

VI-2-10-2-5 1号機取水槽の地震応答計算書

目次

| | |
|-----------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造概要 | 3 |
| 2.3 解析方針 | 5 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 7 |
| 3. 解析方法 | 8 |
| 3.1 評価対象断面 | 8 |
| 3.2 解析方法 | 10 |
| 3.2.1 構造部材 | 10 |
| 3.2.2 地盤 | 13 |
| 3.2.3 減衰定数 | 14 |
| 3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定 | 15 |
| 3.3 荷重及び荷重の組合せ | 17 |
| 3.3.1 耐震評価上考慮する状態 | 17 |
| 3.3.2 荷重 | 17 |
| 3.3.3 荷重の組合せ | 18 |
| 3.4 入力地震動 | 19 |
| 3.5 解析モデル及び諸元 | 34 |
| 3.5.1 解析モデル | 34 |
| 3.5.2 使用材料及び材料の物性値 | 36 |
| 3.5.3 地盤の物性値 | 36 |
| 3.5.4 地下水位 | 37 |
| 4. 解析結果 | 38 |
| 4.1 南北断面の解析結果 | 38 |

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する1号機取水槽の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、1号機取水槽北側壁、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震評価に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する変形、断面力及び基礎地盤に発生する接地圧とする。また、1号機取水槽流路縮小工が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機取水槽の位置図を図2-1に示す。

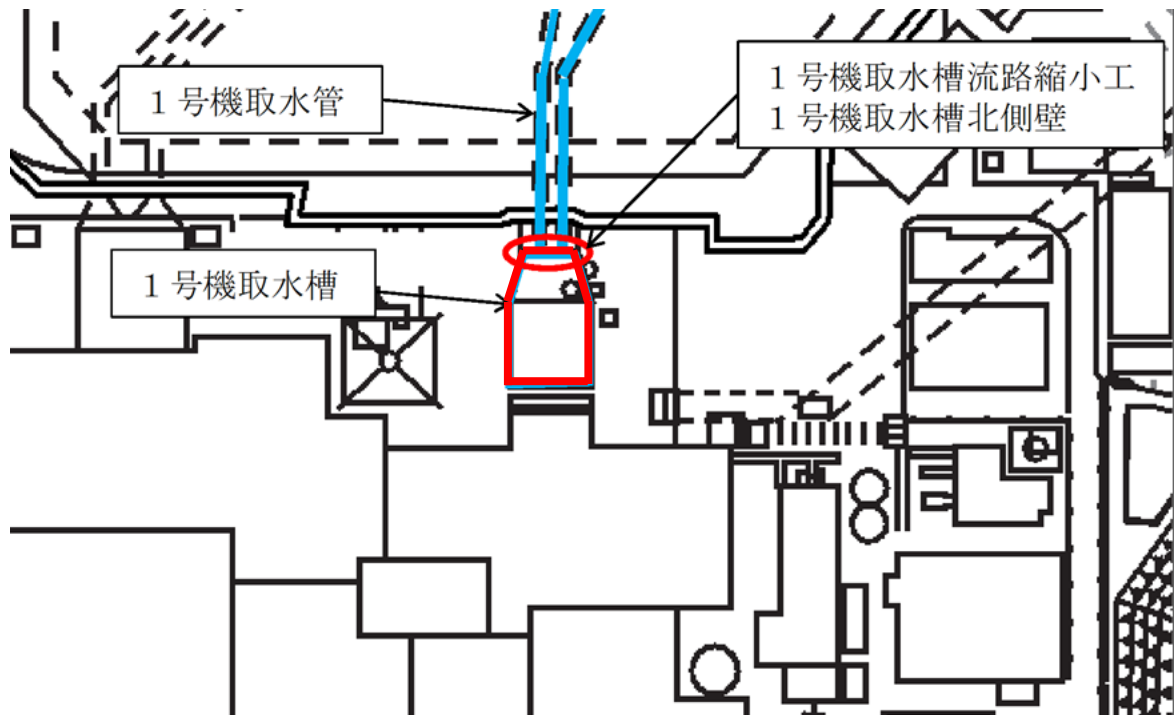


図2-1 1号機取水槽 位置図

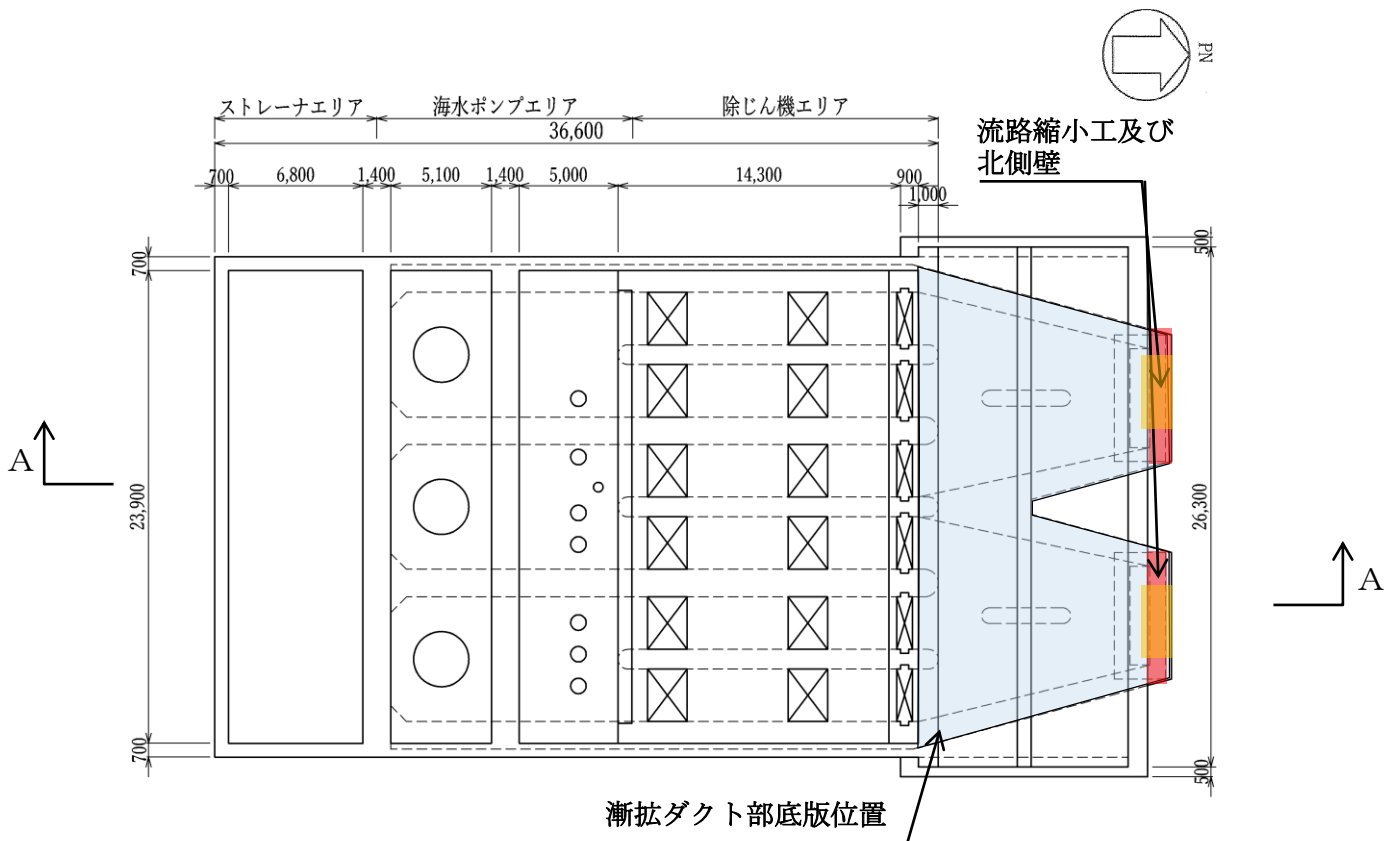
2.2 構造概要

1号機取水槽の平面図を図2-2に、断面図を図2-3に示す。

1号機取水槽のうち北側壁は、1号機取水槽流路縮小工を間接支持する鉄筋コンクリートの地中構造物であり、十分な支持性能を有するC_M級岩盤に支持される。

1号機取水槽は、地下2階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア、ストレーナエリアの3エリアに分かれている。下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっている。

なお、1号機取水槽ピット部下部に閉塞版を設置し、1号機取水槽ピット部内をコンクリートで充填する。1号機取水槽ピット部（閉塞版）及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲を図2-4に示す。



(単位: mm)

図 2-2 1号機取水槽 平面図

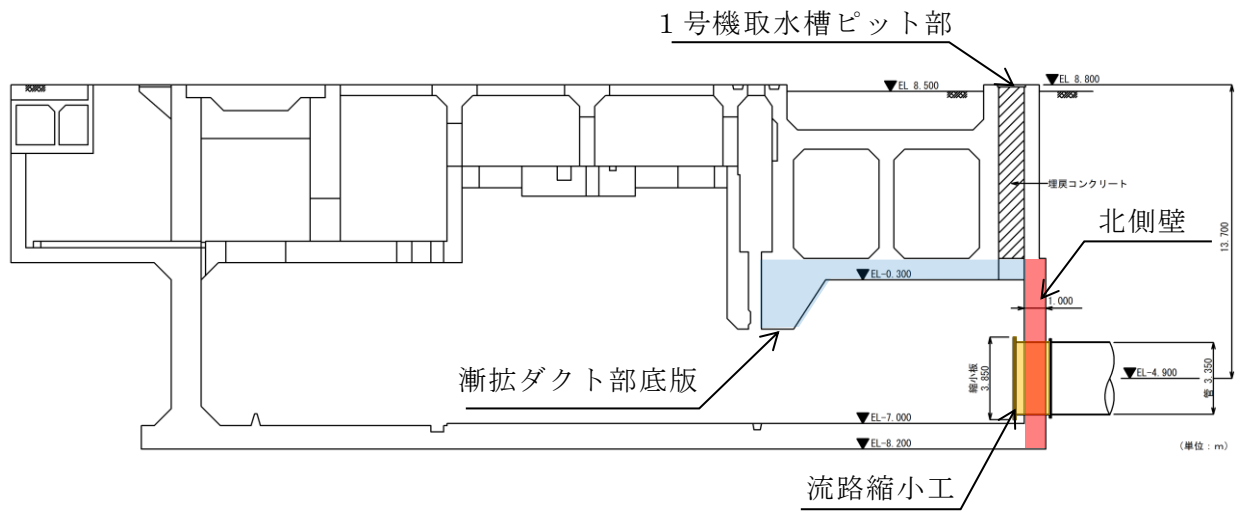


図 2-3 1号機取水槽 断面図 (A-A 断面)

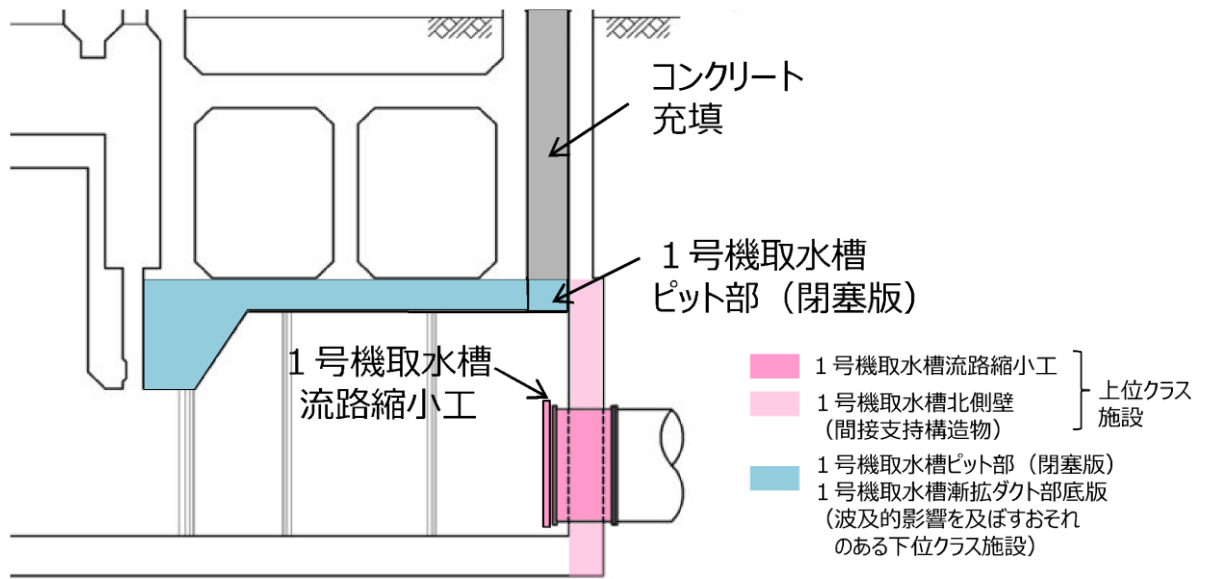


図 2-4 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲

2.3 解析方針

1号機取水槽は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に対して地震応答解析を実施する。

図2-5に1号機取水槽の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴応答解析により行うこととし、地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件に基づき、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、1号機取水槽流路縮小工の設計震度設定に用い、変形、断面力及び基礎地盤の接地圧は、1号機取水槽北側壁、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震評価に用いる。

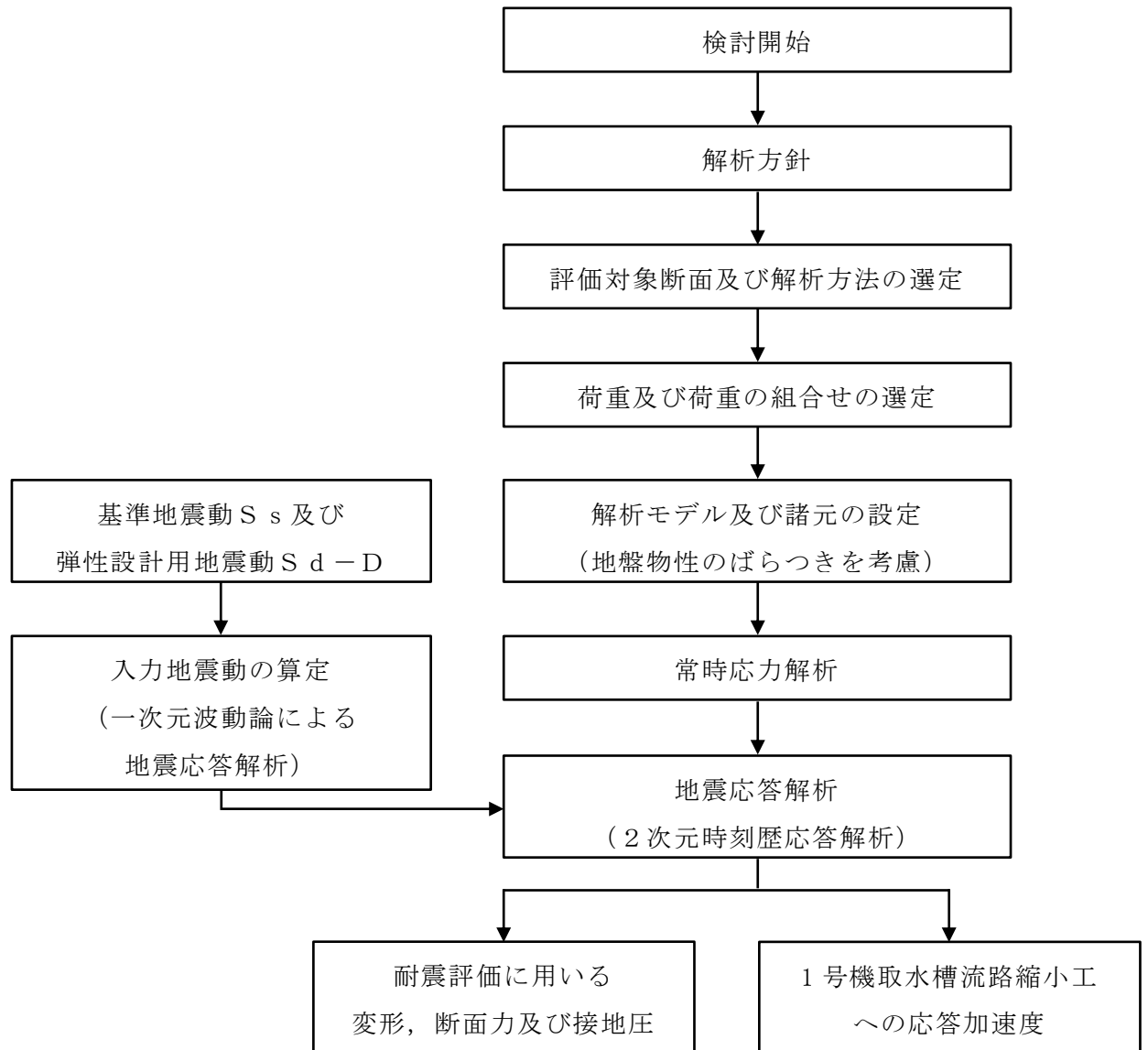


図 2-5 1号機取水槽 地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）
- ・道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（日本道路協会，2002年）
- ・道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（日本道路協会，2012年）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

1号機取水槽の評価対象断面位置図を図3-1に示す。評価対象断面は、評価対象の1号機取水槽流路縮小工、1号機取水槽北側壁、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版を通る南北断面とする。

評価対象地質断面図を図3-2に示す。

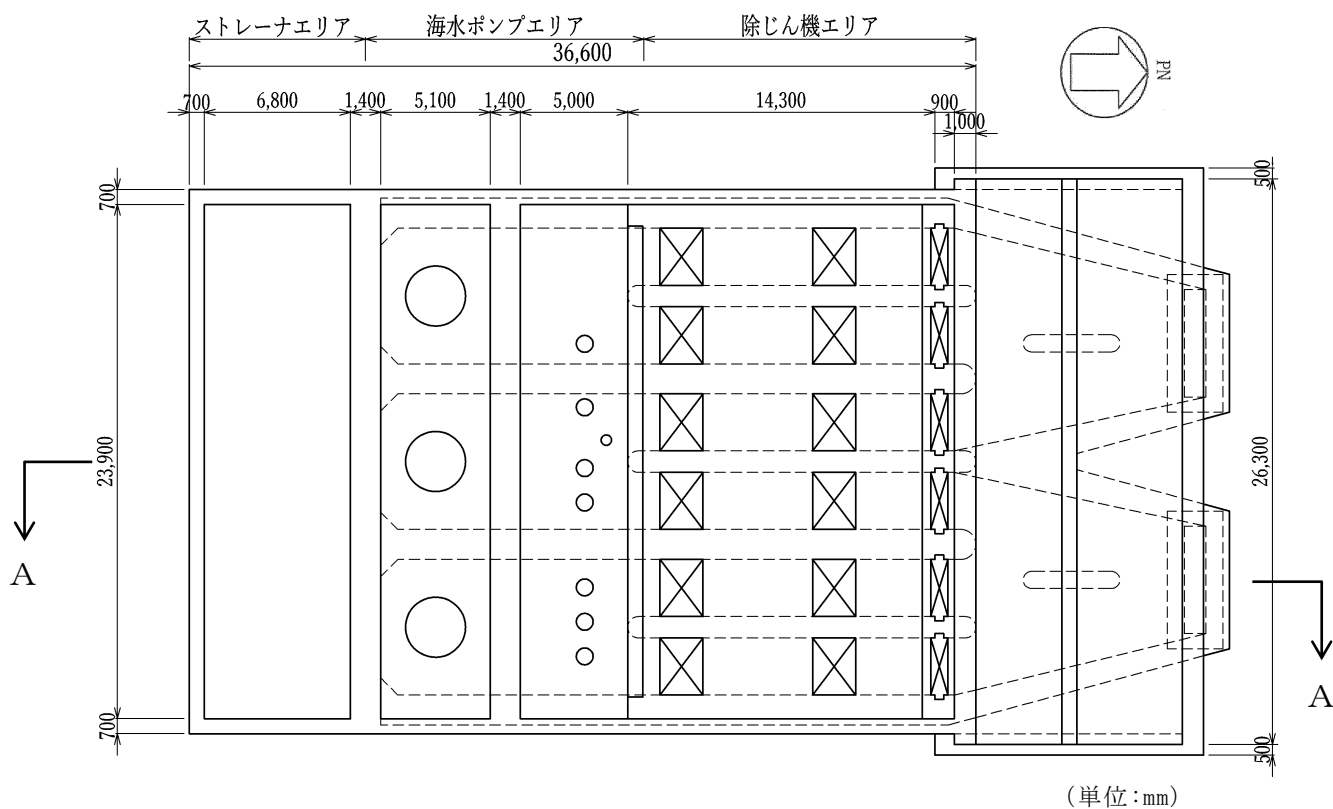


図3-1 1号機取水槽 評価対象断面位置図

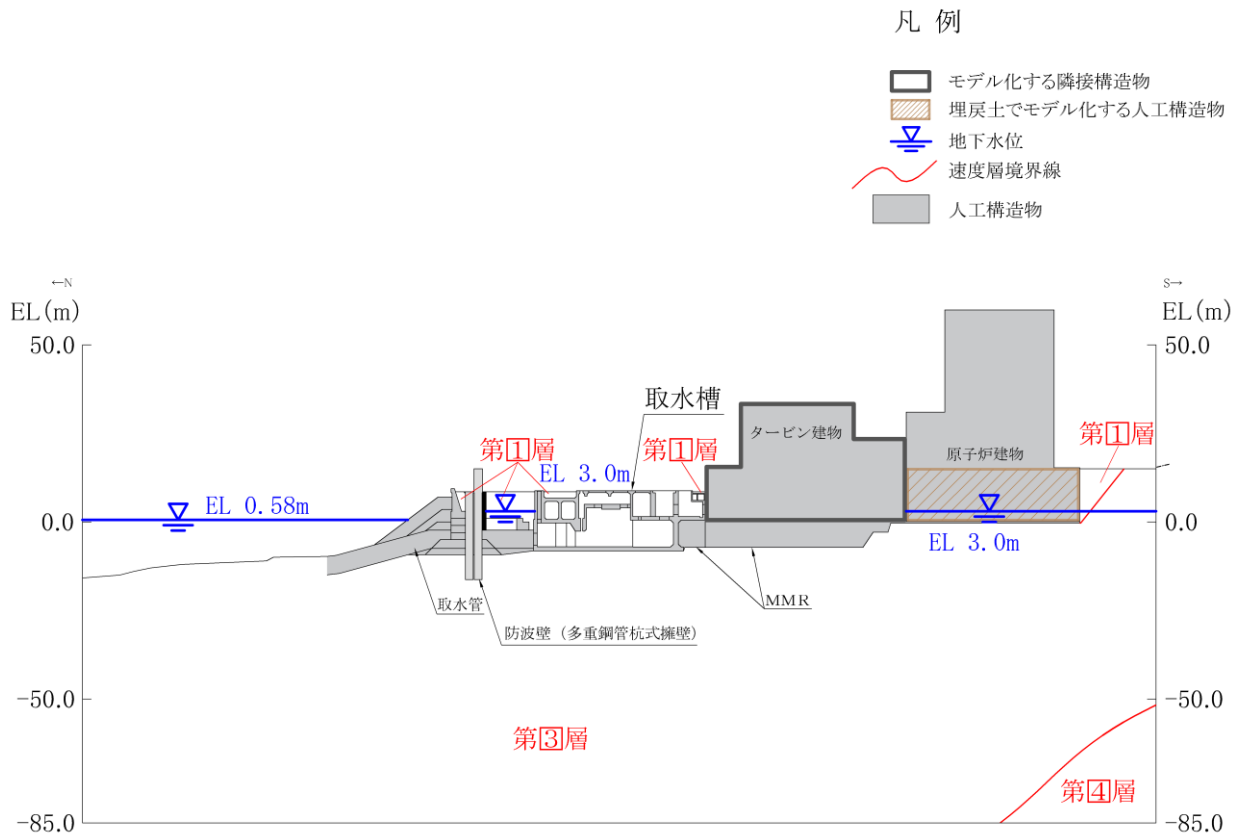


図 3-2 1号機取水槽 評価対象地質断面図 (南北断面)

3.2 解析方法

1号機取水槽の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。1号機取水槽周辺には、地下水位以深の液状化対象層が存在し、施設が液状化対象層と接することから、解析方法は「有効応力解析」とする。

構造部材については、有効応力解析における北側壁及び1号機取水槽ピット部については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化し、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

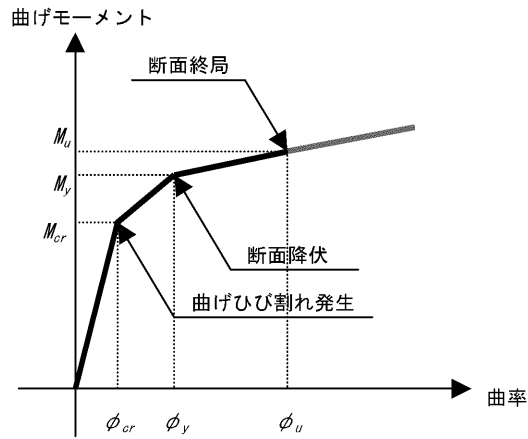
地震応答解析については、有効応力解析において解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

有効応力解析において、1号機取水槽流路縮小工を間接支持する北側壁及び波及的影響を及ぼす可能のある1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版等の鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素でモデル化する。また、面内壁及び埋戻コンクリートについては、平面応力要素でモデル化する。

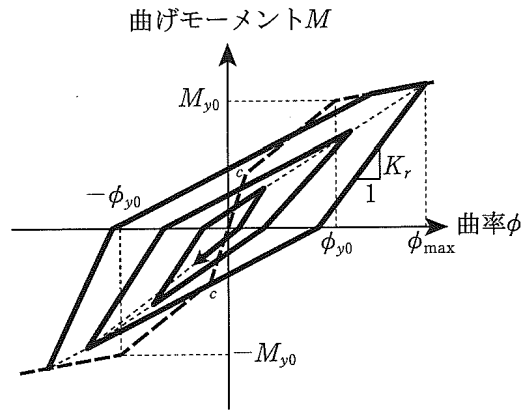
なお、非線形はり要素については、図3-3に示す $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルとする。履歴特性は、図3-4に示すとおり修正武田モデルを適用し、図3-5に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

また、図3-6に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。



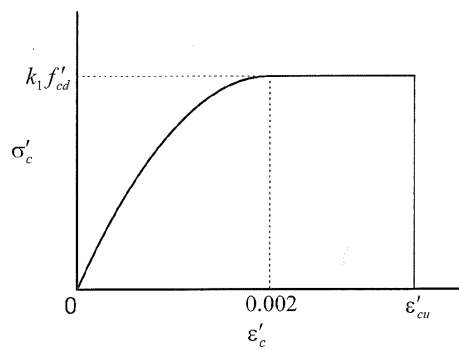
(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年) より引用)

図 3-3 鉄筋コンクリート部材のM-φ関係



(道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (日本道路協会, 2002年) より引用)

図 3-4 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)



$$k_1 = 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$$

$$\epsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \epsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

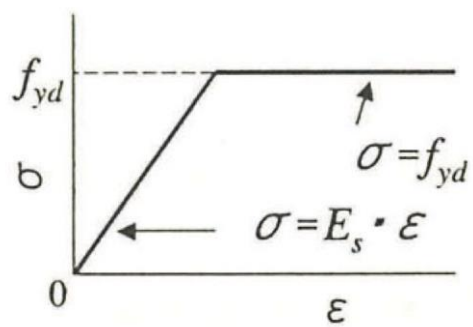
ここで, f'_{ck} の単位は N/mm^2

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\epsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\epsilon'_c}{0.002} \right)$$

(コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) より引用)

図 3-5 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) より引用)

図 3-6 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.2.2 地盤

埋戻土及び岩盤の平均値を用いて，地震応答解析を実施する。

表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

表 3-1 解析ケース（A-A断面）

| 解析ケース | 解析手法 | 地盤物性 | |
|-----------------|--------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | 埋戻土 (G_0 : 初期せん断 弾性係数) | 岩盤 (G_d : 動せん断 弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 有効応力解析 | 平均値 | 平均値 |

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰定数を考慮することとし、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) とする。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」による。

設定した α , β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

| 評価対象断面 | α | β |
|--------|----------|---------|
| A-A 断面 | 0 | 0.002 |

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出

1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

また、津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）の強度計算のため弾性設計用地震動 S_d-D に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度抽出における解析ケースを表3-3に示す。

表3-3 応答加速度抽出における地震応答解析の解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | |
|-------------|---------------|-------|---|
| | | 基本ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | |
| 地震動 (位相) | S_s-D | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | | + - * | ○ |
| | | --* | ○ |
| | S_s-F1 | ++* | ○ |
| | S_s-F2 | ++* | ○ |
| | S_s-N1 | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s-N2(N S)$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s-N2(E W)$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| S_d-D | ++* | ○ | |

注記*：地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

(2) 1号機取水槽北側壁及び1号機取水槽ピット部の耐震評価

1号機取水槽北側壁及び1号機取水槽ピット部の耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。

1号機取水槽北側壁及び1号機取水槽ピット部の耐震評価における解析ケースを表3-4に示す。

表3-4 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | | ケース① |
|-------------|------------------|-------|-------|
| | | | 基本ケース |
| 地盤物性 | | | 平均値 |
| 地震動 (位相) | $S_s - D$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | | + - * | ○ |
| | | --* | ○ |
| | $S_s - F 1$ | ++* | ○ |
| | $S_s - F 2$ | ++* | ○ |
| | $S_s - N 1$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2 (NS)$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2 (EW)$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |

注記*：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

1号機取水槽の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

1号機取水槽の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重及び流路縮小工荷重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として、水圧、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪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35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、設計基準に基づき算定する。

(5) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

(6) 余震荷重(S_d)

弾性設計用地震動 $S_d - D$ による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

| 外力の状態 | 荷重の組合せ |
|--------------------------------------|--|
| 地震時 (S _s) | G + P + S _s |
| 地震時 (S _s) * ¹ | G + P _s + P _k + S _s |
| 余震時 (S _d) * ² | G + P _s + P _k + S _d |

注記*1：1号機取水槽流路縮小工の地震時の強度計算に用いる。

*2：1号機取水槽流路縮小工の重畳時の強度計算に用いる。

G：固定荷重

P：積載荷重

P_s：積雪荷重

P_k：風荷重

S_s：地震荷重(基準地震動 S_s)

S_d：余震荷重(基準地震動 S_d-D)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-7に入力地震動算定の概念図を、図3-8～図3-21に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び解析コード「microSHAKE」を使用する。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)の概要」に示す。

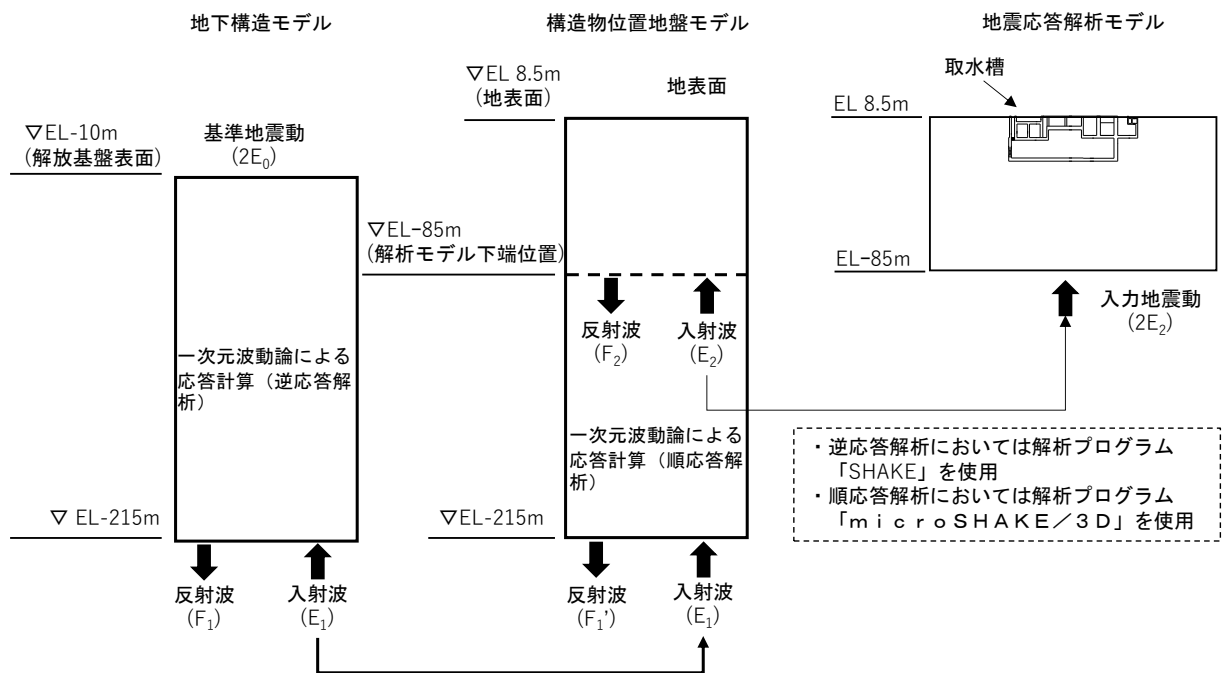
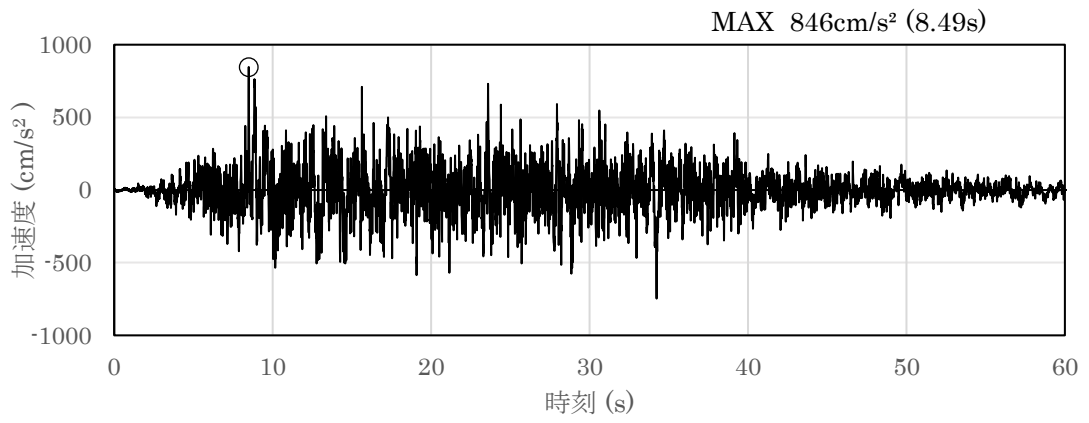
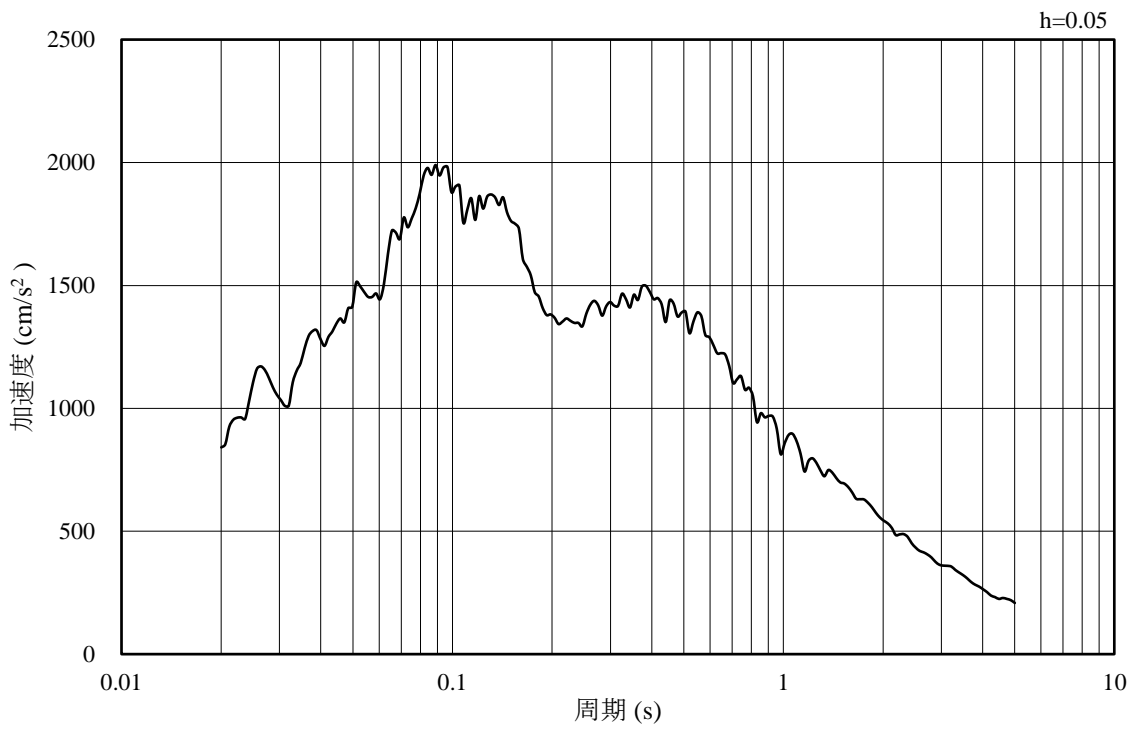


図3-7 入力地震動算定の概念図

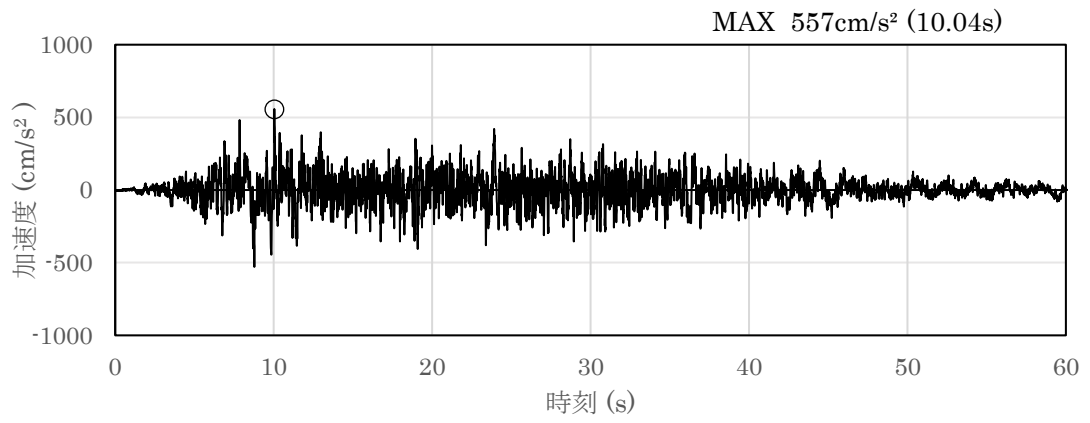


(a) 加速度時刻歴波形

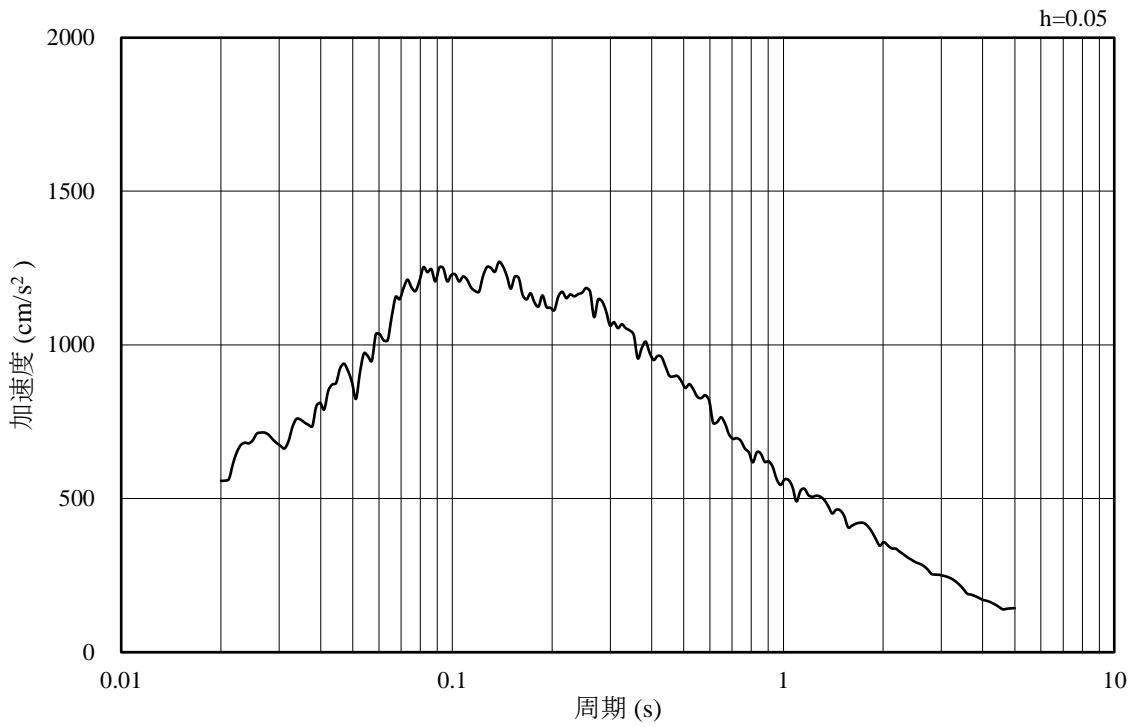


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

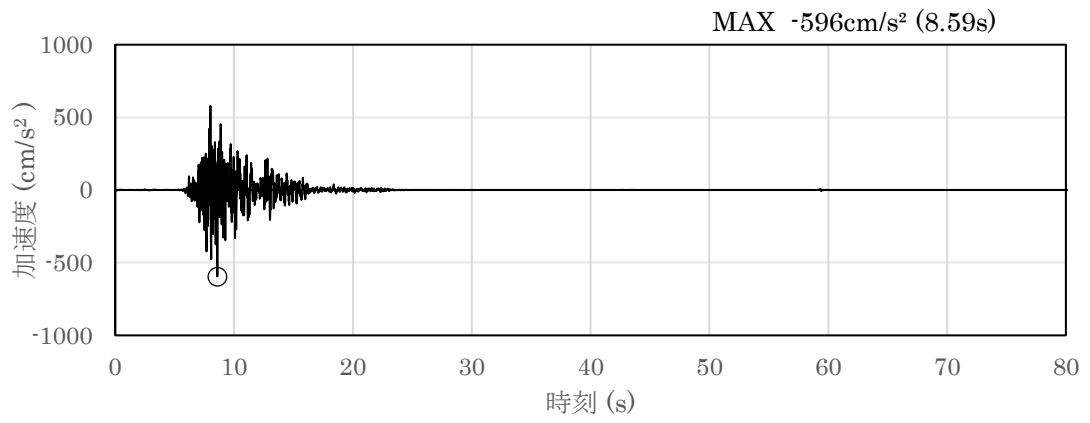


(a) 加速度時刻歴波形

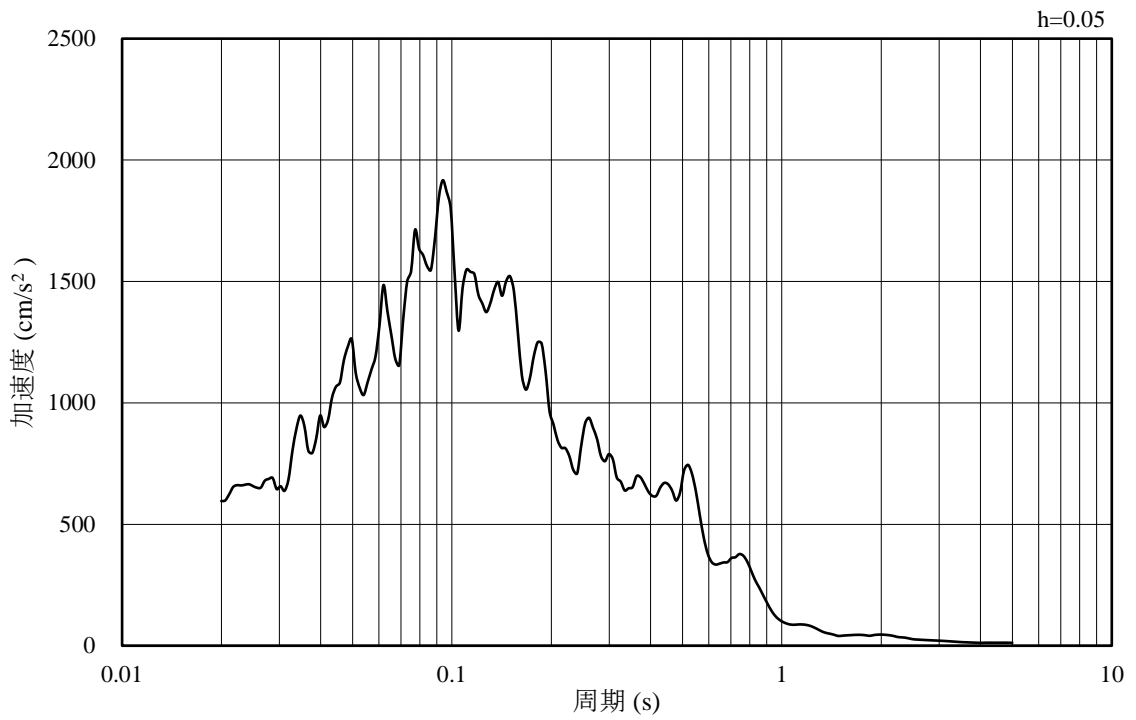


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

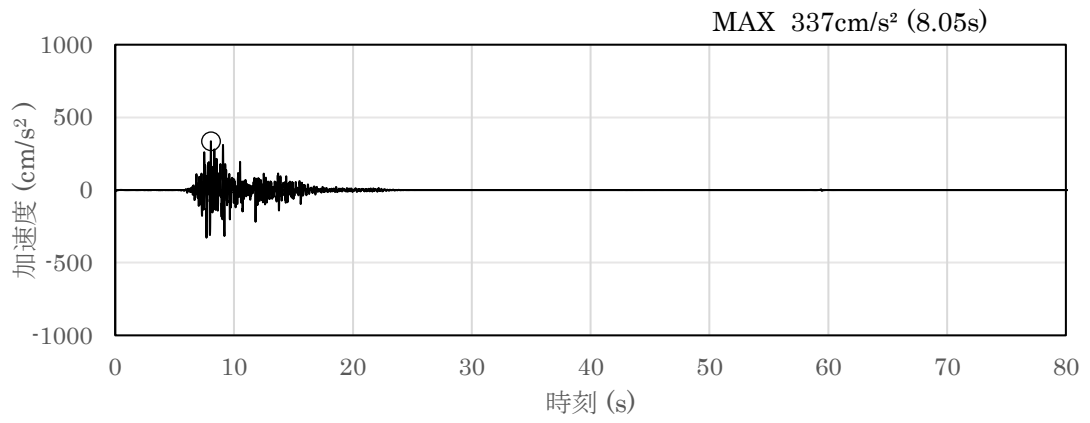


(a) 加速度時刻歴波形

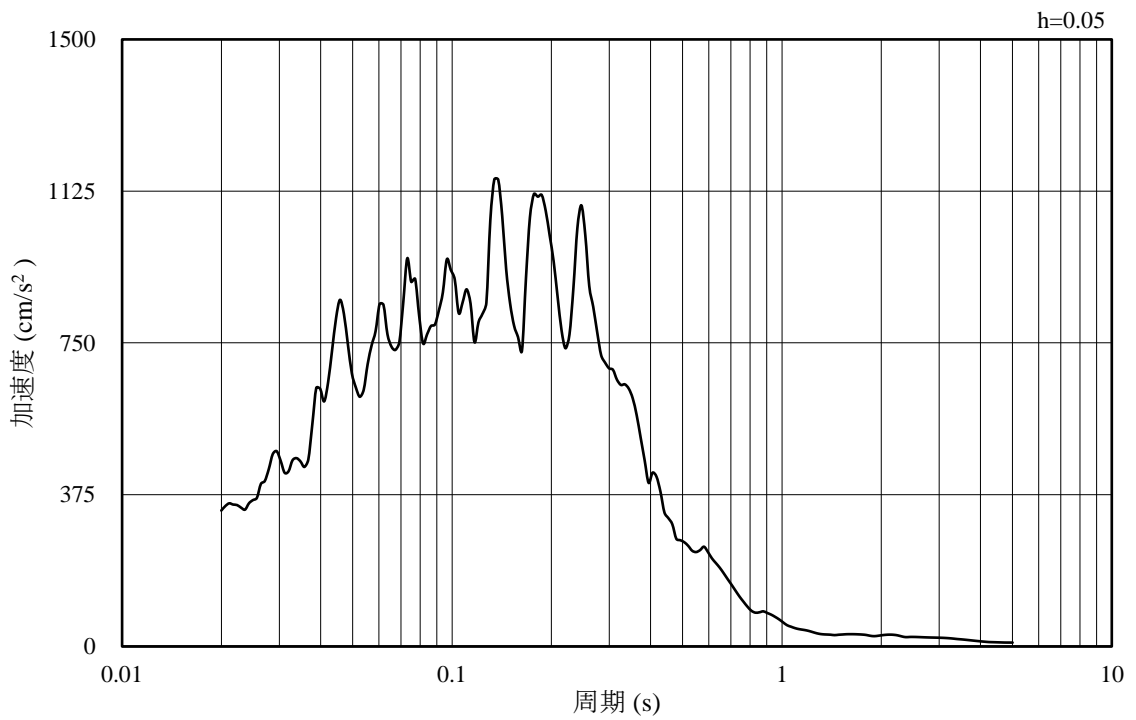


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

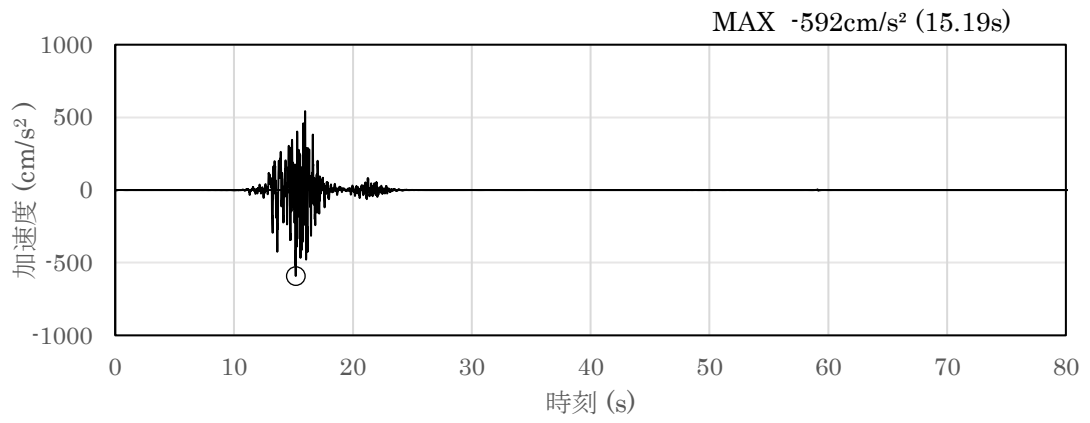


(a) 加速度時刻歴波形

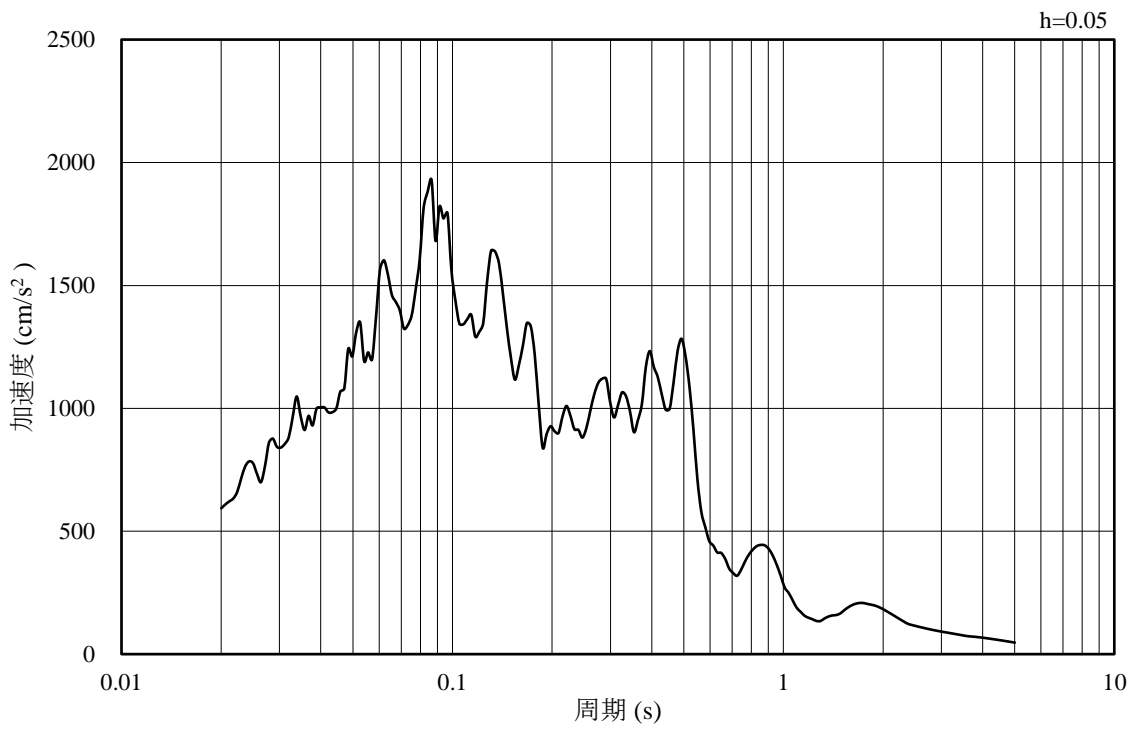


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

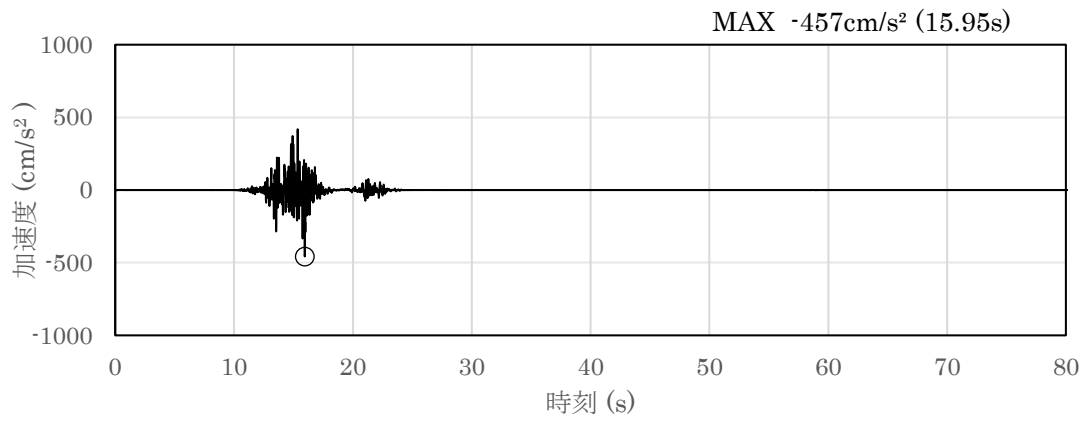


(a) 加速度時刻歴波形

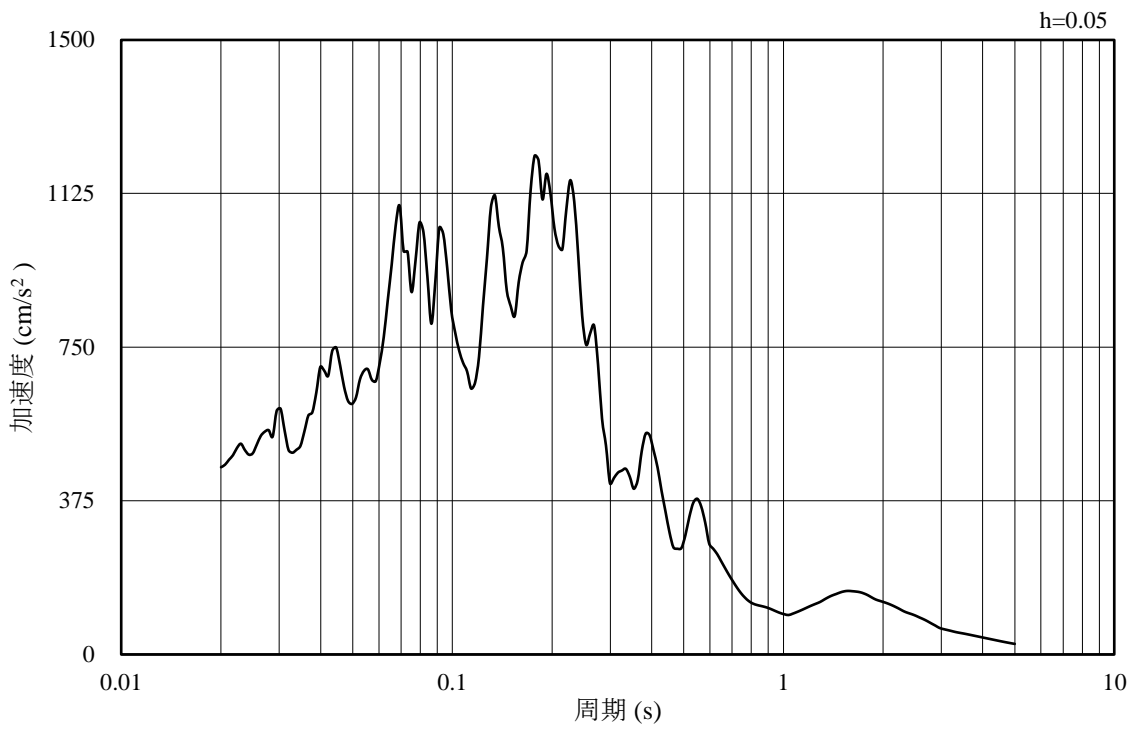


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

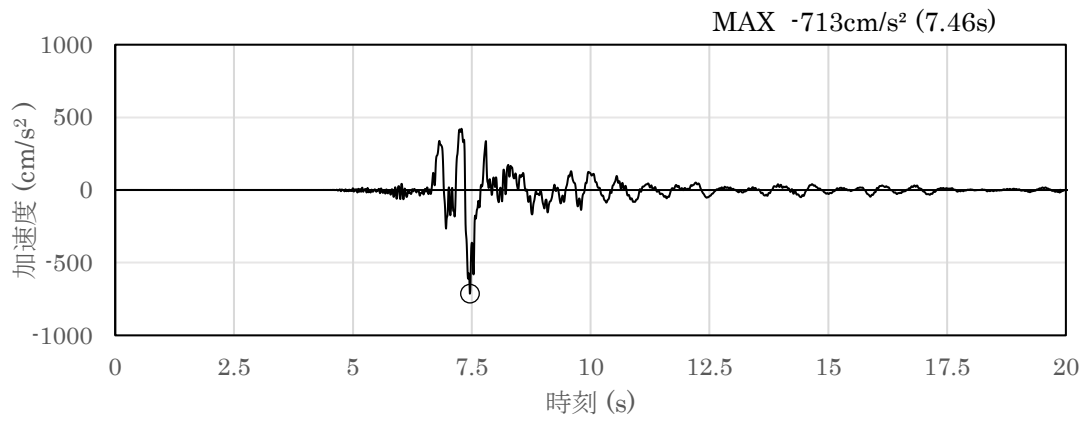


(a) 加速度時刻歴波形

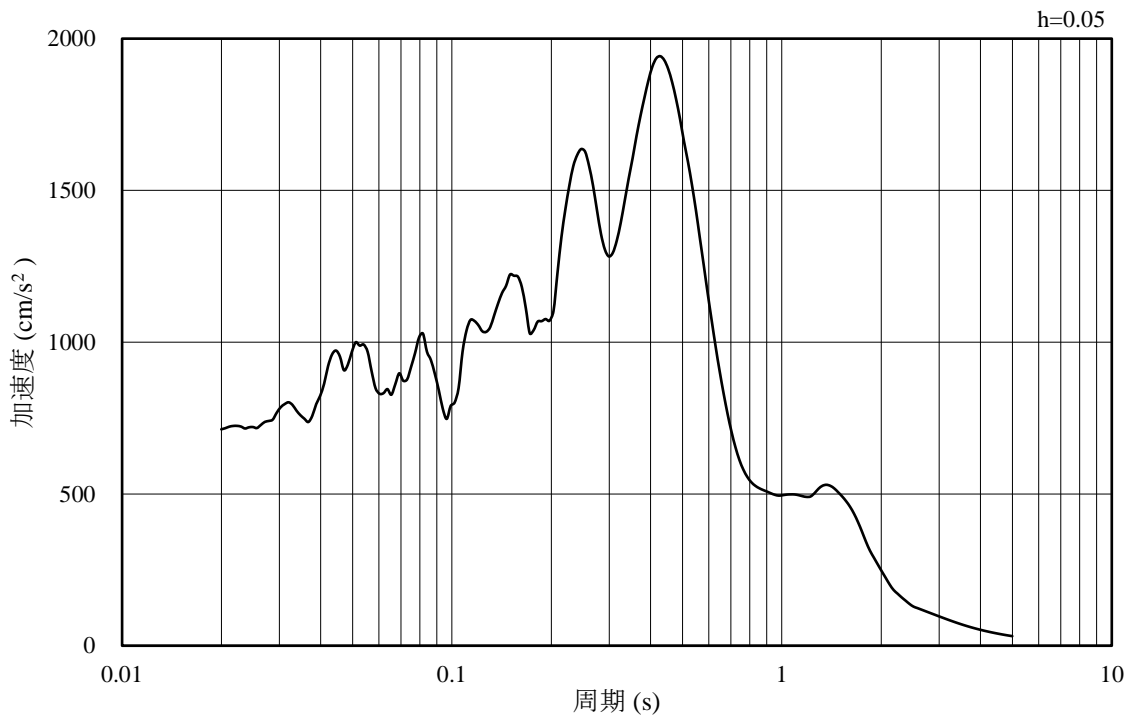


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

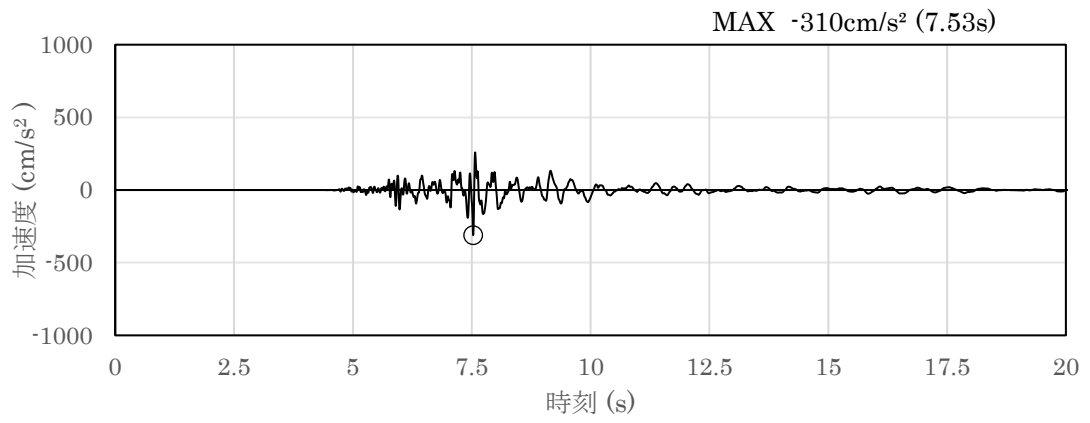


(a) 加速度時刻歴波形

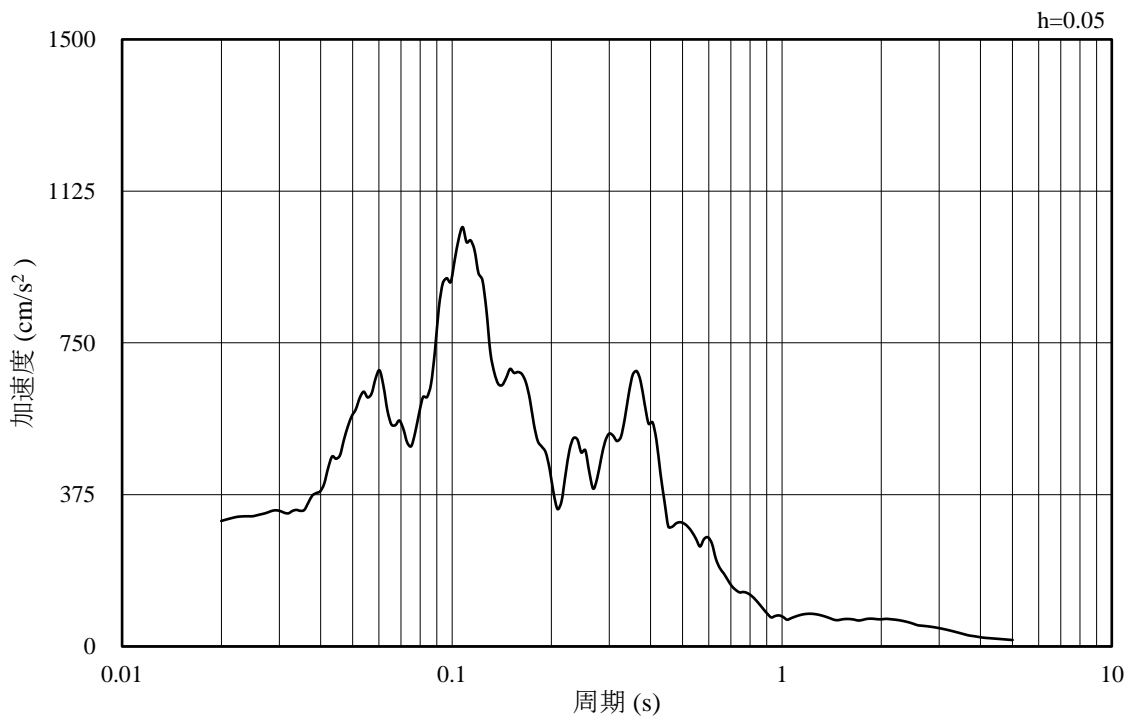


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

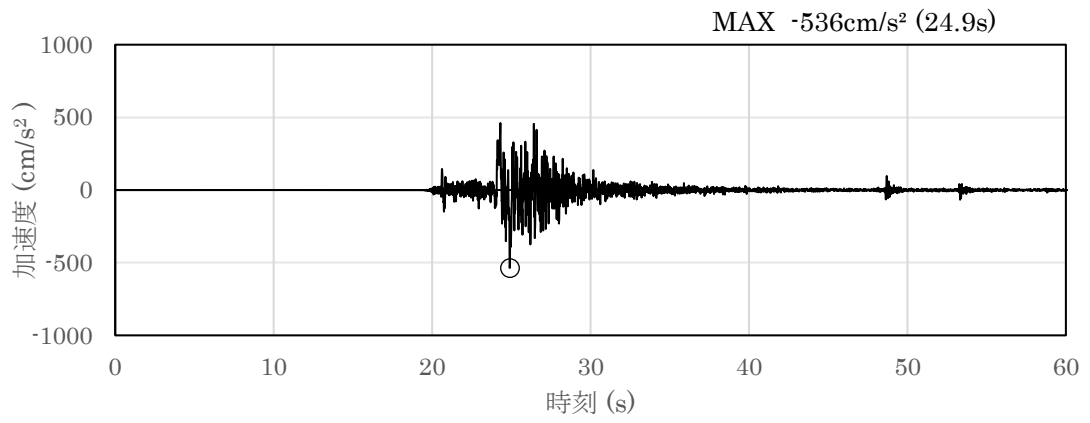


(a) 加速度時刻歴波形

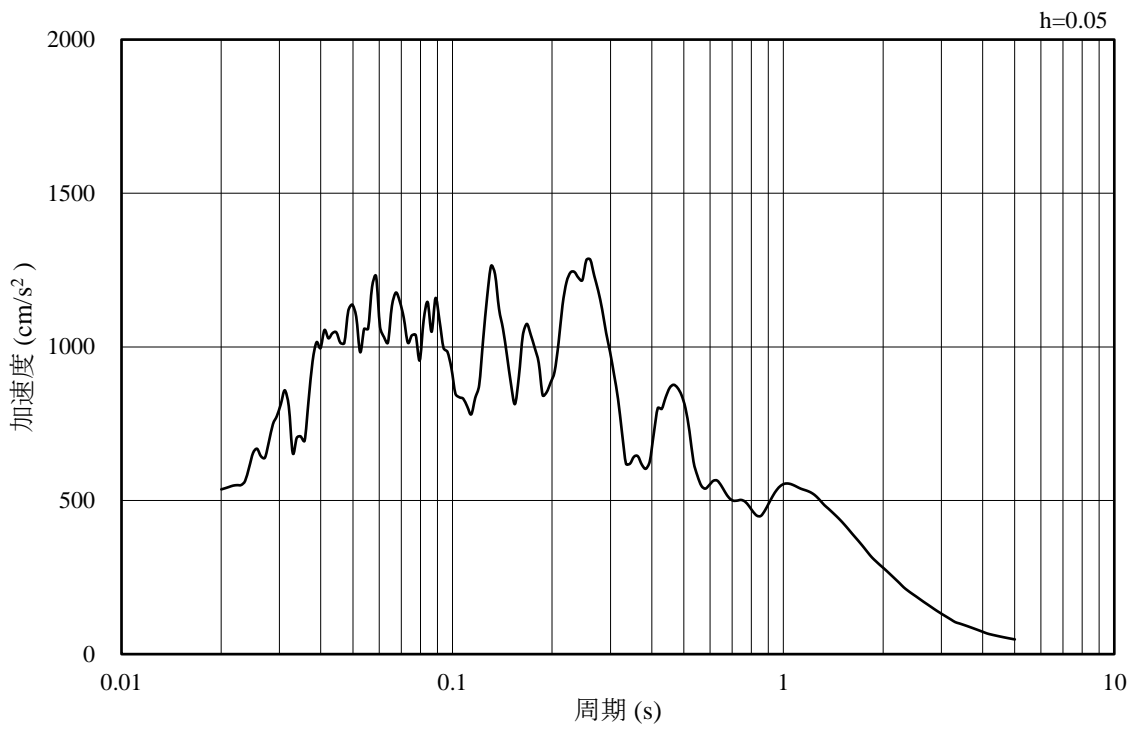


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

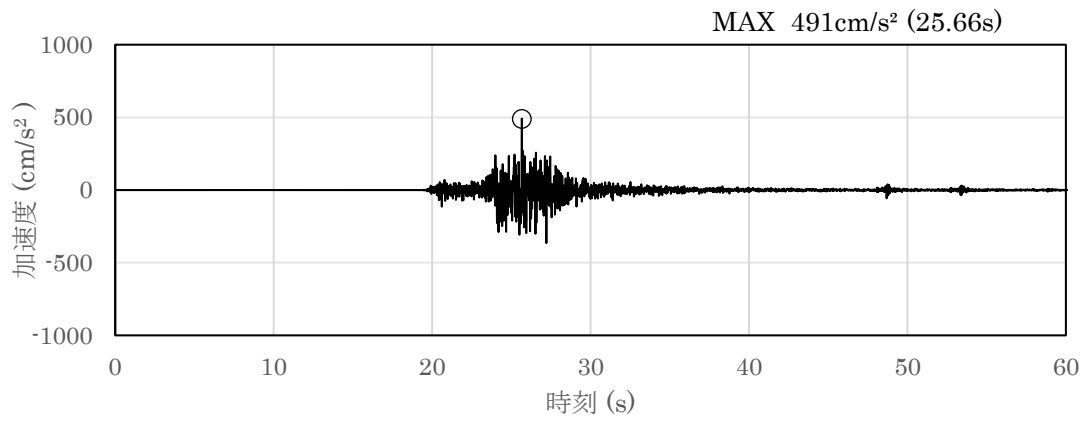


(a) 加速度時刻歴波形

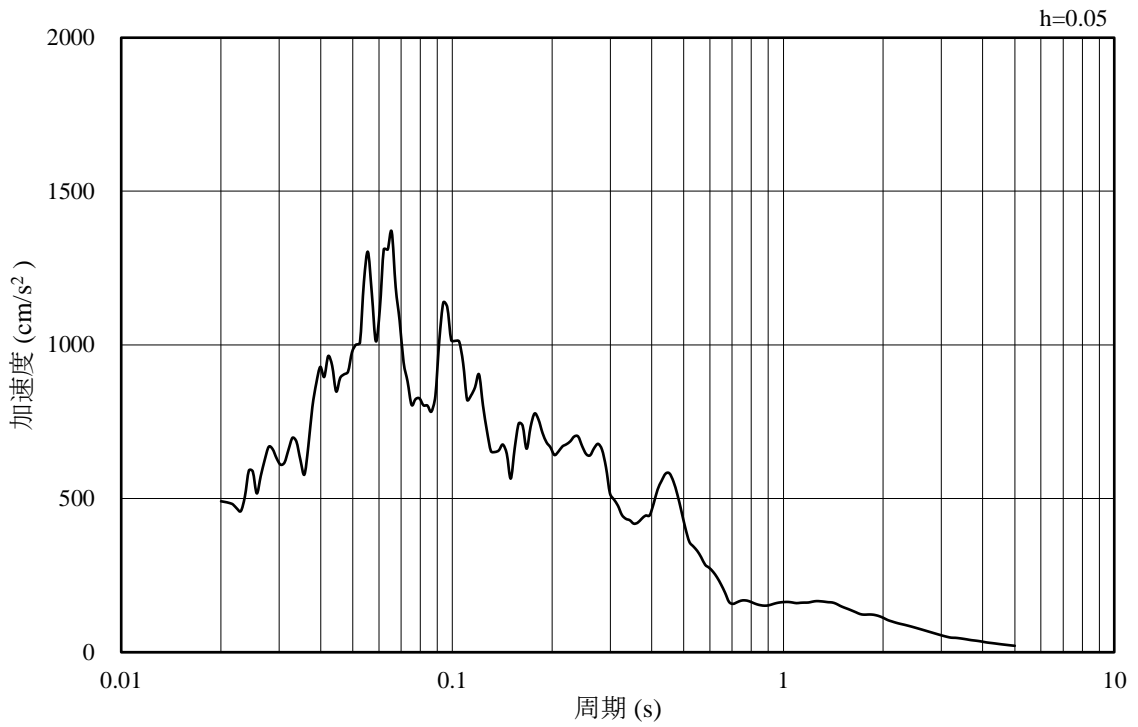


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

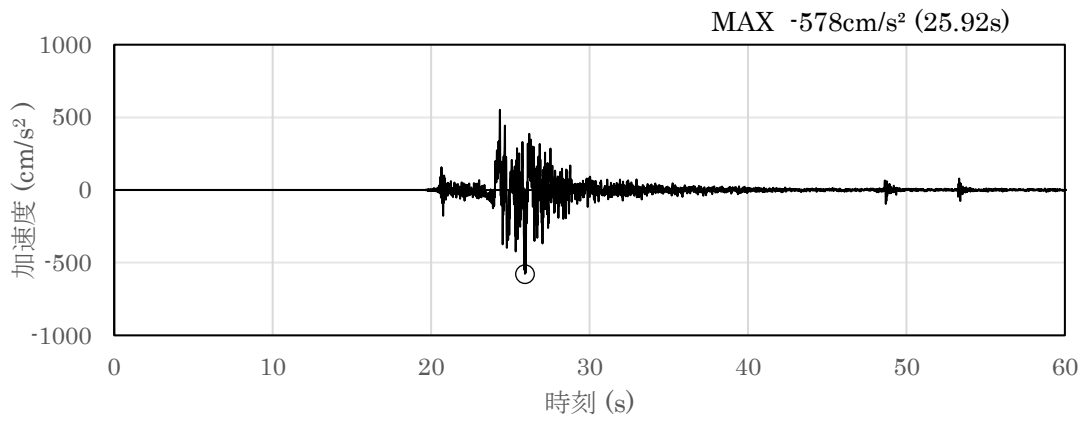


(a) 加速度時刻歴波形

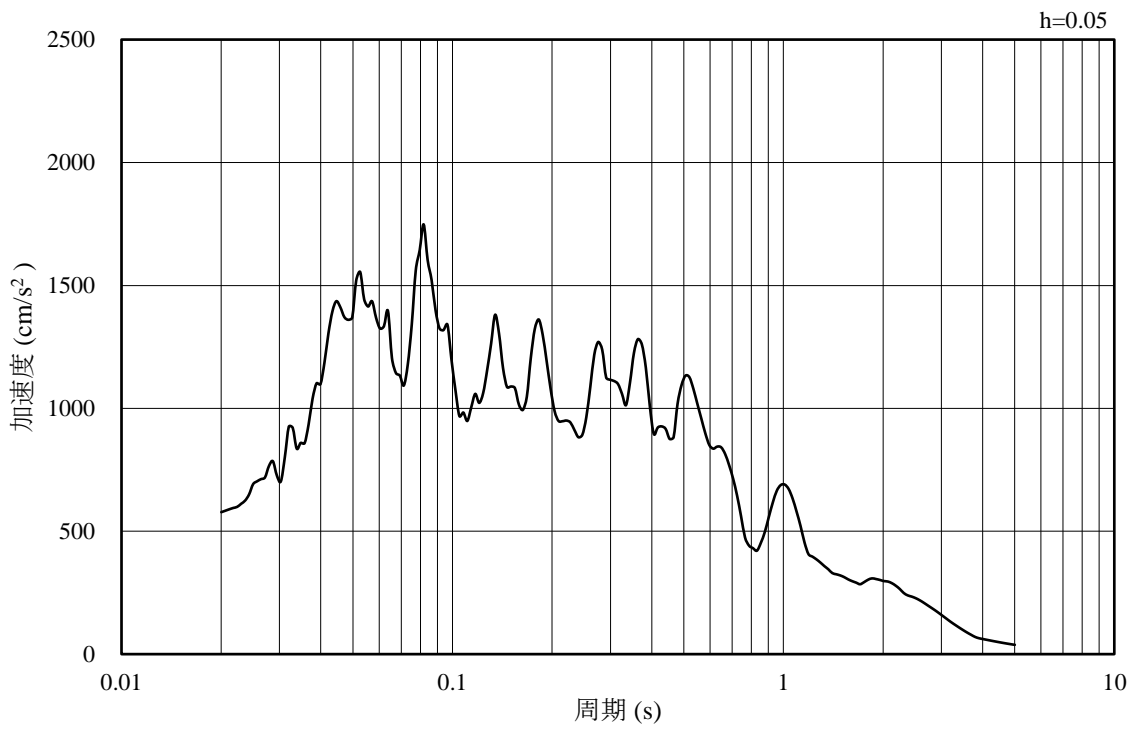


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

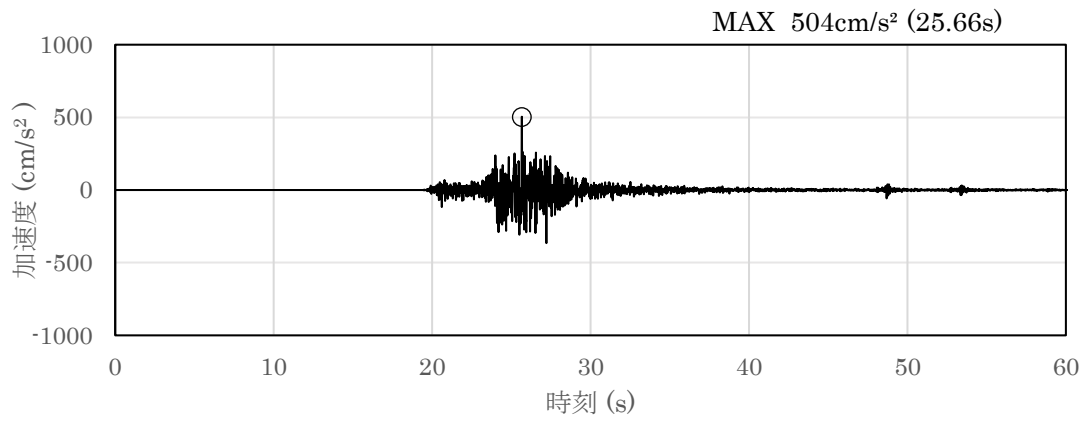


(a) 加速度時刻歴波形

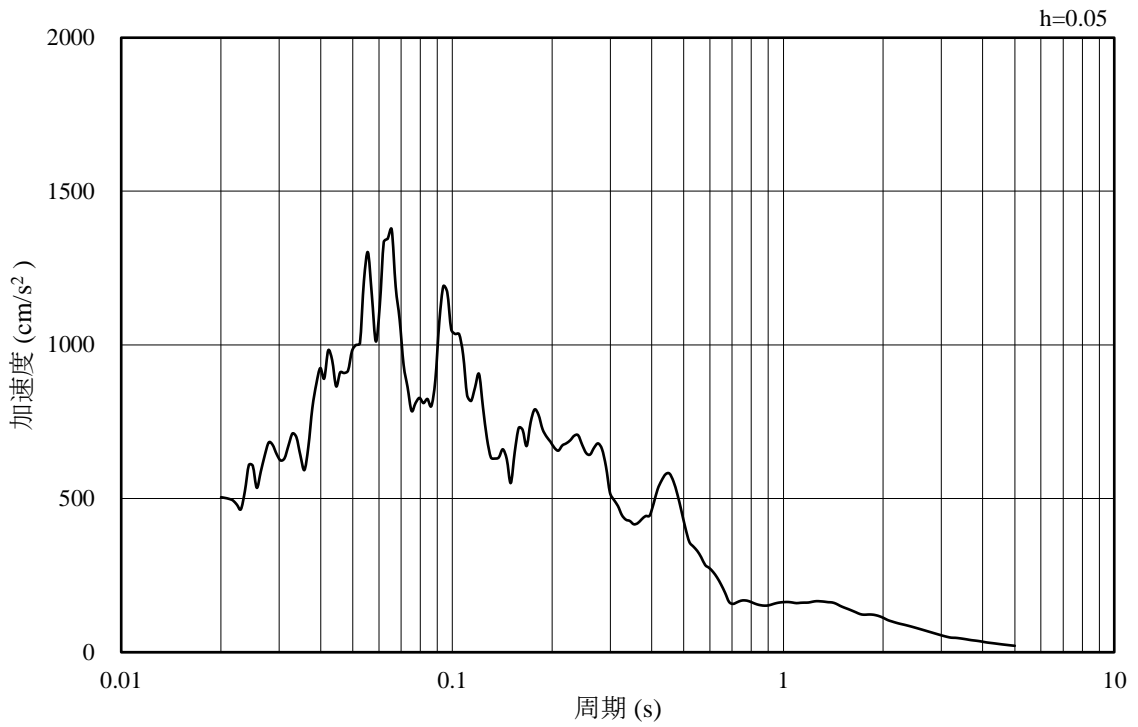


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))

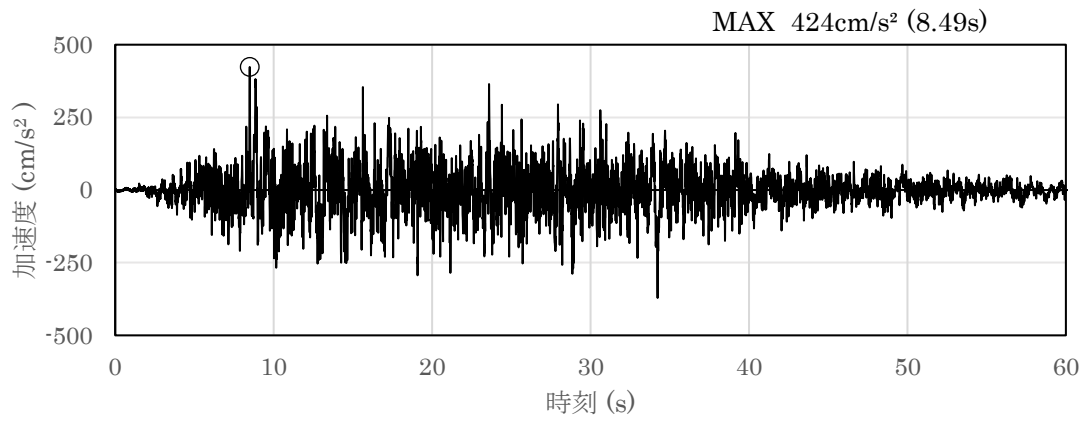


(a) 加速度時刻歴波形

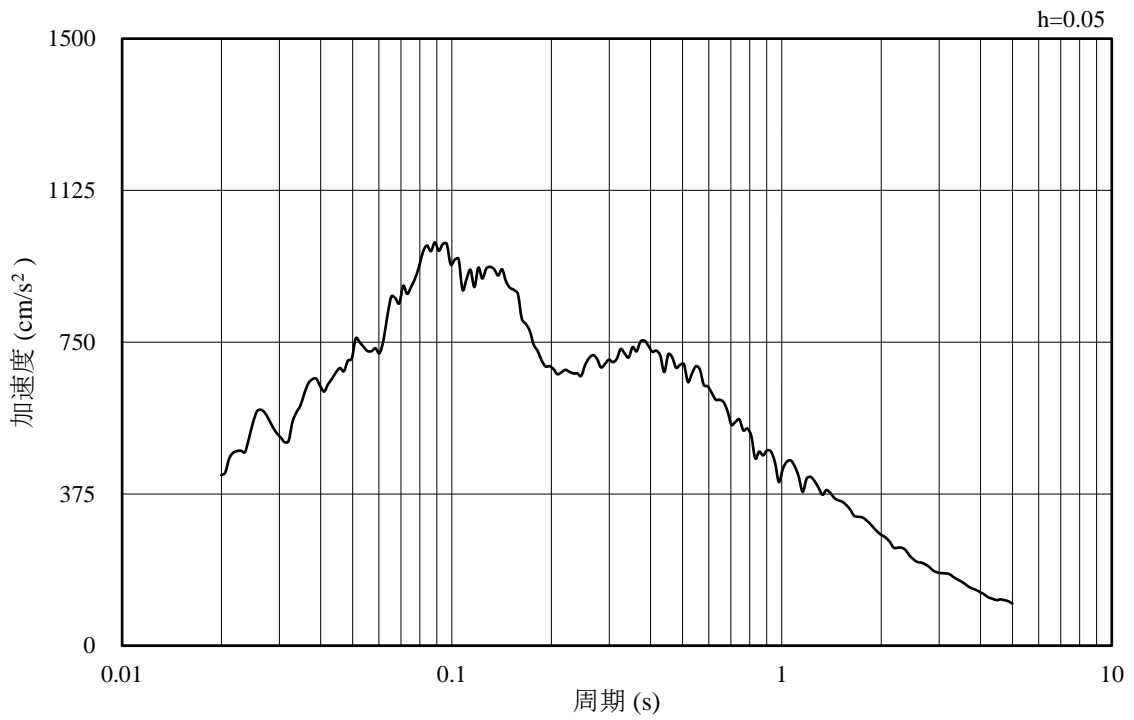


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

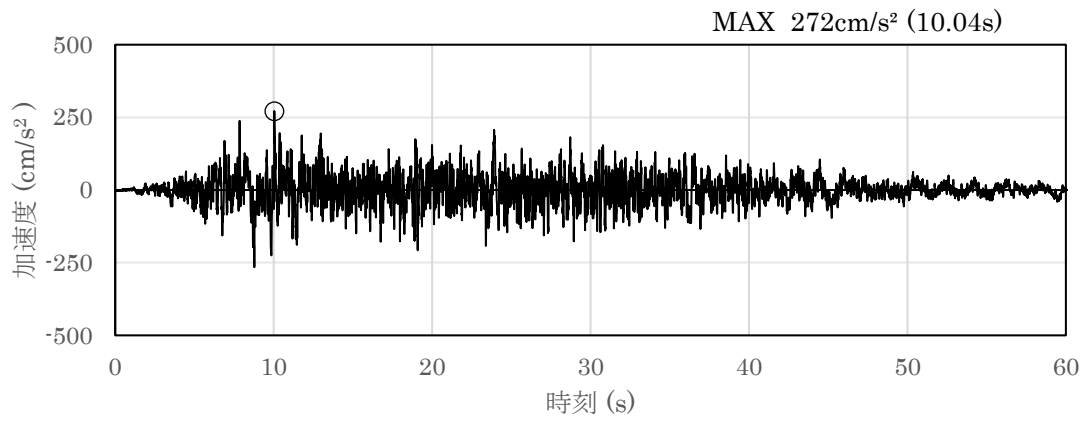


(a) 加速度時刻歴波形

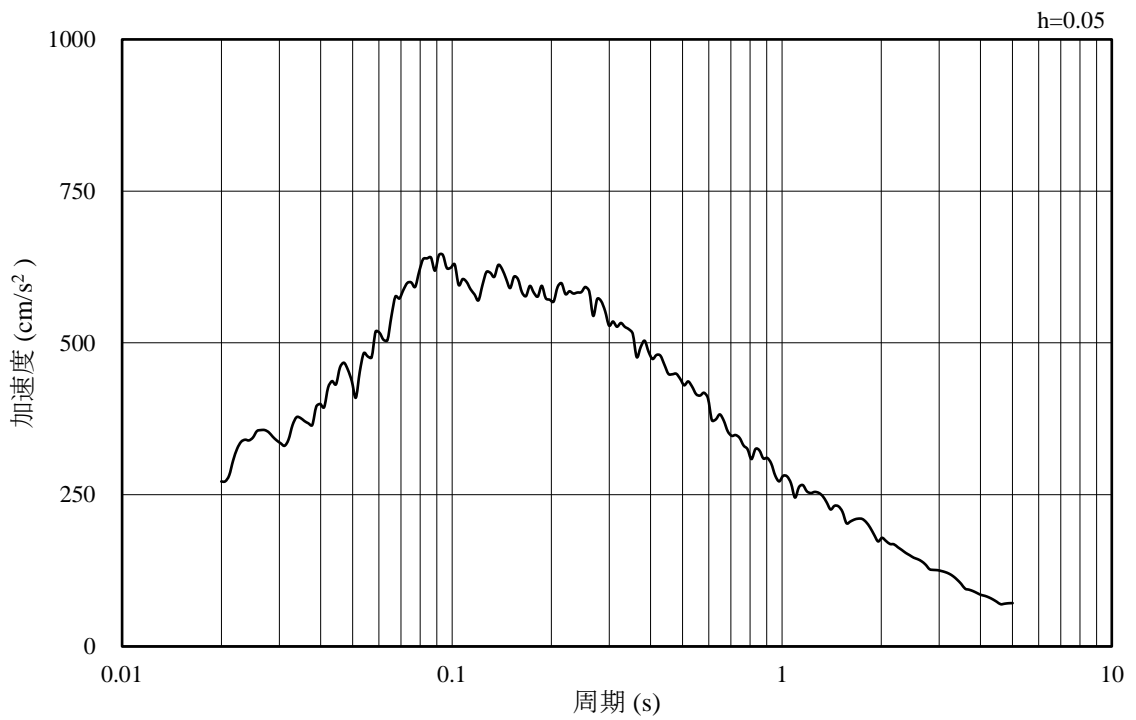


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S d - D)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S d - D)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

1号機取水槽の地震応答解析モデルを図3-22に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素、線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

南北断面の解析モデル範囲において隣接構造物となるタービン建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、線形はり要素でモデル化する。

(6) 埋戻コンクリートのモデル化

埋戻コンクリートは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」、「構造物とMMR」及び「地盤とMMR」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(8) 水位条件

1号機取水槽の内水位は、EL 0.58mとする。

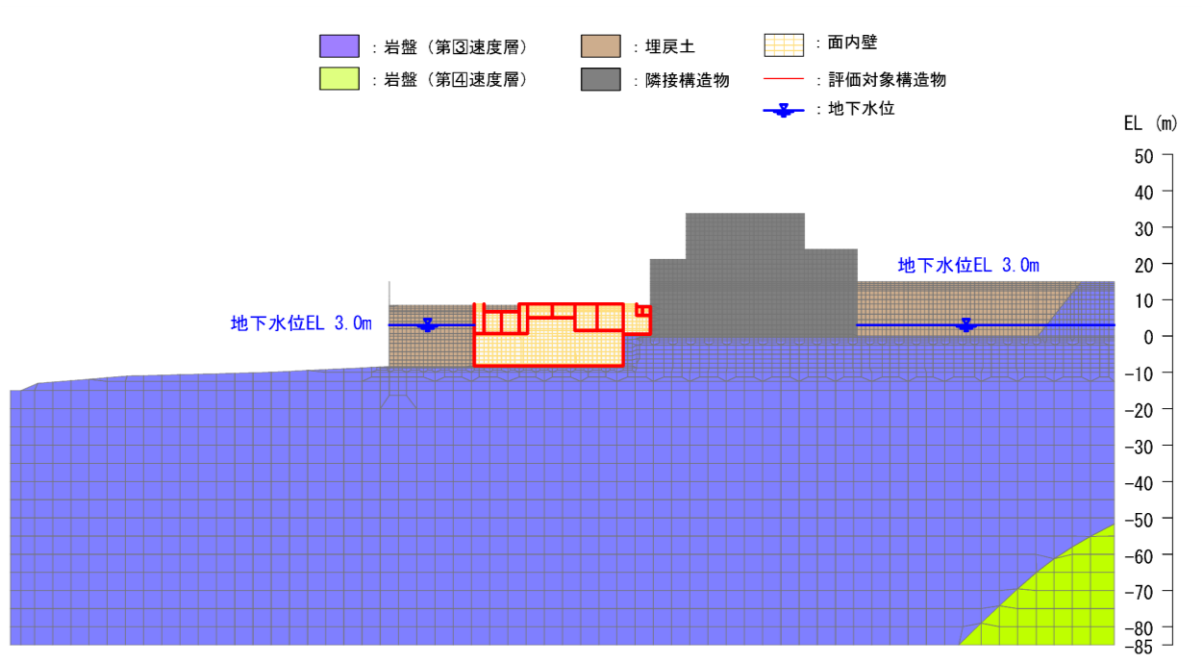


図 3-22 1号機取水槽 地震応答解析モデル図 (南北断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

| 材料 | | 仕様 |
|-----|--------|------------------------------|
| 構造物 | コンクリート | 設計基準強度 20.6N/mm ² |
| | 鉄筋 | SD345 |

表 3-7 材料の物性値

| 材料 | ヤング係数 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ポアソン比 |
|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 構造物 | 2.33×10 ⁴ | 24.0* | 0.2 |

注記*：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地地下水位は, VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。
設計地下水位の一覧を表 3-8 に示す。

表 3-8 設計用地下水位の一覧

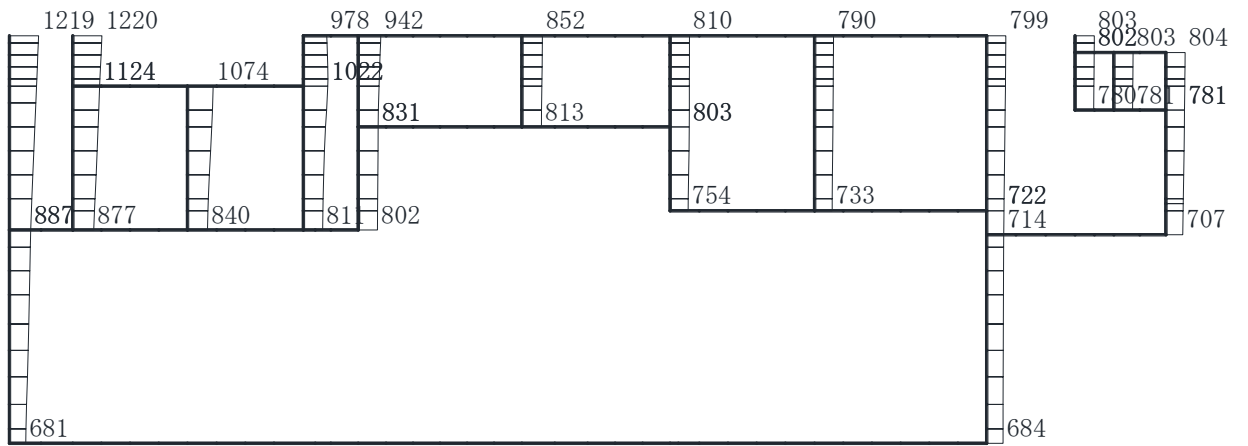
| 施設名称 | 解析断面 | 設計地下水位 (EL m) |
|--------|------|---------------|
| 1号機取水槽 | 南北断面 | 3.0 |

4. 解析結果

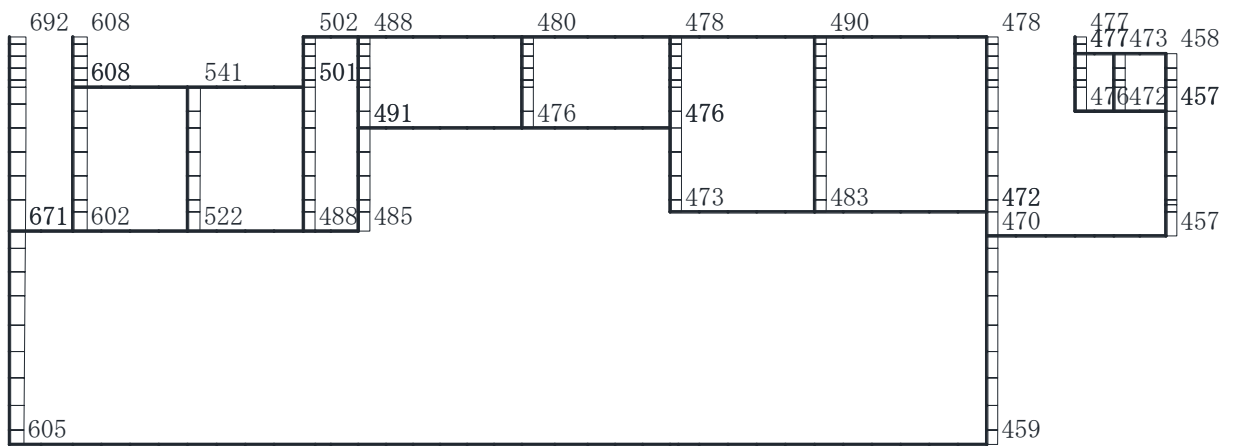
4.1 南北断面の解析結果

1号機取水槽流路縮小工に対する応答加速度，1号機取水槽北側壁及び1号機取水槽ピット部の耐震評価のために用いる応答加速度として，解析ケース①（基本ケース）について，すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図4-1～図4-12に示す。

また，重畳時の検討のための弾性設計用地震動 S_d-D に対する最大加速度分布図を図4-13に示す。



(a) S s - D (++) 水平

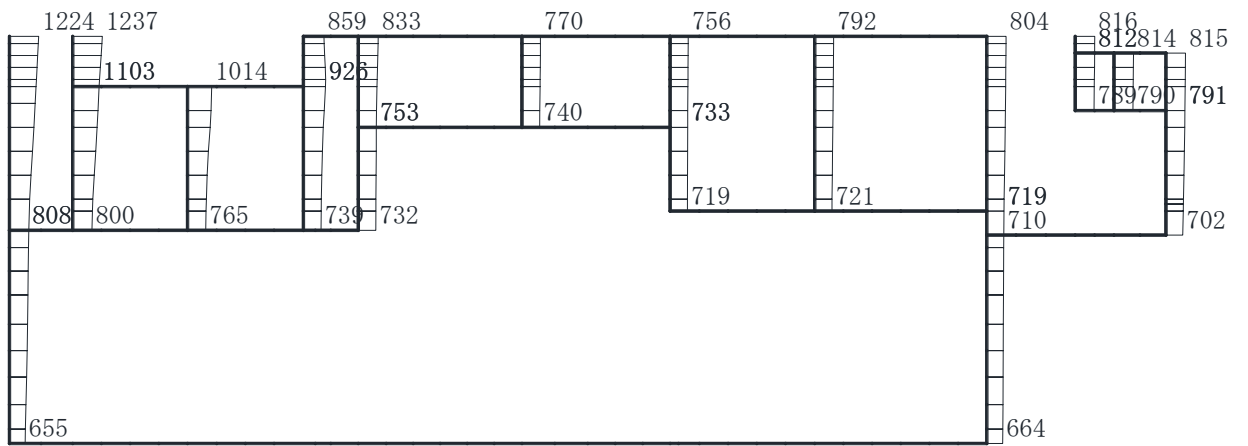


(b) S s - D (++) 鉛直

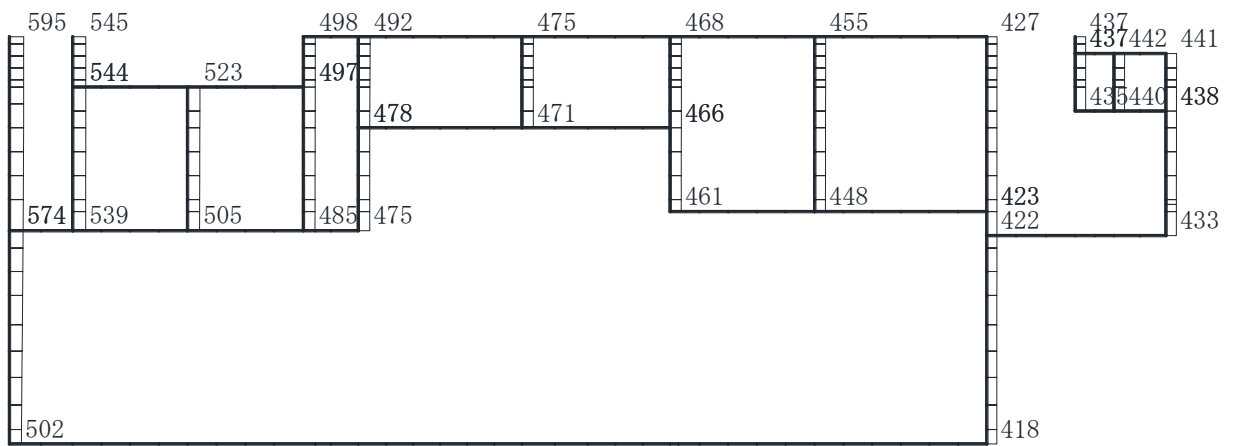
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500(cm/s²)

図 4-1 最大応答加速度分布図(1/13) (解析ケース①)



(a) S s - D (-+) 水平

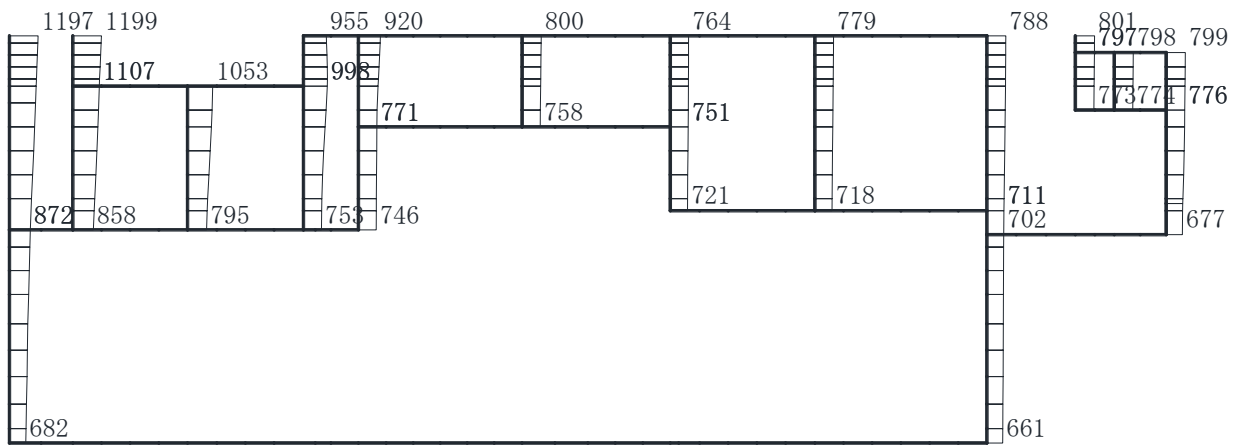


(b) S s - D (-+) 鉛直

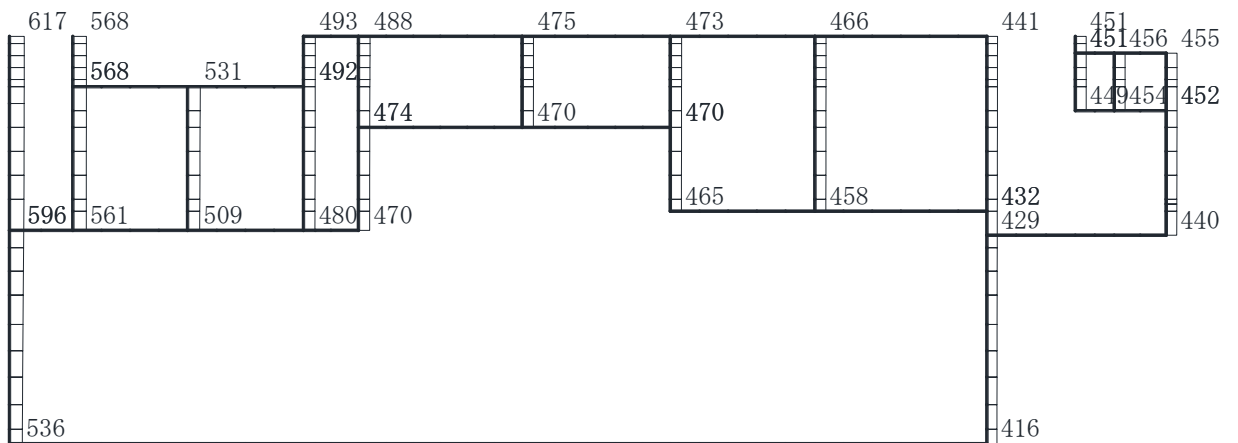
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/13) (解析ケース①)



(a) S s - D (+ -) 水平

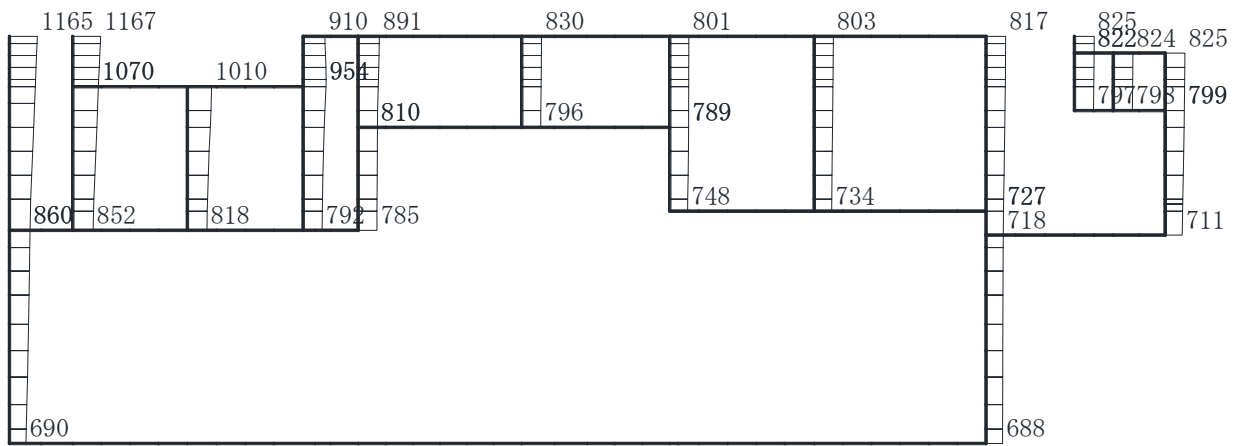


(b) S s - D (+ -) 鉛直

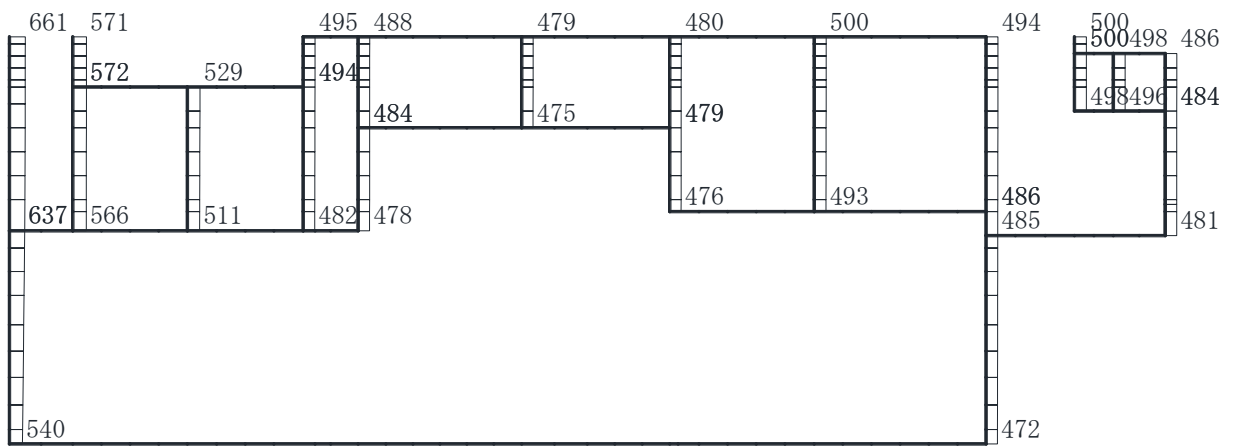
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500(cm/s²)

図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - D$ (—) 水平

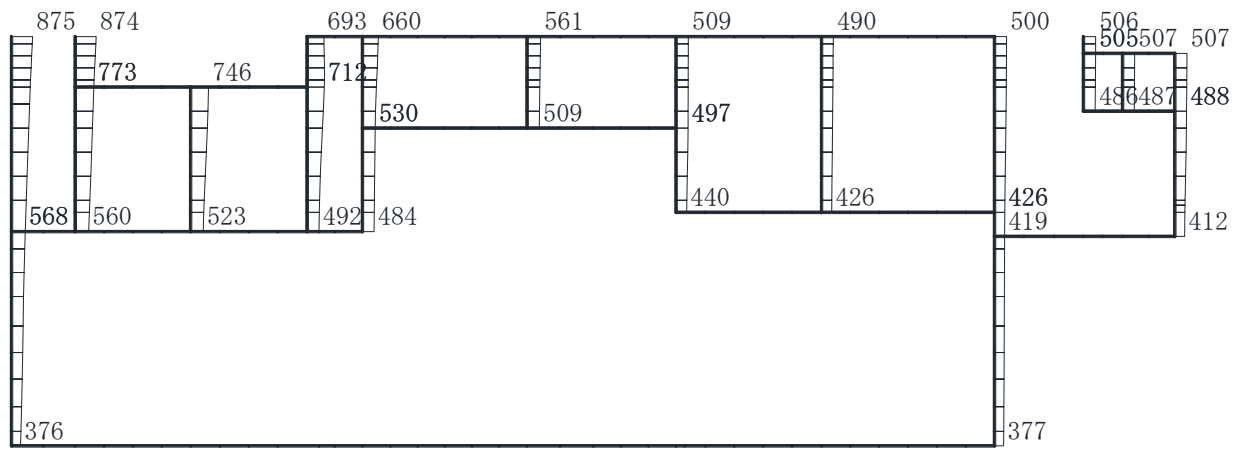


(b) $S_s - D$ (—) 鉛直

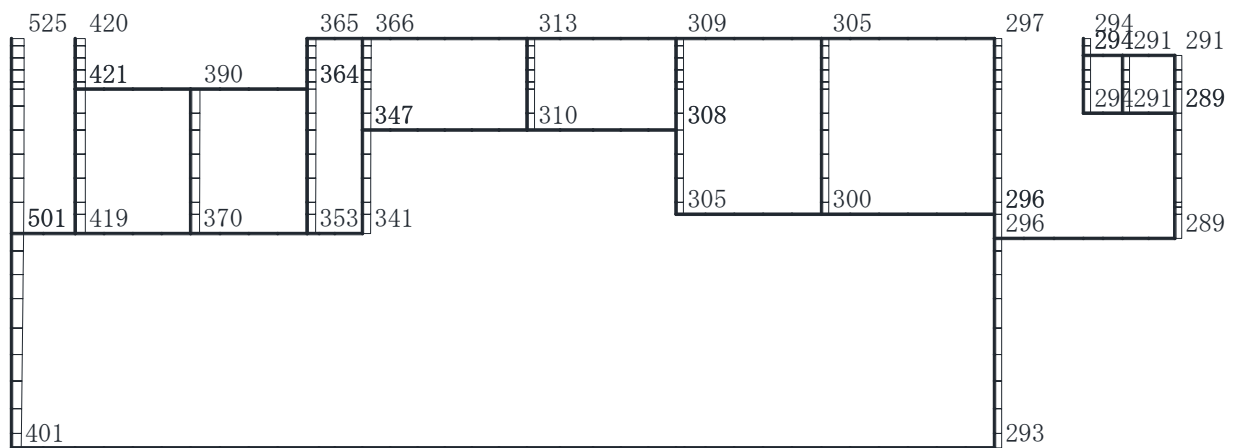
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-4 最大応答加速度分布図(4/13) (解析ケース①)



(a) S s - F 1 __ N S (++) 水平

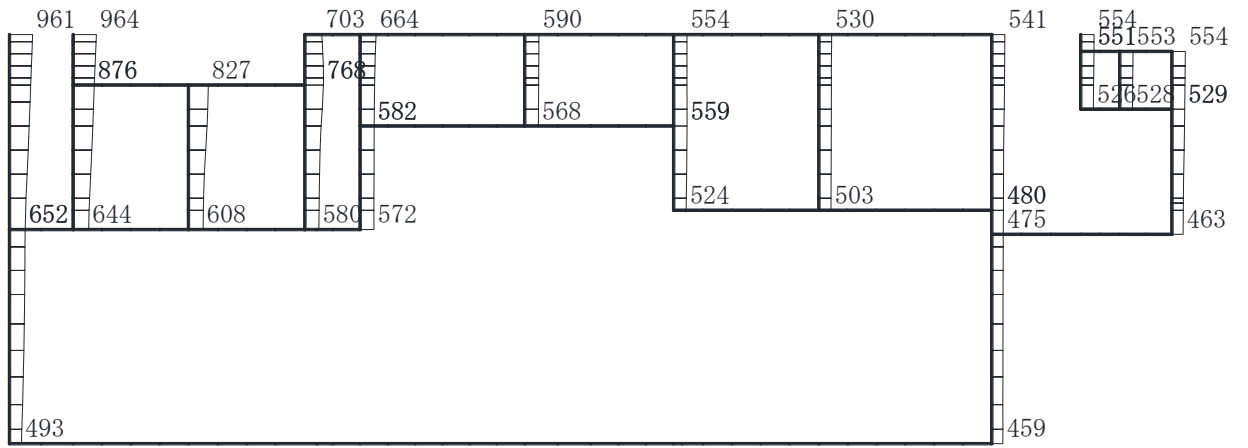


(b) S s - F 1 __ N S (++) 鉛直

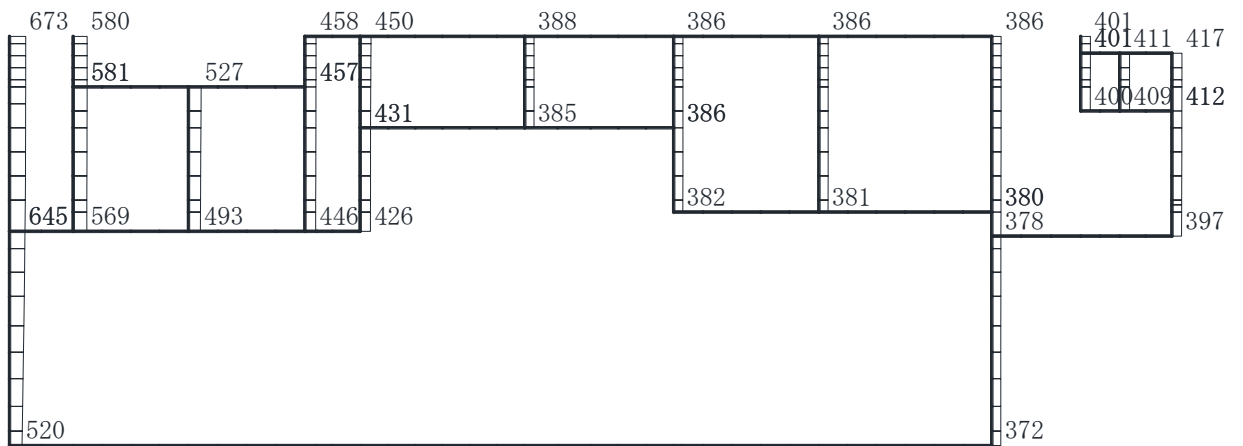
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-5 最大応答加速度分布図(5/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - F2_NS$ (++) 水平

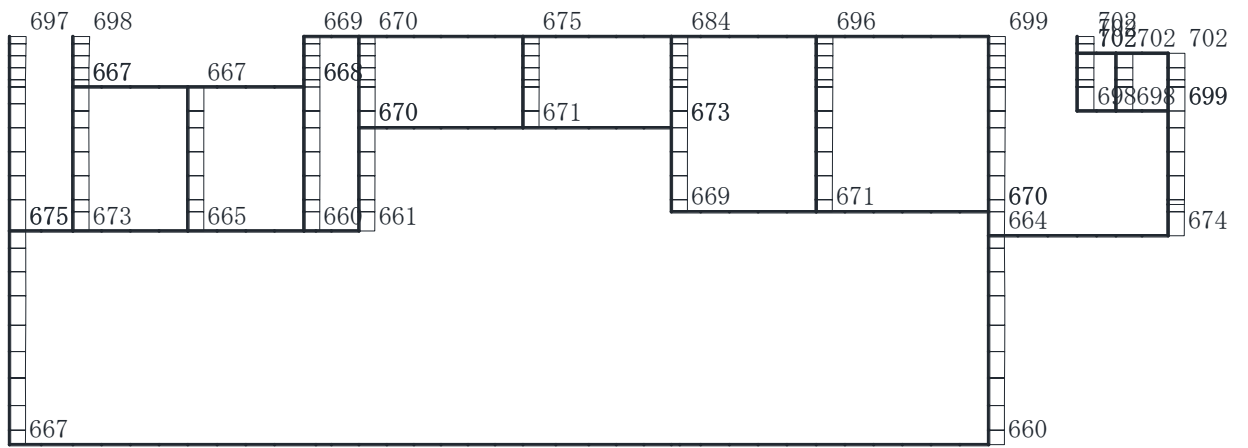


(b) $S_s - F2_NS$ (++) 鉛直

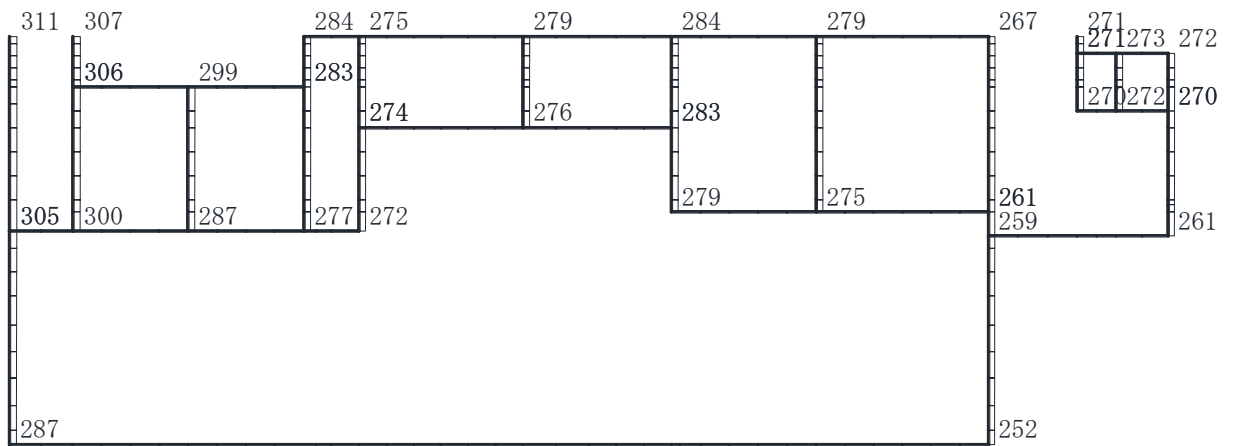
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500(cm/s²)

図 4-6 最大応答加速度分布図(6/13) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 (++) 水平

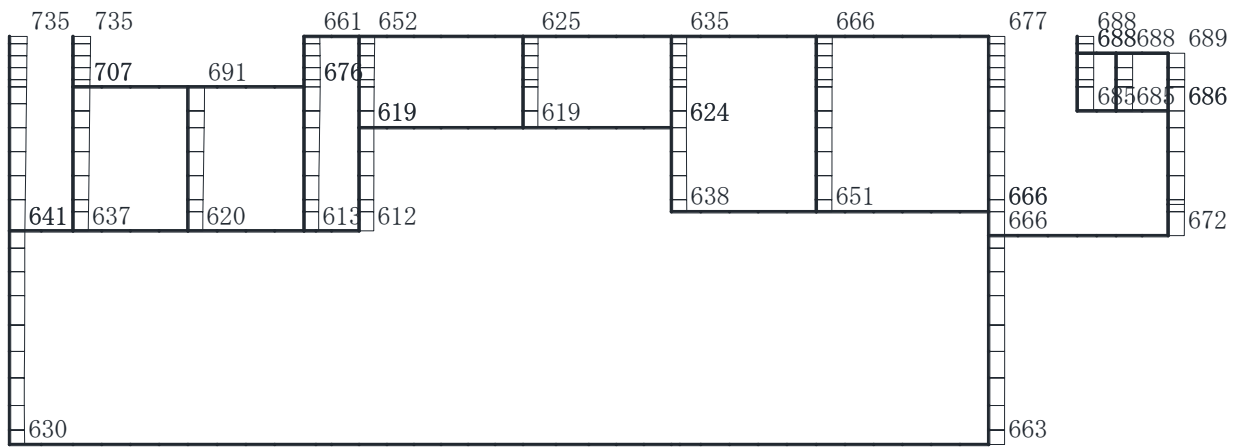


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

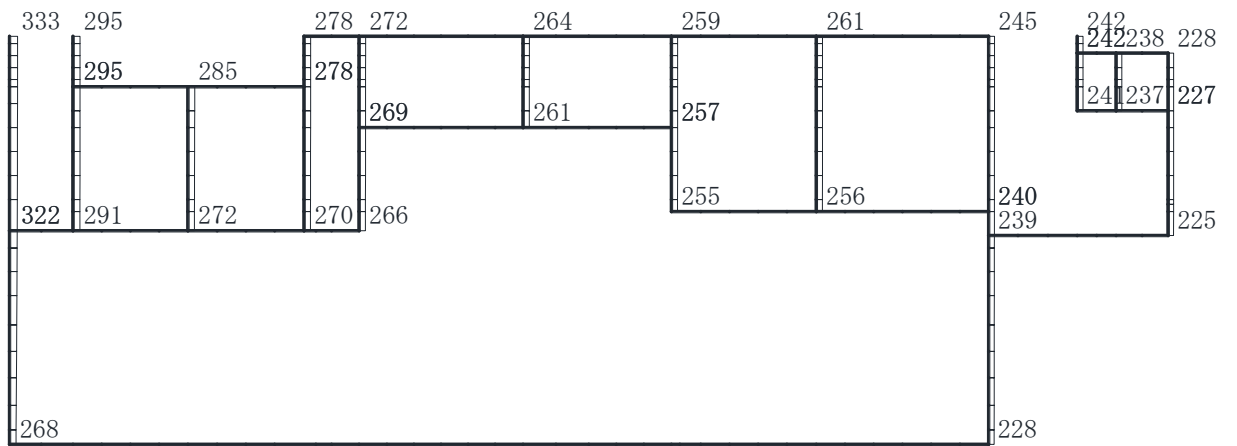
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-7 最大応答加速度分布図 (7/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - N1 (-+)$ 水平

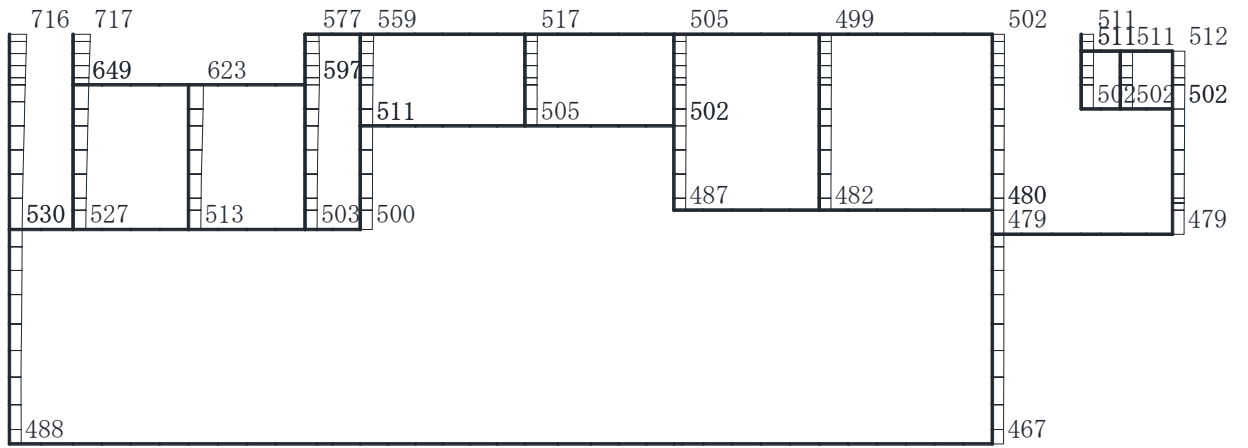


(b) $S_s - N1 (-+)$ 鉛直

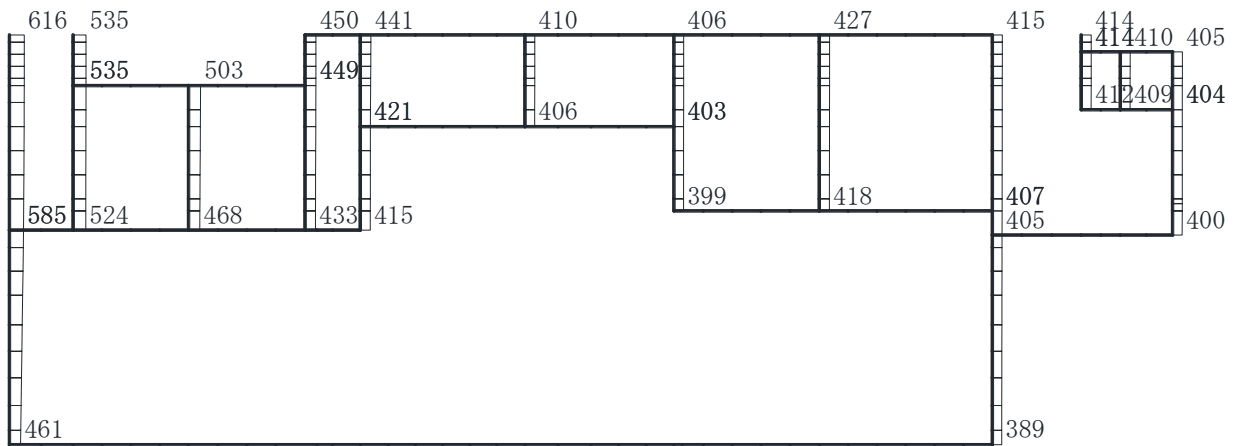
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-8 最大応答加速度分布図(8/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2_NS (+ +)$ 水平

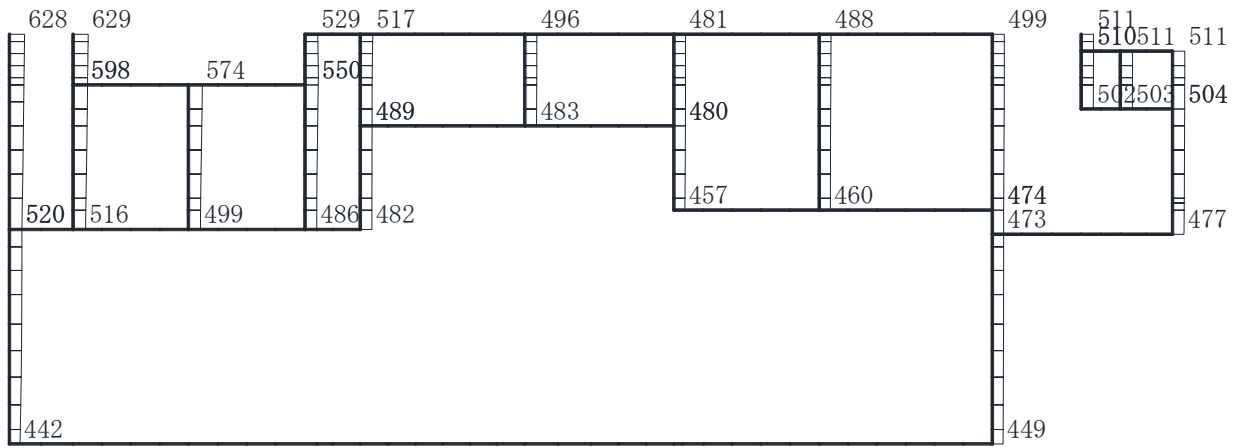


(b) $S_s - N2_NS (+ +)$ 鉛直

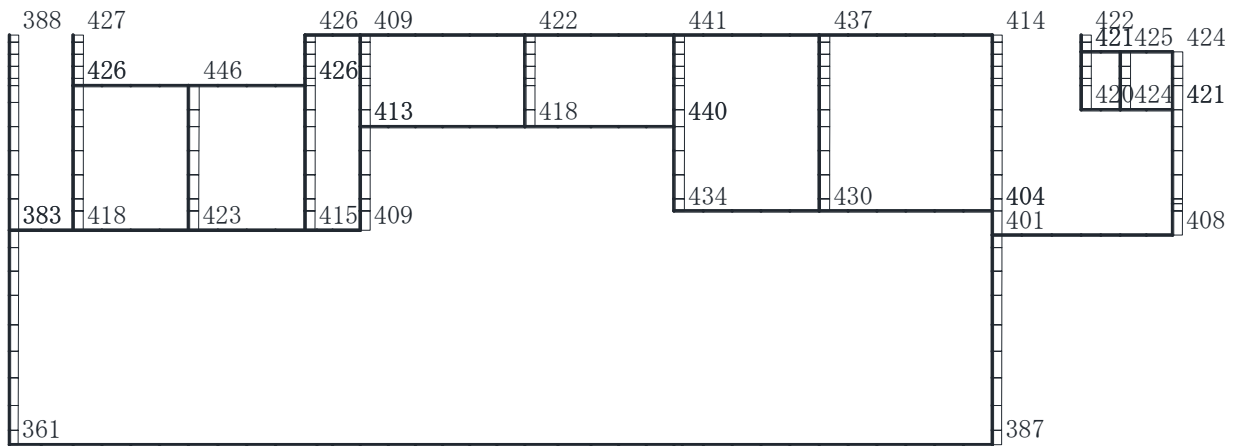
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-9 最大応答加速度分布図(9/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2_NS (-+)$ 水平

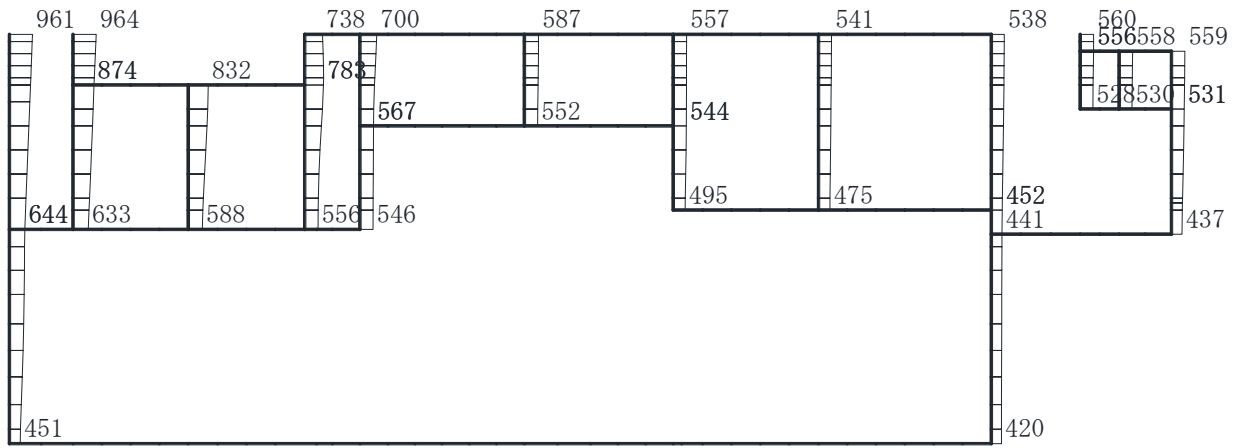


(b) $S_s - N2_NS (-+)$ 鉛直

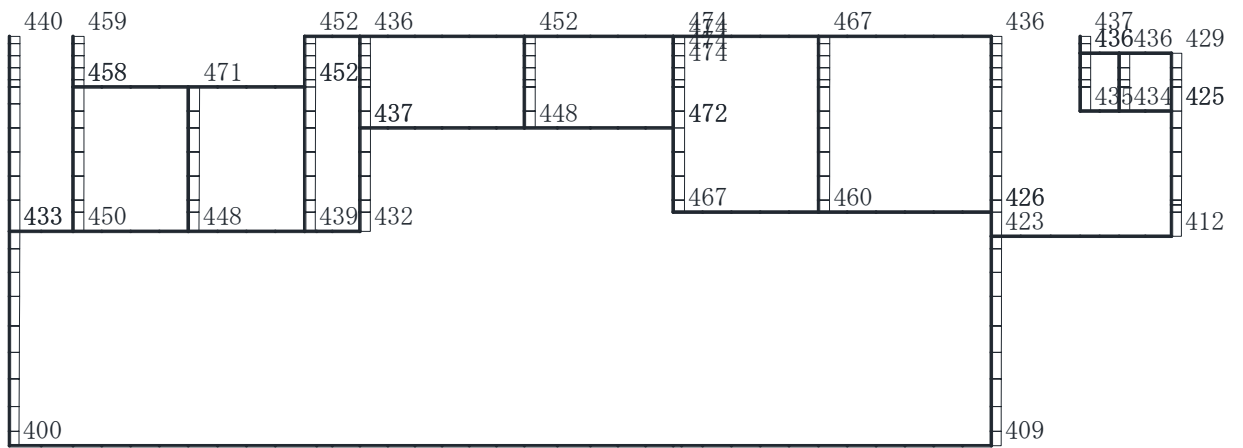
構造スケール $0 \quad 2(m)$

応答値スケール $0 \quad 1500(cm/s^2)$

図 4-10 最大応答加速度分布図(10/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2_EW (+ +)$ 水平

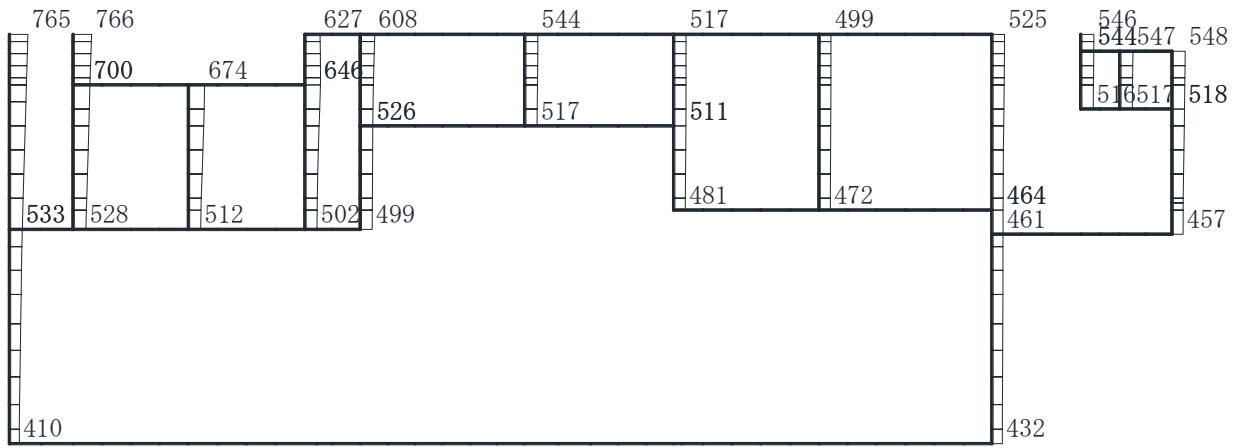


(b) $S_s - N2_EW (+ +)$ 鉛直

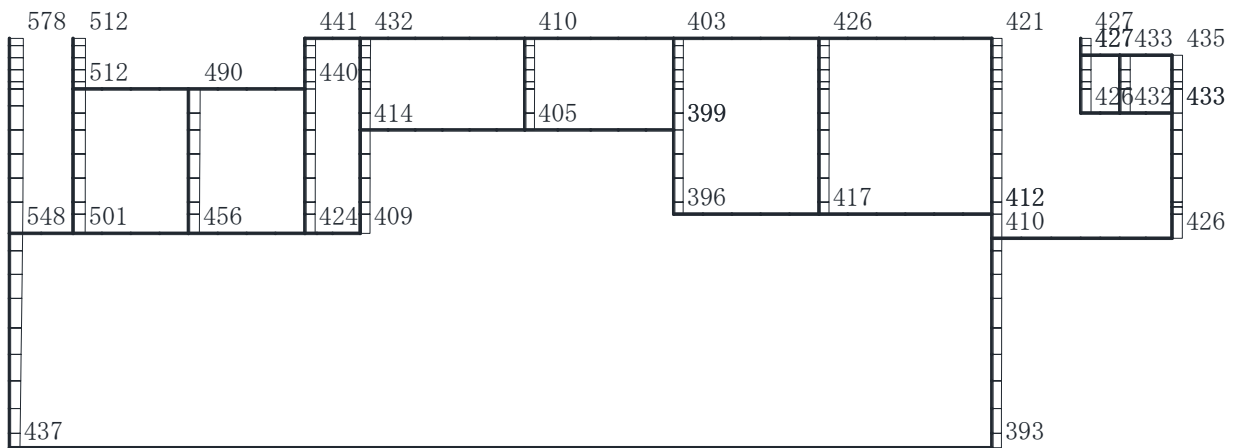
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-11 最大応答加速度分布図(11/13) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2_EW (-+)$ 水平

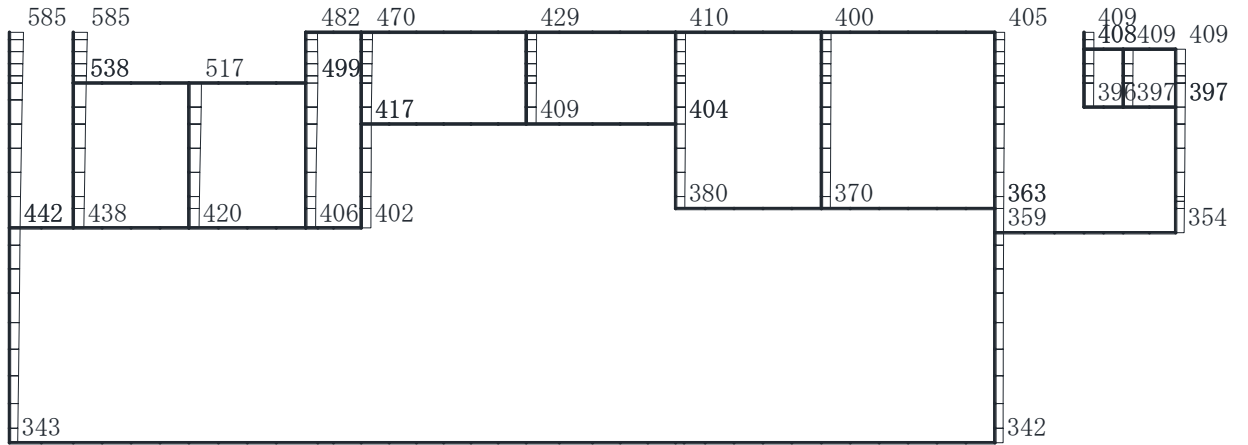


(b) $S_s - N2_EW (-+)$ 鉛直

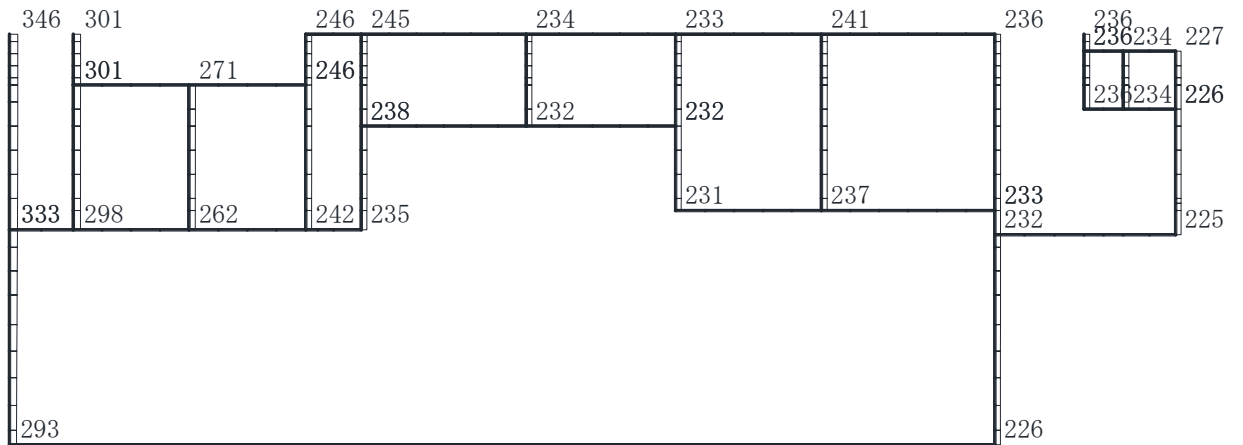
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-12 最大応答加速度分布図(12/13) (解析ケース①)



(a) S d - D (++) 水平



(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 4-13 最大応答加速度分布図 (13/13) (解析ケース①)

VI-2-10-2-6 1号機取水槽流路縮小工の
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 | 4 |
| 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 |
| 3. | 評価対象部位 | 10 |
| 4. | 固有値解析 | 11 |
| 4.1 | 固有振動数の計算方法 | 11 |
| 4.1.1 | 解析モデルの設定 | 11 |
| 4.1.2 | 固有振動数の算出方法 | 11 |
| 4.2 | 固有振動数の計算条件 | 11 |
| 4.3 | 固有振動数の計算結果 | 11 |
| 5. | 流路縮小工の耐震評価 | 12 |
| 5.1 | 耐震評価方法 | 12 |
| 5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 12 |
| 5.2.1 | 荷重の組合せ | 12 |
| 5.2.2 | 荷重の設定 | 12 |
| 5.3 | 許容限界 | 13 |
| 5.3.1 | 使用材料 | 13 |
| 5.3.2 | 許容限界 | 13 |
| 5.4 | 設計用地震力 | 14 |
| 5.5 | 評価方法 | 15 |
| 5.5.1 | 流路縮小工 | 15 |
| 5.6 | 評価条件 | 23 |
| 6. | 流路縮小工の評価結果 | 25 |
| 6.1 | 流路縮小工の評価結果 | 25 |
| 7. | 1号機取水槽北側壁の耐震評価 | 26 |
| 7.1 | 構造及び補強の概要 | 26 |
| 7.2 | 評価方針 | 29 |
| 7.3 | 評価対象断面 | 32 |
| 7.4 | 使用材料及び材料の物性値 | 34 |
| 7.5 | 許容限界 | 35 |

| | | |
|-------|-------------------|----|
| 7.5.1 | 構造部材の健全性に対する許容限界 | 35 |
| 7.5.2 | 基礎地盤の支持性能に対する許容限界 | 38 |
| 7.6 | 評価方法 | 39 |
| 7.6.1 | 構造部材の健全性評価 | 39 |
| 7.6.2 | 基礎地盤の支持性能評価 | 41 |
| 8. | 耐震評価結果 | 42 |
| 8.1 | 構造部材の健全性に対する評価結果 | 42 |
| 8.2 | 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 44 |

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、津波防護施設のうち1号機取水槽流路縮小工（以下、「流路縮小工」という。）及びその間接支持構造物である1号機取水槽北側壁（以下、「取水槽北側壁」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造強度を有することを確認するものである。

流路縮小工及び取水槽北側壁に要求される機能維持の確認は、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価により行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

流路縮小工は、1号機取水槽と1号機取水管の境界部に設置し、取水槽北側壁に間接支持される構造とする。

流路縮小工の設置位置図を図2-1に、1号機取水槽の構造図を図2-2に示す。

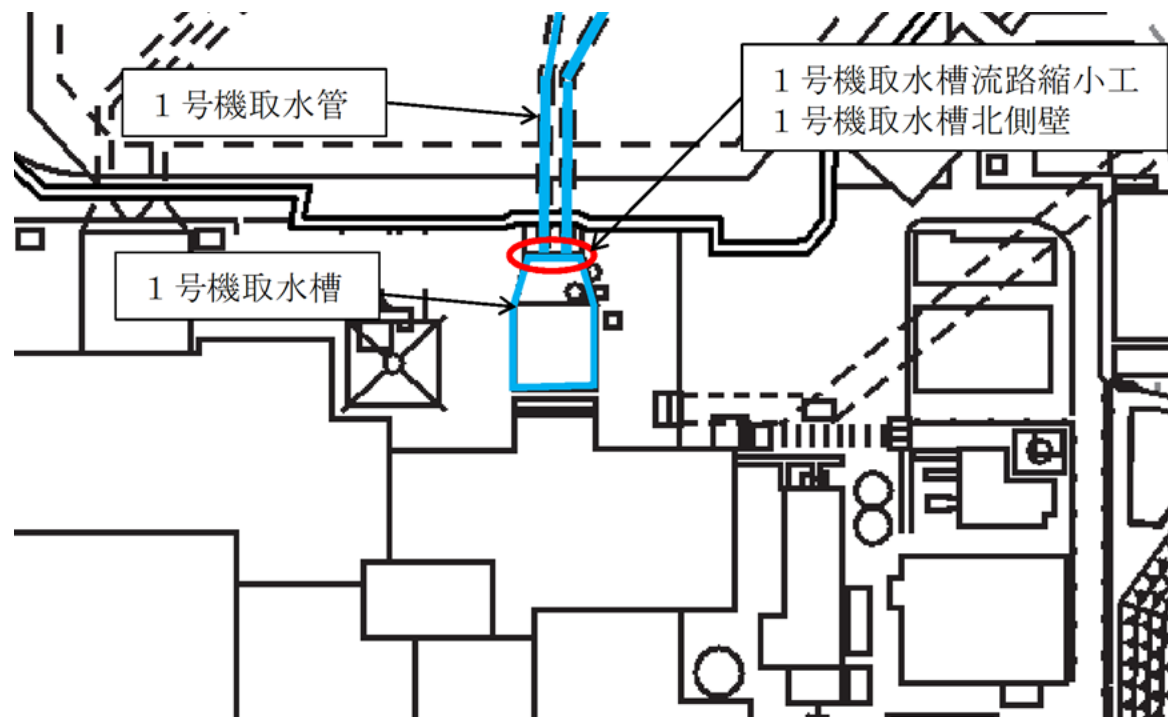
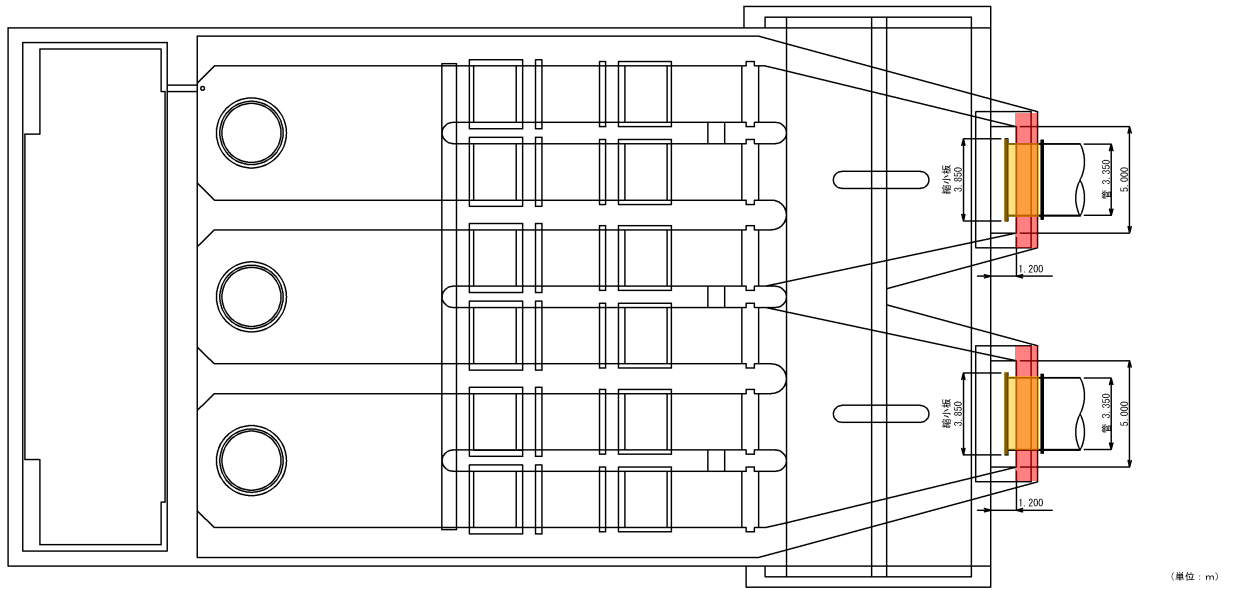
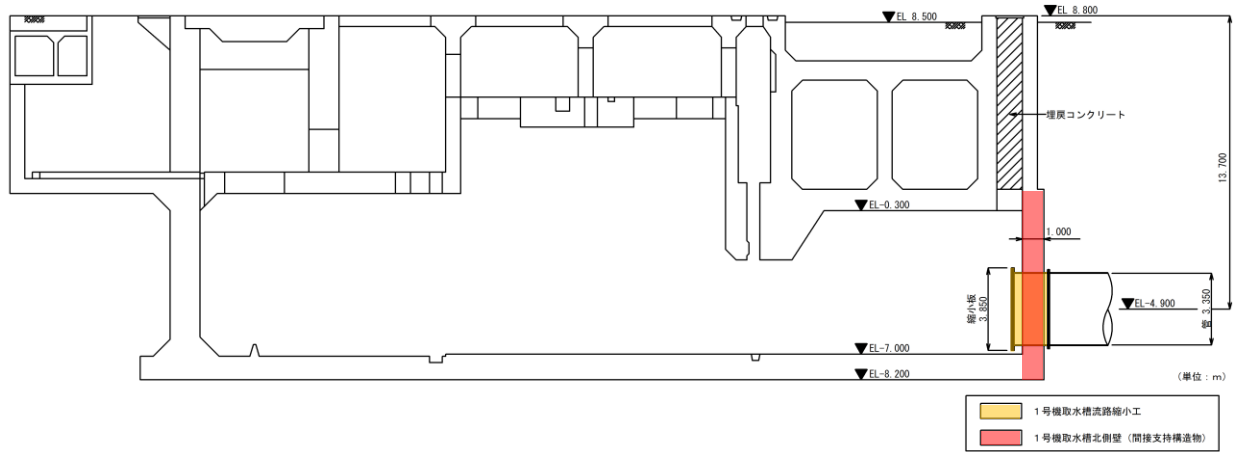


図2-1 流路縮小工設置の設置位置図



平面図



縦断面図

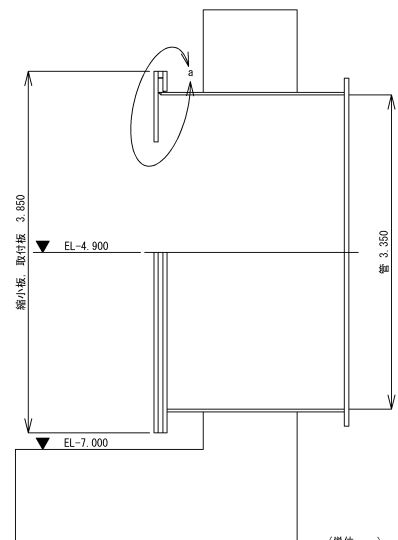
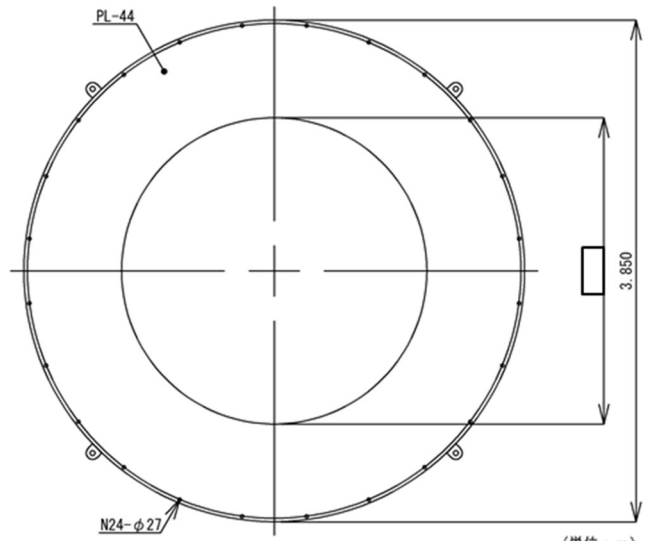
図 2-2 1号機取水槽 構造図

2.2 構造計画

流路縮小工は、既設取水管の終端部のフランジに、鋼製の縮小板を取付板及び固定ボルトにより固定する構造とする。なお、1号機の原子炉補機海水ポンプに必要な海水を取水するため、縮小板に直径□mの開口部を設ける。

流路縮小工の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 流路縮小工の構造計画

| 計画の概要 | | 構造概略図 |
|---|------------------------|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 既設取水管の終端部のフランジに、鋼製の縮小板を取付板及び固定ボルトにより固定する。 | 縮小板，取付板及び固定ボルトにより構成する。 | <p style="text-align: center;">組立図</p>  <p style="text-align: center;">縮小板</p>  |

2.3 評価方針

流路縮小工の耐震評価は、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」に示す流路縮小工及び取水槽北側壁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-3 に示す。

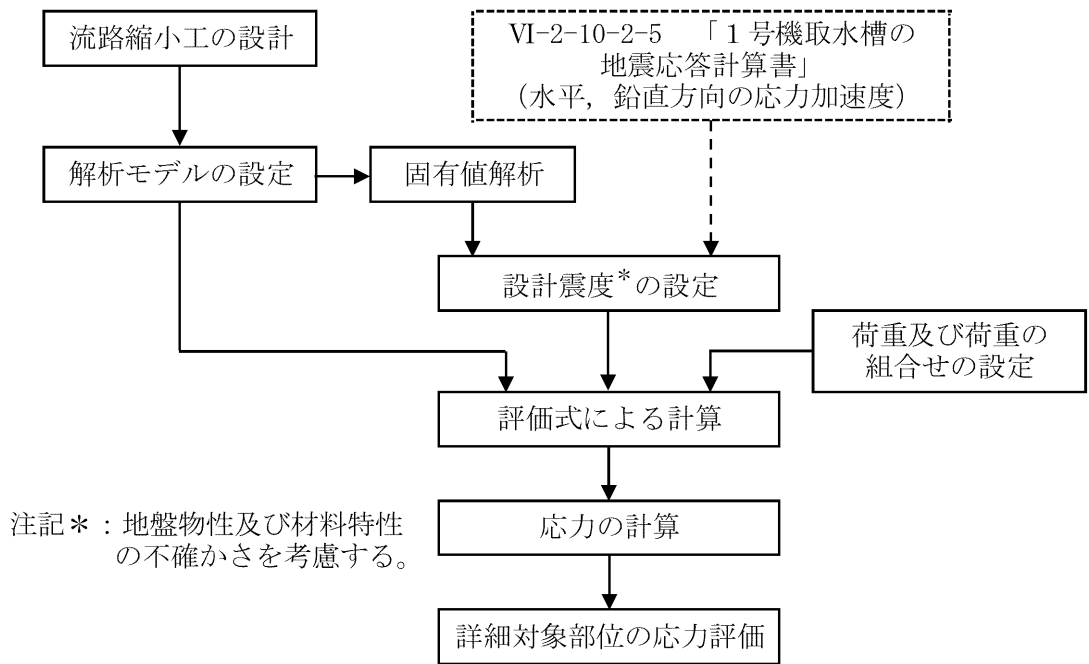


図 2-3 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という）
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，2007年）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005年改訂）
- ・構造力学公式集（土木学会，1986年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

2.5 記号の説明

流路縮小工の耐震評価に用いる記号を表 2-2～表 2-6 にそれぞれ示す。

表 2-2 流路縮小工の固有振動数の計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|-------------------|-----------|
| f | Hz | 固有振動数 |
| L | mm | はりの長さ |
| E | N/mm ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/mm | 質量分布 |

表 2-3 流路縮小工の縮小板の耐震計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------------|-------------------|---|
| S _s | N | 基準地震動 S _s による地震荷重 |
| G | N | 固定荷重 |
| k | — | 基準地震動 S _s の設計震度 |
| p ₀ | N/mm ² | 縮小板に作用する単位面積当たりの等分布荷重 |
| P | N | 地震時荷重 |
| A ₁₁ | mm ² | 縮小板の作用面積 |
| a ₁ | mm | 縮小板の外半径 |
| b ₁ | mm | 縮小板の内半径 |
| M _{r1} | N・mm/mm | 縮小板に作用する半径方向の曲げモーメント |
| M _{θ1} | N・mm/mm | 縮小板に作用する周方向の曲げモーメント |
| ν | — | ポアソン比 |
| κ ₁ | — | 係数(= $\beta_1^2 \{ (1-\nu) \beta_1^2 + (1+\nu) (1+4\beta_1^2 \ln \beta_1) \} / \{ 1-\nu + (1+\nu) \beta_1^2 \}$) |
| β ₁ | — | 係数(= b ₁ /a ₁) |
| ρ ₁ | — | 係数(= r ₁ /a ₁) |
| r ₁ | mm | 縮小板の中心から半径方向の距離 |
| σ ₁ | N/mm ² | 縮小板に作用する最大曲げ応力度 |
| Z ₁ | mm ² | 縮小板の断面係数 |
| t ₁ | mm | 縮小板の板厚 |
| τ ₁ | N/mm ² | 縮小板に作用する最大せん断応力度 |
| S ₁ | N | 縮小板に作用するせん断力 |
| A ₁₂ | mm ² | 縮小板の有効せん断面積 |

表 2-4 流路縮小工の固定ボルトの耐震計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-----------------|
| σ_2 | N/mm ² | 固定ボルトに作用する最大応力度 |
| T | N | 固定ボルトに作用する引張力 |
| P | N | 地震時荷重 |
| A_{21} | mm ² | 固定ボルトの有効断面積の合計 |
| n | 本 | 固定ボルトの本数 |
| A_{22} | mm ² | 固定ボルト 1 本の有効断面積 |

表 2-5 流路縮小工の取水管（フランジ部）の耐震計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------|-------------------|--|
| P' | N/mm | 取水管(フランジ部)に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 |
| P | N | 地震時荷重 |
| L_f | mm | 取水管（フランジ部）の外周長 |
| b_f | mm | 取水管（フランジ部）の外半径 |
| M_{rf} | N・mm/mm | 取水管(フランジ部)に作用する半径方向の曲げモーメント |
| $M_{\theta f}$ | N・mm/mm | 取水管(フランジ部)に作用する周方向の曲げモーメント |
| a_f | mm | 取水管（フランジ部）の内半径 |
| ν | — | ポアソン比 |
| κ_f | — | 係数(= $\beta_f^2 \{1+(1+\nu) \ln \beta_f\} / \{1-\nu+(1+\nu) \beta_f^2\}$) |
| β_f | — | 係数(= b_f/a_f) |
| ρ_f | — | 係数(= r_f/a_f) |
| r_f | mm | 取水管（フランジ部）の中心から半径方向の距離 |
| σ_f | N/mm ² | 取水管(フランジ部)に作用する最大曲げ応力度 |
| Z_f | mm ² | 取水管（フランジ部）の断面係数 |
| t_f | mm | 取水管（フランジ部）の板厚 |
| τ_f | N/mm ² | 取水管(フランジ部)に作用する最大せん断応力度 |
| S_f | N | 取水管(フランジ部)に作用するせん断力 |
| A_3 | mm ² | 取水管（フランジ部）付け根の断面積 |
| D_i | mm | 取水管（フランジ部）の管内径 |
| t_p | mm | 取水管（管胴部）の管厚 |
| l_f | mm | 取水管（フランジ部）付け根の周長 |

表 2-6 流路縮小工の取水管（管胴部）の耐震計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-----------------------|
| W_1 | N | 取水管（管胴部）張り出し部の自重 |
| L_d | mm | 取水管（管胴部）の張り出し長さ |
| γ_s | N/mm ³ | 単位体積重量 |
| A_4 | mm ² | 取水管（管胴部）の断面積 |
| D | mm | 取水管（管胴部）の内径 |
| t_p | mm | 取水管（管胴部）の管厚 |
| M_d | N・mm | 取水管（管胴部）に作用する曲げモーメント |
| W_2 | N | 取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む） |
| Z_d | mm ² | 取水管（管胴部）の断面係数 |
| τ_d | N/mm ² | 取水管（管胴部）のせん断応力度 |
| S_d | N | 取水管（管胴部）のせん断力 |
| A_5 | mm ² | 取水管（管胴部）の有効せん断面積 |
| D_i | mm | 取水管（管胴部）の取水管内径 |

3. 評価対象部位

流路縮小工の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

評価対象部位を図 3-1 に示す。

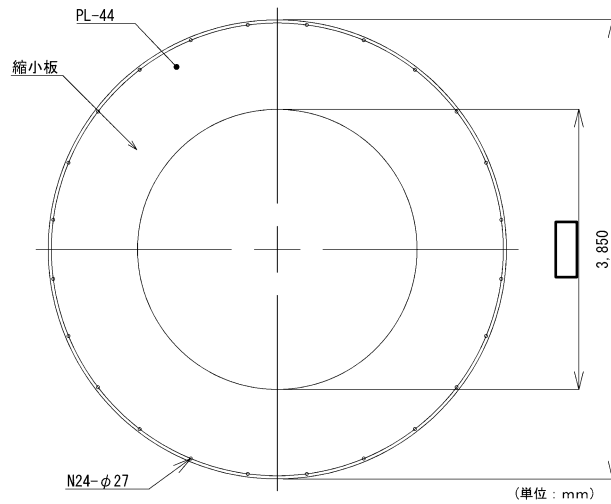


図 3-1(1) 評価対象部位 (縮小板)

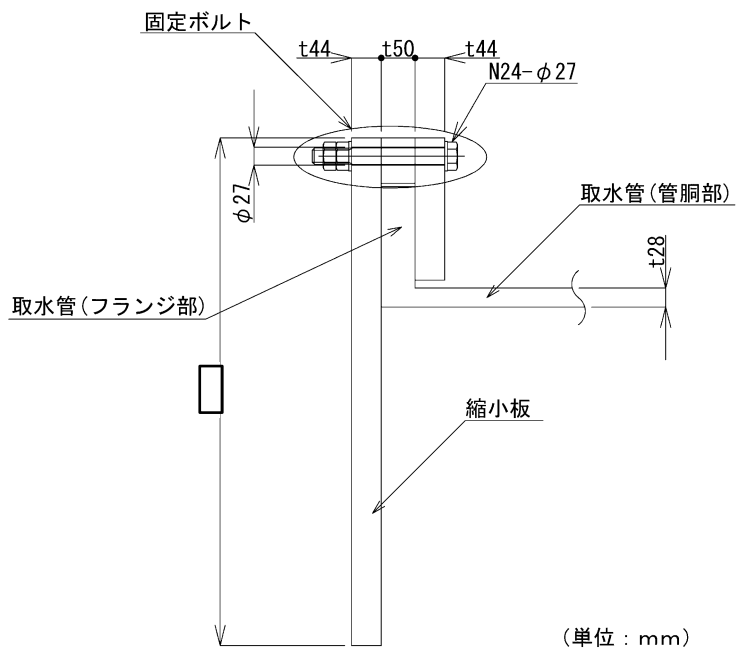


図 3-1(2) 評価対象部位 (縮小板, 固定ボルト, 取水管 (フランジ部) 及び取水管 (管胴部))

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

4.1.1 解析モデルの設定

流路縮小工は、既設取水管の終端部のフランジに、鋼製の縮小板を固定ボルトにより固定する構造であることから、片持ち梁に単純化したモデルとする。図 4-1 に解析モデルを示す。

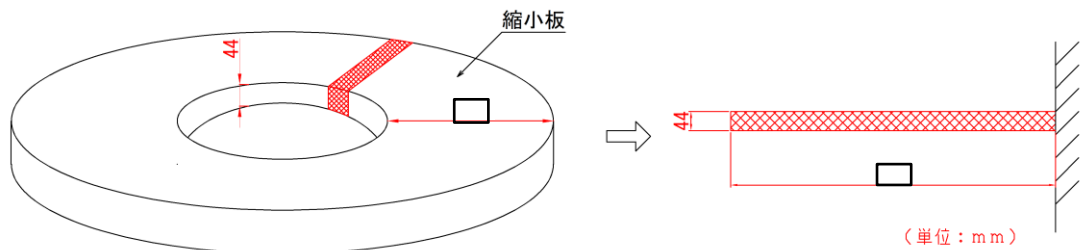


図 4-1 流路縮小工の固有値解析モデル

4.1.2 固有振動数の算出方法

固有振動数 f について、「構造力学公式集（土木学会，1986 年）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{8 \pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数の計算条件

| はりの長さ L (mm) | ヤング率 E (N/mm ²) | 断面二次モーメント I (mm ⁴) | 質量分布 m (kg/mm) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| □ | 2.0×10^5 | 7099 | 3.4569×10^{-4} |

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-2 固有振動数の計算結果

| | |
|------------|-------|
| 固有振動数 (Hz) | 44.74 |
|------------|-------|

5. 流路縮小工の耐震評価

5.1 耐震評価方法

流路縮小工の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

流路縮小工の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

ここで、G : 固定荷重 (N)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (N)

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、流路縮小工を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は流路縮小工の固定荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (N)

G : 固定荷重 (N)

k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

(1) 流路縮小工

流路縮小工を構成する各部材の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|-------------|-------|---------------|
| 縮小板 | SS400 | t = 40 (mm) * |
| 固定ボルト | SS400 | M24 |
| 取水管 (フランジ部) | SS400 | t = 46 (mm) |
| 取水管 (管胴部) | SS400 | t = 28 (mm) |

注記* : 鋼材の腐食代を両面で 4mm として考慮し、板厚を $44 - 4 = 40$ (mm) と設定する。

5.3.2 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 流路縮小工

流路縮小工を構成する各部材は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005年改訂）」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 流路縮小工を構成する各部材の許容限界

| 評価対象部位 | 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | |
|-------------|-------|------------------------------|-----|-----|
| | | 曲げ | せん断 | 引張 |
| 縮小板 | SS400 | 235 | 135 | — |
| 固定ボルト | SS400 | — | — | 235 |
| 取水管 (フランジ部) | SS400 | 215 | 124 | — |
| 取水管 (管胴部) | SS400 | 235 | 135 | — |

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、流路縮小工の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認したため、流路縮小工の耐震評価に用いる設計震度は、1号機取水槽付近の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」の地震応答解析結果から裕度を考慮した震度を用いる。

耐震評価に用いる設計震度を表 5-3 に示す。

表 5-3 設計震度

| 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----------|-------------------|------------|
| | 水平方向 k_H | 鉛直方向 k_V |
| 1号機取水槽北側壁 | 1.50 | 1.50 |

5.5 評価方法

5.5.1 流路縮小工

流路縮小工を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 縮小板

縮小板の管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。外径を固定とする有孔円板に等分布荷重が作用するものとして検討する。

a. 基準地震動による地震荷重（ S_s ）

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (N)

G : 固定荷重 (N)

k : 基準地震動 S_s の設計震度

b. 縮小板に作用する単位面積当たりの等分布荷重（ p_0 ）

$$p_0 = \frac{P}{A_{11}} = \frac{S_s}{A_{11}}$$

$$A_{11} = (a_1^2 - b_1^2) \times \pi$$

ここで、 p_0 : 縮小板に作用する単位面積当たりの等分布荷重 (N/mm²)

P : 地震時荷重 (N)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (N)

A_{11} : 作用面積 (mm²)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

b_1 : 縮小板の内半径 (mm)

c. 縮小板に作用する曲げモーメント (M_{r1} , $M_{\theta1}$)

縮小板に作用する曲げモーメント (M_{r1} , $M_{\theta1}$) について, 「構造力学公式集 (土木学会, 1986年)」に基づき以下の式より算出する。

$$M_{r1} = \frac{p_0 a_1^2}{16} \left[(1 + \nu)(1 - \kappa_1) + 4\beta_1^2 - (3 + \nu)\rho_1^2 - \frac{(1 - \nu)\kappa_1}{\rho_1^2} + 4\beta_1^2(1 + \nu) \ln \rho_1 \right]$$

$$M_{\theta1} = \frac{p_0 a_1^2}{16} \left[(1 + \nu)(1 - \kappa_1) + 4\nu\beta_1^2 - (1 + 3\nu)\rho_1^2 - \frac{(1 - \nu)\kappa_1}{\rho_1^2} + 4\beta_1^2(1 + \nu) \ln \rho_1 \right]$$

$$\kappa_1 = \beta_1^2 \frac{(1 - \nu)\beta_1^2 + (1 + \nu)(1 + 4\beta_1^2 \ln \beta_1)}{1 - \nu + (1 + \nu)\beta_1^2}$$

$$\beta_1 = \frac{b_1}{a_1}$$

$$\rho_1 = \frac{r_1}{a_1}$$

ここで, M_{r1} : 縮小板に作用する半径方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

$M_{\theta1}$: 縮小板に作用する周方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

p_0 : 縮小板に作用する単位面積当たりの等分布荷重 (N/mm²)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

b_1 : 縮小板の内半径 (mm)

ν : ポアソン比

r_1 : 縮小板の中心から半径方向の距離 (mm)

κ_1 , β_1 , ρ_1 : 係数

d. 縮小板に作用する最大曲げ応力度 (σ_1)

縮小板に作用する最大曲げ応力度 (σ_1) について、「構造力学公式集 (土木学会, 1986 年)」に基づき以下の式より算出する。

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{M_{r1}^2 + M_{\theta 1}^2}}{Z_1}$$

$$Z_1 = \frac{t_1^2}{6}$$

ここで, σ_1 : 縮小板に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_{r1} : 縮小板に作用する半径方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

$M_{\theta 1}$: 縮小板に作用する周方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

Z_1 : 断面係数 (mm²)

t_1 : 縮小板の板厚 (mm)

e. 縮小板に作用する最大せん断応力度 (τ_1)

$$\tau_1 = \frac{S_1}{A_{12}}$$

$$A_{12} = 2 \pi \cdot a_1 \cdot t_1$$

ここで, τ_1 : 縮小板に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

S_1 : 縮小板に作用するせん断力 (= P (N))

P : 地震時荷重 (N)

A_{12} : 縮小板の有効せん断面積 (mm²)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

t_1 : 縮小板の板厚 (mm)

(2) 固定ボルト

固定ボルトについては、管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。
作用荷重の合計値を有効断面積で除することで求めた応力度が許容応力度以下であることを確認する。

a. 固定ボルトに作用する最大応力度 (σ_2)

$$\sigma_2 = \frac{T}{A_{21}}$$

$$A_{21} = n \cdot A_{22}$$

ここで、 σ_2 : 固定ボルトに作用する最大応力度 (N/mm²)

T : 固定ボルトに作用する引張力 (= P (N))

P : 地震時荷重 (N)

A_{21} : 固定ボルトの有効断面積の合計 (mm²)

n : 固定ボルトの本数 (本)

A_{22} : 固定ボルト1本の有効断面積 (mm²)

(3) 取水管（フランジ部）

取水管（フランジ部）については、管軸方向（水平方向）荷重に対する耐震評価を実施する。フランジ部の外縁に線荷重が作用し内径を固定とする有孔円板として検討する。

a. 取水管（フランジ部）に作用する単位長さ当たりの水平方向の荷重

$$P' = \frac{P}{L_f}$$

$$L_f = 2\pi \times b_f$$

ここで、 P' ：取水管（フランジ部）に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (N/mm)

P ：地震時荷重 (N)

L_f ：取水管（フランジ部）の外周長 (mm)

b_f ：取水管（フランジ部）の外半径 (mm)

b. 取水管（フランジ部）に作用する曲げモーメント (M_{rf} , $M_{\theta f}$)

取水管（フランジ部）に作用する曲げモーメント (M_{r1} , $M_{\theta 1}$) について、「構造力学公式集（土木学会，1986年）」に基づき以下の式より算出する。

$$M_{rf} = \frac{P' a_f \beta_f}{2} \left[-1 + (1 + \nu) \kappa_f + (1 - \nu) \frac{\kappa_f}{\rho_f} - (1 + \nu) \ln \rho_f \right]$$

$$M_{\theta f} = \frac{P' a_f \beta_f}{2} \left[-\nu + (1 + \nu) \kappa_f - (1 - \nu) \frac{\kappa_f}{\rho_f} - (1 + \nu) \ln \rho_f \right]$$

$$\kappa_f = \beta_f^2 \frac{1 + (1 + \nu) \ln \beta_f}{1 - \nu + (1 + \nu) \beta_f^2}$$

$$\beta_f = \frac{b_f}{a_f}$$

$$\rho_f = \frac{r_f}{a_f}$$

ここで、 M_{rf} ：取水管（フランジ部）に作用する半径方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

$M_{\theta f}$ ：取水管（フランジ部）に作用する周方向の曲げモーメント (N・mm/mm)

P' ：取水管（フランジ部）に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 (N/mm)

a_f : 取水管 (フランジ部) の内半径 (mm)

ν : ポアソン比

r_f : 取水管 (フランジ部) の中心から半径方向の距離 (mm)

$\kappa_f, \beta_f, \rho_f$: 係数

c. 取水管 (フランジ部) に作用する最大曲げ応力度 (σ_f)

取水管 (フランジ部) に作用する最大曲げ応力度 (σ_1) について, 「構造力学公式集 (土木学会)」に基づき以下の式より算出する。

$$\sigma_f = \frac{\sqrt{M_{rf}^2 + M_{\theta f}^2}}{Z_f}$$

$$Z_f = \frac{t_f^2}{6}$$

ここで, σ_f : 取水管 (フランジ部) に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_{rf} : 取水管 (フランジ部) の半径方向の曲げモーメント
(N・mm/mm)

$M_{\theta f}$: 取水管 (フランジ部) の周方向の曲げモーメント
(N・mm/mm)

Z_f : 取水管 (フランジ部) の断面係数 (mm²)

t_f : 取水管 (フランジ部) の板厚 (mm)

d. 取水管 (フランジ部) に作用する最大せん断応力度 (τ_f)

$$\tau_f = \frac{S_f}{A_3}$$

$$A_3 = t_f \cdot l_f$$

$$l_f = \pi (D_i + 2 t_p)$$

ここで, τ_f : 取水管 (フランジ部) に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

S_f : 取水管 (フランジ部) に作用するせん断力 (= P (N))

A_3 : 取水管 (フランジ部) 付け根の断面積 (mm²)

D_i : 取水管 (フランジ部) の管内径 (mm)

t_p : 取水管 (管胴部) の管厚 (mm)

t_f : 取水管 (フランジ部) の板厚 (mm)

l_f : 取水管 (フランジ部) 付け根の周長 (mm)

(4) 取水管（管胴部）

取水管（管胴部）の検討では、取水槽北側壁を固定端とした片持ち梁として、管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。

a. 取水管（管胴部）の自重 (W_1)

$$W_1 = A_4 \times L_d \times \gamma_s$$
$$A_4 = \frac{\left\{ \left(\frac{D}{2} + t_p \right)^2 \times \pi - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times \pi \right\}}{2}$$

ここで、 W_1 : 取水管（管胴部）の自重 (N)
 L_d : 取水管（管胴部）張り出し長さ (mm)
 γ_s : 単位体積重量 (N/mm³)
 A_4 : 取水管（管胴部）の断面積 (mm²)
 D : 取水管（管胴部）の内径 (mm)
 t_p : 取水管（管胴部）の管厚 (mm)

b. 取水管（管胴部）に作用する曲げ応力度 (σ_d)

$$\sigma_d = \frac{M_d}{Z_d}$$
$$M_d = \frac{W_2 \times L_d}{2}$$
$$Z_d = \frac{t_p^2}{6}$$

ここで、 σ_d : 取水管（管胴部）に作用する曲げ応力度
 M_d : 取水管（管胴部）に作用する曲げモーメント (N・mm)
 W_2 : 取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む） (N)
 L_d : 取水管（管胴部）の張り出し長さ (mm)
 Z_d : 取水管（管胴部）の断面係数 (mm²)
 t_p : 取水管（管胴部）の管厚 (mm)

c. 取水管（管胴部）に作用するせん断応力度（ τ_d ）

$$\tau_d = \frac{S_d}{A_5}$$

$$S_d = W_2$$

$$A_5 = \frac{\left\{ \left(\frac{Di}{2} + t_p \right)^2 \times \pi - \left(\frac{Di}{2} \right)^2 \times \pi \right\}}{2}$$

ここで、 τ_d : 取水管（管胴部）に作用するせん断応力度（N/mm²）

S_d : 取水管（管胴部）に作用するせん断力（N）

W_2 : 取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む）（N）

A_5 : 取水管（管胴部）の有効せん断面積（mm²）

Di : 取水管（管胴部）の取水管内径（mm）

t_p : 取水管（管胴部）の管厚（mm）

5.6 評価条件

流路縮小工の耐震評価に用いる入力値を表に示す。

表 5-4 流路縮小工の縮小板の耐震計算に用いる入力値

| 記号 | 単位 | 定義 | 入力値 |
|-------|----|-----------------|-------|
| P | N | 地震時荷重 | 1,420 |
| a_1 | mm | 縮小板の外半径 | 1,925 |
| b_1 | mm | 縮小板の内半径 | |
| r_1 | mm | 縮小板の中心から半径方向の距離 | 1,925 |
| ν | — | ポアソン比 | 0.3 |
| t_1 | mm | 縮小板の板厚 | 40 |

表 5-5 流路縮小工の固定ボルトの耐震計算に用いる入力値

| 記号 | 単位 | 定義 | 入力値 |
|----------|-----------------|---------------|-------|
| P | N | 地震時荷重 | 1,420 |
| n | 本 | 固定ボルトの本数 | 24 |
| A_{22} | mm ² | 固定ボルト1本の有効断面積 | 353 |

表 5-6 流路縮小工の取水管（フランジ部）の耐震計算に用いる入力値

| 記号 | 単位 | 定義 | 入力値 |
|-------|----|------------------------|-------|
| P | kN | 地震時荷重 | 1,452 |
| b_f | mm | 取水管（フランジ部）の外半径 | 1,853 |
| a_f | mm | 取水管（フランジ部）の内半径 | 1,675 |
| r_f | mm | 取水管（フランジ部）の中心から半径方向の距離 | 1,675 |
| ν | — | ポアソン比 | 0.3 |
| t_f | mm | 取水管（フランジ部）の板厚 | 46 |
| D_i | mm | 取水管（フランジ部）の管内径 | 3,350 |
| t_p | mm | 取水管（フランジ部）の管厚 | 28 |

表 5-7 流路縮小工の取水管（管胴部）の耐震計算に用いる入力値

| 記号 | 単位 | 定義 | 入力値 |
|------------|-------------------|-----------------------|-------|
| D | mm | 取水管（管胴部）の内径 | 3,350 |
| t_p | mm | 取水管（管胴部）の管厚 | 28 |
| L_d | mm | 取水管（管胴部）の張り出し長さ | 450 |
| γ_s | N/mm ³ | 単位体積重量 | 66.9 |
| W_2 | N | 取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む） | 111.9 |
| D_i | mm | 取水管（管胴部）の取水管内径 | 3,350 |

6. 流路縮小工の評価結果

6.1 流路縮小工の評価結果

流路縮小工の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面照査を行った結果、すべての部材において応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 流路縮小工の耐震評価結果

| 評価対象部位 | | 発生値（応力度） | | 許容荷重 | | 照査値 |
|----------------|-----|----------|-------------------|------|-------------------|------|
| 縮小板 | 曲げ | 157 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.67 |
| | せん断 | 3 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.03 |
| 固定ボルト | 引張 | 168 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.72 |
| 取水管 (フランジ部) | 曲げ | 72 | N/mm ² | 215 | N/mm ² | 0.34 |
| | せん断 | 3 | N/mm ² | 124 | N/mm ² | 0.03 |
| 取水管 (管胴部) | 曲げ | 7 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 4 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.03 |

7. 1号機取水槽北側壁の耐震評価

7.1 構造及び補強の概要

取水槽北側壁は、1号機取水槽流路縮小工を間接支持する間接支持構造物であり、十分な支持性能を有するC_M級岩盤に支持された鉄筋コンクリート造の地中構造物である。1号機取水槽の平面図を図7-1に、断面図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。

1号機取水槽は、地下2階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア、ストレーナエリアの3エリアに分かれている。下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっている。

1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版は、上位クラス施設である1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の上部に設置されている。下位クラス施設である1号機取水槽ピット部の側壁の損傷及び落下に伴う上位クラス施設への衝突を防止するため、1号機取水槽ピット部下部に閉塞版を設置し、1号機取水槽ピット部内をコンクリートで充填する。1号機取水槽ピット部（閉塞版）及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲を図7-4に示す。

1号機取水槽の耐震性を確保するために耐震補強を実施する。せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHb工法」という。）によるせん断補強を実施する。取水槽北側壁の補強箇所を図7-5に示す。

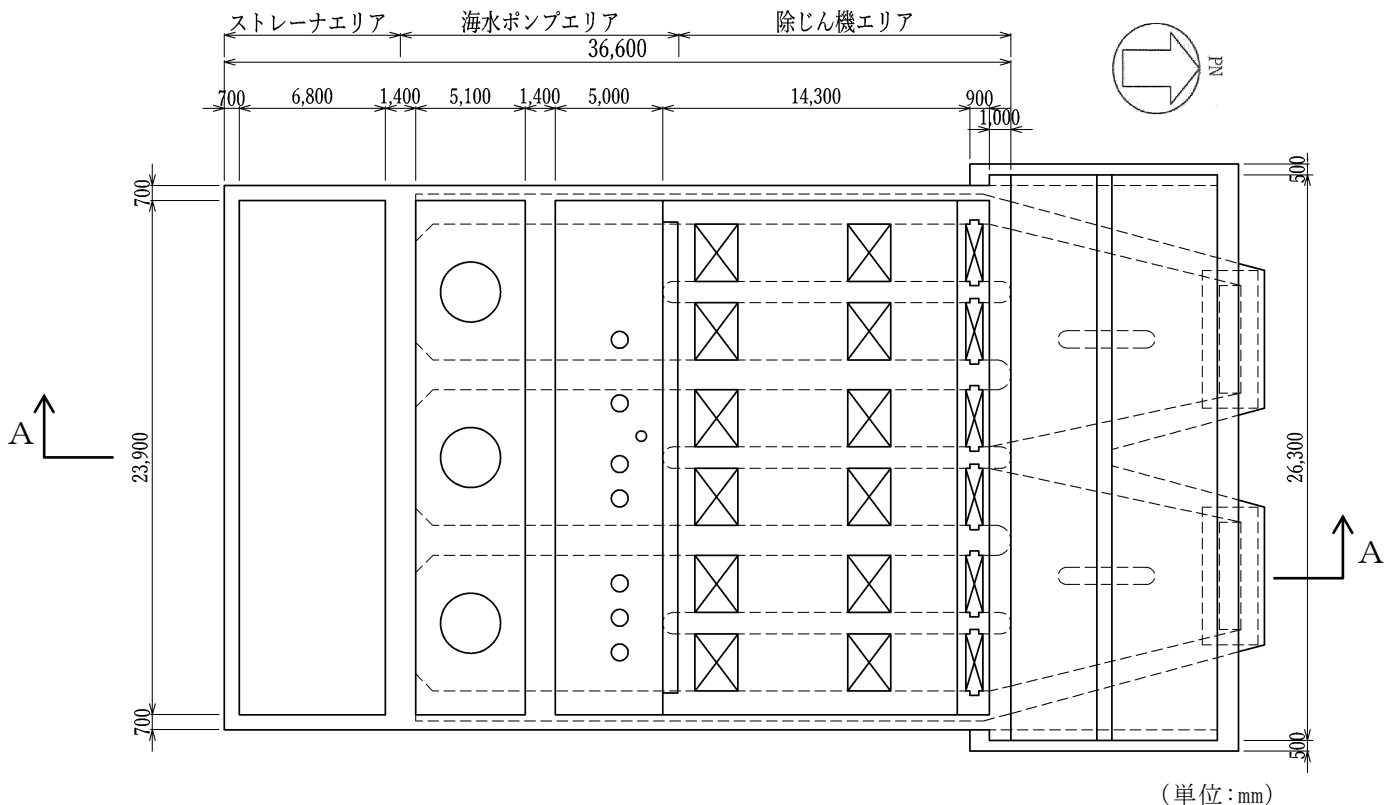


図7-1 1号機取水槽 平面図

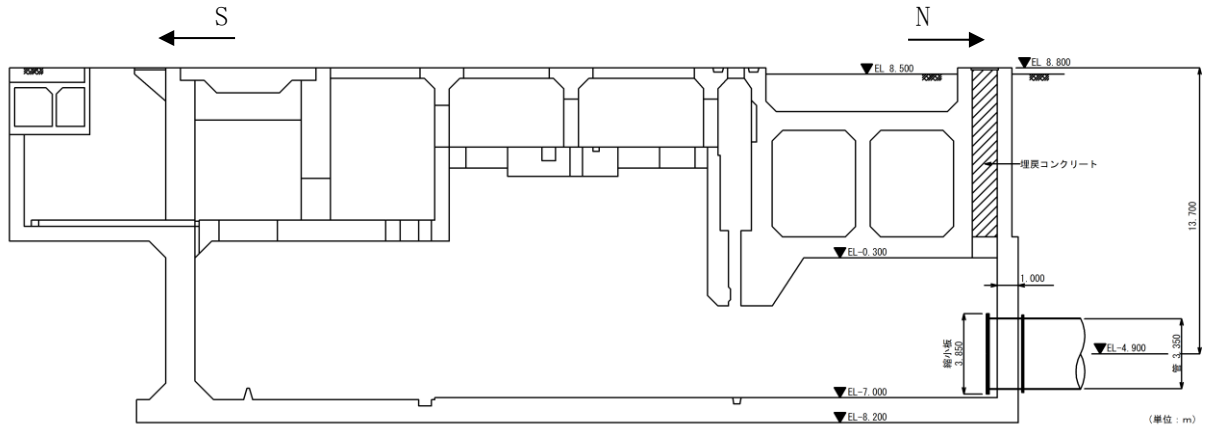


図 7-2 1号機取水槽 断面図(A-A断面)

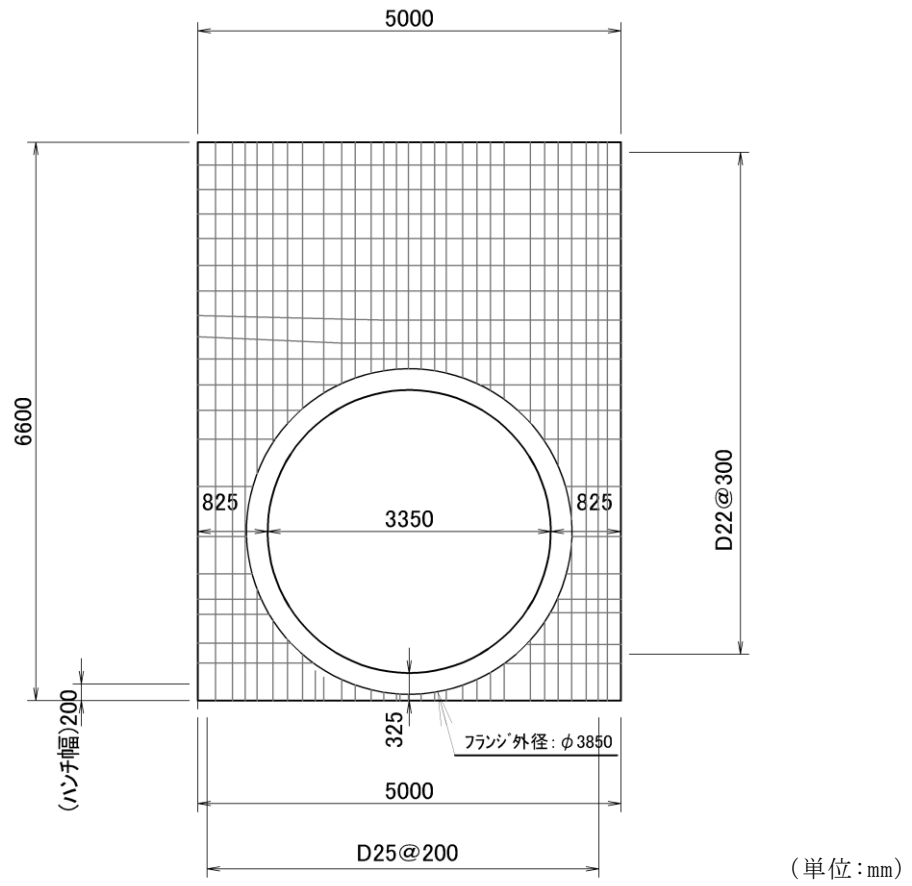


図 7-3 1号機取水槽概略配筋図(北側壁)

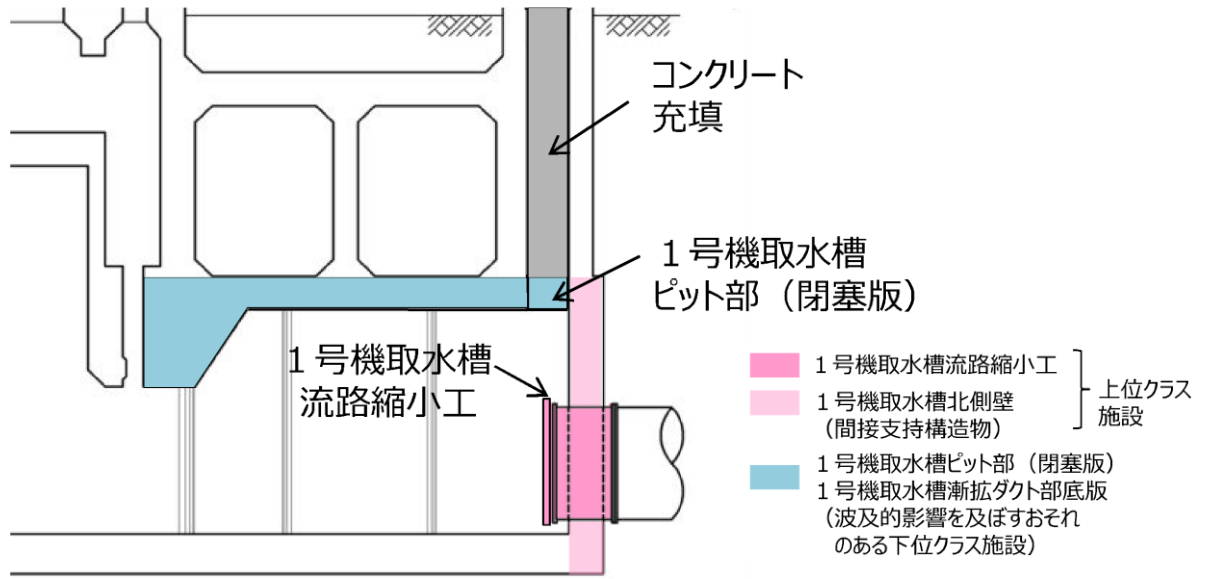


図 7-4 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲

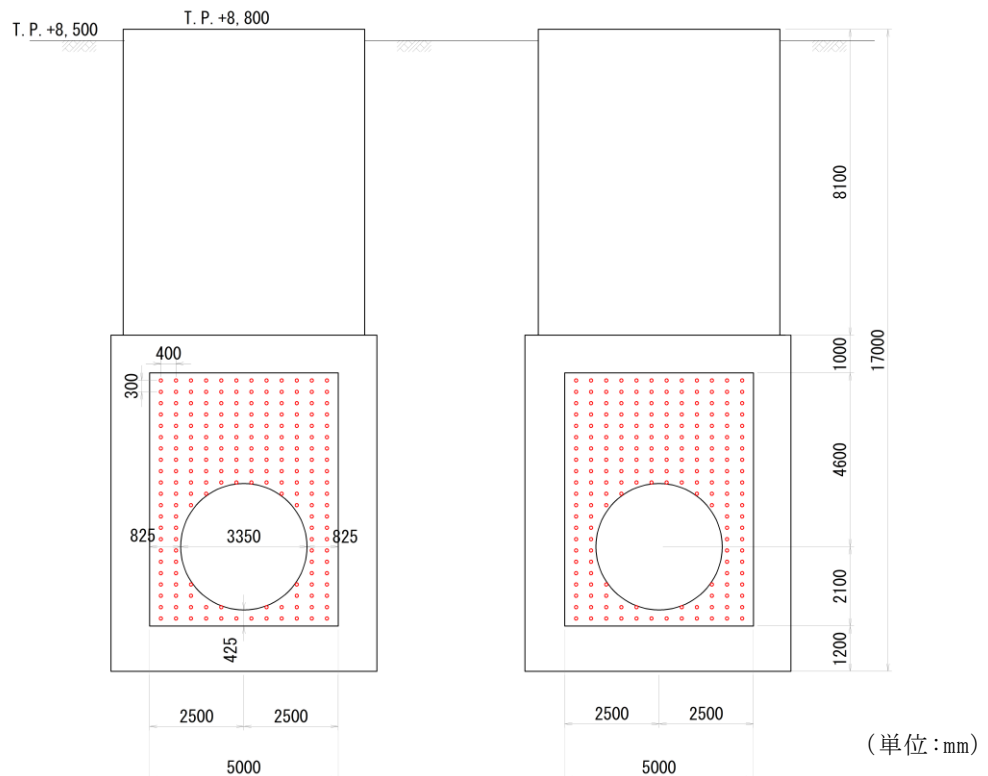


図 7-5 耐震補強箇所(北側壁)

7.2 評価方針

取水槽北側壁は、1号機取水槽流路縮小工の間接支持構造物である。

取水槽北側壁の耐震評価フローを図7-6に示す。

取水槽北側壁は、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、津波防護施設の間接支持構造物として、表7-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び津波防護施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、曲げ・軸力系の破壊に対しては構造部材の照査用層間変形角が許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

なお、せん断破壊に対する補強としてPHb工法を用いる場合には、構造部材に対してPHb工法の適用条件を満たしていることを確認し、Phb工法を採用する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

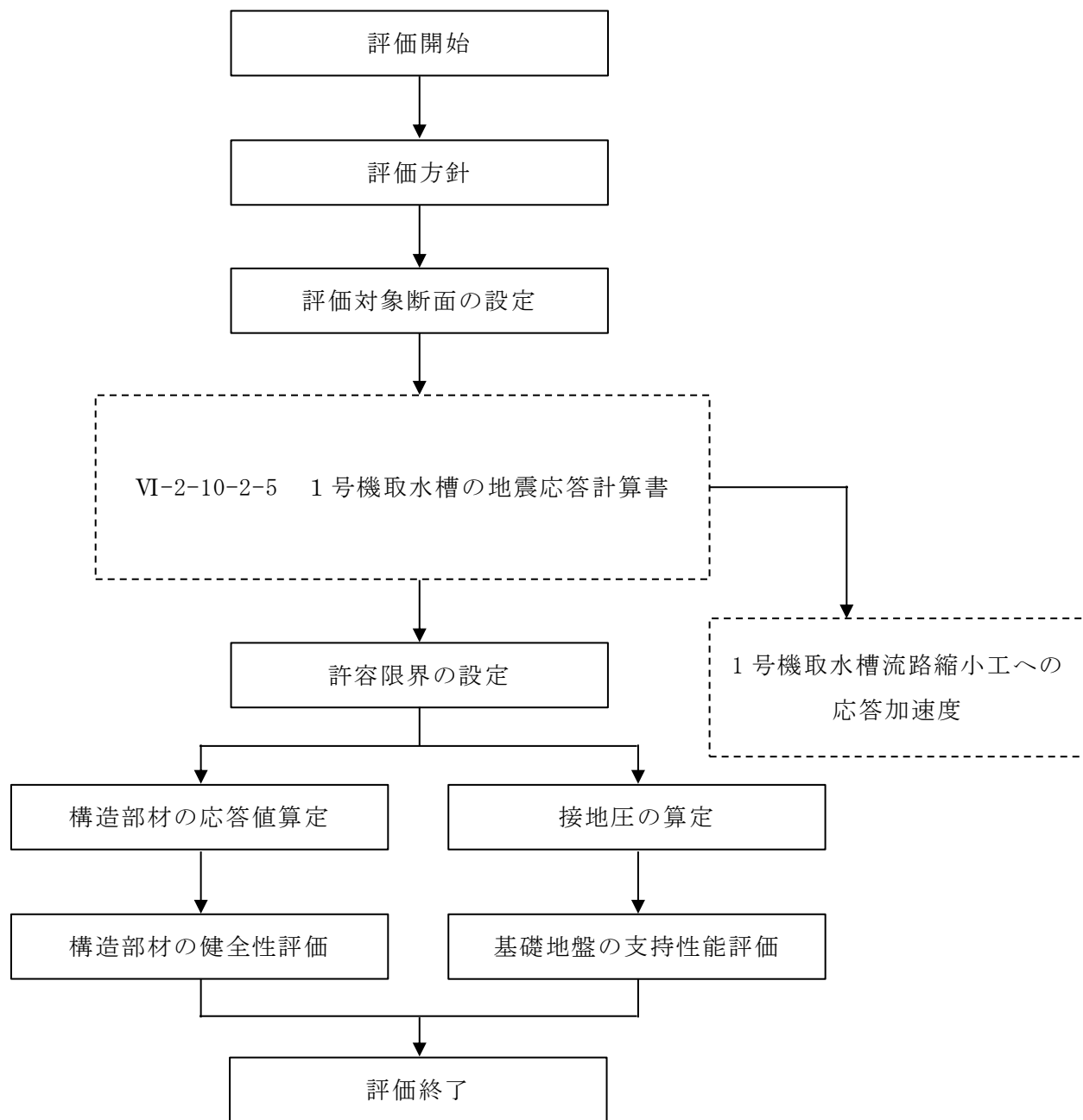


図 7-6 1号機取水槽 耐震評価フロー

表 7-1 取水槽北側壁 評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 | |
|------------|-----------|------------|------------------------------|------------|----------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性 | 鉄筋コンクリート部材 | 照査用層間変形角及びせん断力が許容限界を下回ることを確認 | 曲げ・軸力 | 限界層間変形角* |
| | | | | せん断力 | せん断耐力* |
| | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤 | 発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認 | 岩盤の極限支持力度* | |

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

7.3 評価対象断面

1号機取水槽北側壁の評価対象断面位置図を図7-7に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図7-7のA-A断面とする。

評価対象地質断面図を図7-8に示す。

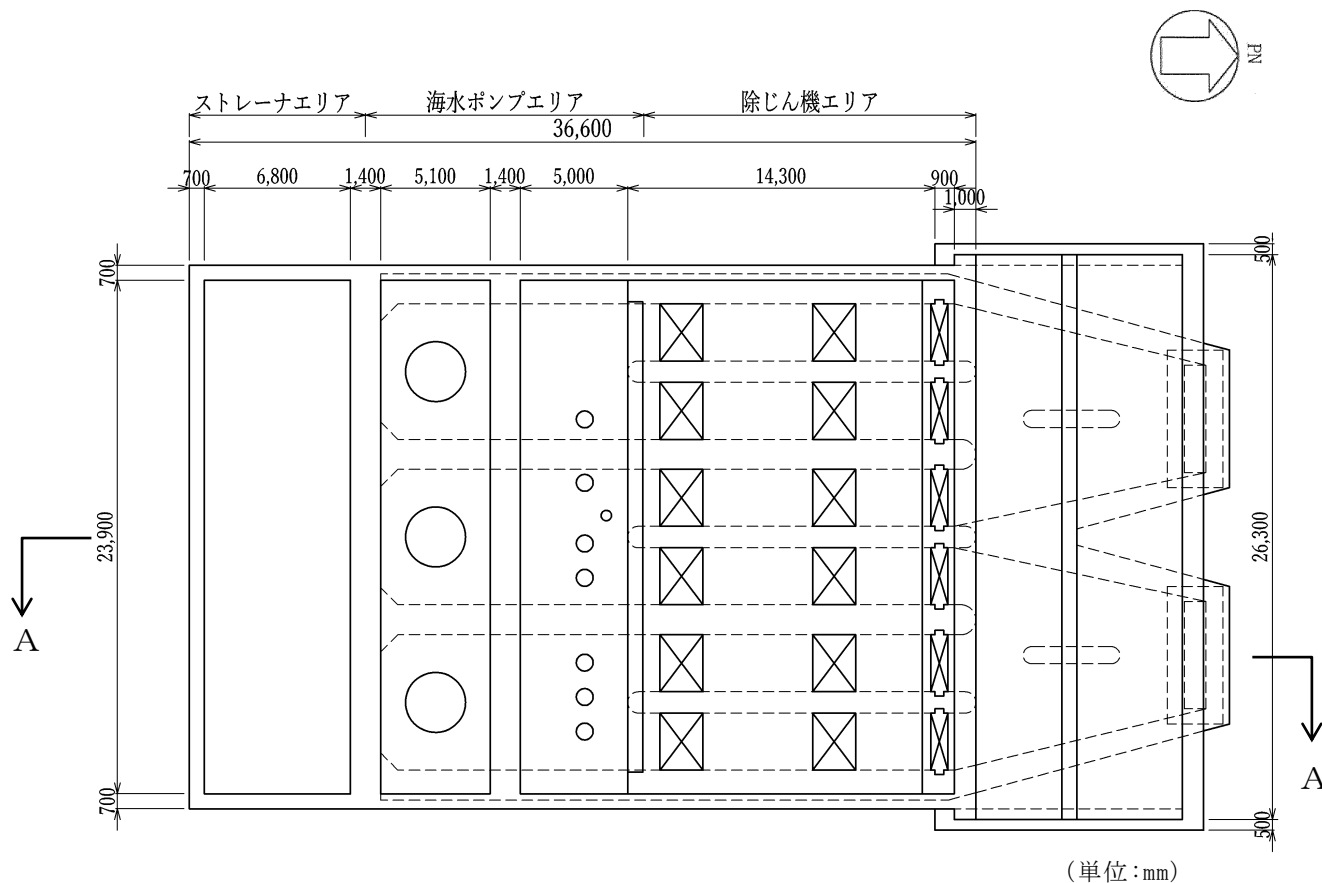


図7-7 1号機取水槽 評価対象断面位置図

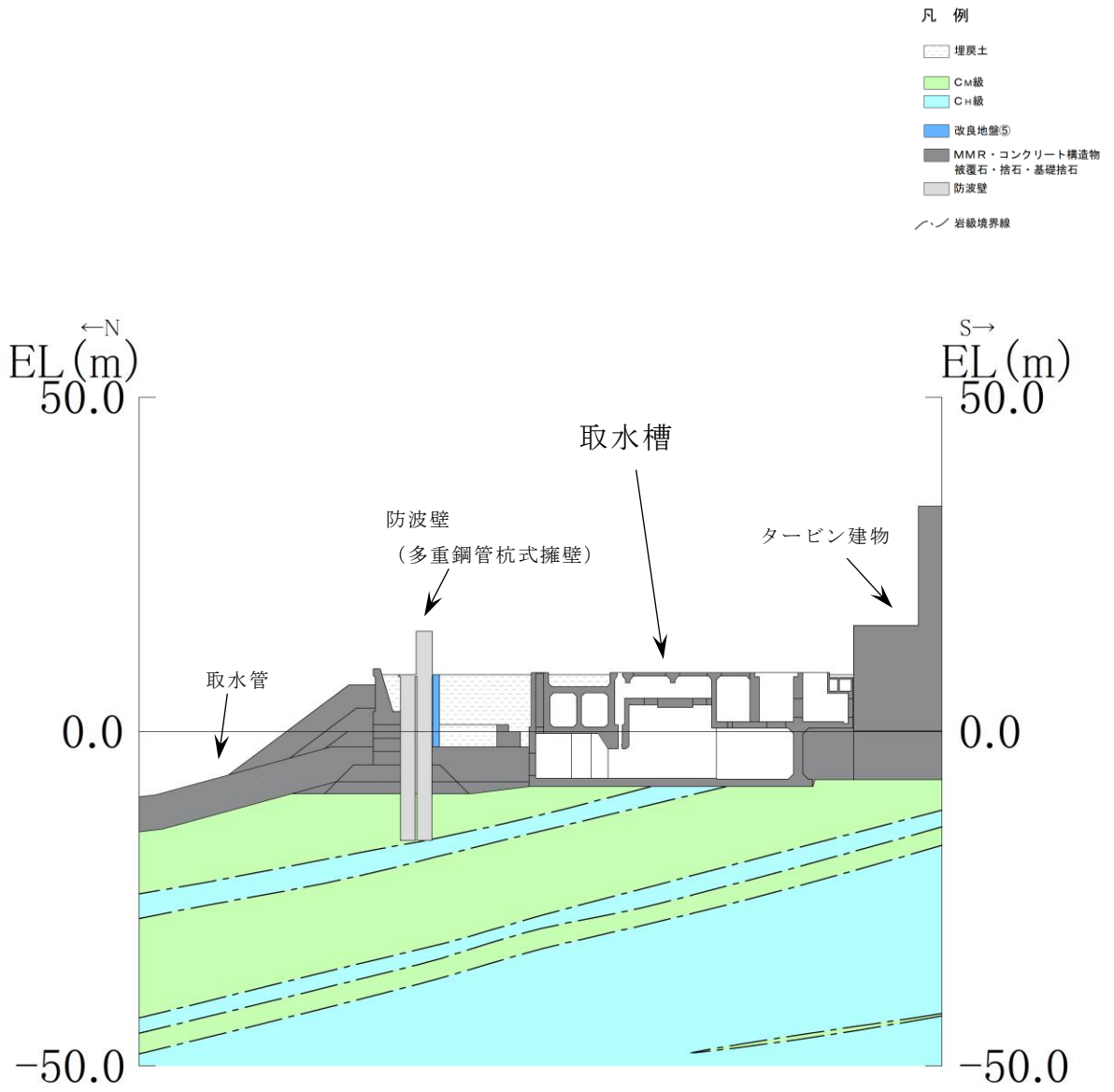


図 7-8 1号機取水槽 評価対象地質断面図 (A-A断面)

7.4 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 7-2, 材料の物性値を表 7-3 に示す。

表 7-2 使用材料

| 材料 | | 仕様 |
|---------------|--------|------------------------------|
| 1号機取水槽 北側壁 | コンクリート | 設計基準強度 20.6N/mm ² |
| | 鉄筋 | SD345 |

表 7-3 材料の物性値

| 材料 | ヤング係数 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ポアソン比 |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 1号機取水槽 北側壁 | 2.33×10 ⁴ | 24.0* | 0.2 |

注記* : 鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

7.5 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

7.5.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、層間変形角 1/100 又は圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

1号機取水槽北側壁の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 7-4 に示す。

表 7-4 取水槽北側壁の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

| 要求機能 | 許容限界 | |
|------------|---------|-------|
| 構造強度を有すること | 限界層間変形角 | 1/100 |

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、PHb工法を用いる構造部材について、PHbによりせん断補強された部材のせん断耐力式を用いる。

PHb によりせん断補強された部材のせん断耐力式

1号機取水槽北側壁において後施工せん断補強（ポストヘッドバー（PHb））を配置した構造部材のせん断耐力については、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」，一般財団法人土木研究センター」（以下「建設技術証明書」という。）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{phb}$$

$$V_{phb} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} = \beta_{aw} \cdot \{A_{aw} \cdot f_{awy d} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}\} \cdot z / \gamma_b$$

$$\beta_{aw} = 1 - I_y \{2 \cdot (d - d')\} \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここで、

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない RC 部材の単位長さあたりのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{phb} : PHb により受け持たれる RC 部材の単位長さあたりのせん断耐力

V_{awd} : PHb を通常のスターラップと見なして求められる単位長さあたりのせん断耐力

β_{aw} : PHb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

A_{aw} : 単位長さ当たりの区間 S_{aw} における PHb の総断面積

$f_{awy d}$: PHb の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

α_{aw} : PHb が部材軸となす角度

S_{aw} : PHb の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

I_y : PHb の埋込側に必要な定着長

$d-d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔（ $d-d' \geq I_y$ ）

PHb が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $3.5D \sim 5.5D$ であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下する。PHb が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 7-8 に有効率算定における概念図を示す。

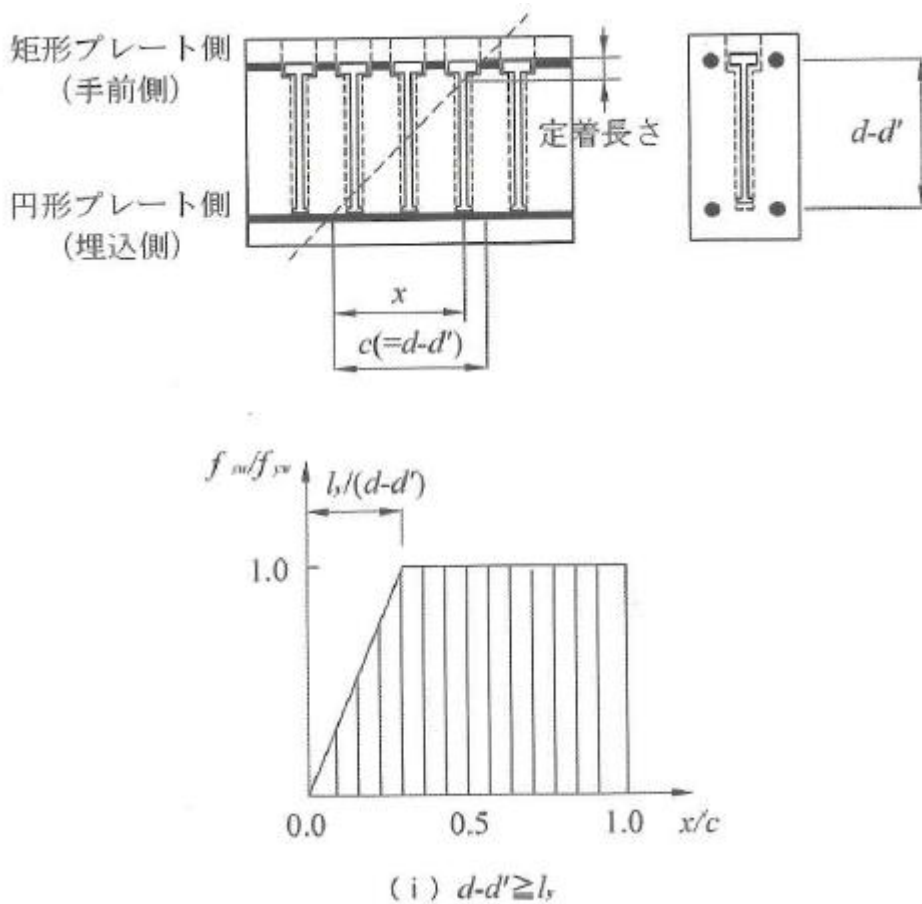


図 7-8 ポストヘッドバー (PHb) の有効率算定の概念図

7.5.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表7-5に示す。

表7-5 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

| 評価項目 | 基礎地盤 | 許容限界 (N/mm ²) |
|--------|------------------|------------------------------|
| 極限支持力度 | C _M 級 | 9.8 |

7.6 評価方法

1号機取水槽北側壁の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「7.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

7.6.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して、地震応答解析により算定した照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形を図7-9に、せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図7-10に示す。

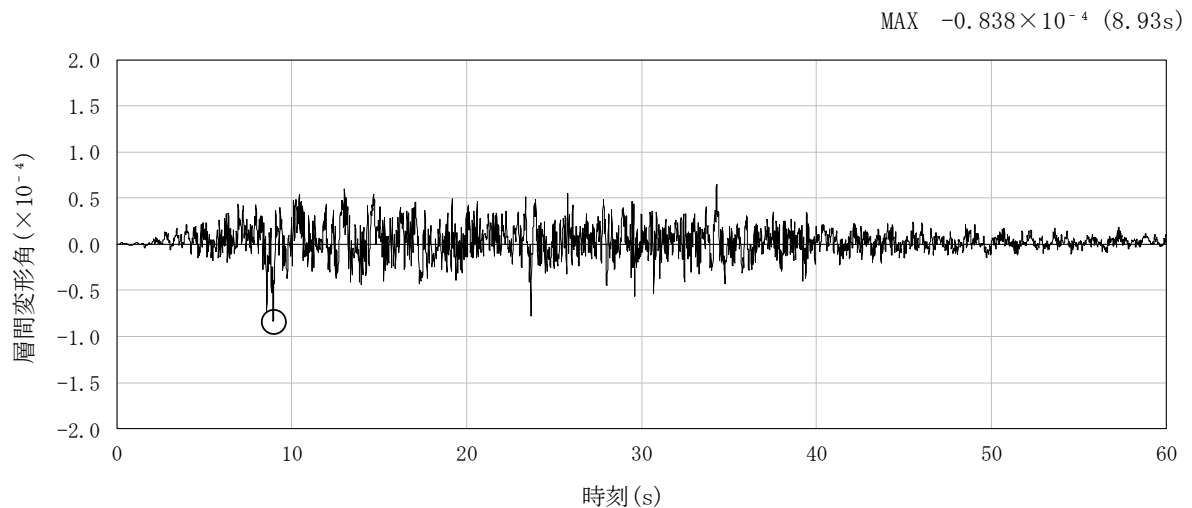
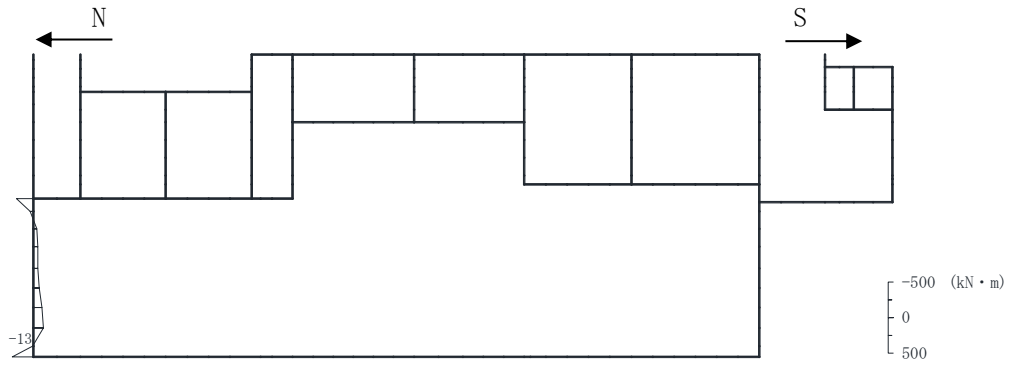


図7-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における層間変形角の時刻歴波形
(A-A断面, 解析ケース①, $S_s - D$ (++))

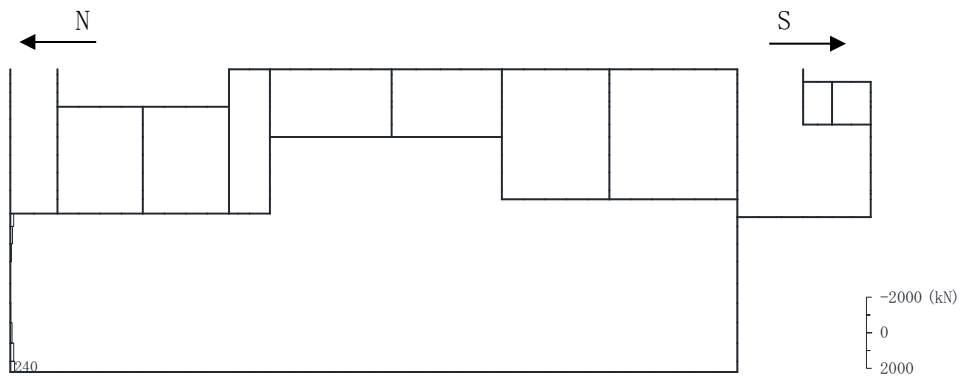


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -500 0 500 (kN・m)

数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)

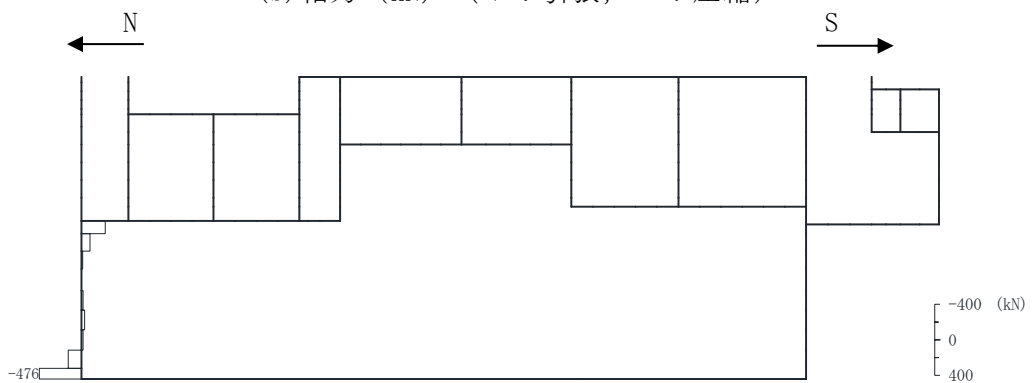


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -2000 0 2000 (kN)

数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -400 0 400 (kN)

数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 7-10 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース①, S s - D (---), t=23.67s)

7.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては基礎地盤に発生する接地圧が許容限界以下であることを確認する。

8. 耐震評価結果

8.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 8-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 8-2 に示す。

1号機取水槽北側壁の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 8-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用 層間変形角* R_d | 限界 層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| ① | S s - D (++) | 1.01×10^{-4} | 1.00×10^{-2} | 0.02 |

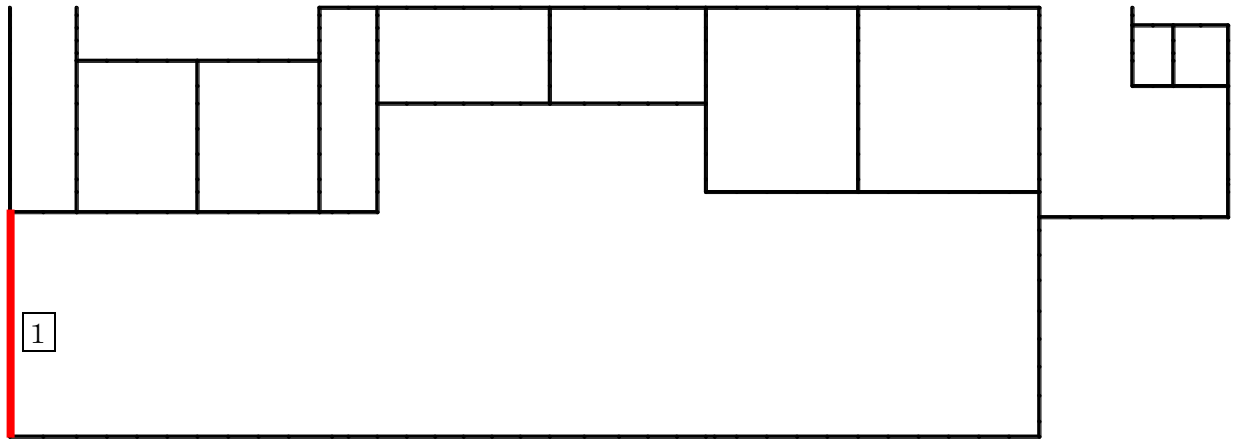
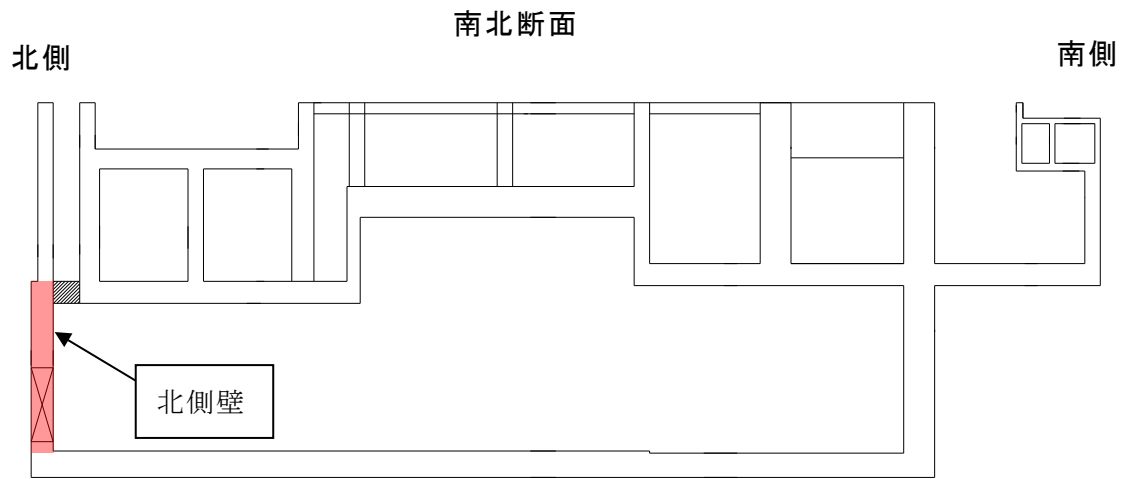
注記*：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

表 8-2 せん断破壊に対する最大照査値（北側壁）

| 評価位置*1 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN) | せん断耐力 $V_{y d}$ (kN) | 照査値 $V_d/V_{y d}$ | |
|--------|-----------|-----|-----------------------------|-------------------------|----------------------|------|
| 北側壁 | 1 | ① | S s - D (--) | 500 | 730 | 0.69 |

注記*1：評価位置は図 8-1 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a



A-A断面

図 8-1 評価位置

8.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 8-3 に示す。

表 8-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力度 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ① | S s - D (+ -) | 1.98 | 9.8 | 0.21 |

VI-2-10-2-7 屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書

目 次

| | | |
|-------|-----------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 一般事項 | 2 |
| 2.1 | 配置概要 | 2 |
| 2.2 | 構造計画 | 5 |
| 2.3 | 評価方針 | 8 |
| 2.4 | 適用規格・基準等 | 9 |
| 2.5 | 記号の説明 | 10 |
| 3. | 評価対象部位 | 13 |
| 4. | 固有周期 | 14 |
| 4.1 | 固有周期の計算方法 | 14 |
| 4.1.1 | 閉門時 | 14 |
| 4.1.2 | 開門時 | 15 |
| 4.2 | 固有周期の計算条件 | 16 |
| 4.2.1 | 閉門時 | 16 |
| 4.2.2 | 開門時 | 17 |
| 4.3 | 固有周期の計算結果 | 18 |
| 4.3.1 | 閉門時 | 18 |
| 4.3.2 | 開門時 | 19 |
| 5. | 構造強度評価 | 20 |
| 5.1 | 構造強度評価方法 | 20 |
| 5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 20 |
| 5.2.1 | 荷重の設定 | 20 |
| 5.2.2 | 荷重の組合せ | 20 |
| 5.3 | 許容限界 | 21 |
| 5.4 | 設計用地震力 | 22 |
| 5.5 | 計算方法 | 26 |
| 5.5.1 | スキンプレート | 26 |
| 5.5.2 | 吊り金具（扉体部，固定部） | 27 |
| 5.5.3 | 吊り手 | 30 |
| 5.5.4 | 吊りピン | 32 |
| 5.5.5 | 戸当り | 34 |
| 5.5.6 | 集水桝（戸当り部コンクリート） | 35 |
| 5.5.7 | アンカーボルト | 36 |
| 5.6 | 計算条件 | 37 |

| | | |
|-------|------------------------|----|
| 6. | 評価結果 | 40 |
| 7. | 集水桝の耐震評価 | 43 |
| 7.1 | 集水桝の構造概要 | 43 |
| 7.2 | 評価方針 | 46 |
| 7.3 | 適用規格・基準等 | 48 |
| 8. | 集水桝の耐震評価方法 | 49 |
| 8.1 | 評価対象断面及び部位 | 49 |
| 8.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 49 |
| 8.2.1 | 荷重の設定 | 49 |
| 8.2.2 | 荷重の組合せ | 49 |
| 8.3 | 許容限界 | 50 |
| 8.3.1 | 集水桝 | 50 |
| 8.3.2 | アンカー筋 | 51 |
| 8.3.3 | 集水桝蓋 | 51 |
| 8.3.4 | アンカーボルト（集水桝蓋） | 51 |
| 8.4 | 設計用地震力 | 52 |
| 8.5 | 評価方法 | 53 |
| 8.5.1 | 集水桝（底版）の評価 | 53 |
| 8.5.2 | 集水桝（側壁）の評価 | 53 |
| 8.5.3 | アンカー筋の評価 | 54 |
| 8.5.4 | 集水桝蓋の評価 | 54 |
| 8.5.5 | アンカーボルト（集水桝蓋）の評価 | 54 |
| 8.6 | 使用材料及び材料の物性値 | 55 |
| 9. | 集水桝の耐震評価結果 | 56 |
| 9.1 | 集水桝の曲げ軸力評価結果 | 56 |
| 9.2 | 集水桝のせん断力評価結果 | 60 |
| 9.3 | アンカー筋の支持性能評価結果 | 61 |
| 9.4 | 集水桝蓋の応力評価結果 | 62 |
| 9.5 | アンカーボルト（集水桝蓋）のせん断力評価結果 | 62 |

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち屋外排水路逆止弁が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。

屋外排水路逆止弁は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。また、屋外排水路逆止弁が設置される集水柵は耐震重要度分類Sクラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから、基準地震動 S_s に対して、構成する部材がおおむね弾性範囲にとどまることを確認するため、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び支持性能評価を行う。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆止弁の設置位置及び屋外排水路逆止弁⑦，⑧-2の構造概要図を図2-1に示す。以降，VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析結果に基づき評価する逆止弁のうち，敷地側と海側の代表として屋外排水路逆止弁⑦，⑧-2を対象とする。

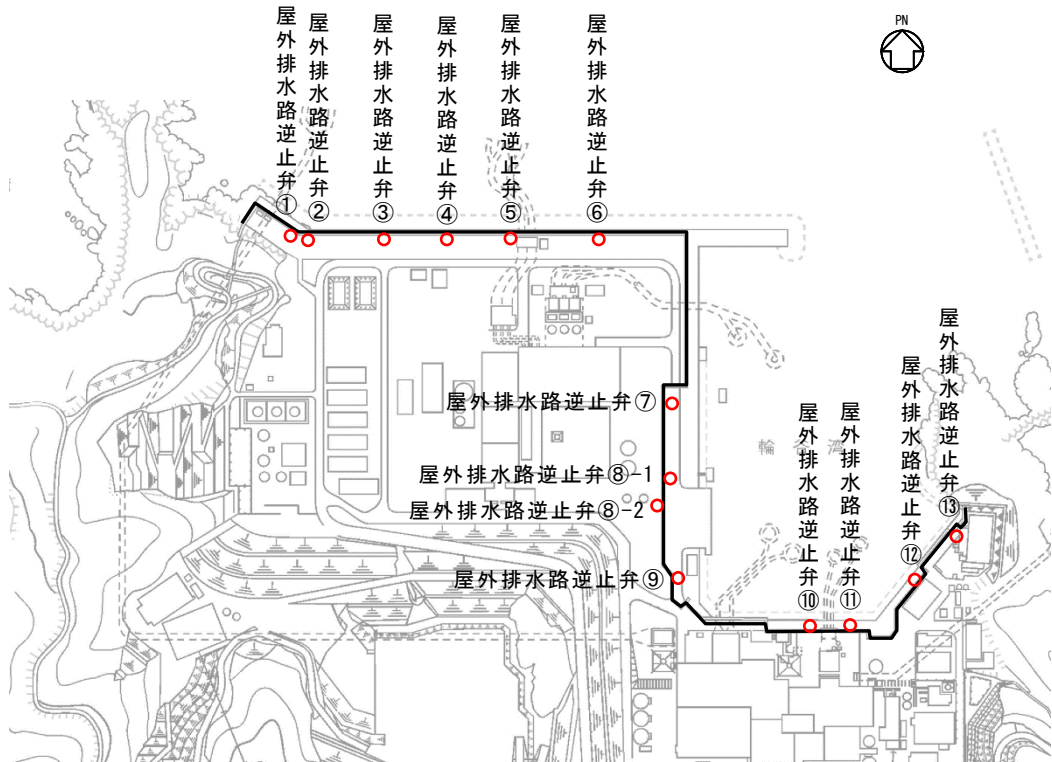


図2-1(1) 屋外排水路逆止弁の設置位置図

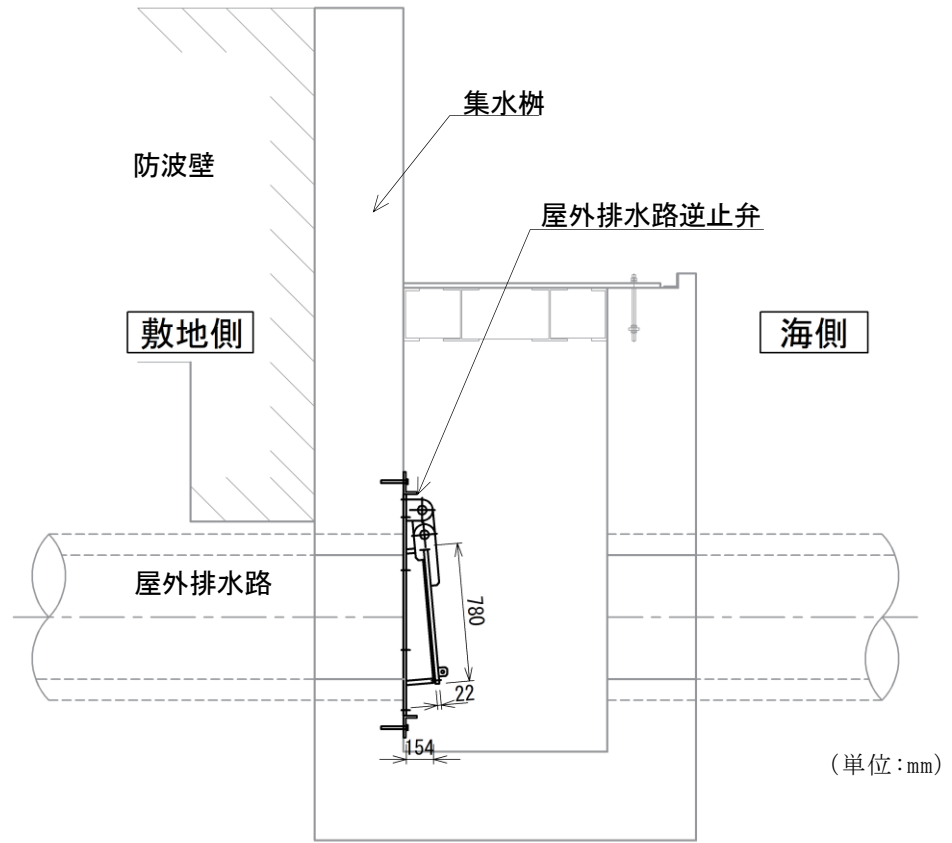


図 2-1(2) 屋外排水路逆止弁⑦の構造概要図

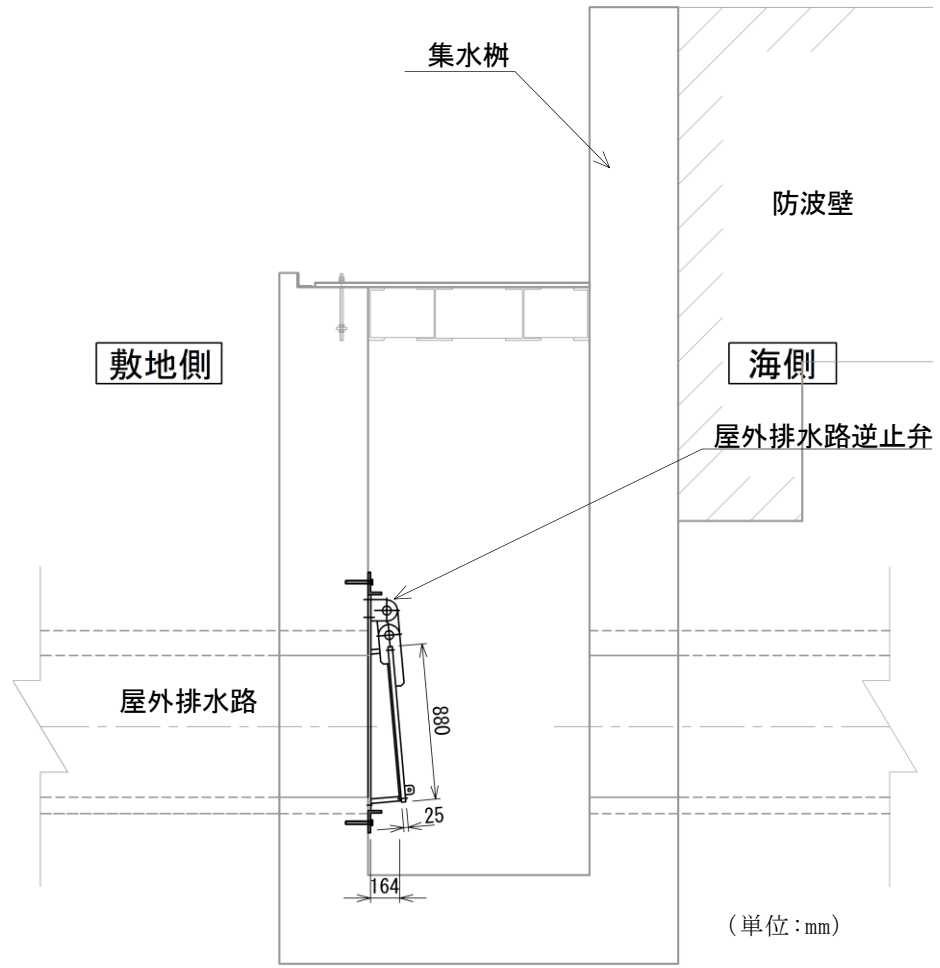


図 2-1(3) 屋外排水路逆止弁⑧-2 の構造概要図

2.2 構造計画

屋外排水路逆止弁の構造は、鋼製の扉体部（スキンプレート、吊り金具及び吊りピン）、固定部（吊り金具、吊りピン、戸当り、集水桝（戸当り部コンクリート）及びアンカーボルト）及びそれらを接続する吊り手で構成される。アンカーボルトで鉄筋コンクリート造の集水桝に固定し、屋外排水路を経路とした津波の流入を防止する。

