

| | |
|-----------------------|-------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | 02-工-B-19-0125_改1 |
| 提出年月日 | 2021年9月29日 |

VI-2-10-2-6 逆流防止設備の耐震性についての計算書

2021年9月

東北電力株式会社

目 次

- VI-2-10-2-6-1 屋外排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-6-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1 屋外排水路逆流防止設備の耐震性についての計算書

目 次

VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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 | 3 |
| 2.3 | 評価方針 | 4 |
| 2.4 | 適用基準 | 5 |
| 2.5 | 記号の説明 | 6 |
| 3. | 評価部位 | 8 |
| 3.1 | 配置概要 | 8 |
| 3.2 | 評価方向の整理 | 8 |
| 4. | 固有周期 | 10 |
| 4.1 | 固有周期の計算方法 | 10 |
| 4.1.1 | 閉門時 | 10 |
| 4.1.2 | 開門時 | 11 |
| 4.2 | 固有周期の計算結果 | 12 |
| 5. | 構造強度評価 | 13 |
| 5.1 | 構造強度評価方法 | 13 |
| 5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 13 |
| 5.2.1 | 荷重の設定 | 13 |
| 5.2.2 | 荷重の組合せ | 13 |
| 5.3 | 許容限界 | 14 |
| 5.4 | 設計用地震力 | 15 |
| 5.5 | 計算方法 | 18 |
| 5.6 | 計算条件 | 35 |
| 6. | 評価結果 | 37 |
| 7. | 出口側集水ピットの強度評価 | 39 |
| 7.1 | 出口側集水ピットの構造概要 | 39 |
| 7.2 | 評価方針 | 42 |
| 7.3 | 適用基準 | 44 |
| 8. | 地震応答解析 | 45 |
| 8.1 | 地震時荷重算出断面 | 45 |
| 8.2 | 解析方法 | 46 |
| 8.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 50 |
| 8.3.1 | 耐震評価上考慮する状態 | 50 |
| 8.3.2 | 荷重 | 50 |
| 8.3.3 | 荷重の組合せ | 51 |

| | | |
|--------|-------------------|-----|
| 8.4 | 入力地震動 | 52 |
| 8.5 | 解析モデル及び諸元 | 67 |
| 8.6 | 地震応答解析結果 | 70 |
| 9. | 三次元構造解析 | 87 |
| 9.1 | 評価対象部材 | 87 |
| 9.2 | 解析方法 | 87 |
| 9.3 | 解析モデル及び諸元 | 88 |
| 9.4 | 照査時刻及び入力荷重 | 90 |
| 9.5 | 三次元構造解析結果 | 94 |
| 10. | 耐震評価 | 102 |
| 10.1 | 許容限界 | 102 |
| 10.1.1 | 構造部材の健全性に対する許容限界 | 102 |
| 10.1.2 | 基礎地盤の支持性能に対する許容限界 | 103 |
| 10.2 | 評価方法 | 103 |
| 11. | 評価結果 | 104 |
| 11.1 | 構造部材の健全性に対する評価結果 | 104 |
| 11.2 | 基礎地盤の支持性能に対する評価結果 | 107 |

1. 概要

本資料は、添付書類「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流防止設備（防潮堤南側）(No. 1), (No. 2), (No. 3)（以下「屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）」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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類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健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設置位置を図 2-1 に示す。

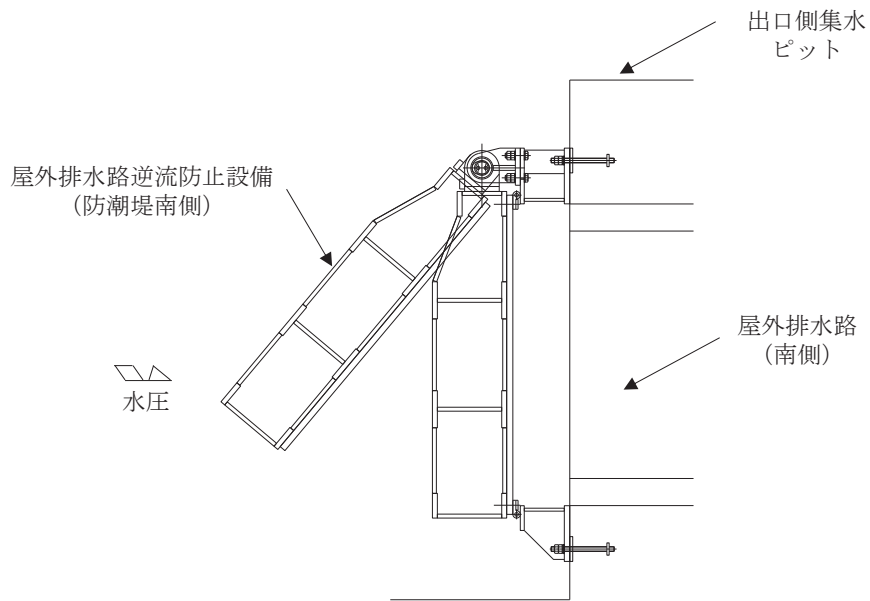
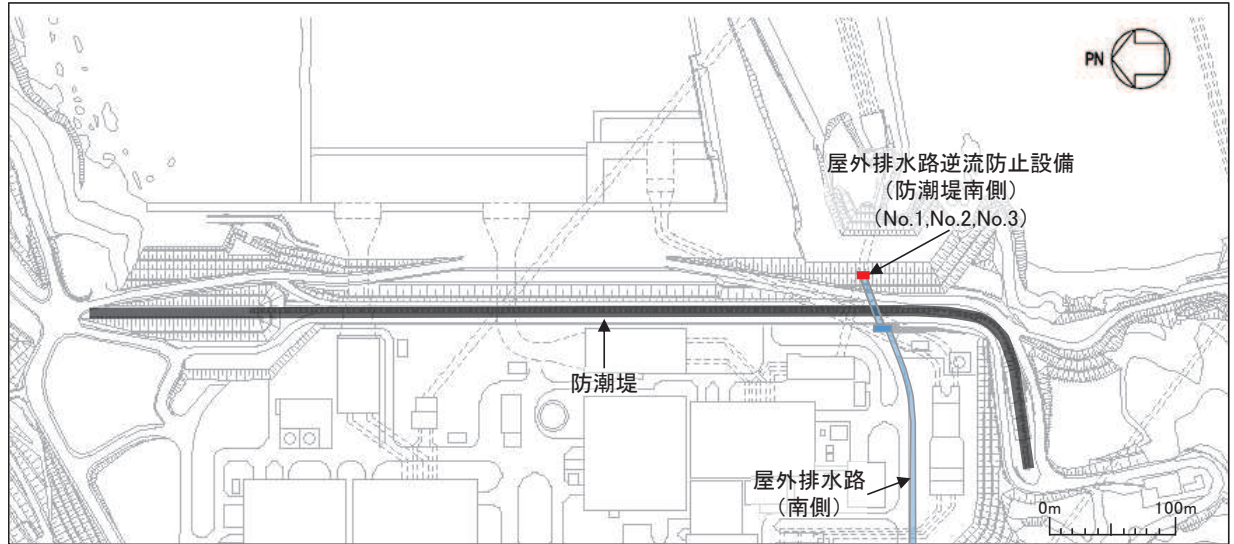


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設置位置

2.2 構造計画

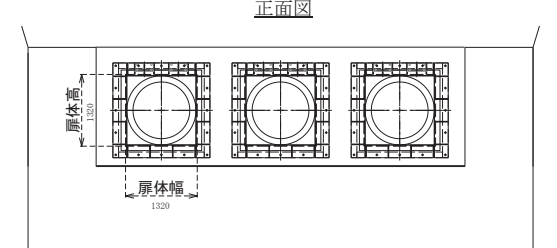
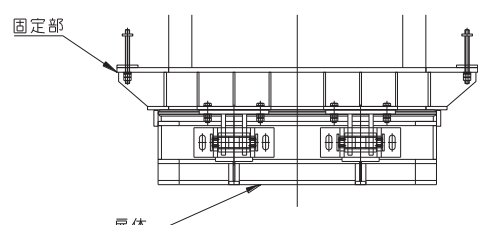
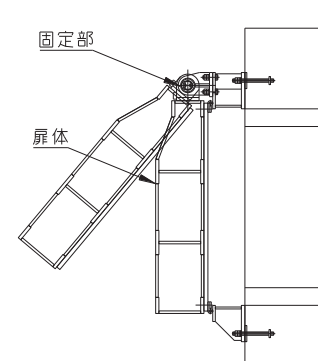
防潮堤の南側に位置する3本の屋外排水路に対して、それぞれ屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を設置する。各屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）で構成される。

扉体及び固定部で構成される屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、出口側集水ピット（鉄筋コンクリート製）にアンカーで固定し、屋外排水路を経路とした津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

なお、出口側集水ピットは地中に設置することから、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）及び出口側集水ピットには漂流物は衝突しない。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））

| 計画の概要 | | 説明図 |
|----------------------------------|---|--|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>本体はアンカーを介して出口側集水ピットに固定する。</p> | <p>鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）及び固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）により構成する。</p> | <p style="text-align: center;">正面図</p>  <p style="text-align: center;">平面図</p>  <p style="text-align: center;">断面図</p>  |

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価は、添付書類「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に基づき、「2.2 構造計画」に示す屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力による応力が許容限界以下であることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

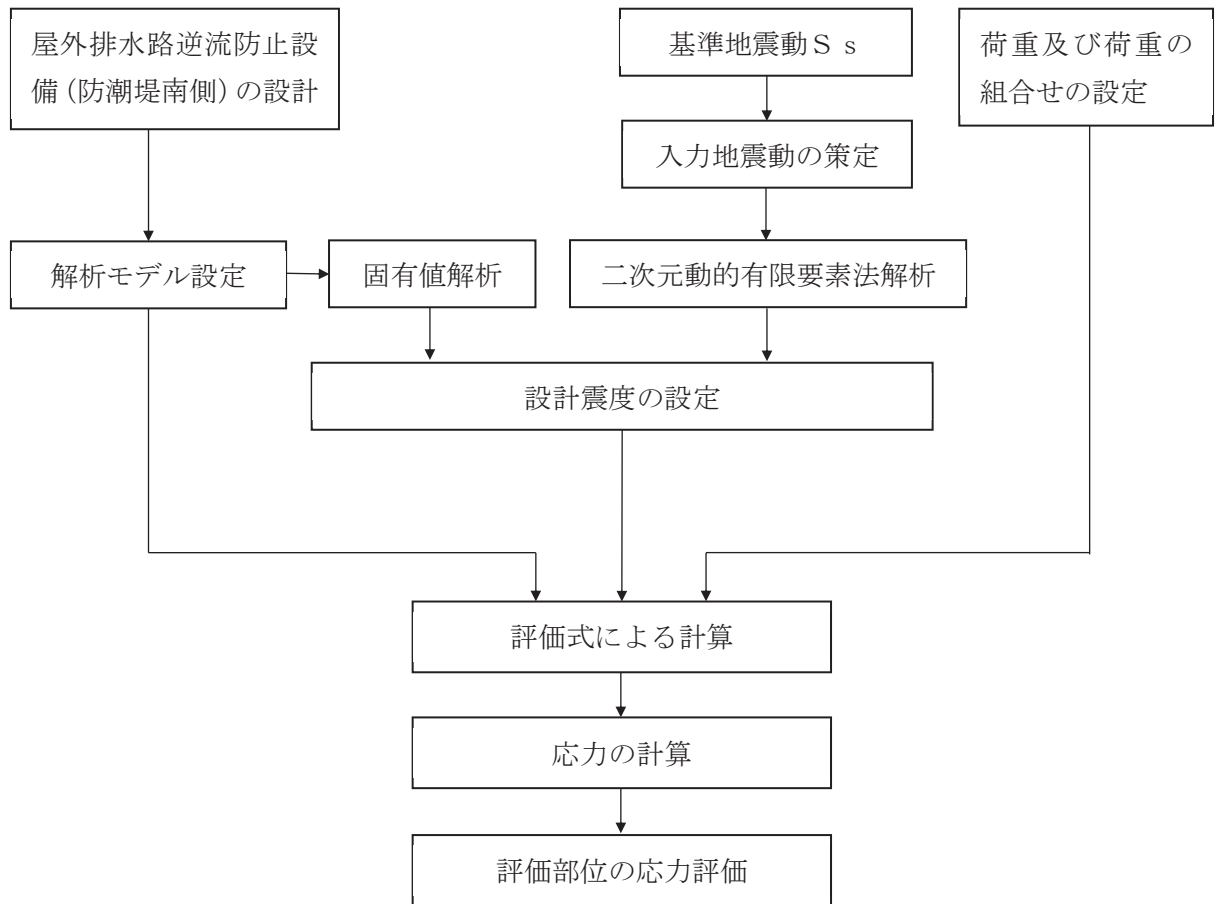


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

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) J I S G 4 0 5 3-2012 機械構造用合金鋼鋼材
- (4) 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- (5) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (6) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (7) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (8) 土木学会 1986 年 構造力学公式集

2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に用いる記号

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----|------------------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | s |
| f | 一次固有振動数 | Hz |
| E | 縦弾性係数 | N/mm ² |
| I | 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の断面二次モーメント | mm ⁴ |
| m | 扉体の単位長さ当たり質量 | kg/mm |
| L | 主桁の長さ | mm |

表 2-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる記号（1/2）

| 記号 | 定義 | 単位 |
|-----------------|---|-------------------|
| G | 固定荷重（扉体の自重） | N |
| K _H | 基準地震動 S _s による水平方向の設計震度 | — |
| K _V | 基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度 | — |
| A ₁ | 扉体面積 | mm ² |
| W ₀ | 水の単位体積重量 | N/mm ³ |
| k | スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数 | — |
| a ₁ | スキンプレートの短辺 | mm |
| b ₁ | スキンプレートの長辺 | mm |
| P ₁ | スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 | N/mm ² |
| t ₁ | スキンプレートの板厚 | mm |
| W | 各主桁に作用する等分布荷重 | N/mm |
| L ₂ | 主桁支間長 | mm |
| Z ₂ | 各主桁の断面係数 | mm ³ |
| Aw ₂ | 各主桁のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| p | 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 | N/mm ² |
| ℓ | 補助縦桁の主桁間隔 | mm |
| Z ₃ | 補助縦桁の断面係数 | mm ³ |
| Aw ₃ | 補助縦桁のせん断抵抗断面積 | mm ² |

表 2-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる記号（2/2）

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----------|-----------------------------|-------------------|
| L_4 | ヒンジ（吊りピン）支間長 | mm |
| B_4 | ヒンジ（吊りピン）受圧幅 | mm |
| P_4 | ヒンジ（吊りピン）に作用する荷重 | N |
| Z_4 | ヒンジ（吊りピン）の断面係数 | mm ³ |
| A_4 | ヒンジ（吊りピン）の断面積 | mm ² |
| P_5 | ヒンジ（プレート）に作用する荷重 | N |
| A_{h5} | ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積 | mm ² |
| A_{b6} | 取付けボルトの断面積 | mm ² |
| P_{w6} | ヒンジ1箇所あたりが負担する自重荷重 | N |
| P_{v6} | 鉛直地震力 | N |
| P_{h6} | 水平地震力 | N |
| P_7 | 戸当りへ作用する荷重 | N/mm ² |
| L_s | 扉体幅 | mm |
| L_c | 戸当り支圧部の板厚 | mm |
| q | 地震荷重 | N/mm ² |
| L_x | 戸当り横幅 | mm |
| L_y | 戸当り縦幅 | mm |
| l_x | 支圧板中心横幅 | mm |
| l_y | 支圧板中心縦幅 | mm |
| b_{wx} | 支圧横幅 | mm |
| b_{wy} | 支圧縦幅 | mm |
| S | 戸当り幅 | mm |
| P_{p4} | せん断作用位置における単位円周方向幅当たりの水平慣性力 | N/mm ² |
| A_s | 単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積 | mm ² |
| l | せん断作用位置における周長 | mm |

3. 評価部位

3.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）及び固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）で構成される。

耐震評価においては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）、ヒンジ取付けボルト及び戸当りを評価部位として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位を図 3-1 に示す。

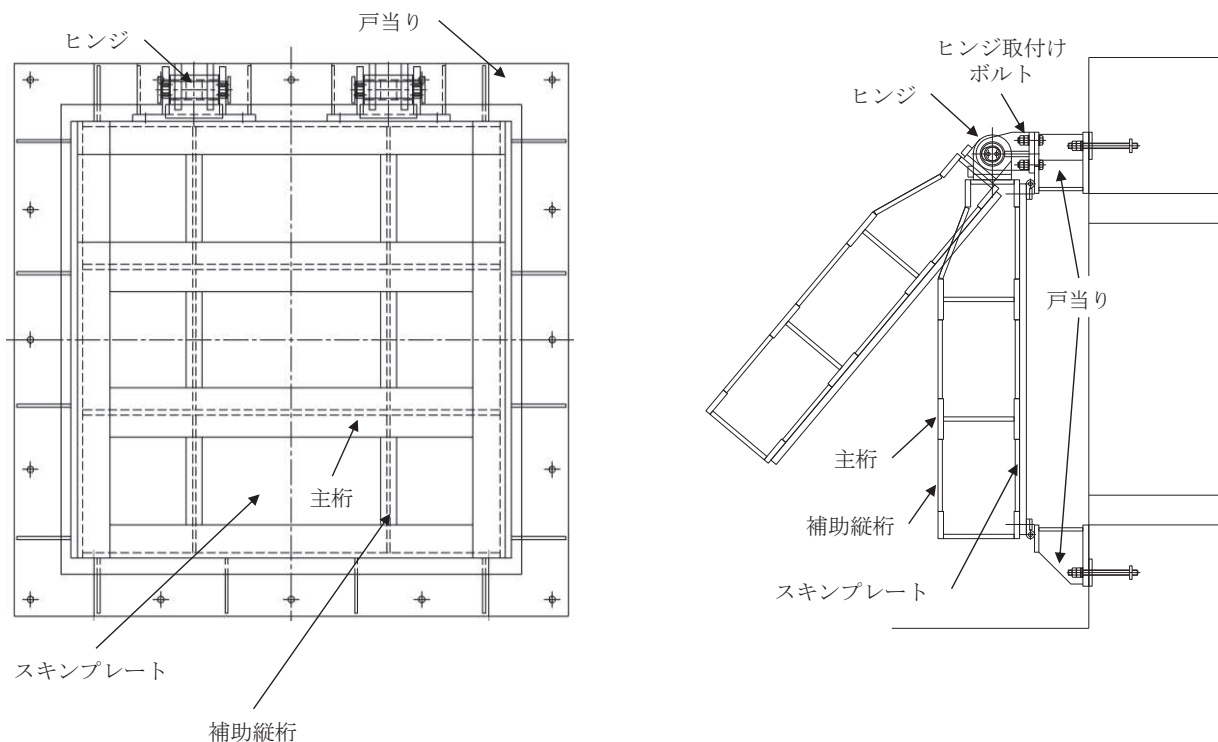


図 3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位

3.2 評価方向の整理

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は出口側集水ピットに支持される構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、耐震評価における主たる荷重は地震力である。したがって、各評価部位については、構造的特徴を踏まえ、評価を行う地震力の方向を設定する。

具体的には部位毎に弱軸方向や評価項目方向に作用する地震力を考慮する。

表 3-1 に評価を行う地震力の方向を示す。なお、「8.1 地震時荷重算出断面」に示すとおり、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の前背面に斜面を有する水路縦断方向が弱軸方向となるが、水路横断方向の評価に対しても水路縦断方向の地震力を適用する。

評価方法の詳細は「5.5 計算方法」に示す。

表 3-1 各評価対象部位に対して考慮する地震力の方向

| 評価対象部位 | | 評価項目 | 地震力 | | |
|------------|---------|------------|--------------------|-------------------|------|
| | | | 水路縦断方向 (津波作用方向) | 水路横断方向 (扉体軸方向) | 鉛直方向 |
| 扉体 | スキンプレート | 曲げ | ○ | — | — |
| | 主桁 | 曲げ | ○ | — | — |
| | | せん断 | ○ | — | — |
| | 補助縦桁 | 曲げ | ○ | — | — |
| | | せん断 | ○ | — | — |
| | 固定部 | ヒンジ (吊りピン) | 曲げ | ○ | — |
| せん断 | | | ○ | — | ○ |
| ヒンジ (プレート) | | 曲げ | — | ○ | ○ |
| | | せん断 | ○ | — | ○ |
| ヒンジ取付けボルト | | 引張・せん断 | ○ | — | ○ |
| | | せん断 | — | ○ | ○ |
| 戸当り | | 支圧 | ○ | — | — |
| 戸当りコンクリート | | 支圧・せん断 | ○ | — | — |

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は扉体及び固定部で構成されており、扉体に地震力が作用する状態は、扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから、戸当り部を支点とする単純梁でモデル化する。

また、固定部においては、扉体が戸当りから離れる状態（開状態）についても想定する。その際の固有周期の計算は、扉体の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。

なお、横断方向（扉体軸方向）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、閉門時を想定して出口側集水ピットと一体の剛体として評価する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の主桁を単純梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「土木学会 1986年 構造力学公式集」より、単純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。

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

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

(3) 固有周期の計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----|------------------------------|----------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 一次固有振動数 | — | Hz |
| E | 縦弾性係数 | 1.93×10^5 | N/mm ² |
| I | 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の断面二次モーメント | 4.3883×10^8 | mm ⁴ |
| m | 扉体の単位長さ当たり質量 | 1.13636 | kg/mm |
| L | 主桁の長さ | 1320 | mm |

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

扉体の開門時の固有周期Tは、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化して算出する。解析モデル図を図4-1に示す。

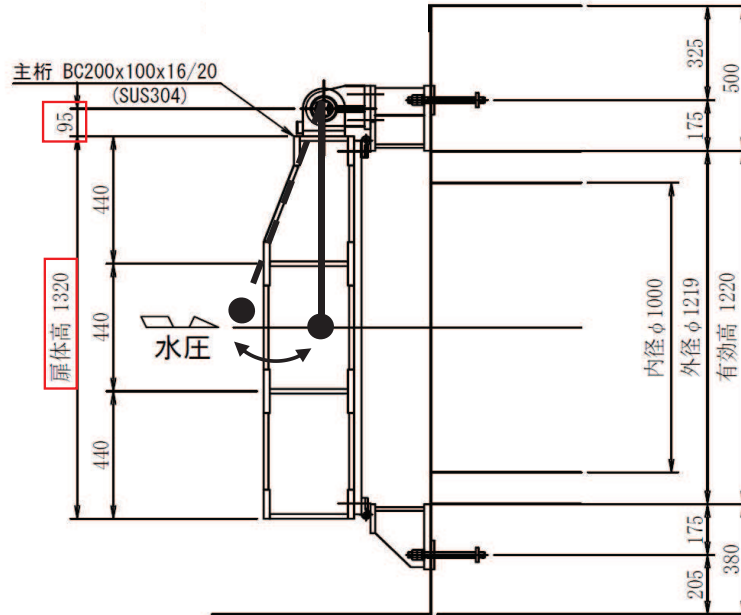


図4-1 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

開門時の固有周期は下式により計算する。

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

$$T = 1/f$$

ここで、 L_2 :振り子の長さ (=95+1320/2 =755 mm)

(3) 固有周期の計算条件

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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|-------|---------|---------|------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 一次固有振動数 | — | Hz |
| g | 重力加速度 | 9.80665 | m/s ² |
| L_2 | 振り子の長さ | 755 | mm |

4.2 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。開門時の固有周期は 0.05s 以上であることから、設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

| | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|-----|---------------|-------------|
| 閉門時 | 245 | 0.0041 |
| 開門時 | 0.574 | 1.743 |

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価は、添付書類「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. 評価部位」にて設定する評価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

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。
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。

また、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(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

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計に考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

| 区分 | 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

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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、当該構造物全体の变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、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の許容限界

| 評価部位 | 材質 | 許容応力度 (N/mm ²) | | | | 短期許容応力度 (N/mm ²) *2 | | | | |
|------------|--------|----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-----|------|---|
| | | 曲げ σ_{ab} *1 | 引張 σ_{at} *1 | せん断 τ_a *1 | 支圧 σ_{as} *1 | 曲げ | 引張 | せん断 | 支圧 | |
| スキンプレート | SUS304 | 103 | — | — | — | 154 | — | — | — | |
| 主桁 | SUS304 | 1桁 | 103 | 103 | 59 | — | 151*3 | 154 | 88 | — |
| | | 2,3桁 | | | | | 154 | | | |
| | | 4桁 | | | | | 151*3 | | | |
| 補助縦桁 | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 144*3 | 154 | 88 | — | |
| 戸当り | SUS304 | — | — | — | 154 | — | — | — | 231 | |
| 戸当り部コンクリート | コンクリート | — | — | 1.0 | 9.0 | — | — | 1.5 | 13.5 | |
| ヒンジ(吊りピン) | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 154 | 154 | 88 | — | |
| ヒンジ(プレート) | SUS304 | — | — | 59 | — | — | — | 88 | — | |
| ヒンジ取付けボルト | SUS304 | — | 103 | 59 | — | — | 154 | 88 | — | |

注記 *1 : σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2 : 許容限界は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、短期許容応力度とする。短期許容応力度は、鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

*3 : 主桁, 補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮する。

5.4 設計用地震力

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計震度は、「8. 地震応答解析」に示す出口側集水ピットの地震応答解析結果に基づき設定する。加速度応答を抽出した節点位置を図 5-1 に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期は、閉門時は固有周期が 0.05s 以下である一方、開門時には固有周期が $T = 1.743 \text{ s}$ と 0.05 s 以上であることから、閉門時としての最大応答加速度と、開門時として添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k WAVE forWindows ver. 6.2.0」を使用する。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の地震応答解析結果を図 5-2 に、開門時に参照する基準地震動 S_s を包絡するよう作成した設計用床応答曲線を図 5-3 に示す。

上記より設定した逆流防止設備の設計震度を表 5-3 に示す。なお、設計震度は図 5-1 に示す節点位置のうち、最大加速度となる節点の値を基に算定している。

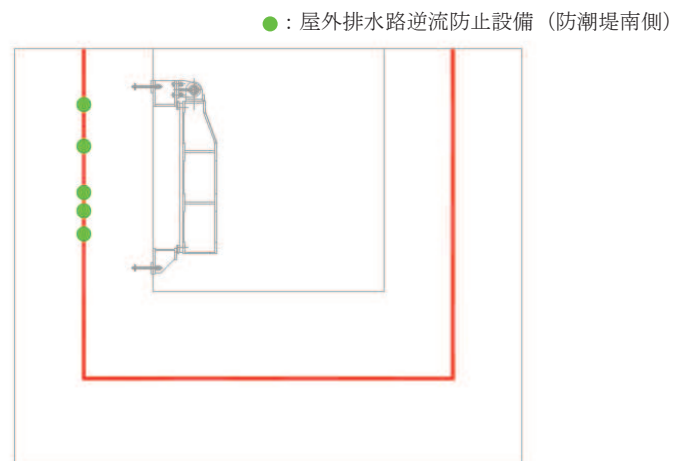
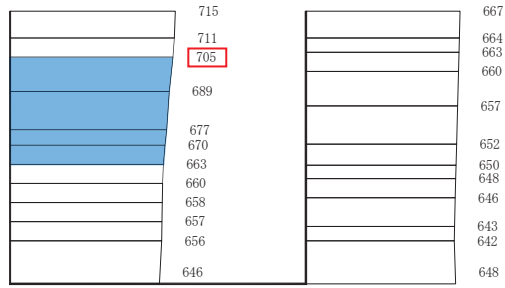
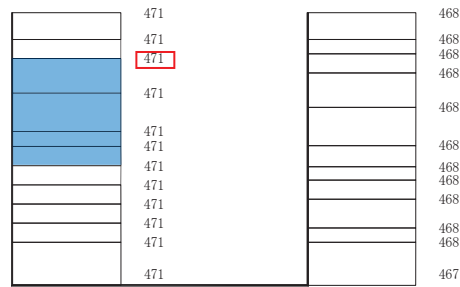


図 5-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, Sd-D2(++), 解析ケース①)



(鉛直方向, Sd-D2(-+), 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

構造スケール 0 _____ 2 (m) 応答値スケール 0 _____ 1000 (cm/s²)

図 5-2 逆流防止設備 (扉体及び固定部) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)

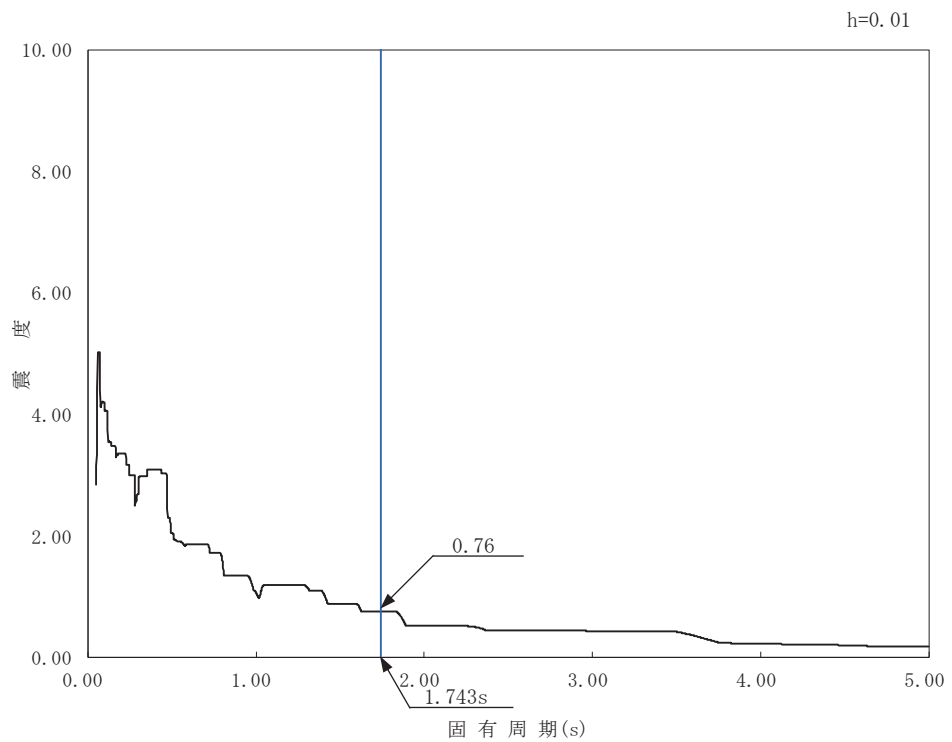


図5-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）における設計用床応答曲線

表 5-3 設計用地震力（水路縦断方向及び水路横断方向）

| 設備名称 | 地震動 | 解析ケース | 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 | 鉛直方向 K_V |
| 屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤南側) | $S_s - F 3$ (-+) | 解析ケース① | 出口側集水ピット O. P. +8.38m (屋外排水路底面高さ) | 0.8 | 0.5 |
| | $S_s - D 2$ (++) | 解析ケース① | | | |

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。

(1) スキンプレート

スキンプレートは、主桁および補助縦桁、側部縦桁に溶接することで支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する四辺固定版としてモデル化し、発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及びモデル図を図 5-1 に示す。

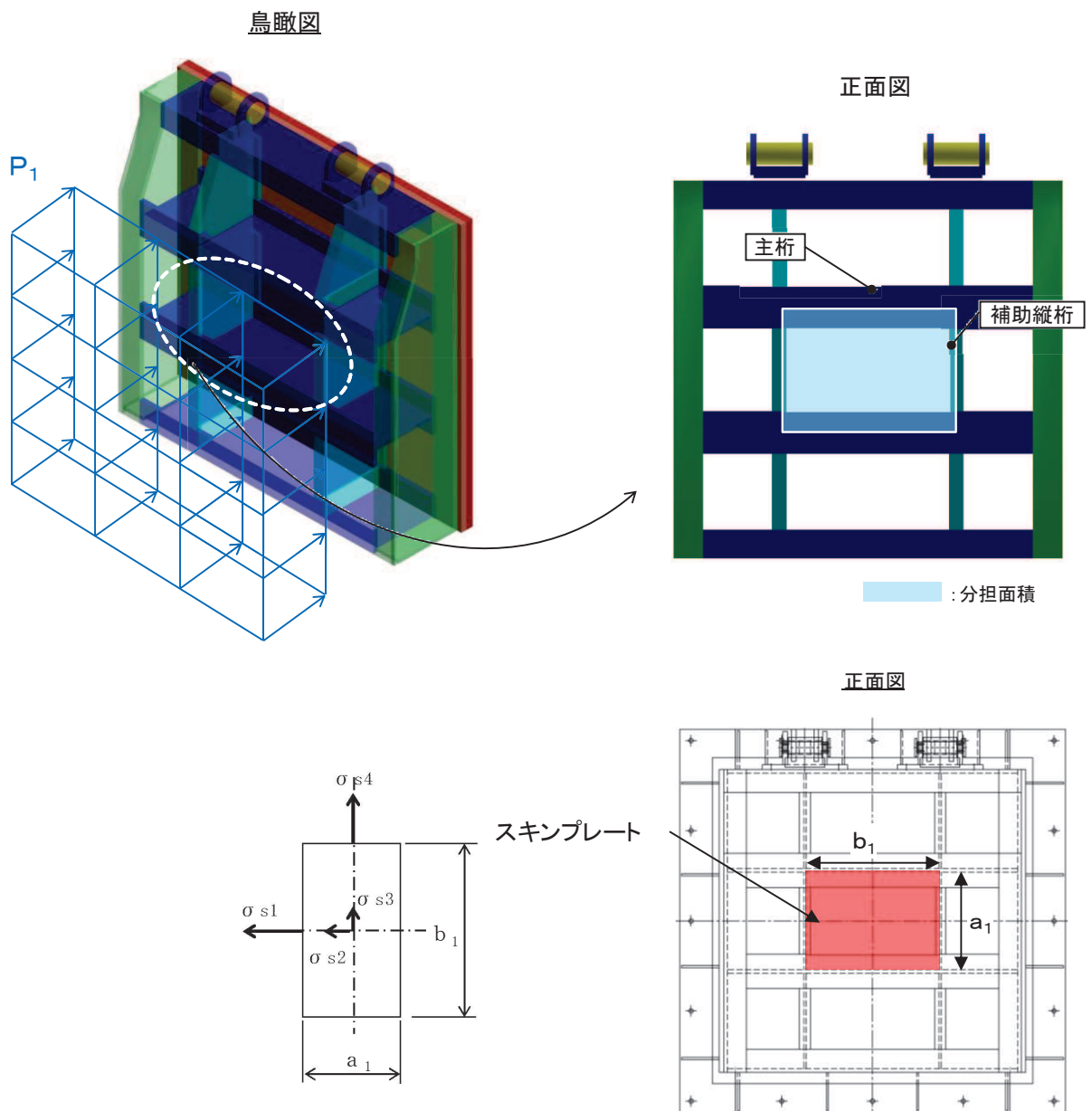


図 5-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレートの応力算定式は下式のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{1 \ 0 \ 0} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレートの長辺 (mm)

P_1 : スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

(2) 主桁

主桁は、戸当りと接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化し、発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造図及びモデル図を図5-2に示す。

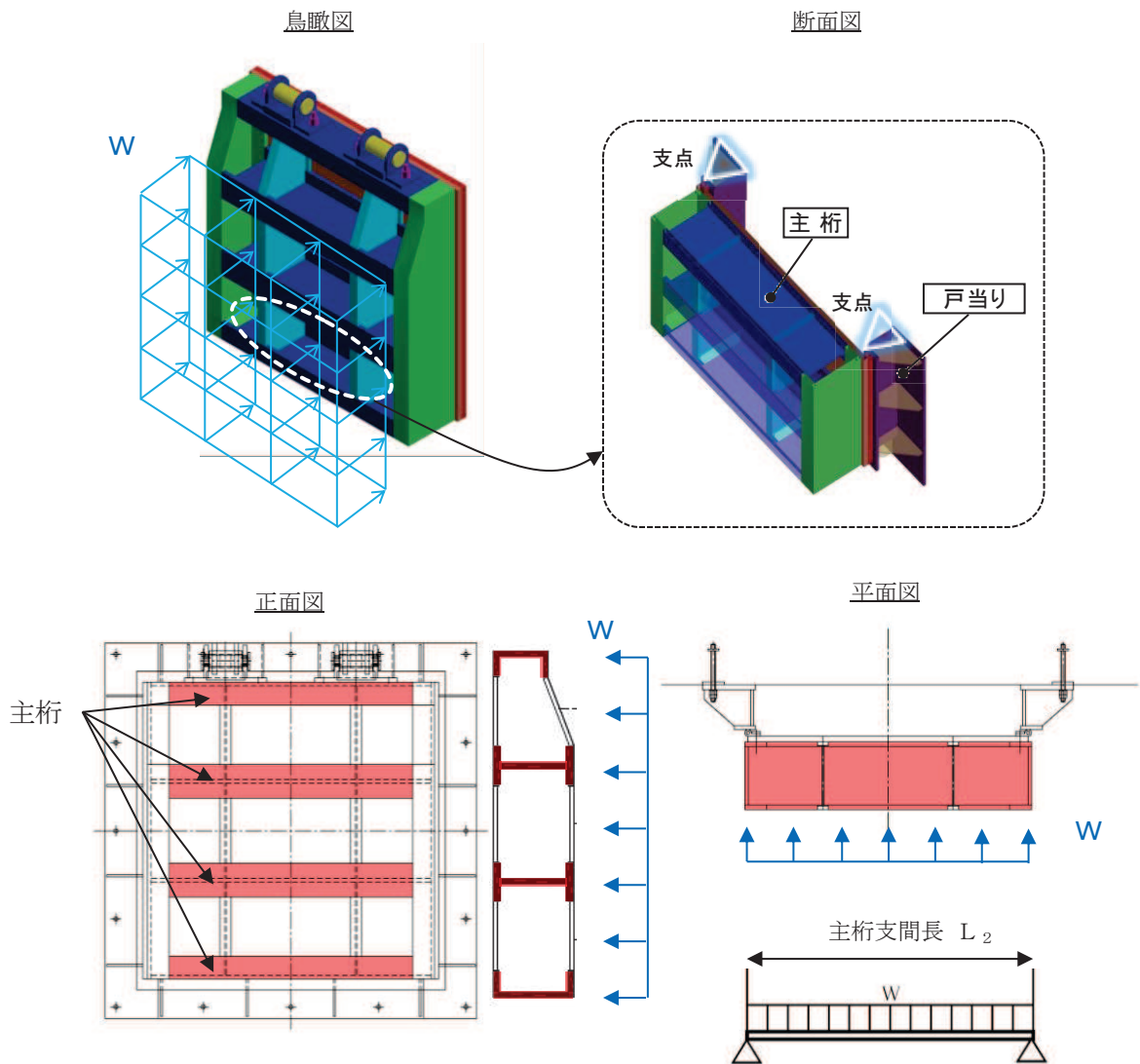


図5-2 主桁の構造図及びモデル図

また、主桁の応力算定式は下式のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

- W : 各主桁に作用する荷重 (N/mm)
- L₂ : 主桁支間長 (mm)
- Z₂ : 各主桁の断面係数 (mm³)
- A w₂ : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、主桁に溶接されることによって支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する、主桁によって溶接支持された両端固定梁としてモデル化し、発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造図及びモデル図を図5-3に示す。

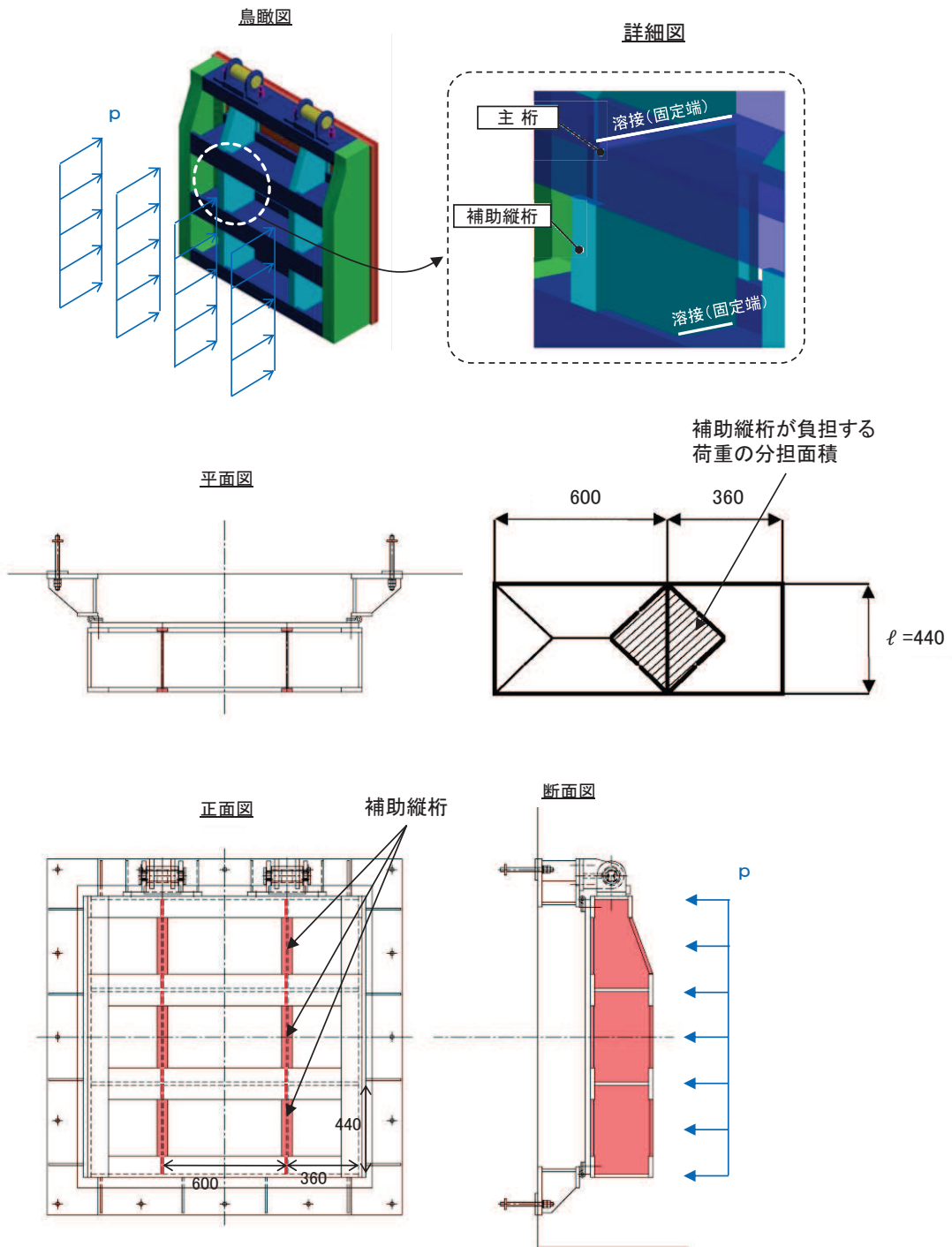


図5-3 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位: mm)

また、補助縦桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w3}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

p : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm²)

ℓ : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_{w3} : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(4) ヒンジ（吊りピン）

ヒンジ（吊りピン）は、ヒンジ（プレート）と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（扉体の自重および慣性力）が作用する単純梁としてモデル化し、ヒンジ（吊りピン）に発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図を図 5-4 に示す。

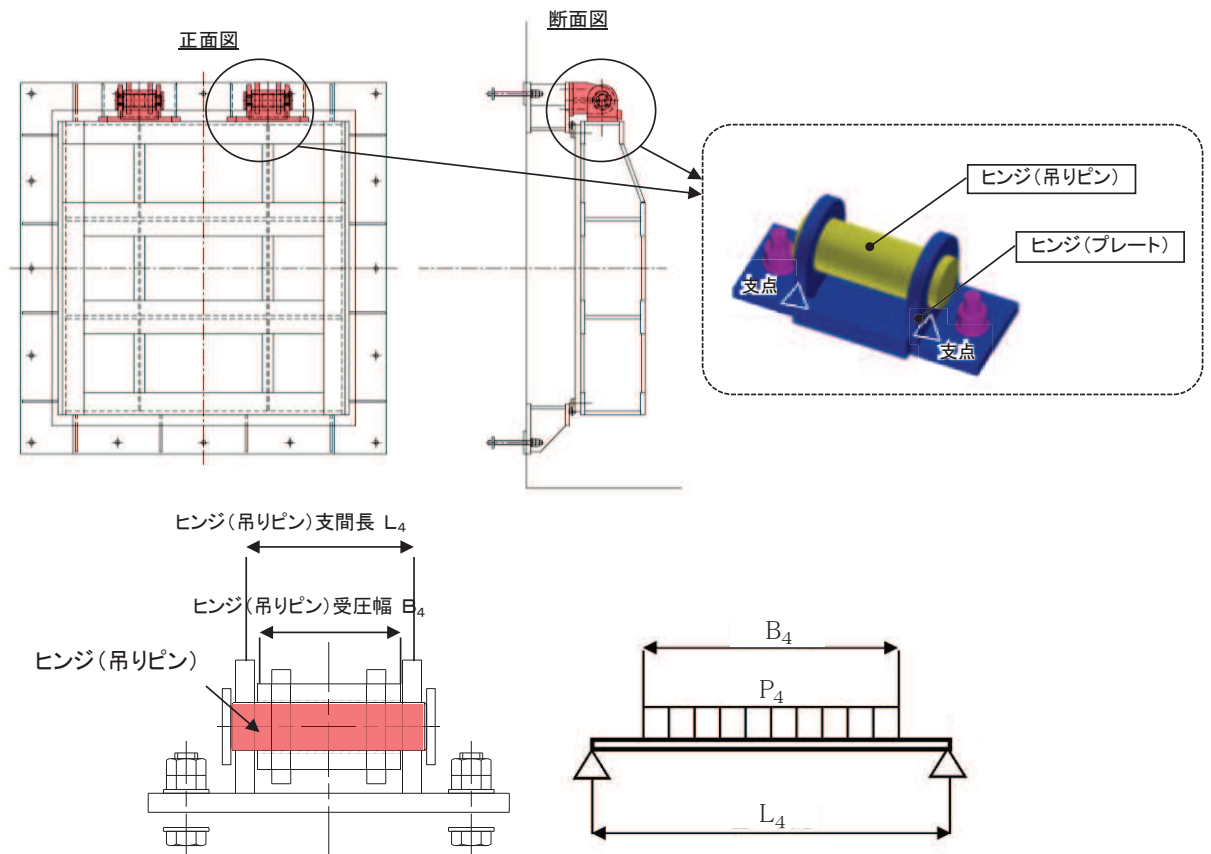


図 5-4 ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図

また、ヒンジ（吊りピン）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{P_4 \cdot (2 \cdot L_4 - B_4)}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P_4}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_4}$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\max}}{3 \cdot A_4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

エンドプレートのせん断力の算定式は以下のとおりである。

$$\tau = P_{p4} / A_s$$

$$P_{p4} = P_{H4} / l$$

ここで、

L_4 : ヒンジ (吊りピン) 支間長 (mm)

B_4 : ヒンジ (吊りピン) 受圧幅 (mm)

P_4 : ヒンジ (吊りピン) に作用する荷重 (N)

Z_4 : ヒンジ (吊りピン) の断面係数 (mm³)

A_4 : ヒンジ (吊りピン) の断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

P_{p4} : せん断力作用位置における単位円周方向幅あたりの水平慣性力

A_s : 単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積

l : せん断作用位置における周長

(5) ヒンジ (プレート)

ヒンジ (プレート) は、ヒンジ (吊ピン) に作用する荷重を支持する構造である。計算方法は、「(4) ヒンジ (吊ピン)」の単純梁検討における支点反力に対し、ヒンジ (プレート) が必要せん断耐力を有していることを確認する。ここで、ヒンジ (プレート) の照査断面はヒンジ (プレート) の最薄部とし、支点反力により発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、吊ピンのエンドプレートを介して伝達される水平地震荷重により生じる支圧応力度、ならびにヒンジ (プレート) 下端の曲げ応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (プレート) の構造図を図5-5に示す。

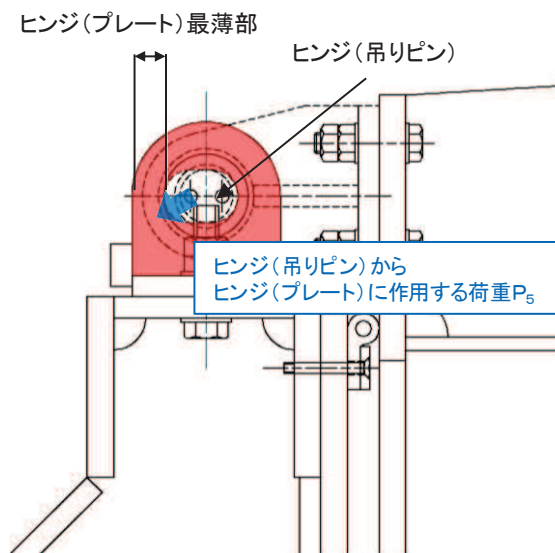


図 5-5(1) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路縦断方向)

