

VI-2-11-2-7 機器の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-7-1 原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	10
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	28
4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法	28
4.6.2 落下防止ラグの応力の計算方法	32
4.6.3 トロリストップの応力の計算方法	33
4.6.4 浮上り量の計算方法	34
4.6.5 吊具の荷重計算方法	34
4.7 計算条件	34
4.8 応力の評価	35
4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価	35
4.8.2 落下防止ラグの応力評価	35
4.8.3 トロリストップの応力評価	35
4.8.4 浮上り量の評価	36
4.8.5 吊具の評価	37
5. 評価結果	37
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	37
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	37
6. 引用文献	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉建物天井クレーン（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建物天井クレーンは、原子炉建物原子炉棟4階に設置されている。原子炉建物天井クレーンは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上に移動可能であることから、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

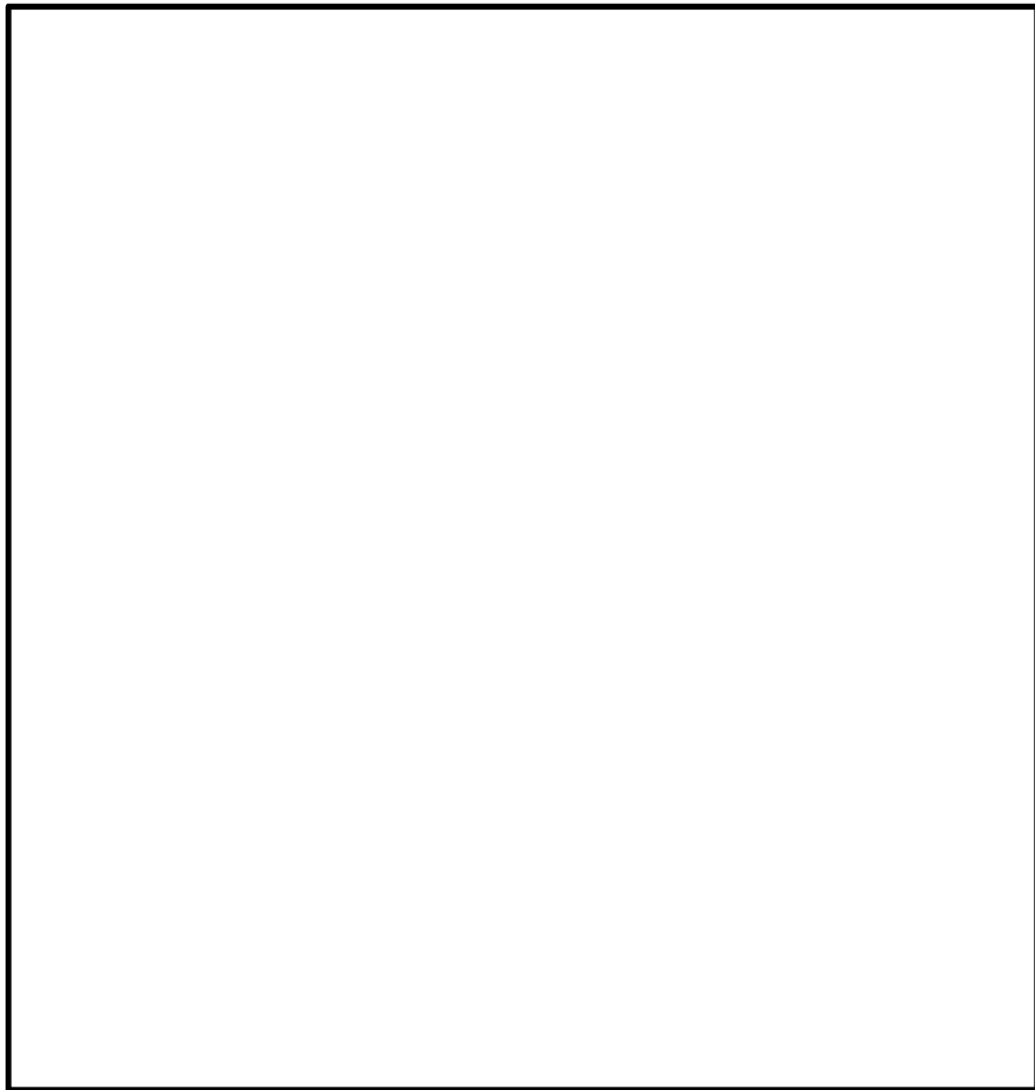


図2-1 原子炉建物天井クレーンの位置関係図

2.2 構造計画

原子炉建物天井クレーンの構造計画を表 2-1 に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建物原子炉棟4階のクレーンガーダ上に設けた走行レール上をクレーン本体ガーダが走行し、クレーン本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。</p> <p>クレーン本体ガーダは落下防止ラグ、トロリはトロリストッパを走行部付近に備えており、各々浮上り代を設けた（鉛直方向の浮上りを拘束しない）構造である。</p> <p>また、吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。</p>	<p>クレーン本体ガーダ トロリ 落下防止ラグ トロリストッパ ワイヤロープ フック</p>	<p>The diagram illustrates the crane's structure in two directions. The left view shows the EW (East-West) direction, highlighting the horizontal rail (横行レール) and the trolley (トロリ) with its stop (トロリストッパ). The right view shows the NS (North-South) direction, detailing the drive wheel (駆動輪), idler wheel (従動輪), and the hook/lift mechanism (フック/吊荷) connected to the wire rope (ワイヤロープ). A fall prevention lag (落下防止ラグ) is also shown. The crane body girder (クレーン本体ガーダ) and the main running rail (走行レール) are common to both views.</p>

(単位：mm)

2.3 評価方針

原子炉建物天井クレーンの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉建物天井クレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動 S_s による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉建物天井クレーンの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

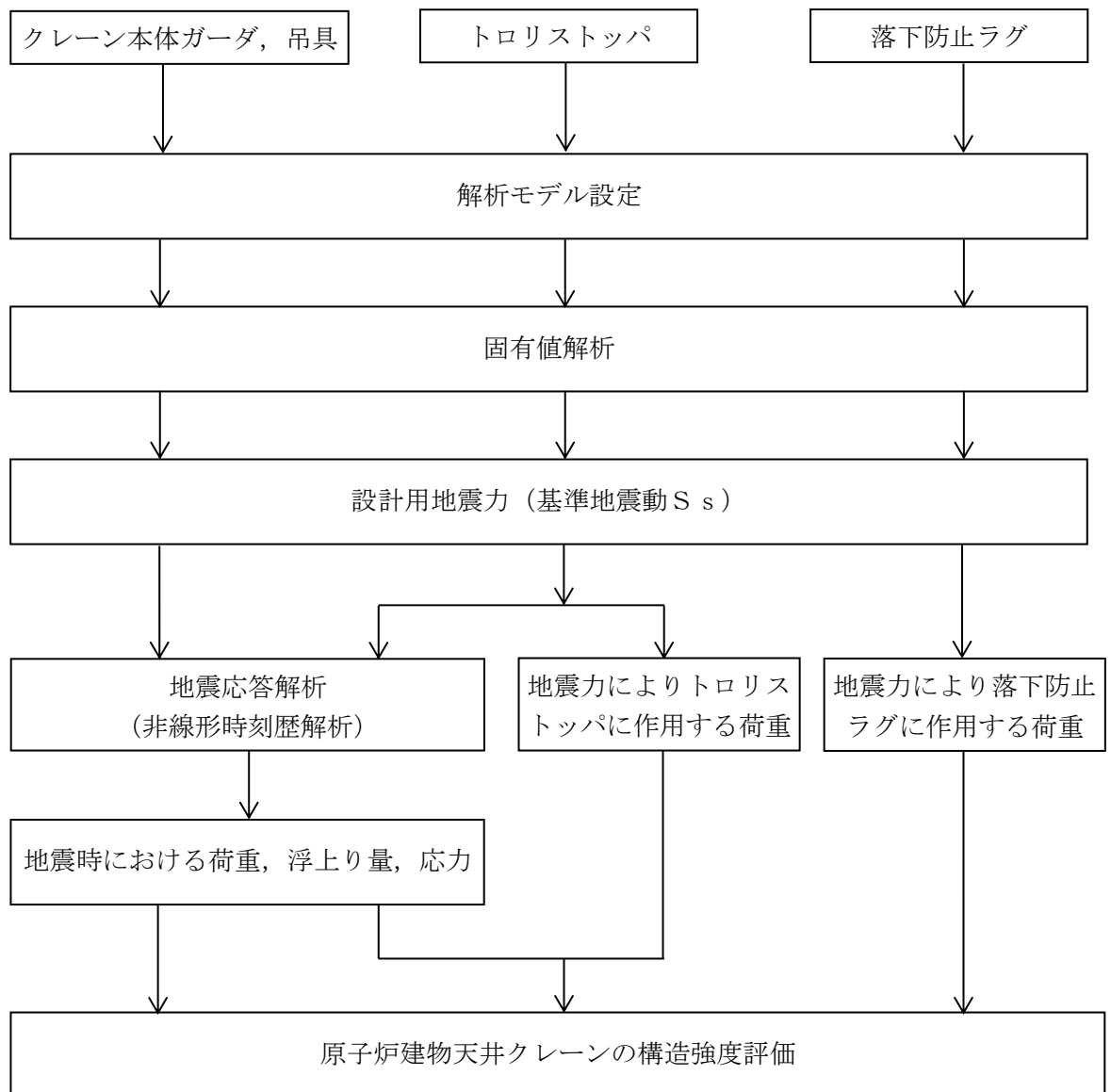


図 2-2 原子炉建物天井クレーンの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・クレーン構造規格 (平成 15 年 12 月 19 日厚生労働省告示 399 号)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	落下防止ラグの断面積	mm^2
A_2	トロリストッパの断面積	mm^2
A_V	ガーダ端部の主桁及び補桁の断面積	mm^2
C_H	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度 (EW 方向)	—
C_{H1}	水平方向設計震度 (NS 方向)	—
D	死荷重	N
E_G	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
E_W	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_1	落下防止ラグ 1 個あたりに作用する力	N
F_2	トロリストッパ 1 個あたりに作用する力	N
f_c	落下防止ラグの許容圧縮応力	MPa
f_s	ガーダ端部の許容せん断応力	MPa
f_{s1}	トロリストッパの許容せん断応力	MPa
f_t	ガーダ中央部の許容引張応力	MPa
f_{t1}	トロリストッパの許容引張応力	MPa
f_{t2}	トロリストッパの許容組合せ応力	MPa
f_{w1}	吊具 (ワイヤロープ) の許容荷重	N
f_{w2}	吊具 (フック) の許容荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_g	ガーダの許容浮上り量	mm
H_t	トロリの許容浮上り量	mm
h_g	ガーダの浮上り量	mm
h_t	トロリの浮上り量	mm
L	トロリストッパ高さ	mm
l_1	落下防止ラグ鉛直材の長さ	mm
l_2	落下防止ラグ水平材の長さ	mm
l_3	トロリストッパ水平材の長さ	mm
M	トロリストッパの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_D	機械的荷重 (設計基準対象施設)	N
M_H	ガーダ中央部の水平曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{SAD}	機械的荷重 (重大事故等対処設備)	N
M_V	ガーダ中央部の鉛直曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガーダ部全質量 (サドル, ロッカービームを含む。)	kg
m_m	主巻定格荷重 (質量)	kg
m_t	トロリ質量 (ワイヤロープ及びフック含む。)	kg
P_D	最高使用圧力による荷重 (設計基準対象施設)	N

記号	記号の説明	単位
P_{SAD}	設計圧力による荷重（重大事故等対処設備）	N
P_W	吊具（ワイヤロープ及びフック）に加わる荷重	N
Q	ガーダ端部のせん断力	N
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_1	落下防止ラグ鉛直材の板厚	mm
t_2	落下防止ラグ水平材の板厚	mm
t_3	トロリストoppa水平材の板厚	mm
Z	トロリストoppaの断面係数	mm ³
Z_x	ガーダ中央部のX軸に関する断面係数	mm ³
Z_y	ガーダ中央部のY軸に関する断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
Σm	クレーン総質量 ($m_t + m_G$)	kg
σ_c	落下防止ラグの圧縮応力	MPa
σ_{Ht}	M_H によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_t	ガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t1}	トロリストoppaの曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t2}	トロリストoppaの組合せ応力	MPa
σ_{vt}	M_v によるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
τ	ガーダ端部のせん断応力	MPa
τ_1	トロリストoppaのせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

注記*1：最大静止摩擦係数より求めた震度は、小数点以下第3位表示となる場合がある。

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

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

原子炉建物天井クレーンの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、落下防止ラグ、トロリストopp及び吊具（ワイヤロープ及びフック）について実施する。原子炉建物天井クレーンの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 構造概要

図4-1に構造概要図を示す。

耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

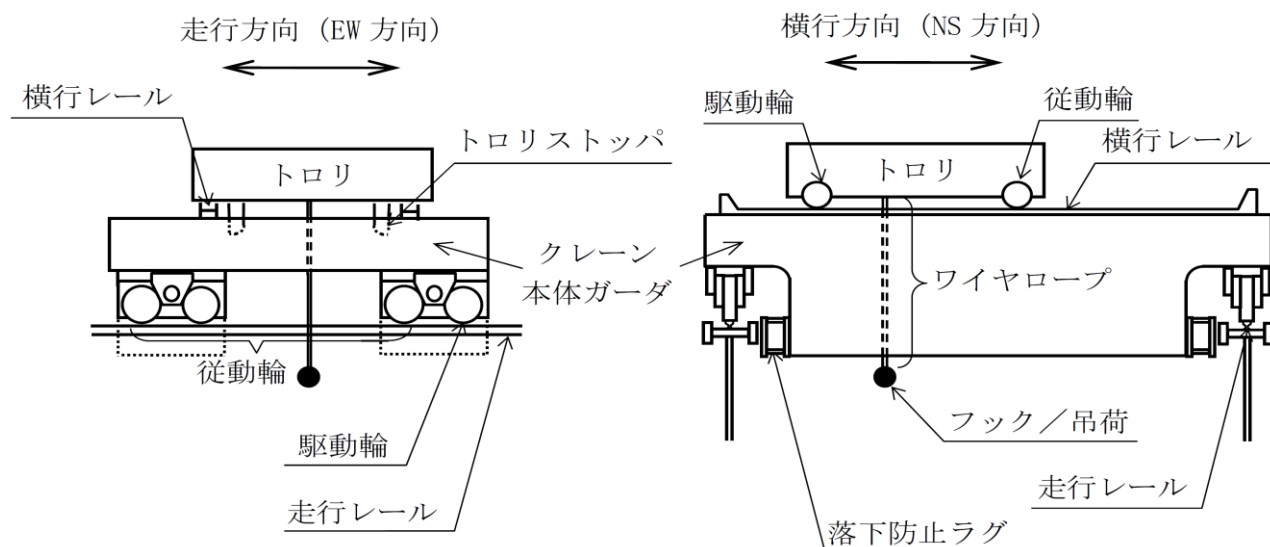


図4-1 構造概要図

(2) 地震力

地震力は「基準地震動 S_s 」を用いる。クレーン本体ガード及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガード及びトロリの浮上り量の算定については、水平2方向及び鉛直方向同時入力による非線形時刻歴解析を実施する。また、落下防止ラグ、トロリストップについては、各々に作用する水平1方向の設計用地震力による評価を実施する。

(3) 走行方向（EW方向）水平力

- クレーンは、クレーン本体ガード及びクレーン本体ガードを介してトロリが走行レール上に載っている構造で建物とは固定されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向（EW方向）に加えられた場合、すべりが生じる。このため、クレーン自身にはレールとクレーン本体の車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- クレーン本体の車輪は8個であり、そのうちの2個は駆動輪、他の6個が従動輪である。
- 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。
- 従動輪は、回転部分が連結されていないため、駆動輪のみで水平力を受ける。
- トロリは、走行方向（EW方向）水平力が横行レールに対して直角方向であり、トロリが

トロリストッパで拘束されているため、水平力がクレーン本体ガーダに作用する。

(4) 横行方向（NS 方向）水平力

a. ガーダ関係

横行方向（NS 方向）は、走行レールに対して直角方向であり、ガーダが落下防止ラグで拘束されているため、水平力がガーダに作用する。

b. トロリ関係

(a) トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で、ガーダとは拘束されていないため、最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合、すべりが生じる。このため、トロリ自身にはレールとトロリの車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) トロリの車輪は 4 個であり、そのうちの 2 個は駆動輪、他の 2 個は従動輪である。

(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合、すべりが生じる。

(d) トロリの従動輪は、回転部分が連結されていないので、駆動輪のみで水平力を受ける。

(5) 鉛直方向（UD 方向）

クレーン及びトロリは、レール上にあり、鉛直下向き方向には建物により支持される。鉛直上向き方向には固定されていないため、鉛直方向（UD 方向）には浮上りを考慮する。

(6) 評価ケース

表4-1に示すケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対しては、クレーンの運転状態と待機状態を想定しケース1~3について、重大事故等対処設備はクレーンの待機状態を想定しケース3について評価する。

なお、トロリ位置中央の場合、吊荷有のケースが吊荷無のケースより厳しい条件であることから、トロリ位置中央、吊荷無のケースは評価対象外とする。

表4-1 評価ケース

評価対象		クレーン本体ガーダ, 浮上り量, 吊具		
		1	2	3
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●*	—	—
	端部	—	●*	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

注記*：吊荷については、落下評価も実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉建物天井クレーンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-2 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉建物天井クレーンの許容応力は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

原子炉建物天井クレーンの使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 及び表 4-6 に, 重大事故等対処設備に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建物 天井クレーン	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建物 天井クレーン	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	圧縮
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$
VAS (VASとして, IVASの許容限界を用いる。)			

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

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

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
	ガーダ 端部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
落下防止ラグ			周囲環境温度	50	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	50	—			—

注記* : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	1.294×10^6	6.46	8.368×10^6
フック		周囲環境温度	50	1.226×10^6	9.63	1.181×10^7

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位		材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
クレーン本体 ガーダ	ガーダ 中央部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
	ガーダ 端部	SS41* (厚さ≤16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
落下防止ラグ			周囲環境温度	100	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	100	—			—

注記* : SS400 相当

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉建物天井クレーンの解析モデルを図4-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) クレーンは、はり要素を用いた有限要素モデルとし、クレーンの質量としてガーダ部、トロリ及び吊荷を考慮する。ガーダ部及びトロリの質量は、はり要素に等分布で与え、吊荷の質量は吊荷部に集中質量で与える。

クレーン本体の車輪においては、走行方向（EW方向）及び鉛直方向について、それぞれすべり、浮上りを考慮しているため、非拘束条件としている。また、横行方向（NS方向）については、クレーン本体の車輪と走行レールとの間隙が小さく、地震時にはクレーン本体の車輪と走行レールが接触して荷重が伝達されるため、並進方向拘束で、すべりを生じない条件としている。

トロリの車輪においては、横行方向（NS方向）及び鉛直方向について、それぞれすべり、浮上りを考慮して非拘束条件としている。また、走行方向（EW方向）については、横行方向と横行レールの間隙が小さく、地震時にはトロリの車輪と横行レールが接触して荷重が伝達されるため、並進方向拘束で、すべりを生じない拘束条件としている。

- (2) 地震応答解析に用いる減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに2.0%を用いる。

なお、減衰定数はRayleigh減衰により、減衰定数2.0%となる固有周期点を原子炉建物天井クレーンの固有周期に合わせて設定することで与える。この固有周期点は、原子炉建物天井クレーンの鉛直方向1次固有周期が最長で0.442s（2.26Hz）、水平方向1次固有周期が最短で0.016s（62.50Hz）であることを踏まえて設定している。

- (3) クレーンの車輪部については、4.1(1)項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて、解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a. クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦係数以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を $\mu = 0.3$ とし、クレーン各構造部材に発生する水平力は、クレーン本体の車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガーダの走行方向（EW方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.075$$

トロリの走行方向（NS方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

b. 浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は、引用文献(1)の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として、を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に、関係図を図4-2に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

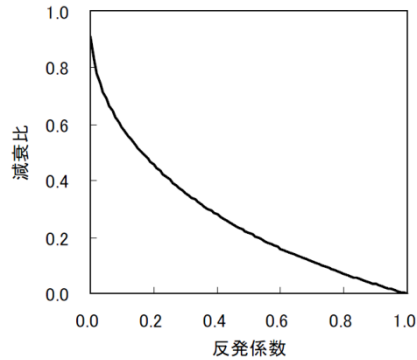


図4-2 反発係数と減衰比の関係

- (4) 固有値解析及び地震応答解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

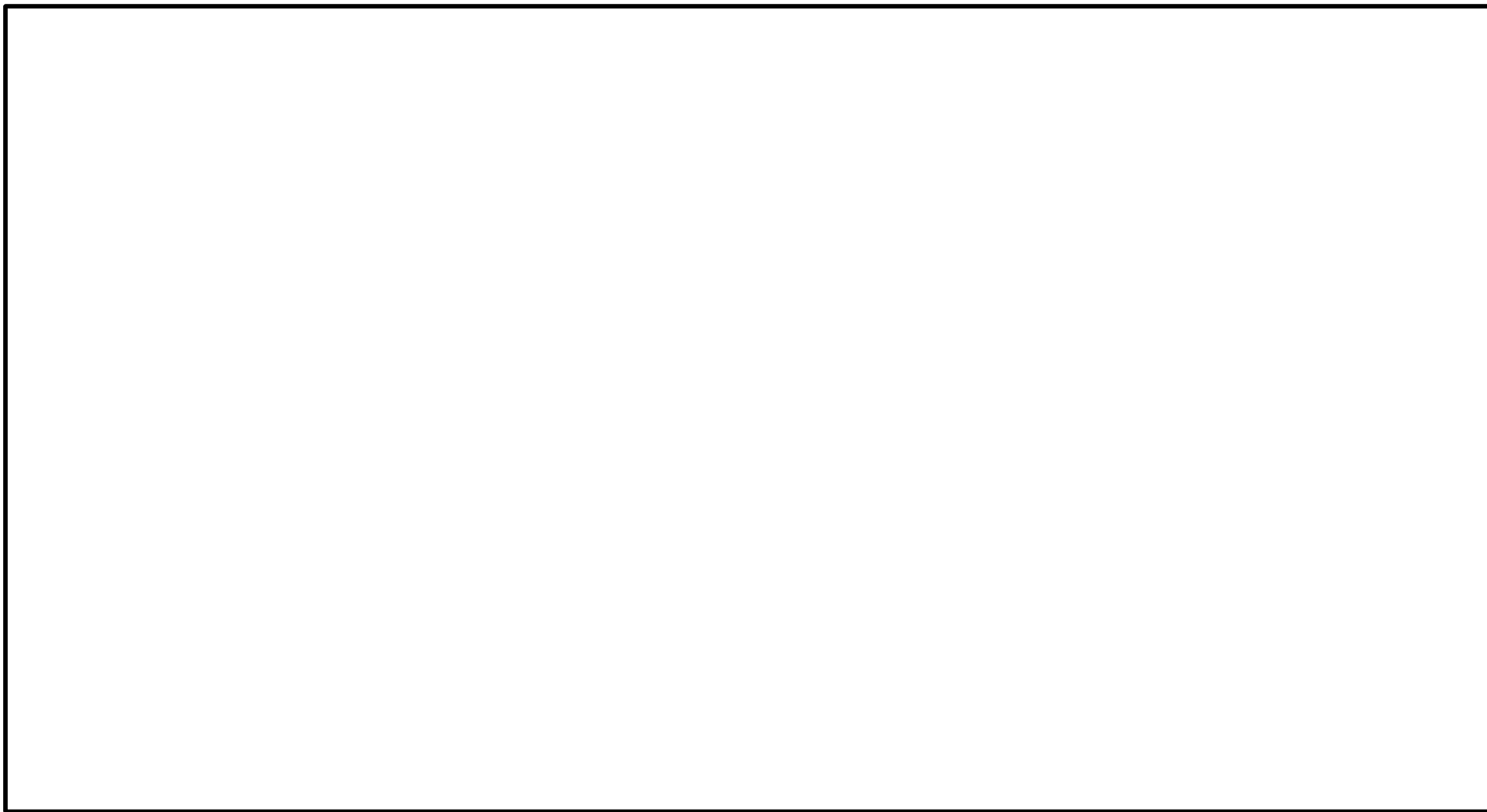


図4-3 原子炉建物天井クレーン解析モデル (トロリ中央位置モデル)

4.4 固有周期

設計基準対象施設としての評価ケースにおける各方向の卓越モードの固有周期を表 4-8 に、重大事故等対処設備としての評価ケースにおける各方向の卓越モードの固有周期を表 4-9 に示す。また、各方向の卓越モードの振動モード図について図 4-4 及び図 4-5 に示す。

落下防止ラグへの算出荷重に用いる設計震度を算定するために、落下防止ラグが作用するクレーン横行方向（NS 方向）の卓越モードにおける固有周期を確認する。落下防止ラグはクレーン本体ガーダに設置されているため、クレーン本体ガーダが最も横行方向（NS 方向）へ卓越するモードが横行方向（NS 方向）の卓越モードであり、その固有周期は、0.05 秒以下で剛構造であることを確認した。

表 4-8 設計基準対象施設の評価ケースの固有周期

方向	固有周期 (s)
鉛直方向 (UD 方向)	0.442
走行方向 (EW 方向)	0.279
横行方向 (NS 方向)	0.016

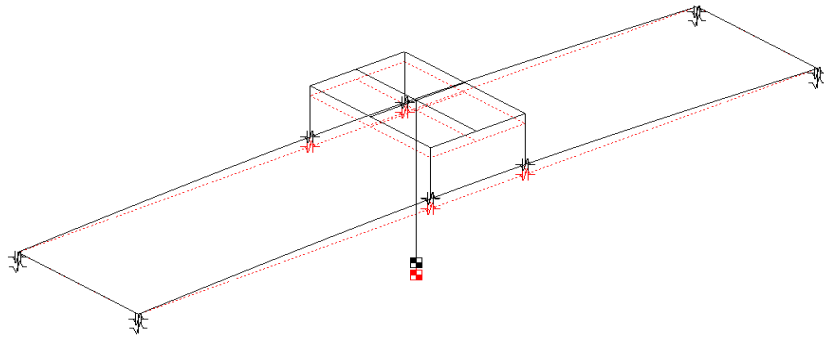
表 4-9 重大事故等対処設備の評価ケースの固有周期

方向	固有周期 (s)
走行方向 (EW 方向)	0.373
鉛直方向 (UD 方向)	0.150
横行方向 (NS 方向)	0.016

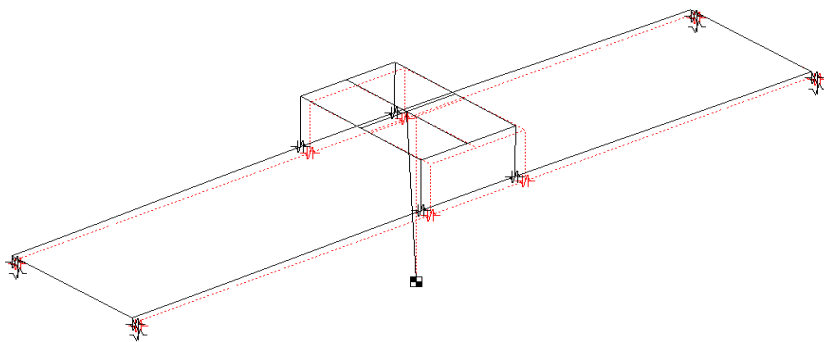
【凡例】

赤：変形前

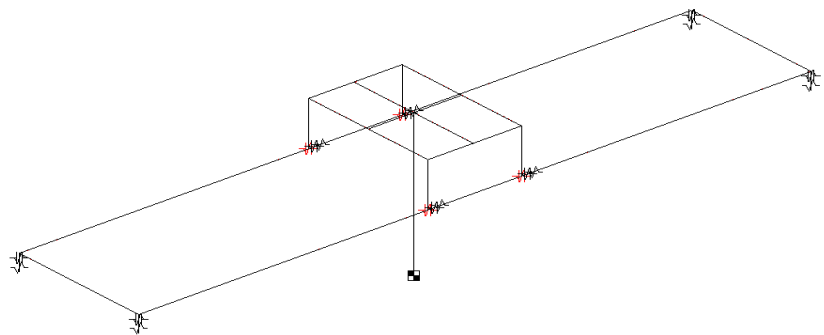
黒：変形後



鉛直方向（UD 方向）



走行方向（EW 方向）



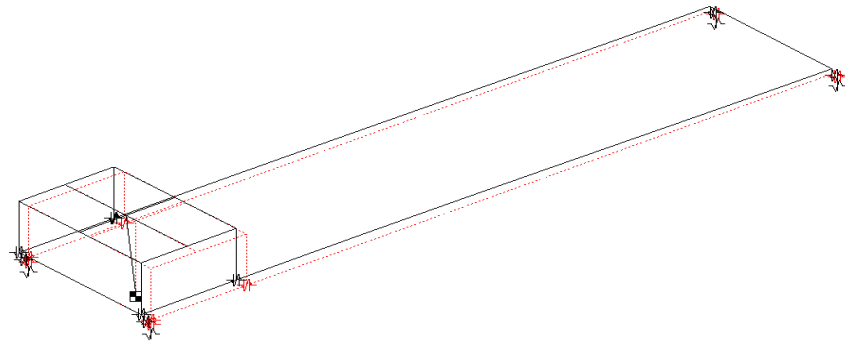
横行方向（NS 方向）

図 4-4 設計基準対象施設の評価ケースの振動モード図

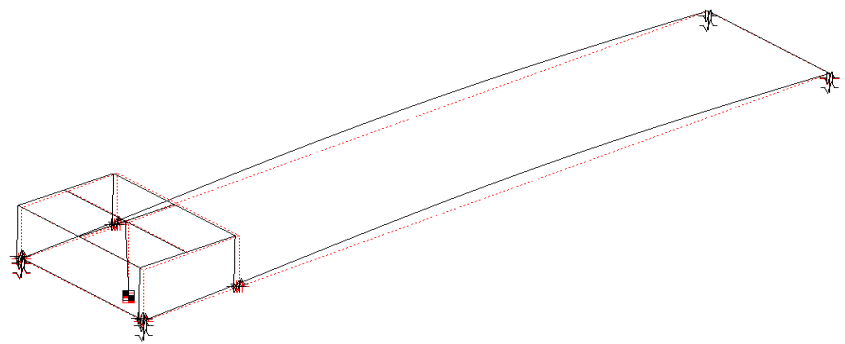
【凡例】

赤：変形前

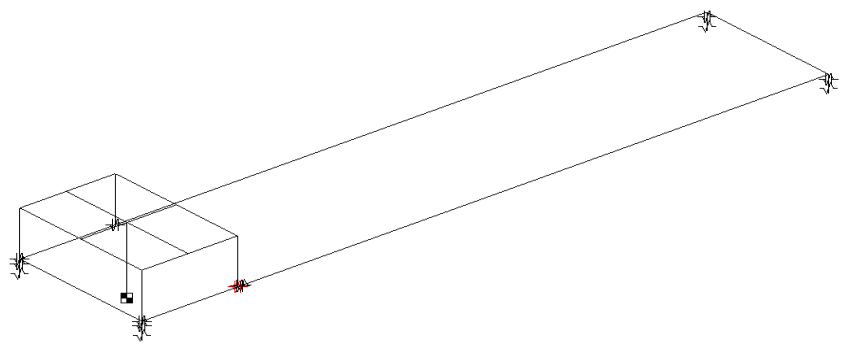
黒：変形後



走行方向 (EW 方向)



鉛直方向 (UD 方向)



横行方向 (NS 方向)

図 4-5 重大事故等対処設備の評価ケースの振動モード図

4.5 設計用地震力

落下防止ラグ及びトロリストoppa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4-10に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-11に示す。「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S _s * ⁶		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建物 EL 51.7* ¹	—* ²	0.016* ³	—* ²	C _H =0.075* ^{4, *5}	C _{H1} =2.27* ³	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S_s））

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*5：トロリストoppaの評価に適用する。

*6：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

表4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S _s * ⁶		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建物 EL 51.7* ¹	—* ²	0.016* ³	—* ²	C _H =0.075* ^{4, *5}	C _{H1} =2.27* ³	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

*3：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S_s））

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*5：トロリストoppaの評価に適用する。

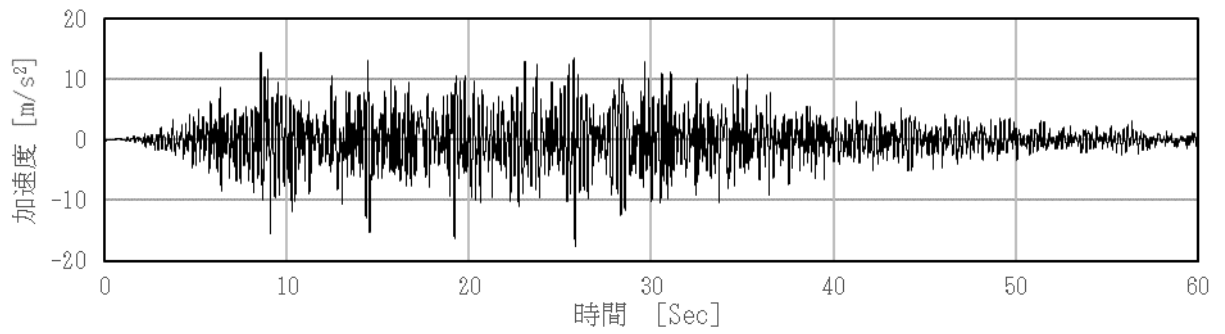
*6：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量に対する地震応答解析は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」で得られる原子炉建物 EL 51.7m の時刻歴加速度波を入力とし、水平 2 方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。時刻歴加速度波形を次頁以降の(1)～(5)に示す。

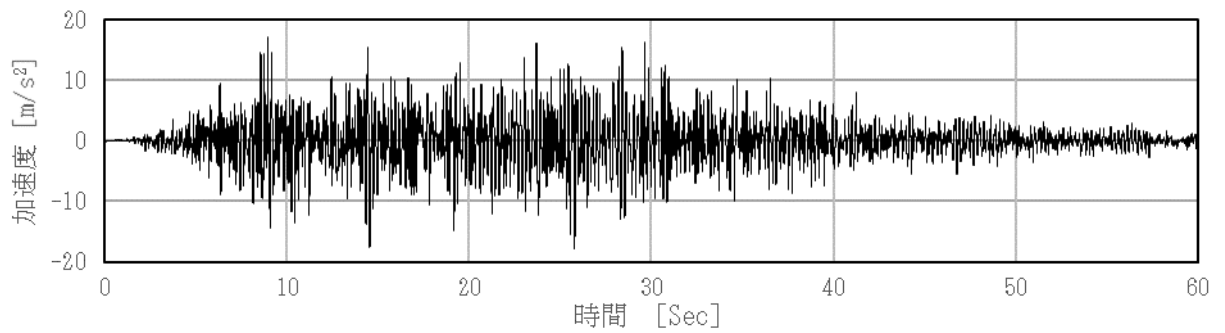
また、時刻歴応答解析に対する保守性の考慮として、基準となる時刻歴加速度波（固有周期シフトを考慮していないもの）による解析に加えて、A S M E Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening の規定を参考に時刻歴加速度波を時間軸方向に±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析も実施する。さらに、±10%シフトさせた応答スペクトルのピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、A S M Eの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。

- (1) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：S_s-D

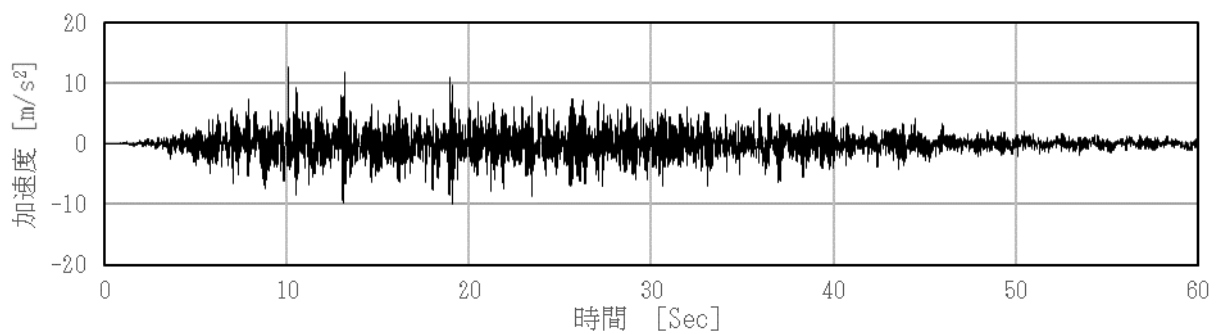
NS 方向



EW 方向

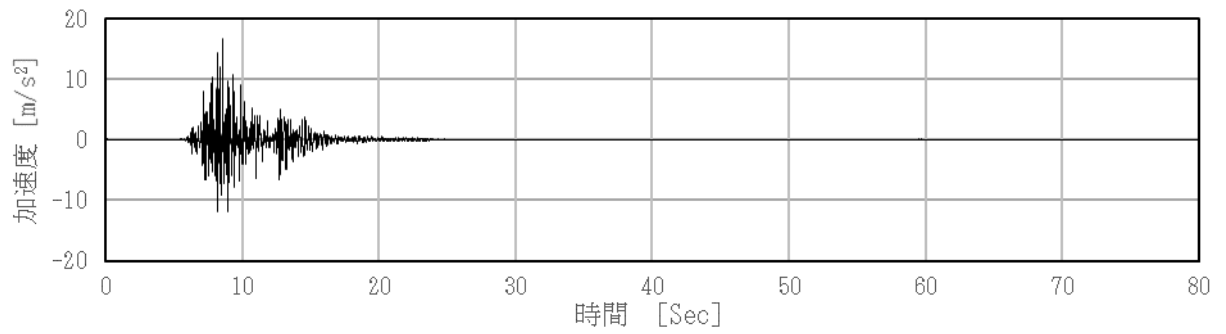


UD 方向

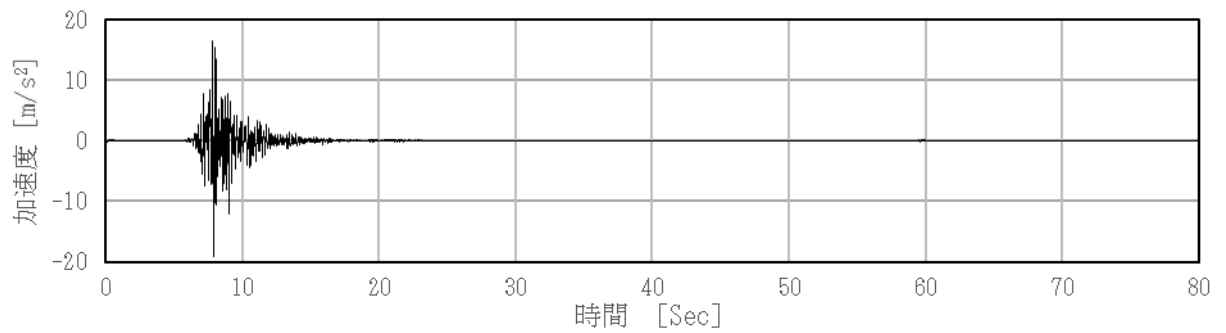


(2) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：S s - F 1

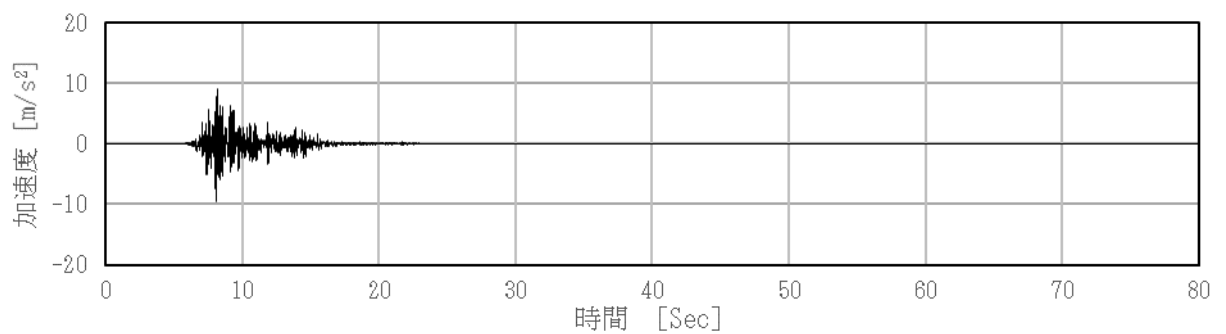
NS 方向



EW 方向



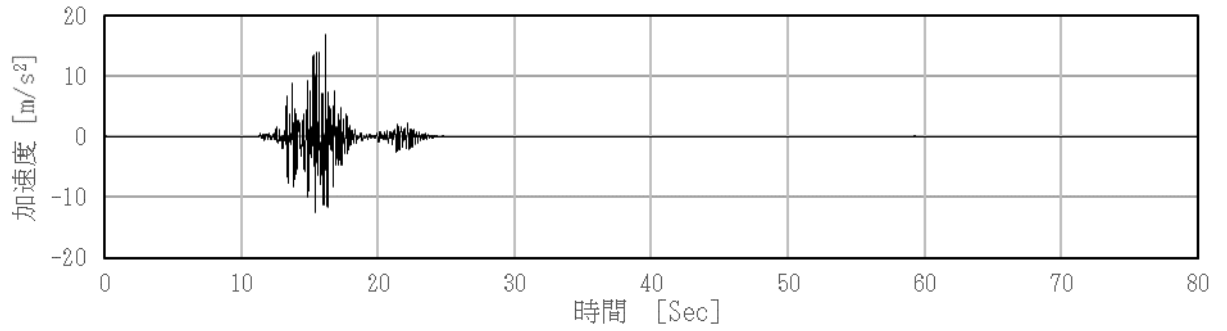
UD 方向



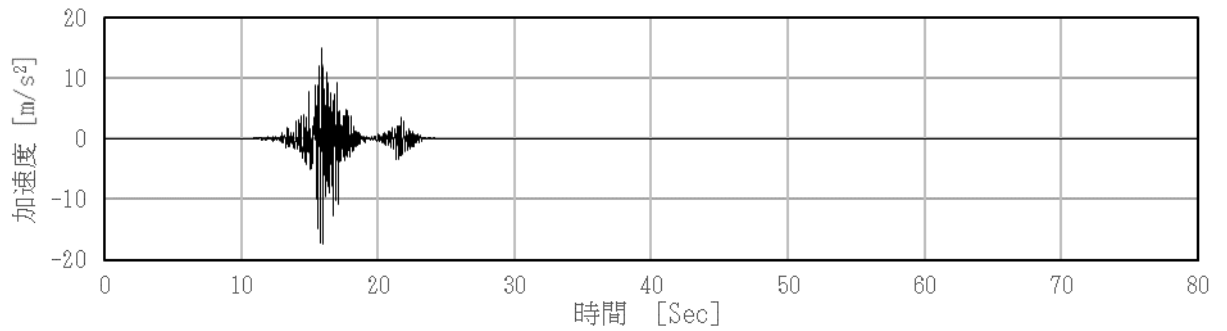
(3) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース

地震波：S_s-F2

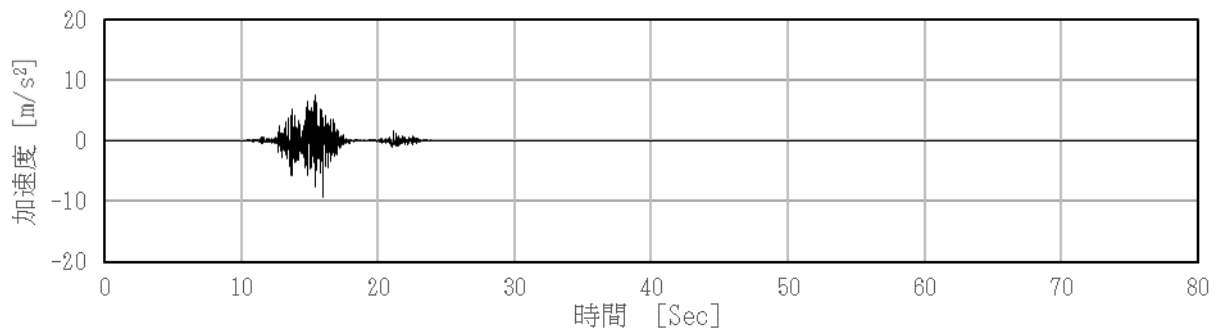
NS 方向



EW 方向



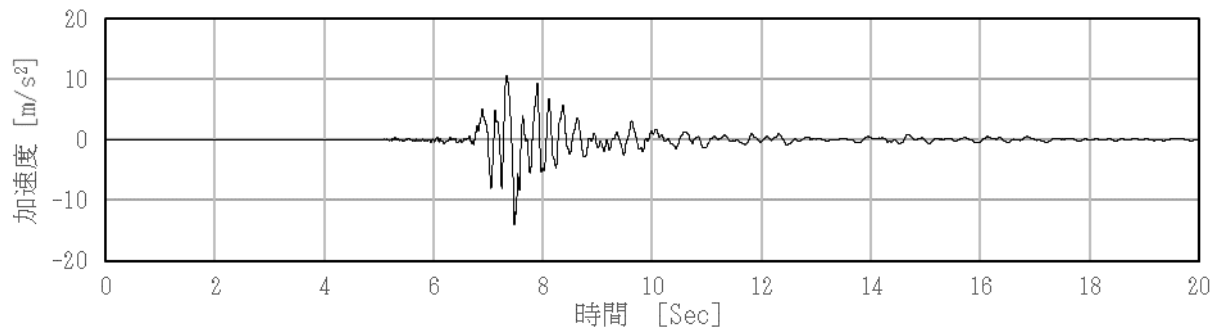
UD 方向



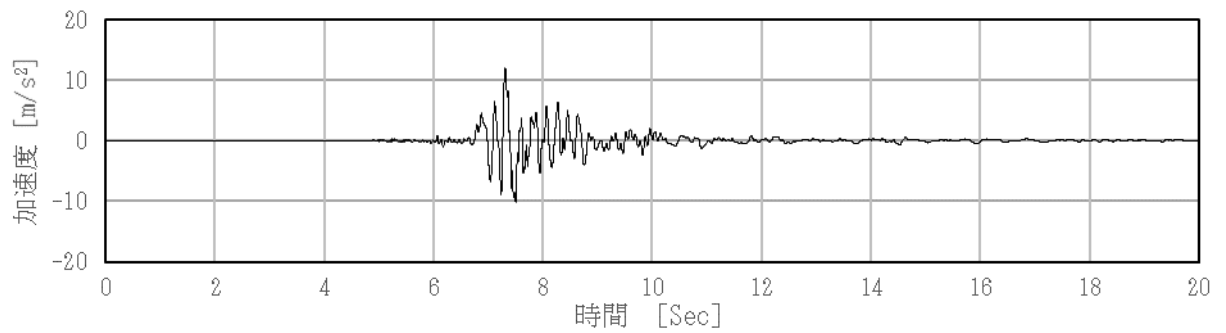
(4) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース

地震波：S_s-N1

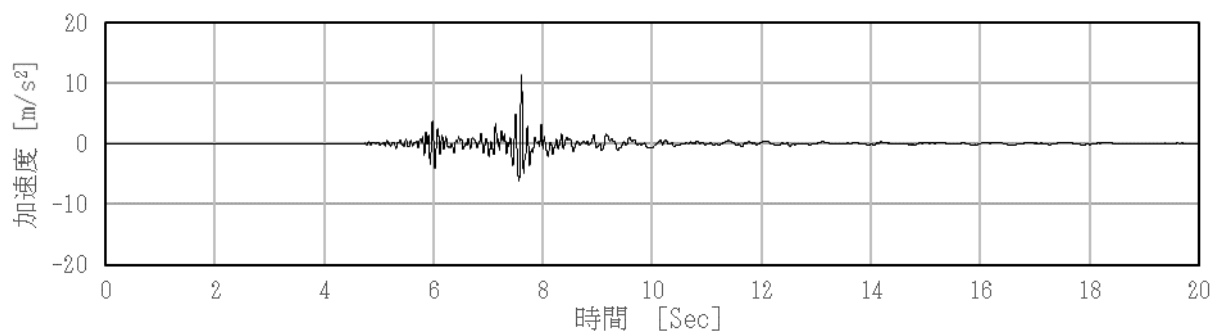
NS 方向



EW 方向

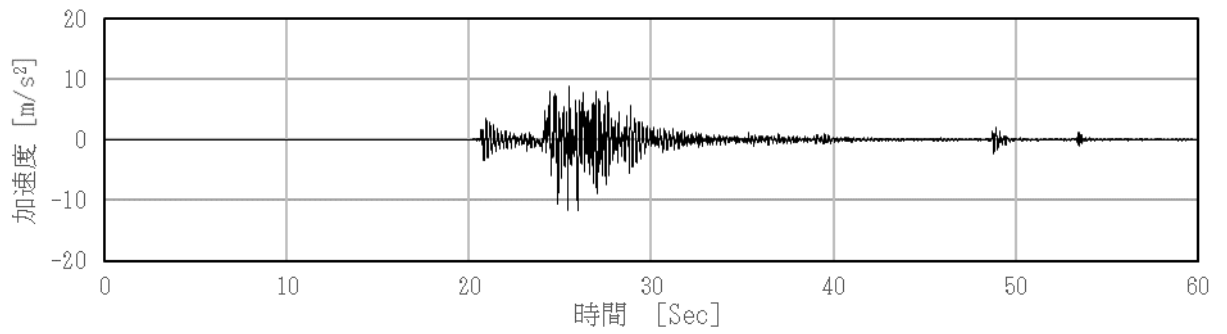


UD 方向

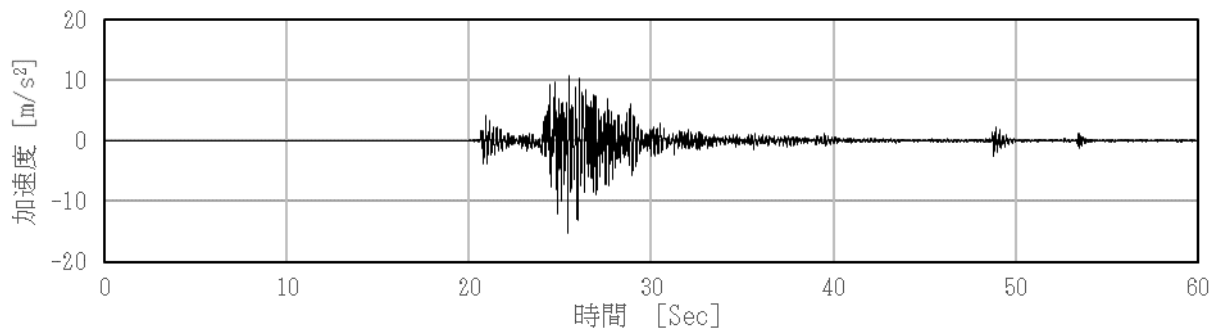


- (5) 原子炉建物の解析ケース：基本ケース
地震波：S_s-N 2

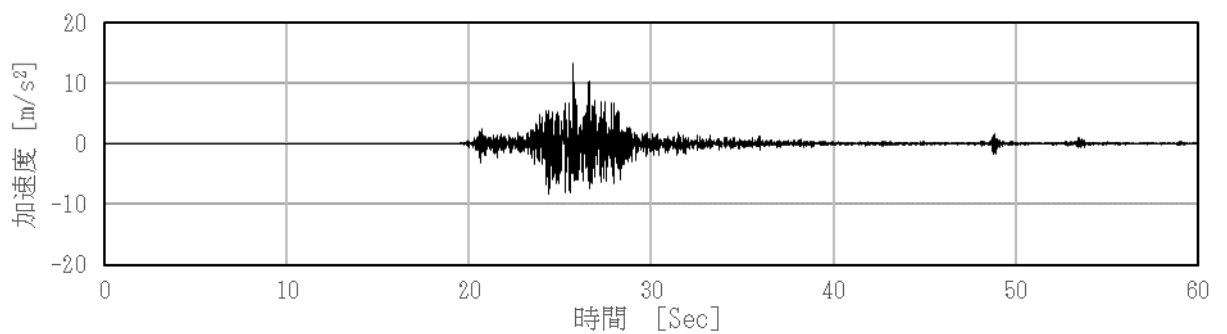
NS 方向



EW 方向



UD 方向



4.6 計算方法

4.6.1 クレーン本体ガーダの応力の計算方法

(1) 設計荷重

ガーダに加わる荷重を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。表 4-12 に解析モデルの概要を示す。

また、本評価の時刻歴解析には、付録 1 に示す時刻歴解析の不確かさを考慮する。

表 4-12 解析モデルの概要

解析モデル		
構造物	クレーン本体ガーダ	
	トロリ	
	吊具	吊荷
		ワイヤロープ
車輪部	クレーン本体ガーダ車輪	
	トロリ車輪	
解析モデル図		図 4-3

(2) 曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力を図 4-6 を用いて計算する。

ガーダ中央部の鉛直曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{vt}

$$\sigma_{vt} = \frac{M_v}{Z_x} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ガーダ中央部の水平曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_{ht}

$$\sigma_{ht} = \frac{M_h}{Z_y} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ガーダ中央部の曲げ（引張）応力： σ_t

なお、ガーダ中央部の曲げ応力については、非線形時刻歴解析により求まる最大の M_v と M_h から σ_{vt} と σ_{ht} を算出し、(4.6.1.3)式を用いて σ_t を計算する。

$$\sigma_t = \sigma_{vt} + \sigma_{ht} \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

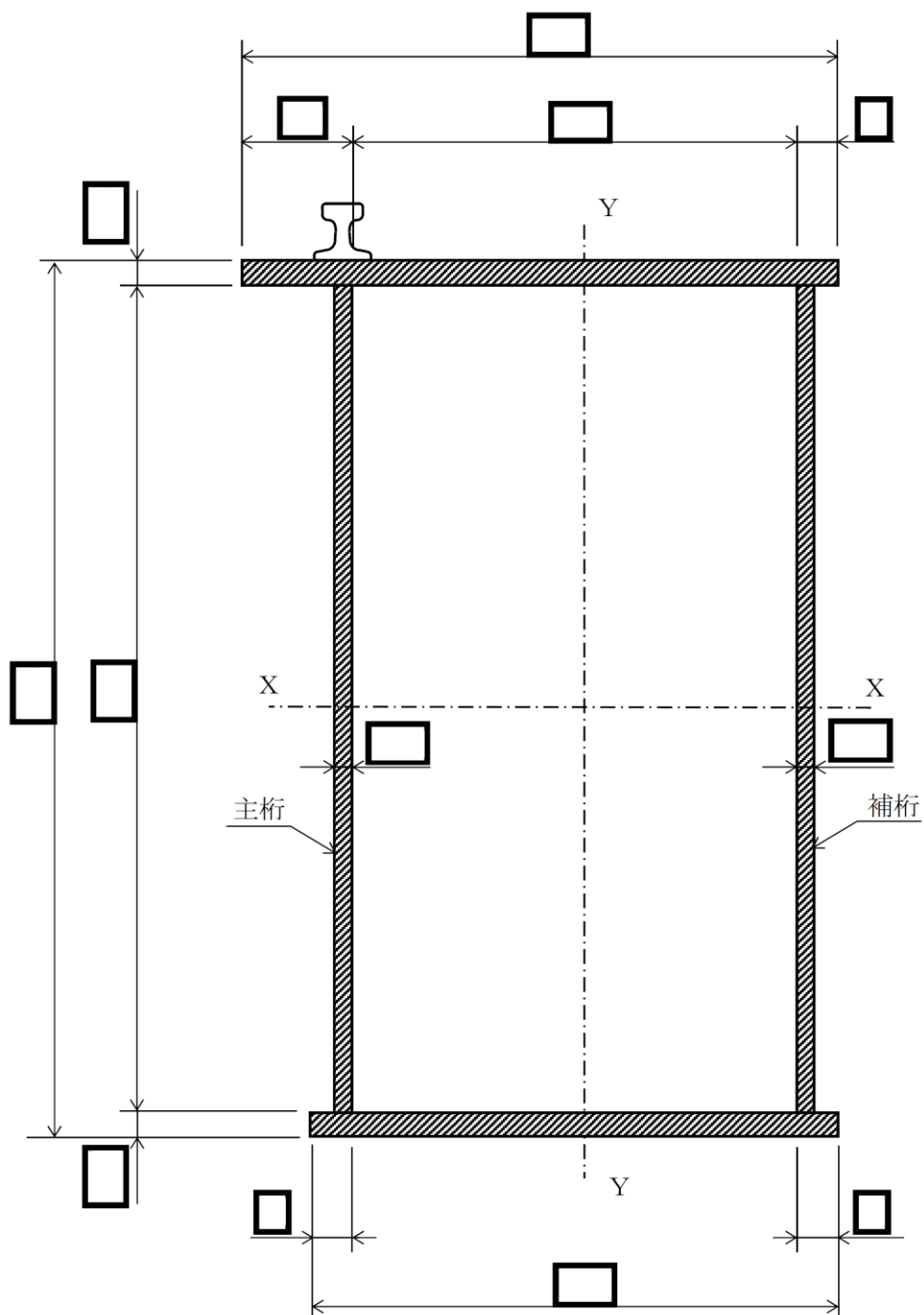
(3) せん断応力

ガーダに対する最大せん断応力を図 4-7 を用いて計算する。

ガーダ端部のせん断応力： τ

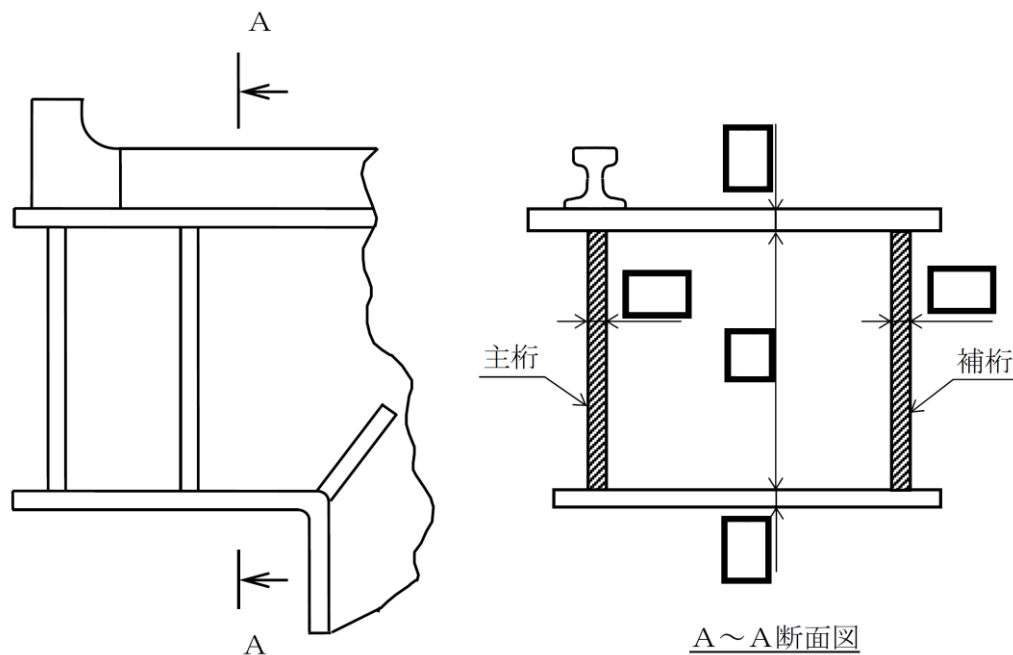
$$\tau = \frac{Q}{A_v} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

クレーン本体ガーダの応力計算に係る位置関係を図 4-8 に示す。



注：斜線部は曲げに対する評価部材を示す。

図4-6 ガーダ中央部詳細 (単位：mm)



注：斜線部はせん断に対する評価部材を示す。

図 4-7 ガーダ端部詳細 (単位：mm)

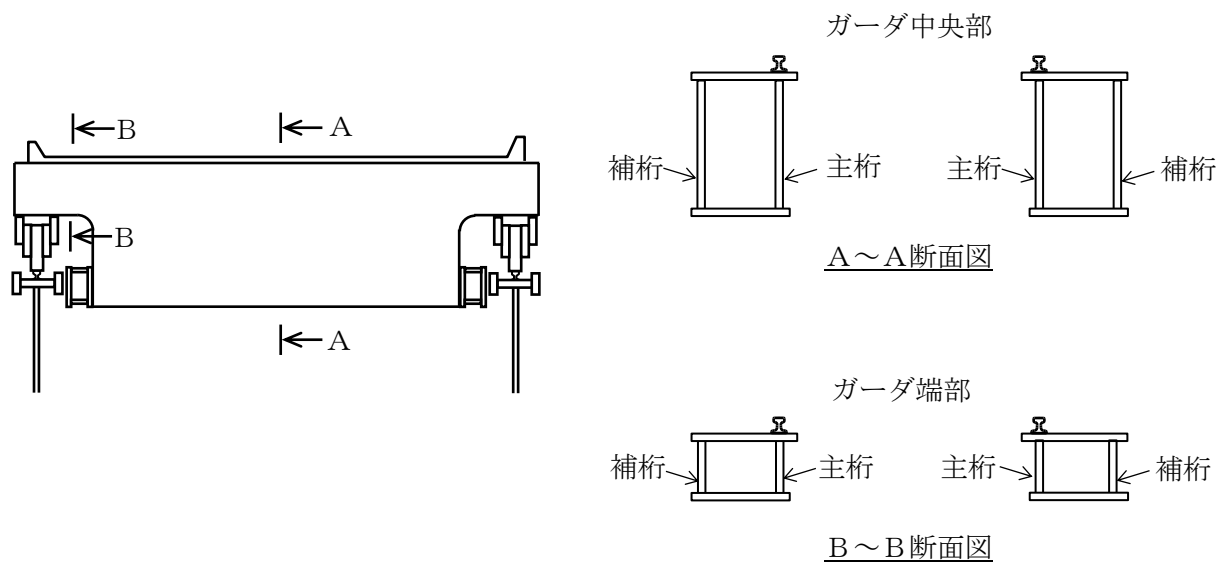
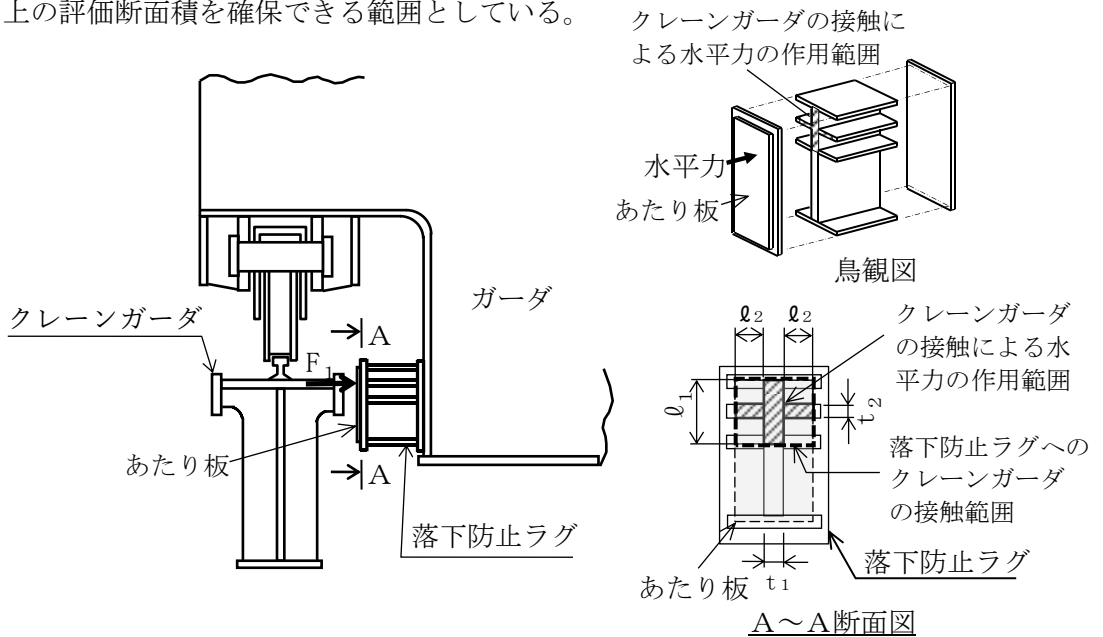


図 4-8 クレーン本体ガーダの位置関係

4.6.2 落下防止ラグの応力の計算方法

落下防止ラグには、水平方向地震（NS 方向）によって水平力が作用する。図 4-9 に落下防止ラグの構造概要図を示す。水平力の作用範囲は、落下防止ラグのあたり板の範囲内で落下防止ラグの浮上りを考慮した場合でもクレーンガーダに対して、通常時と同等以上の評価断面積を確保できる範囲としている。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4-9 落下防止ラグ

落下防止ラグに生じる応力は、水平方向地震（NS 方向）による水平力を片側にある落下防止ラグ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

なお、非線形時刻歴解析により求まる水平力と設計用最大応答加速度（1.2ZPA）より求まる水平力を比較した結果、発生荷重がより大きくなった設計用最大応答加速度（1.2ZPA）より求まる水平力（4.6.2.1）式を適用する。

落下防止ラグ 1 個あたりに作用する力： F_1

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{H1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

落下防止ラグの断面積： A_1

$$A_1 = t_1 \cdot l_1 + 2 \cdot t_2 \cdot l_2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

落下防止ラグの圧縮応力： σ_c

$$\sigma_c = \frac{F_1}{A_1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

4.6.3 トロリストッパの応力の計算方法

トロリストッパには，水平方向地震（EW 方向）によって水平力が作用する。図 4-10 にトロリストッパの構造概要図を示す。

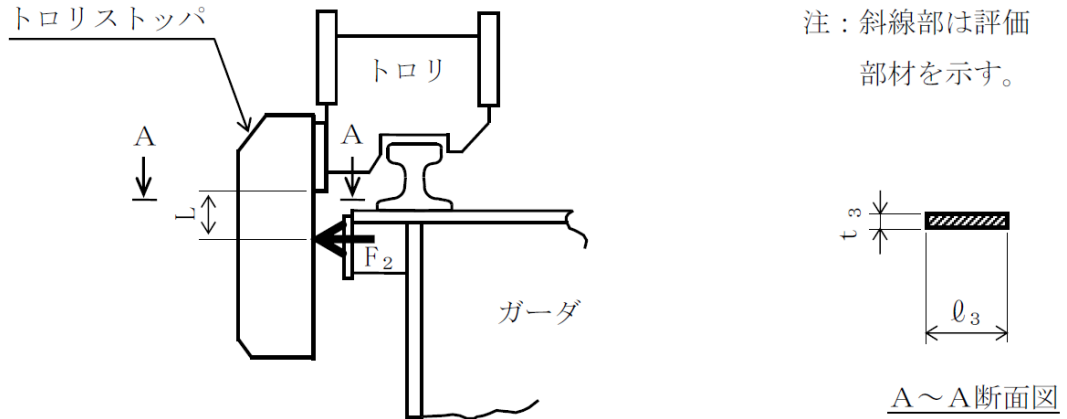


図 4-10 トロリストッパ

トロリストッパに生じる応力は，水平方向地震（EW 方向）による水平力を片側にあるトロリストッパ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

トロリストッパ 1 個あたりに作用する力： F_2

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (4.6.3.1)$$

トロリストッパの曲げモーメント：M

$$M = F_2 \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.6.3.2)$$

トロリストッパの断面係数：Z

$$Z = \frac{t_3 \cdot l_3^2}{6} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.3)$$

トロリストッパの曲げ（引張）応力： σ_{t1}

$$\sigma_{t1} = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.4)$$

トロリストッパの断面積： A_2

$$A_2 = t_3 \cdot l_3 \quad \dots\dots\dots (4.6.3.5)$$

トロリストッパのせん断応力： τ_1

$$\tau_1 = \frac{F_2}{A_2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.6)$$

トロリストッパの組合せ応力： σ_{t2}

$$\sigma_{t2} = \sqrt{\sigma_{t1}^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3.7)$$

4.6.4 浮上り量の計算方法

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量

ガーダの浮上り量 h_g を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

(2) トロリの浮上り量

トロリの浮上り量 h_t を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

4.6.5 吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重 P_w を図 4-3 の解析モデルを用いて、直接積分法による時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷荷重を受ける部位は、巻上ドラム、ワイヤロープ、フック、シーブ及びエコライザで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対象とする。
- ・ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）及びフックブロック（動滑車）の回転により、自動的に荷重を吊合い状態に保つことから、評価では 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。
- ・吊荷荷重算出の解析に当たっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの鉛直方向の荷重を抽出し、その最大値を用いるものとする。
- ・ワイヤロープは、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで、吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。
- ・吊荷の質量は、クレーンの定格質量 (kg) とする。
- ・鉛直方向の荷重を考える場合において、ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、衝撃荷重が大きくなる。したがって、ワイヤロープの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体ガーダ、トロリ、吊具）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 クレーン本体ガーダの応力評価

4.6.1(2)項で求めたガーダ中央部の曲げ応力 σ_t が、下記許容引張応力 f_t 以下であること。

4.6.1(3)項で求めたガーダ端部のせん断応力 τ が、下記許容せん断応力 f_s 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.2 落下防止ラグの応力評価

4.6.2項で求めた落下防止ラグの圧縮応力 σ_c が、下記許容圧縮応力 f_c 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容圧縮応力 f_c	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 トロリストップの応力評価

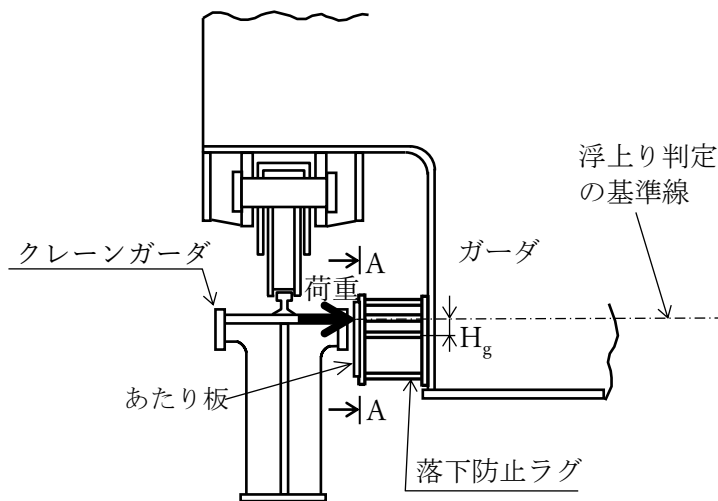
4.6.3項で求めたトロリストップの曲げ応力 σ_{t1} 、せん断応力 τ_1 及び組合せ応力 σ_{t2} が、下記許容引張応力 f_{t1} 、許容せん断応力 f_{s1} 及び許容組合せ応力 f_{t2} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 f_{t1}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{s1}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{t2}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.4 浮上り量の評価

(1) クレーン本体ガーダの浮上り量の評価

4.6.4(1)項で求めたガーダの浮上り量 h_g が、図4-11に示す許容浮上り量 H_g 以下であること。なお、 H_g は落下防止ラグの浮上りを考慮した場合でもクレーンガーダに対して通常時と同等以上の評価断面積を確保できる範囲として定めた値とする。



注：斜線部は評価部材を示す。

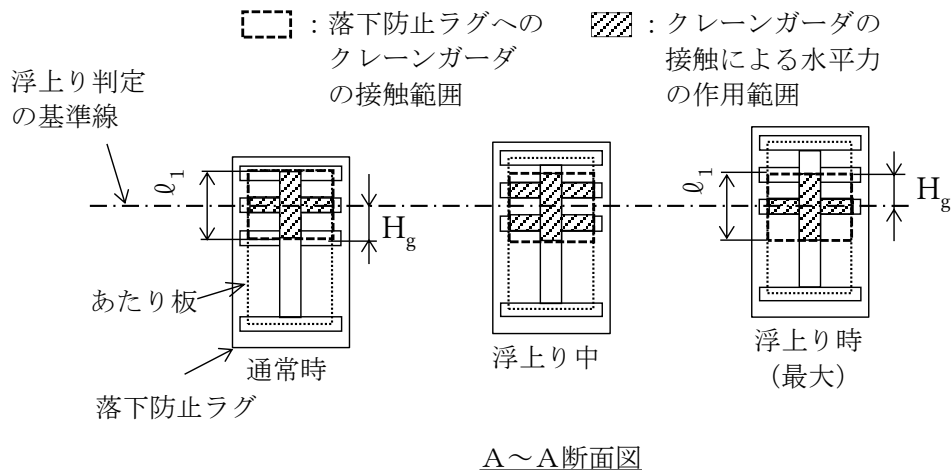


図4-11 許容浮上り量 H_g の概要図

(2) トロリの浮上り量の評価

4.6.4(2)項で求めたトロリの浮上り量 h_t が、図4-12に示す許容浮上り量 H_t 以下であること。なお、 H_t はトロリストッパの浮上りを考慮した場合でもクレーン本体ガーダから荷重が伝達可能な範囲として定めた値とする。

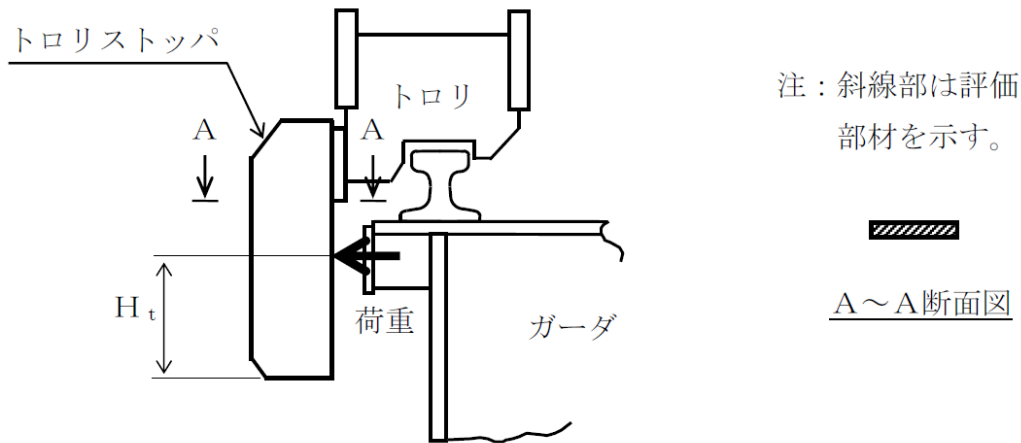


図4-12 許容浮上り量 H_t の概要図

4.8.5 吊具の評価

4.6.5項で求めた吊具の荷重 P_w が、許容荷重 f_{w1} 及び f_{w2} 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建物天井クレーンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) 平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類)に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)

【原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S_s^{*5}			周囲環境温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建物天井クレーン	B	原子炉建物 EL 51.7 ^{*1}	—	0.016 ^{*2}	—	^{*3, *4} $C_H=0.075$	^{*2} $C_{H1}=2.27$	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S_s ））

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

*5：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

1.2 機器要目

m_G (kg)	m_t (kg)	m_m (kg)	Σm (kg)	M_V (N・mm)	M_H (N・mm)	Q (N)	E_G (MPa)	E_W (MPa)	ν

\varnothing_1 (mm)	\varnothing_2 (mm)	\varnothing_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)

L (mm)	A_V (mm ²)	A_1 (mm ²)	A_2 (mm ²)	Z_X (mm ³)	Z_Y (mm ³)	Z (mm ³)

注記*：トロリの浮上りを考慮した長さ

クレーン本体ガーダ						落下防止ラグ			トロリストッパ			吊具	
ガーダ中央部			ガーダ端部			S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	f_{W1} (N)	f_{W2} (N)
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)								
241 (厚さ ≤ 16mm)	394	275	241 (厚さ ≤ 16mm)	394	275							8.368×10^6	1.181×10^7

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 237$	$\tau = 80$

曲げ応力，せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.2 落下防止ラグに生じる応力 (単位：MPa)

	圧縮応力
落下防止ラグ	$\sigma_c = 216$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

1.3.3 トロリストッパに生じる応力 (単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1} = 28$	$\tau_1 = 5$	$\sigma_{t2} = 29$

曲げ応力，組合せ応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 1～3 の評価結果

1.3.4 浮上り量 (単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 8$
トロリ	$h_t = 30$

クレーン本体ガーダの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 2 の評価結果

トロリの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.3.5 吊荷荷重 (単位：N)

	部材	算出荷重
吊具	ワイヤロープ	$P_w = 5.200 \times 10^6$
	フック	$P_w = 5.200 \times 10^6$

吊具は，表 4-1 の評価ケース No. 1 の評価結果

1.4 評価結果

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	曲げ	$\sigma_t = 237$	$f_t = 275$
	端部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	せん断	$\tau = 80$	$f_s = 158$
落下防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 216$	$f_c = 275$
トロリストッパ			曲げ	$\sigma_{t1} = 28$	$f_{t1} = 275$
			せん断	$\tau_1 = 5$	$f_{s1} = 158$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 29$	$f_{t2} = 275$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 8$	$H_g = 100$
トロリ	$h_t = 30$	$H_t = 250$

すべて許容浮上り量以下である。

1.4.3 吊荷荷重

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		吊荷荷重	$P_w = 5.200 \times 10^6$	$f_{w1} = 8.368 \times 10^6$
	フック		吊荷荷重	$P_w = 5.200 \times 10^6$	$f_{w2} = 1.181 \times 10^7$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S_s *5			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建物 天井クレーン	—	原子炉建物 EL 51.7*1	—	0.016*2	—	*3, *4 $C_H=0.075$	*2 $C_{H1}=2.27$	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。また、落下防止ラグの評価に適用する。（設計用震度 I（基準地震動 S_s ））

*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

*5：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

2.2 機器要目

m_G (kg)	m_t (kg)	Σm (kg)	M_V (N・mm)	M_H (N・mm)	Q (N)	E_G (MPa)	E_w (MPa)	ν

\varnothing_1 (mm)	\varnothing_2 (mm)	\varnothing_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)

L (mm)	A_V (mm ²)	A_1 (mm ²)	A_2 (mm ²)	Z_X (mm ³)	Z_Y (mm ³)	Z (mm ³)

注記*：トロリの浮上りを考慮した長さ

クレーン本体ガーダ						落下防止ラグ			トロリストッパ		
ガーダ中央部			ガーダ端部			S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)						
221 (厚さ ≤ 16mm)	373	261	221 (厚さ ≤ 16mm)	373	261						

2.3 計算数値

2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	$\sigma_t = 73$	$\tau = 37$

曲げ応力，せん断応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.2 落下防止ラグに生じる応力

(単位：MPa)

	圧縮応力
落下防止ラグ	$\sigma_c = 216$

圧縮応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.3 トロリストッパに生じる応力

(単位：MPa)

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	$\sigma_{t1} = 25$	$\tau_1 = 5$	$\sigma_{t2} = 26$

曲げ応力，せん断応力，組合せ応力は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.3.4 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 4$
トロリ	$h_t = 17$

クレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量は，表 4-1 の評価ケース No. 3 の評価結果

2.4 評価結果

2.4.1 応力

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	中央部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	曲げ	$\sigma_t = 73$	$f_t = 261$
	端部	SS41 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	せん断	$\tau = 37$	$f_s = 150$
落下防止ラグ			圧縮	$\sigma_c = 216$	$f_c = 254$
トロリストッパ			曲げ	$\sigma_{t1} = 25$	$f_{t1} = 254$
			せん断	$\tau_1 = 5$	$f_{s1} = 146$
			組合せ	$\sigma_{t2} = 26$	$f_{t2} = 254$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 浮上り量

(単位：mm)

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	$h_g = 4$	$H_g = 100$
トロリ	$h_t = 17$	$H_t = 250$

すべて許容浮上り量以下である

VI-2-11-2-7-2 燃料取替機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
4.2.2 許容応力	11
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	11
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	22
4.6 計算方法	28
4.6.1 燃料取替機構造物フレームの応力	28
4.6.2 脱線防止ラグ、走行レール及び横行レールの応力	30
4.6.3 吊具の荷重計算方法	43
4.6.4 吊具の応力計算方法	47
4.7 計算条件	48
4.8 応力の評価	48
4.8.1 燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、走行レール 及び横行レールの応力評価	48
4.8.2 脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価	48
4.8.3 先端金具の応力評価	48
4.8.4 ワイヤロープの評価	49
5. 評価結果	50
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	50
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	50

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である燃料取替機（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

燃料取替機は原子炉建物原子炉棟 4 階に設置されている。燃料取替機は、図 2-1 の位置関係図に示すように、燃料交換時において、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上にて作業を実施することから、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

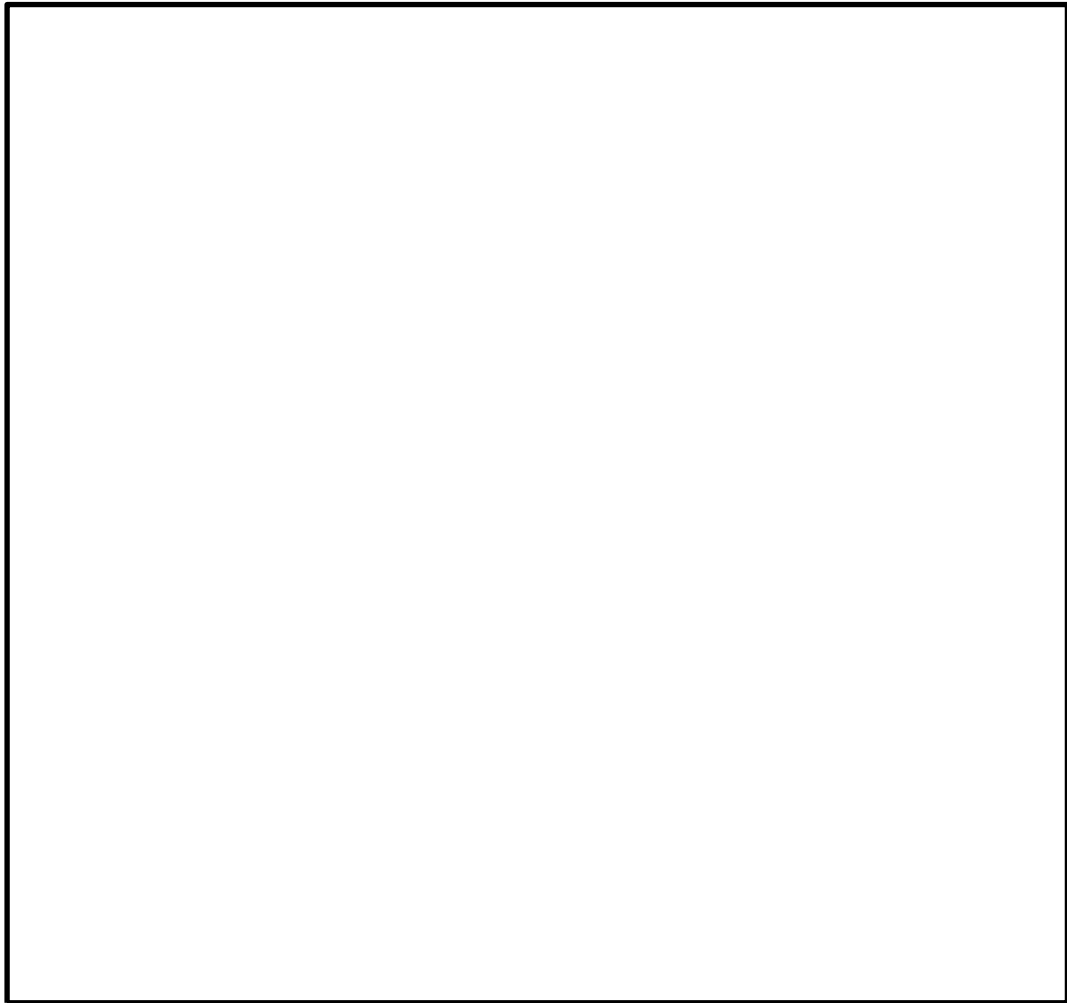


図 2-1 燃料取替機と燃料プール等の位置関係

2.2 構造計画

燃料取替機の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原子炉建物原子炉棟4階に設けた走行レール上をブリッジが走り、ブリッジ上部の横行レール上をトロリが横行する。</p> <p>ブリッジ及びトロリは走行部付近に脱線防止ラグを備えており、各々レールを抱え込む構造である。</p> <p>また吊荷はトロリに設置されたホイストからのワイヤロープ及び先端金具を介して吊上げ・吊下げ・移動を行う。</p>	<p>燃料取替機</p> <p>構造物フレーム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ブリッジ (ガーダ) ・トロリ <p>脱線防止ラグ</p> <p>レール</p> <p>ワイヤロープ</p> <p>先端金具</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

燃料取替機の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す燃料取替機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく基準地震動 S_s による応力等が許容限界内に収まることを、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

燃料取替機の耐震評価フローを図2-2に示す。

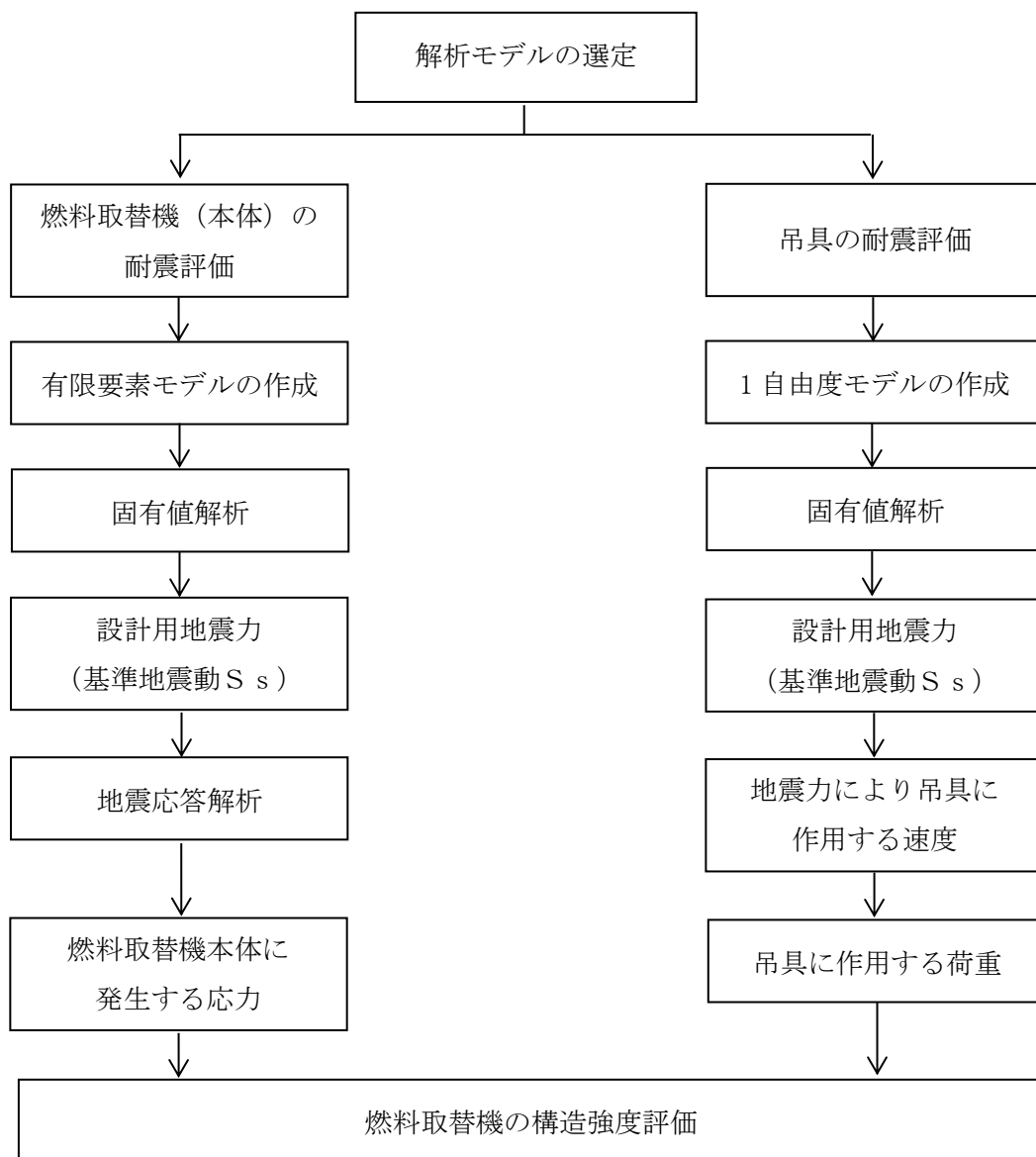


図2-2 燃料取替機の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1Fi}	燃料取替機構造物フレームの断面積	mm^2
A_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面積	mm^2
A_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面積	mm^2
A_{3B}	走行レール C 部の断面積	mm^2
A_{4B}	走行レール D 部の断面積	mm^2
A_{bB}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本の断面積	mm^2
A_w	ワイヤロープ 1 本の断面積	mm^2
A_B	先端金具の断面積	mm^2
a_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の幅	mm
a_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の幅	mm
a_{3B}	走行レール C 部の厚み	mm
a_{4B}	走行レール D 部の厚み	mm
b_{1B}	負担力 F_{HB} に対するブリッジ脱線防止ラグの負担長さ	mm
b_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグの走行レール面接触長さ	mm
b_{3B}	負担力 F_{Vb} に対する走行レール頭部の負担長さ	mm
b_{4B}	負担力 F_{HB} に対する走行レールウェブの負担長さ	mm
C_{H1}	水平方向設計震度	—
C_{H2}	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	N
d_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
E	燃料取替機構造物フレームの縦弾性係数	MPa
E_w	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{HBi}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 箇所作用する水平力	N
F_{HTi}	トロリ脱線防止ラグ 1 箇所作用する水平力	N
F_{VBi}	ブリッジ脱線防止ラグ一組作用する鉛直力	N
F_{VTi}	トロリ脱線防止ラグ一組作用する鉛直力	N
F_{Vbi}	ブリッジ脱線防止ラグ 1 個作用する鉛直力	N
F_{Vti}	トロリ脱線防止ラグ 1 個作用する鉛直力	N
F_{xi}	燃料取替機構造物フレームに作用する軸力	N
F_{yi}	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zi}	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (z 方向)	N

記号	記号の説明	単位
F	吊荷の浮上り後の落下によりワイヤロープ、先端金具に発生する荷重	N
F _w	ワイヤロープ1本あたりに発生する支持荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h _{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ根元部からF _{HB} 作用点までの距離	mm
h _{2B}	ブリッジ脱線防止ラグフック根元部からF _{Vb} 作用点までの距離	mm
h _{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F _{Vb}) からC部までの距離 (長さ)	mm
h _{4B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F _{HB}) からD部までの距離 (高さ)	mm
k _w	ワイヤロープのばね定数	N/mm
L _{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F _{Vb}) からブリッジ脱線防止ラグ作用点 (F _{HB}) までの距離 (高さ)	mm
L _{4B}	走行レール端面から走行レール中心までの距離	mm
L _w	ワイヤロープ長さ	mm
M _D	機械的荷重 (設計基準対象施設)	N
M _{SAD}	機械的荷重 (重大事故等対処設備)	N
M _{xi}	燃料取替機構造物フレームのねじりモーメント	N・mm
M _{yi}	燃料取替機構造物フレームのy軸周り曲げモーメント	N・mm
M _{zi}	燃料取替機構造物フレームのz軸周り曲げモーメント	N・mm
M _{1Bi}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げモーメント	N・mm
M _{2Bi}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げモーメント	N・mm
M _{3Bi}	負担力F _{Vb} による走行レールC部の曲げモーメント	N・mm
M _{4Bi}	負担力F _{HB} による走行レールD部の曲げモーメント	N・mm
m _B	ブリッジ質量	kg
m _T	トロリ質量	kg
m _m	吊荷の質量	kg
n _{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの本数	—
n _w	ワイヤロープ本数	—
P _D	最高使用圧力による荷重 (設計基準対象施設)	N
P _{SAD}	設計圧力による荷重 (重大事故等対処設備)	N
P ₁	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重	N
~		
P ₁₂		
P ₁₃	地震力によりトロリに加わる荷重	N
~		
P ₂₀		

記号	記号の説明	単位
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
T_w	ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	s
v_1	吊荷の最大速度	mm/s
v_2	トロリの最大速度	mm/s
Z_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面係数	mm ³
Z_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面係数	mm ³
Z_{3B}	走行レール C 部の断面係数	mm ³
Z_{4B}	走行レール D 部の断面係数	mm ³
Z_{pi}	燃料取替機構造物フレームのねじり断面係数	mm ³
Z_{yi}	燃料取替機構造物フレームの y 軸周り断面係数	mm ³
Z_{zi}	燃料取替機構造物フレームの z 軸周り断面係数	mm ³
σ_{1Fi}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力	MPa
σ_{1Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の曲げ応力	MPa
σ_{2Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の曲げ応力	MPa
σ_{3Bi}	走行レール C 部の曲げ応力	MPa
σ_{4Bi}	走行レール D 部の曲げ応力	MPa
σ_{c1Fi}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力	MPa
σ_{c1Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の組合せ応力	MPa
σ_{c2Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の組合せ応力	MPa
σ_{c3Bi}	走行レール C 部の組合せ応力	MPa
σ_{c4Bi}	走行レール D 部の組合せ応力	MPa
σ_{xi}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (x 方向)	MPa
σ_{yi}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (y 方向)	MPa
σ_{zi}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (z 方向)	MPa
σ_m	先端金具の引張応力	MPa
τ_{1Fi}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力	MPa
τ_{1Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ A 部のせん断応力	MPa
τ_{2Bi}	ブリッジ脱線防止ラグ B 部のせん断応力	MPa
τ_{3Bi}	走行レール C 部のせん断応力	MPa
τ_{4Bi}	走行レール D 部のせん断応力	MPa
τ_{bBi}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{xi}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分 (x 方向)	MPa
τ_{yi}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分 (y 方向)	MPa
τ_{zi}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分 (z 方向)	MPa
μ	最大静止摩擦係数	—
ν	燃料取替機構造物フレームのポアソン比	—

注1: 記号右端添字に i が付くものは, 設計基準対象施設と重大事故等対処設備での評価を区別するものであり, $i=1$ は設計基準対象施設, $i=2$ は重大事故等対処設備と位置付ける。

注2: 記号右端添字に B 又は b が付くものは, ブリッジ脱線防止ラグ及び走行レール評価用を代表で示したものであり, 評価中のトロリ脱線防止ラグ及び横行レールについては $B \rightarrow T$ 又は $b \rightarrow t$ に置き換える。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

また、小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

燃料取替機の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、燃料取替機及び吊荷の落下により、上位クラス設備が損傷することを防止するために、燃料取替機構造物フレーム（ガーダ及びギャラリ）、ブリッジ脱線防止ラグ、トロリ脱線防止ラグ、走行レール、横行レール及び吊具（ワイヤロープ及び先端金具）について実施する。燃料取替機の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 構造概要図を図4-1に示す。燃料取替機のブリッジ及びトロリは、各々走行レール及び横行レール上に載っているため地震時、走行方向に対しては、最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合にすべりを生じる。このため、燃料取替機自身には最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4個であり、そのうち各々2個は摩擦を受ける駆動輪であり、他の2個は従動輪である。

ゆえに、最大静止摩擦係数を $\mu = 0.3$ とすれば、水平力は以下のとおりとなる。

$$\text{水平力} = \text{鉛直方向荷重} \times \mu \times 2 / 4 = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

(2) ブリッジ及びトロリは、走行方向に直角な方向に対しては、各々ブリッジ脱線防止ラグ及びトロリ脱線防止ラグによって荷重を支持する。

(3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

(4) 地震力は、燃料取替機に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2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、SRSS法を適用する。ただし、自重及びすべりに対する荷重との加算には絶対値和を適用する。

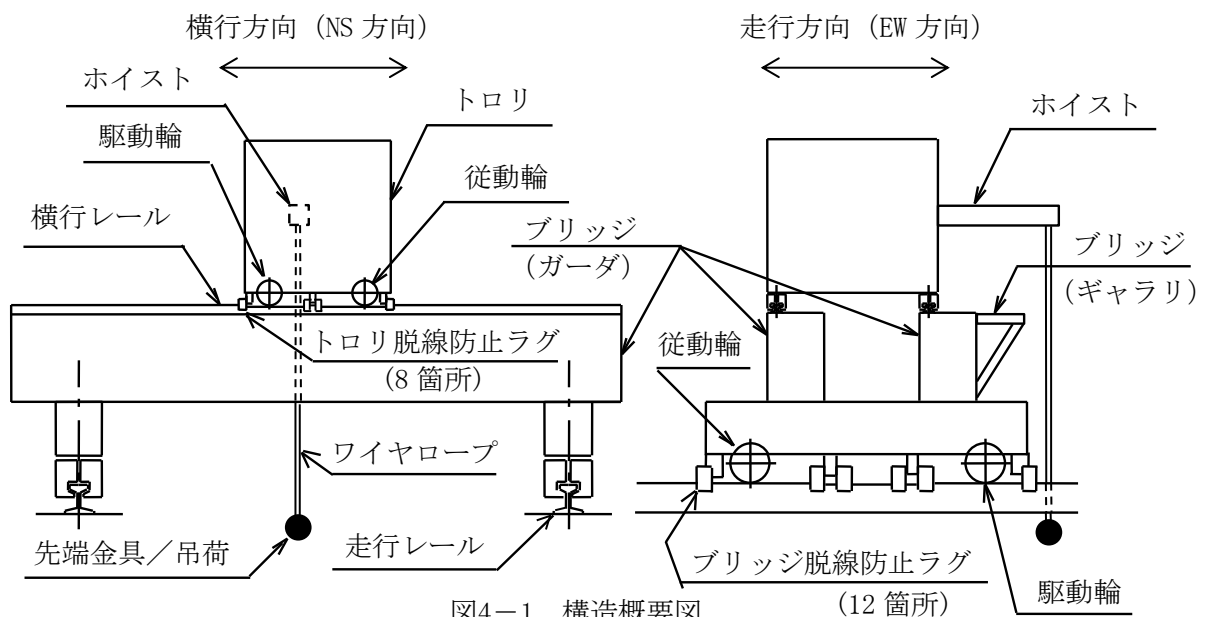


図4-1 構造概要図

- (5) 表4-1に示す解析ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の運転状態を想定し、ケース1, 2について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では、燃料取替機の待機状態を想定し、ケース3について評価する。

なお、トロリ位置中央の場合、吊荷有のケースが吊荷無のケースより厳しい条件であることから、トロリ位置中央、吊荷無のケースは評価対象外とする。

表4-1 評価ケース

評価対象		燃料取替機本体, 吊具		燃料取替機本体
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●	—	—
	端部	—	●	○

●：吊荷有 ○：吊荷無

- (6) 燃料取替機の評価は、スペクトルモード解析及び静解析を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料取替機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

燃料取替機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

燃料取替機の使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として、 IV_{AS} の許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-5(1) 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位			材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	50	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			—
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			—
走行レール				周囲環境温度	50	—			—
横行レール				周囲環境温度	50	—			—
先端金具				周囲環境温度	50	—			—

注記*1:

*2:

表 4-5(2) 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	4.413×10 ³	8.13	3.590×10 ⁴

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位			材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	100	—		—	
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—		—	
		取付ボルト		周囲環境温度	100	—		—	
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—		—	
		取付ボルト		周囲環境温度	100	—		—	
走行レール				周囲環境温度	100	—		—	
横行レール				周囲環境温度	100	—		—	

注記 * 1 :

* 2 :

4.3 解析モデル及び諸元

解析モデルの概要を以下に示す。燃料取替機の解析モデルの使い分けを表 4-7 に、燃料取替機の解析モデルを図 4-2 に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 燃料取替機の耐震計算に用いる解析モデルは、はり要素を用いた三次元有限要素モデルとする。
- (2) 燃料取替機計算モデルは、燃料取替機の質量としてブリッジとトロリ両方の質量を考慮したモデルとし、鉛直方向及び走行方向（EW 方向）の評価に用いる。横行方向はトロリがすべるため、トロリとブリッジに作用する荷重が異なることから、ブリッジ計算モデルは燃料取替機計算モデルにおいてトロリの質量を零としたモデルとし、ブリッジに対する横行方向（NS 方向）の評価に用いる。また、横行方向はトロリがすべるため、トロリ計算モデルは同様に燃料取替機計算モデルにおいてブリッジの質量を零としたモデルとし、トロリに対する横行方向（NS 方向）の評価に用いる。
- (3) 地震荷重の組合せは、各計算モデルにおける解析（表 4-7 中の①～⑦）より、自重①、走行すべり④及び横行すべり⑦は絶対値和、鉛直（②又は③）及び横行（⑤又は⑥）は S R S S 法にて組合せ、最も大きい組合せ荷重のケースを適用する。

$$\text{ケース 1 : } ① + ④ + ⑦ + \sqrt{③^2 + ⑤^2}$$

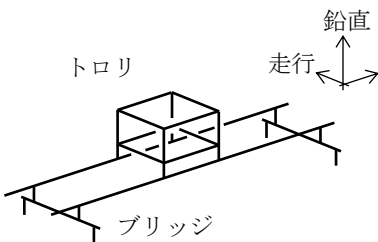
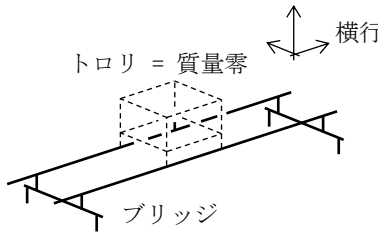
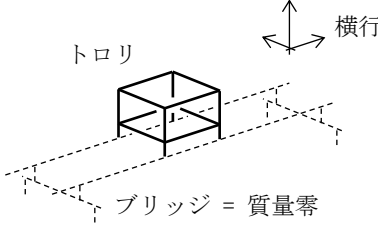
$$\text{ケース 2 : } ① + ④ + ⑦ + \sqrt{②^2 + ⑤^2}$$

$$\text{ケース 3 : } ① + ④ + ⑦ + \sqrt{③^2 + ⑥^2}$$

$$\text{ケース 4 : } ① + ④ + ⑦ + \sqrt{②^2 + ⑥^2}$$

- (4) 拘束条件として、燃料取替機本体ガード車輪／脱線防止ラグのNS方向を拘束し、EW方向へはすべりを模擬するため拘束しない条件とする。鉛直上向き方向は、脱線防止ラグとレールの接触を模擬するためブリッジは拘束の条件とする。また、結合条件として、トロリ車輪／脱線防止ラグのEW方向はガードと結合し、NS方向へはすべりを模擬するためガードとは結合しない条件とする。鉛直上向き方向は、脱線防止ラグとレールの接触を模擬するためトロリはガードと結合の条件とする。
- (5) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

表 4-7 解析モデルの使い分け

モデルの種類	モデル化の方法	使用目的	モデルイメージ
燃料取替機 計算モデル	<ul style="list-style-type: none"> ブリッジとトロリ 両方の質量を考慮 したモデル 	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直方向及び走行方 向(EW 方向)に対する 燃料取替機全体のス ペクトルモーダル解 析及び静解析に用い る。 ①自重解析 ②鉛直スペクトル モーダル解析 ③鉛直静解析 (動的震度) ④走行静解析 (すべり評価) 	
ブリッジ 計算モデル	<ul style="list-style-type: none"> 横行方向はトロリ がすべるため、ト ロリとブリッジに 作用する荷重が異 なることから、上 記の燃料取替機計 算モデルにおいて トロリの質量を零 としたモデル 	<ul style="list-style-type: none"> 横行方向(NS 方向)に 対するブリッジのス ペクトルモーダル解 析及び静解析に用い る。 ⑤横行静解析 (動的震度) ⑥横行スペクトル モーダル解析 	
トロリ 計算モデル	<ul style="list-style-type: none"> 横行方向はトロリ がすべるため、ト ロリとブリッジに 作用する荷重が異 なることから、上 記の燃料取替機計 算モデルにおいて ブリッジの質量を 零としたモデル 	<ul style="list-style-type: none"> 横行方向(NS 方向)に 対するトロリの静解 析に用いる。 ⑦横行静解析 (すべり評価) 	

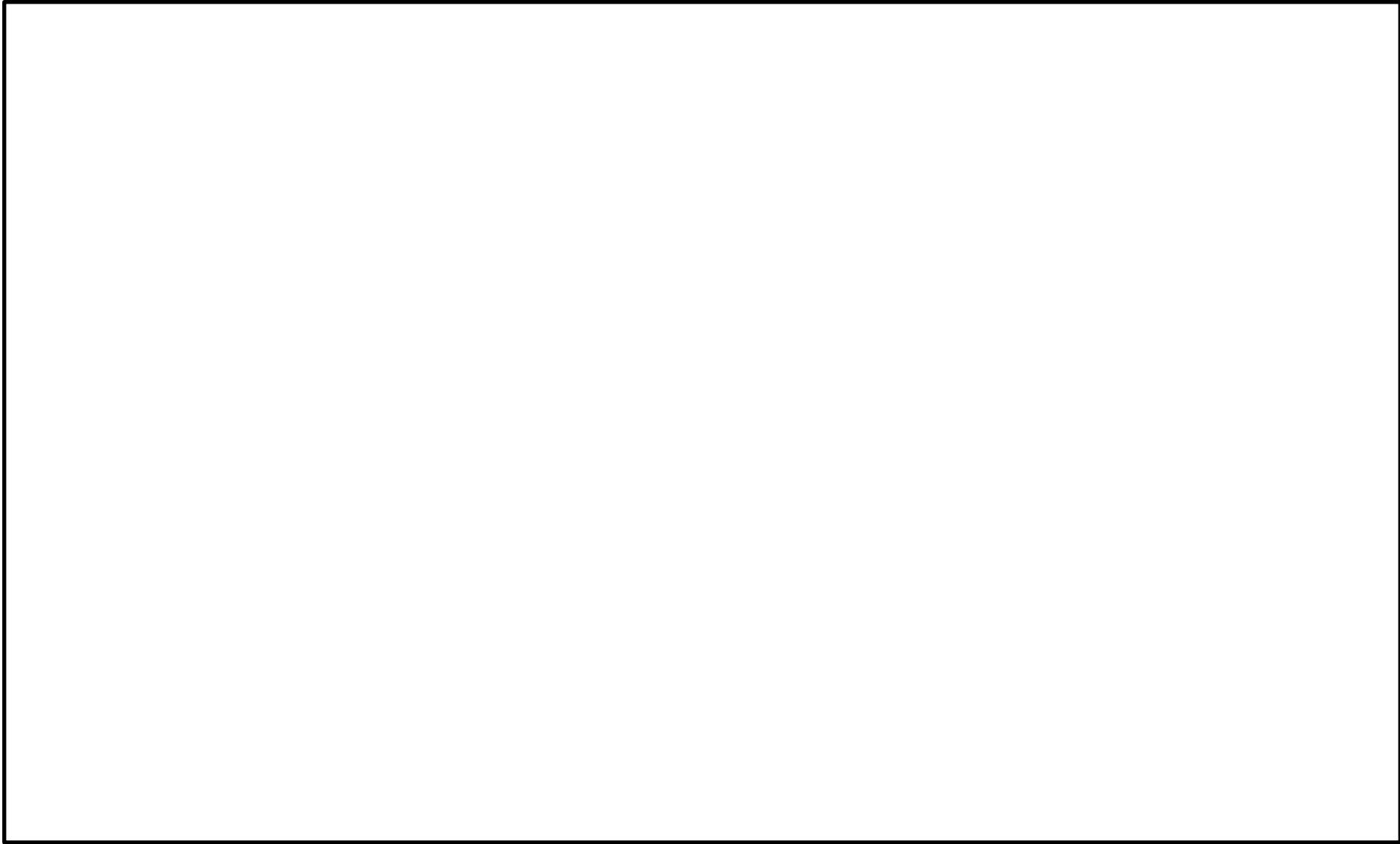


図4-2 解析モデル (燃料取替機計算モデル)