屋外排水路逆止弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1(1) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑦)

| 計画の概要 | | 説明図 |
|--|------------------------|-----|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| スキンプレー を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水柵に固定す る。 | スキンプレー により構成す る。 | |

S2 補 VI-2-10-2-7 R0

表 2-1(2) 構造計画 (屋外排水路逆止弁⑧-2)

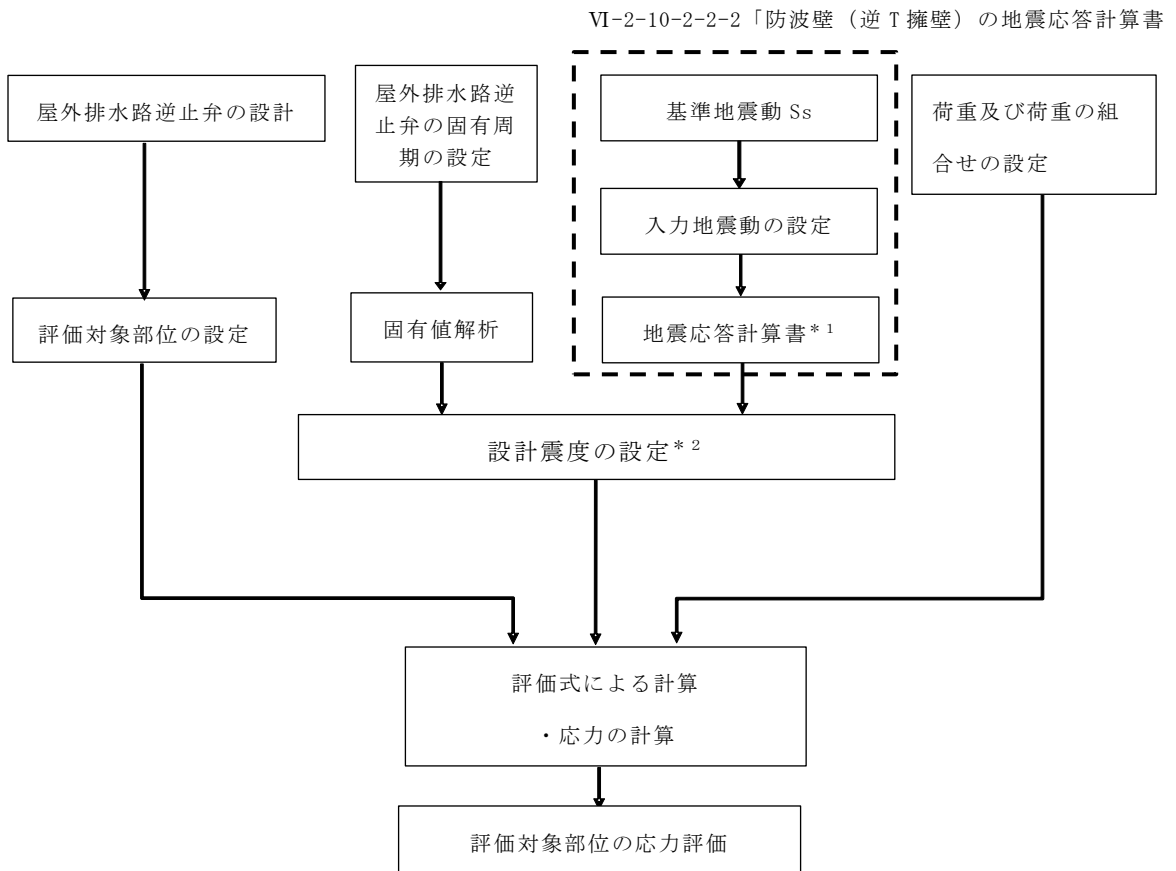
| 計画の概要 | | 説明図 |
|--|------------------------|-------------------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| スキンプレー を吊り手, 吊り ピン, 吊り金具 及びアンカーボ ルトを介して集 水柵に固定す る。 | スキンプレー により構成す る。 | <p>正面図</p> <p>側面図 (単位:mm)</p> |

S2 補 VI-2-10-2-7 R0

2.3 評価方針

屋外排水路逆止弁の耐震評価は、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」に示す屋外排水路逆止弁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「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」に示す方法で確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

屋外排水路逆止弁の耐震評価フローを図 2-2 に示す。



注記 *1：地震応答解析は、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」の結果を用いる。

*2：地震応答解析にて算出された固有周期に基づき設計用震度を設定する。

図 2-2 屋外排水路逆止弁の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

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（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 （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（日本電気協会）
- (4) 日本工業規格 J I S G 4 0 5 3－2008 機械構造用合金鋼鋼材
- (5) ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会，2016年）
- (6) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- (7) 構造力学公式集（土木学会，1988年）
- (8) 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）
- (9) 機械工学便覧 基礎編（日本機械学会，1987年）

2.5 記号の説明

屋外排水路逆止弁の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆止弁の固有周期の計算に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-------|------------------------|-------------------------|
| T | s | 固有周期 |
| f | Hz | 一次固有振動数 |
| L_1 | mm | 梁の長さ（扉体の直径） |
| E | N/mm^2 | ヤング係数 |
| I | mm^4 | 屋外排水路逆止弁の断面二次モーメント |
| m | kg/mm | 扉体部の単位長さ当り質量 |
| g | mm/s^2 | 重力加速度 |
| L_2 | mm | 振り子の長さ（回転支点から扉体重心までの距離） |

表 2-3(1) 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号 (1/2)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|---------------------------------|
| σ_{max} | N/mm ² | スキンプレートの最大応力度 |
| K _h | — | 水平方向の設計震度 |
| P | N/mm ² | 地震時作用単位荷重 |
| D | mm | スキンプレートの受水径 |
| t | mm | スキンプレートの板厚 |
| W _{g1} | N | 扉体自重 |
| σ_{Ax} | N/mm ² | 吊り金具の水平震度による曲げ応力度 (断面A水平方向) |
| W _{kh1} | N | 扉体自重の水平震度による地震時慣性力 |
| a ₁ | mm | ピン穴中心間の距離 |
| a ₂ | mm | 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離 |
| Z _{Ax} | mm ³ | 断面係数 |
| τ_{Ax} | N/mm ² | 吊り金具の水平震度によるせん断応力度 (断面A水平方向) |
| A _A | mm ² | 断面Aの断面積 |
| σ_{xmax} | N/mm ² | 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (断面A水平方向) |
| σ_{Ay} | N/mm ² | 吊り金具の鉛直震度による曲げ応力度 (断面A鉛直方向) |
| W _{kv1} | N | 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力 |
| Z _{Ay} | mm ³ | 断面係数 |
| K _v | — | 鉛直方向の設計震度 |
| τ_{Ay} | N/mm ² | 吊り金具の鉛直震度によるせん断応力度 (断面A鉛直方向) |
| σ_{ymax} | N/mm ² | 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (断面A鉛直方向) |
| τ_B | N/mm ² | 吊り金具の同時加振によるせん断応力度 (断面B) |
| W _{k1} | N | 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 |
| A _B | mm ² | 断面Bの断面積 |
| σ_{C1} | N/mm ² | 吊り手の水平震度による曲げ応力度 (断面C水平方向) |
| Z _C | mm ³ | 断面係数 |
| σ_{C2} | N/mm ² | 吊り手の鉛直震度による引張応力度 (断面C鉛直方向) |
| A _C | mm ² | 断面Cの断面積 |
| σ_{Cmax} | N/mm ² | 吊り手の曲げ応力と引張応力の合成応力度 (断面C) |
| τ_D | N/mm ² | 吊り手の同時加振によるせん断応力度 (断面D) |
| A _D | mm ² | 断面Dの断面積 |

表 2-3(2) 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号 (2/2)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-------------------------------|
| σ_E | N/mm ² | 吊りピンの同時加振による曲げ応力度 (断面 E 水平方向) |
| a_3 | mm | 吊りピンの支点間距離 |
| Z_E | mm ³ | 断面係数 |
| τ_F | N/mm ² | 吊りピンの同時加振によるせん断応力度 (断面 F) |
| A_F | mm ² | 断面 F の断面積 |
| σ | N/mm ² | 戸当りの支圧応力度 |
| P_1 | N | 戸当りへ作用する荷重 |
| b_w | mm | 戸当りの幅 |
| σ_c | N/mm ² | コンクリートの支圧応力度 |
| b_f | mm | コンクリート支圧幅 |
| τ_c | N/mm ² | コンクリートのせん断応力度 |
| L_1 | mm | 有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離 |
| F_1 | N | アンカーボルト 1 本当りに作用する引抜き力 |
| W_{k1}' | N | 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 |
| W_{k2}' | N | 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 |
| n_1 | 本 | 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 |
| W_{kh2} | N | 戸当り自重の水平震度による地震時慣性力 |
| W_{kv2} | N | 戸当り自重の鉛直震度による地震時慣性力 |
| W_{g2} | N | 戸当り自重 |
| S_1 | N | アンカーボルト 1 本当りに作用するせん断力 |
| n_2 | 本 | せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 |

3. 評価対象部位

屋外排水路逆止弁⑦,⑧-2は、鋼製の扉体部（スキンプレート、吊り金具及び吊りピン）、固定部（吊り金具、吊りピン、戸当り、集水桝（戸当り部コンクリート））及びアンカーボルト）及びそれらを接続する吊り手で構成されることから、屋外排水路逆止弁⑦,⑧-2の耐震評価においては、スキンプレート、吊り金具、吊り手、吊りピン、戸当り、集水桝（戸当り部コンクリート）及びアンカーボルトを選定する。

屋外排水路逆止弁の評価対象部位を図3-1に示す。

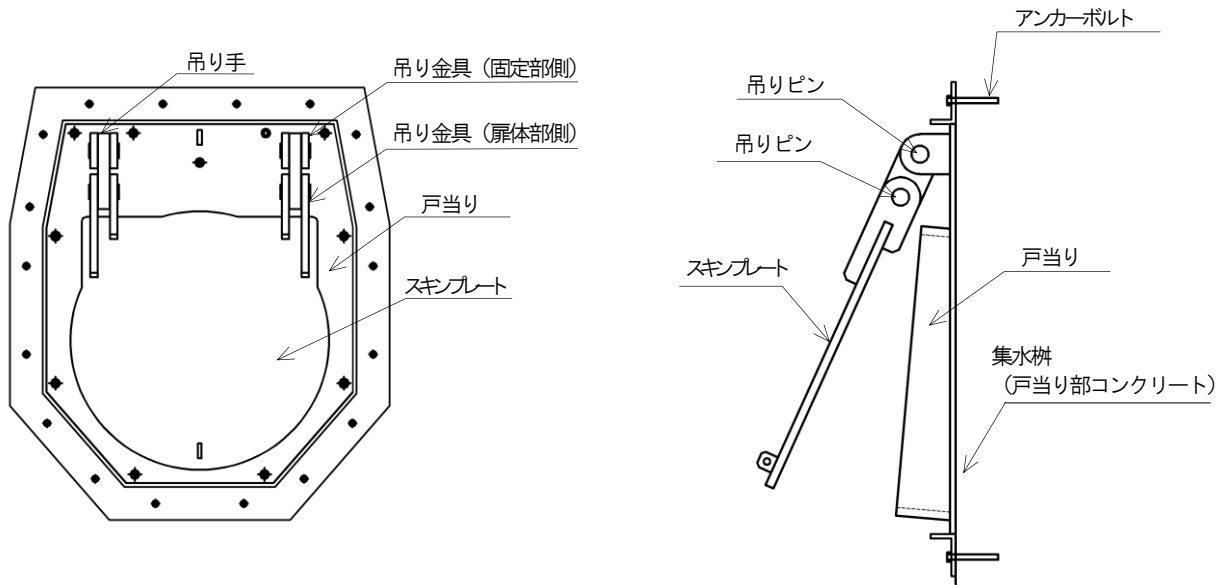


図3-1 屋外排水路逆止弁の評価対象部位（⑦，⑧-2）

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆止弁は扉体部及び固定部で構成されるため、固有周期の計算に用いる解析モデルは扉体部及び固定部をモデル化する。固定部のモデル化については、地震力が屋外排水路逆止弁の閉方向に作用する場合（以下「閉門時」という。）には扉体部は戸当りと密着した状態となることから戸当りを支点とする両端支持梁でモデル化し、地震力が屋外排水路逆止弁の開方向に作用する場合（以下「開門時」という。）には屋外排水路逆止弁がヒンジを中心に縦断方向（水位方向）に振動することから、振り子振動としてモデル化する。なお、横断方向（水平方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから、集水柵と一体の剛体として評価する。

閉門時及び開門時における固有周期の計算を以下で実施する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル（閉門時）

屋外排水路逆止弁の扉体部を両端支持梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算（閉門時）

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

両端支持梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_1^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

T : 固有周期 (s)

f : 一次固有振動数 (Hz)

L_1 : 梁の長さ (扉体の直径) (mm)

E : ヤング係数 (N/mm²)

I : 屋外排水路逆止弁の断面二次モーメント (mm⁴)

m : 扉体部の単位長さ当り質量 (kg/mm)

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル（開門時）

扉体がヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化する。解析モデル図を図4-1に示す。

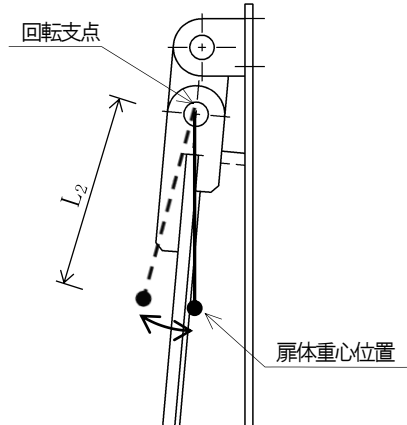


図4-1 解析モデル図（開門時）

(2) 固有周期の計算（開門時）

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。開門時の固有周期は次式により計算する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_2}}$$

T : 固有周期 (s)

f : 一次固有振動数 (Hz)

g : 重力加速度 (mm/s²)

L₂ : 振り子の長さ（回転支点から扉体重心までの距離） (mm)

4.2 固有周期の計算条件

4.2.1 閉門時

屋外排水路逆止弁の閉門時における固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元（閉門時）

| 設備名称 | ヤング係数 E (N/mm ²) | 断面二次モーメント I (mm ⁴) | 扉体部の単位長さ当り質量 m (kg/mm) | 梁の長さ (扉体の径) L ₁ (mm) |
|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--|
| 屋外排水路逆止弁 (⑦) | 1.93 × 10 ⁵ | 6.92 × 10 ⁵ | 0.17 | 780 |
| 屋外排水路逆止弁 (⑧-2) | | 1.15 × 10 ⁶ | 0.21 | 880 |

4.2.2 開門時

屋外排水路逆止弁の開門時における固有周期の計算に必要な諸元を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に必要な諸元（開門時）

| 設備名称 | 振り子の長さ L_2 (mm) | 重力加速度 g (mm/s ²) |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 屋外排水路逆止弁 (⑦) | 454 | 9806.65 |
| 屋外排水路逆止弁 (⑧-2) | 505 | |

4.3 固有周期の計算結果

4.3.1 閉門時

屋外排水路逆止弁の閉門時における固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-3 固有周期の計算結果（閉門時）

| 設備名称 | 固有振動数 f (Hz) | 固有周期 T (s) |
|-------------------|--------------------|------------------|
| 屋外排水路逆止弁 (⑦) | 72.05 | 0.014 |
| 屋外排水路逆止弁 (⑧-2) | 66.10 | 0.015 |

4.3.2 開門時

屋外排水路逆止弁の開門時における固有周期の計算結果を表 4-4 に示す。固有周期が、0.05s を超えたことから、開門時における屋外排水路逆止弁の耐震評価に用いる設計震度のうち水平方向については固有周期の計算結果を踏まえて設定する。

表 4-4 固有周期の計算結果（開門時）

| 設備名称 | 固有振動数 f (Hz) | 固有周期 T (s) |
|-------------------|--------------------|------------------|
| 屋外排水路逆止弁 (⑦) | 0.74 | 1.35 |
| 屋外排水路逆止弁 (⑧-2) | 0.70 | 1.43 |

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆止弁の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆止弁の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆止弁は、構内排水路の集水柵に設置されるため、その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。

荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

| 外力の状態 | 荷重の組合せ |
|-------|--------------------|
| 地震時 | G + S _s |

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

5.3 許容限界

屋外排水路逆止弁の各評価対象部位の許容限界は、評価対象部位毎に「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会平成28年3月）」に規定される短期許容応力度を用いる。アンカーボルトの耐力は「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年）」に基づき設定した耐力を用いる。

屋外排水路逆止弁の許容限界を表5-2に示す。

なお、地震後の再使用性を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、評価対象部位が弾性域内に収まることを基本とする。

表5-2(1) 屋外排水路逆止弁の許容限界

| 評価対象部位 | | 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|--------|---------------------|---------|------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| | | | 曲げ σ_{ab}^* | 引張 σ_{at}^* | せん断 τ_a^* | 支圧 σ_{as}^* |
| 扉体部 | スキンプレート | SUS316L | 135 | - | - | - |
| | 吊り金具 | SUS316L | 135 | - | 75 | - |
| | 吊り手 | SUS316L | 135 | 135 | 75 | - |
| | 吊りピン | SUS316L | 135 | - | 75 | - |
| 固定部 | 戸当り | SUS316L | - | - | - | 202.5 |
| | 集水柵（戸当り部 コンクリート） | コンクリート | - | - | 0.6 | 8.8 |

注記 * : σ_{ab} : 短期許容曲げ応力度, σ_{at} : 短期許容引張応力度, τ_a : 短期許容せん断応力度, σ_{as} : 短期許容支圧応力度を示す。

表5-2(2) 屋外排水路逆止弁の許容限界

| 評価対象部位 | | 材質 | 引張耐力* (N/本) | せん断耐力* (N/本) |
|--------|--------------------------|------------------|----------------|-----------------|
| 固定部 | アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑦) | SUS316L (M16) | 24800 | 15300 |
| | アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑧-2) | SUS316L (M16) | 26300 | 18300 |

注記 * : 「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年）」に基づき、引張耐力及びせん断耐力とする。

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり，閉門時において屋外排水路逆止弁は剛構造として考慮し，屋外排水路逆止弁の設計震度は，VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」の結果に基づき設定する。

屋外排水路逆止弁⑦，⑧-2 の評価対象断面は，集水柵が設置されている断面と同じ投影位置の関係にある荷揚護岸北側部（図 5-1 中の①-①断面）を選定する。

当該エリアの屋外排水路逆止弁の評価対象断面位置を図 5-1 に，評価対象断面の地震応答解析モデル図を図 5-2 に示す。

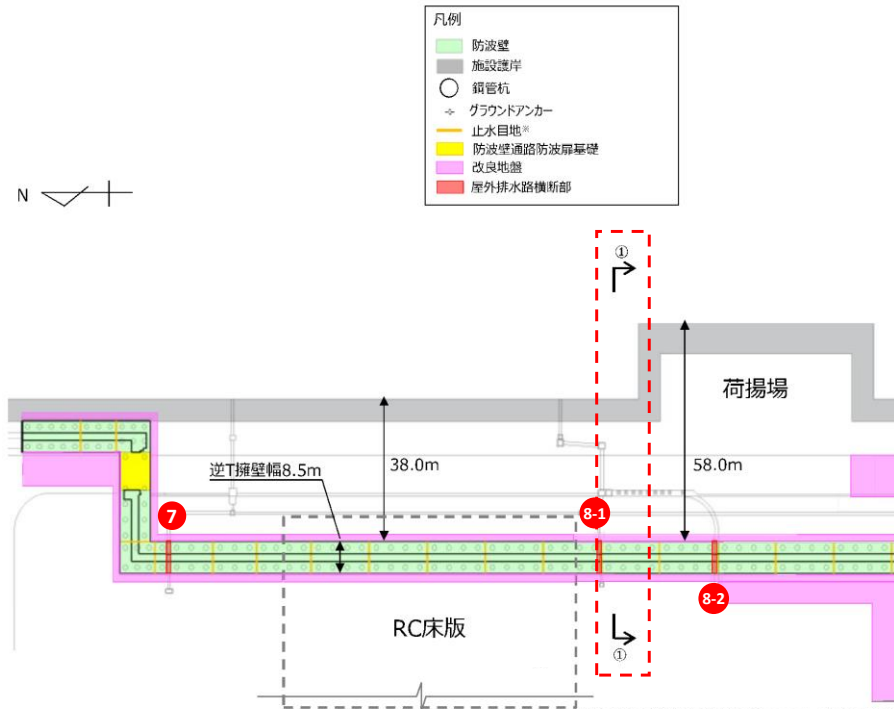


図 5-1 屋外排水路逆止弁⑦，⑧-2 の評価対象断面位置図

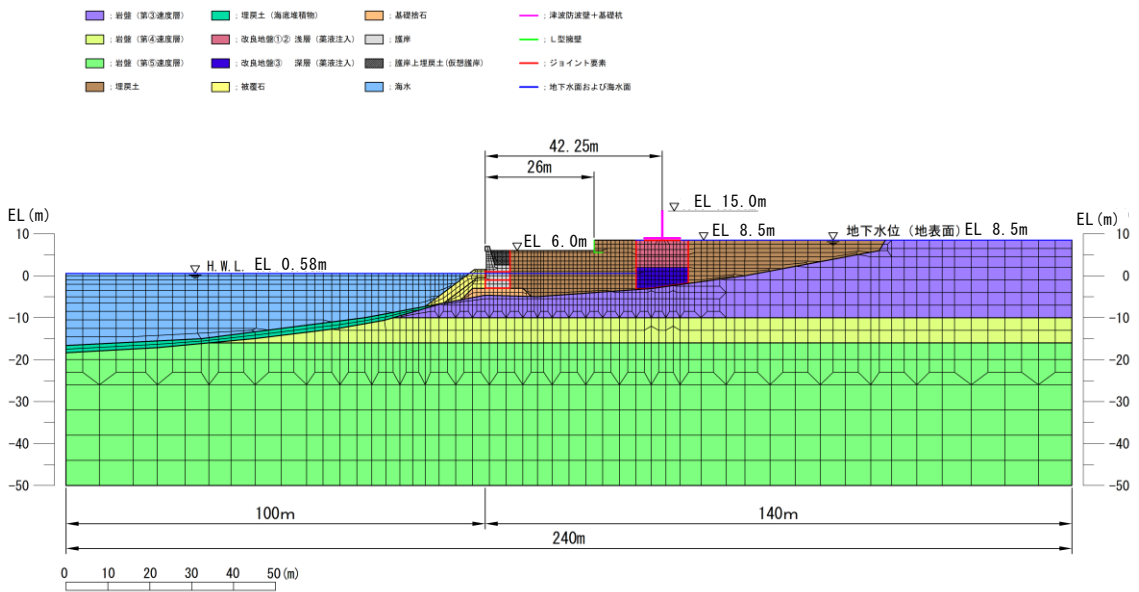


図 5-2 防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析モデル図
（荷揚護岸北側部（①-①断面））

屋外排水路逆止弁の閉門時の評価に用いる設計震度を表 5-3 に、開門時の評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

開門時においては屋外排水路逆止弁の固有周期が 0.05s を超えたことから、屋外排水路逆止弁の開門時の設計震度は、VI-2-10-2-2-2 「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」の結果を踏まえ作成した防波壁（逆 T 擁壁）の設備評価用床応答曲線を踏まえ固有周期を考慮し設定する。

表 5-3 設計用地震力（閉門時）

| 設備名称 | 地震動 | 設置場所及び 床面高さ(m) | 地震による 設計震度 | |
|-----------------|--------------|---------------------------------|---------------|------|
| | | | 水平方向 K h | |
| 屋外排水路逆止弁 ⑦ | 基準地震動 S s | 集水榭 EL 6.21 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K h | 0.91 |
| | | | 鉛直方向 K v | 0.85 |
| 屋外排水路逆止弁 ⑧-2 | | 集水榭 EL 5.54 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K h | 0.91 |
| | | | 鉛直方向 K v | 0.85 |

表 5-4 設計用地震力（開門時）

| 設備名称 | 地震動 | 設置場所及び 床面高さ(m) | 地震による 設計震度 | |
|-----------------|--------------|---------------------------------|---------------|------|
| | | | 水平方向 K h | |
| 屋外排水路逆止弁 ⑦ | 基準地震動 S s | 集水榭 EL 6.21 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K h | 1.24 |
| | | | 鉛直方向 K v | 0.85 |
| 屋外排水路逆止弁 ⑧-2 | | 集水榭 EL 5.54 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K h | 1.16 |
| | | | 鉛直方向 K v | 0.85 |

「閉門時」及び「開門時」にて設定した設計震度から、水平方向については、より震度の大きくなった「開門時」における設計震度を応力評価に考慮し、鉛直方向については「開門時」における設計震度を応力評価に考慮する。

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

5.5.1 スキンプレート

スキンプレートの曲げ応力は円盤周辺単純支持等分布荷重による最大曲げ応力を考える。

スキンプレートのモデル図を図 5-3 に示す。

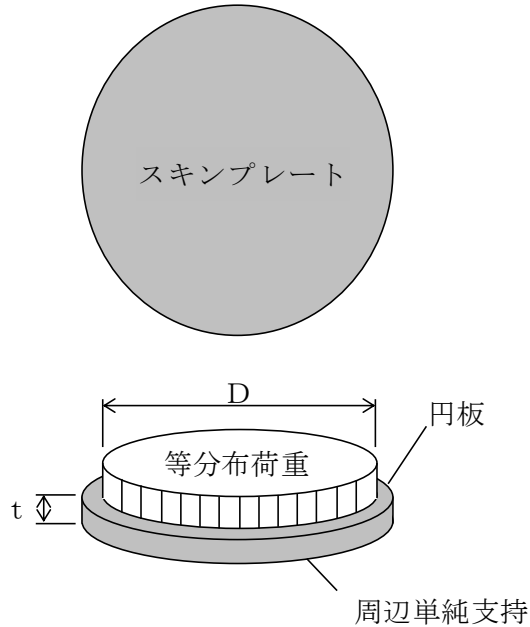


図 5-3 スキンプレートのモデル図

スキンプレートの最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_{\max} = K h \cdot \frac{P \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{t^2}$$

$$P = \frac{W_{g1} \cdot K h}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

σ_{\max} : スキンプレートの最大応力度 (N/mm²)

$K h$: 水平方向の設計震度

P : 地震時作用単位荷重 (N/mm²)

D : スキンプレートの受水径 (mm)

t : スキンプレートの板厚 (mm)

W_{g1} : 扉体自重 (N)

5.5.2 吊り金具（扉体部，固定部）

吊り金具（扉体部，固定部）のモデル図を図5-4に示す。

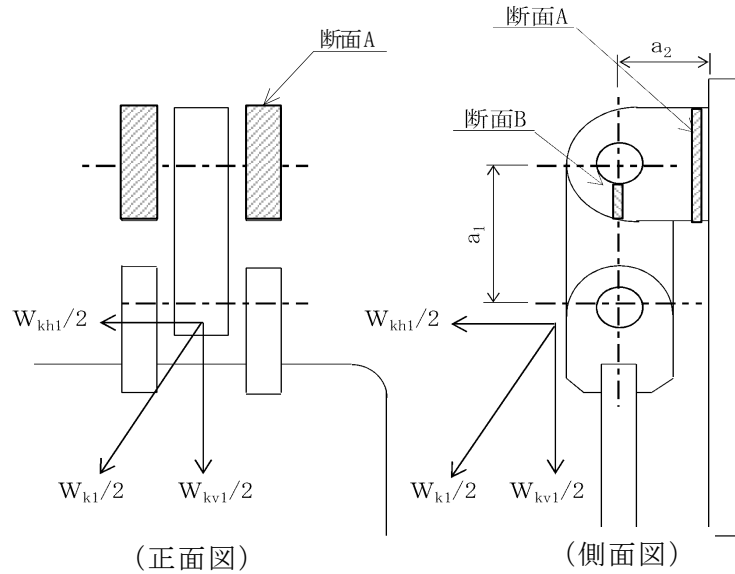


図5-4 吊り金具（扉体部，固定部）のモデル図

吊り金具の最大応力度算定式を以下に示す。

（断面A）

曲げ応力度（水平方向）

$$\sigma_{Ax} = \frac{W_{kh1} \cdot (a_1 + a_2)}{2 \cdot Z_{Ax}}$$

$$W_{Kh1} = W_{g1} \cdot K h$$

σ_{Ax} : 吊り金具の水平震度による曲げ応力度（断面A水平方向）（N/mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平震度による地震時慣性力（N）

a_1 : ピン穴中心間の距離（mm）

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離（mm）

Z_{Ax} : 断面係数（mm³）

W_{g1} : 扉体自重（N）

$K h$: 水平方向の設計震度

せん断応力度（水平方向）

$$\tau_{Ax} = \frac{W_{kh1}}{2 \cdot A_A}$$

τ_{Ax} : 吊り金具の水平震度によるせん断応力度（断面A水平方向）（N/mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平震度による地震時慣性力（N）

A_A : 断面Aの断面積（mm²）

曲げ応力とせん断応力の合成応力度（水平方向）

$$\sigma_{xmax} = \sqrt{\sigma_{Ax}^2 + 3 \times \tau_{Ax}^2}$$

σ_{xmax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度（断面A水平方向）（N/mm²）

σ_{Ax} : 吊り金具の水平震度による曲げ応力度（断面A水平方向）（N/mm²）

τ_{Ax} : 吊り金具の水平震度によるせん断応力度（断面A水平方向）（N/mm²）

曲げ応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{Ay} = \frac{(W_{kv1} + W_{g1}) \cdot a_2}{2 \cdot Z_{Ay}}$$

$$W_{Kv1} = W_{g1} \cdot K_v$$

σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直震度による曲げ応力度（断面A鉛直方向）（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（N）

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離（mm）

Z_{Ay} : 断面係数（mm³）

K_v : 鉛直方向の設計震度

せん断応力度（鉛直方向）

$$\tau_{Ay} = \frac{W_{kv1} + W_{g1}}{2 \cdot A_A}$$

- τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直震度によるせん断応力度（断面A鉛直方向）（N/mm²）
 W_{kv1} : 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力（N）
 W_{g1} : 扉体自重（N）
 A_A : 断面Aの断面積（mm²）

曲げ応力とせん断応力の合成応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{ymax} = \sqrt{\sigma_{Ay}^2 + 3 \times \tau_{Ay}^2}$$

- σ_{ymax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度（断面A鉛直方向）（N/mm²）
 σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直震度による曲げ応力度（断面A鉛直方向）（N/mm²）
 τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直震度によるせん断応力度（断面A鉛直方向）（N/mm²）

（断面B）

せん断応力度

$$\tau_B = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_B}$$

$$W_{k1} = \sqrt{W_{kh1}^2 + W_{kv1}^2}$$

- τ_B : 吊り金具の同時加震によるせん断応力度（断面B）（N/mm²）
 W_{k1} : 扉体自重の同時加震による地震時慣性力（N）
 W_{g1} : 扉体自重（N）
 A_B : 断面Bの断面積（mm²）
 W_{kh1} : 扉体自重の水平震度による地震時慣性力（N）
 W_{kv1} : 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力（N）

5.5.3 吊り手

吊り手のモデル図を図5-5に示す。

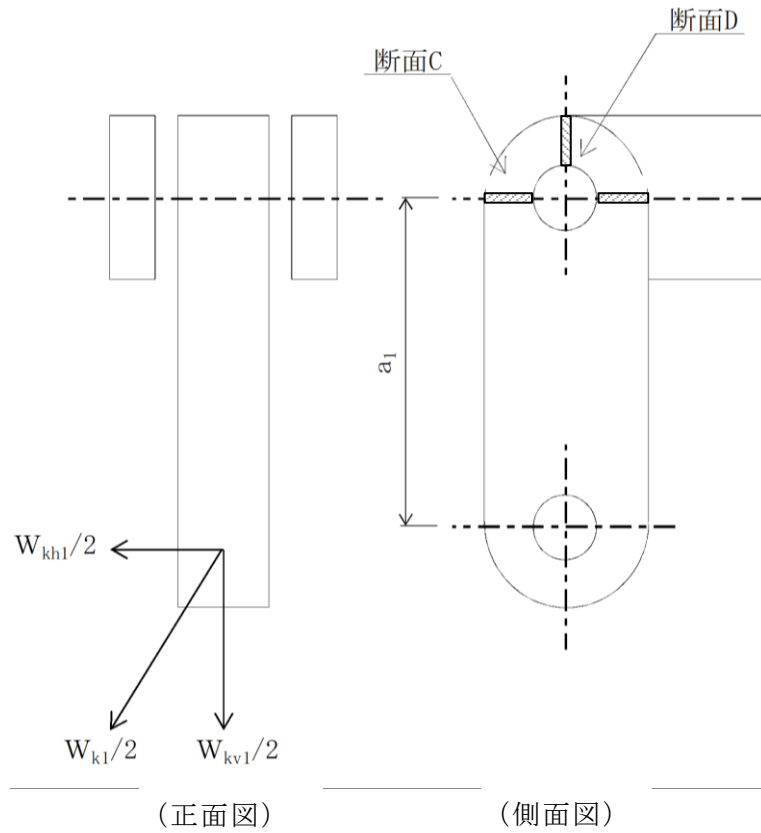


図5-5 吊り手のモデル図

吊り手の最大応力度算定式を以下に示す。

(断面C)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_{c1} = \frac{W_{kh1} \cdot a_1}{2 \cdot Z_c}$$

σ_{c1} : 吊り手の水平震度による曲げ応力度 (断面C水平方向) (N/mm²)

W_{kh1} : 扉体自重の水平震度による地震時慣性力 (N)

a_1 : ピン穴中心間の距離 (mm)

Z_c : 断面係数 (mm³)

引張応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{C2} = \frac{W_{kv1} \cdot W_{g1}}{2 \cdot A_C}$$

σ_{C2} : 吊り手の鉛直震度による引張応力度（断面C鉛直方向）（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（N）

A_C : 断面Cの断面積（mm²）

曲げ応力と引張応力の合成応力度

$$\sigma_{Cmax} = \sigma_{C1} + \sigma_{C2}$$

σ_{Cmax} : 吊り手の曲げ応力と引張応力の合成応力度（断面C）（N/mm²）

σ_{C1} : 吊り手の水平震度による曲げ応力度（断面C水平方向）（N/mm²）

σ_{C2} : 吊り手の鉛直震度による引張応力度（断面C鉛直方向）（N/mm²）

（断面D）

せん断応力度

$$\tau_D = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{2 \cdot A_D}$$

τ_D : 吊り手の同時加震によるせん断応力度（断面D）（N/mm²）

W_{k1} : 扉体自重の同時加震による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（N）

A_D : 断面Dの断面積（mm²）

5.5.4 吊りピン

吊りピンのモデル図を図 5-6 に示す。

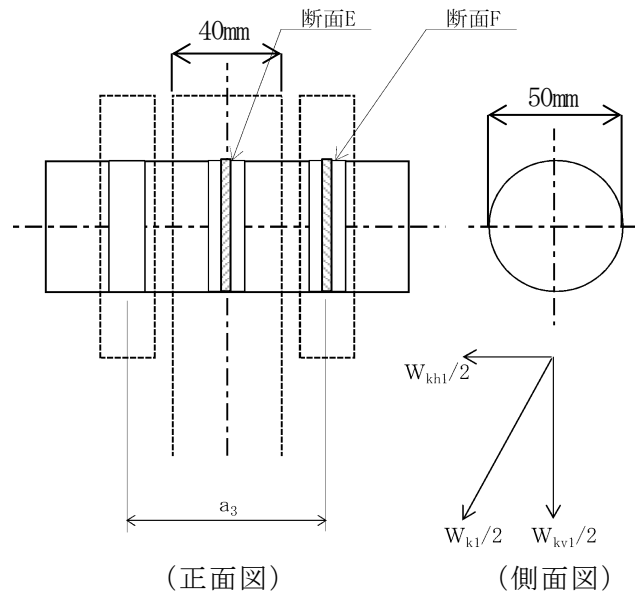


図 5-6 吊りピンのモデル図

吊りピンの最大応力度算定式を以下に示す。

(断面 E)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{(W_{k1} + W_{g1}) \cdot a_3}{4 \cdot Z_E}$$

σ_E : 吊りピンの同時加震による曲げ応力度 (断面 E 水平方向) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加震による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (N)

a_3 : 吊りピンの支点間距離 (mm)

Z_E : 断面係数 (mm³)

(断面 F)

せん断応力度

$$\tau_F = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_F}$$

τ_F : 吊りピンの同時加震によるせん断応力度 (断面 F) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加震による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (N)

A_F : 断面 F の断面積 (mm²)

5.5.5 戸当り

戸当りは、等分布荷重を受ける支圧材として、発生する支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りのモデル図を図 5-7 に示す。

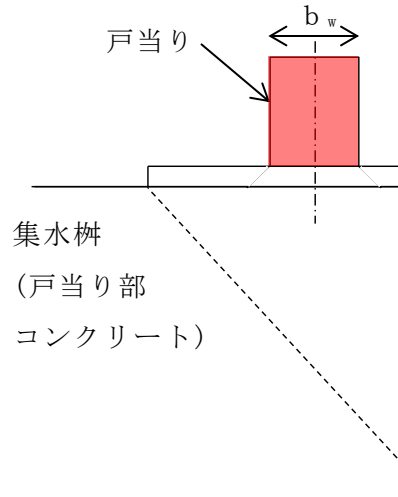


図 5-7 戸当りのモデル図

戸当りの最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma = \frac{P_1}{b_w \cdot D \cdot \pi}$$

$$P_1 = W_{g1} \cdot K h$$

σ : 戸当りの支圧応力度 (N/mm²)

P_1 : 戸当りへ作用する荷重 (N)

b_w : 戸当りの幅 (mm)

D : スキンプレートの受圧径 (mm)

W_{g1} : 扉体自重 (N)

$K h$: 鉛直方向の設計震度

5.5.6 集水桝（戸当り部コンクリート）

戸当り部コンクリートは、コンクリートに加わる圧力を戸当り全周で支持するものとして、コンクリートに発生する支圧応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当り部コンクリートのモデル図を図 5-8 に示す。

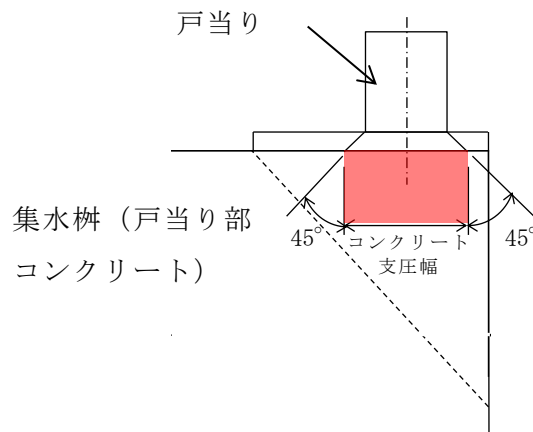


図 5-8 集水桝（戸当り部コンクリート）のモデル図

集水桝（戸当り部コンクリート）の最大応力度算定式を以下に示す。

$$\sigma_c = \frac{P_1}{b_f \cdot D \cdot \pi}$$

$$\tau_c = \frac{P_1}{2 \cdot L_1 \cdot D \cdot \pi}$$

σ_c : コンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_1 : 戸当りへ作用する荷重 (N)

b_f : コンクリート支圧幅 (mm)

D : スキンプレートの受圧径 (mm)

τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

L_1 : 有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離 (mm)

5.5.7 アンカーボルト

アンカーボルトの応力算定式を以下に示す。

アンカーボルトに作用する引抜き力

$$F_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_1}$$

$$W_{k1}' = \sqrt{W_{kh1}^2 + (W_{Kv1} + W_{g1})^2}$$

$$W_{k2}' = \sqrt{W_{kh2}^2 + (W_{Kv2} + W_{g2})^2}$$

- F_1 : アンカーボルト 1 本当りに作用する引抜き力 (N)
 W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)
 W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)
 n_1 : 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)
 W_{kh1} : 扉体自重の水平震度による地震時慣性力 (N)
 W_{kv1} : 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力 (N)
 W_{g1} : 扉体自重 (N)
 W_{kh2} : 戸当り自重の水平震度による地震時慣性力 (N)
 W_{kv2} : 戸当り自重の鉛直震度による地震時慣性力 (N)
 W_{g2} : 戸当り自重 (N)

アンカーボルトに作用するせん断力

$$S_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_2}$$

- S_1 : アンカーボルト 1 本当りに作用するせん断力 (N)
 W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)
 W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)
 n_2 : せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)

5.6 計算条件

屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる計算条件を表 5-5 に示す。

表 5-5(1) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑦）

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------------------|-----------|------------|-----------------------------|--------|
| 共通 | K_h | — | 水平方向の設計震度 | 1.24 |
| | K_v | — | 鉛直方向の設計震度 | 0.85 |
| | W_{g1} | N | 扉体自重 | 1300 |
| | W_{g2} | N | 戸当り自重 | 2280 |
| | W_{kh1} | N | 扉体自重の水平震度による地震時慣性力 | 1612 |
| | W_{kv1} | N | 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力 | 1105 |
| | W_{k1} | N | 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 | 1954 |
| | W_{k1}' | N | 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 | 2895 |
| | W_{kh2} | N | 戸当り自重の水平震度による地震時慣性力 | 2827 |
| | W_{kv2} | N | 戸当り自重の鉛直震度による地震時慣性力 | 1938 |
| | W_{k2}' | N | 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 | 5078 |
| | D | mm | スキンプレートの受水径 | 740 |
| | t | mm | スキンプレートの板厚 | 22 |
| | a_1 | mm | ピン穴中心間の距離 | 140 |
| | a_2 | mm | 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離 | 90 |
| a_3 | mm | 吊りピンの支点間距離 | 67 | |
| スキンプレート | P | N/mm^2 | 地震時作用単位荷重 | 0.004 |
| 吊り金具 | Z_{Ax} | mm^3 | 断面係数 | 153174 |
| | A_A | mm^2 | 断面Aの断面積 | 6000 |
| | Z_{Ay} | mm^3 | 断面係数 | 120000 |
| | A_B | mm^2 | 断面Bの断面積 | 850 |
| 吊り手 | Z_C | mm^3 | 断面係数 | 18400 |
| | A_C | mm^2 | 断面Cの断面積 | 2760 |
| | A_D | mm^2 | 断面Dの断面積 | 1360 |
| 吊りピン | Z_E | mm^3 | 断面係数 | 12272 |
| | A_F | mm^2 | 断面Fの断面積 | 1963 |
| 戸当り | P_1 | N | 戸当りへ作用する荷重 | 1612 |
| | b_w | mm | 戸当りの幅 | 25 |
| 集水枒 (戸当り部コンクリート) | b_f | mm | コンクリート支圧幅 | 57 |
| | L_1 | mm | 有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離 | 120 |
| アンカーボルト | n_1 | 本 | 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 | 4 |
| | n_2 | 本 | せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 | 4 |

表 5-5(2) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑧-2）

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------------------|-----------|------------|-----------------------------|--------|
| 共通 | K_h | — | 水平方向の設計震度 | 1.16 |
| | K_v | — | 鉛直方向の設計震度 | 0.85 |
| | W_{g1} | N | 扉体自重 | 1800 |
| | W_{g2} | N | 戸当り自重 | 2700 |
| | W_{kh1} | N | 扉体自重の水平震度による地震時慣性力 | 2088 |
| | W_{kv1} | N | 扉体自重の鉛直震度による地震時慣性力 | 1530 |
| | W_{k1} | N | 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 | 2589 |
| | W_{k1}' | N | 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 | 3930 |
| | W_{kh2} | N | 戸当り自重の水平震度による地震時慣性力 | 3132 |
| | W_{kv2} | N | 戸当り自重の鉛直震度による地震時慣性力 | 2295 |
| | W_{k2}' | N | 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力 | 5896 |
| | D | mm | スキンプレートの受水径 | 840 |
| | t | mm | スキンプレートの板厚 | 25 |
| | a_1 | mm | ピン穴中心間の距離 | 140 |
| | a_2 | mm | 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離 | 90 |
| a_3 | mm | 吊りピンの支点間距離 | 67 | |
| スキンプレート | P | N/mm^2 | 地震時作用単位荷重 | 0.004 |
| 吊り金具 | Z_{Ax} | mm^3 | 断面係数 | 153174 |
| | A_A | mm^2 | 断面Aの断面積 | 6000 |
| | Z_{Ay} | mm^3 | 断面係数 | 120000 |
| | A_B | mm^2 | 断面Bの断面積 | 850 |
| 吊り手 | Z_C | mm^3 | 断面係数 | 18400 |
| | A_C | mm^2 | 断面Cの断面積 | 2760 |
| | A_D | mm^2 | 断面Dの断面積 | 1360 |
| 吊りピン | Z_E | mm^3 | 断面係数 | 12272 |
| | A_F | mm^2 | 断面Fの断面積 | 1963 |
| 戸当り | P_1 | N | 戸当りへ作用する荷重 | 2088 |
| | b_w | mm | 戸当りの幅 | 25 |
| 集水枈 (戸当り部コンクリート) | b_f | mm | コンクリート支圧幅 | 57 |
| | L_1 | mm | 有効径内径より戸当りアンカー板端面までの距離 | 120 |
| アンカーボルト | n_1 | 本 | 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 | 4 |
| | n_2 | 本 | せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 | 4 |

6. 評価結果

屋外排水路逆止弁の評価部位の耐震評価結果を表 6-1 に示す。

発生応力が許容応力以下であることから、構造部材が十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6-1(1) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑦）

| 評価部位 | 評価応力 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) |
|---|--|---|-------------|--------------|
| スキンプレート | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 1.40 | 135 | 0.02 |
| 吊り金具 (扉体部, 固定部) | 曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.20 | 135.0 | 0.01 |
| | せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 0.10 | 75.0 | 0.01 |
| | 合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.20 | 148.5 | 0.01 |
| | 曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 0.90 | 135.0 | 0.01 |
| | せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 0.20 | 75.0 | 0.01 |
| | 合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.00 | 148.5 | 0.01 |
| | せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²) | 1.00 | 75.0 | 0.02 |
| | 吊り手 | 曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | 6.10 | 135.0 |
| 引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | | 0.40 | 135.0 | 0.01 |
| 合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | | 6.50 | 135.0 | 0.05 |
| せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²) | | 1.20 | 75.0 | 0.02 |
| 吊りピン | 曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²) | 2.20 | 135.0 | 0.02 |
| | せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²) | 0.40 | 75.0 | 0.01 |
| 戸当り | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.03 | 202.5 | 0.01 |
| 集水桝 (戸当り部コン クリート) | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.01 | 8.8 | 0.01 |
| | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.003 | 0.6 | 0.01 |
| アンカーボルト 〈M16〉 | 引抜き力 (N/本) | 1993 | 24800 | 0.09 |
| | せん断力 (N/本) | 1993 | 15300 | 0.14 |

表 6-1(2) 耐震評価結果 (屋外排水路逆止弁⑧-2)

| 評価部位 | 評価応力 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) |
|----------------------|--|------------|-------------|--------------|
| スキンプレート | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 1.40 | 135 | 0.02 |
| 吊り金具 (扉体部, 固定部) | 曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.60 | 135.0 | 0.02 |
| | せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 0.20 | 75.0 | 0.01 |
| | 合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.60 | 148.5 | 0.02 |
| | 曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.20 | 135.0 | 0.01 |
| | せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 0.30 | 75.0 | 0.01 |
| | 合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²) | 1.30 | 148.5 | 0.01 |
| | せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²) | 1.30 | 75.0 | 0.02 |
| 吊り手 | 曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | 7.90 | 135.0 | 0.06 |
| | 引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | 0.60 | 135.0 | 0.01 |
| | 合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²) | 8.50 | 135.0 | 0.07 |
| | せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²) | 1.60 | 75.0 | 0.03 |
| 吊りピン | 曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²) | 3.00 | 135.0 | 0.03 |
| | せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²) | 0.60 | 75.0 | 0.01 |
| 戸当り | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.03 | 202.5 | 0.01 |
| 集水柵 (戸当り部コン クリート) | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.01 | 8.8 | 0.01 |
| | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.003 | 0.6 | 0.01 |
| アンカーボルト 〈M16〉 | 引抜き力 (N/本) | 2457 | 26300 | 0.10 |
| | せん断力 (N/本) | 2457 | 18300 | 0.14 |

7. 集水桝の耐震評価

7.1 集水桝の構造概要

集水桝は、底版と4面の壁からなる鉄筋コンクリート構造物であり、防波壁（逆T擁壁）にアンカー筋により固定する。

集水桝に要求される機能維持の確認として、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び構造部材の支持性能評価を行う。

集水桝の位置図を図7-1に、構造図を図7-2に示す。

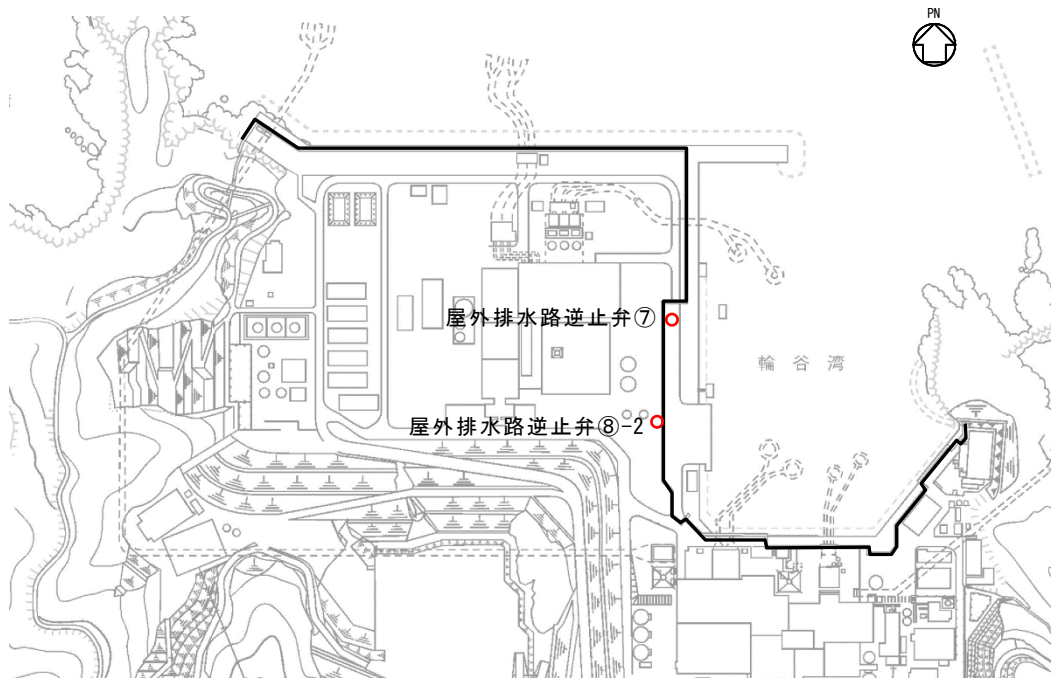


図7-1 集水桝位置図

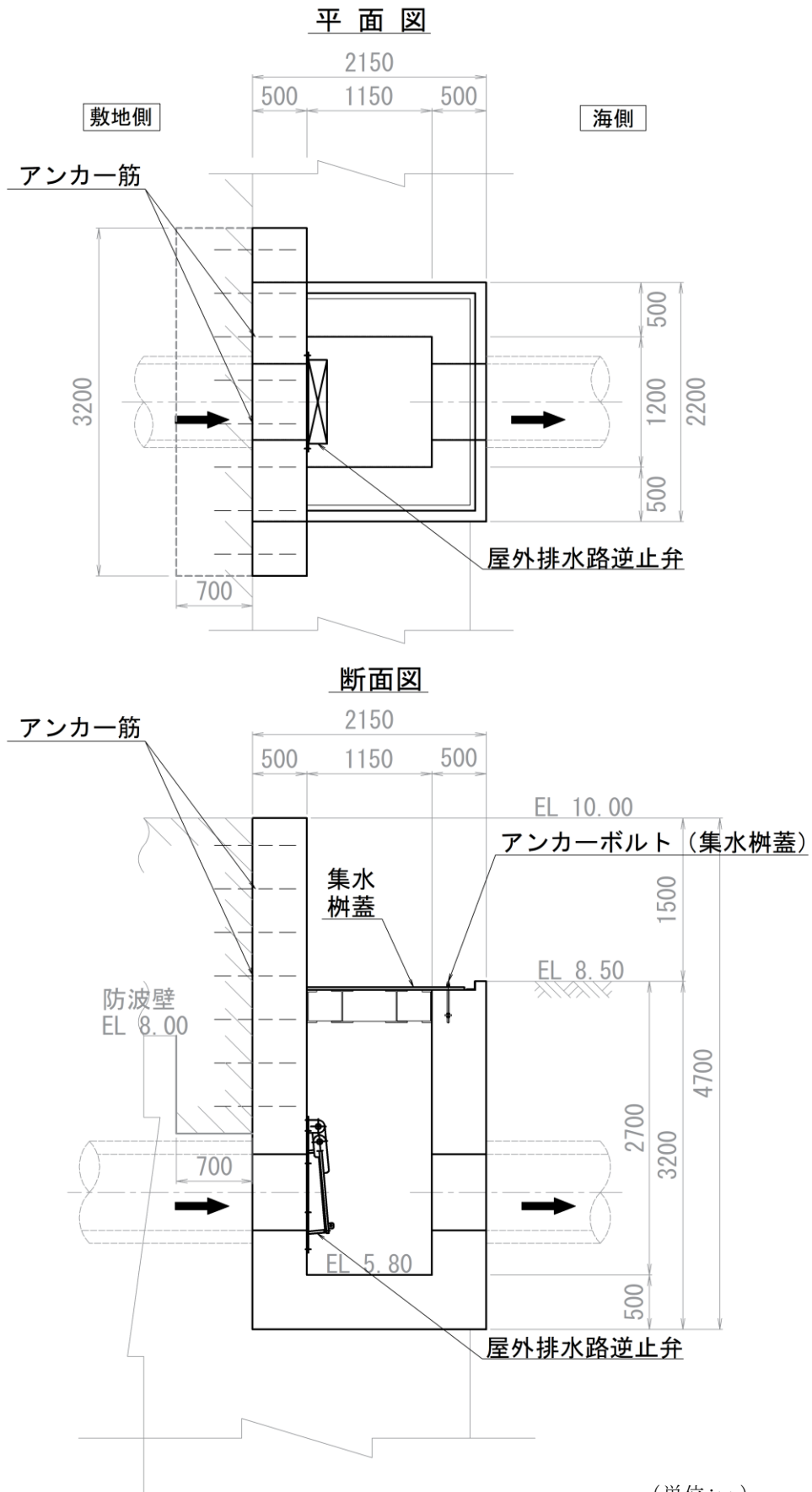


図 7-2(1) 集水柵⑦構造図

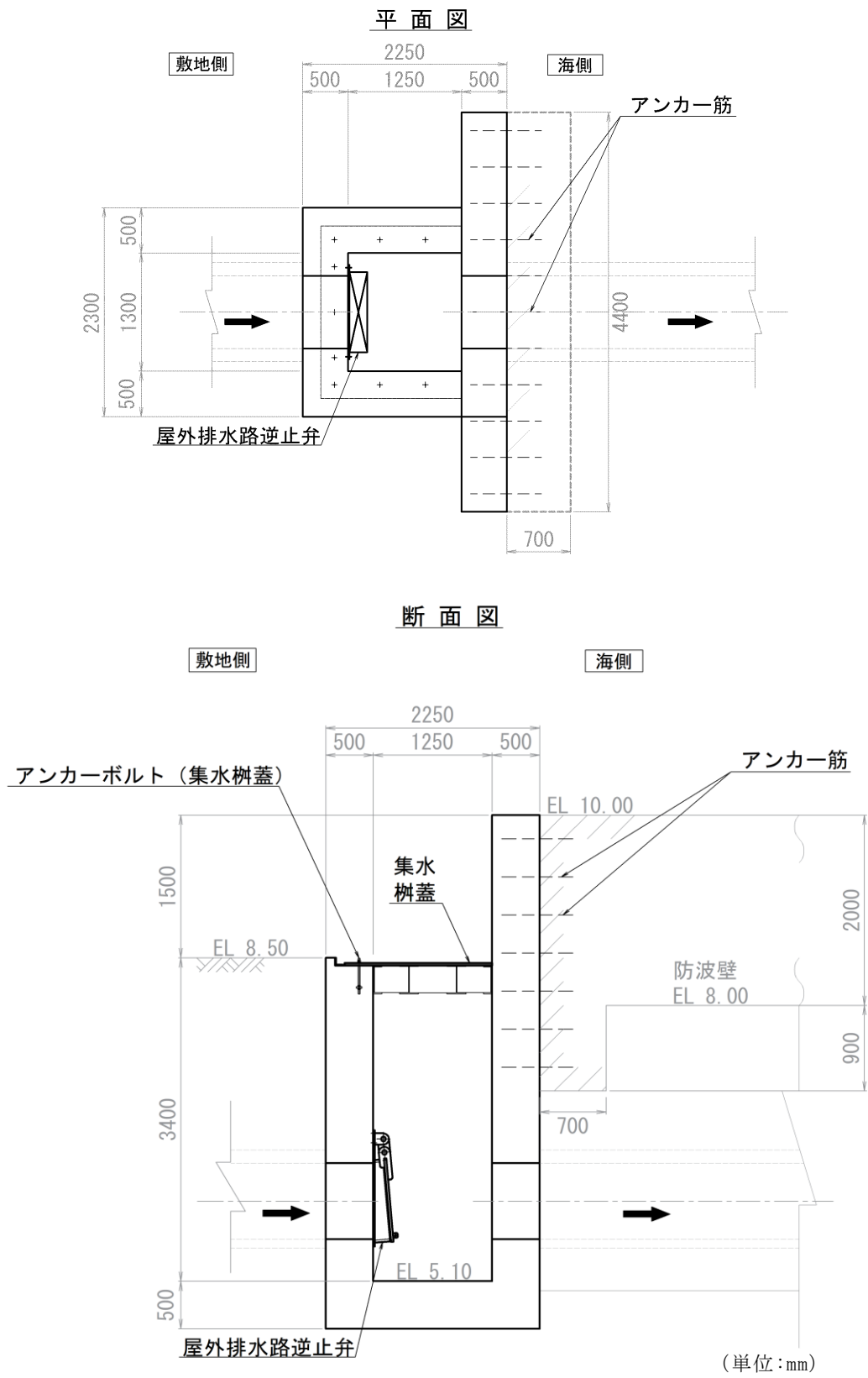


図 7-2(2) 集水柵⑧-2 構造図

7.2 評価方針

集水樹の耐震評価は、「8. 集水樹の耐震評価方法」に示す方法により評価し、「9. 集水樹の耐震評価結果」より、集水樹の評価対象部位の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

集水樹の耐震評価においては、その構造を踏まえ、地震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 集水樹

集水樹の耐震評価は、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」により得られた地震荷重に対して、設計基準対象施設の評価として、表7-1の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び集水樹の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び集水樹の支持性能評価を実施することで、集水樹が構造強度を有すること及び屋外排水路逆止弁を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材のうち集水樹（底版、側壁）及び集水樹蓋の健全性評価については、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。また、アンカーボルト（集水樹蓋）については、発生するせん断力が許容限界以下であることを確認する。

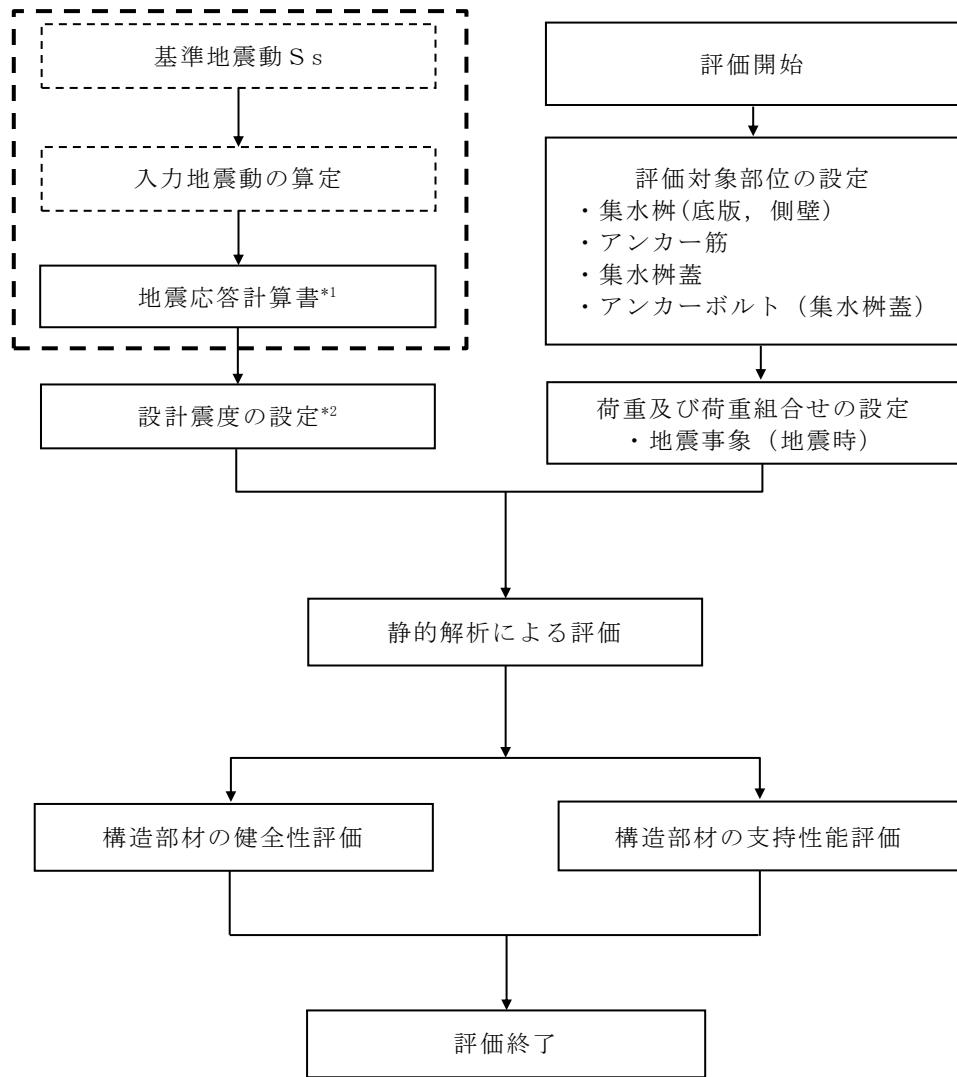
集水樹の支持性能評価については、集水樹が防波壁とアンカー筋により固定することから、防波壁との接合アンカー筋に発生する引張力及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

集水樹の耐震評価フローを図7-3に示す。

表7-1 集水樹の評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 評価対象部位 | 評価方法 | 許容限界 |
|-------------|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性 | 集水樹 (底版, 側壁) | 発生する応力が許容限界を下回ることを確認 | 短期許容応力度 |
| | | 集水樹蓋 | | |
| | | アンカーボルト (集水樹蓋) | 発生するせん断力が許容限界を下回ることを確認 | せん断耐力 |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の支持性能 | アンカー筋 | 発生する引張力及びせん断力が許容限界を下回ることを確認 | 引張耐力及びせん断耐力 |

VI-2-10-2-2-2 「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書



注記 *1：地震応答解析は，VI-2-10-2-2-2 「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」の結果を用いる。

*2：地震応答解析にて算出された最大加速度による設計用震度を設定する。

図 7-3 集水枿の耐震評価フロー

7.3 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会，2002 年制定)
- (2) 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会，2002 年 3 月)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- (4) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会 原子力土木委員会，2005 年 6 月)
- (5) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会，2010 年)

8. 集水桝の耐震評価方法

8.1 評価対象断面及び部位

集水桝の評価対象断面は「5.4 設計用地震力」に示す断面とする。構造部材の健全性評価対象部位は、集水桝の底版と側壁、集水桝蓋及び集水桝と集水桝蓋を接合するアンカーボルトとする。集水桝の支持性能の評価対象部位は、集水桝を防波壁に固定するアンカー筋とする。

8.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

8.2.1 荷重の設定

集水桝の耐震評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆止弁及び蓋の荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

8.2.2 荷重の組合せ

集水桝における荷重の組合せを表 8-1 に示す。

表 8-1 荷重の組合せ

| 外力の状態 | 荷重の組合せ |
|-------|---------------|
| 地震時 | $G + P + S_s$ |

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

8.3 許容限界

8.3.1 集水桝

集水桝（底版及び側壁）の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）」に基づき，表8-2に示す短期許容応力度とする。

表8-2 鉄筋コンクリートの許容限界

| 評価項目 | | 許容限界 (N/mm ²) |
|--|--------------------------------------|---------------------------|
| コンクリート ($f'_{ck}=24$ N/mm ²) | 短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} | 13.5* |
| | 短期許容せん断応力度 τ_{a1} | 0.675* |
| 鉄筋 (SD345) | 短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa2} (曲げ軸力) | 294* |
| | 短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa2} (せん断力) | 294* |

注記 * : コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）

8.3.2 アンカー筋

集水桝のアンカー筋の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）」に基づき，表8-3に示す引張耐力及びせん断耐力とする。

表8-3 アンカー筋の許容限界

| 設備名称 | 引張耐力 (kN/本) | せん断耐力 (kN/本) |
|------------------|----------------|-----------------|
| 集水桝（屋外排水路逆止弁⑦） | 105.40 | 98.17 |
| 集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-2） | 105.40 | 98.17 |

8.3.3 集水桝蓋

集水桝に設置する集水桝蓋の許容限界は、「道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編（日本道路協会，平成24年3月）」に基づき，表8-4に示す曲げ応力度及びせん断応力度とする。また，評価においては防波壁の敷地側に設置している集水桝（逆止弁⑧-2）を評価する。

表8-4 集水桝蓋（鋼板）の許容限界

| 設備名称 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | せん断応力度 (N/mm ²) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-2） | 210 | 120 |

8.3.4 アンカーボルト（集水桝蓋）

集水桝と桝蓋を接合するアンカーボルト（集水桝蓋）の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010年）」に基づき，表8-5に示すせん断耐力とする。また，評価においては浸水防止の観点から防波壁の敷地側に設置している集水桝（逆止弁⑧-2）を評価する。

表8-5 アンカーボルト（集水桝蓋）の許容限界

| 設備名称 | せん断耐力 (kN/本) |
|------------------|-----------------|
| 集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-2） | 35.34 |

8.4 設計用地震力

集水桝の設計震度は、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」における地表面（EL 8.5m）の最大応答加速度に基づき設定する。

集水桝の評価の用いる設計用地震力を表 8-6 に示す。

表 8-6 設計用地震力（集水桝）

| 設備名称 | 地震動 | 設置場所及び 床面高さ(m) | 地震による 設計震度 | |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|------|
| | | | | |
| 屋外排水路逆止弁 ⑦ | 基準地震動 S _s | 集水桝 EL 6.21 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K _h | 0.91 |
| | | | 鉛直方向 K _v | 0.85 |
| 屋外排水路逆止弁 ⑧-2 | | 集水桝 EL 5.54 m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K _h | 0.91 |
| | | | 鉛直方向 K _v | 0.85 |

8.5 評価方法

8.5.1 集水桝(底版)の評価

集水桝の底版については、法線方向及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端とする四辺固定スラブとして鉄筋コンクリート部材の構造健全性を確認する。底版に生じる曲げモーメント及びせん断力によって底版のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。四辺固定版モデル概要図を図8-1に示す。

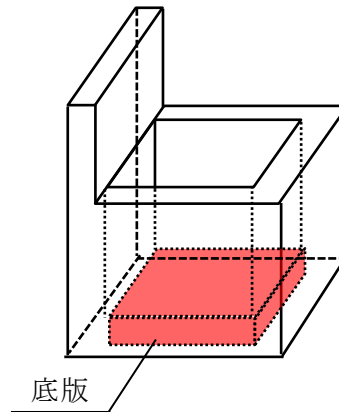


図8-1 四辺固定版モデル概要図

8.5.2 集水桝(側壁)の評価

集水桝の側壁については、底版及び法線直交方向の側壁との結合部を固定端、開口面となる上面を自由端とする三辺固定一边自由スラブとして曲げモーメント及びせん断力を算出し、鉄筋コンクリートの構造健全性を確認する。側壁に生じる曲げモーメント及びせん断力によって側壁のみを有効断面として応力度を算出し許容限界以下であることを確認する。三辺固定版モデルの概要図を図8-2に示す。

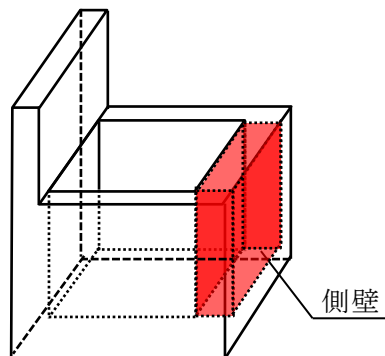


図8-2 三辺固定版モデル概要図

8.5.3 アンカー筋の評価

アンカー筋の支持性能評価においては、アンカー筋に作用する引張力及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

8.5.4 集水桝蓋の評価

集水桝蓋の構造健全性評価においては、両端固定梁モデルにより集水桝蓋（鋼板）に作用する曲げ応力及びせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

8.5.5 アンカーボルト（集水桝蓋）の評価

アンカーボルト（集水桝蓋）の構造健全性評価においては、アンカーボルト（集水桝蓋）に作用するせん断力が許容限界以下であることを確認する。

8.6 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-7 に，材料の物性値を表 8-8 に示す。

表 8-7 使用材料

| 諸元 | | |
|------|---------|---|
| 集水桝 | 鉄筋（主筋） | SD345 屋外排水路逆止弁⑦ : D 19 屋外排水路逆止弁⑧-2 : D 22 |
| | コンクリート | 設計基準強度 24 N/mm ² |
| | アンカー筋 | SD345 (D25) |
| 集水桝蓋 | 鋼板 | SS400 (PL25) |
| | アンカーボルト | ABR400 (M20) |

表 8-8 材料の物性値

| 材料 | 設計 基準強度 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ヤング係数 (N/mm ²) | ポアソン比 |
|----------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------|
| 鉄筋コンクリート | 24 | 24.5 | 2.50 × 10 ⁴ | 0.2 |

9. 集水桝の耐震評価結果

9.1 集水桝の曲げ軸力評価結果

集水桝の概略配筋図を図 9-1 に、曲げ軸力に対する照査結果を表 9-1 及び表 9-2 に示す。

集水桝（底版及び側壁）のコンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力は各部材において最大となる値を示している。

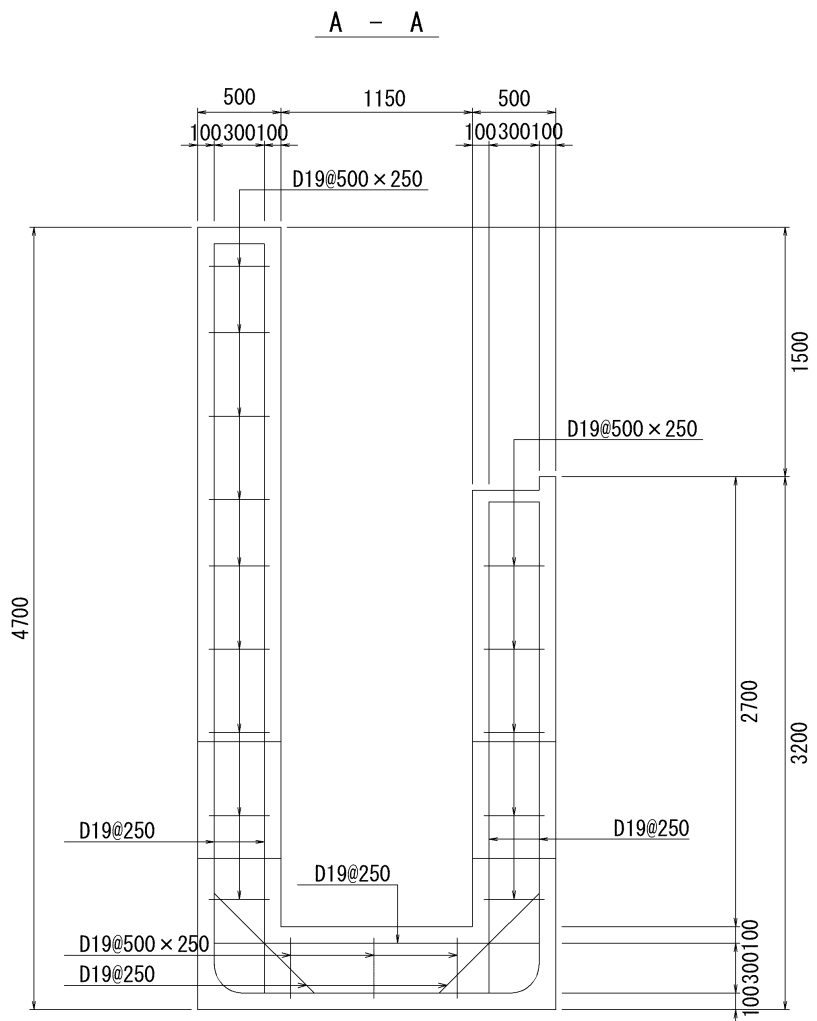
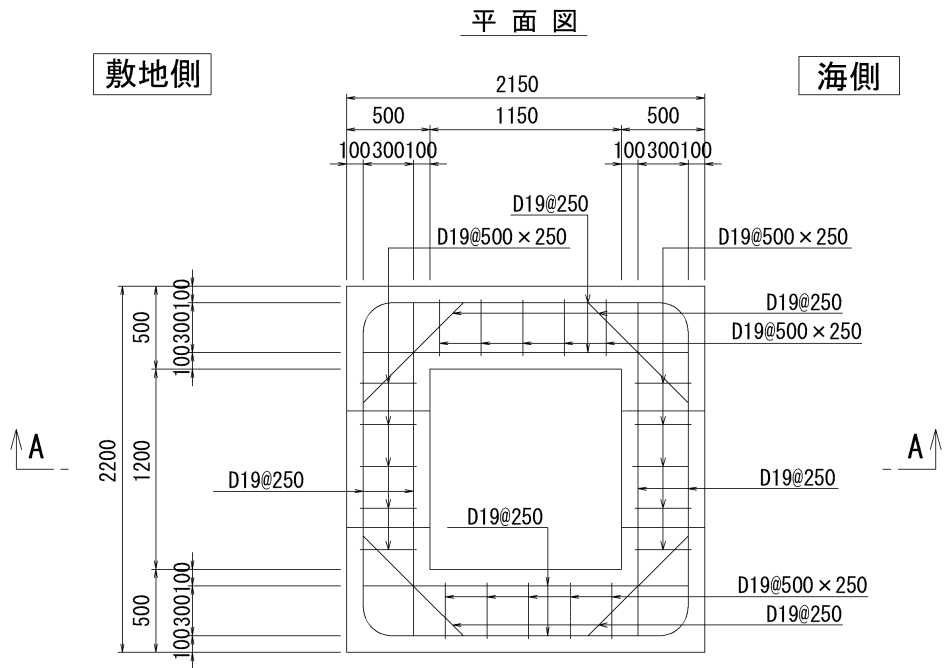


图 9-1(1) 概略配筋图 (集水枱 (屋外排水路逆止弁⑦))

(单位: mm)

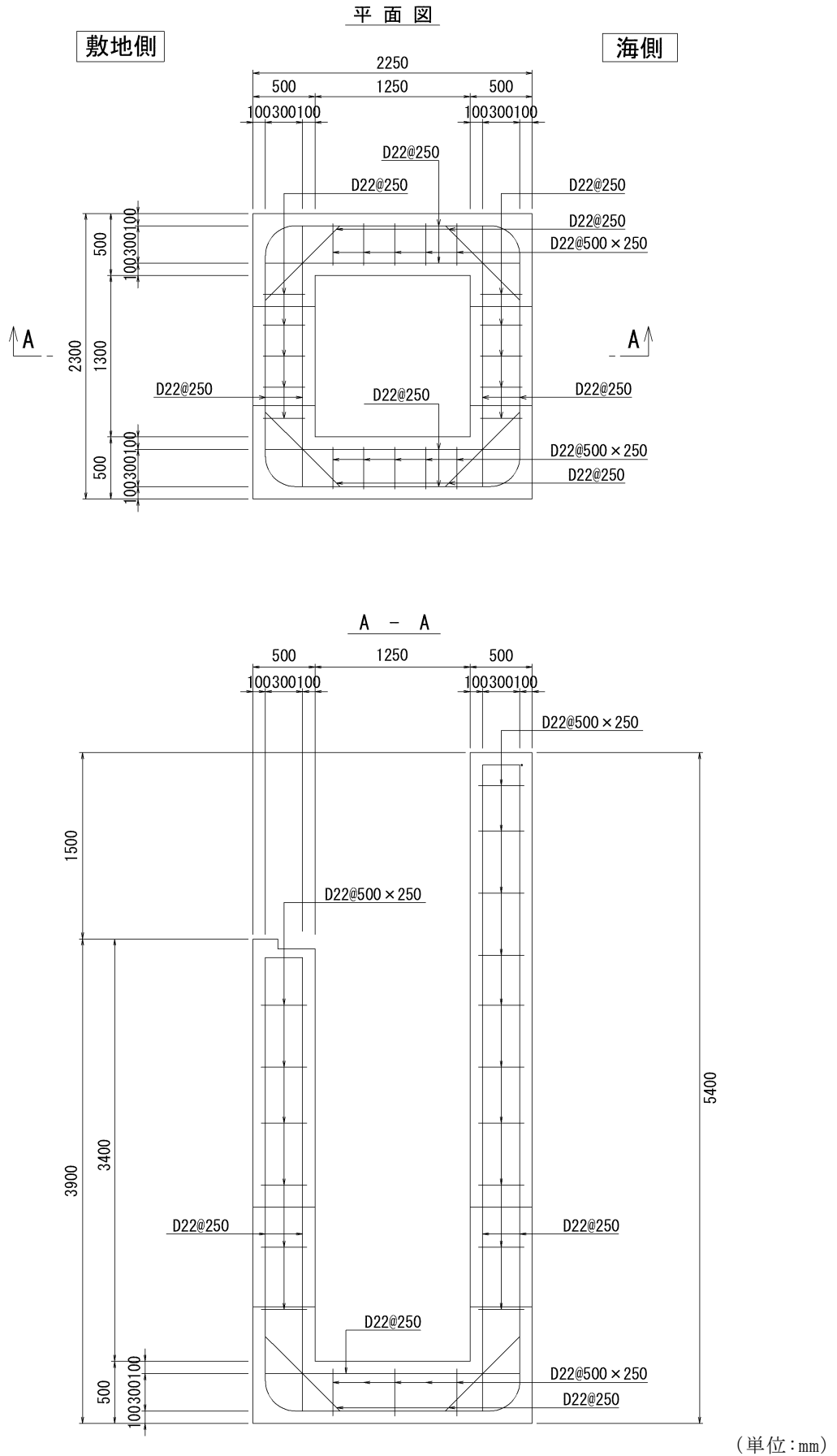


図 9-1(2) 概略配筋図 (集水枡 (屋外排水路逆止弁⑧-2))

表 9-1 曲げ軸力に対する照査結果（底版）

| 設備名称 | 曲げ モーメント (kN・m) | 曲げ 圧縮応力 (N/mm ²) | 曲げ 引張応力 (N/mm ²) | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | 曲げ 圧縮応力 照査値 | 曲げ 引張応力 照査値 |
|----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------|-------------------|
| | | | | 曲げ 圧縮 | 曲げ 引張 | | |
| 集水榭（屋外排水 路逆止弁⑦） | 18.31 | 4.46 | 40.64 | 13.5 | 294 | 0.34 | 0.14 |
| 集水榭（屋外排水 路逆止弁⑧-2） | 28.04 | 1.35 | 50.07 | 13.5 | 294 | 0.10 | 0.18 |

表 9-2 曲げ軸力に対する照査結果（側壁）

| 設備名称 | 曲げ モーメント (kN・m) | 曲げ 圧縮応力 (N/mm ²) | 曲げ 引張応力 (N/mm ²) | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | 曲げ 圧縮応力 照査値 | 曲げ 引張応力 照査値 |
|----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------|-------------------|
| | | | | 曲げ 圧縮 | 曲げ 引張 | | |
| 集水榭（屋外排水 路逆止弁⑦） | 39.50 | 2.13 | 94.12 | 13.5 | 294 | 0.16 | 0.33 |
| 集水榭（屋外排水 路逆止弁⑧-2） | 45.76 | 2.20 | 81.72 | 13.5 | 294 | 0.17 | 0.28 |

9.2 集水桝のせん断力評価結果

集水桝のせん断力に対する照査結果を表 9-3 に示す。

集水桝（底版及び側壁）に発生するせん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお，発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

表 9-3(1) せん断力に対する照査結果（底版）

| 設備名称 | 設計基準強度 | 発生せん断 応力度 (N/mm ²) | 許容せん断 応力度 (N/mm ²) | 照査値 |
|----------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
| 集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦） | 24N/mm ² | 0.23 | 0.675 | 0.35 |
| 集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2） | 24N/mm ² | 0.34 | 0.675 | 0.51 |

表 9-3(2) せん断力に対する照査結果（側壁）

| 設備名称 | 設計基準強度 | 発生せん断 応力度 (N/mm ²) | 許容せん断 応力度 (N/mm ²) | 照査値 |
|----------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
| 集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦） | 24N/mm ² | 0.36 | 0.675 | 0.54 |
| 集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2） | 24N/mm ² | 0.39 | 0.675 | 0.58 |

9.3 アンカー筋の支持性能評価結果

集水桝のアンカー筋の耐力について、アンカー筋の引張耐力及びせん断耐力に対する照査結果を表 9-4 に示す。照査を行った結果、作用力が許容耐力以下であることを確認した。

表 9-4(1) アンカー筋の引張力に対する照査結果

| 設備名称 | 作用引張力 (kN 本) | 許容引張耐力 (kN 本) | 照査値 |
|--------------------|--------------|---------------|------|
| 集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑦) | 65.05 | 105.40 | 0.62 |
| 集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-2) | 69.93 | 105.40 | 0.67 |

表 9-4(2) アンカー筋のせん断力に対する照査結果

| 設備名称 | 作用せん断力 (kN) | 許容せん断耐力 (kN) | 照査値 |
|--------------------|-------------|--------------|------|
| 集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑦) | 33.14 | 98.17 | 0.34 |
| 集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-2) | 32.83 | 98.17 | 0.34 |

9.4 集水桝蓋の応力評価結果

集水桝蓋の曲げ応力度及びせん断応力度に対する照査結果を表 9-5 に示す。照査を行った結果、許容応力度以下であることを確認した。

表 9-5(1) 集水桝蓋の曲げ応力度に対する照査結果

| 設備名称 | 評価部位 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 許容応力度 (N/mm ²) | 照査値 |
|----------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------|
| 集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2） | 集水桝蓋 (t=25mm) | 2.50 | 210 | 0.02 |

表 9-5(2) 集水桝蓋のせん断応力度に対する照査結果

| 設備名称 | 評価部位 | せん断応力度 (N/mm ²) | 許容応力度 (N/mm ²) | 照査値 |
|----------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| 集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2） | 集水桝蓋 (t=25mm) | 0.21 | 120 | 0.01 |

9.5 アンカーボルト（集水桝蓋）のせん断力評価結果

集水桝蓋のアンカーボルトのせん断耐力に対する照査結果を表 9-6 に示す。照査を行った結果、作用力が許容耐力以下であることを確認した。

表 9-6 アンカーボルト（集水桝蓋）のせん断力に対する照査結果

| 設備名称 | 評価部位 | 発生せん断力 (kN/本) | 許容限界 (kN/本) | 照査値 |
|----------------------|-------------------|------------------|----------------|------|
| 集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2） | アンカーボルト (集水桝蓋) | 0.22 | 35.34 | 0.01 |

VI-2-10-2-8 防水壁の耐震性についての計算書

目 次

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 一般事項 | 2 |
| 2.1 | 配置概要 | 2 |
| 2.2 | 構造計画 | 5 |
| 2.2.1 | タービン建物復水器エリア防水壁 | 5 |
| 2.2.2 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 | 9 |
| 2.2.3 | 取水槽除じん機エリア防水壁 | 11 |
| 2.2.4 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 | 13 |
| 2.3 | 評価方針 | 16 |
| 2.4 | 適用規格・基準等 | 17 |
| 3. | タービン建物地下1階復水系配管室防水壁 | 18 |
| 3.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 18 |
| 3.1.1 | 固有振動数の算出 | 18 |
| 3.1.2 | 設計用地震力 | 21 |
| 3.2 | 耐震評価方法 | 22 |
| 3.2.1 | 記号の説明 | 22 |
| 3.2.2 | 評価対象部位 | 24 |
| 3.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 25 |
| 3.2.4 | 許容限界 | 26 |
| 3.2.5 | 評価方法 | 28 |
| 3.2.6 | 評価条件 | 34 |
| 4. | タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁 | 35 |
| 4.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 35 |
| 4.1.1 | 固有振動数の算出 | 35 |
| 4.1.2 | 設計用地震力 | 39 |
| 4.2 | 耐震評価方法 | 40 |
| 4.2.1 | 記号の説明 | 40 |
| 4.2.2 | 評価対象部位 | 43 |
| 4.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 45 |
| 4.2.4 | 許容限界 | 46 |
| 4.2.5 | 評価方法 | 48 |
| 4.2.6 | 評価条件 | 59 |
| 5. | タービン建物地下1階復水器室北側防水壁 | 61 |
| 5.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 61 |

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 5.1.1 | 固有振動数の算出方法 | 61 |
| 5.1.2 | 設計用地震力 | 65 |
| 5.2 | 耐震評価方法 | 66 |
| 5.2.1 | 記号の説明 | 66 |
| 5.2.2 | 評価対象部位 | 69 |
| 5.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 71 |
| 5.2.4 | 許容限界 | 72 |
| 5.2.5 | 評価方法 | 74 |
| 5.2.6 | 評価条件 | 86 |
| 6. | タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁 | 88 |
| 6.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 88 |
| 6.1.1 | 固有振動数の算出方法 | 88 |
| 6.1.2 | 設計用地震力 | 92 |
| 6.2 | 耐震評価方法 | 93 |
| 6.2.1 | 記号の説明 | 93 |
| 6.2.2 | 評価対象部位 | 98 |
| 6.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 100 |
| 6.2.4 | 許容限界 | 101 |
| 6.2.5 | 評価方法 | 103 |
| 6.2.6 | 評価条件 | 119 |
| 7. | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 | 121 |
| 7.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 121 |
| 7.1.1 | 固有振動数の算出方法 | 121 |
| 7.1.2 | 固有振動数の算出結果 | 127 |
| 7.1.3 | 設計用地震力 | 129 |
| 7.2 | 耐震評価方法 | 130 |
| 7.2.1 | 記号の説明 | 130 |
| 7.2.2 | 評価対象部位 | 133 |
| 7.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 134 |
| 7.2.4 | 許容限界 | 137 |
| 7.2.5 | 評価方法 | 139 |
| 7.2.6 | 評価条件 | 149 |
| 8. | 取水槽除じん機エリア防水壁 | 153 |
| 8.1 | 固有振動数及び設計用地震力 | 153 |
| 8.1.1 | 固有振動数の算出方法 | 153 |
| 8.1.2 | 固有振動数の計算条件 | 155 |

| | | |
|-------|----------------------------------|-----|
| 8.1.3 | 固有振動数の算出結果 | 156 |
| 8.1.4 | 設計用地震力 | 156 |
| 8.2 | 耐震評価方法 | 157 |
| 8.2.1 | 記号の説明 | 157 |
| 8.2.2 | 評価対象部位 | 159 |
| 8.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 161 |
| 8.2.4 | 許容限界 | 163 |
| 8.2.5 | 評価方法 | 165 |
| 8.2.6 | 評価条件 | 174 |
| 9. | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-1（東，西側）） | 176 |
| 10. | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-1（南側）） | 176 |
| 11. | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-2） | 176 |
| 12. | 評価結果 | 177 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針並びにVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき、タービン建物復水器エリア防水壁、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁、取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（以下「防水壁」という。）が設計用地震力に対して、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、防水壁に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

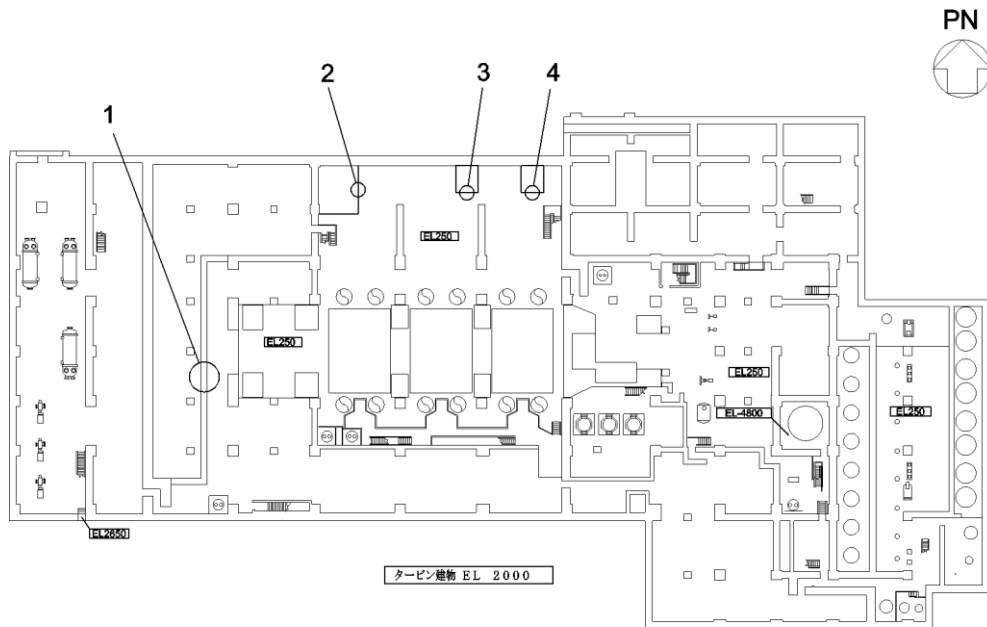
防水壁は、設計基準対象施設においては耐震Sクラス設備、耐震C-1クラス設備及び耐震C-2クラス設備に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

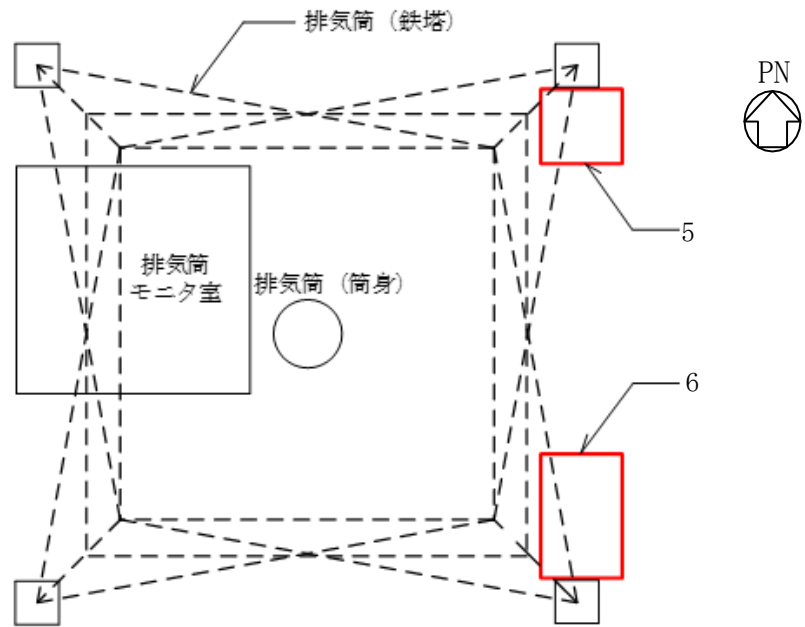
2.1 配置概要

防水壁の一覧及び設置位置図を図 2-1 に示す。



| | |
|---|--------------------------|
| 1 | タービン建物 地下 1 階 復水系配管室防水壁 |
| 2 | タービン建物 地下 1 階 復水器室北西側防水壁 |
| 3 | タービン建物 地下 1 階 復水器室北側防水壁 |
| 4 | タービン建物 地下 1 階 復水器室北東側防水壁 |

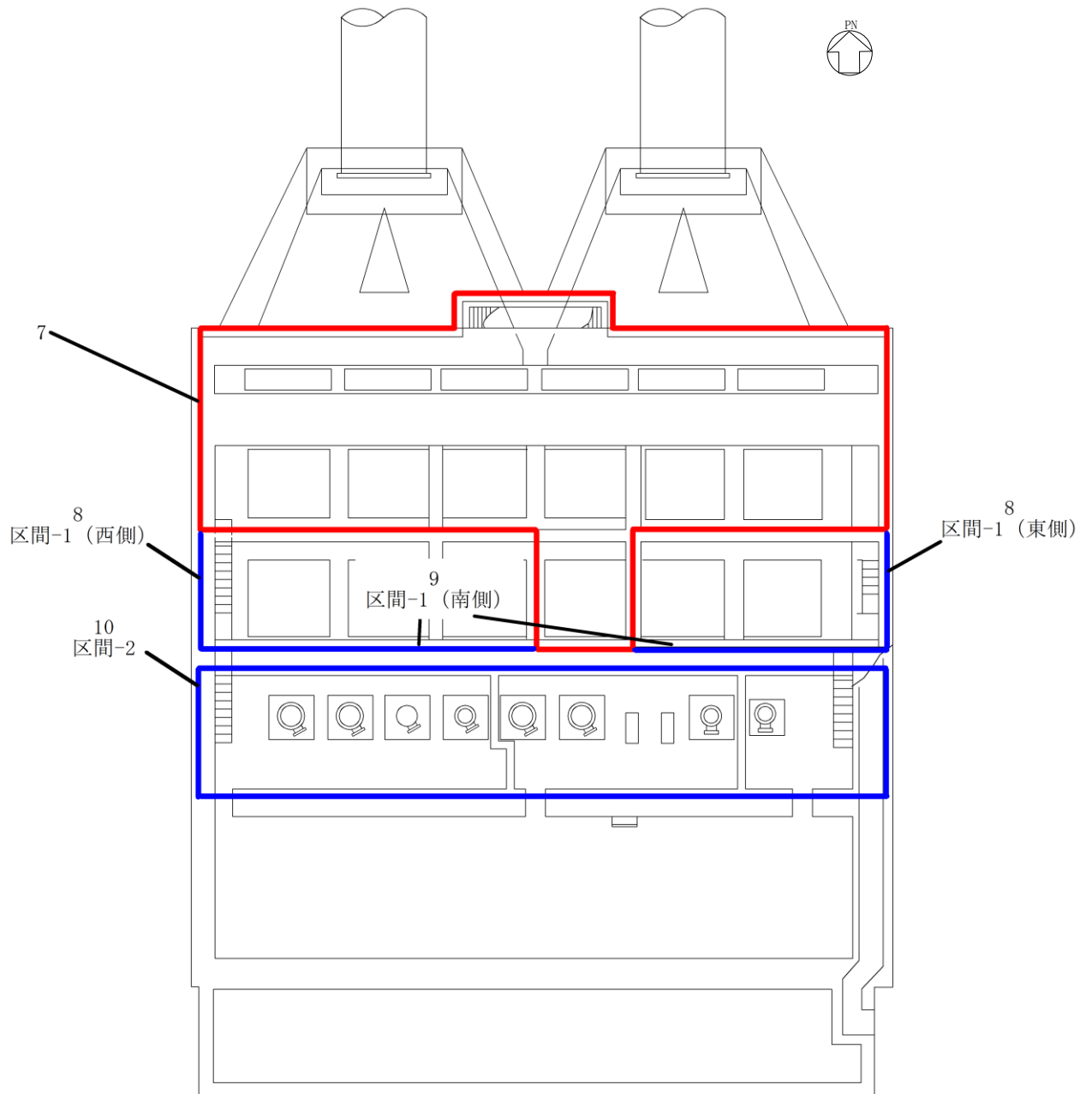
図 2-1(1) 防水壁の設置位置図 (タービン建物復水器エリア)



| | |
|---|-----------------------------|
| 5 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁* |
| 6 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁* |

注記*：耐震C-1，C-2クラス設備を示す。

図 2-1(2) 防水壁の設置位置図 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア)



| | |
|----|--|
| 7 | 取水槽除じん機エリア防水壁 |
| 8 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-1 (東, 西側)) |
| 9 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁(区間-1(南側)) |
| 10 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-2) |

図 2-1(3) 防水壁の設置位置図
(取水槽除じん機エリア, 取水槽海水ポンプエリア)

2.2 構造計画

2.2.1 タービン建物復水器エリア防水壁

タービン建物復水器エリア防水壁は鋼板、柱、はり、胴縁、根太、斜材、ブレース及びアンカーボルトにより構成され、アンカーボルトにより建物躯体と接合する構造とする。タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1(1) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
(タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|-------------------------------------|--------------------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 柱及び胴縁で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板、胴縁、柱及びアンカーボルトにより構成する。 | <p>平面図</p> <p>A-A 正面図</p> <p>B-B 断面図</p> <p>柱 胴縁 鋼板 アンカーボルト</p> |

表 2-1(2) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|-----------------------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 柱、はり及び胴縁で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板、柱、はり、胴縁及びアンカーボルトにより構成する。 | <p>はり アンカーボルト 鋼板 A/A</p> <p>柱 胴縁 A/A</p> <p>平面図 (はり伏図) 平面図 (一般部)</p> <p>胴縁 はり 柱 鋼板 アンカーボルト A-A 正面図</p> |

S2 補 VI-2-10-2-8 R0

表 2-1(3) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|--|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 柱, はり, 水平ブレース及び胴縁で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板, 柱, はり, 水平ブレース, 胴縁及びアンカーボルトにより構成する。 | <p>アンカーボルト</p> <p>はり (上段)</p> <p>鋼板</p> <p>水平ブレース</p> <p>胴縁</p> <p>柱</p> <p>はり (中段)</p> <p>はり (上段)</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>鋼板</p> <p>はり (中段)</p> <p>アンカーボルト</p> <p>A-A 正面図</p> |

表 2-1(4) タービン建物復水器エリア防水壁の構造計画
 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|--|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 柱, はり, 胴縁, 根太及び斜材で補強した鋼板を建物壁面にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板, 柱, はり, 胴縁, 根太, 斜材及びアンカーボルトにより構成する。 | <p>アンカーボルト</p> <p>はり</p> <p>平面図 (壁頂部)</p> <p>鋼板</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>平面図 (一般部)</p> <p>アンカーボルト</p> <p>根太</p> <p>鋼板</p> <p>はり</p> <p>A/A</p> <p>平面図 (床はり)</p> <p>斜材</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>はり</p> <p>鋼板</p> <p>斜材</p> <p>アンカーボルト</p> <p>A-A 正面図</p> |

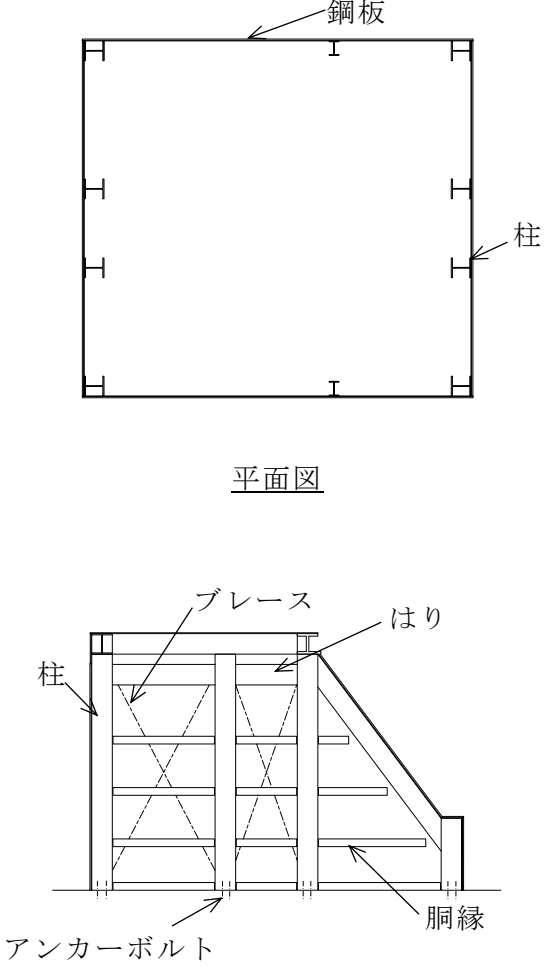
2.2.2 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁は鋼板、はり、柱、胴縁、ブレース及びアンカーボルトにより構成され、既設コンクリートを基礎として、アンカーボルトで固定する構造とする。ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|---|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>胴縁、はり、柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。</p> | <p>鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトにより構成する。</p> | <div style="text-align: center;"> <p>鋼板</p> <p>柱</p> <p>平面図</p> <p>ブレース はり</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>アンカーボルト</p> <p>軸組図</p> </div> |

表 2-2(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画
 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|----------------------------------|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 胴縁、はり、柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトにより構成する。 | <div style="text-align: center;">  <p>平面図</p> <p>軸組図</p> </div> |

2.2.3 取水槽除じん機エリア防水壁

取水槽除じん機エリア防水壁は、鋼板，はり，柱及びアンカーボルトにより構成され，取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。

取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画を表 2-3 に示す。

表 2-3(1) 取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画

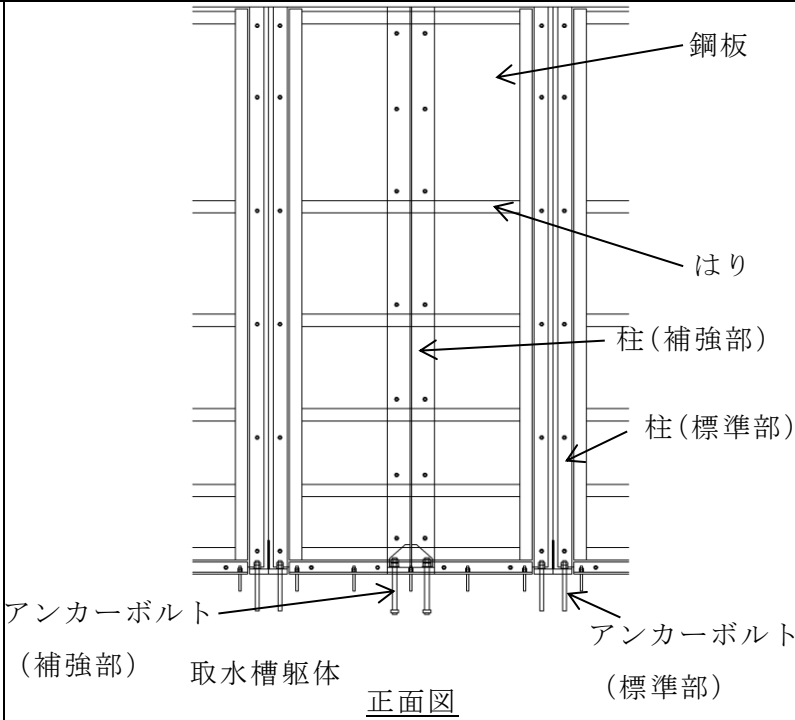
| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり，柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板，柱，はり，アンカーボルトにより構成する。 |  |

表 2-3(2) 取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--------------------------------|-------------------------|-------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり，柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板，柱，はり，アンカーボルトにより構成する。 | |

2.2.4 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁は、鋼板、柱、はり及びアンカーボルトから構成され、取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画を表 2-4 に示す。

表 2-4(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画
(区間-1 (東, 西側))

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり、柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板、柱、はり、アンカーボルトにより構成する。 | <p style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: center;">断面図</p> |

表 2-4(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画（区間-1（南側））

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり，柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板，柱，はり，アンカーボルトにより構成する。 | <p>正面図</p> <p>断面図</p> |

表 2-4(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造計画 (区間-2)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり，柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板，柱，はり，アンカーボルトにより構成する。 | <p>正面図</p> <p>断面図</p> |

2.3 評価方針

防水壁の耐震評価は、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」に示す防水壁の構造を踏まえ、第3章～第8章の各章において、「評価対象部位」にて設定する評価対象部位について、「固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「3.2 耐震評価方法」、「4.2 耐震評価方法」、「5.2 耐震評価方法」、「6.2 耐震評価方法」、「7.2 耐震評価方法」及び「8.2 耐震評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「12. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-2に示す。

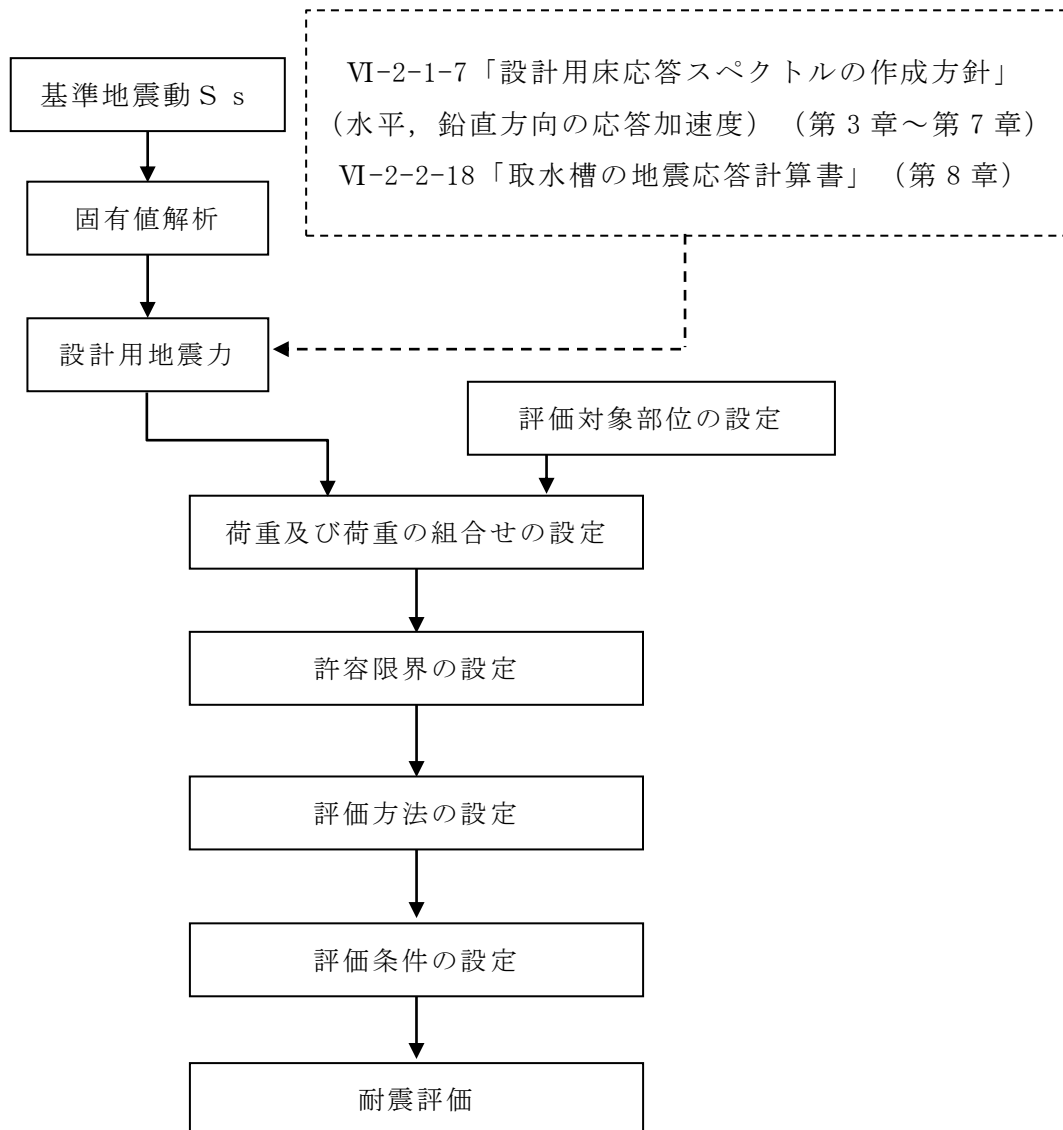


図2-2 防水壁の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会）

3. タービン建物地下1階復水系配管室防水壁

3.1 固有振動数及び設計用地震力

3.1.1 固有振動数の算出

タービン建物地下1階復水系配管室防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、鋼板、胴縁及び柱により構成しており、アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから、当該防水壁の柱及び胴縁を両端ピンはりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、柱及び胴縁の全長とする。

図3-1に解析モデル図を示す。

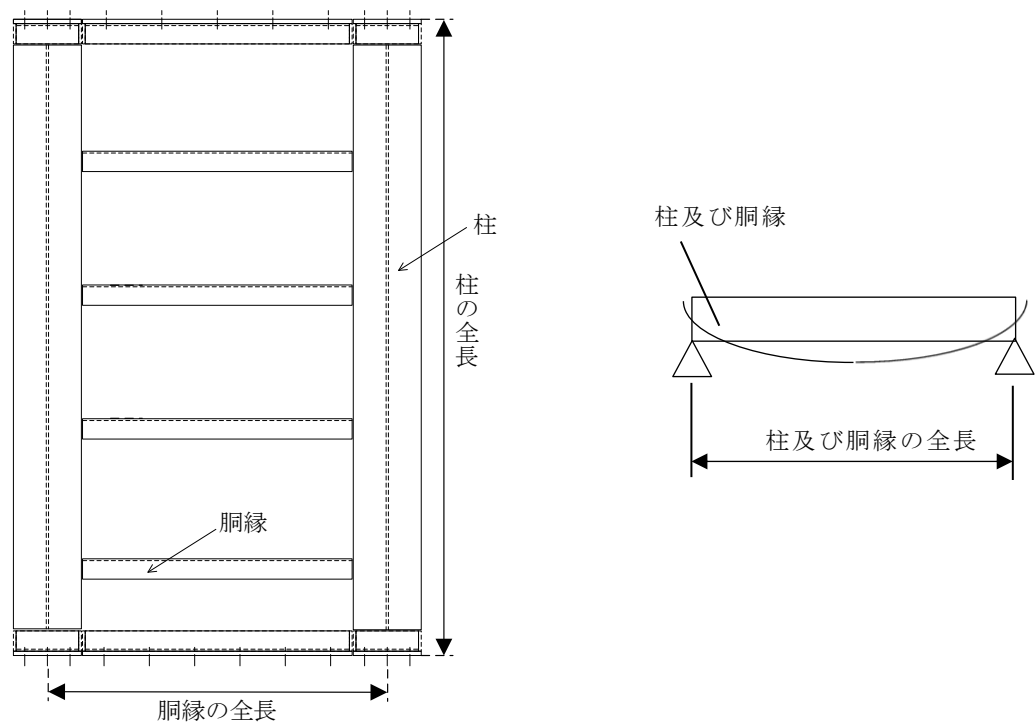


図3-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|------------------|------------------|
| f | Hz | 固有振動数 |
| L | mm | モデル化に用いる胴縁及び柱の全長 |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集（（社）土木学会）」（以下「構造力学公式集」という。）に基づき以下の式より算出する。

ここで、固有振動数は水平方向（防水壁面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（防水壁面内方向）については、防水壁に配された鉛直方向の部材等の軸剛性が十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

a. 両端ピンはりモデル（柱及び胴縁をモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

(4) 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出条件及び算出結果を表 3-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有振動数（柱，胴縁）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 | |
|------------------|----|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | 柱 | 胴縁 |
| モデル化に用いる胴縁及び柱の全長 | L | mm | 2816 | 1500 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10^{11} | 2.05×10^{11} |
| 断面二次モーメント | I | mm ⁴ | 20.20×10^7 | 24.90×10^6 |
| 質量分布 | m | kg/m | 533.9 | 157.2 |
| 固有振動数 | f | Hz | 55.167 | 125.802 |

3.1.2 設計用地震力

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

設計震度は当該防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度はNS方向とEW方向の大きい方を用いる。

当該防水壁の設計震度を表3-3に示す。

表3-3 設計震度

| 建物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の 設計震度* | |
|--------|---------|------------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| タービン建物 | EL 2.0m | 1.28 | 0.60 |

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

3.2 耐震評価方法

3.2.1 記号の説明

タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表 3-4(1) タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|---------------------|
| w_1 | kN/m | 鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| S_s | kN/m | 水平地震荷重 |
| t | mm | 鋼板の厚さ |
| α_H | — | 水平方向の設計震度 |
| ρ_s | t/m ³ | 鋼板の密度 |
| g | m/s ² | 重力加速度 |
| b_1 | mm | 鋼板の幅 |
| σ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | kN・m | 鋼板の曲げモーメント |
| L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ |
| Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| w_2 | kN/m | 胴縁に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 |
| m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 |
| σ_2 | N/mm ² | 胴縁に生じる曲げ応力度 |
| M_2 | kN・m | 胴縁の曲げモーメント |
| L_2 | mm | 胴縁全長 |
| Z_2 | mm ³ | 胴縁の断面係数 |
| τ_2 | N/mm ² | 胴縁に生じるせん断応力度 |
| Q_2 | kN | 胴縁のせん断力 |
| A_{s2} | mm ² | 胴縁のせん断断面積 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | 胴縁の短期許容引張応力度 |

表 3-4(2) タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|---------------------|
| w_3 | kN/m | 柱に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 |
| m_3 | kg/m | 柱の質量分布 |
| σ_3 | N/mm ² | 柱に生じる曲げ応力度 |
| M_3 | kN・m | 柱の曲げモーメント |
| L_3 | mm | 柱全長 |
| Z_3 | mm ³ | 柱の断面係数 |
| τ_3 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 |
| Q_3 | kN | 柱のせん断力 |
| A_{s3} | mm ² | 柱のせん断断面積 |
| f_{t3} | N/mm ² | 柱の短期許容引張応力度 |
| Q_d | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_4 | kN | 柱のせん断力 |
| n | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの本数 |

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す当該防水壁の構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁及び柱に伝わり、柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図3-2に示す。

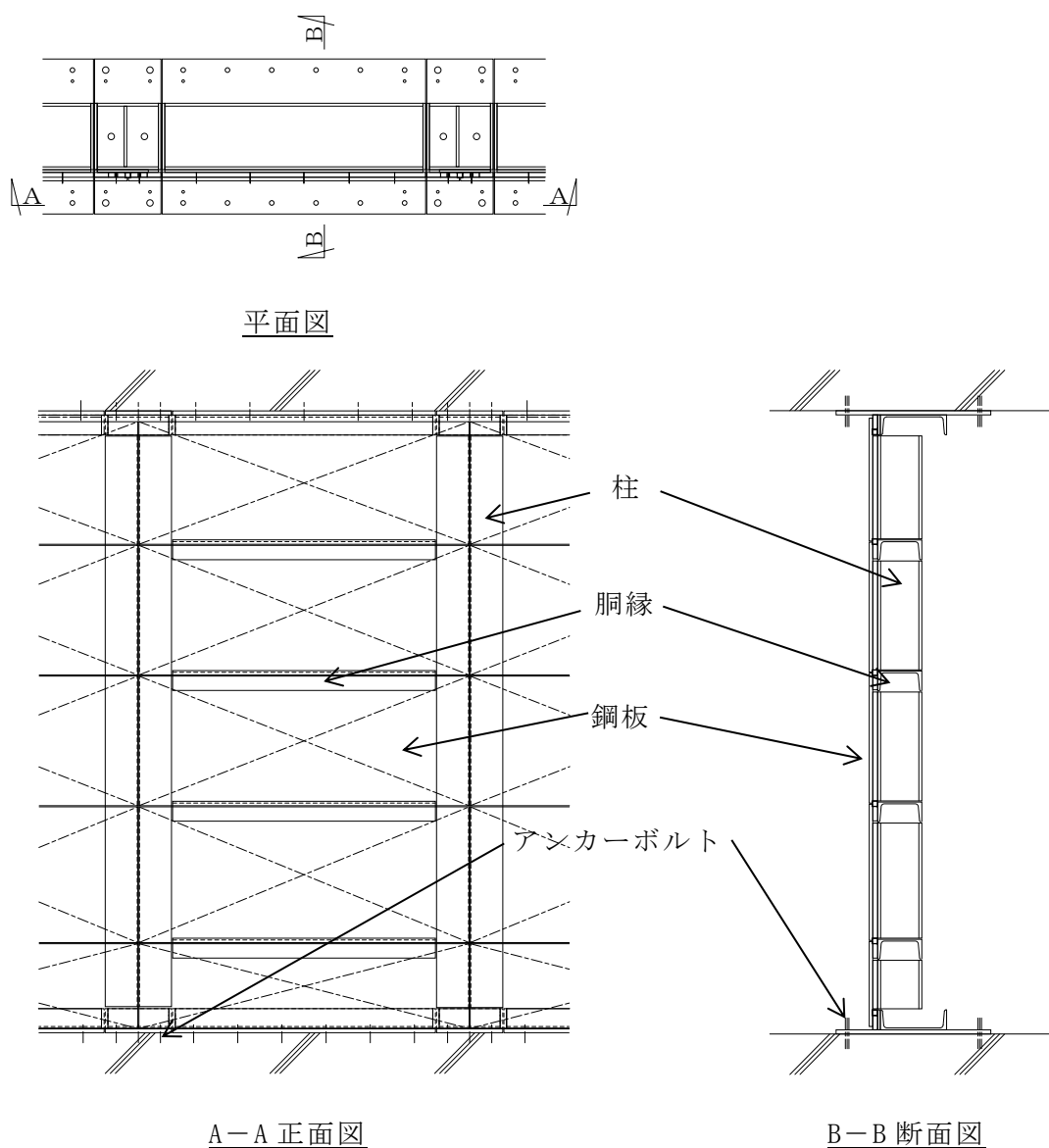


図3-2 評価対象部位

3.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

3.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、柱及びアンカーボルトの使用材料を表3-5に示す。

表3-5 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|-------|-----------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-16 |
| 胴縁 | SS400 | [-200×90×8×13.5 |
| 柱 | SS400 | H-300×300×10×15 |
| アンカーボルト | SS400 | M24 |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005改定）」（以下「S規準」という。）を踏まえて表3-6の値とする。

表3-6 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）を踏まえて表 3-7 の値とする。

なお，アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3-7 アンカーボルトの許容限界

| 材質 | 許容耐力 (kN) |
|-------------|-----------|
| | せん断 |
| SS400 (M24) | 58 |

3.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして算出する。鋼板に作用する荷重の例を図 3-3 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅: 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_1 : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

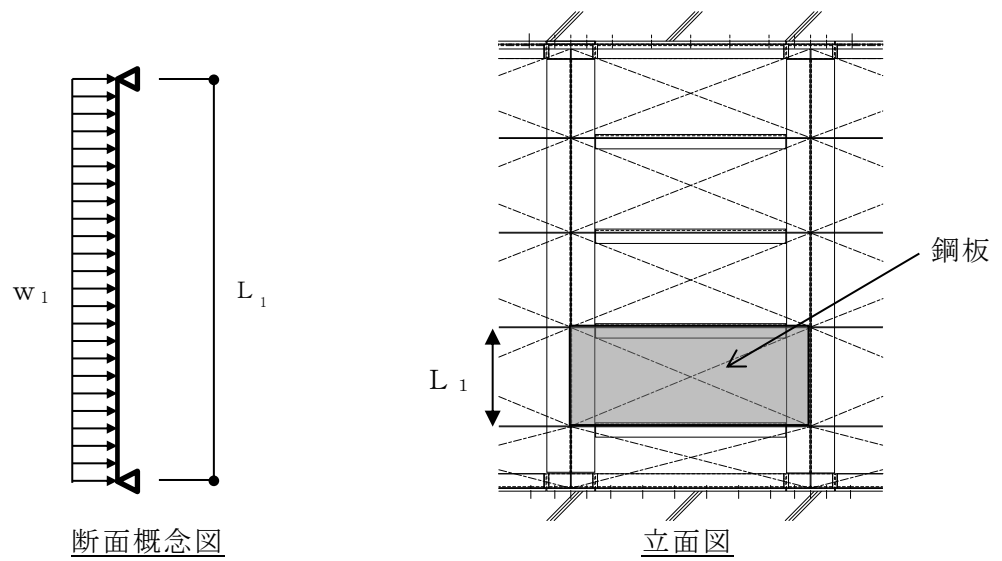


図 3-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純はりとして算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_2 = S_s$$

w_2 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_2 : 胴縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 胴縁の曲げモーメント (kN・m)

- L_2 : 洞縁全長 (mm)
 Z_2 : 洞縁の断面係数 (mm³)

c. 洞縁に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_{s2}$$

$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

τ_2 : 洞縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 洞縁のせん断力 (kN)

L_2 : 洞縁全長 (mm)

A_{s2} : 洞縁のせん断断面積 (mm²)

d. 洞縁に生じる組合せ応力度

洞縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

σ_2 : 洞縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 洞縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_{t2} : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

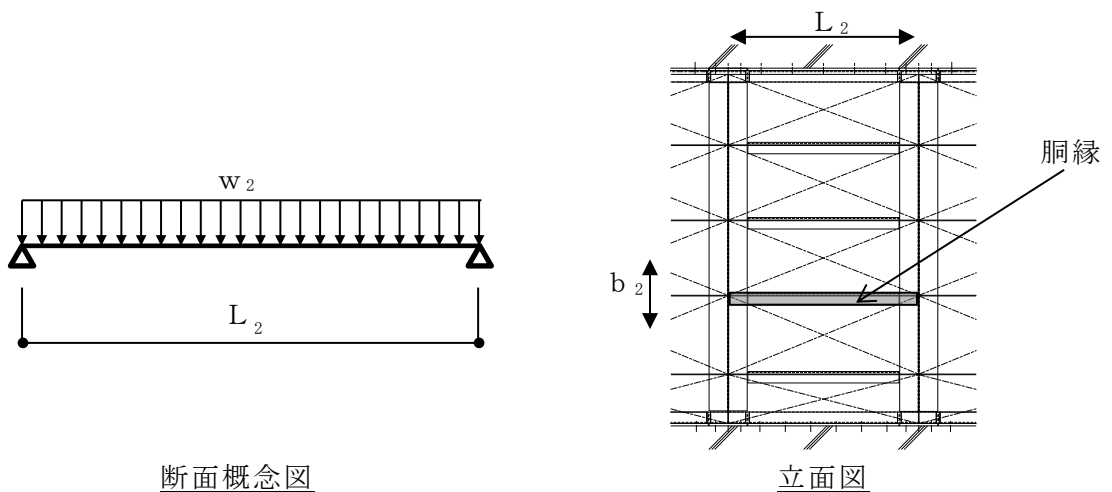


図 3-4 洞縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純はりとして算出する。柱に作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_3 = S_s$$

w_3 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot L_2 / b_2 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_3 = (M_3 \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_3 = w_3 \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : 柱の曲げモーメント (kN・m)

L_3 : 柱全長 (mm)

Z_3 : 柱の断面係数 (mm³)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_{s3}$$

$$Q_3 = w_3 \cdot L_3 \cdot 10^{-3} / 2$$

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : 柱のせん断力 (kN)

L_3 : 柱全長 (mm)

A_{s3} : 柱のせん断断面積 (mm^2)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq_s f_{t3}$$

σ_3 : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm^2)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm^2)

f_{t3} : 短期許容引張応力度 (N/mm^2)

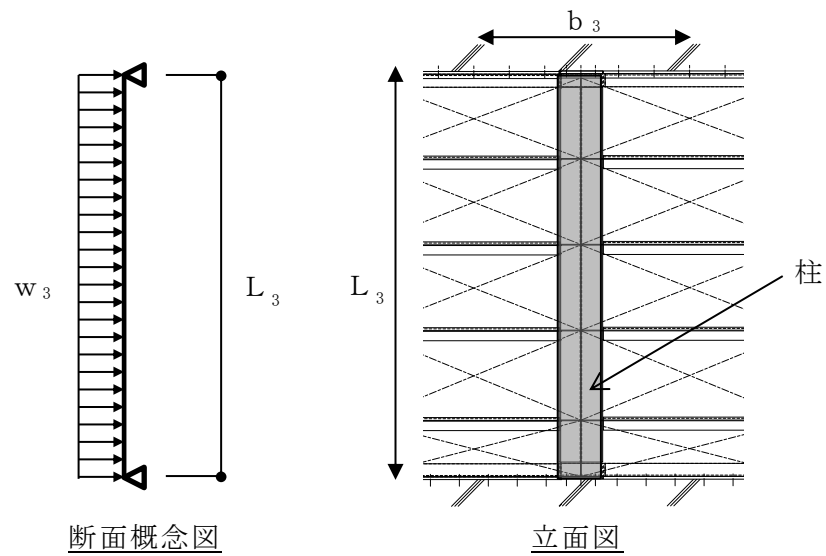


図 3-5 柱に作用する荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3-6 に示す。

$$Q_d = Q_4 / n$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_4 : 柱のせん断力 (kN)

n : 柱に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

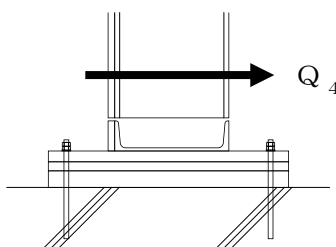


図 3-6 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 3-8 に示す。

表 3-8 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|------------|---------|------------------|---------------------|
| 共通 | g | m/s^2 | 重力加速度 | 9.80665 |
| | α_H | — | 水平方向の設計震度 | 1.28 |
| 鋼板 | ρ_s | t/m^3 | 鋼板の密度 | 7.85 |
| | t | mm | 鋼板の厚さ | 16 |
| | Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 | 6.400×10^4 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 620 |
| 胴縁 | b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 | 606 |
| | m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 | 46.9 |
| | L_2 | mm | 胴縁全長 | 1500 |
| | Z_2 | mm^3 | 胴縁の断面係数 | 2490×10^2 |
| | A_{S2} | mm^2 | 胴縁のせん断断面積 | 1384 |
| 柱 | b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 | 1500 |
| | m_3 | kg/m | 柱の質量分布 | 153.0 |
| | Z_3 | mm^3 | 柱の断面係数 | 1350×10^3 |
| | L_3 | mm | 柱全長 | 2816 |
| | A_{S3} | mm^2 | 柱のせん断断面積 | 2700 |
| アンカーボルト | n | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの本数 | 6 |

4. タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁

4.1 固有振動数及び設計用地震力

4.1.1 固有振動数の算出

タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、各部位の寸法や形状を踏まえ、胴縁を両端ピンはりに、柱及びはりをはり要素でモデル化し、実情に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。解析モデル図を図4-1に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下する。

ヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

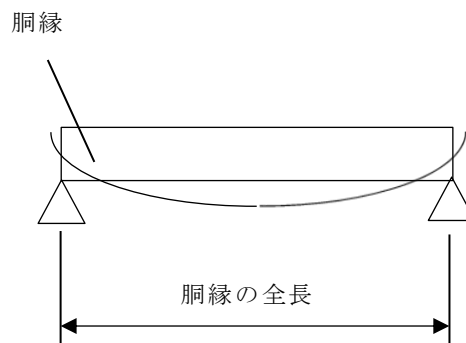


図4-1(1) 固有値解析モデル

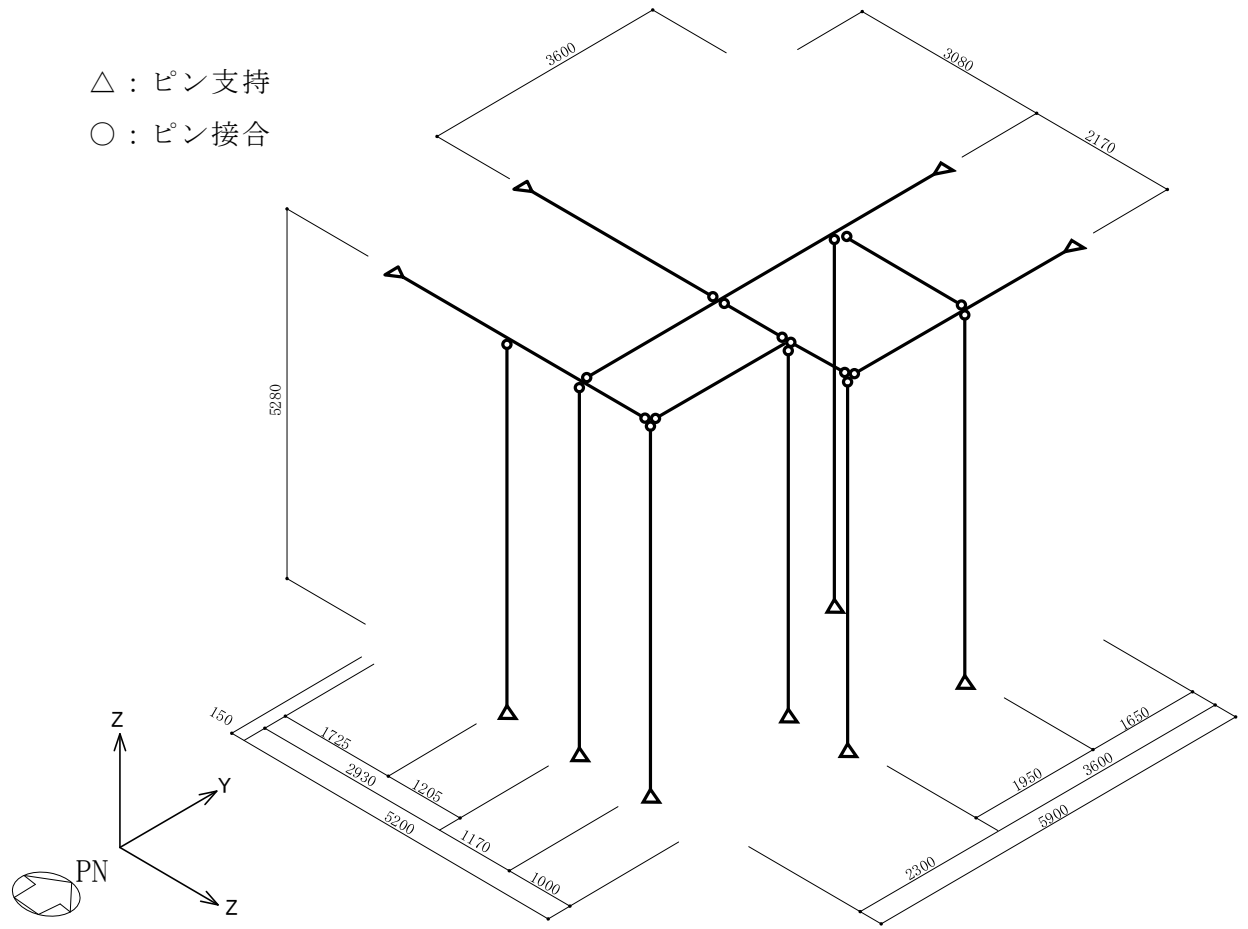


図 4-1(2) 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|------------------|------------------------|
| f | Hz | 固有振動数 |
| L | mm | モデル化に用いる胴縁の長さ及び鋼板の短辺長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁については、「鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

a. 両端ピンはりモデル（胴縁をモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

柱及びはりは、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。

(4) 固有振動数の算出結果

胴縁の固有振動数の算出条件及び算出結果を表 4-2 に、柱及びはりの固有振動数の算出結果を表 4-3 に示す。

表 4-2 固有振動数（胴縁）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|------------------|-----------------------|
| モデル化に用いる胴縁の長さ | L | mm | 2300 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ |
| 断面二次モーメント | I | mm ⁴ | 29000×10 ⁴ |
| 質量分布 | m | kg/m | 344.2 |
| 固有振動数 | f | Hz | 123.406 |

表 4-3 固有振動数（柱及びはり）

| 設備名称 | 方向 | | 固有振動数 f (Hz) | 固有周期 T (s) |
|--------|--------------------------|--------|-----------------|---------------|
| | タービン建物地下1階 復水器室北西側防水壁 | 水平方向 | N S 方向 | 19.780 |
| E W 方向 | | | 30.391 | 0.0329 |
| 鉛直方向 | | 55.263 | 0.0181 | |

4.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定し、設計用床応答スペクトルに基づき設定する場合に適用する減衰定数は 2% とする。また、設計震度は当該防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は NS 方向と EW 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の設計震度を表 4-4 に示す。

表 4-4 設計震度

| 設置場所 | | タービン建物 EL 0.25m | | |
|---------------------|----------|---|-------|------|
| 固有周期 (s) | | NS 方向 : 0.0506 EW 方向 : 0.0329 鉛直 : 0.0181 | | |
| 減衰定数 (%) | | NS 方向 : 2.0 EW 方向 : - 鉛直 : - | | |
| 地震力 | | 基準地震動 S_s | | |
| モード | 固有周期 (s) | 水平震度 | | 鉛直震度 |
| | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 1 次 | 0.0506 | 3.93* ¹ | - | - |
| 動的地震力* ² | | - | 1.21 | 0.60 |

注記*1 : 設計用床応答スペクトル I (S_s) に基づき設定した震度

*2 : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

4.2 耐震評価方法

4.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 4-5 に示す。

表 4-5(1) タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------|--------------|-----------------------|
| w_1 | kN/m | 鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| g | m/s^2 | 重力加速度 |
| b_1 | mm | 鋼板の幅 |
| α_H | — | 水平方向の設計震度 |
| α_V | — | 鉛直方向の設計震度 |
| S_s | kN/m | 水平地震荷重 |
| S_{sv} | kN/m | 鉛直地震荷重 |
| t | mm | 鋼板の厚さ |
| ρ_s | t/m^3 | 鋼板の密度 |
| σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | $kN \cdot m$ | 鋼板の曲げモーメント |
| Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ |
| w_{x2} | kN/m | 胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y2} | kN/m | 胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 |
| m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 |
| σ_{bx2} | N/mm^2 | 胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by2} | N/mm^2 | 胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x2} | $kN \cdot m$ | 胴縁の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y2} | $kN \cdot m$ | 胴縁の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x2} | mm^3 | 胴縁の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y2} | mm^3 | 胴縁の弱軸回りの断面係数 |
| L_2 | mm | 胴縁全長 |
| τ_{x2} | N/mm^2 | 胴縁に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y2} | N/mm^2 | 胴縁に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x2} | kN | 胴縁の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y2} | kN | 胴縁の弱軸方向のせん断力 |

表 4-5(2) タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|----------------------------|-----------------------|
| A_{Sx2} | mm^2 | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy2} | mm^2 | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 |
| $s f_{t2}$ | N/mm^2 | 胴縁の短期許容引張応力度 |
| w_3 | kN/m | 柱に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 |
| m_3 | kg/m | 柱の質量分布 |
| σ_{bx3} | N/mm^2 | 柱に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by3} | N/mm^2 | 柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x3} | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 柱の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y3} | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 柱の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x3} | mm^3 | 柱の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y3} | mm^3 | 柱の弱軸回りの断面係数 |
| L_3 | mm | 柱全長 |
| τ_{x3} | N/mm^2 | 柱に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y3} | N/mm^2 | 柱に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x3} | kN | 柱の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y3} | kN | 柱の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx3} | mm^2 | 柱の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy3} | mm^2 | 柱の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)3}$ | N/mm^2 | 柱に生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)3}$ | kN | 柱の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g3} | mm^2 | 柱の断面積 |
| N_3 | kN | 柱の軸力 |
| $s f_{bx3}$ | N/mm^2 | 柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by3}$ | N/mm^2 | 柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)3}$ | N/mm^2 | 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t3}$ | N/mm^2 | 柱の短期許容引張応力度 |
| w_{x4} | kN/m | はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y4} | kN/m | はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| σ_{bx4} | N/mm^2 | はりに生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by4} | N/mm^2 | はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x4} | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | はりの強軸回りの曲げモーメント |

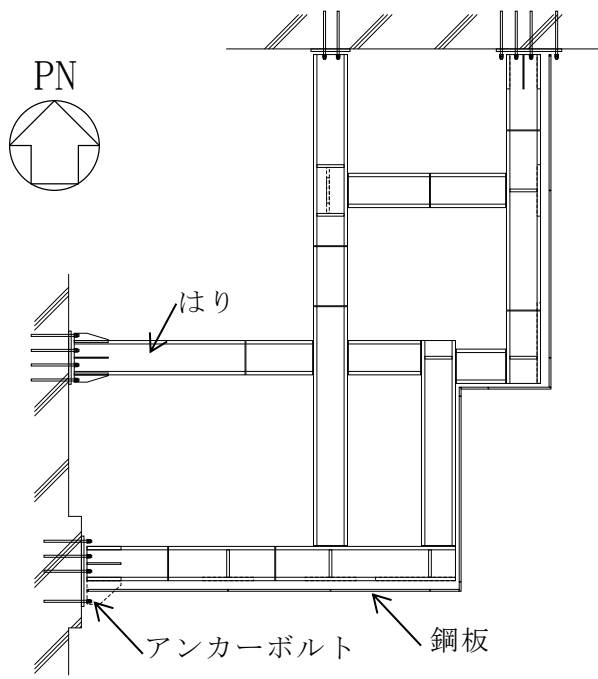
表 4-5(3) タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-------------------------|
| b_4 | mm | はりに作用する荷重の負担幅 |
| m_4 | kg/m | はりの質量分布 |
| M_{y4} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x4} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 |
| Z_{y4} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 |
| L_4 | mm | はり全長 |
| P_4 | kN | 柱の反力 |
| L_a | mm | はり支点間距離のうち長い方 |
| L_b | mm | はり支点間距離のうち短い方 |
| τ_{x4} | N/mm ² | はりに生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y4} | N/mm ² | はりに生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x4} | kN | はりの強軸方向のせん断力 |
| Q_{y4} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx4} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy4} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりに生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)4}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 |
| A_{g4} | mm ² | はりの断面積 |
| Q_4 | kN | 柱の反力 |
| N_4 | kN | はりの軸力 |
| $s f_{bx4}$ | N/mm ² | はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by4}$ | N/mm ² | はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |
| T_5 | kN | 柱又ははりの引張力 |
| n_5 | 本 | 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 |
| T_{d5} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_5 | kN | 柱又ははりに生じるせん断力 |
| Q_{d5} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |

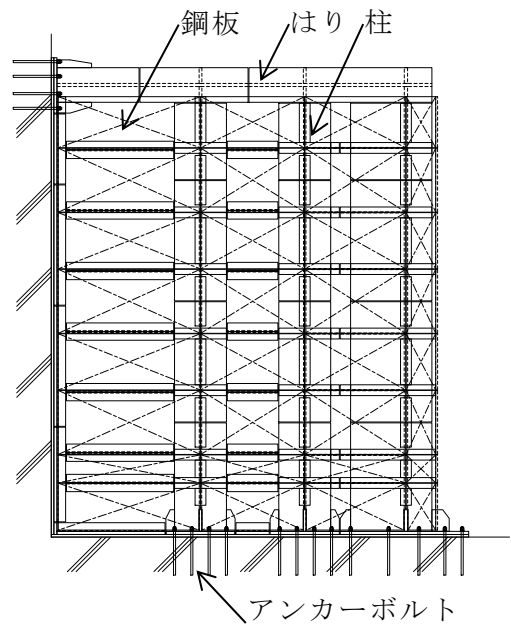
4.2.2 評価対象部位

評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す当該防水壁の構造上の特徴を踏まえ選定する。

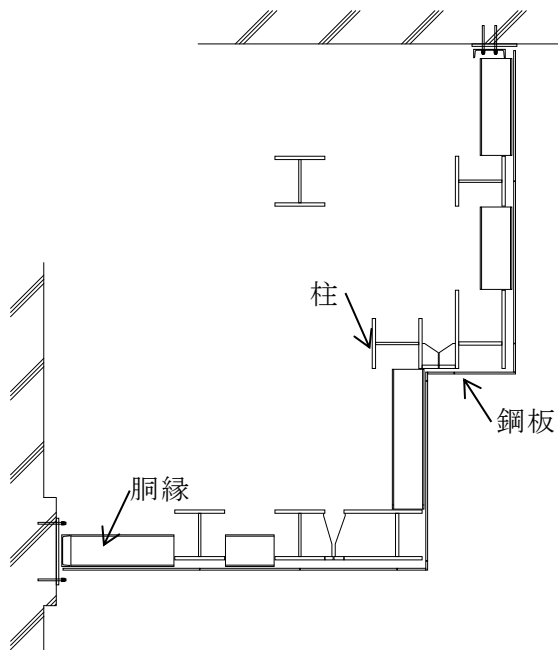
基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁、はり及び柱に伝わり、はり及び柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱、はり及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 4-2 に示す。



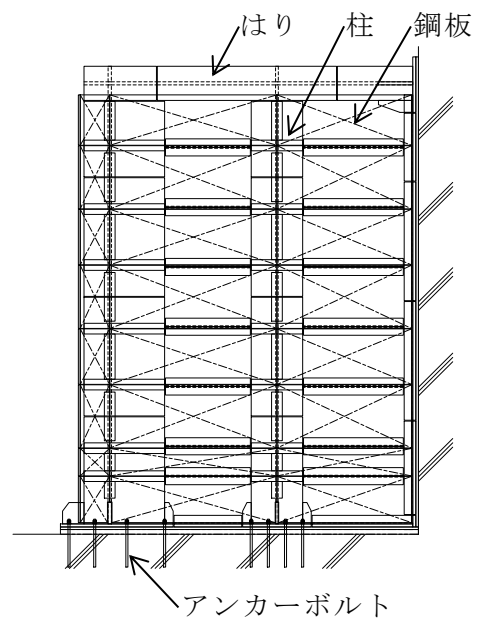
平面図 (はり伏図)



立面図 (南面)



平面図



立面図 (東面)

図 4—2 評価対象部位

4.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、柱、はり及びアンカーボルトの使用材料を表4-6に示す。

表4-6 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|--------|--------------------------------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-22 |
| 柱 | SN490B | BH-600×600×28×40 BH-600×940×40×40 |
| はり | SN490B | BH-400×400×36×40 BH-400×500×28×40 |
| 胴縁 | SS400 | 2-[-380×100×10.5×16 |
| アンカーボルト | SS400 | M24 |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表4-7の値とする。

表4-7 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|--------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮* | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |
| SN490B | 325 | 325 | 325 | 187 |

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 4-8 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-8 アンカーボルトの許容限界

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|-------------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SS400 (M24) | 76 | 58 |

4.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱，はり及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして算出する。鋼板に作用する荷重の例を図4-3に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅: 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

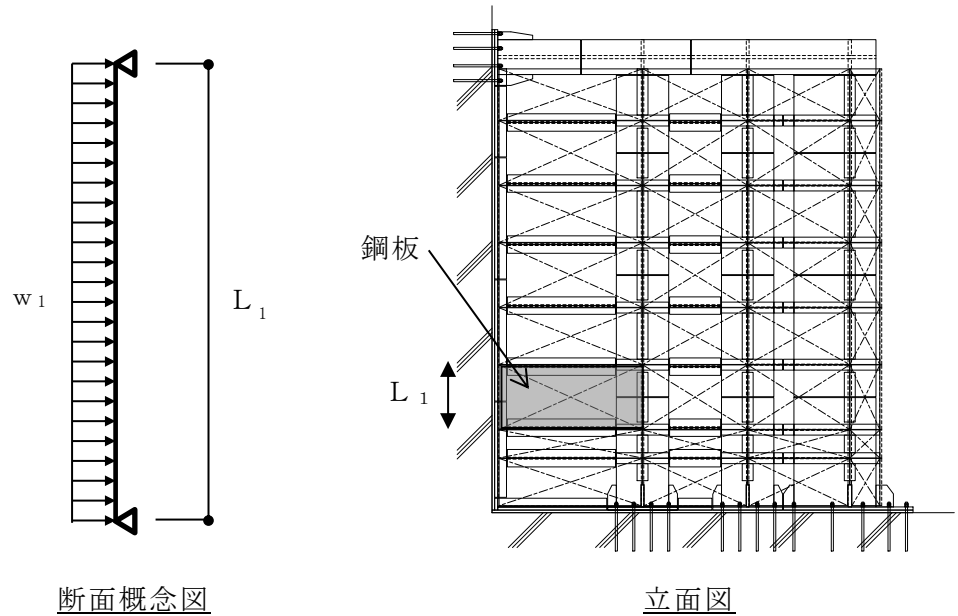


図 4-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純はりとして算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x2} = S s$$

$$w_{y2} = S s v$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

$S s$: 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

$S s v$: 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に生じる組合せ応力度

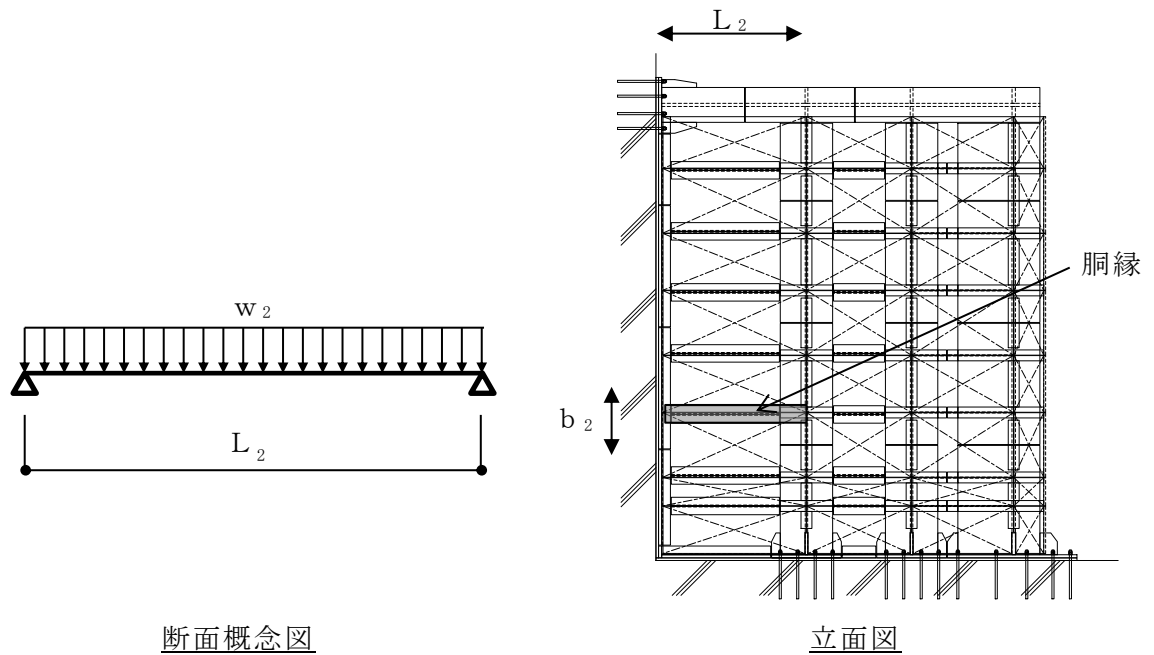
胴縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx2} + \sigma_{by2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)

$s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

立面図

図 4-4 洞縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純はりとして算出する。柱に作用する荷重の例を図 4-5 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_3 = S s$$

w_3 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

$S s$: 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 洞縁の質量分布 (kg/m)

b_2 : 洞縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 3} = (M_{x 3} \cdot 10^6) / Z_{x 3}$$

$$\sigma_{b y 3} = (M_{y 3} \cdot 10^6) / Z_{y 3}$$

$$M_{x 3} = w_{x 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y 3} = w_{y 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{b x 3}, \sigma_{b y 3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 3}, M_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 3}, Z_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_3 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x 3} = (Q_{x 3} \cdot 10^3) / A_{S x 3}$$

$$\tau_{y 3} = (Q_{y 3} \cdot 10^3) / A_{S y 3}$$

$$Q_{x 3} = w_{x 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y 3} = w_{y 3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$\tau_{x 3}, \tau_{y 3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 3}, Q_{y 3}$: 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 3}, A_{S y 3}$: 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

d. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c (t) 3} = (N_{c (t) 3} \cdot 10^3) / A_{g 3}$$

$$N_{c (t) 3} = N_3 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c (t) 3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c (t) 3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

$A_{g 3}$: 柱の断面積 (mm²)

N_3 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_{x3}}/s_{f_{b_{x3}}} + \sigma_{b_{y3}}/s_{f_{b_{y3}}} + \sigma_{c(t)3}/s_{f_{c(t)3}} \leq 1.0$$

- $\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s_{f_{b_{x3}}}, s_{f_{b_{y3}}}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $s_{f_{c(t)3}}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_{x3}} + \sigma_{b_{y3}} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s_{f_{t3}}$$

- $\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
 τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)
 $s_{f_{t3}}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

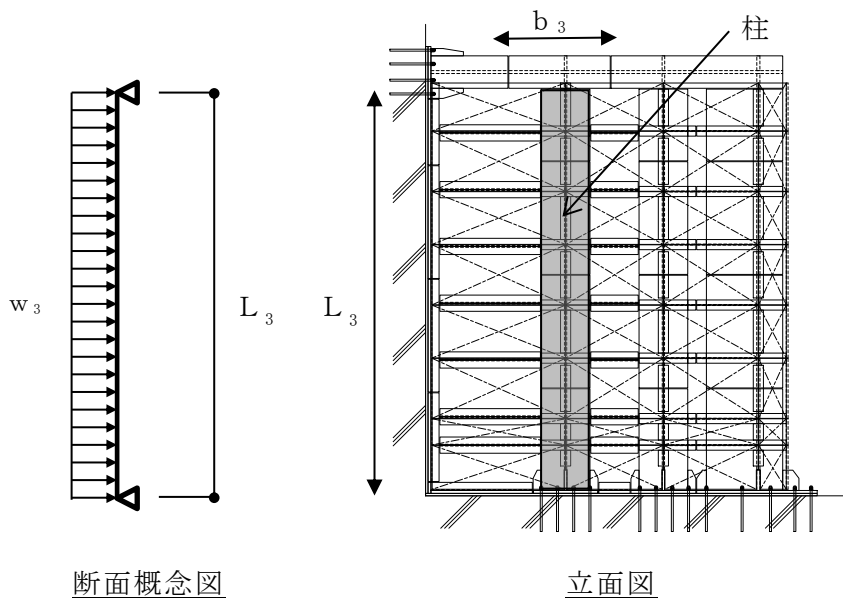


図 4-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり

はりに生じる応力は、はりを両端ピンの単純はりとして算出する。はりに作用する荷重の例を図 4-6 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x4} = S_s$$

$$w_{y4} = S_{sv}$$

w_{x4} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y4} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_V \cdot g \right)$$

b_4 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_4 : はりの質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = (M_{x4} \cdot 10^6) / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = (M_{y4} \cdot 10^6) / Z_{y4}$$

$$M_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8 + P_4 \cdot L_a \cdot L_b / L_4$$

$$M_{y4} = w_{y4} \cdot (L_a \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4}, M_{y4} : はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4}, Z_{y4} : はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_4 : 柱の反力 (kN)

P_4 : はり全長 (mm)

L_a : はり支点間距離のうち長い方 (mm)

L_b : はり支点間距離のうち短い方 (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = (Q_{x4} \cdot 10^3) / A_{sx4}$$

$$\tau_{y4} = (Q_{y4} \cdot 10^3) / A_{sy4}$$

$$Q_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2 + P_4 \cdot L_a / L_4$$

$$Q_{y4} = w_{y4} \cdot (L_a \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x4}, τ_{y4} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4}, Q_{y4} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx4}, A_{sy4} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_4 : はり全長 (mm)

P_4 : 柱の反力 (kN)

L_a : はり支点間距離のうち長い方 (mm)

L_b : はり支点間距離のうち短い方 (mm)

d. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$$N_{c(t)4} = Q_4 + N_4 \cdot \alpha_H$$

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : はりの断面積 (mm²)

Q_4 : 柱の反力 (kN)

N_4 : はりの軸力 (kN)

α_H : 水平方向の設計震度

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4} / s f_{bx4} + \sigma_{by4} / s f_{by4} + \sigma_{c(t)4} / s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}, s f_{by4}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)

$s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

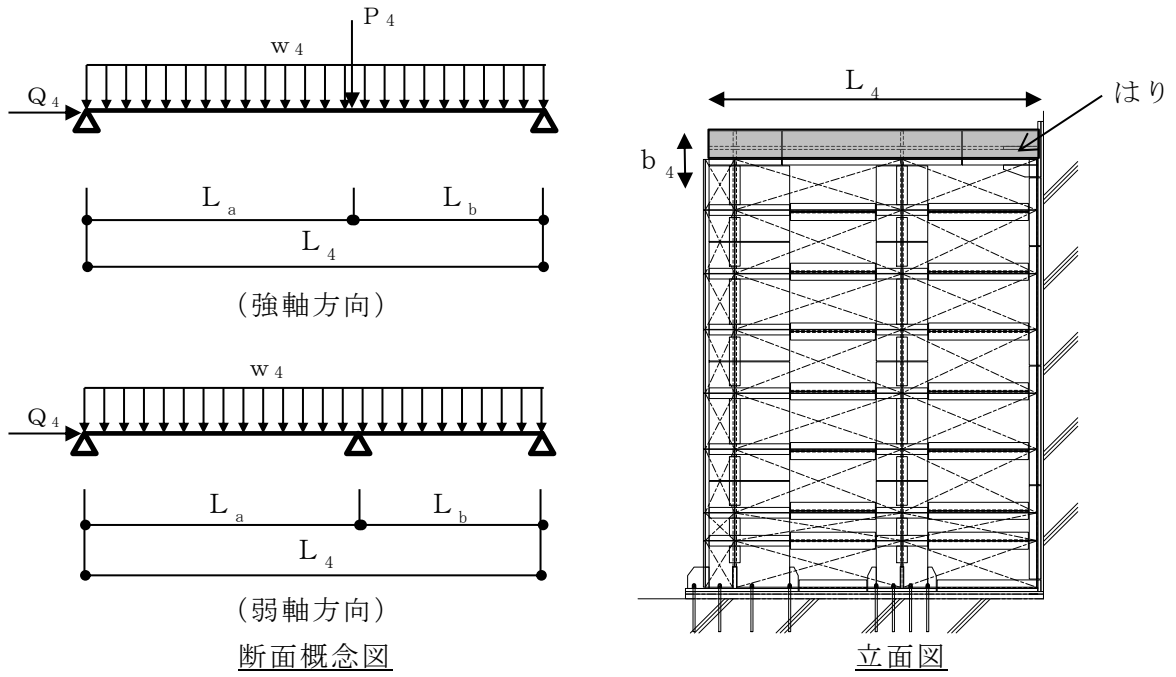


図 4-6 はりに作用する荷重の例

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 4-7 に示す。

$$(T_{d5}/T_a)^2 + (Q_{d5}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d5} = T_5 / n_5$$

$$T_{d5}/T_a \leq 1.0$$

T_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_5 : 柱又ははりの引張力 (kN)

n_5 : 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d5} = Q_5 / n_5$$

$$Q_{d5}/Q_a \leq 1.0$$

Q_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_5 : 柱又ははりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

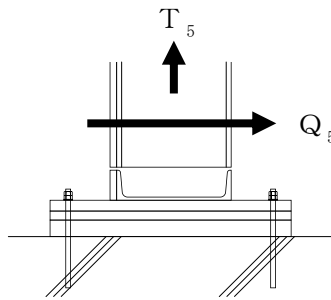


図 4-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表4-9に示す。

表4-9(1) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|------------|---------|----------------|---------------------|
| 共通 | g | m/s^2 | 重力加速度 | 9.80665 |
| | α_H | — | 水平方向の設計震度 | 3.93 |
| | α_V | — | 鉛直方向の設計震度 | 0.60 |
| 鋼板 | ρ_s | t/m^3 | 鋼板の密度 | 7.85 |
| | t | mm | 鋼板の厚さ | 22 |
| | Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 | 80.67×10^3 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 750 |
| 胴縁 | b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 | 725 |
| | m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 | 214.1 |
| | Z_{x2} | mm^3 | 胴縁の強軸回りの断面係数 | 1526×10^3 |
| | Z_{y2} | mm^3 | 胴縁の弱軸回りの断面係数 | 141×10^3 |
| | L_2 | mm | 胴縁全長 | 2300 |
| | A_{Sx2} | mm^2 | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 | 7308 |
| | A_{Sy2} | mm^2 | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 | 6400 |
| 柱 | b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 | 1800 |
| | m_3 | kg/m | 柱の質量分布 | 601.6 |
| | Z_{x3} | mm^3 | 柱の強軸回りの断面係数 | 13659×10^3 |
| | Z_{y3} | mm^3 | 柱の弱軸回りの断面係数 | 4803×10^3 |
| | L_3 | mm | 柱全長 | 5280 |
| | A_{Sx3} | mm^2 | 柱の強軸方向のせん断断面積 | 14560 |
| | A_{Sy3} | mm^2 | 柱の弱軸方向のせん断断面積 | 48000 |
| | A_{g3} | mm^2 | 柱の断面積 | 62560 |

表 4-9(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-----------|---------------|----------------------|--------------------|
| はり | Z_{x4} | mm^3 | はりの強軸回りの断面係数 | 5697×10^3 |
| | Z_{y4} | mm^3 | はりの弱軸回りの断面係数 | 2140×10^3 |
| | L_4 | mm | はり全長 | 3600 |
| | L_a | mm | はり支点間距離のうち長い方 | 1950 |
| | L_b | mm | はり支点間距離のうち短い方 | 1650 |
| | P_4 | kN | はりの強軸方向における柱からの反力 | 150.48 |
| | Q_4 | kN | はりの軸方向における柱からの反力 | 76.03 |
| | A_{Sx4} | mm^2 | はりの強軸方向のせん断断面積 | 11520 |
| | A_{Sy4} | mm^2 | はりの弱軸方向のせん断断面積 | 32000 |
| | A_{g4} | mm^2 | はりの断面積 | 43520 |
| アンカーボルト | n_5 | 本 | 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 | 14 |

5. タービン建物地下1階復水器室北側防水壁

5.1 固有振動数及び設計用地震力

5.1.1 固有振動数の算出方法

タービン建物地下1階復水器室北側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、各部位の寸法や形状を踏まえ、胴縁を両端ピンはりに、柱及びはりをはり要素でモデル化し、実情に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。解析モデル図を図5-1に示す。

解析の用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

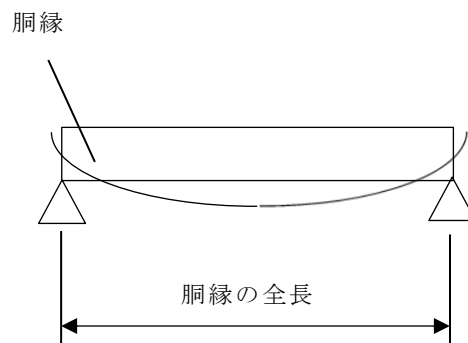


図5-1(1) 固有値解析モデル

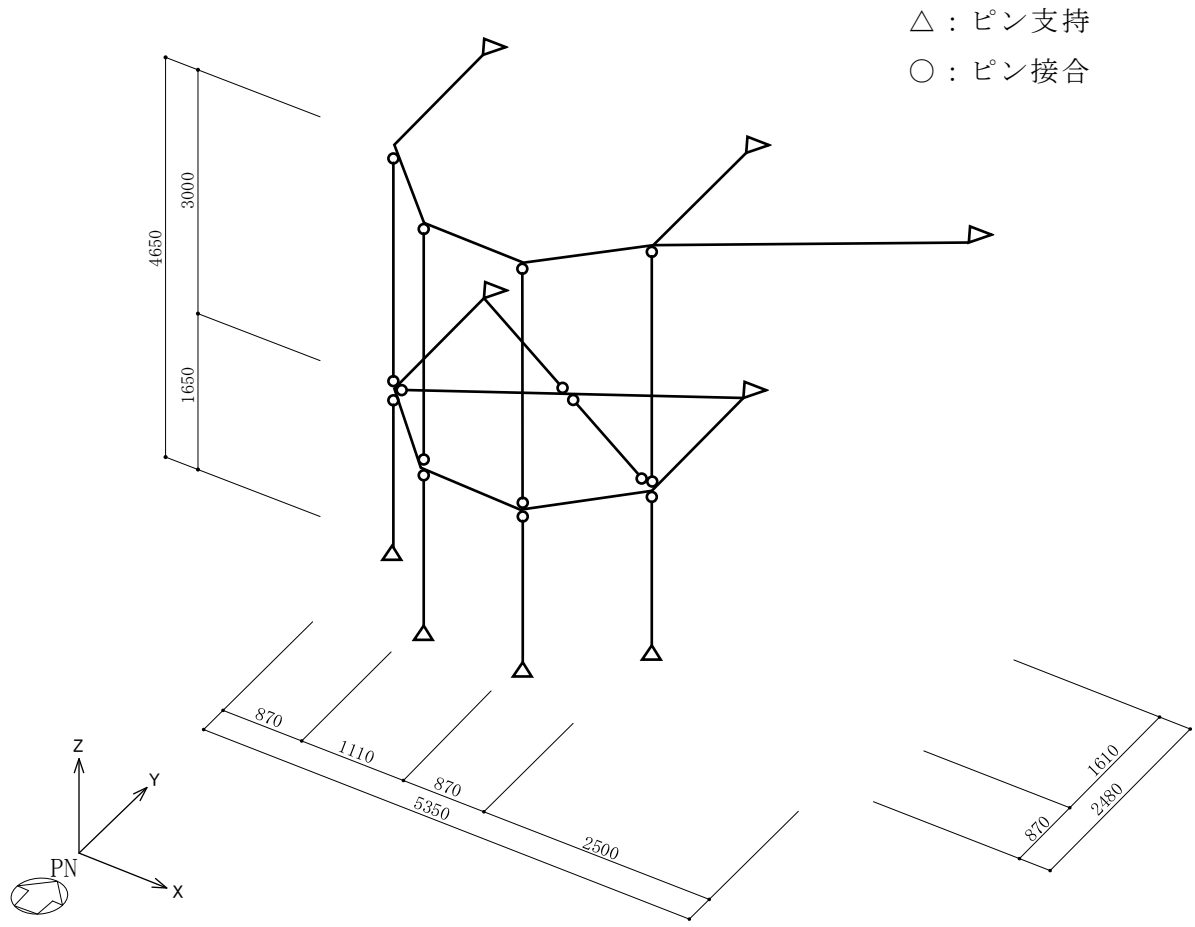


図 5-1(2) 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 5-1 に示す。

表 5-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|------------------|---------------|
| f | Hz | 固有振動数 |
| L | mm | モデル化に用いる胴縁の長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁については、「鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

- a. 両端ピンはりモデル（胴縁をモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

柱及びはりは、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。

(4) 固有振動数の算出結果

胴縁の固有周期の算出条件及び算出結果を表 5-2 に、柱及びはりの固有周期の算出結果を表 5-3 に示す。

表 5-2 固有振動数（胴縁）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|------------------|-----------------------|
| モデル化に用いる胴縁の長さ | L | mm | 1560 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ |
| 断面二次モーメント | I | mm ⁴ | 29000×10 ⁴ |
| 質量分布 | m | kg/m | 386.5 |
| 固有振動数 | f | Hz | 253.146 |

表 5-3 固有振動数（柱及びはり）

| 設備名称 | 方向 | | 固有振動数 f (Hz) | 固有周期 T (s) |
|--------|---------------------------|--------|-----------------|---------------|
| | タービン建物地下 1 階 復水器室北側防水壁 | 水平方向 | N S 方向 | 65.040 |
| E W 方向 | | | 48.321 | 0.0207 |
| 鉛直方向 | | 16.854 | 0.0593 | |

5.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定し、設計用床応答スペクトルに基づき設定する場合に適用する減衰定数は 2% とする。また、設計震度は当該防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度は NS 方向と EW 方向の大きい方を用いる。当該防水壁の設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

| 設置場所 | | タービン建物 EL 0.25m | | |
|---------------------|----------|---|-------|--------------------|
| 固有周期 (s) | | NS 方向 : 0.0154 EW 方向 : 0.0207 鉛直 : 0.0593 | | |
| 減衰定数 (%) | | NS 方向 : - EW 方向 : - 鉛直 : 2.0 | | |
| 地震力 | | 基準地震動 S_s | | |
| モード | 固有周期 (s) | 水平震度 | | 鉛直震度 |
| | | NS 方向 | EW 方向 | |
| 1 次 | 0.0593 | - | - | 3.38* ¹ |
| 動的地震力* ² | | 1.28 | 1.21 | - |

注記*1 : 設計用床応答スペクトル I (S_s) に基づき設定した震度

*2 : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

5.2 耐震評価方法

5.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 5-5 に示す。

表 5-5(1) タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| w_1 | kN/m | 鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| α_H | — | 水平方向の設計震度 |
| α_V | — | 鉛直方向の設計震度 |
| g | m/s ² | 重力加速度 |
| b_1 | mm | 鋼板の幅 |
| S_s | kN/m | 水平地震荷重 |
| S_{sv} | kN/m | 鉛直地震荷重 |
| t | mm | 鋼板の厚さ |
| ρ_s | t/m ³ | 鋼板の密度 |
| σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | kN・m | 鋼板の曲げモーメント |
| Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ |
| w_{x2} | kN/m | 胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y2} | kN/m | 胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 |
| m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 |
| σ_{bx2} | N/mm ² | 胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by2} | N/mm ² | 胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x2} | kN・m | 胴縁の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y2} | kN・m | 胴縁の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x2} | mm ³ | 胴縁の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y2} | mm ³ | 胴縁の弱軸回りの断面係数 |

表 5-5(2) タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|--------------------|
| L_2 | mm | 胴縁全長 |
| τ_{x2} | N/mm ² | 胴縁に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y2} | N/mm ² | 胴縁に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x2} | kN | 胴縁の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y2} | kN | 胴縁の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx2} | mm ² | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy2} | mm ² | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | 胴縁の短期許容引張応力度 |
| w_3 | kN/m | 柱に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 |
| m_3 | kg/m | 柱の質量分布 |
| σ_{bx3} | N/mm ² | 柱に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by3} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x3} | kN・m | 柱の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y3} | kN・m | 柱の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x3} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y3} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 |
| L_3 | mm | 柱全長 |
| τ_{x3} | N/mm ² | 柱に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y3} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x3} | kN | 柱の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y3} | kN | 柱の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx3} | mm ² | 柱の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy3} | mm ² | 柱の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)3}$ | N/mm ² | 柱に生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)3}$ | kN | 柱の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g3} | mm ² | 柱の断面積 |
| N_3 | kN | 柱の軸力 |
| $s f_{bx3}$ | N/mm ² | 柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by3}$ | N/mm ² | 柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)3}$ | N/mm ² | 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t3}$ | N/mm ² | 柱の短期許容引張応力度 |

表 5-5(3) タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-------------------------|
| w_{x4} | kN/m | はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y4} | kN/m | はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| σ_{bx4} | N/mm ² | はりに生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by4} | N/mm ² | はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x4} | kN・m | はりの強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y4} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x4} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 |
| Z_{y4} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 |
| τ_{x4} | N/mm ² | はりに生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y4} | N/mm ² | はりに生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x4} | kN | はりの強軸方向のせん断力 |
| Q_{y4} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 |
| A_{sx4} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 |
| A_{sy4} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりに生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)4}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 |
| A_{g4} | mm ² | はりの断面積 |
| $s f_{xb4}$ | N/mm ² | はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{yb4}$ | N/mm ² | はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |
| $\sigma_{c(t)5}$ | N/mm ² | 水平ブレースに生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)5}$ | kN | 水平ブレースの圧縮又は引張軸力 |
| A_{g5} | mm ² | 水平ブレースの断面積 |
| T_6 | kN | 柱又ははりに生じる引張力 |
| n_6 | 本 | 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 |
| T_{d6} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_6 | kN | 柱又ははりのせん断力 |
| Q_{d6} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |

5.2.2 評価対象部位

評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す当該防水壁の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁、はり、柱及び水平ブレースに伝わり、柱及びはりを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱、はり、水平ブレース及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 5-2 に示す。

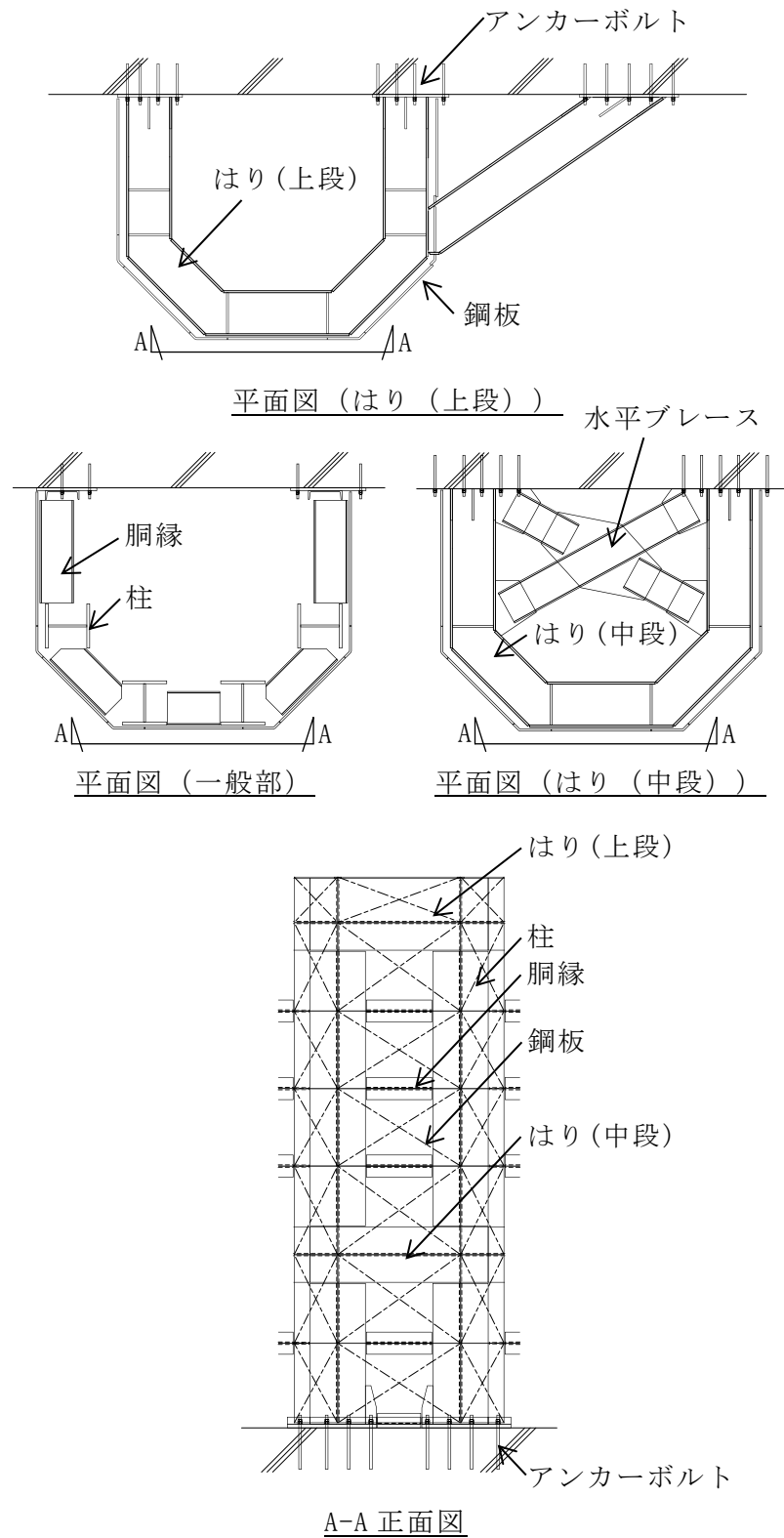


図 5—2 評価対象部位

5.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「5.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

5.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、柱、はり、水平ブレース及びアンカーボルトの使用材料を表5-6に示す。

表5-6 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|--------|---------------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-22 |
| 柱 | SN490B | BH-500×500×22×32 |
| はり | SN490B | BH-500×500×19×22 |
| 胴縁 | SS400 | 2-[-380×100×10.5×16 |
| 水平ブレース | SS400 | 2-[-380×100×10.5×16 |
| アンカーボルト | SS400 | M24 |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表5-7の値とする。

表5-7 鋼材の許容限界

| 材質 | 部材厚さ (mm) | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|--------------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | | 引張 | 圧縮 | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | $t \leq 40$ | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 5-8 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-8 アンカーボルトの許容限界

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|-------------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SS400 (M24) | 64 | 58 |

5.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱，はり，水平ブレース及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして算出する。鋼板に作用する荷重の例を図 5-3 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_1 = S_s$$

- w_1 : 地震荷重による等分布荷重
- b_1 : 鋼板の幅 (単位幅: 1000mm)
- S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)
- t : 鋼板の厚さ (mm)
- ρ_s : 鋼板の密度 (t/m^3)
- α_H : 水平方向の設計震度
- g : 重力加速度 (m/s^2)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$
$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

- σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm^2)
- M_1 : 鋼板の曲げモーメント ($kN \cdot m$)
- Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm^3)
- L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

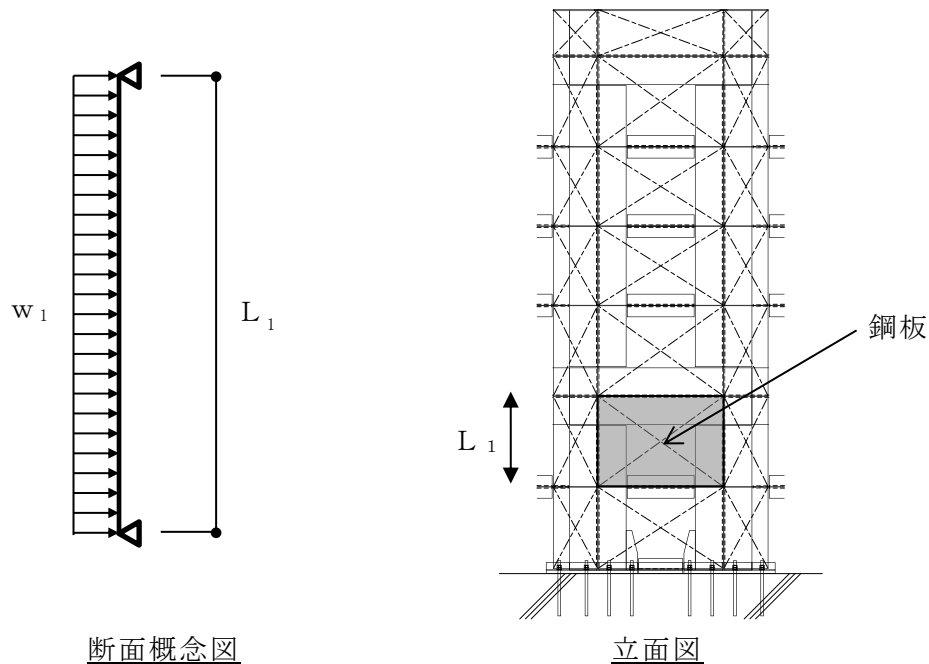


図 5-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純はりとして算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 5-4 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x2} = S_s$$

$$w_{y2} = S_{sv}$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に生じる組合せ応力度

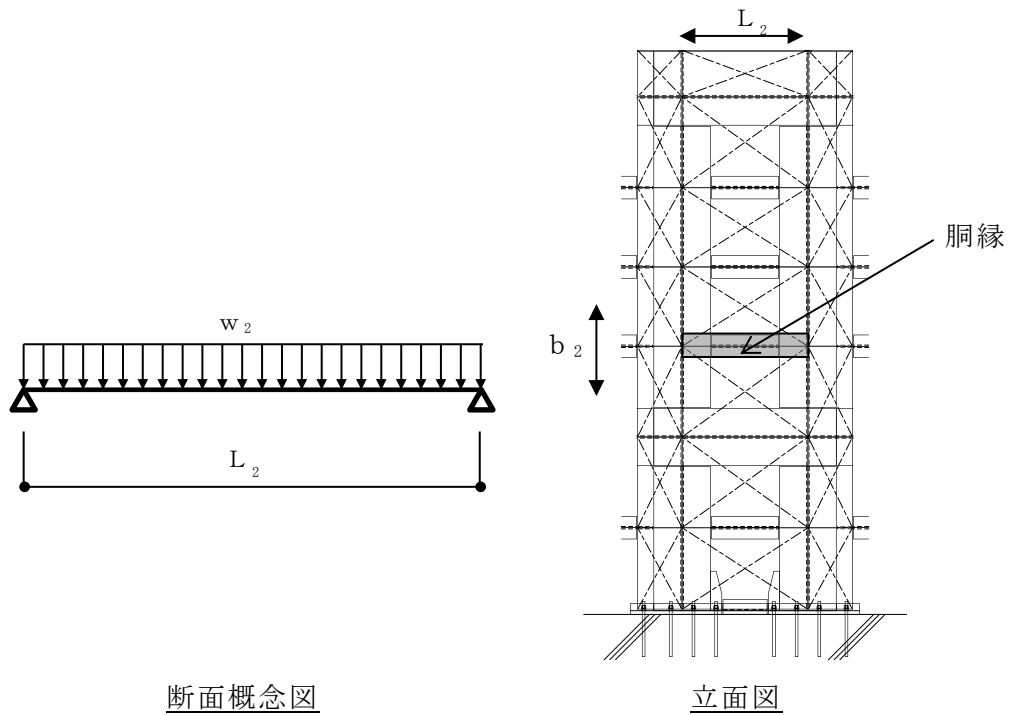
胴縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx2} + \sigma_{by2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)

$s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

立面図

図 5-4 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純はりとして算出する。柱に作用する荷重の例を図 5-5 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_3 = S_s$$

w_3 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_3 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b_{x3}} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x3}$$

$$\sigma_{b_{y3}} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y3}$$

$$M_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3}, M_{y3} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3}, Z_{y3} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_3 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{Sx3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{Sy3}$$

$$Q_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x3}, τ_{y3} : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3}, Q_{y3} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx3}, A_{Sy3} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

d. 柱に作用する軸応力度

$$\sigma_{c(t)3} = (N_{c(t)3} \cdot 10^3) / A_{g3}$$

$$N_{c(t)3} = N_3 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g3} : 柱の断面積 (mm²)

N_3 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に作用する組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_x3} / s f_{b_x3} + \sigma_{b_y3} / s f_{b_y3} + \sigma_{c(t)3} / s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

- $\sigma_{b_x3}, \sigma_{b_y3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $s f_{b_x3}, s f_{b_y3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
- $s f_{c(t)3}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_x3} + \sigma_{b_y3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

- $\sigma_{b_x3}, \sigma_{b_y3}$: 柱の強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)3}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)
- $s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

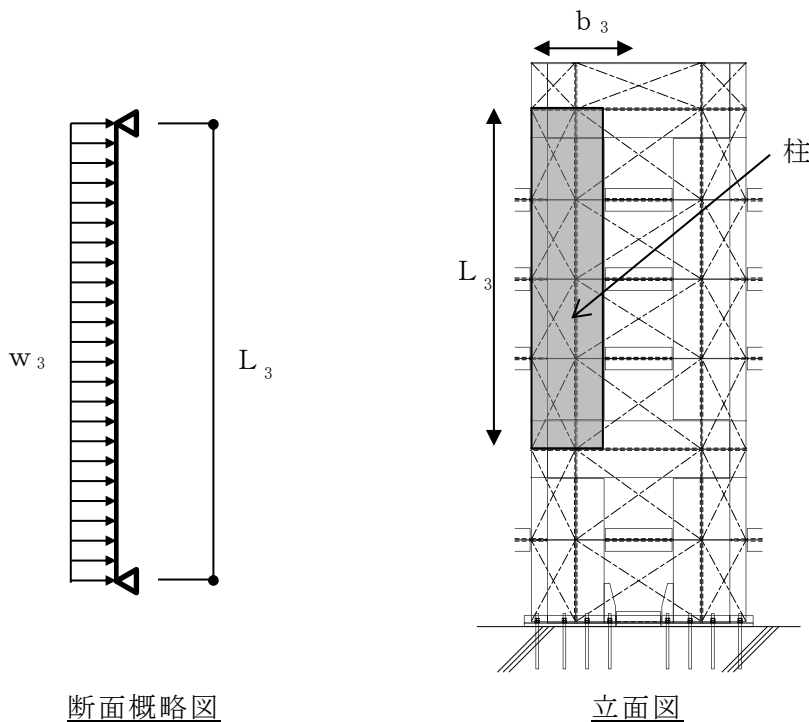


図 5-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり及び水平ブレース

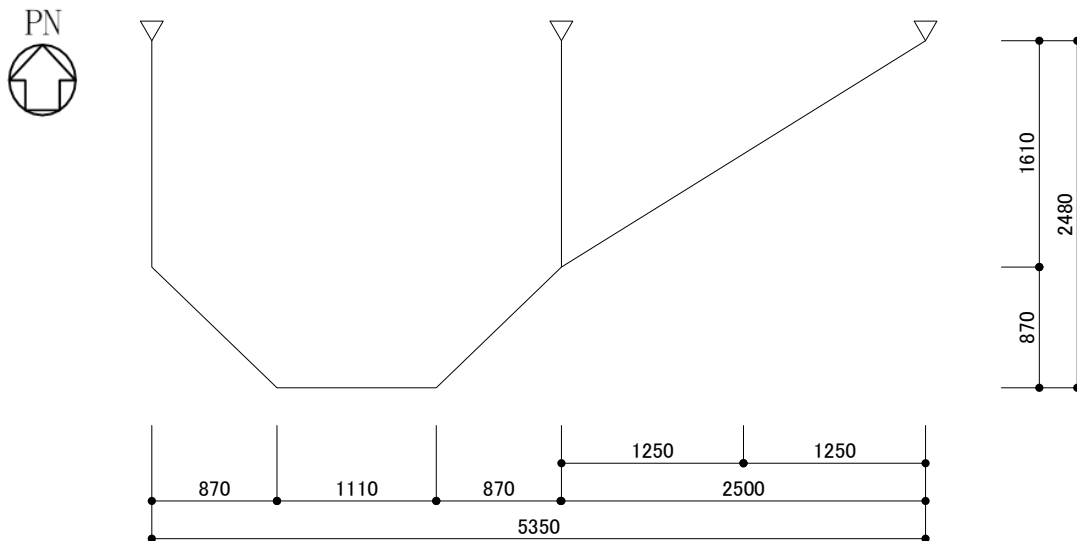
はり及び水平ブレースは、2次元フレームモデルにモデル化し、はり及び水平ブレースに生じる応力がはり及び水平ブレースの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 解析モデル

はり及び水平ブレースは、はり要素にモデル化し、2次元フレーム解析により応力を算定する。検討スパンは、接合部の現況を考慮した有効長さとして評価する。解析に使用するコードは、「SD」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。解析モデル図を図5-6に、はりに作用する荷重の例を図5-7に示す。解析に用いる物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

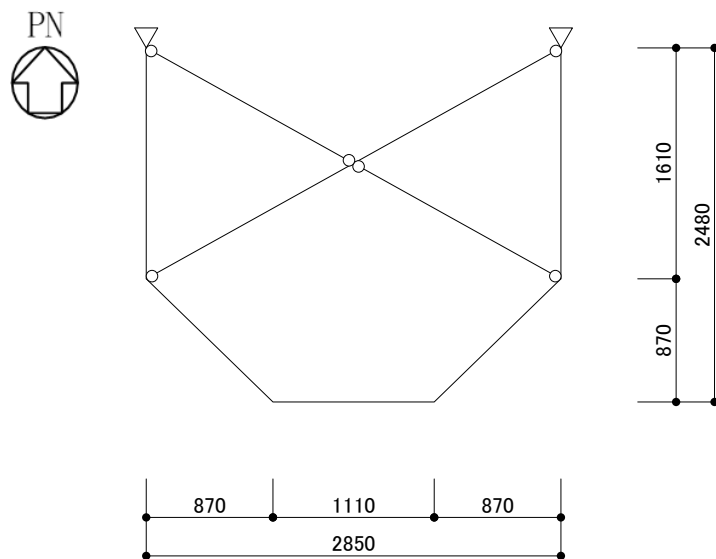
せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



| 条件 | 記号 | 備考 |
|--------|----|------|
| 部材接合条件 | ○ | ピン接合 |
| 支点境界条件 | △ | ピン支点 |

はり（上段）

図5-6(1) はり解析モデル図



はり（中段）

図 5-6(2) はり及び水平ブレース解析モデル図

- b. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x4} = S_s$$

$$w_{y4} = S_{sv}$$

w_{x4} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y4} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

c. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 4} = (M_{x 4} \cdot 10^6) / Z_{x 4}$$

$$\sigma_{b y 4} = (M_{y 4} \cdot 10^6) / Z_{y 4}$$

$\sigma_{b x 4}, \sigma_{b y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{x 4}, M_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

$Z_{x 4}, Z_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

d. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x 4} = (Q_{x 4} \cdot 10^3) / A_{S x 4}$$

$$\tau_{y 4} = (Q_{y 4} \cdot 10^3) / A_{S y 4}$$

$\tau_{x 4}, \tau_{y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 4}, Q_{y 4}$: はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S x 4}, A_{S y 4}$: はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

e. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t) 4} = (N_{c(t) 4} \cdot 10^3) / A_{g 4}$$

$\sigma_{c(t) 4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t) 4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

$A_{g 4}$: はりの断面積 (mm²)

f. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b x 4} / s f_{b x 4} + \sigma_{b y 4} / s f_{b y 4} + \sigma_{c(t) 4} / s f_{c(t) 4} \leq 1.0$$

$\sigma_{b x 4}, \sigma_{b y 4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{b x 4}, s f_{b y 4}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t) 4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t) 4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は，次式により算出し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

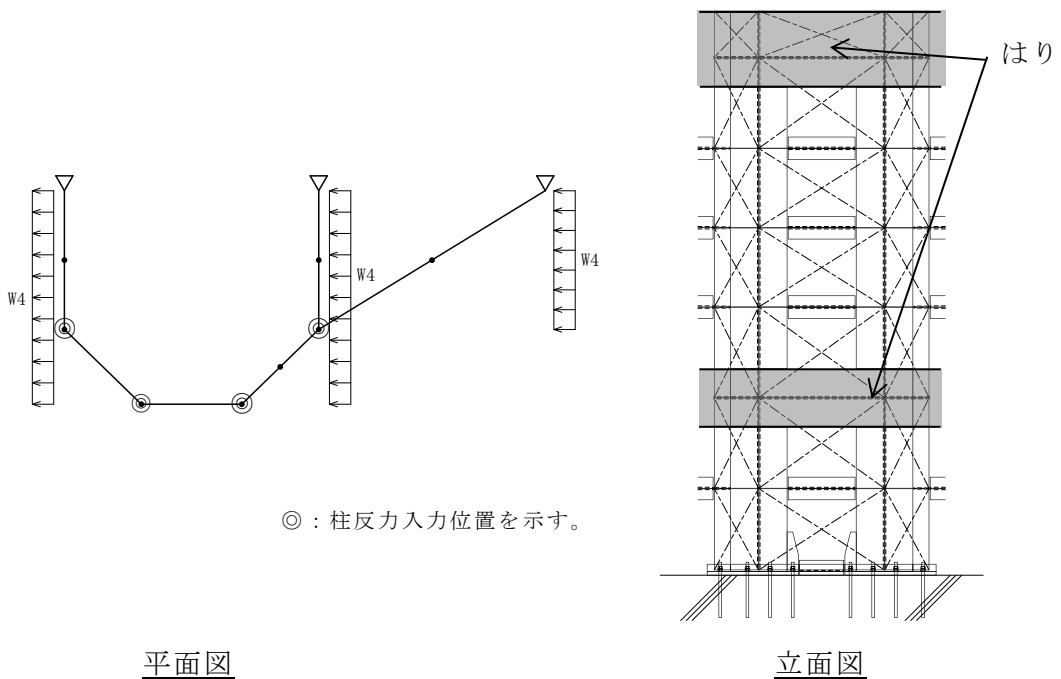
$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)

$s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



平面図

立面図

図 5-7 はりに作用する荷重の例

g. 水平ブレースに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)5} = (N_{c(t)5} \cdot 10^3) / A_{g5}$$

$\sigma_{c(t)5}$: 水平ブレースに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)5}$: 水平ブレースの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g5} : 水平ブレースの断面積 (mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 5-8 に示す。

$$(T_{d6}/T_a)^2 + (Q_{d6}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d6} = T_6 / n_6$$

$$T_{d6}/T_a \leq 1.0$$

T_6 : 柱又ははりの引張力 (kN)

n_6 : 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d6} = Q_6 / n_6$$

$$Q_{d6}/Q_a \leq 1.0$$

Q_6 : 柱又ははりのせん断力 (kN)

Q_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

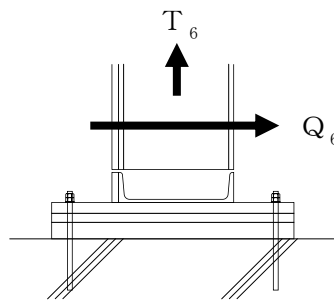


図 5-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

5.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表5-9に示す。

表5-9(1) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|------------|---------|----------------|---------------------|
| 共通 | g | m/s^2 | 重力加速度 | 9.80665 |
| | α_H | — | 水平方向の設計震度 | 1.28 |
| | α_V | — | 鉛直方向の設計震度 | 3.38 |
| 鋼板 | ρ_s | t/m^3 | 鋼板の密度 | 7.85 |
| | t | mm | 鋼板の厚さ | 22 |
| | Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 | 80.67×10^3 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 850 |
| 胴縁 | b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 | 700 |
| | m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 | 265.1 |
| | Z_{x2} | mm^3 | 胴縁の強軸回りの断面係数 | 1526×10^3 |
| | Z_{y2} | mm^3 | 胴縁の弱軸回りの断面係数 | 141×10^3 |
| | L_2 | mm | 胴縁の全長 | 1610 |
| | A_{Sx2} | mm^2 | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 | 7308 |
| | A_{Sy2} | mm^2 | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 | 6400 |
| 柱 | b_3 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 | 2040 |
| | m_3 | kg/m | 柱の質量分布 | 428.3 |
| | Z_{x3} | mm^3 | 柱の強軸回りの断面係数 | 7627×10^3 |
| | Z_{y3} | mm^3 | 柱の弱軸回りの断面係数 | 2668×10^3 |
| | L_3 | mm | 柱全長 | 3000 |
| | A_{Sx3} | mm^2 | 柱の強軸方向のせん断断面積 | 9592 |
| | A_{Sy3} | mm^2 | 柱の弱軸方向のせん断断面積 | 32000 |
| | A_{g3} | mm^2 | 柱の断面積 | 41592 |

表 5-9(2) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-------------|-----------------|----------------------|--------------------|
| はり | M_{x4} | kN・m | はりの強軸回りの曲げモーメント | 39.2 |
| | M_{y4} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント | 4.73 |
| | Z_{x4} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 | 5631×10^3 |
| | Z_{y4} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 | 1834×10^3 |
| | Q_{x4} | kN | はりの強軸方向のせん断力 | 44.3 |
| | Q_{y4} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 | 14.69 |
| | A_{sx4} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 | 8664 |
| | A_{sy4} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 | 22000 |
| | $N_{c(t)4}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 | 92.20 |
| | A_{g4} | mm ² | はりの断面積 | 30664 |
| 水平ブレース | $N_{c(t)5}$ | kN | 水平ブレースの圧縮又は引張軸力 | 107.05 |
| | A_{g5} | mm ² | 水平ブレースの断面積 | 13880 |
| アンカーボルト | n_6 | 本 | 柱又ははりに取り付くアンカーボルトの本数 | 15 |

6. タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁

6.1 固有振動数及び設計用地震力

6.1.1 固有振動数の算出方法

タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は，各部位の寸法や形状を踏まえ，胴縁及び根太を両端ピンはりに，柱，はり及び斜材をはり要素でモデル化し，実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。解析モデル図を図 6-1 に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

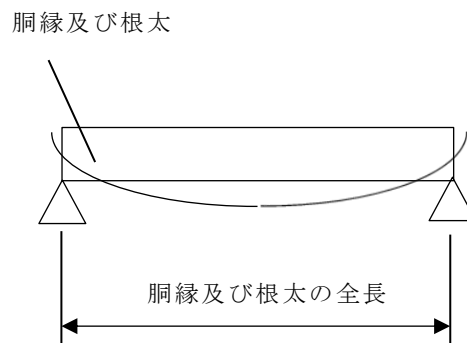


図 6-1(1) 固有値解析モデル

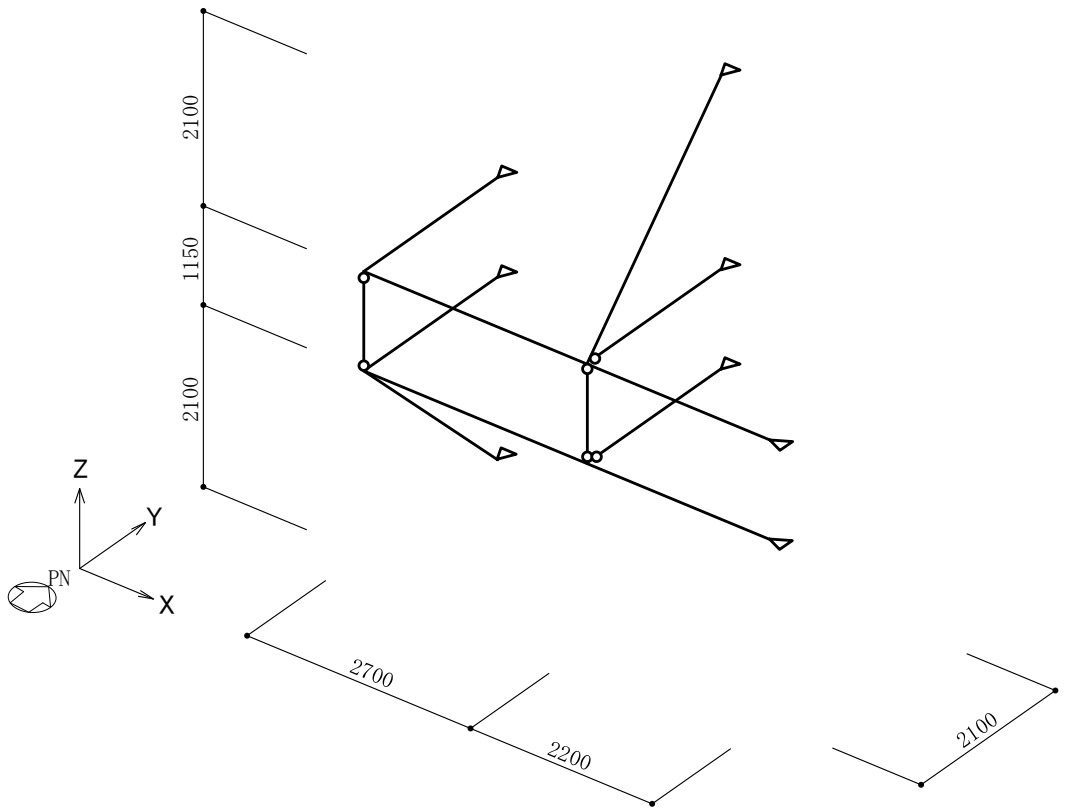


図 6-1(2) 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 6-1 に示す。

表 6-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|------------------|-------------------|
| f | Hz | 防水壁の 1 次固有振動数 |
| L | mm | モデル化に用いる胴縁及び根太の長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁及び根太については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

- a. 両端ピンはりモデル（胴縁及び根太をモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

柱、はり及び斜材は、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。

(4) 固有振動数の算出結果

胴縁及び根太の固有振動数の算出条件及び算出結果を表 6-2 に、柱、はり及び斜材の固有振動数の算出結果を表 6-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 6-2 固有振動数（胴縁及び根太）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 | |
|-------------------|----|------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | 胴縁 | 根太 |
| モデル化に用いる胴縁及び根太の長さ | L | mm | 1150 | 2100 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ | 2.05×10 ¹¹ |
| 断面二次モーメント | I | mm ⁴ | 7410×10 ⁴ | 7410×10 ⁴ |
| 質量分布 | m | kg/m | 266.3 | 227.3 |
| 固有振動数 | f | Hz | 401.180 | 434.236 |

表 6-3 固有振動数（柱、はり及び斜材）

| 設備名称 | 方向 | | 固有振動数 f (Hz) |
|----------------------------|------|--------|-----------------|
| タービン建物地下 1 階 復水器室北東側防水壁 | 水平方向 | N S 方向 | 83.333 |
| | | E W 方向 | 90.909 |
| | 鉛直方向 | | 45.455 |

6.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、設計震度は当該防水壁設置階と上階の最大値とし、水平震度はNS方向とEW方向の大きい方を用いる。当該防水壁の設計震度を表6-4に示す。

表6-4 設計震度

| 建物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の 設計震度* | |
|--------|-----------|------------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| タービン建物 | EL 0.250m | 1.28 | 0.60 |

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

6.2 耐震評価方法

6.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 6-5 に示す。

表 6-5(1) タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| w_1 | kN/m | 鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重 |
| g | m/s ² | 重力加速度 |
| b_1 | mm | 鋼板の幅 |
| α_H | — | 水平方向の設計震度 |
| α_V | — | 鉛直方向の設計震度 |
| S_s | kN/m | 水平地震荷重 |
| S_{sv} | kN/m | 鉛直地震荷重 |
| t | mm | 鋼板の厚さ |
| ρ_s | t/m ³ | 鋼板の密度 |
| σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | kN・m | 鋼板の曲げモーメント |
| Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ |
| w_{x2} | kN/m | 胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y2} | kN/m | 胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 |
| m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 |
| σ_{bx2} | N/mm ² | 胴縁に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by2} | N/mm ² | 胴縁に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x2} | kN・m | 胴縁の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y2} | kN・m | 胴縁の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x2} | mm ³ | 胴縁の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y2} | mm ³ | 胴縁の弱軸回りの断面係数 |

表 6-5(2) タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-----------------------|
| L_2 | mm | 胴縁全長 |
| τ_{x2} | N/mm ² | 胴縁に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y2} | N/mm ² | 胴縁に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x2} | kN | 胴縁の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y2} | kN | 胴縁の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx2} | mm ² | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy2} | mm ² | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)2}$ | N/mm ² | 胴縁に生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)2}$ | kN | 胴縁の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g2} | mm ² | 胴縁の断面積 |
| N_2 | kN | 胴縁の軸力 |
| $s f_{bx2}$ | N/mm ² | 胴縁の強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by2}$ | N/mm ² | 胴縁の弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)2}$ | N/mm ² | 胴縁の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | 胴縁の短期許容引張応力度 |
| w_{x3} | kN/m | 根太に作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y3} | kN/m | 根太に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| b_3 | mm | 根太に作用する荷重の負担幅 |
| m_3 | kg/m | 根太の質量分布 |
| σ_{bx3} | N/mm ² | 根太に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by3} | N/mm ² | 根太に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x3} | kN・m | 根太の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y3} | kN・m | 根太の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x3} | mm ³ | 根太の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y3} | mm ³ | 根太の弱軸回りの断面係数 |
| L_3 | mm | 根太全長 |
| τ_{x3} | N/mm ² | 根太に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y3} | N/mm ² | 根太に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x3} | kN | 根太の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y3} | kN | 根太の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx3} | mm ² | 根太の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy3} | mm ² | 根太の弱軸方向のせん断断面積 |
| $s f_{t3}$ | N/mm ² | 根太の短期許容引張応力度 |

表 6-5(3) タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-------------------------|
| w_4 | kN/m | 柱に作用する地震荷重による等分布荷重等分布荷重 |
| σ_{bx4} | N/mm ² | 柱に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by4} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x4} | kN・m | 柱の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y4} | kN・m | 柱の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x4} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y4} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 |
| L_4 | mm | 柱全長 |
| τ_{x4} | N/mm ² | 柱に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y4} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x4} | kN | 柱の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y4} | kN | 柱の弱軸方向のせん断力 |
| A_{sx4} | mm ² | 柱の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{sy4} | mm ² | 柱の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)4}$ | N/mm ² | 柱に生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)4}$ | kN | 柱の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g4} | mm ² | 柱の断面積 |
| N_4 | kN | 柱の軸力 |
| $s f_{bx4}$ | N/mm ² | 柱の強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by4}$ | N/mm ² | 柱の弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)4}$ | N/mm ² | 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | 柱の短期許容引張応力度 |
| w_{x5} | kN/m | はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y5} | kN/m | はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| σ_{bx5} | N/mm ² | はりに生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by5} | N/mm ² | はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| b_5 | mm | はりに作用する荷重の負担幅 |
| m_5 | kg/m | はりの質量分布 |
| M_{x5} | kN・m | はりの強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y5} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x5} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 |
| Z_{y5} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 |
| L_5 | mm | はり全長 |

表 6-5(4) タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-----------------------|
| τ_{x5} | N/mm ² | はりに生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y5} | N/mm ² | はりに生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x5} | kN | はりの強軸方向のせん断力 |
| Q_{y5} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx5} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy5} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)5}$ | N/mm ² | はりに生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)5}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 |
| N_5 | kN | はりの軸力 |
| A_{g5} | mm ² | はりの断面積 |
| $s f_{bx5}$ | N/mm ² | はりの強軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by5}$ | N/mm ² | はりの弱軸方向の短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)5}$ | N/mm ² | はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t5}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |
| w_{x6} | kN/m | 斜材に作用する水平地震荷重による等分布荷重 |
| w_{y6} | kN/m | 斜材に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重 |
| m_6 | kg/m | 斜材の質量分布 |
| σ_{bx6} | N/mm ² | 斜材に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by6} | N/mm ² | 斜材に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x6} | kN・m | 斜材の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y6} | kN・m | 斜材の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x6} | mm ³ | 斜材の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y6} | mm ³ | 斜材の弱軸回りの断面係数 |
| L_6 | mm | 斜材全長 |
| τ_{x6} | N/mm ² | 斜材に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y6} | N/mm ² | 斜材に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x6} | kN | 斜材の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y6} | kN | 斜材の弱軸方向のせん断力 |
| A_{Sx6} | mm ² | 斜材の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{Sy6} | mm ² | 斜材の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)6}$ | N/mm ² | 斜材に生じる軸応力度 |

表 6-5(5) タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------------|----------|-------------------------|
| $s f_{b x 6}$ | N/mm^2 | 斜材の強軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{b y 6}$ | N/mm^2 | 斜材の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c (t) 6}$ | N/mm^2 | 斜材の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $N_{c (t) 6}$ | kN | 斜材の圧縮又は引張軸力 |
| N_6 | kN | 斜材の軸力 |
| $A_{g 6}$ | mm^2 | 斜材の断面積 |
| $s f_{t 6}$ | N/mm^2 | 斜材の短期許容引張応力度 |
| T_7 | kN | 斜材の引張力 |
| n_7 | 本 | 斜材に取り付くアンカーボルトの本数 |
| $T_{d 7}$ | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_7 | kN | 斜材のせん断力 |
| $Q_{d 7}$ | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |

6.2.2 評価対象部位

評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す当該防水壁の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁、根太、柱、はり及び斜材に伝わり、はり及び斜材を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、根太、柱、はり、斜材及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 6-2 に示す。

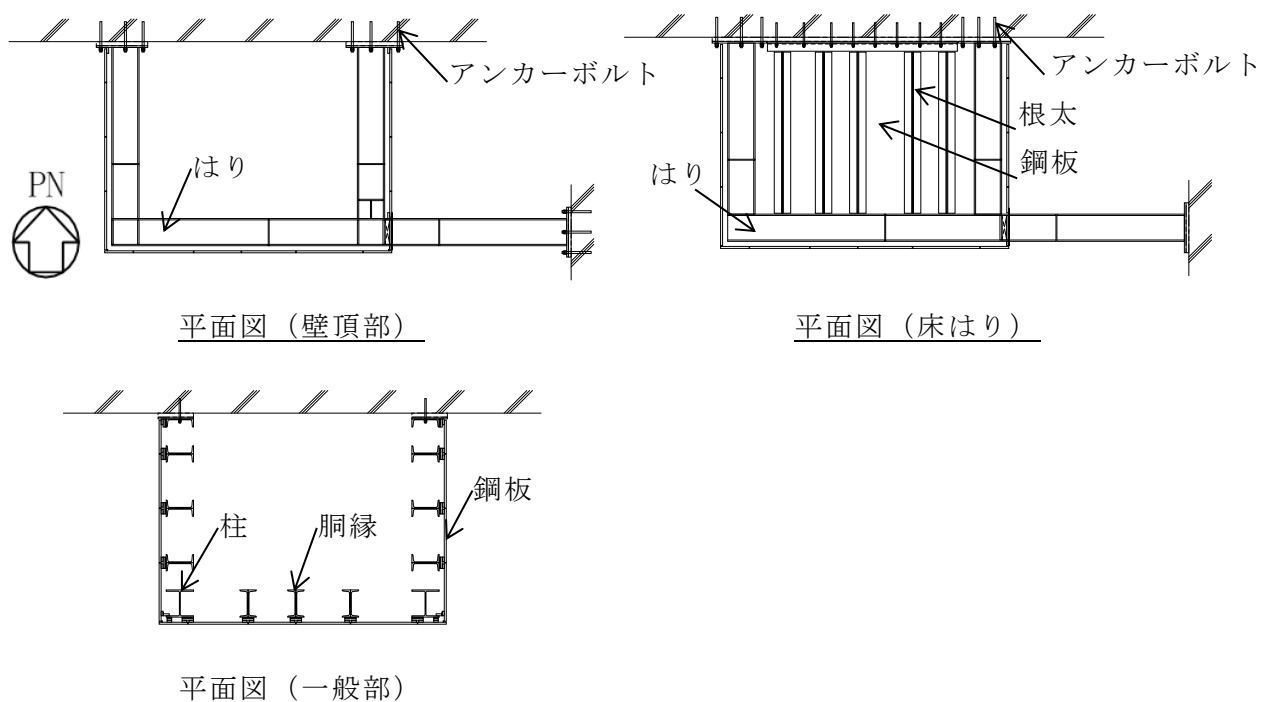


図 6-2(1) 評価対象部位

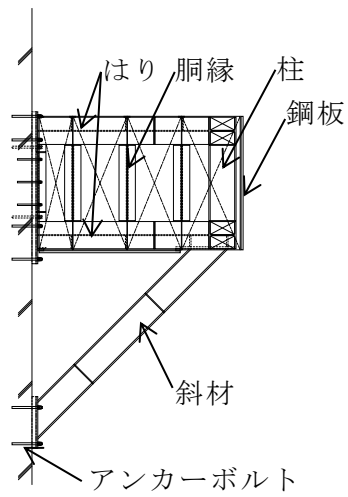
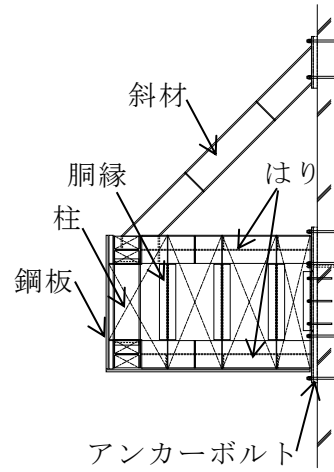
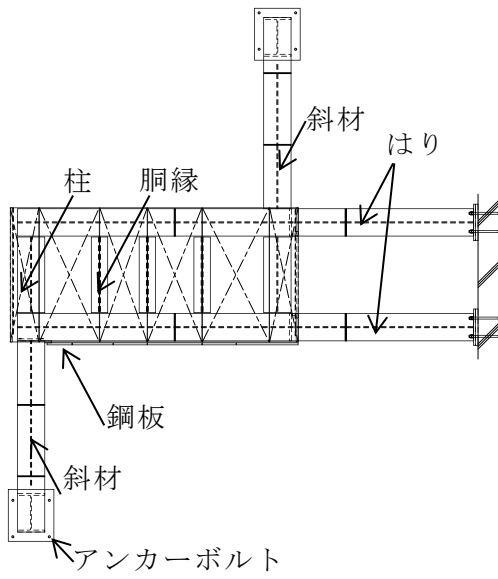


図 6—2(2) 評価対象部位

6.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「6.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

6.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、胴縁、根太、柱、はり、斜材及びアンカーボルトの使用材料を表6-6に示す。

表6-6 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|-------|------------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-22 |
| 胴縁、根太 | SS400 | [-300×90×10×15.5 |
| 柱、はり、斜材 | SS400 | H-300×300×10×15 |
| アンカーボルト | SS400 | M22 |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表6-7の値とする。

表6-7 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度(N/mm ²) | | | |
|-------|-----------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 6-8 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 6-8 アンカーボルトの許容限界

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|-------------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SS400 (M22) | 71 | 49 |

6.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，根太，柱，はり，斜材及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして算出する。鋼板に作用する荷重の例を図 6-3 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

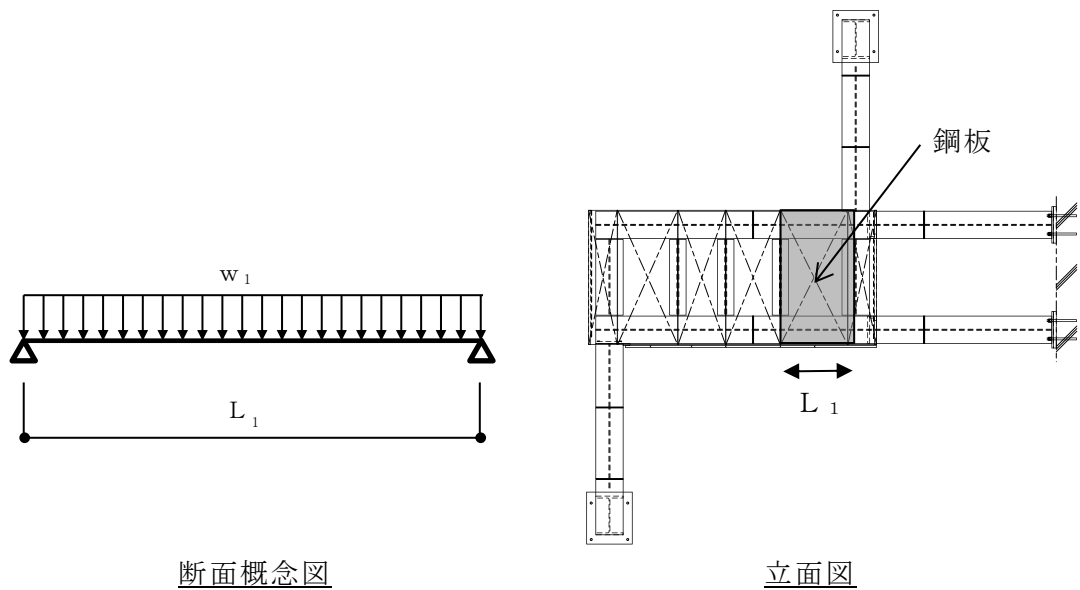


図 6-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純はりとして算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 6-4 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x2} = S_s$$

$$w_{y2} = S_{sv}$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_2 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx2} = (M_{x2} \cdot 10^6) / Z_{x2}$$

$$\sigma_{by2} = (M_{y2} \cdot 10^6) / Z_{y2}$$

$$M_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x2}, M_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x2}, Z_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_{x2} = (Q_{x2} \cdot 10^3) / A_{sx2}$$

$$\tau_{y2} = (Q_{y2} \cdot 10^3) / A_{sy2}$$

$$Q_{x2} = w_{x2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y2} = w_{y2} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x2}, τ_{y2} : 胴縁に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x2}, Q_{y2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx2}, A_{sy2} : 胴縁の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

d. 胴縁に作用する軸応力度

$$\sigma_{c(t)2} = (N_{c(t)2} \cdot 10^3) / A_{g2}$$

$$N_{c(t)2} = N_2 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)2}$: 胴縁の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g2} : 胴縁の断面積 (mm²)

N_2 : 胴縁の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 胴縁に生じる組合せ応力度

胴縁に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{b_{x2}}/s f_{b_{x2}} + \sigma_{b_{y2}}/s f_{b_{y2}} + \sigma_{c(t)2}/s f_{c(t)2} \leq 1.0$$

- $\sigma_{b_{x2}}, \sigma_{b_{y2}}$: 胴縁に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $s f_{b_{x2}}, s f_{b_{y2}}$: 胴縁の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm²)
- $s f_{c(t)2}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

胴縁に生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_{x2}} + \sigma_{b_{y2}} + \sigma_{c(t)2})^2 + 3\tau_2^2} \leq s f_{t2}$$

- $\sigma_{b_{x2}}, \sigma_{b_{y2}}$: 胴縁の強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)2}$: 胴縁に生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x2}, \tau_{y2})$ (N/mm²)
- $s f_{t2}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

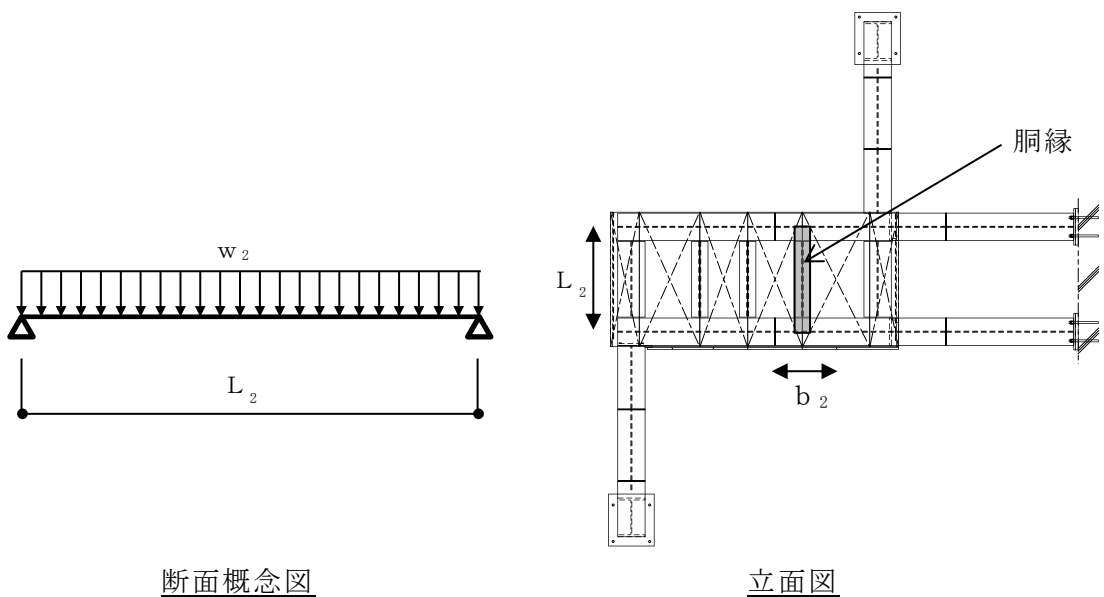


図 6-4 胴縁に作用する荷重の例

(3) 根太

根太に生じる応力は、根太を両端ピンの単純はりとして算出する。根太に作用する荷重の例を図 6-5 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x3} = S_s$$

$$w_{y3} = S_{sv}$$

w_{x3} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y3} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_3 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_3 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

b_3 : 根太に作用する荷重の負担幅 (mm)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_3 : 根太の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 根太に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx3} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x3}$$

$$\sigma_{by3} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y3}$$

$$M_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 根太に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3}, M_{y3} : 根太の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3}, Z_{y3} : 根太の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_3 : 根太全長 (mm)

c. 根太に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{Sx3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{Sy3}$$

$$Q_{x3} = w_{x3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y3} = w_{y3} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x3}, τ_{y3} : 根太に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3}, Q_{y3} : 根太の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx3}, A_{Sy3} : 根太の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_3 : 根太全長 (mm)

d. 根太に生じる組合せ応力度

根太に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3})^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq_s f_{t3}$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 根太に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 根太に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$ (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

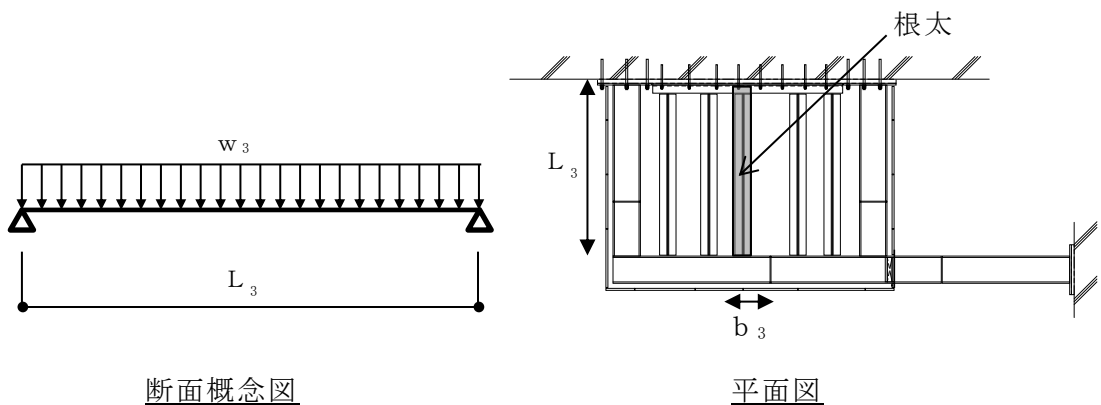


図 6-5 根太に作用する荷重の例

(4) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純はりとして算出する。柱に作用する荷重の例を図 6-6 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_4 = S_s$$

w_4 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_4 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_4 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b_{x4}} = (M_{x4} \cdot 10^6) / Z_{x4}$$

$$\sigma_{b_{y4}} = (M_{y4} \cdot 10^6) / Z_{y4}$$

$$M_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{b_{x4}}, \sigma_{b_{y4}}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4}, M_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4}, Z_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_4 : 柱全長 (mm)

c. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = (Q_{x4} \cdot 10^3) / A_{Sx4}$$

$$\tau_{y4} = (Q_{y4} \cdot 10^3) / A_{Sy4}$$

$$Q_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y4} = w_{y4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

τ_{x4}, τ_{y4} : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4}, Q_{y4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{Sx4}, A_{Sy4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

L_4 : 柱全長 (mm)

d. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

$$N_{c(t)4} = N_4 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : 柱の断面積 (mm²)

N_4 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}, s f_{by4}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

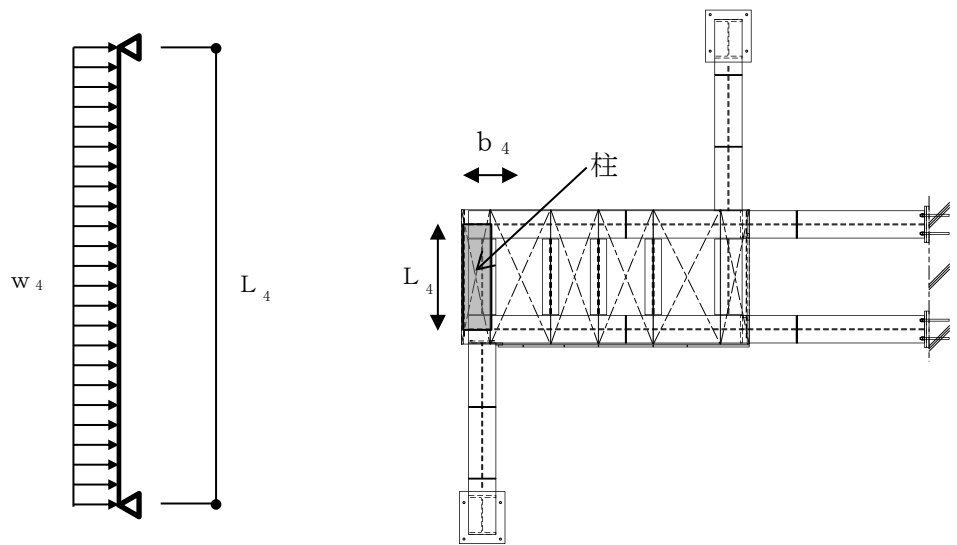
$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : 柱に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$ (N/mm²)

$s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

立面図

図 6-6 柱に作用する荷重の例

(5) はり

はりに生じる応力は、はりを両端ピンの単純はりとして算する。はりに作用する荷重の例を図 6-7 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x5} = S s$$

$$w_{y5} = S s v$$

w_{x5} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y5} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

$S s$: 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_5 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_5 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

$S s v$: 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_5 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

b_5 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m^3)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

- m_5 : はりの質量分布 (kg/m)
 α_H : 水平方向の設計震度
 α_V : 鉛直方向の設計震度
 g : 重力加速度 (m/s²)

b. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx5} = (M_{x5} \cdot 10^6) / Z_{x5}$$

$$\sigma_{by5} = (M_{y5} \cdot 10^6) / Z_{y5}$$

$$M_{x5} = w_{x5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y5} = w_{y5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

- $\sigma_{bx5}, \sigma_{by5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_{x5}, M_{y5} : はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)
 Z_{x5}, Z_{y5} : はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)
 L_5 : はり全長 (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x5} = (Q_{x5} \cdot 10^3) / A_{sx5}$$

$$\tau_{y5} = (Q_{y5} \cdot 10^3) / A_{sy5}$$

$$Q_{x5} = w_{x5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{y5} = w_{y5} \cdot (L_5 \cdot 10^{-3}) / 2$$

- τ_{x5}, τ_{y5} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)
 Q_{x5}, Q_{y5} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)
 A_{sx5}, A_{sy5} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)
 L_5 : はり全長 (mm)

d. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)5} = (N_{c(t)5} \cdot 10^3) / A_{g5}$$

$$N_{c(t)5} = N_5 \cdot (1 \pm \alpha_H)$$

- $\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)
 $N_{c(t)5}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)
 A_{g5} : はりの断面積 (mm²)
 N_5 : はりの軸力 (kN)
 α_H : 水平方向の設計震度

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

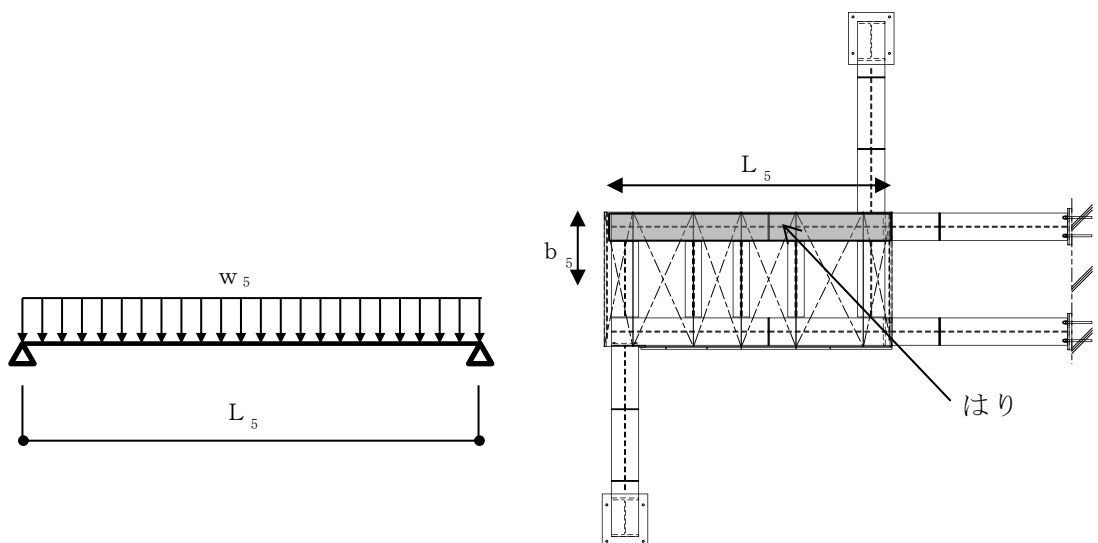
$$\sigma_{b_x5}/s f_{b_x5} + \sigma_{b_y5}/s f_{b_y5} + \sigma_{c(t)5}/s f_{c(t)5} \leq 1.0$$

- $\sigma_{b_x5}, \sigma_{b_y5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $s f_{b_x5}, s f_{b_y5}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)
- $s f_{c(t)5}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{b_x5} + \sigma_{b_y5} + \sigma_{c(t)5})^2 + 3\tau_5^2} \leq s f_{t5}$$

- $\sigma_{b_x5}, \sigma_{b_y5}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{c(t)5}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)
- τ_5 : はりに生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x5}, \tau_{y5})$ (N/mm²)
- $s f_{t5}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図

立面図

図 6-7 はりに作用する荷重の例

(6) 斜材

斜材に生じる応力は、斜材を一端ピン他端固定の単純はりとして算出する。斜材に作用する荷重の例を図 6-8 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{x6} = S_s$$

$$w_{y6} = S_{sv}$$

w_{x6} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y6} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)
 $(m_6 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot g)$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)
 $(m_6 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g)$

m_6 : 斜材の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 斜材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx6} = (M_{x6} \cdot 10^6) / Z_{x6}$$

$$\sigma_{by6} = (M_{y6} \cdot 10^6) / Z_{y6}$$

$$M_{x6} = w_{x6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$M_{y6} = w_{y6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x6}, M_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x6}, Z_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

L_6 : 斜材全長 (mm)

c. 斜材に生じるせん断応力度

$$\tau_{x6} = (Q_{x6} \cdot 10^3) / A_{sx6}$$

$$\tau_{y6} = (Q_{y6} \cdot 10^3) / A_{sy6}$$

$$Q_{x6} = w_{x6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 / 8$$

$$Q_{y6} = w_{y6} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 / 8$$

- τ_{x6}, τ_{y6} : 斜材に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)
 Q_{x6}, Q_{y6} : 斜材の強軸及び弱軸方向のせん断力 (kN)
 A_{sx6}, A_{sy6} : 斜材の強軸及び弱軸方向のせん断断面積 (mm²)
 L_6 : 斜材全長 (mm)

d. 斜材に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)6} = (N_{c(t)6} \cdot 10^3) / A_{g6}$$

$$N_{c(t)6} = N_6 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

- $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $N_{c(t)6}$: 斜材の圧縮又は引張軸力 (kN)
 A_{g6} : 斜材の断面積 (mm²)
 N_6 : 斜材の軸力 (kN)
 α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 斜材に生じる組合せ応力度

斜材に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

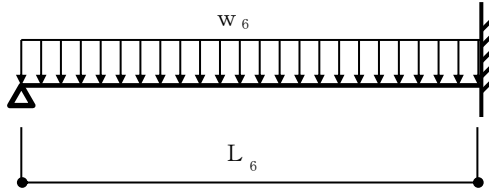
$$\sigma_{bx6}/s f_{bx6} + \sigma_{by6}/s f_{by6} + \sigma_{c(t)6}/s f_{c(t)6} \leq 1.0$$

- $\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s f_{bx6}, s f_{by6}$: 斜材の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $s f_{c(t)6}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

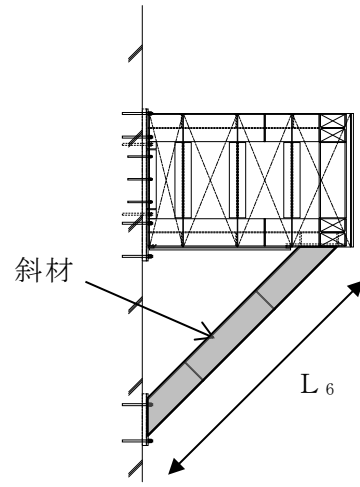
斜材に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx6} + \sigma_{by6} + \sigma_{c(t)6})^2 + 3\tau_6^2} \leq s f_{t6}$$

- $\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (N/mm²)
 τ_6 : 斜材に生じるせん断応力度 $\max(\tau_{x6}, \tau_{y6})$ (N/mm²)
 $s f_{t6}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)



断面概念図



立面図

図 6-8 斜材に作用する荷重の例

(7) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 6-9 に示す。

$$(T_{d7}/T_a)^2 + (Q_{d7}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d7} = T_7 / n_7$$

$$T_{d7}/T_a \leq 1.0$$

T_7 : 斜材の引張力 (kN)

n_7 : 斜材に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_{d7} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d7} = Q_7 / n_7$$

$$Q_{d7}/Q_a \leq 1.0$$

Q_7 : 斜材のせん断力 (kN)

Q_{d7} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

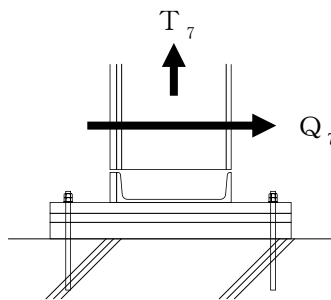


図 6-9 アンカーボルトに生じる荷重の例

6.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 6-9 に示す。

表 6-9(1) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|-----------|------------|---------|----------------|---------------------|
| 共通 | g | m/s^2 | 重力加速度 | 9.80665 |
| | α_H | — | 水平方向の設計震度 | 1.28 |
| | α_V | — | 鉛直方向の設計震度 | 0.60 |
| 鋼板 | ρ_s | t/m^3 | 鋼板の密度 | 7.85 |
| | t | mm | 鋼板の厚さ | 22 |
| | Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 | 80.67×10^3 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 825 |
| 胴縁 | b_2 | mm | 胴縁に作用する荷重の負担幅 | 713 |
| | m_2 | kg/m | 胴縁の質量分布 | 142.8 |
| | Z_{x2} | mm^3 | 胴縁の強軸回りの断面係数 | 988×10^3 |
| | Z_{y2} | mm^3 | 胴縁の弱軸回りの断面係数 | 108.2×10^3 |
| | L_2 | mm | 胴縁の全長 | 1150 |
| | A_{Sx2} | mm^2 | 胴縁の強軸方向のせん断断面積 | 5380 |
| | N_2 | kN | 胴縁の軸力 | 3.0 |
| | A_{Sy2} | mm^2 | 胴縁の弱軸方向のせん断断面積 | 5580 |
| 根太 | b_3 | mm | 根太に作用する荷重の負担幅 | 488 |
| | m_3 | kg/m | 根太の質量分布 | 142.8 |
| | Z_{x3} | mm^3 | 根太の強軸回りの断面係数 | 988×10^3 |
| | Z_{y3} | mm^3 | 根太の弱軸回りの断面係数 | 108.2×10^3 |
| | L_3 | mm | 根太の全長 | 2100 |
| | A_{Sx3} | mm^2 | 根太の強軸方向のせん断断面積 | 5380 |
| | A_{Sy3} | mm^2 | 根太の弱軸方向のせん断断面積 | 5580 |
| | 柱 | b_4 | mm | 柱に作用する荷重の負担幅 |
| Z_{x4} | | mm^3 | 柱の強軸回りの断面係数 | 1350×10^3 |
| Z_{y4} | | mm^3 | 柱の弱軸回りの断面係数 | 450×10^3 |
| L_4 | | mm | 柱全長 | 1150 |
| N_4 | | kN | 柱の軸力 | 38.3 |
| A_{Sx4} | | mm^2 | 柱の強軸方向のせん断断面積 | 2700 |
| A_{Sy4} | | mm^2 | 柱の弱軸方向のせん断断面積 | 9000 |