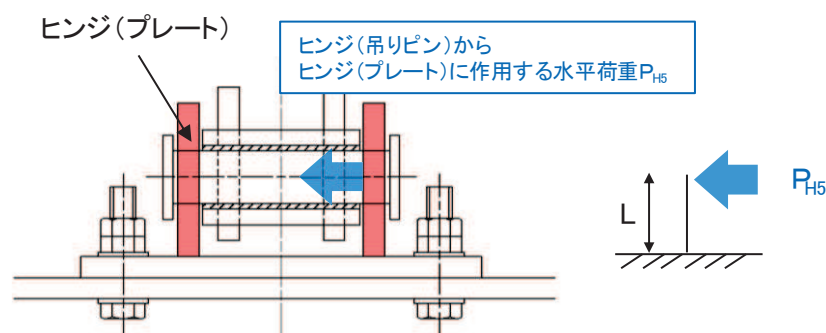


図5-5(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

また、ヒンジ（プレート）の応力算定式は以下のとおりである。

【水路縦断方向】

$$\tau = \frac{P_5}{A h_5}$$

ここで、

P_5 : ヒンジ（プレート）に作用する荷重（N）

$A h_5$: ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積（mm²）

τ : せん断応力度（N/mm²）

【水路横断方向】

$$M_5 = P_{H5} \cdot L$$

$$\sigma = \frac{M_5}{Z_5}$$

$$\sigma_{bk} = \frac{P_{H5}}{A_p}$$

ここで、

M_5 : ヒンジ（プレート）下端部に作用する曲げモーメント（N・mm）

P_{H5} : 水平地震荷重（N）

L : 吊ピン中心からヒンジ（プレート）下端までの距離（mm）

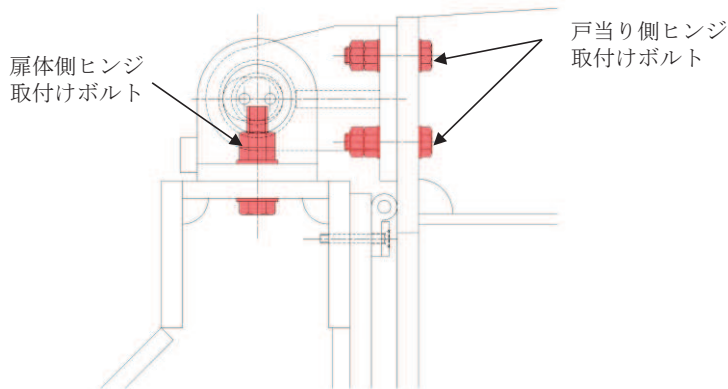
Z_5 : ヒンジ（プレート）の断面係数（mm³）

A_p : 支圧抵抗面積（mm²）

(6) ヒンジ取付けボルト

ヒンジ取付けボルトは、ヒンジ部に作用する扉体の自重および慣性力を負担する構造である。計算方法は、扉体の自重および慣性力より算出されるヒンジ取付けボルトに発生する引張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。また、合成応力度に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ取付けボルトの構造図及び応力算定式を図5-6に示す。

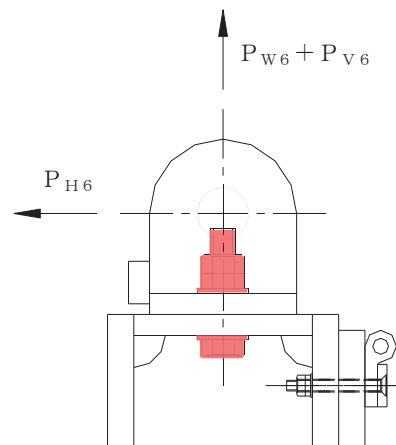
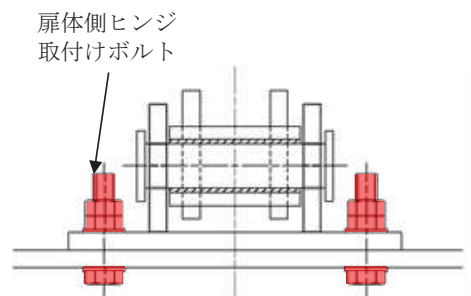


【扉体側】

$$\sigma = \frac{P_{W6} + P_{V6}}{A b_6 \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H6}}{A b_6 \cdot 2}$$

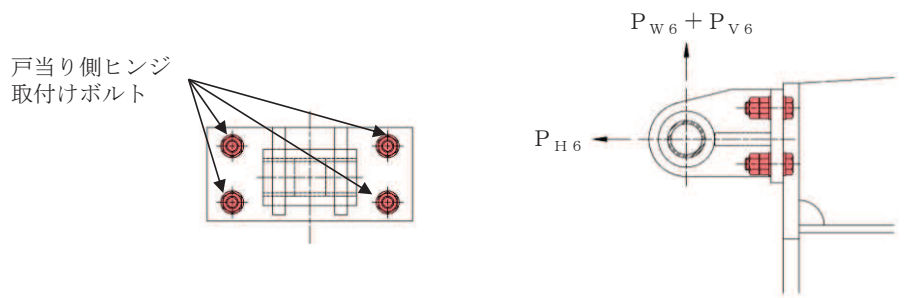
$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$



- $A b_6$: 取付けボルトの断面積 (mm²)
- P_{W6} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)
- P_{V6} : 鉛直地震力 (N)
- P_{H6} : 水平地震力 (N)
- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-6(1) ヒンジ取付けボルトの構造図及び応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H6}}{A b_6 \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W6} + P_{V6}}{A b_6 \cdot 4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$A b_6$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W6} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)

P_{V6} : 鉛直地震力 (N)

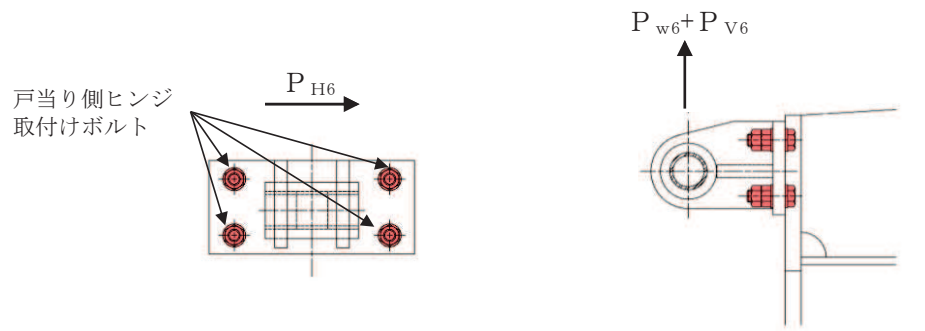
P_{H6} : 水平地震力 (N)

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-6(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の構造図及び応力算定式 (水路縦断方向)



$$\tau = \frac{\sqrt{(P_{w6} + P_{v6})^2 + P_{H6}^2}}{A b_6 \cdot 4}$$

- A b : 取付けボルトの断面積 (mm²)
- P_{w6} : 扉体の自重 (N)
- P_{v6} : 鉛直地震力 (N)
- P_{H6} : 水平地震力 (N)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

図5-6(3) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の応力算定式 (水路横断方向)

(7) 戸当り

戸当りは、**コンクリートに接触することによって支持される構造である。計算方法は、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。**

戸当りの構造図，モデル図を図 5-7 に示す。

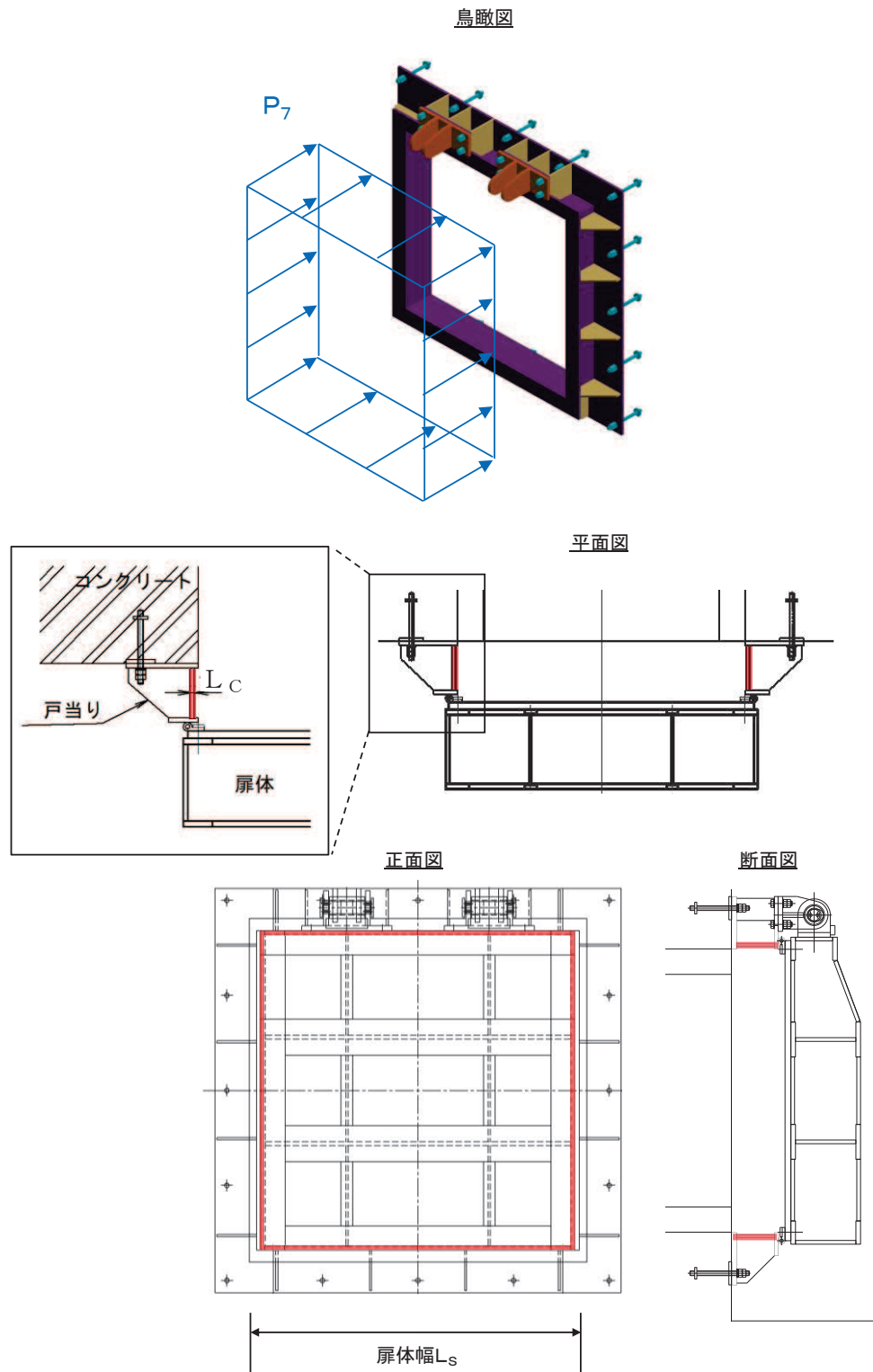


図 5-7 戸当りの構造図及びモデル図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{P_7 \cdot L_S}{2 \cdot L_C}$$

ここで、

P_7 : 戸当りへ作用する荷重 (N/mm²)

L_S : 扉体幅 (mm)

L_C : 戸当り支圧部の板厚 (mm)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

(8) 戸当り部コンクリート

戸当り部コンクリートは、戸当りから伝達されてきた荷重を支持する構造である。計算方法は、戸当りから伝達されてきた荷重を戸当りとコンクリートの接触面で受圧した際に、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構造図を図 5-8 に示す。

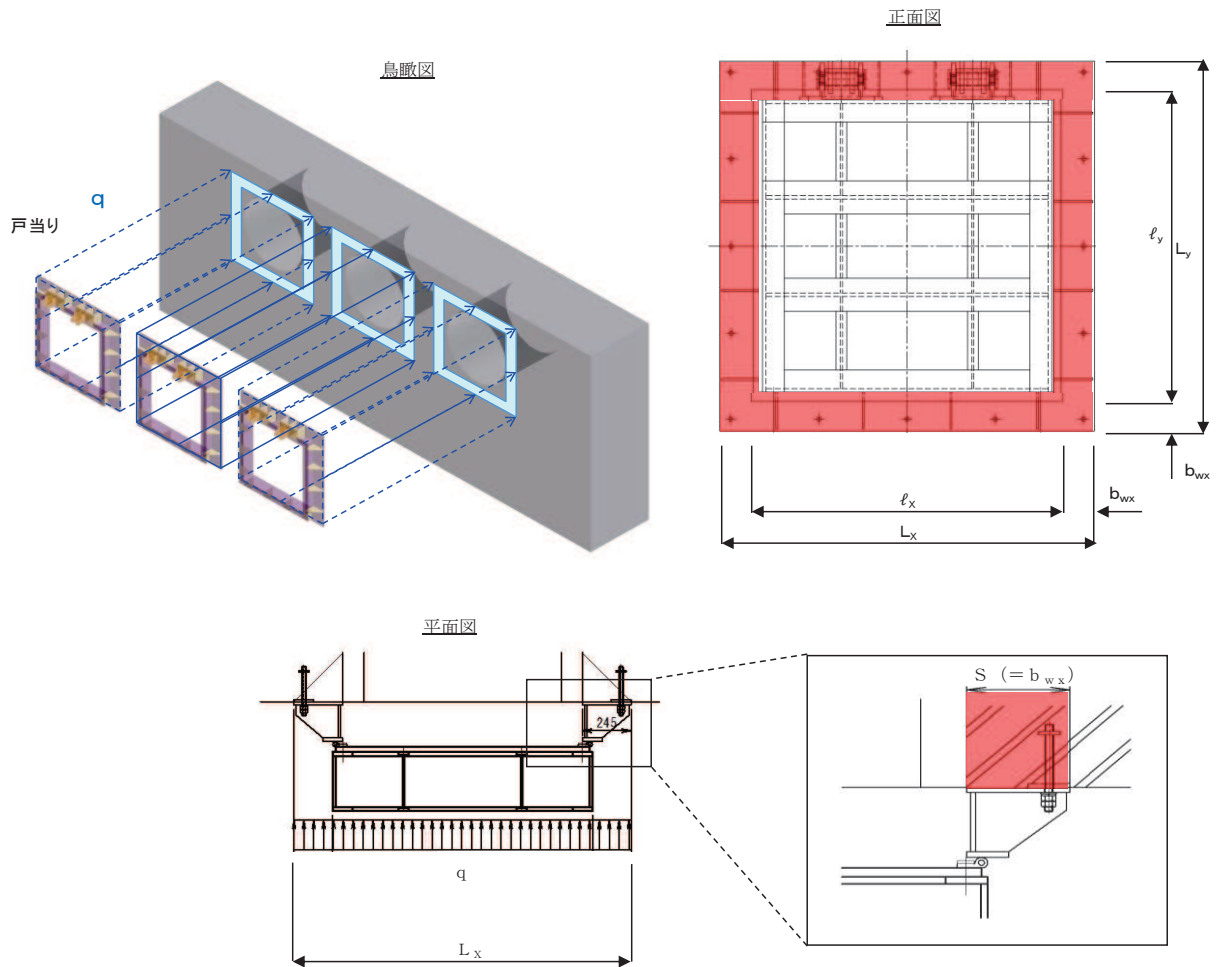


図 5-8 戸当り部コンクリートの構造図

また、戸当り部コンクリートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{q \cdot (L_x \cdot L_y)}{2 (\ell_x \cdot b_{wx} + \ell_y \cdot b_{wy})}$$

$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{wx}}{2 \cdot S}$$

ここで,

q : 地震荷重 (N/mm²)

L_x : 戸当り横幅 (mm)

L_y : 戸当り縦幅 (mm)

l_x : 支圧板中心横幅 (mm)

l_y : 支圧板中心縦幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm)

b_{wx} : 支圧横幅 (mm) (= S)

b_{wy} : 支圧縦幅 (mm)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

5.6 計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応力評価に用いる計算条件を表5-4 に示す。

表 5-4 応力評価に用いる計算条件 (1/2)

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| 固定荷重 (1門あたりの扉体の自重) G (N) | 1門あたりの 扉体面積 A ₁ (mm ²) | 水の単位体積重量 W ₀ (N/mm ³) |
| 1.4709975×10 ⁴ | 1.7424×10 ⁶ | 1.01×10 ⁻⁵ |

| 区画 | スキンプレート | | | | |
|------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|
| | 辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数k | 短辺 a ₁ (mm) | 長辺 b ₁ (mm) | 板厚 t ₁ (mm) | 単位面積当たりの 荷重 P ₁ (N/mm ²) |
| 1~2桁 | 41.96 | 440 | 600 | 25 | 0.006754 |
| 2~3桁 | 41.96 | 440 | 600 | 25 | 0.006754 |
| 3~4桁 | 41.96 | 440 | 600 | 25 | 0.006754 |

| 区画 | 主桁へ作用する 等分布荷重 W (N/mm) | 主桁支間長 L ₂ (mm) | 主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³) | 主桁の せん断抵抗断面積 A _{w2} (mm ²) |
|-------|------------------------------|------------------------------|--|---|
| 1桁 | 1.4859 | 1320 | 3.799467×10 ⁵ | 2.56×10 ³ |
| 2, 3桁 | 2.9717 | 1320 | 9.415644×10 ⁵ | 4.16×10 ³ |
| 4桁 | 1.4859 | 1320 | 6.797867×10 ⁵ | 4.16×10 ³ |

| 補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm ²) | 補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm) | 補助縦桁の断面係数 Z ₃ (mm ³) | 補助縦桁の せん断抵抗断面積 A _{w3} (mm ²) |
|---|-------------------------|--|---|
| 0.006754 | 440 | 1.713276×10 ⁵ | 1.512×10 ³ |

| ヒンジ (吊りピン) | | | | | ヒンジ (プレート) | |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|---|--|---|------------------------------|
| 支間長 L ₄ (mm) | 受圧幅 B ₄ (mm) | 作用する荷重 P ₄ (N) | 断面係数 Z ₄ (mm ³) | 断面積 A ₄ (mm ²) | 最薄部の断面積 A _{h5} (mm ²) | 作用する荷重 P ₅ (N) |
| 176 | 150 | 12503 | 1.2272×10 ⁴ | 1.963×10 ³ | 1200 | 12503 |

| 取付けボルトの 断面積 A _{b6} (mm ²) | ヒンジ1箇所あたりが 負担する自重荷重 P _{w6} (N) | 鉛直地震力 P _{v6} (N) | 水平地震力 P _{H6} (N) |
|---|---|------------------------------|------------------------------|
| 234.89880 | 7355.0 | 3677.5 | 5884.0 |

表 5-4 応力評価に用いる計算条件 (2/2)

| 戸当りへ作用する 水平地震力 P_7 (N/mm ²) | 扉体幅 L_s (mm) | 戸当り支圧部の 板厚 L_c (mm) | 戸当り幅 S (mm) | 支圧幅 b_{wx} (mm) | 支圧幅 b_{wy} (mm) |
|---|-------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 0.0101 | 1320 | 12 | 245 | 245 | 225 |

| 地震荷重 q (N/mm ²) | 戸当り横幅 L_x (mm) | 戸当り縦幅 L_y (mm) | 支圧板中心横幅 l_x (mm) | 支圧板中心縦幅 l_y (mm) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.0101 | 1710 | 1670 | 1465 | 1445 |

| 単位円周方向幅当たりのエンド プレート面積 A_s (mm ²) | せん断作用位置における周長 l (mm) |
|---|---------------------------|
| 9 | 50π |

6. 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位の応力評価結果を表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 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））（1/2）

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) | | |
|------|---------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|------|------|
| 扉体 | スキンプレート | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 0.88 | 154 | 0.01 | | |
| | 主桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 1桁 | 0.86 | 151 | 0.01 | |
| | | | | 2,3桁 | 0.69 | 154 | 0.01 | |
| | | | | 4桁 | 0.48 | 151 | 0.01 | |
| | | | 1桁 | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.39 | 88 | 0.01 | |
| | | | 2,3桁 | | 0.48 | 88 | 0.01 | |
| | | | 4桁 | | 0.24 | 88 | 0.01 | |
| | | | 1桁 | — | 合成応力度 (N/mm ²) * | 1.10 | 154 | 0.01 |
| | | | 2,3桁 | | | 1.09 | 154 | 0.01 |
| | | | 4桁 | | | 0.64 | 154 | 0.01 |
| | 補助縦桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 0.29 | 144 | 0.01 | | |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.22 | 88 | 0.01 | | |
| | | — | 合成応力度 (N/mm ²) * | 0.48 | 154 | 0.01 | | |
| | ヒンジ (プレート) | 水路縦断方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 10.42 | 88 | 0.12 | | |
| | | 水路横断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 47.29 | 154 | 0.31 | | |
| | | | 支圧応力度 (N/mm ²) | 1.93 | 231 | 0.01 | | |
| | ヒンジ(ピン) | 水路縦断方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 9.20 | 88 | 0.11 | | |
| | | | 鉛直方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 25.73 | 154 | 0.17 | |
| | | — | せん断応力度 (N/mm ²) | 4.25 | 88 | 0.05 | | |
| | エンドプレート | 水路横断方向 | 合成応力度 (N/mm ²) * | 26.77 | 154 | 0.18 | | |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 4.2 | 88 | 0.05 | | |
| | | | 引張応力度 (N/mm ²) | 23.49 | 154 | 0.16 | | |
| | ヒンジ取付け ボルト | 水路縦断方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 12.53 | 88 | 0.15 | | |
| 鉛直方向 | | | 合成応力度 (N/mm ²) * | 31.99 | 154 | 0.21 | | |
| — | | 引張応力度 (N/mm ²) | 23.49 | 154 | 0.16 | | | |

注記 * : 同じ荷重条件の曲げ応力度（又は引張応力度）及びせん断応力度から算出する。

表 6-1 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））(2/2)

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) |
|--------|----------------------------|--------|--------------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| 固定部 | ヒンジ取付け ボルト | 水路縦断方向 | 引張応力度 (N/mm ²) | 6.27 | 154 | 0.05 |
| | | 鉛直方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 11.75 | 88 | 0.14 |
| | | — | 合成応力度 (N/mm ²) * | 21.30 | 154 | 0.14 |
| | 戸当り | 水路横断方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 13.31 | 88 | 0.16 |
| | | 鉛直方向 | | | | |
| | 戸当り部 | コンクリート | 水路縦断方向 | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.56 | 231 |
| コンクリート | 支圧応力度 (N/mm ²) | | | 0.03 | 13.5 | 0.01 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.02 | 1.5 | 0.02 |

注記 * : 同じ荷重条件の曲げ応力度（又は引張応力度）及びせん断応力度から算出する。

7. 出口側集水ピットの強度評価

7.1 出口側集水ピットの構造概要

出口側集水ピットは、底版と4面の壁からなる箱型の鉄筋コンクリート構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置する。出口側集水ピットが屋外排水路（防潮堤南側）と接続する箇所に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を設置する。

出口側集水ピット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基礎地盤の支持性能評価を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7-1に、構造図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。

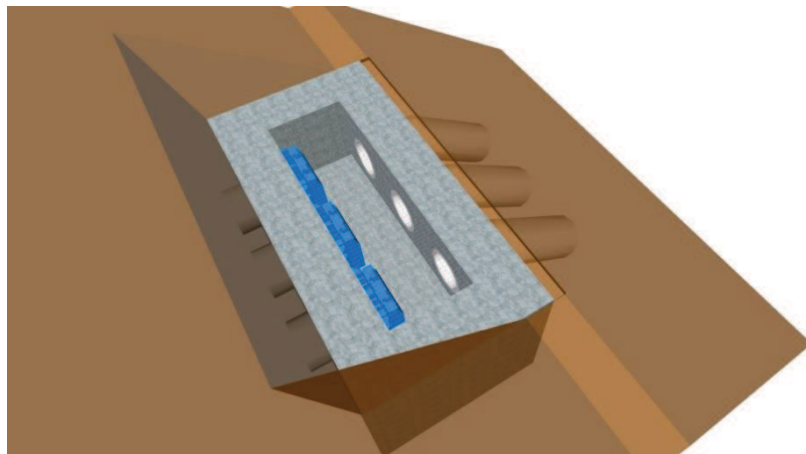
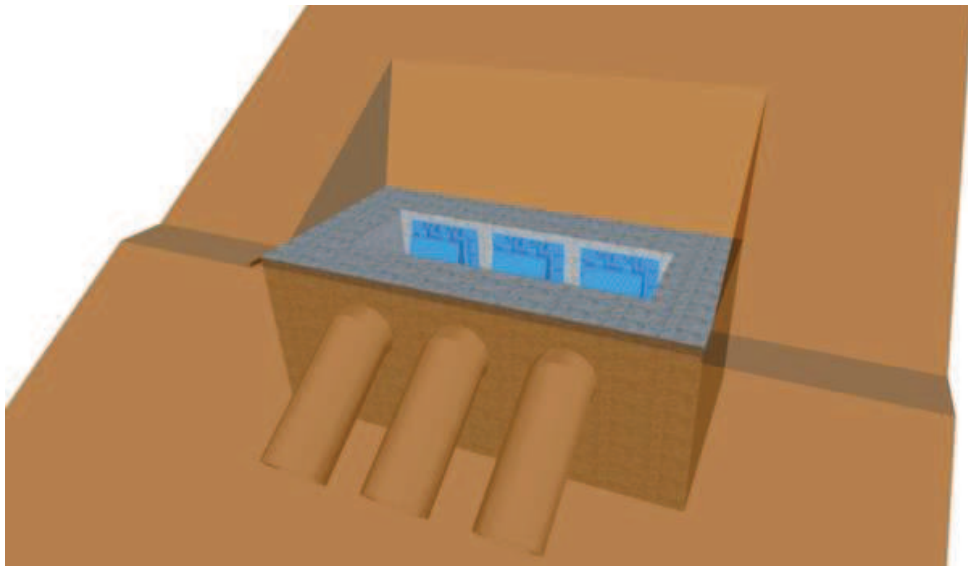


図7-1 出口側集水ピットの概念図

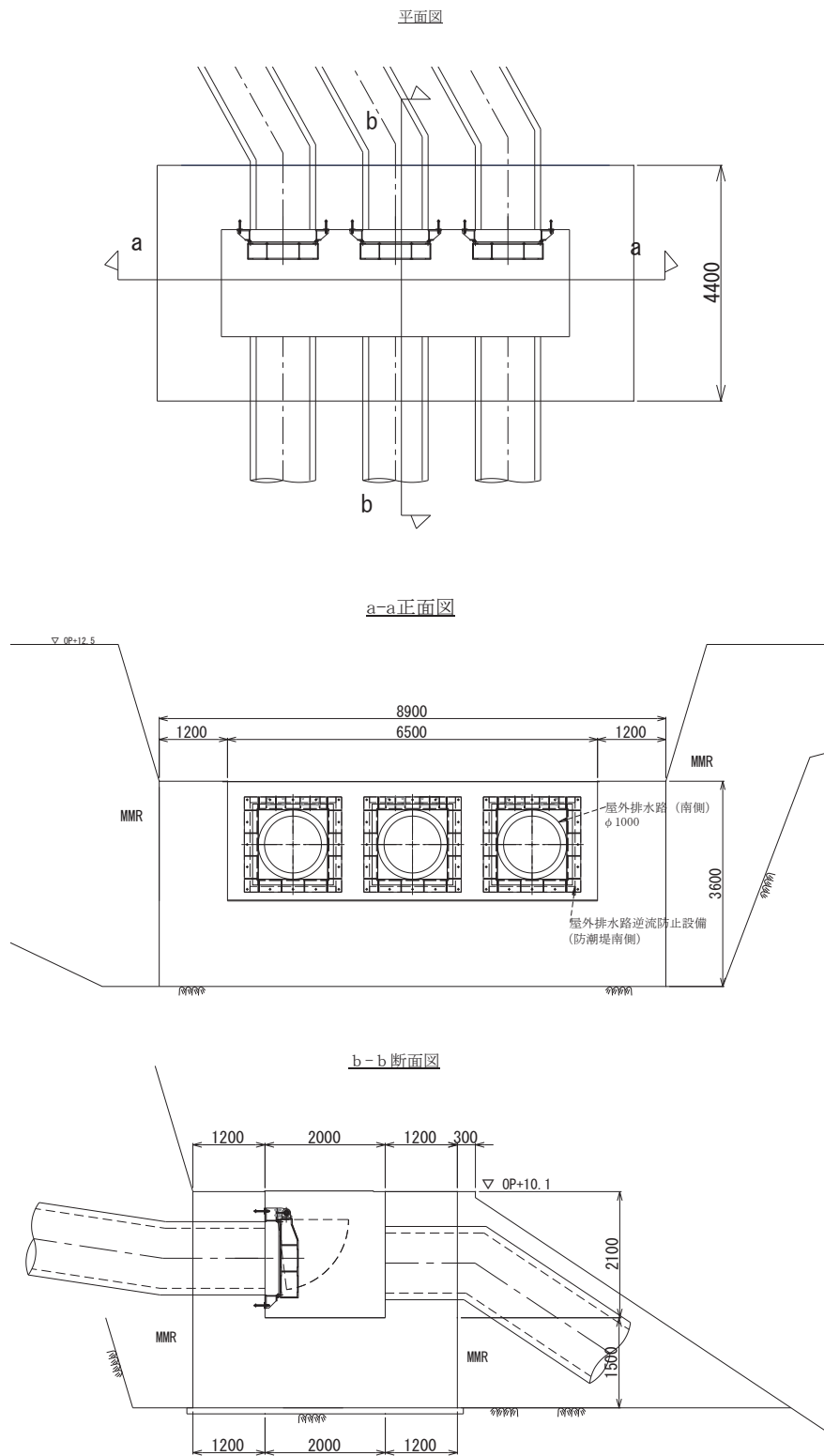
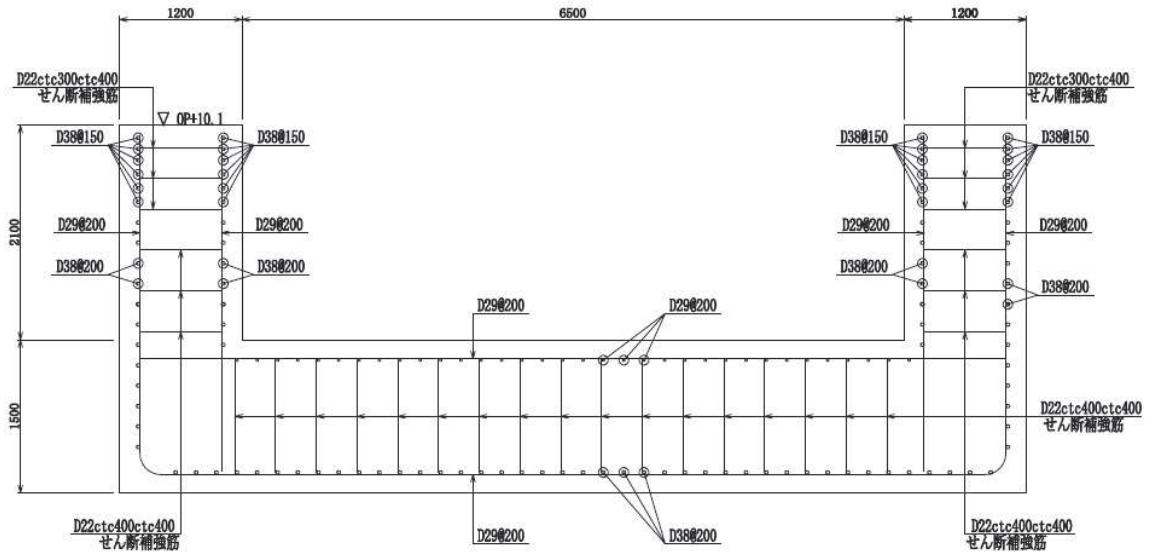


図 7-2 出口側集水ピット構造図

a-a 断面



b-b 断面

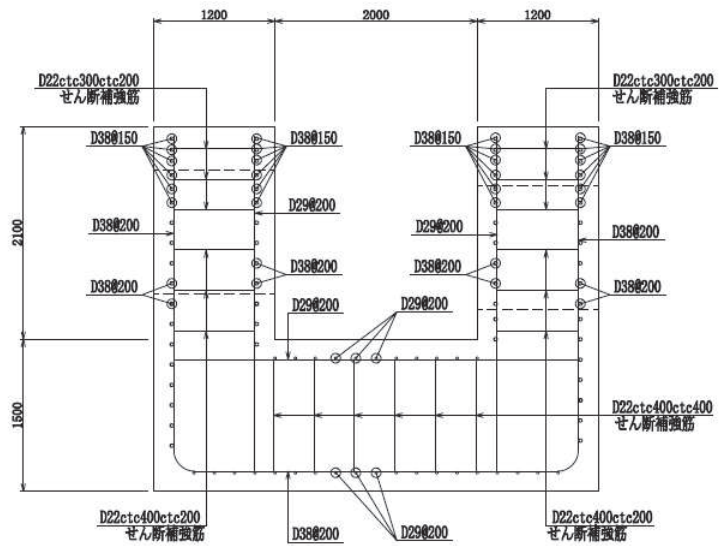


図 7-3 出口側集水ピットの配筋概要図

7.2 評価方針

出口側集水ピットの耐震評価は、添付書類「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 に対して実施する地震応答解析の結果を用いて、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により、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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、地震応答解析から得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下「三次元構造解析」という。）を実施し、部材に発生する発生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ついては、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

図7-4に出口側集水ピットの耐震評価フローを示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

| 評価方針 | 評価項目 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 | |
|---|-----------|------------|-----------------------|---------|----------|
| | | | | 曲げ・軸力 | せん断力 |
| 構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 鉄筋コンクリート部材 | 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 | 短期許容せん断力 |
| | 構造部材の支持性能 | 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* | |

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

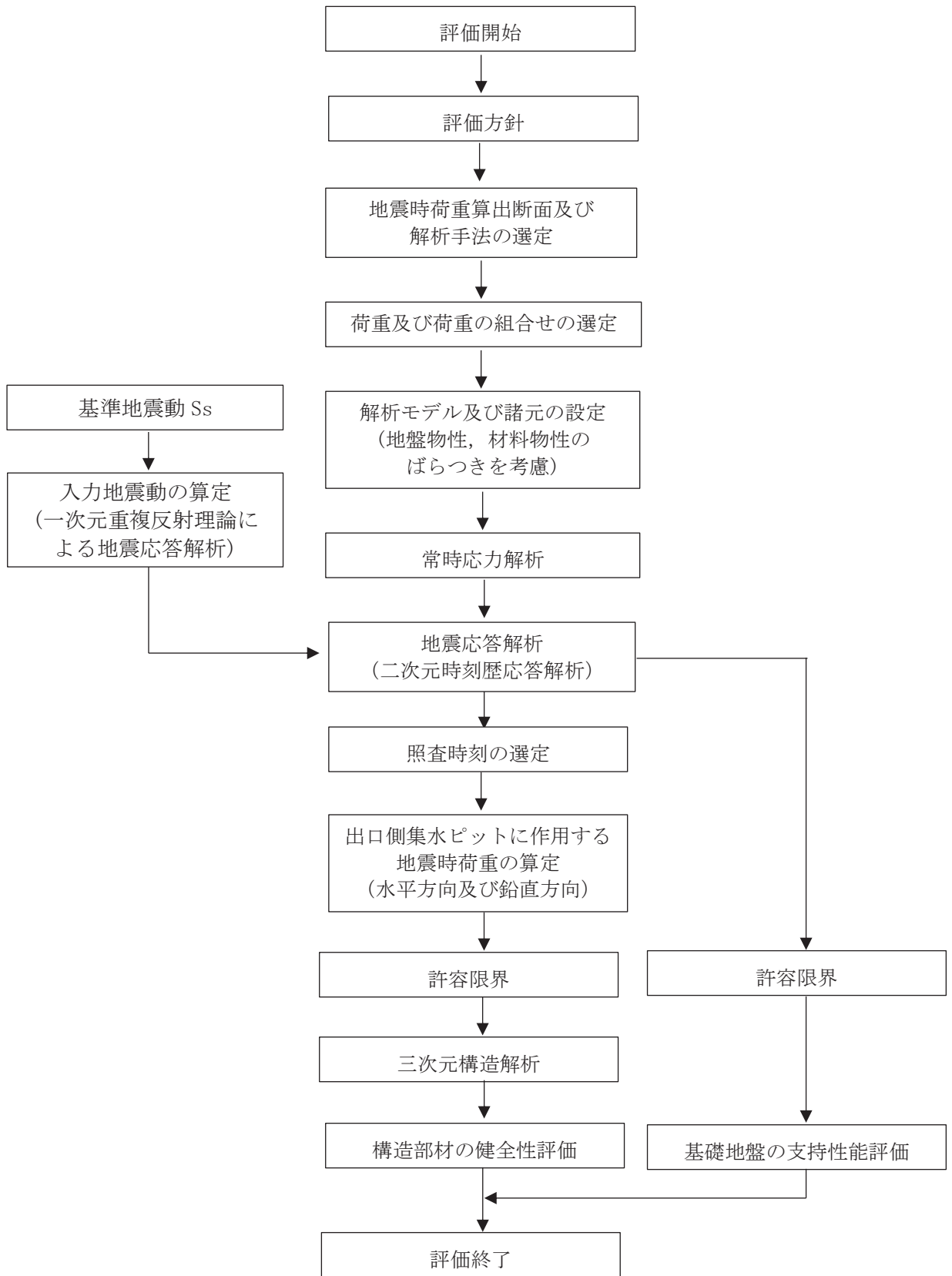


図 7-4 出口側集水ピットの耐震評価フロー

7.3 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- (2) 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (3) 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
- (4) 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・V 耐震設計編
- (5) 土木学会 2005年 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
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)

8. 地震応答解析

8.1 地震時荷重算出断面

出口側集水ピットの地震時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、ピットの縦断方向である A-A 断面とする。また、出口側集水ピットの評価対象断面図を図 8-2 に示す。

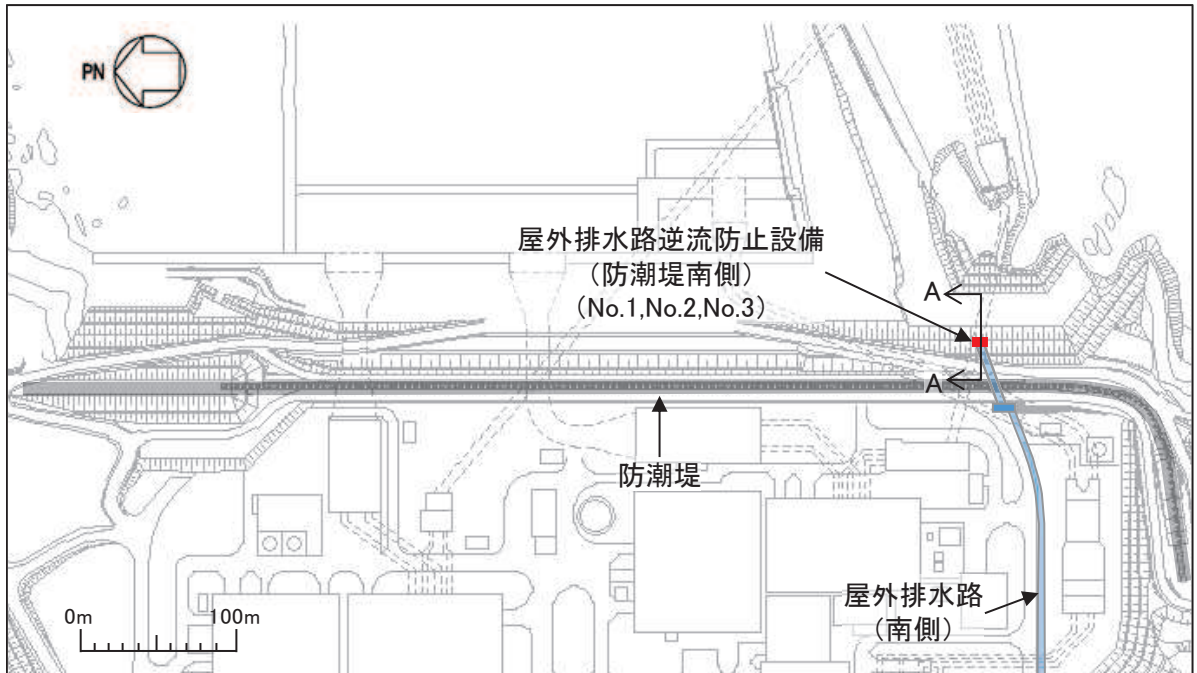


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

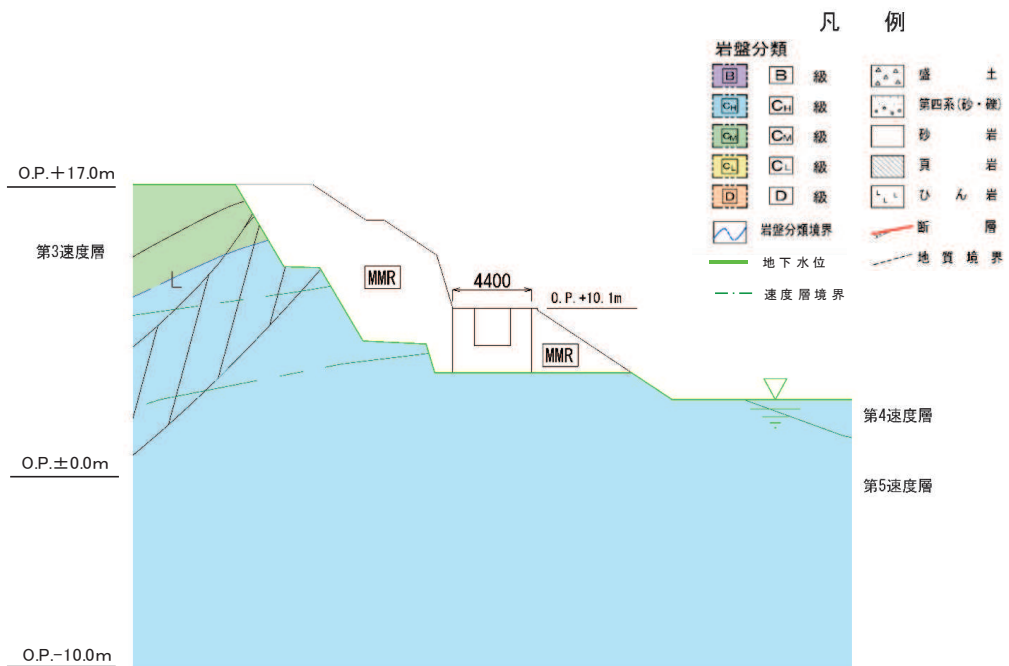


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図 (A-A 断面)

8.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元動的有限要素法により、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を行うこととし、出口側集水ピットが岩盤内に設置され、液状化検討対象外の施設であることから、全応力解析手法を用いる。

全応力解析には、解析コード「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1) 構造部材

出口側集水ピットは、東西壁及び底版を線形はり要素（ビーム要素）、南北壁を平面応力要素でモデル化する。

(2) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として C_n 級岩盤及び C_M 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

なお、出口側集水ピットは、新設構造物であり許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-1 解析ケース

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| | | 旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C ₁ 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |
| ケース② | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 + 1 σ |
| ケース③ | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 - 1 σ |
| ケース④ | 実強度に基づく 圧縮強度* | 平均値 | 平均値 |

注記*: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

(3) 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、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。固有値解析結果に基づき設定した係数 α , β を表 8-2 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 8-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

| 地震時荷重算出断面 | α | β |
|-----------|----------|------------------------|
| A-A 断面 | 1.743 | 3.873×10^{-4} |

(4) 地震応答解析の検討ケースの選定

a. 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 8-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 8-3 に示す。

表 8-3 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | | ケース① | ケース② | ケース③ |
|-------------|---------------------|-----|--------|--|-------------------------------------|
| | | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース |
| 材料物性 | | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 |
| 地盤物性 | | | 平均値 | 平均値 + 1 σ | 平均値 - 1 σ |
| 地震動 (位相) | S _s -D 1 | ++* | ○ | 基準地震動 S_s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース①（基本ケース）の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。 | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -D 2 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -D 3 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -F 1 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -F 2 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -F 3 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |
| | S _s -N 1 | ++* | ○ | | |
| | | -+* | ○ | | |

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。

b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出のための解析ケース

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 8-4 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8-4 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の応答加速度及び
応答変位抽出のための解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ |
|---------|---------------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース | 材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1 σ | 平均値-1 σ | 平均値 |
| 材料物性 | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度*3 |
| 地震動（位相） | S _s -D 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -D 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -D 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -F 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -F 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -F 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S _s -N 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |

注記 *1：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：位相反転ケース（-+）でのケース②～④について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、津波波圧が支配的な荷重であり、地震荷重が構造成立性に及ぼす影響が小さいことから検討を省略する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

8.3 荷重及び荷重の組合せ

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

8.3.1 耐震評価上考慮する状態

出口側集水ピット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

積雪の影響を考慮する。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

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

8.3.2 荷重

出口側集水ピット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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の荷重を考慮する。また、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、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する。

(4) 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。

8.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-5 に示す。

表 8-5 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 |

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_sを含めて 4.9kN/m²)

S_s : 地震荷重

8.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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 を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面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、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-3 に入力地震動算定の概念図を、図 8-4 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示す。入力地震動の算定には、解析コード「microSHAKE ver. 2.3.3」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

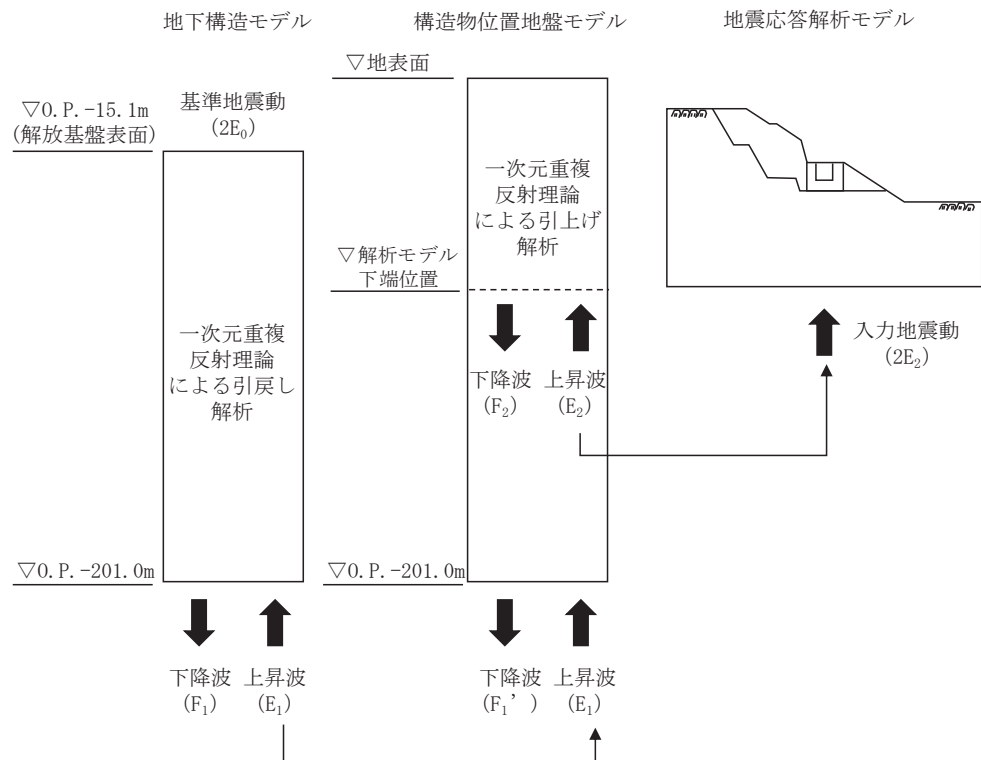
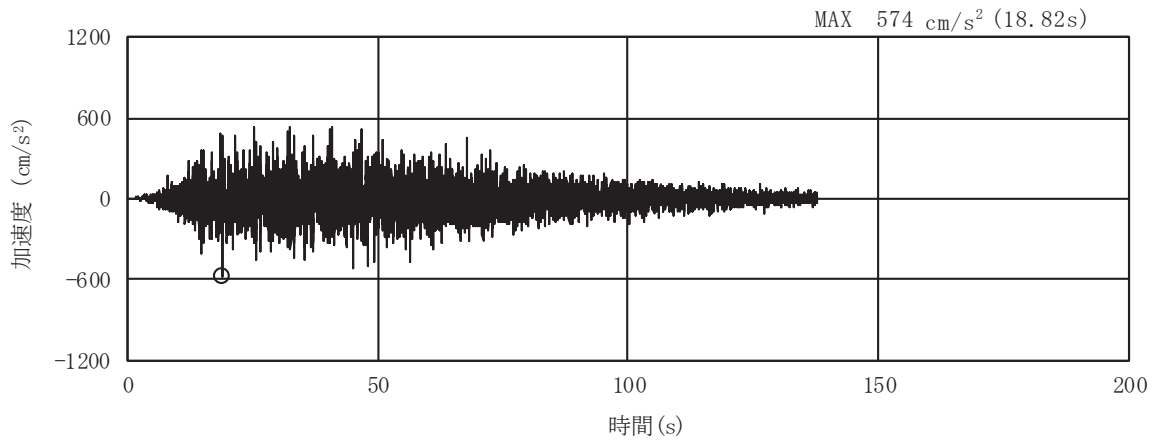
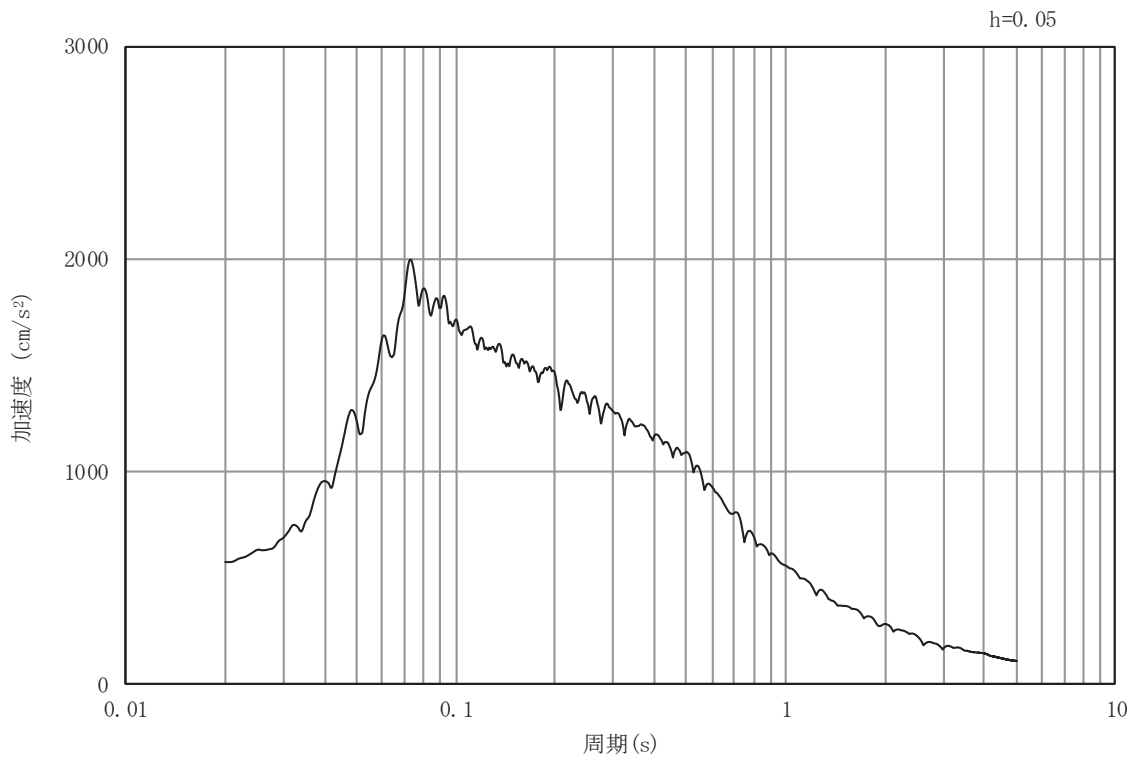