4.4 固有周期

燃料取替機計算モデル（トロリ位置中央及び端部）、ブリッジ計算モデル（トロリ位置中央及び端部）の固有値解析の結果を表4-8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、燃料取替機計算モデル（トロリ位置中央及び端部）では鉛直方向のモードに着目することとし（NS方向はブリッジ計算モデルで評価、EW方向はすべりが発生するため）、卓越する鉛直方向の振動モード図を図4-3、及び図4-4に示す。なお、ブリッジ計算モデルの刺激係数がトロリ位置中央と端部で異なるのは、解析モデル上ではトロリの質量は零であるが剛性は保持しており、トロリの結合位置によってガダの剛性が僅かながら異なるためである。

トロリ計算モデルは、トロリのすべりを考慮した応答計算（静解析）のみに用いるため、固有値解析は実施しない。

表4-8(1) 固有値解析結果（燃料取替機計算モデル、トロリ位置：中央）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1	水平 (EW)	0.213	0.00	1.39	0.09
2	水平 (NS)	0.155	1.24	0.00	0.01
3	水平 (EW)	0.108	0.00	0.87	0.37
4	水平・鉛直	0.098	0.19	0.11	0.21
5	鉛直	0.084	0.01	0.20	1.23
6	水平 (EW)	0.056	0.02	0.24	0.08
7	水平 (NS)	0.051	2.31	0.02	0.03

注：設計基準対象施設としての評価の場合

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表4-8(2) 固有値解析結果（燃料取替機計算モデル、トロリ位置：端部）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1	水平 (NS)	0.159	1.40	0.07	0.16
2	水平 (EW)	0.140	0.01	1.31	0.12
3	水平 (EW)	0.101	0.15	1.00	0.03
4	水平 (EW)	0.092	0.20	0.84	0.13
5	鉛直	0.058	0.12	0.03	1.84
6	鉛直	0.054	0.15	0.28	1.07
7	水平 (NS)	0.051	1.78	0.09	0.51
8	鉛直	0.051	0.23	0.26	0.99

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表4-8(3) 固有値解析結果（ブリッジ計算モデル，トロリ位置：中央）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1	水平 (EW)	0.099	0.01	1.43	0.05
2	鉛直	0.058	0.01	0.01	1.59
3	鉛直	0.051	0.00	0.12	1.53
4	水平 (NS)	0.051	1.98	0.02	0.05

注：設計基準対象施設としての評価の場合

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表4-8(4) 固有値解析結果（ブリッジ計算モデル，トロリ位置：端部）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1	水平 (EW)	0.099	0.00	1.46	0.04
2	鉛直	0.058	0.02	0.01	1.64
3	鉛直	0.051	0.65	0.08	1.07
4	水平 (NS)	0.051	1.34	0.07	0.96

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

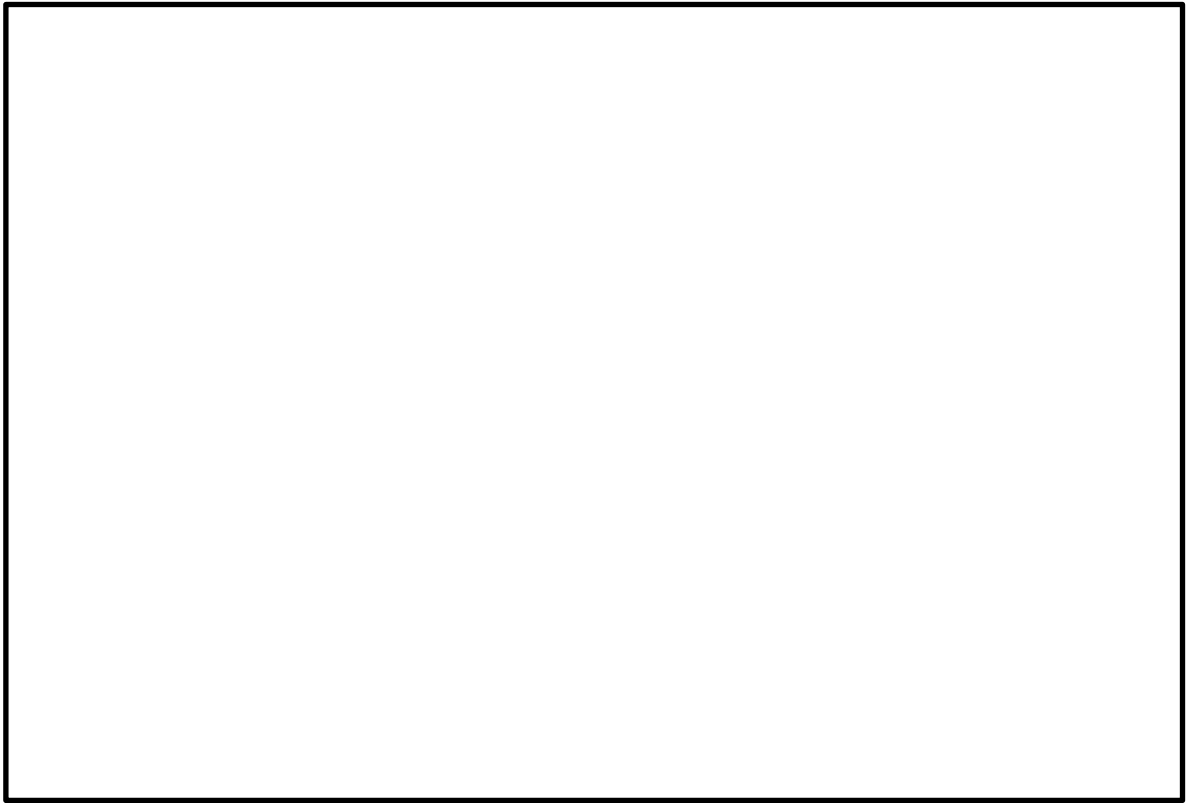


図 4-3 トロリ位置が中央の場合における振動モード図（燃料取替機計算モデル，5 次モード）

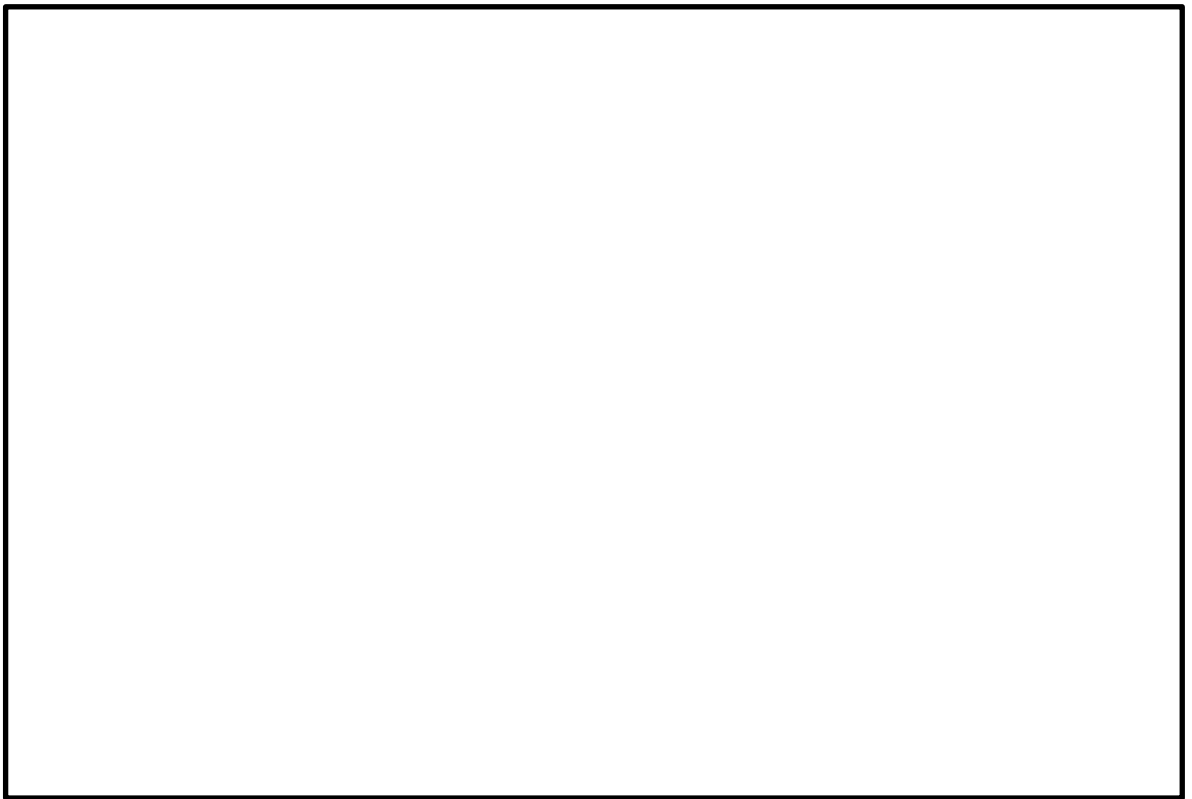


図 4-4 トロリ位置が端部の場合における振動モード図（燃料取替機計算モデル，5 次モード）

4.5 設計用地震力

燃料取替機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 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に示す。「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-9(1) 設計用地震力（設計基準対象施設）燃料取替機計算モデル，トロリ位置：中央

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
減衰定数(%)		鉛直：2.0				
地震力		基準地震動 S _s				
モード	固有周期* ² (s)	応答水平震度				応答鉛直震度* ³
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
1次	0.213	—* ⁶	C _{H2} =0.15* ⁵	—* ⁶	C _{H2} =0.15* ⁵	1.88
2次	0.155					3.79
3次	0.108					9.04
4次	0.098					10.16
5次	0.084					10.21
6次	0.056					6.70
7次	0.051					5.98
動的震度* ⁴						1.81

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：燃料取替機計算モデルの値であり、鉛直方向の応答計算に用いる。

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*6：NS 方向の応答計算には用いないため「—」とする。

表 4-9(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) ブリッジ計算モデル, トロリ位置: 中央

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
減衰定数 (%)		水平: 2.0* ²				
地震力		基準地震動 S s				
モード	固有周期* ² (s)	応答水平震度* ³				応答鉛直震度
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
1 次	0.099	3.80	—* ⁵	—* ⁵	—* ⁵	—* ⁵
2 次	0.058	5.42				
3 次	0.051	3.59				
4 次	0.051	3.59				
動的震度* ⁴		C _{H1} = 1.62				

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: ブリッジ計算モデルの値であり, 水平 (NS) 方向の応答計算に用いる。

*3: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

*4: 設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5: ブリッジ NS 方向以外は応答計算に用いないため「—」とする。

表 4-9(3) 設計用地震力（設計基準対象施設）トロリ計算モデル

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
地震力		基準地震動 S _s				
モード	固有周期 (s)	応答水平震度				応答鉛直 震度
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
—	—	—* ³	—* ³	C _{H2} =0.15* ²	—* ³	—* ³
動的震度		—* ³	—* ³	C _{H2} =0.15* ²	—* ³	—* ³

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：すべりを生じ最大静止摩擦係数以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*3：トロリ NS 方向以外は応答計算に用いないため「—」とする。

表 4-10(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）燃料取替機計算モデル，トロリ位置：端部

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
減衰定数(%)		鉛直：1.5				
地震力		基準地震動 S s				
モード	固有周期* ² (s)	応答水平震度				応答鉛直震度* ³
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
1次	0.159	—* ⁶	$C_{H2}=0.15$ * ⁵	—* ⁶	$C_{H2}=0.15$ * ⁵	3.97
2次	0.140					5.09
3次	0.101					11.11
4次	0.092					12.33
5次	0.058					9.50
6次	0.054					6.88
7次	0.051					6.88
8次	0.051					6.88
動的震度* ⁴						1.81

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：燃料取替機計算モデルの値であり，鉛直方向の応答計算に用いる。

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S s）

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*6：NS 方向の応答計算には用いないため「—」とする。

表 4-10(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）ブリッジ計算モデル，トロリ位置：端部

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
減衰定数(%)		水平：2.0				
地震力		基準地震動 S s				
モード	固有周期* ² (s)	応答水平震度* ³				応答鉛直震度
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
1次	0.099	3.80	—* ⁵	—* ⁵	—* ⁵	—* ⁵
2次	0.058	5.42				
3次	0.051	3.59				
4次	0.051	3.59				
動的震度* ⁴		C _{H1} = 1.62				

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：ブリッジ計算モデルの値であり，水平（NS）方向の応答計算に用いる。

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S s）

*5：ブリッジ NS 方向以外は応答計算には用いないため「—」とする。

表 4-10(3) 設計用地震力（重大事故等対処設備）トロリ計算モデル

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹				
地震力		基準地震動 S _s				
モード	固有周期 (s)	応答水平震度				応答鉛直 震度
		ブリッジ		トロリ		
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向	
—	—	—* ³	—* ³	C _{H2} =0.15* ²	—* ³	—* ³
動的震度		—* ³	—* ³	C _{H2} =0.15* ²	—* ³	—* ³

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：すべりを生じ最大静止摩擦係数以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

*3：トロリ NS 方向以外は応答計算には用いないため「—」とする。

4.6 計算方法

4.6.1 燃料取替機構造物フレームの応力

(1) 計算方法

燃料取替機構造物フレームに加わる荷重は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a. 燃料取替機構造物フレームの応力

燃料取替機構造物フレームの応力を図4-5を用いて計算する。負担力は、並進力

F_{xi} , F_{yi} , F_{zi} , モーメント力 M_{xi} , M_{yi} , M_{zi} とする。

($i=1$ は設計基準対象施設, $i=2$ は重大事故等対処設備)

(a) 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{x1} = \frac{F_{x1}}{A_{1F1}}, \quad \sigma_{y1} = \frac{M_{y1}}{Z_{y1}}, \quad \sigma_{z1} = \frac{M_{z1}}{Z_{z1}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{x1} = \frac{M_{x1}}{Z_{p1}}, \quad \tau_{y1} = \frac{F_{y1}}{A_{1F1}}, \quad \tau_{z1} = \frac{F_{z1}}{A_{1F1}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{F_{x2}}{A_{1F2}}, \quad \sigma_{y2} = \frac{M_{y2}}{Z_{y2}}, \quad \sigma_{z2} = \frac{M_{z2}}{Z_{z2}} \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

$$\tau_{x2} = \frac{M_{x2}}{Z_{p2}}, \quad \tau_{y2} = \frac{F_{y2}}{A_{1F2}}, \quad \tau_{z2} = \frac{F_{z2}}{A_{1F2}} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

(b) 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F1} = \sigma_{x1} + \sigma_{y1} + \sigma_{z1} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

$$\sigma_{1F2} = \sigma_{x2} + \sigma_{y2} + \sigma_{z2} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

(c) せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F1} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{x1} + \tau_{y1})^2 + \tau_{z1}^2} \\ \sqrt{\tau_{y1}^2 + (\tau_{x1} + \tau_{z1})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

$$\tau_{1F2} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(\tau_{x2} + \tau_{y2})^2 + \tau_{z2}^2} \\ \sqrt{\tau_{y2}^2 + (\tau_{x2} + \tau_{z2})^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

(d) 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F1} = \sqrt{\sigma_{1F1}^2 + 3 \cdot \tau_{1F1}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.9)$$

$$\sigma_{c1F2} = \sqrt{\sigma_{1F2}^2 + 3 \cdot \tau_{1F2}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.10)$$

設計基準対象施設としての評価における燃料取替機構造物フレームの最大応力発生部材を図4-2の㉑に示す。

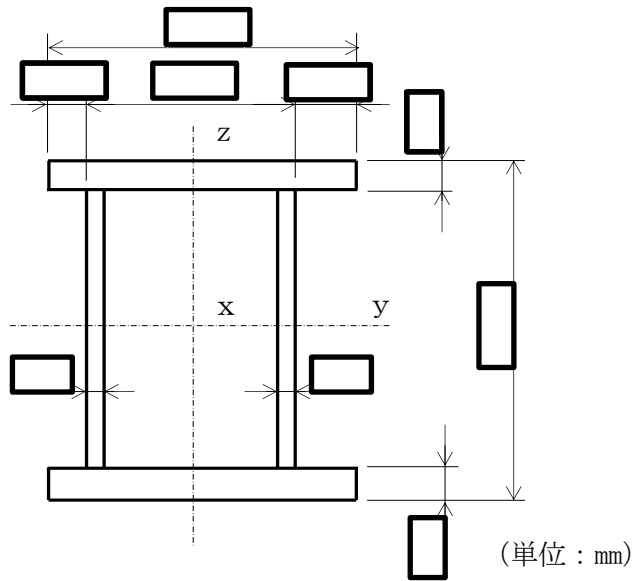


図4-5(1) ガーダ

重大事故等対処設備としての評価における燃料取替機構造物フレームの最大応力発生部材を図4-2の㉒に示す。

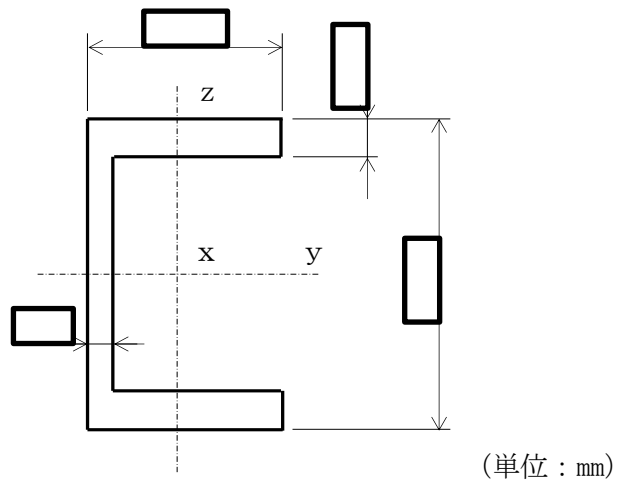


図4-5(2) ギャラリ

4.6.2 脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力

(1) 計算方法（ブリッジ）

ブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_1 \sim P_{12}$ ）は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a. ブリッジ脱線防止ラグの応力

ブリッジ脱線防止ラグの応力を図4-6を用いて計算する。負担力は， $P_1 \sim P_{12}$ の平均の値を F_{HBi} ，及び F_{VBi} とする。

（ $i=1$ は設計基準対象施設， $i=2$ は重大事故等対処設備）

鉛直力 F_{VBi} はラグ一組（2個）に分散し，1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vb1} = \frac{F_{VB1}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

$$F_{Vb2} = \frac{F_{VB2}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

(a) 曲げ応力

・A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1B1} = F_{HB1} \cdot h_{1B} + F_{Vb1} \cdot \left[h_{2B} + \frac{a_{1B}}{2} \right] \dots \dots (4.6.2.3)$$

$$M_{1B2} = F_{HB2} \cdot h_{1B} + F_{Vb2} \cdot \left[h_{2B} + \frac{a_{1B}}{2} \right] \dots \dots (4.6.2.4)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1B} = \frac{a_{1B}^2 \cdot b_{1B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1B1} = \frac{F_{Vb1}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B1}}{Z_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.7)$$

$$\sigma_{1B2} = \frac{F_{Vb2}}{A_{1B}} + \frac{M_{1B2}}{Z_{1B}} \dots \dots \dots (4.6.2.8)$$

- B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2B1} = F_{vb1} \cdot h_{2B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.9)$$

$$M_{2B2} = F_{vb2} \cdot h_{2B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.10)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2B} = \frac{a_{2B}^2 \cdot b_{2B}}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.11)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2B1} = \frac{M_{2B1}}{Z_{2B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.12)$$

$$\sigma_{2B2} = \frac{M_{2B2}}{Z_{2B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.13)$$

(b) せん断応力

- A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1B} = a_{1B} \cdot b_{1B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.14)$$

負担力 F_{HB} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B1} = \frac{F_{HB1}}{A_{1B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.15)$$

$$\tau_{1B2} = \frac{F_{HB2}}{A_{1B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.16)$$

- B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2B} = a_{2B} \cdot b_{2B} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.17)$$

負担力 F_{vb} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2B1} = \frac{F_{vb1}}{A_{2B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.18)$$

$$\tau_{2B2} = \frac{F_{vb2}}{A_{2B}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.19)$$

(c) 組合せ応力

・ A 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1B1} = \sqrt{\sigma_{1B1}^2 + 3 \cdot \tau_{1B1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.20)$$

$$\sigma_{c1B2} = \sqrt{\sigma_{1B2}^2 + 3 \cdot \tau_{1B2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.21)$$

・ B 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2B1} = \sqrt{\sigma_{2B1}^2 + 3 \cdot \tau_{2B1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.22)$$

$$\sigma_{c2B2} = \sqrt{\sigma_{2B2}^2 + 3 \cdot \tau_{2B2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.23)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bB} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1B}^2 \dots \dots \dots (4.6.2.24)$$

せん断力は、取付ボルト n_{1B} 本で受けるものとし、ボルト 1 本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bB1} = \frac{\sqrt{F_{HB1}^2 + F_{Vb1}^2}}{n_{1B} \cdot A_{bB}} \dots \dots \dots (4.6.2.25)$$

$$\tau_{bB2} = \frac{\sqrt{F_{HB2}^2 + F_{Vb2}^2}}{n_{1B} \cdot A_{bB}} \dots \dots \dots (4.6.2.26)$$

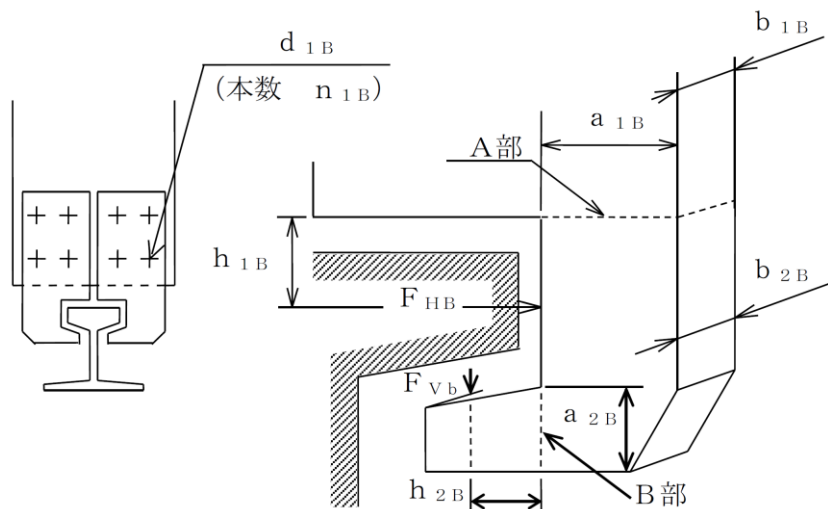


図 4-6 ブリッジ脱線防止ラグ

b. 走行レールの応力

走行レールの応力評価は 4.6.2(1)a 項で求めた荷重 ($P_1 \sim P_{12}$) の平均の値を F_{HBi} , 及び F_{Vbi} とする。

($i=1$ は設計基準対象施設, $i=2$ は重大事故等対処設備)

ブリッジ脱線防止ラグに作用する鉛直力 F_{Vbi} は図 4-7(1) に示す斜線部のように走行レールに分散する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する水平力 F_{HBi} は図 4-7(2) に示す斜線部のように走行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

・ C 部

幅は次式となる。

$$b_{3B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{3B} + L_{3B}) \quad \dots \quad (4.6.2.27)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3B1} = F_{Vb1} \cdot h_{3B} \quad \dots \quad (4.6.2.28)$$

$$M_{3B2} = F_{Vb2} \cdot h_{3B} \quad \dots \quad (4.6.2.29)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3B} = \frac{a_{3B}^2 \cdot b_{3B}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.30)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3B} = a_{3B} \cdot b_{3B} \quad \dots \quad (4.6.2.31)$$

したがって, 曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3B1} = \frac{F_{HB1}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B1}}{Z_{3B}} \quad \dots \quad (4.6.2.32)$$

$$\sigma_{3B2} = \frac{F_{HB2}}{A_{3B}} + \frac{M_{3B2}}{Z_{3B}} \quad \dots \quad (4.6.2.33)$$

・ D 部

幅は次式となる。

$$b_{4B} = b_{2B} + 2 \cdot (h_{4B} + L_{4B}) \quad \dots \quad (4.6.2.34)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4B1} = F_{HB1} \cdot h_{4B} \quad \dots \quad (4.6.2.35)$$

$$M_{4B2} = F_{HB2} \cdot h_{4B} \quad \dots \quad (4.6.2.36)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4B} = \frac{a_{4B}^2 \cdot b_{4B}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.37)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4B} = a_{4B} \cdot b_{4B} \dots \dots \dots (4.6.2.38)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4B1} = \frac{2 \cdot F_{Vb1}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B1}}{Z_{4B}} \dots \dots \dots (4.6.2.39)$$

$$\sigma_{4B2} = \frac{2 \cdot F_{Vb2}}{A_{4B}} + \frac{M_{4B2}}{Z_{4B}} \dots \dots \dots (4.6.2.40)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・ C 部

$$\tau_{3B1} = \frac{F_{Vb1}}{A_{3B}} \dots \dots \dots (4.6.2.41)$$

$$\tau_{3B2} = \frac{F_{Vb2}}{A_{3B}} \dots \dots \dots (4.6.2.42)$$

・ D 部

$$\tau_{4B1} = \frac{F_{HB1}}{A_{4B}} \dots \dots \dots (4.6.2.43)$$

$$\tau_{4B2} = \frac{F_{HB2}}{A_{4B}} \dots \dots \dots (4.6.2.44)$$

(c) 組合せ応力

・ C 部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3B1} = \sqrt{\sigma_{3B1}^2 + 3 \cdot \tau_{3B1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.45)$$

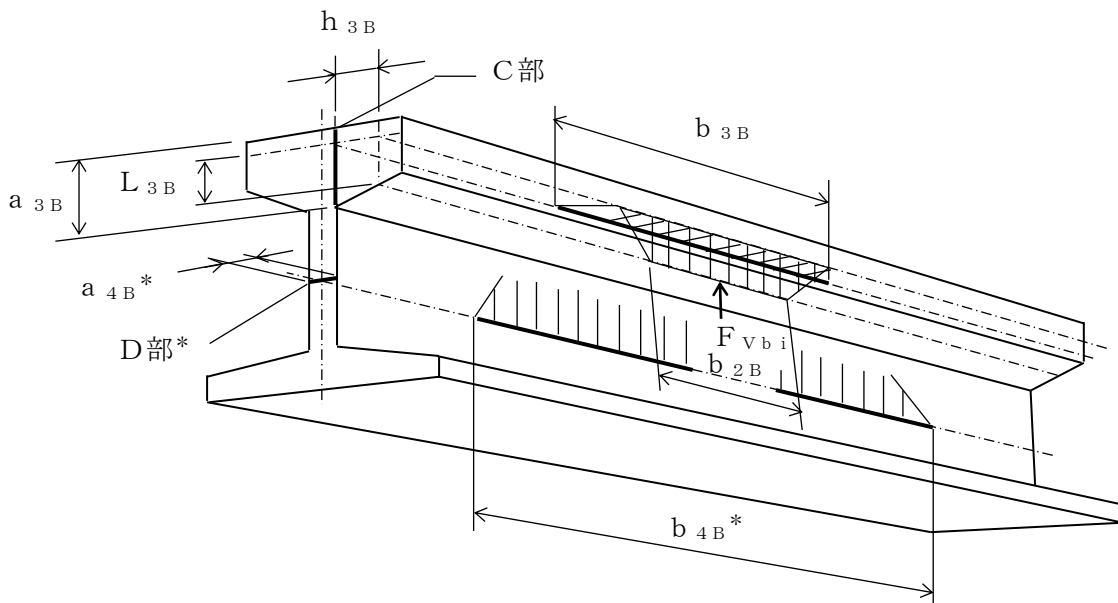
$$\sigma_{c3B2} = \sqrt{\sigma_{3B2}^2 + 3 \cdot \tau_{3B2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.46)$$

・ D 部

組合せ応力は次式となる。

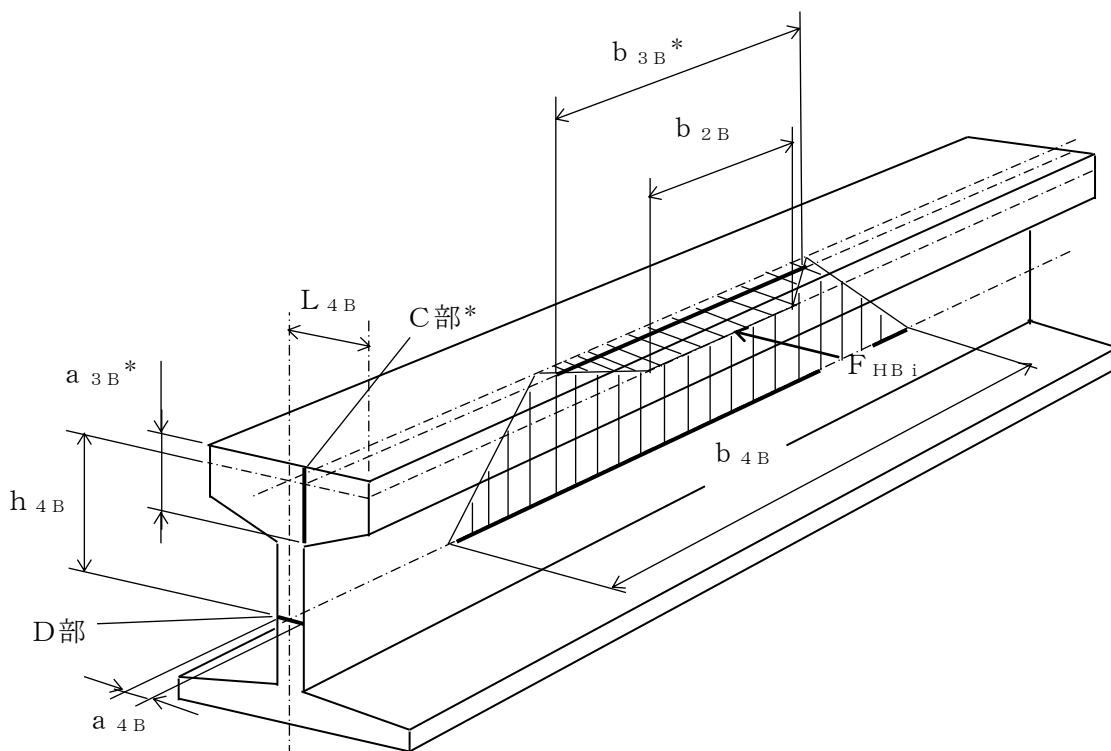
$$\sigma_{c4B1} = \sqrt{\sigma_{4B1}^2 + 3 \cdot \tau_{4B1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.47)$$

$$\sigma_{c4B2} = \sqrt{\sigma_{4B2}^2 + 3 \cdot \tau_{4B2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.48)$$



注記* : F_{Vbi} に対する D部 (図 4-7(2)) の断面寸法を示す。

図 4-7(1) 走行レール (BV)



注記* : F_{Hbi} に対する C部 (図 4-7(1)) の断面寸法を示す。

図 4-7(2) 走行レール (BH)

(2) 計算方法（トロリ）

トロリ脱線防止ラグに加わる荷重（ $P_{13} \sim P_{20}$ ）は、スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a. トロリ脱線防止ラグの応力

トロリ脱線防止ラグの応力を図4-9を用いて計算する。負担力は、 $P_{13} \sim P_{20}$ の平均の値を F_{HTi} 、及び F_{VTi} とする。

（ $i=1$ は設計基準対象施設、 $i=2$ は重大事故等対処設備）

水平力 F_{HTi} は図4-8に示すようにトロリ脱線防止ラグに分散する。

鉛直力 F_{VTi} はラグ一組（2個）に分散し、1個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{vt1} = \frac{F_{VT1}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.49)$$

$$F_{vt2} = \frac{F_{VT2}}{2} \dots \dots \dots (4.6.2.50)$$

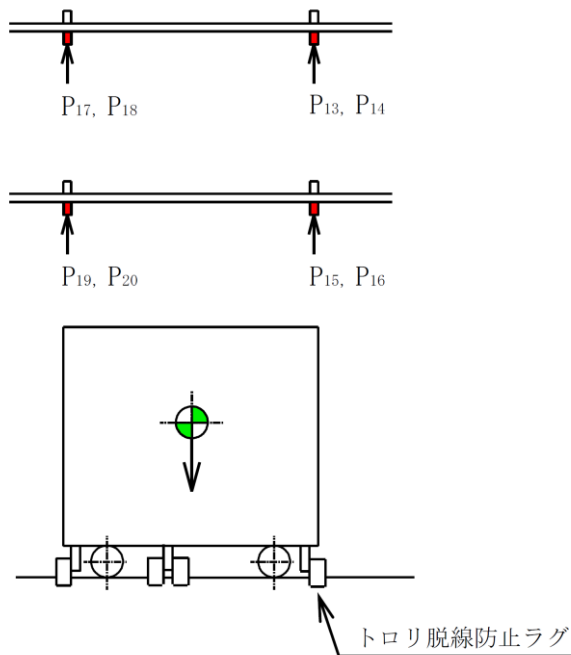


図4-8 計算モデル

(a) 曲げ応力

・ A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T1} = F_{HT1} \cdot h_{1T} + F_{Vt1} \cdot \left[h_{2T} + \frac{a_{1T}}{2} \right] \dots \dots \dots (4.6.2.51)$$

$$M_{1T2} = F_{HT2} \cdot h_{1T} + F_{Vt2} \cdot \left[h_{2T} + \frac{a_{1T}}{2} \right] \dots \dots \dots (4.6.2.52)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T} = \frac{a_{1T}^2 \cdot b_{1T}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.53)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \dots \dots \dots (4.6.2.54)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T1} = \frac{F_{Vt1}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T1}}{Z_{1T}} \dots \dots \dots (4.6.2.55)$$

$$\sigma_{1T2} = \frac{F_{Vt2}}{A_{1T}} + \frac{M_{1T2}}{Z_{1T}} \dots \dots \dots (4.6.2.56)$$

・ B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T1} = F_{Vt1} \cdot h_{2T} \dots \dots \dots (4.6.2.57)$$

$$M_{2T2} = F_{Vt2} \cdot h_{2T} \dots \dots \dots (4.6.2.58)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T} = \frac{a_{2T}^2 \cdot b_{2T}}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.59)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T1} = \frac{M_{2T1}}{Z_{2T}} \dots \dots \dots (4.6.2.60)$$

$$\sigma_{2T2} = \frac{M_{2T2}}{Z_{2T}} \dots \dots \dots (4.6.2.61)$$

(b) せん断応力

・ A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1T} = a_{1T} \cdot b_{1T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.62)$$

負担力 F_{HT} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T1} = \frac{F_{HT1}}{A_{1T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.63)$$

$$\tau_{1T2} = \frac{F_{HT2}}{A_{1T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.64)$$

・ B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T} = a_{2T} \cdot b_{2T} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.65)$$

負担力 F_{Vt} によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T1} = \frac{F_{Vt1}}{A_{2T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.66)$$

$$\tau_{2T2} = \frac{F_{Vt2}}{A_{2T}} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.67)$$

(c) 組合せ応力

・ A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T1} = \sqrt{\sigma_{1T1}^2 + 3 \cdot \tau_{1T1}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.68)$$

$$\sigma_{c1T2} = \sqrt{\sigma_{1T2}^2 + 3 \cdot \tau_{1T2}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.69)$$

・ B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T1} = \sqrt{\sigma_{2T1}^2 + 3 \cdot \tau_{2T1}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.70)$$

$$\sigma_{c2T2} = \sqrt{\sigma_{2T2}^2 + 3 \cdot \tau_{2T2}^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.71)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト 1 本の断面積は次式となる。

$$A_{bT} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{1T}^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.72)$$

せん断力は，取付ボルト n_{1T} 本で受けるものとし，ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bT1} = \frac{\sqrt{F_{HT1}^2 + F_{Vt1}^2}}{n_{1T} \cdot A_{bT}} \dots \dots \dots (4.6.2.73)$$

$$\tau_{bT2} = \frac{\sqrt{F_{HT2}^2 + F_{Vt2}^2}}{n_{1T} \cdot A_{bT}} \dots \dots \dots (4.6.2.74)$$

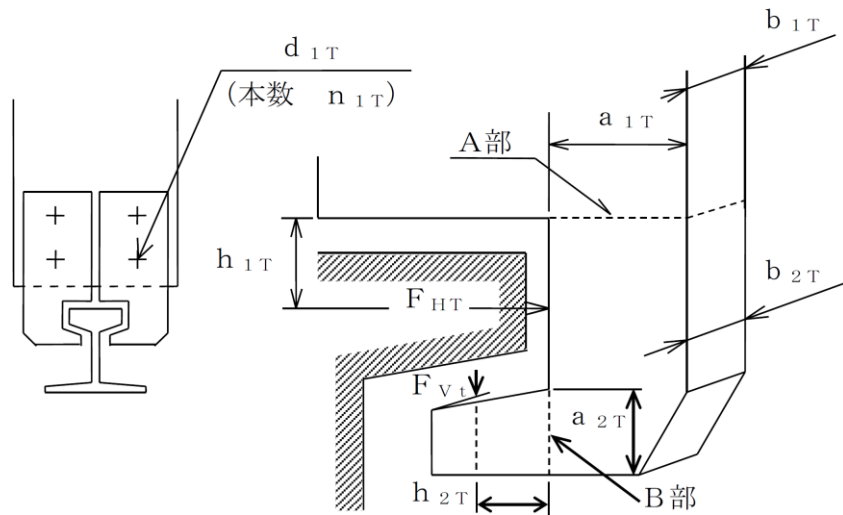


図4-9 トロリ脱線防止ラグ

b. 横行レールの応力

横行レールの応力評価は4.6.2(2)a項で求めた荷重（ $P_{13} \sim P_{20}$ ）の平均の値を F_{HTi} ，及び F_{Vti} とする。

（ $i=1$ は設計基準対象施設， $i=2$ は重大事故等対処設備）

トロリ脱線防止ラグに作用する鉛直力 F_{Vti} は図4-10(1)に示す斜線部のように横行レールに分散する。

トロリ脱線防止ラグに作用する水平力 F_{HTi} は図4-10(2)に示す斜線部のように横行レールに分散する。

(a) 曲げ応力

- ・ C部

幅は次式となる。

$$b_{3T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{3T} + L_{3T}) \dots \dots \dots (4.6.2.75)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3T1} = F_{vt1} \cdot h_{3T} \quad \dots \quad (4.6.2.76)$$

$$M_{3T2} = F_{vt2} \cdot h_{3T} \quad \dots \quad (4.6.2.77)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3T} = \frac{a_{3T}^2 \cdot b_{3T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.78)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3T} = a_{3T} \cdot b_{3T} \quad \dots \quad (4.6.2.79)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3T1} = \frac{F_{HT1}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T1}}{Z_{3T}} \quad \dots \quad (4.6.2.80)$$

$$\sigma_{3T2} = \frac{F_{HT2}}{A_{3T}} + \frac{M_{3T2}}{Z_{3T}} \quad \dots \quad (4.6.2.81)$$

・ D部

幅は次式となる。

$$b_{4T} = b_{2T} + 2 \cdot (h_{4T} + L_{4T}) \quad \dots \quad (4.6.2.82)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T1} = F_{HT1} \cdot h_{4T} \quad \dots \quad (4.6.2.83)$$

$$M_{4T2} = F_{HT2} \cdot h_{4T} \quad \dots \quad (4.6.2.84)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T} = \frac{a_{4T}^2 \cdot b_{4T}}{6} \quad \dots \quad (4.6.2.85)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4T} = a_{4T} \cdot b_{4T} \quad \dots \quad (4.6.2.86)$$

したがって、曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T1} = \frac{2 \cdot F_{vt1}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T1}}{Z_{4T}} \quad \dots \quad (4.6.2.87)$$

$$\sigma_{4T2} = \frac{2 \cdot F_{vt2}}{A_{4T}} + \frac{M_{4T2}}{Z_{4T}} \quad \dots \quad (4.6.2.88)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

• C部

$$\tau_{3T1} = \frac{F_{vt1}}{A_{3T}} \dots \dots \dots (4.6.2.89)$$

$$\tau_{3T2} = \frac{F_{vt2}}{A_{3T}} \dots \dots \dots (4.6.2.90)$$

• D部

$$\tau_{4T1} = \frac{F_{HT1}}{A_{4T}} \dots \dots \dots (4.6.2.91)$$

$$\tau_{4T2} = \frac{F_{HT2}}{A_{4T}} \dots \dots \dots (4.6.2.92)$$

(c) 組合せ応力

• C部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3T1} = \sqrt{\sigma_{3T1}^2 + 3 \cdot \tau_{3T1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.93)$$

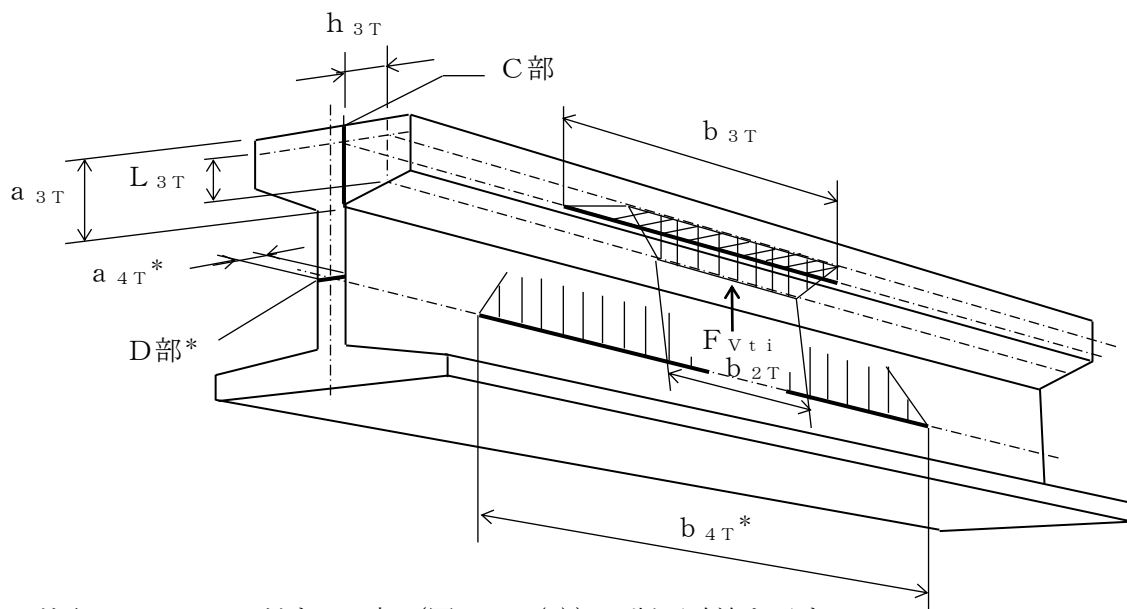
$$\sigma_{c3T2} = \sqrt{\sigma_{3T2}^2 + 3 \cdot \tau_{3T2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.94)$$

• D部

組合せ応力は次式となる。

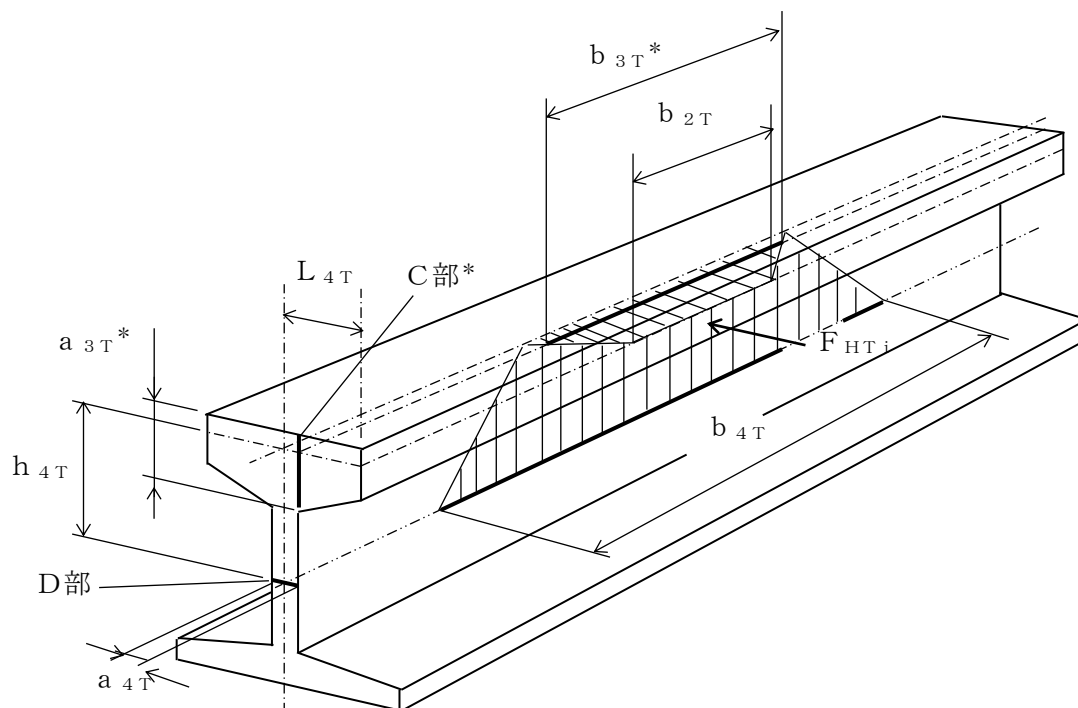
$$\sigma_{c4T1} = \sqrt{\sigma_{4T1}^2 + 3 \cdot \tau_{4T1}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.95)$$

$$\sigma_{c4T2} = \sqrt{\sigma_{4T2}^2 + 3 \cdot \tau_{4T2}^2} \dots \dots \dots (4.6.2.96)$$



注記* : F_{Vti} に対するD部 (図4-10(2)) の断面寸法を示す。

図4-10(1) 横行レール (TV)



注記* : F_{HTi} に対するC部 (図4-10(1)) の断面寸法を示す。

図4-10(2) 横行レール (TH)

4.6.3 吊具の荷重計算方法

燃料取替機の吊荷荷重を受ける各部は、ブリッジ、トロリ及び吊具で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性がある吊具の中から、最も荷重の影響を受けるワイヤロープと先端金具を評価対象とする。

ワイヤロープ及び先端金具の計算に当たっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・吊荷は水中にあり、実際の吊下げでは水の抵抗を受けるが、評価に当たっては、気中での吊下げを想定して保守的に水の抵抗はないものとして行う。
- ・燃料取替機及び吊荷の速度算出に当たっては、燃料取替機、吊荷質量及びワイヤロープ長さの評価条件を、固有周期と床応答スペクトルの関係から評価が厳しくなるように設定する。

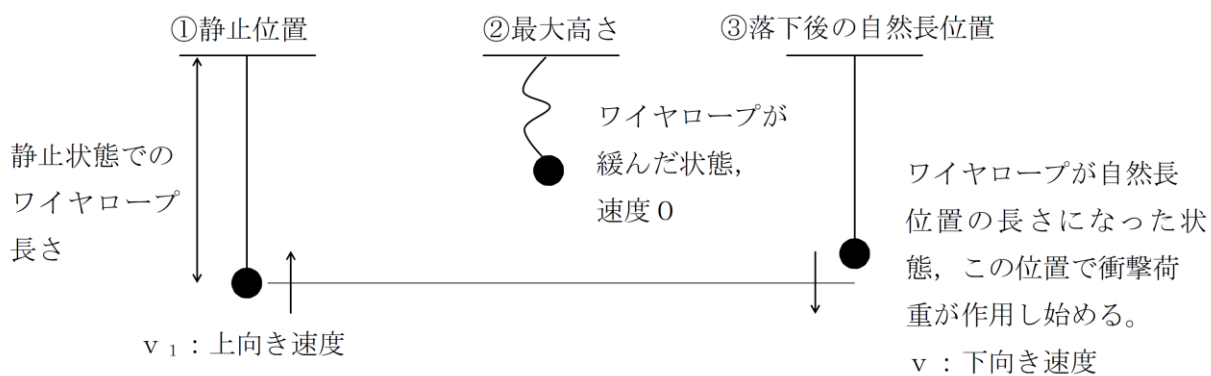
①ワイヤロープ長さは、固有周期に対する床応答特性（加速度）がより厳しくなる長さとする。評価に当たって、ここでのワイヤロープ長さは吊上げ上端位置とする。

②吊荷の質量は、定格質量で評価を実施する。

- ・ワイヤロープ、先端金具の荷重は、吊荷を1自由度モデルにより求めた固有周期に対応する加速度、燃料取替機を4.4項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに、吊荷が一度浮上って落下した後の落下による衝撃荷重を算出する。
- ・燃料取替機と吊荷の位相差が吊荷に及ぼす影響については、吊荷とは逆位相に生じる燃料取替機を速度を、吊荷に作用する相対速度として考慮する。
- ・衝撃荷重は、吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
- ・水平方向地震に伴い、吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが、その影響については、軽微であることから、評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

(1) 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図 4-11 に示すように、鉛直方向に浮上り再び自然長位置に戻った瞬間から、吊具の衝撃荷重を与える。

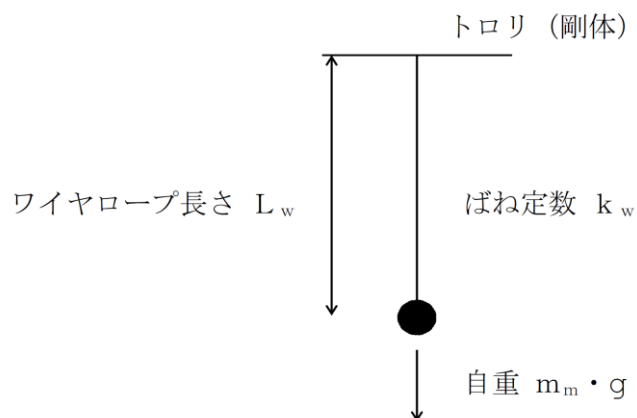


- 下向き速度 v
- ②, ③まではエネルギー保存則より
下向き速度 v は
 $v < v_1$
となるが、保守的に
 $v = v_1$
として評価を行う。

図 4-11 吊荷の浮上りの様子

(2) 吊荷の固有周期

以下のとおり，トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期 T_w を算出する。



$$\text{固有周期: } T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_m}{k_w}}$$

$$\text{ばね定数: } k_w = \frac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$$

図 4-12 吊荷の固有周期

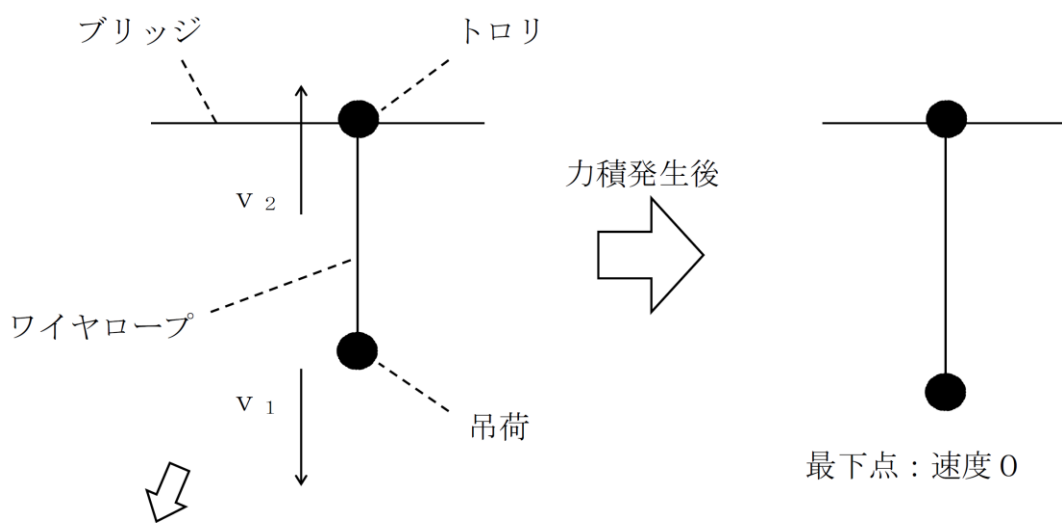
(3) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，ワイヤロープ，先端金具に作用する荷重Fを算出する。

図4-13及び図4-14に示すように，ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることから v_1 と v_2 が同値にならないが，保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

$$(\text{力積}) : \int_0^{\frac{T}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt$$

$$(\text{吊荷の運動量の変化}) : m_m \cdot (v_1 + v_2)$$



相対速度 ($v_1 + v_2$) とする。

図4-13 吊荷落下後の速度変化

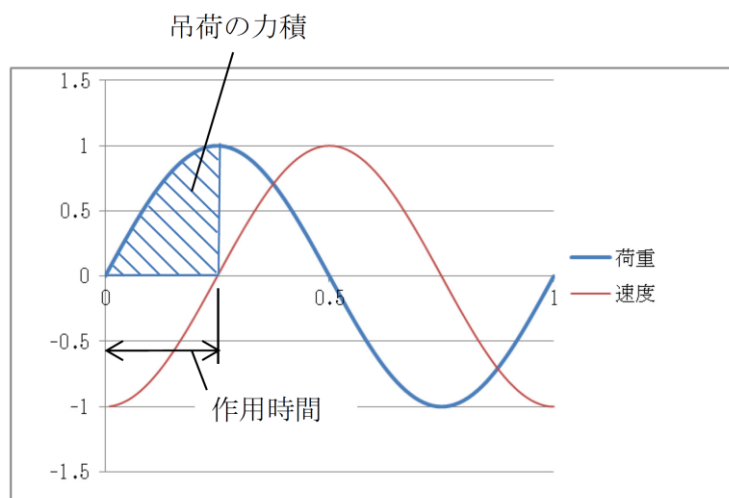


図4-14 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については、ワイヤロープが完全弾性体で、吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば、吊荷の固有周期 T_w の4分の1となる。

以上から、運動量変化及び作用時間をもとに荷重は、自重分を追加して、以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m_m \cdot g$$

4.6.4 吊具の応力計算方法

ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力を、図4-15を用いて計算する。

ワイヤロープの支持荷重は次式となる。

$$F_w = \frac{F}{n_w}$$

先端金具の応力は次式となる。

$$\sigma_m = \frac{F_w}{A_B}$$

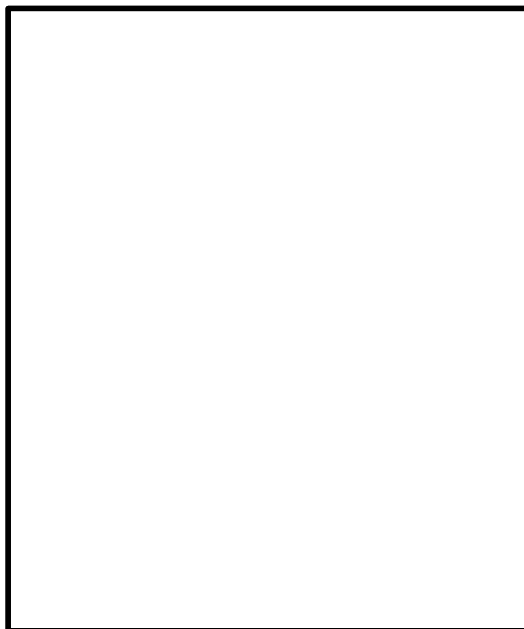


図4-15 ワイヤロープ及び先端金具

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（ブリッジ、トロリ、吊荷）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、走行レール及び横行レールの応力評価

4.6.1 項及び 4.6.2 項で求めた燃料取替機構造物フレーム、脱線防止ラグ、走行レール及び横行レールの各応力が次式より求めた許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた脱線防止ラグ取付ボルトの応力が次式より求めた許容せん断応力以下であること。

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

4.8.3 先端金具の応力評価

4.6.4 項で求めた先端金具の応力が次式より求めた許容引張応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

4.8.4 ワイヤロープの評価

4.6.4項で求めたワイヤロープの支持荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料取替機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震 重要度分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S s				鉛直方向 設計震度	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度					
燃料取替機	B	原子炉建物 EL 42.8*1	0.038*2	0.084*2	ブリッジ		トロリ		C _v =1.81*3 又は *4	50
					NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向		
					C _{H1} =1.62*3	C _{H2} =0.15*5	C _{H2} =0.15*5	C _{H2} =0.15*5		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

1.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_{x1} (N)	F_{y1} (N)	F_{z1} (N)	M_{x1} (N·mm)	M_{y1} (N·mm)	M_{z1} (N·mm)
1.763×10^6	1.493×10^5	8.440×10^5	4.244×10^7	2.362×10^9	4.125×10^8

F_{HB1} (N)	F_{VB1} (N)	F_{HT1} (N)	F_{VT1} (N)
5.645×10^5	2.479×10^5	2.836×10^4	1.630×10^5

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)

ν

a_{1T} (mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F1} (mm ²)	A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{bB} (mm ²)	A_{1T} (mm ²)	A_{2T} (mm ²)	A_{3T} (mm ²)	A_{4T} (mm ²)	A_{bT} (mm ²)

Z_{p1} (mm ³)	Z_{y1} (mm ³)	Z_{z1} (mm ³)	Z_{1B} (mm ³)	Z_{2B} (mm ³)	Z_{3B} (mm ³)	Z_{4B} (mm ³)	Z_{1T} (mm ³)	Z_{2T} (mm ³)	Z_{3T} (mm ³)	Z_{4T} (mm ³)

S2 補 VI-2-11-2-7-2 R1

m_m (kg)	T_w (s)	L_w (mm)	A_w (mm ²)	A_B (mm ²)	E_w (MPa)	n_w

F_w (N)	k_w (N/mm)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)
2.962×10^4			

燃料取替機構造物フレーム (ガーダ)		
[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		

注: []

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]			[]			[]			[]		

走行レール		横行レール	
[]		[]	
S _u (MPa)	F [*] (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
[]		[]	

先端金具
[]
S _u (MPa)
[]

ワイヤロープ
[]
F _w (N)
35900

1.3 結論

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力	
燃料取替機構造物フレーム (ガーダ)			曲げ σ_{1F1}	240	275	
			せん断 τ_{1F1}	20	158	
			組合せ σ_{c1F1}	242	275	
ブリッジ	脱線防止ラグ		B部	曲げ σ_{2B1}	159	253
			せん断 τ_{2B1}	48	146	
	取付ボルト		組合せ σ_{c2B1}	179	253	
トロリ	脱線防止ラグ		A部	せん断 τ_{bB1}	320	366
			曲げ σ_{1T1}	113	253	
	取付ボルト		せん断 τ_{1T1}	7	146	
		組合せ σ_{c1T1}	114	253		
走行レール		D部	せん断 τ_{bT1}	138	366	
			曲げ σ_{4B1}	567	756	
			せん断 τ_{4B1}	53	436	
横行レール		D部	組合せ σ_{c4B1}	574	756	
			曲げ σ_{4T1}	287	483	
			せん断 τ_{4T1}	10	278	
			組合せ σ_{c4T1}	288	483	

すべて許容応力以下である。

(単位：N)

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		支持荷重 F_w	29620	35900

許容荷重以下である。

(単位：MPa)

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
吊具	先端金具		引張 σ_m	262	378

許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S s				周囲環境 温度 (°C)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度					鉛直方向 設計震度
燃料取替機	—	原子炉建物 EL 42.8* ¹	0.036* ²	0.058* ²	ブリッジ		トロリ		C _v =1.81* ³ 又は * ⁴	
					NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向		
					C _{H1} =1.62* ³	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵	C _{H2} =0.15* ⁵		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：トロリ位置が端部にある場合の値

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため、最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

2.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_{x2} (N)	F_{y2} (N)	F_{z2} (N)	M_{x2} (N・mm)	M_{y2} (N・mm)	M_{z2} (N・mm)
4.317×10^3	3.105×10^3	4.489×10^2	4.744×10^3	2.267×10^5	1.882×10^6

F_{HB2} (N)	F_{VB2} (N)	F_{HT2} (N)	F_{VT2} (N)
2.578×10^5	1.171×10^5	1.985×10^4	3.640×10^4

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)

ν

a_{1T} (mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F2} (mm ²)	A_{1B} (mm ²)	A_{2B} (mm ²)	A_{3B} (mm ²)	A_{4B} (mm ²)	A_{bB} (mm ²)	A_{1T} (mm ²)	A_{2T} (mm ²)	A_{3T} (mm ²)	A_{4T} (mm ²)	A_{bT} (mm ²)

Z_{p2} (mm ³)	Z_{y2} (mm ³)	Z_{z2} (mm ³)	Z_{1B} (mm ³)	Z_{2B} (mm ³)	Z_{3B} (mm ³)	Z_{4B} (mm ³)	Z_{1T} (mm ³)	Z_{2T} (mm ³)	Z_{3T} (mm ³)	Z_{4T} (mm ³)

燃料取替機構造物フレーム (ギャラリ)		
[]		
S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)
[]		

注: []

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
[]			[]			[]			[]		
S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)
[]			[]			[]			[]		

59

走行レール		横行レール	
[]		[]	
S u (MPa)	F * (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)
[]		[]	

2.3 結論

(単位：MPa)

部位			材料	応力	算出応力	許容応力
燃料取替機構造物フレーム (ギャラリ)				曲げ σ_{1F2}	222	235
				せん断 τ_{1F2}	4	135
				組合せ σ_{c1F2}	222	235
ブリッジ	脱線防止ラグ	B部		曲げ σ_{2B2}	75	232
				せん断 τ_{2B2}	23	133
				組合せ σ_{c2B2}	85	232
		取付ボルト		せん断 τ_{bB2}	146	341
トロリ	脱線防止ラグ	A部		曲げ σ_{1T2}	31	232
				せん断 τ_{1T2}	5	133
			組合せ σ_{c1T2}	32	232	
		取付ボルト	せん断 τ_{bT2}	43	341	
走行レール			曲げ σ_{4B2}	259	756	
			せん断 τ_{4B2}	24	436	
			組合せ σ_{c4B2}	263	756	
横行レール			曲げ σ_{4T2}	174	483	
			せん断 τ_{4T2}	7	278	
			組合せ σ_{c4T2}	174	483	

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-3 チャンネル着脱装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	28
4.8 応力及び荷重の評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるチャンネル着脱装置（以下「着脱装置」という。）（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

着脱装置は、原子炉建物4階に設置されている。着脱装置は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である燃料プールの壁面に設置されていることから、地震時に本機器が落下した場合は、燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



図2-1 チャンネル着脱装置と燃料プール等の位置関係図

2.2 構造計画

着脱装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ガイドレールは燃料プール壁面の金物に差し込まれており，上部に固定ボルトで取り付けられる。</p>	<p>燃料昇降式(カートがガイドレールに支持され，ローラチェーンを介して上下する昇降装置。)</p>	

2.3 評価方針

着脱装置の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す着脱装置の部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

着脱装置の耐震評価フローを図2-2に示す。

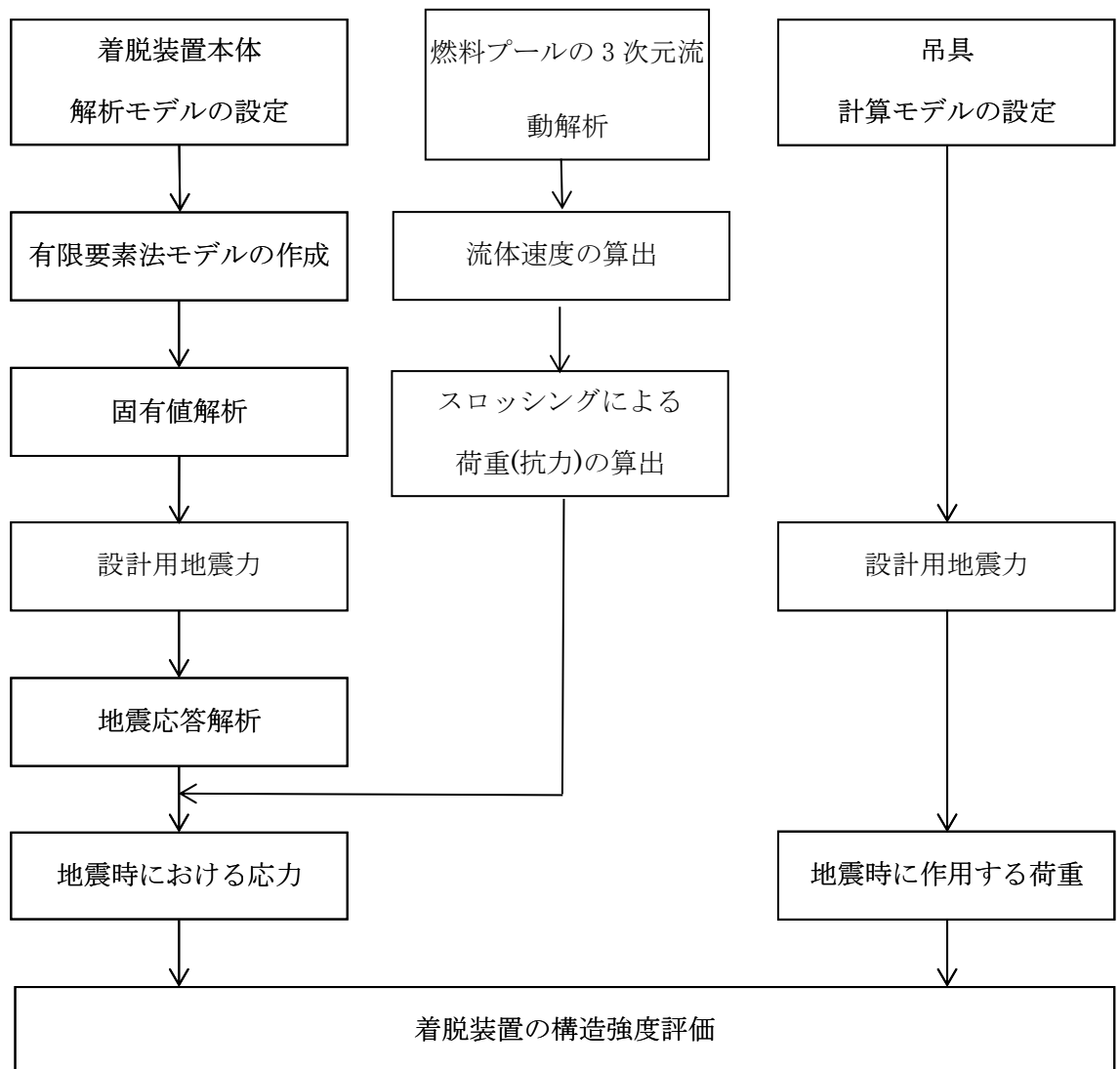


図2-2 着脱装置の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する適用規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1G}	ガイドレールの断面積	mm^2
A_L	ローラチェーンの許容荷重	N
A_s	スロッシングによるガイドレール、カート及び燃料の投影面積	mm^2
C_d	抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	ガイドレール及びカートの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{xG}	ガイドレールに作用する軸力 (x 方向)	N
F_{yG}	ガイドレールに作用するせん断力 (y 方向)	N
F_{zG}	ガイドレールに作用するせん断力 (z 方向)	N
F_C	ローラチェーンに作用する荷重	N
f_s	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける固定ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_{xG}	ガイドレールのねじりモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{yG}	ガイドレールの曲げモーメント (y 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{zG}	ガイドレールの曲げモーメント (z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_G	ガイドレールの質量	kg
m_F	カートの質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
m_{wH}	水平方向の水の付加質量	kg
P_t	スロッシングによりガイドレール、カート及び燃料に生じる抗力	N
S_u	ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	ガイドレール及びカート：日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017) に定める値 固定ボルト：設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
V	スロッシングによる流速	m/s

記号	記号の説明	単位
Z_{pG}	ガイドレールのねじり断面係数	mm^3
Z_{yG}	ガイドレールの断面係数 (y 軸)	mm^3
Z_{zG}	ガイドレールの断面係数 (z 軸)	mm^3
ν	ポアソン比	—
θ	最外郭固定ボルト角度	rad
ρ	水の比重	kg/m^3
σ_{1G}	ガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{c1G}	ガイドレールの組合せ応力	MPa
σ_{xG}	x 方向の荷重によるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{yG}	y 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{zG}	z 方向のモーメントによるガイドレールの曲げ応力	MPa
σ_{1B}	固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{xB}	x 方向の荷重による固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{yB}	y 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
σ_{zB}	z 方向のモーメントによる固定ボルトの引張応力	MPa
τ_{1G}	ガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{xG}	x 方向のモーメントによるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{yG}	y 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa
τ_{zG}	z 方向の荷重によるガイドレールのせん断応力	MPa

注：記号右端添え字に_Gが付くものは、ガイドレール評価用を代表で示したものであり、カート評価用については_G→_F、固定ボルト評価用については_G→_Bに置き換える。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表及び日本産業規格 J I S B 8 2 6 5 (2017)に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

着脱装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、着脱装置本体及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、主要構造物であるガイドレール、カート、固定ボルト及び吊具（ローラチェーン）について実施する。着脱装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 着脱装置を構成する部材をはり要素にてモデル化した 3 次元有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析（NS 方向及び EW 方向）及び静解析（鉛直方向）を適用する。
- (2) 地震力は、着脱装置に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。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、S R S S 法を適用する。
- (3) 地震力及びスロッシング荷重は、ガイドレール及びカートに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において S R S S 法にて組合せる。
- (4) ガイドレールは、燃料プール壁面の固定ボルト及び金物により荷重を支持する構造であるため、該当部位の変位を拘束する。
- (5) カートに設置される燃料は、集中質量として設定する。
- (6) カートはガイドレールに対して鉛直方向にスライド可能とし、鉛直方向はローラチェーンにより支持される。
- (7) カートの位置については、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の条件に対する評価条件としてカート位置が上端及び下端について評価し、最も厳しい下端の場合について記載する。
- (8) 吊具については、ローラチェーンの鉛直方向を剛構造とみなし、鉛直方向の設計震度に対応した荷重を算出する。
- (9) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

4.2.2 許容応力

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

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

着脱装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

着脱装置の使用材料の許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱装置	B	—*1	$D + P_D + M_D + S_S$ *2	$IV_A S$

注記*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱 施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	チャンネル 着脱装置	—	—*1	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ *2	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を 用いる。)

注記*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*2：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

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

二

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール		周囲環境温度	66	—			—
カート		周囲環境温度	66	—			—
固定ボルト		周囲環境温度	66	—			—

注記* : J I S H 4 1 0 0 相当

表 4-5 使用材料の許容荷重評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ローラチェーン		周囲環境温度	66			

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
ガイドレール		周囲環境温度	100	—			—
カート		周囲環境温度	100	—			—
固定ボルト		周囲環境温度	100	—			—

注記* : J I S H 4 1 0 0 相当

表 4-7 使用材料の許容荷重評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ローラチェーン		周囲環境温度	100			

4.3 解析モデル及び諸元

着脱装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ガイドレール及びカートをはり要素でモデル化した 3 次元有限要素法モデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、固定ボルト部を完全拘束とする。また、金物については、水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向を拘束する。ローラチェーンはループ状になっており、ガイドレールの上及び下部に取り付けられたスプロケットにより回転及び停止する。ローラチェーンの回転によってカートは鉛直方向に昇降し、ローラチェーンの停止によってカートの鉛直方向は固定される。よって、カートのローラチェーン取付け部の鉛直方向を拘束する。
- (3) 結合条件は、カート及びガイドレール間の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向のみを結合する。なお、固定ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 解析コードは「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。
なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5 「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (5) 質量には着脱装置自身の質量、燃料の質量及び水の付加質量*を考慮し、着脱装置自身の質量及び水の付加質量については、フレーム全長に渡って、等分布に与える。燃料（水の付加質量を含む）については、カートの上下位置に集中質量として与える。

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

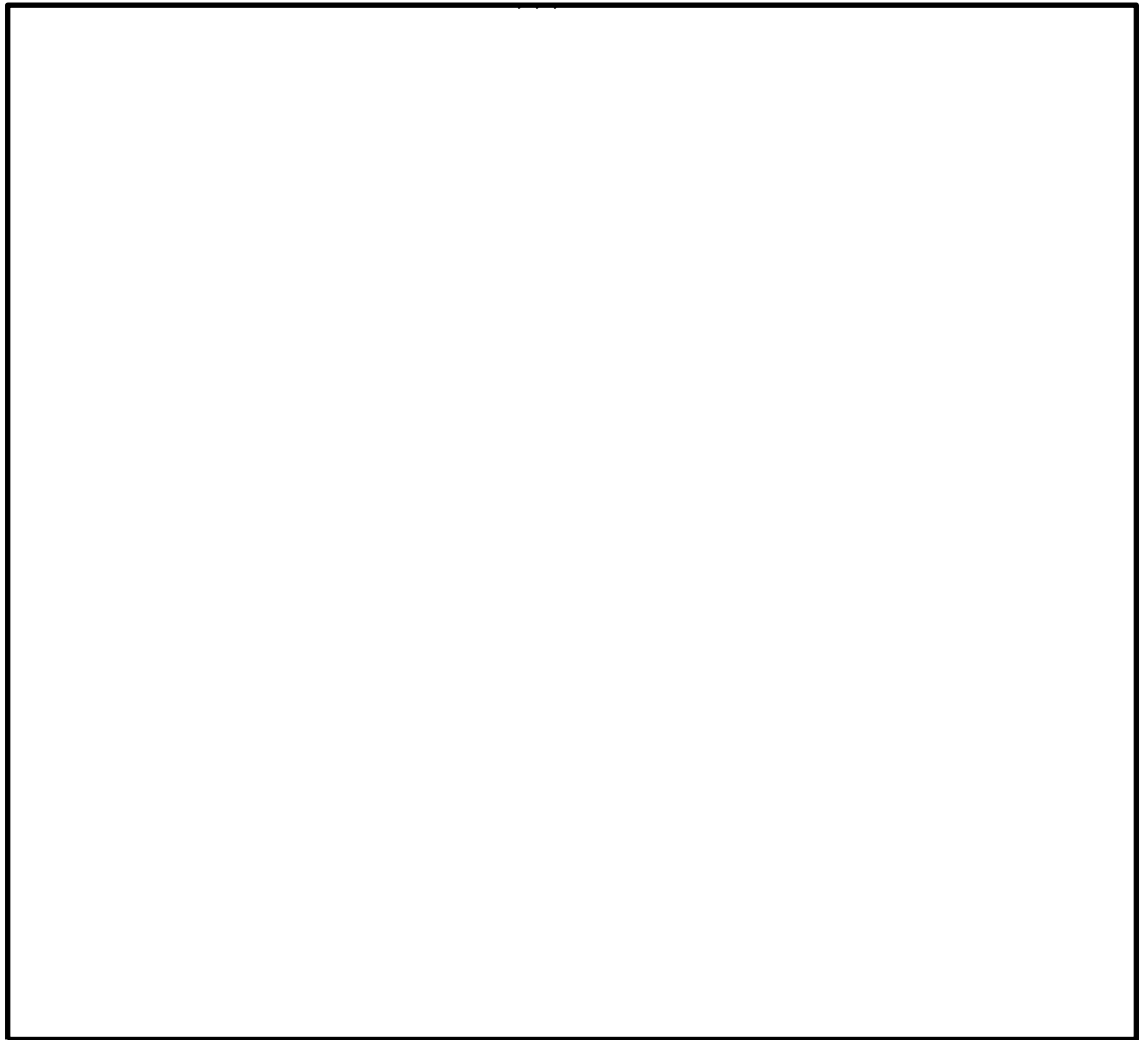


図 4-1 解析モデル

表 4-8 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	ガイドレール	—	—	
	カート	—	—	
	固定ボルト	—	—	
	ローラチェーン	—	—	
質量	ガイドレール	m_G	kg	
	カート	m_F	kg	
温度条件 (周囲環境温度, 設計基準対象施設)		—	°C	66
温度条件 (周囲環境温度, 重大事故等対処設備)		—	°C	100
縦弾性係数	ガイドレール	E	MPa	
	カート	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	個	
節点数		—	個	

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-9, 振動モード図を図 4-2~図 4-6 に示す。水平方向の固有周期は, 0.05 秒を超えており, 柔構造であることを確認した。また, 鉛直方向の固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 4-9 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			NS 方向	EW 方向	鉛直方向
1 次					
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

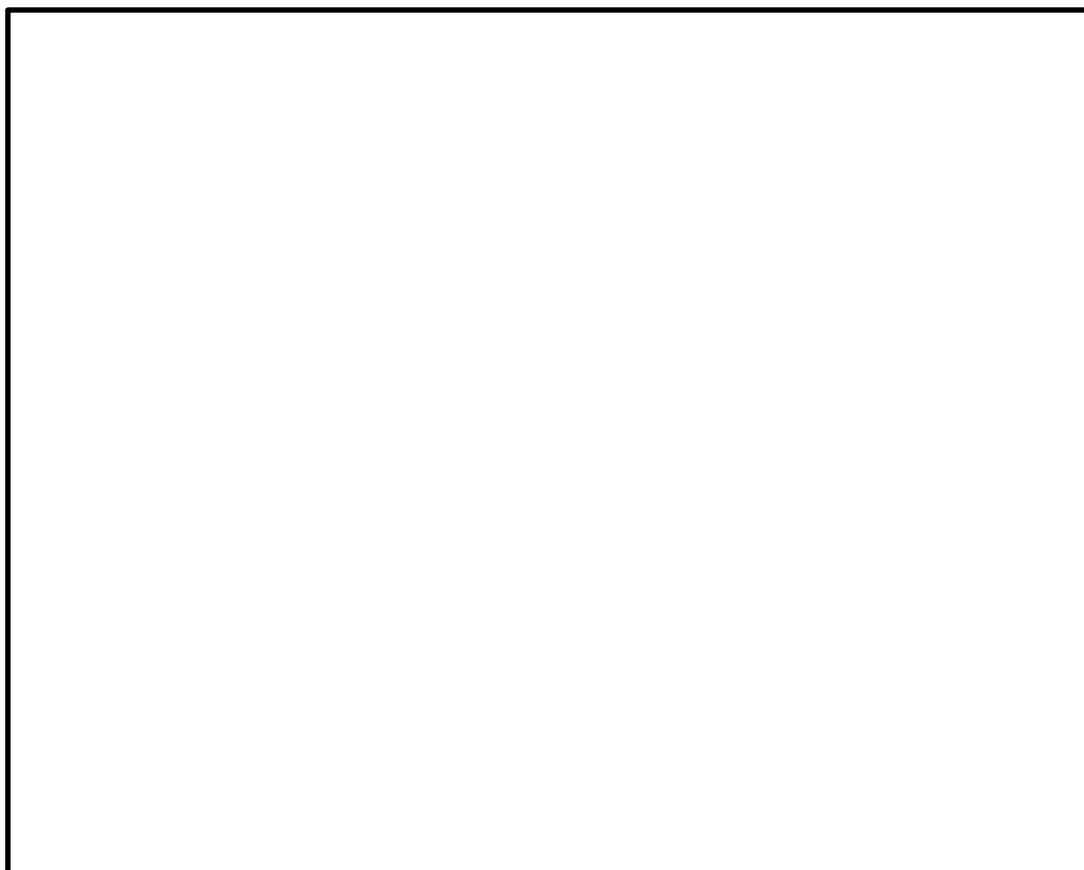


図 4-2 振動モード図 (1 次)

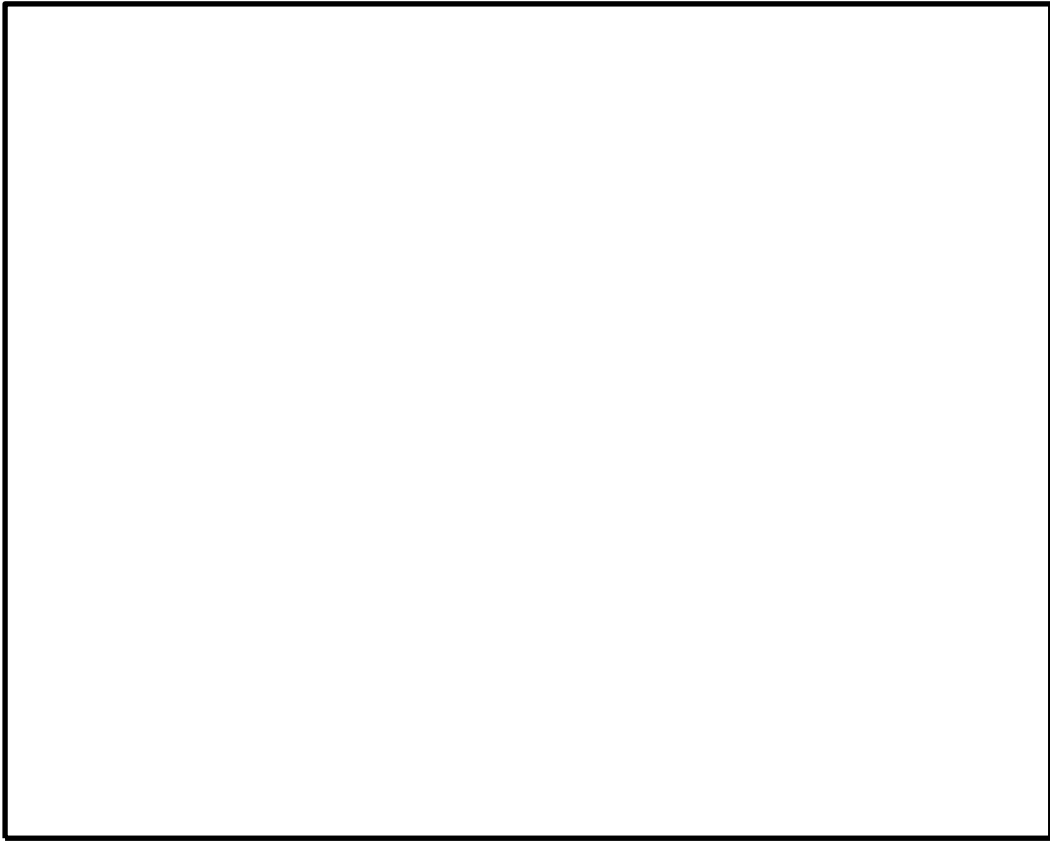


図 4-3 振動モード図 (2次)

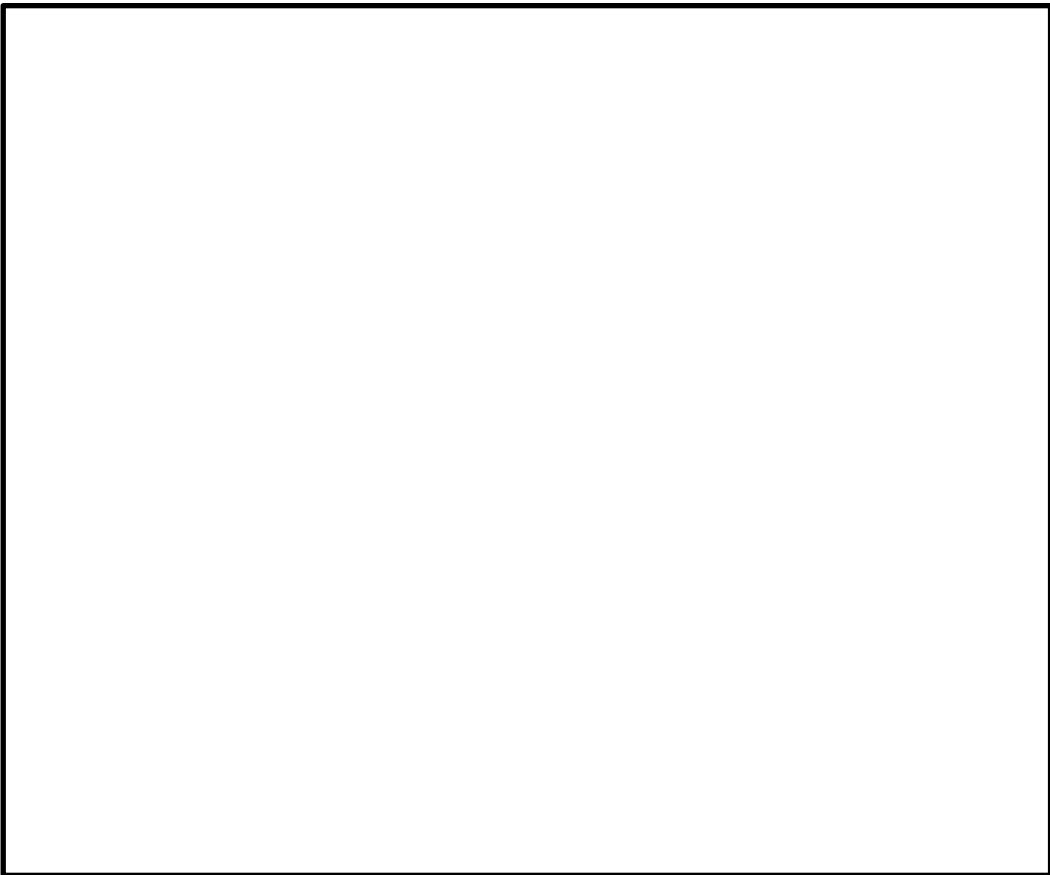


図 4-4 振動モード図 (3次)

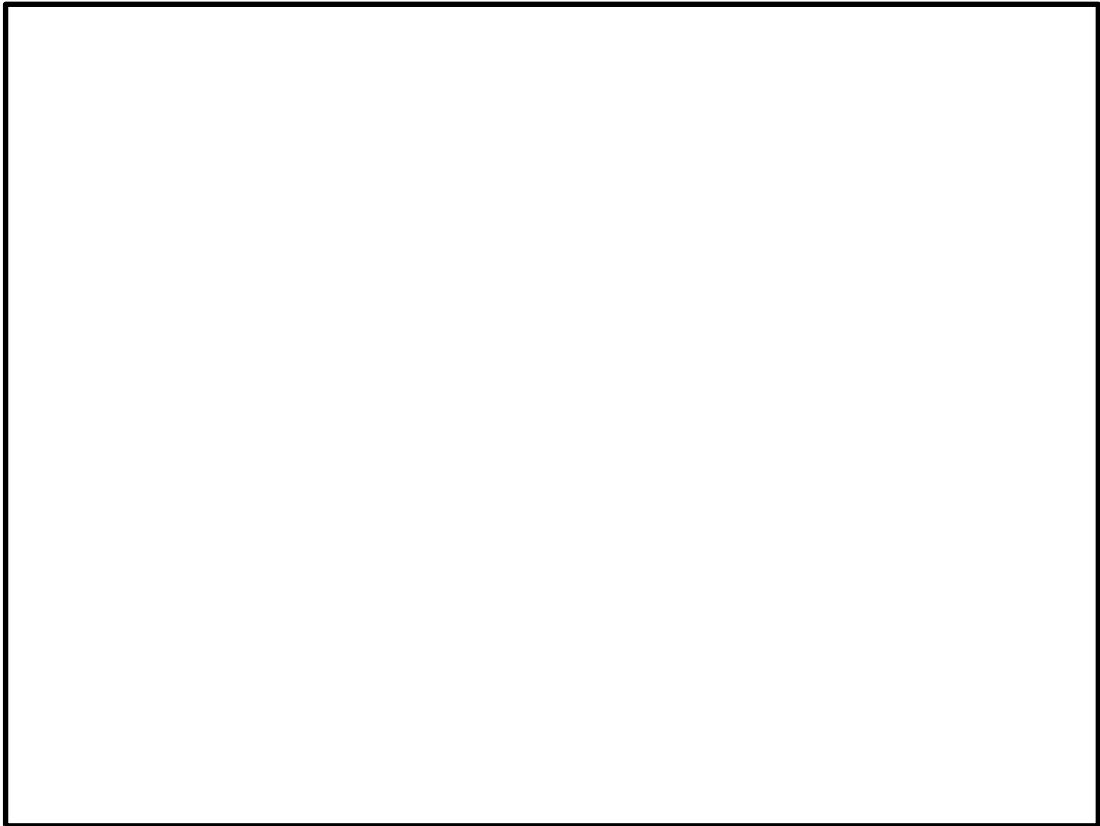


図 4-5 振動モード図 (4 次)

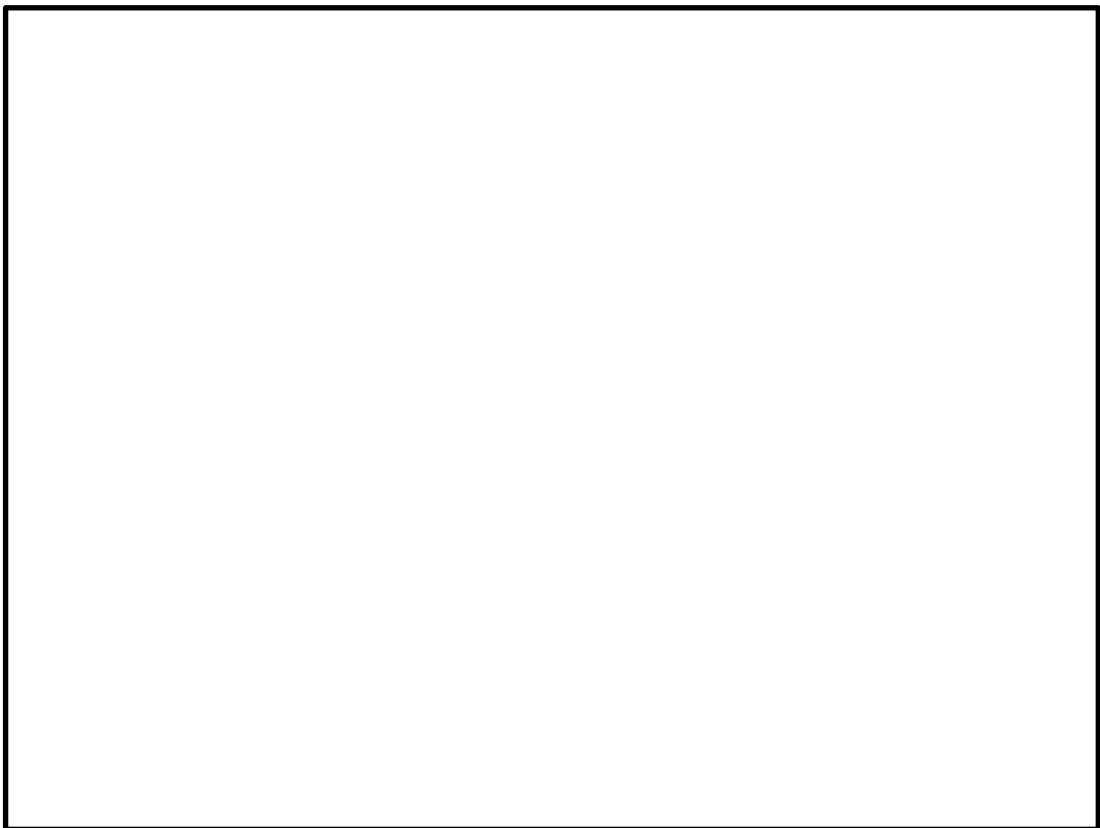


図 4-6 振動モード図 (5 次)

4.5 設計用地震力

着脱装置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 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

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

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
減衰定数(%)		水平：2.0* ² 鉛直：-		
地震力		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
		NS 方向	EW 方向	
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
動的震度* ⁵		C _H =2.31	C _H =2.52	C _V =2.46

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：全体的にボルト締結による構造であるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づきボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*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Ⅱ（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.8* ¹		
減衰定数(%)		水平：2.0* ² 鉛直：-		
地震力		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
		NS 方向	EW 方向	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
動的震度* ⁵		C _H =2.31	C _H =2.52	C _V =2.46

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：全体的にボルト締結による構造であるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づきボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*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Ⅱ（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

(1) ガイドレールの応力

ガイドレールに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xG} , F_{yG} , F_{zG} , モーメント力 M_{xG} , M_{yG} , M_{zG} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xG} = \frac{F_{xG}}{A_{1G}}, \quad \sigma_{yG} = \frac{M_{yG}}{Z_{yG}}, \quad \sigma_{zG} = \frac{M_{zG}}{Z_{zG}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{xG} = \frac{M_{xG}}{Z_{pG}}, \quad \tau_{yG} = \frac{F_{yG}}{A_{1G}}, \quad \tau_{zG} = \frac{F_{zG}}{A_{1G}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1G} = |\sigma_{xG}| + |\sigma_{yG}| + |\sigma_{zG}| \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1G} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xG}| + |\tau_{yG}|)^2 + |\tau_{zG}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yG}|^2 + (|\tau_{xG}| + |\tau_{zG}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1G} = \sqrt{\sigma_{1G}^2 + 3 \cdot \tau_{1G}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(2) カートの応力

カートに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xF} , F_{yF} , F_{zF} , モーメント力 M_{xF} , M_{yF} , M_{zF} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xF} = \frac{F_{xF}}{A_{1F}}, \quad \sigma_{yF} = \frac{M_{yF}}{Z_{yF}}, \quad \sigma_{zF} = \frac{M_{zF}}{Z_{zF}} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

$$\tau_{xF} = \frac{M_{xF}}{Z_{pF}}, \quad \tau_{yF} = \frac{F_{yF}}{A_{1F}}, \quad \tau_{zF} = \frac{F_{zF}}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = |\sigma_{xF}| + |\sigma_{yF}| + |\sigma_{zF}| \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xF}| + |\tau_{yF}|)^2 + |\tau_{zF}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yF}|^2 + (|\tau_{xF}| + |\tau_{zF}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.9)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.10)$$

(3) 固定ボルトの応力

固定ボルトに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより計算機コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力 F_{xB} , F_{yB} , F_{zB} , モーメント力 M_{xB} , M_{yB} , M_{zB} とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xB} = \frac{F_{xB}}{A_{1B}}, \quad \sigma_{yB} = \frac{M_{yB}}{Z_{yB}}, \quad \sigma_{zB} = \frac{M_{zB}}{Z_{zB}} \quad \dots \quad (4.6.1.11)$$

$$\tau_{xB} = \frac{M_{xB}}{Z_{pB}}, \quad \tau_{yB} = \frac{F_{yB}}{A_{1B}}, \quad \tau_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.1.12)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

$$\sigma_{1B} = |\sigma_{xB}| + |\sigma_{yB}| + |\sigma_{zB}| \quad \dots \quad (4.6.1.13)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \sqrt{(\tau_{yB} + \tau_{xB} \cdot \sin \theta)^2 + (\tau_{zB} + \tau_{xB} \cdot \cos \theta)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.14)$$

ガイドレールの最大応力発生部材を図4-1の①，カートの最大応力発生部位を図4-1の②に示す。

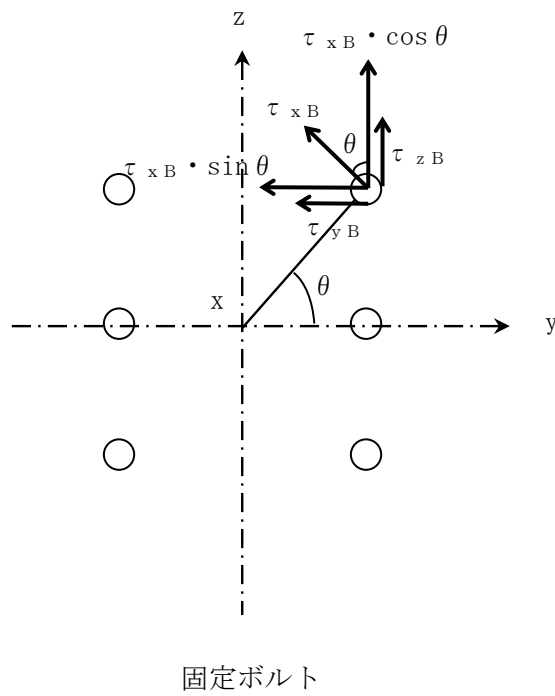
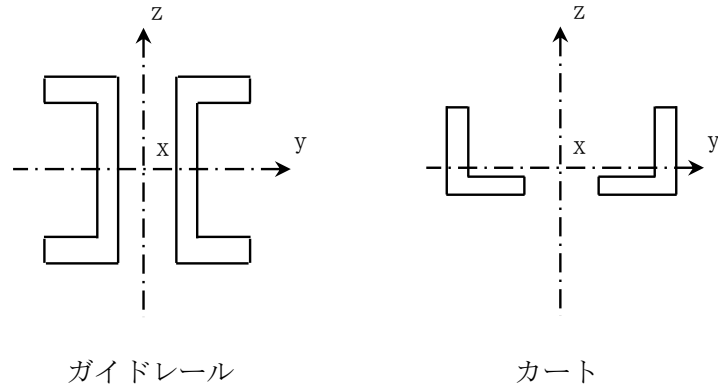
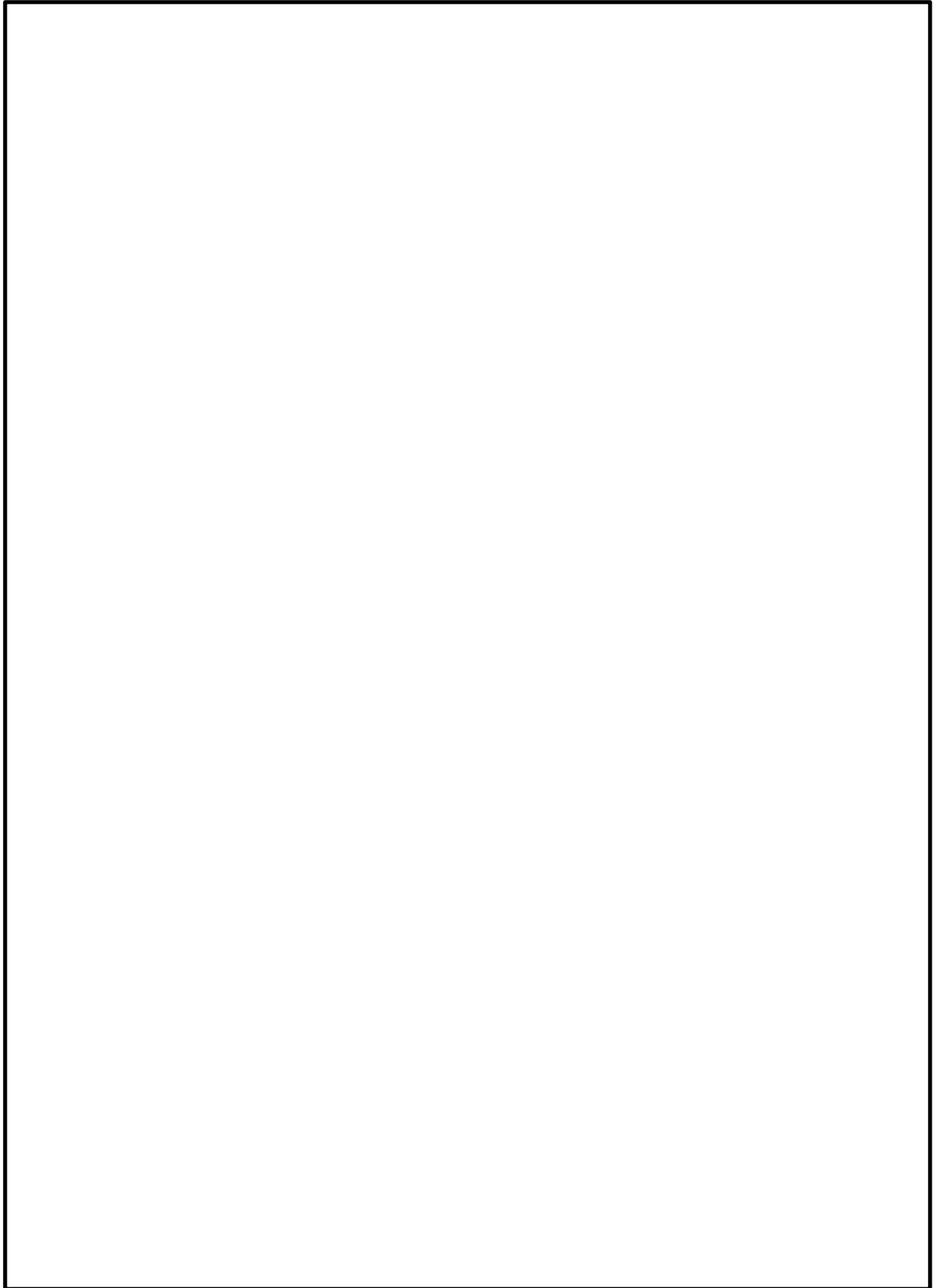


図4-7 部材断面

注：x, y, z は要素に与えられた座標軸で，x 軸は常に要素の長手方向にとる。

4.6.2 荷重の計算方法

(1) 吊り具の荷重



4.6.3 スロッシング荷重（抗力）の計算方法

- (1) スロッシングによる荷重（抗力）の算出については、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s ($S_s - D$) による燃料プールの3次元流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データより水平方向における水深ごとの最大流速を用い、ガイドレール、カート及び燃料に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編（2007）より 2.0 とする。

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

4.7 計算条件

耐震解析に用いる自重（着脱装置）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【着脱装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力及び荷重の評価

4.8.1 ガイドレール及びカートの応力評価

4.6.1 項で求めたガイドレール及びカートの各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は f_t 以下であること。

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

4.8.2 固定ボルトの応力評価

4.6.1 項で求めた固定ボルトの引張応力 σ_{1B} は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}] \dots \dots \dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_{1B} は、せん断力のみを受ける固定ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

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

4.8.3 吊具の荷重評価

4.6.2 項で求めたローラチェーンの荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期 (s)			基準地震動 S s			最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			NS方向	EW方向	鉛直方向	NS方向設計震度	EW方向設計震度	鉛直方向設計震度		
チャンネル着脱装置	B	原子炉建物 EL 42.8*1			0.05 以下	C _H =2.31*2 又は*3	C _H =2.52*2 又は*3	C _V =2.46*2	—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*3：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

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L (ローラチェーン) (N)
			NS方向	EW方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)
カート				

部材	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
ガイドレール			—		
カート			—		
固定ボルト			—		

1.3 計算数値

1.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

1.3.2 カートの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

1.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期
EW 方向	
NS 方向	
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 184$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 106$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 184$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 105$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 60$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 105$
固定ボルト		引張	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 349$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S _s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

すべて許容荷重以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)			基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル 着脱装置	—	原子炉建物 EL 42.8* ¹			0.05 以下	C _H =2.31* ² 又は*3	C _H =2.52* ² 又は*3	C _V =2.46* ²	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：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

2.2 機器要目

m _G (kg)	m _F (kg)	m _m (kg)	m _{wH} (kg)		E (MPa)	ν	A _L (ローラチェーン) (N)
			NS 方向	EW 方向			

部材	A _{1G} (mm ²)	Z _{pG} (mm ³)	Z _{yG} (mm ³)	Z _{zG} (mm ³)
ガイドレール				

部材	A_{1F} (mm ²)	Z_{pF} (mm ³)	Z_{yF} (mm ³)	Z_{zF} (mm ³)
カート				

部材	A_{1B} (mm ²)	Z_{pB} (mm ³)	Z_{yB} (mm ³)	Z_{zB} (mm ³)	θ (rad)
固定ボルト					

部材	材料	S_y (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
ガイドレール			—		
カート			—		
固定ボルト			—		

2.3 計算数値

2.3.1 ガイドレールの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xG} (N)	F_{yG} (N)	F_{zG} (N)	M_{xG} (N・mm)	M_{yG} (N・mm)	M_{zG} (N・mm)
ガイドレール						

2.3.2 カートの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xF} (N)	F_{yF} (N)	F_{zF} (N)	M_{xF} (N・mm)	M_{yF} (N・mm)	M_{zF} (N・mm)
カート						

2.3.3 固定ボルトの荷重及びモーメント

部材	基準地震動 S_s					
	荷重			モーメント		
	F_{xB} (N)	F_{yB} (N)	F_{zB} (N)	M_{xB} (N・mm)	M_{yB} (N・mm)	M_{zB} (N・mm)
固定ボルト						

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位 : s)

方向	固有周期
EW 方向	
NS 方向	
鉛直方向	0.05 以下

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
ガイドレール		曲げ	$\sigma_{1G} = 120$	$f_t = 182$
		せん断	$\tau_{1G} = 3$	$f_s = 105$
		組合せ	$\sigma_{c1G} = 120$	$f_t = 182$
カート		曲げ	$\sigma_{1F} = 87$	$f_t = 103$
		せん断	$\tau_{1F} = 2$	$f_s = 59$
		組合せ	$\sigma_{c1F} = 87$	$f_t = 103$
固定ボルト		引張	$\sigma_{1B} = 330$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	$\tau_{1B} = 14$	$f_{sb} = 341$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{1B}, f_{to}]$ より算出
 すべて許容応力以下である。

2.4.3 荷重

(単位：N)

部材	材料	荷重	基準地震動 S _s	
			算出荷重	許容荷重
ローラチェーン		吊荷荷重	$F_C = 1.652 \times 10^4$	$A_L = 4.020 \times 10^4$

すべて許容荷重以下である。

VI-2-11-2-7-4 チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	1
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	9
4.3	解析モデル及び諸元	15
4.4	固有周期	17
4.5	設計用地震力	20
4.6	計算方法	21
4.7	計算条件	24
4.8	応力の評価	24
5.	評価結果	26
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるチャンネル取扱ブーム（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

チャンネル取扱ブームは、原子炉建物4階に設置されている。チャンネル取扱ブームは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックの上部に設置されていることから、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

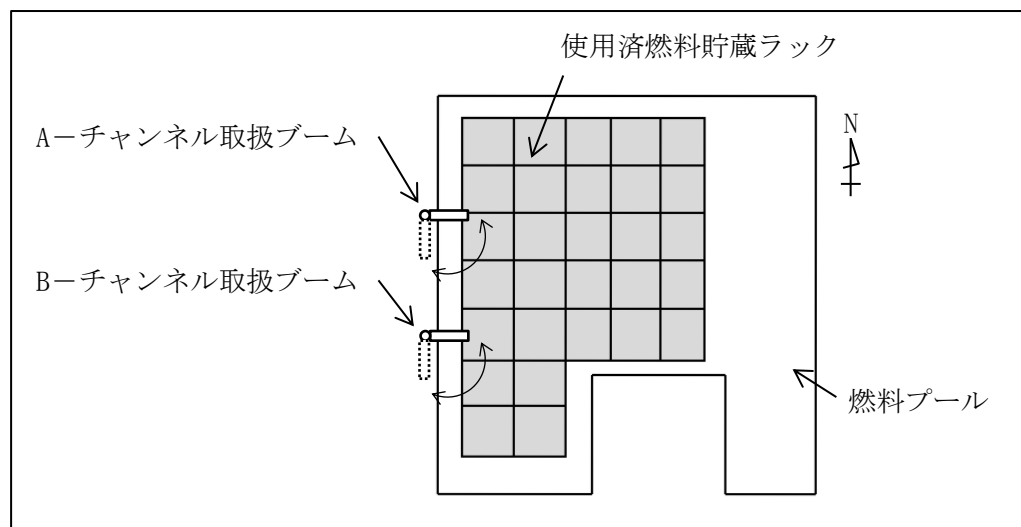


図2-1 チャンネル取扱ブームと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

チャンネル取扱ブームの構造計画を表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>ブームはボルトで回転ポスト（上部）に固定され、回転ポスト（上部）はねじ込み接続で回転ポスト（下部）に固定され、回転ポスト（下部）は回転ポスト（下部）の側面及び底面に接する軸受並びにクラムプレバーにより固定ポストに保持され、固定ポストは基礎ボルトにより床に固定されている。</p> <p>また、吊荷はブームに設置された先端にフックを有するチェンブロックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。</p>	<p>ブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポストから構成され、床に固定された構造。</p>	<p>(単位：mm)</p>										
		<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>ブーム</th> <th>回転ポスト(上部)</th> <th>回転ポスト(下部)</th> <th>固定ポスト</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>断面形状</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		ブーム	回転ポスト(上部)	回転ポスト(下部)	固定ポスト	断面形状				
	ブーム	回転ポスト(上部)	回転ポスト(下部)	固定ポスト								
断面形状												

