価

(1) 計算方法

純せん断応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

なお、水平力による純せん断応力は、水平力と耐震用ブロック溶接部のせん断面積により計算する。

(2) 純せん断応力の評価

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、各許容応力状態の平均せん断応力は、「応力解析の方針」の3.4項及び3.6項に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さ（蒸気乾燥器ユニット）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	4	145	6	233
P01' P02'	2	145	4	233

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（蒸気乾燥器ユニット）の評価のまとめ
（単位：MPa）

応力評価点	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	6	218	14	349
P01'	11	218	20	349
P02	8	218	13	349
P02'	3	218	8	349

表 5-1 純せん断応力（耐震用ブロック）の評価
 （単位：MPa）

許容応力状態	平均せん断応力	許容応力
Ⅲ A S	38	52*
Ⅳ A S	65	69*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-3 気水分離器及びスタンドパイプ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	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	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

1. 一般事項

本計算書は、気水分離器及びスタンドパイプの耐震性についての計算書である。

気水分離器及びスタンドパイプは、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、気水分離器及びスタンドパイプは、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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

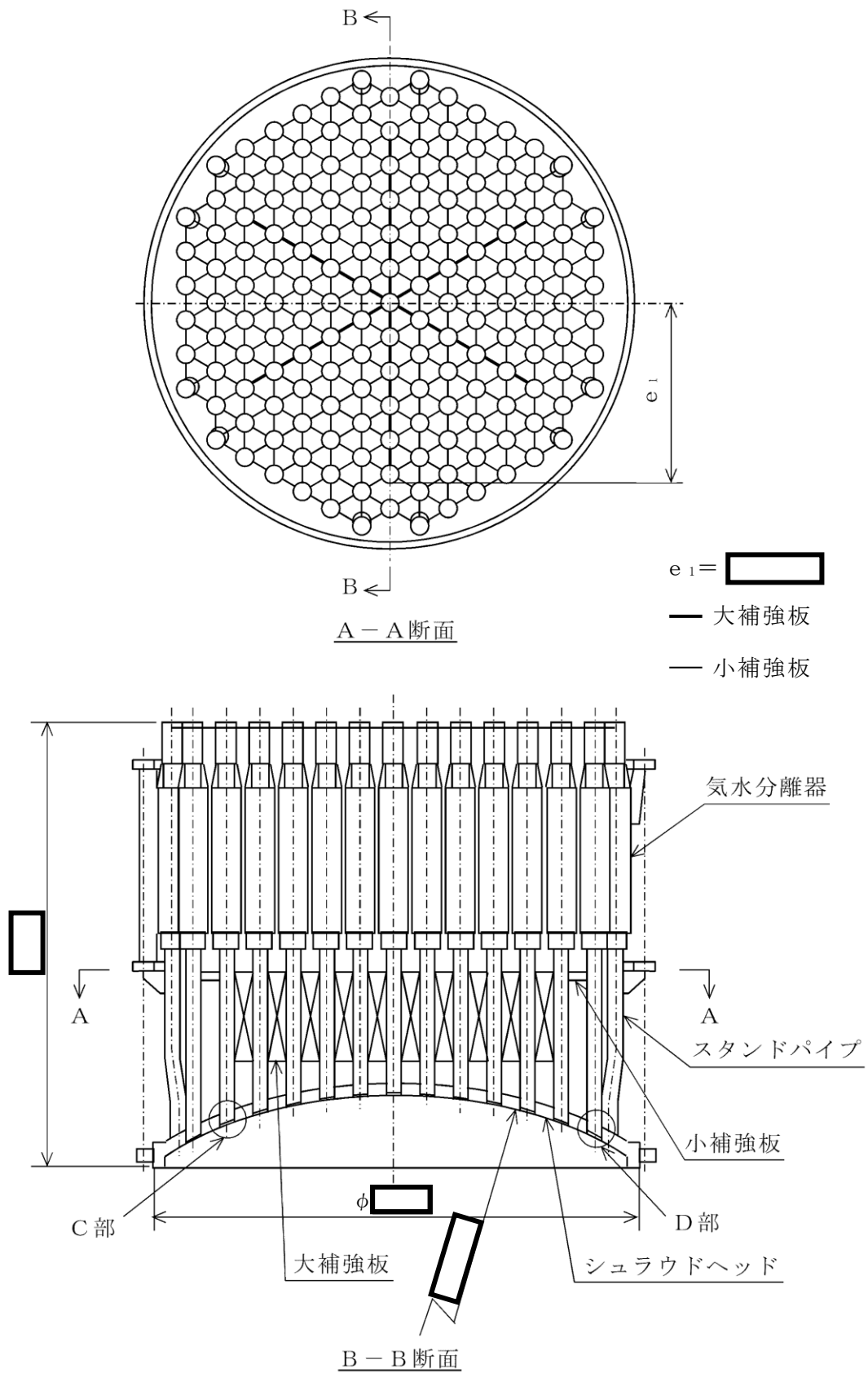
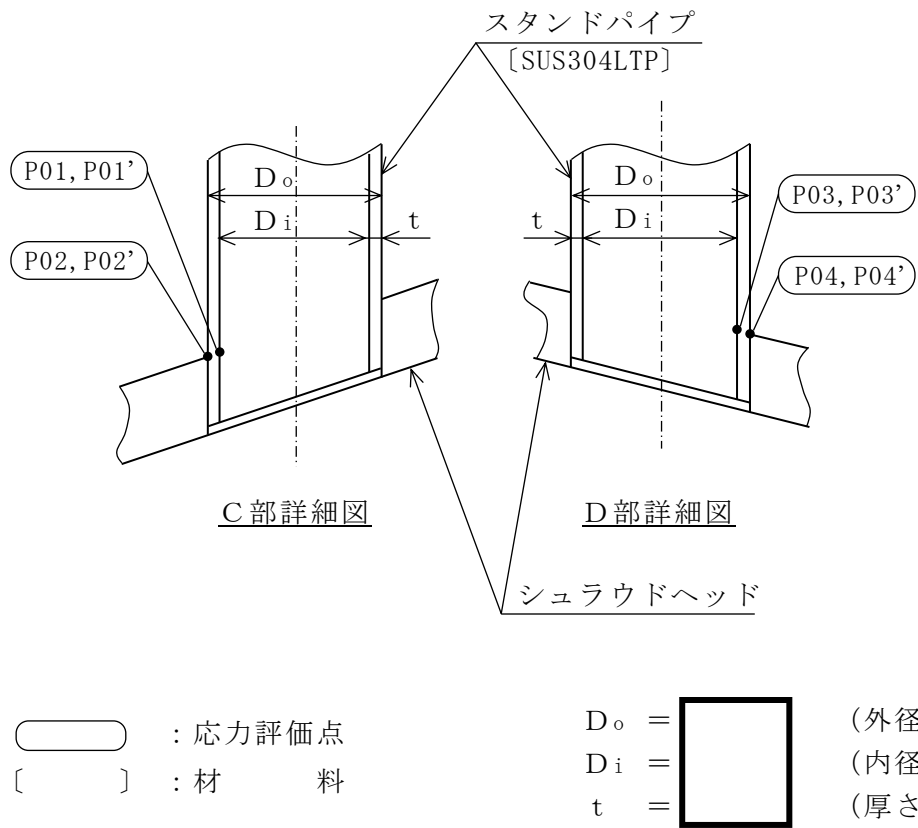


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm) (1/2)



注：C部詳細図は大補強板に接続するスタンドパイプ，D部詳細図は小補強板のみに接続するスタンドパイプを示す。

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点（単位：mm）（2/2）

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
スタンド パイプ SUS304LTP	Ⅲ A S	4	101*	P01'-P02'	57	152*	P01'-P02'
	Ⅳ A S	11	163*	P01'-P02'	169	244*	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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)k. に定めるとおりである。

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

なお、差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し、差圧と各応力評価断面の断面性状により計算する。

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、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k. 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。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

表 4-1 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	4	101*	11	163*
P01' P02'	4	101*	11	163*
P03 P04	4	101*	11	163*
P03' P04'	4	101*	11	163*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 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	55	152*	167	244*
P01' P02'	57	152*	169	244*
P03 P04	4	152*	13	244*
P03' P04'	6	152*	15	244*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-4 シュラウドヘッド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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件 (L02)	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	5
3.3.2 計算方法	5
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

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドヘッドの耐震性についての計算書である。

シュラウドヘッドは、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、シュラウドヘッドは、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。

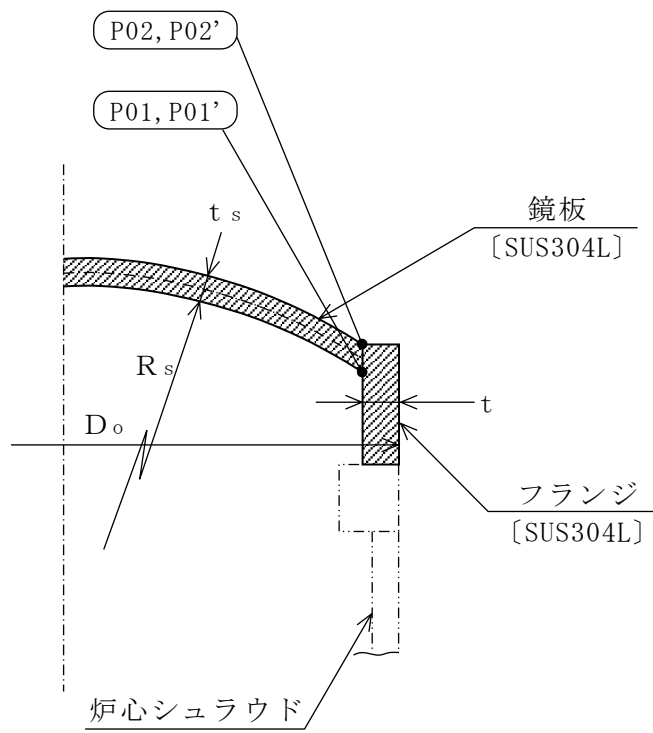
1.2 解析範囲

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。



- | | | | | |
|---------|---|----------|---|---------|
| $D_o =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | (外径) | <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> | : 応力評価点 |
| $R_s =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | (球殻の内半径) | <input style="width: 40px; height: 15px;" type="text"/> | : 材 料 |
| $t_s =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | (鏡板厚さ) | | |
| $t =$ | <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> | (フランジ厚さ) | | |

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	応力評価点
シュラウド ヘッド SUS304L	Ⅲ A S	31	94*	P01'-P02'	71	141*	P01'
	Ⅳ A S	80	151*	P01'-P02'	188	226*	P01'

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)j. に定めるとおりである。

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

なお、差圧による応力は、内圧を受ける薄肉球殻にモデル化し、差圧と応力評価断面の断面性状により計算する。

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(3)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による一次一般膜応力及び一次一般膜＋一次曲げ応力は、解析コード「ABAQUS」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。

解析モデル及び仮定した境界条件を、図 3-1 に示す。本解析モデルは

_____とする。

境界条件は、_____支持条件は_____

_____とする。

3.4 応力の評価

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 4-1 に示す。

表 4-1 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 項及び 3.6 項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 4-2 に示す。

表 4-2 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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

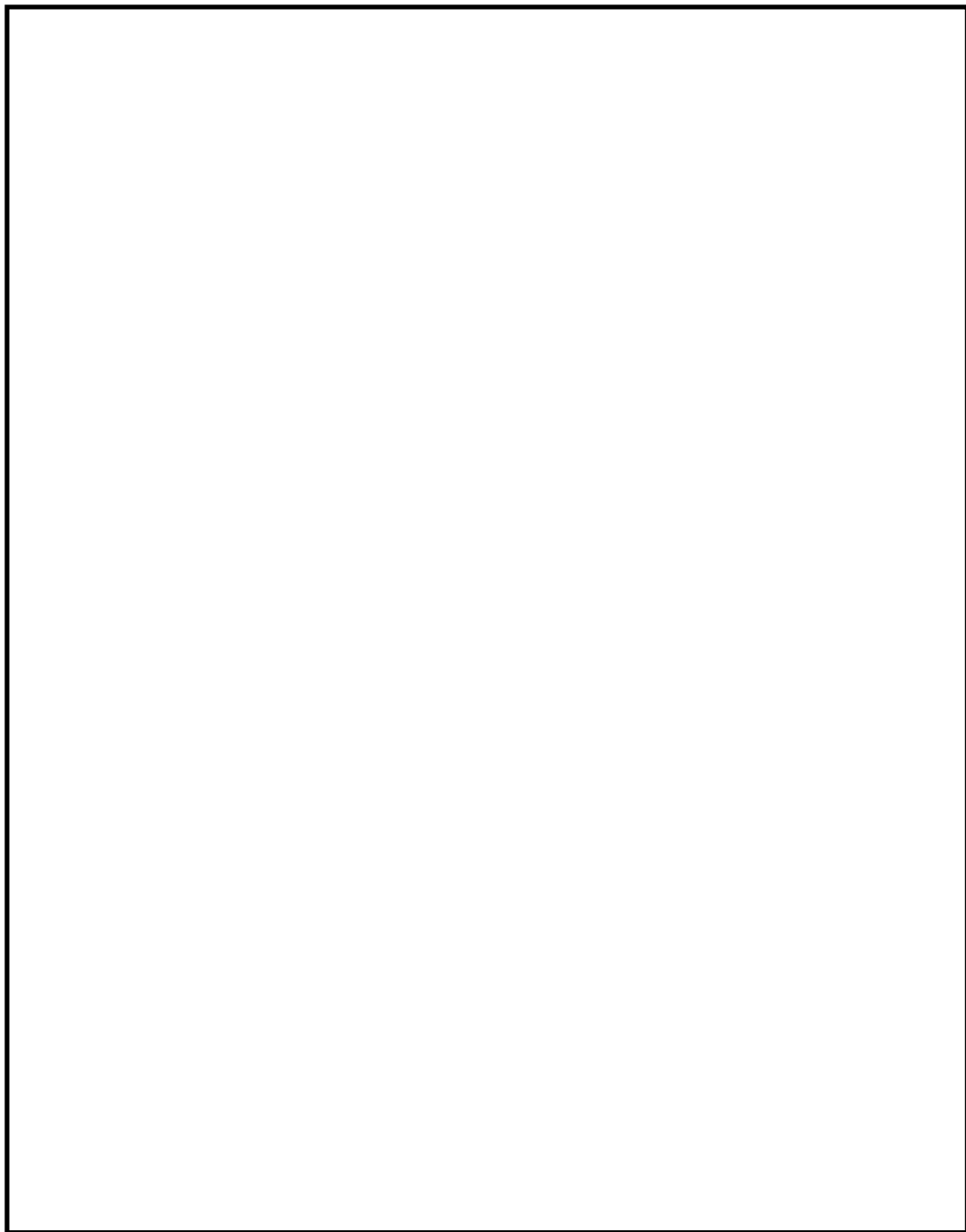


図 3-1 解析モデル (単位 : mm)