図 8-3 入力地震動算定の概念図

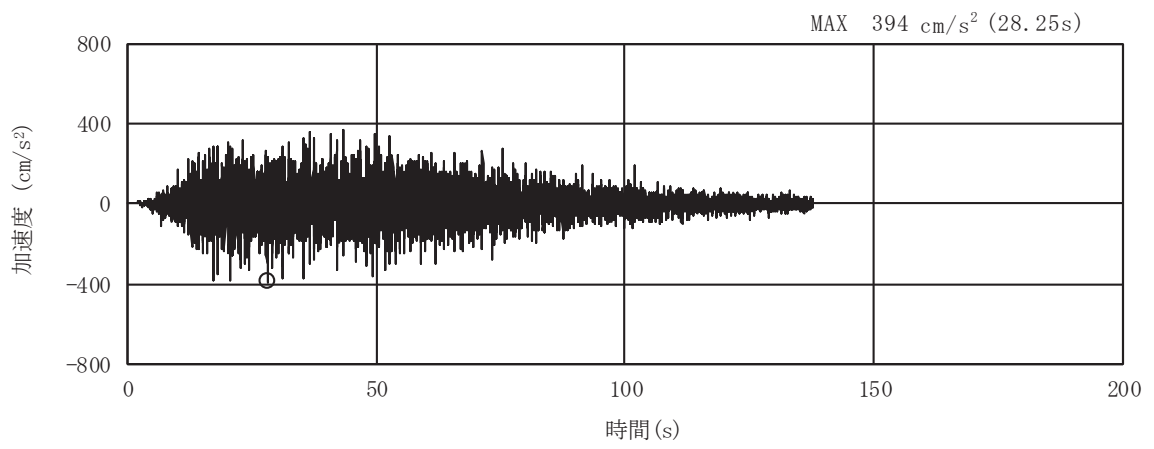


(a) 加速度時刻歴波形

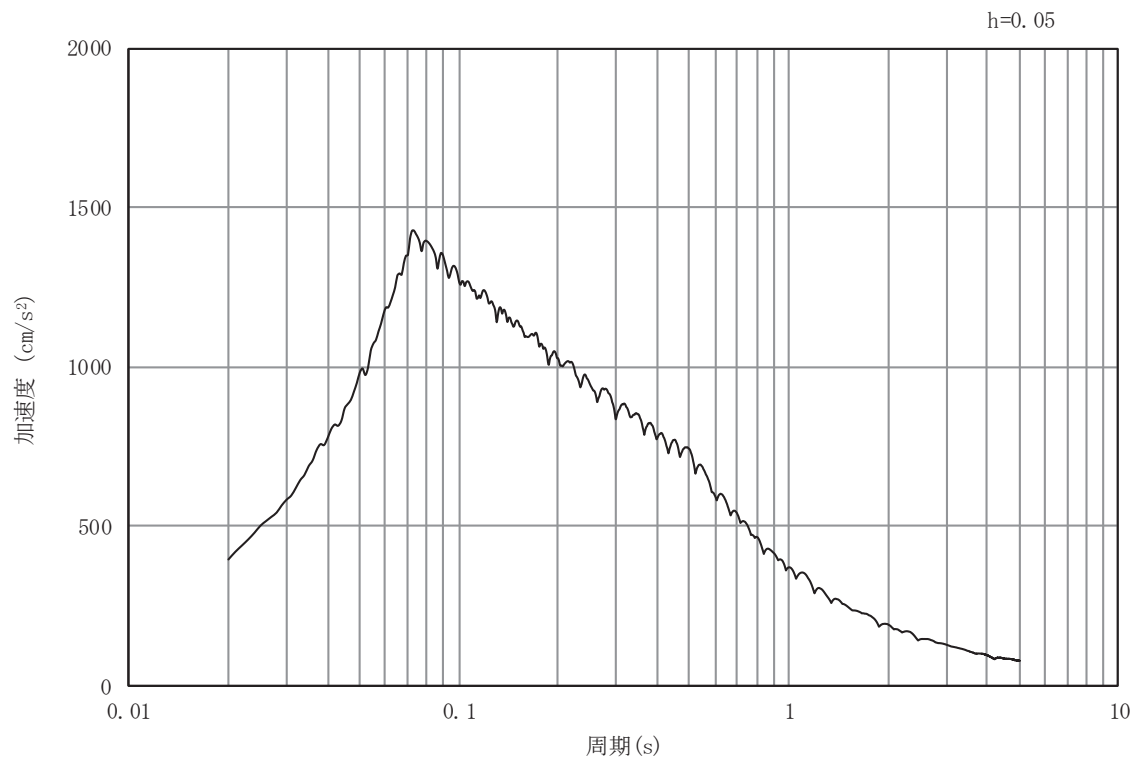


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(1) 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
(水平方向：S s - D 1)

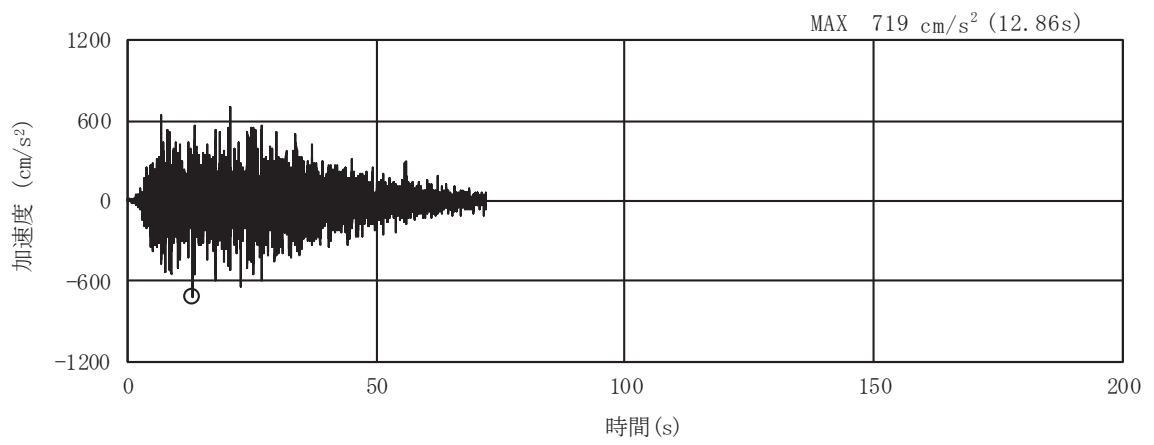


(a) 加速度時刻歴波形

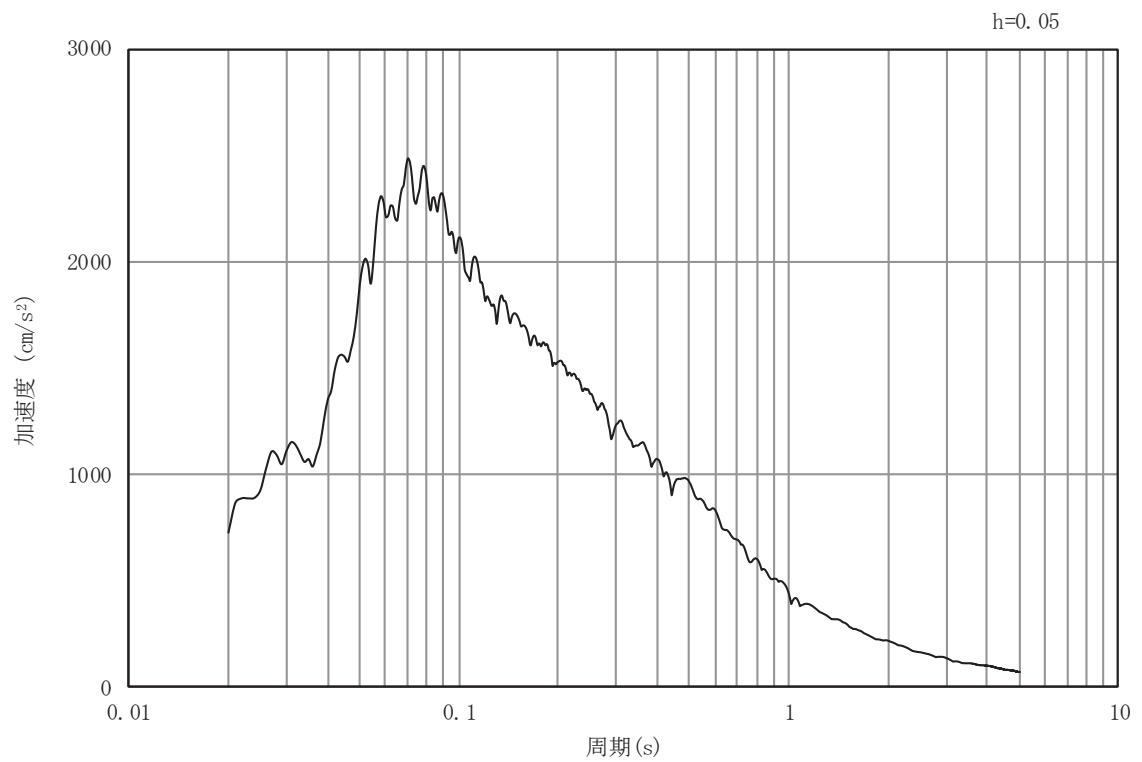


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

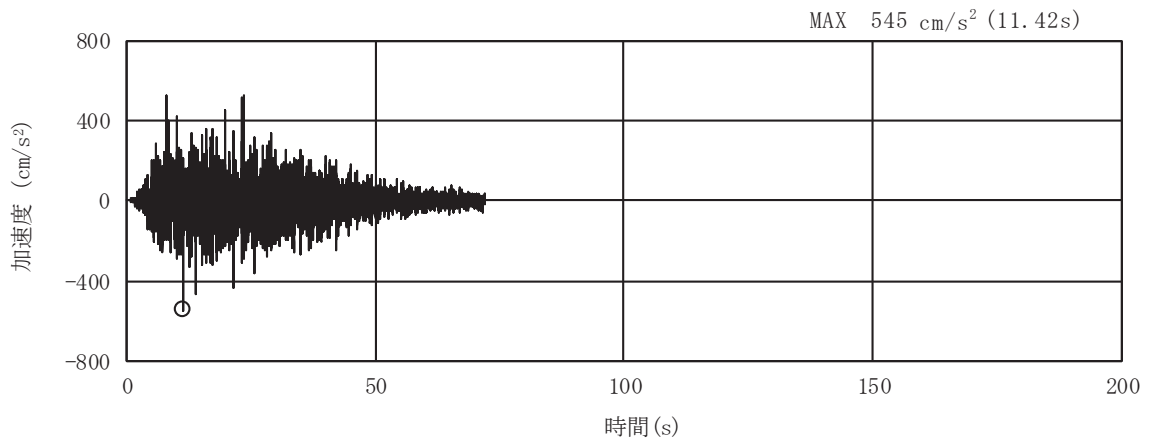


(a) 加速度時刻歴波形

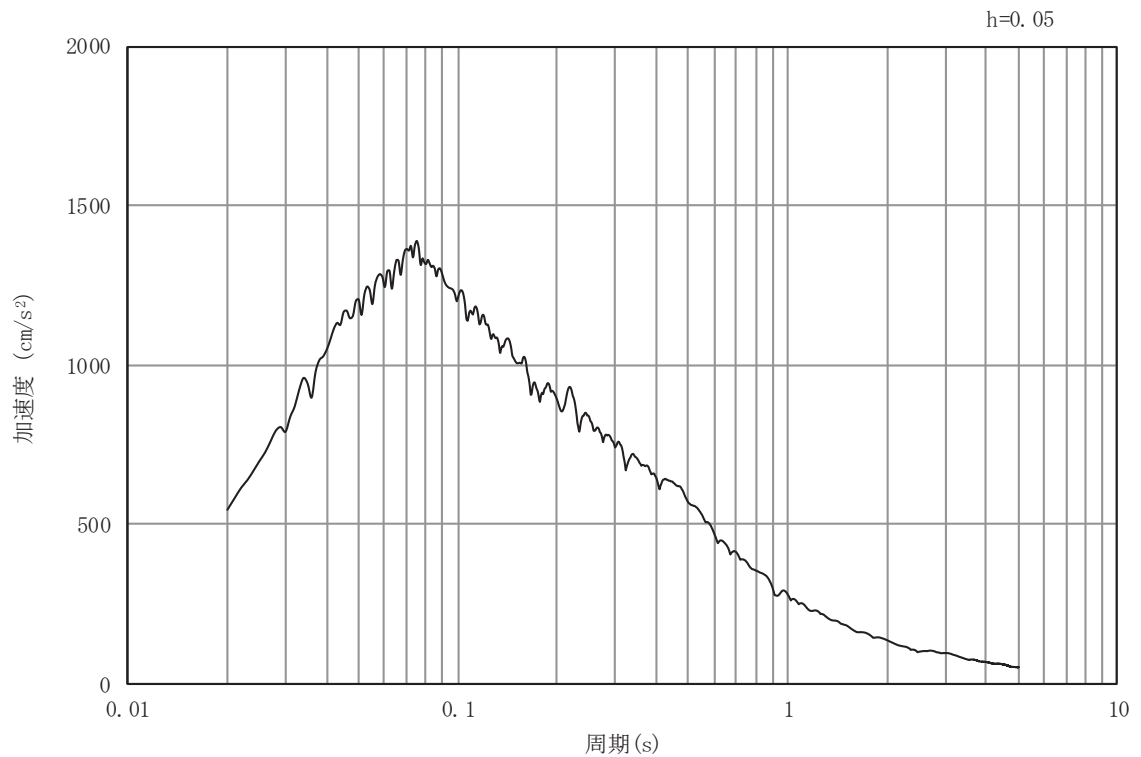


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(3) 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
(水平方向：S s - D 2)

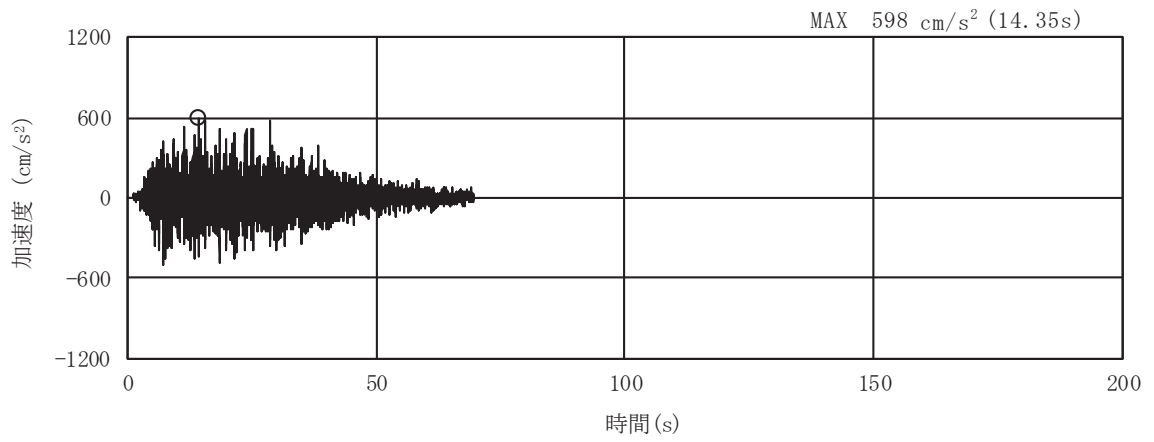


(a) 加速度時刻歴波形

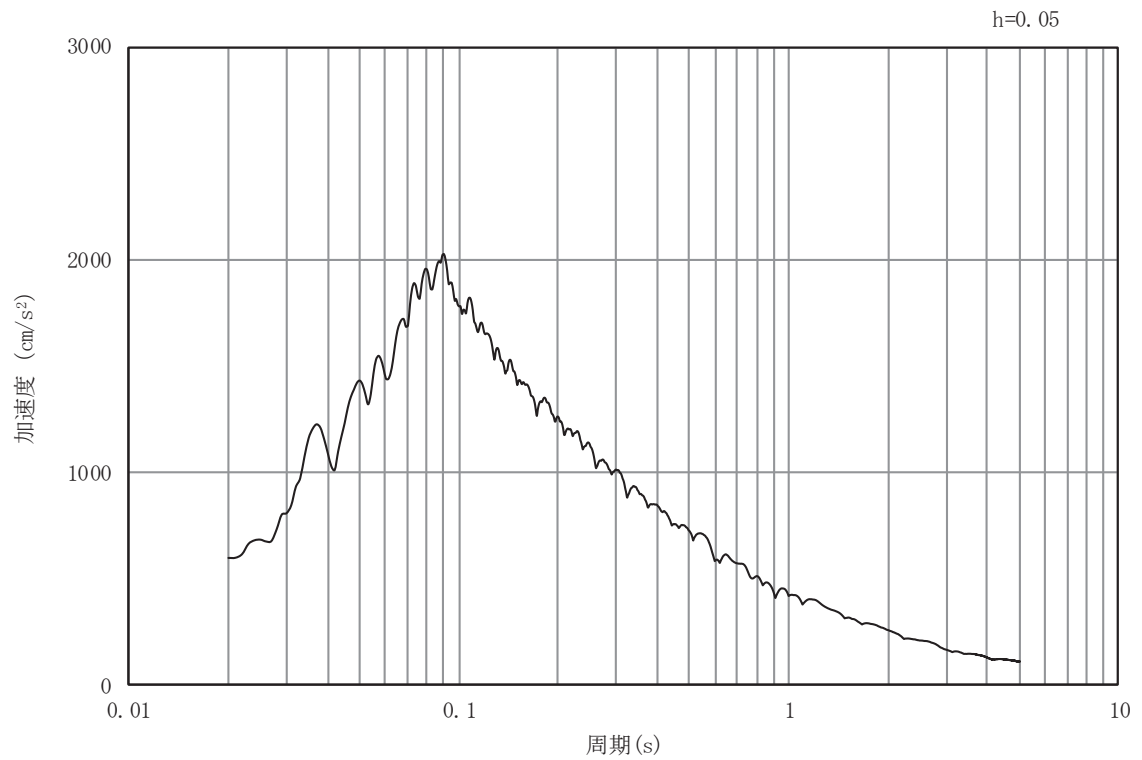


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(4) 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
(鉛直方向：S s - D 2)

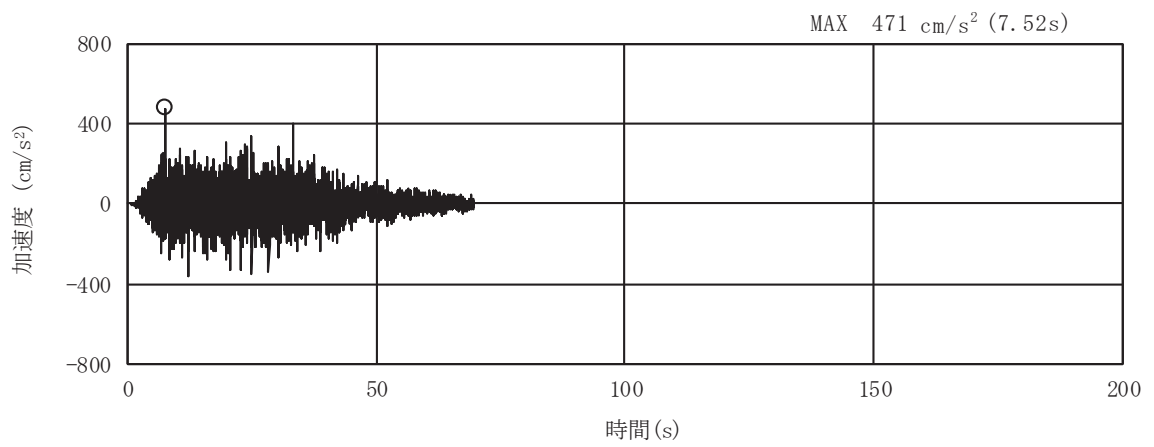


(a) 加速度時刻歴波形

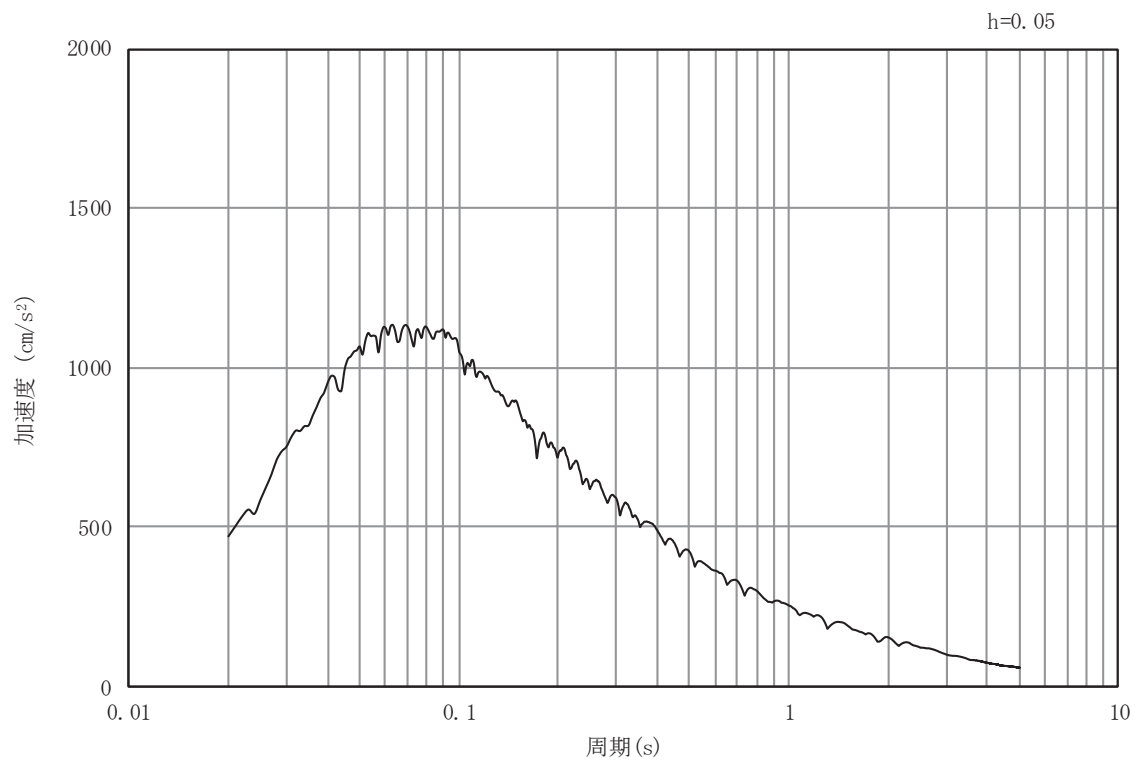


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：S s - D 3)

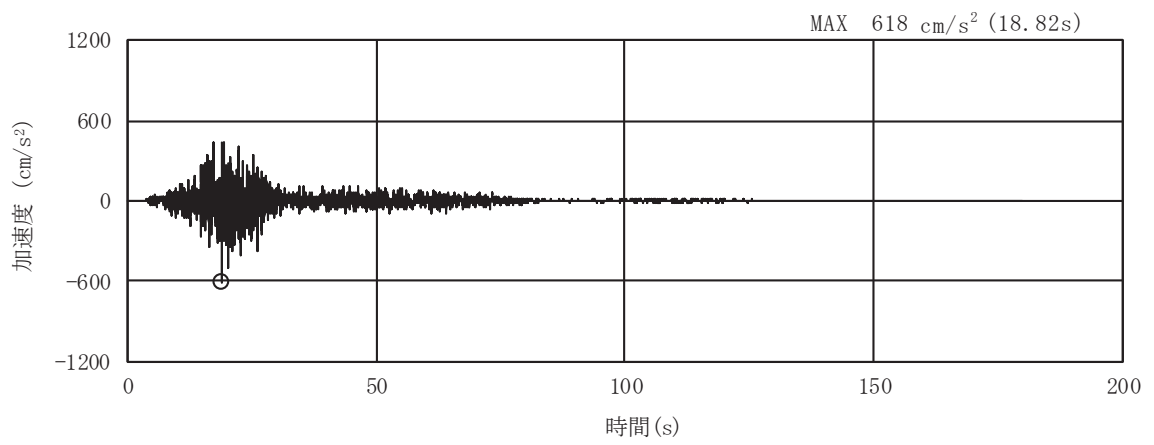


(a) 加速度時刻歴波形

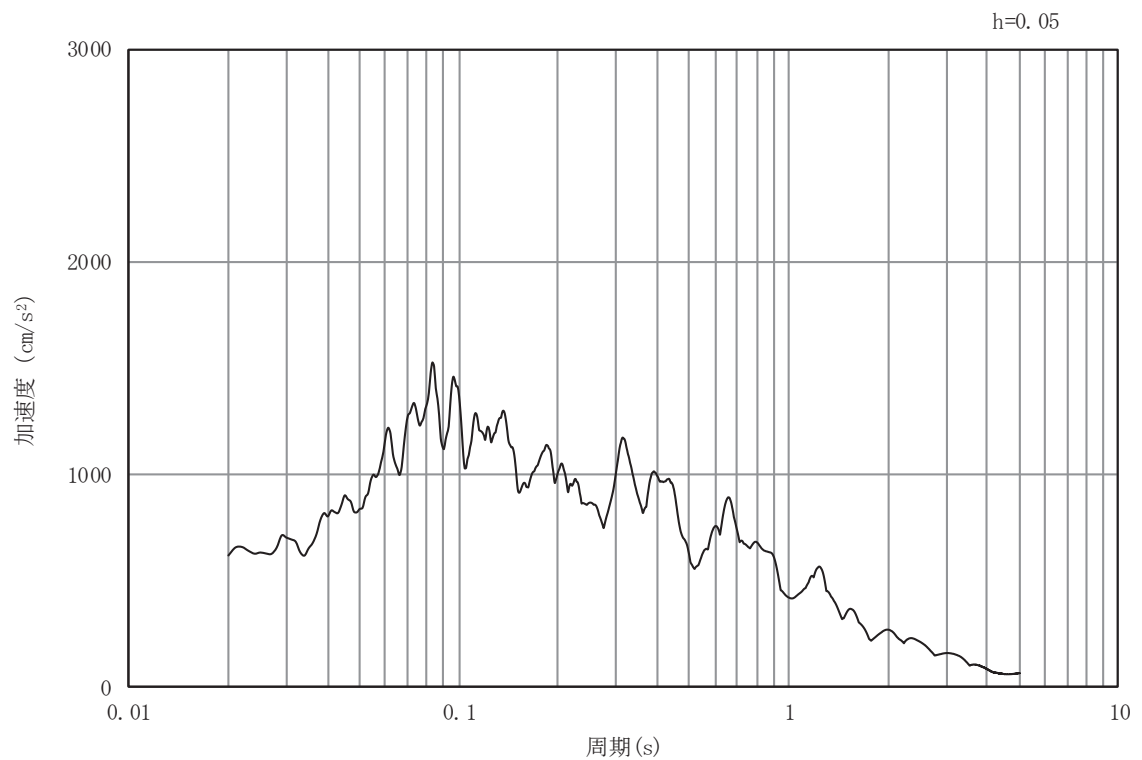


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - D 3)

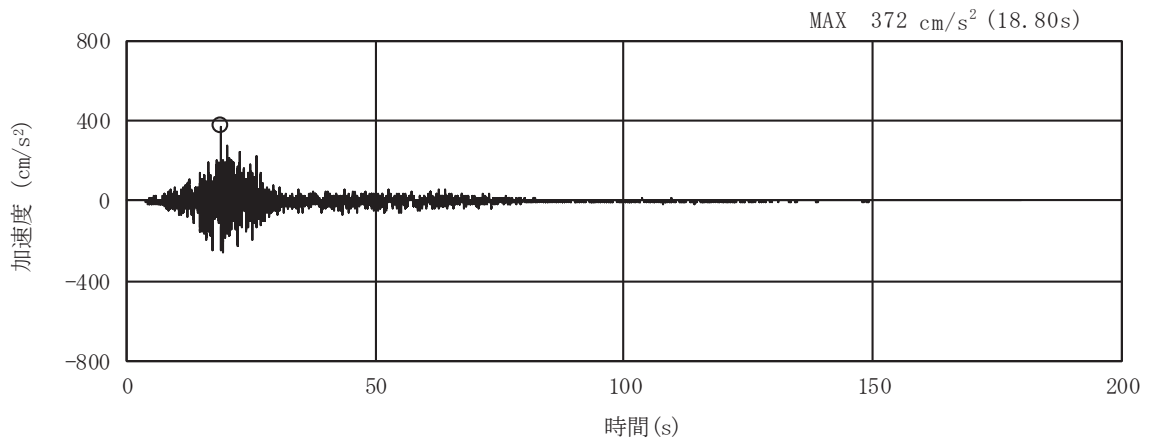


(a) 加速度時刻歴波形

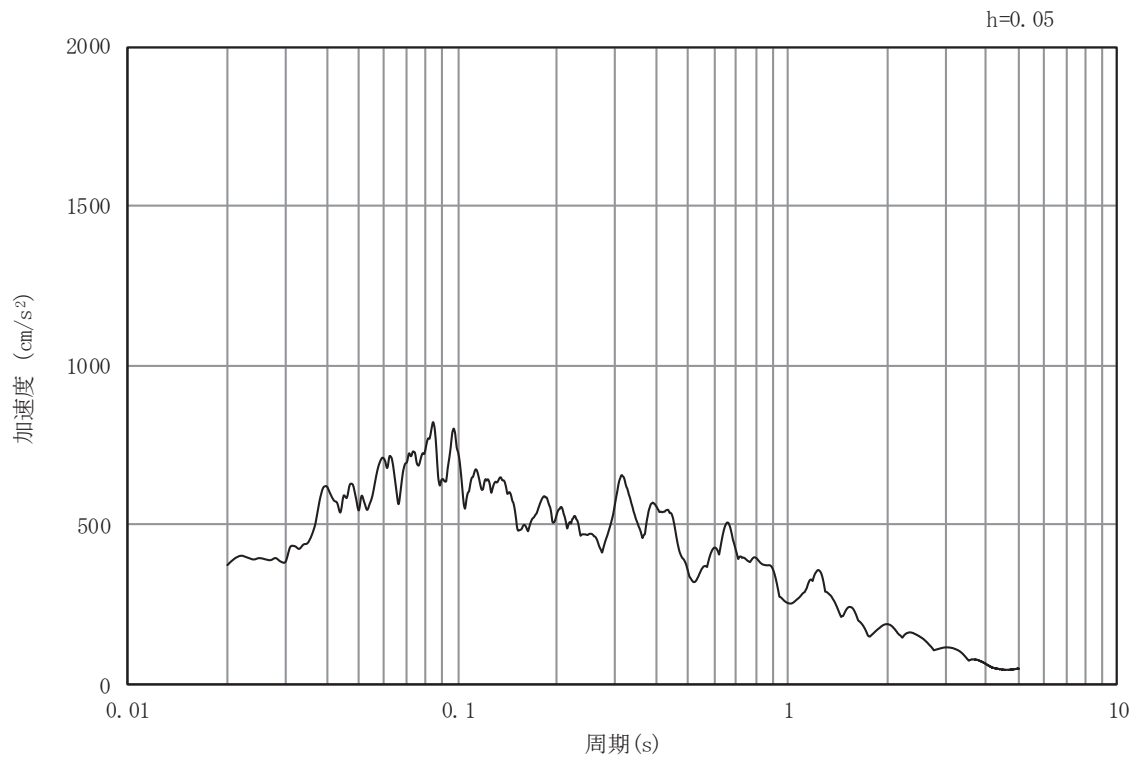


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：S s - F 1)

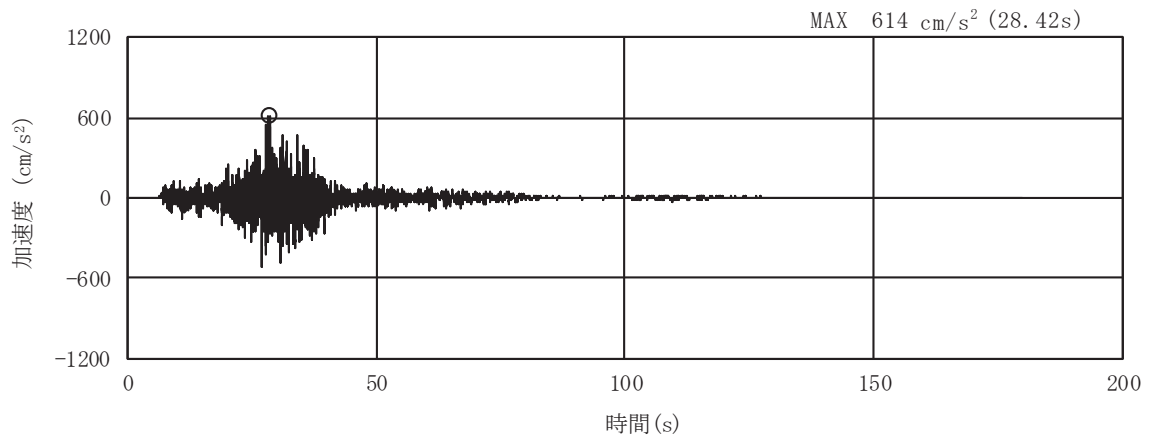


(a) 加速度時刻歴波形

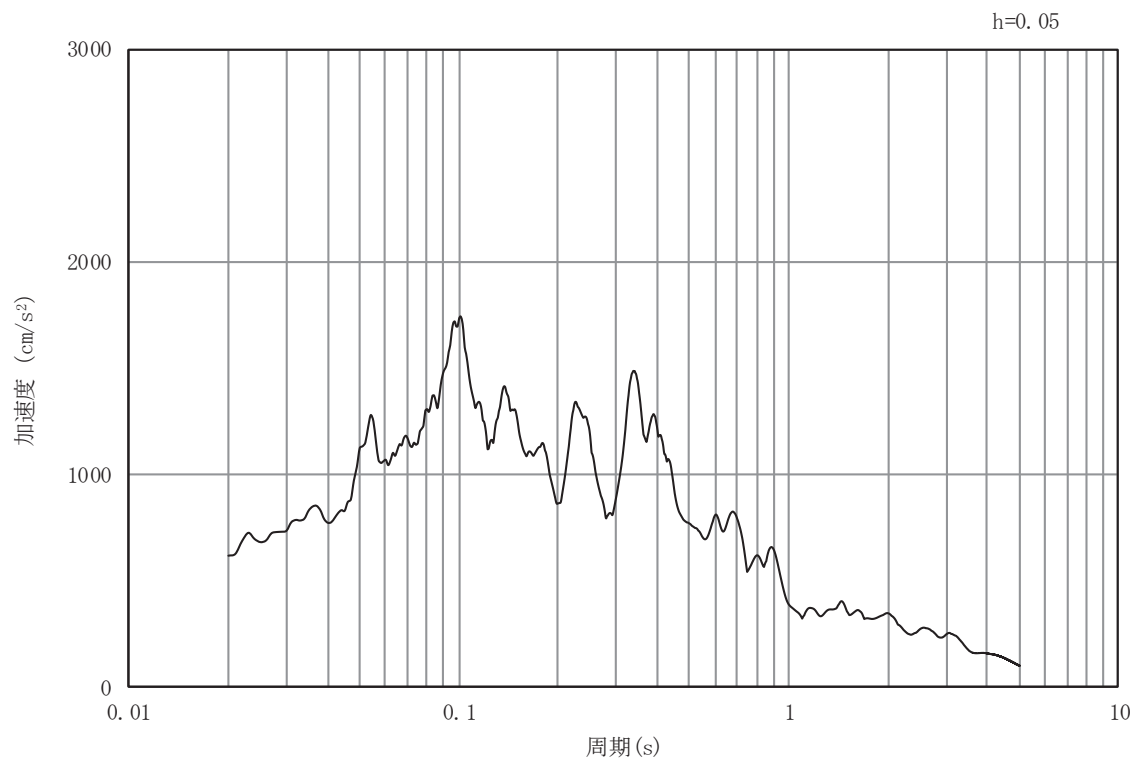


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 1)

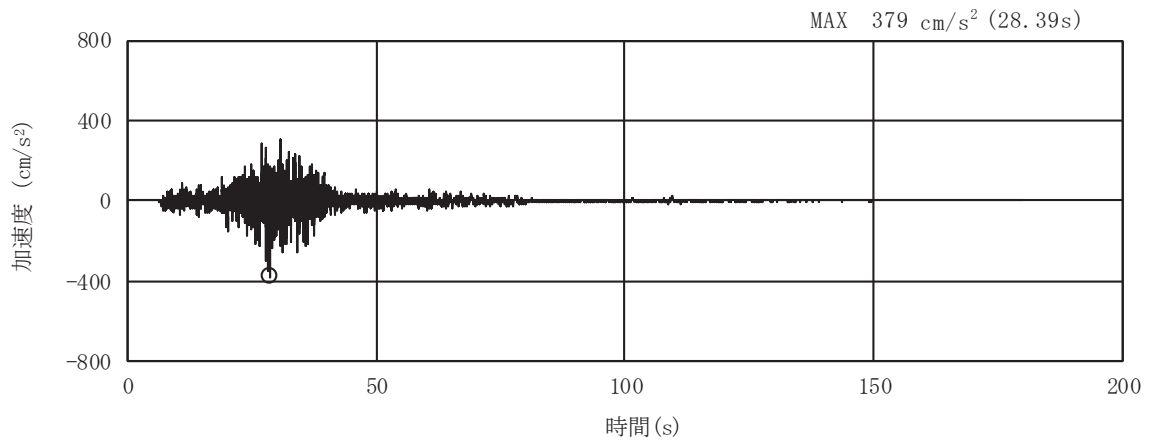


(a) 加速度時刻歴波形

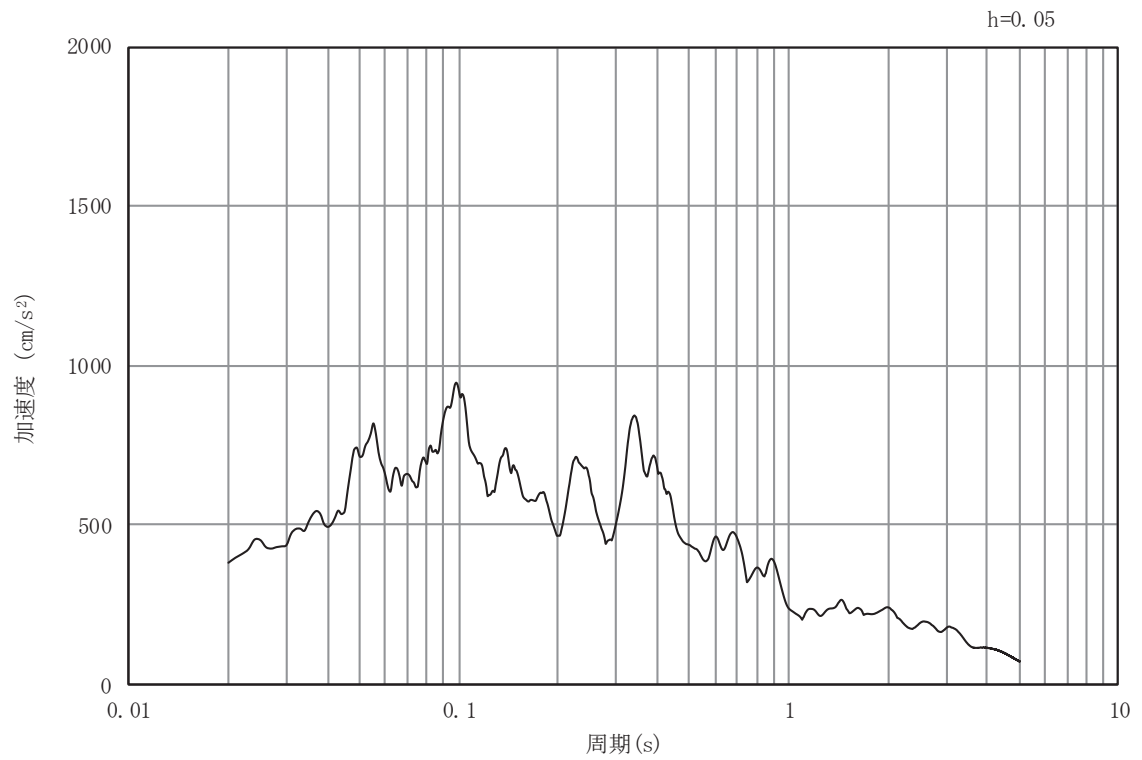


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向 : S s - F 2)

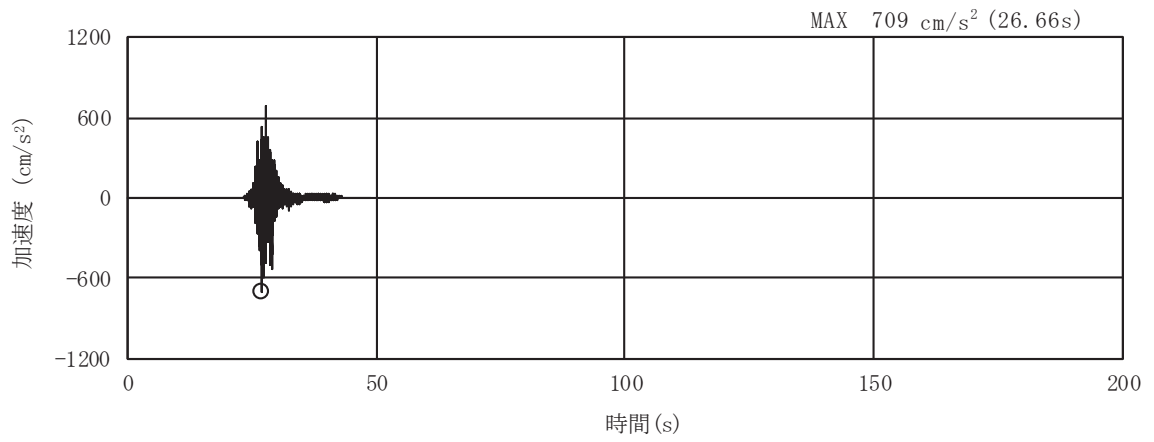


(a) 加速度時刻歴波形

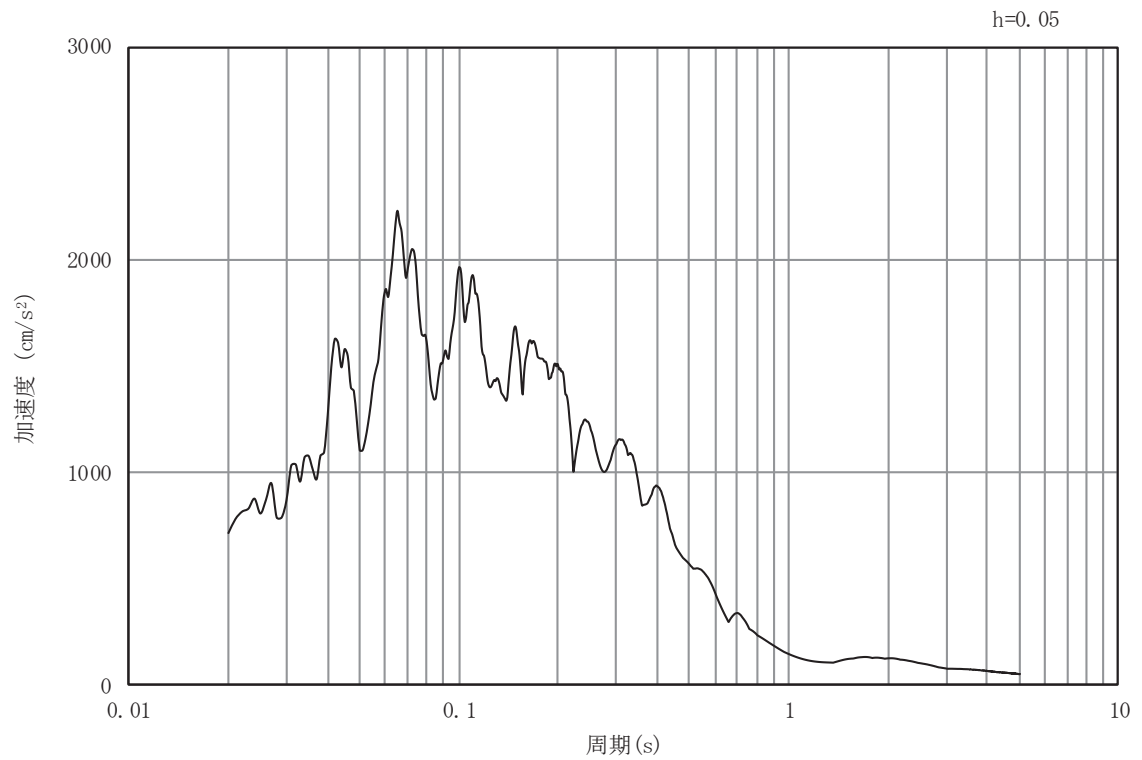


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 2)