表 6-9(2) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-----------|--------|-------------------|--------------------|
| 柱 | A_{g4} | mm^2 | 柱の断面積 | 11800 |
| はり | Z_{x5} | mm^3 | はりの強軸回りの断面係数 | 1350×10^3 |
| | Z_{y5} | mm^3 | はりの弱軸回りの断面係数 | 450×10^3 |
| | b_5 | mm | はりに作用する荷重の負担幅 | 735 |
| | L_5 | mm | はり全長 | 2700 |
| | N_5 | kN | はりの軸力 | 44.8 |
| | A_{Sx5} | mm^2 | はりの強軸方向のせん断断面積 | 2700 |
| | A_{Sy5} | mm^2 | はりの弱軸方向のせん断断面積 | 9000 |
| | A_{g5} | mm^2 | はりの断面積 | 11800 |
| 斜材 | Z_{x6} | mm^3 | 斜材の強軸回りの断面係数 | 1350×10^3 |
| | Z_{y6} | mm^3 | 斜材の弱軸回りの断面係数 | 450×10^3 |
| | N_6 | kN | 斜材の軸力 | 3.0 |
| | L_6 | mm | 斜材全長 | 3000 |
| | A_{Sx6} | mm^2 | 斜材の強軸方向のせん断断面積 | 2700 |
| | A_{Sy6} | mm^2 | 斜材の弱軸方向のせん断断面積 | 9000 |
| | A_{g6} | mm^2 | 斜材の断面積 | 11800 |
| アンカーボルト | n_7 | 本 | 斜材に取り付くアンカーボルトの本数 | 4 |

7. ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁

7.1 固有振動数及び設計用地震力

7.1.1 固有振動数の算出方法

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 柱、はり及びブレース

当該防水壁の固有振動数は次式により算定する。なお、水平方向は、VI-2-11-2-6-1「燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用い、鉛直方向は層剛性を柱軸剛性とした解析モデルを用いて評価する。固有値解析モデルを図 7-1 及び図 7-2 に、固有振動数算定に用いる物性値を表 7-1 及び表 7-2 に示す。

$$f=1/\left(2\pi\cdot\sqrt{m/k}\right)$$

m：ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁の重量 (kg)

k：各方向における層剛性 (N/m)

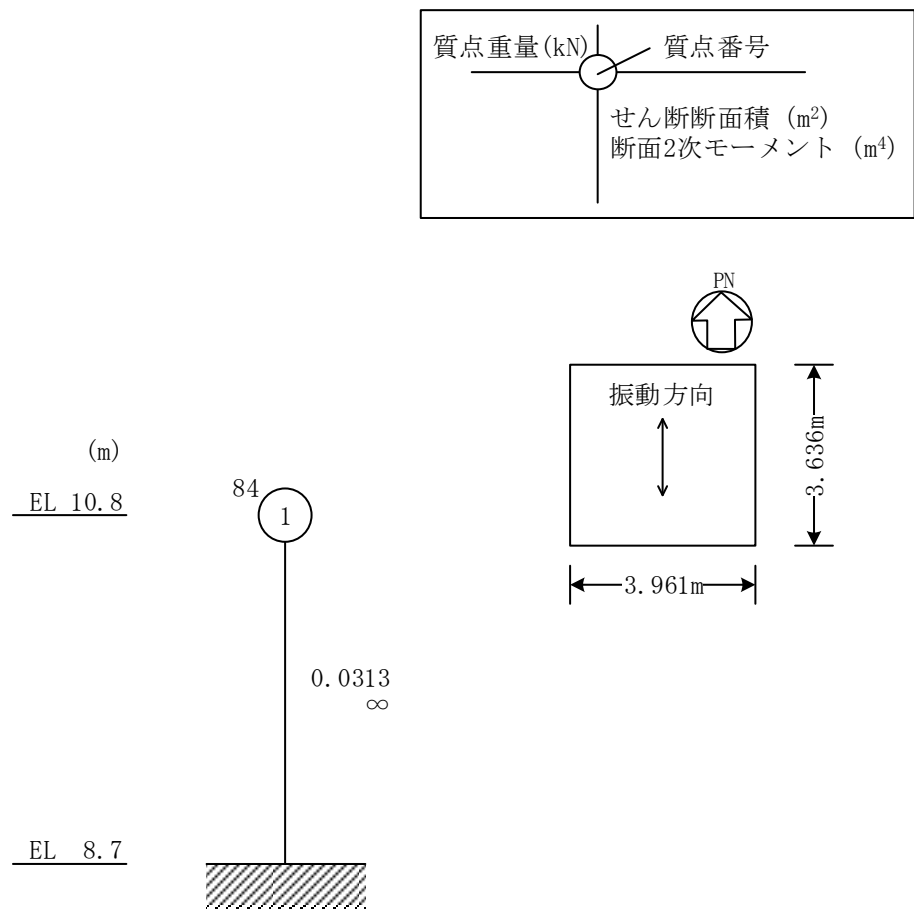


図 7-1(1) 固有値解析モデル (NS 方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (北側)

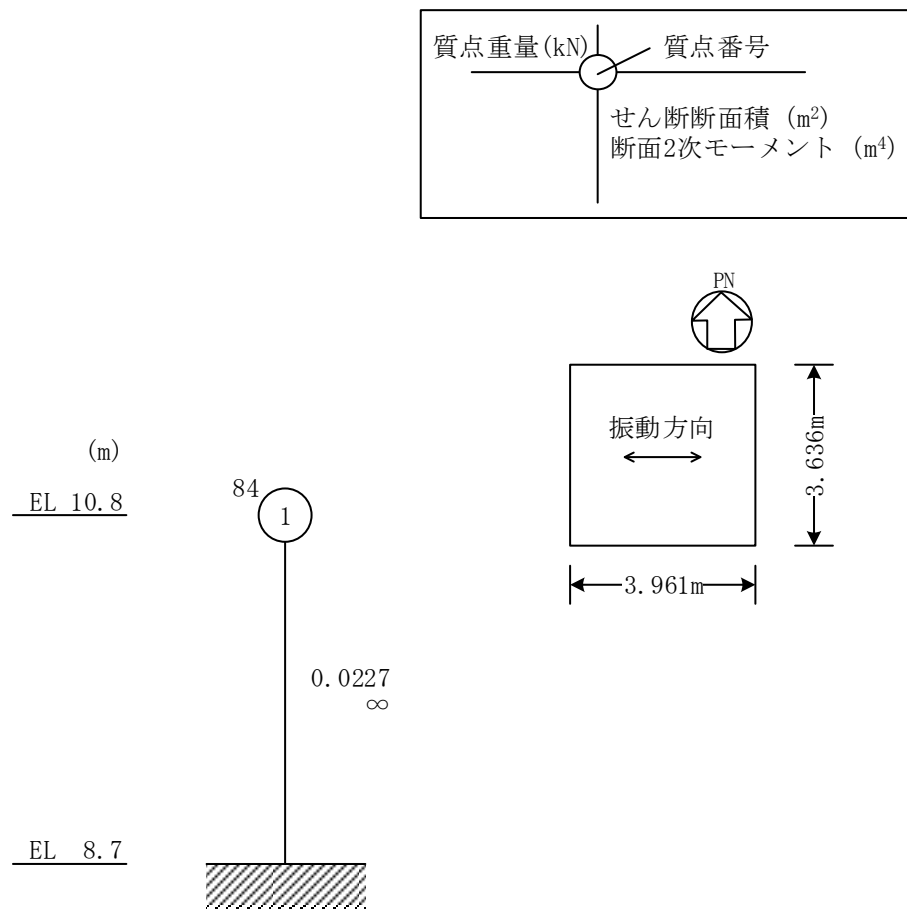


図 7-1(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (北側)

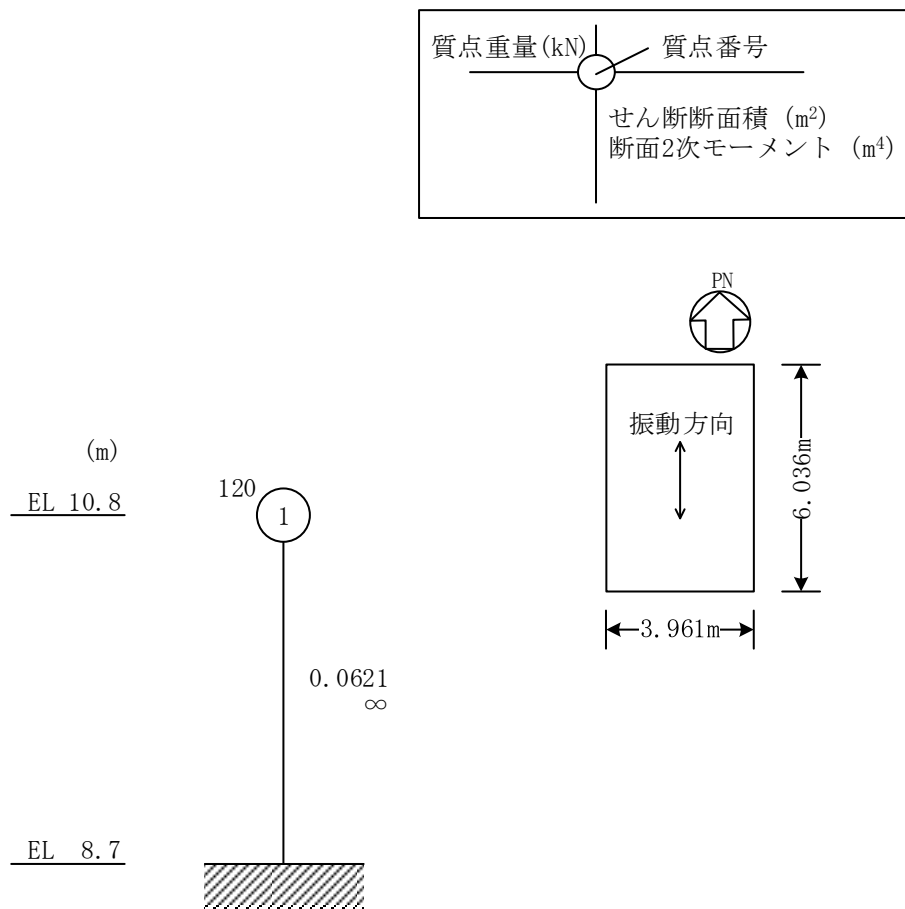


図 7-2(1) 地震応答解析モデル (N S 方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (南側)

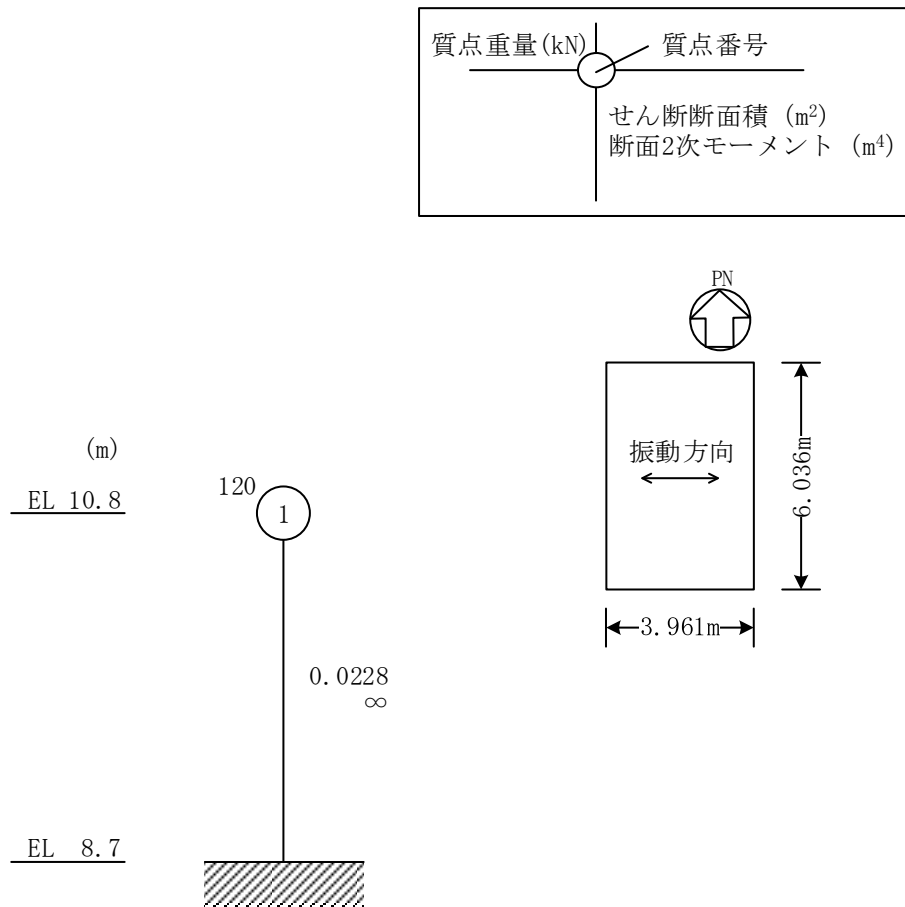


図 7-2(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (南側)

表 7-1 (1) 水平方向の固有振動数算定に用いる物性値

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁

| 方向 | | 重量 | せん断弾性係数 | 断面積 | 高さ | 層剛性 |
|----------|-----|-----------|--------------------------|------------------------|----------|------------|
| | | m (kg) | G (N/m ²) | A (m ²) | h (m) | k (N/m) |
| 水平 方向 | N S | 8566 | 7.9×10^{10} | 0.0313 | 2.1 | 1177476190 |
| | E W | 8566 | 7.9×10^{10} | 0.0227 | 2.1 | 853952381 |

表 7-1 (2) 水平方向の固有振動数算定に用いる物性値

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁

| 方向 | | 重量 | せん断弾性係数 | 断面積 | 高さ | 層剛性 |
|----------|-----|-----------|--------------------------|------------------------|----------|------------|
| | | m (kg) | G (N/m ²) | A (m ²) | h (m) | k (N/m) |
| 水平 方向 | N S | 12237 | 7.9×10^{10} | 0.0621 | 2.1 | 2336142857 |
| | E W | 12237 | 7.9×10^{10} | 0.0228 | 2.1 | 857714286 |

表 7-2 (1) 鉛直方向の固有振動数算定に用いる物性値

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁

| 方向 | | 重量 | ヤング係数 | 断面積 | 高さ | 層剛性 |
|----------|-----|-----------|--------------------------|------------------------|----------|------------|
| | | m (kg) | E (N/m ²) | A (m ²) | h (m) | k (N/m) |
| 鉛直 方向 | U D | 8566 | 2.05×10^{11} | 0.038118 | 2.1 | 3721042857 |

表 7-2 (2) 鉛直方向の固有振動数算定に用いる物性値

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁

| 方向 | | 重量 | ヤング係数 | 断面積 | 高さ | 層剛性 |
|----------|-----|-----------|--------------------------|------------------------|----------|------------|
| | | m (kg) | E (N/m ²) | A (m ²) | h (m) | k (N/m) |
| 鉛直 方向 | U D | 12237 | 2.05×10^{11} | 0.050824 | 2.1 | 4961390476 |

(2) 胴縁及び鋼板

当該防水壁の胴縁については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

a. 両端ピンはりモデル（胴縁をモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

7.1.2 固有振動数の算出結果

固有振動数の算定結果を表 7-3 及び表 7-4 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 7-3 固有振動数の算定結果（柱，はり及びブレース）

| 設備名称 | 方向 | | 固有振動数 f (Hz) |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------|
| | ディーゼル燃料移送ポンプエリア 防護対策設備北側防水壁 | 水平 方向 | N S 方向 |
| E W 方向 | | | 50.25 |
| 鉛直方向 | | 104.90 | |
| ディーゼル燃料移送ポンプエリア 防護対策設備南側防水壁 | 水平 方向 | N S 方向 | 69.54 |
| | | E W 方向 | 42.14 |
| | 鉛直方向 | | 101.34 |

表 7-4(1) 固有振動数 (胴縁)

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|------------------|-------------------------|
| モデル化に用いる胴縁の長さ | L | m | 2.265 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05 × 10 ¹¹ |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 861 × 10 ⁻⁸ |
| 質量分布 | m | kg/m | 52.9 |
| 固有振動数 | f | Hz | 55.91 |

表 7-4(2) 固有振動数 (胴縁)

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|------------------|-------------------------|
| モデル化に用いる胴縁の長さ | L | m | 2.265 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05 × 10 ¹¹ |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 861 × 10 ⁻⁸ |
| 質量分布 | m | kg/m | 52.9 |
| 固有振動数 | f | Hz | 55.91 |

7.1.3 設計用地震力

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

設計震度は当該防水壁設置階とし、水平震度はN S方向とE W方向の大きい方を用いる。

当該防水壁の設計震度を表 7-5 に示す。

表 7-5 設計震度

| 建物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の 設計震度* | |
|------------------------------|---------|------------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| ディーゼル燃料移送ポンプエリア 防護対策設備防水壁 | EL 8.7m | 1.22 | 0.78 |

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA)を示す。

7.2 耐震評価方法

7.2.1 記号の説明

当該防水壁の耐震評価に用いる記号を表 7-6 に示す。

表 7-6(1) 耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|
| F_s | kN/m^2 | 積雪荷重 |
| W | kN | 風荷重 |
| q | N/m^2 | 設計用速度圧 |
| C | — | 風力係数 |
| A_1 | m^2 | 風の受圧面積 |
| E' | — | 速度圧の高さ方向の分布を示す係数 |
| V_D | m/s | 基準風速 |
| E_r | — | 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 |
| G | — | ガスト影響係数 |
| Z_G | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値 |
| Z_b | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値 |
| α | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値 |
| H | m | 建物高さ |
| α_H | — | 水平方向の設計震度 |
| w_1 | kN/m | 鋼板に作用する地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 |
| G_1 | kN/m | 鋼板の自重 |
| W_1 | kN/m | 鋼板に作用する風荷重 |
| σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 鋼板の曲げモーメント |
| Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ |
| w_2 | kN/m | 胴縁に作用する地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 |
| G_2 | kN/m | 胴縁支配幅の鋼板重量を含む胴縁の自重 |

表 7-6(2) 耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-----------------------------|
| W_2 | kN/m | 胴縁に作用する風荷重 |
| σ_{b2} | N/mm ² | 胴縁に生じる曲げ応力度 |
| M_2 | kN・m | 胴縁の曲げモーメント |
| Z_2 | mm ³ | 胴縁の断面係数 |
| L_2 | mm | 胴縁全長 |
| τ_2 | N/mm ² | 胴縁に生じるせん断応力度 |
| Q_2 | kN | 胴縁のせん断力 |
| A_2 | mm ² | 胴縁のせん断断面積 |
| σ_{bx3} | N/mm ² | はりに生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by3} | N/mm ² | はりに生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x3} | N・mm | はりの強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y3} | N・mm | はりの弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x3} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 |
| Z_{y3} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 |
| τ_{x3} | N/mm ² | はりに生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y3} | N/mm ² | はりに生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x3} | N | はりの強軸方向のせん断力 |
| Q_{y3} | N | はりの弱軸方向のせん断力 |
| A_{w3} | mm ² | はりのウェブ断面積 |
| A_{f3} | mm ² | はりのフランジ断面積 |
| $\sigma_{c(t)3}$ | N/mm ² | はりに生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)3}$ | N | はりの圧縮又は引張軸力 |
| A_{g3} | mm ² | はりの断面積 |
| $s f_{bx3}$ | N/mm ² | はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by3}$ | N/mm ² | はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)3}$ | N/mm ² | はりの短期許容圧縮又は引張応力度 |
| τ_3 | N/mm ² | はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度のうち最大値 |
| $s f_{t3}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |
| σ_{bx4} | N/mm ² | 柱に生じる強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by4} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x4} | N・mm | 柱の強軸回りの曲げモーメント |

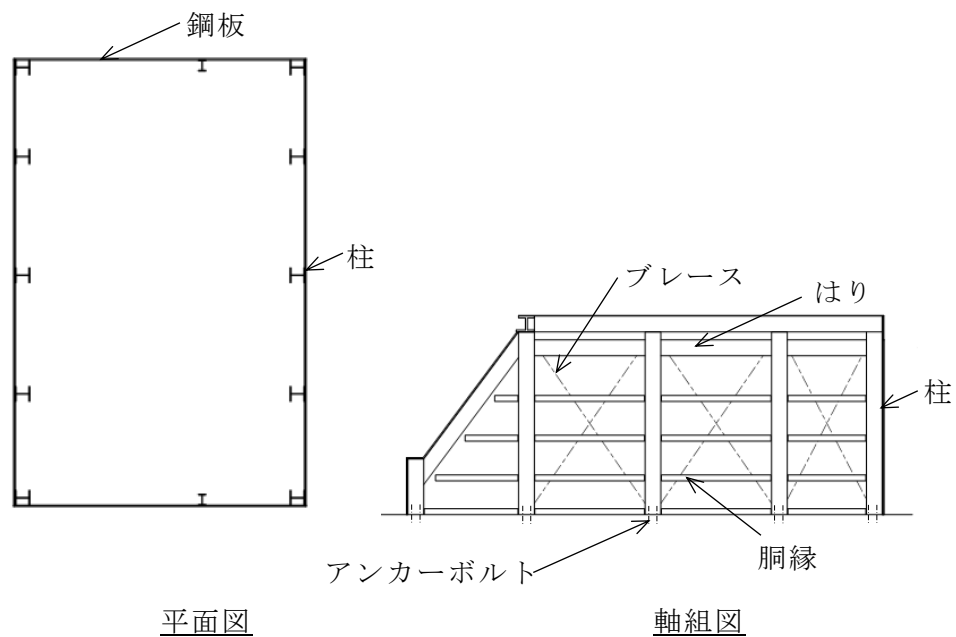
表 7-6(3) 耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|---------------------------|
| M_{y4} | N・mm | 柱の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x4} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y4} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 |
| τ_{x4} | N/mm ² | 柱に生じる強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y4} | N/mm ² | 柱に生じる弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x4} | N | 柱の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y4} | N | 柱の弱軸方向のせん断力 |
| A_{w4} | mm ² | 柱のウェブ断面積 |
| A_{f4} | mm ² | 柱のフランジ断面積 |
| $\sigma_{c(t)4}$ | N/mm ² | 柱に生じる軸応力度 |
| $N_{c(t)4}$ | N | 柱の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g4} | mm ² | 柱の断面積 |
| $s f_{bx4}$ | N/mm ² | 柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by4}$ | N/mm ² | 柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)4}$ | N/mm ² | 柱の短期許容圧縮又は引張応力度 |
| τ_4 | N/mm ² | 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力のうち最大値 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | 柱の短期許容引張応力度 |
| σ_{t5} | N/mm ² | ブレースに生じる軸応力度 |
| N_{t5} | N | ブレースの引張軸力 |
| A_{g5} | mm ² | ブレースの断面積 |
| T_6 | kN | 鉛直方向の支点反力 |
| n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 |
| T_{d6} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_6 | kN | 水平方向の支点反力 |
| n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 |
| Q_{d6} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |

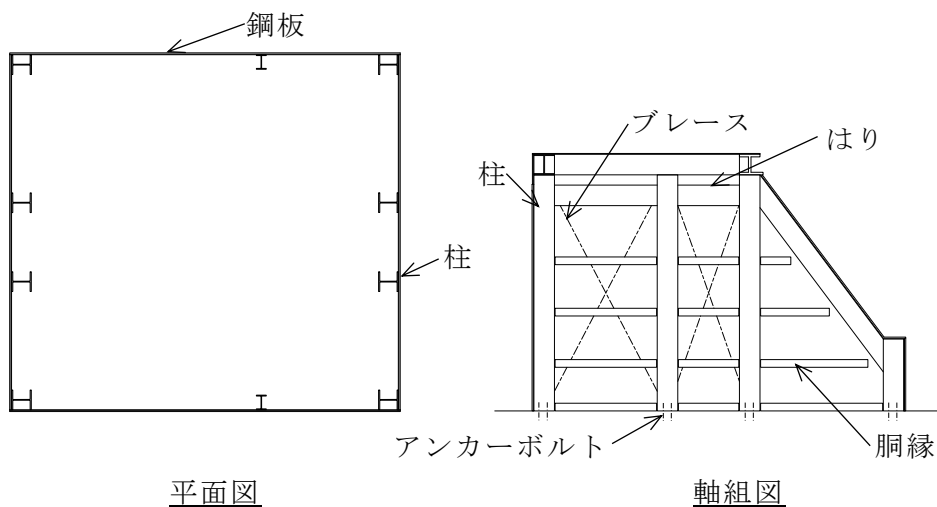
7.2.2 評価対象部位

評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す当該防水壁の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は、鋼板、胴縁、はり、柱及びブレースに伝わり、柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 7-3 に示す。



(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁



(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁

図 7-3 評価対象部位

7.2.3 荷重及び荷重の組合せ

応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位、月最深積雪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35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪深1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 風荷重 (W)

風速は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速である30m/sとする。風荷重(W)の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数 C 及び風の受圧面積 A_1 に基づき実施する。

$$W = q \cdot C \cdot A_1 \cdot 10^{-3}$$

ここで、

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

W : 風荷重 (kN)

q : 設計用速度圧 (N/m²)

V_D : 基準風速 (m/s)

G : ガスト影響係数

H : 建物高さ (m)

Z_G, Z_b, α : 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値

C : 風力係数

A_1 : 風の受圧面積 (m²)

風荷重算定に使用する入力条件を表7-7及び7-8に示す。

表 7-7 設計風荷重の条件

| 施設名称 | 基準風速 V_D (m/s) | 全高 H (m) | Z_G (m) | α | ガスト 影響係数 G | 設計用 速度圧 q (N/m ²) |
|--|------------------------|------------------|--------------|----------|--------------------|---------------------------------------|
| ディーゼル 燃料移送ポ ンプエリア 防護対策設 備防水壁 | 30 | 2.1 | 350 | 0.15 | 2.2 | 960.1 |

表 7-8(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁
の風力係数及び受圧面積

(a) 南から北方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|--------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 9.3~8.7 | 0.8 | 0.4 | 2.235 | 2.235 |
| 10.8~9.3 | 0.8 | 0.5 | 5.5875 | 7.6431 |

(b) 北から南方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|--------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 9.3~8.7 | 0.8 | 0.4 | 2.235 | 2.235 |
| 10.8~9.3 | 0.472 | 0.4 | 7.6431 | 5.5875 |

(c) 東西方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 10.8~8.7 | 0.8 | 0.4 | 6.09 | 6.09 |

表 7-8(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁
の風力係数及び受圧面積

(a) 南から北方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|--------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 9.3~8.7 | 0.8 | 0.4 | 2.235 | 2.235 |
| 10.8~9.3 | 0.472 | 0.4 | 7.6431 | 5.5875 |

(b) 北から南方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|--------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 9.3~8.7 | 0.8 | 0.4 | 2.235 | 2.235 |
| 10.8~9.3 | 0.8 | 0.5 | 5.5875 | 7.6431 |

(c) 東西方向

| 高さ(EL) (m) | 風力係数 C | | 受圧面積 A_1 (m ²) | |
|---------------|--------|-----|------------------------------|-------|
| | 風上 | 風下 | 風上 | 風下 |
| 10.8~8.7 | 0.8 | 0.4 | 11.13 | 11.13 |

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による水平 2 方向 (NS 方向及び EW 方向) と鉛直方向 (UD 方向) の荷重を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは、組合せ係数法 (1.0, 0.4, 0.4) による。

(4) 荷重の組合せ

当該防水壁の耐震評価に用いる荷重の組合せは、以下に設定する。

$$F_s + W + S_s$$

F_s : 積雪荷重

W : 風荷重

S_s : 地震荷重

7.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、はり、胴縁、柱、ブレース及びアンカーボルトの使用材料を表7-9に示す。

表7-9 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|--------|----|
| 鋼板 | SS400 | |
| はり | SS400 | |
| 胴縁 | SS400 | |
| 柱 | SS400 | |
| ブレース | SS400 | |
| アンカーボルト | SUS304 | |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表7-10の値とする。

表7-10 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 7-11 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 7-11 アンカーボルトの許容限界

| 設備名称 | 材料 | 許容耐力 (kN) | |
|--------------------------------|------------|-----------|-----|
| | | 引張 | せん断 |
| ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 北側防水壁 | SUS304 (□) | 37 | 16 |
| ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 南側防水壁 | SUS304 (□) | 37 | 17 |

7.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，胴縁，柱，はり及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を両端ピンの単純はりとして算出する。鋼板に作用する荷重の例を図7-4に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_1 = G_1 \cdot \alpha_H + W_1$$

w_1 : 地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 (kN/m)

G_1 : 鋼板の自重 (kN/m)

W_1 : 風荷重 (kN/m)

α_H : 水平方向の設計震度

b. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

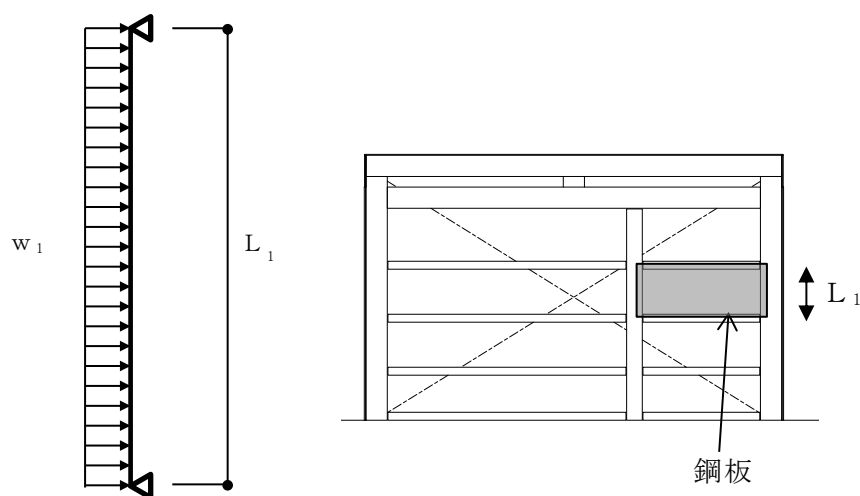
$$M_1 = w_1 \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)



断面概念図

立面図

図7-4 鋼板に作用する荷重の例

(2) 胴縁

胴縁に生じる応力は、胴縁を両端ピンの単純はりとして算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 7-5 に示す。

a. 単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_2 = G_2 \cdot \alpha_H + W_2$$

w_2 : 地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 (kN/m)

G_2 : 胴縁支配幅の鋼板重量を含む胴縁の自重 (kN/m)

W_2 : 風荷重 (kN/m)

α_H : 水平方向の設計震度

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_2 = w_2 \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

σ_{b2} : 胴縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 胴縁の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 胴縁の断面係数 (mm³)

L_2 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

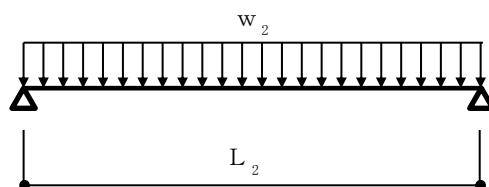
$$Q_2 = w_2 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

τ_2 : 胴縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

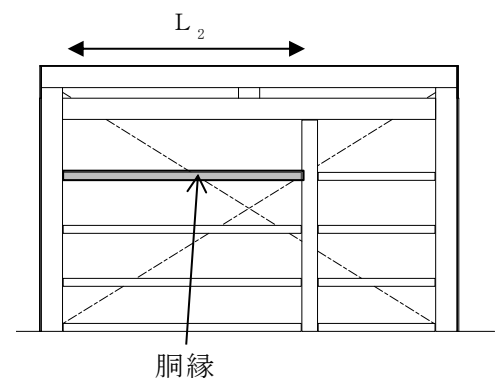
Q_2 : 胴縁のせん断力 (kN)

A_2 : 胴縁のせん断断面積 (mm²)

L_2 : 胴縁全長 (mm)



断面概念図



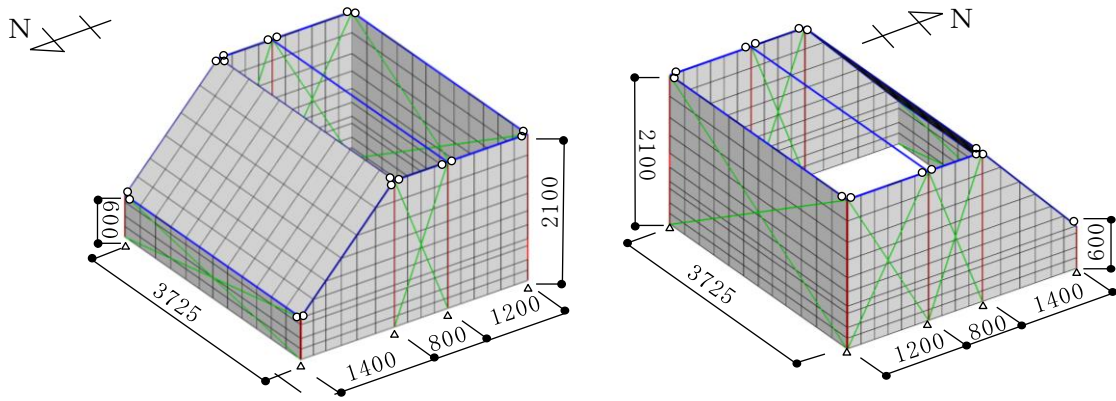
立面図

図 7-5 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱，はり及びブレース

柱，はり及びブレースに生じる応力は，解析モデルを用いた 3 次元静的線形応力解析に基づき行う。応力解析は以下の方針に基づく。

- a. モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは，「7.2.3 荷重及び荷重の組合せ」による。
- b. 地震荷重は，水平 2 方向（N S 方向及び E W 方向）と鉛直方向（U D 方向）を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは，組合せ係数法（1.0，0.4，0.4）による。
- c. 応力解析に使用するコードは，「M S C N A S T R A N」である。なお，解析コードの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。
- d. 解析モデルは，鋼板をシェル要素，はり，柱及びブレースをはり要素でモデル化し，はりと柱の接合部は実状に合わせて接合条件を定める。柱脚は，ピン支点としてモデル化する。3 次元静的線形応力解析に用いる解析モデルを図 7-6 及び図 7-7 に示す。
- e. 解析に用いる部材の物性値は以下とする。
ヤング係数 : $E = 205000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
せん断弾性係数 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

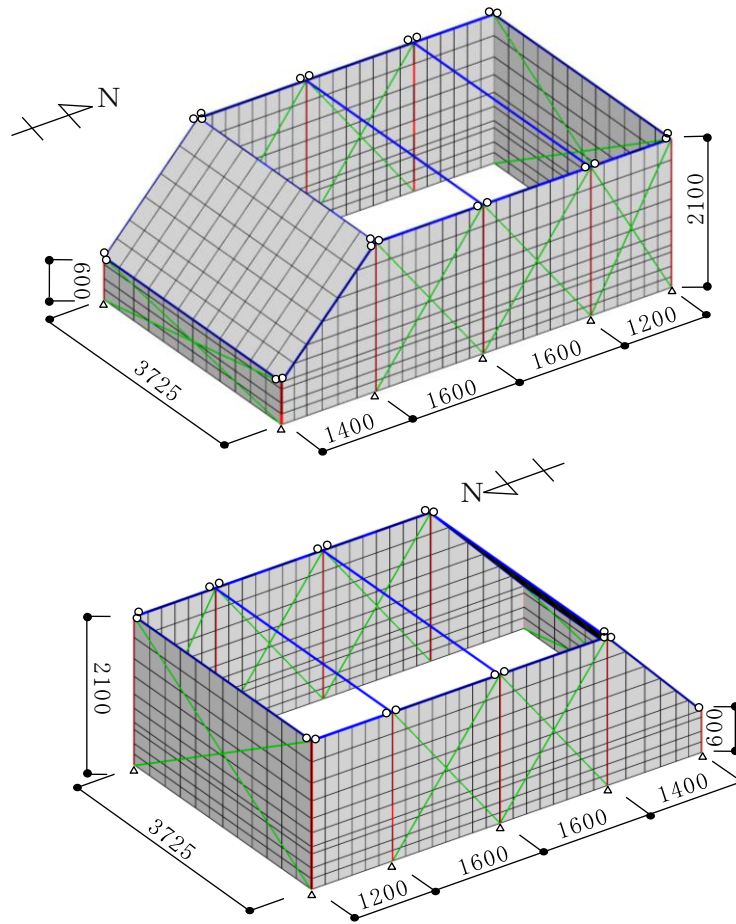


| 部位 | 凡例 |
|------|----|
| 鋼板 | ■ |
| はり | — |
| 柱 | — |
| ブレース | — |

| 条件 | 記号 | 備考 |
|--------|----|------|
| 部材接合条件 | ○ | ピン接合 |
| 支点境界条件 | △ | ピン支点 |

注：ブレースの両端部はピン接合とする。

図 7-6 解析モデル（ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁）



| 部位 | 凡例 |
|------|----|
| 鋼板 | ■ |
| はり | — |
| 柱 | — |
| ブレース | — |

| 条件 | 記号 | 備考 |
|--------|----|------|
| 部材接合条件 | ○ | ピン接合 |
| 支点境界条件 | △ | ピン支点 |

注：ブレースの両端部はピン接合とする。

図 7-7 解析モデル（ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁）

(a) はり

i. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b\ x3} = M_{x3} / Z_{x3}$$

$$\sigma_{b\ y3} = M_{y3} / Z_{y3}$$

$\sigma_{b\ x3}$, $\sigma_{b\ y3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3} , M_{y3} : はりの強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (N・mm)

Z_{x3} , Z_{y3} : はりの強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

ii. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = Q_{x3} / A_{w3}$$

$$\tau_{y3} = Q_{y3} / A_{f3}$$

τ_{x3} , τ_{y3} : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3} , Q_{y3} : はりの強軸及び弱軸方向のせん断力 (N)

A_{w3} : はりのウェブ断面積 (mm²)

A_{f3} : はりのフランジ断面積 (mm²)

iii. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c\ (t)\ 3} = N_{c\ (t)\ 3} / A_{g3}$$

$\sigma_{c\ (t)\ 3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c\ (t)\ 3}$: はりの圧縮又は引張軸力 (N)

A_{g3} : はりの断面積 (mm²)

iv. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 を下回ることを確認する。

$$\sigma_{bx3} / s f_{bx3} + \sigma_{by3} / s f_{by3} + \sigma_{c(t)3} / s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx3}, s f_{by3}$: はりの強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)3}$: 短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: はりに生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)3}$: はりに生じる軸応力度 (N/mm²)

τ_3 : はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度のうち最大値 (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(b) 柱

i. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = M_{x4} / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = M_{y4} / Z_{y4}$$

σ_{bx4} , σ_{by4} : 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4} , M_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの曲げモーメント (N・mm)

Z_{x4} , Z_{y4} : 柱の強軸及び弱軸回りの断面係数 (mm³)

ii. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = Q_{x4} / A_{w4}$$

$$\tau_{y4} = Q_{y4} / A_{f4}$$

τ_{x4} , τ_{y4} : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4} , Q_{y4} : 柱の強軸及び弱軸方向のせん断力 (N)

A_{w4} : 柱のウェブ断面積 (mm²)

A_{f4} : 柱のフランジ断面積 (mm²)

iii. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = N_{c(t)4} / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (N)

A_{g4} : 柱の断面積 (mm²)

iv. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 を下回ることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

- $\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s f_{bx4}, s f_{by4}$: 柱の強軸及び弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
 $s f_{c(t)4}$: 短期許容圧縮又は引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

- $\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 柱に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)4}$: 柱に生じる軸応力度 (N/mm²)
 τ_4 : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度のうち最大値 (N/mm²)
 $s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(c) ブレース

i. ブレースに生じる軸応力度

$$\sigma_{t5} = N_{t5} / A_{g5}$$

- σ_{t5} : ブレースに生じる軸応力度 (N/mm²)
 N_{t5} : ブレースの引張軸力 (N)
 A_{g5} : ブレースの断面積 (mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて算定し，アンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_{d6}/T_a)^2 + (Q_{d6}/Q_a)^2 \leq 1.0$$

$$T_{d6} = T_6 / n_6$$

$$T_{d6}/T_a \leq 1.0$$

T_6 : 鉛直方向の支点反力 (kN)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

T_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d6} = Q_6 / n_6$$

$$Q_{d6}/Q_a \leq 1.0$$

Q_6 : 水平方向の支点反力 (kN)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

Q_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

7.2.6 評価条件

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁の耐震評価に用いる評価条件を表 7-12 に、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁の耐震評価に用いる評価条件を表 7-13 に示す。

表 7-12(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁
の耐震評価に用いる評価条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|------------|-------------------|--------------------------------|------------------|
| 共通 | F_s | kN/m ² | 積雪荷重 | 0.7 |
| | C | — | 風力係数 | 0.4~0.8 |
| | A_1 | m ² | 風の受圧面積 | 2.235~ 7.6431 |
| | V_D | m/s | 基準風速 | 30 |
| | E_r | — | 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 | 0.899 |
| | G | — | ガスト影響係数 | 2.2 |
| | Z_G | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値 | 350 |
| | Z_b | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値 | 5 |
| | α | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値 | 0.15 |
| | α_H | — | 水平震度 | 1.22 |
| 鋼板 | G_1 | kN/m | 鋼板の自重 | 0.462 |
| | W_1 | kN/m | 鋼板に作用する風荷重 | 0.453 |
| | Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 | 6000 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 838 |
| 胴縁 | G_2 | kN/m | 胴縁の自重 | 0.519 |
| | W_2 | kN/m | 胴縁に作用する風荷重 | 0.330 |
| | Z_2 | mm ³ | 胴縁の断面係数 | 115000 |
| | L_2 | mm | 胴縁の長さ | 2265 |
| | A_2 | mm ² | 胴縁のせん断断面積 | 845 |

表 7-12(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁
の耐震評価に用いる評価条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|----------|
| はり | M_{x3} | N・mm | はりの強軸回りの曲げモーメント | 24930000 |
| | M_{y3} | N・mm | はりの弱軸回りの曲げモーメント | 490000 |
| | Z_{x3} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 | 472000 |
| | Z_{y3} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 | 160000 |
| | Q_{x3} | N | はりの強軸方向のせん断力 | 14160 |
| | Q_{y3} | N | はりの弱軸方向のせん断力 | 640 |
| | A_{w3} | mm ² | はりのウェブ断面積 | 1408 |
| | A_{f3} | mm ² | はりのフランジ断面積 | 4800 |
| | $N_{c(t)3}$ | N | はりの圧縮又は引張軸力 | 3410 |
| | A_{g3} | mm ² | はりの断面積 | 6353 |
| 柱 | M_{x4} | N・mm | 柱の強軸回りの曲げモーメント | 24500000 |
| | M_{y4} | N・mm | 柱の弱軸回りの曲げモーメント | 410000 |
| | Z_{x4} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 | 472000 |
| | Z_{y4} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 | 160000 |
| | Q_{x4} | N | 柱の強軸方向のせん断力 | 16220 |
| | Q_{y4} | N | 柱の弱軸方向のせん断力 | 2750 |
| | A_{w4} | mm ² | 柱のウェブ断面積 | 1408 |
| | A_{f4} | mm ² | 柱のフランジ断面積 | 4800 |
| | $N_{c(t)4}$ | N | 柱の圧縮又は引張軸力 | 20340 |
| | A_{g4} | mm ² | 柱の断面積 | 6353 |
| ブレース | N_{t5} | N | ブレースの引張軸力 | 43920 |
| | A_{g5} | mm ² | ブレースの断面積 | 1656 |
| アンカー ボルト | T_6 | kN | 鉛直方向の支点反力 | 21.54 |
| | n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 | 4 |
| | Q_6 | kN | 水平方向の支点反力 | 48.15 |

表 7-13(1) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁
の耐震評価に用いる評価条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|------------|-------------------|------------------------------|-----------------|
| 共通 | F_s | kN/m ² | 積雪荷重 | 0.7 |
| | C | — | 風力係数 | 0.4~0.8 |
| | A_1 | m ² | 風の受圧面積 | 2.235~ 11.13 |
| | V_D | m/s | 基準風速 | 30 |
| | E_r | — | 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 | 0.899 |
| | G | — | ガスト影響係数 | 2.2 |
| | Z_G | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値 | 350 |
| | Z_b | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値 | 5 |
| | α | — | 地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に掲げる数値 | 0.15 |
| | α_H | — | 水平震度 | 1.22 |
| 鋼板 | G_1 | kN/m | 鋼板の自重 | 0.462 |
| | W_1 | kN/m | 風荷重 | 0.453 |
| | Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 | 6000 |
| | L_1 | mm | 鋼板の短辺長さ | 838 |
| 胴縁 | G_2 | kN/m | 胴縁の自重 | 0.519 |
| | W_2 | kN/m | 鋼板に作用する風荷重 | 0.330 |
| | Z_2 | mm ³ | 胴縁の断面係数 | 115000 |
| | L_2 | mm | 胴縁の長さ | 2265 |
| | A_2 | mm ² | 胴縁のせん断断面積 | 845 |

表 7-13(2) ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁
の耐震評価に用いる評価条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|----------|
| はり | M_{x3} | N・mm | はりの強軸回りの曲げモーメント | 36960000 |
| | M_{y3} | N・mm | はりの弱軸回りの曲げモーメント | 470000 |
| | Z_{x3} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 | 472000 |
| | Z_{y3} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 | 160000 |
| | Q_{x3} | N | はりの強軸方向のせん断力 | 20740 |
| | Q_{y3} | N | はりの弱軸方向のせん断力 | 570 |
| | A_{w3} | mm ² | はりのウェブ断面積 | 1408 |
| | A_{f3} | mm ² | はりのフランジ断面積 | 4800 |
| | $N_{c(t)3}$ | N | はりの圧縮又は引張軸力 | 1830 |
| | A_{g3} | mm ² | はりの断面積 | 6353 |
| 柱 | M_{x4} | N・mm | 柱の強軸回りの曲げモーメント | 36970000 |
| | M_{y4} | N・mm | 柱の弱軸回りの曲げモーメント | 530000 |
| | Z_{x4} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 | 472000 |
| | Z_{y4} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 | 160000 |
| | Q_{x4} | N | 柱の強軸方向のせん断力 | 23220 |
| | Q_{y4} | N | 柱の弱軸方向のせん断力 | 3560 |
| | A_{w4} | mm ² | 柱のウェブ断面積 | 1408 |
| | A_{f4} | mm ² | 柱のフランジ断面積 | 4800 |
| | $N_{c(t)4}$ | N | 柱の圧縮又は引張軸力 | 31810 |
| | A_{g4} | mm ² | 柱の断面積 | 6353 |
| ブレース | N_{t5} | N | ブレースの引張軸力 | 46970 |
| | A_{g5} | mm ² | ブレースの断面積 | 1656 |
| アンカー ボルト | T_6 | kN | 鉛直方向の支点反力 | 4.770 |
| | n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 | 4 |
| | Q_6 | kN | 水平方向の支点反力 | 48.50 |

8. 取水槽除じん機エリア防水壁

8.1 固有振動数及び設計用地震力

8.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽除じん機エリア防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は，はり及び柱の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，当該防水壁の柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピンはりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，柱及びはりの全長とする。図 8-1 に解析モデル図を示す。

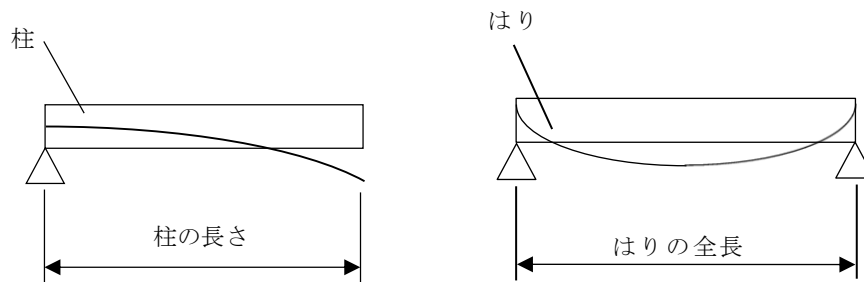


図 8-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 8-1 に示す。

表 8-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----|------------------|------------------|
| f | Hz | 1 次固有振動数 |
| L | mm | モデル化に用いる柱及びはりの長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | m ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |
| λ | — | 定数 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 固定-自由はりモデル（柱をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

- b. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

8.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 8-2 に示す。

表 8-2(1) 固有周期の計算条件 (柱)

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|-----------|-----------|------------------|-----------------------|
| 定数 | λ | — | 1.8751 |
| 部材長 | L | m | 3.000 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10^{11} |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 4.72×10^{-5} |
| 質量分布 | m | kg/m | 49.9 |

表 8-2(2) 固有周期の計算条件 (はり)

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|-----------|----|------------------|-----------------------|
| 部材長 | L | m | 0.650 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10^{11} |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 3.68×10^{-7} |
| 質量分布 | m | kg/m | 7.7 |

8.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 8-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 8-3 固有周期

| 扉名称 | 対象部位 | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|---------------|------|------------|----------|
| 取水槽除じん機エリア防水壁 | はり | 368.960 | 0.003 |
| | 柱 | 27.379 | 0.037 |

8.1.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は，VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防水壁設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防水壁の設計震度を表 8-4 に示す。

表 8-4 設計震度

| 構造物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----|---------|-------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| 取水槽 | 除じん機エリア | 1.8 | 0.9 |

8.2 耐震評価方法

8.2.1 記号の説明

取水槽除じん機エリア防水壁の評価に用いる記号を表 8-5 に示す。

表 8-5(1) 取水槽除じん機エリア防水壁の強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|--------------|--|
| g | m/s^2 | 重力加速度 |
| k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 |
| k_V | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 |
| G | kN | 固定荷重 |
| w_{ss1} | kN/m | 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| B | m | 支柱間隔 |
| z_1 | m | 鋼板に作用する風荷重の作用高さ |
| σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_{max1} | $kN \cdot m$ | 鋼板の曲げモーメント |
| Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | m | 鋼板の部材長 |
| τ_1 | N/mm^2 | 鋼板に生じるせん断応力度 |
| S_{max1} | kN | 鋼板のせん断力 |
| h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 |
| t_1 | mm | 鋼板の厚さ |
| V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 |
| L_{21} | m | 柱全長 |
| W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 |
| σ_{b2} | N/mm^2 | 柱に生じる曲げ応力度 |
| M_{max2} | $kN \cdot m$ | 柱の曲げモーメント |
| Z_2 | mm^3 | 柱の断面係数 |
| L_{22} | m | 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 |
| σ_{t2} | N/mm^2 | 柱に生じる引張応力度 |
| V_{tmax2} | kN | 柱の引張荷重 |
| A_2 | mm^2 | 柱の断面積 |
| σ_{c2} | N/mm^2 | 柱に生じる圧縮応力度 |

表 8-5(2) 取水槽除じん機エリア防水壁の強度評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------------|-------------------|---------------------------|
| V_{max2} | kN | 柱の鉛直荷重 |
| τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 |
| S_{max2} | kN | 柱のせん断力 |
| h_2 | mm | 柱のウェブ高 |
| t_2 | mm | 柱のウェブ厚 |
| f_b | N/mm ² | 短期許容曲げ応力度 |
| f_t | N/mm ² | 短期許容引張応力度 |
| f_c | N/mm ² | 短期許容圧縮応力度 |
| w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 |
| A_3 | m ² | 防水壁の面積 |
| w_3 | kN/m ² | はりに作用する風圧力 |
| σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 |
| M_{max3} | kN・m | はりの曲げモーメント |
| Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 |
| B_3 | m | はりの荷重載荷幅 |
| L_3 | m | はりの部材長 |
| τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 |
| S_{max3} | kN | はりのせん断力 |
| N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 |
| x_i | m | 偏心距離 |
| $\sum n \cdot x_i^2$ | m ² | 2次モーメントの合計値 |
| P | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| P_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |

8.2.2 評価対象部位

当該防水壁の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、はり及び柱に伝わり、柱を固定するアンカーボルトを介して取水槽躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱及びアンカーボルトとする。

なお、柱及びアンカーボルトの評価対象部位はそれぞれの仕様を踏まえ、柱（標準部）、アンカーボルト（標準部）とする。

評価対象部位を図 8-2 に示す。

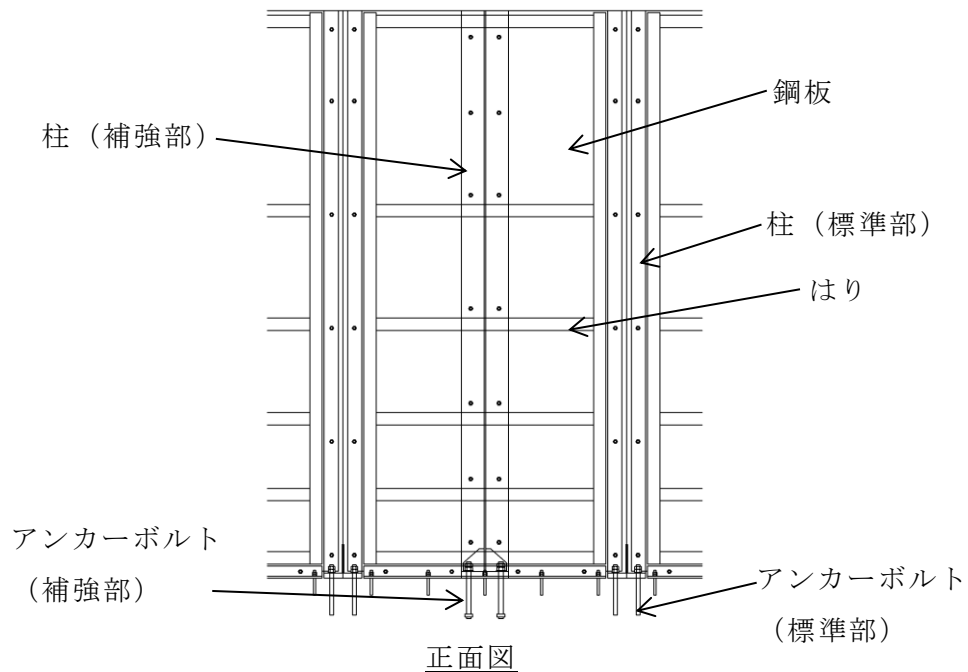


図 8-2(1) 評価対象部位

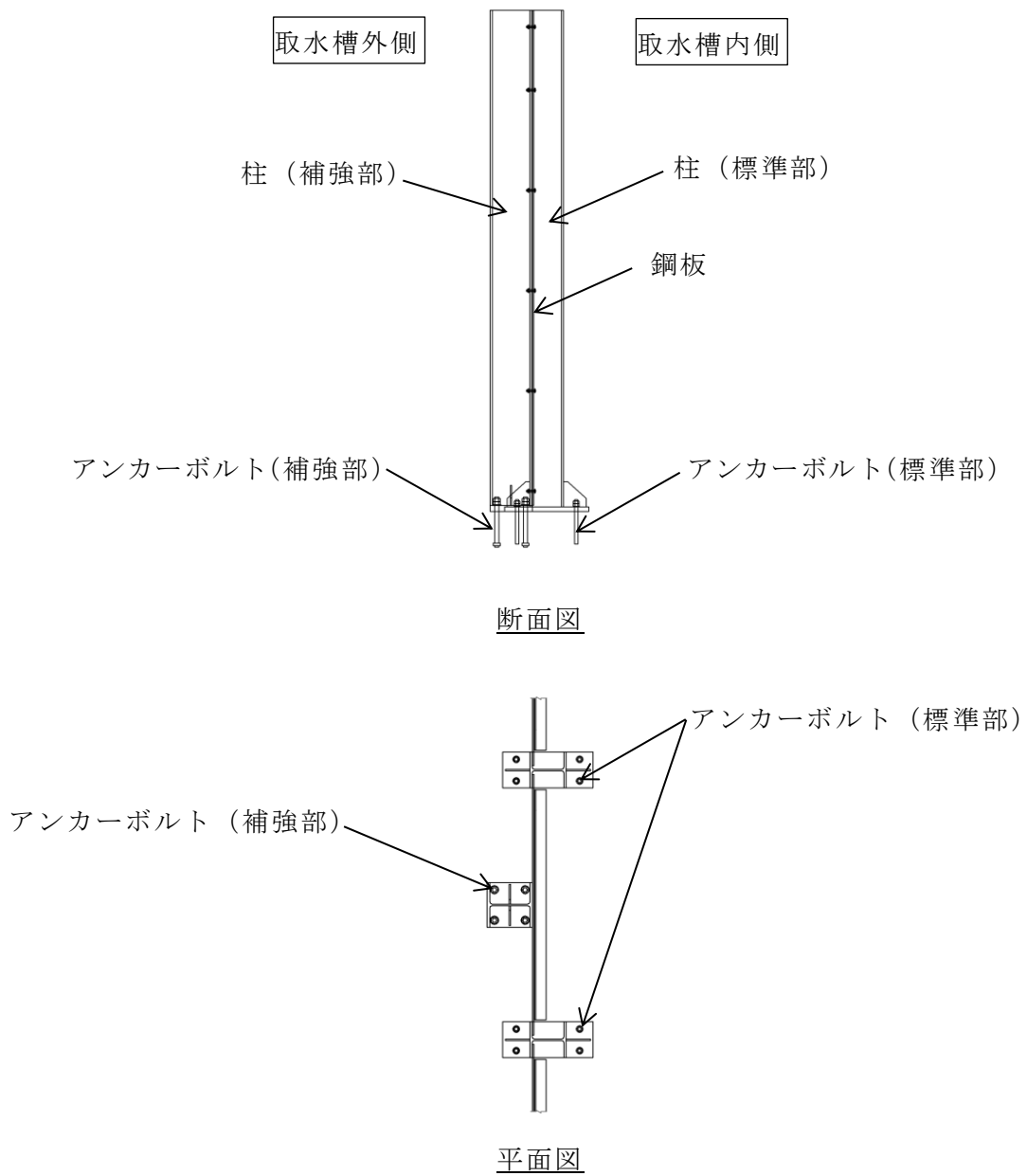


図 8-2(2) 評価対象部位

8.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + W$$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「8.1.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

c. 風荷重 (W)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 8-6 に示す。

$$W = w \cdot A$$

W : 風荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

A : 風の受圧面積 (m²)

表 8-6 風圧力

| | |
|-------------------------------|------|
| 風圧力 w (kN/m ²) | 1.71 |
|-------------------------------|------|

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

8.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、はり、柱、アンカーボルトの使用材料を表 8-7 に示す。

表 8-7 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|------------------|--------|----------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-9 |
| 柱（標準部） | SS400 | H-200×200×8×12 |
| 柱（補強部） | SS400 | H-250×250×9×14 |
| はり | SS400 | L-65×65×8 |
| アンカーボルト （標準部） | SUS304 | M20 |
| アンカーボルト （補強部） | SUS304 | M24 |

(2) 許容限界

a. 鋼材

鋼材の許容応力度は、「S規準」を踏まえて表 8-8 の値とする。

表 8-8 鋼材の短期許容応力度

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

b. アンカーボルト（標準部）

アンカーボルト（標準部）の許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 8-9 の値とする。

なお、アンカーボルト（標準部）が引張力を受ける場合においては、アンカーボルト（標準部）の降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルト（標準部）がせん断力を受ける場合においては、アンカーボルト（標準部）のせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 8-9 アンカーボルト（標準部）の短期許容応力

| 評価対象部位 | 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|------------------|--------------|-----------|-----|
| | | 引張 | せん断 |
| アンカーボルト （標準部） | SUS304 (M20) | 41 | 35 |

8.2.5 評価方法

当該防水壁を構成する鋼板，はり，柱及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 8-3 に示す。

a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重

$$w_{ss1} = (S_s / B) + w \cdot z_1$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 地震荷重 (kN)

B : 支柱間隔 (m)

w : 風荷重 (kN/m²)

z_1 : 鋼板に作用する風荷重の作用高さ (m)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_{max1} \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_{max1} = w_{ss1} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_{max1} : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (S_{\max 1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max 1} = w_{ss1} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 1}$: 鋼板のせん断力 (kN)

h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)

t_1 : 鋼板の厚さ (mm)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

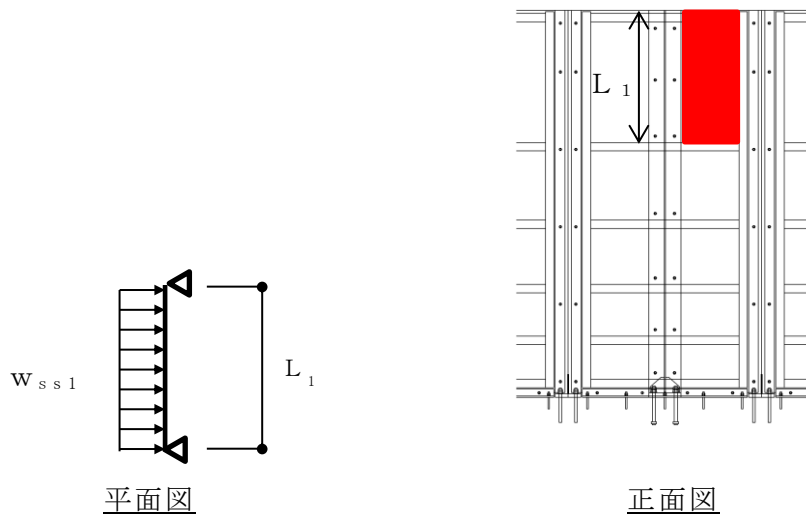


図 8-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちはりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 8-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 柱に作用する単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{ss2} = (S_s + W_2) / L_{21}$$

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

L_{21} : 柱全長 (m)

c. 柱に作用する水平荷重

$$W_{ss2} = S_s + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 ($w \cdot B \cdot L_{21}$) (kN)

w : 風荷重 (kN/m²)

B : 支柱間隔 (m)

L_{21} : 柱全長 (m)

d. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_{\max 2} = w_{ss2} \cdot L_{21} \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (mm³)

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_{21} : 柱全長 (m)

L_{22} : 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 (m)

e. 柱に生じる鉛直応力度

①引張応力度 (鉛直上向き) 注: 安全側の検討として自重は考慮しない

$$\sigma_{t2} = (V_{t\max 2} \cdot 10^3) / A_2$$

$$V_{tmax2} = V_2$$

- σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)
 V_{tmax2} : 柱の引張荷重 (kN)
 A_2 : 柱の断面積 (mm²)
 V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

② 圧縮応力度 (鉛直下向き)

$$\sigma_{c2} = (V_{max2} \cdot 10^3) / A_2$$

$$V_{max2} = G + V_2$$

- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
 V_{max2} : 柱の鉛直荷重 (kN)
 A_2 : 柱の断面積 (mm²)
 G : 固定荷重 (kN)
 V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (S_{max2} \cdot 10^3) / (h_2 \cdot t_2)$$

$$S_{max2} = W_{ss2}$$

- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 S_{max2} : 柱のせん断力 (kN)
 h_2 : 柱のウェブ高 (mm)
 t_2 : 柱のウェブ厚 (mm)
 W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

g. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度，引張応力度，圧縮応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度と引張応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{t2}/f_t \leq 1$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{c2}/f_c \leq 1$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
 f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，引張応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{t2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)
 τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

⑤ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

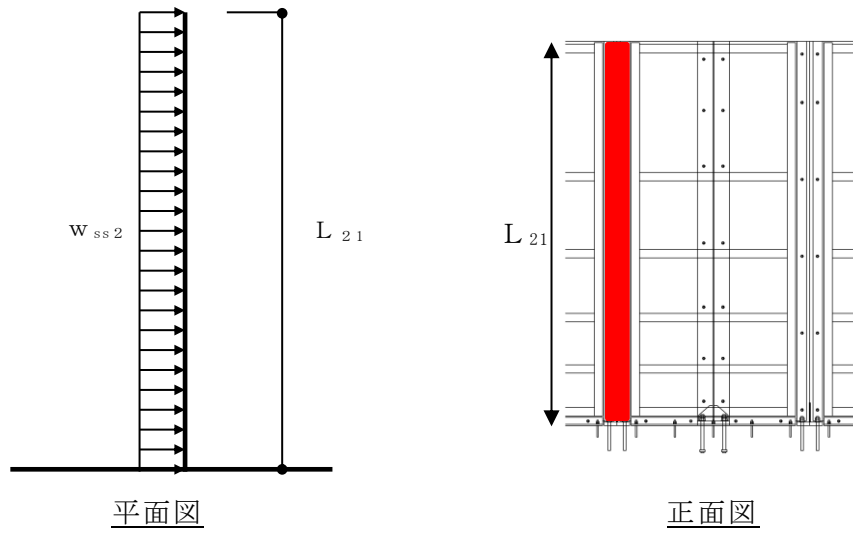


図 8-4 柱に作用する荷重の例

(3) はり

はりに生じる応力は、はりを単純支持のはりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 8-5 に示す。

a. はりに作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. はりに作用する単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{ss3} = S_s / A_3 + w_3$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重
(kN/m²)

S_s : 地震荷重 (kN)

A_3 : 防水壁の面積 (m²)

w_3 : はりに作用する風圧力 (kN/m²)

c. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (mm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

- $S_{\max 3}$: はりのせん断力 (kN)
 h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)
 t_1 : 鋼板の厚さ (mm)
 w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/ m²)
 B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)
 L_3 : はりの部材長 (m)

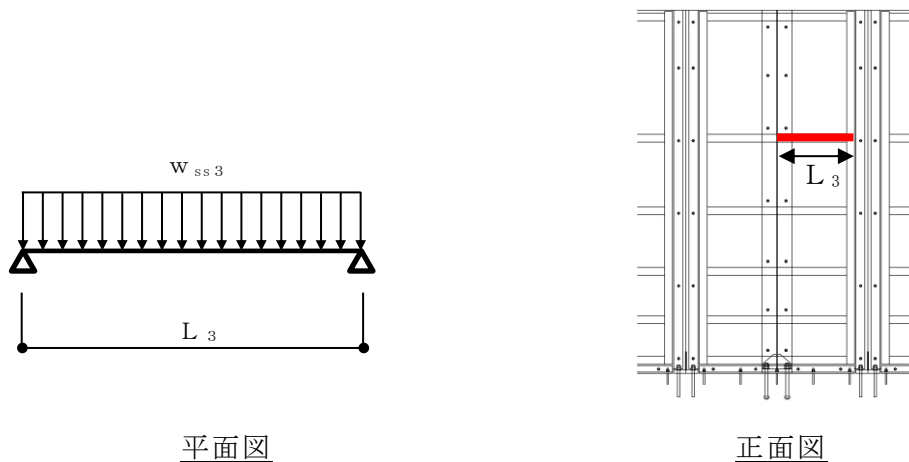


図 8-5 はりに作用する荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 8-6 に示す。

$$(P / P_a)^2 + (Q / Q_a)^2 \leq 1$$

$$P = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \cdot x_i / \sum n \cdot x_i^2$$

$$P / P_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の曲げモーメント (kN・m)

x_i : 偏心距離 (m)

$\sum n \cdot x_i^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

P_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q = S_{\max 2} / N$$

$$Q / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に発生するせん断力 (kN)

Q : アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 (kN)

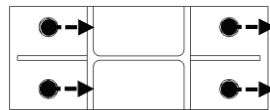


図 8-6 アンカーボルトに生じる荷重の例

8.2.6 評価条件

「8.2.5 評価方法」に用いる入力値を表8-10に示す。

表8-10(1) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------------|---------------|--------------|----------------------------------|--------------------|
| 共通 | g | m/s^2 | 重力加速度 | 9.80665 |
| | k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 | 1.8 |
| | k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 | 0.9 |
| | G | kN | 固定荷重 | 4.8 |
| 鋼板 | w_{ss1} | kN/m | 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 16.65 |
| | B | m | 支柱間隔 | 0.750 |
| | z_1 | m | 鋼板に作用する風荷重の作用高さ | 3.00 |
| | σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 | 154.07 |
| | M_{max1} | $kN \cdot m$ | 鋼板の曲げモーメント | 2.08 |
| | Z_1 | mm^3 | 鋼板の断面係数 | 1.35×10^4 |
| | L_1 | m | 鋼板の部材長 | 1.000 |
| | τ_1 | N/mm^2 | 鋼板に生じるせん断応力度 | 0.93 |
| | S_{max1} | kN | 鋼板のせん断力 | 8.33 |
| | h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 | 1000 |
| t_1 | mm | 鋼板の厚さ | 9 | |
| 柱 (標準部) | V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 4.32 |
| | w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 4.16 |
| | W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 | 3.84 |
| | L_{21} | m | 柱全長 | 3.000 |
| | W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 | 12.48 |
| | σ_{b2} | N/mm^2 | 柱に生じる曲げ応力度 | 39.66 |
| | M_{max2} | $kN \cdot m$ | 柱の曲げモーメント | 18.72 |
| Z_2 | mm^3 | 柱の断面係数 | 4.72×10^5 | |

表 8-10(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|----------------------|----------------------|-------------------|--|--------------------|
| 柱 (標準部) | L_{22} | m | 柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 | 1.500 |
| | σ_{t2} | N/mm ² | 柱に生じる引張応力度 | 0.68 |
| | V_{tmax2} | kN | 柱の引張荷重 | 4.32 |
| | A_2 | mm ² | 柱の断面積 | 6353 |
| | σ_{c2} | N/mm ² | 柱に生じる圧縮応力度 | 1.44 |
| | V_{max2} | kN | 柱の鉛直荷重 | 9.12 |
| | τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 | 8.86 |
| | S_{max2} | kN | 柱のせん断力 | 12.48 |
| | h_2 | mm | 柱のウェブ高 | 176 |
| | t_2 | mm | 柱のウェブ厚 | 8 |
| はり | w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 | 5.55 |
| | A_3 | m ² | 防水壁の面積 | 2.25 |
| | w_3 | kN/m ² | はりに作用する風圧力 | 1.71 |
| | σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 | 28.89 |
| | M_{max3} | kN・m | はりの曲げモーメント | 0.23 |
| | Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 | 7.96×10^3 |
| | B_3 | m | はりの荷重載荷幅 | 0.800 |
| | L_3 | m | はりの部材長 | 0.650 |
| | τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 | 0.20 |
| S_{max3} | kN | はりのせん断力 | 1.44 | |
| アンカー ボルト (標準部) | N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 | 4 |
| | x_i | m | 偏心距離 | 0.175 |
| | $\sum n \cdot x_i^2$ | m ² | 2次モーメントの合計値 | 0.122 |
| | P | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 | 27.93 |
| | Q | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 | 3.12 |

9. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-1（東，西側））

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

10. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-1（南側））

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

11. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-2）

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

12. 評価結果

耐震評価結果を表 12-1～表 12-6 に示す。防水壁の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、防水壁が構造健全性を有することを確認した。

ディーゼル燃料移送ポンプ室ポンプリア防護対策設備防水壁の各部材毎の検定比が最大となる部材を図 12-1 に示す。

表 12-1 耐震評価結果（タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁）

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|-----|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 2 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.01 |
| 胴縁 | 曲げ | 2 | N/mm ² | 229 | N/mm ² | 0.01 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ | 3 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| 柱 | 曲げ | 5 | N/mm ² | 223 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 4 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.03 |
| | 組合せ | 9 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.04 |
| アンカー ボルト | せん断 | 2 | kN | 58 | kN | 0.04 |

表 12-2 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水室北西側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 6 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| 胴縁 | 曲げ (強軸) | 3 | N/mm ² | 178 | N/mm ² | 0.02 |
| | 曲げ (弱軸) | 25 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.11 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| 柱 | 曲げ (強軸) | 6 | N/mm ² | 304 | N/mm ² | 0.02 |
| | 曲げ (弱軸) | 42 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.13 |
| | せん断 | 4 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.03 |
| | 圧縮 | 2 | N/mm ² | 217 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.16 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 51 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.16 |
| はり | 曲げ (強軸) | 29 | N/mm ² | 310 | N/mm ² | 0.10 |
| | 曲げ (弱軸) | 2 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.01 |
| | せん断 | 11 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.06 |
| | 圧縮 | 3 | N/mm ² | 210 | N/mm ² | 0.02 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.13 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 39 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.12 |
| アンカー ボルト | 引張 | 15 | kN | 76 | kN | 0.20 |
| | せん断 | 8 | kN | 58 | kN | 0.14 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | 0.06 |

表 12-3 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 3 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| 胴縁 | 曲げ (強軸) | 1 | N/mm ² | 202 | N/mm ² | 0.01 |
| | 曲げ (弱軸) | 39 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.17 |
| | せん断 | 3 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.03 |
| | 組合せ | 41 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.18 |
| 柱 | 曲げ (強軸) | 1 | N/mm ² | 318 | N/mm ² | 0.01 |
| | 曲げ (弱軸) | 7 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.01 |
| | 圧縮 | 3 | N/mm ² | 268 | N/mm ² | 0.02 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.06 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 12 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.04 |
| はり | 曲げ (強軸) | 7 | N/mm ² | 322 | N/mm ² | 0.03 |
| | 曲げ (弱軸) | 3 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.01 |
| | せん断 | 6 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.04 |
| | 圧縮 | 4 | N/mm ² | 306 | N/mm ² | 0.02 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.06 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 18 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.06 |
| 水平ブレース | 圧縮 | 8 | N/mm ² | 100 | N/mm ² | 0.08 |
| アンカー ボルト | 引張 | 13 | kN | 64 | kN | 0.21 |
| | せん断 | 1 | kN | 58 | kN | 0.02 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | 0.05 |

表 12-4(1) 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|--------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 4 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| 胴縁 | 曲げ (強軸) | 1 | N/mm ² | 217 | N/mm ² | 0.01 |
| | 曲げ (弱軸) | 6 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 圧縮 | 1 | N/mm ² | 143 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.05 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 9 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.04 |
| 根太 | 曲げ (強軸) | 3 | N/mm ² | 181 | N/mm ² | 0.02 |
| | 曲げ (弱軸) | 21 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.09 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ | 25 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.11 |
| 柱 | 曲げ (強軸) | 1 | N/mm ² | 232 | N/mm ² | 0.01 |
| | 曲げ (弱軸) | 2 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.01 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 圧縮 | 5 | N/mm ² | 222 | N/mm ² | 0.03 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.05 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 9 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.04 |
| はり | 曲げ (強軸) | 5 | N/mm ² | 225 | N/mm ² | 0.03 |
| | 曲げ (弱軸) | 43 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.19 |
| | せん断 | 4 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.03 |
| | 圧縮 | 2 | N/mm ² | 172 | N/mm ² | 0.02 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.24 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 51 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.22 |

表 12-4(2) 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| | | | | | | |
| 斜材 | 曲げ (強軸) | 1 | N/mm ² | 229 | N/mm ² | 0.01 |
| | 曲げ (弱軸) | 4 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| | 圧縮 | 7 | N/mm ² | 160 | N/mm ² | 0.05 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.08 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 13 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.06 |
| アンカー ボルト | 引張 | 24 | kN | 71 | kN | 0.34 |
| | せん断 | 1 | kN | 49 | kN | 0.03 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | 0.12 |

表 12-5(1) 耐震評価結果 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 15 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.07 |
| 胴縁 | 曲げ | 6 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 2 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.02 |
| はり | 曲げ (強軸) | 53 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.29 |
| | 曲げ (弱軸) | 4 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | せん断 | 11 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.09 |
| | 圧縮 | 1 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.32 |
| | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | 60 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.26 |
| 柱 | 曲げ (強軸) | 52 | N/mm ² | 219 | N/mm ² | 0.24 |
| | 曲げ (弱軸) | 3 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | せん断 | 12 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.09 |
| | 圧縮 | 4 | N/mm ² | 177 | N/mm ² | 0.03 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.29 |
| | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | 62 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.27 |
| ブレース | 引張 | 27 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.12 |
| アンカー ボルト | 引張 | 6 | kN | 37 | kN | 0.17 |
| | せん断 | 13 | kN | 16 | kN | 0.82 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | 0.71 |

表 12-5(2) 耐震評価結果 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| 鋼板 | 曲げ | 15 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.07 |
| 胴縁 | 曲げ | 6 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| | せん断 | 2 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.02 |
| はり | 曲げ (強軸) | 79 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.43 |
| | 曲げ (弱軸) | 3 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | せん断 | 15 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.12 |
| | 圧縮 | 1 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.01 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.46 |
| | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | 86 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.37 |
| 柱 | 曲げ (強軸) | 79 | N/mm ² | 219 | N/mm ² | 0.37 |
| | 曲げ (弱軸) | 4 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | せん断 | 17 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.13 |
| | 圧縮 | 6 | N/mm ² | 177 | N/mm ² | 0.04 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.43 |
| | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | 92 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.40 |
| ブレース | 引張 | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| アンカー ボルト | 引張 | — | — | — | — | — |
| | せん断 | 13 | kN | 17 | kN | 0.77 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | — |

表 12-6 耐震評価結果（取水槽除じん機エリア防水壁）

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界 | | 発生値/ 許容限界値 |
|-------------|-----------------------------|------------------|-------------------|------|-------------------|---------------|
| | | | | | | |
| 鋼板 | 曲げ | 155 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.66 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| はり | 曲げ | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| 柱 | 曲げ | 40 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.18 |
| | せん断 | 9 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.07 |
| | 組合せ（上向き） （曲げ+引張） | — | — | — | — | 0.17 |
| | 組合せ（下向き） （曲げ+圧縮） | — | — | — | — | 0.17 |
| | 組合せ （曲げ+せん断） | 43 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.19 |
| | 組合せ（上向き） （曲げ+引張 +せん断） | 44 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.19 |
| | 組合せ（下向き） （曲げ+圧縮 +せん断） | 44 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.19 |
| アンカー ボルト | 引張 | 28 | kN | 41 | kN | 0.69 |
| | せん断 | 4 | kN | 35 | kN | 0.12 |
| | 組合せ （引張+せん断） | — | — | — | — | 0.47 |

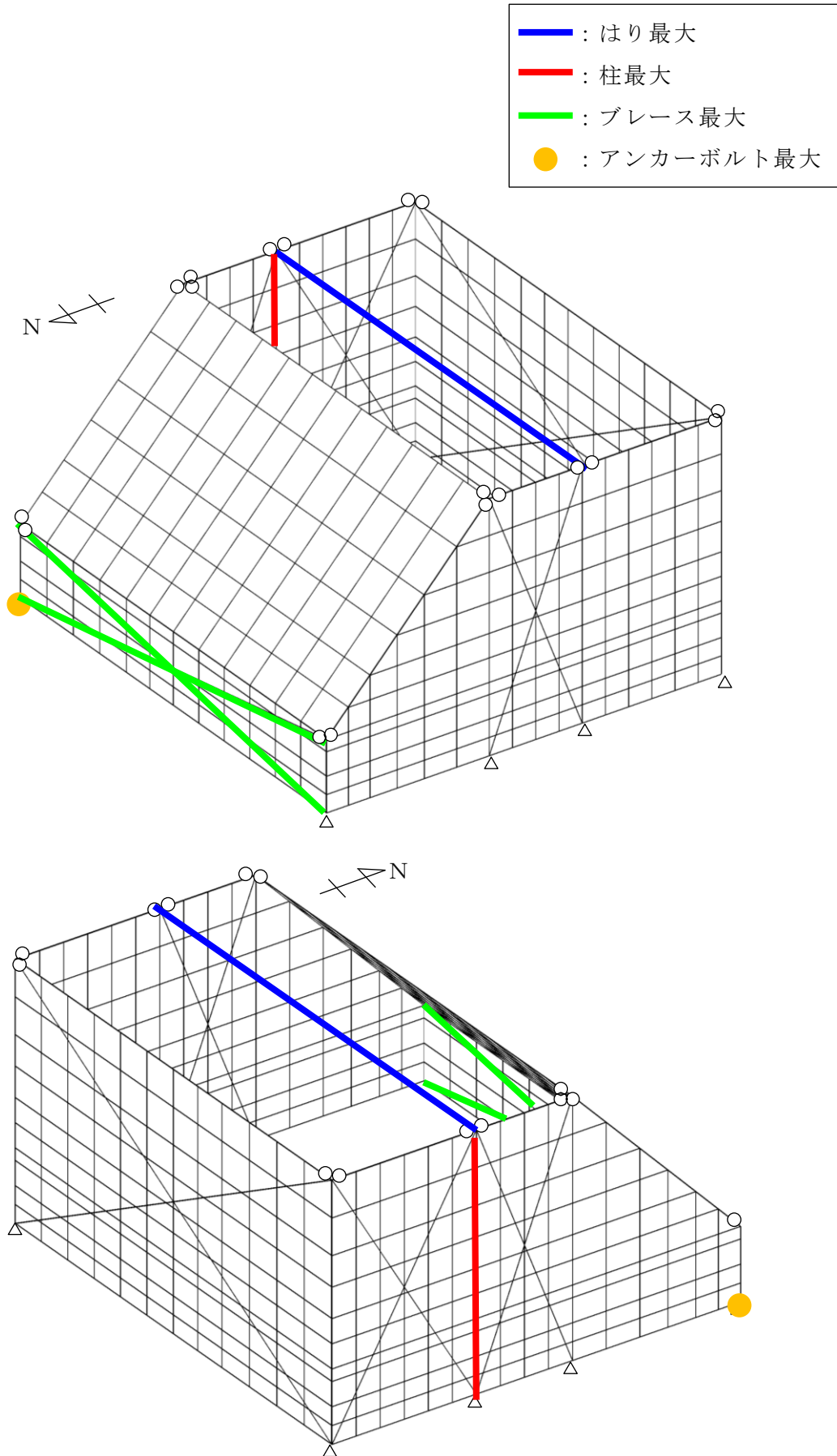


図 12-1(1) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁)

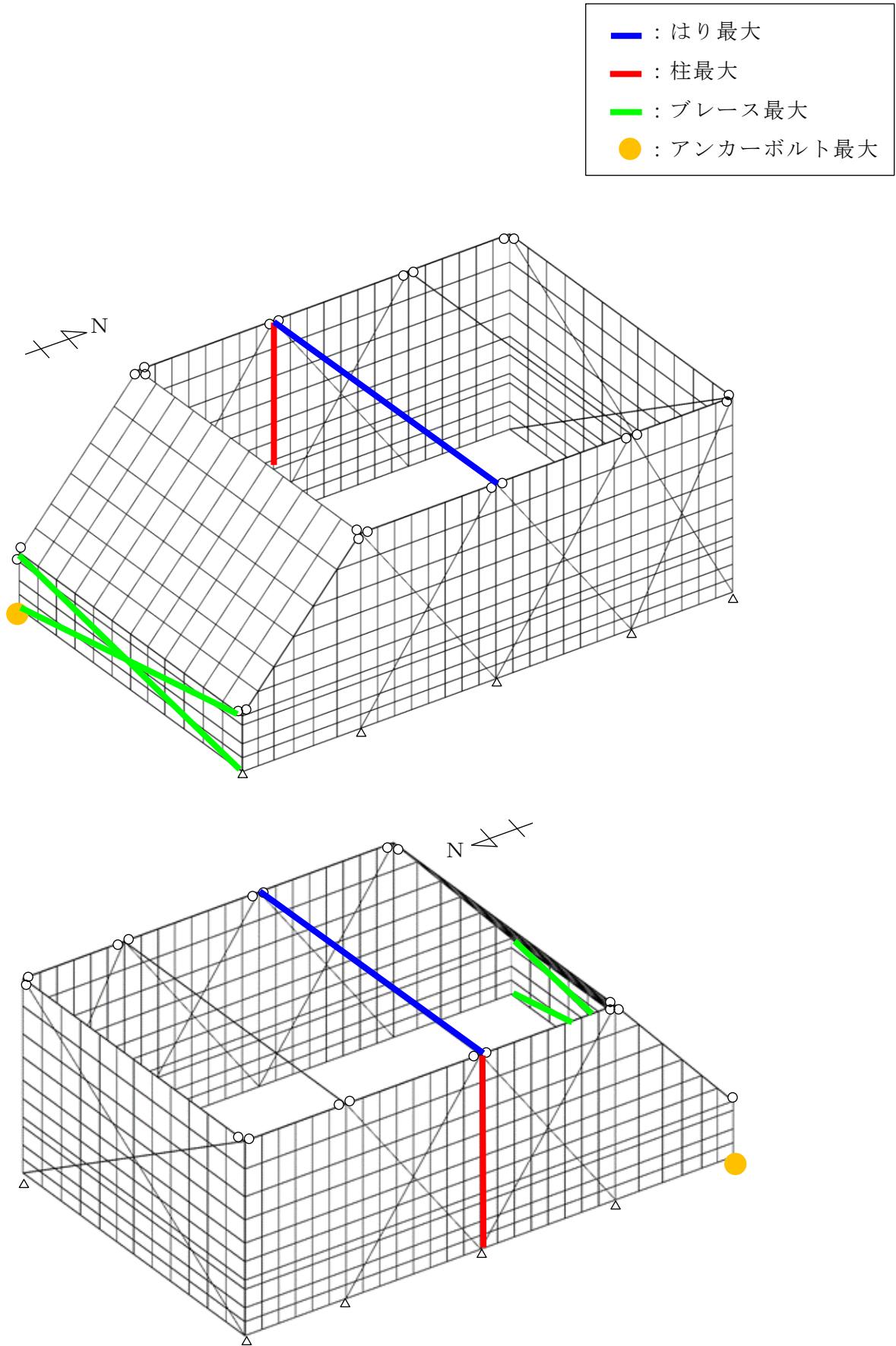


図 12-1(2) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

VI-2-10-2-9 水密扉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 | 検討対象水密扉一覧 | 2 |
| 2.2 | 配置概要 | 4 |
| 2.3 | 構造計画 | 19 |
| 2.4 | 評価方針 | 24 |
| 2.5 | 適用規格・基準等 | 27 |
| 2.6 | 記号の説明 | 28 |
| 3. | 固有振動数及び設計用地震力 | 38 |
| 3.1 | 固有値解析 | 38 |
| 3.1.1 | 解析モデルの設定 | 38 |
| 3.2 | 固有振動数の算出条件等 | 41 |
| 3.2.1 | 記号の説明 | 41 |
| 3.2.2 | 固有振動数の算出方法 | 41 |
| 3.2.3 | 固有振動数の算出条件 | 44 |
| 3.3 | 固有振動数の算出結果 | 53 |
| 3.3.1 | 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ） | 53 |
| 3.3.2 | 水密扉（タイプⅣ） | 55 |
| 3.3.3 | パネル部（タイプⅤ） | 56 |
| 3.4 | 設計用地震力 | 57 |
| 4. | 耐震評価方法 | 60 |
| 4.1 | タイプⅠ | 60 |
| 4.1.1 | 評価対象部位 | 60 |
| 4.1.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 63 |
| 4.1.3 | 許容限界 | 64 |
| 4.1.4 | 評価方法 | 67 |
| 4.1.5 | 評価条件 | 83 |
| 4.2 | タイプⅡ | 84 |
| 4.2.1 | 評価対象部位 | 84 |
| 4.2.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 87 |
| 4.2.3 | 許容限界 | 88 |
| 4.2.4 | 評価方法 | 91 |
| 4.2.5 | 評価条件 | 103 |
| 4.3 | タイプⅢ | 104 |
| 4.3.1 | 評価対象部位 | 104 |

| | | |
|-------|------------|-----|
| 4.3.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 106 |
| 4.3.3 | 許容限界 | 107 |
| 4.3.4 | 評価方法 | 109 |
| 4.3.5 | 評価条件 | 121 |
| 4.4 | タイプⅣ | 122 |
| 4.4.1 | 評価対象部位 | 122 |
| 4.4.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 125 |
| 4.4.3 | 許容限界 | 127 |
| 4.4.4 | 評価方法 | 129 |
| 4.4.5 | 評価条件 | 143 |
| 4.5 | タイプⅤ | 146 |
| 4.5.1 | 評価対象部位 | 146 |
| 4.5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 149 |
| 4.5.3 | 許容限界 | 150 |
| 4.5.4 | 評価方法 | 153 |
| 4.5.5 | 評価条件 | 163 |
| 5. | 評価結果 | 164 |

1. 概要

本計算書はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針並びにVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき、原子炉建物水密扉、タービン建物水密扉、廃棄物処理建物水密扉、ディーゼル燃料移送ポンプエリア水密扉、制御室建物水密扉、サイトバンカ建物水密扉、取水槽除じん機エリア水密扉、取水槽海水ポンプエリア水密扉、復水貯蔵タンクエリア水密扉及び屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）エリア水密扉（以下「水密扉」という。）が地震力に対して十分な構造強度及び止水性を有していること、溢水伝搬を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては耐震Sクラス施設、耐震Bクラス施設、耐震C-1クラス施設及び耐震C-2クラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

なお、原子炉建物 1 階大物搬入口水密扉の評価は、VI-2-9-3-2「原子炉建物機器搬出入口の耐震性についての計算書」で示しているため、本計算書では対象外とする。

表 2-1(1) 検討対象水密扉一覧

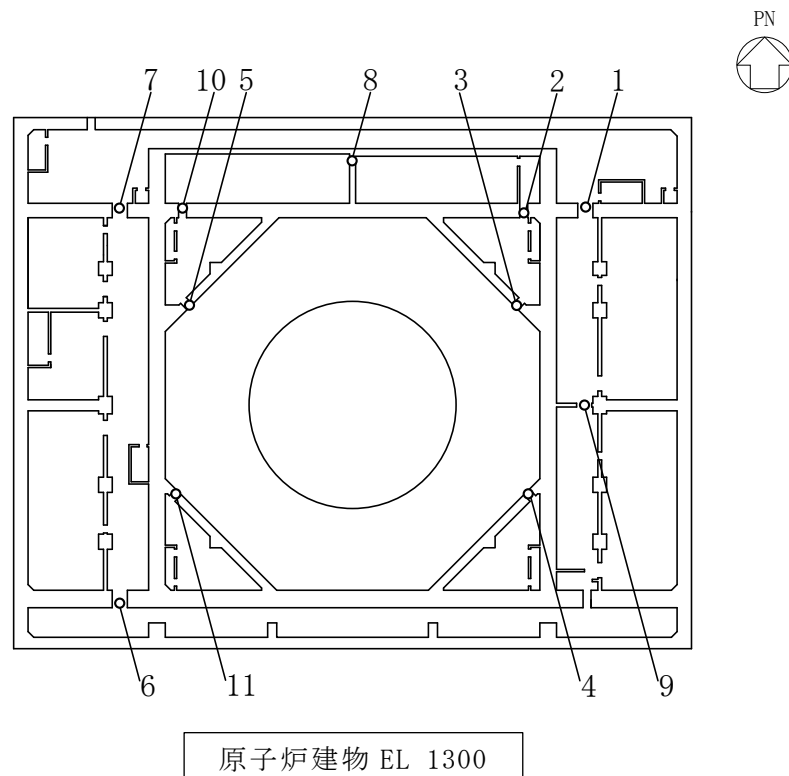
| 水密扉 No. | 扉名称 | 設置高さ |
|---------|-----------------------------|-------|
| | | EL |
| 1 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉 | 2.6m |
| 2 | 原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉 | 1.3m |
| 3 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉 | 1.3m |
| 4 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉 | 1.3m |
| 5 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉 | 1.3m |
| 6 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉 | 2.8m |
| 7 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉 | 2.6m |
| 8 | 原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉 | 1.3m |
| 9 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉 | 2.8m |
| 10 | 原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉 | 1.3m |
| 11 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉 | 1.3m |
| 12 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（南側） | 8.8m |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 8.8m |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 8.8m |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室） | 8.8m |
| 16 | 原子炉建物地下 1 階 東側エアロック前水密扉 | 8.8m |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | 15.3m |
| 18 | タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉 | 2.65m |
| 19 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉 | 2.0m |
| 20 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉 | 2.0m |
| 21 | タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉 | 0.25m |
| 22 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉 | 2.0m |
| 23 | タービン建物 1 階 西側エアロック前水密扉 | 8.8m |
| 24 | タービン建物 2 階 常用電気室南側水密扉 | 12.5m |
| 25 | タービン建物 2 階 大物搬入口水密扉 | 12.5m |
| 26 | タービン建物 2 階 離相母線室南側水密扉 | 12.5m |
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉 | 8.8m |

表 2-1(2) 検討対象水密扉一覧

| 水密扉 No. | 扉名称 | 設置高さ |
|---------|--|--------|
| | | EL |
| 28 | 廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉 | 15.3m |
| 29 | 廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉 | 15.3m |
| 30 | 廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉 | 25.3m |
| 31 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 北側水密扉 | 8.7m |
| 32 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 南側水密扉 | 8.7m |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉 | 8.8m |
| 34 | サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉 | 8.8m |
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (東) | 8.8m |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (西) | 8.8m |
| 37 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (北) | 8.8m |
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東) | 1.1m |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中) | 1.1m |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西) | 1.1m |
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 | 16.1m |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 | 16.1m |
| 43 | トーラス水受入タンク水密扉 | 16.1m |
| 44 | 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子 炉建物) 水密扉 | 11.26m |

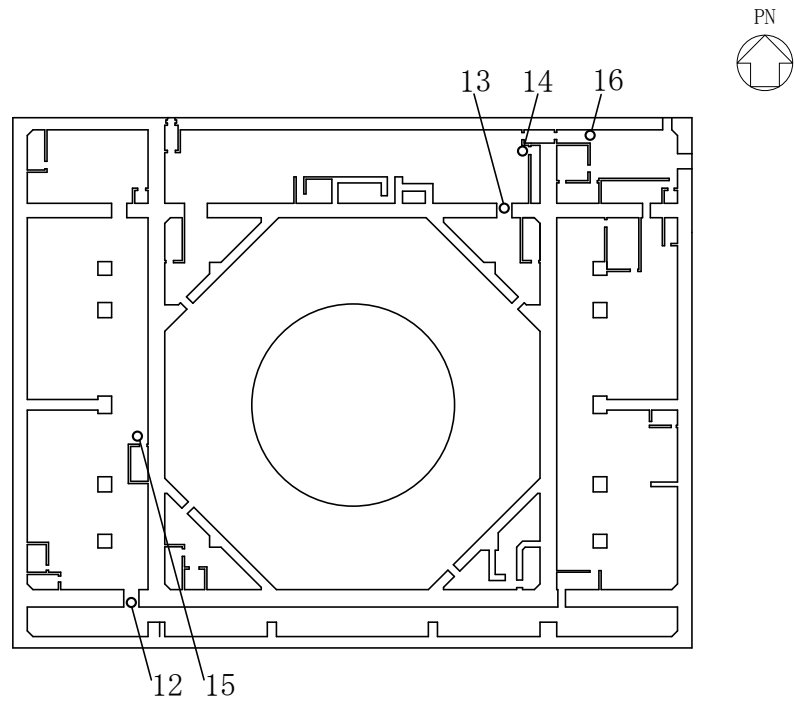
2.2 配置概要

原子炉建物水密扉の設置位置図を図 2-1 に，タービン建物水密扉の設置位置図を図 2-2 に，廃棄物処理建物水密扉の設置位置図を図 2-3 に，燃料移送ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-4 に，制御室建物水密扉の設置位置図を図 2-5 に，サイトバンカ建物水密扉の設置位置図を図 2-6 に，取水槽除じん機エリア水密扉の設置位置図を図 2-7 に，取水槽海水ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-8 に，復水貯蔵タンクエリア水密扉及び屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）エリア水密扉の設置位置図を図 2-9 に示す。



| | |
|----|-----------------------------|
| 1 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉 |
| 2 | 原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉 |
| 3 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉 |
| 4 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉 |
| 5 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉 |
| 6 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉 |
| 7 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉 |
| 8 | 原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉 |
| 9 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉 |
| 10 | 原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉 |
| 11 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉 |

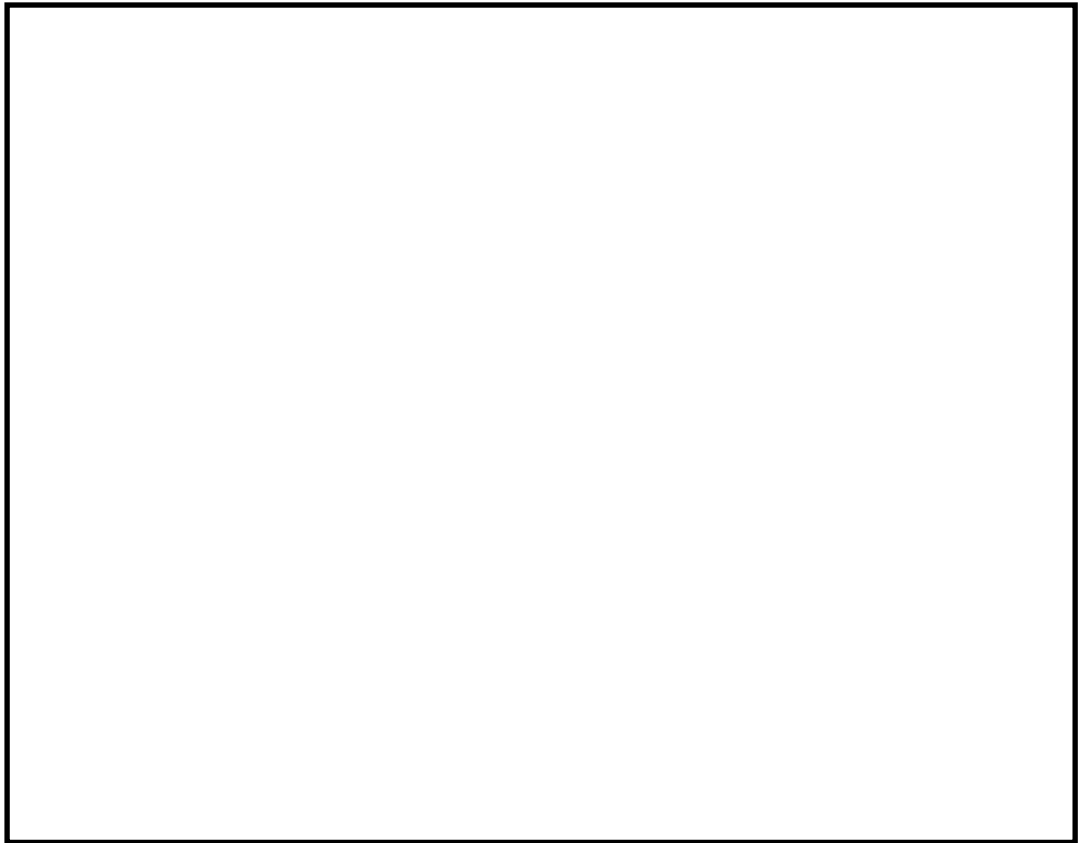
図 2-1(1) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下 2 階）



原子炉建物 EL 8800

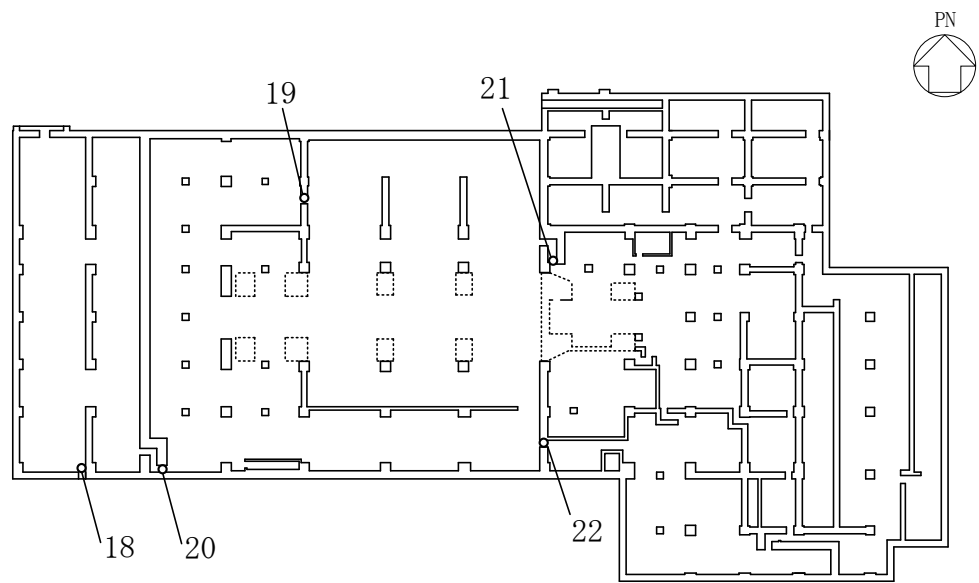
| | |
|----|---------------------------|
| 12 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（南側） |
| 13 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室南側水密扉 |
| 14 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉 |
| 15 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（階段室） |
| 16 | 原子炉建物地下1階東側エアロック前水密扉 |

図 2-1(2) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下1階）



| | |
|----|--------------------------|
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 |
|----|--------------------------|

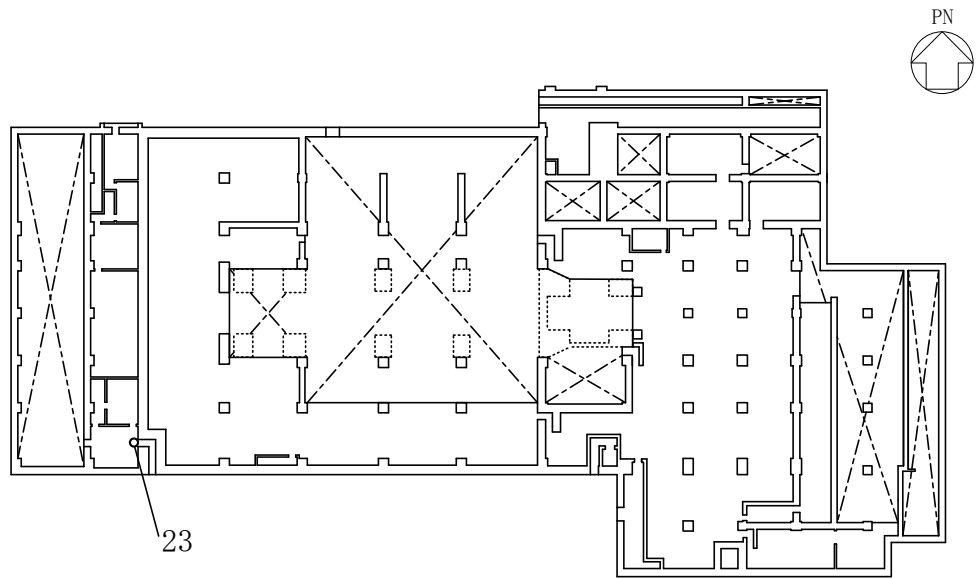
図 2-1(3) 水密扉の設置位置図 (原子炉建物 1 階)



タービン建物 EL 2000

| | |
|----|-----------------------------|
| 18 | タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉 |
| 19 | タービン建物地下 1 階復水系配管室北側水密扉 |
| 20 | タービン建物地下 1 階復水系配管室南側水密扉 |
| 21 | タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉 |
| 22 | タービン建物地下 1 階復水系配管室南東側水密扉 |

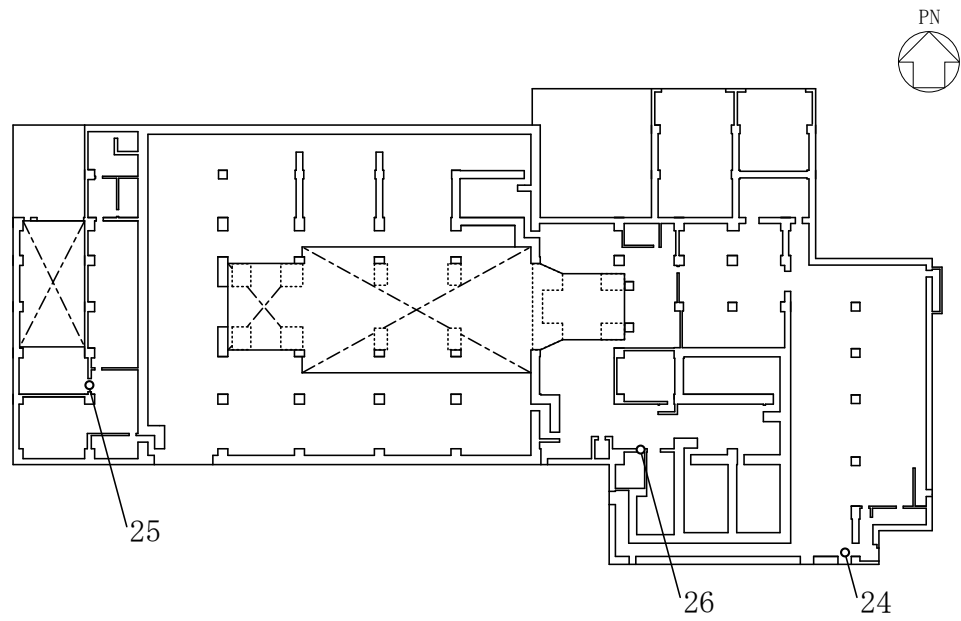
図 2-2(1) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 地下 1 階)



タービン建物 EL 5500

| | |
|----|-----------------------|
| 23 | タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉 |
|----|-----------------------|

図 2-2(2) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 1 階)

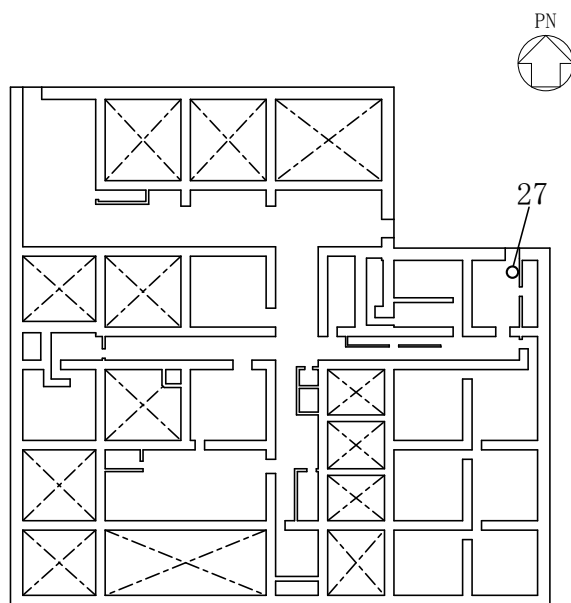


タービン建物 EL 12500

| | |
|----|----------------------|
| 24 | タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉 |
| 25 | タービン建物 2 階大物搬入口水密扉* |
| 26 | タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉 |

注記*：耐震Bクラス施設を示す。

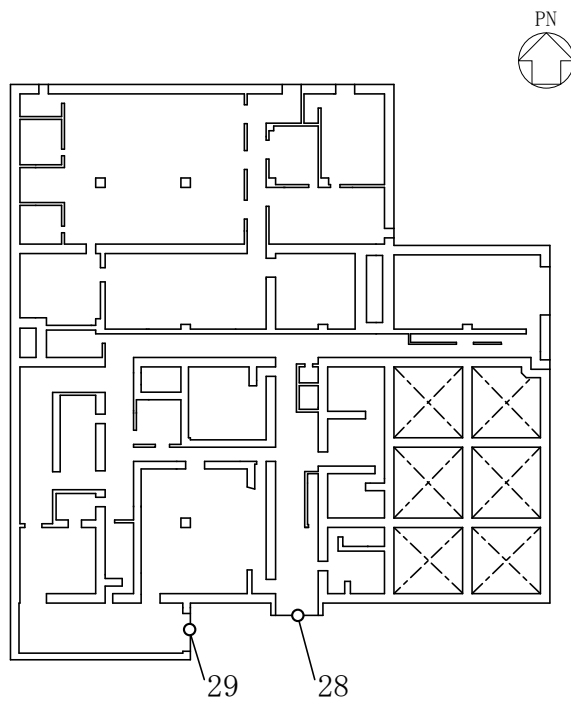
図 2-2(3) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 2 階)



廃棄物処理建物 EL 8800

| | |
|----|------------------------|
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉 |
|----|------------------------|

図 2-3(1) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 地下 1 階)

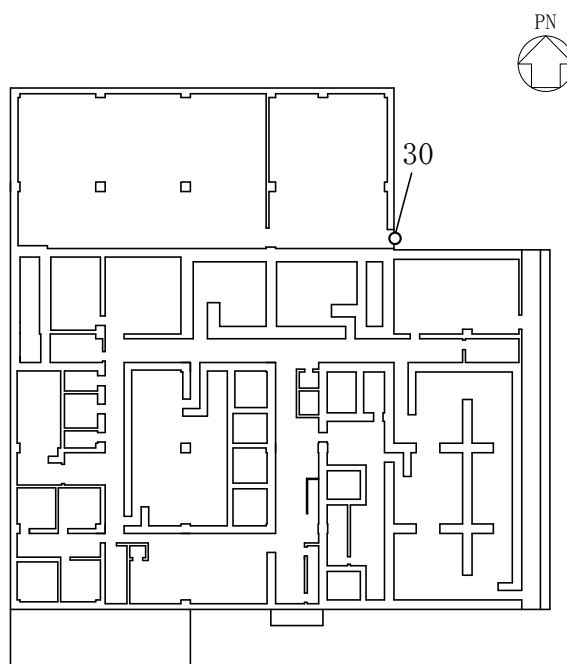


廃棄物処理建物 EL 15300

| | |
|----|------------------------|
| 28 | 廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉* |
| 29 | 廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉* |

注記*：耐震Bクラス施設を示す。

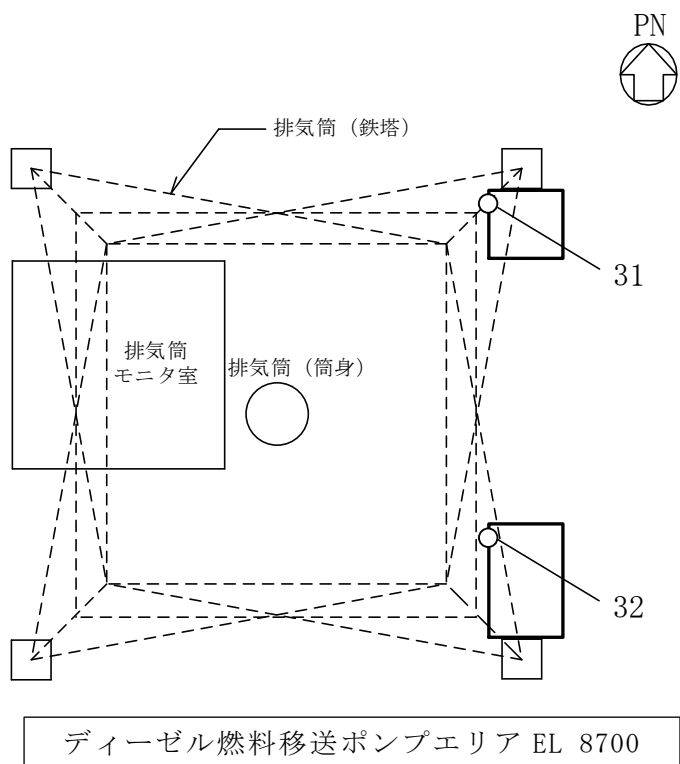
図 2-3(2) 水密扉の設置位置図（廃棄物処理建物 1 階）



廃棄物処理建物 EL 22100

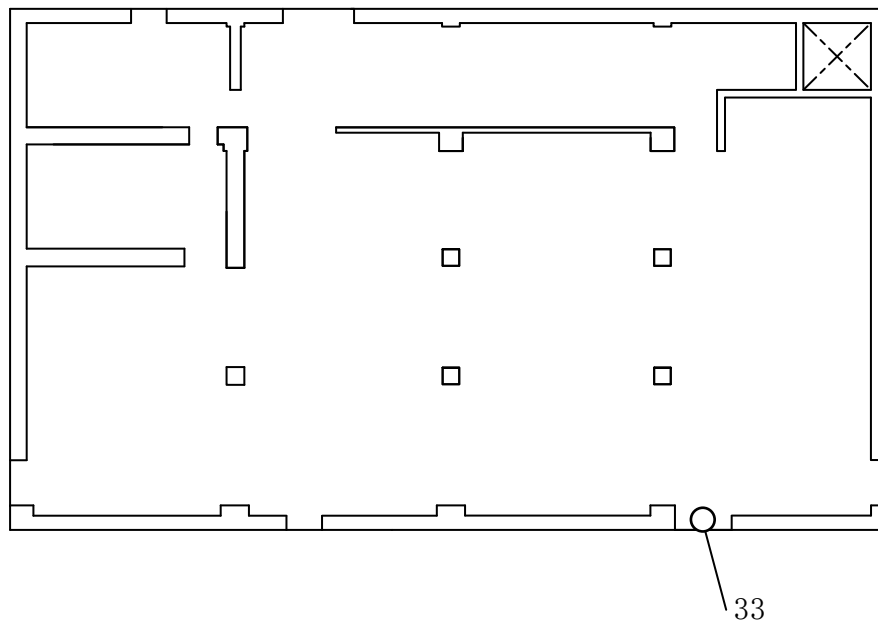
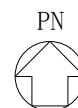
| | |
|----|----------------------------|
| 30 | 廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉 |
|----|----------------------------|

図 2-3(3) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 2 階)



| | |
|-------------------------|----------------------------|
| ディーゼル燃料移送ポンプエリア EL 8700 | |
| 31 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉 |
| 32 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側水密扉 |

図 2-4 水密扉の設置位置図 (燃料移送ポンプエリア)

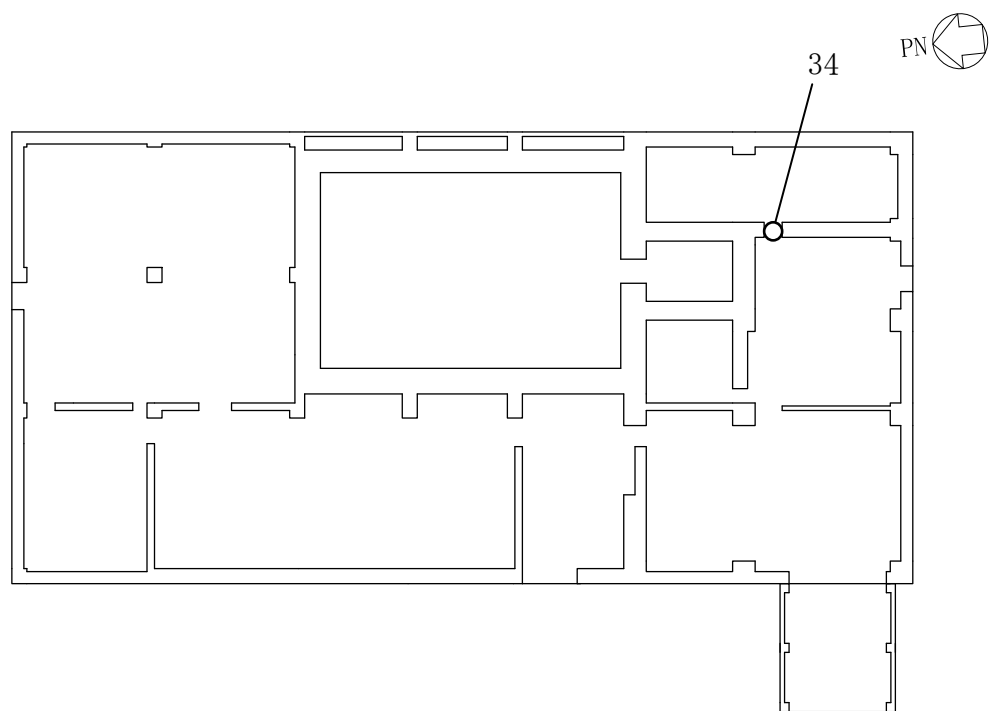


制御室建物 EL 8800

| | |
|----|-------------------------|
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉* |
|----|-------------------------|

注記*：耐震 B クラス施設を示す。

図 2-5 水密扉の設置位置図（制御室建物 2 階）

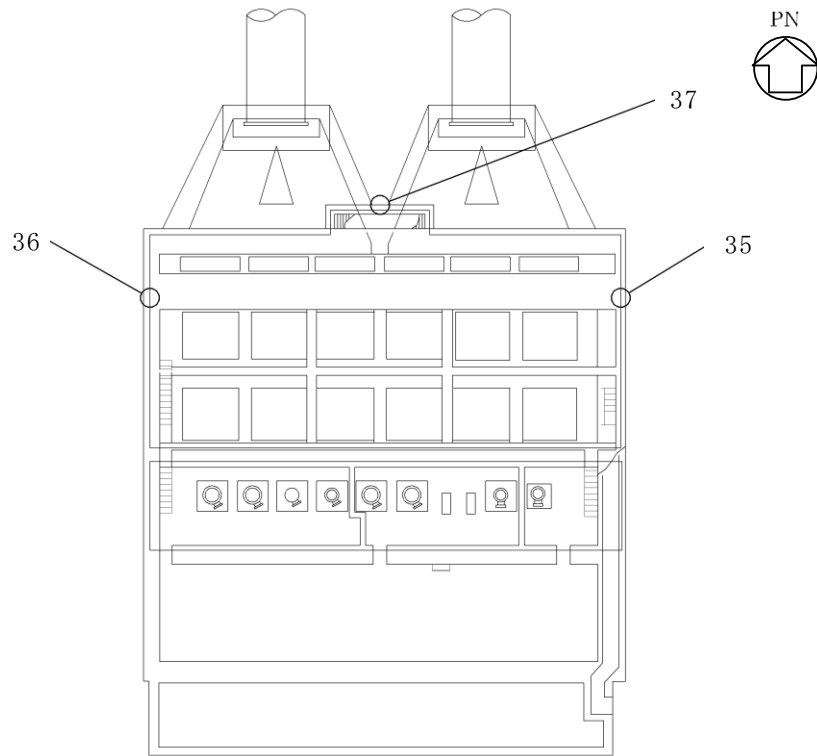


サイトバンカ建物 EL 8800

| | |
|----|------------------------|
| 34 | サイトバンカ建物 1階南東側ポンプ室水密扉* |
|----|------------------------|

注記*：耐震Bクラス施設を示す。

図 2-6 水密扉の設置位置図 (サイトバンカ建物 1階)

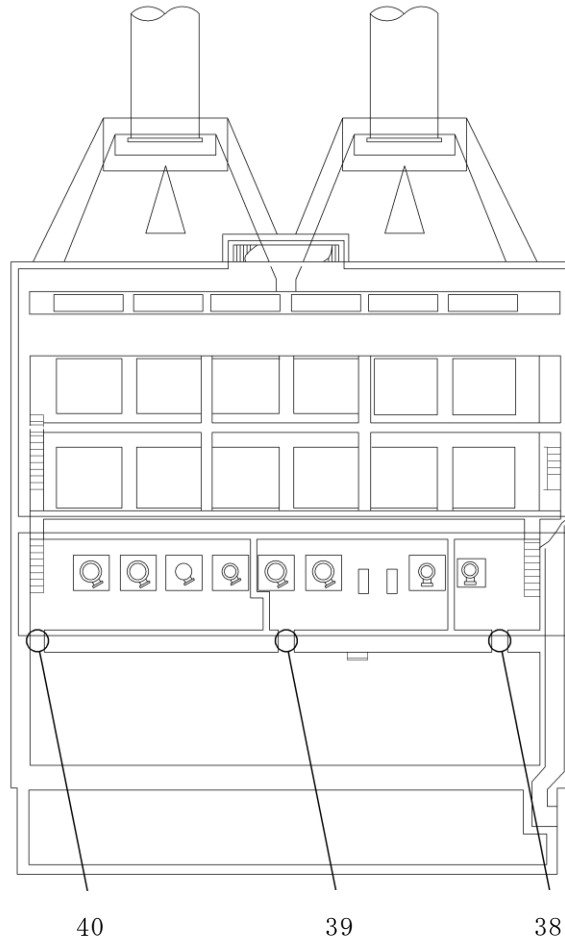


取水槽除じん機エリア EL 8800

| | |
|----|------------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） |
| 37 | 取水槽除じん機エリア水密扉（北） |

図 2-7 水密扉の設置位置図（取水槽除じん機エリア）

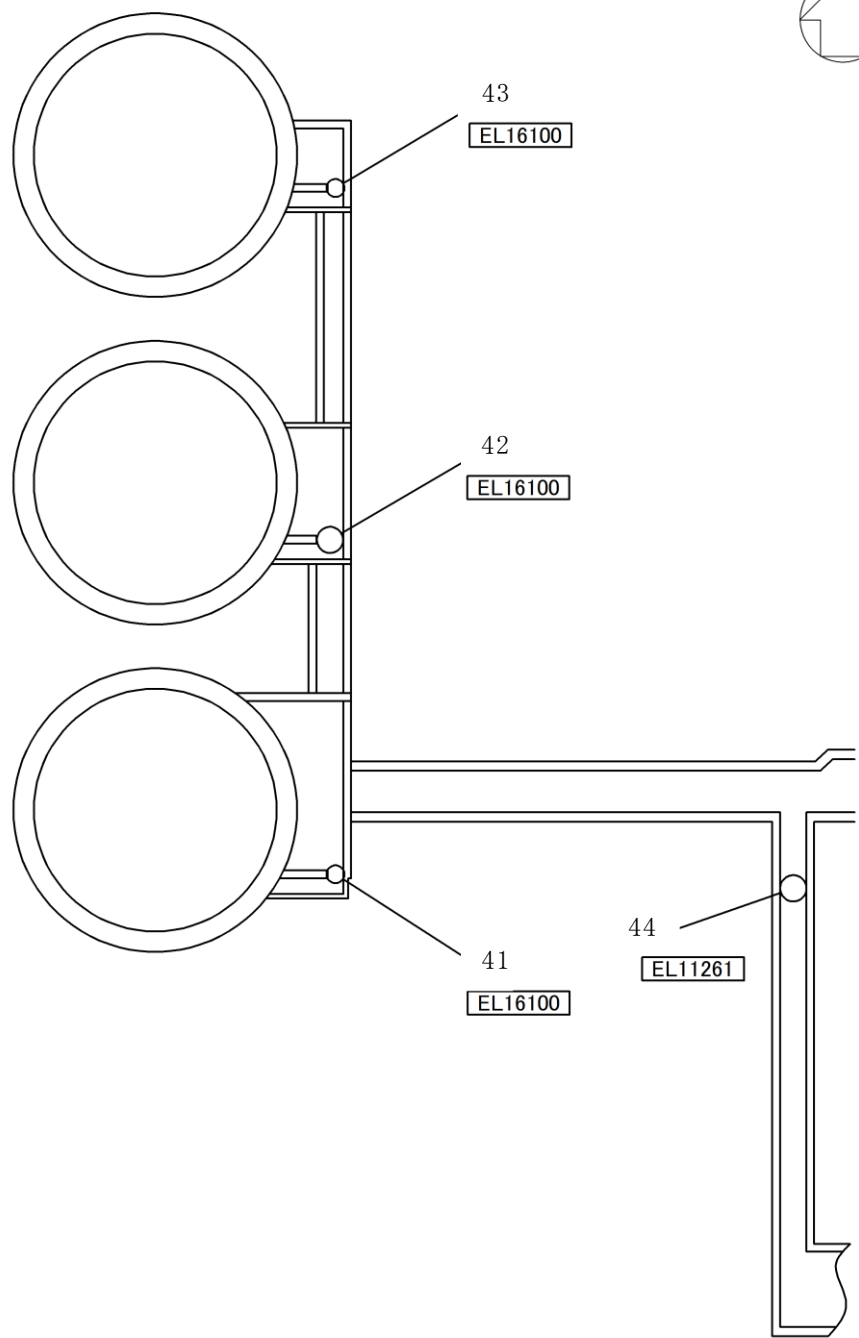
PN



取水槽海水ポンプエリア EL 1100

| | |
|----|-------------------|
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉（東） |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉（中） |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉（西） |

図 2-8 水密扉の設置位置図（取水槽海水ポンプエリア）



| | |
|----|----------------------------------|
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 |
| 43 | トーラス水受入タンク水密扉 |
| 44 | 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）水密扉 |

図 2-9 水密扉の設置位置図（復水貯蔵タンクエリア及び屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）エリア）

2.3 構造計画

水密扉の構造は、タイプⅠ～タイプⅤに区分しており、各水密扉の構造計画を表 2-2～表 2-6 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画（タイプⅠ）

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|--|-------|
| 支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> | <p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p> | |

表 2-3 水密扉の構造計画（タイプ II）

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|--|-------|
| 支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（回転形）により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> | <p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（回転形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p> | |

S2 補 VI-2-10-2-9 R0

表 2-4 水密扉の構造計画 (タイプⅢ)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|--|-------|
| 支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が鉄骨躯体に固定され、扉閉止時には、カンヌキ（レバー形）により扉と鉄骨躯体が一体化する構造とする。</p> | <p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（レバー形）を鉄骨躯体に差込み、扉と鉄骨躯体を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p> | |

S2 補 VI-2-10-2-9 R0

表 2-5 水密扉の構造計画 (タイプIV)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|---|-------|
| 支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉開放時及び扉閉止時ともに、水密扉戸当り用支柱及び外部縦柱により扉板と防水壁とを一体化させる構造とする。</p> <p>水密扉戸当り用支柱及び外部縦柱はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> | <p>スライド式の鋼製扉とし、鋼製の扉板に水平材を取付け、外部縦柱に設置された締付ボルトにより扉と一体化させる構造とする。</p> | |

表 2-6 水密扉の構造計画 (タイプV)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|--|-------|
| 支持構造 | 主体構造 | |
| <p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はパネル部へ接合される構造とする。また、パネル部はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p> | <p>扉部と躯体との間にパネル部を有する構造とし、扉部とパネル部により構成する。扉部は片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉枠はパネル部と接合し、一体化させる構造とする。</p> | |

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、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、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1.1 評価対象部位」, 「4.2.1 評価対象部位」, 「4.3.1 評価対象部位」, 「4.4.1 評価対象部位」及び「4.5.1 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「3. 固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「4.1.4 評価方法」, 「4.2.4 評価方法」, 「4.3.4 評価方法」, 「4.4.4 評価方法」及び「4.5.4 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-10に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

(1) タイプⅠ

水密扉のタイプⅠの耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(2) タイプⅡ

水密扉のタイプⅡの耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けボルト）の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

(3) タイプⅢ

水密扉のタイプⅢの耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けプレート）の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

(4) タイプⅣ

水密扉のタイプⅣの耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、水平材、水密扉戸当り用支柱、外部縦柱及びアンカーボルトの発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

(5) タイプⅤ

水密扉のタイプⅤの耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、パネル部を構成するパネル板、柱、はり及びパネル芯材の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

なお、扉部については、タイプⅠ及びタイプⅡに含めて評価する。

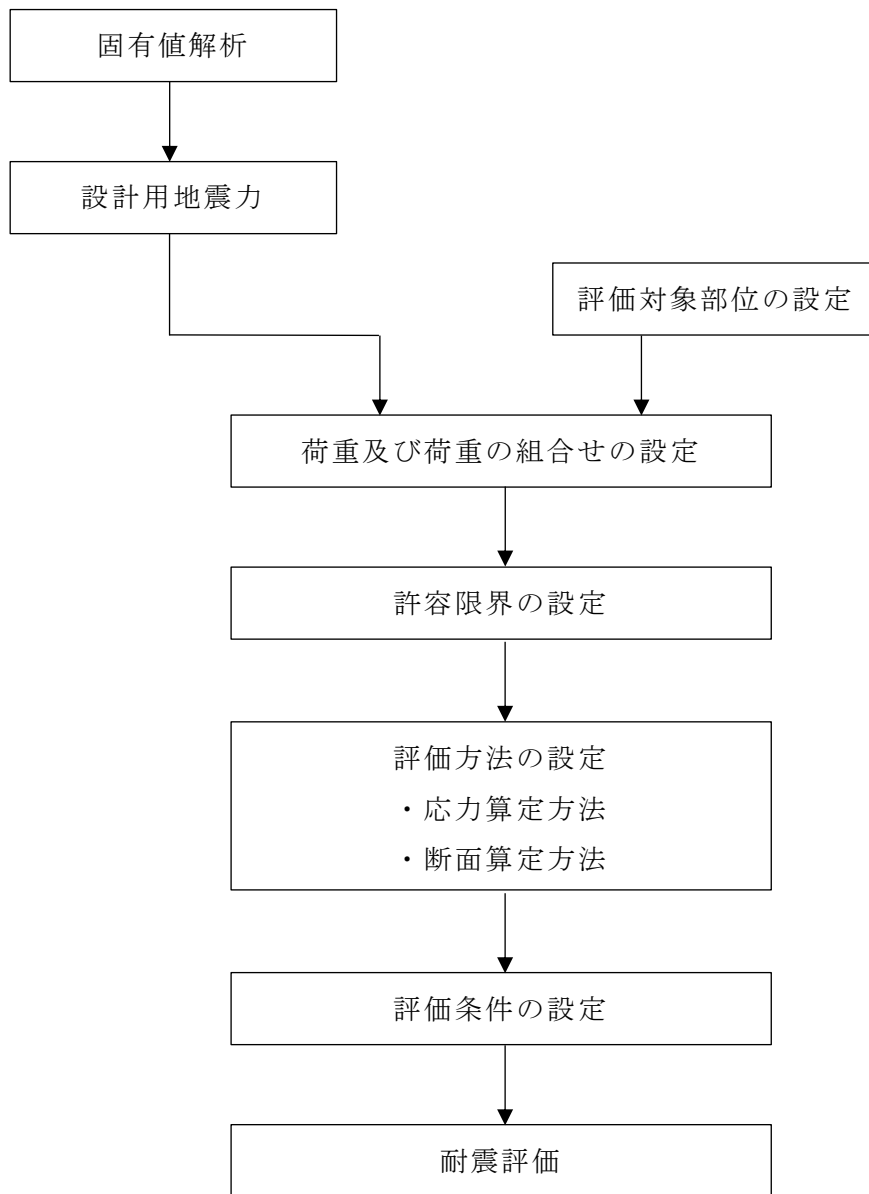


図 2-10 水密扉の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- (4) J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) J I S B 1 0 5 4－1－2013 耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質
- (8) 構造力学公式集（土木学会）

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2-7～表 2-11 に示す。

表 2-7(1) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ I)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|------------------|
| W_1 | kN | スラスト荷重 |
| F_1 | kN | 扉幅方向の転倒力 |
| F_2 | kN | 扉厚方向の転倒力 |
| G_D | kN | 扉重量 |
| k_H | — | 水平震度 |
| k_{UD} | — | 鉛直震度 |
| L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 |
| M_1 | kN・m | ヒンジ板の曲げモーメント |
| Q_1 | kN | ヒンジ板のせん断力 |
| L_4 | mm | ヒンジ板の 2 軸間距離 |
| Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 |
| A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 |
| σ_1 | N/mm ² | ヒンジ板の曲げ応力度 |
| τ_1 | N/mm ² | ヒンジ板のせん断応力度 |
| $s f_{t1}$ | N/mm ² | ヒンジ板の短期許容引張応力度 |
| M_2 | kN・m | ヒンジピンの曲げモーメント |
| Q_2 | kN | ヒンジピンのせん断力 |
| L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 |
| Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 |
| A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 |
| σ_2 | N/mm ² | ヒンジピンの曲げ応力度 |
| τ_2 | N/mm ² | ヒンジピンのせん断応力度 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | ヒンジピンの短期許容引張応力度 |
| Q_3 | kN | ヒンジボルトのせん断力 |
| n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 |
| A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 |
| τ_3 | N/mm ² | ヒンジボルトのせん断応力度 |

表 2-7(2) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ I)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-------------------------|
| R_1 | kN | 地震力に伴う荷重の反力 |
| n_2 | 本 | カンヌキの本数 |
| M_4 | kN・m | カンヌキの曲げモーメント |
| Q_4 | kN | カンヌキのせん断力 |
| L_6 | mm | カンヌキの突出長さ |
| Z_4 | mm ³ | カンヌキの断面係数 |
| A_4 | mm ² | カンヌキのせん断断面積 |
| σ_4 | N/mm ² | カンヌキの曲げ応力度 |
| τ_4 | N/mm ² | カンヌキのせん断応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | カンヌキの短期許容引張応力度 |
| M_5 | kN・m | カンヌキ受けピンの曲げモーメント |
| Q_5 | kN | カンヌキ受けピンのせん断力 |
| L_7 | mm | カンヌキ受けピン長さ |
| Z_5 | mm ³ | カンヌキ受けピンの断面係数 |
| A_5 | mm ² | カンヌキ受けピンのせん断断面積 |
| σ_5 | N/mm ² | カンヌキ受けピンの曲げ応力度 |
| τ_5 | N/mm ² | カンヌキ受けピンのせん断応力度 |
| $s f_{t5}$ | N/mm ² | カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度 |
| T_6 | kN | カンヌキ受けボルトの引張力 |
| n_3 | 本 | カンヌキ受けボルト本数 |
| A_6 | mm ² | カンヌキ受けボルトの軸断面積 |
| σ_6 | N/mm ² | カンヌキ受けボルトの引張応力度 |
| W_2 | kN | 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 |
| F_3 | kN | 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 |
| T_{7A} | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 |
| T_{7B} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_{7A} | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力 |
| Q_{7B} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |
| G_W | kN | 扉枠重量 |
| n_4 | 本 | アンカーボルト本数 |

表 2-8(1) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ II)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-------------------|
| W_1 | kN | スラスト荷重 |
| W_2 | kN | 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 |
| F_1 | kN | 扉幅方向の転倒力 |
| F_2 | kN | 扉厚方向の転倒力 |
| F_3 | kN | 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 |
| G_D | kN | 扉重量 |
| G_W | kN | 扉枠重量 |
| k_H | — | 水平震度 |
| k_{UD} | — | 鉛直震度 |
| L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 |
| M_1 | kN・m | ヒンジ板の曲げモーメント |
| Q_1 | kN | ヒンジ板のせん断力 |
| L_4 | mm | ヒンジ板の 2 軸間距離 |
| Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 |
| A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 |
| σ_1 | N/mm ² | ヒンジ板の曲げ応力度 |
| τ_1 | N/mm ² | ヒンジ板のせん断応力度 |
| $s f_{t1}$ | N/mm ² | ヒンジ板の短期許容引張応力度 |
| M_2 | kN・m | ヒンジピンの曲げモーメント |
| Q_2 | kN | ヒンジピンのせん断力 |
| L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 |
| Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 |
| A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 |
| σ_2 | N/mm ² | ヒンジピンの曲げ応力度 |
| τ_2 | N/mm ² | ヒンジピンのせん断応力度 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | ヒンジピンの短期許容引張応力度 |
| Q_3 | kN | ヒンジボルトのせん断力 |
| n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 |
| A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 |
| τ_3 | N/mm ² | ヒンジボルトのせん断応力度 |
| R_1 | kN | 地震力に伴う荷重の反力 |
| n_2 | 本 | カンヌキの本数 |
| Q_4 | kN | カンヌキのせん断力 |

表 2-8(2) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプⅡ)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-------------------------|
| T_5 | kN | カンヌキ受けボルトの引張力 |
| n_3 | 本 | カンヌキ受けボルト本数 |
| A_5 | mm ² | カンヌキ受けボルトの軸断面積 |
| σ_5 | N/mm ² | カンヌキ受けボルトの引張応力度 |
| T_{6A} | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 |
| T_{6B} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_{6A} | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力 |
| Q_{6B} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |
| n_4 | 本 | アンカーボルトの本数 |

表 2-9(1) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプⅢ)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|------------------|
| W_1 | kN | スラスト荷重 |
| F_1 | kN | 扉幅方向の転倒力 |
| F_2 | kN | 扉厚方向の転倒力 |
| G_D | kN | 扉重量 |
| k_H | — | 水平震度 |
| k_{UD} | — | 鉛直震度 |
| L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 |
| L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 |
| M_1 | kN・m | ヒンジ板の曲げモーメント |
| Q_1 | kN | ヒンジ板のせん断力 |
| L_4 | mm | ヒンジ板の 2 軸間距離 |
| Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 |
| A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 |
| σ_1 | N/mm ² | ヒンジ板の曲げ応力度 |
| τ_1 | N/mm ² | ヒンジ板のせん断応力度 |
| $s f_{t1}$ | N/mm ² | ヒンジ板の短期許容引張応力度 |
| M_2 | kN・m | ヒンジピンの曲げモーメント |
| Q_2 | kN | ヒンジピンのせん断力 |
| L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 |
| Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 |
| A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 |
| σ_2 | N/mm ² | ヒンジピンの曲げ応力度 |
| τ_2 | N/mm ² | ヒンジピンのせん断応力度 |
| $s f_{t2}$ | N/mm ² | ヒンジピンの短期許容引張応力度 |
| Q_3 | kN | ヒンジボルトのせん断力 |
| n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 |
| A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 |
| τ_3 | N/mm ² | ヒンジボルトのせん断応力度 |

表 2-9(2) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプⅢ)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|--------------------|
| R_1 | kN | 地震力に伴う荷重の反力 |
| n_2 | 本 | カンヌキの本数 |
| M_4 | kN・m | カンヌキの曲げモーメント |
| Q_4 | kN | カンヌキのせん断力 |
| L_6 | mm | カンヌキの突出長さ |
| Z_4 | mm ³ | カンヌキの断面係数 |
| A_4 | mm ² | カンヌキのせん断断面積 |
| σ_4 | N/mm ² | カンヌキの曲げ応力度 |
| τ_4 | N/mm ² | カンヌキのせん断応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | カンヌキの短期許容引張応力度 |
| M_5 | kN・m | カンヌキ受けプレートの曲げモーメント |
| Q_5 | kN | カンヌキ受けプレートのせん断力 |
| σ_5 | N/mm ² | カンヌキ受けプレートの曲げ応力度 |
| τ_5 | N/mm ² | カンヌキ受けプレートのせん断応力度 |
| $s f_{t5}$ | N/mm ² | カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度 |
| L_7 | mm | カンヌキ受けプレートの長さ |
| Z_5 | mm ³ | カンヌキ受けプレートの断面係数 |
| A_5 | mm ² | カンヌキ受けプレートのせん断断面積 |

表 2-10(1) 耐震評価に用いる記号 (タイプⅣ)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|--|
| S_{s1} | kN | 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| G_1 | kN | 水密扉材の自重 |
| k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 |
| w_{ss1} | kN/m | 扉板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| w_{h1} | kN/m ² | 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布荷重 |
| p_2' | kN/m ² | 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布地震荷重 |
| B_3 | m | 荷重の載荷幅 |
| w | kN/m ² | 風圧力 |
| B_2 | m | 水密扉幅 |
| L_2 | m | 水密扉高さ |
| M_1 | kN・m | 扉板に生じる曲げモーメント |
| L_3 | m | 扉板の部材長 |
| w_{ss2} | kN/m | 水平材に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| B_4 | m | 荷重の載荷幅 |
| M_2 | kN・m | 水平材の曲げモーメント |
| L_4 | m | 水平材の部材長 |
| Q_2 | kN | 水平材のせん断力 |
| w_{h2} | kN/m | 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| B_5 | m | 外部縦柱スパン |
| M_3 | kN・m | 外部縦柱の曲げモーメント |
| L_5 | m | 外部縦柱全長 |
| Q_3 | kN | 外部縦柱のせん断力 |
| S_{s2} | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| S_{sv} | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| G_2 | kN | 水密扉材と壁材の合計自重 |
| k_{UD} | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 |
| w_{h3} | kN/m | 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 |
| W_h | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 |
| L_1 | m | 水密扉戸当り用支柱全長 |
| W_1 | kN | 設計水平風荷重 |
| M_4 | kN・m | 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント |
| N_4 | kN | 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 |
| N_5 | kN | 水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重 |
| Q_4 | kN | 水密扉戸当り用支柱のせん断力 |
| T_{A1} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| Q_{A1} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| V_{A1} | kN | 水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重 |
| N_{A1} | 本 | アンカーボルト全本数 |
| M_{A1} | kN・m | 水密扉戸当り用支柱に発生する曲げモーメント |

表 2-10(2) 耐震評価に用いる記号 (タイプⅣ)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|
| x_{iA1} | mm | 偏心距離 |
| $\sum n \cdot x_{iA1}^2$ | mm ² | 2次モーメントの合計値 |
| S_{A1} | kN | 水密扉戸当り用支柱に発生するせん断力 |
| σ_1 | N/mm ² | 扉板の曲げ応力度 |
| Z_1 | mm ³ | 扉板の断面係数 |
| τ_1 | N/mm ² | 扉板のせん断応力度 |
| Q_1 | kN | 扉板のせん断力 |
| h_1 | mm | 単位幅当たり高さ |
| t_1 | mm | 扉板の厚さ |
| σ_2 | N/mm ² | 水平材の曲げ応力度 |
| Z_2 | mm ³ | 水平材の断面係数 |
| τ_2 | N/mm ² | 水平材のせん断応力度 |
| h_2 | mm | 荷重負担幅 |
| t_2 | mm | せん断抵抗部材の厚さ |
| σ_3 | N/mm ² | 外部縦柱の曲げ応力度 |
| Z_3 | mm ³ | 外部縦柱の断面係数 |
| τ_3 | N/mm ² | 外部縦柱のせん断応力度 |
| h_3 | mm | 外部縦柱のウェブ高 |
| t_3 | mm | 外部縦柱のウェブ厚 |
| f_t | N/mm ² | 短期許容応力度 |
| σ_4 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 |
| Z_4 | mm ³ | 水密扉戸当り用支柱の断面係数 |
| σ_5 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の引張応力度 |
| A | mm ² | 水密扉戸当り用支柱の断面積 |
| σ_6 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度 |
| τ_4 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 |
| h_4 | mm | 水密扉戸当り用支柱のウェブ高 |
| t_4 | mm | 水密扉戸当り用支柱のウェブ厚 |
| f_b | N/mm ² | 短期許容曲げ応力度 |
| f_c | N/mm ² | 短期許容圧縮応力度 |
| T_a | kN | アンカーボルト1本当たりの短期許容引張力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト1本当たりの短期許容せん断力 |

表 2-11(1) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ V)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|--------------------|-------------------|
| M_1 | kN・m/m | パネル板の曲げモーメント |
| G_P | kN/m | パネル板の自重 |
| k_H | — | 水平震度 |
| k_{UD} | — | 鉛直震度 |
| L_1 | mm | パネル板の短辺長さ |
| σ_{b1} | N/mm ² | パネル板の曲げ応力度 |
| Z_1 | mm ³ /m | パネル板の断面係数 |
| M_2 | kN・m | パネル芯材の曲げモーメント |
| Q_2 | kN | パネル芯材のせん断力 |
| G_B | kN/m | パネル芯材の自重 |
| L_2 | mm | パネル芯材の支持スパン |
| σ_{b2} | N/mm ² | パネル芯材の曲げ応力度 |
| Z_2 | mm ³ | パネル芯材の断面係数 |
| τ_2 | N/mm ² | パネル芯材のせん断応力度 |
| A_2 | mm ² | パネル芯材のせん断断面積 |
| σ_{bx3} | N/mm ² | 柱の強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by3} | N/mm ² | 柱の弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x3} | kN・m | 柱の強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y3} | kN・m | 柱の弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x3} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 |
| Z_{y3} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 |
| τ_{x3} | N/mm ² | 柱の強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y3} | N/mm ² | 柱の弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x3} | kN | 柱の強軸方向のせん断力 |
| Q_{y3} | kN | 柱の弱軸方向のせん断力 |
| A_{sx3} | mm ² | 柱の強軸方向のせん断断面積 |
| A_{sy3} | mm ² | 柱の弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)3}$ | N/mm ² | 柱の軸応力度 |
| $N_{c(t)3}$ | kN | 柱の圧縮又は引張軸力 |
| A_{g3} | mm ² | 柱の断面積 |
| $s f_{bx3}$ | N/mm ² | 柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by3}$ | N/mm ² | 柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)3}$ | N/mm ² | 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t3}$ | N/mm ² | 柱の短期許容引張応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |

表 2-11(2) 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ V)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|-------------------|-------------------------|
| σ_{bx4} | N/mm ² | はりの強軸回りの曲げ応力度 |
| σ_{by4} | N/mm ² | はりの弱軸回りの曲げ応力度 |
| M_{x4} | kN・m | はりの強軸回りの曲げモーメント |
| M_{y4} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント |
| Z_{x4} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 |
| Z_{y4} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 |
| τ_{x4} | N/mm ² | はりの強軸方向のせん断応力度 |
| τ_{y4} | N/mm ² | はりの弱軸方向のせん断応力度 |
| Q_{x4} | kN | はりの強軸方向のせん断力 |
| Q_{y4} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 |
| A_{sx4} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 |
| A_{sy4} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 |
| $\sigma_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりの軸応力度 |
| $N_{c(t)4}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 |
| A_{g4} | mm ² | はりの断面積 |
| $s f_{bx4}$ | N/mm ² | はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{by4}$ | N/mm ² | はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度 |
| $s f_{c(t)4}$ | N/mm ² | はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 |
| $s f_{t4}$ | N/mm ² | はりの短期許容引張応力度 |
| T_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 |
| T_{5a} | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 |
| Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 |
| Q_{5a} | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 |

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有値解析

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し，1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

(1) 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）

水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）は，ヒンジ部及びカンヌキ部により扉と扉枠を固定する構造であることから，扉閉止時については両端固定はり又は四辺固定の長方形板に，扉開放時についてはヒンジ，自由端はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは扉幅又は扉高さとする。解析モデル図を図3-1に示す。

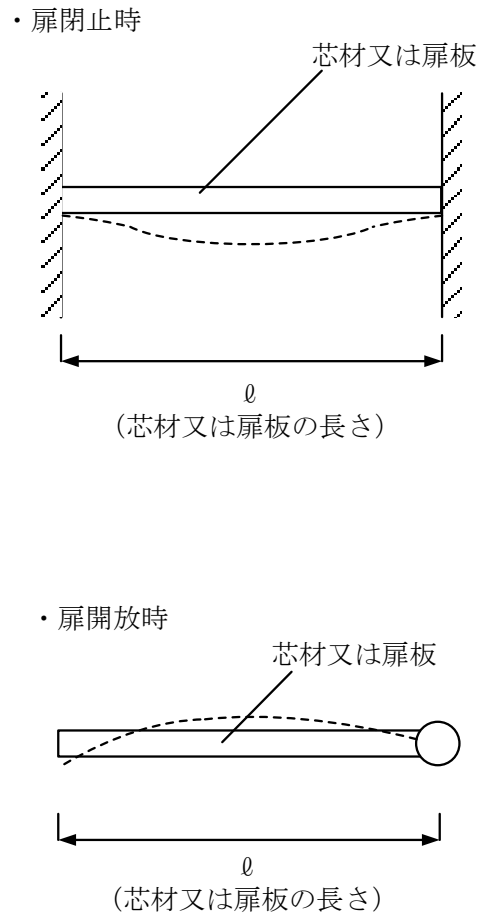


図3-1 水密扉の固有値解析モデル

(2) 水密扉 (タイプⅣ)

水密扉 (タイプⅣ) は、水密扉戸当り用支柱、外部縦柱及び上下レールにより扉板と防水壁を固定する構造であることから、外部縦柱は固定、自由端はりに、水平材は両端ヒンジはりに、扉板は四辺固定の長方形板に単純化したモデルとして解析する。解析モデル図を図 3-2 に示す。

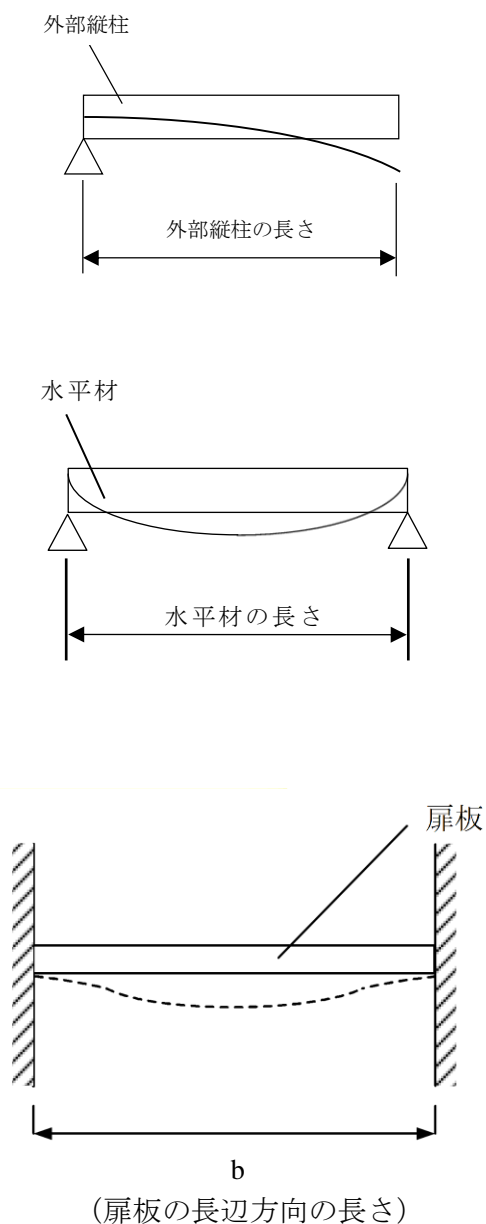


図 3-2 水密扉 (タイプⅣ) の固有値解析モデル

(3) パネル部 (タイプV)

パネル部は、各部位の寸法や形状を踏まえ、パネル芯材を両端ピンはりに、柱及びはりをはり要素でモデル化し、実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。パネル部の評価モデルを図3-3に示す。

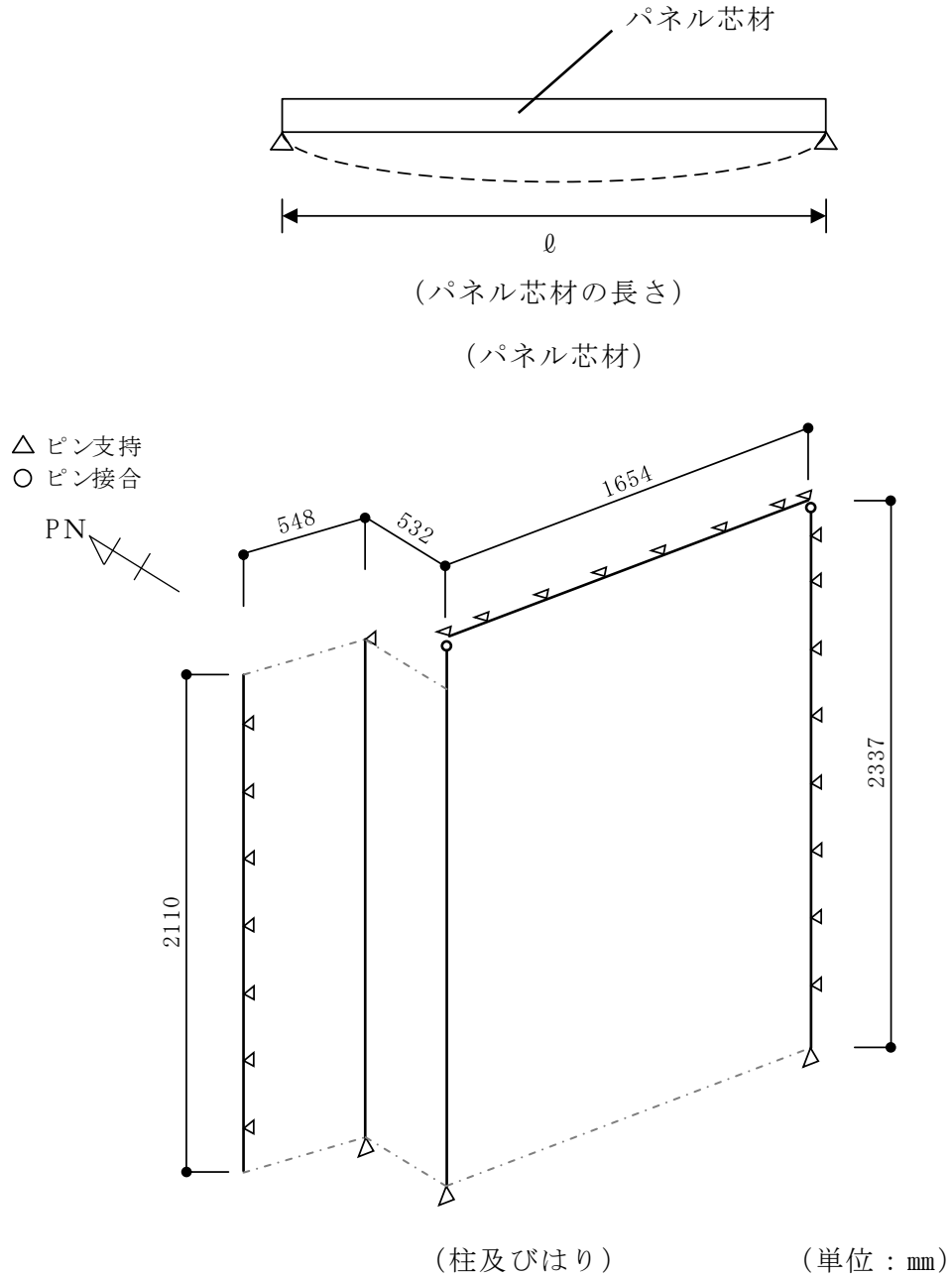


図3-3 パネル部の評価モデル

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉及びパネル部の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|---------------|
| f | Hz | 水密扉の 1 次固有振動数 |
| ℓ | mm | モデル化に用いる芯材の長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| I | mm ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |
| λ | — | 定数 |
| a | m | モデル化に用いる扉板の長さ |
| h | m | モデル化に用いる扉板の厚さ |
| ν | — | ポアソン比 |
| ρ | kg/m ³ | 材料の密度 |

3.2.2 固有振動数の算出方法

3.2.2.1 水密扉（タイプ I，II，III）

水密扉（タイプ I，II，III）は，1 次固有振動数 f を「構造力学公式集（土木学会）（以下「構造力学公式集」という。）」に基づき以下の式より算出する。ここで，固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし，鉛直方向（扉体面内方向）については，扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が，面外方向の剛性に比べて十分に大きいため，固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は，扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を，芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。なお，扉開放時は芯材の有無に関わらず同一の評価式を用いる。

(1) 扉閉止時

a. 両端固定はりモデル（芯材をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

b. 四辺固定の長方形板モデル（扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

(2) 扉開放時（芯材又は扉板をモデル化）

扉開放時においては、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出する。

ヒンジ，自由端はりモデル

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

3.2.2.2 水密扉（タイプⅣ）

水密扉（タイプⅣ）は、1次固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

(1) 固定，自由端はりモデル（外部縦柱をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(2) 両端ヒンジはりモデル（水平材をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\pi^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(3) 四辺固定の長方形板モデル（扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

3.2.2.3 パネル部（タイプV）

パネル芯材は，固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

両端ピンはりモデル（パネル芯材をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\pi^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

柱及びはりは，「3.1.1 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて，固有値解析により算出する。

解析プログラムは，「KANSAS2」とする。なお，解析プログラムの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3 及び表 3-4 に、外部縦柱をモデル化した場合の算出条件を表 3-5 に、水平材をモデル化した場合の算出条件を表 3-6 及び表 3-7 に、パネル部をモデル化した場合の算出条件を表 3-8 に、パネル芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-9 に示す。

表 3-2(1) 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化に用いる芯材の長さ l (mm) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次モーメント (mm ⁴) | 質量分布 (kg/m) |
|---------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| 1 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉 | 2648 | 2.05×10^{11} | 4720×10^4 | 140.8 |
| 2 | 原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 1380×10^4 | 80.8 |
| 3 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 1380×10^4 | 80.8 |
| 4 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 1380×10^4 | 80.8 |
| 5 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 1380×10^4 | 80.8 |
| 6 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉 | 2751 | 2.05×10^{11} | 378×10^4 | 110.1 |
| 7 | 原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉 | 2085 | 2.05×10^{11} | 1620×10^4 | 118.7 |
| 10 | 原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉 | 1090 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 118.1 |
| 11 | 原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 1380×10^4 | 80.8 |
| 12 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（南側） | 2116 | 2.05×10^{11} | 378×10^4 | 147.3 |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 1050 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 126.8 |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室） | 1060 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 126.1 |

表 3-2(2) 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化に 用いる芯材 の長さ l (mm) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次 モーメント (mm ⁴) | 質量分布 (kg/m) |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 16 | 原子炉建物地下 1 階東側エア ロック前水密扉 | 1390 | 2.05×10^{11} | 1950×10^4 | 154.1 |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器 室南側水密扉 | 1060 | 2.05×10^{11} | 861×10^4 | 190.8 |
| 18 | タービン建物地下 1 階 TCW 熱 交換器室南側水密扉 | 860 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 128.6 |
| 20 | タービン建物地下 1 階復水系 配管室南側水密扉 | 870 | 2.05×10^{11} | 861×10^4 | 229.2 |
| 23 | タービン建物 1 階西側エアロ ック前水密扉 | 1100 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 131.8 |
| 24 | タービン建物 2 階常用電気室 南側水密扉 | 1100 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 126.1 |
| 26 | タービン建物 2 階離相母線室 南側水密扉 | 1095 | 2.05×10^{11} | 861×10^4 | 177.7 |
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階被服 置場北側水密扉 | 2181 | 2.05×10^{11} | 2490×10^4 | 147.8 |
| 28 | 廃棄物処理建物 1 階大物搬入 口水密扉 | 3750 | 2.05×10^{11} | 7310×10^4 | 190.6 |
| 29 | 廃棄物処理建物 1 階ドラム缶 搬入口水密扉 | 3650 | 2.05×10^{11} | 10700×10^4 | 191.5 |
| 30 | 廃棄物処理建物 2 階非常用再 循環送風機室東側水密扉 | 2136 | 2.05×10^{11} | 2490×10^4 | 169.0 |
| 31 | ディーゼル燃料移送ポンプエ リア防護対策設備北側水密扉 | 980 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 108.3 |
| 32 | ディーゼル燃料移送ポンプエ リア防護対策設備南側水密扉 | 980 | 2.05×10^{11} | 188×10^4 | 108.3 |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイ ント連絡水密扉 | 1190 | 2.05×10^{11} | 861×10^4 | 272.7 |
| 34 | サイトバンカ建物 1 階南東側 ポンプ室水密扉 | 830 | 2.05×10^{11} | 861×10^4 | 222.3 |

表 3-3(1) 扉板をモデル化した場合の算出条件 (扉閉止時)

| 水密扉 No. | 扉名称 | 扉板の厚さ h (m) | 扉板の長さ a (m) | ヤング率 E (N/m ²) | 振動数係数 λ | 密度 ρ (kg/m ³) |
|---------|----------------------------|-------------|-------------|----------------------------|---------|---------------------------|
| 8 | 原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉 | 0.050 | 0.995 | 2.05×10^{11} | 2.336 | 7.85×10^3 |
| 9 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉 | 0.050 | 2.190 | 2.05×10^{11} | 2.730 | 7.85×10^3 |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 0.050 | 1.220 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 19 | タービン建物地下 1 階復水系配管室北側水密扉 | 0.050 | 1.120 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 21 | タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉 | 0.050 | 1.320 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 22 | タービン建物地下 1 階復水系配管室南東側水密扉 | 0.050 | 1.020 | 2.05×10^{11} | 2.336 | 7.85×10^3 |
| 25 | タービン建物 2 階大物搬入口水密扉 | 0.050 | 1.875 | 2.05×10^{11} | 2.730 | 7.85×10^3 |
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (東) | 0.009 | 0.538 | 2.05×10^{11} | 2.700 | 7.85×10^3 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (西) | 0.009 | 0.563 | 2.05×10^{11} | 3.500 | 7.85×10^3 |
| 37 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (北) | 0.012 | 2.248 | 2.05×10^{11} | 4.700 | 7.85×10^3 |
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東) | 0.016 | 1.145 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中) | 0.016 | 0.980 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西) | 0.016 | 0.980 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |

表 3-3(2) 扉板をモデル化した場合の算出条件 (扉閉止時)

| 水密扉 No. | 扉名称 | 扉板の厚さ h (m) | 扉板の長さ a (m) | ヤング率 E (N/m ²) | 振動数係数 λ | 密度 ρ (kg/m ³) |
|---------|------------------------------------|-------------|-------------|----------------------------|---------|---------------------------|
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 | 0.025 | 1.660 | 2.05×10^{11} | 4.500 | 7.85×10^3 |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 | 0.025 | 0.860 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |
| 43 | トーラス水受入タンク水密扉 | 0.025 | 0.680 | 2.05×10^{11} | 2.336 | 7.85×10^3 |
| 44 | 屋外配管ダクト (B-ディーズル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉 | 0.025 | 0.750 | 2.05×10^{11} | 2.480 | 7.85×10^3 |

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化に用いる芯材の長さ l (mm) | ヤング率 E (N/m^2) | 断面二次モーメント (mm^4) | 質量分布 (kg/m) |
|---------|--|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| 8 | 原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉 | 2115 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 390.0 |
| 9 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制 御盤室南側水密扉 | 2910 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 627.0 |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 2160 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 439.8 |
| 19 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉 | 1871 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 427.6 |
| 21 | タービン建物地下 1 階封水 回収ポンプ室北側水密扉 | 2136 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 421.3 |
| 22 | タービン建物地下 1 階復水 系配管室南東側水密扉 | 2121 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 377.2 |
| 25 | タービン建物 2 階大物搬入 口水密扉 | 2610 | 2.05×10^{11} | 4680×10^4 | 565.1 |
| 37 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（北） | 2248 | 2.05×10^{11} | 4180×10^4 | 322.5 |
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア 水密扉（東） | 1920 | 2.05×10^{11} | 7310×10^4 | 235.6 |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア 水密扉（中） | 1910 | 2.05×10^{11} | 7310×10^4 | 222.5 |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア 水密扉（西） | 1910 | 2.05×10^{11} | 7310×10^4 | 222.5 |
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 | 1660 | 2.05×10^{11} | 1950×10^4 | 391.6 |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 | 1660 | 2.05×10^{11} | 1950×10^4 | 225.8 |
| 43 | トラス水受入タンク水密 扉 | 1660 | 2.05×10^{11} | 1950×10^4 | 210.7 |
| 44 | 屋外配管ダクト（B-ディー ゼル燃料貯蔵タンク～原子 炉建物）水密扉 | 1305 | 2.05×10^{11} | 1950×10^4 | 268.0 |

表 3-5 外部縦柱をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | 定数 λ | 部材長 l (m) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) | 質量分布 m (kg/m) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（東） | 1.875 | 2.527 | 2.05×10^{11} | 4.18×10^{-5} | 34.6 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（西） | 1.875 | 2.572 | 2.05×10^{11} | 4.18×10^{-5} | 34.6 |

表 3-6 水平材（縦）をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | 部材長 l (m) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) | 質量分布 m (kg/m) |
|------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（東） | 0.613 | 2.05×10^{11} | 8.61×10^{-6} | 18.6 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（西） | 0.638 | 2.05×10^{11} | 8.61×10^{-6} | 18.6 |

表 3-7 水平材（横）をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | 部材長 l (m) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) | 質量分布 m (kg/m) |
|------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（東） | 0.933 | 2.05×10^{11} | 8.61×10^{-6} | 18.6 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア 水密扉（西） | 0.773 | 2.05×10^{11} | 8.61×10^{-6} | 18.6 |

表 3-8(1) パネル部をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化する部材 (柱・はり) | ヤング率 E (N/mm ²) | せん断弾性係数 G (N/mm ²) |
|---------|------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------|
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり BH-470×200×12×19 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 柱 H-200×200×8×12 [-200×90×8×13.5 はり H-200×200×8×12 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室) | 柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | 柱 BH-300×470×12×16 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |
| 21 | タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉 | 柱 BH-300×200×16×22 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |

表 3-8(2) パネル部をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化する部材 (柱・はり) | ヤング率 E (N/mm ²) | せん断弾性係数 G (N/mm ²) |
|---------|------------------------|---|-----------------------------|--------------------------------|
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉 | 柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり BH-300×125×12×16 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉 | 柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 | 2.05×10 ⁵ | 7.90×10 ⁴ |

表 3-9 パネル芯材をモデル化した場合の算出条件

| 水密扉 No. | 扉名称 | モデル化に用いる芯材の長さ ℓ (mm) | ヤング率 E (N/m ²) | 断面二次モーメント (mm ⁴) | 質量分布 (kg/m) |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 330 | 2.05×10^{11} | 6440×10^4 | 82.9 |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 968 | 2.05×10^{11} | 2490×10^4 | 77.4 |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室) | 1253 | 2.05×10^{11} | 6440×10^4 | 89.7 |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | 1185 | 2.05×10^{11} | 7210×10^4 | 92.9 |
| 21 | タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉 | 1253 | 2.05×10^{11} | 6440×10^4 | 96.3 |
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉 | 428 | 2.05×10^{11} | 6440×10^4 | 85.2 |
| 33 | 制御室建物 2 階 チェックポイント連絡水密扉 | 480 | 2.05×10^{11} | 6440×10^4 | 112.5 |

3.3 固有振動数の算出結果

3.3.1 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）

水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）の固有振動数の算出結果を表3-10に示す。固有振動数は、いずれの水密扉も20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表3-10(1) 水密扉の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) | |
|------------|---------------------------|-----------------|--------|
| | | 扉開放時 | 扉閉止時 |
| 1 | 原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室北側水密扉 | 91.74 | 133.12 |
| 2 | 原子炉建物地下2階 A-RHR ポンプ室北側水密扉 | 408.65 | 592.98 |
| 3 | 原子炉建物地下2階 トーラス室北東水密扉 | 408.65 | 592.98 |
| 4 | 原子炉建物地下2階 トーラス室南東水密扉 | 408.65 | 592.98 |
| 5 | 原子炉建物地下2階 トーラス室北西水密扉 | 408.65 | 592.98 |
| 6 | 原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室南側水密扉 | 27.20 | 39.47 |
| 7 | 原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室北側水密扉 | 94.42 | 137.01 |
| 8 | 原子炉建物地下2階 RCIC ポンプ室西側水密扉 | 86.04 | 286.58 |
| 9 | 原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室南側水密扉 | 35.85 | 69.13 |
| 10 | 原子炉建物地下2階 C-RHR ポンプ室南側水密扉 | 117.99 | 171.21 |
| 11 | 原子炉建物地下2階 トーラス室南西水密扉 | 408.65 | 592.98 |
| 12 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（南側） | 39.75 | 57.68 |
| 13 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 77.68 | 202.37 |
| 14 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 122.71 | 178.06 |
| 15 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（階段室） | 120.74 | 175.20 |
| 16 | 原子炉建物地下1階 東側エアロック前水密扉 | 204.56 | 296.83 |
| 17 | 原子炉建物1階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | 210.05 | 304.80 |
| 18 | タービン建物地下1階 TCW 熱交換器室南側水密扉 | 181.63 | 263.56 |
| 19 | タービン建物地下1階 復水系配管室北側水密扉 | 105.00 | 240.12 |
| 20 | タービン建物地下1階 復水系配管室南側水密扉 | 284.50 | 412.83 |
| 21 | タービン建物地下1階 封水回収ポンプ室北側水密扉 | 81.16 | 172.87 |
| 22 | タービン建物地下1階 復水系配管室南東側水密扉 | 86.99 | 272.71 |
| 23 | タービン建物1階 西側エアロック前水密扉 | 109.67 | 159.13 |
| 24 | タービン建物2階 常用電気室南側水密扉 | 112.12 | 162.69 |
| 25 | タービン建物2階 大物搬入口水密扉 | 46.94 | 94.31 |

表 3-10(2) 水密扉の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) | |
|---------|------------------------------------|--------------|--------|
| | | 扉開放時 | 扉閉止時 |
| 26 | タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉 | 203.97 | 295.97 |
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉 | 95.87 | 139.11 |
| 28 | 廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉 | 48.93 | 71.00 |
| 29 | 廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉 | 62.34 | 90.46 |
| 30 | 廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉 | 93.47 | 135.64 |
| 31 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉 | 152.42 | 221.17 |
| 32 | ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側水密扉 | 152.42 | 221.17 |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉 | 139.41 | 202.30 |
| 34 | サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉 | 317.40 | 460.57 |
| 37 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (北) | 79.15 | 27.11 |
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東) | 167.90 | 73.52 |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中) | 174.57 | 100.36 |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西) | 174.57 | 100.36 |
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 | 89.97 | 99.17 |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 | 118.49 | 203.63 |
| 43 | トーラス水受入タンク水密扉 | 122.67 | 306.79 |
| 44 | 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉 | 175.98 | 267.74 |

3.3.2 水密扉（タイプⅣ）

水密扉（タイプⅣ）の固有振動数の算出結果を表 3-11 から表 3-14 に示す。
固有振動数は、いずれも 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-11 外部縦柱の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) |
|------------|------------------|-----------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） | 43.61 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） | 42.10 |

表 3-12 水平材（縦）の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) |
|------------|------------------|-----------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） | 1287.72 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） | 1188.78 |

表 3-13 水平材（横）の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) |
|------------|------------------|-----------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） | 555.88 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） | 809.81 |

表 3-14 扉板の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) |
|------------|------------------|-----------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） | 203.94 |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） | 241.40 |

3.3.3 パネル部（タイプV）

パネル部の固有振動数の算出結果を表 3-15 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 3-15 パネル部の固有振動数の算出結果

| 水密扉 No. | 扉名称 | 固有振動数 f (Hz) | |
|---------|-----------------------------|--------------|-------|
| | | 柱, はり | パネル芯材 |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 36.66 | 5757 |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | 26.46 | 430.5 |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室） | 61.92 | 383.8 |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | 25.88 | 446.2 |
| 21 | タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉 | 33.28 | 370.5 |
| 27 | 廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉 | 48.38 | 3375 |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉 | 45.41 | 2335 |

3.4 設計用地震力

耐震Sクラス施設，耐震C-1クラス施設及び耐震C-2クラス施設の水密扉の基準地震動 S_s による設計用地震力は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」，VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」，VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」，VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」，VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」，VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」，VI-2-2-24「屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書」，VI-2-11-2-12「復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書」及びVI-2-別添 2-2「溢水源としないB，Cクラス機器の耐震性についての計算書」に基づき設定する。

耐震Bクラス施設の水密扉の設計用地震力は，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づく静的地震力から設計震度を設定する。なお，タービン建物及び廃棄物処理建物の耐震Bクラス施設の水密扉の設計用地震力は，保守的に基準地震動 S_s による設計震度とする。また，水密扉は建物・構築物として評価する。

耐震Sクラス施設，耐震C-1クラス施設及び耐震C-2クラス施設の各水密扉の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度及び耐震Bクラス施設の各水密扉の設計震度を表3-16に示す。

ここで，最大応答加速度を保守的に評価するために，最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置床と上階のうち，最大応答加速度が大きい値とする。

表 3-16 (1) 水密扉の設計震度

| 建物 | 階 | 床高さ EL | 水平震度* (-) | 鉛直震度 (-) |
|---------------------|--------|-----------|--------------|-------------|
| 原子炉建物 | 地上 2 階 | 23.8m | 1.02 | 1.28 |
| | 地上 1 階 | 15.3m | 0.92 | 0.97 |
| | 地下 1 階 | 10.1m | 0.98 | 0.70 |
| | | 8.8m | 0.88 | 0.64 |
| | 地下 2 階 | 2.8m | 0.88 | 0.64 |
| 2.6m | | 0.88 | 0.64 | |
| タービン建物 | 地上 3 階 | 1.3m | 0.81 | 0.58 |
| | | 20.6m | 2.23 | 0.90 |
| | 地上 2 階 | 12.5m | 1.61 | 0.72 |
| | | 8.8m | 1.16 | 0.72 |
| | 地上 1 階 | 5.5m | 1.28 | 0.60 |
| 地下 1 階 | 2.65m | 1.28 | 0.60 | |
| | 2.0m | 0.98 | 0.56 | |
| 廃棄物処理建物 | 地上 3 階 | 0.25m | 0.98 | 0.56 |
| | | 26.7m | 1.21 | 0.96 |
| | 25.3m | 1.21 | 0.96 | |
| | 地上 2 階 | 22.1m | 1.10 | 0.92 |
| 地上 1 階 | 15.3m | 1.10 | 0.77 | |
| | 地下 1 階 | 8.8m | 1.02 | 0.64 |
| 制御室建物 | 地上 3 階 | 12.8m | 1.43 | 0.78 |
| | 地上 2 階 | 8.8m | 1.01 | 0.66 |
| ディーゼル燃料移送 ポンプエリア | 屋外 | 8.7m | 1.22 | 0.78 |
| サイトバンカ建物 | 地上 2 階 | 14.1m | 0.278 | — |
| | 地上 1 階 | 8.8m | 0.240 | — |

注記* : N S 方向及び E W 方向の最大値を用いる。

表 3-16 (2) 水密扉の設計震度 (土木構造物)

| 構造物 | エリア | 床高さ (EL) | 水平震度 (-) | 鉛直震度 (-) |
|---|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 取水槽 | 除じん機エリア (水密扉 (東) 及び 水密扉 (西)) | 8.8m | 1.8 | 0.8 |
| | 除じん機エリア (水密扉 (北)) | 8.8m | 1.2 | 0.6 |
| | 海水ポンプ エリア | 1.1m | 0.9 | 0.8 |
| 復水貯蔵タンク | 復水貯蔵タンクエリア | 16.1m | 1.3 | 0.9 |
| | 補助復水貯蔵タンク エリア | 16.1m | 2.0 | 1.5 |
| | トーラス水受入タンク エリア | 16.1m | 2.0 | 1.5 |
| 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃 料貯蔵タンク～原 子炉建物) | — | 11.261m | 2.0 | 1.0 |

4. 耐震評価方法

4.1 タイプ I

4.1.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、「No.24」の結果を示すものとする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図4.1-1に、タイプ I 水密扉リストを表4.1-1に示す。

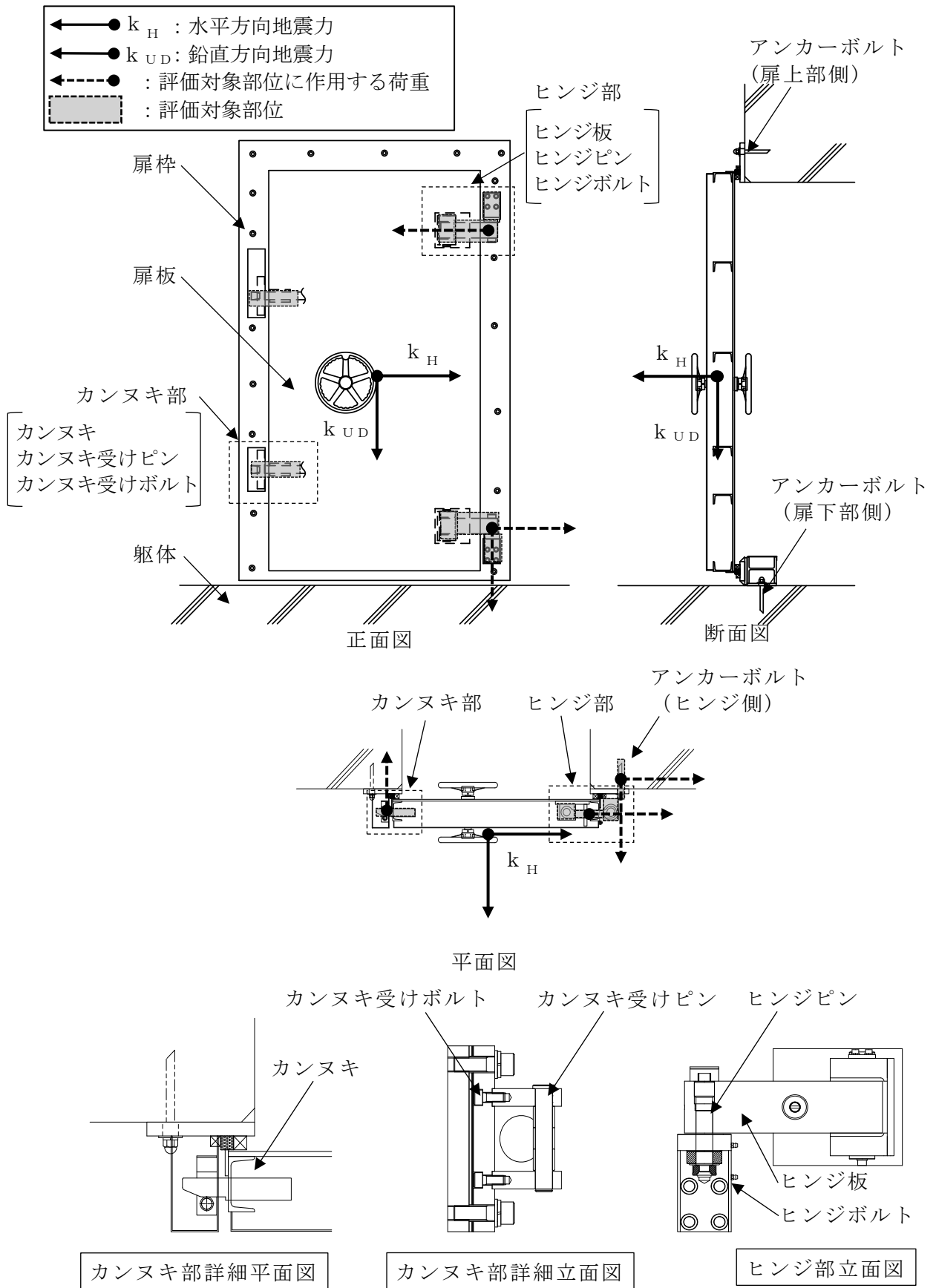


図 4.1-1 水密扉に作用する荷重の作用図

表 4.1-1 水密扉リスト (タイプ I)

| 水密扉 No. | 扉名称 | 評価対象 設備 (代表) |
|---------|------------------------------|--------------------|
| 8 | 原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉 | |
| 9 | 原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉 | |
| 10 | 原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉 | |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | |
| 14 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉 | |
| 15 | 原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室) | |
| 17 | 原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | |
| 18 | タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉 | |
| 19 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉 | |
| 20 | タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉 | |
| 21 | タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉 | |
| 22 | タービン建物地下 1 階復水系配管室南東側水密扉 | |
| 23 | タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉 | |
| 24 | タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉 | ○ |
| 25 | タービン建物 2 階大物搬入口水密扉 | |
| 26 | タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉 | |
| 33 | 制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉 | |
| 34 | サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉 | |

4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

4.1.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.1.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.1.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震Sクラス施設及び耐震C-2クラスの施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。耐震Bクラス施設の地震荷重は地震力 S_B による荷重を考慮する。なお、タービン建物及び制御室建物に設置される耐震Bクラス施設の水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.1.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.1.3.1 使用材料

タイプ I を構成するヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料を表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 ヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料

| 評価対象部位 | | 材質 強度区分 | 仕様 |
|---------|---------------|------------|----------|
| ヒンジ部 | ヒンジ板 | SS400 | PL-40×80 |
| | ヒンジピン | S45C | 25 φ |
| | ヒンジボルト | SCM435 | M16 |
| カンヌキ部 | カンヌキ | SUS304 | 40 φ |
| | カンヌキ受け ピン | S45C | 20 φ |
| | カンヌキ受け ボルト | SCM435 | M10 |
| アンカーボルト | | SS400 | M16 |

4.1.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S規準」という。）」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.1-3 の値とする。

表 4.1-3 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | |
|--------|------------------------------|-----|-----|
| | 引張 | 曲げ | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 135 |
| SUS304 | 205 | 205 | 118 |
| S45C | 345 | 345 | 199 |
| SCM435 | 651 | 651 | 375 |

(2) アンカーボルトの許容限界

アンカーボルトの許容限界は、「4.1.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表 4.1-4 の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4.1-4 アンカーボルトの許容限界

| 水密扉 No. | 扉名称 | 許容耐力 (kN/本) | |
|------------|----------------------|-------------|-----|
| | | 引張 | せん断 |
| 24 | タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉 | 23 | 25 |

4.1.4 評価方法

4.1.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.1-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

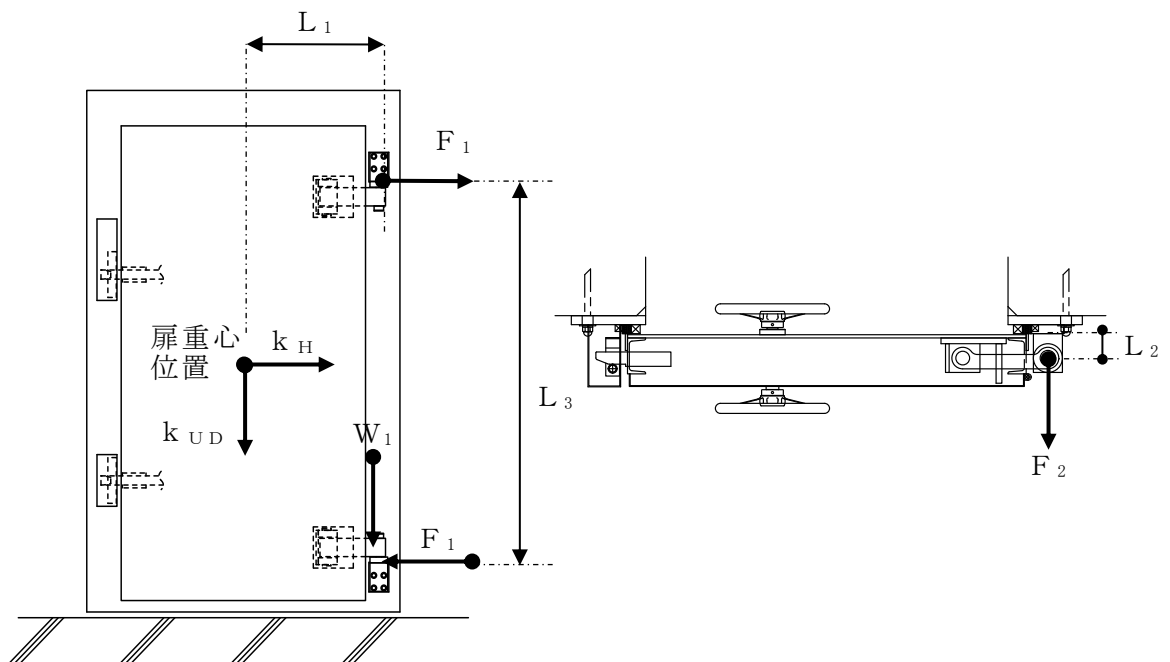


図 4.1-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.1-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

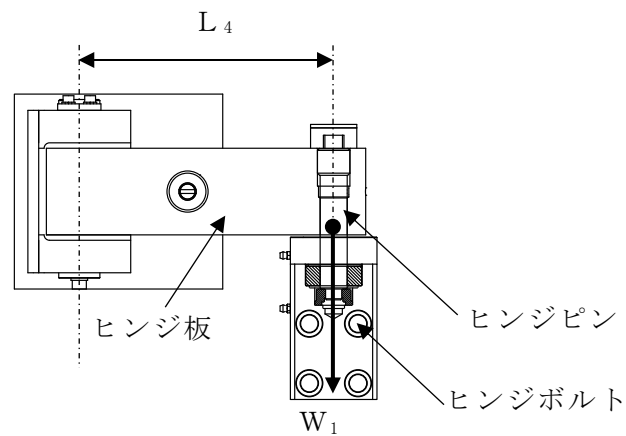


図 4.1-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.1-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

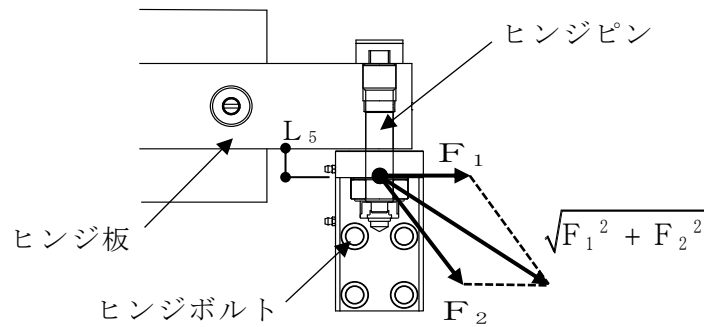


図 4.1-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.1-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで、

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

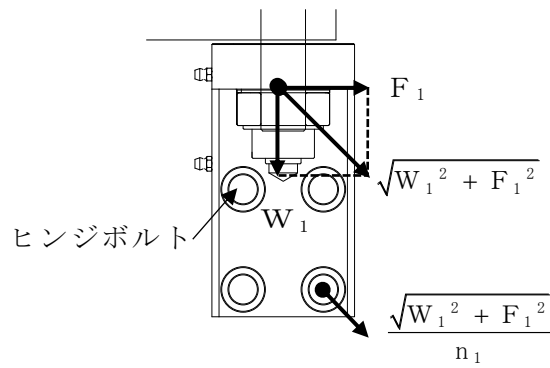


図 4.1-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.1-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数 (本)

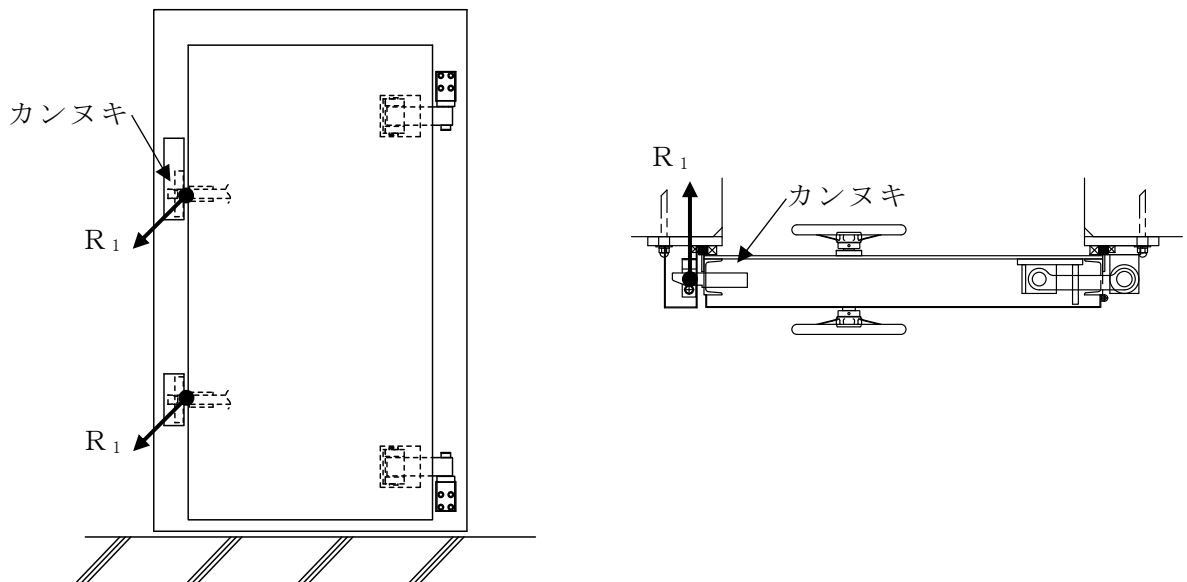


図 4.1-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、カンヌキの一端を固定端としてモデル化した片持ちはりとして評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.1-7 に示す。

$$M_4 = R_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_6 : カンヌキの突出長さ (mm)

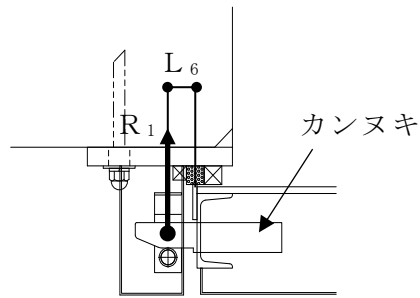


図 4.1-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、カンヌキ受けピン端部をピン支持とした単純はりとして評価し、カンヌキ受けピンの中央に作用する応力を考慮する。カンヌキ受けピンに生じる荷重の例を図 4.1-8 に示す。

$$M_5 = R_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q_5 = R_1 / 2$$

ここで、

M_5 : カンヌキ受けピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_5 : カンヌキ受けピンのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_7 : カンヌキ受けピン長さ (mm)

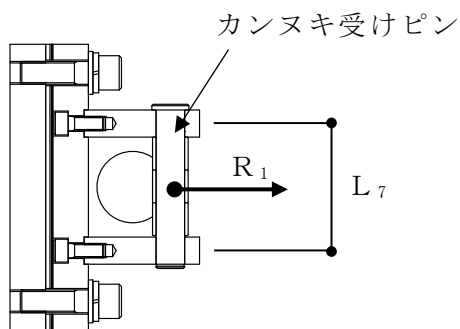


図 4.1-8 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図 4.1-9 に示す。

$$T_6 = R_1 / n_3$$

ここで、

T_6 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

n_3 : カンヌキ受けボルト本数 (本)

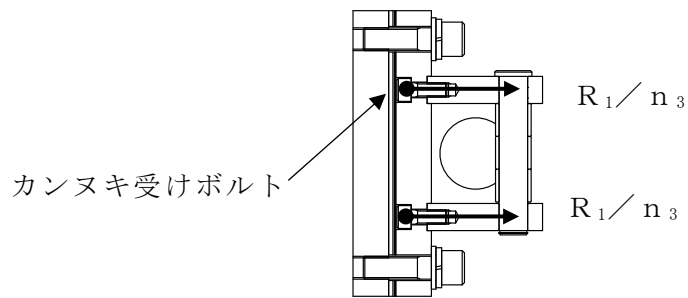


図 4.1-9 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は次式により算定する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.1-10 に示す。

$$W_2 = (1 + k_{UD}) \cdot (G_D + G_W)$$

$$F_3 = k_H \cdot (G_D + G_W)$$

$$T_{7A} = Q_{7A} = \frac{\sqrt{W_2^2 + F_3^2}}{n_4}$$

ここで、

W_2 : 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 (kN)

F_3 : 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 (kN)

T_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

G_W : 扉枠重量 (kN)

n_4 : アンカーボルト本数 (本)

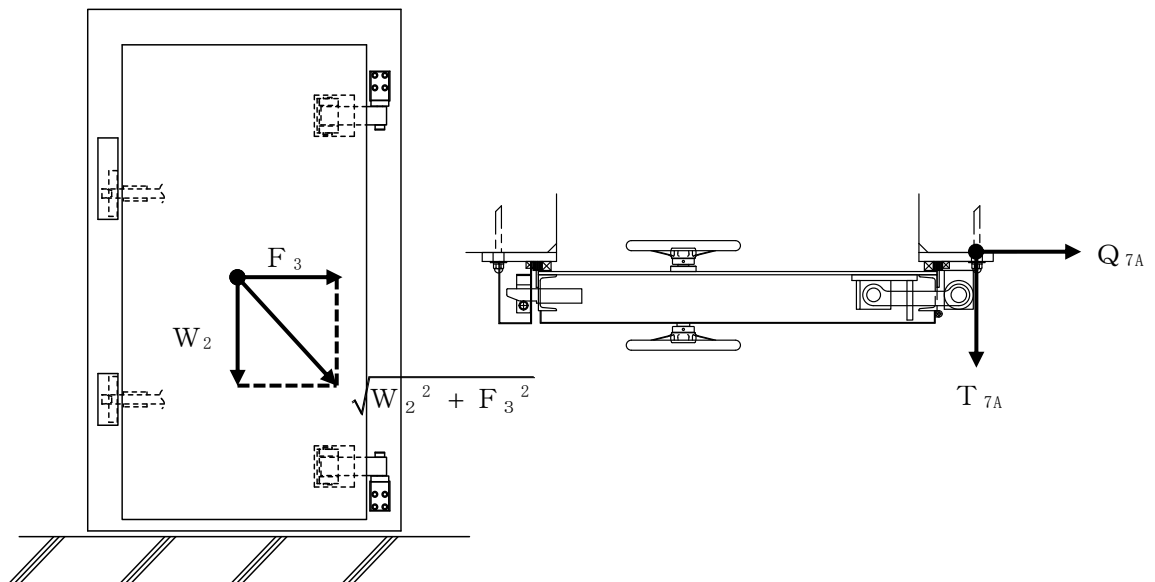


図 4.1-10 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.1.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

ここで、

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで、

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq s f_{t2}$$

ここで、

- $s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

ここで、

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : カンヌキの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / A_4$$

ここで、

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

A_4 : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

ここで、

f_{t4} : カンヌキの短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_5 = (M_5 \cdot 10^6) / Z_5$$

ここで、

- σ_5 : カンヌキ受けピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_5 : カンヌキ受けピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_5 : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキ受けピンに生じるせん断応力度

$$\tau_5 = (Q_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

- τ_5 : カンヌキ受けピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_5 : カンヌキ受けピンのせん断力 (kN)
 A_5 : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキ受けピンに生じる組合せ応力度

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} \leq_s f_{t5}$$

ここで、

- $_s f_{t5}$: カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_5 : カンヌキ受けピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_5 : カンヌキ受けピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_6 = (T_6 \cdot 10^3) / A_6$$

ここで、

σ_6 : カンヌキ受けボルトの引張応力度 (N/mm²)

T_6 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

A_6 : カンヌキ受けボルトの軸断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(Q_{7A}/Q_{7B})^2 + (T_{7A}/T_{7B})^2 \leq 1.0$$

$$Q_{7A}/Q_{7B} \leq 1.0$$

ここで、

Q_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{7B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{7A}/T_{7B} \leq 1.0$$

ここで、

T_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{7B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

4.1.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.1-5 に示す。

表 4.1-5 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. | |
|-----------|----------|-----------------|------------------|-----------------|-------|
| | | | | 24 | |
| 共通 | W_1 | kN | スラスト荷重 | 11.18 | |
| | G_D | kN | 扉重量 | 5.884 | |
| | k_H | — | 水平震度 | 2.23 | |
| | k_{UD} | — | 鉛直震度 | 0.90 | |
| | L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 610 | |
| | L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 65 | |
| | L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 | 1667 | |
| ヒンジ部 | ヒンジ板 | L_4 | mm | ヒンジ板の2軸間距離 | 235 |
| | | Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 | 42670 |
| | | A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 | 3200 |
| | ヒンジピン | L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 | 38 |
| | | Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 | 1534 |
| | | A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 | 490.9 |
| ヒンジボルト | n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 | 4 | |
| | A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 | 157 | |
| カンヌキ部 | 共通 | n_2 | 本 | カンヌキの本数 | 2 |
| | カンヌキ | L_6 | mm | カンヌキの突出長さ | 41 |
| | | Z_4 | mm ³ | カンヌキの断面係数 | 6283 |
| | | A_4 | mm ² | カンヌキのせん断断面積 | 1257 |
| | カンヌキ受けピン | L_7 | mm | カンヌキ受けピン長さ | 70 |
| | | Z_5 | mm ³ | カンヌキ受けピンの断面係数 | 785.4 |
| | | A_5 | mm ² | カンヌキ受けピンのせん断断面積 | 314.2 |
| カンヌキ受けボルト | n_3 | 本 | カンヌキ受けボルト本数 | 2 | |
| | A_6 | mm ² | カンヌキ受けボルトの軸断面積 | 58 | |
| アンカーボルト | G_w | kN | 扉枠重量 | 1.317 | |
| | n_4 | 本 | アンカーボルトの本数 | 7 | |

4.2 タイプⅡ

4.2.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、「No.28」の結果を示すものとする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図4.2-1に、タイプⅡ水密扉リストを表4.2-1に示す。

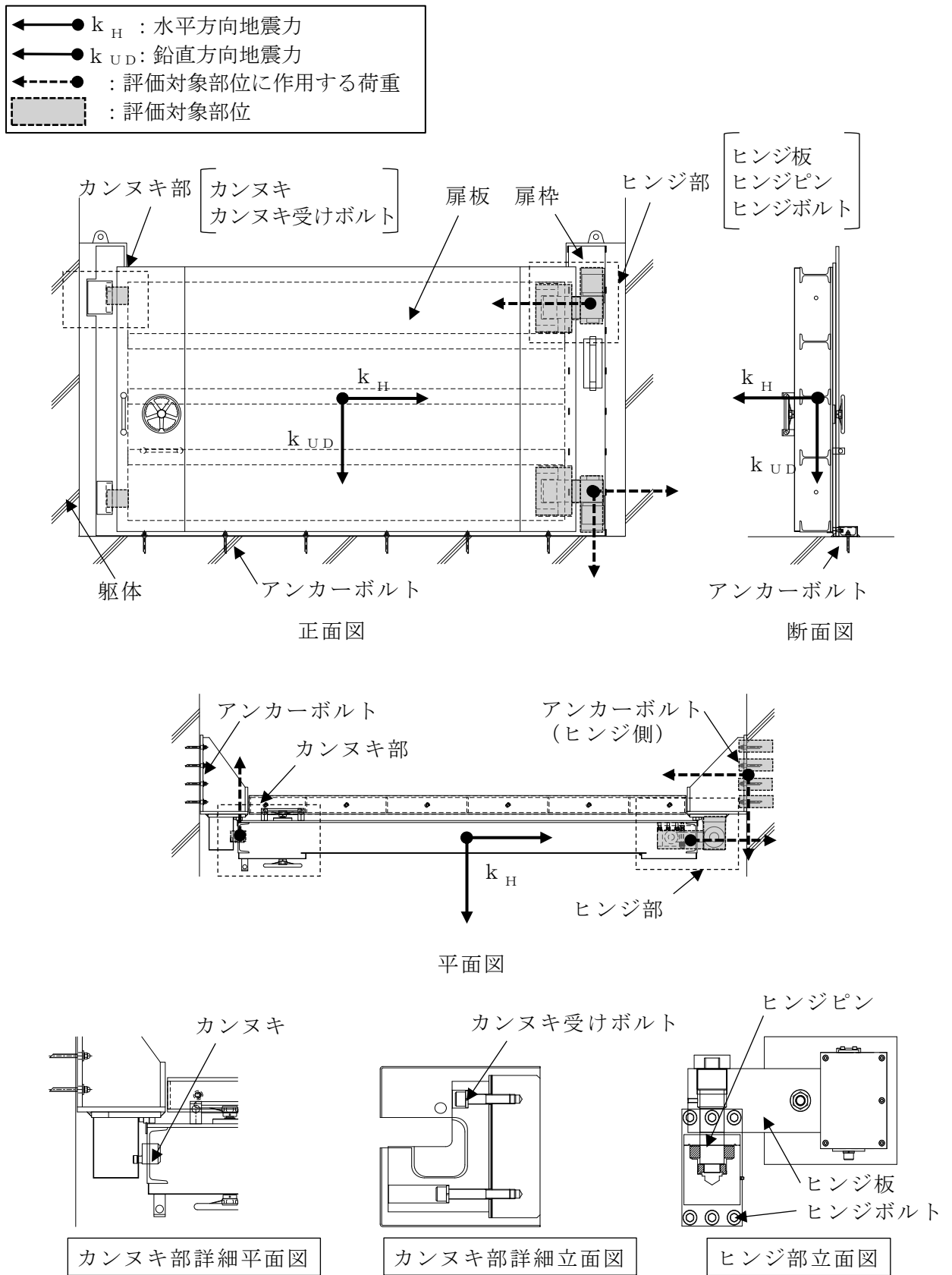


図 4.2-1 水密扉に作用する荷重の作用図

表 4.2-1 タイプⅡ水密扉リスト

| 水密扉 No. | 扉名称 | 評価対象 設備 (代表) |
|------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | 原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室北側水密扉 | |
| 2 | 原子炉建物地下2階 A-RHR ポンプ室北側水密扉 | |
| 3 | 原子炉建物地下2階 トーラス室北東水密扉 | |
| 4 | 原子炉建物地下2階 トーラス室南東水密扉 | |
| 5 | 原子炉建物地下2階 トーラス室北西水密扉 | |
| 6 | 原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室南側水密扉 | |
| 7 | 原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室北側水密扉 | |
| 11 | 原子炉建物地下2階 トーラス室南西水密扉 | |
| 12 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉 (南側) | |
| 16 | 原子炉建物地下1階 東側エアロック前水密扉 | |
| 27 | 廃棄物処理建物地下1階 被服置場北側水密扉 | |
| 28 | 廃棄物処理建物1階 大物搬入口水密扉 | ○ |
| 29 | 廃棄物処理建物1階 ドラム缶搬入口水密扉 | |
| 30 | 廃棄物処理建物2階 非常用再循環送風機室東側水密扉 | |
| 37 | 取水槽除じん機エリア水密扉 (北) | |
| 38 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東) | |
| 39 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中) | |
| 40 | 取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西) | |
| 41 | 復水貯蔵タンク水密扉 | |
| 42 | 補助復水貯蔵タンク水密扉 | |
| 43 | トーラス水受入タンク水密扉 | |
| 44 | 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 水密扉 | |

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.2.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.2.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震Sクラス施設及び耐震C-2クラス施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。なお、廃棄物処理建物に設置される耐震Bクラス施設の水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.2.3.1 使用材料

タイプⅡを構成するヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料を表4.2-2に示す。

表4.2-2 ヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料

| 評価対象部位 | | 材質 強度区分 | 仕様 |
|---------|---------------|------------|-----------|
| ヒンジ部 | ヒンジ板 | SS400 | PL-70×150 |
| | ヒンジピン | S45C | 60φ |
| | ヒンジボルト | SCM435 | M22 |
| カンヌキ部 | カンヌキ | — | CM16UUM |
| | カンヌキ受け ボルト | SS400 | M16 |
| アンカーボルト | | SS400 | M16 |

4.2.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.2-3 の値とする。

表 4.2-3 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | |
|--------------------------|------------------------------|-----|-----|
| | 引張 | 曲げ | せん断 |
| SS400 (t ≤ 40) * | 235 | 235 | 135 |
| SS400 (40 < t ≤ 100) * | 215 | 215 | 124 |
| S45C | 345 | 345 | 199 |
| SCM435 | 651 | 651 | 375 |

注記* : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界

アンカーボルトの許容限界は、「4.2.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表 4.2-4 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4.2-4 アンカーボルトの許容限界

| 水密扉 No. | 扉名称 | 許容耐力 (kN/本) | |
|------------|---------------------|-------------|-----|
| | | 引張 | せん断 |
| 28 | 廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉 | 20 | 22 |

(3) カンヌキ

カンヌキの許容荷重は、表 4.2-5 の値とする。

表 4.2-5 カンヌキの許容荷重

| 材質 | 許容荷重 |
|---------|-----------|
| | 定格荷重 (kN) |
| CM16UUM | 20 |

4.2.4 評価方法

4.2.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.2-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

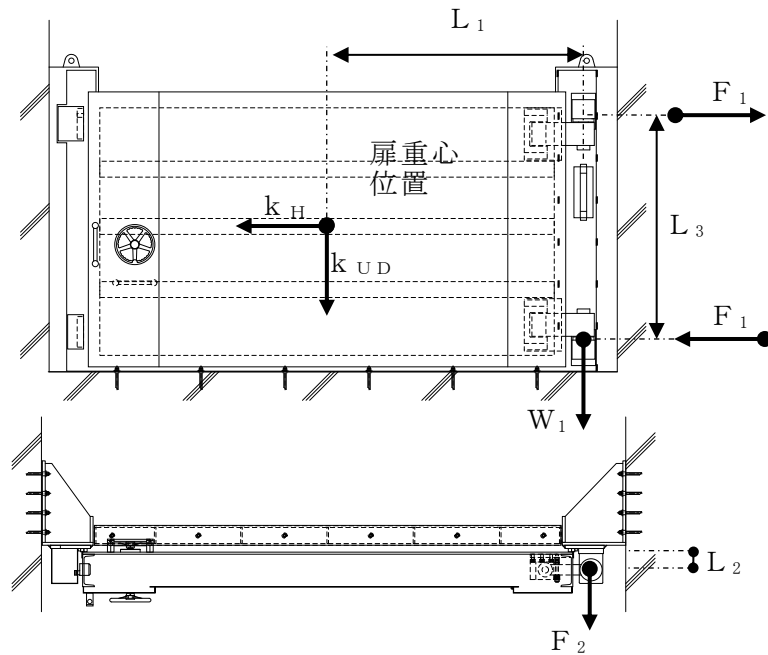


図 4.2-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.2-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

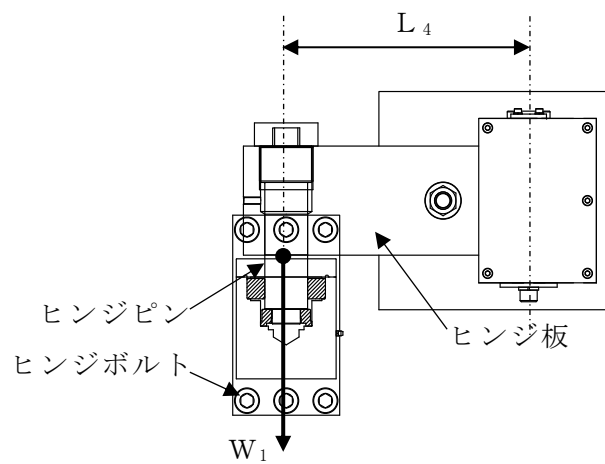


図 4.2-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.2-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

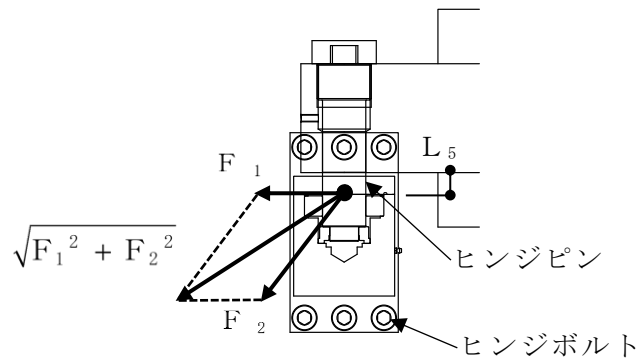


図 4.2-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.2-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで、

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

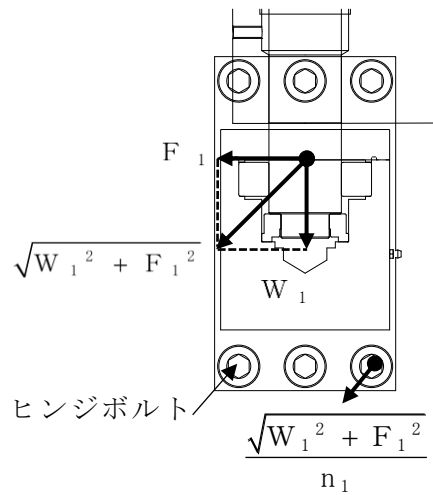


図 4.2-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ及びカンヌキ受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.2-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

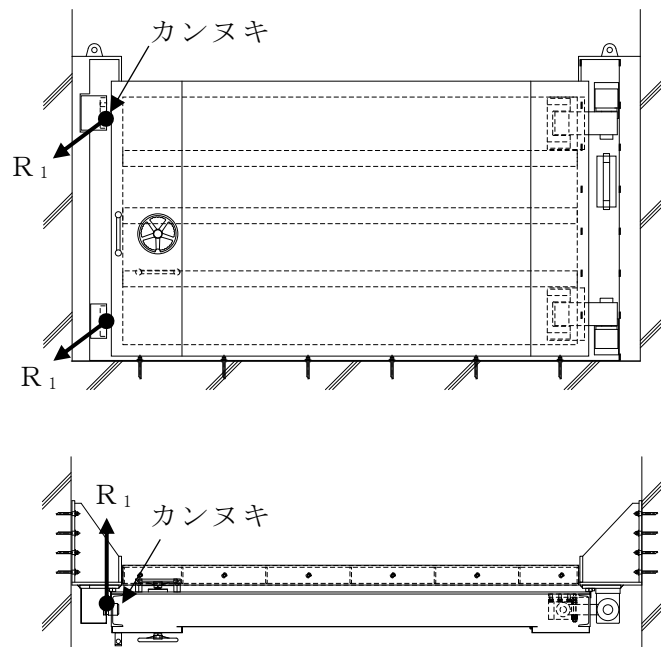


図 4.2-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.2-7 に示す。

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

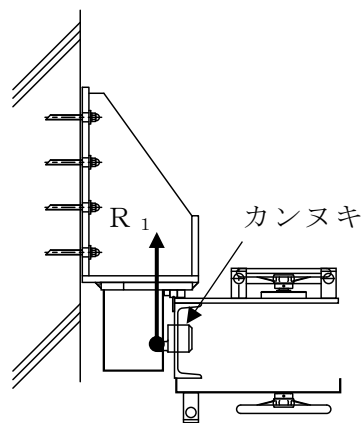


図 4.2-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図 4.2-8 に示す。

$$T_5 = R_1 / n_3$$

ここで、

T_5 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

R_1 : カンヌキ受けボルトに作用する荷重 (kN)

n_3 : カンヌキ受けボルト本数 (本)

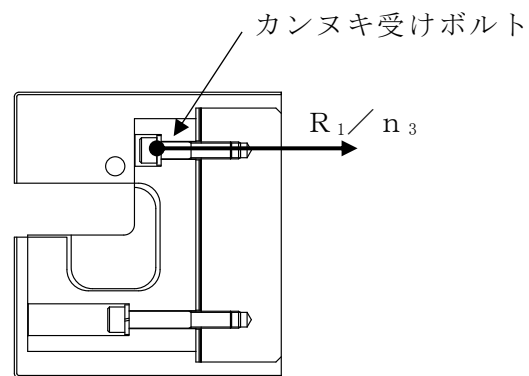


図 4.2-8 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は次式により算定する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.2-9 に示す。

$$W_2 = (1 + k_{UD}) \cdot (G_D + G_W)$$

$$F_3 = k_H \cdot (G_D + G_W)$$

$$T_{6A} = Q_{6A} = \frac{\sqrt{W_2^2 + F_3^2}}{n_4}$$

ここで、

W_2 : 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 (kN)

F_3 : 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 (kN)

T_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

G_W : 扉枠重量 (kN)

n_4 : アンカーボルトの本数 (本)

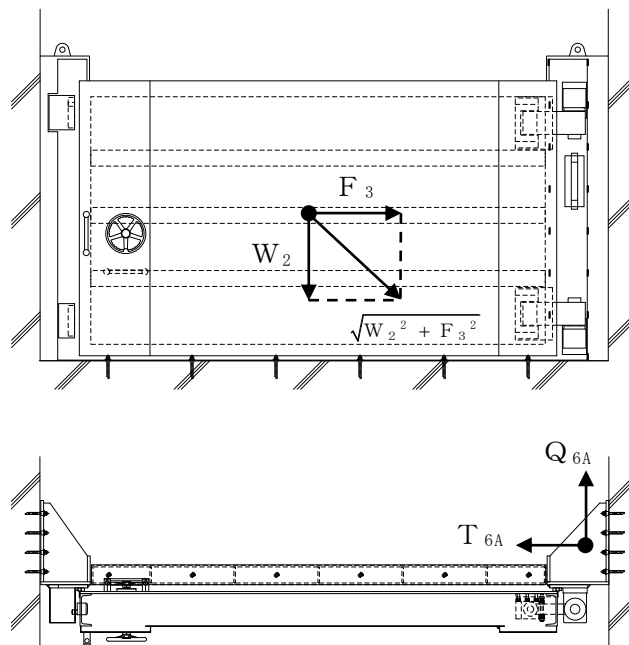


図 4.2-9 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.2.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界以下であることを確認する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

ここで、

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで、

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

ここで、

- $_s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じるせん断力がカンヌキの短期許容耐力以下であることを確認する。

b. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_5 = (T_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

σ_5 : カンヌキ受けボルトの引張応力度 (N/mm²)

T_5 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

A_5 : カンヌキ受けボルトの軸断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(Q_{6A} / Q_{6B})^2 + (T_{6A} / T_{6B})^2 \leq 1.0$$

$$Q_{6A} / Q_{6B} \leq 1.0$$

ここで、

Q_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{6B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{6A} / T_{6B} \leq 1.0$$

ここで、

T_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{6B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

4.2.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.2-6 に示す。

表 4.2-6 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. | |
|---------|-----------|-----------------|------------------|----------------|--------|
| | | | | 28 | |
| 共通 | W_1 | kN | スラスト荷重 | 52.72 | |
| | G_D | kN | 扉重量 | 27.46 | |
| | k_H | — | 水平震度 | 1.10 | |
| | k_{UD} | — | 鉛直震度 | 0.92 | |
| | L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 2014.5 | |
| | L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 136 | |
| | L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 | 1740 | |
| ヒンジ部 | ヒンジ板 | L_4 | mm | ヒンジ板の2軸間距離 | 340 |
| | | Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 | 262500 |
| | | A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 | 10500 |
| | ヒンジピン | L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 | 46 |
| | | Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 | 21210 |
| | | A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 | 2827 |
| ヒンジボルト | n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 | 6 | |
| | A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 | 303 | |
| カンヌキ部 | 共通 | n_2 | 本 | カンヌキの本数 | 2 |
| | カンヌキ受けボルト | n_3 | 本 | カンヌキ受けボルト本数 | 2 |
| | | A_5 | mm ² | カンヌキ受けボルトの軸断面積 | 157 |
| アンカーボルト | G_W | kN | 扉枠重量 | 8.715 | |
| | n_4 | 本 | アンカーボルトの本数 | 64 | |

4.3 タイプⅢ

4.3.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けプレート）から鉄骨躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

タイプⅢ水密扉については、風荷重も作用するが、風荷重による水密扉の評価は、VI-3-別添 3-4-2「水密扉の強度計算書（溢水）」に示しているため、本書では検討しない。また、風荷重は鉄骨躯体を介して、水密扉を支持する防水壁に伝わる構造となっている。防水壁の検討については、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」にて検討を実施している。

タイプⅢ水密扉は No. 31 及び No. 32 であり、同様の構造であることから代表として水密扉「No. 31」にて評価を行う。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 4.3-1 に示す。

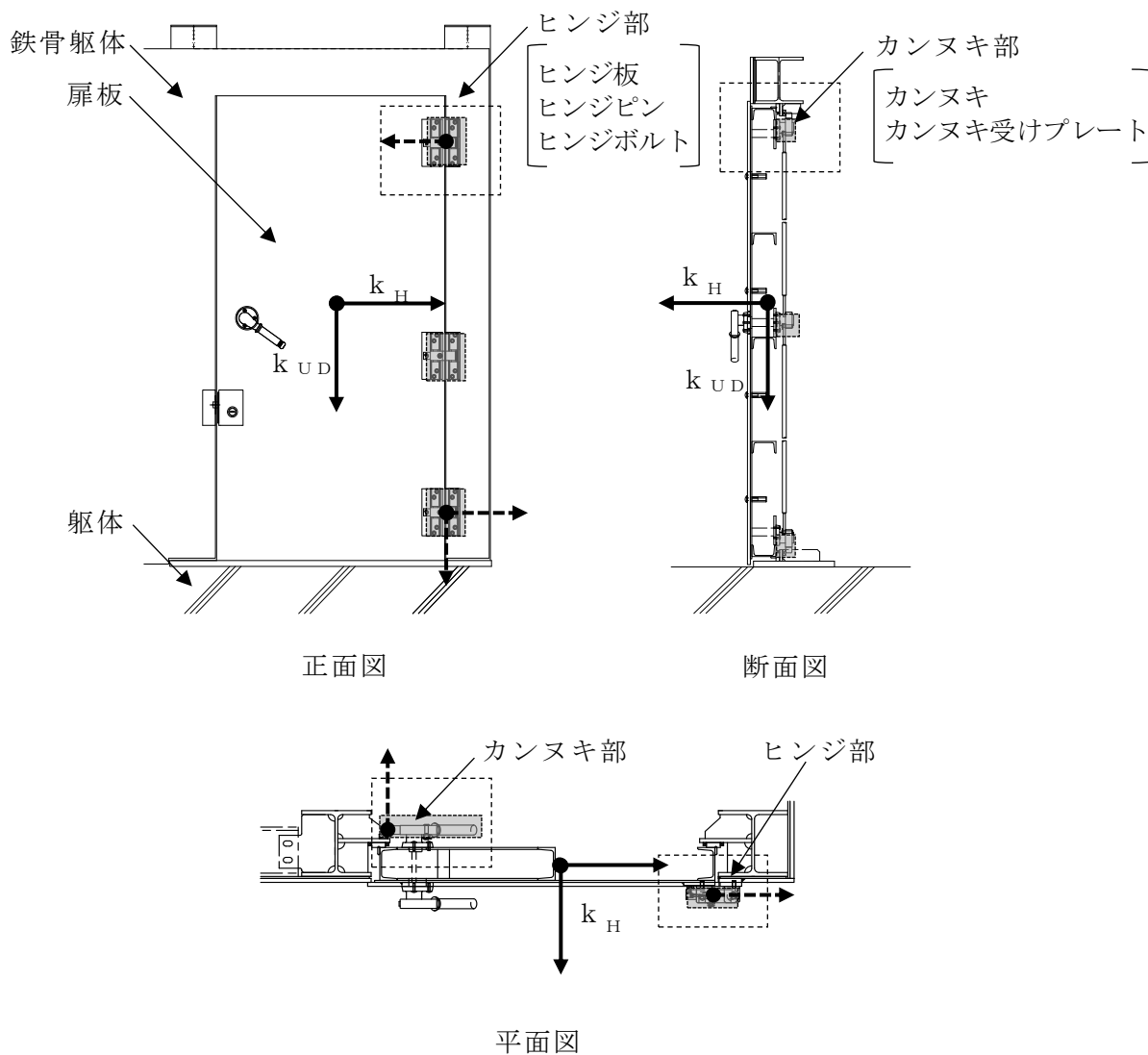
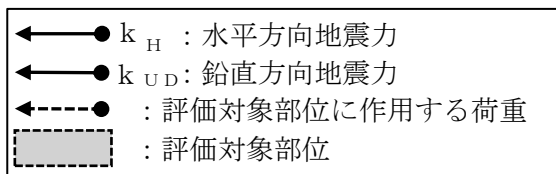


図 4.3-1 水密扉に作用する荷重の作用図

4.3.2 荷重及び荷重の組合せ

4.3.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.3.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.3.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震 C-1 クラス施設及び耐震 C-2 クラス施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.3.1 使用材料

タイプⅢを構成するヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 ヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料

| 評価対象部位 | | 材質 強度区分 | 仕様 |
|--------|----------------|------------|----------|
| ヒンジ部 | ヒンジ板 | SUS304 | PL-40×40 |
| | ヒンジピン | SUS304 | 20φ |
| | ヒンジボルト | SUS304 | M10 |
| カンヌキ部 | カンヌキ | SCM435 | 12φ |
| | カンヌキ受け プレート | SS400 | t 12 |

4.3.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.3-2 の値とする。

表 4.3-2 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | |
|--------|------------------------------|-----|-----|
| | 引張 | 曲げ | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 135 |
| SUS304 | 205 | 205 | 118 |
| SCM435 | 651 | 651 | 375 |

4.3.4 評価方法

4.3.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.3-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

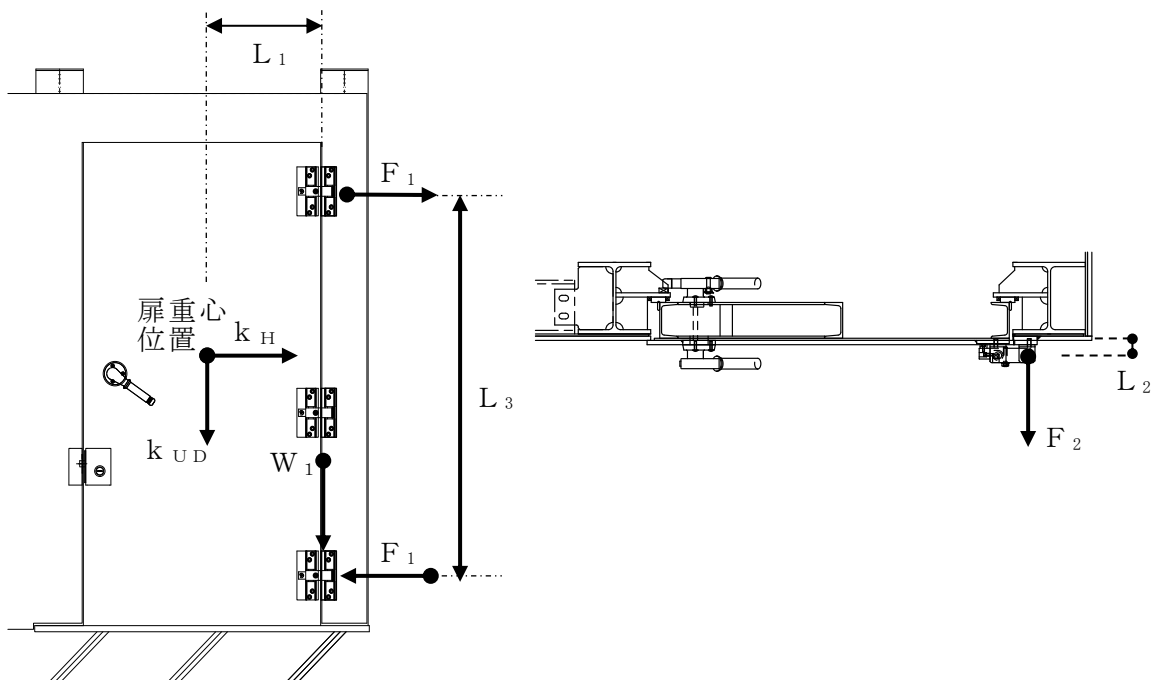


図 4.3-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.3-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

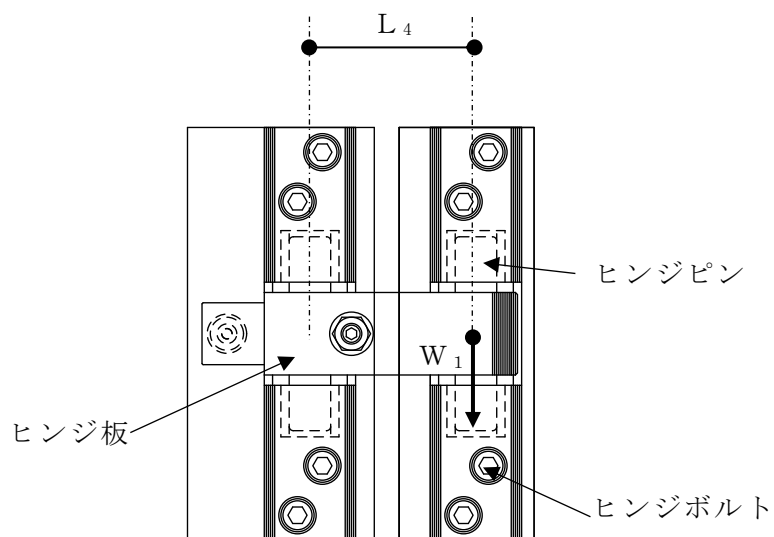


図 4.3-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.3-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

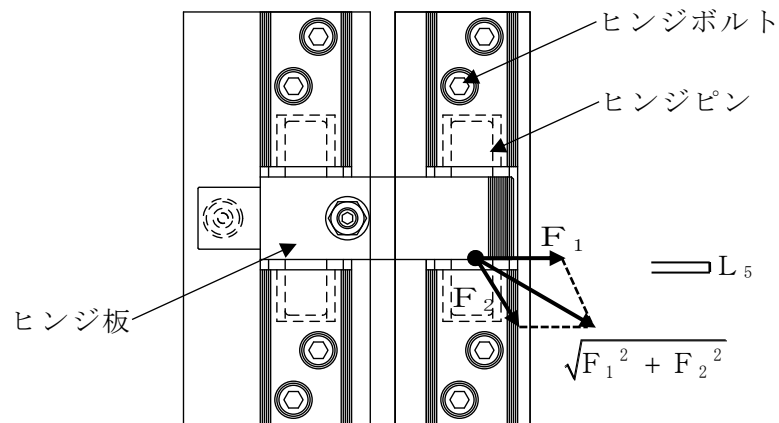


図 4.3-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は，次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.3-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで，

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数

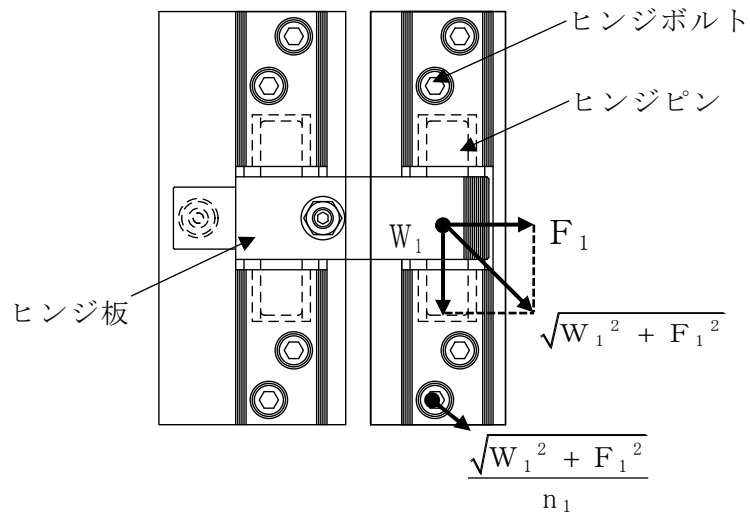


図 4.3-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ及びカンヌキ受けプレートで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.3-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

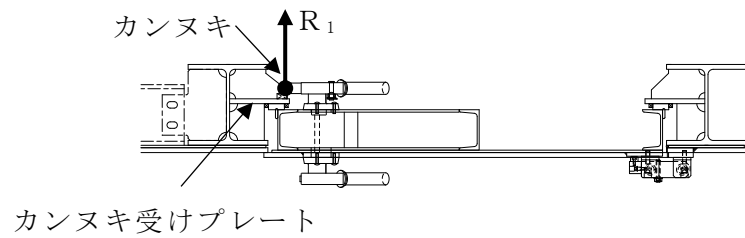


図 4.3-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、カンヌキの一端を固定端としてモデル化した片持ちはりとして評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.3-7 に示す。

$$M_4 = R_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_6 : カンヌキの突出長さ (mm)

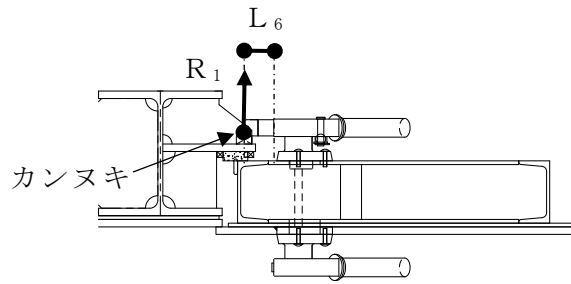


図 4.3-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けプレート

カンヌキ受けプレートに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、カンヌキ受けプレート端部を固定端としてモデル化した片持ちはりとして評価し、カンヌキ受けプレートに作用する応力を考慮する。カンヌキ受けプレートに生じる荷重の例を図 4.3-8 に示す。

$$M_5 = R_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_5 = R_1$$

ここで、

M_5 : カンヌキ受けプレートの曲げモーメント (kN・m)

Q_5 : カンヌキ受けプレートのせん断力 (kN)

R_1 : カンヌキ受けプレートに作用する荷重 (kN)

L_7 : カンヌキ受けプレートの長さ (mm)

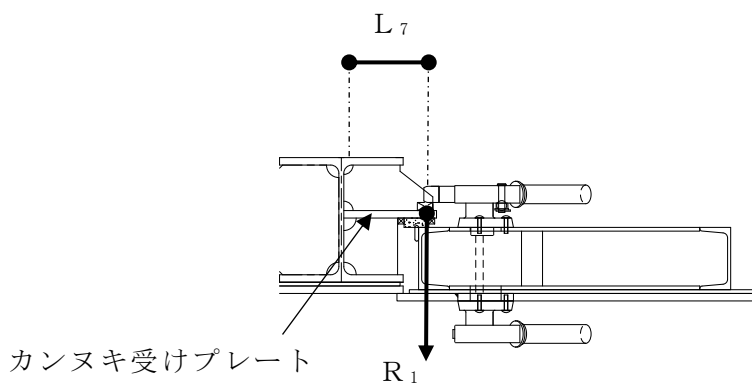


図 4.3-8 カンヌキ受けプレートに生じる荷重の例

4.3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

ここで、

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで、

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq_s f_{t2}$$

ここで、

- $_s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで，

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

ここで、

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : カンヌキの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / A_4$$

ここで、

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

A_4 : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

ここで、

f_{t4} : カンヌキの短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_4 : カンヌキの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : カンヌキのせん断応力度 (N/mm²)

b. カンヌキ受けプレート

カンヌキ受けプレートに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキ受けプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキ受けプレートに生じる曲げ応力度

$$\sigma_5 = (M_5 \cdot 10^6) / Z_5$$

ここで、

- σ_5 : カンヌキ受けプレートの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_5 : カンヌキ受けプレートの曲げモーメント (kN・m)
 Z_5 : カンヌキ受けプレートの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキ受けプレートに生じるせん断応力度

$$\tau_5 = (Q_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

- τ_5 : カンヌキ受けプレートのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_5 : カンヌキ受けプレートのせん断力 (kN)
 A_5 : カンヌキ受けプレートのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキ受けプレートに生じる組合せ応力度

カンヌキ受けプレートに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、カンヌキ受けプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} \leq_s f_{t5}$$

ここで、

- $_s f_{t5}$: カンヌキ受けプレートの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_5 : カンヌキ受けプレートの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_5 : カンヌキ受けプレートのせん断応力度 (N/mm²)

4.3.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.3-3 に示す。

表 4.3-3 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. |
|-----------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|------------|
| | | | | | 31 |
| 共通 | | W_1 | kN | スラスト荷重 | 7.332 |
| | | G_D | kN | 扉重量 | 4.119 |
| | | k_H | — | 水平震度 | 1.22 |
| | | k_{UD} | — | 鉛直震度 | 0.78 |
| | | L_1 | mm | 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 540 |
| | | L_2 | mm | 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 | 148 |
| | | L_3 | mm | ヒンジ芯間距離 | 1570 |
| ヒ ン ジ 部 | ヒンジ板 | L_4 | mm | ヒンジ板の2軸間距離 | 80 |
| | | Z_1 | mm ³ | ヒンジ板の断面係数 | 10670 |
| | | A_1 | mm ² | ヒンジ板のせん断断面積 | 1600 |
| | ヒンジピン | L_5 | mm | ヒンジ板と受板間距離 | 27 |
| | | Z_2 | mm ³ | ヒンジピンの断面係数 | 785.4 |
| | | A_2 | mm ² | ヒンジピンのせん断断面積 | 314.2 |
| ヒンジボルト | n_1 | 本 | ヒンジボルトの本数 | 4 | |
| | A_3 | mm ² | ヒンジボルトのせん断断面積 | 58 | |
| カ ン ヌ キ 部 | 共通 | n_2 | 本 | カンヌキの本数 | 3 |
| | カンヌキ | L_6 | mm | カンヌキの突出長さ | 45 |
| | | Z_4 | mm ³ | カンヌキの断面係数 | 169.6 |
| | | A_4 | mm ² | カンヌキのせん断断面積 | 113.1 |
| | カンヌキ受け プレート | L_7 | mm | カンヌキ受けプレートの長さ | 144 |
| | | Z_5 | mm ³ | カンヌキ受けプレートの断面係数 | 5520 |
| A_5 | | mm ² | カンヌキ受けプレートのせん断断面積 | 2760 | |

4.4 タイプⅣ

4.4.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、扉板から水密扉戸当り用支柱、水平材及び外部縦柱に伝わり、水密扉戸当り用支柱を固定するアンカーボルトを介し、取水槽躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、水密扉戸当り用支柱、水平材、外部縦柱及びアンカーボルトとする。

タイプⅣ水密扉は No. 35 及び No. 36 であり、扉の横幅が広いことから、代表として「No. 35」を評価する。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 4.4-1 に、タイプⅣ水密扉リストを表 4.4-1 に示す。