表 4-1 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	21	94*	70	151*
P01' P02'	31	94*	80	151*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	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	52	141*	168	226*
P01'	71	141*	188	226*
P02	52	141*	134	226*
P02'	33	141*	115	226*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-5 ジェットポンプの耐震性
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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	6
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
4.3.2 計算方法	6
4.4 応力の評価	6
5. 応力強さの評価	7
5.1 一次一般膜応力強さの評価	7
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの耐震性についての計算書である。

ジェットポンプは、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を示す。

なお、ジェットポンプは、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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

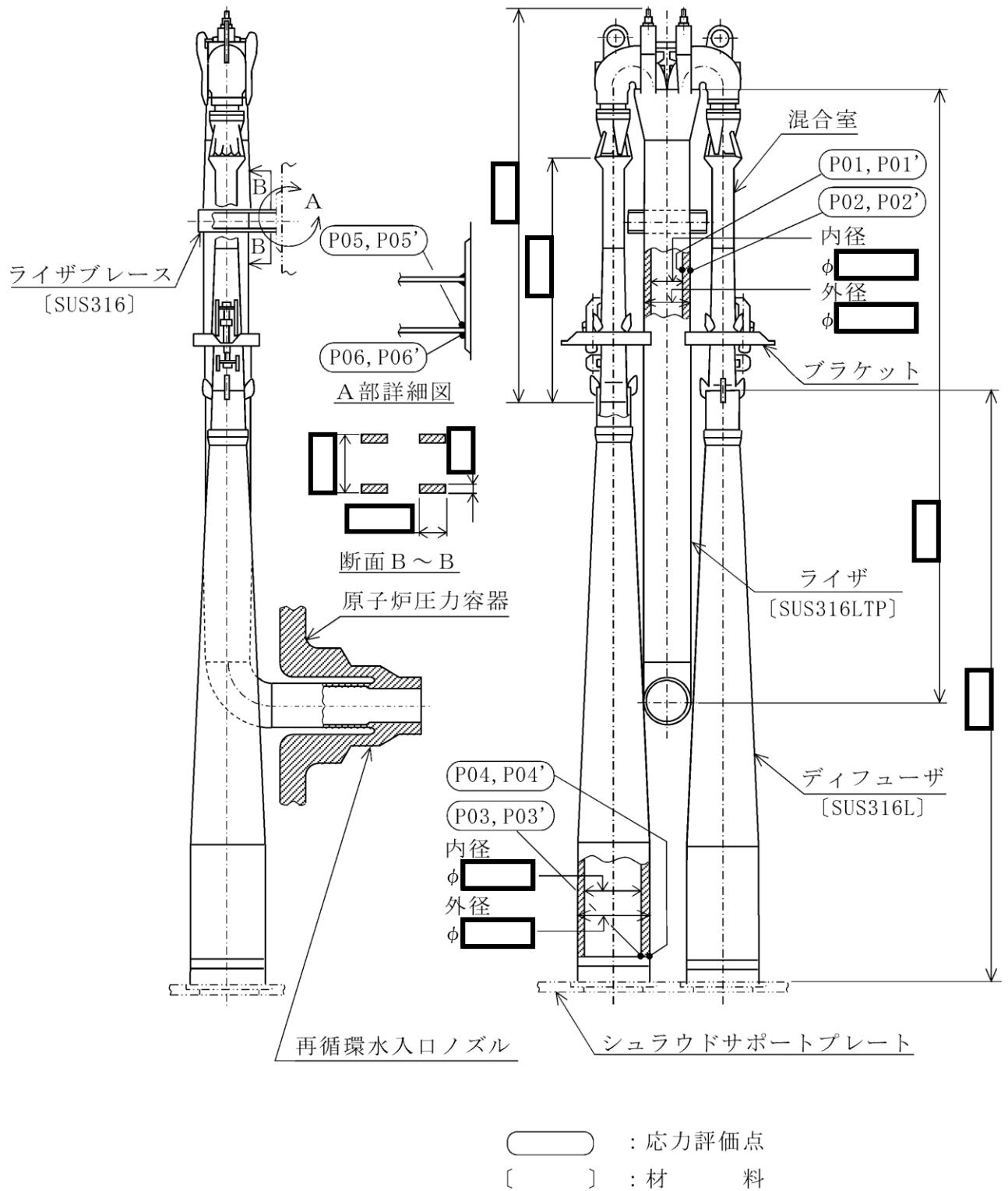


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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	応力評価点
ライザ SUS316LTP	Ⅲ A S	48	142	P01-P02	100	214	P02
	Ⅳ A S	62	228	P01-P02	160	342	P02
	Ⅴ A S	62	226	P01-P02	160	339	P02
ディフューザ SUS316L	Ⅲ A S	9	92*	P03-P04	38	139*	P04
	Ⅳ A S	15	148*	P03'-P04'	73	222*	P04'
	Ⅴ A S	16	146*	P03-P04	75	220*	P04'
ライザ ブレース SUS316	Ⅲ A S	40	115*	P05-P06	146	174*	P06
	Ⅳ A S	76	184*	P05-P06	268	277*	P06
	Ⅴ A S	76	184*	P05-P06	268	276*	P06

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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅲ又は運転状態Ⅳと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)c.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	原子炉压力容器 (EL 24.419, 21.064) 炉心シュラウド (EL 19.196)	
	設計震度	
地震力	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	2.25 ^{*1}	0.90 ^{*1}
基準地震動 S _s	3.77 ^{*2}	1.83 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.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	□	—	—	—

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(4)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、表 4-1 に示すとおりである。

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)n.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)n.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(4)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)n.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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

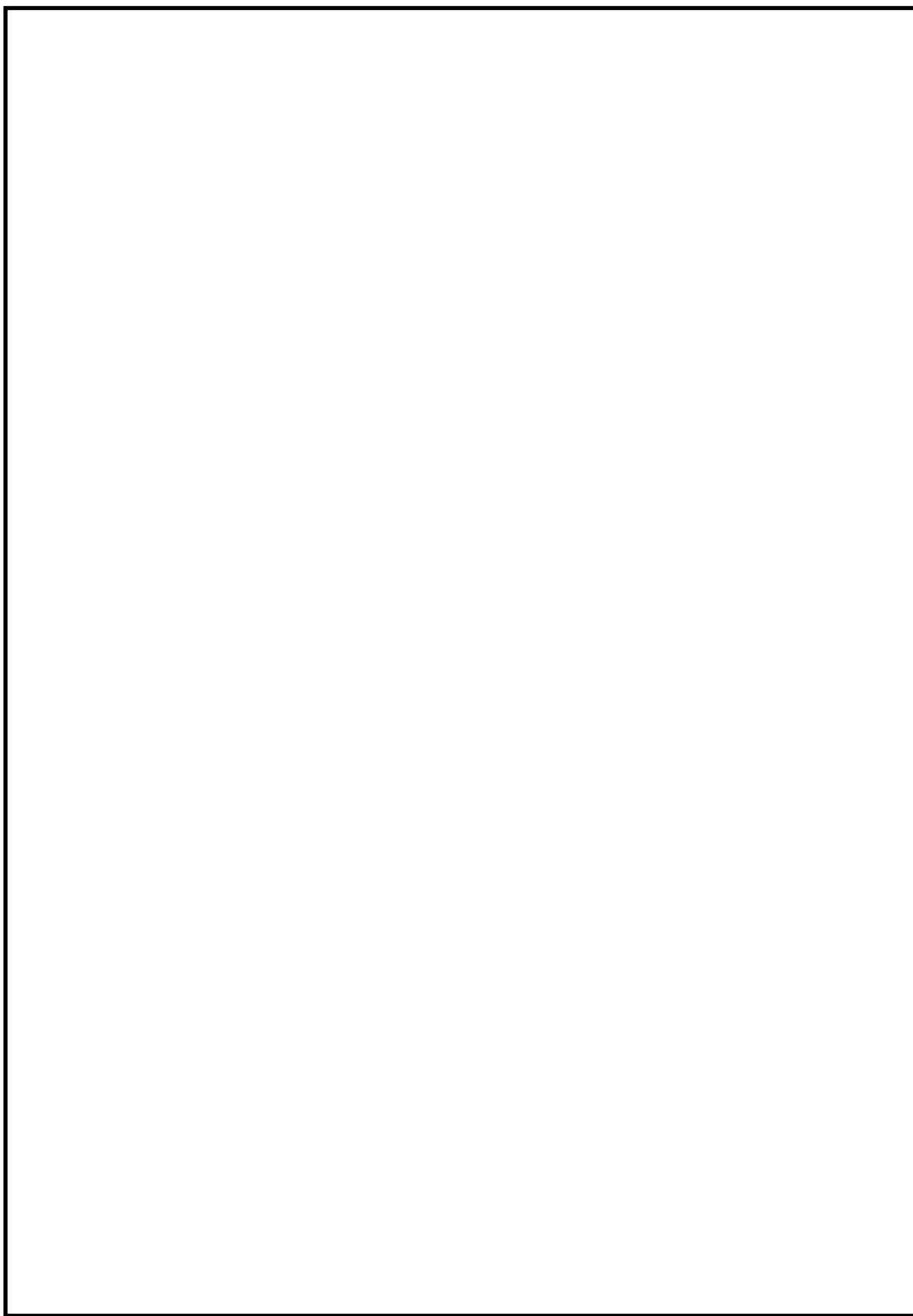


図 3-1 解析モデル

表 4-1 断面性状


部 分		ライザ	ディフューザ	ライザブレース
内 径	D_i (mm)			
外 径	D_o (mm)			
板 厚	t (mm)			
幅	b (mm)			
断面積	A (mm ²)			
断面二次 モーメント	I (mm ⁴)			

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	48	142	62	228	62	226
P01' P02'	46	142	56	228	56	226
P03 P04	9	92*	15	148*	16	146*
P03' P04'	9	92*	15	148*	15	146*
P05 P06	40	115*	76	184*	76	184*
P05' P06'	40	115*	75	184*	75	184*

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)

応力評価点	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01	97	214	154	342	154	339
P01'	65	214	124	342	124	339
P02	100	214	160	342	160	339
P02'	68	214	131	342	131	339
P03	36	139*	70	222*	72	220*
P03'	36	139*	70	222*	72	220*
P04	38	139*	73	222*	75	220*
P04'	38	139*	73	222*	75	220*
P05	122	174*	224	277*	224	276*
P05'	122	174*	224	277*	224	276*
P06	146	174*	268	277*	268	276*
P06'	146	174*	267	277*	267	276*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-6 給水スパージャ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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	6
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
4.3.2 計算方法	6
4.4 応力の評価	6
5. 応力強さの評価	7
5.1 一次一般膜応力強さの評価	7
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

1. 一般事項

本計算書は、給水スパーージャの耐震性についての計算書である。

給水スパーージャは、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、給水スパーージャは、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。