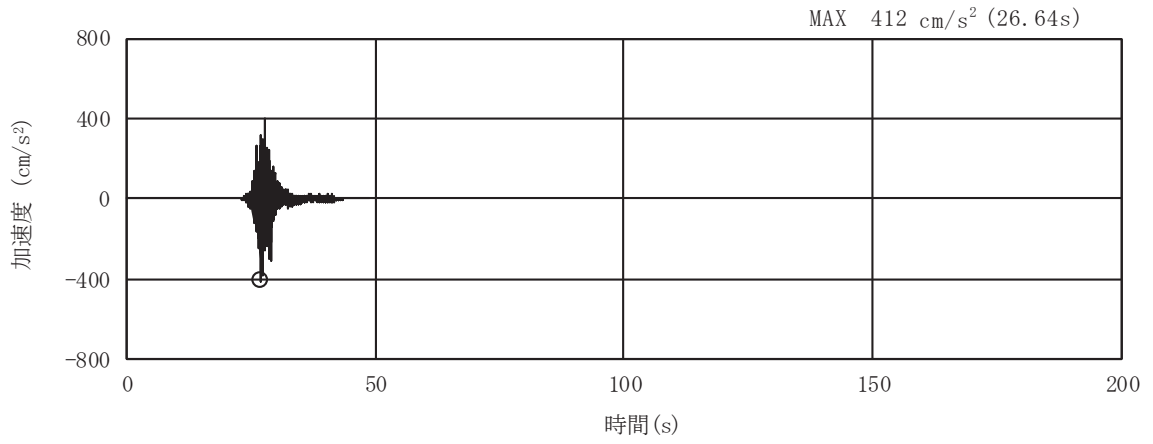


(a) 加速度時刻歴波形

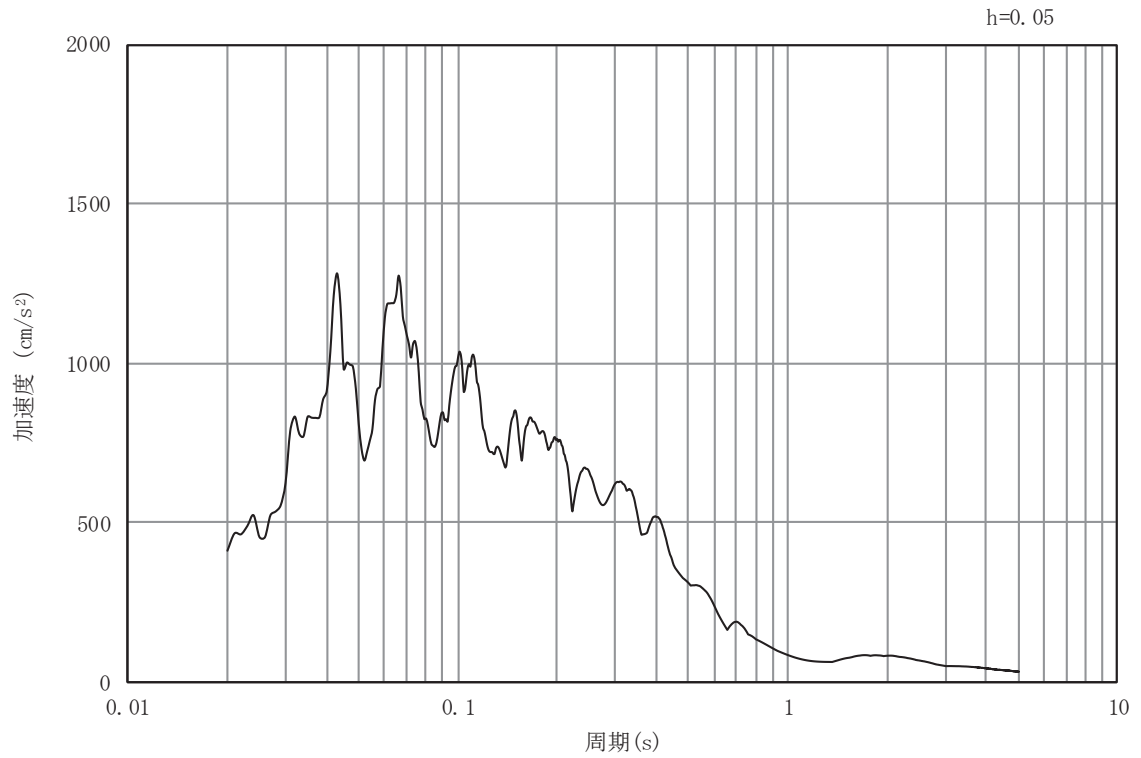


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：S s - F 3)

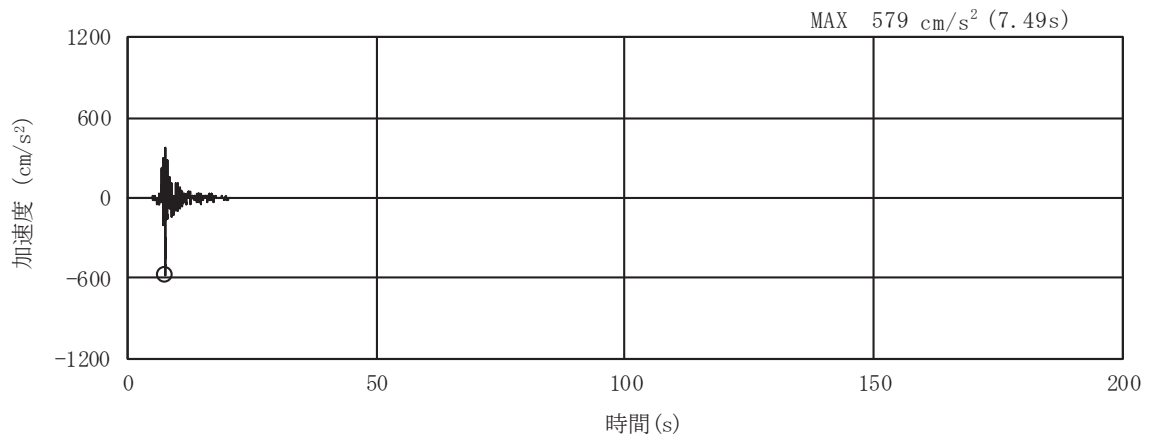


(a) 加速度時刻歴波形

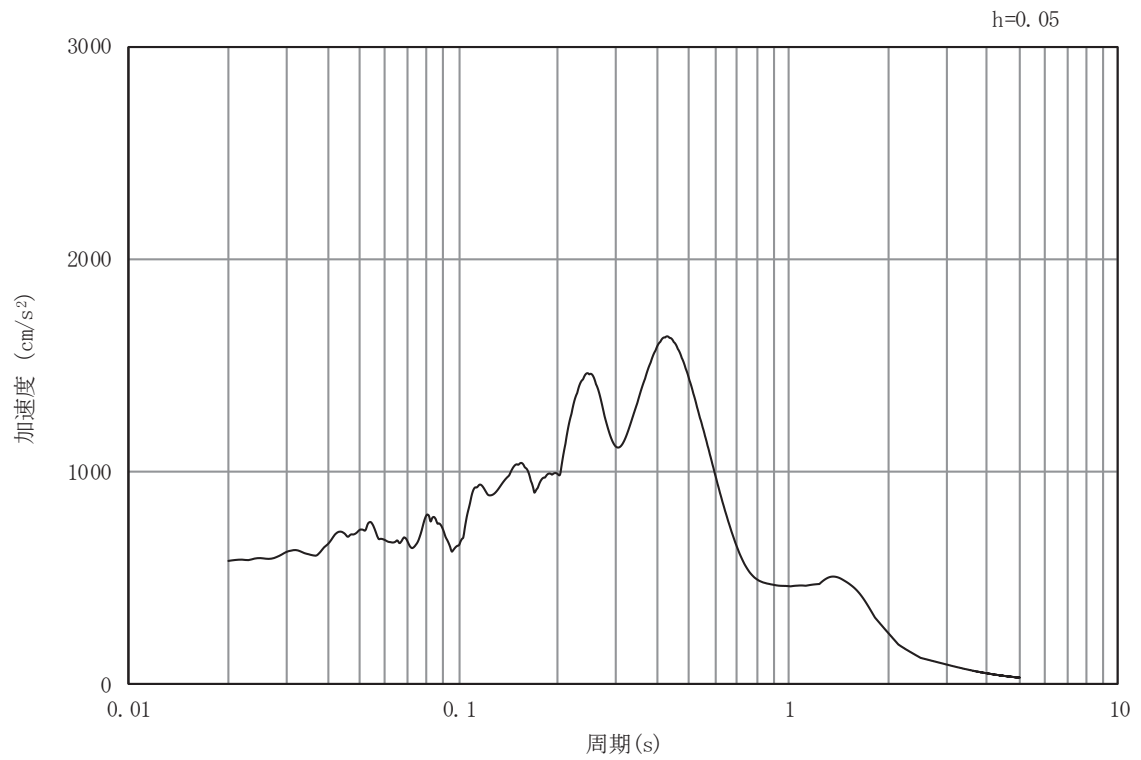


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 3)

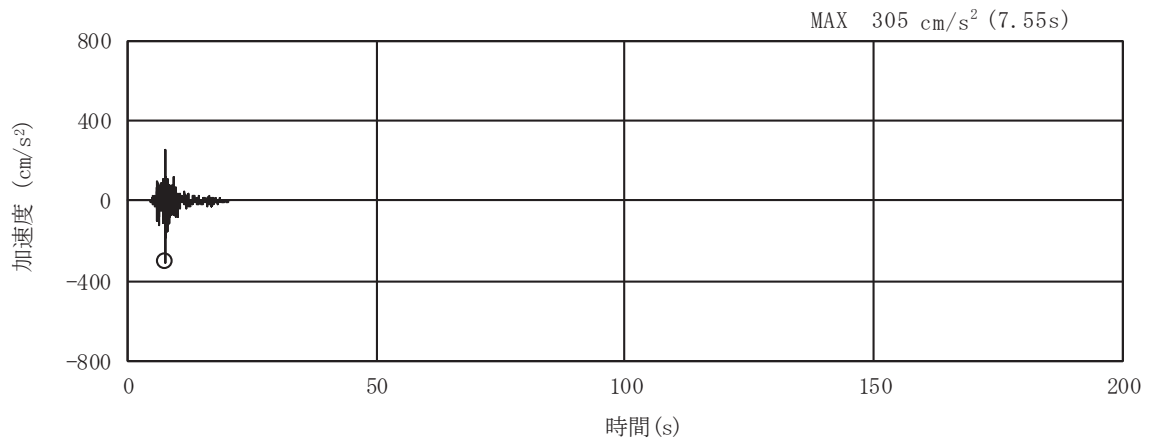


(a) 加速度時刻歴波形

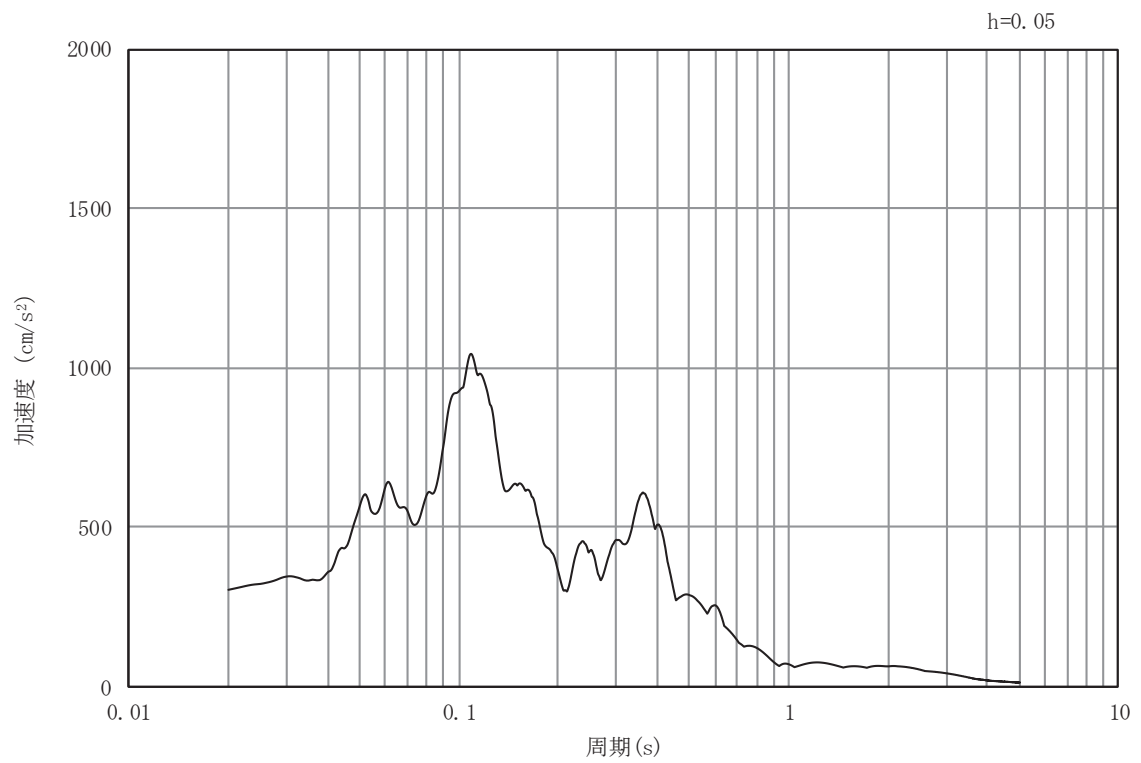


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：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 8-4(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
(鉛直方向：S s - N 1)

8.5 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-5 に示す。

a. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

b. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

c. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、線形はり要素（ビーム要素）及び平面応力要素でモデル化する。

d. 地盤のモデル化

C_H 級岩盤及び C_M 級岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

e. ジョイントのモデル化

「構造物とマンメイドロック」、「構造物と岩盤」及び「マンメイドロックと岩盤」との接合面における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。

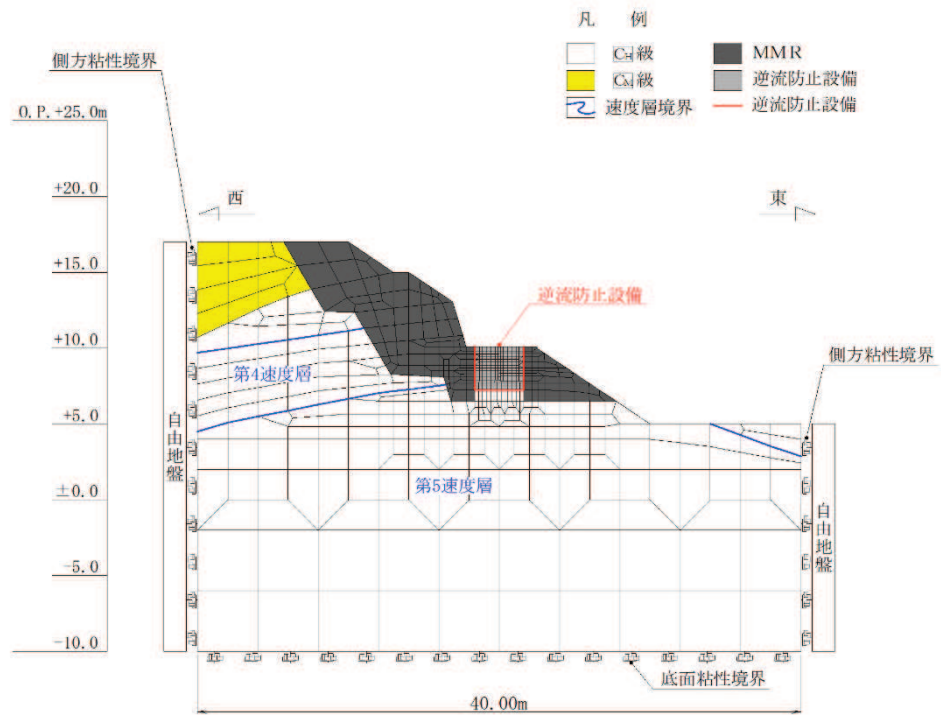


図 8-5 出口側集水ピットの解析モデル (A-A 断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-6 に、材料の物性値を表 8-7 に示す。

表 8-6 使用材料

| 諸元 | | |
|----------|--------|-----------------------------|
| 出口側集水ピット | 鉄筋（主筋） | SD345 |
| | コンクリート | 設計基準強度 30 N/mm ² |

表 8-7 材料の物性値

| 材料 | 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 | 24.0 | 2.80×10^4 | 0.2 |

(3) 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「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。

(4) 地下水位

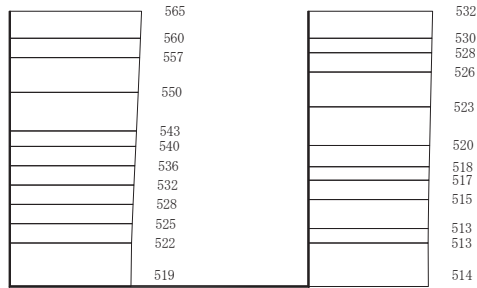
地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-8 に示す。

表 8-8 設計用地下水位の一覧

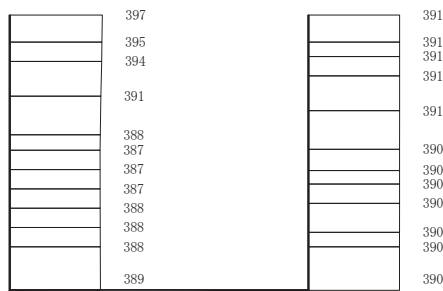
| 施設名称 | 評価対象断面 | 設計用地下水位 |
|----------|--------|-----------|
| 出口側集水ピット | A-A断面 | 地表面に設定する。 |

8.6 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの最大加速度分布を図 8-6 に示す。



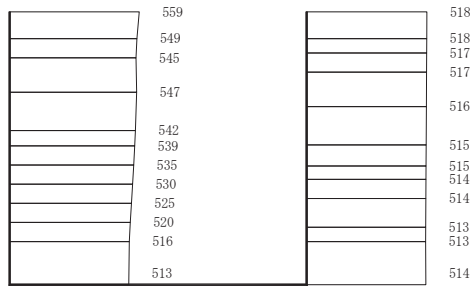
(a) S s - D 1 (++) 水平



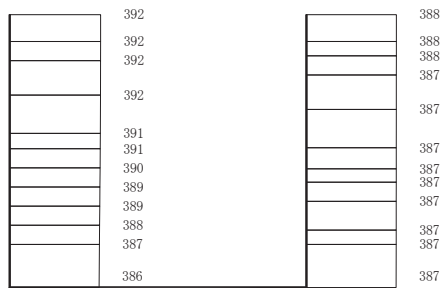
(b) S s - D 1 (++) 鉛直



図 8-6(1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



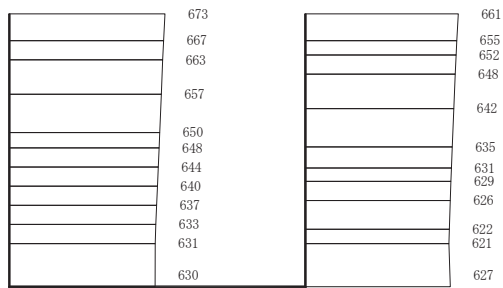
(a) S s - D 1 (-+) 水平



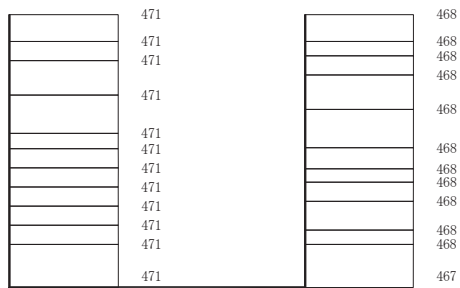
(b) S s - D 1 (-+) 鉛直



図 8-6(2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



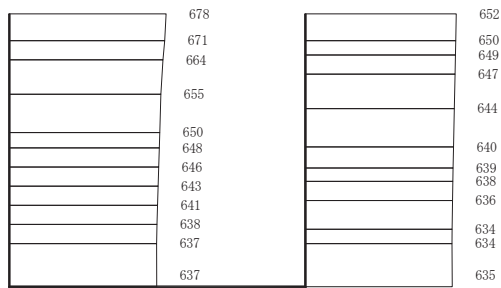
(a) S s - D 2 (++) 水平



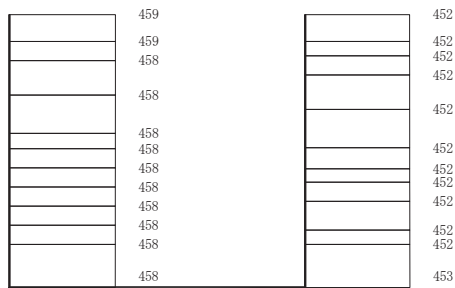
(b) S s - D 2 (++) 鉛直



図 8-6(3) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



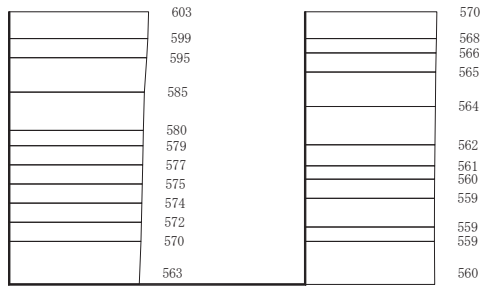
(a) S s - D 2 (- +) 水平



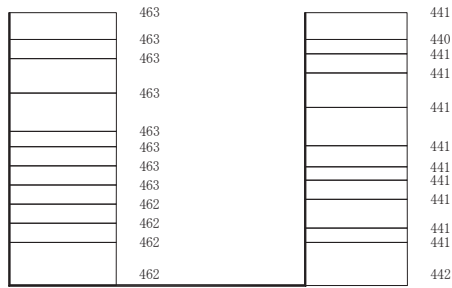
(b) S s - D 2 (- +) 鉛直



図 8-6(4) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



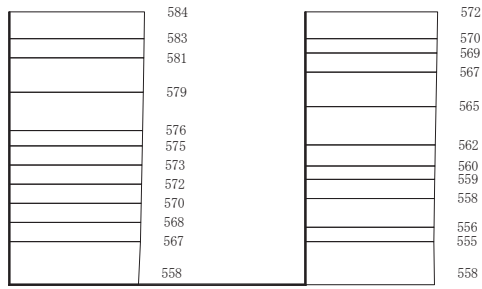
(a) S s - D 3 (++) 水平



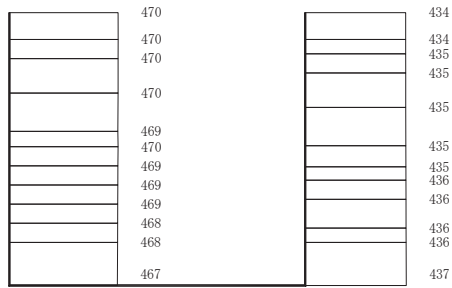
(b) S s - D 3 (++) 鉛直



図 8-6(5) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



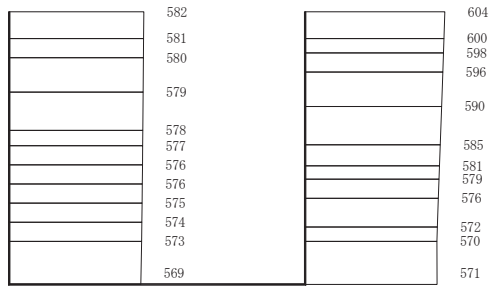
(a) S s - D 3 (- +) 水平



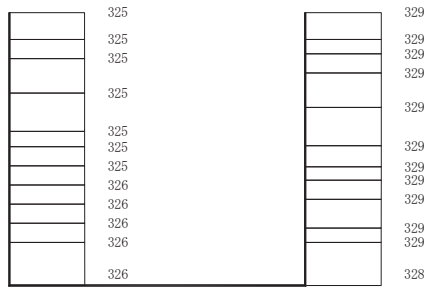
(b) S s - D 3 (- +) 鉛直



図 8-6(6) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



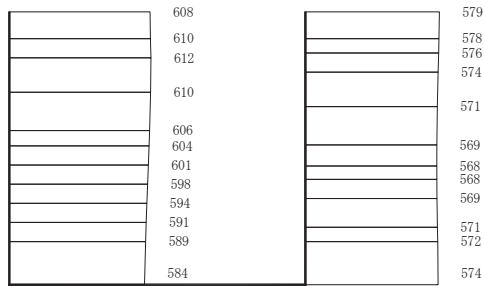
(a) S s - F 1 (++) 水平



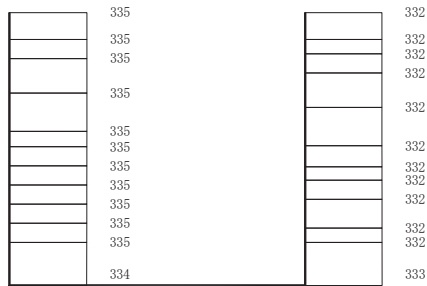
(b) S s - F 1 (++) 鉛直



図 8-6(7) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



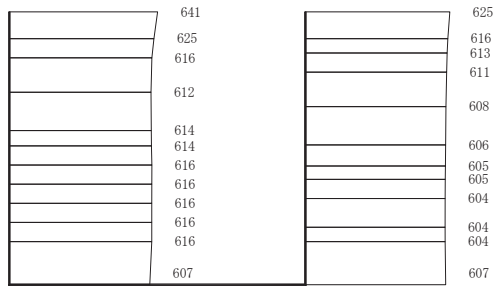
(a) S s - F 1 (- +) 水平



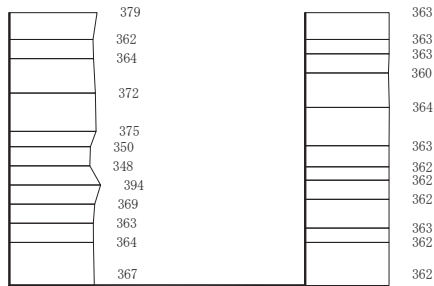
(b) S s - F 1 (- +) 鉛直



図 8-6(8) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



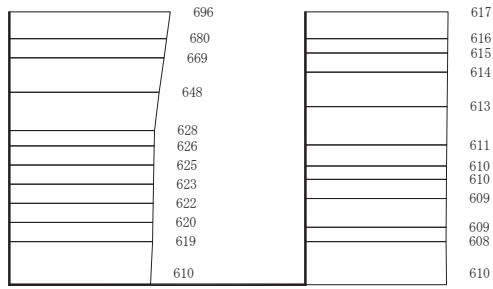
(a) $S_s - F 2$ (++) 水平



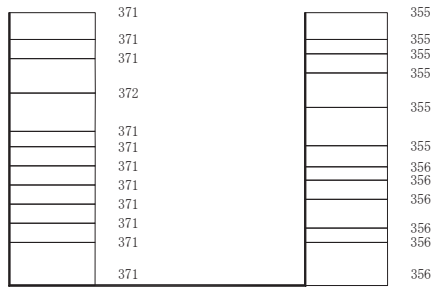
(b) $S_s - F 2$ (++) 鉛直



図 8-6(9) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



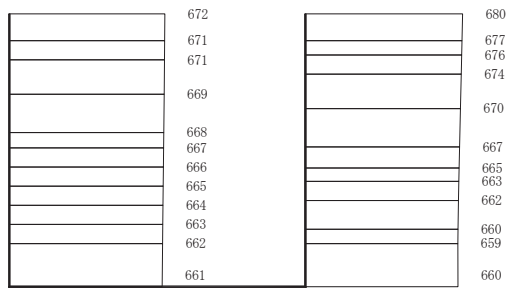
(a) $S_s - F 2$ (- +) 水平



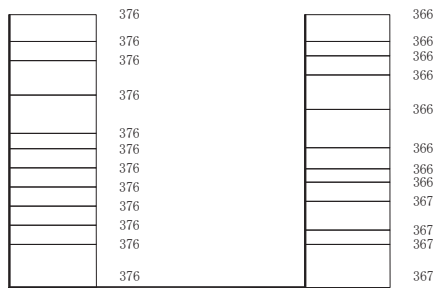
(b) $S_s - F 2$ (- +) 鉛直



図 8-6(10) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



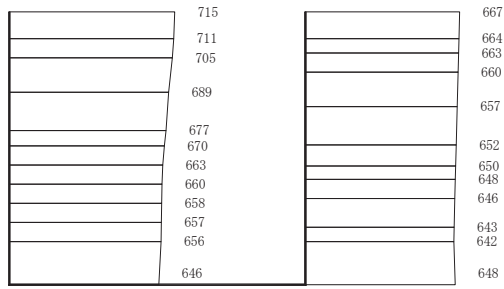
(a) S s - F 3 (++) 水平



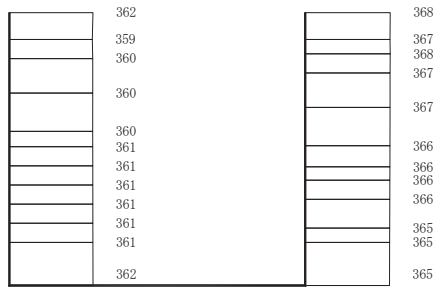
(b) S s - F 3 (++) 鉛直



図 8-6(11) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



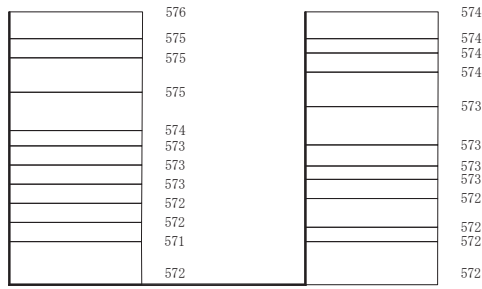
(a) S s - F 3 (- +) 水平



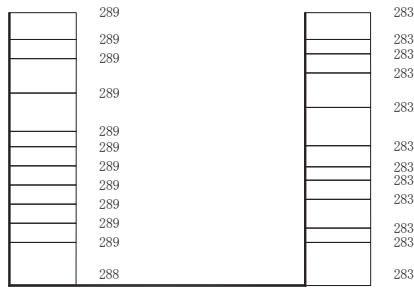
(b) S s - F 3 (- +) 鉛直



図 8-6(12) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



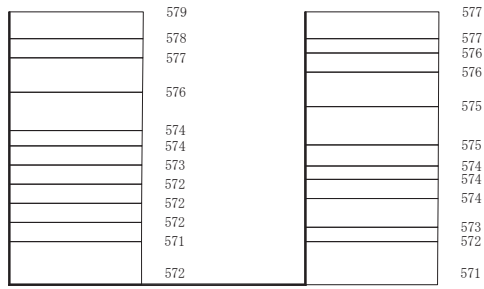
(a) S s - N 1 (++) 水平



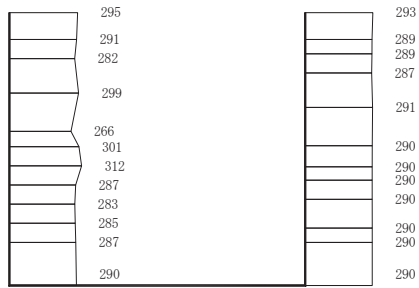
(b) S s - N 1 (++) 鉛直



図 8-6(13) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S s - N 1 (- +) 水平

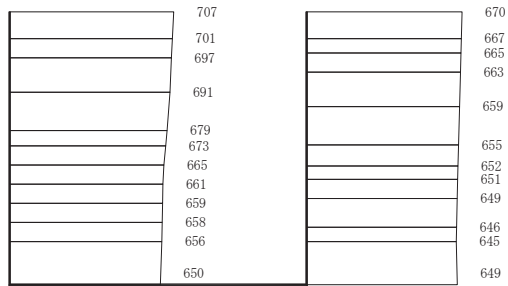


(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

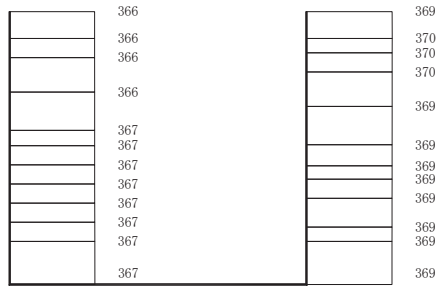


図 8-6(14) 最大加速度分布図

(解析ケース①)



(a) S s - F 3 (- +) 水平

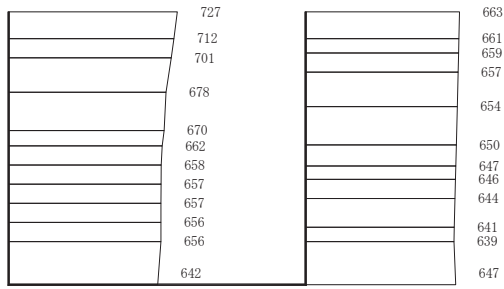


(b) S s - F 3 (- +) 鉛直

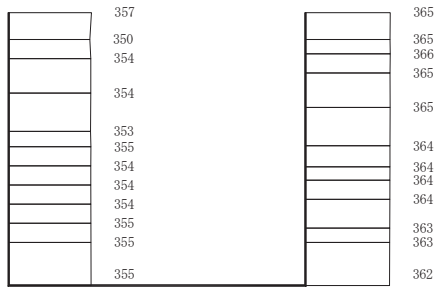
構造スケール 0 └───┬───┘ 2 (m) 応答値スケール 0 └───┬───┘ 1000 (cm/s²)

図 8-6(15) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - F 3 (- +) 水平

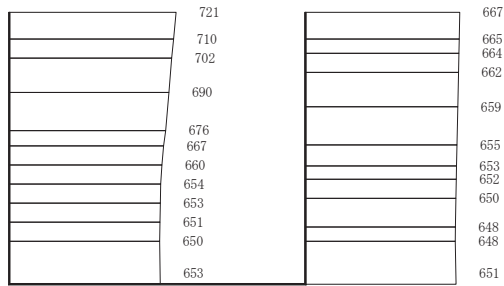


(b) S s - F 3 (- +) 鉛直

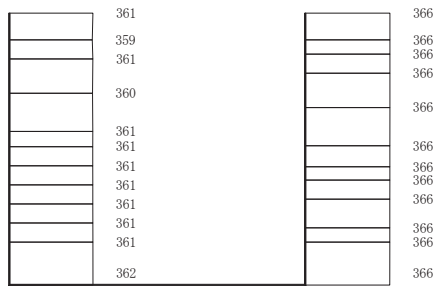


図 8-6(16) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - F 3 (-+) 水平



(b) S s - F 3 (-+) 鉛直



図 8-6(17) 最大加速度分布図

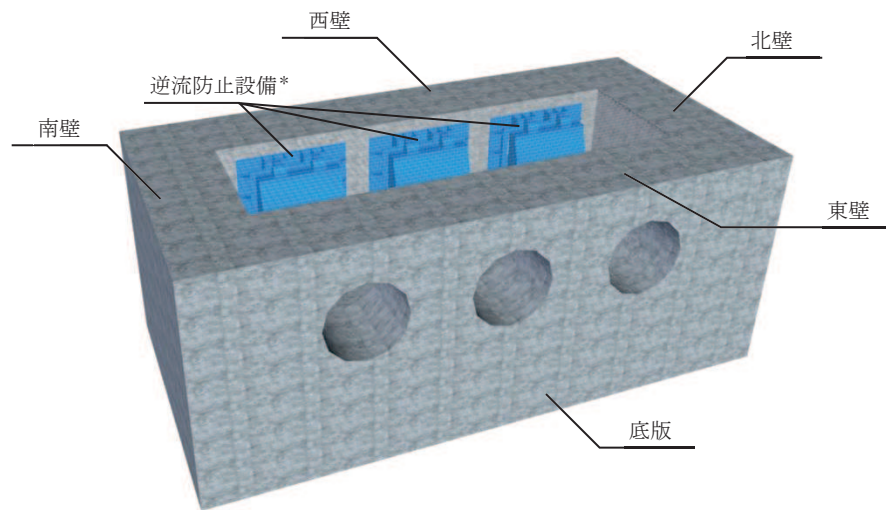
(解析ケース④ 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース)

9. 三次元構造解析

9.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁（北壁、東壁、南壁及び西壁）及び底版とする。

図 9-1 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 9-1 三次元構造解析の評価対象部材

9.2 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8. 地震応答解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

9.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 9-2 に、要素分割図を図 9-3 に示す。

a. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

b. 境界条件

構造物と周辺地盤には、境界条件としての地盤ばねを配置する。地盤ばねは節点ばねとする。

地盤ばねは、常時解析においては「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

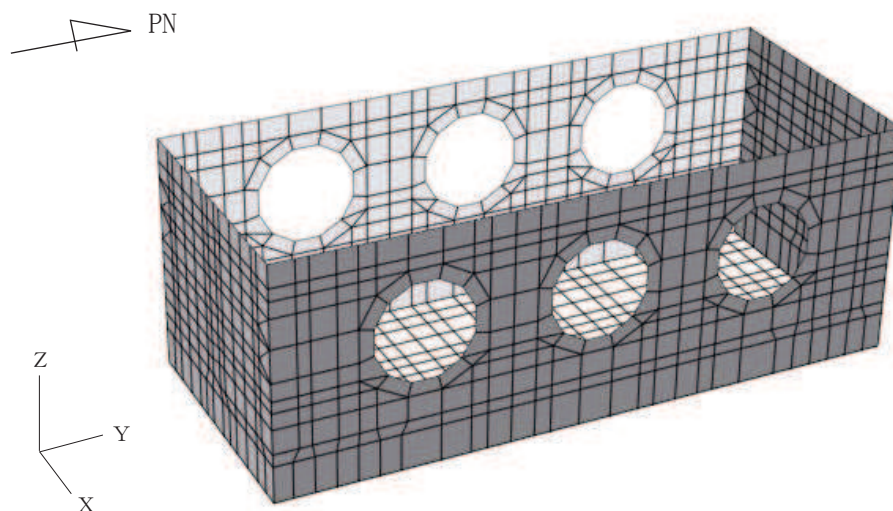


図 9-2 出口側集水ピットの解析モデル

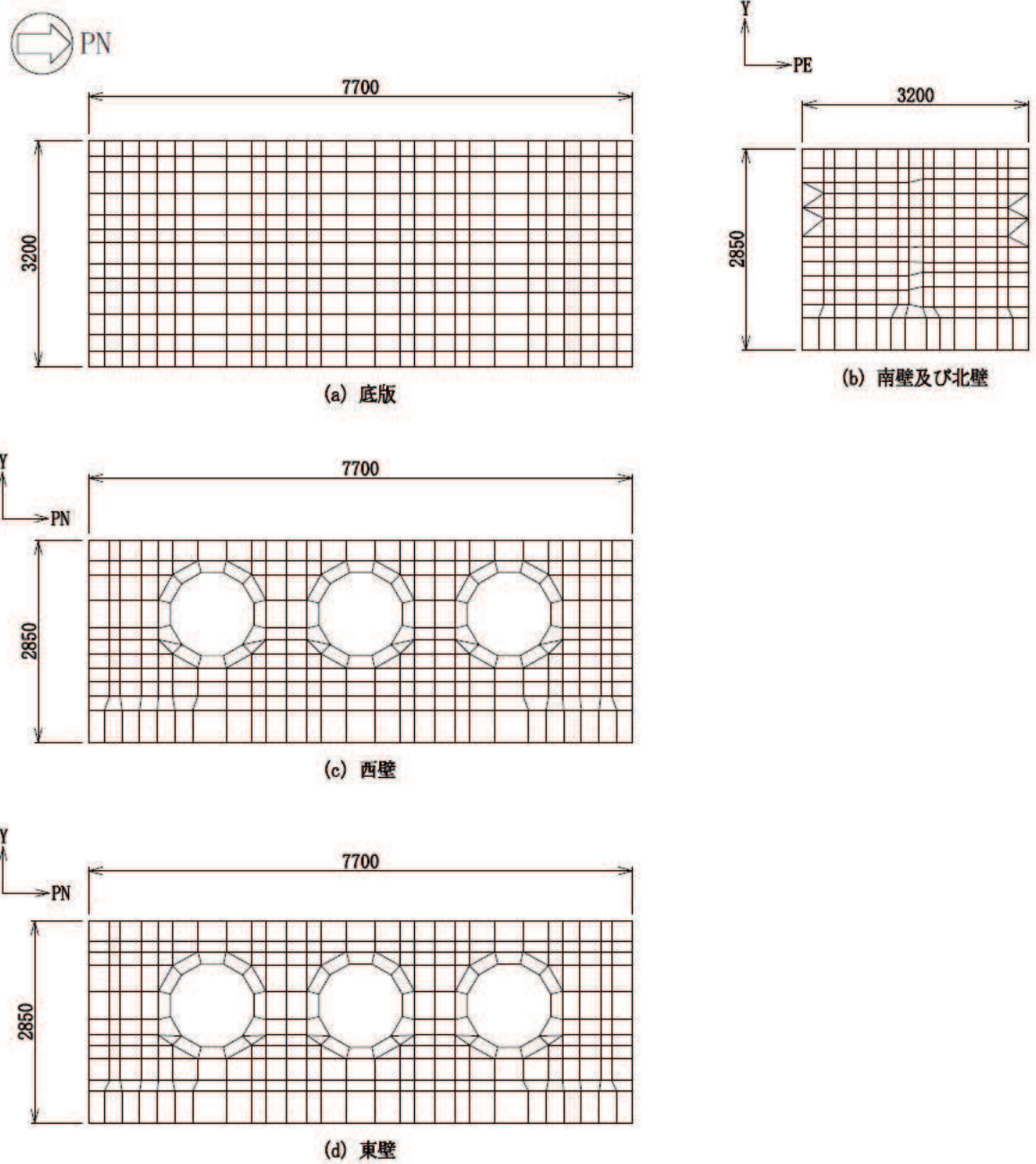


図 9-3 要素分割図

(2) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5(2) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

9.4 照査時刻及び入力荷重



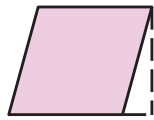
(1) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モード毎及び部材毎に評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。

表 9-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 9-4、図 9-5 に示す。

表9-1 照査時刻の考え方

| 照査時刻 | 損傷モード | 着目部位 | | 荷重抽出時刻 |
|----------------|---------------|-----------|---|-----------------------|
| 時刻 1 | 曲げ・軸力系の破壊 | 壁 (面外) |  | 構造物上端と下端の層間変位が最大となる時刻 |
| 時刻 2 | せん断破壊 (面外) | 壁 (面外) |  | 総水平荷重が最大となる時刻 |
| 時刻 3 (時刻 1) | せん断破壊 (面内) | 壁 (面内) |  | 面部材の層間変位が最大となる時刻 |

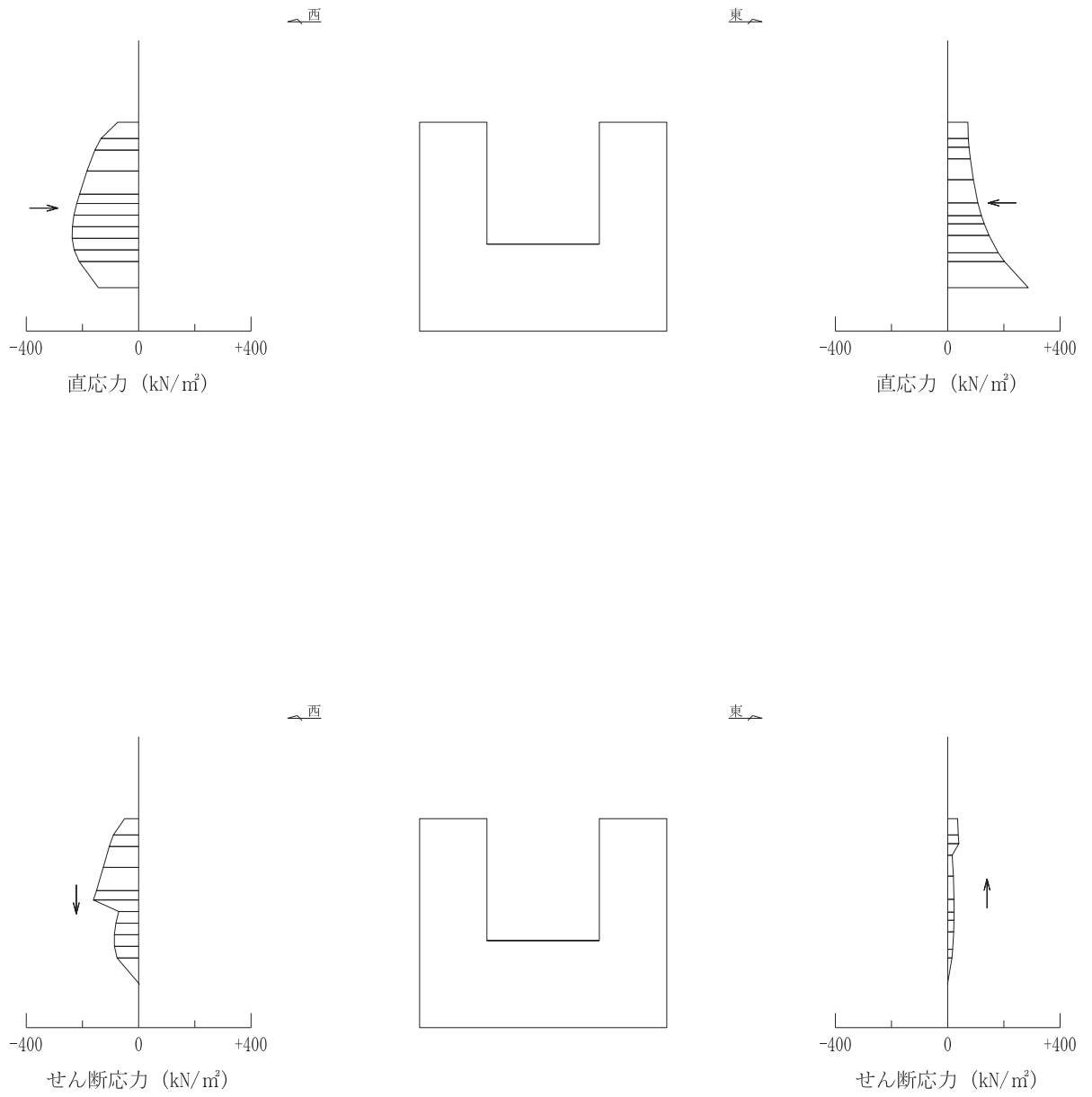
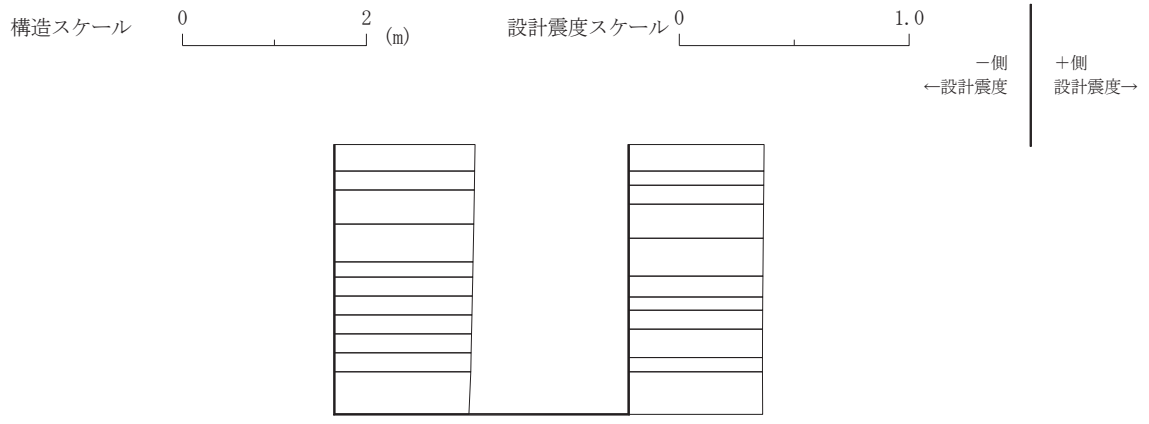
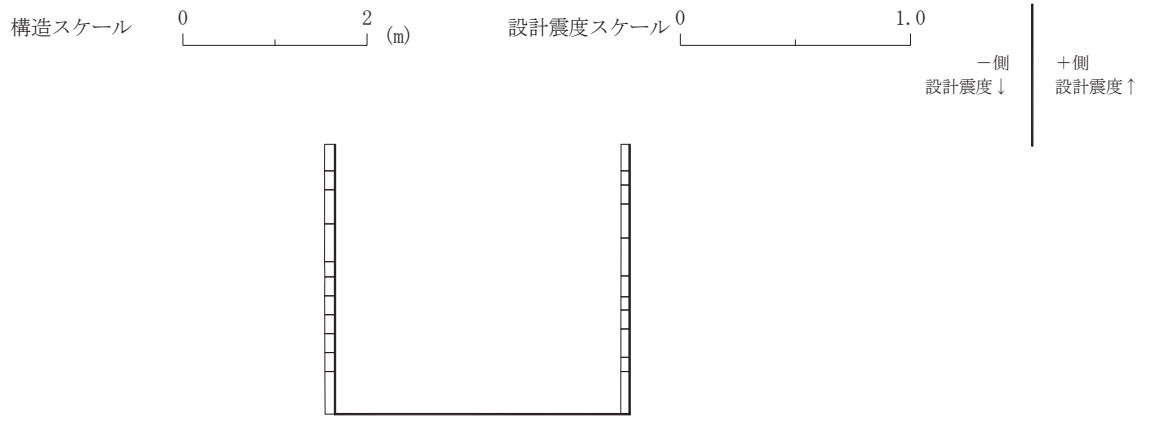


図 9-4 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (解析ケース③, S s - F 2 (-+))



設計水平震度



設計鉛直震度

図 9-5 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース③, S s - F 2 (-+))

(2) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元動的解析に基づく「9.4(1) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 9-2 に示す。

表9-2 三次元構造解析における入力荷重

| 区分 | 種別 | 考慮する荷重 |
|-------|-------|----------------|
| 常時荷重 | 固定荷重 | 躯体自重 |
| | 積載荷重 | 機器・配管荷重 |
| | 常時土圧 | 躯体側面に作用する常時土圧 |
| | 常時水圧 | 躯体側面に作用する常時水圧 |
| 地震時荷重 | 慣性力 | 躯体に作用する慣性力 |
| | 地震時土圧 | 躯体側面に作用する地震時土圧 |
| | 地震時水圧 | 躯体側面に作用する地震時水圧 |

9.5 三次元構造解析結果

シェル要素における応答断面力は図 9-6 に示す 8 成分を算出する。なお、プログラム上、断面力の出力が下記と異なる場合は、下記の断面力の向きに変換して取り扱う。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-7～図 9-11 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-12、図 9-13 に示す。