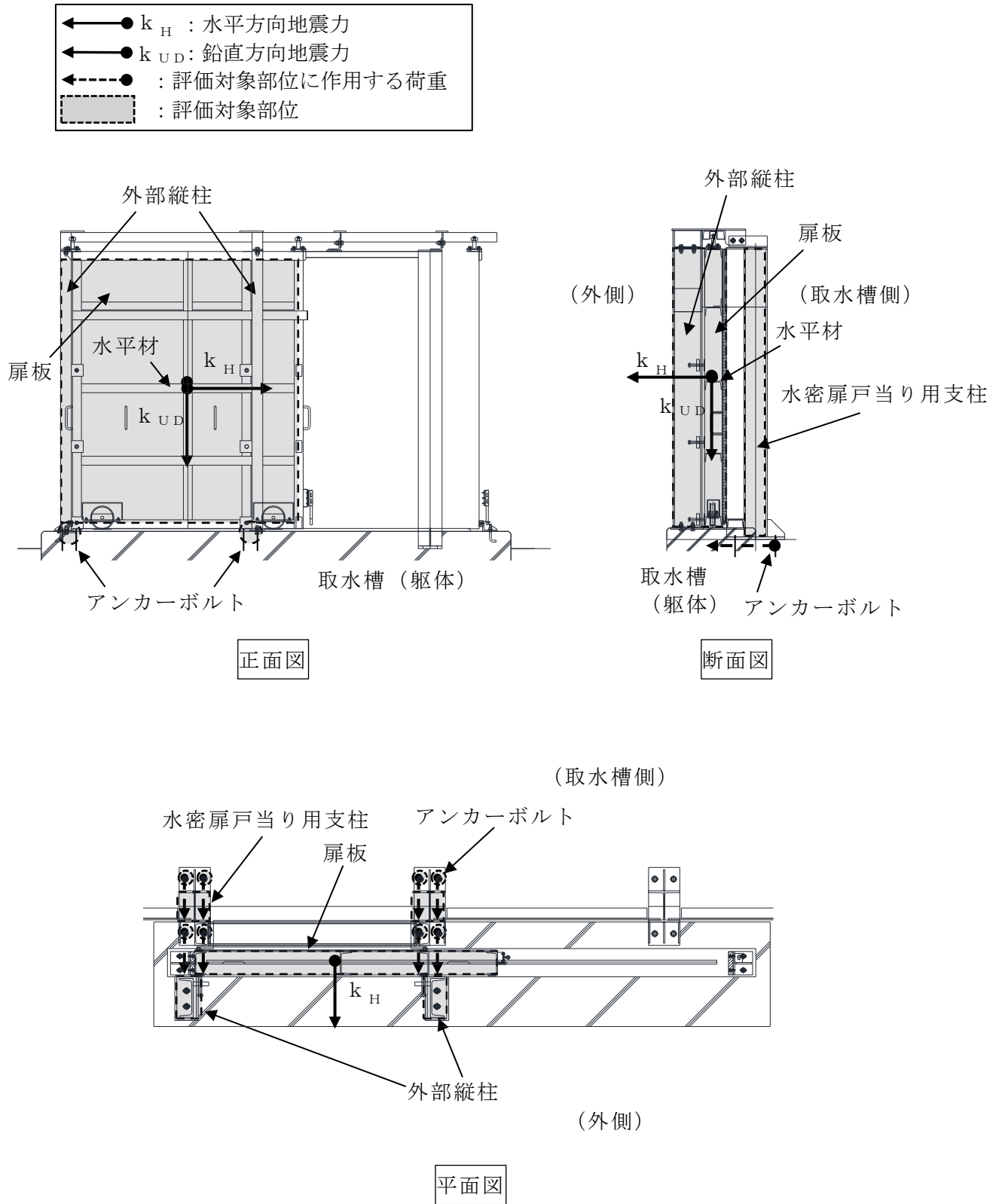


図 4.4-1 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉閉止時)
 取水槽除じん機エリア水密扉 (東)

表 4.4-1 タイプIV水密扉リスト

| 水密扉 No. | 扉名称 | 評価対象 設備 (代表) |
|------------|------------------|--------------------|
| 35 | 取水槽除じん機エリア水密扉（東） | ○ |
| 36 | 取水槽除じん機エリア水密扉（西） | |

4.4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + W$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

(3) 風荷重 (W)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 4.4-2 に示す。

$$W = w \cdot A$$

- W : 風荷重 (kN)
w : 風圧力 (kN/m²)
A : 風の受圧面積 (m²)

表 4.4-2 風圧力

| | |
|-------------------------------|------|
| 風圧力 w (kN/m ²) | 1.71 |
|-------------------------------|------|

4.4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.4.3.1 使用材料

タイプⅣを構成する扉板、水密扉戸当り用支柱、水平材、外部縦柱及びアンカーボルトの使用材料を表 4.4-3 に示す。

表 4.4-3 水密扉の使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|-----------|--------|-----------------|
| 扉板 | SS400 | PL-9 |
| 水密扉戸当り用支柱 | SS400 | H-200×200×8×12 |
| 水平材 | SS400 | [-150×75×6.5×10 |
| 外部縦柱 | SS400 | [-250×90×9×13 |
| アンカーボルト | SUS304 | M24 |

4.4.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表 4.4-4 の値とする。

表 4.4-4 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|--------------------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ | せん断 |
| SS400 (t ≤ 40) * | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記* : t は板厚を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「4.4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出した表 4.4-5 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4.4-5 アンカーボルトの許容限界

| 材質 | 許容耐力 (kN/本) | |
|---------------------|-------------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| アンカーボルト (SUS304) | 90 | 51 |

4.4.4 評価方法

4.4.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は，水平材を支点とした単純支持ばりとして算定する。
扉板に作用する荷重の例を図 4.4-2 に示す。

a. 扉板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 扉板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重

$$w_{ss1} = B_3 \cdot w_{h1}$$

$$w_{h1} = p_{2'} + w$$

$$p_{2'} = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{ss1} : 扉板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

B_3 : 荷重の載荷幅 (m)

w_{h1} : 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布荷重 (kN/m²)

$p_{2'}$: 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 扉板に生じる曲げ応力度

$$M_1 = w_{ss1} \cdot L_3^2 / 8$$

M_1 : 扉板に生じる曲げモーメント (kN・m)

w_{ss1} : 扉板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重
(kN/m)

L_3 : 扉板の部材長 (m)

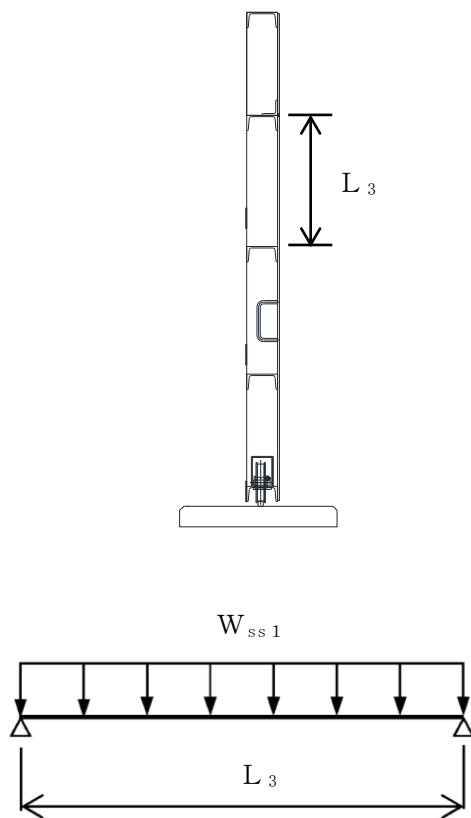


図 4.4-2 扉板に生じる荷重の例

(2) 水平材

水平材の引張側は，縦枠端部を支点とする単純ばりとして計算する。水平材に作用する荷重の例を図 4.4-3 に示す。

a. 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 水平材に作用する単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{ss2} = B_4 \cdot w_{h1}$$

$$w_{h1} = p_2' + w$$

$$p_2' = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{ss2} : 水平材に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

B_4 : 荷重の載荷幅 (m)

w_{h1} : 扉板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

p_2' : 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 水平材に生じる曲げ応力度

$$M_2 = w_{ss2} \cdot L_4^2 / 8$$

M_2 : 水平材の曲げモーメント (kN・m)

w_{ss2} : 対象水平材に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : 水平材の部材長 (m)

d. 水平材に生じるせん断応力度

$$Q_2 = w_{ss2} \cdot L_4 / 2$$

Q_2 : 水平材のせん断力 (kN)

w_{ss2} : 水平材に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : 水平材の部材長 (m)

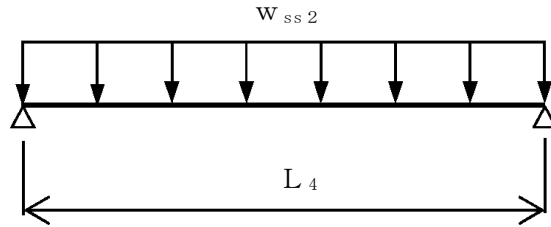


図 4.4-3 水平材に作用する荷重の例

(3) 外部縦柱

外部縦柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして計算する。
外部縦柱に作用する荷重の例を図 4.4-4 に示す。

a. 外部縦柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{h2} = (p_2' + w) \cdot B_5 / 2$$

$$p_2' = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

p_2' : 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

B_5 : 外部縦柱スパン (m)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 外部縦柱に生じる曲げ応力度

$$M_3 = w_{h2} \cdot L_5^2 / 2$$

M_3 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_5 : 外部縦柱全長 (m)

d. 外部縦柱に生じるせん断応力度

$$Q_3 = w_{h2} \cdot L_5$$

Q_3 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_5 : 外部縦柱全長 (m)

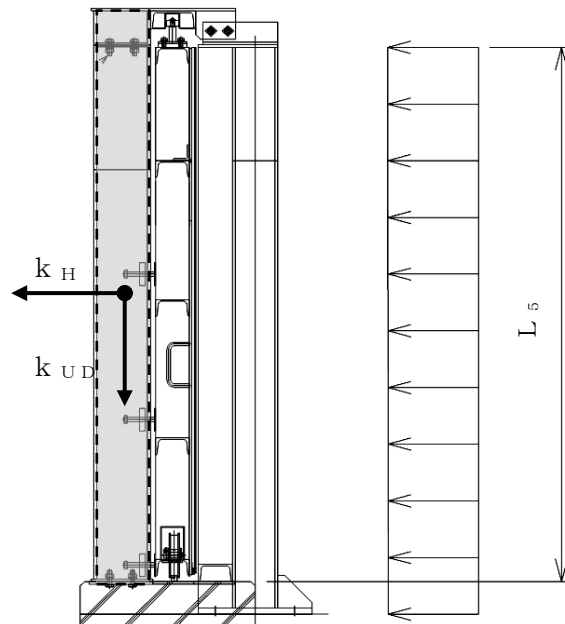


図 4.4-4 外部縦柱に生じる荷重の例

(4) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちばりとして計算する。水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例を図 4.4-5 に示す。

a. 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G_2 \cdot k_H$$

$$S_{sv} = G_2 \cdot k_{UD}$$

S_{s2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_2 : 水密扉材と壁材の合計自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_{UD} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さ当たりの等分布荷重

$$w_{h3} = W_h / L_1$$

$$W_h = S_{s2} + W_1$$

w_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

W_h : 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

L_1 : 水密扉戸当り用支柱全長 (m)

S_{s2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_1 : 設計水平風荷重 (kN)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度

$$M_4 = w_{h3} \cdot L_1^2 / 2$$

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

w_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 水密扉戸当り用支柱全長 (m)

d. 水密扉戸当り用支柱に生じる鉛直荷重

- ① 引張応力度（鉛直上向き）（安全側の検討として自重は考慮しない）

$$N_4 = S_{sv}$$

N_4 : 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 (kN)

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

- ② 圧縮応力度（鉛直下向き）

$$N_5 = S_{sv} + G_2$$

N_5 : 水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重 (kN)

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

G_2 : 水密扉材と壁材の合計自重 (kN)

e. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$Q_4 = W_h$$

Q_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

W_h : 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

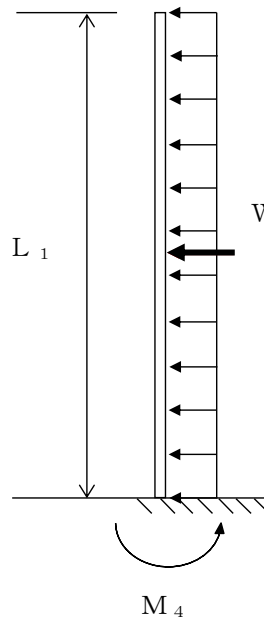


図 4.4-5 水密扉戸当り用支柱に生じる荷重の例

(5) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる力は、支柱下端の断面力を基に算出する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.4-6 に示す。

$$T_{A1} = V_{A1} / N_{A1} + M_{A1} \cdot x_{iA1} / \sum n \cdot x_{iA1}^2$$

$$Q_{A1} = S_{A1} / N_{A1}$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (kN)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 (kN)

V_{A1} : 水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重 (kN)

N_{A1} : アンカーボルト全本数 (本)

M_{A1} : 水密扉戸当り用支柱に発生する曲げモーメント (kN・m)

x_{iA1} : 偏心距離 (mm)

$\sum n \cdot x_{iA1}^2$: 2 次モーメントの合計値 (mm²)

S_{A1} : 水密扉戸当り用支柱に発生するせん断力 (kN)



図 4.4-6 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.4.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 扉板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

σ_1 : 扉板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 扉板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³)

b. 扉板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

τ_1 : 扉板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : 扉板のせん断力 (kN)

h_1 : 単位幅当たり高さ (mm)

t_1 : 扉板の厚さ (mm)

(2) 水平材

水平材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、水平材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 水平材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

σ_2 : 水平材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : 水平材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 水平材の断面係数 (mm³)

- b. 水平材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / (h_2 \cdot t_2)$$

τ_2 : 水平材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 水平材のせん断力 (kN)

h_2 : 荷重負担幅 (mm)

t_2 : せん断抵抗部材の厚さ (mm)

(3) 外部縦柱

外部縦柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、各短期許容応力度以下であることを確認する。

- a. 外部縦柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_3 = (M_3 \cdot 10^6) / Z_3$$

σ_3 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : 外部縦柱の断面係数 (mm³)

- b. 外部縦柱に生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

τ_3 : 外部縦柱のせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

h_3 : 外部縦柱のウェブ高 (mm)

t_3 : 外部縦柱のウェブ厚 (mm)

- c. 外部縦柱に生じる組合せ応力度

外部縦柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} \leq f_t$$

σ_3 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 外部縦柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(4) 水密扉戸当り用支柱

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し，水密扉戸当り用支柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : 水密扉戸当り用支柱の断面係数 (mm³)

b. 水密扉戸当り用支柱に生じる鉛直応力度

① 引張応力度 (鉛直上向き) (安全側の検討として自重は考慮しない)

$$\sigma_5 = (N_4 \cdot 10^3) / A$$

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱の引張応力度 (N/mm²)

N_4 : 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 (kN)

A : 水密扉戸当り用支柱の断面積 (mm²)

② 圧縮応力度 (鉛直下向き)

$$\sigma_6 = (N_5 \cdot 10^3) / A$$

σ_6 : 水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度 (N/mm²)

N_5 : 水密扉戸当り用支柱の鉛直荷重 (kN)

A : 水密扉戸当り用支柱の断面積 (mm²)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / (h_4 \cdot t_4)$$

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

h_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ高 (mm)

t_4 : 水密扉戸当り用支柱のウェブ厚 (mm)

d. 水密扉戸当り用支柱に生じる組合せ応力度

水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応

力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度と引張応力度

$$\sigma_4/f_b + \sigma_5/f_t \leq 1$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_4/f_b + \sigma_6/f_c \leq 1$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_6 : 水密扉戸当り用支柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，引張応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_4 + \sigma_5)^2 + 3 \times \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

⑤ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_4 + \sigma_6)^2 + 3 \times \tau_4^2} \leq f_t$$

- σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_6 : 水密扉戸当り用支柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$\begin{aligned} & (T_{A1} / T_a)^2 + (Q_{A1} / Q_a)^2 \leq 1 \\ & T_{A1} / T_a \leq 1.0 \\ & Q_{A1} / Q_a \leq 1.0 \end{aligned}$$

- T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)
- T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)
- Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)
- Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

4.4.5 評価条件

「4.4.4 評価方法」に用いる評価条件を表4.4-6に示す。

表4.4-6(1) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. |
|-------|------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | | | | 35 |
| 共通 | S_{s1} | kN | 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 19.8 |
| | G_1 | kN | 水密扉材の自重 | 11.0 |
| | k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 | 1.8 |
| | w_{h1} | kN/m ² | 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布荷重 | 6.09 |
| | $p_{2'}$ | kN/m ² | 扉板に作用する単位面積当たりの設計水平等分布地震荷重 | 4.38 |
| | B_2 | m | 水密扉幅 | 1.940 |
| | L_2 | m | 水密扉高さ | 2.333 |
| | G_2 | kN | 水密扉材と壁材の合計自重 | 14.7 |
| | k_{UD} | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 | 0.8 |
| 扉板 | w_{ss1} | kN/m | 扉板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 6.08 |
| | B_3 | m | 荷重の載荷幅 | 1.000 |
| | w | kN/m ² | 風圧力 | 1.71 |
| | M_1 | kN・m | 扉板に生じる曲げモーメント | 0.29 |
| | L_3 | m | 扉板の部材長 | 0.613 |
| | σ_1 | N/mm ² | 扉板の曲げ応力度 | 21.48 |
| | Z_1 | mm ³ | 扉板の断面係数 | 1.35×10^4 |
| | τ_1 | N/mm ² | 扉板のせん断応力度 | 0.21 |
| | Q_1 | kN | 扉板のせん断力 | 1.86 |
| | h_1 | mm | 単位幅当たり高さ | 1000 |
| t_1 | mm | 扉板の厚さ | 9 | |
| 水平材 | w_{ss2} | kN/m | 水平材に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 3.73 |
| | B_4 | m | 荷重の載荷幅 | 0.612 |
| | M_2 | kN・m | 水平材の曲げモーメント | 1.08 |
| | L_4 | m | 水平材の部材長 | 1.520 |
| | Q_2 | kN | 水平材のせん断力 | 2.83 |
| | σ_2 | N/mm ² | 水平材の曲げ応力度 | 9.39 |
| | Z_2 | mm ³ | 水平材の断面係数 | 1.15×10^5 |
| | τ_2 | N/mm ² | 水平材のせん断応力度 | 0.51 |
| | h_2 | mm | 荷重負担幅 | 612 |
| t_2 | mm | せん断抵抗部材の厚さ | 9 | |

表 4.4-6(2) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. |
|-------------------|------------|-------------------|--|--------------------|
| | | | | 35 |
| 外部縦柱 | w_{h2} | kN/m | 外部縦柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 4.63 |
| | B_5 | m | 外部縦柱スパン | 1.520 |
| | M_3 | kN・m | 外部縦柱の曲げモーメント | 14.78 |
| | L_5 | m | 外部縦柱全長 | 2.527 |
| | Q_3 | kN | 外部縦柱のせん断力 | 11.70 |
| | σ_3 | N/mm ² | 外部縦柱の曲げ応力度 | 44.25 |
| | Z_3 | mm ³ | 外部縦柱の断面係数 | 3.34×10^5 |
| | τ_3 | N/mm ² | 外部縦柱のせん断応力度 | 5.80 |
| | h_3 | mm | 外部縦柱のウェブ高 | 224 |
| t_3 | mm | 外部縦柱のウェブ厚 | 9 | |
| 水密扉戸 当り用支 柱 | S_{s2} | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 26.46 |
| | S_{sv} | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 11.76 |
| | w_{h3} | kN/m | 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 | 13.15 |
| | W_h | kN | 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 | 32.89 |
| | L_1 | m | 水密扉戸当り用支柱全長 | 2.500 |
| | W_1 | kN | 設計水平風荷重 | 6.43 |
| | M_4 | kN・m | 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント | 41.09 |
| | N_4 | kN | 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 | 11.76 |
| | N_5 | kN | 水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重 | 26.46 |
| | Q_4 | kN | 水密扉戸当り用支柱のせん断力 | 32.89 |
| | σ_4 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度 | 87.06 |
| | Z_4 | mm ³ | 水密扉戸当り用支柱の断面係数 | 4.72×10^5 |
| | σ_5 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の引張応力度 | 1.85 |
| | A | mm ² | 水密扉戸当り用支柱の断面積 | 6353 |
| | σ_6 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度 | 4.16 |
| | τ_4 | N/mm ² | 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 | 23.36 |
| h_4 | mm | 水密扉戸当り用支柱のウェブ高 | 176 | |
| t_4 | mm | 水密扉戸当り用支柱のウェブ厚 | 8 | |

表 4.4-6(3) 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. |
|-------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|------------|
| | | | | 35 |
| アンカー ボルト | T_{A1} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 | 61.88 |
| | Q_{A1} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 | 8.22 |
| | V_{A1} | kN | 水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重 | 11.76 |
| | N_{A1} | 本 | アンカーボルト全本数 | 4 |
| | M_{A1} | kN・m | 水密扉戸当り用支柱に発生する曲げモーメント | 41.09 |
| | x_{iA1} | mm | 偏心距離 | 0.175 |
| | $\sum n \cdot x_{iA1}^2$ | mm ² | 2次モーメントの合計値 | 0.122 |
| | S_{A1} | kN | 水密扉戸当り用支柱に発生するせん断力 | 32.89 |
| | T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 | 90 |
| | Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 | 51 |

4.5 タイプV

4.5.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

タイプVのうち、扉部については、「4.1 タイプI」及び「4.2 タイプII」で評価しているため、「4.5 タイプV」ではパネル部（パネル板、柱、はり、パネル芯材、アンカーボルト）を評価対象部位とする。

タイプV水密扉リストを表4.5-1に示す。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉No.13を抽出した。

水密扉に作用する荷重の例を図4.5-1に示す。

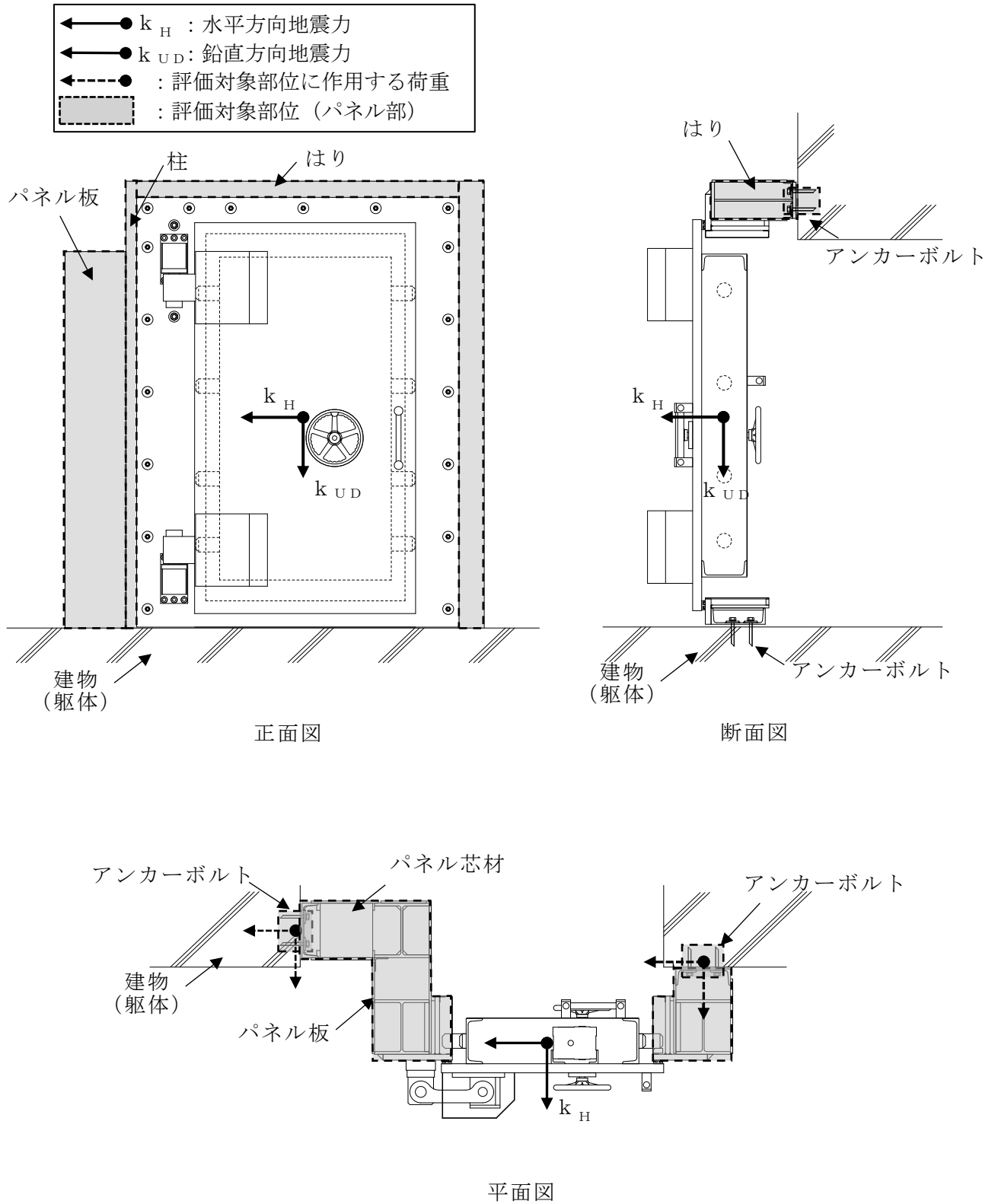


図 4.5-1 水密扉に作用する荷重の作用図

表 4.5-1 タイプV水密扉リスト

| 水密扉 No. | 扉名称 | 評価対象 設備 (代表) |
|---------|----------------------------|--------------------|
| 13 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室南側水密扉 | ○ |
| 14 | 原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉 | |
| 15 | 原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室) | |
| 17 | 原子炉建物1階 RCW 熱交換器室南側水密扉 | |
| 21 | タービン建物地下1階封水回収ポンプ室北側水密扉 | |
| 27 | 廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉 | |
| 33 | 制御室建物2階チェックポイント連絡水密扉 | |

4.5.2 荷重及び荷重の組合せ

4.5.2.1 荷重の組合せ

パネル部の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

パネル部は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.5.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重としてパネル部の自重を考慮する。自重は「4.5.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震Sクラス施設及び耐震C-2クラス施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。耐震Bクラス施設の地震荷重は地震力 S_B による荷重を考慮する。なお制御室建物及び廃棄物処理建物に設置される耐震Bクラス施設の水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、パネル部については組合せ係数法を考慮する。

4.5.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.5.3.1 使用材料

タイプVを構成するパネル部（パネル板、柱、はり、パネル芯材、アンカーボルト）の使用材料を表4.5-2に示す。

表 4.5-2 パネル部の使用材料

| | 評価対象部位 | 材質 強度区分 | 仕様 |
|------------------|---------|------------|----------------------------------|
| パ ネ ル 部 | パネル板 | SS400 | PL-12 |
| | 柱 | SS400 | H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 |
| | はり | SS400 | BH-470×200×12×19 |
| | パネル芯材 | SS400 | [-300×90×9×13 |
| | アンカーボルト | SS400 | M20 |

4.5.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.5-3 の値とする。

表 4.5-3 鋼材の許容限界

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮 | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

(2) アンカーボルトの許容限界

アンカーボルトの許容限界は、「4.5.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した，表 4.5-4 の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4.5-4 アンカーボルトの許容限界

| 水密扉 No. | 扉名称 | 許容耐力 (kN/本) | |
|------------|---------------------------|-------------|-----|
| | | 引張 | せん断 |
| 13 | 原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉 | 39 | 39 |

4.5.4 評価方法

4.5.4.1 応力算定

(1) パネル板

パネル板に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。パネル板に作用する荷重の例を図 4.5-2 に示す。

$$M_1 = G_P \cdot k_H \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

ここで、

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

G_P : パネル板の自重 (kN/m)

L_1 : パネル板の短辺長さ (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

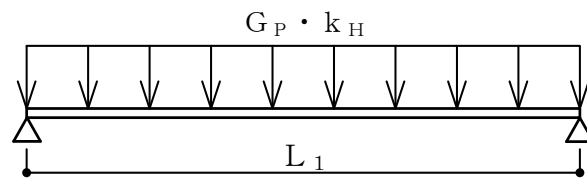


図 4.5-2 パネル板に作用する荷重の例

(2) パネル芯材

パネル芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。パネル芯材に作用する荷重の例を図 4.5-3 に示す。

$$M_2 = G_B \cdot k_H \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q_2 = G_B \cdot k_H \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

G_B : パネル芯材の自重 (パネル板の自重を含む) (kN/m)

k_H : 水平方向の設計震度

L_2 : パネル芯材の支持スパン (mm)

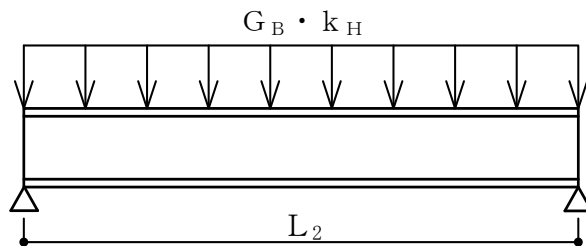


図 4.5-3 パネル芯材に作用する荷重の例

(3) 柱、はり及びアンカーボルト

地震荷重を受けるはり要素でモデル化し、実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え、柱、はり及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し、各許容限界との比較を行う。

評価モデル図及び評価モデルに作用する荷重の例を図 4.5-4 及び図 4.5-5 に示す。解析に使用するプログラムは、「KANSAS2」である。なお、解析プログラムの検証及び妥当性の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）の概要」に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下とする。

ヤング係数 : $E = 205000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

せん断弾性係数 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

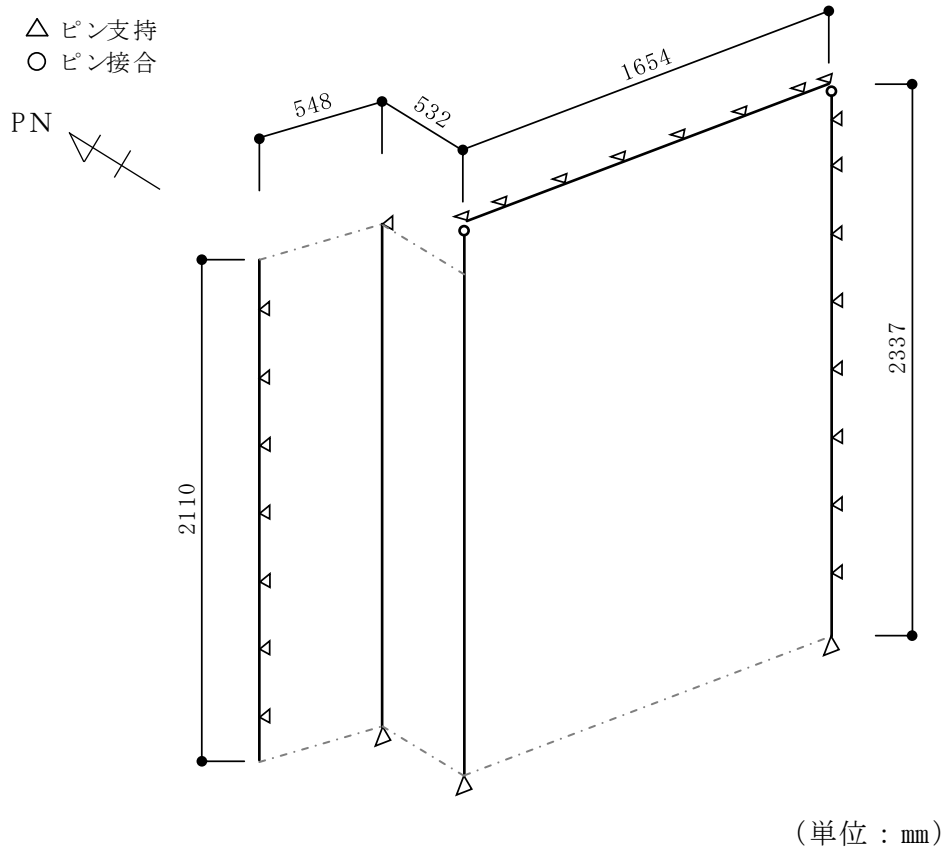


図 4.5-4 評価モデル図

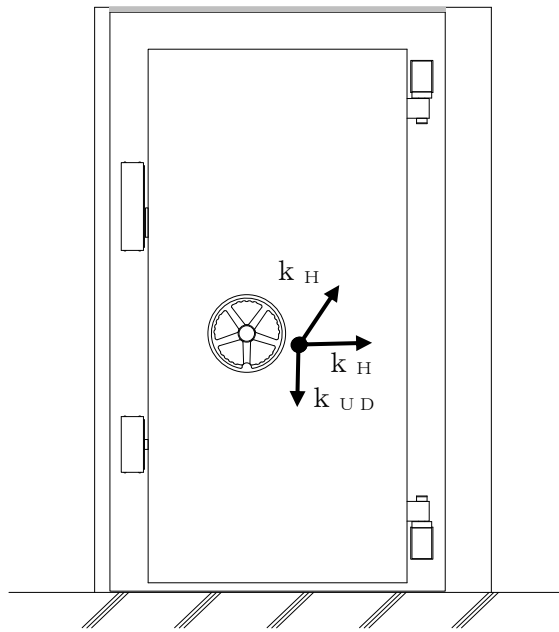


図 4.5-5 評価モデルに作用する荷重の例

4.5.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界以下であることを確認する。なお、水平及び鉛直方向の荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) パネル板

パネル板に生じる曲げ応力度を算定し、パネル板の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. パネル板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_1 \cdot 10^6) / Z_1$$

ここで、

σ_{b1} : パネル板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : パネル板の断面係数 (mm³/m)

(2) パネル芯材

パネル芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、パネル芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. パネル芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

ここで、

σ_{b2} : パネル芯材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : パネル芯材の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : パネル芯材の断面係数 (mm³)

b. パネル芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / A_2$$

ここで、

τ_2 : パネル芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : パネル芯材のせん断力 (kN)

A_2 : パネル芯材のせん断断面積 (mm²)

(3) 柱

柱に生じる曲げ応力度，せん断応力度及び軸応力度を算定し，柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

a. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b\ x3} = (M_{x3} \cdot 10^6) / Z_{x3}$$

$$\sigma_{b\ y3} = (M_{y3} \cdot 10^6) / Z_{y3}$$

ここで，

$\sigma_{b\ x3}$: 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{b\ y3}$: 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x3} : 柱の強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

M_{y3} : 柱の弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x3} : 柱の強軸回りの断面係数 (mm³)

Z_{y3} : 柱の弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{S\ x3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{S\ y3}$$

ここで，

τ_{x3} : 柱の強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

τ_{y3} : 柱の弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x3} : 柱の強軸方向のせん断力 (kN)

Q_{y3} : 柱の弱軸方向のせん断力 (kN)

$A_{S\ x3}$: 柱の強軸方向のせん断断面積 (mm²)

$A_{S\ y3}$: 柱の弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

c. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)3} = (N_{c(t)3} \cdot 10^3) / A_{g3}$$

ここで、

- $\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)
 $N_{c(t)3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)
 A_{g3} : 柱の断面積 (mm²)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx3}/s f_{bx3} + \sigma_{by3}/s f_{by3} + \sigma_{c(t)3}/s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

ここで、

- σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s f_{bx3}$: 柱の強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $s f_{by3}$: 柱の弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)
 $s f_{c(t)3}$: 柱の短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

柱に生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

ここで、

- σ_{bx3} : 柱の強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{by3} : 柱の弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)3}$: 柱の軸応力度 (N/mm²)
 τ_3 : 柱のせん断応力度 ($\max(\tau_{x3}, \tau_{y3})$) (N/mm²)
 $s f_{t3}$: 柱の短期許容引張応力度 (N/mm²)

(4) はり

はりに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = (M_{x4} \cdot 10^6) / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = (M_{y4} \cdot 10^6) / Z_{y4}$$

ここで、

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

M_{x4} : はりの強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

M_{y4} : はりの弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4} : はりの強軸回りの断面係数 (mm³)

Z_{y4} : はりの弱軸回りの断面係数 (mm³)

b. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = (Q_{x4} \cdot 10^3) / A_{sx4}$$

$$\tau_{y4} = (Q_{y4} \cdot 10^3) / A_{sy4}$$

ここで、

τ_{x4} : はりの強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

τ_{y4} : はりの弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4} : はりの強軸方向のせん断力 (kN)

Q_{y4} : はりの弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx4} : はりの強軸方向のせん断断面積 (mm²)

A_{sy4} : はりの弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

c. はりに生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = (N_{c(t)4} \cdot 10^3) / A_{g4}$$

ここで、

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$N_{c(t)4}$: はりの圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g4} : はりの断面積 (mm²)

d. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び軸応力度の組合せに対する検定比は、次式により算出し、検定比 1.0 以下であることを確認する。

$$\sigma_{bx4}/s f_{bx4} + \sigma_{by4}/s f_{by4} + \sigma_{c(t)4}/s f_{c(t)4} \leq 1.0$$

ここで、

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{bx4}$: はりの強軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$s f_{by4}$: はりの弱軸回りの短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

$s f_{c(t)4}$: はりの短期許容圧縮又は許容引張応力度 (N/mm²)

はりに生じる曲げ応力度、軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3\tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

ここで、

σ_{bx4} : はりの強軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{by4} : はりの弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)

$\sigma_{c(t)4}$: はりの軸応力度 (N/mm²)

τ_4 : はりのせん断応力度 ($\max(\tau_{x4}, \tau_{y4})$) (N/mm²)

$s f_{t4}$: はりの短期許容引張応力度 (N/mm²)

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて算定し，アンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(Q_5 / Q_{5a})^2 + (T_5 / T_{5a})^2 \leq 1.0$$

$$Q_5 / Q_{5a} \leq 1.0$$

ここで，

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_5 / T_{5a} \leq 1.0$$

ここで，

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{5a} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

4.5.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.5-5 に示す。

表 4.5-5 耐震評価に用いる条件

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 水密扉 No. | |
|-------------|----------|-------------|------------------------|-----------------|----------|
| | | | | 13 | |
| 共通 | k_H | — | 水平震度 | 0.98 | |
| | k_{UD} | — | 鉛直震度 | 0.97 | |
| パネル部 | パネル板 | G_P | kN/m | パネル板の自重 | 0.9240 |
| | | L_1 | mm | パネル板の短辺長さ | 550 |
| | | Z_1 | mm ³ /m | パネル板の断面係数 | 24000 |
| | パネル芯材 | G_B | kN/m | パネル芯材の自重 | 0.8130 |
| | | L_2 | mm | パネル芯材の支持スパン | 330 |
| | | Z_2 | mm ³ | パネル芯材の断面係数 | 429000 |
| | | A_2 | mm ² | パネル芯材のせん断断面積 | 2466 |
| | 柱 | M_{x3} | kN・m | 柱の強軸回りの曲げモーメント | 2.135 |
| | | M_{y3} | kN・m | 柱の弱軸回りの曲げモーメント | 5.337 |
| | | Z_{x3} | mm ³ | 柱の強軸回りの断面係数 | 1350000 |
| | | Z_{y3} | mm ³ | 柱の弱軸回りの断面係数 | 450000 |
| | | Q_{x3} | kN | 柱の強軸方向のせん断力 | 2.001 |
| | | Q_{y3} | kN | 柱の弱軸方向のせん断力 | 5.003 |
| | | A_{Sx3} | mm ² | 柱の強軸方向のせん断断面積 | 2700 |
| | | A_{Sy3} | mm ² | 柱の弱軸方向のせん断断面積 | 9000 |
| | | $N_{c(t)3}$ | kN | 柱の圧縮又は引張軸力 | 3.130 |
| | | A_{g3} | mm ² | 柱の断面積 | 11800 |
| | はり | M_{x4} | kN・m | はりの強軸回りの曲げモーメント | 0.003000 |
| | | M_{y4} | kN・m | はりの弱軸回りの曲げモーメント | 0.01700 |
| | | Z_{x4} | mm ³ | はりの強軸回りの断面係数 | 1989000 |
| | | Z_{y4} | mm ³ | はりの弱軸回りの断面係数 | 254000 |
| | | Q_{x4} | kN | はりの強軸方向のせん断力 | 0.07600 |
| | | Q_{y4} | kN | はりの弱軸方向のせん断力 | 0.3820 |
| | | A_{Sx4} | mm ² | はりの強軸方向のせん断断面積 | 5184 |
| | | A_{Sy4} | mm ² | はりの弱軸方向のせん断断面積 | 7600 |
| | | $N_{c(t)4}$ | kN | はりの圧縮又は引張軸力 | 0.07000 |
| | | A_{g4} | mm ² | はりの断面積 | 12780 |
| アンカー ボルト | Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力 | 9 | |
| | T_5 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 | 5 | |

5. 評価結果

水密扉の評価結果をタイプごとに表 5-1～表 5-5 に示す。パネル部の各部材ごとに検定比が最大となる代表部材を図 5-1 に示す。水密扉及びパネル部の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重が許容限界値以下であることから、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 タイプ I の断面検定結果

| 水密扉 No. | 対象評価部位 | | 分類 | 発生応力度 又は荷重 (N/mm ²) | 許容限界値 (N/mm ²) | 発生応力度/ 許容限界値 | |
|---------|-----------|--------|------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|------|
| 24 | ヒンジ部 | ヒンジ板 | 曲げ | 62 | 235 | 0.27 | |
| | | | せん断 | 4 | 135 | 0.03 | |
| | | | 組合せ | 63 | 235 | 0.27 | |
| | | ヒンジピン | 曲げ | 265 | 345 | 0.77 | |
| | | | せん断 | 22 | 199 | 0.12 | |
| | | | 組合せ | 268 | 345 | 0.78 | |
| | | ヒンジボルト | せん断 | 25 | 375 | 0.07 | |
| | | カンヌキ部 | カンヌキ | 曲げ | 43 | 205 | 0.21 |
| | | | | せん断 | 6 | 118 | 0.06 |
| | 組合せ | | | 45 | 205 | 0.22 | |
| | カンヌキ受けピン | | 曲げ | 147 | 345 | 0.43 | |
| | | | せん断 | 11 | 199 | 0.06 | |
| | | | 組合せ | 149 | 345 | 0.44 | |
| | カンヌキ受けボルト | | 引張 | 57 | 651 | 0.09 | |
| | アンカーボルト* | | せん断 | 4 | 25 | 0.16 | |
| | | | 引張 | 4 | 23 | 0.18 | |
| | | 組合せ | — | — | 0.06 | | |

注記*：アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-2 タイプ II の断面検定結果

| 水密扉 No. | 対象評価部位 | | 分類 | 発生応力度 又は荷重 (N/mm ²) | 許容限 界値 (N/mm ²) | 発生応力度/ 許容限界値 |
|------------|-----------|---------------|-----|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 28 | ヒンジ部 | ヒンジ板 | 曲げ | 69 | 215 | 0.33 |
| | | | せん断 | 6 | 124 | 0.05 |
| | | | 組合せ | 70 | 215 | 0.33 |
| | | ヒンジピン | 曲げ | 166 | 345 | 0.49 |
| | | | せん断 | 27 | 199 | 0.14 |
| | | | 組合せ | 173 | 345 | 0.51 |
| | ヒンジボルト | せん断 | 51 | 375 | 0.14 | |
| | カンヌキ 部 | カンヌキ | せん断 | 16 | 20 | 0.80 |
| | | カンヌキ 受けボルト | 引張 | 49 | 235 | 0.21 |
| | アンカーボルト* | | せん断 | 2 | 22 | 0.10 |
| | | | 引張 | 2 | 20 | 0.10 |
| | | | 組合せ | — | — | 0.02 |

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-3 タイプⅢの断面検定結果

| 水密扉 No. | 対象評価部位 | | 分類 | 発生応力度 又は荷重 (N/mm ²) | 許容限 界値 (N/mm ²) | 発生応力度/ 許容限界値 | |
|------------|----------------|-----------|------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|------|
| 31 | ヒンジ部 | ヒンジ板 | 曲げ | 55 | 205 | 0.27 | |
| | | | せん断 | 5 | 118 | 0.05 | |
| | | | 組合せ | 56 | 205 | 0.28 | |
| | | ヒンジピン | 曲げ | 175 | 205 | 0.86 | |
| | | | せん断 | 17 | 118 | 0.15 | |
| | | | 組合せ | 178 | 205 | 0.87 | |
| | | ヒンジボルト | せん断 | 39 | 118 | 0.34 | |
| | | カンヌキ 部 | カンヌキ | 曲げ | 445 | 651 | 0.69 |
| | | | | せん断 | 15 | 375 | 0.04 |
| | 組合せ | | | 446 | 651 | 0.69 | |
| | カンヌキ 受けプレート | | 曲げ | 44 | 235 | 0.19 | |
| | | | せん断 | 1 | 135 | 0.01 | |
| | | | 組合せ | 45 | 235 | 0.20 | |

表 5-4 タイプⅣの断面検定結果

| 水密扉 No. | 対象評価部位 | | 発生応力度 又は荷重 (N/mm ²) | 許容限界値 (N/mm ²) | 発生応力度/ 許容限界値 |
|------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 35 | 扉板 | 曲げ応力度 | 22 | 235 | 0.10 |
| | | せん断応力度 | 1 | 135 | 0.01 |
| | 水平材 | 曲げ応力度 | 10 | 235 | 0.05 |
| | | せん断応力度 | 1 | 135 | 0.01 |
| | 外部縦柱 | 曲げ応力度 | 45 | 235 | 0.20 |
| | | せん断応力度 | 6 | 135 | 0.05 |
| | | 組合せ応力度 (曲げ+せん断) | 46 | 235 | 0.20 |
| | 水密扉戸当 り用支柱 | 曲げ応力度 | 88 | 235 | 0.38 |
| | | せん断応力度 | 24 | 135 | 0.18 |
| | | 組合せ応力度 (上向き) (曲げ+引張) | — | — | 0.38 |
| | | 組合せ応力度 (下向き) (曲げ+圧縮) | — | — | 0.39 |
| | | 組合せ応力度 (曲げ+せん断) | 96 | 235 | 0.41 |
| | | 組合せ応力度 (曲げ+引張+せん断) (上向き) | 98 | 235 | 0.42 |
| | | 組合せ応力度 (曲げ+圧縮+せん断) (下向き) | 100 | 235 | 0.43 |
| | アンカーボ ルト | 引張力* | 62 | 90 | 0.69 |
| | | せん断力* | 9 | 51 | 0.18 |
| 組合せ | | — | — | 0.50 | |

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-5 タイプVの断面検定結果

| 水密扉 No. | 対象評価部位 | | 分類 | 発生応力度 又は荷重 (N/mm ²) | 許容 限界値 (N/mm ²) | 発生応力度 / 許容限界値 |
|------------|------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 13 | パ ネ ル 部 | パネル板 | 曲げ | 2 | 235 | 0.01 |
| | | パネル 芯材 | 曲げ | 1 | 235 | 0.01 |
| | | | せん断 | 1 | 135 | 0.01 |
| | | 柱 | 曲げ (強軸) | 2 | 230 | 0.01 |
| | | | 曲げ (弱軸) | 12 | 230 | 0.06 |
| | | | せん断 | 1 | 135 | 0.01 |
| | | | 軸力 | 1 | 223 | 0.01 |
| | | | 組合せ (曲げ+軸力) | - | - | 0.08 |
| | | | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | 16 | 235 | 0.07 |
| | | | はり | 曲げ (強軸) | 1 | 234 |
| | | 曲げ (弱軸) | | 1 | 234 | 0.01 |
| | | せん断 | | 1 | 135 | 0.01 |
| | | 軸力 | | 1 | 235 | 0.01 |
| | | 組合せ (曲げ+軸力) | | - | - | 0.03 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断 +軸力) | | 4 | 235 | 0.02 |
| | | アンカー ボルト* | せん断 | 9 | 39 | 0.24 |
| | | | 引張 | 5 | 39 | 0.13 |
| | | | 組合せ (せん断+引張) | - | - | 0.07 |

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

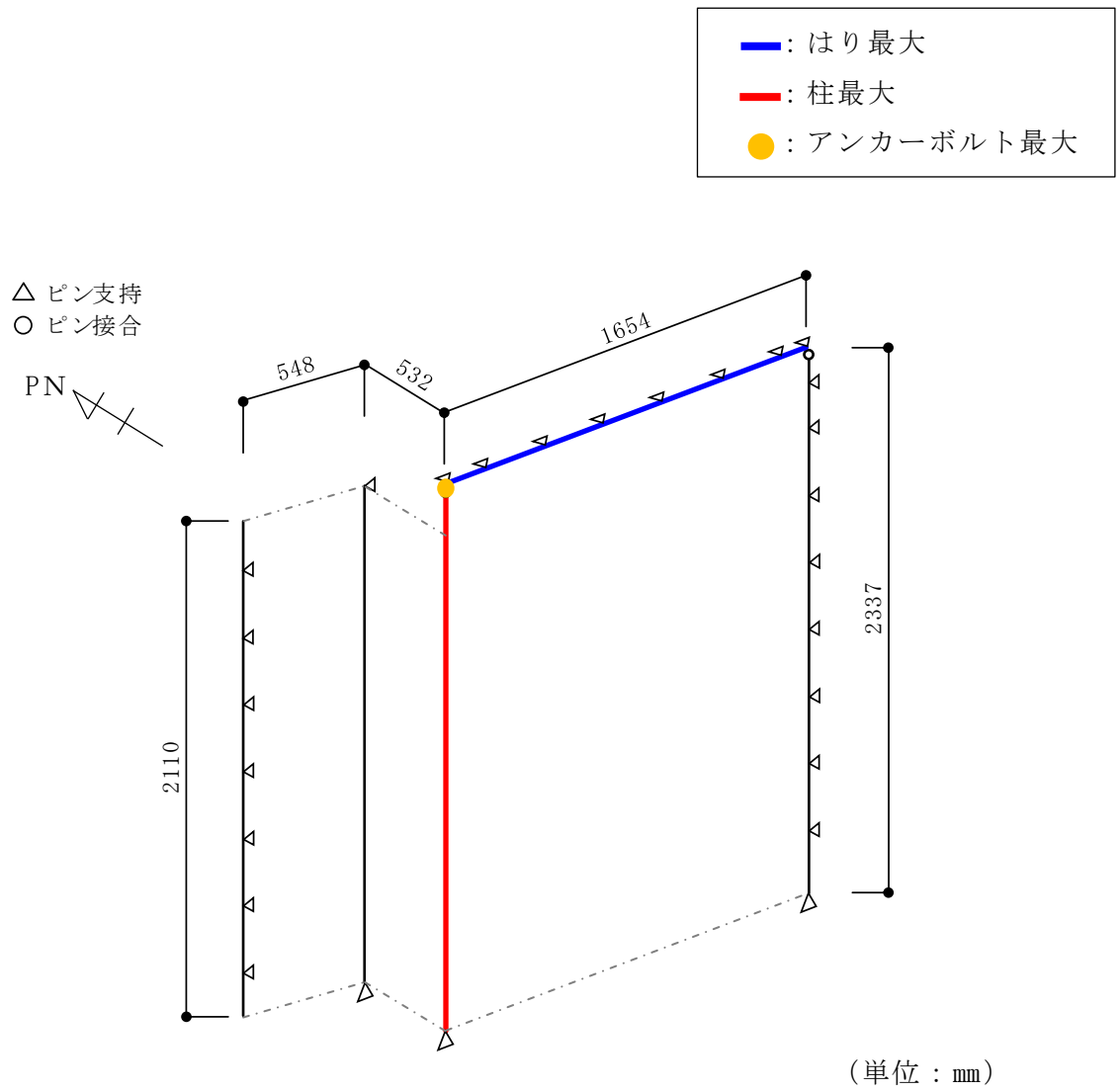


図 5-1 検定比最大箇所 (パネル部)

VI-2-10-2-16 取水槽水位計の耐震性についての計算書

目 次

| | |
|------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 検出器 (LE215-3A, B) | 2 |
| 2.1 概要 | 2 |
| 2.2 一般事項 | 2 |
| 2.2.1 構造計画 | 2 |
| 2.2.2 評価方針 | 5 |
| 2.2.3 適用規格・基準等 | 6 |
| 2.2.4 記号の説明 | 7 |
| 2.2.5 計算精度と数値の丸め方 | 8 |
| 2.3 評価部位 | 9 |
| 2.4 固有周期 | 10 |
| 2.4.1 固有値解析方法 | 10 |
| 2.4.2 解析モデル及び諸元 | 10 |
| 2.4.3 固有値解析結果 | 13 |
| 2.5 構造強度評価 | 15 |
| 2.5.1 構造強度評価方法 | 15 |
| 2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 15 |
| 2.5.3 設計用地震力 | 19 |
| 2.5.4 計算方法 | 20 |
| 2.5.5 計算条件 | 23 |
| 2.5.6 応力の評価 | 23 |
| 2.6 機能維持評価 | 24 |
| 2.6.1 電氣的機能維持評価方法 | 24 |
| 2.7 評価結果 | 25 |
| 2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 25 |

| | |
|------------------------|----|
| 3. 発信器 (LX215-3A, B) | 34 |
| 3.1 概要 | 34 |
| 3.2 一般事項 | 34 |
| 3.2.1 構造計画 | 34 |
| 3.2.2 評価方針 | 36 |
| 3.2.3 適用規格・基準等 | 37 |
| 3.2.4 記号の説明 | 38 |
| 3.2.5 計算精度と数値の丸め方 | 40 |
| 3.3 評価部位 | 41 |
| 3.4 固有周期 | 41 |
| 3.4.1 固有周期の確認 | 41 |
| 3.5 構造強度評価 | 42 |
| 3.5.1 構造強度評価方法 | 42 |
| 3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 42 |
| 3.5.3 設計用地震力 | 46 |
| 3.5.4 計算方法 | 47 |
| 3.5.5 計算条件 | 49 |
| 3.5.6 応力の評価 | 50 |
| 3.6 機能維持評価 | 51 |
| 3.6.1 電氣的機能維持評価方法 | 51 |
| 3.7 評価結果 | 52 |
| 3.7.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 52 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水槽水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

取水槽水位計は、検出器及び発信器から構成される。取水槽水位計の構造図を図1-1に示す。

「2. 検出器」においては、取水槽水位計のうち検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、検出器を評価対象部位として評価を実施する。

「3. 発信器」においては、取水槽水位計のうち発信器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、発信器を評価対象部位として評価を実施する。

電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下であることで評価する。

取水槽水位計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

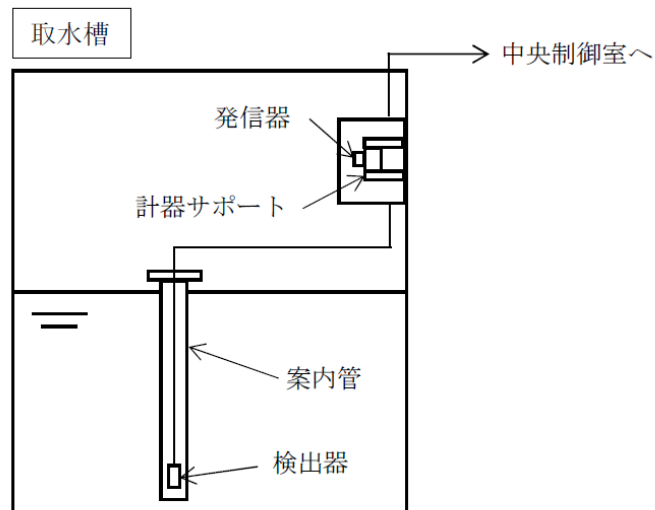


図1-1 取水槽水位計の構造図

2. 検出器 (LE215-3A, B)

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

検出器の構造計画を表 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>検出器は、案内管内に設置する。 案内管はUボルトによりサポート鋼材に固定され、サポート鋼材は基礎ボルトにより床及び壁に設置する。</p> | <p>検出器、案内管、サポート鋼材及び基礎ボルトから構成する。</p> | <p>The diagram illustrates the construction of a detector assembly. It includes a front view (正面) and a right-side view (右側面). Key components labeled include: ケーブル (Cable), 基礎ボルト (基礎ボルト (ケミカルアンカ)) (Foundation Bolt (Chemical Anchor)), (据付床) (Support Bed), フランジ (Flange), 案内管 (Guide Pipe), サポート鋼材 (山形鋼) (Support Steel (Channel Steel)), 後打金物 (After-Installation Hardware), Uボルト (U-bolt), 検出器 (Detector), and 基礎ボルト (基礎ボルト (平板)) (Foundation Bolt (Flat Plate)). Cross-sections A-A and B-B are also shown. The drawing is identified as (LE215-3A) and includes the unit (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>検出器は、案内管内に設置する。 案内管はUボルトによりサポート鋼材に固定され、サポート鋼材は基礎ボルトにより床及び壁に設置する。</p> | <p>検出器、案内管、サポート鋼材及び基礎ボルトから構成する。</p> | <p>基礎ボルト サポート鋼材 (平板) Uボルト 基礎ボルト (ケミカルアンカ) ケーブル 後打金物 案内管 サポート鋼材 (山形鋼) 検出器 左側面 正面 C-C 矢視図 D-D 矢視図</p> <p>(LE215-3B)</p> <p>(単位: mm)</p> |

2.2.2 評価方針

検出器の応力評価は、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、「2.2.1 構造計画」にて示す検出器の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」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、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、検出器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

検出器の耐震評価フローを図2-1に示す。

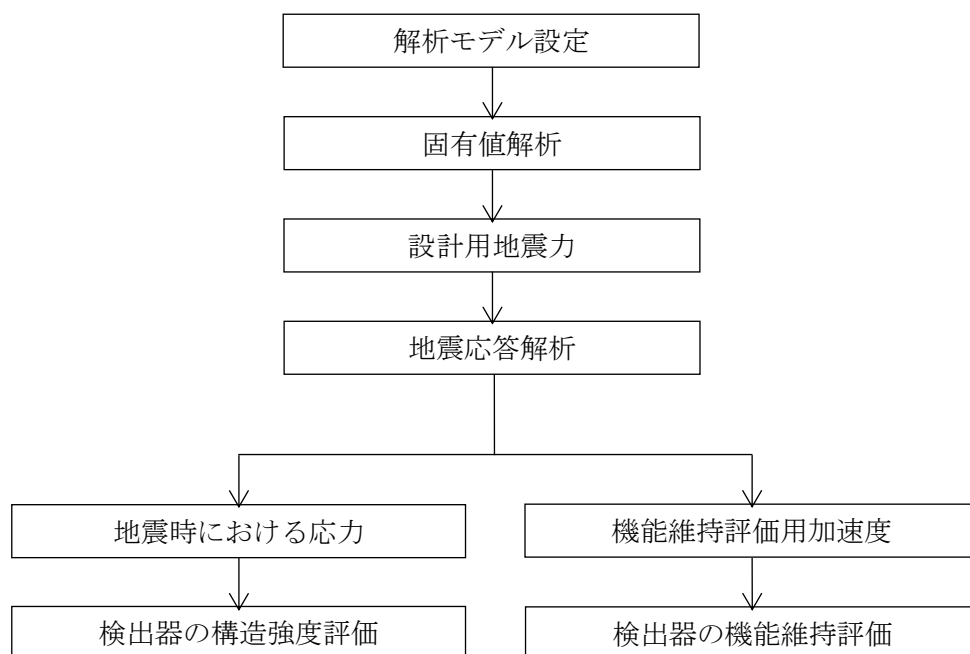


図2-1 検出器の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------|---|------------------|
| A b | 基礎ボルトの軸断面積 | mm ² |
| C H | 水平方向設計震度 | — |
| C v | 鉛直方向設計震度 | — |
| d | 基礎ボルトの呼び径 | mm |
| F | 設計・建設規格 SSB-3131.1(1)に定める値 | MPa |
| F * | 設計・建設規格 SSB-3133に定める値 | MPa |
| F b | 基礎ボルトに作用する引張力 | N |
| F x | サポート基礎部に作用する力 (X方向) | N |
| F y | サポート基礎部に作用する力 (Y方向) | N |
| F z | サポート基礎部に作用する力 (Z方向) | 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 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 |
| l ₁ | ボルト間距離 (M _x に対する) | mm |
| l ₂ | ボルト間距離 (M _z に対する) | mm |
| l ₃ | ボルト間距離 (M _y に対する) | mm |
| M _x | サポート基礎部に作用するモーメント (X軸周り) | N・mm |
| M _y | サポート基礎部に作用するモーメント (Y軸周り) | N・mm |
| M _z | サポート基礎部に作用するモーメント (Z軸周り) | N・mm |
| n | 基礎ボルトの本数 | — |
| n ₁ | M _x に耐えうる基礎ボルトの本数 | — |
| n ₂ | M _z に耐えうる基礎ボルトの本数 | — |
| n ₃ | M _y に耐えう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 (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 |
| W ₁ | 検出器の荷重 | N |
| W ₂ | ケーブルの荷重 | N |
| π | 円周率 | — |
| σ b | 基礎ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ b | 基礎ボルトに生じるせん断応力 | MPa |

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------------------|-----------------|-------------------------|------|----------------------------|
| 固有周期 | s | 小数点以下第 4 位 | 四捨五入 | 小数点以下第 3 位 |
| 震度 | — | 小数点以下第 3 位 | 切上げ | 小数点以下第 2 位 |
| 温度 | °C | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位 ^{*1} |
| 面積 | mm ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| モーメント | N・mm | 有効数字 5 桁目 ^{*3} | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2, *3} |
| 力 | N | 有効数字 5 桁目 ^{*3} | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2, *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：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：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁以下となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*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。

2.3 評価部位

検出器の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる壁面サポート及び床面サポートの基礎ボルト部について実施する。検出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。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

検出器の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 検出器は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

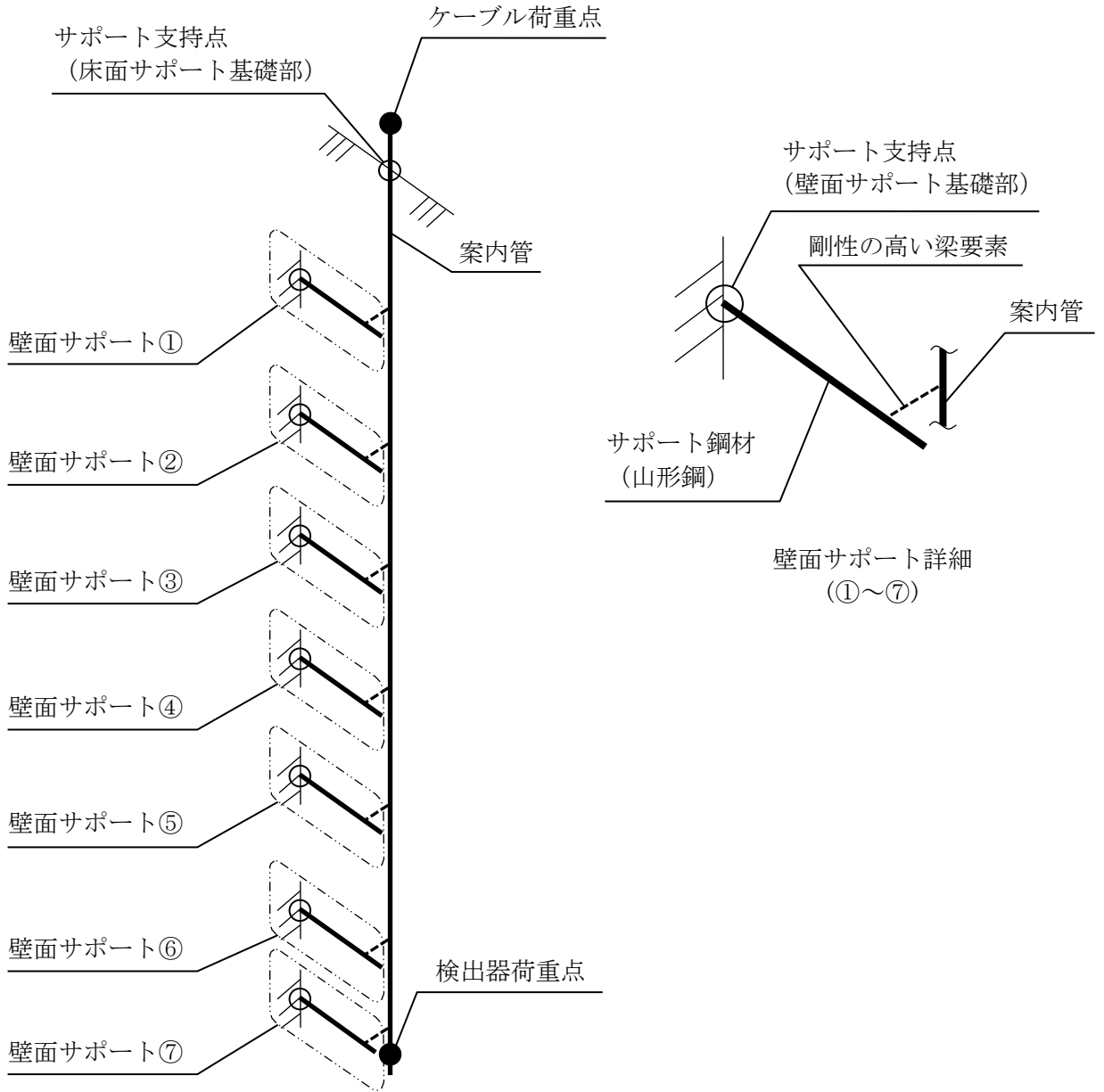
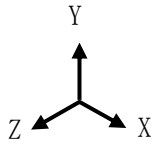
2.4.2 解析モデル及び諸元

検出器の解析モデルを図 2-2 及び図 2-3 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【検出器 (LE215-3A) の耐震性についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) 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) 検出器の案内管の質量は、案内管自身の質量のほか、内包水の質量及び水の付加質量*を考慮する。
- (2) 検出器及びケーブルの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (3) 検出器及びケーブルの重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (4) 拘束条件として、基礎部の並進方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値及び荷重を求める。

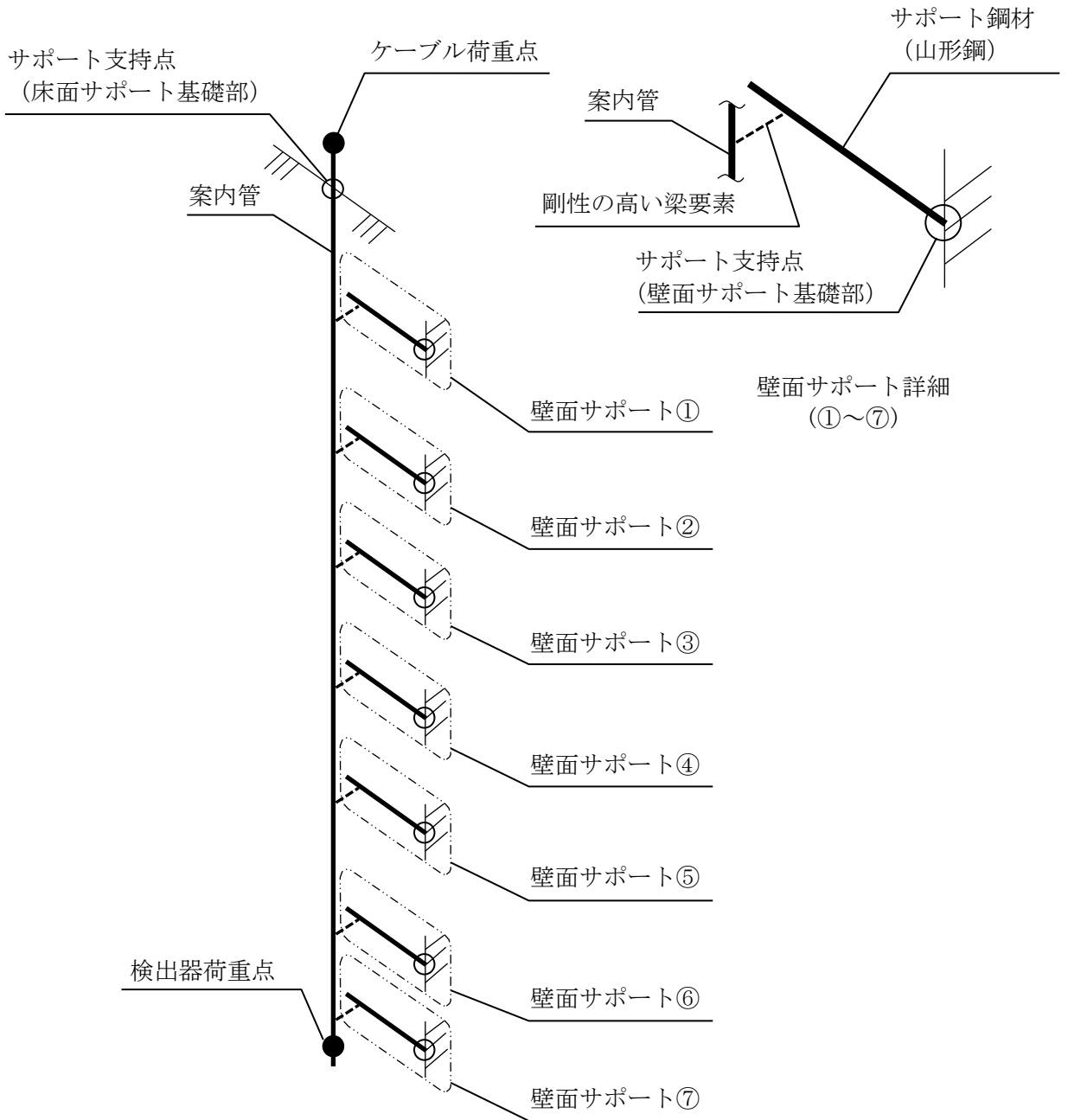
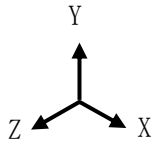
なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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



S2 補 VI-2-10-2-16 R0

図 2-2 解析モデル (LE215-3A)



S2 補 VI-2-10-2-16 R0

図 2-3 解析モデル (LE215-3B)

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3, 振動モード図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 2-3 固有値解析結果

| 計器番号 | 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 | |
| LE215-3A | 1次 | 水平 | | — | — | — |
| LE215-3B | 1次 | 水平 | | — | — | — |

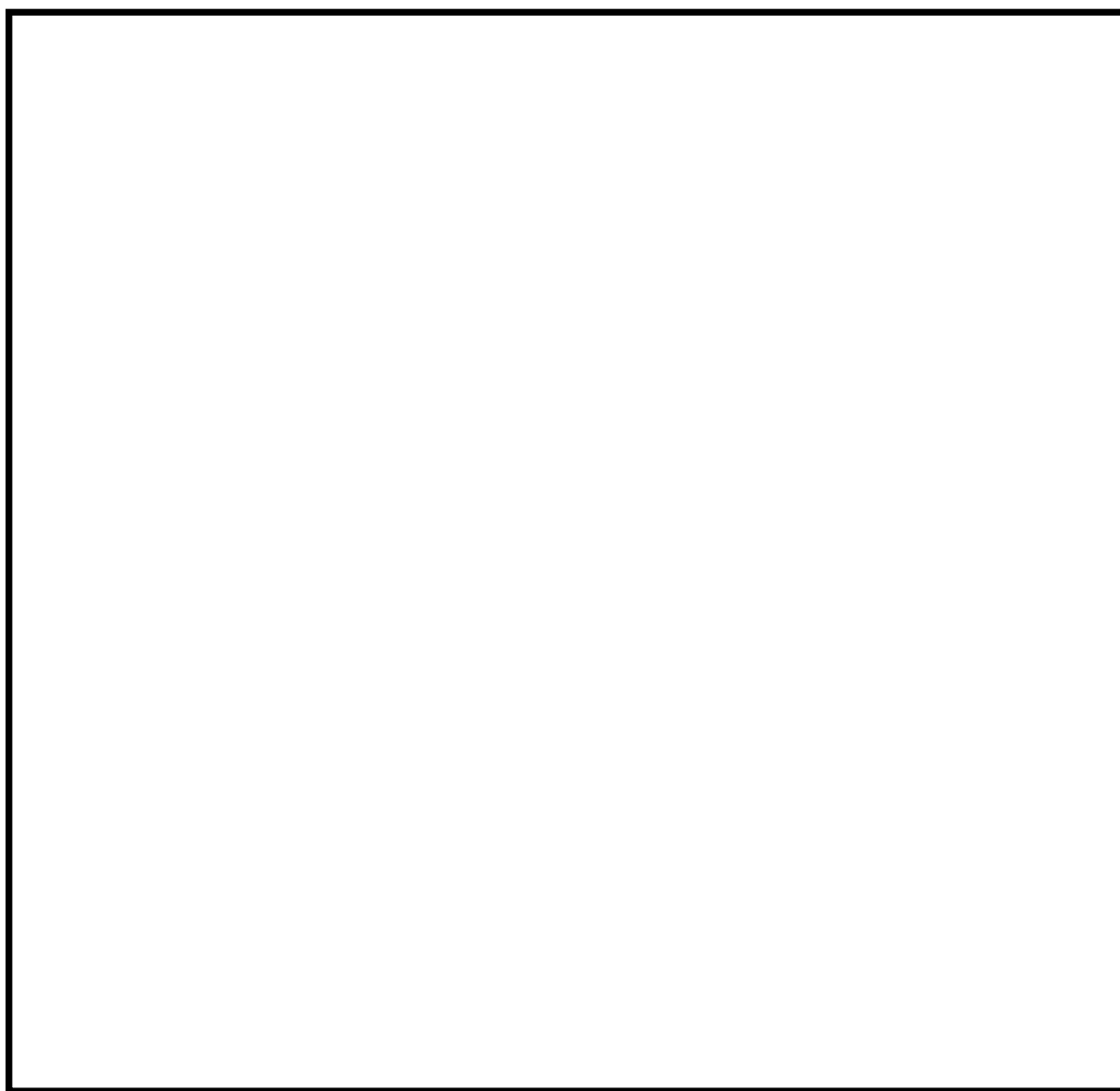


図 2-4 振動モード (LE215-3A) (1次モード 水平方向 s)

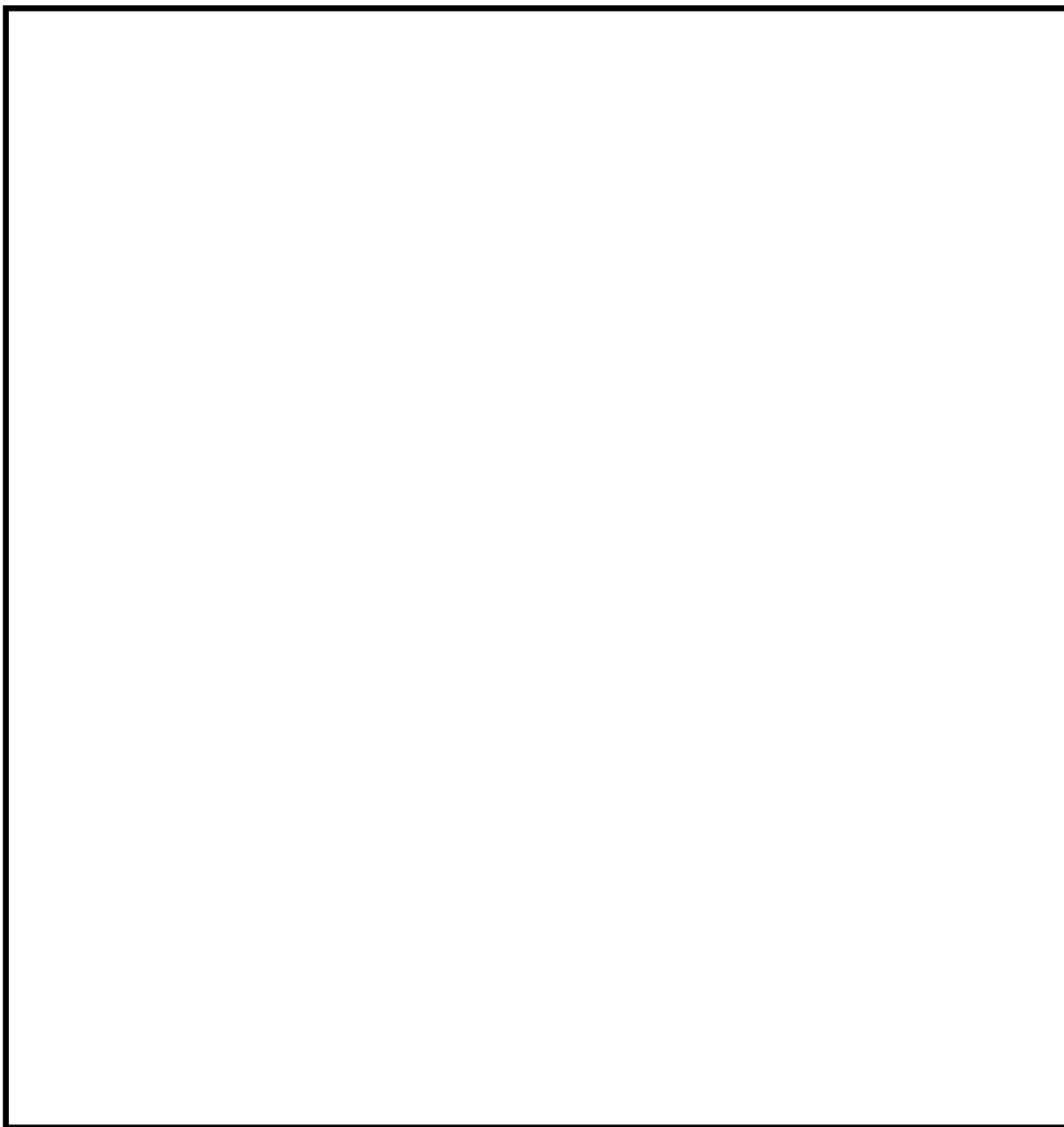


図 2-5 振動モード (LE215-3B) (1 次モード 水平方向 s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2項(1)～(6)のほか，次の条件で計算する。

- (1) 地震力は，検出器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。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出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2-4に示す。

2.5.2.2 許容応力

検出器の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表2-5のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

検出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2-6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 |
|--------|--------|---------|--------|-----------------------|------------------|
| 津波監視設備 | 取水槽水位計 | S | —* | $D + P_D + M_D + S_s$ | Ⅲ _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 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 |
| ⅢA 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 2-6 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 (床面サポート) | SS400 (径≤16mm) | 周囲環境温度 | 50 | 241 | 394 | — |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | SUS316L | 周囲環境温度 | 50 | 169 | 472 | 175 |

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 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 2-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

| 機器名称 | 据付場所 及び 床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | 弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------------------|--|-------------|------------|---------------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | | 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 |
| 検出器 (LE215-3A) | 取水槽 EL 4.0 ^{*1} (EL 8.8 ^{*1}) | | 0.05 以下 | — | — | C _H =4.85 ^{*2} | C _V =2.13 ^{*2} |
| 検出器 (LE215-3B) | 取水槽 EL 4.0 ^{*1} (EL 8.8 ^{*1}) | | 0.05 以下 | — | — | C _H =4.85 ^{*2} | C _V =2.13 ^{*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

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、図 2-6 及び図 2-7 に示す三次元はりモデルによる個別解析からサポート評価点の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて基礎ボルトを評価する。個別解析によって得られたサポート評価点の最大反力とモーメントを表 2-8 及び表 2-9 に示す。

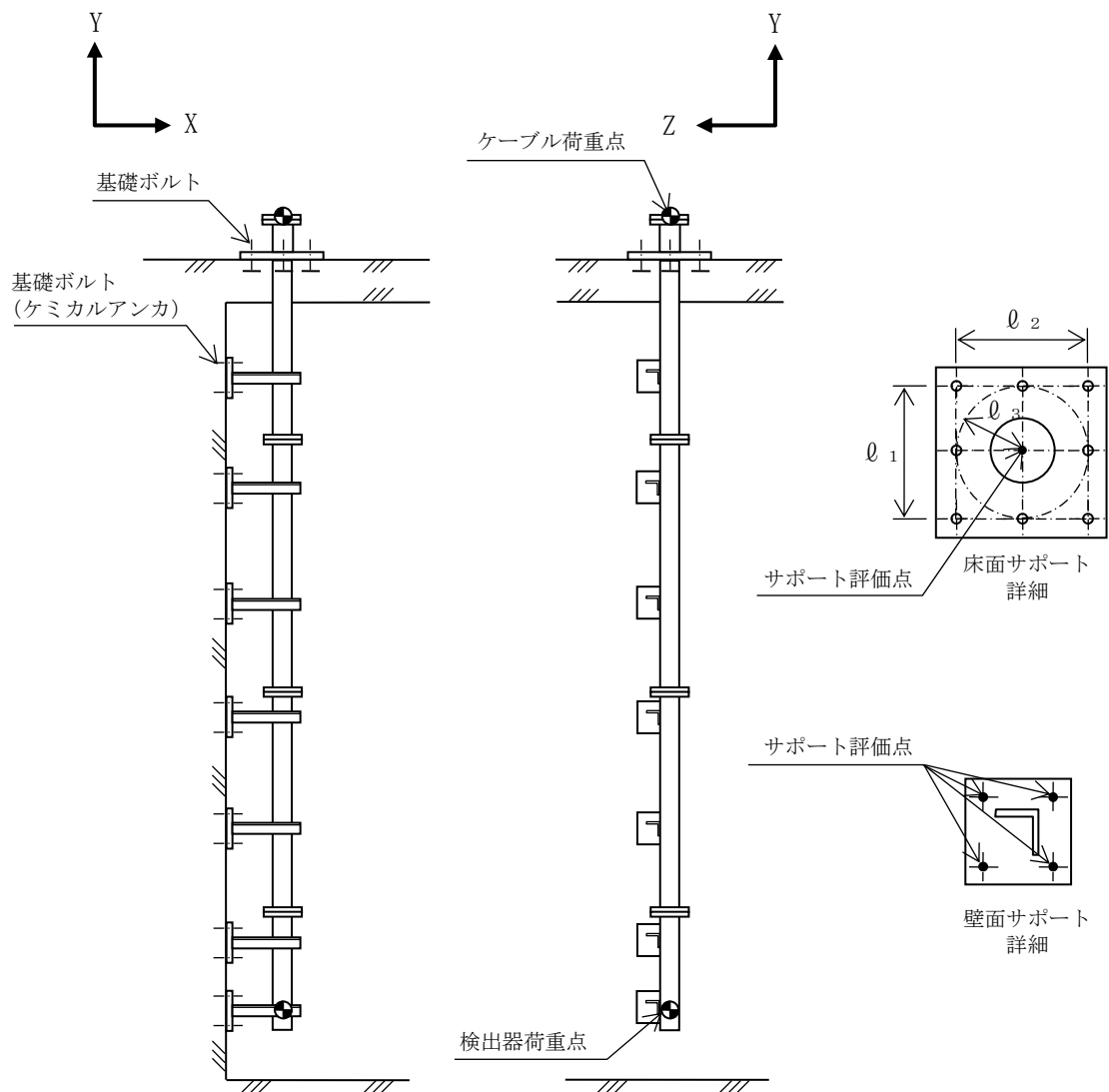


図 2-6 計算モデル (基礎ボルト部) (LE215-3A)

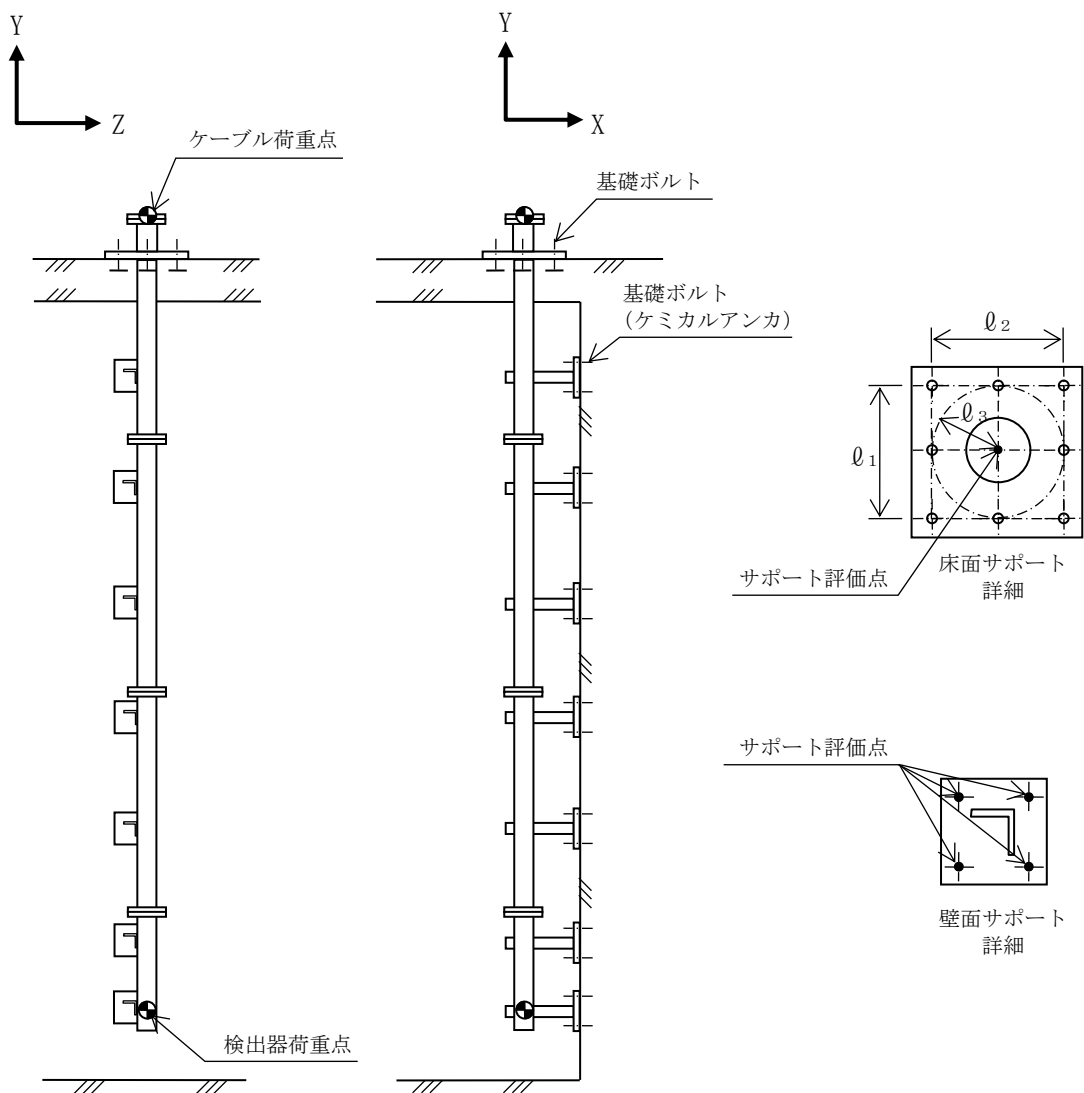


図 2-7 計算モデル (基礎ボルト部) (LE215-3B)

表2-8 サポート発生反力, モーメント (床面サポート)

| 対象機器 | 反力(N) | | | モーメント(N・mm) | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | F _x | F _y | F _z | M _x | M _y | M _z |
| LE215-3A | | | | | | |
| LE215-3B | | | | | | |

表 2-9 サポート発生反力 (壁面サポート)

| 対象機器 | 反力(N) | |
|----------|----------------|----------------|
| | F _b | Q _b |
| LE215-3A | | |
| LE215-3B | | |

(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。

引張力 (床面サポートのみ)

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{l_1 \cdot n_1} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

ここで, 基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

(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。

せん断力 (床面サポートのみ)

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_y}{l_3 \cdot n_3} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【検出器 (LE215-3A) の耐震性についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

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} | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

検出器の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度を設定する。

検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、検出器が設置される壁における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-10 に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|-------------------|----|--|
| 検出器 (LE215-3A) | 水平 |  |
| | 鉛直 | |
| 検出器 (LE215-3B) | 水平 | |
| | 鉛直 | |

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

検出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し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【検出器 (LE215-3A) 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 | |
| 検出器 (LE215-3A) | S | 取水槽 EL 4.0* ¹ (EL 8.8* ¹) | | 0.05 以下 | — | — | C _H =4.85* ² | C _V =2.13* 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) を上回る設計震度

1.2 機器要目

| 部材 | W ₁ (N) | W ₂ (N) | d (mm) | A _b (mm ²) | ℓ ₁ | ℓ ₂ | ℓ ₃ | n | n ₁ | n ₂ | n ₃ | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|------------|-------------|
| 基礎ボルト (床面サポート) | | | | | | | | | | | | 241 (径≦16mm) | 394 (径≦16mm) | — | 241 | — |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | | | | | — | — | — | | — | — | — | 169 | 472 | 175 | 175 | — |

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

| 部材 | F _x | | F _y | | F _z | |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s |
| 基礎ボルト (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

| 部材 | M _x | | M _y | | M _z | |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s |
| 基礎ボルト (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.3.3 基礎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 (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(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 (床面サポート) | SS400 | 引張 | — | — | $\sigma_b=8$ | $f_{ts}=180^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b=3$ | $f_{sb}=139$ |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | SUS316L | 引張 | — | — | $\sigma_b=18$ | $f_{ts}=105^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b=5$ | $f_{sb}=80$ |

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

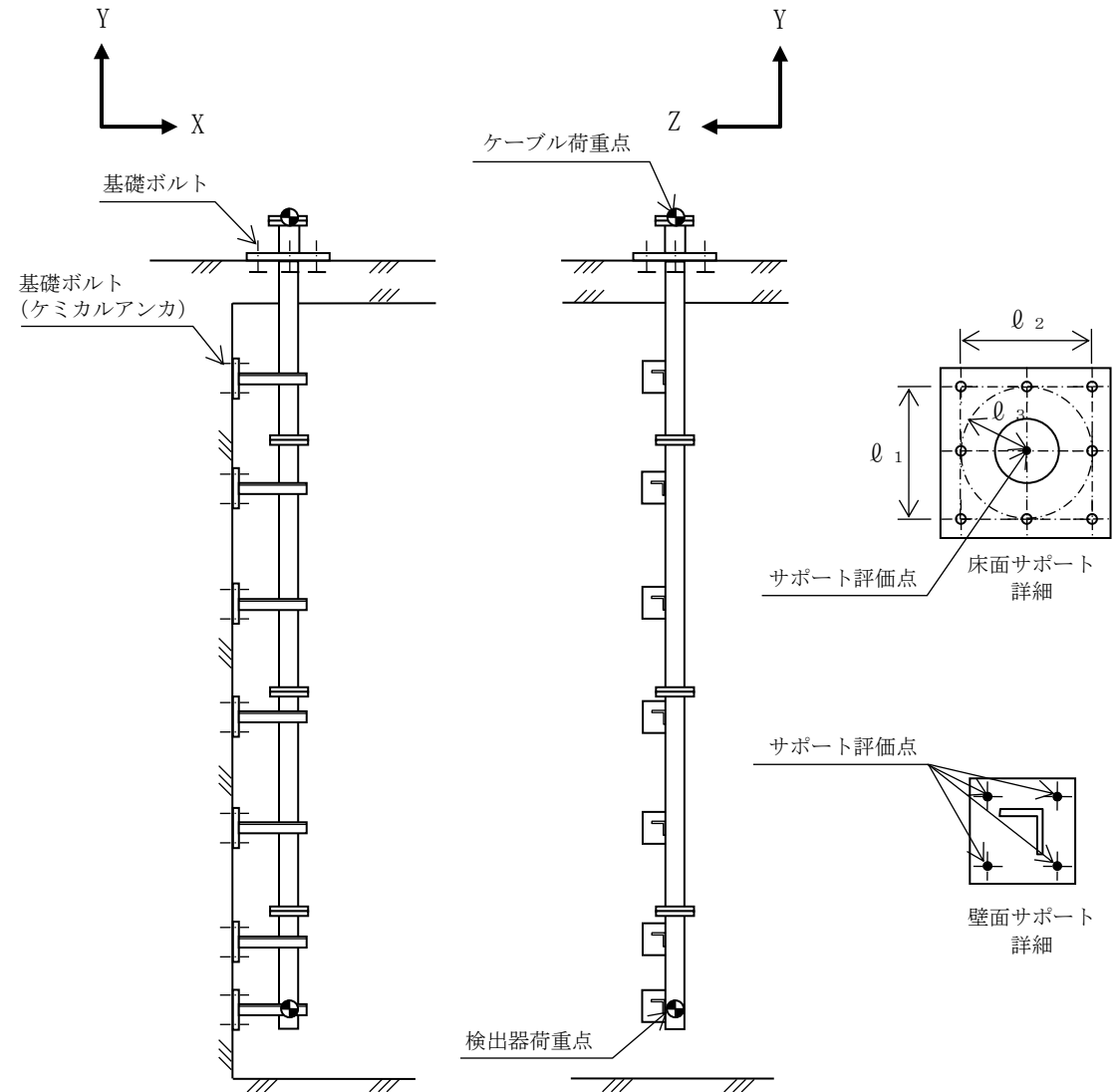
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-------------------|------|-------------|--|
| 検出器 (LE215-3A) | 水平方向 | 1.17 |  |
| | 鉛直方向 | 0.87 | |

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

| 項目 | 記号 | 単位 | 入力値 (LE215-3A) |
|-----------------|-------|-----|----------------------|
| 材質 | — | — | SUS316/SUS316TP |
| 質量 | m | kg | <input type="text"/> |
| 温度条件 (雰囲気温度) | T | °C | 50 |
| 縦弾性係数 | E | MPa | 193000 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 要素数 | — | 個 | <input type="text"/> |
| 節点数 | — | 個 | <input type="text"/> |



【検出器 (LE215-3B) 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 | |
| 検出器 (LE215-3B) | S | 取水槽 EL 4.0* ¹ (EL 8.8* ¹) | | 0.05 以下 | — | — | C _H =4.85* ² | C _V =2.13* 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) を上回る設計震度

1.2 機器要目

| 部材 | W ₁ (N) | W ₂ (N) | d (mm) | A _b (mm ²) | ℓ ₁ | ℓ ₂ | ℓ ₃ | n | n ₁ | n ₂ | n ₃ | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------|-------------|
| 基礎ボルト (床面サポート) | | | | | | | | | | | | 241 (径 ≤ 16mm) | 394 (径 ≤ 16mm) | — | 241 | — |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | | | | | — | — | — | | — | — | — | 169 | 472 | 175 | 175 | — |

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

| 部材 | F _x | | F _y | | F _z | |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s |
| 基礎ボルト (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

| 部材 | M _x | | M _y | | M _z | |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動S _s |
| 基礎ボルト (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.3.3 基礎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 (床面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(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 (床面サポート) | SS400 | 引張 | — | — | $\sigma_b=8$ | $f_{ts}=180^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b=3$ | $f_{sb}=139$ |
| 基礎ボルト (壁面サポート) | SUS316L | 引張 | — | — | $\sigma_b=18$ | $f_{ts}=105^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b=5$ | $f_{sb}=80$ |

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

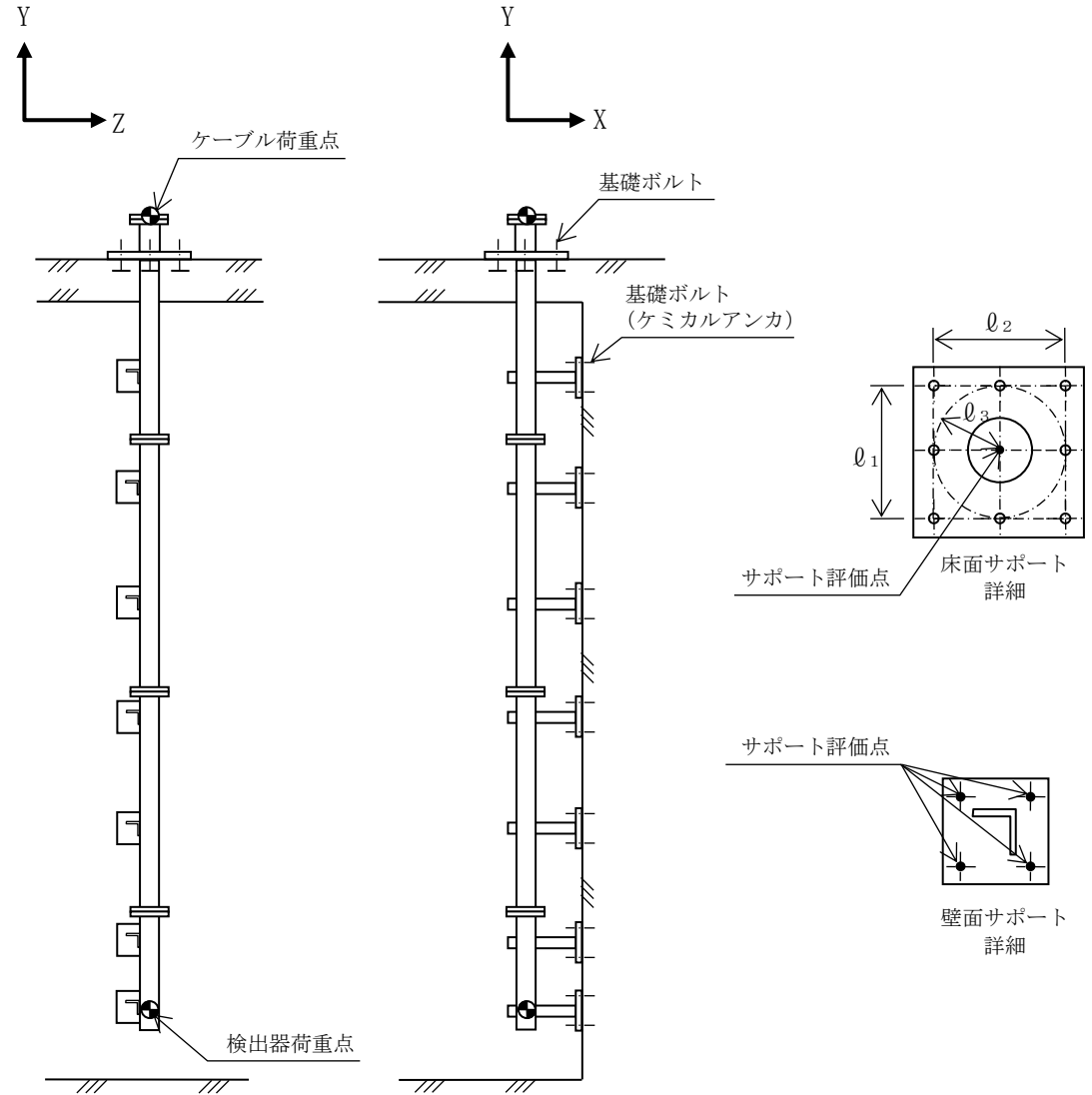
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-------------------|------|-------------|----------|
| 検出器 (LE215-3B) | 水平方向 | 1.17 | |
| | 鉛直方向 | 0.87 | |

注記*: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

| 項目 | 記号 | 単位 | 入力値 (LE215-3B) |
|-----------------|-------|-----|--|
| 材質 | — | — | SUS316/SUS316TP |
| 質量 | m | kg | |
| 温度条件 (雰囲気温度) | T | °C | 50 |
| 縦弾性係数 | E | MPa | 193000 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 要素数 | — | 個 | |
| 節点数 | — | 個 | |



3. 発信器 (LX215-3A, B)

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、発信器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

発信器の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|------|-------------------|-------------------|----|--|--|---|--|--|----|--|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | | | | | | | | | | | | | |
| <p>発信器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、計器取付板取付ボルトにより計器サポートに固定される。</p> <p>計器サポートは計器サポート取付ボルトによりベースに固定され、ベースは基礎ボルトで壁に設置する。</p> | <p>壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の計器ステーション)</p> | <p>(左右方向) (前後方向)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>発信器 (LX215-3A)</th> <th>発信器 (LX215-3B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> | 機器名称 | 発信器 (LX215-3A) | 発信器 (LX215-3B) | たて | | | 横 | | | 高さ | | |
| 機器名称 | 発信器 (LX215-3A) | 発信器 (LX215-3B) | | | | | | | | | | | | |
| たて | | | | | | | | | | | | | | |
| 横 | | | | | | | | | | | | | | |
| 高さ | | | | | | | | | | | | | | |

3.2.2 評価方針

発信器の応力評価は、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、「3.2.1 構造計画」にて示す発信器の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、発信器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7 評価結果」に示す。

発信器の耐震評価フローを図3-1に示す。

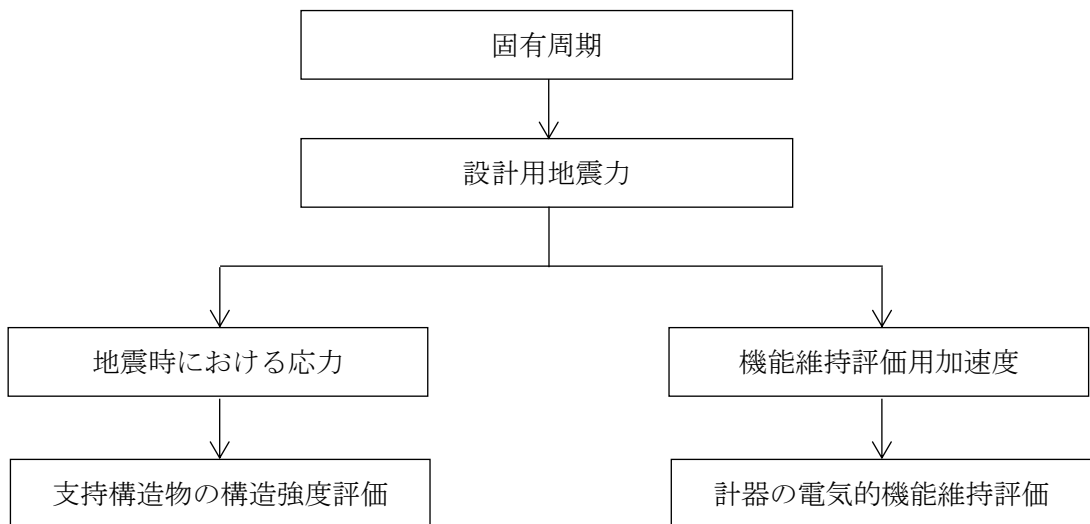


図3-1 発信器の耐震評価フロー

3.2.3 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。)

3.2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---------------------|--|------------------|
| A _b | 基礎ボルトの軸断面積 | mm ² |
| 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本あたり) | N |
| F _{b1} | 鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) | N |
| F _{b2} | 鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり) | N |
| f _{sb} | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 | MPa |
| f _{to} | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 | MPa |
| f _{ts} | 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) | MPa |
| g | 重力加速度 (=9.80665) | m/s ² |
| h ₂ | 据付面又は取付面から重心までの距離 | mm |
| l ₃ | 重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形) | mm |
| l _b | 上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形) | mm |
| l _a | 左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛形) | mm |
| m | 計器スタンションの質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | — |
| n _{fV} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向) (壁掛形) | — |
| n _{fH} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向) (壁掛形) | — |
| Q _b | ボルトに作用するせん断力 | N |
| Q _{b1} | 水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形) | N |
| Q _{b2} | 鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形) | 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℃における値 | MPa |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|--------------|-----|
| 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 |
| P_s | 積雪荷重 | N |

3.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 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 | ℃ | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位*1 |
| 面積 | mm ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁*2 |
| 力 | N | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁*2 |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力*3 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位 |
| 速度 | m/s | — | — | 小数点以下第 1 位 |
| 速度圧 | N/m ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 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。

3.3 評価部位

発信器の耐震評価は「3.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。

発信器の耐震評価部位については、表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4 固有周期

3.4.1 固有周期の確認

発信器の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 固有周期 (単位：s)

| | | |
|-------------------|----|--|
| 発信器 (LX215-3B) | 水平 | |
| | 鉛直 | |

発信器の固有周期は、構造が同等な計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 3-4 に示す。

表 3-4 固有周期 (単位：s)

| | | |
|-------------------|----|---------|
| 発信器 (LX215-3A) | 水平 | 0.05 以下 |
| | 鉛直 | 0.05 以下 |

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、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) 計器スタンションは基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

発信器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.5.2.2 許容応力

発信器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-6 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

発信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 3-7 に示す。

3.5.2.4 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、発信器の形状を踏まえ、算出する。算出した積雪荷重を表 3-8 に示す。

表 3-5 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 |
|--------|--------|---------|--------|-----------------------------|--------|
| 津波監視設備 | 取水槽水位計 | S | —* | $D + P_D + P_s + M_D + S_s$ | ⅢA 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 3-6 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) | |
|--------|----------------------|-----------------|
| | 一次応力 | |
| | 引張 | せん断 |
| ⅢA 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 3-7 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 | 50 | | | |
| 基礎ボルト | SUS316L | 周囲環境温度 | 50 | 169 | 472 | 175 |

表 3-8 積雪荷重 (単位 : N)

| 作用する部位 | 積雪荷重 |
|-------------------|------|
| 発信器 (LX215-3A) | □ |
| 発信器 (LX215-3B) | |

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-9 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 3-9 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) | 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 |
| 取水槽 EL 4.0 (EL 8.8 ^{*1}) | — | — | $C_H=5.64^{*2}$ | $C_V=1.55^{*2}$ |

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

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 基礎ボルトの応力計算方法

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りとせん断力について計算する。

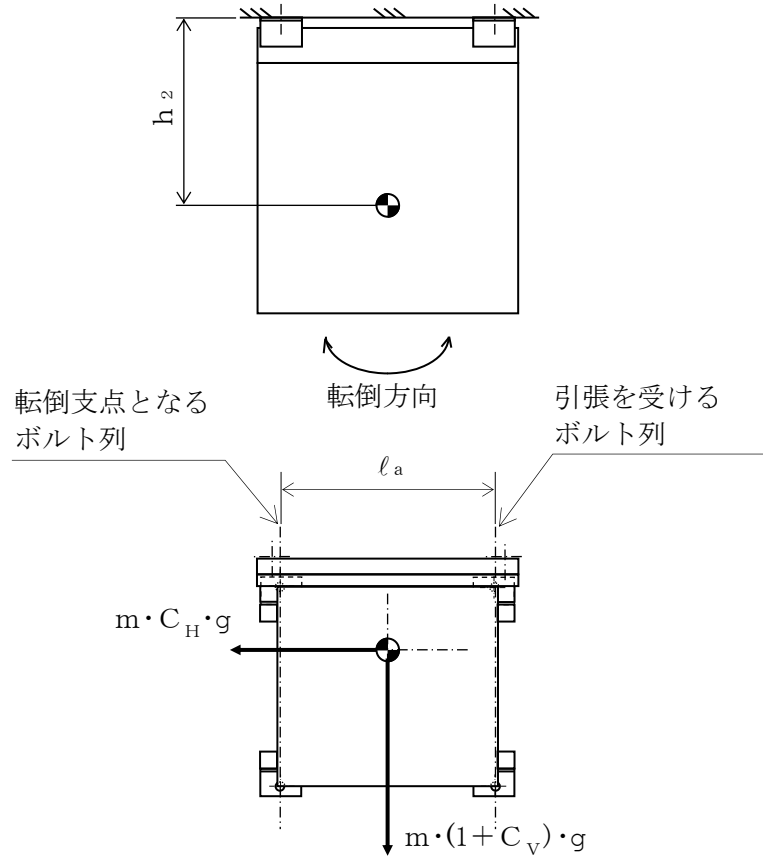


図3-2 計算モデル（左右方向転倒）

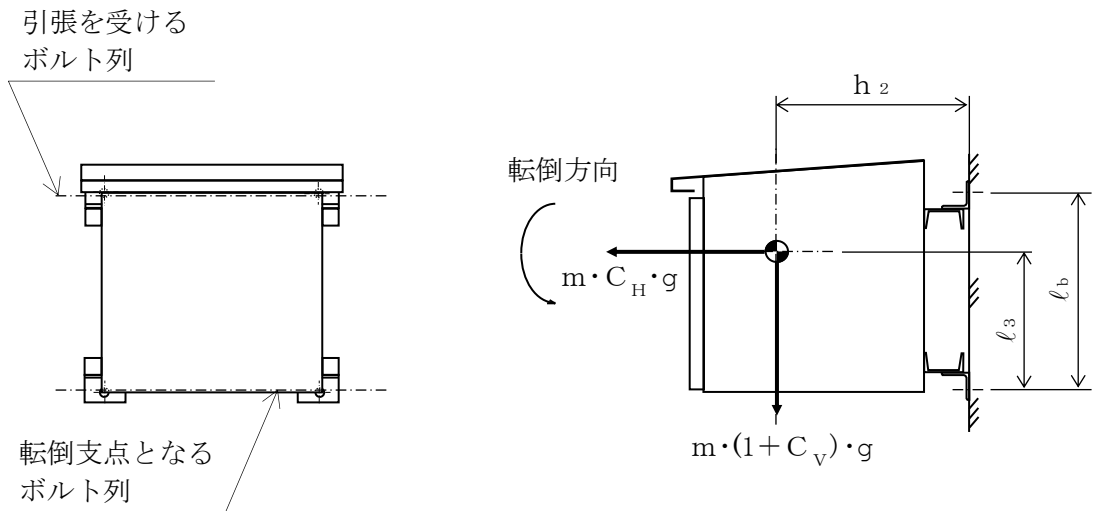


図3-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図3-2及び図3-3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

$$F_{b1} = \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_{fv} \cdot \ell_b} + \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} \dots \quad (2.5.4.1.1)$$

$$F_{b2} = \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_{fv} \cdot \ell_b} + \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot \ell_3}{n_{fv} \cdot \ell_b} \dots \quad (2.5.4.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.5)$$

(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

$$Q_{b1} = C_H \cdot (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2} = (1 + C_v) \cdot (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.9)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 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【発信器（LX215-3A）の耐震性についての計算結果】、【発信器（LX215-3B）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。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 ボルトの応力評価

3.5.4.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

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} | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

発信器の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計器スタンションに設置される発信器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の発信器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-10 に示す。

表 3-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|-------------------|----|----------|
| 発信器 (LX215-3A) | 水平 | |
| | 鉛直 | |
| 発信器 (LX215-3B) | 水平 | |
| | 鉛直 | |

3.7 評価結果

3.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

発信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し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【発信器 (LX215-3A) 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 | |
| 発信器 (LX215-3A) | S | 取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1) | 0.05 以下 | 0.05 以下 | — | — | C _H =5.64*2 | C _V =1.55*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）を上回る設計震度

1.2 機器要目

| 部材 | m (kg) | h ₂ (mm) | d (mm) | A _b (mm ²) | n | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) |
|-------|-----------|------------------------|-----------|--------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 基礎ボルト | | | | | | 169 | 472 | 175 |

| 部材 | l ₃ * (mm) | l _a * (mm) | l _b * (mm) | n _{fV} * (mm) | n _{fH} * (mm) | 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 | | | | | | 175 | — | — | 左右方向 |

注記*：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は前後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 | SUS316L | 引張 | — | — | $\sigma_b = 43$ | $f_{ts} = 105^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b = 21$ | $f_{sb} = 80$ |

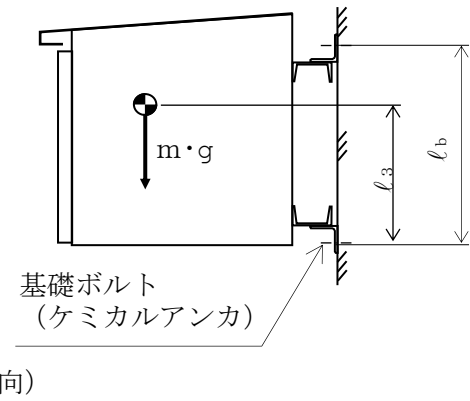
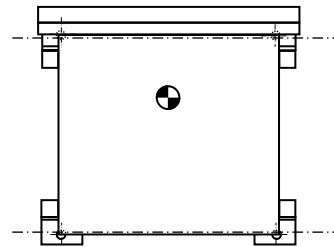
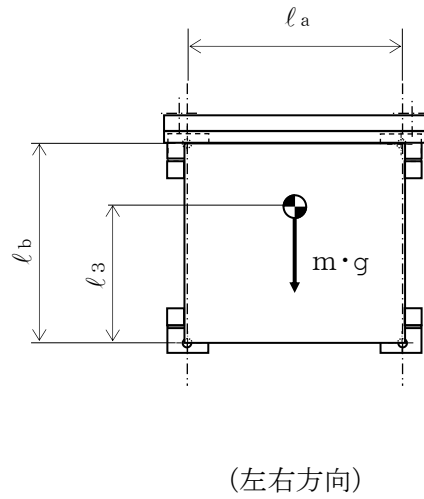
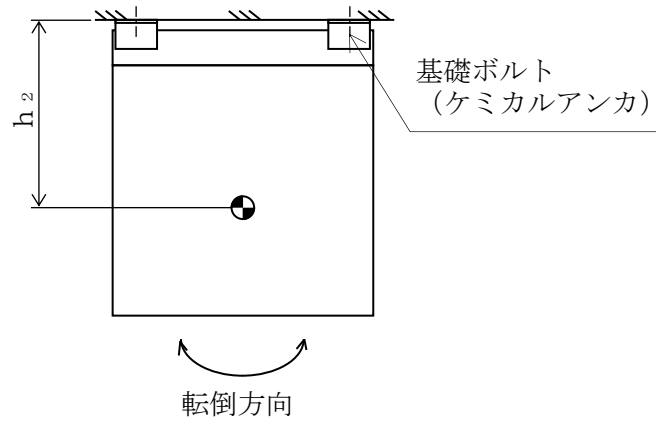
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-------------------|------|-------------|----------|
| 発信器 (LX215-3A) | 水平方向 | 2.58 | |
| | 鉛直方向 | 1.16 | |

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【発信器 (LX215-3B) 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 | |
| 発信器 (LX215-3B) | S | 取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1) | | | — | — | C _H =5.64*2 | C _V =1.55*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）を上回る設計震度

1.2 機器要目

| 部材 | m (kg) | h ₂ (mm) | d (mm) | A _b (mm ²) | n | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (RT) (MPa) |
|-------|-----------|------------------------|-----------|--------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 基礎ボルト | | | | | | 169 | 472 | 175 |

| 部材 | l ₃ * (mm) | l _a * (mm) | l _b * (mm) | n _{fV} * (mm) | n _{fH} * (mm) | 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 | | | | | | 175 | — | — | 左右方向 |

注記*：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は前後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 | SUS316L | 引張 | — | — | $\sigma_b = 43$ | $f_{ts} = 105^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b = 21$ | $f_{sb} = 80$ |

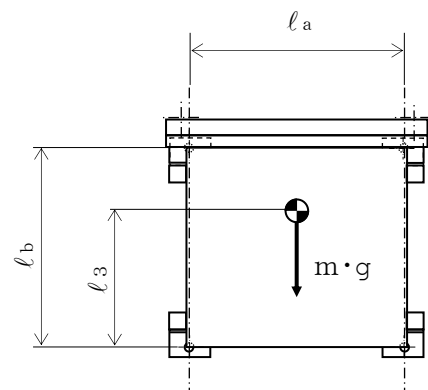
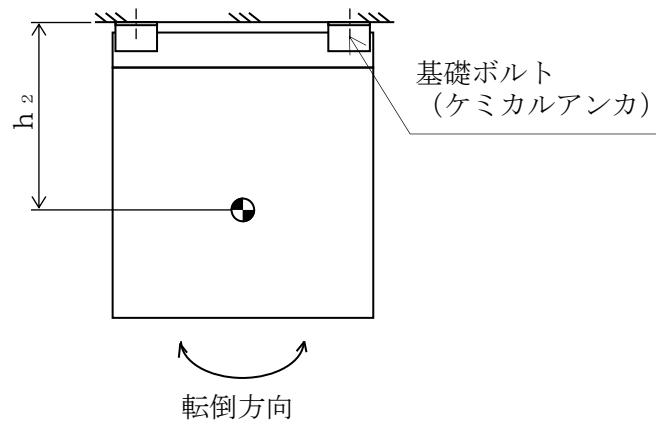
すべて許容応力以下である。

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

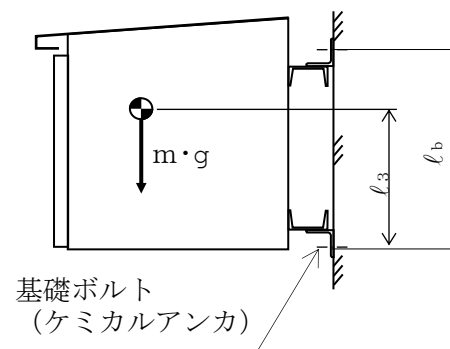
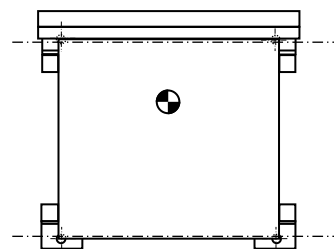
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-------------------|------|-------------|----------|
| 発信器 (LX215-3B) | 水平方向 | 2.58 | |
| | 鉛直方向 | 1.16 | |

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



(左右方向)



(前後方向)

VI-2-10-3 非常用取水設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-3-1 非常用取水設備の耐震計算結果

目次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本説明書は、非常用取水設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

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

非常用取水設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

表2-1 耐震評価条件整理一覧表

| 評価対象設備 | 設計基準対象施設 | | | 重大事故等対処施設 | | |
|---------|-------------|----------------------------------|---------------|----------------|-------------------------------|---------------|
| | 耐震重要度 分類 | 新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異 | 耐震計算の 記載箇所 | 設備分類*1 | 設計基準対 象施設との 設計条件の 差異 | 耐震計算の 記載箇所 |
| 非常用取水設備 | C | 有*2 | VI-2-10-3-2 | 常設/防止 常設/緩和 | — | VI-2-10-3-2 |
| 取水槽 | C | — | VI-2-10-3-2 | 常設/防止 常設/緩和 | — | VI-2-10-3-2 |
| 取水設備 | C | — | VI-2-10-3-2 | 常設/防止 常設/緩和 | — | VI-2-10-3-2 |
| 取水口 | C | — | VI-2-10-3-2 | 常設/防止 常設/緩和 | — | VI-2-10-3-2 |

注記*1：「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備

「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：地震応答解析は時刻歴応答解析で実施し、構造解析は三次元静的材料非線形解析にて実施

VI-2-10-3-2 非常用取水設備の耐震性についての計算書

非常用取水設備のうち、取水槽の耐震性については、VI-2-2-19「取水槽の耐震性についての計算書」で説明する。

非常用取水設備のうち、取水管の耐震性については、VI-2-2-28「取水管の耐震性についての計算書」で説明する。

非常用取水設備のうち、取水口の耐震性については、VI-2-2-29「取水口の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する
説明書

VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての
計算書

VI-2-11-2-1 建物の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-4 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書

目次

| | |
|------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造及び補強の概要 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 6 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 9 |
| 3. 耐震評価 | 10 |
| 3.1 評価対象断面 | 10 |
| 3.2 使用材料及び材料の物性値 | 12 |
| 3.3 許容限界 | 13 |
| 3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界 | 13 |
| 3.4 評価方法 | 14 |
| 3.4.1 構造部材の健全性評価 | 14 |
| 4. 耐震評価結果 | 16 |
| 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果 | 16 |

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版が、上位クラスである1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側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。

波及的影響の評価として、構造部材の健全性評価を実施することにより、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版が十分な構造強度を有することを確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版が配置される，1号機取水槽の位置図を図2-1に示す。

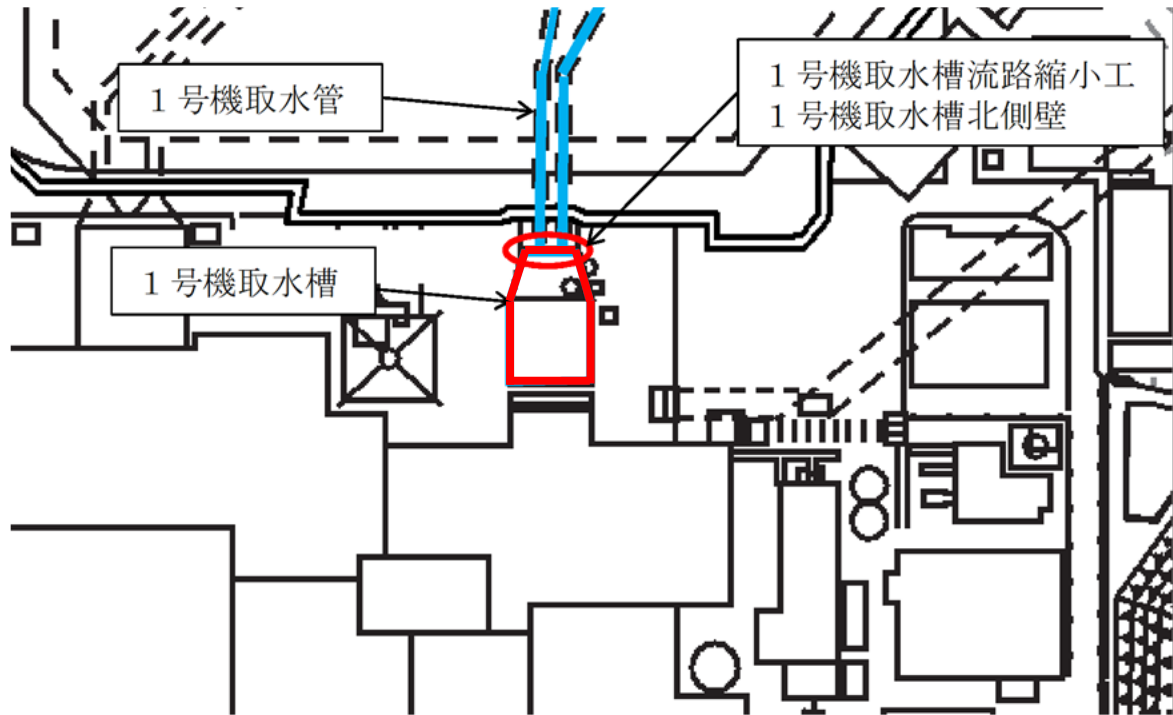


図2-1 1号機取水槽 位置図

2.2 構造及び補強の概要

1号機取水槽は、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、十分な支持性能を有するC_M級岩盤に支持される。1号機取水槽の平面図を図2-2に、断面図を図2-3に、1号機取水槽漸拡ダクト部底版の概略配筋図を図2-4に示す。

1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版は、上位クラス施設である1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の上部に設置されている。下位クラス施設である1号機取水槽ピット部の側壁の損傷及び落下に伴う上位クラス施設への衝突を防止するため、1号機取水槽ピット部下部に閉塞版を設置し、1号機取水槽ピット部内をコンクリートで充填する。1号機取水槽ピット部（閉塞版）及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲を図2-5に示す。

1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性を確保するために耐震補強を実施する。せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHB工法」という。）によるせん断補強を実施する。1号機取水槽漸拡ダクト部底版の補強箇所を図2-6に示す。

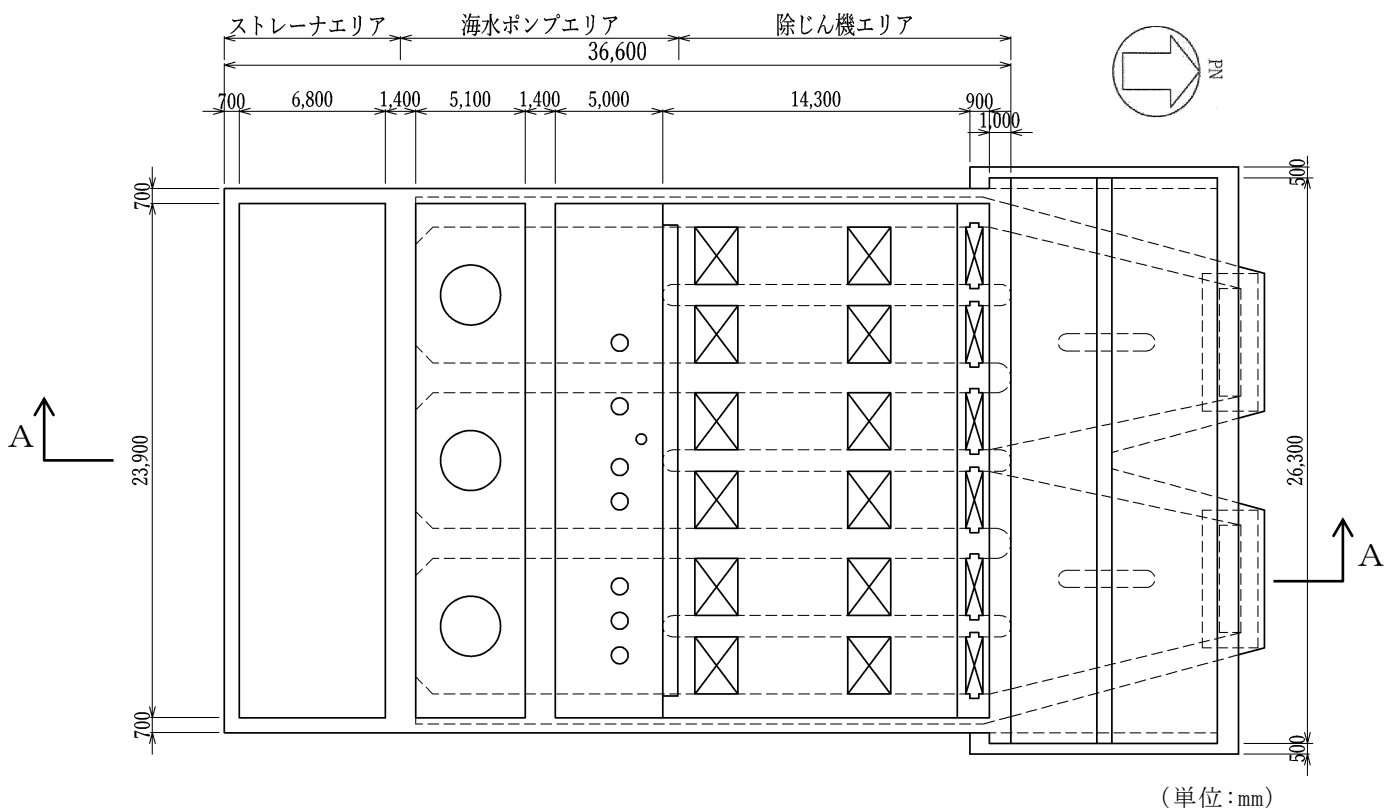


図 2-2 1号機取水槽 平面図

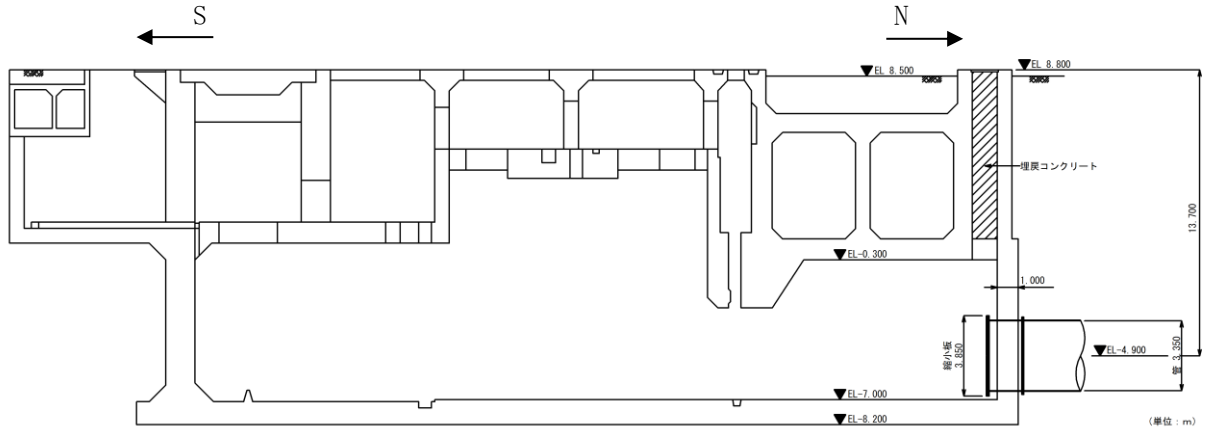


図 2-3 1号機取水槽 断面図(A-A断面)

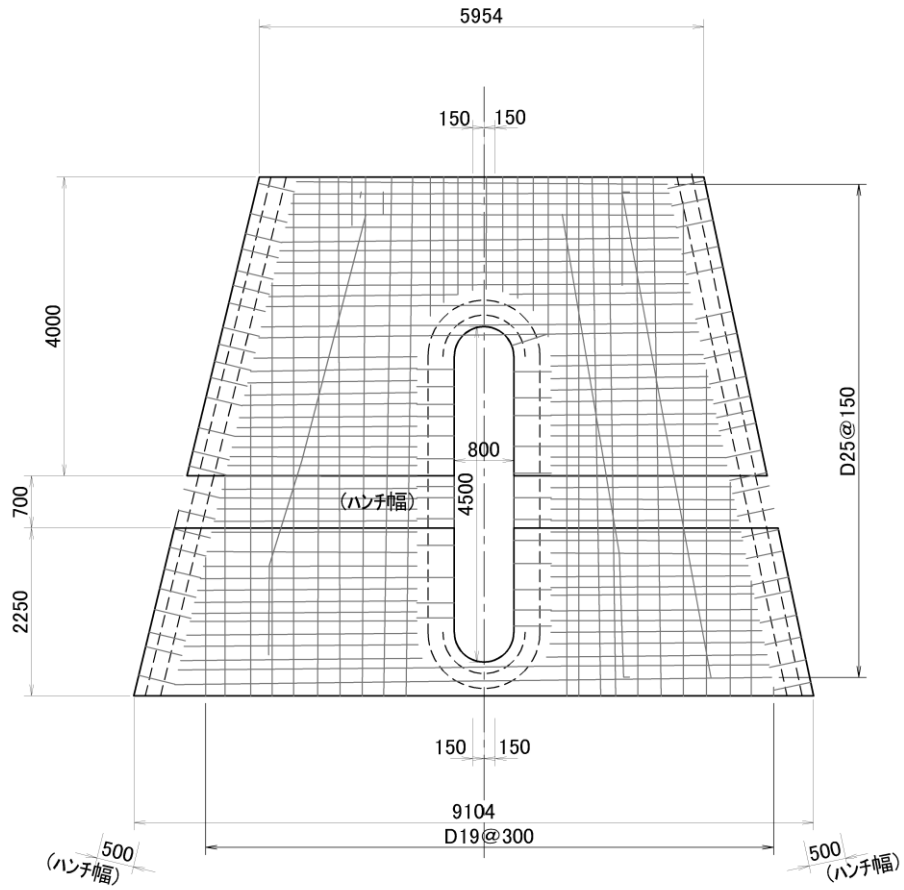


図 2-4 1号機取水槽概略配筋図(漸拡ダクト部底版) (単位: mm)

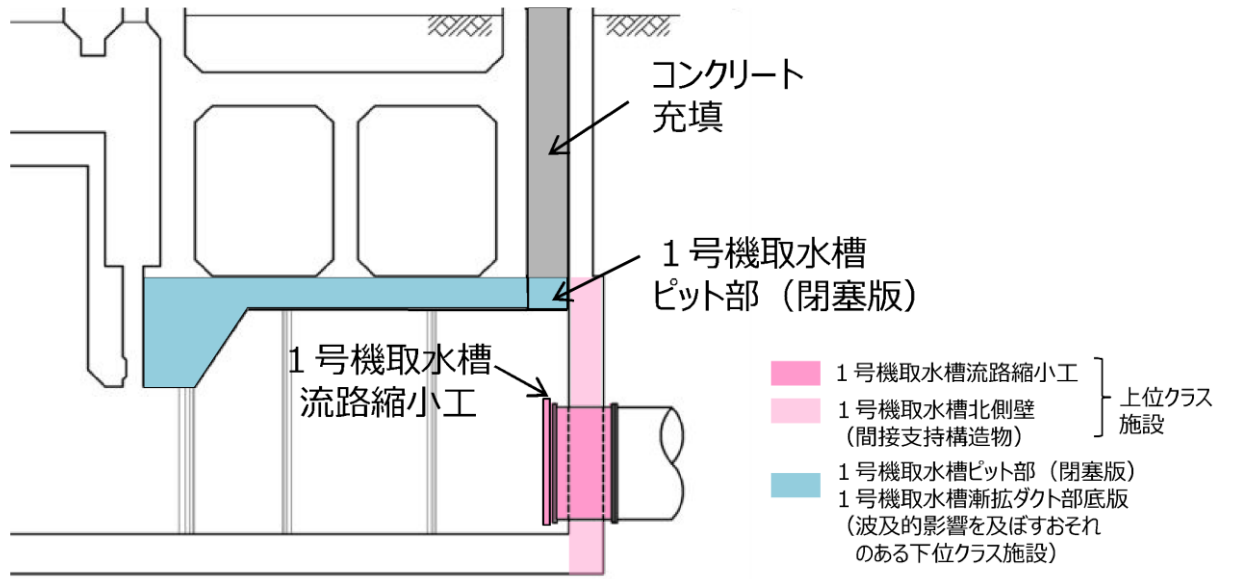
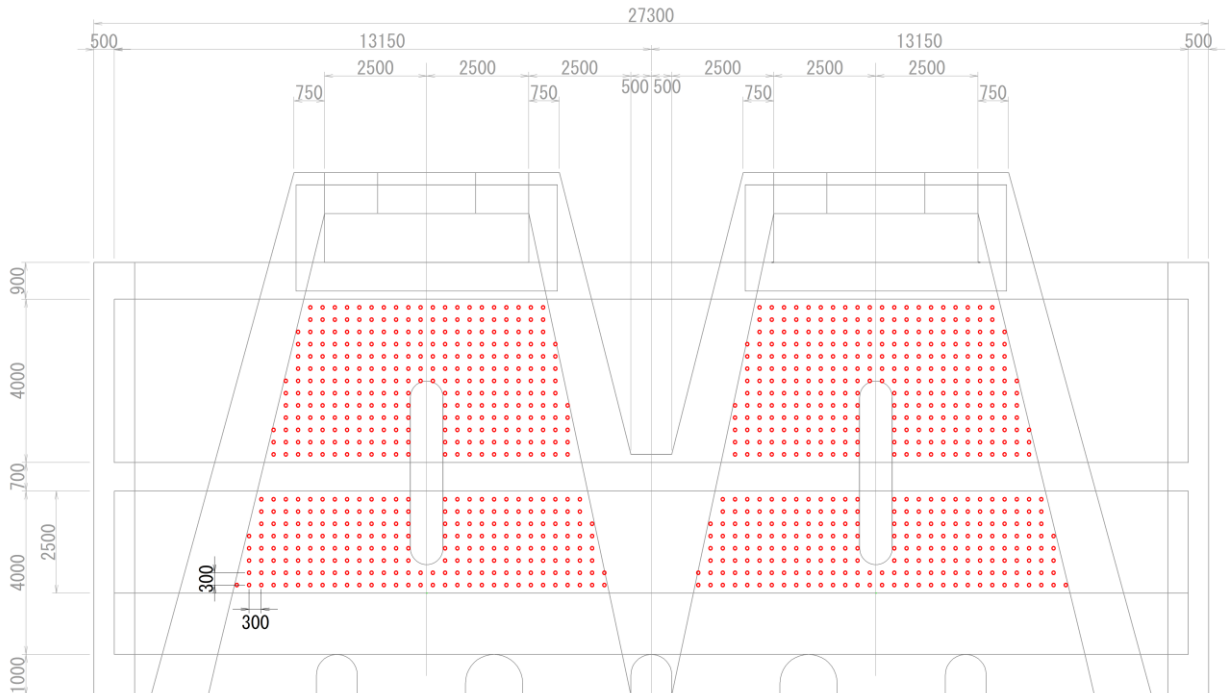


図 2-5 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の範囲



(単位: mm)

○ : ポストヘッドバー工法 : D29@300×300, SD345

図 2-6 耐震補強箇所(漸拡ダクト部底版)

2.3 評価方針

1号機取水槽ピット部（閉塞版）は、上位クラスである1号機取水槽流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の上部に設置され、損傷及び落下に伴う上位クラス施設への衝突の可能性が最も高いと考えられることから、1号機取水槽ピット部（閉塞版）の耐震評価を実施する。1号機取水槽ピット部（閉塞版）の耐震評価フローを図2-7に示す。

1号機取水槽ピット部（閉塞版）は、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊に対しては構造部材の照査用層間変形角が許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強としてPHb工法を用いる場合には、構造部材に対してPHb工法の適用条件を満たしていることを確認し、PHb工法を採用する。

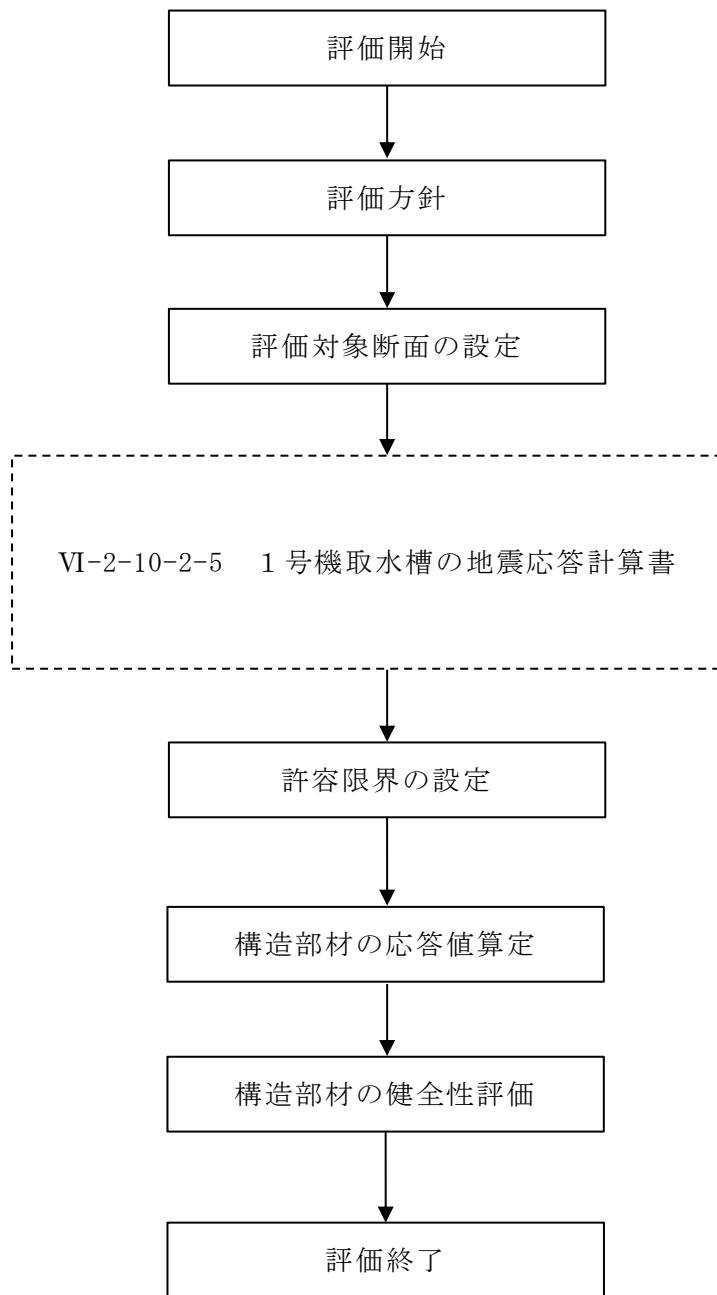


図 2-7 1号機取水槽 地震応答解析フロー

表 2-1 1号機取水槽ピット部（閉塞版） 評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 | |
|------------|----------|------------|------------------------------|-------|----------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性 | 鉄筋コンクリート部材 | 照査用層間変形角及びせん断力が許容限界を下回ることを確認 | 曲げ・軸力 | 限界層間変形角* |
| | | | | せん断力 | せん断耐力* |

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

1号機取水槽ピット部（閉塞版）の評価対象断面位置図を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図3-1のA-A断面とする。

評価対象地質断面図を図3-2に示す。

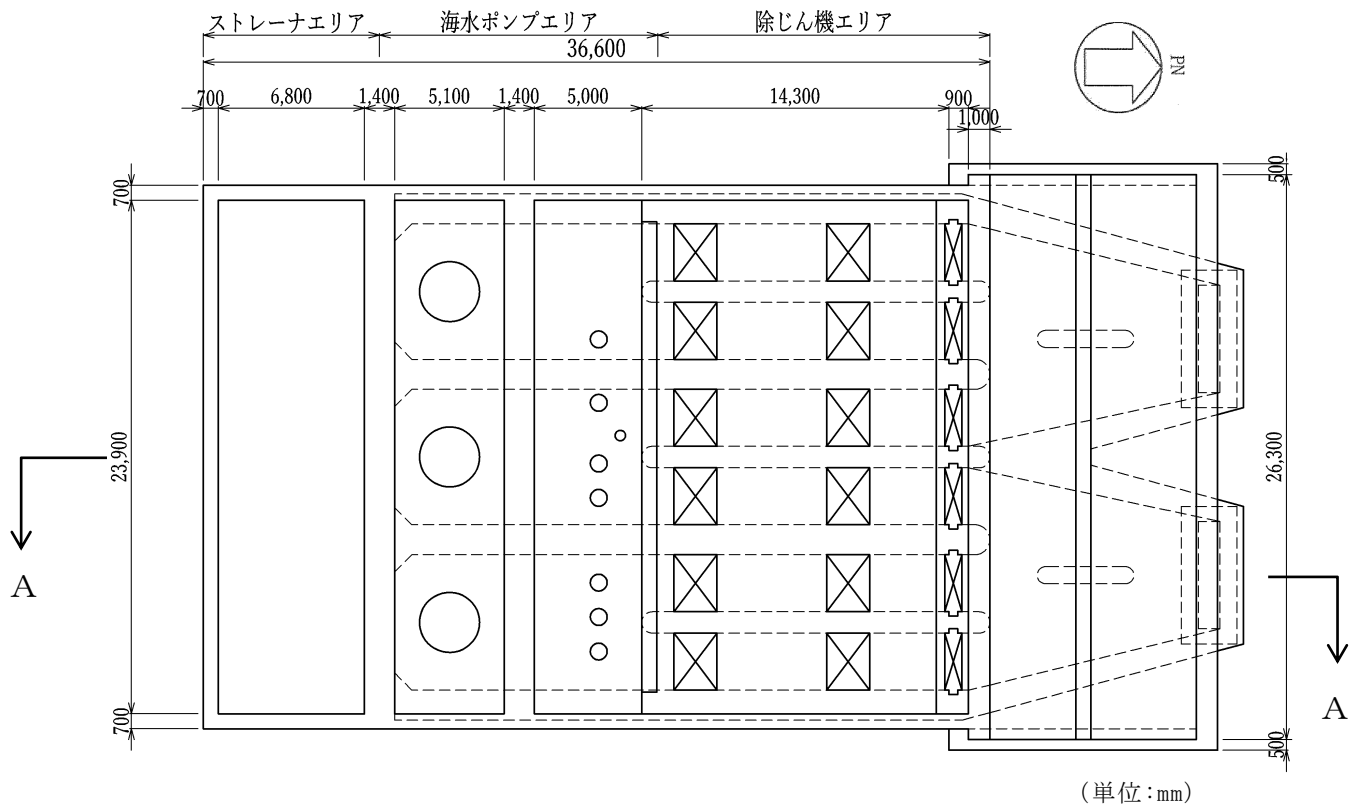


図3-1 1号機取水槽 評価対象断面位置図

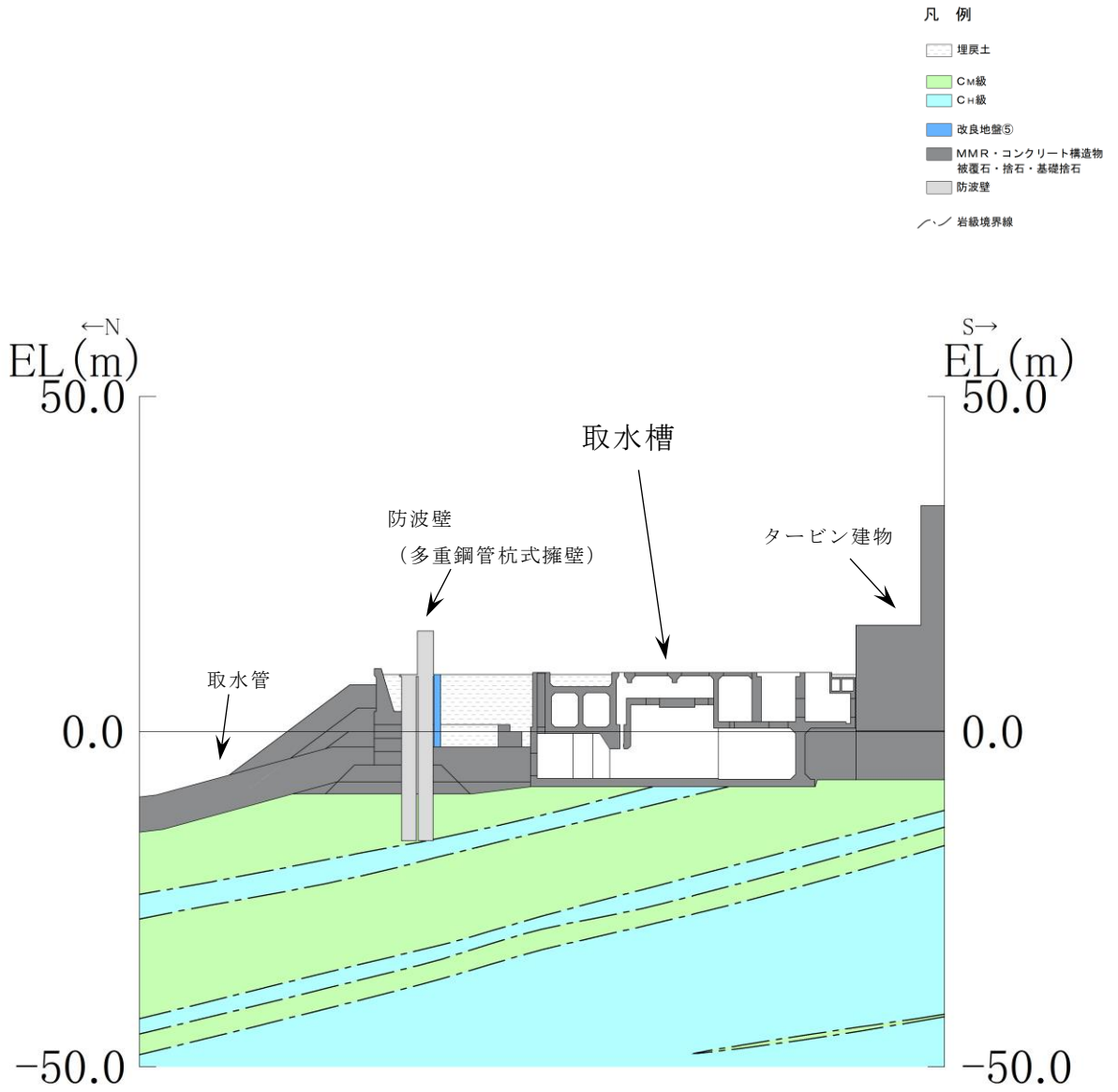


図 3-2 1 号機取水槽 評価対象地質断面図 (A-A 断面)

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1 に、材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

| 材料 | | 仕様 |
|-----|--------|------------------------------|
| 構造物 | コンクリート | 設計基準強度 20.6N/mm ² |
| | 鉄筋 | SD345 |

表 3-2 材料の物性値

| 材料 | ヤング係数 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ポアソン比 |
|-----|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 構造物 | 2.33×10 ⁴ | 24.0* | 0.2 |

注記*：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、層間変形角 1/100 又は圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

1号機取水槽ピット部（閉塞版）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 1号機取水槽ピット部（閉塞版）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

| 要求機能 | 許容限界 | |
|------------|---------|-------|
| 構造強度を有すること | 限界層間変形角 | 1/100 |

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

3.4 評価方法

1号機取水槽ピット部（閉塞版）の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.3 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して、地震応答解析により算定した照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形を図3-3に、せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図3-4に示す。

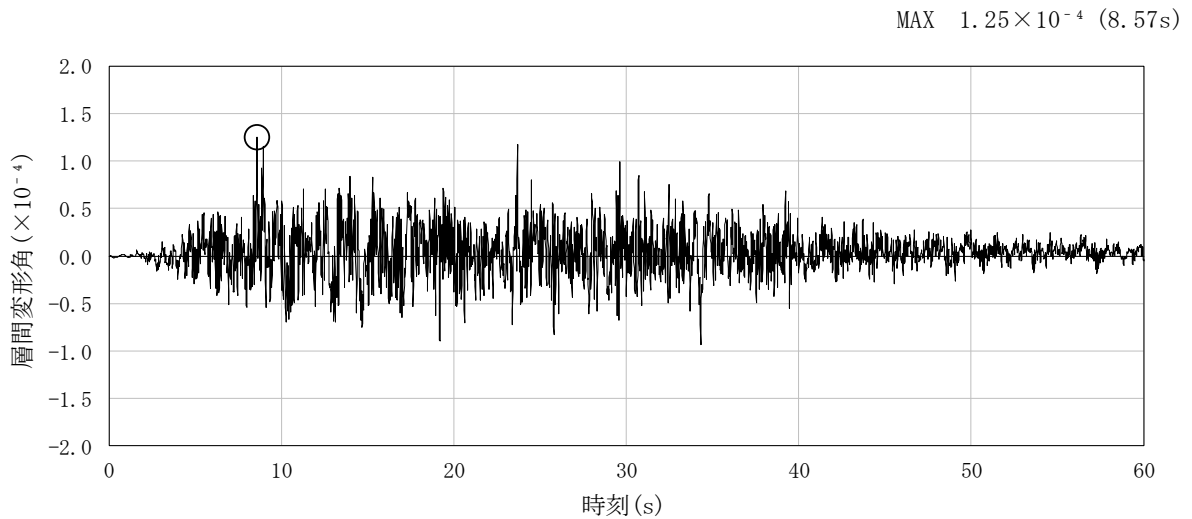
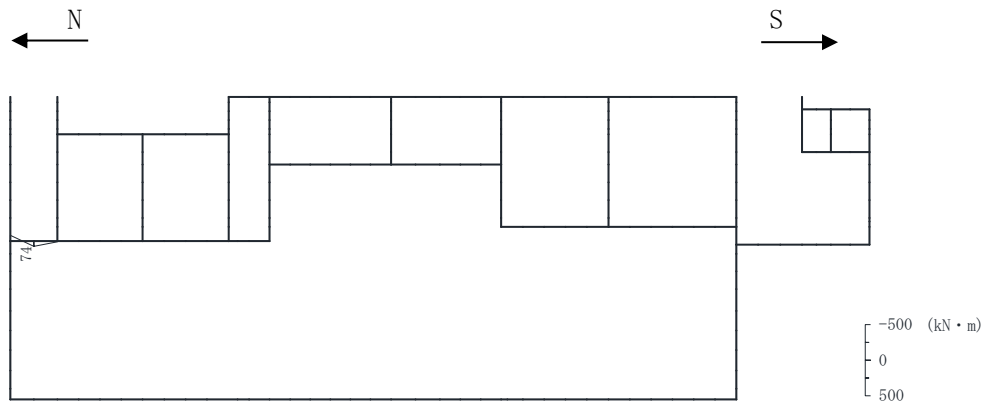


図3-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース①, S s - D (---))

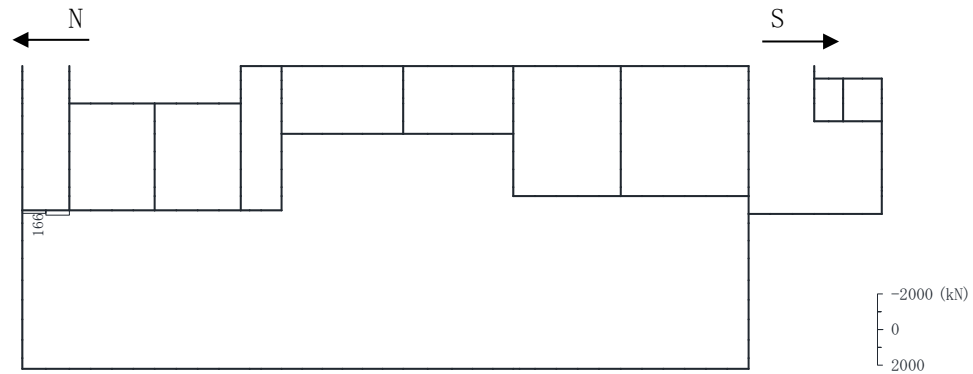


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -500 0 500 (kN·m)

数値：評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN·m)

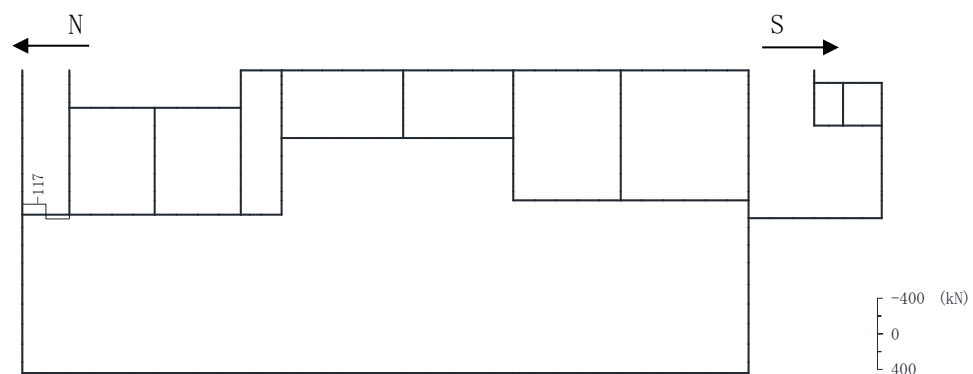


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -2000 0 2000 (kN)

数値：評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -400 0 400 (kN)

数値：評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

図 3-4 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図

(解析ケース①, S s - D (+ -), t=8.94s)

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

1号機取水槽ピット部（閉塞版）の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

| 解析 ケース | 地震動 | 照査用 層間変形角* R_d | 限界 層間変形角 R_u | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| ① | S s - D (--) | 1.50×10^{-4} | 1.00×10^{-2} | 0.02 |

注記*：照査用層間変形角 $R_d = \text{最大層間変形角 } R \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

| 評価位置*1 | 解析 ケース | 地震動 | 照査用 せん断力*2 V_d (kN) | せん断耐力 $V_{y d}$ (kN) | 照査値 $V_d/V_{y d}$ | |
|--------|-----------|-----|-----------------------------|-------------------------|----------------------|------|
| 閉塞部 | 1 | ① | S s - D (+-) | 123 | 530 | 0.24 |

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

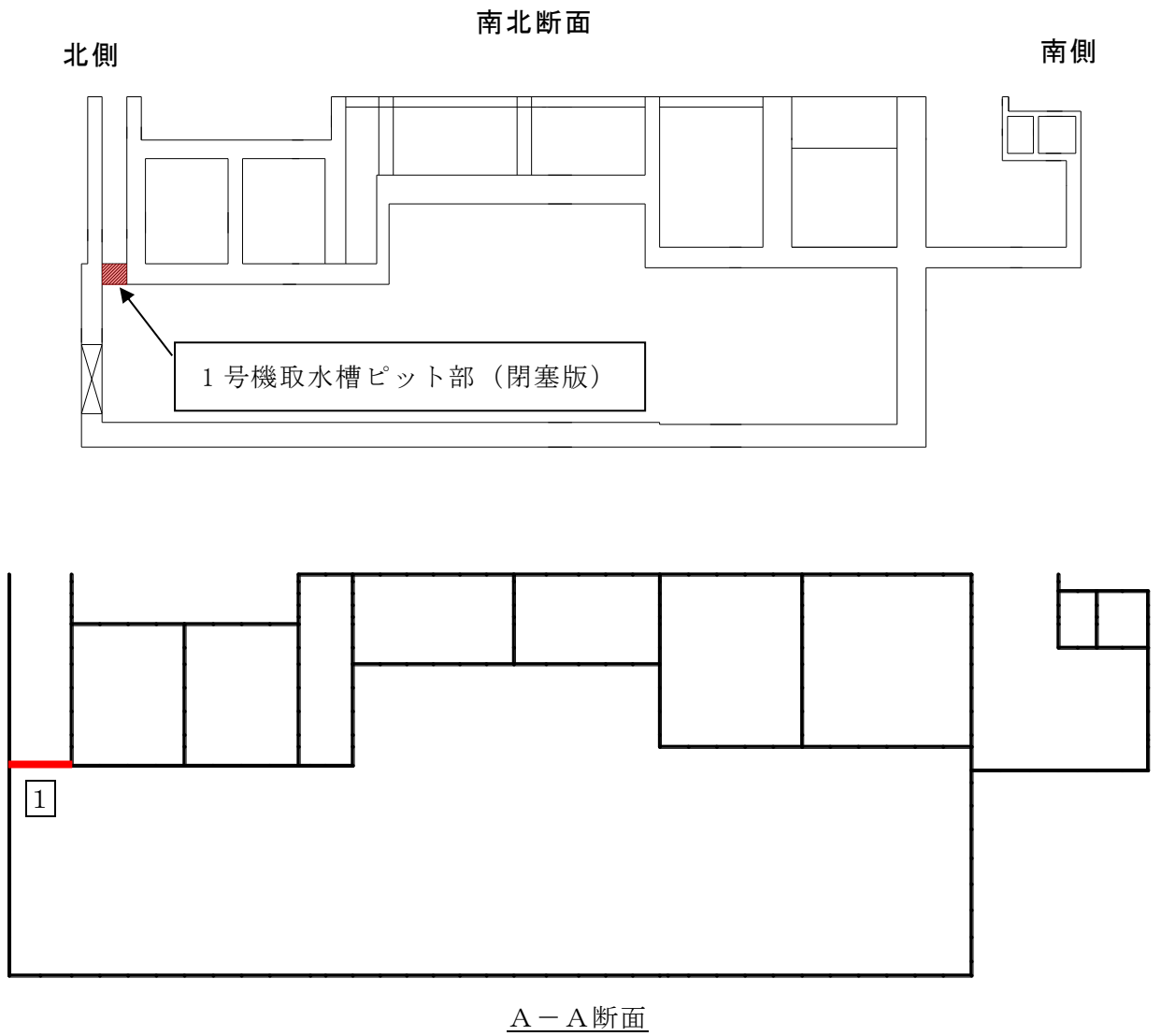


図 4-1 評価位置

VI-2-11-2-5 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の
耐震性についての計算書

目次

| | |
|----------------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造の概要 | 4 |
| 2.3 評価方針 | 7 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 8 |
| 3. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側）） | 9 |
| 3.1 固有振動数及び設計用地震力 | 9 |
| 3.1.1 固有振動数の算出方法 | 9 |
| 3.1.2 固有振動数の計算条件 | 11 |
| 3.1.3 固有振動数の算出結果 | 12 |
| 3.1.4 設計用地震力 | 13 |
| 3.2 耐震評価方法 | 14 |
| 3.2.1 記号の説明 | 14 |
| 3.2.2 評価対象部位 | 17 |
| 3.2.3 荷重及び荷重の組合せ | 18 |
| 3.2.4 許容限界 | 20 |
| 3.2.5 評価方法 | 22 |
| 3.2.6 評価条件 | 32 |
| 4. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側）） | 35 |
| 4.1 固有振動数及び設計用地震力 | 35 |
| 4.1.1 固有振動数の算出方法 | 35 |
| 4.1.2 固有振動数の計算条件 | 37 |
| 4.1.3 固有振動数の算出結果 | 38 |
| 4.1.4 設計用地震力 | 39 |
| 4.2 耐震評価方法 | 40 |
| 4.2.1 記号の説明 | 40 |
| 4.2.2 評価対象部位 | 43 |
| 4.2.3 荷重及び荷重の組合せ | 44 |
| 4.2.4 許容限界 | 46 |
| 4.2.5 評価方法 | 48 |
| 4.2.6 評価条件 | 58 |
| 5. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2） | 61 |
| 5.1 固有振動数及び設計用地震力 | 61 |

| | | |
|-------|------------|----|
| 5.1.1 | 固有振動数の算出方法 | 61 |
| 5.1.2 | 固有振動数の計算条件 | 63 |
| 5.1.3 | 固有振動数の算出結果 | 64 |
| 5.1.4 | 設計用地震力 | 65 |
| 5.2 | 耐震評価方法 | 66 |
| 5.2.1 | 記号の説明 | 66 |
| 5.2.2 | 評価対象部位 | 69 |
| 5.2.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 70 |
| 5.2.4 | 許容限界 | 72 |
| 5.2.5 | 評価方法 | 74 |
| 5.2.6 | 評価条件 | 84 |
| 6. | 評価結果 | 87 |

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備が原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管等、取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管、ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管等、取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管、ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造部材の健全性評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」を基に算定した荷重を評価式に代入すること及びフレーム計算に入力することにより確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の位置図を図 2-1 に示す。

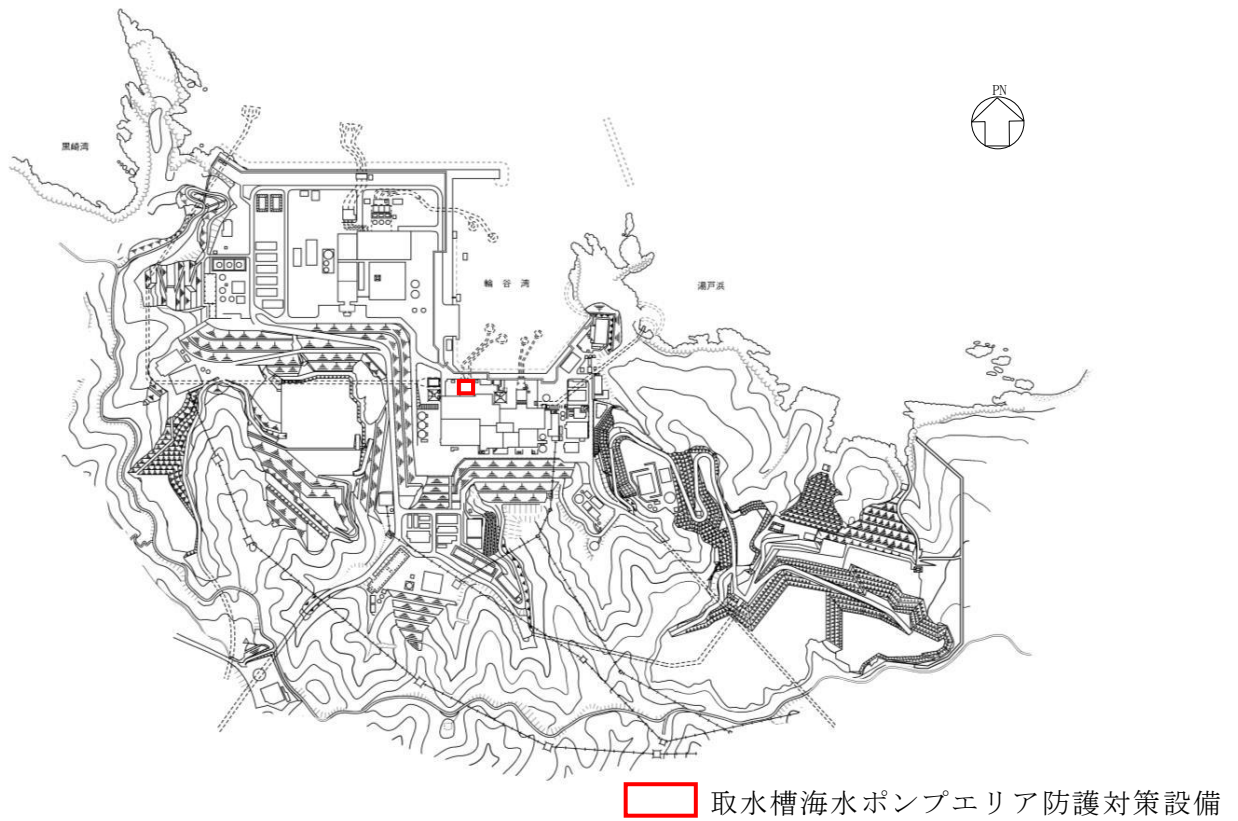
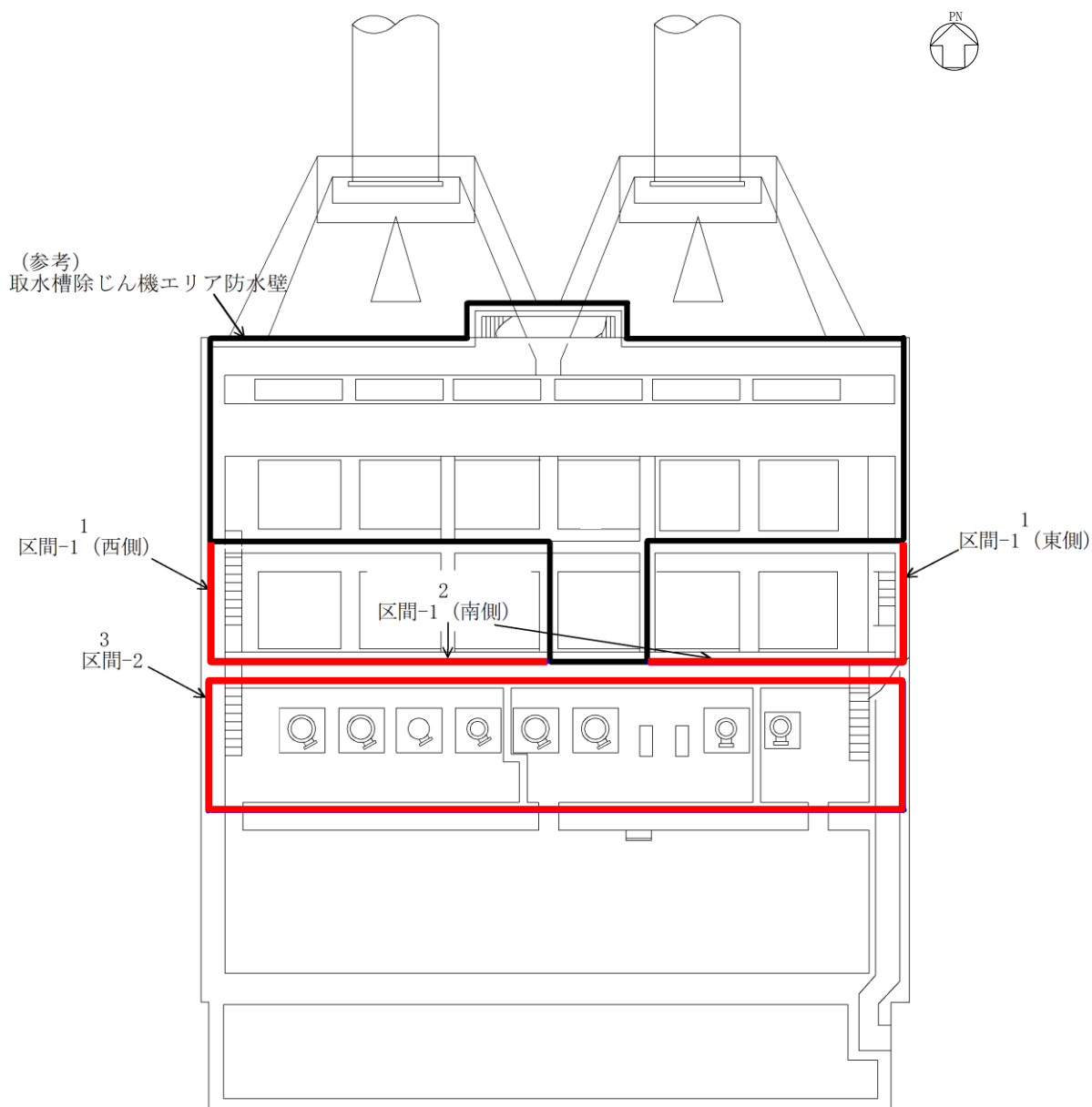


図 2-1(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 位置図



| | |
|---|-------------------------------|
| 1 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側）） |
| 2 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側）） |
| 3 | 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2） |

図 2-1(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 位置図（詳細図）

2.2 構造の概要

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備は、鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート及びアンカーボルトから構成され、取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要（区間-1（東，西側））

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|---------------------------------|-----------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり、柱で補強した鋼板をベースプレートを通じて取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板、はり、柱、ベースプレート、アンカーボルトにより構成する。 | <p>正面図</p> <p>断面図</p> |

表 2-1(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要（区間-1（南側））

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|---------------------------------|-----------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| はり，柱で補強した鋼板をベースプレートを通して取水槽にアンカーボルトにて固定する。 | 鋼板，はり，柱，ベースプレート，アンカーボルトにより構成する。 | <p>正面図</p> <p>断面図</p> |

表 2-1(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要 (区間-2)

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|---|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>はり、柱で補強した鋼板及び架構をベースプレートを通じて取水槽にアンカーボルトにて固定する。</p> | <p>鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート、アンカーボルトにより構成する。</p> | <p>平面図</p> <p>断面図 (A-A 断面)</p> <p>断面図 (B-B 断面, 架構非表示)</p> |

2.3 評価方針

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響評価は、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 構造の概要」に示す取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造を踏まえ、第3章～第5章の各章の「評価対象部位」にて設定する評価対象部位について、「固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「3.2 耐震評価方法」「4.2 耐震評価方法」「5.2 耐震評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フローを図2-2に示す。

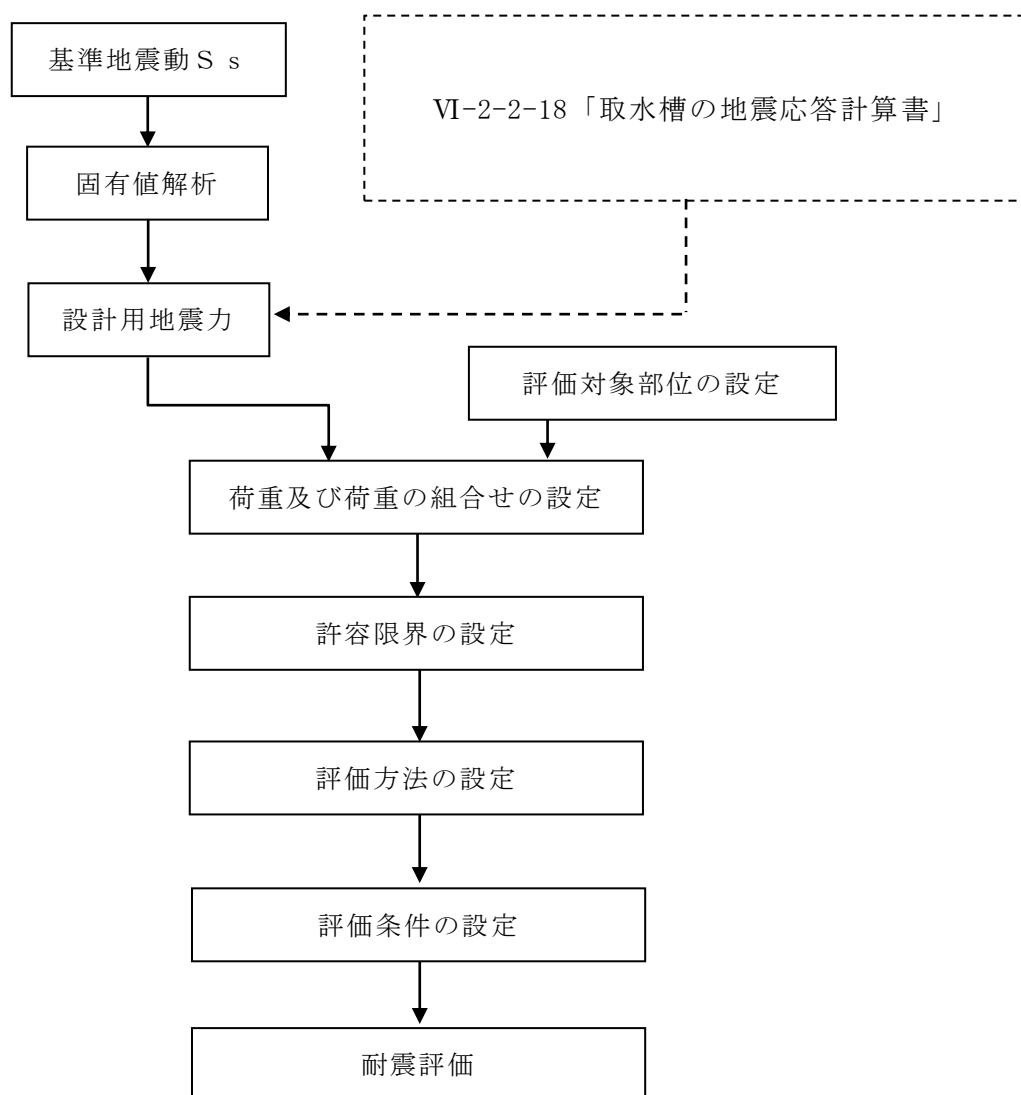


図2-2 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 構造力学公式集（（公社）土木学会）（以下「構造力学公式集」という。）

3. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））

3.1 固有振動数及び設計用地震力

3.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防護対策設備は，鋼板，はり及び柱の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に，柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピンはりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，柱及びはりの全長とする。図 3-1 に解析モデル図を示す。

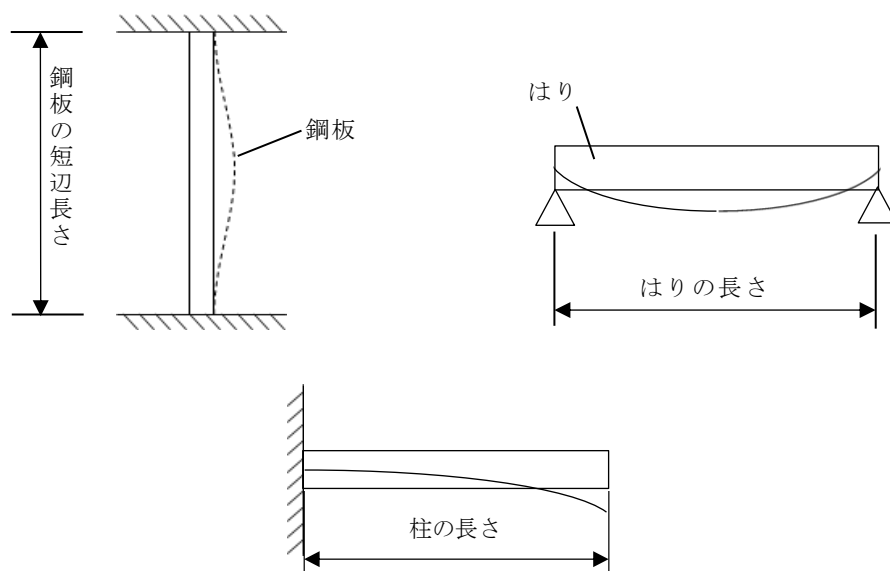


図 3-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|------------------|
| f | Hz | 防護対策設備の 1 次固有振動数 |
| λ | — | 定数 |
| h | m | モデル化に用いる鋼板の厚さ |
| a | m | モデル化に用いる鋼板の短辺長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| ν | — | ポアソン比 |
| ρ | kg/m ³ | 材料の密度 |
| L | mm | モデル化に用いる架構の長さ |
| I | m ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

3.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|-------------------|-----------------------|
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 2.73 |
| モデル化に用いる鋼板の長さ | a | m | 1.5 |
| モデル化に用いる鋼板の厚さ | h | m | 0.009 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 材料の密度 | ρ | kg/m ³ | 7.85×10 ³ |

表 3-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 | |
|------------------|----|------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | 柱 | はり |
| モデル化に用いる柱及びはりの長さ | L | m | 2.0 | 1.5 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 1.8751 | — |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 4,720×10 ⁻⁸ | 37×10 ⁻⁸ |
| 質量分布 | m | kg/m | 226.38 | 83.41 |

3.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数

| 名称 | 対象部位 | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|---|------|------------|----------|
| 取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-1 (東, 西側)) | 鋼板 | 26.53 | 0.038 |
| | 柱 | 28.92 | 0.035 |
| | はり | 21.00 | 0.048 |

3.1.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 設計震度

| 構造物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----|----------|-------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| 取水槽 | 海水ポンプエリア | 1.8 | 0.9 |

3.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「3.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「3.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを，「3.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

3.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の評価に用いる記号を表 3-5 に示す。

表 3-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 |
| k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 |
| G | kN | 防護対策設備の自重 |
| w | kN/m ² | 風圧力 |
| S_{s1} | kN | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| w_{ss1} | kN/m ² | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 |
| B_1 | m | 支柱間隔 |
| H_1 | m | 鋼板の高さ |
| σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_{max1} | kN・m | 鋼板に生じる最大曲げモーメント |
| Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| $B_{1'}$ | m | 鋼板の荷重載荷幅 |
| L_1 | m | 鋼板の部材長 |
| τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 |
| S_{max1} | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 |
| h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 |
| t_1 | mm | 鋼板の厚さ |
| S_{s2} | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |

表 3-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|-------------------|--|
| V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 |
| W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 |
| L_2 | m | 柱全長 |
| W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 |
| σ_{b2} | N/mm ² | 柱に生じる曲げ応力度 |
| M_{max2} | kN・m | 柱の最大曲げモーメント |
| Z_2 | cm ³ | 柱の断面係数 |
| L_{22} | m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 |
| σ_{c2} | N/mm ² | 柱に生じる圧縮応力度 |
| V_{max2} | kN | 柱の最大鉛直荷重 |
| A_2 | cm ² | 柱の断面積 |
| τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 |
| S_{max2} | kN | 柱に生じる最大せん断力 |
| A_2' | cm ² | 柱のせん断断面積 |
| S_{s3} | kN | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 |
| A | m ² | 防護対策設備の面積 |
| σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 |
| M_{max3} | kN・m | はりの最大曲げモーメント |
| Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 |
| B_3 | m | はりの荷重載荷幅 |
| L_3 | m | はりの部材長 |
| τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 |
| S_{max3} | kN | はりの最大せん断力 |
| h_3 | mm | はりのせん断負担幅 |
| t_3 | mm | はりの厚さ |
| σ_{b4} | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 |
| M_{max4} | kN・m | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント |
| Z_4 | mm ³ | ベースプレートの断面係数 |
| L_4 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ |

表 3-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

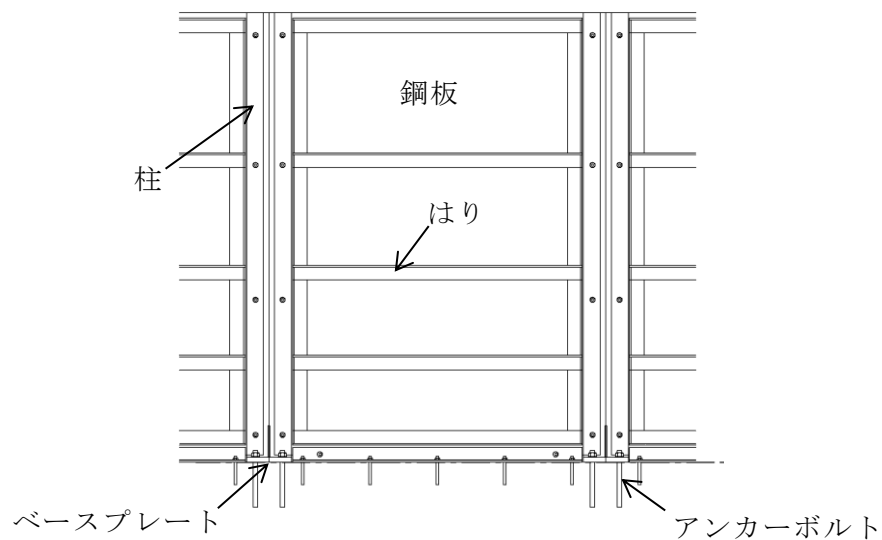
| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| τ_4 | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 |
| S_{max4} | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 |
| t_4 | mm | ベースプレートの厚さ |
| B_4 | m | 部材断面有効幅 |
| $\sigma_{b4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 |
| $M_{max4'}$ | N・mm/mm | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント |
| M_{x4} | — | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 |
| W_4 | N/mm ² | コンクリートの曲げ圧縮応力度 |
| L_{x4} | mm | ベースプレートの版の短辺長 |
| $\tau_{4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 |
| $S_{max4'}$ | N | ベースプレート押込側の最大せん断力 |
| A_4 | mm ² | 押込側ベースプレートの断面積 |
| T_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 |
| N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 |
| x_i | m | 偏心距離 |
| $\sum n \times x_i^2$ | m ² | 2 次モーメントの合計値 |
| Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 |
| f_t | N/mm ² | 短期許容引張応力度 |
| f_b | N/mm ² | 短期許容曲げ応力度 |
| f_c | N/mm ² | 短期許容圧縮応力度 |

3.2.2 評価対象部位

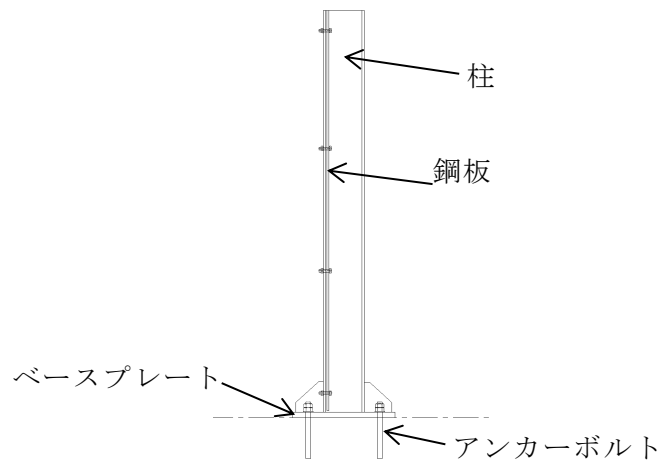
当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、はり、柱及びベースプレートに伝わり、ベースプレートを固定するアンカーボルトを介して取水槽躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 3-2 に示す。



正面図



断面図

図 3-2 評価対象部位

3.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防護対策設備の自重を考慮する。自重は「3.2.6 評価条件」に示す。

b. 風荷重 (W)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 3-6 に示す。

$$W = w \cdot A$$

W : 風荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

A : 風の受圧面積 (m²)

表 3-6 風圧力

| | |
|-------------------------------|------|
| 風圧力 w (kN/m ²) | 1.71 |
|-------------------------------|------|

c. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は，基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3.1.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

3.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表3-7に示す。

表3-7 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|--------|----|
| 鋼板 | SS400 | |
| 柱 | SS400 | |
| はり | SS400 | |
| ベースプレート | SS400 | |
| アンカーボルト | SUS304 | |

(2) 許容限界

a. 鋼板，柱，はり，ベースプレート

鋼板，柱，はり，ベースプレートの許容応力度は、「S規準」を踏まえて表3-8の値とする。

表3-8 鋼板，柱，はり，ベースプレートの短期許容応力度

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮* | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は1.5とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 3-9 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-9 アンカーボルトの基準強度

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|------------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SUS304 (□) | 41 | 34 |

3.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は、鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し、鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 3-3 に示す。

- a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_{s1}

$$S_{s1} = G \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- b. 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} / (B_1 \cdot H_1) + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_1 : 支柱間隔 (m)

H_1 : 鋼板の高さ (m)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

$$\sigma_{b1} = (M_{\max1} \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max1}$: 鋼板の最大せん断力 (kN)

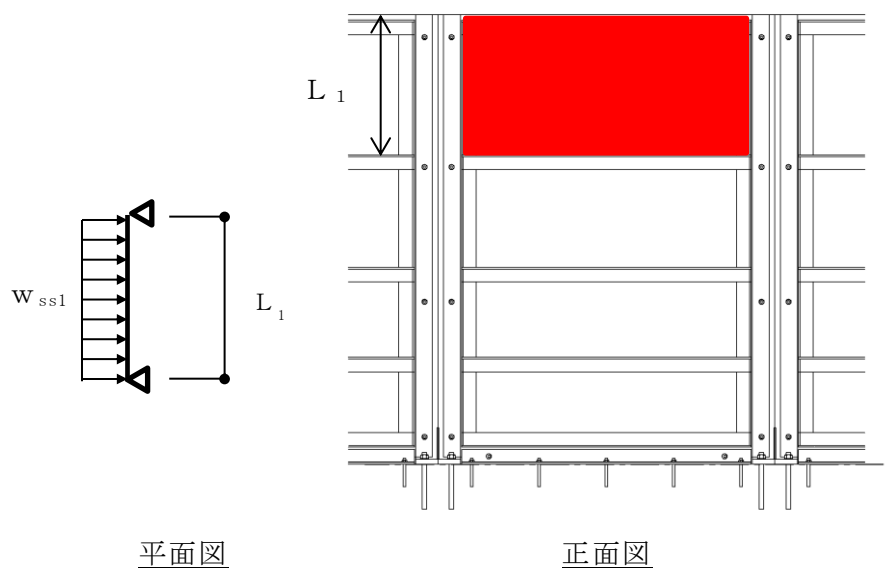
h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)

t_1 : 鋼板の厚さ (mm)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)



平面図

正面図

図 3-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちはりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 柱に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{ss2}

$$w_{ss2} = (S_{s2} + W_2) / L_2$$

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

L_2 : 柱全長 (m)

c. 柱に作用する水平荷重 W_{ss2}

$$W_{ss2} = S_{s2} + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

d. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 2} = w_{ss2} \cdot L_2 \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 柱全長 (m)

L_{22} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 (m)

e. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

$$V_{\max 2} = V_2 + G$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2' \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 2} = W_{ss2}$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

A_2' : 柱のせん断断面積 (cm²)

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度及び圧縮応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{c2}/f_c \leq 1$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

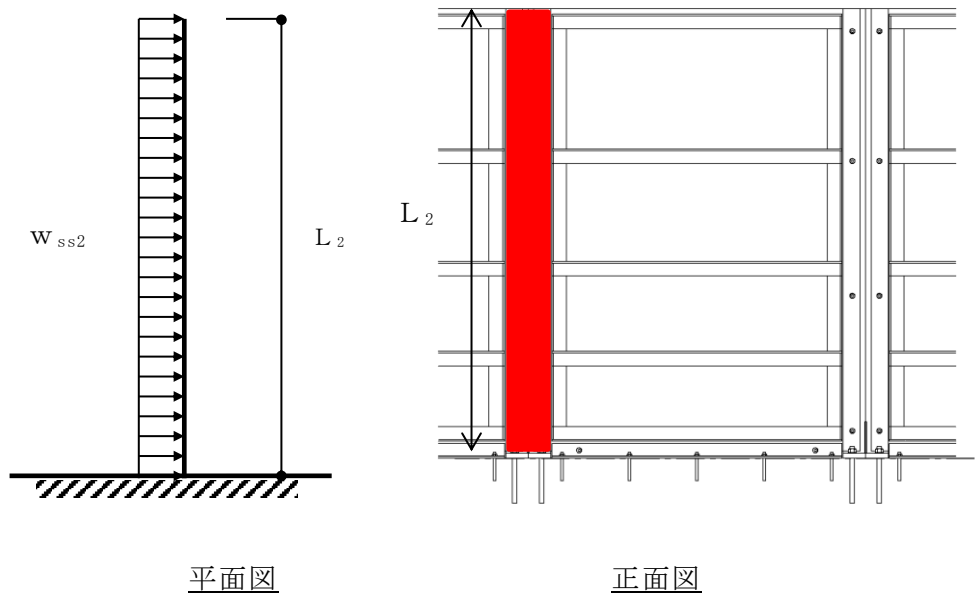


図 3-4 柱に作用する荷重の例

(3) はり

はりに生じる応力は、はりを単純支持のはりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

a. はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 S_{s3}

$$S_{s3} = G \cdot k_H$$

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. はりに作用する単位面積当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} / A + w$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

A : 防護対策設備の面積 (m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (mm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max3}$: はりの最大せん断力 (kN)

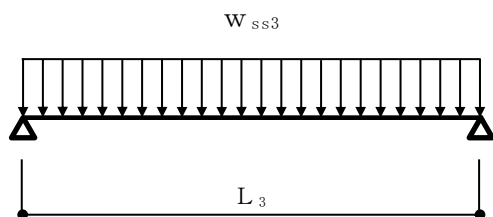
h_3 : はりのせん断負担幅 (mm)

t_3 : はりの厚さ (mm)

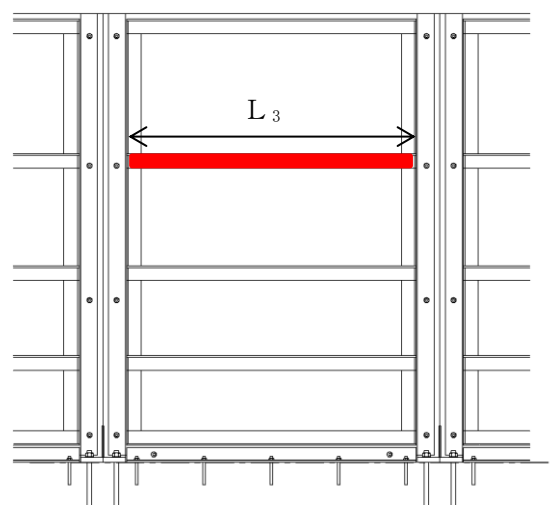
w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)



平面図



正面図

図 3-5 はりに作用する荷重の例

(4) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度（引張側） σ_{b4}

$$\sigma_{b4} = (M_{\max4} \cdot 10^6) / Z_4$$

$$M_{\max4} = T_5 \cdot L_4$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

L_4 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_4

$$\tau_4 = S_{\max4} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4} = T_5 \cdot 10^3$$

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S 規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} \leq f_t$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b4'}$

$$\sigma_{b4'} = (6 \cdot M_{\max4'}) / t_4^2$$

$$M_{\max4'} = M_{x4} \cdot W_4 \cdot L_{x4}^2$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x4} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x4} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{4'}$

$$\tau_{4'} = S_{\max4'} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4'} = W_4 \cdot A_4$$

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

A_4 : 押込側ベースプレートの断面積 (mm²)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

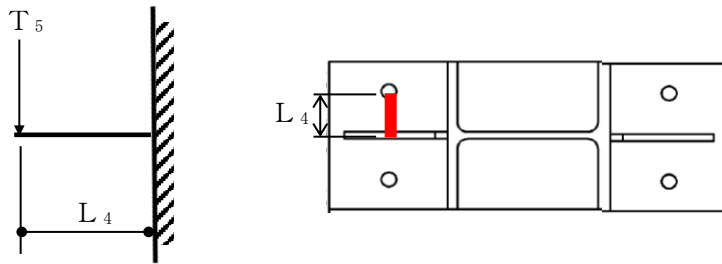


図 3-6 ベースプレートに作用する荷重の例

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し，アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3-7 に示す。

$$(T_5 / T_a)^2 + (Q_5 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_5 = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \times x_i / \sum n \times x_i^2$$

$$T_5 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

x_i : 偏心距離 (m)

$\sum n \times x_i^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_5 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

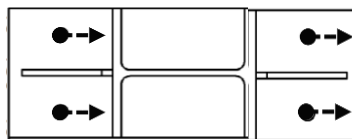


図 3-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.2.6 評価条件

「3.2.5 評価方法」に用いる入力値を表 3-10 に示す。

表 3-10(1) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 共通 | k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 | 1.8 |
| | k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 | 0.9 |
| | G | kN | 防護対策設備の自重 | 4.5 |
| | w | kN/m ² | 風圧力 | 1.71 |
| 鋼板 | S_{s1} | kN | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | w_{ss1} | kN/m ² | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 | 4.41 |
| | B_1 | m | 支柱間隔 | 1.5 |
| | H_1 | m | 鋼板の高さ | 2.0 |
| | σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 | 14.81 |
| | M_{max1} | kN・m | 鋼板に生じる最大曲げモーメント | 0.2 |
| | Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 | 1.35×10^4 |
| | $B_{1'}$ | m | 鋼板の荷重載荷幅 | 1.0 |
| | L_1 | m | 鋼板の部材長 | 0.6 |
| | τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 | 0.15 |
| | S_{max1} | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 | 1.32 |
| | h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 | 1000 |
| | t_1 | mm | 鋼板の厚さ | 9.0 |
| 柱 | S_{s2} | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 4.05 |
| | w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 | 6.62 |
| | W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 | 5.14 |
| | L_2 | m | 柱全長 | 2.0 |
| | W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 | 13.24 |
| | σ_{b2} | N/mm ² | 柱に生じる曲げ応力度 | 28.1 |

表 3-10(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|---------------|-------------------|--|--------------------|
| 柱 | $M_{\max 2}$ | kN・m | 柱の最大曲げモーメント | 13.24 |
| | Z_2 | cm ³ | 柱の断面係数 | 472 |
| | L_{22} | m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 | 1.0 |
| | σ_{c2} | N/mm ² | 柱に生じる圧縮応力度 | 1.4 |
| | $V_{\max 2}$ | kN | 柱の最大鉛直荷重 | 8.55 |
| | A_2 | cm ² | 柱の断面積 | 63.5 |
| | τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 | 9.41 |
| | $S_{\max 2}$ | kN | 柱に生じる最大せん断力 | 13.24 |
| | A_2' | cm ² | 柱のせん断断面積 | 14.08 |
| はり | S_{s3} | kN | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 | 4.41 |
| | A | m ² | 防護対策設備の面積 | 3.0 |
| | σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 | 64.07 |
| | $M_{\max 3}$ | kN・m | はりの最大曲げモーメント | 0.51 |
| | Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 | 7960 |
| | B_3 | m | はりの荷重載荷幅 | 0.55 |
| | L_3 | m | はりの部材長 | 1.3 |
| | τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 | 0.32 |
| | $S_{\max 3}$ | kN | はりの最大せん断力 | 1.58 |
| | h_3 | mm | はりのせん断負担幅 | 550 |
| t_3 | mm | はりの厚さ | 9 | |
| ベースプレート | σ_{b4} | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 | 86.76 |
| | $M_{\max 4}$ | kN・m | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント | 1.18 |
| | Z_4 | mm ³ | ベースプレートの断面係数 | 1.36×10^4 |
| | L_4 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ | 0.056 |
| | τ_4 | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 | 6.45 |
| | $S_{\max 4}$ | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 | 21130 |
| | t_4 | mm | ベースプレートの厚さ | 25 |
| B_4 | m | 部材断面有効幅 | 0.131 | |

表 3-10(3) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-----------------------|-------------------|-------------------------|--------|
| ベースプレート | $\sigma_{b4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 | 106.96 |
| | $M_{max4'}$ | N・ mm/mm | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント | 11142 |
| | M_{x4} | - | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 | 0.399 |
| | W_4 | N/mm ² | コンクリートの曲げ圧縮応力度 | 3.03 |
| | L_{x4} | mm | ベースプレートの版の短辺長 | 96 |
| | $\tau_{4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 | 13.32 |
| | $S_{max4'}$ | N | ベースプレート押込側の最大せん断力 | 43632 |
| | A_4 | mm ² | 押込側ベースプレートの断面積 | 14400 |
| アンカーボルト | T_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 | 21.13 |
| | T_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 | 41 |
| | N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 | 4 |
| | x_i | m | 偏心距離 | 0.175 |
| | $\sum n \times x_i^2$ | m ² | 2 次モーメントの合計値 | 0.122 |
| | Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 | 3.31 |
| | Q_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 | 34 |

4. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））

4.1 固有振動数及び設計用地震力

4.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防護対策設備は，鋼板，はり及び柱の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に，柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピンはりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，柱及びはりの全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

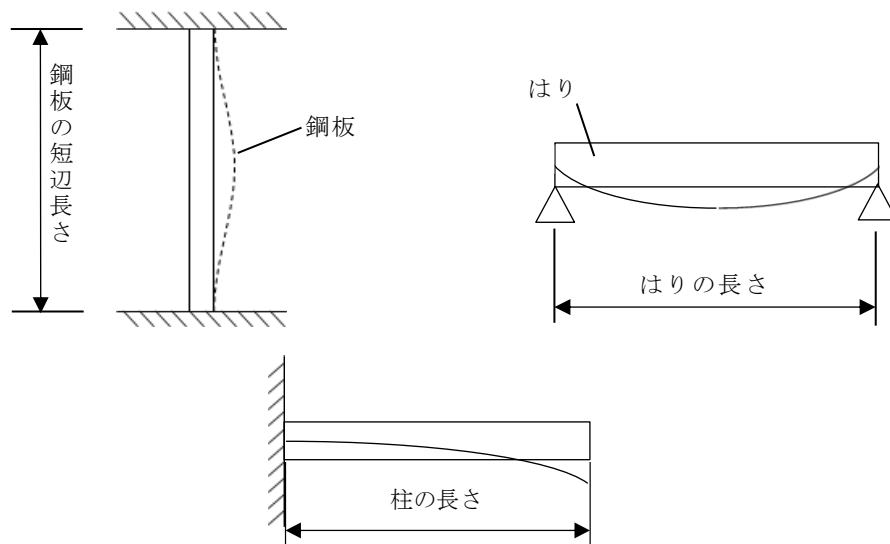


図 4-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|------------------|
| f | Hz | 防護対策設備の 1 次固有振動数 |
| λ | — | 定数 |
| h | m | モデル化に用いる鋼板の厚さ |
| a | m | モデル化に用いる鋼板の短辺長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| ν | — | ポアソン比 |
| ρ | kg/m ³ | 材料の密度 |
| L | m | モデル化に用いる架構の長さ |
| I | m ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

4.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|-------------------|-----------------------|
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 2.73 |
| モデル化に用いる鋼板の長さ | a | m | 1.5 |
| モデル化に用いる鋼板の厚さ | h | m | 0.009 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 材料の密度 | ρ | kg/m ³ | 7.85×10 ³ |

表 4-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 | |
|------------------|----|------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | 柱 | はり |
| モデル化に用いる柱及びはりの長さ | L | m | 2.0 | 1.5 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 1.8751 | — |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 4,720×10 ⁻⁸ | 36.8×10 ⁻⁸ |
| 質量分布 | m | kg/m | 219.75 | 80.56 |

4.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有振動数

| 名称 | 対象部位 | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|--------------------------------------|------|------------|----------|
| 取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-1 (南側)) | 鋼板 | 26.53 | 0.038 |
| | 柱 | 29.36 | 0.035 |
| | はり | 21.36 | 0.047 |

4.1.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 4-4 に示す。

表 4-4 設計震度

| 構造物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----|----------|-------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| 取水槽 | 海水ポンプエリア | 1.8 | 0.9 |

4.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「4.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「4.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを，「4.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

4.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の評価に用いる記号を表4-5に示す。

表4-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 |
| k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 |
| G | kN | 防護対策設備の自重 |
| w | kN/m ² | 風圧力 |
| S_{s1} | kN | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| w_{ss1} | kN/m ² | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 |
| B_1 | m | 支柱間隔 |
| H_1 | m | 鋼板の高さ |
| σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_{max1} | kN・m | 鋼板に生じる最大曲げモーメント |
| Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| $B_{1'}$ | m | 鋼板の荷重載荷幅 |
| L_1 | m | 鋼板の部材長 |
| τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 |
| S_{max1} | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 |
| h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 |
| t_1 | mm | 鋼板の厚さ |
| S_{s2} | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |

表 4-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の
耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|-------------------|--|
| V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 |
| W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 |
| L_2 | m | 柱全長 |
| W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 |
| σ_{b2} | N/mm ² | 柱に生じる曲げ応力度 |
| M_{max2} | kN・m | 柱の最大曲げモーメント |
| Z_2 | cm ³ | 柱の断面係数 |
| L_{22} | m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 |
| σ_{c2} | N/mm ² | 柱に生じる圧縮応力度 |
| V_{max2} | kN | 柱の最大鉛直荷重 |
| A_2 | cm ² | 柱の断面積 |
| τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 |
| S_{max2} | kN | 柱に生じる最大せん断力 |
| A_2' | cm ² | 柱のせん断断面積 |
| S_{s3} | kN | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 |
| A | m ² | 防護対策設備の面積 |
| σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 |
| M_{max3} | kN・m | はりの最大曲げモーメント |
| Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 |
| B_3 | m | はりの荷重載荷幅 |
| L_3 | m | はりの部材長 |
| τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 |
| S_{max3} | kN | はりの最大せん断力 |
| h_3 | mm | はりのせん断負担幅 |
| t_3 | mm | はりの厚さ |
| σ_{b4} | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 |
| M_{max4} | kN・m | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント |
| Z_4 | mm ³ | ベースプレートの断面係数 |
| L_4 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ |

表 4-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の
耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| τ_4 | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 |
| S_{max4} | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 |
| t_4 | mm | ベースプレートの厚さ |
| B_4 | m | 部材断面有効幅 |
| $\sigma_{b4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 |
| $M_{max4'}$ | N・mm/mm | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント |
| M_{x4} | — | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 |
| W_4 | N/mm ² | コンクリートの曲げ圧縮応力度 |
| L_{x4} | mm | ベースプレートの版の短辺長 |
| $\tau_{4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 |
| $S_{max4'}$ | N | ベースプレート押込側の最大せん断力 |
| A_4 | mm ² | 押込側ベースプレートの断面積 |
| T_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 |
| N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 |
| x_i | m | 偏心距離 |
| $\sum n \times x_i^2$ | m ² | 2 次モーメントの合計値 |
| Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 |
| f_t | N/mm ² | 短期許容引張応力度 |
| f_b | N/mm ² | 短期許容曲げ応力度 |
| f_c | N/mm ² | 短期許容圧縮応力度 |

4.2.2 評価対象部位

当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、はり、柱及びベースプレートに伝わり、ベースプレートを固定するアンカーボルトを介して取水槽躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 4-2 に示す。

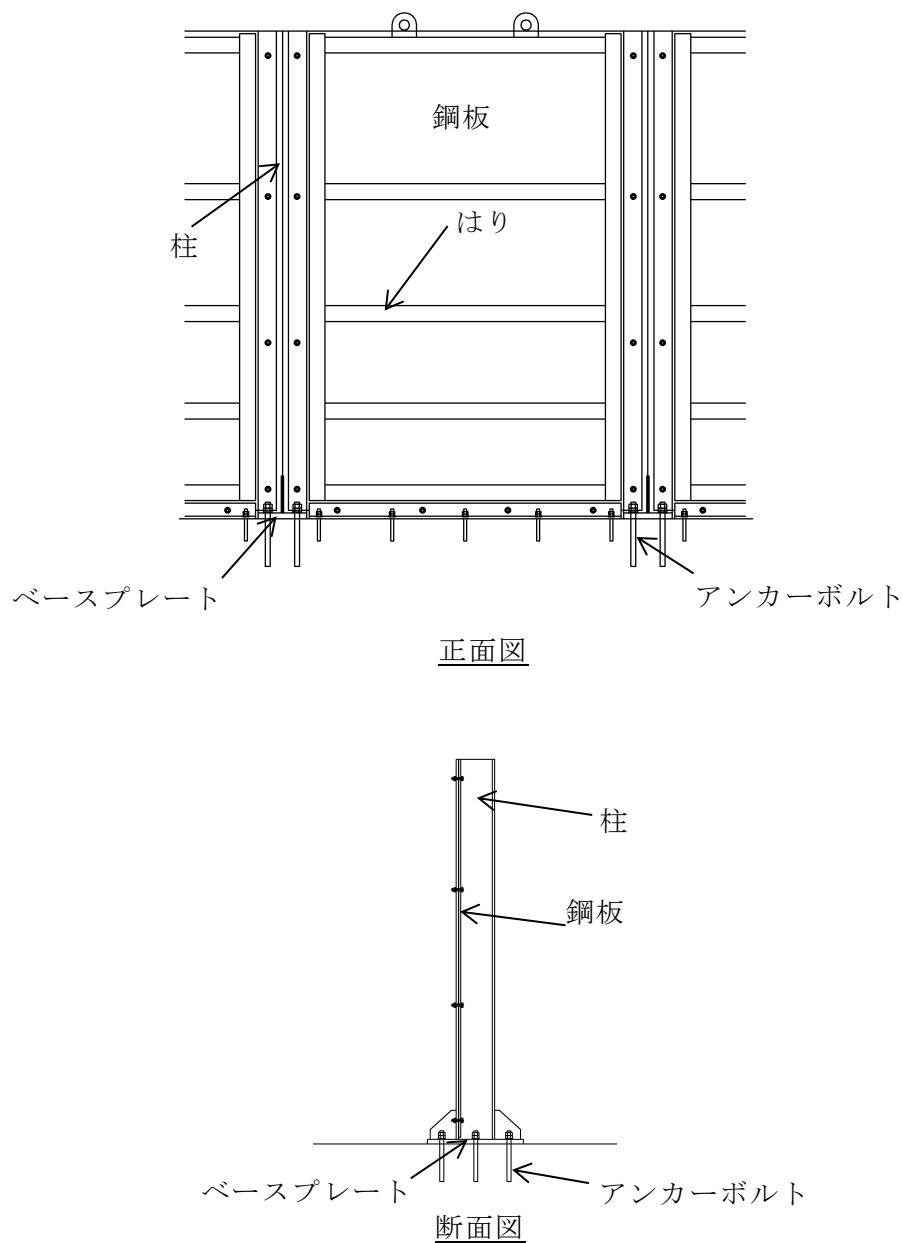


図 4-2 評価対象部位

4.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防護対策設備の自重を考慮する。自重は「4.2.6 評価条件」に示す。

b. 風荷重 (W)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 4-6 に示す。

$$W = w \cdot A$$

W : 風荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

A : 風の受圧面積 (m²)

表 4-6 風圧力

| | |
|-------------------------------|------|
| 風圧力 w (kN/m ²) | 1.71 |
|-------------------------------|------|

c. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は，基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.1.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

4.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防護対策設備を構成する鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表4-7に示す。

表4-7 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|--------|----|
| 鋼板 | SS400 | |
| 柱 | SS400 | |
| はり | SS400 | |
| ベースプレート | SS400 | |
| アンカーボルト | SUS304 | |

(2) 許容限界

a. 鋼板、柱、はり、ベースプレート

鋼板、柱、はり、ベースプレートの許容応力度は、「S規準」を踏まえて表4-8の値とする。

表4-8 鋼板、柱、はり、ベースプレートの短期許容応力度

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮* | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は1.5とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 4-9 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-9 アンカーボルトの基準強度

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|------------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SUS304 (□) | 63 | 8 |

4.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板、柱、はり、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は、鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し、鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図4-3に示す。

- a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 S_{s1}

$$S_{s1} = G \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- b. 鋼板に作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} / (B_1 \cdot H_1) + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_1 : 支柱間隔 (m)

H_1 : 鋼板の高さ (m)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

$$\sigma_{b1} = (M_{\max1} \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max1}$: 鋼板に生じる最大せん断力 (kN)

h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)

t_1 : 鋼板の厚さ (mm)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

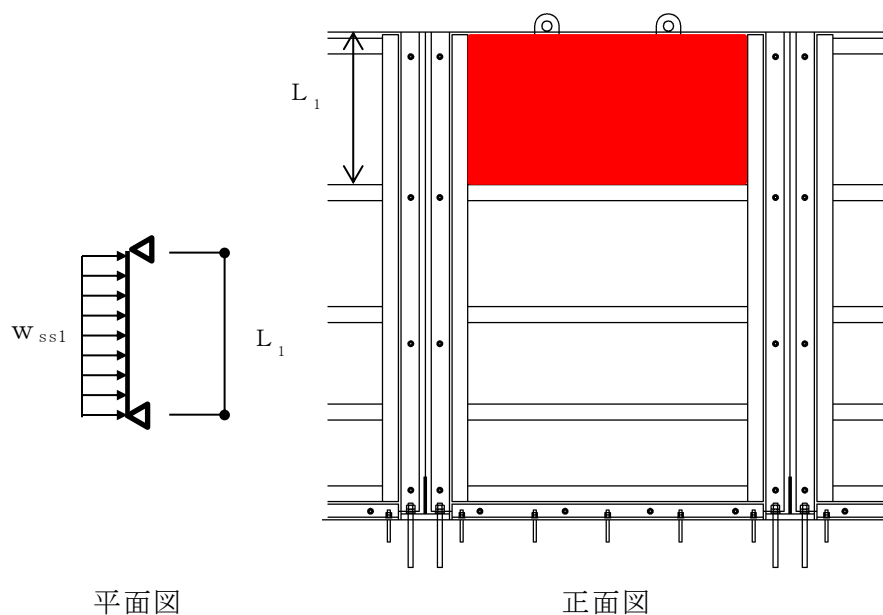


図 4-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちはりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 柱に作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{ss2}

$$w_{ss2} = (S_{s2} + W_2) / L_2$$

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

L_2 : 柱全長 (m)

c. 柱に作用する水平方向の荷重 W_{ss2}

$$W_{ss2} = S_{s2} + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

S_{s2} : 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

d. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 2} = w_{ss2} \cdot L_2 \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 柱全長 (m)

L_{22} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 (m)

e. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

$$V_{\max 2} = V_2 + G$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2' \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 2} = W_{ss2}$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

A_2' : 柱のせん断断面積 (cm²)

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度及び圧縮応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{c2}/f_c \leq 1$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

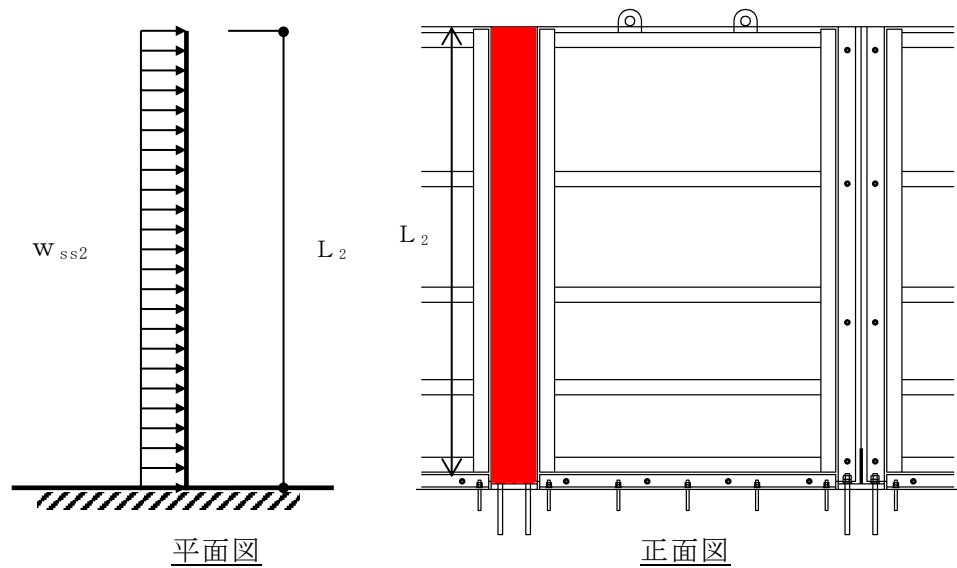


図 4-4 柱に作用する荷重の例

(3) はり

はりに生じる応力は、はりを単純支持のはりとして次式により算出し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 4-5 に示す。

a. はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 S_{s3}

$$S_{s3} = G \cdot k_H$$

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. はりに作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} / A + w$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

A : 防護対策設備の面積 (m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (mm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max3}$: はりの最大せん断力 (kN)

h_3 : はりのせん断負担幅 (mm)

t_3 : はりの厚さ (mm)

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)

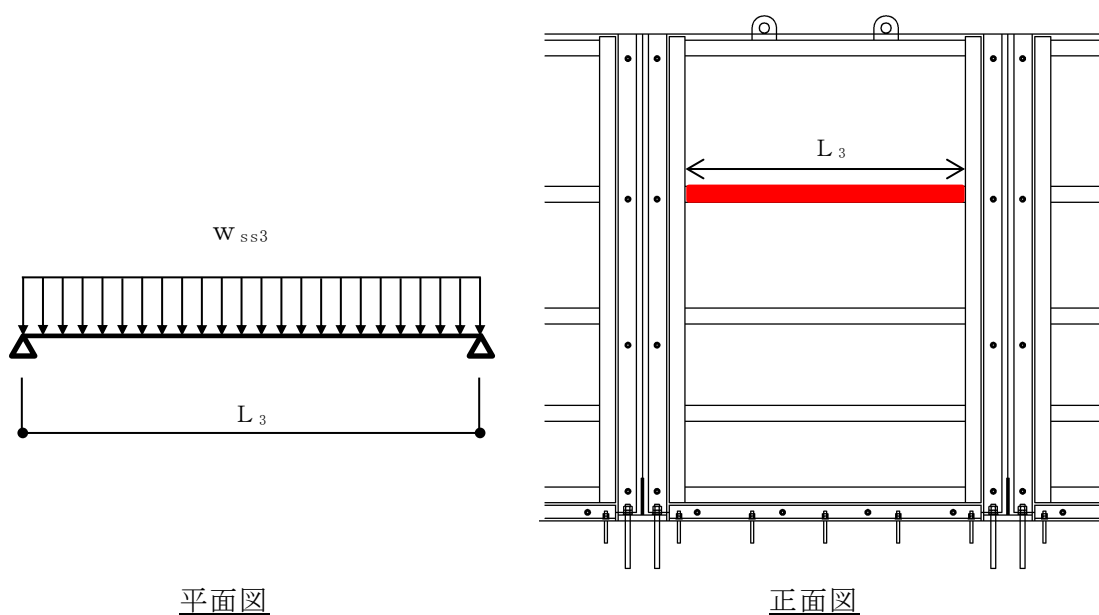


図 4-5 はりに作用する荷重の例

(4) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 4-6 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度（引張側） σ_{b4}

$$\sigma_{b4} = (M_{\max4} \cdot 10^6) / Z_4$$

$$M_{\max4} = T_5 \cdot L_4$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_5 : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (kN)

L_4 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_4

$$\tau_4 = S_{\max4} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4} = T_5 \cdot 10^3$$

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

T_5 : アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 (kN)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S 規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} \leq f_t$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b4'}$

$$\sigma_{b4'} = (6 \cdot M_{\max4'}) / t_4^2$$

$$M_{\max4'} = M_{x4} \cdot W_4 \cdot L_{x4}^2$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x4} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x4} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{4'}$

$$\tau_{4'} = S_{\max4'} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4'} = W_4 \cdot A_4$$

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

A_4 : 押込側ベースプレートの断面積 (mm²)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

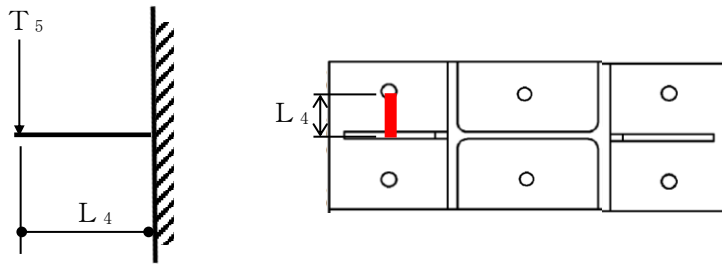


図 4-6 ベースプレートに作用する荷重の例

(5) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し，アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 4-7 に示す。

$$(T_5 / T_a)^2 + (Q_5 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_5 = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \times x_i / \sum n \times x_i^2$$

$$T_5 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

x_i : 偏心距離 (m)

$\sum n \times x_i^2$: 2 次モーメントの合計値 (m²)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_5 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

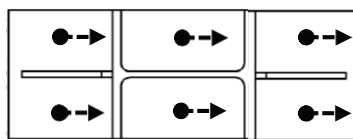


図 4-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.2.6 評価条件

「4.2.5 評価方法」に用いる入力値を表4-10に示す。

表4-10(1) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 共通 | k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 | 1.8 |
| | k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 | 0.9 |
| | G | kN | 防護対策設備の自重 | 4.5 |
| | w | kN/m ² | 風圧力 | 1.71 |
| 鋼板 | S_{s1} | kN | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | w_{ss1} | kN/m ² | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 | 4.41 |
| | B_1 | m | 支柱間隔 | 1.5 |
| | H_1 | m | 鋼板の高さ | 2.0 |
| | σ_{b1} | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 | 14.81 |
| | M_{max1} | kN・m | 鋼板に生じる最大曲げモーメント | 0.2 |
| | Z_1 | mm ³ | 鋼板の断面係数 | 1.35×10^4 |
| | $B_{1'}$ | m | 鋼板の荷重載荷幅 | 1.0 |
| | L_1 | m | 鋼板の部材長 | 0.6 |
| | τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 | 0.15 |
| | S_{max1} | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 | 1.32 |
| | h_1 | mm | 鋼板のせん断負担幅 | 1000 |
| | t_1 | mm | 鋼板の厚さ | 9.0 |
| 柱 | S_{s2} | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | V_2 | kN | 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 4.05 |
| | w_{ss2} | kN/m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 | 6.62 |
| | W_2 | kN | 柱に作用する風荷重 | 5.14 |
| | L_2 | m | 柱全長 | 2.0 |
| | W_{ss2} | kN | 柱に作用する水平方向の荷重 | 13.24 |
| | σ_{b2} | N/mm ² | 柱に生じる曲げ応力度 | 28.1 |
| | M_{max2} | kN・m | 柱の最大曲げモーメント | 13.24 |

表 4-10(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|----------------|-------------------|---------------------|--|--------------------|
| 柱 | Z_2 | cm ³ | 柱の断面係数 | 472 |
| | L_{22} | m | 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 | 1.0 |
| | σ_{c2} | N/mm ² | 柱に生じる圧縮応力度 | 1.4 |
| | V_{max2} | kN | 柱の最大鉛直荷重 | 8.55 |
| | A_2 | cm ² | 柱の断面積 | 63.5 |
| | τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 | 9.41 |
| | S_{max2} | kN | 柱に生じる最大せん断力 | 13.24 |
| | $A_{2'}$ | cm ² | 柱のせん断断面積 | 14.08 |
| はり | S_{s3} | kN | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 8.1 |
| | w_{ss3} | kN/m ² | はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 | 4.41 |
| | A | m ² | 防護対策設備の面積 | 3.0 |
| | σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 | 64.07 |
| | M_{max3} | kN・m | はりの最大曲げモーメント | 0.51 |
| | Z_3 | mm ³ | はりの断面係数 | 7960 |
| | B_3 | m | はりの荷重載荷幅 | 0.55 |
| | L_3 | m | はりの部材長 | 1.3 |
| | τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 | 0.32 |
| | S_{max3} | kN | はりの最大せん断力 | 1.58 |
| | h_3 | mm | はりのせん断負担幅 | 550 |
| | t_3 | mm | はりの厚さ | 9 |
| ベースプレート | σ_{b4} | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 | 85.59 |
| | M_{max4} | kN・m | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント | 1.01 |
| | Z_4 | mm ³ | ベースプレートの断面係数 | 1.18×10^4 |
| | L_4 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ | 0.04 |
| | τ_4 | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 | 10.00 |
| | S_{max4} | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 | 25190 |
| | t_4 | mm | ベースプレートの厚さ | 28 |
| | B_4 | m | 部材断面有効幅 | 0.09 |
| $\sigma_{b4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 | 92.68 | |

表 4-10(3) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------|
| ベースプレート | $M_{\max 4'}$ | N・ mm/mm | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント | 12110 |
| | M_{x4} | - | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 | 0.300 |
| | W_4 | N/mm ² | コンクリートの曲げ圧縮応力度 | 4.38 |
| | L_{x4} | mm | ベースプレートの版の短辺長 | 96 |
| | $\tau_{4'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 | 16.69 |
| | $S_{\max 4'}$ | N | ベースプレート押込側の最大せん断力 | 42048 |
| | A_4 | mm ² | 押込側ベースプレートの断面積 | 9600 |
| アンカーボルト | T_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 | 25.19 |
| | T_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 | 63 |
| | N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 | 6 |
| | x_i | m | 偏心距離 | 0.140 |
| | $\Sigma n \times x_i^2$ | m ² | 2 次モーメントの合計値 | 0.078 |
| | Q_5 | kN | アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 | 2.21 |
| | Q_a | kN | アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 | 8 |

5. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）

5.1 固有振動数及び設計用地震力

5.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防護対策設備は，鋼板，はり及び柱の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に，柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピンはりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，柱及びはりの全長とする。図 5-1 に解析モデル図を示す。

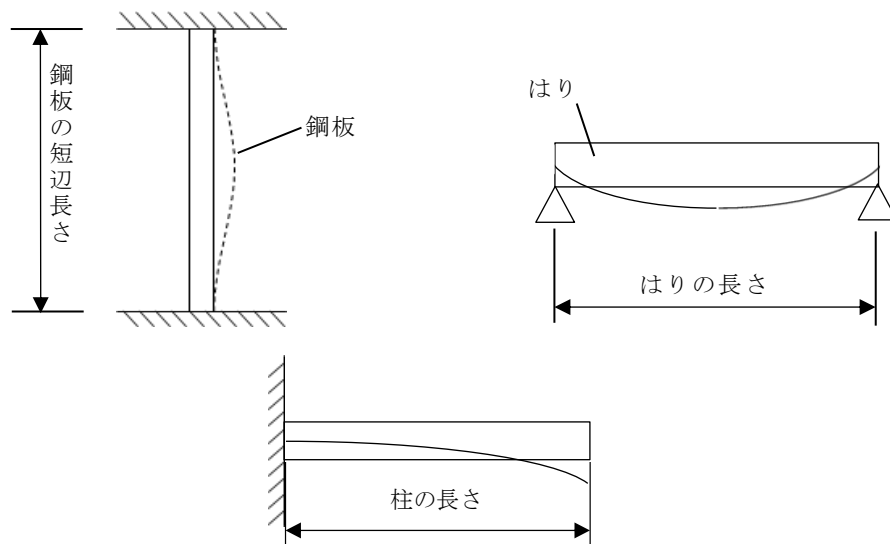


図 5-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備の固有振動数算出に用いる記号を表 5-1 に示す。

表 5-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|------------------|
| f | Hz | 防護対策設備の 1 次固有振動数 |
| λ | — | 定数 |
| h | m | モデル化に用いる鋼板の厚さ |
| a | m | モデル化に用いる鋼板の短辺長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| ν | — | ポアソン比 |
| ρ | kg/m ³ | 材料の密度 |
| L | mm | モデル化に用いる架構の長さ |
| I | m ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

5.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 5-2 に示す。

表 5-2(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|----|-------------------|-----------------------|
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 2.73 |
| モデル化に用いる鋼板の長さ | a | m | 1.14 |
| モデル化に用いる鋼板の厚さ | h | m | 0.012 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 材料の密度 | ρ | kg/m ³ | 7.85×10 ³ |

表 5-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 | |
|------------------|----|------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | | 柱 | はり |
| モデル化に用いる柱及びはりの長さ | L | m | 2.0 | 0.79 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10 ¹¹ | 2.05×10 ¹¹ |
| 定数 | λ | — | 1.8751 | — |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 39,800×10 ⁻⁸ | 29.4×10 ⁻⁸ |
| 質量分布 | m | kg/m | 915.09 | 425.43 |

5.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 5-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 5-3 固有振動数

| 扉名称 | 対象部位 | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|---------------------------------|------|------------|----------|
| 取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-2) | 鋼板 | 61.23 | 0.017 |
| | 柱 | 41.77 | 0.024 |
| | はり | 29.96 | 0.034 |

5.1.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

| 構造物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----|----------|-------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| 取水槽 | 海水ポンプエリア | 1.8 | 0.9 |

5.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「5.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「5.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを，「5.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

5.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の評価に用いる記号を表5-5に示す。

表5-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|----------------------------|-----------------------------------|
| k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 |
| G_1 | kN/m^2 | 鋼板の単位面積当りの自重 |
| S_{s1} | kN/m^2 | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| w_{ss1} | kN/m^2 | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 |
| σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| $M_{\max1}$ | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 鋼板に生じる最大曲げモーメント |
| Z_1 | cm^3 | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | m | 鋼板の部材長 |
| τ_1 | N/mm^2 | 鋼板に生じるせん断応力度 |
| $S_{\max1}$ | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 |
| A_1 | m^2 | 鋼板の断面積 |
| σ_{b2} | N/mm^2 | 柱に生じる最大曲げ応力度 |
| $M_{\max2}$ | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 柱の最大曲げモーメント |
| Z_2 | cm^3 | 柱の断面係数 |
| σ_{c2} | N/mm^2 | 柱に生じる圧縮応力度 |
| $V_{\max2}$ | kN | 柱の最大鉛直荷重 |
| A_2 | cm^2 | 柱の断面積 |

表 5-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の
耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------|-------------------|-----------------------------------|
| τ_2 | N/mm ² | 柱に生じるせん断応力度 |
| S_{max2} | kN | 柱に生じる最大せん断力 |
| A_2' | cm ² | 柱のせん断断面積 |
| S_{s3} | kN/m | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| h_3 | m | はりの荷重分担高さ |
| G_3 | kN/m | はりの自重 |
| w_{ss3} | kN/m | はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 |
| σ_{b3} | N/mm ² | はりに生じる曲げ応力度 |
| M_{max3} | kN・m | はりの最大曲げモーメント |
| Z_3 | cm ³ | はりの断面係数 |
| L_3 | m | はりの部材長 |
| τ_3 | N/mm ² | はりに生じるせん断応力度 |
| S_{max3} | kN | はりの最大せん断力 |
| A_3 | cm ² | はりの断面積 |
| S_{s4} | kN | 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 |
| G_4 | kN | 架構の固定荷重 |
| σ_4 | N/mm ² | 架構に生じる曲げ応力度 |
| M_{max4} | N・m | 架構の最大曲げモーメント |
| Z_4 | mm ³ | 架構の断面係数 |
| L_4 | mm | 架構の支持スパン |
| σ_{b5} | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 |
| M_{max5} | kN・m | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント |
| Z_5 | mm ³ | ベースプレートの断面係数 |
| L_5 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ |
| τ_5 | N/mm ² | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 |
| S_{max5} | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 |
| t_5 | mm | ベースプレートの厚さ |
| B_5 | m | 部材断面有効幅 |
| $\sigma_{b5'}$ | N/mm ² | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 |
| $M_{max5'}$ | N・mm/mm | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント |
| M_{x5} | — | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 |

表 5-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の
耐震評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-------------|--------------|-------------------------|
| W_5 | N/mm^2 | コンクリートの曲げ圧縮応力度 |
| L_{x5} | mm | ベースプレートの版の短辺長 |
| $\tau_{5'}$ | N/mm^2 | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 |
| $S_{max5'}$ | N/mm | ベースプレート押込側の最大せん断力 |
| $M_{x5'}$ | — | 等分布荷重によるせん断応力算定用の係数 |
| V_{max6} | kN | 柱に発生する最大鉛直荷重 |
| N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 |
| M_{max6} | $kN \cdot m$ | 柱に発生する最大曲げモーメント |
| L_6 | m | アンカーボルト距離 |
| n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 |
| T_6 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 |
| Q_6 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |
| f_t | N/mm^2 | 短期許容引張応力度 |
| f_b | N/mm^2 | 短期許容曲げ応力度 |
| f_c | N/mm^2 | 短期許容圧縮応力度 |

5.2.2 評価対象部位

当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震力により当該防護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、柱、はり、架構及びベースプレートに伝わり、ベースプレートを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 5-2 に示す。

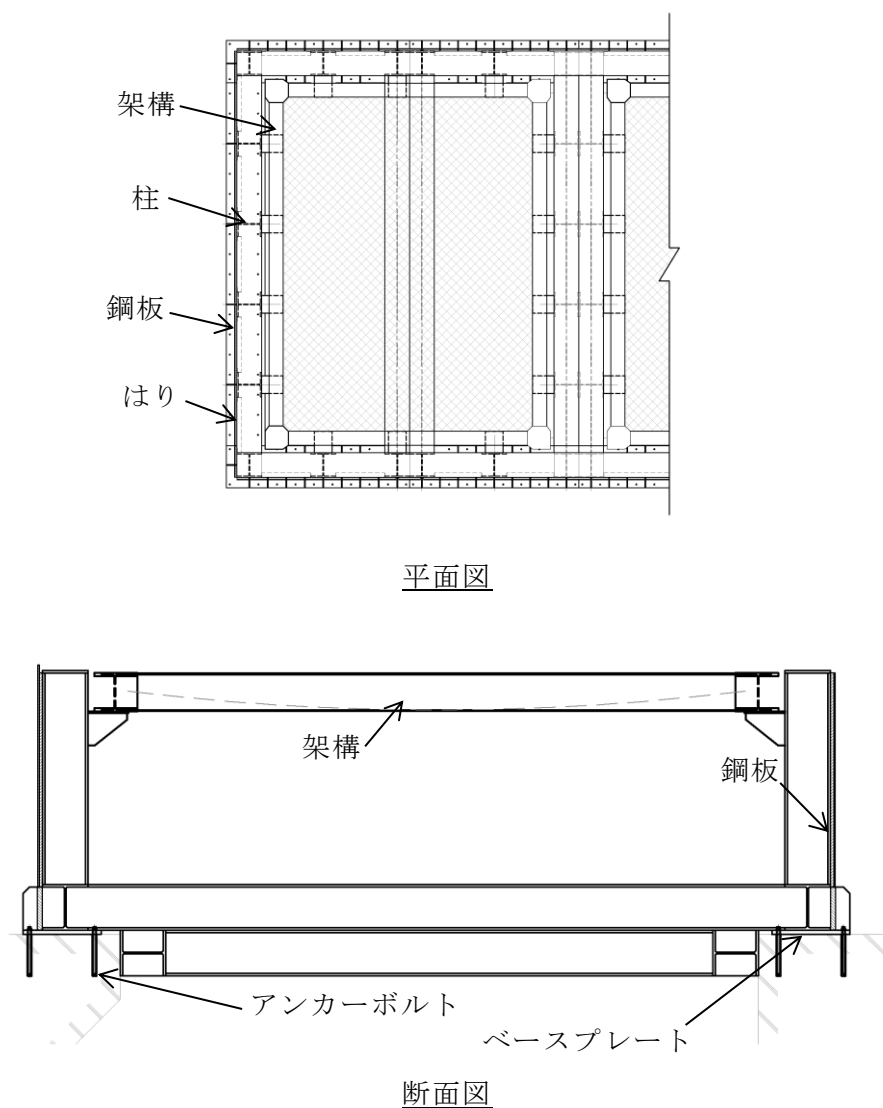


図 5-2 評価対象部位

5.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s + F$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

F : 積雪荷重 (kN)

(取水槽海水ポンプエリア (区間-2) については、柱上部のブラケット部をモデル化し、竜巻防護ネット上の積雪荷重を考慮する。)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防護対策設備の自重を考慮する。自重は「5.2.6 評価条件」に示す。

b. 風荷重 (W)

風速 30m/s 時の風荷重を考慮する。風荷重は、評価対象部位周辺の風圧力に当該部分の風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 5-6 に示す。

$$W = w \cdot A$$

W : 風荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

A : 風の受圧面積 (m²)

表 5-6 風圧力

| | |
|-------------------------------|------|
| 風圧力 w (kN/m ²) | 1.71 |
|-------------------------------|------|

c. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「5.1.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

d. 積雪荷重 (F)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪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35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪深1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

5.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，架構，ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表 5-7 に示す。

表 5-7 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|-------|----|
| 鋼板 | SS400 | |
| 柱 | SS400 | |
| はり | SS400 | |
| 架構 | SS400 | |
| ベースプレート | SS400 | |
| アンカーボルト | SD295 | |

(2) 許容限界

a. 鋼板，柱，はり，架構，ベースプレート

鋼板，柱，はり，架構，ベースプレートの許容応力度は，「S 規準」を踏まえて表 5-8 の値とする。

表 5-8 鋼板，柱，はり，架構，ベースプレーの短期許容応力度

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | | | |
|-------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | 引張 | 圧縮* | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 235 | 235 | 135 |

注記*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は 1.5 とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 5-9 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-9 アンカーボルトの基準強度

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|-----------|-----------|-----|
| | 引張 | せん断 |
| SD295 (□) | 67 | 35 |

5.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板，はり，柱，架構，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 5-3 に示す。

a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_{s1}

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN/m²)

G_1 : 鋼板の単位面積当りの自重 (kN/m²)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

$$\sigma_{b1} = (M_{\max 1} \cdot 10^6) / (Z_1 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 1} = w_{ss1} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (cm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max 1} \cdot 10^3) / (A_1 \cdot 10^6)$$

$$S_{\max 1} = w_{ss1} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 1}$: 鋼板の最大せん断力 (kN)

A_1 : 鋼板の断面積 (m²)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

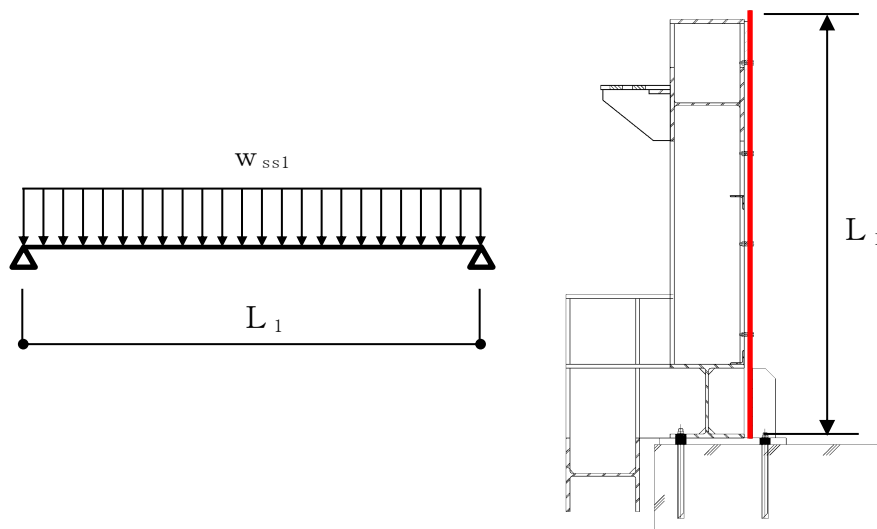


図 5-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、フレーム解析 (FRAME (面内) Ver. 8.0) により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 5-4 に示す。

a. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

σ_{b2} : 柱に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

b. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

c. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_{2'} \cdot 10^2)$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