2.3 評価方針

チャンネル取扱ブームの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示すチャンネル取扱ブームの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

チャンネル取扱ブームの耐震評価フローを図2-2に示す。

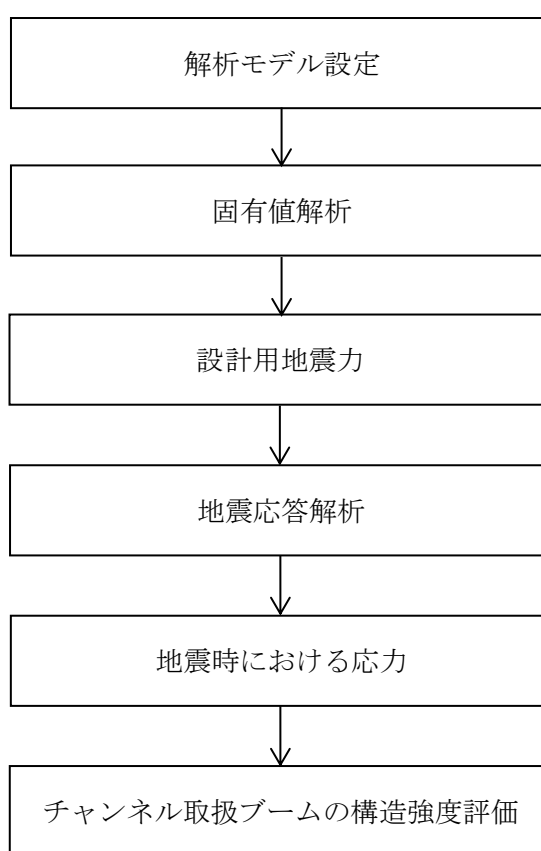


図2-2 チャンネル取扱ブームの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	ブームの断面積	mm^2
$A_{1s y}$	ブームのY方向有効せん断断面積	mm^2
$A_{1s z}$	ブームのZ方向有効せん断断面積	mm^2
A_2	回転ポスト（上部）の断面積	mm^2
$A_{2s y}$	回転ポスト（上部）のY方向有効せん断断面積	mm^2
$A_{2s z}$	回転ポスト（上部）のZ方向有効せん断断面積	mm^2
A_3	回転ポスト（下部）の断面積	mm^2
A_{3s}	回転ポスト（下部）の有効せん断断面積	mm^2
A_4	固定ポストの断面積	mm^2
A_{4s}	固定ポストの有効せん断断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_{bs}	基礎ボルトの有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	N
d_o	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{1x}	ブームの軸力（x方向）	N
F_{1y}	ブームのせん断力（y方向）	N
F_{1z}	ブームのせん断力（z方向）	N
F_{2x}	回転ポスト（上部）の軸力（x方向）	N
F_{2y}	回転ポスト（上部）のせん断力（y方向）	N
F_{2z}	回転ポスト（上部）のせん断力（z方向）	N
F_{3x}	回転ポスト（下部）の軸力（x方向）	N
F_{3y}	回転ポスト（下部）のせん断力（y方向）	N
F_{3z}	回転ポスト（下部）のせん断力（z方向）	N
F_{4x}	固定ポストの軸力（x方向）	N
F_{4y}	固定ポストのせん断力（y方向）	N
F_{4z}	固定ポストのせん断力（z方向）	N
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	床面位置でのせん断力（x軸）	N
F_y	床面位置でのせん断力（y軸）	N
F_z	床面位置での軸力（z軸）	N
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t m}$	許容引張応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$L_{x 1}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 2}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 3}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 4}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 5}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 6}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 7}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{x 8}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 1}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 2}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 3}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 4}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 5}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 6}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 7}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$L_{y 8}$	基礎ボルト評価用寸法	mm
$M_{1 x}$	ブームのねじりモーメント（x軸）	N・mm
$M_{1 y}$	ブームの曲げモーメント（y軸）	N・mm
$M_{1 z}$	ブームの曲げモーメント（z軸）	N・mm
$M_{2 x}$	回転ポスト（上部）のねじりモーメント（x軸）	N・mm
$M_{2 y}$	回転ポスト（上部）の曲げモーメント（y軸）	N・mm
$M_{2 z}$	回転ポスト（上部）の曲げモーメント（z軸）	N・mm
$M_{3 x}$	回転ポスト（下部）のねじりモーメント（x軸）	N・mm
$M_{3 y}$	回転ポスト（下部）の曲げモーメント（y軸）	N・mm
$M_{3 z}$	回転ポスト（下部）の曲げモーメント（z軸）	N・mm
$M_{4 x}$	固定ポストのねじりモーメント（x軸）	N・mm
$M_{4 y}$	固定ポストの曲げモーメント（y軸）	N・mm
$M_{4 z}$	固定ポストの曲げモーメント（z軸）	N・mm
M_D	機械的荷重（DB）	N
M_{SAD}	機械的荷重（SA）	N
M_x	床面位置での曲げモーメント（x軸）	N・mm
M_y	床面位置での曲げモーメント（y軸）	N・mm

記号	記号の説明	単位
M _z	床面位置でのねじりモーメント (z 軸)	N・mm
n	基礎ボルトの本数	—
P _D	最高使用圧力による荷重 (DB)	N
P _{SAD}	設計圧力による荷重 (SA)	N
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
R ₁	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₂	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₃	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₄	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₅	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₆	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₇	基礎ボルト評価用寸法	mm
R ₈	基礎ボルト評価用寸法	mm
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
Z _{1p}	ブームのねじり断面係数	mm ³
Z _{1y}	ブームの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z _{1z}	ブームの断面係数 (z 軸)	mm ³
Z _{2p}	回転ポスト (上部) のねじり断面係数	mm ³
Z _{2y}	回転ポスト (上部) の断面係数 (y 軸)	mm ³
Z _{2z}	回転ポスト (上部) の断面係数 (z 軸)	mm ³
Z _{3p}	回転ポスト (下部) のねじり断面係数	mm ³
Z _{3y}	回転ポスト (下部) の断面係数 (y 軸)	mm ³
Z _{3z}	回転ポスト (下部) の断面係数 (z 軸)	mm ³
Z _{4p}	固定ポストのねじり断面係数	mm ³
Z _{4y}	固定ポストの断面係数 (y 軸)	mm ³
Z _{4z}	固定ポストの断面係数 (z 軸)	mm ³
θ ₆	基礎ボルトの評価用角度	°
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ _b	部材に生じる曲げ応力	MPa
σ _f	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ _t	部材に生じる垂直応力	MPa
σ _{tb}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	部材に生じるせん断応力	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

チャンネル取扱ブームの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価を実施する。なお、チャンネル取扱ブームは、主構造を構成し耐震評価上厳しくなるブーム、回転ポスト（上部、下部）、固定ポスト及び基礎ボルトが健全であればチャンネル取扱ブームの構造を維持できるため、これらを評価対象とする。チャンネル取扱ブームの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

チャンネル取扱ブームは A-チャンネル取扱ブーム及び B-チャンネル取扱ブームの 2 基あるが、同構造となるため評価を統一して行う。なお、基礎ボルト配置は相違するため基礎ボルトの評価にあっては評価上厳しい配置となる A-チャンネル取扱ブームを代表して評価する。

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) チャンネル取扱ブームの固定ポストは、十分剛な床に基礎ボルトにより固定する。
- (2) チャンネル取扱ブームの質量には、チャンネル取扱ブームの質量のほか、吊荷の質量を考慮する。
- (3) 地震力は、チャンネル取扱ブームに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。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、SRSS法を適用する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 評価ケース

表 4-1 に示す評価ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では、チャンネル取扱ブームの使用を想定しケース 1, 2 について実施し、計算結果の厳しいケースを記載する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では、待機状態を想定しケース 2 について評価する。

表 4-1 評価ケース

評価対象	チャンネル取扱ブーム	
	1	2
ブームの向き	東西方向 (プール壁直交)	南北方向 (プール壁平行)
吊荷位置	ブーム先端	
吊荷重	150kg (定格荷重)	0kg (無負荷)

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

チャンネル取扱ブームの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

チャンネル取扱ブームの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

チャンネル取扱ブームの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	チャンネル取扱ブーム	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	チャンネル取扱ブーム	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限界を 用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
ブーム	SM570 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	454	561
回転ポスト（上部）	SM570 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	454	561
回転ポスト（下部）	S25C (径 ≤ 200mm)	周囲環境温度	50	260	402
固定ポスト	STK400	周囲環境温度	50	224	394
基礎ボルト	SS400 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	231	394

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
ブーム	SM570 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	100	428	527
回転ポスト（上部）	SM570 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	100	428	527
回転ポスト（下部）	S25C (径 ≤ 200mm)	周囲環境温度	100	244	379
固定ポスト	STK400	周囲環境温度	100	188	373
基礎ボルト	SS400 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	212	373

4.3 解析モデル及び諸元

チャンネル取扱ブ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、機器の諸元を本計算書の【チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) チャンネル取扱ブームの構造体をはり要素でモデル化した 3次元 FEMモデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、床への取付部及び回転ポスト（下部）は、完全固定とする。
- (3) はり要素の部材質量は、等分布に節点に付加する。
- (4) モデル化に当たっては、チャンネル取扱ブームの使用を想定し、吊荷位置をブーム先端として 150kg（定格荷重）を考慮する。なお、吊荷は、実機では吊下げられた構造で、吊荷の水平振動がチャンネル取扱ブーム本体と比べて長周期となり、影響は軽微と考えられるため解析モデル上は吊荷質量を鉛直方向についてのみ考慮する。
- (5) チャンネル取扱ブーム 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

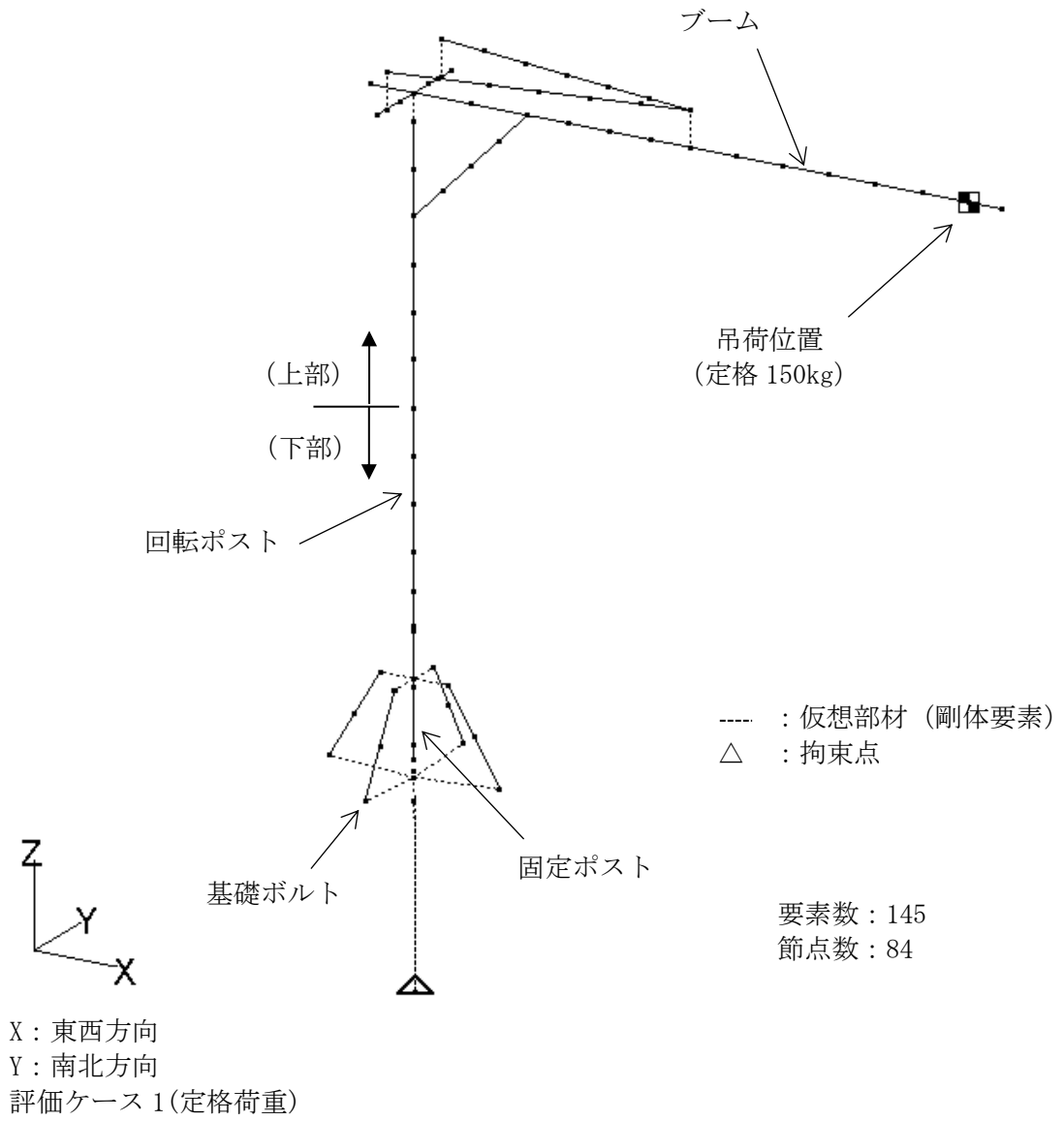


図 4-1 チャンネル取扱ブーム解析モデル

4.4 固有周期

評価ケース 1 における固有値解析の結果を表 4-7 に、評価ケース 2 における固有値解析の結果を表 4-8 に示す。また、各評価ケースの振動モード図を図 4-2、図 4-3 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-7 固有値解析結果 (評価ケース 1 [吊荷重：定格荷重])

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.152	0.00	-0.40	0.00
2次	水平/鉛直	0.145	0.26	0.00	-0.47
3次	水平	0.055	0.00	-0.44	0.00

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-8 固有値解析結果 (評価ケース 2 [吊荷重：無負荷])

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.152	-0.40	0.00	0.00
2次	水平/鉛直	0.099	0.00	0.42	-0.25
3次	水平	0.055	-0.44	0.00	0.00

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

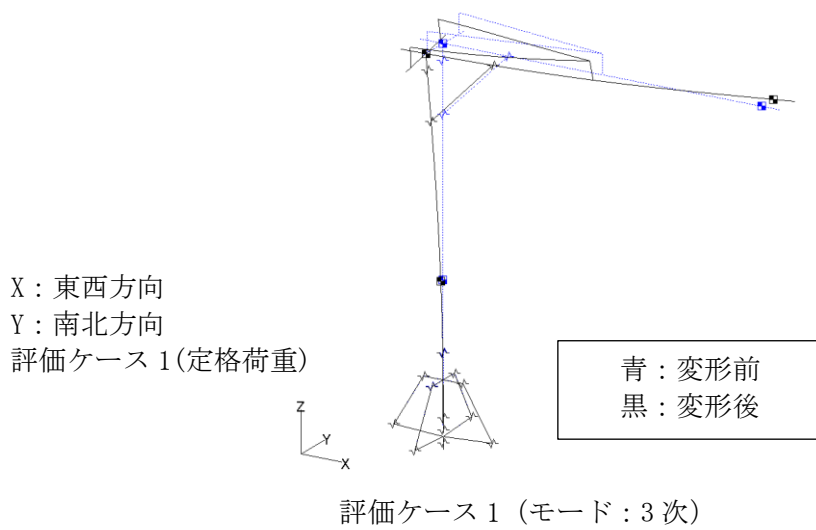
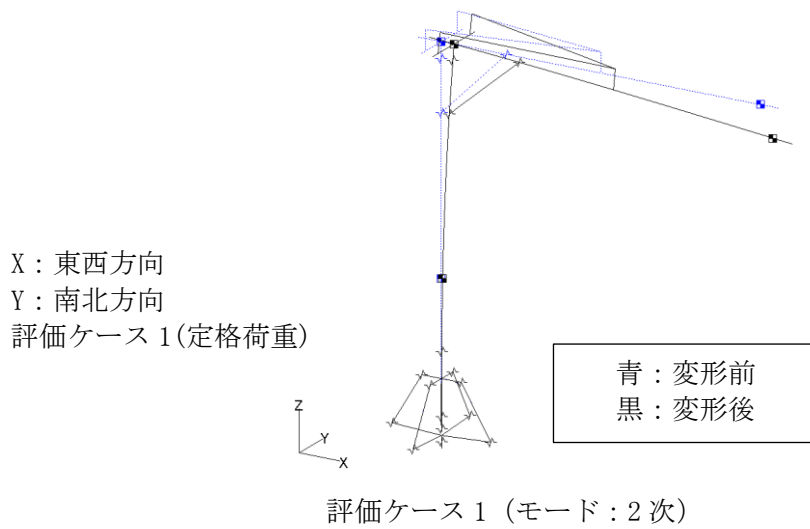
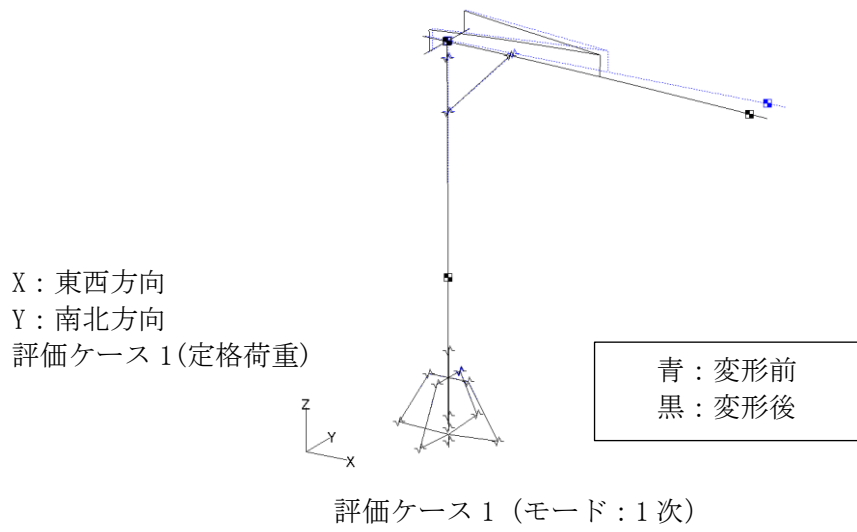


図 4-2 振動モード図 (評価ケース 1 [吊荷重 : 定格荷重])

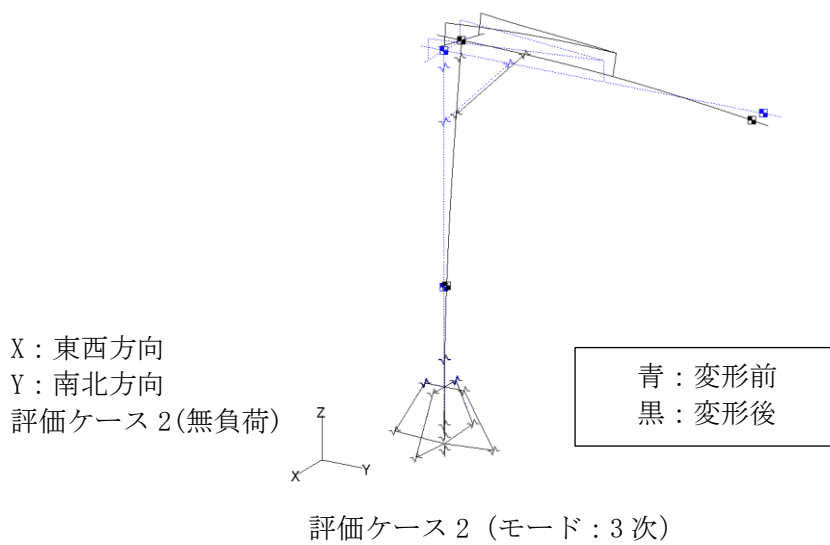
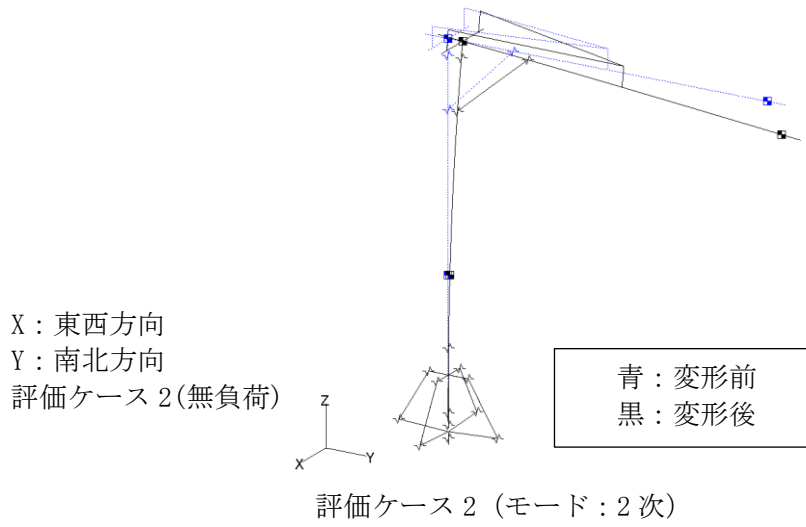
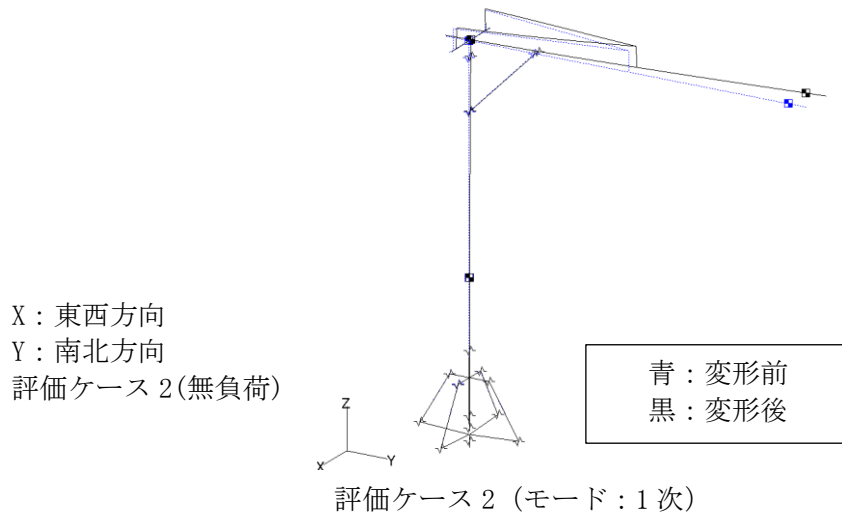


図 4-3 振動モード図 (評価ケース 2 [吊荷重 : 無負荷])

4.5 設計用地震力

チャンネル取扱ブーム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4-9に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-10に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)			原子炉建物 EL 42.800* ¹		
固有周期(s)			0.152* ²		
減衰定数(%)			水平：1.0 鉛直：1.0		
地震力			基準地震動 S_s		
評価ケース	モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
			NS 方向	EW 方向	
ケース1 [吊荷重：定格荷重]	1次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2次	0.145	15.44	8.62	8.56
	3次	0.055	11.13	17.13	12.71
ケース2 [吊荷重：無負荷]	1次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2次	0.099	13.68	7.25	19.67
	3次	0.055	11.13	17.13	12.71
動的震度* ⁵			2.60	3.06	3.66

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Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

表4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)			原子炉建物 EL 42.800* ¹		
固有周期(s)			0.152* ²		
減衰定数(%)			水平：1.0 鉛直：1.0		
地震力			基準地震動 S_s		
評価ケース	モード* ³	固有周期(s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
			NS 方向	EW 方向	
ケース2 [吊荷重：無負荷]	1次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2次	0.099	13.68	7.25	19.67
	3次	0.055	11.13	17.13	12.71
動的震度* ⁵			2.60	3.06	3.66

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Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 構造部材*の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x ，せん断力 F_y ， F_z ，ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y ， M_z より各応力を次のように求める。

注記*：構造部材は、「3. 評価部位」に示す部位のうち，ブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポストを示し，各部位を示す場合には記号に添字をつけ識別する。

(1) 垂直応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{|F_y|}{A_{s_y}} + \frac{|F_z|}{A_{s_z}} + \frac{|M_x|}{Z_p} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

4.6.1.2 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる床面位置での軸力 F_z 、せん断力 F_x 、 F_y 、ねじりモーメント M_z 及び曲げモーメント M_x 、 M_y から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。代表としてA-チャンネル取扱ブームの基礎ボルト部の概要を図4-4に示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、図4-4に示す床面位置での軸力 F_z とモーメント M_x 、 M_y を考えて計算する。基礎ボルトの評価が最も厳しくなる位置での計算方法を代表として以下に示す。

a. 引張力

$$F_b = \frac{F_z}{n} + \frac{|M_y| \cdot L_{x_6}}{\sum_{i=1}^8 L_{x_i}^2} + \frac{|M_x| \cdot L_{y_6}}{\sum_{i=1}^8 L_{y_i}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) せん断応力

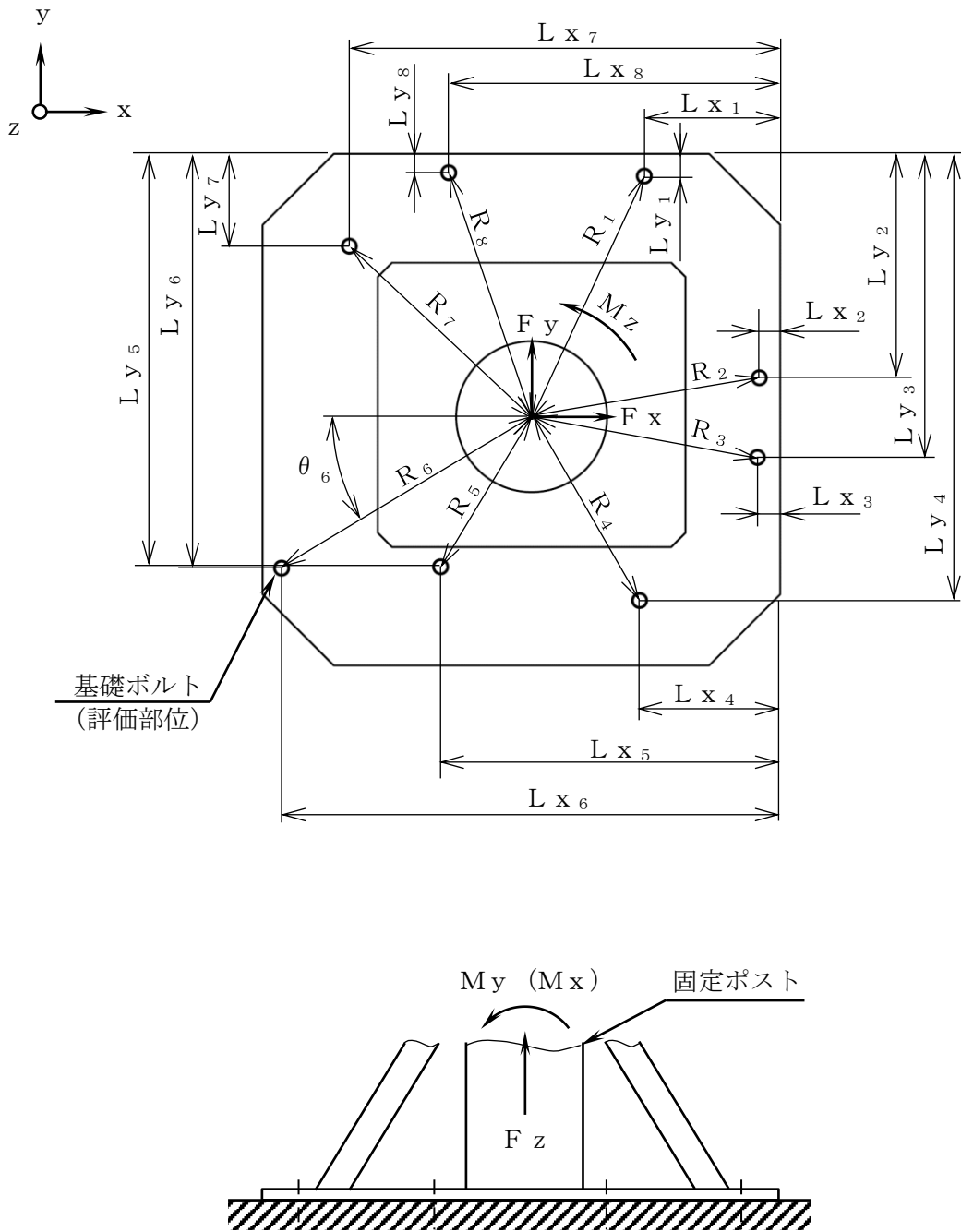
基礎ボルトに対するせん断力は、図4-4に示す床面位置での軸力 F_x 、 F_y とねじりモーメント M_z を考えて計算する。基礎ボルトの評価が最も厳しくなる位置での計算方法を代表として以下に示す。

a. せん断力

$$Q_b = \sqrt{\left(\frac{|F_x|}{n} + \frac{|M_z| \cdot R_6 \cdot \sin \theta_6}{\sum_{i=1}^8 R_i^2} \right)^2 + \left(\frac{|F_y|}{n} + \frac{|M_z| \cdot R_6 \cdot \cos \theta_6}{\sum_{i=1}^8 R_i^2} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_{bs}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$



基礎ボルト
(評価部位)

図 4-4 基礎ボルト部の概要 (床固定部)

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（チャンネル取扱ブーム）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 チャンネル取扱ブームの応力評価

4.6.1.1項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

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

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

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

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル取扱ブーム	C	原子炉建物 EL 42.800*1	0.152	0.145	$C_H=3.06^{*2}$ 又は*3	$C_V=3.66^{*2}$ 又は*3	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

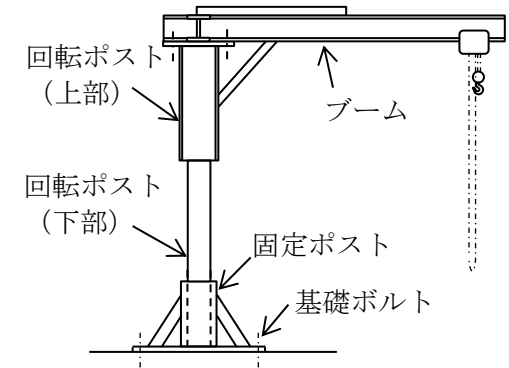
1.2 機器要目

L x ₁ (mm)	L x ₂ (mm)	L x ₃ (mm)	L x ₄ (mm)	L x ₅ (mm)	L x ₆ (mm)	L x ₇ (mm)	L x ₈ (mm)	d _o (mm)	A b (mm ²)	A b s (mm ²)	n	θ ₆ (°)
287	44	48	297	717	1053	910	700	30 (M30)	706.9	561	8	31.218

L y ₁ (mm)	L y ₂ (mm)	L y ₃ (mm)	L y ₄ (mm)	L y ₅ (mm)	L y ₆ (mm)	L y ₇ (mm)	L y ₈ (mm)
47	473	641	943	872	875	195	40

R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	R ₃ (mm)	R ₄ (mm)	R ₅ (mm)	R ₆ (mm)	R ₇ (mm)	R ₈ (mm)
560	487	484	450	370	617	527	543

部材	材料	E (MPa)	ν	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≤16mm)	201000	0.3	454	561	392
回転ポスト (上部)	SM570 (厚さ≤16mm)	201000	0.3	454	561	392
回転ポスト (下部)	S25C (径≤200mm)	201000	0.3	260	402	281
固定ポスト	STK400	201000	0.3	224	394	268
基礎ボルト	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	231	394	275



28

A ₁ (mm ²)	A _{1s} _y (mm ²)	A _{1s} _z (mm ²)	A ₂ (mm ²)	A _{2s} _y (mm ²)	A _{2s} _z (mm ²)
5.034×10 ³	3.000×10 ³	2.250×10 ³	5.544×10 ³	3.144×10 ³	2.544×10 ³

A ₃ (mm ²)	A _{3s} (mm ²)	A ₄ (mm ²)	A _{4s} (mm ²)
2.835×10 ⁴	1.418×10 ⁴	8.751×10 ³	4.376×10 ³

断面形状	ブーム	回転ポスト (上部)	回転ポスト (下部)	固定ポスト

主部材断面 (単位: mm)

注: 添字 1: ブーム, 添字 2: 回転ポスト (上部), 添字 3: 回転ポスト (下部), 添字 4: 固定ポスト

Z _{1y} (mm ³)	Z _{1z} (mm ³)	Z _{1p} (mm ³)	Z _{2y} (mm ³)	Z _{2z} (mm ³)	Z _{2p} (mm ³)	Z _{3y} (mm ³)	Z _{3z} (mm ³)	Z _{3p} (mm ³)	Z _{4y} (mm ³)	Z _{4z} (mm ³)	Z _{4p} (mm ³)
4.094×10 ⁵	6.272×10 ⁴	1.682×10 ⁴	3.902×10 ⁵	3.510×10 ⁵	5.340×10 ⁵	6.734×10 ⁵	6.734×10 ⁵	1.347×10 ⁶	6.590×10 ⁵	6.590×10 ⁵	1.354×10 ⁶

注: 添字 1: ブーム, 添字 2: 回転ポスト (上部), 添字 3: 回転ポスト (下部), 添字 4: 固定ポスト

1.3 計算数値

1.3.1 構造部材の荷重

(単位：N)

F_{1x}	F_{1y}	F_{1z}	F_{2x}	F_{2y}	F_{2z}	F_{3x}	F_{3y}	F_{3z}	F_{4x}	F_{4y}	F_{4z}
2.161×10^4	9.045×10^3	2.897×10^4	2.206×10^4	2.904×10^4	2.889×10^4	1.761×10^4	3.388×10^4	2.065×10^4	1.925×10^4	1.735×10^5	1.632×10^5

注：添字1：ブーム，添字2：回転ポスト（上部），添字3：回転ポスト（下部），添字4：固定ポスト
 添字x, y, zは要素に与えられた座標軸で，x軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 構造部材のモーメント

(単位：N・mm)

M_{1x}	M_{1y}	M_{1z}	M_{2x}	M_{2y}	M_{2z}	M_{3x}	M_{3y}	M_{3z}	M_{4x}	M_{4y}	M_{4z}
4.065×10^5	4.546×10^7	1.192×10^7	2.312×10^7	7.628×10^7	3.730×10^7	2.312×10^7	6.990×10^7	6.831×10^7	2.312×10^7	3.345×10^7	3.556×10^7

注：添字1：ブーム，添字2：回転ポスト（上部），添字3：回転ポスト（下部），添字4：固定ポスト
 添字x, y, zは要素に与えられた座標軸で，x軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 基礎ボルトの荷重 (単位：N)

F x	F y	F z
1.425×10^5	1.326×10^5	4.708×10^3

1.3.4 基礎ボルトのモーメント (単位：N・mm)

M x	M y	M z
9.147×10^7	9.813×10^7	2.327×10^7

1.3.5 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

F b	Q b
5.964×10^4	3.104×10^4

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (吊荷重：定格荷重) (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.152
2次	水平/鉛直	0.145
3次	水平	0.055

1.4.2 固有周期 (吊荷重：無負荷) (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.152
2次	水平/鉛直	0.099
3次	水平	0.055

1.4.3 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ブーム	SM570	組合せ	$\sigma_f = 314$	$f_{tm} = 391$
回転ポスト (上部)	SM570	組合せ	$\sigma_f = 326$	$f_{tm} = 391$
回転ポスト (下部)	S25C	組合せ	$\sigma_f = 210$	$f_{tm} = 280$
固定ポスト	STK400	組合せ	$\sigma_f = 195$	$f_{tm} = 267$
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{tb} = 85$	$f_{ts} = 157^*$
		せん断	$\tau_b = 56$	$f_{sb} = 125$

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

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
チャンネル取扱ブーム	—	原子炉建物 EL 42.800* ¹	0.152	0.099	C _H =3.06* ² 又は*3	C _V =3.66* ² 又は*3	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

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

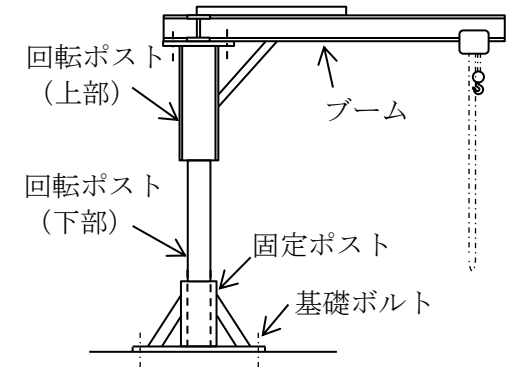
2.2 機器要目

L x ₁ (mm)	L x ₂ (mm)	L x ₃ (mm)	L x ₄ (mm)	L x ₅ (mm)	L x ₆ (mm)	L x ₇ (mm)	L x ₈ (mm)	d _o (mm)	A b (mm ²)	A b s (mm ²)	n	θ ₆ (°)
287	44	48	297	717	1053	910	700	30 (M30)	706.9	561	8	31.218

L y ₁ (mm)	L y ₂ (mm)	L y ₃ (mm)	L y ₄ (mm)	L y ₅ (mm)	L y ₆ (mm)	L y ₇ (mm)	L y ₈ (mm)
47	473	641	943	872	875	195	40

R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	R ₃ (mm)	R ₄ (mm)	R ₅ (mm)	R ₆ (mm)	R ₇ (mm)	R ₈ (mm)
560	487	484	450	370	617	527	543

部 位	材 料	E (MPa)	ν	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≤16mm)	198000	0.3	428	527	368
回転ポスト (上部)	SM570 (厚さ≤16mm)	198000	0.3	428	527	368
回転ポスト (下部)	S25C (径≤200mm)	198000	0.3	244	379	265
固定ポスト	STK400	198000	0.3	188	373	225
基礎ボルト	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	—	—	212	373	254



33

A ₁ (mm ²)	A _{1s} y (mm ²)	A _{1s} z (mm ²)	A ₂ (mm ²)	A _{2s} y (mm ²)	A _{2s} z (mm ²)
5.034×10 ³	3.000×10 ³	2.250×10 ³	5.544×10 ³	3.144×10 ³	2.544×10 ³

A ₃ (mm ²)	A _{3s} (mm ²)	A ₄ (mm ²)	A _{4s} (mm ²)
2.835×10 ⁴	1.418×10 ⁴	8.751×10 ³	4.376×10 ³

断面形状	ブーム	回転ポスト (上部)	回転ポスト (下部)	固定ポスト

主部材断面 (単位: mm)

注: 添字 1: ブーム, 添字 2: 回転ポスト (上部), 添字 3: 回転ポスト (下部), 添字 4: 固定ポスト

Z ₁ y (mm ³)	Z ₁ z (mm ³)	Z ₁ p (mm ³)	Z ₂ y (mm ³)	Z ₂ z (mm ³)	Z ₂ p (mm ³)	Z ₃ y (mm ³)	Z ₃ z (mm ³)	Z ₃ p (mm ³)	Z ₄ y (mm ³)	Z ₄ z (mm ³)	Z ₄ p (mm ³)
4.094×10 ⁵	6.272×10 ⁴	1.682×10 ⁴	3.902×10 ⁵	3.510×10 ⁵	5.340×10 ⁵	6.734×10 ⁵	6.734×10 ⁵	1.347×10 ⁶	6.590×10 ⁵	6.590×10 ⁵	1.354×10 ⁶

注: 添字 1: ブーム, 添字 2: 回転ポスト (上部), 添字 3: 回転ポスト (下部), 添字 4: 固定ポスト

2.3 計算数値

2.3.1 構造部材の荷重

(単位：N)

F_{1x}	F_{1y}	F_{1z}	F_{2x}	F_{2y}	F_{2z}	F_{3x}	F_{3y}	F_{3z}	F_{4x}	F_{4y}	F_{4z}
7.934×10^3	1.151×10^4	1.690×10^4	2.206×10^4	2.904×10^4	2.889×10^4	1.761×10^4	3.388×10^4	2.065×10^4	1.925×10^4	1.735×10^5	1.632×10^5

注：添字1：ブーム，添字2：回転ポスト（上部），添字3：回転ポスト（下部），添字4：固定ポスト
 添字x, y, zは要素に与えられた座標軸で，x軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 構造部材のモーメント

(単位：N・mm)

M_{1x}	M_{1y}	M_{1z}	M_{2x}	M_{2y}	M_{2z}	M_{3x}	M_{3y}	M_{3z}	M_{4x}	M_{4y}	M_{4z}
5.076×10^5	2.241×10^7	1.493×10^7	2.312×10^7	7.628×10^7	3.730×10^7	2.312×10^7	6.990×10^7	6.831×10^7	2.312×10^7	3.345×10^7	3.556×10^7

注：添字1：ブーム，添字2：回転ポスト（上部），添字3：回転ポスト（下部），添字4：固定ポスト
 添字x, y, zは要素に与えられた座標軸で，x軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.3 基礎ボルトの荷重 (単位：N)

F x	F y	F z
1.425×10^5	1.326×10^5	4.708×10^3

2.3.4 基礎ボルトのモーメント (単位：N・mm)

M x	M y	M z
9.147×10^7	9.813×10^7	2.327×10^7

2.3.5 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

F b	Q b
5.964×10^4	3.104×10^4

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (吊荷重：無負荷) (単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.152
2次	水平/鉛直	0.099
3次	水平	0.055

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ブーム	SM570	組合せ	$\sigma_f = 304$	$f_{tm} = 367$
回転ポスト (上部)	SM570	組合せ	$\sigma_f = 326$	$f_{tm} = 367$
回転ポスト (下部)	S25C	組合せ	$\sigma_f = 210$	$f_{tm} = 264$
固定ポスト	STK400	組合せ	$\sigma_f = 195$	$f_{tm} = 225$
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{tb} = 85$	$f_{ts} = 140^*$
		せん断	$\tau_b = 56$	$f_{sb} = 116$

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-5 制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である制御棒貯蔵ハンガ（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、上位クラス施設である燃料プール及び隣接している使用済燃料貯蔵ラック等に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

制御棒貯蔵ハンガは、原子炉建物4階の燃料プール内に設置されている。

制御棒貯蔵ハンガは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラック等に隣接しており、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラック等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

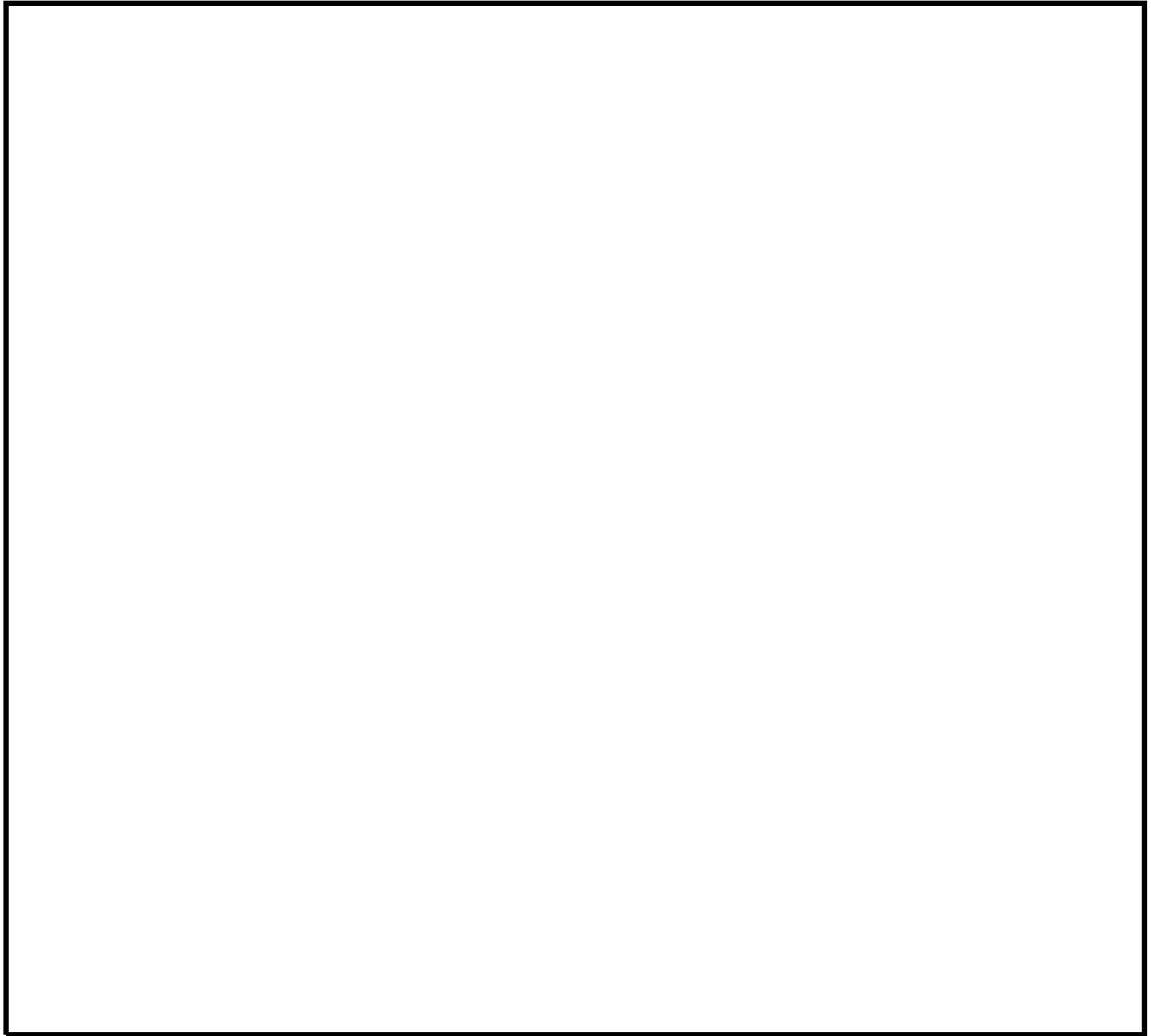


図2-1 制御棒貯蔵ハンガと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

制御棒貯蔵ハンガの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒貯蔵ハンガは、ハンガ部及び振れ止め部で構成され、原子炉建物の燃料プールの底部及び側壁に取り付けられた基礎ボルトにより固定されている。</p>	<p>吊り下げ式 (ハンガ部はハンガ及びサポートからなり、制御棒をハンガ部上部のハンガに吊り下げて貯蔵する。)</p> <p>制御棒落下防止治具は、制御棒落下防止ポール及びポール支持金具で構成され、ハンガ部サポート4本のコーナ部に取り付けられたポール支持金具(ポール受け)に、着脱式の制御棒落下防止ポールがセットされている。なお、制御棒落下防止ポールには浮き上がり防止機構を設けている。</p>	<p>注：○番号は基礎ボルト No. を示す。 (単位：mm)</p>

2.3 評価方針

制御棒貯蔵ハンガの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す制御棒貯蔵ハンガの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

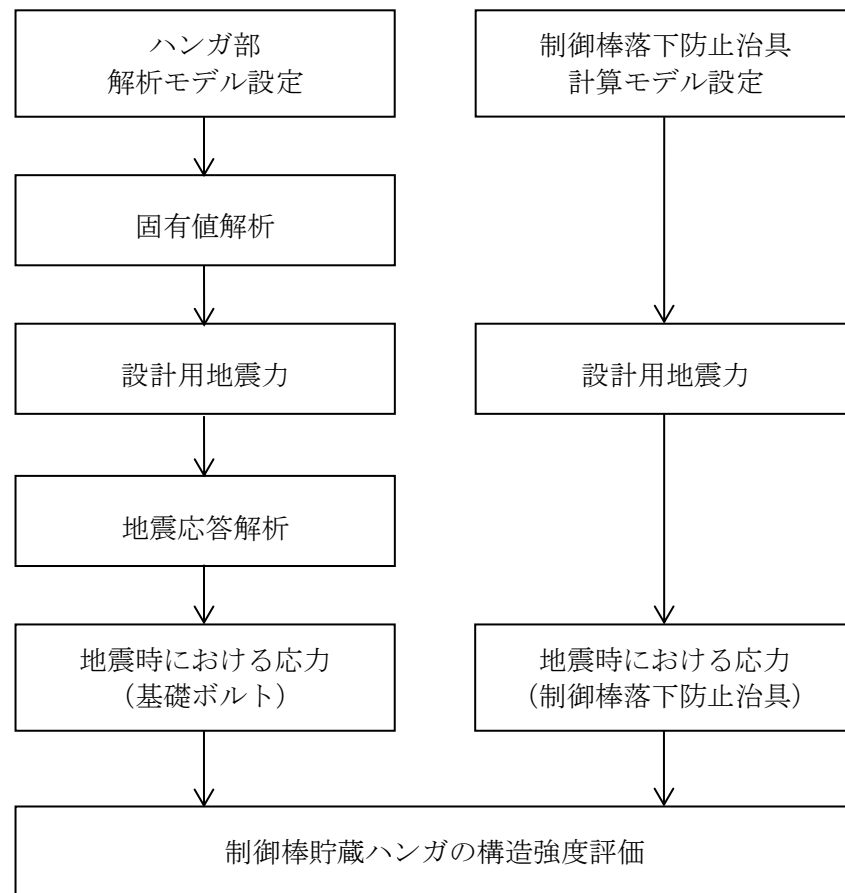


図 2-2 制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _k	ポール支持金具部材の断面積	mm ²
A _p	制御棒落下防止ポール部材の断面積	mm ²
A _x	ハンガ部部材の断面積	mm ²
A _y , A _z	ハンガ部部材のせん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _x	固定部のハンガ部部材端に働く引張力	N
F _y , F _z	固定部のハンガ部部材端に働くせん断力	N
f _{s b}	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 _{s m}	部材の許容せん断応力	MPa
f _{t m}	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
I _x , I _y , I _z	ハンガ部部材の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄	ポール支持金具から制御棒吊り掛け部までの距離	mm
ℓ ₁ , ℓ ₂	基礎ボルトの中心より板先端までの距離	mm
M _p	制御棒落下防止ポールに働く曲げモーメント	N・mm
M _y , M _z	固定部のハンガ部部材端に働く曲げモーメント	N・mm
m _{CR}	制御棒 1 本当たりの質量	kg
m _{JG}	制御棒落下防止治具の質量	kg
m _h	ハンガ部の質量	kg
m _{h t h}	ハンガ部及び制御棒落下防止治具の排除水質量*	kg
m _w	ハンガ部部材内に含まれる水の質量	kg
N _m	M _y , M _z により生じる基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力	N
n	基礎ボルトの本数	—
n _{CR}	ハンガ 1 本当たりの片側の制御棒吊り掛け本数	—
P _k	ポール支持金具に働くせん断力	N
P _p	制御棒落下防止ポールに働くせん断力	N

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
Z_p	制御棒落下防止ポール部材の断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	ハンガ部部材の断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注記*：排除水質量とは，機器が流体中にある場合に，機器が排除する流体の質量であり，ハンガ部自身及びハンガ部部材内に含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

制御棒貯蔵ハンガは、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価を実施する。なお、ハンガ部及び振れ止め部は互いに独立しており、ハンガ部の固定部である基礎ボルト及び制御棒落下防止治具（制御棒落下防止ポール及びポール支持金具）が健全であれば機器及び制御棒が転倒又は落下することはなく上位クラス施設への波及的影響を抑制できるため、基礎ボルト、制御棒落下防止ポール及びポール支持金具を評価対象とする。ハンガ部の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 制御棒貯蔵ハンガのハンガ部は、原子炉建物の燃料プールの底部(EL 33.9m)及び側壁(EL 38.5m)に基礎ボルトで固定されるものとする。
- (2) 地震応答解析時のハンガ部の質量には、制御棒の質量、制御棒落下防止治具の質量、ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量のほか、制御棒、制御棒落下防止治具及びハンガ部部材の付加質量*を考慮する。
- (3) 構造強度評価時のハンガ部の質量は、制御棒の質量、制御棒落下防止治具の質量、ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量とする。また、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
ただし、制御棒は減算を考慮しないものとする。
- (4) 地震力は、ハンガ部に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出においてはS R S S法で組み合わせるものとする。
ここで、水平方向地震力は、ハンガ部の長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

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

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

4.2.2 許容応力

制御棒貯蔵ハンガの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒貯蔵 ハンガ	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒貯蔵 ハンガ	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

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

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

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

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	周囲環境温度	66	—	188	479	205
ポール支持金具	SUS304	周囲環境温度	66	—	188	479	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	66	—	188	479	205

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	周囲環境温度	100	—	171	441	205
ポール支持金具	SUS304	周囲環境温度	100	—	171	441	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	100	—	171	441	205

4.3 解析モデル及び諸元

制御棒貯蔵ハンガのハンガ部の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ハンガ部ははり要素を用いた3次元の有限要素モデルとする。
- (2) 拘束条件は、燃料プール底部及び側壁の基礎ボルト部を固定とする。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (3) ハンガと制御棒の取り合いは、水平2方向及び鉛直方向の並進と、制御棒の軸方向回転を固定する。また、制御棒は振動時に節となるモードを考慮し、制御棒上端より全長の3分の2の位置の水平2方向をピン支持とする。
- (4) ハンガ部の質量には、制御棒の質量、制御棒落下防止治具の質量、ハンガ部自身の質量、ハンガ部部材内に含まれる水の質量のほか、制御棒、制御棒落下防止治具及びハンガ部部材の付加質量を考慮する。このうち制御棒及びハンガ部部材の付加質量は、制御棒及びハンガ部部材それぞれのモデル化部節点に、制御棒落下防止治具の質量及び付加質量は、制御棒落下防止治具が取り付けられているサポートのモデル化部節点に集中質量で与える。
- (5) 解析コードは「SAP-IV」を使用し、固有値及び荷重を求める。

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

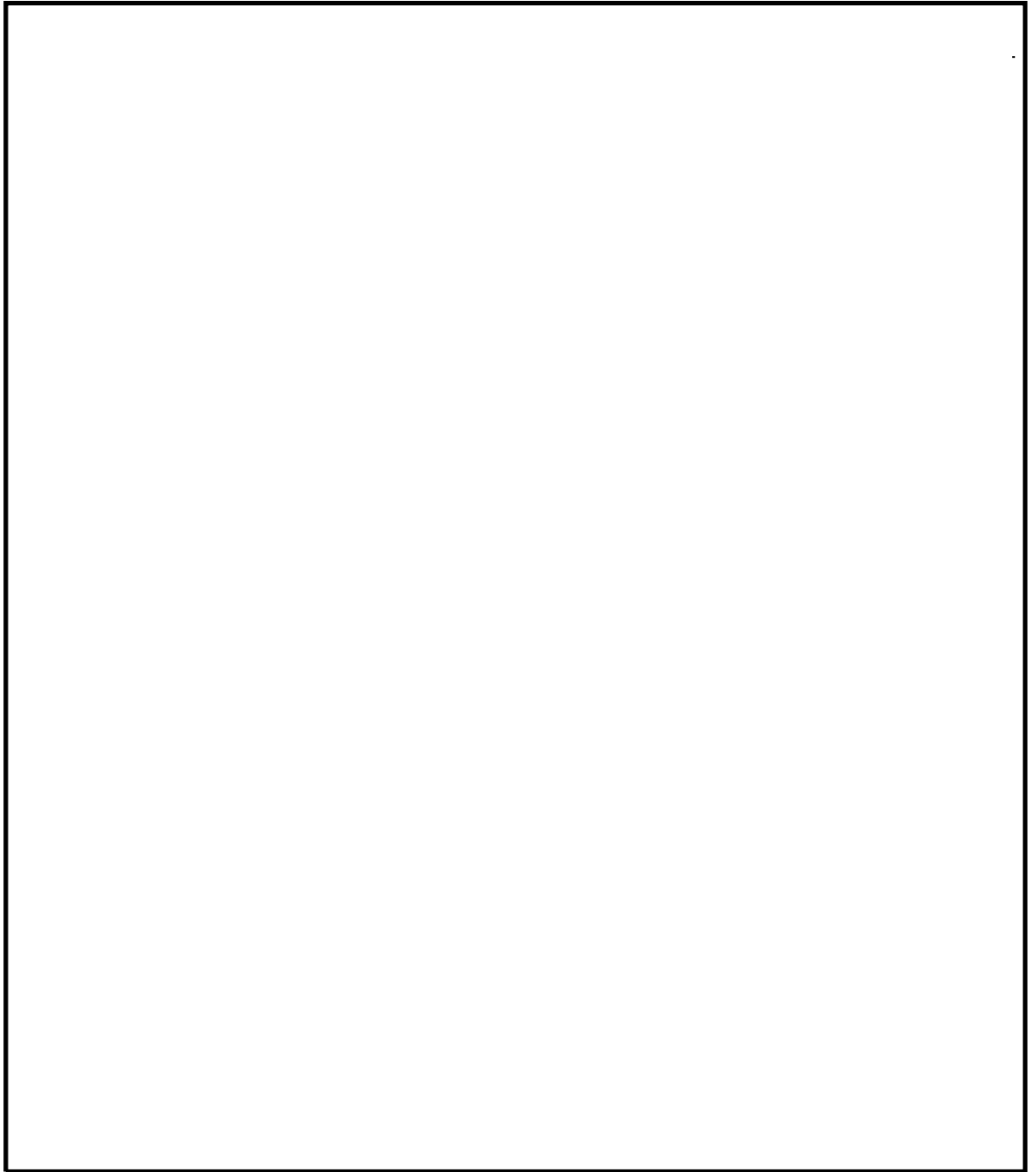


図 4-1 ハンガ部解析モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6に、振動モード図を図4-2～図4-6に示す。

なお、振動モード図は、1次～3次までと [] の卓越モードの次数（12次及び17次）について記載した。 [] は34次以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であり剛構造であることを確認した。

表4-6 固有値解析結果 (1/2)

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			X方向(NS)	Y方向(EW)	
1次					
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					
7次					
8次					
9次					
10次					
11次					
12次					
13次					
14次					
15次					
16次					
17次					
18次					
19次					
20次					
21次					
22次					
23次					
24次					
25次					
26次					
27次					

表 4-6 固有値解析結果 (2/2)

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			X方向(NS)	Y方向(EW)	
28次					
29次					
30次					
31次					
32次					
33次					
34次					

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。

S2 補 VI-2-11-2-7-5 R1

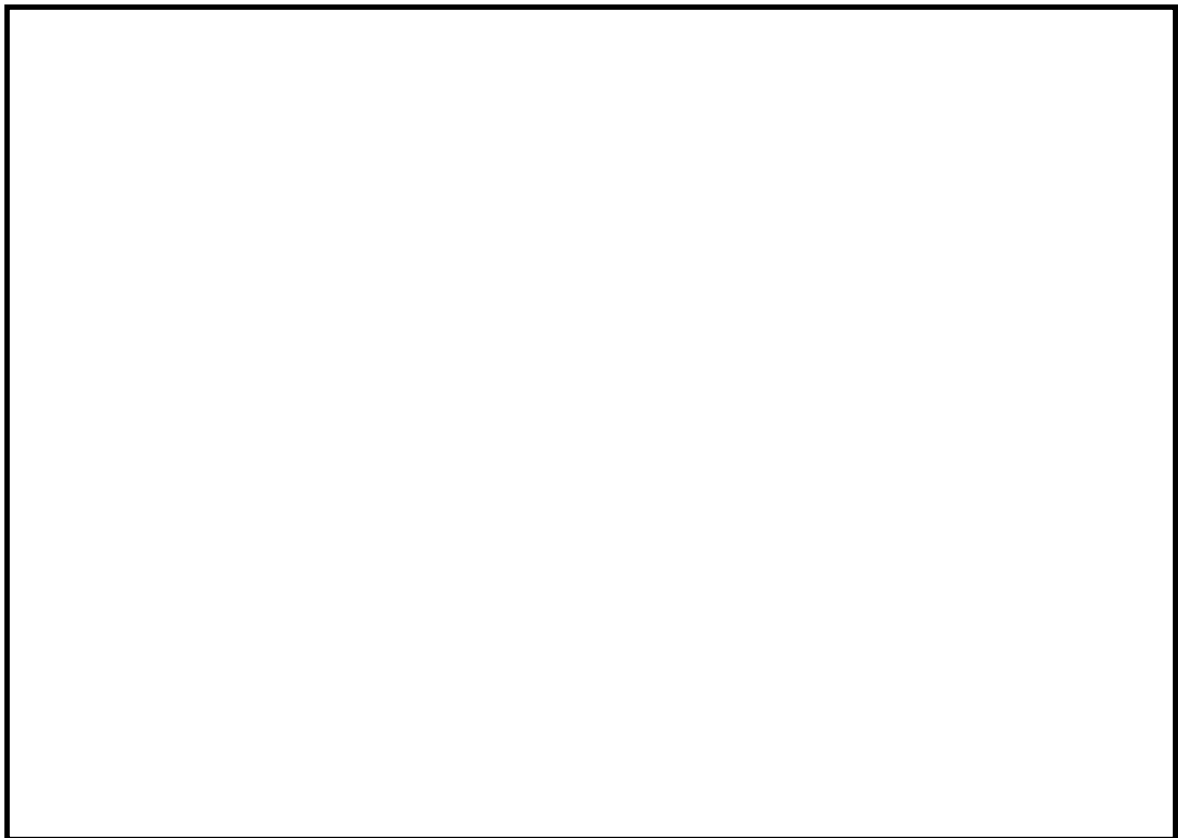


図 4-2 振動モード図 (1次 s)

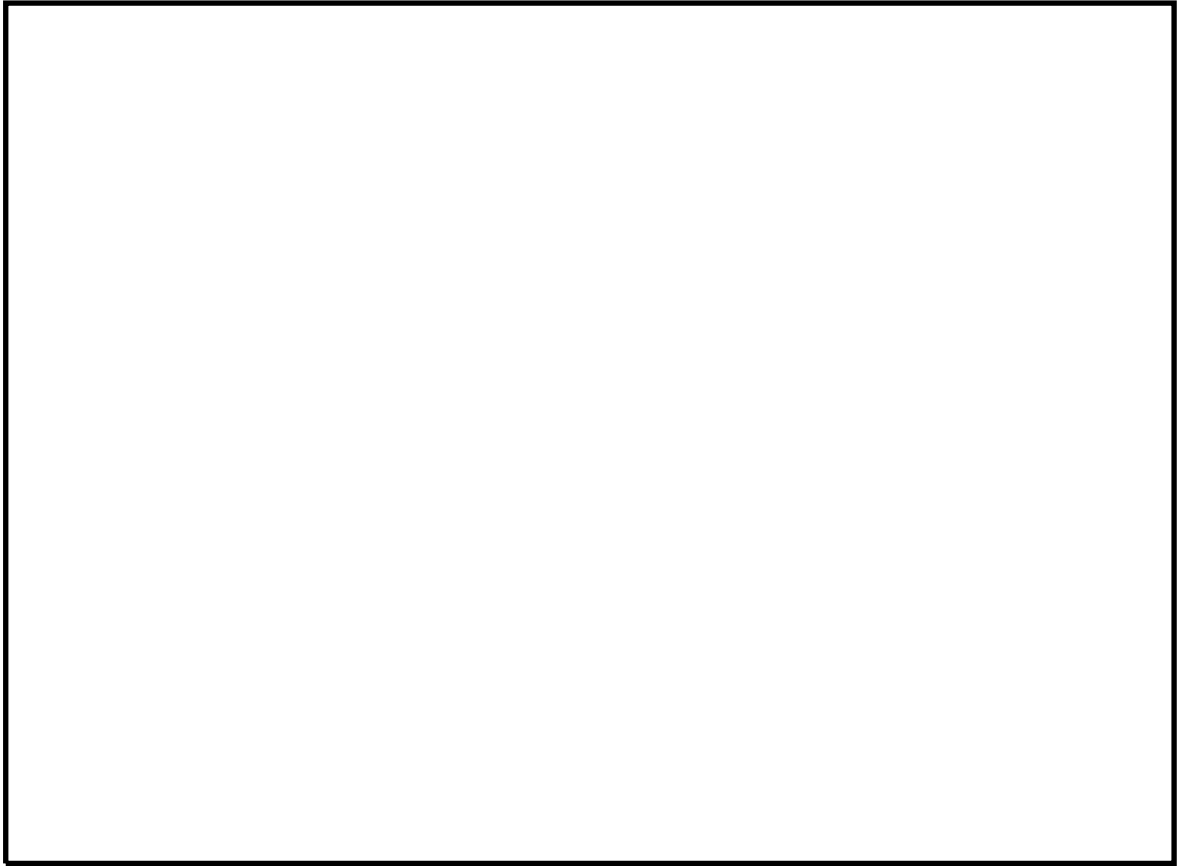


図 4-3 振動モード図 (2次 s)

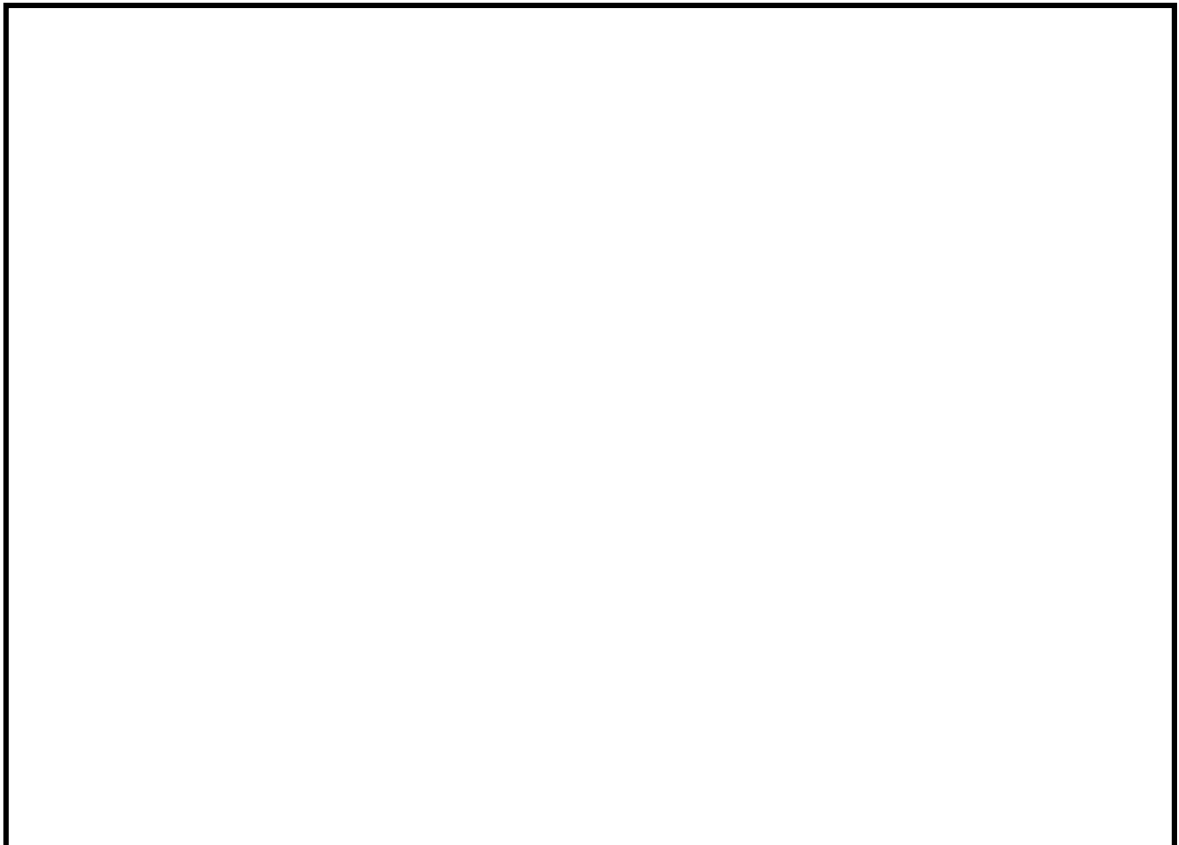


図 4-4 振動モード図 (3次 s)



図 4-5 振動モード図 (12 次)

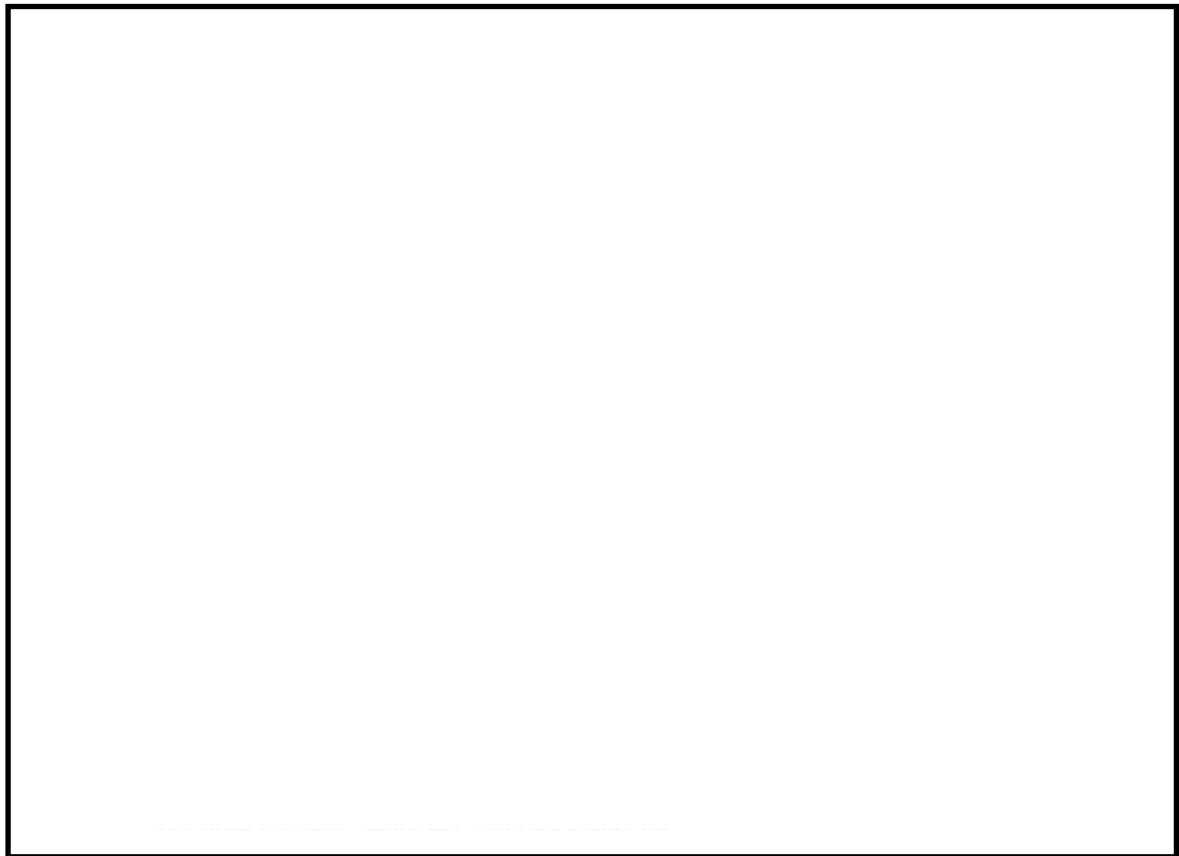


図 4-6 振動モード図 (17 次)

4.5 設計用地震力

制御棒貯蔵ハンガ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4-7に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-8に示す。

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

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8 ^{*1})			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		水平：2.0 ^{*3} 鉛直：2.0 ^{*3}			
地震力		基準地震動 S s			
モード ^{*4}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直震度 ^{*5}	
		NS 方向	EW 方向		
1次	[Redacted]				
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					
7次～10次					
11次, 12次					
13次～18次					
19次～25次					
26次～34次					
動的震度 ^{*6}					

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：ボルト締結構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

*4：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8* ¹)		
固有周期(s)				
減衰定数(%)		水平：2.0* ³ 鉛直：2.0* ³		
地震力		基準地震動 S _s		
モード* ⁴	固有周期(s)	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向	
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次～10 次				
11 次, 12 次				
13 次～18 次				
19 次～25 次				
26 次～34 次				
動的震度* ⁶				

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：ボルト締結構造であるため、ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

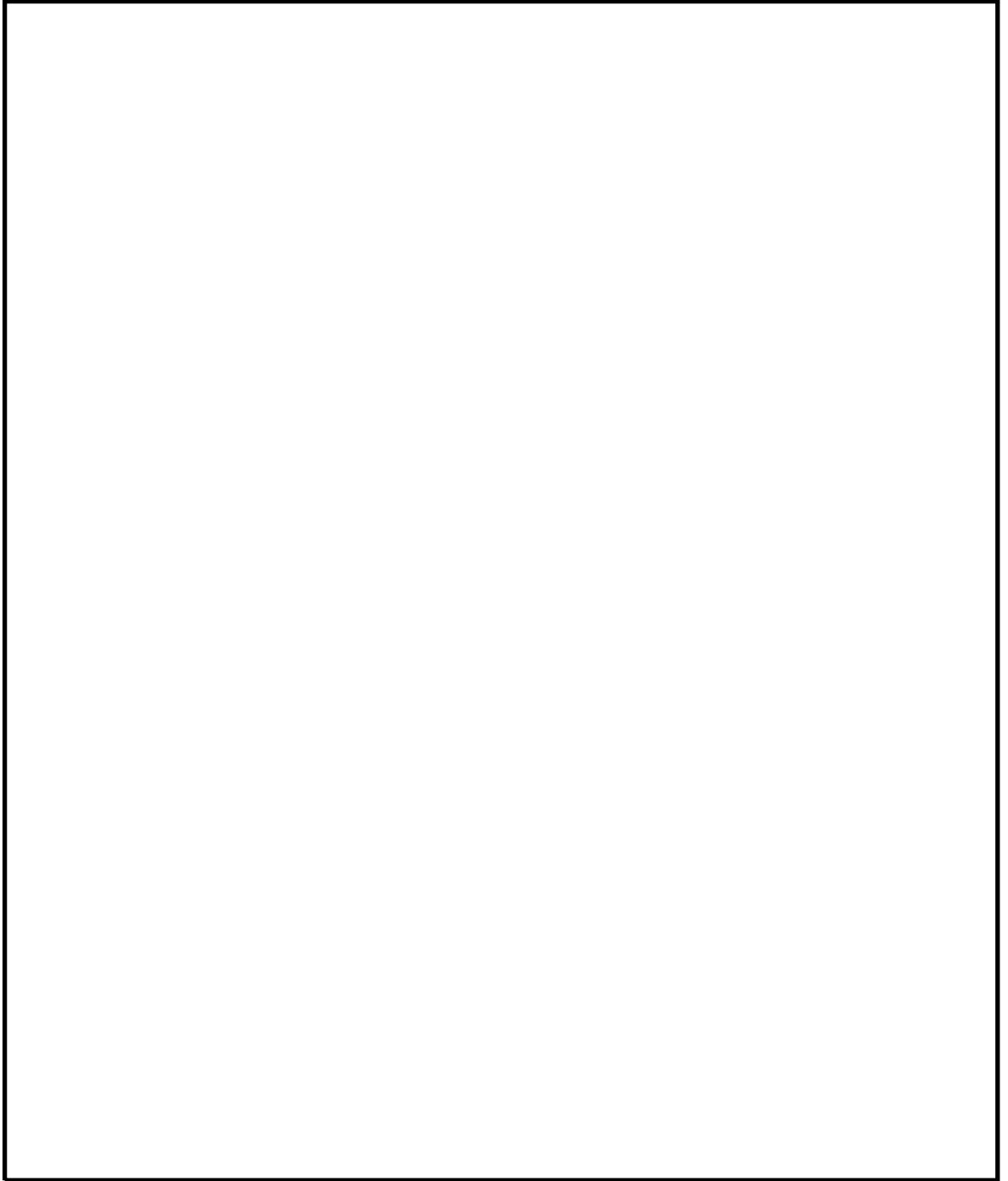
*4：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

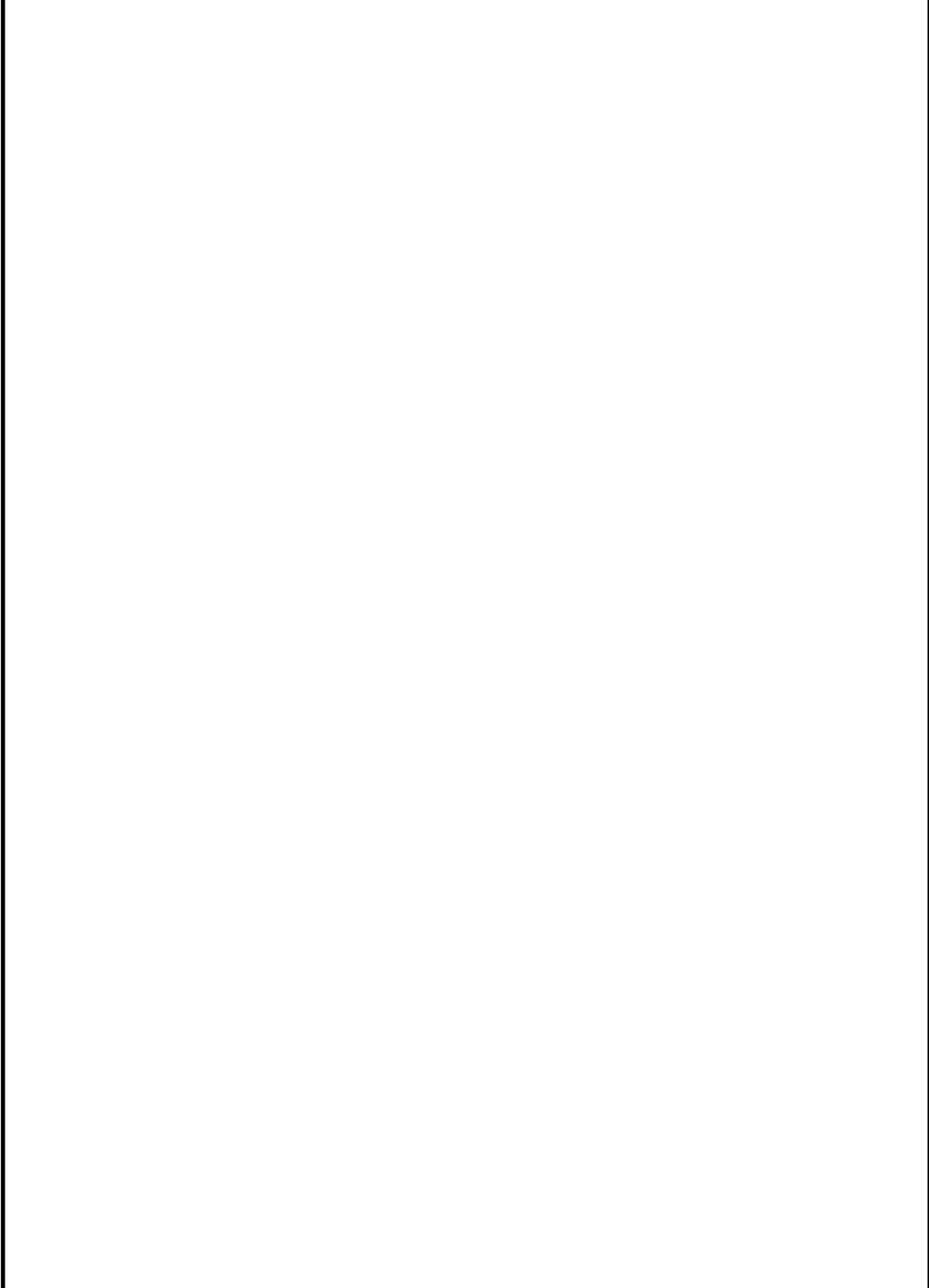
*6：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

4.6 計算方法

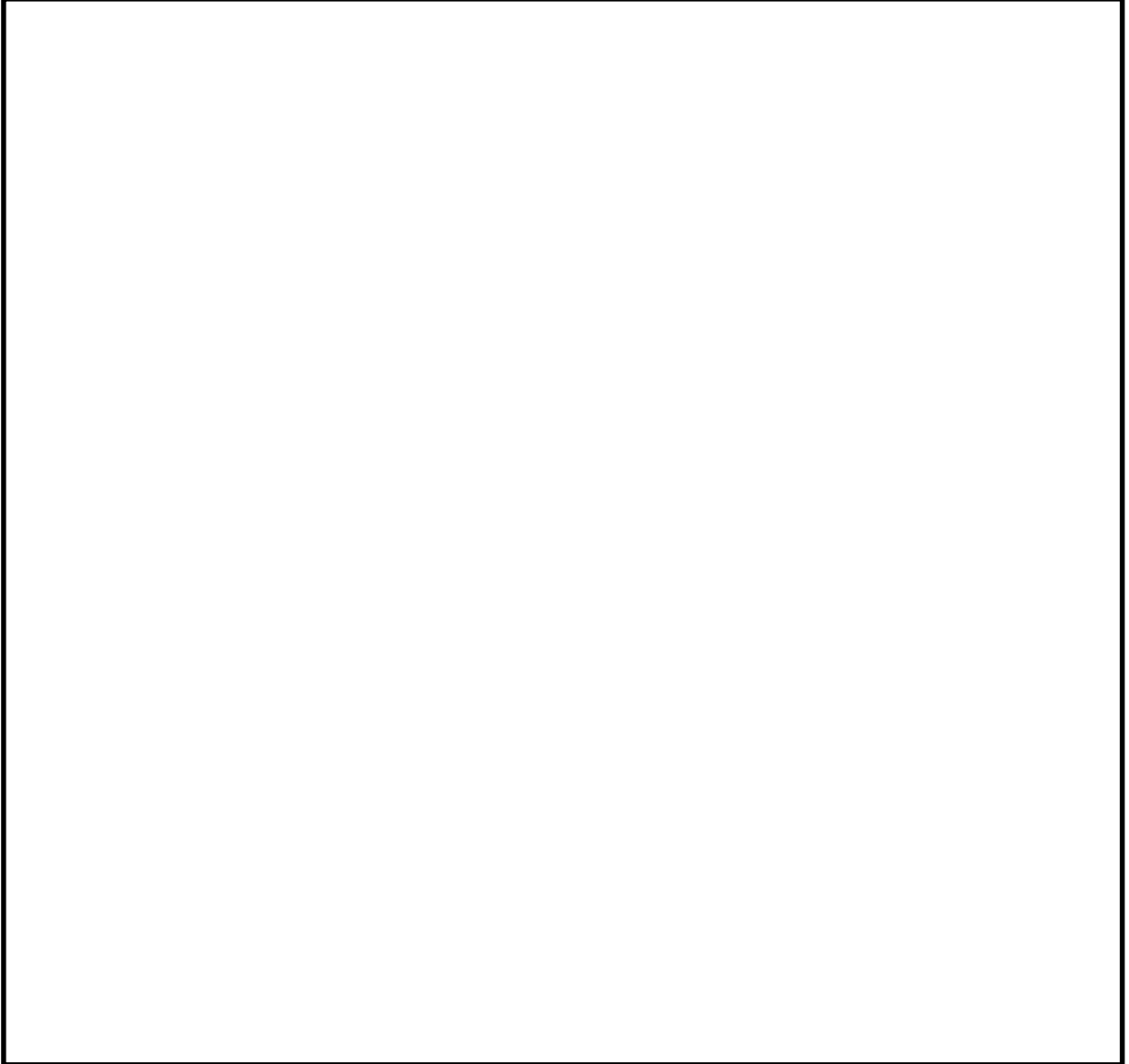
4.6.1 制御棒落下防止治具の応力



(1) 制御棒落下防止ポール



(2) ポール支持金具



S2 補 VI-2-11-2-7-5 R1

4.6.2 基礎ボルトの応力

応力計算は、図4-1の解析モデルにより解析コード「SAP-IV」を用いて、固定部の部材端に生じる引張力、せん断力、曲げモーメントを求め、本項に示す計算方法に従って計算する。

なお、引張力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z は、図4-10及び図4-11の荷重状態に示す局所座標系による。

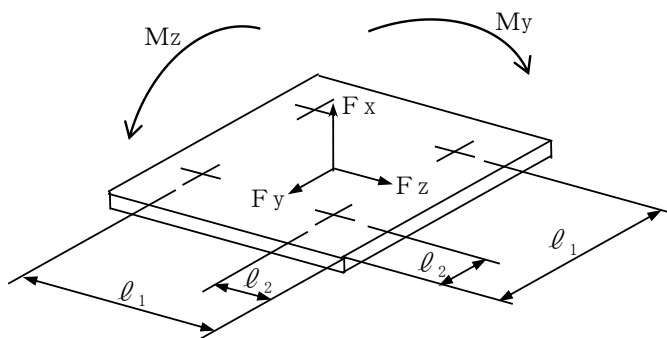


図4-10 荷重状態（基礎ボルト No. ①～⑧）

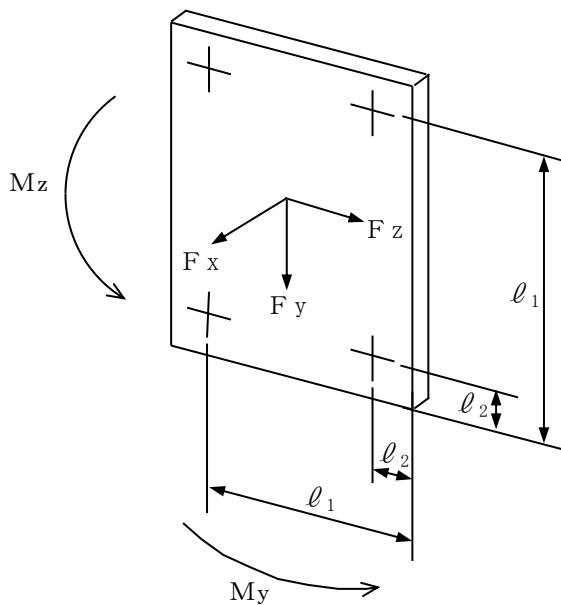


図4-11 荷重状態（基礎ボルト No. ⑨）

(1) せん断応力

せん断力 F_y , F_z により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は, (4.6.8)式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.8)$$

ここで, ボルトの軸断面積 A_b は, (4.6.9)式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.9)$$

(2) 引張応力

曲げモーメント M_y , M_z により生じる基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力 N_m 及び引張力 F_x により生じる基礎ボルトの引張応力 σ_b は, (4.6.10)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_m}{A_b} + \frac{F_x}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.10)$$

ここで, N_m は, (4.6.11)式より求める。

$$N_m = \frac{\ell_1 \cdot (M_y + M_z)}{2 \cdot (\ell_1^2 + \ell_2^2)} \dots\dots\dots (4.6.11)$$

4.7 計算条件

応力解析及び応力計算に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1項で求めた部材の引張応力 σ_{ft} 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

また、4.6.1項で求めた各部材のせん断応力 τ_f が、許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。

ただし、 f_{tm} 及び f_{sm} は下表による。

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

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であると。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)			基準地震動 S _s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			NS 方向	EW 方向	鉛直方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒貯蔵ハンガ	B	原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)							—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

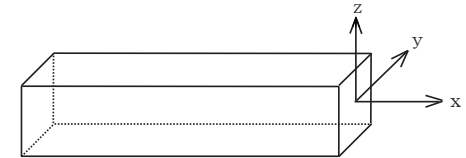
*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 ハンガ部の部材要目

計算モデル	部材	材料	主要寸法 (断面) (mm)	A _x * (mm ²)	A _y * (mm ²)	A _z * (mm ²)	I _x * (mm ⁴)	I _y * (mm ⁴)	I _z * (mm ⁴)	Z _y * (mm ³)	Z _z * (mm ³)	E (MPa)	ポアソン比 ν
ハンガ部	ハンガ	SUS304		1.870×10 ³	268.0	1.222×10 ³	1.398×10 ⁵	5.153×10 ⁵	8.541×10 ⁵	1.774×10 ⁴	2.847×10 ⁴	192000	0.3
	サポート	SUS304TP		5.544×10 ³	2.476×10 ³	2.476×10 ³	2.200×10 ⁷	1.478×10 ⁷	1.478×10 ⁷	2.158×10 ⁵	2.158×10 ⁵		

注記*：A_x、A_y、A_z、I_x、I_y、I_z、Z_y及びZ_zは、部材の長手方向をx軸とした局所座標系に従う。



1.2.2 制御棒落下防止治具の評価に用いる要目

計算モデル	m _{CR} (kg)	A _p (mm ²)	A _k (mm ²)	Z _p (mm ³)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	n _{CR}
制御棒落下防止治具		5.544×10 ³	1.200×10 ³	2.158×10 ⁵	249	559	869	1179	2

部材	材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
制御棒落下防止ボール	SUS304TP	188	479	205	205
ボール支持金具	SUS304	188	479	205	205

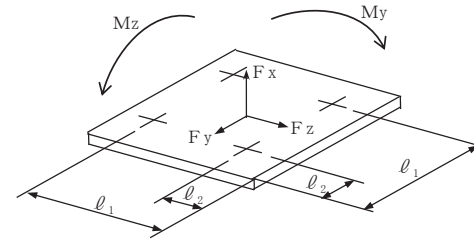
注記*：周囲環境温度(66°C)で算出

1.2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

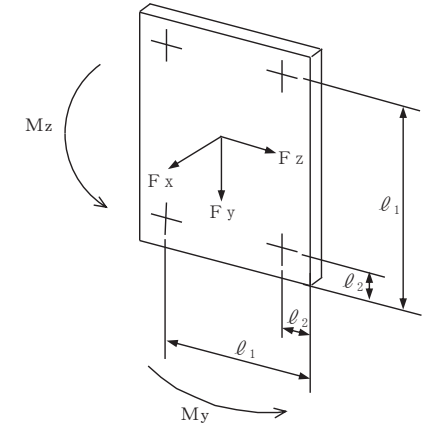
m _h (kg)	m _{CR} (kg)	m _w (kg)	m _{JG} (kg)	m _{h t h} (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n
								基礎ボルト No. ①～⑨	
					265	35	24 (M24)	452.4	4

基礎ボルト材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
SUS304	188	479	205	205

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出



基礎ボルト No. ①～⑧



基礎ボルト No. ⑨

	ボルト No.	基準地震動 S _s									
		NS 方向					EW 方向				
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
基礎ボルト	①* ¹	1.867×10 ⁴	1.826×10 ⁴	5.318×10 ³	4.092×10 ⁵	2.000×10 ⁷	4.502×10 ⁴	1.701×10 ⁴	1.524×10 ⁴	1.962×10 ⁶	1.904×10 ⁷
	②* ¹	1.602×10 ⁴	1.144×10 ⁴	4.805×10 ³	3.551×10 ⁵	1.420×10 ⁷	4.414×10 ⁴	1.001×10 ⁴	1.522×10 ⁴	1.960×10 ⁶	1.322×10 ⁷
	③* ¹	3.968×10 ⁴	1.294×10 ⁴	1.051×10 ⁴	9.084×10 ⁵	1.378×10 ⁷	7.532×10 ⁴	1.116×10 ⁴	2.170×10 ⁴	2.608×10 ⁶	1.248×10 ⁷
	④* ¹	3.314×10 ⁴	8.383×10 ³	9.303×10 ³	7.949×10 ⁵	9.863×10 ⁶	7.210×10 ⁴	6.520×10 ³	2.136×10 ⁴	2.583×10 ⁶	8.644×10 ⁶
	⑤* ¹	5.604×10 ⁴	9.654×10 ³	1.365×10 ⁴	1.096×10 ⁶	1.001×10 ⁷	8.597×10 ⁴	7.231×10 ³	2.323×10 ⁴	2.678×10 ⁶	8.258×10 ⁶
	⑥* ¹	4.666×10 ⁴	7.045×10 ³	1.182×10 ⁴	9.061×10 ⁵	7.729×10 ⁶	8.017×10 ⁴	4.673×10 ³	2.240×10 ⁴	2.619×10 ⁶	6.134×10 ⁶
	⑦* ¹	5.858×10 ⁴	1.431×10 ⁴	1.431×10 ⁴	1.082×10 ⁶	1.490×10 ⁷	8.100×10 ⁴	1.233×10 ⁴	2.260×10 ⁴	2.541×10 ⁶	1.337×10 ⁷
	⑧* ¹	5.295×10 ⁴	7.474×10 ³	1.329×10 ⁴	9.668×10 ⁵	8.995×10 ⁶	7.705×10 ⁴	5.286×10 ³	2.220×10 ⁴	2.513×10 ⁶	7.534×10 ⁶
	⑨* ²	9.037×10 ⁴	5.686×10 ⁴	1.776×10 ³	8.518×10 ⁵	2.140×10 ⁷	4.220×10 ⁴	5.680×10 ⁴	9.614×10 ³	5.141×10 ⁶	2.136×10 ⁷

注記*1：ボルト No. ①～⑧の局所座標系 y は NS 方向， z は EW 方向を示す。

*2：ボルト No. ⑨の局所座標系 x は NS 方向， z は EW 方向を示す。

1.3 計算数値

(1) 制御棒落下防止治具に生じる応力

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		EW 方向	
制御棒落下防止 ポール	引張 σ_{ft}	75	
	せん断 τ_f	4	
	組合せ σ_{fa}	76	
ポール支持金具	せん断 τ_f	29	

(2) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	ボルト No.	応力	基準地震動 S s	
			NS 方向	EW 方向
基礎ボルト	①	引張 σ_b	94	111
		せん断 τ_b	11	13
	②	引張 σ_b	69	87
		せん断 τ_b	7	10
	③	引張 σ_b	83	104
		せん断 τ_b	10	14
	④	引張 σ_b	62	86
		せん断 τ_b	7	13
	⑤	引張 σ_b	77	93
		せん断 τ_b	10	14
	⑥	引張 σ_b	62	81
		せん断 τ_b	8	13
	⑦	引張 σ_b	98	110
		せん断 τ_b	12	15
	⑧	引張 σ_b	70	84
		せん断 τ_b	9	13
	⑨	引張 σ_b	142	132
		せん断 τ_b	32	32

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期*
鉛直方向	
NS 方向	
EW 方向	

注記*：設備全体の応答が卓越する固有周期を示す。

1.4.2 応力

(1) 制御棒落下防止治具に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
制御棒落下防止 ポール	SUS304TP	引張	$\sigma_{ft} = 75$	$f_{tm} = 205$
		せん断	$\tau_f = 4$	$f_{sm} = 118$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 76$	$f_{tm} = 205$
ポール支持金具	SUS304	せん断	$\tau_f = 29$	$f_{sm} = 118$

すべて許容応力以下である。

(2) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト⑨	SUS304	引張	$\sigma_b = 142$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_b = 32$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)			基準地震動 S _s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			NS 方向	EW 方向	鉛直方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒貯蔵ハンガ	—	原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)							—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

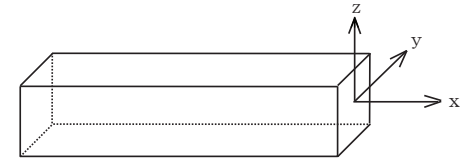
*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 ハンガ部の部材要目

計算モデル	部材	材料	主要寸法 (断面) (mm)	A _x * (mm ²)	A _y * (mm ²)	A _z * (mm ²)	I _x * (mm ⁴)	I _y * (mm ⁴)	I _z * (mm ⁴)	Z _y * (mm ³)	Z _z * (mm ³)	E (MPa)	ポアソン比 ν
ハンガ部	ハンガ	SUS304		1.870×10 ³	268.0	1.222×10 ³	1.398×10 ⁵	5.153×10 ⁵	8.541×10 ⁵	1.774×10 ⁴	2.847×10 ⁴	192000	0.3
	サポート	SUS304TP		5.544×10 ³	2.476×10 ³	2.476×10 ³	2.200×10 ⁷	1.478×10 ⁷	1.478×10 ⁷	2.158×10 ⁵	2.158×10 ⁵		

注記*：A_x、A_y、A_z、I_x、I_y、I_z、Z_y及びZ_zは、部材の長手方向をx軸とした局所座標系に従う。



2.2.2 制御棒落下防止治具の評価に用いる要目

計算モデル	m _{CR} (kg)	A _p (mm ²)	A _k (mm ²)	Z _p (mm ³)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	L ₄ (mm)	n _{CR}
制御棒落下防止治具		5.544×10 ³	1.200×10 ³	2.158×10 ⁵	249	559	869	1179	2

部材	材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
制御棒落下防止ボール	SUS304TP	171	441	205	205
ボール支持金具	SUS304	171	441	205	205

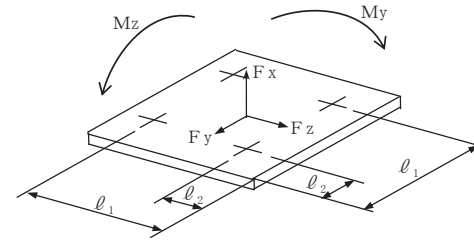
注記*：周囲環境温度(100°C)で算出

2.2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

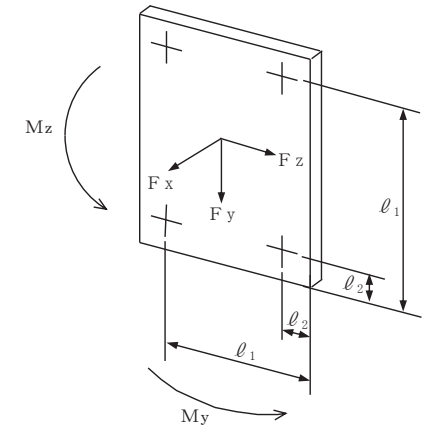
mh (kg)	mCR (kg)	mw (kg)	mJG (kg)	mht h (kg)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A b (mm ²)	n
								基礎ボルト No. ①～⑧	
					265	35	24 (M24)	452.4	4

基礎ボルト材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
SUS304	171	441	205	205

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出



基礎ボルト No. ①～⑧



基礎ボルト No. ⑨

	ボルト No.	基準地震動 S _s									
		NS 方向					EW 方向				
		F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)	M _y (N・mm)	M _z (N・mm)
基礎ボルト	①*1	1.867×10 ⁴	1.826×10 ⁴	5.318×10 ³	4.092×10 ⁵	2.000×10 ⁷	4.502×10 ⁴	1.701×10 ⁴	1.524×10 ⁴	1.962×10 ⁶	1.904×10 ⁷
	②*1	1.602×10 ⁴	1.144×10 ⁴	4.805×10 ³	3.551×10 ⁵	1.420×10 ⁷	4.414×10 ⁴	1.001×10 ⁴	1.522×10 ⁴	1.960×10 ⁶	1.322×10 ⁷
	③*1	3.968×10 ⁴	1.294×10 ⁴	1.051×10 ⁴	9.084×10 ⁵	1.378×10 ⁷	7.532×10 ⁴	1.116×10 ⁴	2.170×10 ⁴	2.608×10 ⁶	1.248×10 ⁷
	④*1	3.314×10 ⁴	8.383×10 ³	9.303×10 ³	7.949×10 ⁵	9.863×10 ⁶	7.210×10 ⁴	6.520×10 ³	2.136×10 ⁴	2.583×10 ⁶	8.644×10 ⁶
	⑤*1	5.604×10 ⁴	9.654×10 ³	1.365×10 ⁴	1.096×10 ⁶	1.001×10 ⁷	8.597×10 ⁴	7.231×10 ³	2.323×10 ⁴	2.678×10 ⁶	8.258×10 ⁶
	⑥*1	4.666×10 ⁴	7.045×10 ³	1.182×10 ⁴	9.061×10 ⁵	7.729×10 ⁶	8.017×10 ⁴	4.673×10 ³	2.240×10 ⁴	2.619×10 ⁶	6.134×10 ⁶
	⑦*1	5.858×10 ⁴	1.431×10 ⁴	1.431×10 ⁴	1.082×10 ⁶	1.490×10 ⁷	8.100×10 ⁴	1.233×10 ⁴	2.260×10 ⁴	2.541×10 ⁶	1.337×10 ⁷
	⑧*1	5.295×10 ⁴	7.474×10 ³	1.329×10 ⁴	9.668×10 ⁵	8.995×10 ⁶	7.705×10 ⁴	5.286×10 ³	2.220×10 ⁴	2.513×10 ⁶	7.534×10 ⁶
	⑨*2	9.037×10 ⁴	5.686×10 ⁴	1.776×10 ³	8.518×10 ⁵	2.140×10 ⁷	4.220×10 ⁴	5.680×10 ⁴	9.614×10 ³	5.141×10 ⁶	2.136×10 ⁷

注記*1：ボルト No. ①～⑧の局所座標系 y は NS 方向， z は EW 方向を示す。

*2：ボルト No. ⑨の局所座標系 x は NS 方向， z は EW 方向を示す。

2.3 計算数値

(1) 制御棒落下防止治具に生じる応力

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		EW 方向	
制御棒落下防止 ポール	引張 σ_{ft}	75	
	せん断 τ_f	4	
	組合せ σ_{fa}	76	
ポール支持金具	せん断 τ_f	29	

(2) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	ボルト No.	応力	基準地震動 S s	
			NS 方向	EW 方向
基礎ボルト	①	引張 σ_b	94	111
		せん断 τ_b	11	13
	②	引張 σ_b	69	87
		せん断 τ_b	7	10
	③	引張 σ_b	83	104
		せん断 τ_b	10	14
	④	引張 σ_b	62	86
		せん断 τ_b	7	13
	⑤	引張 σ_b	77	93
		せん断 τ_b	10	14
	⑥	引張 σ_b	62	81
		せん断 τ_b	8	13
	⑦	引張 σ_b	98	110
		せん断 τ_b	12	15
	⑧	引張 σ_b	70	84
		せん断 τ_b	9	13
	⑨	引張 σ_b	142	132
		せん断 τ_b	32	32

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期*
鉛直方向	
NS 方向	
EW 方向	

注記*：設備全体の応答が卓越する固有周期を示す。

2.4.2 応力

(1) 制御棒落下防止治具に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
制御棒落下防止 ポール	SUS304TP	引張	$\sigma_{ft}=75$	$f_{tm}=205$
		せん断	$\tau_f = 4$	$f_{sm}=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=76$	$f_{tm}=205$
ポール支持金具	SUS304	せん断	$\tau_f = 29$	$f_{sm}=118$

すべて許容応力以下である。

(2) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト⑨	SUS304	引張	$\sigma_b=142$	$f_{ts}=153^*$
		せん断	$\tau_b = 32$	$f_{sb}=118$

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-6 燃料プール冷却ポンプ室冷却機の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
3. 構造強度評価	4
3.1 構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.3 計算条件	4
4. 評価結果	7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である燃料プール冷却ポンプ室冷却機（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

なお、燃料プール冷却ポンプ室冷却機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

燃料プール冷却ポンプ室冷却機は、原子炉建物原子炉棟中2階に設置されている。燃料プール冷却ポンプ室冷却機は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管が接続されていることから、地震時に本機器が転倒した場合は、原子炉補機冷却系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

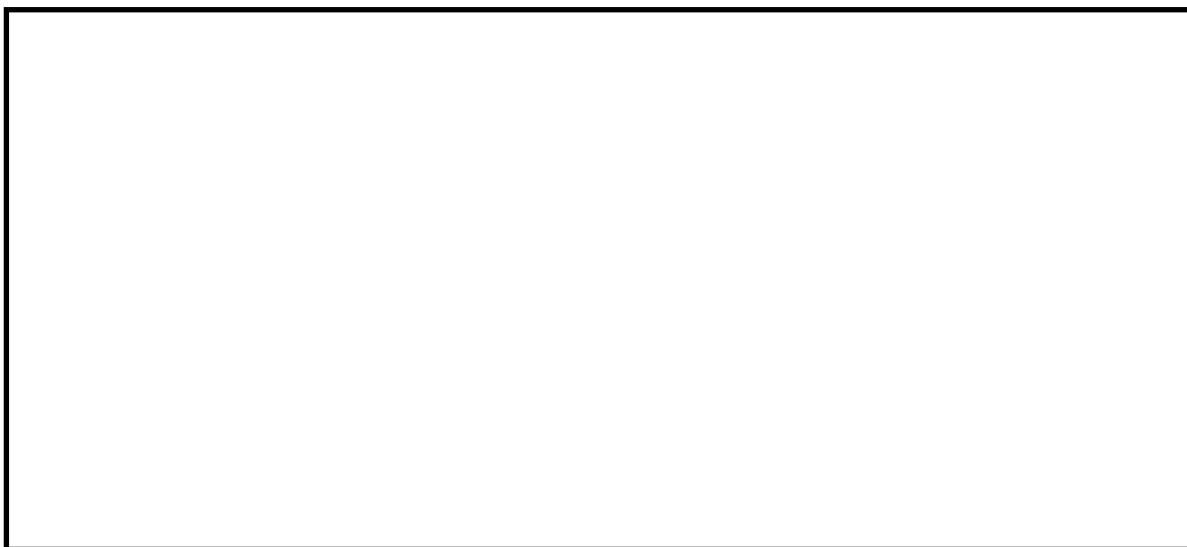


図2-1 燃料プール冷却ポンプ室冷却機と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

燃料プール冷却ポンプ室冷却機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ファン等はコイルチャンバにファン取付ボルトで固定され、コイルチャンバは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	遠心直動型ファン及びプレートフィン型冷水コイル	<p>(側面図) (全体図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却ポンプ室冷却機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。燃料プール冷却ポンプ室冷却機のファン等はコイルチャンバにファン取付ボルトで固定されているため、コイルチャンバを含めて剛構造であることを確認している。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 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却ポンプ室冷却機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料プール冷却ポンプ室冷却機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却ポンプ室冷却機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却ポンプ室冷却機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	燃料プール冷却 ポンプ室冷却機	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

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

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

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

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—
ファン取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—
原動機取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	209	391	—

注記* : SS400 相当

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却ポンプ室冷却機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		送風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却 ポンプ室冷却機	B	原子炉建物 EL 28.3 (EL 30.5 ^{*1})	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	C _H =3.61 ^{*3}	C _V =2.23 ^{*3}	C _P = <input type="text"/>	—	55

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} ^{*1} (mm)	l _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							6	2
								3
ファン取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—
ファン取付ボルト (i=2)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	209 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	391 ^{*2} (40mm<径≤100mm)	—	251	—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ファン取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

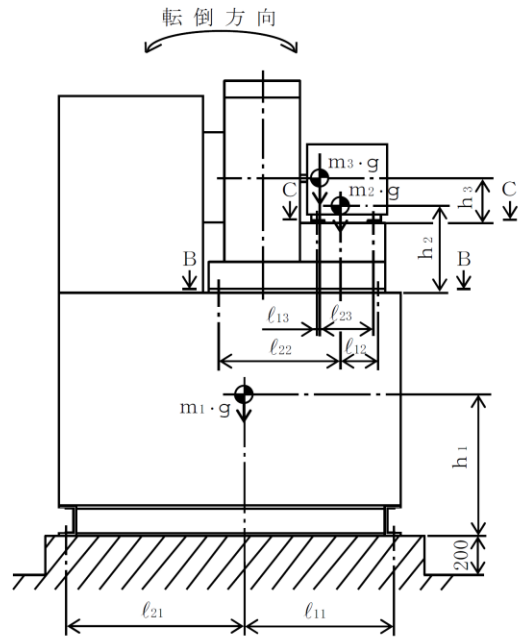
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