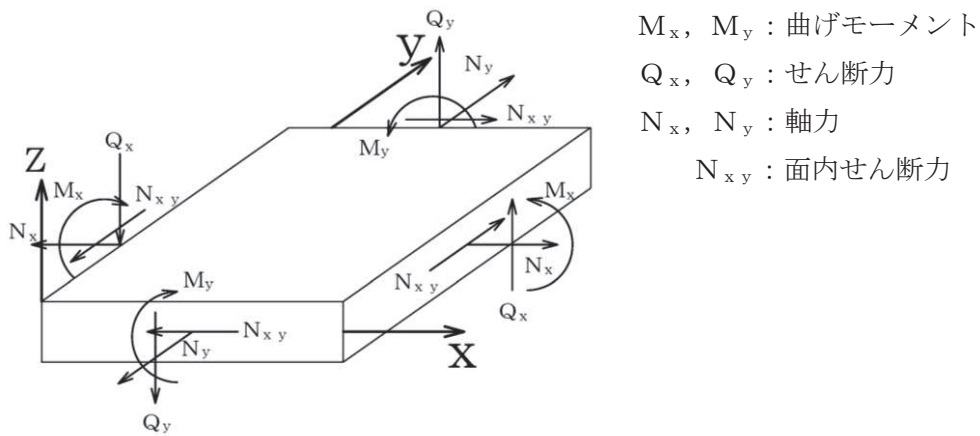


図 9-6 シェル要素における応答断面力

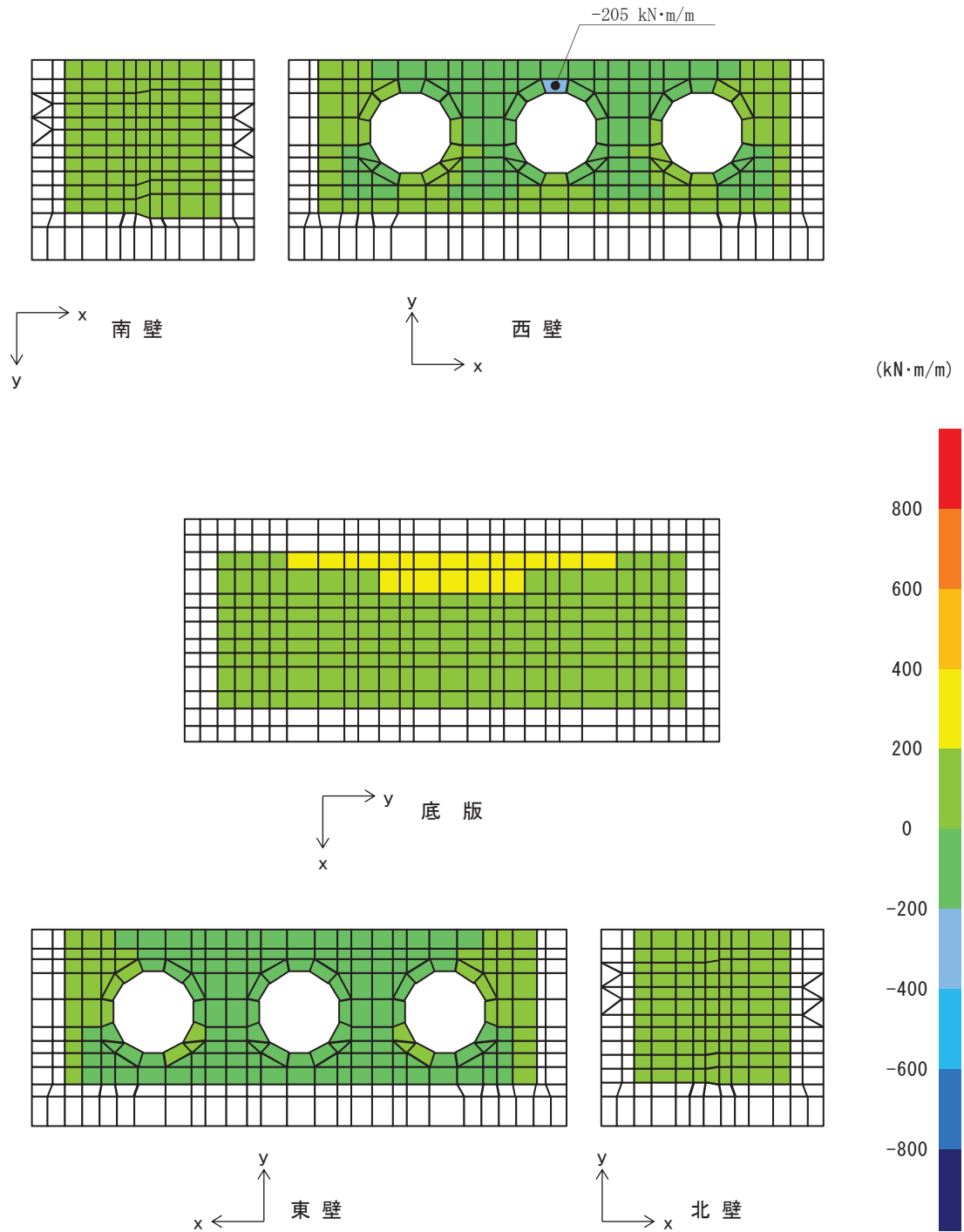


図 9-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F 2 (-+)$)

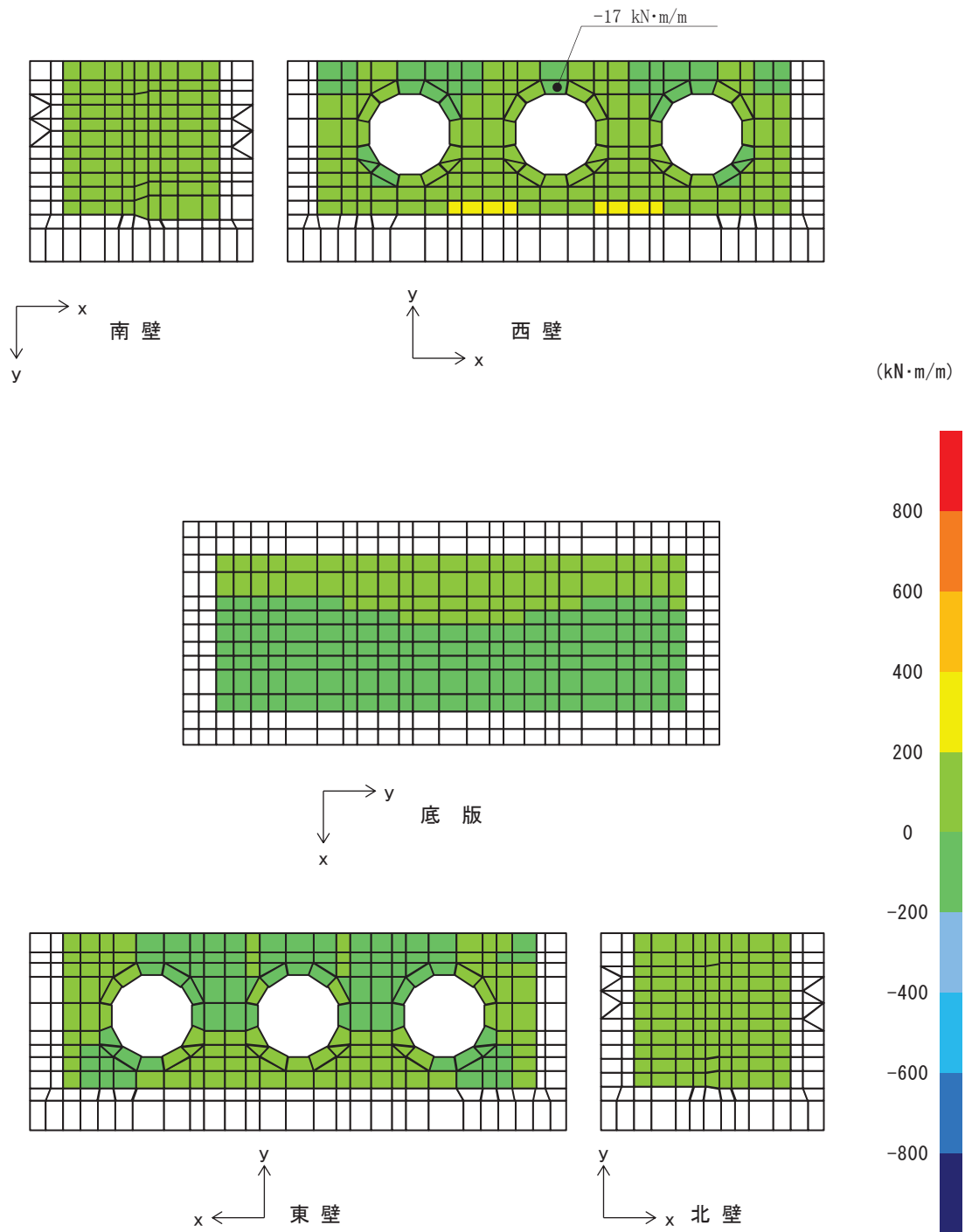


図 9-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F2 (-+)$)

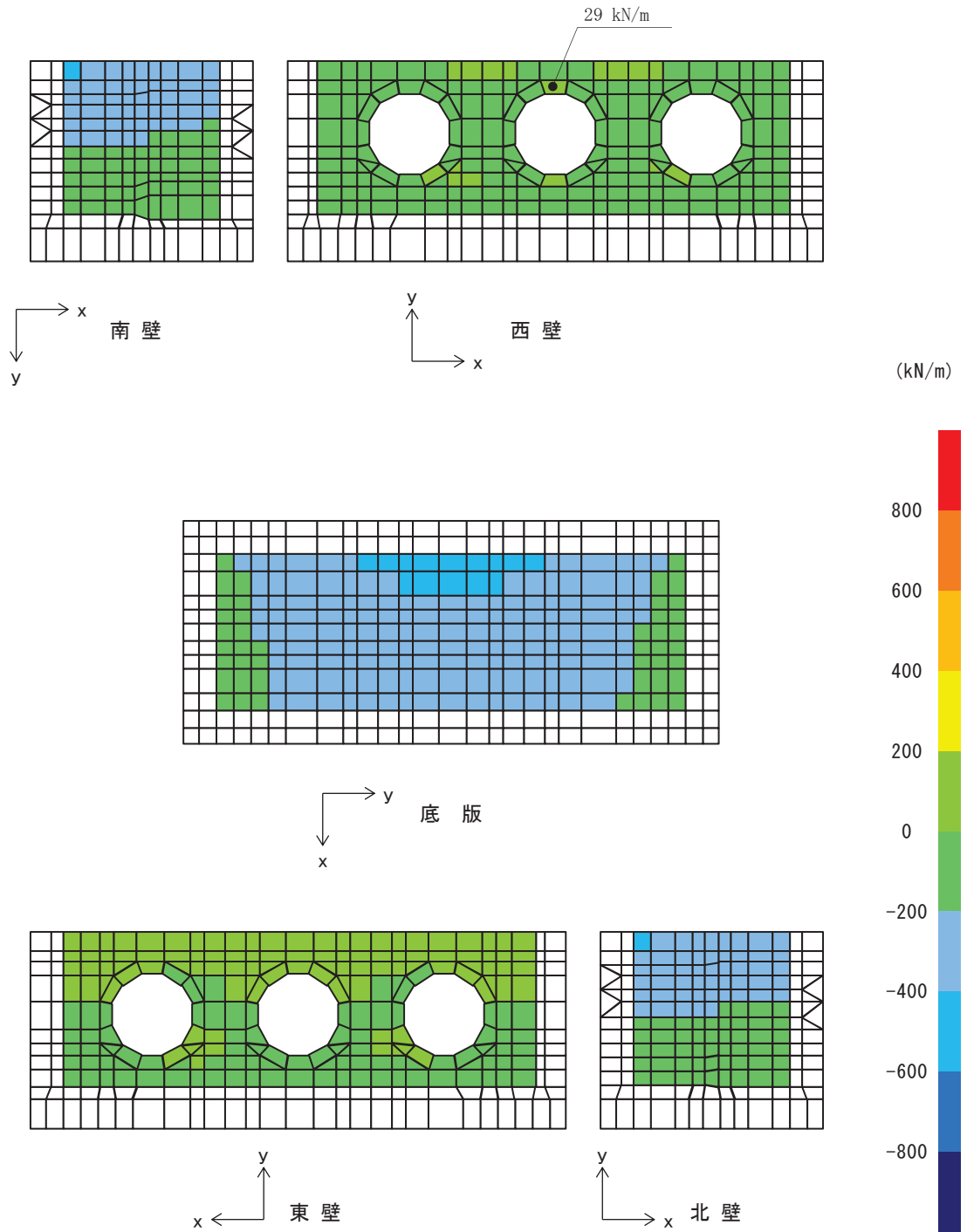


図 9-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力(kN/m) : N_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

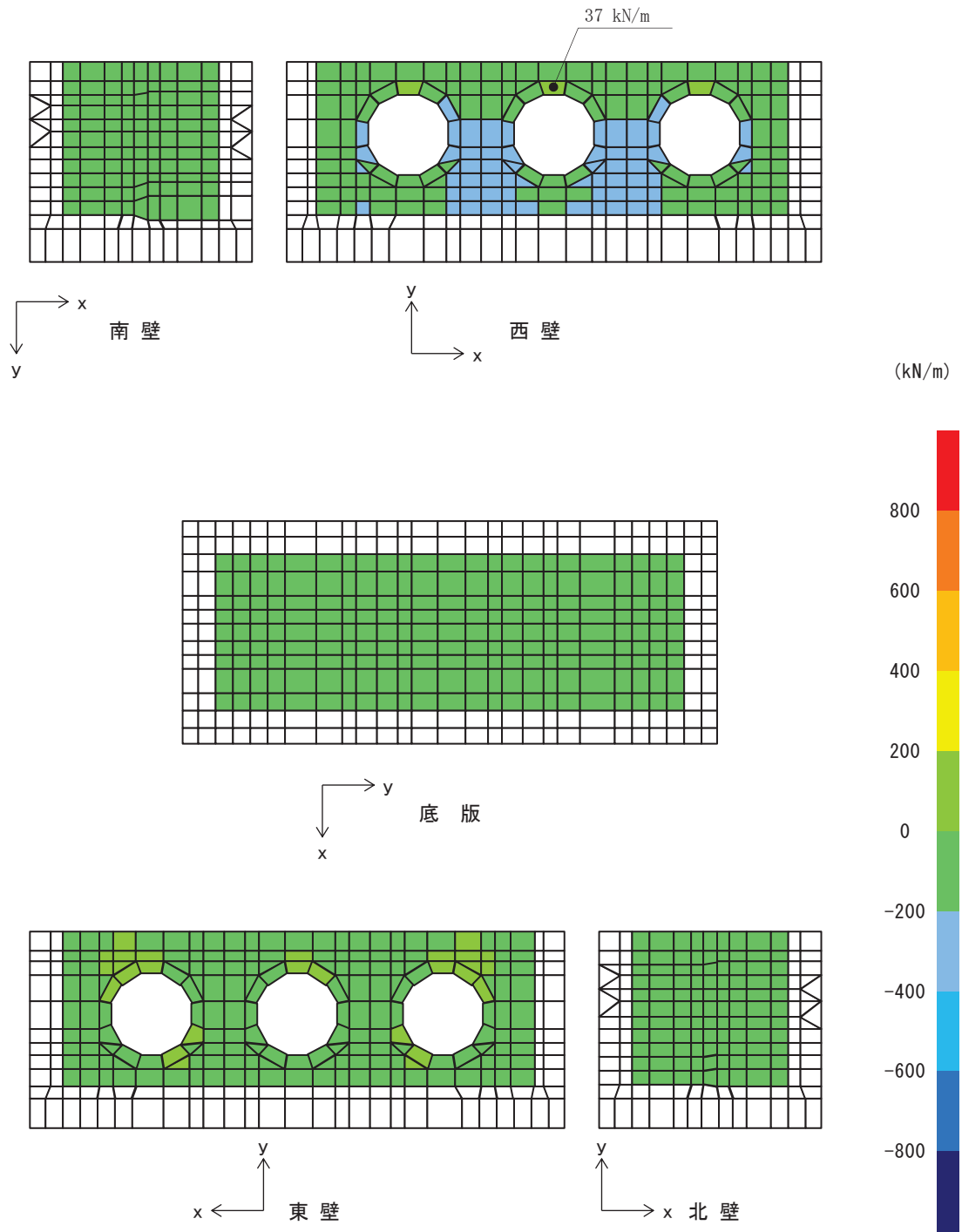


図 9-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F_2 (-+)$)

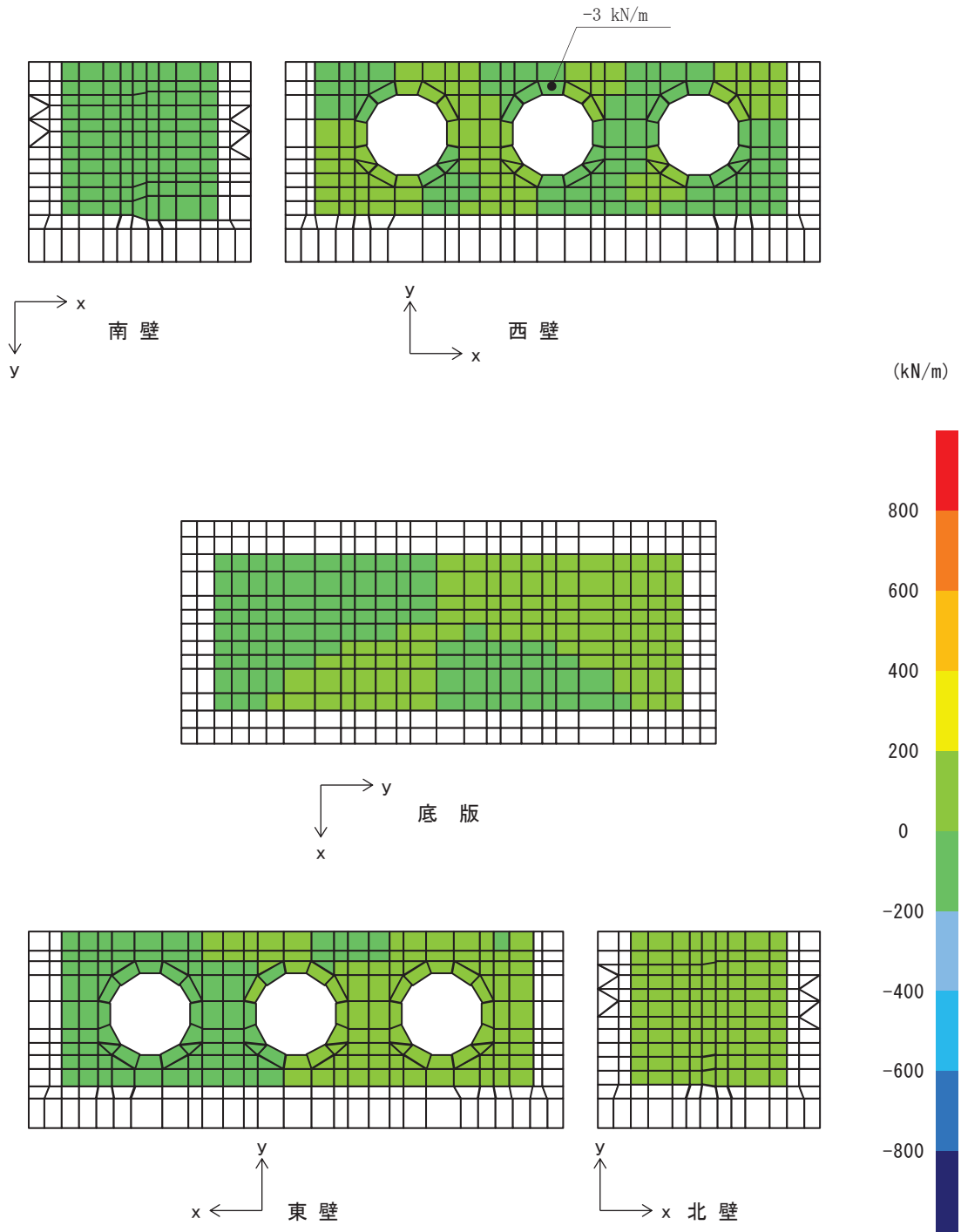


図 9-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 $(\text{kN/m}) : N_{xy}$)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - F2 (-+)$)

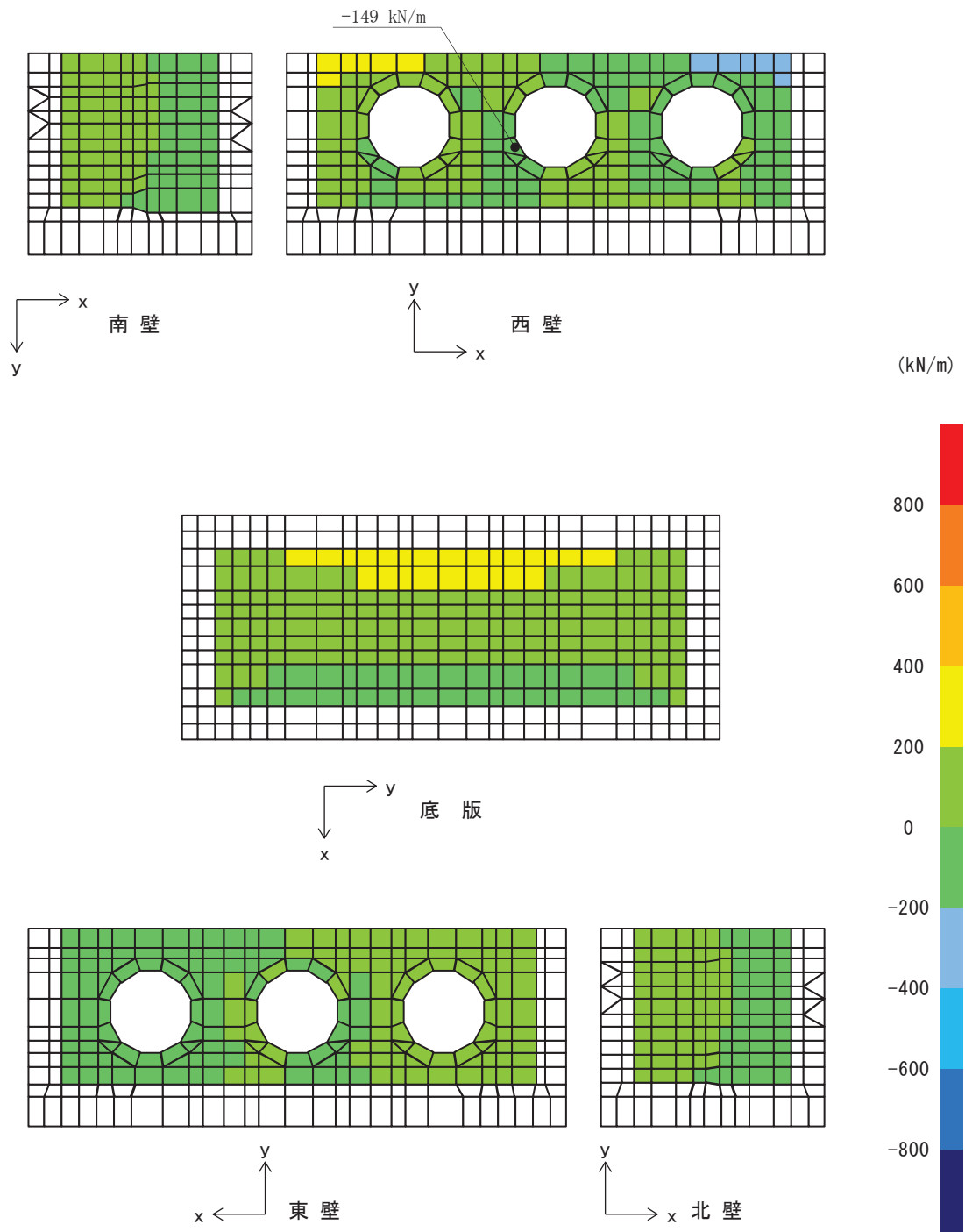


図 9-12 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F2 (-+)$)

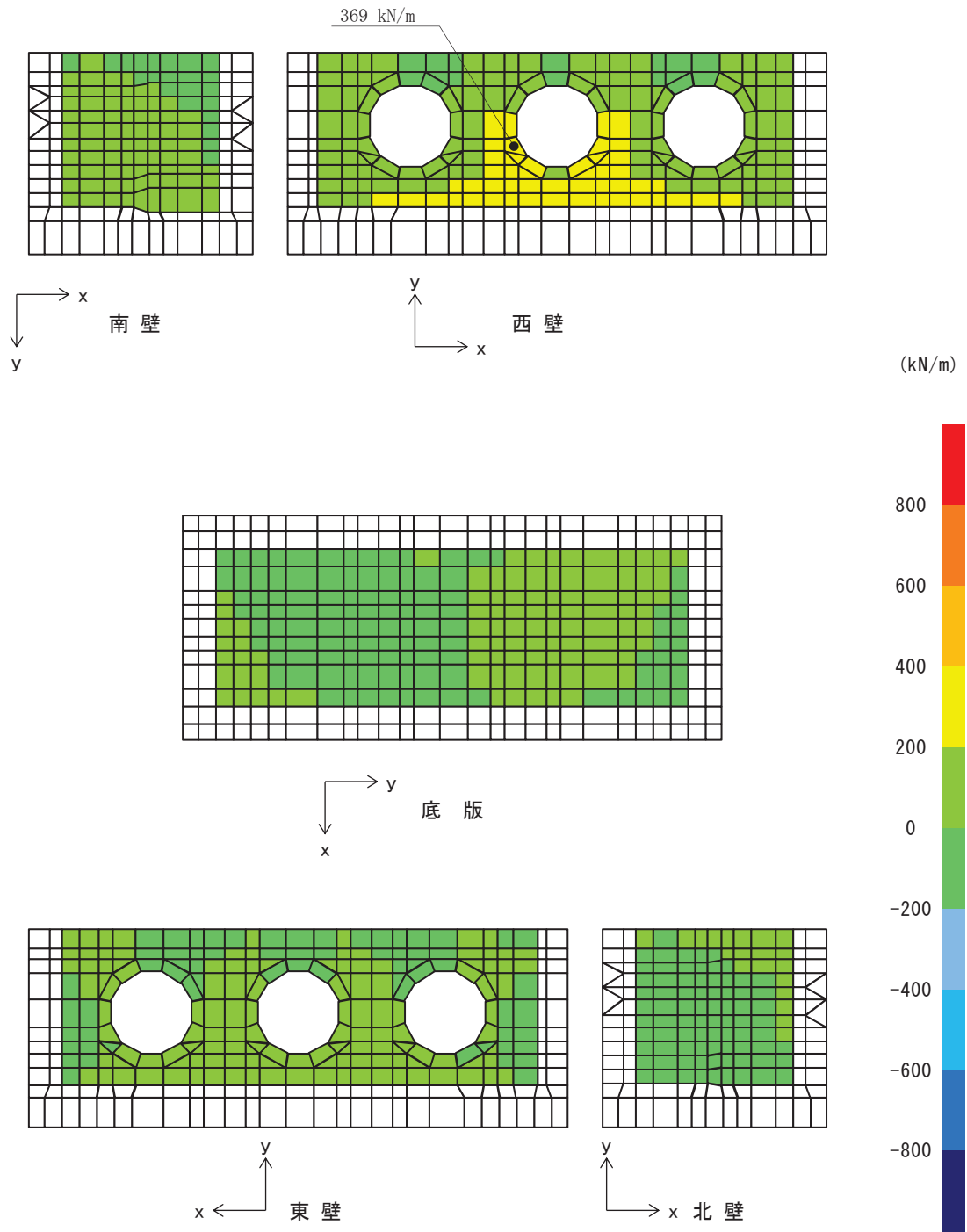


図 9-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - F_2$ (-+))

10. 耐震評価

10.1 許容限界

10.1.1 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

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-1 及び表 10-2 に示す。

なお、西壁に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

| 設計基準強度 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | f' ck=30.0 (N/mm ²) | 許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca} | 11.0 |
| 許容せん断応力度 τ_{al} | | 0.5 | 0.75 |

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

| 鉄筋の種類 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | SD345 | 許容引張応力度 σ_{sa} | 196 |

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 10-1 及び表 10-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

10.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表 10-3 に示す。

表 10-3 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 | 狐崎部層 | 13.7 |

10.2 評価方法

出口側集水ピットの耐震評価は、地震応答解析により得られた応答値から、三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については、三次元構造解析により算定した照査用応答値が、「10.1 許容限界」に示す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については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「10.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

11. 評価結果

11.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 11-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-2 及び表 11-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 11-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 11-1 鉄筋コンクリート断面諸元

| 部材 | 部材厚 (mm) | X方向 (EW方向・水平方向) | | Y方向 (NS方向・鉛直方向) | |
|-----|-------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | | 配置鉄筋*1 | 芯かぶり*2 (mm) | 配置鉄筋*1 | 芯かぶり*2 (mm) |
| 底版 | 1500 | D29@200(上側) D38@200(下側) | 200 | D29@200(上側) D29@200(下側) | 200 |
| 南北壁 | 1200 | D38@150(上側) D38@200(下側) | 200 | D29@200 | 200 |
| 東西壁 | 1200 | D38@150(上側) D38@200(下側) | 200 | D38@200(外側) D29@200(内側) | 200 |

注記 *1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

*2：実配筋は、格子鉄筋となるため、2方向の芯かぶりは鉄筋径分異なるが、保守的に有効高さが小さくなる側の芯かぶりを2方向に適用する

表 11-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げモー メント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 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} |
|------|---|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------|--|---|---------------------------------|
| 底版 | 1 | ③ | S _s -F2 (-+) | 284 | -436 | 1.2 | 16.5 | 0.08 |
| 西壁 | 2 | ③ | S _s -F2 (-+) | 217 | -287 | 1.5 | 16.5 | 0.10 |
| 東壁 | 3 | ③ | S _s -F2 (-+) | -121 | 163 | 0.6 | 16.5 | 0.04 |
| 南北壁 | 4 | ③ | S _s -F2 (-+) | 157 | -470 | 1.0 | 16.5 | 0.07 |

表 11-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げモー メント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 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} |
|------|---|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------|---|--|-------------------------------|
| 底版 | 1 | ③ | S _s -F2 (-+) | 284 | -443 | 13.2 | 294 | 0.05 |
| 西壁 | 2 | ③ | S _s -F2 (-+) | -205 | 32 | 33.3 | 294 | 0.12 |
| 東壁 | 3 | ③ | S _s -F2 (-+) | -121 | 168 | 29.8 | 294 | 0.11 |
| 南北壁 | 4 | ① | S _s -F3 (-+) | 15 | 81 | 18.5 | 294 | 0.07 |

表 11-4 せん断破壊に対する照査

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 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 |
|------|---|-----------|-------------------------|---------------------------|--|-------------------------|
| 底版 | 1 | ① | S _s -F3 (-+) | 215 | 1227 | 0.18 |
| 西壁 | 2 | ③ | S _s -F2 (-+) | 370 | 1563 | 0.24 |
| 東壁 | 3 | ③ | S _s -F2 (-+) | 120 | 1563 | 0.08 |
| 南北壁 | 4 | ③ | S _s -F2 (-+) | 65 | 944 | 0.07 |

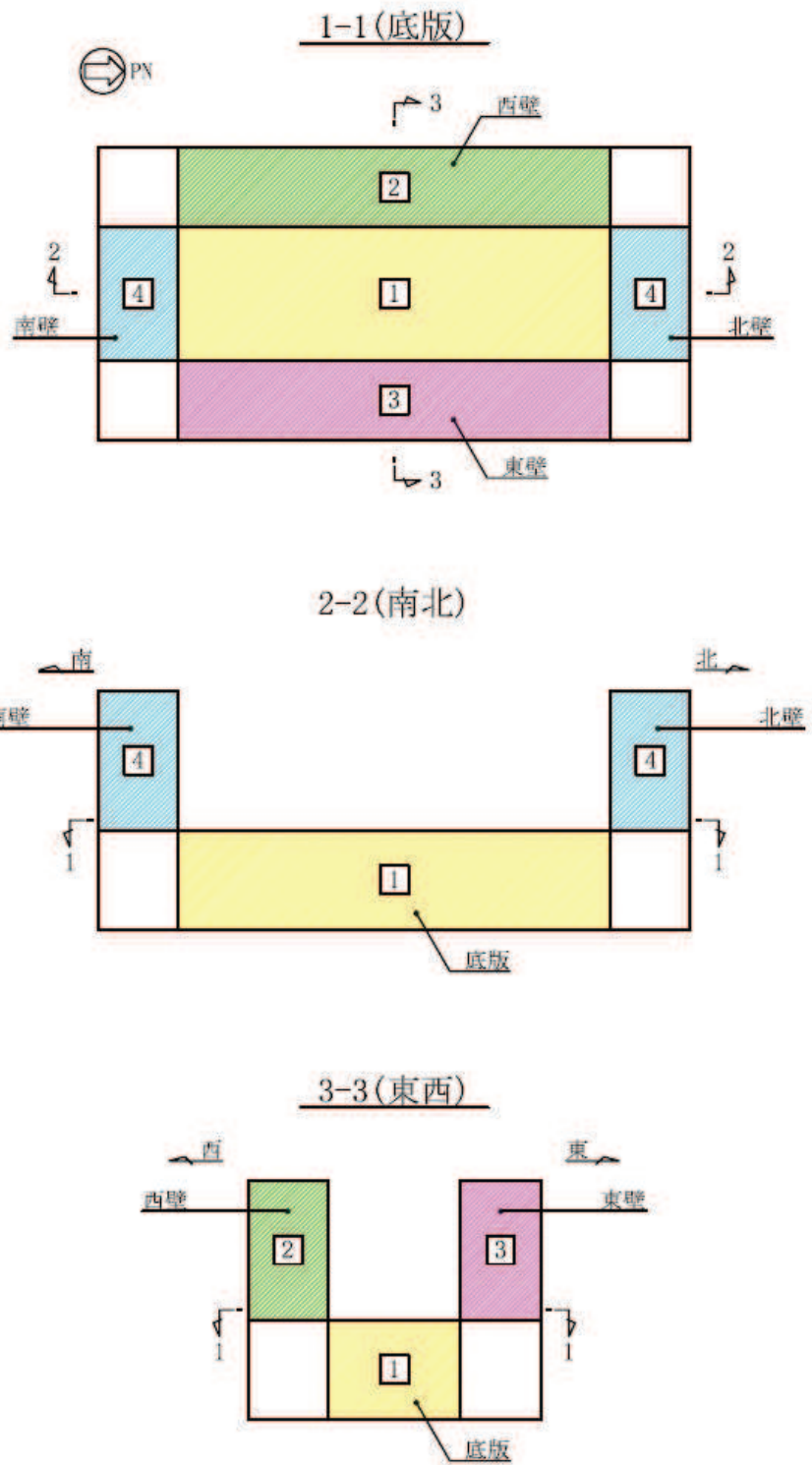


図 11-1 評価位置図

11.2 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 11-5 に示す。最大接地圧分布図を図 11-2 に示す。
 出口側集水ピットの基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 11-5 基礎地盤の支持性能照査結果

| 解析 ケース | 地震動 | 最大接地圧 R_d (N/mm ²) | 極限支持力 R_u (N/mm ²) | 照査値 R_d/R_u |
|-----------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| ① | S _s -F3 (-+) | 0.3 | 13.7 | 0.03 |

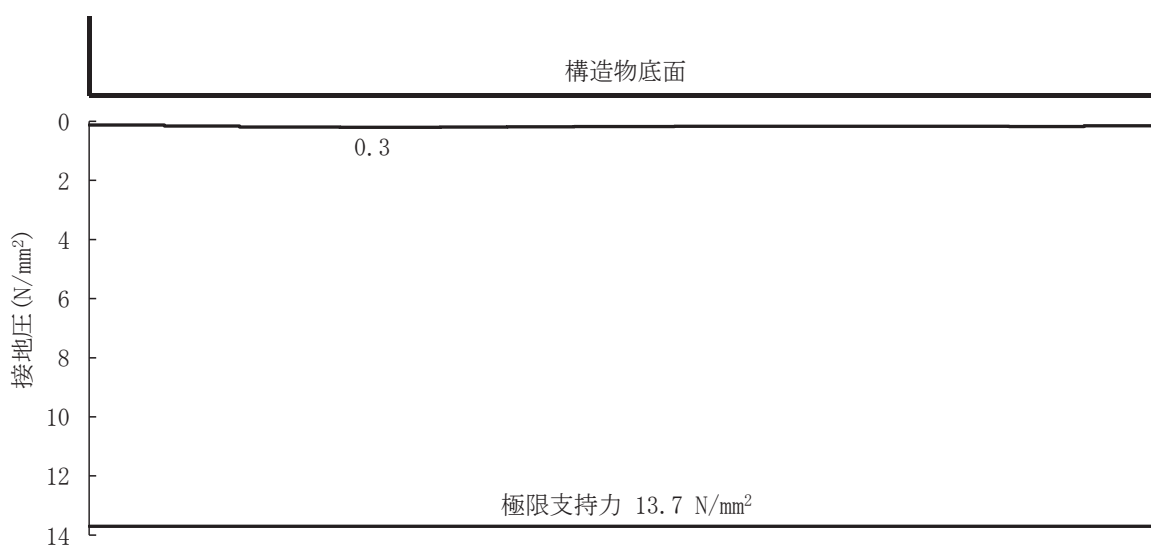


図 11-2 出口側集水ピットの基礎地盤の最大接地圧分布図
 (解析ケース①, S_s-F3 (-+))

VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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 | 3 |
| 2.3 | 評価方針 | 4 |
| 2.4 | 適用基準 | 5 |
| 2.5 | 記号の説明 | 6 |
| 3. | 評価部位 | 9 |
| 4. | 固有周期 | 11 |
| 4.1 | 固有周期の計算方法 | 11 |
| 4.1.1 | 閉門時 | 11 |
| 4.1.2 | 開門時 | 12 |
| 4.2 | 固有周期の計算結果 | 13 |
| 5. | 構造強度評価 | 14 |
| 5.1 | 構造強度評価方法 | 14 |
| 5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 14 |
| 5.2.1 | 荷重の設定 | 14 |
| 5.2.2 | 荷重の組合せ | 14 |
| 5.3 | 許容限界 | 15 |
| 5.4 | 設計用地震力 | 17 |
| 5.5 | 計算方法 | 21 |
| 5.6 | 計算条件 | 57 |
| 6. | 評価結果 | 60 |
| 7. | 出口側集水ピットの強度評価 | 63 |
| 7.1 | 出口側集水ピットの構造概要 | 63 |
| 7.2 | 評価方針 | 66 |
| 8. | 地震応答解析 | 68 |
| 8.1 | 地震時荷重算出断面 | 68 |
| 8.2 | 解析方法 | 69 |
| 8.3 | 荷重及び荷重の組合せ | 73 |
| 8.3.1 | 耐震評価上考慮する状態 | 73 |
| 8.3.2 | 荷重 | 73 |
| 8.3.3 | 荷重の組合せ | 74 |
| 8.4 | 入力地震動 | 75 |
| 8.5 | 解析モデル及び諸元 | 90 |
| 8.6 | 地震応答解析結果 | 93 |

| | | |
|--------|------------------|-----|
| 9. | 三次元構造解析 | 110 |
| 9.1 | 評価対象部材 | 110 |
| 9.2 | 解析方法 | 110 |
| 9.3 | 解析モデル及び諸元 | 111 |
| 9.4 | 照査時刻及び入力荷重 | 113 |
| 9.5 | 三次元構造解析結果 | 117 |
| 10. | 耐震評価 | 125 |
| 10.1 | 許容限界 | 125 |
| 10.1.1 | 構造部材の健全性に対する許容限界 | 125 |
| 10.2 | 評価方法 | 126 |
| 11. | 評価結果 | 127 |
| 11.1 | 構造部材の健全性に対する評価結果 | 127 |

1. 概要

本資料は、添付書類「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流防止設備（防潮堤北側）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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類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健全性評価を行う。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置を図 2-1 に示す。

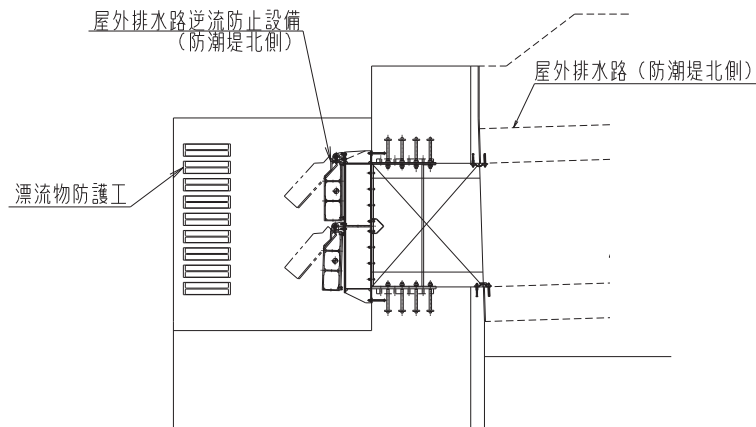
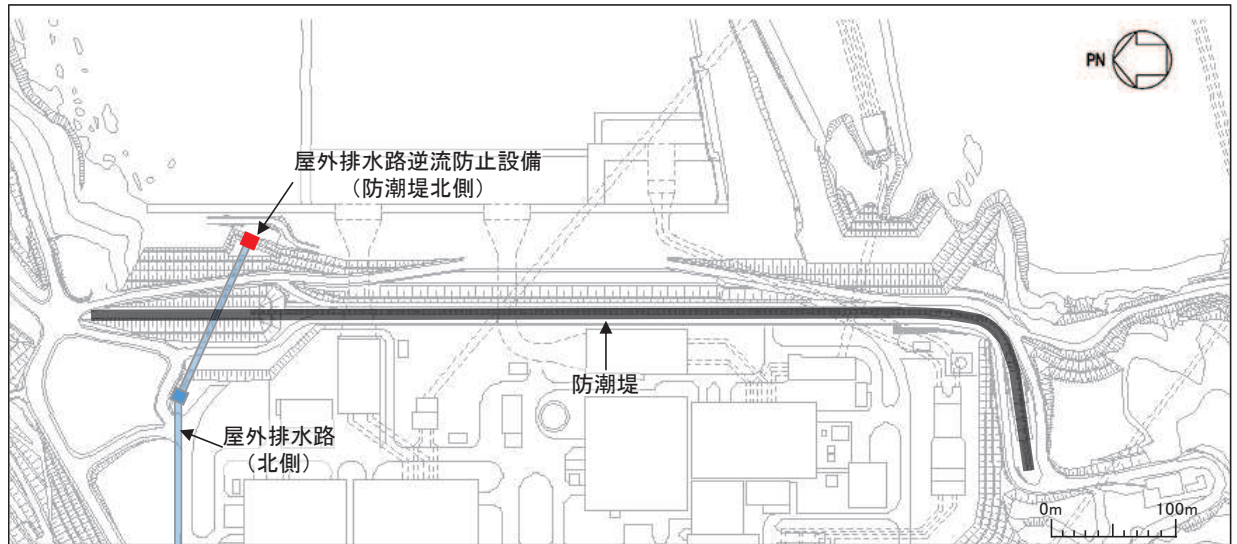


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置

2.2 構造計画

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、4門の鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

扉体、固定部及び漂流物防護工で構成される屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、防潮堤（盛土堤防）に設置された出口側集水ピット（鉄筋コンクリート製）にアンカーで固定し、屋外排水路を経由した津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

| 計画の概要 | | 説明図 |
|----------------------------------|---|-----|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| <p>本体はアンカーを介して出口側集水ピットに固定する。</p> | <p>4門の鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工により構成する。</p> | |

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価は、添付書類「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に基づき、「2.2 構造計画」に示す屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力による応力等が許容限界以下であることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

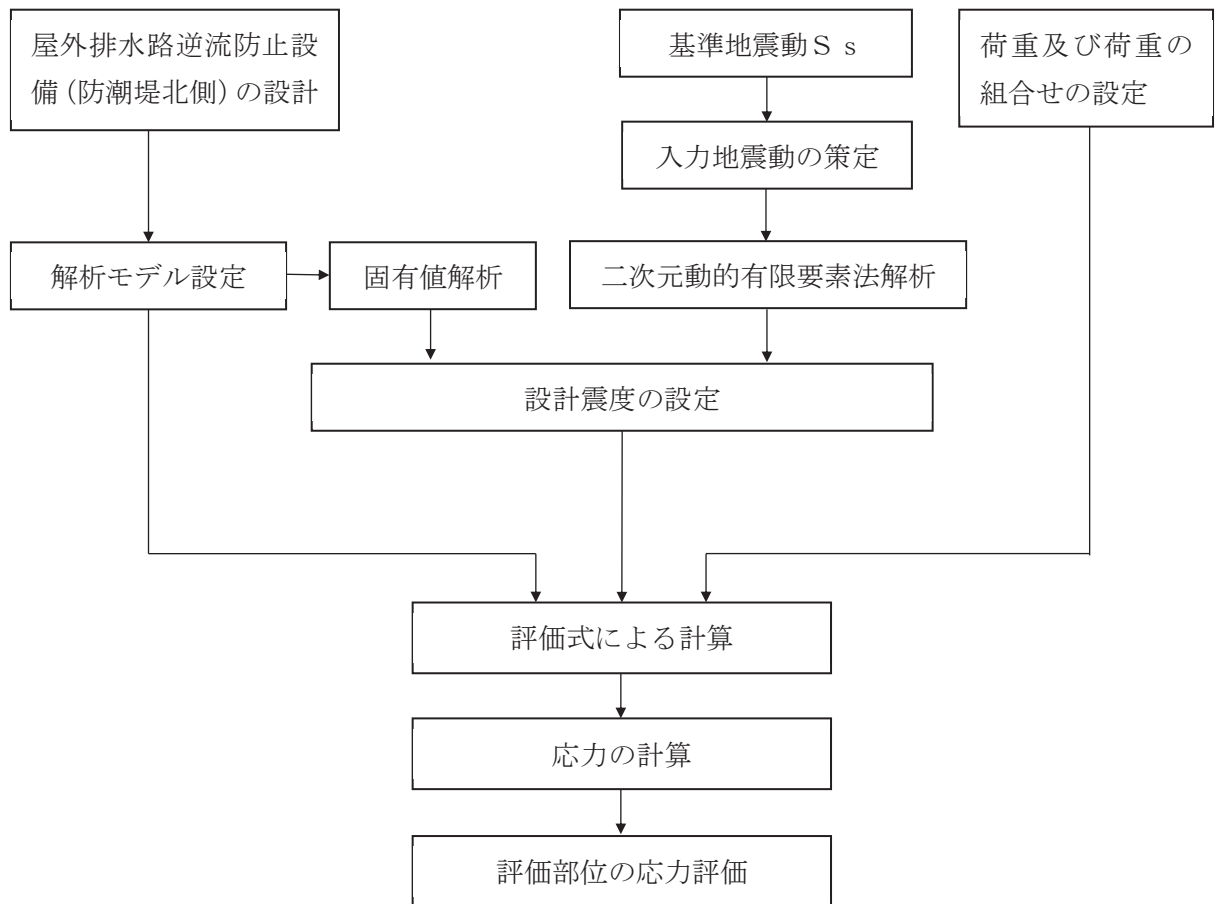


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

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・補一1984)
- (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) 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) 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- (6) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (7) 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]
- (8) 土木学会 1988 年 構造力学公式集

2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----|------------------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | s |
| f | 一次固有振動数 | Hz |
| E | 縦弾性係数 | N/mm ² |
| I | 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の断面二次モーメント | mm ⁴ |
| m | 扉体の単位長さ当たり質量 | kg/mm |
| L | 主桁の長さ | mm |

表 2-3(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（1/3）

| 記号 | 定義 | 単位 |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------|
| G | 固定荷重（扉体の自重） | N |
| K _H | 基準地震動 S _s による水平方向の設計震度 | — |
| K _V | 基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度 | — |
| A ₁ | 扉体面積 | mm ² |
| W ₀ | 水の単位体積重量 | N/mm ³ |
| k | スキンプレートの辺長比 (b/a) による係数 | — |
| a ₁ | スキンプレートの短辺 | mm |
| b ₁ | スキンプレートの長辺 | mm |
| P ₁ | スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 | N/mm ² |
| t ₁ | スキンプレートの板厚 | mm |
| W | 各主桁に作用する等分布荷重 | N/mm |
| L | 主桁支間長 | mm |
| Z ₂ | 各主桁の断面係数 | mm ³ |
| A _{w2} | 各主桁のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| p | 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 | N/mm ² |
| ℓ | 補助縦桁の主桁間隔 | mm |
| Z ₃ | 補助縦桁の断面係数 | mm ³ |
| A _{w3} | 補助縦桁のせん断抵抗断面積 | mm ² |

表 2-3(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（2/3）

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----------|-------------------|-------------------|
| W_4 | 中央支柱に作用する荷重 | N/mm |
| L_4 | 中央支柱固定高 | mm |
| Z_4 | 中央支柱の断面係数 | mm ³ |
| A_{w4} | 中央支柱のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| W_5 | 中央横桁に作用する荷重 | N |
| L_5 | 中央横桁の支間長 | mm |
| Z_5 | 中央横桁の断面係数 | mm ³ |
| A_{w5} | 中央横桁のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| L_6 | ヒンジ（吊りピン）支間長 | mm |
| B_6 | ヒンジ（吊りピン）受圧幅 | mm |
| P | ヒンジに作用する荷重 | N |
| Z_6 | ヒンジ（吊りピン）の断面係数 | mm ³ |
| A_6 | ヒンジ（吊りピン）の断面積 | mm ² |
| P_7 | ヒンジ（プレート）に作用する荷重 | N |
| A_h | ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積 | mm ² |
| A_b | 取付けボルトの断面積 | mm ² |
| P_{w8} | 自重荷重 | N |
| P_{v8} | 鉛直地震力 | N |
| P_{H8} | 水平地震力 | N |
| P_9 | 戸当りへ作用する荷重 | N/mm ² |
| L_s | 戸当りから中央支柱中心までの距離 | mm |
| L_c | 戸当り支圧部の板厚 | mm |
| q | 戸当りへ作用する水平地震力 | N/mm ² |
| L_x | 戸当り横幅 | mm |
| L_y | 戸当り縦幅 | mm |
| b_{w1} | 上部戸当り支圧幅 | mm |
| b_{w2} | 側部戸当り支圧幅 | mm |
| b_{w3} | 下部戸当り支圧幅 | mm |
| b_{w4} | 中央支柱部の戸当り支圧幅 | mm |
| S | 戸当り幅 | mm |