$A_{2'}$: 柱のせん断断面積 (cm²)

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度及び圧縮応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/fb + \sigma_{c2}/fc \leq 1$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq ft$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
 τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
 τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

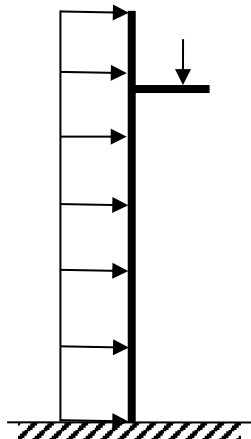


図 5-4 柱に作用する荷重の例

(3) はり

はりに生じる応力は，はりを単純支持のはりとして次式により算出し，はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 5-5 に示す。

- a. はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 S_{s3}

$$S_{s3} = (G_1 \cdot h_3 + G_3) \cdot k_H$$

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN/m)

G_1 : 鋼板の単位面積当りの自重 (kN/m²)

h_3 : はりの荷重分担高さ (m)

G_3 : はりの自重 (kN/m)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- b. はりに作用する単位長さ当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} + w \cdot h_3$$

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_{s3} : はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN/m)

w : 風圧力 (kN/m²)

h_3 : はりの荷重分担高さ (m)

- c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / (Z_3 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (cm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max 3} \cdot 10^3) / (A_3 \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 3} = w_{ss3} \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 3}$: はりの最大せん断力 (kN)

A_3 : はりの断面積 (cm²)

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_3 : はりの部材長 (m)

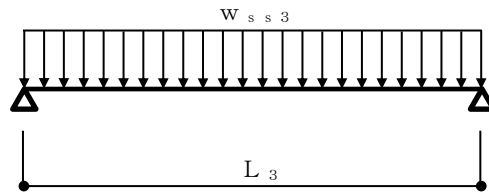


図 5-5 はりに作用する荷重の例

(4) 架構

架構に生じる応力は、架構を単純支持のはりとして次式により算出し、架構の短期許容応力度以下であることを確認する。架構に作用する荷重の例を図 5-6 に示す。

a. 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_{s4}

$$S_{s4} = G_4 \cdot k_H$$

S_{s4} : 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G_4 : 架構の固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 架構に生じる曲げ応力度 σ_4

$$\sigma_4 = (M_{\max 4} \cdot 10^{-3}) / Z_4$$

$$M_{\max 4} = (S_{s4} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}) / 4$$

σ_4 : 架構に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 4}$: 架構の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : 架構の断面係数 (mm³)

S_{s4} : 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

L_4 : 架構の支持スパン (mm)

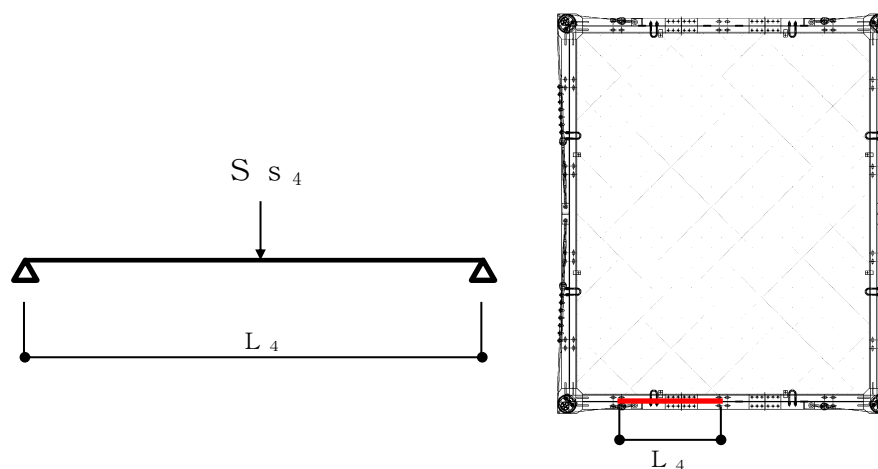


図 5-6 架構に作用する荷重の例

(5) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 5-7 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度 (引張側) σ_{b5}

$$\sigma_{b5} = (M_{\max 5} \cdot 10^3) / Z_5$$

$$M_{\max 5} = T_6 \cdot L_5 \cdot 10^3$$

σ_{b5} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 5}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (N・m)

Z_5 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

L_5 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_5

$$\tau_5 = S_{\max 5} / (t_5 \cdot B_5 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max 5} = T_6 \cdot 10^3$$

τ_5 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 5}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_5 : 部材断面有効幅 (m)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「S 規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b5}^2 + 3\tau_5^2} \leq f_t$$

σ_{b5} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_5 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b5'}$

$$\sigma_{b5'} = (6 \cdot M_{\max 5'}) / t_5^2$$

$$M_{\max 5'} = M_{x5} \cdot W_5 \cdot L_{x5}^2$$

$\sigma_{b5'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 5'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x5} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_5 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x5} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{5'}$

$$\tau_{5'} = S_{\max 5'} / t_5$$

$$S_{\max 5'} = M_{x 5'} \cdot W_5 \cdot L_{x 5}$$

$\tau_{5'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 5'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N/mm)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

$M_{x 5'}$: 等分布荷重によるせん断応力算定用の係数

W_5 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$L_{x 5}$: ベースプレートの版の短辺長 (mm)

ベースプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b5'}^2 + 3\tau_{5'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b5'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{5'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

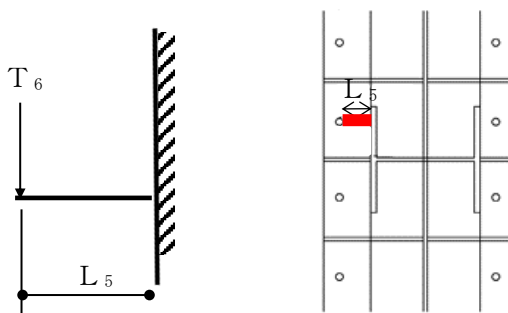


図 5-7 ベースプレートに作用する荷重の例

(6) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 5-8 に示す。

$$(T_6 / T_a)^2 + (Q_6 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_6 = V_{\max 6} / N - M_{\max 6} / (L_6 \cdot n_6)$$

$$T_6 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 6}$: 柱に発生する最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 6}$: 柱に発生する最大曲げモーメント (kN・m)

L_6 : アンカーボルト距離 (m)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_6 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_6 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に発生する最大せん断力 (kN)

Q_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

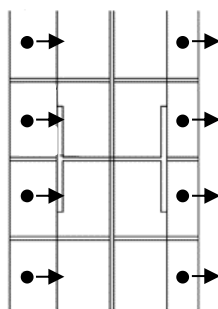


図 5-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

5.2.6 評価条件

「5.2.5 評価方法」に用いる入力値を表5-10に示す。

表5-10(1) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|----------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 共通 | k_H | — | 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度 | 1.8 |
| 鋼板 | G_1 | kN/m^2 | 鋼板の単位面積当りの自重 | 2.772 |
| | S_{s1} | kN/m^2 | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 4.99 |
| | w_{ss1} | kN/m^2 | 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 | 6.7 |
| | σ_{b1} | N/mm^2 | 鋼板に生じる曲げ応力度 | 11.4 |
| | $M_{\max1}$ | $\text{kN}\cdot\text{m}$ | 鋼板に生じる最大曲げモーメント | 1.09 |
| | Z_1 | cm^3 | 鋼板の断面係数 | 96 |
| | L_1 | m | 鋼板の部材長 | 1.14 |
| | τ_1 | N/mm^2 | 鋼板に生じるせん断応力度 | 0.16 |
| | $S_{\max1}$ | kN | 鋼板に生じる最大せん断力 | 3.82 |
| | A_1 | m^2 | 鋼板の断面積 | 0.024 |
| 柱 | σ_{b2} | N/mm^2 | 柱に生じる最大曲げ応力度 | 24.0 |
| | $M_{\max2}$ | $\text{kN}\cdot\text{m}$ | 柱の最大曲げモーメント | 54.71 |
| | Z_2 | cm^3 | 柱の断面係数 | 2280 |
| | σ_{c2} | N/mm^2 | 柱に生じる圧縮応力度 | 2.2 |
| | $V_{\max2}$ | kN | 柱の最大鉛直荷重 | 37.77 |
| | A_2 | cm^2 | 柱の断面積 | 171.9 |
| | τ_2 | N/mm^2 | 柱に生じるせん断応力度 | 10.52 |
| | $S_{\max2}$ | kN | 柱に生じる最大せん断力 | 39.38 |
| $A_{2'}$ | cm^2 | 柱のせん断断面積 | 37.44 | |
| はり | S_{s3} | kN/m | はりに作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 2.74 |
| | h_3 | m | はりの荷重分担高さ | 0.53 |
| | G_3 | kN/m | はりの自重 | 5.80×10^{-2} |
| | w_{ss3} | kN/m | はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 | 3.65 |
| | σ_{b3} | N/mm^2 | はりに生じる曲げ応力度 | 44.7 |
| | $M_{\max3}$ | $\text{kN}\cdot\text{m}$ | はりの最大曲げモーメント | 0.28 |

表 5-10(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|-------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| はり | Z_3 | cm^3 | はりの断面係数 | 6.26 |
| | L_3 | m | はりの部材長 | 0.79 |
| | τ_3 | N/mm^2 | はりに生じるせん断応力度 | 4.1 |
| | $S_{\max 3}$ | kN | はりの最大せん断力 | 1.44 |
| | A_3 | cm^2 | はりの断面積 | 3.54 |
| 架構 | S_{s4} | kN | 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 | 3.76 |
| | G_4 | kN | 架構の固定荷重 | 2.089 |
| | σ_4 | N/mm^2 | 架構に生じる曲げ応力度 | 8.19 |
| | $M_{\max 4}$ | $\text{kN} \cdot \text{m}$ | 架構の最大曲げモーメント | 1.31 |
| | Z_4 | mm^3 | 架構の断面係数 | 1.60×10^5 |
| | L_4 | mm | 架構の支持スパン | 1390 |
| ベースプレート | σ_{b5} | N/mm^2 | ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 | 147.8 |
| | $M_{\max 5}$ | $\text{N} \cdot \text{m}$ | ベースプレート引張側の最大曲げモーメント | 2527 |
| | Z_5 | mm^3 | ベースプレートの断面係数 | 17.1×10^3 |
| | L_5 | m | 柱とアンカーボルト間の長さ | 0.05 |
| | τ_5 | N/mm^2 | ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 | 15.8 |
| | $S_{\max 5}$ | N | ベースプレート引張側の最大せん断力 | 50540 |
| | t_5 | mm | ベースプレートの厚さ | 32 |
| | B_5 | m | 部材断面有効幅 | 0.1 |
| | $\sigma_{b5'}$ | N/mm^2 | ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 | 91.5 |
| | $M_{\max 5'}$ | $\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$ | ベースプレート押込側の最大曲げモーメント | 15624 |
| | M_{x5} | - | 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数 | 0.217 |
| | W_5 | N/mm^2 | コンクリートの曲げ圧縮応力度 | 3.20 |
| | L_{x5} | mm | ベースプレートの版の短辺長 | 150 |
| $\tau_{5'}$ | N/mm^2 | ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 | 10.9 | |

表 5-10(3) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|-------------|------|-------------------------|-------|
| ベースプレート | $S_{max5'}$ | N/mm | ベースプレート押込側の最大せん断力 | 350 |
| | $M_{x5'}$ | — | 等分布荷重によるせん断応力算定用の係数 | 0.73 |
| アンカーボルト | T_6 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 | 50.54 |
| | T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 | 67 |
| | V_{max6} | kN | 柱に発生する最大鉛直荷重 | 1.98 |
| | N | 本 | 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 | 5 |
| | M_{max6} | kN・m | 柱に発生する最大曲げモーメント | 50.94 |
| | L_6 | m | アンカーボルト距離 | 0.5 |
| | n_6 | 本 | アンカーボルトの本数 | 2 |
| | Q_6 | kN | アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力 | 7.88 |
| | Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 | 35 |

6. 評価結果

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震評価結果を表6-1～表6-3に示す。当該防護対策設備の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、当該防護対策設備が構造健全性を有することを確認した。

表6-1 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-1 (東側), (西側)))

| 評価部材 | | 発生応力度 又は荷重 | | 許容限界値 | | 発生応力度 / 許容限界値 | |
|-------------|--------|---------------------------|-----|-------------------|-----|---------------------|------|
| 鋼板 | SS400 | 曲げ | 15 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.07 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| 柱 | SS400 | 曲げ | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| | | 圧縮 | 2 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.01 |
| | | せん断 | 10 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.08 |
| | | 組合せ (曲げ+圧縮) | - | - | - | - | 0.13 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | 33 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (上向き) | 34 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (下向き) | 33 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| はり | SS400 | 曲げ | 65 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.28 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| ベースプレート | SS400 | 曲げ (引張側) | 87 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.38 |
| | | せん断 (引張側) | 7 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.06 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (引張側) | 88 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.38 |
| | | 曲げ (押込側) | 107 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.46 |
| | | せん断 (押込側) | 14 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.11 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (押込側) | 110 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.47 |
| アンカー ボルト | SUS304 | せん断 | 4 | kN | 34 | kN | 0.12 |
| | | 引張 | 22 | kN | 41 | kN | 0.54 |
| | | 組合せ (せん断+引張) | - | - | - | - | 0.28 |

表 6-2 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-1 (南側)))

| 評価部材 | | 発生応力度 又は荷重 | | 許容限界値 | | 発生応力度 / 許容限界値 | |
|-------------|--------|---------------------------|----|-------------------|-----|---------------------|------|
| 鋼板 | SS400 | 曲げ | 15 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.07 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| 柱 | SS400 | 曲げ | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| | | 圧縮 | 2 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.01 |
| | | せん断 | 10 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.08 |
| | | 組合せ (曲げ+圧縮) | - | - | - | - | 0.13 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | 33 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (上向き) | 34 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (下向き) | 33 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.15 |
| はり | SS400 | 曲げ | 65 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.28 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| ベースブ レート | SS400 | 曲げ (引張側) | 86 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.37 |
| | | せん断 (引張側) | 10 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.08 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (引張側) | 88 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.38 |
| | | 曲げ (押込側) | 93 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.40 |
| | | せん断 (押込側) | 17 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.13 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (押込側) | 98 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.42 |
| アンカー ボルト | SUS304 | せん断 | 3 | kN | 8 | kN | 0.38 |
| | | 引張 | 26 | kN | 63 | kN | 0.42 |
| | | 組合せ (せん断+引張) | - | - | - | - | 0.24 |

表 6-3 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-2))

| 評価部材 | | 発生応力度 又は荷重 | | 許容限界値 | | 発生応力度 / 許容限界値 | |
|-------------|-------|---------------------------|-----|-------------------|-----|---------------------|------|
| 鋼板 | SS400 | 曲げ | 12 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.06 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| 柱 | SS400 | 曲げ | 24 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.11 |
| | | 圧縮 | 3 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.02 |
| | | せん断 | 11 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.09 |
| | | 組合せ (曲げ+圧縮) | - | - | - | - | 0.12 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | 31 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.14 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) (上向き) | 32 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.14 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) (下向き) | 29 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.13 |
| はり | SS400 | 曲げ | 45 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.20 |
| | | せん断 | 5 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.04 |
| 架構 | SS400 | 曲げ | 9 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.04 |
| ベースブ レート | SS400 | 曲げ (引張側) | 148 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.63 |
| | | せん断 (引張側) | 16 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.12 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (引張側) | 151 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.65 |
| | | 曲げ (押込側) | 92 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.40 |
| | | せん断 (押込側) | 11 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.09 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) (押込側) | 94 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.40 |
| アンカー ボルト | SD295 | せん断 | 8 | kN | 35 | kN | 0.23 |
| | | 引張 | 51 | kN | 67 | kN | 0.77 |
| | | 組合せ (せん断+引張) | - | - | - | - | 0.61 |

VI-2-11-2-6 竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-6-3 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の
耐震性についての計算書

目次

| | |
|------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造の概要 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 6 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 7 |
| 3. 耐震評価 | 8 |
| 3.1 固有振動数の算出方法 | 8 |
| 3.2 固有振動数の計算条件 | 10 |
| 3.3 固有振動数の算出結果 | 10 |
| 3.4 設計用地震力 | 11 |
| 3.5 耐震評価方法 | 12 |
| 3.5.1 記号の説明 | 12 |
| 3.5.2 評価対象部位 | 14 |
| 3.5.3 荷重及び荷重の組合せ | 15 |
| 3.5.4 許容限界 | 16 |
| 3.5.5 評価方法 | 18 |
| 3.5.6 評価条件 | 23 |
| 4. 評価結果 | 25 |

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備が原子炉補機海水系配管，高圧炉心スプレイ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。

その波及的影響の評価として，原子炉補機海水系配管，高圧炉心スプレイ補機海水系配管等の有する機能が保持されることを確認するために，施設の損傷による影響では，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造部材の健全性評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては，VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」を基に算定した荷重を評価式に代入することにより確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の位置図を図 2-1 に示す。



図 2-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 位置図

2.2 構造の概要

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3 に示す。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は，鋼板，架構，ベースプレート及びアンカーボルトから構成され，取水槽躯体にアンカーボルトで固定する構造とする。

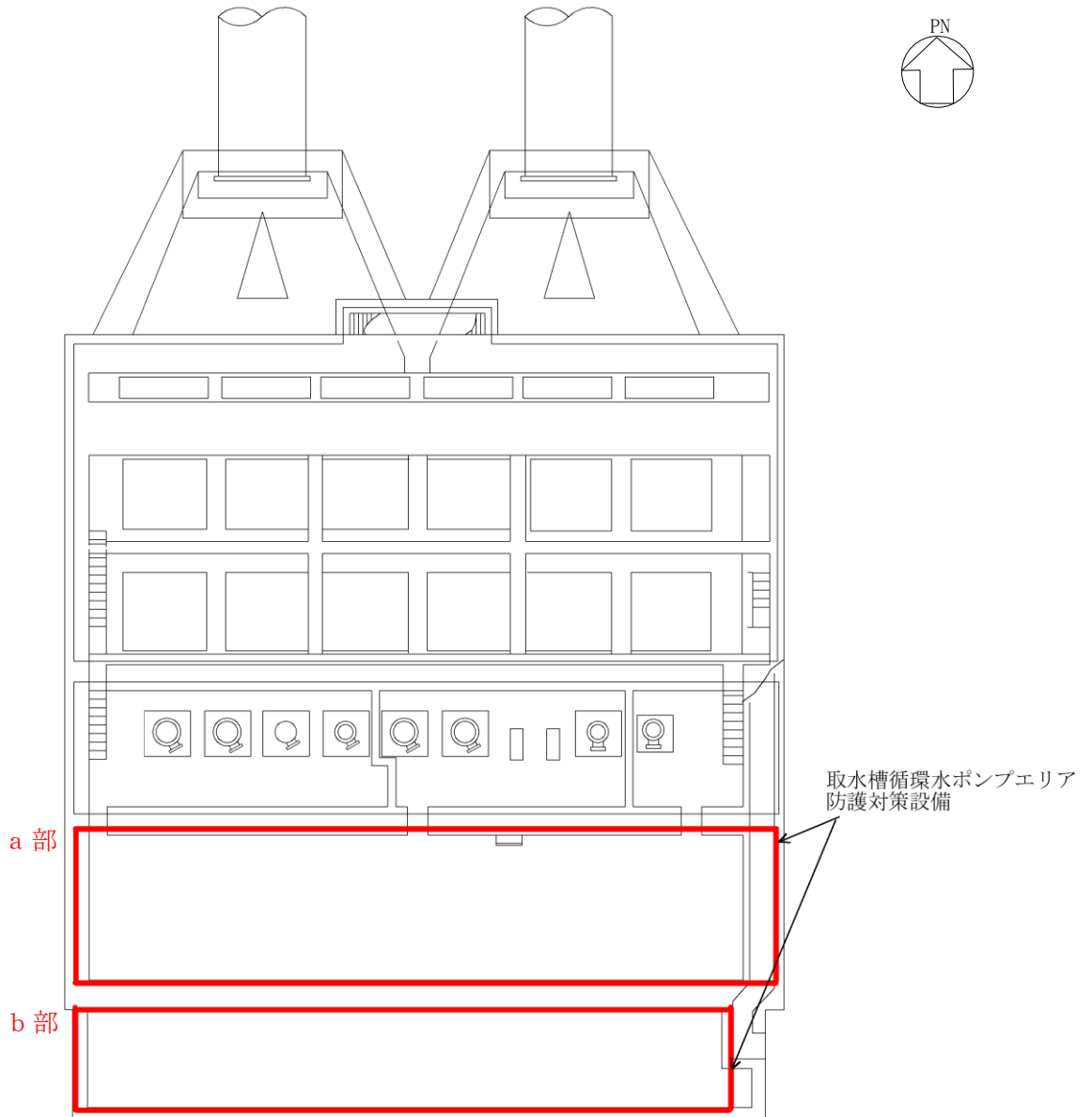


図 2-2(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図

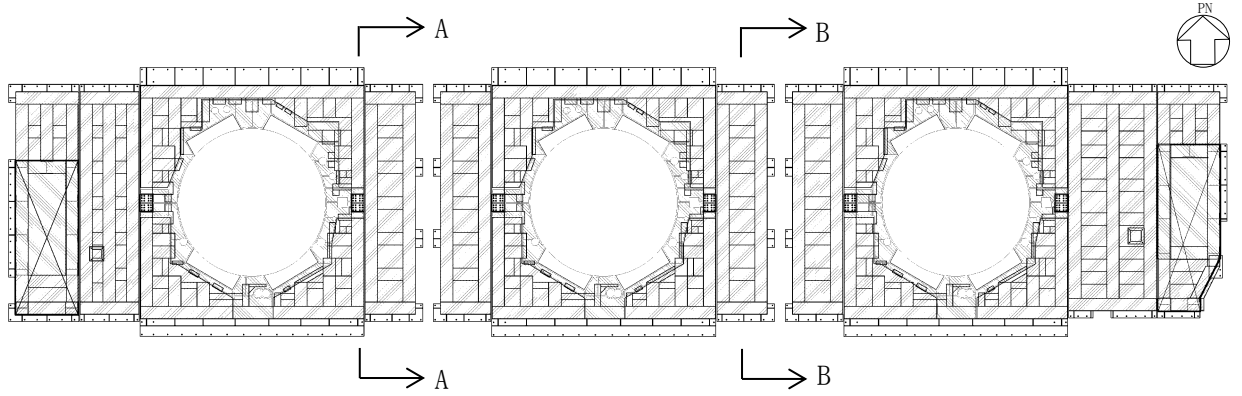


図 2-2(2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図 (a 部詳細図)

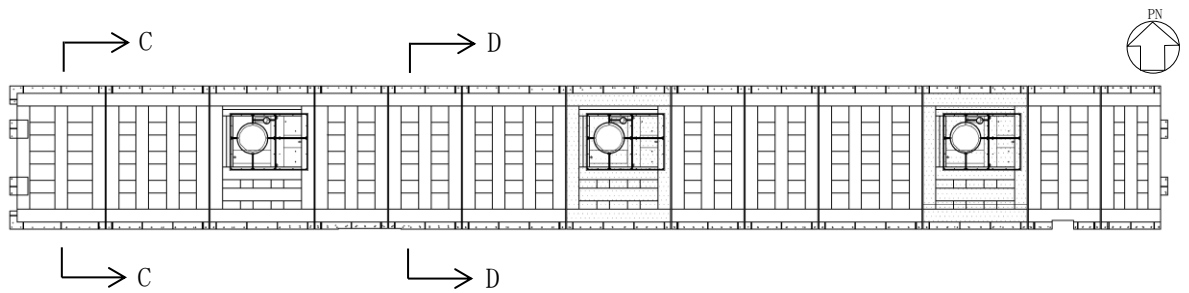


図 2-2(3) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図 (b 部詳細図)

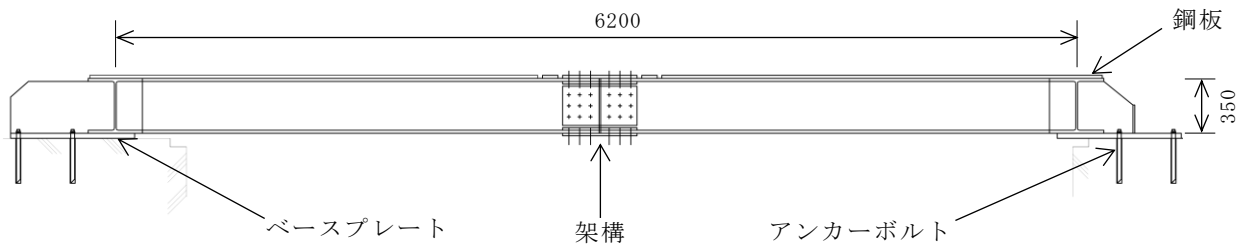


図 2-3 (1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 断面図 (A-A 断面)

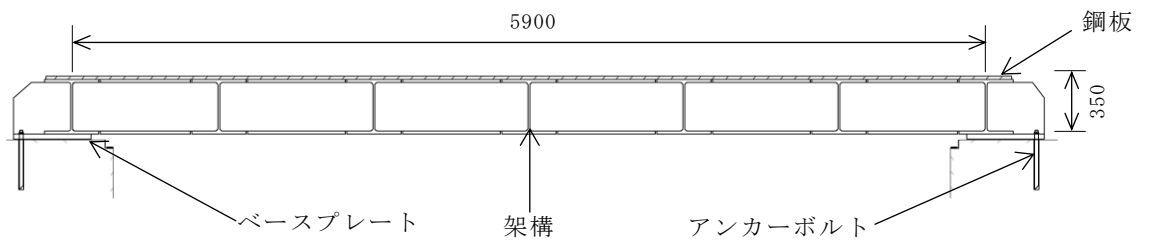


図 2-3 (2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 断面図 (B-B 断面)

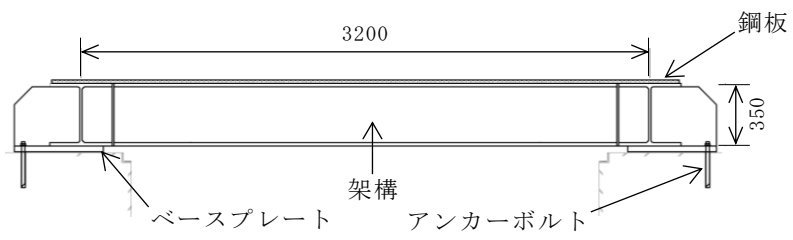


図 2-3 (3) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 断面図 (C-C 断面)

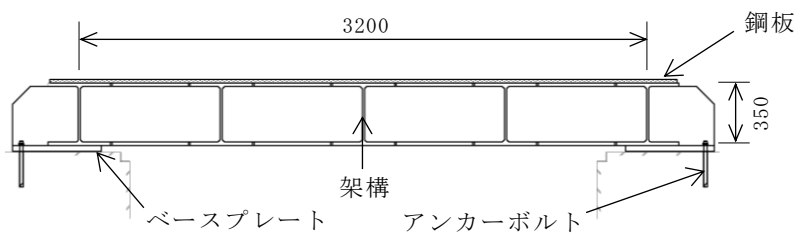


図 2-3 (4) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 断面図 (D-D 断面)

2.3 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響評価は、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 構造の概要」に示す取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造を踏まえ、「3.5.2 評価対象部位」にて設定する評価対象部位について、「3.3 固有振動数の算出結果」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「3.5 耐震評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「4. 評価結果」にて確認する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フローを図 2-4 に示す。

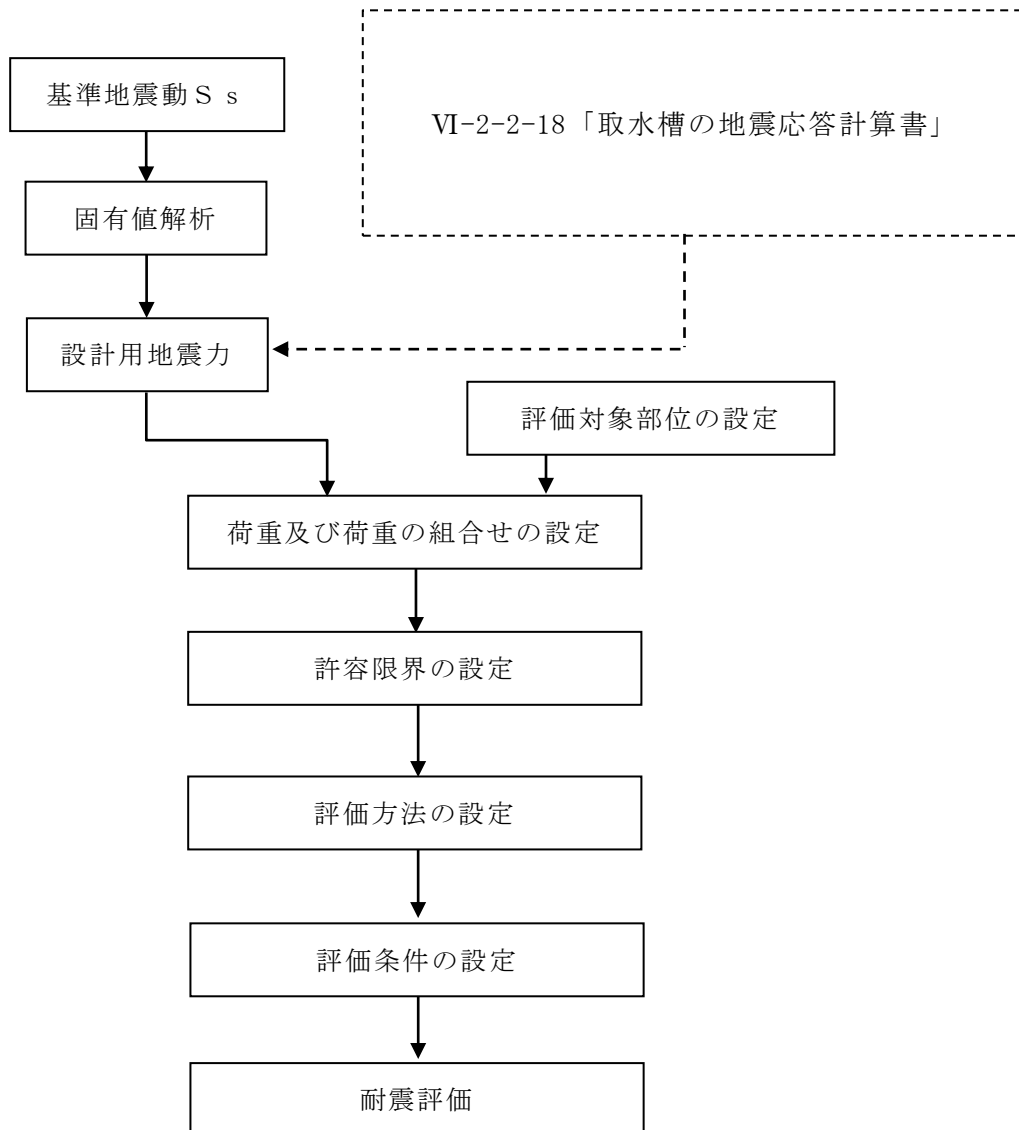


図 2-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 構造力学公式集（（公社）土木学会）（以下「構造力学公式集」という。）

3. 耐震評価

3.1 固有振動数の算出方法

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防護対策設備は、鋼板、架構、ベースプレートの組合せにより剛な断面を有しているとともに、アンカーボルトにて取水槽躯体に固定する構造であることから、当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に、架構を両端固定はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、架構の全長とする。図 3-1 に解析モデル図を示す。

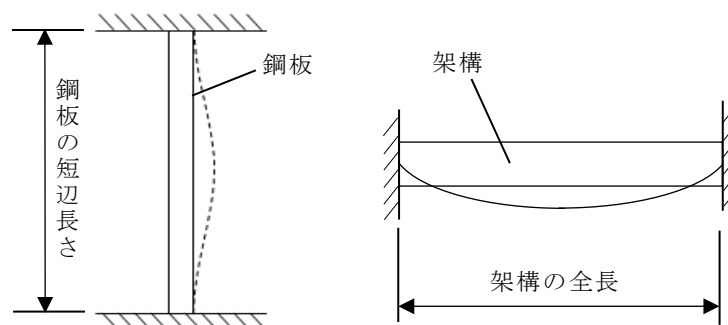


図 3-1 解析モデル図

(2) 記号の説明

当該防護対策設備の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|-----------|-------------------|------------------|
| f | Hz | 防護対策設備の 1 次固有振動数 |
| λ | — | 定数 |
| h | m | モデル化に用いる鋼板の厚さ |
| a | m | モデル化に用いる鋼板の短辺長さ |
| E | N/m ² | ヤング率 |
| ν | — | ポアソン比 |
| ρ | kg/m ³ | 材料の密度 |
| L | mm | モデル化に用いる架構の長さ |
| I | m ⁴ | 断面二次モーメント |
| m | kg/m | 質量分布 |

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

- b. 両端固定はりモデル（架構をモデル化）

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

3.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2(1) 固有周期の計算条件 (鋼板)

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|-----------|-------------------|-----------------------|
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10^{11} |
| 定数 | λ | — | 2.480 |
| モデル化に用いる鋼板の長さ | a | m | 2.360 |
| モデル化に用いる鋼板の厚さ | h | m | 0.024 |
| ポアソン比 | ν | — | 0.3 |
| 材料の密度 | ρ | kg/m ³ | 7.85×10^3 |

表 3-2(2) 固有周期の計算条件 (架構)

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値 |
|---------------|-----------|------------------|-----------------------|
| モデル化に用いる架構の長さ | L | m | 6.3 |
| 定数 | λ | — | 4.73 |
| ヤング率 | E | N/m ² | 2.05×10^{11} |
| 断面二次モーメント | I | m ⁴ | 39.8×10^{-5} |
| 質量分布 | m | kg/m | 745.41 |

3.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数

| 防護対策設備名称 | 対象部位 | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|------------------------|------|------------|----------|
| 取水槽循環水ポンプエリア 防護対策設備 | 鋼板 | 25.96 | 0.039 |
| | 架構 | 29.68 | 0.034 |

3.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 設計震度

| 構造物 | 設置場所 | 基準地震動 S_s の設計震度 | |
|-----|-----------|-------------------|----------|
| | | 水平 k_H | 鉛直 k_V |
| 取水槽 | 循環水ポンプエリア | 1.8 | 0.9 |

3.5 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水系配管，高圧炉心スプレイ補機海水系配管等に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「3.5.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「3.3 固有振動数の算出結果」で算定した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを，「3.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

3.5.1 記号の説明

当該防護対策設備の波及的影響の評価に用いる記号を表 3-5 に示す。

表 3-5(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------|-------------------|-----------------------------------|
| k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 |
| V_{ss1} | kN/m | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| G_1 | kN/m | 鋼板の固定荷重 |
| F_1 | kN/m | 鋼板が負担する積雪荷重 |
| V_1 | kN/m | 鋼板に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 |
| σ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 |
| M_1 | kN・m | 鋼板に生じる曲げモーメント |
| Z_1 | cm ³ | 鋼板の断面係数 |
| L_1 | m | 鋼板の支持スパン |
| τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 |
| Q_1 | kN | 鋼板のせん断力 |
| A_{s1} | m ² | 鋼板のせん断断面積 |
| V_{ss2} | kN/m | 架構に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 |
| G_2 | kN/m | 架構の固定荷重 |
| $G_{2'}$ | kN/m | 架構が負担する鋼板の固定荷重 |
| F_2 | kN/m | 架構が負担する積雪荷重 |
| V_2 | kN/m | 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 |
| σ_2 | N/mm ² | 架構に生じる曲げ応力度 |
| M_2 | kN・m | 架構に生じる曲げモーメント |
| Z_2 | cm ³ | 架構の断面係数 |
| L_2 | m | 架構の支持スパン |

表 3-5(2) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価に用いる記号

| 記号 | 単位 | 定義 |
|---------------|-------------------|--|
| τ_2 | N/mm ² | 架構に生じるせん断応力度 |
| Q_2 | kN | 架構のせん断力 |
| A_{S2} | cm ² | 架構のせん断断面積 |
| σ_{b3} | N/mm ² | ベースプレートに生じる曲げ応力度 |
| M_3 | N・m | ベースプレートの最大曲げモーメント |
| Z_3 | cm ³ | ベースプレートの断面係数 |
| P_3 | N | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| L_3 | m | リブプレートとアンカーボルト間の長さ |
| τ_3 | N/mm ² | ベースプレートに生じるせん断応力度 |
| S_{max3} | N | ベースプレートに生じるせん断力 |
| t_3 | mm | ベースプレートの厚さ |
| B_3 | m | 部材断面有効幅 |
| T_{d4} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 |
| T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 |
| Q_{d4} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 |
| Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 |
| V_4 | kN | 架構等の固定荷重 |
| n_4 | 本 | 架構に取り付くアンカーボルトの本数 |
| T_4 | kN | 架構に発生する曲げモーメントによりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 |
| Q_4 | kN | アンカーボルトのせん断力 |

3.5.2 評価対象部位

当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防護対策設備に生じる慣性力及び積雪荷重は鋼板、架構、ベースプレートに伝わり、ベースプレートを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、架構、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

評価対象部位を図 3-2 に示す。

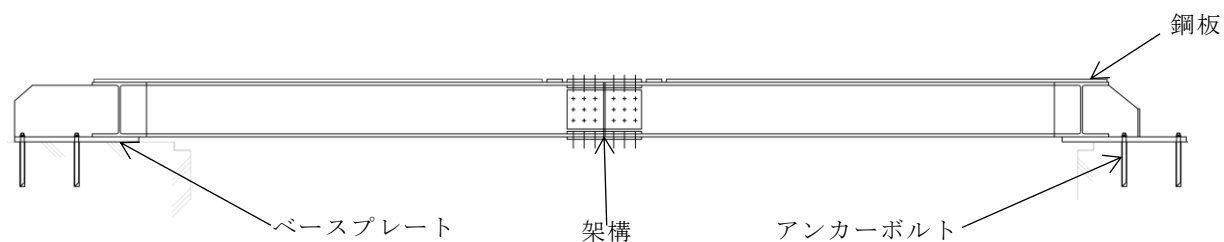


図 3-2 評価対象部位

3.5.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + F$$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

F : 積雪荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防護対策設備の自重を考慮する。自重は「3.5.6 評価条件」に示す。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

c. 積雪荷重 (F)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 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 35.0cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪深 1cm ごとに 20N/m² の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

3.5.4 許容限界

許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 使用材料

当該防護対策設備を構成する鋼板、架構、ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表3-6に示す。

表3-6 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|---------|-------|-----------------|
| 鋼板 | SS400 | PL-20 |
| 架構 | SS400 | H-350×350×12×19 |
| ベースプレート | SS400 | PL-32 |
| アンカーボルト | SD345 | D25 |

(2) 許容限界

a. 鋼板、架構、ベースプレート

鋼板、架構、ベースプレートの許容応力度は、「S規準」を踏まえて表3-7の値とする。

表3-7 鋼板、架構、ベースプレートの短期許容応力度

| 材質 | 短期許容応力度 (N/mm ²) | |
|-------|------------------------------|-----|
| | 曲げ* | せん断 |
| SS400 | 235 | 135 |

注記*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は1.5とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 3-8 の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-8 アンカーボルトの基準強度

| 材質 | 許容耐力 (kN) | |
|-------------|-----------|------|
| | 引張 | せん断 |
| SD345 (D25) | 94.3 | 60.7 |

3.5.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板、架構、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は、鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し、鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 3-3 に示す。

a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 V_{ss1}

$$V_{ss1} = (G_1 + F_1) \cdot k_v$$

V_{ss1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN/m)

G_1 : 鋼板の固定荷重 (kN/m)

F_1 : 鋼板が負担する積雪荷重 (kN/m)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 鋼板に作用する鉛直荷重 V_1

$$V_1 = V_{ss1} + G_1 + F_1$$

V_1 : 鋼板に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

V_{ss1} : 鋼板に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN/m)

G_1 : 鋼板の固定荷重 (kN/m)

F_1 : 鋼板が負担する積雪荷重 (kN/m)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_1

$$\sigma_1 = (M_1 \cdot 10^6) / (Z_1 \cdot 10^3)$$

$$M_1 = V_1 \cdot L_1^2 / 8$$

σ_1 : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : 鋼板に生じる曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (cm³)

V_1 : 鋼板に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の支持スパン (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / (A_{s1} \cdot 10^6)$$

$$Q_1 = V_1 \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : 鋼板のせん断力 (kN)

A_{s1} : 鋼板のせん断断面積 (m²)

V_1 : 鋼板に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の支持スパン (m)

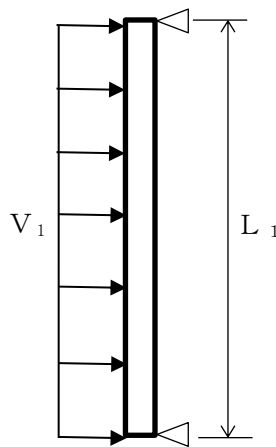


図 3-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 架構

架構に生じる応力は、架構を単純支持のはりとして次式により算出し、架構の短期許容応力度以下であることを確認する。架構に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

a. 架構に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 V_{ss2}

$$V_{ss2} = (G_2 + G_2' + F_2) \cdot k_v$$

V_{ss2} : 架構に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN/m)

G_2 : 架構の固定荷重 (kN/m)

G_2' : 架構が負担する鋼板の固定荷重 (kN/m)

F_2 : 架構が負担する積雪荷重 (kN/m)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 V_2

$$V_2 = V_{ss2} + G_2 + G_2' + F_2$$

- V_2 : 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 V_{ss2} : 架構に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN/m)
 G_2 : 架構の固定荷重 (kN/m)
 G_2' : 架構が負担する鋼板の固定荷重 (kN/m)
 F_2 : 架構が負担する積雪荷重 (kN/m)

c. 架構に生じる曲げ応力度 σ_2

$$\sigma_2 = (M_2 \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

$$M_2 = V_2 \cdot L_2^2 / 8$$

- σ_2 : 架構に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : 架構に生じる曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : 架構の断面係数 (cm³)
 V_2 : 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 L_2 : 架構の支持スパン (m)

d. 架構に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / (A_{S2} \cdot 10^6)$$

$$Q_2 = V_2 \cdot L_2 / 2$$

- τ_2 : 架構に生じるせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : 架構のせん断力 (kN)
 A_{S2} : 架構のせん断断面積 (cm²)
 V_2 : 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 L_2 : 架構の支持スパン (m)

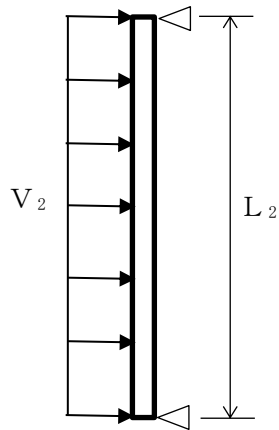


図 3-4 架構に作用する荷重の例

(3) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = M_{\max 3} / Z_3$$

$$M_3 = P_3 \cdot L_3$$

σ_{b3} : ベースプレートに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : ベースプレートに生じる最大曲げモーメント (N・m)

Z_3 : ベースプレートの断面係数 (cm³)

P_3 : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (N)

L_3 : リブプレートとアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度 τ_3

$$\tau_3 = S_3 / (t_3 \cdot B_3 \cdot 10^3)$$

$$S_3 = P_3$$

τ_3 : ベースプレートに生じるせん断応力度 (N/mm²)

S_3 : ベースプレートに生じるせん断力 (N)

t_3 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_3 : 部材断面有効幅 (m)

P_3 : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (N)

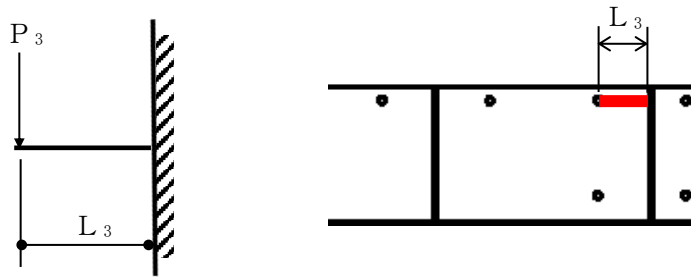


図 3-5 ベースプレートに作用する荷重の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力又はせん断力を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

$$(T_{d4}/T_a)^2 + (Q_{d4}/Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_{d4} = V_4 / n_4 - T_4$$

$$T_{d4}/T_a \leq 1.0$$

T_{d4} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

V_4 : 架構等の固定荷重 (kN/m)

n_4 : 架構に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

T_4 : 架構に発生する曲げモーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_{d4} = Q_4 / n_4$$

$$Q_{d4}/Q_a \leq 1.0$$

Q_4 : アンカーボルトのせん断力 (kN)

Q_{d4} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

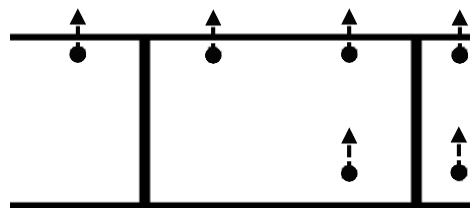


図 3-6 アンカーボルトに作用する荷重の例

3.5.6 評価条件

「3.5.5 評価方法」に用いる入力値を表3-9に示す。

表3-9(1) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|----------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|-------|
| 共通 | k_v | — | 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度 | 0.9 |
| 鋼板 | V_{ss1} | kN/m | 鋼板に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 3.19 |
| | G_1 | kN/m | 鋼板の固定荷重 | 1.54 |
| | F_1 | kN/m | 鋼板が負担する積雪荷重 | 2.00 |
| | V_1 | kN/m | 鋼板に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 | 6.73 |
| | σ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じる曲げ応力度 | 5.4 |
| | M_1 | kN・m | 鋼板に生じる曲げモーメント | 0.36 |
| | Z_1 | cm ³ | 鋼板の断面係数 | 67 |
| | L_1 | m | 鋼板の支持スパン | 0.65 |
| | τ_1 | N/mm ² | 鋼板に生じるせん断応力度 | 0.11 |
| | Q_1 | kN | 鋼板のせん断力 | 2.19 |
| | A_{s1} | m ² | 鋼板のせん断断面積 | 0.02 |
| 架構 | V_{ss2} | kN/m | 架構に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 | 9.42 |
| | G_2 | kN/m | 架構の固定荷重 | 3.83 |
| | $G_{2'}$ | kN/m | 架構が負担する鋼板及びベースプレートの固定荷重 | 3.48 |
| | F_2 | kN/m | 架構が負担する積雪荷重 | 3.16 |
| | V_2 | kN/m | 架構に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 | 19.89 |
| | σ_2 | N/mm ² | 架構に生じる曲げ応力度 | 43.3 |
| | M_2 | kN・m | 架構に生じる曲げモーメント | 98.68 |
| | Z_2 | cm ³ | 架構の断面係数 | 2280 |
| | L_2 | m | 架構の支持スパン | 6.3 |
| | τ_2 | N/mm ² | 架構に生じるせん断応力度 | 16.74 |
| | Q_2 | kN | 架構のせん断力 | 62.65 |
| A_{s2} | cm ² | 架構のせん断断面積 | 37.44 | |

表 3-9(2) 耐震評価に用いる入力値

| 対象部位 | 記号 | 単位 | 定義 | 数値 |
|---------|---------------|-------------------|--|-------|
| ベースプレート | σ_{b3} | N/mm ² | ベースプレートに生じる曲げ応力度 | 73.0 |
| | M_3 | N・m | ベースプレートに生じる最大曲げモーメント | 3036 |
| | Z_3 | cm ³ | ベースプレートの断面係数 | 41.6 |
| | P_3 | N | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 | 15650 |
| | L_3 | m | リブプレートとアンカーボルト間の長さ | 0.194 |
| | τ_3 | N/mm ² | ベースプレートに生じるせん断応力度 | 2.0 |
| | S_{max3} | N | ベースプレートに生じるせん断力 | 15650 |
| | t_3 | mm | ベースプレートの厚さ | 32 |
| | B_3 | m | 部材断面有効幅 | 0.244 |
| アンカーボルト | T_{d4} | kN | アンカーボルト 1 本当たりの引張力 | 15.65 |
| | V_4 | kN | 架構等の固定荷重 | 97.28 |
| | n_4 | 本 | 架構に取り付くアンカーボルトの本数 | 12 |
| | T_4 | kN | 架構に発生する曲げモーメントによりアンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 | 23.75 |
| | T_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 | 94.3 |
| | Q_{d4} | kN | アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 | 13.62 |
| | Q_4 | kN | アンカーボルトのせん断力 | 92.19 |
| | Q_a | kN | アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 | 60.7 |

4. 評価結果

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の耐震評価結果を表 4-1 に示す。当該防護対策設備の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、当該防護対策設備が構造健全性を有することを確認した。

表 4-1 耐震評価結果

| 評価部材 | | 発生応力度 又は荷重 | | 許容限界値 | | 発生応力度 / 許容限界値 | |
|-------------|-------|---------------|----|-------------------|------|---------------------|------|
| 鋼板 | SS400 | 曲げ | 6 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.03 |
| | | せん断 | 1 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.01 |
| 架構 | SS400 | 曲げ | 44 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.19 |
| | | せん断 | 17 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.13 |
| ベースプレート | SS400 | 曲げ | 73 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.32 |
| | | せん断 | 2 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.02 |
| | | 組合せ (曲げ, せん断) | — | — | — | — | 0.10 |
| アンカー ボルト | SD345 | せん断 | 14 | kN | 60.7 | kN | 0.24 |
| | | 引張 | 16 | kN | 94.3 | kN | 0.17 |
| | | 組合せ (せん断+引張) | — | — | — | — | 0.08 |

VI-2-11-2-7 機器の耐震性についての計算書

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 | 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 | 10 |
| 3. | 評価部位 | 11 |
| 4. | 地震応答解析及び構造強度評価 | 11 |
| 4.1 | 地震応答解析及び構造強度評価方法 | 11 |
| 4.2 | 荷重の組合せ及び許容応力 | 15 |
| 4.2.1 | 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 15 |
| 4.2.2 | 許容応力 | 15 |
| 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 | 15 |
| 4.3 | 解析モデル及び諸元 | 20 |
| 4.4 | 固有周期 | 25 |
| 4.5 | 設計用地震力 | 29 |
| 4.6 | 計算方法 | 32 |
| 4.6.1 | クレーン本体ガーダ及び脚部の応力の計算方法 | 32 |
| 4.6.2 | 転倒防止装置の応力の計算方法 | 39 |
| 4.6.3 | トロリストッパの応力の計算方法 | 40 |
| 4.6.4 | トロリの浮上り量の計算方法 | 40 |
| 4.6.5 | 吊具の荷重計算方法 | 40 |
| 4.6.6 | 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価方法 | 41 |
| 4.7 | 計算条件 | 41 |
| 4.8 | 応力の評価 | 42 |
| 4.8.1 | クレーン本体ガーダ及び脚部の応力評価 | 42 |
| 4.8.2 | 転倒防止装置の応力評価 | 43 |
| 4.8.3 | トロリストッパの応力評価 | 44 |
| 4.8.4 | トロリの浮上り量の評価 | 44 |
| 4.8.5 | 吊具の評価 | 45 |
| 4.8.6 | 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価 | 45 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 5. 評価結果 | 46 |
| 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 46 |
| 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 46 |
| 6. 引用文献 | 46 |

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、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。

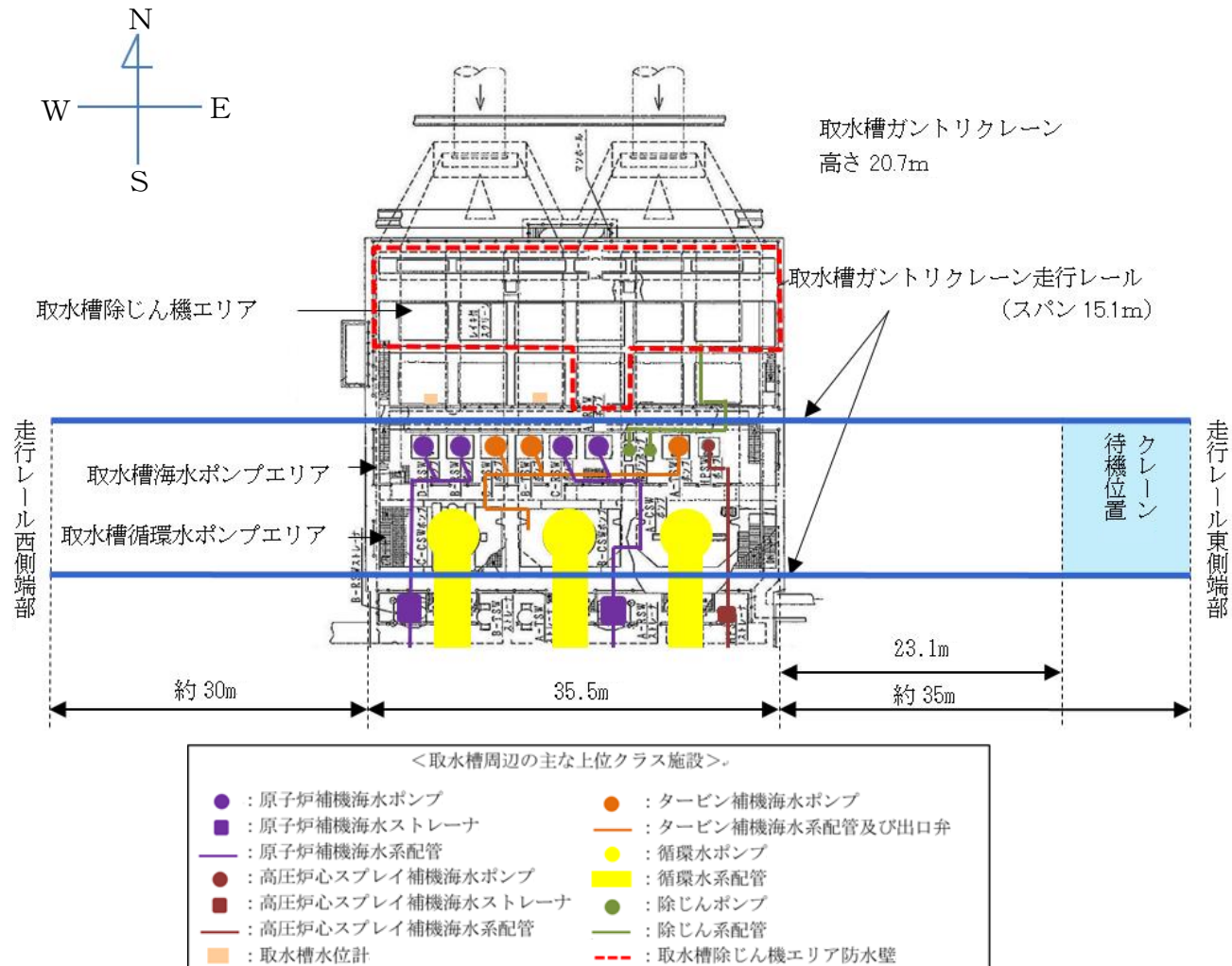


図 2-1 取水槽ガントリクレーンの設置位置及び取水槽周辺の上位クラス施設概要

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。

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、クレーン本体ガード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、クレーン本体ガード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。ガード継ぎは走行方向にクレーン本体ガードと接続されている。</p> <p>脚は転倒防止装置、トロリはトロリストoppaを走行部付近に備えており、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>クレーン本体ガード ガード継ぎ 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 ブレース</p> | <p>The diagram illustrates the gantry crane's structure. It shows a top-down view of the crane with labels for various parts: '走行方向(EW方向)' (Travel direction EW), '横行方向(NS方向)' (Cross-travel direction NS), 'ワイヤロープ(ホイスト)' (Wire rope (hoist)), 'フック(主巻)' (Hook (main drum)), 'フック(ホイスト)' (Hook (hoist)), 'ワイヤロープ(主巻)' (Wire rope (main drum)), 'トロリ' (Trolley), '横行車輪' (Cross-travel wheels), '横行レール' (Cross-travel rail), 'トロリストoppa' (Trolley stop), 'ホイストレール' (Hoist rail), '脚' (Leg), '脚下部継ぎ' (Lower leg joint), '単軸粘性ダンパ及びブレース' (Single-axis viscous damper and brace), 'ブレース' (Brace), '走行車輪' (Travel wheels), 'ガード継ぎ' (Guard joint), '転倒防止装置' (Anti-tilt device), '走行レール' (Travel rail), and 'クレーン本体ガード' (Crane main body guard). Below the main diagram is a detailed view of the '転倒防止装置概略図' (Anti-tilt device schematic diagram) showing its connection to the '走行レール' (Travel rail). A scale '(単位: mm)' (Unit: mm) is provided at the bottom right.</p> |

3

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。

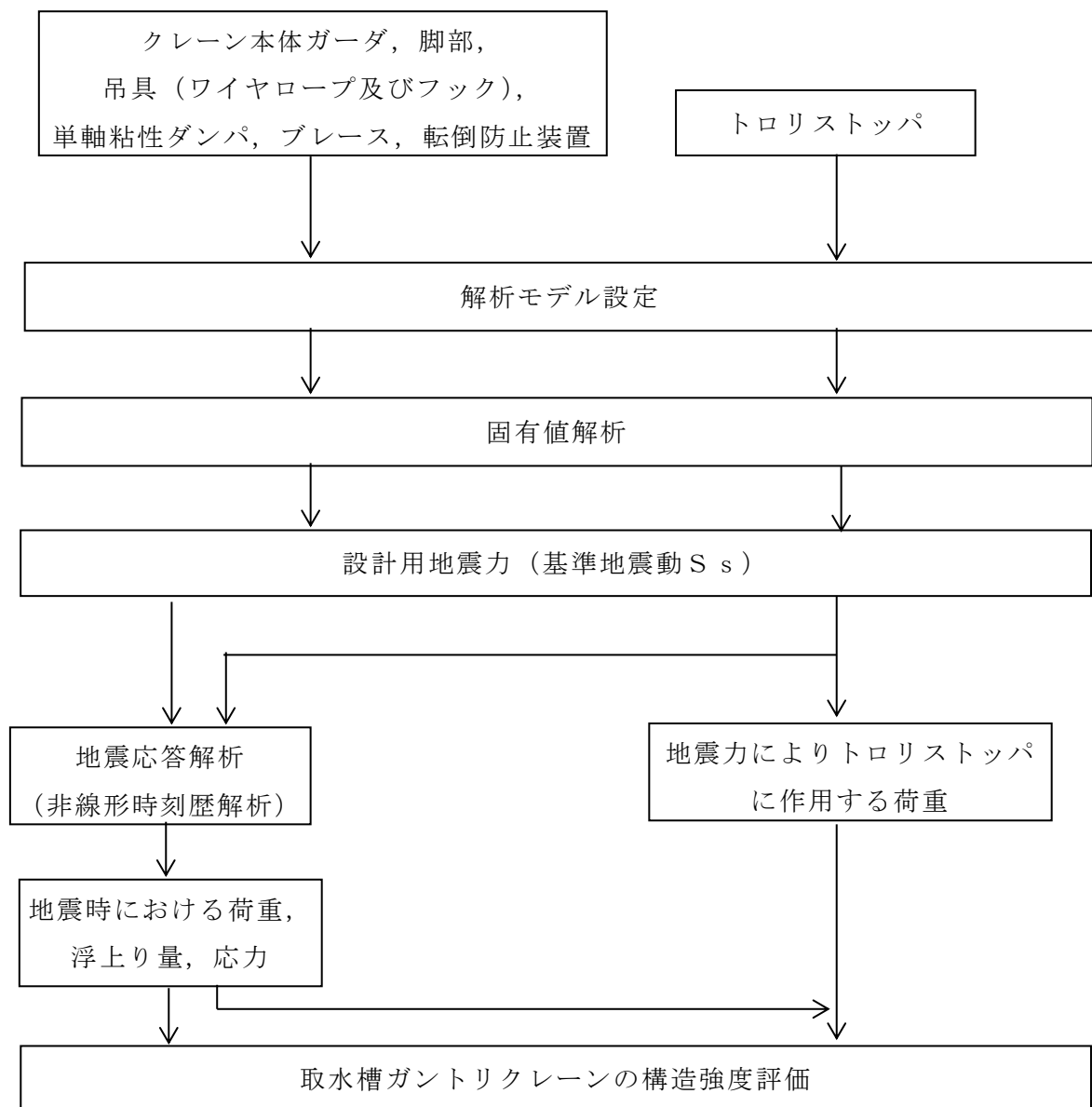


図2-2 取水槽ガントリクレーンの耐震評価フロー

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 | トロリストoppa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 |
| 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力 | 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 |
| F_t | トロリストoppa一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 | 断面二次半径 | mm |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------|--|-----------------|
| i_{li}^{*1} | 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの断面二次半径 | 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 | トロリストッパ鉛直材の長さ | mm |
| l_4 | トロリストッパ水平材の長さ | mm |
| l_k | 座屈長さ | mm |
| l_{kli}^{*1} | 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの座屈長さ | mm |
| M_a | 転倒防止装置の曲げモーメント | N・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・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・mm |
| M_{Hg} | クレーン本体ガーダの水平曲げモーメント | N・mm |
| M_{Vg} | クレーン本体ガーダの鉛直曲げモーメント | N・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・mm |
| M_{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 | 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_{Xli}^{*1} | 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX方向せん断力 | N |
| Q_{Yli}^{*1} | 脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY方向せん断力 | 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℃における値 | MPa |
| t_1 | 転倒防止装置の板厚 | mm |
| t_2 | トロリストッパ鉛直材の板厚 | mm |
| t_3 | トロリストッパ水平材の板厚 | mm |
| Z_a | 転倒防止装置の断面係数 | mm ³ |
| Z_{pg} | クレーン本体ガーダのねじり断面係数 | mm ³ |
| Z_{pli}^{*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_{Xli}^{*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 |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---------------------|--------------------------------------|---------------|
| Z_{Yg} | クレーン本体ガーダのY軸回りの断面係数 | mm^3 |
| Z_{Yli}^{*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 | — |
| σ_a | 転倒防止装置の組合せ応力 (曲げ+せん断) | MPa |
| σ_{ba} | 転倒防止装置の曲げ応力 | 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_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 |

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

*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、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方法

(1) 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ッパを設置しており、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。

(2) 横行方向（N S 方向）の水平力

a. クレーン本体（クレーン本体ガード及び脚）

(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（N S 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（N S 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。

(3) 走行方向（E W 方向）の水平力

a. クレーン本体（クレーン本体ガード及び脚）

(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（E W 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。

(4) 鉛直方向 (UD方向)

クレーン脚部及びホイストの浮上りについては考慮しない。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。

(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。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="checkbox"/> | 待機位置 |
| 2 | 待機位置 | 中央* ² <input type="checkbox"/> |
| 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。

(6) 地震力

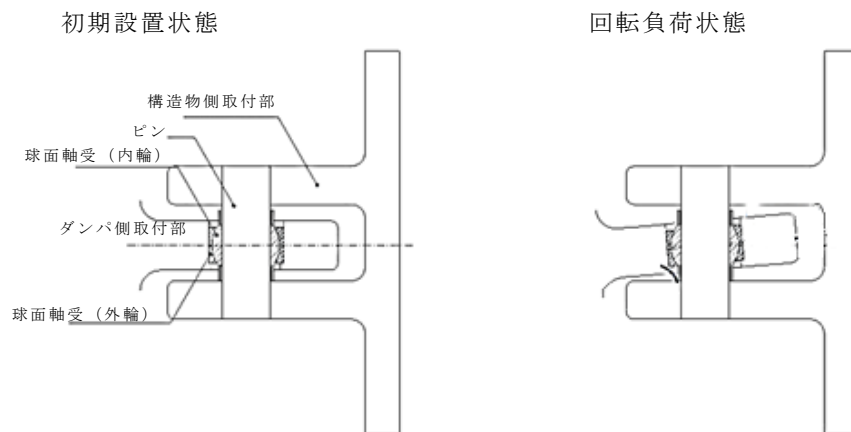
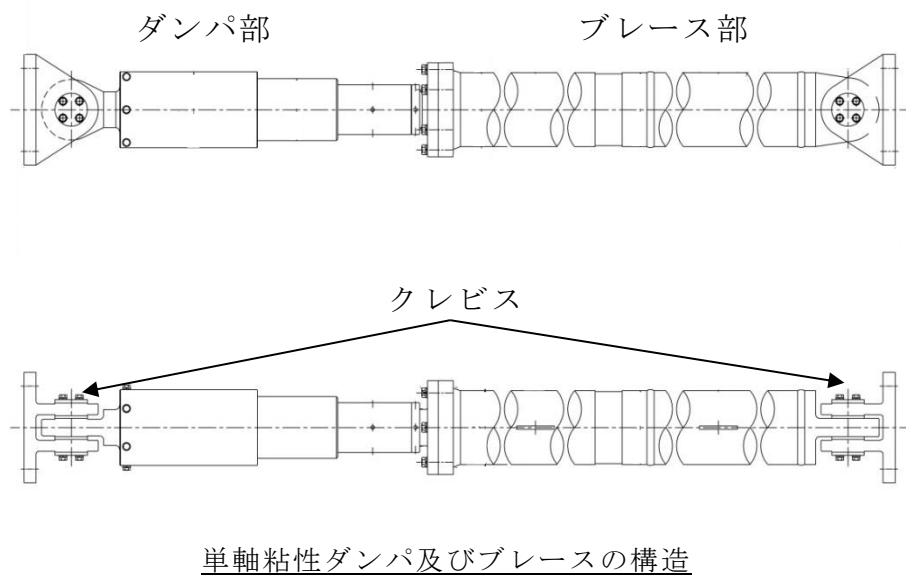
地震力は基準地震動 S_s を用いる。クレーン本体ガーダ、脚部、転倒防止装置、吊具 (ワイヤロープ及びフック)、単軸粘性ダンパ及びブレースに作用する荷重並びにトロリの浮上り量の算定については、水平 2 方向及び鉛直方向同時入力による非線形時刻歴解析を実施する。

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。

(7) 寸法

耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



クレビス部詳細

図 4-1 クレビス部詳細

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及び許容荷重評価条件を表 4-5 及び表 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・f _t * 1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用い る。) | 1.5・f _s * 1.5・f _s * (VASとしてIVASの許容限界を用い る。) | 1.5・f _c * 1.5・f _c * (VASとしてIVASの許容限界を用い る。) | 1.5・f _b * 1.5・f _b * (VASとしてIVASの許容限界を用い る。) |
| 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 | | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|-----------|----------------------|--------|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| | | 温度条件 | (°C) | | | |
| クレーン本体ガーダ | 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 | — |
| ガーダ継ぎ | 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 | — |
| トロリストッパ | 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 | — |

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 |

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 FEM モデルとし，クレーンの質量としてクレーン本体ガーダ，脚部，ガーダ継ぎ，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。

走行車輪においては，EW 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，NS 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。

横行車輪においては，NS 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，EW 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，NS 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 EW 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。

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。

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。

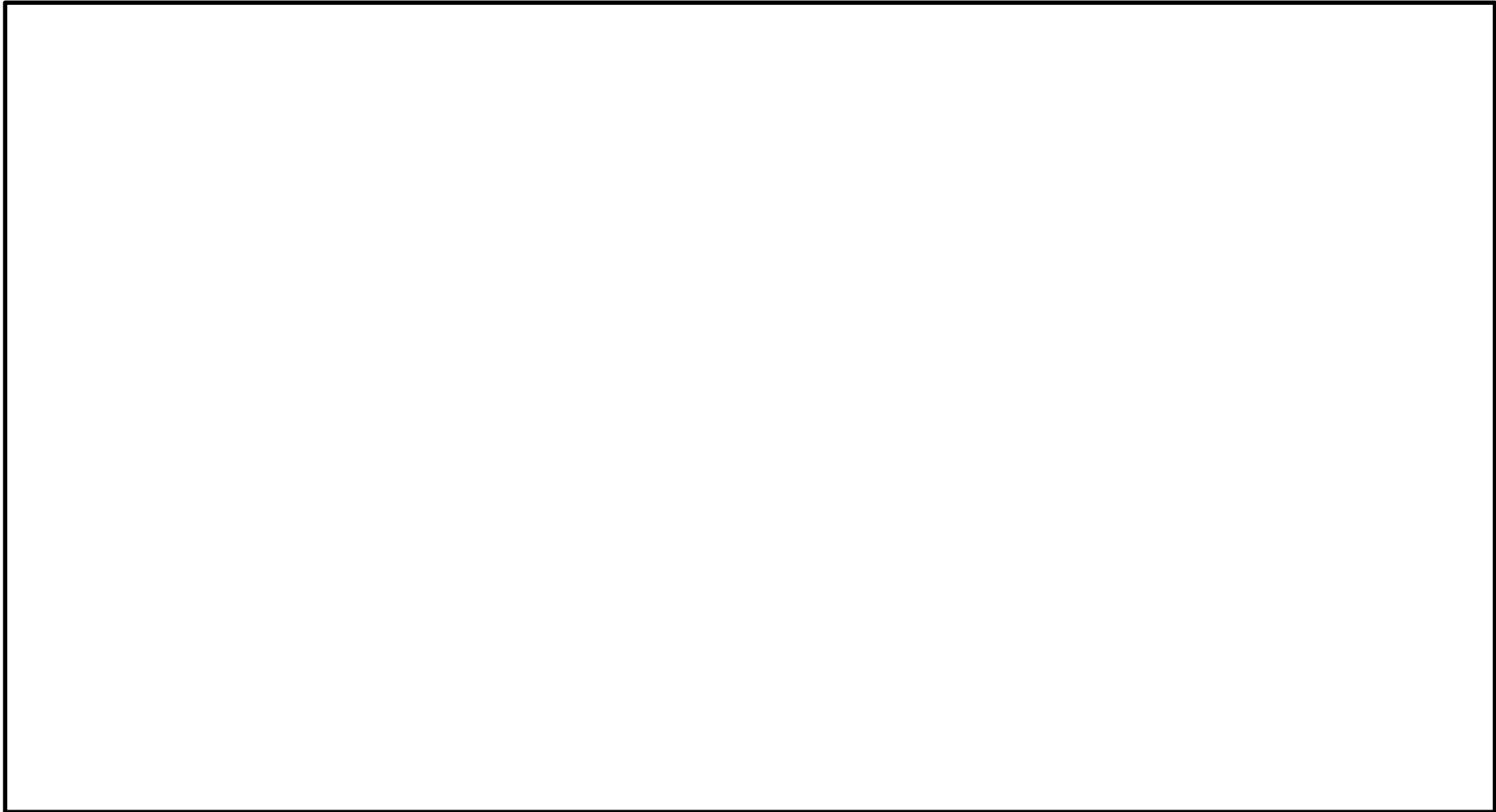


図 4-2 ガントリクレーン解析モデル

(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) 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 $\mu = \square$ 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、 \square 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。

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

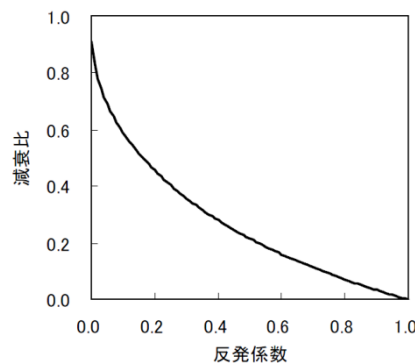


図4-3 反発係数と減衰比の関係

- (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。

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="checkbox"/>)</p> <p>ホイスト : 待機位置</p> <p>要素数 : <input type="checkbox"/></p> <p>節点数 : <input type="checkbox"/></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="checkbox"/>)</p> <p>要素数 : <input type="checkbox"/></p> <p>節点数 : <input type="checkbox"/></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="checkbox"/></p> <p>節点数 : <input type="checkbox"/></p> | |

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R0

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 | | | | |

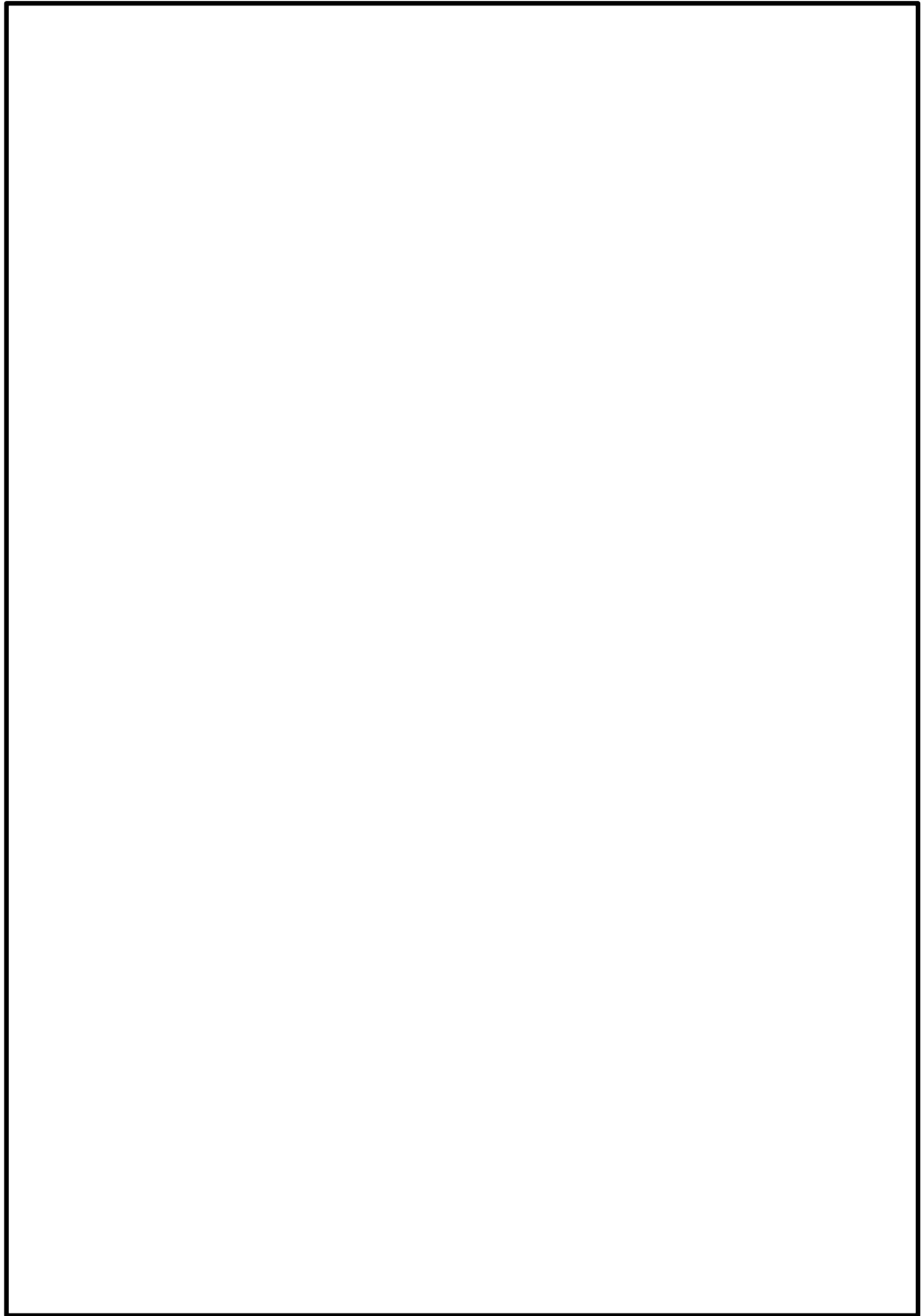


図 4-4 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 1 の振動モード図
(注：図中の赤が変形後のモードを示している。)

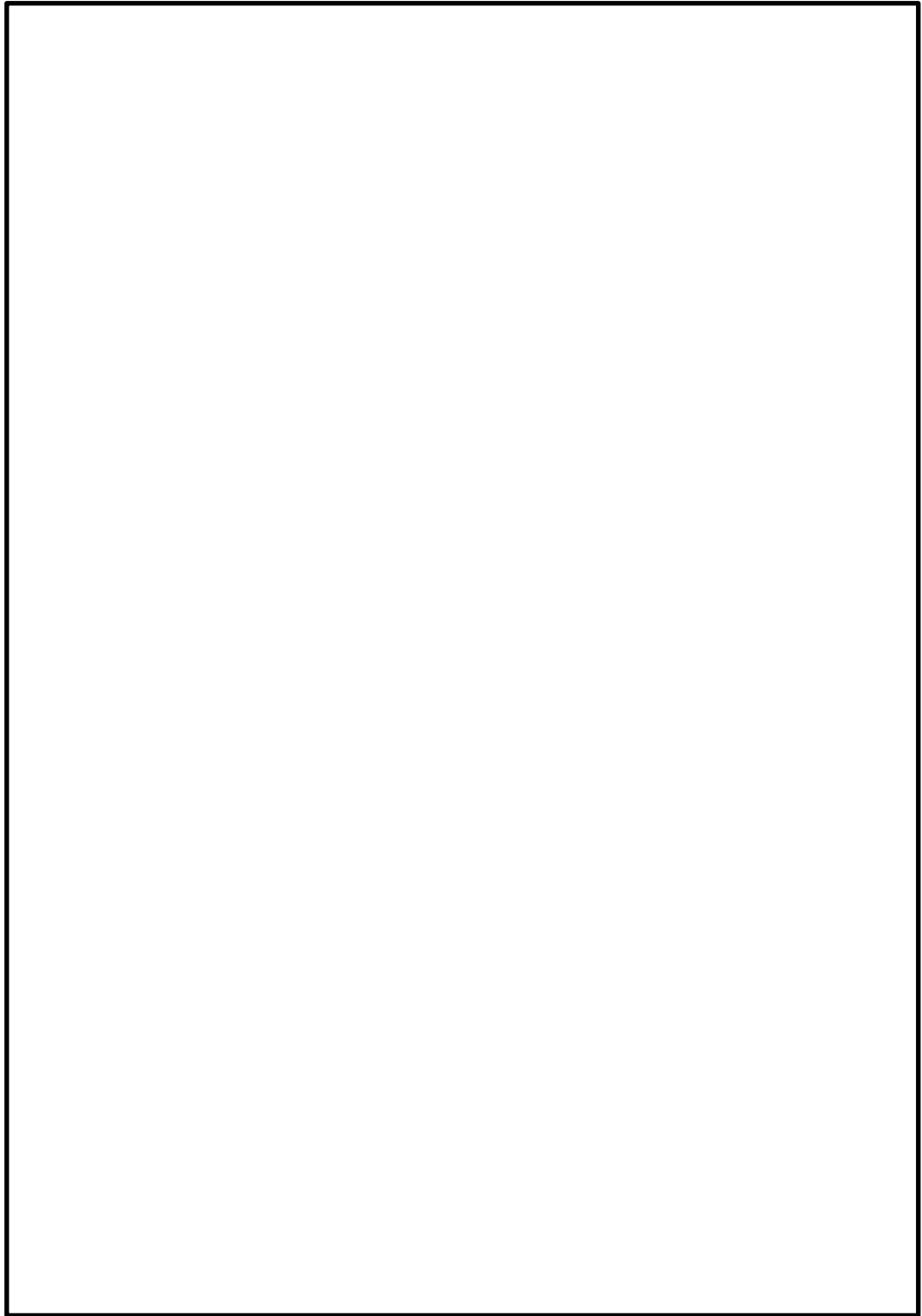


図 4-5 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 2 の振動モード図
(注：図中の赤が変形後のモードを示している。)

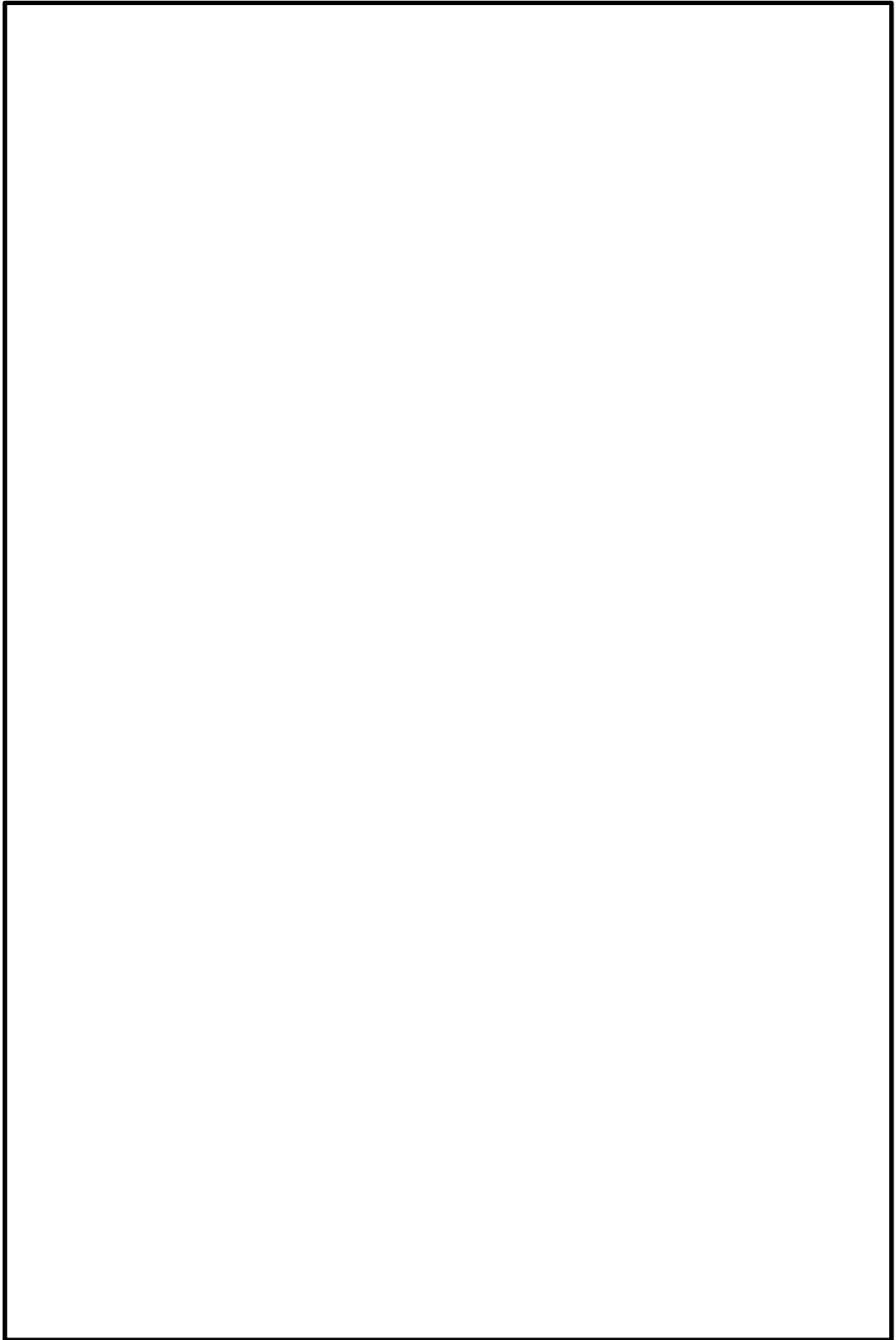


図 4-6 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価ケース 3 の振動モード図
(注：図中の赤が変形後のモードを示している。)

4.5 設計用地震力

トロリストッパの評価に用いる設計用地震力を表 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。

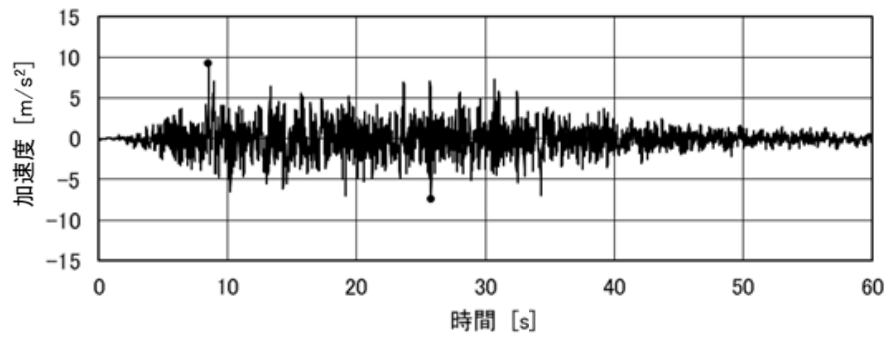
*3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

*4：トロリストッパの評価に適用する。

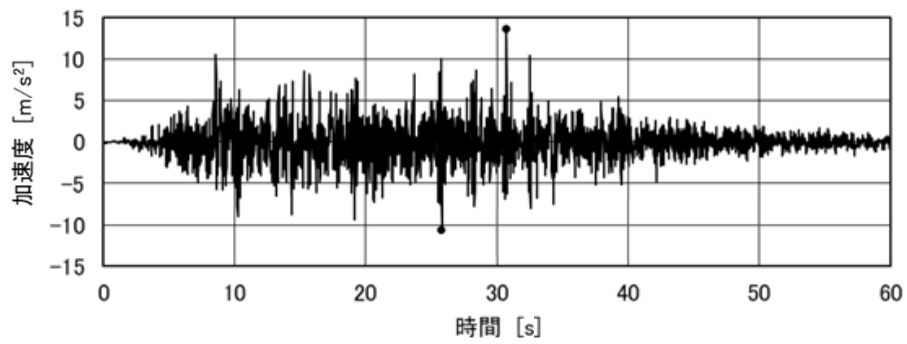
*5：横行方向(EW方向)及び鉛直方向の設計震度を使用しないため、「—」と記載する。

クレーン本体ガード、脚部、ガード継ぎ、脚下部継ぎ、転倒防止装置、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。

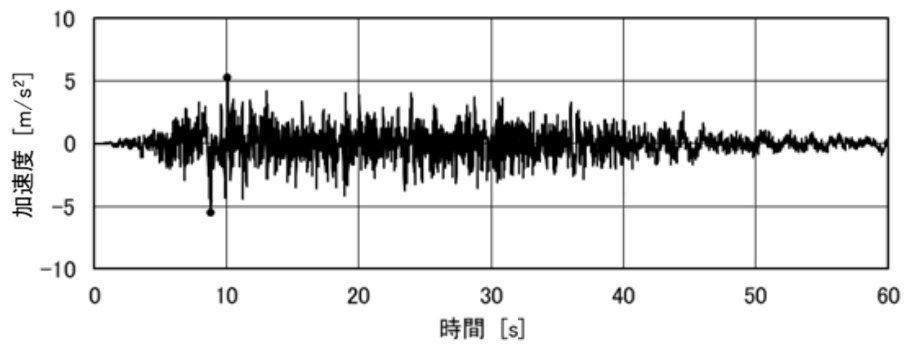
また、時刻歴応答解析に対する保守性の考慮として、基準となる時刻歴加速度波（固有周期シフトを考慮していないもの）による解析に加えて、ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening の規定を参考に時刻歴加速度波を時間軸方向に±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析も実施する。さらに、±10%シフトさせた応答スペクトルのピークにクレーンの固有周期が存在する場合は、ASMEの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。



(S s - D, N S 方向)

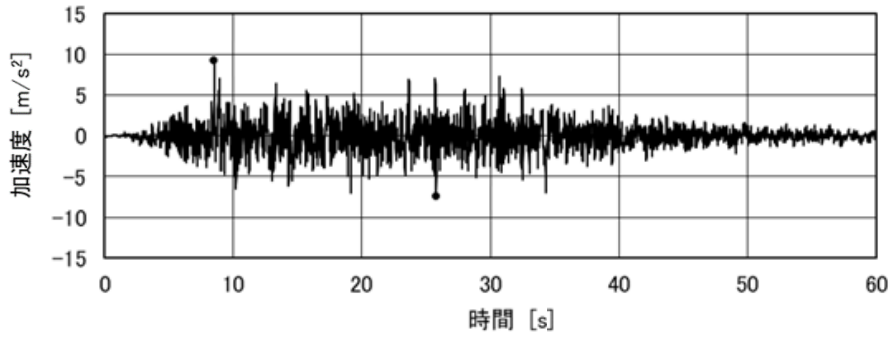


(S s - D, E W 方向)

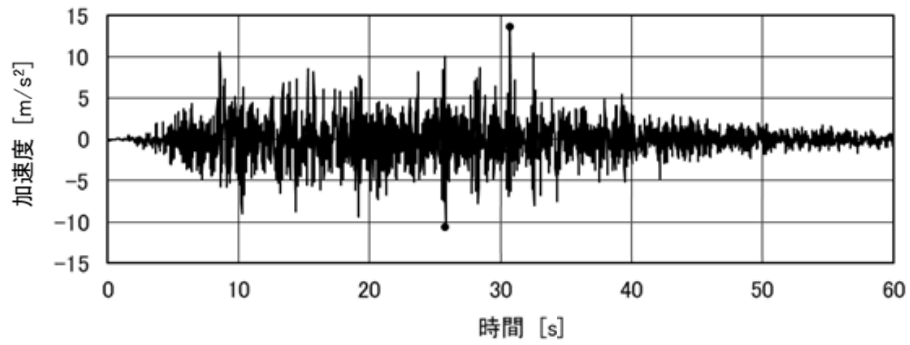


(S s - D, U D 方向)

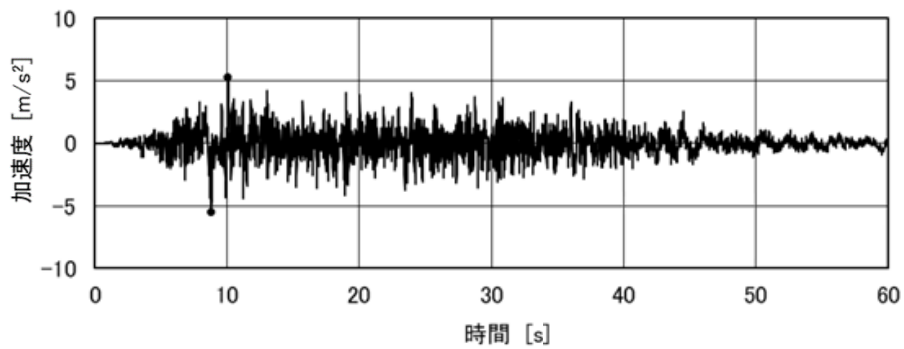
図 4-7 ケース 1, 2 (基本ケース) における時刻歴加速度波形



(S s - D, N S 方向)



(S s - D, E W 方向)



(S s - D, U D 方向)

図 4-8 ケース 3 (基本ケース) における時刻歴加速度波形

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

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_{bg}^2 + 3\tau_g^2} \dots \dots \dots (4.6.1.7)$$

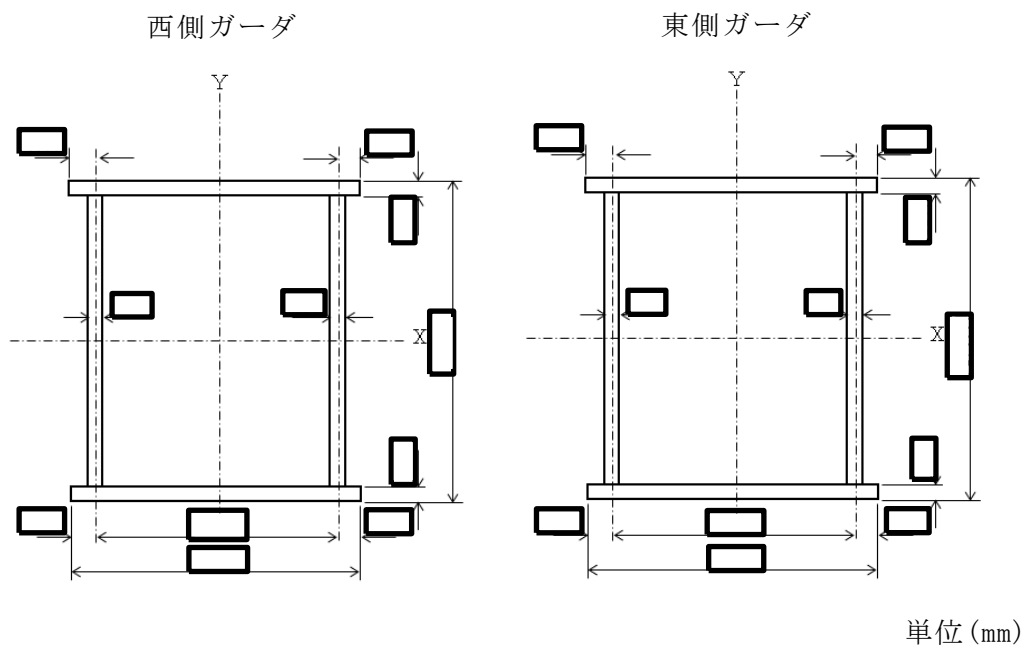


図 4-9 クレーン本体ガーダ断面概略図

(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_{tli}

$$\sigma_{tli} = \frac{F_{tli}}{A_{tli}} \dots \dots \dots (4.6.1.8)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎの圧縮応力： σ_{cli}

$$\sigma_{cli} = \frac{F_{cli}}{A_{cli}} \dots \dots \dots (4.6.1.9)$$

(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_{xli}

$$\sigma_{X1i} = \frac{M_{X1i}}{Z_{X1i}} \dots \dots \dots (4.6.1.10)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎのY軸回りの曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{Y1i}

$$\sigma_{Y1i} = \frac{M_{Y1i}}{Z_{Y1i}} \dots \dots \dots (4.6.1.11)$$

脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎの曲げ応力： σ_{b1i}

$$\sigma_{b1i} = \sigma_{X1i} + \sigma_{Y1i} \dots \dots \dots (4.6.1.12)$$

(c) せん断応力

X方向せん断力による脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎのせん断応力

： τ_{X1i}

$$\tau_{X1i} = \frac{Q_{X1i}}{A_{X1i}} \dots \dots \dots (4.6.1.13)$$

Y方向せん断力による脚部，脚下部継ぎ，ガータ継ぎのせん断応力

： 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

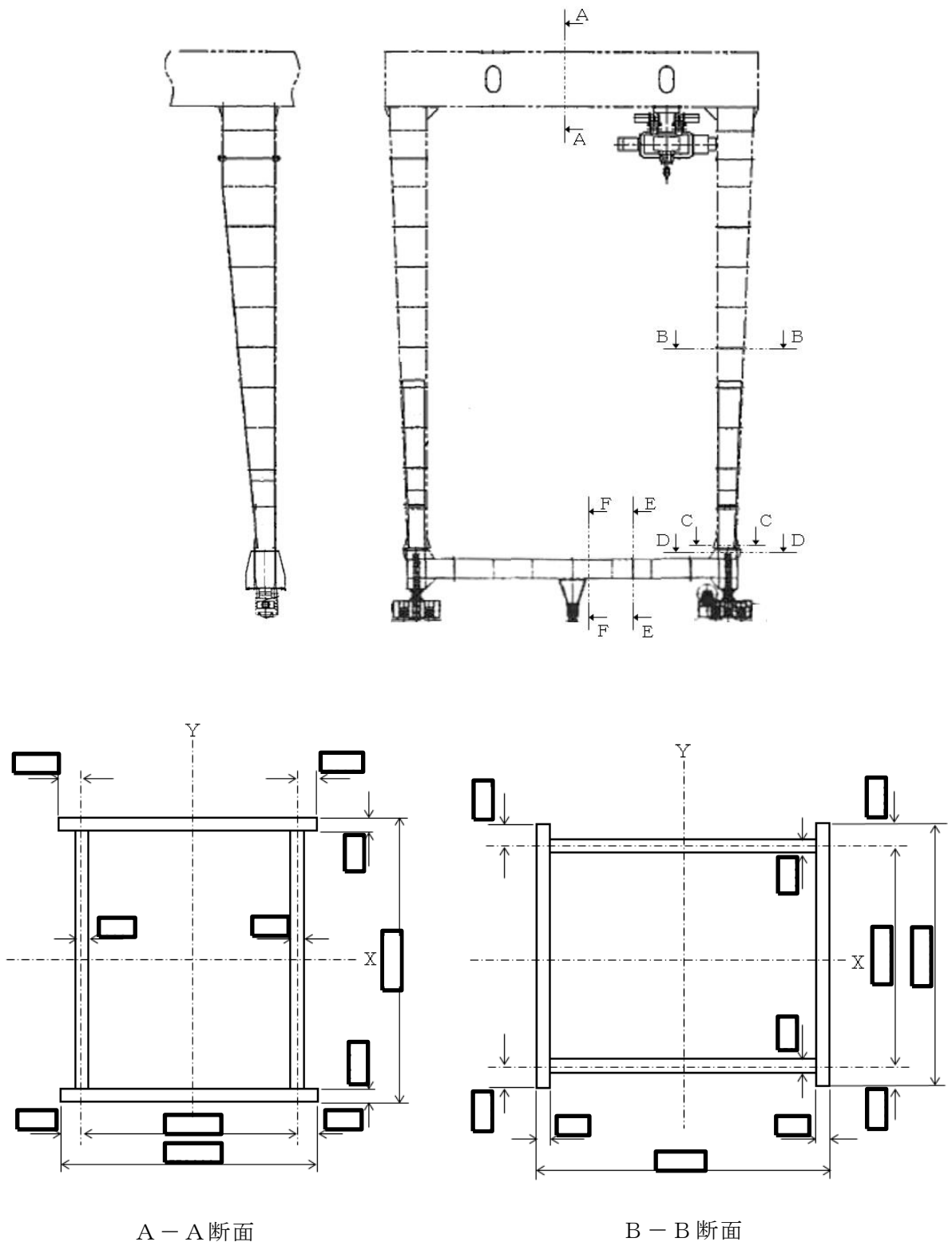
$$\frac{\sigma_{t1i} + \sigma_{b1i}}{f_{tm}} \dots \dots \dots (4.6.1.16)$$

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_{li}

$$\sigma_{li} = \sqrt{(\sigma_{cli} + \sigma_{tli} + \sigma_{bli})^2 + 3\tau_{li}^2} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4.6.1.18)$$

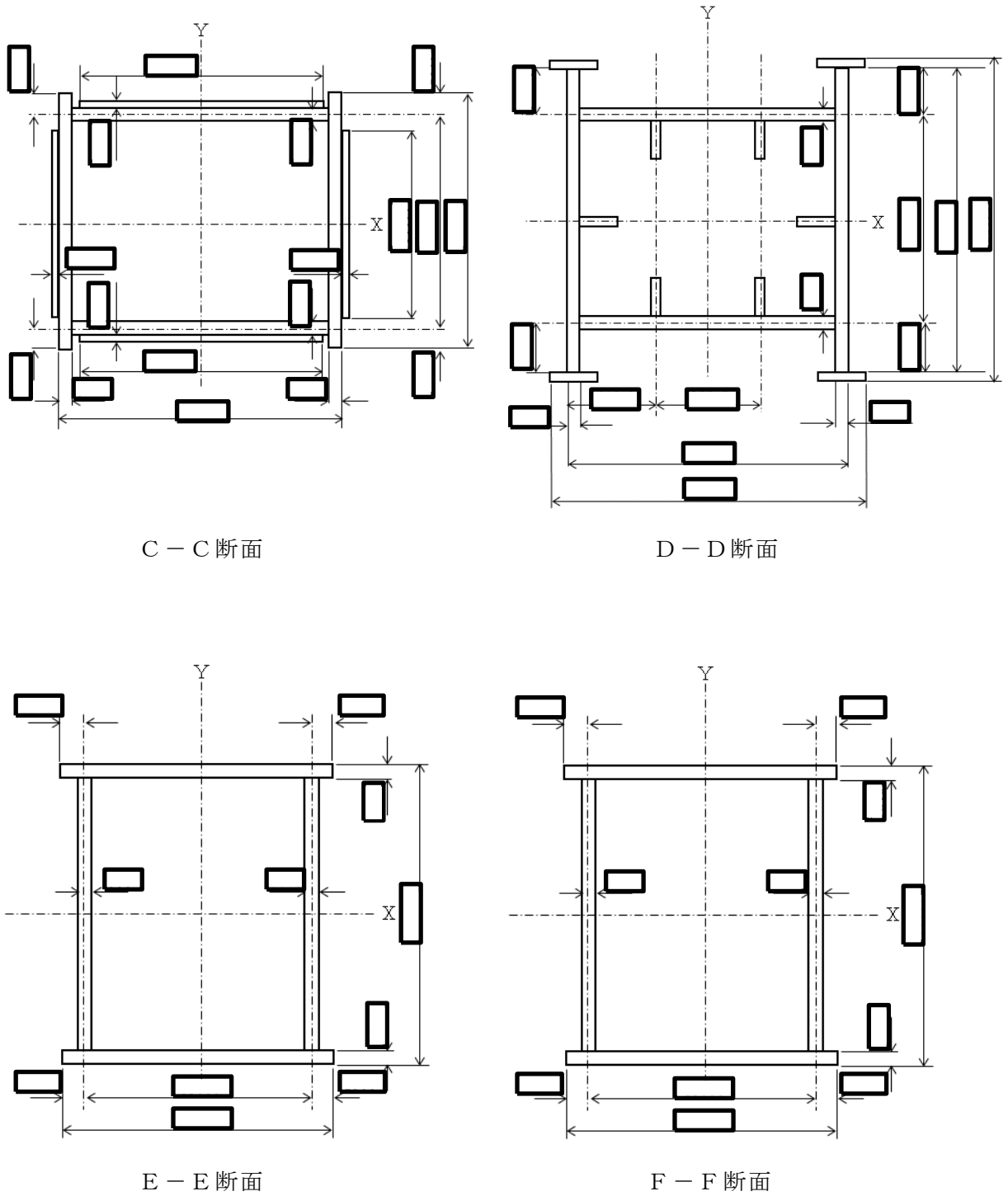


A - A 断面

B - B 断面

単位 (mm)

図 4-10 脚部, 脚下部継ぎ, ガータ継ぎの断面概要図 (1/2)



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。

転倒防止装置のせん断応力 τ_a :

$$\tau_a = \frac{F_a}{A_1} \dots \dots \dots (4.6.2.1)$$

転倒防止装置の曲げモーメント M_a :

$$M_a = F_a \cdot \ell_1 \dots \dots \dots (4.6.2.2)$$

転倒防止装置の断面係数 Z_a :

$$Z_a = \frac{\ell_2 \cdot t_1^2}{6} \dots \dots \dots (4.6.2.3)$$

転倒防止装置の曲げ応力 σ_{ba} :

$$\sigma_{ba} = \frac{M_a}{Z_a} \dots \dots \dots (4.6.2.4)$$

転倒防止装置の組合せ応力 σ_a :

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{ba}^2 + 3\tau_a^2} \dots \dots \dots (4.6.2.5)$$

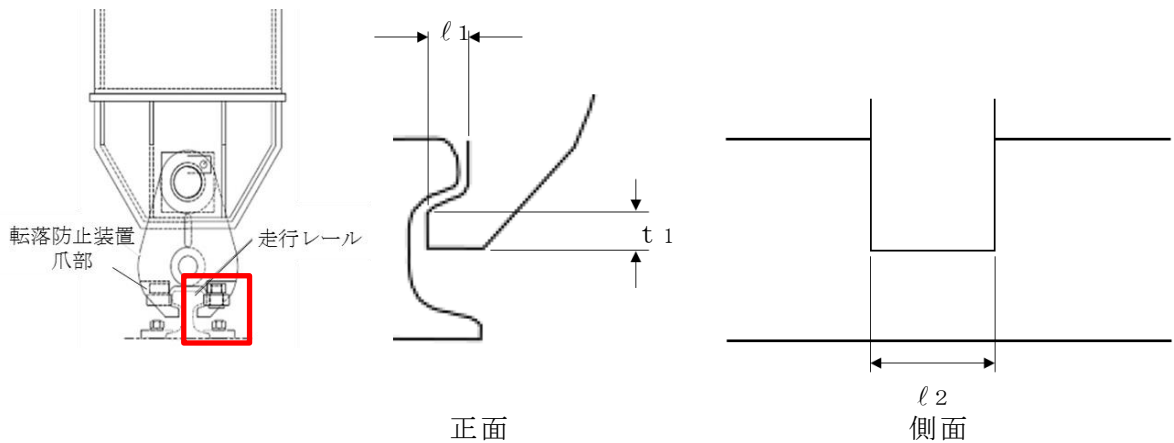


図 4-11 転倒防止装置の概要図

4.6.3 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 4-12 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

$$F_t = m_t \cdot g \cdot C_H \quad \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$

トロリストップの圧縮応力

$$\sigma_{ct} = \frac{F_t}{A_2} \quad \dots \dots \dots (4.6.3.2)$$

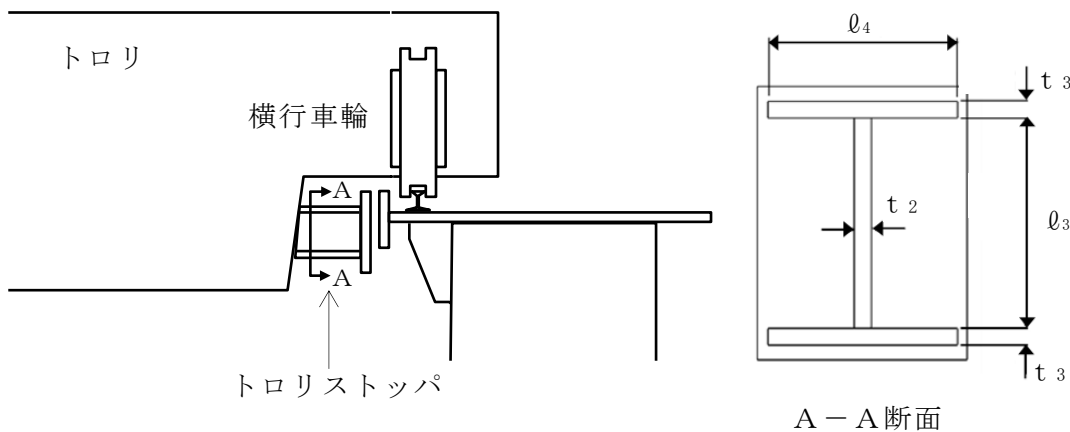


図 4-12 トロリストップの概要図

4.6.4 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。

4.6.5 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当たっては、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に設定し、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。

4.6.6 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応力評価

(1) クレーン本体ガーダの許容応力

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，ガーダ継ぎの許容応力

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 $f_{c m}$ | $\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$ |
| 許容組合せ応力 | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |

ただし,

$$\lambda = \frac{\ell k}{i} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

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

$$\frac{\sigma_{c l i}}{f_{c m}} + \frac{\sigma_{b l i}}{f_{b m}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

b. 引張力と曲げモーメントを同時に受ける部材

$$\frac{\sigma_{t l i} + \sigma_{b l i}}{f_{t m}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.5)$$

4.8.2 転倒防止装置の応力評価

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 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} | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |

4.8.4 トロリの浮上り量の評価

4.6.4 項で求めたトロリの浮上り量 h_t が、図 4-13 及び表 4-11 に示す許容浮上り量 H_t 以下であること。

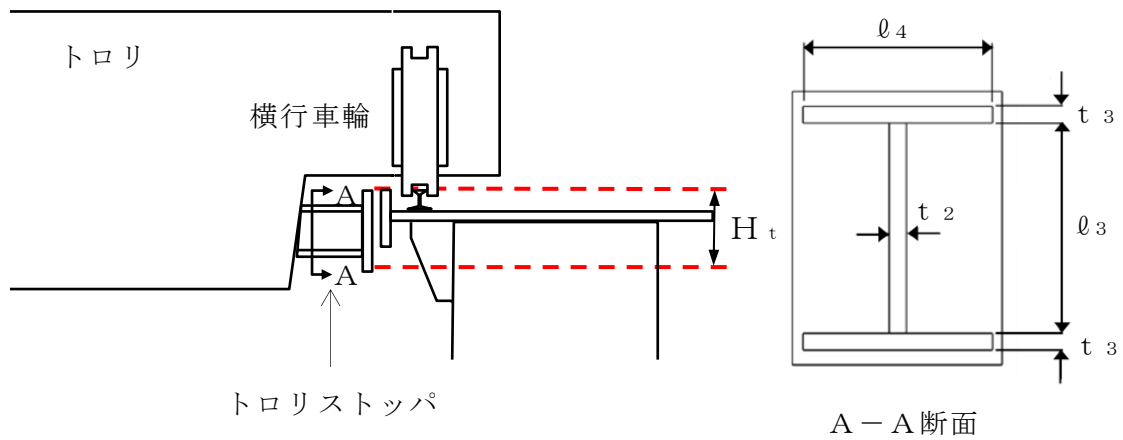


図 4-13 許容浮上り量 H_t の概要図

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) | □ |
|--------------------------|---|

4.8.5 吊具の評価

4.6.5 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} | |
| 吊具 (フック (主巻)) の許容荷重 f_{h1} | |
| 吊具 (ワイヤロープ (ホイスト)) の許容荷重 f_{w2} | |
| 吊具 (フック (ホイスト)) の許容荷重 f_{h2} | |

4.8.6 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価

4.6.6 項で求めた単軸粘性ダンパの変位及び荷重，ブレースの発生応力が，表 4-13 に示す許容限界以下であること。

表 4-13 単軸粘性ダンパ及びブレースの許容限界

| | |
|------------------------|--|
| ダンパの許容変位 H_d (mm) | |
| ダンパの許容荷重 f_d (N) | |
| ブレースの許容圧縮応力 (MPa) | |
| クレビスの許容せん断応力 (MPa) | |
| クレビスの許容曲げ応力 (MPa) | |
| クレビスの許容組合せ応力 (MPa) | |

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 EL8.800*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) |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5.549×10 ⁸ | 1.870×10 ⁹ | 6.618×10 ⁸ | 8.144×10 ⁸ | 1.133×10 ⁹ | 2.747×10 ⁷ | 2.501×10 ⁹ | 3.390×10 ⁸ |

| M _a (N・mm) | M _g (N・mm) | M ₁₁ (N・mm) | M ₁₂ (N・mm) | M ₁₃ (N・mm) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 8.109×10 ⁶ | 2.402×10 ⁸ | 4.380×10 ⁸ | 9.288×10 ⁷ | 1.997×10 ⁹ |

| Q _{Hg} (N) | Q _{Vg} (N) | E _G (MPa) | E _L (MPa) | E _w (MPa) | ν |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|
| 1.031×10 ⁵ | 4.876×10 ⁵ | | | | 0.3 |

| F _{c11} (N) | F _{t11} (N) | F _{c12} (N) | F _{t12} (N) | F _{c13} (N) | F _{t13} (N) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1.929×10 ⁶ | 1.557×10 ⁵ | 6.410×10 ⁵ | 3.561×10 ⁵ | 2.982×10 ⁵ | 2.674×10 ⁵ |

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Q _{X11} (N) | Q _{Y11} (N) | Q _{X12} (N) | Q _{Y12} (N) | Q _{X13} (N) | Q _{Y13} (N) |
| 5.958×10 ⁴ | 2.188×10 ⁵ | 2.848×10 ⁴ | 4.016×10 ⁵ | 9.372×10 ⁴ | 1.098×10 ⁶ |

| | | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ℓ ₁ (mm) | ℓ ₂ (mm) | ℓ ₃ (mm) | ℓ ₄ (mm) | t ₁ (mm) | t ₂ (mm) | t ₃ (mm) |
| | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| ℓ _{k11} (mm) | ℓ _{k12} (mm) | ℓ _{k13} (mm) | i ₁₁ (mm) | i ₁₂ (mm) | i ₁₃ (mm) | A ₁ (mm ²) | A ₂ (mm ²) | A _{Hg} (mm ²) | A _{Vg} (mm ²) |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| A _{c11} (mm ²) | A _{t11} (mm ²) | A _{c12} (mm ²) | A _{t12} (mm ²) | A _{c13} (mm ²) | A _{t13} (mm ²) |
| | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| A _{X11} (mm ²) | A _{Y11} (mm ²) | A _{X12} (mm ²) | A _{Y12} (mm ²) | A _{X13} (mm ²) | A _{Y13} (mm ²) |
| | | | | | |

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Z _{Xg} (mm ³) | Z _{Yg} (mm ³) | Z _{X11} (mm ³) | Z _{Y11} (mm ³) | Z _{X12} (mm ³) | Z _{Y12} (mm ³) | Z _{X13} (mm ³) | Z _{Y13} (mm ³) |
| | | | | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|
| Z _a (mm ³) | Z _{pg} (mm ³) | Z _{p11} (mm ³) | Z _{p12} (mm ³) | Z _{p13} (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 | | | トロリストッパ | | | 吊具 | |
|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|------------------------|------------------------|
| 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) | f _{w1} (N) | f _{w2} (N) |
| 245 | 400 | 280 | 245 | 400 | 280 | 305 | 510 | 357 | 245 | 400 | 280 | | |

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 | $\tau_g = 27$ | $\sigma_{bg} = 126$ | $\sigma_g = 130$ |

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 | $\sigma_{c11} = 43$ | $\sigma_{t11} = 5$ | $\tau_{11} = 77$ | $\sigma_{b11} = 192$ | 0.787 | $\sigma_{11} = 225$ |

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

圧縮応力, 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 | $\sigma_{c12} = 26$ | $\sigma_{t12} = 15$ | $\tau_{12} = 54$ | $\sigma_{b12} = 229$ | 0.859 | $\sigma_{12} = 247$ |

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 | $\sigma_{c13} = 6$ | $\sigma_{t13} = 5$ | $\tau_{13} = 96$ | $\sigma_{b13} = 96$ | 0.351 | $\sigma_{13} = 176$ |

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 (せん断+曲げ) | 244 |

組合せ応力は, 表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.6 トロリストoppaに生じる応力 (単位: MPa)

| | |
|-----------|----|
| | 圧縮 |
| トロリストoppa | 4 |

最大静止摩擦係数を用いた静的水平震度による評価

1.3.7 トロリ浮上り量 (単位: mm)

| | |
|-----|------|
| | 浮上り量 |
| トロリ | 7.7 |

トロリの浮上り量は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

1.3.8 吊荷荷重 (単位: N)

| | |
|------|---------------------|
| | ワイヤ荷重 |
| 主巻 | 1.289×10^6 |
| ホイスト | 5.008×10^5 |

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

1.3.9 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) | 2.551×10^5 |
| 単軸粘性ダンパ | 変位 (mm) | 44 |
| ブレース | 圧縮応力 (MPa) | 20 |
| クレビス | せん断応力 (MPa) | 91 |
| クレビス | 曲げ応力 (MPa) | 259 |
| クレビス | 組合せ応力 (MPa) | 304 |

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) | $\tau_g = 27$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{bg} = 126$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_g = 130$ | 280 |
| 脚 | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c11} = 43$ | $f_{cm} = 279$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t11} = 5$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{11} = 77$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b11} = 192$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (圧縮+曲げ) | 0.787 | 1.0 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_{11} = 225$ | 280 |
| 脚下部継ぎ | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c12} = 26$ | $f_{cm} = 263$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t12} = 15$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{12} = 54$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b12} = 229$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (圧縮+曲げ) | 0.859 | 1.0 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_{12} = 247$ | 280 |
| ガーダ継ぎ | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c13} = 6$ | $f_{cm} = 275$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t13} = 5$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{13} = 96$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b13} = 96$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (引張+曲げ) | 0.351 | 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 (せん断+曲げ) | $\sigma_a = 244$ | 357 |

全て許容応力以下である

1.4.3 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。

1.4.4 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 | 7.7 | |

全て許容浮上り量以下である。

1.4.5 吊具荷重 (単位：N)

| 部材 | | 材料 | 荷重 | 算出荷重 | |
|--------------|--------|----------------|------|---------------------------|--|
| 吊具 (主巻) | ワイヤロープ | IWRC 6×Fi (29) | 吊荷荷重 | $P_w = 1.289 \times 10^6$ | |
| | フック | S35C | | | |
| 吊具 (ホイスト) | ワイヤロープ | 4×F (40) | 吊荷荷重 | $P_w = 5.008 \times 10^5$ | |
| | フック | SCM435 | | | |

全て許容荷重以下である。

1.4.6 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) | 2.551×10^5 | |
| 単軸粘性ダンパ | 変位 (mm) | 44 | |
| ブレース | 圧縮応力 (MPa) | 20 | |
| クレビス | せん断応力 (MPa) | 91 | |
| クレビス | 曲げ応力 (MPa) | 259 | |
| クレビス | 組合せ応力 (MPa) | 304 | |

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 (℃) |
|-----------------|-------------|-----------------------|---------|------|-----------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| | | | 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 EL8.800*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) | Σ m (kg) |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| [Redacted] | | | |

| 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) |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5.549×10 ⁸ | 1.870×10 ⁹ | 6.618×10 ⁸ | 8.144×10 ⁸ | 1.133×10 ⁹ | 2.747×10 ⁷ | 2.501×10 ⁹ | 3.390×10 ⁸ |

| M _a (N・mm) | M _g (N・mm) | M ₁₁ (N・mm) | M ₁₂ (N・mm) | M ₁₃ (N・mm) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 8.109×10 ⁶ | 2.402×10 ⁸ | 4.380×10 ⁸ | 9.288×10 ⁷ | 1.997×10 ⁹ |

| Q _{Hg} (N) | Q _{Vg} (N) | E _G (MPa) | E _L (MPa) | E _w (MPa) | ν |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|
| 1.031×10 ⁵ | 4.876×10 ⁵ | [Redacted] | | | 0.3 |

| F _{c11} (N) | F _{t11} (N) | F _{c12} (N) | F _{t12} (N) | F _{c13} (N) | F _{t13} (N) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1.929×10 ⁶ | 1.557×10 ⁵ | 6.410×10 ⁵ | 3.561×10 ⁵ | 2.982×10 ⁵ | 2.674×10 ⁵ |

S2 補 VI-2-11-2-7-14 R0

| | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Q_{X11} (N) | Q_{Y11} (N) | Q_{X12} (N) | Q_{Y12} (N) | Q_{X13} (N) | Q_{Y13} (N) |
| 5.958×10^4 | 2.188×10^5 | 2.848×10^4 | 4.016×10^5 | 9.372×10^4 | 1.098×10^6 |

| | | | | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| ℓ_1 (mm) | ℓ_2 (mm) | ℓ_3 (mm) | ℓ_4 (mm) | t_1 (mm) | t_2 (mm) | t_3 (mm) |
| | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ℓ_{k11} (mm) | ℓ_{k12} (mm) | ℓ_{k13} (mm) | i_{11} (mm) | i_{12} (mm) | i_{13} (mm) | A_1 (mm ²) | A_2 (mm ²) | A_{Hg} (mm ²) | A_{Vg} (mm ²) |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| A_{c11} (mm ²) | A_{t11} (mm ²) | A_{c12} (mm ²) | A_{t12} (mm ²) | A_{c13} (mm ²) | A_{t13} (mm ²) |
| | | | | | |

| | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| A_{X11} (mm ²) | A_{Y11} (mm ²) | A_{X12} (mm ²) | A_{Y12} (mm ²) | A_{X13} (mm ²) | A_{Y13} (mm ²) |
| | | | | | |

| | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Z_{Xg} (mm ³) | Z_{Yg} (mm ³) | Z_{X11} (mm ³) | Z_{Y11} (mm ³) | Z_{X12} (mm ³) | Z_{Y12} (mm ³) | Z_{X13} (mm ³) | Z_{Y13} (mm ³) |
| | | | | | | | |

| | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Z_a (mm ³) | Z_{pg} (mm ³) | Z_{p11} (mm ³) | Z_{p12} (mm ³) | Z_{p13} (mm ³) |
| | | | | |

54

| 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 | | | トロリストッパ | | | 吊具 | |
|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 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) | f_{w1} (N) | f_{w2} (N) |
| 245 | 400 | 280 | 245 | 400 | 280 | 305 | 510 | 357 | 245 | 400 | 280 | | |

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 | $\tau_g = 27$ | $\sigma_{bg} = 126$ | $\sigma_g = 130$ |

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 | $\sigma_{c11} = 43$ | $\sigma_{t11} = 5$ | $\tau_{11} = 77$ | $\sigma_{b11} = 192$ | 0.787 | $\sigma_{11} = 225$ |

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

圧縮応力，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 | $\sigma_{c12} = 26$ | $\sigma_{t12} = 15$ | $\tau_{12} = 54$ | $\sigma_{b12} = 229$ | 0.859 | $\sigma_{12} = 247$ |

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 | $\sigma_{c13} = 6$ | $\sigma_{t13} = 5$ | $\tau_{13} = 96$ | $\sigma_{b13} = 96$ | 0.351 | $\sigma_{13} = 176$ |

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 (せん断+曲げ) | 244 |

組合せ応力は，表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.6 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

2.3.7 トロリ浮上り量 (単位：mm)

| | |
|-----|------|
| | 浮上り量 |
| トロリ | 7.7 |

トロリの浮上り量は、表 4-1 のケース 3 の評価結果

2.3.8 吊荷荷重 (単位：N)

| | |
|------|---------------------|
| | ワイヤ荷重 |
| 主巻 | 1.289×10^6 |
| ホイスト | 5.008×10^5 |

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

2.3.9 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) | 2.551×10^5 |
| 単軸粘性ダンパ | 変位 (mm) | 44 |
| ブレース | 圧縮応力 (MPa) | 20 |
| クレビス | せん断応力 (MPa) | 91 |
| クレビス | 曲げ応力 (MPa) | 259 |
| クレビス | 組合せ応力 (MPa) | 304 |

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) | $\tau_g = 27$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{bg} = 126$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_g = 130$ | 280 |
| 脚 | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c11} = 43$ | $f_{cm} = 279$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t11} = 5$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{11} = 77$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b11} = 192$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (圧縮+曲げ) | 0.787 | 1.0 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_{11} = 225$ | 280 |
| 脚下部継ぎ | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c12} = 26$ | $f_{cm} = 263$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t12} = 15$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{12} = 54$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b12} = 229$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (圧縮+曲げ) | 0.859 | 1.0 |
| | | 組合せ (曲げ+せん断) | $\sigma_{12} = 247$ | 280 |
| ガーダ継ぎ | SS400 | 圧縮 (MPa) | $\sigma_{c13} = 6$ | $f_{cm} = 275$ |
| | | 引張 (MPa) | $\sigma_{t13} = 5$ | $f_{tm} = 280$ |
| | | せん断 (MPa) | $\tau_{13} = 96$ | $f_{sm} = 161$ |
| | | 曲げ (MPa) | $\sigma_{b13} = 96$ | $f_{bm} = 280$ |
| | | 組合せ (引張+曲げ) | 0.351 | 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 (せん断+曲げ) | $\sigma_a = 244$ | 357 |

全て許容応力以下である

2.4.3 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。

2.4.4 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 | 7.7 | |

全て許容浮上り量以下である。

2.4.5 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 | $P_w = 1.289 \times 10^6$ | |
| | フック | S35C | | | |
| 吊具 (ホイスト) | ワイヤロープ | 4×F (40) | 吊荷荷重 | $P_w = 5.008 \times 10^5$ | |
| | フック | SCM435 | | | |

全て許容荷重以下である。

2.4.6 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) | 2.551×10^5 | |
| 単軸粘性ダンパ | 変位 (mm) | 44 | |
| ブレース | 圧縮応力 (MPa) | 20 | |
| クレビス | せん断応力 (MPa) | 91 | |
| クレビス | 曲げ応力 (MPa) | 259 | |
| クレビス | 組合せ応力 (MPa) | 304 | |

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 | 32 |
| 4.8 応力の評価 | 32 |
| 5. 評価結果 | 34 |
| 5.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 34 |
| 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 | 34 |

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。

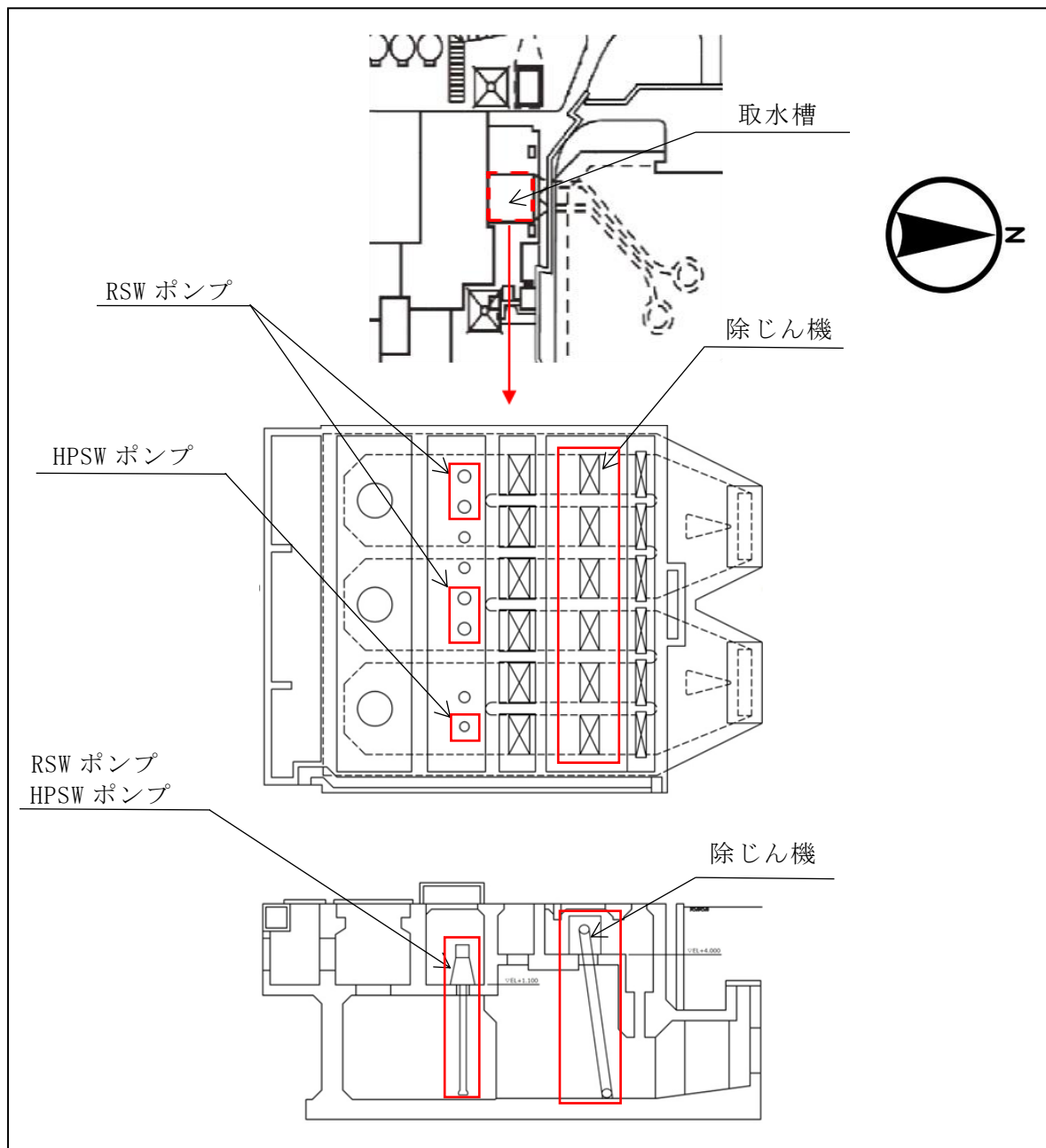


図 2-1 除じん機と上位クラス施設の位置関係図

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 style="text-align: right;">A部 <input type="checkbox"/>本(片側) <input type="checkbox"/>本 / 1台</p> <p style="text-align: center;">B'-(B'')</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> <p style="text-align: center;">C 部</p> <p style="text-align: center;">D 部</p> |

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. 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。

除じん機の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

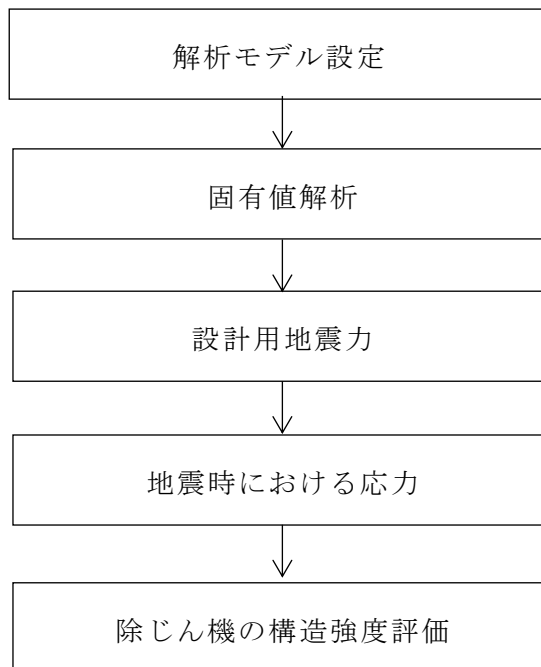


図 2-2 除じん機の耐震評価フロー

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 _{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 _{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

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。
また、水平方向(水流(X)方向)及び鉛直方向(鉛直(Y)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) 除じん機の質量には、除じん機自身の質量のほか、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 | 205 |
| フレーム耐震サポート | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 205 |
| フレーム耐震ピン | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 205 |
| 尾軸取付ボルト | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 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 _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 | 205 |
| フレーム耐震サポート | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 205 |
| フレーム耐震ピン | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 205 |
| 尾軸取付ボルト | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 | 520 | 205 |

4.3 解析モデル及び諸元

除じん機の解析モデルを図 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 2012 r 2」を使用し，固有値を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

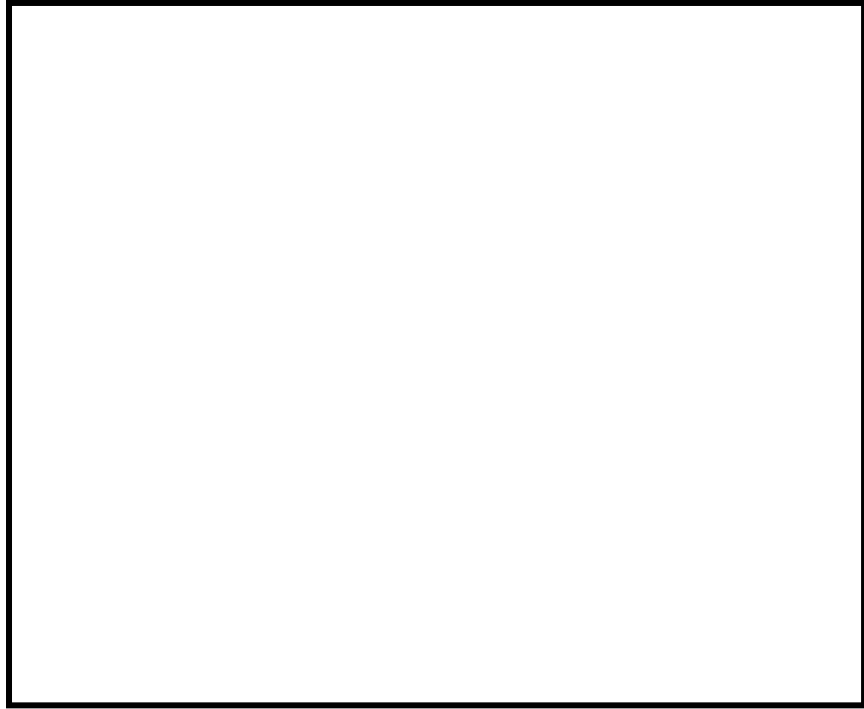


図 4-1 解析モデル

(X : 水流方向, Y : 鉛直方向, Z : 水流直角方向を示す。)

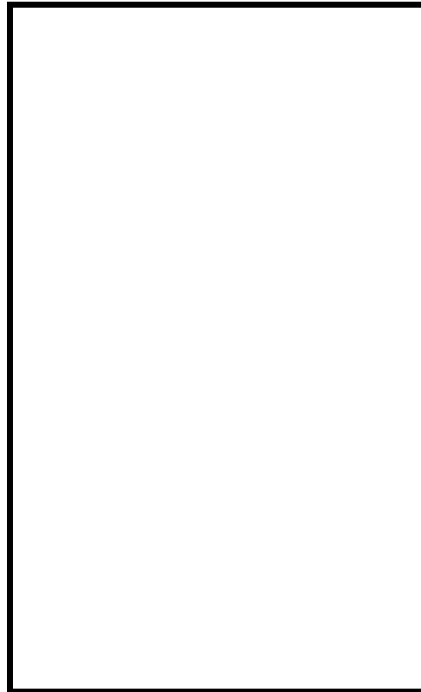
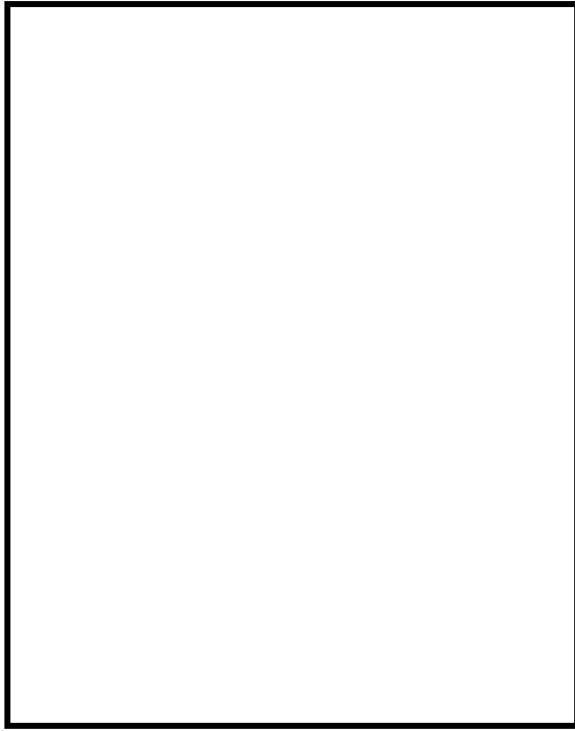


図 4-2 断面番号

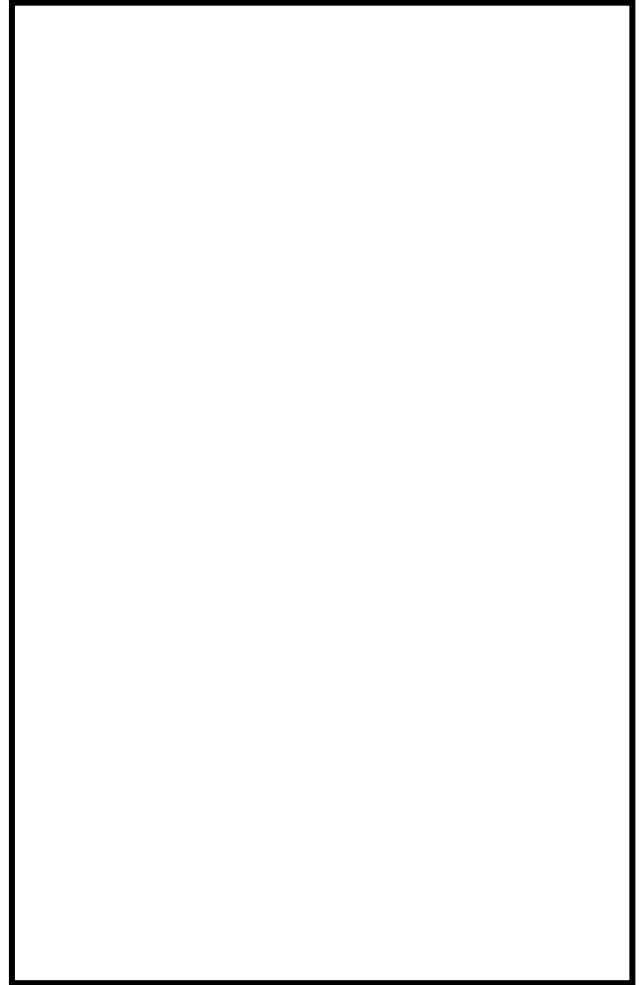
表 4-6 フレームの断面データ

| 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 | | | | |

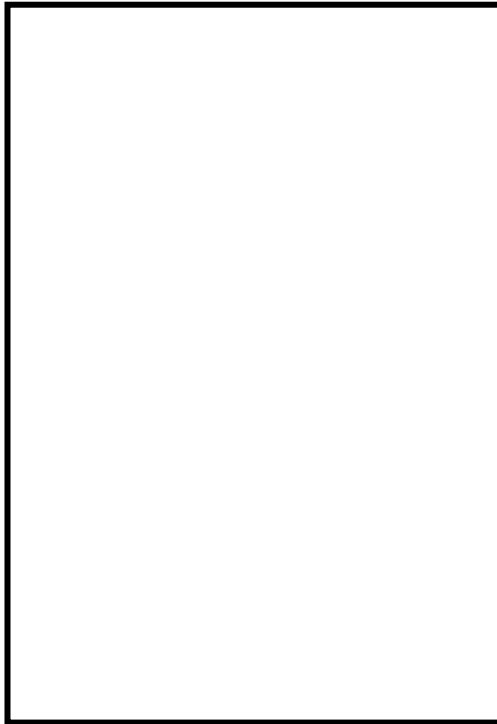
注記* : 断面番号 9 は, 断面二次極モーメントの値を示す。



断面番号 1



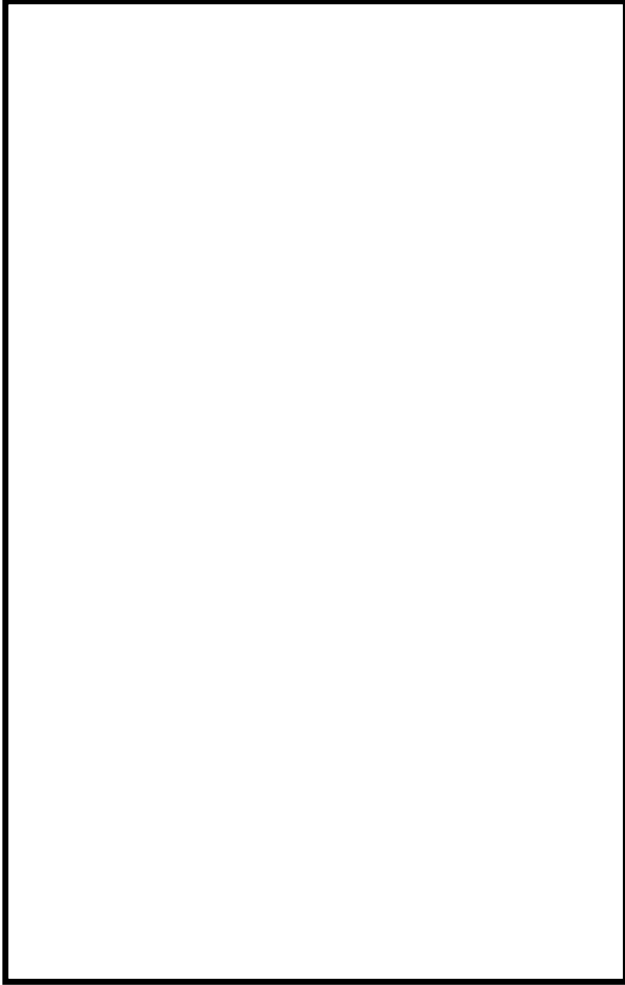
断面番号 2



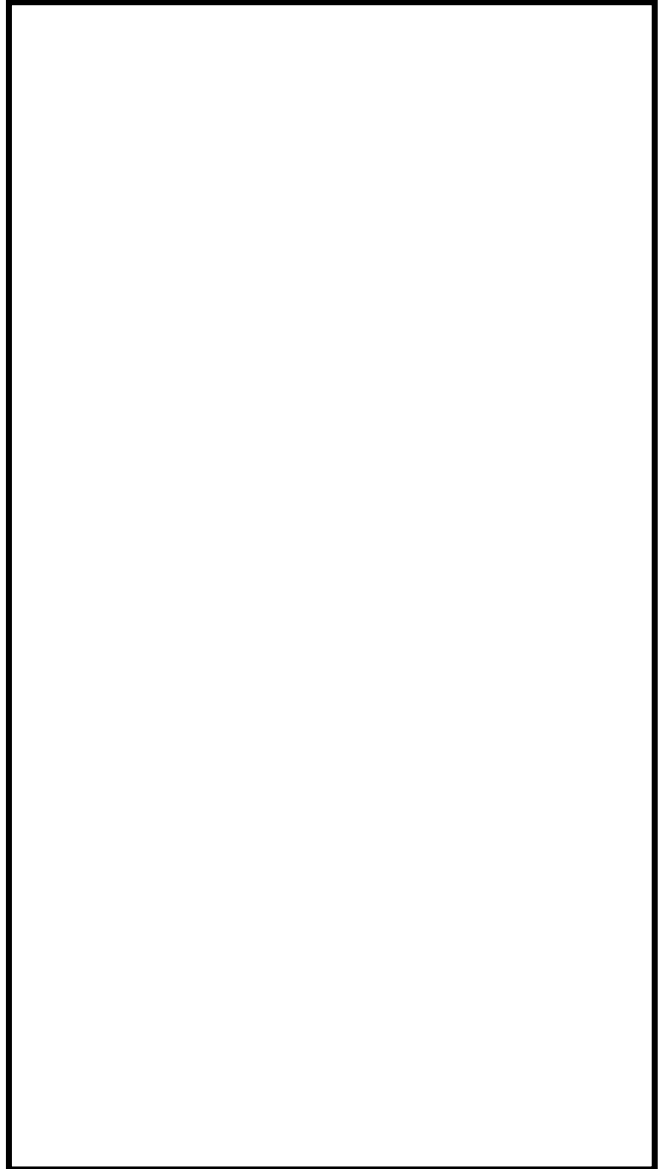
断面番号 3

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

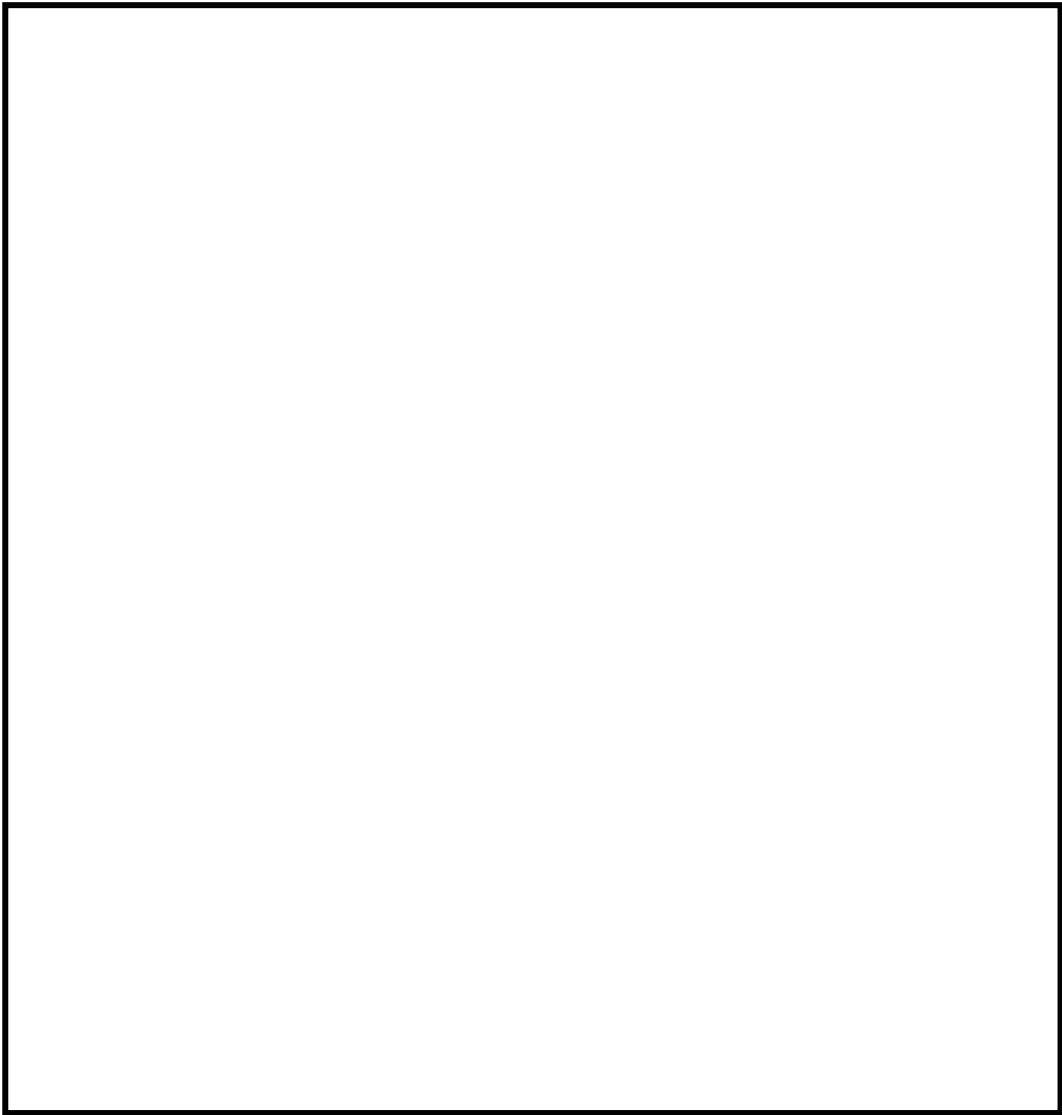
図 4-3 フレームの断面形状(2/3)



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"/> | — | — | — |

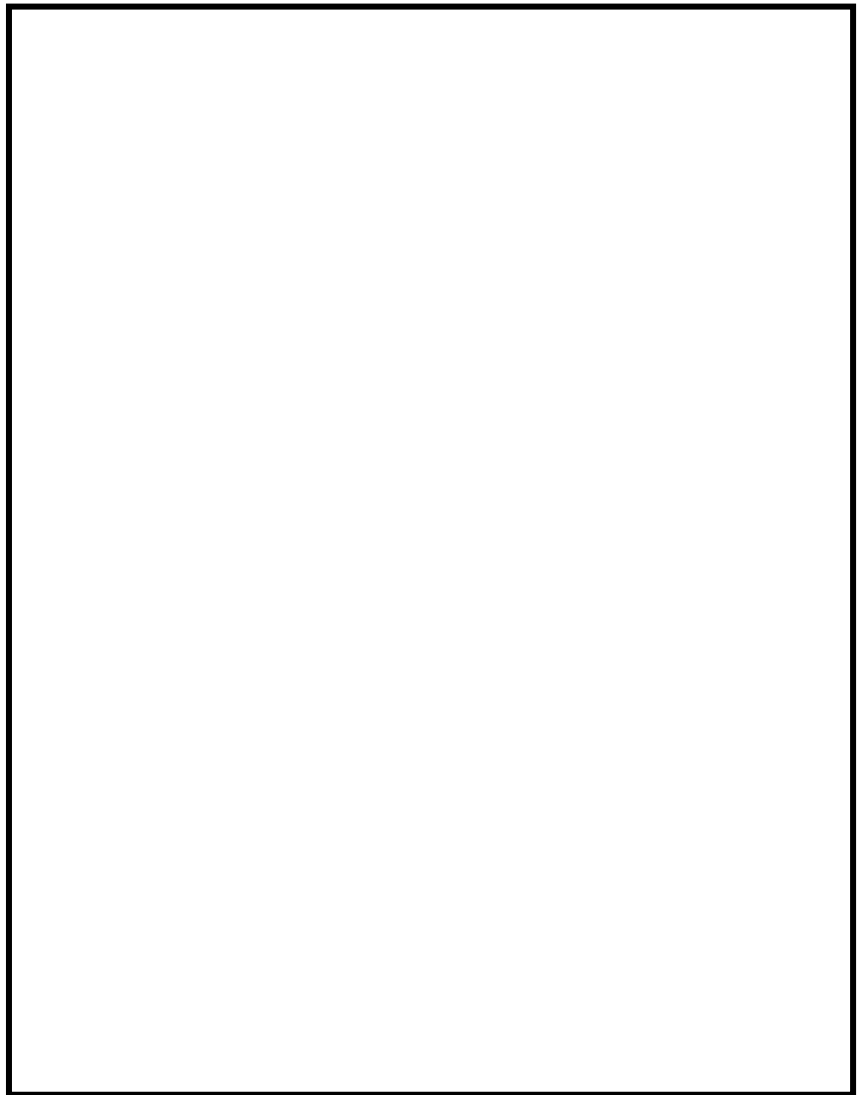


図 4-4 振動モード (1 次)

4.5 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 4-9 に示す。

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

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。

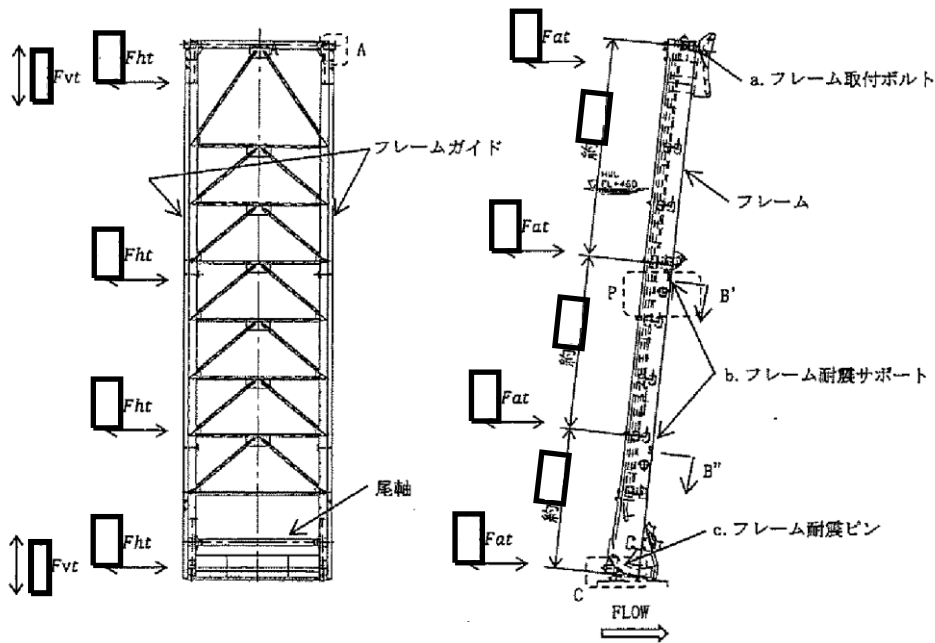


図 4-5 フレーム各支持点での荷重負担

4.6.1.1 フレーム取付ボルトの計算方法

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。

$$F_{aw} = F_w \times C_H(N_S) \dots \dots \dots (4.6.1.1.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_H(N_S) \dots \dots \dots (4.6.1.1.5)$$

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。

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a2} = \frac{\boxed{\phantom{F_{at}}} F_{at}}{A_{ab} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

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

$$\tau_{h2} = \frac{\boxed{\phantom{F_{ht}}} F_{ht}}{A_{hb} \times n_b} \dots \dots \dots (4.6.1.2.6)$$

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。

$$A_{hb} = B \times H \dots \dots \dots (4.6.1.2.7)$$

$$F_{ht} = F_{hw} + F_{hc} \dots \dots \dots (4.6.1.2.8)$$

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。

$$F_{hw} = F_w \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.9)$$

$$F_{hc} = F_h \times C_{H(EW)} \dots \dots \dots (4.6.1.2.10)$$

4.6.1.3 フレーム耐震ピンの計算方法

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。

$$M_a = \frac{\boxed{\phantom{F_{at}}} F_{at}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.12)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.13)$$

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。

$$M_h = \frac{\boxed{\phantom{F_{ht}}} F_{ht}}{n_c} \times L_c \dots \dots \dots (4.6.1.3.15)$$

$$Z = \frac{\pi \times D^3}{32} \dots \dots \dots (4.6.1.3.16)$$

4.6.1.4 アジャストボルトの計算方法

①圧縮応力－鉛直方向

$$\sigma_{vc} = \frac{F_{vt}}{A_2 \times n_2} \dots \dots \dots (4.6.1.3.17)$$

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。

$$A_2 = \frac{\pi \times d_o^2}{4} \dots \dots \dots (4.6.1.3.18)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \dots \dots \dots (4.6.1.3.19)$$

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。

$$F_{vw} = F_w \times C_v + F_w \dots \dots \dots (4.6.1.3.20)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.3.21)$$

4.6.1.5 尾軸取付ボルトの計算方法

①せん断応力1－水流方向

$$\tau_{a4} = \frac{F_{at}}{A_3 \times n_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.1)$$

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。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_{o3}^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.2)$$

$$F_{at} = F_{aw} + F_{ac} + F_{ad} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.3)$$

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。

$$F_{aw} = F_w \times C_{H(NS)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.4)$$

$$F_{ac} = F_a \times C_{H(NS)} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.5)$$

②せん断応力2－鉛直方向

$$\tau_{v4} = \frac{F_{vt}}{A_3 \times n_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.6)$$

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。

$$A_3 = \frac{\pi \times d_{o3}^2}{4} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.7)$$

$$F_{vt} = F_{vw} + F_{vc} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.8)$$

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

$$F_{vw} = F_w \times C_{V+} + F_w \quad \dots \dots \dots (4.6.1.4.9)$$

$$F_{vc} = F_v \times C_v \dots \dots \dots (4.6.1.4.10)$$

③せん断応力合成

$$\tau_{b4} = \sqrt{\tau_{a4}^2 + \tau_{v4}^2} \dots \dots \dots (4.6.1.4.11)$$

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。

| | |
|----------------------|--|
| | 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 $f_{c m}$ | $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$ |
| 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

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

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 |

1.3.2 水圧荷重

(単位：N)

| 部材 | 荷重 | 水圧荷重 | | |
|---------|--------|-----------|-----------|-------------|
| | | 水流 (X) 方向 | 鉛直 (Y) 方向 | 水流直角 (Z) 方向 |
| 尾軸取付ボルト | 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 | — | — | $\tau_{bk}=39$ | $f_{sb}=118$ |
| フレーム耐震サポート | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{ak}=77$ | $f_{sb}=118$ |
| フレーム耐震ピン | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{ak}=13$ | $f_{sb}=118$ |
| | | 曲げ | — | — | $\sigma_{ab}=90$ | $f_{bm}=205$ |
| アジャストボルト | SUS304 | 圧縮 | — | — | $\sigma_{vc}=39$ | $f_{cm}=204$ |
| 尾軸取付ボルト | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{bk}=36$ | $f_{sb}=118$ |

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

フレーム要素

| | |
|-----|----------------------|
| 要素数 | <input type="text"/> |
| 節点数 | <input type="text"/> |

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)

| 部材 | 荷重 | 水圧荷重 | | |
|---------|--------|-----------|-----------|-------------|
| | | 水流 (X) 方向 | 鉛直 (Y) 方向 | 水流直角 (Z) 方向 |
| 尾軸取付ボルト | 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 | — | — | $\tau_{bk}=39$ | $f_{sb}=118$ |
| フレーム耐震サポート | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{ak}=77$ | $f_{sb}=118$ |
| フレーム耐震ピン | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{ak}=13$ | $f_{sb}=118$ |
| | | 曲げ | — | — | $\sigma_{ab}=90$ | $f_{bm}=205$ |
| アジャストボルト | SUS304 | 圧縮 | — | — | $\sigma_{vc}=39$ | $f_{cm}=204$ |
| 尾軸取付ボルト | SUS304 | せん断 | — | — | $\tau_{bk}=36$ | $f_{sb}=118$ |

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

フレーム要素

| | |
|-----|----------------------|
| 要素数 | <input type="text"/> |
| 節点数 | <input type="text"/> |

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。

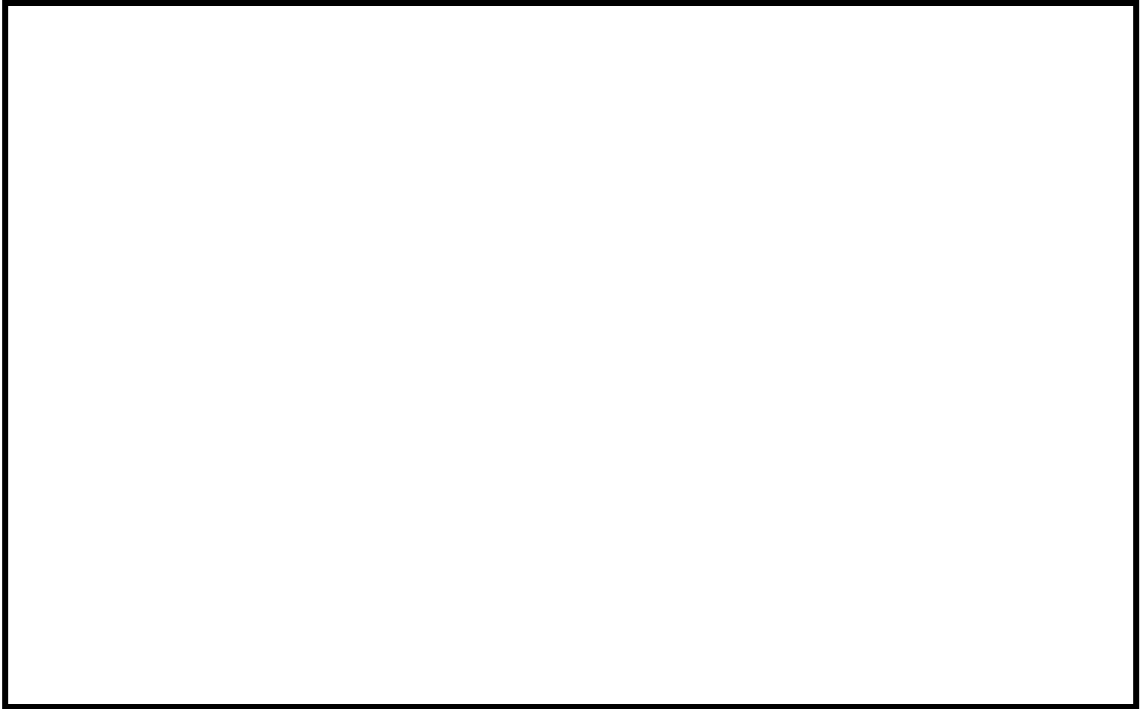


図2-1 タービン補機海水ストレーナと上位クラス施設の位置関係図

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。

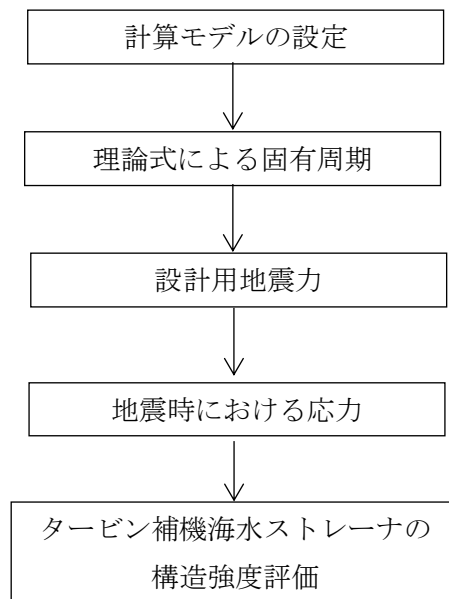


図 2-2 タービン補機海水ストレーナの耐震評価フロー

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 |
| <i>f</i> _{bm} | 曲げモーメントに対する許容座屈応力 | MPa |
| <i>f</i> _{cm} | 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力 | MPa |
| <i>f</i> _{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 |
| <i>f</i> _{tm} | スカートの許容引張応力 | MPa |
| <i>f</i> _{to} | 引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力 | MPa |
| <i>f</i> _{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 |
| <i>l</i> | 胴のスカート接合点から重心までの距離 | mm |
| <i>l</i> ₁ | 重心と引張を受けるボルト間の水平方向距離 | mm |
| <i>l</i> ₂ | 重心と転倒支点となるボルト間の水平方向距離 | mm |
| <i>l</i> _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せん断変形を考慮する。
- d. スカートの部材には、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。

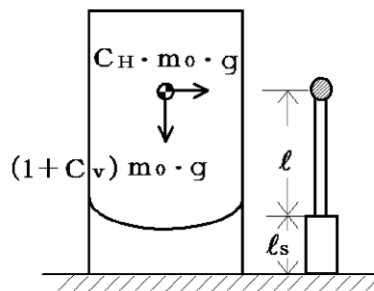


図4-1 固有周期の計算モデル

(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。

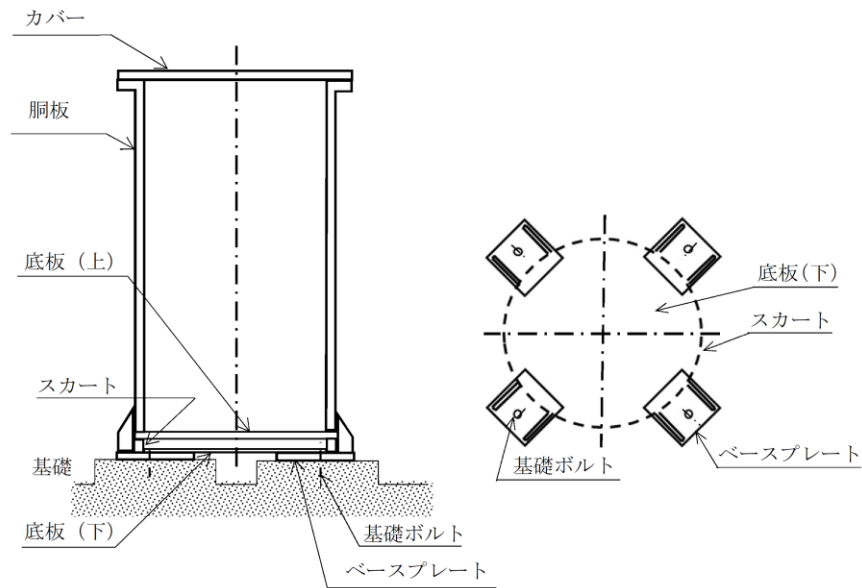


図5-1 概要図

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

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 5-4 設計用地震力（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

5.4.1.1 スカートの計算方法

スカート支持たて置円筒形容器のスカートの構造強度評価方法を準用する。

(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。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(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。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \frac{\pi}{4}(D_s + t_s)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_s + t_s) \cdot t_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (l_s + l) \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(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。

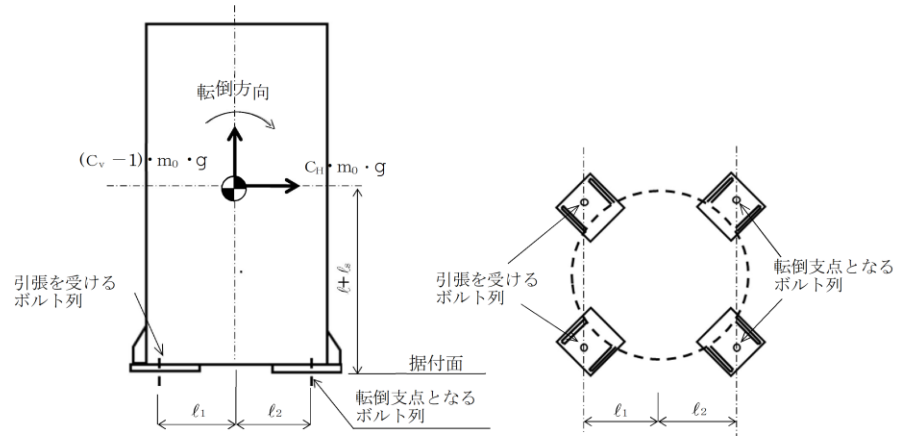


図5-2 転倒モーメントによる引張荷重の計算モデル

引張力

$$F_b = \frac{m_0 \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot (l_s + l))^2 + (C_v \cdot l_2)^2} - m_0 \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \quad (5.4.1.1.7)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \quad (5.4.1.1.8)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \quad (5.4.1.1.9)$$

(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

$$Q_b = C_H \cdot m_0 \cdot g \quad \dots \quad (4.3.1.1.10)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (4.3.1.1.11)$$

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）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - e^{-x} \cdot \text{erf} \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

また、 f_{bm} は次による。

$$f_{bm} = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.4)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots (5.6.1.5)$$

η は安全率で次による。

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \quad \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

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 |

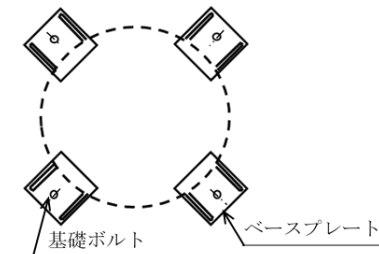
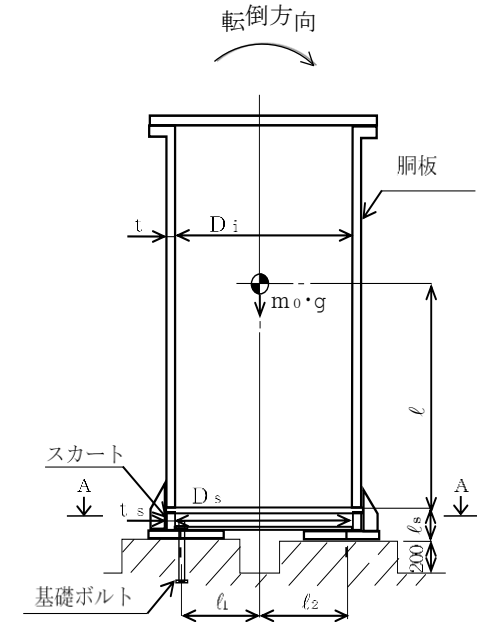
| d (mm) | A _b (mm ²) | M _s (N・mm) | | F _b (N) | | Q _b (N) | |
|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | 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

S2 補 VI-2-11-2-7-16 ROE

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 | |
| 鉛直方向 | |

1.4.2 応力

(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|------|--|-------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 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 | — | — | $\tau_b=72$ | $f_{sb}=161$ |

すべて許容応力以下である。

注記*1：SS400相当

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

VI-2-12 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する
影響評価結果

目 次

| | |
|---|-----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動 | 1 |
| 3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果 | 1 |
| 3.1 建物・構築物 | 1 |
| 3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出 | 1 |
| 3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果 | 13 |
| 3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針 | 15 |
| 3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果 | 16 |
| 3.1.5 原子炉建物 3 次元 F E M モデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果 | 39 |
| 3.2 機器・配管系 | 43 |
| 3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出 | 43 |
| 3.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び 津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出 | 46 |
| 3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果 | 46 |
| 3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 | 46 |
| 3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果 | 47 |
| 3.2.6 まとめ | 47 |
| 3.3 屋外重要土木構造物等 | 61 |
| 3.3.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出 | 61 |
| 3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 | 81 |
| 3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 | 104 |
| 3.3.4 機器・配管系への影響 | 120 |
| 3.3.5 まとめ | 121 |
| 3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備 | 122 |
| 3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 | 122 |
| 3.4.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 | 150 |
| 3.4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 | 151 |
| 3.4.4 機器・配管系への影響 | 161 |
| 3.4.5 まとめ | 161 |

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち「4.1 地震力の算定法 (2) 動的地震力」及びVI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、VI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

ここで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮したうえで確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表 3-1-1 に示す。

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表 3-1-2 及び表 3-1-3 に示す。

なお、隣接する上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、はり）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定

される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-4 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、排気筒及び 1 号機排気筒の柱（隅部）並びに原子炉建物、制御室建物、タービン建物、廃棄物処理建物、排気筒、緊急時対策所及びガスタービン発電機建物の基礎（矩形）を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、燃料プールの壁（一般部）並びに原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物及び 1 号機廃棄物処理建物の壁（地下部）を抽出した。

(4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3-1-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、抽出する部位はなかった。

表 3-1-1(1) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

| 耐震性評価部位 | 原子炉建物 | | 制御室建物 | タービン建物 | | 廃棄物 処理建物 | 排気筒 | 緊急時 対策所 | ガスタービン 発電機建物 |
|----------|------------|------|-------|--------|--------------------|-------------|----------------|------------|------------------|
| | 燃料 プール | 上部鉄骨 | | RC造 | S造, SRC造 RC造 | | | | |
| 柱 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | S造, RC造 | RC造 | S造, SRC造, RC造 |
| | 隅部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ (筒身, 補助柱) | ○ | ○ |
| | 地下部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ (主柱材) | ○ | ○ |
| はり | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ (水平材) | ○ | ○ |
| | 地下部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 鉄骨 トラス | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 壁 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 円筒部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 地下部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 鉄骨 ブレース | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ (斜材) | ○ | ○ |
| 床・ 屋根 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 矩形 杭基礎 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

凡例 ○：対象の構造部材あり，－：対象の構造部材なし

表 3-1-1-1(2) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

| 耐震性評価部位 | 1号機原子炉建物 | | 1号機タービン建物 | | 1号機 廃棄物 処理建物 | サイトバンカ 建物 | サイトバンカ 建物(増築部) | 1号機 排気筒 | 排気筒 モニタ室 | 燃料移送ポンプ エリア電巻防護 対策設備 |
|----------|------------|----------------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------|-------------------|------------|-------------|----------------------------|
| | RC造 | 上部鉄骨 S造, SRC造 RC造 | RC造 | S造, SRC造 RC造 | | | | | | |
| 柱 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○(筒身) | - | ○ |
| | 隅部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○(主柱材) | - | ○ |
| | 地下部 | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - |
| はり | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○(水平材) | ○ | ○ |
| | 地下部 | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - |
| | 鉄骨 トラス | - | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - |
| 壁 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | ○ | - |
| | 円筒部 | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 地下部 | ○ | - | ○ | - | - | - | - | - | - |
| | 鉄骨 ブレース | - | ○ | - | - | - | - | ○(斜材) | - | ○ |
| 床・ 屋根 | 一般部 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | ○ | - |
| | 矩形 | ○ | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - |
| 基礎 | 杭基礎 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

凡例 ○：対象の構造部材あり，-：対象の構造部材なし

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

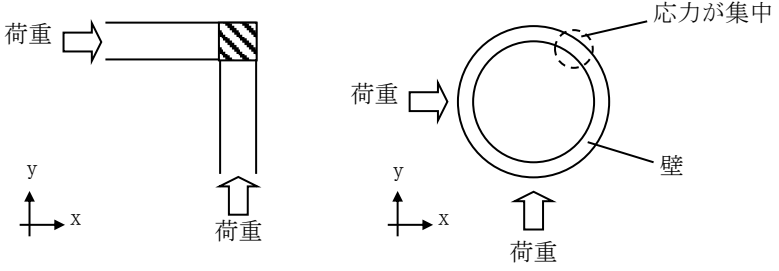
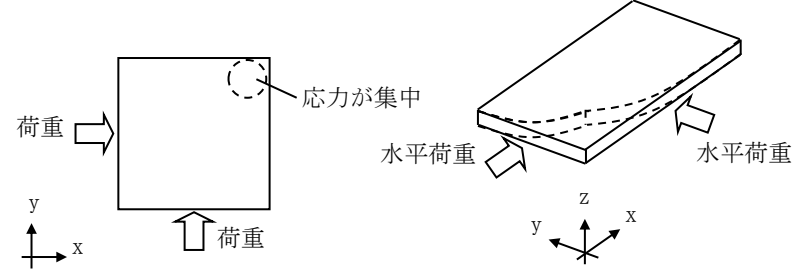
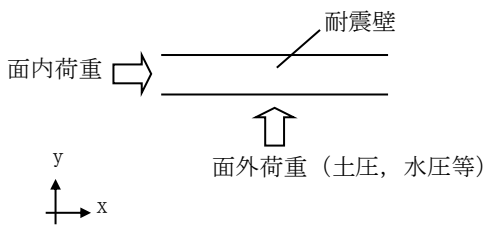
| 荷重の組合せによる 応答特性 | | 影響想定部位 |
|-------------------|--|---|
| ①-1 | 直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中 | <p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p>  <p>(矩形の基礎スラブ)</p> |
| ①-2 | 面内方向の 荷重を負担 しつつ、 面外方向の 荷重が作用 | <p>土圧を負担する地下耐震壁等 水压を負担するプール壁等 (例)</p>  <p>耐震壁 面内荷重 面外荷重 (土圧, 水压等)</p> |

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

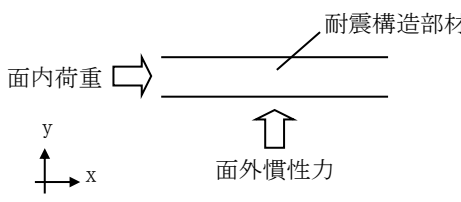
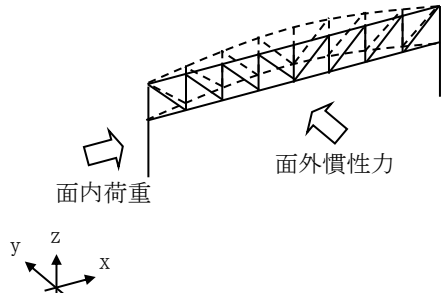
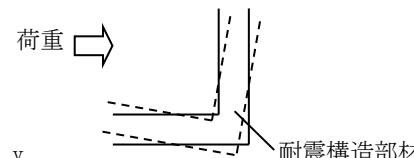
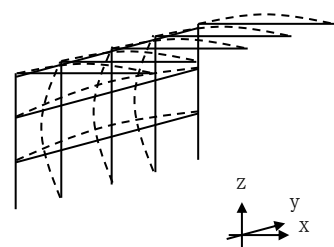
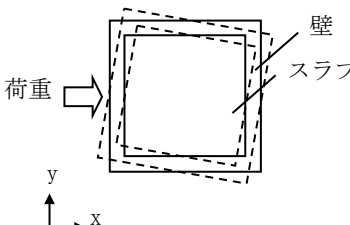
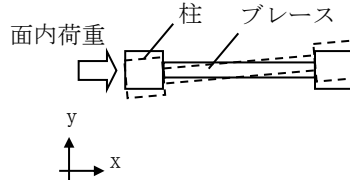
| 3 次元的な応答特性 | 影響想定部位 |
|---|---|
| <p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p> | <p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ 面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p> |
| <p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p> | <p>塔状構造物等を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>(壁)</p>  <p>(鉄骨架構)</p>  <p>荷重 → 壁 スラブ</p> <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 ブレース</p> <p>(ブレース)</p> |

表 3-1-4(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたたスクリーニング)

| 耐震性評価部位 | 原子炉建物 | | 制御室建物 | タービン建物 | | 廃棄物 処理建物 | 排気筒 | 緊急時 対策所 | ガスタービン 発電機建物 |
|----------|------------|------|-------|--------|-----------------------|-------------|-----------|------------|---------------------|
| | 燃料 プール | 上部鉄骨 | | RC 造 | S 造, SRC 造 RC 造 | | | | |
| 柱 | 一般部 | RC 造 | RC 造 | RC 造 | 該当なし | RC 造 | S 造, RC 造 | RC 造 | S 造, SRC 造, RC 造 |
| | 隅部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 地下部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 要①-1 | 該当なし |
| はり | 一般部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 地下部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 鉄骨 トラス | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| 壁 | 一般部 | 要①-2 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 円筒部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 地下部 | 要①-2 | 該当なし | 要①-2 | 該当なし | 要①-2 | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 鉄骨 ブレース | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| 床・ 屋根 | 一般部 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 矩形 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 |
| 基礎 | 杭基礎 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |
| | 杭基礎 | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし |

凡例 ・要：評価必要

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-4(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

| 耐震性評価部位 | 1号機原子炉建物 | | 1号機タービン建物 | | 1号機 廃棄物 処理建物 | サイトバンカ 建物 | サイトバンカ 建物(増築部) | 1号機 排気筒 | 排気筒 モニタ室 | 燃料移送ボン プエリア竜巻 防護対策設備 |
|----------|----------|------------|-----------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------|------------|-------------|----------------------------|
| | 上部鉄骨 | 上部鉄骨 | | | | | | | | |
| 柱 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造, SRC造 RC造 | RC造 | S造, SRC造, RC造 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造 |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 要①-1 | - | 該当なし |
| はり | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造, SRC造 RC造 | RC造 | S造, SRC造, RC造 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造 |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| 壁 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造, SRC造 RC造 | RC造 | S造, SRC造, RC造 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造 |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| 床・ 屋根 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造, SRC造 RC造 | RC造 | S造, SRC造, RC造 | RC造 | S造, RC造 | RC造 | S造 |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | 該当なし | - | 該当なし |
| 基礎 | 不要* | - | 不要* | - | 不要* | - | 不要* | 不要* | 不要* | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

凡例 ・要：評価必要

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」
 ・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 注記*：上位クラスのもの・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び 1 号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

表 3-1-5(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

| 耐震性評価部位 | 原子炉建物 | | 制御室建物 | タービン建物 | | 廃棄物 処理建物 | 排気筒 | 緊急時 対策所 | ガスタービン 発電機建物 |
|----------|-----------|------|-------|--------|-----------------------|-------------|-----------|------------|---------------------|
| | 燃料 プール | 上部鉄骨 | | RC 造 | S 造, SRC 造 RC 造 | | | | |
| 柱 | RC 造 | RC 造 | RC 造 | RC 造 | S 造, SRC 造 RC 造 | RC 造 | S 造, RC 造 | RC 造 | S 造, SRC 造, RC 造 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 要①-1 | 不要 | 不要 |
| はり | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| 壁 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 要②-1 | 要①-2 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| 床・ 屋根 | 要①-2 | 不要 | 不要 | 要①-2 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 要①-2 | 不要 | 不要 | 要①-2 | 不要 | 要①-2 | 不要 | 不要 | 不要 |
| 基礎 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 要①-1 | 不要 | 不要 | 要①-1 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| 凡例 | 要①-1 | 不要 | 要①-1 | 要①-1 | 不要 | 不要 | 要①-1 | 要①-1 | 要①-1 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |

凡例 ・要：評価必要又は荷重組の合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み ・不要：評価不要
 ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」
 ・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

表 3-1-5(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

| 耐震性評価部位 | 1 号機原子炉建物 | | 1 号機タービン建物 | | 1 号機 廃棄物 処理建物 | サイトバンカ 建物 | サイトバンカ 建物(増築部) | 1 号機 排気筒 | 排気筒 モニタ室 | 燃料移送ポンプ エリア竜巻防護 対策設備 |
|----------|------------|--------------|------------|-------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|----------------------------|
| | 上部鉄骨 | S 造, RC 造 | RC 造 | 上部鉄骨 S 造, SRC 造 RC 造 | | | | | | |
| 柱 | 一般部 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | — | 不要 |
| | 隅部 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 要①-1 | — | 不要 |
| | 地下部 | 不要 | — | 不要 | — | — | — | — | — | — |
| はり | 一般部 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 |
| | 地下部 | 不要 | — | 不要 | — | — | — | — | — | — |
| | 鉄骨 トラス | — | 不要 | — | — | — | — | — | — | — |
| 壁 | 一般部 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | — | 不要 | — |
| | 円筒部 | 不要 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 地下部 | 要①-2 | — | 要①-2 | — | — | — | — | — | — |
| | 鉄骨 ブレース | — | 不要 | — | — | — | — | 不要 | — | 不要 |
| 床・ 屋根 | 一般部 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | 不要 | — | 不要 | — |
| | 矩形 | 不要* | — | 不要* | — | 不要* | 不要* | 不要* | 不要* | — |
| 基礎 | 杭基礎 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

凡例 ・要：評価必要又は荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み ・不要：評価不要
 ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」
 ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」
 ・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
 ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」
 注記*：上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び 1 号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

(5) 3次元FEMモデルによる精査方法

上記(4)で抽出した3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元FEMモデルにより精査を行う。精査方法を表3-1-6に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）に対して3次元FEMモデルによる精査を行う。

また、原子炉建物の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

(6) 3次元FEMモデルによる精査結果

3次元FEMモデルによる精査の結果、建物・構築物の有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表3-1-6に示す。

ただし、原子炉建物の燃料取替階レベルの東西面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、詳細評価を実施することとする。具体的には、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）に対して、面外慣性力による応答が面内応答へ及ぼす影響検討を実施する。

表 3-1-6 3次元FEMモデルによる精査

| 耐震評価部位 | 対象 建物・構築物 | 3次元的な応答特性 | 3次元FEMモデルによる 精査方法 | 3次元FEMモデルによる 精査結果 |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|---|---|
| 壁 (一般部) | 原子炉建物 (燃料取替階レベル) | ②-1 「面内方向の荷重に加え、面外 慣性力の影響が大さい」 | 水平2方向及び鉛直方向入力 時の応答の水平1方向入力時 の応答に対する増分が小さい ことを確認する。 | 水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。 |
| 耐震評価部位 全般 | 原子炉建物 | 局所的な応答 | 同上 | 水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。 |

3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を表 3-1-7 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒の支柱材及び建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

原子炉建物の基礎及び排気筒の支柱材については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

| 応答特性 | 耐震評価部位 | | 対象 建物・構築物 | 代表評価部位 |
|------|--------|------------|---|--|
| | 柱 | 隅部 | | |
| ①-1 | 柱 | 隅部 | <ul style="list-style-type: none"> ・<u>排気筒</u> ・ 1 号機排気筒 | 重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒の隅柱（主柱材）を代表として評価する。 |
| | 基礎 | 矩形 | <ul style="list-style-type: none"> ・<u>原子炉建物</u> ・ 制御室建物 ・ タービン建物 ・ 廃棄物処理建物 ・ 排気筒 ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 | 建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として評価する。 |
| ①-2 | 壁 | 一般部 地下部 | <ul style="list-style-type: none"> ・<u>燃料プール</u> ・ 原子炉建物 ・ タービン建物 ・ 廃棄物処理建物 ・ 1 号機原子炉建物 ・ 1 号機タービン建物 ・ 1 号機廃棄物処理建物 | 上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する燃料プールの壁を代表として評価する。 |

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価は、従来設計手法に基づいた各部位の解析モデルによる水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を用いる。また、影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動 S_s の各方向地震成分により個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施する。

注記* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

(1) 排気筒の支柱材の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である排気筒の支柱材について評価を行う。

評価にあたっては、基準地震動 S_s を用い、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3 方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析に基づき、支柱材（鉄塔脚部を含む）の断面算定結果（検定値）が、1.0 を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」（以下「排気筒の地震応答計算書」という。）及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排気筒の概要図を図 3-1-1 に、解析モデルを図 3-1-2 に示す。

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、基準地震動 S_s を用いて評価を行うが、基準地震動 $S_s - D$ 及び $S_s - N1$ については、水平方向成分に直交する方向の地震動に位相特性の異なる地震波を入力する。

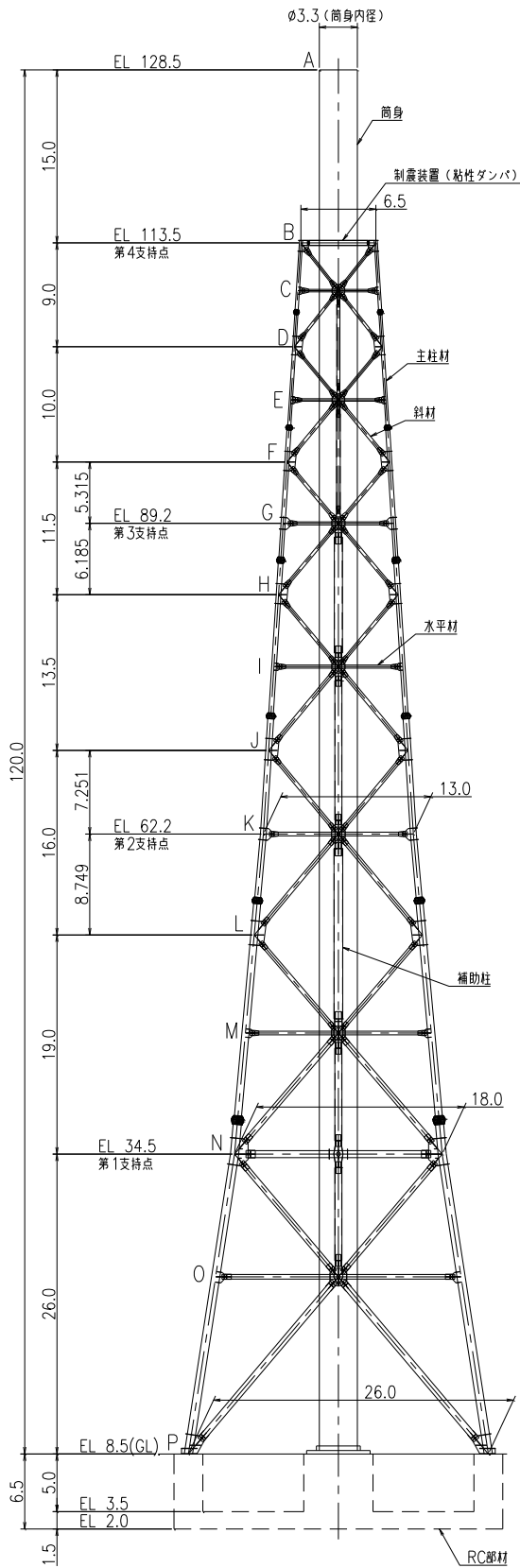
地震動の入力方法は、排気筒の地震応答計算書に基づくものとする。

鋼材の許容応力度及び使用材料の物性値は、排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3 方向同時入力時及び排気筒の耐震計算書に記載のケース（以下「工認ケース」という。）における支柱材の評価結果を表 3-1-8 に、鉄塔脚部の評価結果を表 3-1-9 に示す。

評価の結果、工認ケースの検定値と比較し、3 方向同時入力時の検定値は増加傾向にあるが、支柱材及び鉄塔脚部の検定値が 1.0 を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、排気筒の支柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。



| 部材リスト (単位:mm) | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|----|---------------|
| 主柱材 | 斜材 | 水平材 | 筒身 | 補助柱 |
| - | - | - | 10 | - |
| φ267.4×6.6 | φ216.3×5.8 | H-450×300 x10×15*2 | 12 | - |
| φ355.6×6.4 | φ267.4×6.6 | φ216.3×5.8 | 10 | φ267.4×6.0 |
| φ406.4×7.9 | φ267.4×6.6 | φ267.4×6.6 | 12 | φ318.5×6.0 |
| φ508.0×9.5 | φ318.5×6.9 | φ267.4×6.6 | 10 | φ711.2×7.9 |
| φ609.6×12.7 | φ355.6×7.9 | φ318.5×6.9 | 12 | φ609.6×12.7 |
| φ711.2×12.7 8PLs-22x100*1 | φ457.2×9.5 | φ318.5×6.9 | 10 | φ762.0×12.7*3 |
| φ558.8×9.5 | φ609.6×9.5 | φ406.4×9.5 | 12 | φ609.6×12.7*3 |
| STK41 (STK400相当) | | t=10 | | |
| | | | | STK400 |

注記*1: SS400材を示す。
 *2: SS41材 (SS400相当)を示す。
 *3: STK490材を示す。

図 3-1-1 排気筒の概要図 (単位:m)

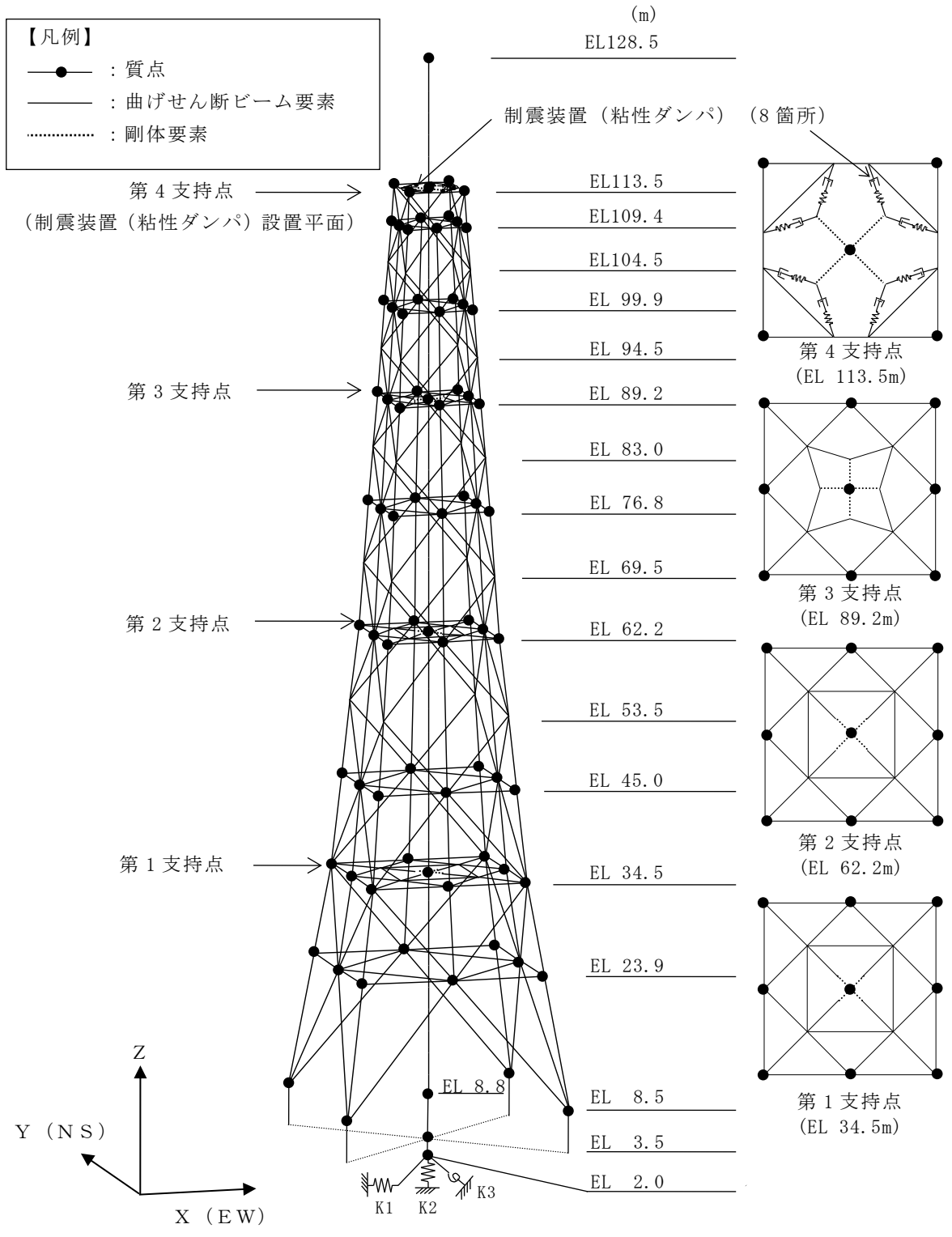


図 3-1-2 排気筒の地震応答解析モデル

表 3-1-8 主柱材の評価結果

| 高さ EL (m) | 区間 | 使用部材 (mm) | 工認ケース | 3方向同時入力* |
|-----------------|-----|---------------|-------|-------------|
| 113.5-104.5 | B-D | φ 267.4× 6.6 | 0.18 | <u>0.20</u> |
| 104.5- 94.5 | D-F | φ 267.4× 6.6 | 0.48 | <u>0.52</u> |
| 94.5- 83.0 | F-H | φ 355.6× 6.4 | 0.49 | <u>0.56</u> |
| 83.0- 69.5 | H-J | φ 406.4× 7.9 | 0.48 | <u>0.65</u> |
| 69.5- 53.5 | J-L | φ 508.0× 9.5 | 0.50 | <u>0.77</u> |
| 53.5- 34.5 | L-N | φ 609.6× 12.7 | 0.42 | <u>0.65</u> |
| 34.5- 8.5 | N-P | φ 711.2× 12.7 | 0.34 | <u>0.52</u> |

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記*：風荷重との重畳を考慮する。

表 3-1-9 鉄塔脚部の評価結果

| 評価部位 | 応力分類 | 工認ケース | 3方向同時入力* |
|---------------------------------------|------|-------|-------------|
| コンクリート（せん断プレート側面） | 圧縮 | 0.39 | <u>0.55</u> |
| せん断プレート | 曲げ | 0.18 | <u>0.25</u> |
| コンクリート（ベースプレート下面） | 圧縮 | 0.18 | <u>0.25</u> |
| フランジプレート，ベースプレート及び ウェブプレートから成る合成断面 | 曲げ | 0.19 | <u>0.32</u> |
| | せん断 | 0.23 | <u>0.41</u> |
| | 組合せ | 0.30 | <u>0.52</u> |
| ベースプレート | 曲げ | 0.46 | <u>0.66</u> |
| リブプレート | 圧縮 | 0.20 | <u>0.29</u> |
| アンカー部（アンカー材） | 引張 | 0.09 | <u>0.15</u> |
| アンカー部（アンカーボルト） | せん断 | 0.27 | <u>0.47</u> |

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記*：風荷重との重畳を考慮する。

(2) 燃料プールの壁の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する燃料プールの壁について評価を行う。

評価にあたっては、S s 地震時に対して、3 次元 F E M モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-4-2-1「燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書」（以下「燃料プールの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図及び概略断面図を図 3-1-3 及び図 3-1-4 に、燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-5 及び図 3-1-6 に示す。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、燃料プールの耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-7 に示す。解析モデルの詳細は、燃料プールの耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S s 地震時の応力は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S s S N : S → N 方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
- S s W E : W → E 方向 S s 地震荷重（S s 地震時動水圧荷重を含む）
- S s U D : 鉛直方向（下向き） S s 地震荷重

燃料プールの壁の評価は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-8 及び図 3-1-9 に、評価結果を表 3-1-10 及び表 3-1-11 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力及び面外せん断力が各許容値を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、燃料プールの壁が有する耐震性への影響がないことを確認した。

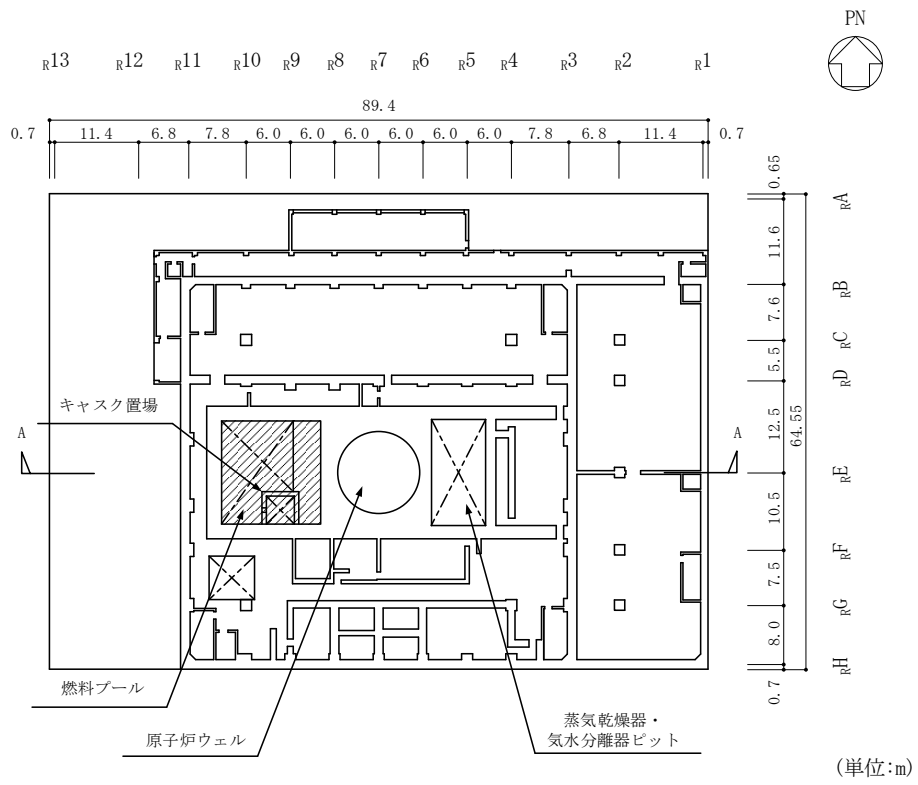


図 3-1-3 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図
(EL 34.8m)

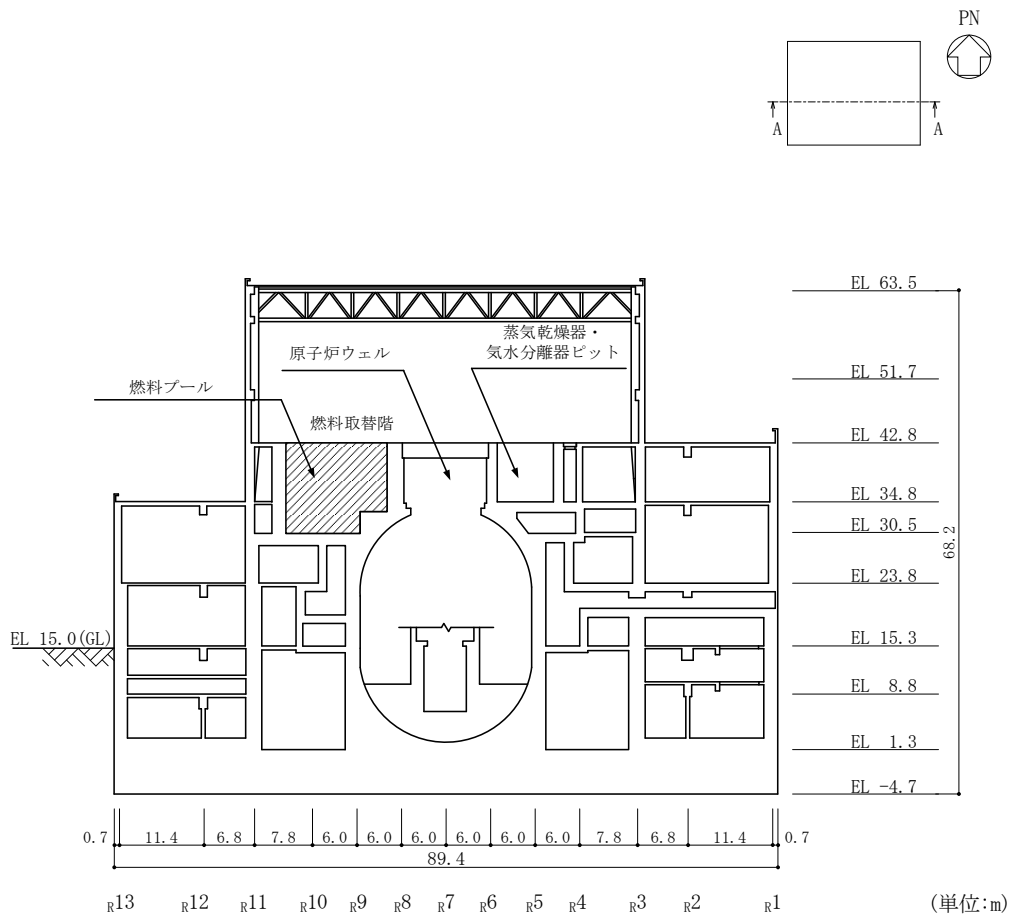
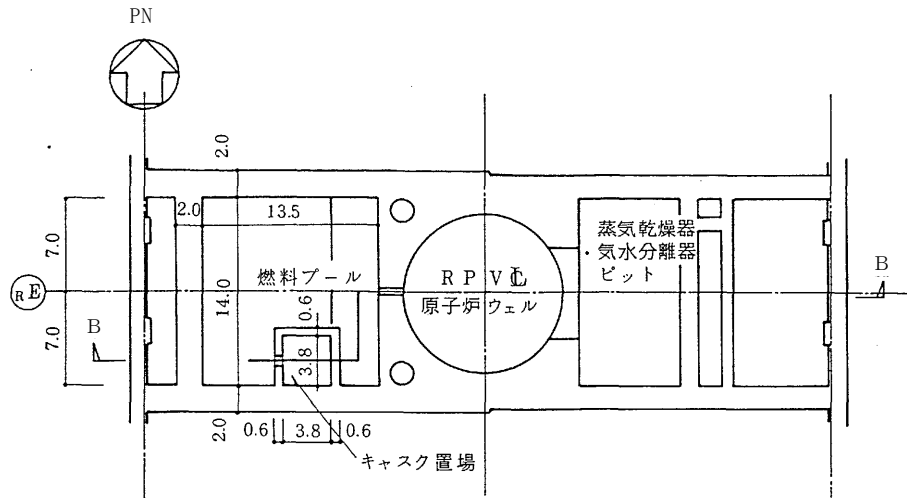
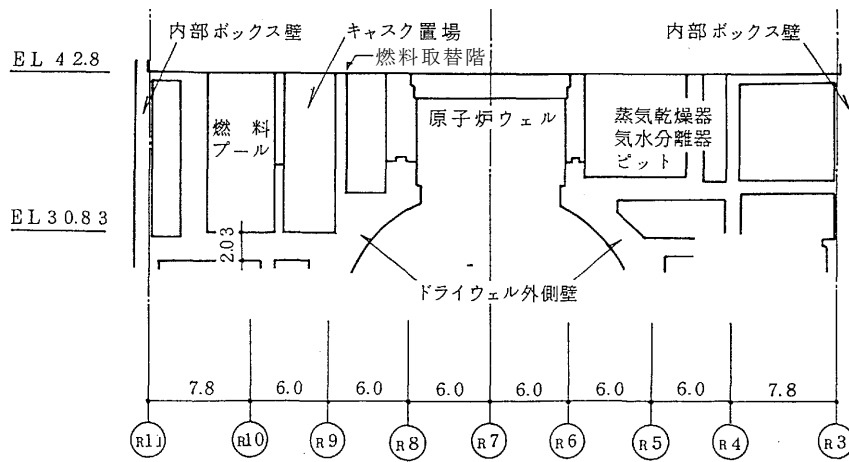


図 3-1-4 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略断面図
(A-A断面, EW方向)



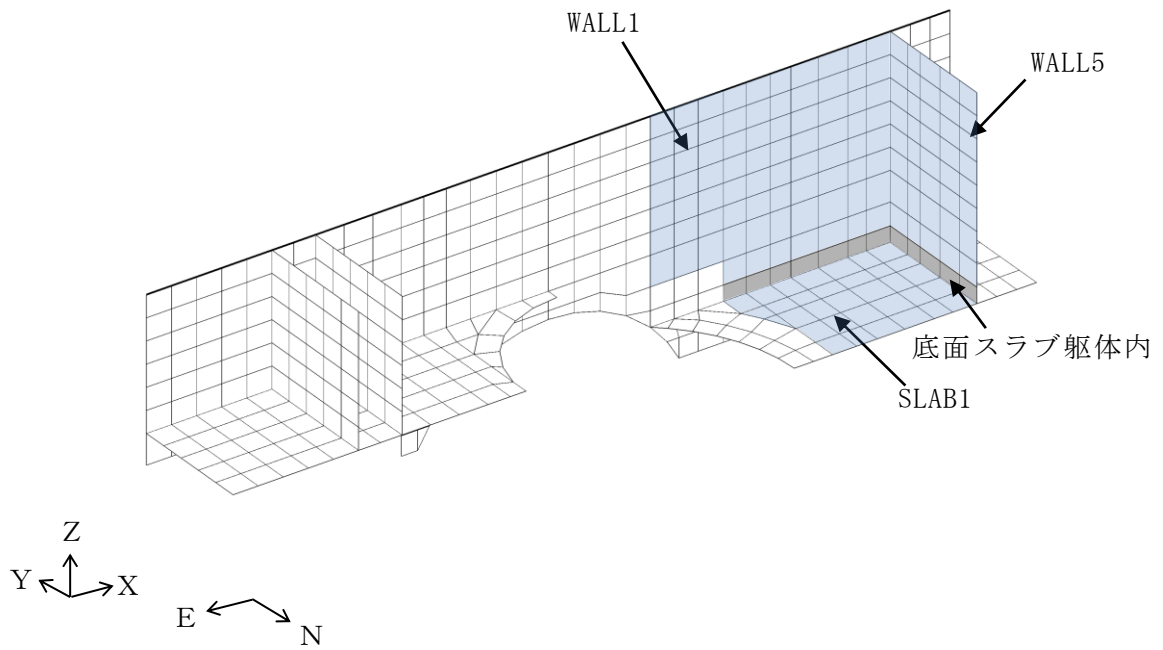
(単位：m)

図 3-1-5 燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図

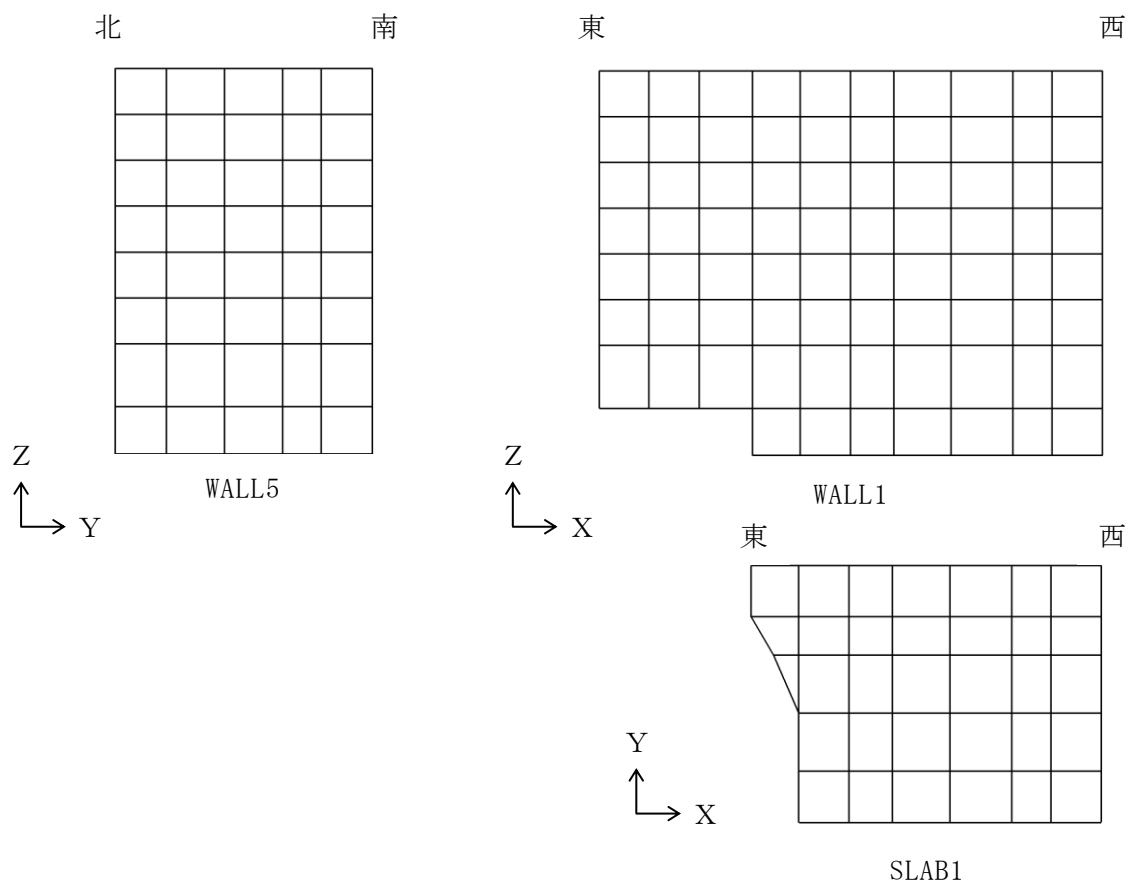


(単位：m)

図 3-1-6 燃料プール及びキャスク置場周りの概略断面図
(B-B断面)

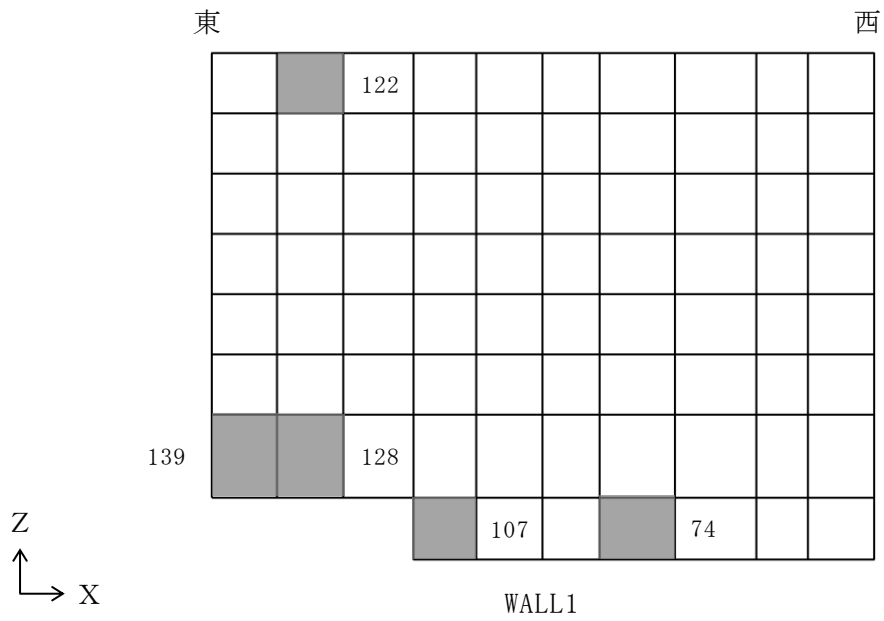


(a) 全体鳥瞰図

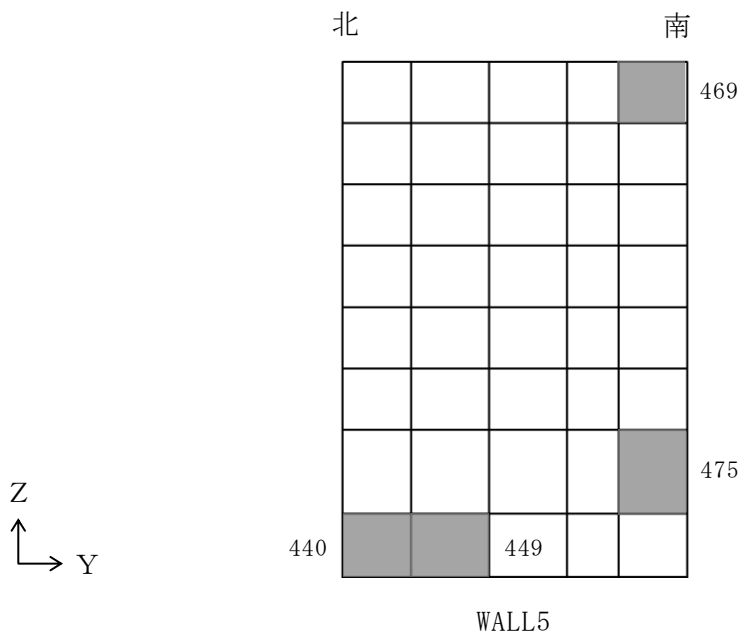


(b) 燃料プール要素分割図

図 3-1-7 解析モデルの概要図

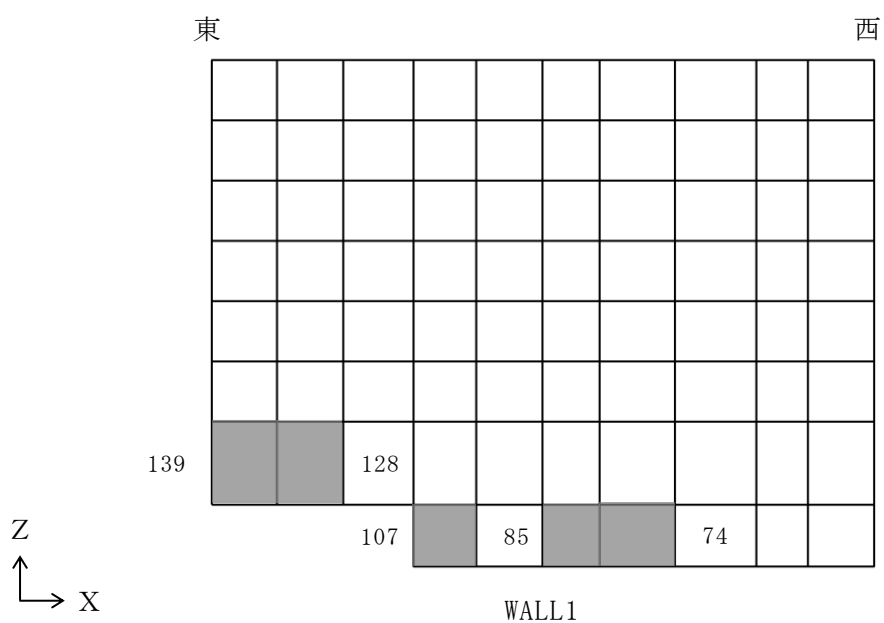


(a) 南側壁

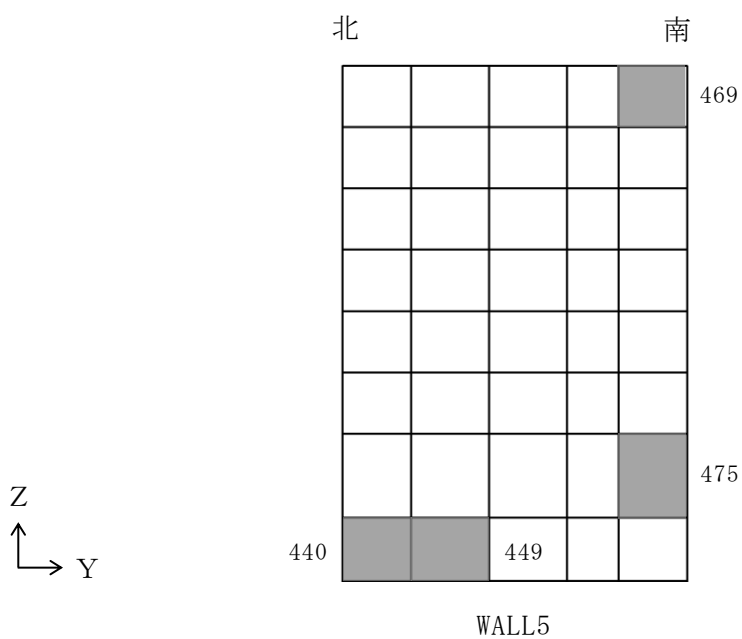


(b) 西側壁

図 3-1-8 選定した要素の位置
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)



(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 3-1-9 選定した要素の位置
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-10 燃料プールの壁の評価結果
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 要素 番号 | 組合せ ケース | 発生値 | 許容値 |
|-----|--------------------|---|----|----------|------------|-------|------|
| 南側壁 | 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 128 | 3-20 | 0.180 | 3.00 |
| | | 鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 水平 | 122 | 3-8 | 1.46 | 5.00 |
| | 軸力 | 圧縮応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 139 | 3-8 | 3.55 | 15.6 |
| | 面内せん断力 | 面内せん断応力度 (N/mm^2) | — | 107 | 3-20 | 2.58 | 4.39 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 74 | 3-17 | 0.557 | 1.41 |
| 西側壁 | 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 449 | 3-19 | 0.270 | 3.00 |
| | | 鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 449 | 3-19 | 1.78 | 5.00 |
| | 軸力 | 圧縮応力度 (N/mm^2) | 水平 | 469 | 3-12 | 1.38 | 15.6 |
| | 面内せん断力 | 面内せん断応力度 (N/mm^2) | — | 475 | 3-19 | 1.34 | 3.04 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 440 | 3-17 | 0.695 | 1.22 |

表 3-1-11 燃料プールの壁の評価結果
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

| 部位 | 評価項目 | | 方向 | 要素 番号 | 組合せ ケース | 発生値 | 許容値 |
|-----|-----------------------------------|---|----|----------|------------|-------|------|
| 南側壁 | 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力 | コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 128 | 2-12 | 0.170 | 3.00 |
| | | 鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 85 | 2-10 | 1.40 | 5.00 |
| | 軸力 | 圧縮応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 139 | 2-4 | 3.31 | 15.6 |
| | 面内せん断力 | 面内せん断応力度 (N/mm^2) | — | 107 | 2-12 | 2.37 | 4.39 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 74 | 2-9 | 0.550 | 1.42 |
| 西側壁 | 軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力 | コンクリート 圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 449 | 2-11 | 0.261 | 3.00 |
| | | 鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 鉛直 | 449 | 2-11 | 1.68 | 5.00 |
| | 軸力 | 圧縮応力度 (N/mm^2) | 水平 | 469 | 2-6 | 1.38 | 15.6 |
| | 面内せん断力 | 面内せん断応力度 (N/mm^2) | — | 475 | 2-9 | 1.31 | 3.02 |
| | 面外せん断力 | 面外せん断応力度 (N/mm^2) | 鉛直 | 440 | 2-11 | 0.694 | 1.22 |

(3) 原子炉建物基礎スラブの評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建物基礎スラブについて評価を行う。

評価にあたっては、 S_s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-9-3-4「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-10 及び図 3-1-11 に示す。

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-12 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s 地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

| | |
|--------------|------------------------------|
| G | : 固定荷重 |
| P | : 積載荷重 |
| $S_{S_{SN}}$ | : S→N方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む） |
| $S_{S_{NS}}$ | : N→S方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む） |
| $S_{S_{EW}}$ | : E→W方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む） |
| $S_{S_{WE}}$ | : W→E方向 S_s 地震荷重（地震時土圧を含む） |
| $S_{S_{UD}}$ | : 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重 |
| $S_{S_{DU}}$ | : 鉛直方向（上向き） S_s 地震荷重 |

基礎スラブの評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-13 及び図 3-1-14 に、評価結果を表 3-1-12 及び表 3-1-13 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が各許容値を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建物基礎スラブが有する耐震性への影響がないことを確認した。

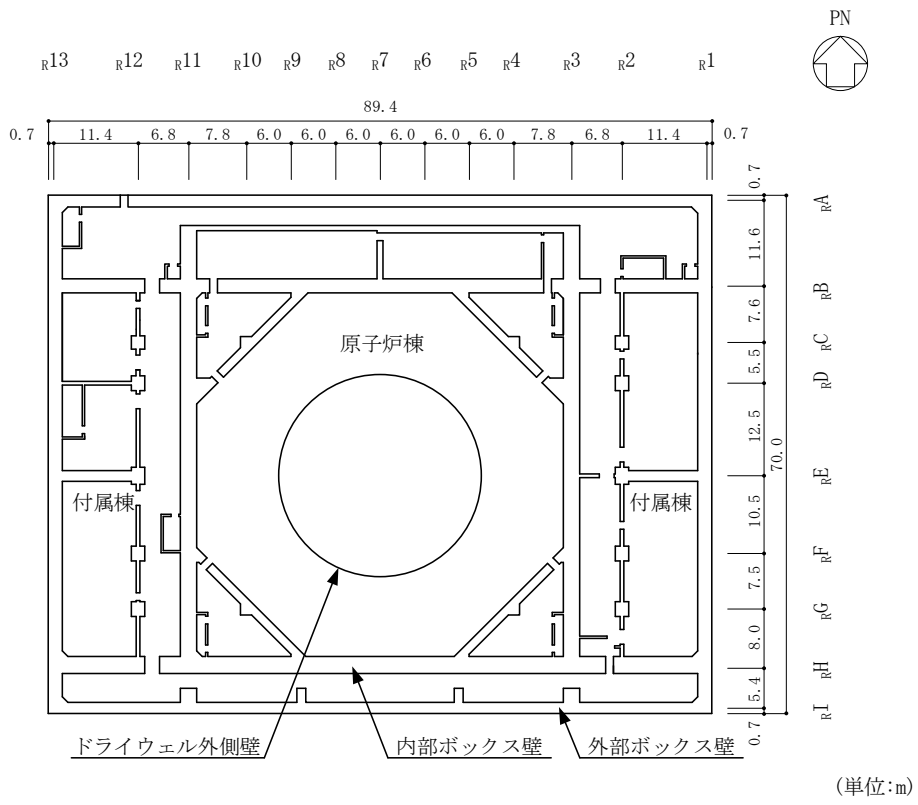
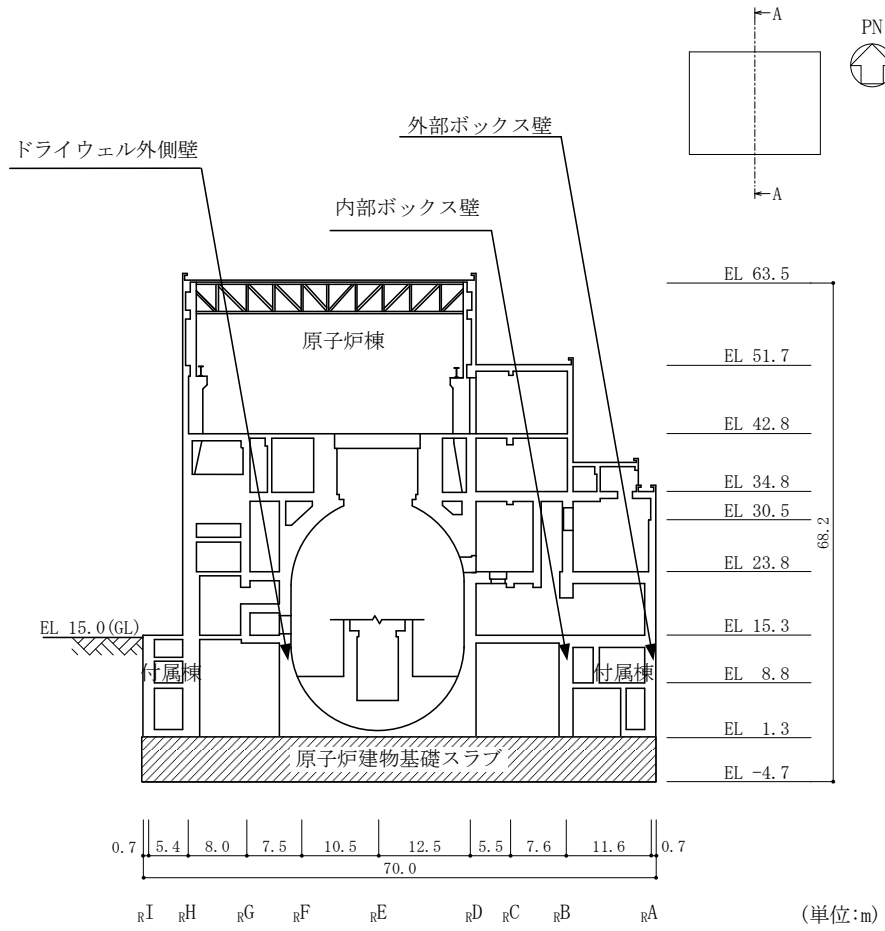
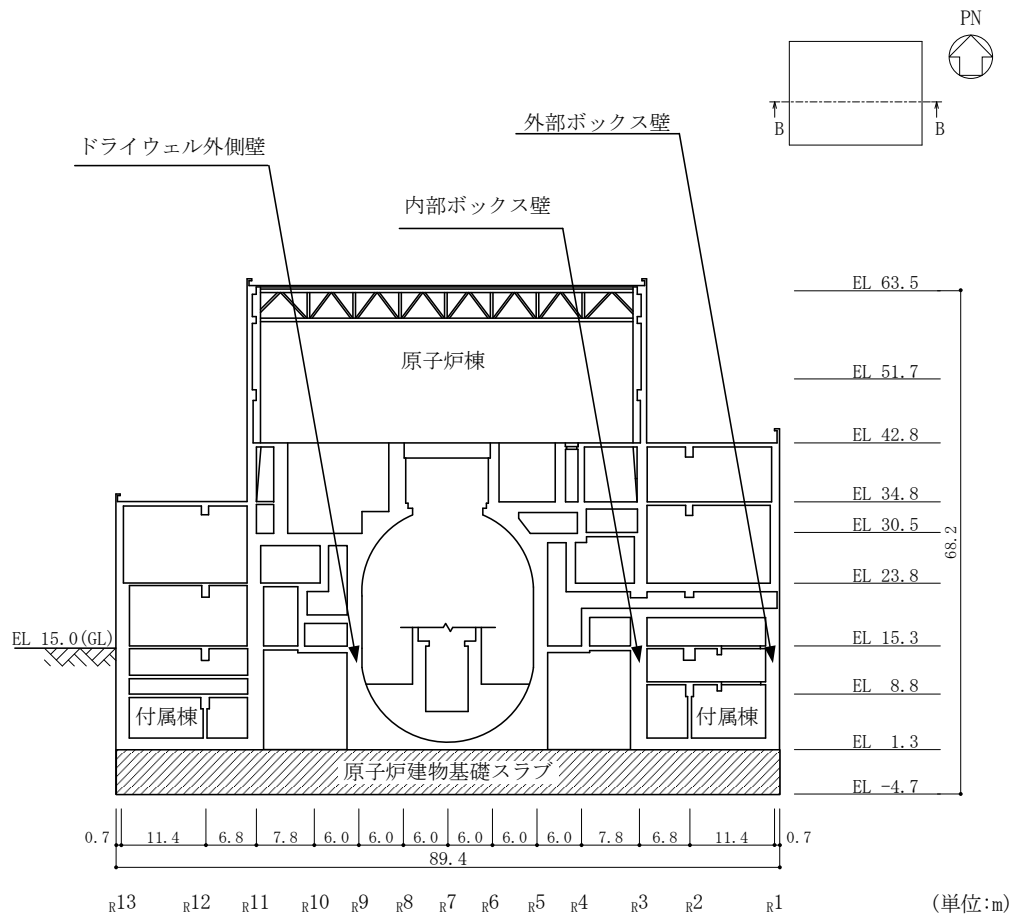


図 3-1-10 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m)



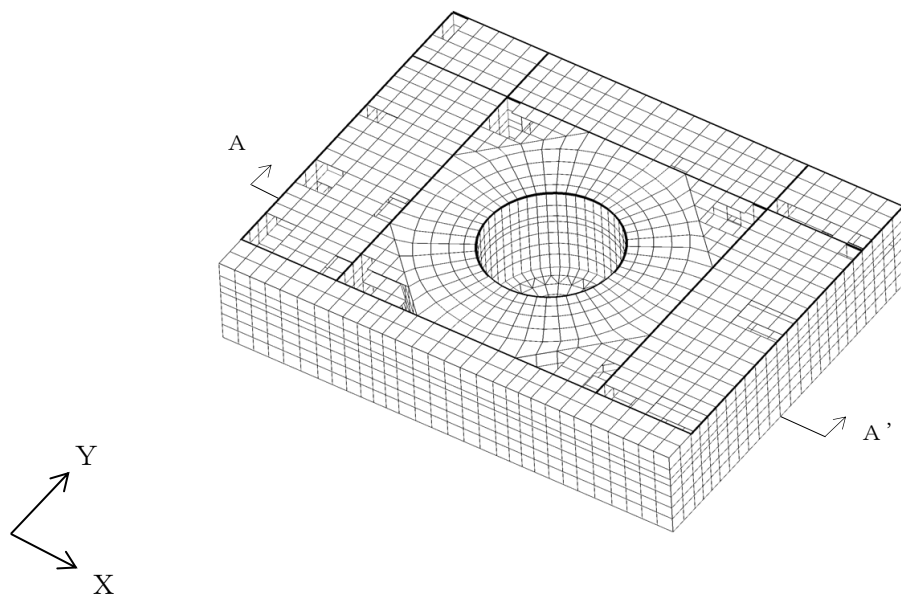
(a) A-A断面, NS方向

図 3-1-11(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図

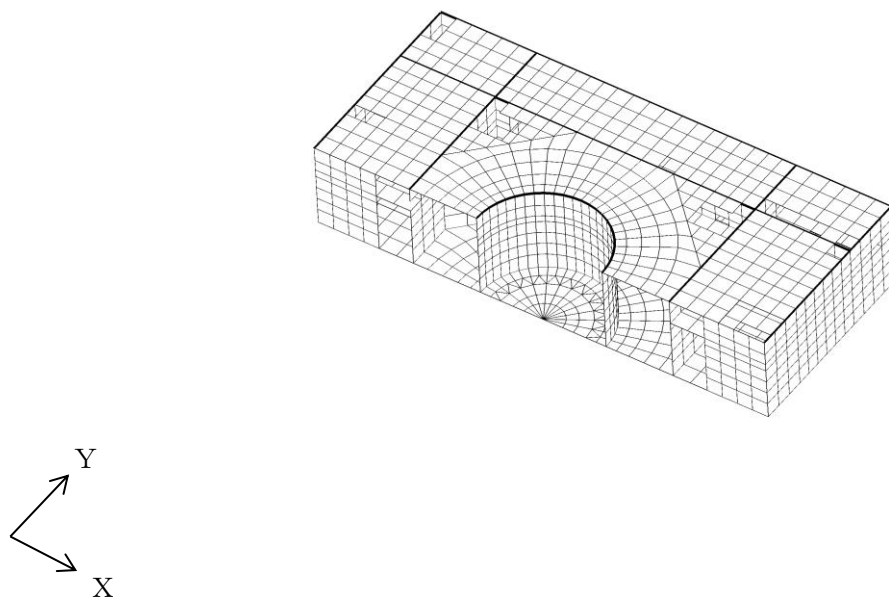


(b) B - B 断面, EW 方向

図 3-1-11(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図

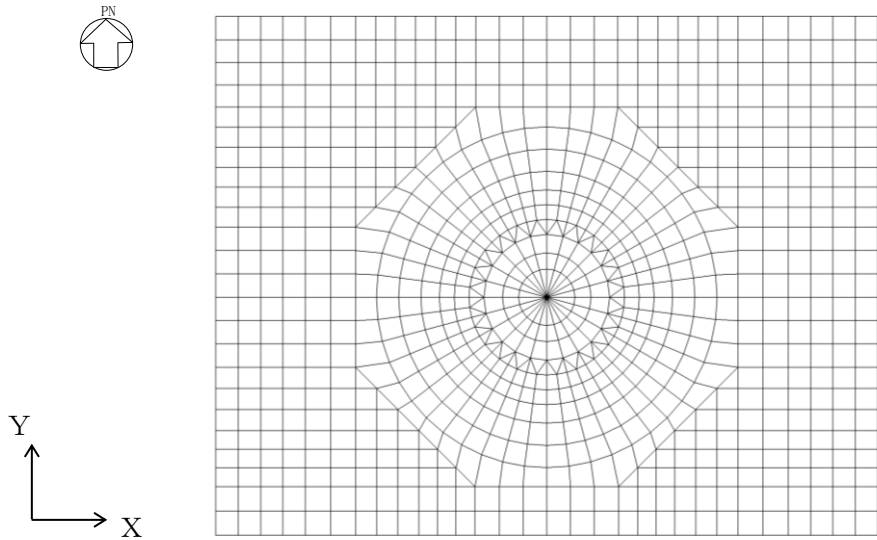


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1-12(1) 解析モデルの概要図



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 3-1-12(2) 解析モデルの概要図

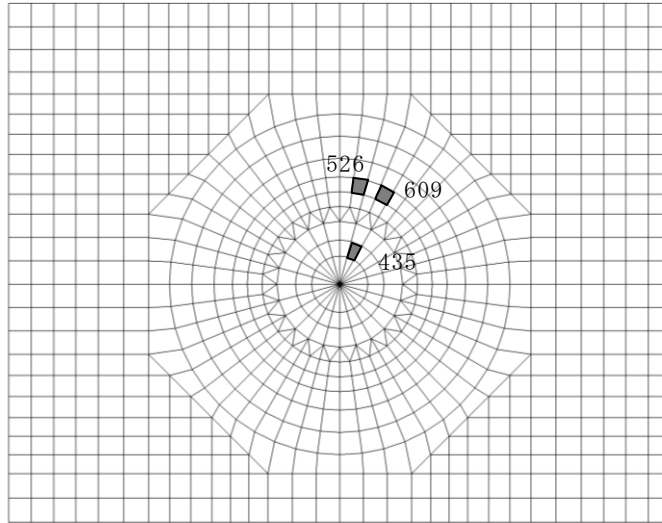


図 3-1-13 選定した要素の位置
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

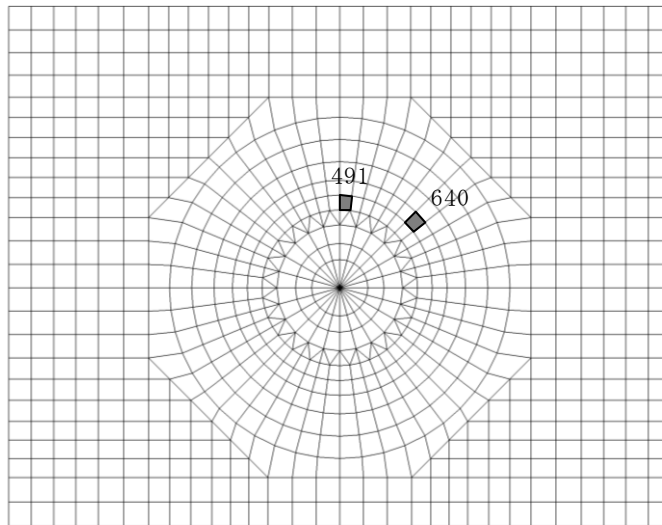


図 3-1-14 選定した要素の位置
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-12 原子炉建物基礎スラブの評価結果
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

| 評価項目 | | 方向 | 要素 番号 | 組合せ ケース | 発生値 | 許容値 |
|--------------------|---|-----|----------|------------|-------|------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | N S | 609 | 3-9 | 0.376 | 3.00 |
| | 鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 放射 | 435 | 3-10 | 0.317 | 5.00 |
| 面外せん断力 | 面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$) | N S | 526 | 3-10 | 13.0 | 16.7 |