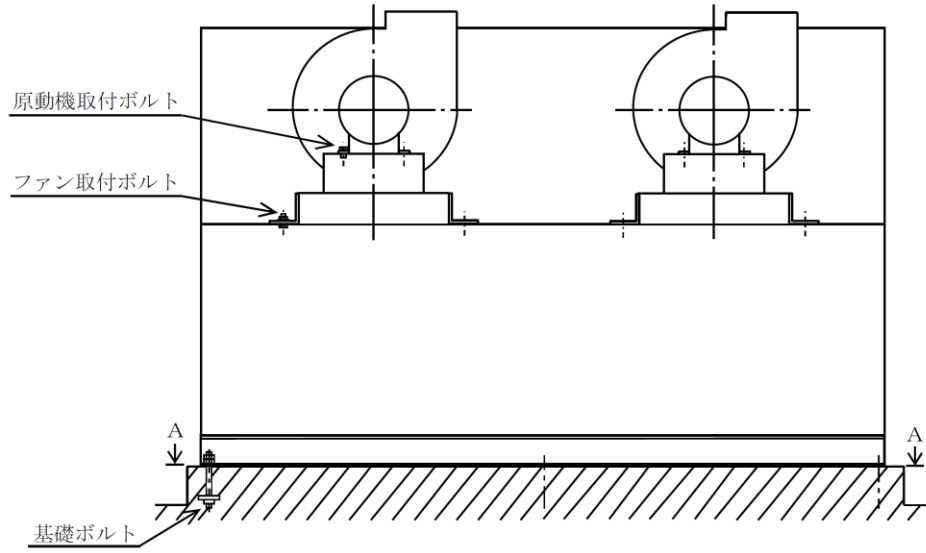
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b1}=116$	$f_{ts1}=162^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=64$	$f_{sb1}=145$
ファン取付ボルト (i=2)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=188^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=145$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=188^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=9$	$f_{sb3}=145$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

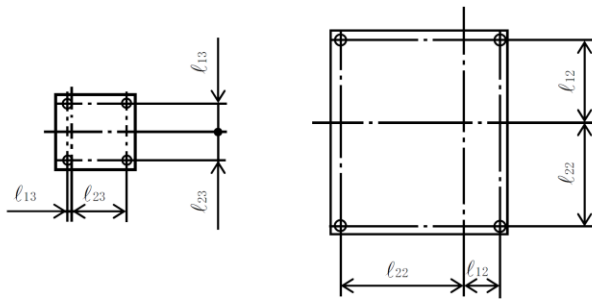


(軸方向転倒)



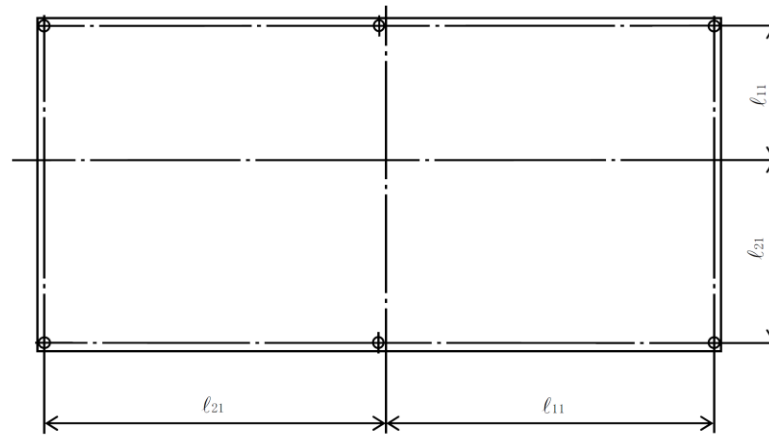
($l_{11} \leq l_{21}$)

(軸直角方向転倒)



C~C 矢視図
(原動機取付ボルト)

B~B 矢視図
(ファン取付ボルト)



A~A 矢視図
(基礎ボルト)

VI-2-11-2-7-7 原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	1
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格・基準等	4
2.5	記号の説明	5
2.6	計算精度と数値の丸め方	12
3.	評価部位	13
4.	地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	13
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	17
4.5	設計用地震力	18
4.6	計算方法	19
4.7	計算条件	34
4.8	応力の評価	34
5.	評価結果	36
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	36
6.	引用文献	36

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉浄化系補助熱交換器（Bクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、接続している上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉浄化系補助熱交換器は、原子炉建物2階に設置されている。原子炉浄化系補助熱交換器は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管が接続していることから、地震時に本機器が損傷又は転倒した場合は原子炉補機冷却系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

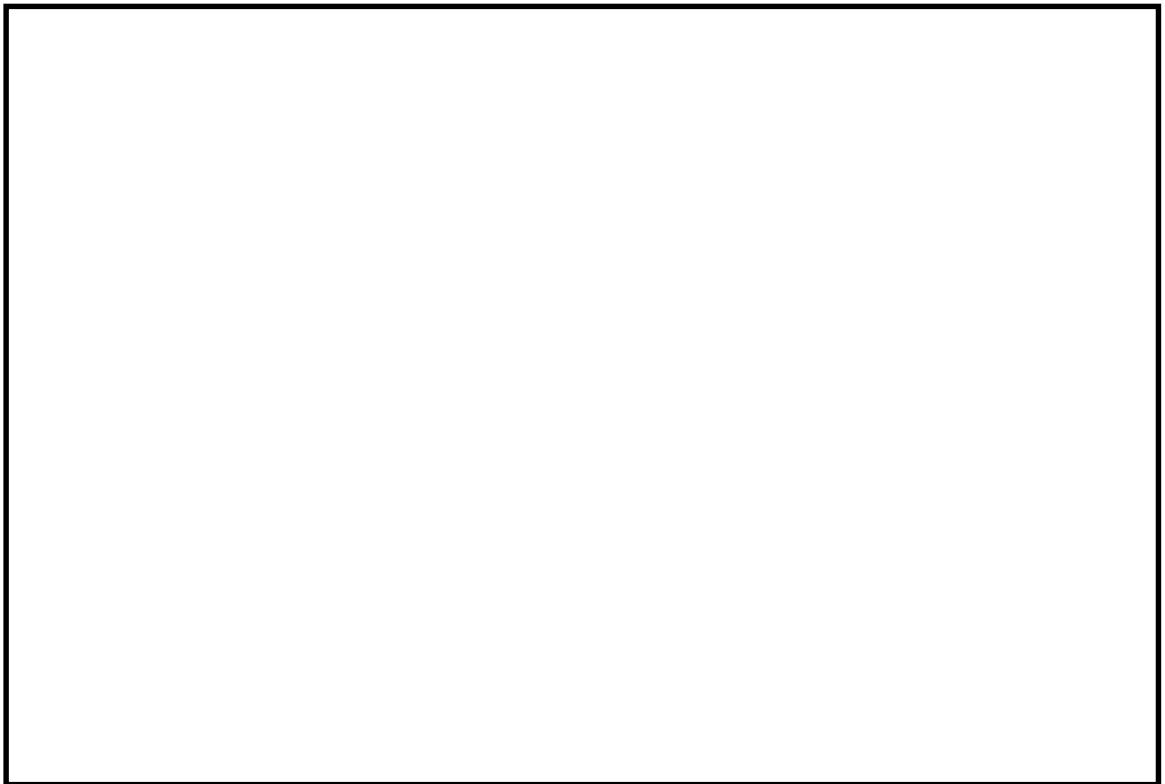
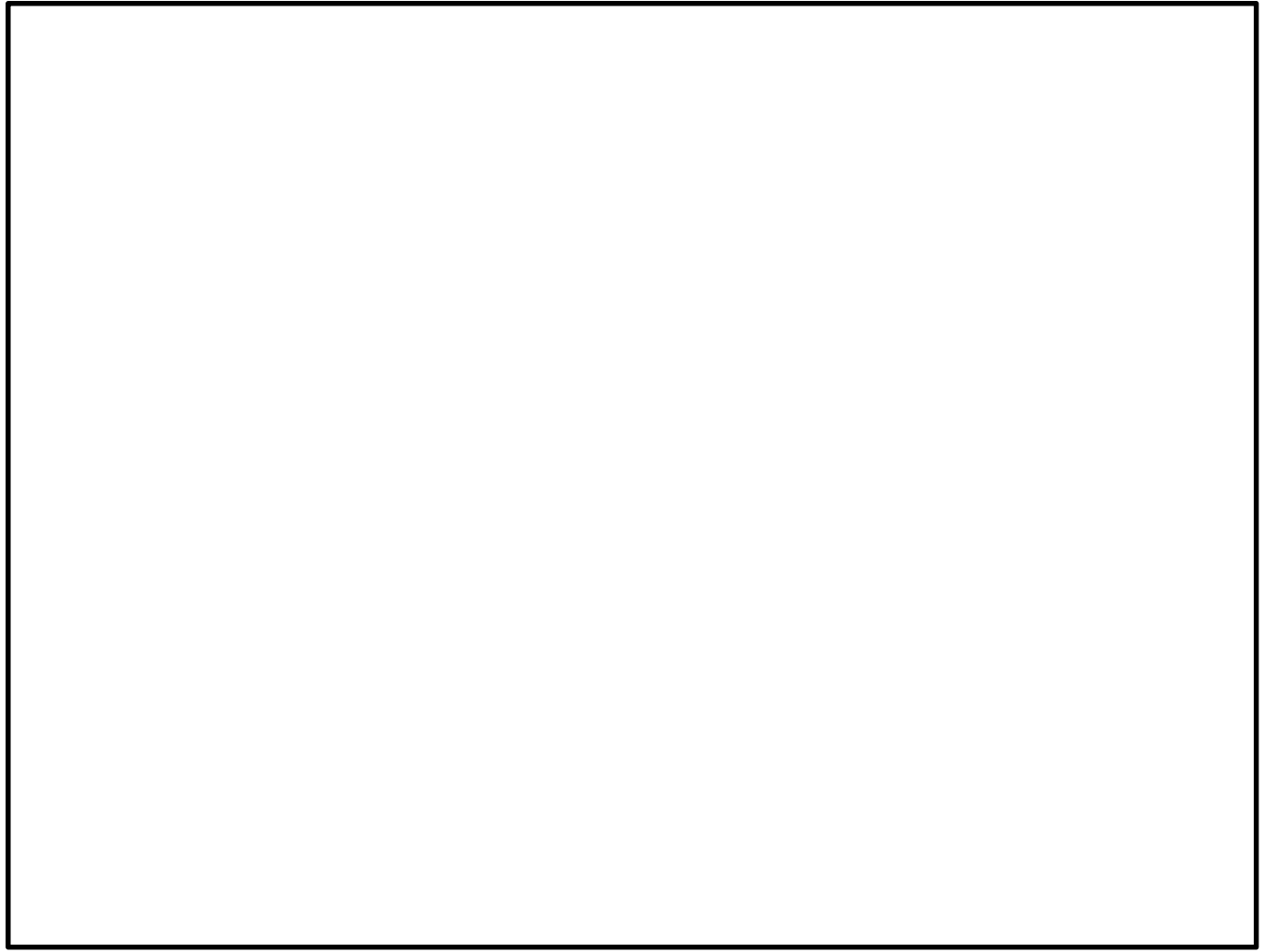


図 2-1 原子炉浄化系補助熱交換器と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

原子炉浄化系補助熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p> 胴は当板を介して2個の脚で支持する。脚は基礎ボルトで基礎に据え付ける。 また、耐震補強サポートは脚を支持し、追設基礎ボルト及び埋込金物で床面に固定する。 </p>	<p> 横置U字管式 (水室側に平板、胴側に鏡板を有する横置一胴円筒形容器) </p>	

2.3 評価方針

原子炉浄化系補助熱交換器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉浄化系補助熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

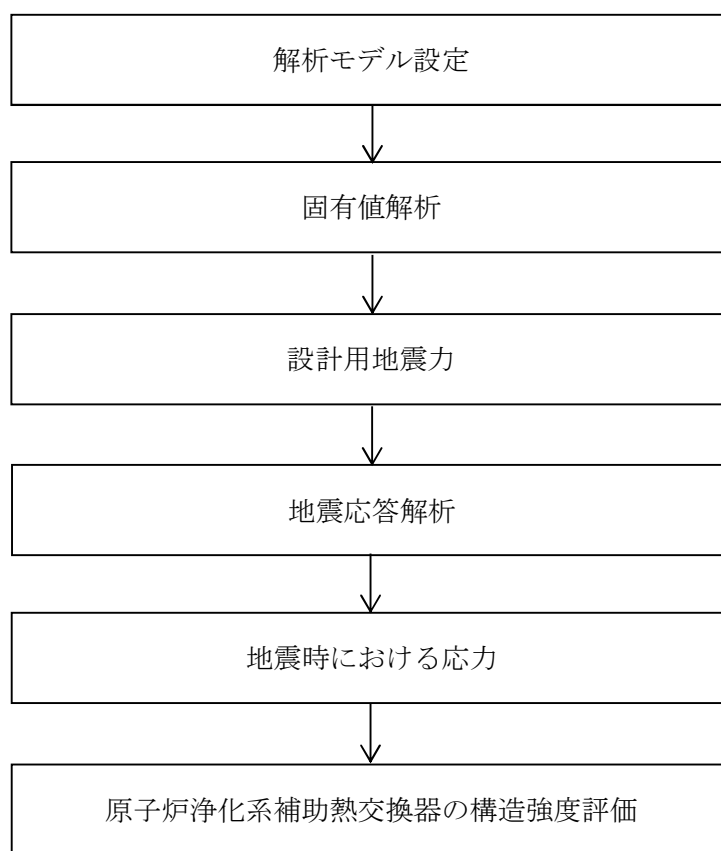


図 2-2 原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{b a}	追設基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _s	第1脚の断面積	mm ²
A _{s 1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s 2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s 3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm ²
A _{s 4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm ²
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C ₁	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C ₂	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C _{c j}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) (j=1: 周方向応力, j=2: 軸方向応力)	—
C _{HNS}	水平方向設計震度 (NS方向)	—
C _{HEW}	水平方向設計震度 (EW方向)	—
C _{ℓj}	軸方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) (j=1: 周方向応力, j=2: 軸方向応力)	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D _i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d ₁	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d ₂	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
d _a	追設基礎ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _{1 1}	運転時質量により第1脚底面に作用する長手方向荷重	N
F _{1 2}	運転時質量により第1脚底面に作用する横方向荷重	N
F _{1 v 1}	鉛直方向地震により第1脚底面に作用する長手方向荷重	N
F _{1 v 2}	鉛直方向地震により第1脚底面に作用する横方向荷重	N
F _{1 x}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向荷重	N
F _{1 y}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向荷重	N
F _{1 z}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向荷重	N
F _{2 x}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向荷重	N

記号	記号の説明	単位
F_{2Y}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する横方向荷重	N
F_{2Z}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する鉛直方向荷重	N
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する水平方向荷重	N
F_{cb}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷重	N
F_{cs1}	横方向地震により第1脚底面に作用する長手方向荷重	N
F_{cs2}	横方向地震により第1脚底面に作用する横方向荷重	N
F_l	長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重	N
F_{l1}	長手方向地震により胴に作用する引張荷重	N
F_{l2}	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する水平方向荷重	N
F_{lb}	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷 重	N
F_{ls1}	長手方向地震により第1脚底面に作用する長手方向荷重	N
F_{ls2}	長手方向地震により第1脚底面に作用する横方向荷重	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sba}	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{toa}	引張力のみを受ける追設基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許 容組合せ応力）	MPa
f_{tsa}	引張力とせん断力を同時に受ける追設基礎ボルトの許容引張応力 （許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 （ $j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力）	—
K_{cj}, K_{lj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 （ $j=1$:周方向応力, $j=2$:軸方向応力）	—
l_0	脚中心間距離	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正, その反 対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	mm
l_w	当板における脚の取り付けかない部分の長手方向長さ	mm
l_{1a}	長手方向の追設基礎ボルト間距離	mm
l_{2a}	横方向の追設基礎ボルト間距離	mm
M	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_{11}	長手方向地震により胴に作用する長手方向曲げモーメント	N・mm
M_{12}	横方向地震により胴に作用する横方向曲げモーメント	N・mm
M_{13}	横方向地震により胴に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{14}	運転時質量により第1脚底面に作用する長手方向曲げモーメント	N・mm
M_{14V}	鉛直方向地震により第1脚底面に作用する長手方向曲げモーメント	N・mm
M_{15}	運転時質量により第1脚底面に作用する横方向曲げモーメント	N・mm
M_{15V}	鉛直方向地震により第1脚底面に作用する横方向曲げモーメント	N・mm
M_{1s}	運転時質量により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{2b}	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{2s}	長手方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_3	胴の脚付け根部に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{3b}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{3s}	横方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{4s}	鉛直方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{1X}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメント	N・mm
M_{1Y}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメント	N・mm
M_{1Z}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメント	N・mm
M_{2X}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメント	N・mm
M_{2Y}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメント	N・mm
M_{2Z}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_{cs1}	横方向地震により第1脚底面に作用する長手方向モーメント	N・mm
M_{cs2}	横方向地震により第1脚底面に作用する横方向モーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{\ell s1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用する長手方向モーメント	N・mm
$M_{\ell s2}$	長手方向地震により第1脚底面に作用する横方向モーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i=1, 2, 3\cdots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg

記号	記号の説明	単位
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_a	せん断力を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_{1ax}	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_{1ay}	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_{1az}	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_{2ax}	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_{2ay}	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
n_{2az}	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_c	横方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直方向荷重	N
$P_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_{1v}	鉛直方向地震により第1脚の受ける荷重	N
r_m	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s

記号	記号の説明	単位
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
X_{na}	床が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sp}	第1脚のねじり断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{0l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{ba}	追設基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{ba1}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{ba2}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{x1}	内圧により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x21}	長手方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x22}	横方向地震による横方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直方向荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{ba}	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{ba1}	長手方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{ba2}	横方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	横方向地震により胴に作用するねじりモーメントにより第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c2}	横方向地震により脚に作用するねじりモーメントにより第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{l1}	長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重により生じるせん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価は「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、原子炉浄化系補助熱交換器の損傷や転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、耐震評価上厳しくなる胴、脚、基礎ボルト及び追設基礎ボルトについて評価を実施する。原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 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) 「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより固有周期を求める。
- (2) 「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルにより求めた地震時の評価荷重（各部の反力及びモーメント）をもとに、胴、脚、基礎ボルト及び追設基礎ボルトの応力評価を行う。
- (3) 地震力は、原子炉浄化系補助熱交換器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、応力の算出において組み合わせるものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。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、S R S S法を適用する。
- (4) 脚は同形状であるため、作用する荷重の大きい脚についての評価を計算書に記載する。
- (5) 追設基礎ボルトについては、計算結果の厳しい箇所（許容値／発生値の小さい箇所をいう。）を評価対象とする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉浄化系補助熱交換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 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉浄化系補助熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉浄化系補助熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 浄化設備	原子炉浄化系補助 熱交換器	B	クラス 3 容器*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：クラス 3 容器の支持構造物を含む。

表 4-2 許容応力（クラス 2， 3 容器）

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+ 二次+ピーク応力
IVAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	*2 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要	

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： $2 \cdot S_y$ を超えるとき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。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物)

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

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S	S _y	S _u	S _y (RT)
				(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
胴板	SB42*1	最高使用温度	85	—	205	394	—
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41*3 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1：SB410 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉浄化系補助熱交換器の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1) 原子炉浄化系補助熱交換器の胴、脚及び耐震補強サポートをはり要素でモデル化したFEMモデルを用いる。

(2)

(3)

(4) 解析コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

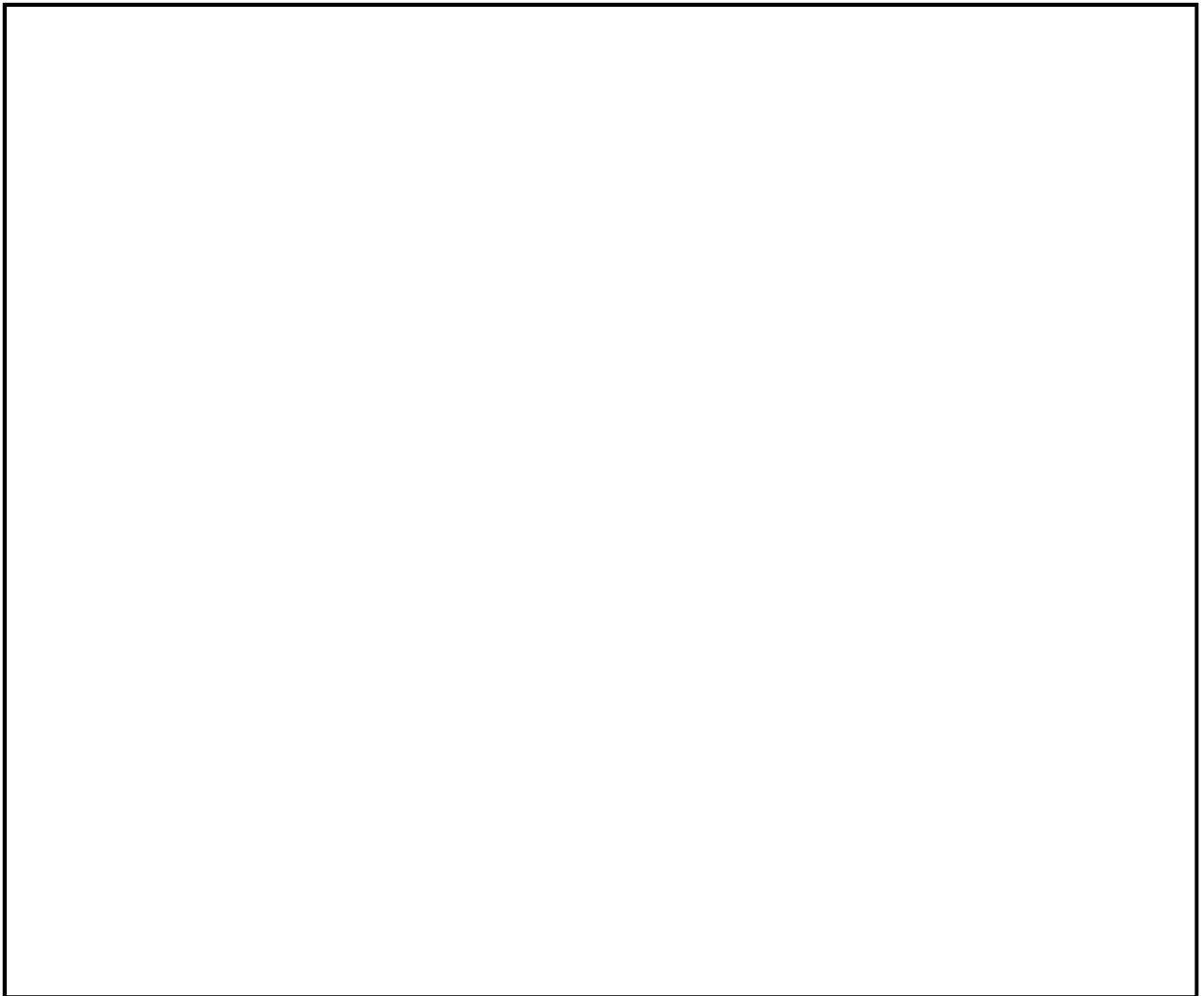


図4-1 原子炉浄化系補助熱交換器解析モデル

4.4 固有周期

解析モデルでの固有値解析の結果を表 4-5, 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。

表 4-5 固有値解析結果

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



図 4-2 振動モード図 (1次モード)

4.5 設計用地震力

原子炉浄化系補助熱交換器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 に示す。

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

表 4-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 23.8 ^{*1}		0.05 以下	—	—	$C_{HNS}=1.44^{*2}$ $C_{HEW}=1.73^{*2}$	$C_V=1.54^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 胴の計算方法

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

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

第1脚付け根部における胴の運転時質量による曲げモーメント M_1 は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

解析により求めた曲げモーメント M_1 により胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメント M_1 は胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図4-3に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

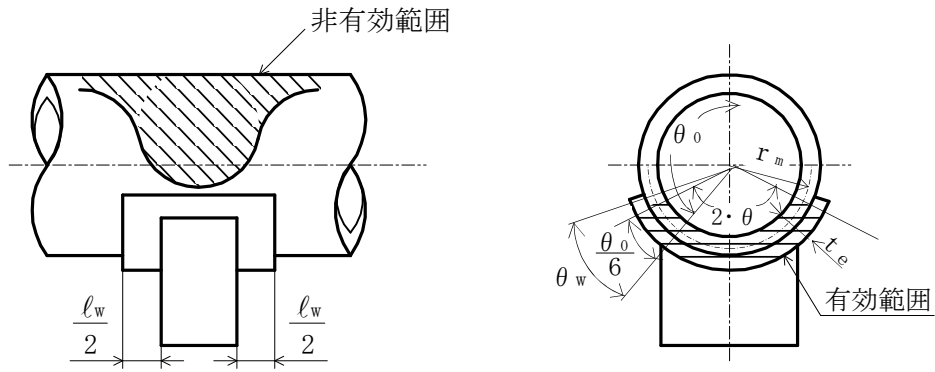


図 4-3 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad \ell_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t}^{*2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。

本計算においては上記の有効範囲を満たすため、有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。

注記*1：引用文献(1)より引用

*2：引用文献(3)より引用

- (3) 長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力
 長手方向地震により胴に作用する長手方向曲げモーメント M_{11} により胴の脚付け根部に生じる応力は次式で求める。なお、 M_{11} は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\sigma_{x21} = \frac{M_{11}}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

また、長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重 F_ℓ によるせん断応力は次式で求める。 F_ℓ は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\tau_{\ell 1} = \frac{2 \cdot F_\ell}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

- (4) 横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力
 横方向地震により胴に作用する横方向曲げモーメント M_{12} 及びねじりモーメント M_{13} により胴に生じる応力は次式で求める。なお、 M_{12} 及び M_{13} は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\sigma_{x22} = \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

$$\tau_{c1} = \frac{2 \cdot M_{13}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.13)$$

- (5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の脚付け根部作用する反力 R_1 は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

胴の脚付け根部に作用する反力は次のように求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.14)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.15)$$

この反力 P 及び P_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図4-4に示す。

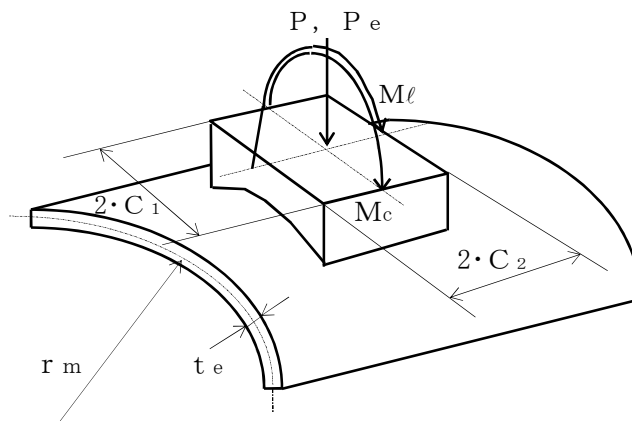


図4-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シエルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t_e \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.16)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.17)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.18)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdots \cdots (4.6.1.1.19)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdots \cdots (4.6.1.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

反力 P による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.22)$$

反力 P_e による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 71} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.23)$$

$$\sigma_{x 71} = \left(\frac{N_x}{P_e / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.24)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 72} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.25)$$

$$\sigma_{x 72} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.26)$$

(6) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震が作用した場合、曲げモーメント M_{ℓ} 及び鉛直荷重 P_{ℓ} は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析により求める。

曲げモーメント M_{ℓ} と鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより次式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ 及び P_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は(5)と同じであるが、 M_{ℓ} の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

ただし、二次応力を求める場合は更に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.27)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 411} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{x 411} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots (4.6.1.1.29)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P_{\ell} / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

長手方向地震により胴に生じる引張荷重 $F_{\ell 1}$ は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

胴に生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 413} = \frac{F_{\ell 1}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

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

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \dots\dots\dots (4.6.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \dots\dots\dots (4.6.1.1.38)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \dots\dots\dots (4.6.1.1.39)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \dots\dots\dots (4.6.1.1.40)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。なお、脚付け根部に生じる水平方向荷重 $F_{\ell 2}$ は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{F_{\ell 2}}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.41)$$

(7) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震が作用した場合、曲げモーメント M_c は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより次式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。ただし、二次応力を求める場合は更に K_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.42)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \cdots (4.6.1.1.43)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \cdots (4.6.1.1.44)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \cdots \cdots (4.6.1.1.45)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \cdots \cdots (4.6.1.1.46)$$

また、胴の脚付け根部に生じるせん断荷重 F_c 及び胴の脚付け根部に生じるねじりモーメント M_3 は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

せん断荷重により脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{F_c}{4 \cdot C_1 \cdot t} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.47)$$

ねじりモーメントにより脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{c2} = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot \text{Min}(C_1, C_2)^2 \cdot t} \cdots \cdots \cdots (4.6.1.1.48)$$

(8) 組合せ応力

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

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{ol} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{ol\phi} + \sigma_{olx}) + \sqrt{(\sigma_{ol\phi} - \sigma_{olx})^2 + 4 \cdot \tau_{l1}^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.49)$$

ここで,

$$\sigma_{ol\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.50)$$

$$\sigma_{olx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x6}^2 + (\sigma_{x413} + \sigma_{x21})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.51)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{oc\phi} + \sigma_{ocx}) + \sqrt{(\sigma_{oc\phi} - \sigma_{ocx})^2 + 4 \cdot \tau_{c1}^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.52)$$

ここで,

$$\sigma_{oc\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.53)$$

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x6}^2 + \sigma_{x22}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.54)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{ol}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{oc}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.55)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1l} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1l\phi} + \sigma_{1lx}) + \sqrt{(\sigma_{1l\phi} - \sigma_{1lx})^2 + 4 \cdot (\tau_l + \tau_{l1})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.56)$$

ここで,

$$\sigma_{1l\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.57)$$

$$\sigma_{1lx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x21})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.58)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c1} + \tau_{c2})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.59)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.60)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x22})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.61)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.62)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.63)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.64)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x42} + \sigma_{x21})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.65)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c1} + \tau_{c2})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.66)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.67)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x52} + \sigma_{x22})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.68)$$

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

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.69)$$

とする。

4.6.1.2 脚の計算方法

「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により得られる各要素端での荷重 $R_1, R_{1V}, P_{\ell 1}, P_c, F_{11}, F_{12}, F_{1V1}, F_{1V2}, F_{\ell s 1}, F_{\ell s 2}, F_{c s 1}, F_{c s 2}$, 曲げモーメント $M_{14}, M_{15}, M_{14V}, M_{15V}, M_{\ell s 1}, M_{\ell s 2}, M_{c s 1}, M_{c s 2}$ 及びねじりモーメント $M_{1s}, M_{2s}, M_{3s}, M_{4s}$ より各応力を次のように求める。

(1) 運転時質量による応力

曲げ及び圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{14}}{Z_{sy}} + \frac{M_{15}}{Z_{sx}} + \frac{R_1}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s1} = \frac{M_{1s}}{Z_{sp}} + \sqrt{\left(\frac{F_{11}}{A_{s3}}\right)^2 + \left(\frac{F_{12}}{A_{s4}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma_{s4} = \frac{M_{14V}}{Z_{sy}} + \frac{M_{15V}}{Z_{sx}} + \frac{R_{1V}}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s4} = \frac{M_{4s}}{Z_{sp}} + \sqrt{\left(\frac{F_{1V1}}{A_{s3}}\right)^2 + \left(\frac{F_{1V2}}{A_{s4}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell s 1}}{Z_{sy}} + \frac{M_{\ell s 2}}{Z_{sx}} + \frac{P_{\ell 1}}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{M_{2s}}{Z_{sp}} + \sqrt{\left(\frac{F_{\ell s 1}}{A_{s3}}\right)^2 + \left(\frac{F_{\ell s 2}}{A_{s4}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

(4) 横方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{M_{c s 1}}{Z_{sy}} + \frac{M_{c s 2}}{Z_{sx}} + \frac{P_c}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{M_{3s}}{Z_{sp}} + \sqrt{\left(\frac{F_{c s 1}}{A_{s3}}\right)^2 + \left(\frac{F_{c s 2}}{A_{s4}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

(5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

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

..... (4.6.1.2.9)

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

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

..... (4.6.1.2.10)

したがって、脚に生じる最大応力は、

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

..... (4.6.1.2.11)

とする。

4.6.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

脚底面に作用するモーメントMと鉛直荷重P_sの比を

$$e = M / P_s \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

とする。なお、M及びP_sは「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

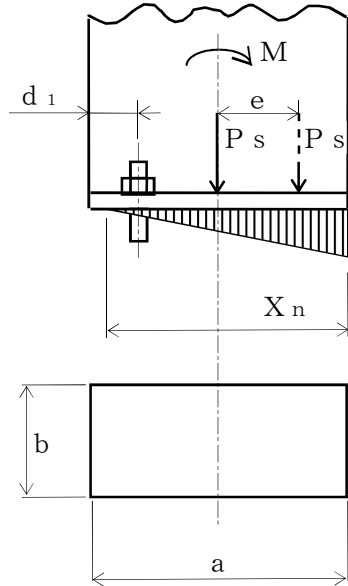


図4-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

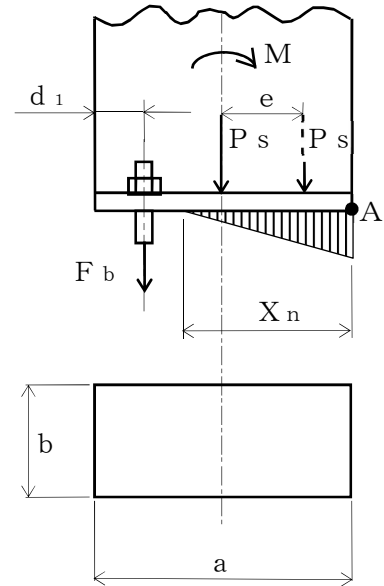


図4-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図4-5のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図4-6のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

の場合及びeが負の場合に、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図4-6において、鉛直方向荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X_nは

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

b. せん断応力

長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 F_{lb} 及びねじりモーメント M_{2b} は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b1} = \frac{F_{lb}}{n \cdot A_b} + \frac{M_{2b}}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2}\right)^2}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

(1)と同様にして求められるが、 M を M_{c1} 、 P_s を P_{s1} 、 d_1 を d_2 、 a を b 、 b を a 及び n_1 を n_2 に置き換え、得られた基礎ボルトの応力を σ_{b2} とする。なお、 M_{c1} 及び P_{s1} は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

b. せん断応力

横方向及び鉛直方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 F_{cb} 及びねじりモーメント M_{3b} は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b2} = \frac{F_{cb}}{n \cdot A_b} + \frac{M_{3b}}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2}\right)^2}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.8)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

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

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.9)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力} (\tau_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.10)$$

4.6.1.4 追設基礎ボルトの計算方法

追設基礎ボルトの応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析で得られた荷重及びモーメントから理論式により、引張応力及びせん断応力を算出する。

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

計算モデルを図 4-7 に、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析で得られた追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメントを表 4-7 に示す。

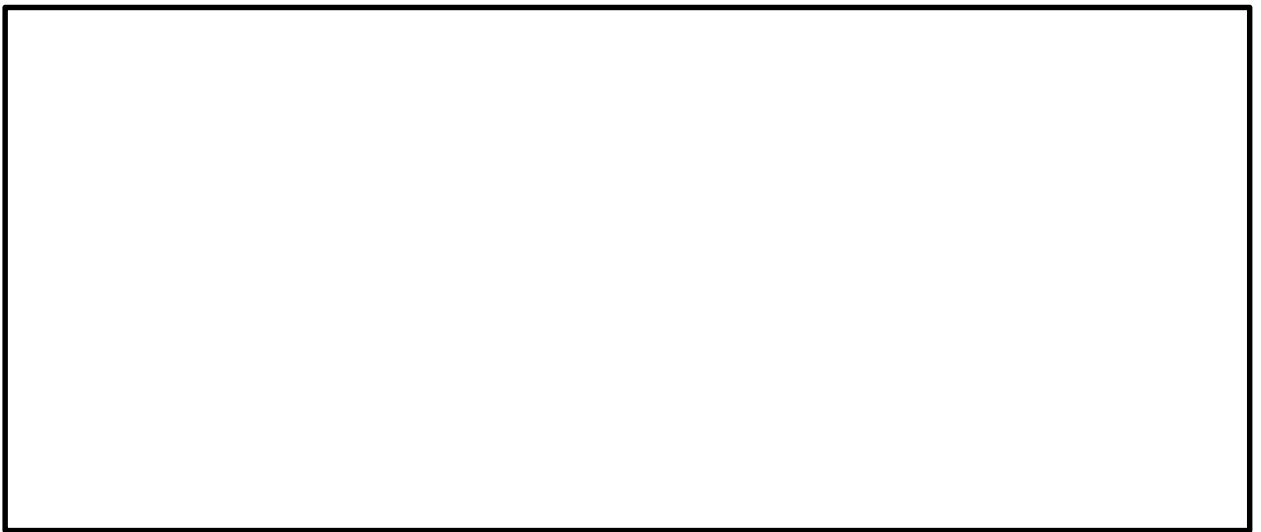


図 4-7 追設基礎ボルトの計算モデル

表 4-7 追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメント (その 1)

荷重 (N)			モーメント (N・mm)		
F _{1X}	F _{1Y}	F _{1Z}	M _{1X}	M _{1Y}	M _{1Z}

a. 引張応力

長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力は、次式により求める。

$$\sigma_{ba1} = \frac{F_{1Z}}{n_{1aZ} \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1X}}{\ell_{2a} \cdot n_{1aX} \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1Y}}{\ell_{1a} \cdot n_{1aY} \cdot A_{ba}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.1)$$

ここで、追設基礎ボルトの軸断面積 A_{ba} は次式により求める。

$$A_{ba} = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 \dots\dots\dots (4.6.1.4.2)$$

b. せん断応力

長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力は、次式により求める。

$$\tau_{ba1} = \frac{\sqrt{F_{1X}^2 + F_{1Y}^2}}{n_a \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1Z}}{n_a \cdot A_{ba} \cdot \frac{\ell_{1a}}{2}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.3)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

計算モデルは図4-7と同様だが、 F_{1X} を F_{2X} 、 F_{1Y} を F_{2Y} 、 F_{1Z} を F_{2Z} 、 M_{1X} を M_{2X} 、 M_{1Y} を M_{2Y} 及び M_{1Z} を M_{2Z} に置き換える。「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析で得られた追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメントを表4-8に示す。

表4-8 追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメント (その2)

荷重 (N)			モーメント (N・mm)		
F_{2X}	F_{2Y}	F_{2Z}	M_{2X}	M_{2Y}	M_{2Z}

a. 引張応力

(1) a.と同様にして求められるが、 F_{1Z} を F_{2Z} 、 M_{1X} を M_{2X} 、 M_{1Y} を M_{2Y} 、 n_{1aX} を n_{2aX} 、 n_{1aY} を n_{2aY} 及び n_{1aZ} を n_{2aZ} に置き換え、得られた追設基礎ボルトの応力を σ_{ba2} とする。

b. せん断応力

(1) b.と同様にして求められるが、 M_{1Z} を M_{2Z} 、 F_{1X} を F_{2X} 、 F_{1Y} を F_{2Y} に置き換え、得られた追設基礎ボルトの応力を τ_{ba2} とする。

(3) 追設基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた追設基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_{ba} 及び τ_{ba} とする。

a. 追設基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_{ba} = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{ba1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{ba2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.4.4)$$

b. 追設基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_{ba} = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{ba1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{ba2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.4.5)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴の応力評価

4.6.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a
	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	$0.6 \cdot S_u$
一次応力 (一次膜応力+ 一次曲げ応力)	上記の 1.5 倍の値
一次+二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。
一次+二次 +ピーク応力	

4.8.2 脚の応力評価

4.6.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は下表による。

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

4.8.3 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

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

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

4.8.4 追設基礎ボルトの応力評価

4.6.1.4項で求めた追設基礎ボルトの引張応力 σ_{ba} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsa} 以下であること。ただし、 f_{toa} は下表による。

$$f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_{ba}, f_{toa}] \quad \dots\dots\dots (4.8.4.1)$$

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

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉浄化系補助熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) Wichman, K.R. et al.:Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.
- (3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉浄化系補助 熱交換器	B	原子炉建物 EL 23.8*1		0.05 以下	—	—	$C_{HNS}=1.44^{*2}$ $C_{HEW}=1.73^{*2}$	$C_V=1.54^{*2}$	1.37	85	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る震度

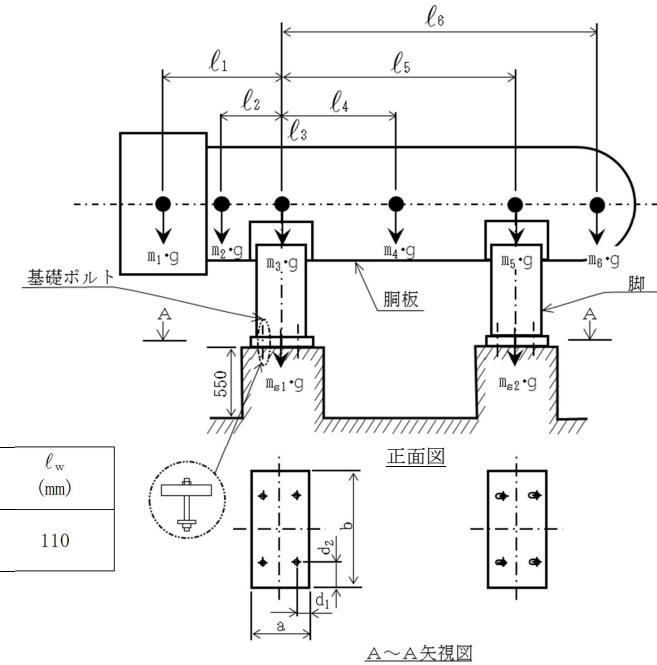
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)
-1037	-501	0	1249	2500	3049

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	θ _w (rad)	l _w (mm)
			750	12.0	24.0*1	2500	719	950	0.366	110

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	Z _{sp} (mm ³)	θ _o (rad)	θ (rad)
325	150	1.710×10 ⁹	9.954×10 ⁷	5.262×10 ⁵	6.636×10 ⁵	1.945×10 ⁵	2.190	1.317



A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
2.653×10^4	199000*2	199000*2	1.274×10^4	1.390×10^4	8.897×10^3	1.221×10^4

K_{11} *4	K_{12} *4	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	350	700	20 (M20)	314.2	75	150

n_a	n_{1ax}	n_{1ay}	n_{1az}	n_{2ax}	n_{2ay}	n_{2az}	ℓ_{1a} (mm)	ℓ_{2a} (mm)	d_a (mm)	A_{ba} (mm^2)

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)
205*2	394*2	218*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	377*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	261

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)	S_y (追設基礎ボルト) (MPa)	S_u (追設基礎ボルト) (MPa)	F^* (追設基礎ボルト) (MPa)
231*3 (16mm<径 \leq 40mm)	394*3 (16mm<径 \leq 40mm)	276	231*3 (16mm<径 \leq 40mm)	394*3 (16mm<径 \leq 40mm)	276

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

*4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
運転時質量による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} = 28$	—	$\sigma_{x 2} = 28$
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 43$	—	$\sigma_{x 6} = 43$
長手方向地震により 胴軸断面全面に生じる 応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{x 21} = 46$ $\sigma_{x 413} = 5$	—	—
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell 1} = 2$	—	$\tau_{c 1} = 1$
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{o \ell} = 115$		$\sigma_{o c} = 93$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
運転時質量による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} = 28$	—	$\sigma_{x 2} = 28$
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 43$	—	$\sigma_{x 6} = 43$
運転時質量による 脚反力により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 11$	$\sigma_{x 3} = 11$	$\sigma_{\phi 3} = 11$	$\sigma_{x 3} = 11$
鉛直方向地震による 脚反力により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 17$	$\sigma_{x 71} = 17$	$\sigma_{\phi 71} = 17$	$\sigma_{x 71} = 17$
長手方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21} = 46$	—	—
横方向地震による 横方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 22} = 8$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{\phi 411} = 11$ $\sigma_{\phi 412} = 4$ $\sigma_{\phi 41} = 14$	$\sigma_{x 411} = 5$ $\sigma_{x 412} = 4$ $\sigma_{x 413} = 5$ $\sigma_{x 41} = 12$	$\sigma_{\phi 51} = 9$	$\sigma_{x 51} = 20$
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} = 17, \tau_{\ell 1} = 2$	—	$\tau_c = 6, \tau_{c 1} = 1$
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{1 \ell} = 147$		$\sigma_{1 c} = 126$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位 : MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6} = 43$	—	$\sigma_{x6} = 43$
鉛直方向地震による 脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 17$ $\sigma_{\phi 72} = 55$	$\sigma_{x71} = 17$ $\sigma_{x72} = 31$	$\sigma_{\phi 71} = 17$ $\sigma_{\phi 72} = 55$	$\sigma_{x71} = 17$ $\sigma_{x72} = 31$
長手方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x21} = 46$	—	—
横方向地震による 横方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x22} = 8$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} = 14$	$\sigma_{x41} = 12$	$\sigma_{\phi 51} = 9$ $\sigma_{\phi 52} = 56$	$\sigma_{x51} = 20$ $\sigma_{x52} = 26$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} = 13$ $\sigma_{\phi 422} = 12$	$\sigma_{x421} = 24$ $\sigma_{x422} = 7$		
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} = 25$	$\sigma_{x42} = 30$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} = 17, \tau_{\ell 1} = 2$		$\tau_c = 6, \tau_{c1} = 1, \tau_{c2} = 0$	
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\ell} = 263$		$\sigma_{2c} = 214$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位 : MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
	せん断	—	—	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 4$	$\sigma_{s4} = 4$
	せん断	—	—	$\tau_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 37$	$\sigma_{s3} = 11$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 9$	$\tau_{s3} = 7$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell} = 42$	$\sigma_{sc} = 18$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位 : MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 187$	$\sigma_{b2} = 179$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 62$	$\tau_{b2} = 61$

1.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位 : MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{ba1} = 30$	$\sigma_{ba2} = 17$
	せん断	—	—	$\tau_{ba1} = 9$	$\tau_{ba2} = 3$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 = 0.05$ 以下

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB42	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 115$	$S_a = 236$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 147$	$S_a = 355$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 263$	$S_a = 410$
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 42$	$f_{tm} = 261$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 187$	$f_{ts} = 191^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 62$	$f_{sb} = 159$
追設基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_{ba} = 30$	$f_{tsa} = 165^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 9$	$f_{sba} = 127$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2: $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_{ba}, f_{toa}]$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	135
節点数	—	個	172

VI-2-11-2-7-8 グランド蒸気排ガスフィルタの耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 適用規格・基準等	4
3. 固有周期	5
3.1 固有周期の計算	5
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
4.3 計算条件	6
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるグラウンド蒸気排ガスフィルタ（Bクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラスである非常用ガス処理系配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料配管等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

なお、グラウンド蒸気排ガスフィルタは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

グラウンド蒸気排ガスフィルタは、タービン建物1階に設置されている。グラウンド蒸気排ガスフィルタは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である非常用ガス処理系配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料配管及び非常用ディーゼル発電設備A-燃料配管に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は、非常用ガス処理系配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料配管及び非常用ディーゼル発電設備A-燃料配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

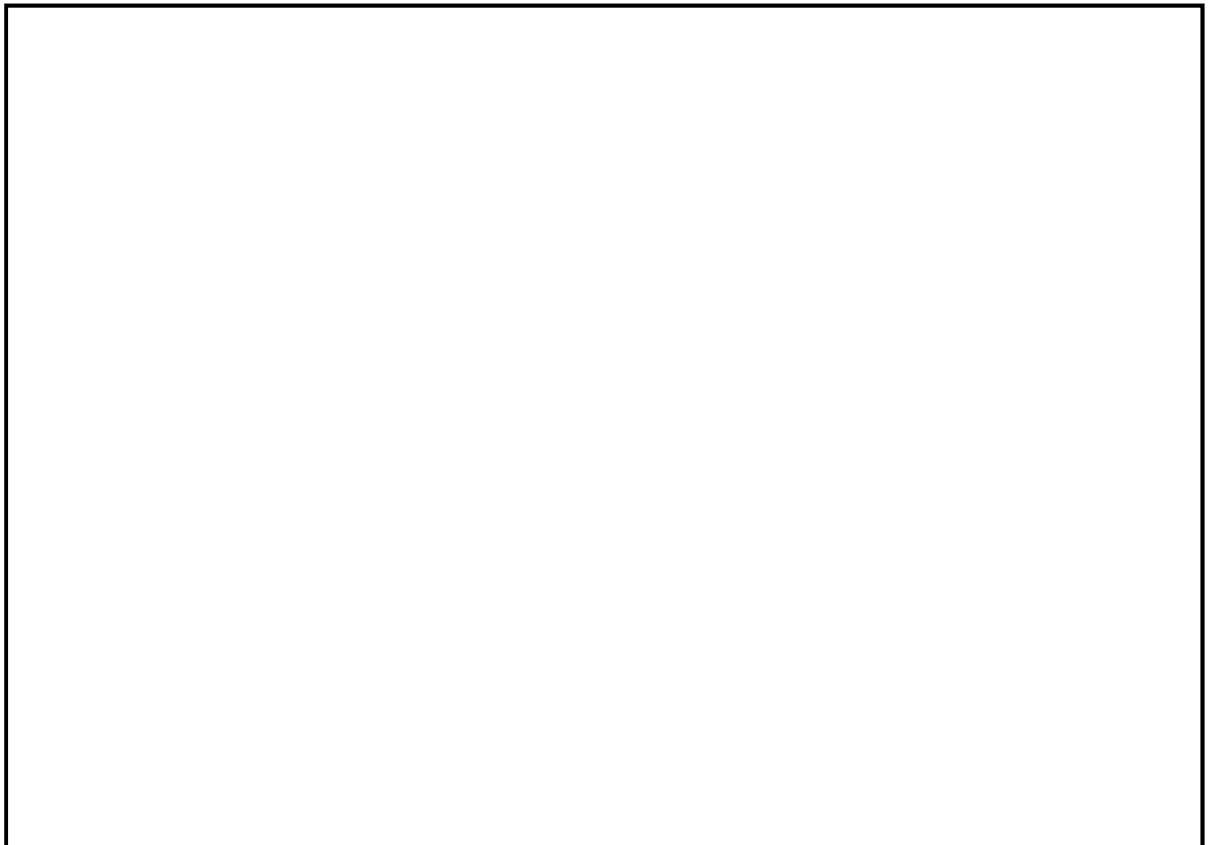


図2-1 グラウンド蒸気排ガスフィルタと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

グラント蒸気排ガスフィルタの構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を当板を介して2個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>(単位：mm)</p>

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。）

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【グラ
ンド蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算
結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

水平 (長手方向)			
水平 (横方向)			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

グラント蒸気排ガスフィルタの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき、グラント蒸気排ガスフィルタの転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連する脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

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、S R S S法を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

グラント蒸気排ガスフィルタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

グラント蒸気排ガスフィルタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

グラント蒸気排ガスフィルタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【グラント蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

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
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	グラウンド蒸気排ガスフィルタ	B	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	グラウンド蒸気排ガスフィルタ	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)			

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*：SS400相当

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*：SS400相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

グラウンド蒸気排ガスフィルタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

グラウンド蒸気排ガスフィルタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【グラウンド蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
グラウンド蒸気 排ガスフィルタ	B	タービン建物 EL 5.5*1			—	—	C _H =2.18*2	C _V =1.05*2	—	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

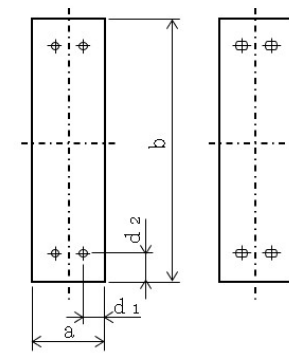
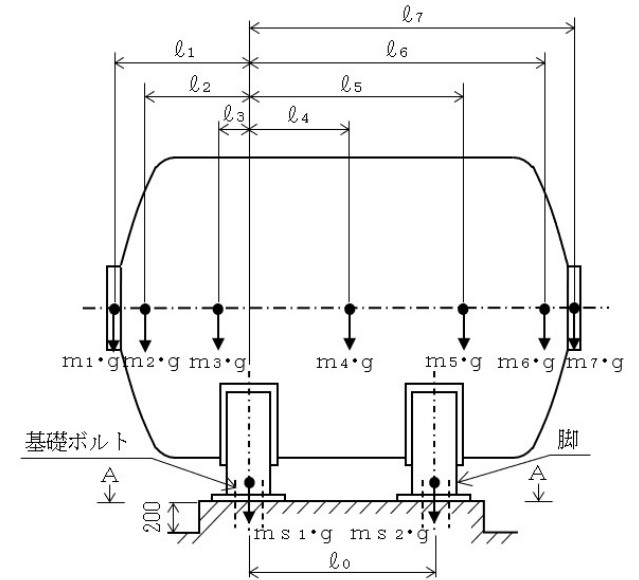
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-940	-795	-225	650	1525	2095	2240	2.010×10 ⁴	2.010×10 ⁴

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
			1300	800	1364

I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)
1.500×10 ¹⁰	1.351×10 ⁸	1.667×10 ⁷	9.007×10 ⁵



A~A矢視図

(単位：mm)

S2 補 VI-2-11-2-7-8 R1

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
3.540×10^4	201000*	77300*	1.599×10^4	1.679×10^4	1.202×10^4	1.418×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	500	2000	24 (M24)	452.4	150	250

S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
241* (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	394* (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	—	276	231* ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	394* ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	—	276

注記* : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 脚に生じる応力

(単位: MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 1$	$\sigma_{s4} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 50$	$\sigma_{s3} = 5$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 9$	$\tau_{s3} = 4$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{st} = 53$	$\sigma_{sc} = 9$

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位: MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 183$	$\sigma_{b2} = 50$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 59$	$\tau_{b2} = 30$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

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

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SS41	組合せ	—	—	$\sigma_s = 53$	$f_{tm} = 276$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 183$	$f_{ts} = 195^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 59$	$f_{sb} = 159$

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

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
グラウンド蒸気 排ガスフィルタ	—	タービン建物 EL 5.5*1			—	—	C _H =2.18*2	C _V =1.05*2	—	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

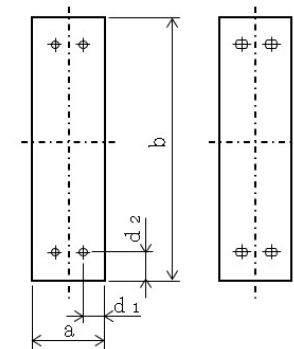
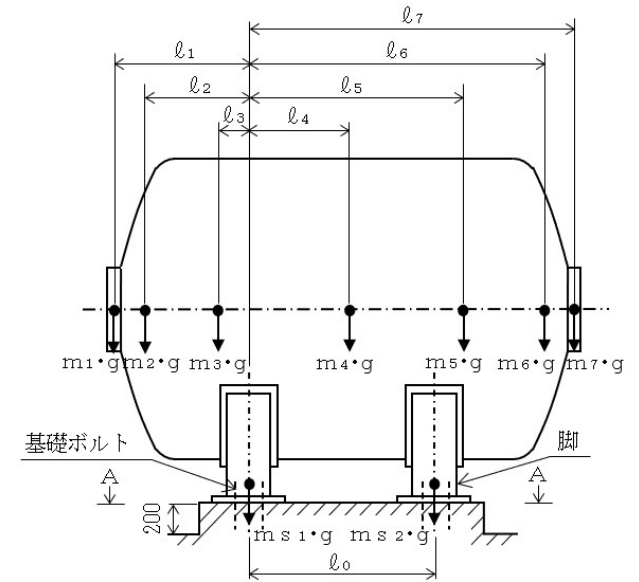
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)	l ₇ (mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-940	-795	-225	650	1525	2095	2240	2.010×10 ⁴	2.010×10 ⁴

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
			1300	800	1364

I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)
1.500×10 ¹⁰	1.351×10 ⁸	1.667×10 ⁷	9.007×10 ⁵



A～A矢視図

(単位：mm)

S2 補 VI-2-11-2-7-8 R1

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
3.540×10^4	201000*	77300*	1.599×10^4	1.679×10^4	1.202×10^4	1.418×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	500	2000	24 (M24)	452.4	150	250

S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
241* (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	394* (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	—	276	231* ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	394* ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	—	276

注記* : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 1$	$\sigma_{s4} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 50$	$\sigma_{s3} = 5$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 9$	$\tau_{s3} = 4$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{st} = 53$	$\sigma_{sc} = 9$

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 183$	$\sigma_{b2} = 50$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 59$	$\tau_{b2} = 30$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T ₁ = <input type="text"/>
横方向	T ₂ = <input type="text"/>
鉛直方向	T ₃ = <input type="text"/>

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SS41	組合せ	—	—	$\sigma_s = 53$	$f_{tm} = 276$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 183$	$f_{ts} = 195^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 59$	$f_{sb} = 159$

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-9 格納容器空気置換排風機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
3. 構造強度評価	4
3.1 構造強度評価方法	4
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
3.3 計算条件	4
4. 評価結果	7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果	7

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である格納容器空気置換排風機（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉棟空調換気系入口隔離弁に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

なお、格納容器空気置換排風機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

格納容器空気置換排風機は、原子炉建物3階に設置されている。格納容器空気置換排風機は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉棟空調換気系入口隔離弁に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は、原子炉棟空調換気系入口隔離弁に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

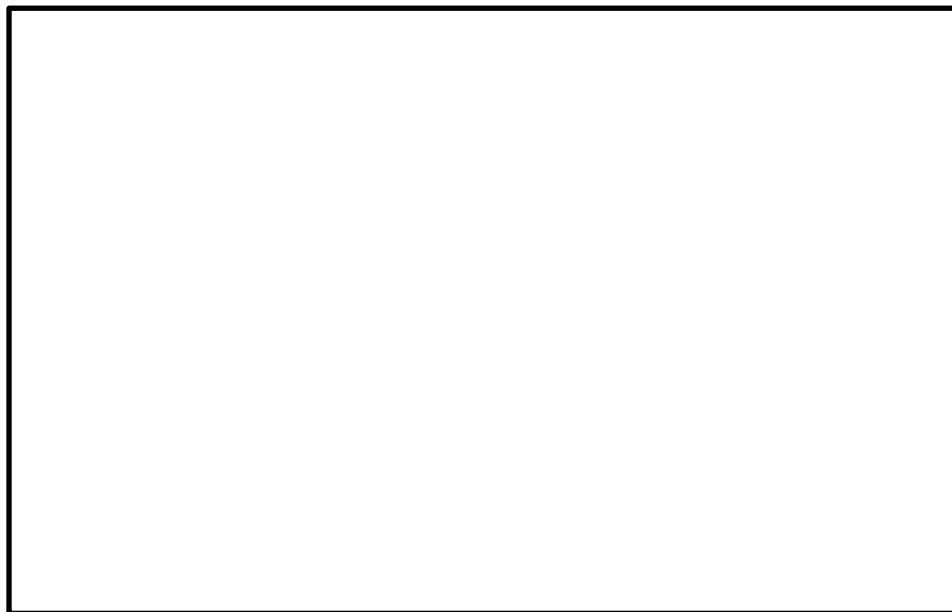


図2-1 格納容器空気置換排風機と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

格納容器空気置換排風機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファン等はベースにケーシング 取付ボルト及び 原動機取付ボ ルトで固定され、 ベースは基礎ボ ルトで基礎に据 え付ける。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファ ン)</p>	<p>(全体図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

格納容器空気置換排風機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器空気置換排風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

格納容器空気置換排風機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器空気置換排風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【格納容器空気置換排風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理 設備	換気設備	格納容器空気置換排風機	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-2 許容応力（その他の支持構造物）

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

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

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

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—
ケーシング取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	最高使用温度	66	206	385	—
原動機取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器空気置換排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		排風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
格納容器空気置換排風機	C	原子炉建物 EL 34.8* ¹	—* ²	—* ²	—	—	C _H =2.87* ³	C _V =1.87* ³	C _p = <input type="text"/>	66	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} * ¹ (mm)	l _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} * ¹
基礎ボルト (i=1)							12	5
								1
ケーシング取付ボルト (i=2)							5	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	206* ² (40mm<径≤100mm)	385* ² (40mm<径≤100mm)	—	247	—	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	206* ³ (40mm<径≤100mm)	385* ³ (40mm<径≤100mm)	—	247	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	206* ² (40mm<径≤100mm)	385* ² (40mm<径≤100mm)	—	247	—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ケーシング取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

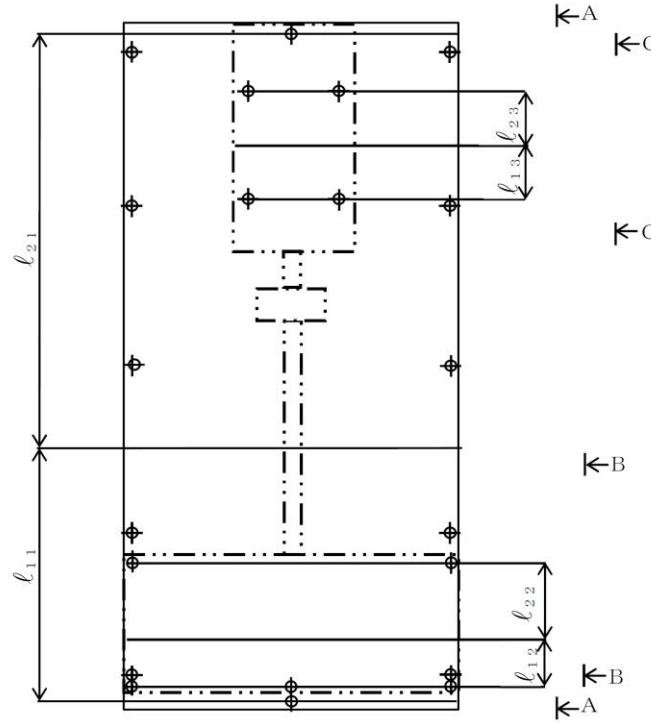
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

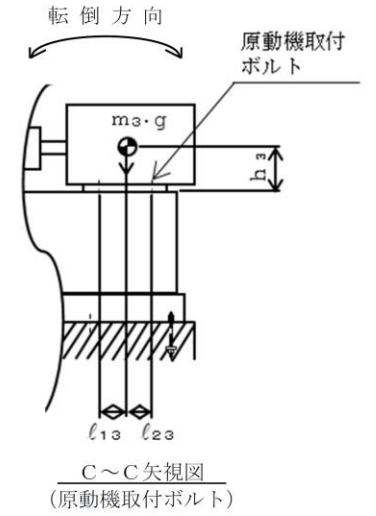
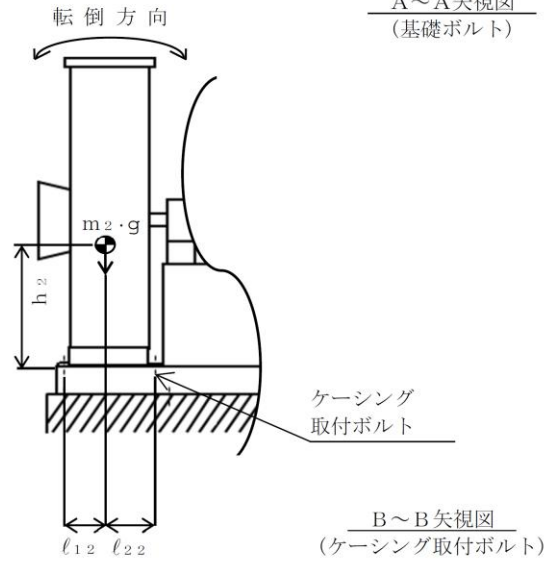
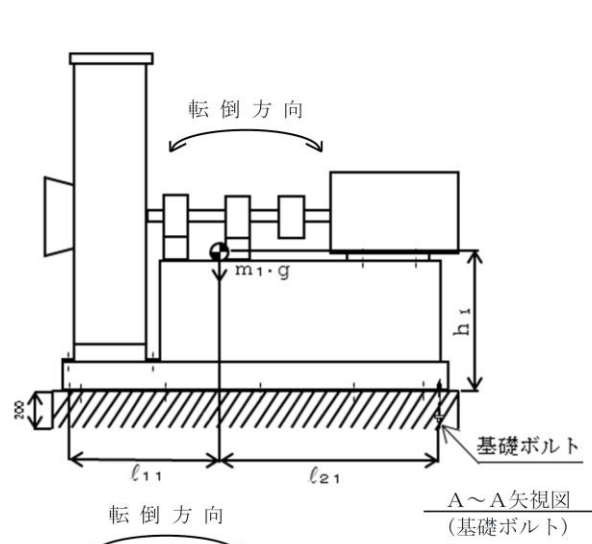
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=180$	$f_{ts1}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=26$	$f_{sb1}=142$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=106$	$f_{ts2}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=23$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b3}=31$	$f_{ts3}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=17$	$f_{sb3}=142$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。



$(l_{1i} \leq l_{2i})$



VI-2-11-2-7-10 中央制御室天井設置設備の耐震性についての計算書

目 次
(概要)

1. 概要 1-1

S2 補 VI-2-11-2-7-10 R1

目 次
(中央制御室天井照明)

2.	中央制御室天井照明	2-1
2.1	概要	2-1
2.2	一般事項	2-1
2.2.1	配置概要	2-1
2.2.2	構造計画	2-1
2.2.3	評価方針	2-4
2.2.4	適用規格・基準等	2-5
2.2.5	記号の説明	2-6
2.2.6	計算精度と数値の丸め方	2-10
2.3	評価部位	2-11
2.4	地震応答解析及び構造強度評価	2-11
2.4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	2-11
2.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	2-11
2.4.3	解析モデル及び諸元	2-16
2.4.4	固有周期	2-19
2.4.5	設計用地震力	2-21
2.4.6	計算方法	2-22
2.4.7	計算条件	2-28
2.4.8	応力の評価	2-28
2.5	評価結果	2-32
2.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	2-32
2.5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	2-32

目 次

(排煙ダクト (中央制御室排煙設備系))

3. 排煙ダクト (中央制御室排煙設備系)	3-1
3.1 概要	3-1
3.2 一般事項	3-1
3.2.1 配置概要	3-1
3.2.2 構造計画	3-1
3.2.3 ダクト設計の基本方針	3-3
3.2.4 適用規格・基準等	3-5
3.2.5 記号の説明	3-6
3.2.6 計算精度と数値の丸め方	3-7
3.3 評価部位	3-8
3.4 固有振動数の計算方法	3-8
3.4.1 計算モデル	3-8
3.4.2 固有振動数計算方法	3-8
3.5 構造強度評価	3-9
3.5.1 構造強度評価方法	3-9
3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	3-9
3.5.3 設計用地震力	3-14
3.6 排煙ダクトの耐震性確認結果	3-15
3.7 支持構造物設計の基本方針	3-16
3.7.1 支持構造物の構造及び種類	3-16
3.7.2 支持構造物の考慮事項	3-17
3.7.3 支持構造物の耐震性確認	3-18
3.8 引用文献	3-18

目 次
(防煙垂れ壁)

4. 防煙垂れ壁	4-1
4.1 概要	4-1
4.2 一般事項	4-1
4.2.1 配置概要	4-1
4.2.2 構造計画	4-2
4.2.3 評価方針	4-3
4.2.4 適用規格・基準等	4-4
4.2.5 記号の説明	4-5
4.2.6 計算精度と数値の丸め方	4-7
4.3 評価部位	4-8
4.4 固有周期	4-8
4.4.1 固有周期の計算方法	4-8
4.4.2 固有周期の計算条件	4-9
4.4.3 固有周期の計算結果	4-9
4.5 構造強度評価	4-10
4.5.1 構造強度評価方法	4-10
4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	4-10
4.5.3 設計用地震力	4-14
4.5.4 計算方法	4-15
4.5.5 計算条件	4-18
4.5.6 応力の評価	4-18
4.6 評価結果	4-19
4.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	4-19
4.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	4-19

1. 概要

本書は、工事計画認可申請書に添付する波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設のうち、中央制御室天井に設置している下記設備の耐震計算について、説明するものである。

- ・ 中央制御室天井照明
- ・ 排煙ダクト（中央制御室排煙設備系）
- ・ 防煙垂れ壁

2. 中央制御室天井照明

2.1 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である中央制御室天井照明（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 配置概要

中央制御室天井照明は、制御室建物4階の天井に設置される。中央制御室天井照明は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管の上部に設置されていることから、地震時に本機器が落下した場合は、上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

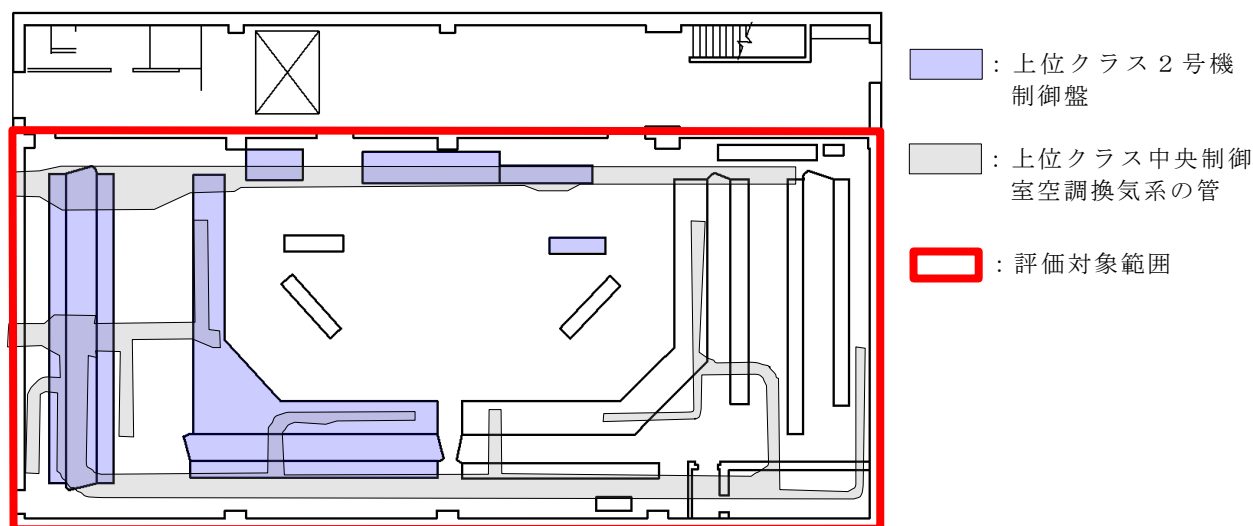


図 2-1 中央制御室天井照明と原子炉制御盤等の位置関係図

2.2.2 構造計画

中央制御室天井照明の構造計画を表2-1、表2-2に示す。

表 2-1 中央制御室天井照明の構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>U吊型の支持鋼材に照明器具を照明ボルトで固定し、支持鋼材は基礎ボルトによりコンクリート天井に設置される。また、上側と下側の鋼材は、継手ボルトにより接続される。</p>	<p>U吊型による天井照明</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p>	<p>B-B 断面図</p> <p>(単位：mm)</p>
		<p>U吊型</p>	

表 2-2 中央制御室天井照明の構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>直吊型の支持鋼材に照明器具を照明ボルトで固定し、支持鋼材は基礎ボルトによりコンクリート天井に設置される。また、上側と下側の鋼材は、継手ボルトにより接続される。</p>	<p>直吊型による天井照明</p>	<p style="text-align: center;">直吊型</p> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2.3 評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「2.2.2 構造計画」にて示す中央制御室天井照明の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4.3 解析モデル及び諸元」及び「2.4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.4 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5 評価結果」に示す。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図2-2に示す。

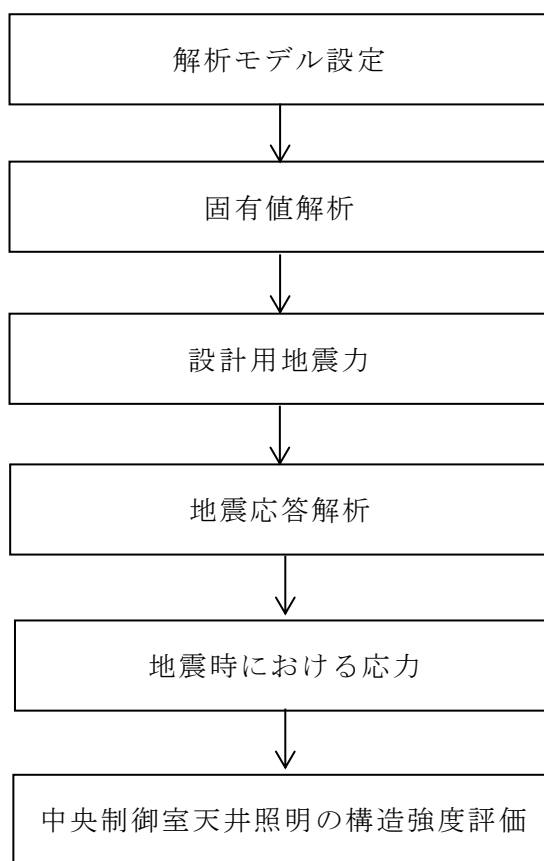


図2-2 中央制御室天井照明の耐震評価フロー

2.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）
（以下「設計・建設規格」という。）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改訂）

2.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A B i	ボルトの呼び径断面積*	mm ²
A C	コーン状破壊面の有効水平投影面積	mm ²
A q c	せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積	mm ²
A S	支持鋼材・補強斜材の断面積	mm ²
A s S	支持鋼材・補強斜材のせん断断面積	mm ²
A s y S	支持鋼材・補強斜材の1軸方向のせん断断面積	mm ²
A s z S	支持鋼材・補強斜材の2軸方向のせん断断面積	mm ²
A W	溶接断面の断面積	mm ²
c	へりあき寸法	mm
C H (E W)	水平設計震度 (EW方向)	—
C H (N S)	水平設計震度 (NS方向)	—
C V	鉛直設計震度	—
c σ q a	コンクリートの支圧強度	MPa
c σ t	コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度	MPa
D	基礎ボルト本体の直径	mm
d o i	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
E c	コンクリートの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F *	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F c	コンクリートの設計基準強度	MPa
F x B i	ボルトのx軸方向に作用する荷重*	N
F y B i	ボルトのy軸方向に作用する荷重*	N
F z B i	ボルトのz軸方向に作用する荷重*	N
F x	継手位置におけるx軸方向荷重	N
F x S	支持鋼材・補強斜材の軸力	N
F x W	溶接箇所におけるx軸方向荷重 (軸力)	N
F y	継手位置におけるy軸方向荷重	N
F y S	支持鋼材・補強斜材の1軸方向のせん断荷重	N
F y W	溶接箇所におけるy軸方向荷重 (せん断力)	N
F z	継手位置におけるz軸方向荷重	N
F z S	支持鋼材・補強斜材の2軸方向のせん断荷重	N
F z W	溶接箇所におけるz軸方向荷重 (せん断力)	N

記号	記号の説明	単位
$f_{b m}$	許容曲げ応力	MPa
$f_{c m}$	許容圧縮応力	MPa
$f_{c b 1}$	圧縮と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力①	MPa
$f_{c b 2}$	圧縮と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力②	MPa
$f_{e q}$	垂直応力とせん断応力の許容組合せ応力	MPa
$f_{s m}$	許容せん断応力	MPa
$f_{s b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t m}$	許容引張応力	MPa
$f_{t b 1}$	引張と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力①	MPa
$f_{t b 2}$	引張と曲げを同時に受ける支持鋼材，補強斜材の許容応力②	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
i	断面二次半径	mm
J	ねじり剛性	mm ⁴
L	継手部における4隅のボルト間距離の半分	mm
l	基礎ボルトの埋込み深さで，母材表面から拡張面先端までの距離	mm
$l_{B i}$	基礎ボルトの埋込み深さ*	mm
$l_{c e}$	強度算定用埋込み深さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
M_x	継手位置のx軸周りの曲げモーメント	N・mm
$M_{x S}$	支持鋼材・補強斜材のねじりモーメント	N・mm
$M_{x W}$	溶接箇所におけるx軸周りのねじりモーメント	N・mm
M_y	継手位置のy軸周りの曲げモーメント	N・mm
$M_{y S}$	支持鋼材・補強斜材のy軸周りの曲げモーメント	N・mm
$M_{y W}$	溶接箇所におけるy軸周りの曲げモーメント	N・mm
M_z	継手位置のz軸周りのねじりモーメント	N・mm
$M_{z S}$	支持鋼材・補強斜材のz軸周りの曲げモーメント	N・mm
$M_{z W}$	溶接箇所におけるz軸周りの曲げモーメント	N・mm
n	継手ボルト総本数	—
n_b	曲げによる引張に寄与するボルト本数	—
n_t	モーメントによるせん断に寄与するボルト本数	—

記号	記号の説明	単位
p_{Bi}	基礎ボルトの引張荷重*	N
p_a	基礎ボルトの許容引張荷重	N
p_{a1}	基礎ボルトの降伏により決まる許容引張荷重	N
p_{a2}	コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重	N
Q_{1Bi}	x軸方向反力によりボルトに生じるせん断荷重とねじりモーメントによりボルトに生じるせん断荷重の和*	N
Q_{2Bi}	y軸方向反力によりボルトに生じるせん断荷重とねじりモーメントによりボルトに生じるせん断荷重の和*	N
q_{Bi}	基礎ボルトのせん断荷重*	N
q_a	基礎ボルトの許容せん断荷重	N
q_{a1}	基礎ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重	N
q_{a2}	コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重	N
q_{a3}	コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断荷重	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$s_c a$	ボルトの最小断面積又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値	mm ²
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$s\sigma_{pa}$	基礎ボルトの引張強度	MPa
$s\sigma_{qa}$	基礎ボルトのせん断強度	MPa
$s\sigma_y$	基礎ボルトの降伏点強度	MPa
T_{1Bi}	軸方向反力によりボルトに生じる引張荷重*	N
T_{2Bi}	x軸周り曲げモーメントによりボルトに生じる引張荷重*	N
T_{3Bi}	y軸周り曲げモーメントによりボルトに生じる引張荷重*	N
Z_S	支持鋼材・補強斜材の断面係数	mm ³
Z_{pS}	支持鋼材・補強斜材の極断面係数	mm ³
Z_{yS}	支持鋼材・補強斜材のy軸周りの断面係数	mm ³
Z_{yW}	溶接断面のy軸周りの断面係数	mm ³
Z_{zS}	支持鋼材・補強斜材のz軸周りの断面係数	mm ³
Z_{zW}	溶接断面のz軸周りの断面係数	mm ³
Z_{pW}	溶接断面の極断面係数	mm ³
α_c	施工のばらつきを考慮した低減係数	—
Λ	限界細長比	—

記号	記号の説明	単位
γ	単位体積重量	kN/m ³
λ	有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_{bS}	支持鋼材・補強斜材に生じる曲げ応力	MPa
σ_{cb1S}	支持鋼材・補強斜材の圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力①	MPa
σ_{cb2S}	支持鋼材・補強斜材の圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力②	MPa
σ_{cS}	支持鋼材・補強斜材に生じる圧縮応力	MPa
σ_{eqS}	支持鋼材・補強斜材に生じる垂直応力とせん断応力の組合せ応力	MPa
σ_{tBi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
σ_{tb1S}	支持鋼材・補強斜材の引張力と曲げモーメントを受ける部材応力①	MPa
σ_{tb2S}	支持鋼材・補強斜材の引張力と曲げモーメントを受ける部材応力②	MPa
σ_{tsBi}	ボルトの引張とせん断応力の組合せ*	MPa
σ_{tS}	支持鋼材・補強斜材に生じる引張応力	MPa
σ_{tR}	補強材の引張応力	MPa
τ_{Bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa
τ_{MtW}	ねじりモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{MW}	曲げモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{NW}	軸力により発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_{QW}	せん断力により発生する溶接箇所のせん断応力	MPa
τ_R	補強材に生じるせん断応力	MPa
τ_S	支持鋼材・補強斜材に生じるせん断応力	MPa
τ_W	溶接断面のせん断応力	MPa
ϕ_1	低減係数	—
ϕ_2	低減係数	—

注記* : A_{Bi} , d_{oi} , F_{xBi} , F_{yBi} , F_{zBi} , l_{Bi} , p_{Bi} , Q_{1Bi} , Q_{2Bi} , q_{Bi} , T_{1Bi} , T_{2Bi} , T_{3Bi} , σ_{tBi} , σ_{tsBi} , τ_{Bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト (メカニカルアンカ)

i = 2 : 継手ボルト

i = 3 : 照明ボルト (取付ボルト)

2.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

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

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

2.3 評価部位

中央制御室天井照明の耐震評価は、「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、U吊型・直吊型両モデルの部材を評価し、支持鋼材、補強斜材、補強材、照明ボルト、継手ボルト、基礎ボルト、溶接部を評価対象とする。

基礎ボルト、コンクリート部は各種合成構造設計指針・同解説に基づいたメカニカルアンカの評価を実施する。溶接部については、補強材部の溶接部は、解析で求めた発生応力で評価し、鋼材間の溶接部は、はり要素端部のせん断力から、溶接断面の応力を算出することで評価する。照明ボルトと取付ボルトは、同サイズ、同材質であり、表 2-1 に示すとおり同軸上にある。そのため、解析で求めた支持鋼材のボルト位置の荷重を使用して応力評価を実施する。

中央制御室天井照明の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 地震応答解析及び構造強度評価

2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 中央制御室天井照明は、U吊型、直吊型の中央制御室天井照明に対し、「2.4.3 解析モデル及び諸元」に示す 3次元 FEMモデルによる地震応答解析を実施する。
- (2) 地震力は、中央制御室天井照明に対して NS 方向、EW 方向及び鉛直方向から個別に作用させ、作用する荷重の算出において S R S S 法にて組合せる。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

中央制御室天井照明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 2-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

2.4.2.2 許容応力

中央制御室天井照明の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-6 に示す。

2.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室天井照明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 2-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-8 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	中央制御室天井照明	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-5 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	中央制御室天井照明	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-6 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS						
VAS (VASとしてIVASの許容限界を 用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 2-7 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
補強材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
支持鋼材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
補強斜材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	周囲環境温度	40	240	—	—
照明ボルト (取付ボルト)	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
継手ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

表 2-8 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
補強材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
支持鋼材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
補強斜材	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	周囲環境温度	40	240	—	—
照明ボルト (取付ボルト)	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
継手ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

2.4.3 解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明（U吊型及び直吊型）の解析モデルを図 2-3 及び図 2-4 に、解析モデルの概要を以下に示す。解析モデル諸元として、表 2-9 に支持鋼材及び補強斜材の断面性能、表 2-10 に溶接断面の断面性能、表 2-11 に質量を示す。また、機器の諸元を本計算書の【中央制御室天井照明（U吊型）の耐震性についての計算結果】及び【中央制御室天井照明（直吊型）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 支持鋼材・補強斜材を軸芯位置ではり要素，補強材をシェル要素，照明器具取付枠，照明器具を集中質量でモデル化した F E Mモデルを用いる。
- (2) 照明器具取付枠，照明器具の質量は，器具取付位置 2 か所に均等に割り振りにて設定する。
- (3) 保守的な条件として，使用する照明器具のうち質量が一番大きい照明器具を耐震評価対象として設定する。
- (4) 拘束条件は，基礎ボルト位置の節点を並進 3 自由度拘束とする。
- (5) 解析コードは，「MSC NASTRAN」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）概要」に示す。

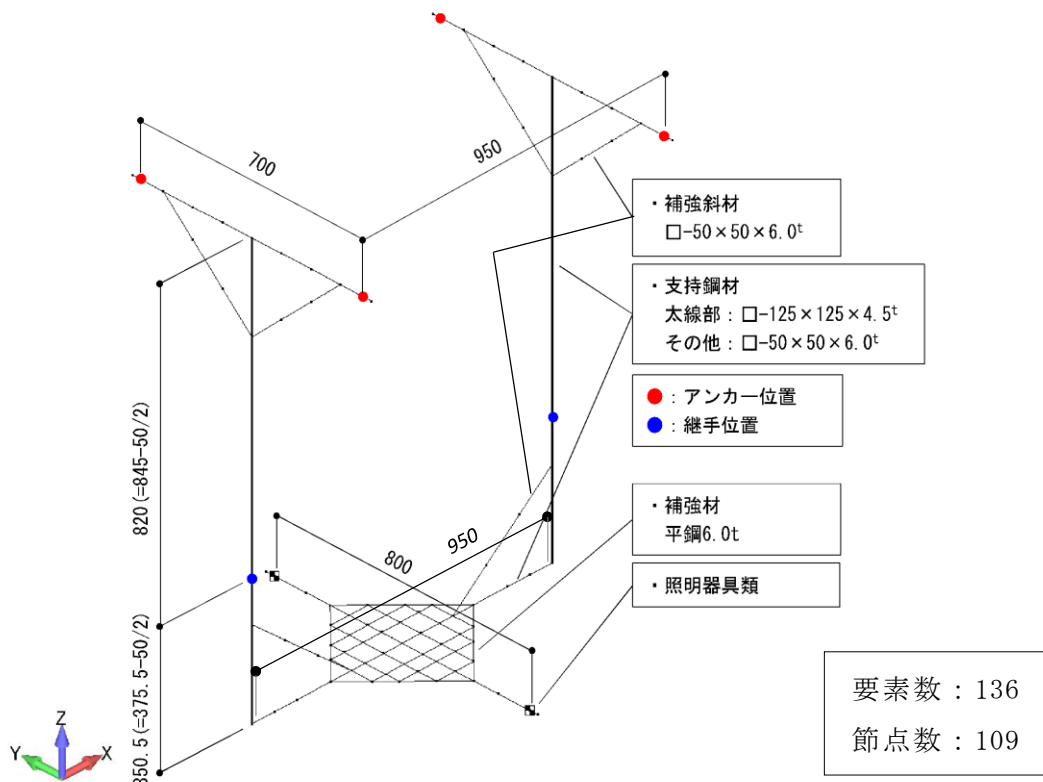


図 2-3 中央制御室天井照明（U吊型）の解析モデル（単位：mm）

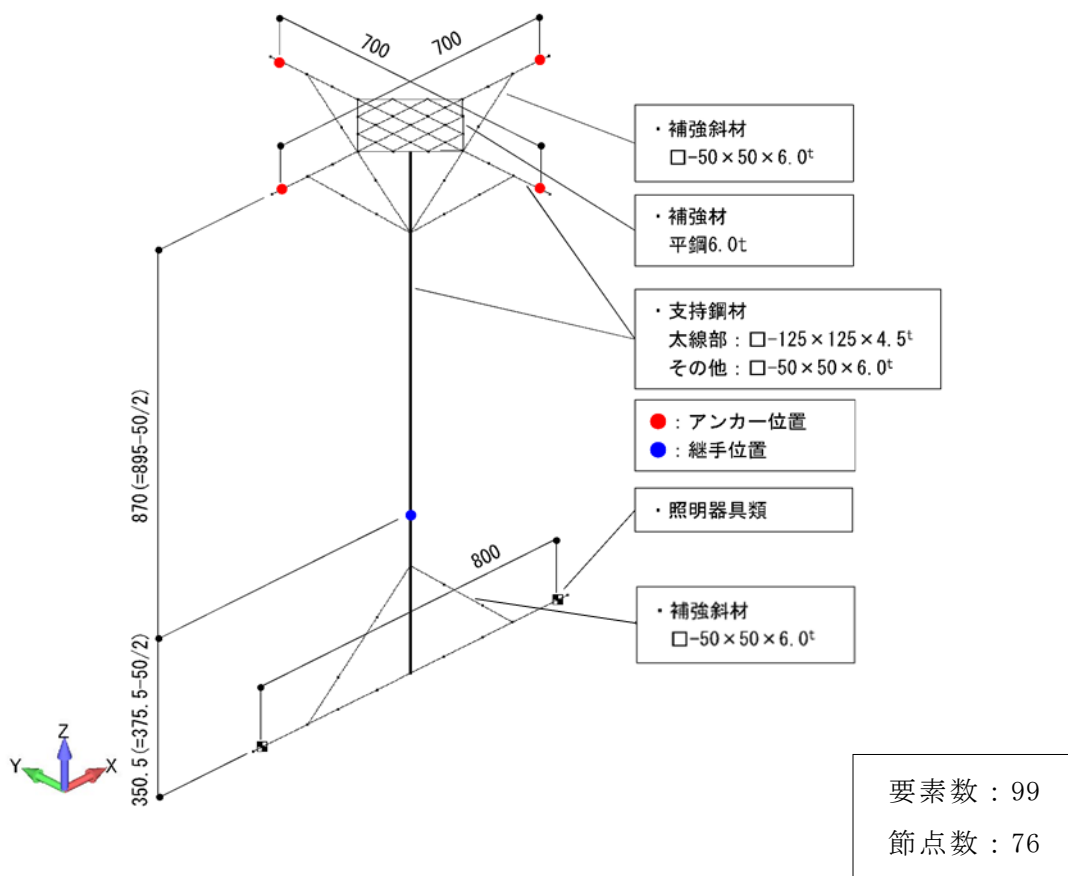


図 2-4 中央制御室天井照明（直吊型）の解析モデル（単位：mm）

表 2-9 断面性能一覧 (支持鋼材・補強斜材)

形状	A _S (mm ²)	A _{s s} (mm ²)	I (mm ⁴)	J (mm ⁴)	Z _S (mm ³)	Z _{p S} (mm ³)
□-50×50× 6.0 ^t	1056	600.0	3.471×10 ⁵	5.111×10 ⁵	1.388×10 ⁴	2.323×10 ⁴
□-125×125 ×4.5 ^t	2117	1125	5.06×10 ⁶	7.874×10 ⁶	8.09×10 ⁴	1.307×10 ⁵

表 2-10 断面性能一覧 (溶接断面)

照明吊 タイプ	形状	A _w (mm ²)	Z _{y w} (mm ³)	Z _{z w} (mm ³)	Z _{p w} (mm ³)
共通	□-54.41×54.41 ×2.205 ^t	460.4	7.701×10 ³	7.701×10 ³	1.202×10 ⁴
U吊型	C-129.41× 49.055×2.205 ^t	492.0	1.907×10 ⁴	2.922×10 ³	3.616×10 ²
直吊型	□-129.41× 54.41×2.205 ^t	791.2	1.599×10 ⁴	2.610×10 ⁴	2.929×10 ⁴

表 2-11 質量

部位	質量 (kg)
照明器具取付枠, 照明器具	26.27
U吊型支持鋼材	91.22
直吊型支持鋼材	53.76

2.4.4 固有周期

固有周期解析の結果を表 2-12 及び表 2-13 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。また、振動モード図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

表 2-12 U吊型モデル 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.035	—	—	—

表 2-13 直吊型モデル 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平	0.031	—	—	—

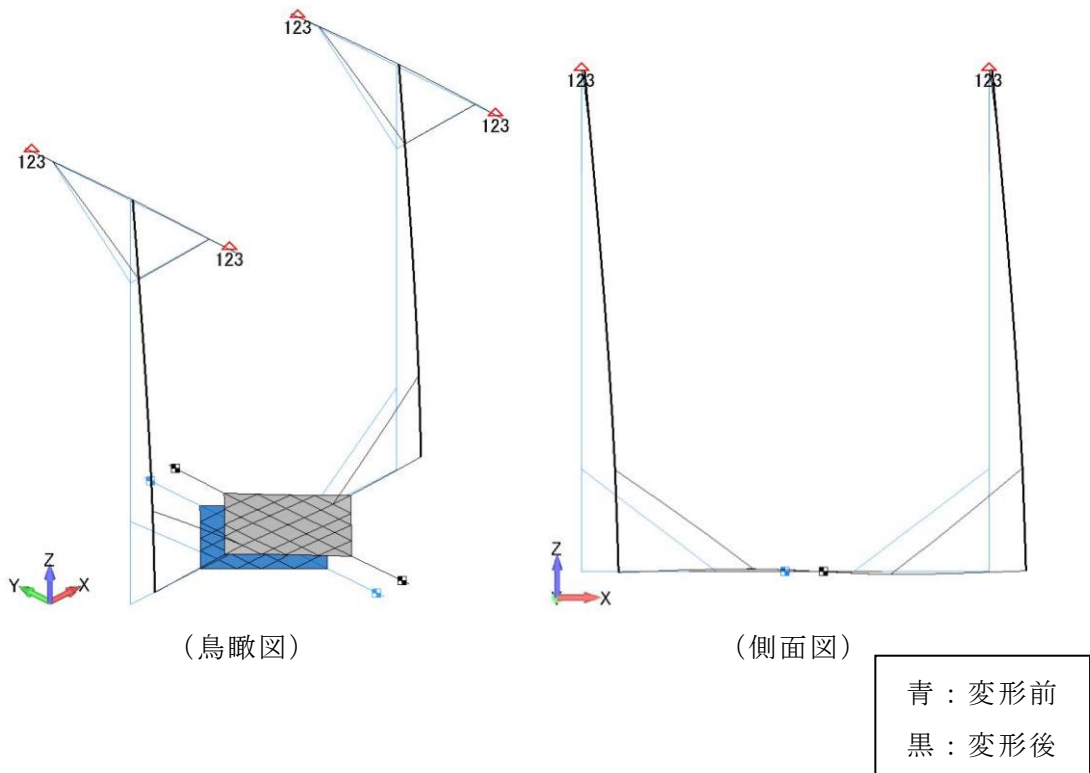


図 2-5 U吊型モデル 振動モード図 (1次モード 水平方向 0.035s)

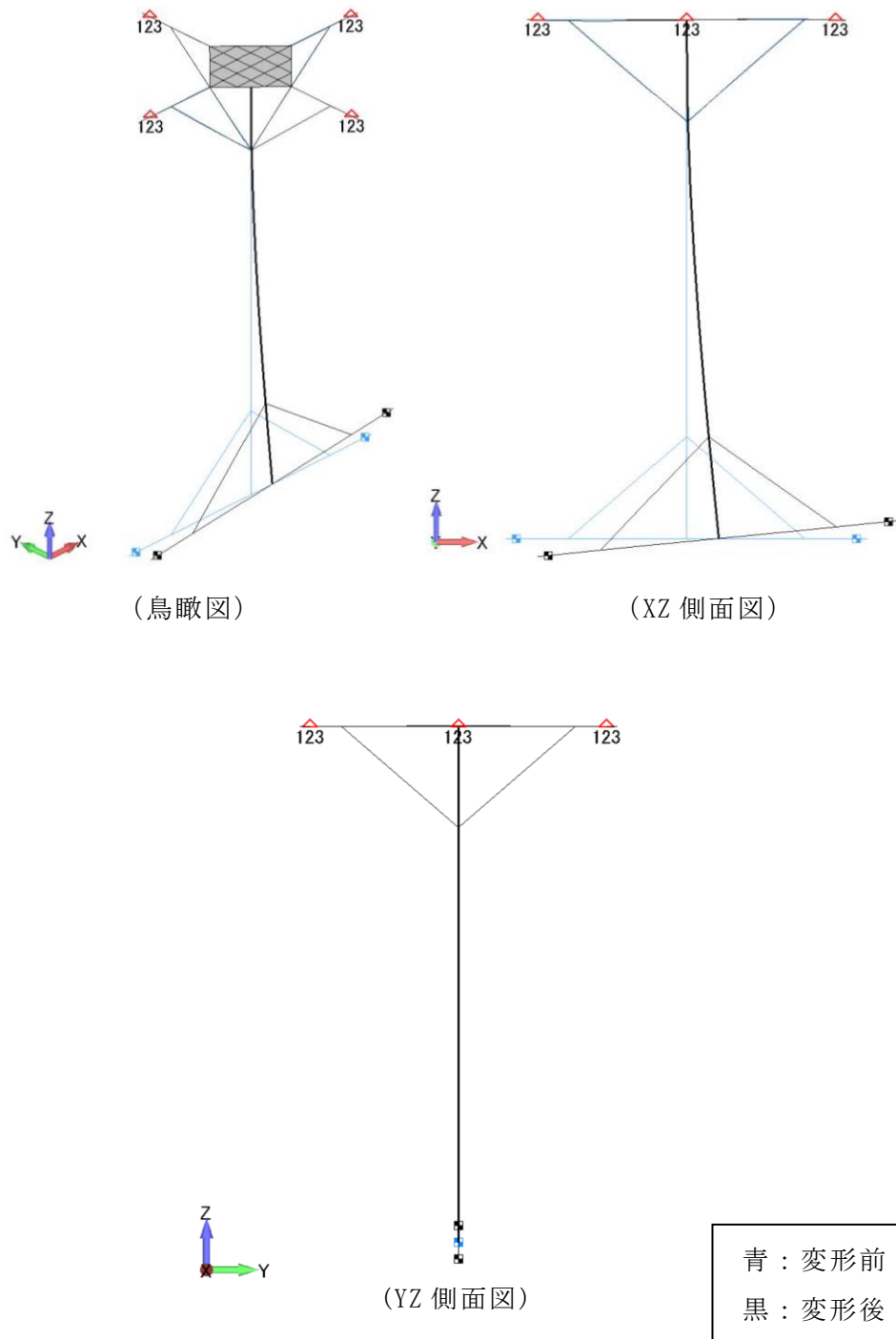


図 2-6 直吊型モデル 振動モード図 (1 次モード 水平方向 0.031s)

2.4.5 設計用地震力

中央制御室天井照明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 2-14 に、重大事故対処設備の評価に用いるものを表 2-15 に示す。

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

表 2-14 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
制御室建物 EL 22.050*1	0.035	0.05 以下	—	—	$C_{H(NS)} = 3.36^{*2}$	$C_{H(EW)} = 4.86^{*2}$	$C_V = 2.38^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

表 2-15 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
制御室建物 EL 22.050*1	0.035	0.05 以下	—	—	$C_{H(NS)} = 3.36^{*2}$	$C_{H(EW)} = 4.86^{*2}$	$C_V = 2.38^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

2.4.6 計算方法

2.4.6.1 応力の計算方法

自重及び地震力による荷重を絶対値和することにより組合せた荷重から、応力を算出する。

2.4.6.1.1 補強材

補強材は、解析により出力される相当応力（Von-Mises 応力）で評価する。

2.4.6.1.2 支持鋼材・補強斜材

支持鋼材・補強斜材は、解析により出力される荷重から応力を算出する。

以下に、評価項目毎の発生応力の算出式を示す。

(1) 引張応力(軸力 F_{xS} の方向が引張方向)

$$\sigma_{tS} = \frac{F_{xS}}{A_S} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.1)$$

(2) 圧縮応力(軸力 F_{xS} の方向が圧縮方向)

$$\sigma_{cS} = \frac{F_{xS}}{A_S} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.2)$$

(3) せん断応力

$$\tau_S = \sqrt{\left(\frac{F_{yS}}{A_{SyS}}\right)^2 + \left(\frac{F_{zS}}{A_{zS}}\right)^2} + \frac{M_{xS}}{Z_{pS}} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.3)$$

(4) 曲げ応力

$$\sigma_{bS} = \frac{M_{yS}}{Z_{yS}} + \frac{M_{zS}}{Z_{zS}} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.4)$$

(5) 組合せ応力

$$\sigma_{eqS} = \sqrt{(\sigma_{tS} + \sigma_{bS})^2 + 3\tau_S^2} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.5)$$

(6) 組合せ応力(圧縮+曲げ)

圧縮力と曲げモーメントを受ける部材応力は、次式を満足することを確認する。

$$\textcircled{1} \frac{\sigma_c S}{f_{cm}} + \frac{\sigma_b S}{f_{bm}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.6)$$

$$\textcircled{2} \frac{\sigma_b S - \sigma_c S}{f_{tm}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.7)$$

(7) 組合せ応力(引張+曲げ)

引張力と曲げモーメントを受ける部材応力は、次式を満足することを確認する。

$$\textcircled{1} \frac{\sigma_t S + \sigma_b S}{f_{tm}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.8)$$

$$\textcircled{2} \frac{\sigma_b S - \sigma_t S}{f_{bm}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.2.9)$$

2.4.6.1.3 照明ボルト(取付ボルト)

照明ボルトは、解析により出力されるボルト1本あたりの荷重、面積から応力を算出する。

以下に、評価項目毎の発生応力の算出式を示す。

(1) 引張応力

$$\sigma_{tB3} = \frac{F_{zB3}}{A_{B3}} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.3.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau_{B3} = \frac{\sqrt{(F_{xB3}^2 + F_{yB3}^2)}}{A_{B3}} \quad \dots \dots \dots (2.4.6.1.3.2)$$

2.4.6.1.4 継手ボルト

継手ボルトは，解析により出力される荷重及びモーメントから，継手のボルト配置を考慮して，応力を算出する。

以下に，評価項目毎の発生応力の算出式を示す。また継手部概要を図2-7及び，図2-8に示す。

(1) 引張応力

$$\sigma_{tB2} = \frac{T_{1B2} + T_{2B2} + T_{3B2}}{A_{B2}} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.1)$$

ここで，

$$T_{1B2} = \frac{F_z}{n} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.2)$$

$$T_{2B2} = \frac{\left(\frac{|M_x|}{L}\right)}{n b} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.3)$$

$$T_{3B2} = \frac{\left(\frac{|M_y|}{L}\right)}{n b} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.4)$$

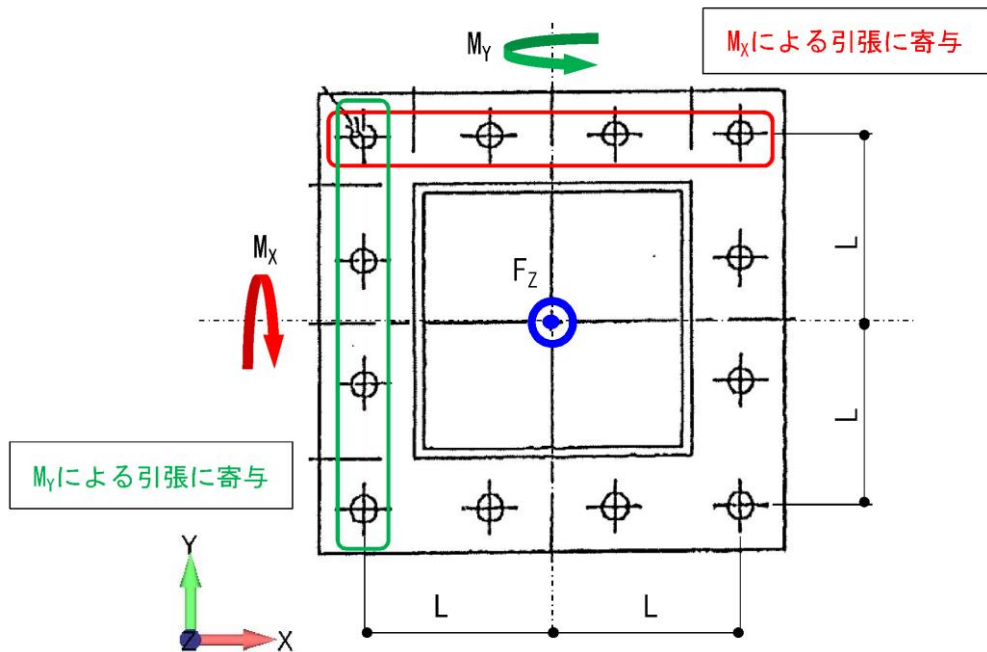


図2-7 継手部概要

(2) せん断応力

$$\tau_{B2} = \frac{\sqrt{Q_{1B2}^2 + Q_{2B2}^2}}{A_{B2}} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.5)$$

ここで,

$$Q_{1B2} = \frac{|F_x|}{n} + \frac{|M_z|}{2 \cdot L \cdot n_t} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.6)$$

$$Q_{2B2} = \frac{|F_y|}{n} + \frac{|M_z|}{2 \cdot L \cdot n_t} \dots \dots \dots (2.4.6.1.4.7)$$

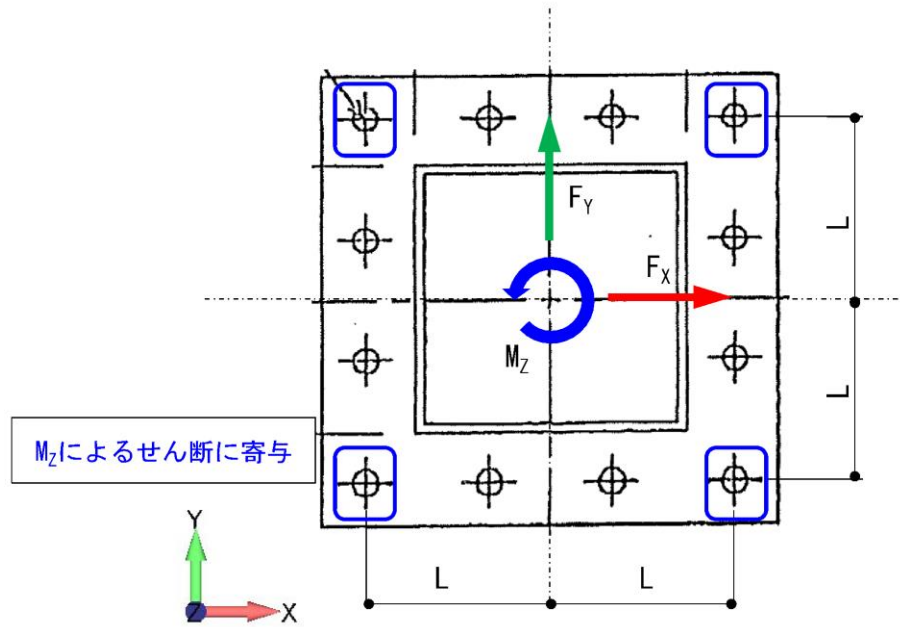


図 2-8 継手部概要

2.4.6.1.5 基礎ボルト（メカニカルアンカ）

基礎ボルトは，解析により出力される荷重を用いて，アンカ打設面
コンクリートのコーン状破壊を考慮した強度評価を実施する。

以下に，評価項目毎の発生荷重の算出式を示す。

(1) 引張荷重

$$p_{B1} = F_{zB1} \dots \dots \dots (2.4.6.1.5.1)$$

(2) せん断荷重

$$q_{B1} = \sqrt{F_{xB1}^2 + F_{yB1}^2} \dots \dots \dots (2.4.6.1.5.2)$$

(3) 組合せ

$$\left(\frac{p_{B1}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a}\right)^2 \dots \dots \dots (2.4.6.1.5.3)$$