表 2-3(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（3/3）

| 記号 | 定義 | 単位 |
|------------|-----------------------|-----------------|
| P_{bh1} | 防護梁に作用する水平荷重 | N/mm |
| L_{b1} | 防護梁のスパン長 | mm |
| Z_{bh1} | 防護梁の水平（強軸）方向の断面係数 | mm ³ |
| A_{wbh1} | 防護梁の水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| P_{bv1} | 防護梁に作用する鉛直荷重 | N/mm |
| Z_{bv1} | 防護梁の鉛直（弱軸）方向の断面係数 | mm ³ |
| A_{wbv1} | 防護梁の鉛直（弱軸）方向のせん断抵抗断面積 | mm ² |
| P_{b2} | ブラケットに作用する水平力 | N |
| l_{b2} | 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ | mm |
| Z_{b2} | ブラケットの断面係数 | mm ³ |
| A_{wb2} | ブラケットのせん断抵抗断面積 | mm ² |
| T | 受け台に作用する引張力 | N |
| a | 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ | mm |
| Z_c | 受け台プレートの断面係数 | mm ³ |
| P_{b3} | つなぎ材プレートに作用する水平力 | N |
| l_{b3} | エンドプレートからボルト中心までの長さ | mm |
| Z_{b3} | つなぎ材プレートの断面係数 | mm ³ |
| A_{b3} | つなぎ材プレートの断面積 | mm ² |
| P_d | つなぎ材ボルトに作用する引張力 | N |
| A_d | つなぎ材ボルトの有効断面積 | mm ² |
| P_{b4} | アンカーボルト 1 本の引張力 | N |
| q_{b4} | アンカーボルト 1 本のせん断力 | N |
| Z_{b4} | アンカーボルト群 1 列の断面係数 | mm ³ |
| n | アンカーボルト群 1 列の本数 | 本 |

3. 評価部位

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト）及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

耐震評価においては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及び漂流物防護工を、評価部位として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位を図 3-1 に示す。

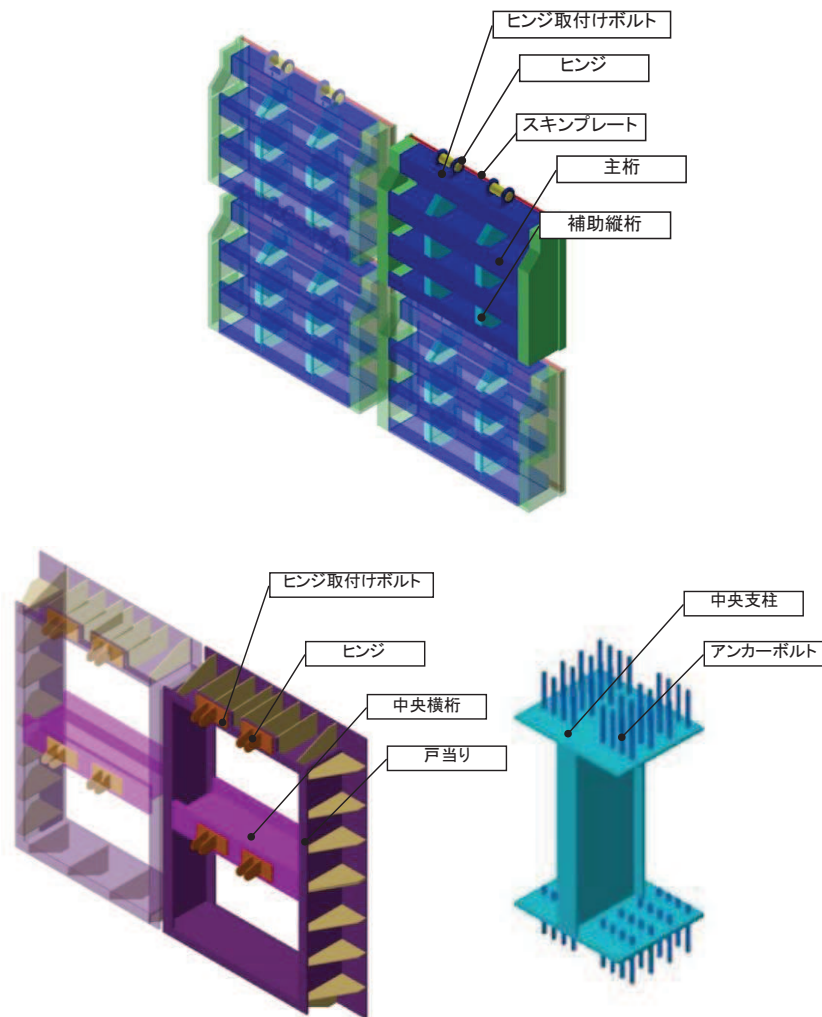


図 3-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

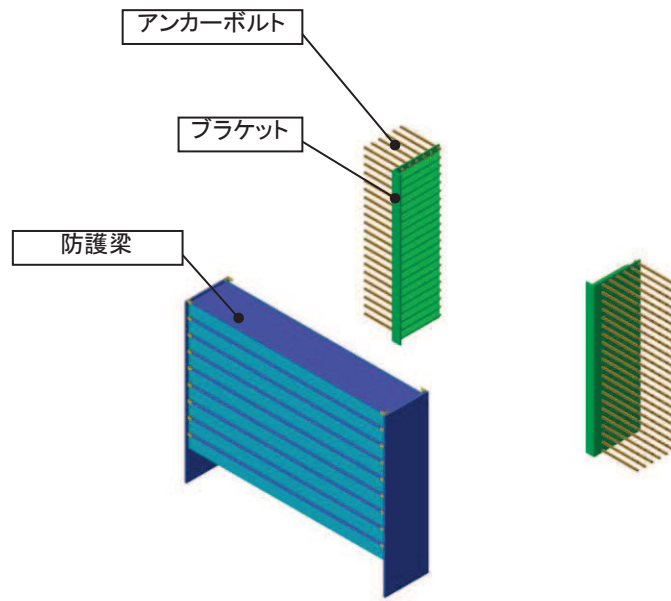


図 3-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は扉体及び固定部で構成されており、扉体に地震力が作用する状態は、扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから、戸当り部を支点とする単純梁でモデル化する。

また、扉体及び固定部は横断方向（扉体方向）に振動が生じる構造ではないと考えられるものの、念のため振動が生じた場合（開門時）についても想定する。その際の固有周期の計算は、扉体の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。

なお、横断方向（扉体軸方向）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、閉門時を想定して出口側集水ピットと一体の剛体として評価する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体を単純梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有振動数の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「構造力学公式集(1988年) 土木学会」より、単純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。

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

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

(3) 固有周期の計算条件

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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----|---------------------------------|--------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 一次固有振動数 | — | Hz |
| E | 縦弾性係数 | 1.93×10^5 | N/mm ² |
| I | 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の断面二次モーメント | 9.47×10^8 | mm ⁴ |
| m | 扉体の単位長さ当たり質量 | 0.88235 | kg/mm |
| L | 主桁の長さ | 1700 | mm |

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

扉体の開門時の固有周期Tは、扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化して算出する。解析モデル図を図4-1に示す。

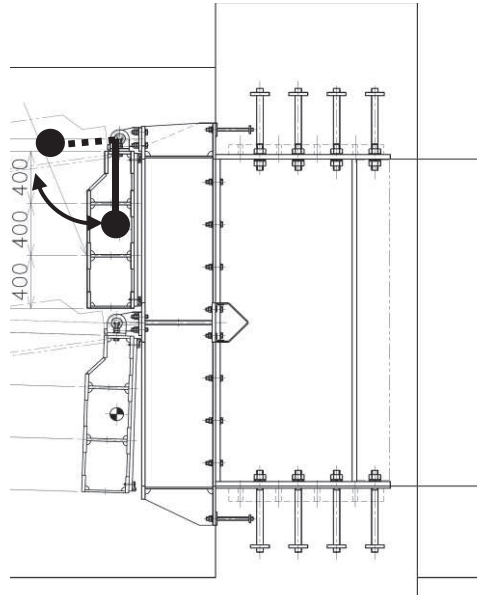


図4-1 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

開門時の固有周期は下式により計算する。

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

$$T = 1/f$$

ここで、 L_2 :振り子の長さ (=95+1200/2 =695 mm)

(3) 固有周期の計算条件

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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|-------|---------|---------|------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 一次固有振動数 | — | Hz |
| g | 重力加速度 | 9.80665 | m/s ² |
| L_2 | 振り子の長さ | 695 | mm |

4.2 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。開門時の固有周期は 0.05s 以上であることから、設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

| | 固有振動数 (Hz) | 固有周期 (s) |
|-----|---------------|-------------|
| 閉門時 | 247 | 0.0040 |
| 開門時 | 0.598 | 1.673 |

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震評価は、添付書類「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. 評価部位」にて設定する評価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

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。
 なお、屋外排水路から流下する排水による水圧作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の自重を考慮する。

(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

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の設計に考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

| 区分 | 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

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に規定される許容応力度を用いる。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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、当該構造物全体の变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、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-2(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

| 評価部位 | 材質 | 許容応力度 (N/mm ²) | | | | 短期許容応力度 (N/mm ²) *2 | | | |
|------------|--------|----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|-----|-----|------|
| | | 曲げ σ_{ab} *1 | 引張 σ_{at} *1 | せん断 τ_a *1 | 支圧 σ_{as} *1 | 曲げ | 引張 | せん断 | 支圧 |
| スキンプレート | SUS304 | 103 | — | — | — | 154 | — | — | — |
| 主桁 | 1桁 | 103 | 103 | 59 | — | 154 | 154 | 88 | — |
| | 2,3桁 | | | | | | | | |
| | 4桁 | | | | | | | | |
| 補助縦桁 | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 153*3 | 154 | 88 | — |
| 中央支柱 | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 143*3 | 154 | 88 | — |
| 中央横桁 | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 153*3 | 154 | 88 | — |
| 戸当り | SUS304 | — | — | — | 154 | — | — | — | 231 |
| 戸当り部コンクリート | コンクリート | — | — | 1.0 | 9.0 | — | — | 1.5 | 13.5 |
| ヒンジ（吊りピン） | SUS304 | 103 | 103 | 59 | — | 154 | 154 | 88 | — |
| ヒンジ（プレート） | SUS304 | — | — | 59 | — | — | — | 88 | — |
| ヒンジ取付けボルト | SUS304 | — | 103 | 59 | — | — | 154 | 88 | — |

注記 *1 : σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2 : 許容限界は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、短期許容応力度とする。短期許容応力度は、鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-2(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

| 評価部位 | 材質 | 許容応力度 (N/mm ²) | | | | 短期許容応力度 (N/mm ²) *2 | | | |
|-------------------------|-------------|----------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|-----|-----|----|
| | | 曲げ σ_{ab} *1 | 引張 σ_{at} *1 | せん断 τ_a *1 | 支圧 σ_{as} *1 | 曲げ | 引張 | せん断 | 支圧 |
| 漂流物防護工 (防護梁) | SM570 | 255 | — | 145 | — | 382 | — | 217 | — |
| 漂流物防護工 (ブラケット) | SM570 | 255 | — | 145 | — | 382 | — | 217 | — |
| 漂流物防護工 (つなぎ材(M20)) | 強度区分 4.6 | — | 140 | — | — | — | 210 | — | — |
| 漂流物防護工 (つなぎ材プレート) | SM570 | 255 | — | 145 | — | 382 | — | 217 | — |
| 漂流物防護工 (押さえ工 (プレート)) | SM570 | 255 | — | 145 | — | 382 | — | 217 | — |

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 許容限界は、「道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-2(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

| 評価部位 | 材質 | 許容限界 (kN) | |
|---------------------|-------|-----------|------|
| | | 引張* | せん断* |
| 漂流物防護工 (アンカーボルト) | SD345 | 105 | 85 |

注記 *: 漂流物防護工 (アンカーボルト) に対する許容引張力及び許容せん断力の許容値は, 「日本建築学会 平成 22 年 各種合成構造設計指針同解説」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設計震度は、「8. 地震応答解析」に示す出口側集水ピットの地震応答解析結果に基づき設定する。加速度応答を抽出した節点位置を図 5-1 に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期は、閉門時は固有周期が 0.05s 以下である一方、開門時には固有周期が $T= 1.673 \text{ s}$ と 0.05 s 以上であることから、閉門時としての最大応答加速度と、開門時として添付書類「V 2 1 7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k WAVE forWindows ver. 6. 2. 0」を使用する。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の地震応答解析結果を図 5-2 に、開門時に参照する基準地震動 S_s を包絡するよう作成した設計用床応答曲線を図 5-3 に示す。

上記より設定した逆流防止設備（扉体及び固定部）及び逆流防止設備（漂流物防護工）設計震度を表 5-3 に示す。なお、設計震度は図 5-1 に示す節点位置のうち、最大加速度となる節点の値を基に算定している。

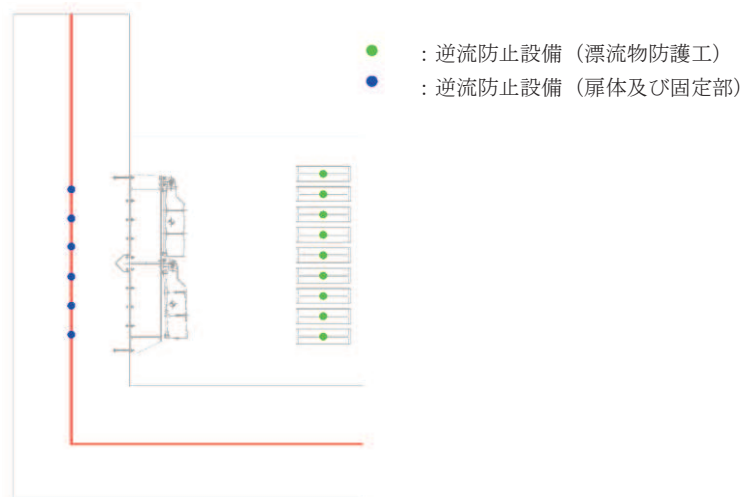
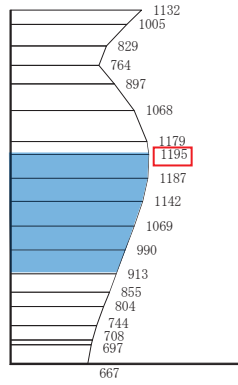
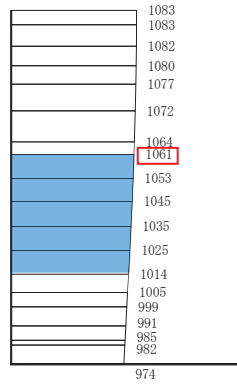


図 5-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, Ss-D1(-+), 解析ケース①)

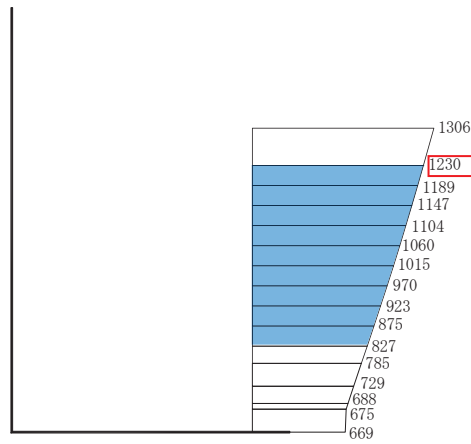


(鉛直方向, Ss-D1(++), 解析ケース①)

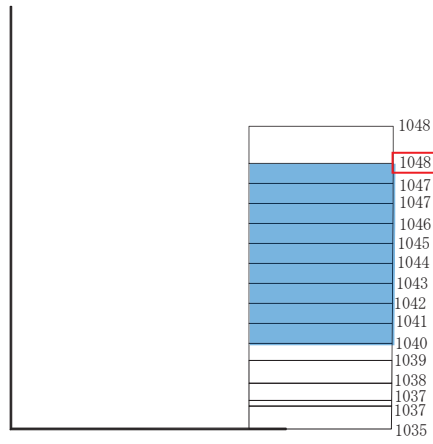
: 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

構造スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 1000$ (cm/s²)

図 5-2(1) 逆流防止設備 (扉体及び固定部) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)



(水平方向, Ss-D1(一十), 解析ケース①)



(鉛直方向, Ss-D2(一一), 解析ケース①)

: 逆流防止設備(漂流物防護工)設置範囲

構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

図 5-2(2) 逆流防止設備 (漂流物防護工) の地震応答解析結果 (最大加速度分布)

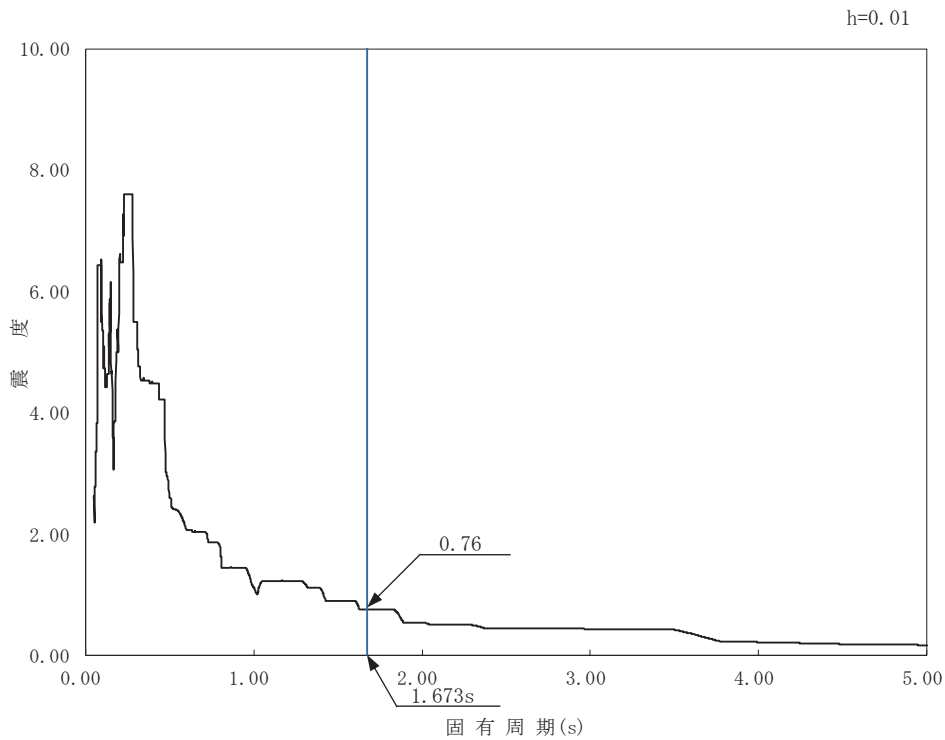


図5-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）における設計用床応答曲線

表 5-3(1) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体及び固定部）

| 地震動 | 解析ケース | 設置場所及び床面高さ (m) | 地震による設計震度 | |
|-------------------|--------|---|---------------|------|
| S s - D 1 (-+) | 解析ケース① | 出口側集水ピット O. P. +6. 483m (屋外排水路底面高さ) | 水平方向 K_H | 1. 3 |
| S s - D 1 (++) | 解析ケース① | | 鉛直方向 K_V | 1. 1 |

表 5-3(2) 設計用地震力（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工）

| 地震動 | 解析ケース | 設置場所及び床面高さ (m) | 地震による設計震度 | |
|-------------------|--------|--|---------------|------|
| S s - D 1 (-+) | 解析ケース① | 出口側集水ピット O. P. +5. 706m (出口側集水ピット底面高さ) | 水平方向 K_H | 1. 3 |
| S s - D 2 (--) | 解析ケース① | | 鉛直方向 K_V | 1. 1 |

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。

(1) スキンプレート

スキンプレートは、主桁、補助縦桁及び側部縦桁に溶接することで支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する四辺固定版としてモデル化し、発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及びモデル図を図 5-4 に示す。

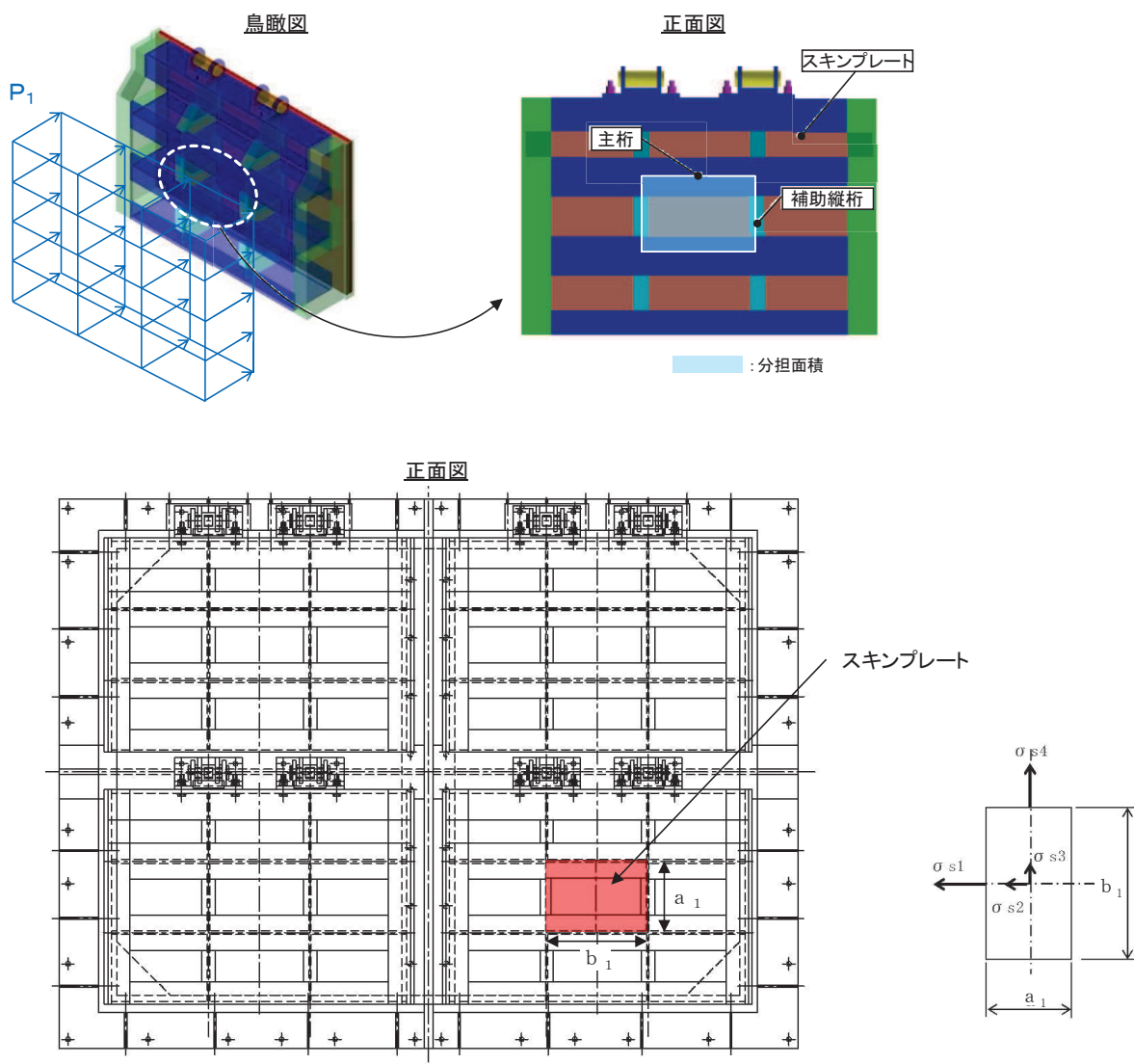


図 5-4 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレーートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{1 \ 0 \ 0} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレーートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレーートの長辺 (mm)

P_1 : スキンプレーートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレーートの板厚 (mm)

(2) 主桁

主桁は、戸当りと接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端ピン支点の単純梁としてモデル化し、発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造図及びモデル図を図 5-5 に示す。

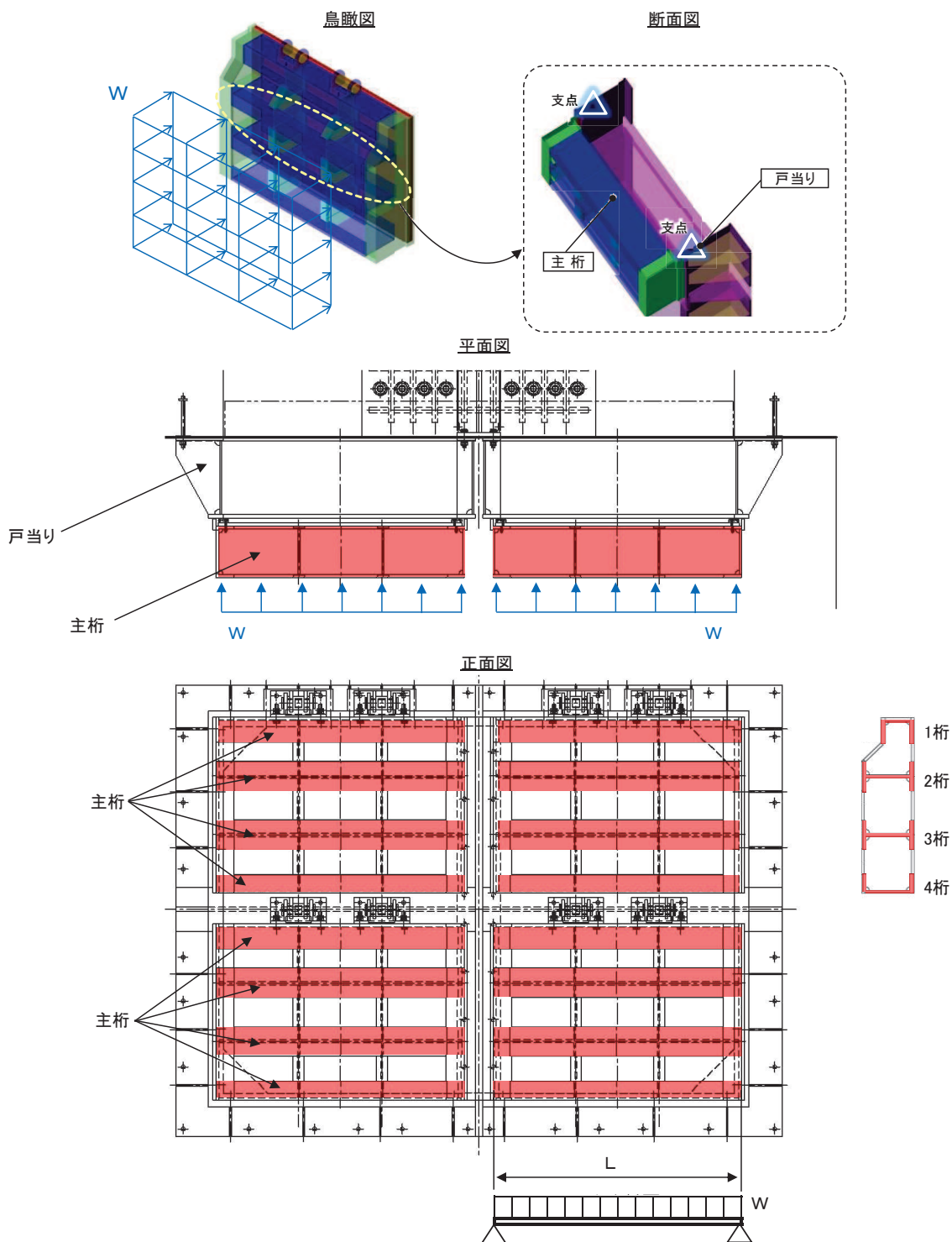


図 5-5 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

W : 各主桁に作用する等分布荷重 (N/mm)

L₂ : 主桁支間長 (mm)

Z₂ : 各主桁の断面係数 (mm³)

A w₂ : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、主桁に溶接されることによって支持される構造である。計算方法は、「水門鉄管協会 平成31年 水門鉄管技術基準 水門扉編」に基づき、等分布荷重が作用する、主桁によって溶接支持された単純梁としてモデル化し、発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造及びモデル図を図5-6に示す。

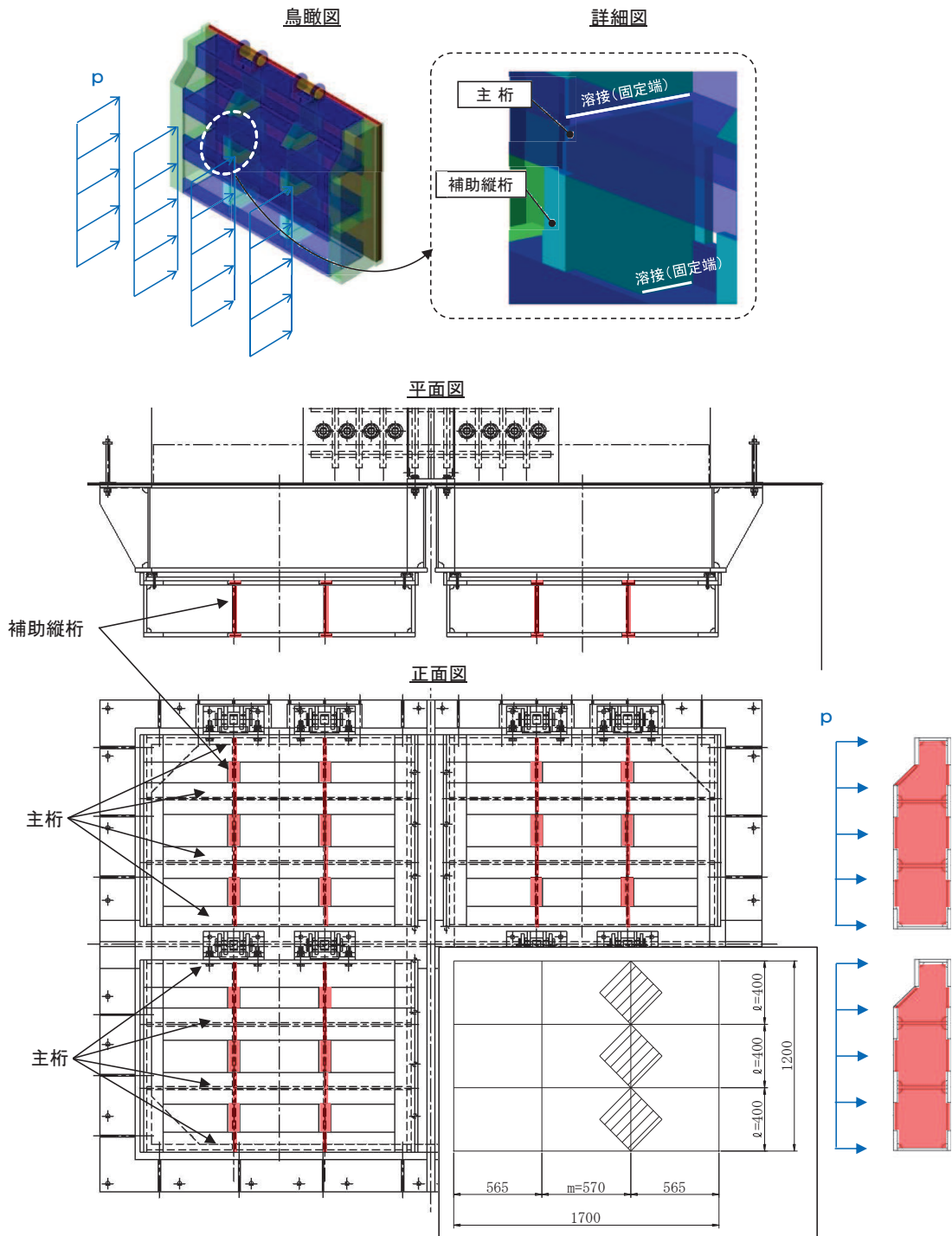


図5-6 補助縦桁の構造図及びモデル図

また、補助縦桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w3}}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

p : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm²)

ℓ : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_{w3} : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(4) 中央支柱

中央支柱は、アンカーボルトを打ち込んだコンクリートに支持される構造である。計算方法は、等分布荷重が作用する両端固定梁でモデル化し、曲げモーメント及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、中央支柱は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央支柱の構造図及びモデル図を図5-7に示す。

【中央支柱】

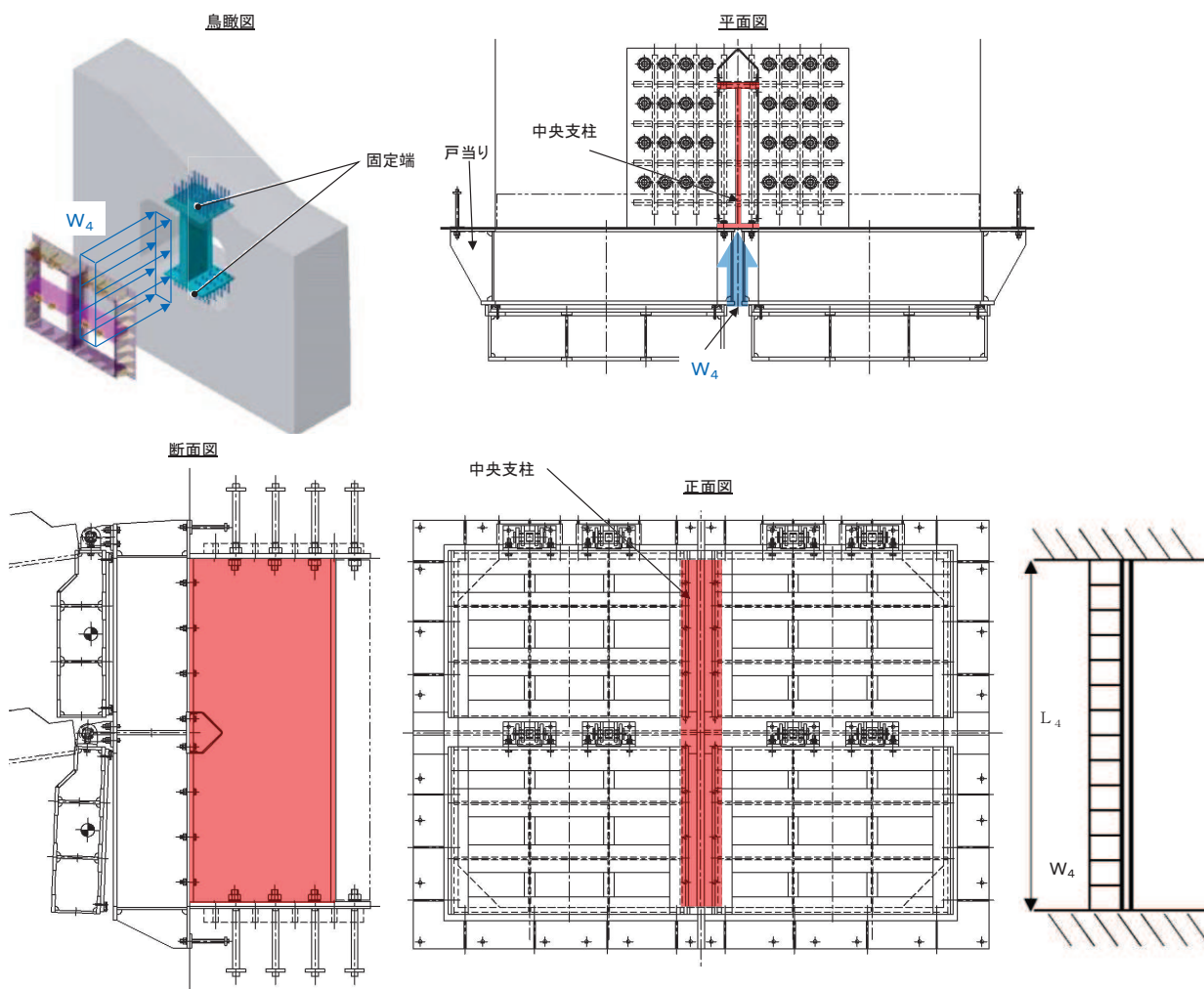


図5-7(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_4}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$$M_4 = M_{\text{max}}$$

$$S_4 = S_{\text{max}}$$

ここで,

- w_4 : 中央支柱に作用する荷重 (N/mm)
- L_4 : 中央支柱固定高 (mm)
- Z_4 : 中央支柱の断面係数 (mm³)
- $A w_4$: 中央支柱のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

【中央支柱（アンカーボルト）】

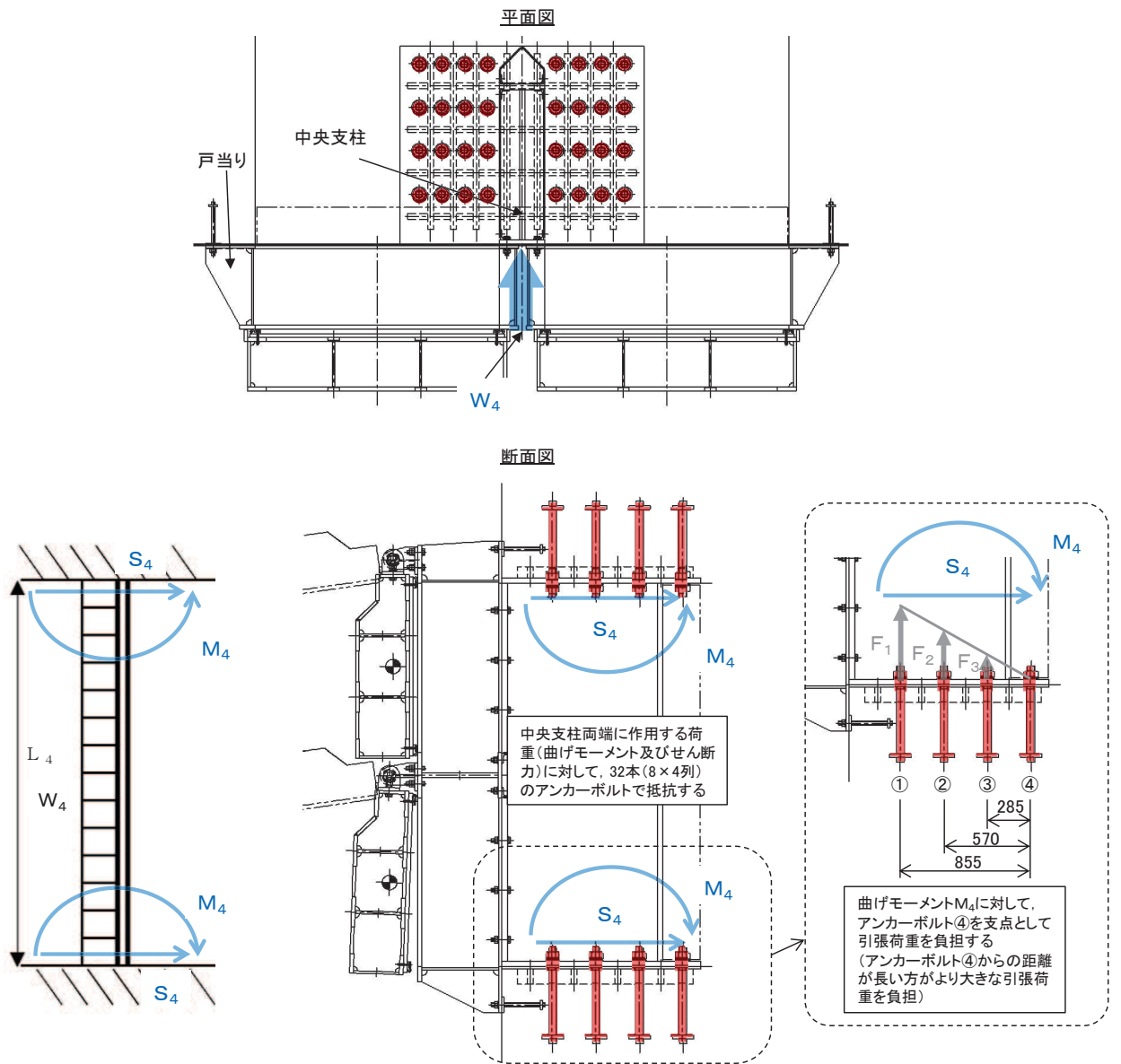


図5-7(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

中央支柱（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_4 = M_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12} = (F_1 \cdot 855 + F_2 \cdot 570 + F_3 \cdot 285) \cdot 8$$

$$S_4 = S_{\max} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2}$$

$$P_4 = F_1$$

$$Q_4 = \frac{S_{\max}}{n_4}$$

ここで、

M_4 : 中央支柱両端に生じる曲げモーメント (N・mm)

S_4 : 中央支柱両端に生じるせん断力 (N)

M_{\max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{\max} : 最大せん断力 (N)

F_1 : アンカーボルト①が負担する引張荷重 (= $3 F_3$) (N)

F_2 : アンカーボルト②が負担する引張荷重 (= $2 F_3$) (N)

F_3 : アンカーボルト③が負担する引張荷重 (N)

S_4 : 中央支柱両端に生じるせん断力 (N)

P_4 : アンカーボルト 1 本に作用する最大引張力 (N)

Q_4 : アンカーボルト 1 本に作用するせん断力 (N)

n_4 : アンカーボルトの本数

(5) 中央横桁

中央横桁は、コンクリートおよび中間支柱と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（地震荷重）が作用する単純支持梁としてモデル化し、発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお、中央横桁は剛性が高く、たわみによる止水性への影響は小さいと考えられることから、たわみの評価は省略する。

中央横桁の構造図及びモデル図を図 5-8 に示す。

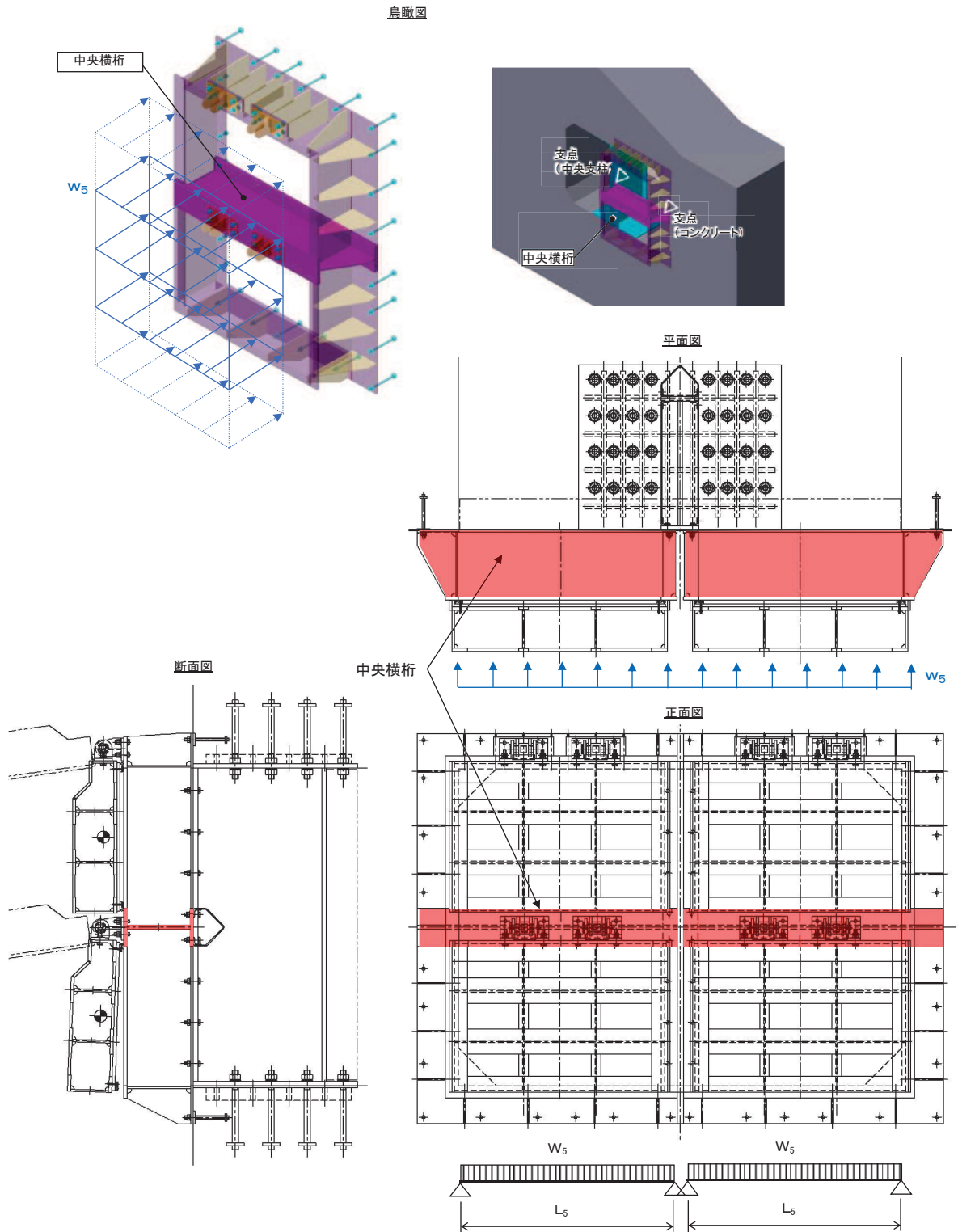


図 5-8 中央横桁の構造図及びモデル図

また、中央横桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5^2}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_5}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_5}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

- w_5 : 中央横桁に作用する荷重 (N/mm²)
- L_5 : 中央横桁の支間長 (mm)
- Z_5 : 中央横桁の断面係数 (mm³)
- $A w_5$: 中央横桁のせん断抵抗断面積 (mm²)
- M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

(6) ヒンジ (吊りピン)

ヒンジ (吊りピン) は、ヒンジ (プレート) と接触することによって、支持される構造である。計算方法は、等分布荷重 (扉体の自重および慣性力) が作用する単純梁としてモデル化し、ヒンジ (吊りピン) に発生する曲げ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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

加えて、ヒンジ (吊りピン) 両端のエンドプレートが水路横断方向の加振時にヒンジプレートと接触する構造であることから、エンドプレートに発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図を図 5-9 に示す。

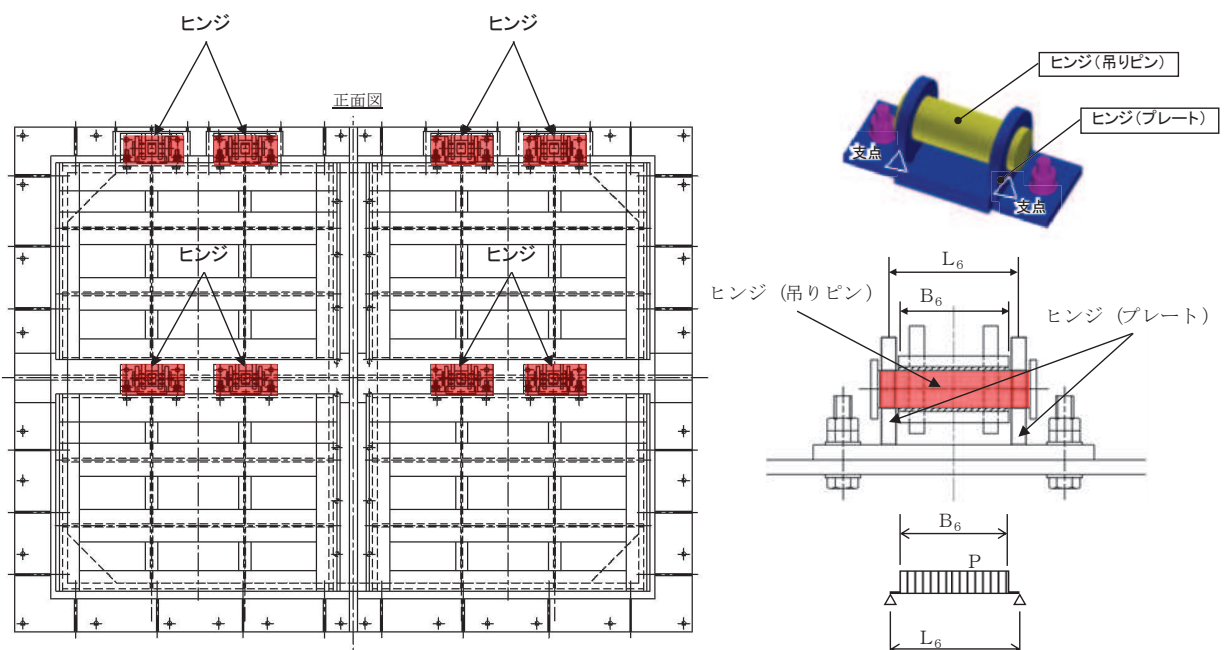


図 5-9(1) ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図 (水路縦断方向)