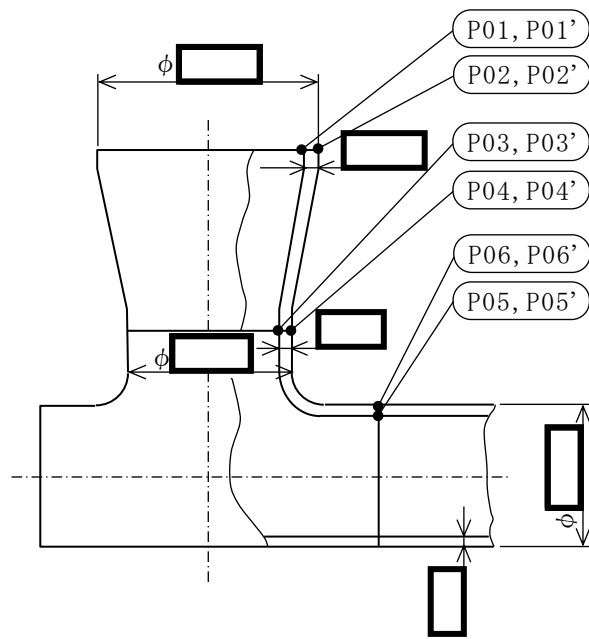
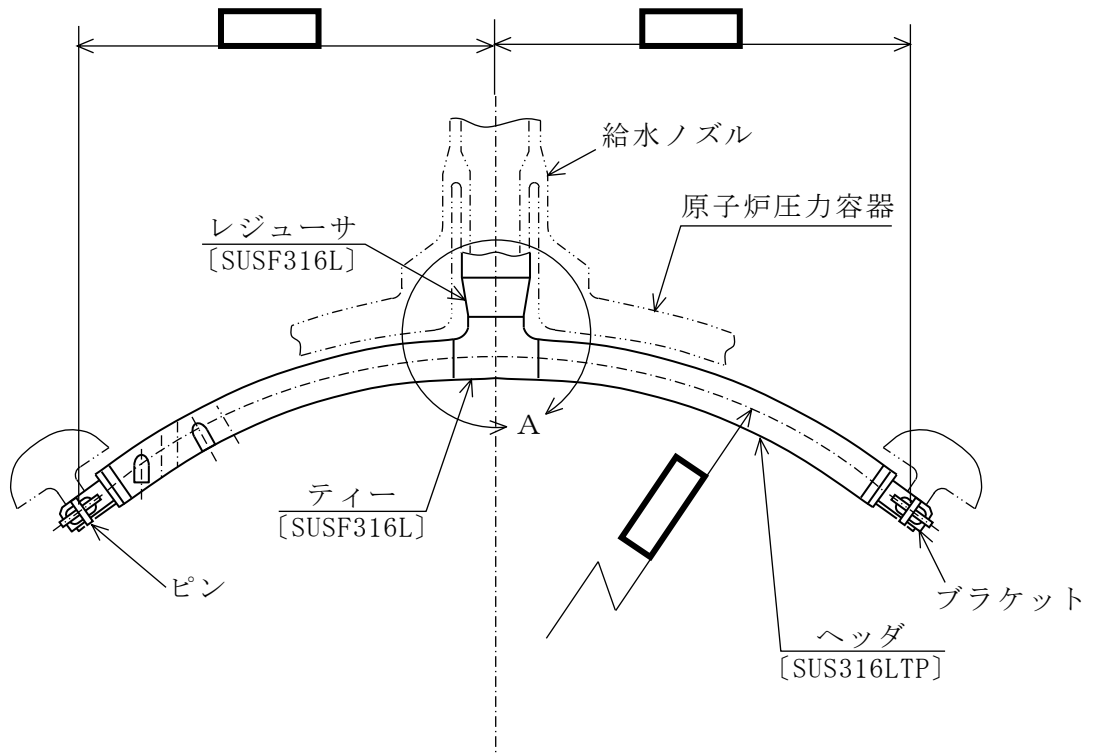
1.2 解析範囲

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。



A部詳細図

○ : 応力評価点
 [] : 材 料

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
レジューサ SUSF316L	Ⅲ A S	6	92*	P01-P02	16	139*	P01-P02
	Ⅳ A S	12	148*	P01'-P02'	38	222*	P01-P02
	Ⅴ A S	12	146*	P01'-P02'	38	220*	P01-P02
ティー SUSF316L	Ⅲ A S	8	92*	P03-P04	18	139*	P03-P04
	Ⅳ A S	16	148*	P03-P04	43	222*	P03-P04
	Ⅴ A S	16	146*	P03-P04	43	220*	P03-P04
ヘッダ SUS316LTP	Ⅲ A S	5	92*	P05-P06	17	139*	P05'-P06'
	Ⅳ A S	11	148*	P05'-P06'	44	222*	P05'-P06'
	Ⅴ A S	11	146*	P05'-P06'	44	220*	P05'-P06'

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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅲと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)a.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)a.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	原子炉压力容器 (EL 29.181)	
	設計震度	
地震力	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	2.93 ^{*1}	0.68 ^{*1}
基準地震動 S _s	5.36 ^{*2}	1.95 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(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	□	—	—	—

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(5)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)1.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)1.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)1.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(5)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)1.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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

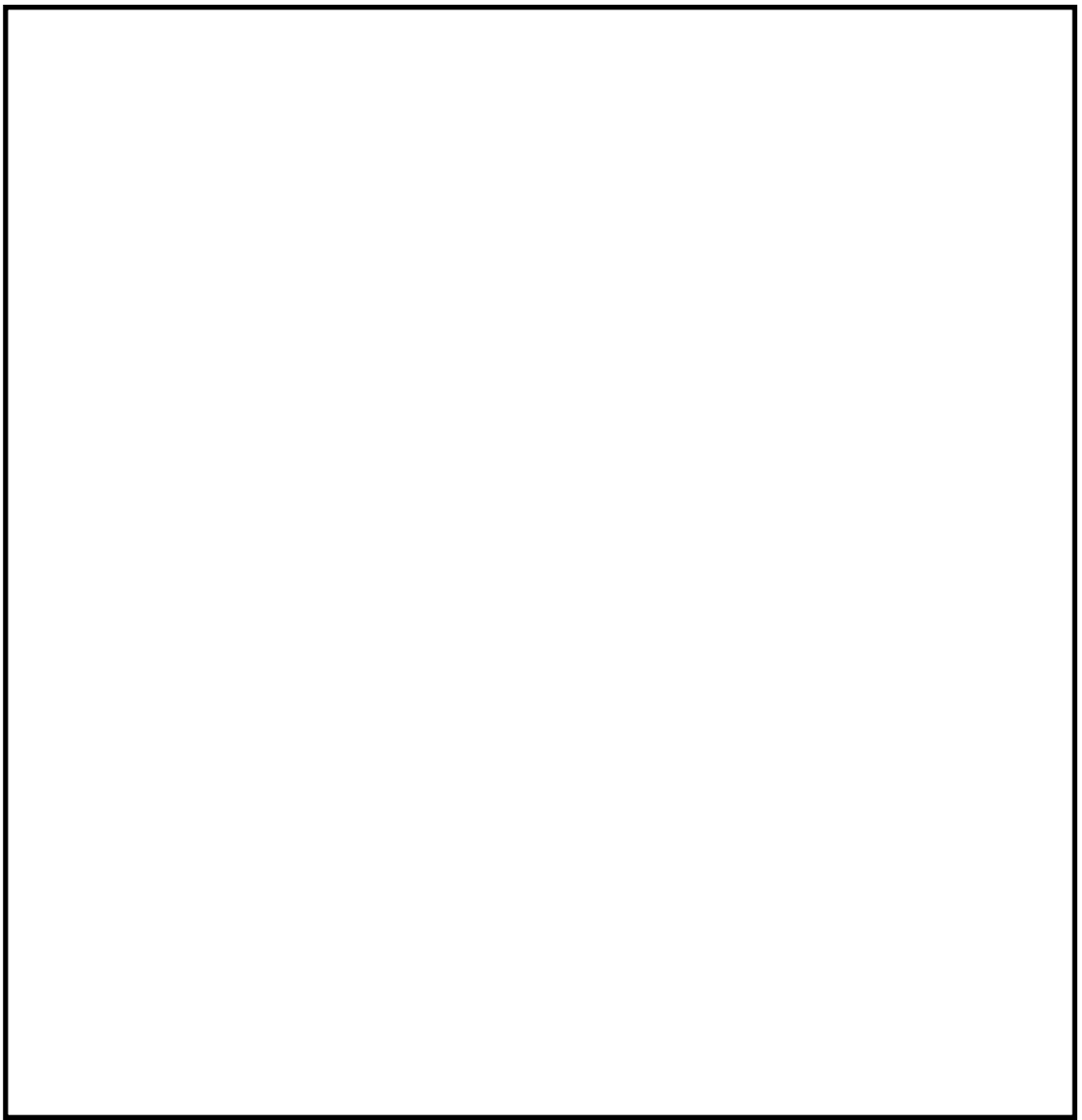


図 3-1 解析モデル

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	6	92*	11	148*	11	146*
P01' P02'	5	92*	12	148*	12	146*
P03 P04	8	92*	16	148*	16	146*
P03' P04'	6	92*	16	148*	16	146*
P05 P06	5	92*	10	148*	10	146*
P05' P06'	5	92*	11	148*	11	146*

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	16	139*	38	222*	38	220*
P01' P02'	14	139*	36	222*	36	220*
P03 P04	18	139*	43	222*	43	220*
P03' P04'	15	139*	40	222*	40	220*
P05 P06	17	139*	44	222*	44	220*
P05' P06'	17	139*	44	222*	44	220*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-7 高圧及び低圧炉心スプレースパー ज्या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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	6
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
4.3.2 計算方法	6
4.4 応力の評価	6
5. 応力強さの評価	7
5.1 一次一般膜応力強さの評価	7
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの耐震性についての計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは、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、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは、原子炉压力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉压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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

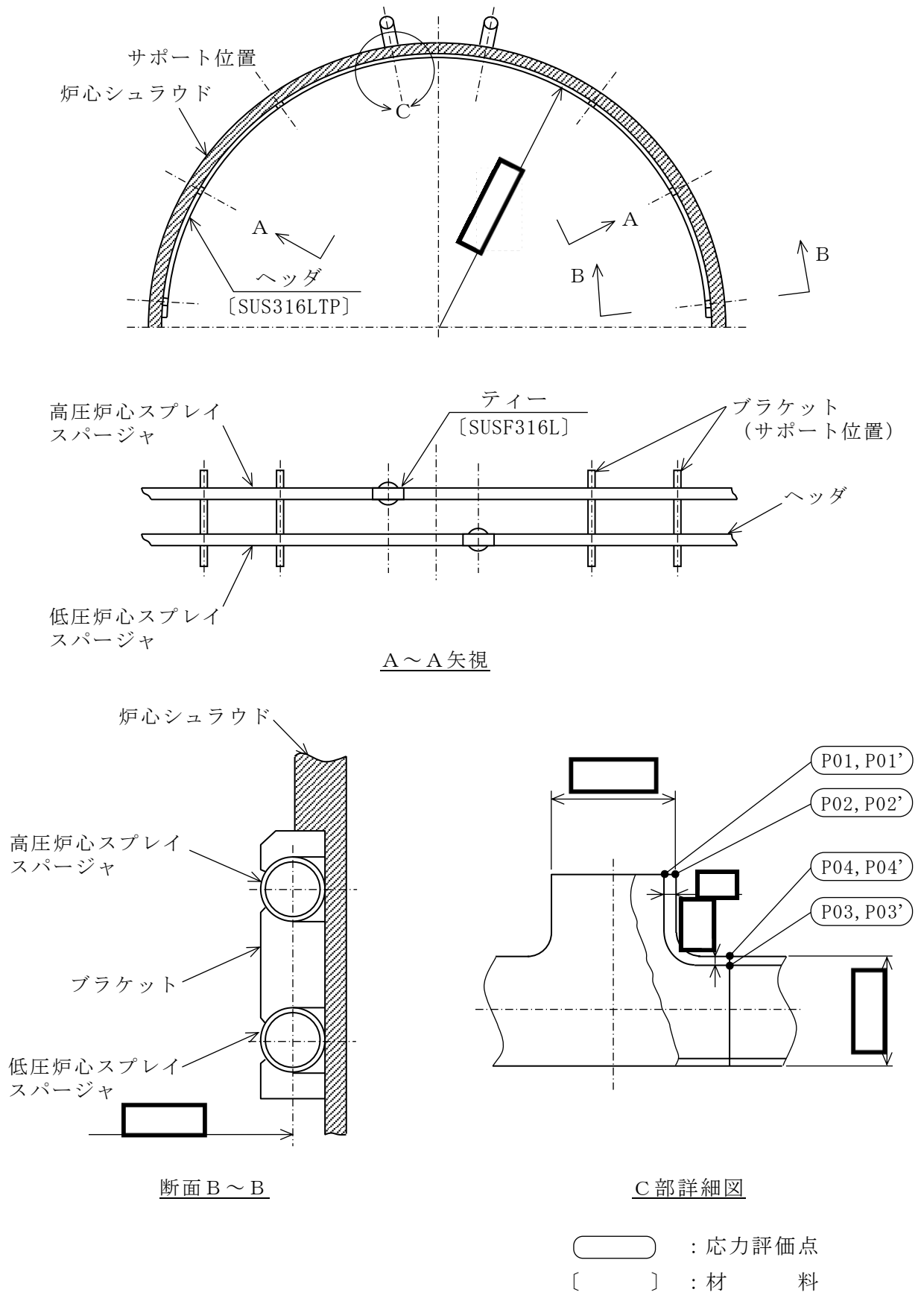


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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
ティー SUSF316L	Ⅲ A S	10	92*	P01-P02	18	139*	P01-P02
	Ⅳ A S	16	148*	P01-P02	35	222*	P01-P02
	Ⅴ A S	16	146*	P01-P02	35	220*	P01-P02
ヘッダ SUS316LTP	Ⅲ A S	8	92*	P03-P04	23	139*	P03'-P04'
	Ⅳ A S	13	148*	P03'-P04'	53	222*	P03'-P04'
	Ⅴ A S	13	146*	P03'-P04'	53	220*	P03'-P04'

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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)b.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)b.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	炉心シュラウド (EL 26.687)	
	設計震度	
地震力	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	1.54* ¹	0.77* ¹
基準地震動 S _s	3.05* ²	2.06* ²

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，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		—	—	—

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(6)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)m.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)m.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)m.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(6)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)m.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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