2.4.6.1.6 溶接部

溶接部は、解析により出力される荷重及びモーメントから、溶接部の溶接断面を考慮してせん断応力を算出する。

以下に、発生せん断応力の算出式を示す。

(1) せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\tau_{NW}^2 + \tau_{QW}^2 + \tau_{MW}^2 + \tau_{MtW}^2} \quad \dots \dots (2.4.6.1.6.1)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \tau_{NW} &: \text{軸力により発生する溶接箇所のせん断応力} \\ &= F_{xW} / A_w \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{QW} &: \text{せん断力により発生する溶接箇所のせん断応力} \\ &= \sqrt{F_{yW}^2 + F_{zW}^2} / A_w \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{MW} &: \text{曲げモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力} \\ &= M_{yW} / Z_{yW} + M_{zW} / Z_{zW} \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{MtW} &: \text{ねじりモーメントにより発生する溶接箇所のせん断応力} \\ &= M_{xW} / Z_{pW} \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

2.4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（中央制御室天井照明）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【中央制御室天井照明（U吊型モデル）の耐震性についての計算結果】及び【中央制御室天井照明（直吊型）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.4.8 応力の評価

2.4.8.1 ボルト以外の応力評価

2.4.6.1.1項，2.4.6.1.2項及び2.4.6.1.6項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_{cm}	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{\ell k}{i} \dots\dots\dots (2.4.8.1.1)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (2.4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (2.4.8.1.3)$$

2.4.8.2 照明ボルト及び継手ボルトの応力評価

2.4.6.1.3 項及び 2.4.6.1.4 項で求めた照明ボルト，継手ボルトの引張応力 σ_{tBi} は，次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし， f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{Bi}, f_{to}] \dots\dots\dots (2.4.8.2.1)$$

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

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

2.4.8.3 基礎ボルト（メカニカルアンカ）の評価

2.4.6.1.5 項で求めた基礎ボルトの引張荷重 p_{B1} 及びせん断荷重 q_{B1} が許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であること。

$\begin{matrix} \text{許容引張荷重} \\ p_a \end{matrix}$	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合 $\text{min}[p_{a1}, p_{a2}]$
$\begin{matrix} \text{許容せん断荷重} \\ q_a \end{matrix}$	$\text{min}[q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p_{B1}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a}\right)^2 \leq 1$

(1) 引張力を受ける場合

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c \sigma_t \cdot A C$$

ここで、

p_{a1} : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)

p_{a2} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)

α_c : 施工のばらつきを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$ とする。

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり、以下の表に従う。

	ϕ_1	ϕ_2
短期荷重用	1.0	2/3

$s\sigma_{pa}$: ボルトの引張強度で、 $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$ とする。(MPa)

$s\sigma_y$: ボルトの降伏点強度であり、 $s\sigma_y = S_y$ とする。(MPa)

sca : ボルト各部の最小断面積 (mm^2) 又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値

$c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で

$$c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c} \text{ とする。 (MPa)}$$

F_c : コンクリートの設計基準強度 (MPa)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積で、 $A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D)$ とする。(mm²)

D : ボルト本体の直径 (mm)

l : ボルトの埋込み深さで、母材表面から拡張面先端までの距離 (mm)

l_{ce} : 強度算定用埋込み深さで $l_{ce} = \begin{cases} l, & l < 4D \\ 4D, & l \geq 4D \end{cases}$ (mm)

(2) せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s\sigma_{qa} \cdot sca$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_{qa} \cdot sca$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、

q_{a1} : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a2} : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)

q_{a3} : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断

荷重 (N)

α_c : 施工のばらつきを考慮した低減係数で, $\alpha_c = 0.75$ とする。

ϕ_1, ϕ_2 : 低減係数であり, (1) において示す表に従う。

$s\sigma_{qa}$: ボルトのせん断強度で, $s\sigma_{qa} = 0.7 \cdot s\sigma_y$ とする。
(MPa)

$c\sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で
 $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ とする。(MPa)

$s c a$: ボルトのコンクリート表面における断面積 (mm^2)

$c\sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で $c\sigma_{qa} = 0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$
とする。(MPa)

E_c : コンクリートの縦弾性係数 (MPa)

A_{qc} : せん断荷重方向の側面におけるコーン状破壊面の有効
投影面積で, $A_{qc} = 0.5 \cdot \pi c^2$ とする。(mm²)

c : へりあき寸法 (mm)

(3) 組合せ

基礎ボルトが引張荷重 p_{B1} 及びせん断荷重 q_{B1} の組合せ荷重を受ける場合, 以下となるようにする。

$$\left(\frac{p_{B1}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{B1}}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

2.5 評価結果

2.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室天井照明の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

2.5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室天井照明の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【中央制御室天井照明（U吊型）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
中央制御室 天井照明	C	制御室建物 EL 22.050*1	0.035	0.05 以下	—	—	$C_H(NS) = 3.36^{*2}$	$C_H(EW) = 4.86^{*2}$	$C_V = 2.38^{*2}$	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

1.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F [*] (MPa)
補強材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10^5	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカ打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10^4
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

基礎ボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l B i (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

1.3 結論

1.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.035

1.3.2 応力

補強材 (板材) 応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 12$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 12$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S_s		備考
			算出応力	許容応力	
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 11$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 11$	$f_{cm} = 248$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 54$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 57$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.197	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.190	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.197	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.190	1	単位：なし
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 3$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 3$	$f_{cm} = 250$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 25$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 30$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.102	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.086	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.100	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.086	1	単位：なし

すべて許容応力以下である。

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sb} = 161$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tsBi} = 79$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 5$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。

基礎ボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	3319	6592	単位：N
		せん断	3472	10735	単位：N
		組合せ	0.359	1	単位：なし

すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 129$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
中央制御室 天井照明	—	制御室建物 EL 22.050* ¹	0.035	0.05 以下	—	—	C _{H (NS)} = 3.36* ²	C _{H (EW)} = 4.86* ²	C _V = 2.38* ³	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

2.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカ打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10 ⁴
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

基礎ボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l B i (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

2.3 結論

2.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.035

2.3.2 応力

補強材 (板材) 応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 12$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 12$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S_s		備考
			算出応力	許容応力	
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 11$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 11$	$f_{cm} = 248$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 54$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 57$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.197	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.190	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.197	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.190	1	単位：なし
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 3$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 3$	$f_{cm} = 250$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 25$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 30$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.102	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.086	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.100	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.086	1	単位：なし

すべて許容応力以下である。

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sb} = 161$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tsBi} = 79$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 5$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。

基礎ボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	3319	6592	単位：N
		せん断	3472	10735	単位：N
		組合せ	0.359	1	単位：なし

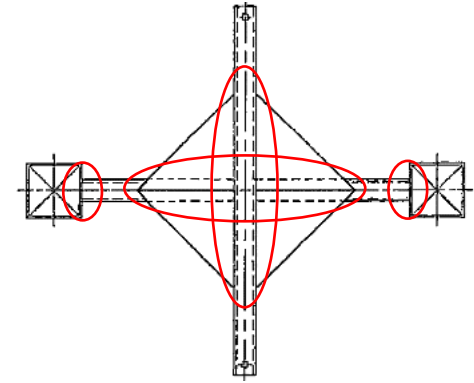
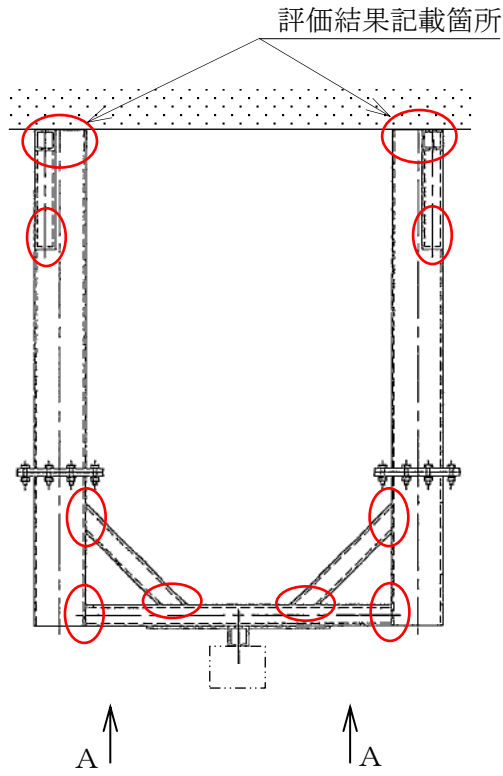
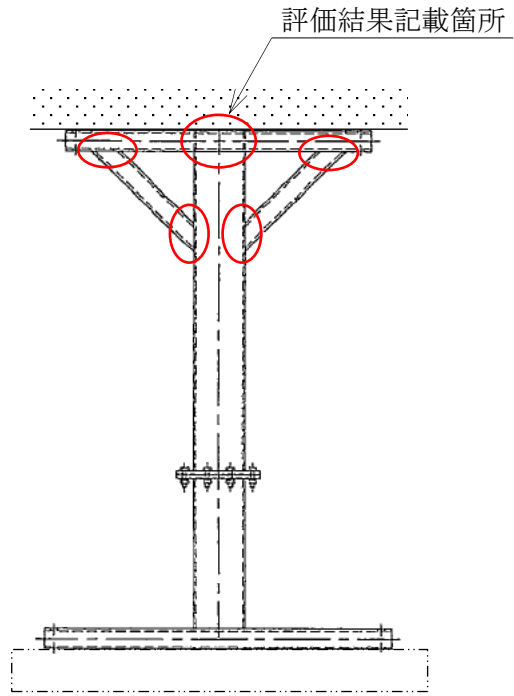
すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 129$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。



○ : 溶接評価箇所

溶接評価箇所 (U吊型)

【中央制御室天井照明（直吊型）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
中央制御室 天井照明	C	制御室建物 EL 22.050*1	0.031	0.05 以下	—	—	C _H (NS) = 3.36*2	C _H (EW) = 4.86*2	C _V = 2.38*3	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1, 2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

1.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカ打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10 ⁴
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (i = 2)	SUS304	10	78.54

基礎ボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l _{Bi} (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

1.3 結論

1.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.031

1.3.2 応力

板材応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 4$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 4$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出応力	許容応力	
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 8$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 8$	$f_{cm} = 248$	
		せん断	$\tau_S = 7$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 23$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 29$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.095	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.072	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.093	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.072	1	単位：なし
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 1$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 1$	$f_{cm} = 250$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 44$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 46$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.162	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.154	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.161	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.154	1	単位：なし

すべて許容応力以下である。

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sb} = 161$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tsBi} = 43$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 3$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。

基礎ボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	4187	6592	単位：N
		せん断	2163	10735	単位：N
		組合せ	0.445	1	単位：なし

すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 26$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
中央制御室 天井照明	—	制御室建物 EL 22.050*1	0.031	0.05 以下	—	—	C _H (NS) = 3.36*2	C _H (EW) = 4.86*2	C _V = 2.38*3	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向1次固有振動数が20Hzを下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

2.2 機器要目

部材	材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	ν	F (MPa)	F* (MPa)
補強材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
支持鋼材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
補強斜材	SS400	2.02×10 ⁵	245	400	0.3	245	280
基礎ボルト (メカニカルアンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	—	240	—	—	—	—
継手ボルト	SUS304	—	205	520	—	205	205
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	—	245	400	—	245	280

材料定数（アンカ打設面コンクリート）

F _c (MPa)	22.1
E _c (MPa)	2.20×10 ⁴
ν	0.2
γ (kN/m ³)	24

照明ボルト，継手ボルト諸元

部位	材料	d _{oi} (mm)	A _{Bi} (mm ²)
照明ボルト (i = 3)	SS400	12	113.1
継手ボルト (I = 2)	SUS304	10	78.54

基礎ボルト諸元

材料	d _{oi} (mm)	s c a (mm ²)	l _{Bi} (mm)
SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	12	63.9	50

2.3 結論

2.3.1 固有周期

固有周期評価結果 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.031

2.3.2 応力

板材応力解析結果 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
補強材	SS400	引張	$\sigma_{tR} = 4$	$f_{tm} = 280$
		せん断	$\tau_R = 4$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。

支持鋼材・補強斜材（梁材）応力評価結果

（単位：MPa）

断面形状	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出応力	許容応力	
□-50×50×6.0 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 8$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 8$	$f_{cm} = 248$	
		せん断	$\tau_S = 7$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 23$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 29$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.095	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.072	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.093	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.072	1	単位：なし
□-125×125×4.5 ^t	SS400	引張	$\sigma_{tS} = 1$	$f_{tm} = 280$	
		圧縮	$\sigma_{cS} = 1$	$f_{cm} = 250$	
		せん断	$\tau_S = 8$	$f_{sm} = 161$	
		曲げ	$\sigma_{bS} = 44$	$f_{bm} = 280$	
		軸+せん断	$\sigma_{eqS} = 46$	$f_{eq} = 280$	
		圧縮+曲げ①	0.162	1	単位：なし
		圧縮+曲げ②	0.154	1	単位：なし
		引張+曲げ①	0.161	1	単位：なし
		引張+曲げ②	0.154	1	単位：なし

すべて許容応力以下である。

ボルト材応力評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力
照明ボルト (取付ボルト)	SS400	引張	$\sigma_{tsBi} = 4$	$f_{ts} = 210^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 7$	$f_{sb} = 161$
継手ボルト	SUS304	引張	$\sigma_{tsBi} = 43$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	$\tau_{Bi} = 3$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。

基礎ボルト強度評価結果

部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
			算出荷重	許容荷重	
基礎ボルト (メカニカル アンカ)	SUM (JIS G 4804) SWCH (JIS G 3507)	引張	4187	6592	単位：N
		せん断	2163	10735	単位：N
		組合せ	0.445	1	単位：なし

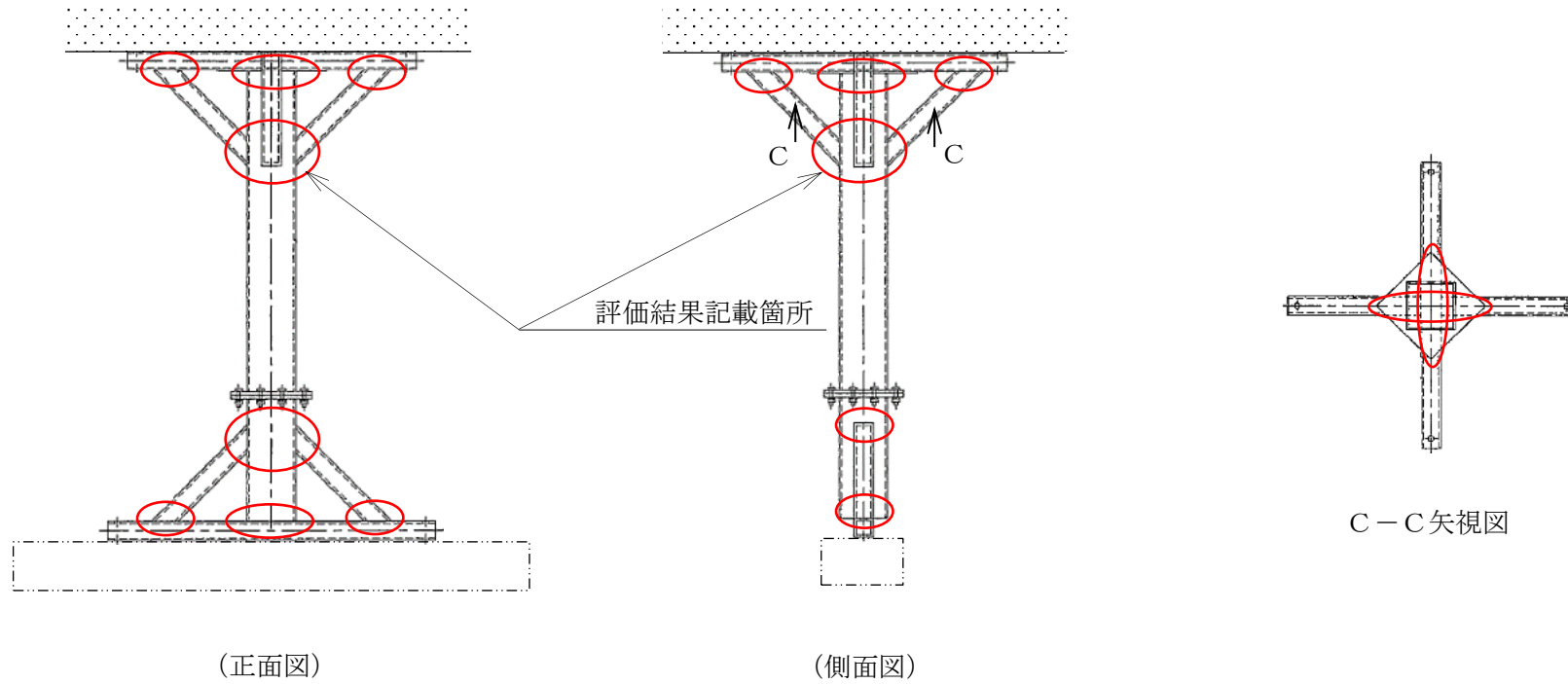
すべて許容荷重以下である。

溶接部応力評価結果

(単位：MPa)

部材	応力	基準地震動 S s	
		算出応力	許容応力
溶接部	せん断	$\tau_w = 26$	$f_{sm} = 161$

すべて許容応力以下である。



○ : 溶接評価箇所

溶接評価箇所 (直吊型)

3. 排煙ダクト（中央制御室排煙設備系）

3.1 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」及びVI-2-1-13「ダクト及び支持構造物の耐震計算について」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である排煙ダクト（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、直下に設置された上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 配置概要

排煙ダクトは、上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管の上部に設置されており、排煙ダクトの落下時に上記上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがある。排煙ダクトと安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管の位置関係を図3-1に示す。

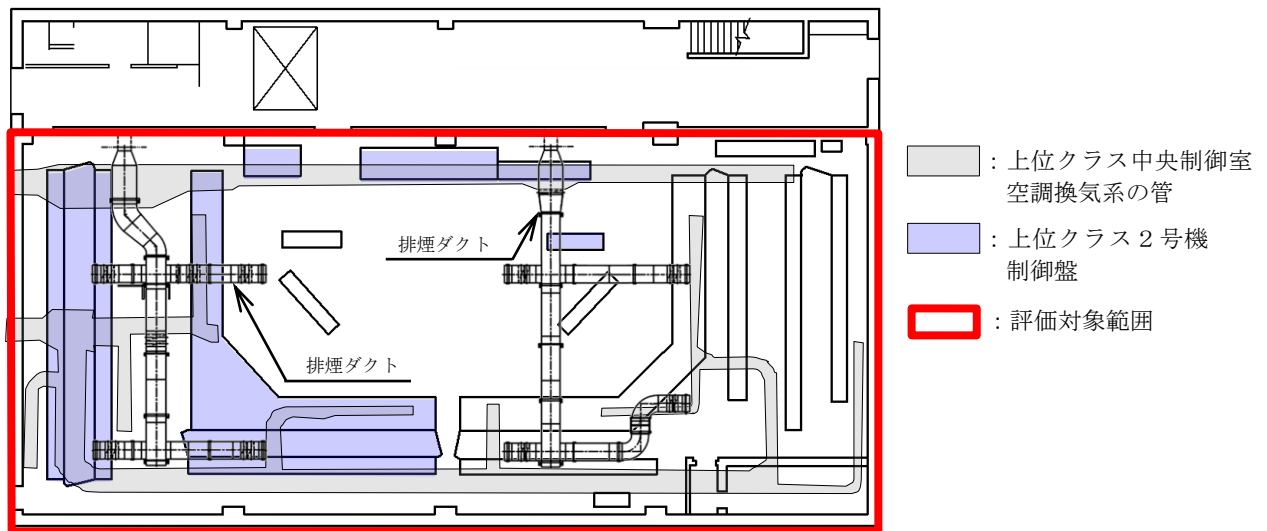


図3-1 排煙ダクトと原子炉制御盤等の位置関係図

3.2.2 構造計画

排煙ダクトの構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
ダクトは、支持構造物を介して躯体へ支持されている。	矩形ダクト	<p>ダクト継目部 (図中A)</p>

3.2.3 ダクト設計の基本方針

3.2.3.1 耐震設計方針

ダクト及びその支持構造物は、地震力に対して十分な強度を有するように設計する。

3.2.3.2 ダクト及び支持構造物の設計手順

ダクトの経路は、建物の形状、機器の配置、配管、ケーブルトレイ等の経路を考慮し、耐震性を加味して決定する。

以上を考慮して決定されたダクト経路について支持方法を定めて、ダクトが十分な耐震強度を有するように支持点を決定する。

3.2.3.3 評価方針

ダクト及び支持構造物の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した上位クラス施設と同じ運転状態における荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づく。

3.2.3.4 設計用地震力

ダクトについては、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に示す設計用地震力を用いて評価を行う。なお、「2.3.5 ダクト支持点の設計方法」のうち、手法1はダクトの固有振動数が十分剛(20Hz以上)となる領域で設計することから、 $1.2 \cdot ZPA$ を使用する。

3.2.3.5 ダクト支持点の設計方法

ダクト及びその支持構造物は適切な剛性を有するとともに、許容座屈曲げモーメントを満足する支持間隔とすることにより耐震性を確保する。

ダクトの支持点は、手法1の支持間隔で計画する。その支持間隔算定はダクトの固有振動数が20Hz以上となる支持間隔と $1.2 \cdot ZPA$ によりダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となる支持間隔を算定し、いずれか小さい方を支持間隔とする。

支持点設計手順を図3-2に示す。

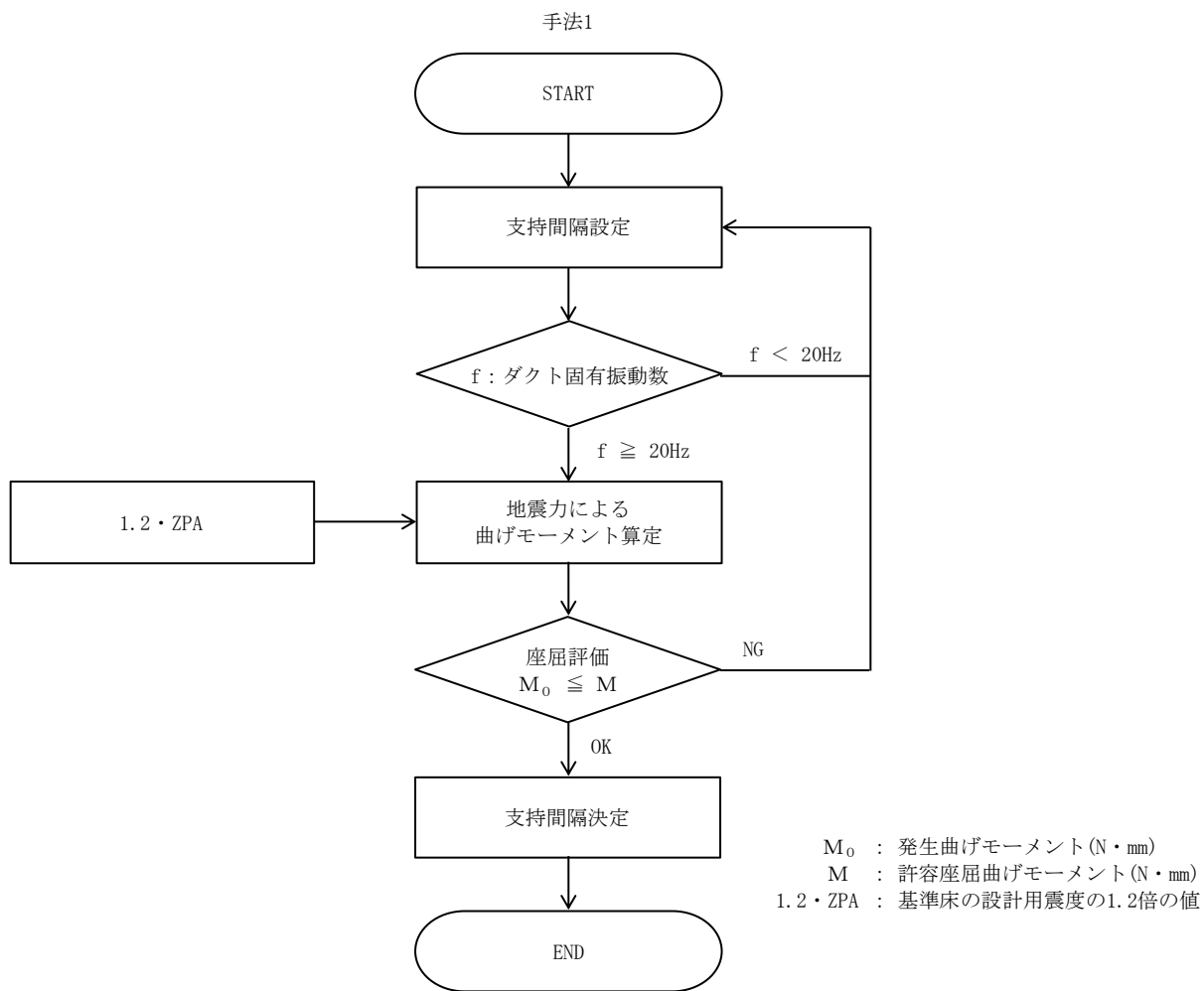


図 3-2 ダクト支持点設計手順

3.2.3.6 支持方法

(1) 直管部

ダクトの直管部は、「3.5 構造強度評価」で求まる支持間隔以下で支持するものとする。また、直管部が長い箇所には軸方向を拘束する支持構造物を設ける設計とする。

(2) 曲管部

曲管部は、直管部に比べ剛性及び強度が低下するが、「3.5 構造強度評価」で求まる支持間隔は、これら曲管部の縮小率を包絡する支持間隔としている。

(3) 分岐部

分岐部は、「3.5 構造強度評価」で求まる支持間隔に縮小率を乗じた支持間隔を用いて支持点を設計する。

(4) 重量物の取付部

ダクトに自動ダンパ等の重量物を取り付く場合は、その近傍又は重量物自体を支持するものとする。なお、近傍を支持する場合には、「3.5 構造強度評価」で求まる支持間隔と、当該重量物を考慮した支持間隔を用いて、支持点を設計する。

3.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・J I S G 3 3 0 2 (1994) 「溶融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯」

3.2.5 記号の説明

3.2.5.1 矩形ダクトの記号の説明

記号	記号の説明	単位
f	固有振動数	Hz
π	円周率	—
l	両端単純支持間隔	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度	mm/s ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
W	ダクト単位長さ重量	N/mm
β	断面二次モーメントの安全係数* (幅厚比 $b/t \leq 600 \cdots \beta = 0.75$, $b/t > 600 \cdots \beta = 0.6$)	—
a	ダクト長辺寸法	mm
b	ダクト短辺寸法	mm
a e	ダクトフランジの有効幅	mm
b e	ダクトウェブの有効幅	mm
t	ダクト板厚	mm
M_0	発生曲げモーメント	N・mm
α	設計震度 (水平震度又は鉛直震度の大きい方)	—
M	許容座屈曲げモーメント	N・mm
S	許容座屈曲げモーメントの安全係数 (=0.7)	—
M_T	座屈限界曲げモーメント	N・mm
λ	座屈限界曲げモーメントの補正係数*	—
ν	ポアソン比 (=0.3)	—
σ_y	降伏点 (= S_y)	MPa
γ	座屈限界曲げモーメントの安全係数* (=0.6)	—

注記* : 引用文献(1)より定義される係数

3.2.5.2 支持構造物の記号の説明

記号	記号の説明	単位
f_t	許容引張応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
σ_t	引張（圧縮）応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa
A	引張（圧縮）応力計算に用いる断面積	mm ²
A_s	せん断応力計算に用いる断面積	mm ²
Z	曲げ応力計算に用いる断面係数	mm ³
N	引張（圧縮）方向荷重	N
Q	せん断方向荷重	N
M_o	曲げモーメント	N・mm

3.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表3-2に示すとおりである。

表3-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
外径	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
厚さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
支持間隔	mm	十の位	切捨て	整数位
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ¹
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ¹
計算応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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。

3.3 評価部位

ダクトの耐震評価は、「3.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、排煙ダクト及び支持構造物を評価対象とする。

3.4 固有振動数の計算方法

3.4.1 計算モデル

ダクト系は、図 3-3 に示す両端を支持構造物で支持された両端単純支持はりにモデル化する。

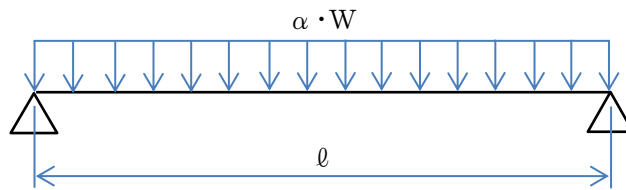


図 3-3 両端単純支持はり

3.4.2 固有振動数計算方法

両端単純支持された矩形ダクトの固有振動数は、引用文献(1)より次式で与えられる。算出に用いる矩形ダクトの断面図を図 3-4 に示す。

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{W}} \dots\dots\dots (3.4.2.1)$$

ここで、

$$I = \left(\frac{t \cdot b e^3}{6} + a e \cdot t \cdot \frac{b e^2}{2} \right) \cdot \beta \dots\dots\dots (3.4.2.2)$$

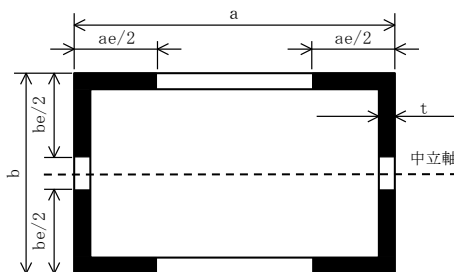


図 3-4 矩形ダクトの断面図

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

矩形ダクトの座屈評価を以下に示す。地震時、両端単純支持されたダクトに生じる曲げモーメントは、引用文献(1)より次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{\alpha \cdot W \cdot \ell^2}{8} \quad \dots\dots\dots (3.5.1.1)$$

ここで、設計震度 α は水平震度又は鉛直震度の大きい方をダクト短辺寸法に考慮する。なお、鉛直震度の評価では自重も考慮する。また、ダクトの座屈による大変形を防ぐためにダクトに生じる曲げモーメントが許容座屈曲げモーメント以下となるようにする。

$$M_0 \leq M \quad \dots\dots\dots (3.5.1.2)$$

(3.5.1.1)、(3.5.1.2)式より許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔は次式で与えられる。

$$\ell = \sqrt{\frac{8 \cdot M}{W \cdot \alpha}} \quad \dots\dots\dots (3.5.1.3)$$

ここで、

$$M = S \cdot M_T \quad \dots\dots\dots (3.5.1.4)$$

$$M_T = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot t \cdot I}{\sqrt{1 - \nu^2} \cdot b^2} \cdot \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot \gamma} \quad \dots\dots\dots (3.5.1.5)$$

$$I = \frac{t \cdot b^3}{6} + a \cdot e \cdot t \cdot \frac{b^2}{2} \quad \dots\dots\dots (3.5.1.6)$$

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダクトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

(2) 許容限界

ダクトの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-5 及び表 3-6 に、支持構造物の許容応力を表 3-7 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

ダクト及び支持構造物の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-9 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	排煙ダクト	—	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：クラス4管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	排煙ダクト	—	—*1	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *2	VAS（VASとしてIVASの許容限界を用いる。）

注記*1：クラス4管の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

注記*2：「 $D + P_D + M_D + S_s$ 」の評価に包絡される場合は、評価結果の記載を省略する。

表 3-5 許容限界 (クラス 4 管)

許容応力状態	許容限界
IV _A S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは「5. 構造強度評価」に基づき許容座屈曲げモーメントより算出する。)

表 3-6 許容限界 (重大事故等クラス 2 管 (クラス 4 管))

許容応力状態	許容限界
IV _A S	地震時の加速度に対し機能が保たれるようサポートのスパン長を最大許容ピッチ以下に確保すること。 (最大許容ピッチは「5. 構造強度評価」に基づき許容座屈曲げモーメントより算出する。)
V _A S	

表 3-7 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）*1

許容応力状態	許容限界*2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	曲げ	組合せ*3
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _b [*]	1.5・f _t [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)				

注記*1：f_t^{*}，f_s^{*}，f_b^{*}は，f_t，f_s，f_bの値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)本文中「付録材料図表 Part5 表8に定める値」とあるのを「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とする。

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

*3：組合せ応力の許容応力は，設計・建設規格に基づく値とする。

表 3-8 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 ^{*1} (MPa)	S _y (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) ^{*1} (MPa)
		最高使用温度	40				
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	—	<input type="text"/> *2	—	—
支持架構	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—

注記*1：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

*2：

表 3-9 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S ^{*1} (MPa)	S _y (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (R T) ^{*1} (MPa)
		最高使用温度	40				
ダクト	SGCC	最高使用温度	40	—	<input type="text"/> *2	—	—
支持架構	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—

注記*1：評価に使用していない許容応力については「—」と記載する。

*2：

3.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる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 3-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-11 に示す。

本計算書において評価に用いる基準地震動 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」に基づく。

表 3-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	建物・構築物	標高(EL) (m)	基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排煙ダクト			2.92 ^{*1}	2.49 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*2：設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S_s ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

表 3-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	建物・構築物	標高(EL) (m)	基準地震動 S_s	
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排煙ダクト			2.92 ^{*1}	2.49 ^{*2}

注記*1：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*2：設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S_s ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

3.6 排煙ダクトの耐震性確認結果

排煙ダクトの耐震支持間隔は、「3.2.3 ダクト設計の基本方針」に示す手法 1 から定めており、設計基準対象施設としての支持間隔を表 3-12 に、重大事故等対処設備としての支持間隔を表 3-13 に示す。

排煙ダクトの実機の支持間隔を図 3-5 に示す。図 3-5 のとおり、排煙ダクトの実機の支持間隔は、表 3-12 及び表 3-13 に示す支持間隔を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 3-12 排煙ダクトの耐震支持間隔（設計基準対象施設としての評価結果）

ダクト 種別*	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_o (N・mm)	許容座屈曲げ モーメント M (N・mm)
	長辺 (mm)	短辺 (mm)				
亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	560	370	0.8			
	700	350	0.8			
	800	500	0.8			
	1000	370	0.8			

注記*：全て保温有りとして算出

表 3-13 排煙ダクトの耐震支持間隔（重大事故等対処設備としての評価結果）

ダクト 種別*1	ダクト		板厚 (mm)	支持間隔 ($f \geq 20\text{Hz}$) (mm)	発生曲げ モーメント M_o (N・mm)	許容座屈曲げ モーメント M (N・mm)
	長辺 (mm)	短辺 (mm)				
亜鉛めっき鋼板 ハゼ折ダクト (SGCC)	560	370	0.8	—*2	—	—
	700	350	0.8	—*2	—	—
	800	500	0.8	—*2	—	—
	1000	370	0.8	—*2	—	—

注記*1：全て保温有りとして算出

*2：重大事故等対処設備としての支持間隔は、設計基準対象施設としての支持間隔と同様であるため、記載を省略する。



図 3-5 排煙ダクトの実機の支持間隔

3.7 支持構造物設計の基本方針

3.7.1 支持構造物の構造及び種類

支持構造物は、形鋼及び角形鋼管を組み合わせた溶接構造を原則とし、その用途に応じて以下に大別する。

- (1) ダクト軸直角の 2 方向を拘束するもの
- (2) ダクト軸方向及び軸直角の 3 方向を拘束するもの

図 3-6、図 3-7 及び図 3-8 に支持構造物の代表例を示す。

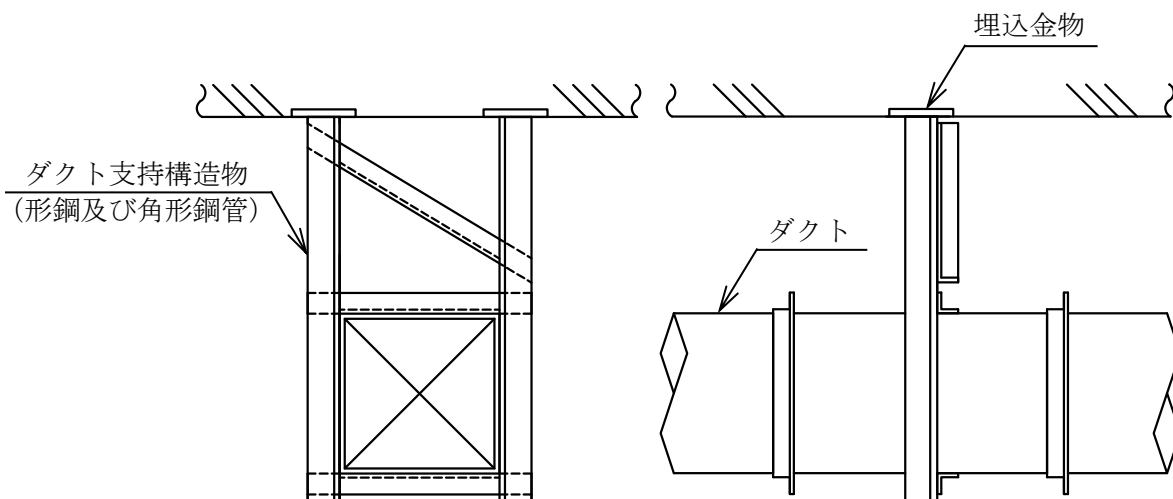


図 3-6 2 方向（軸直角方向）拘束の代表例

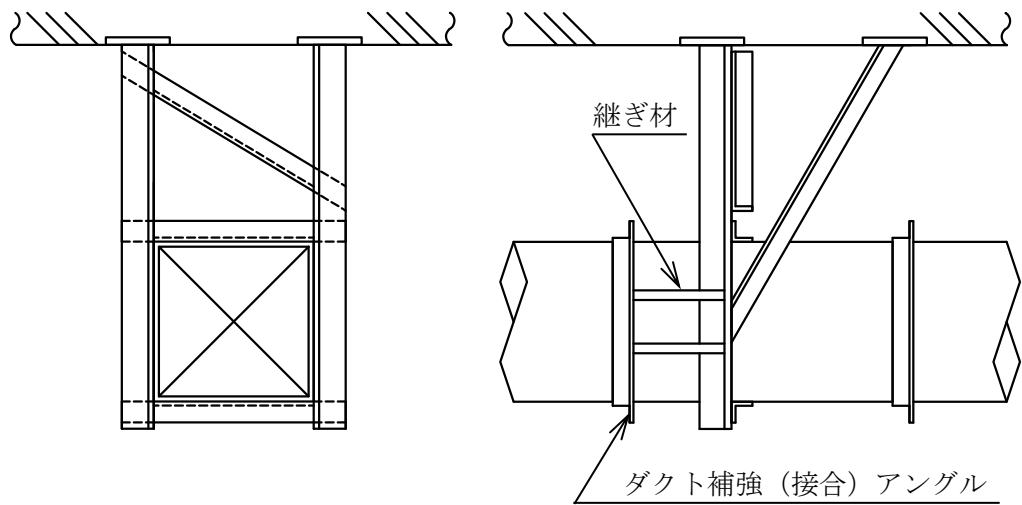


図3-7 3方向（軸方向及び軸直角方向）拘束の代表例

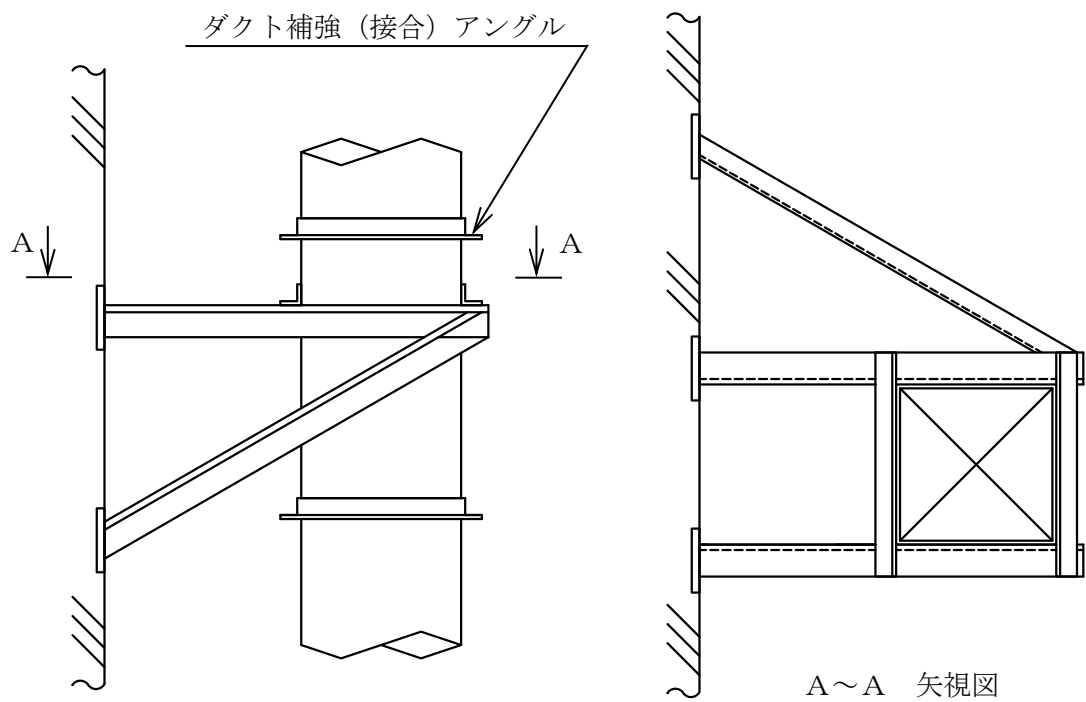


図3-8 垂直ダクトの支持の代表例（2方向（軸直角方向）拘束の代表例）

3.7.2 支持構造物の考慮事項

支持構造物の構造は、ダクトに作用する地震荷重に対し十分な強度を有する構造とする。なお、ダクトの荷重は、隣接する支持構造物の距離より定まる負担割合（ダクト長さ）から求めたダクト重量（ダクトに取付くダンパ等の重量物も考慮する）に地震力（震度）を乗じて算出する。

3.7.3 支持構造物の耐震性確認

各支持構造物を、種類及び型式ごとに分類し、それぞれ最大の荷重を負担する支持構造物を代表としてその耐震性の確認結果を表 3-14 に示す。

耐震性の確認には、解析コード「NSAFE」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。

また、支持構造物の強度計算式を以下に示す。

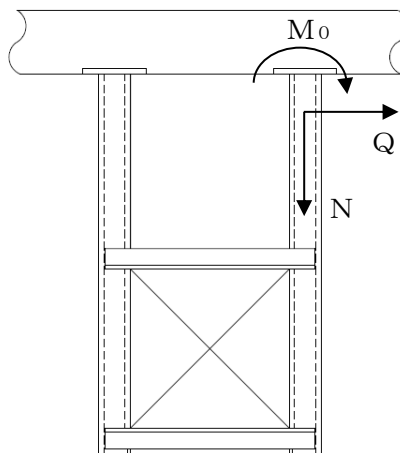
なお、以下に示す計算式は代表的な形状に対するものであり、記載のない形状についても同様の計算式で計算できる。

$$\sigma_t = \frac{N}{A}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

$$\sigma_b = \frac{M_o}{Z}$$

したがって、



$$1.5 \cdot f_{t^*} \geq \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

表 3-14 ダクト支持構造物の耐震性確認結果

支持構造物番号	種類	型式*	材料	温度(°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(N)			モーメント(N・mm)			応力分類	計算応力(MPa)	許容応力(MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
580-S-008	レストレイント	2 RE	STKR 400	50	0	3.900E+03	8.000E+03	—	—	—	組合せ	54	276
580-S-019	レストレイント	3 RE	STKR 400	50	5.830E+03	2.190E+03	5.600E+03	—	—	—	組合せ	66	276

注記*：「2 RE」はダクト軸直角の2方向を拘束するもの、「3 RE」はダクト軸方向及び軸直角の3方向を拘束するものを示す。

3.8 引用文献

- (1) 共同研究報告書「機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究」，昭和 61 年 3 月

4. 防煙垂れ壁

4.1 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、防煙垂れ壁（Cクラス施設）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管、中央制御室空気供給系の管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

4.2 一般事項

4.2.1 配置概要

防煙垂れ壁は、上位クラス施設である安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管及び中央制御室空気供給系の管の上部に設置されており、防煙垂れ壁の落下時に上記上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがある。防煙垂れ壁と安全設備制御盤、原子炉制御盤、中央制御室空調換気系の管及び中央制御室空気供給系の管の位置関係を図4-1に示す。

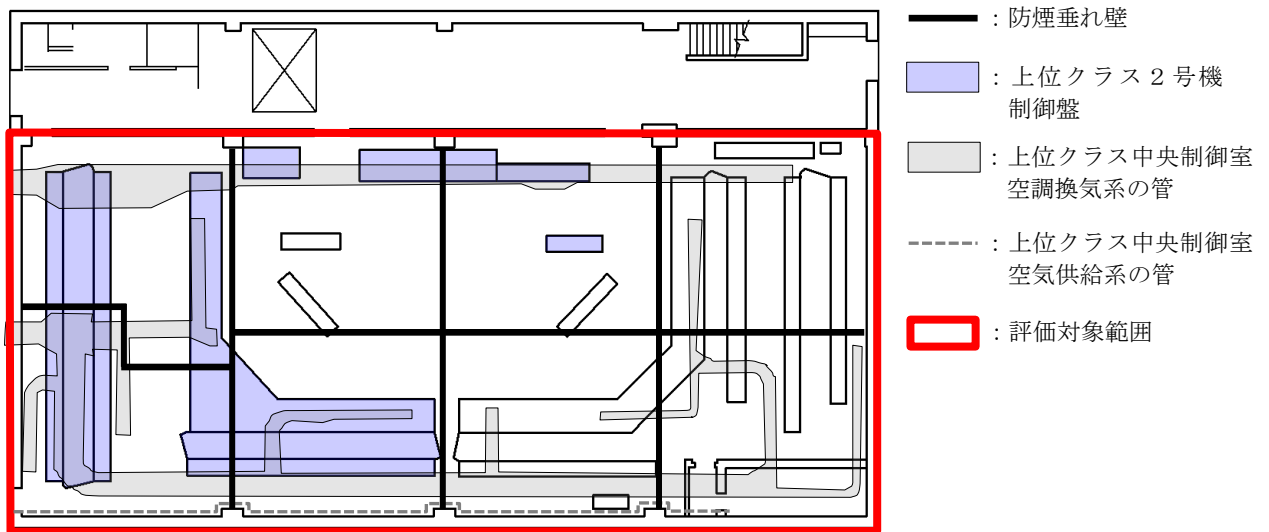


図4-1 防煙垂れ壁と原子炉制御盤等の位置関係図

4.2.2 構造計画

防煙垂れ壁の構造計画を表 4-1 に示す。

表 4-1 防煙垂れ壁 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
防煙垂れ壁を形成する鋼板は固定ボルトにより鋼製のフレーム部材により支持され、鋼製のフレーム部材は基礎ボルトにより建物躯体である天井及び壁に固定される。	鋼板	

4.2.3 評価方針

防煙垂れ壁の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については、「4.2.2 構造計画」にて示す防煙垂れ壁の部位を踏まえ、「4.3 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.6 評価結果」に示す。

防煙垂れ壁の耐震評価フローを図4-2に示す。

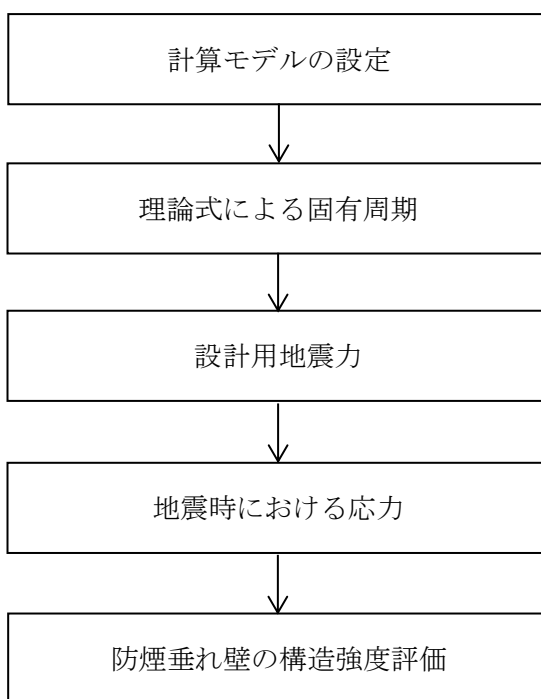


図4-2 防煙垂れ壁の耐震評価フロー

4.2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

4.2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
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
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_{tm}	フレーム部材の許容引張応力	MPa
f_{sm}	フレーム部材の許容せん断応力	MPa
f_{bm}	フレーム部材の許容曲げ応力（許容引張応力と同じ値とする）	MPa
E	縦弾性係数	MPa
ρ	単位体積当たりのフレーム部材及び鋼板の質量	kg/mm ³
A	フレーム部材の断面積	mm ²
A_s	フレーム部材のせん断断面積	mm ²
Z	フレーム部材の断面係数	mm ³
I	フレーム部材の断面二次モーメント	mm ⁴
L	フレーム部材の長さ	mm
π	円周率	—
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
N	フレーム部材の軸力	N
Q	フレーム部材のせん断力	N
M	フレーム部材の曲げモーメント	N・mm
σ_t	フレーム部材に生じる引張応力	MPa
τ	フレーム部材に生じるせん断応力	MPa
σ_b	フレーム部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_f	フレーム部材に生じる組合せ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$f_{t o}$	基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s b}$	基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t s}$	基礎ボルトが引張力とせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
A_b	基礎ボルトの呼び径断面積	mm ²
d_o	基礎ボルトの呼び径	mm
l	基礎ボルト間距離	mm
n_1	評価上曲げモーメントを受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
n_2	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
n_3	評価上せん断力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
P_1	曲げモーメントに対するアンカーボルト1本あたりの偶力	N
P_2	引抜に対するアンカーボルト1本あたりの引張荷重	N
$F_{b a}$	基礎ボルト部の引張力	N
$F_{b s}$	基礎ボルト部のせん断力	N
F_b	基礎ボルト1本あたりに作用する引張力	N
Q_b	基礎ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
M_b	基礎ボルトに作用する曲げモーメント	N・mm
$\sigma_{t b}$	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

4.2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		°C	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入	小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

4.3 評価部位

防煙垂れ壁の耐震評価は、「4.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるフレーム部材及び基礎ボルトについて実施する。なお、防煙垂れ壁は、支持構造物であるフレーム部材及び基礎ボルトが健全であれば落下による損傷を防止できるため、フレーム部材及び基礎ボルトを評価対象とする。防煙垂れ壁の耐震評価部位については、表4-1の概略構造図に示す。

4.4 固有周期

4.4.1 固有周期の計算方法

防煙垂れ壁の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 防煙垂れ壁のフレーム部材は、十分剛な天井に基礎ボルトにより固定されており、天井を固定端とする。
- b. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- c. 防煙垂れ壁は複数配置したフレーム部材と鋼板による連続した構造であるが保守的に鋼板の剛性を期待しないものとしたフレーム部材 1 本の計算モデルとし、図4-3に示す上端固定の片持ち梁として考える。
- d. 防煙垂れ壁の全体質量については、片持ち梁にフレーム部材および鋼板の質量を付加する。鋼板については、鋼板を支持する両側のフレーム部材に均等に付加されるものとし、さらに、フレーム部材の最大間隔は mmであることを踏まえてフレーム部材を中心に片側を mm mmの範囲を質量を考慮する。

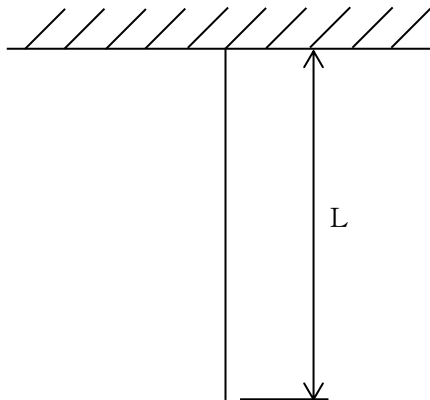


図4-3 固有周期の計算モデル

(1) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は下式 (4.4.1.1) で求める。

$$T_H = \frac{1}{\left(\frac{1.875^2}{2\pi L} \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \right)} \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

(2) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は下式 (4.4.1.2) で求める。

$$T_V = \frac{1}{\left(\frac{\pi/2}{2\pi L} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \right)} \dots\dots\dots (4.4.1.2)$$

4.4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【防煙垂れ壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期 (単位：s)

防煙垂れ壁	水平	
	鉛直	

4.5 構造強度評価

4.5.1 構造強度評価方法

4.4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はフレーム部材に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用する。
- (2) 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、絶対値和を用いる。

4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

防煙垂れ壁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 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

4.5.2.2 許容応力

防煙垂れ壁の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-6 に示す。

4.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

防煙垂れ壁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 4-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 に示す。

表4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	防煙垂れ壁	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4-5 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	防煙垂れ壁	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。)

注記*：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-6 許容応力（その他支持構造物及び重大事故等その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
防煙垂れ壁	フレーム部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	245	400	—

表 4-8 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
防煙垂れ壁	フレーム部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
	基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	245	400	—

4.5.3 設計用地震力

防煙垂れ壁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 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に示す。

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

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 天井面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御室建物 EL 22.050*1			—	—	$C_H=3.65^{*2}$	$C_V=1.77^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 天井面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
制御室建物 EL 22.050*1			—	—	$C_H=3.65^{*2}$	$C_V=1.77^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

4.5.4 計算方法

4.5.4.1 応力の計算方法

4.5.4.1.1 荷重の計算方法

図4-3に示すようにフレーム部材を端部固定の片持ち梁として考え、固定部に生じる荷重を次のように求める。

(1) 軸力

$$N = \rho \cdot A \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.1)$$

(2) せん断力

$$Q = \rho \cdot A \cdot g \cdot C_H \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.2)$$

(3) 曲げモーメント

$$M = \frac{\rho \cdot A \cdot g \cdot C_H \cdot L^2}{2} \quad \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.3)$$

4.5.4.1.2 フレームの応力

軸力N, せん断力Q及び曲げモーメントMより各応力を次のように求める。

(1) 引張応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.1)$$

(2) せん断応力

$$\tau = \frac{Q}{A_s} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.2)$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.3)$$

(4) 組合せ応力

a. 垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_t)^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.4)$$

b. 引張力と曲げモーメントの組合せ

引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力は、以下の計算式(4.5.4.1.2.5), (4.5.4.1.2.6)を満足することを確認する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_{tm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.5)$$

かつ

$$\frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_{bm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.6)$$

4.5.4.1.3 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、4.5.4.1.1項で計算した荷重を用い、地震による引張応力とせん断応力について計算する。防煙垂れ壁の基礎ボルト部の概要を図4-4に示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、軸力Nを引張力 F_{ba} とし、曲げモーメントMを M_b と考え、これを図4-4に示す評価対象ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$P_1 = \frac{M_b}{n_1 \cdot \ell} \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.1)$$

$$P_2 = \frac{F_{ba}}{n_2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.2)$$

$$F_b = P_1 + P_2 \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.3)$$

b. 引張応力

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.4)$$

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.5)$$

(2) せん断応力

a. せん断力

$$Q_b = \frac{F_{bs}}{n_3} \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.3.7)$$

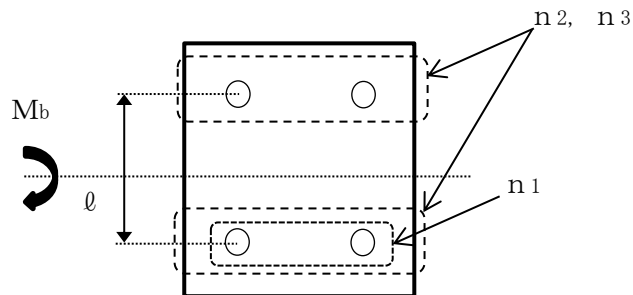


図4-4 基礎ボルト部の概要

4.5.5 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【防煙垂れ壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5.6 応力の評価

4.5.6.1 フレーム部材の応力評価

4.5.4.1.2項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

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

4.5.6.2 基礎ボルトの応力評価

4.5.4.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた許容組合せ応力 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。

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

4.6 評価結果

4.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

防煙垂れ壁の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

4.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

防煙垂れ壁の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【防煙垂れ壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
防煙垂れ壁	C	制御室建物 EL 22.050*1			$C_H=3.65^{*2}$	$C_V=1.77^{*3}$	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	E (MPa)	ρ (kg/mm ³)	A (mm ²)	A_s (mm ²)	Z (mm ³)	I (mm ⁴)	L (mm)
防煙垂れ壁											

1.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	ℓ (mm)	d_o (mm)	A_b (mm ²)	n1	n2	n3
防煙垂れ壁										

1.3 計算数値

1.3.1 フレーム部材の荷重 (単位: N)

機器名称	N	Q
	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
防煙垂れ壁		

1.3.2 フレーム部材のモーメント (単位: N・mm)

機器名称	M
	基準地震動 S _s
防煙垂れ壁	

1.3.3 基礎ボルト部に発生する力 (単位: N)

機器名称	F_{ba}	F_{bs}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁		

1.3.4 基礎ボルト部に発生するモーメント (単位: N・mm)

機器名称	M_b
	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁	

1.3.5 基礎ボルトに作用する力 (単位: N)

機器名称	F_b	Q_b
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
防煙垂れ壁	1	水平	
	1	鉛直	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S s		備考
				算出応力	許容応力	
防煙垂れ壁	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 2$	$f_{tm} = 279$	
			せん断	$\tau = 4$	$f_{sm} = 160$	
			曲げ	$\sigma_b = 68$	$f_{bm} = 279$	
			組合せ (垂直+せん断)	$\sigma_f = 71$	$f_{tm} = 279$	
			組合せ (引張+曲げ)	0.251	1	単位：なし
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tb} = 48$	$f_{ts} = 168^*$	
			せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 129$	

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

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
防煙垂れ壁	—	制御室建物 EL 22.050*1			C _H =3.65*2	C _V =1.77*3	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*3：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により得られる震度

なお、制御室建物の天井スラブ（南側）の鉛直方向 1 次固有振動数が 20Hz を下回る（VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」参照）ことを踏まえ、制御室建物天井（EL 22.050m）に設置する設備の鉛直方向設計用震度は天井スラブ（南側）の応答増幅を考慮して設定する。

2.2 機器要目

2.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ρ (kg/mm ³)	A (mm ²)	A _s (mm ²)	Z (mm ³)	I (mm ⁴)	L (mm)
防煙垂れ壁											

2.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	ℓ (mm)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n 1	n 2	n 3
防煙垂れ壁										

2.3 計算数値

2.3.1 フレーム部材の荷重 (単位: N)

機器名称	N	Q
	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
防煙垂れ壁		

2.3.2 フレーム部材のモーメント (単位: N・mm)

機器名称	M
	基準地震動 S _s
防煙垂れ壁	

2.3.3 基礎ボルト部に発生する力 (単位: N)

機器名称	F_{ba}	F_{bs}
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁		

2.3.4 基礎ボルト部に発生するモーメント (単位: N・mm)

機器名称	M_b
	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁	

2.3.5 基礎ボルトに作用する力 (単位: N)

機器名称	F_b	Q_b
	基準地震動 S_s	基準地震動 S_s
防煙垂れ壁		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
防煙垂れ壁	1	水平	
	1	鉛直	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動 S _s		備考
				算出応力	許容応力	
防煙垂れ壁	フレーム部材		引張	$\sigma_t = 2$	$f_{tm} = 279$	
			せん断	$\tau = 4$	$f_{sm} = 160$	
			曲げ	$\sigma_b = 68$	$f_{bm} = 279$	
			組合せ (垂直+せん断)	$\sigma_f = 71$	$f_{tm} = 279$	
			組合せ (引張+曲げ)	0.251	1	単位：なし
	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tb} = 48$	$f_{ts} = 168^*$	
			せん断	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 129$	

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-11 タービン補機冷却系熱交換器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.3 設計用地震力	19
5.4 計算方法	20
5.5 計算条件	27
5.6 応力の評価	27
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるタービン補機冷却系熱交換器（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

タービン補機冷却系熱交換器は、タービン建物地下1階に設置されている。タービン補機冷却系熱交換器は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

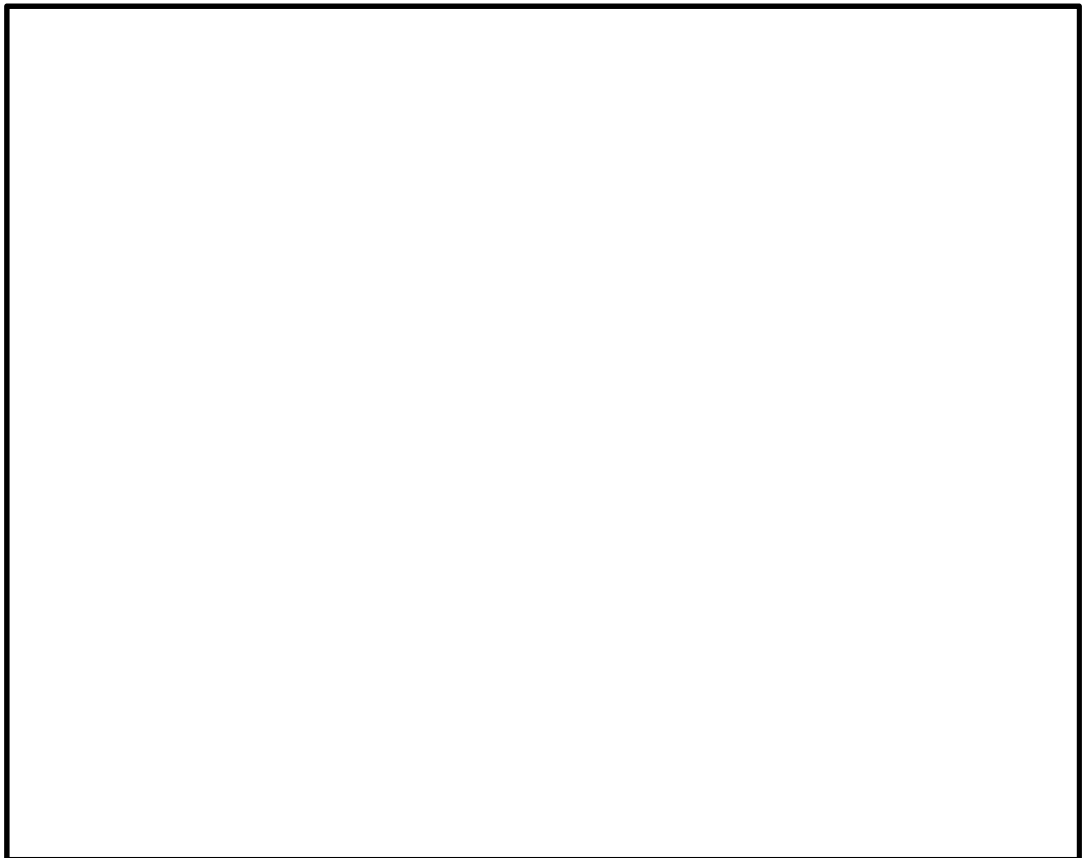


図2-1 タービン補機冷却系熱交換器と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

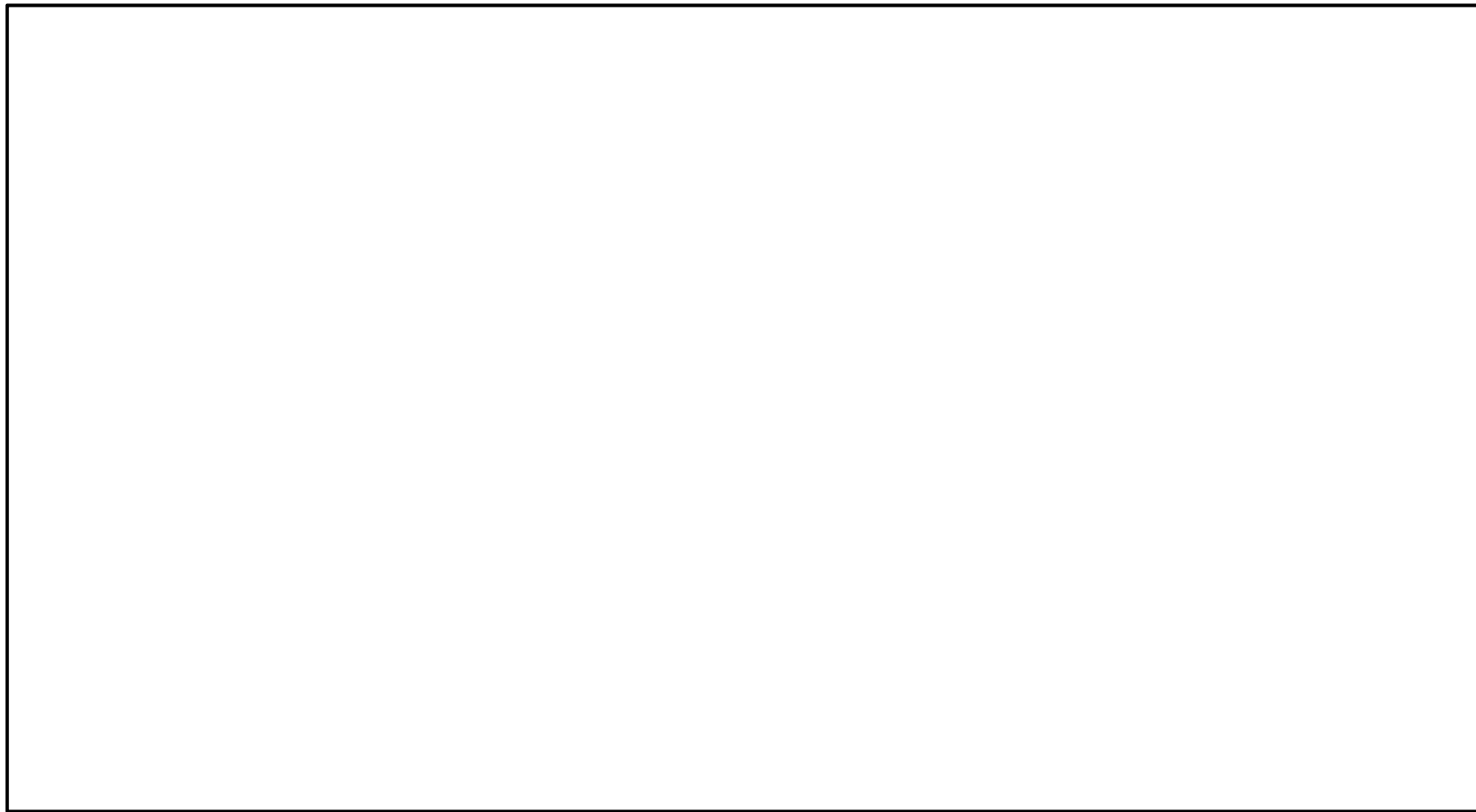
タービン補機冷却系熱交換器の構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図 (全体図)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を当板を介して 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>第 1 脚 (固定脚) は脚底板と溶接した耐震補強サポートを介して追設基礎ボルトで床面に固定する。</p>	<p>横置直管式 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	

表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図 (耐震補強サポート)



2.3 評価方針

タービン補機冷却系熱交換器の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示すタービン補機冷却系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

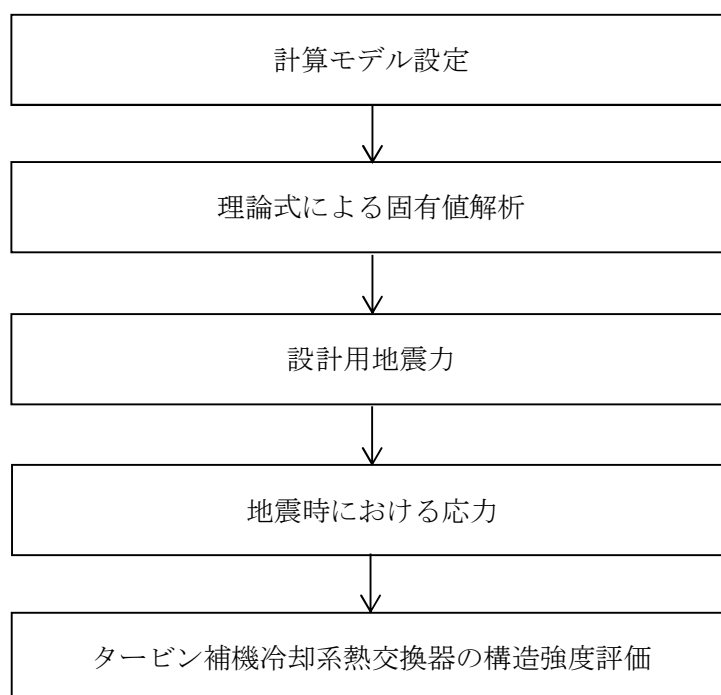


図 2-2 タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _a	追設基礎ボルトの断面積	mm ²
A _b	第1脚の基礎ボルトの断面積	mm ²
A _c	第2脚の基礎ボルトの断面積	mm ²
A _s	第1脚の断面積	mm ²
A _{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm ²
A _{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm ²
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
d _a	追設基礎ボルトの呼び径	mm
d _b	第1脚の基礎ボルトの呼び径	mm
d _c	第2脚の基礎ボルトの呼び径	mm
d ₁	第2脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d ₂	第2脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121. 3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _{c b}	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F _{c a}	横方向地震により第1脚の追設基礎ボルトに発生する引張力	N
F _{c c}	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F _{c i}	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 (i = 1, 2, 3...N _c)	N
F _{l a}	長手方向地震により追設基礎ボルトに発生する引張力	N
F _{l b}	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	N
F _{l i}	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 (i = 1, 2, 3...N _l)	N
f _{s b}	せん断力のみを受ける第1脚の基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{s b a}	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{s b c}	せん断力のみを受ける第2脚の基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける第1脚の基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t o a}	引張力のみを受ける追設基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t o c}	引張力のみを受ける第2脚のボルトの許容引張応力	MPa
f _{t m}	脚の許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける第1脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
f_{tsa}	引張力とせん断力を同時に受ける追設基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
f_{tsc}	引張力とせん断力を同時に受ける第2脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm ⁴
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
l_0	脚中心間距離	mm
l_{ca}	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{cb}	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{ci}	横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N_c$ ）	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	mm
l_{la}	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{lb}	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
l_{li}	長手方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N_\ell$ ）	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
M_c	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_{cc}	横方向地震により第2脚底面に作用するモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg

記号	記号の説明	単位
N_c	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
N_ℓ	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
n_a	脚1個当たりの追設基礎ボルトの本数	—
n_b	脚1個当たりの第1脚の基礎ボルトの本数	—
n_c	脚1個当たりの第2脚の基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
n_{ci}	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ($i=1, 2, 3\cdots N_c$)	—
$n_{\ell i}$	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ($i=1, 2, 3\cdots N_\ell$)	—
P_{sc}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合に第2脚底面に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	第2脚の基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ_a	追設基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{a1}	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{a2}	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_b	第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_c	第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{c2}	横方向及び鉛直方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
τ_a	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{a1}	長手方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{a2}	横方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_b	第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{c2}	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 表示する数値の丸め方

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

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

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、タービン補機冷却系熱交換器の転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連するもののうち、脚、第1脚の基礎ボルト、追設基礎ボルト及び第2脚の基礎ボルトについて評価を実施する。タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価部位については、表2-1及び表2-2の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴は剛体とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトは、固定支持とする。
- 第2脚は長手方向にスライドすることから、その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

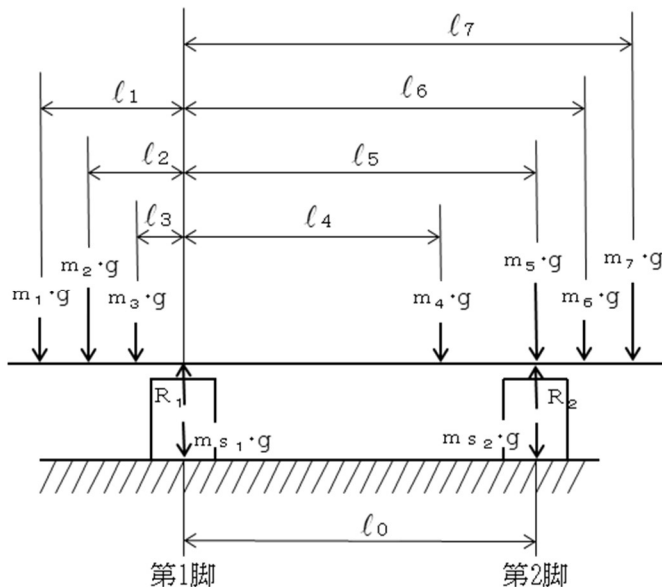


図4-1 荷重状態

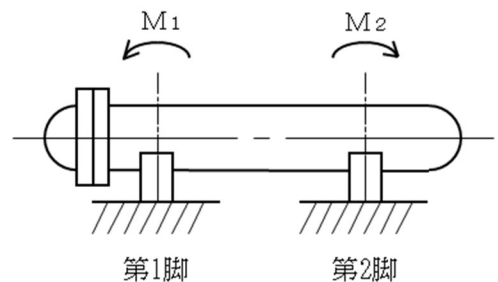


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

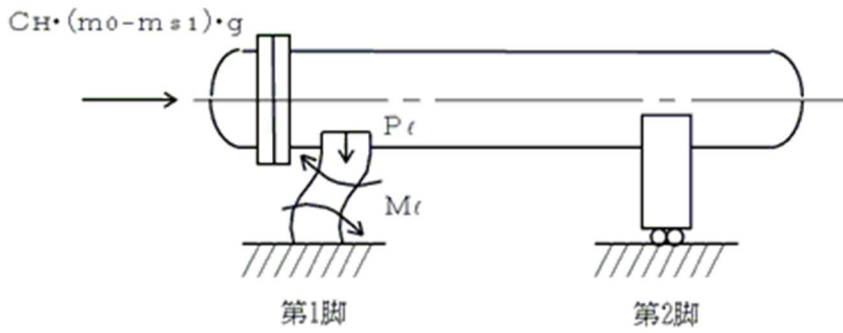


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

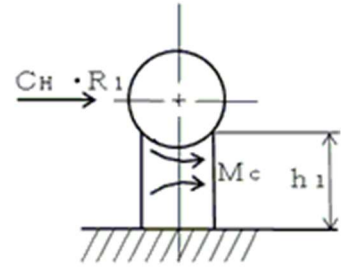
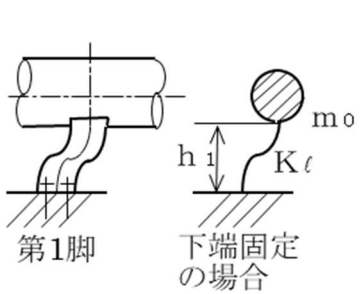


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

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



長手方向の固有周期

計算モデル

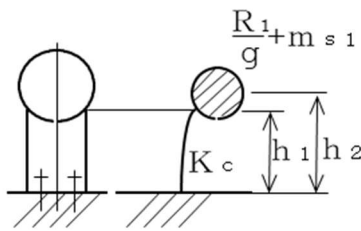


図4-6 横方向の固有周期

計算モデル

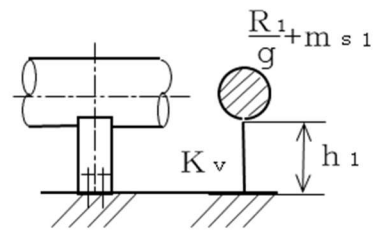


図4-7 鉛直方向の固有周期

計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

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

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

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

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

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

(3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

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

固有周期は次式で求める。

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

(4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

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

固有周期は次式で求める。

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

(5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

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

固有周期は次式で求める。

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

4.2 固有周期の計算条件

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

4.3 固有周期の計算結果

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

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平 (長手方向)	0.042
水平 (横方向)	0.020
鉛直	0.007

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

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

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

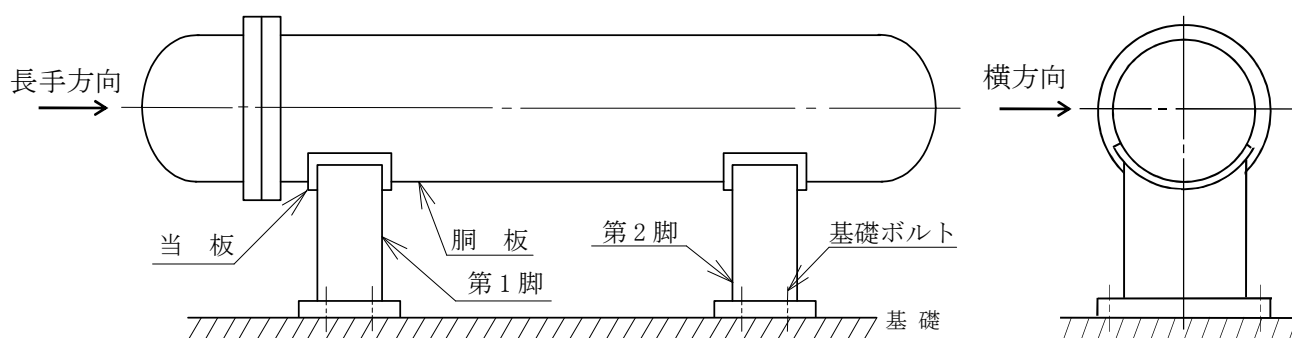


図5-1 概要図

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

タービン補機冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	タービン補機冷却系熱交換器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	タービン補機冷却系熱交換器	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として、 IV_{AS} の許容限界を用いる。)

16 注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
VAS (VASとして、IVASの許容限界を用いる。)			

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SM41A* ¹ (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第1脚の 基礎ボルト	SS41* ² (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第2脚の 基礎ボルト	SS41* ² (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記*1：SM400A 相当

*2：SS400 相当

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SM41A* ¹ (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第1脚の 基礎ボルト	SS41* ² (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第2脚の 基礎ボルト	SS41* ² (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記*1：SM400A 相当

*2：SS400 相当

5.3 設計用地震力

タービン補機冷却系熱交換器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 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

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

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
タービン建物 EL 2.0 ^{*1}	0.042	0.05 以下	—	—	$C_H=1.30^{*2}$	$C_V=0.75^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
タービン建物 EL 2.0 ^{*1}	0.042	0.05 以下	—	—	$C_H=1.30^{*2}$	$C_V=0.75^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 脚の計算方法

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_\ell}{Z_{sy}} + \frac{P_\ell}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、

$$M_\ell = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

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

$$P_\ell = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

とする。

5.4.1.2 第1脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

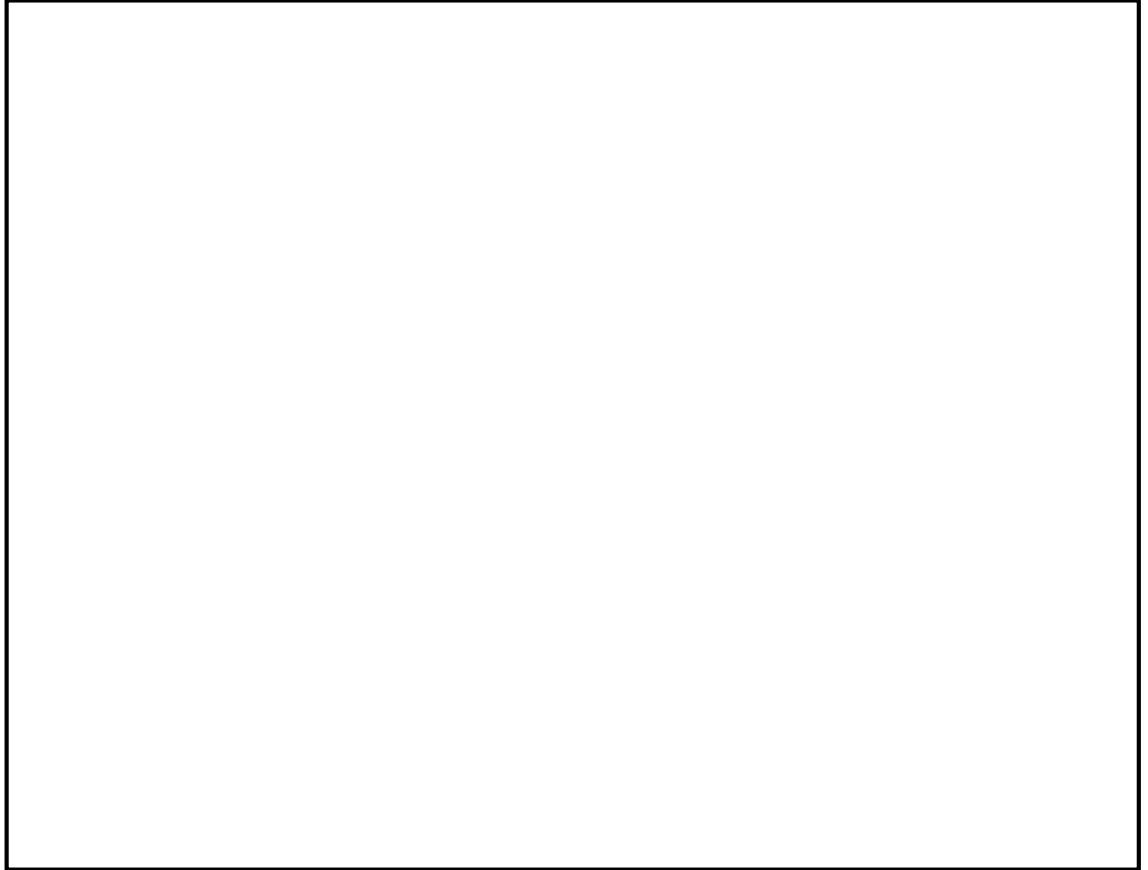


図5-2 計算モデル（長手方向転倒の場合）

図5-2でボルト端列を支点とし，長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 $F_{\ell i}$ ，第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列での本数 $n_{\ell i}$ とボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 $\ell_{\ell i}$ により，脚底面に作用するモーメント M は次式で求める。

$$M = \sum_{i=1}^{N_{\ell}} F_{\ell i} \cdot n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.2.1)$$

各ボルトに作用する力は支点からの距離に比例するものとし，第1脚の基礎ボルトに発生する1本当当たりの引張力 $F_{\ell b}$ と長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離 $\ell_{\ell b}$ により，モーメントの釣合い式は次式となる。

$$M = \frac{F_{\ell b}}{\ell_{\ell b}} \sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i}^2 \cdots \cdots \cdots (5.4.1.2.2)$$

脚底面に作用するモーメント M は，長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメント M_{ℓ} に等しいため，

$$M = M_{\ell} \cdots \cdots \cdots (5.4.1.2.3)$$

となる。したがって、第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell b}$ は次式となる。

$$F_{\ell b} = \frac{M_{\ell} \cdot \ell_{\ell b}}{\sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{b1} は第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell b}$ から次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{\ell b}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ここで、第1脚の基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

ここで、第1脚の追設基礎ボルトの軸断面積 A_a は次式により求める。

$$A_a = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

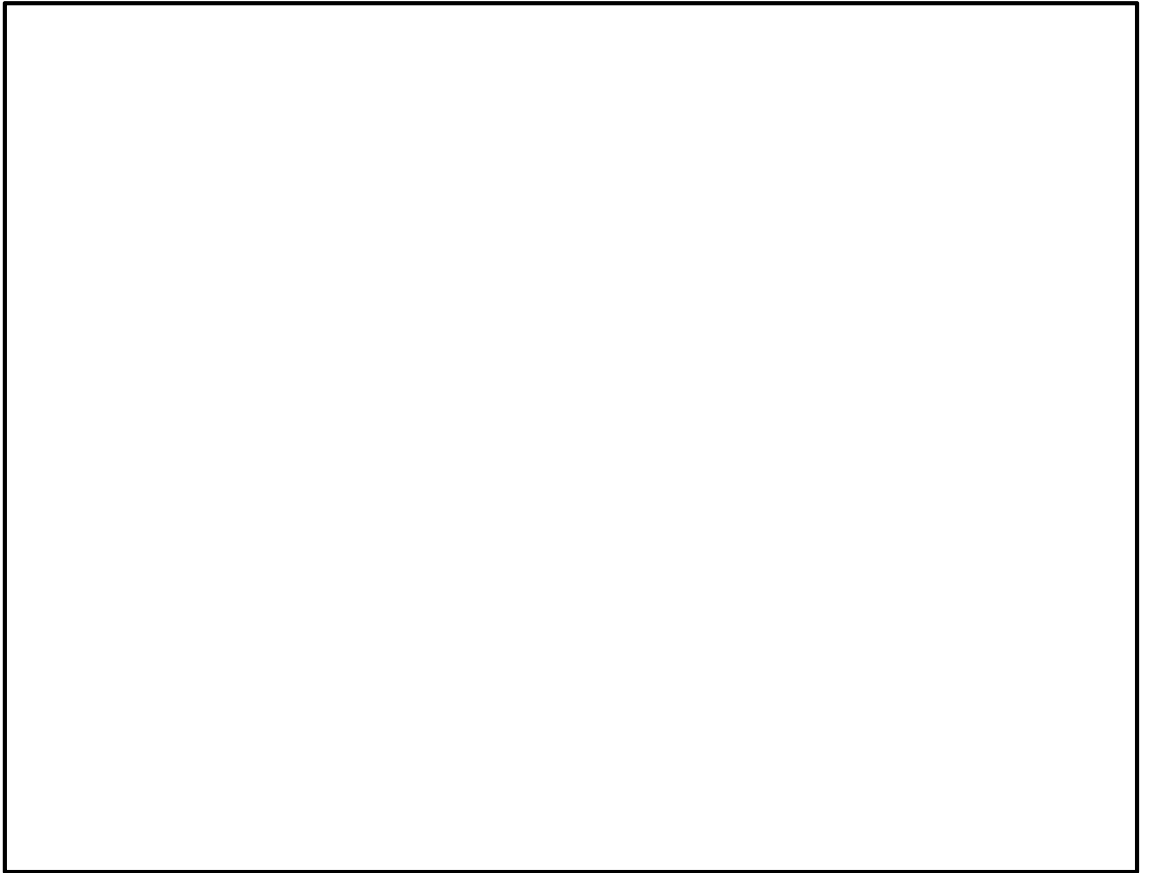


図5-3 計算モデル (横方向転倒の場合)

(1)と同様にして引張応力 σ_{b2} は求められるが、 M を M_c 、 F_{lb} を F_{cb} 、 l_{lb} を l_{cb} 、 N_l を N_c 、 n_{li} を n_{ci} 、 l_{li} を l_{ci} とする。横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 l_{ci} は図5-3に示すボルト端列を支点とした距離である。

ただし、鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式により求める。

$$M_c = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

(3) 第1脚の基礎ボルトに生じる最大応力

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

a. 第1脚の基礎ボルトの最大引張応力

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

..... (5.4.1.2.11)

b. 第1脚の基礎ボルトの最大せん断応力

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

..... (5.4.1.2.12)

5.4.1.3 追設基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

5.4.1.2(1)a.と同様にして引張応力は求められるが、 F_{lb} を F_{la} 、 ll_b を ll_a 、 A_b を A_a 、 d_b を d_a として追設基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{a1} を求める。

b. せん断応力

5.4.1.2(1)b.と同様にしてせん断応力 τ_{a1} を求める。

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

5.4.1.2(2)a.と同様にして引張応力 σ_{a2} は求められるが、 M を M_c 、 F_{la} を F_{ca} 、 ll_a を lc_a 、 N_l を N_c 、 nl_i を nc_i 、 ll_i を lc_i として追設基礎ボルトに生じる引張応力 σ_{a2} を求める。

b. せん断応力

5.4.1.2(2)b.と同様にしてせん断応力 τ_{a2} を求める。

(3) 追設基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた追設基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_a 及び τ_a とする。

a. 追設基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{a2}) \}$$

..... (5.4.1.3.1)

b. 追設基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{a2}) \}$$

..... (5.4.1.3.2)

5.4.1.4 第2脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

第2脚は摺動脚のため、第2脚の基礎ボルトに引張応力及びせん断応力は生じない。

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M_{cc} = C_H \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

鉛直荷重は

$$P_{sc} = (1 - C_v) \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{cc} / P_{sc} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

とする。

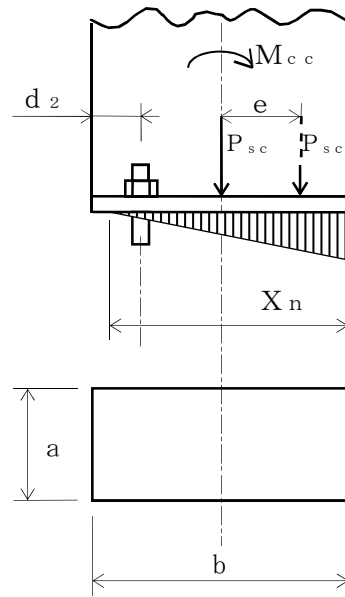


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

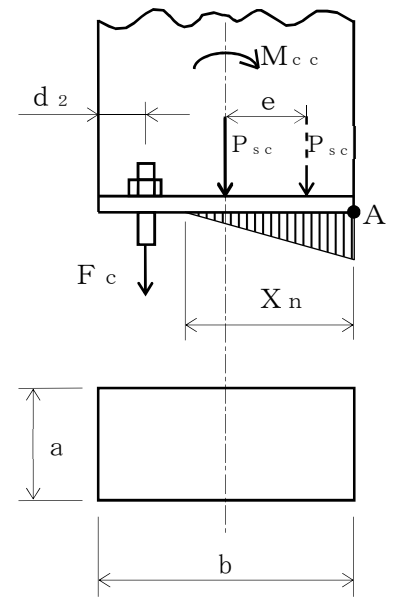


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では第2脚の基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

の場合及び e が負の場合に、第2脚の基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、第2脚の基礎ボルトの伸びと第2脚の基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_c \cdot n_2}{a} \cdot \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) \cdot (b - d_2 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

より求めることができ、第2脚の基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_{cc} = \frac{P_{sc} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.6)$$

となる。

したがって、第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{cc}}{n_2 \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、第2脚の基礎ボルトの軸断面積 A_c は次式により求める。

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{c2} = \frac{C_H \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g)}{n_c \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.9)$$

(3) 第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力は次のようになる。

a. 第2脚の基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_c = \text{横方向地震時応力} (\sigma_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.10)$$

b. 第2脚の基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_c = \text{横方向地震時応力} (\tau_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.11)$$

5.5 計算条件

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

5.6 応力の評価

5.6.1 脚の応力評価

5.4.1.1項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は下表による。

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

5.6.2 第1脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.2項で求めた第1脚の基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける第1脚の基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

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

5.6.3 追設基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた追設基礎ボルトの引張応力 σ_a は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsa} 以下であること。ただし、 f_{toa} は下表による。

$$f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

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

f_{toa}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sba}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.4 第2脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4項で求めた第2脚の基礎ボルトの引張応力 σ_c は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsc} 以下であること。ただし、 f_{toc} は下表による。

$$f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}] \quad \dots\dots\dots (5.6.4.1)$$

せん断応力 τ_c はせん断力のみ受ける第2脚の基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbc} 以下であること。ただし、 f_{sbc} は下表による。

f_{toc}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sbc}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =1.30*2	C _V =0.75*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I を上回る設計震度

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m ₀ (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	A _s (mm ²)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2300	999	1350	3.237×10 ¹⁰	6.584×10 ⁸	3.481×10 ⁷	2.863×10 ⁶	1.080×10 ⁵	3.730×10 ⁴	6.018×10 ⁴	2.508×10 ⁴	4.818×10 ⁴

ℓℓ ₁ (mm)	ℓℓ ₂ (mm)	ℓℓ ₃ (mm)	ℓc ₁ (mm)	ℓc ₂ (mm)	ℓc ₃ (mm)	ℓc ₄ (mm)	ℓc ₅ (mm)

nℓ ₁	nℓ ₂	nℓ ₃	nc ₁	nc ₂	nc ₃	nc ₄	nc ₅

ℓℓ _b (mm)	ℓℓ _a (mm)	ℓc _a (mm)	ℓc _b (mm)	n _b	n _a	n _c	n ₁	n ₂	d _b (mm)	d _a (mm)	d _c (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)

S2 補 VI-2-11-2-7-11 R1

A _b (mm ²)	A _a (mm ²)	A _c (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	s	E _s (MPa)	G _s (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S _y (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	S _u (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	F* (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

S _y (追設基礎ボルト) (MPa)	S _u (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)	S _y (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	S _u (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	F* (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記*：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{st} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

1.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

1.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

1.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ *2: $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$ *3: $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =1.30*2	C _V =0.75*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I を上回る設計震度

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m ₀ (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	A _s (mm ²)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2300	999	1350	3.237×10 ¹⁰	6.584×10 ⁸	3.481×10 ⁷	2.863×10 ⁶	1.080×10 ⁵	3.730×10 ⁴	6.018×10 ⁴	2.508×10 ⁴	4.818×10 ⁴

ℓℓ ₁ (mm)	ℓℓ ₂ (mm)	ℓℓ ₃ (mm)	ℓc ₁ (mm)	ℓc ₂ (mm)	ℓc ₃ (mm)	ℓc ₄ (mm)	ℓc ₅ (mm)

nℓ ₁	nℓ ₂	nℓ ₃	nc ₁	nc ₂	nc ₃	nc ₄	nc ₅

ℓℓ _b (mm)	ℓℓ _a (mm)	ℓc _a (mm)	ℓc _b (mm)	n _b	n _a	n _c	n ₁	n ₂	d _b (mm)	d _a (mm)	d _c (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)

S2 補 VI-2-11-2-7-11 R1

A _b (mm ²)	A _a (mm ²)	A _c (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	a (mm)	b (mm)	s	E _s (MPa)	G _s (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	S _y (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	S _u (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	F* (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

S _y (追設基礎ボルト) (MPa)	S _u (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)	S _y (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	S _u (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	F* (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記*：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{st} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

2.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

2.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

2.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

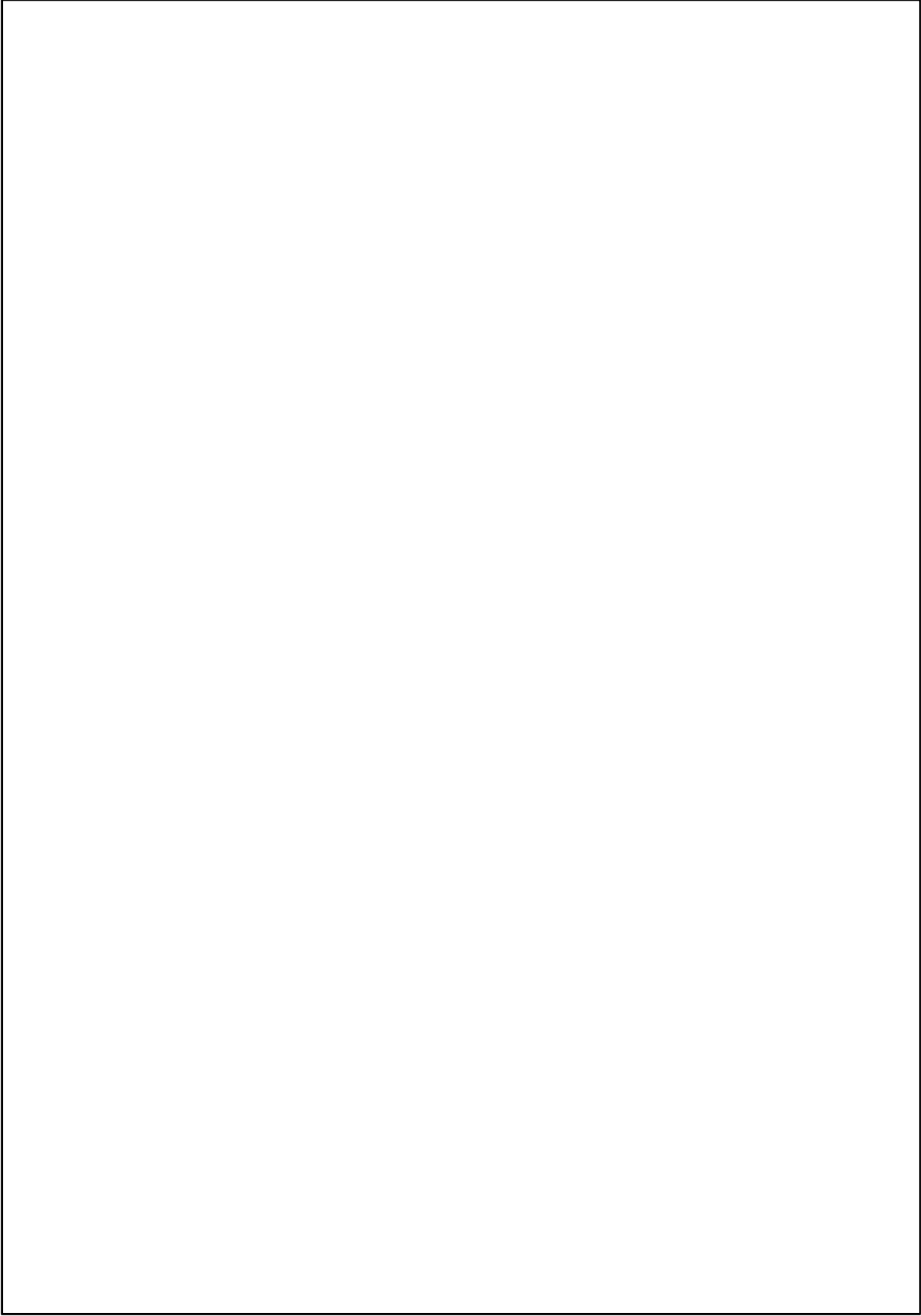
2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

注記*1: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ *2: $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$ *3: $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$

すべて許容応力以下である。



VI-2-11-2-7-12 高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の確認方法	7
4.3 固有周期の確認結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	16
5.6 応力の評価	16
6. 評価結果	17
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である高光度航空障害灯管制器が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である排気筒（非常用ガス処理系用）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

高光度航空障害灯管制器は、排気筒 EL 8.5m に設置されている。高光度航空障害灯管制器は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である排気筒（非常用ガス処理系用）に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は、排気筒（非常用ガス処理系用）に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

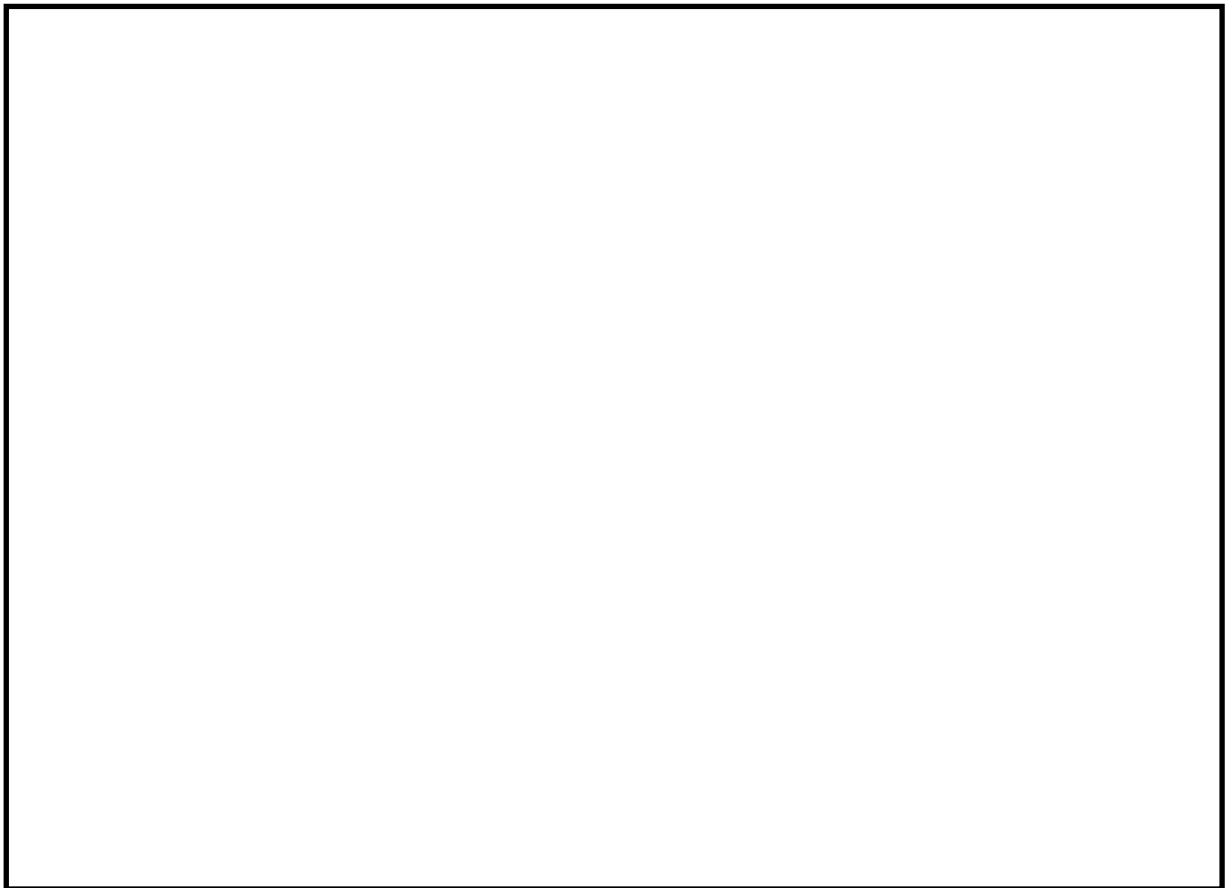


図 2-1 高光度航空障害灯管制器と排気筒（非常用ガス処理系用）の位置関係図

2.2 構造計画

高光度航空障害灯管制器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>高光度航空障害灯管制器は、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>(正面図) (側面図) (単位：mm)</p>

2.3 評価方針

高光度航空障害灯管制器の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造計画」にて示す高光度航空障害灯管制器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高光度航空障害灯管制器の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

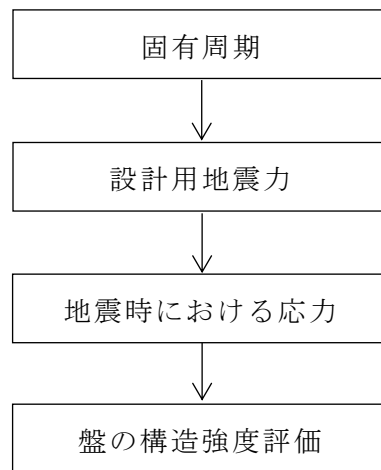


図 2-2 高光度航空障害灯管制器の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$f_{s b}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	高光度航空障害灯管制器の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P_K	風荷重	N
P_S	積雪荷重	N
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*： $l_1 \leq l_2$

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

高光度航空障害灯管制器の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

高光度航空障害灯管制器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

高光度航空障害灯管制器の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。高光度航空障害灯管制器の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
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) 盤は基礎ボルトで床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 盤の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行う。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高光度航空障害灯管制器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高光度航空障害灯管制器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高光度航空障害灯管制器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

5.2.4 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を使用し、高光度航空障害灯管制器の形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 5-6 に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し、高光度航空障害灯管制器の形状

を踏まえ，算出する。算出した積雪荷重を表 5-7 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	高光度航空障害灯管制器	—	—*	$D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_S$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	高光度航空障害灯管制器	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$	$IV_A S$

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504	205

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504	205

表 5-6 基準速度圧（単位：N/m²）

作用する部位	基準速度圧
高光度航空障害灯管制器	855.4

表 5-7 積雪荷重（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
高光度航空障害灯管制器	336.0

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-8 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-8 設計用地震力

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		減衰定数 (%)		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	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排気筒 EL 8.5* ¹	□	□	4.0	—	—	—	C _H = 3.33* ²	C _V = 1.25* ³

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

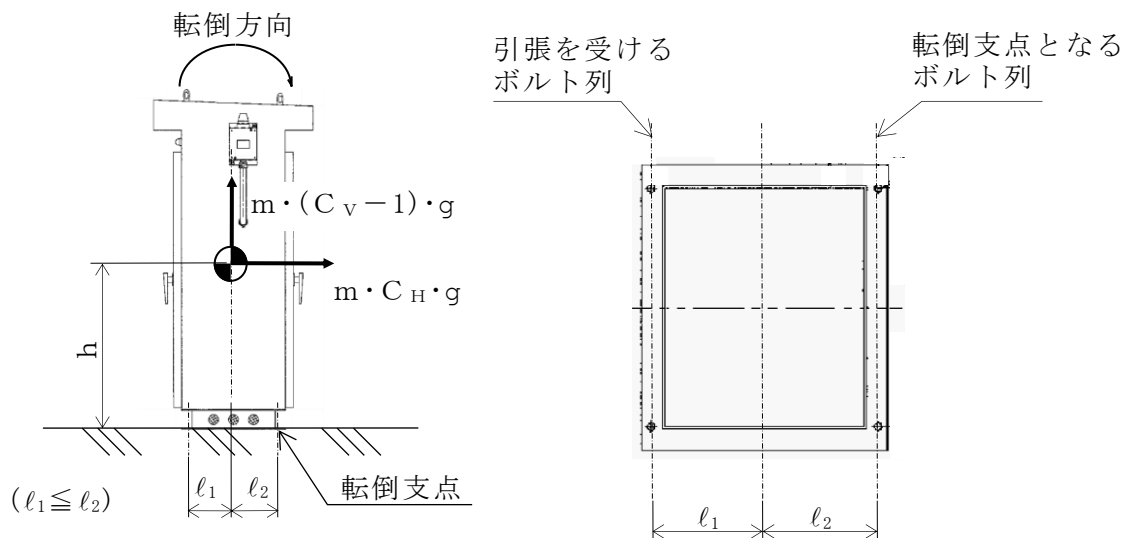


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

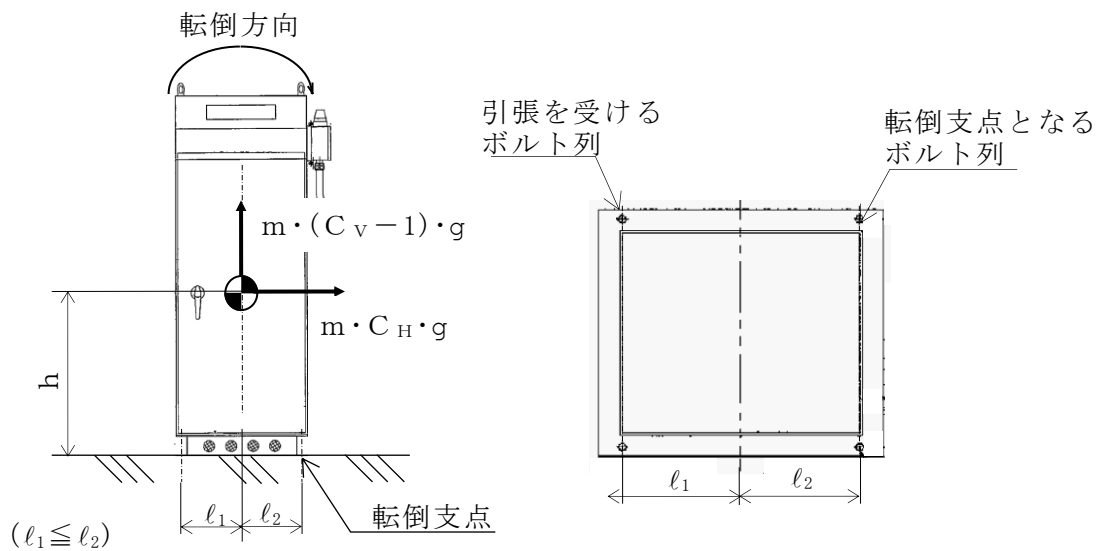


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h + P_K \cdot h - (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b + P_K}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高光度航空障害灯管制器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため、記載を省略する。