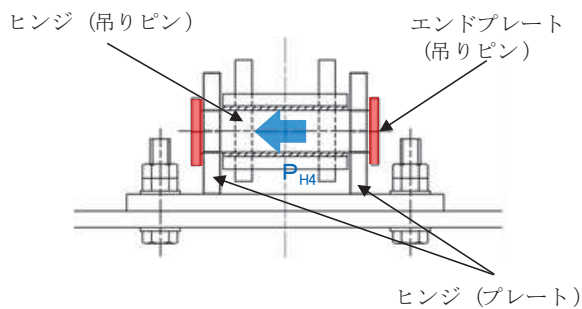


図5-9(2) ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図 (水路横断方向)

また、ヒンジ（吊りピン）の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{P \cdot (2 \cdot L_6 - B_6)}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_6}$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\max}}{3 \cdot A_6}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

エンドプレート（吊りピン）のせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

$$\tau = P_{p4} / A_s$$

$$P_{p4} = P_{H4} / l$$

ここで、

L_6 : ヒンジ（吊りピン）支間長（mm）

B_6 : ヒンジ（吊りピン）受圧幅（mm）

P : ヒンジに作用する荷重（N）

Z_6 : ヒンジ（吊りピン）の断面係数（mm³）

A_6 : ヒンジ（吊りピン）の断面積（mm²）

M_{\max} : 最大曲げモーメント（N・mm）

S_{\max} : せん断力（N）

σ : 曲げ応力度（N/mm²）

τ : せん断応力度（N/mm²）

σ_g : 合成応力度（N/mm²）

P_{p4} : せん断力作用位置における単位円周方向幅あたりの水平慣性力

A_s : 単位円周方向幅当たりのエンドプレート面積

l : せん断作用位置における周長

(7) ヒンジ (プレート)

ヒンジ (プレート) は、ヒンジ (吊りピン) に作用する荷重を支持する構造である。計算方法は、「(6) ヒンジ (吊りピン)」の単純梁検討における支点反力に対し、ヒンジ (プレート) が必要せん断耐力を有していることを確認する。ここで、ヒンジ (プレート) の照査断面はヒンジ (プレート) の最薄部とし、支点反力により発生するせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、吊ピンのエンドプレートを介して伝達される水平地震荷重により生じる支圧応力度、ならびにヒンジ (プレート) 下端の曲げ応力度が許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ (プレート) の構造図を図 5-10 に示す。

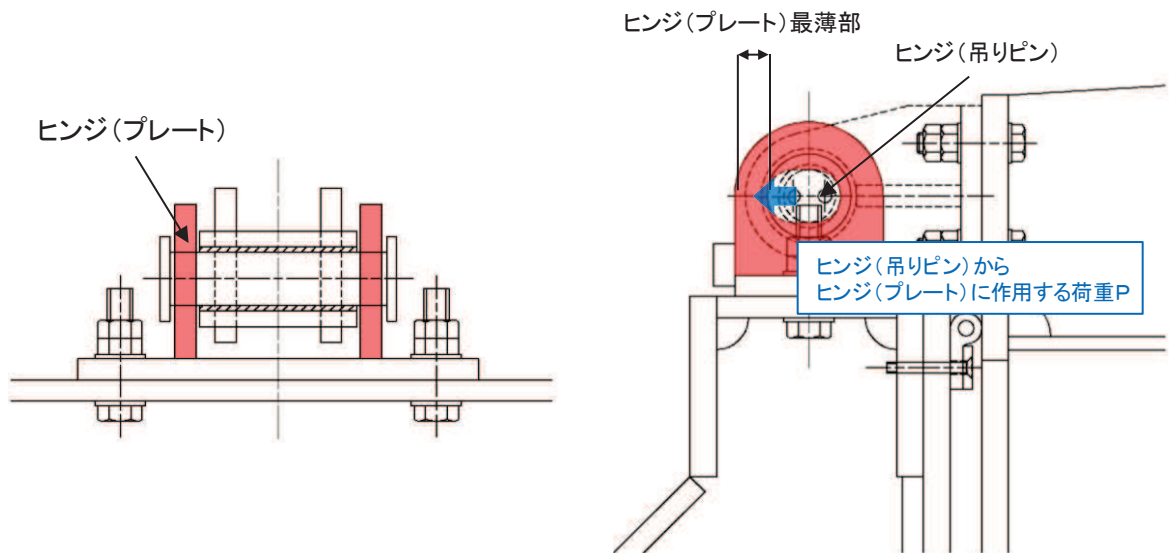


図5-10(1) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路縦断方向)

また、ヒンジ (プレート) の応力算定式は以下のとおりである。

$$\tau = \frac{P_7}{A h_7}$$

ここで、

- P_7 : ヒンジ (プレート) に作用する荷重 (N)
- $A h_7$: ヒンジ (プレート) の最薄部の断面積 (mm^2)
- τ : せん断応力度 (N/mm^2)

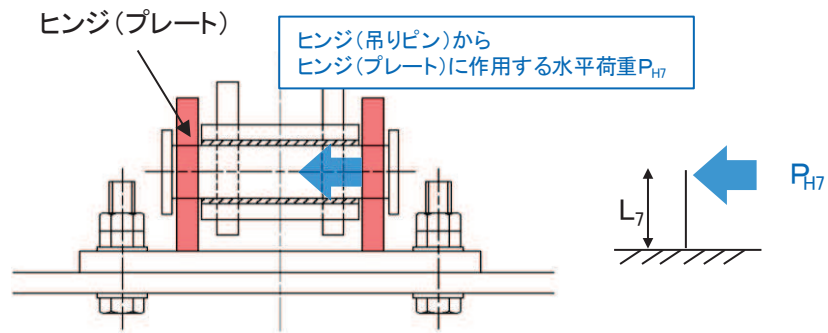


図5-10(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

また、ヒンジ (プレート) の応力算定式は以下のとおりである。

$$\tau = \frac{P}{A h_7}$$

$$M = P_{H7} \cdot L_7$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_7}$$

$$\sigma_p = \frac{P_{H7}}{A_p}$$

ここで、

P : ヒンジ (プレート) に作用する鉛直荷重 (N)

$A h_7$: ヒンジ (プレート) の最薄部の断面積 (mm^2)

τ : せん断応力度 (N/mm^2)

P_{H7} : 水平地震荷重 (N)

L_7 : 吊ピン中心からヒンジ (プレート) 下端までの距離 (mm)

M : ヒンジ (プレート) 下端部に作用する曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Z_7 : ヒンジ (プレート) の断面係数 (mm^3)

A_p : 支圧抵抗面積 (mm^2)

(8) ヒンジ取付けボルト

ヒンジ取付けボルトは、ヒンジ部に作用する扉体の自重および慣性力を負担する構造である。計算方法は、扉体自重および慣性力より算出されるヒンジ取付けボルトに発生する引張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。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

ヒンジ取付けボルトの構造図を図5-11に、応力算定式を図5-12に示す。

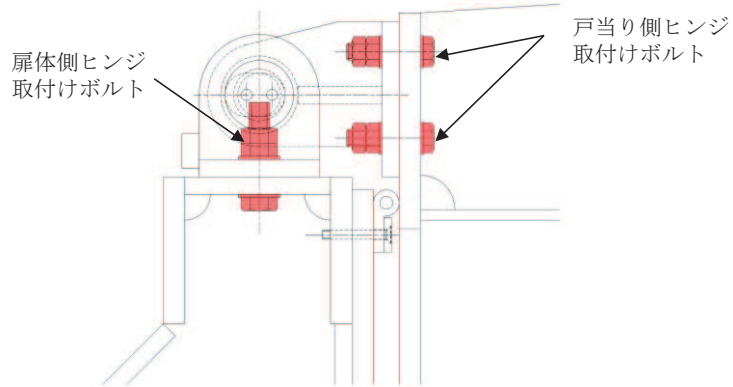
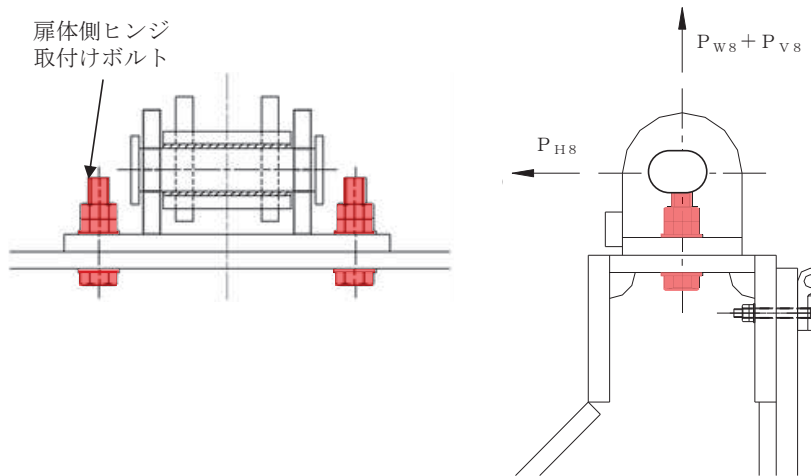


図 5-11 ヒンジ取付けボルトの構造図

【扉体側】



$$\sigma = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b \cdot 2}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$A b$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W8} : ヒンジ1箇所あたりが負担する扉体の自重 (N)

P_{V8} : 鉛直地震力 (N)

P_{H8} : 水平地震力 (N)

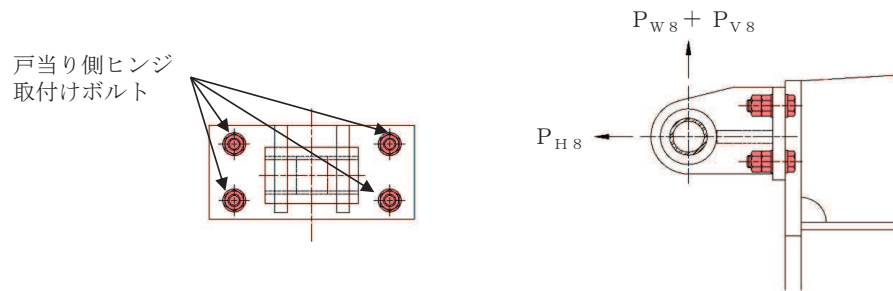
σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-12(1) ヒンジ取付けボルト (扉体側) の応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b \cdot 4}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

A b : 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W8} : 扉体の自重 (N)

P_{V8} : 鉛直地震力 (N)

P_{H8} : 水平地震力 (N)

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5-12(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の応力算定式

(9) 戸当り

戸当りは、アンカーボルトを打ち込んだコンクリート及び中央支柱と接触することによって支持される構造である。計算方法は、等分布荷重（地震荷重）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。

戸当りの構造図を図5-13に示す。

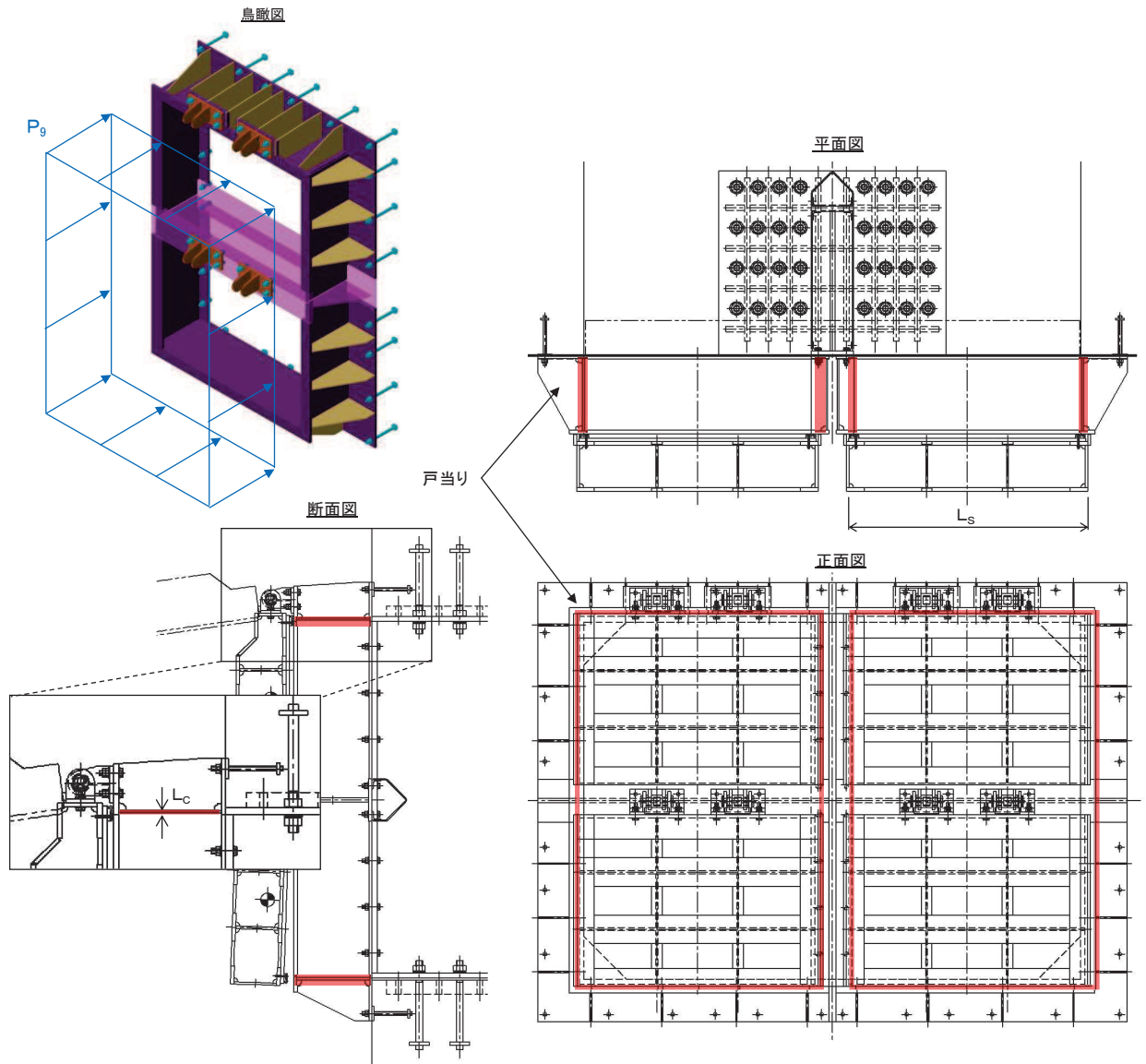


図 5-13 戸当りの構造図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{P_g \cdot L_s}{2 \cdot L_c}$$

ここで、

P_g : 戸当りへ作用する荷重 (N/mm²)

L_s : 扉体幅 (mm)

L_c : 戸当り支圧部の板厚 (mm)

σ_{bk} : 支圧応力度

(10) 戸当り部コンクリート

戸当り部コンクリートは、戸当りから伝達されてきた荷重を支持する構造である。計算方法は、戸当りから伝達されてきた荷重を戸当りとコンクリートの接触面で受圧した際に、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構造図を図 5-14 に示す。

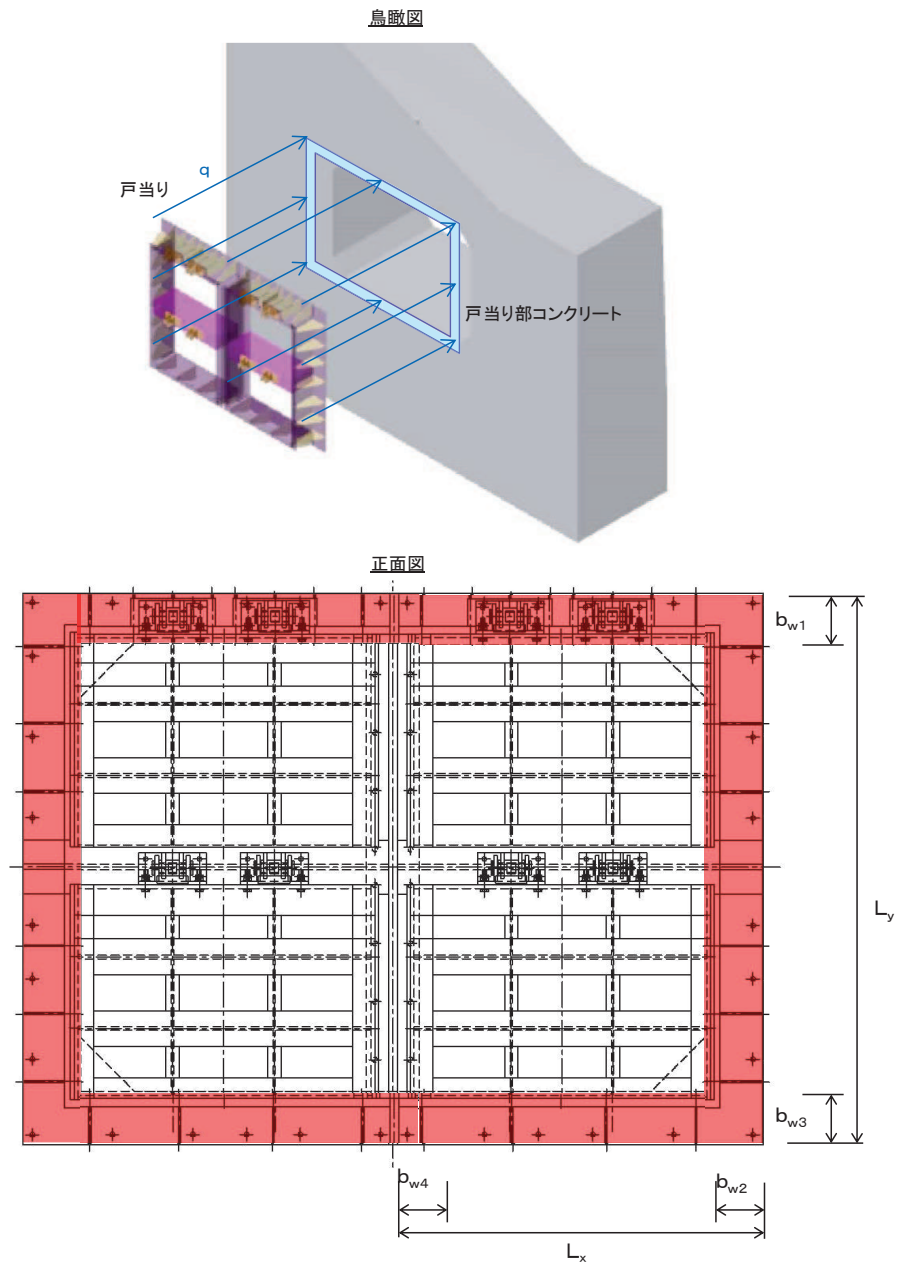


図 5-14 戸当り部コンクリートの構造図

また、戸当り部コンクリートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma_{bk} = \frac{q \cdot (L_x \cdot L_y)}{L_x (b_{w1} + b_{w3}) + (L_y - b_{w1} - b_{w3})(b_{w2} + b_{w4})}$$
$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{w1}}{2 \cdot S}$$

ここで、

q : 戸当りへ作用する水平地震力 (N/mm²)

L_x : 戸当り横幅 (mm)

L_y : 戸当り縦幅 (mm)

b_{w1} : 上部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w2} : 側部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w3} : 下部戸当り支圧幅 (mm)

b_{w4} : 中央支柱部の戸当り支圧幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm) (上部及び下部戸当りの最小支圧幅)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(11) 漂流物防護工（防護梁）

防護梁は、両端のエンドプレートとブラケットが接触することによって支持される構成である。計算方法は、単純梁としてモデル化する。なお、評価においては防護梁の上下に設置するスキンプレートは考慮せず、防護梁本体の腐食代を 1mm 考慮する。

照査は、曲げ応力度、せん断応力度について行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。加えて、防護梁には水平方向及び鉛直方向の荷重が同時に作用することから、「道路橋示方書・同解説Ⅱ（（社）日本道路協会、平成 14 年）」二軸応力状態の照査について行う。

また、エンドプレート最下端が出口側集水ピット底版に接しているため、エンドプレートが接する出口側集水ピット底版コンクリートの支圧応力度についても照査を行う。

なお、防護梁と出口側集水ピットの間には隙間があり、出口側集水ピットの南北方向の変形に対しても防護梁の軸方向圧縮力が作用しない構造であることから、座屈を考慮しない。

防護梁の構造及びモデル図を図 5-15 に示す。

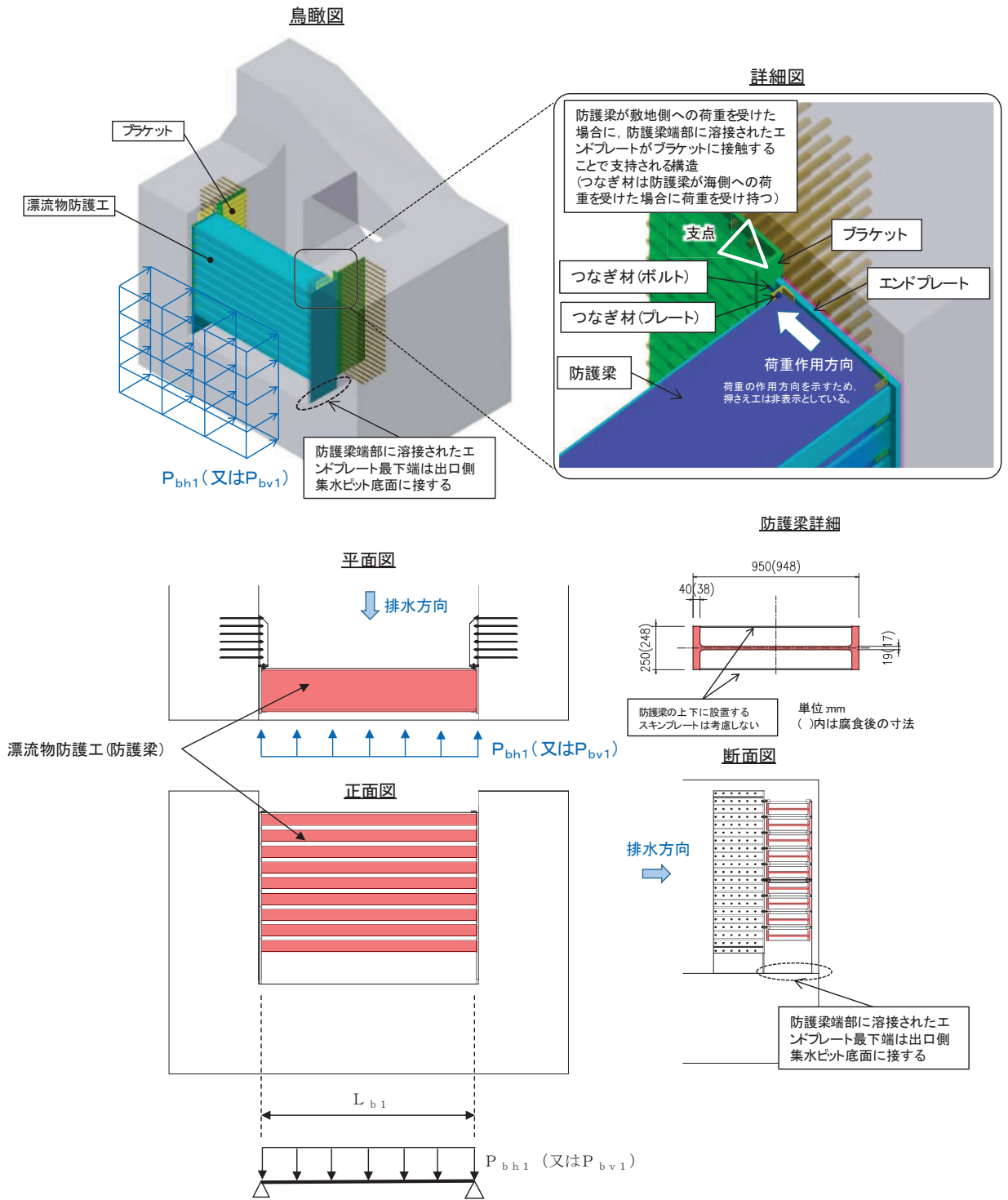


図 5-15 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁及び出口側集水ピット底板コンクリートの応力算定式は以下のとおり。

【水平方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_x = \frac{M_{max}}{Z_{bh1}}$$

$$\tau_x = \frac{S_{max}}{A_{wbh1}}$$

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_x}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (合成応力度)$$

P_{bh1} : 防護梁に作用する水平荷重 (N/mm)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

Z_{bh1} : 防護梁の水平 (強軸) 方向の断面係数 (mm³)

A_{wbh1} : 防護梁の水平 (強軸) 方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ_x : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ_x : せん断応力度 (N/mm²)

【鉛直方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}^2}{8}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}}{2}$$

$$\sigma_y = \frac{M_{max}}{Z_{bv1}}$$

$$\tau_y = \frac{S_{max}}{A_{wbv1}}$$

$$\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_y}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (合成応力度)$$

P_{bv1} : 防護梁に作用する鉛直荷重 (N/mm)

L_{b1} : 防護梁のスパン長 (mm)

Z_{bv1} : 防護梁の鉛直 (弱軸) 方向の断面係数 (mm³)

A_{wbv1} : 防護梁の鉛直 (弱軸) 方向のせん断抵抗断面積 (mm²)

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

σ_y : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ_y : せん断応力度 (N/mm²)

【二軸応力状態の照査】

$$\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a}\right)\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right) + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2$$

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

ここに,

τ : 照査箇所が生じるせん断応力度 (N/mm²)

【出口側集水ピット底版コンクリート】

$$\sigma_{bk} = \frac{P_{10}}{A_{10}}$$

ここで,

σ_{bk} : エンドプレート下端コンクリートに作用する支圧応力度 (N/mm²)

P_{10} : エンドプレート下端の鉛直荷重 (N)

A_{10} : エンドプレート下端の断面積 (mm²)

(12) 漂流物防護工（ブラケット）

ブラケットは、側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造である。計算方法は、防護梁と一体化したエンドプレートを介して伝達される荷重が作用する側壁（北壁及び南壁）にアンカーボルトで固定された片持ち梁としてモデル化する。地震時においては、山側への荷重に対しては防護梁のエンドプレートを介して荷重が作用し、海側への荷重に対してはエンドプレートに溶接されたつなぎ材を介して荷重が作用する。これらの荷重は同値であるため、アーム長が大きくなり、照査値が厳しくなると想定される海側への荷重を考慮する。

なお、この荷重に対してブラケットは幅 350mm の π 形の断面で抵抗し、腐食代を 1mm 考慮する。

ブラケットの構造及びモデル図を図 5-16 に示す。

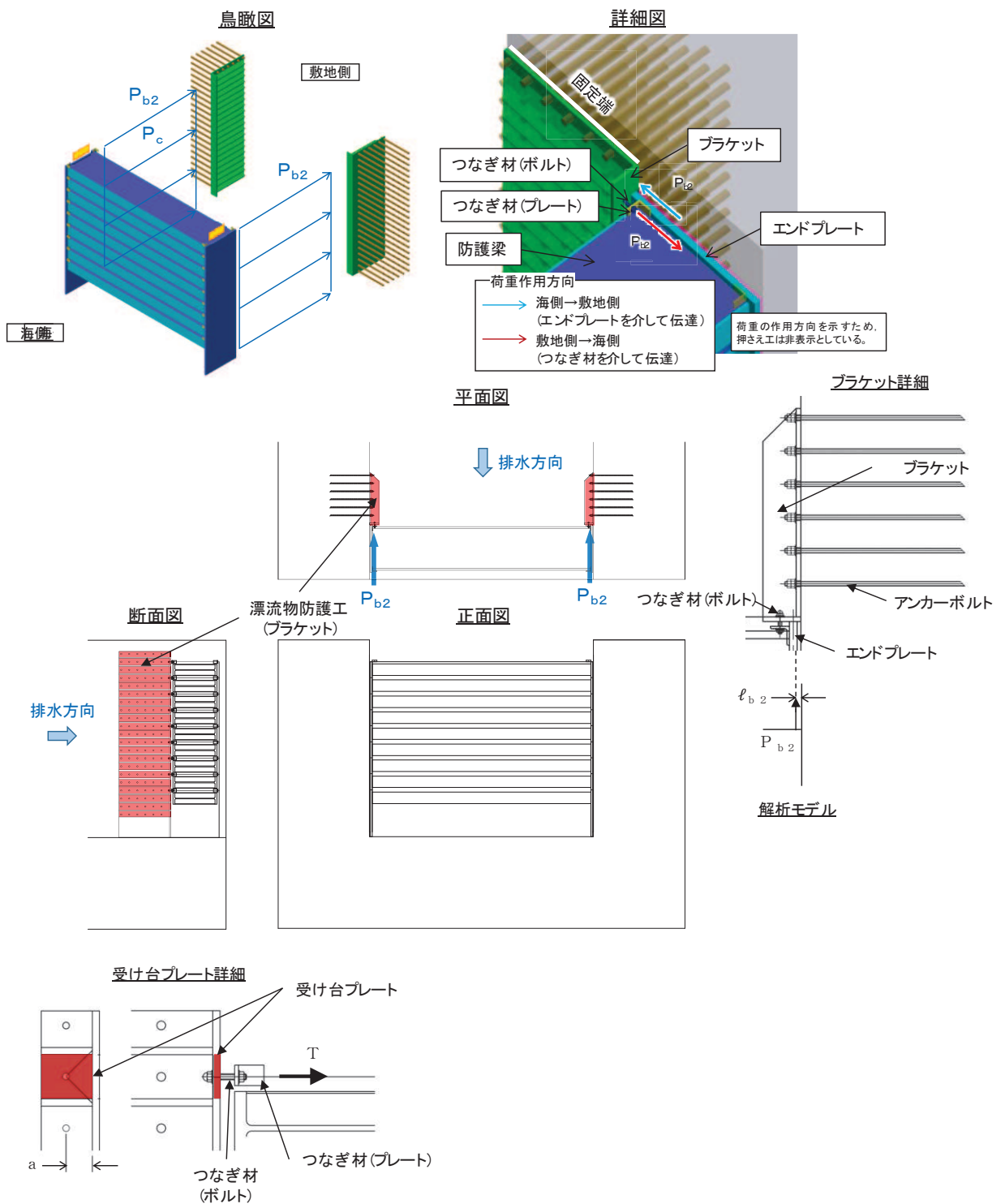


図 5-16 ブラケットの構造及びモデル図

また、漂流物防護工（ブラケット）の応力算定式は以下のとおりである。

【ブラケット本体】

$$M_{max} = P_{b2} \cdot \ell_{b2}$$

$$S_{max} = P_{b2}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b2}}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{wb2}}$$

P_{b2} : ブラケットに作用する水平力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 ℓ_{b2} : 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
 Z_{b2} : ブラケットの断面係数 (mm³)
 A_{wb2} : ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm²)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 S_{max} : 最大せん断力 (N)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$M_{max} = T \cdot a$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_c}$$

- T : 受け台に作用する引張力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 a : 側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ (mm)
 Z_c : 受け台プレートの断面係数 (mm³)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

(13) 漂流物防護工（つなぎ材）

つなぎ材は、エンドプレートに溶接されたプレートとブラケットをつなぐボルト（M20）からなり、敷地側から海側の荷重が作用した際に、ボルトを介してブラケットおよびアンカーボルトに荷重伝達する構造である。プレートの計算方法は、ボルトに生じる引張力が作用する片持ち梁（エンドプレートを固定端とする）としてモデル化する。プレートについては、曲げ応力度、せん断応力度について行うとともに、曲げとせん断が同時に作用する場合は合成応力度の照査を行う。ボルトについては、曲げ応力度の照査を行う。なお、つなぎ材の照査にあたっては腐食代を 1mm 考慮する。

つなぎ材の構造図を図 5-17 に示す。

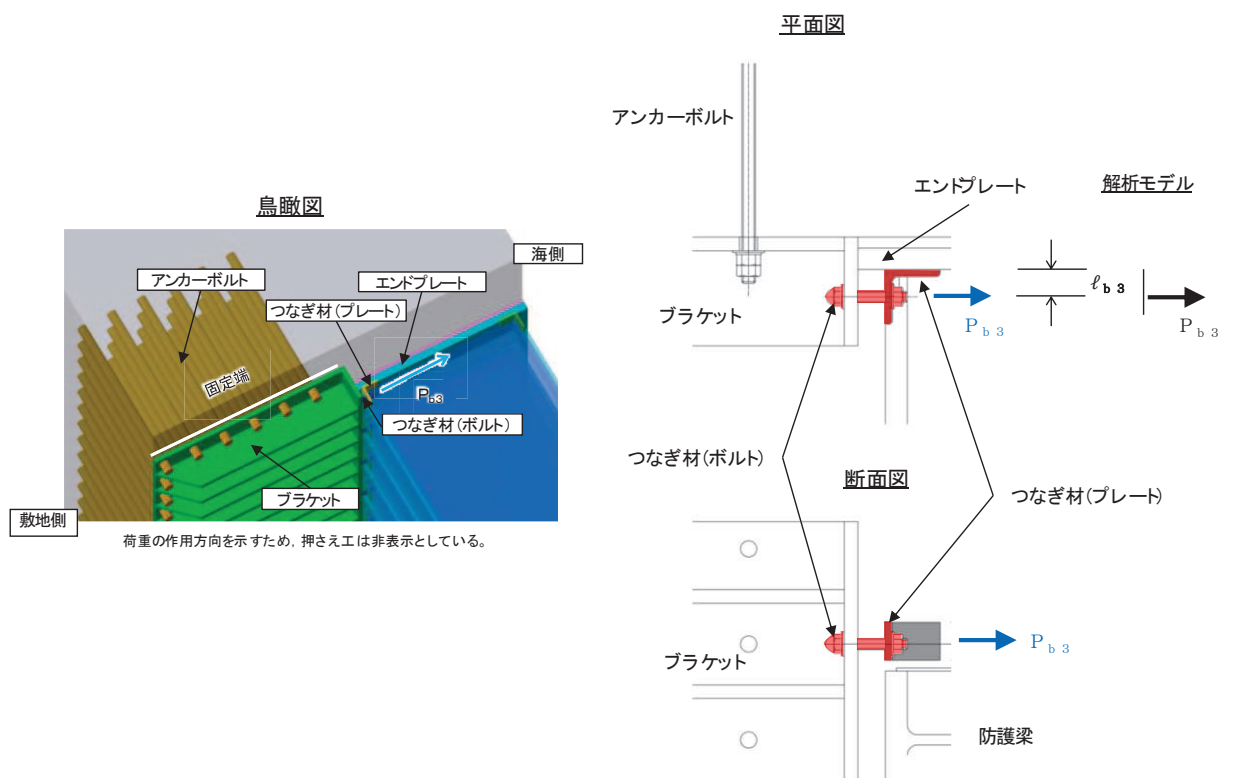


図 5-17(1) つなぎ材の構造図及びモデル図（水路縦断方向）

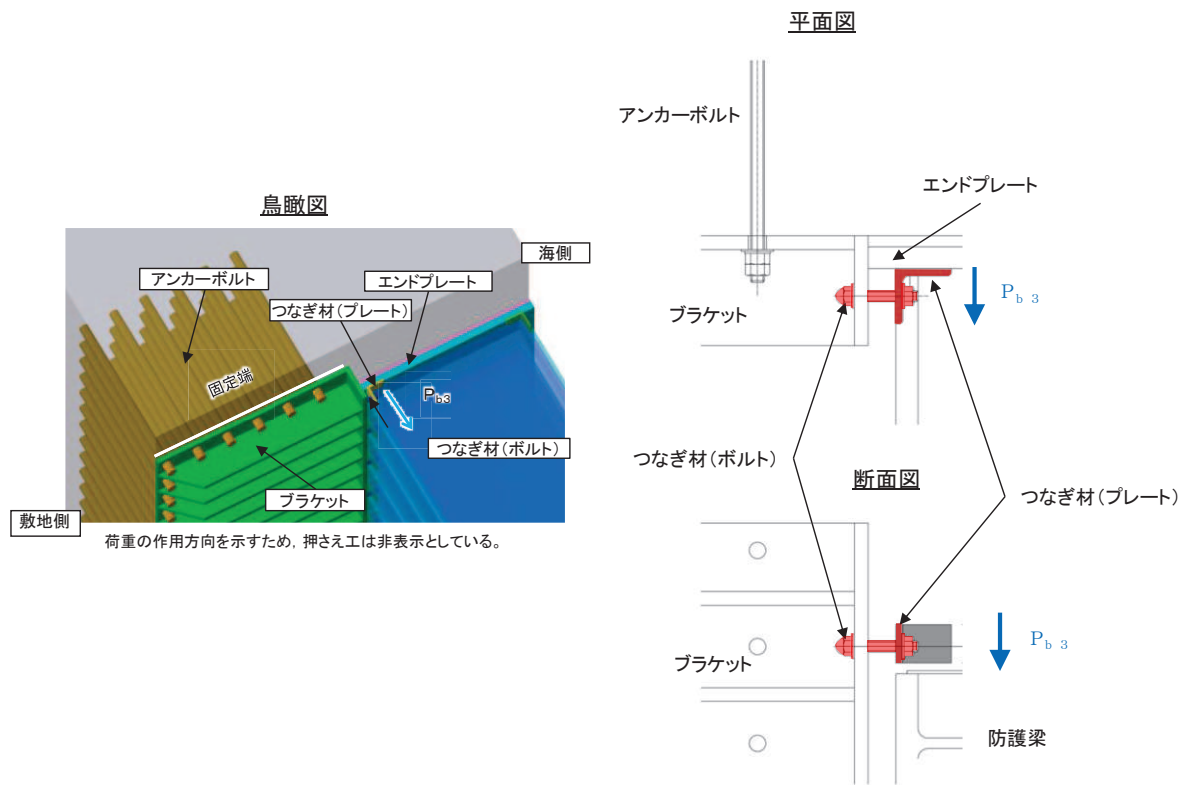


図5-17(2) つなぎ材の構造図及び計算モデル（水路横断方向）

また、つなぎ材の応力算定式は以下のとおりである。

【水路縦断方向】

(プレート)

$$M_{max} = P_{b3} \cdot \ell_{b3}$$

$$S_{max} = P_{b3}$$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b3}}$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{b3}}$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

P_{b3} : つなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 ℓ_{b3} : エンドプレートからボルト中心までの長さ (mm)
 Z_{b3} : つなぎ材プレートの断面係数 (mm³)
 A_{b3} : つなぎ材プレートの断面積 (mm²)
 M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
 S_{max} : 最大せん断力 (N)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

(ボルト)

$$\sigma = \frac{P_d}{A_d}$$

P_d : つなぎ材ボルトに作用する引張力 (N)
 (=防護梁に作用する水平の最大せん断力)
 A_d : つなぎ材ボルトの有効断面積 (mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

【水路横断方向】

(プレート)

$$\tau = \frac{P_{b3}}{B_p \cdot t_p}$$

ここで,

τ : せん断応力度 (N/mm²)

P_{b3} : つなぎ材プレートに作用する水平力 (N)
(=防護梁に作用する水平の最大せん断力)

B_p : 有効プレート幅 (mm)

t_p : プレート厚さ (mm)

(14) 漂流物防護工（アンカーボルト）

漂流物防護工（アンカーボルト）は、側壁のコンクリートに埋め込むことによって、ブラケットを支持する構造である。ブラケットに発生したモーメントとせん断力は、埋め込まれたアンカーボルト群により側壁に荷重伝達される。

計算方法は、防護梁 1 本に作用する荷重に対して、図 5-18 に示すように、エンドプレート幅 350mm の範囲にある 6 本 2 列、計 12 本のアンカーボルトで抵抗する。

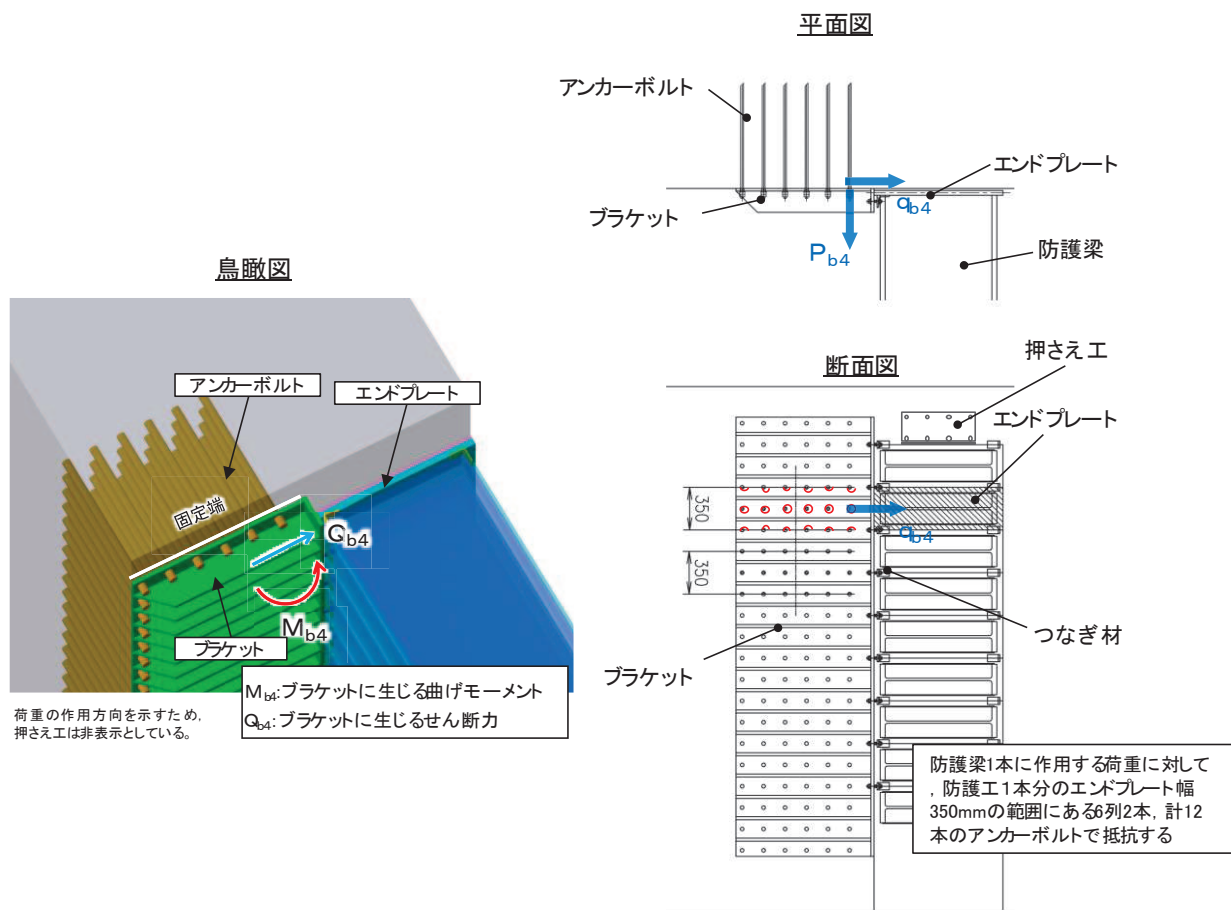


図 5-18 アンカーボルトの構造図

また、漂流物防護工（アンカーボルト）の応力算定式は以下のとおりである。

$$P_{b4} = \frac{(M_{b4}/2)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = \frac{(Q_{b4}/2)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}}{q_a}\right)^2 \leq 1.2 \quad (\text{合成応力度})$$

ここで、

- P_{b4} : アンカーボルト1本の引張力 (N)
- q_{b4} : アンカーボルト1本のせん断力 (N)
- M_{b4} : ブラケットに生じる曲げモーメント (N・mm)
- Q_{b4} : ブラケットに生じるせん断力 (N)
- Z_{b4} : アンカーボルト群1列の断面係数 (mm)
- n : アンカーボルト群1列の本数 (本)
- P_a : アンカーボルトの許容引張力 (N)
- q_a : アンカーボルトの許容せん断力 (N)

5.6 計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる計算条件を表5-4に示す。

表 5-4(1) 応力評価に用いる計算条件 (1/3)

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| 固定荷重 (1門当たりの扉体の自重) G (N) | 1門当たりの 扉体面積 A ₁ (mm ²) | 水の単位体積重量 W ₀ (N/mm ³) |
| 14.70998×10 ³ | 2.04×10 ⁶ | 1.01×10 ⁻⁵ |

| 区画 | スキンプレート | | | | |
|------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|
| | 辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数k | 短辺 a ₁ (mm) | 長辺 b ₁ (mm) | 板厚 t ₁ (mm) | 単位面積当たりの 荷重 P ₁ (N/mm ²) |
| 1~2桁 | 43.94 | 400 | 570 | 25 | 0.0094 |
| 2~3桁 | 43.94 | 400 | 570 | 25 | 0.0094 |
| 3~4桁 | 43.94 | 400 | 570 | 25 | 0.0094 |

| 区画 | 主桁へ作用する 等分布荷重 W (N/mm) | 主桁の最大 間隔 H ₂ (mm) | 主桁支間長 L ₂ (mm) | 主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³) | 主桁の せん断抵抗断面積 A _{w2} (mm ²) |
|-------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--|---|
| 1桁 | 1.87 | 400 | 1700 | 8.130379×10 ⁵ | 3.40×10 ³ |
| 2, 3桁 | 3.75 | 400 | 1700 | 1.769048×10 ⁶ | 6.00×10 ³ |
| 4桁 | 1.87 | 400 | 1700 | 1.137798×10 ⁶ | 4.50×10 ³ |

| 補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm ²) | 補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm) | 補助縦桁の断面係数 Z ₃ (mm ³) | 補助縦桁の せん断抵抗断面積 A _{w3} (mm ²) |
|---|-------------------------|--|---|
| 9.4×10 ⁻³ | 400 | 3.266545×10 ⁵ | 2.16×10 ³ |

| 扉体幅 B (mm) | 扉体高 H (mm) | 水平地震力 F _H (kN) | 鉛直地震力 F _V (kN) | FG自重 G _f (kN) |
|---------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 3600 | 2610 | 200 | 170 | 147.1 |

| アンカーボルト の本数 n ₄ (本) | 中央支柱に作用 する荷重 w ₄ (N/mm) | 中央支柱固定高 L ₄ (mm) | 中央支柱の 断面係数 Z ₄ (mm ³) | 中央支柱の せん断抵抗断面積 A _{w4} (mm ²) |
|-----------------------------------|--|--------------------------------|--|---|
| 32 | 71.82 | 2500 | 1.5535178×10 ⁷ | 3.43×10 ⁴ |

表 5-4(2) 応力評価に用いる計算条件 (2/3)

| 中央横桁に作用する荷重 w_5 (N/mm) | 中央横桁の支間長 L_5 (mm) | 中央横桁の断面係数 Z_5 (mm ³) | 中央横桁のせん断抵抗断面積 A_{w5} (mm ²) |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|---|
| 52.07 | 1600 | 4.897727×10^6 | 1.50×10^4 |

| ヒンジ (吊りピン) | | | | |
|----------------|----------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 支間長 L_6 (mm) | 受圧幅 B_6 (mm) | ヒンジに作用する荷重 P (N) | 断面係数 Z_6 (mm ³) | 断面積 A_{w6} (mm ²) |
| 176 | 150 | 18165 | 1.2272×10^4 | 1.963×10^3 |

| ヒンジ (プレート) | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 最薄部の断面積 A_{h7} (mm ²) | 水平地震荷重 P_{H7} (N) | 吊りピン中心からヒンジ (プレート) 下端までの距離 L_7 (mm) | 断面係数 Z_7 (mm ³) | 支圧抵抗面積 A_p (mm ²) |
| 1.2×10^3 | 9561.4838 | 75 | 9.3333×10^3 | 3.063×10^3 |

| 取付けボルトの断面積 A_{b8} (mm ²) | ヒンジ(プレート) 下端部に作用する曲げモーメント M_7 (N/mm) | ヒンジ 1 箇所当たりが負担する扉体の自重 P_{w6} (N/mm ²) | 鉛直地震力 P_{v6} (N) | 水平地震力 P_{H6} (N) |
|--|--|---|--------------------|--------------------|
| 234.89880 | 717111.29 | 7354.9875 | 8090.4863 | 9561.4838 |

| 戸当りへ作用する荷重 P_9 (N/mm ²) | 戸当りから中央支柱中心までの距離 L_s (mm) | 戸当り支圧部の板厚 L_c (mm) | 戸当り横幅 L_x (mm) | 戸当り縦幅 L_y (mm) |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| 0.0225 | 1700 | 12 | 2075 | 3075 |

| 支圧幅 b_{w1} (mm) | 支圧幅 b_{w2} (mm) | 支圧幅 b_{w3} (mm) | 支圧幅 b_{w4} (mm) |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 275 | 325 | 300 | 125 |

| 戸当りへ作用する水平地震力 q (N/mm ²) | 戸当り幅 S (mm) |
|--|---------------|
| 0.0225 | 275 |

表 5-4(3) 応力評価に用いる計算条件 (3/3)

| 防護梁 | | | |
|------------------------------|-----------------------|---|--|
| 作用する水平荷重 P_{bh1} (N/mm) | スパン長 L_{b1} (mm) | 水平 (強軸) 方向の 断面係数 Z_{bh1} (mm ³) | 水平 (強軸) 方向の せん断抵抗断面積 A_{wbh1} (mm ²) |
| 6.743 | 4820 | 10.22×10^6 | 14.82×10^3 |

| 防護梁 | | | | |
|------------------------------|---|--|----------------------------|-----------------------------|
| 作用する鉛直荷重 P_{bv1} (N/mm) | 鉛直 (弱軸) 方向の 断面係数 Z_{bv1} (mm ³) | 鉛直 (弱軸) 方向の せん断抵抗断面積 A_{wbv1} (mm ²) | エンドプレ ート幅 B_e (mm) | エンドプレー ト厚さ t_e (mm) |
| 10.892 | 0.7819×10^6 | 18.85×10^3 | 1048 | 38 |

| ブラケットに 作用する水平力 P_{b2} (N) | 側壁からつなぎ材ボルト 中心までの長さ l_{b2} (mm) | ブラケットの 断面係数 Z_{b2} (mm ³) | ブラケットの せん断抵抗断面積 A_{wb2} : (mm ²) |
|-----------------------------------|---|---|--|
| 16.3×10^3 | 110 | 14.67×10^6 | 50.6×10^3 |

| 受け台に作用する引張力 T (N) | 側壁からつなぎ材ボルト 中心までの長さ a (mm) | 受け台プレートの 断面係数 Z_c (mm ³) |
|------------------------|------------------------------------|--|
| 16.3×10^3 | 90 | 13.225×10^3 |

| つなぎ材プレートに 作用する水平力 P_{b3} (N) | エンドプレートから ボルト中心までの長さ l_{b3} (mm) | つなぎ材プレートの 断面係数 Z_{b3} (mm ³) | つなぎ材プレートの 断面積 A_{wb3} (mm ²) |
|--------------------------------------|--|--|--|
| 16.3×10^3 | 43 | 5.995×10^3 | 1.564×10^3 |

| つなぎ材ボルトに作 用する引張力 P_d (N) | つなぎ材ボルトの 有効断面積 A_d (mm ²) | アンカーボルト群 1列の断面係数 Z_{b4} (mm) | アンカーボルト群 1列の本数 n (本) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|
| 16.3×10^3 | 245 | 1225 | 6 |

| つなぎ材ボルトの有効プ レート幅 B_p (mm) | つなぎ材プレート厚 t_p (mm) | 単位円周方向幅当たりの エンドプレート面積 A_s (mm ²) | せん断作用位置に おける 周長 l (mm) |
|--------------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|
| 36.5 | 23 | 9 | 50π |