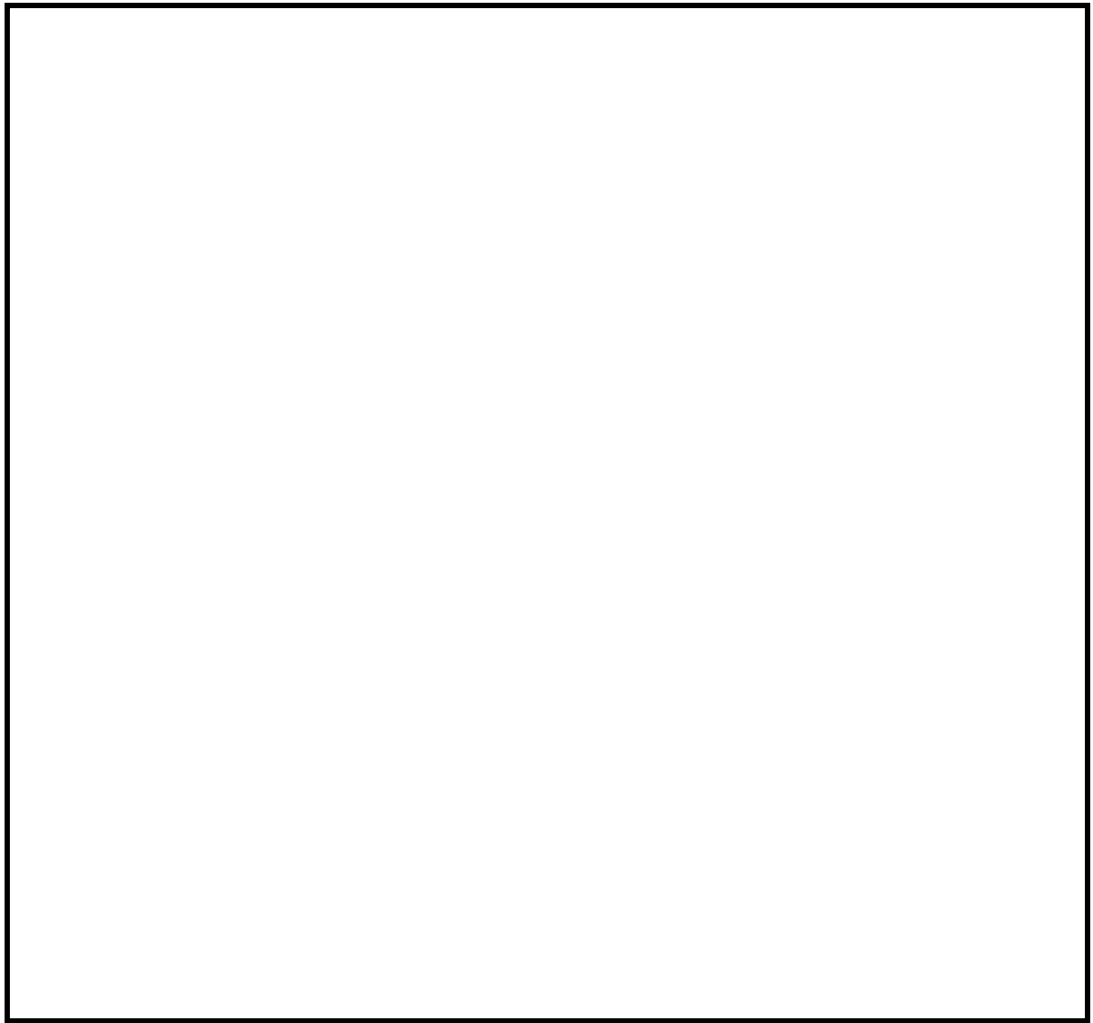


図 3-1 解析モデル

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	92*	16	148*	16	146*
P01' P02'	9	92*	16	148*	16	146*
P03 P04	8	92*	12	148*	12	146*
P03' P04'	7	92*	13	148*	13	146*

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	18	139*	35	222*	35	220*
P01' P02'	13	139*	31	222*	31	220*
P03 P04	23	139*	53	222*	53	220*
P03' P04'	23	139*	53	222*	53	220*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-8 低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部）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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	6
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
4.3.2 計算方法	6
4.4 応力の評価	6
5. 応力強さの評価	7
5.1 一次一般膜応力強さの評価	7
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

1. 一般事項

本計算書は、低圧注水系配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書である。

低圧注水系配管（原子炉压力容器内部）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、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、低圧注水系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉压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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

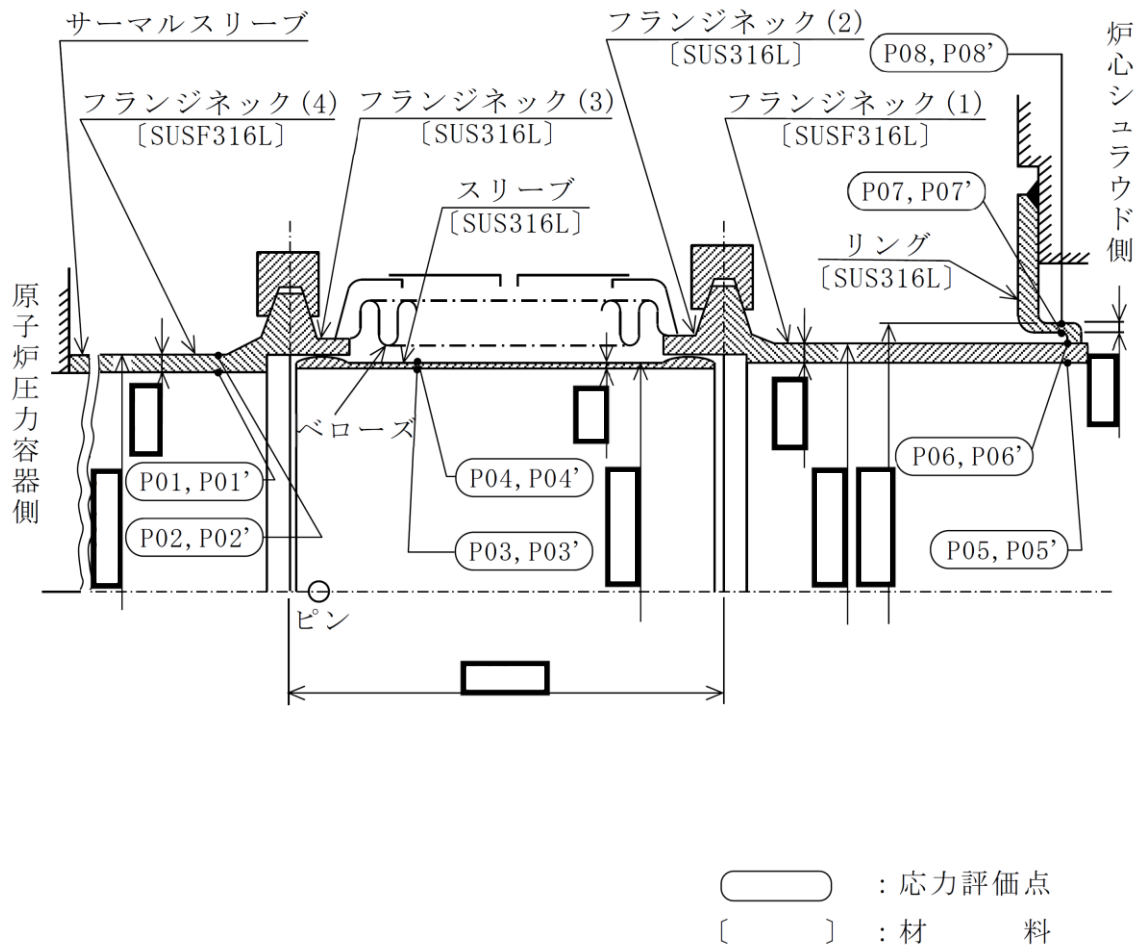


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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
フランジネック (4) SUSF316L	Ⅲ A S	1	92 ^{*1}	P01'-P02'	3	139 ^{*1}	P01'-P02'
	Ⅳ A S	2	148 ^{*1}	P01'-P02'	6	222 ^{*1}	P01'-P02'
	Ⅴ A S	4	146 ^{*1}	P01-P02	7	220 ^{*1}	P01'-P02'
スリーブ SUS316L	Ⅲ A S	2	142	P03-P04	2	214	P03-P04
	Ⅳ A S	3	228	P03-P04	4	342	P03'-P04'
	Ⅴ A S	9	226	P03-P04	9	339	P03-P04
フランジネック (1) SUSF316L	Ⅲ A S	1	56 ^{*2}	P05-P06	2	85 ^{*2}	P05'-P06'
	Ⅳ A S	3	91 ^{*2}	P05'-P06'	5	136 ^{*2}	P05'-P06'
	Ⅴ A S	4	90 ^{*2}	P05-P06	6	135 ^{*2}	P05-P06
リング SUS316L	Ⅲ A S	4	142	P07'-P08'	6	214	P07-P08
	Ⅳ A S	7	228	P07-P08	13	342	P07-P08
	Ⅴ A S	13	226	P07'-P08'	17	339	P07-P08

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。*2：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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)d.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)d.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	原子炉压力容器 (EL 26.687) 炉心シュラウド (EL 26.687)	
地震力	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	2.57* ¹	0.77* ¹
基準地震動 S _s	4.47* ²	2.06* ²

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)d.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		—	—	—

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(7)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)ο. 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)ο. に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)ο. 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(7)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)ο. 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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

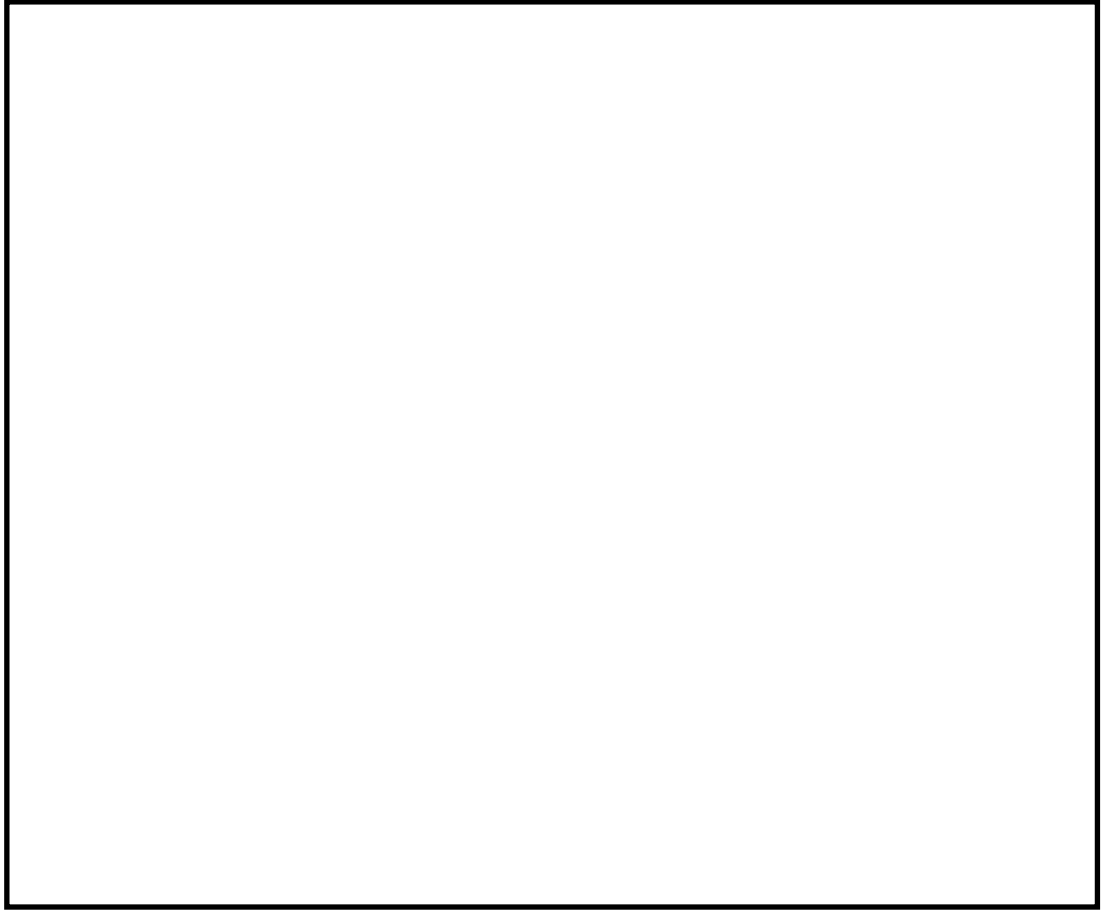


図 3-1 解析モデル

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	1	92 ^{*1}	2	148 ^{*1}	4	146 ^{*1}
P01' P02'	1	92 ^{*1}	2	148 ^{*1}	3	146 ^{*1}
P03 P04	2	142	3	228	9	226
P03' P04'	2	142	3	228	9	226
P05 P06	1	56 ^{*2}	3	91 ^{*2}	4	90 ^{*2}
P05' P06'	1	56 ^{*2}	3	91 ^{*2}	4	90 ^{*2}
P07 P08	4	142	7	228	12	226
P07' P08'	4	142	7	228	13	226

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	139 ^{*1}	6	222 ^{*1}	7	220 ^{*1}
P01' P02'	3	139 ^{*1}	6	222 ^{*1}	7	220 ^{*1}
P03 P04	2	214	4	342	9	339
P03' P04'	2	214	4	342	9	339
P05 P06	2	85 ^{*2}	5	136 ^{*2}	6	135 ^{*2}
P05' P06'	2	85 ^{*2}	5	136 ^{*2}	6	135 ^{*2}
P07 P08	6	214	13	342	17	339
P07' P08'	6	214	12	342	17	339