【高光度航空障害灯管制器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設


1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高光度航空障害灯管制器	—	排気筒 EL 8.5* ¹			—	—	C _H =3.33* ²	C _V =1.25* ³	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		825* ¹	12 (M12)	113.1	4	198	504	205

部材	l ₁ * ² (mm)	l ₂ * ² (mm)	n _f * ²	P _K (N)	P _S (N)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	240	240	2	3.388×10 ³	336.0	—	205	—	短辺方向
	250	250	2						

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

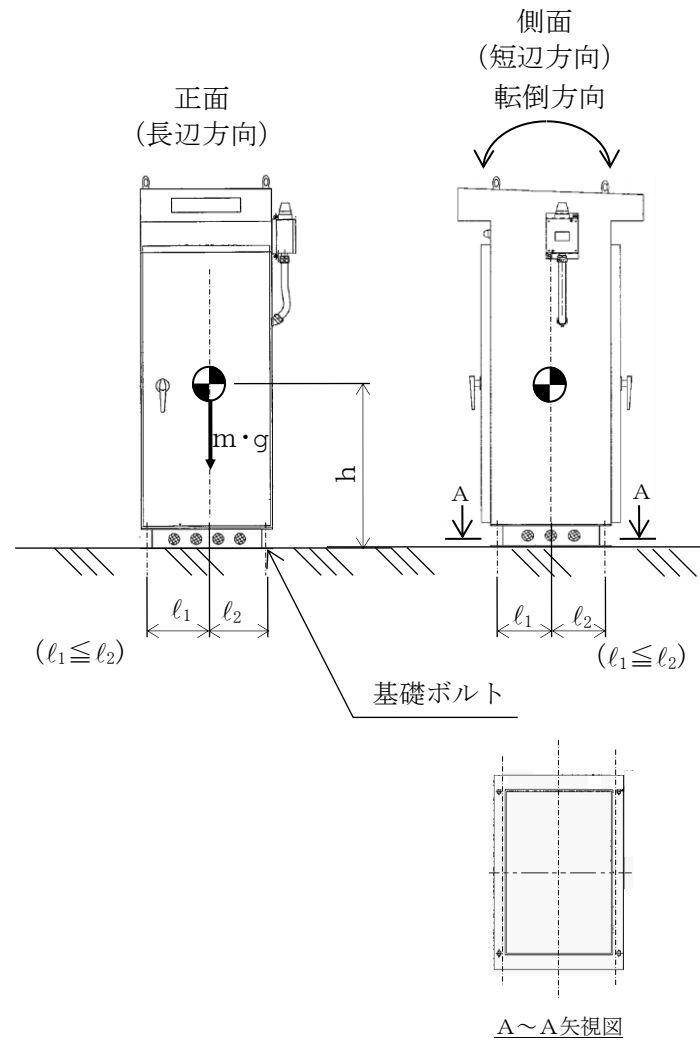
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS304	引張	—	—	$\sigma_b = 111$	$f_{ts} = 153^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 32$	$f_{sb} = 118$

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

すべて許容応力以下である。



VI-2-11-2-7-13 主排気ダクトの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 鳥瞰図	3
2.4 評価方針	9
2.5 適用規格・基準等	10
2.6 記号の説明	11
2.7 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力・断面二次モーメント	13
4.3 解析モデル及び諸元	21
4.4 設計条件	23
4.5 固有周期	26
4.6 設計用地震力	30
4.7 計算方法	31
4.8 計算条件	32
4.9 応力評価	32
5. 評価結果	33
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	33
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33

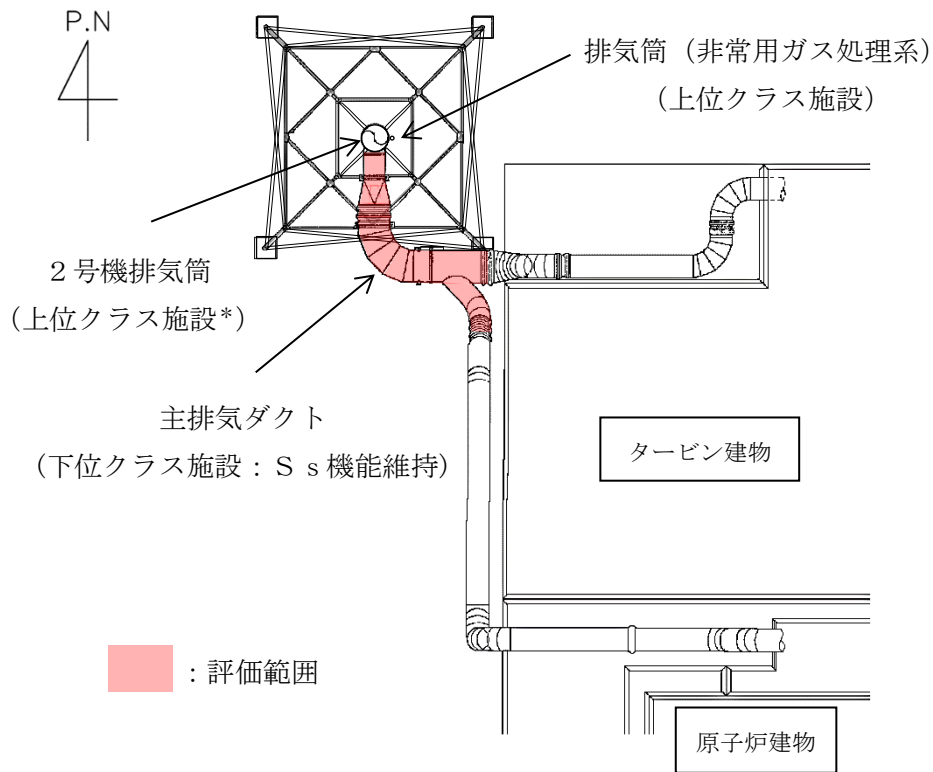
1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である主排気ダクト及び支持構造物（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である2号機排気筒に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

主排気ダクトは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である2号機排気筒に隣接していることから、地震時に本機器が転倒及び落下した場合は、2号機排気筒に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



注記*：排気筒（非常用ガス処理系）の間接支持構造物であるため、上位クラス施設となる。

図2-1 主排気ダクトと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

主排気ダクトの構造計画を表2-1に示す。






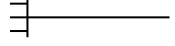
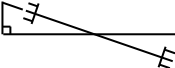
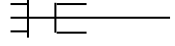
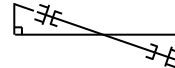

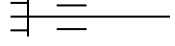
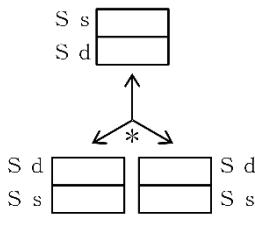

表 2-1 構造計画

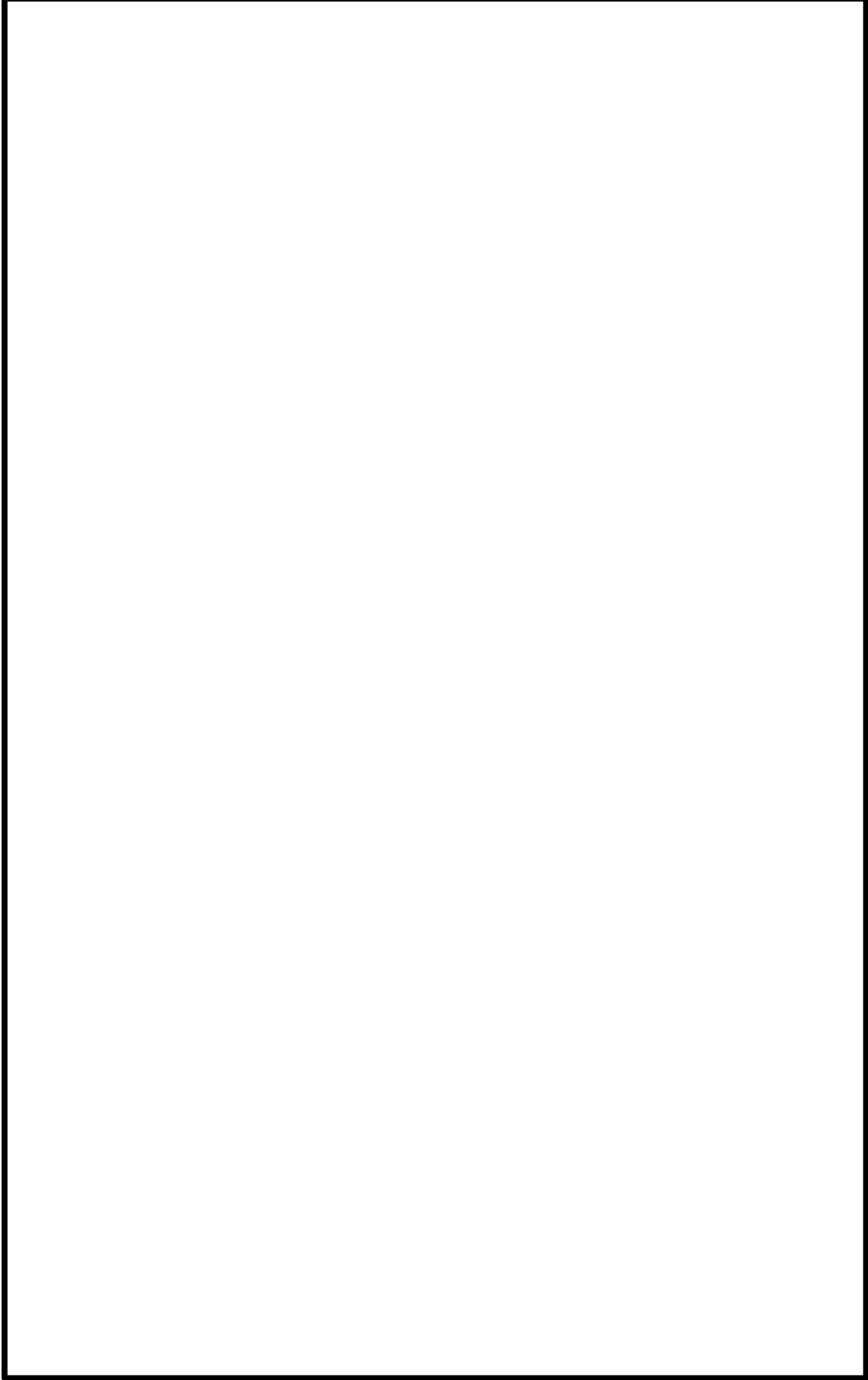
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
主排気ダクトは、支持構造物を介して基礎ボルトにより基礎部であるコンクリート床に固定される。	主排気ダクトは、矩形ダクト、円形ダクト、伸縮継手で構成され、2号機排気筒に接続される。	

2.3 鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。

なお、複数建物・構築物に跨る解析モデルについては、建物・構築物の境界を記載する。
また、設計基準対象施設と重大事故等対処設備の兼用範囲を含む解析モデルについては、設計基準対象施設に該当する範囲を示した鳥瞰図と重大事故等対処設備に該当する範囲を示した鳥瞰図に分けて添付する。鳥瞰図の記号凡例を下表に示す。

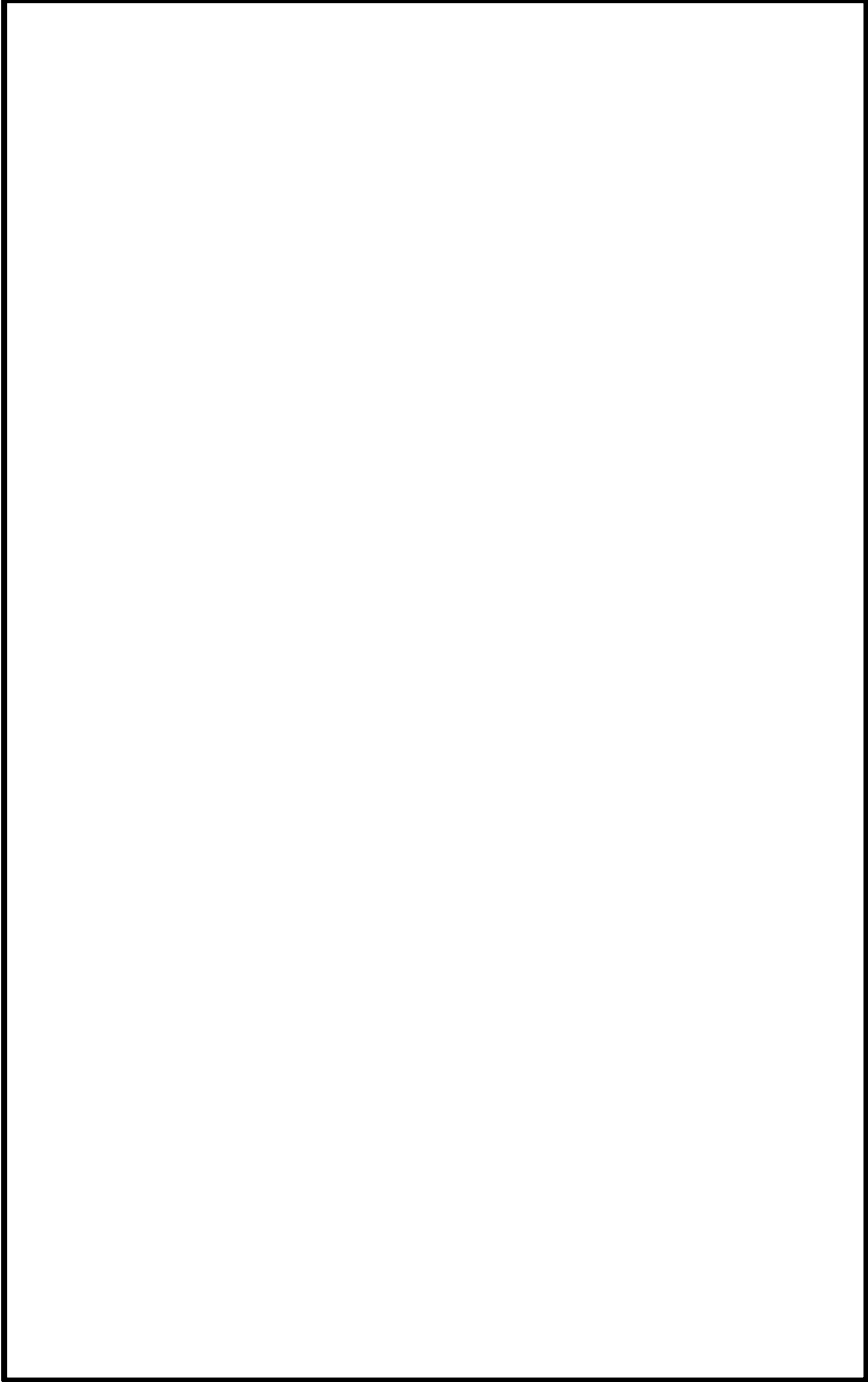
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、当該計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、当該系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号、矢印は拘束方向を示す。また、  内に変位量を記載する。なお、S_s機能維持の範囲はS_s地震動による変位量のみを記載する。)



鳥瞰図 HVAC-Y-1 (1/5)



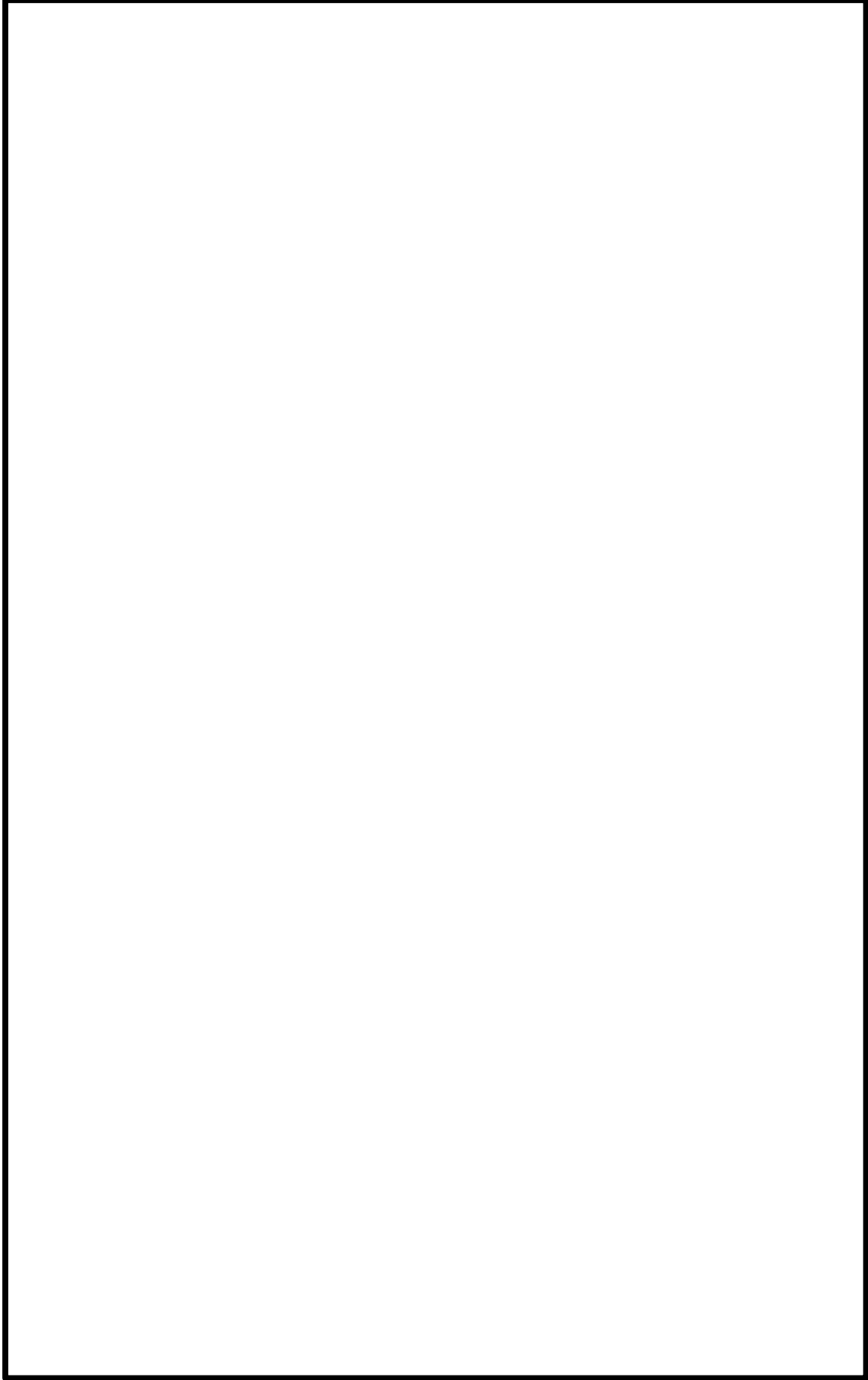
鳥瞰図 HVAC-Y-1 (2/5)



鳥瞰図 HVAC-Y-1 (3/5)



鳥瞰図 HVAC-Y-1 (4/5)



鳥瞰図 HVAC-Y-1 (5/5)

2.4 評価方針

主排気ダクト及び支持構造物の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した上位クラス施設と同じ運転状態における荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す主排気ダクトの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

主排気ダクト及び支持構造物の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

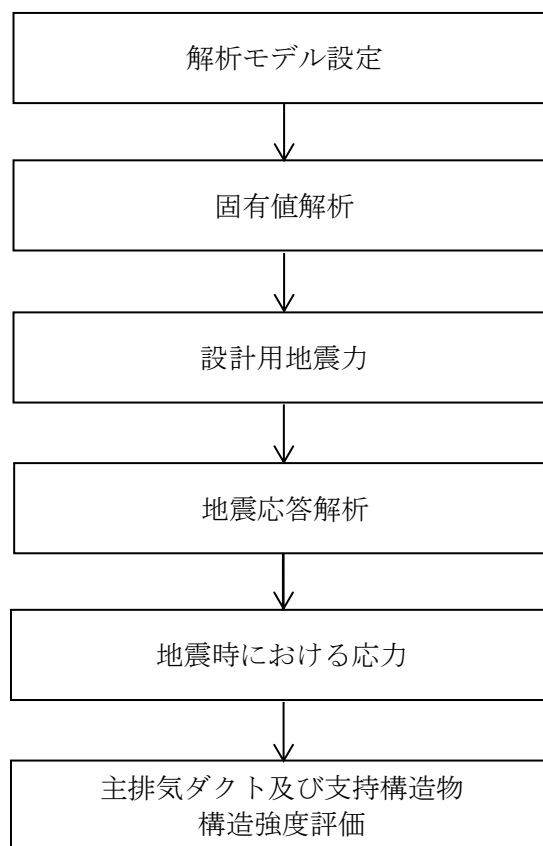


図 2-2 主排気ダクト及び支持構造物の耐震評価フロー

2.5 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。）

2.6 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	矩形ダクトの長辺長	mm
b	矩形ダクトの短辺長	mm
a e	ダクトフランジの有効幅	mm
b e	ダクトウェブの有効幅	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	円形ダクト口径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K _R	円形ダクトの許容座屈曲げモーメント係数 (<input type="text"/>)	—
K _S	矩形ダクトの許容座屈曲げモーメント係数 (<input type="text"/>)	—
I	断面二次モーメント	mm ⁴
M	ダクトの許容座屈曲げモーメント	kN・m
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
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°Cにおける値	MPa
t	ダクト板厚	mm
ν	ポアソン比	—
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _b	基礎ボルト (1本あたり) に作用する引張力	N
Q _b	基礎ボルト (1本あたり) に作用するせん断力	N
σ _{t b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許 容組合せ応力)	MPa

2.7 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
単位長さ質量	kg/m	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	下記以外の長さ	—	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	四捨五入	小数点以下第 1 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
減衰定数	%	—	—	小数点以下第 1 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
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
計算モーメント	kN・m	小数点以下第 1 位	切上げ	有効数字 4 桁 ^{*2}
許容モーメント	kN・m	小数点以下第 1 位	切捨て	有効数字 4 桁 ^{*2}

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

主排気ダクトの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、2号機排気筒に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から、主排気ダクト及び支持構造物を評価対象とする。

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) 動的解析はスペクトルモーダル解析法により実施する。
- (2) 地震力は、主排気ダクトに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2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、SRSS法を適用する。
- (3) ダクトが薄板構造であることから座屈曲げモーメントについて評価を実施する。
- (4) ダクトに接続する伸縮継手は、解析モデル上、質量としてダクト接続部に考慮している。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力・断面二次モーメント

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

主排気ダクト及び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4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

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
放射線管理施設	主排気ダクト	C	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
	支持構造物	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線管理施設	主排気ダクト	—	—	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
		—	—	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)
	支持構造物	—	—*1	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
		—	—*1	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)

注記*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

4.2.2 主排気ダクトの許容座屈曲げモーメント

主排気ダクトに生ずる曲げモーメントは、VI-2-1-13「ダクト及び支持構造物の耐震計算について」に基づき、地震による曲げモーメント及び自重による曲げモーメントの合成曲げモーメントを求め、評価を行うものとする。

次に、円形ダクト及び矩形ダクトの許容座屈曲げモーメント算出式を示す。

a. 円形ダクトの許容座屈曲げモーメント

$$M = K_R \cdot \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{D}{2} \cdot t^2$$

円形ダクト許容座屈曲げモーメントは、円筒かくの屈服座屈の式*1を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

b. 矩形ダクトの許容座屈曲げモーメント

$$M = K_S \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 E \cdot S_y}{1-\nu^2}} \cdot b \cdot t^2$$

矩形ダクト許容座屈曲げモーメントは、鶴戸口の式*2を基に安全裕度を考慮して定めたものである。

注記*1： 「新版機械工学便覧」（1987年4月 日本機械学会編）A4-7.5.3a. iv項

*2： 「薄肉長方形および箱形はりの座屈と強度」

（1963年8月日本機械学会 journal of the J. S. M. E. Vol. 66, No. 535）

4.2.3 主排気ダクトの断面二次モーメント

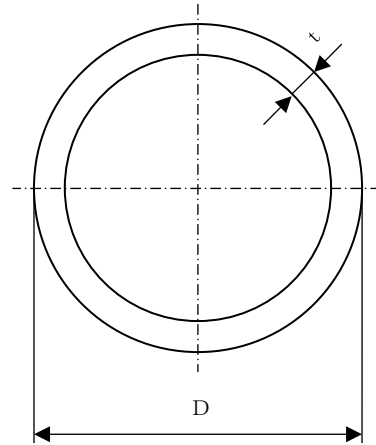
円形ダクト及び矩形ダクトの断面二次モーメントの算出方法について以下に示す。

a. 円形ダクトの断面二次モーメント

図4-1に示す円形ダクトの断面二次モーメントは、次式で与えられる。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot D^3 \cdot t$$

円形ダクトの断面二次モーメントは、円管の断面二次モーメントの算出式を基に定めたものである。



D : 円形ダクト口径 (mm)

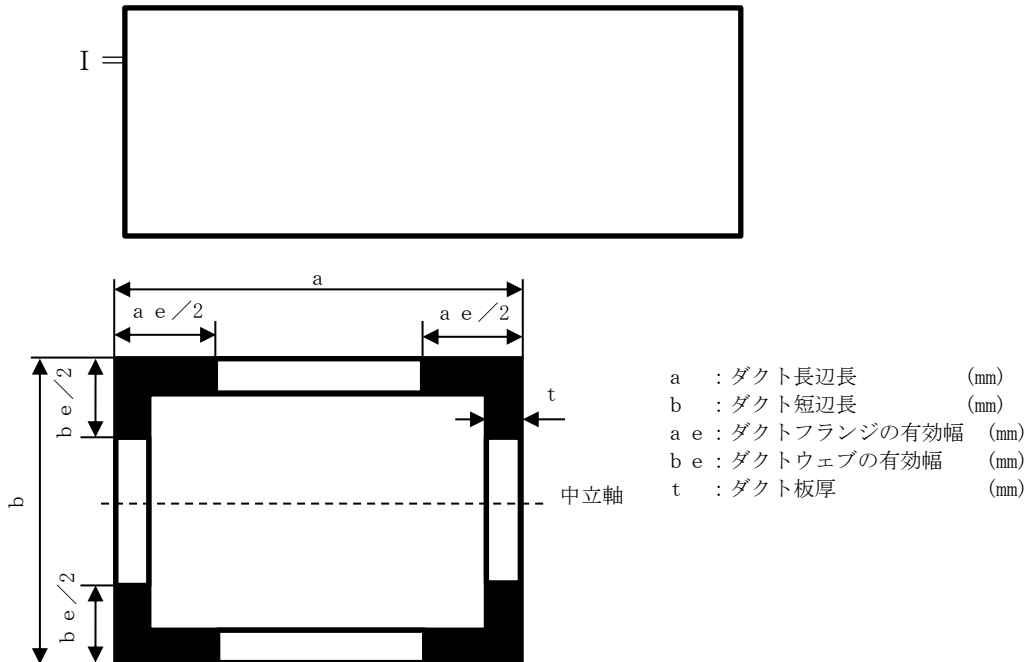
t : ダクト板厚 (mm)

図 4-1 円形ダクトの断面図

b. 矩形ダクトの断面二次モーメント

図 4-2 に示す矩形ダクトの断面二次モーメントは、次式で与えられる。矩形ダクトの断面二次モーメントは、角型鋼管の断面二次モーメントの算出式を基に定めたものである。

次式では、ダクト長辺に対して平行軸回りの断面二次モーメントを示しているが、評価においてはダクト長辺に対して平行軸回り及び直交軸回りの断面二次モーメントをそれぞれ設定する。



a : ダクト長辺長 (mm)

b : ダクト短辺長 (mm)

a e : ダクトフランジの有効幅 (mm)

b e : ダクトウェブの有効幅 (mm)

t : ダクト板厚 (mm)

図 4-2 矩形ダクトの断面図

4.2.4 支持構造物の許容応力

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 4-3 に示す。
なお、支持構造物は、支持構造物部材と主排気ダクトを支持している支持装置である。

4.2.5 使用材料の許容応力評価条件

主排気ダクト及び支持構造物、基礎ボルトの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
主排気ダクト		最高使用温度	80	—	229	—	—
		最高使用温度	80	—	229	—	—
支持構造物部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
		周囲環境温度	40	—	235	400	—
		周囲環境温度	40	—	245	400	—
		周囲環境温度	40	—	325	490	—
支持装置		最高使用温度	80	—	204	379	—
		最高使用温度	80	—	706	847	—
		最高使用温度	80	—	229	379	—
		最高使用温度	80	—	229	379	—
基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	785	930	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	80				
主排気ダクト		最高使用温度	80	—	229	—	—
		最高使用温度	80	—	229	—	—
支持構造物部材		周囲環境温度	40	—	245	400	—
		周囲環境温度	40	—	235	400	—
		周囲環境温度	40	—	245	400	—
		周囲環境温度	40	—	325	490	—
支持装置		最高使用温度	80	—	204	379	—
		最高使用温度	80	—	706	847	—
		最高使用温度	80	—	229	379	—
		最高使用温度	80	—	229	379	—
基礎ボルト		周囲環境温度	40	—	785	930	—

4.3 解析モデル及び諸元

主排気ダクト及び支持構造物の解析モデルを図4-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【主排気ダクト及び支持構造物の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 主排気ダクト及びその支持構造物をはり要素でモデル化した3次元はりモデルを用いる。
- (2) 解析モデル各節点の質量は、ダクト質量等であり、実際の位置を考慮して付加する。
- (3) 拘束条件は、支持構造物のコンクリート床への取付部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「SAP2000」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5-58「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (5) 支持構造物部材は、部材同士を溶接で接合しているため、剛結合とする。また、支持装置は、支持構造物部材とボルトで接合しているため、ピン結合とする。
- (6) 主排気ダクトと伸縮継手との取り合いについては、取り合い部を自由端とし、端部に伸縮継手の集中質量を付加する。

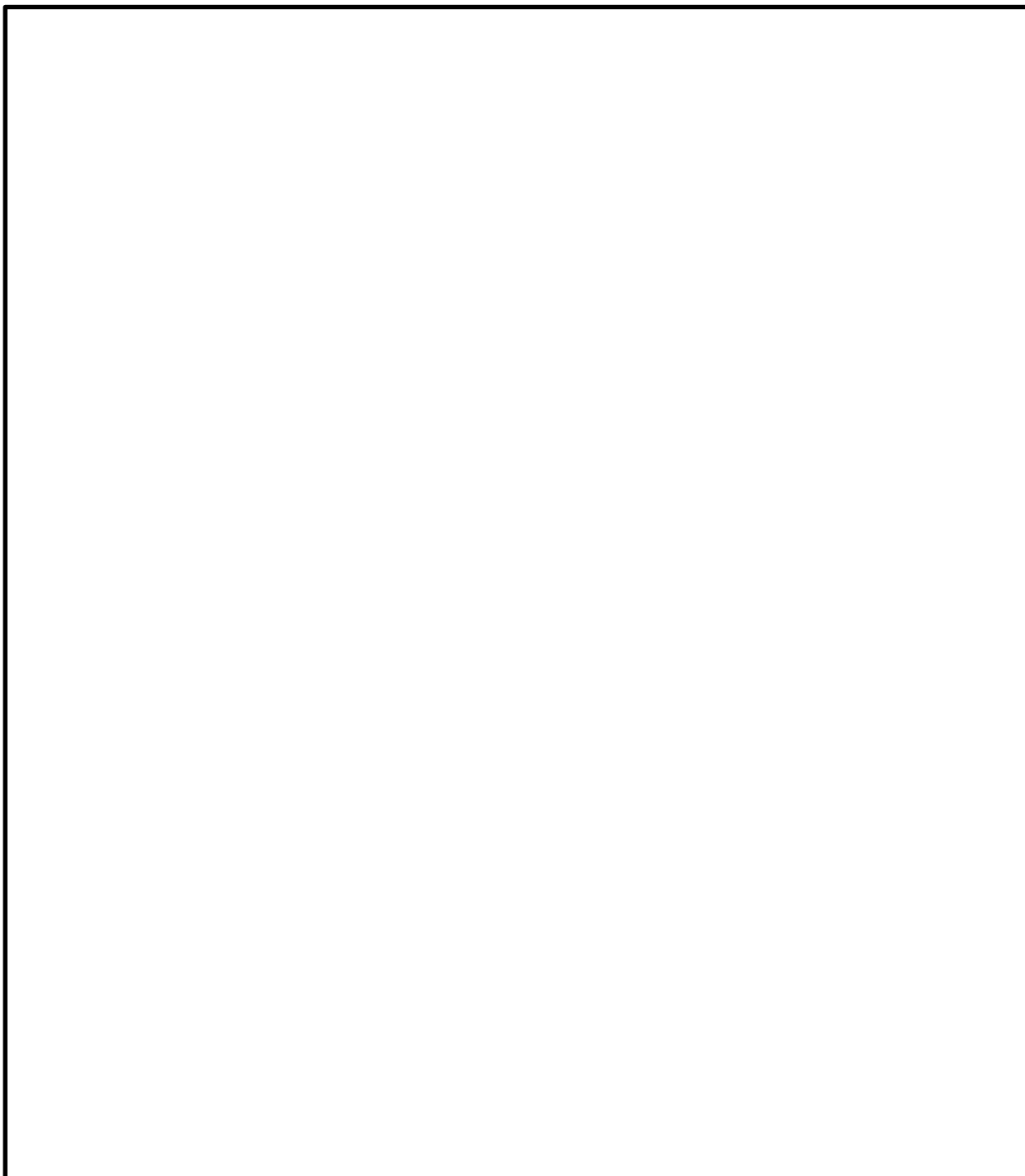


図 4-3 主排気ダクト及び支持構造物解析モデル

4.4 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応したダクト番号及び支持構造物番号で区分し、ダクト番号及び支持構造物番号と対応する評価点番号を示す。また、ダクト番号及び支持構造物番号に対応した評価点番号に対して、解析上考慮する付加質量を示す。

鳥 瞰 図 HVAC-Y-1

a. 円形ダクト

ダクト番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11~30	0.003	80	3818	9.0		C	200000
2	30~35	0.003	80	3818	9.0		C	200000
3	41~49, 15	0.003	80	2718	9.0		C	200000

b. 矩形ダクト

ダクト番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	長辺長 (mm)	短辺長 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	35~40	0.003	80	5018	2518	9.0		C	200000

c. 支持構造物

支持構造物 番号	対応する 評価点	周辺環境 温度 (°C)	使用鋼材	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1001~225, 1002~230, 1003~229 1004~234, 1005~235, 1006~239	40	K300×300×12.0		C	202000
2	2001~321, 2002~325, 2003~326 2004~330, 334~384, 339~386	40	K300×300×12.0		C	202000
3	201~212, 204~209, 205~216, 208~213 203~207, 211~215, 218~221 301~310, 305~306, 311~320, 315~316 301~315, 305~311, 306~320, 310~316	40	K200×200×12.0		C	202000
4	225~229, 235~239, 230~234, 225~230 227~232, 229~234 321~325, 326~330, 334~339 332~337, 321~326, 325~330	40	H400×400×13/21		C	202000
5	332~384, 326~384 337~386, 330~386	40	H300×300×10/15		C	202000
6	384~386, 344~388, 346~389	40	H250×250×9/14		C	202000

主排気ダクトの付加質量

鳥 瞰 図 HVAC-Y-1

質量	対応する評価点
—	—

伸縮継手部等の付加質量

鳥 瞰 図 HVAC-Y-1

質量	対応する評価点
1450kg	11
2550kg	40
985kg	41

支持構造物の付加質量

鳥 瞰 図 HVAC-Y-1

質量	対応する評価点
—	—

4.5 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6 に示す。また、振動モード図は 3 次モードまでを代表とし、図 4-4 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-6 固有値解析結果

モード* ¹	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数* ²		鉛直方向刺激係数* ²
			EW 方向	NS 方向	
1 次	水平	0.383	-3.541	0.517	-0.106
2 次	水平	0.199	1.328	-1.189	-0.237
3 次	水平	0.160	4.419	1.043	-0.031
4 次	水平	0.090	-0.209	5.496	0.125
5 次	鉛直	0.060	0.094	-0.616	2.227

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

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

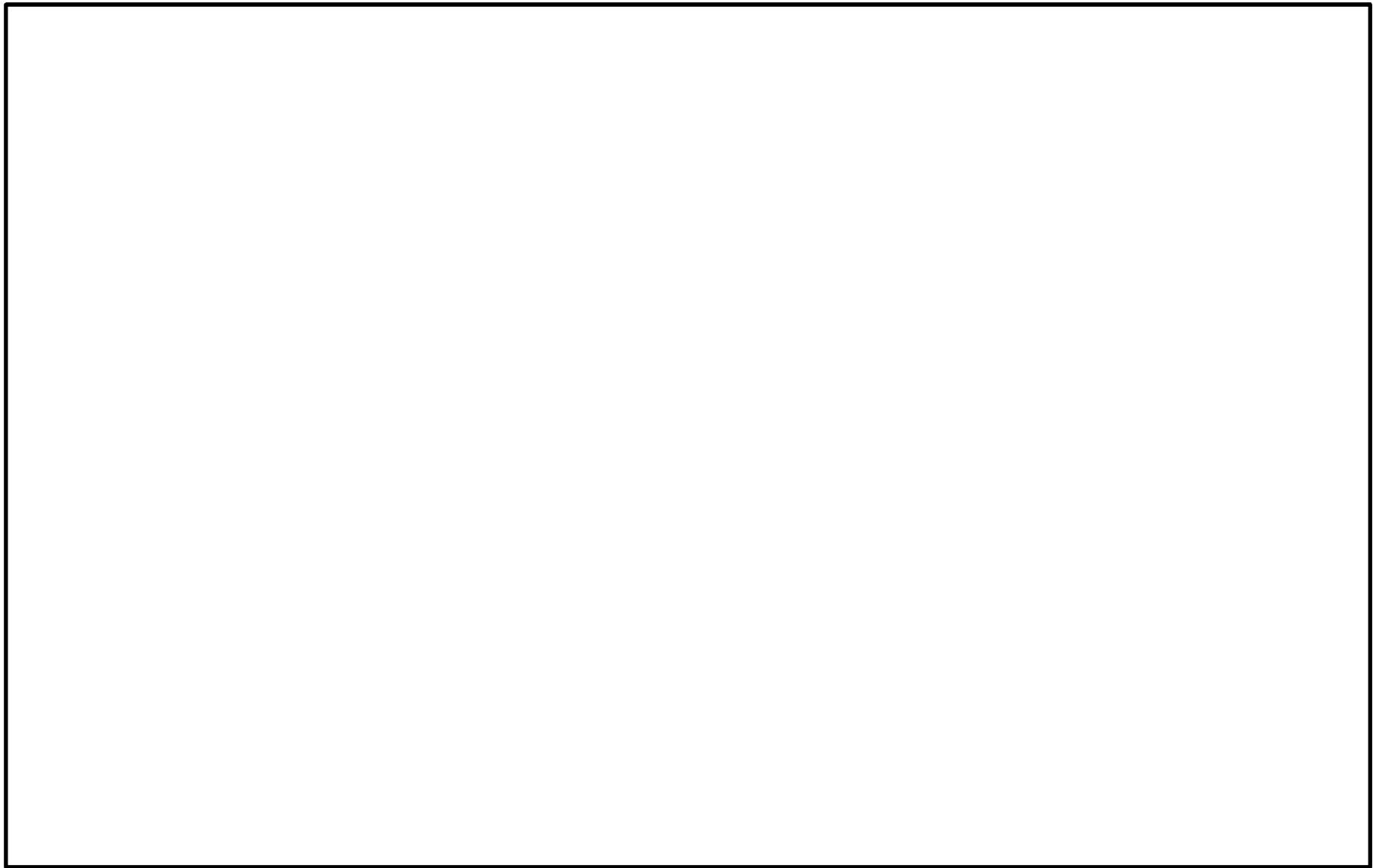


図 4-4 代表振動モード図 (1 次モード 0.383s) (1/3)

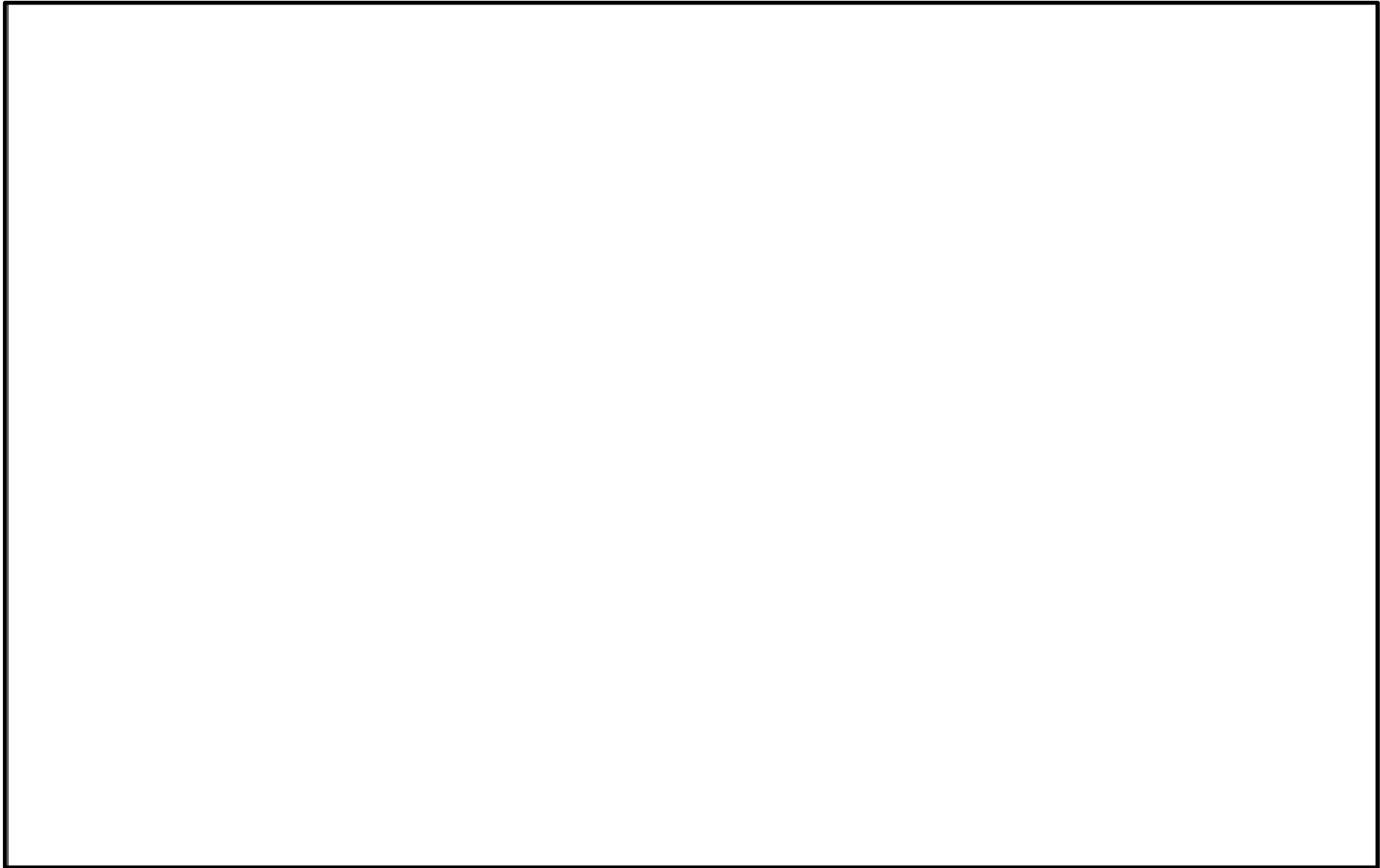


図 4-4 代表振動モード図 (2 次モード 0.199s) (2/3)

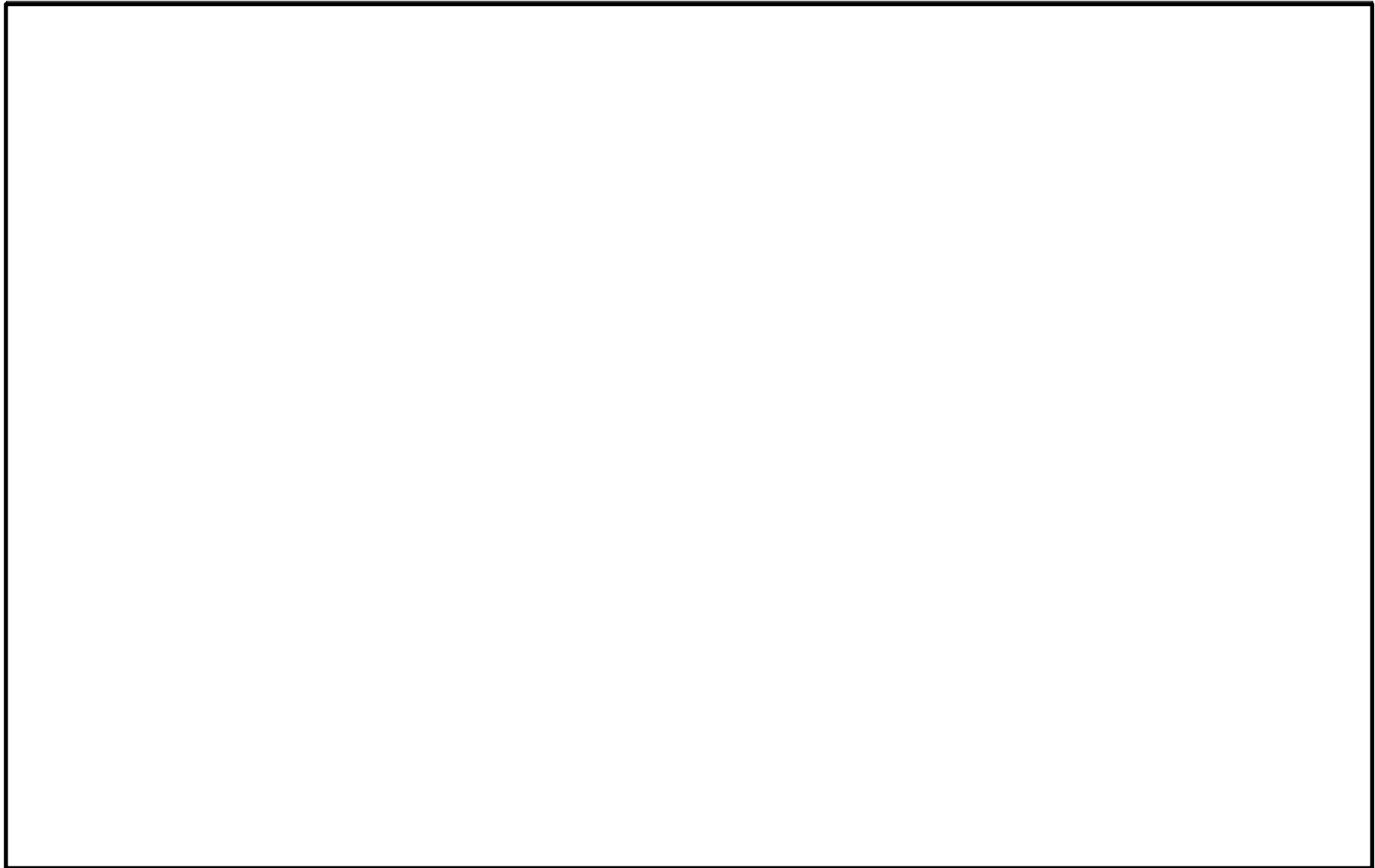


図 4-4 代表振動モード図 (3 次モード 0.160s) (3/3)

4.6 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-7 設計用地震力

据付場所及び床面高さ(m)		排気筒 EL 8.500* ¹		
固有周期(s)		水平：0.383* ² 鉛直：0.060* ²		
減衰定数(%)		水平：2.5 鉛直：2.5		
地震力		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
		EW 方向	NS 方向	
1次	0.383	2.26	2.26	1.34
2次	0.199	2.26	2.26	1.79
3次	0.160	3.43	3.43	1.78
4次	0.090	5.27	5.27	2.53
5次	0.060	3.51	3.51	2.93
動的震度* ^{5, *6}		1.47	1.47	0.93
静的震度* ⁷		—	—	—

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（基準地震動 S s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）により得られる震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*7：3.6・C_i 及び 1.2・C_v より定めた震度

4.7 計算方法

4.7.1 基礎ボルトの応力の計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本あたり）に対する引張応力は、下式により計算する。

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.7.1.1)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.7.1.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は、下式により計算する。

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.7.1.3)$$

4.8 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【主排気ダクトの耐震性についての計算結果】及び【支持構造物の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.9 応力評価

4.9.1 基礎ボルトの応力評価

4.7.1 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.9.1.1)$$

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

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

5.1.1 主排気ダクトの評価結果

主排気ダクトの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.1.2 支持構造物の評価結果

支持構造物の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.1.3 基礎ボルトの評価結果

基礎ボルトの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

5.2.1 主排気ダクトの評価結果

主排気ダクトの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2.2 支持構造物の評価結果

支持構造物の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2.3 基礎ボルトの評価結果

基礎ボルトの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s による地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【主排気ダクトの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
主排気ダクト	C	排気筒 EL 8.500*1	0.383	0.060	$C_H=1.47^{*2}$ 又は*3	$C_V=0.93^{*2}$ 又は*3	80	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 主排気ダクト

材料	E (MPa)	S _y (MPa)
	200000	229
	200000	229

1.3 構造強度評価結果

(単位：kN・m)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	鳥瞰図番号	最大発生曲げ モーメント評価点	基準地震動 S s	
						発生曲げ モーメント	許容座屈曲げ モーメント
主排気ダクト	ダクト本体		曲げ モーメント	HVAC-Y-1	38	1.318×10 ³	

すべて許容座屈曲げモーメント以下である。

【支持構造物の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
支持構造物	C	排気筒 EL 8.500*1	0.383	0.060	$C_H=1.47^{*2}$ 又は*3	$C_V=0.93^{*2}$ 又は*3	80	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 支持構造物部材

材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
	202000	245	400
	202000	235	400
	202000	245	400
	202000	325	490

1.2.2 支持装置

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)
	204	379
	706	847
	229	379
	229	379

1.2.3 基礎ボルト

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	d (mm)	A _b (mm ²)
	785	930	36 (M36)	1017.8
	785	930	30 (M30)	706.8

1.3 基礎ボルトに作用する力

部材	F _b (N)	Q _b (N)
	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
基礎ボルト	242300	42695

1.4 構造強度評価結果

1.4.1 支持構造物部材及び支持装置の応力

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力
支持構造物	支持構造物部材		組合せ応力	248	
	支持装置		組合せ応力	194	

すべて許容応力以下である。

1.4.2 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	343	
		せん断	61	

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

すべて許容応力以下である。

【主排気ダクトの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
主排気ダクト	—	排気筒 EL 8.500*1	0.383	0.060	$C_H=1.47^{*2}$ 又は*3	$C_V=0.93^{*2}$ 又は*3	80	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 主排気ダクト

材料	E (MPa)	S _y (MPa)
	200000	229
	200000	229

2.3 構造強度評価結果

(単位：kN・m)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	鳥瞰図番号	最大発生曲げ モーメント評価点	基準地震動 S s	
						発生曲げ モーメント	許容座屈曲げ モーメント
主排気ダクト	ダクト本体		曲げ モーメント	HVAC-Y-1	38	1.318×10 ³	

すべて許容座屈曲げモーメント以下である。

【支持構造物の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
支持構造物	—	排気筒 EL 8.500*1	0.383	0.060	C _H =1.47*2 又は*3	C _V =0.93*2 又は*3	80	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 支持構造物部材

材料	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
	202000	245	400
	202000	235	400
	202000	245	400
	202000	325	490

2.2.2 支持装置

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)
	204	379
	706	847
	229	379
	229	379

2.2.3 基礎ボルト

材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	d (mm)	A _b (mm ²)
	785	930	36 (M36)	1017.8
	785	930	30 (M30)	706.8

2.3 基礎ボルトに作用する力

部材	F _b (N)	Q _b (N)
	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
基礎ボルト	242300	42695

2.4 構造強度評価結果

2.4.1 支持構造物部材及び支持装置の応力

(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力	基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力
支持構造物	支持構造物部材		組合せ応力	248	
	支持装置		組合せ応力	194	

すべて許容応力以下である。

2.4.2 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張	343	
		せん断	61	

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-14 取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価条件	13
4.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要	13
4.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要	14
4.1.3 評価ケース	15
4.1.4 地震力	15
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
4.2.2 許容応力	17
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	17
4.3 解析モデル及び諸元	22
4.4 固有周期	27
4.5 設計用地震力	31
4.6 計算方法	34
4.6.1 クレーン本体ガーダ及び脚部の応力の計算方法	34
4.6.2 転倒防止装置の応力の計算方法	41
4.6.3 走行車輪の応力の計算方法	42
4.6.4 走行レールの応力の計算方法	43
4.6.5 トロリストッパの応力の計算方法	46
4.6.6 トロリの浮上り量の計算方法	46
4.6.7 吊具の荷重計算方法	46
4.6.8 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価方法	47
4.7 計算条件	47

- 4.8 応力の評価 48
 - 4.8.1 クレーン本体ガード及び脚部の評価 48
 - 4.8.2 転倒防止装置の評価 49
 - 4.8.3 走行車輪の評価 50
 - 4.8.4 走行レールの評価 50
 - 4.8.5 トロリストッパの評価 51
 - 4.8.6 トロリの浮上り量の評価 51
 - 4.8.7 吊具の評価 52
 - 4.8.8 単軸粘性ダンパの評価 52
 - 4.8.9 ブレースとクレビスの評価 53
- 5. 評価結果 54
 - 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 54
 - 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 54
- 6. 引用文献 54

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である取水槽ガントリクレーン（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、下部に設置された上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

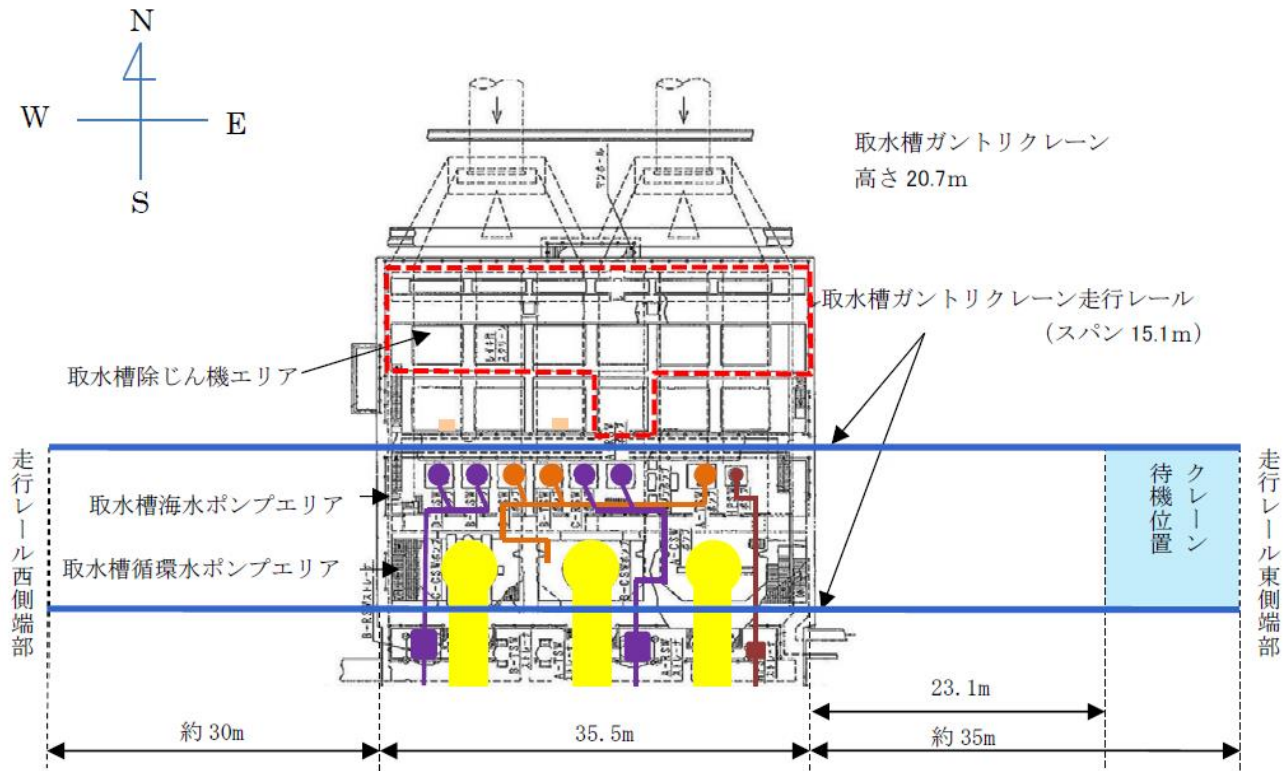
2. 一般事項

2.1 配置概要

取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリアを跨いで設置されており、原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。取水槽ガントリクレーンの設置位置について図 2-1 に示す。発電所の運転中など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は取水槽ガントリクレーンは待機位置に待機しており、周辺の上位クラス施設とは十分な離隔距離があることから波及的影響を及ぼすおそれはない。一方で、定期事業者検査など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施する期間には、上位クラス施設が設置されている取水槽海水ポンプエリア付近に位置することとなるため、地震時に本機器が転倒及び落下した場合は、原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

2.2 構造計画

取水槽ガントリクレーンの構造計画を表 2-1 に示す。



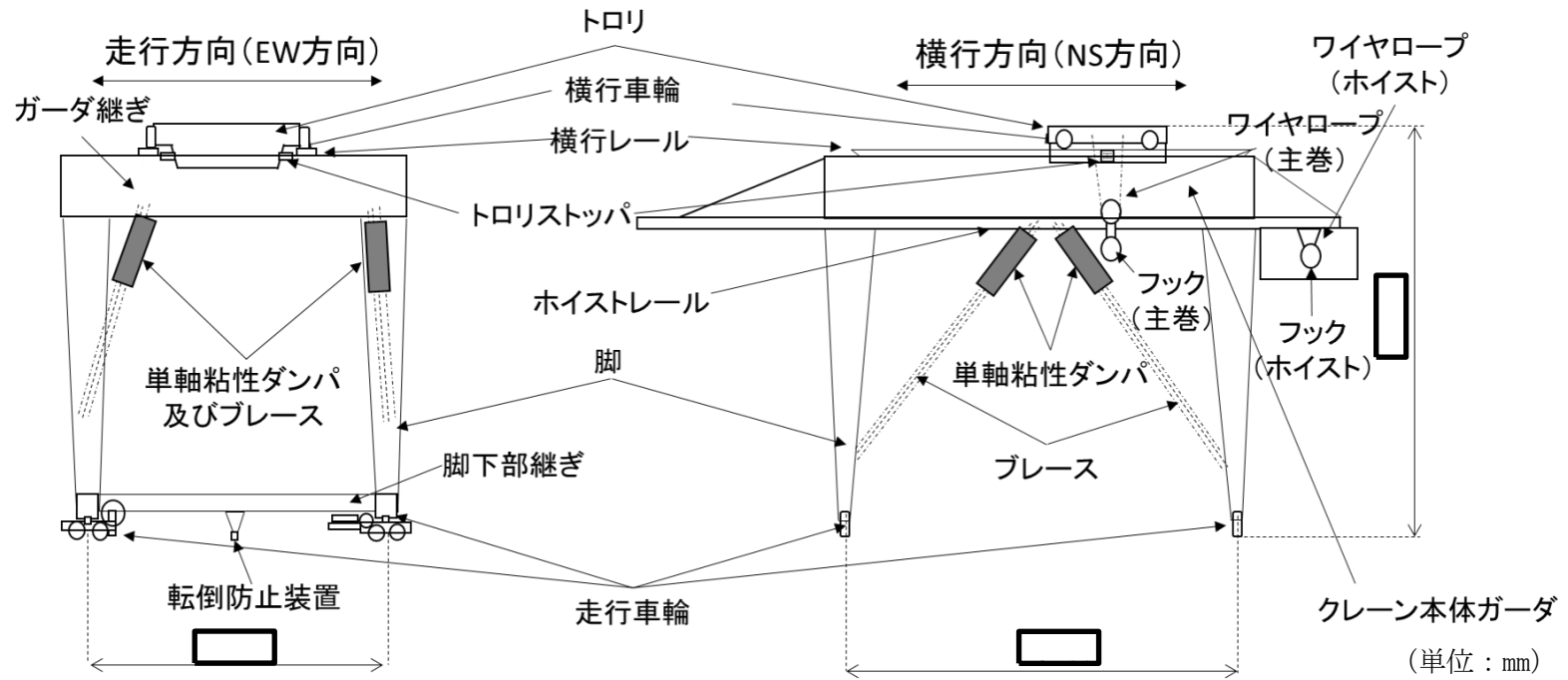
<取水槽周辺の主な上位クラス施設>

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| ● : 原子炉補機海水ポンプ | ● : タービン補機海水ポンプ |
| ■ : 原子炉補機海水ストレナ | — : タービン補機海水系配管及び出口弁 |
| — : 原子炉補機海水系配管 | ● : 循環水ポンプ |
| ● : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ | ■ : 循環水系配管 |
| ■ : 高圧炉心スプレイ補機海水ストレナ | - - - : 取水槽除じん機エリア防水壁 |
| — : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管 | |
| ■ : 取水槽水位計 | |

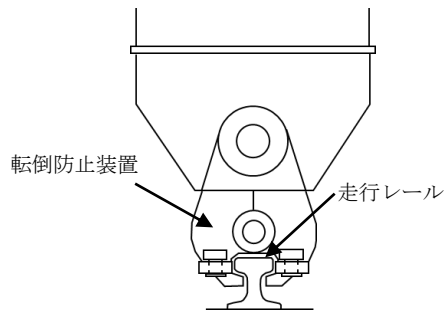
図 2-1 取水槽ガントリクレーンと上位クラス施設の位置関係図

表 2-1 構造計画

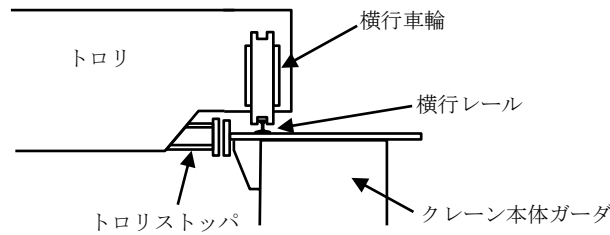
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設された走行レール上を脚下部にある走行車輪によって東西方向に移動する。トロリは、クレーン本体ガーダ上面の横行レール上を横行車輪によって南北方向に移動する。ホイストは、クレーン本体ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って、南北方向に移動する。吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ（主巻）及びフック（主巻）を介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。脚下部継ぎは走行車輪間に走行方向に設置されている。ガーダ継ぎは走行方向にクレーン本体ガーダと接続されている。</p> <p>クレーン本体は転倒防止装置を脚下部継ぎの中間位置に設置しており、トロリはトロリストoppaをクレーン本体ガーダと接するトロリの側面に設置しており、各々浮上り代を設けた構造である。クレーン脚部は一定以上の浮上りが発生しないように拘束されているが、トロリはレールと固定されていないため浮上りを考慮する必要がある。</p> <p>単軸粘性ダンパはブレースと接続している。</p>	<p>クレーン本体ガーダ ガーダ継ぎ 主巻（ワイヤロープ及びフック） 脚 脚下部継ぎ 転倒防止装置 走行車輪 走行レール トロリ トロリストoppa ホイスト（ワイヤロープ及びフック） 単軸粘性ダンパ（クレビスを含む） ブレース</p>	<p>次頁に示す。</p>



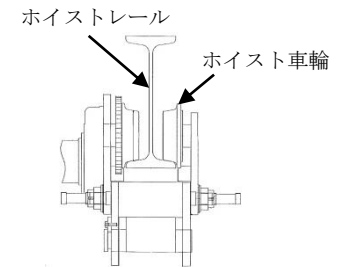
4



転倒防止装置拡大図



トロリストッパ拡大図



ホイスト車輪部拡大図

概略構造図

2.3 評価方針

取水槽ガントリクレーンの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定したSクラス施設及び重大事故等対処設備と同じ運転状態における、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す取水槽ガントリクレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動 S_s による荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4.6 計算方法」にて示す方法によって確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

取水槽ガントリクレーンの耐震評価フローを図2-2に示す。

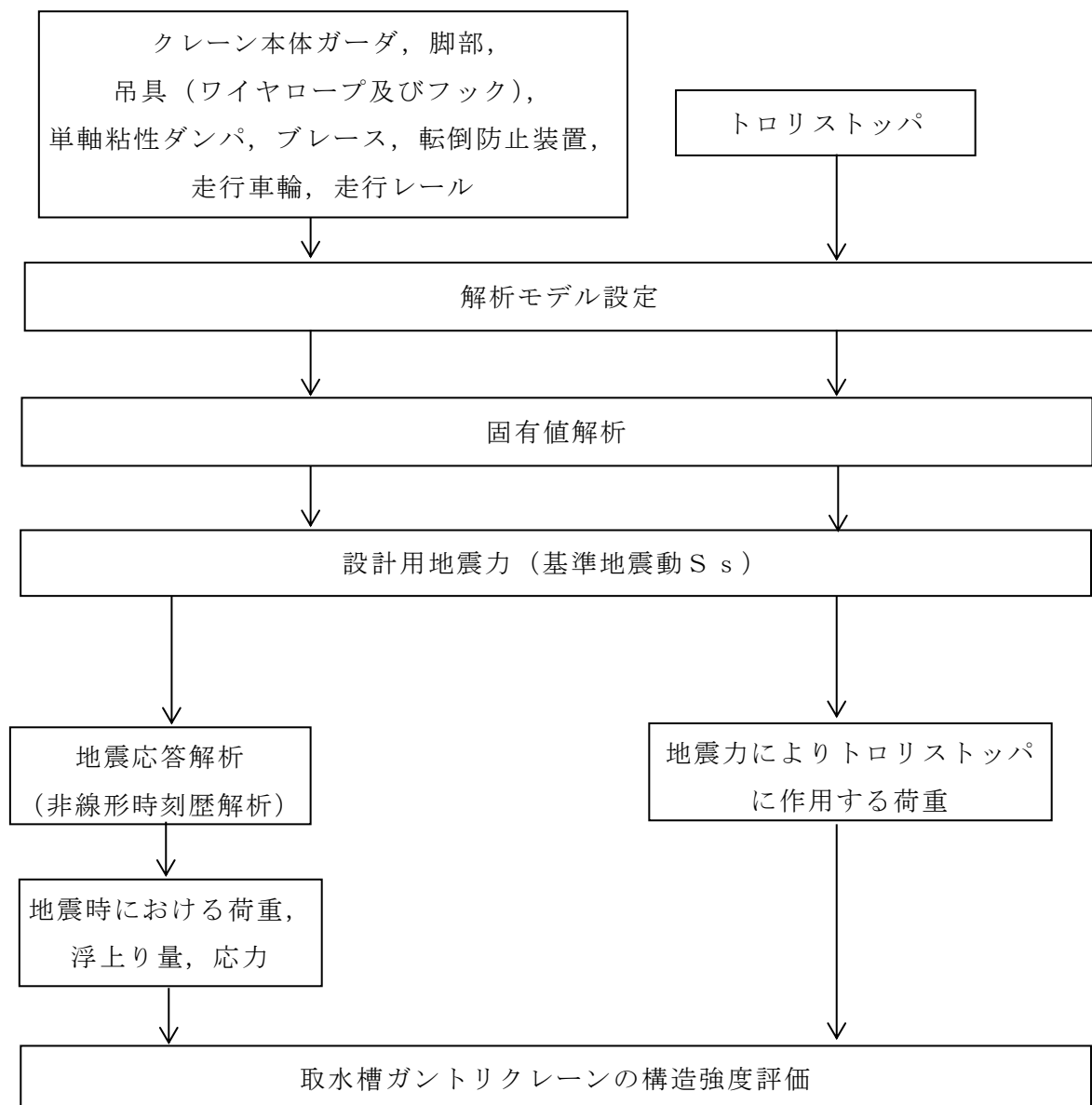


図2-2 取水槽ガントリクレーンの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 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）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) 発電用原子力設備規格 設計・建築規格（（社）日本機械学会，2005/2007）
（以下「設計・建設規格」という。）
- (5) クレーン構造規格（平成15年12月19日 厚生労働省告示 399号）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A ₁	転倒防止装置の断面積	mm ²
A ₂	車輪フランジの断面積	mm ²
A ₃	水平力に対する走行レールウェブの断面積	mm ²
A ₄	鉛直力（下向き）に対する走行レールウェブの断面積	mm ²
A ₅	鉛直力（上向き）に対する走行レール頭部の断面積	mm ²
A ₆	トロリストッパの断面積	mm ²
A _{cli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの断面積 （最大圧縮応力計算断面）	mm ²
A _{Hg}	クレーン本体ガーダの主桁及び補桁の断面積（水平）	mm ²
A _{tli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの断面積 （最大引張応力計算断面）	mm ²
A _{Vg}	クレーン本体ガーダの主桁及び補桁の断面積（鉛直）	mm ²
A _{Xli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断断面積（X方向）	mm ²
A _{Yli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断断面積（Y方向）	mm ²
b _{1H}	走行レールへの水平力の作用幅	mm
b _{2H}	走行レール頭部への水平力における荷重伝達幅	mm
b _{3H}	走行レールウェブへの水平力における荷重伝達幅	mm
b _{1V}	走行レールへの鉛直力（下向き）の作用幅	mm
b _{2V}	走行レールウェブへの鉛直力（下向き）における荷重伝達幅	mm
b _{3V}	走行レールへの鉛直力（上向き）の作用幅	mm
b _{4V}	走行レール頭部への鉛直力（上向き）における荷重伝達幅	mm
C _H	水平方向設計震度（EW方向）	—
e	反発係数	—
E	縦弾性係数	MPa
E _G	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
E _L	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの縦弾性係数	MPa
E _W	ワイヤーロープの縦弾性係数	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F _a	転倒防止装置に作用する鉛直力	N
F _b	走行車輪フランジに作用する水平力	N
F _{cH}	走行車輪から走行レールに作用する水平力	N
F _{cV}	走行車輪から走行レールに作用する鉛直力（下向き）	N
F _{cli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの圧縮荷重	N
F _{tli} ^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの引張荷重	N

記号	記号の説明	単位
F_t	トロリストッパー個あたりに作用する力	N
f_{tm}	許容引張応力	MPa
f_{cm}	許容圧縮応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{wi}^{*2}	吊具（ワイヤロープ）の許容荷重	N
f_{hi}^{*2}	吊具（フック）の許容荷重	N
f_d	ダンパの許容荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	減衰比	—
h_t	トロリの浮上り量	mm
H_t	トロリの許容浮上り量	mm
H_d	ダンパの許容変位	mm
i_{li}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎ，ブレースの断面二次半径	mm
l_1	転倒防止装置荷重点からの根元部までの長さ	mm
l_2	転倒防止装置のクレーン走行方向の長さ	mm
l_3	走行車輪フランジの深さ	mm
l_4	走行車輪フランジのアーム長さ	mm
l_5	走行車輪フランジの受け長さ	mm
l_6	走行レール上面のレール中心から端部までの距離	mm
l_7	走行レールウェブから水平力の作用位置までの高さ	mm
l_8	水平力の作用位置から走行レール上端までの高さ	mm
l_9	鉛直力（上向き）の作用位置から走行レール頭部の評価断面までの水平方向のアーム長さ	mm
l_{10}	鉛直力（上向き）の作用位置から走行レール頭部の評価断面までの鉛直方向のアーム長さ	mm
l_{11}	トロリストッパ鉛直材の長さ	mm
l_{12}	トロリストッパ水平材の長さ	mm
l_{kli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎ，ブレースの座屈長さ	mm
M_a	転倒防止装置の曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_g	クレーン本体ガーダにおけるねじりモーメント	$N \cdot mm$
M_{li}^{*1}	脚部，脚継ぎ，ガーダ継ぎにおけるねじりモーメント	$N \cdot mm$
M_{Hg}	クレーン本体ガーダの水平曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{Vg}	クレーン本体ガーダの鉛直曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{Xli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX軸回りの曲げモーメント	$N \cdot mm$

記号	記号の説明	単位
M_{Y1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY軸回りの曲げモーメント	N・mm
m_G	クレーン本体質量（脚部を含む）	kg
m_t	トロリ質量	kg
m_m	主巻吊荷質量（フックを含む）	kg
Σm	クレーン総質量（ $m_G + m_t$ ）	kg
P_w	吊具荷重（ワイヤロープ及びフック）	N
Q_{Hg}	クレーン本体ガーダの水平せん断力	N
Q_{Vg}	クレーン本体ガーダの鉛直せん断力	N
Q_{X1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX方向せん断力	N
Q_{Y1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY方向せん断力	N
R	走行車輪フランジの半径	mm
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t_1	転倒防止装置の板厚	mm
t_2	走行車輪フランジの厚さ	mm
t_3	走行レールウェブの厚さ	mm
t_4	走行レール頭部の厚さ	mm
t_5	トロリストopp鉛直材の板厚	mm
t_6	トロリストopp水平材の板厚	mm
Z_a	転倒防止装置の断面係数	mm ³
Z_b	走行車輪フランジの断面係数	mm ³
Z_c	走行レールウェブの断面係数	mm ³
Z_d	走行レール頭部の断面係数	mm ³
Z_{pg}	クレーン本体ガーダのねじり断面係数	mm ³
Z_{p1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのねじり断面係数	mm ³
Z_{Xg}	クレーン本体ガーダのX軸回りの断面係数	mm ³
Z_{X1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX軸回りの断面係数	mm ³
Z_{Yg}	クレーン本体ガーダのY軸回りの断面係数	mm ³
Z_{Y1i}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY軸回りの断面係数	mm ³
μ	最大静止摩擦係数	—
ν	ポアソン比	—
λ	有効細長比	—
Λ	限界細長比	—

記号	記号の説明	単位
σ_a	転倒防止装置の組合せ応力（曲げ+せん断）	MPa
σ_b	走行車輪フランジの組合せ応力	MPa
σ_c	走行レールウェブの組合せ応力	MPa
σ_d	走行レール頭部の組合せ応力	MPa
σ_{ba}	転倒防止装置の曲げ応力	MPa
σ_{bb}	走行車輪フランジの曲げ応力	MPa
σ_{bc}	走行レールウェブの垂直応力	MPa
σ_{bd}	走行レール頭部の曲げ応力	MPa
σ_{bg}	クレーン本体ガーダの曲げ応力	MPa
σ_{ct}	トロリストッパの圧縮応力	MPa
σ_{bli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの曲げ応力	MPa
σ_{tli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの引張応力	MPa
σ_{cli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの圧縮応力	MPa
σ_{li}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの組合せ応力（曲げ+せん断）	MPa
σ_g	クレーン本体ガーダの組合せ応力（曲げ+せん断）	MPa
σ_{Hg}	クレーン本体ガーダの曲げ応力（水平方向）	MPa
σ_{Vg}	クレーン本体ガーダの曲げ応力（鉛直方向）	MPa
σ_{Xli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX軸回りの曲げモーメントによる曲げ応力	MPa
σ_{Yli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY軸回りの曲げモーメントによる曲げ応力	MPa
π	円周率	—
τ_a	転倒防止装置のせん断応力	MPa
τ_b	走行車輪フランジのせん断応力	MPa
τ_c	走行レールウェブのせん断応力	MPa
τ_d	走行レール頭部のせん断応力	MPa
τ_g	クレーン本体ガーダのせん断応力	MPa
τ_{li}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断応力	MPa
τ_{Hg}	クレーン本体ガーダのせん断応力（水平方向）	MPa
τ_{Vg}	クレーン本体ガーダのせん断応力（鉛直方向）	MPa
τ_{Xli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断応力（X方向）	MPa
τ_{Yli}^{*1}	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断応力（Y方向）	MPa
C_D	単軸粘性ダンパの速度の0.1乗に比例するダッシュポットの減衰係数	—
k_D	単軸粘性ダンパのばね剛性	N/mm

注記*1: A_{cli} , A_{tli} , A_{xli} , A_{yli} , F_{cli} , F_{tli} , i_{li} , ℓ_{kli} ,
 M_{li} , M_{xli} , M_{yli} , Q_{xli} , Q_{yli} , Z_{pli} , Z_{xli} , Z_{yli} ,
 σ_{bli} , σ_{tli} , σ_{cli} , σ_{xli} , σ_{yli} , τ_{li} , τ_{xli} , τ_{yli}
の添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i=1$: 脚部

$i=2$: 脚下部継ぎ

$i=3$: ガーダ継ぎ

$i=4$: ブレース

*2: f_{wi} , 及び f_{hi} の添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i=1$: 主巻

$i=2$: ホイスト

2.6 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。

本資料で表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

取水槽ガントリクレーンの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、脚部、ガーダ継ぎ、脚下部継ぎ、転倒防止装置、走行車輪、走行レール、トロリストoppa、吊具（ワイヤロープ及びフック）、単軸粘性ダンパ（クレビスを含む）及びブレースについて実施する。取水槽ガントリクレーンの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価条件

4.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要

取水槽ガントリクレーンは、脚、クレーン本体ガーダ、トロリ、ホイスト、単軸粘性ダンパなどの構造体で構成されている。

脚はクレーン本体ガーダを支持し、下部には走行車輪が設置されている。クレーン本体ガーダは脚の上部にあり、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されており、下部にはホイストレールが設置されている。ガーダ継ぎは走行方向にクレーン本体ガーダと接続されている。脚下部継ぎは走行車輪間に走行方向に設置されている。原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンス時には、トロリに設置された巻上げ装置（主巻）、又はホイストを使用して、ワイヤロープ及びフックを介し、吊荷の吊上げ、吊下げ、移動等の作業を実施する。

取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり、制震装置の設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。取水槽ガントリクレーンの応答は、走行レールの直交方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、クレーン本体ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置する。

単軸粘性ダンパはシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体で構成されている。

単軸粘性ダンパとクレーン本体ガーダの接続、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。クレビス部詳細を図 4-1 に示す。

取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設された走行レール上を脚下部にある走行装置及び車輪によって東西方向に移動する。トロリは、クレーン本体ガーダ上面の横行レール上を横行装置及び横行車輪によって南北方向に移動する。ホイストは、クレーン本体ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って、南北方向に移動する。また、取水槽ガントリクレーンの地震による転倒を防止するため、本体下部に転倒防止

装置が設置されており，地震時に浮上りが生じた場合でも転倒しない構造となっている。トロリにはトロリストoppaを設置しており，浮上りによる脱線・落下を防止する構造となっている。クレーン本体は浮上りを考慮しないが，トロリはレールと固定されていないことから，地震力によるレールからの浮上りを考慮する必要がある。

ホイストは，ホイスト車輪がホイストレールを挟み込むことにより懸架されている。

4.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要

図 4-1 に単軸粘性ダンパの概略構造を示す。

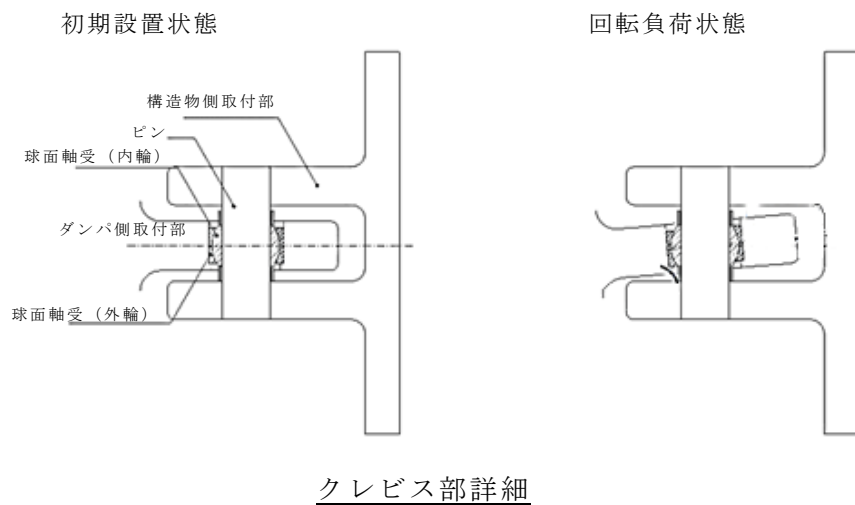
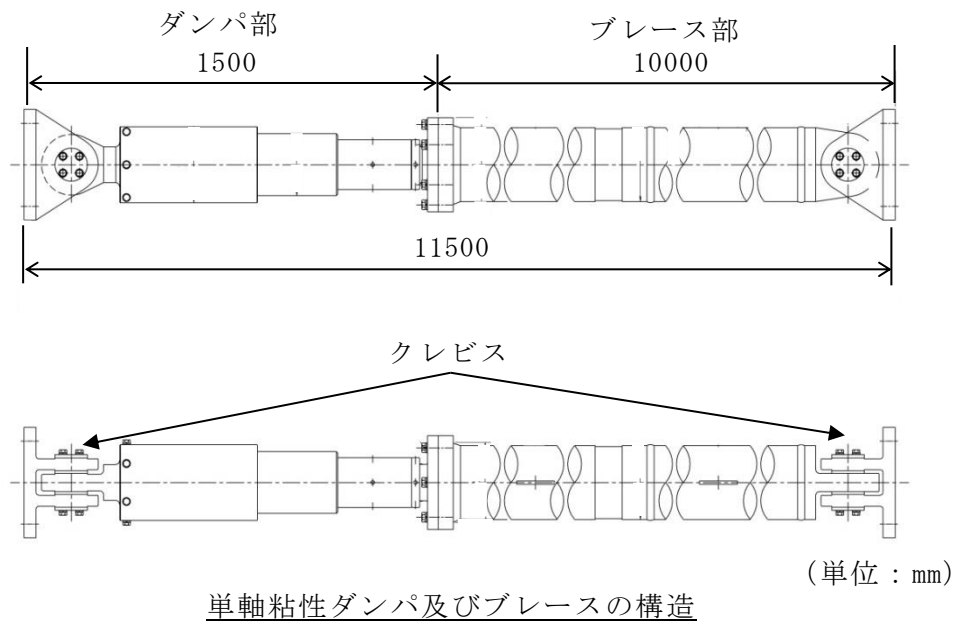


図 4-1 単軸粘性ダンパ取付部の構造

4.1.3 評価ケース

表 4-1 に示す評価ケースにて評価を実施する。なおダンパ性能は 220kN を標準とし、±20%のばらつきを考慮した。

表 4-1 評価ケース

ケース	トロリ*1 (吊荷)	ホイスト*1 (吊荷)
1	中央*2 (<input type="text"/> t)	待機位置
2	待機位置	中央*2 (<input type="text"/> t)
3	待機位置	待機位置

注記*1：トロリとホイストの同時運用は考慮しない。

*2：中央とは、クレーン本体ガーダ中央とする。

4.1.4 地震力

地震力は基準地震動 S_s を用いる。クレーン本体ガーダ，脚部，転倒防止装置，走行車輪，走行レール，吊具（ワイヤロープ及びフック），単軸粘性ダンパ及びブレースに作用する荷重並びにトロリの浮上り量の算定については，水平 2 方向及び鉛直方向同時入力による非線形時刻歴解析を実施する。

またトロリストoppaについては，最大静止摩擦力以上の水平力がクレーンに加えられた場合，すべりが生じ，クレーン走行方向（トロリ横行方向）にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないことから，摩擦係数より求めた水平方向設計震度を用いて計算した設計用地震力による評価を実施する。

(1) 横行方向（NS 方向）の水平力

a. クレーン本体（クレーン本体ガーダ及び脚）

- (a) クレーン本体は横行レールに対して直交方向に設置された走行レール上に設置されていることから，横行方向（NS 方向）の地震力は走行レールを介してクレーン本体へ作用する。

b. トロリ

- (a) トロリは横行レール上に乗っており，横行レールとは固定されていないため，横行方向（NS 方向）の水平力がトロリに加わっても，トロリは横行レール上をすべり，トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。
- (b) トロリの横行車輪は 4 個であり，そのうちの 2 個は駆動輪，他の 2 個は従動輪である。
- (c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，

最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、横行レール上をすべる。

- (d) 従動輪は回転が拘束されていないため、トロリの動きに合わせて自由に回転することからトロリ横行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。

(2) 走行方向（EW方向）の水平力

a. クレーン本体（クレーン本体ガーダ及び脚）

- (a) クレーン本体は走行レール上に乗っており、固定されていないため、走行方向（EW方向）の水平力が加わっても、クレーン本体は走行レール上をすべり、クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。
- (b) クレーン本体の走行車輪は 8 個であり、そのうちの 4 個は駆動輪、他の 4 個は従動輪である。
- (c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、走行レール上をすべる。
- (d) 従動輪は回転が拘束されていないため、クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

b. トロリ

- (a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向に設置された横行レール上に設置されていることから、走行方向（EW方向）の地震力はクレーン本体ガーダ、横行レールを介してトロリへ作用する。

(3) 鉛直方向（UD方向）

クレーン脚部は、本体下部に設置されている転倒防止装置のツメ部がレールと接触することで、間隙以上の浮上りが生じない構造となっている。ホイストについては、車輪がホイストレールに吊り下げられた構造であり、車輪部の一部がホイストレールと接触することで間隙以上の浮上りが生じない構造となっている。トロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮上りを考慮する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

取水槽ガントリクレーンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象

施設の評価に用いるものを表 4-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

取水槽ガントリクレーンの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

取水槽ガントリクレーンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に、許容荷重評価条件のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	取水槽ガントリクレーン	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	取水槽ガントリクレーン	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	圧縮	曲げ
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)				

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

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

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
クレーン本体ガード	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
脚	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
ガード継ぎ	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
脚下部継ぎ	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
転倒防止装置	S35C (厚さ ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	305	510	—
走行車輪	SSW-Q1	周囲環境温度	40	—	770	—
走行レール	レール鋼	周囲環境温度	40	—	780	—
トロリストopp	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
単軸粘性ダンパ	SCM435	周囲環境温度	40	785	930	—
ブレース	STKM13A	周囲環境温度	40	215	370	—
クレビス	SUS630H1150	周囲環境温度	40	725	930	—

表 4-6 使用材料の許容荷重評価条件（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

評価部位	材料	温度条件 (°C)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
		周囲環境温度				
ワイヤロープ (主巻)	IWRC 6×Fi(29)	周囲環境温度	40	6.982×10^5	5.84	4.078×10^6
ワイヤロープ (ホイスト)	4×F(40)	周囲環境温度	40	1.999×10^5	7.40	1.479×10^6
フック (主巻)	S35C	周囲環境温度	40	6.865×10^5	7.25	4.980×10^6
フック (ホイスト)	SCM435	周囲環境温度	40	1.961×10^5	10.48	2.060×10^6
単軸粘性ダンパ	SCM435	周囲環境温度	40	—	—	3.000×10^5

4.3 解析モデル及び諸元

取水槽ガントリクレーンの解析モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。各ケースの解析モデルについて表 4-7 に示す。また、機器の諸元を本計算書の【取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1) クレーンは、はり要素、トラス要素、ダンパ要素、ギャップ要素、ばね要素及び減衰要素を用いた F E Mモデルとし、クレーンの質量としてクレーン本体ガード、脚部、ガード継ぎ、脚下部継ぎ、トロリ及び吊荷を考慮する。トロリは外周四辺形の剛体としてモデル化し、本体及び機器の質量をその節点に等分に設定する。

a. 走行車輪

走行車輪においては、E W方向（クレーン本体走行方向）及び鉛直方向について、それぞれすべり、浮上りを考慮しているため、非拘束条件としている。また、N S方向（クレーン本体走行方向に直交する方向）については、走行車輪と走行レールとの間隙が小さく、地震時には走行車輪と走行レールが接触して荷重が伝達されるため、並進方向拘束により、すべりを生じない条件としている。

b. 横行車輪

横行車輪においては、N S方向（トロリ横行方向）及び鉛直方向について、それぞれすべり、浮上りを考慮して非拘束条件としている。また、E W方向（トロリ横行方向に直交する方向）については、横行方向と横行レールの間隙が小さく、地震時には横行車輪と横行レールが接触して荷重が伝達されるため、並進方向拘束により、すべりを生じない拘束条件としている。

ホイスト車輪においては、N S方向（ホイスト横行方向）及び鉛直方向について、それぞれすべり、浮上りを考慮して非拘束条件としている。またE W方向（ホイスト横行方向に直交する方向）については、ホイスト車輪とホイストレールの間隙が小さく、地震時にはホイスト車輪とホイストレールが接触して荷重が伝達されるため、並進方向拘束により、すべりを生じない拘束条件としている。

c. 転倒防止装置

転倒防止装置は、浮上り時には、レール頭部下面に転倒防止装置の爪が接触するためギャップ要素を設けた。

d. 単軸粘性ダンパ

単軸粘性ダンパを用いた減衰構造は、線形ばねと速度依存の減衰要素で構成する Maxwell モデルによりモデル化する。

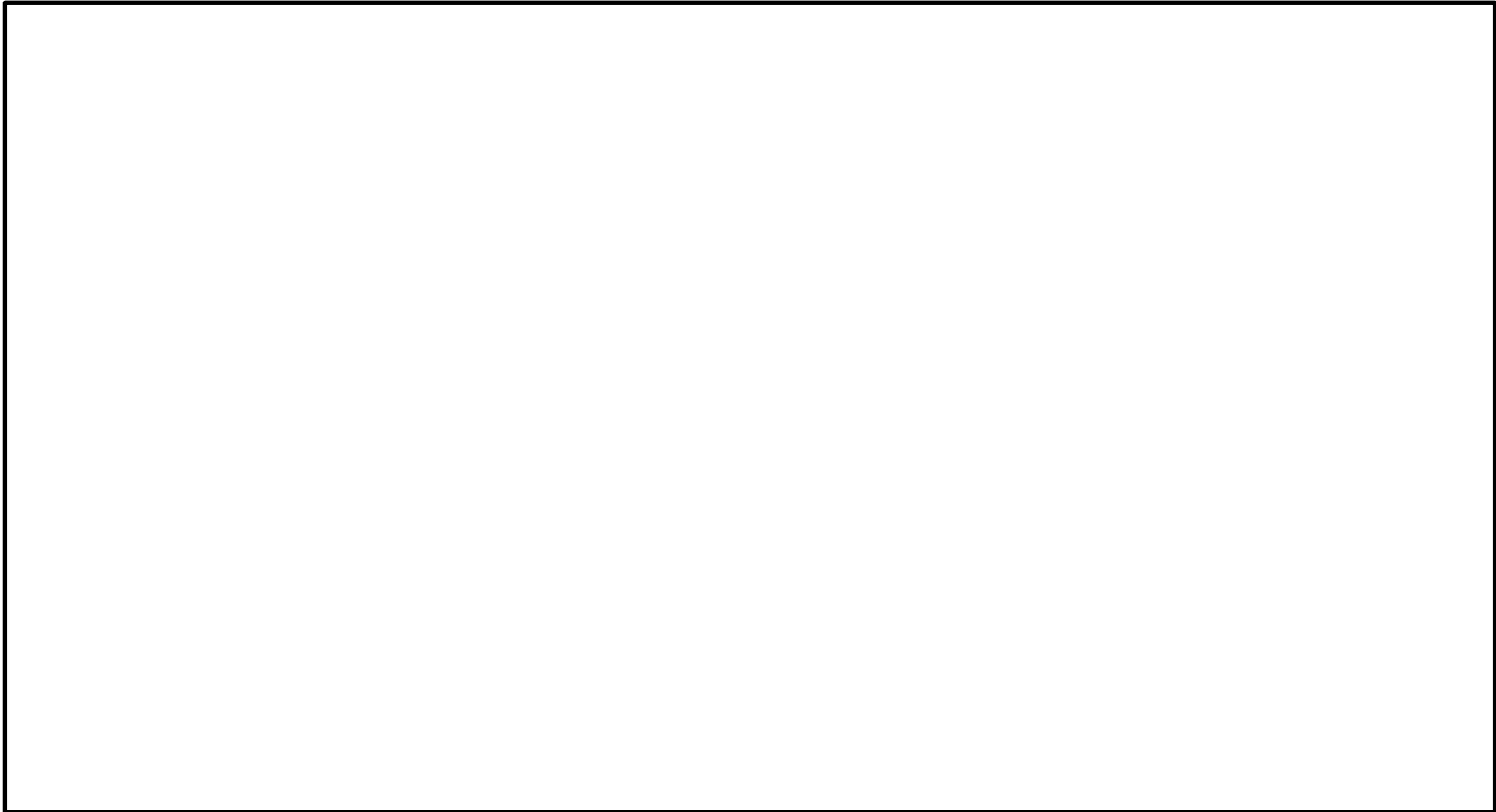


図 4-2 ガントリクレーン解析モデル

(2) 地震応答解析に用いる減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに 2.0%を用いる。

なお、減衰定数は Rayleigh 減衰により、減衰定数 2.0%となる固有周期点を取水槽ガントリクレーンの固有周期に合わせて設定することで与える。この固有周期点は、取水槽ガントリクレーンの水平方向 1 次固有周期及び鉛直方向 1 次固有周期を踏まえて設定している。

(3) 境界条件

クレーンと車輪部については、4.1.1 項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて、解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a. クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦力以上の力が加われば、車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで、最大静止摩擦係数を $\mu = 0.3$ とし、クレーン各構造部材に発生する水平力は、走行車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガーダの走行方向（E W 方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{4}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

トロリの走行方向（N S 方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

b. 浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は、引用文献(1)の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として、を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に、関係図を図 4-3 に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

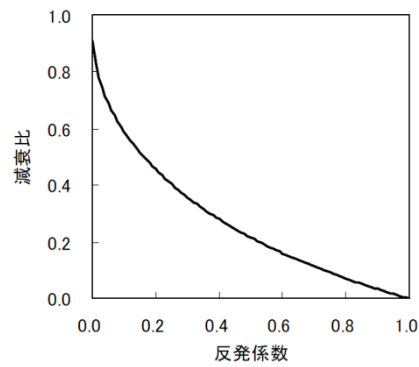


図4-3 反発係数と減衰比の関係

- (4) 固有値解析及び地震応答解析には，解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

表 4-7 各ケースにおける取水槽ガントリクレーン解析モデル

ケース詳細	解析モデル図
<p>ケース : 1</p> <p>トロリ : 中央 (吊荷 <input type="text"/> t)</p> <p>ホイスト : 待機位置</p> <p>要素数 : <input type="text"/></p> <p>節点数 : <input type="text"/></p>	
<p>ケース : 2</p> <p>トロリ : 待機位置</p> <p>ホイスト : 中央 (吊荷 <input type="text"/> t)</p> <p>要素数 : <input type="text"/></p> <p>節点数 : <input type="text"/></p>	
<p>ケース : 3</p> <p>トロリ : 待機位置</p> <p>ホイスト : 待機位置</p> <p>要素数 : <input type="text"/></p> <p>節点数 : <input type="text"/></p>	

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

4.4 固有周期

設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価ケースにおける各方向の卓越モードの固有周期を表 4-8 に示す。また、各ケースにおける各方向の卓越モードの振動モード図を図 4-4，図 4-5，図 4-6 に示す。固有周期は，0.05 秒を超えており，柔構造であることを確認した。

表 4-8 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケースの固有周期

ケース	横行方向（N S 方向） 1 次		鉛直方向（U D 方向） 1 次	
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
1				
2				
3				

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

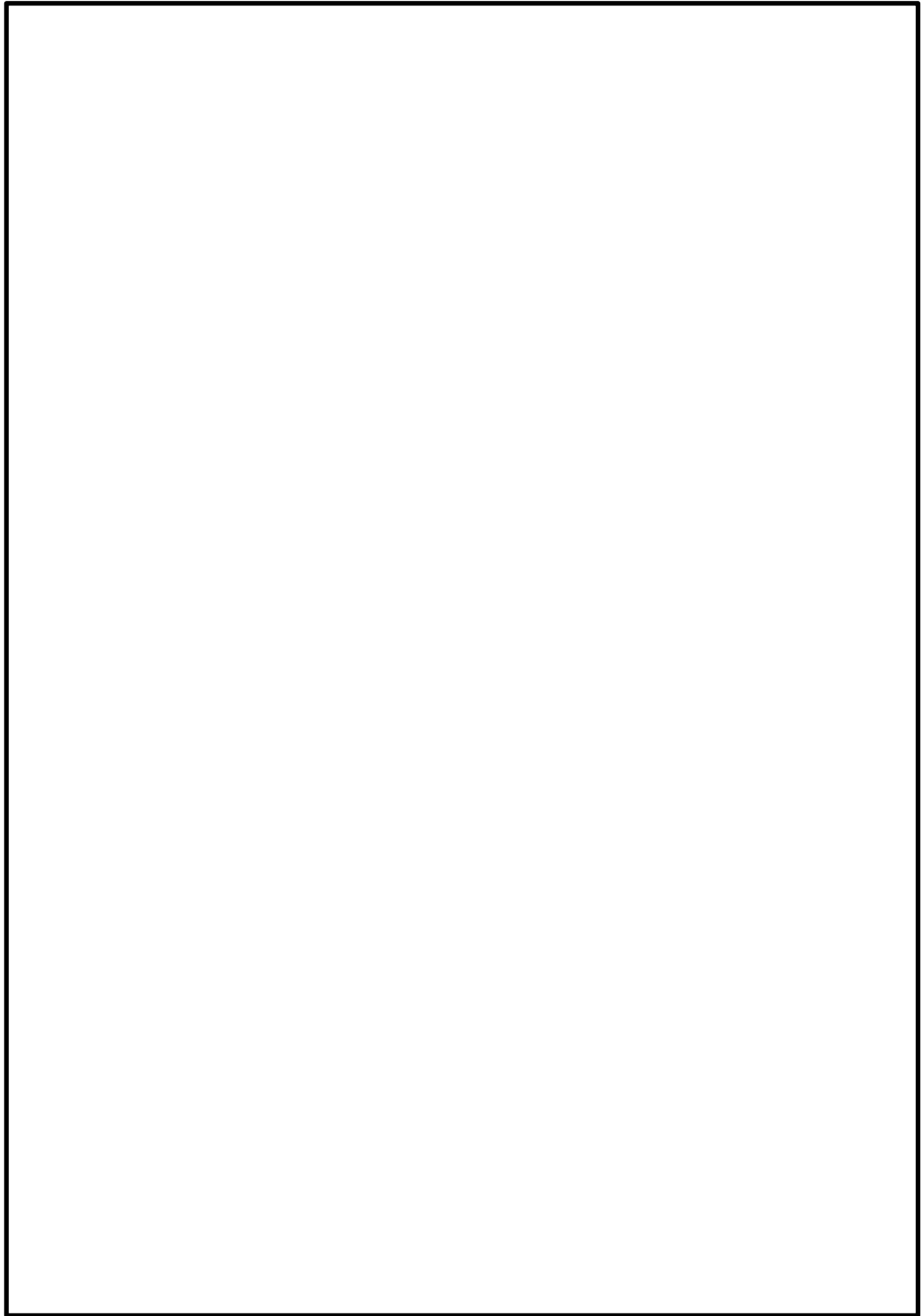


図 4-4 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 1 の振動モード図

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

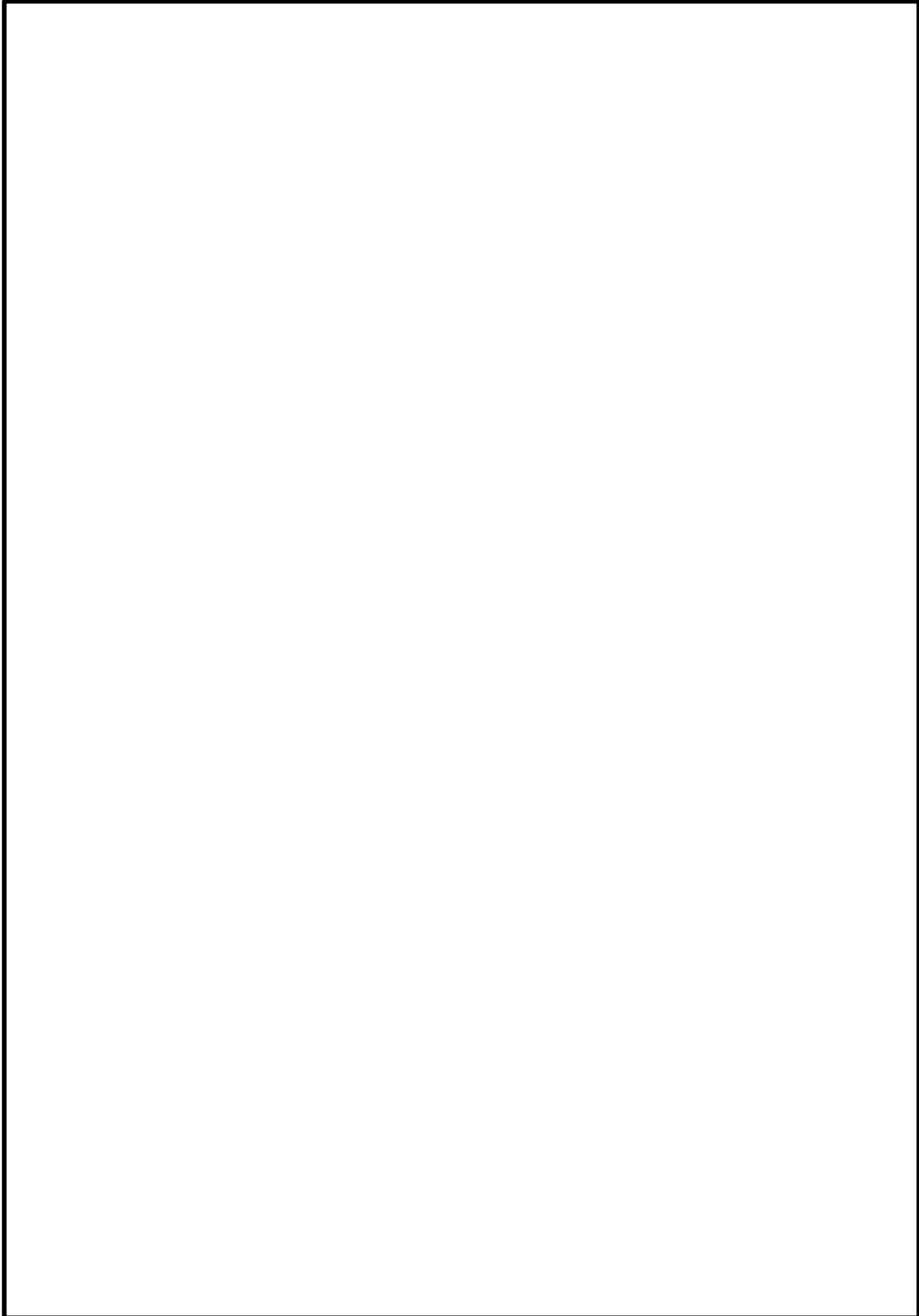


図 4-5 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 2 の振動モード図

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

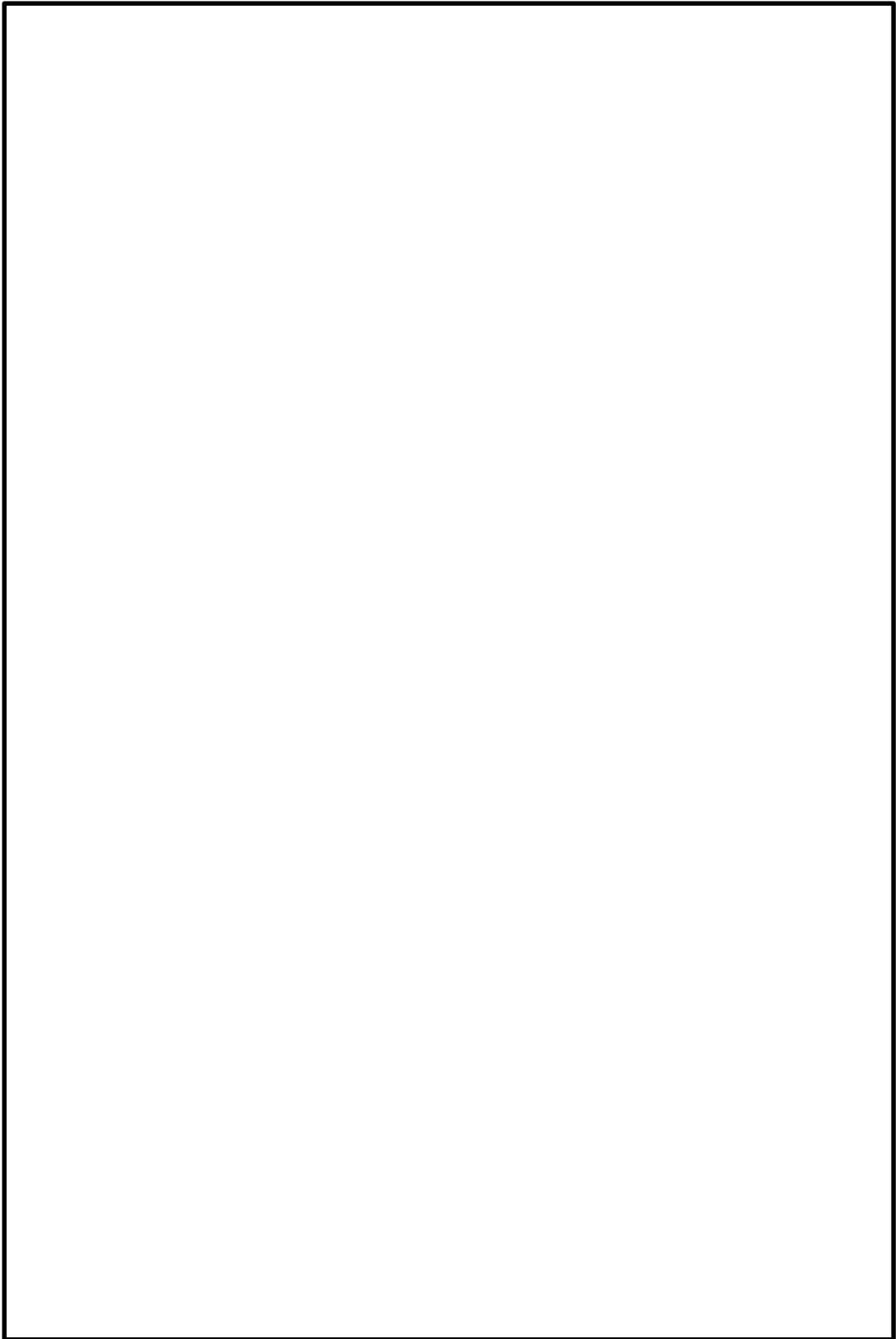


図 4-6 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 3 の振動モード図

4.5 設計用地震力

トロリストoppaの設計用地震力のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-9に示す。

表4-9 設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)			基準地震動 S _s		
	水平方向		鉛直方向 (UD方向)	水平方向設計震度		鉛直方向 (UD方向)
	走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)		走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)	
取水槽 EL 8.800 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	— ^{*2}	^{*3, *4} C _H = 0.15	— ^{*5}	— ^{*5}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期より設計震度を算出しないため、「—」と記載する。