表 3-1-13 原子炉建物基礎スラブの評価結果
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

| 評価項目 | | 方向 | 要素 番号 | 組合せ ケース | 発生値 | 許容値 |
|--------------------|---|-----|----------|------------|-------|------|
| 軸力 + 曲げモーメント | コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | N S | 640 | 1-2 | 0.297 | 3.00 |
| | 鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$) | 放射 | 491 | 1-2 | 0.221 | 5.00 |
| 面外せん断力 | 面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$) | N S | 491 | 1-1 | 7.79 | 10.4 |

3.1.5 原子炉建物 3次元FEMモデルによる面外応答の耐震壁への影響検討結果

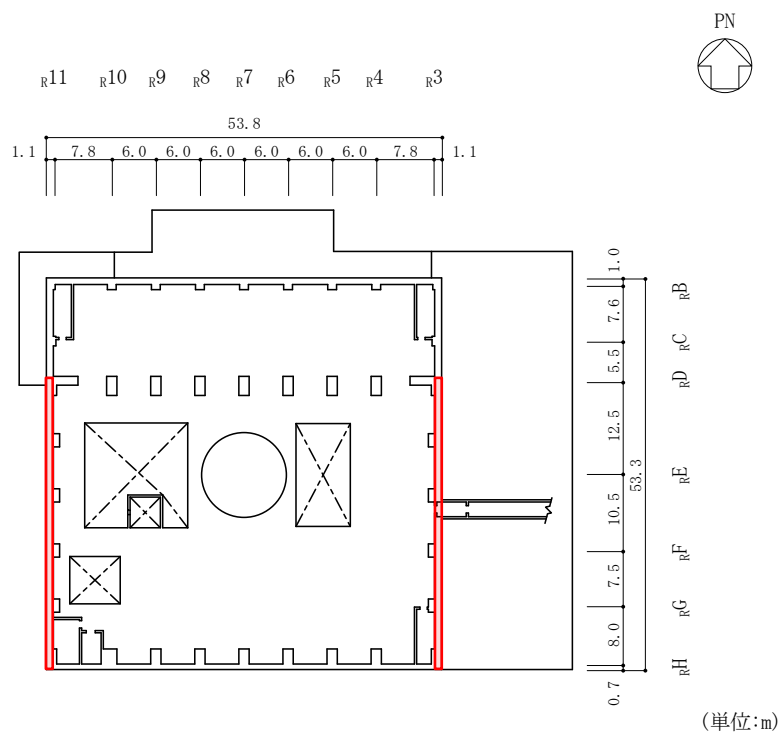
3次元FEMモデルの面外応答による影響検討対象として、原子炉建物燃料取替階レベルの壁を抽出し、面外応答による影響検討を行った結果、原子炉建物の燃料取替階レベルの東西面の壁には面外方向に大きな加速度が生じていることから、当該壁に対して、面外慣性力に対する断面の評価を行う。

S s地震時の耐震壁の評価については、「VI-2-9-3-1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」において、面内に生じるせん断ひずみが許容限界である 2.0×10^{-3} を超えないことを確認している。そこで、原子炉建物燃料取替階レベルの壁に対する面外慣性力の検討にあたっては、S s地震時の面外慣性力により鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であることを確認することで、面内に生じるせん断ひずみの評価に対して面外慣性力の影響が小さいことを確認する。

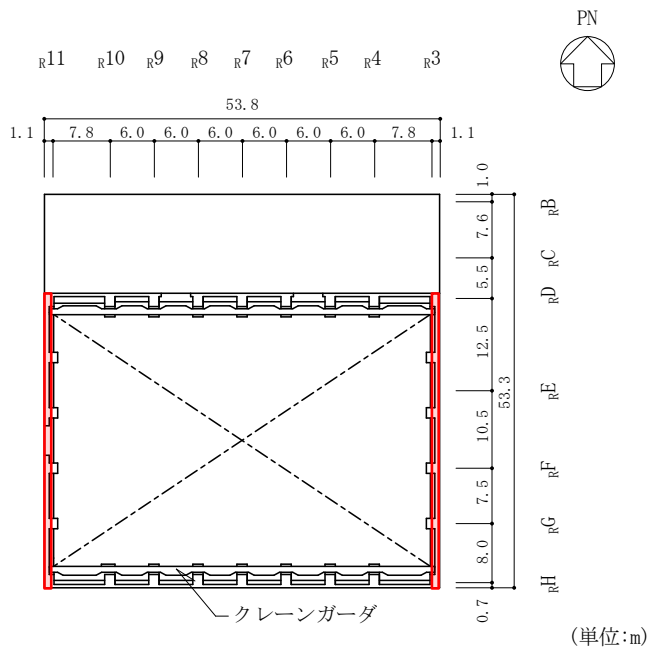
原子炉建物燃料取替階上部の概略平面図を図3-1-15に、解析モデルを図3-1-16に示す。解析モデルは、柱、はり及び床を境界条件として固定する。

評価結果を記載する部位は、面外慣性力によって生じる鉄筋応力度及び面外せん断力が最大となる部位とする。

評価結果を表3-1-14に示す。S s地震時の面外慣性力に対する原子炉建物燃料取替階レベルの壁の断面評価の結果、鉄筋に生じる応力度が弾性範囲内であり、面内に生じるせん断ひずみの評価に対して面外慣性力の影響は小さいことを確認した。



(a) EL 42.8m



(b) EL 51.7m

: 検討対象の壁を示す

図 3-1-15 原子炉建物燃料取替階上部の概略平面図

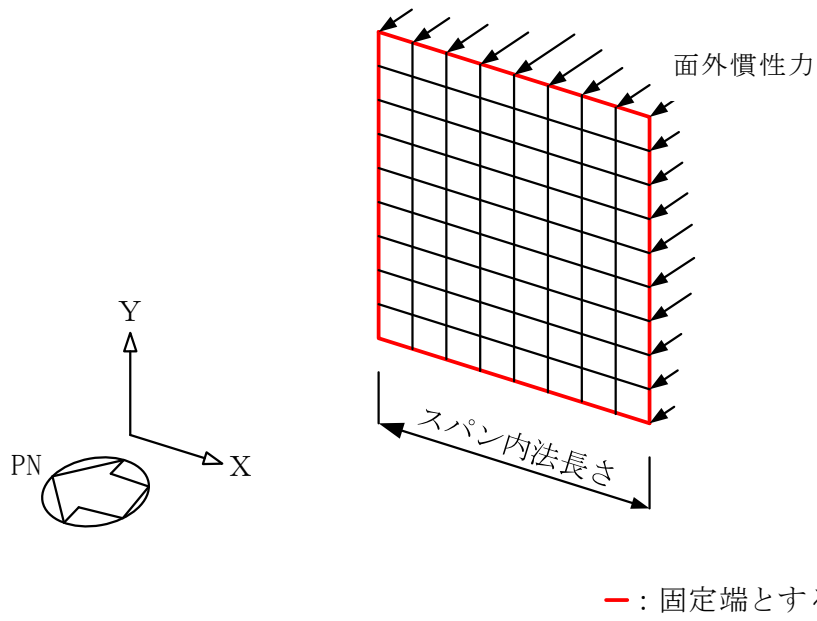


図 3-1-16 原子炉建物 3次元 FEMモデルによる面外応答の影響検討の解析モデル

表 3-1-14 耐震壁の評価結果
(S s 地震時, 面外慣性力)

| 検討ケース | | S s 地震時 | | | |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 検討位置 | | 東面壁 (R3 通り) | | 西面壁 (R11 通り) | |
| 厚さ t (mm) ×幅 b (mm) | | □ × 1000 | □ × 1000 | □ × 1000 | □ × 1000 |
| 有効せい d (mm) | | □ | □ | □ | □ |
| 配筋 | 縦筋 (鉄筋断面積) | D29@200 (3210 mm ² /m) | D35@200 (4785 mm ² /m) | D29@200 (3210 mm ² /m) | D35@200 (4785 mm ² /m) |
| | 横筋 (鉄筋断面積) | D25@200 (2535 mm ² /m) | D32@200 (3970 mm ² /m) | D25@200 (2535 mm ² /m) | D32@200 (3970 mm ² /m) |
| 曲げモーメント | 方向 | X 方向 | X 方向 | X 方向 | X 方向 |
| | 発生曲げ モーメント M (kN・m/m) | 283.8 | 155.5 | 217.9 | 195.8 |
| | 許容限界 (kN・m/m) | 462.3 | 1105.9 | 462.3 | 1105.9 |
| | 検定値 | 0.62 | 0.15 | 0.48 | 0.18 |
| 面外せん断力 | 方向 | X 方向 | X 方向 | X 方向 | Y 方向 |
| | 発生せん断力 Q (kN/m) | 368.2 | 257.4 | 304.3 | 288.0 |
| | 許容限界 (kN/m) | 867.9 | 1587.6 | 956.3 | 1587.6 |
| | 検定値 | 0.43 | 0.17 | 0.32 | 0.19 |
| 判定 | | 可 | 可 | 可 | 可 |

3.2 機器・配管系

3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を表 3-2-1 に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点

水平 1 方向の地震力に加えて、更に水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性のある設備を抽出する。以下の場合には、水平 2 方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる機器を分類しているが、水平 1 方向地震力による裕度が 1.1 未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

a. 水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き of 容器等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 1 方向の地震力しか負担しないものを分類した。

b. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

c. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等といえるもの

原子炉圧力容器スタビライザ、原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグは、

周方向 8 箇所を支持する構造で配置され、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。

d. 保守性（水平 2 方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から保守性を考慮した評価を実施しており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)(2)において影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS 法」

という。)又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- 従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- 設備(部位)によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは、水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- 応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項，3.3 項及び3.4 項における建物・構築物，屋外重要土木構造物等，津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果

3.2.1 項で検討した，水平2方向の地震力が重畳する観点，水平方向とその直行方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点，水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力増分の観点で，水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出した結果を表3-2-2に示す。

3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.2.1 項の観点から抽出される設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは，米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法又は組合せ係数法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて，以下の条件により水平2方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は，水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を各方向で算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

また，算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・発生値が地震以外の応力成分を含む場合，地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

3.2.1項の観点から3.2.3項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備ごとに以下に示し、その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表3-2-3に示す。

(1) 制御棒挿入性

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平1方向の燃料集合体の相対変位を用いて評価を実施している。水平2方向地震力による評価は、組合せ係数法(1.0:0.4)を用いて燃料集合体相対変位を算出し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

3.2.6 まとめ

機器・配管系において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備(部位)について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、工認耐震計算書の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、工認耐震計算書の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・工認耐震計算書の発生値(水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ)に対して、係数($\sqrt{2}$)を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数を乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。
- ・工認耐震計算書において水平各方向を包絡した床応答スペクトルを各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/11)

| 設備 | | 部位 |
|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 燃料集合体 | | 燃料被覆管 |
| 炉心支持構造物 | 炉心シュラウド | 上部胴 |
| | | 下部胴 |
| | | 中間胴 |
| | | 上部格子板支持面 炉心支持板支持面 |
| | シュラウドサポート | レグ |
| | | シリンダ プレート 下部胴 |
| | | 上部格子板 |
| | 炉心支持板 | グリッドプレート |
| 補強ビーム 支持板 スタッド | | |
| 燃料支持金具 | 中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具 | |
| 制御棒案内管 | 下部溶接部 長手中央部 | |
| 原子炉圧力容器 | 円筒胴 | 円筒胴 |
| | 下鏡 | 下鏡 |
| | | 下鏡と円筒胴の接合部 原子炉圧力容器支持スカートと円筒胴の接合部 |
| | 制御棒貫通孔 | ハウジング |
| | | スタブチューブ |
| | 原子炉中性子計装孔 | 原子炉中性子計装ハウジング |
| | ノズル | 各部位 |
| | ブラケット類 | スタビライザブラケット |
| | | 蒸気乾燥器支持ブラケット |
| | | 炉心スプレイブラケット |
| 給水スパーチャブラケット | | |
| 原子炉圧力容器基礎ボルト | 基礎ボルト | |
| 原子炉圧力容器支持スカート | 支持スカート | |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/11)

| 設備 | | 部位 |
|----------------------------------|---|--------------------------|
| 原子炉圧力容器付属構造物 | 原子炉圧力容器スタビライザ | ロッド |
| | | ブラケット |
| | 原子炉格納容器スタビライザ | パイプ |
| | | フランジボルト |
| | | ガセットプレート |
| | 制御棒駆動機構ハウジング支持金具 | レストレントビーム一般部 |
| | | レストレントビーム端部 |
| ジェットポンプ計測配管貫通部シール | 貫通部シール | |
| 差圧検出・ほう酸水注入系配管(ティーよりN11ノズルまでの外管) | 差圧検出管 | |
| 原子炉圧力容器内部構造物 | 蒸気乾燥器 | 蒸気乾燥器ユニット |
| | | 耐震用ブロック |
| | 気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 原子炉中性子計装案内管 | 各部位 |
| | スパージャ 炉内配管 | 各部位 |
| | ジェットポンプ | ライザ ディフューザ ライザブレース |
| 使用済燃料貯蔵ラック | ラック部材 (板, シートプレート及びラックベース) | |
| | ラック取付ボルト 基礎ボルト | |
| 制御棒・破損燃料貯蔵ラック | ラック | |
| | サポート | |
| | 底部基礎ボルト | |
| | サポート部基礎ボルト | |
| 燃料プール水位・温度(SA) | 架構 | |
| | 基礎ボルト | |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (3/11)

| 設備 | 部位 |
|--|---------------------|
| 燃料プール水位 (S A) | 検出器保護管 |
| | 検出器架台基礎ボルト |
| 燃料プール監視カメラ | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| 燃料プール監視カメラ用冷却設備 | 取付ボルト |
| アキュムレータ | 胴板 |
| | 脚 |
| 残留熱除去系熱交換器 | 胴板 |
| | ラグ |
| | 基礎ボルト |
| | 追設基礎ボルト |
| 立形ポンプ | コラムパイプ |
| | バレルケーシング |
| | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| ECCS ストレーナ 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ | 各部位 (フランジ, 取付ボルト以外) |
| | フランジ |
| | ボルト |
| ECCS ストレーナ部ティー 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー | ティー |
| | フランジ |
| ECCS ストレーナ取付部コネクタ | コネクタ |
| | フランジ |
| ECCS ストレーナ取付部サポート | サポートパイプ |
| | サポートパイプ溶接部 |
| | サポートプレート |
| | サポートボルト |
| 横形ポンプ 補機海水 ストレーナ ポンプ駆動用タービン 空調ファン 空調ユニット | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| | |
| | |
| | |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (4/11)

| 設備 | 部位 |
|-----------------------|------------|
| 原子炉補機冷却系熱交換器 | 胴板 |
| | 脚 |
| | 基礎ボルト |
| | 連結板 |
| 横置円筒形容器 | 胴板 |
| | 脚 |
| | 基礎ボルト |
| たて置円筒形容器 (スカート支持) | 胴板 |
| | スカート |
| | 基礎ボルト |
| 制御棒駆動機構 | フランジ |
| 水圧制御ユニット | フレーム |
| | 取付ボルト |
| 平底たて置円筒形容器 | 胴板 |
| | 基礎ボルト |
| 核計測装置 | 各部位 |
| 伝送器 (矩形床置) | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| 伝送器 (矩形壁掛) | 基礎ボルト |
| | 溶接部 |
| 伝送器 (サポート鋼材固定) | 取付ボルト |
| | 溶接部 |
| 制御盤, 電気盤 (矩形床置) | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| 制御盤, 電気盤 (矩形壁掛) | 取付ボルト |
| モニタリング設備 (矩形床置) | 取付ボルト |
| モニタリング設備 (矩形壁掛) | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| 通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形床置) | 基礎ボルト |
| 通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形壁掛) | 基礎ボルト |
| 中央制御室空調換気系配管 | ダクト本体 (矩形) |
| | ダクト本体 (円形) |
| | サポート |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/11)

| 設備 | | 部位 |
|-----------------------------|------------------|------------------------|
| 中央制御室待避室遮蔽 | | 構造フレーム (鉄骨, 鋼板) |
| | | 基礎ボルト |
| | | 遮蔽パネル接合部ボルト |
| | | 構造フレーム接合部高力ボルト |
| | | 遮蔽パネル 気密用鋼板 |
| 原子炉格納容器 | ドライウエル | ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部 |
| | | 円筒部とナックル部の接合部 |
| | | ナックル部と球形部の接合部 |
| | | 球形部の板厚変化部 |
| | | 球形部と円筒部の接合部 |
| | | 円筒部と球形部の接合部 |
| | | 円筒部 |
| | 基部 | |
| | サプレッションチェンバ | サプレッションチェンバ胴中央部上部 |
| | | サプレッションチェンバ胴中央部下部 |
| | | サプレッションチェンバ胴中央部内側 |
| | | サプレッションチェンバ胴中央部外側 |
| | | サプレッションチェンバ胴エビ継部上部 |
| サプレッションチェンバ胴エビ継部下部 | | |
| サプレッションチェンバ胴エビ継部内側 | | |
| サプレッションチェンバ胴エビ継部外側 | | |
| サプレッションチェンバ胴と内側サポート補強板との接合部 | | |
| サプレッションチェンバ胴と外側サポート補強板との接合部 | | |
| ベント管 | ヘッダ接続部 | |
| | ベント管円筒部 | |
| | ベント管とドライウエルとの接合部 | |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/11)

| 設備 | | 部位 |
|----------------|--------------------|---------------------------|
| 原子炉格納容器 | サプレッションチェンバサポート | サポート |
| | | ベースとベースプレートの接合部 |
| | | シアキー |
| | | ベースプレート |
| | | シアプレート |
| | | コンクリート |
| | ボルト | |
| | 基礎ボルト | |
| | シヤラグ | 内側メイルシヤラグ |
| | | 外側メイルシヤラグ |
| | | 内側フィメイルシヤラグ |
| | | 内側フィメイルシヤラグリブ付根部 |
| | | 外側フィメイルシヤラグ |
| | | 内側メイルシヤラグ接触部 |
| | | 外側メイルシヤラグ接触部 |
| | | 内側フィメイルシヤラグ接触部 |
| | | 外側フィメイルシヤラグ接触部 |
| | | コンクリート(ベースプレート部, シヤプレート部) |
| | 基礎ボルト | |
| | ベースプレート | |
| シヤプレート | | |
| 内側シヤラグサポート | | |
| シヤラグ取付部 | | |
| ハッチ類 | ハッチ円筒胴 | |
| | ハッチ本体と補強板との結合部 | |
| 原子炉格納容器配管貫通部 | 原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部 | |
| 原子炉格納容器電気配線貫通部 | ドライウェルとスリーブとの結合部 | |
| 真空破壊装置 | スリーブ | |
| | スリーブとベント管との結合部 | |
| ダウンコマ | ダウンコマ | |
| | ベントヘッドとダウンコマの結合部 | |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/11)

| 設備 | 部位 |
|--------------------|-------------------|
| ベントヘッド | ベントヘッド |
| | ベントヘッド強め輪取付部 |
| | ベントヘッドサポート |
| | 強め輪 |
| | ピン |
| ドライウェルスプレイ管 | 上部スプレイ管案内管 |
| | 上部スプレイ管ティー部 |
| | 上部スプレイ管案内管サポート |
| | 下部スプレイ管 |
| | 下部スプレイ管案内管 |
| | 下部スプレイ管ティー部 |
| | 下部スプレイ管サポート |
| サブプレッションチェンバースプレイ管 | スプレイ管 |
| | スプレイ管えび状の管部 |
| | スプレイ管ティー部 |
| | スプレイ管案内管 |
| | スプレイ管サポート |
| ブローアウトパネル閉止装置 | シャフト |
| | コネクタ |
| | 軸受取付ボルト |
| | 駆動部取付ボルト 取付ボルト |
| 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ | ブレース |
| | ベース取付溶接部 |
| 可燃性ガス濃度制御系再結合装置 | 基礎ボルト |
| 静的触媒式水素処理装置 | 静的触媒式水素処理装置本体 |
| | 架台 |
| | 取付ボルト |
| | 基礎ボルト |
| 遠隔手動弁操作設備 | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| ディーゼル発電機 | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |
| ガスタービン発電機 | 基礎ボルト |
| | 取付ボルト |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/11)

| 設備 | 部位 |
|--|-------------------------|
| その他電源設備 | 基礎ボルト 取付ボルト |
| 配管本体, サポート (多質点はりモデル解析) | 配管, サポート |
| 防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側) | ヒンジ部 (ヒンジ板) |
| | ヒンジ部 (ヒンジピン) |
| | ヒンジ部 (ヒンジボルト) |
| | カンヌキ部 |
| | アンカーボルト |
| 1号機取水槽流路縮小工 | 縮小板 |
| | ボルト |
| 屋外排水路逆止弁 | 扉体 |
| | 固定部 |
| 取水槽除じん機エリア水密扉 (北) | ヒンジ部 締付装置 アンカーボルト |
| 取水槽除じん機エリア水密扉 (東) 取水槽除じん機エリア水密扉 (西) | 壁部 固定部 アンカーボルト |
| 水密扉 (建物内, 燃料移送ポンプエリア) | ヒンジ部 |
| | カンヌキ部 |
| | アンカーボルト |
| | パネル部 (パネル板) |
| | パネル部 (パネル芯材) |
| | パネル部 (柱, はり) |
| | パネル部 (アンカーボルト) |
| 床ドレン逆止弁 | 弁本体 |
| | フロートガイド |
| | 基礎ボルト |
| 漏えい検知器 | 基礎ボルト |
| 堰 (柱支持型) | 鋼板 |
| | はり材 |
| | 柱材 |
| | アンカーボルト |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/11)

| 設備 | 部位 |
|-----------------------------|---------------------|
| 堰 (鋼板折曲げ型) | 鋼板 |
| | アンカーボルト |
| 堰 (鉄筋コンクリート製) | アンカー筋 |
| | 主筋 |
| | 堰底部のコンクリート |
| 防水板 | 鋼板 |
| | 芯材 |
| | アンカーボルト |
| 貫通部止水処置 | モルタル |
| | 電路貫通部金属ボックスのアンカーボルト |
| 取水槽水位計 | 取付ボルト |
| 津波監視カメラ | 据付ボルト |
| 原子炉本体の基礎 | 円筒部 |
| | たてリブ |
| | 基礎ボルト |
| | ベースプレート |
| 建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護ネット対策設備) | フレーム |
| | アンカーボルト |
| 建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護鋼板対策設備) | フレーム |
| | アンカーボルト |
| 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 | 鋼板 |
| | 架構 |
| | アンカーボルト |
| 取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備 | 鋼板 |
| | 架構 |
| | アンカーボルト |
| 原子炉建物天井クレーン | クレーン本体ガーダ |
| | 落下防止ラグ |
| | トロリストッパ |
| | トロリ |
| | 吊具 |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/11)

| 設備 | 部位 |
|---------------|--------------------|
| 燃料取替機 | 燃料取替機構造物フレーム |
| | ブリッジ脱線防止ラグ (本体) |
| | トロリ脱線防止ラグ (本体) |
| | 走行レール 横行レール |
| チャンネル着脱装置 | ブリッジ脱線防止ラグ (取付ボルト) |
| | トロリ脱線防止ラグ (取付ボルト) |
| | 吊具 (ワイヤロープ) |
| | 吊具 (先端金具) |
| チャンネル取扱ブーム | ガイドレール |
| | カート |
| | 固定ボルト |
| | ローラチェーン |
| 制御棒貯蔵ハンガ | ブーム |
| | 回転ポスト |
| | 固定ポスト |
| | 基礎ボルト |
| 原子炉浄化系補助熱交換器 | 制御棒落下防止ポール |
| | ポール支持金具 |
| | 基礎ボルト |
| 中央制御室天井照明 | 胴板 |
| | 脚 |
| | 基礎ボルト |
| | 追設基礎ボルト |
| タービン補機冷却系熱交換器 | 補強材 |
| | 支持鋼材 |
| | 補強斜材 |
| | 取付ボルト (照明ボルト) |
| | 継手ボルト |
| | 基礎ボルト |
| タービン補機冷却系熱交換器 | 溶接部 |
| | 脚 |
| | 基礎ボルト |
| タービン補機冷却系熱交換器 | 追設基礎ボルト |

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (11/11)

| 設備 | 部位 |
|---------------|------------|
| 主排気ダクト | ダクト本体 |
| | 支持構造物部材 |
| | 支持装置 |
| 取水槽ガントリクレーン | ガーダ |
| | 脚 |
| | 転倒防止装置 |
| | トロリ |
| | 吊具 |
| | 制震ダンパ |
| 除じん機 | 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 |
| | 尾軸受取付ボルト |
| 原子炉ウェルシールドプラグ | シールドプラグ本体 |
| | 支持部 |
| 耐火障壁 | フレーム部材 |
| | 基礎ボルト |
| ガンマ線遮蔽壁 | 胴基部 |
| | 開口集中部 |

表3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(1) 構造強度評価
対象設備なし

(2) 機能維持評価

(凡例) ○：影響の可能性あり
△：影響軽微

| 設備 | 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | 検討結果 |
|--------|---|--|-----------------|
| | 3.2.1 項(1)水平2方向の地震力が重畳する観点及び(2)の観点水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点 | 3.2.1 項(3)水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 | |
| 制御棒挿入性 | ○ | ○ | 影響評価結果は表3-2-3参照 |

表3-2-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

(1) 構造強度評価
対象設備なし

(2) 機能維持評価

| 評価対象設備 | 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | 備考 |
|--------|-----------------------|---------------|---------|------------|
| | 1方向入力 相対変位 | 2方向想定 相対変位 | 確認済相対変位 | |
| 制御棒挿入性 | 35.0 | 35.8 | 40 | ○ 単位：mm |

3.3 屋外重要土木構造物等

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(1) 構造形式の分類

図3-3-1に屋外重要土木構造物等*の配置図を示す。

屋外重要土木構造物等は、その構造形式より 1)箱型構造物、2)線状構造物、3)円筒状構造物、4)直接基礎及び5)管路構造物の5つに大別される。

屋外重要土木構造物等の構造形式を表3-3-1に示す。

注記*：屋外重要土木構造物、重大事故等対処施設のうち土木構造物及び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土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。

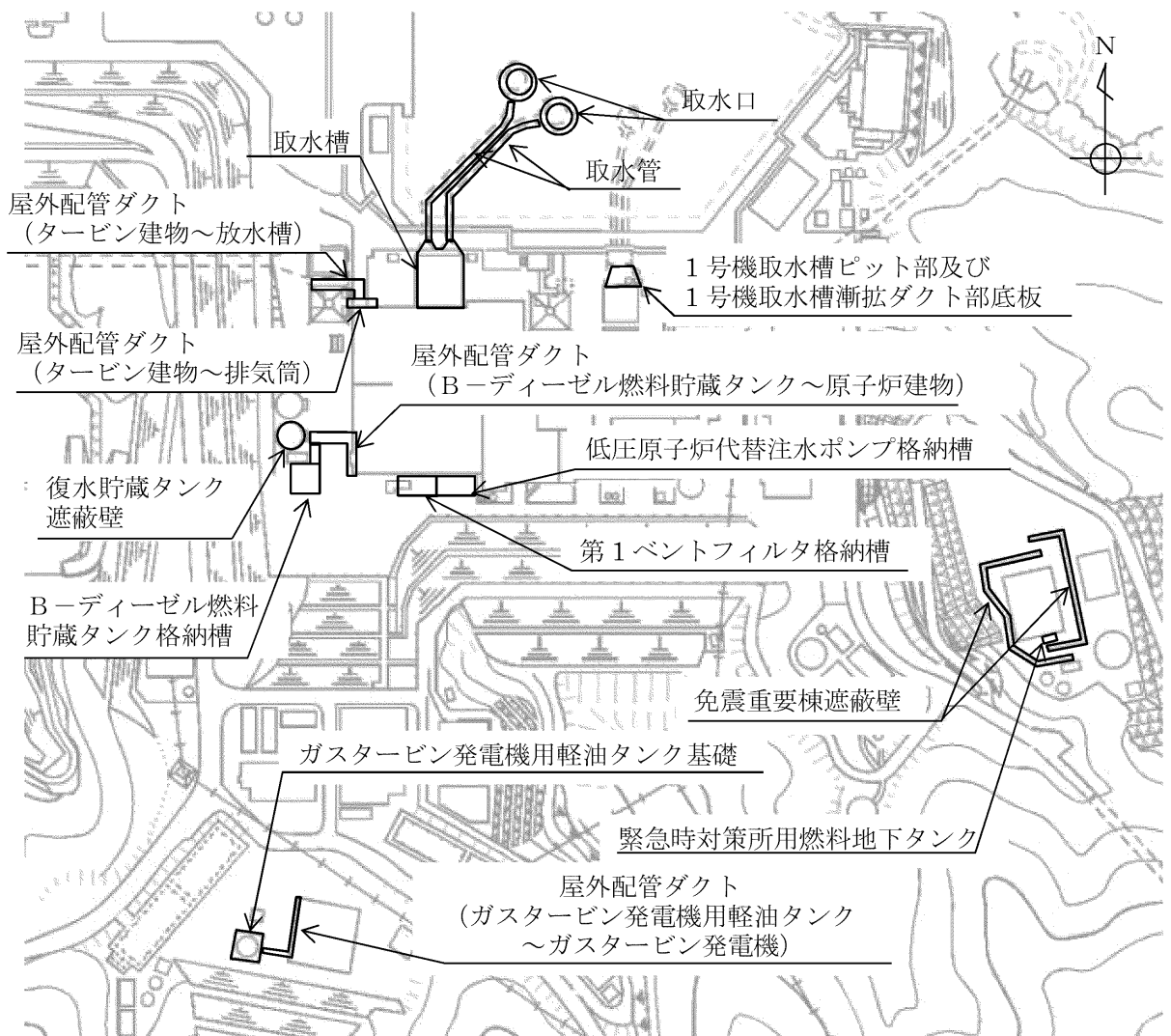


図3-3-1 屋外重要土木構造物等 配置図

表 3-3-1 屋外重要土木構造物等の構造形式

| 構造物名称 | 要求機能 | | | | |
|---|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|
| | 1)箱型 構造物 | 2)線状 構造物 | 3)円筒状 構造物 | 4)直接 基礎 | 5)管路 構造物 |
| 取水槽 | ○ | | | | |
| 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) | | ○ | | | |
| B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 | ○ | | | | |
| 屋外配管ダクト (B-ディー ゼル燃料貯蔵タンク ～原子炉建物) | | ○ | | | |
| 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) | | ○ | | | |
| 取水管 | | | | | ○ |
| 取水口 | | | ○ | | |
| 第1ベントフィルタ格納槽 | ○ | | | | |
| 低圧原子炉代替 注水ポンプ格納槽 | ○ | | | | |
| 緊急時対策所用 燃料地下タンク | ○ | | | | |
| ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎 | | | | ○ | |
| 屋外配管ダクト (ガスタービ ン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機) | | ○ | | | |
| 免震重要棟遮蔽壁 | | ○ | | | |
| 復水貯蔵タンク遮蔽壁 | | | ○ | | |
| 1号機取水槽ピット部及び1 号機取水槽漸拡ダクト部底版 | ○ | | | | |

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3-3-2 に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。
 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表 3-3-2 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

| 作用荷重 | | 作用荷重のイメージ* |
|-----------|--|------------|
| ①動土圧及び動水圧 | 従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧 | |
| ②摩擦力 | 周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力 | |
| ③慣性力 | 躯体に作用する慣性力 | |

注記*：作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 3-3-3 に、3.3.1(1)で整理した構造形式ごとに、3.3.1(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

評価対象構造物の地震時の挙動は、躯体が主に地中に埋設されることから、周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1(2)で整理した荷重のうち「②摩擦力」や「③慣性力」は、「①動土圧及び動水圧」と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「①動土圧及び動水圧」による影響を考慮する。ただし、「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」のうち、地上に設置されている構造物の場合、「③慣性力」の影響が大きくなることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、「③慣性力」による影響を考慮する。

「1)箱型構造物」は、妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有することから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用する。

「2)線状構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻壁（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。

「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」については、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」が作用し、図 3-3-2 に示すように水平 2 方向入力による応力の集中が考えられる。同様に、「3)円筒状構造物」及び「4)直接基礎」のうち地上に設置されている構造物については、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「③慣性力」が作用することによる応力の集中が考えられる。

「5)管路構造物」については、その構造上の特徴として、妻壁等を有さない若しくは妻側（小口）の面積が小さいことから、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する「①動土圧及び動水圧」は作用しない。一方、取水管は延長が長い構造であることから、従来設計手法において、管軸方向と管軸直角方向の応力を合成した応力評価を実施しており、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を同時に作用させて評価を行っている。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、「1)箱型構造物」、「3)円筒状構造物」、「4)直接基礎」、及び「5)管路構造物」を抽出する。

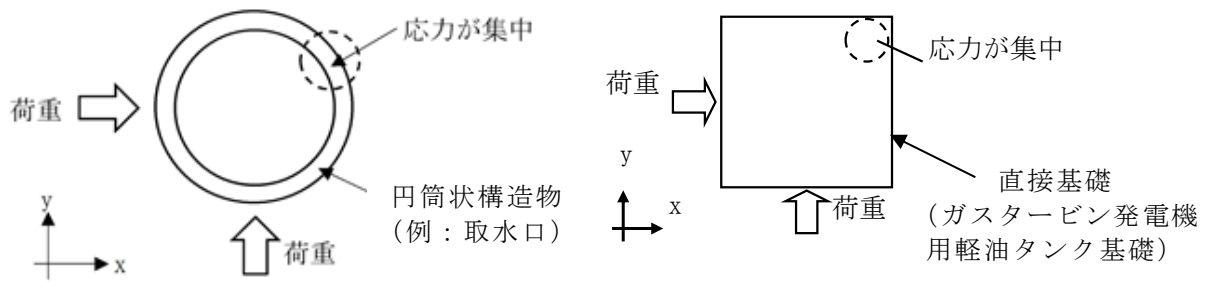


図 3-3-2 円筒状構造物及び直接基礎にかかる応答特性

表 3-3-3(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

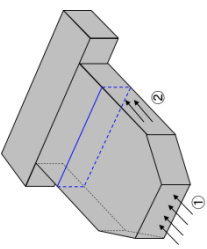
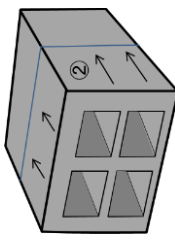
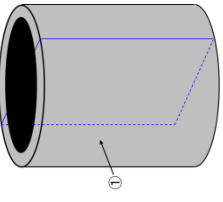
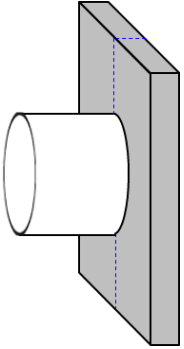
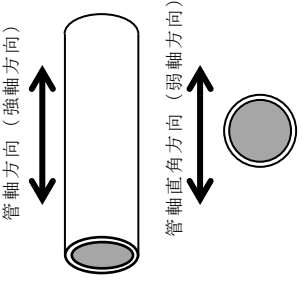
| 構造形式の分類 | 1) 箱型構造物 | | 2) 縦状構造物 | | 3) 円筒状構造物 | |
|---------|--|--|--|--|-----------|--|
| | 取水槽 ・ B-デューゼル燃料貯蔵タンク格納槽 ・ 第 1 ペントフトイルタ格納槽 ・ 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 ・ 緊急時対策所用燃料地下タンク ・ 1 号機取水槽ピット部及び 1 号機取水槽漸拡ダクト部底版 | ・ 屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒) ・ 屋外配管ダクト(B-デューゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物) ・ 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽) ・ 屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機) ・ 免震重要棟遮蔽壁 | ・ 取水口 ・ 復水貯蔵タンク 遮蔽壁 | | | |
| 荷重の作用状況 |  <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> |  <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> |  <p>— 従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> | | | |
| | <p>①動土圧及び動水圧 妻壁に作用</p> <p>②摩擦力 側壁に作用</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材(妻壁)を有し、「①動土圧及び動水圧」による荷重が作用するため影響大。</p> | <p>①動土圧及び動水圧 側壁、頂版に作用</p> <p>②摩擦力 全ての部材に作用</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有せず、「①動土圧及び動水圧」による荷重が作用しないため影響小。</p> | <p>①動土圧及び動水圧 作用する</p> <p>②摩擦力 作用しない</p> <p>③慣性力 全ての部材に作用</p> <p>従来設計手法における耐震評価に対して、直交する荷重として「①動土圧及び動水圧」又は「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。</p> | | | |
| 抽出結果 | ○ | × | ○ | | | |

表 3-3-3-3(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

| 構造形式の分類 | 4) 直接基礎 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 | 5) 管路構造物 取水管 |
|-------------------------------|--|---|
| 荷重の作用状況 |  <p>従来設計手法における評価対象断面</p> <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用</p> <p>①動土圧及び動水圧 作用しない ②摩擦力 作用しない ③慣性力 全ての部材に作用</p> |  <p>(注) ③慣性力は全ての構造部材に作用 作用しない</p> <p>①動土圧及び動水圧 側壁、頂版に作用 ②摩擦力 ③慣性力 全ての部材に作用</p> |
| 従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度 | 従来設計手法における耐震評価に対して、「①動土圧及び動水圧」又は「③慣性力」による荷重が作用するため影響大。 | 従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず、 ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。 また、管軸方向と管軸直角方向の応力を合成了た応力評価を実施しており、従来設計手法において水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せが考慮されている。 |
| 抽出結果 | ○ | ○ |

- (4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所
の抽出

(3)で抽出しなかった構造形式である線状構造物について、構造物ごとの平面図及び断面図を以下に示す。各構造物の構造、地盤条件等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。

a. 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

図 3-3-3～3-3-7 に屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3 次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

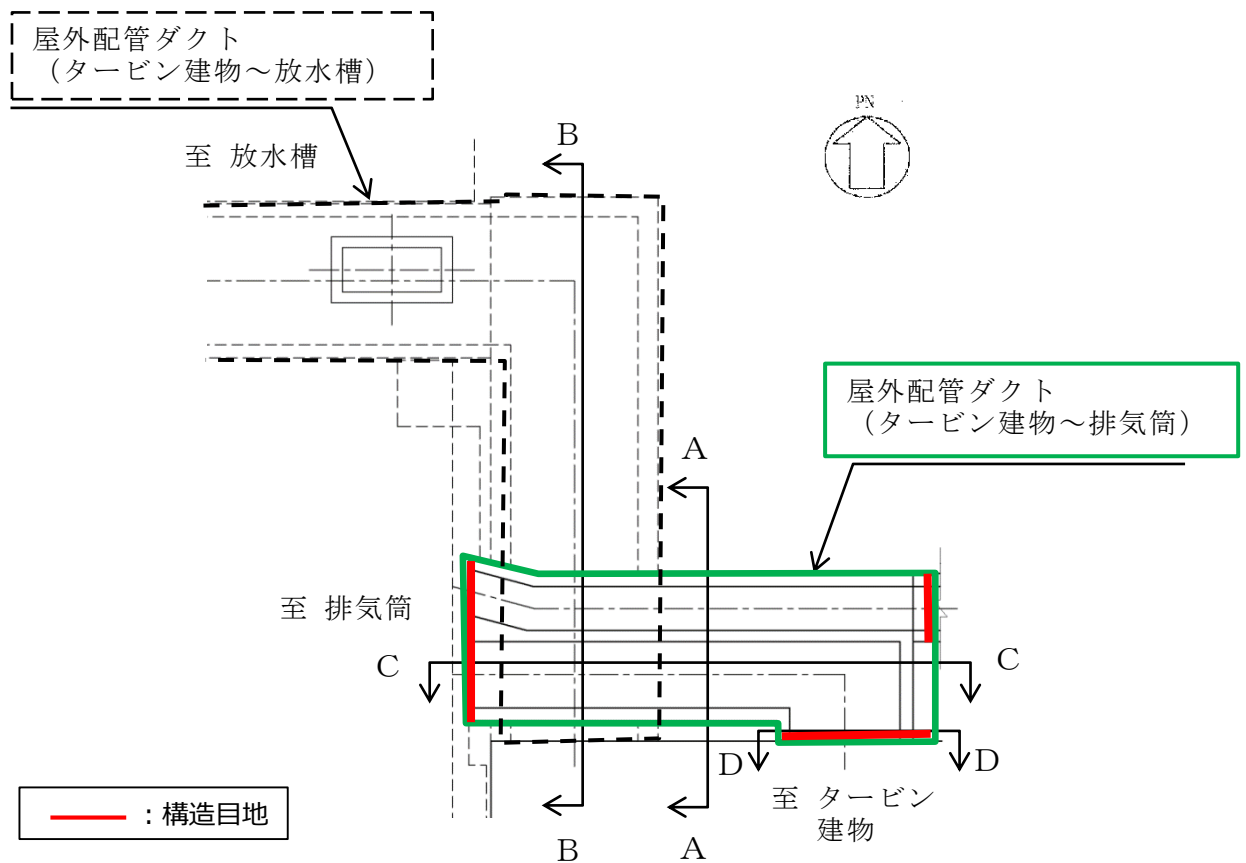


図 3-3-3 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 平面図

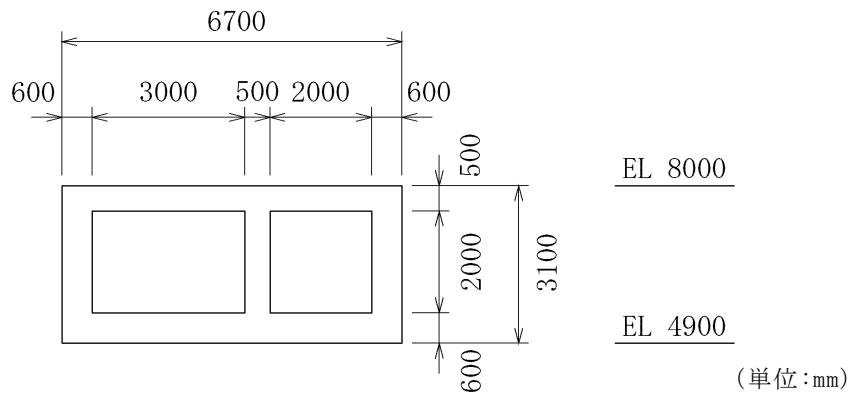


図 3-3-4 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図（A-A 断面）

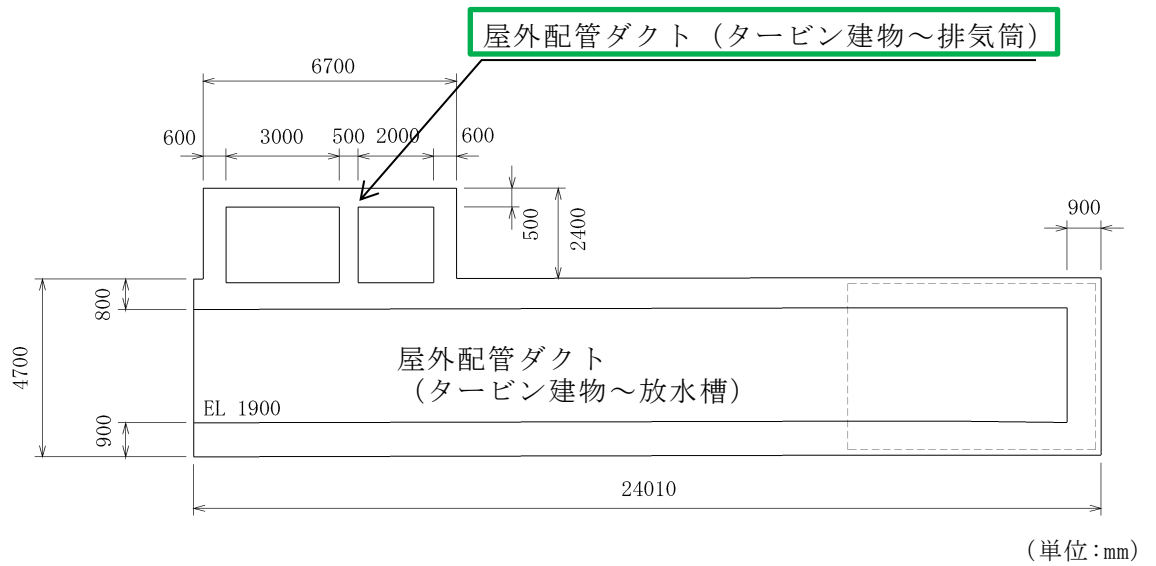


図 3-3-5 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図（B-B 断面）

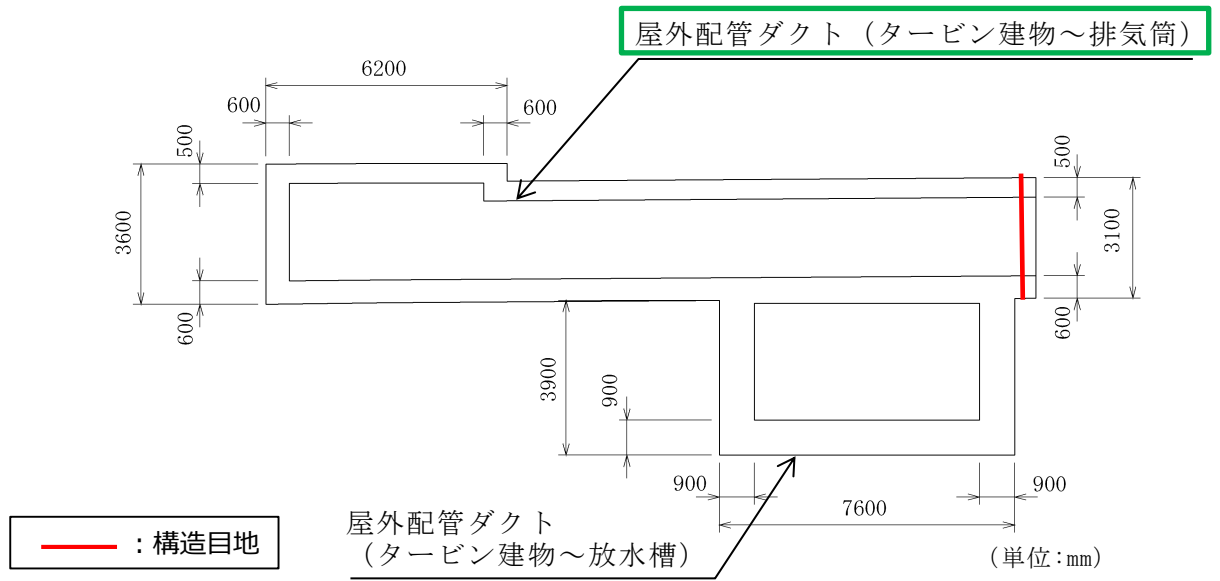


図 3-3-6 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C 断面)

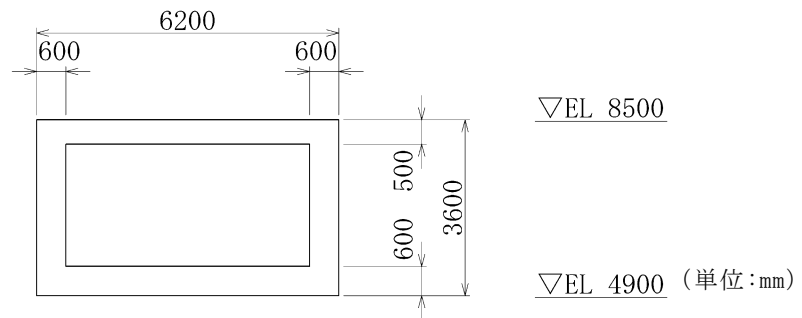


図 3-3-7 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (D-D 断面)

b. 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

図3-3-8～3-3-13に屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

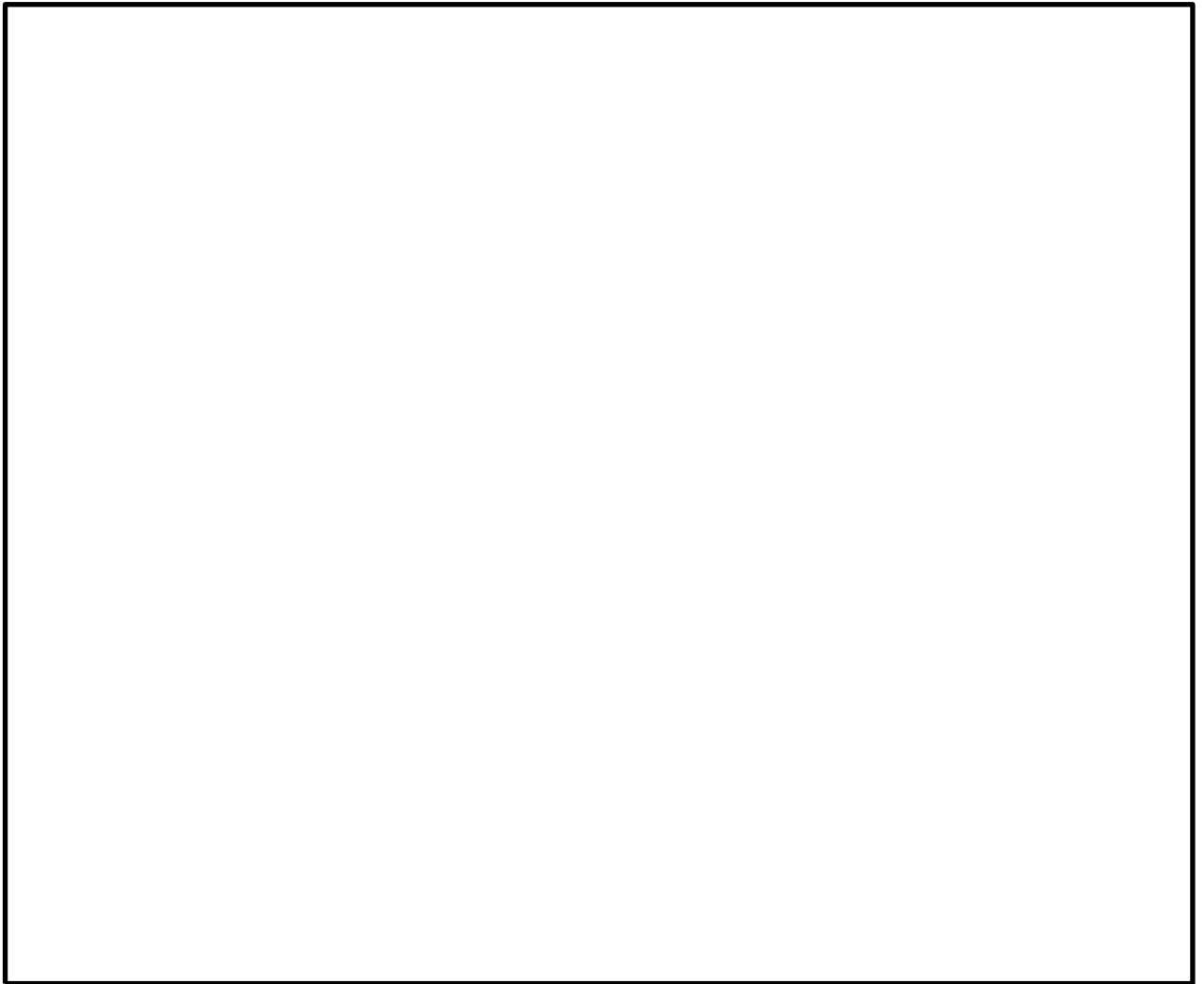


図3-3-8 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）
平面図

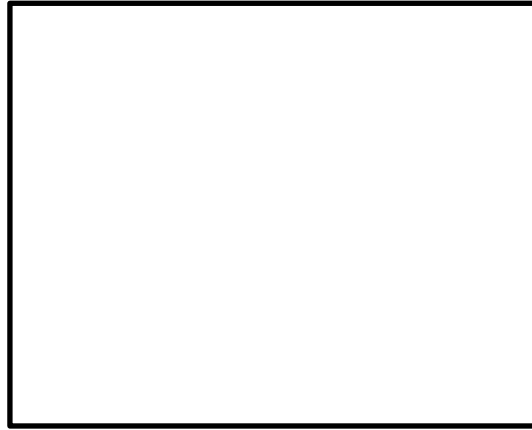


図 3-3-9 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (A-A 断面)



図 3-3-10 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (B-B 断面)

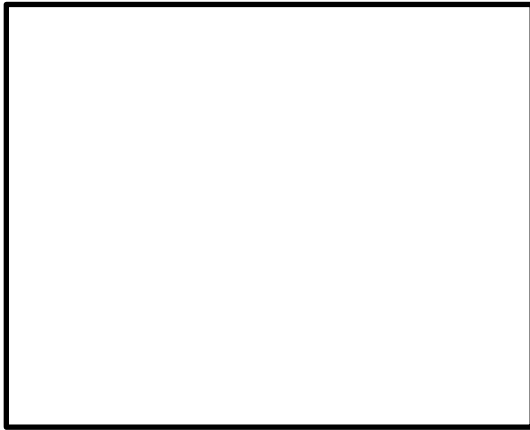


図 3-3-11 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (C-C 断面)



図 3-3-12 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (D-D 断面)

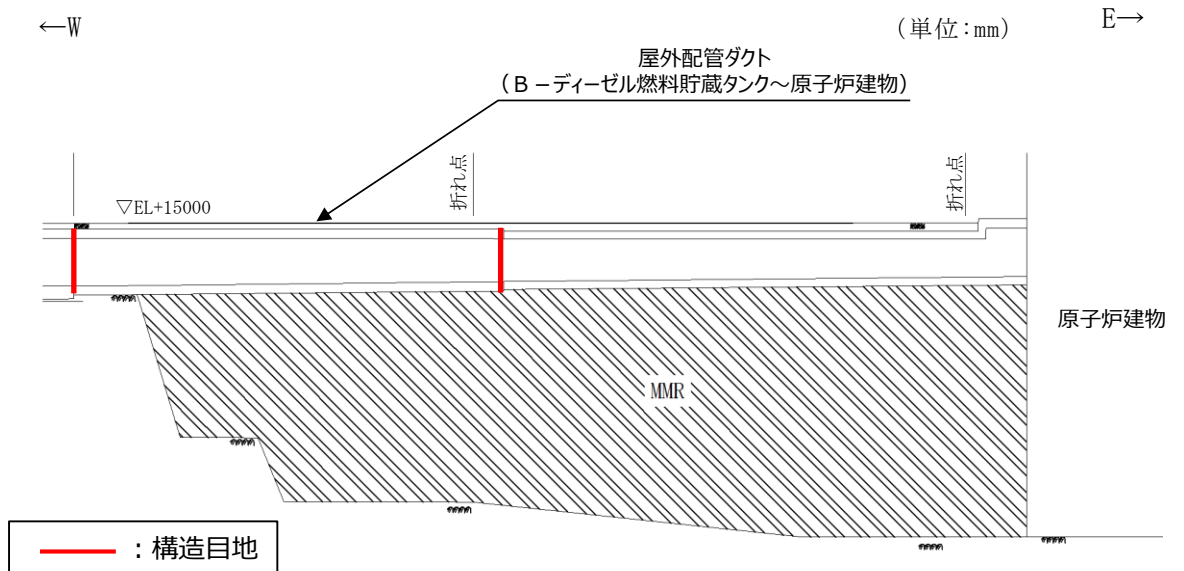


図 3-3-13 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)
断面図 (E-E 断面)

c. 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）

図 3-3-14～3-3-18 に屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

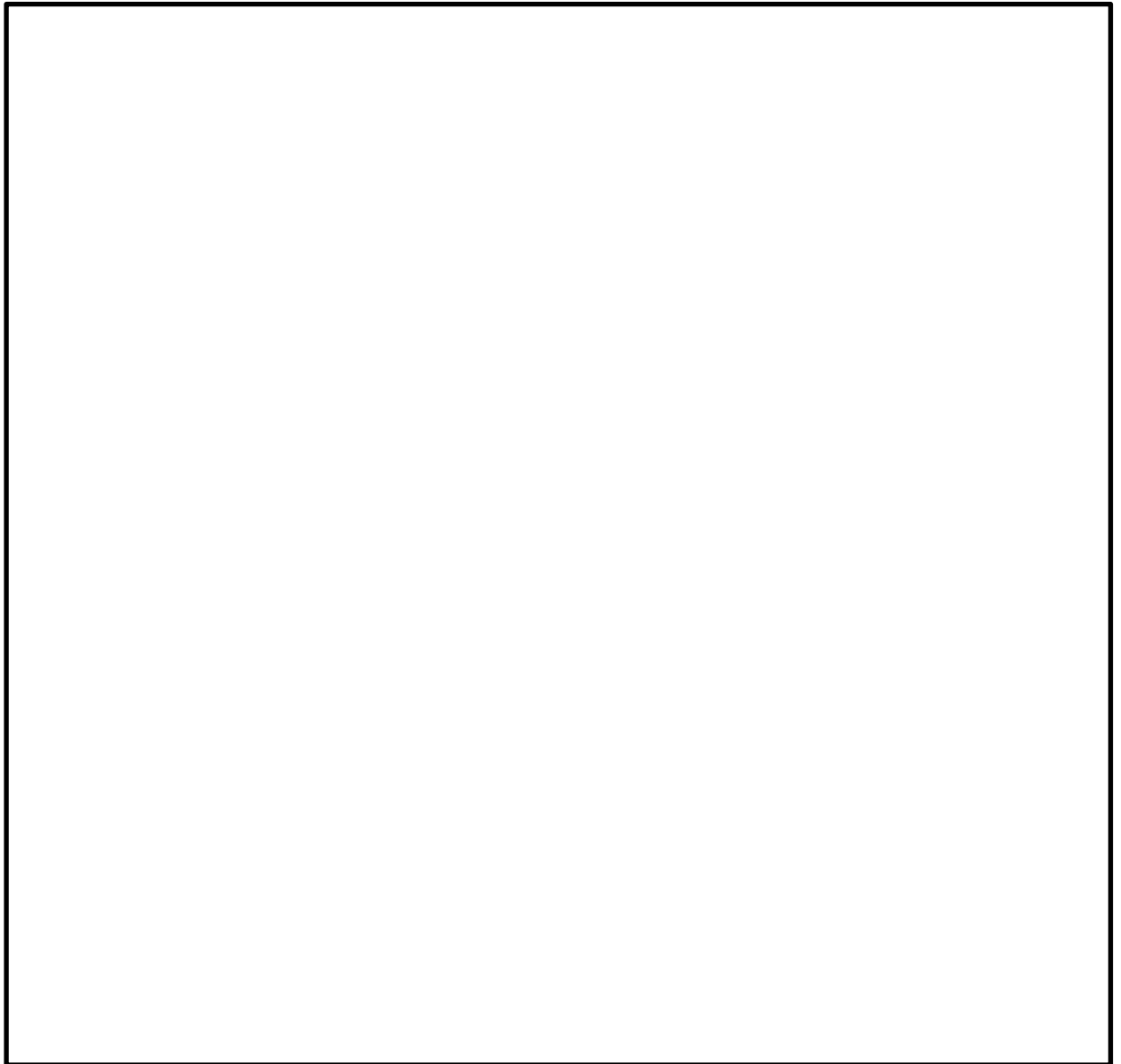


図 3-3-14 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 平面図

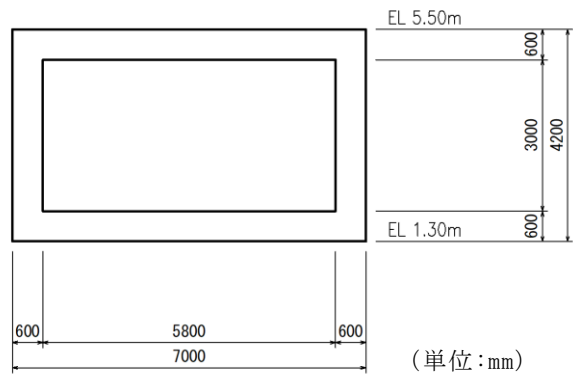


図 3-3-15 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（A-A断面）

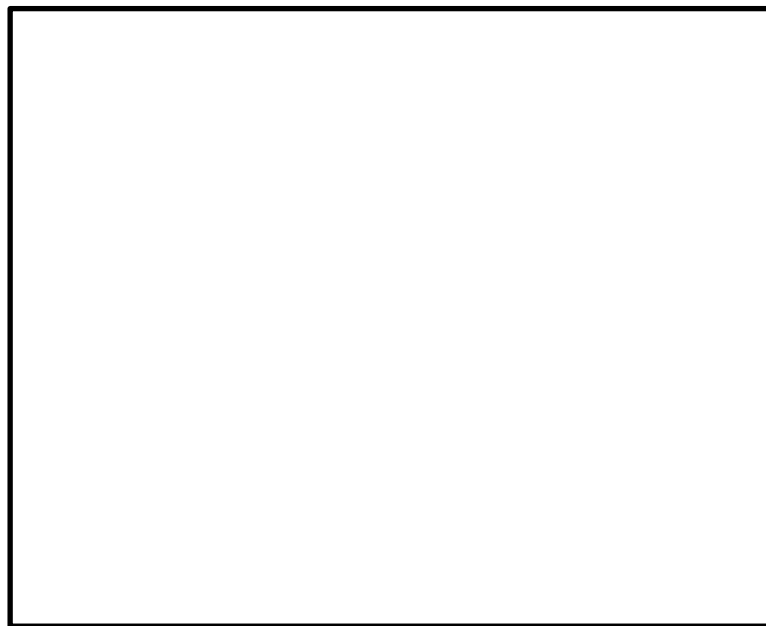


図 3-3-16 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（B-B断面）

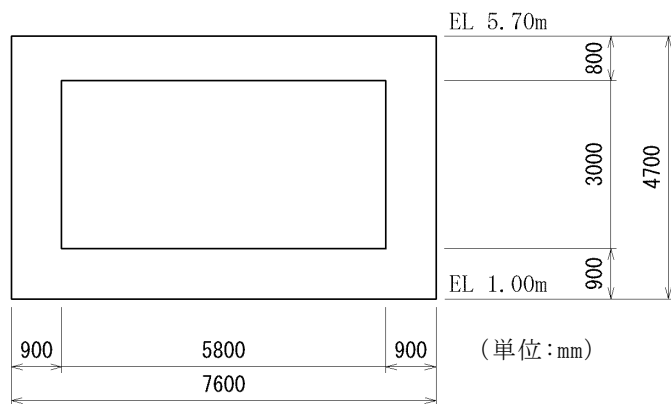


図 3-3-17 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 断面図（C-C断面）

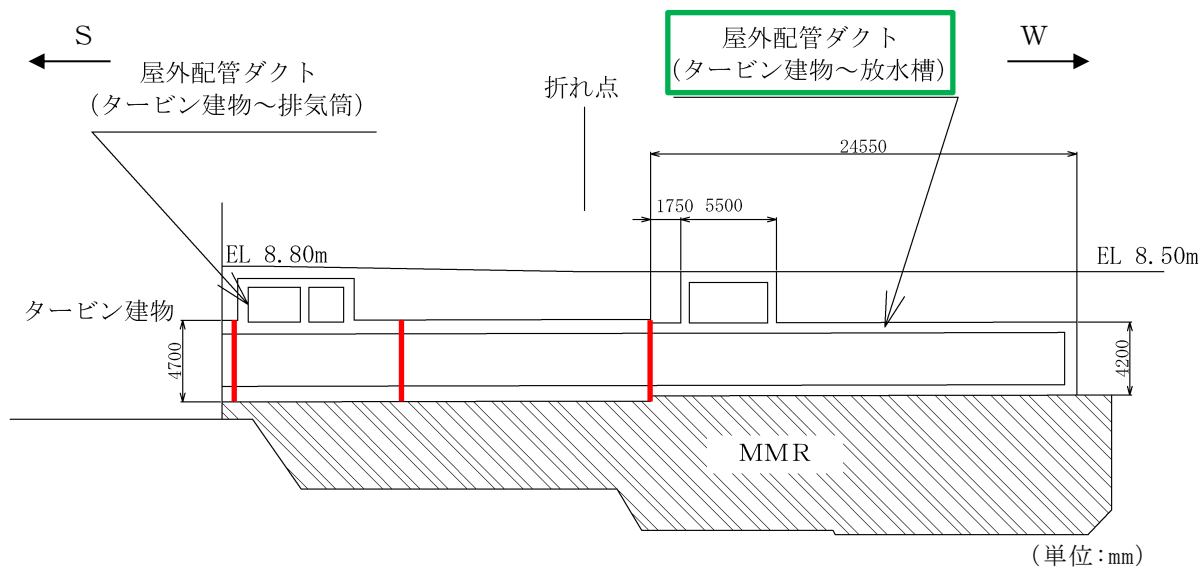


図 3-3-18 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (D-D 断面)

d. 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

図 3-3-19 及び図 3-3-20 に屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の平面図及び断面図を示す。屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、構造目地を設けるため、独立した線状構造物が接しているのみであり、3 次元的な応答特性は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

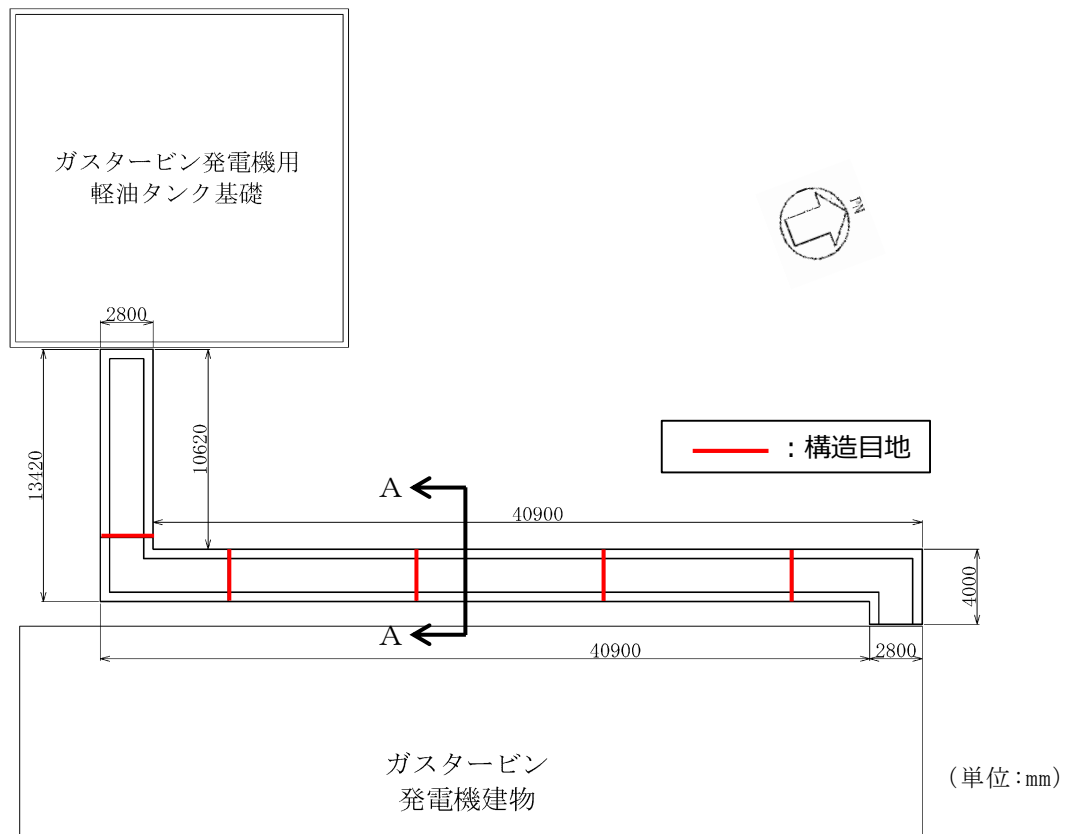


図 3-3-19 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
平面図

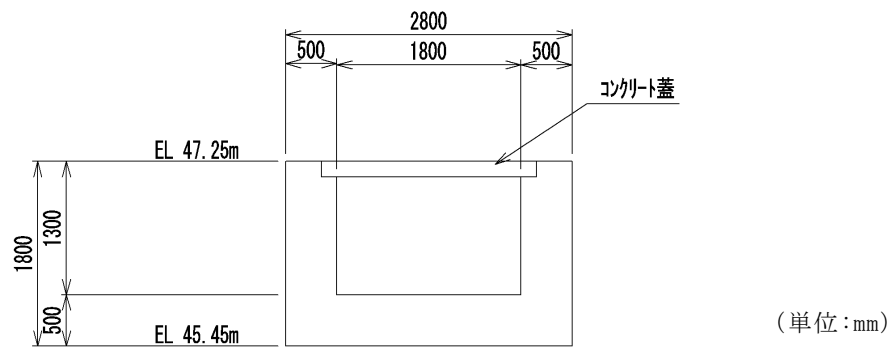


図 3-3-20 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（A-A断面）

e. 免震重要棟遮蔽壁

免震重要棟遮蔽壁については、図 3-3-21 の平面図に示すとおり、屋外の上位クラスの施設である緊急時対策所に波及的影響を及ぼす範囲に屈曲部や隅角部は存在しないことから、3次元的な応答特性が想定される箇所としては対象外である。

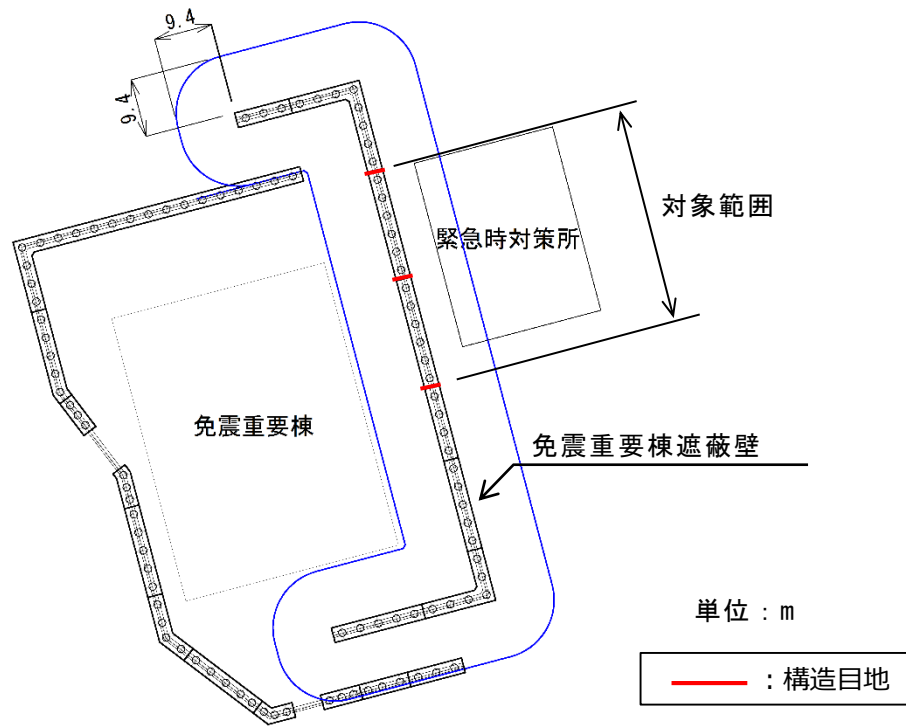


図 3-3-21 免震重要棟遮蔽壁 平面図

線状構造物として分類した屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒），屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物），屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽），屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）及び免震重要棟遮蔽壁について、各構造物の構造，地盤条件等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を確認した。

その結果、これらの構造物については、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所がないことを確認した。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

図 3-3-22 に示すとおり，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂板の一部と一体化している部位については，妻壁に相当する部位があり，3 次元的な拘束効果が発生するため，従来設計では評価していない配力鉄筋への影響を確認する必要がある。よって，屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部については，弱軸方向への変形により発生する軸方向の引張力が配力鉄筋に与える影響を確認するため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

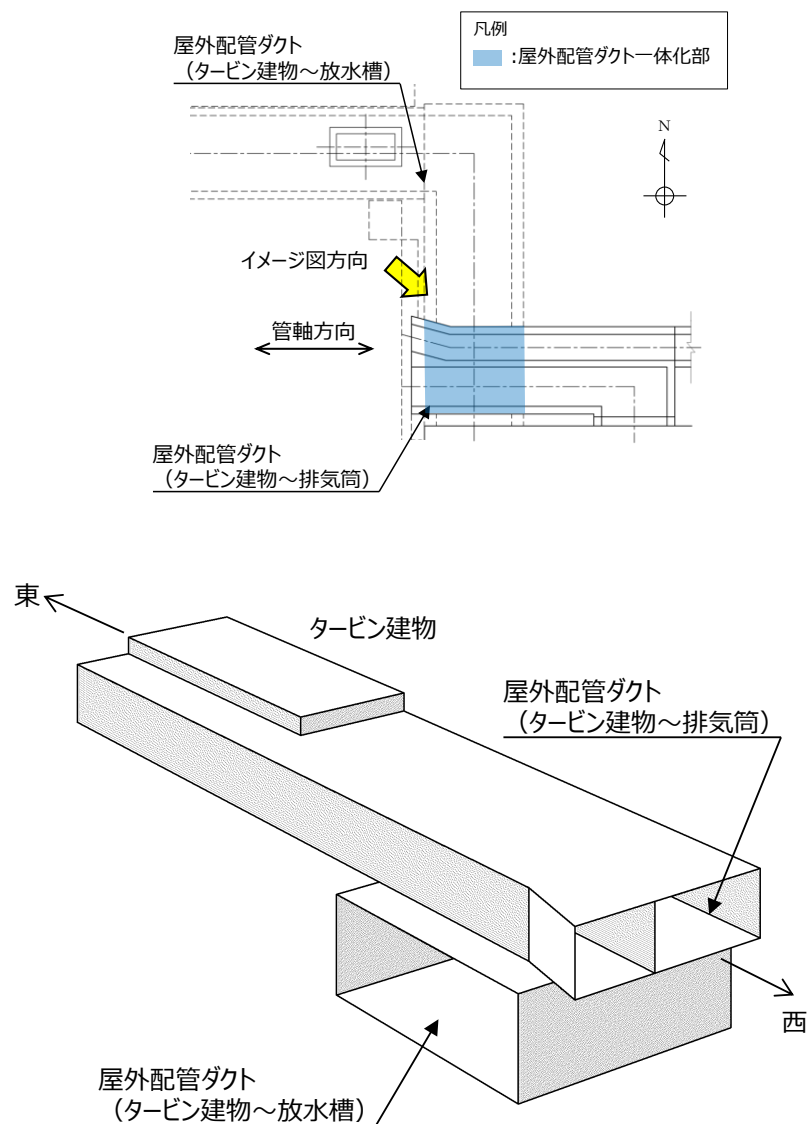


図 3-3-22 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）との一体化部イメージ

3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.3.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造形式として、構造及び作用荷重の観点から、箱型構造物及び線状構造物を抽出した。以下に、構造形式ごとの選定結果を示す。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、取水槽、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、緊急時対策所用燃料地下タンク、1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版)の全ての構造物に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。箱形構造物の平面図及び断面図を図3-3-23～図3-3-47に示す。

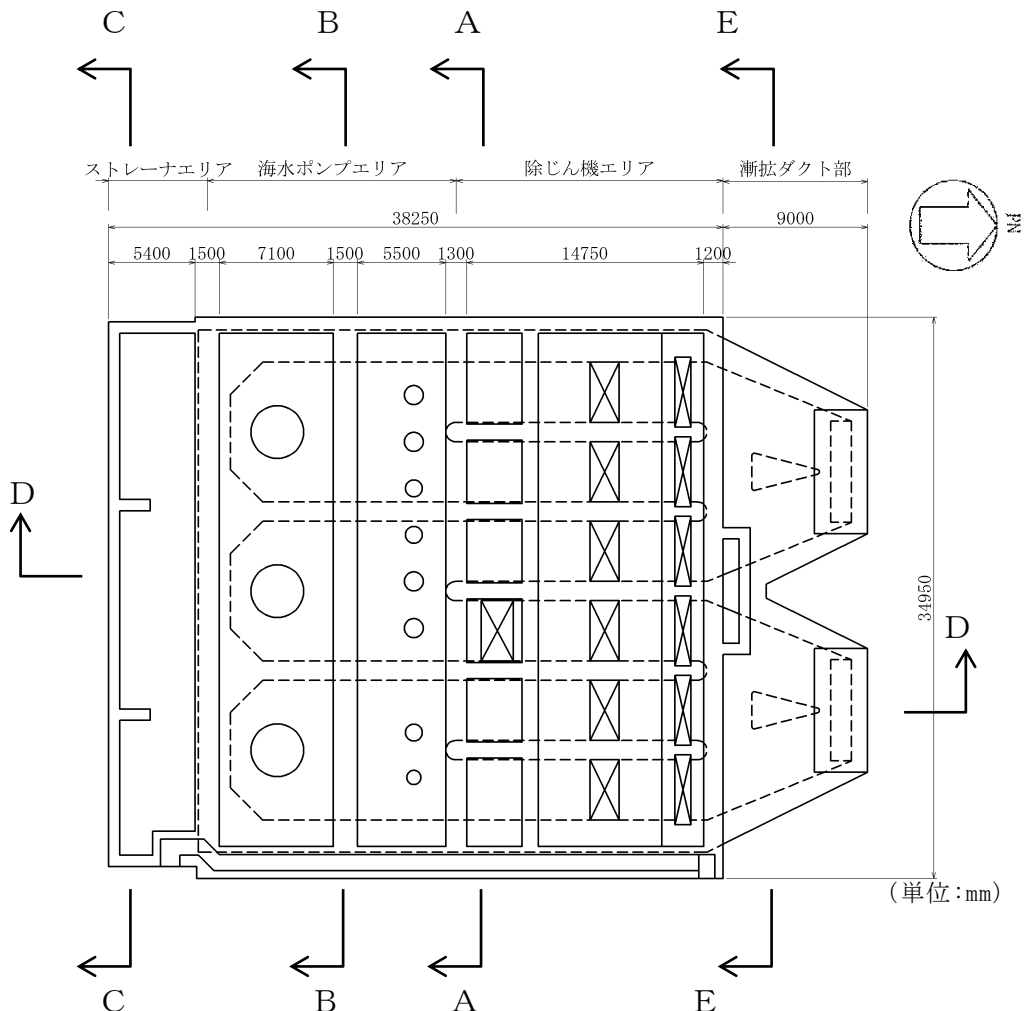


図 3-3-23 取水槽 平面図

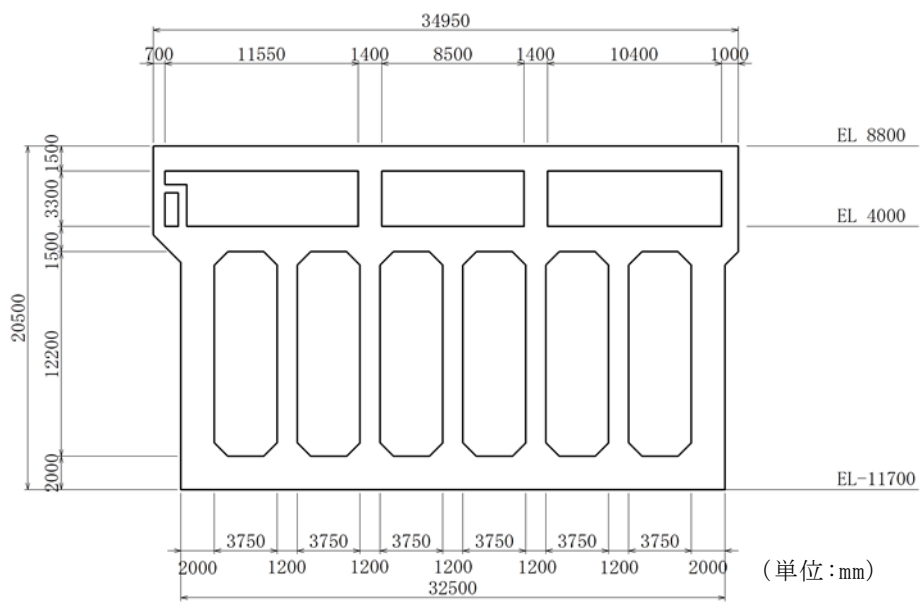


图 3-3-24 取水槽 断面图(A-A 断面)

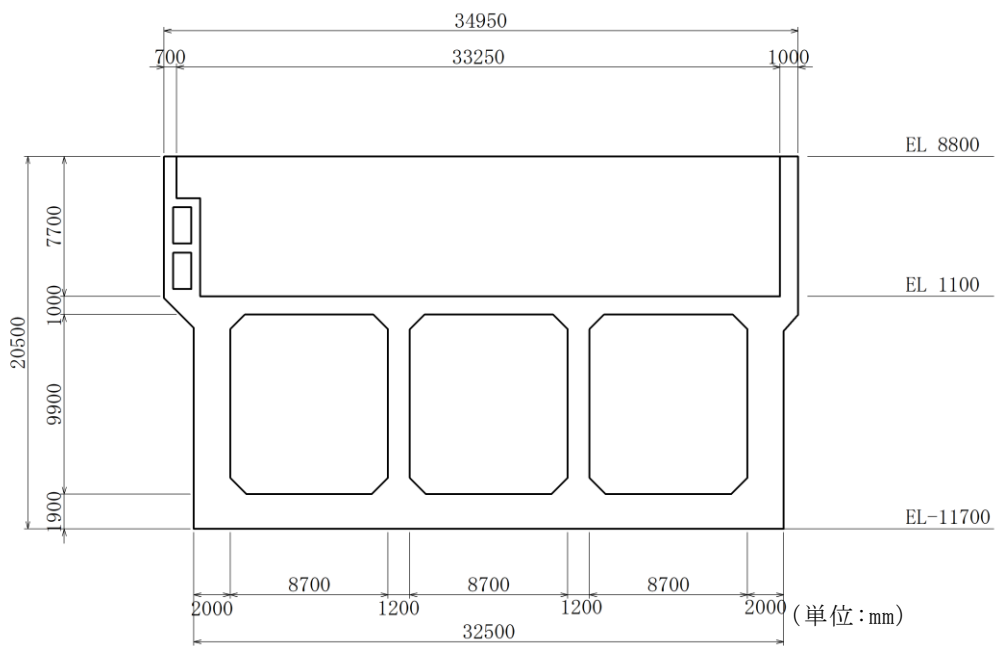
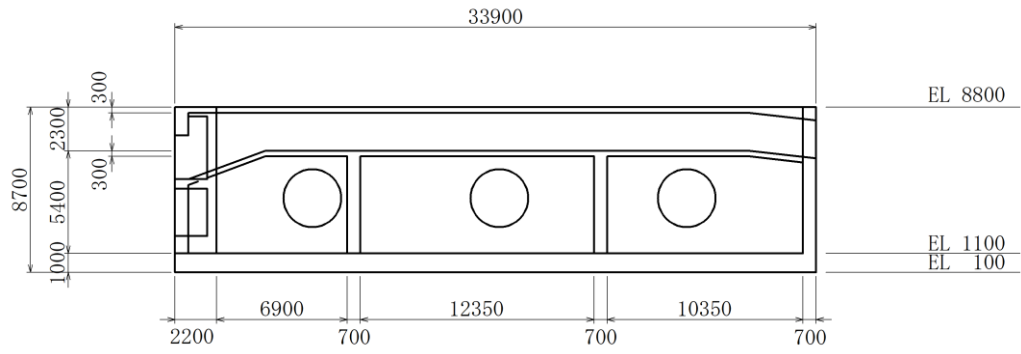
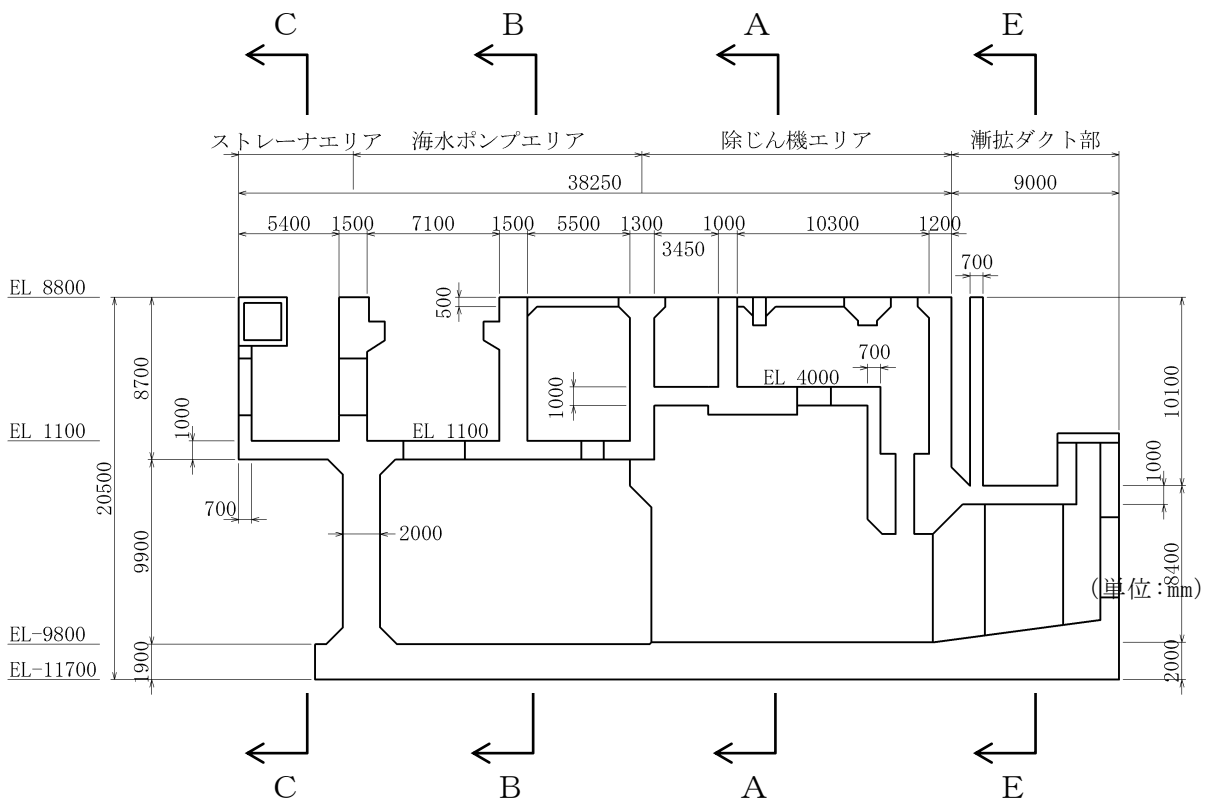


图 3-3-25 取水槽 断面图(B-B 断面)



(単位: mm)

図 3-3-26 取水槽 断面図(C-C断面)



(単位: mm)

図 3-3-27 取水槽 断面図(D-D断面)

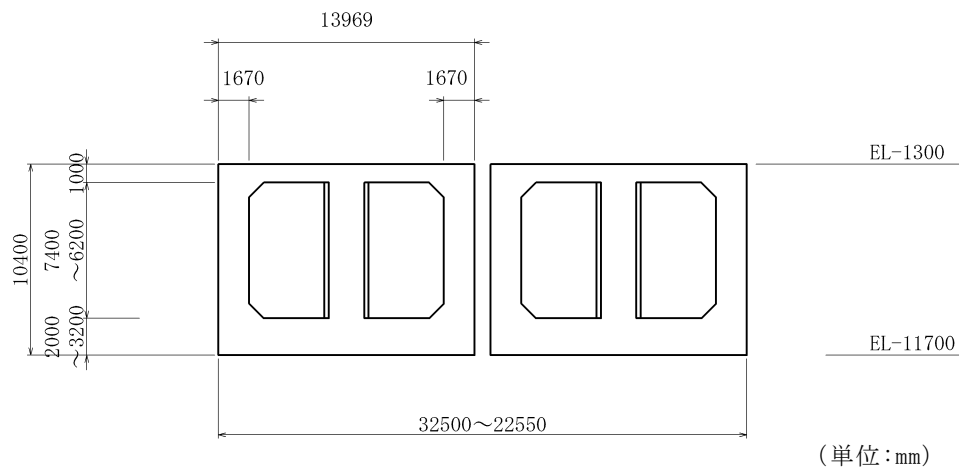


图 3-3-28 取水槽 断面图(E-E断面)

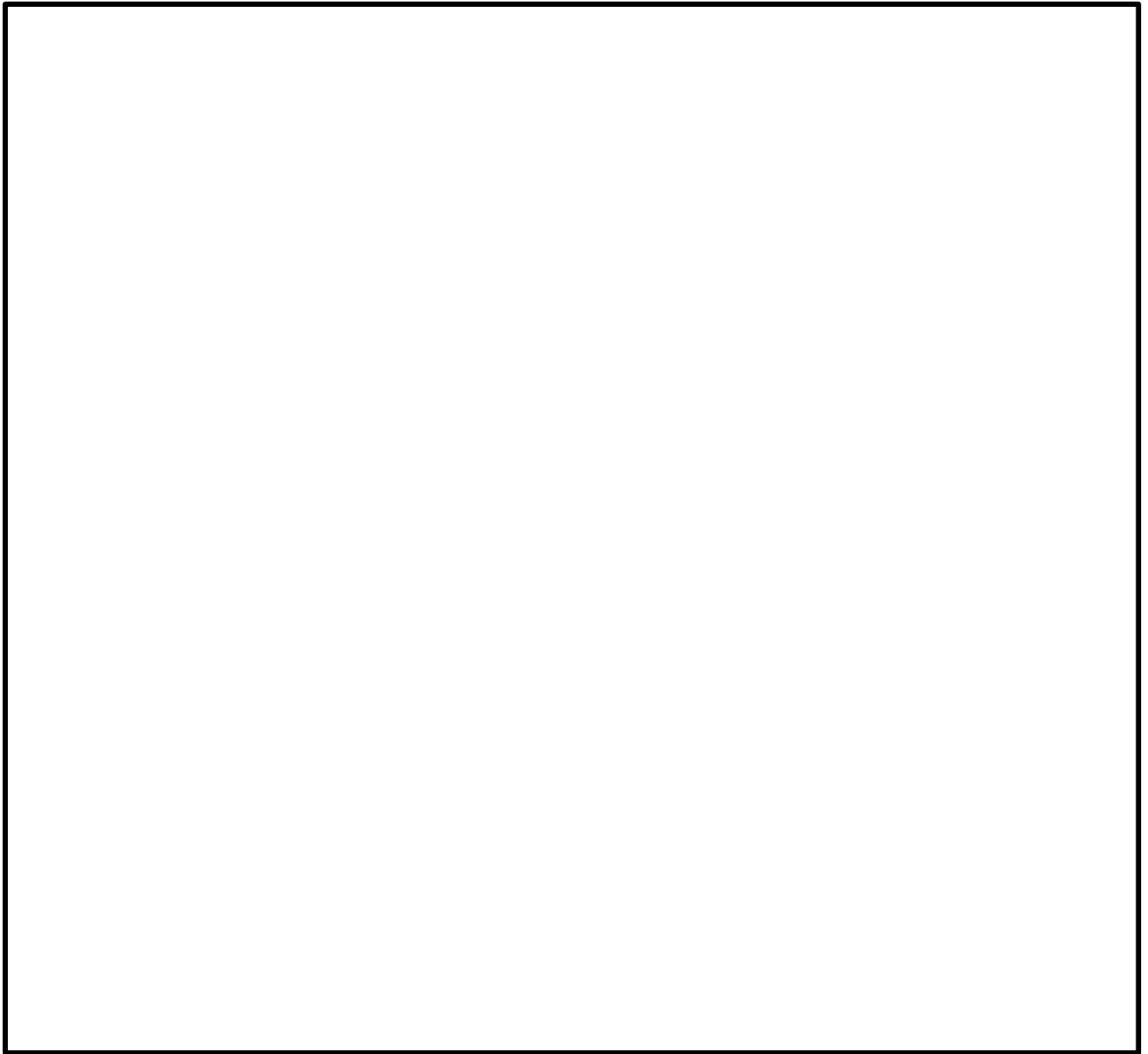


図 3-3-29 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図



図 3-3-30 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A断面)

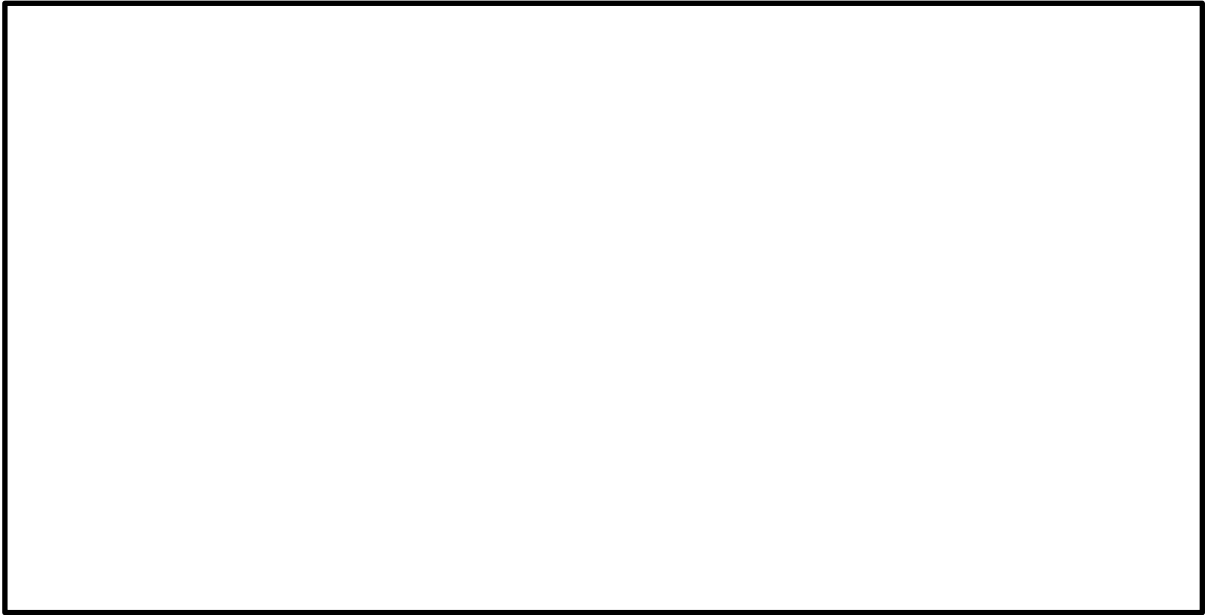


図 3-3-31 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B断面)

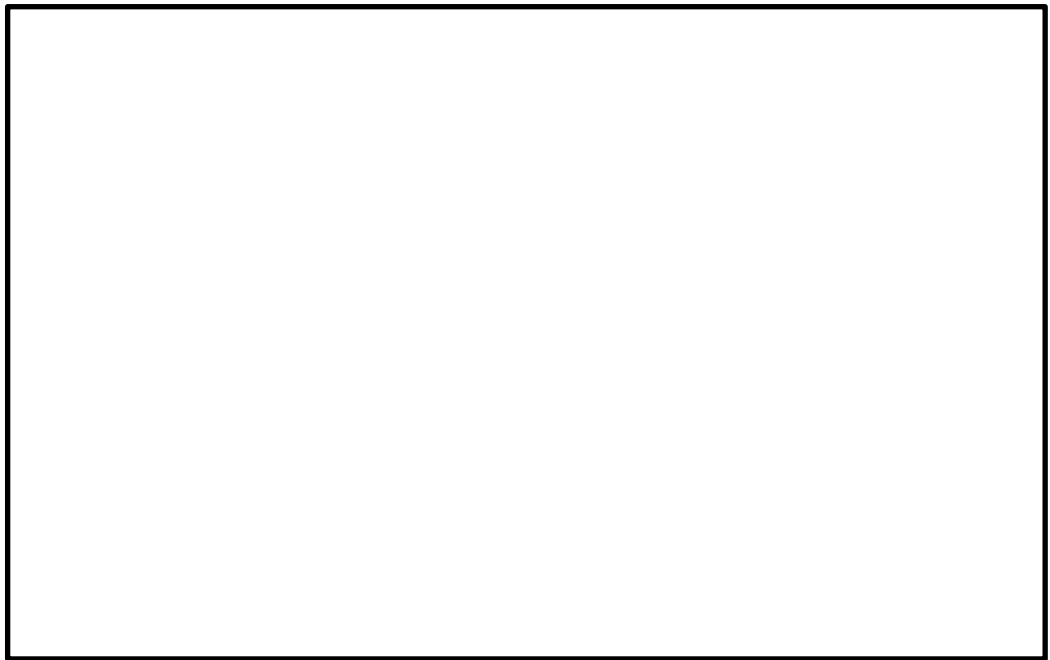


図 3-3-32 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (C-C断面)

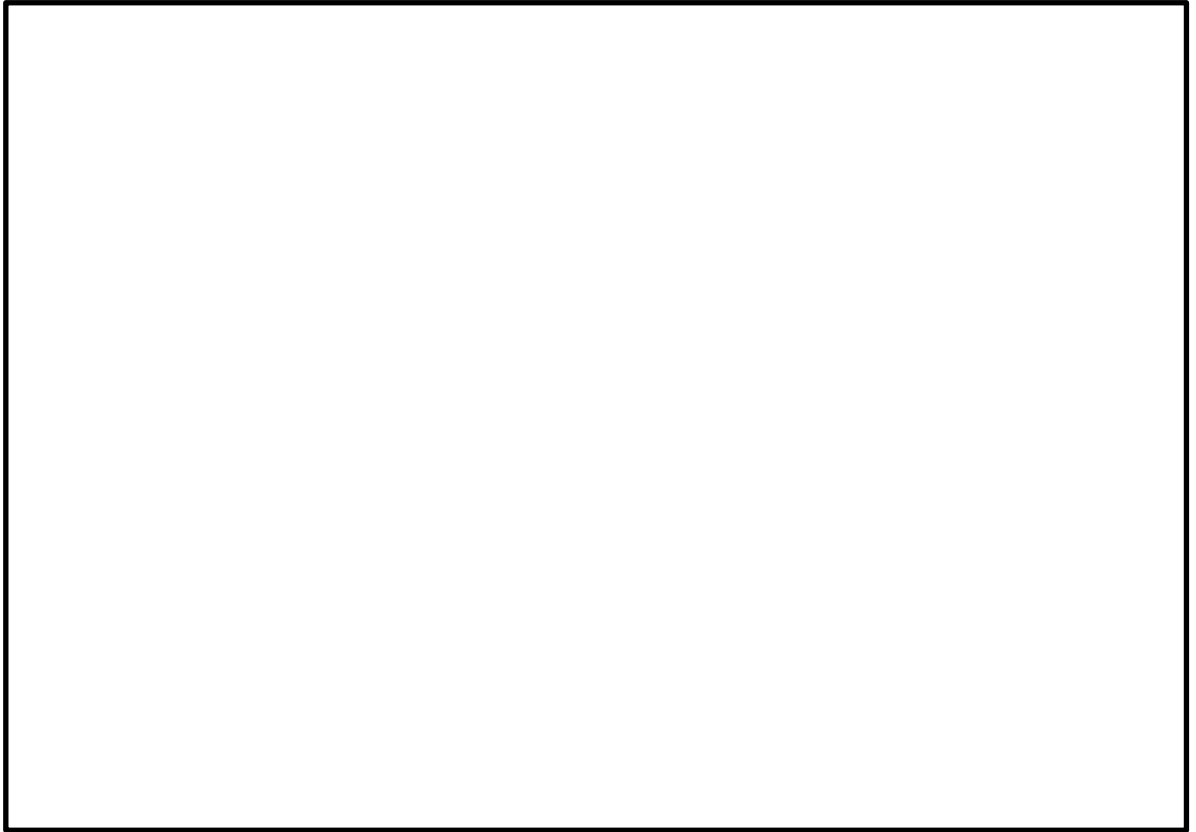


図 3-3-33 第 1 ベントフィルタ格納槽 平面図

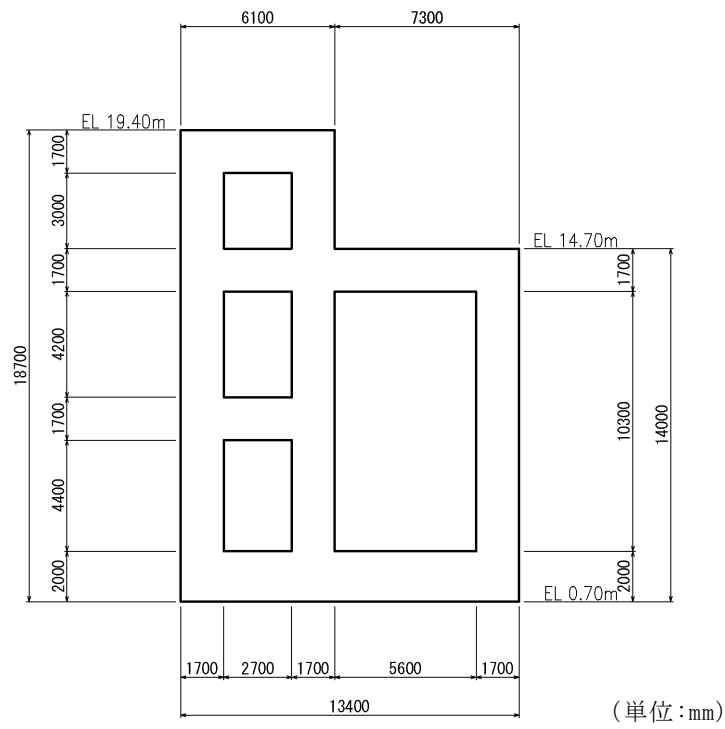


図 3-3-34 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (A-A断面)

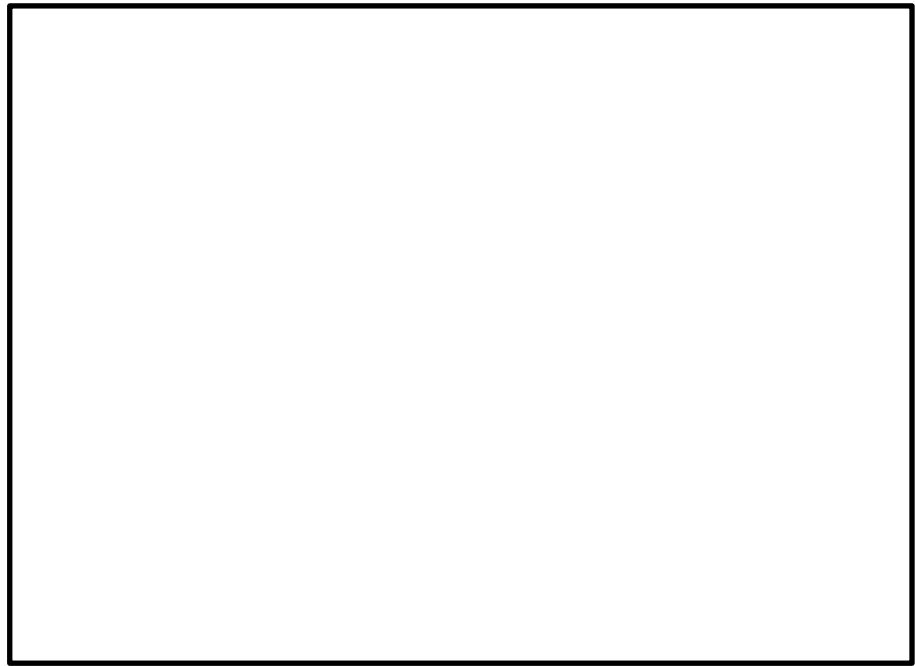


図 3-3-35 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (B-B 断面)

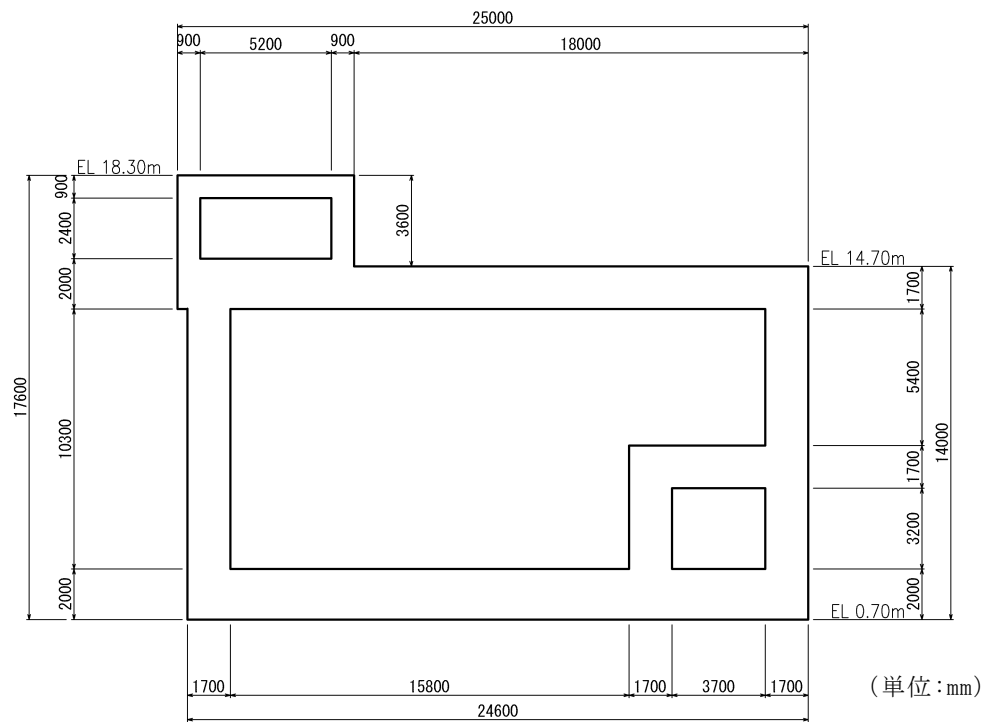


図 3-3-36 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (C-C 断面)



図 3-3-37 第 1 ベントフィルタ格納槽 断面図 (D-D 断面)

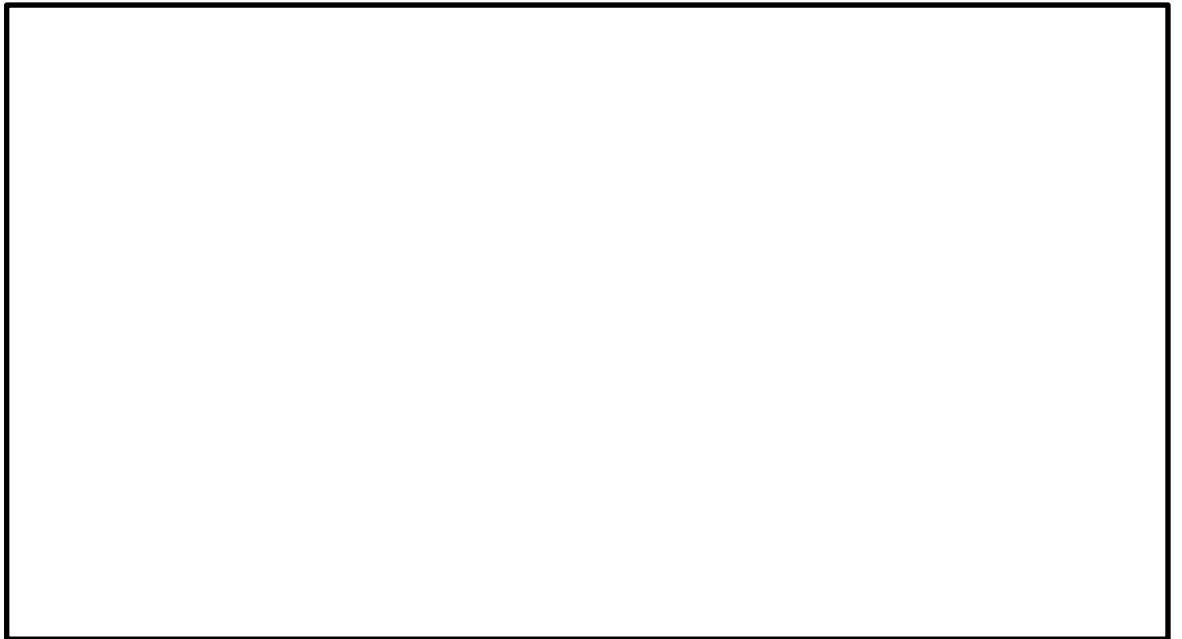


図 3-3-38 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

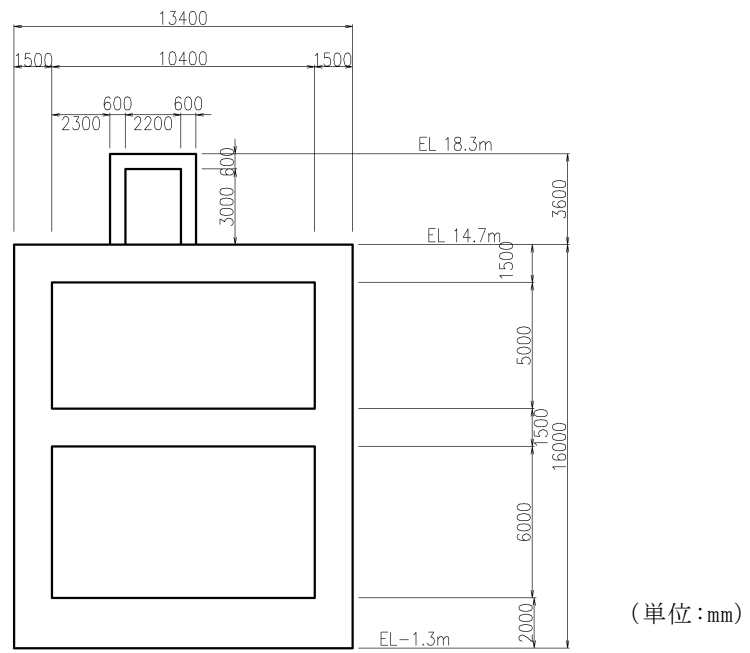


図 3-3-39 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A 断面)

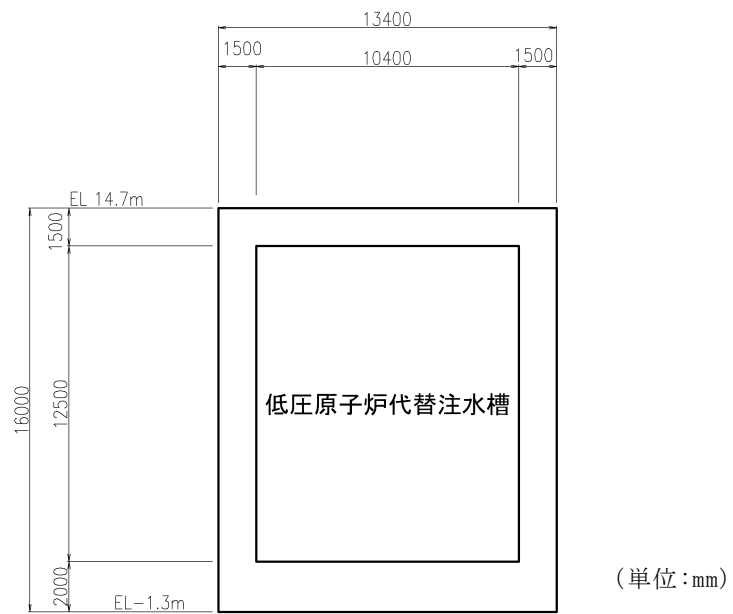


図 3-3-40 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B 断面)

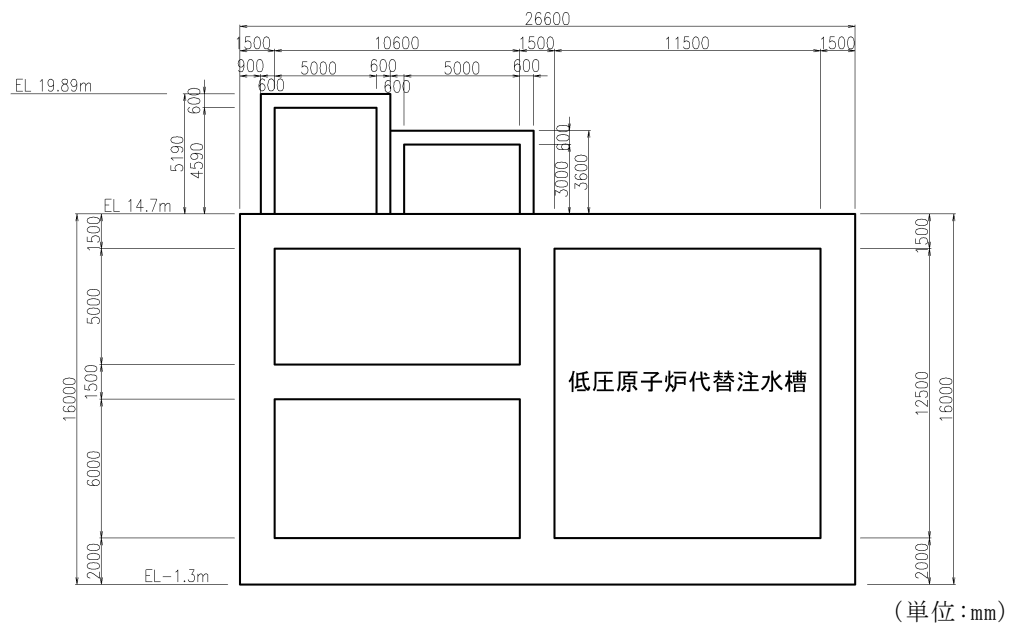


図 3-3-41 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C断面)



図 3-3-42 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

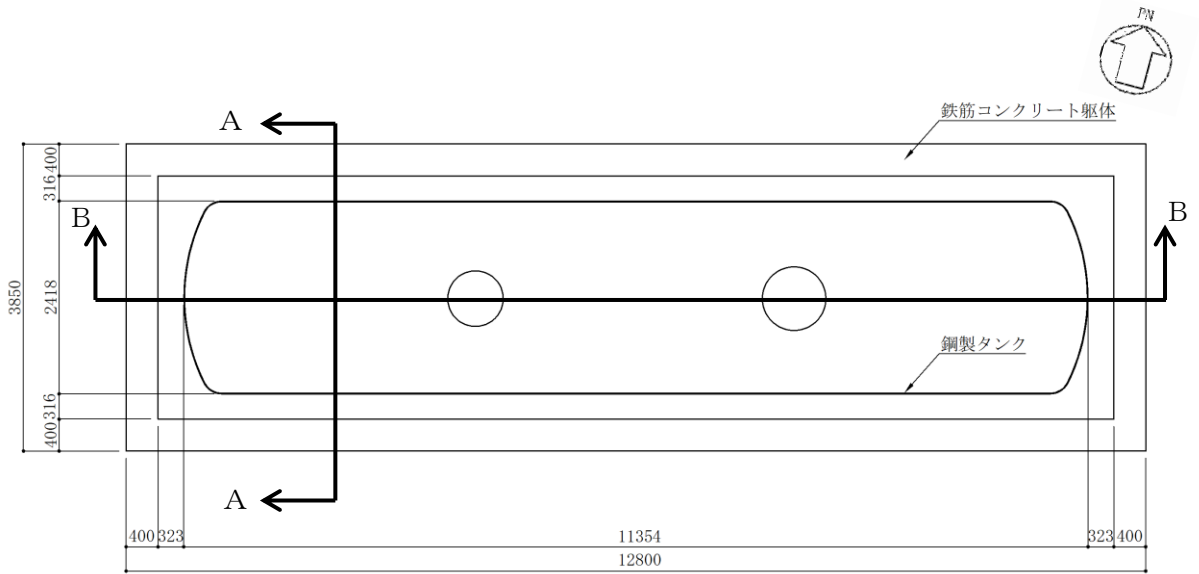
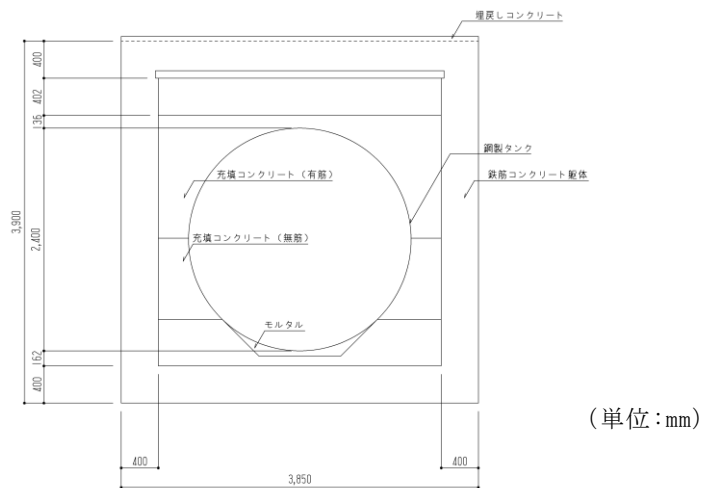
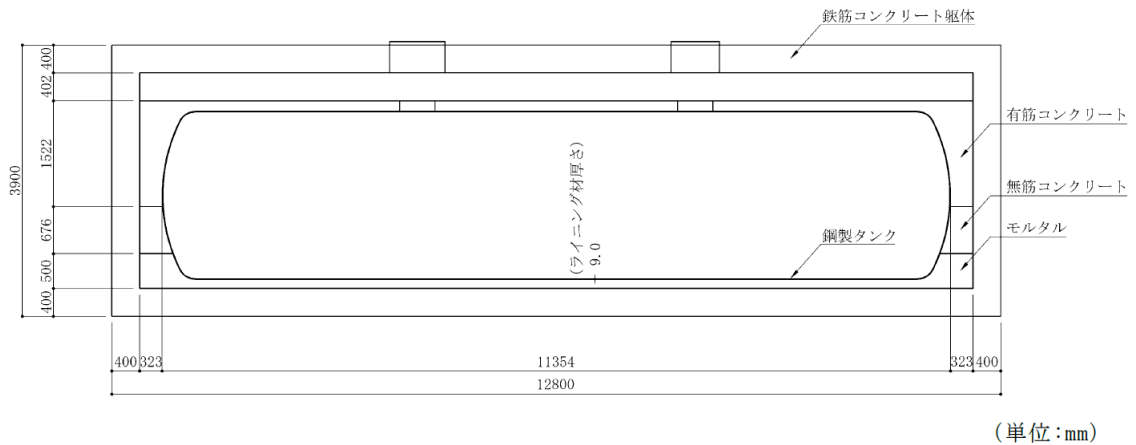


図 3-3-43 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図



(単位: mm)

図 3-3-44 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (A-A断面)



(単位: mm)

図 3-3-45 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (B-B断面)

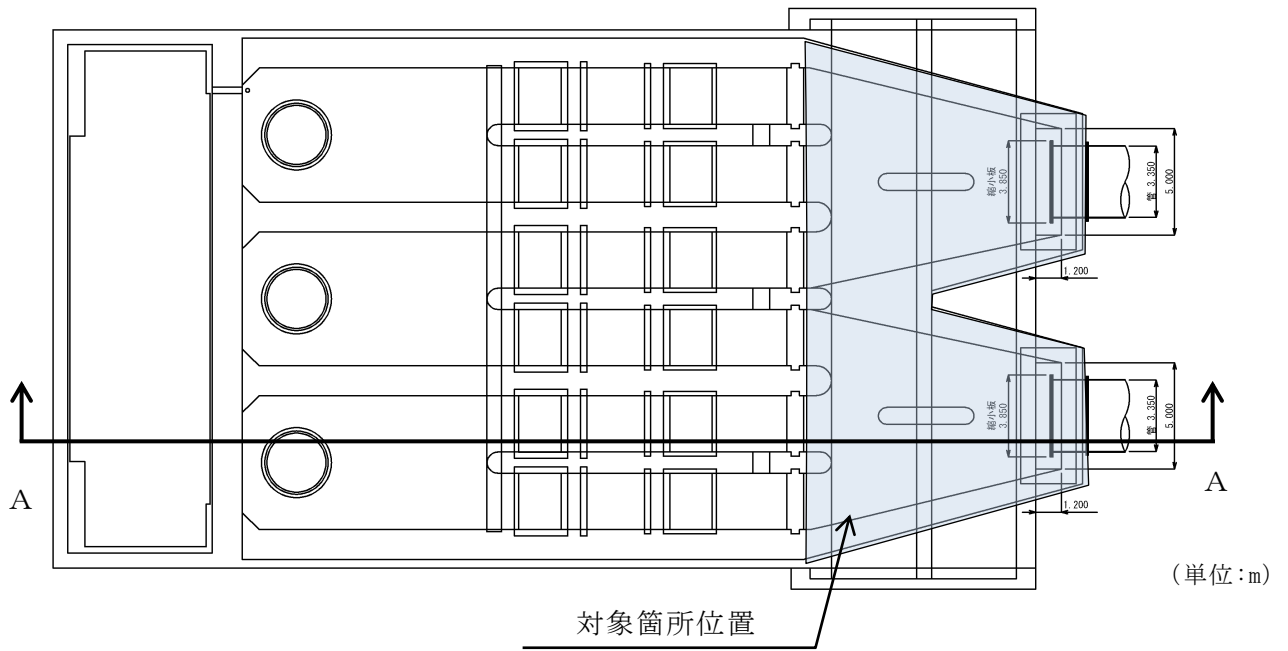


図 3-3-46 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版平面図

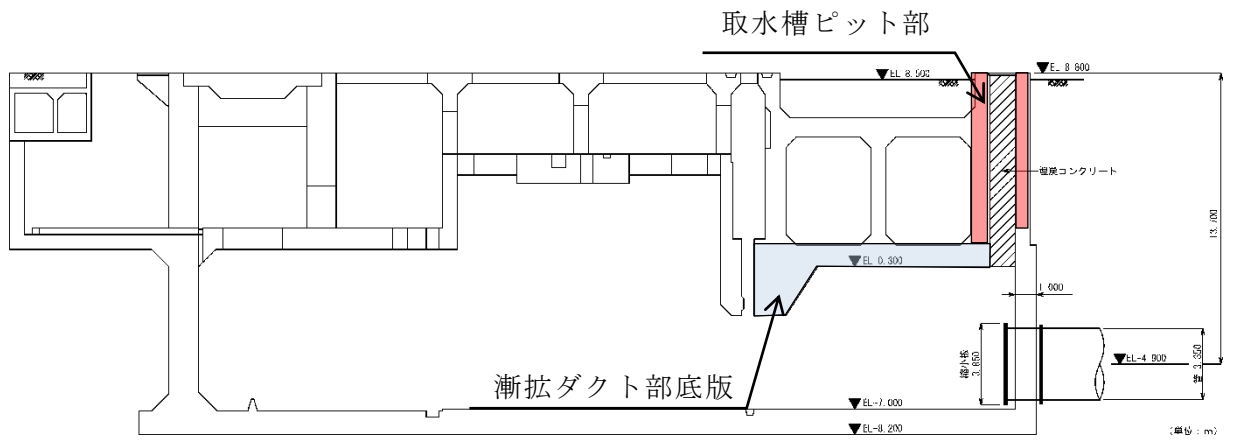


図 3-3-47 1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版断面図
(A-A断面)

(2) 線状構造物

線状構造物については、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂板の一部と一体化している部位に、妻壁に相当する部位があり、3次元的な拘束効果が発生するため、一体化部に対して水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の平面図及び断面図を図3-3-48～図3-3-50に示す。断面図は一体化部が関係するB-B断面及びC-C断面のみ示す。断面図には、一体化部として影響評価を行う屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版を示す。

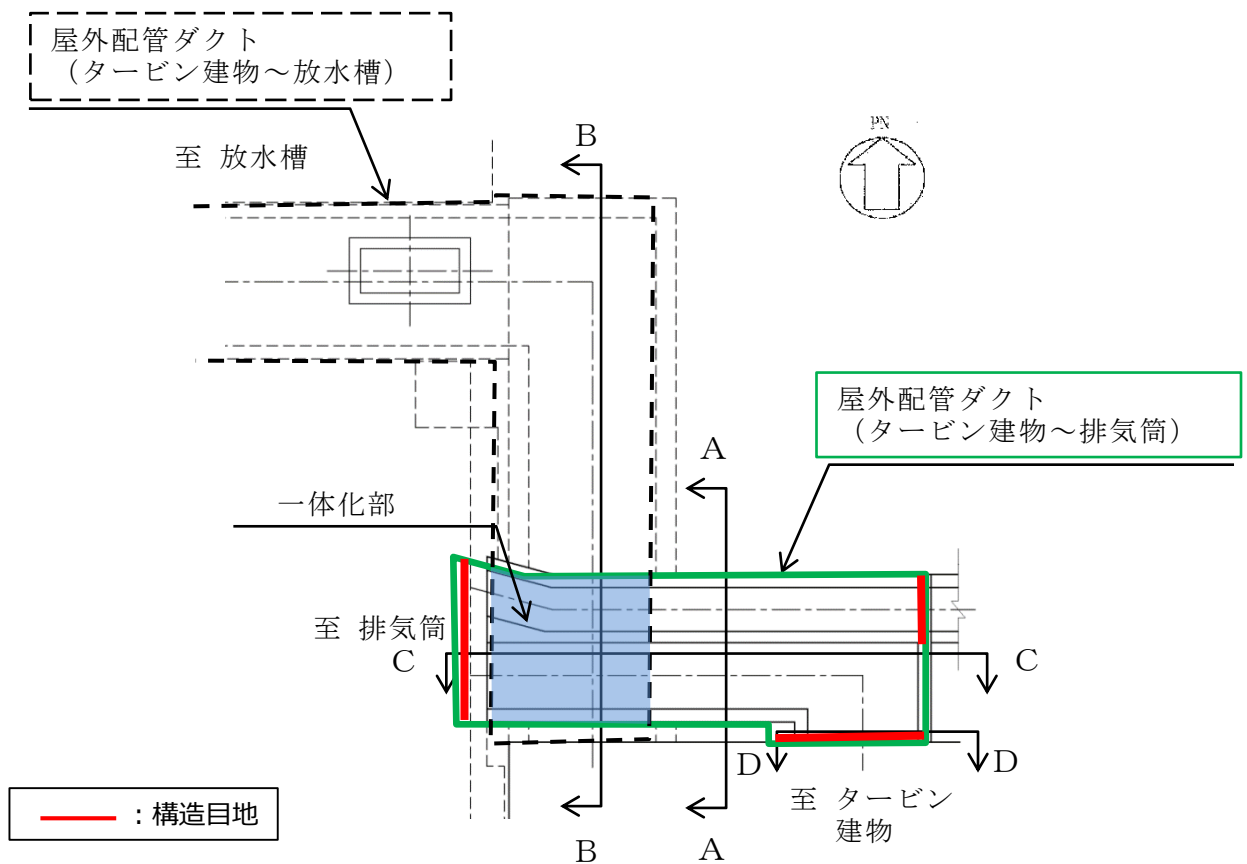


図3-3-48 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 平面図

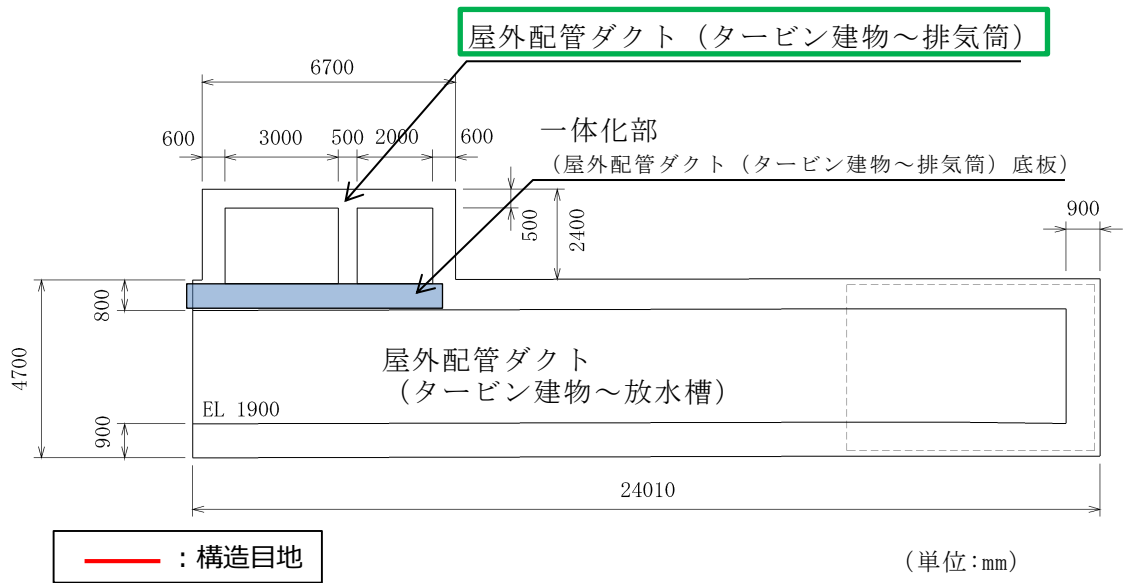


図 3-3-49 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (B-B 断面)

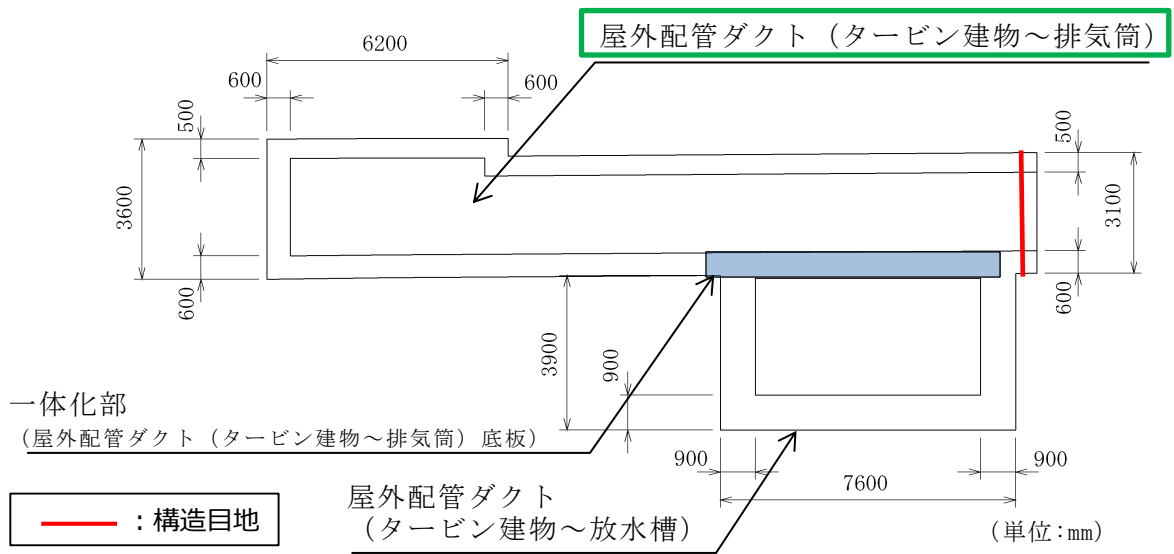


図 3-3-50 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面図 (C-C 断面)

(3) 円筒状構造物

円筒状構造物については、取水口及び復水貯蔵タンク遮蔽壁に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。円筒状構造物の平面図及び断面図を図3-3-51～図3-3-55に示す。

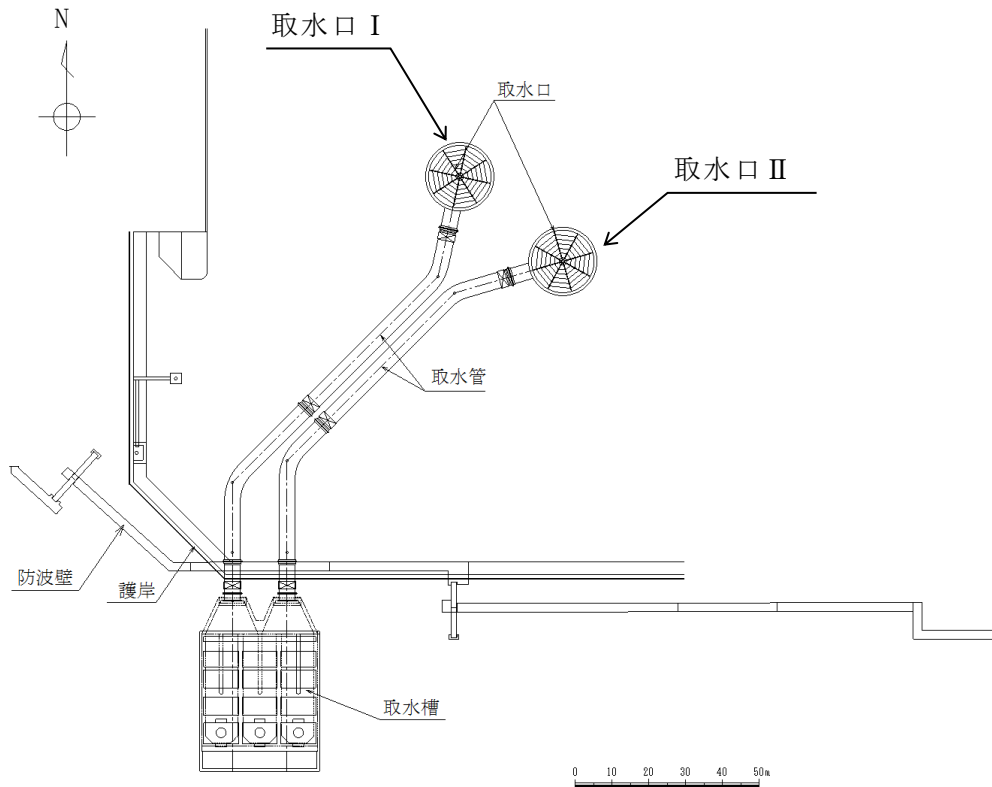


図3-3-51 取水口 平面図

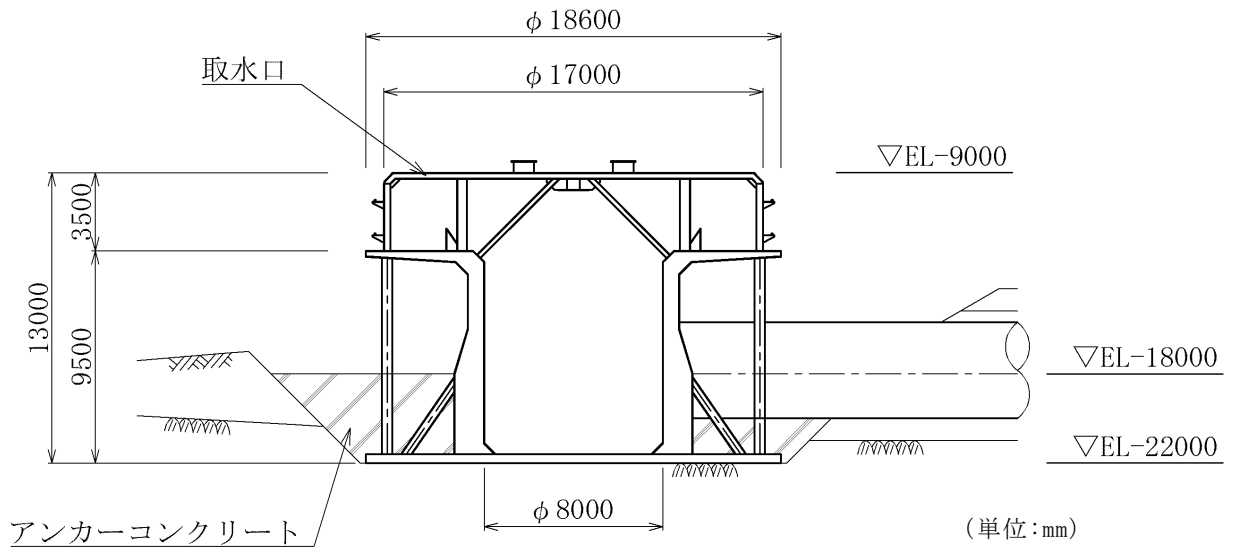


図 3-3-52 取水口 断面図 (A-A 断面)

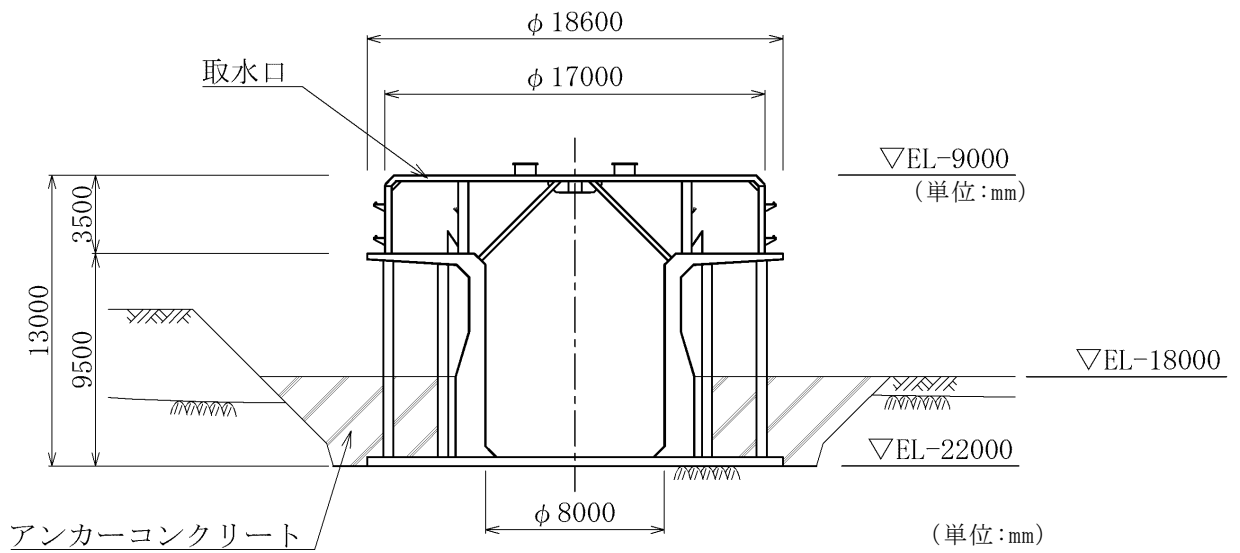


図 3-3-53 取水口 断面図 (B-B 断面)

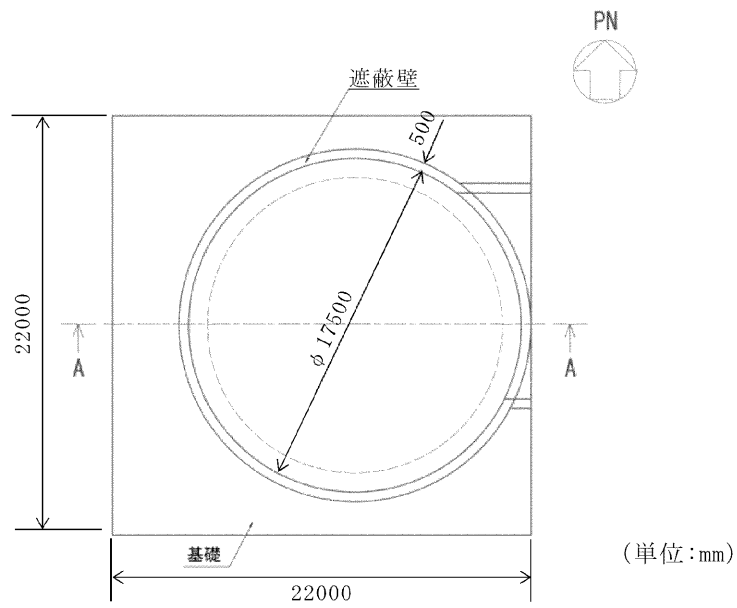


図 3-3-54 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

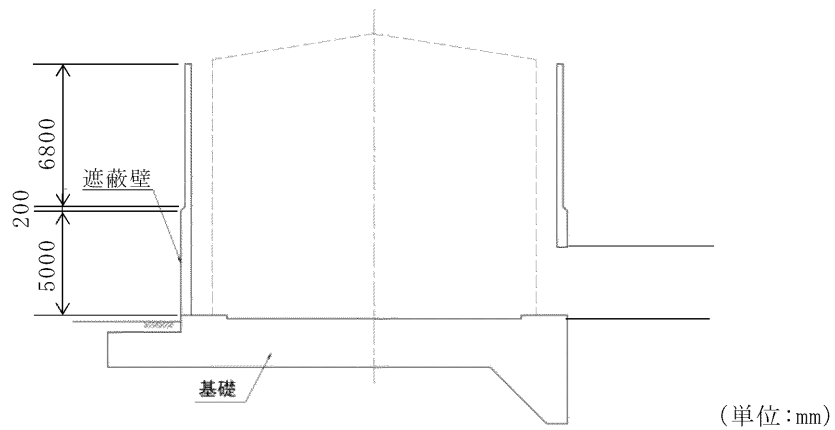


図 3-3-55 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A断面)

(4) 直接基礎

直接基礎については、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図及び断面図を図3-3-56～図3-3-58に示す。

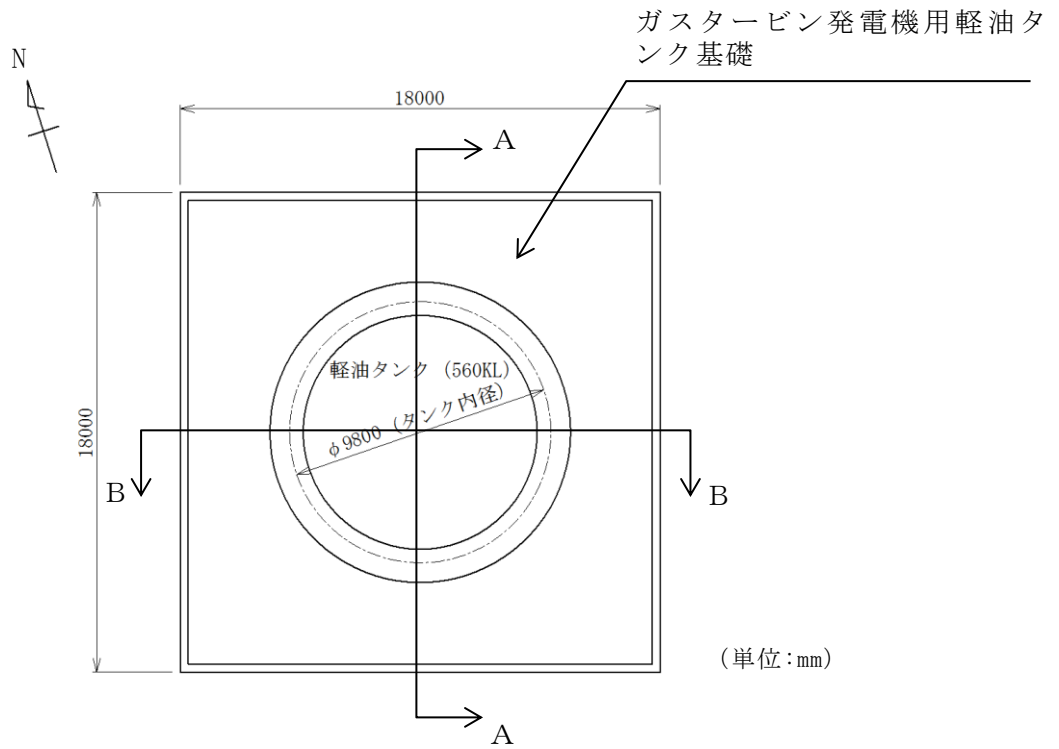


図3-3-56 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

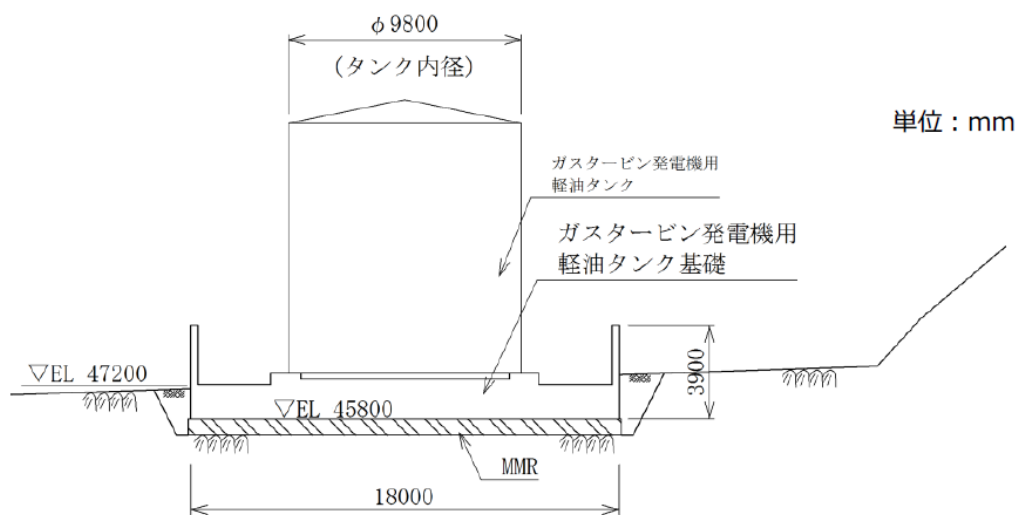


図3-3-57 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (A-A断面)

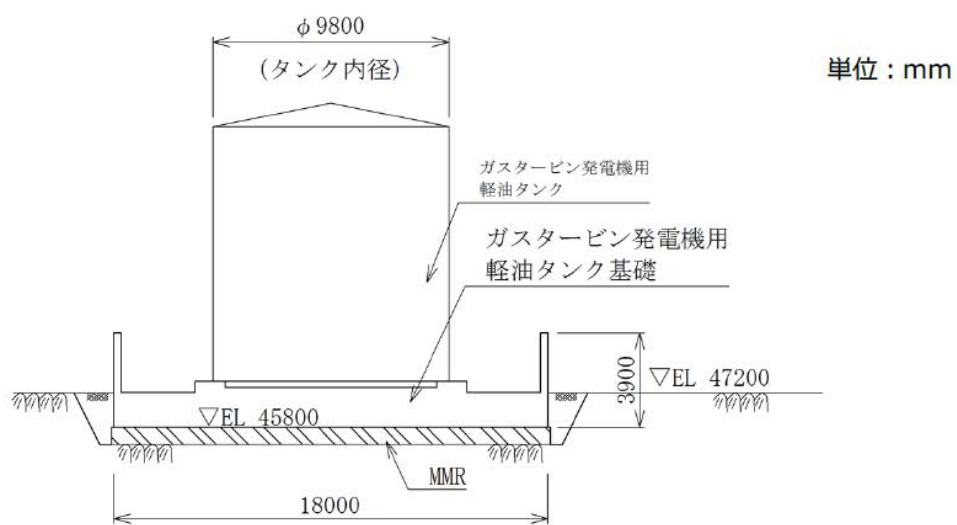


図 3-3-58 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (B-B断面)

(5) 管路構造物

管路構造物については，取水管に対して，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。取水管の平面図及び断面図を図 3-3-59～図 3-3-62 に示す。

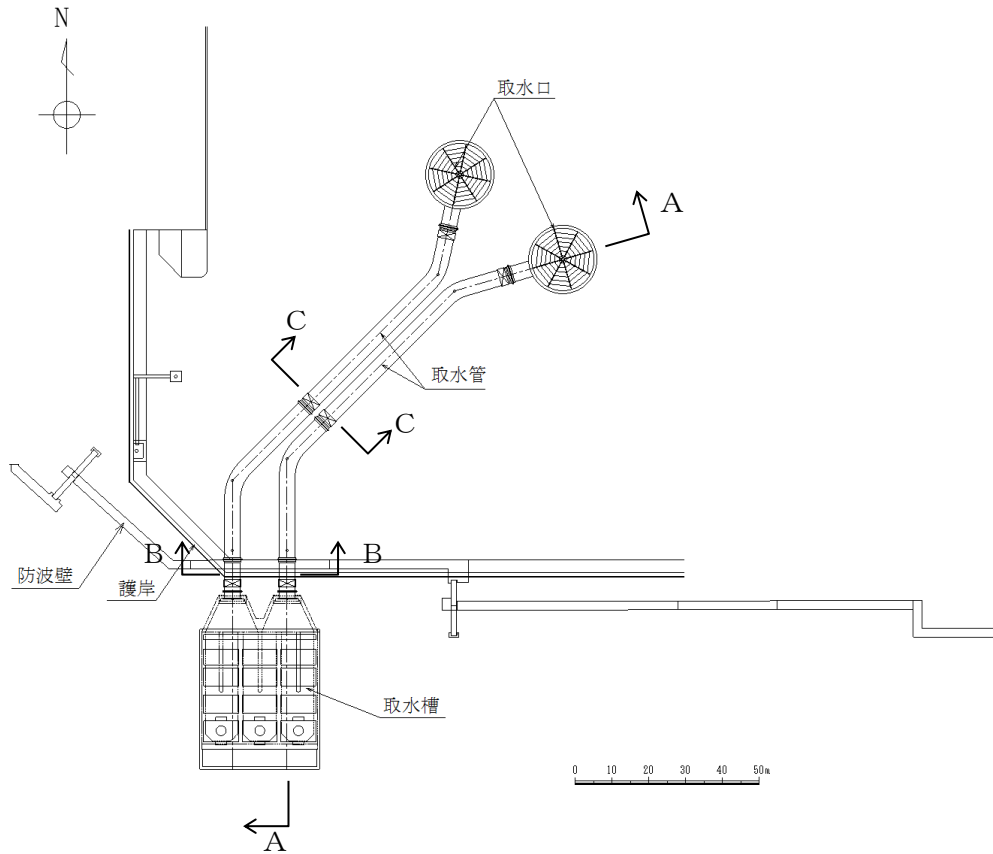


図 3-3-59 取水管 平面図

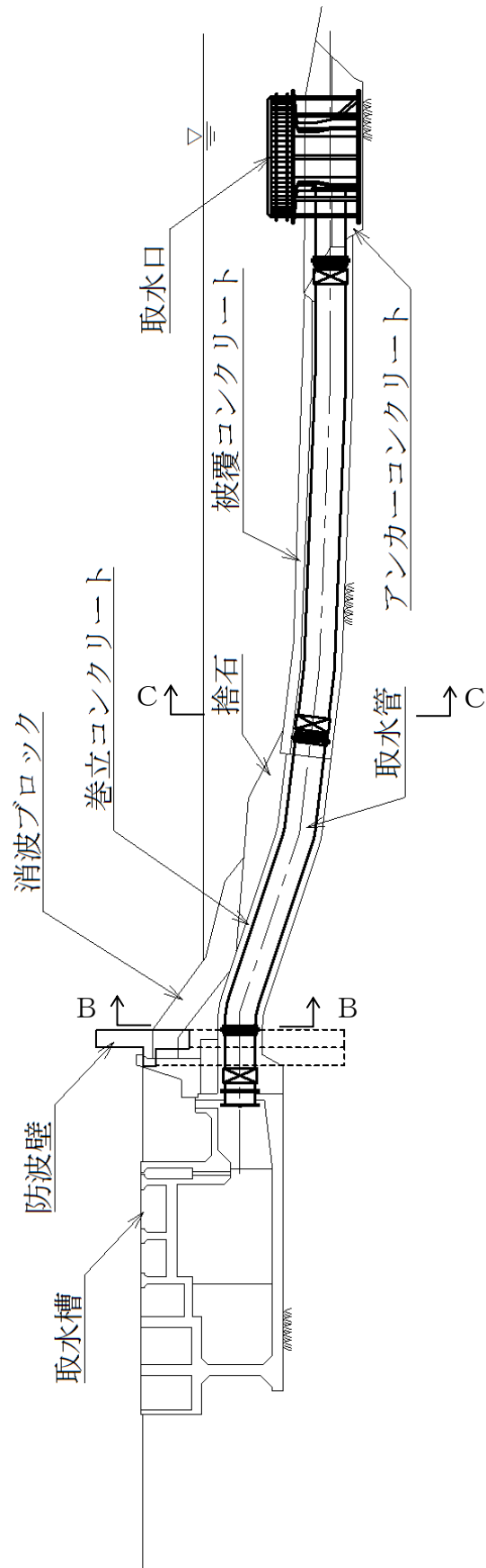


図 3-3-60 取水管 断面図 (A-A断面)

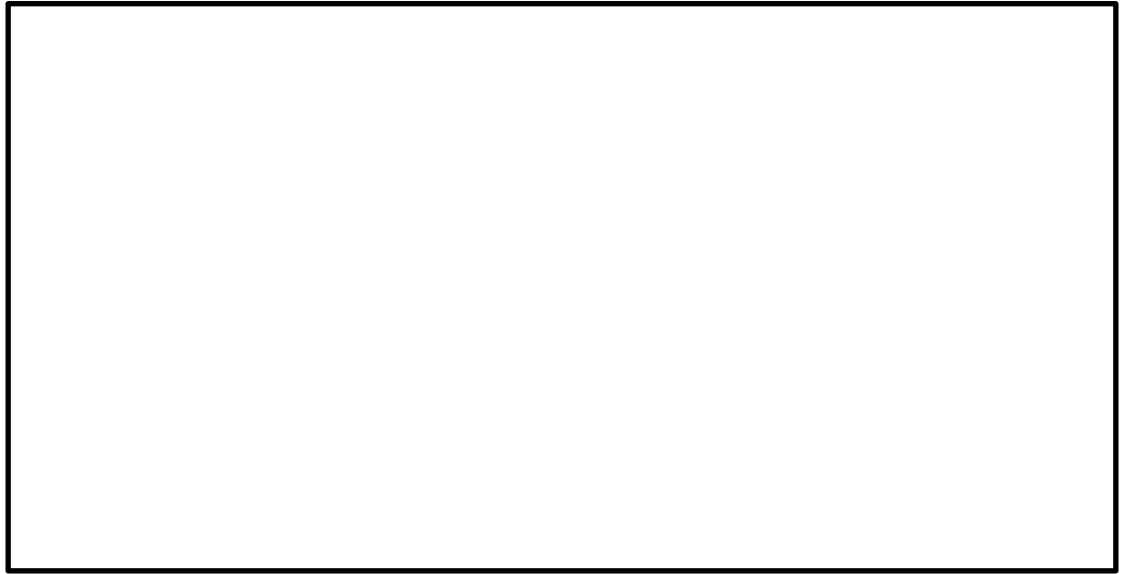


図 3-3-61 取水管 断面図 (B-B 断面)



図 3-3-62 取水管 断面図 (C-C 断面)

3.3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 箱型構造物

a. 評価方法

箱型構造物のうち、本書においては、矩形の構造物のうち構造が単純で水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が明確な B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽，第 1 ベントフィルタ格納槽，低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽及び緊急時対策所用燃料地下タンクの評価結果を示す。

なお，取水槽については，VI-2-2-19「取水槽の耐震性についての計算書」において，1 号機取水槽ピット部及び 1 号機取水槽漸拡ダクト部底版については，VI-2-11-2-4「1 号機取水槽ピット部及び 1 号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書」において，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，箱型構造物の弱軸方向断面及び強軸方向断面におけるそれぞれの 2 次元地震応答解析にて，互いに干渉し合う断面力や応力を選定し，弱軸方向加振における部材照査において，強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については，箱型構造物の隔壁・側壁が，強軸方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから，当該構造部材を耐震壁と見なし，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」（以下「RC 規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

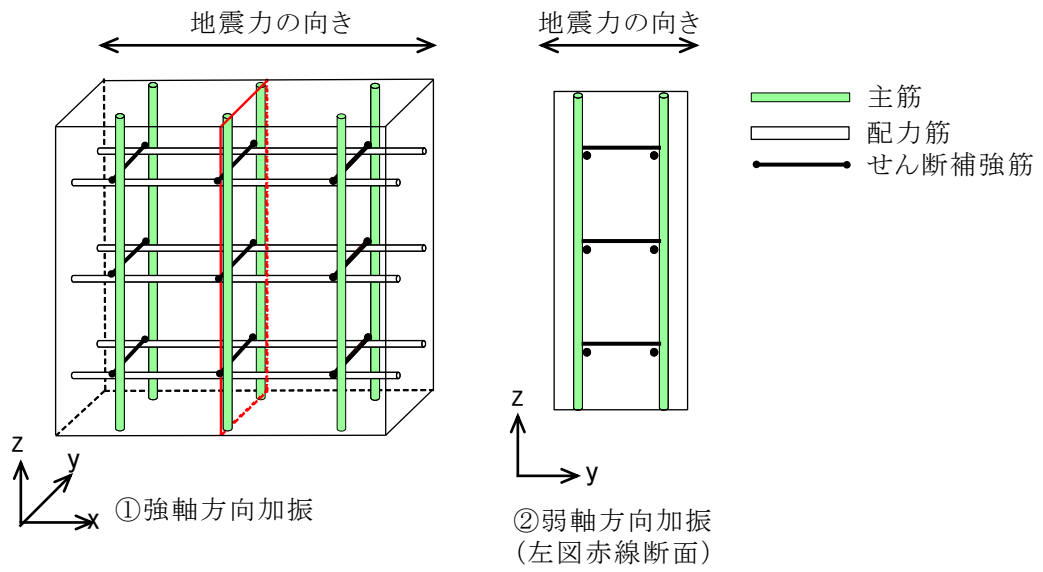
RC 規準では，耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して，コンクリートのみで負担できるせん断耐力と，鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって，壁部材に生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば，鉄筋によるせん断負担はなく鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方，強軸方向加振にて生じるせん断力を，箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず，鉄筋に負担させる場合，図 3-3-63 に示すとおり，強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が，弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては，強軸方向加振にて発生する応力を，弱軸方向における構造部材の照査に付加することで，その影響の有無を検討する。

弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では，保守的に両方とも基準地震動 S_s を用いる。

図 3-3-64 に水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。



| | | ①強軸方向加振 | ②弱軸方向加振 | 備考 |
|-----|--------------------|---------|---------|--------------|
| 断面力 | My (y軸まわりの曲げモーメント) | △ | × | |
| | Mx (x軸まわりの曲げモーメント) | × | ○ | |
| | Nz (鉛直方向軸力) | ○ | ○ | 互いに干渉する可能性あり |
| | Nzx (zx平面内せん断) | ○ | × | |
| | Qz (z方向面外せん断) | × | ○ | |
| 応力 | 主筋 | ○ | ○ | 互いに干渉する可能性あり |
| | 配力筋 | ○ | × | |
| | せん断補強筋 | × | ○ | |

(○ : 発生する可能性あり, △ : 発生する可能性があるが極めて軽微, × : 発生しない)

図 3-3-63 強軸方向加振及び弱軸方向加振において発生する断面力・応力

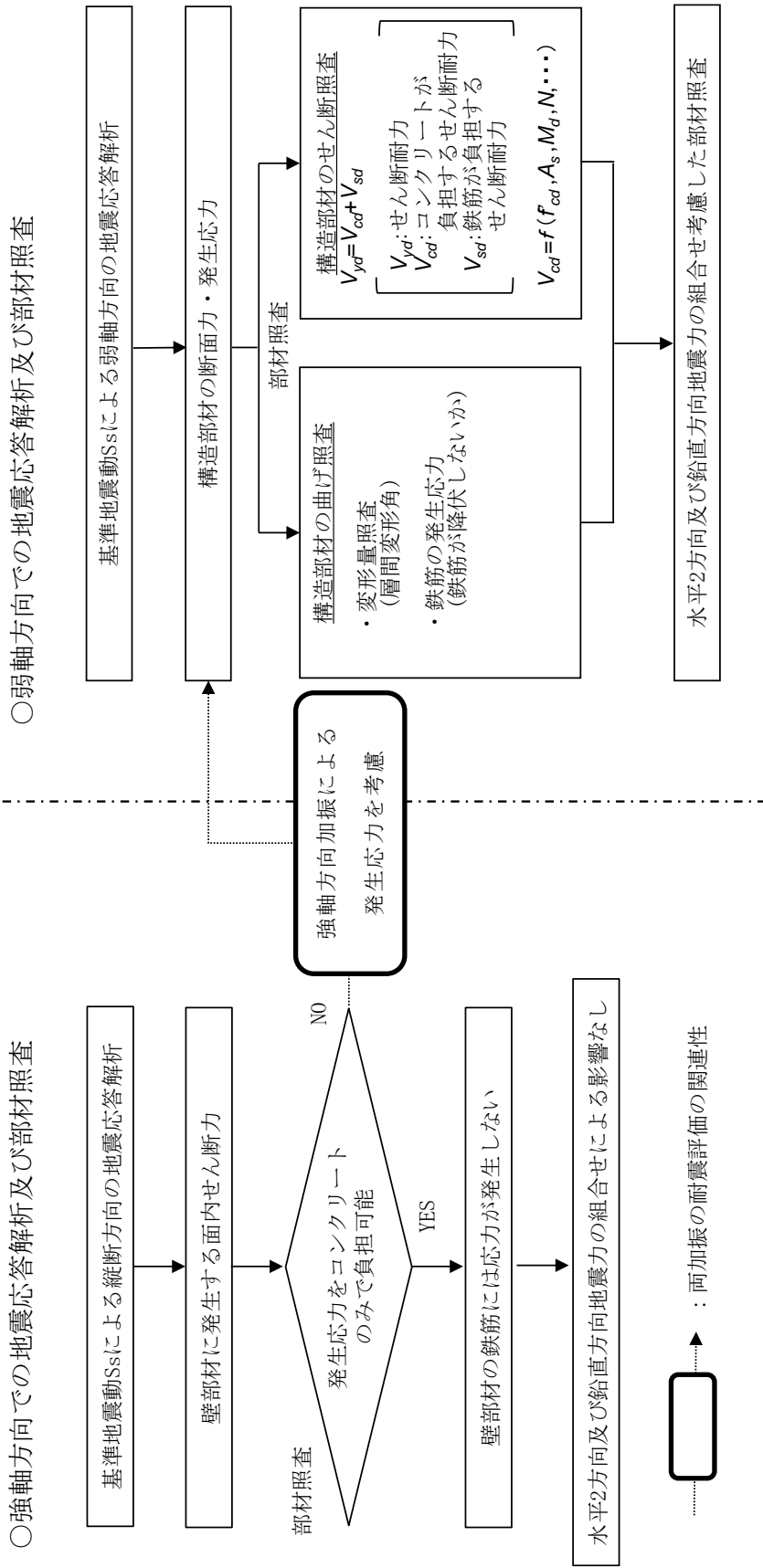


図 3-3-64 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

b. 評価条件

箱型構造物の評価条件については、各構造物それぞれに対応する地震応答計算書に記載の解析手法、解析モデルの設置、解析ケース及び地震動とする。

c. 許容限界

許容限界は、RC規準を参考に、以下の式で求まるコンクリートの許容せん断力 (Q_1) から算定する短期許容せん断応力度 τ_A とする。

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s$$

ここで、

t : 壁の厚さ

l : 壁部材の幅

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

(($F_c/30$ かつ $0.5 + F_c/100$ 以下) の 1.5 倍)

d. 評価結果

(a) B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽

強軸方向断面（B-B断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-4に示すとおり最大で0.47（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-4 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 |
|-----------------------------|-----------------------------|------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | τ_{\max} / τ_A |
| ① | S _s -D | ++ | 0.39 | 1.11 | 0.36 |
| | | -+ | 0.34 | | 0.31 |
| | | + - | 0.40 | | 0.37 |
| | | -- | 0.34 | | 0.31 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.26 | | 0.24 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.29 | | 0.27 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.25 | | 0.23 |
| | | -+ | 0.33 | | 0.30 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.25 | | 0.23 |
| | | -+ | 0.28 | | 0.26 |
| S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.25 | 0.23 | | |
| | -+ | 0.28 | 0.25 | | |
| ② | S _s -D | + - | 0.37 | 0.34 | |
| ③ | S _s -D | + - | 0.47 | 0.43 | |

注：評価位置を図3-3-65に示す。

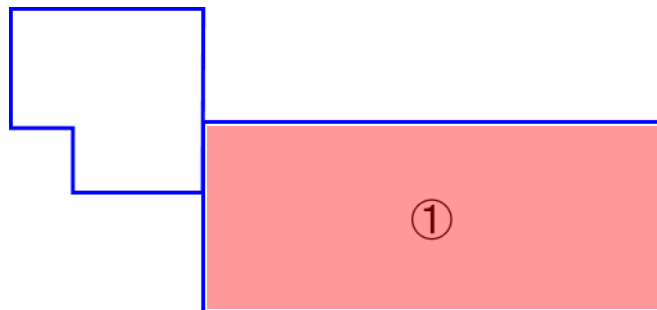


図3-3-65 評価位置図

(b) 第1ベントフィルタ格納槽

強軸方向断面（C-C断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-5～表3-3-8に示すとおり最大で0.76（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-5 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|----------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.20 | 1.11 | 0.18 |
| | | -+ | 0.20 | | 0.19 |
| | | + - | 0.20 | | 0.18 |
| | | -- | 0.18 | | 0.16 |
| | S _s -F1 | ++ | 0.16 | | 0.15 |
| | S _s -F2 | ++ | 0.14 | | 0.13 |
| | S _s -N1 | ++ | 0.14 | | 0.13 |
| | | -+ | 0.13 | | 0.13 |
| | S _s -N2 (NS) | ++ | 0.13 | | 0.12 |
| | | -+ | 0.13 | | 0.12 |
| | S _s -N2 (EW) | ++ | 0.14 | | 0.13 |
| | | -+ | 0.12 | | 0.11 |
| ② | S _s -N1 | -+ | 0.13 | 0.12 | |
| ③ | S _s -N1 | -+ | 0.14 | 0.13 | |
| ④ | S _s -N1 | -+ | 0.21 | 0.19 | |
| ⑤ | S _s -N1 | -+ | 0.21 | 0.19 | |

注：評価位置を図3-3-66に示す。

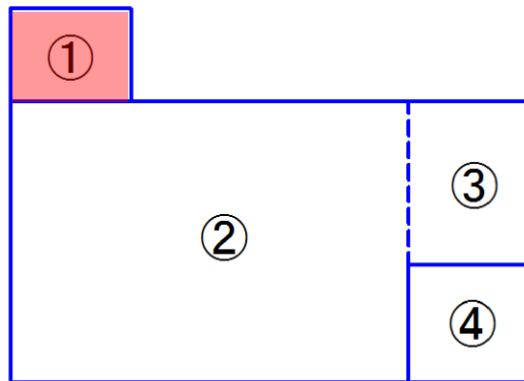


図3-3-66 評価位置図

表 3-3-6 面内せん断に対する照査結果 (対象部位②)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 τ_{\max} (N/mm ²) | 短期許容 せん断応力度 τ_A (N/mm ²) | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|---------------------|--|---|-------------------------------|
| ① | S _s -D | ++ | 0.53 | 1.11 | 0.48 |
| | | -+ | 0.45 | | 0.41 |
| | | + - | 0.52 | | 0.47 |
| | | -- | 0.45 | | 0.41 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.38 | | 0.34 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.35 | | 0.32 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.36 | | 0.33 |
| | | -+ | 0.39 | | 0.36 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.34 | | 0.31 |
| | | -+ | 0.34 | | 0.31 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.35 | | 0.32 |
| | | -+ | 0.33 | | 0.30 |
| | ② | S _s -N 1 | -+ | | 0.39 |
| ③ | S _s -N 1 | -+ | 0.39 | 0.36 | |
| ④ | S _s -N 1 | -+ | 0.44 | 0.40 | |
| ⑤ | S _s -N 1 | -+ | 0.44 | 0.40 | |

注：評価位置を図 3-3-67 に示す。

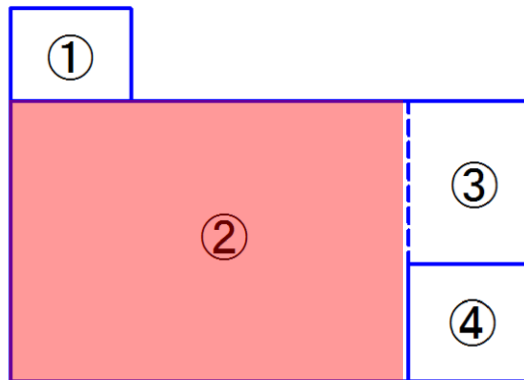


図 3-3-67 評価位置図

表 3-3-7 面内せん断に対する照査結果 (対象部位③)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.61 | 1.11 | 0.55 |
| | | -+ | 0.57 | | 0.52 |
| | | + - | 0.59 | | 0.54 |
| | | -- | 0.57 | | 0.52 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.44 | | 0.40 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.42 | | 0.38 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.37 | | 0.34 |
| | | -+ | 0.46 | | 0.41 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.37 | | 0.34 |
| | | -+ | 0.37 | | 0.34 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.35 | | 0.32 |
| | | -+ | 0.39 | | 0.36 |
| ② | S _s -N 1 | -+ | 0.45 | 0.41 | |
| ③ | S _s -N 1 | -+ | 0.46 | 0.42 | |
| ④ | S _s -N 1 | -+ | 0.45 | 0.45 | |
| ⑤ | S _s -N 1 | -+ | 0.45 | 0.45 | |

注：評価位置を図 3-3-68 に示す。

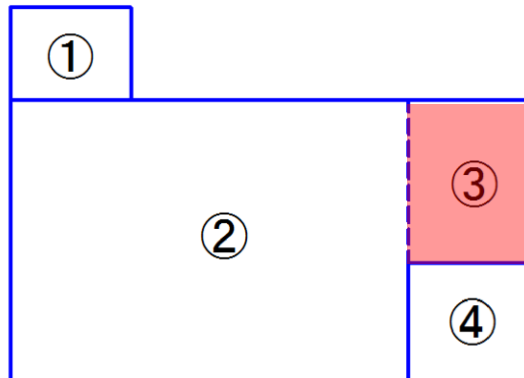


図 3-3-68 評価位置図

表 3-3-8 面内せん断に対する照査結果 (対象部位④)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.76 | 1.11 | 0.69 |
| | | -+ | 0.66 | | 0.60 |
| | | + - | 0.75 | | 0.68 |
| | | -- | 0.71 | | 0.64 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.51 | | 0.46 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.55 | | 0.50 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.48 | | 0.44 |
| | | -+ | 0.56 | | 0.50 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.47 | | 0.43 |
| | | -+ | 0.47 | | 0.43 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.47 | | 0.43 |
| | | -+ | 0.45 | | 0.41 |
| ② | S _s -N 1 | -+ | 0.55 | 0.50 | |
| ③ | S _s -N 1 | -+ | 0.57 | 0.52 | |
| ④ | S _s -N 1 | -+ | 0.59 | 0.53 | |
| ⑤ | S _s -N 1 | -+ | 0.58 | 0.53 | |

注：評価位置を図 3-3-69 に示す。

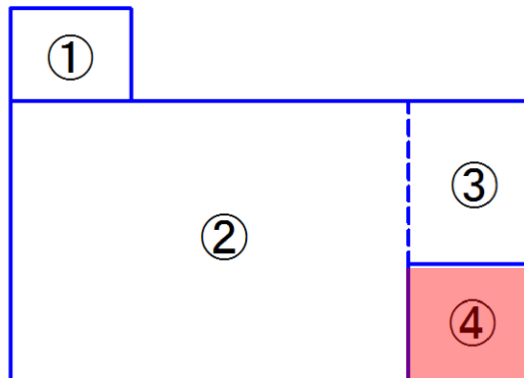


図 3-3-69 評価位置図

(c) 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

強軸方向断面（C-C断面）にて発生する面内せん断応力度は、表3-3-9～表3-3-13に示すとおり最大で0.96（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は1.11（N/mm²）であり、照査値は1.0を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表3-3-9 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.44 | 1.11 | 0.40 |
| | | -+ | 0.35 | | 0.32 |
| | | + - | 0.29 | | 0.27 |
| | | -- | 0.37 | | 0.34 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.24 | | 0.22 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.26 | | 0.24 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.23 | | 0.22 |
| | | -+ | 0.23 | | 0.22 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.23 | | 0.21 |
| | | -+ | 0.21 | | 0.19 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.25 | | 0.23 |
| | | -+ | 0.21 | | 0.19 |
| ② | S _s -D | + - | 0.29 | 0.27 | |
| ③ | S _s -D | + - | 0.29 | 0.27 | |
| ④ | S _s -D | + - | 0.40 | 0.37 | |
| ⑤ | S _s -D | + - | 0.40 | 0.37 | |

注：評価位置を図3-3-70に示す。

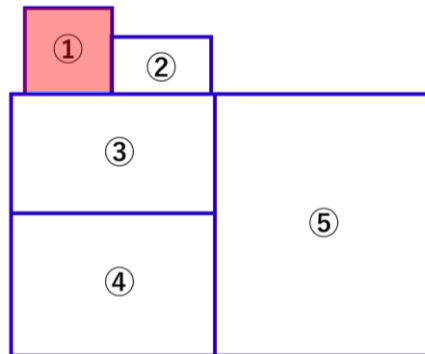


図3-3-70 評価位置図

表 3-3-10 面内せん断に対する照査結果 (対象部位②)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | τ_{max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.13 | 1.11 | 0.12 |
| | | -+ | 0.11 | | 0.11 |
| | | + - | 0.10 | | 0.09 |
| | | -- | 0.13 | | 0.12 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.08 | | 0.08 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.09 | | 0.09 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.08 | | 0.08 |
| | | -+ | 0.08 | | 0.08 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.07 | | 0.07 |
| | | -+ | 0.06 | | 0.06 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.07 | | 0.07 |
| | | -+ | 0.07 | | 0.07 |
| ② | S _s -D | + - | 0.10 | 0.09 | |
| ③ | S _s -D | + - | 0.10 | 0.09 | |
| ④ | S _s -D | + - | 0.11 | 0.11 | |
| ⑤ | S _s -D | + - | 0.11 | 0.10 | |

注：評価位置を図 3-3-71 に示す。

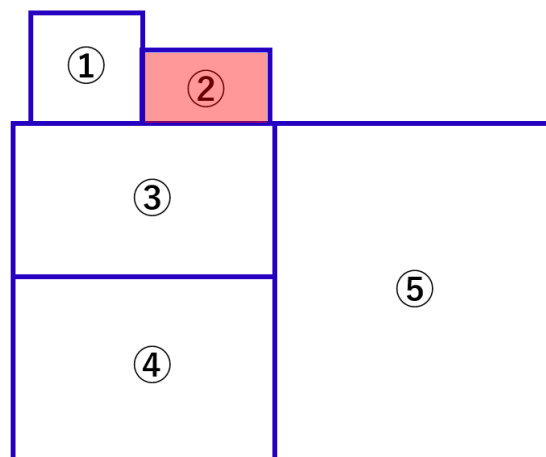


図 3-3-71 評価位置図

表 3-3-11 面内せん断に対する照査結果 (対象部位③)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | τ_{max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.61 | 1.11 | 0.55 |
| | | -+ | 0.57 | | 0.51 |
| | | + - | 0.56 | | 0.51 |
| | | -- | 0.58 | | 0.53 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.42 | | 0.38 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.47 | | 0.43 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.40 | | 0.37 |
| | | -+ | 0.46 | | 0.42 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.39 | | 0.36 |
| | | -+ | 0.38 | | 0.34 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.36 | | 0.33 |
| | | -+ | 0.38 | | 0.35 |
| ② | S _s -D | + - | 0.57 | 0.52 | |
| ③ | S _s -D | + - | 0.57 | 0.52 | |
| ④ | S _s -D | + - | 0.69 | 0.63 | |
| ⑤ | S _s -D | + - | 0.70 | 0.63 | |

注：評価位置を図 3-3-72 に示す。

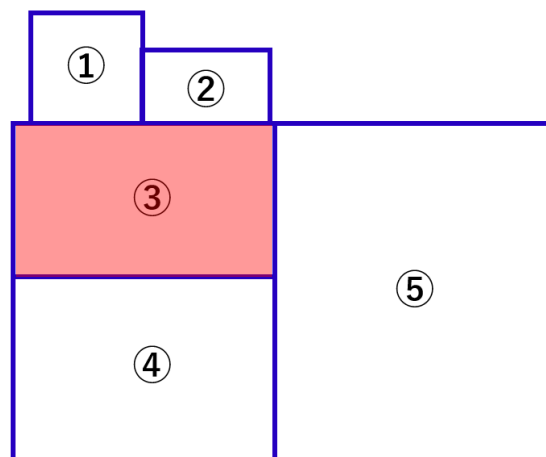


図 3-3-72 評価位置図

表 3-3-12 面内せん断に対する照査結果 (対象部位④)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{\max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | τ_{\max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.88 | 1.11 | 0.80 |
| | | -+ | 0.96 | | 0.87 |
| | | + - | 0.88 | | 0.80 |
| | | -- | 0.94 | | 0.85 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.65 | | 0.59 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.74 | | 0.67 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.63 | | 0.58 |
| | | -+ | 0.67 | | 0.60 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.59 | | 0.53 |
| | | -+ | 0.61 | | 0.55 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.59 | | 0.53 |
| | | -+ | 0.58 | | 0.53 |
| | ② | S _s -D | + - | | 0.88 |
| ③ | S _s -D | + - | 0.88 | 0.80 | |
| ④ | S _s -D | + - | 0.93 | 0.84 | |
| ⑤ | S _s -D | + - | 0.93 | 0.84 | |

注：評価位置を図 3-3-73 に示す。

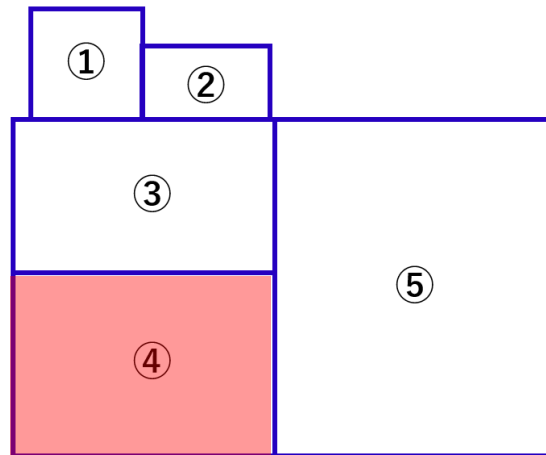


図 3-3-73 評価位置図

表 3-3-13 面内せん断に対する照査結果 (対象部位⑤)

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{max} / τ_A |
|-----------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | τ_{max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S _s -D | ++ | 0.65 | 1.11 | 0.59 |
| | | -+ | 0.68 | | 0.61 |
| | | + - | 0.55 | | 0.50 |
| | | -- | 0.70 | | 0.63 |
| | S _s -F 1 | ++ | 0.45 | | 0.41 |
| | S _s -F 2 | ++ | 0.59 | | 0.53 |
| | S _s -N 1 | ++ | 0.54 | | 0.49 |
| | | -+ | 0.37 | | 0.34 |
| | S _s -N 2 (NS) | ++ | 0.47 | | 0.43 |
| | | -+ | 0.42 | | 0.38 |
| | S _s -N 2 (EW) | ++ | 0.45 | | 0.41 |
| | | -+ | 0.42 | | 0.38 |
| ② | S _s -D | + - | 0.56 | 0.51 | |
| ③ | S _s -D | + - | 0.57 | 0.51 | |
| ④ | S _s -D | + - | 0.71 | 0.64 | |
| ⑤ | S _s -D | + - | 0.70 | 0.64 | |

注：評価位置を図 3-3-74 に示す。

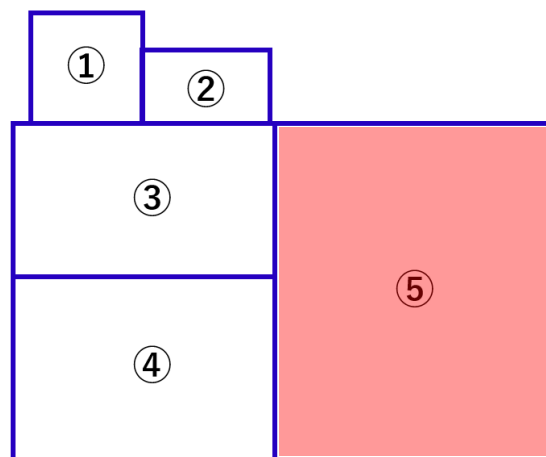


図 3-3-74 評価位置図

(d) 緊急時対策所用燃料地下タンク

強軸方向断面（B－B断面）にて発生する面内せん断応力度は、表 3－3－14 に示すとおり最大で 0.23（N/mm²）である。一方で、RC規準による許容限界である短期許容せん断応力度は 1.11（N/mm²）であり、照査値は 1.0 を下回ることから強軸方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は、弱軸方向断面の耐震評価に影響を与えることはない。

表 3－3－14 面内せん断に対する照査結果（対象部位①）

| 解析 ケース | 地震動 | | 面内せん断 応力度 | 短期許容 せん断応力度 | 照査値 τ_{max} / τ_A |
|-----------|-------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | | | τ_{max} (N/mm ²) | τ_A (N/mm ²) | |
| ① | S s - D | ++ | 0.22 | 1.11 | 0.20 |
| | | -+ | 0.20 | | 0.18 |
| | | +- | 0.23 | | 0.21 |
| | | -- | 0.20 | | 0.18 |
| | S s - F 1 | ++ | 0.01 | | 0.01 |
| | S s - F 2 | ++ | 0.01 | | 0.01 |
| | S s - N 1 | ++ | 0.19 | | 0.17 |
| | | -+ | 0.20 | | 0.19 |
| | S s - N 2 (NS) | ++ | 0.15 | | 0.14 |
| | | -+ | 0.18 | | 0.17 |
| | S s - N 2 (EW) | ++ | 0.14 | | 0.13 |
| | | -+ | 0.16 | | 0.14 |
| ② | S s - D | +- | 0.23 | 0.20 | |
| ③ | S s - D | +- | 0.22 | 0.20 | |

注：評価位置を図 3－3－75 に示す。

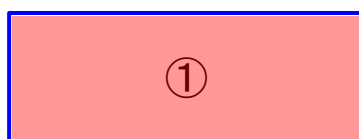


図 3－3－75 評価位置図

(2) 線状構造物

屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）については、VI-2-2-21「屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(3) 円筒状構造物

取水口については、VI-2-2-29「取水口の耐震性についての計算書」において、復水貯蔵タンク遮蔽壁については、VI-2-11-2-12「復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(4) 直接基礎

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、VI-2-2-36「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

(5) 管路構造物

取水管については、VI-2-2-28「取水管の耐震性についての計算書」において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し、十分な構造強度を有していることを確認している。

3.3.4 機器・配管系への影響

屋外重要土木構造物等において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した構造物について、機器・配管系への影響の可能性について検討した。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響については、構造物にねじれが発生する場合、応答に影響を与えられられる。

(1) 箱型構造物

箱型構造物については、鉄筋コンクリート部材の底版や側壁が厚く、全体の剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(2) 線状構造物

線状構造物のうち、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の一体化部については、直交するダクトが交差する箇所であり、剛性が大きいことから、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(3) 円筒状構造物

円筒状構造物である取水口及び復水貯蔵タンク遮蔽壁については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

(4) 直接基礎

直接基礎であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、鉄筋コンクリート部材の底版が厚く、全体の剛性が大きい。また、鉛直部材が左右対称に配置されており、地震力によるねじれが発生し難い構造となる。そのため、直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。

(5) 管路構造物

管路構造物である取水管については、機器・配管系を支持していないことから影響はない。

3.3.5 まとめ

屋外重要土木構造物等において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1) 評価対象となる施設の整理

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する対象設備は，津波防護施設である防波壁，防波壁通路防波扉及び1号機取水槽流路縮小工，浸水防止設備である防水壁，屋外排水路逆止弁，水密扉，床ドレン逆止弁，隔離弁，貫通部止水処置，ポンプ及び配管，津波監視設備である津波監視カメラ及び取水槽水位計とする。各構造物の位置図を図3.4.1-1に，評価対象施設を表3.4.1-1に示す。

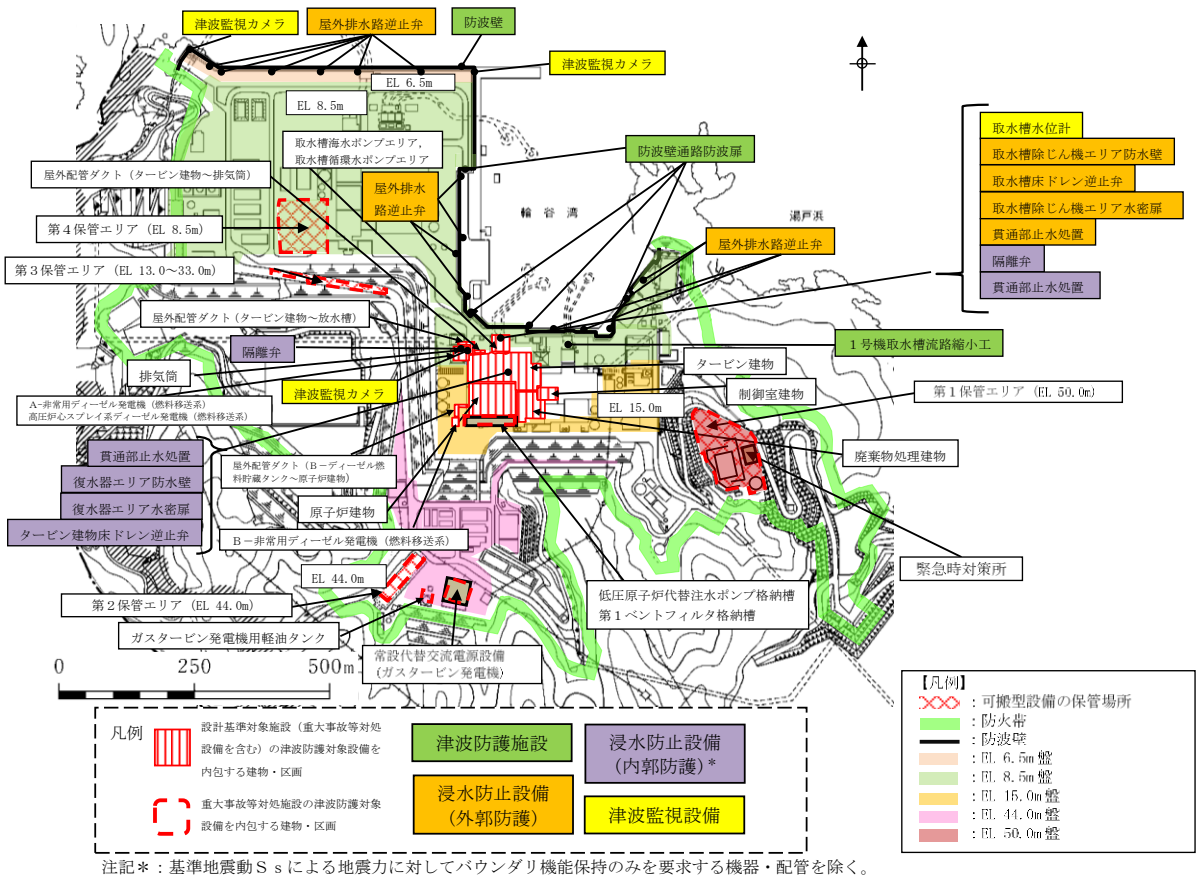


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図（1/5）

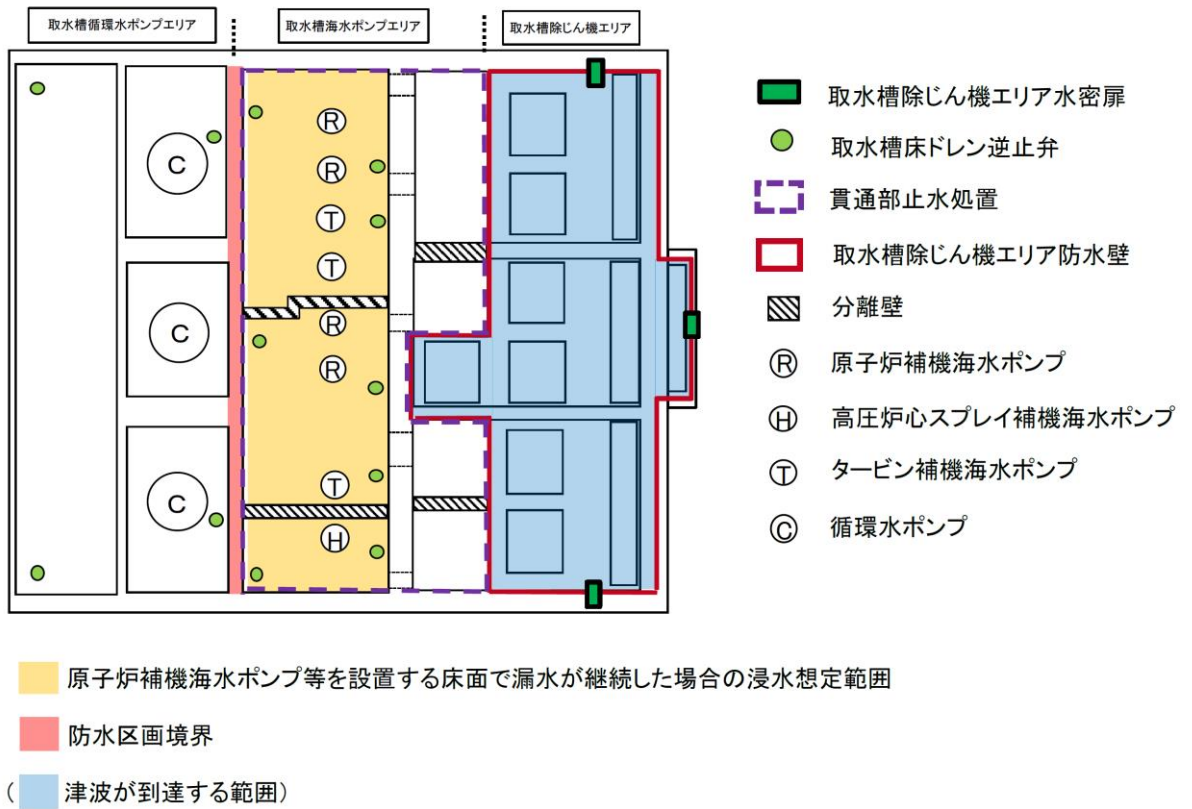


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (2/5)

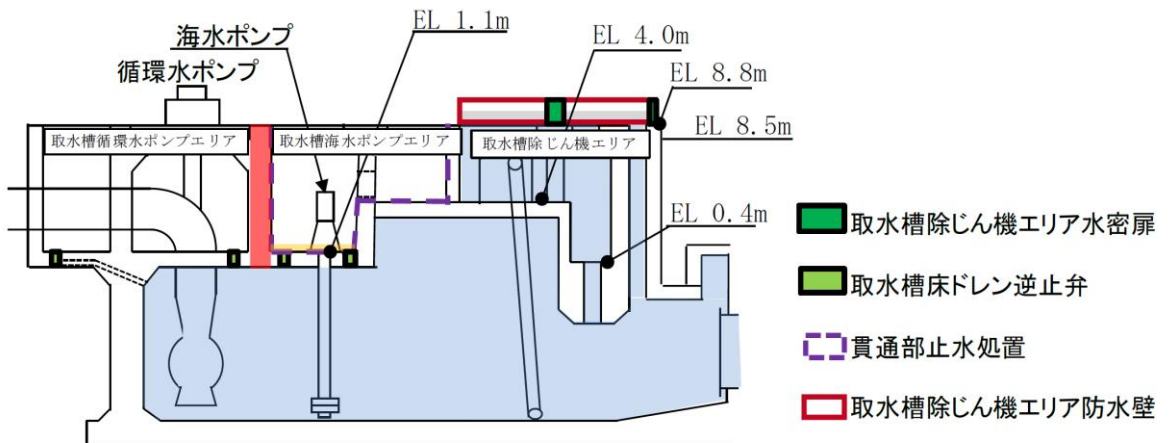


図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (3/5)

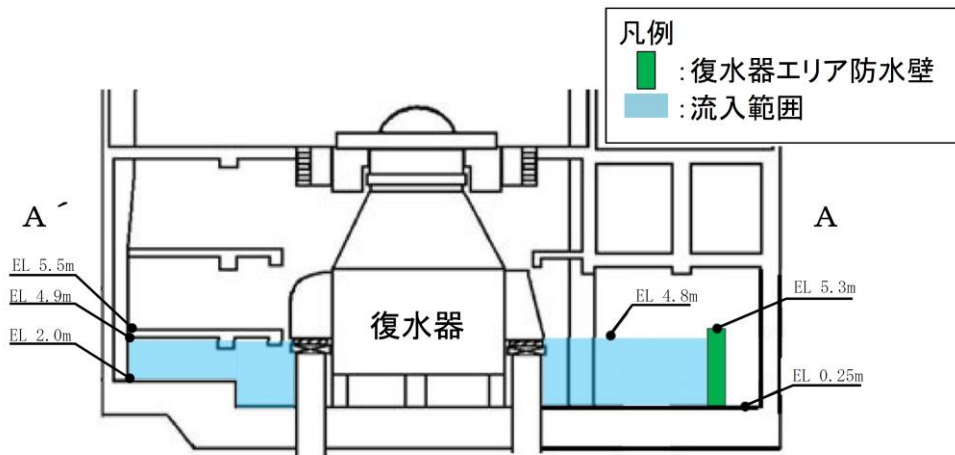
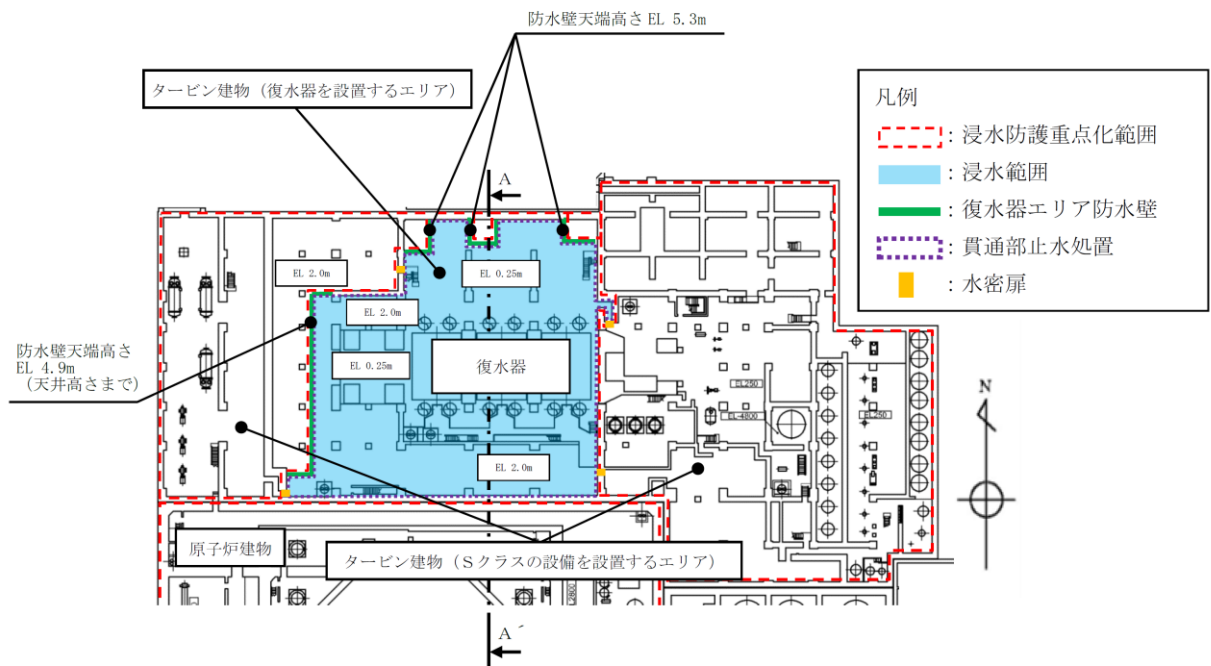
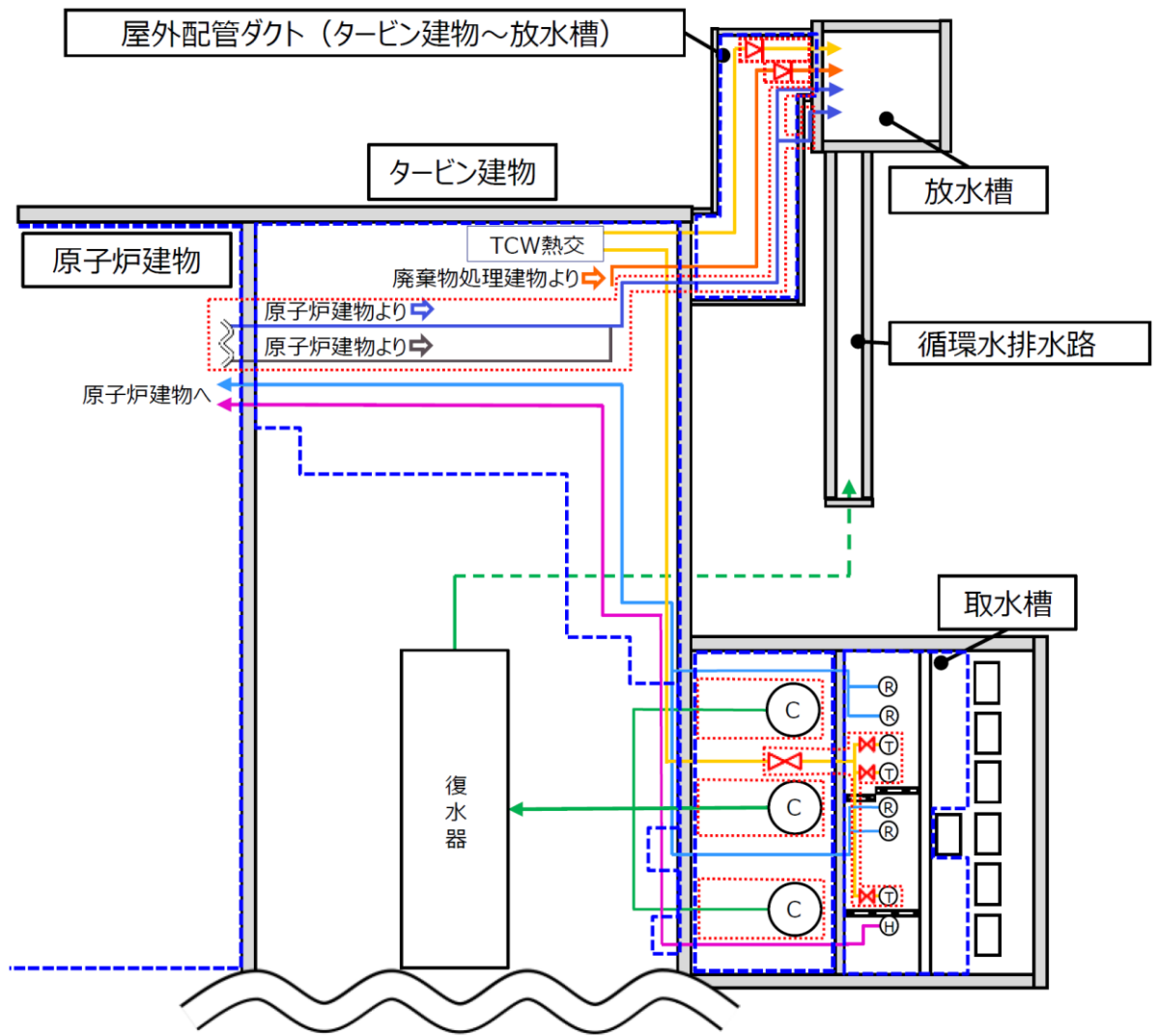


図 3.4.1-1 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (4/5)



【凡例】

- ⬜ (Red dashed border): Sクラスとする範囲
 - ⬜ (Blue dashed border): 浸水防護重点化範囲
 - ⚡ (Red): 隔離弁 (電動弁, 逆止弁)
 - ← (Blue): 原子炉補機海水系配管 (Sクラス)
 - ← (Pink): 高圧炉心スプレイ補機海水系配管 (Sクラス)
 - ← (Blue): 原子炉補機海水系放水配管 (Cクラス)
 - ← (Black): 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管 (Cクラス)
 - ← (Yellow): タービン補機海水系配管 (Cクラス)
 - ← (Green): 循環水系配管 (Cクラス) (点線部は埋設配管を示す)
 - ← (Orange): 液体廃棄物処理系配管 (Cクラス)
 - Ⓡ (Blue): 原子炉補機海水ポンプ (Sクラス)
 - Ⓡ (Black): 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (Sクラス)
 - Ⓡ (Black): タービン補機海水ポンプ (Cクラス)
 - Ⓡ (Black): 循環水ポンプ (Cクラス)
- 注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図 3.4.1-1 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備位置図 (5/5)

表 3.4.1-1 評価対象施設

| 設備名称 | | 施設分類 | |
|-------------|-------------------------------------|--------|--------|
| 防波壁 | 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） | 津波防護施設 | |
| | 防波壁（逆T擁壁） | | |
| | 防波壁（波返重力擁壁） | | |
| 防波壁通路防波扉 | 防波壁通路防波扉（1号機北側） | | |
| | 防波壁通路防波扉（2号機北側） | | |
| | 防波壁通路防波扉（荷揚場南） | | |
| | 防波壁通路防波扉（3号機東側） | | |
| 1号機取水槽流路縮小工 | | | |
| 防水壁 | 取水槽除じん機エリア防水壁 | | 浸水防止設備 |
| | 復水器エリア防水壁 | | |
| 屋外排水路逆止弁 | | | |
| 水密扉 | 取水槽除じん機エリア水密扉 | | |
| | 復水器エリア水密扉 | | |
| 床ドレン逆止弁 | 取水槽床ドレン逆止弁 | | |
| | タービン建物床ドレン逆止弁 | | |
| 隔離弁 | タービン補機海水系隔離システム （電動弁，漏えい検知器，制御盤） | | |
| | 逆止弁 | | |
| ポンプ及び配管 | | | |
| 貫通部止水処置 | | | |
| 津波監視カメラ | | 津波監視設備 | |
| 取水槽水位計 | | | |

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」、「4.3 屋外重要土木構造物等」に分類し評価を行っていることから、その分類を表 3.4.1-2 に示す。

浸水防止設備及び津波監視設備のうち、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」に基づき、「3.2 機器・配管系」にて評価結果を示している施設については、本章では評価は省略する。浸水防止設備の間接支持構造物のうち、「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物等」にて評価結果を示している施設についても、本章では評価は省略する。

表 3.4.1-2 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備の分類

| 分類 | 名称 | | 区分 |
|-------------|--------------|--|---|
| 津波防護施設 | 防波壁 | | 「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。 |
| | 防波壁通路 防波扉 | 1号機北側 | 「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.4.4」に整理する。 |
| | | 2号機北側 | |
| | | 荷揚場南 | 「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。 |
| | | 3号機東側 | |
| 1号機取水槽流路縮小工 | | 「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.3.4」に整理する。 | |
| 浸水防止設備 | 防水壁 | | 「3.3 屋外重要土木構造物等」の設計方針に基づく。影響評価については「3.4.5」に整理する。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1.4」及び「3.3.4」に整理する。 |
| | 屋外排水路逆止弁 | | 「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.1.4」、「3.3.4」又は「3.4.4」に整理する。 |
| | 水密扉 | | |
| | 床ドレン逆止弁 | | |
| | 隔離弁 | | |
| | ポンプ及び配管 | | |
| | 貫通部止水処置 | | |
| 津波監視設備 | 津波監視カメラ | | 「3.2 機器・配管系」の設計方針に基づく。なお、間接支持構造物の影響評価は、「3.3.4」又は「3.4.4」に整理する。 |
| | 取水槽水位計 | | |

(2) 構造形式の分類

本章における評価対象構造物である津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備並びにその間接支持構造物の構造形式の分類を表 3.4.1-3 に示す。

構造形式により線状構造物及び鋼管杭基礎の 2 つの構造形式に分類される。

表 3.4.1-3 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備
並びにその間接支持構造物の構造形式の分類

| 分類 | 構造物 | | 線状構造物 | 鋼管杭基礎 |
|--------|--------------|-------------------|-------------------------------------|------------|
| 津波防護施設 | 防波壁 | 多重鋼管杭式擁壁 | ○ (上部工) | ○ (鋼管杭) |
| | | 逆T擁壁 | ○ (上部工) | |
| | | 波返重力擁壁 | ○ (上部工・下部工) | |
| | 防波壁通路 防波扉 | 1号機北側 | ○ (防波壁(多重鋼管杭式擁壁)* ¹) | |
| | | 2号機北側 | ○ (防波壁(多重鋼管杭式擁壁)* ¹) | |
| | | 荷揚場南 | ○ (上部工* ²) | ○ (鋼管杭) |
| | | 3号機東側 | ○ (上部工* ²) | |
| 浸水防止設備 | 防水壁 | 取水槽除じん機 エリア防水壁 | ○ (防水壁) | |
| | | 復水器エリア 防水壁 | ○ (防水壁) | |
| 津波監視設備 | 津波監視カメラ | | ○ (防波壁(波返重力擁壁)* ¹) | |

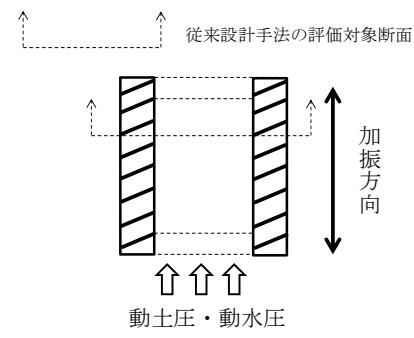
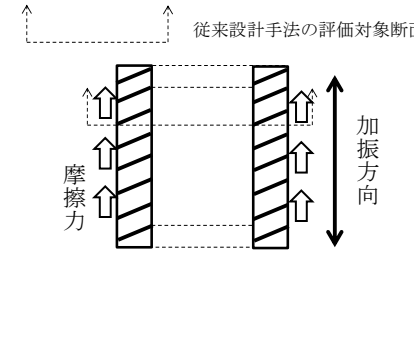
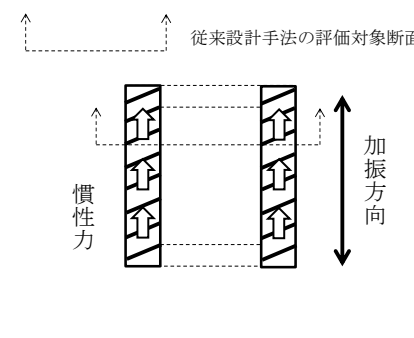
注記*1：間接支持構造物を示す。なお、本表に示している設備以外の浸水防止設備及び津波監視設備の間接支持構造物については「3.1 建物・構築物」及び「3.3 屋外重要土木構造物」にて評価結果を示していることから、本章では評価は省略する。

*2：主たる止水構造である防波扉（鋼製扉体）については，従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向（強軸方向）の断面係数が相対的に大きいため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さいことから評価は省略する。一方，防波扉（鋼製扉体）を支持する左右のRC支柱については，線状構造物である防波壁と一体構造であり，強軸方向の慣性力等の荷重が作用することで，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるため，評価対象とする。

(3) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 3.4.1-4 に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。
 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧、動水圧、
 摩擦力及び慣性力が挙げられる。

表 3.4.1-4 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

| 作用荷重 | | 作用荷重のイメージ |
|-------------------|--|--|
| ①動土圧 及び 動水圧 | 従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧 |  |
| ②摩擦力 | 周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力 |  |
| ③慣性力 | 躯体に作用する慣性力 |  |

(4) 荷重の組合せによる応答特性が想定される箇所

表 3.4.1-5 に、3.4.1(2)で整理した構造形式、3.4.1(3)で整理した荷重作用による影響程度と、各構造物の概略図と特徴を示す。

また、荷重の組合せによる応答特性が想定される箇所として、鋼管杭基礎の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁通路防波扉（荷揚場南）の下部工を抽出する。

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (1/10)

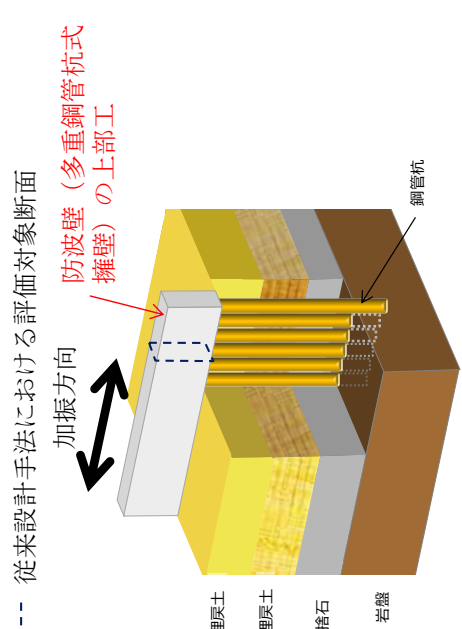
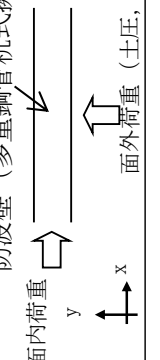
| 構造形式の分類 | | 線状構造物 (防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 上部工) | |
|-----------------------------------|--|---|----------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 |  | ①動土圧及び動水圧 | 作用しない |
| | | ②摩擦力 | 作用しない |
| | | ③慣性力 | 全ての部材に作用 |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | | |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | <p>防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の上部工</p>  | <ul style="list-style-type: none"> ・防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の上部工には, 左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び面内荷重として強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 | |
| 抽出結果 | × | | |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (2/10)

| 構造形式の分類 | | 線状構造物 (防波壁 (逆 T 擁壁) 上部工) | |
|-----------------------------------|---|--|----------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 | | ①動土圧及び動水圧 | 作用しない |
| | | ②摩擦力 | 作用しない |
| | | ③慣性力 | 全ての部材に作用 |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | | |
| 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | <p>防波壁 (逆 T 擁壁) の上部工</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・防波壁 (逆 T 擁壁) の上部工には、左記に示すような水平 2 方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 | |
| 抽出結果 | | | x |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (3/10)

| 構造形式の分類 | 線状構造物 (防波壁 (波返重力擁壁) 上部工) | | |
|-----------------------------------|--|--|---|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 | | <p>① 動土圧及び動水圧</p> <p>② 摩擦力</p> <p>③ 慣性力</p> | <p>作用しない</p> <p>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用する</p> <p>全ての部材に作用</p> |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>・ 従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | | |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | | <p>・ 防波壁 (波返重力擁壁) の上部工には、左記に示すような水平方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。</p> <p>・ 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。</p> | |
| 抽出結果 | <p style="text-align: center;">×</p> | | |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (4/10)

| 構造形式の分類 | | 線状構造物 (防波壁 (波返重力擁壁) 下部工) | |
|-----------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 | | ①動土圧及び動水圧 | 作用しない |
| | | ②摩擦力 | 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用する |
| | | ③慣性力 | 全ての部材に作用 |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>•従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | <p>•従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | <p>防波壁 (波返重力擁壁) の下部工</p> | <ul style="list-style-type: none"> •防波壁 (波返重力擁壁) の下部工には, 左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 •下部工は強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから, 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 | |
| 抽出結果 | | | X |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (5/10)

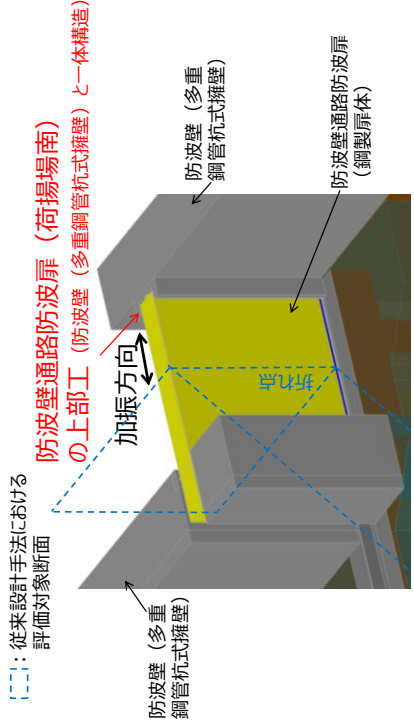
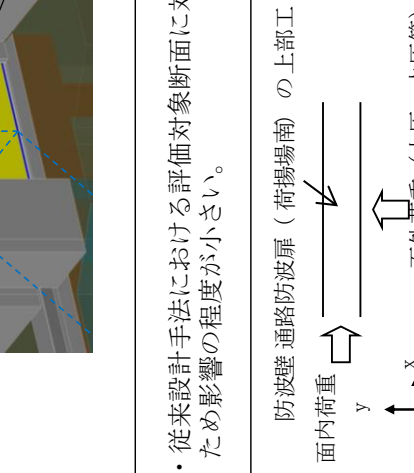
| 構造形式の分類 | 線状構造物 (防波壁通路防波扉 (荷揚場南) 上部工) | ①動土圧及び動水圧 | 作用しない |
|-----------------------------------|---|--|----------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 |  | ②摩擦力 | 作用しない |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <ul style="list-style-type: none"> 従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。 | ③慣性力 | 全ての部材に作用 |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 |  | <ul style="list-style-type: none"> 防波壁通路防波扉 (荷揚場南) の上部工には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び面内荷重として強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 | X |
| 抽出結果 | X | | |

表 3. 4. 1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (6/10)

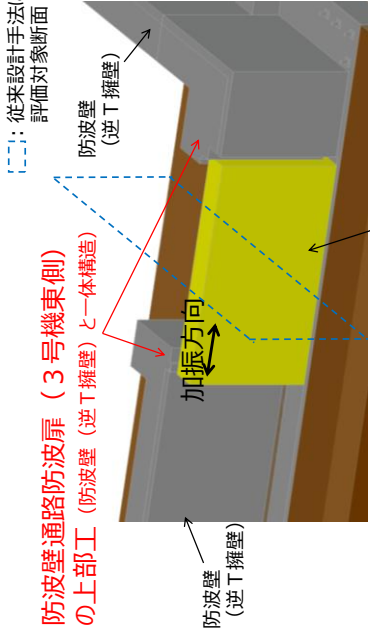
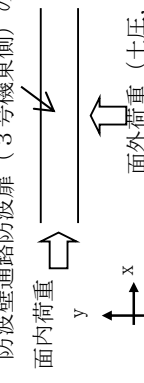
| 構造形式の分類 | 線状構造物 (防波壁通路防波扉 (3号機東側) 上部工) | |
|-------------------------------|---|--|
| 従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の作用状況 |  | |
| 従来設計手法における評価断面に対して直交する荷重の影響程度 | <ul style="list-style-type: none"> 従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。 | <ul style="list-style-type: none"> ①動土圧及び動水圧 作用しない ②摩擦力 作用しない ③慣性力 全ての部材に作用 |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性 | <p>防波壁通路防波扉 (3号機東側) の上部工</p>  <ul style="list-style-type: none"> 防波壁通路防波扉 (3号機東側) の上部工 水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 上部工には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 | <p>抽出結果</p> <p style="text-align: center;">×</p> |

表 3.4.1-5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (7/10)

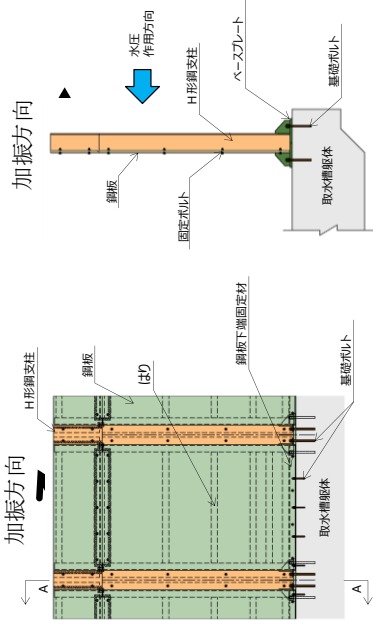
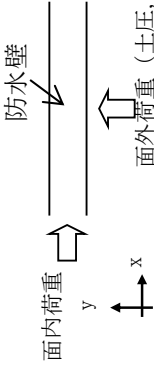
| 構造形式の分類 | 線状構造物 (取水槽除じん機エリア防水壁) | |
|---|--|--|
| <p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況</p> | <p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  | |
| <p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度</p> | <p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | |
| <p>水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> ・防水壁には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・防水壁には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。 |
| <p>抽出結果</p> | <p style="text-align: center;">×</p> | |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (8/10)

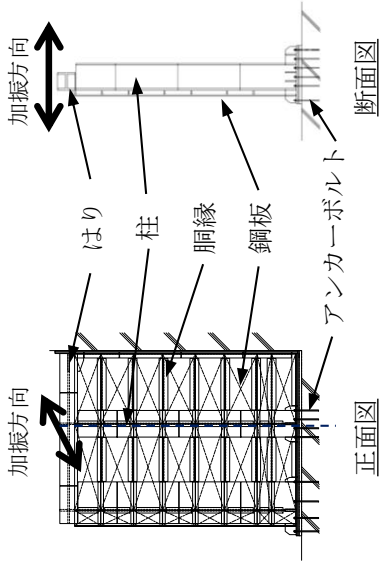
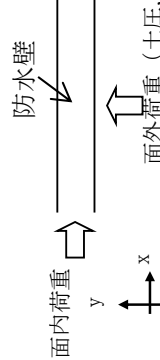
| 構造形式の分類 | 線状構造物 (復水器エリア防水壁) | |
|---|--|---|
| <p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況</p> | <p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  | |
| <p>従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度</p> | <p>①動土圧及び動水圧</p> | <p>作用しない</p> |
| <p>水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性</p> |  | <p>②摩擦力</p> <p>作用しない</p> |
| <p>抽出結果</p> | <p>③慣性力</p> | <p>全ての部材に作用</p> |
| <p>・従来設計手法における評価対象断面に対して直交方向 (強軸方向) に①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響の程度が小さい。</p> | | <p>・防水壁には、左記に示すような水平2方向入力による面内荷重及び面外荷重の作用が考えられる。 ・防水壁には土圧及び水圧等の荷重が作用しないこと及び強軸方向の慣性力により発生する応力の影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。</p> |
| <p>抽出結果</p> | | <p>X</p> |

表 3.4.1-5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (9/10)

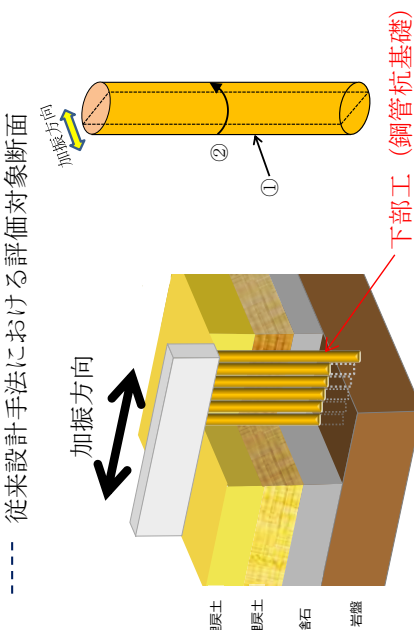
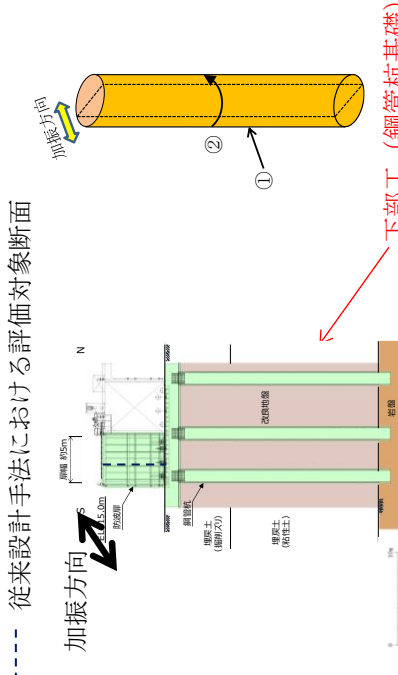
| 構造形式の分類 | 鋼管杭基礎 (防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) 下部工) | |
|--|--|----------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 | <p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  | |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>① 動土圧及び動水圧</p> | 作用する |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | <p>② 摩擦力</p> | 作用する |
| 抽出結果 | <p>③ 慣性力</p> | 全ての部材に作用 |
| <p>• 胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重、③慣性力による荷重が作用するため影響の程度が大きい。</p> | | |
| <p>• 鋼管杭基礎である防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の下部工には、左記に示すような水平2方向入力による応力の集中が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 下部工では、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力、並びに上部工法線直交方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。 | | |
| ○ | | |

表 3.4.1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 (10/10)

| 構造形式の分類 | 鋼管杭基礎 (防波壁通路防波扉 (荷揚場南) 下部工) | |
|--|--|----------|
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の作用状況 | <p>----- 従来設計手法における評価対象断面</p>  | |
| 従来設計手法における評価断面に 対して直交する荷重の影響程度 | <p>①動土圧及び動水圧</p> | 作用する |
| 水平2方向及び鉛直方向地震力の 影響が想定される応答特性 | <p>②摩擦力</p> | 作用する |
| 抽出結果 | <p>③慣性力</p> | 全ての部材に作用 |
| <p>• 胴体部において、①動土圧及び動水圧による荷重，上部工からの荷重が作用するため影響の程度が大きい。</p> | | |
| <p>• 鋼管杭基礎である防波壁通路防波扉 (荷揚場南) の下部工には、左記に示すような水平2方向入力による応力の集中が考えられる。</p> <p>• 下部工では、上部工法線方向の水平地震力による動土圧及び動水圧と上部工からの荷重による発生応力，並びに上部工法線直交方向の水平地震力による動土圧及び動水圧による発生応力が足し合わされるため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される。</p> | | |
| ○ | | |

(5) 従来設計手法における評価対象以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(4)で抽出しなかった線状構造物のうち、防波壁（多重鋼管杭式擁壁，逆T擁壁，波返重力擁壁）の上部工及び防波壁（波返重力擁壁）の下部工は、構造物の配置上、屈曲部や隅角部を有する。また、浸水防止設備のうち取水槽除じん機エリア防水壁及び復水器エリア防水壁は隅角部を有する。

以上の構造物の構造等を考慮したうえで、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性を以下に示す。

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

図 3.4.1-2 に、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地の平面図を示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の屈曲部及び隅角部では、妻壁に相当する部位を有する。

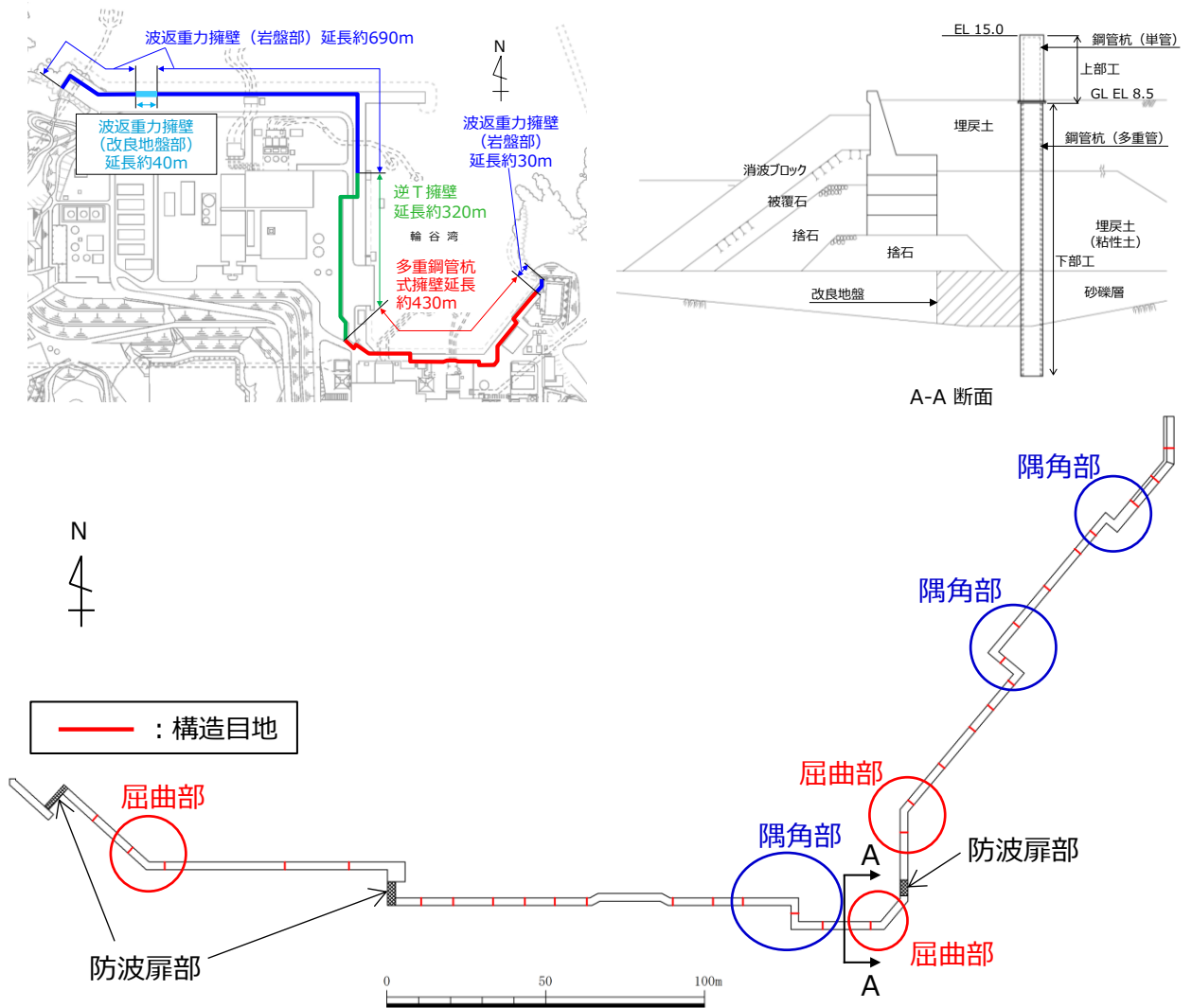
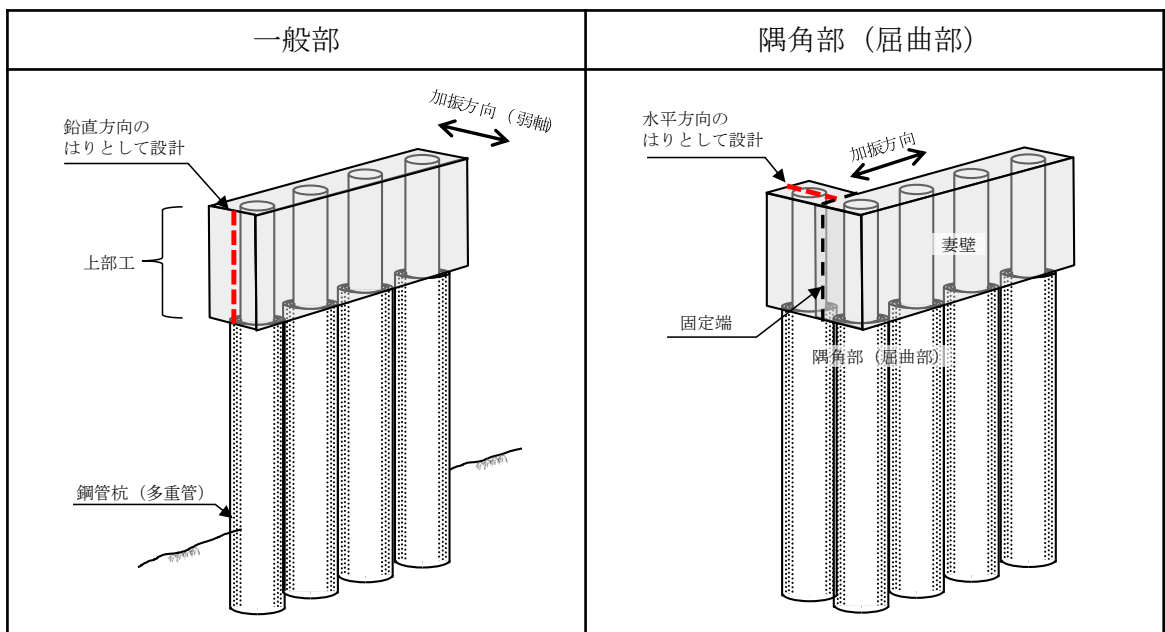


図 3.4.1-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造目地（平面図）

表 3.4.1-6 に示すとおり、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は下部工と一体構造であることから、これを適切にモデル化し、上部工を鉛直方向のはりとして設計する。屈曲部や隅角部では、妻壁側も同様に設計するが、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工が下部工と一体構造であることを適切にモデル化し、上部工を水平方向のはりとして設計する。

したがって、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を行っていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価は不要と判断する。

表 3.4.1-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工の設計概要図



b. 防波壁（逆T擁壁）の上部工

図 3.4.1-3 に，防波壁（逆T擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（逆T擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3次元的な応答特性は想定されず，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

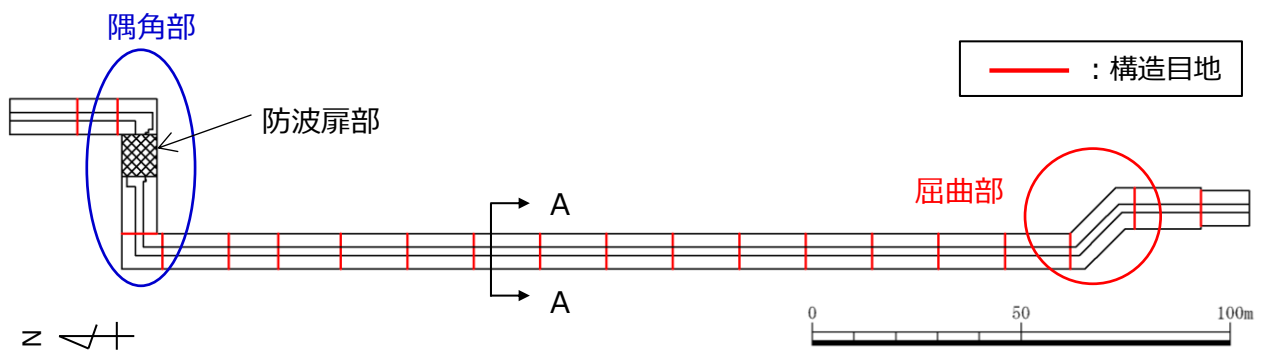
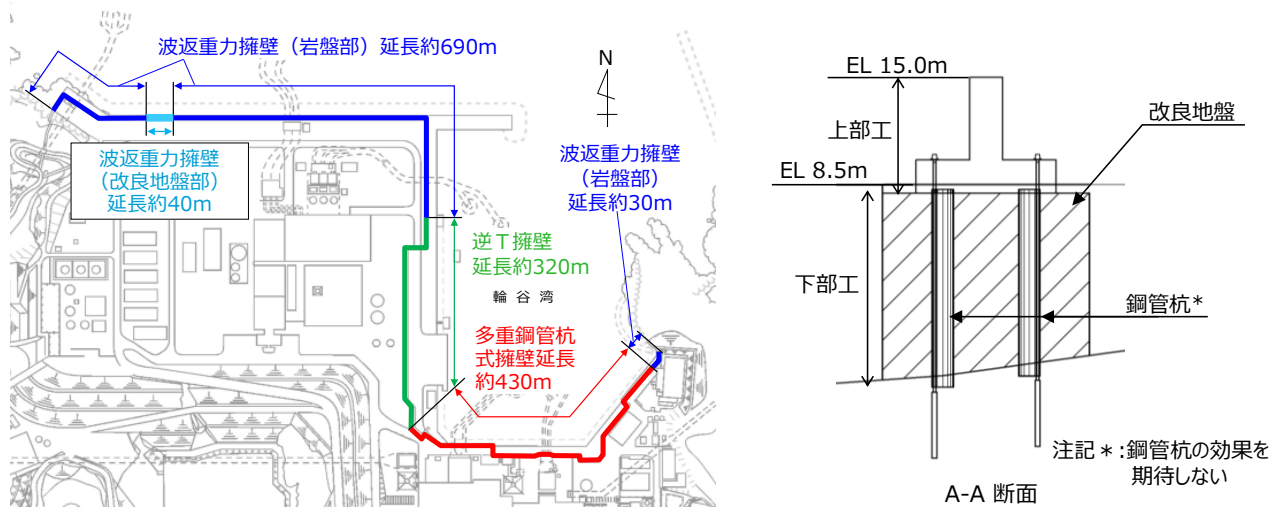


図 3.4.1-3 防波壁（逆T擁壁）の構造目地（平面図）

c. 防波壁（波返重力擁壁）の上部工及び下部工

図 3.4.1-4 に，防波壁（波返重力擁壁）の構造目地の平面図を示す。

防波壁（波返重力擁壁）の上部工の屈曲部では，妻壁に相当する部位の面積が小さく，慣性力の影響も小さいことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