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-9 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管
（原子炉压力容器内部）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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）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、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉压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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

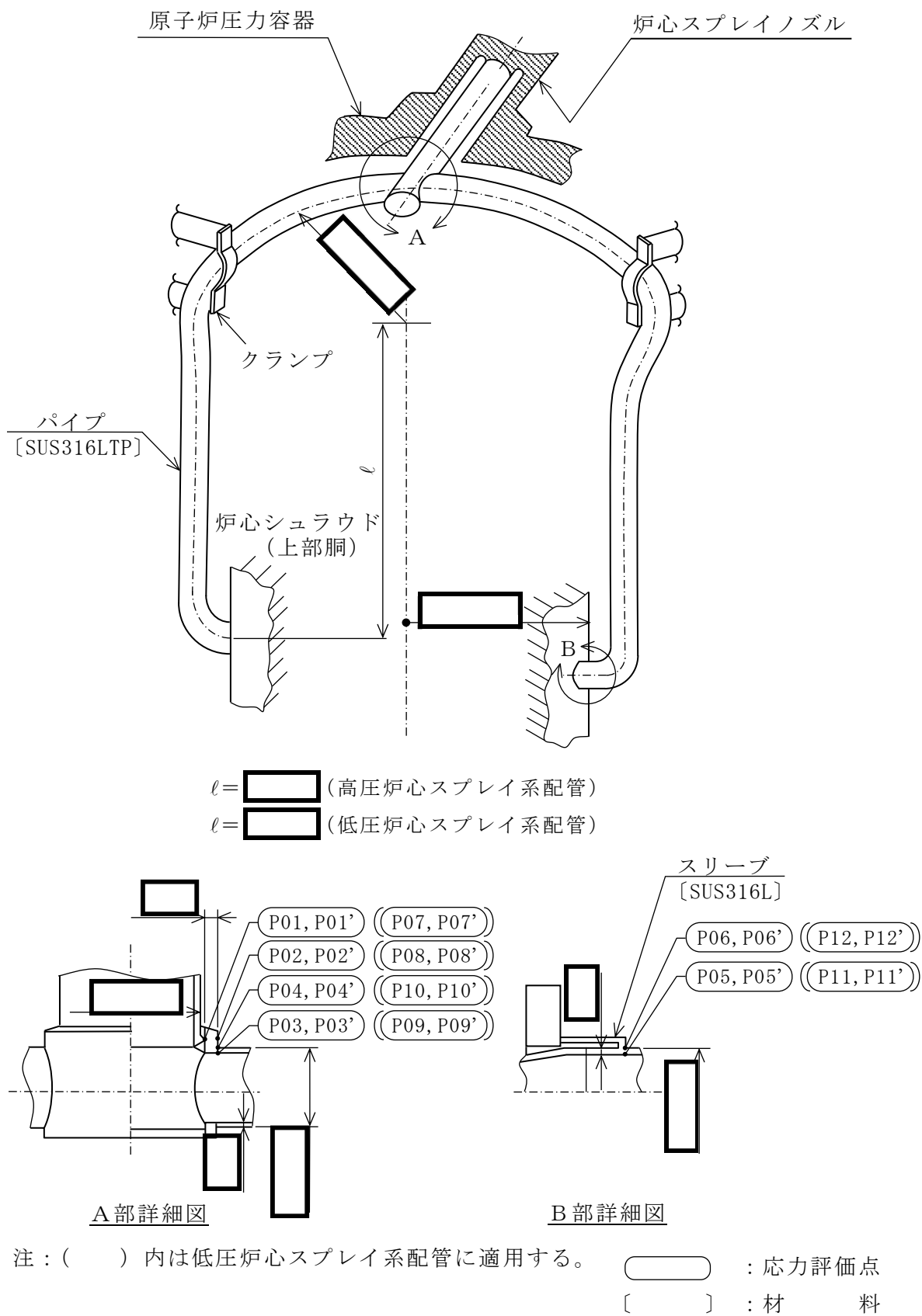


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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
高圧炉心 スプレイ系配管 SUS316LTP	Ⅲ A S	16	63 ^{*1}	P05'-P06'	69	192 ^{*2}	P03'-P04'
	Ⅳ A S	38	102 ^{*1}	P05'-P06'	166	307 ^{*2}	P03'-P04'
	Ⅴ A S	38	101 ^{*1}	P05'-P06'	166	305 ^{*2}	P03'-P04'
低圧炉心 スプレイ系配管 SUS316LTP	Ⅲ A S	18	63 ^{*1}	P11'-P12'	71	192 ^{*2}	P09'-P10'
	Ⅳ A S	44	102 ^{*1}	P11'-P12'	171	307 ^{*2}	P09'-P10'
	Ⅴ A S	44	101 ^{*1}	P11'-P12'	171	305 ^{*2}	P09'-P10'

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。*2：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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)e.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	原子炉压力容器 (EL 28.249) 炉心シュラウド (EL 26.687)	
地震力	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	2.93 ^{*1}	0.77 ^{*1}
基準地震動 S _s	5.03 ^{*2}	2.06 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.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。

部分	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	
高圧炉心 スプレイ系配管	1次	<input type="text"/>	—	—	—
低圧炉心 スプレイ系配管	1次	<input type="text"/>	—	—	—

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(8)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)p.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)p.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)p.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(8)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)p.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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

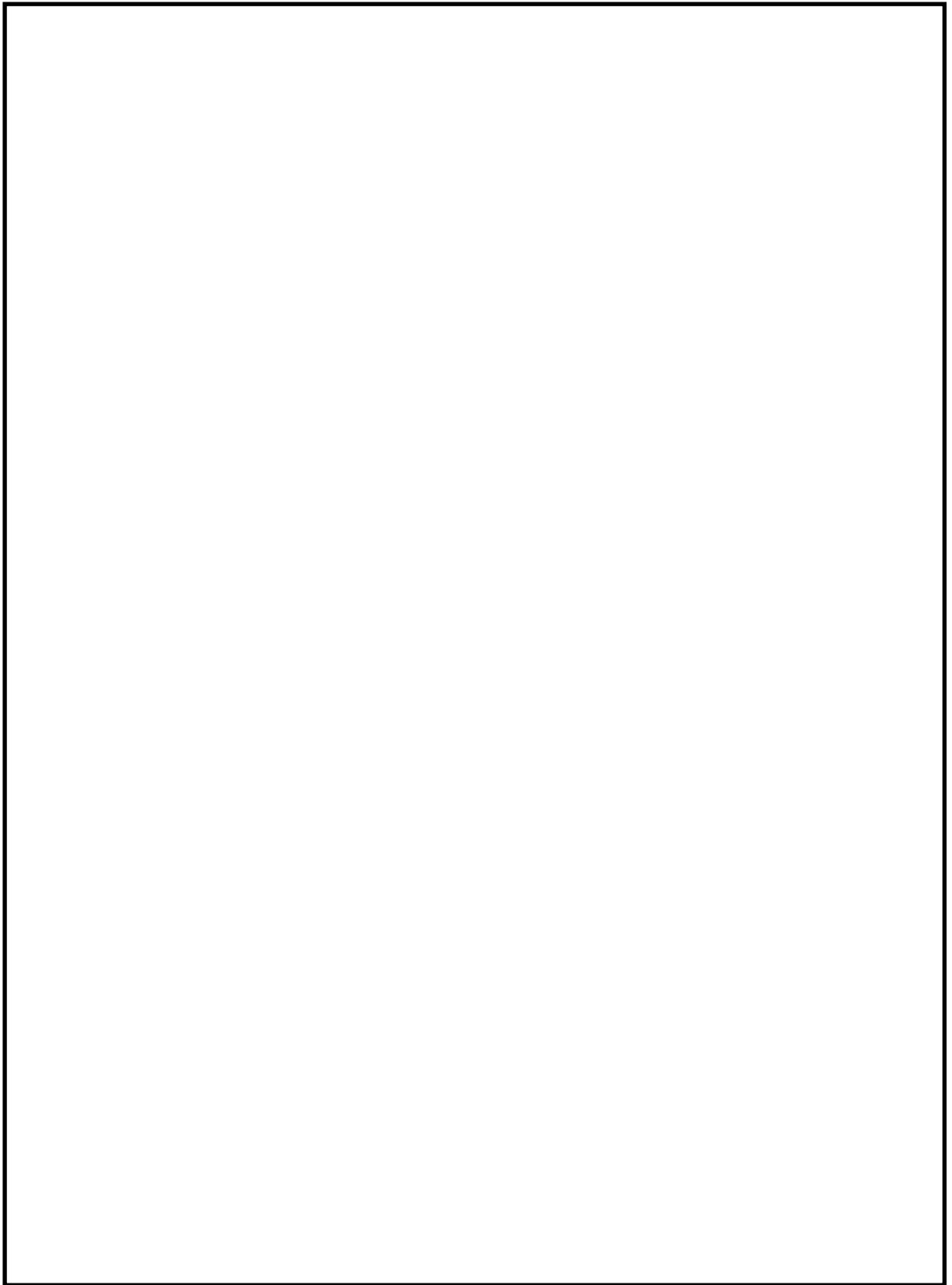


図 3-1 解析モデル

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	5	63 ^{*1}	8	102 ^{*1}	8	101 ^{*1}
P01' P02'	5	63 ^{*1}	6	102 ^{*1}	6	101 ^{*1}
P03 P04	19	127 ^{*2}	47	205 ^{*2}	47	203 ^{*2}
P03' P04'	20	127 ^{*2}	48	205 ^{*2}	48	203 ^{*2}
P05 P06	15	63 ^{*1}	38	102 ^{*1}	38	101 ^{*1}
P05' P06'	16	63 ^{*1}	38	102 ^{*1}	38	101 ^{*1}
P07 P08	5	63 ^{*1}	8	102 ^{*1}	8	101 ^{*1}
P07' P08'	5	63 ^{*1}	6	102 ^{*1}	6	101 ^{*1}
P09 P10	21	127 ^{*2}	52	205 ^{*2}	52	203 ^{*2}
P09' P10'	22	127 ^{*2}	53	205 ^{*2}	53	203 ^{*2}
P11 P12	17	63 ^{*1}	43	102 ^{*1}	43	101 ^{*1}
P11' P12'	18	63 ^{*1}	44	102 ^{*1}	44	101 ^{*1}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	11	96 ^{*1}	23	153 ^{*1}	23	152 ^{*1}
P01' P02'	9	96 ^{*1}	20	153 ^{*1}	20	152 ^{*1}
P03 P04	67	192 ^{*2}	162	307 ^{*2}	162	305 ^{*2}
P03' P04'	69	192 ^{*2}	166	307 ^{*2}	166	305 ^{*2}
P05 P06	24	96 ^{*1}	54	153 ^{*1}	54	152 ^{*1}
P05' P06'	26	96 ^{*1}	59	153 ^{*1}	59	152 ^{*1}
P07 P08	11	96 ^{*1}	22	153 ^{*1}	22	152 ^{*1}
P07' P08'	9	96 ^{*1}	20	153 ^{*1}	20	152 ^{*1}
P09 P10	68	192 ^{*2}	166	307 ^{*2}	166	305 ^{*2}
P09' P10'	71	192 ^{*2}	171	307 ^{*2}	171	305 ^{*2}
P11 P12	27	96 ^{*1}	62	153 ^{*1}	62	152 ^{*1}
P11' P12'	29	96 ^{*1}	67	153 ^{*1}	67	152 ^{*1}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-10 差圧検出・ほう酸水注入系配管
（原子炉圧力容器内部）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 外荷重条件	4
2.4 材料	4
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
2.6 荷重の組合せ	4
2.7 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	5
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	6
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	6
4.3.2 計算方法	6
4.4 応力の評価	6
5. 応力強さの評価	7
5.1 一次一般膜応力強さの評価	7
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書である。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）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。

なお、差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉压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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