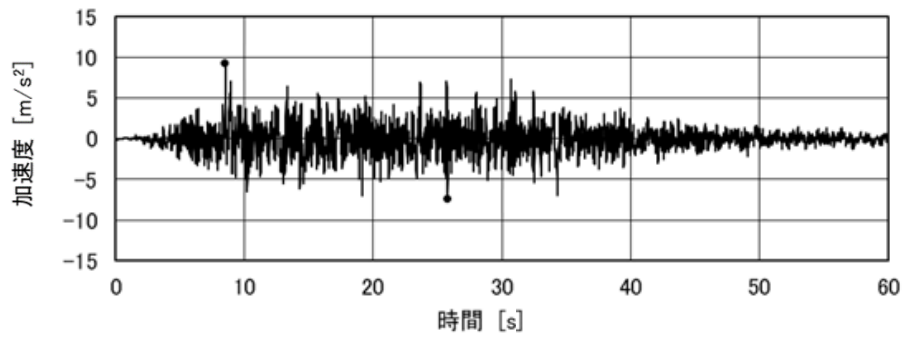
*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストoppaの評価に適用する。

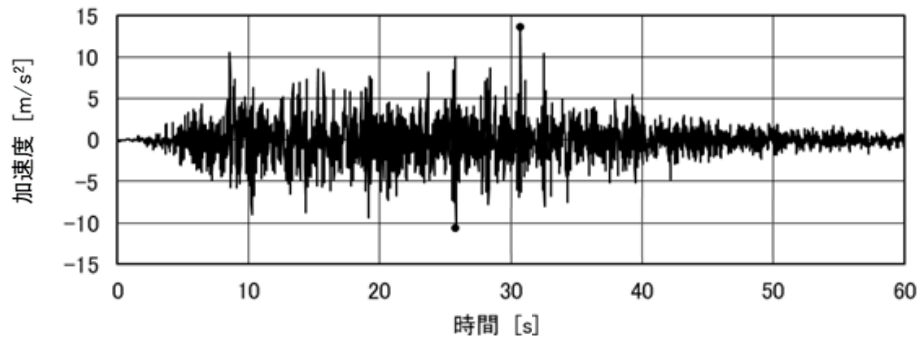
*5：横行方向(EW方向)及び鉛直方向の設計震度を使用しないため、「—」と記載する。

クレーン本体ガーダ、脚部、ガーダ継ぎ、脚下部継ぎ、転倒防止装置、走行車輪、走行レール、吊具（ワイヤロープ及びフック）、単軸粘性ダンパ及びブレースに作用する荷重並びにトロリの浮上り量に対する地震応答解析は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」で得られる取水槽ガントリクレーン EL 8.800mの時刻歴応答加速度波を入力とし、水平2方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。入力の時刻歴応答加速度波形を図4-7、図4-8に示す。ガントリクレーンの評価に適用する地震動は、設計用床応答スペクトルとガントリクレーンの固有周期の関係から評価が厳しくなる基準地震動（S_s-D）を選定している。

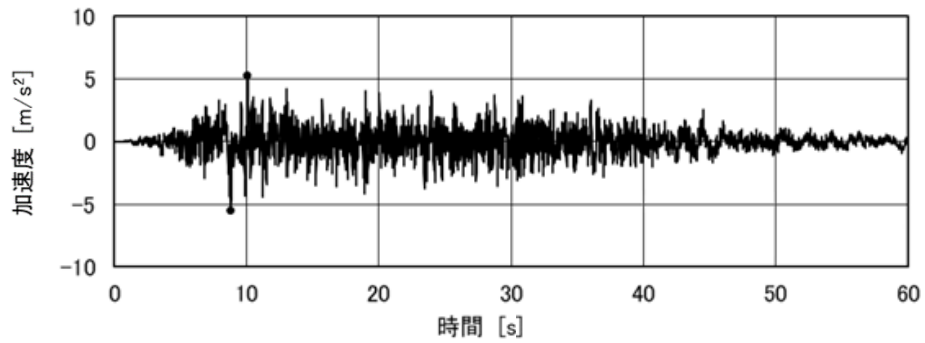
また、時刻歴応答解析に対する保守性の考慮として、基準となる時刻歴応答加速度波（固有周期シフトを考慮していないもの）による解析に加えて、ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考に時刻歴応答加速度波を時間軸方向に±10%シフトさせた時刻歴応答加速度波による解析も実施する。さらに、±10%シフトさせた応答スペクトルのピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、ASMEの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。



(S s - D, N S 方向)

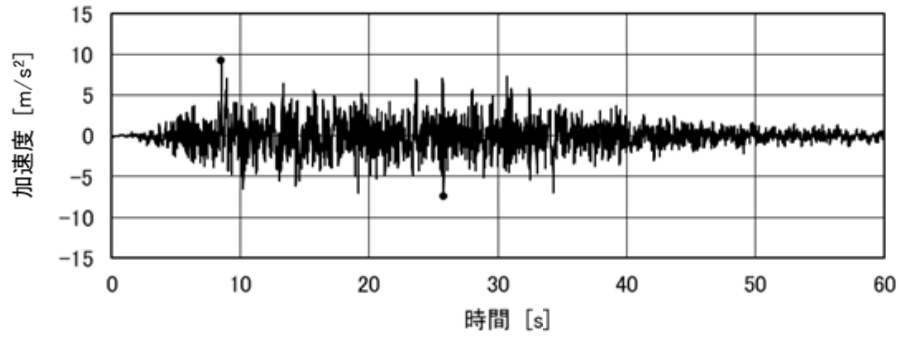


(S s - D, E W 方向)

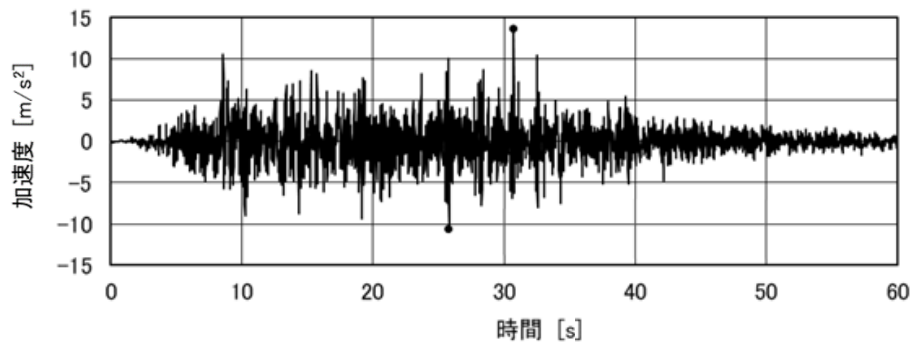


(S s - D, U D 方向)

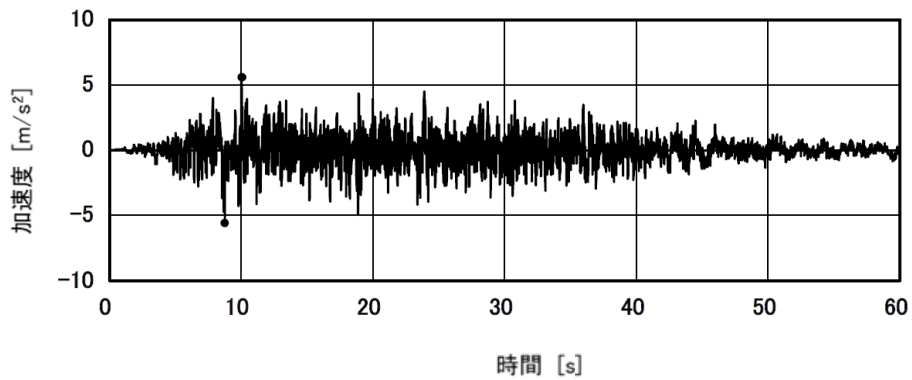
図 4-7 ケース 1, 2 (基本ケース) における入力の時刻歴応答加速度波形



(S_s-D, NS方向)



(S_s-D, EW方向)



(S_s-D, UD方向)

図 4-8 ケース 3 (基本ケース) における入力の時刻歴応答加速度波形

4.6 計算方法

4.6.1 クレーン本体ガーダ及び脚部の応力の計算方法

(1) 設計荷重

クレーン各部に加わる荷重を図 4-2 の解析モデルを用いて，非線形時刻歴解析により求める。表 4-10 に解析モデルの概要を示す。クレーン本体ガーダの断面図を図 4-9 に，脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの断面図を図 4-10 に示す。また，転倒防止装置の概要図を図 4-11 に，トロリストッパの概要図を図 4-12 に示す。

また，本評価の時刻歴解析には，4.5 項に示す時刻歴解析の保守性を考慮する。

表 4-10 解析モデルの概要

解析モデル		
構造物	クレーン本体ガーダ	
	トロリ	
	脚	
	ガーダ継ぎ	
	脚下部継ぎ	
	吊具	吊荷
ワイヤロープ		
車輪部	ガーダ車輪	
	トロリ車輪	
	ホイスト車輪	
解析モデル図		図 4-2

(2) クレーン本体ガーダの応力

クレーン本体ガーダにおける最大発生応力を図 4-9 に示す断面で計算する。

(a) 曲げ応力

クレーン本体ガーダの鉛直曲げモーメントによるクレーン本体ガーダの曲げ応力： σ_{vg}

$$\sigma_{vg} = \frac{M_{vg}}{Z_{Xg}} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

クレーン本体ガーダの水平曲げモーメントによるクレーン本体ガーダの曲

げ応力： σ_{Hg}

$$\sigma_{Hg} = \frac{M_{Hg}}{Z_{Yg}} \dots \dots \dots (4.6.1.2)$$

クレーン本体ガーダの曲げ応力： σ_{bg}

$$\sigma_{bg} = \sigma_{Vg} + \sigma_{Hg} \dots \dots \dots (4.6.1.3)$$

なお、クレーン本体ガーダの曲げ応力については、非線形時刻歴解析により求まる時刻ごとの M_{Vg} と M_{Hg} から σ_{Vg} と σ_{Hg} を算出し、(4.6.1.3)式によって計算される σ_{bg} の最大値を用いる。

(b) せん断応力

鉛直せん断力によるクレーン本体ガーダのせん断応力： τ_{Vg}

$$\tau_{Vg} = \frac{Q_{Vg}}{A_{Vg}} \dots \dots \dots (4.6.1.4)$$

水平せん断力によるクレーン本体ガーダのせん断応力： τ_{Hg}

$$\tau_{Hg} = \frac{Q_{Hg}}{A_{Hg}} \dots \dots \dots (4.6.1.5)$$

クレーン本体ガーダのせん断応力： τ_g

$$\tau_g = \sqrt{\tau_{Vg}^2 + \tau_{Hg}^2} + \frac{M_g}{Z_{Pg}} \dots \dots \dots (4.6.1.6)$$

(c) 組合せ応力

クレーン本体ガーダの組合せ応力： σ_g

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_{bg}^2 + 3\tau_g^2} \dots \dots \dots (4.6.1.7)$$

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

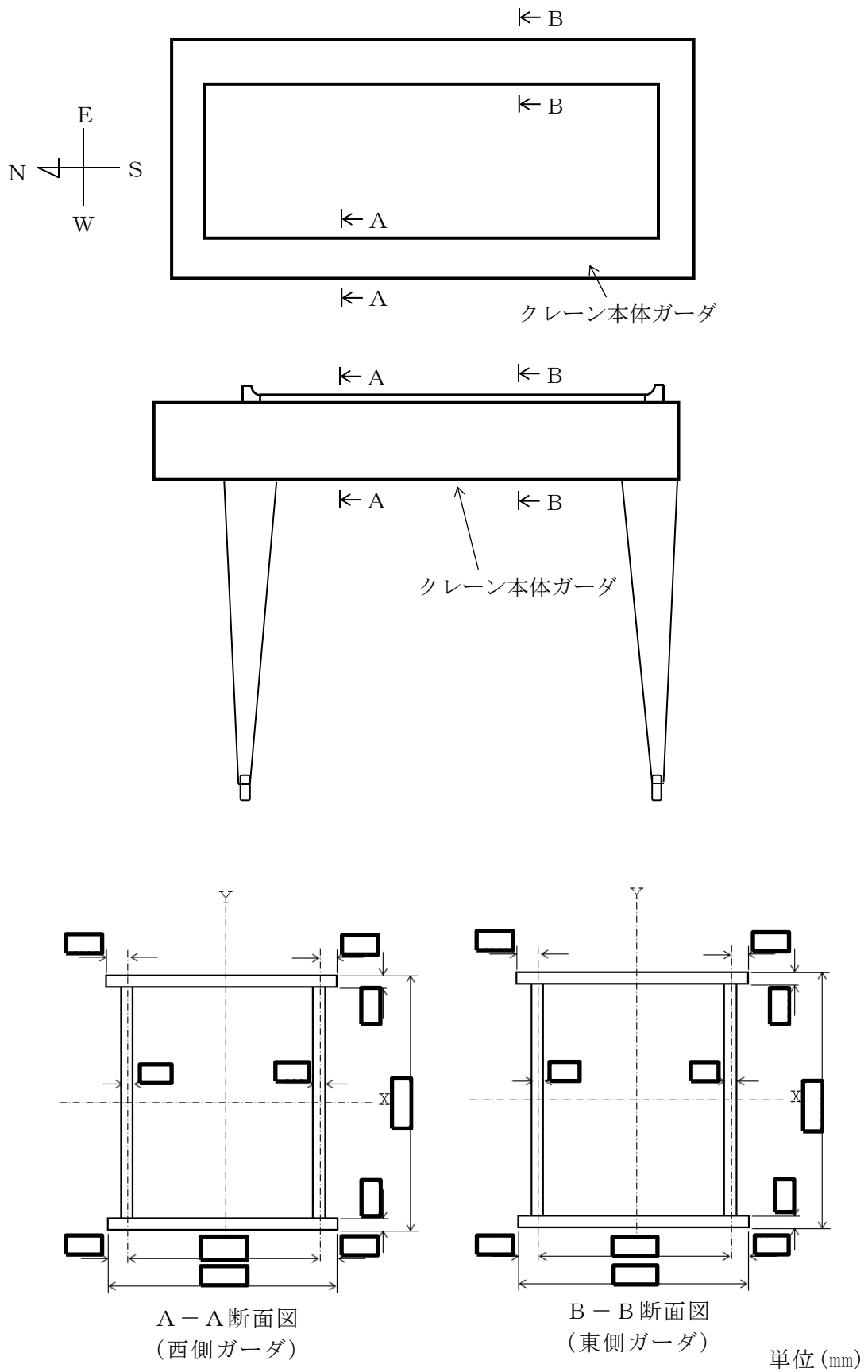


図 4-9 クレーン本体ガーダ断面概略図

(3) 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの応力

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの評価断面は図 4-10 に示すように高さ方向の位置によって断面が異なるため，解析モデルの各要素における断面積を求め，最大引張応力及び最大圧縮応力を計算する。

(a) 引張応力及び圧縮応力

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの引張応力： σ_{t1i}

$$\sigma_{t1i} = \frac{F_{t1i}}{A_{t1i}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.8)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの圧縮応力： σ_{c1i}

$$\sigma_{c1i} = \frac{F_{c1i}}{A_{c1i}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.9)$$

(b) 曲げ応力

解析モデルの各要素位置における断面係数を求め，最大曲げ応力を計算する。

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの X 軸回りの曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{x1i}

$$\sigma_{x1i} = \frac{M_{x1i}}{Z_{x1i}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.10)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの Y 軸回りの曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{y1i}

$$\sigma_{y1i} = \frac{M_{y1i}}{Z_{y1i}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.11)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの曲げ応力： σ_{b1i}

$$\sigma_{b1i} = \sigma_{x1i} + \sigma_{y1i} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.12)$$

(c) せん断応力

X 方向せん断力による脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断応力

： τ_{x1i}

$$\tau_{x1i} = \frac{Q_{x1i}}{A_{x1i}} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.13)$$

Y 方向せん断力による脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのせん断応力

： τ_{y1i}

$$\tau_{Y1i} = \frac{Q_{Y1i}}{A_{Y1i}} \dots \dots \dots (4.6.1.14)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎのせん断応力： τ_{1i}

$$\tau_{1i} = \sqrt{\tau_{X1i}^2 + \tau_{Y1i}^2} + \frac{M_{1i}}{Z_{p1i}} \dots \dots \dots (4.6.1.15)$$

(d) 組合せ応力

引張+曲げ，圧縮+曲げの大きい方の値及び曲げ+せん断を脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎ組合せ応力とする。

引張+曲げ

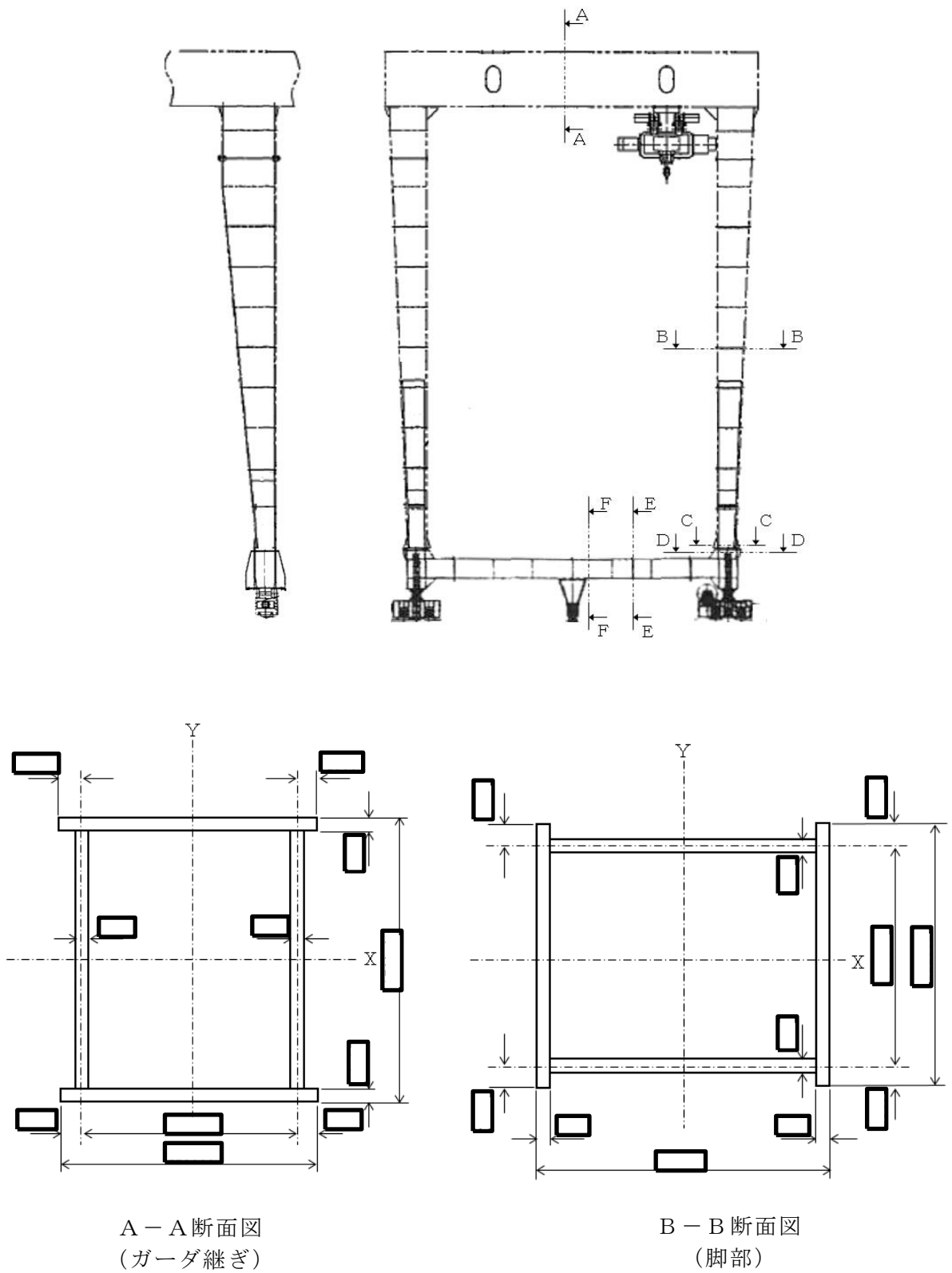
$$\frac{\sigma_{t1i} + \sigma_{b1i}}{f_{tm}} \dots \dots \dots (4.6.1.16)$$

圧縮+曲げ

$$\frac{\sigma_{c1i}}{f_{cm}} + \frac{\sigma_{b1i}}{f_{bm}} \dots \dots \dots (4.6.1.17)$$

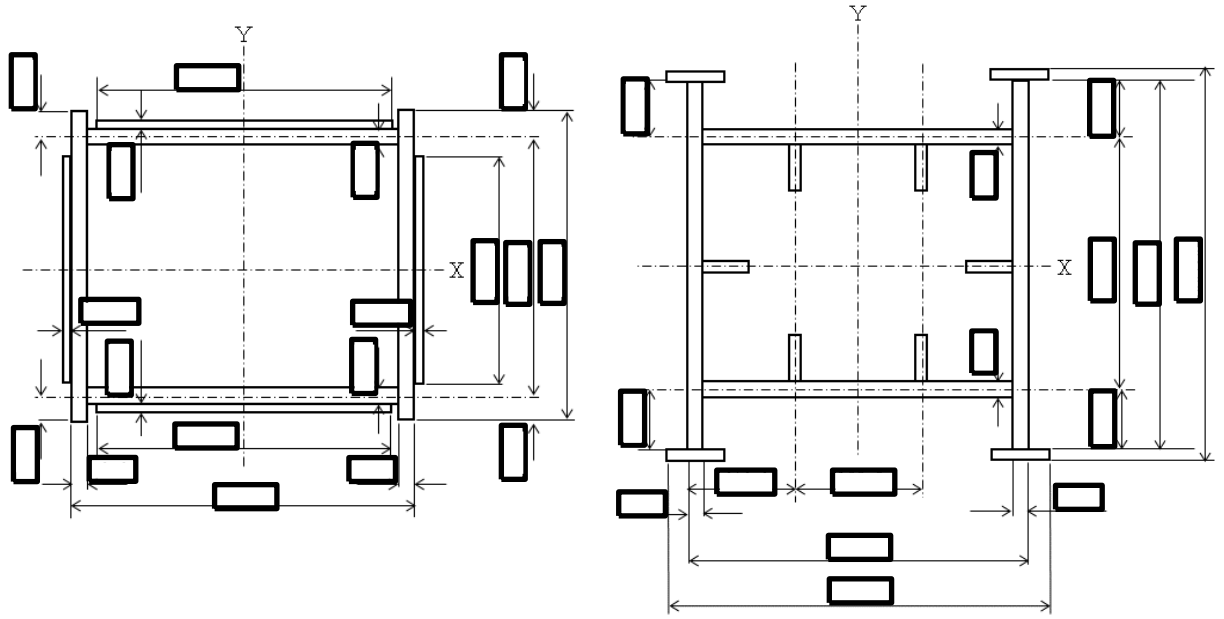
曲げ+せん断： σ_{1i}

$$\sigma_{1i} = \sqrt{(\sigma_{c1i} + \sigma_{t1i} + \sigma_{b1i})^2 + 3\tau_{1i}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.18)$$



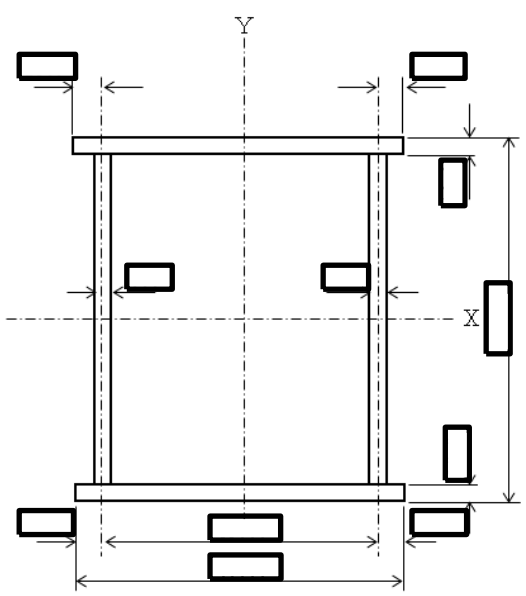
単位 (mm)

図 4-10 脚部, 脚下部継ぎ, ガーダ継ぎの断面概要図 (1/2)

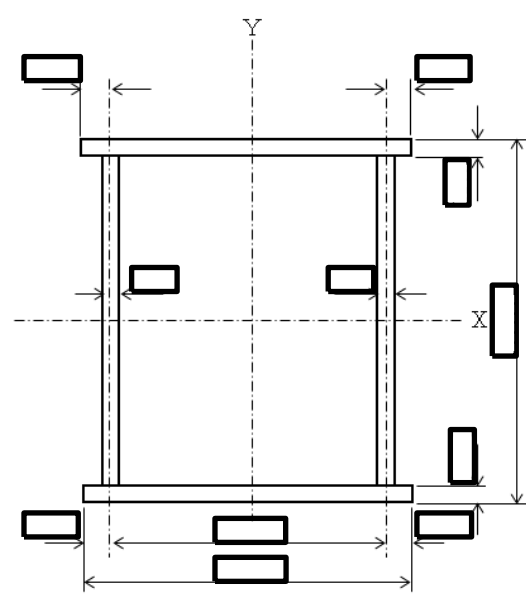


C - C 断面図
(脚部)

D - D 断面図
(脚部)



E - E 断面図
(脚下部継ぎ)



F - F 断面図
(脚下部継ぎ)

単位 (mm)

図 4-10 脚部, 脚下部継ぎ, ガータ継ぎの断面概要図 (2/2)

4.6.2 転倒防止装置の応力の計算方法

転倒防止装置では、図 4-11 に示す爪部の応力を計算する。

転倒防止装置の断面積： A_1

$$A_1 = t_1 \cdot \ell_2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

転倒防止装置のせん断応力： τ_a

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_1} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

転倒防止装置の曲げモーメント： M_a

$$M_a = F_a \cdot \ell_1 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

転倒防止装置の断面係数： Z_a

$$Z_a = \frac{\ell_2 \cdot t_1^2}{6} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

転倒防止装置の曲げ応力： σ_{ba}

$$\sigma_{ba} = \frac{M_a}{Z_a} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

転倒防止装置の組合せ応力： σ_a

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{ba}^2 + 3\tau_a^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.6)$$

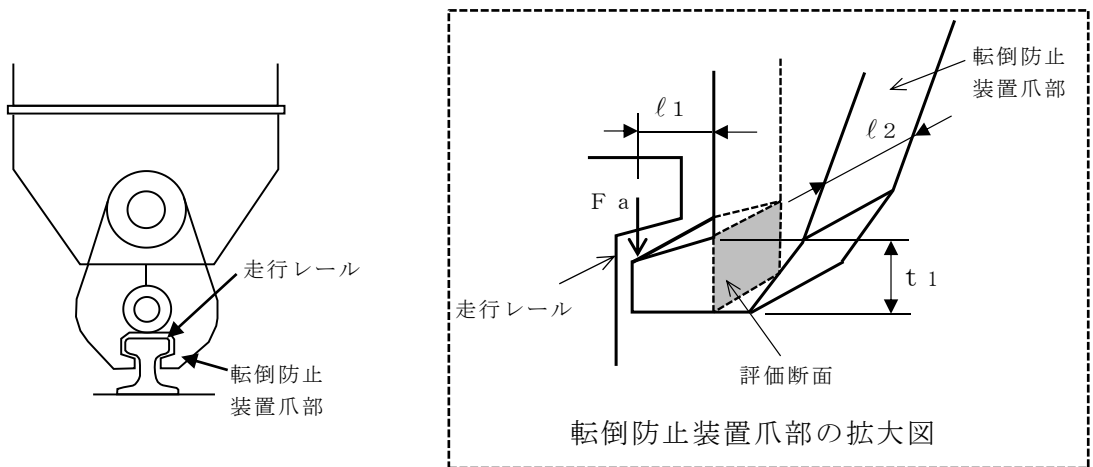


図 4-11 転倒防止装置の概要図

4.6.3 走行車輪の応力の計算方法

走行車輪では，図 4-12 に示すフランジ部の応力を計算する。

車輪フランジの受け長さ： l_5

$$l_5 = 2 \cdot \sqrt{(R + l_3)^2 - R^2} \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

車輪フランジの断面積： A_2

$$A_2 = t_2 \cdot l_5 \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

車輪フランジせん断応力： τ_b

$$\tau_b = \frac{F_b}{A_2} \dots \dots \dots (4.6.3.3)$$

車輪フランジの断面係数： Z_b

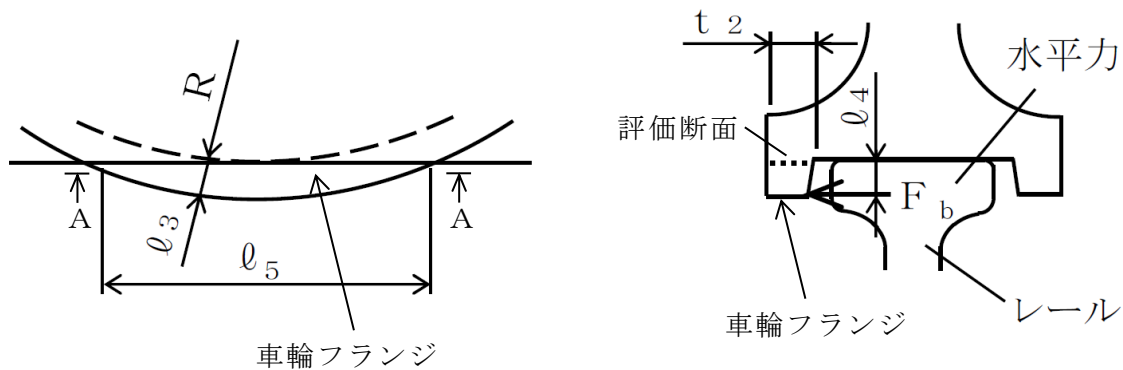
$$Z_b = \frac{l_5 \cdot t_2^2}{6} \dots \dots \dots (4.6.3.4)$$

車輪フランジ曲げ応力： σ_{bb}

$$\sigma_{bb} = \frac{F_b \cdot l_4}{Z_b} \dots \dots \dots (4.6.3.5)$$

車輪フランジ組合せ応力： σ_b

$$\sigma_b = \sqrt{\sigma_{bb}^2 + 3\tau_b^2} \dots \dots \dots (4.6.3.6)$$



A-A断面図
(評価断面)

図 4-12 走行車輪 (フランジ) の概要図

4.6.4 走行レールの応力の計算方法

(1) 走行レールの応力（走行車輪との取合箇所）

走行レール（走行車輪との取合箇所）の評価を図4-13を用いて計算する。

走行車輪に作用する鉛直力（下向き） F_{cV} は図4-13に示すハッチング部のように走行レールに分散する。

走行車輪に作用する水平力 F_{cH} は図4-13に示すハッチング部のように走行レールに分散する。

走行レール頭部への水平力における荷重伝達幅： b_{2H}

$$b_{2H} = b_{1H} + 2 \cdot \ell_6 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.1)$$

走行レールウェブへの水平力における荷重伝達幅： b_{3H}

$$b_{3H} = b_{2H} + 2 \cdot \ell_7 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.2)$$

走行レールウェブへの鉛直力（下向き）における荷重伝達幅： b_{2V}

$$b_{2V} = b_{1V} + 2 \cdot (\ell_7 + \ell_8) \quad \dots \dots \dots (4.6.4.3)$$

水平力に対する走行レールウェブの断面積： A_3

$$A_3 = t_3 \cdot b_{3H} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.4)$$

鉛直力に対する走行レールウェブの断面積： A_4

$$A_4 = t_3 \cdot b_{2V} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.5)$$

走行レールウェブのせん断応力： τ_c

$$\tau_c = \frac{F_{cH}}{A_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.6)$$

走行レールウェブの断面係数： Z_c

$$Z_c = \frac{1}{6} \cdot t_3^2 \cdot b_{3H} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.7)$$

走行レールウェブの垂直応力： σ_{bc}

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{cH} \cdot \ell_7}{Z_c} + \frac{F_{cV}}{A_4} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.8)$$

走行レールウェブの組合せ応力： σ_c

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{bc}^2 + 3\tau_c^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.9)$$

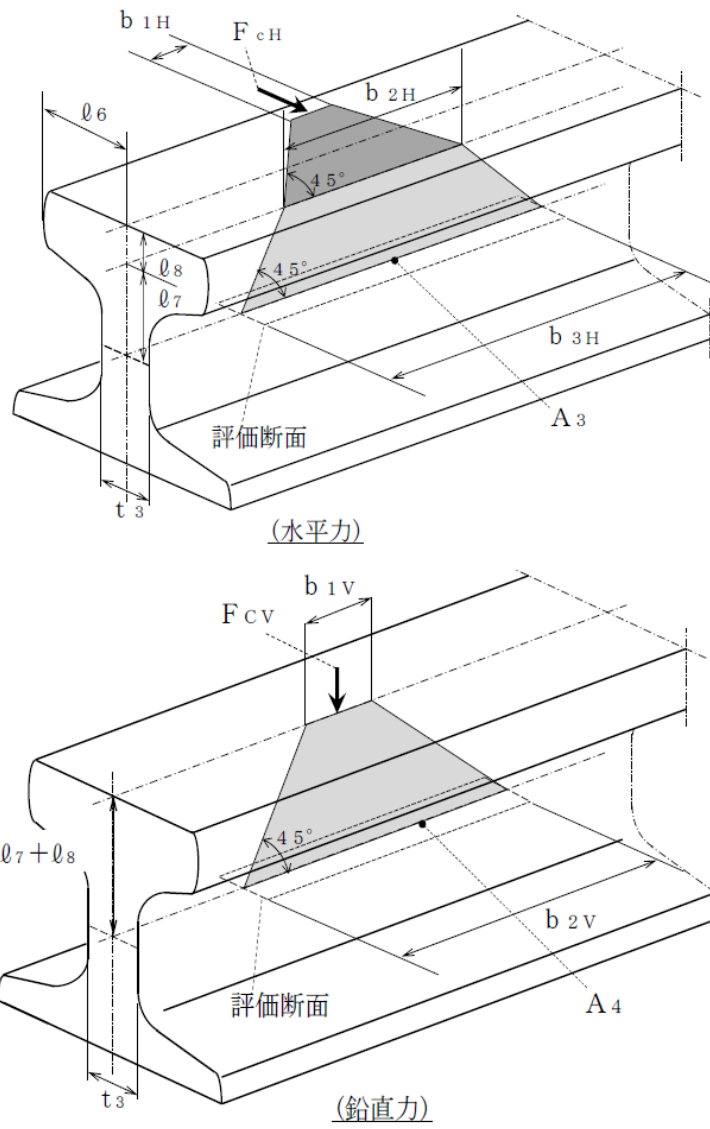


図 4-13 走行レール（走行車輪との取合箇所）の概要図

(2) 走行レールの応力（転倒防止装置との取合箇所）

走行レール（転倒防止装置との取合箇所）の走行レールの評価を図 4-14 を用いて計算する。

転倒防止装置に作用する鉛直力（上向き） F_A は図 4-14 に示すハッチング部のように走行レールに分散する。

走行レール頭部への鉛直力（上向き）における荷重伝達幅： b_{4v}

$$b_{4v} = b_{3v} + 2 \cdot (\ell_9 + \ell_{10}) \quad \dots \dots \dots (4.6.4.10)$$

鉛直力（上向き）に対する走行レール頭部の断面積： A_5

$$A_5 = t_4 \cdot b_{4v} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.11)$$

走行レール頭部のせん断応力： τ_d

$$\tau_d = \frac{F_a}{A_5} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.12)$$

鉛直力（上向き）に対する走行レール頭部の断面係数： Z_d

$$Z_d = \frac{1}{6} \cdot t_4^2 \cdot b_{4v} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.13)$$

走行レール頭部の曲げ応力： σ_{bd}

$$\sigma_{bd} = \frac{F_a \cdot \ell_9}{Z_{cd}} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.14)$$

走行レール頭部の組合せ応力： σ_d

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{bd}^2 + 3\tau_d^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.15)$$

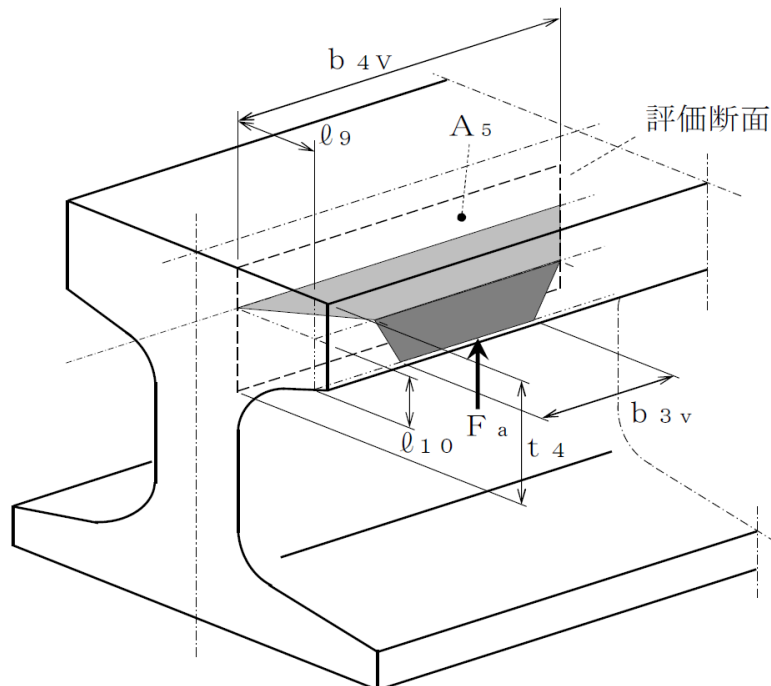


図 4-14 走行レール（転倒防止装置との取合箇所）の概要図

4.6.5 トロリストップの応力の計算方法

トロリには、水平方向荷重（EW方向）によって水平力が作用する。その水平力が片側にあるトロリストップ 1 個に作用すると考え、図 4-15 に示すトロリストップの応力を計算する。

トロリストップ 1 個あたりに作用する力： F_t

$$F_t = m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots \dots \dots (4.6.5.1)$$

トロリストップの評価断面： A_6

$$A_6 = \ell_{11} \cdot t_5 + 2 \cdot \ell_{12} \cdot t_6 \quad \dots \dots \dots (4.6.5.2)$$

トロリストップの圧縮応力： σ_{ct}

$$\sigma_{ct} = \frac{F_t}{A_6} \quad \dots \dots \dots (4.6.5.3)$$

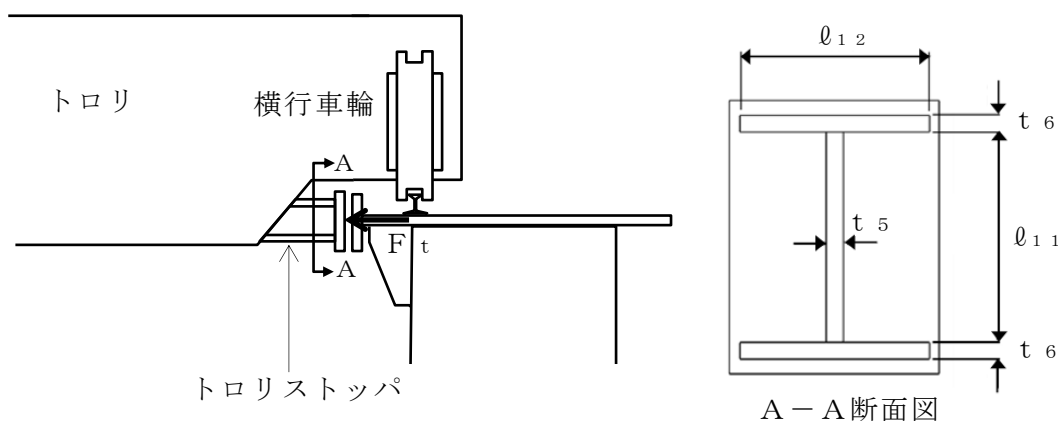


図 4-15 トロリストップの概要図

4.6.6 トロリの浮上り量の計算方法

トロリの浮上り量 h_t を、図 4-2 の解析モデルを用いて非線形時刻歴解析により求める。

4.6.7 吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重 P_w を、図 4-2 の解析モデルを用いて非線形時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算にあたっては、以下の基本事項で行う。

- ・吊荷荷重を受ける部位は、ワイヤロープ、フック、クラブシーブ（滑車）、エコライザシーブ（平衡装置）で、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対

象とする。

- ・主巻のワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザシーブ（平衡装置）とクラブシーブ（滑車）の回転により自動的に荷重をつり合い状態に保つため、本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして評価する。ホイストのワイヤロープについても同様に評価する。
- ・吊荷荷重算出の解析にあたっては、クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの荷重を抽出し、その最大値を用いるものとする。
- ・ワイヤロープは、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。
- ・ワイヤロープは長さを長く設定すると固有周期が大きくなり、短く設定すると固有周期が小さくなる特徴を踏まえ、地震応答の関係から、吊具に対して応答が厳しくなる最大吊り上げ時のワイヤロープ長さでの地震応答解析結果を用いて荷重評価を実施する。

4.6.8 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価方法

単軸粘性ダンパ及びブレースの評価は、図 4-2 の解析モデルを用いて非線形時刻歴解析によって得られる値が許容限界以下であることを確認する。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体、吊具）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 クレーン本体ガーダ及び脚部の評価

(1) クレーン本体ガーダの評価

4.6.1 項の(2)で求めたクレーン部材のせん断応力，曲げ応力及び組合せ応力が下記の許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容組合せ応力	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

(2) 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの評価

4.6.1 項の(3)で求めた脚部の引張応力，圧縮応力，曲げ応力及び組合せ応力が下記許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_{c m}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容組合せ応力	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし,

$$\lambda = \frac{\ell_{k1i}}{i_{1i}} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

曲げ応力と軸力が同時に作用する部材は次式を満足しなければならない。

a. 圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける部材

$$\frac{\sigma_{c1i}}{f_{cm}} + \frac{\sigma_{b1i}}{f_{bm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

b. 引張力と曲げモーメントを同時に受ける部材

$$\frac{\sigma_{t1i} + \sigma_{b1i}}{f_{tm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.5)$$

4.8.2 転倒防止装置の評価

4.6.2 項で求めた転倒防止装置の組合せ応力が下記の許容応力以下であること。

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

4.8.3 走行車輪の評価

4.6.3 項で求めた走行車輪のせん断応力，曲げ応力及び組合せ応力が下記の許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容組合せ応力	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.4 走行レールの評価

4.6.4 項で求めた走行レールのせん断応力，垂直応力及び組合せ応力が下記の許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容垂直応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容組合せ応力	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.5 トロリストッパの評価

4.6.5 項で求めたトロリストッパの圧縮応力が下記の許容応力以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容圧縮応力 f_{cm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.6 トロリの浮上り量の評価

4.6.6 項で求めたトロリの浮上り量 h_t が、図 4-16 及び表 4-11 に示す許容浮上り量 H_t 以下であること。

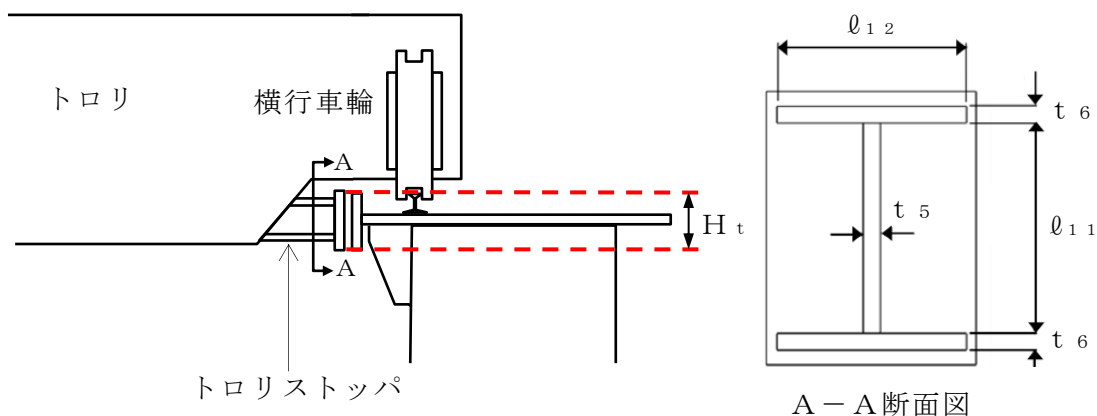


図 4-16 許容浮上り量 H_t の概要図

表 4-11 トロリの許容浮上り量

トロリの許容浮上り量 H_t (mm)	150
-----------------------	-----

4.8.7 吊具の評価

4.6.7項で求めた吊具の荷重 P_w が，表 4-12 に示す許容荷重以下であること。

表 4-12 吊具の許容荷重

	許容荷重 (N)
吊具 (ワイヤロープ (主巻)) の許容荷重 f_{w1}	4.078×10^6
吊具 (フック (主巻)) の許容荷重 f_{h1}	4.980×10^6
吊具 (ワイヤロープ (ホイスト)) の許容荷重 f_{w2}	1.479×10^6
吊具 (フック (ホイスト)) の許容荷重 f_{h2}	2.060×10^6

4.8.8 単軸粘性ダンパの評価

4.6.8項で求めた単軸粘性ダンパの変位及び荷重が，表 4-13 に示す許容限界以下であること。

表 4-13 単軸粘性ダンパの許容限界

ダンパの許容変位 H_d (mm)	100
ダンパの許容荷重 f_d (N)	3.0×10^5

4.8.9 ブレースとクレビスの評価

4.6.8 項で求めたブレースとクレビスの発生応力が、表 4-14 に示す許容限界以下であること。

表 4-14 ブレースとクレビスの許容限界

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
ブレースの許容圧縮応力 (MPa)	$0.277 \cdot F^* \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \cdot 1.5$
クレビスの許容せん断応力 (MPa)	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
クレビスの許容曲げ応力 (MPa)	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
クレビスの許容組合せ応力 (MPa)	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_{k1i}}{i_{1i}} \dots\dots\dots (4.8.9.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.9.2)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

取水槽ガントリクレーンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

取水槽ガントリクレーンの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

- (1) 平成 19 年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書(08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)

【取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s *4			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
					走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)		
取水槽 ガントリクレーン	C	取水槽ポンプ室 EL 8.800*1	—	—	C _H = 0.15*2, *3	—	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*3：トロリストップの評価に適用する。

*4：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

1.2 機器要目

m _G (kg)	m _t (kg)	m _m (kg)	Σ m (kg)

M _{Hg} (N・mm)	M _{Vg} (N・mm)	M _{X11} (N・mm)	M _{Y11} (N・mm)	M _{X12} (N・mm)	M _{Y12} (N・mm)	M _{X13} (N・mm)	M _{Y13} (N・mm)
5.737×10 ⁸	1.867×10 ⁹	6.582×10 ⁸	8.377×10 ⁸	1.075×10 ⁹	5.175×10 ⁷	2.437×10 ⁹	4.535×10 ⁸

M _a (N・mm)	M _g (N・mm)	M ₁₁ (N・mm)	M ₁₂ (N・mm)	M ₁₃ (N・mm)
6.687×10 ⁶	2.423×10 ⁸	4.404×10 ⁸	9.311×10 ⁷	1.981×10 ⁹

Q _{Hg} (N)	Q _{Vg} (N)	E _G (MPa)	E _L (MPa)	E _W (MPa)	ν	c _D	k _D (N/mm)
1.008×10 ⁵	4.538×10 ⁵				0.3		

F _{c11} (N)	F _{t11} (N)	F _{c12} (N)	F _{t12} (N)	F _{c13} (N)	F _{t13} (N)
1.314×10 ⁶	1.876×10 ⁵	5.698×10 ⁵	3.286×10 ⁵	2.497×10 ⁵	2.566×10 ⁵

Q _{X11} (N)	Q _{Y11} (N)	Q _{X12} (N)	Q _{Y12} (N)	Q _{X13} (N)	Q _{Y13} (N)	F _a (N)	F _b (N)	F _{cH} (N)	F _{cV} (N)
4.900×10 ⁴	2.161×10 ⁵	2.821×10 ⁴	4.381×10 ⁵	1.240×10 ⁵	1.135×10 ⁶	2.229×10 ⁵	3.963×10 ⁵	3.963×10 ⁵	1.259×10 ⁶

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

$\varnothing 1$ (mm)	$\varnothing 2$ (mm)	$\varnothing 3$ (mm)	$\varnothing 4$ (mm)	$\varnothing 5$ (mm)	$\varnothing 6$ (mm)	$\varnothing 7$ (mm)	$\varnothing 8$ (mm)	$\varnothing 9$ (mm)	$\varnothing 10$ (mm)	$\varnothing 11$ (mm)	$\varnothing 12$ (mm)
-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

$t 1$ (mm)	$t 2$ (mm)	$t 3$ (mm)	$t 4$ (mm)	$t 5$ (mm)	$t 6$ (mm)	$\ell k 1 1$ (mm)	$\ell k 1 2$ (mm)	$\ell k 1 3$ (mm)	$\ell k 1 4$ (mm)	$i 1 1$ (mm)	$i 1 2$ (mm)	$i 1 3$ (mm)
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------	-----------------	-----------------

$i 1 4$ (mm)	R (mm)	$b 1 H$ (mm)	$b 2 H$ (mm)	$b 3 H$ (mm)	$b 1 V$ (mm)	$b 2 V$ (mm)	$b 3 V$ (mm)	$b 4 V$ (mm)
-----------------	-----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

A 1 (mm ²)	A 2 (mm ²)	A 3 (mm ²)	A 4 (mm ²)	A 5 (mm ²)	A 6 (mm ²)	A H g (mm ²)	A V g (mm ²)	A c 1 1 (mm ²)	A t 1 1 (mm ²)	A c 1 2 (mm ²)	A t 1 2 (mm ²)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

A c 1 3 (mm ²)	A t 1 3 (mm ²)	A X 1 1 (mm ²)	A Y 1 1 (mm ²)	A X 1 2 (mm ²)	A Y 1 2 (mm ²)	A X 1 3 (mm ²)	A Y 1 3 (mm ²)
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Z X g (mm ³)	Z Y g (mm ³)	Z X 1 1 (mm ³)	Z Y 1 1 (mm ³)	Z X 1 2 (mm ³)	Z Y 1 2 (mm ³)	Z X 1 3 (mm ³)	Z Y 1 3 (mm ³)
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Z a (mm ³)	Z b (mm ³)	Z c (mm ³)	Z d (mm ³)	Z p g (mm ³)	Z p 1 1 (mm ³)	Z p 1 2 (mm ³)	Z p 1 3 (mm ³)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

クレーン本体ガード			脚部, 脚下部継ぎ, ガード継ぎ			転倒防止装置			走行車輪		走行レール	
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
245	400	280	245	400	280	305	510	357	770	539	780	546

トロリストップ			吊具				ブレース			クレビス		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	f _{w 1} (N)	f _{w 2} (N)	f _{h 1} (N)	f _{h 2} (N)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
245	400	280	4.078×10 ⁶	1.479×10 ⁶	4.980×10 ⁶	2.060×10 ⁶	215	370	258	725	930	651

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
クレーン本体ガーダ	$\tau_g = 26$	$\sigma_{bg} = 128$	$\sigma_g = 134$

せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.2 脚に生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (圧縮+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
脚	$\sigma_{c11} = 36$	$\sigma_{t11} = 5$	$\tau_{11} = 77$	$\sigma_{b11} = 194$	0.798	$\sigma_{11} = 228$

圧縮応力、曲げ応力、組合せ応力（圧縮+曲げ）、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 1 の評価結果
引張応力、せん断応力は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.3 脚下部継ぎに生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (圧縮+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
脚下部継ぎ	$\sigma_{c12} = 23$	$\sigma_{t12} = 14$	$\tau_{12} = 57$	$\sigma_{b12} = 224$	0.835	$\sigma_{12} = 244$

圧縮応力、引張応力、せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（圧縮+曲げ）、組合せ応力（曲げ+せん断）は、
表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.4 ガーダ継ぎに生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (引張+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
ガーダ継ぎ	$\sigma_{c13} = 5$	$\sigma_{t13} = 5$	$\tau_{13} = 97$	$\sigma_{b13} = 99$	0.363	$\sigma_{13} = 176$

圧縮応力、引張応力、せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（圧縮+曲げ）、組合せ応力（曲げ+せん断）は、
表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.5 転倒防止装置に生じる応力

(単位：MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力
転倒防止 装置アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	201

組合せ応力は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.6 走行車輪に生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
走行車輪	$\tau_b = 60$	$\sigma_{bb} = 325$	$\sigma_b = 341$

せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.7 走行車輪より走行レールに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	垂直応力 (MPa)	組合せ応力 (垂直+せん断) (MPa)
走行レール	$\tau_c = 28$	$\sigma_{bc} = 460$	$\sigma_c = 463$

せん断応力、垂直応力、組合せ応力（垂直+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.8 転倒防止装置より走行レールに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
走行レール	$\tau_d = 18$	$\sigma_{bd} = 35$	$\sigma_d = 47$

せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.9 トロリストッパに生じる応力（単位：MPa）

	圧縮
トロリストッパ	4

最大静止摩擦係数を用いた静的水平震度による評価

1.3.10 トロリ浮上り量（単位：mm）

	浮上り量
トロリ	9.0

トロリの浮上り量は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.11 吊荷荷重（単位：N）

	ワイヤ荷重
主巻	1.276×10^6
ホイスト	4.934×10^5

主巻のワイヤ荷重は、表 4-1 のケース 1 の評価結果

ホイストのワイヤ荷重は、表 4-1 のケース 2 の評価結果

1.3.12 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部位	評価項目	算出値
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	2.572×10^5
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16
クレビス	せん断応力 (MPa)	91
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)	305
クレビス	回転角度 (°)	0.8

単軸粘性ダンパの荷重、変位は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

ブレースの圧縮応力は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

クレビスのせん断応力、曲げ応力、組合せ応力、回転角度は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.4 評価結果

1.4.1 クレーン本体に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	SS400	せん断 (MPa)	$\tau_{g} = 26$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bg} = 128$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{g} = 134$	280
脚	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c11} = 36$	$f_{cm} = 279$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t11} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{11} = 77$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b11} = 194$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.798	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{11} = 228$	280
脚下部継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c12} = 23$	$f_{cm} = 263$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t12} = 14$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{12} = 57$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b12} = 224$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.835	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{12} = 244$	280
ガーダ継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c13} = 5$	$f_{cm} = 275$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t13} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{13} = 97$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b13} = 99$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (引張+曲げ)	0.363	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{13} = 176$	280

全て許容応力以下である。

1.4.2 転倒防止装置に生じる応力

(単位：MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力	許容応力
転倒防止装置 アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	$\sigma_a = 201$	357

全て許容応力以下である。

1.4.3 走行車輪に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行車輪	SSW-Q1	せん断 (MPa)	$\tau_b = 60$	$f_{sm} = 311$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bb} = 325$	$f_{bm} = 539$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_b = 341$	539

全て許容応力以下である。

1.4.4 走行レールに生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行レール (走行車輪側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_c = 28$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bc} = 460$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (垂直+せん断)	$\sigma_c = 463$	546
走行レール (転倒防止 装置側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_d = 18$	$f_{sm} = 315$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bd} = 35$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_d = 47$	546

全て許容応力以下である。

1.4.5 トロリストッパに生じる応力 (単位: MPa)

部材	圧縮	許容応力
トロリストッパ	4	$f_{cm} = 280$

全て許容応力以下である。

1.4.6 トロリの浮上り量 (単位: mm)

部材	浮上り量	許容浮上り量
トロリ	9.0	$H_t = 150$

全て許容浮上り量以下である。

1.4.7 吊具荷重 (単位: N)

部材		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具 (主巻)	ワイヤロープ	IWRC 6×Fi (29)	吊荷荷重	$P_w = 1.276 \times 10^6$	$f_{w1} = 4.078 \times 10^6$
	フック	S35C			$f_{h1} = 4.980 \times 10^6$
吊具 (ホイスト)	ワイヤロープ	4×F (40)	吊荷荷重	$P_w = 4.934 \times 10^5$	$f_{w2} = 1.479 \times 10^6$
	フック	SCM435			$f_{h2} = 2.060 \times 10^6$

全て許容荷重以下である。

1.4.8 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部材	評価項目	算出値	許容限界
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	2.572×10^5	3.0×10^5
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44	100
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16	78
クレビス	せん断応力 (MPa)	91	375
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261	651
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断)	305	651
クレビス	回転角度 (°)	0.8	3

全て許容限界以下である。

【取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S_s^{*4}			周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
					走行方向 (EW方向)	横行方向 (NS方向)		
取水槽 ガントリクレーン	C	取水槽ポンプ室 EL 8.800 ^{*1}	—	—	$C_H = 0.15^{*2, *3}$	—	—	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*3：トロリストップの評価に適用する。

*4：地震応答解析では時刻歴加速度波を用いる。

2.2 機器要目

m_G (kg)	m_t (kg)	m_m (kg)	Σm (kg)

M_{Hg} (N・mm)	M_{Vg} (N・mm)	M_{X11} (N・mm)	M_{Y11} (N・mm)	M_{X12} (N・mm)	M_{Y12} (N・mm)	M_{X13} (N・mm)	M_{Y13} (N・mm)
5.737×10^8	1.867×10^9	6.582×10^8	8.377×10^8	1.075×10^9	5.175×10^7	2.437×10^9	4.535×10^8

M_a (N・mm)	M_g (N・mm)	M_{11} (N・mm)	M_{12} (N・mm)	M_{13} (N・mm)
6.687×10^6	2.423×10^8	4.404×10^8	9.311×10^7	1.981×10^9

Q_{Hg} (N)	Q_{Vg} (N)	E_G (MPa)	E_L (MPa)	E_w (MPa)	ν	c_D	k_D (N/mm)
1.008×10^5	4.538×10^5				0.3		

F_{c11} (N)	F_{t11} (N)	F_{c12} (N)	F_{t12} (N)	F_{c13} (N)	F_{t13} (N)
1.314×10^6	1.876×10^5	5.698×10^5	3.286×10^5	2.497×10^5	2.566×10^5

Q_{X11} (N)	Q_{Y11} (N)	Q_{X12} (N)	Q_{Y12} (N)	Q_{X13} (N)	Q_{Y13} (N)	F_a (N)	F_b (N)	F_{cH} (N)	F_{cV} (N)
4.900×10^4	2.161×10^5	2.821×10^4	4.381×10^5	1.240×10^5	1.135×10^6	2.229×10^5	3.963×10^5	3.963×10^5	1.259×10^6

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R1

$\varnothing 1$ (mm)	$\varnothing 2$ (mm)	$\varnothing 3$ (mm)	$\varnothing 4$ (mm)	$\varnothing 5$ (mm)	$\varnothing 6$ (mm)	$\varnothing 7$ (mm)	$\varnothing 8$ (mm)	$\varnothing 9$ (mm)	$\varnothing 10$ (mm)	$\varnothing 11$ (mm)	$\varnothing 12$ (mm)
-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

$t 1$ (mm)	$t 2$ (mm)	$t 3$ (mm)	$t 4$ (mm)	$t 5$ (mm)	$t 6$ (mm)	$\ell k 1 1$ (mm)	$\ell k 1 2$ (mm)	$\ell k 1 3$ (mm)	$\ell k 1 4$ (mm)	$i 1 1$ (mm)	$i 1 2$ (mm)	$i 1 3$ (mm)
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------	-----------------	-----------------

$i 1 4$ (mm)	R (mm)	$b 1 H$ (mm)	$b 2 H$ (mm)	$b 3 H$ (mm)	$b 1 V$ (mm)	$b 2 V$ (mm)	$b 3 V$ (mm)	$b 4 V$ (mm)
-----------------	-----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

A 1 (mm ²)	A 2 (mm ²)	A 3 (mm ²)	A 4 (mm ²)	A 5 (mm ²)	A 6 (mm ²)	A H g (mm ²)	A V g (mm ²)	A c 1 1 (mm ²)	A t 1 1 (mm ²)	A c 1 2 (mm ²)	A t 1 2 (mm ²)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

A c 1 3 (mm ²)	A t 1 3 (mm ²)	A X 1 1 (mm ²)	A Y 1 1 (mm ²)	A X 1 2 (mm ²)	A Y 1 2 (mm ²)	A X 1 3 (mm ²)	A Y 1 3 (mm ²)
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Z X g (mm ³)	Z Y g (mm ³)	Z X 1 1 (mm ³)	Z Y 1 1 (mm ³)	Z X 1 2 (mm ³)	Z Y 1 2 (mm ³)	Z X 1 3 (mm ³)	Z Y 1 3 (mm ³)
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Z a (mm ³)	Z b (mm ³)	Z c (mm ³)	Z d (mm ³)	Z p g (mm ³)	Z p 1 1 (mm ³)	Z p 1 2 (mm ³)	Z p 1 3 (mm ³)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

クレーン本体ガード			脚部, 脚下部継ぎ, ガード継ぎ			転倒防止装置			走行車輪		走行レール	
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
245	400	280	245	400	280	305	510	357	770	539	780	546

トロリストップ			吊具				ブレース			クレビス		
S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	f _{w 1} (N)	f _{w 2} (N)	f _{h 1} (N)	f _{h 2} (N)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
245	400	280	4.078×10 ⁶	1.479×10 ⁶	4.980×10 ⁶	2.060×10 ⁶	215	370	258	725	930	651

2.3 計算数値

2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
クレーン本体ガーダ	$\tau_g = 26$	$\sigma_{bg} = 128$	$\sigma_g = 134$

せん断応力，曲げ応力，組合せ応力（曲げ+せん断）は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.2 脚に生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (圧縮+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
脚	$\sigma_{c11} = 36$	$\sigma_{t11} = 5$	$\tau_{11} = 77$	$\sigma_{b11} = 194$	0.798	$\sigma_{11} = 228$

圧縮応力，曲げ応力，組合せ応力（圧縮+曲げ），組合せ応力（曲げ+せん断）は，表 4-1 のケース 1 の評価結果
引張応力，せん断応力は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.3 脚下部継ぎに生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (圧縮+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
脚下部継ぎ	$\sigma_{c12} = 23$	$\sigma_{t12} = 14$	$\tau_{12} = 57$	$\sigma_{b12} = 224$	0.835	$\sigma_{12} = 244$

圧縮応力，引張応力，せん断応力，曲げ応力，組合せ応力（圧縮+曲げ），組合せ応力（曲げ+せん断）は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.4 ガーダ継ぎに生じる応力

	圧縮応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (引張+曲げ) (-)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
ガーダ継ぎ	$\sigma_{c13} = 5$	$\sigma_{t13} = 5$	$\tau_{13} = 97$	$\sigma_{b13} = 99$	0.363	$\sigma_{13} = 176$

圧縮応力，引張応力，せん断応力，曲げ応力，組合せ応力（圧縮+曲げ），組合せ応力（曲げ+せん断）は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.5 転倒防止装置に生じる応力

(単位：MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力
転倒防止装置アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	201

組合せ応力は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.6 走行車輪に生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
走行車輪	$\tau_b = 60$	$\sigma_{bb} = 325$	$\sigma_b = 341$

せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.7 走行車輪より走行レールに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	垂直応力 (MPa)	組合せ応力 (垂直+せん断) (MPa)
走行レール	$\tau_c = 28$	$\sigma_{bc} = 460$	$\sigma_c = 463$

せん断応力、垂直応力、組合せ応力（垂直+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.8 転倒防止装置より走行レールに生じる応力

	せん断応力 (MPa)	曲げ応力 (MPa)	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)
走行レール	$\tau_d = 18$	$\sigma_{bd} = 35$	$\sigma_d = 47$

せん断応力、曲げ応力、組合せ応力（曲げ+せん断）は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.9 トロリストッパに生じる応力（単位：MPa）

	圧縮
トロリストッパ	4

最大静止摩擦係数を用いた静的水平震度による評価

2.3.10 トロリ浮上り量（単位：mm）

	浮上り量
トロリ	9.0

トロリの浮上り量は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.11 吊荷荷重（単位：N）

	ワイヤ荷重
主巻	1.276×10^6
ホイスト	4.934×10^5

主巻のワイヤ荷重は、表 4-1 のケース 1 の評価結果

ホイストのワイヤ荷重は、表 4-1 のケース 2 の評価結果

2.3.12 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部位	評価項目	算出値
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	2.572×10^5
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16
クレビス	せん断応力 (MPa)	91
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)	305
クレビス	回転角度 (°)	0.8

単軸粘性ダンパの荷重、変位は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

ブレースの圧縮応力は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

クレビスのせん断応力、曲げ応力、組合せ応力、回転角度は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.4 評価結果

2.4.1 クレーン本体に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	SS400	せん断 (MPa)	$\tau_{g} = 26$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bg} = 128$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{g} = 134$	280
脚	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c11} = 36$	$f_{cm} = 279$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t11} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{11} = 77$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b11} = 194$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.798	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{11} = 228$	280
脚下部継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c12} = 23$	$f_{cm} = 263$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t12} = 14$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{12} = 57$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b12} = 224$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.835	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{12} = 244$	280
ガーダ継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c13} = 5$	$f_{cm} = 275$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t13} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{13} = 97$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b13} = 99$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (引張+曲げ)	0.363	1.0
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_{13} = 176$	280

全て許容応力以下である。

2.4.2 転倒防止装置に生じる応力

(単位：MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力	許容応力
転倒防止装置 アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	$\sigma_a = 201$	357

全て許容応力以下である。

2.4.3 走行車輪に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行車輪	SSW-Q1	せん断 (MPa)	$\tau_b = 60$	$f_{sm} = 311$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bb} = 325$	$f_{bm} = 539$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_b = 341$	539

全て許容応力以下である。

2.4.4 走行レールに生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行レール (走行車輪側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_c = 28$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bc} = 460$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (垂直+せん断)	$\sigma_c = 463$	546
走行レール (転倒防止 装置側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_d = 18$	$f_{sm} = 315$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bd} = 35$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (曲げ+せん断)	$\sigma_d = 47$	546

全て許容応力以下である。

2.4.5 トロリストoppaに生じる応力 (単位: MPa)

部材	圧縮	許容応力
トロリストoppa	4	$f_{cm} = 280$

全て許容応力以下である。

2.4.6 トロリの浮上り量 (単位: mm)

部材	浮上り量	許容浮上り量
トロリ	9.0	$H_t = 150$

全て許容浮上り量以下である。

2.4.7 吊具荷重 (単位: N)

部材		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具 (主巻)	ワイヤロープ	IWRC 6×Fi (29)	吊荷荷重	$P_w = 1.276 \times 10^6$	$f_{w1} = 4.078 \times 10^6$
	フック	S35C			$f_{h1} = 4.980 \times 10^6$
吊具 (ホイスト)	ワイヤロープ	4×F (40)	吊荷荷重	$P_w = 4.934 \times 10^5$	$f_{w2} = 1.479 \times 10^6$
	フック	SCM435			$f_{h2} = 2.060 \times 10^6$

全て許容荷重以下である。

2.4.8 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部材	評価項目	算出値	許容限界
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	2.572×10^5	3.0×10^5
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44	100
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16	78
クレビス	せん断応力 (MPa)	91	375
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261	651
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断)	305	651
クレビス	回転角度 (°)	0.8	3

全て許容限界以下である。

VI-2-11-2-7-15 除じん機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 構造強度評価	11
4.1 構造強度評価方法	11
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	22
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	24
4.7 計算条件	34
4.8 応力の評価	34
5. 評価結果	36
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	36
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である除じん機（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、水路下流側に設置された上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ（以下「RSW ポンプ」という。）及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「HPSW ポンプ」という。）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

除じん機は、取水槽に設置されている。除じん機は、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である RSW ポンプ及び HPSW ポンプの水路上流側に設置されていることから、地震時に水中にあるフレーム等が損傷して脱落した場合は、RSW ポンプ及び HPSW ポンプに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

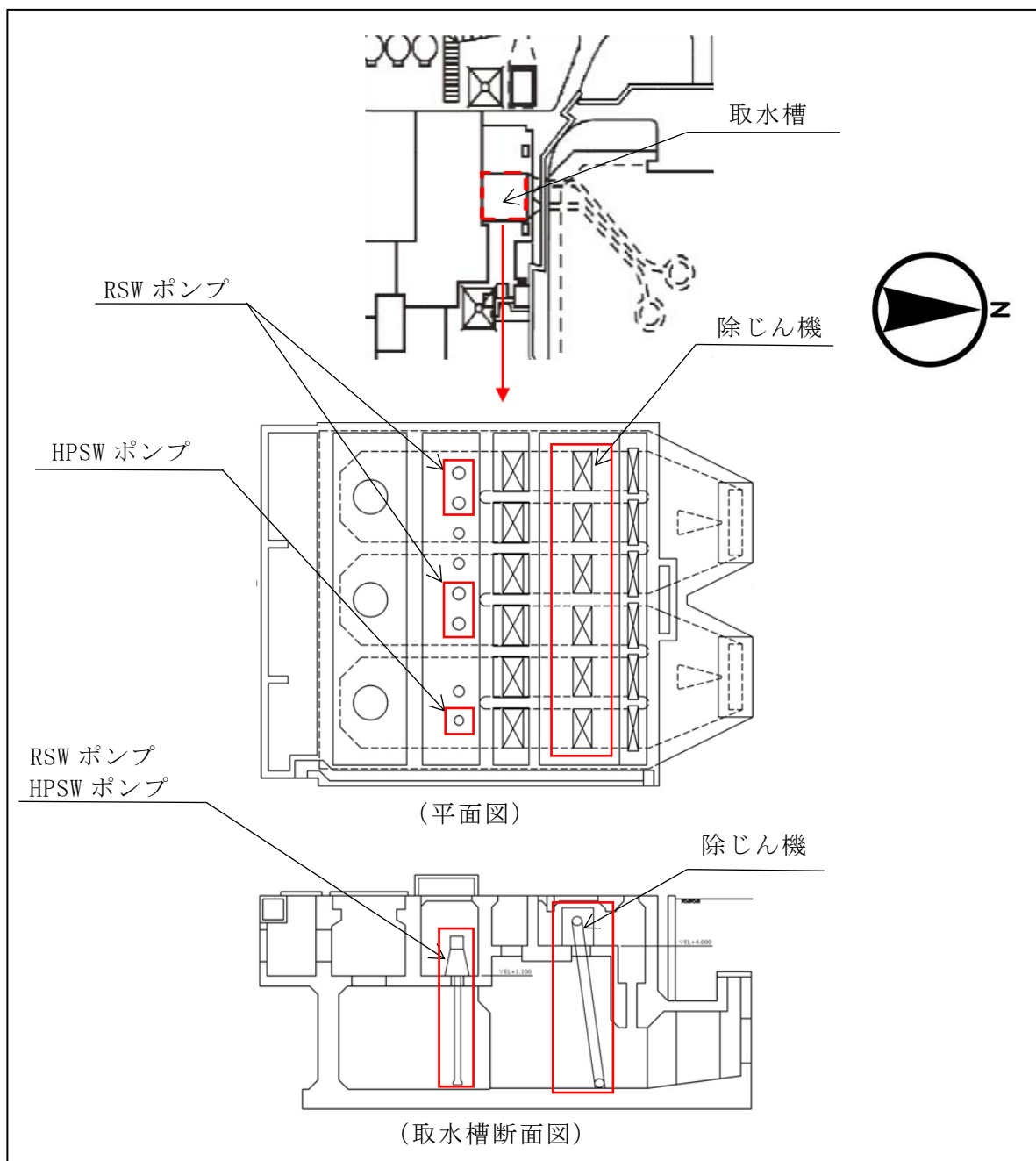


図 2-1 除じん機と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

除じん機の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/3)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
1. ハウジング*は地上部にあり，底部4辺をハウジング取付ボルトによりハウジングベースを介して取水槽に固定されている。	鋼製溶接構造（鋼板，形鋼）		

注記*：損傷の際に水路部へ落下する構造ではないため，波及的影響の評価対象外とする。

表 2-1 構造計画 (2/3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>2. フレームは水路部にあり，上部をフレーム取付ボルトによりハウジングベースを介して取水槽に，中間部をフレーム耐震サポート（水平方向支持）により取水槽壁に，底部をフレーム耐震ピン（水平方向支持）及びアジャストボルト（鉛直方向支持）により取水槽に固定されている。</p> <p>3. 尾軸は尾軸取付ボルトによりフレームに固定されている。</p>	<p>(正面図) (側面図)</p> <p>フレーム</p> <p>B'-B'断面図及び B''-B''断面図</p>	

表 2-1 構造計画 (3/3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<div style="border: 1px solid black; width: 300px; height: 250px; margin: 0 auto; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="text-align: center;">C 部</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">D 部</div> <div style="text-align: center;">E 部</div> </div>

2.3 評価方針

除じん機の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す除じん機の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

除じん機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

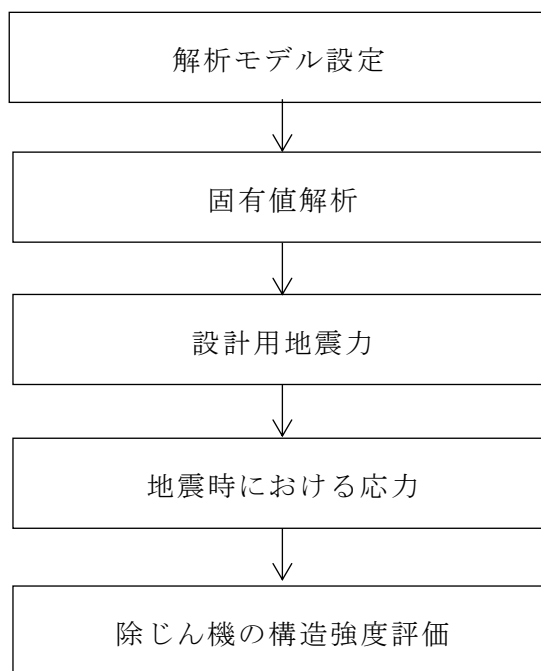


図 2-2 除じん機の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{ab}	フレーム耐震サポート断面積（水流方向）	mm^2
A_c	フレーム耐震ピンの断面積	mm^2
A_{hb}	フレーム耐震サポート断面積（水流直角方向）	mm^2
A_i	ボルトの有効断面積* ¹	mm^2
B	フレーム耐震サポート巾	mm
$C_{H(EW)}$	水流直角方向設計震度	—
$C_{H(NS)}$	水流方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	フレーム耐震ピン径	mm
d_{oi}	ボルトの有効径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_a	付加質量による荷重（水流方向）	N
F_{ac}	付加質量による地震時荷重（水流方向）	N
F_{ad}	水圧荷重（水流方向）	N
F_{at}	地震時における全荷重（水流方向）	N
F_{aw}	自重による地震時荷重（水流方向）	N
F_h	付加質量による荷重（水流直角方向）	N
F_{hc}	付加質量による地震時荷重（水流直角方向）	N
F_{ht}	地震時における全荷重（水流直角方向）	N
F_{hw}	自重による地震時荷重（水流直角方向）	N
F_v	付加質量による荷重（鉛直方向）	N
F_{vc}	付加質量による地震時荷重（鉛直方向）	N
F_{vt}	地震時における全荷重（鉛直方向）	N
F_{vw}	自重による地震時荷重（鉛直方向）	N
F_w	フレーム荷重	N
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{cm}	許容圧縮応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa
H	フレーム耐震サポート高さ	mm
I_p	断面二次極モーメント	mm^4
I_y	断面二次モーメント	mm^4
I_z	断面二次モーメント	mm^4
J	ねじり定数	mm^4
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
L	フレーム耐震サポート長さ	mm
L _c	フレーム耐震ピン長さ	mm
ℓ _k	部材長さ	mm
M _a	曲げモーメント（水流方向）	N・mm
M _h	曲げモーメント（水流直角方向）	N・mm
n _b	フレーム耐震サポート数	—
n _c	フレーム耐震ピン数	—
n _i	ボルトの本数* ¹	—
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
Z	断面係数	mm ³
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ _{a b}	フレーム耐震ピンに生じる曲げ応力（水流方向）	MPa
σ _{a b s}	フレーム耐震ピンに生じる組合せ応力（水流方向）	MPa
σ _{h b}	フレーム耐震ピンに生じる曲げ応力（水流直角方向）	MPa
σ _{h b s}	フレーム耐震ピンに生じる組合せ応力（水流直角方向）	MPa
σ _{v c}	アジャストボルトに生じる圧縮応力（鉛直方向）	MPa
τ _{a k}	部材に生じる水流方向せん断応力* ²	MPa
τ _{b k}	部材に生じる合成せん断応力* ²	MPa
τ _{h k}	部材に生じる水流直角方向せん断応力* ²	MPa
τ _{v k}	部材に生じる鉛直方向せん断応力* ²	MPa

注記*1：A_i，d_{o i}，n_iの添字iの意味は、以下のとおりとする。

i = 1：フレーム取付ボルト

i = 2：アジャストボルト

i = 3：尾軸取付ボルト

*2：τ_{a k}，τ_{b k}，τ_{h k}，τ_{v k}の添字kの意味は、以下のとおりとする。

k = 1：フレーム取付ボルト

k = 2：フレーム耐震サポート

k = 3：フレーム耐震ピン

k = 4：尾軸取付ボルト

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

除じん機の耐震評価は、「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのあるフレームに対し、耐震評価上厳しくなるフレーム取付ボルト、フレーム耐震サポート、フレーム耐震ピン、アジャストボルト、尾軸取付ボルトについて実施する。除じん機の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 除じん機は、フレームを取水槽にフレーム取付ボルト、フレーム耐震サポート、フレーム耐震ピン及びアジャストボルトにより固定する。
- (2) 地震力は、除じん機に対して、水平方向(水流(X)方向、水流直角(Z)方向)及び鉛直方向(鉛直(Y)方向)から個別に作用させる。
- (3) 除じん機の質量には、自重のほか、付加質量*を考慮する。
- (4) フレーム取付ボルトは、水流(X)方向と鉛直(Y)方向の荷重を支持する構造とする。
- (5) フレーム耐震サポートは、水流(X)方向及び水流直角(Z)方向の荷重を支持する構造とする。
- (6) フレーム底部は、フレーム耐震ピンで水流(X)方向及び水流直角(Z)方向の荷重を支持し、アジャストボルトで鉛直(Y)方向の荷重を支持する構造とする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

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

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

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

4.2.2 許容応力

除じん機の許容応力は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	除じん機	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	除じん機	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS						
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f^*_t$	$1.5 \cdot f^*_s$	$1.5 \cdot f^*_c$	$1.5 \cdot f^*_b$	$1.5 \cdot f^*_t$	$1.5 \cdot f^*_s$

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
フレーム取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
フレーム耐震サポート	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
フレーム耐震ピン	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
尾軸取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
フレーム取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
フレーム耐震サポート	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
フレーム耐震ピン	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
尾軸取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

4.3 解析モデル及び諸元

除じん機の解析モデル及び拘束条件を図 4-1, 断面番号を図 4-2, フレームの断面データを表 4-6, フレームの断面形状を図 4-3 に示す。

解析モデルの概要を以下に示す。なお, 図中の X は水流方向, Y は鉛直方向, Z は水流直角方向を示す。また, 機器の諸元を本計算書の【除じん機の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 除じん機のフレームをはり要素でモデル化した三次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 拘束条件は, フレーム上部の取付部で, 水流(X)方向, 鉛直(Y)方向, 水流直角(Z)方向を並進・回転固定, フレーム中間部のフレーム耐震サポート点で, 水流(X)方向, 水流直角(Z)方向を並進固定・回転自由, 鉛直(Y)方向を並進・回転自由, フレーム底部のフレーム耐震ピン位置で, 水流(X)方向, 鉛直(Y)方向, 水流直角(Z)方向を並進固定・回転自由とする。
- (3) 除じん機の質量は, 除じん機自身の質量及び付加質量*を考慮し, 付加質量*は, フレームの全体にわたって与える。
- (4) 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。

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

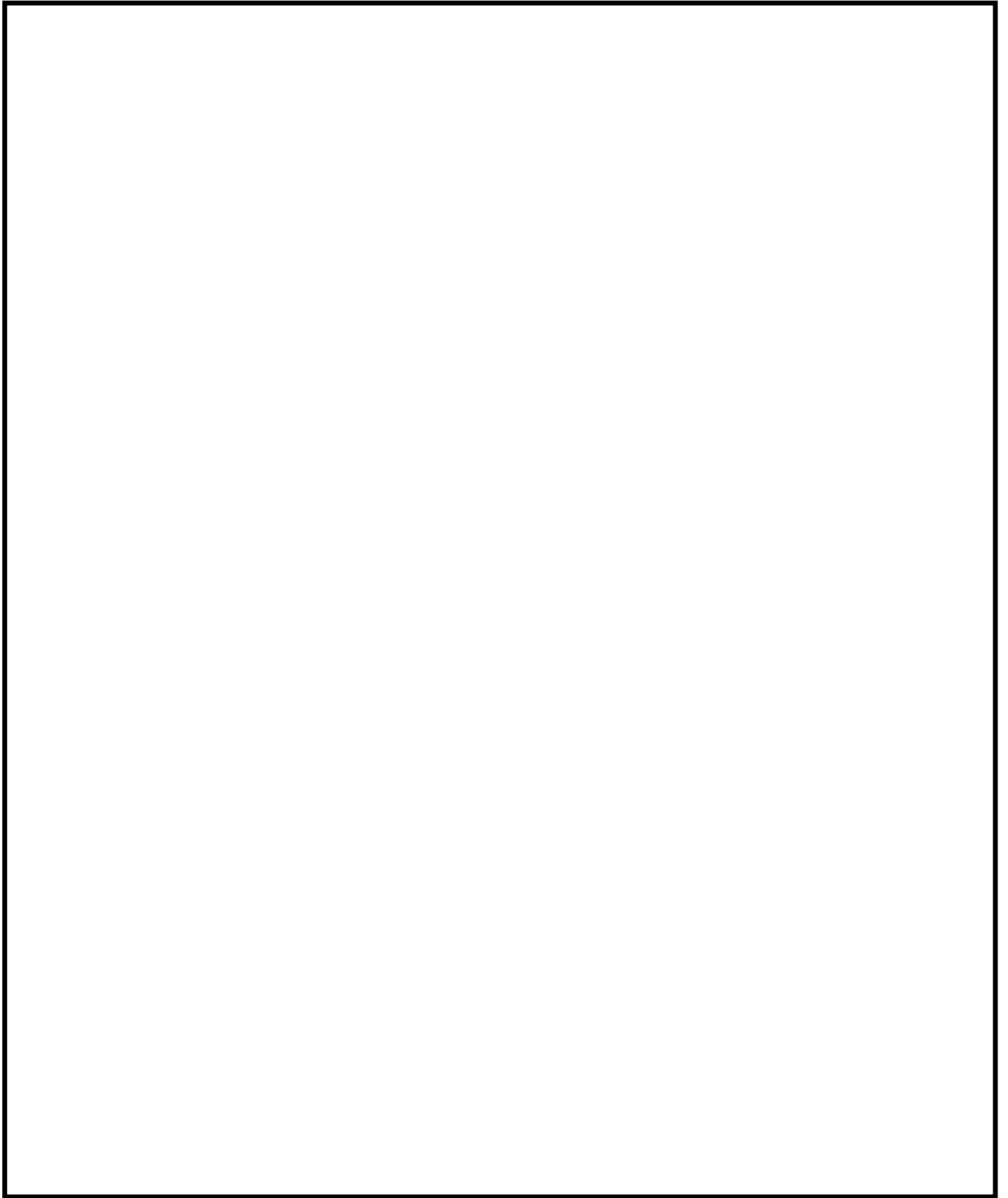


図 4-1 解析モデル及び拘束条件
(X : 水流方向, Y : 鉛直方向, Z : 水流直角方向を示す。)

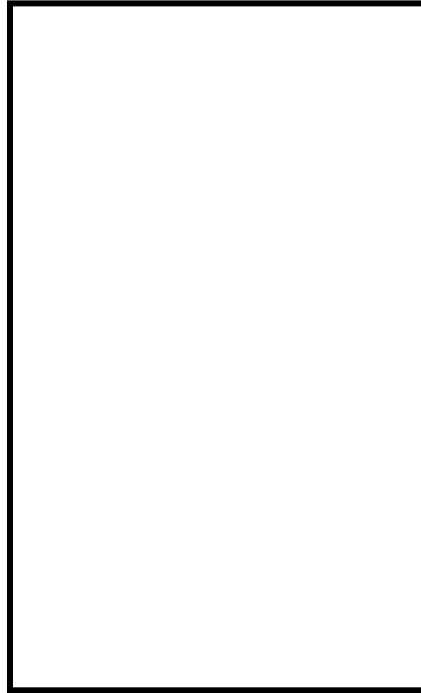
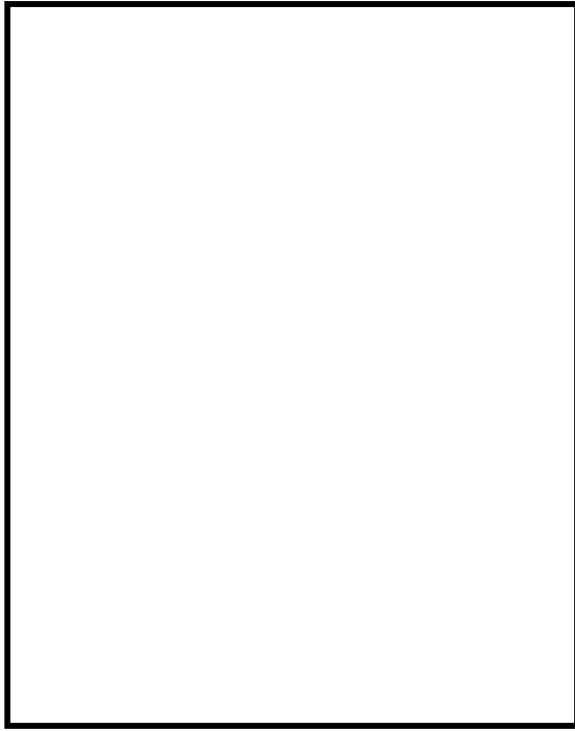


図 4-2 断面番号

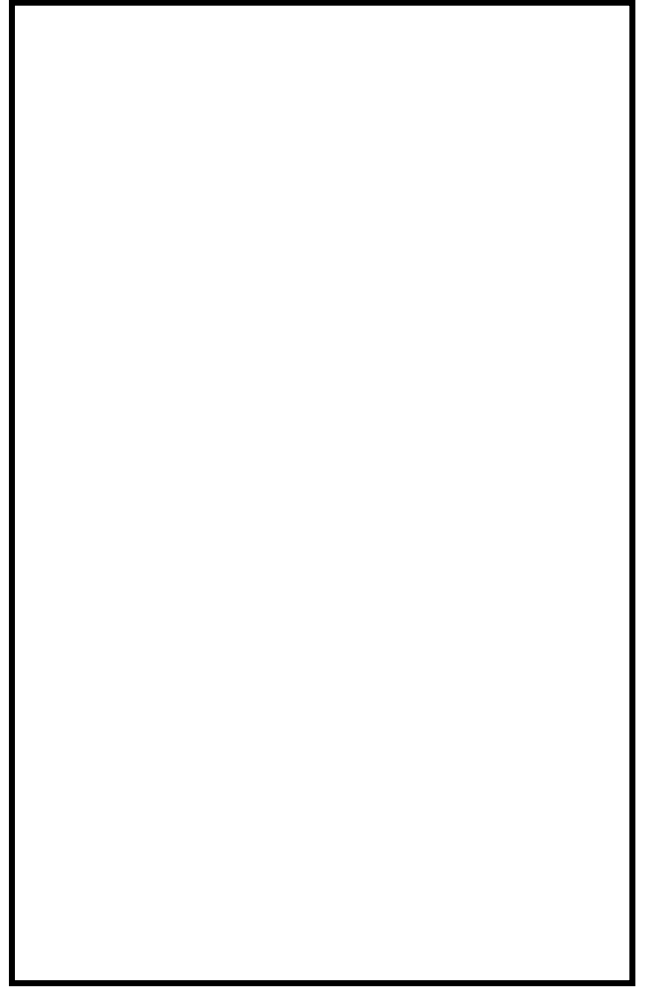
表 4-6 フレームの断面データ

断面 番号	断面積 (mm ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)		ねじり定数 (mm ⁴) J
		I _y	I _z	断面二次極モーメント (mm ⁴) I _p *
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

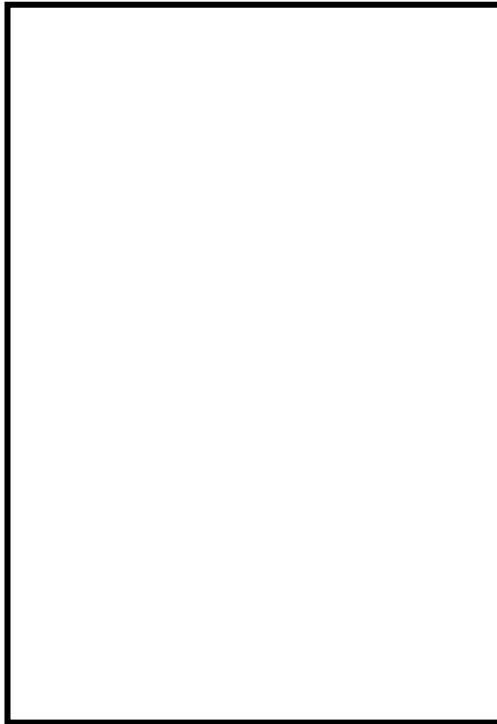
注記* : 断面番号 9 は, 断面二次極モーメントの値を示す。



断面番号 1



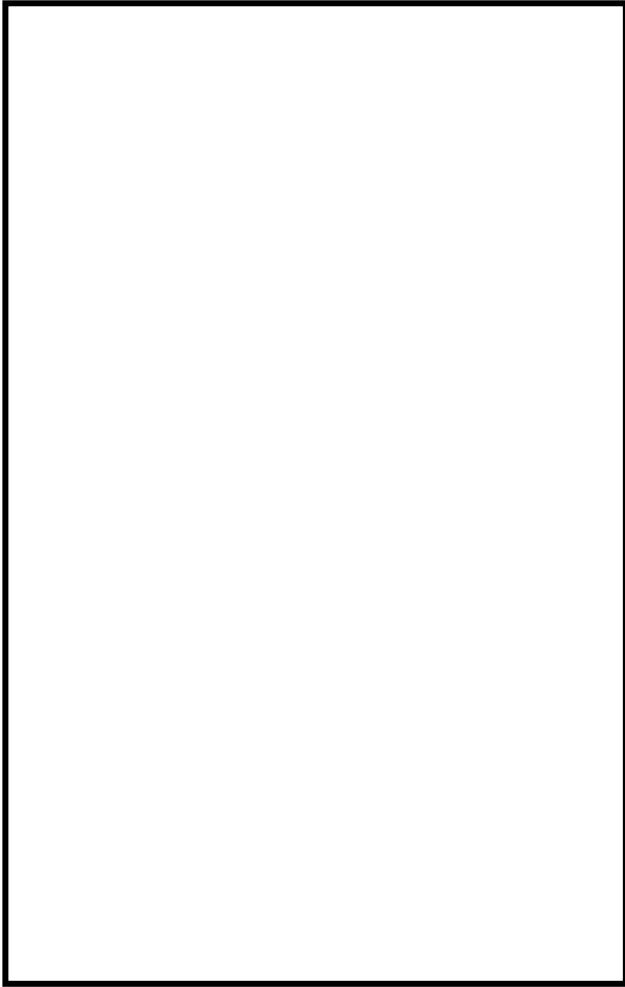
断面番号 2



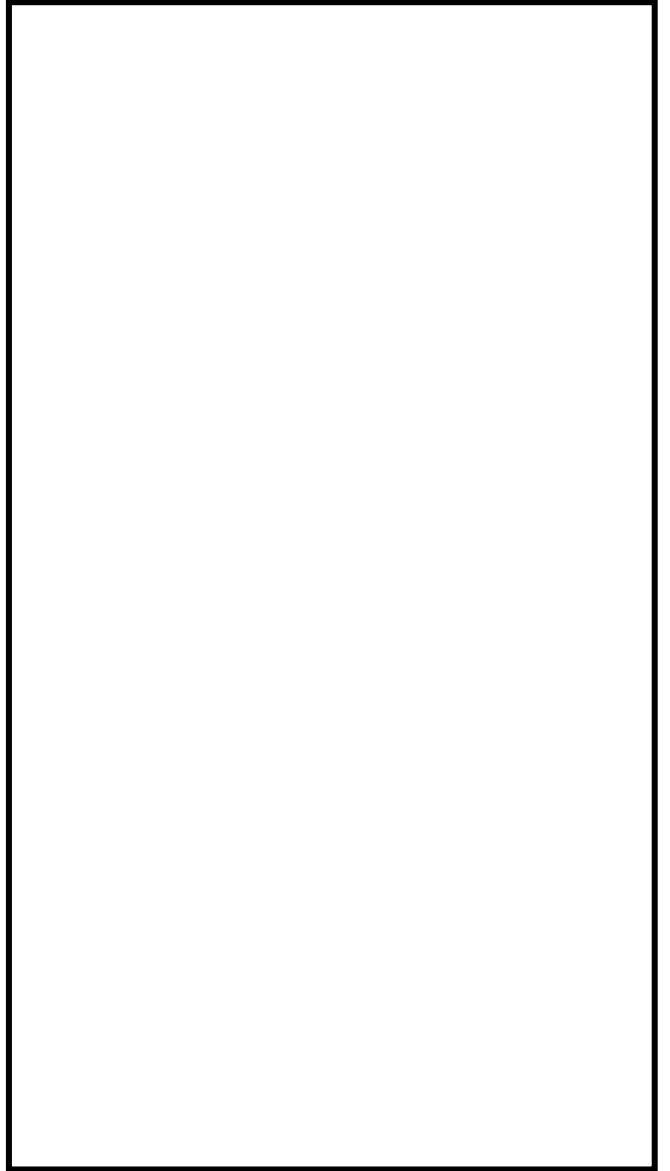
断面番号 3

(単位 : mm)

図 4-3 フレームの断面形状 (1/3)



断面番号 4



断面番号 5



断面番号 6



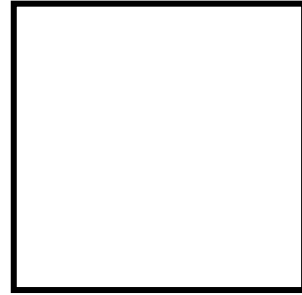
断面番号 7

(単位 : mm)

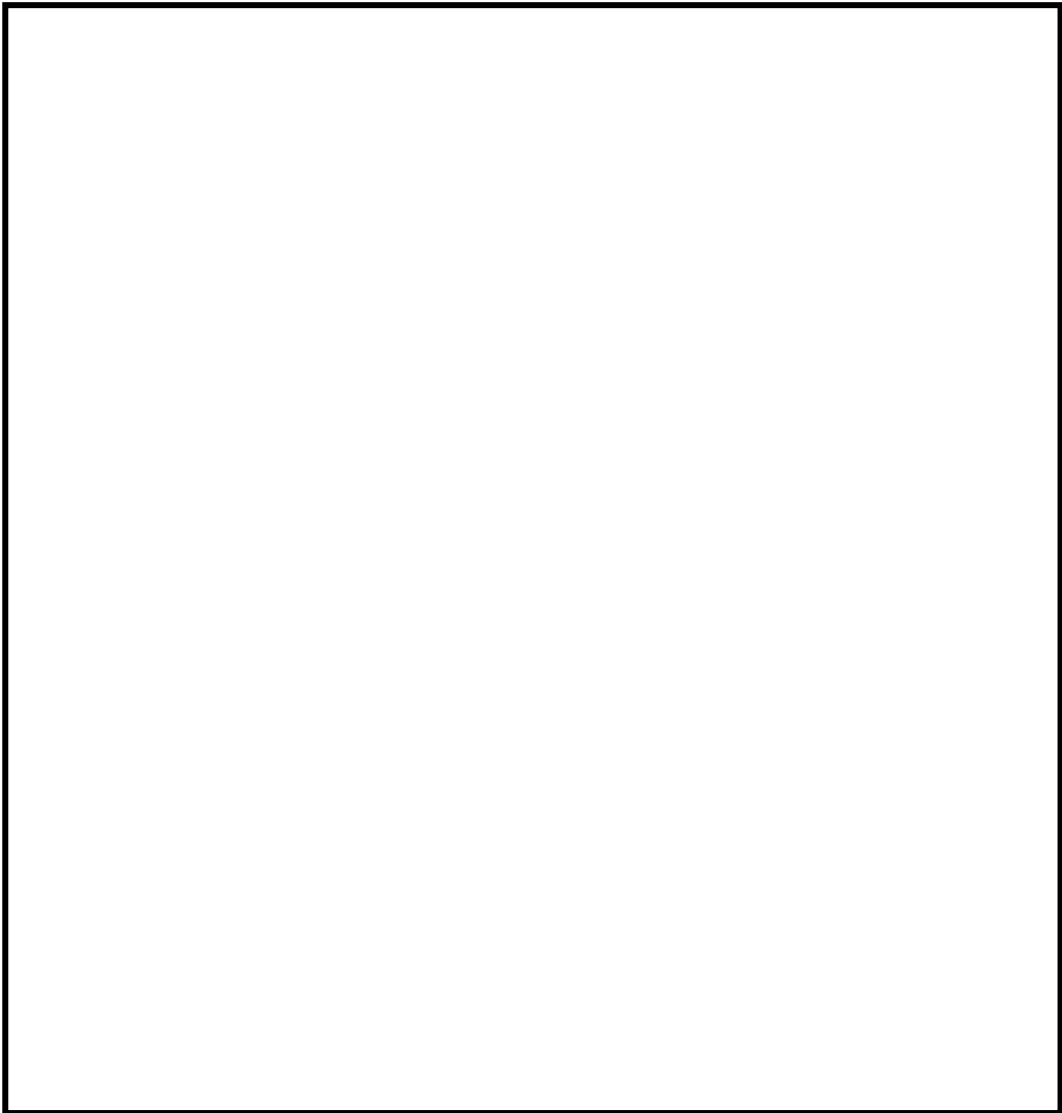
図 4-3 フレームの断面形状 (2/3)



断面番号 8



断面番号 9



断面番号 10

(単位 : mm)

図 4-3 フレームの断面形状 (3/3)

4.4 固有周期

固有周期解析の結果を表 4-7 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。また、1 次の振動モード図を図 4-4 に示す。

表 4-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			水流方向	水流直角方向	
1 次	水平	<input type="text"/>	—	—	—

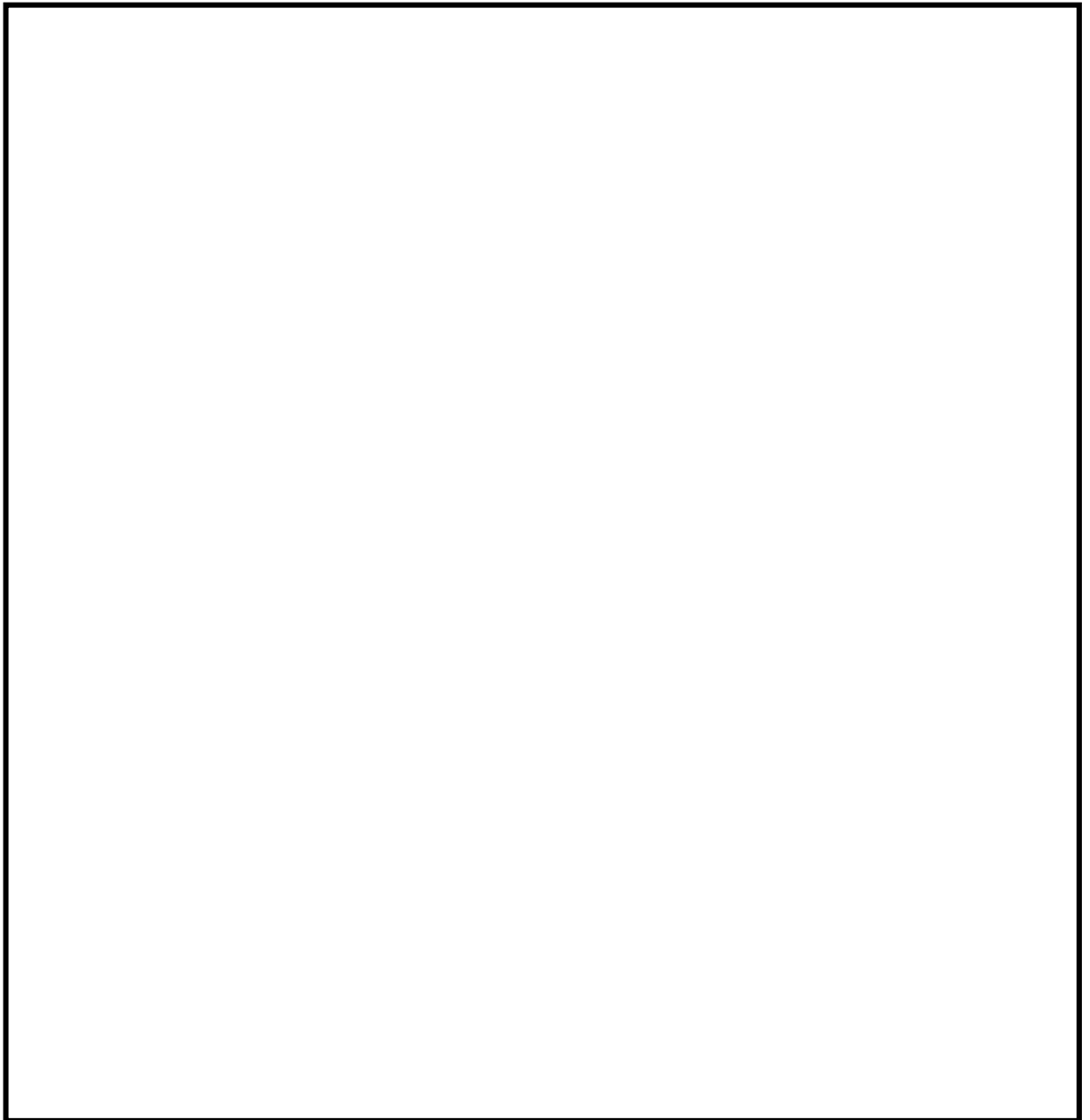


図 4-4 振動モード図 (1 次)

4.5 設計用地震力

除じん機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 4-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 に示す。

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

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	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 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直 角方向)	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直角 方向)	鉛直方向 設計震度
取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0m* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) =3.30* ²	C _H (EW) =2.07* ²	C _V = 1.92* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	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 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直 角方向)	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度 (水流 方向)	水平方向 設計震度 (水流直角 方向)	鉛直方向 設計震度
取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0m* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) =3.30* ²	C _H (EW) =2.07* ²	C _V = 1.92* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

フレーム取付ボルト，フレーム耐震サポート及びフレーム耐震ピンの水流方向の全荷重 F_{at} ，水流直角方向の全荷重 F_{ht} ，鉛直方向の全荷重 F_{vt} の負担割合を図4-5に示す。なお，負担割合はフレーム寸法と各支持点位置による長さ比を考慮したものである。

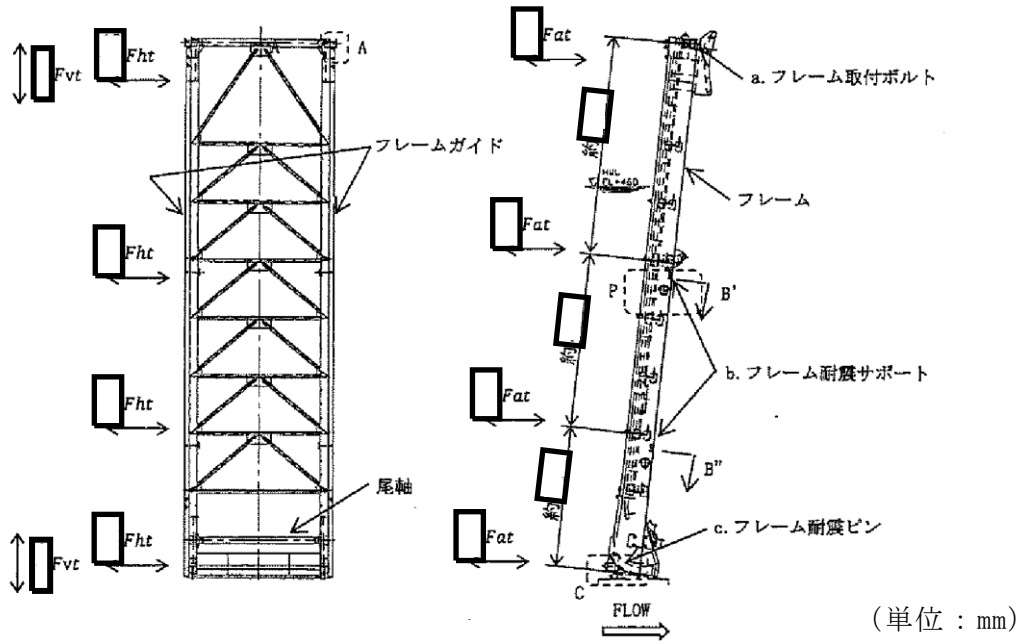


図4-5 フレーム各支持点での荷重負担

4.6.1.1 フレーム取付ボルトの計算方法

図4-6に，フレーム取付ボルトの詳細図を示す。

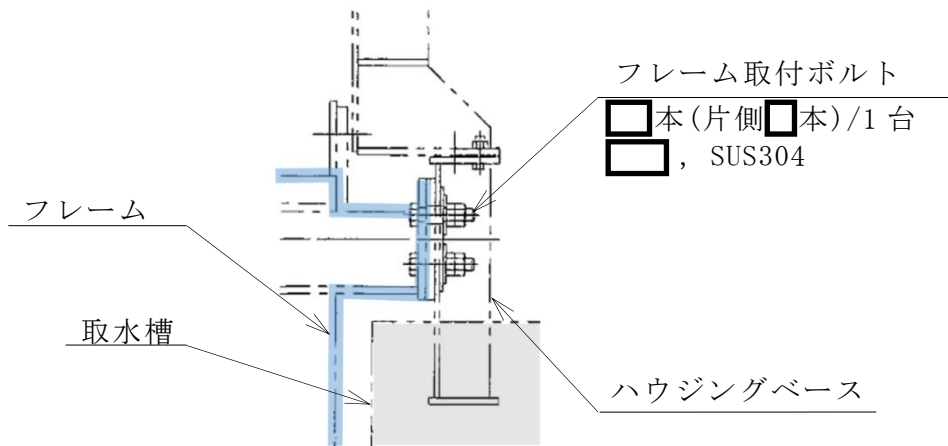


図4-6 フレーム取付ボルト

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a1} = \frac{F_{at}}{A_1 \times n_1} \dots \dots \dots (4.6.1.1.1)$$

ここで、フレーム取付ボルト有効断面積 A_1 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_1 = \frac{\pi \times d_{o1}^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.1.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.1.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.1.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.1.5)$$

②せん断応力2－鉛直方向

$$\tau_{v1} = \frac{F_{vt}}{A_1 \times n_1} \dots \dots \dots (4.6.1.1.6)$$

ここで、鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.1.7)$$

また、鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される。

$$F_{vw} = F_w \times C_V + F_w \dots \dots \dots (4.6.1.1.8)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_V \dots \dots \dots (4.6.1.1.9)$$

③せん断応力合成

$$\tau_{b1} = \sqrt{\tau_{a1}^2 + \tau_{v1}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.1.10)$$