隅角部については，隅角部に構造目地を設けるため，独立した線状構造物が接しているのみであり，3 次元的な応答特性は想定されず，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

また，防波壁（波返重力擁壁）の下部工の屈曲部や隅角部では，独立した線状構造物が接しているのみであり，3 次元的な応答特性は想定されず，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は小さい。

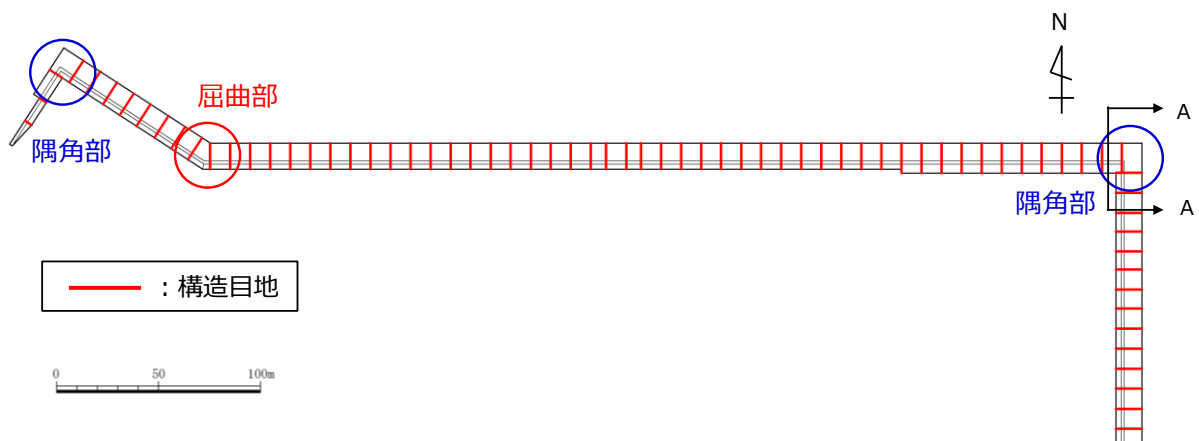
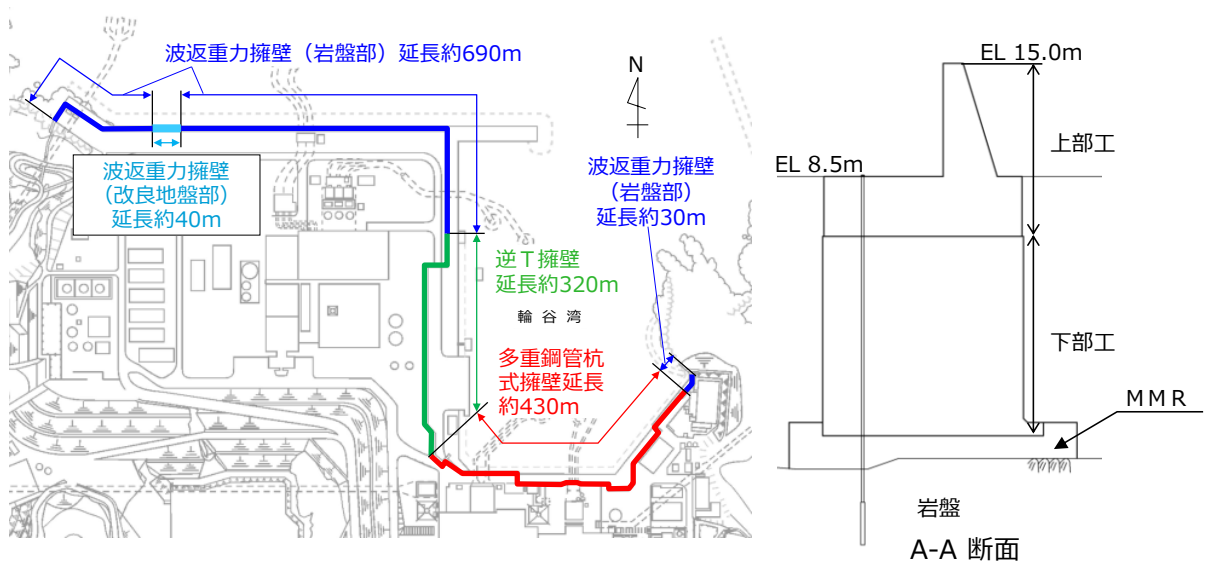
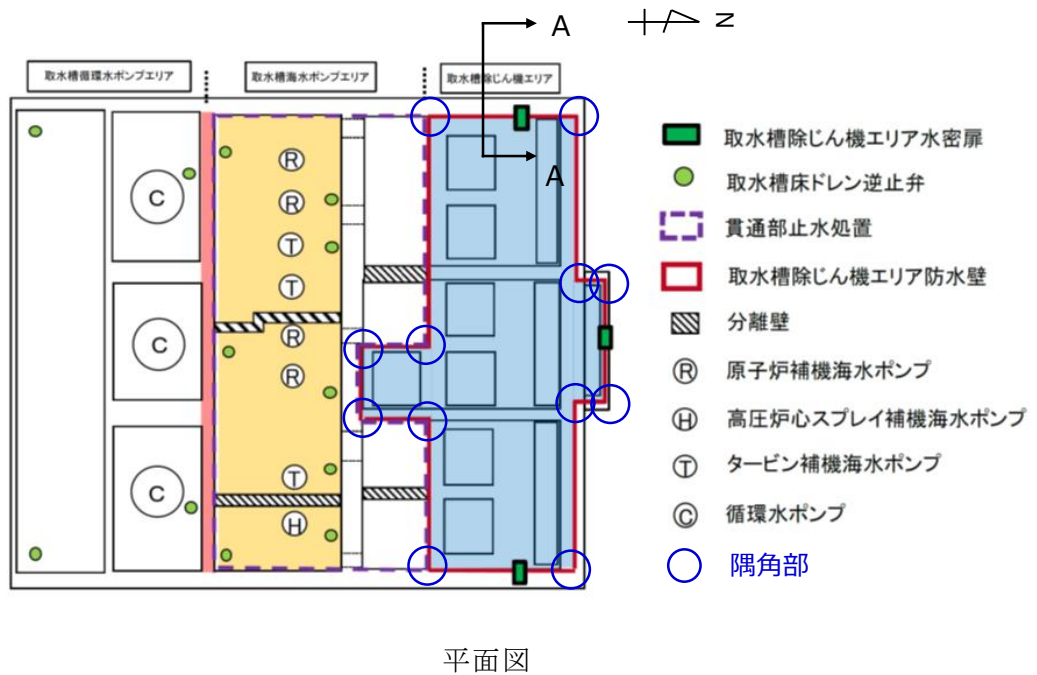


図 3.4.1-4 防波壁(波返重力擁壁)の構造目地(平面図)

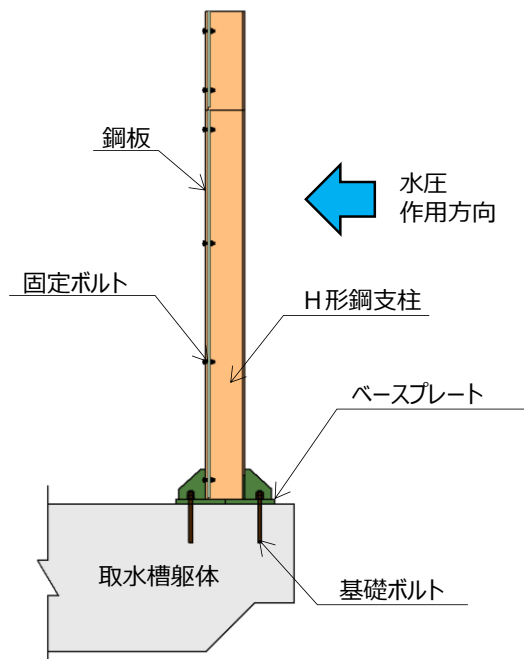
d. 取水槽除じん機エリア防水壁の隅角部

図 3.4.1-5 に、取水槽除じん機エリア防水壁の平面図及び断面図を示す。

防水壁の隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が懸念される。



平面図



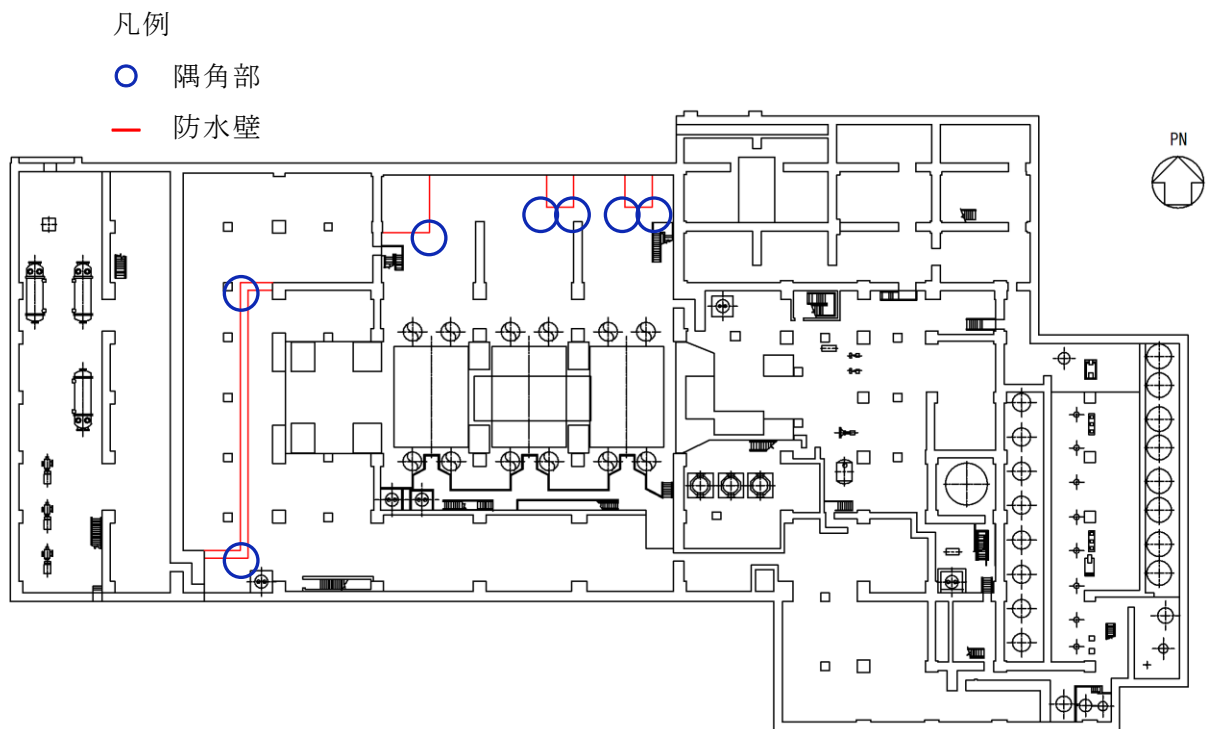
A-A断面図

図 3.4.1-5 取水槽除じん機エリア防水壁平面図及び断面図

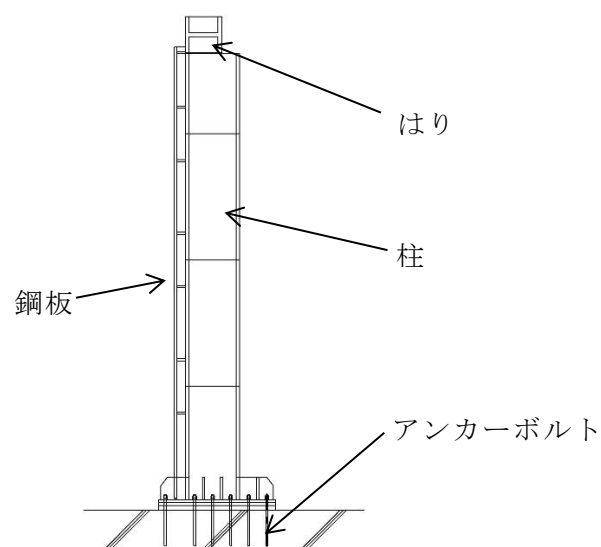
e. 復水器エリア防水壁の隅角部

図 3.4.1-6 に、復水器エリア防水壁の設置位置図及び断面図を示す。

復水器エリア防水壁の隅角部では、妻壁に相当する部位を有することから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が懸念される。



設置位置図



断面図

図 3.4.1-6 復水器エリア防水壁の設置位置図及び断面図

3.4.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.4.1の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果を以下に示す。

(1)線状構造物

構造及び作用荷重の観点から、取水槽除じん機エリア防水壁及び復水器エリア防水壁の隅角部を抽出する。また、従来の設計手法で対応している防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工についても、その妥当性を確認する。

(2)鋼管杭基礎

構造及び作用荷重の観点から、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁通路防波扉（荷揚場南）の下部工を抽出する。

ここで、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工は防波壁通路防波扉（荷揚場南）の上部工よりも重量があり慣性力がより大きくなることで相対的に影響が大きいと考えられることから、鋼管杭基礎は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工を代表に評価する。

3.4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 線状構造物

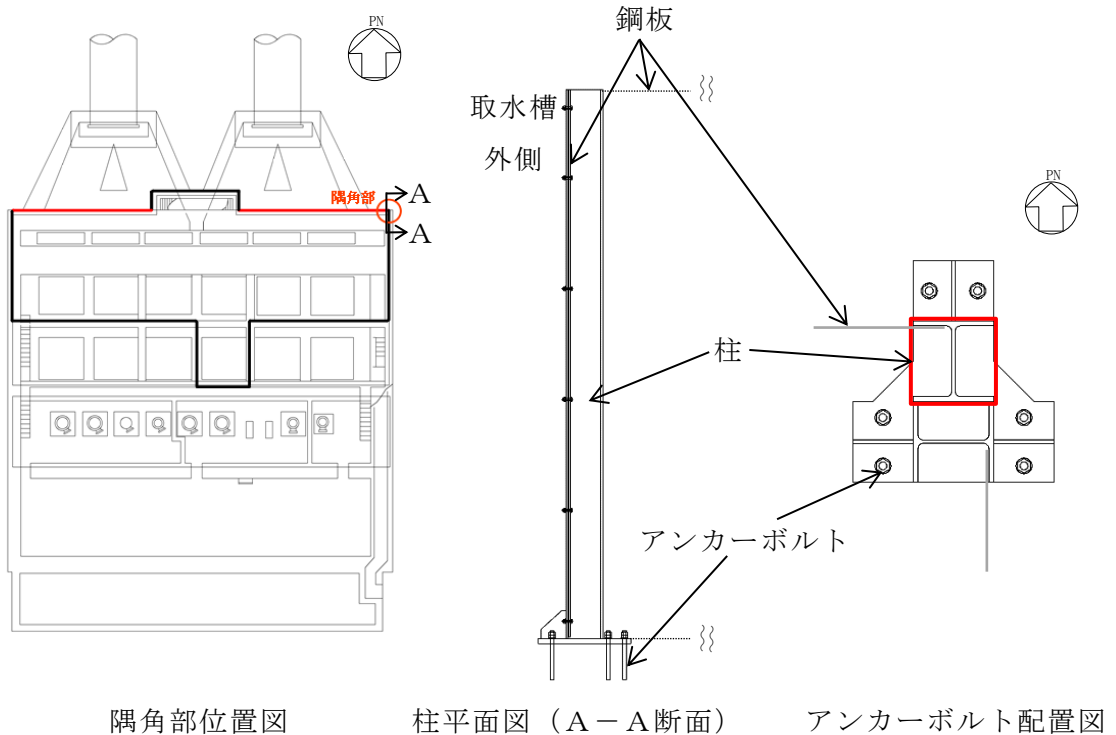
a. 取水槽除じん機エリア防水壁の隅角部

(a) 評価内容

取水槽除じん機エリア防水壁の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸方向における構造解析にて評価した断面力を用いることで、発生値/許容限界値が基準値以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す全区間の鋼板、柱、水平材及びアンカーボルトの発生値/許容限界値のうち、最も厳しい区間の隅角部に位置する柱及びアンカーボルトを選定する。取水槽除じん機エリア防水壁の評価対象を図3.4.3-1に示す。



隅角部位置図 柱平面図 (A-A断面) アンカーボルト配置図
 図 3.4.3-1 取水槽除じん機エリア防水壁 構造概要図 (隅角部)

(c) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の評価方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査は、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に、評価対象部位である柱及びアンカーボルトにかかる荷重や応力を考慮し、(d) 評価条件の②発生値／許容限界値の基準値で設定する値を用いて影響を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査の算定式は VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

柱及びアンカーボルトに作用する荷重を図 3.4.3-2 に示す。

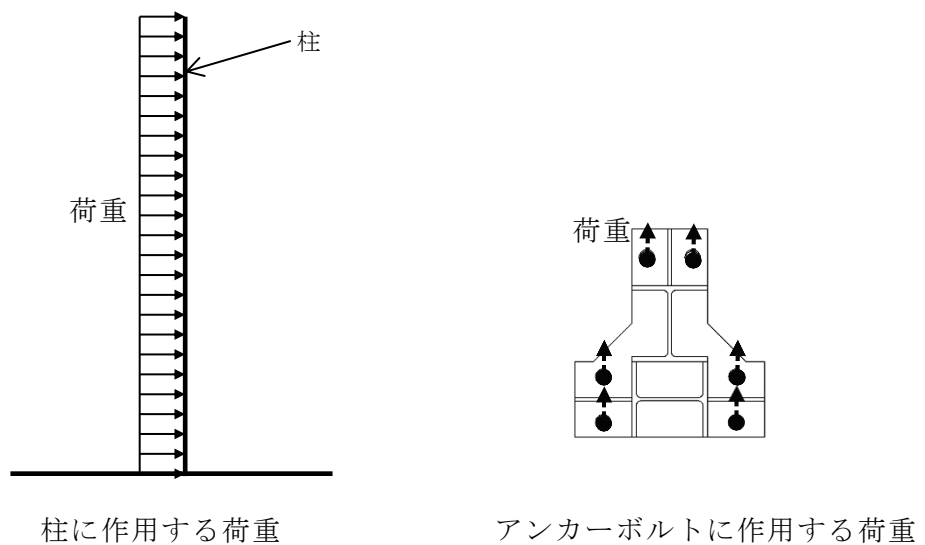


図 3.4.3-2 柱及びアンカーボルトに作用する荷重

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は、VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」に示すとおり水平方向の設計震度を 1.8、鉛直方向の設計震度を 0.9 とする。

②発生値／許容限界値の基準値

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの裕度の基準値については、VI-2-10-2-8 「防水壁の耐震性についての計算書」の発生値／許容限界値 1.0 以下に対し、水平 2 方向の地震力を考慮した発生値／許容限界値の基準値として $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下とする。

③評価結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく影響評価結果を表 3.4.3-1 に示す。発生値/許容限界値は基準値 0.70 以下であることを確認した。

表 3.4.3-1 耐震評価結果（取水槽除じん機エリア防水壁）

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|---------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| | | | | | | |
| 柱 | 曲げ | 45 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.20 < 0.70 |
| | せん断 | 10 | N/mm ² | 135 | N/mm ² | 0.08 < 0.70 |
| | 組合せ（上向き） （曲げ+引張） | — | — | — | — | 0.19 < 0.70 |
| | 組合せ（下向き） （曲げ+圧縮） | — | — | — | — | 0.20 < 0.70 |
| | 組合せ （曲げ+せん断） | 48 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.21 < 0.70 |
| | 組合せ（上向き） （曲げ+引張 +せん断） | 49 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.21 < 0.70 |
| | 組合せ（下向き） （曲げ+圧縮 +せん断） | 50 | N/mm ² | 235 | N/mm ² | 0.22 < 0.70 |
| アンカーボルト | 引張 | 21 | kN | 40 | kN | 0.53 < 0.70 |
| | せん断 | 3 | kN | 35 | kN | 0.09 < 0.70 |
| | 組合せ （引張+せん断） | — | — | — | — | 0.26 < 0.70 |

b. 復水器エリア防水壁の隅角部

(a) 評価内容

復水器エリア防水壁の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する発生値／許容限界値が基準値 $1/\sqrt{2}$ (0.70) 以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す復水器エリア防水壁のうち、発生値／許容限界値が最も大きい柱及びアンカーボルトを選定する。

(c) 評価結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく影響評価結果を表 3.4.3-2 に示す。発生値/許容限界値は基準値 0.70 以下であることを確認した。

表 3.4.3-2 耐震評価結果（復水器エリア防水壁）

| 評価対象部位 | | 発生値 (応力度又は荷重) | | 許容限界値 | | 発生値/ 許容限界値 |
|---------|------------------------|------------------|-------------------|-------|-------------------|---------------|
| | | | | | | |
| 柱 | 曲げ（強軸） | 6 | N/mm ² | 304 | N/mm ² | 0.02 < 0.70 |
| | 曲げ（弱軸） | 42 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.13 < 0.70 |
| | せん断 | 4 | N/mm ² | 187 | N/mm ² | 0.03 < 0.70 |
| | 圧縮 | 2 | N/mm ² | 217 | N/mm ² | 0.01 < 0.70 |
| | 組合せ (曲げ+軸力) | — | — | — | — | 0.16 < 0.70 |
| | 組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) | 51 | N/mm ² | 325 | N/mm ² | 0.16 < 0.70 |
| アンカーボルト | 引張 | 24 | kN | 71 | kN | 0.34 < 0.70 |
| | せん断 | 1 | kN | 49 | kN | 0.03 < 0.70 |
| | 組合せ (引張+せん断) | — | — | — | — | 0.12 < 0.70 |

c. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における屈曲部や隅角部における妻壁について、図 3.4.3-3 に示すように、一般部と同様に鉛直方向のはりとしての設計する場合は弱軸方向の応答を用いており、妻壁と交差する壁は妻壁側を固定端とし、上部工を水平方向のはりとして設計する場合は強軸方向の応答を用いている。

弱軸方向及び強軸方向の最大加速度を表 3.4.3-3 に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における屈曲部や隅角部における妻壁について、強軸方向と比較して弱軸方向の加速度が大きくなること、弱軸方向の応答を用いて評価する一般部のうち最も厳しい結果であった曲げ軸力の照査値は 0.23 であることから、一般部と同様に設計することで照査値に十分な裕度があるため、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計となっていることを確認した。

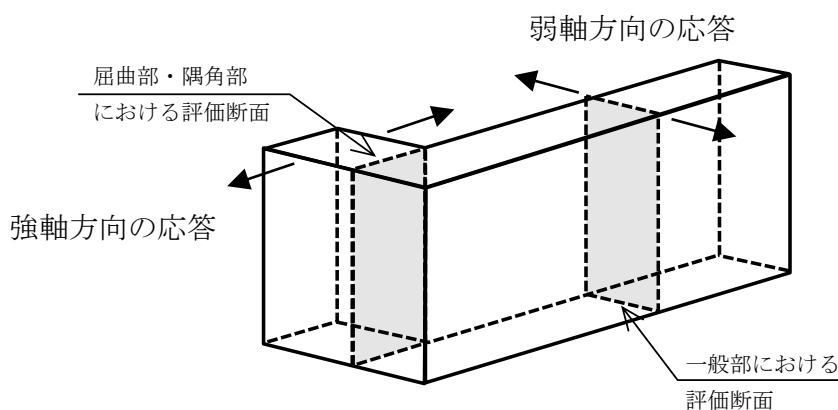


図 3.4.3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工における
屈曲部や隅角部の設計イメージ

表 3.4.3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における
弱軸方向及び強軸方向の最大加速度

| | 地震動 | 弱軸方向 加速度 (m/s ²) | 強軸方向 加速度 (m/s ²) |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) (②-②断面) | S s - D (- +) | 24.78 | 13.83 |

(2) 鋼管杭基礎

a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の下部工

(a) 評価内容

鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、弱軸方向（評価対象断面）と強軸方向（評価対象断面に直交する断面）におけるそれぞれの2次元動的有限要素法解析（有効応力解析）にて評価した同部位及び同時刻の断面力を組み合わせる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。

(b) 評価対象

評価対象は、VI-2-10-2-3-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書」に示す評価対象断面のうち、改良地盤部（②-②断面）及びその強軸方向断面を選定する。

改良地盤部（②-②断面）において、図3.4.3-4に示すように隣接するブロックは屈曲部又は隅角部であるが、妻壁による効果を考慮せず強軸方向断面をモデル化することで、強軸方向断面の断面力を保守的に算定し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。本断面における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価の程度を踏まえ、他断面の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

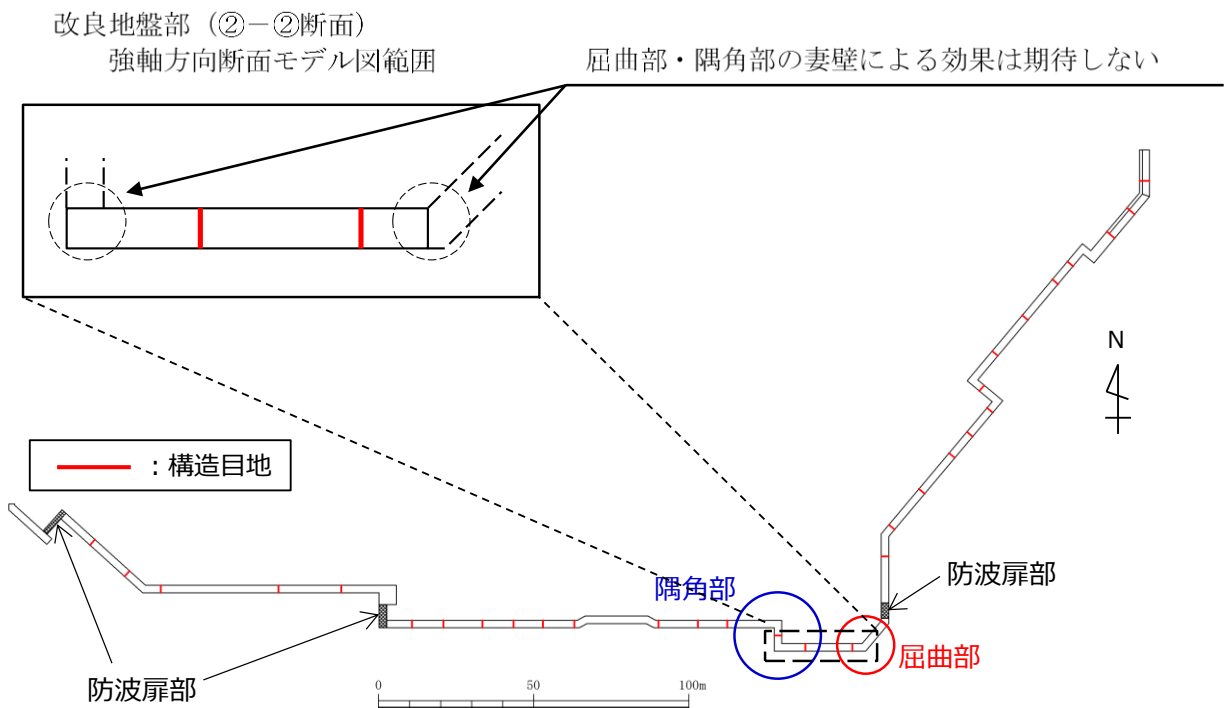


図 3.4.3-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）改良地盤部（②-②断面）モデル化範囲

(c) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の算定方法

本評価においては、鋼管杭基礎の水平 1 方向照査において最も厳しい結果であった曲げ軸力照査にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査の算定式を以下に示す。

$$R_{max} = \max\left(\frac{\sigma(t)_1}{\sigma_a}, \frac{\sigma(t)_2}{\sigma_a}\right)$$
$$\sigma(t)_1 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{弱})}{A}$$
$$\sigma(t)_2 = \sqrt{\left(\frac{1.0 \times (M(t)_{弱})}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1.0 \times (M(t)_{強})}{Z}\right)^2} + \frac{1.0 \times (N(t)_{強})}{A}$$

$M(t)_{弱}$: 時刻 t における弱軸方向の曲げモーメント

$M(t)_{強}$: 時刻 t における強軸方向の曲げモーメント

$N(t)_{弱}$: 時刻 t における弱軸断面の軸力

$N(t)_{強}$: 時刻 t における強軸断面の軸力

Z : 鋼管杭の断面係数 A : 鋼管杭の断面積

$\sigma(t)$: 時刻 t における曲げ軸応力 σ_a : 短期許容応力度

R_{max} : 時刻歴最大照査値

(d) 評価条件

①地震応答解析

地震応答解析は、VI-2-10-2-3-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書」に示す方法と同様とする。

②検討ケース

水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価において、最も照査値が厳しい地震動を対象に、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討を行う。

表3.4.3-4に示す改良地盤部（②-②断面）の曲げ軸力照査結果より、地震動はS_s-D（-+）を選定する。

表 3.4.3-4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを実施する地震動の選定（②-②断面）

| 評価部位 | 地震動 | 照査値 (曲げ軸力照査) | 選定結果 |
|------|----------------------------|-----------------|------|
| 鋼管杭 | S _s -D（++） | 0.62 | |
| | S _s -D（-+） | 0.85 | ○ |
| | S _s -D（+-） | 0.68 | |
| | S _s -D（--） | 0.81 | |
| | S _s -F1（++） | 0.19 | |
| | S _s -F2（++） | 0.23 | |
| | S _s -N1（++） | 0.51 | |
| | S _s -N1（-+） | 0.51 | |
| | S _s -N2（NS）（++） | 0.31 | |
| | S _s -N2（NS）（-+） | 0.48 | |
| | S _s -N2（EW）（++） | 0.46 | |
| | S _s -N2（EW）（-+） | 0.34 | |

③評価結果

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）鋼管杭に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査結果を表 3.4.3-5 に示す。水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも鋼管杭の発生応力が許容限界以下であることを確認した。また、水平 1 方向及び鉛直方向地震力において最も厳しい照査値 0.85 に対し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力では照査値が 0.86 となった。よって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による鋼管杭への影響は、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の照査と比較して約 1.0% となった。

表 3.4.3-5 鋼管杭の曲げ軸力照査結果（改良地盤部（②-②断面））

| 地震動 | 解析ケース | 発生断面力 | | 降伏曲げ モーメント (kN・m) | 照査値 |
|---------------------------|---------------|-----------------------|------------|-------------------------|------|
| | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | |
| S _s -D (-+) | 弱軸方向の軸力を用いた場合 | 75783 | 795 | 89056 | 0.85 |
| | 強軸方向の軸力を用いた場合 | 75783 | 2326 | 88320 | 0.86 |

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における評価対象断面のうち、最も照査結果が厳しい施設護岸前出し部（③-③断面）においても水平 2 方向の影響を確認する。施設護岸前出し部（③-③断面）の鋼管杭における水平 1 方向及び鉛直方向地震力の照査値に、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響を考慮しても照査値は許容限界以下であることを確認した（表 3.4.3-6）。

表 3.4.3-6 鋼管杭の曲げ軸力照査結果（施設護岸前出し部（③-③断面））

| | 水平 1 方向及び 鉛直方向地震力 (a) | 水平 2 方向及び 鉛直方向地震力 (a) × 1.01 |
|-----|-----------------------------|------------------------------------|
| 照査値 | 0.94 | 0.95 |

3.4.4 機器・配管系への影響

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響に対する評価対象構造物のうち、間接支持構造物である防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の上部工について、隅角部又は屈曲部に支持される機器・配管系を支持していないことから影響はない。

3.4.5 まとめ

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し、施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

VI-2-別添 1 火災防護設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 1-2 火災感知設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 1-3 消火設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添2 溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書

VI-2-別添2-6 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁の
耐震性についての計算書

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 概略系統図, 鳥瞰図及び構造計画 | 2 |
| 2.1 概略系統図 | 2 |
| 2.2 鳥瞰図 | 5 |
| 2.3 構造計画 | 7 |
| 3. 計算条件 | 9 |
| 3.1 計算方法 | 9 |
| 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 10 |
| 3.3 設計条件 | 11 |
| 3.4 材料及び許容応力 | 17 |
| 3.5 設計用地震力 | 18 |
| 4. 解析結果及び評価 | 19 |
| 4.1 固有周期及び設計震度 | 19 |
| 4.2 評価結果 | 22 |
| 4.2.1 管の応力評価結果 | 22 |
| 4.2.2 支持構造物評価結果 | 23 |
| 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果 | 24 |
| 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 | 25 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に従い、溢水量低減を目的として、循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁が基準地震動 S_s に対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁は、設計基準対象施設においてはCクラスの施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁は、管と合わせて耐震評価を実施することから、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき評価を実施する。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

概略系統図に示す評価対象範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全15弁を全15モデルの配管系として解析モデルを作成し、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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


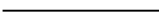
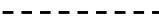
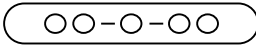
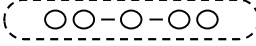

(3) 弁

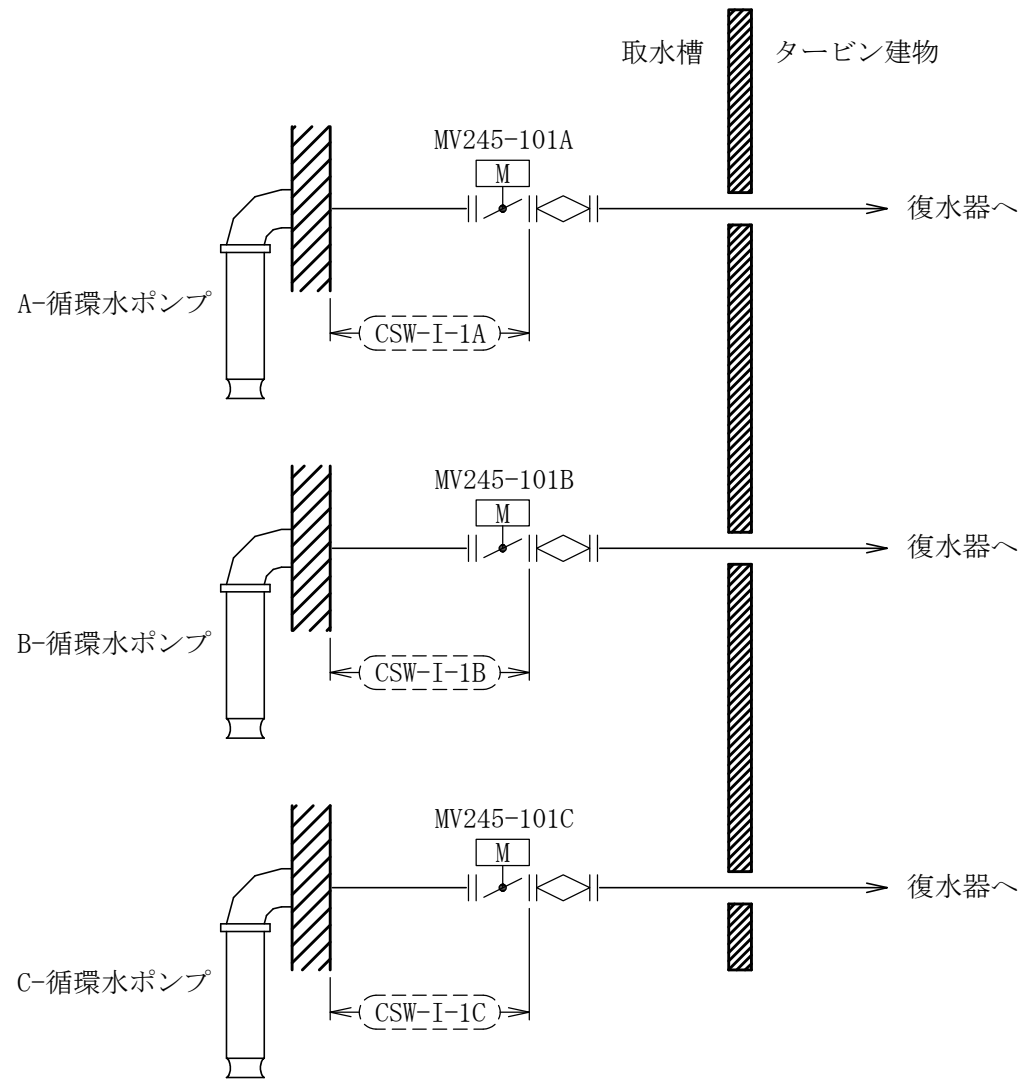
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図，鳥瞰図及び構造計画

2.1 概略系統図

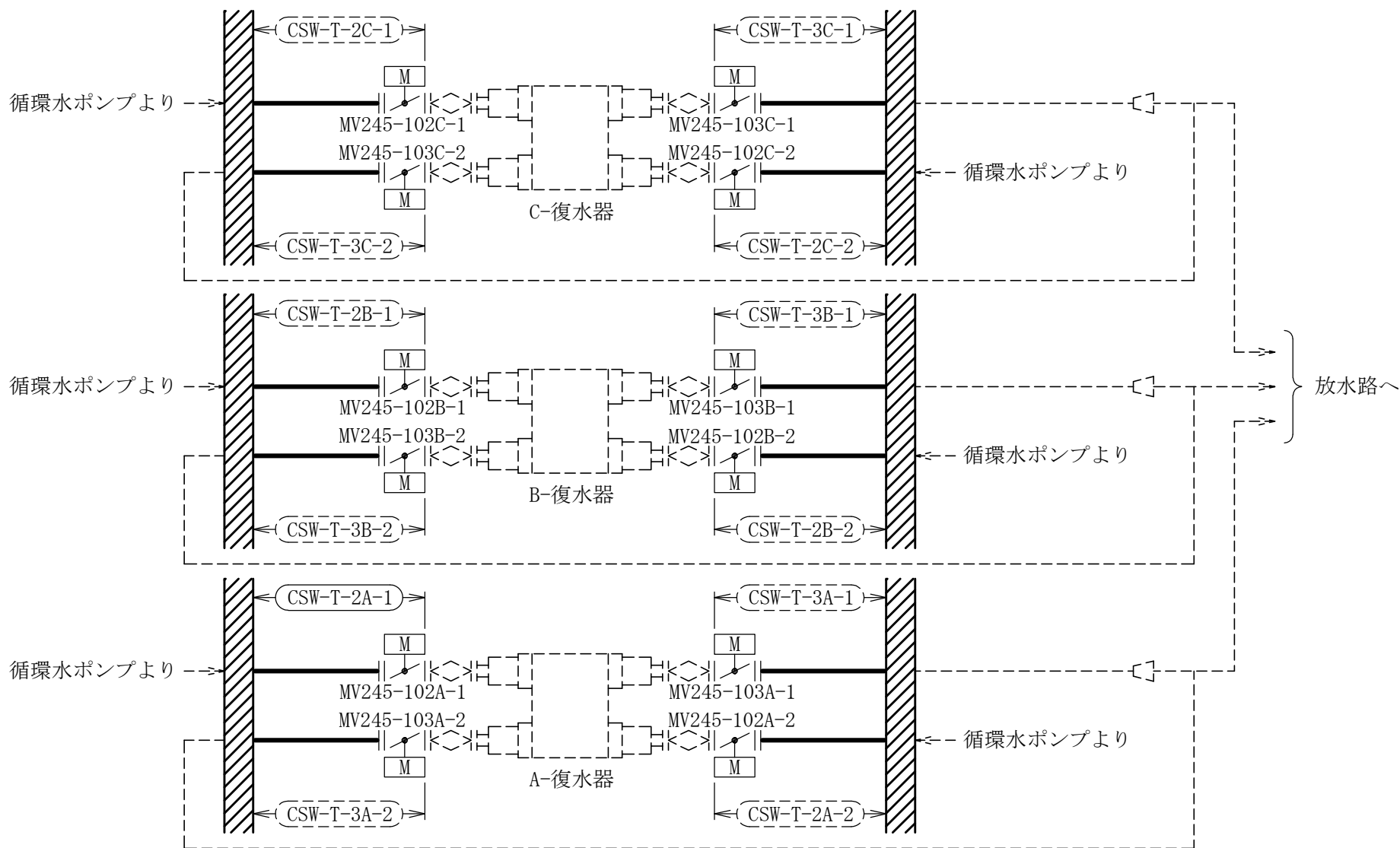
概略系統図記号凡例

| 記 号 | 内 容 |
|--|--|
|  (太線) | 本計算書に評価結果を記載する管 (基準地震動 S_s による地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲) |
|  (細線) | 本計算書への評価結果記載対象の管であるが，他計算書にて評価結果を示す管 |
|  (破線) | 本計算書に評価結果を記載しない管であって系統の概略を示すために表記する管 |
|  | 鳥瞰図番号 (代表モデル) |
|  | 鳥瞰図番号 (代表モデル以外) |
|  | アンカ |



[注] 本図記載の範囲の管は浸水防護施設として基準地震動 S_s に対する耐震性を確認していることから、管の耐震計算結果は「IV-2-10-2-11 隔離弁、機器・配管の耐震性についての計算書」にて示す。


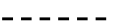


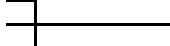
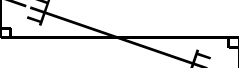

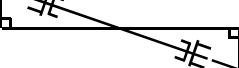

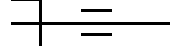
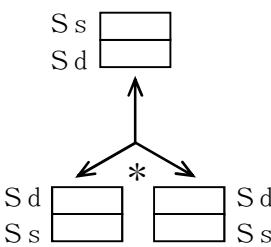

循環水系概略系統図 (その1)
(取水槽廻り)

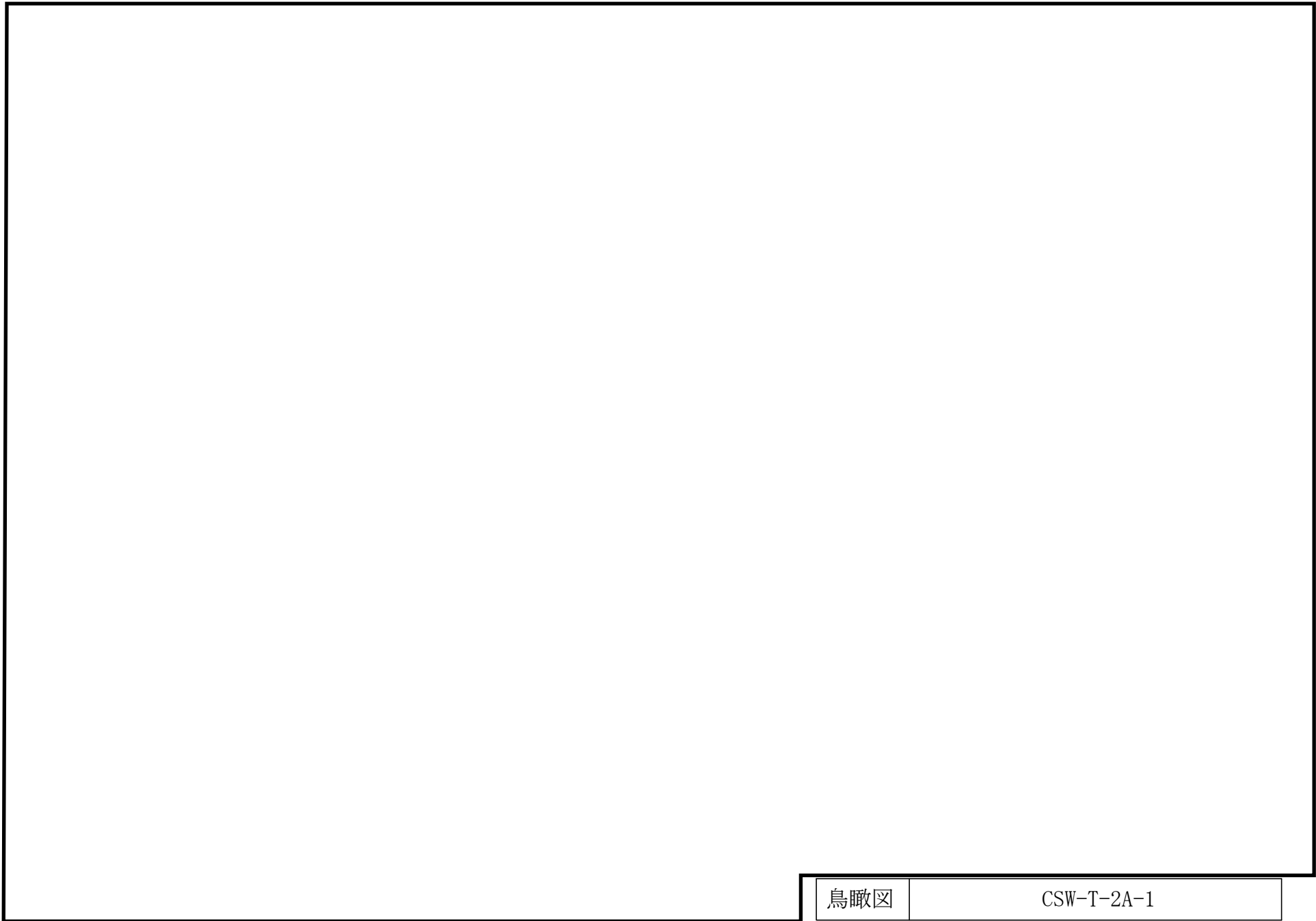


循環水系概略系統図 (その2)
(復水器廻り)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

| 記号 | 内容 |
|--|---|
|  (太線) | 本計算書に評価結果を記載する管（基準地震動 S_s による地震力に対して、十分な耐震性を有することを評価する範囲） |
|  (破線) | 本計算書に評価結果を記載しない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。） 注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。 |



| | |
|-----|------------|
| 鳥瞰図 | CSW-T-2A-1 |
|-----|------------|

2.3 構造計画

循環水ポンプ出口弁(MV245-101A, B, C)は電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表2-1に示す。

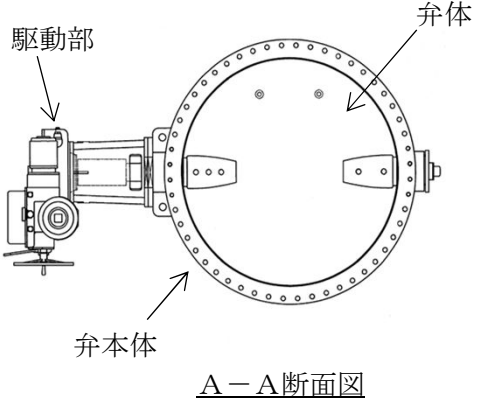
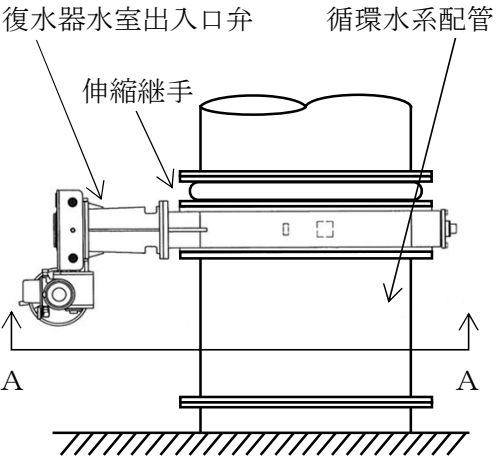
表2-1 構造計画

| 設備名称 | 計画の概要 | | | 概略構造図 |
|-----------|----------|-------------------------------|---------------------|---|
| | 型式 | 主体構造 | 支持構造 | |
| 循環水ポンプ出口弁 | 電動バタフライ弁 | 弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。 | 循環水系配管及び支持構造物に固定する。 | <p>駆動部</p> <p>支持構造物</p> <p>弁本体</p> <p>弁体</p> <p>A-A断面図</p> <p>循環水ポンプ出口弁</p> <p>伸縮継手</p> <p>循環水系配管</p> <p>弁設置位置図</p> |

構造計画

復水器水室出入口弁 (MV245-102A-1, B-1, C-1, A-2, B-2, C-2, MV245-103A-1, B-1, C-1, A-2, B-2, C-2)は電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表2-2に示す。

表2-2 構造計画

| 設備名称 | 計画の概要 | | | 概略構造図 |
|---------------|----------|-------------------------------|--------------|--|
| | 型式 | 主体構造 | 支持構造 | |
| 復水器水室 出入口弁 | 電動バタフライ弁 | 弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。 | 循環水系配管に固定する。 |  <p>A-A断面図</p>  <p>弁設置位置図</p> |

3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

| 施設名称 | 設備名称 | 系統名称 | 施設分類 ^{*1} | 設備分類 | 機器等の区分 | 耐震重要度分類 | 荷重の組合せ ^{*2, *3} | 許容応力状態 |
|------|------|------|--------------------|------|--------|---------|----------------------------|-------------------|
| — | — | 循環水系 | DB | — | — | C | $I_L + S_s$ ^{*4} | IV _A S |
| | | | | | | | $II_L + S_s$ ^{*4} | |

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*4：溢水量低減を目的として、基準地震動 S_s に対する評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 管番号 | 対応する評価点 | 許容応力状態 | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) |
|-----|---------|------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 2~8A | Ⅲ _A S | — | — |
| | | Ⅳ _A S | 0.31 | 30 |
| | | Ⅴ _A S | — | — |

設計条件



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

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 管番号 | 対応する評価点 | 外径 (mm) | 厚さ (mm) | 材料 | 耐震 重要度 分類 | 縦弾性係数 (MPa) |
|-----|---------|------------|------------|------|-----------------|----------------|
| 1 | 2～8A | 2236.0 | 18.0 | SS41 | C | 202333 |

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 質量 | 対応する評価点 |
|---|---------|
|  | 2 |
|  | 7F |

弁部の質量

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 質量 | 対応する評価点 | 質量 | 対応する評価点 |
|----------------------|---------|----------------------|---------|
| <input type="text"/> | 100 | <input type="text"/> | 101 |
| <input type="text"/> | 102 | <input type="text"/> | 103 |

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 評価点 | 外径(mm) | 厚さ(mm) | 長さ(mm) | 評価点 | 外径(mm) | 厚さ(mm) | 長さ(mm) |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 1~100 | | | | 100~101 | | | |
| 101~102 | | | | 102~103 | | | |
| 100~2 | | | | | | | |

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

| 支持点番号 | 各軸方向ばね定数 (N/mm) | | | 各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad) | | |
|-------|-----------------|---|---|-----------------------|---|---|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 8A | | | | | | |

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

| 材 料 | 最高使用温度 (°C) | 許容応力 (MPa) | | | |
|------|----------------|------------|-----|-----|---|
| | | S m | S y | S u | S |
| SS41 | 30 | — | 235 | 400 | — |

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。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。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

| 鳥瞰図 | 建物・構築物 | 標高 | 減衰定数 (%) | 等価繰返し回数 | |
|------------|--------|----|-------------|----------------|----------------|
| | | | | S _d | S _s |
| CSW-T-2A-1 | タービン建物 | | | | |

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CSW-T-2A-1

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

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

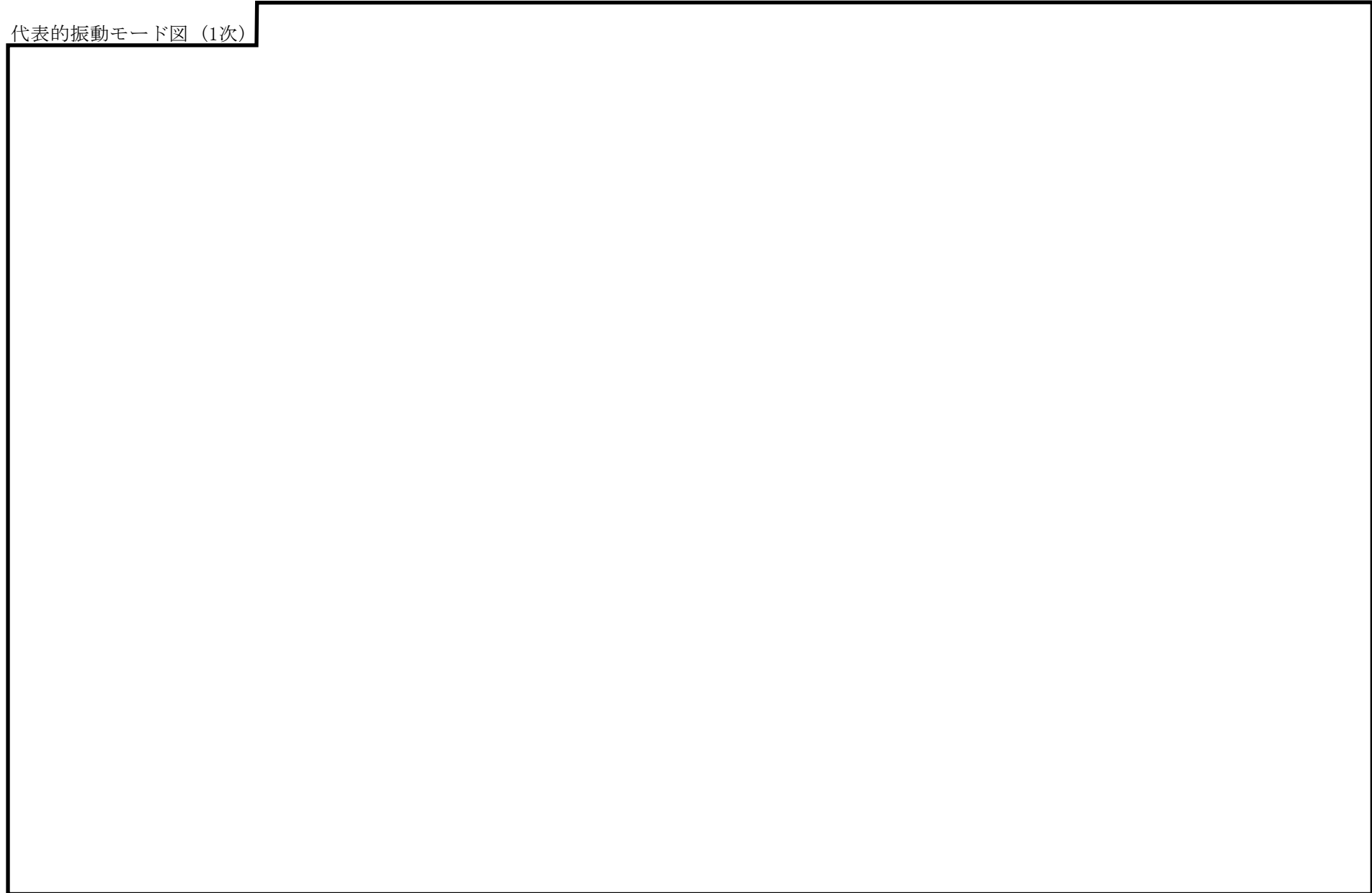
*2：設計用震度 I (基準地震動 S s)

*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

代表的振動モード図

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

代表的振動モード図 (1次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

| 許容応力 状態 | 最大応力区分(許容応力) | 鳥瞰図 番号 | 最大応力 評価点 | 応力評価 | | 疲労評価 |
|-------------------|---------------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|-----------------|
| | | | | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 疲労累積係数 U S s |
| IV _A S | 一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$ | CSW-T-2A-1 | 8A | 27 | 360 | — |
| | 一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$ | CSW-T-2A-1 | 8A | 30 | 470 | — |

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

| 支持構造物 番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度 (°C) | 評価結果 | | |
|-------------|------------|----|---|------------|--------------|-----------|--------|
| | | | | | 計算荷重 (kN) | 許容荷重 (kN) | |
| | | | | | | 一次評価*1 | 二次評価*2 |
| — | メカニカルスナッパ | — | VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照 | — | — | — | |
| — | オイルスナッパ | — | | — | — | — | |
| — | ロッドレストレイント | — | | — | — | — | |
| — | スプリングハンガ | — | | — | — | — | |
| — | コンスタントハンガ | — | | — | — | — | |
| — | リジットハンガ | — | | — | — | — | |

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

| 支持構造物 番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度 (°C) | 支持点荷重 | | | | | | 評価結果 | | |
|-------------|---------|----|----|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 反力 (kN) | | | モーメント (kN・m) | | | 応力 分類 | 計算 応力 (MPa) | 許容 応力 (MPa) |
| | | | | | F _x | F _y | F _z | M _x | M _y | M _z | | | |
| — | レストレイント | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | アンカ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

| 弁番号 | 形式 | 要求機能 ^{*1} | 機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) | | 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) | | 動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$) | | 構造強度評価結果 ^{*2} (MPa) | | | |
|------------|----------|--------------------|--|-----|--|-----|--|----|---------------------------------|------|------|------|
| | | | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | 評価部位 | 応力分類 | 計算応力 | 許容応力 |
| MV245-101A | 電動バタフライ弁 | β (S s) | 4.9 | 1.3 | 6.0 | 6.0 | — | — | — | — | — | — |
| MV245-101B | 電動バタフライ弁 | β (S s) | 4.9 | 1.3 | 6.0 | 6.0 | — | — | — | — | — | — |
| MV245-101C | 電動バタフライ弁 | β (S s) | 4.9 | 1.3 | 6.0 | 6.0 | — | — | — | — | — | — |

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

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

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

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

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

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

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

クラス2以下の管

| No | 鳥瞰図番号 | 許容応力状態IV _A S | | | | | | | | | | |
|----|------------|-------------------------|---------------|---------------|-------|----|-----------|---------------|---------------|-------|------------|----|
| | | 一次応力評価 | | | | | 一次+二次応力評価 | | | | | |
| | | 評価点 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 裕度 | 代表 | 評価点 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 裕度 | 疲労累積 係数 | 代表 |
| 1 | CSW-T-2A-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | ○ | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | ○ |
| 2 | CSW-T-2A-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 3 | CSW-T-2B-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 4 | CSW-T-2B-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 5 | CSW-T-2C-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 6 | CSW-T-2C-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 7 | CSW-T-3A-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 8 | CSW-T-3A-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 9 | CSW-T-3B-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 10 | CSW-T-3B-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 11 | CSW-T-3C-1 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |
| 12 | CSW-T-3C-2 | 8A | 27 | 360 | 13.33 | — | 8A | 30 | 470 | 15.66 | — | — |

注：鳥瞰図番号CSW-I-1A, CSW-I-1B, CSW-I-1Cの評価結果は、浸水防護施設の耐震計算書「IV-2-10-2-11 隔離弁、機器・配管の耐震性についての計算書」にて示す。

VI-2-別添 3 可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書

VI-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震性
についての計算書

VI-2-別添 4 地下水位低下設備の耐震性に関する説明書

VI-2-別添 4-2 地下水位低下設備の地震応答計算書

目次

| | |
|----------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造概要 | 3 |
| 2.3 解析方針 | 5 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 7 |
| 3. 解析方法 | 8 |
| 3.1 評価対象断面 | 8 |
| 3.2 解析方法 | 11 |
| 3.2.1 構造部材 | 11 |
| 3.2.2 地盤 | 12 |
| 3.2.3 減衰定数 | 13 |
| 3.2.4 地震応答解析のケースの選定 | 14 |
| 3.3 荷重及び荷重の組合せ | 18 |
| 3.3.1 耐震評価上考慮する状態 | 18 |
| 3.3.2 荷重 | 18 |
| 3.3.3 荷重の組合せ | 19 |
| 3.4 入力地震動 | 20 |
| 3.5 解析モデル及び諸元 | 34 |
| 3.5.1 解析モデル | 34 |
| 3.5.2 使用材料及び材料の物性値 | 37 |
| 3.5.3 地盤の物性値 | 37 |
| 3.5.4 地下水位 | 38 |
| 4. 解析結果 | 39 |
| 4.1 A-A断面（東西方向）の解析結果 | 39 |
| 4.2 B-B断面（南北方向）の解析結果 | 52 |

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算方針」に基づき実施する地下水位低下設備のうち揚水井戸の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、地下水位低下設備が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震評価に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する断面力及び基礎地盤に発生する接地圧とする。また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

地下水位低下設備の位置図を図 2-1 に示す。

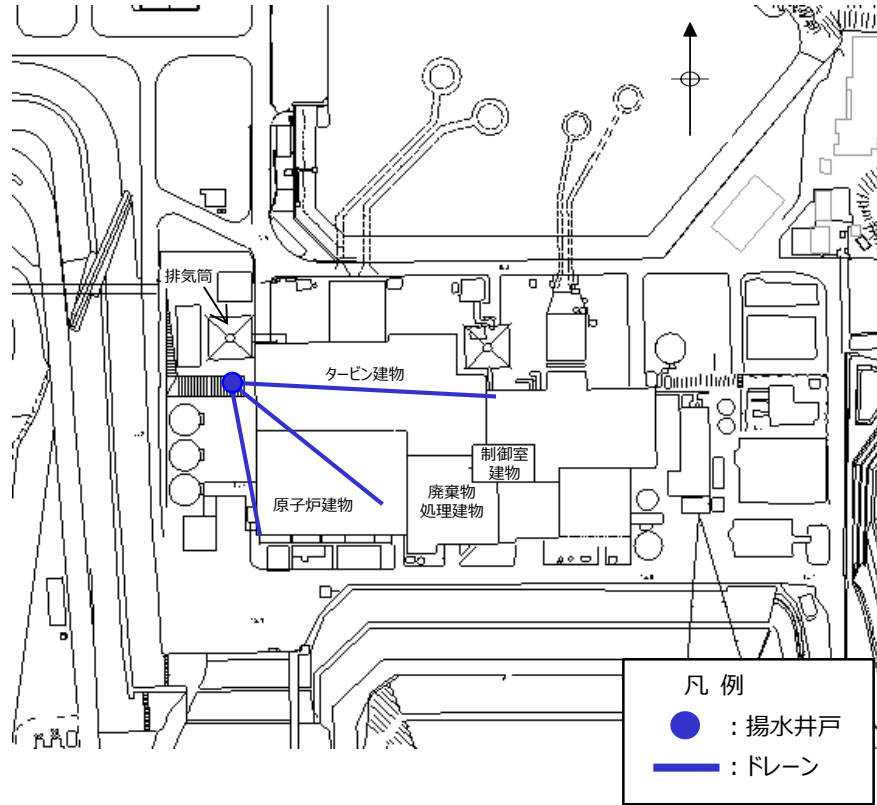


図 2-1 地下水位低下設備 位置図

2.2 構造概要

地下水位低下設備のうち揚水井戸は、揚水ポンプ等を支持する、内径 3.5m、高さ 31.9m の鉄筋コンクリート造の円筒状の地中構造物であり、十分な支持性能を有する C_M級岩盤に支持される。

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に、揚水井戸の構造図を図 2-3 に示す。

なお、揚水井戸に接続する地下水を集水するためのドレーンの耐震評価については、VI-2-別添 4-3-6「ドレーンの耐震性についての計算書」に示す。

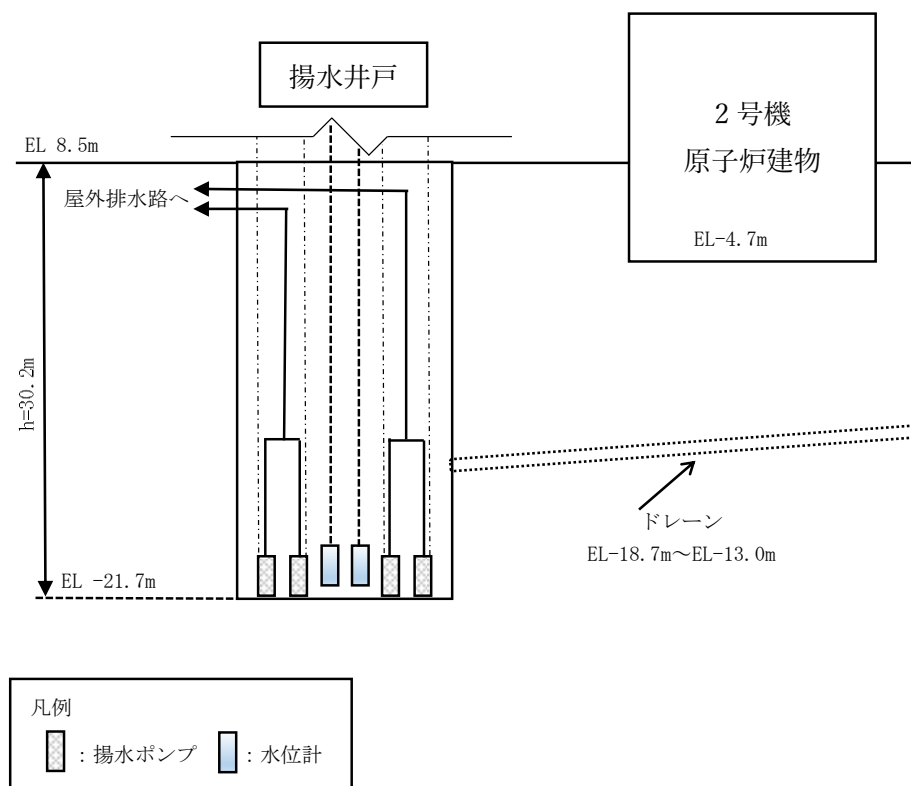


図 2-2 地下水水位低下設備の構成概要

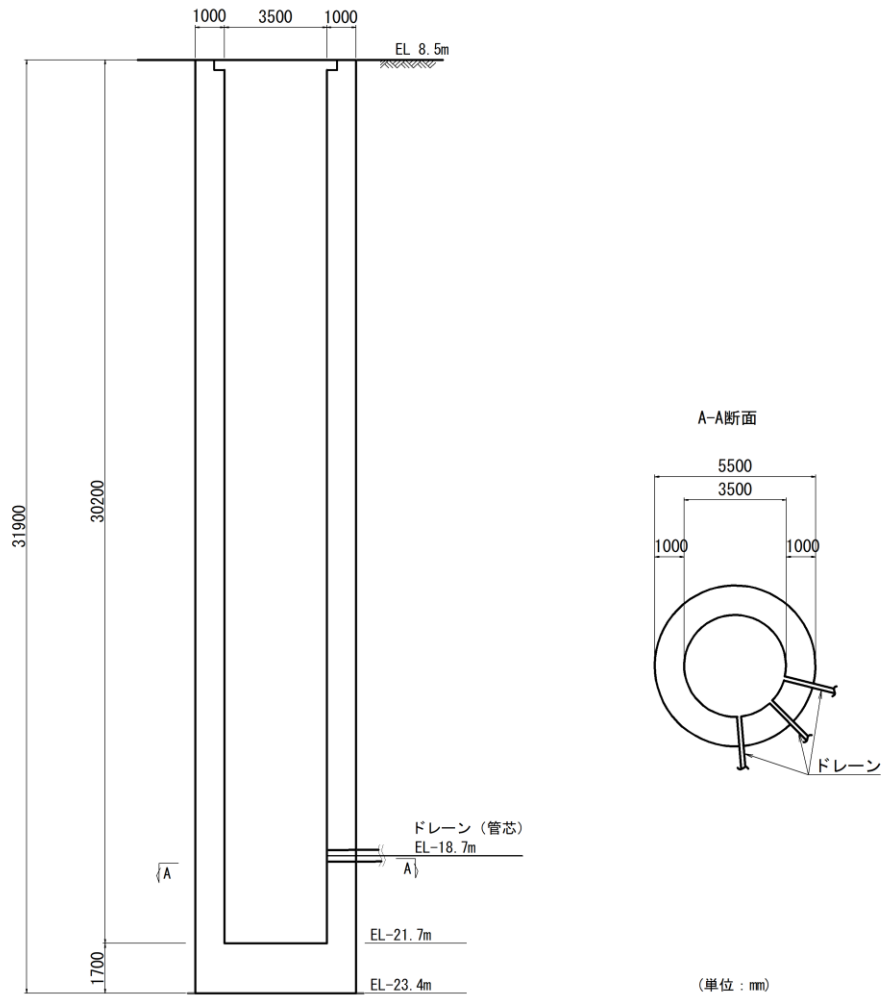


図 2-3 揚水井戸 構造図

2.3 解析方針

揚水井戸は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算方針」に基づき、基準地震動 S_s に対して地震応答解析を実施する。

揚水井戸の地震応答解析フローを図 2-4 に示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴応答解析により行う。

時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、機器・配管系の設計用床応答スペクトルの作成に用いる。また、断面力及び基礎地盤の接地圧は、揚水井戸の耐震評価に用いる。

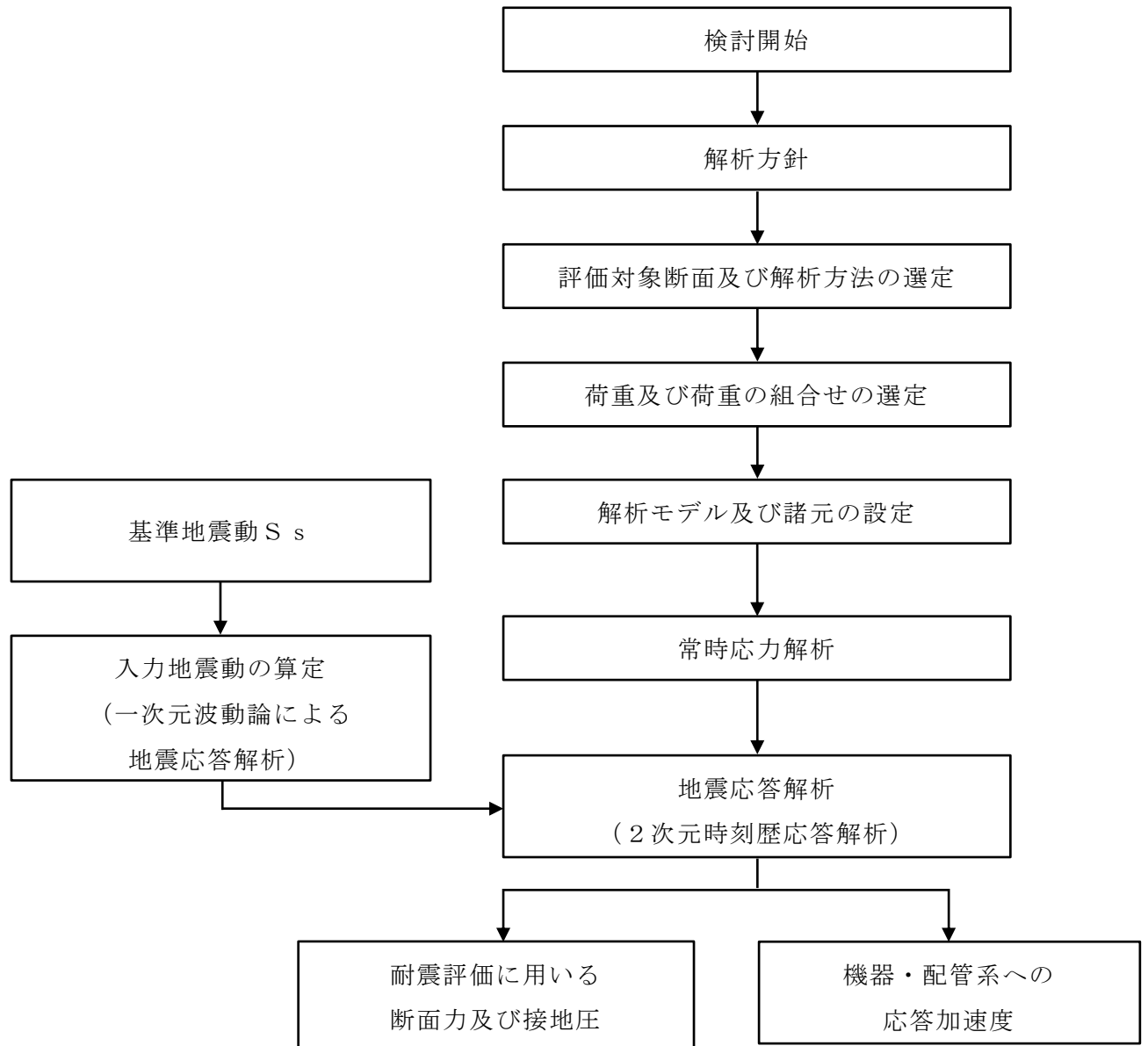


図 2-4 揚水井戸の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

揚水井戸の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面及び機器・配管系に対する応答加速度抽出断面は、東西方向（A-A断面）及び南北方向（B-B断面）の2断面とする。

評価対象断面を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

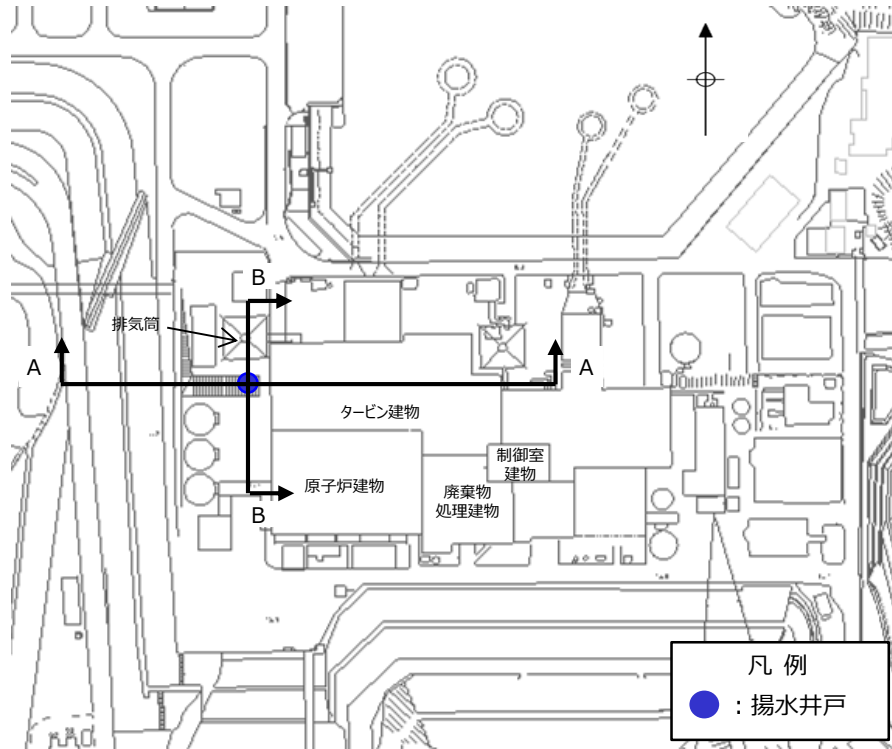


図 3-1 評価対象断面位置図

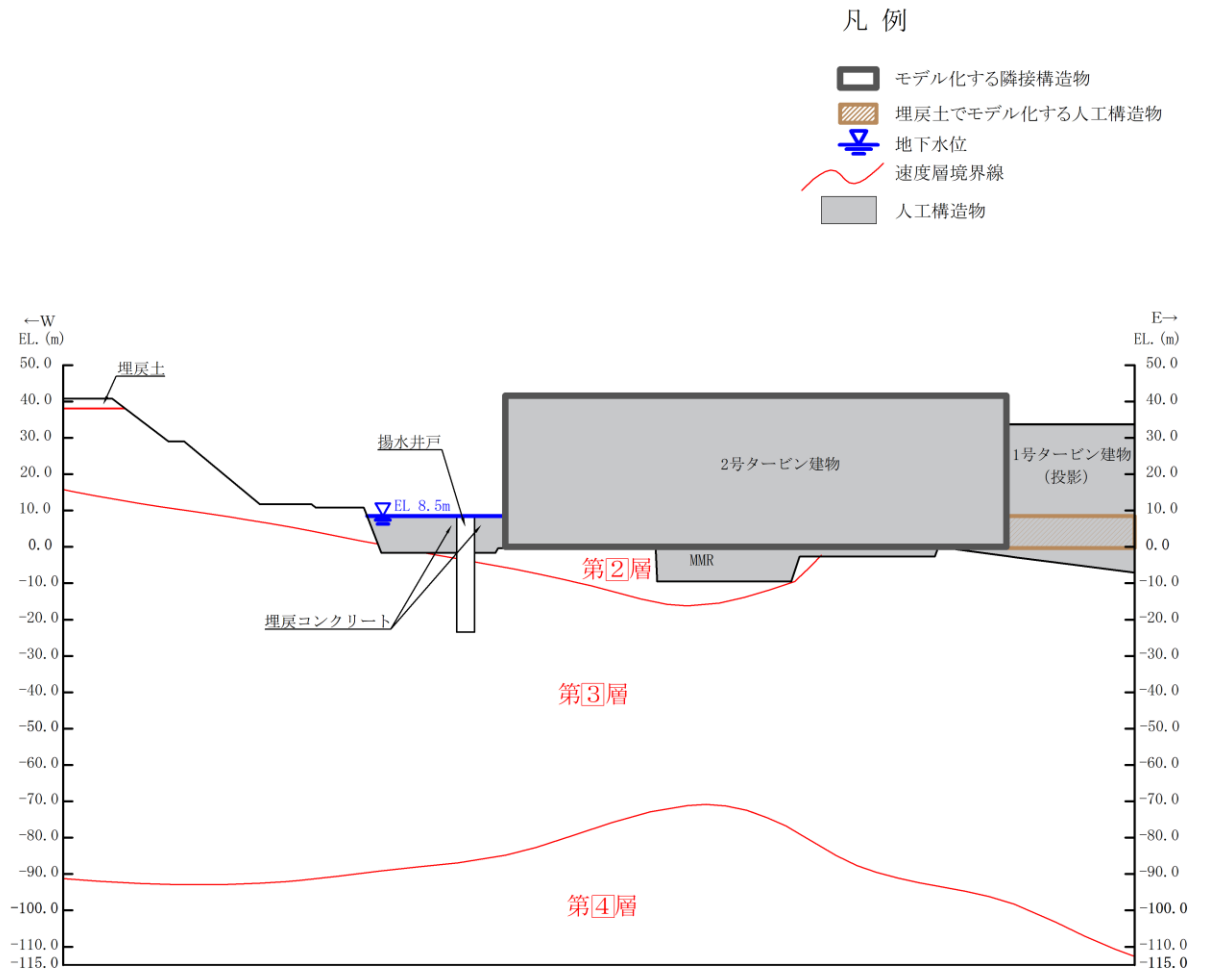


図 3-2 評価対象断面図 (A-A 断面 (東西方向))

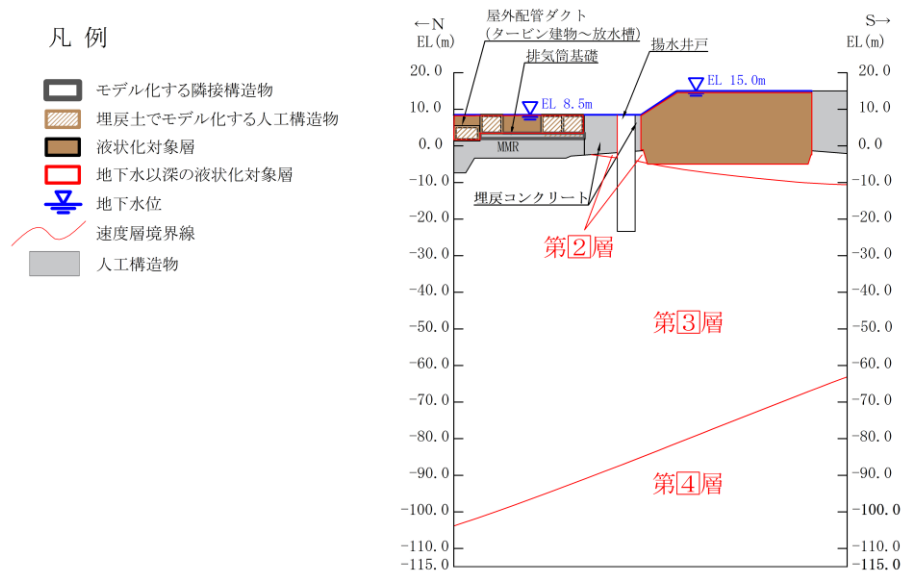


図 3-3 評価対象断面図 (B-B 断面 (南北方向))

3.2 解析方法

地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行う。

A-A断面は、揚水井戸周辺の設計地下水位が底版より高いが揚水井戸周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため「全応力解析」を選定する。

B-B断面は、地下水位以深の液状化対象層が揚水井戸側方に広範囲に分布するため、「有効応力解析」を選定する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」及び「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素にてモデル化し、水平方向には、構造物の幅に応じた仮想剛はりを設置する。

3.2.2 地盤

埋戻土及び岩盤の平均物性を用いて、表 3-1 及び表 3-2 に示す解析ケースを設定する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 3-1 解析ケース (A-A 断面)

| 解析ケース | 解析手法 | 地盤物性 | |
|-----------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| | | 埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | 岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 全応力解析 | 平均値 | 平均値 |

表 3-2 解析ケース (B-B 断面)

| 解析ケース | 解析手法 | 地盤物性 | |
|-----------------|--------|-----------------------------|---------------------------|
| | | 埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | 岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース② (基本ケース) | 有効応力解析 | 平均値 | 平均値 |

3.2.3 減衰定数

減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

全応力解析では、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

有効応力解析では、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) とする。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」による。

設定した α , β を表 3-3 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-3 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

| 評価対象断面 | 解析手法 | α | β |
|--------|--------|----------|------------------------|
| A-A 断面 | 全応力解析 | 0.688 | 1.249×10^{-3} |
| B-B 断面 | 有効応力解析 | 0.000 | 2.000×10^{-3} |

3.2.4 地震応答解析のケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（A-A断面はケース①、B-B断面はケース②）を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-4に示す。

表3-4 (1) 耐震評価における解析ケース（A-A断面）

| 解析ケース | | ケース① | |
|-------------|---------------------|-------|---|
| | | 基本ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | |
| 地震動 (位相) | $S_s - D$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | | + -* | ○ |
| | | --* | ○ |
| | $S_s - F 1$ | ++* | ○ |
| | $S_s - F 2$ | ++* | ○ |
| | $S_s - N 1$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2$ (NS) | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2$ (EW) | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |

注記*：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

表 3-4 (2) 耐震計価における解析ケース (B-B 断面)

| 解析ケース | | ケース② | |
|-------------|-------------------|-------|---|
| | | 基本ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | |
| 地震動 (位相) | S s - D | ++ * | ○ |
| | | -+ * | ○ |
| | | + - * | ○ |
| | | -- * | ○ |
| | S s - F 1 | ++ * | ○ |
| | S s - F 2 | ++ * | ○ |
| | S s - N 1 | ++ * | ○ |
| | | -+ * | ○ |
| | S s - N 2 (NS) | ++ * | ○ |
| | | -+ * | ○ |
| | S s - N 2 (EW) | ++ * | ○ |
| | | -+ * | ○ |

注記* : 地震動の位相について, ++の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度抽出においても，基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し，基本ケースを実施する。機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース（ケース①及びケース②）を表3-5に示す。

表3-5 (1) 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース（A-A断面）

| 解析ケース | | ケース① | |
|-------------|---------------------|-------|---|
| | | 基本ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | |
| 地震動 (位相) | $S_s - D$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | | + - * | ○ |
| | | --* | ○ |
| | $S_s - F 1$ | ++* | ○ |
| | $S_s - F 2$ | ++* | ○ |
| | $S_s - N 1$ | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2$ | ++* | ○ |
| | (NS) | -+* | ○ |
| | $S_s - N 2$ (EW) | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |

注記*：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

表 3-5 (2) 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース (B-B 断面)

| 解析ケース | | ケース② | |
|-------------|-----------------------------|-------|---|
| | | 基本ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | |
| 地震動 (位相) | S _s -D | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | | + -* | ○ |
| | | --* | ○ |
| | S _s -F 1 | ++* | ○ |
| | S _s -F 2 | ++* | ○ |
| | S _s -N 1 | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | S _s -N 2 (NS) | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |
| | S _s -N 2 (EW) | ++* | ○ |
| | | -+* | ○ |

注記* : 地震動の位相について, ++の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

揚水井戸の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため、風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

揚水井戸の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重及び蓋荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、水圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 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 35.0 cm とする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

| 外力の状態 | 荷重の組合せ |
|-----------------------|------------------------|
| 地震時 (S _s) | G + P + S _s |

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図3-4に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図3-5～図3-17に示す。入力地震動の算定には、解析コード「micrOSHAKЕ/3D」を使用する。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）の概要」に示す。

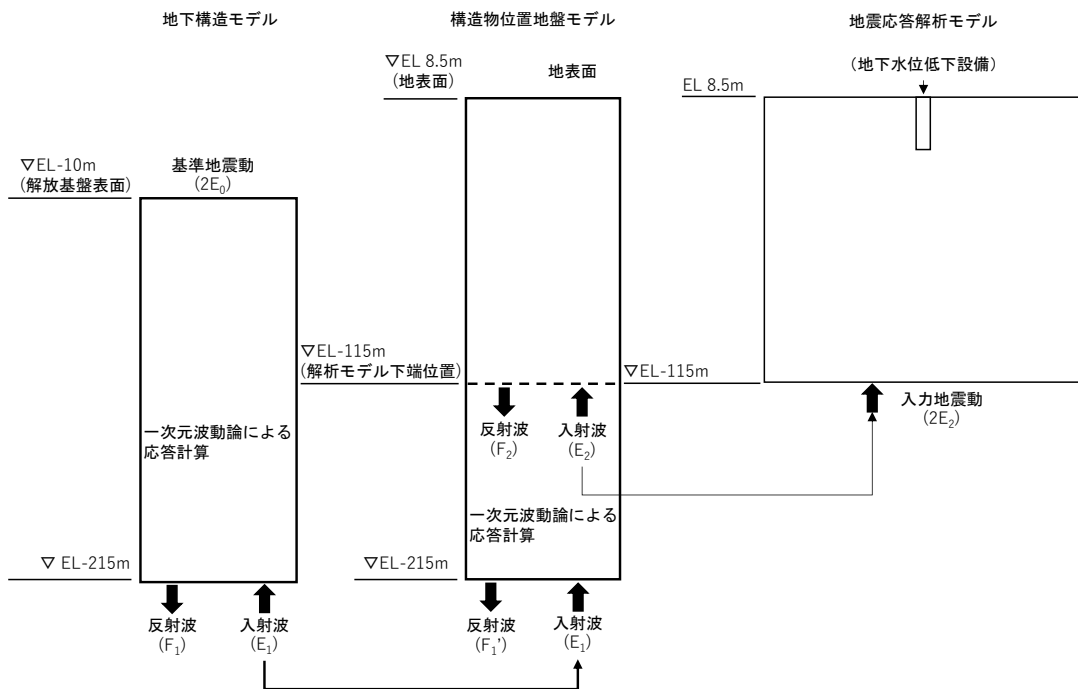
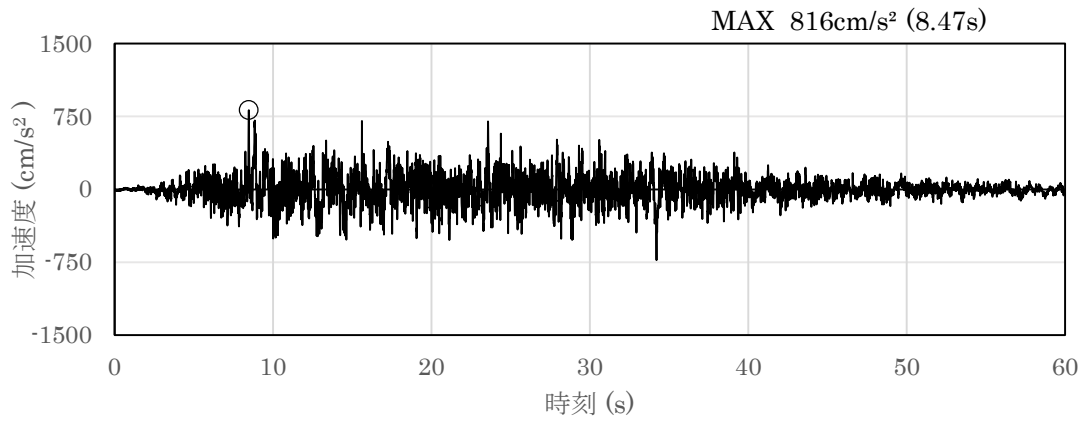
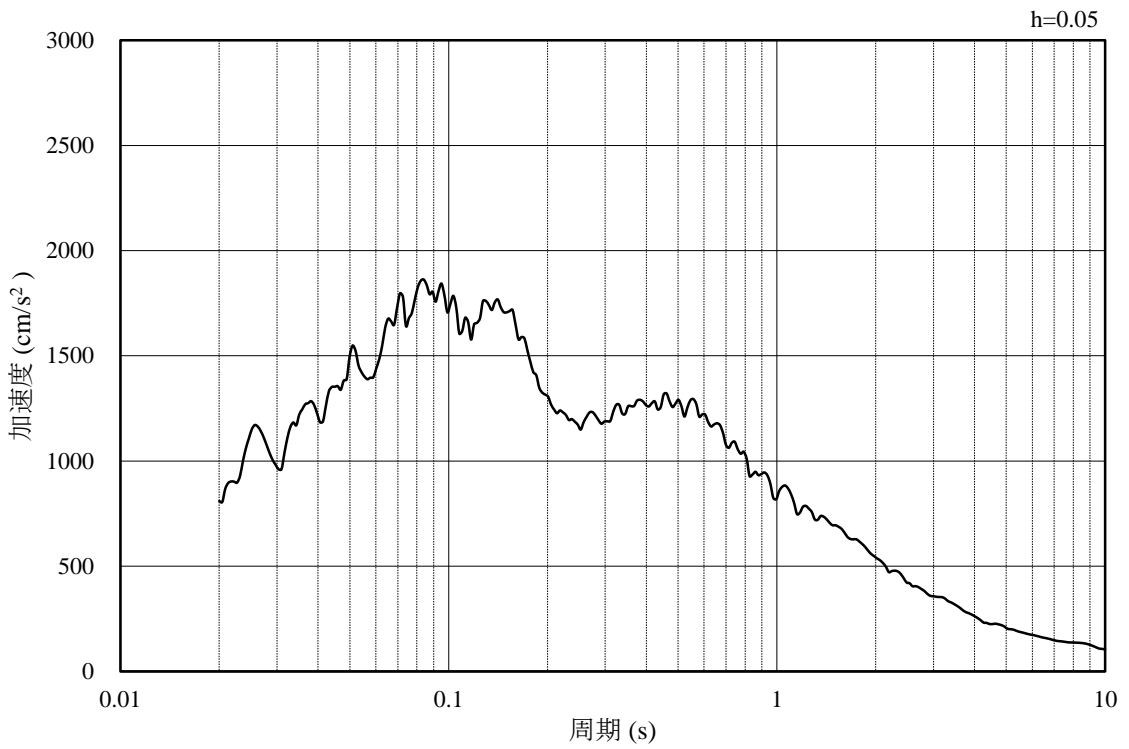


図3-4 入力地震動算定の概念図

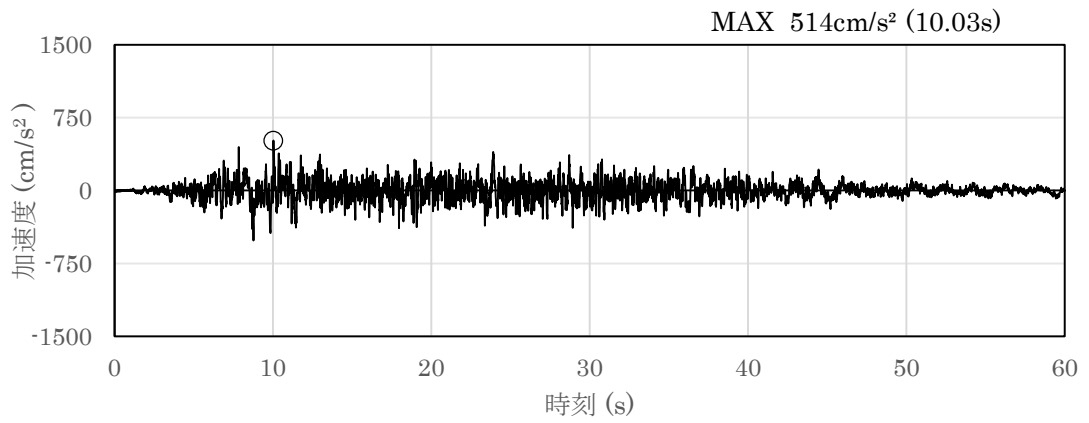


(a) 加速度時刻歴波形

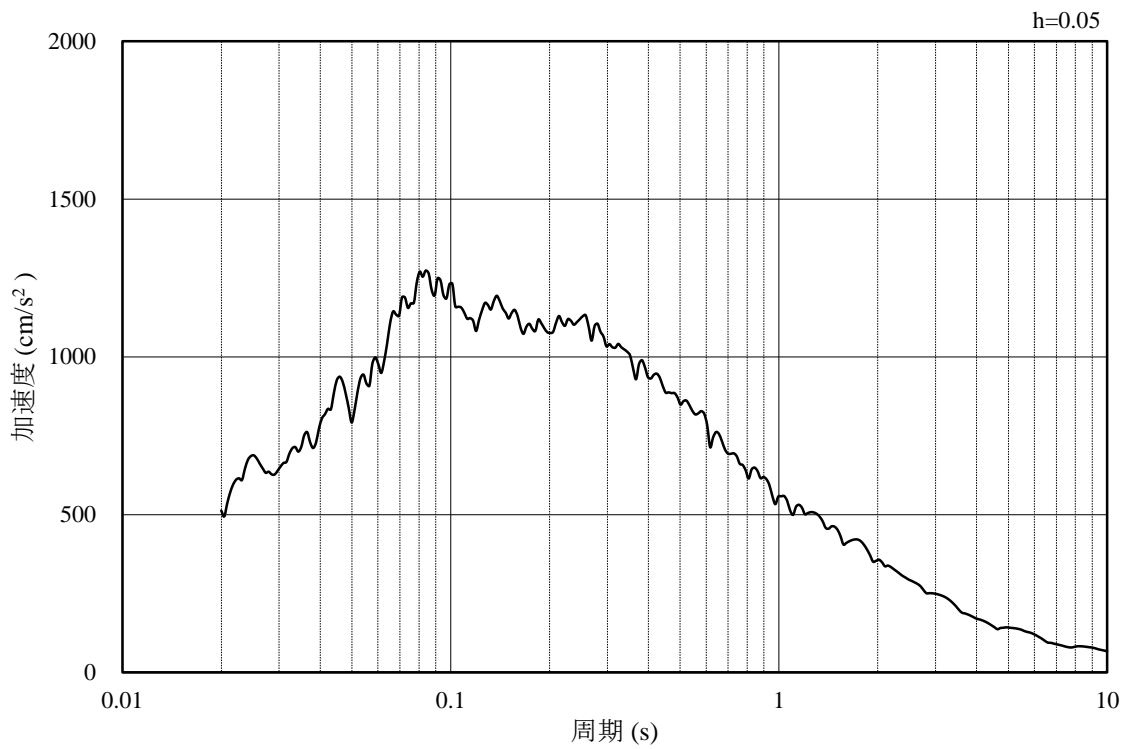


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - D)

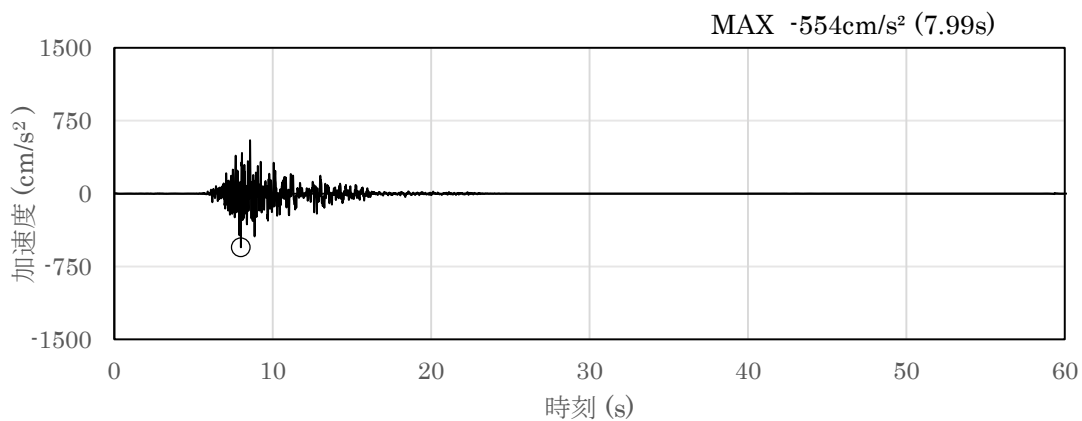


(a) 加速度時刻歴波形

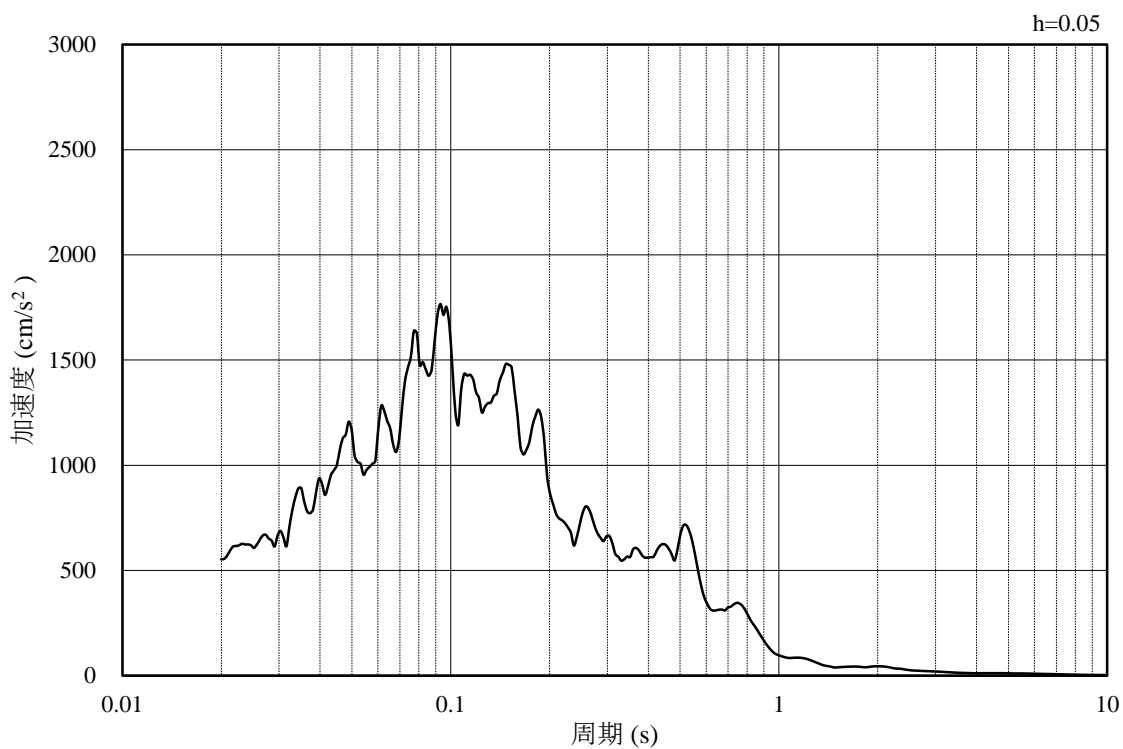


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

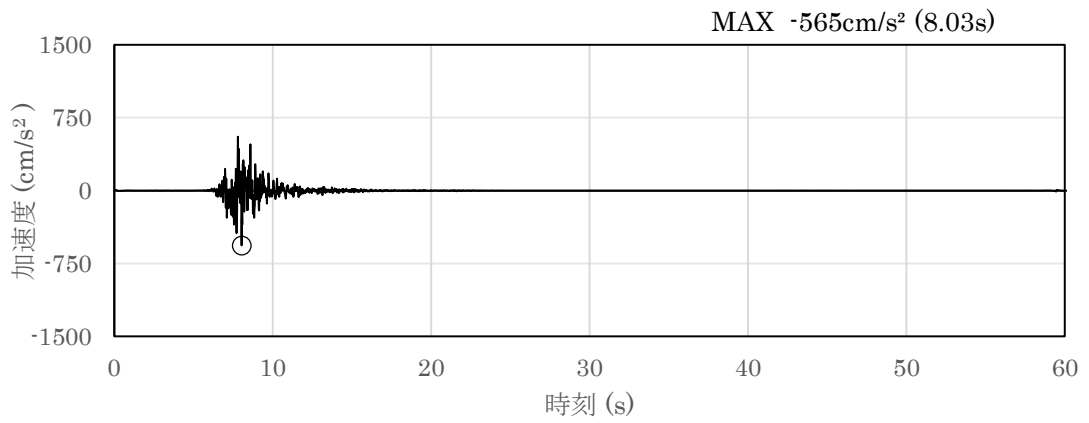


(a) 加速度時刻歴波形

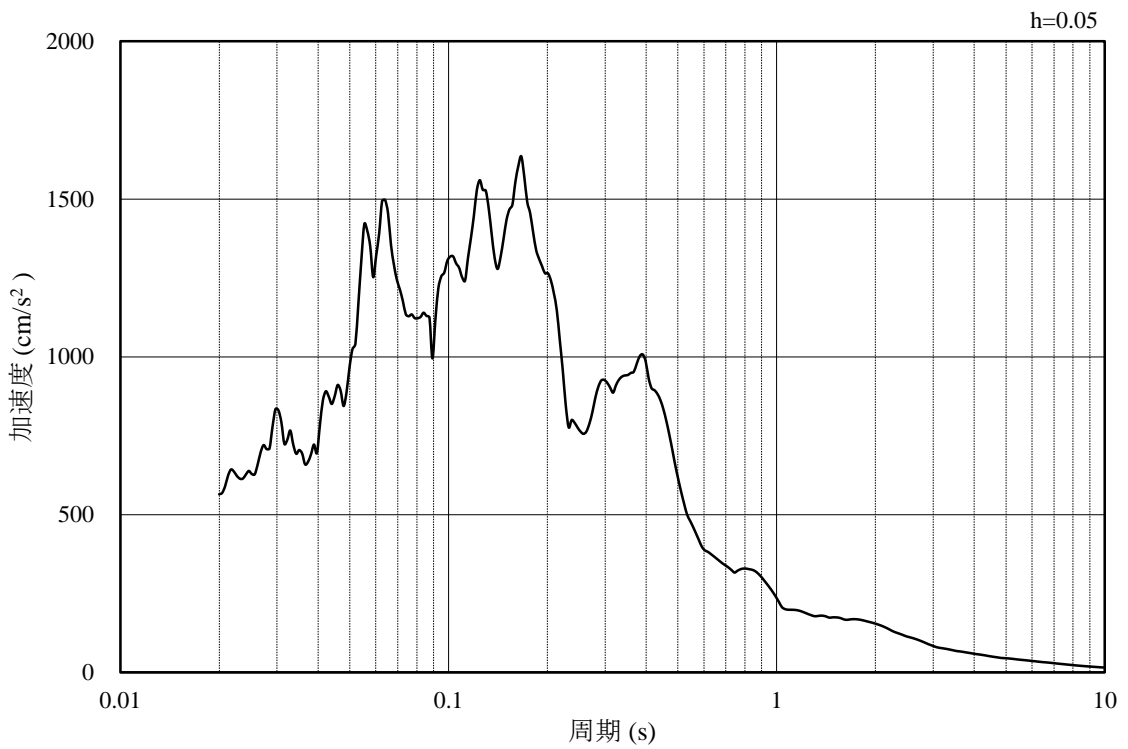


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - F 1)

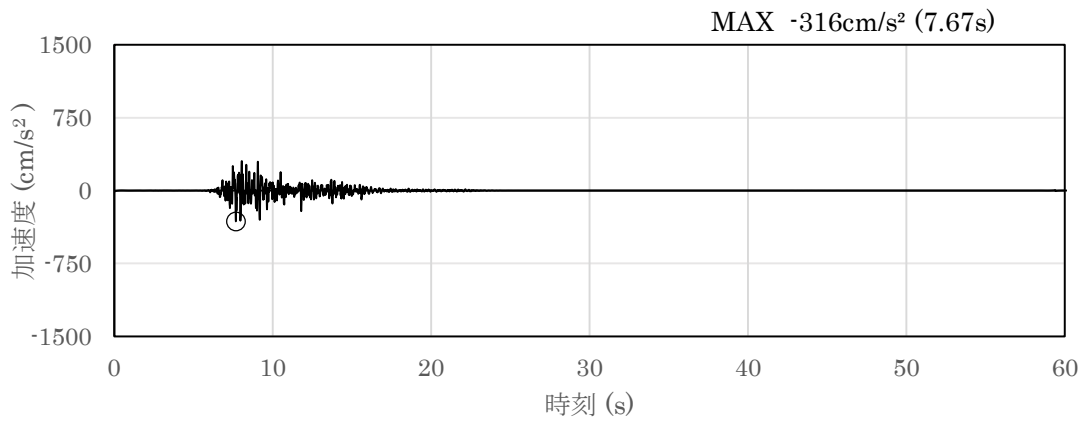


(a) 加速度時刻歴波形

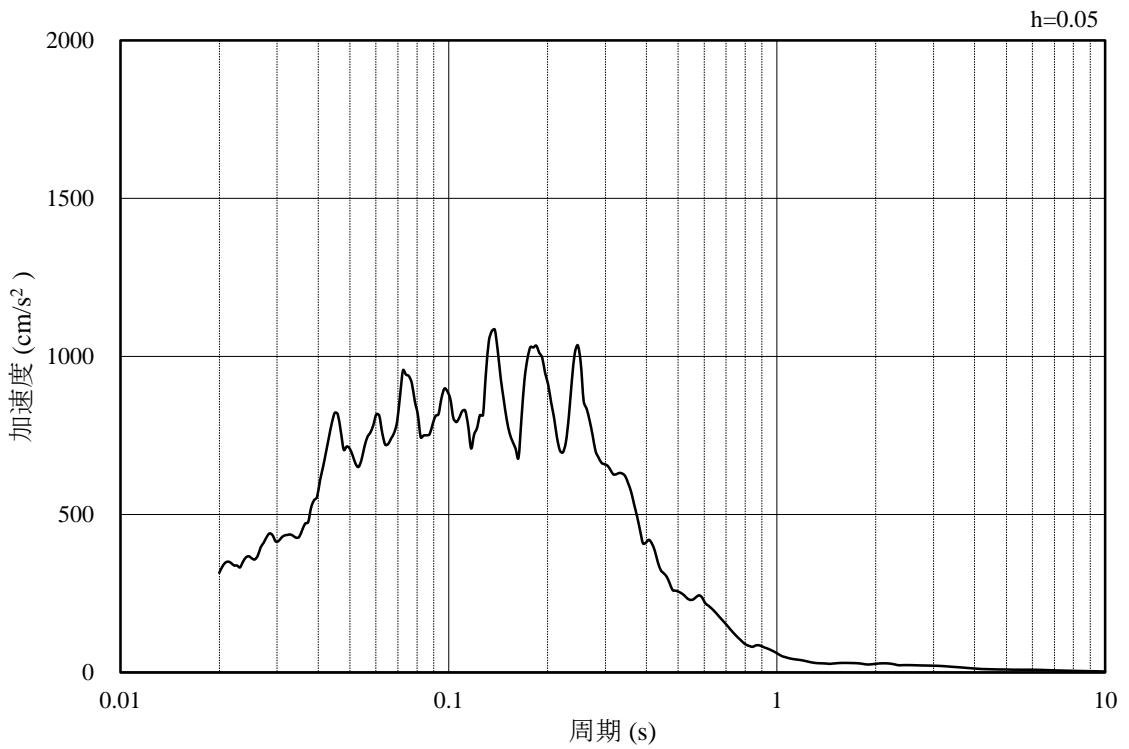


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - F 1)

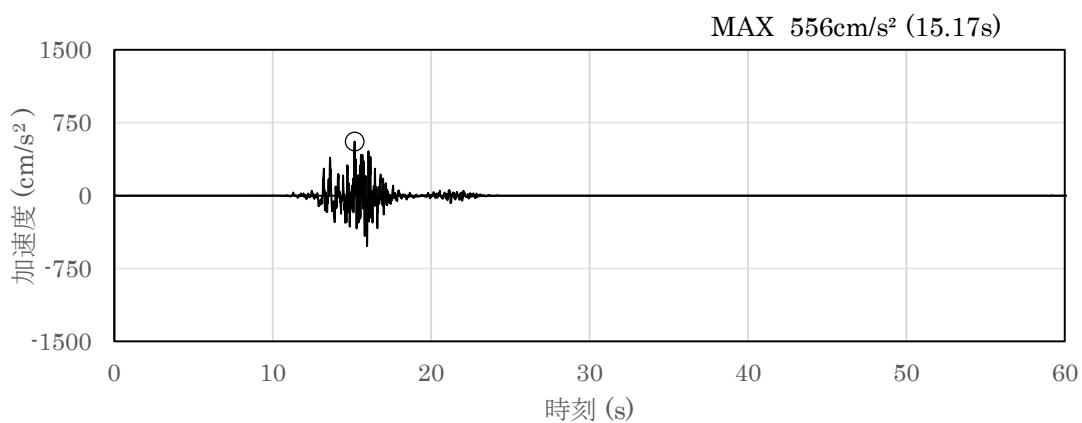


(a) 加速度時刻歴波形

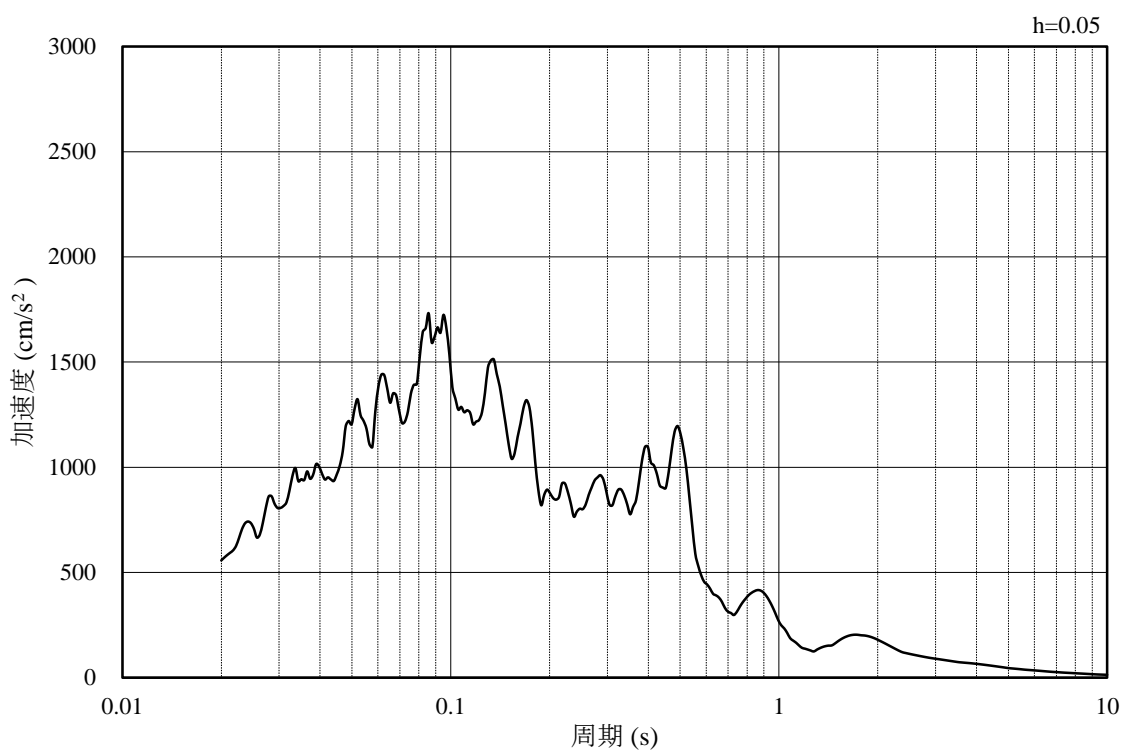


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

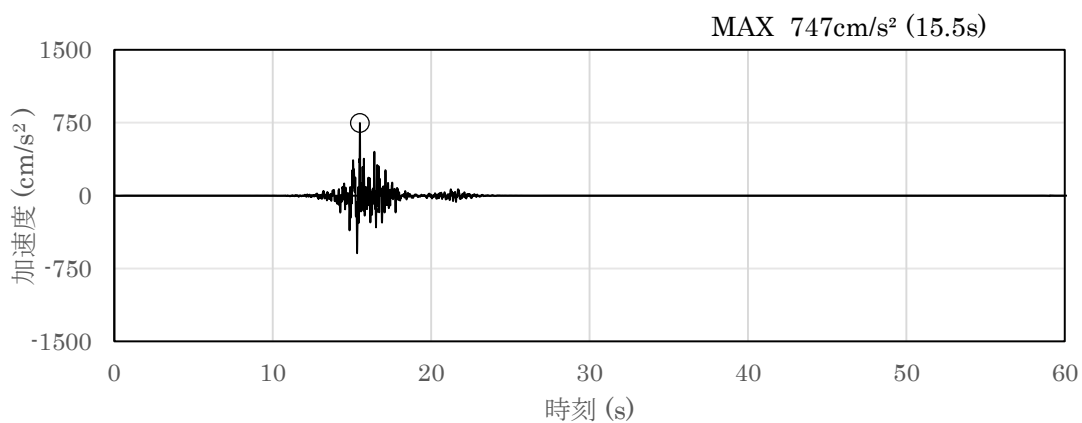


(a) 加速度時刻歴波形

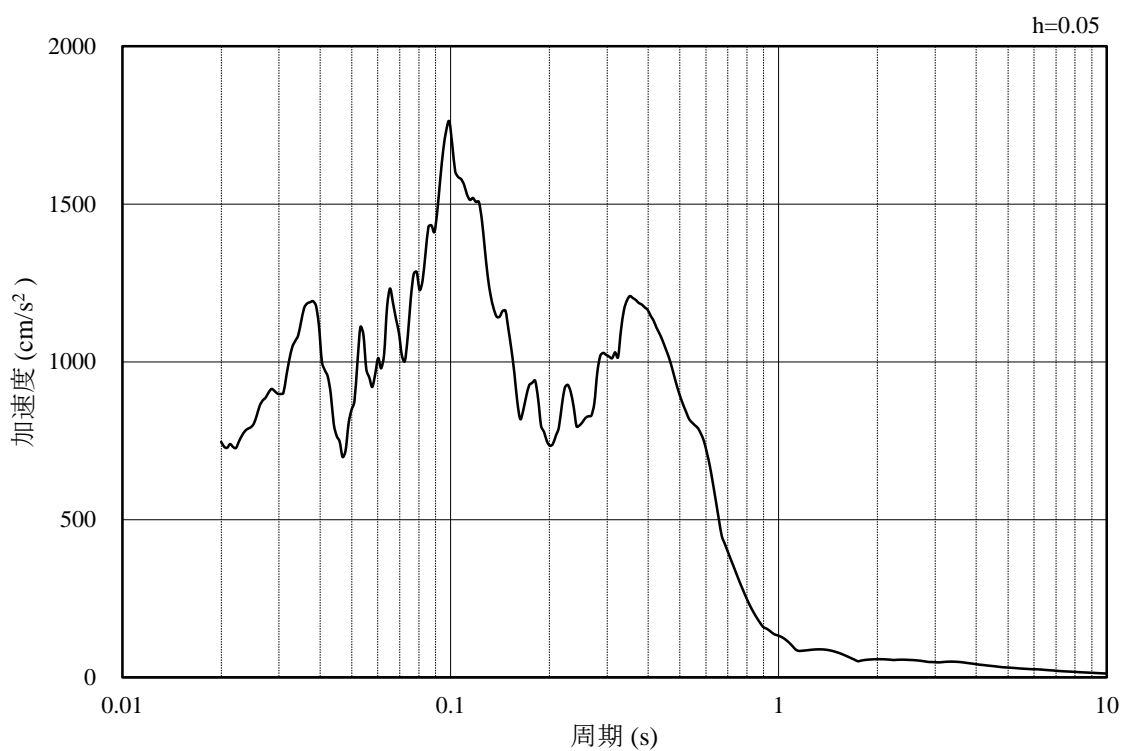


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(南北方向, 水平成分: S s - F 2)

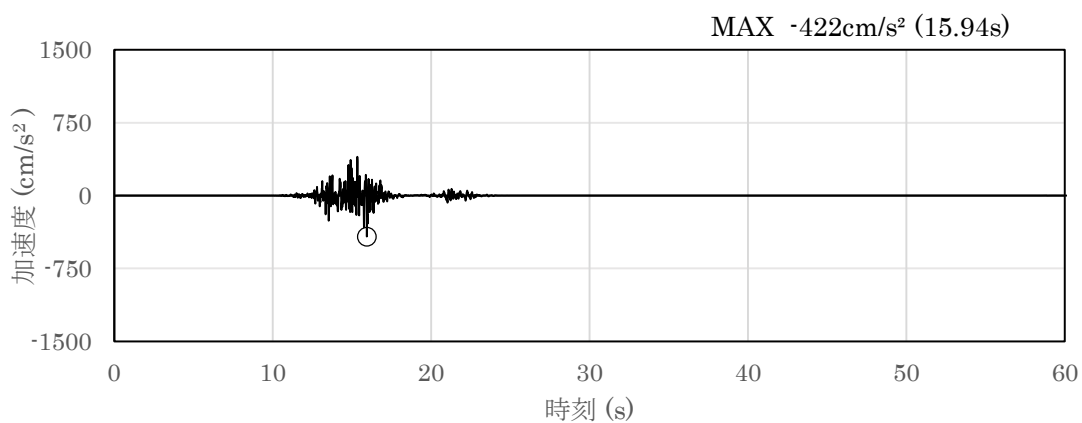


(a) 加速度時刻歴波形

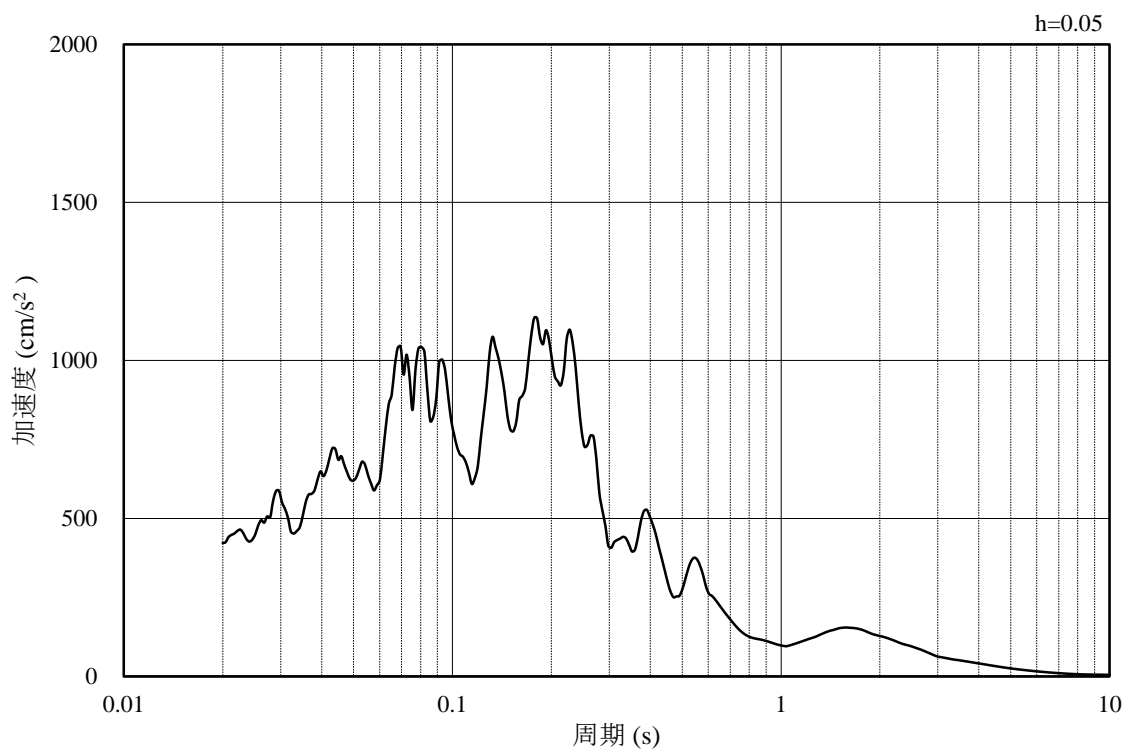


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(東西方向, 水平成分: S s - F 2)

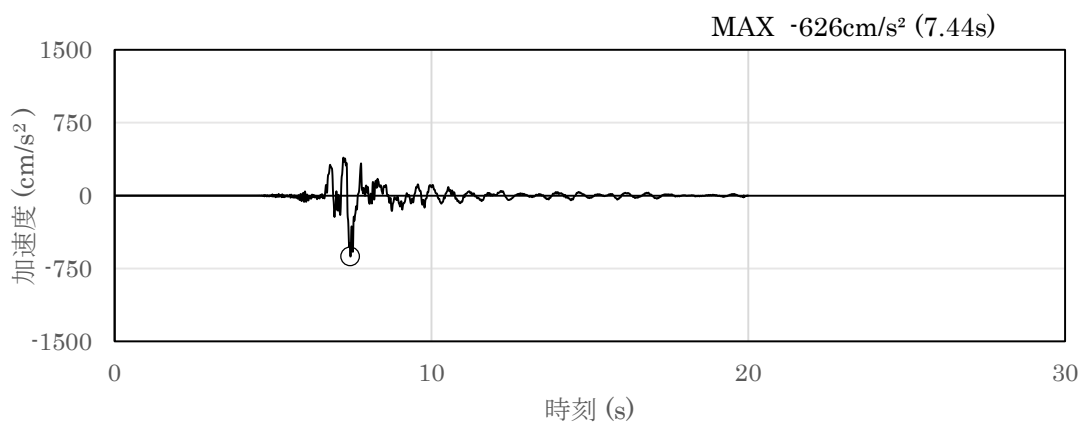


(a) 加速度時刻歴波形

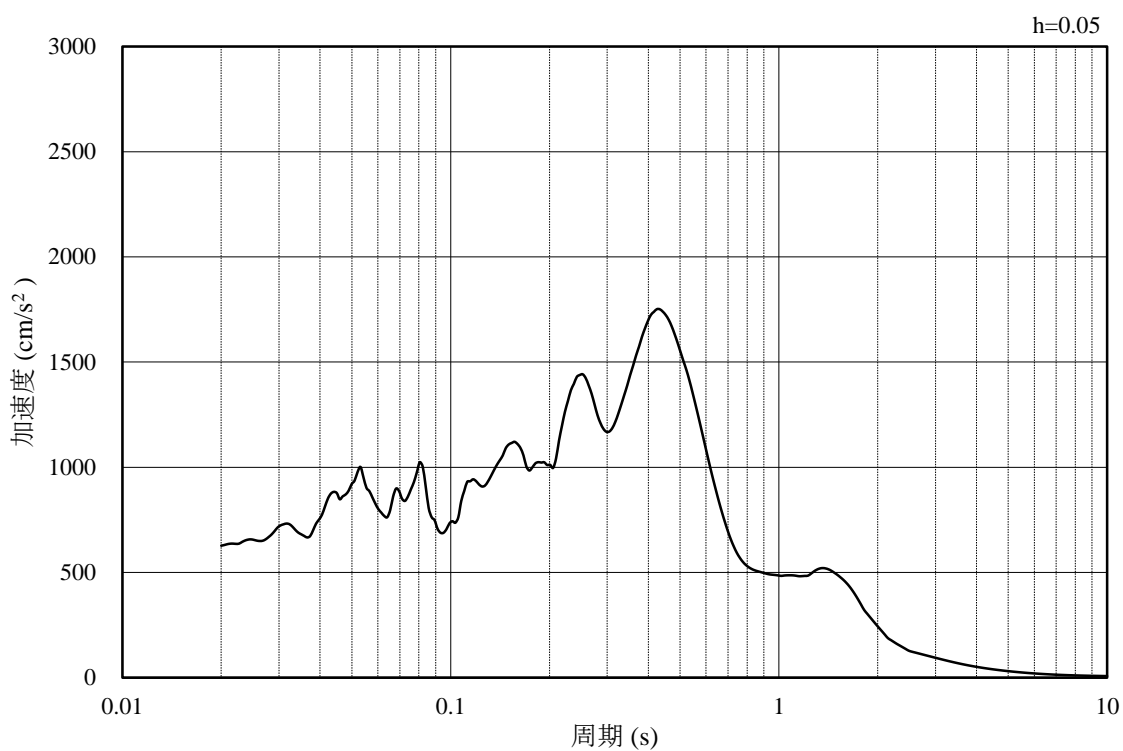


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

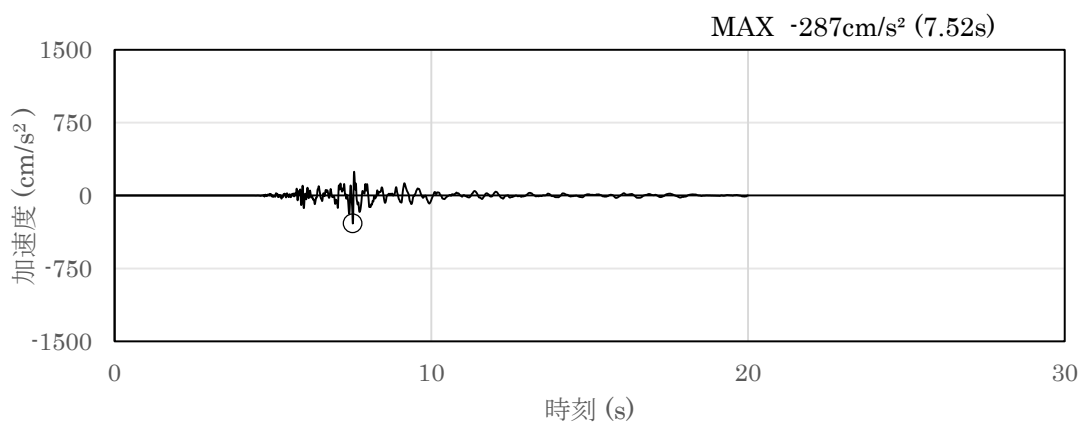


(a) 加速度時刻歴波形

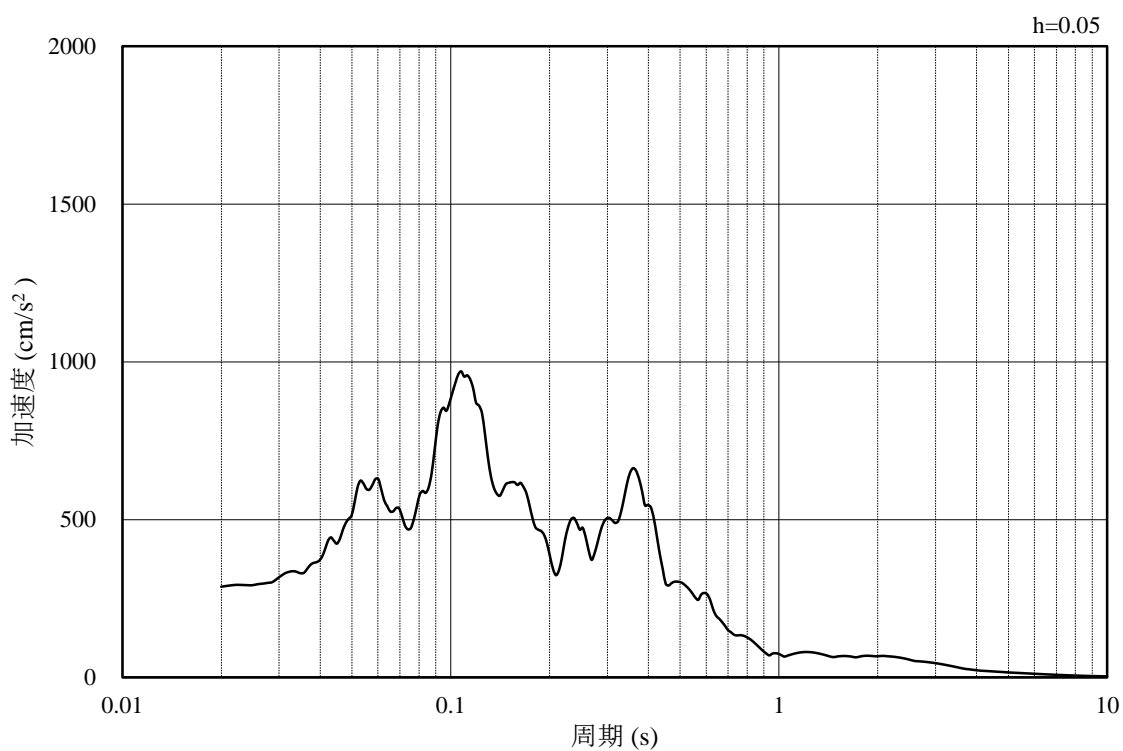


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

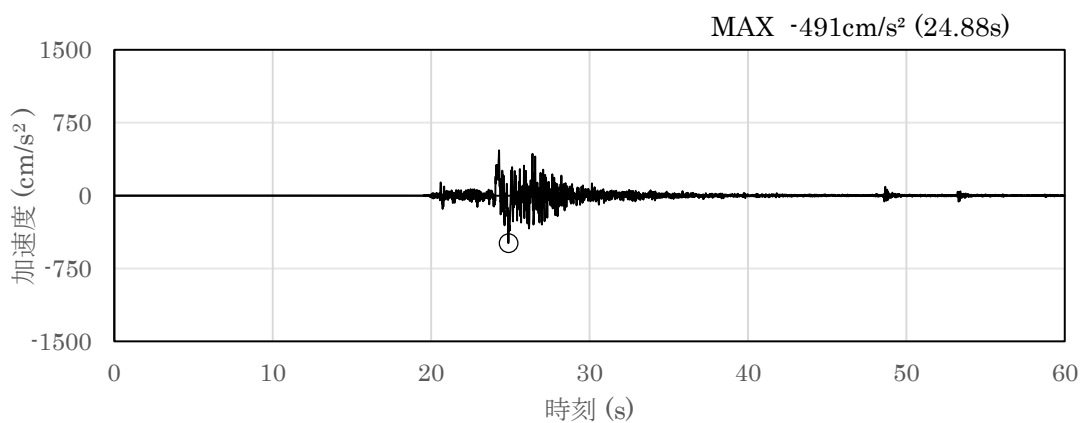


(a) 加速度時刻歴波形

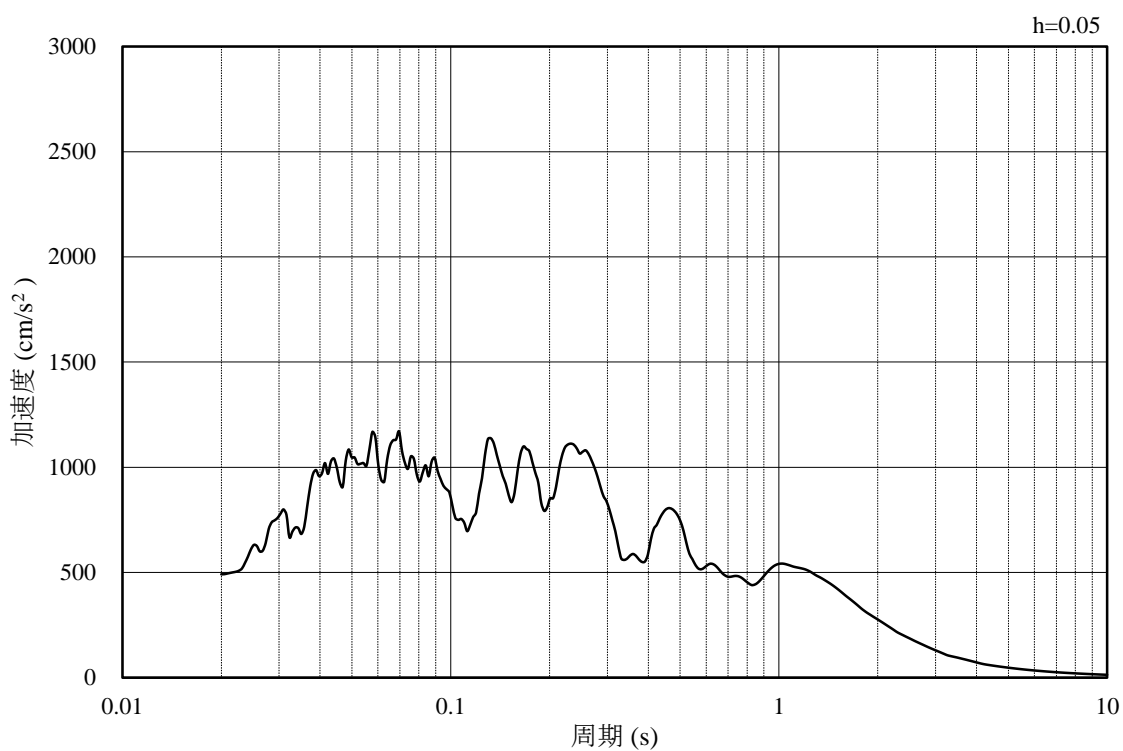


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

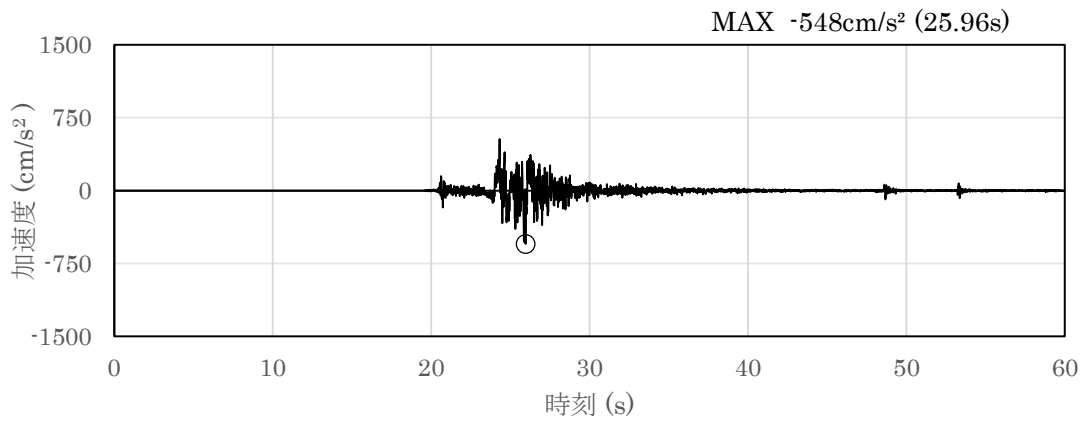


(a) 加速度時刻歴波形

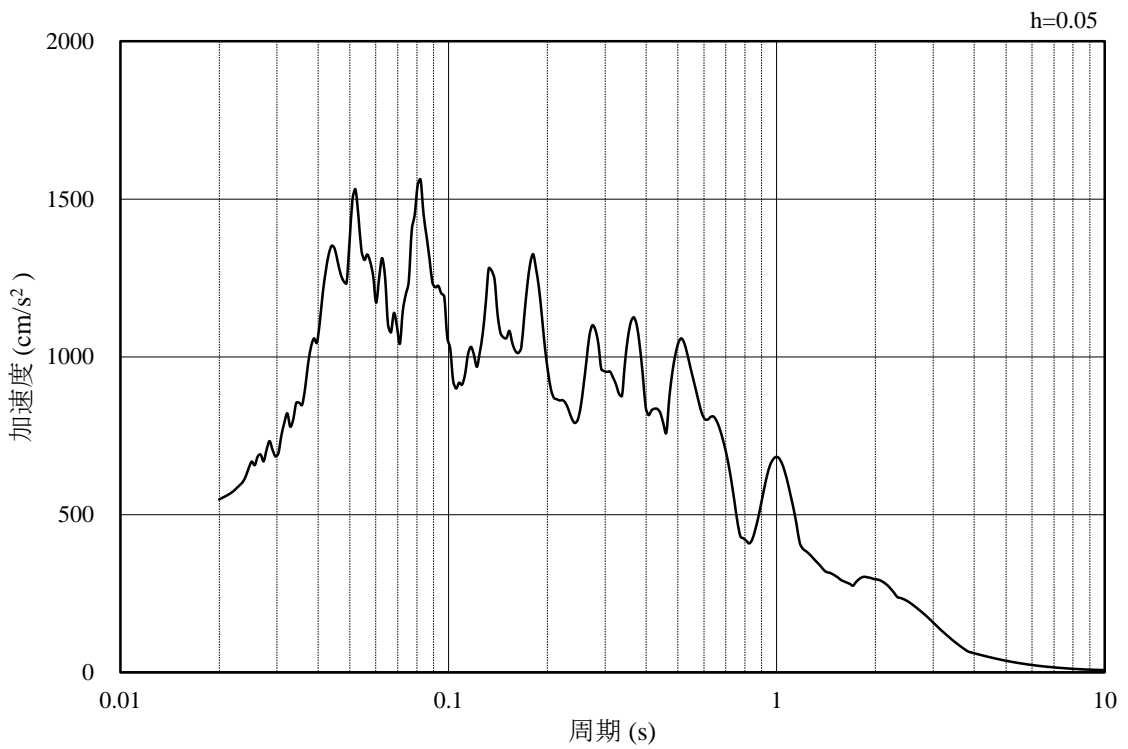


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, N S 方向)

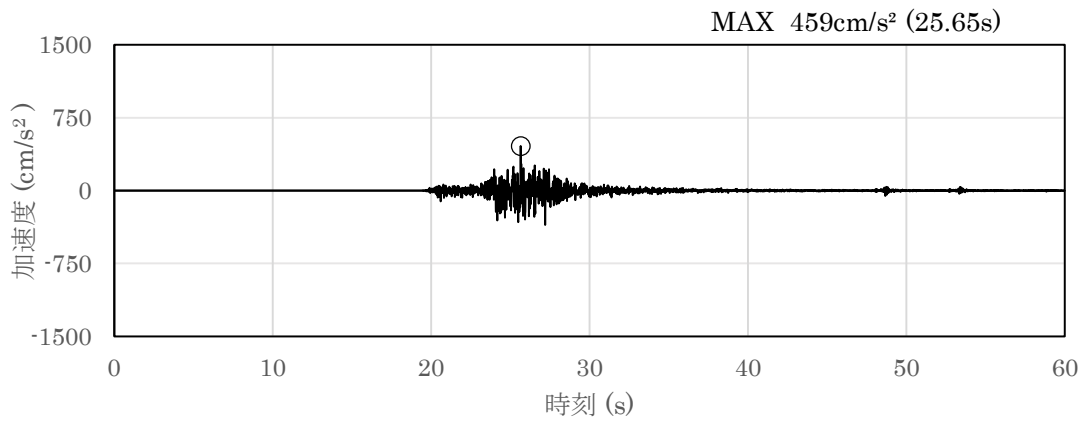


(a) 加速度時刻歴波形

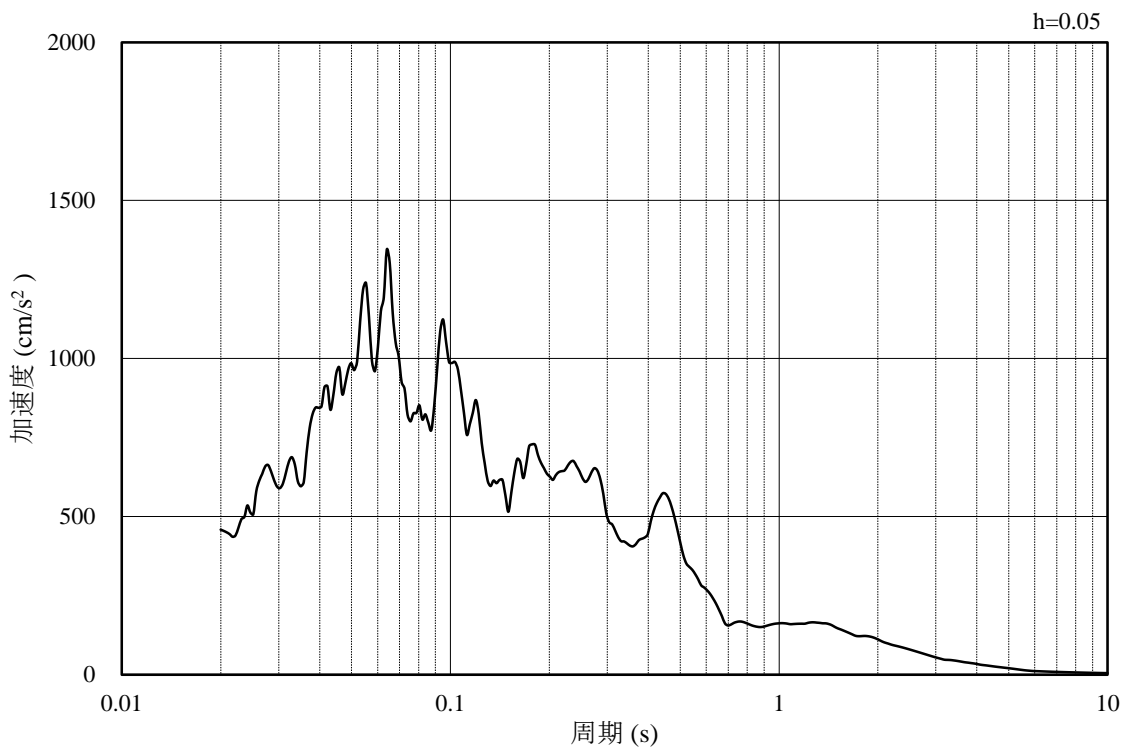


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, E W方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

揚水井戸の地震応答解析モデルを図 3-18 及び図 3-19 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

等価な剛性を有する 2 次元等価剛性モデルを作成して実施することとし、構造部材については、線形はり要素によりモデル化する。水平方向には構造物の幅に応じた仮想剛はりを設置する。

機器・配管荷重及び蓋荷重は解析モデルに付加重量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

A-A 断面（東西方向）の解析モデル範囲において隣接構造物となるタービン建物は、等価剛性の線形平面ひずみ要素及び剛はり要素でモデル化する。

B-B 断面（南北方向）の解析モデル範囲において隣接構造物となる排気筒基礎は、等価剛性の線形平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) MMR 及び埋戻コンクリートのモデル化

MMR 及び埋戻コンクリートは無筋コンクリートとして線形平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物と地盤」及び「構造物と埋戻コンクリート」との接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

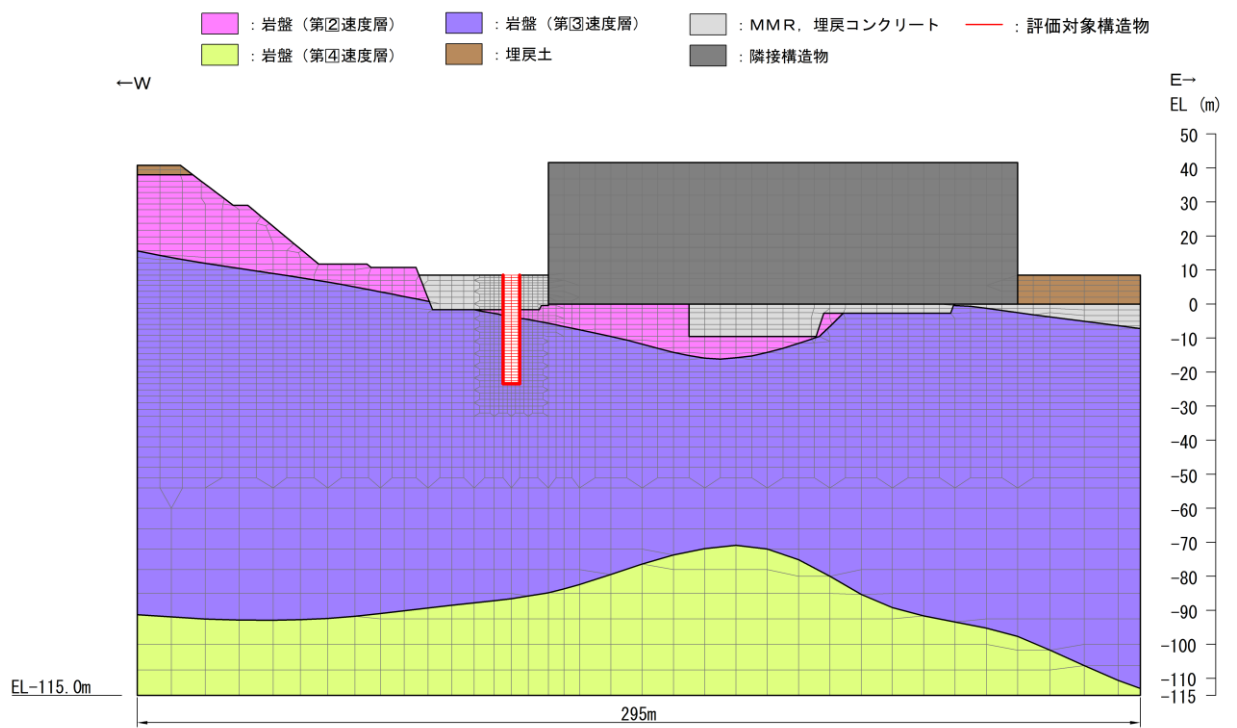


図 3-18 揚水井戸の地震応答解析モデル図 (A-A断面 (東西方向))

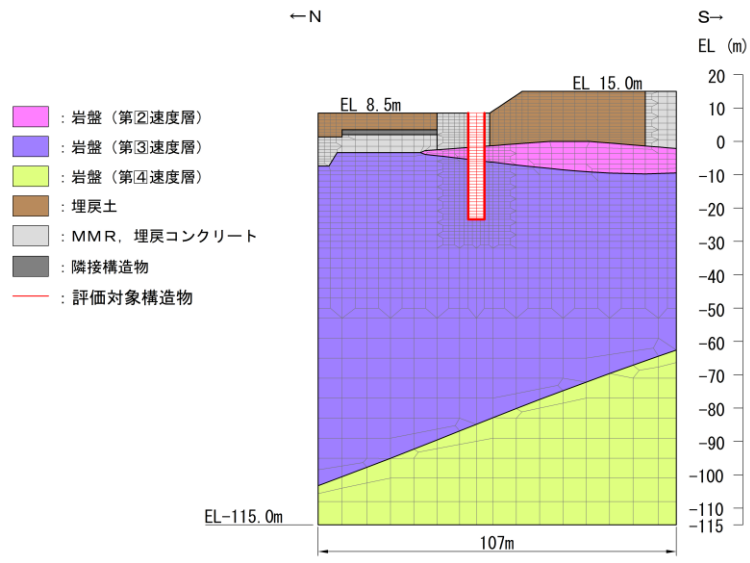


図 3-19 揚水井戸の地震応答解析モデル図 (B-B断面 (南北方向))

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-7 に、材料の物性値を表 3-8 に示す。

表 3-7 使用材料

| 材料 | | 仕様 |
|----------|--------|------------------------------|
| 構造物 | コンクリート | 設計基準強度 36.0N/mm ² |
| | 鉄筋 | SD345, SD490 |
| 埋戻コンクリート | | 設計基準強度 18.0N/mm ² |
| MMR | | 設計基準強度 23.5N/mm ² |

表 3-8 材料の物性値

| 材料 | ヤング係数 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ポアソン比 |
|----------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 構造物 | 2.98×10 ⁴ | 24.0* ¹ | 0.2 |
| 埋戻コンクリート | 2.20×10 ⁴ | 22.6* ² | |
| MMR | 2.48×10 ⁴ | | |

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。設計地下水位の一覧を表 3-9 に示す。

表 3-9 設計地下水位の一覧

| 施設名称 | 解析断面 | 設計地下水位 (EL m) |
|------|--------------|-------------------|
| 揚水井戸 | A-A断面 (東西方向) | 8.5 |
| | B-B断面 (南北方向) | 8.5~15.0 (地表面) |

4. 解析結果

4.1 A-A断面（東西方向）の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-1～図 4-12 に示す。

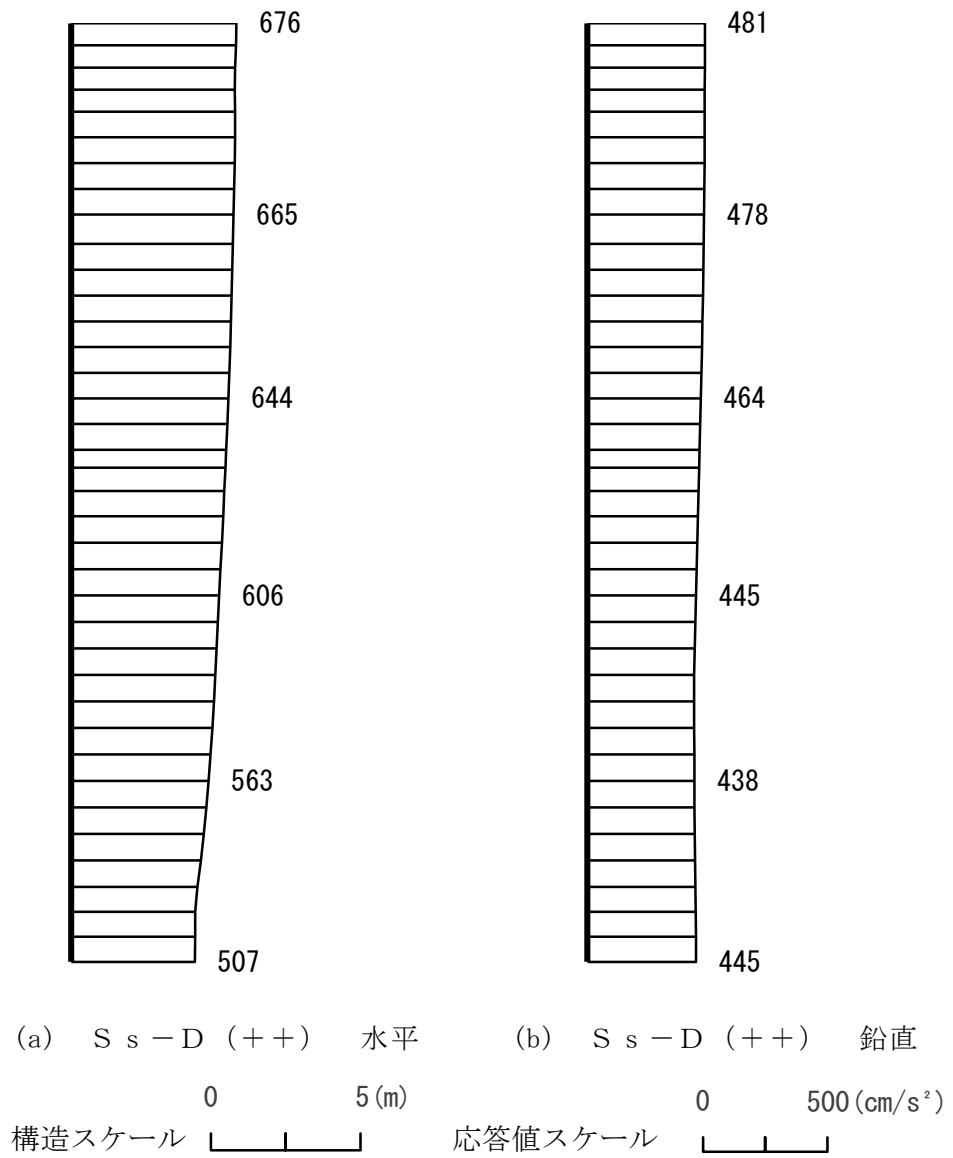


図 4-1 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (1/12) (解析ケース①)

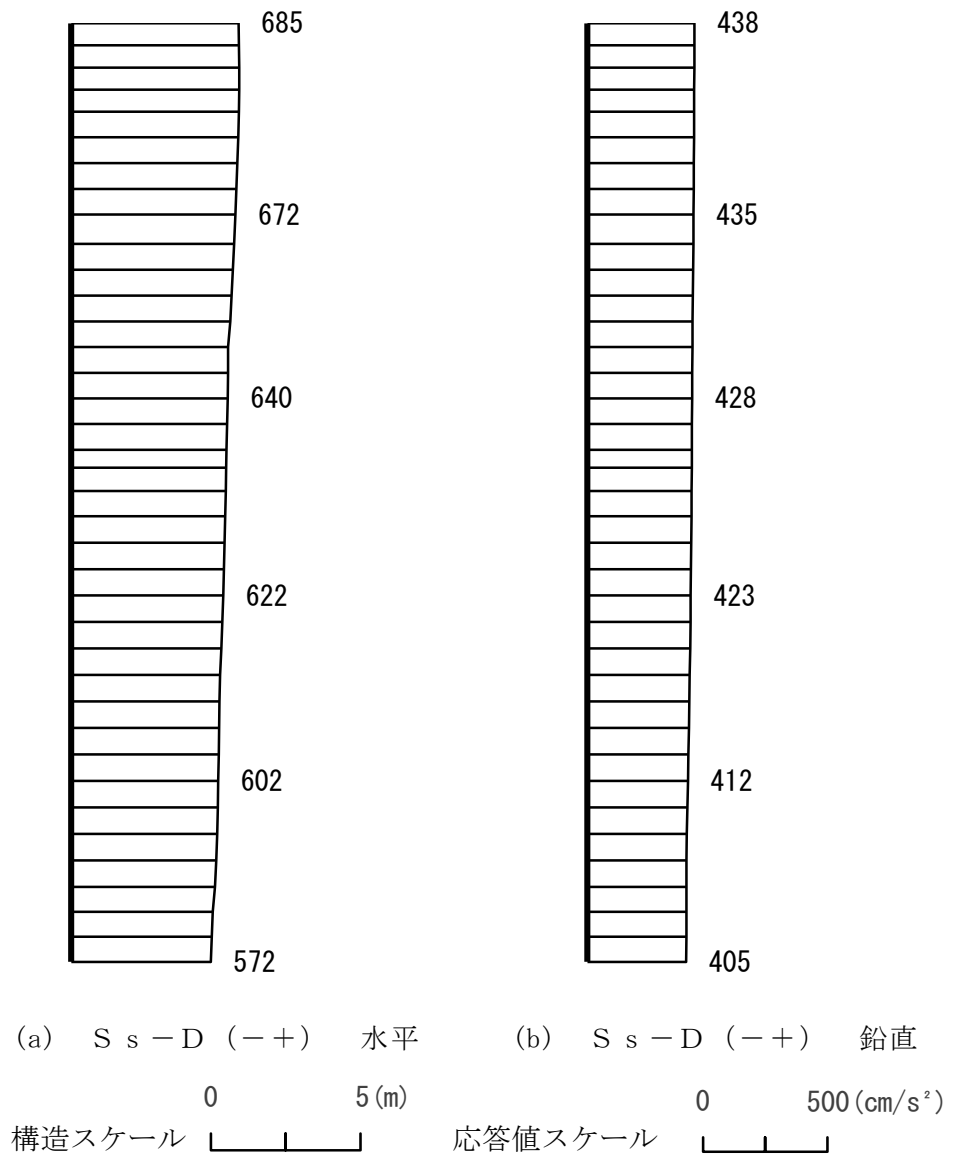


図 4-2 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (2/12) (解析ケース①)

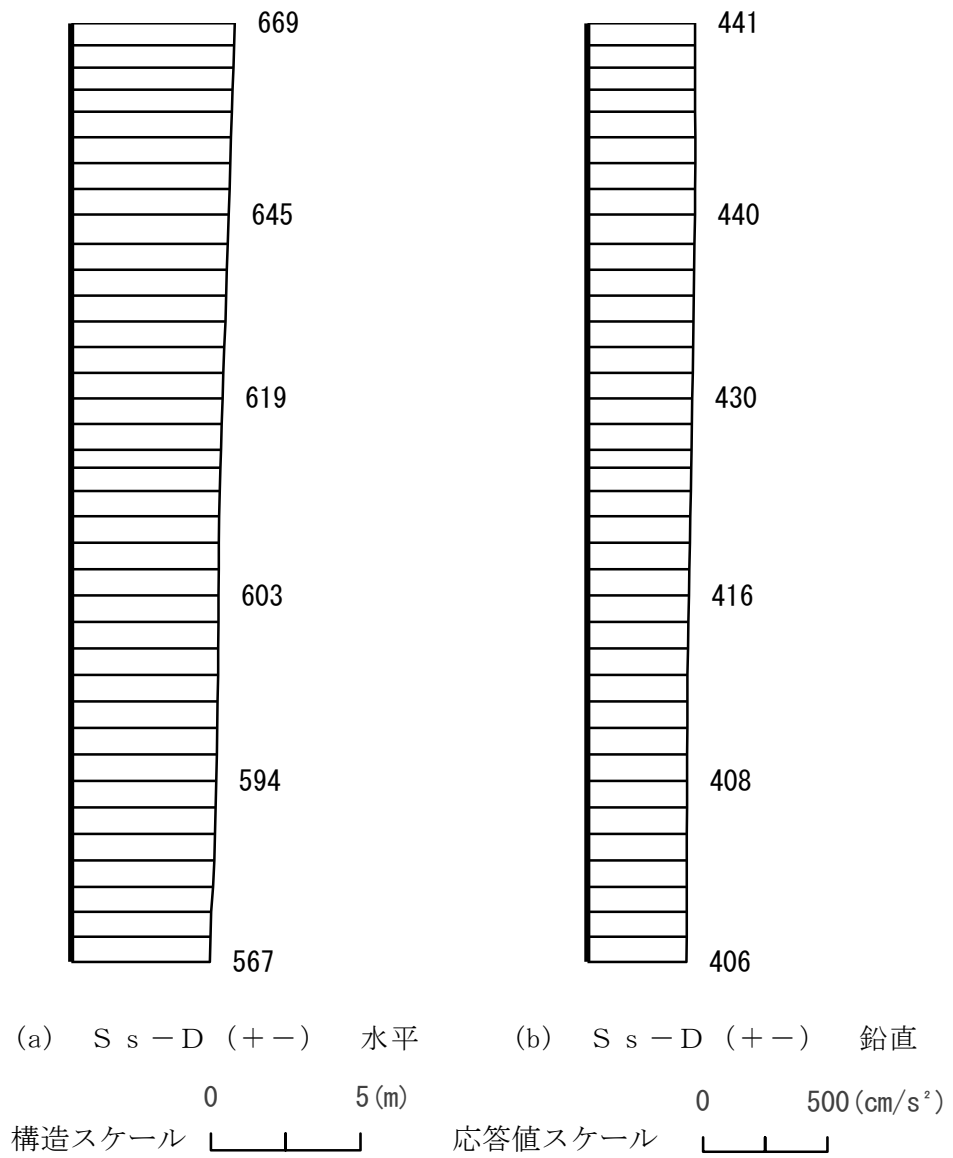


図 4-3 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (3/12) (解析ケース①)

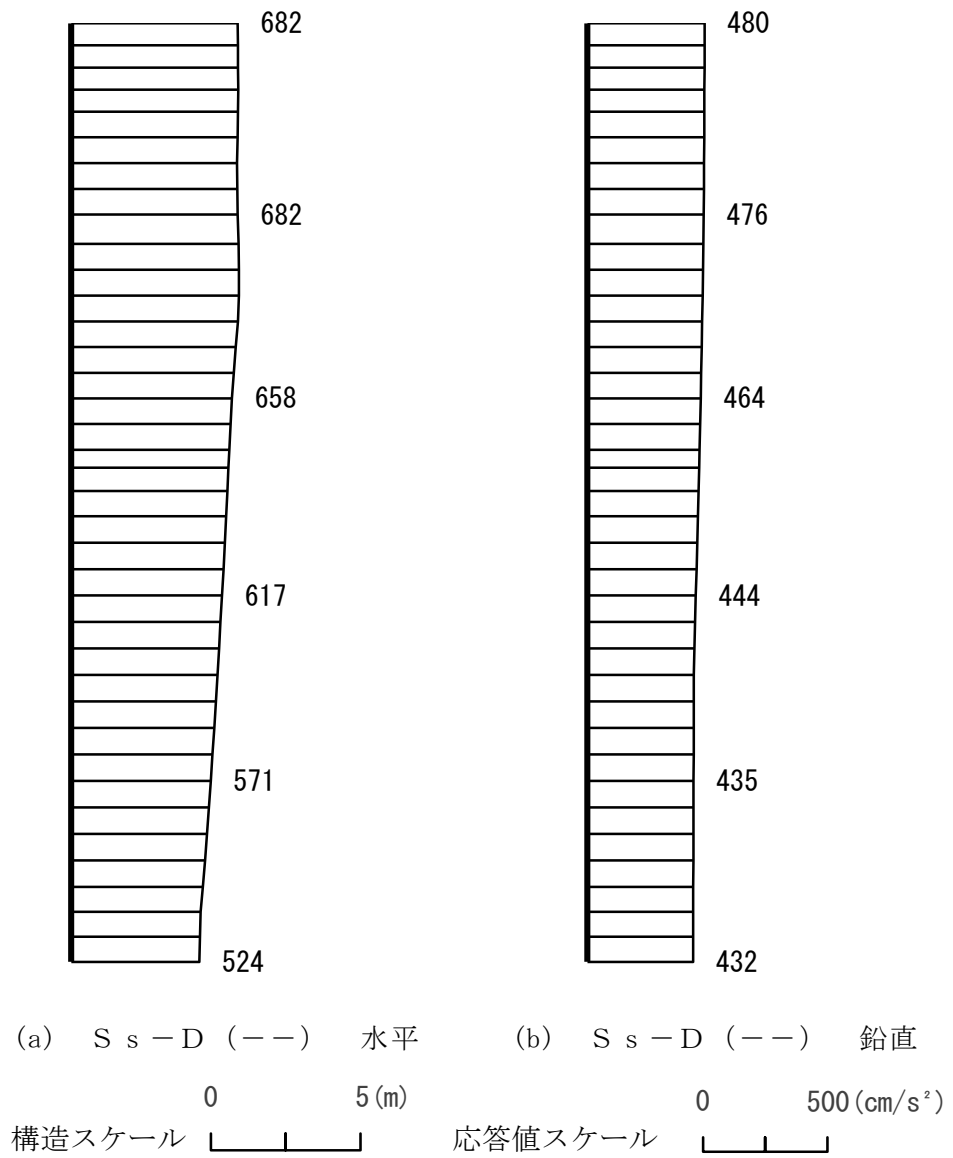


図 4-4 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (4/12) (解析ケース①)

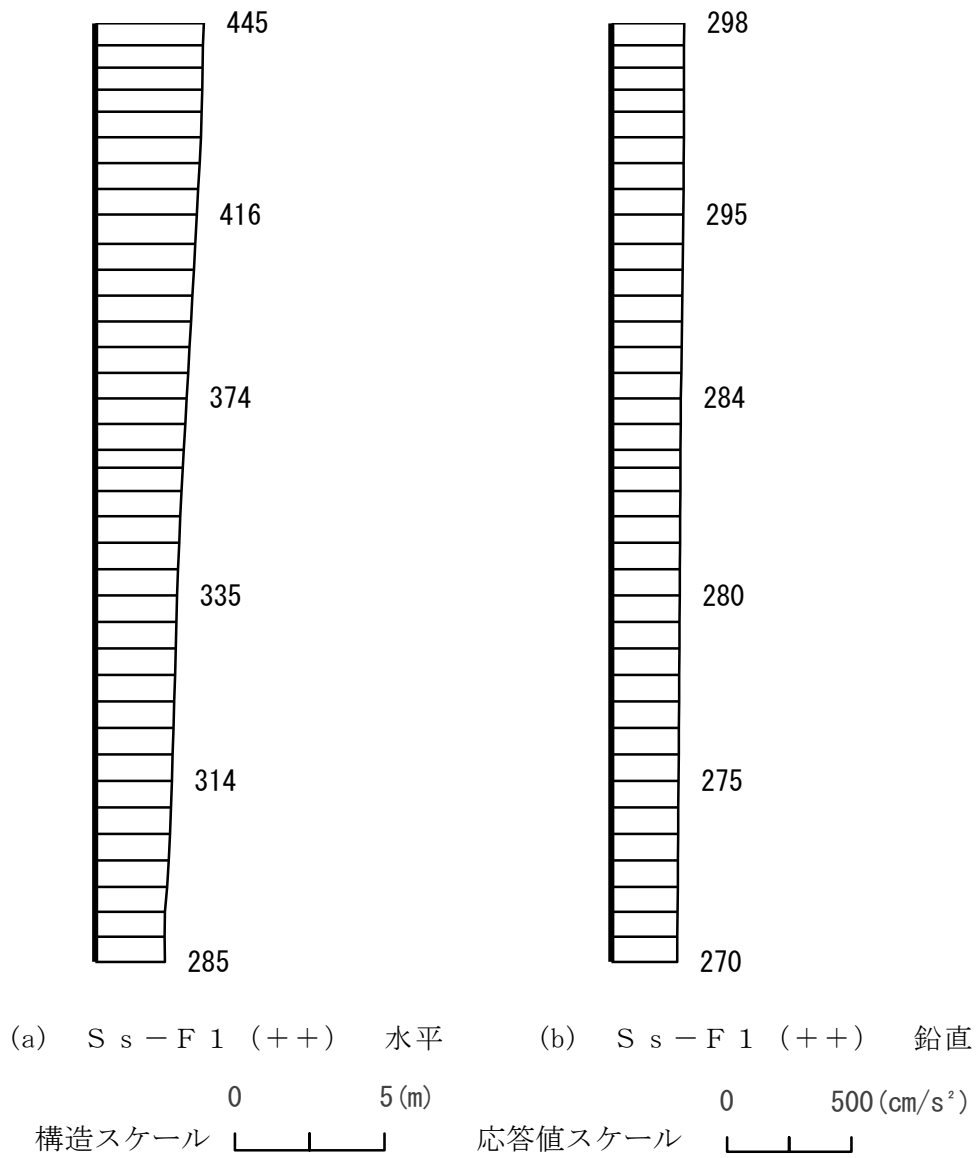


図 4-5 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (5/12) (解析ケース①)

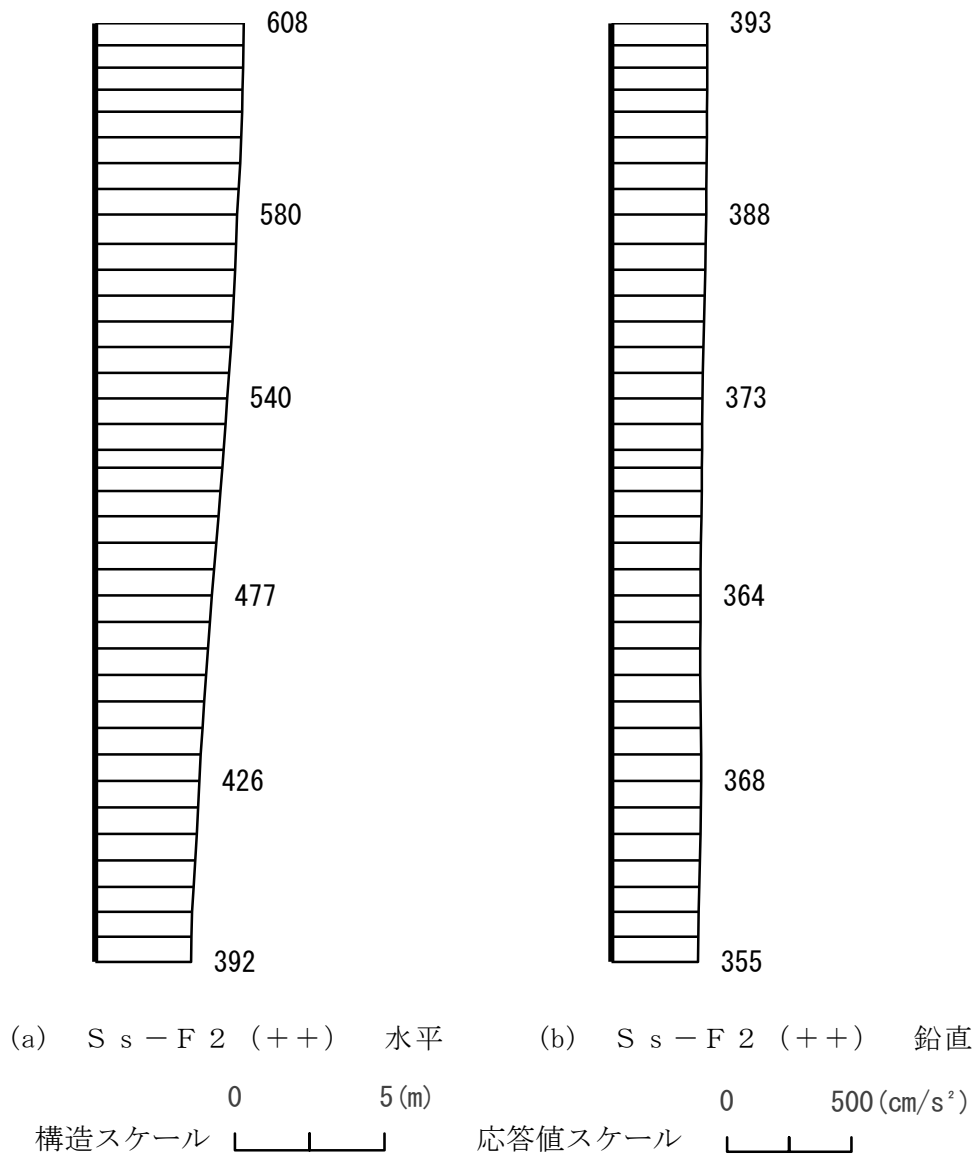


図 4-6 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (6/12) (解析ケース①)

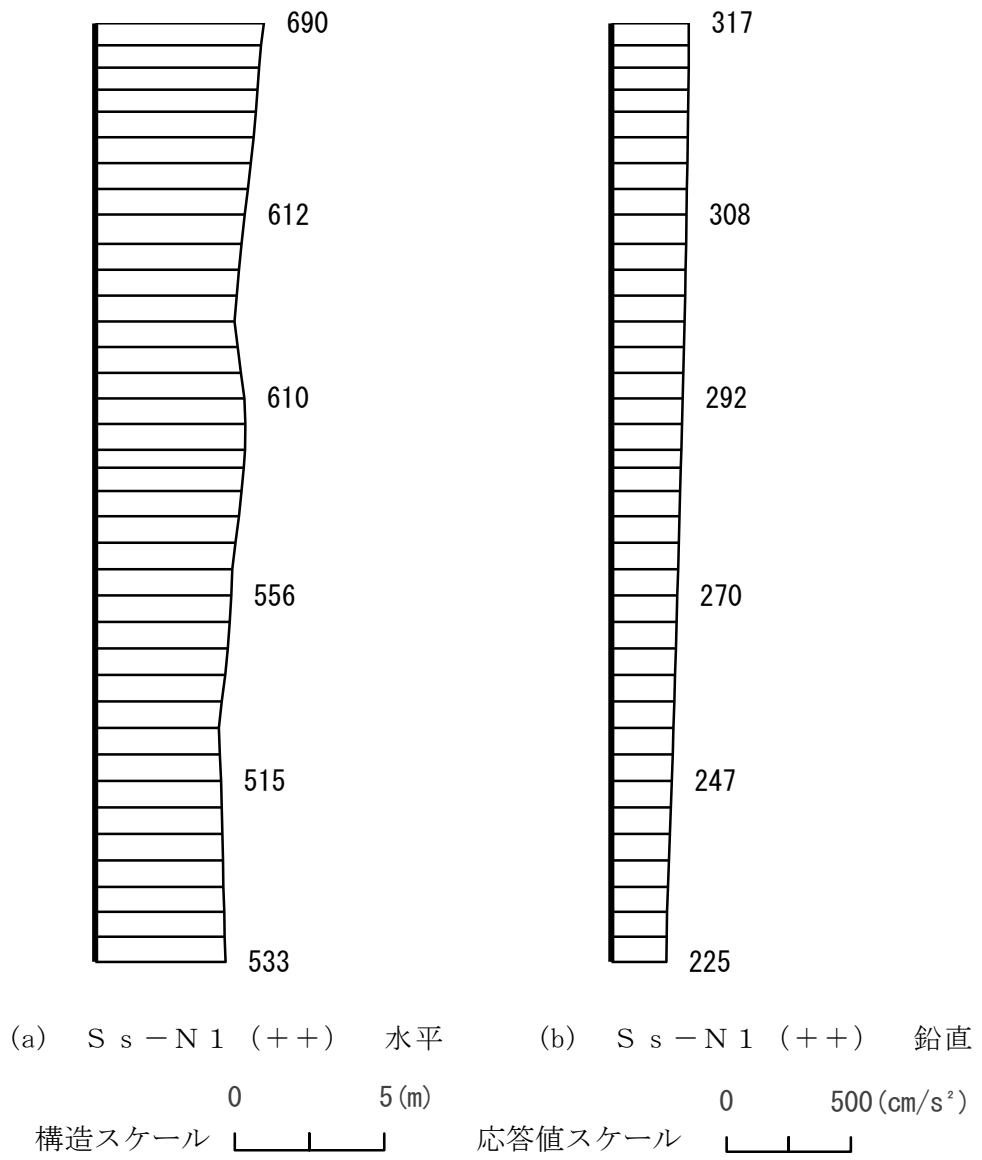


図 4-7 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (7/12) (解析ケース①)

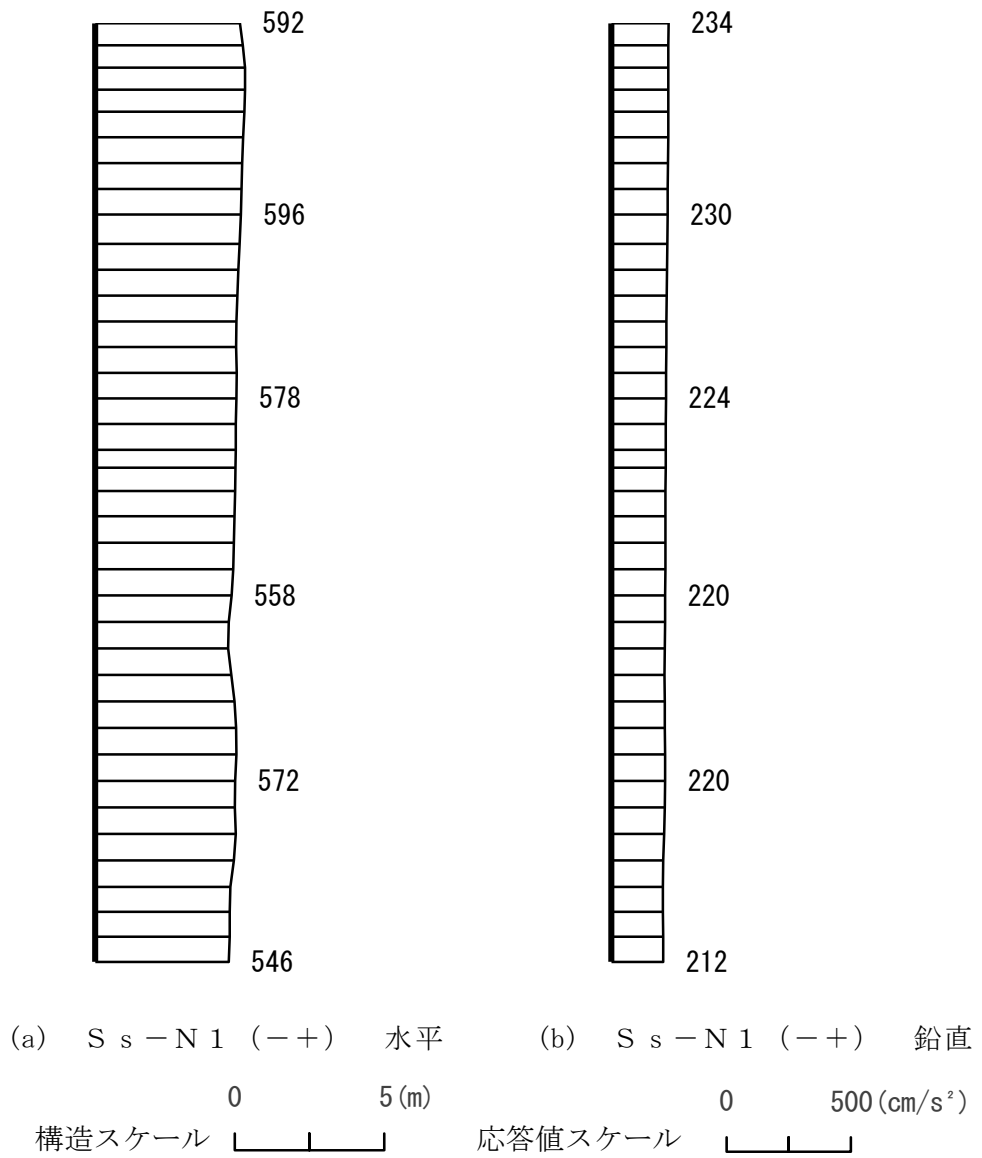
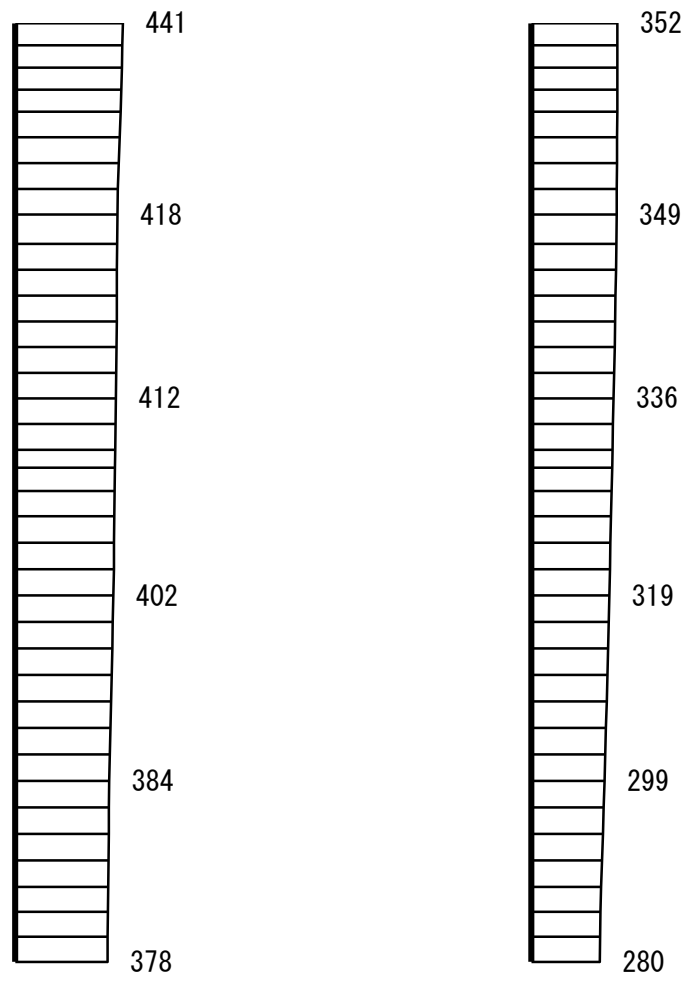
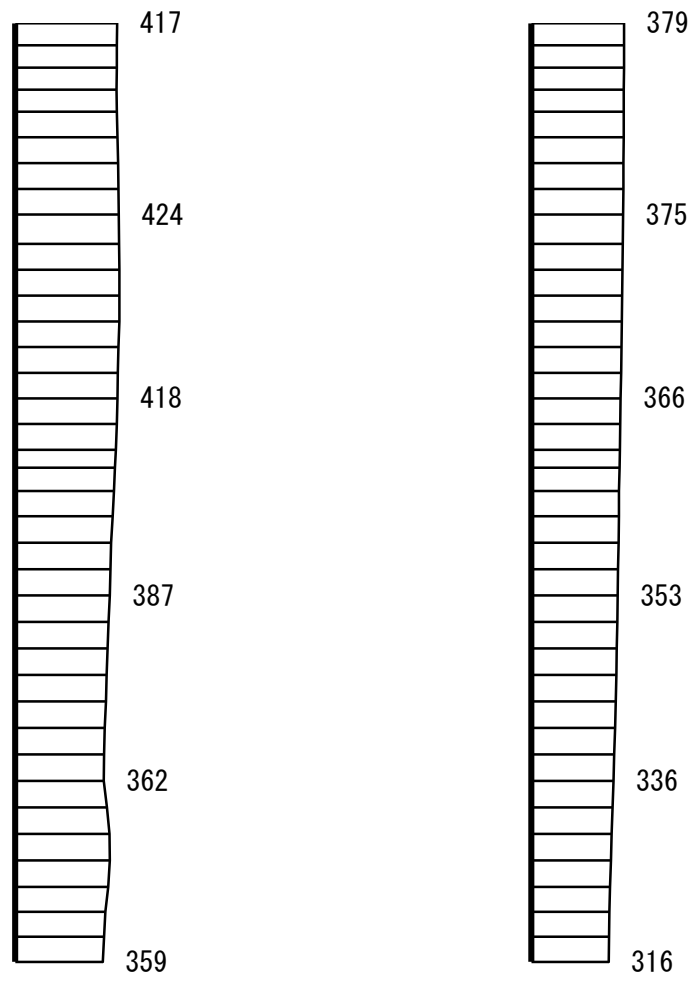


図 4-8 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (8/12) (解析ケース①)



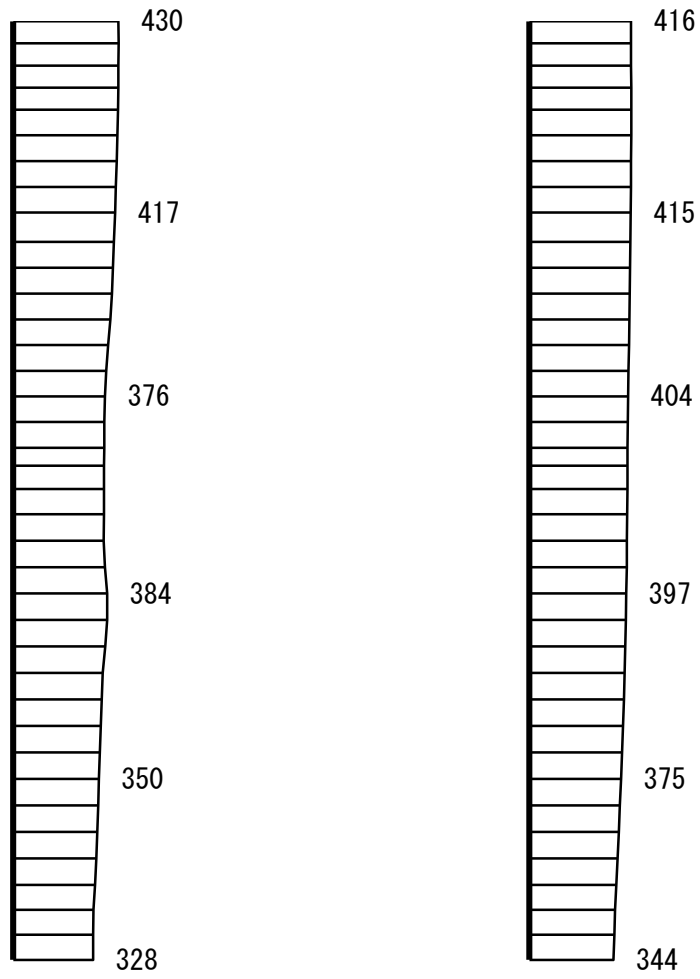
(a) S s - N 2 (N S) (+ +) 水平 (b) S s - N 2 (N S) (+ +) 鉛直
 構造スケール 0 5 (m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-9 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (9/12) (解析ケース①)



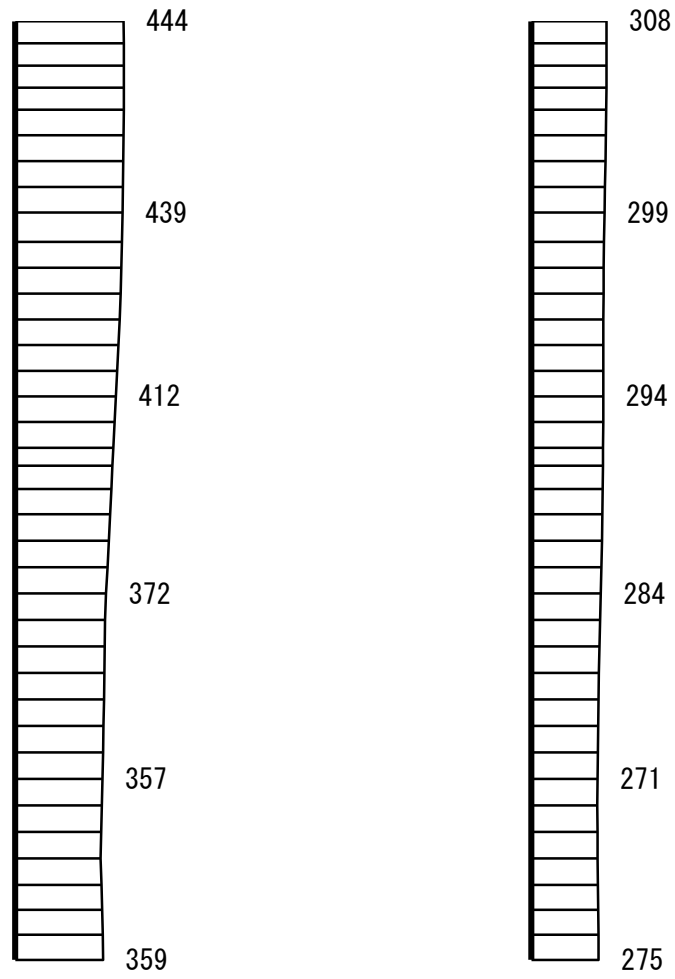
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平 (b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直
 構造スケール 0 5(m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-10 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (10/12) (解析ケース①)



(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平 (b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直
 構造スケール 0 5 (m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-11 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (11/12) (解析ケース①)



(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平 (b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直
 構造スケール 0 5 (m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-12 最大応答加速度分布図 (A-A断面) (12/12) (解析ケース①)

4.2 B－B断面（南北方向）の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として，解析ケース②（基本ケース）について，すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図4-13～図4-24に示す。

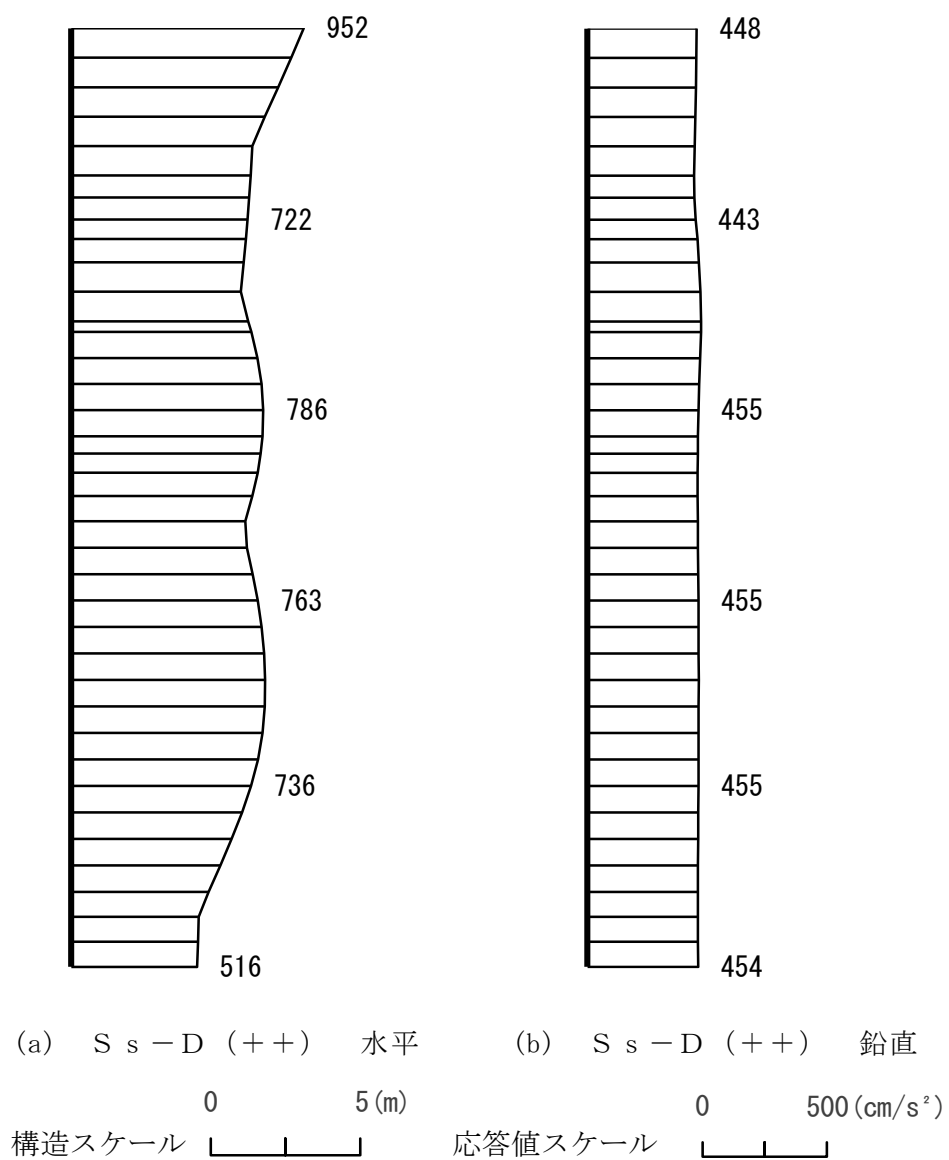


図 4-13 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (1/12) (解析ケース②)

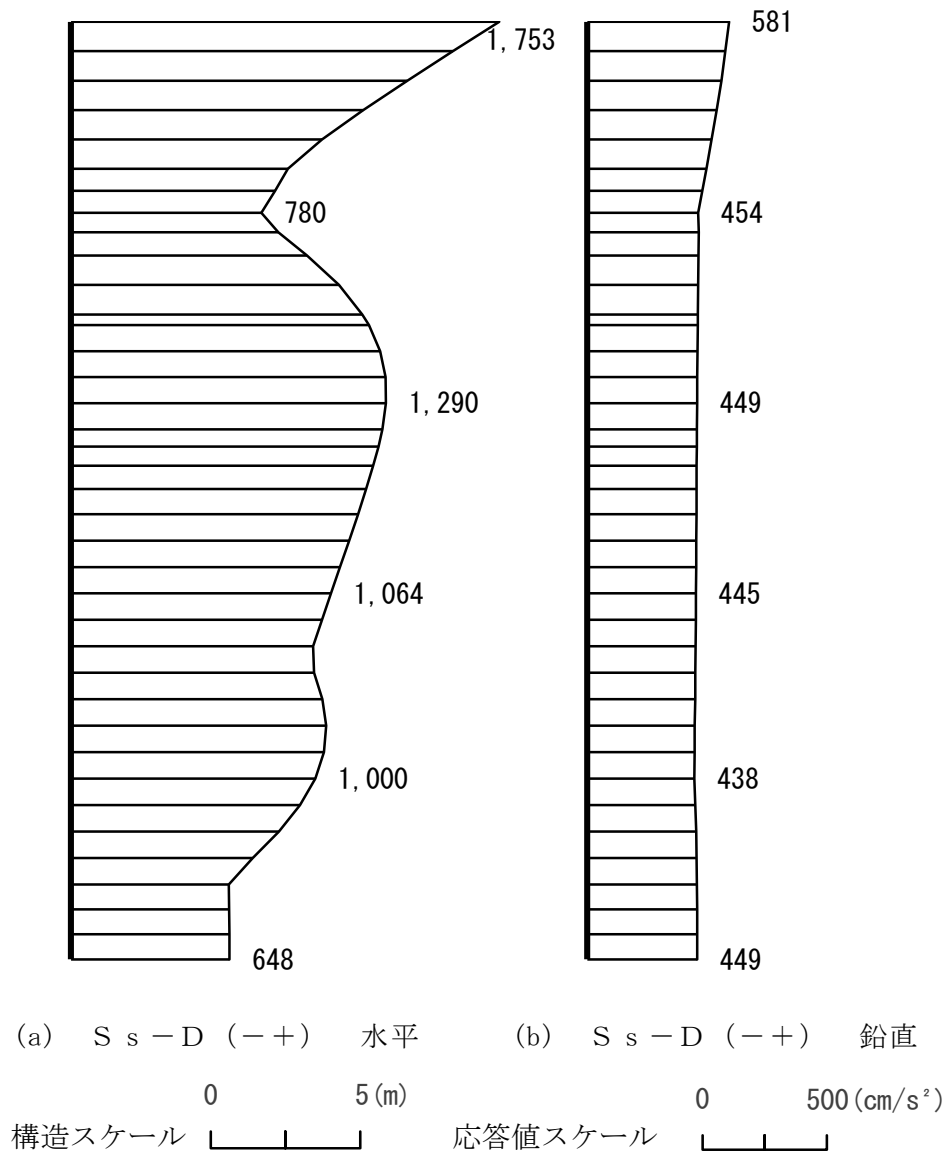


図 4-14 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (2/12) (解析ケース②)

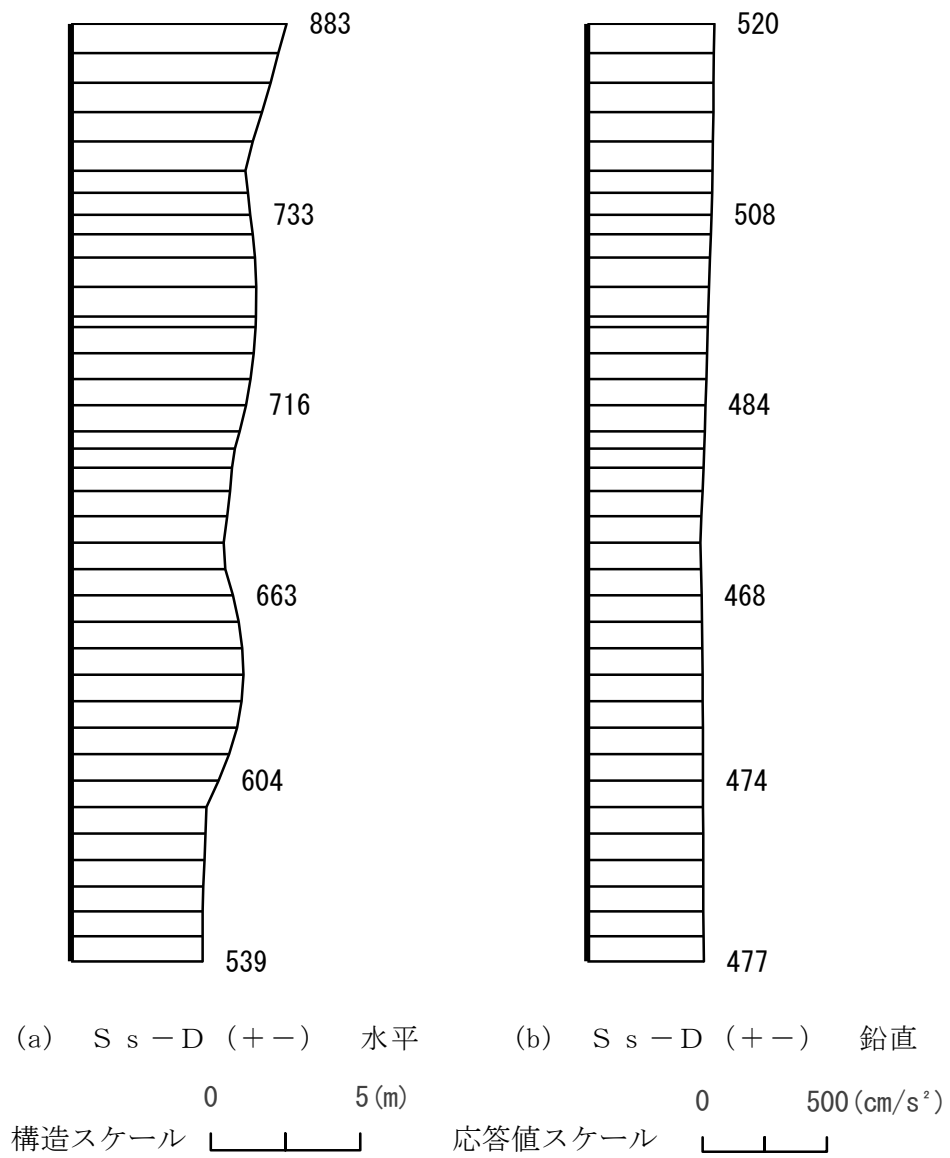


図 4-15 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (3/12) (解析ケース②)

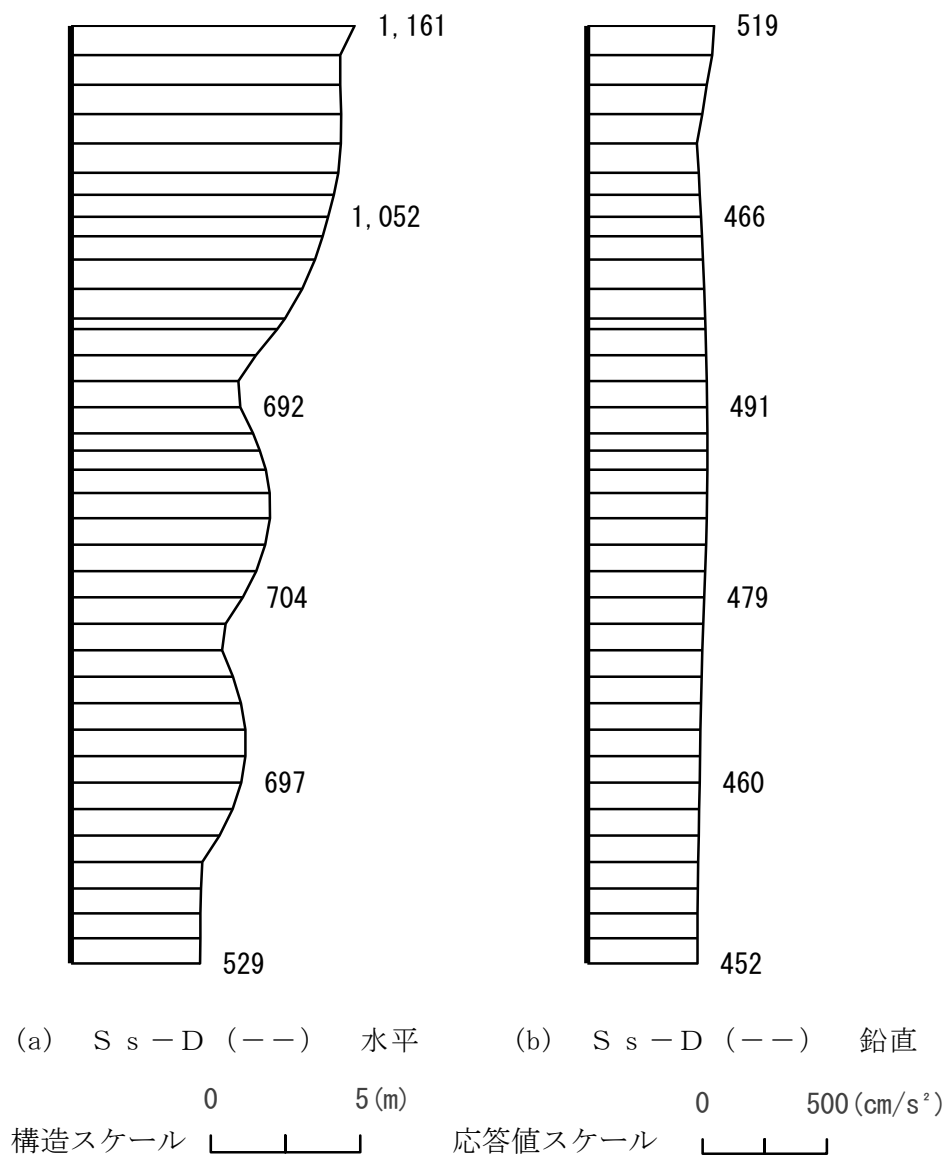


図 4-16 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (4/12) (解析ケース②)

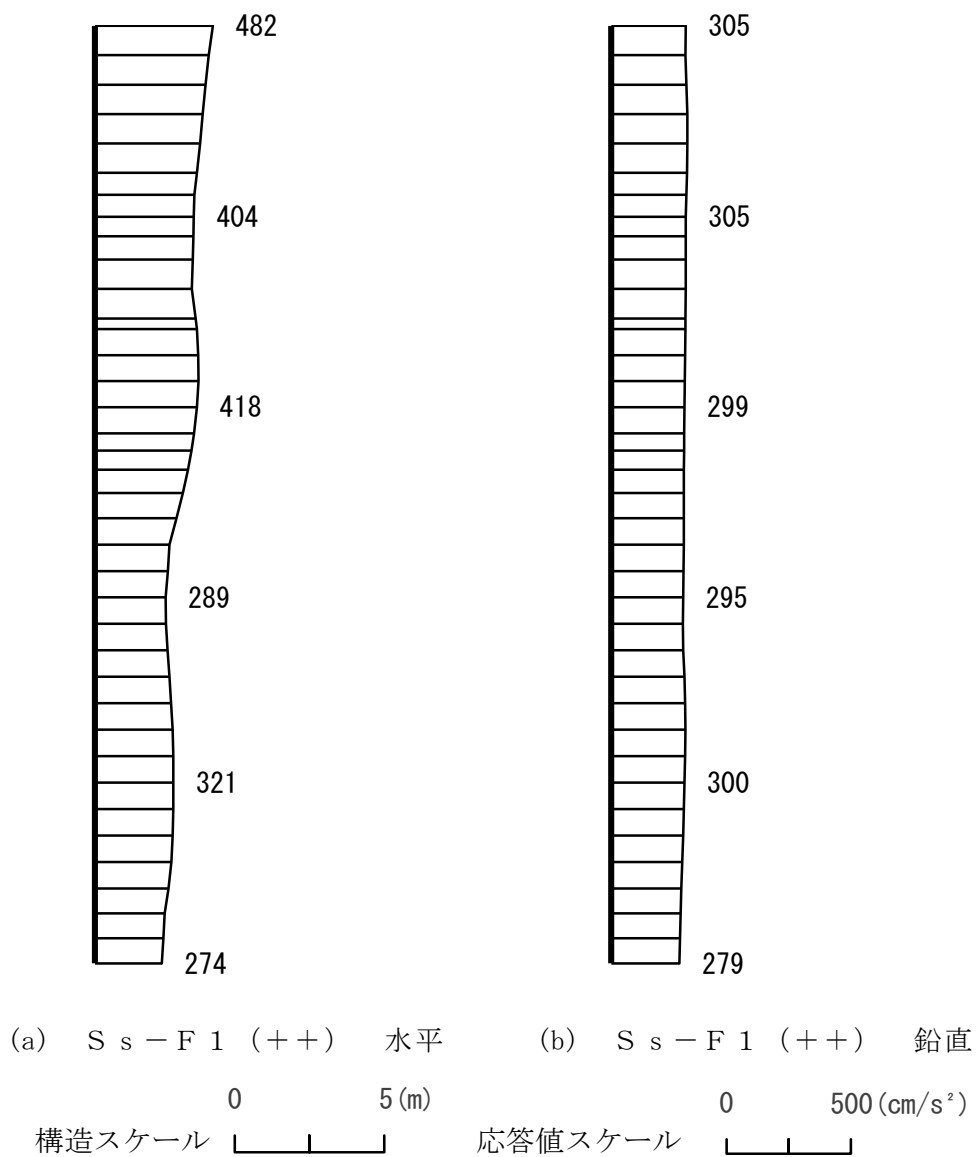


図 4-17 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (5/12) (解析ケース②)

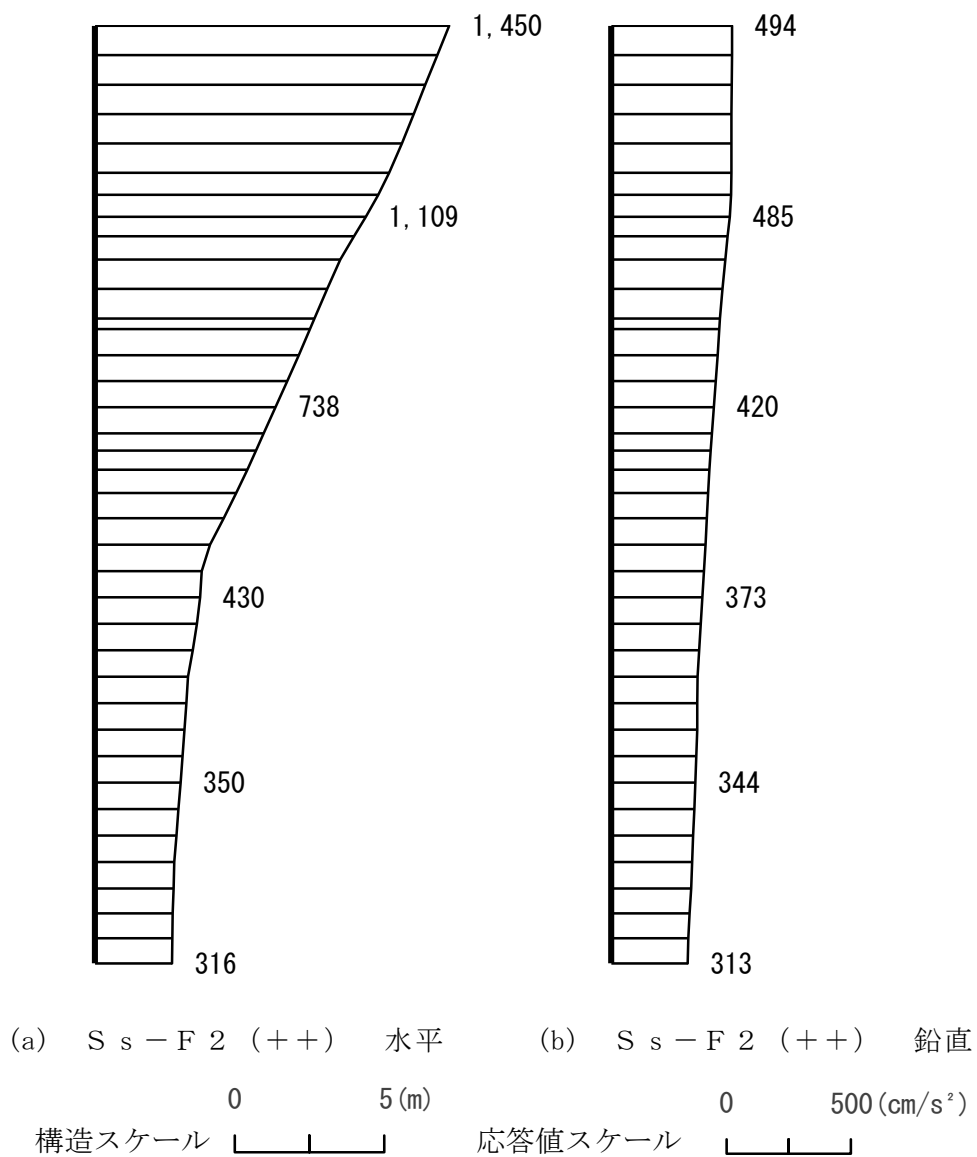


図 4-18 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (6/12) (解析ケース②)

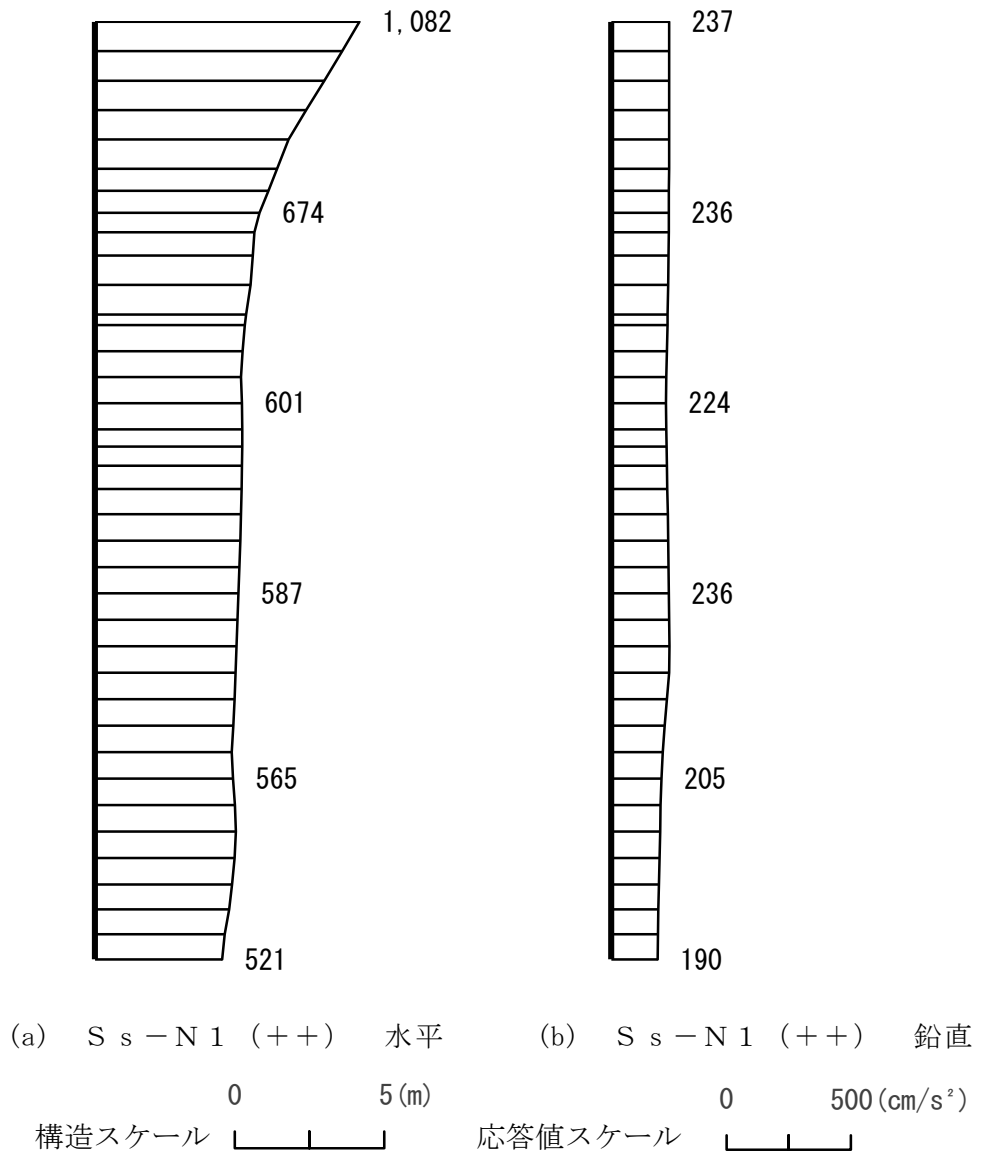


図 4-19 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (7/12) (解析ケース②)

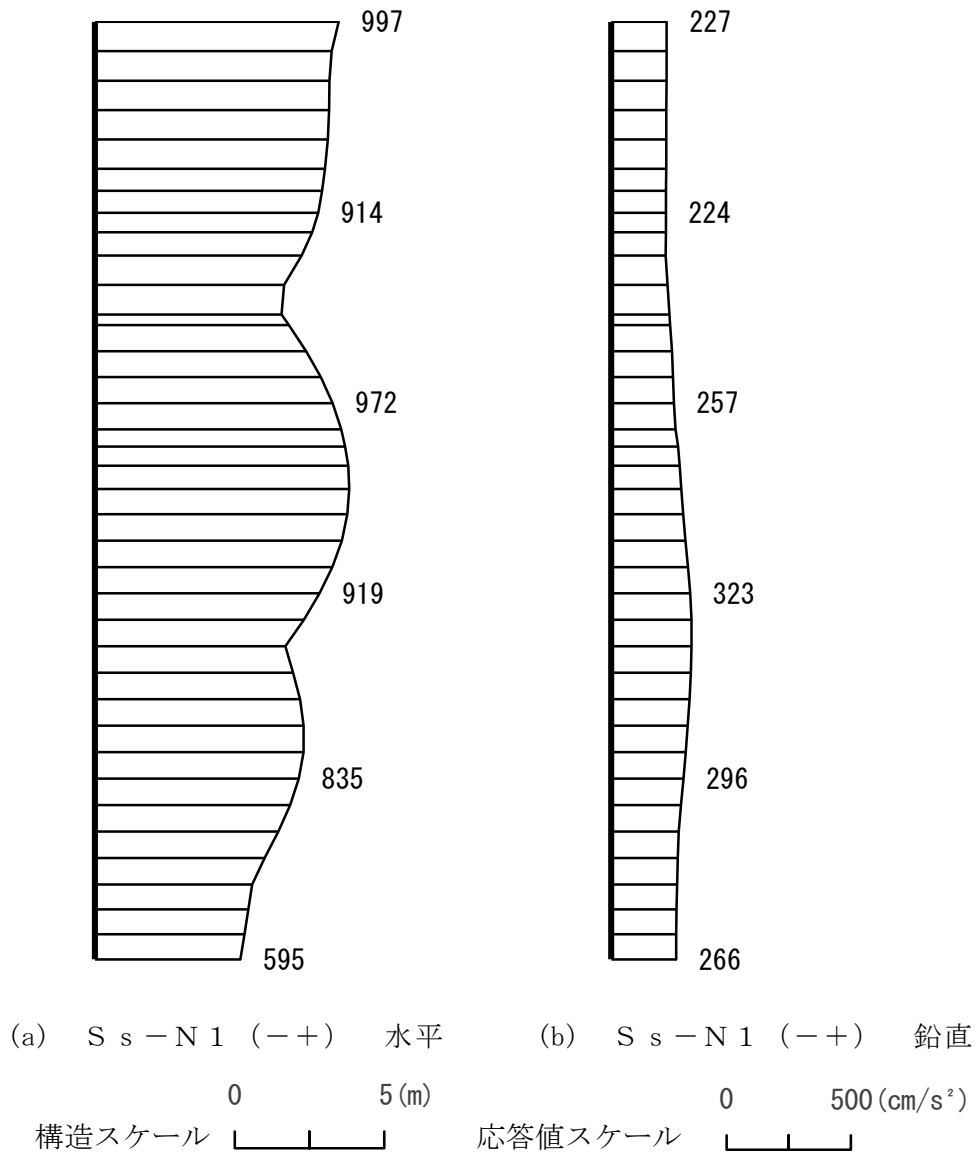
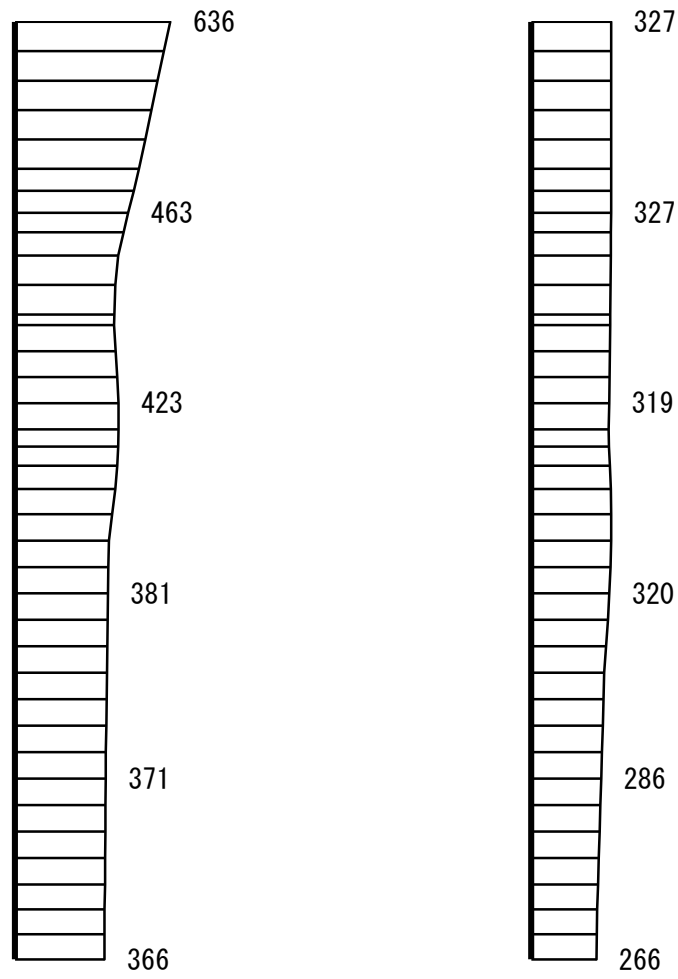
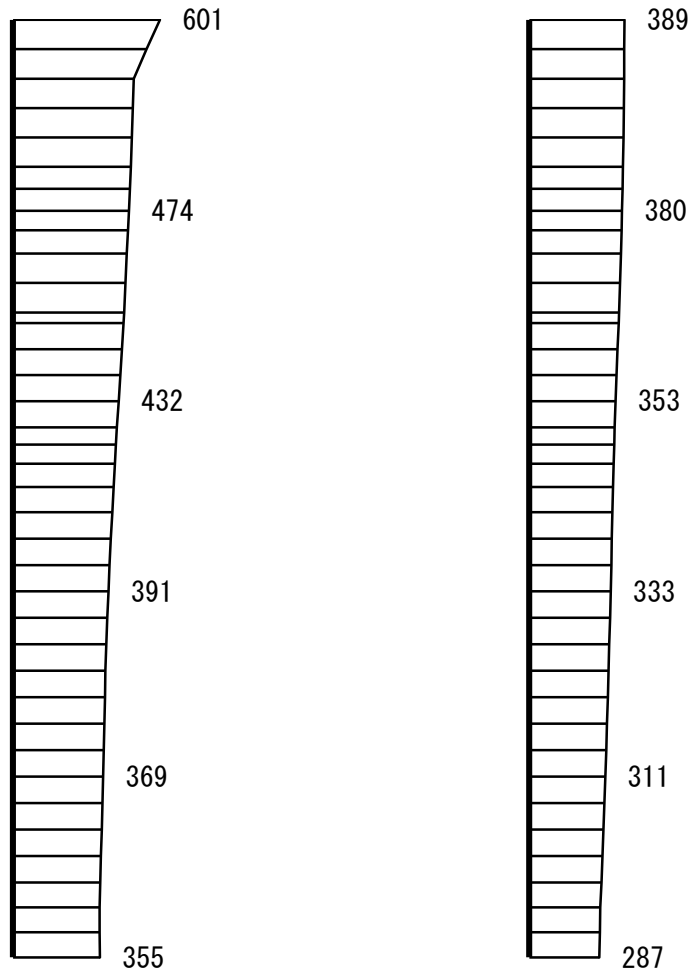


図 4-20 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (8/12) (解析ケース②)



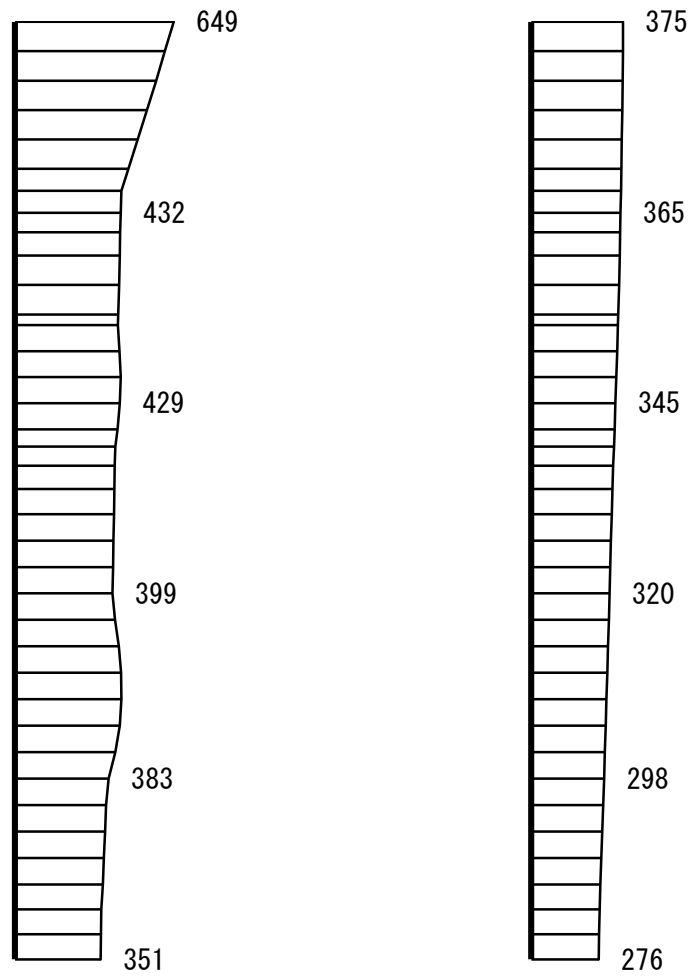
(a) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 水平 (b) $S_s - N_2 (NS) (++)$ 鉛直
 構造スケール 0 5(m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-21 最大応答加速度分布図 (B-B 断面) (9/12) (解析ケース②)



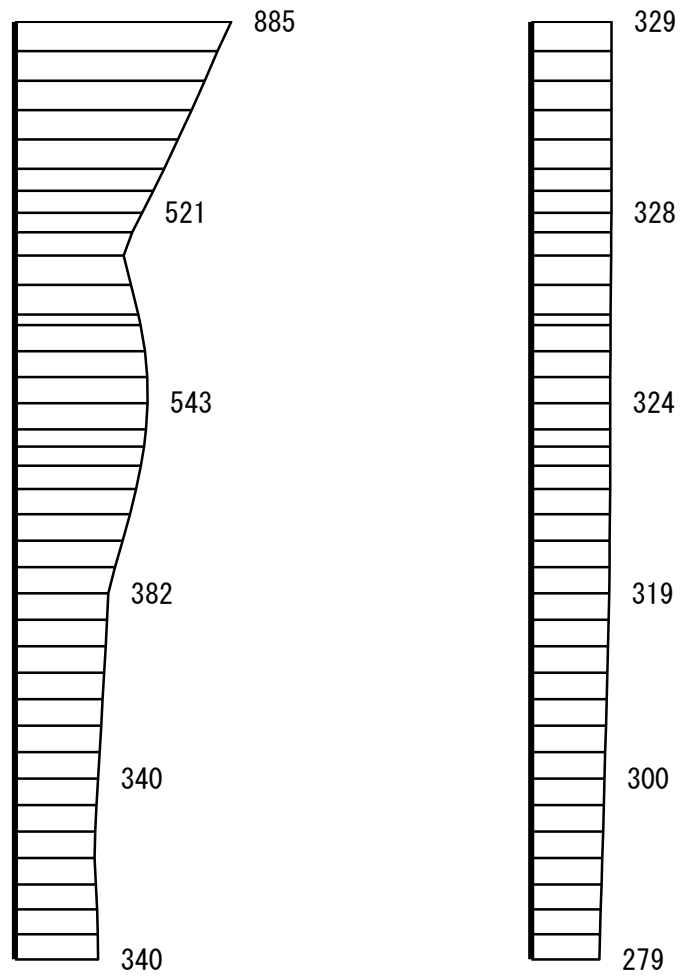
(a) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 水平 (b) $S_s - N_2 (NS) (-+)$ 鉛直
 構造スケール 0 5(m) 応答値スケール 0 500(cm/s^2)

図 4-22 最大応答加速度分布図 (B-B断面) (10/12) (解析ケース②)



(a) S s - N 2 (E W) (+ +) 水平 (b) S s - N 2 (E W) (+ +) 鉛直
 構造スケール 0 5 (m) 応答値スケール 0 500 (c m / s ²)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (B - B 断面) (11 / 12) (解析ケース ②)



(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平 (b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直
 構造スケール 0 5 (m) 応答値スケール 0 500 (cm/s²)

図 4-24 最大応答加速度分布図 (B - B 断面) (12 / 12) (解析ケース ②)

VI-2-別添 4-3-1 揚水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

| | |
|----------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 構造計画 | 1 |
| 2.2 評価方針 | 5 |
| 2.3 適用規格・基準等 | 6 |
| 2.4 記号の説明 | 7 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 9 |
| 3. 評価部位 | 10 |
| 4. 固有周期 | 10 |
| 4.1 基本方針 | 10 |
| 4.2 固有周期の確認方法 | 10 |
| 4.3 固有周期の確認結果 | 10 |
| 5. 構造強度評価 | 11 |
| 5.1 構造強度評価方法 | 11 |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 11 |
| 5.3 設計用地震力 | 15 |
| 5.4 計算方法 | 16 |
| 5.5 計算条件 | 22 |
| 5.6 応力の評価 | 23 |
| 6. 機能維持評価 | 24 |
| 6.1 動的機能維持評価方法 | 24 |
| 6.2 動的機能維持評価 | 24 |
| 7. 評価結果 | 25 |
| 7.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 25 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、揚水ポンプ（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、動的機能を維持できることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

揚水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|--------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>揚水ポンプは、4方向からのサポートに支持され、サポートはポンプ支持架台に取付ボルトで固定され、ポンプ支持架台は揚水井戸床面の埋込金物に溶接で固定される。</p> <p>サポートは鉛直用サポートと水平用サポートに分類される。</p> | <p>水中ポンプ</p> | <p>(正面図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(A-A 矢視図) (単位: mm)</p> |

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|---------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 鉛直用サポートは、鉛直用サポート取付ボルトによりポンプ支持架台に固定される。 | 鉛直用サポート | <p>(正面図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(鉛直用サポート詳細図)</p> <p>(単位: mm)</p> |

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|----------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>水平用サポートは水平用サポート取付ボルトによりポンプ支持架台に固定される。</p> | <p>水平用サポート</p> | <p>水平用サポート取付ボルト</p> <p>(正面図)</p> <p>ポンプ支持架台</p> <p>水平用サポート</p> <p>(B-B 矢視図)</p> <p>水平用サポート取付ボルト</p> <p>(平面図)</p> <p>(A-A 矢視図)</p> |

2.2 評価方針

揚水ポンプの応力評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す揚水ポンプの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、揚水ポンプの機能維持評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

揚水ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

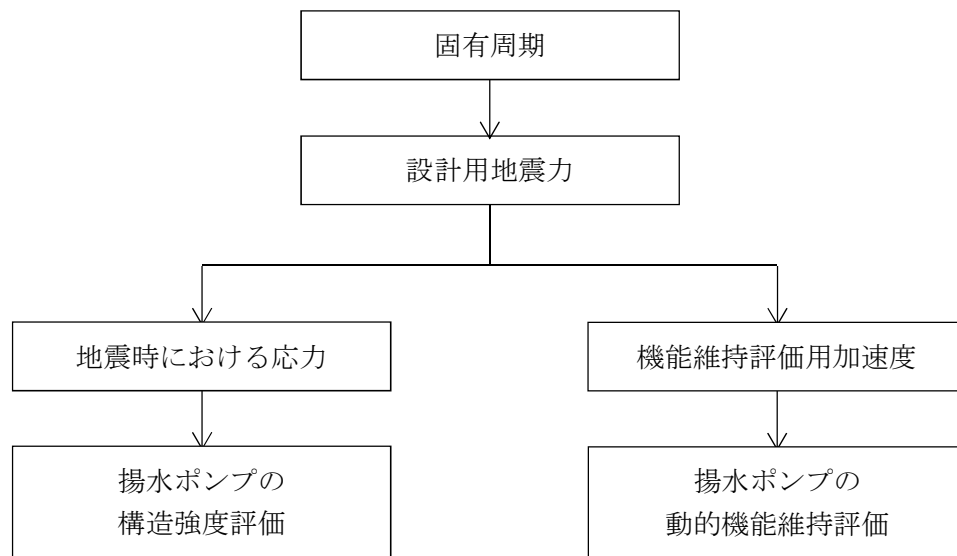


図 2-1 揚水ポンプの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---------------|--|------------------|
| A_{bi} | 取付ボルトの軸断面積* ¹ | mm ² |
| A_w | 溶接面積（1箇所あたり） | mm ² |
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| C_V | 鉛直方向設計震度 | — |
| d_i | 取付ボルトの呼び径* ¹ | mm |
| F_i | 設計・建設規格 SSB-3121又は3131に定める値* ¹ | MPa |
| F_i^* | 設計・建設規格 SSB-3121又は3133に定める値* ¹ | MPa |
| F_{bi} | 取付ボルトに作用する引張力（1本あたり）* ¹ | N |
| f_{sbi} | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹ | MPa |
| f_{sm} | せん断力のみを受ける溶接部の許容せん断応力 | MPa |
| f_{toi} | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹ | MPa |
| f_{tsi} | 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹ | MPa |
| g | 重力加速度（=9.80665） | m/s ² |
| h_i | 基準面から重心までの距離* ¹ | mm |
| L_i | 重心と取付ボルト間の水平方向距離* ¹ | mm |
| l_1 | 重心と溶接部間の水平方向距離* ² | mm |
| l_2 | 重心と溶接部間の水平方向距離* ² | mm |
| l_{bi} | 支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離* ¹ | mm |
| m | 揚水ポンプ質量（1台あたり）（水の付加質量を含む） | kg |
| m_{si} | サポートの質量（水の付加質量を含む）* ¹ | kg |
| n_b | 鉛直用サポート取付ボルトの本数 | — |
| n_{fbi} | 評価上期待するサポート取付ボルトの本数* ¹ | — |
| n_{fw} | 評価上期待する溶接部の数 | — |
| Q_{bi} | サポート取付ボルトに作用するせん断力* ¹ | N |
| Q_w | 溶接部に作用するせん断力 | N |
| S_{ui} | 設計・建設規格 付録材料図表Part5 表9に定める値* ¹ | MPa |
| S_{yi} | 設計・建設規格 付録材料図表Part5 表8に定める値* ¹ | MPa |
| W | ポンプ支持架台の質量（ m_{s1} 、 m_{s2} 及び水の付加質量を含む） | kg |
| σ_{bi} | サポート取付ボルトに生じる引張応力* ¹ | MPa |
| π | 円周率 | — |
| τ_{bi} | サポート取付ボルトに生じるせん断応力* ¹ | MPa |
| τ_w | 溶接部に生じるせん断応力 | MPa |

注記*¹: A_{bi} 、 d_i 、 F_i 、 F_i^* 、 F_{bi} 、 f_{sbi} 、 f_{toi} 、 f_{tsi} 、 h_i 、 L_i 、 l_{bi} 、 m_{si} 、 n_{fbi} 、 Q_{bi} 、 S_{ui} 、 S_{yi} 、 σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 鉛直用サポート取付ボルト

i = 2 : 水平用サポート取付ボルト

i = 3 : 溶接部

*2 : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

揚水ポンプの耐震評価は、「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揚水ポンプ支持架台の溶接部及び取付ボルトについて実施する。

揚水ポンプ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

揚水ポンプの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有周期を確認する。揚水ポンプの外形図を表 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

- (1) 揚水ポンプの質量は重心に集中させる。
- (2) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、荷重の組合せについて絶対値和にて計算を行う。計算書には計算結果の厳しい方を記載する。
- (3) 設計用地震力（基準地震動 S_s ）は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。
- (4) 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

揚水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

揚水ポンプの許容応力は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」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

揚水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 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）

| 設備名称 | 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 |
|----------|-------|---------|--------|-----------------------|-------------------|
| 地下水位低下設備 | 揚水ポンプ | 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 | 評価部位 | 許容限界 ^{*1, *2} | |
|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|
| | | 一次応力 | |
| | | 引張 | せん断 |
| IV _A S | 鉛直用サポート 取付ボルト | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ |
| | 水平用サポート 取付ボルト | | |
| | 溶接部 | — | $1.5 \cdot f_s^*$ |

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 5-3 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 i} (MPa) | S _{u i} (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|------------------|----------------------|--------------|----|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | |
| 鉛直用サポート 取付ボルト | SCM435 (径 ≤ 60mm) | 周囲環境温度 | 40 | 785 | 930 | — |
| 水平用サポート 取付ボルト | | | | | | |
| 溶接部 | SS400 (板厚 ≤ 16mm) | 周囲環境温度 | 40 | 245 | 400 | — |

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。

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 |
| 地下水位低下設備 揚水井戸 EL-21.7*1 | | | — | — | $C_H=1.37^{*2}$ | $C_V=1.11^{*2}$ |