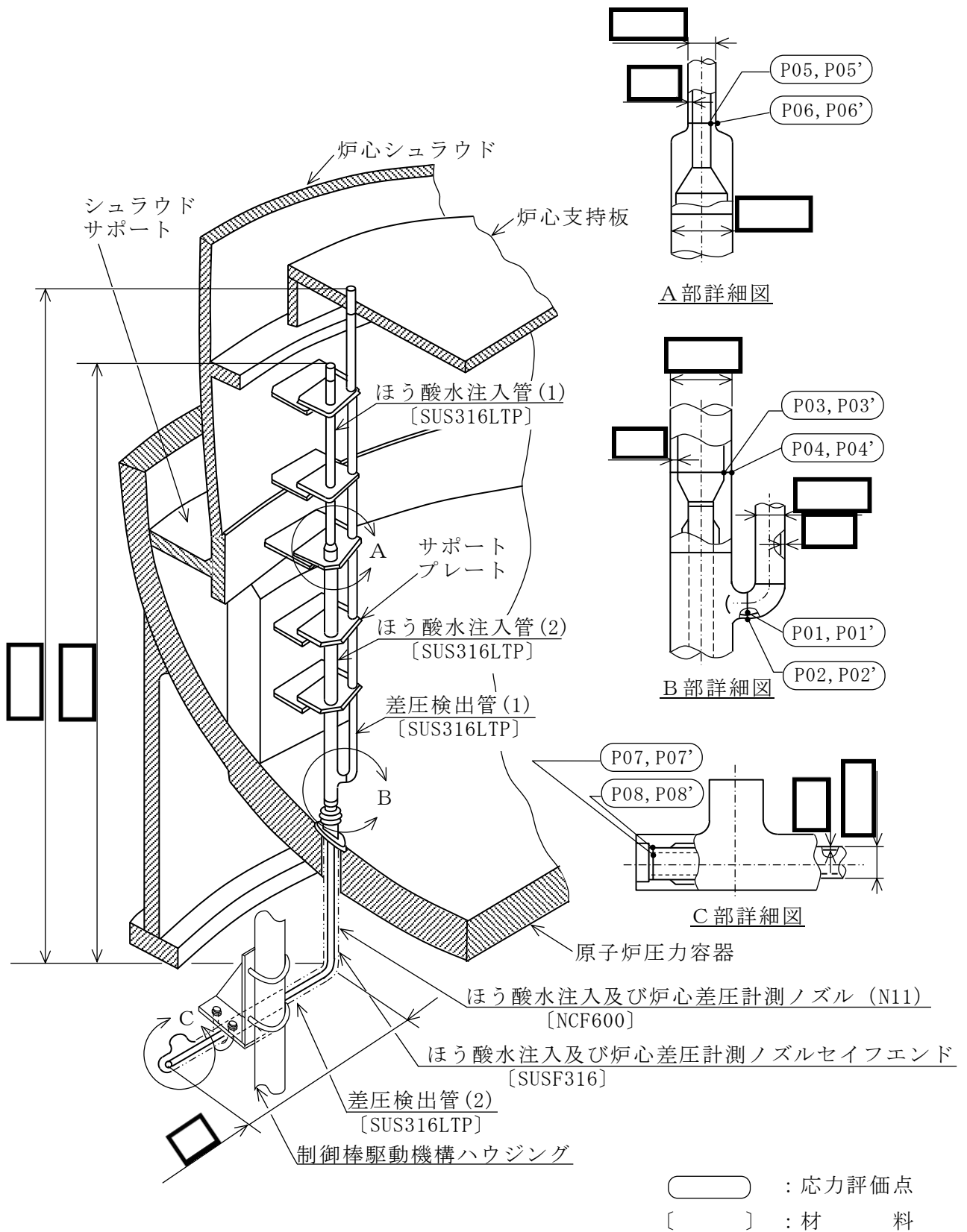


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

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
差圧検出管 SUS316LTP	Ⅲ A S	2	106 ^{*1}	P01'-P02'	18	160 ^{*1}	P01'-P02'
	Ⅳ A S	3	171 ^{*1}	P01'-P02'	40	256 ^{*1}	P01'-P02'
	Ⅴ A S	3	169 ^{*1}	P01'-P02'	40	254 ^{*1}	P01'-P02'
ほう酸水注入管 SUS316LTP	Ⅲ A S	17	78 ^{*2}	P07'-P08'	41	117 ^{*2}	P07'-P08'
	Ⅳ A S	44	125 ^{*2}	P07'-P08'	100	188 ^{*2}	P07'-P08'
	Ⅴ A S	44	124 ^{*2}	P07'-P08'	100	186 ^{*2}	P07'-P08'

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。*2：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 項に示す。

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 項に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅲ又は運転状態Ⅳと同じ。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

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)f.に定めるとおりとし，3次元はりモデルとしてモデル化する。

「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定める解析モデルを図3-1に示す。

3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

据付場所及び 床面高さ(m)	炉心シュラウド (EL 21.571) 原子炉压力容器下鏡 (EL 16.508)	
	設計震度	
地震力	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）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.4 計算結果

3.4.1 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)f.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	□	—	—	—

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(9)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)q. 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)q. に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2 運転条件」による。

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)q. 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、内圧又は外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(9)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)q. 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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

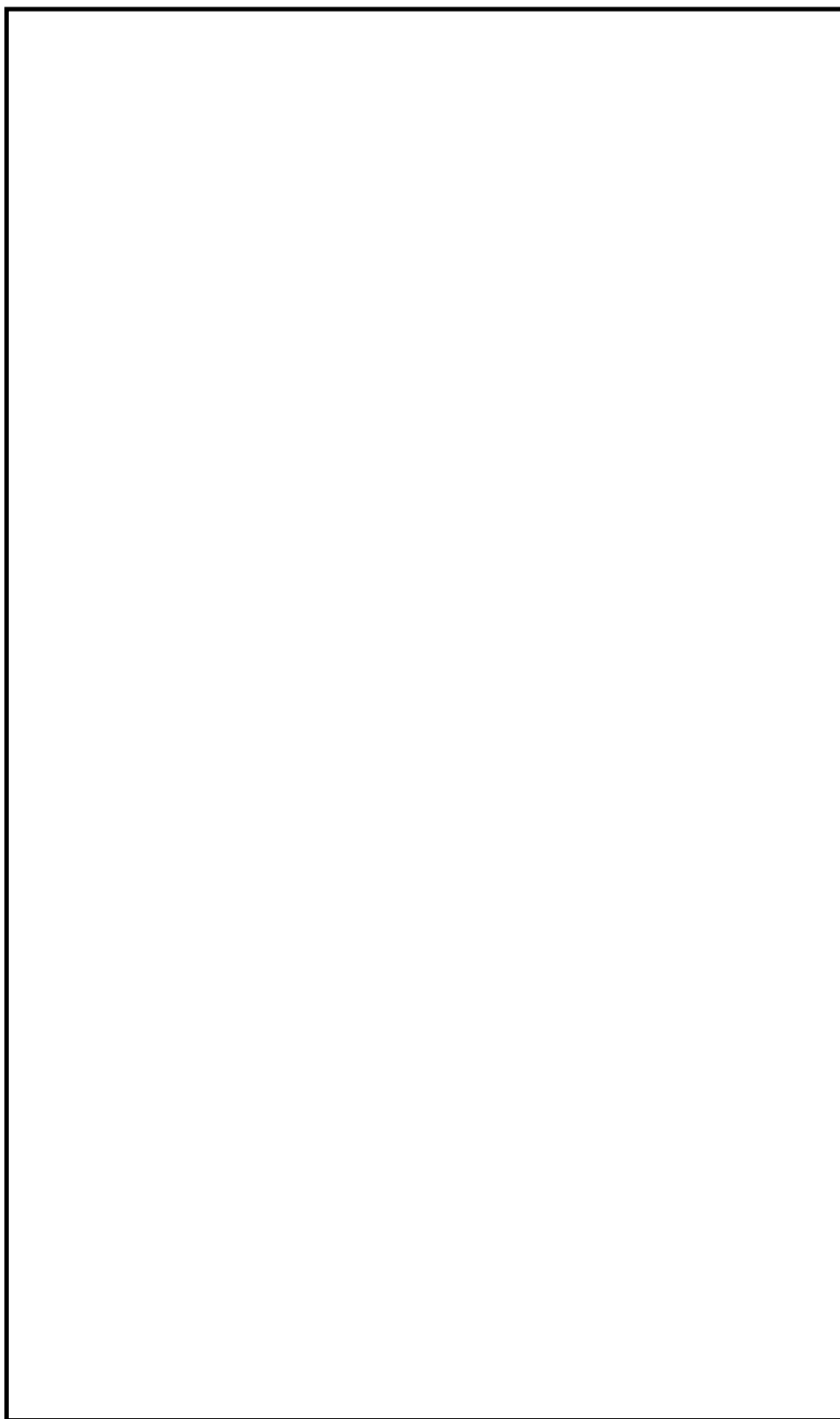


図 3-1 解析モデル

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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	106 ^{*1}	3	171 ^{*1}	3	169 ^{*1}
P01' P02'	2	106 ^{*1}	3	171 ^{*1}	3	169 ^{*1}
P03 P04	5	106 ^{*1}	7	171 ^{*1}	7	169 ^{*1}
P03' P04'	5	106 ^{*1}	7	171 ^{*1}	7	169 ^{*1}
P05 P06	3	106 ^{*1}	3	171 ^{*1}	3	169 ^{*1}
P05' P06'	3	106 ^{*1}	3	171 ^{*1}	3	169 ^{*1}
P07 P08	17	78 ^{*2}	44	125 ^{*2}	44	124 ^{*2}
P07' P08'	17	78 ^{*2}	44	125 ^{*2}	44	124 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：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		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	17	160 ^{*1}	39	256 ^{*1}	39	254 ^{*1}
P01' P02'	18	160 ^{*1}	40	256 ^{*1}	40	254 ^{*1}
P03 P04	7	160 ^{*1}	14	256 ^{*1}	14	254 ^{*1}
P03' P04'	8	160 ^{*1}	15	256 ^{*1}	15	254 ^{*1}
P05 P06	17	160 ^{*1}	43	256 ^{*1}	43	254 ^{*1}
P05' P06'	18	160 ^{*1}	43	256 ^{*1}	43	254 ^{*1}
P07 P08	40	117 ^{*2}	98	188 ^{*2}	98	186 ^{*2}
P07' P08'	41	117 ^{*2}	100	188 ^{*2}	100	186 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

*2：継手効率 を乗じた値を示す。

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	5
2.1 設計条件	5
2.2 運転条件	5
2.3 外荷重条件	5
2.4 材料	5
2.5 荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.6 荷重の組合せ	5
2.7 許容応力	5
3. 外荷重の条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 解析モデル	6
3.3 固有値解析結果	6
3.4 設計用地震力	6
3.5 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

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、応力分類ごとに厳しくなる評価点を記載する。

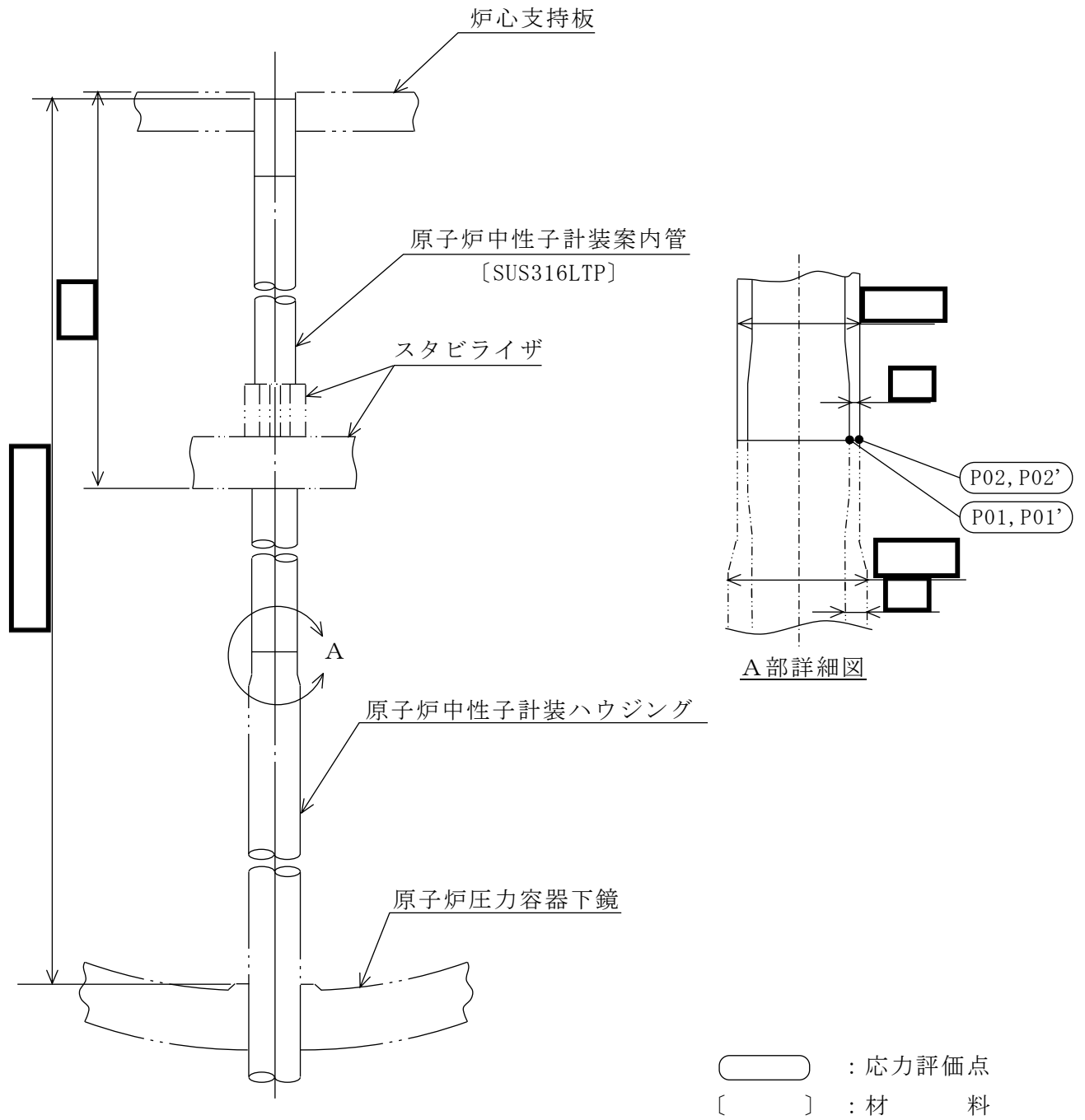


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm) (1/2)