4.6.1.2 フレーム耐震サポートの計算方法

フレーム耐震サポートの評価は、構造が同じなため、荷重が大きい上側の計算を実施する。図4-7に、フレーム耐震サポートの詳細図を示す。

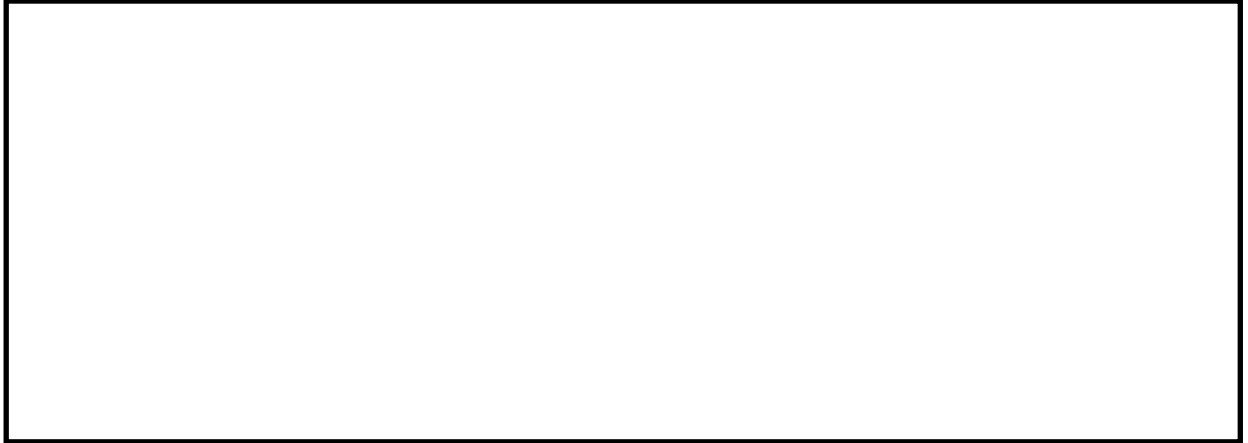


図4-7 フレーム耐震サポート

①せん断応力1-水流方向

$$\tau_{a2} = \frac{F_{at}}{A_{ab} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

ここで、フレーム耐震サポート断面積 A_{ab} 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_{ab} = B \times L \dots \dots \dots (4.6.1.2.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.2.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.5)$$

②せん断応力2-水流直角方向

$$\tau_{h2} = \frac{F_{ht}}{A_{hb} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.6)$$

ここで、フレーム耐震サポート断面積 A_{hb} 、水流直角方向の地震時における全荷重 F_{ht} は以下の式で算出される。

$$A_{hb} = B \times H \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.7)$$

$$F_{ht} = F_{hw} + F_{hc} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.8)$$

また、水流直角方向の自重による地震時荷重 F_{hw} 及び水流直角方向の付加質量による地震時荷重 F_{hc} は以下の式で算出される。

$$F_{hw} = F_w \times C_{H(EW)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.9)$$

$$F_{hc} = F_h \times C_{H(EW)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.2.10)$$

4.6.1.3 フレーム耐震ピンの計算方法

図 4-8 に、フレーム耐震ピンの詳細図を示す。



図 4-8 フレーム耐震ピン

①せん断応力 1-水流方向

$$\tau_{a3} = \frac{F_{at}}{A_c \times n_c} \dots \dots \dots (4.6.1.3.1)$$

ここで、フレーム耐震ピン断面積 A_c 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} \dots \dots \dots (4.6.1.3.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.5)$$

②せん断応力 2-水流直角方向

$$\tau_{h3} = \frac{F_{ht}}{A_c \times n_c} \dots \dots \dots (4.6.1.3.6)$$

ここで、フレーム耐震ピン断面積 A_c 及び水流直角方向の地震時における全荷重 F_{ht} は以下の式で算出される。

$$A_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.7)$$

$$F_{ht} = F_{hw} + F_{hc} \dots \dots \dots (4.6.1.3.8)$$

また、水流直角方向の自重による地震時荷重 F_{hw} 及び水流直角方向の付加質量による地震時荷重 F_{hc} は以下の式で算出される。

$$F_{hw} = F_w \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.9)$$

$$F_{hc} = F_h \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.3.10)$$

③ 曲げによる引張応力 1－水流方向

$$\sigma_{ab} = \frac{M_a}{Z} \dots \dots \dots (4.6.1.3.11)$$

ここで、曲げモーメント M_a 及び断面係数 Z は次式で計算される。

$$M_a = \frac{\boxed{F_{at}}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.12)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.13)$$

④ 曲げによる引張応力 2－水流直角方向

$$\sigma_{hb} = \frac{M_h}{Z} \dots \dots \dots (4.6.1.3.14)$$

ここで、曲げモーメント M_h 及び断面係数 Z は次式で計算される。

$$M_h = \frac{\boxed{F_{ht}}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.15)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.16)$$

⑤ 組合せ応力1－水流方向

$$\sigma_{abs} = \sqrt{\sigma_{ab}^2 + 3 \cdot \tau_{a3}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.17)$$

⑥ 組合せ応力2－水流直角方向

$$\sigma_{hbs} = \sqrt{\sigma_{hb}^2 + 3 \cdot \tau_{h3}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.18)$$

4.6.1.4 アジャストボルトの計算方法

図 4-9 に、アジャストボルトの詳細図を示す。

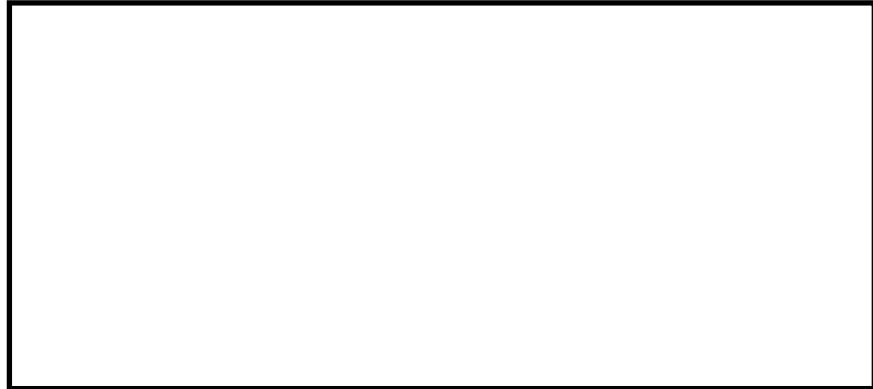


図 4-9 アジャストボルト

① 圧縮応力－鉛直方向

$$\sigma_{vc} = \frac{F_{vt}}{A_2 \times n_2} \dots \dots \dots (4.6.1.4.1)$$

アジャストボルト有効断面積 A_2 ，鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$A_2 = \frac{\pi \times d_o^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.4.2)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.4.3)$$

また、鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される。

$$F_{vw} = F_w \times C_v + F_w \dots \dots \dots (4.6.1.4.4)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.4.5)$$

4.6.1.5 尾軸取付ボルトの計算方法

図 4-10 に、尾軸取付ボルトの詳細図を示す。

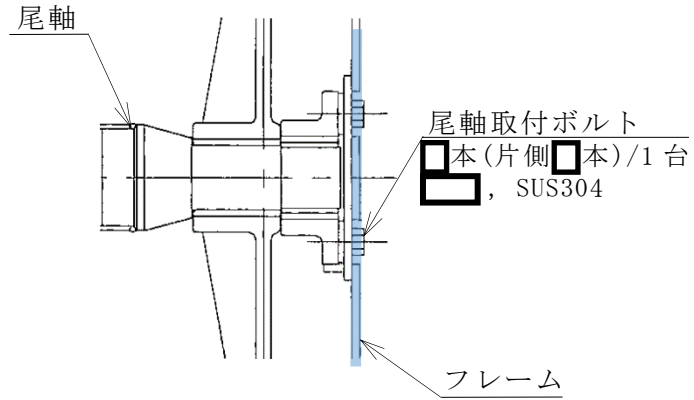


図 4-10 尾軸取付ボルト

①せん断応力 1－水流方向

$$\tau_{a4} = \frac{F_{at}}{A_3 \times n_3} \dots \dots \dots (4.6.1.5.1)$$

ここで、尾軸取付ボルト有効断面積 A_3 及び水流方向の地震時における全荷重 F_{at} は以下の式で算出される。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_o^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.5.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} + F_{ad} \dots \dots \dots (4.6.1.5.3)$$

また、水流方向の自重による地震時荷重 F_{aw} 及び水流方向の付加質量による地震時荷重 F_{ac} は以下の式で算出される。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.5.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \dots \dots \dots (4.6.1.5.5)$$

②せん断応力 2－鉛直方向

$$\tau_{v4} = \frac{F_{vt}}{A_3 \times n_3} \dots \dots \dots (4.6.1.5.6)$$

ここで、尾軸取付ボルト有効断面積 A_3 及び鉛直方向の地震時における全荷重 F_{vt} は以下の式で算出される。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_o^3}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.5.7)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.5.8)$$

また、鉛直方向の自重による地震時荷重 F_{vw} 及び鉛直方向の付加質量による地震時荷重 F_{vc} は以下の式で算出される。

$$F_{vw} = F_w \times C_v + F_w \dots \dots \dots (4.6.1.5.9)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.5.10)$$

③せん断応力合成

$$\tau_{b4} = \sqrt{\tau_{a4}^2 + \tau_{v4}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.5.11)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（除じん機）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【除じん機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力が許容曲げ応力 $f_{b m}$ 以下であること。

$\begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容圧縮応力 $f_{c m}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s m}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{b m}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda = \frac{\ell k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

とする。

4.8.2 ボルトの応力評価

せん断応力 τ_{ak} , τ_{bk} , τ_{hk} , τ_{vk} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

除じん機の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【除じん機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	
除じん機	C	取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _H (NS) = 3.30* ²	C _H (EW) = 2.07* ²	C _V = 1.92* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム取付ボルト	SUS304				205	520	205

部材	材質	B (mm)	L (mm)	H (mm)	A _{a b} (mm ²)	A _{h b} (mm ²)	n _b	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震サポート	SUS304							205	520	205

部材	材質	D (mm)	A _c (mm ²)	n _c	L _c (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震ピン	SUS304					205	520	205

部材	材質	d o i (mm)	A i (mm ²)	n i	i (mm)	l k (mm)	E (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)
アジャストボルト	SUS304						194000	205	520	205

部材	材質	d o i (mm)	A i (mm ²)	n i	S y (MPa)	S u (MPa)	F * (MPa)
尾軸取付ボルト	SUS304				205	520	205

(単位 : N)

	荷重		
	水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
フレーム荷重 (F w)			
付加荷重 (F a, F v, F h)			

1.3 計算数値

1.3.1 地震荷重

(単位 : N)

部材	荷重	地震荷重
フレーム取付ボルト	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.701×10^5
フレーム耐震サポート	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
フレーム耐震ピン	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
	曲げ (水流方向)	5.313×10^5
	曲げ (水流直角方向)	4.351×10^5
アジャストボルト	圧縮 (鉛直)	2.701×10^5
尾軸取付ボルト	せん断 (水流方向)	1.022×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.709×10^4

39

1.3.2 水圧荷重

(単位 : N)

荷重	水圧荷重		
	水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
フレーム水圧			

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
フレーム取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk} = 39$	$f_{sb} = 142$
フレーム耐震サポート	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak} = 77$	$f_{sm} = 142$
フレーム耐震ピン	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak} = 13$	$f_{sm} = 142$
		曲げ	—	—	$\sigma_{ab} = 90$	$f_{bm} = 246$
		組合せ	—	—	$\sigma_{abs} = 92$	$f_{bm} = 246$
アジャストボルト	SUS304	圧縮	—	—	$\sigma_{vc} = 39$	$f_{cm} = 244$
尾軸取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk} = 36$	$f_{sb} = 142$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

フレーム材料物性

材質	使用温度 (°C)	E (MPa)	ν	S _y (MPa)	S _u (MPa)
SS400	40°C以下	202000	0.30	245	400
SUS304	40°C以下	194000	0.30	205	520

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度 (水流方向)	水平方向設計震度 (水流直角方向)	鉛直方向設計震度	
除じん機	—	取水槽エリア (スクリーン室) EL 4.0* ¹	□	0.05 以下	—	—	—	C _{H (NS)} = 3.30* ²	C _{H (EW)} = 2.07* ²	C _V = 1.92* ²	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム取付ボルト	SUS304				205	520	205

部材	材質	B (mm)	L (mm)	H (mm)	A _{a b} (mm ²)	A _{h b} (mm ²)	n _b	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震サポート	SUS304							205	520	205

部材	材質	D (mm)	A _c (mm ²)	n _c	L _c (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
フレーム耐震ピン	SUS304					205	520	205

S2 補 VI-2-11-2-7-15 R0

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	i (mm)	l _k (mm)	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
アジャストボルト	SUS304						194000	205	520	205

部材	材質	d _{o i} (mm)	A _i (mm ²)	n _i	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
尾軸取付ボルト	SUS304				205	520	205

(単位：N)

	荷重(N)		
	水流(X)方向	鉛直(Y)方向	水流直角(Z)方向
フレーム荷重(F _w)			
付加荷重(F _a , F _v , F _h)			

2.3 計算数値

2.3.1 地震荷重

(単位：N)

部材	荷重	地震荷重
フレーム取付ボルト	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.701×10^5
フレーム耐震サポート	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
フレーム耐震ピン	せん断 (水流方向)	5.313×10^5
	せん断 (水流直角方向)	4.351×10^5
	曲げ (水流方向)	5.313×10^5
	曲げ (水流直角方向)	4.351×10^5
アジャストボルト	圧縮 (鉛直)	2.701×10^5
尾軸取付ボルト	せん断 (水流方向)	1.022×10^5
	せん断 (鉛直方向)	2.709×10^4

2.3.2 水圧荷重

(単位：N)

荷重	水圧荷重		
	水流 (X) 方向	鉛直 (Y) 方向	水流直角 (Z) 方向
フレーム水圧			

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	0.05 以下

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
フレーム取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk} = 39$	$f_{sb} = 142$
フレーム耐震サポート	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak} = 77$	$f_{sm} = 142$
フレーム耐震ピン	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{ak} = 13$	$f_{sm} = 142$
		曲げ	—	—	$\sigma_{ab} = 90$	$f_{bm} = 246$
		組合せ	—	—	$\sigma_{abs} = 92$	$f_{bm} = 246$
アジャストボルト	SUS304	圧縮	—	—	$\sigma_{vc} = 39$	$f_{cm} = 244$
尾軸取付ボルト	SUS304	せん断	—	—	$\tau_{bk} = 36$	$f_{sb} = 142$

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

フレーム材料物性

材質	使用温度 (°C)	E (MPa)	ν	S _y (MPa)	S _u (MPa)
SS400	40°C以下	202000	0.30	245	400
SUS304	40°C以下	194000	0.30	205	520

VI-2-11-2-7-16 タービン補機海水ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
5.3 設計用地震力	16
5.4 計算方法	17
5.5 計算条件	19
5.6 応力の評価	19
6. 評価結果	22
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	22

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるタービン補機海水ストレーナ（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である循環水系配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

タービン補機海水ストレーナは、取水槽に設置されている。タービン補機海水ストレーナは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である循環水系配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は、循環水系配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

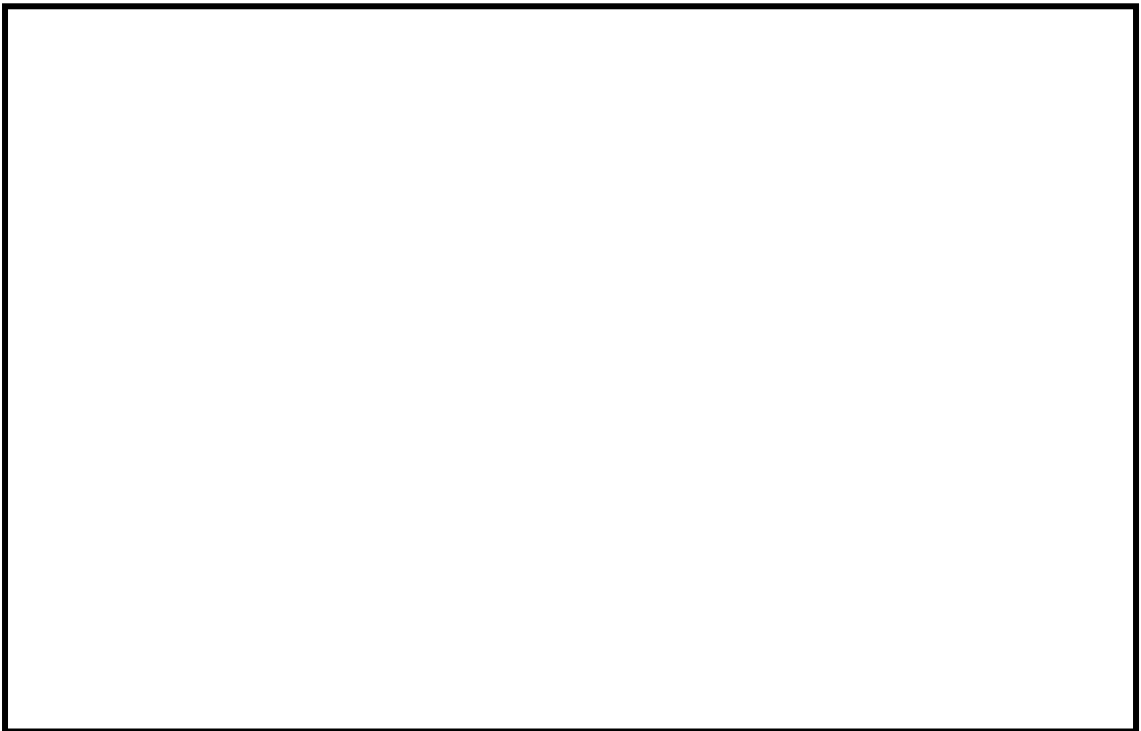


図2-1 タービン補機海水ストレーナと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

タービン補機海水ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、スカート下端及び底板（下）は溶接で4枚のベースプレートに接続され、ベースプレートは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形（4枚のベースプレートを有するスカート支持たて置円筒形容器）</p>	<p>(側面図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

タービン補機海水ストレーナの応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示すタービン補機海水ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

タービン補機海水ストレーナの耐震評価フローを図 2-2 に示す。

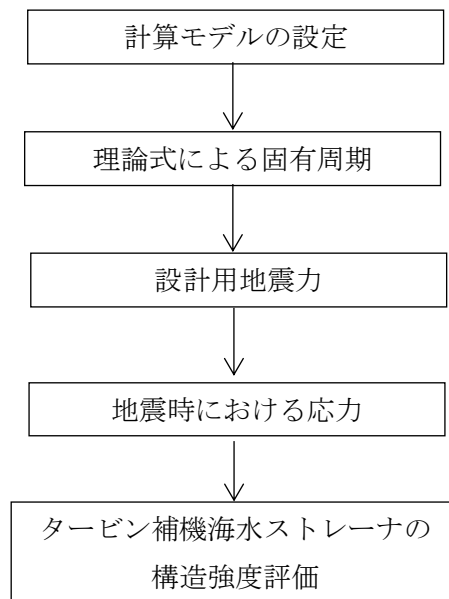


図 2-2 タービン補機海水ストレーナの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _s	スカートの軸断面積	mm ²
A _{s e}	スカートの有効せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _i	胴の内径	mm
D _s	スカートの内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	スカートの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F _b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _{bm}	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f _{cm}	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	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 _{tm}	スカートの許容引張応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G _s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
I _s	スカートの断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
l	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
l ₁	重心と引張を受けるボルト間の水平方向距離	mm
l ₂	重心と転倒支点となるボルト間の水平方向距離	mm
l _s	スカートの長さ	mm
M _s	スカートに作用する転倒モーメント	N・mm
m _o	容器の運転時質量	kg
m _e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg

記号	記号の説明	単位
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	引張力を受ける基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	水平方向地震によりスカートに生じる曲げモーメントによる 軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		°C	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
	スカート厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
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

タービン補機海水ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、タービン補機海水ストレーナの転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連するもののうち、スカート及び基礎ボルトについて評価を実施する。タービン補機海水ストレーナの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

タービン補機海水ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。計算に当たってはスカート支持たて置円筒形容器の固有周期の計算方法を準用する。

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- b. 容器はスカートで支持され、スカート下端及び底板（下）と接続したベースプレートを基礎ボルトで基礎に固定しており、固定端とする。
- c. 胴とスカートをはりと考え、変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. スカート部材には、開口部はない。
- e. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

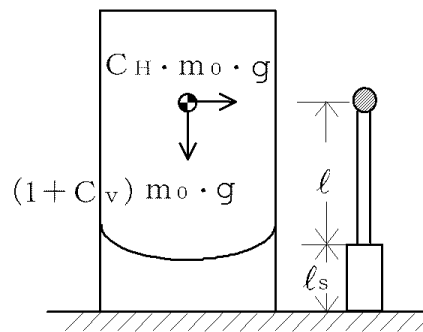


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びびせん断変形によるばね定数KHは次式で求める。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{l^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot l^2 \cdot l_s + 3 \cdot l \cdot l_s^2 + l_s^3) + \frac{l}{G \cdot A_e} + \frac{l_s}{G_s \cdot A_{s e}} \right\} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

ここで、胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

スカートの断面性能は次式で求める。

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (4.1.7)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は、次式で求める。

$$K_v = 1000 \left/ \left(\frac{\ell}{E \cdot A} + \frac{\ell_s}{E_s \cdot A_s} \right) \right. \dots\dots\dots (4.1.8)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (4.1.9)$$

$$A_s = \pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s \dots\dots\dots (4.1.10)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平	
鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

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

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。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、S R S S法を適用する。

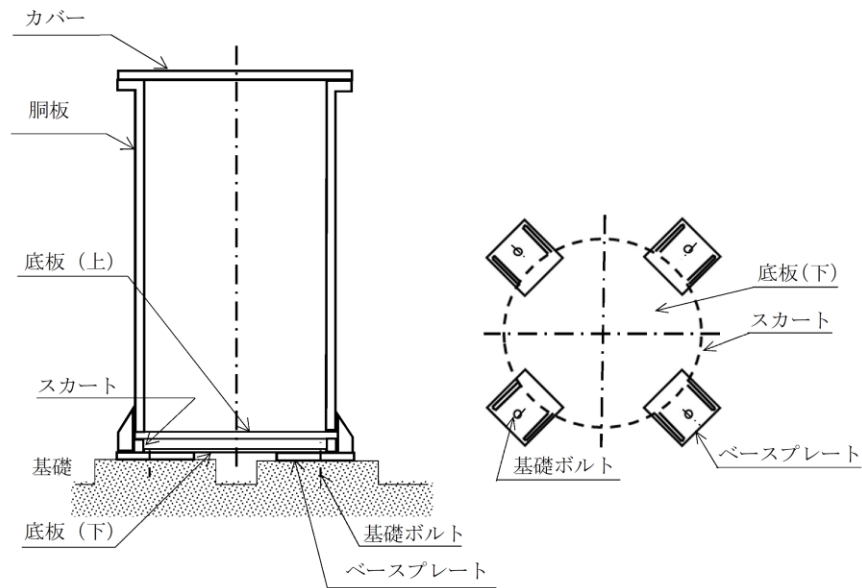


図5-1 概要図

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

タービン補機海水ストレーナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海水ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-3に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	タービン補機海水ストレーナ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈 ^{*3}	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
スカート	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS41* (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

タービン補機海水ストレーナ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5-4に示す。

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

表5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1* ¹			—	—	C _H =1.67* ²	C _V =1.26* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

タービン補機海水ストレーナは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器と類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」を準用して評価を実施する。ただし、本設備の基礎ボルトは基本方針によらないことから、「5.4.1.2 基礎ボルトの計算方法」に記載の方法により評価を実施する。

5.4.1.1 スカートの計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \frac{\pi}{4} (D_s + t_s)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

5.4.1.2 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-2でボルト列を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

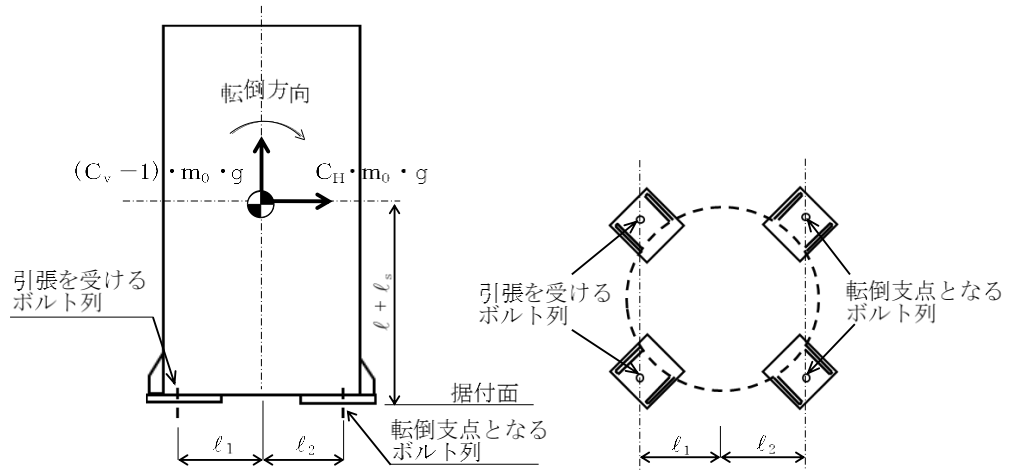


図5-2 転倒モーメントによる引張荷重の計算モデル

引張力

$$F_b = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot (l_s + l))^2 + (C_V \cdot l_2)^2} - m_0 \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (4.3.1.1.10)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 スカートの応力評価

- (1) 5.4.1.1項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。
ただし、 f_{tm} は下表による。

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

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s2})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s3}}{f_{bm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

ここで、

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{より、} f_{cm} \text{は次による。}$$

$$f_{cm} = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots (5.6.1.3)$$

また、 f_{bm} は次による。

$$f_{bm} = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots\dots\dots (5.6.1.4)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots (5.6.1.5)$$

η は安全率で次による。

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

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

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海水ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
タービン補機海水ストレーナ	C	取水槽 EL. 1.1 ^{*1}			—	—	C _H =1.67 ^{*2}	C _V =1.26 ^{*2}	40	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
12300	6800	1400	14.0	1400	14.0	201000 ^{*1}	201000 ^{*2}	77300 ^{*1}	77300 ^{*2}

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	n	n _f	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)
1638	175	4	2	619	619

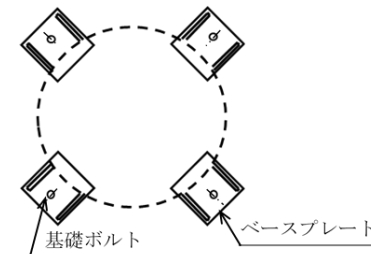
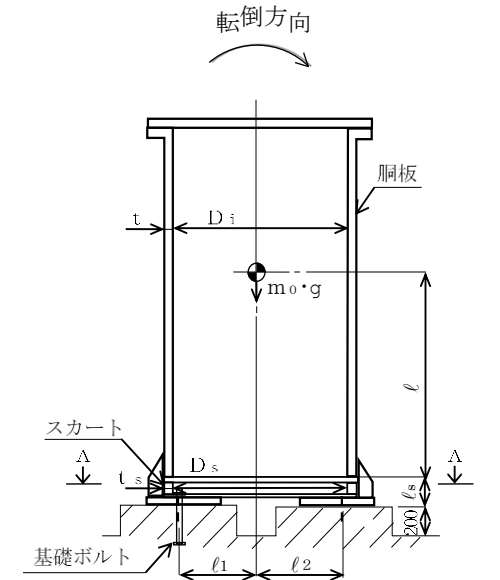
d (mm)	A _b (mm ²)	M _s (N・mm)		F _b (N)		Q _b (N)	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
30 (M30)	706.9	—	3.652×10 ⁸	—	1.222×10 ⁵	—	2.014×10 ⁵

S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F [*] (スカート) (MPa)
245 ^{*2} (厚さ≤16mm)	400 ^{*2} (厚さ≤16mm)	280

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F [*] (基礎ボルト) (MPa)
235 ^{*2} (16mm<径≤ 40mm)	400 ^{*2} (16mm<径≤ 40mm)	280

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



A-A 矢視図

(単位：mm)

S2 補 VI-2-11-2-7-16 R1E

1.3 計算数値

1.3.1 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力		—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 22$
鉛直方向地震による応力		—		$\sigma_{s3} = 3$	
水平方向地震による応力	曲げ	—		$\sigma_{s2} = 17$	
	せん断	—		$\tau_s = 7$	

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b = 173$
せん断応力	—	$\tau_b = 72$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スカート	SS41*1 (厚さ ≤ 16mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 22$	$f_{tm} = 280$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	—
			—	—	0.09 (無次元)	—
基礎ボルト	SS41*1 (16mm < 径 ≤ 40mm)	引張	—	—	$\sigma_b = 173$	$f_{ts} = 180^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 161$

注記*1：SS400 相当

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

すべて許容応力以下である。

VI-2-11-2-7-17 廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	9
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	17
5.6 応力の評価	17
6. 評価結果	18
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるC-廃棄物処理建物排気処理装置（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

C-廃棄物処理建物排気処理装置は、廃棄物処理建物4階に設置されている。C-廃棄物処理建物排気処理装置は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は、高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

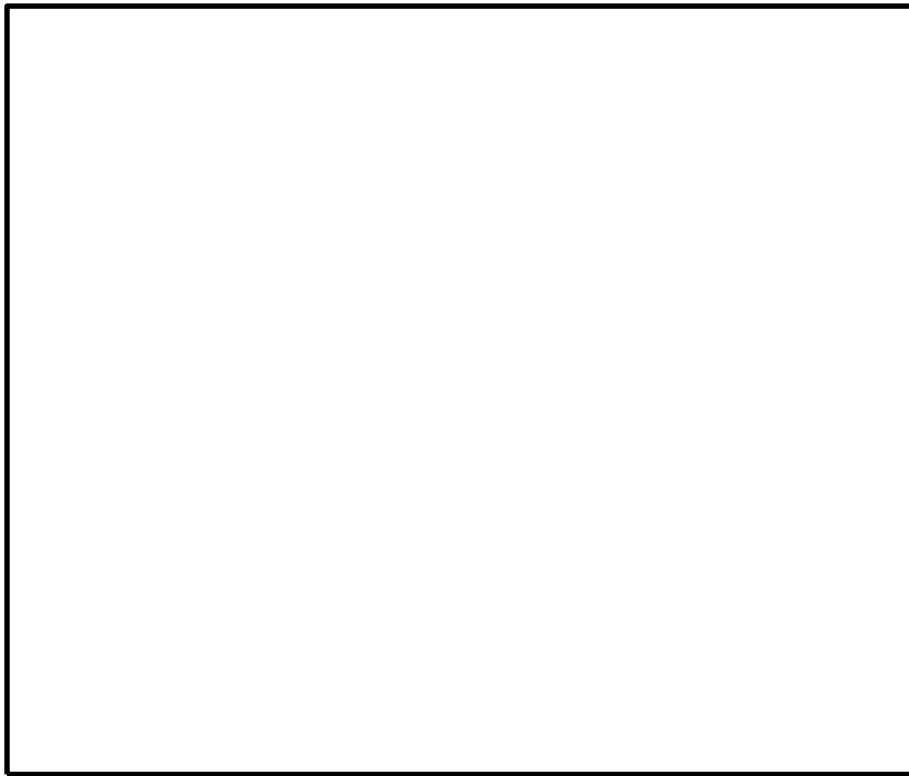


図2-1 C-廃棄物処理建物排気処理装置と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

C-廃棄物処理建物排気処理装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
C-廃棄物処理建物排気処理装置は基礎ボルトで基礎に据え付ける。	粒子用高効率フィルタ（形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造）	<p>(正面図) (側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.3 評価方針

C-廃棄物処理建物排気処理装置の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す C-廃棄物処理建物排気処理装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

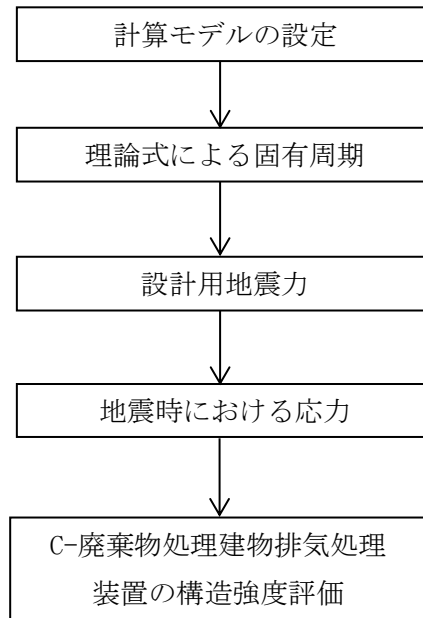


図 2-2 C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _b	ボルトの軸断面積	mm ²
A _e	有効せん断断面積	mm ²
A _v	鉛直方向断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f _{s b}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _H	水平方向ばね定数	N/m
K _V	鉛直方向ばね定数	N/m
l ₁	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1}	mm
l ₂	重心とボルト間の水平方向距離 ^{*1}	mm
l _{1i}	評価上引張力を受けるとして期待する、支点から i 番目のボルト間の距離 ^{*2}	mm
M _f	各ボルトに作用する引張力と支点との距離から算出したモーメントの総和	N・m
M _s	地震力によりボルトに作用する転倒モーメント	N・m
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 ^{*2}	—
Q _b	ボルトに作用するせん断力	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記*1: $l_1 \leq l_2$

*2: l_{1i} 及び n_{fi} の添字 i の意味は、ボルト列番号とする。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2: 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

C-廃棄物処理建物排気処理装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. C-廃棄物処理建物排気処理装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. C-廃棄物処理建物排気処理装置は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. C-廃棄物処理建物排気処理装置は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

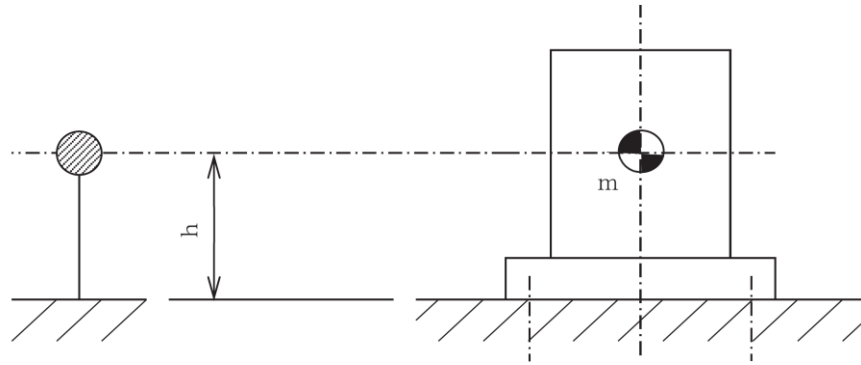


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{G \cdot Ae}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

したがって，固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数 K_v は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A_v}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平		
鉛直		

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はC-廃棄物処理建物排気処理装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図5-1及び図5-2における短辺方向及び長辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 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、S R S S法を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

C-廃棄物処理建物排気処理装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

C-廃棄物処理建物排気処理装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

C-廃棄物処理建物排気処理装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-3に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	C-廃棄物処理建物 排気処理装置	C	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	211

注記*：SS400 相当

5.3 設計用地震力

廃棄物処理建物排気処理総理の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4に示す。

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

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
廃棄物 処理建物 EL 32.0 (EL 37.5 ^{*1})			—	—	$C_H=2.69^{*2}$	$C_V=1.76^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

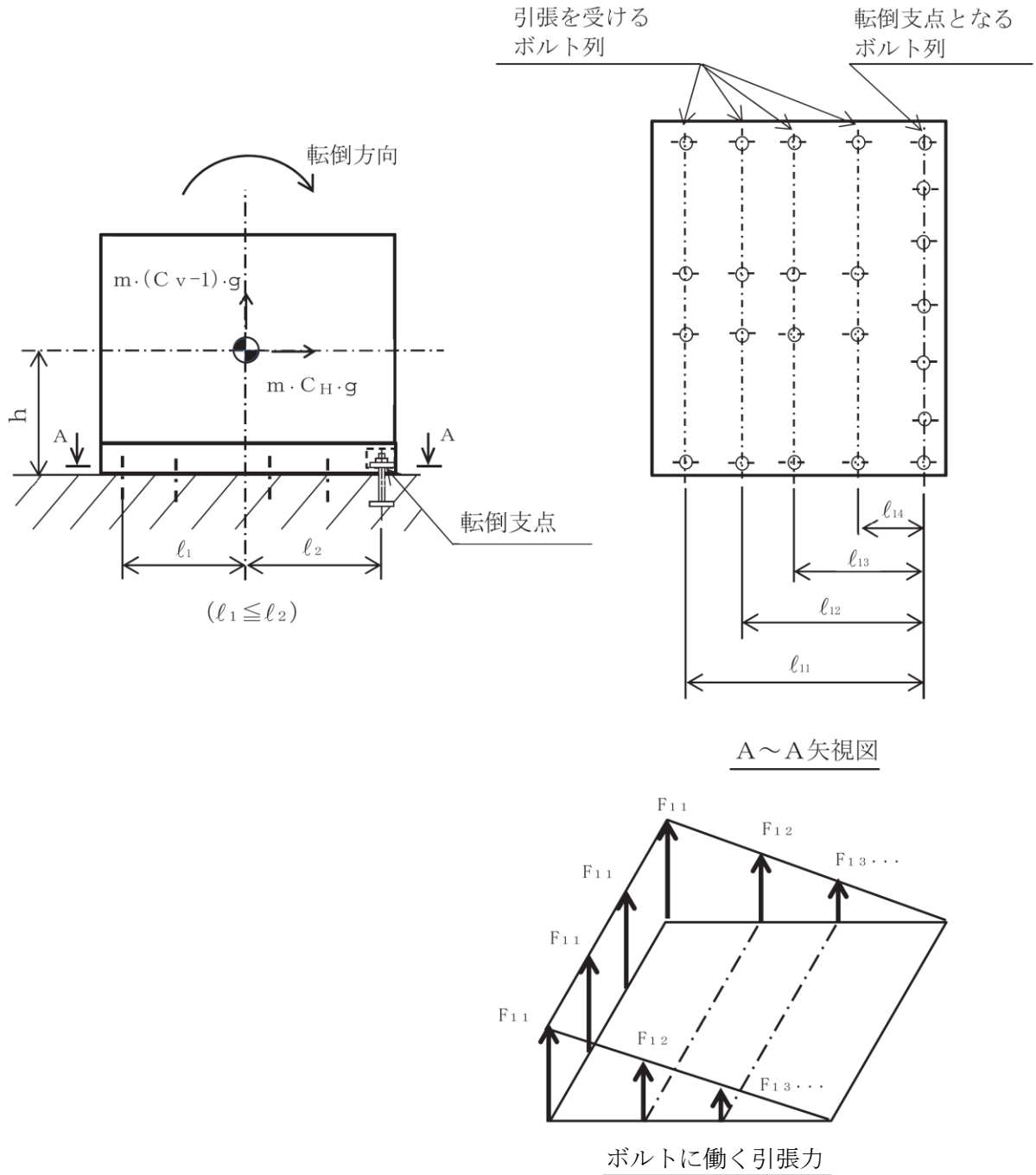


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒の場合）

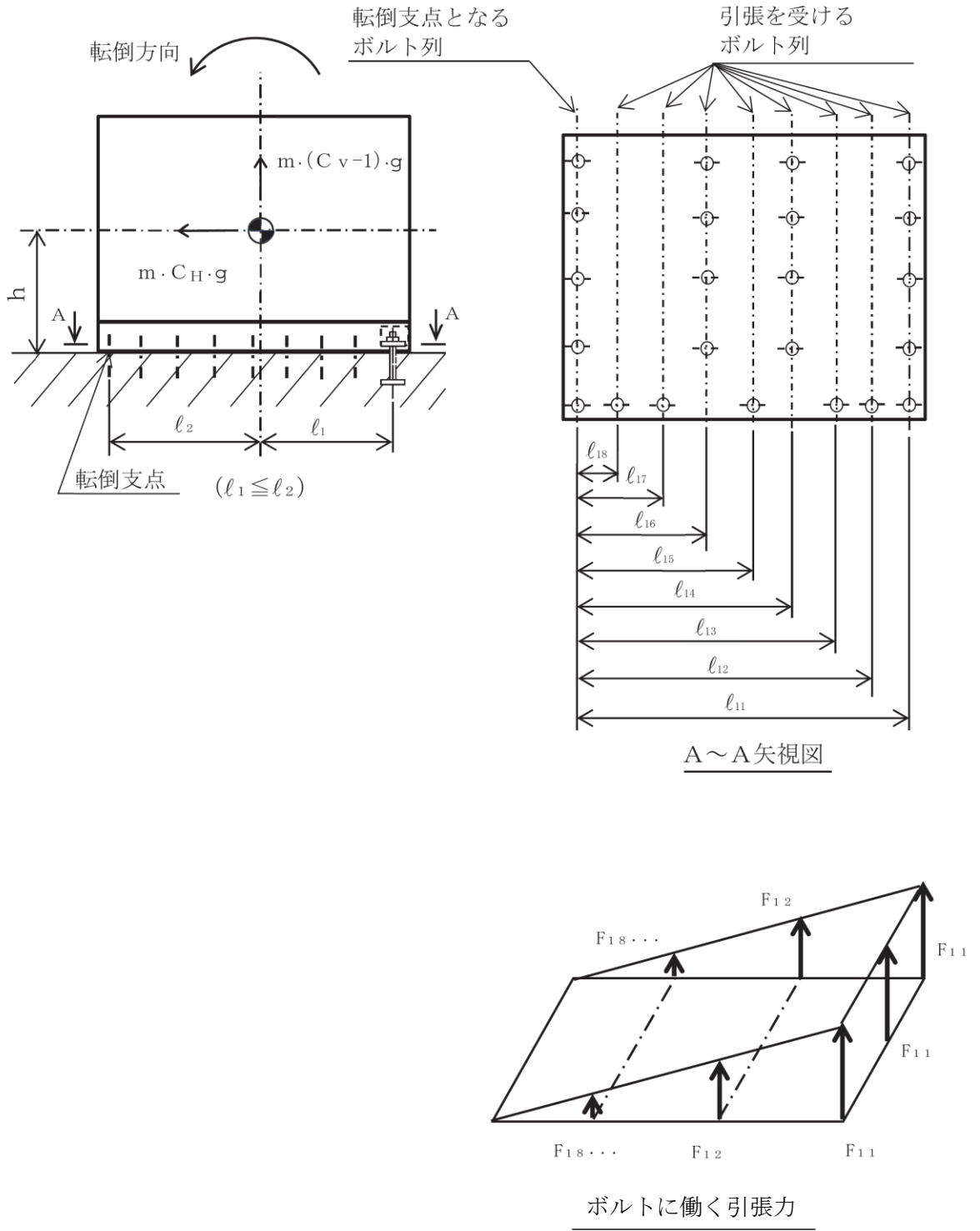


図 5-2 計算モデル (長辺方向転倒の場合)

(1) 引張応力

引張力

ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でボルト端列を支点とし、各ボルトに働く力は支点からの距離に比例するものとして、モーメントの釣り合い式より求める。

各ボルトの引張力により発生するモーメントの総和は、次式により求める。

$$M_f = \sum_{i=1}^N F_{1i} \cdot n_{fi} \cdot \ell_{1i} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

$$= \frac{F_{11}}{\ell_{11}} \cdot \sum_{i=1}^N \ell_{1i}^2 \cdot n_{fi} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

一方、図5-1及び図5-2から地震力により発生する転倒モーメントは次のようになる。

$$M_s = m \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h)^2 + (C_V \cdot \ell_2)^2} - m \cdot g \cdot \ell_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ボルトに発生する引張力は、転倒支点から最も遠いボルトの引張力 (F_{11}) が最大となるため、当該ボルトを評価対象とする。この時、評価対象に発生するボルト1本当たりの引張力を $F_{11} = F_b$ とし、 F_b は次式により求める。

$$F_b = \frac{M_s \cdot \ell_{11}}{\sum_{i=1}^N \ell_{1i}^2 \cdot n_{fi}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.7)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.8)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

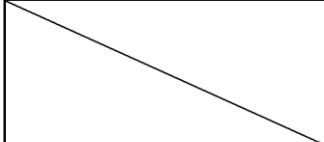
5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

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

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

C-廃棄物処理建物排気処理装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
C-廃棄物処理建物排気処理装置	C	廃棄物処理建物 EL 32.0 (EL 37.5 ^{*1})			—	—	C _H =2.69 ^{*2}	C _V =1.76 ^{*2}	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基礎地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	l ₁ ^{*1} (mm)	l ₂ ^{*1} (mm)	n
基礎ボルト						23

部材	l ₁₁ ^{*1} (mm)	l ₁₂ ^{*1} (mm)	l ₁₃ ^{*1} (mm)	l ₁₄ ^{*1} (mm)	l ₁₅ ^{*1} (mm)	l ₁₆ ^{*1} (mm)	l ₁₇ ^{*1} (mm)	l ₁₈ ^{*1} (mm)
基礎ボルト								

部材	n _{f1} ^{*1}	n _{f2} ^{*1}	n _{f3} ^{*1}	n _{f4} ^{*1}	n _{f5} ^{*1}	n _{f6} ^{*1}	n _{f7} ^{*1}	n _{f8} ^{*1}
基礎ボルト								

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト		211*2 (40mm<径≤100mm)	394*2 (40mm<径≤100mm)	—	253	—	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)	A _v (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

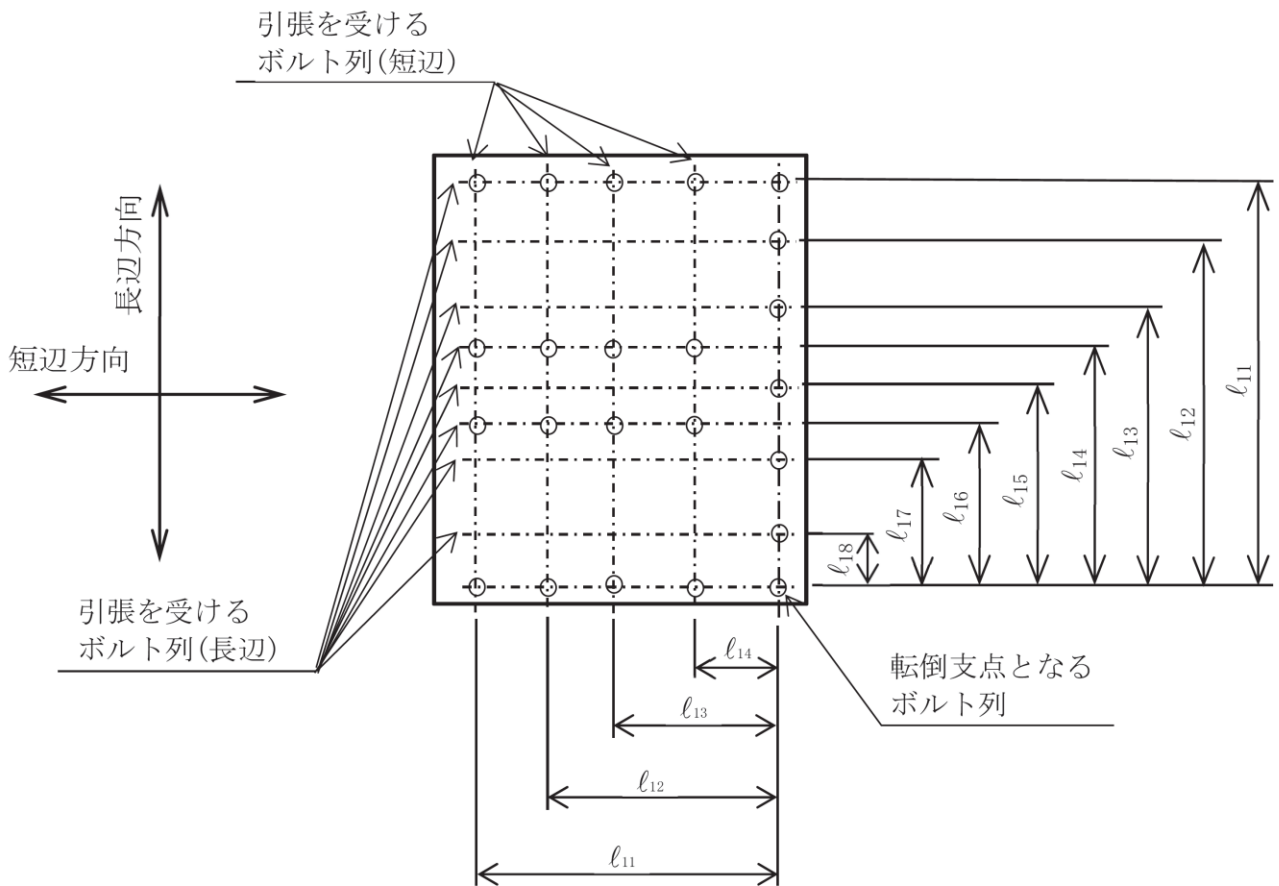
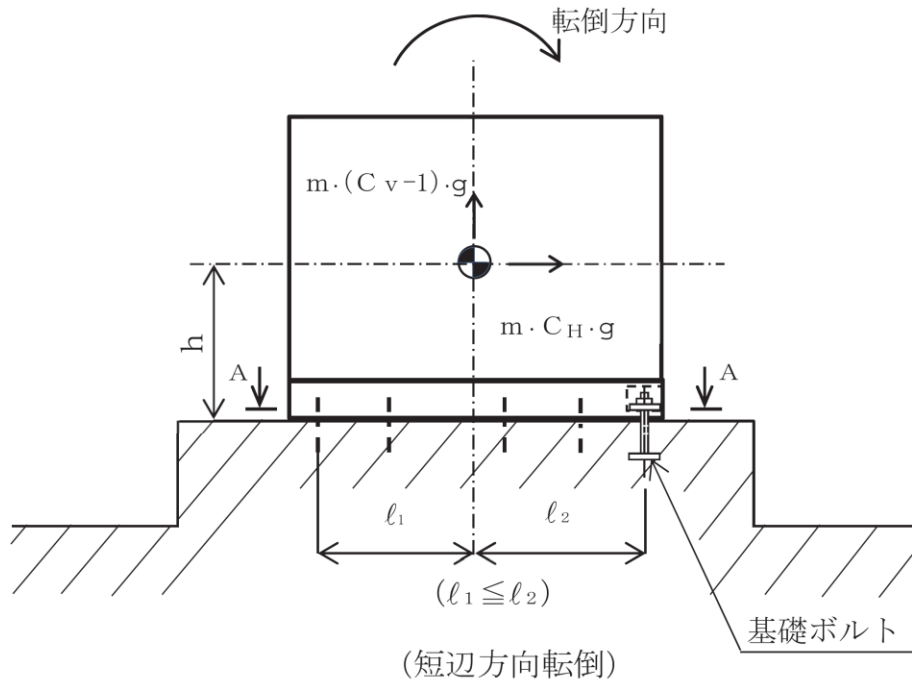
1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	σ _b = 113	f _{t s} = 130*
		せん断	—	—	τ _b = 85	f _{s b} = 146

注記*：f_{t s} = Min[1.4・f_{t o} - 1.6・τ_b, f_{t o}]

すべて許容応力以下である。



A ~ A 矢視図

VI-2-11-2-7-18 循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	14
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.3 設計用地震力	19
5.4 計算方法	21
5.5 計算条件	31
5.6 応力の評価	32
6. 評価結果	33
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	33
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である循環水ポンプ渦防止板（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機海水ポンプ（以下「RSWポンプ」という。）及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（以下「HP SWポンプ」という。）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

循環水ポンプ渦防止板は、取水槽に設置されている。循環水ポンプ渦防止板は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設であるR SWポンプ及びHP SWポンプに隣接していることから、地震時に鋼板が損傷して脱落した場合は、R SWポンプ及びHP SWポンプに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

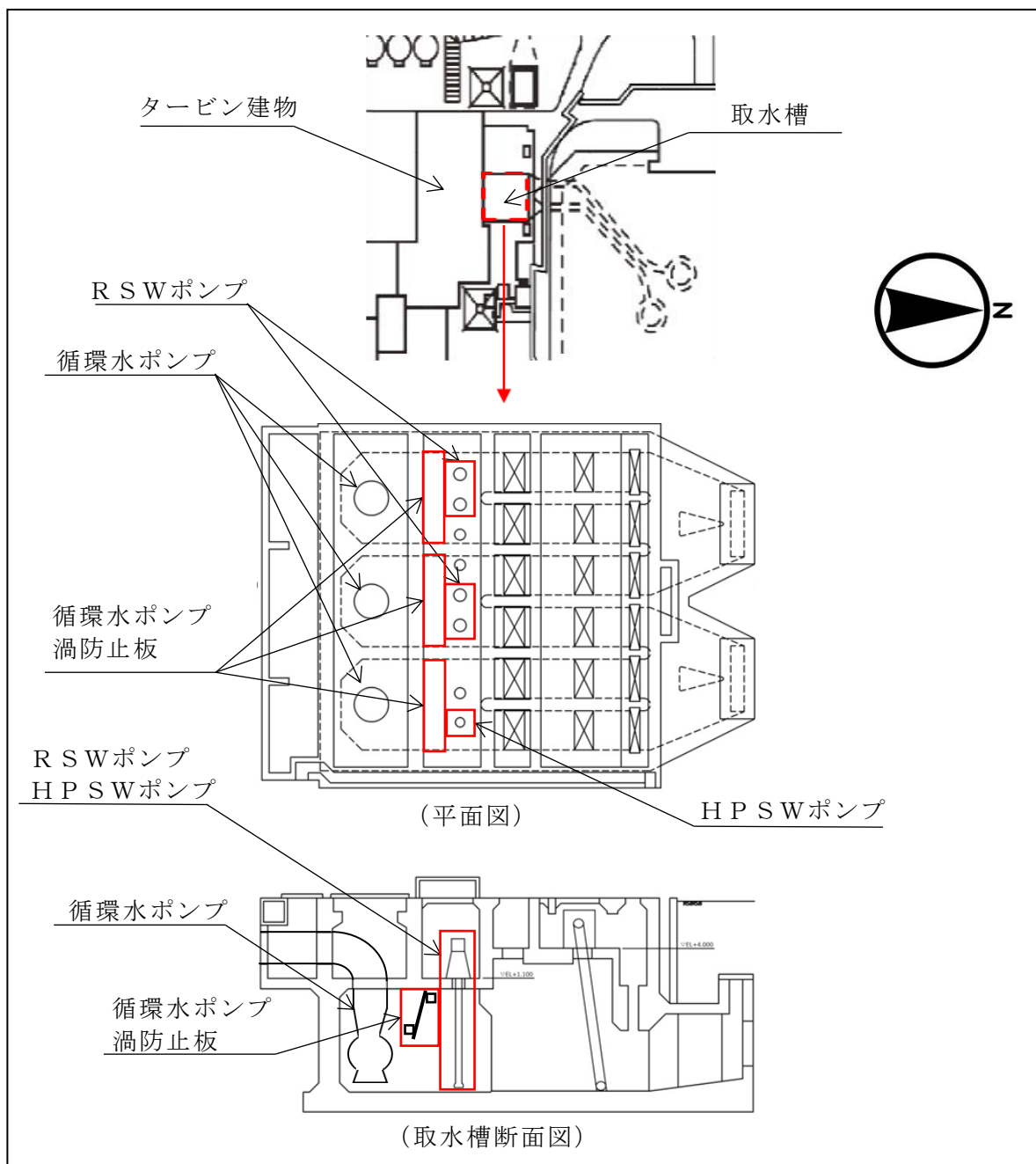


図 2-1 循環水ポンプ渦防止板と上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

循環水ポンプ渦防止板の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>鋼板は取付ボルト①で支持梁に固定され、支持梁は取付ボルト②でブラケットに固定される。ブラケットは基礎ボルトで取水槽壁に据え付ける。</p>	<p>鋼板, 支持梁, ブラケット, 取付ボルト及び基礎ボルトにより構成する。</p>	<p>端部詳細 (A-A 矢視図)</p> <p>取付ボルト①</p> <p>鋼板</p> <p>取水槽壁</p> <p>支持梁</p> <p>取付ボルト②</p> <p>ブラケット</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>支持梁</p> <p>通常時水位 (EL-1100)</p> <p>基礎ボルト</p> <p>ブラケット</p> <p>鋼板</p> <p>循環水ポンプ (中心)</p> <p>UD 方向</p> <p>NS 方向</p> <p>(断面図)</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-1 構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>The diagram shows a cross-section of a rectangular component. A central horizontal section is shaded gray and labeled '鋼板' (Steel Plate). This section is supported by a horizontal beam labeled '支持梁' (Support Beam). Above the steel plate, a bracket-like structure is labeled 'ブラケット' (Bracket). The component is mounted on a base with diagonal supports. A coordinate system is shown on the right with 'UD 方向' (UD direction) pointing up and 'EW 方向' (EW direction) pointing right. A legend indicates that the gray shaded area represents '鋼板' (Steel Plate). The unit is specified as '(単位: mm)' (Unit: mm). The diagram is labeled '(正面図)' (Front View).</p>

2.3 評価方針

循環水ポンプ渦防止板の応力評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す循環水ポンプ渦防止板の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

循環水ポンプ渦防止板の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

なお、通常時水位において、表 2-1 に示すとおり循環水ポンプ渦防止板は一部が空中に位置するが、大部分は没水しているため、耐震評価においては全て没水しているとして評価を実施する。

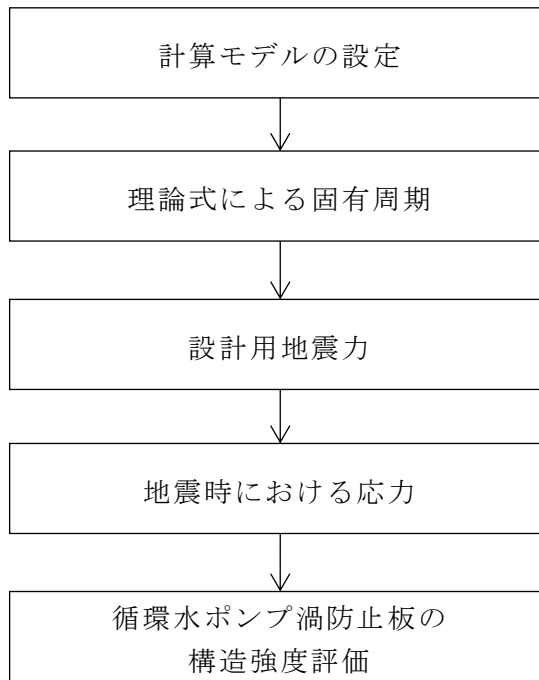


図 2-2 循環水ポンプ渦防止板の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{ab}	基礎ボルトの呼び径断面積	mm^2
A_B	支持梁の断面積	mm^2
A_{BR}	ブラケットの断面積	mm^2
A_{b1}	取付ボルト①の呼び径断面積	mm^2
A_{b2}	取付ボルト②の呼び径断面積	mm^2
A_{WBj}	支持梁のせん断断面積* ²	mm^2
A_{WBRj}	ブラケットのせん断断面積* ²	mm^2
A_{WP}	鋼板のせん断断面積	mm^2
C_D	抗力係数	—
C_{Hi}	水平方向設計震度* ¹	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
e	ブラケットと鋼板の芯間距離	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_H	循環水ポンプ渦防止板に作用する単位面積当たりの水平地震荷重	N/mm^2
F_V	循環水ポンプ渦防止板に作用する単位面積当たりの鉛直地震荷重	N/mm^2
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
I_{Bi}	支持梁の断面2次モーメント* ¹	mm^4
I_{BRi}	ブラケットの断面2次モーメント* ¹	mm^4
k_i	循環水ポンプ渦防止板のばね定数* ¹	N/mm
k_{Bi}	支持梁の圧縮・引張に対するばね定数* ¹	N/mm
k_{BRiA}	ブラケットの圧縮・引張に対するばね定数* ¹	N/mm
k_{BRiR}	ブラケットに作用するモーメントに対する並進ばね定数* ¹	N/mm
L_B	支持梁の支持点間長さ	mm
L_{BR}	ブラケットの長さ	mm
L_C	鋼板の支持点間長さ	mm
L_L	鋼板の下側はね出し長さ	mm
L_U	鋼板の上側はね出し長さ	mm
L_{gh}	評価上水平方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルト間距離	mm
L_{gv}	評価上鉛直方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルト間距離	mm
L_P	鋼板の幅	mm

記号	記号の説明	単位
m_1	支持梁1本が負担する循環水ポンプ渦防止板（鋼板，支持梁，ブラケット）の質量	kg
m_{11i}	支持梁1本が負担する循環水ポンプ渦防止板に対する水の付加質量* ¹	kg
m_B	支持梁の単位長さ当たりの質量（ブラケット質量含む）	kg/mm
M_{Bj}	支持梁に生じる曲げモーメント* ²	N・mm
M_{BRj}	ブラケットに生じる曲げモーメント* ²	N・mm
M_P	鋼板に生じる曲げモーメント	N・mm
N_{ab}	基礎ボルトに生じる引張力	N
N_{b1}	取付ボルト①に生じる引張力	N
N_{b2}	取付ボルト②に生じる引張力	N
n_{ab}	基礎ボルトの本数	本
n_{ah}	評価上水平方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_{av}	評価上鉛直方向引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_{b1}	取付ボルト①の本数	本
n_{b2}	取付ボルト②のブラケット1体当たりの本数	本
Q_{ab}	基礎ボルトに生じるせん断力	N
Q_{Bj}	支持梁に生じるせん断力* ²	N
Q_{BRj}	ブラケットに生じるせん断力* ²	N
Q_{b1}	取付ボルト①に生じるせん断力	N
Q_{b2}	取付ボルト②に生じるせん断力	N
Q_P	鋼板に生じるせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
T_{si}	固有周期* ¹	s
t_P	鋼板の厚み	mm
v_c	循環水ポンプ運転時の水平方向（NS方向）の取水槽内流速	m/s
w_{Pk}	鋼板に作用する単位長さ当たりの荷重* ³	N/mm
w_{Bj}	支持梁に作用する単位長さ当たりの荷重* ²	N/mm
w_F	循環水ポンプ運転時の単位面積当たりの流体力	N/mm ²
Z_{Bj}	支持梁の断面係数* ²	mm ³
Z_{BRj}	ブラケットの断面係数* ²	mm ³
Z_P	鋼板の断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
γ	鋼材の密度	kg/mm ³
θ	鋼板の取付角度	°
θ_1	支持梁の取付角度	°
π	円周率	—
ρ	海水密度	kg/m ³
ρ_A	支持梁1本が負担する質量 (m_i 及び m_{11i}) を支持梁の質量とした場合の見掛けの支持梁の密度	kg/mm ³
σ_{ab}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{B12}	支持梁に生じる組合せ曲げ応力	MPa
σ_{BC}	支持梁に生じる組合せ応力	MPa
σ_{Bj}	支持梁に生じる曲げ応力* ²	MPa
σ_{BR12}	ブラケットに生じる組合せ曲げ応力	MPa
σ_{BRC}	ブラケットに生じる組合せ応力	MPa
σ_{BRj}	ブラケットに生じる曲げ応力* ²	MPa
σ_{b1}	取付ボルト①に生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	取付ボルト②に生じる引張応力	MPa
σ_{PC}	鋼板に生じる組合せ応力	MPa
σ_P	鋼板に生じる曲げ応力	MPa
τ_{ab}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{B12}	支持梁に生じる組合せせん断応力	MPa
τ_{Bj}	支持梁に生じるせん断応力* ²	MPa
τ_{BR12}	ブラケットに生じる組合せせん断応力	MPa
τ_{BRj}	ブラケットに生じるせん断応力* ²	MPa
τ_{b1}	取付ボルト①に生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	取付ボルト②に生じるせん断応力	MPa
τ_P	鋼板に生じるせん断応力	MPa

注記*1：添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$ ：NS方向

$i=2$ ：EW方向

$i=3$ ：UD方向

*2：添字 j の意味は、以下のとおりとする。

$j=1$ ：支持梁又はブラケットの強軸方向

$j=2$ ：支持梁又はブラケットの弱軸方向

*3：添字 k の意味は、以下のとおりとする。

$k=1$ ：鋼板の面外方向

$k=2$ ：鋼板の面内高さ方向

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

循環水ポンプ渦防止板の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、波及的影響を及ぼすおそれのある循環水ポンプ渦防止板に対し、耐震評価上厳しくなる鋼板、支持梁、ブラケット、取付ボルト（①及び②）及び基礎ボルトについて実施する。循環水ポンプ渦防止板の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

循環水ポンプ渦防止板の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 循環水ポンプ渦防止板はブラケットによる支持のため、図 4-1 に示すように単純梁モデルにて水平方向（N S 方向）及び鉛直方向の固有周期を算定する。また、剛性は支持梁のみ考慮する。水平方向（E W 方向）のばね定数はブラケットと支持梁の偏心を考慮した 1 質点系モデルにて算定する。質点位置は鋼板の重心位置とする。
- b. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- c. 固有周期の算出には水の付加質量*を考慮する。付加質量は形状によって決まり、軸方向により断面形状が異なることから、軸方向ごとに算出する。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

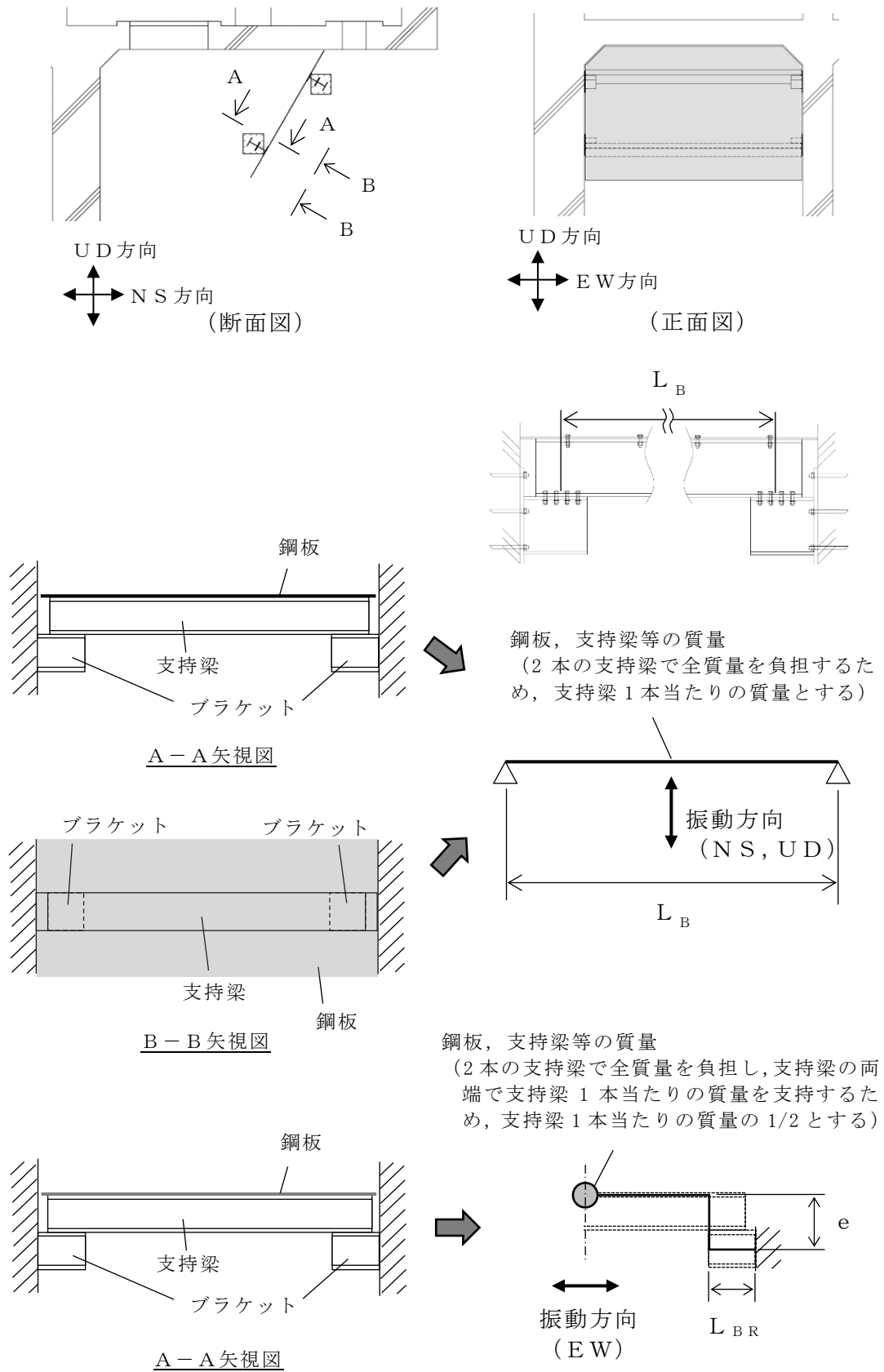


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期

循環水ポンプ渦防止板の固有周期 T_{Si} は次式より求める。

なお、 $\rho_A \cdot A_B \cdot L_B = m_1 + m_{11i}$ 及び $\lambda_n = \pi$ (1次モード) となるため、

$$T_{Si} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_B^2}{\lambda_n^2} \sqrt{\frac{\rho_A \cdot A_B}{10^3 \cdot E \cdot I_{Bi}}} \\ = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{(m_1 + m_{11i}) \cdot L_B^3}{10^3 \cdot E \cdot I_{Bi}}} \quad (i = 1, 3) \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$T_{Si} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 + m_{11i}}{2 \cdot 10^3 \cdot k_i}} \quad (i = 2) \quad \dots\dots\dots (4.1.2)$$

水平方向 (EW方向) ($i = 2$) のばね定数は図 4-2 に示すとおり、次式より求める。

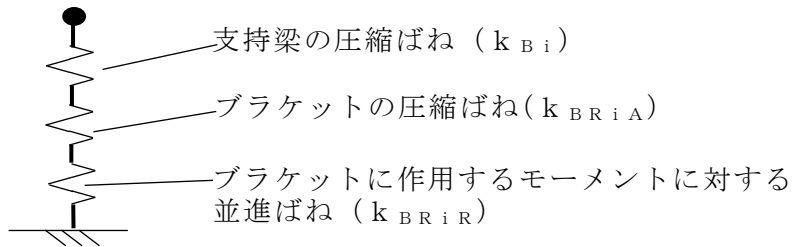


図 4-2 水平方向 (EW方向) のばねモデル

$$k_i = 1 / \left(\frac{1}{k_{Bi}} + \frac{1}{k_{BRiA}} + \frac{1}{k_{BRiR}} \right) \quad \dots\dots\dots (4.1.3)$$

ここで、各ばね定数は以下により求める。

$$k_{Bi} = \frac{2 \cdot E \cdot A_B}{L_B} \quad \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$k_{BRiA} = \frac{E \cdot A_{BR}}{L_{BR}} \quad \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$k_{BRiR} = \frac{2 \cdot E \cdot I_{BRi}}{L_{BR} \cdot e^2} \quad \dots\dots\dots (4.1.6)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、水平方向（N S 方向）及び鉛直方向の 1 次固有周期は 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（E W 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、水平方向（N S 方向）及び鉛直方向については、2 次モード以降で有意な刺激係数をもつ固有周期は 0.05 秒以下であることから、高次の影響は軽微である。

表 4-1 固有周期 (単位: s)

水平方向 (N S 方向)	
水平方向 (E W 方向)	
鉛直方向	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、循環水ポンプ渦防止板に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。ここで、水平方向地震力は、NS方向に作用する場合とEW方向に作用する場合を考慮する。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、SRSS法を適用する。
- (2) 循環水ポンプ渦防止板には、同ポンプ運転に伴い発生する流速による流体力を考慮する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水ポンプ渦防止板の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

5.2.2 許容応力

循環水ポンプ渦防止板の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプ渦防止板の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	循環水ポンプ渦防止板	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	循環水ポンプ渦防止板	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。)

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
鋼板		周囲環境温度	40	175	480
支持梁		周囲環境温度	40	175	480
ブラケット		周囲環境温度	40	175	480
取付ボルト (①, ②)		周囲環境温度	40	175	480
基礎ボルト		周囲環境温度	40	175	480

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)
		周囲環境温度			
鋼板		周囲環境温度	40	175	480
支持梁		周囲環境温度	40	175	480
ブラケット		周囲環境温度	40	175	480
取付ボルト (①, ②)		周囲環境温度	40	175	480
基礎ボルト		周囲環境温度	40	175	480

5.3 設計用地震力

循環水ポンプ渦防止板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 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)	取水槽 EL 1.1* ¹					
固有周期(s)	水平 (NS) : <input type="text"/> * ²		水平 (EW) : <input type="text"/> * ²		鉛直 : <input type="text"/> * ²	
減衰定数(%)	水平 : 2.0		鉛直 : 2.0			
設計用地震力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
	NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
	—	—	—	3.00* ³	1.50* ^{4,5}	2.70* ³

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：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により得られる震度

*4：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により得られる設計震度

*5：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)	取水槽 EL 1.1 ^{*1}				
固有周期(s)	水平（NS）： <input type="text"/> ^{*2}		水平（EW）： <input type="text"/> ^{*2}		鉛直： <input type="text"/> ^{*2}
減衰定数(%)	水平：2.0		鉛直：2.0		
設計用地震力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s	
	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度	
	NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向
	—	—	—	3.00 ^{*3}	1.50 ^{*4, *5}

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：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により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により得られる設計震度

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 鋼板の応力

鋼板には、流体力、地震荷重及び自重により鋼板の面外方向へせん断力及び曲げモーメントが作用するため、これを評価する。

鋼板の水平方向（NS方向）及び鉛直方向に対する評価方法を以下に示す。なお、水平方向（EW方向）に対しては鋼板面内高さ方向荷重となるため評価対象としない。

(1) せん断応力

鋼板の面外方向に作用する荷重に対してはね出し単純梁として抵抗するため、鋼板に発生するせん断力 Q_P 及びせん断応力 τ_P は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

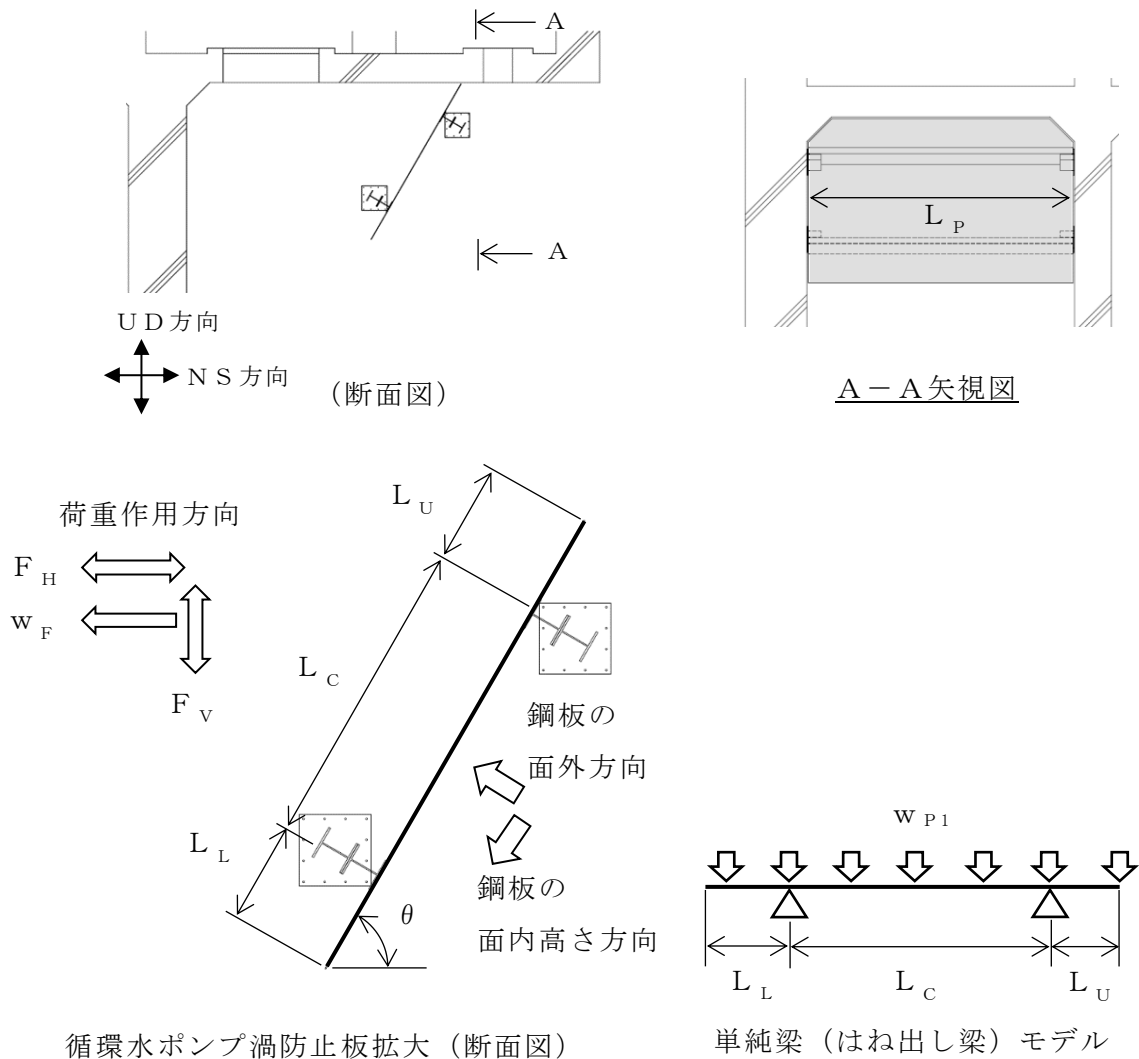


図5-1 鋼板の計算モデル図

$$\tau_P = \frac{Q_P}{A_{WP}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$Q_P = \frac{w_{P1} \cdot (L_L + L_C)^2 - w_{P1} \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} - w_{P1} \cdot L_L \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、 w_{P1} は鋼板に作用する単位長さ当たりの面外方向荷重であり、次式による。

$$w_{P1} = \left(w_F \cdot \sin \theta + \sqrt{(F_H \cdot \sin \theta)^2 + (F_V \cdot \cos \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_P \cdot \cos \theta \right) \cdot L_P \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$F_H = C_{H1} \cdot g \cdot \gamma \cdot t_P \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$F_V = C_V \cdot g \cdot \gamma \cdot t_P \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

ここで、 w_F は循環水ポンプ運転時の単位面積当たりの流体力であり、鋼板の取付角度（ θ ）を保守的に考慮せずに垂直面に作用するとして算出を行う。

$$w_F = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot v_c^2 \cdot 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

(2) 曲げ応力

鋼板に発生する曲げモーメント M_P 及び曲げ応力 σ_P は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

$$\sigma_P = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$M_P = \text{Max} \left(\frac{w_{P1} \cdot L_L^2}{2}, \frac{w_{P1} \cdot (L_L + L_C)^2 - w_{P1} \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C} \cdot \frac{L_C}{2} - \frac{w_{P1}}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

(3) 組合せ応力

鋼板に作用する組合せ応力 σ_{PC} を次式より求める。

$$\sigma_{PC} = \sqrt{\sigma_P^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.4.1.2 支持梁の応力

支持梁には、鋼板から伝達される荷重、自重及び地震力が作用し、せん断力及び曲げモーメントを生じるため、支持梁の強軸方向と弱軸方向を考慮して、これを評価する。

支持梁の水平方向（NS方向）及び鉛直方向に対する評価方法を以下に示す。なお、水平方向（EW方向）に対しては梁軸方向荷重となるため評価対象としない。

(1) せん断応力

支持梁は、ブラケットにより支持される単純梁であるため、支持梁1本当たりが負担する鋼板に作用する荷重と支持梁の自重及び地震慣性力を加えたせん断力 Q_{Bj} 及びせん断応力 τ_{Bj} は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

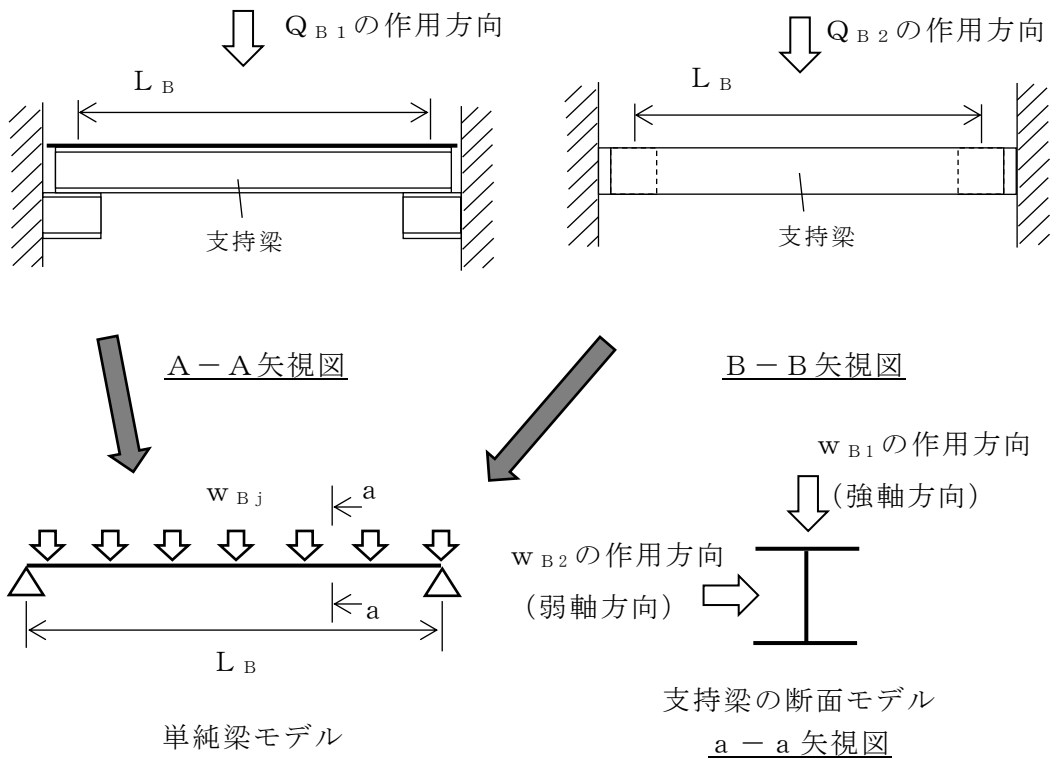
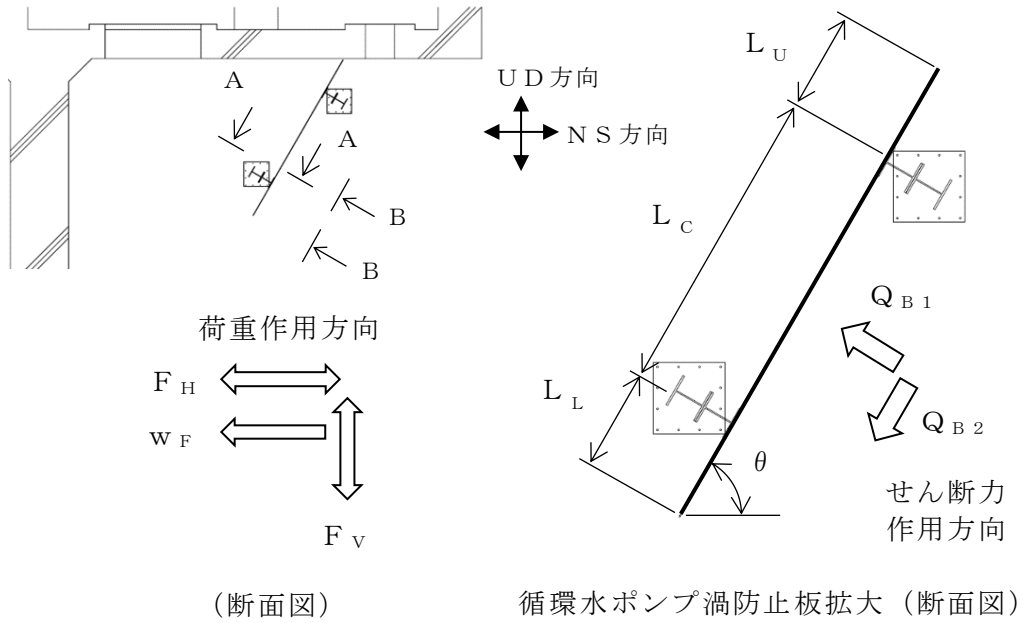


図5-2 支持梁の計算モデル図

$$\tau_{Bj} = \frac{Q_{Bj}}{A_{WBj}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

ここで、 Q_{B1} 及び Q_{B2} は次式より求める。

$$Q_{B1} = \frac{w_{B1}}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \sin \theta)^2 + (C_V \cdot \cos \theta)^2} + \cos \theta \right) \cdot \frac{L_B}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$Q_{B2} = \frac{w_{B2}}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \cos \theta)^2 + (C_V \cdot \sin \theta)^2} + \sin \theta \right) \cdot \frac{L_B}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

ここで、 w_{B1} は支持梁の強軸方向に作用する単位長さ当たりの荷重、 w_{B2} は支持梁の弱軸方向に作用する単位長さ当たりの荷重であり、次式による。

$$w_{B1} = \left(w_F \cdot \sin \theta + \sqrt{(F_H \cdot \sin \theta)^2 + (F_V \cdot \cos \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_P \cdot \cos \theta \right) \cdot L_B \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$w_{B2} = \left(w_F \cdot \cos \theta + \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_P \cdot \sin \theta \right) \cdot L_B \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

なお、せん断応力の組合せはベクトル和とし、次式より求める。

$$\tau_{B12} = \sqrt{\tau_{B1}^2 + \tau_{B2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

(2) 曲げ応力

支持梁に発生する曲げモーメント M_{Bj} 及び曲げ応力 σ_{Bj} は次式より求める。

$$\sigma_{Bj} = \frac{M_{Bj}}{Z_{Bj}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

$$M_{Bj} = \frac{Q_{Bj} \cdot L_B}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

なお、曲げ応力の組合せは単純和とし、次式より求める。

$$\sigma_{B12} = \sigma_{B1} + \sigma_{B2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

(3) 組合せ応力

支持梁に作用する組合せ応力 σ_{BC} を次式より求める。

$$\sigma_{BC} = \sqrt{\sigma_{B12}^2 + 3 \cdot \tau_{B12}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

5.4.1.3 ブラケットの応力

ブラケットは支持梁から伝達されたせん断力により生じるせん断力及び曲げモーメント等が生じるため、支持梁の強軸方向と弱軸方向を考慮して、これを評価する。

ブラケットの水平方向（NS方向）及び鉛直方向に対する評価方法を以下に示す。なお、水平方向（EW方向）は水平方向（NS方向）よりも設計震度が小さいことから、水平方向（NS方向）の評価に包絡されるため評価対象としない。

(1) せん断応力

せん断力 Q_{BRj} 及びせん断応力 τ_{BRj} は次式より求める。

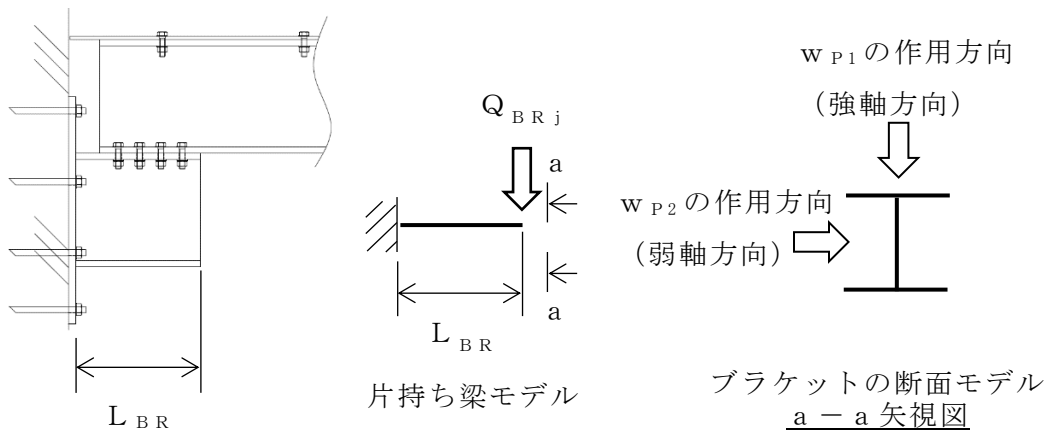


図5-3 ブラケットの計算モデル図

$$\tau_{BRj} = \frac{Q_{BRj}}{A_{WBRj}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、 Q_{BR1} 及び Q_{BR2} は次式より求める。

$$Q_{BR1} = \frac{w_{P1}}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \sin \theta)^2 + (C_V \cdot \cos \theta)^2} + \cos \theta \right) \cdot \frac{L_P}{2} \quad \dots \quad (5.4.1.3.2)$$

$$Q_{BR2} = \frac{w_{P2}}{2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right) + g \cdot m_B \cdot \left(\sqrt{(C_{H1} \cdot \cos \theta)^2 + (C_V \cdot \sin \theta)^2} + \sin \theta \right) \cdot \frac{L_P}{2} \quad \dots \quad (5.4.1.3.3)$$

w_{P1} は式 (5.4.1.1.3) に示す。 w_{P2} は次式より求める。

$$w_{P2} = \left(w_F \cdot \cos \theta + \sqrt{(F_H \cdot \cos \theta)^2 + (F_V \cdot \sin \theta)^2} + g \cdot \gamma \cdot t_P \cdot \sin \theta \right) \cdot L_P \quad \dots \quad (5.4.1.3.4)$$

なお、せん断応力の組合せはベクトル和とし、次式より求める。

$$\tau_{BR12} = \sqrt{\tau_{BR1}^2 + \tau_{BR2}^2} \quad \dots \quad (5.4.1.3.5)$$

(2) 曲げ応力

ブラケットに発生する曲げモーメント M_{BRj} 及び曲げ応力 σ_{BRj} は次式より求める。

$$\sigma_{BRj} = \frac{M_{BRj}}{Z_{BRj}} \quad \dots \quad (5.4.1.3.6)$$

$$M_{BRj} = Q_{BRj} \cdot L_{BR} \quad \dots \quad (5.4.1.3.7)$$

なお、曲げ応力の組合せは単純和とし、次式より求める。

$$\sigma_{BR12} = \sigma_{BR1} + \sigma_{BR2} \quad \dots \quad (5.4.1.3.8)$$

(3) 組合せ応力

ブラケットに作用する組合せ応力 σ_{BRC} を次式より求める。

$$\sigma_{BRC} = \sqrt{\sigma_{BR12}^2 + 3 \cdot \tau_{BR12}^2} \quad \dots \quad (5.4.1.3.9)$$

5.4.1.4 取付ボルト①の応力

取付ボルト①は鋼板の支持点であり，鋼板に作用する面外方向荷重により引張力が，面内高さ方向荷重によりせん断力が生じるため，これを評価する。

取付ボルト①の水平方向（NS方向）及び鉛直方向に対する評価方法を以下に示す。なお，水平方向（EW方向）に対しては取付ボルト②の評価に包絡されるため評価対象としない。

(1) 引張応力

はね出し梁である鋼板の支持点荷重が取付ボルト①に作用する引張力となる。従って，取付ボルト①に発生する引張力 N_{b1} 及び取付ボルト①の引張応力 σ_{b1} は次式より求める。ただし， $L_U < L_L$ である。

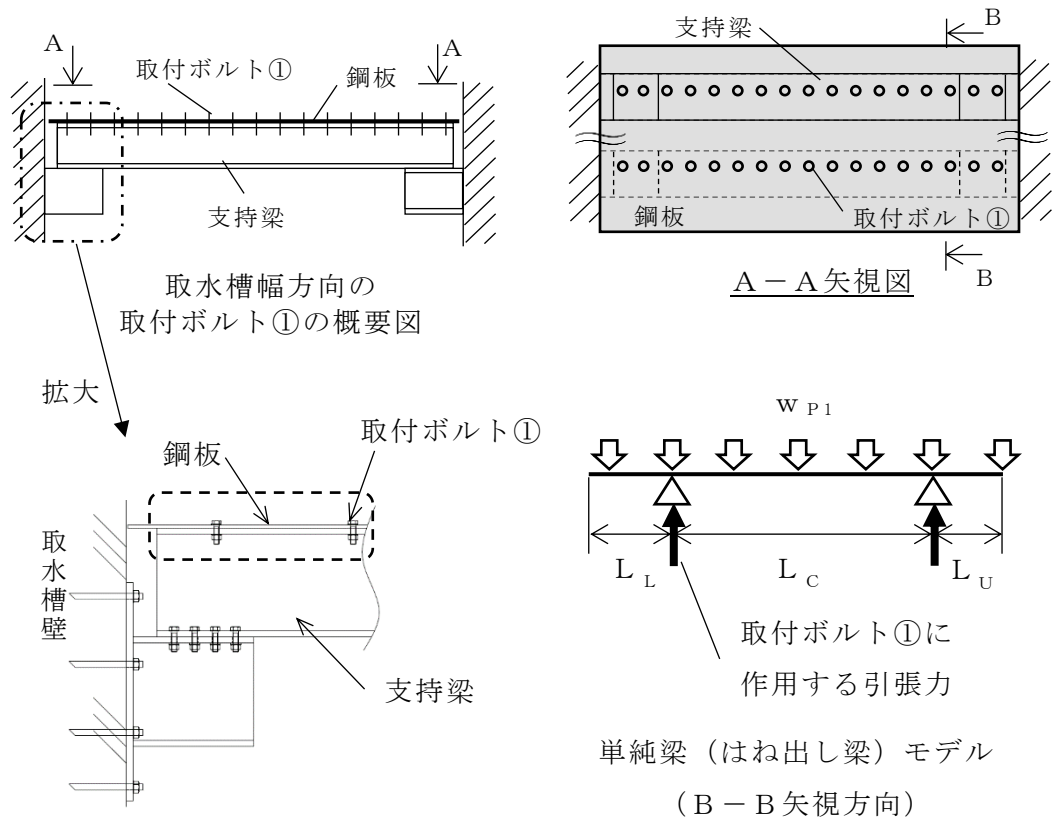


図 5-4 支持梁端部詳細図①

$$\sigma_{b1} = \frac{N_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$N_{b1} = \frac{w_{P1} \cdot (L_L + L_C)^2 - w_{P1} \cdot L_U^2}{2 \cdot L_C \cdot n_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルト①に発生するせん断力 Q_{b1} 及びせん断応力 τ_{b1} は次式より求める。ただし、 $L_U < L_L$ である。

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

$$Q_{b1} = \frac{w_{P2} \cdot \left(L_L + \frac{L_C}{2} \right)}{n_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

5.4.1.5 取付ボルト②の応力

取付ボルト②は支持部として支持梁に作用した支持梁の強軸及び弱軸方向のせん断力をブラケットに伝達する過程でせん断力又は引張力が生じるため、これを評価する。

(1) 引張応力

ブラケット 1 体当たりの取付ボルト②に作用する引張力は支持梁に作用するせん断力と等しいため、取付ボルト②の引張力 N_{b2} 及び引張応力 σ_{b2} は次式より求める。なお、水平方向（EW方向）地震力では取付ボルト②に引張力は生じない。

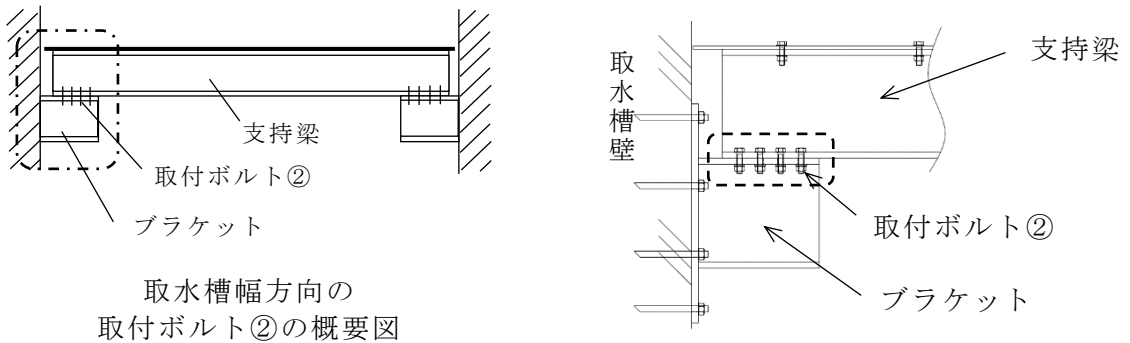


図 5-5 支持梁端部詳細図②

$$\sigma_{b2} = \frac{N_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.1)$$

$$N_{b2} = \frac{Q_{BR1}}{n_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルト②に発生するブラケット1体当たりのせん断力 Q_{b2} 及びせん断応力 τ_{b2} は次式より求める。水平方向（EW方向）荷重によるせん断力と鉛直方向地震力及び自重により作用するせん断力は直交するため、これらのベクトル和により取付ボルト②に作用するせん断力を求める。一方、水平方向（NS方向）荷重によるせん断力と鉛直方向地震力及び自重により作用するせん断力は、これらの絶対値和より求めることから、水平方向（EW方向）荷重によるせん断力と鉛直方向地震力及び自重により作用するせん断力よりも大きくなるため、ここでは水平方向（NS方向）荷重によるせん断力と鉛直方向で評価する。

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.3)$$

$$Q_{b2} = \frac{Q_{BR2}}{n_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.5.4)$$

5.4.1.6 基礎ボルトの応力

基礎ボルトは、ブラケット端部に生じるせん断力及び曲げモーメントを取水槽壁に伝達させる過程でせん断力及び引張力が生じるため、これを評価する。

(1) 引張応力

基礎ボルトに発生する引張力 N_{ab} 及び引張応力 σ_{ab} は次式より求める。

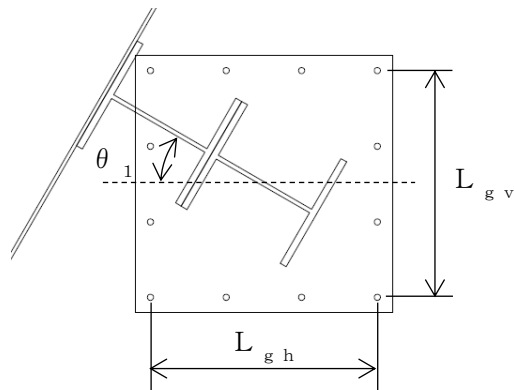


図5-6 基礎ボルトの取付位置

$$\sigma_{ab} = \frac{N_{ab}}{A_{ab}} \dots\dots\dots (5.4.1.6.1)$$

$$N_{ab} = \frac{M_{BR1} \cdot \cos \theta_1 + M_{BR2} \cdot \sin \theta_1}{n_{ah} \cdot L_{gh}} + \frac{M_{BR1} \cdot \sin \theta_1 + M_{BR2} \cdot \cos \theta_1}{n_{av} \cdot L_{gv}} \dots\dots\dots (5.4.1.6.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに発生するせん断力 $Q_{a b}$ 及びせん断応力 $\tau_{a b}$ は次式より求める。

$$\tau_{a b} = \frac{Q_{a b}}{A_{a b}} \dots\dots\dots (5.4.1.6.3)$$

$$Q_{a b} = \frac{\sqrt{Q_{B R 1}^2 + Q_{B R 2}^2}}{n_{a b}} \dots\dots\dots (5.4.1.6.4)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 鋼板の応力評価

5.4.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、
組合せ応力が許容曲げ応力 f_{bm} 以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.3} \cdot 1.5$

5.6.2 支持梁及びブラケットの応力評価

5.4.1.2～5.4.1.3 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。
ただし、組合せ応力が許容曲げ応力 f_{bm} 以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4～5.4.1.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合
せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

循環水ポンプ渦防止板の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水ポンプ渦防止板の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向 (N S 方向)	水平方向 (E W 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	
						N S 方向	E W 方向		N S 方向	E W 方向		
循環水ポンプ渦防止板	C	取水槽 EL 1.1*1				—	—	—	3.00*2	1.50*3	2.70*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：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により得られる震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）により得られる設計震度

1.2 機器要目

	I_{B1} (mm ⁴)	I_{B3} (mm ⁴)	A_B (mm ²)	I_{BR2} (mm ⁴)	A_{BR} (mm ²)	e (mm)	m_1 (kg)	m_{111} (kg)	m_{112} (kg)	m_{113} (kg)
固有周期	5.003×10^8	3.019×10^8	19544	5.995×10^8	19544	606				

	C_D (-)	ρ (kg/m ³)	v_c (m/s)
流体力	2.01*	1030	0.35

注記*：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年）」より保守的に最大となる値を設定

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	t_P (mm)	L_U (mm)	L_C (mm)	L_L (mm)	L_P (mm)	A_{WP} (mm ²)	Z_P (mm ³)	θ (°)
鋼板	194000	7.98×10^{-6}	12					103800	2.0760×10^5	

S2 補 VI-2-11-2-7-18 R0

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	L _B (mm)	m _B (kg/mm)	A _{WB1} (mm ²)	A _{WB2} (mm ²)	Z _{B1} (mm ³)	Z _{B2} (mm ³)
支持梁 (H400×400×12×19)	194000	7.98×10 ⁻⁶	8185	0.187	4344	15200	2.9975×10 ⁶	1.0136×10 ⁶

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	L _{BR} (mm)	A _{WBR1} (mm ²)	A _{WBR2} (mm ²)	Z _{BR1} (mm ³)	Z _{BR2} (mm ³)
ブラケット (H400×400×12×19)	194000	7.98×10 ⁻⁶	440	4344	15200	2.9975×10 ⁶	1.0136×10 ⁶

部材	呼び径	n _{b1} (本)	A _{b1} (mm ²)
取付ボルト①	M20	17	314

部材	呼び径	n _{b2} (本)	A _{b2} (mm ²)
取付ボルト②	M20	16	314

部材	呼び径	A _{ab} (mm ²)	n _{ab} (本)	n _{av} (本)	n _{ah} (本)	L _{gh} (mm)	L _{gv} (mm)	θ_1 (°)
基礎ボルト	M20	314	12	4	4	700	600	

1.3 計算数値

1.3.1 地震荷重

部材	荷重	地震荷重
鋼板	せん断	$5.831 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$2.881 \times 10^7 (N \cdot mm)$
支持梁	せん断	$7.581 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$1.551 \times 10^8 (N \cdot mm)$
ブラケット	せん断	$8.012 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$3.525 \times 10^7 (N \cdot mm)$
取付ボルト①	引張	$5.940 \times 10^3 (N)$
	せん断	$6.023 \times 10^3 (N)$
取付ボルト②	引張	$4.817 \times 10^3 (N)$
	せん断	$5.007 \times 10^3 (N)$
基礎ボルト	引張	$3.657 \times 10^4 (N)$
	せん断	$9.265 \times 10^3 (N)$

1.4 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向 (NS 方向)	
水平方向 (EW 方向)	
鉛直方向	

1.5 評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
鋼板		せん断	—	—	1	121
		曲げ	—	—	139	242
		組合せ	—	—	139	242
支持梁		せん断	—	—	18	121
		曲げ	—	—	203	210
		組合せ	—	—	206	210
ブラケット		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	47	210
		組合せ	—	—	57	210
取付ボルト①		引張	—	—	19	157*
		せん断	—	—	20	121
取付ボルト②		引張	—	—	16	157*
		せん断	—	—	16	121
基礎ボルト		引張	—	—	117	126*
		せん断	—	—	30	96

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向 (N S 方向)	水平方向 (E W 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	
						N S 方向	E W 方向		N S 方向	E W 方向		
循環水 ポンプ 渦防止板	C	取水槽 EL 1.1*1				—	—	—	3.00*2	1.50*3	2.70*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：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により得られる震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）により得られる設計震度

2.2 機器要目

	I_{B1} (mm ⁴)	I_{B3} (mm ⁴)	A_B (mm ²)	I_{BR2} (mm ⁴)	A_{BR} (mm ²)	e (mm)	m_1 (kg)	m_{111} (kg)	m_{112} (kg)	m_{113} (kg)
固有周期	5.003×10^8	3.019×10^8	19544	5.995×10^8	19544	606				

	C_D (-)	ρ (kg/m ³)	v_c (m/s)
流体力	2.01*	1030	0.35

注記*：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年）」より保守的に最大となる値を設定

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	t_P (mm)	L_U (mm)	L_C (mm)	L_L (mm)	L_P (mm)	A_{WP} (mm ²)	Z_P (mm ³)	θ (°)
鋼板	194000	7.98×10^{-6}	12					103800	2.0760×10^5	

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	L_B (mm)	m_B (kg/mm)	A_{WB1} (mm ²)	A_{WB2} (mm ²)	Z_{B1} (mm ³)	Z_{B2} (mm ³)
支持梁 (H400×400×12×19)	194000	7.98×10^{-6}	8185	0.187	4344	15200	2.9975×10^6	1.0136×10^6

S2 補 VI-2-11-2-7-18 R0

部材	E (MPa)	γ (kg/mm ³)	L _{BR} (mm)	A _{WBR1} (mm ²)	A _{WBR2} (mm ²)	Z _{BR1} (mm ³)	Z _{BR2} (mm ³)
ブラケット (H400×400×12×19)	194000	7.98×10 ⁻⁶	440	4344	15200	2.9975×10 ⁶	1.0136×10 ⁶

部材	呼び径	n _{b1} (本)	A _{b1} (mm ²)
取付ボルト①	M20	17	314

部材	呼び径	n _{b2} (本)	A _{b2} (mm ²)
取付ボルト②	M20	16	314

部材	呼び径	A _{ab} (mm ²)	n _{ab} (本)	n _{av} (本)	n _{ah} (本)	L _{gh} (mm)	L _{gv} (mm)	θ_1 (°)
基礎ボルト	M20	314	12	4	4	700	600	

2.3 計算数値

2.3.1 地震荷重

部材	荷重	地震荷重
鋼板	せん断	$5.831 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$2.881 \times 10^7 (N \cdot mm)$
支持梁	せん断	$7.581 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$1.551 \times 10^8 (N \cdot mm)$
ブラケット	せん断	$8.012 \times 10^4 (N)$
	曲げ	$3.525 \times 10^7 (N \cdot mm)$
取付ボルト①	引張	$5.940 \times 10^3 (N)$
	せん断	$6.023 \times 10^3 (N)$
取付ボルト②	引張	$4.817 \times 10^3 (N)$
	せん断	$5.007 \times 10^3 (N)$
基礎ボルト	引張	$3.657 \times 10^4 (N)$
	せん断	$9.265 \times 10^3 (N)$

2.4 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向 (NS 方向)	
水平方向 (EW 方向)	
鉛直方向	

2.5 評価結果

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
鋼板		せん断	—	—	1	121
		曲げ	—	—	139	242
		組合せ	—	—	139	242
支持梁		せん断	—	—	18	121
		曲げ	—	—	203	210
		組合せ	—	—	206	210
ブラケット		せん断	—	—	19	121
		曲げ	—	—	47	210
		組合せ	—	—	57	210
取付ボルト①		引張	—	—	19	157*
		せん断	—	—	20	121
取付ボルト②		引張	—	—	16	157*
		せん断	—	—	16	121
基礎ボルト		引張	—	—	117	126*
		せん断	—	—	30	96

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。