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

5.4.1.1 鉛直用サポート取付ボルトの計算方法

鉛直用サポート取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。図5-1に計算モデルを示す。

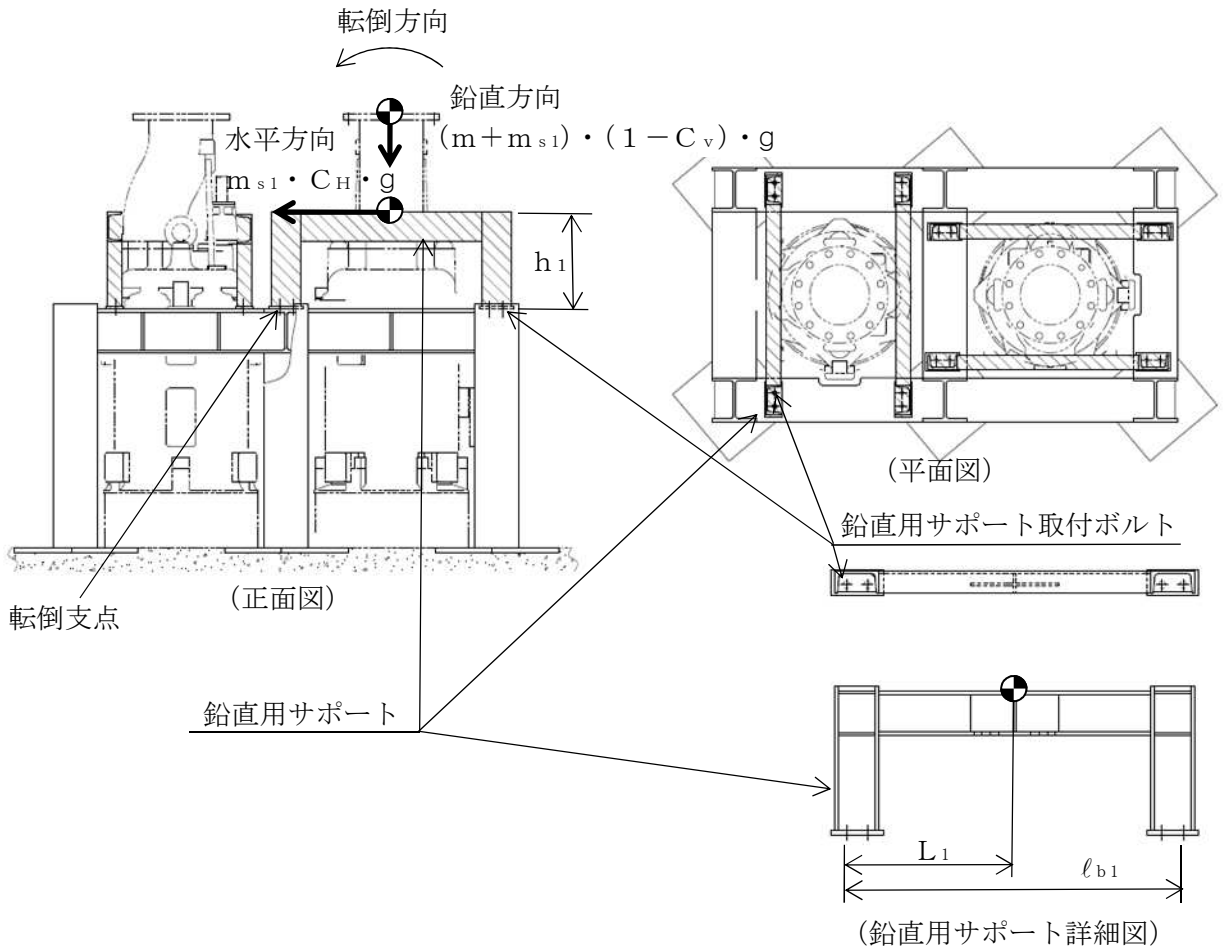


図5-1 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

鉛直用サポート取付ボルトに対する引張力は、図5-1の取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを最外部の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、鉛直方向荷重にはサポート質量のほか、ポンプ質量を含めて計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m_{s1} \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_v) \cdot (m + m_{s1}) \cdot g \cdot L_1}{n_{fb1} \cdot \ell_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

鉛直用サポート取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_{s1} \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_b \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 水平用サポート取付ボルトの計算方法

水平用サポート取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力について計算する。図5-2に計算モデルを示す。図中の①～⑫はサポート箇所を示し、サポートの取付ボルトの本数を表5-5へ示す。

水平用サポートのうち、⑮のサポート取付ボルトが最も厳しい条件となるため、⑮の水平用サポート取付ボルトについて評価する。

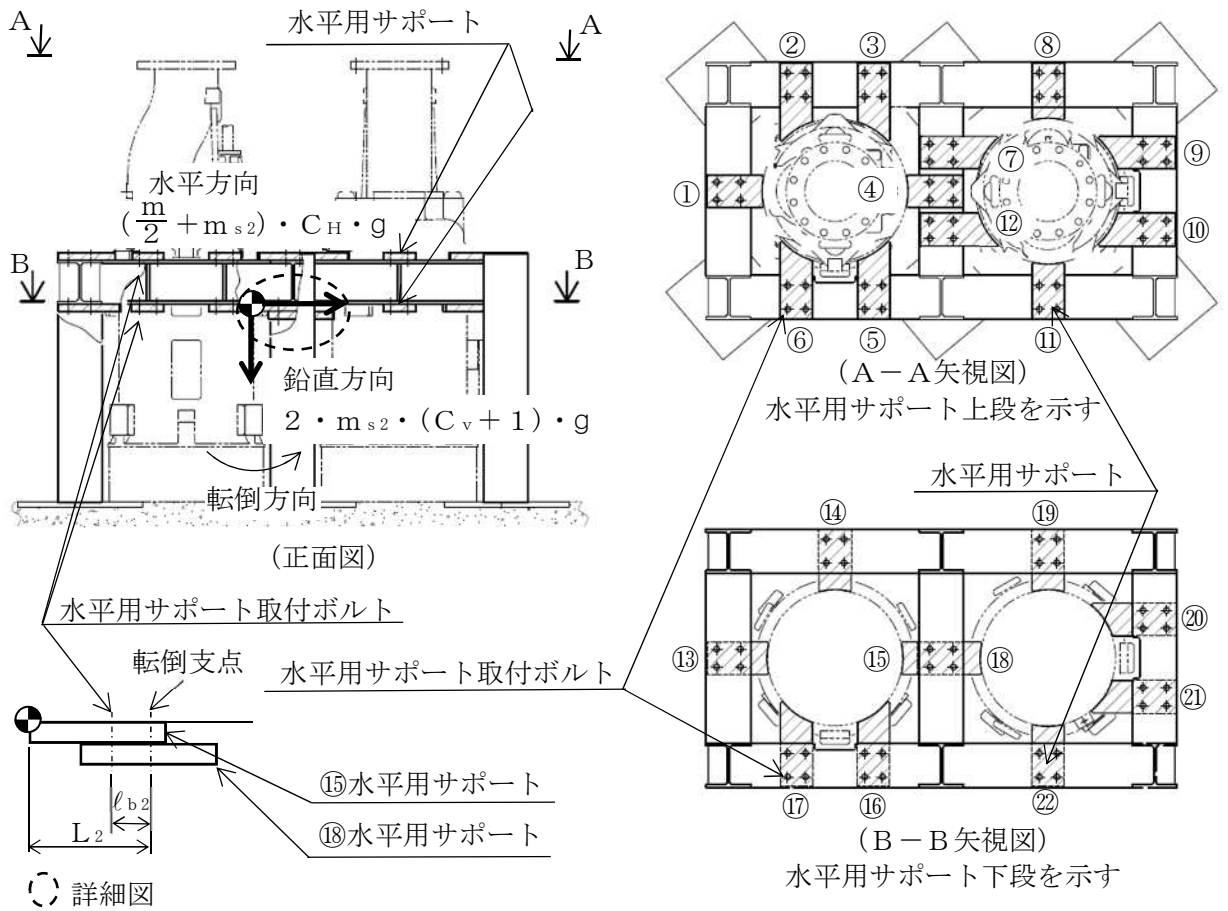


図5-2 計算モデル (長辺方向転倒)

表5-5 サポート箇所の取付ボルト本数(1/2)

| | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| サポート箇所 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
| ボルト本数 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

表5-5 サポート箇所の取付ボルト本数(2/2)

| | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|----|---|---|----|---|---|---|---|
| サポート箇所 | ⑫ | ⑬ | ⑭ | ⑮ | ⑯ | ⑰ | ⑱ | ⑲ | ⑳ | ㉑ | ㉒ |
| ボルト本数 | 4 | 4 | 4 | 2* | 4 | 4 | 2* | 4 | 4 | 4 | 4 |

注記*: ⑮及び⑱のサポートの取付ボルト (計4本) は共通のため、評価上期待するボルト本数は2本とする。

(1) 引張応力

水平用サポート取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、⑮のサポートの転倒を考え、これを⑮のサポート取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、⑱のサポート取付ボルトを支点として転倒を考え、荷重は、⑱のサポート質量も考慮する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{2 \cdot m_{s2} \cdot (C_v + 1) \cdot g \cdot L_2}{n_{fb2} \cdot \ell_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

水平用サポート取付ボルトに対するせん断力は最も厳しい条件として、⑮のサポート取付ボルトで水平方向地震により発生するポンプ質量及びサポート質量による水平方向荷重を受けるものとして計算する。なお、水平用サポートは上下に取付いており、⑮のサポートに発生するポンプ質量は④のサポートと受けるため、ポンプ質量は半分として計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = \left(\frac{m}{2} + m_{s2} \right) \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_{fb2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、転倒モーメントによる鉛直方向せん断力が最も厳しい条件となるため、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せん断応力について計算する。図5-3に計算モデルを示す。

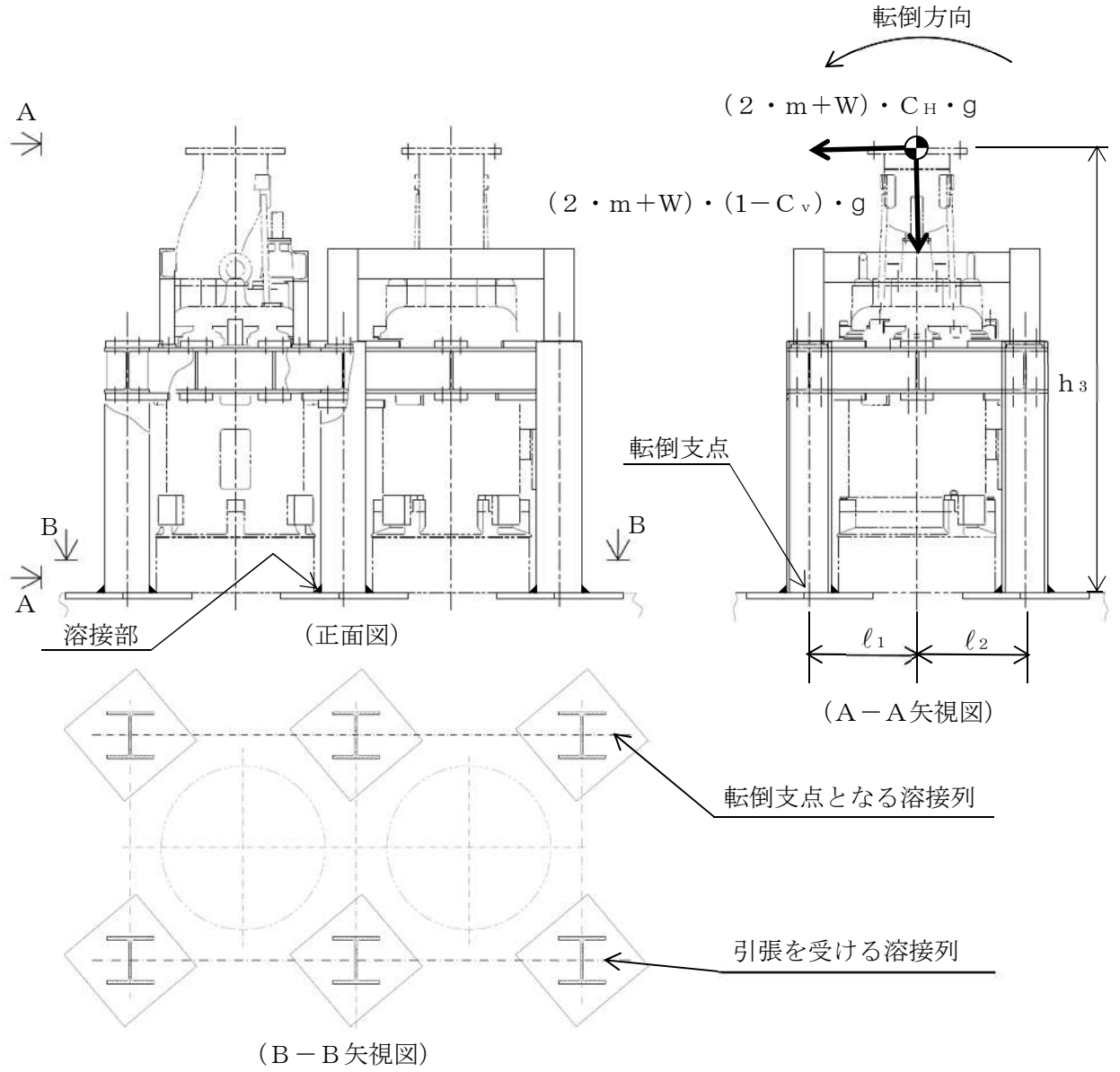


図5-3 計算モデル (短辺方向転倒)

(1) せん断応力

溶接部に対するせん断力は、厳しい条件として、図5-3に示すように溶接列を支点とする転倒を考え、これを片側の溶接部で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_w = \frac{(2 \cdot m + W) \cdot C_H \cdot g \cdot h_3 + (2 \cdot m + W) \cdot (C_v - 1) \cdot g \cdot l_1}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

溶接部に発生するせん断応力

$$\tau_w = \frac{Q_w}{n_{fw} \cdot A_w} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

5.5 計算条件

5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 取付ボルトの応力評価

5.4.1.1 節で求めた鉛直用サポート取付ボルト及び5.4.1.2 節で求めた水平用サポート取付ボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

5.6.2 溶接部の応力評価

5.4.1.3 節で求めた溶接部の組合せ応力 τ_w は下表より求めた許容せん断応力 f_{sm} 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} | $\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

揚水ポンプの動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

揚水ポンプの機能確認済加速度は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に基づき、実機の据付状態を支持構造物を含めて加振台上で模擬した上で、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

6.2 動的機能維持評価

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

6.1 項にて記載の模擬地震波による加速度を上回っており加振試験後の健全性確認でも揚水ポンプに問題は確認されていないことから動的機能維持には問題はない。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|-------|----|----------|
| 揚水ポンプ | 水平 | |
| | 鉛直 | |

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

揚水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

| 機器名称 | 設備分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | | 周囲環境温度 (°C) |
|------------------------------------|------|-------------------------------|---------|------|--------------------------------|--------------|------------------------|------------------------|----------------|
| | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | |
| 揚水ポンプ (P282-101A, P282-102A) | — | 地下水位低下設備 揚水井戸 EL-21.7*1 | | | — | — | C _H =1.37*2 | C _V =1.11*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 | m (kg) | m _{si} (kg) | W (kg) | h _i (mm) | d _i (mm) | A _{bi} (mm ²) | A _w (mm ²) | n _b — | S _{yi} (MPa) | S _{ui} (MPa) |
|---------------------------|-----------|-------------------------|-----------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| 鉛直用サポート 取付ボルト (i=1) | 945 | 218 | — | 337 | 12 (M12) | 113.1 | — | 4 | 785 (径≦60mm) | 930 (径≦60mm) |
| 水平用サポート 取付ボルト (i=2) | 945 | 9 | — | — | 16 (M16) | 201.1 | — | — | 785 (径≦60mm) | 930 (径≦60mm) |
| 溶接部 (i=3) | 945 | — | 3770 | 1488 | — | — | 1.897×10 ³ | — | 245 (板厚≦16mm) | 400 (板厚≦16mm) |

| 部材 | L _i (mm) | ℓ ₁ (mm) | ℓ ₂ (mm) | ℓ _{bi} (mm) | n _{fbi} | F _i (MPa) | n _{fw} | F _i * (MPa) | 転倒方向 | |
|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 鉛直用サポート 取付ボルト (i=1) | 384 | — | — | 768 | 1 | — | — | 651 | — | 長辺方向 |
| 水平用サポート 取付ボルト (i=2) | 175.5 | — | — | 80 | 2 | — | — | 651 | — | 長辺方向 |
| 溶接部 (i=3) | — | 360 | 360 | — | — | — | 3 | 280 | — | 短辺方向 |

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 |
| 鉛直用サポート 取付ボルト (i=1) | — | 1.912×10 ³ | — | 2.929×10 ³ |
| 水平用サポート 取付ボルト (i=2) | — | 408.5 | — | 6.469×10 ³ |

1.3.2 溶接部に作用する力

(単位：N)

| 部材 | Q _w | |
|-----|--------------------------------|-----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 溶接部 | — | 1.602×10 ⁵ |

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|------------------|--------|-----|--------------------------------|------|----------------------|-----------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 鉛直用サポート 取付ボルト | SCM435 | 引張 | — | — | $\sigma_{b1}=17$ | $f_{ts1}=488^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{b1}=7$ | $f_{sb1}=375$ |
| 水平用サポート 取付ボルト | SCM435 | 引張 | — | — | $\sigma_{b2}=2$ | $f_{ts2}=488^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{b2}=16$ | $f_{sb2}=375$ |

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 溶接部の応力

(単位：MPa)

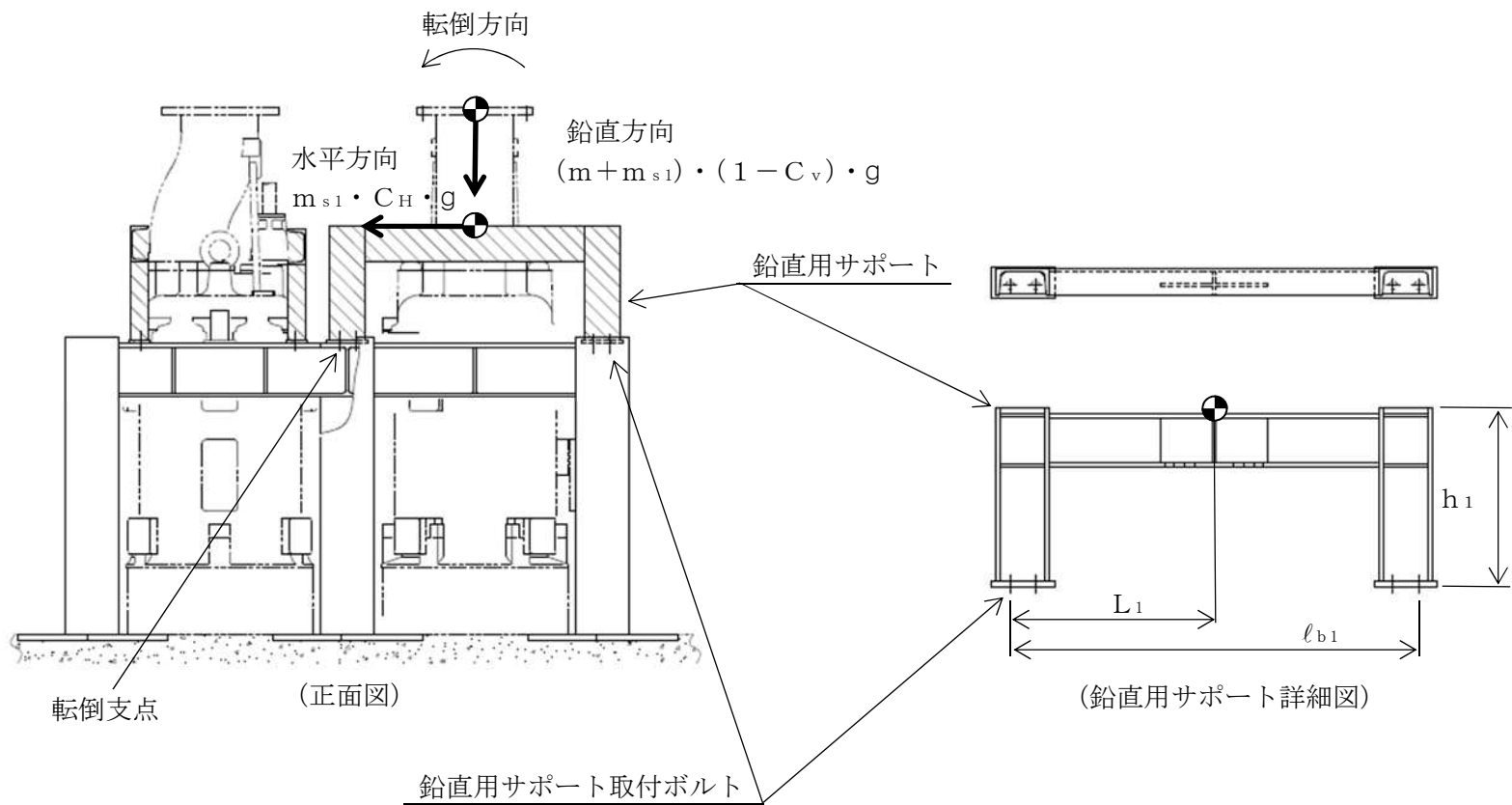
| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-----|-------|-----|--------------------------------|------|----------------------|----------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 溶接部 | SS400 | せん断 | — | — | $\tau_w = 43$ | $f_{sm} = 161$ |

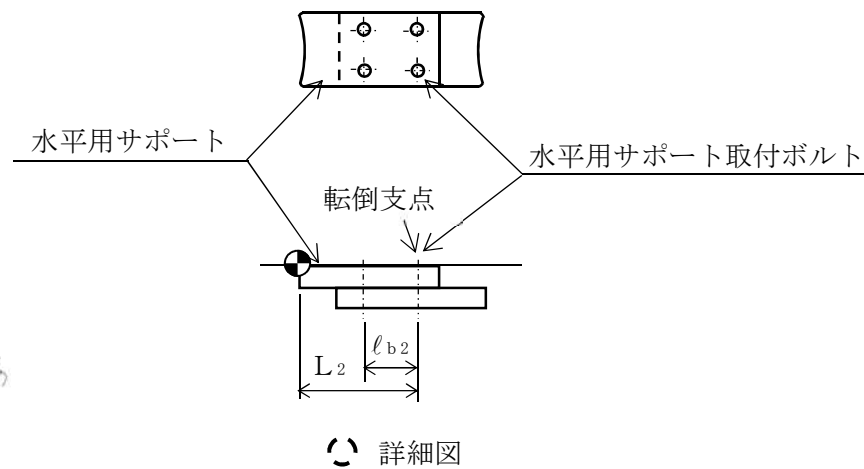
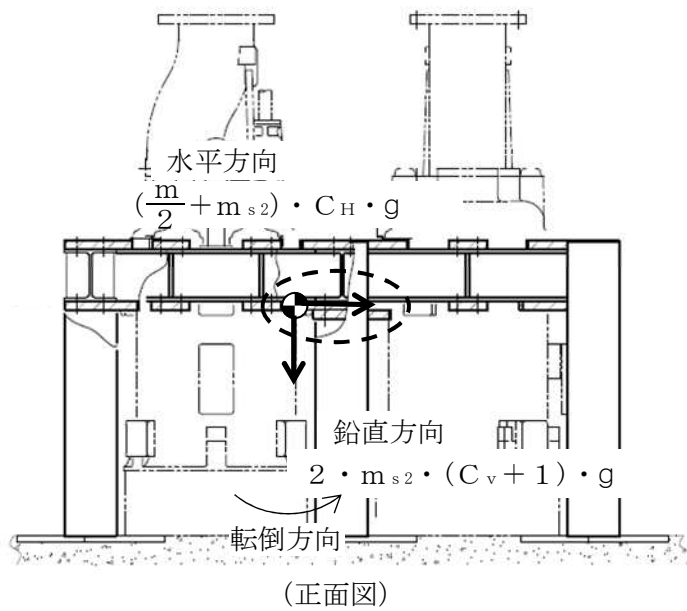
1.4.3 動的機能維持の評価結果

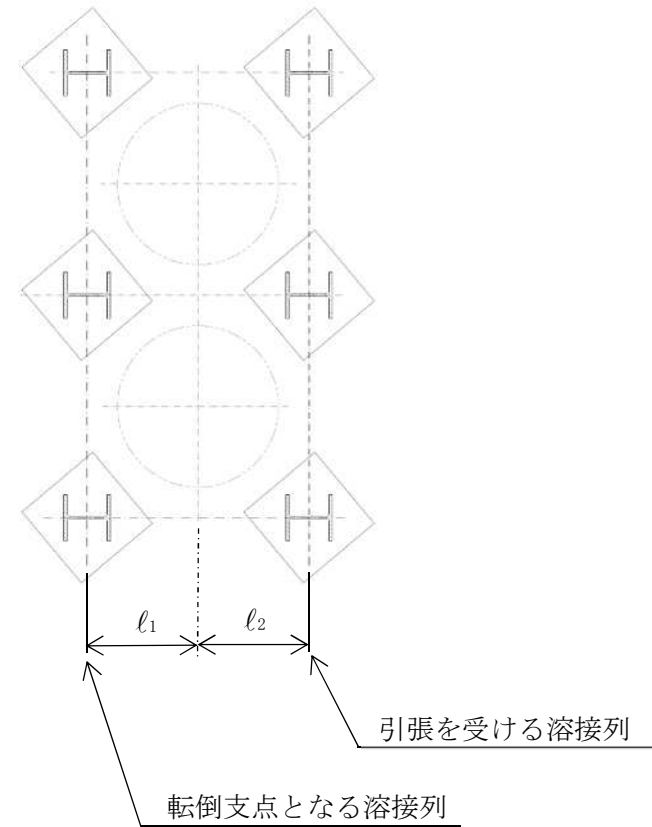
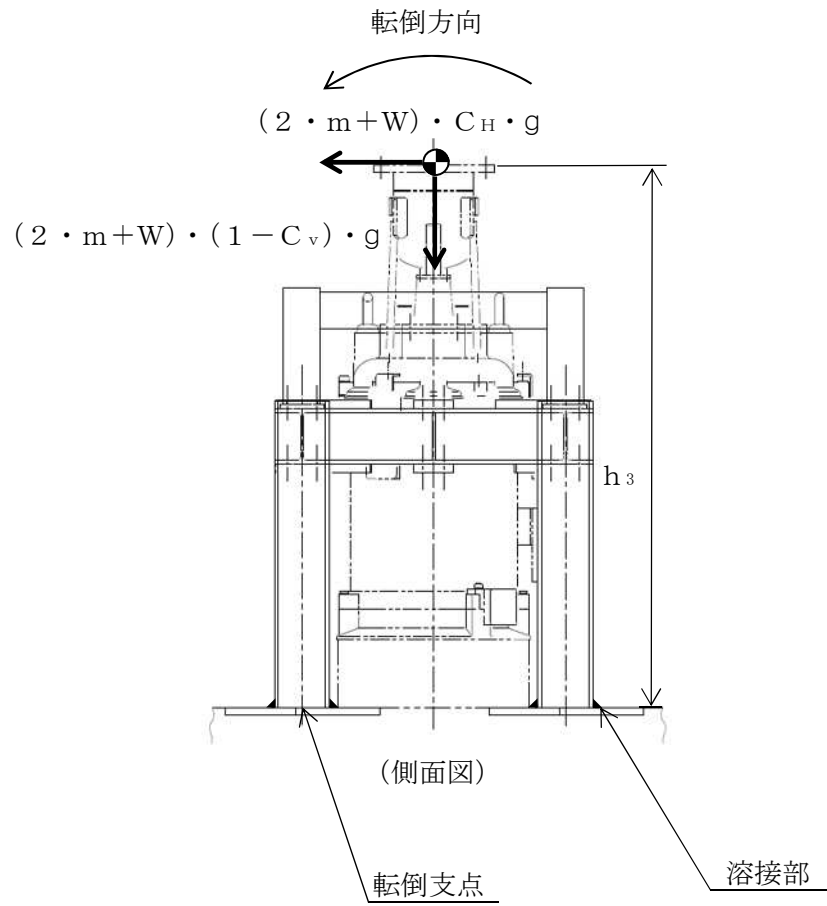
($\times 9.8m/s^2$)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-------|------|-------------|----------|
| 揚水ポンプ | 水平方向 | 1.00 | |
| | 鉛直方向 | 0.73 | |

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。







VI-2-別添4-3-2 管の耐震性についての計算書
(地下水位低下設備)

目 次

| | |
|-----------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 概略系統図及び鳥瞰図 | 2 |
| 2.1 概略系統図 | 2 |
| 2.2 鳥瞰図 | 4 |
| 3. 計算条件 | 7 |
| 3.1 計算方法 | 7 |
| 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 8 |
| 3.3 設計条件 | 9 |
| 3.4 材料及び許容応力 | 16 |
| 3.5 設計用地震力 | 17 |
| 4. 解析結果及び評価 | 21 |
| 4.1 固有周期及び設計震度 | 21 |
| 4.2 評価結果 | 27 |
| 4.2.1 管の応力評価結果 | 27 |
| 4.2.2 支持構造物評価結果 | 28 |
| 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果 | 29 |
| 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 | 30 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、地下水位低下設備の管（Cクラス施設）、支持構造物及び弁が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

地下水位低下設備の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

地下水位低下設備の支持点のうち、反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。




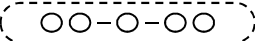

(3) 弁

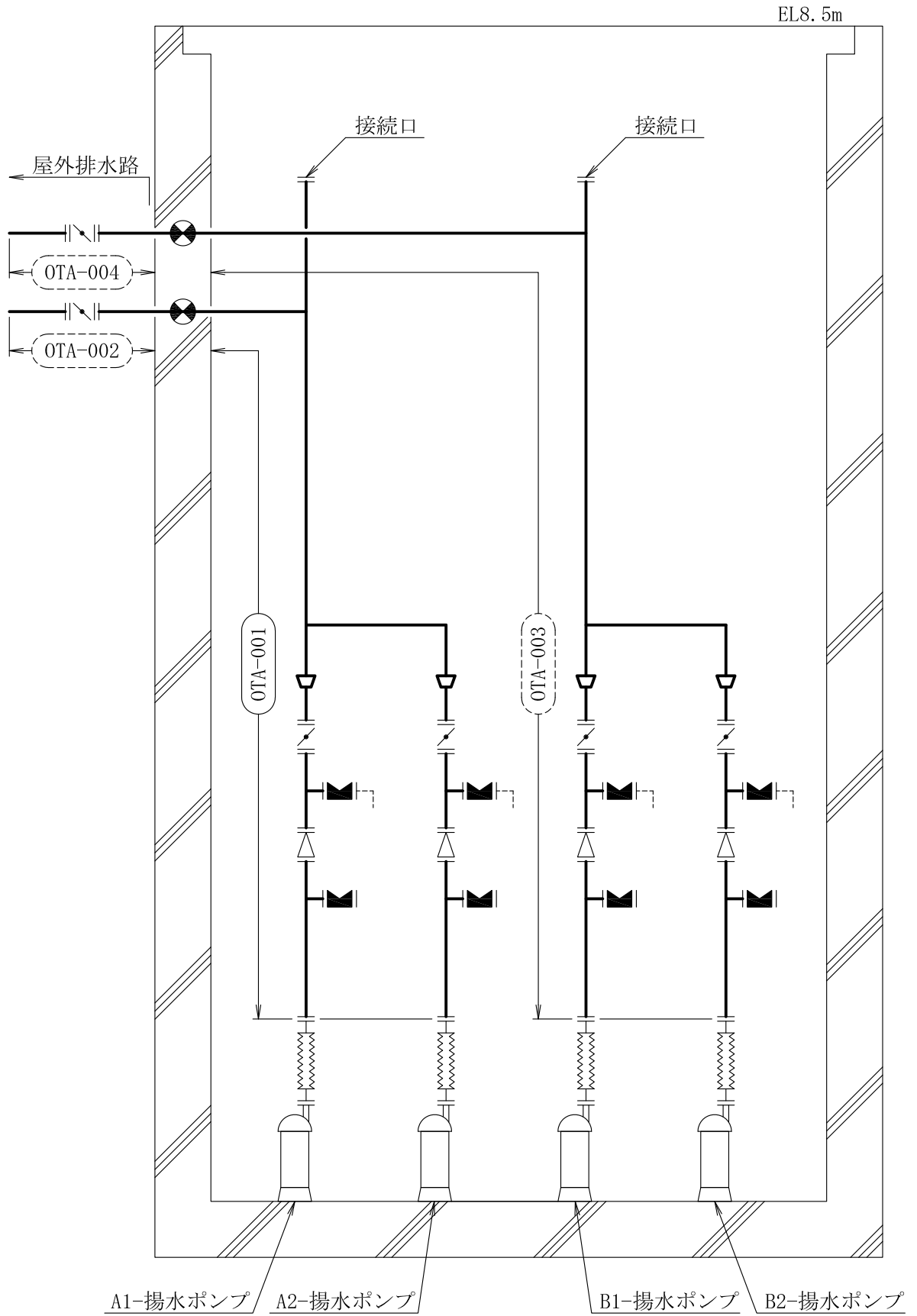
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例





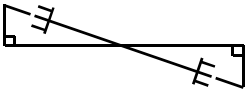
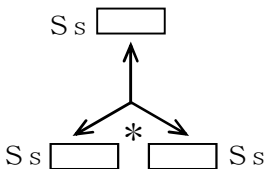
| 記号 | 内容 |
|--|---|
|  (太線) | 地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設) |
|  (破線) | 地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲外の管、 又は地下水位低下設備の管のうち、他系統の管であって系 統の概略を示すために表記する管 |
|  | 鳥瞰図番号 (代表モデル) |
|  | 鳥瞰図番号 (代表モデル以外) |
|  | アンカ |



地下水位低下設備概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

| 記号 | 内容 |
|--|--|
|  (太線) | 地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設) |
|  (破線) | 地下水位低下設備の管のうち、本計算書記載範囲外の管、又は 地下水位低下設備の管のうち、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 (斜め拘束の場合) |
|  | 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、 <input type="text"/> 内に変位量を記載する。なお、S s機能維持の範囲はS s地震動による変位量のみを記載する。) 注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。 |

-2-別添4-3-2 R0





3. 計算条件

3.1 計算方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

| 設備名称 | 系統名称 | 施設分類*1 | 設備分類 | 機器等の区分 | 耐震重要度分類 | 荷重の組合せ*2, *3 | 許容応力状態 |
|----------|------|--------|------|--------|---------|---|--------|
| 地下水位低下設備 | — | DB | — | — | C | I _L +S s II _L +S s | IVAS |

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重が作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

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

鳥 瞰 図 OTA-001

| 管番号 | 対応する評価点 | 許容応力状態 | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) |
|-----|---|------------------|-----------------|----------------|
| 1 | 1～20, 22～25, 27～30 62～80, 82～85, 87～90 | Ⅲ _A S | — | — |
| | | Ⅳ _A S | 1.00 | 40 |
| | | Ⅴ _A S | — | — |
| 2 | 30～61, 90～96 | Ⅲ _A S | — | — |
| | | Ⅳ _A S | 1.00 | 40 |
| | | Ⅴ _A S | — | — |
| 3 | 19, 97, 79, 106 | Ⅲ _A S | — | — |
| | | Ⅳ _A S | 1.00 | 40 |
| | | Ⅴ _A S | — | — |
| 4 | 24, 100, 84, 109 | Ⅲ _A S | — | — |
| | | Ⅳ _A S | 1.00 | 40 |
| | | Ⅴ _A S | — | — |

設計条件

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

鳥 瞰 図 OTA-001

| 管番号 | 対応する評価点 | 外径 (mm) | 厚さ (mm) | 材料 | 耐震 重要度 分類 | 縦弾性係数 (MPa) |
|-----|---|------------|------------|---------|-----------------|----------------|
| 1 | 1～20, 22～25, 27～30 62～80, 82～85, 87～90 | 216.3 | 8.2 | STPT370 | C | 201670 |
| 2 | 30～61, 90～96 | 318.5 | 10.3 | STPT370 | C | 201670 |
| 3 | 19, 97, 79, 106 | 34.0 | 3.4 | STPT370 | C | 201670 |
| 4 | 24, 100, 84, 109 | 60.5 | 3.9 | STPT370 | C | 201670 |

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 OTA-001

| 質量 | 対応する評価点 |
|----|--|
| | 1, 62 |
| | 4, 8, 11, 18, 78, 71, 69, 66 |
| | 20, 22, 82, 80 |
| | 25, 27, 87, 85 |
| | 31, 35, 36, 39, 42, 45, 49, 54, 60, 95, 91 |
| | 58 |
| | 97, 106 |
| | 99, 108, 100, 102, 109, 111 |

弁部の質量

鳥 瞰 図 OTA-001

| 質量 | 対応する評価点 | 質量 | 対応する評価点 |
|----|---------|----|----------|
| | 21, 81 | | 26, 86 |
| | 98, 107 | | 101, 110 |

弁部の寸法

鳥 瞰 図 OTA-001

| 評価点 | 外径(mm) | 厚さ(mm) | 長さ(mm) | 評価点 | 外径(mm) | 厚さ(mm) | 長さ(mm) |
|-----|--------|--------|--------|-----|--------|--------|--------|
| 21 | | | | 86 | | | |
| 26 | | | | 81 | | | |
| 98 | | | | 110 | | | |
| 101 | | | | 107 | | | |

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 OTA-001

| 支持点番号 | 各軸方向ばね定数(N/mm) | | | 各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad) | | |
|----------|----------------|---|---|----------------------|---|---|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| ** 5 ** | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| ** 9 ** | | | | | | |
| ** 12 ** | | | | | | |
| ** 17 ** | | | | | | |
| ** 28 ** | | | | | | |
| ** 43 ** | | | | | | |
| ** 48 ** | | | | | | |
| ** 53 ** | | | | | | |

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 OTA-001

| 支持点番号 | 各軸方向ばね定数(N/mm) | | | 各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad) | | |
|----------|----------------|---|---|----------------------|---|---|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| ** 61 ** | | | | | | |
| 61 | | | | | | |
| ** 61 ** | | | | | | |
| ** 63 ** | | | | | | |
| ** 72 ** | | | | | | |
| ** 77 ** | | | | | | |
| ** 88 ** | | | | | | |
| ** 94 ** | | | | | | |
| 94 | | | | | | |

-2-別添4-3-2 R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

| 材 料 | 最高使用温度 (°C) | 許容応力 (MPa) | | | |
|---------|----------------|------------|-----|-----|---|
| | | S m | S y | S u | S |
| STPT370 | 40 | — | 215 | 370 | — |

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお, 設計用床応答スペクトルは, 図3-1~3を用いる。減衰定数は, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は, VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

| 鳥瞰図 | 建物・構築物 | 標高 (O. P. (m)) | 減衰定数 (%) | 等価繰返し回数 | |
|---------|----------|-------------------|-------------|---------|-----|
| | | | | S d | S s |
| OTA-001 | 地下水位低下設備 | | | | |

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備
標高：EL8.500m ~ -21.700m
減衰定数：2.0%
波形名：基準地震動 S s
設計用床応答スペクトル I (NS方向)

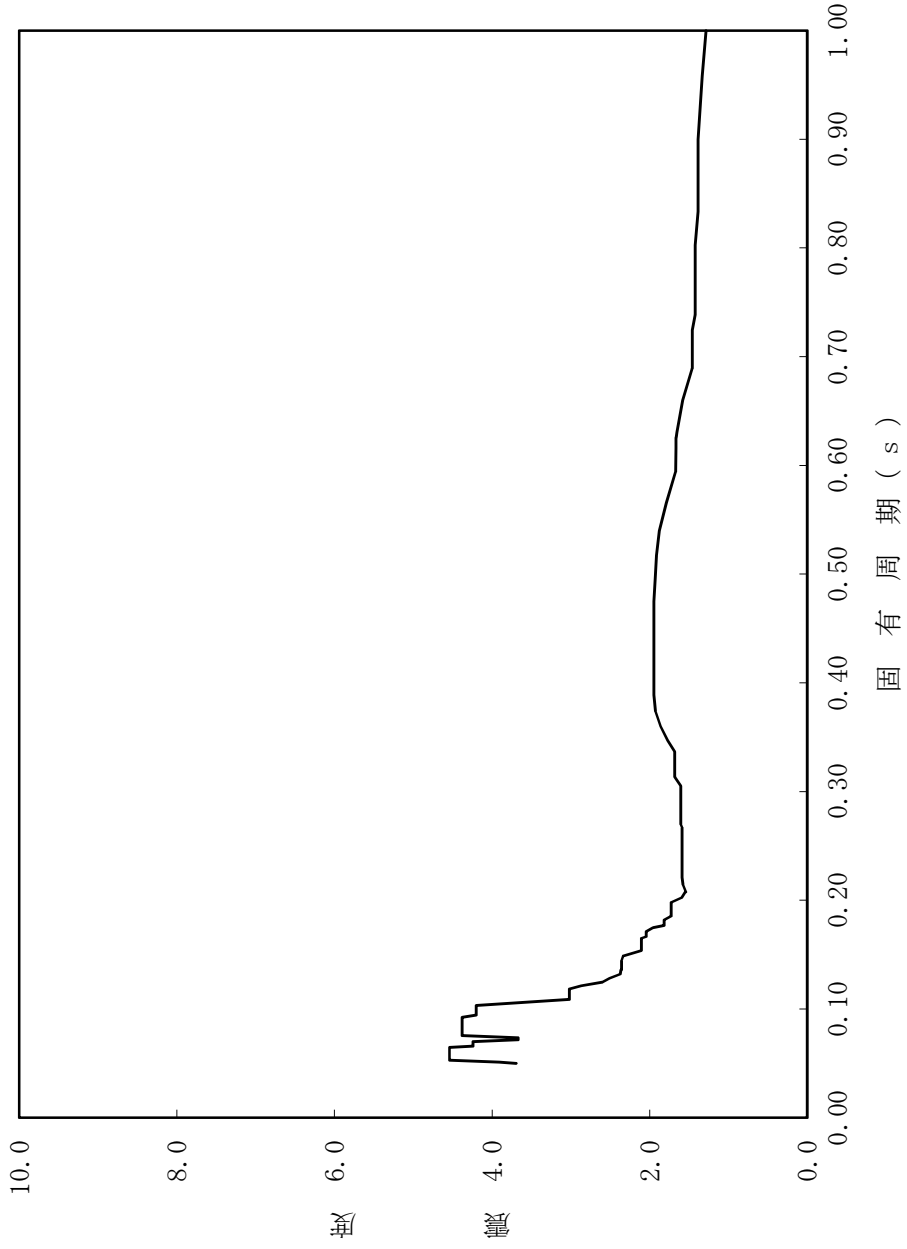


図3-1 設計用床応答スペクトル(NS方向)

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備
標高：EL8.500m ~ -21.700m
減衰定数：2.0%
波形名：基準地震動 S s
設計用床応答スペクトル I (EW方向)

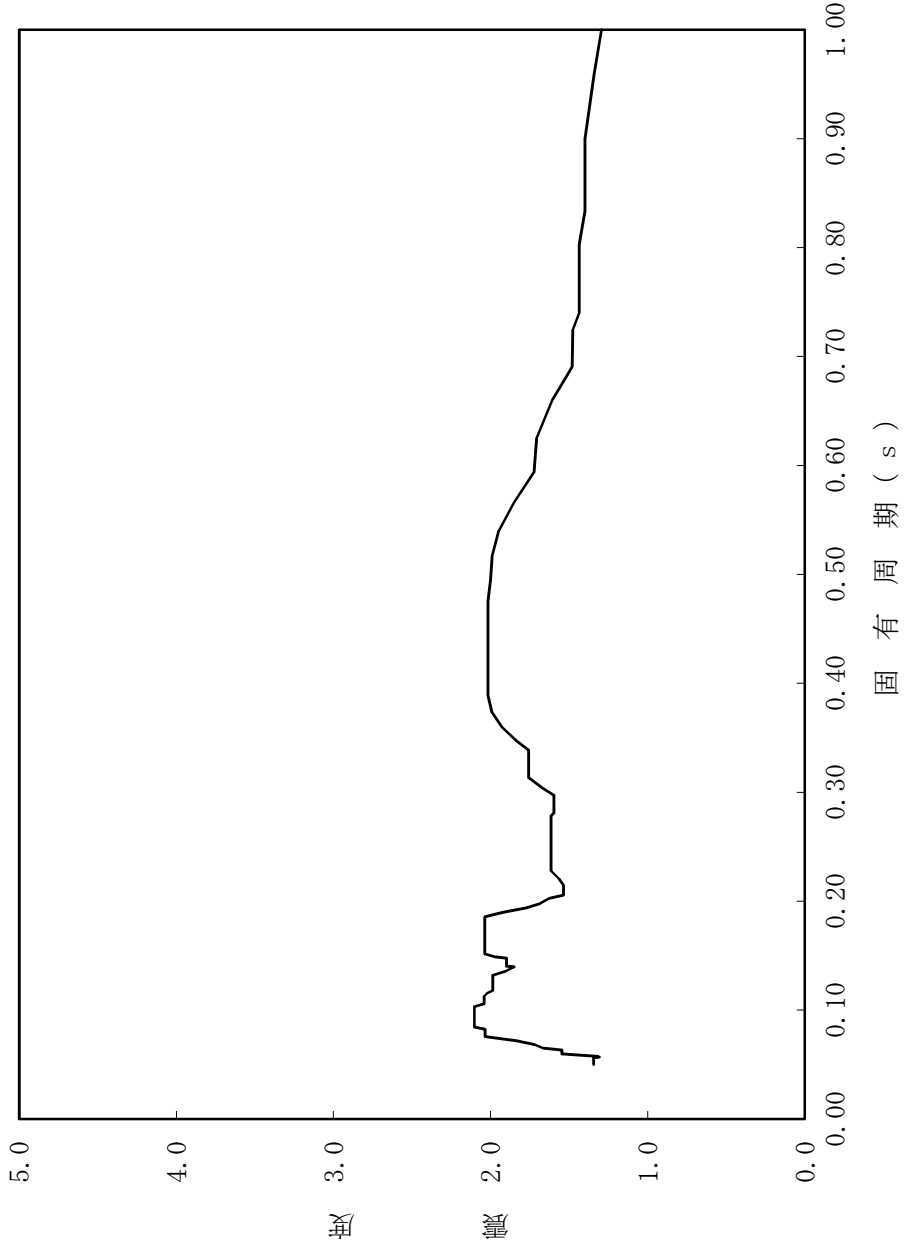


図3-2 設計用床応答スペクトル (EW方向)

-2-別添4-3-2 R0

構造物名：地下水位低下設備
標高：EL8.500m ~ -21.700m
減衰定数：2.0%
波形名：基準地震動 S s
設計用床応答スペクトル I (鉛直方向)

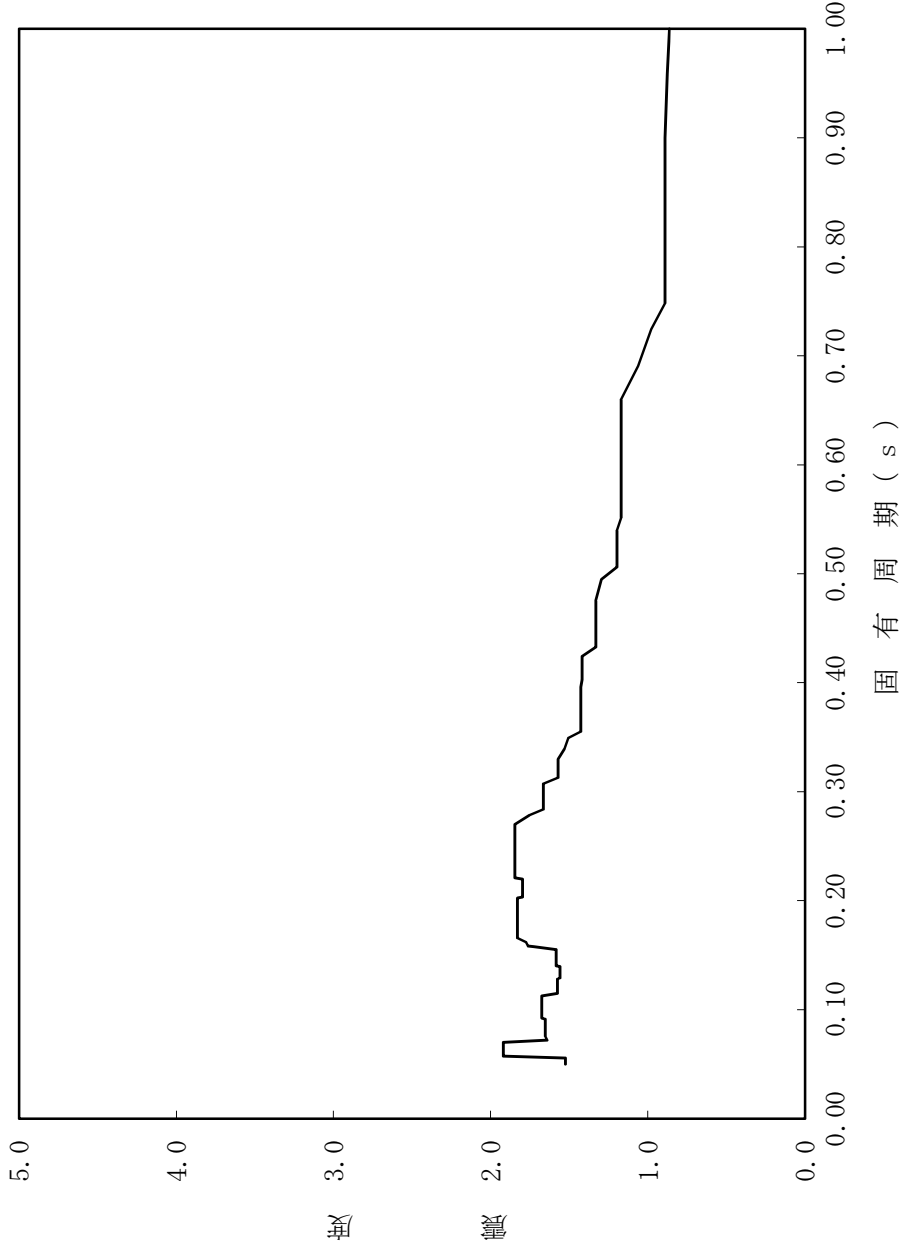


図3-3 設計用床応答スペクトル(鉛直方向)

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 OTA-001

| 適用する地震動等 | | 基準地震動 S s | | |
|------------|----------|-----------|-----|----------|
| モード*1 | 固有周期 (s) | 応答水平震度*2 | | 応答鉛直震度*2 |
| | | X方向 | Z方向 | Y方向 |
| 1次 | | | | |
| 2次 | | | | |
| 3次 | | | | |
| 4次 | | | | |
| 5次 | | | | |
| 6次 | | | | |
| 7次 | | | | |
| 8次 | | | | |
| 11次 | | | | |
| 動的震度*3, *4 | | | | |

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

*2：設計用床応答スペクトル I（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 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 OTA-001

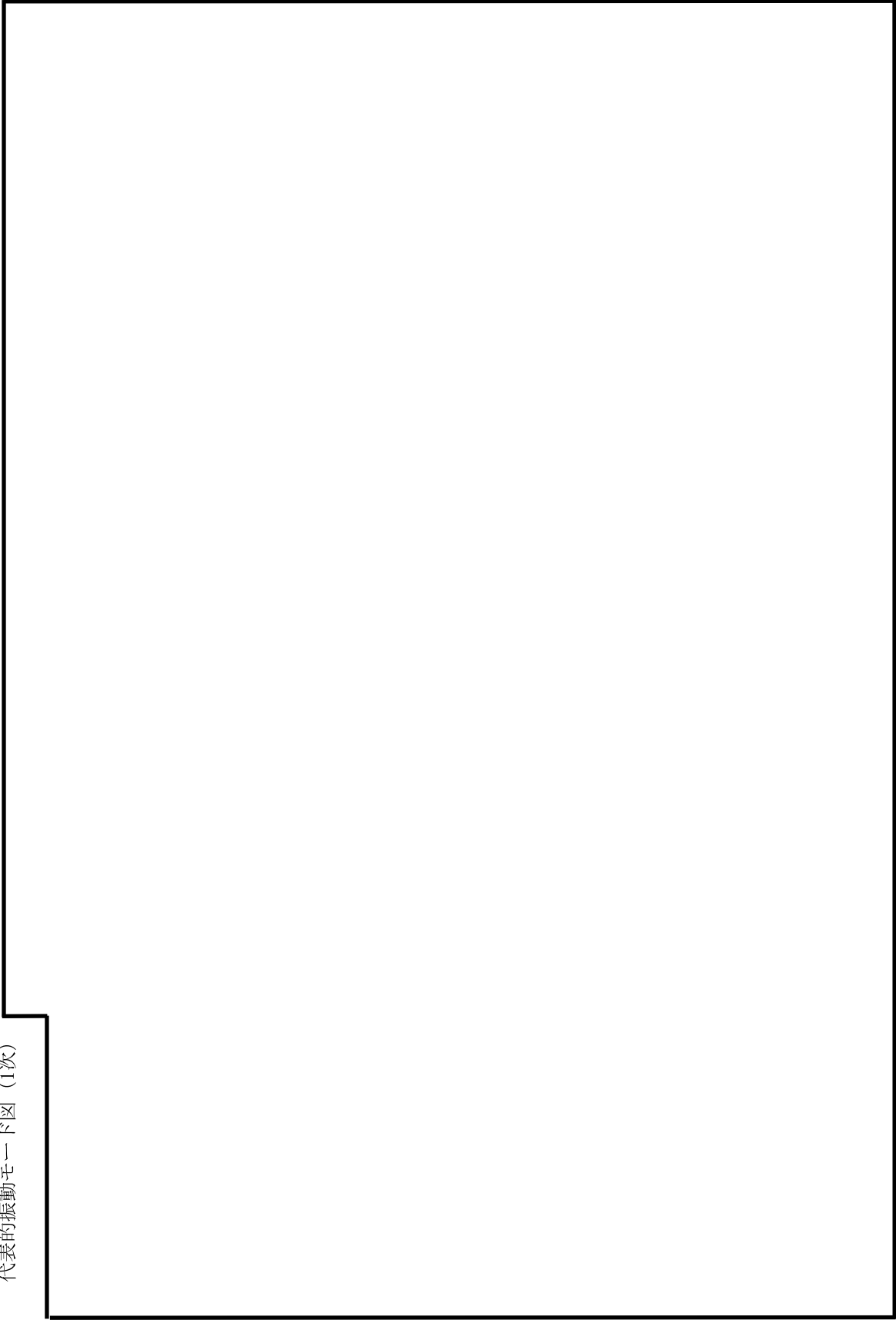
| モード | 固有周期 (s) | 刺激係数* | | |
|-----|-------------|-------|-----|-----|
| | | X方向 | Y方向 | Z方向 |
| 1次 | | | | |
| 2次 | | | | |
| 3次 | | | | |
| 4次 | | | | |
| 5次 | | | | |
| 6次 | | | | |
| 7次 | | | | |
| 8次 | | | | |
| 11次 | | | | |

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

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

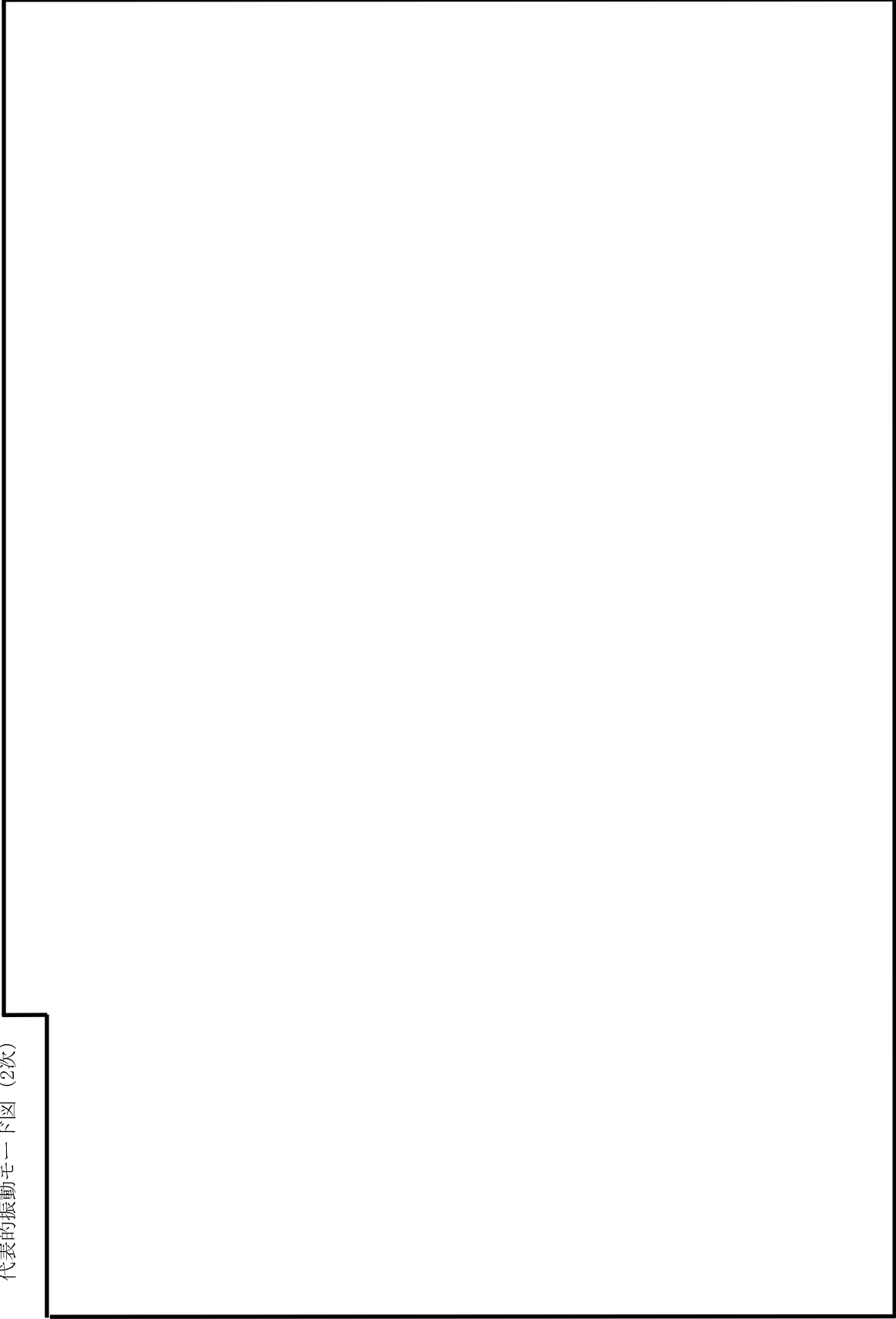
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

OTA-001

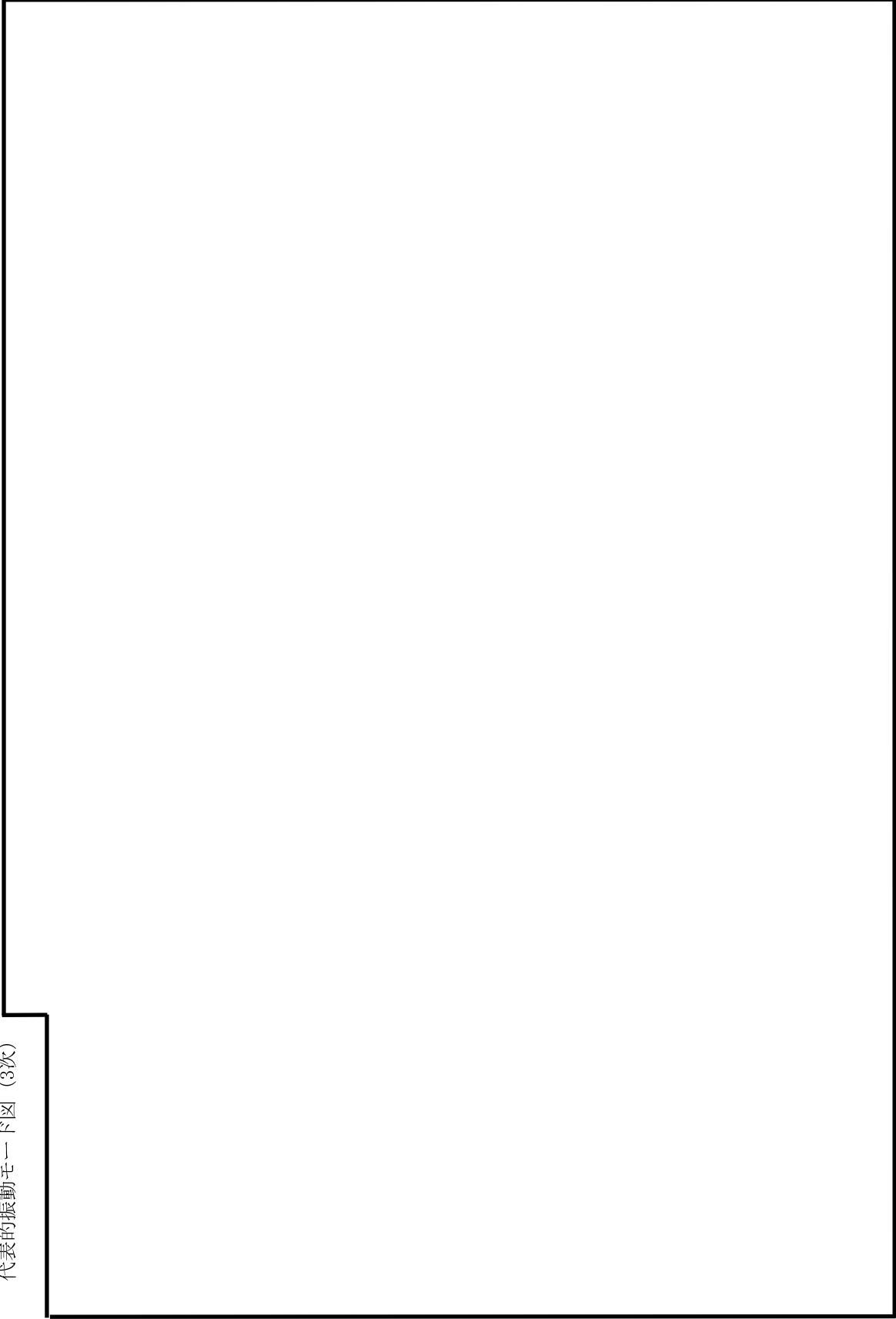
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

OTA-001

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

OTA-001

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

| 許容応力 状態 | 最大応力区分(許容応力) | 鳥瞰図 番号 | 最大応力 評価点 | 応力評価 | | 疲労評価 疲労累積係数 U S s |
|-------------------|------------------------|-----------|-------------|---------------|---------------|-------------------------|
| | | | | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | |
| IV _A S | 一次応力 S p r m (0.9・S u) | 0TA-001 | 45 | 129 | 333 | — |
| | 一次+二次応力 S n (2・S y) | 0TA-001 | 45 | 237 | 430 | — |

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

| 支持構造物 番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度 (°C) | 評価結果 | | |
|-------------|------------|----|--|------------|--------------|--------|-----------|
| | | | | | 計算荷重 (kN) | | 許容荷重 (kN) |
| | | | | | 一次評価*1 | 二次評価*2 | |
| — | メカニカルスナッパ | — | — | — | — | — | — |
| — | オイルスナッパ | — | — | — | — | — | — |
| — | ロッドレストレイント | — | VI-2-1-12 「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照 | — | — | — | — |
| — | スプリングハンガ | — | | | — | — | — |
| — | コンスタントハンガ | — | | | — | — | — |
| — | リジットハンガ | — | | | — | — | — |
| — | — | — | | | — | — | — |

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

| 支持構造物 番号 | 種類 | 型式 | 材質 | 温度 (°C) | 支持点荷重 | | | | | | | 評価結果 | | | |
|-------------|---------|----|-------|------------|---------|-----|-----|--------------|-----|-----|---|----------|-------------------|-------------------|-----|
| | | | | | 反力 (kN) | | | モーメント (kN・m) | | | | 応力 分類 | 計算 応力 (MPa) | 許容 応力 (MPa) | |
| | | | | | F x | F y | F z | M x | M y | M z | | | | | |
| SPA-011 | レストレイント | 架構 | SS400 | 40 | 85 | — | 96 | — | — | — | — | — | 組合せ | 163 | 490 |
| — | アンカ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

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

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

注記*1：弁に要求される機能に於て以下を記載する。

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

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

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

クラス 2 以下の管

| No | 鳥瞰図番号 | 許容応力状態IV A S | | | | | | | | | | |
|----|---------|--------------|------------|------------|-------|----|-----------|------------|------------|-------|--------|----|
| | | 一次応力評価 | | | | | 一次+二次応力評価 | | | | | |
| | | 評価点 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 裕度 | 代表 | 評価点 | 計算応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) | 裕度 | 疲労累積係数 | 代表 |
| 1 | OTA-001 | 45 | 129 | 333 | 2.58 | ○ | 45 | 237 | 430 | 1.81 | — | ○ |
| 2 | OTA-002 | 1 | 16 | 333 | 20.81 | — | 1 | 10 | 430 | 43.00 | — | — |
| 3 | OTA-003 | 45 | 129 | 333 | 2.58 | — | 45 | 237 | 430 | 1.81 | — | — |
| 4 | OTA-004 | 1 | 16 | 333 | 20.81 | — | 1 | 10 | 430 | 43.00 | — | — |

VI-2-別添 4-3-3 地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書

目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 構造計画 | 1 |
| 2.2 評価方針 | 3 |
| 2.3 適用規格・基準等 | 4 |
| 2.4 記号の説明 | 5 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 6 |
| 3. 評価部位 | 6 |
| 4. 固有周期 | 7 |
| 4.1 固有周期の計算方法 | 7 |
| 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 |
| 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 10 |
| 5.2.2 許容応力 | 10 |
| 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件 | 10 |
| 5.3 設計用地震力（基準地震動 S_s ） | 13 |
| 5.4 計算方法 | 14 |
| 5.4.1 応力の計算方法 | 14 |
| 5.5 計算条件 | 17 |
| 5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件 | 17 |
| 5.6 応力の評価 | 17 |
| 5.6.1 基礎ボルトの応力評価 | 17 |
| 6. 機能維持評価 | 18 |
| 6.1 電氣的機能維持評価方法 | 18 |
| 7. 評価結果 | 19 |
| 7.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 19 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、地下水位低下設備水位計（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、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

地下水位低下設備水位計の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|--|---|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>水位計は、取付ボルトにて水位計架台に固定する。</p> <p>水位計架台は、壁面の後打ち金物に溶接にて設置する。</p> <p>後打ち金物は基礎ボルトにて壁面に固定する。</p> | <p>圧力式水位検出器 (壁に設置された水位計架台に、水位計を取付ボルトにて固定する構造)</p> | <p>【水位計】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面 (左右方向)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面 (前後方向)</p> </div> </div> |

2.2 評価方針

地下水位低下設備水位計の応力評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す地下水位低下設備水位計の部位を踏まえ「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。また、地下水位低下設備水位計の機能維持評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が電氣的機能維持確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

地下水位低下設備水位計の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

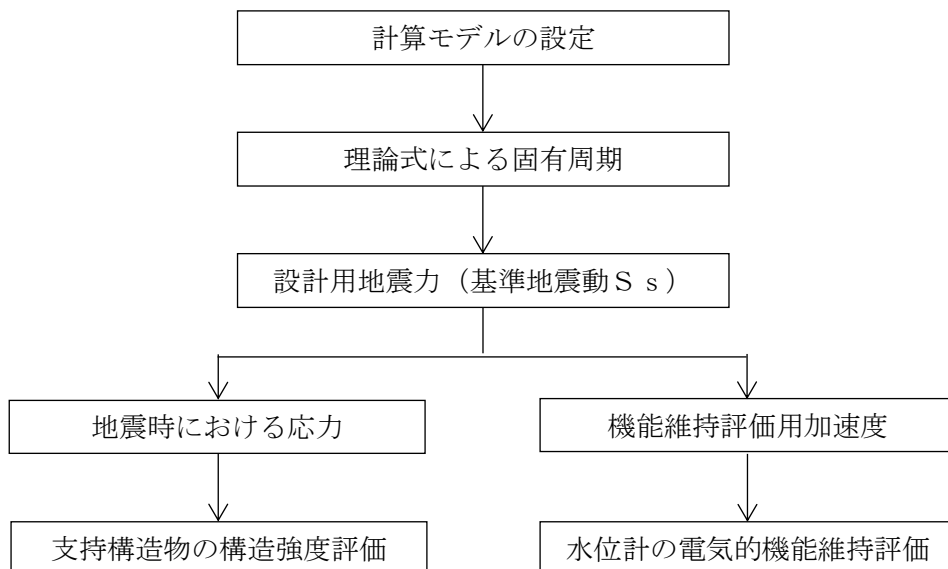


図 2-1 地下水位低下設備水位計の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1—1987)
- (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)
- (4) J S M E S N C 1 —2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-----------|--|----------------|
| A_b | ボルトの軸断面積 | mm^2 |
| A_s | 水位計架台の最小有効せん断断面積 | mm^2 |
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| C_V | 鉛直方向設計震度 | — |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| 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-3121.3 に定める値 | MPa |
| G | せん断弾性係数 | MPa |
| F_b | ボルトに作用する引張力（1本当たり） | N |
| F_{b1} | 鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり） | N |
| F_{b2} | 鉛直方向地震及び壁掛取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり） | N |
| f_{sb} | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 | MPa |
| f_{to} | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 | MPa |
| f_{ts} | 引張力とせん断力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 | 後打ち金物の取付面から重心までの距離 | mm |
| I_y | 水位計架台の水平方向軸（左右方向）に対する断面二次モーメント | mm^4 |
| I_z | 水位計架台の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント | mm^4 |
| K_H | 水平方向（左右方向）に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 | N/m |
| K_V | 鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 | N/m |
| l_a | 水位計架台の幅 | mm |
| l_1 | 重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 | mm |
| l_2 | 上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 | mm |
| l_3 | 左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 | mm |
| m | 水位計，水位計架台及び後打ち金物の質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | — |
| n_{fV} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（前後方向） | — |
| n_{fH} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（左右方向） | — |
| Q_b | ボルトに作用するせん断力 | N |
| Q_{b1} | 水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 | N |
| Q_{b2} | 鉛直方向地震により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℃における値 | MPa |
| T_H | 水平方向固有周期 | s |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|--------------|-----|
| T_v | 鉛直方向固有周期 | s |
| t | 水位計架台の板厚 | mm |
| 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 |

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|-----------|-----------------|------------|------|------------------------|
| 固有周期 | s | 小数点以下第 4 位 | 四捨五入 | 小数点以下第 3 位 |
| 震度 | — | 小数点以下第 3 位 | 切上げ | 小数点以下第 2 位 |
| 温度 | °C | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位 ^{*1} |
| 面積 | mm ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 断面二次モーメント | mm ⁴ | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 力 | N | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁 ^{*2} |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位 ^{*3} |

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

地下水位低下設備水位計の耐震評価は、「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。地下水位低下設備水位計の耐震評価部位については、表 2-1 の構造計画に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

地下水位低下設備水位計が設置される、水位計架台の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 水位計架台の質量は、重心に集中するものとする。
- b. 水位計架台は溶接で壁面の後打ち金物に固定されており、固定端とする。
- c. 水位計架台をはりと考え、変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- e. 水位計架台を図4-1に示す壁固定の1質点系振動モデルとし、その断面形状は、水位計架台の重量を負担する前後方向に位置する2枚の板を合わせたものとして考える。
- f. 水の付加質量*を考慮する。

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

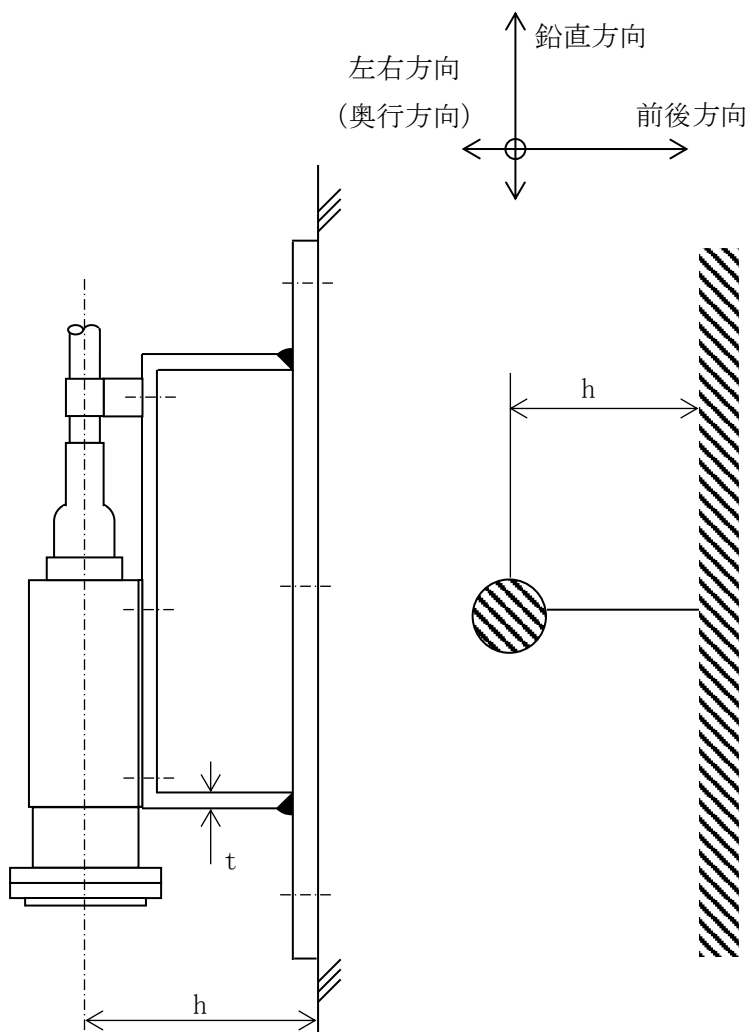


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期（前後方向，左右方向）

- a. 前後方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。
- b. 左右方向に対する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。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_z} + \frac{h}{A_s \cdot G}} \quad \dots (4.1.1)$$

したがって，左右方向に対する固有周期 T_H は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_H}} \quad \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向に対する曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_V は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h}{A_s \cdot G}} \quad \dots (4.1.3)$$

したがって，鉛直方向に対する固有周期 T_V は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \quad \dots (4.1.4)$$

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【地下水位低下設備水位計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)

| 水平方向 | 鉛直方向 |
|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> |

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項(1)a.～f.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は地下水位低下設備水位計に対して、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み合わせには、絶対値和を適用する。

- (2) 設計用地震力（基準地震動 S_s ）は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。
- (3) 転倒方向は、表 2-1 構造計画における左右方向及び前後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。
- (4) 水位計架台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。

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

地下水位低下設備水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

地下水位低下設備水位計の許容応力は、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

地下水位低下設備水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち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）

| 設備名称 | 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 |
|----------|-------------|---------|--------|-----------------------|----------|
| 地下水位低下設備 | 地下水位低下設備水位計 | 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) | |
| | 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 5-3 使用材料の許容応力評価条件

| 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 | SUS304 | 周囲環境温度 | 40 | 205 |

5.3 設計用地震力（基準地震動 S s）

評価に用いる設計用地震力（基準地震動 S s）を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。

表 5-4 設計用地震力（基準地震動 S s）

| 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 |
| 地下水位低下設備 揚水井戸 EL -21.700*1 | □ | □ | - | - | $C_H=2.60^{*2}$ | $C_V=1.51^{*2}$ |

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

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に計算モデルを示す。

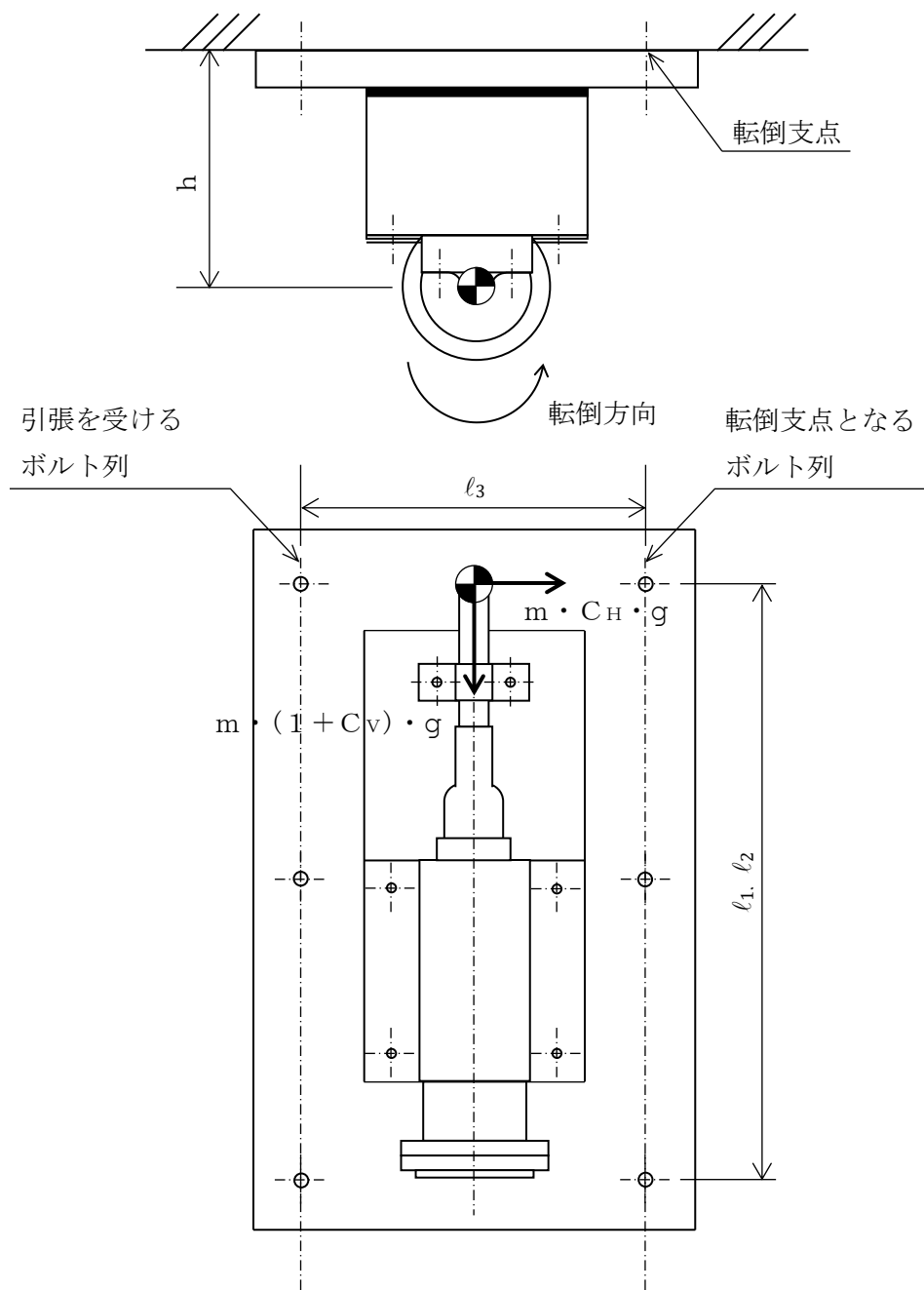


図5-1(1) 計算モデル (左右方向転倒の場合)

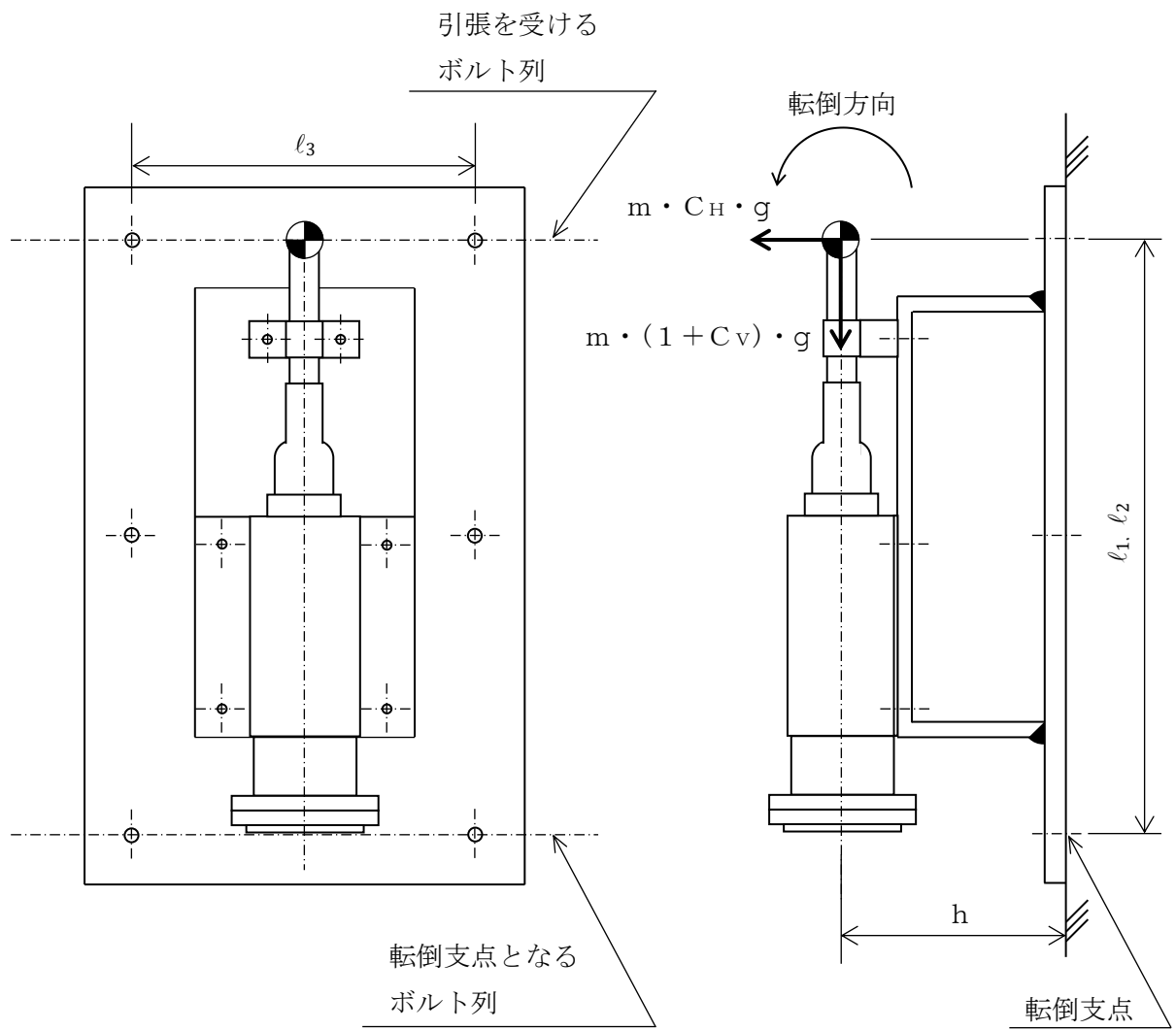


図 5-1(2) 計算モデル (前後方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 5-1 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図 5-1(1) の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h}{n_{fH} \cdot l_3} + \frac{(1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot l_2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

計算モデル図 5-1(2) の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_1 + (1 + C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot l_2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots \dots \dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.9)$$

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【水位計の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張り応力 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots \dots \dots (5.4.1.1.10)$$

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

地下水位低下設備水位計の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

地下水位低下設備水位計の機能確認済加速度は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき、実機の据付け状態を水位計架台を含めて加振台上で模擬したうえで、正弦波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|-------------|------|----------------------|
| 地下水位低下設備水位計 | 水平方向 | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | <input type="text"/> |

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

地下水位低下設備水位計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及び電気的機能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。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備水位計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 | |
| 地下水位低下設備 水位計 (LX282-101A) | C | 地下水位低下設備 揚水井戸 EL -21.700* ¹ | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | — | C _H =2.60* ² | C _V =1.51* 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 | m (kg) | h (mm) | t (mm) | d (mm) | l _a (mm) | l ₁ (mm) | l ₂ (mm) | l ₃ (mm) | n (-) | n _{fH} (-) | n _{fV} (-) | A _b (mm ²) |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 基礎ボルト | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| 部 材 | S _y (MPa) | S _u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | 転倒方向 | | ME (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 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | 前後方向 | — |

| E (MPa) | G (MPa) | I _y (mm ⁴) | I _z (mm ⁴) | A _S (mm ²) |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.937×10 ⁵ | 7.449×10 ⁴ | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

| 部材 | F_b | | Q_b | |
|-------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s | 弾性設計用地震動 S d 又は静的震度 | 基準地震動 S s |
| 基礎ボルト | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

| 方向 | 固有周期 |
|------|----------------------|
| 水平方向 | <input type="text"/> |
| 鉛直方向 | <input type="text"/> |

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 | SUS304 | 引張 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | | せん断 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

すべて許容応力以下である。

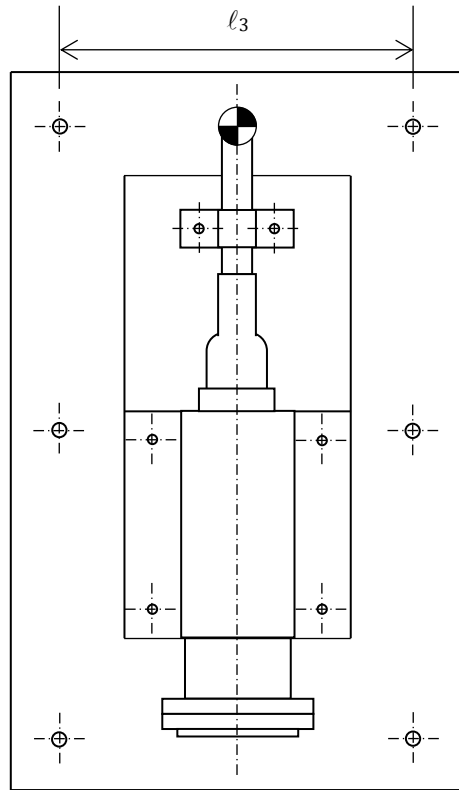
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.3.3 電氣的機能維持の評価結果

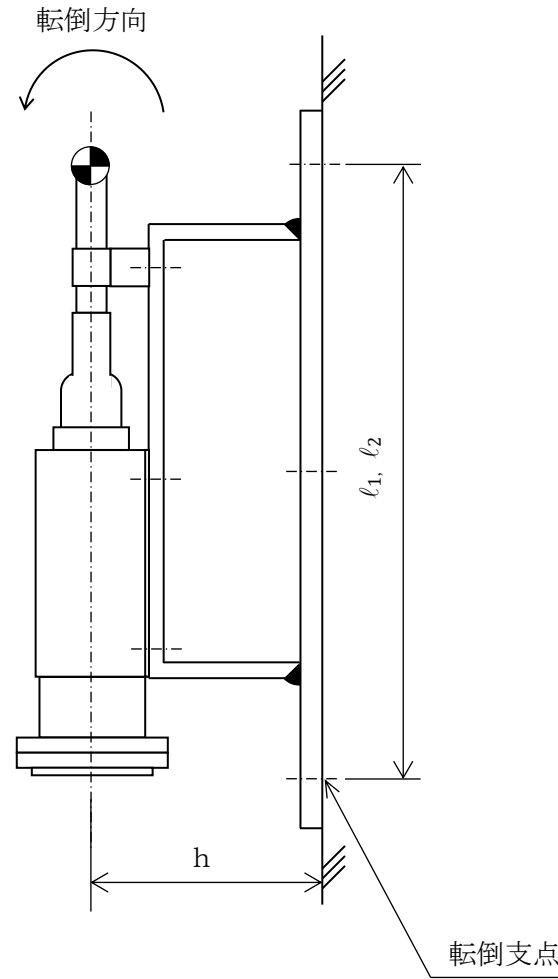
(×9.8m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|-----|------|-------------|----------------------|
| 水位計 | 水平方向 | 1.00 | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | 0.73 | <input type="text"/> |

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度は、すべて機能確認済加速度以下である。



正面



側面

VI-2-別添 4-3-4 地下水位低下設備制御盤の耐震性
についての計算書

目 次

| | |
|----------------------|---|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 構造計画 | 1 |
| 3. 固有周期 | 3 |
| 3.1 固有周期の算出 | 3 |
| 4. 構造強度評価 | 4 |
| 4.1 構造強度評価方法 | 4 |
| 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 4 |
| 4.3 計算条件 | 4 |
| 5. 機能維持評価 | 8 |
| 5.1 電氣的機能維持評価方法 | 8 |
| 6. 評価結果 | 9 |
| 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 9 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に示すとおり、地下水位低下設備制御盤（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及び電気的機能を有していることを説明するものである。

なお、地下水位低下設備制御盤は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

地下水位低下設備制御盤の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--|------|------------------------|------------------------|----|--|--|---|--|--|----|--|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | | | | | | | | | | | | | |
| <p>地下水位低下設備制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースは、溶接にて後打金物に固定する。</p> <p>後打金物は、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>【地下水位低下設備制御盤】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>地下水位低下設備制御盤 A (2-1118)</th> <th>地下水位低下設備制御盤 B (2-1119)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p> | 機器名称 | 地下水位低下設備制御盤 A (2-1118) | 地下水位低下設備制御盤 B (2-1119) | たて | | | 横 | | | 高さ | | |
| 機器名称 | 地下水位低下設備制御盤 A (2-1118) | 地下水位低下設備制御盤 B (2-1119) | | | | | | | | | | | | |
| たて | | | | | | | | | | | | | | |
| 横 | | | | | | | | | | | | | | |
| 高さ | | | | | | | | | | | | | | |

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出

地下水位低下設備制御盤の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

| | | |
|-------------------------------|----|----------------------|
| 地下水位低下設備 制御盤 A (2-1118) | 水平 | <input type="text"/> |
| | 鉛直 | <input type="text"/> |
| 地下水位低下設備 制御盤 B (2-1119) | 水平 | <input type="text"/> |
| | 鉛直 | <input type="text"/> |

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

地下水位低下設備制御盤の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

地下水位低下設備制御盤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

地下水位低下設備制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

地下水位低下設備制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【地下水位低下設備制御盤 A (2-1118) の耐震性についての計算結果】、【地下水位低下設備制御盤 B (2-1119) 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）

| 設備名称 | 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 |
|----------|-------------|---------|--------|-----------------------|-------------------|
| 地下水位低下設備 | 地下水位低下設備制御盤 | 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 4-2 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 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

| 評価部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|-------|------------------------|--------------|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| | | 周囲環境温度 | | | | |
| 基礎ボルト | SS400 (16mm<径≦40mm) | 周囲環境温度 | 40 | 235 | 400 | — |
| 取付ボルト | SS400 (16mm<径≦40mm) | 周囲環境温度 | 40 | 235 | 400 | — |

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

地下水位低下設備制御盤の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

地下水位低下設備制御盤に設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---------------------------|----|--------------------------|
| 地下水位低下設備制御盤 A (2-1118) | 水平 | <input type="checkbox"/> |
| | 鉛直 | <input type="checkbox"/> |
| 地下水位低下設備制御盤 B (2-1119) | 水平 | <input type="checkbox"/> |
| | 鉛直 | <input type="checkbox"/> |

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

地下水位低下設備制御盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【地下水位低下設備制御盤A（2-1118）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 | |
| 地下水位低下設備制御盤A (2-1118) | C | 原子炉建物 EL 2.800 (EL 8.800 *1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | — | C _H =1.56 *2 | C _V =1.16 *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）

1.2 機器要目

| 部材 | m _i (kg) | h _i (mm) | d _i (mm) | A _{b i} (mm ²) | n _i | S _{y i} (MPa) | S _{u i} (MPa) |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 235 (16mm<径≤40mm) | 400 (16mm<径≤40mm) |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 235 (16mm<径≤40mm) | 400 (16mm<径≤40mm) |

| 部材 | l _{1 i} * (mm) | l _{2 i} * (mm) | n _{f i} * | F _i (MPa) | F _i * (MPa) | 転倒方向 | |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | 280 | — | 短辺方向 |
| | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | 280 | — | 長辺方向 |
| | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | |

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

| 部材 | F _{b i} | | Q _{b i} | |
|----------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 基礎ボルト (i=1) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|----------------|-------|-----|--------------------------------|------|----------------------|----------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト (i=1) | SS400 | 引張 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | | せん断 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | SS400 | 引張 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | | せん断 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

すべて許容応力以下である。

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

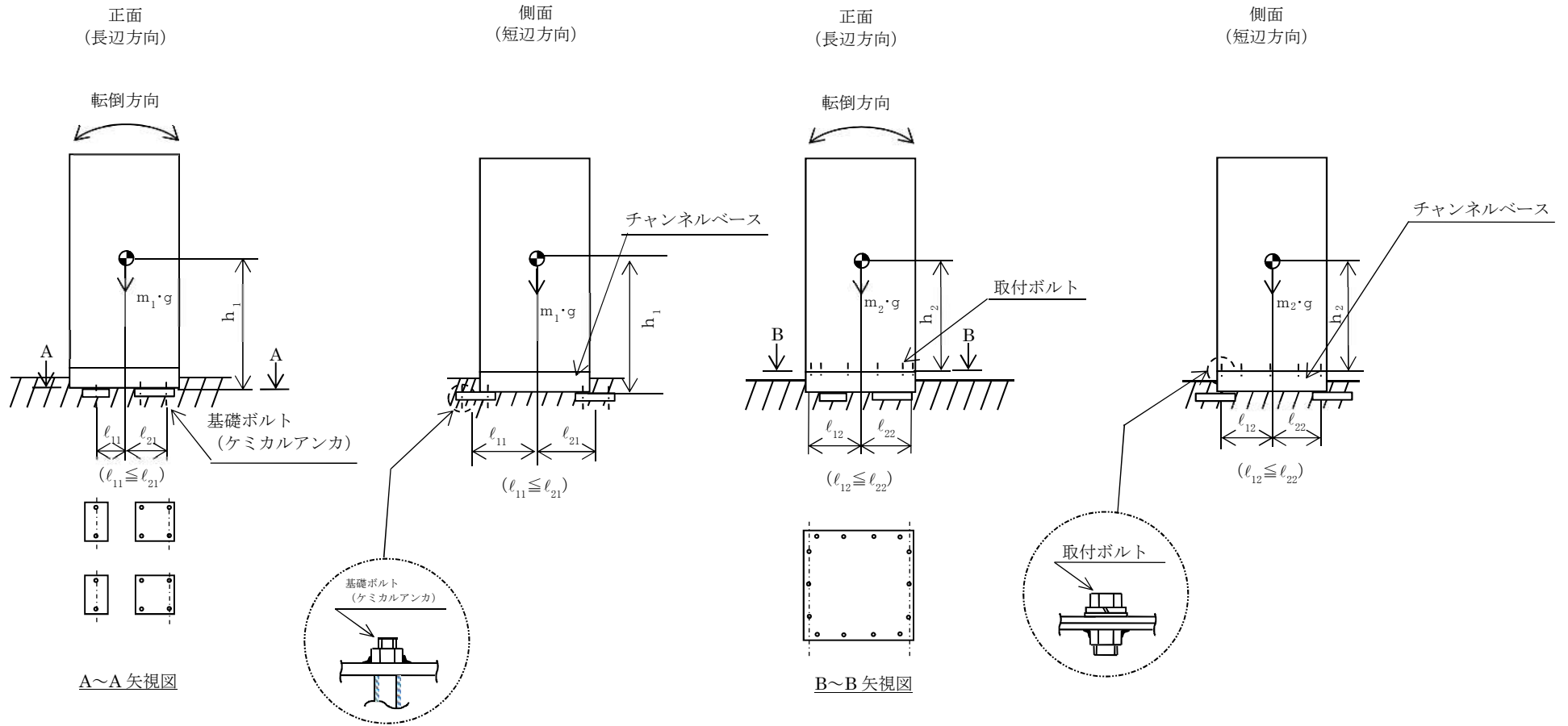
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|------------------------------|------|-------------|----------------------|
| 地下水位低下設備制御盤 A (2-1118) | 水平方向 | 1.29 | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | 0.96 | <input type="text"/> |

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【地下水位低下設備制御盤B（2-1119）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 | |
| 地下水位低下設備制御盤B (2-1119) | C | 原子炉建物 EL 2.800 (EL 8.800 *1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | — | C _H =1.56 *2 | C _V =1.16 *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）

1.2 機器要目

| 部材 | m _i (kg) | h _i (mm) | d _i (mm) | A _{b i} (mm ²) | n _i | S _{y i} (MPa) | S _{u i} (MPa) |
|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 235 (16mm<径≤40mm) | 400 (16mm<径≤40mm) |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 235 (16mm<径≤40mm) | 400 (16mm<径≤40mm) |

| 部材 | l _{1 i} * (mm) | l _{2 i} * (mm) | n _{f i} * | F _i (MPa) | F _i * (MPa) | 転倒方向 | |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | 280 | — | 短辺方向 |
| | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | 280 | — | 長辺方向 |
| | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | | | | |

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

| 部材 | F _{b i} | | Q _{b i} | |
|-------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 基礎ボルト (i=1) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------------|-------|-----|--------------------------------|------|----------------------|----------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト (i=1) | SS400 | 引張 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | | せん断 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | SS400 | 引張 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | | せん断 | — | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

すべて許容応力以下である。

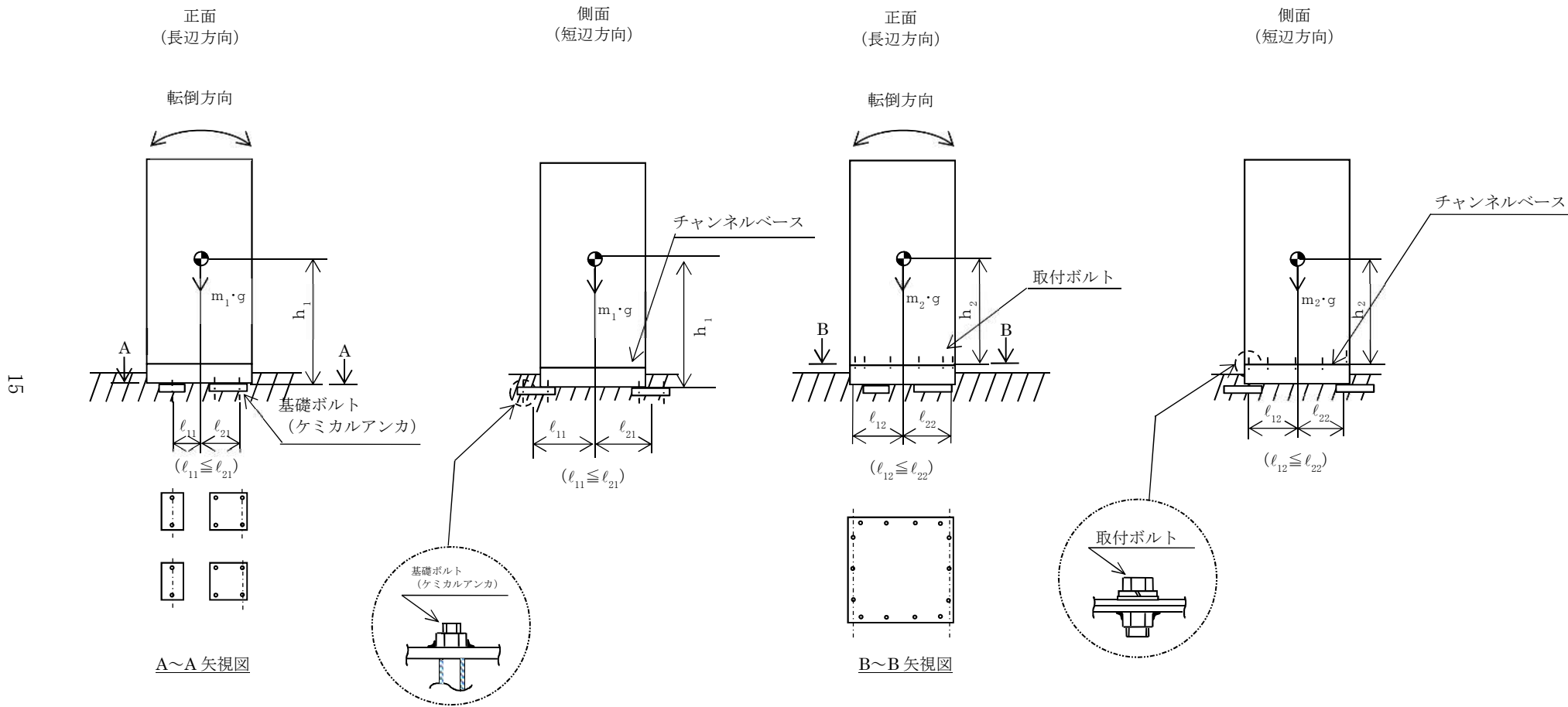
注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|------------------------|------|-------------|----------------------|
| 地下水位低下設備制御盤 B (2-1119) | 水平方向 | 1.29 | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | 0.96 | <input type="text"/> |

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-別添 4-3-5 揚水井戸の耐震性についての計算書

目次

| | |
|-------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 位置 | 2 |
| 2.2 構造概要 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 6 |
| 2.3.1 2次元地震応答解析 | 9 |
| 2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価 | 10 |
| 2.3.3 水平断面に対する耐震評価 | 13 |
| 2.3.4 底版に対する耐震評価 | 15 |
| 2.4 適用規格・基準等 | 16 |
| 3. 耐震評価 | 17 |
| 3.1 評価対象断面 | 17 |
| 3.2 使用材料及び材料の物性値 | 20 |
| 3.3 許容限界 | 21 |
| 3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界 | 21 |
| 3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界 | 21 |
| 3.4 評価方法 | 22 |
| 3.4.1 構造部材の健全性評価 | 22 |
| 3.4.2 基礎地盤の支持性能評価 | 29 |
| 4. 耐震評価結果 | 30 |
| 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果 | 30 |
| 4.1.1 鉛直断面に対する評価結果 | 30 |
| 4.1.2 水平断面に対する耐震評価結果 | 33 |
| 4.1.3 底版に対する耐震評価結果 | 38 |
| 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 40 |

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1-別添1「地下水位低下設備の設計方針」で設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうち、揚水井戸が基準地震動 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ものである。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

地下水位低下設備のうち揚水井戸の設置位置を図 2-1 に示す。

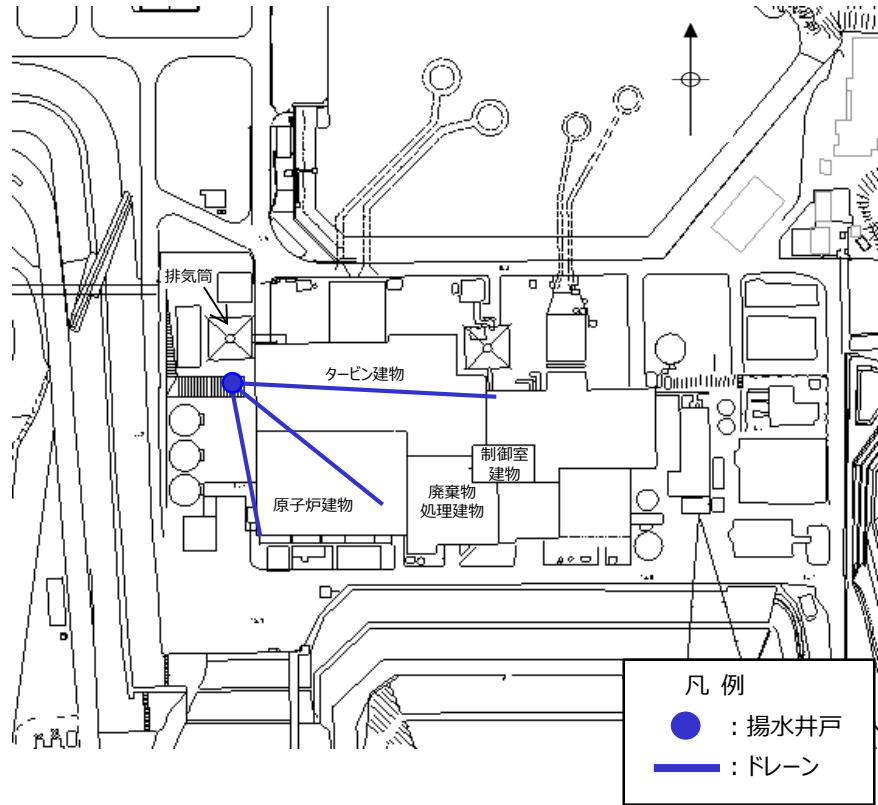


図 2-1 揚水井戸の設置位置

2.2 構造概要

揚水井戸は、揚水ポンプ等を支持する、内径 3.5m、高さ 31.9m の鉄筋コンクリート造の円筒状の地中構造物であり、十分な支持性能を有する C_M級岩盤に支持される。

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に、構造概要を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に示す。

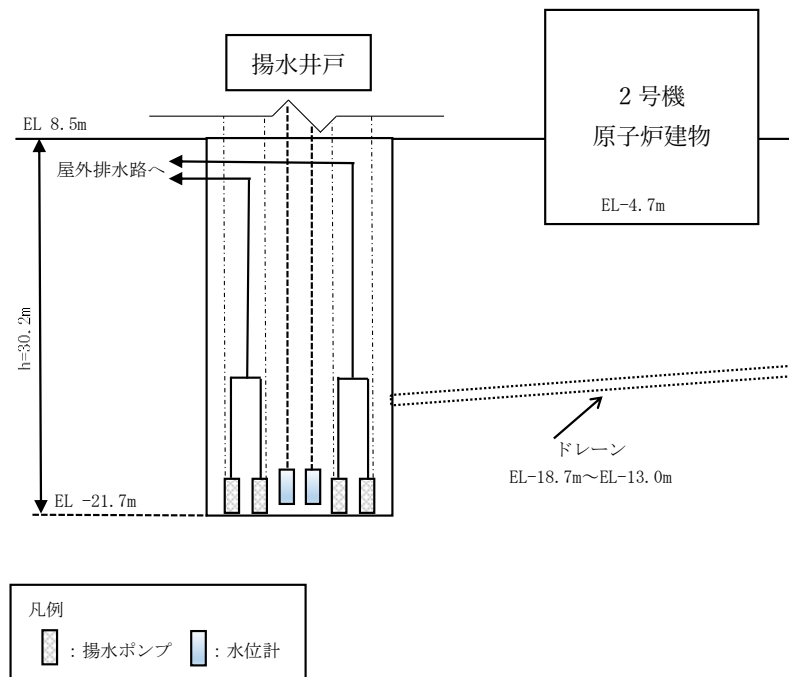


図 2-2 地下水位低下設備の構成概要

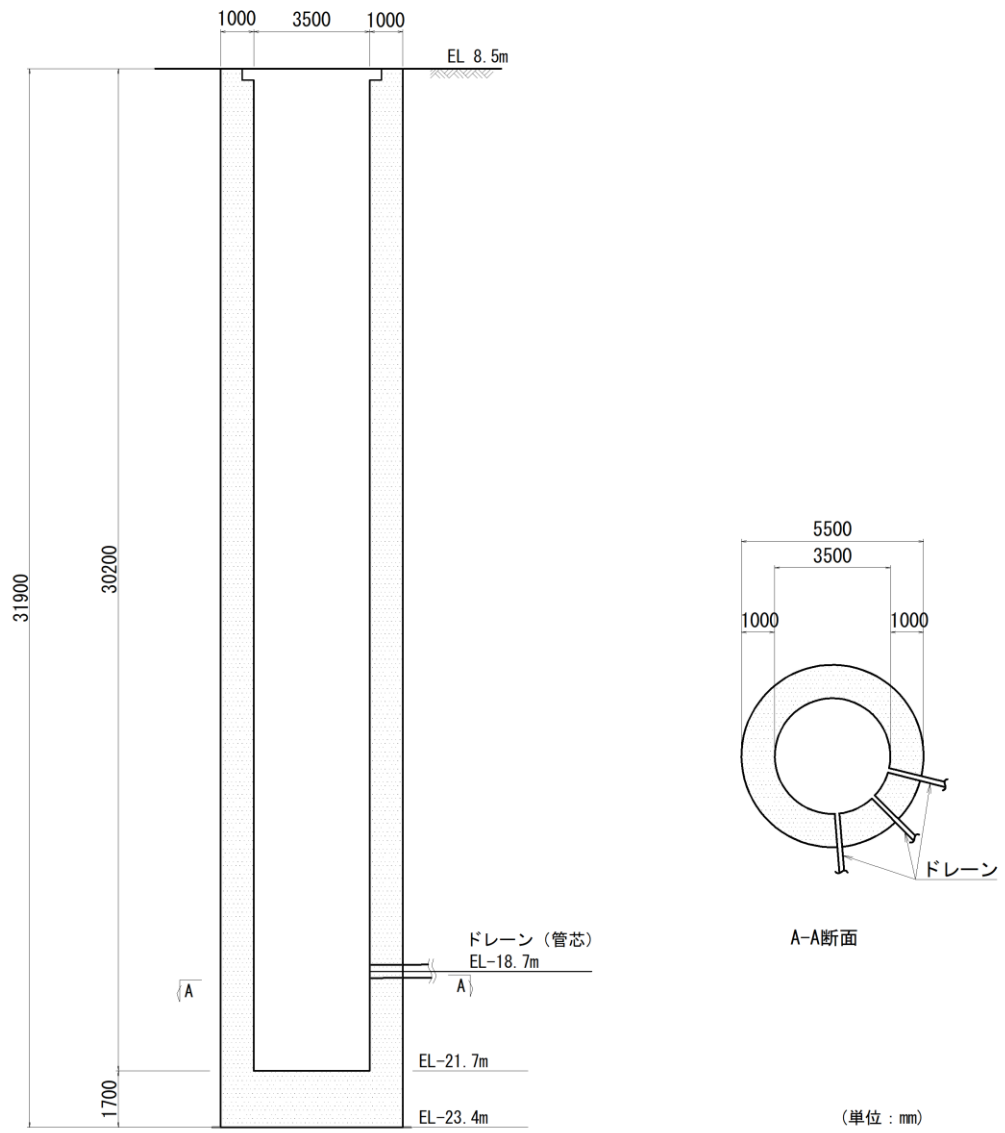


図 2-3 揚水井戸 構造概要

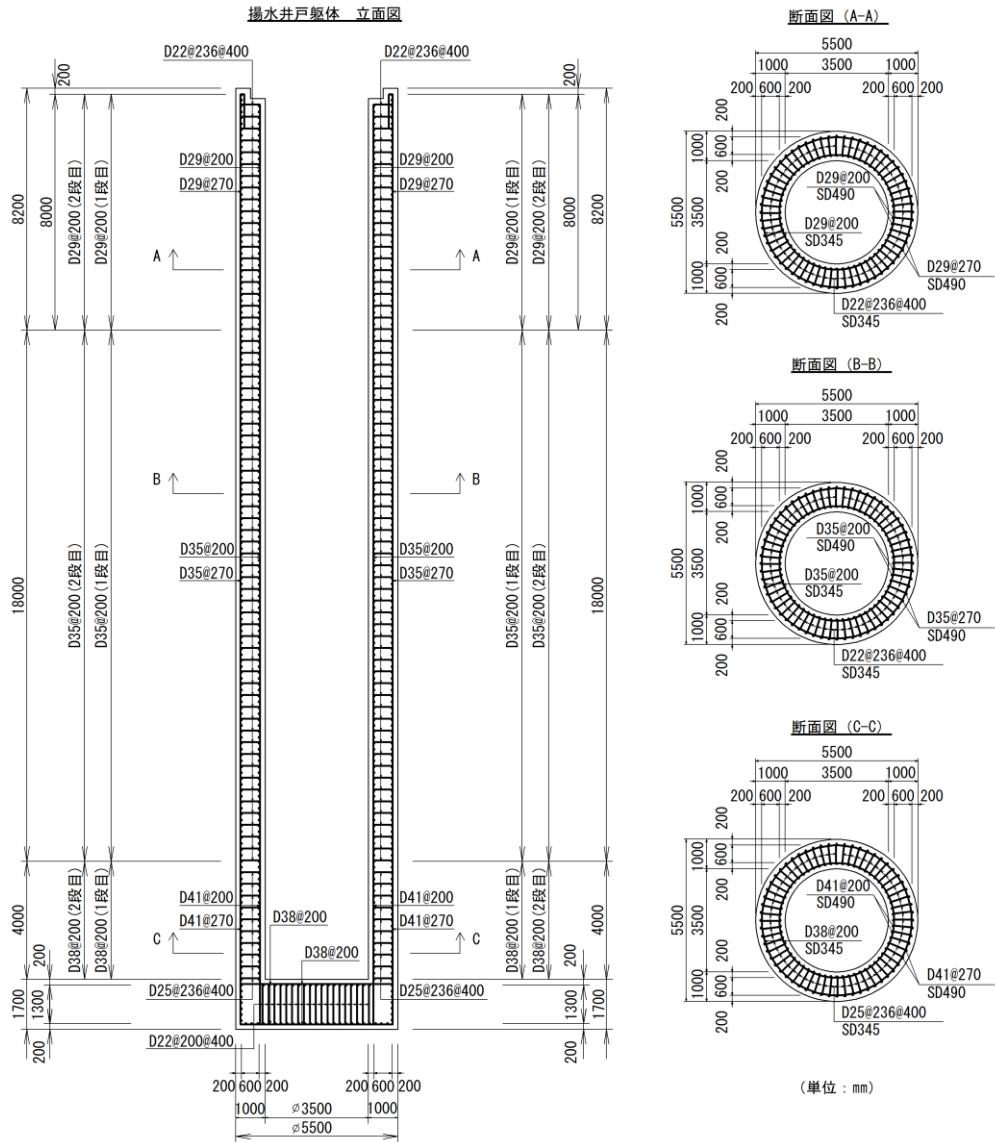


图 2-4 扬水井戸 概略配筋图

2.3 評価方針

地下水位低下設備の要求機能は、原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持することであり、揚水井戸は支持・閉塞防止機能を維持する必要がある。揚水井戸を含む地下水位低下設備はCクラスに分類されるが、その機能を維持するため、基準地震動 S_s に対して耐震性を確保する設計としている。

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき、発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 2-5 に、構造部材の応答値算定及び健全性評価についての詳細フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 揚水井戸の評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 |
|------------|-----------|------------|---------------------------------|---------|
| 構造強度を有すること | 構造部位の健全性 | 鉄筋コンクリート部材 | 発生する応力（曲げ軸力、せん断力）が許容限界を下回ることを確認 | 短期許容応力度 |
| | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤 | 発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認 | 極限支持力度* |

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

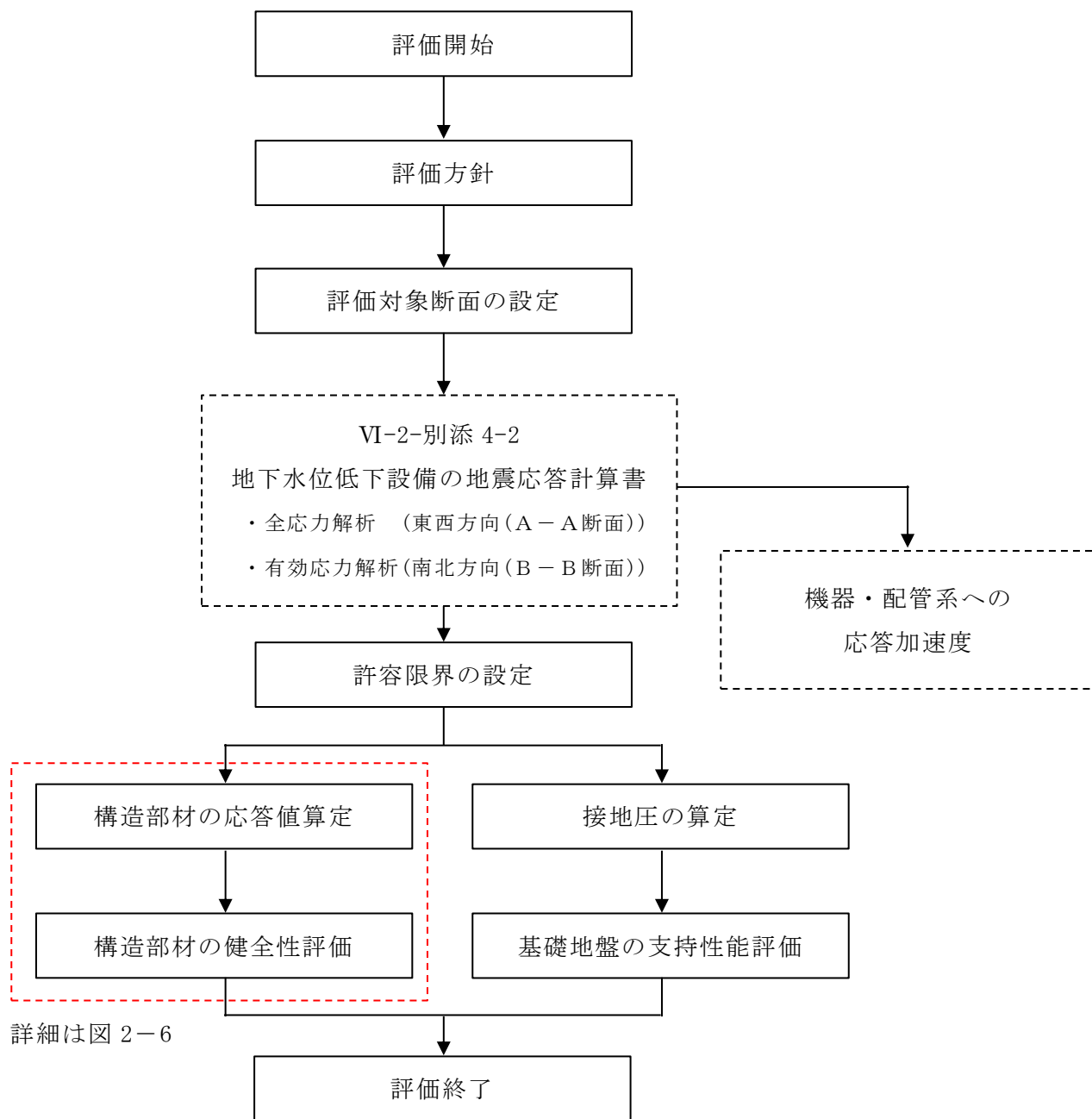


図 2-5 揚水井戸の耐震評価フロー

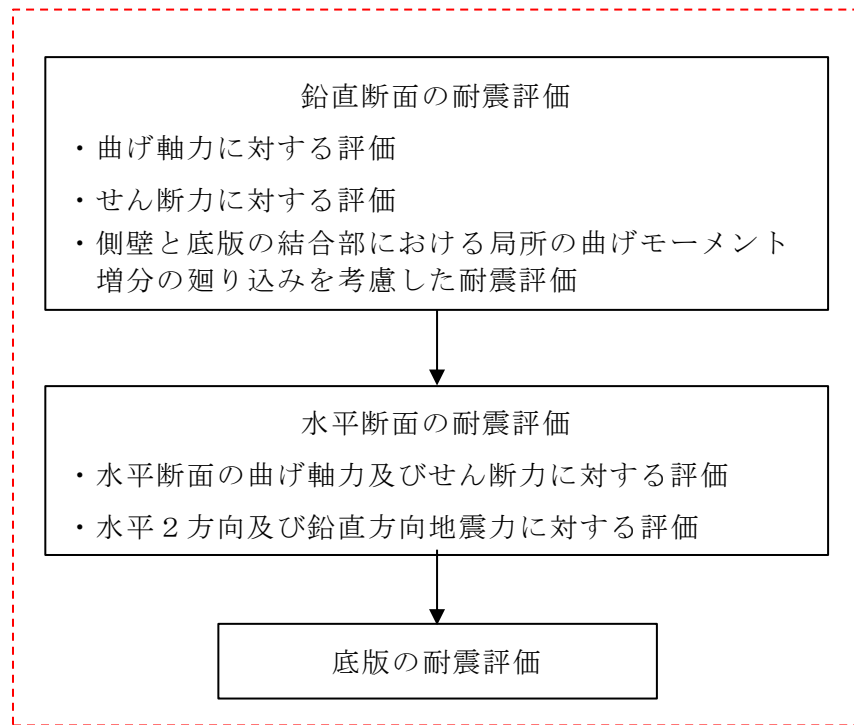


図 2-6 構造部材の応答値算定及び健全性評価についての耐震評価詳細フロー

2.3.1 2次元地震応答解析

揚水井戸の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。揚水井戸は、中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する構造はり(線形はり要素)によりモデル化する。

2次元地震応答解析を実施し、揚水井戸の鉛直鉄筋の健全性評価のために、2次元地震応答解析にて算出される線形はり要素の発生断面力(曲げモーメント、軸力、せん断力)を抽出する。揚水井戸の水平鉄筋の健全性評価のために、揚水井戸側方の地震時地盤反力の時刻歴最大値、すなわち地震時最大地盤反力を抽出する。さらに、底版の健全性評価のために、揚水井戸底面をモデル化した仮想剛はり要素に地盤から作用する鉛直方向の地震時地盤反力を底面方向分布に応じて合計した値、すなわち鉛直方向の地震時地盤反力の時刻歴最大値を抽出する。

2次元地震応答解析からの応答値の抽出概念図を図2-7に示す。

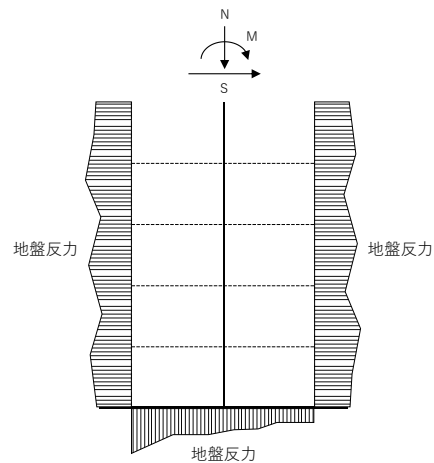


図2-7 2次元地震応答解析からの応答値の抽出概念図

2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価

(1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

揚水井戸は直交する2断面（東西方向（A-A断面）、南北方向（B-B断面））を解析断面として選定し、2次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。揚水井戸の鉛直鉄筋は2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力(曲げ軸力)を用いて2次元静的フレーム解析を実施し、照査を行う。その際、水平2方向及び鉛直方向地震力に対して円筒状立抗の場合は、地震動の加振方向に対して抵抗する部位が明確でない。そこで、円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントが直交する方向にも同時に作用するものと仮定(曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍)して、構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。2次元静的フレーム解析には解析コード「TDA P III」を使用する。なお、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。

線形はり要素の鉛直断面設計概念図を図2-8に示す。

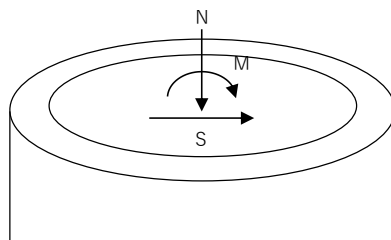


図2-8 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力(S)に対しコンクリートの有効断面積(A_w)で抵抗するものとし、せん断力度 $\tau = S/A_w$ がコンクリート標準示方書に示される許容せん断応力度 τ_{a1} を超える場合はせん断補強筋が必要となる。

本評価においては、2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力を用いて2次元静的フレーム解析を実施し、照査を行い、構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界、すなわち短期許容せん断力 V_a 以下であることを確認する。

(3) 側壁と底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した耐震評価

側壁と底版の隅角部には、床版曲げモーメント (M_1) が側壁に廻り込む。また側壁が底版に支持される拘束効果により、地震時荷重を面外方向に受けた場合に曲げモーメントが反転する (M_2)。この現象は2次元地震応答解析において考慮することができないため、側壁と底版の結合部における曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した設計を行う。

底版から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図を図2-9に示す。

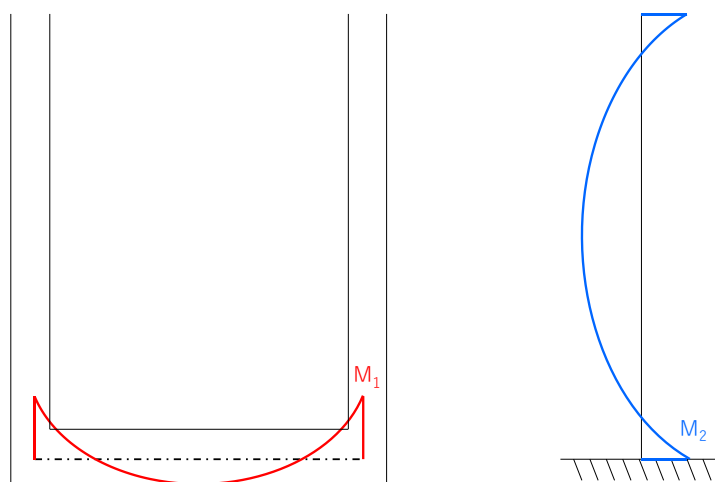


図2-9 底版から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図

側壁と底版を結合することにより底版に発生する端部の曲げモーメント (M_1) は、底版両端を固定支持とした理論解により算定する。荷重については、底版の地盤反力の和が最大となる時刻の地盤反力を作用させる。

また、側壁に作用する荷重による、側壁と底版の結合部に発生する曲げモーメント (M_2) は、底版と揚水井戸上端をスパンとした単位幅の 1 方向を考慮した両端固定はりとしてモデル化し、2次元静的フレーム解析により算定する。荷重については、地盤反力の和が最大となる時刻の地盤反力を作用させる。

底版の端曲げモーメント (M_1) 及び底版に拘束された側壁に発生する端曲げモーメント (M_2) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから鉛直鉄筋の引張応力度 (σ_{v2}) を算定する。円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントを直行する方向にも同時に作用させるものと仮定(曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍)して求められた鉛直鉄筋の引張応力度 (σ_{v1}') を加算した鉛直鉄筋の引張応力度 ($\sigma_{v1}' + \sigma_{v2}$) が許容限界以下であることを確認する。

2.3.3 水平断面に対する耐震評価

(1) 水平断面の曲げ軸力及びせん断力に対する評価

揚水井戸の水平断面については、側壁を線形はり要素によりモデル化した2次元静的フレーム解析に基づき照査を行う。

作用させる荷重は、2次元地震応答解析から抽出した、揚水井戸側方の地震時地盤反力の時刻歴最大値である。

水平断面については、地震応答解析結果より、各部材の照査値が最も厳しい荷重条件を抽出して2次元静的フレーム解析を実施し、発生応力が許容限界以下であることを確認する。

構造部材の発生断面力(曲げモーメント、軸力、せん断力)が許容限界以下であることを確認する。なお、ここで設計する主鉄筋は、2次元静的フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ応力に対する配筋である。

水平断面の評価概念図を図2-10に示す。

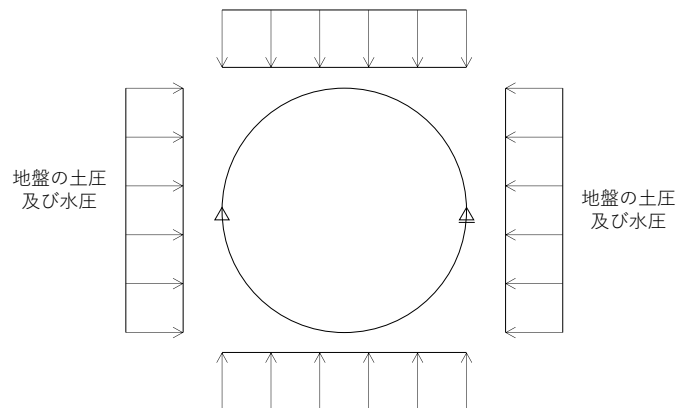


図2-10 水平断面の評価概念図(フレーム解析)

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力に対する評価

揚水井戸の設計における水平2方向及び鉛直方向地震力に対する耐震安全性は、側壁面内方向の水平鉄筋の配筋量にて確認する。

揚水井戸の側壁における面内方向の水平鉄筋として、2次元地震応答解析(鉛直断面)モデルの側壁面内方向のせん断力に対するせん断補強鉄筋(A_{s1})と、水平断面の2次元静的フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ軸力に対する主鉄筋(A_{s2})は同じ向きの配筋となる。したがって、 A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた合計必要鉄筋量以上の実配筋量が側壁の面内方向に配置されていることを確認する。

側壁の水平鉄筋の設計イメージを図2-11に示す。

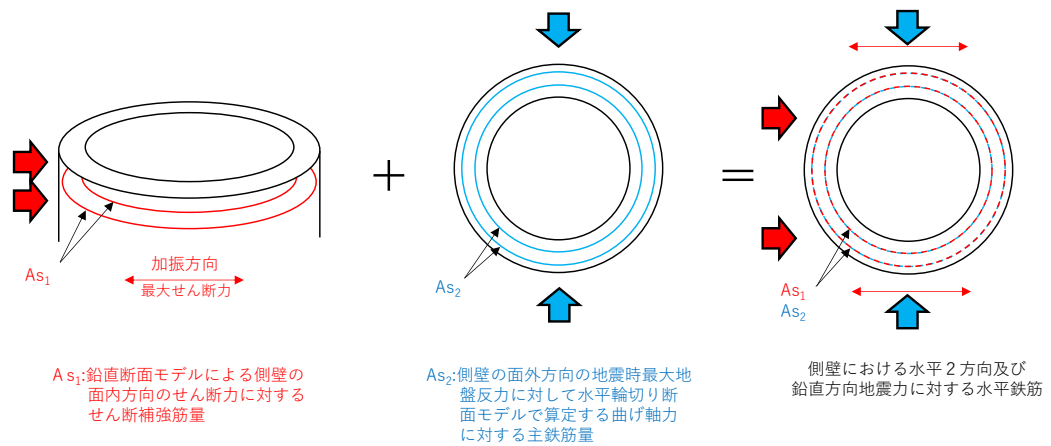


図2-11 側壁の水平鉄筋の設計イメージ

2.3.4 底版に対する耐震評価

底版は接続する側壁の中心間距離をスパンとした単位幅の1方向を考慮し、両端を単純支持とした理論解により設計断面力を算定する。

設計荷重は2次元地震応答解析において、仮想剛はり要素(底面)下面の地盤要素に発生する地震時地盤反力の和が最大となる時刻を抽出し、その時刻における地盤反力を作用させる。また、静水圧も分布荷重として考慮する。

揚水井戸の底版の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。底版の応答解析概念図を図2-12に示す。

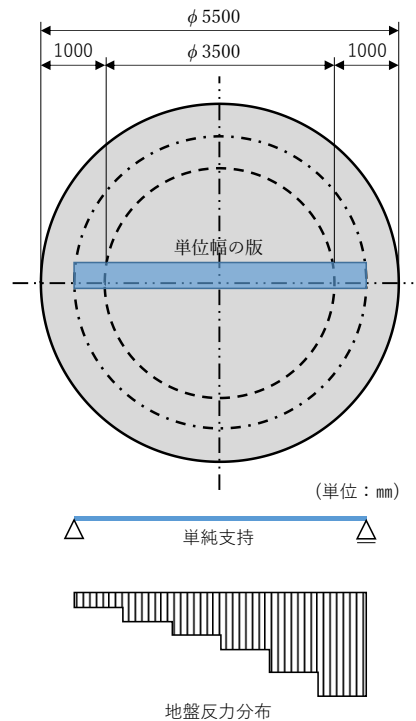


図 2-12 底版の応答解析概念図

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（以下「コンクリート標準示方書」という。）」
- ・日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編（以下「道路橋示方書」という。）」
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

揚水井戸の断面は、東西方向及び南北方向の2断面とする。

評価対象断面の地質断面図位置を図3-1に、評価対象断面の地質断面図を図3-2に示す。

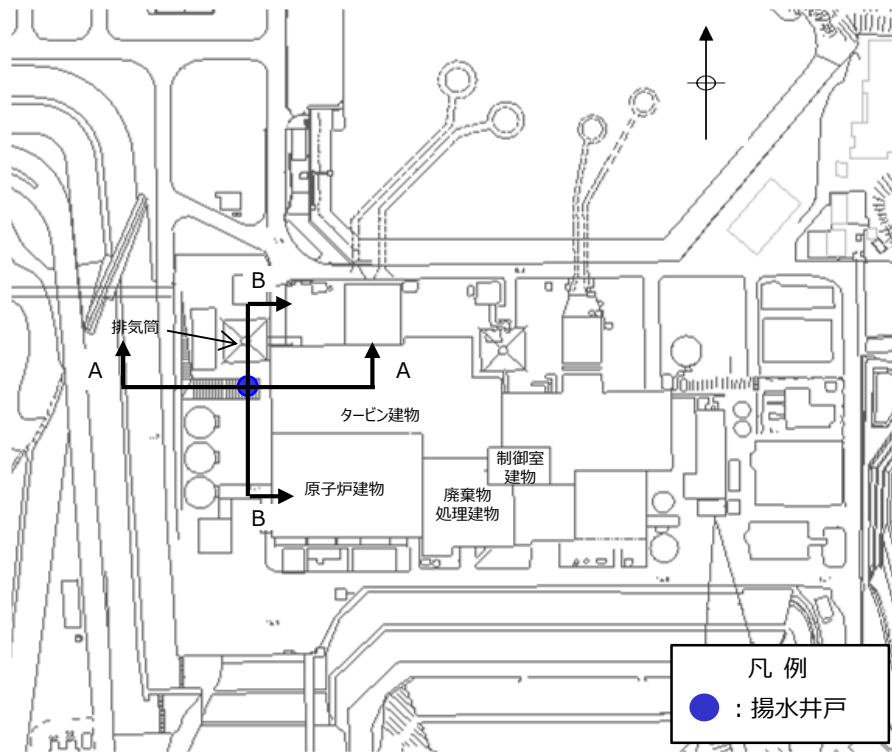


図3-1 評価対象断面の地質断面図位置

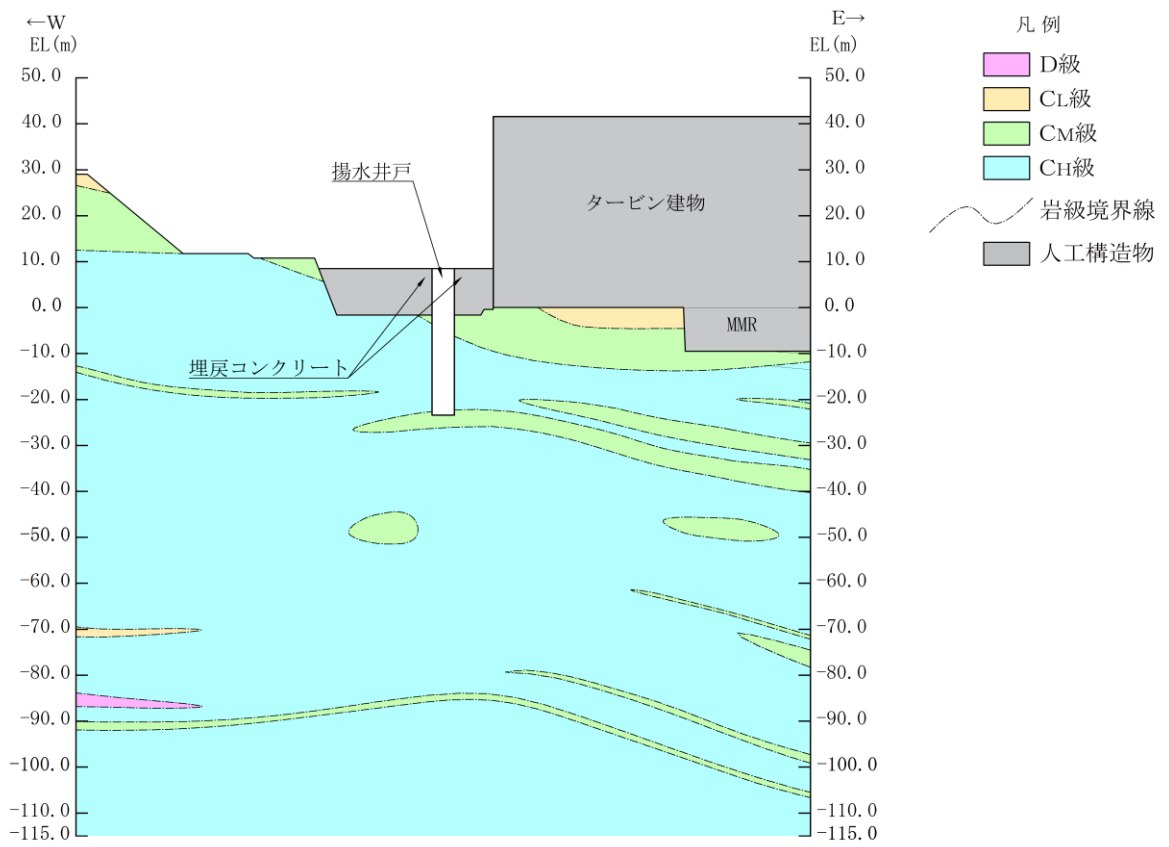


図 3-2(1) 評価対象断面の地質断面図 (A-A断面 (東西方向))

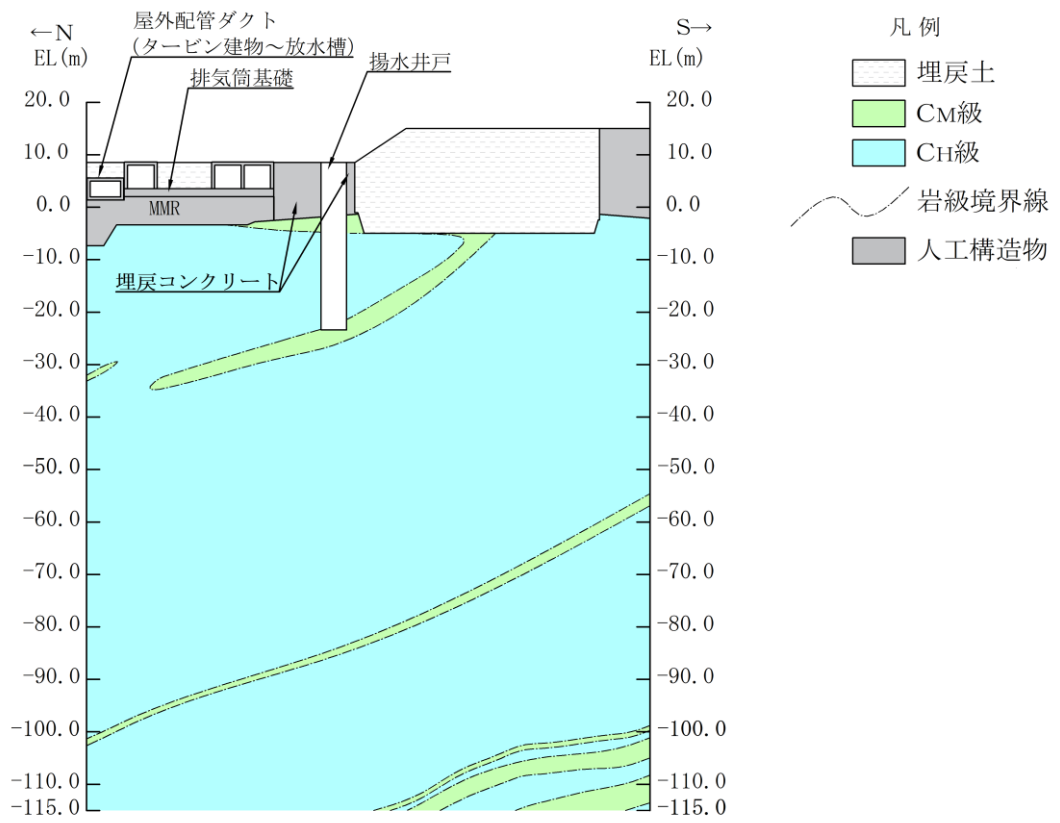


図 3-2(2) 評価対象断面の地質断面図 (B-B断面 (南北方向))

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1 に、材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

| 材料 | | 仕様 |
|----------|--------|------------------------------|
| 構造物 | コンクリート | 設計基準強度 36.0N/mm ² |
| | 鉄筋 | SD345, SD490 |
| 埋戻コンクリート | | 設計基準強度 18.0N/mm ² |
| MMR | | 設計基準強度 23.5N/mm ² |

表 3-2 材料の物性値

| 材料 | ヤング係数 (N/mm ²) | 単位体積重量 (kN/m ³) | ポアソン比 |
|----------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
| 構造物 | 2.98×10 ⁴ | 24.0* ¹ | 0.2 |
| 埋戻コンクリート | 2.20×10 ⁴ | 22.6* ² | |
| MMR | 2.48×10 ⁴ | | |

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

揚水井戸は、許容応力度法による照査を行う。コンクリート及び鉄筋の許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 構造部材の健全性に対する許容限界

| 評価項目 | | 許容限界 (N/mm ²) |
|---|---------------------------|---|
| コンクリート* ¹ f' _{c k} = 36 (N/mm ²) | 短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca} | 19.2 |
| | 短期許容せん断応力度 τ_{a1} | 0.795 |
| 鉄筋 | SD490 | 短期許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ軸力) * ² |
| | SD345 | 短期許容引張応力度 σ_{sa} (曲げ軸力) * ¹ |
| | | 435 |
| | | 294 |

注記* 1 : コンクリート標準示方書

* 2 : 道路橋示方書

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

| 評価項目 | | 許容限界 (N/mm ²) |
|--------|--------------------|---------------------------|
| 極限支持力度 | C _M 級岩盤 | 9.8 |

3.4 評価方法

揚水井戸の耐震評価は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.3 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

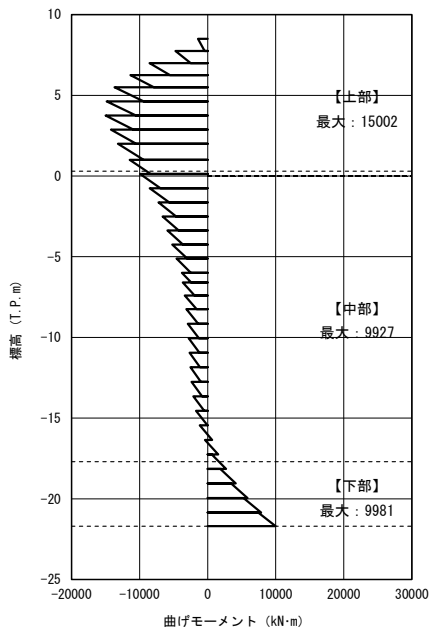
(1) 鉛直部材の構造部材の健全性評価

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

鉛直断面の構造部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した発生応力が許容限界以下であることを確認する。照査は、配筋の異なる位置毎（上部、中部及び下部）で実施する。

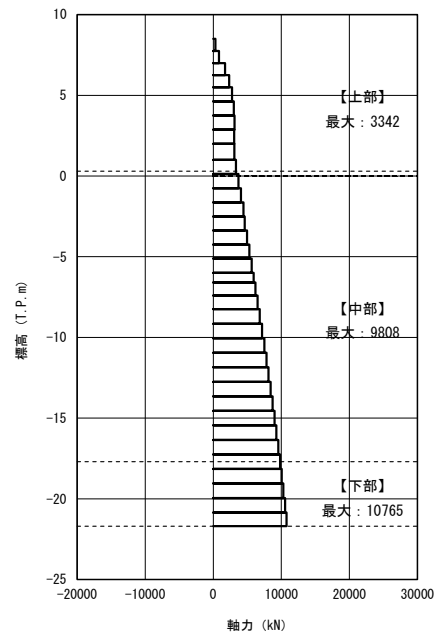
東西断面（以下「A-A断面」）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-3 に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-4 に示す。

南北断面（以下「B-B断面」）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-5 に、せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-6 に示す。



$$+M \left(\overset{\curvearrowright}{i} \text{ — } \overset{\curvearrowleft}{j} \right) +M$$

曲げモーメント図



$$+N \rightarrow i \text{ — } j \leftarrow +N$$

軸力図

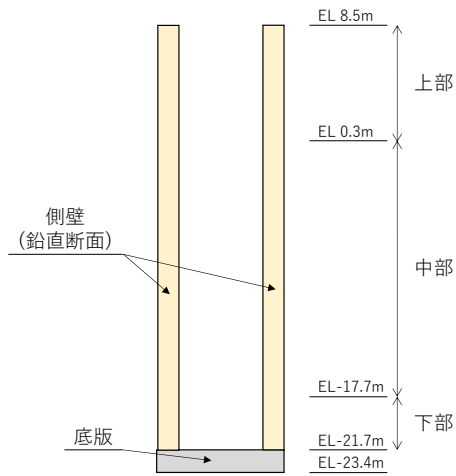
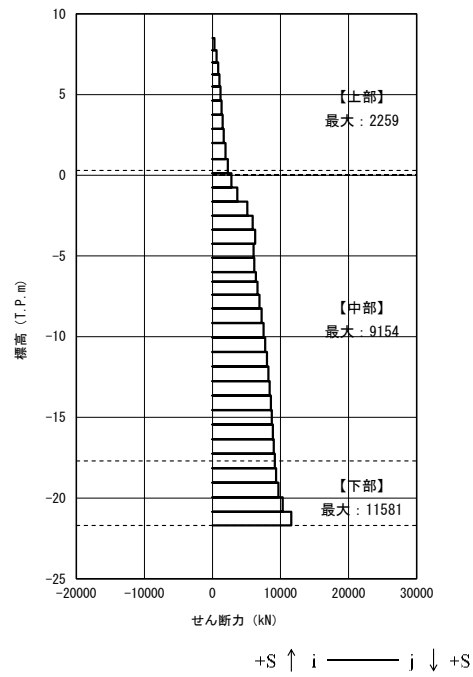


図 3-3 曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (A-A断面, S s - D (-+), t=10.26s) (解析ケース①)



せん断力図

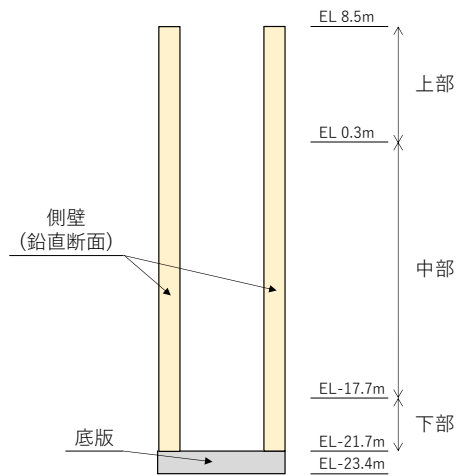


図 3-4 せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
(A-A断面, S s - D (---), t=8.91s) (解析ケース①)

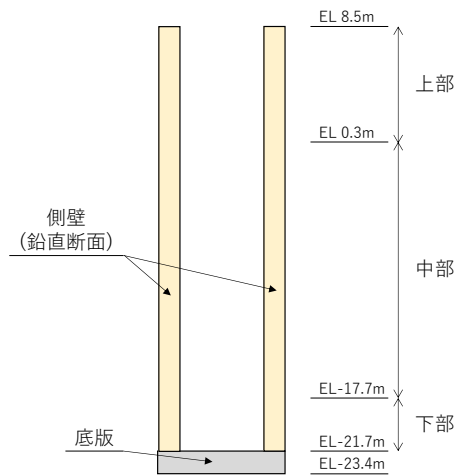
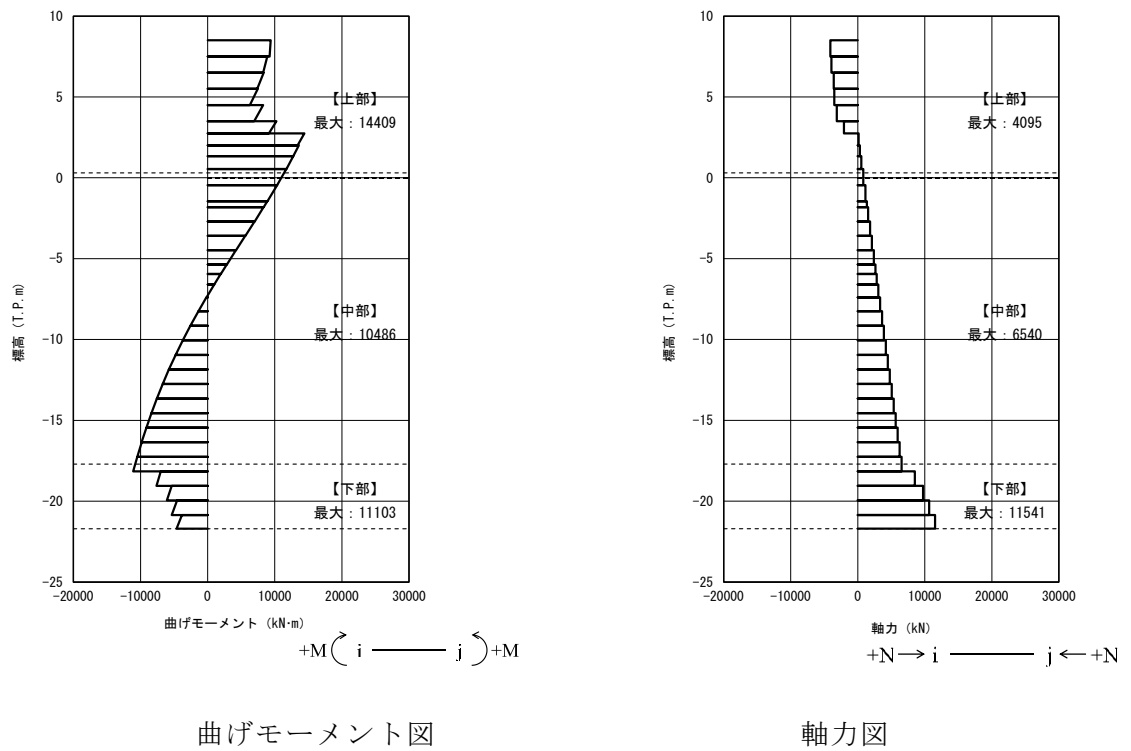
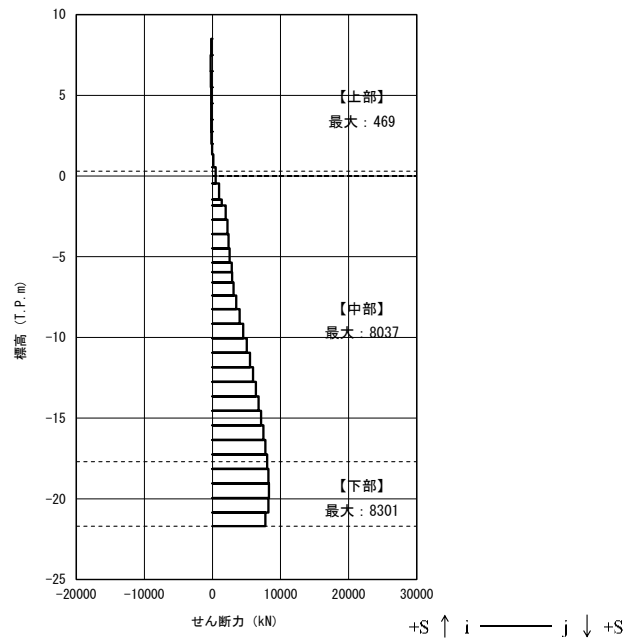


図 3-5 曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (B-B断面, S s-D (+-), t=11.99s) (解析ケース②)



せん断力図

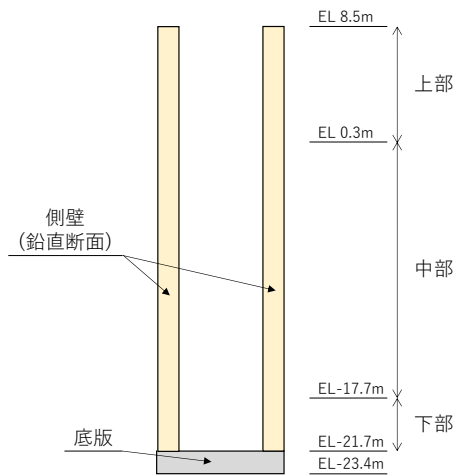
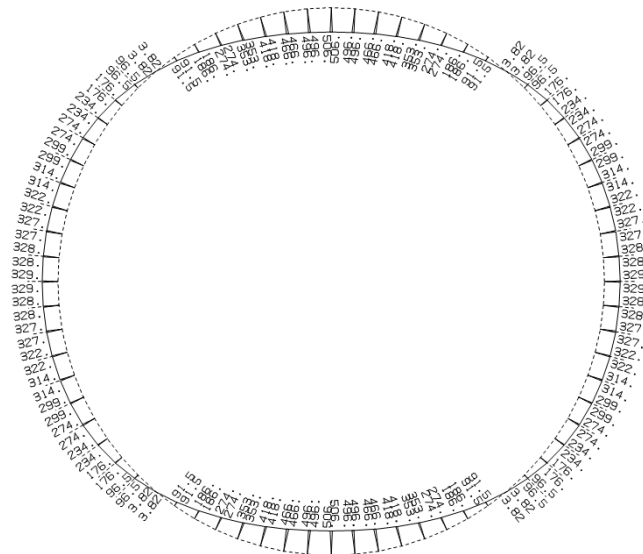


図 3-6 せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
(B-B断面, S_s-D (+-), t=9.05s) (解析ケース②)

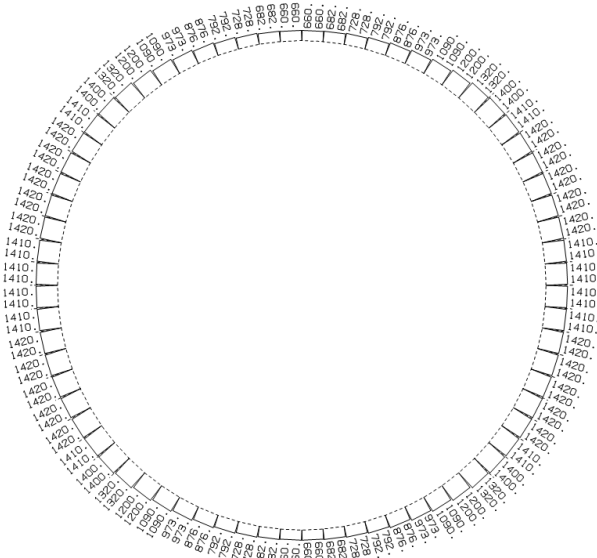
(2) 水平断面の構造部材の健全性評価

水平断面については，地震応答解析結果より，各部材の照査値が最も厳しい荷重条件を抽出して2次元静的フレーム解析を実施し，発生応力が許容限界以下であることを確認する。

水平断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図3-7に，せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図3-8に示す。

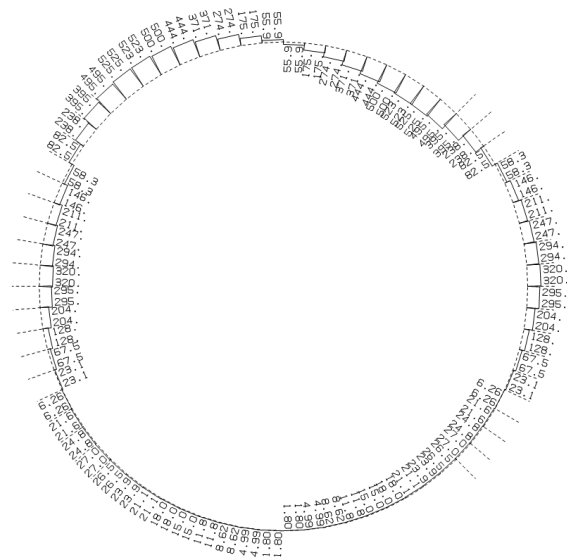


曲げモーメント (kN・m/m)



軸力 (kN/m)

図3-7 水平断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
(中部, S s - N 1 (++) , t=7.59s)



せん断力 (kN/m)

図 3-8 水平断面のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
(上部, S s - D (+ -), t=30.70s)

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

接地圧が許容限界に対して最も厳しくなる解析ケースにおいて、基礎地盤に生じる最大接地圧分布を図 3-9 に示す。

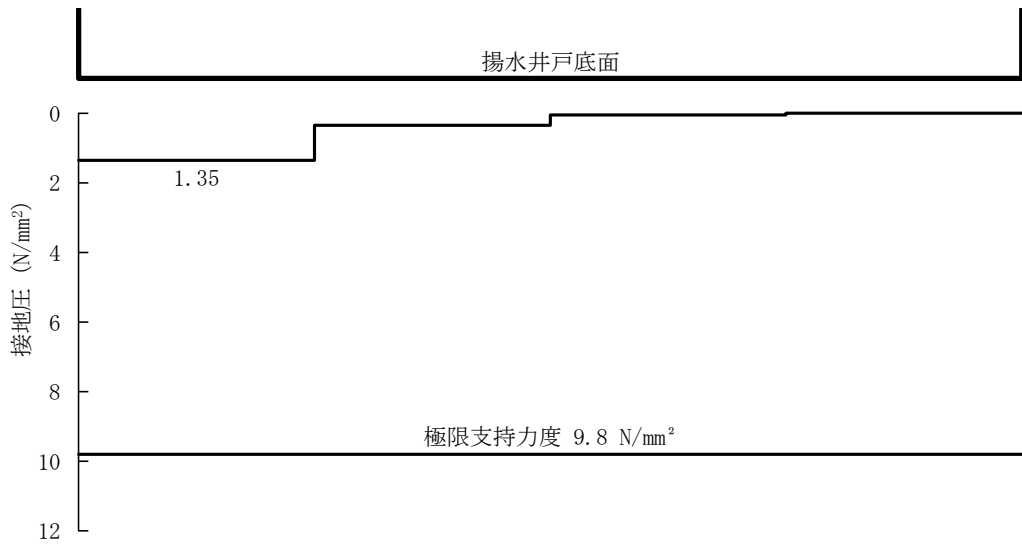


図 3-9 (1) A-A 断面における最大接地圧分布図
(S s - N 1 (-+), 7.60s)

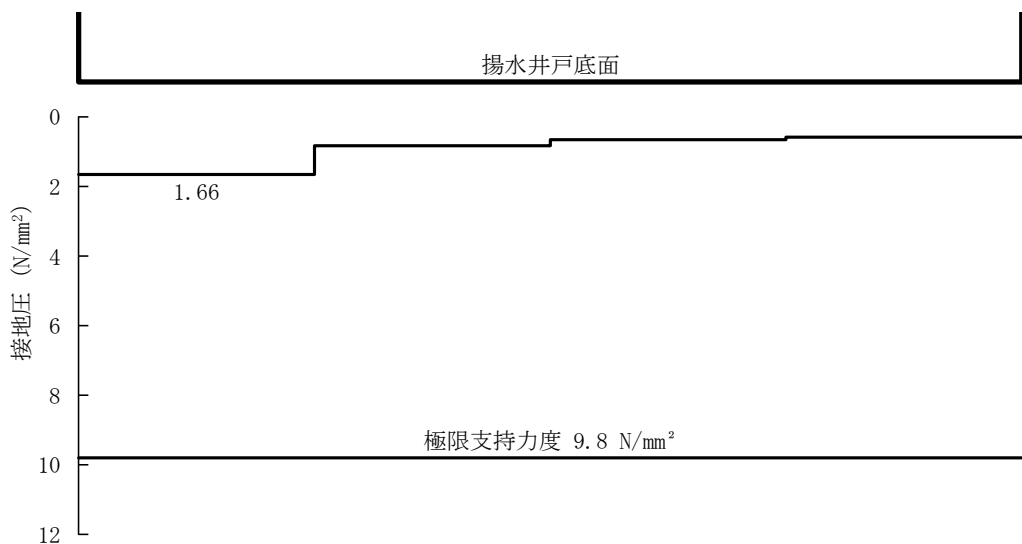


図 3-9 (2) B-B 断面における最大接地圧分布図
(S s - D (-+), 28.1s)

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

4.1.1 鉛直断面に対する評価結果

(1) 2次元有効応力解析に対する健全性評価

2次元有効応力解析により得られるコンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表4-1に、鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表4-2に、せん断力に対する評価結果を表4-3に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の鉛直断面の構造部材における発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表4-1(1) コンクリートの曲げ軸力照査値結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震 動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-D (-, +) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29×60本(外側) D29×60本(内側) | 21216 | 3124 | 3.4 | 19.2 | 0.18 |
| ① | Ss-D (+, +) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35×60本(外側) D35×60本(内側) | 18066 | 8395 | 2.1 | 19.2 | 0.11 |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D41×60本(外側) D41×60本(内側) | 22769 | 14463 | 2.4 | 19.2 | 0.13 |

注記*：曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表4-1(2) コンクリートの曲げ軸力照査値結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震 動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-N1 (-, +) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29×60本(外側) D29×60本(内側) | 26377 | 4755 | 4.1 | 19.2 | 0.22 |
| ② | Ss-D (-, -) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35×60本(外側) D35×60本(内側) | 27865 | 7514 | 3.6 | 19.2 | 0.19 |
| ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D41×60本(外側) D41×60本(内側) | 28313 | 7539 | 3.2 | 19.2 | 0.17 |

注記*：曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-2(1) 鉄筋の曲げ軸力照査値結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-D (-, +) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29×60 本(外側) D29×60 本(内側) | 21216 | 3124 | 133.8 | 435 | 0.31 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35×60 本(外側) D35×60 本(内側) | 12519 | 297 | 72.8 | 435 | 0.17 |
| ① | Ss-D (+, -) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D41×60 本(外側) D41×60 本(内側) | 20273 | 9091 | 26.8 | 435 | 0.07 |

注記* : 曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-2(2) 鉄筋の曲げ軸力照査値結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-D (+, -) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29×60 本(外側) D29×60 本(内側) | 20378 | 120 | 176.2 | 435 | 0.41 |
| ② | Ss-N1 (+, +) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35×60 本(外側) D35×60 本(内側) | 20335 | 2826 | 92.6 | 435 | 0.22 |
| ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D41×60 本(外側) D41×60 本(内側) | 28313 | 7539 | 70.2 | 435 | 0.17 |

注記* : 曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して $\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表 4-3(1) 鉄筋コンクリートのせん断力照査値結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN) | 短期許容 せん断力 V _a (kN) | 照査値 V/V _a |
|-----------|----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ① | Ss-D (+, +) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29@200(2段) | 6584 | 17393 | 0.38 |
| ① | Ss-D (-, -) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35@200(2段) | 9154 | 24563 | 0.38 |
| ① | Ss-D (-, -) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D38@200(2段) | 11581 | 28748 | 0.41 |

表 4-3(2) 鉄筋コンクリートのせん断力照査値結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN) | 短期許容 せん断力 V _a (kN) | 照査値 V/V _a |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ② | Ss-N1 (-, +) | 上部 | 1772 | 4874 | 4463 | D29@200(2段) | 3811 | 17393 | 0.22 |
| ② | Ss-D (+, -) | 中部 | 1772 | 4874 | 4463 | D35@200(2段) | 8037 | 24563 | 0.33 |
| ② | Ss-D (+, -) | 下部 | 1772 | 4874 | 4463 | D38@200(2段) | 8301 | 28748 | 0.29 |

(2) 側壁と底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した耐震評価

A-A断面，B-B断面それぞれで最大の照査値を示す評価位置，解析ケース及び基準地震動での評価結果を示す。表4-4に鉛直断面の評価結果を示す。

以上より，揚水井戸の鉛直断面の構造部材における発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表4-4(1) 鉛直断面のコンクリートの曲げ軸力に対する評価結果

| 断面 | 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} | |
|-------|-------|-----------------|------|---------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|------|
| | | | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | | |
| A-A断面 | ① | Ss-N1 (-, +) | 下部 | 全応力解析 | σ_{v1}' | 1772 | 4874 | 4463 | SD490 | 22769 | 14463 | 2.4 | 19.2 | 0.13 |
| | | | | 拘束効果 による曲げ | σ_{v2} | 1000 | 1000 | 800 | | 564 | 0 | 5.0 | 19.2 | 0.27 |
| | | | | 合計 | $\sigma_{v1}'+\sigma_{v2}$ | - | - | - | | - | - | 7.4 | 19.2 | 0.39 |
| B-B断面 | ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 有効応力解析 | σ_{v1}' | 1772 | 4874 | 4463 | SD490 | 28313 | 7539 | 3.2 | 19.2 | 0.17 |
| | | | | 拘束効果 による曲げ | σ_{v2} | 1000 | 1000 | 800 | | 557 | 0 | 5.0 | 19.2 | 0.27 |
| | | | | 合計 | $\sigma_{v1}'+\sigma_{v2}$ | - | - | - | | - | - | 8.2 | 19.2 | 0.43 |

注記*：全応力解析及び有効応力解析による曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して

$\sqrt{2}$ 倍した値を記載

表4-4(2) 鉛直断面の鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果

| 断面 | 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 引張 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} | |
|-------|-------|----------------|------|---------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------------|------------|---|--|---------------------------------|------|
| | | | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント* (kN・m) | 軸力 (kN) | | | | |
| A-A断面 | ① | Ss-D (+, -) | 下部 | 全応力解析 | σ_{v1}' | 1772 | 4874 | 4463 | SD490 | 20273 | 9091 | 26.8 | 435 | 0.07 |
| | | | | 拘束効果 による曲げ | σ_{v2} | 1000 | 1000 | 800 | | 463 | 0 | 117.6 | 435 | 0.28 |
| | | | | 合計 | $\sigma_{v1}'+\sigma_{v2}$ | - | - | - | | - | - | 144.4 | 435 | 0.34 |
| B-B断面 | ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 有効応力解析 | σ_{v1}' | 1772 | 4874 | 4463 | SD490 | 28313 | 7539 | 70.2 | 435 | 0.17 |
| | | | | 拘束効果 による曲げ | σ_{v2} | 1000 | 1000 | 800 | | 557 | 0 | 141.5 | 435 | 0.33 |
| | | | | 合計 | $\sigma_{v1}'+\sigma_{v2}$ | - | - | - | | - | - | 211.7 | 435 | 0.49 |

注記*：全応力解析及び有効応力解析による曲げモーメントは直交する方向にも同時に作用するものと仮定して

$\sqrt{2}$ 倍した値を記載

4.1.2 水平断面に対する耐震評価結果

(1) 2次元静的フレーム解析に対する健全性評価

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表4-5に、鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表4-6に、鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果を表4-7に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の水平断面の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表4-5(1) 水平断面のコンクリートの曲げ軸力照査結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-D (+, -) | 上部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D29@200 (2段) | 483 | 975 | 5.0 | 19.2 | 0.27 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D35@200 (2段) | 506 | 660 | 4.8 | 19.2 | 0.25 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 下部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D38@200 (2段) | 430 | 1026 | 3.7 | 19.2 | 0.20 |

表4-5(2) 水平断面のコンクリートの曲げ軸力照査結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-D (+, +) | 上部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D29@200 (2段) | 455 | 926 | 4.7 | 19.2 | 0.25 |
| ② | Ss-N1 (-, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D35@200 (2段) | 430 | 531 | 4.1 | 19.2 | 0.22 |
| ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D38@200 (2段) | 327 | 808 | 2.8 | 19.2 | 0.15 |

表4-6(1) 水平断面の鉄筋の曲げ軸力照査結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-D (+, -) | 上部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D29@200 (2段) | 483 | 975 | 66.6 | 294 | 0.23 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D35@200 (2段) | 506 | 660 | 83.5 | 294 | 0.29 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 下部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D38@200 (2段) | 430 | 1026 | 28.8 | 294 | 0.10 |

表 4-6(2) 水平断面の鉄筋の曲げ軸力照査結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-D (+, +) | 上部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D29@200 (2段) | 455 | 926 | 61.8 | 294 | 0.22 |
| ② | Ss-N1 (-, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D35@200 (2段) | 430 | 531 | 73.8 | 294 | 0.26 |
| ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D38@200 (2段) | 327 | 808 | 20.4 | 294 | 0.07 |

表 4-7(1) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力照査結果 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ① | Ss-D (+, -) | 上部 | 片押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D22@236@400 | 525 | 1116 | 0.48 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D22@236@400 | 488 | 1116 | 0.44 |
| ① | Ss-N1 (+, +) | 下部 | 片押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D25@236@400 | 454 | 1375 | 0.34 |

表 4-7(2) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力照査結果 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 決定ケース | | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|-----------|-----------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | 荷重 方法 | 常時 土水圧 | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ② | Ss-D (+, +) | 上部 | 片押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D22@236@400 | 494 | 1116 | 0.45 |
| ② | Ss-N1 (-, +) | 中部 | 両押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D22@236@400 | 415 | 1116 | 0.38 |
| ② | Ss-D (-, -) | 下部 | 片押し | 最小 | 1000 | 1000 | 800 | D25@236@400 | 344 | 1375 | 0.26 |

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する耐震評価結果

揚水井戸の水平鉄筋については、直交する 2 断面の 2 次元地震応答解析による側壁の面内方向のせん断力に対する必要せん断補強筋量 (A_{s1}) と面外方向の地震時最大地盤反力に対する必要鉄筋量 (A_{s2}) をそれぞれ算定し、足し合わせた合計必要鉄筋量以上が実配筋量として配置されていることを確認した。

A-A 断面、B-B 断面それぞれで地震時最大地盤反力が生じる評価位置、解析ケース及び基準地震動での必要鉄筋量と実配筋量との比率を表 4-8 に示す。

表 4-8(1) 鉛直断面のせん断力に対する評価結果 (A_{s1})

鉛直断面モデルによる側壁の面内方向のせん断力に対する鉄筋量 (A-A 断面)

(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s1} のみを考慮)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | 発生せん断力 V (kN) | 腹部幅 b (mm) | 有効高 d (mm) | コンクリート許容せん断応力度 τ_{a1} (N/mm ²) | コンクリート許容せん断力 V_{ca} (kN) | せん断補強筋が負担するせん断力 V_{sreq} (kN) | 必要せん断補強鉄筋 | |
|-------|-------------|------|---------------|------------|------------|---|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | A_{wreq} (mm ² /組) | A_{s1} (mm ² /m) |
| ① | Ss-D (+, +) | 上部 | 6584 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 3850 | 675 | 844 |
| ① | Ss-D (-, -) | 中部 | 9154 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 6420 | 1125 | 1406 |
| ① | Ss-D (-, -) | 下部 | 11581 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 8847 | 1551 | 1939 |

表 4-8(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価結果 (A_{s1})

鉛直断面モデルによる側壁の面内方向のせん断力に対する鉄筋量 (B-B 断面)

(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s1} のみを考慮)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | 発生せん断力 V (kN) | 腹部幅 b (mm) | 有効高 d (mm) | コンクリート許容せん断応力度 τ_{a1} (N/mm ²) | コンクリート許容せん断力 V_{ca} (kN) | せん断補強筋が負担するせん断力 V_{sreq} (kN) | 必要せん断補強鉄筋 | |
|-------|--------------|------|---------------|------------|------------|---|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | | | A_{wreq} (mm ² /組) | A_{s1} (mm ² /m) |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 上部 | 3811 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 1077 | 189 | 236 |
| ① | Ss-D (+, -) | 中部 | 8037 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 5303 | 930 | 1163 |
| ① | Ss-D (+, -) | 下部 | 8301 | 1772 | 4463 | 0.795 | 2734 | 5567 | 976 | 1220 |

表 4-8(3) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果 (A_{s2})

側壁の面外方向の地震時最大地盤反力に対して水平輪切り断面モデルで算定する曲げ軸力に対する鉄筋量 (A-A断面)
(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s2} のみを考慮)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | 断面性状 | | | 鉄筋種別 | 発生断面力 | | 短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 必要鉄筋量 A_{s2} (mm ² /m) |
|-------|----------------|------|---------------|---------------|---------------|-------|-------------------------|--------------|--|---|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | | |
| ① | Ss-D (+, +) | 上部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 462 | 935 | 294 | 669 |
| ① | Ss-D (-, -) | 中部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 445 | 600 | 294 | 1793 |
| ① | Ss-D (-, -) | 下部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 416 | 1000 | 294 | 0 |

表 4-8(4) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果 (A_{s2})

側壁の面外方向の地震時最大地盤反力に対して水平輪切り断面モデルで算定する曲げ軸力に対する鉄筋量 (B-B断面)
(側壁の面内方向の鉄筋のうち、 A_{s2} のみを考慮)

| 解析ケース | 地震動 | 評価位置 | 断面性状 | | | 鉄筋種別 | 発生断面力 | | 短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 必要鉄筋量 A_{s2} (mm ² /m) |
|-------|-----------------|------|---------------|---------------|---------------|-------|-------------------------|--------------|--|---|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | | |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 上部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 231 | 486 | 294 | 156 |
| ① | Ss-D (+, -) | 中部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 381 | 483 | 294 | 1615 |
| ① | Ss-D (+, -) | 下部 | 1000 | 1000 | 800 | SD345 | 261 | 688 | 294 | 0 |

表 4-9(1) A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた
必要合計鉄筋量と実配筋量との比率 (A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価位置 | 鉛直断面の せん断力 に対する 必要鉄筋量 A_{s1} ($\text{mm}^2/\text{m}/\text{段}$) | 水平断面の 曲げ軸力 に対する 必要鉄筋量 A_{s2} (mm^2/m) | [1] 合計必要 鉄筋量 $A_{s1}+A_{s2}$ (mm^2/m) | [2] 実配筋量 A_s (mm^2/m) | 比率 [1]/[2] |
|-----------|----------------|------|---|--|---|--|---------------|
| ① | SS-D (+, +) | 上部 | 844 | 669 | 1513 | 3212 | 0.48 |
| ① | SS-D (-, -) | 中部 | 1406 | 1793 | 3199 | 4783 | 0.67 |
| ① | SS-D (-, -) | 下部 | 1939 | 0 | 1939 | 5700 | 0.35 |

表 4-9(2) A_{s1} の必要鉄筋量と A_{s2} の必要鉄筋量を足し合わせた
必要合計鉄筋量と実配筋量との比率 (B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価位置 | 鉛直断面の せん断力 に対する 必要鉄筋量 A_{s1} ($\text{mm}^2/\text{m}/\text{段}$) | 水平断面の 曲げ軸力 に対する 必要鉄筋量 A_{s2} (mm^2/m) | [1] 合計必要 鉄筋量 $A_{s1}+A_{s2}$ (mm^2/m) | [2] 実配筋量 A_s (mm^2/m) | 比率 [1]/[2] |
|-----------|-----------------|------|---|--|---|--|---------------|
| ② | SS-N1 (-, +) | 上部 | 236 | 156 | 392 | 3212 | 0.13 |
| ② | SS-D (+, -) | 中部 | 1163 | 1615 | 2778 | 4783 | 0.59 |
| ② | SS-D (+, -) | 下部 | 1220 | 0 | 1220 | 5700 | 0.22 |

4.1.3 底版に対する耐震評価結果

コンクリートの曲げ軸力照査結果を表 4-10 に、鉄筋の曲げ軸力照査結果を表 4-11 に、鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果を表 4-12 に示す。なお、発生応力は各地震動、各部材において最大となる値を示している。

以上より、揚水井戸の底版の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-10(1) コンクリートの曲げ軸力照査結果(A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|-----------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D38@200(2段) | 1417 | 0 | 4.4 | 19.2 | 0.23 |

表 4-10(2) コンクリートの曲げ軸力照査結果(B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_c (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 照査値 σ_c / σ_{ca} |
|-----------|----------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-D (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D38@200(2段) | 1886 | 0 | 5.8 | 19.2 | 0.31 |

表 4-11(1) 鉄筋の曲げ軸力照査結果(A-A断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|-----------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D38@200(2段) | 1417 | 0 | 183.3 | 435 | 0.43 |

表 4-11(2) 鉄筋の曲げ軸力照査結果(B-B断面)

| 解析 ケース | 地震動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (引張鉄筋) | 発生断面力 | | 発生 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|----------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|------------|---|--|---------------------------------|
| | | | 部材幅 b (mm) | 部材高 h (mm) | 有効高 d (mm) | | 曲げ モーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | | | |
| ② | Ss-D (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D38@200(2段) | 1886 | 0 | 243.9 | 435 | 0.57 |

表 4-12(1) 鉄筋コンクリートのせん断力照査結果(A-A断面)

| 解析 ケース | 地震 動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|-----------|-----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ① | Ss-N1 (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D22@200@400 | 1054 | 2374 | 0.45 |

表 4-12(2) 鉄筋コンクリートのせん断力照査結果(B-B断面)

| 解析 ケース | 地震 動 | 評価 位置 | 断面形状 | | | 鉄筋仕様 (せん断補強筋) | 発生 せん断力 V(kN/m) | 短期許容 せん断力 V _a (kN/m) | 照査値 V/V _a |
|-----------|----------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | | | 部材幅 b(mm) | 部材高 h(mm) | 有効高 d(mm) | | | | |
| ② | Ss-D (-, +) | 底版 | 1000 | 1700 | 1500 | D22@200@400 | 1403 | 2374 | 0.60 |

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-13 に示す。

揚水井戸の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-13(1) 基礎地盤の支持性能評価結果(A-A断面)

| 解析ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力度 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ① | Ss-N1 (-, +) | 1.35 | 9.8 | 0.14 |

表 4-13(2) 基礎地盤の支持性能評価結果(B-B断面)

| 解析ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力度 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ② | Ss-D (-, +) | 1.66 | 9.8 | 0.17 |

VI-2-別添 4-4 地下水位低下設備に係る施設の水平 2 方向及び
鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

目 次

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 機器・配管系の影響評価 | 1 |
| 2.1 基本方針 | 1 |
| 2.2 評価条件及び評価方法 | 1 |
| 2.3 評価結果 | 4 |
| 2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出 | 4 |
| 2.3.2 土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出 | 4 |
| 2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 | 4 |
| 2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 | 5 |
| 2.3.5 まとめ | 5 |
| 3. 土木構造物の影響評価 | 12 |
| 3.1 基本方針 | 12 |
| 3.2 評価条件及び評価方法 | 12 |
| 3.3 評価結果 | 12 |
| 3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出 | 12 |
| 3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 | 13 |
| 3.3.3 まとめ | 13 |

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」の「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に基づき、地下水位低下設備に係る施設について、基準地震動 S_s による地震力に対して、耐震性を有することを確認しているため、水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 機器・配管系の影響評価

2.1 基本方針

地下水位低下設備に係る施設に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図 2-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

地下水位低下設備に係る施設のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持を確認する設備を評価対象とする。（図 2-1①）

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（図 2-1②）

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される

設備を抽出する。

また、土木構造物の検討において、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。（図 2-1③）

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3) 発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。（図 2-1④）

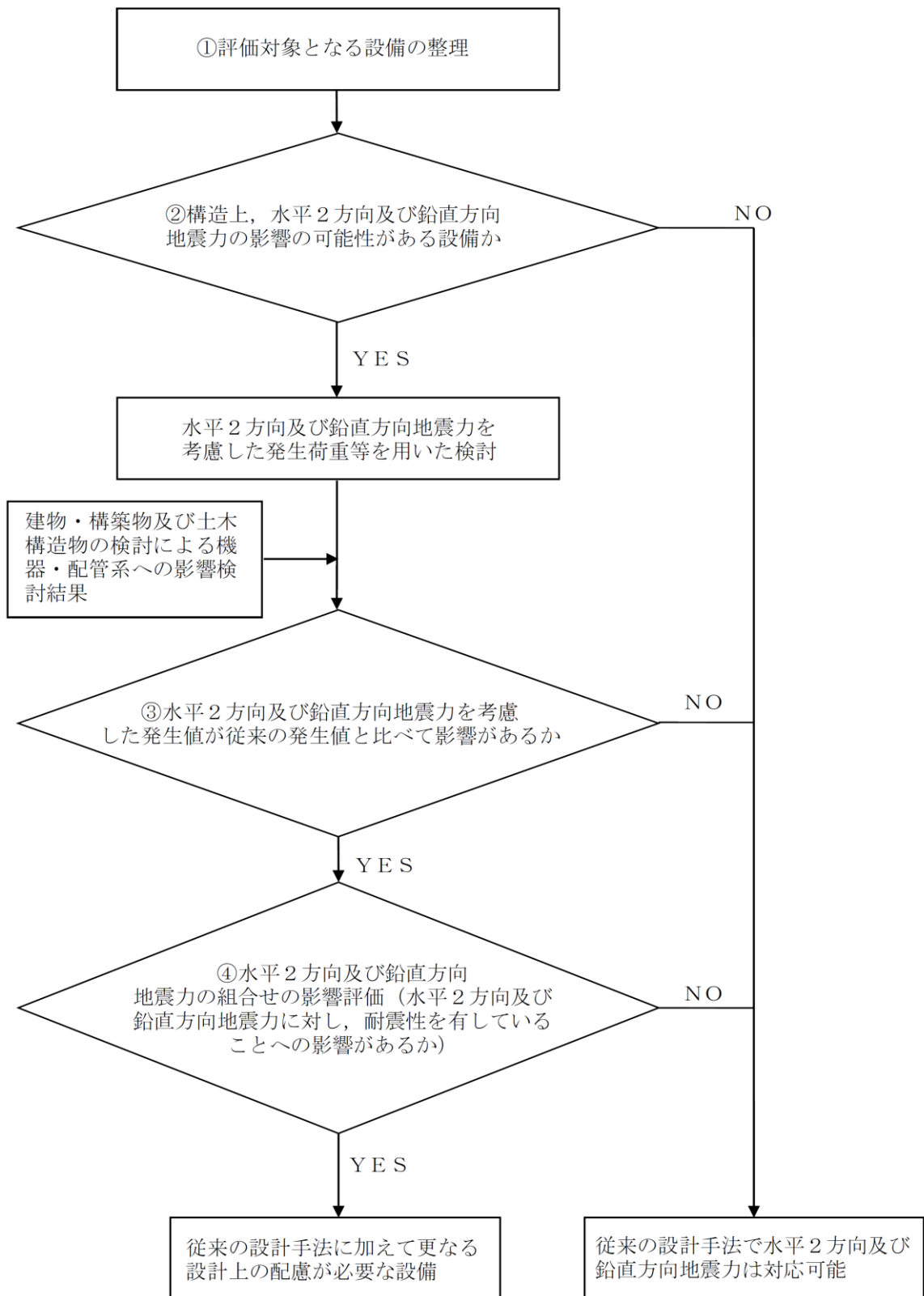


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

2.3 評価結果

2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

地下水位低下設備に係る施設の評価対象設備を表2-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性のある設備を抽出した。抽出結果を表2-2に示す。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、更に水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

2.3.2 土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.3.2項における土木構造物の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される設備は抽出されなかった。

また、VI-2-12「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す原子炉建物の検討において、地下水位低下設備制御盤への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表2-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定し

た発生値を，VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して，設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表2-3に示す。

2.3.5 まとめ

地下水位低下設備に係る施設について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも地下水位低下設備に係る施設が有する耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表2-1 水平2方向入力の影響検討対象設備

| 設備名称 | 評価対象部位 |
|-------|-----------------------------------|
| 揚水ポンプ | 鉛直用サポート取付ボルト・水平用サポート取付ボルト・溶接部・ポンプ |
| 配管 | 配管本体・サポート |
| 水位計 | 基礎ボルト・水位計 |
| 制御盤 | 基礎ボルト・取付ボルト・制御盤 |

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(1/5)

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | 抽出結果 |
|-------|--|--|--|---|
| | 2.3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点（以下「重畳の観点」という。） ○：影響あり △：影響軽微 | 2.3.1(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（以下「ねじれ振動等の観点」という。） ×：発生しない ○：発生する | 2.3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点（以下「増分の観点」という。） ○：影響あり －：該当なし | |
| 揚水ポンプ | △ (鉛直用サポータ取付ボルト) 一次応力 (引張) | × | － | 水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても 1 方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。 |
| | △ (鉛直用サポータ取付ボルト) 一次応力 (せん断) | × | － | 水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても 1 方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。 |

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(2/5)

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | | 抽出結果 |
|-------|--|---|--|--|---|
| | 2.3.1(1) 重畳の観 点 ○：影響あり △：影響軽微 | 2.3.1(2) ねじれ振 動等の観点 ×：発生しない ○：発生する | 2.3.1(3) 増分の観 点 ○：影響あり －：該当なし | | |
| 揚水ポンプ | △ (水平用サポート 取付ボルト) 一次応力 (引張) | × | － | | 水平用サポート取付ボルトは鉛直地震力のみにより引張力が発生するため、水平 2 方向入力の影響はない。 |
| | △ (水平用サポート 取付ボルト) 一次応力 (せん断) | × | － | | 水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても 1 方向の地震による応力と同等といえるため、影響は軽微となる。 |
| | △ (溶接部) 一次応力 (引張) | × | － | | 矩形配置の溶接部であるため、ボルトと同様に水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定すると、水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより影響は軽微となる。 |
| | △ (溶接部) 一次応力 (せん断) | × | － | | ボルトと同様に水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。 |

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/5)

(1) 構造強度評価

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | 抽出結果 |
|------|------------------------------------|---|----------------|--|
| | 2.3.1(1) 重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微 | 2.3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する | 2.3.1(3) 増分の観点 | |
| 配管 | △ (配管本体, サポート) 一次応力 | ○ | — | 配管系は, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。配管系は, 3 次元モデルを用いた解析により, ねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため, 水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。 |
| | △ (配管本体, サポート) 一次+二次応力 | ○ | — | 配管系は, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。配管系は, 3 次元モデルを用いた解析により, ねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため, 水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。 |
| 水位計 | ○ (基礎ボルト) 一次応力 (引張) | × | ○ | 評価結果は表 2-3 参照 |
| | △ (基礎ボルト) 一次応力 (せん断) | × | — | 壁掛けのボルトは, 壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため, 水平 2 方向入力の影響はない。 |

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果(4/5)

(1) 構造強度評価

| 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | | 抽出結果 |
|-------------------------|---|---|---|--|
| 設備名称 | 2.3.1(1) 重畳の観点 点 ○：影響あり △：影響軽微 | 2.3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する | 2.3.1(3) 増分の観点 点 ○：影響あり －：該当なし | |
| 制御盤 | △ (基礎ボルト, 取付ボルト) 一次応力 (引張) | × | － | ボルトは矩形配置であり, 水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても 1 方向の地震による応力と同等といえるため, 影響は軽微となる。 |
| | △ (基礎ボルト, 取付ボルト) 一次応力 (せん断) | × | － | 水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても 1 方向の地震による応力と同等といえるため, 影響は軽微となる。 |

表 2-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (5/5)

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | 抽出結果 |
|-------|---|---|---|--|
| | 2.3.1(1) 重畳の観点 点 ○：影響あり △：影響軽微 | 2.3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する | 2.3.1(3) 増分の観点 点 ○：影響あり －：該当なし | |
| 揚水ポンプ | ○ | × | － | 評価結果は表 2-3 参照 |
| 水位計 | △ | × | － | 各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため、水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。 |
| 制御盤 | △ | × | － | 制御盤に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に 1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全ては、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。 |

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果(1/2)

(1) 構造強度評価

(単位：MPa)

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | | | |
|------|-------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----|----|
| | 評価部位 | 応力分類 | 1 方向入力 発生値*1 | 2 方向想定 発生値*2 | 許容値 | 判定 |
| 水位計 | 基礎ボルト | 一次応力 (引張) | | | 122 | ○ |

注記*1：基準地震動 S_s による地震力において発生する応力値を記載している。

*2：「1 方向入力発生値」に対して、 $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

表 2-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果(2/2)

(2) 機能維持評価

(単位： $\times 9.8m/s^2$)

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | 判定 |
|-------|-------------------------|-----------------|--------------|----|
| | 1 方向入力 加速度*1 | 2 方向想定 加速度*2 | 機能確認済 加速度 | |
| 揚水ポンプ | 1.00 | 1.42 | | ○ |

注記*1：基準地震動 S_s による加速度を記載している。

*2：「1 方向入力加速度」に対して、 $\sqrt{2}$ を乗じた値を記載している。

3. 土木構造物の影響評価

3.1 基本方針

地下水位低下設備に係る施設に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.3 屋外重要土木構造物等」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性への影響を評価する。

3.2 評価条件及び評価方法

基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、設備の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、影響を評価する。

3.3 評価結果

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある設備を抽出する。抽出した設備を表3-1に示す。

表3-1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある設備

| 設備 | 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響 | 影響評価の必要性 |
|------|--|----------|
| 揚水井戸 | 円筒状の揚水井戸の側壁については、直交する水平2方向の地震力により、応力が集中作用することにより水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける。 | 要 |
| ドレーン | 原子炉建物等の基礎底盤以深の岩盤を削孔した空隙内に設置しており、岩盤とドレーン間の空隙内に砂があると仮定し、鉛直土圧を考慮しているが、水平土圧は鉛直土圧を打ち消すため保守的に考慮していない。 したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受けない。 | 不要 |

3.3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

揚水井戸の側壁については、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した設計を実施しており、具体的な内容については、VI-2-別添 4-3-5「揚水井戸の耐震性についての計算書」に示す。

また、土木構造物の影響評価において、機器・配管系への影響がある部位として揚水井戸が抽出されたが、揚水井戸に支持される設備（揚水ポンプ、配管、水位計）は 2.3 項に示す通り評価結果に十分な裕度を有しており耐震評価に影響がないことを確認した。

3.3.3 まとめ

地下水位低下設備の土木構造物について、水平 2 方向及び鉛直方向の組合せを考慮した評価を行い、全ての評価対象部位で、許容値以下となることを確認した。

VI-2-別添 5 代替淡水源を監視するための設備の
耐震性に関する説明書

VI-2-別添 5-1 代替淡水源を監視するための設備の耐震計算の方針

目 次

| | |
|------------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 2 |
| 2.1 評価方針 | 2 |
| 2.2 評価対象設備 | 2 |
| 2.3 適用規格・基準等 | 4 |
| 2.4 記号の説明 | 5 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 6 |
| 3. 評価部位 | 7 |
| 4. 固有周期 | 7 |
| 5. 構造強度評価 | 7 |
| 5.1 構造強度評価方法 | 7 |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 7 |
| 5.3 設計用地震力 | 10 |
| 5.4 計算方法 | 10 |
| 6. 機能維持評価 | 13 |

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第 54 条及び第 71 条並びにその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、「11. 原子炉冷却系統施設（蒸気タービンを除く。）の基本設計方針，適用基準及び適用規格」にて耐震性を有する設計とした構内監視カメラ（ガスタービン発電機建物屋上）（以下「構内監視カメラ」という。）が，基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

なお，構内監視カメラへの基準地震動 S_s による地震力に対する耐震性の要求は，技術基準規則の第 5 条及び第 50 条の対象ではない。

代替淡水源を監視するための設備の計算結果は，VI-2-別添 5-2「代替淡水源を監視するための設備の耐震性についての計算書」に示すとともに，動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する影響評価結果を VI-2-別添 5-3「代替淡水源を監視するための設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

応力評価は、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「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が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、機能維持評価は、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

耐震評価フローを図2-1 に示す。

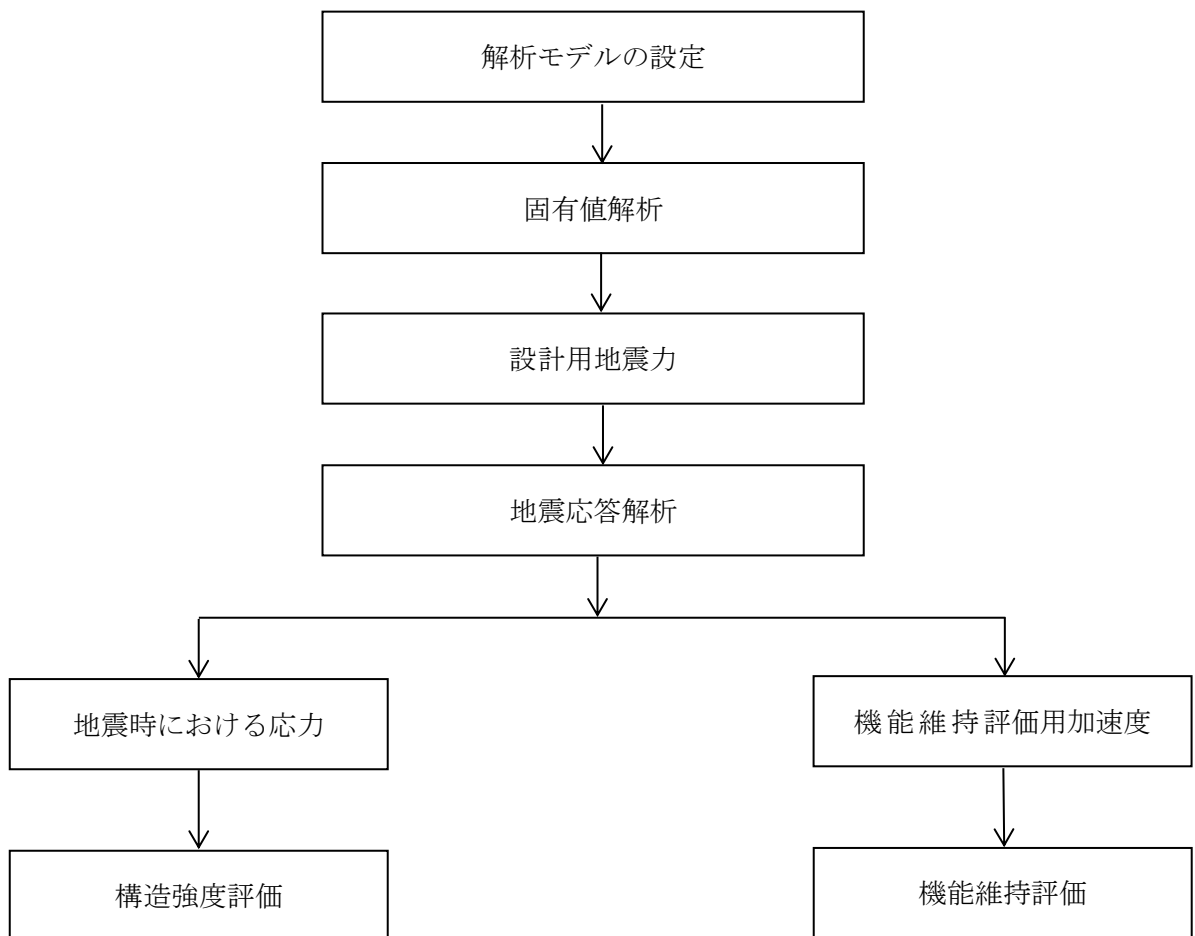


図 2-1 耐震評価フロー

2.2 評価対象設備

評価対象設備は、構内監視カメラを対象とする。

構内監視カメラの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構内監視カメラの構造計画

| 機器名称 | 計画の概要 | | 説明図 |
|---------|---|-------|-------|
| | 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 構内監視カメラ | 監視カメラは、取付ボルトにて監視カメラ架台に固定する。 監視カメラ架台は、基礎ボルトにて基礎に設置する。 | 監視カメラ | 図 2-2 |

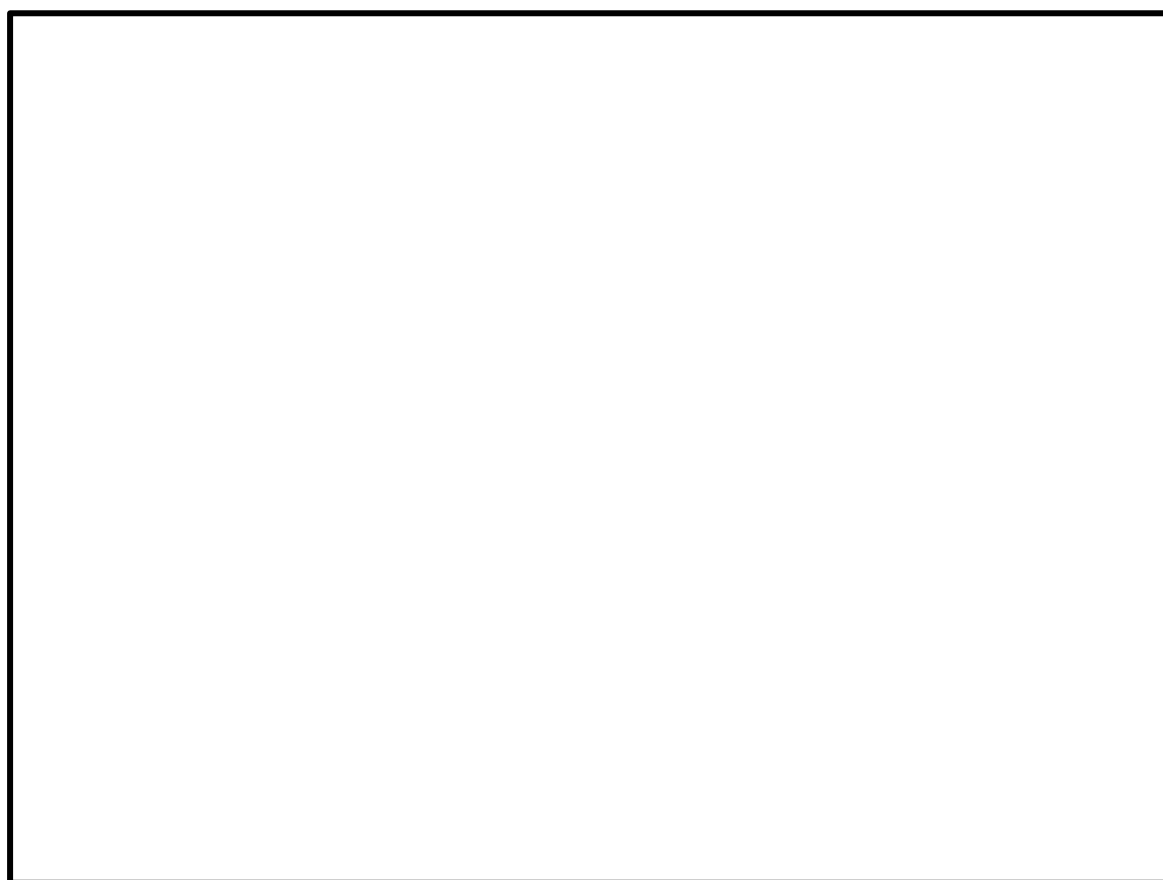


図 2-2 構内監視カメラの概要図

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年度版（2007年追補版を含む））（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

表 2-2 構内監視カメラの応力評価に用いる記号の定義

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---------------|---|------------------|
| A_{bi} | ボルトの軸断面積* ¹ | mm ² |
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| C_V | 鉛直方向設計震度 | — |
| d_i | ボルトの呼び径* ¹ | mm |
| F_i | 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹ | MPa |
| F_i^* | 設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹ | MPa |
| F_{bi} | ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹ | N |
| f_{sbi} | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹ | MPa |
| f_{toi} | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹ | MPa |
| f_{tsi} | 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) * ¹ | MPa |
| g | 重力加速度 (=9.80665) | m/s ² |
| h_i | 据付面又は取付面から重心までの距離* ² | mm |
| l_{1i} | 重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³ | mm |
| l_{2i} | 重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³ | mm |
| m_i | 質量* ² | kg |
| n_i | ボルトの本数* ¹ | — |
| n_{fi} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ | — |
| P_{Ki} | 風荷重* ¹ | N |
| P_{Si} | 積雪荷重* ¹ | N |
| Q_{bi} | ボルトに作用するせん断力* ¹ | N |
| S_{ui} | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹ | MPa |
| S_{yi} | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹ | MPa |
| $S_{yi}(RT)$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹ | MPa |
| π | 円周率 | — |
| σ_{bi} | ボルトに生じる引張応力* ¹ | MPa |
| τ_{bi} | ボルトに生じるせん断応力* ¹ | MPa |

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , P_{Ki} , P_{Si} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2 : h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-3に示すとおりである。

表2-3 構内監視カメラの表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------------------|------------------|----------|------|----------------------|
| 固有周期 | s | 小数点以下第4位 | 四捨五入 | 小数点以下第3位 |
| 震度 | — | 小数点以下第3位 | 切上げ | 小数点以下第2位 |
| 温度 | °C | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位* ¹ |
| 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

代替淡水源を監視するための設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、以下について評価を実施する。

(1) 構内監視カメラ

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

構内監視カメラは、耐震性を有するガスタービン発電機建物にボルトで固定する。

構内監視カメラは、基準地震動 S_s による地震力に対し、主要な構造部位が、代替淡水源を監視する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって、構内監視カメラを固定する基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は、基準地震動 S_s による地震力に対し、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

4. 固有周期

構内監視カメラの固有周期は、三次元FEMモデルによる解析により求める。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

5.1.1 構内監視カメラ

- (1) 構内監視カメラの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は構内監視カメラ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) 構内監視カメラは監視カメラ架台に取付ボルトで固定されており、固定端とする。
また、監視カメラ架台は基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向*は、左右方向及び前後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) 構内監視カメラの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：構内監視カメラの正面を正面より見て左右に転倒する場合を「左右方向転倒」、前方又は後方に転倒する場合を「前後方向転倒」という。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の種類

荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す、機器・配管系の荷重の組合せを用いる。地震と組み合わせるべき荷重としては、積雪荷重及び風荷重が挙げられる。地震と組み合わせる荷重の設定に当たっては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の図3-1 耐震計算における風荷重及び積雪荷重の設定フローに基づき設定する。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表5-1に示す。

5.2.3 許容応力

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

各評価項目の許容限界を表5-2に示す。

5.2.4 ボルト許容引張応力

ボルトの許容引張応力 f_{ts} を次式に示す。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.2.4.1)$$

許容引張応力 f_{to} 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} | $\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$ |

表 5-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

| 施設分類 | 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 |
|------|-------------|--------|--------|---|-------------------------------|
| SA | 構内監視 カメラ | 常設/その他 | —*2 | $D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_S$ *3 | IVAS |
| | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$ | VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。) |

注記*1：「常設/その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-2 構内監視カメラの許容限界

| 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 |
| IVAS | $1.5 \cdot f_t^*$ | $1.5 \cdot f_s^*$ |
| VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。) | | |

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

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

5.3 設計用地震力

地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づく地震力を設定する。

5.4 計算方法

5.4.1 構内監視カメラの計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの構造強度評価

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。計算モデルを図5-1及び図5-2に示す。



図 5-1 計算モデル（前後方向転倒）



図 5-2 計算モデル（左右方向転倒）

(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

$$F_{b1} = \frac{(m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S1}) \cdot \{C_H \cdot h_1 + (C_V - 1) \cdot \ell_{21}\} + P_{K1} \cdot h_1}{n_{f1} \cdot (\ell_{11} + \ell_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(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

$$Q_{b1} = (m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S1}) \cdot C_H + P_{K1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 取付ボルトの構造強度評価

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5-3及び図5-4に示す。



図5-3 計算モデル（前後方向転倒）



図5-4 計算モデル（左右方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4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

$$F_{b2} = \frac{(m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S2}) \cdot \{C_H \cdot h_2 + (C_V - 1) \cdot \ell_{22}\} + P_{K2} \cdot h_2}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付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

$$Q_{b2} = (m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S2}) \cdot C_H + P_{K2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

6. 機能維持評価

構内監視カメラは、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震後の電气的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度を設定する。

機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

VI-2-別添 5-2 代替淡水源を監視するための設備の耐震性についての
計算書

目 次

| | |
|-----------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 構造計画 | 1 |
| 2.2 評価方針 | 3 |
| 2.3 適用規格・基準等 | 4 |
| 2.4 記号の説明 | 5 |
| 2.5 計算精度と数値の丸め方 | 6 |
| 3. 評価部位 | 7 |
| 4. 固有周期 | 7 |
| 4.1 固有値解析方法 | 7 |
| 4.2 解析モデル及び諸元 | 7 |
| 4.3 固有値解析結果 | 8 |
| 5. 構造強度評価 | 10 |
| 5.1 構造強度評価方法 | 10 |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 10 |
| 5.3 設計用地震力 | 14 |
| 5.4 計算方法 | 15 |
| 5.5 計算条件 | 19 |
| 5.6 応力の評価 | 20 |
| 6. 機能維持評価 | 21 |
| 6.1 電氣的機能維持評価方法 | 21 |
| 7. 評価結果 | 22 |
| 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果 | 22 |

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、構内監視カメラ（ガスタービン発電機建物屋上）（以下「構内監視カメラ」という。）が、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

構内監視カメラは、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

構内監視カメラの構造計画を表 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 | |
| 監視カメラは、取付ボルトにて監視カメラ架台に固定する。 監視カメラ架台は、基礎ボルトにて基礎に設置する。 | 監視カメラ | |

2.2 評価方針

構内監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す構内監視カメラの部位を踏まえ「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。また、構内監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

構内監視カメラの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

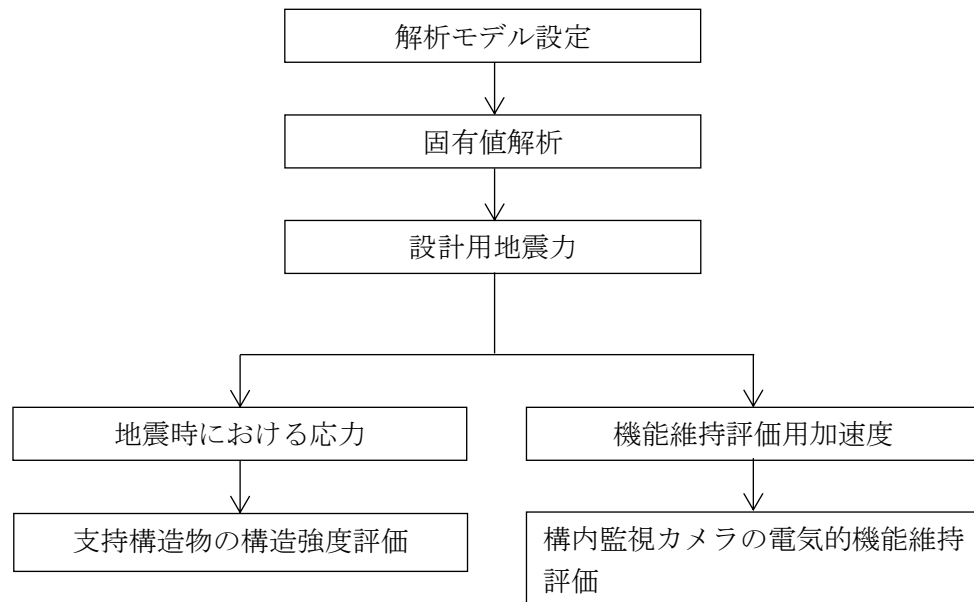


図 2-1 構内監視カメラの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|---------------|---|------------------|
| A_{bi} | ボルトの軸断面積* ¹ | mm ² |
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| C_V | 鉛直方向設計震度 | — |
| d_i | ボルトの呼び径* ¹ | mm |
| F_i | 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹ | MPa |
| F_i^* | 設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹ | MPa |
| F_{bi} | ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹ | N |
| f_{sbi} | せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹ | MPa |
| f_{toi} | 引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹ | MPa |
| f_{tsi} | 引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) * ¹ | MPa |
| g | 重力加速度 (=9.80665) | m/s ² |
| h_i | 据付面又は取付面から重心までの距離* ² | mm |
| l_{1i} | 重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³ | mm |
| l_{2i} | 重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³ | mm |
| m_i | 質量* ² | kg |
| n_i | ボルトの本数* ¹ | — |
| n_{fi} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹ | — |
| P_{Ki} | 風荷重* ¹ | N |
| P_{Si} | 積雪荷重* ¹ | N |
| Q_{bi} | ボルトに作用するせん断力* ¹ | N |
| S_{ui} | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹ | MPa |
| S_{yi} | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹ | MPa |
| $S_{yi}(RT)$ | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹ | MPa |
| π | 円周率 | — |
| σ_{bi} | ボルトに生じる引張応力* ¹ | MPa |
| τ_{bi} | ボルトに生じるせん断応力* ¹ | MPa |

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , P_{Ki} , P_{Si} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: 取付面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------------------|------------------|------------|------|------------------------|
| 固有周期 | s | 小数点以下第 4 位 | 四捨五入 | 小数点以下第 3 位 |
| 震度 | — | 小数点以下第 3 位 | 切上げ | 小数点以下第 2 位 |
| 温度 | ℃ | — | — | 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

構内監視カメラの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

構内監視カメラ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 固有値解析方法

構内監視カメラの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 構内監視カメラは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元 FEM モデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

構内監視カメラの解析モデルを図 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【構内監視カメラ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) 構内監視カメラははり要素でモデル化し、リブはシェル要素でモデル化する。

(2)

(3)

- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

- (5) 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。

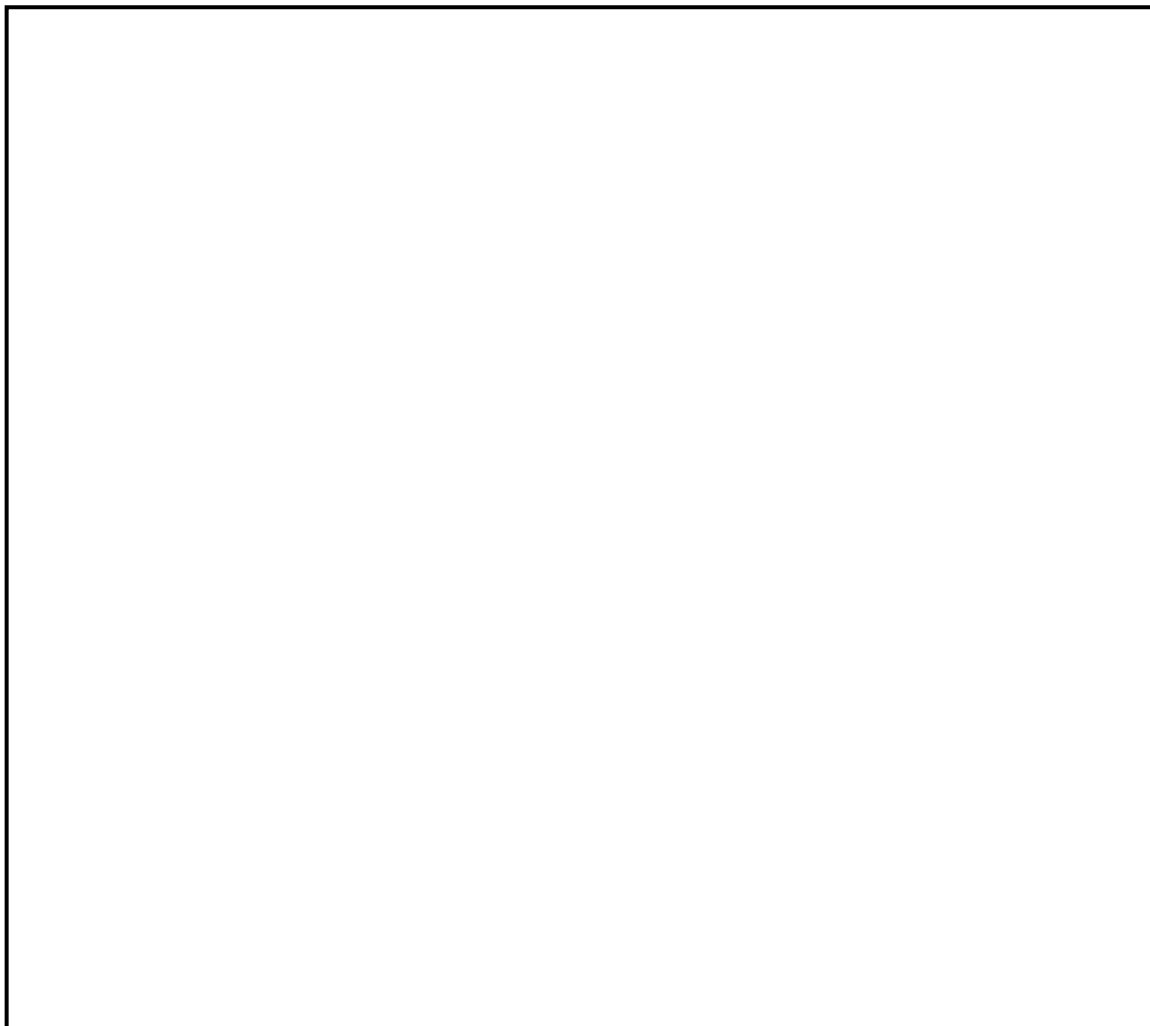


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 4-1, 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 4-1 固有値解析結果

| モード | 卓越方向 | 固有周期(s) | 水平方向刺激係数 | | 鉛直方向刺激係数 |
|-----|------|----------------------|----------|-----|----------|
| | | | X方向 | Z方向 | |
| 1次 | 水平 | <input type="text"/> | — | — | — |

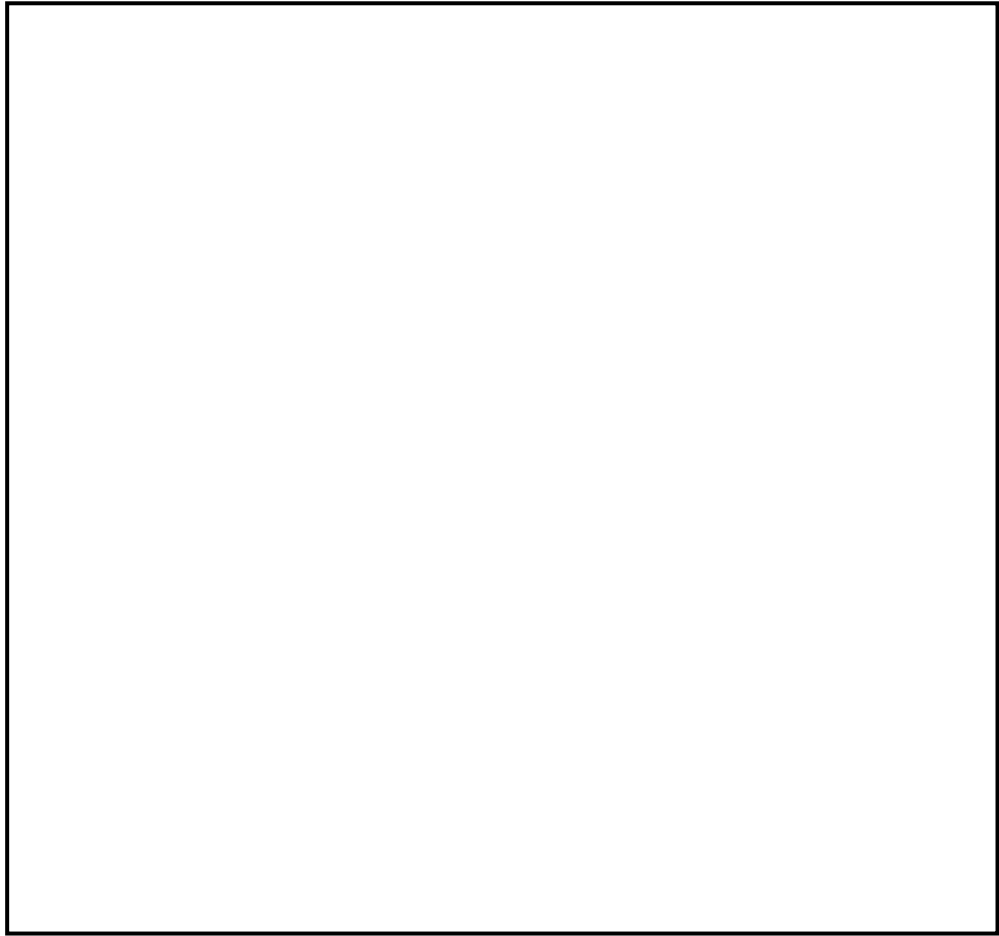


図 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 構内監視カメラの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は構内監視カメラに対して、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) 構内監視カメラは監視カメラ架台に取付ボルトで固定されており、固定端とする。
また、監視カメラ架台は基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向*は、左右方向及び前後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) 構内監視カメラの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：構内監視カメラの正面を正面より見て左右に転倒する場合を「左右方向転倒」、前方又は後方に転倒する場合を「前後方向転倒」という。

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

構内監視カメラ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

構内監視カメラの許容応力は、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

構内監視カメラ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。

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、構内監視カメラの形状、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 5-4 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、構内監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した積雪荷重を表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

| 施設区分 | | 機器名称 | 設備分類*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|---------------|---|---------|--------|--------|--|--------|
| 原子炉冷却系 統施設 | 非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備 | 構内監視カメラ | 常設/その他 | —*2 | $D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_s^{*3}$ | IVAS |
| | $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s + P_K + P_s$ | | | | VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。) | |

注記*1：「常設/その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の常設重大事故等対処設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

| 許容応力状態 | 許容限界*1, *2 (ボルト等) | |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | 一次応力 | |
| | 引張 | せん断 |
| IVAS | 1.5・f _t * | 1.5・f _s * |
| VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。) | | |

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

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

表 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 (R T) (MPa) |
|-------|----------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | |
| 基礎ボルト | <input type="text"/> | 周囲環境温度 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 取付ボルト | <input type="text"/> | 周囲環境温度 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

表 5-4 基準速度圧

(単位 : N/m²)

| 作用する部位 | 基準速度圧 |
|---------|----------------------|
| 構内監視カメラ | <input type="text"/> |

表 5-5 積雪荷重

(単位 : N)

| 作用する部位 | 積雪荷重 |
|---------|----------------------|
| 構内監視カメラ | <input type="text"/> |

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 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 5-6 設計用地震力（重大事故等対処設備）

| 据付場所 及び 床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|---|----------------------|---------|-----------------------------------|--------------|--|--|
| | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 |
| ガスタービン 発電機建物 EL <input type="text"/> * ¹ | <input type="text"/> | 0.05 以下 | — | — | C _H = <input type="text"/> * ² | C _V = <input type="text"/> * 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

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（前後方向転倒）

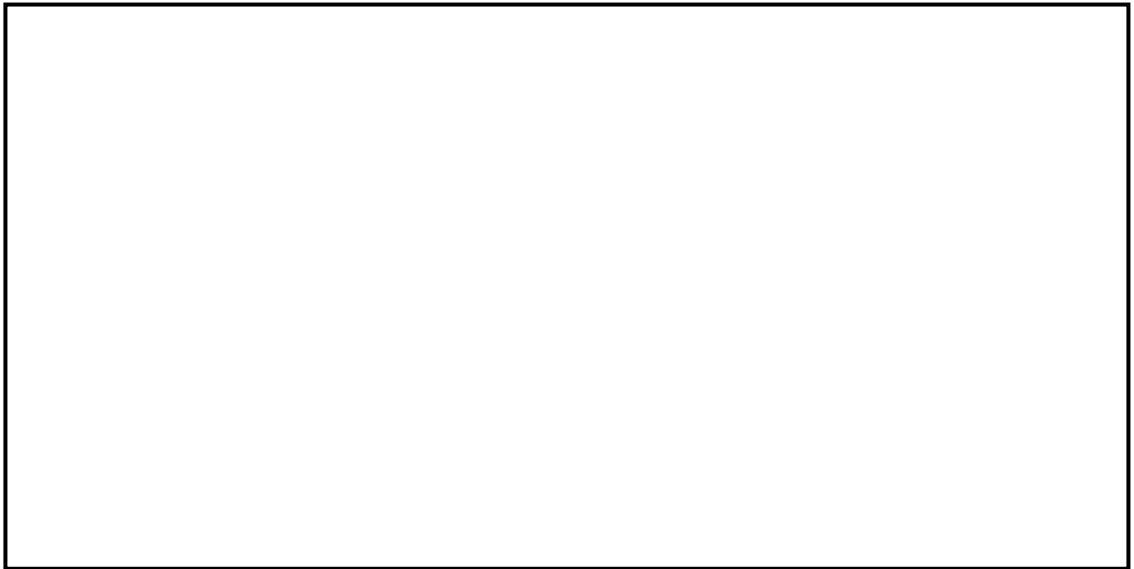


図5-2 計算モデル（左右方向転倒）

(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

$$F_{b1} = \frac{(m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S1}) \cdot \{C_H \cdot h_1 + (C_V - 1) \cdot l_{21}\} + P_{K1} \cdot h_1}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(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

$$Q_{b1} = (m_1 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S1}) \cdot C_H + P_{K1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-3 計算モデル（前後方向転倒）

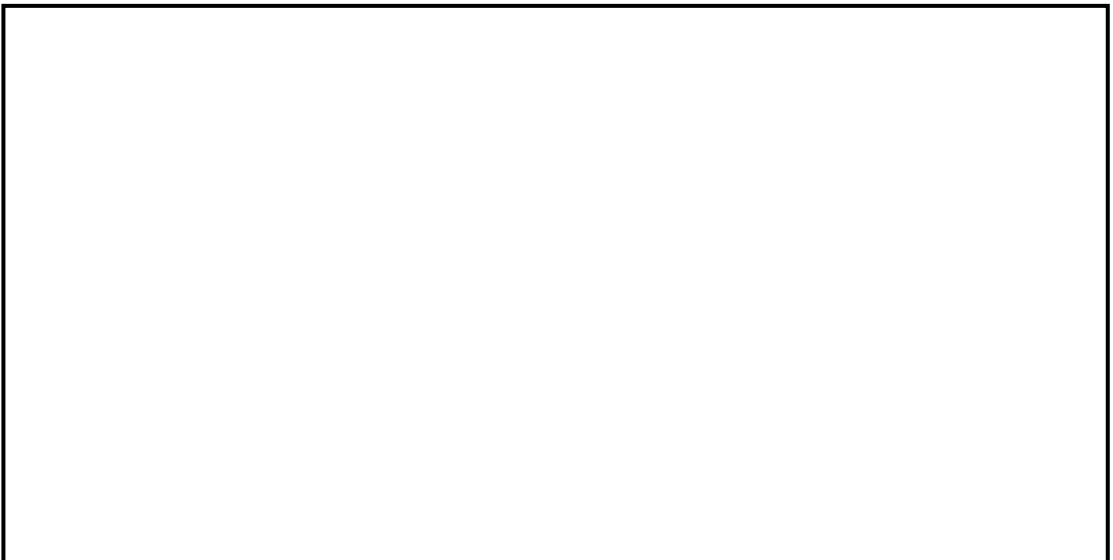


図5-4 計算モデル（左右方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4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

$$F_{b2} = \frac{(m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S2}) \cdot \{C_H \cdot h_2 + (C_V - 1) \cdot l_{22}\} + P_{K2} \cdot h_2}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付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

$$Q_{b2} = (m_2 \cdot g + 0.35 \cdot P_{S2}) \cdot C_H + P_{K2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.5 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【構内監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【構内監視カメラ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_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

構内監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

構内監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラのサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| 機器名称 | 方向 | 機能確認済加速度 |
|---------|----|--------------------------|
| 構内監視カメラ | 水平 | <input type="checkbox"/> |
| | 鉛直 | <input type="checkbox"/> |

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

構内監視カメラの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【構内監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

| 機器名称 | 設備分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | | 周囲環境温度 (°C) |
|---------|--------|---|----------------------|---------|--------------------------------|--------------|--|--|----------------------|
| | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | |
| 構内監視カメラ | 常設/その他 | ガスタービン発電機建物 EL <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> | 0.05 以下 | — | — | C _H = <input type="text"/> *2 | C _V = <input type="text"/> *2 | <input type="text"/> |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

| 部材 | m _i (kg) | h _i (mm) | d _i (mm) | A _{b i} (mm ²) | n _i | S _{y i} (MPa) | S _{u i} (MPa) | S _{y i} (R T) (MPa) |
|----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|--|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| 部材 | l _{1 i} *2 (mm) | l _{2 i} *2 (mm) | n _{f i} *2 | P _{K i} (N) | P _{S i} (N) | F _i (MPa) | F _i * (MPa) | 転倒方向 | |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | 基準地震動 S _s |
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | 前後方向 |
| | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> *1 | | | | | | | |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | — | <input type="text"/> | — | 前後方向 |
| | <input type="text"/> *1 | <input type="text"/> *1 | | | | | | | |

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前後方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は左右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 _{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) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> |

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|----------------|----------------------|-----|--------------------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 基礎ボルト (i=1) | <input type="text"/> | 引張 | — | — | $\sigma_{b1} = $ <input type="text"/> | $f_{ts1} = $ <input type="text"/> * |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{b1} = $ <input type="text"/> | $f_{sb1} = $ <input type="text"/> |
| 取付ボルト (i=2) | <input type="text"/> | 引張 | — | — | $\sigma_{b2} = $ <input type="text"/> | $f_{ts2} = $ <input type="text"/> * |
| | | せん断 | — | — | $\tau_{b2} = $ <input type="text"/> | $f_{sb2} = $ <input type="text"/> |

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| | | 機能維持評価用加速度* | 機能確認済加速度 |
|---------|------|----------------------|----------------------|
| 構内監視カメラ | 水平方向 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| | 鉛直方向 | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

| 項目 | | 記号 | 単位 | 入力値 |
|---------------|-------|-------|-----|----------------------|
| 材質 (SUS304) | 縦弾性係数 | E | MPa | <input type="text"/> |
| | ポアソン比 | ν | — | <input type="text"/> |
| 温度条件 (周囲環境温度) | | T | °C | <input type="text"/> |
| 質量 | | m | kg | <input type="text"/> |
| 要素数 | | — | 個 | <input type="text"/> |
| 節点数 | | — | 個 | <input type="text"/> |

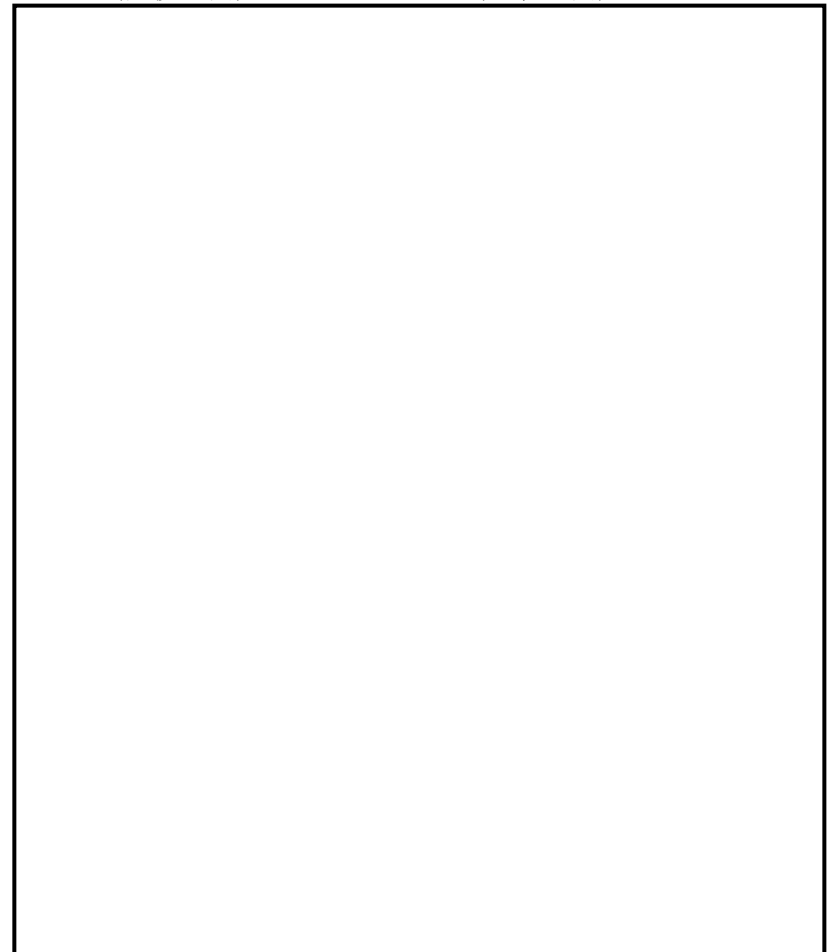
(前後方向)

(左右方向)



(前後方向)

(左右方向)



VI-2-別添 5-3 代替淡水源を監視するための設備の水平 2 方向及び
鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

目 次

| | |
|--|---|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 影響評価 | 1 |
| 2.1 基本方針 | 1 |
| 2.2 評価条件及び評価方法 | 1 |
| 3. 評価結果 | 4 |
| 3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出 | 4 |
| 3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の 検討結果 | 4 |
| 3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 | 4 |
| 3.4 まとめ | 5 |

1. 概要

本資料は、VI-2-別添 5-1「代替淡水源を監視するための設備の耐震計算の方針」（以下「VI-2-別添 5-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、代替淡水源を監視するための設備が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを確認するため、動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

代替淡水源を監視するための設備に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して、設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価フローを図2-1に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

代替淡水源を監視するための設備のうち、基準地震動 S_s による地震力に対してその機能が維持できることを確認する設備を評価対象とする。（図2-1①）

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。（図2-1②）

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される

設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図2-1③）

（4） 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

（3）の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。（図2-1④）

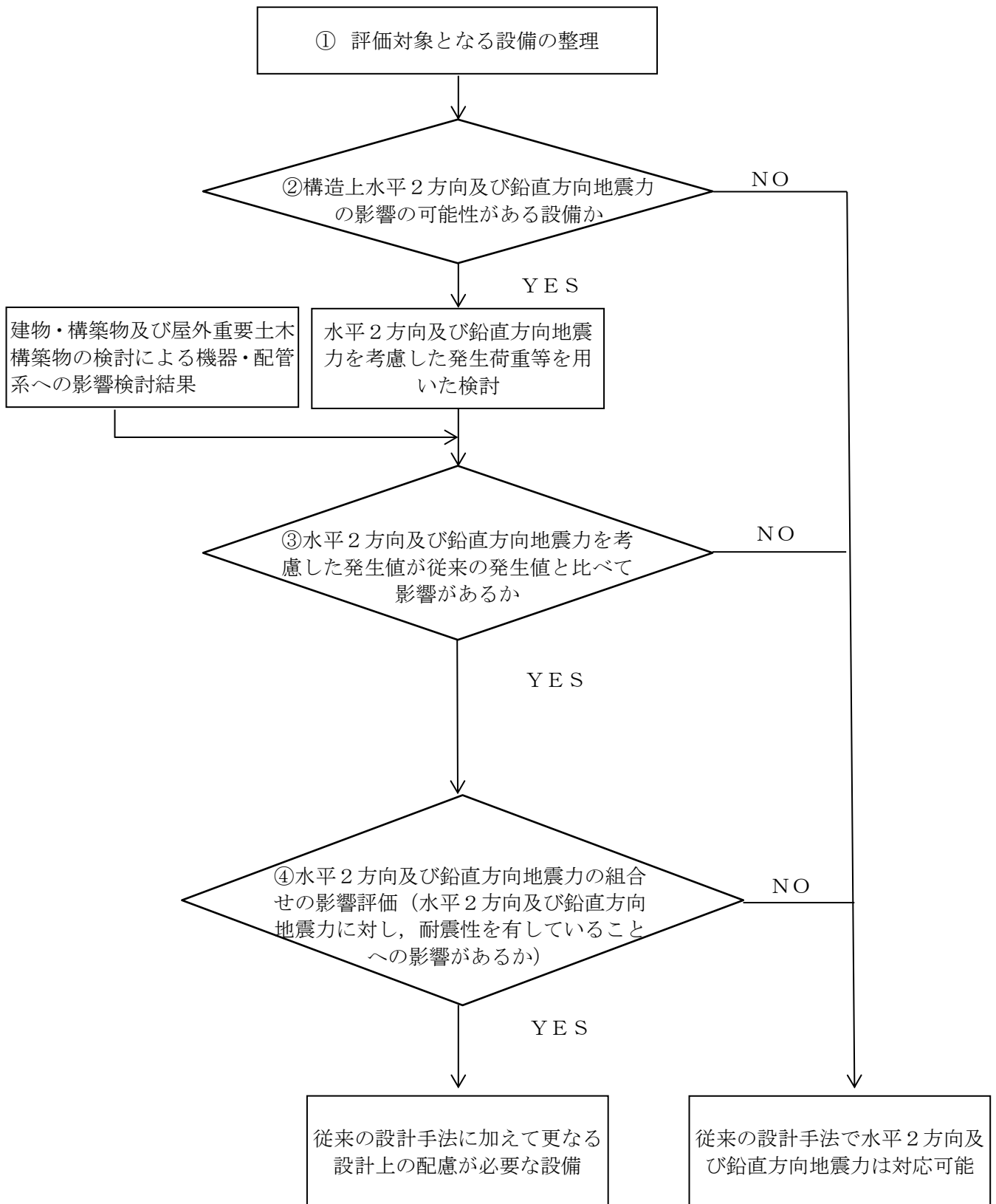


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3. 評価結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備を表3-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において、代替淡水源を監視するための設備への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表3-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に該当する設備はなかった。

3.4 まとめ

代替淡水源を監視するための設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも代替淡水源を監視するための設備が有する耐震性への影響がないことを確認したため、従来の計算に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 3-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備

| 設備名称 | 評価部位 |
|----------------------------|----------------|
| 構内監視カメラ (ガスタービン発電機建物屋上) | 基礎ボルト 取付ボルト |

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/2)

(1) 構造強度評価

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | |
|------------------------------------|---|---|---|---|
| | 3.1(1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点 (以下「重畳の観点」という。) ○:影響あり △:影響軽微 | 3.1(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点 (以下「ねじれ振動等の観点」という。) ×:発生しない ○:発生する | 3.1(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 (以下「増分の観点」という。) ○:影響あり —:該当なし | 抽出結果 |
| 構内監視カメラ (ガスタービン 発電機建物屋 上) | △ (取付ボルト) 一次応力 (引張) * | × | — | ボルトは矩形配置であり, 水平 2 方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微である。 |

注記*:評価上厳しい応力を記載する。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/2)

(2) 機能維持評価

| 設備名称 | 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性 | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| | 3.1(1) 重畳の観点 ○:影響あり △:影響軽微 | 3.1(2) ねじれ振動等の観点 ×:発生しない ○:発生する | 3.1(3) 増分の観点 ○:影響あり —:該当なし | 検討結果 |
| 構内監視カメラ (ガスタービン 発電機建物屋 上) | △ | × | — | 掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y 2 方向成分にも共振点はないものと考えられる。よって、X、Y 2 方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平 2 方向入力の影響は軽微である。 |