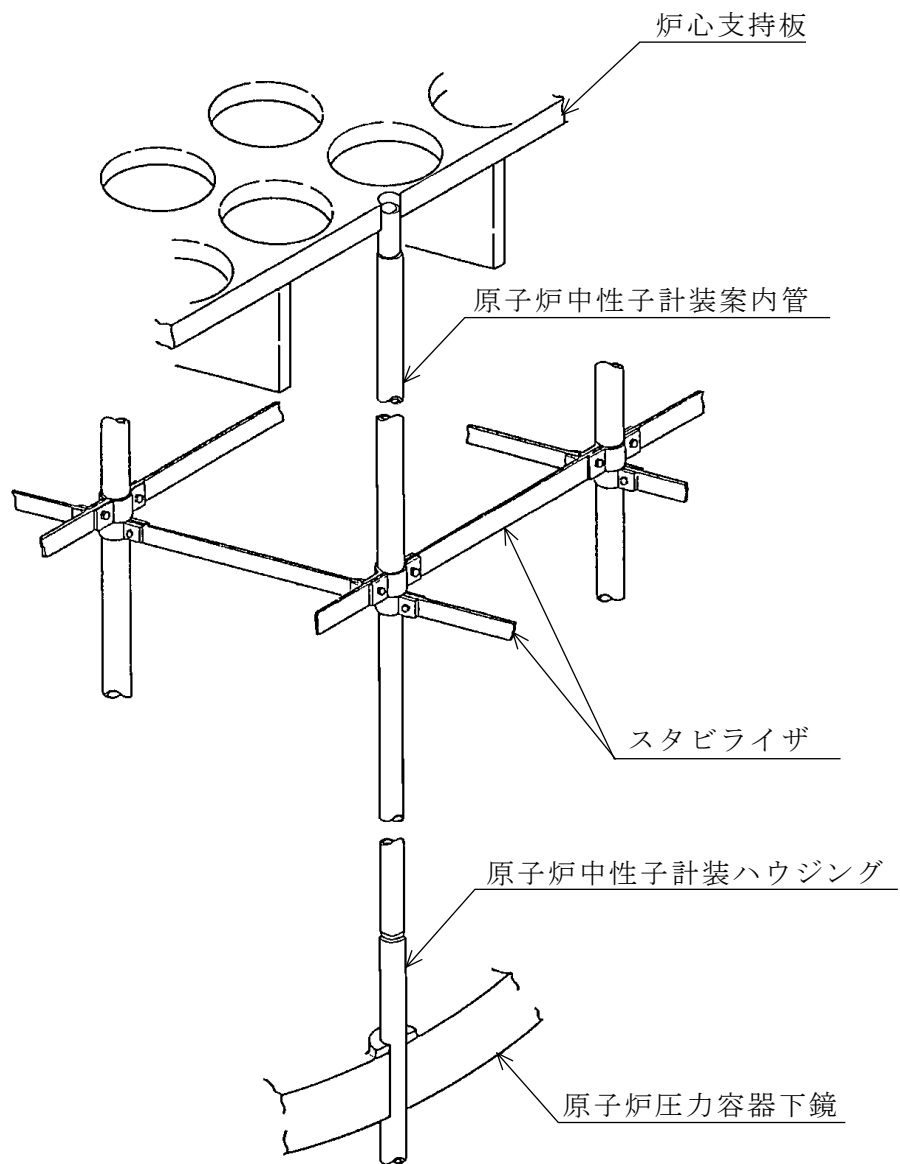


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (2/2)

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 項に示す。

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 項に示す。

2.3 外荷重条件

考慮した外荷重条件を「応力解析の方針」の 4.3 項に示す。

2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.5 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 3.3 項に示す。

2.6 荷重の組合せ

荷重の組合せを「応力解析の方針」の 4.4 項に示す。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.7 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 項に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 項に示す。

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。

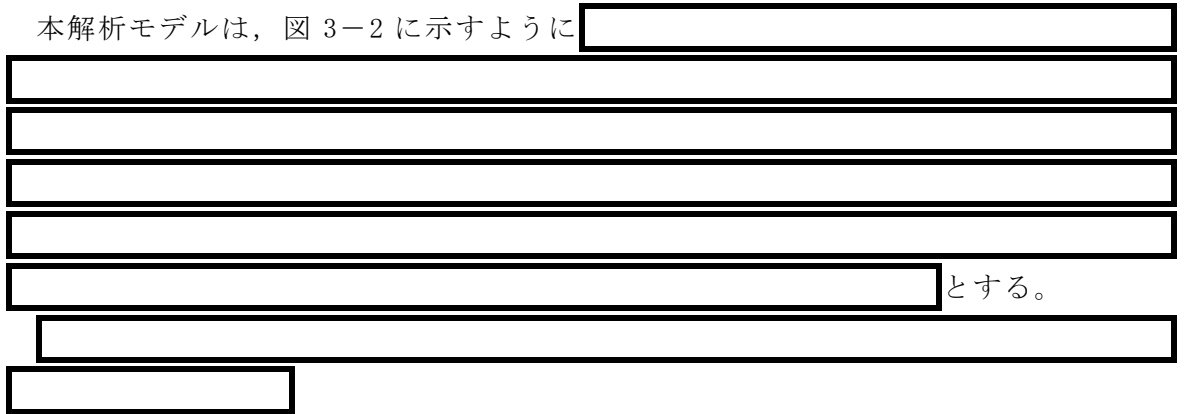
3.2 解析モデル

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。

また，各節点の質量及び部材定数を表3-1に，スタビライザのばね定数を表3-2及び表3-3に示す。

本解析モデルは，図3-2に示すように



3.3 固有値解析結果

固有周期を表3-4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。

なお，「3.2 解析モデル」に示すとおり，本解析モデルにおいて各グループは同一平面上に配置しているが，図3-3では各グループのモード図を並べて示す。

3.4 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表3-5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。

3.5 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

各応力評価点で荷重ごとに計算した応力を重ね合わせ、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 5.2.2 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 項及び 3.6 項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 項及び 3.6 項に示す許容応力を満足する。

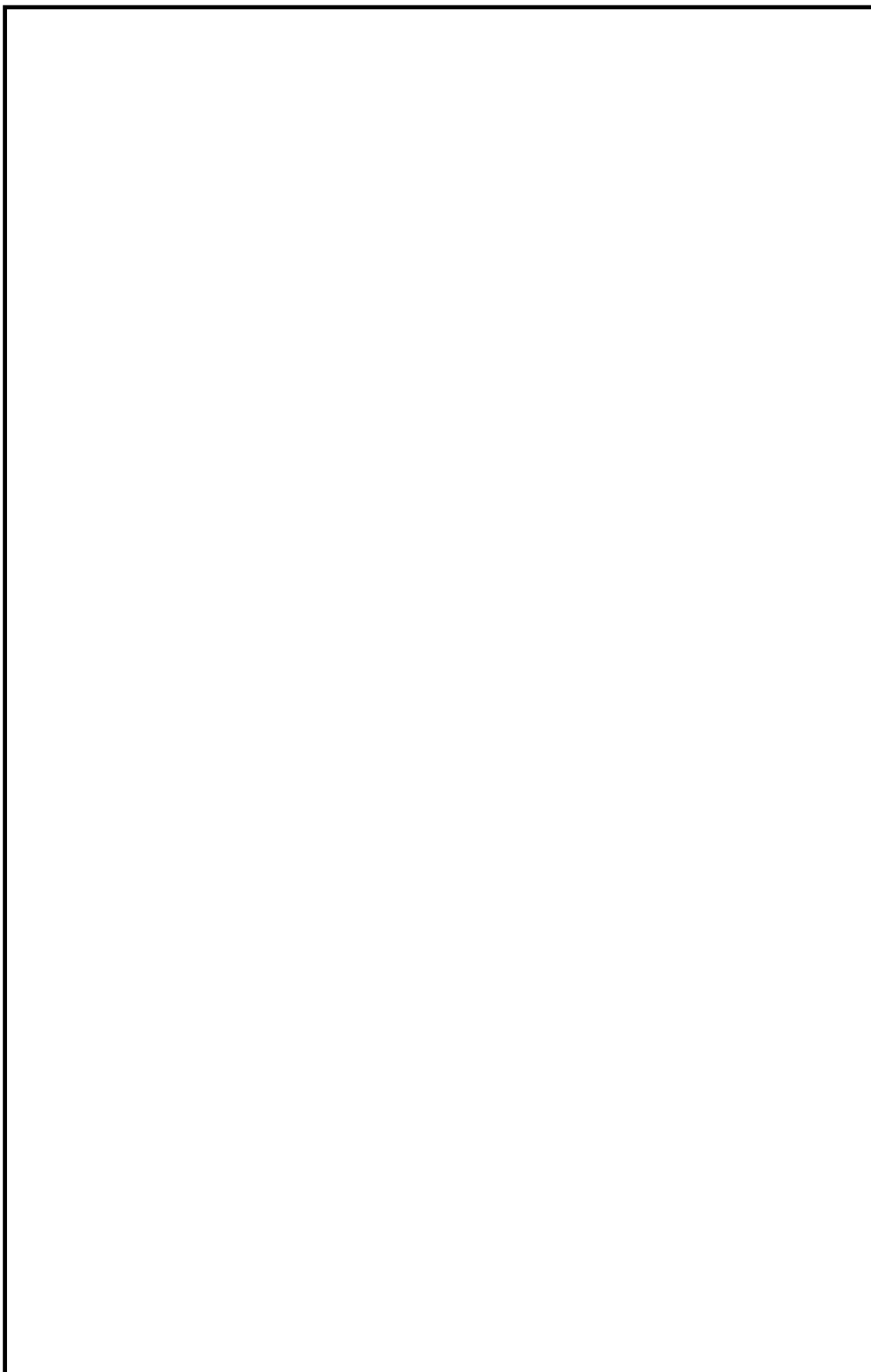


図 3-1 解析モデル

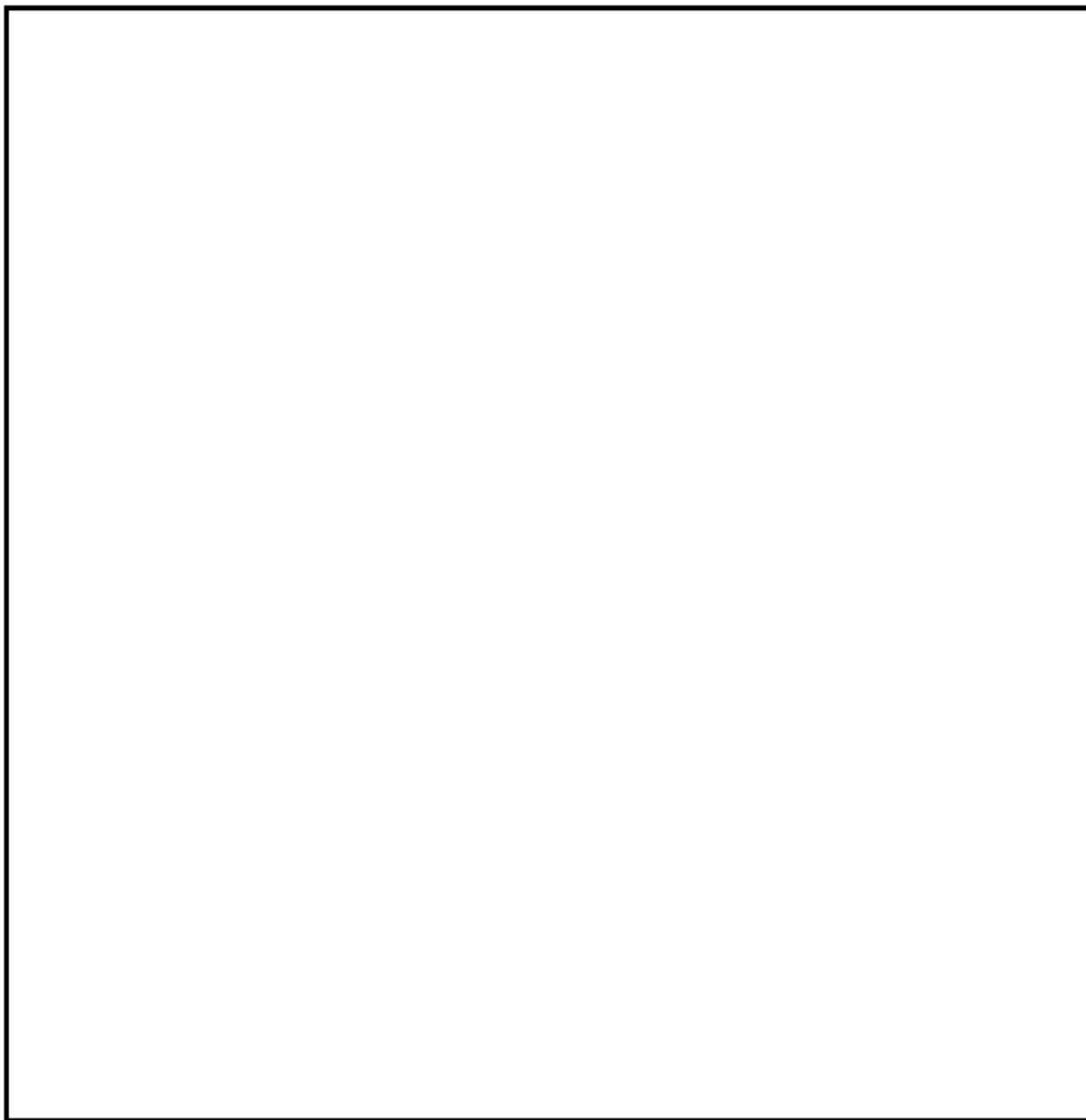


図 3-2 原子炉中性子計装案内管とスタビライザの配置及びグループ分割

表 3-1(1/3) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

S2 補 VI-2-3-3-11 R1

表 3-1(2/3) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						

S2 補 VI-2-3-3-11 R1

表 3-1(3/3) 質量及び部材定数

節点 番号	EL (m)	質量 (kg)	部材長 (mm)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	有効せん断 断面積 (mm ²)	摘要
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						

S2 補 VI-2-3-3-11 R1

表 3-2 並進ばね定数

(単位 : N/mm)

記号	X 方向	Z 方向
K_1		
K_2		
K_3		
K_4		
K_5		
K_6		
K_7		
K_8		
K_9		
K_{10}		

表 3-3 回転ばね定数

(単位 : N · mm/rad)

記号	X 方向	Z 方向
$K_{\theta 1}$		
$K_{\theta 2}$		
$K_{\theta 3}$		
$K_{\theta 4}$		
$K_{\theta 5}$		
$K_{\theta 6}$		
$K_{\theta 7}$		
$K_{\theta 8}$		
$K_{\theta 9}$		
$K_{\theta 10}$		

表 3-4 固有周期

モード*1	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向*2 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*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 3-5 設計用地震力

据付場所及び 床面高さ(m)		炉心シュラウド (EL 21.571) 原子炉圧力容器下鏡 (EL 18.250 ~ 16.508) *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
		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
1次		2.71	—	—	4.08	—	—
2次		—	4.24	—	—	6.29	—
3次		—	5.95	—	—	16.33	—
4次		4.48	—	—	9.57	—	—
5次		—	5.51	—	—	14.67	—
6次		2.55	—	—	7.75	—	—
7次		—	4.26	—	—	12.03	—
動的震度*6,*7		0.98	0.97	0.65	2.58	2.36	1.83
静的震度*8		0.75	0.76	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。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。

*4：設計用床応答スペクトルⅠ（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）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）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

(単位：Hz)

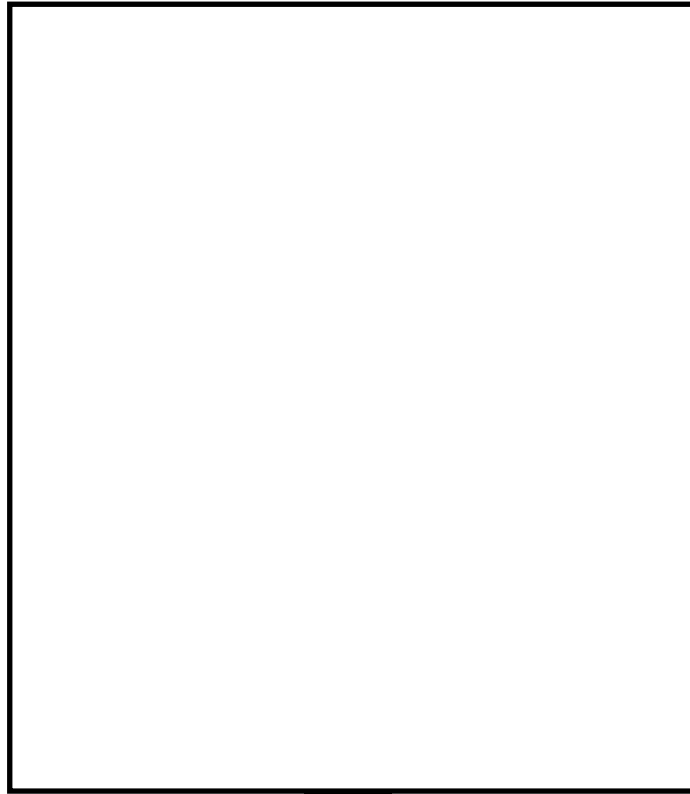


図 3-3(1) 振動モード図 (1 次 s, 変形前：黒色, 変形後：赤色)

(単位：Hz)

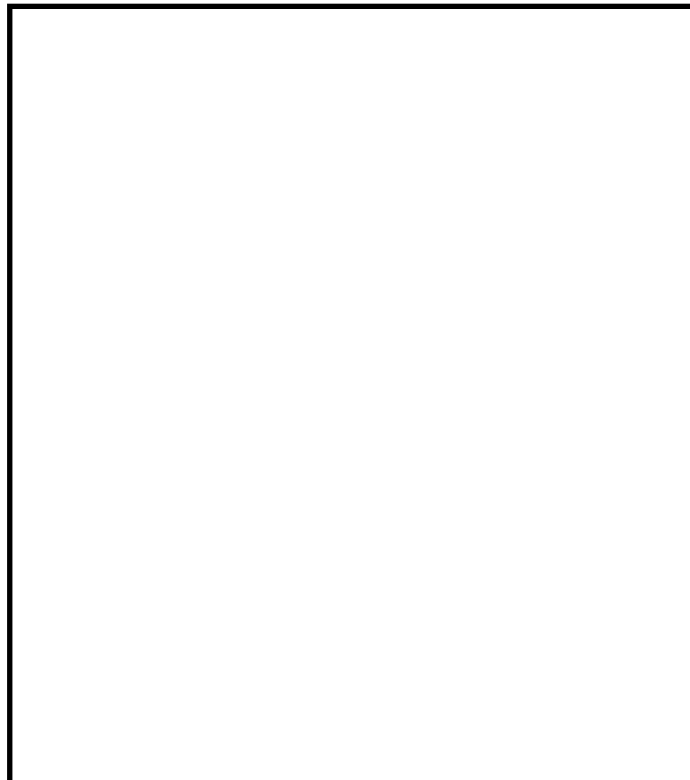


図 3-3(2) 振動モード図 (2 次 s, 変形前：黒色, 変形後：赤色)

(単位：Hz)

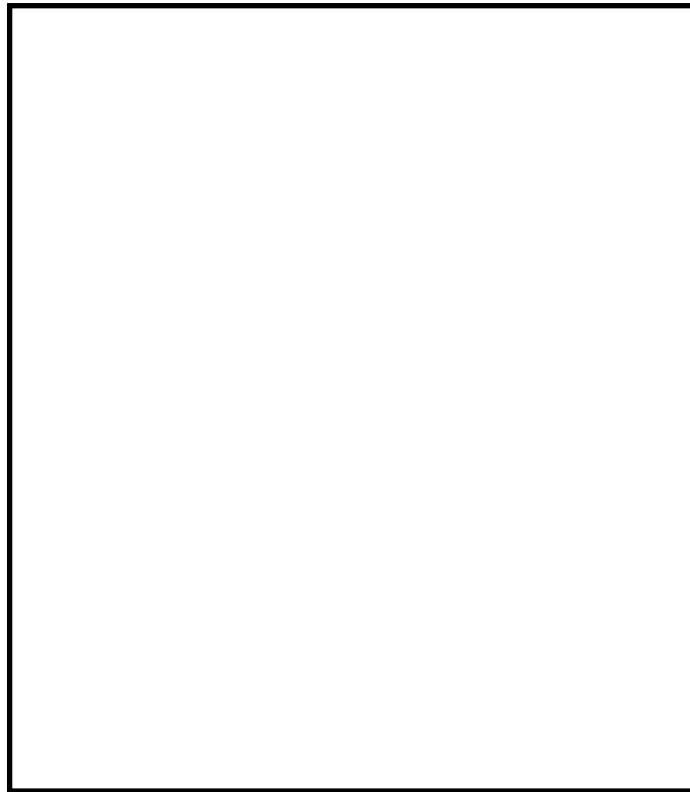


図 3-3(3) 振動モード図 (3 次 s, 変形前：黒色, 変形後：赤色)

(単位：Hz)

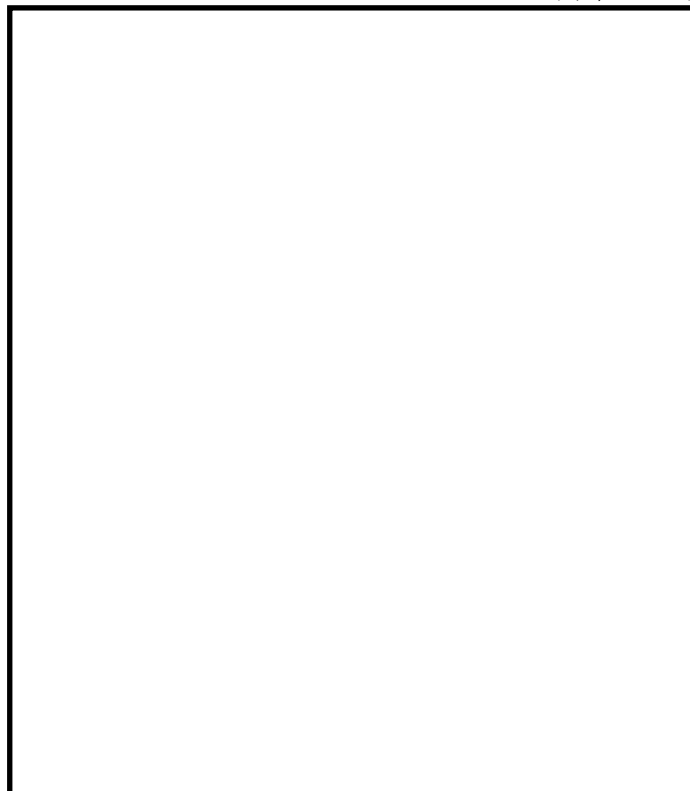


図 3-3(4) 振動モード図 (4 次 s, 変形前：黒色, 変形後：赤色)

(単位 : Hz)

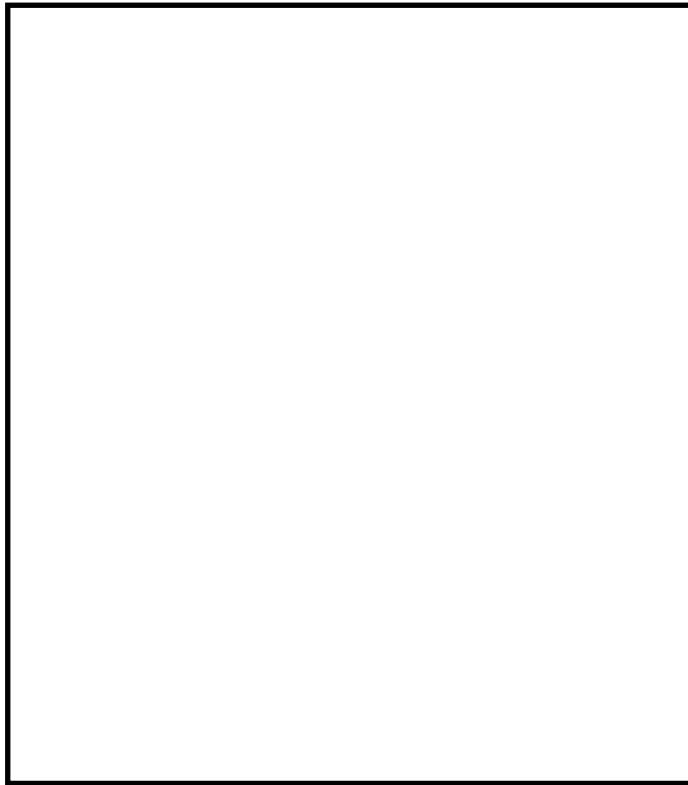


図 3-3(5) 振動モード図 (5 次 s, 変形前 : 黒色, 変形後 : 赤色)

(単位 : Hz)

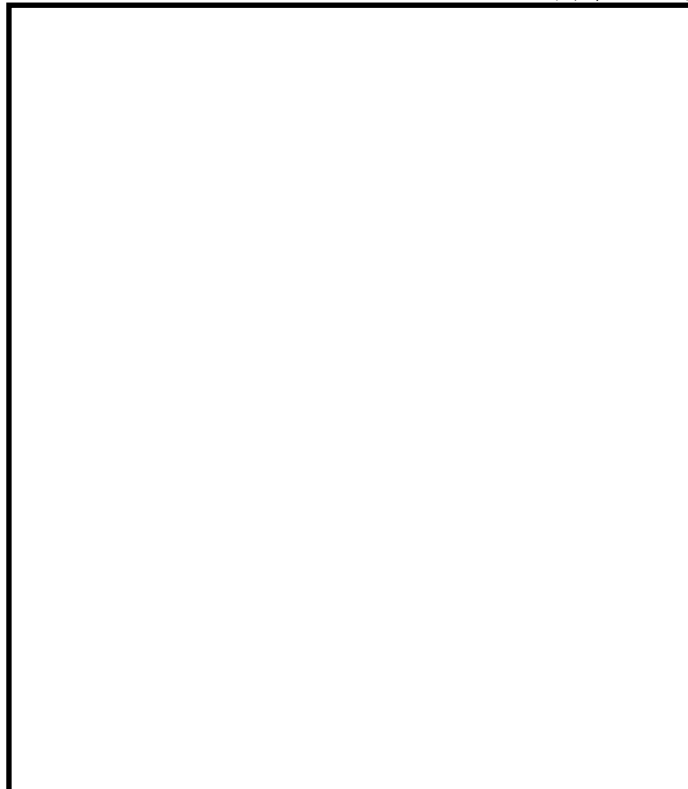


図 3-3(6) 振動モード図 (6 次 s, 変形前 : 黒色, 変形後 : 赤色)

(単位 : Hz)



図 3-3(7) 振動モード図 (7 次 s, 変形前 : 黒色, 変形後 : 赤色)

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。