6. 評価結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位の応力評価結果を表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（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体）

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 発生応力 a (N/mm ²) | 許容応力 b (N/mm ²) | 照査値 a/b | | |
|------|---------------|--------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|------|------|
| 扉体 | スキンプレート | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 1.06 | 154 | 0.01 | | |
| | 主桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 1桁 | 0.84 | 154 | 0.01 | |
| | | | | 2,3桁 | 0.77 | 154 | 0.01 | |
| | | | | 4桁 | 0.60 | 154 | 0.01 | |
| | | | せん断応力度 | 1桁 | 0.47 | 88 | 0.01 | |
| | | | | 2,3桁 | 0.54 | 88 | 0.01 | |
| | | | | 4桁 | 0.36 | 88 | 0.01 | |
| | | | - | 合成応力度 | 1桁 | 1.17 | 154 | 0.01 |
| | | | | | 2,3桁 | 1.22 | 154 | 0.01 |
| | | | | | 4桁 | 0.87 | 154 | 0.01 |
| | 補助縦桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 0.16 | 153 | 0.01 | | |
| | | | せん断応力度 | 0.18 | 88 | 0.01 | | |
| | | - | 合成応力度 | 0.36 | 154 | 0.01 | | |
| | 中央支柱 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 2.41 | 143 | 0.02 | | |
| | | | せん断応力度 | 2.62 | 88 | 0.03 | | |
| | | - | 合成応力度 | 5.14 | 154 | 0.04 | | |
| | 中央支柱（アンカーボルト） | 水路縦断方向 | 引張力* | 3.60×10^3 | 2.92×10^5 | 0.02 | | |
| | | | せん断力* | 2.81×10^3 | 2.04×10^5 | 0.02 | | |
| | 中央横桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 3.41 | 153 | 0.03 | | |
| | | | せん断応力度 | 2.78 | 88 | 0.04 | | |
| - | | 合成応力度 | 5.91 | 154 | 0.04 | | | |

注記*：アンカーボルトの照査については発生力（単位：N），許容値（単位：N）を示す。

表 6-1(2) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体）

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 発生応力 a (N/mm ²) | 許容応力 b (N/mm ²) | 照査値 a/b |
|------|---------------|--------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 扉体 | ヒンジ (プレート) | 水路縦断方向 | せん断応力度 | 15.14 | 88 | 0.18 |
| | | 水路横断方向 | 曲げ応力度 | 12.88 | 154 | 0.09 |
| | | | 支圧応力度 | 76.84 | 231 | 0.34 |
| | | | せん断応力度 | 3.13 | 88 | 0.04 |
| | ヒンジ(ピン) | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 37.38 | 154 | 0.25 |
| | | 鉛直方向 | せん断応力度 | 6.17 | 88 | 0.08 |
| | | — | 合成応力度 | 38.88 | 154 | 0.26 |
| | エンドプレート | 水路横断方向 | せん断応力度 | 6.8 | 88 | 0.08 |
| | ヒンジ取付け ボルト | 水路縦断方向 | 引張応力度 | 32.88 | 154 | 0.22 |
| | | 鉛直方向 | せん断応力度 | 20.36 | 88 | 0.24 |
| | | — | 合成応力度 | 48.22 | 154 | 0.32 |

表 6-1(3) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部）

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 発生応力 a (N/mm ²) | 許容応力 b (N/mm ²) | 照査値 a/b |
|------|----------------|--------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 固定部 | ヒンジ取付け ボルト | 水路縦断方向 | 引張応力度 | 10.18 | 154 | 0.07 |
| | | 鉛直方向 | せん断応力度 | 16.44 | 88 | 0.19 |
| | | — | 合成応力度 | 30.24 | 154 | 0.20 |
| | | 水路横断方向 | せん断応力度 | 19.34 | 88 | 0.22 |
| | 戸当り | 水路縦断方向 | 支圧応力度 | 1.60 | 231 | 0.01 |
| | 戸当り部コ ンクリート | 水路縦断方向 | 支圧応力度 | 0.07 | 13.5 | 0.01 |
| | | | せん断応力度 | 0.04 | 1.5 | 0.03 |

表 6-1(4) 耐震評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工）

| 評価部位 | | 地震力方向 | 評価応力 | 発生応力 a (N/mm ²) | 許容応力 b (N/mm ²) | 照査値 a/b | |
|------------|----------------------|----------------|--------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|------------|
| 漂流物 防護工 | 防護梁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 41 | 382 | 0.11 | |
| | | 鉛直方向 | せん断応力度 | 2 | 217 | 0.01 | |
| | | — | 合成応力度 | 0.02 | 1.2 | 0.02 | |
| | | 水路縦断方向 鉛直方向 | 二軸応力 | 0.02 | 1.2 | 0.02 | |
| | 出口側集水ピット 底板コンクリート | 鉛直方向 | 支圧応力度 | 7.76 | 13.5 | 0.58 | |
| | ブラケット | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 1 | 210 | 0.01 | |
| | | | せん断応力度 | 1 | 120 | 0.01 | |
| | | — | 合成応力度 | 0.01 | 1.2 | 0.01 | |
| | つなぎ材 (M20) | 水路縦断方向 | 引張応力度 | 67 | 210 | 0.32 | |
| | つなぎ材 (プレート) | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 | 117 | 382 | 0.31 | |
| | | | せん断応力度 | 11 | 217 | 0.06 | |
| | | — | 合成応力度 | 0.10 | 1.2 | 0.09 | |
| | | 水路横断方向 | せん断応力度 | 20 | 217 | 0.10 | |
| | アンカー ボルト | | | 評価項目 | 発生値 a (kN) | 許容値 b (kN) | 照査値 a/b |
| | | 水路縦断方向 | 引張 | 1 | 105 | 0.01 | |
| せん断 | | | 2 | 85 | 0.03 | | |
| — | | 合成 | 0.01 | 1.2 | 0.01 | | |

7. 出口側集水ピットの強度評価

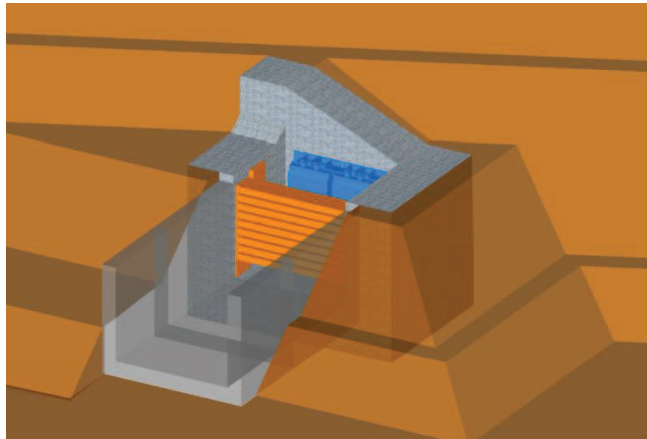
7.1 出口側集水ピットの構造概要

出口側集水ピットは、底版と3面の壁からなる箱型の鉄筋コンクリート構造物であり、防潮堤（盛土堤防）に設置する。出口側集水ピットが屋外排水路（防潮堤北側）と接続する箇所に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を設置する。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の間接支持機能を持つ出口側集水ピットは、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土に埋め込まれるため、漂流物が直接衝突することはない。

出口側集水ピット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基礎地盤の支持性能評価を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7-1に、構造図を図7-2に、概略配筋図を図7-3に示す。



構造概略図
(正面)

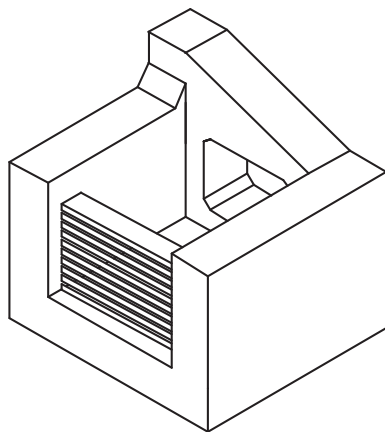


図7-1 出口側集水ピットの概念図

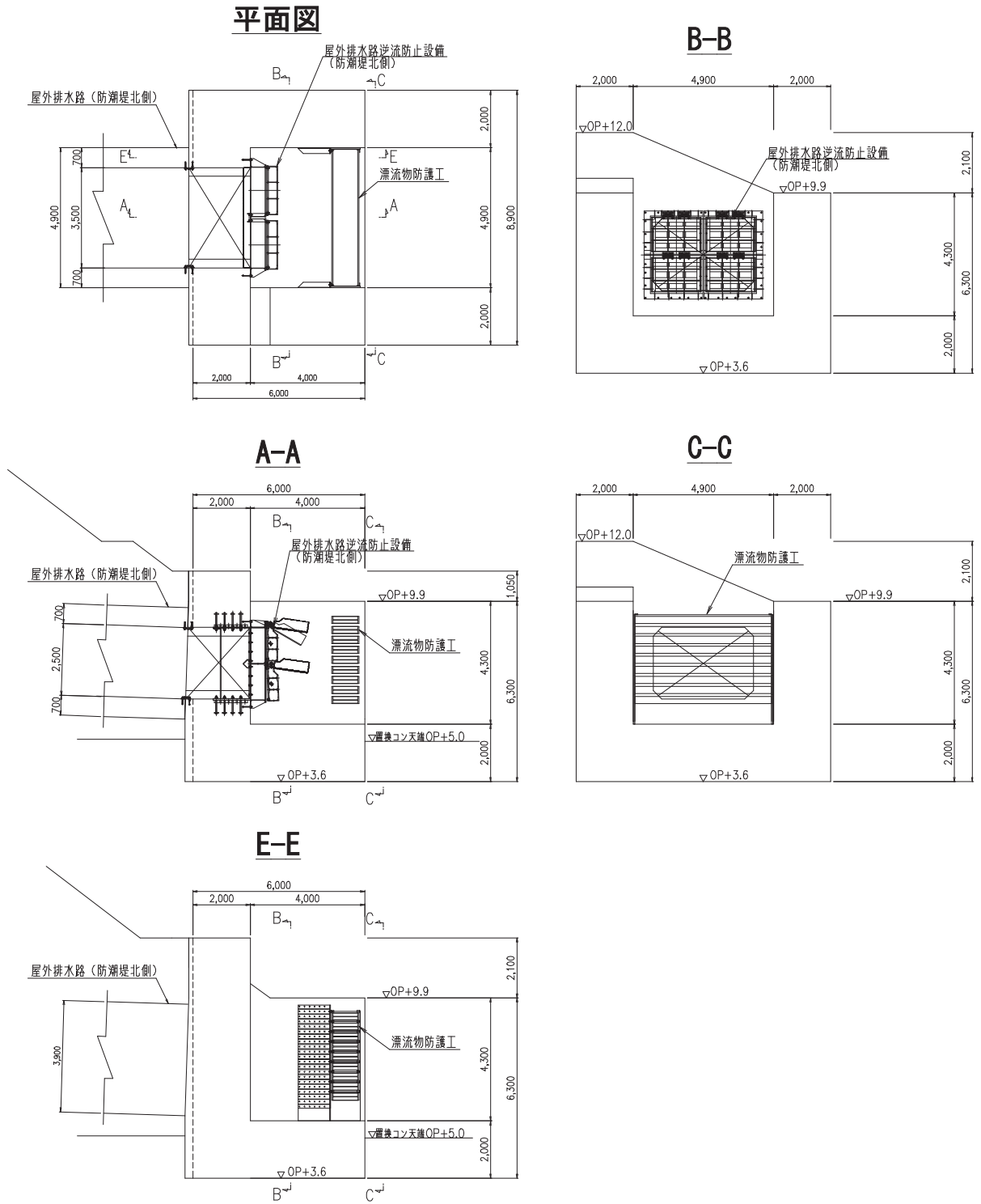
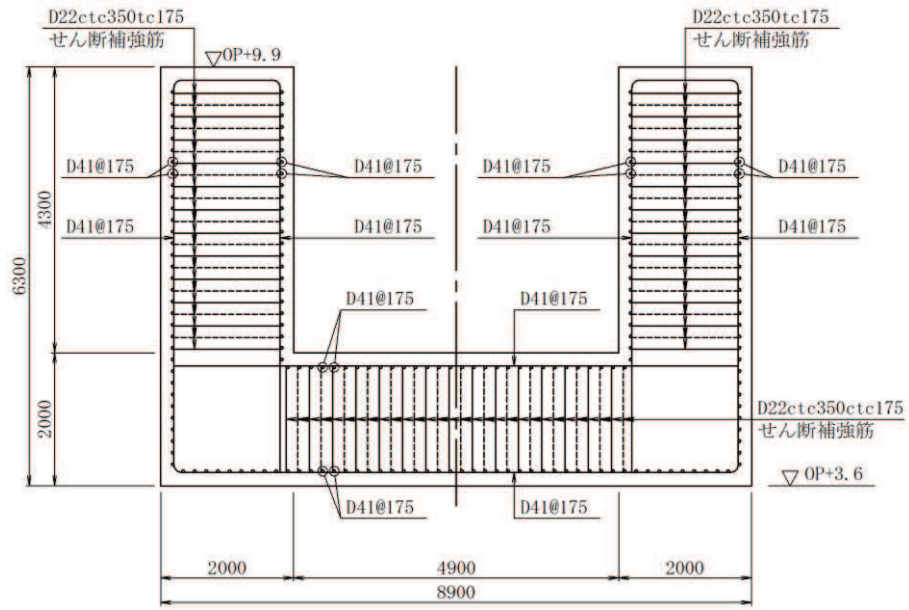


図 7-2 出口側集水ピット構造図

B-B 断面



E-E 断面

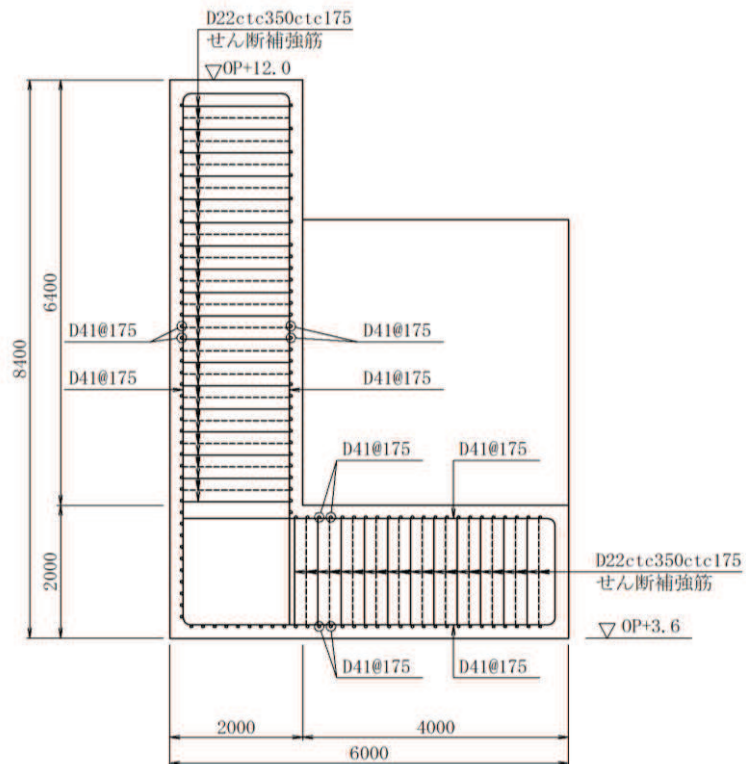


図 7-3 出口側集水ピット概略配筋図 (単位: mm)

7.2 評価方針

出口側集水ピットの耐震評価は、添付書類「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 に対して実施する地震応答解析の結果に基づき、表 7-1 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により、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）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、地震応答解析から得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下「三次元構造解析」という。）を実施し、部材に発生する発生応力が許容限界以下であることを確認する。

図7-4に出口側集水ピットの耐震評価フローを示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

| 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及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないこと | 構造部材の健全性 | 鉄筋コンクリート部材 | 発生する応力が許容限界を下回ることを確認 | 曲げ・軸力 | 短期許容応力度 |
| | | | | せん断力 | 短期許容せん断力 |

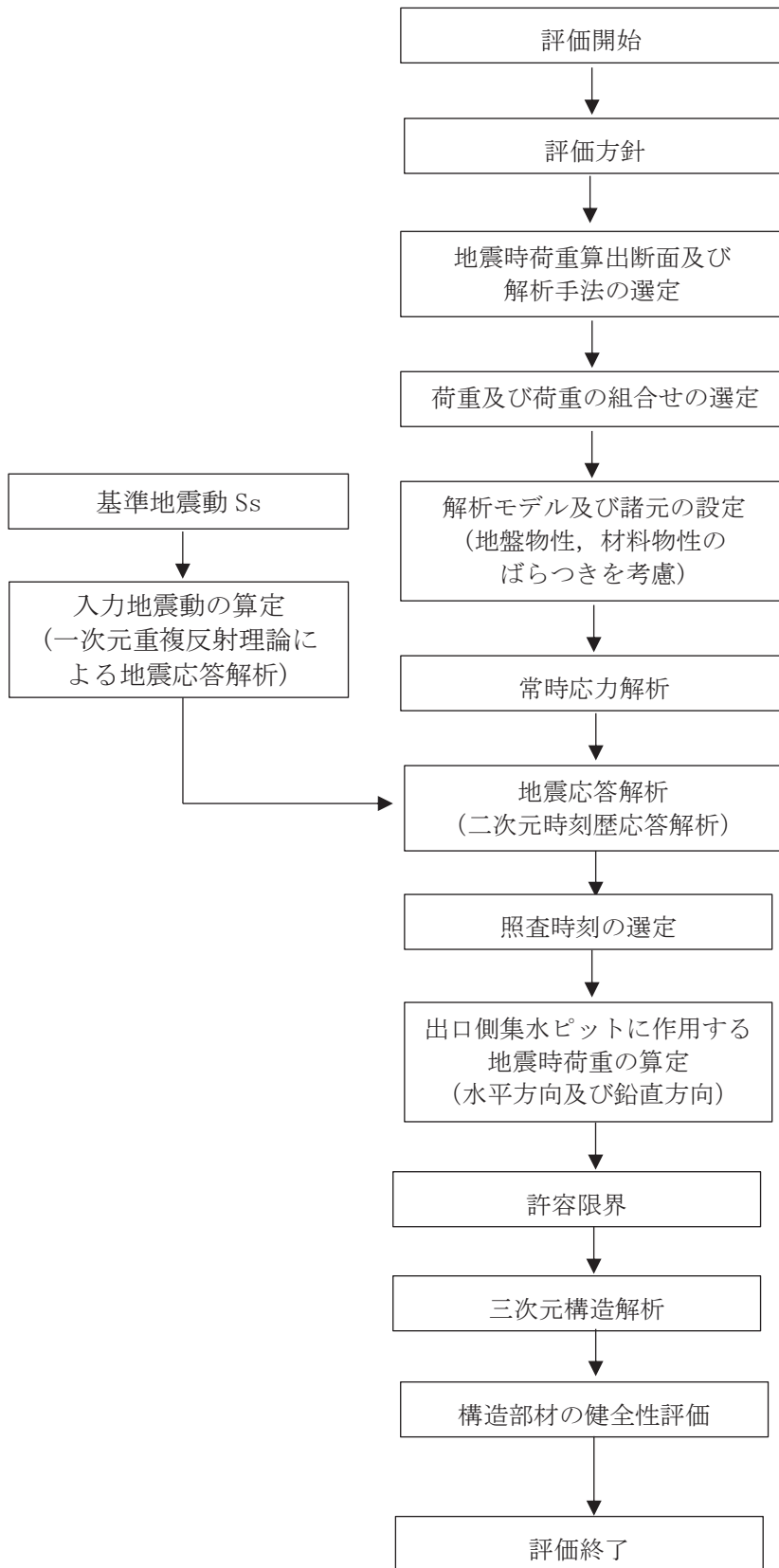


図 7-4 出口側集水ピットの耐震評価フロー

8. 地震応答解析

8.1 地震時荷重算出断面

出口側集水ピットの地震時荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、ピットの縦断方向である A-A 断面とする。また、出口側集水ピットの評価対象断面図を図 8-2 に示す。

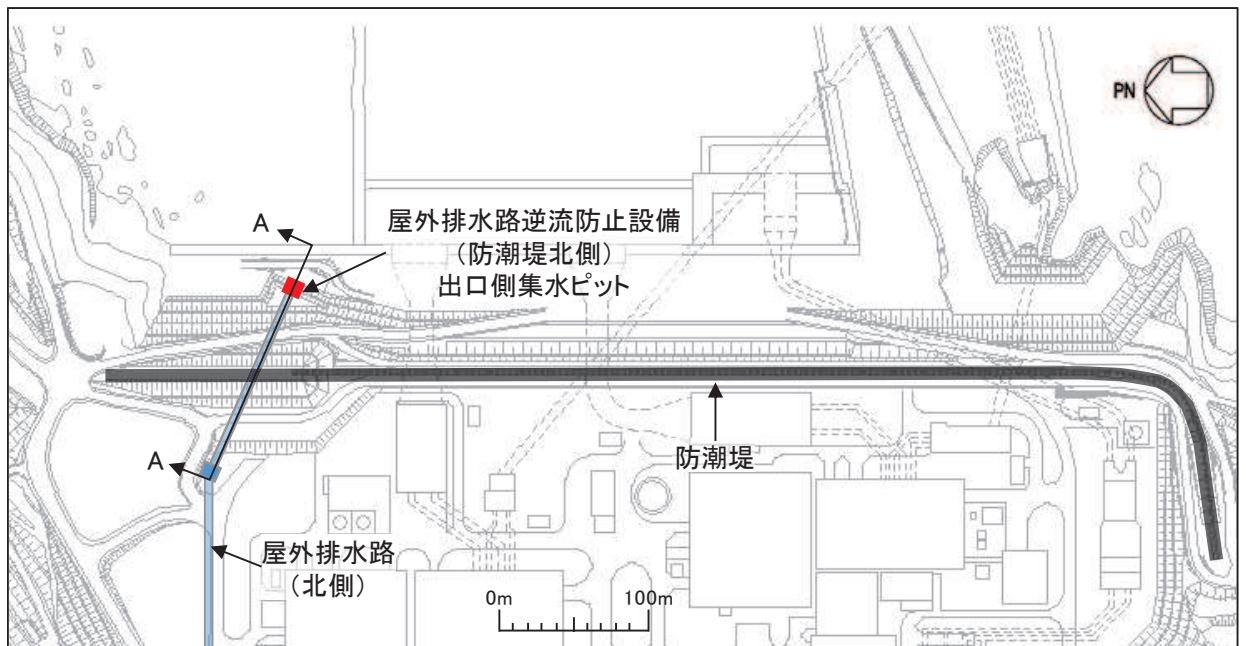


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

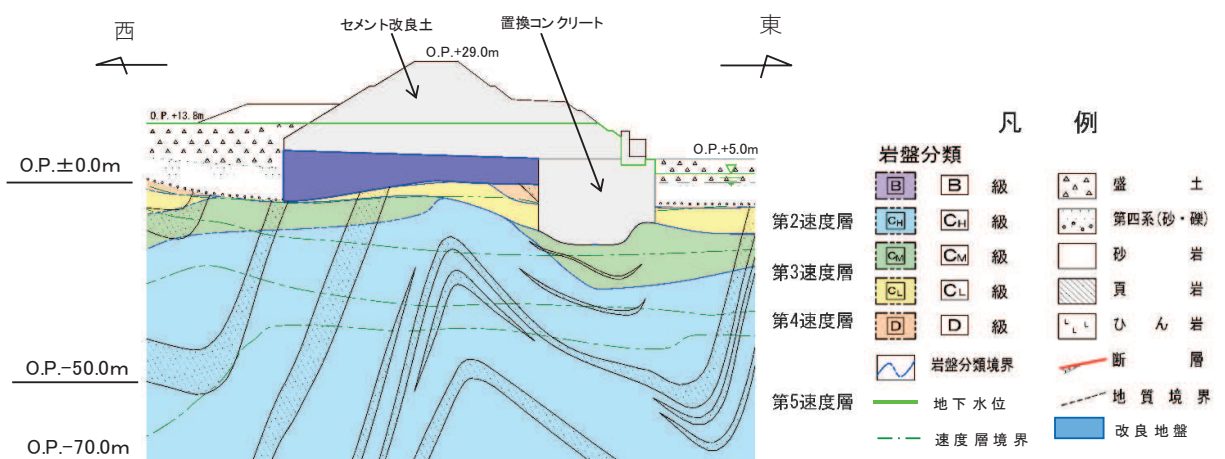


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図

8.2 解析方法

地震応答解析は、添付書類「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二次元動的有限要素法により、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を行うこととし、地盤の有効応力の変化に応じた地震時挙動を考慮できる有効応力解析手法を用いる。

有効応力解析には、解折コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1) 構造部材

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面応力要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土は、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）、置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

(2) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、D 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表 8-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

なお、出口側集水ピットは、新設構造物であり許容応力度法により設計を行っており、十分に裕度を確保した設計としていることから、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④による耐震評価は実施せず、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-1 解析ケース

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| | | 旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C ₁ 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |
| ケース② | 設計基準強度 | 平均値 + 1 σ | 平均値 |
| ケース③ | 設計基準強度 | 平均値 - 1 σ | 平均値 |
| ケース④ | 実強度に基づく 圧縮強度* | 平均値 | 平均値 |

注記*: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

(3) 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし, 剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) とする。

(4) 地震応答解析の検討ケースの選定

a. 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 8-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 8-2 に示す。

表 8-2 耐震評価における解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ |
|-------------|-------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース | 材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース |
| 材料物性 | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度*2 |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値 + 1 σ | 平均値 - 1 σ | 平均値 |
| 地震動 (位相) | $S_s - D 1$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - D 2$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - D 3$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - F 1$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - F 2$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - F 3$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |
| | $S_s - N 1$ | ++*1 | ○ | | |
| | | -+*1 | ○ | | |

基準地震動 S_s (7 波) 及び位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査において照査値が 0.5 以上となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。

照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。

注記 *1: 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: 新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

- b. 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出のための解析ケース
 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として解析ケース①に加え、表 8.2-3 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の
 応答加速度及び応答変位抽出のための解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ |
|---------|-----------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース | 材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1 σ | 平均値-1 σ | 平均値 |
| 材料物性 | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度*3 |
| 地震動（位相） | S s - D 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - D 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - D 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - F 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - F 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - F 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |
| | S s - N 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1, 2 | ○ | - | - |

注記 *1：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：位相反転ケース（-+）でのケース②～④について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、津波波圧が支配的な荷重であり、地震荷重が構造成立性に及ぼす影響が小さいことから検討を省略する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

8.3 荷重及び荷重の組合せ

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

8.3.1 耐震評価上考慮する状態

出口側集水ピット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

積雪及び風の影響を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

8.3.2 荷重

出口側集水ピット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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重を考慮する。また、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、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する。

(4) 風荷重 (P_k)

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

(5) 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。

8.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-4 に示す。

表 8-4 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重

8.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「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 を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面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、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-3 に入力地震動算定の概念図を、図 8-4 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示す。入力地震動の算定には、解析コード「Shake ver. 1.63」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

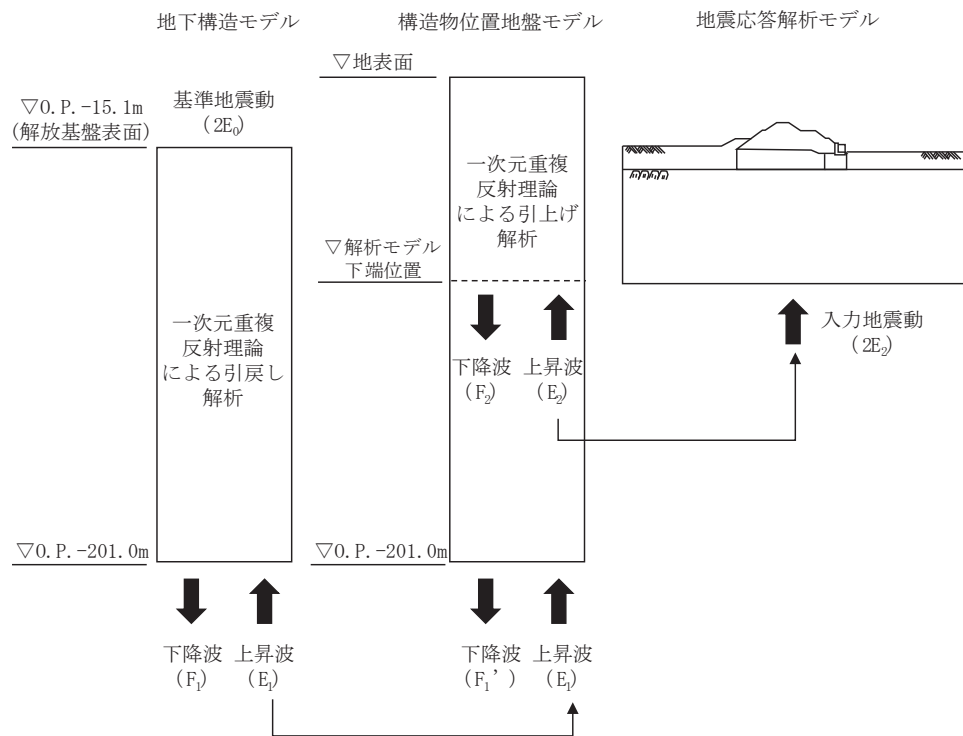
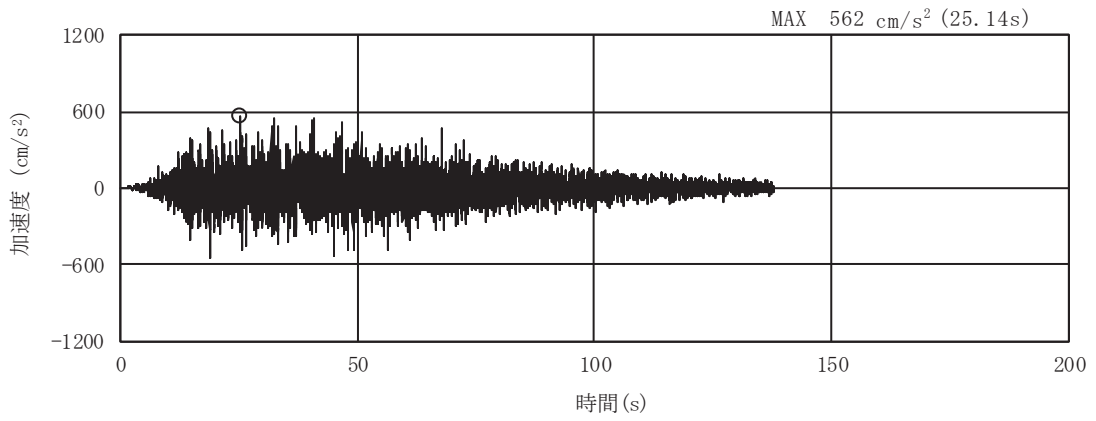
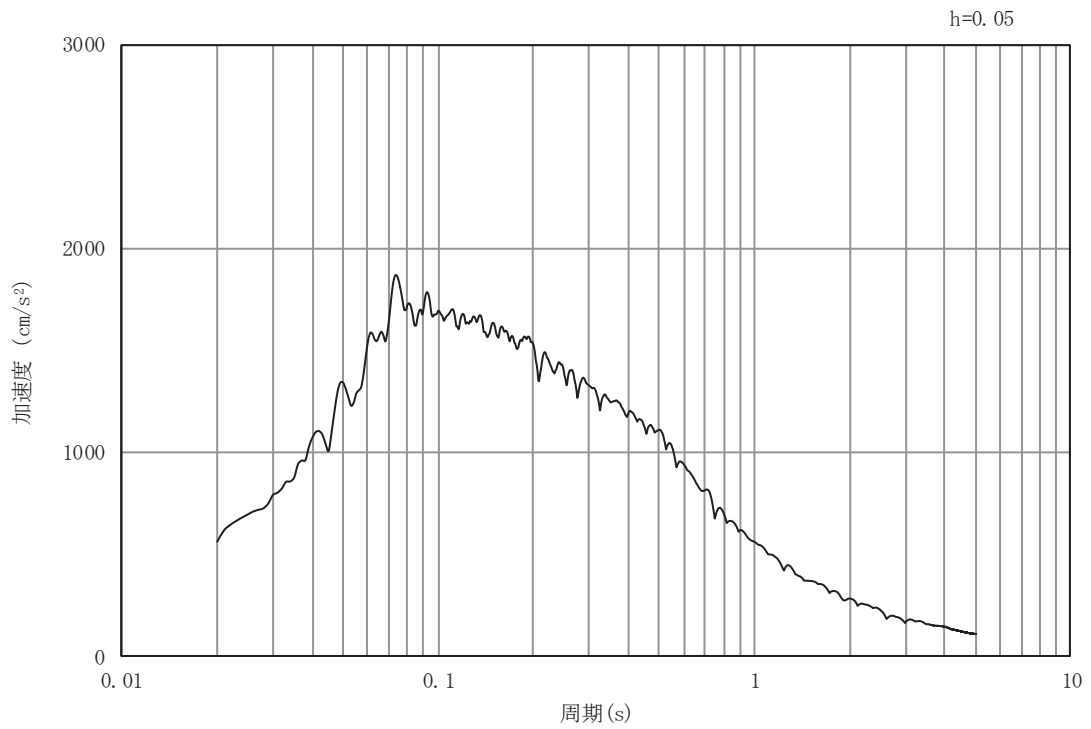


図 8-3 入力地震動算定の概念図

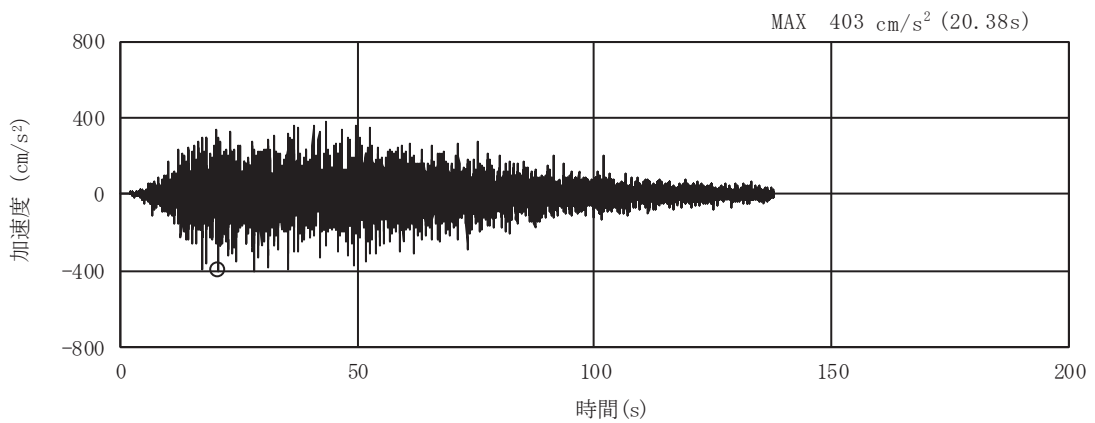


(a) 加速度時刻歴波形

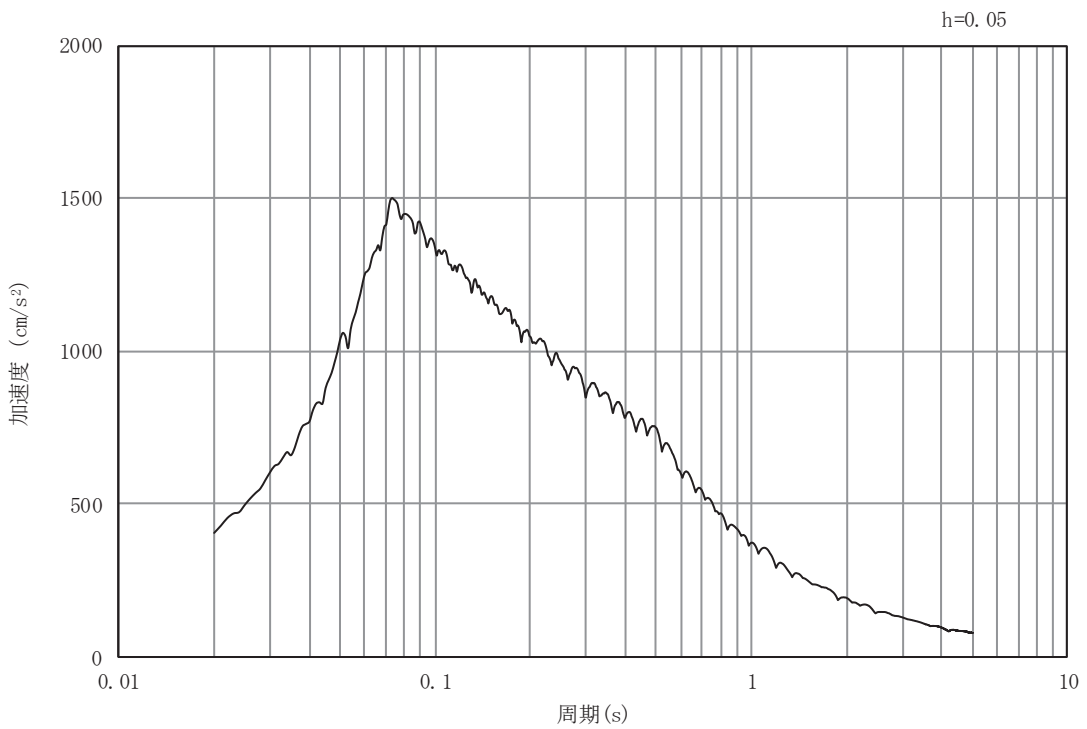


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(1) 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
(水平方向：S s - D 1)

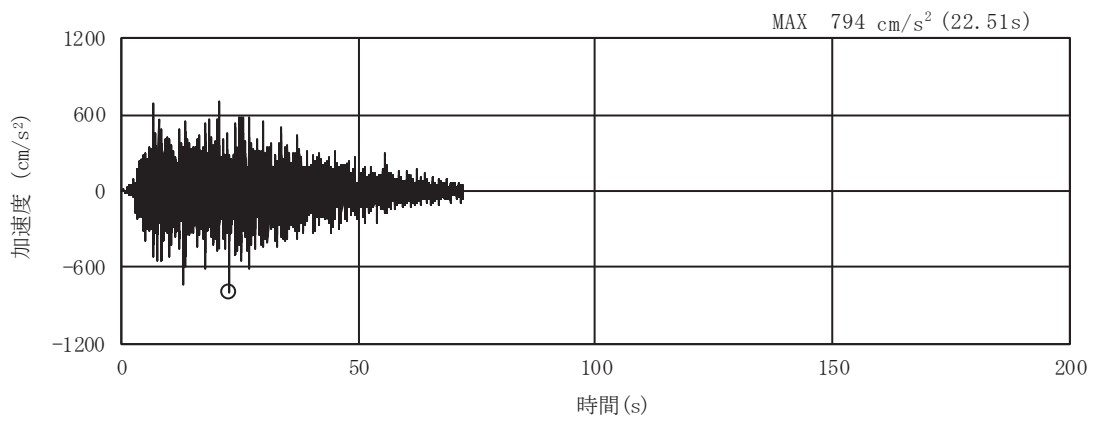


(a) 加速度時刻歴波形

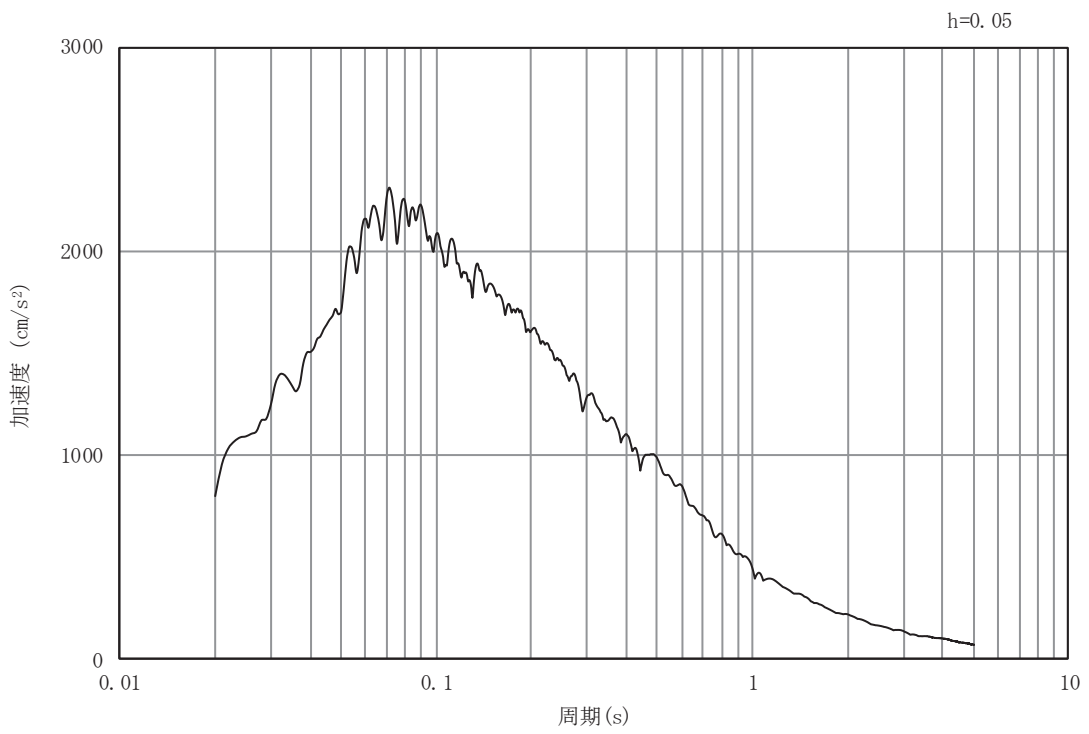


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(2) 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
(鉛直方向：S s - D 1)

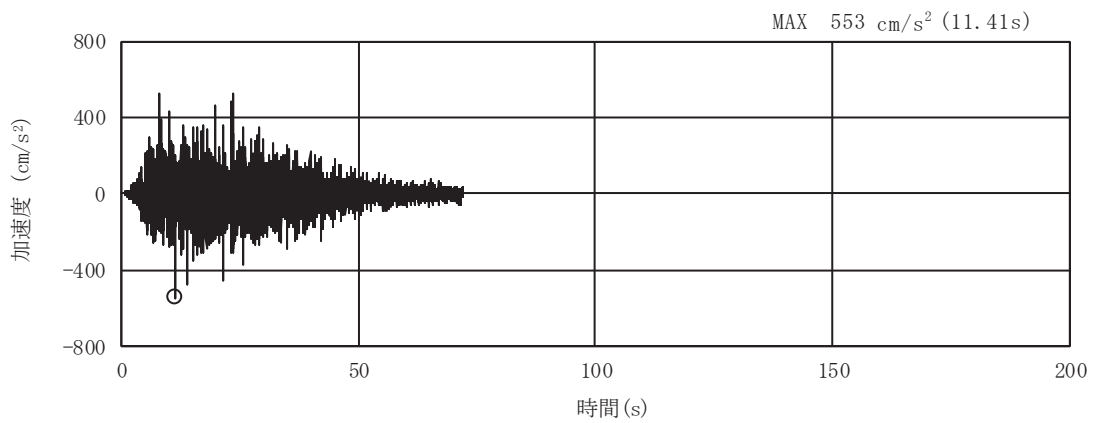


(a) 加速度時刻歴波形

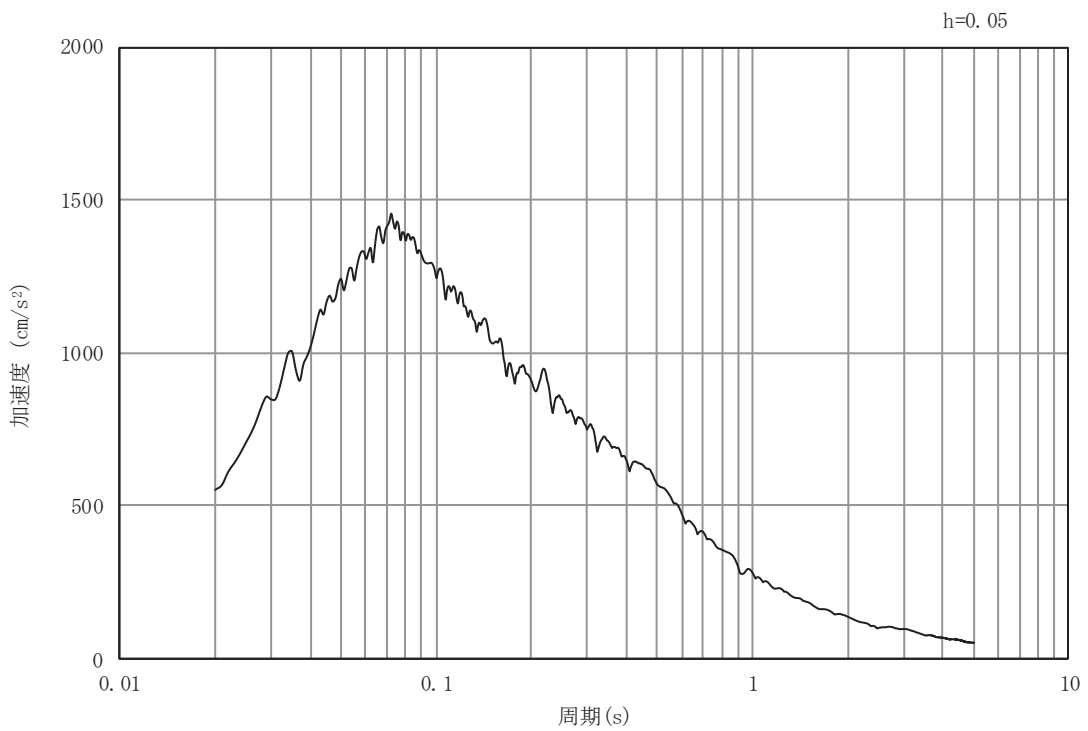


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(3) 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
(水平方向：S s - D 2)

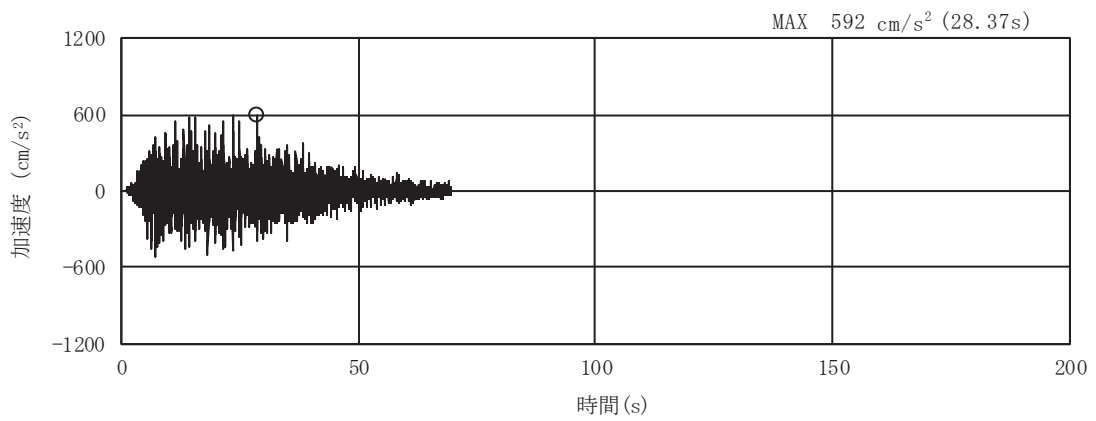


(a) 加速度時刻歴波形

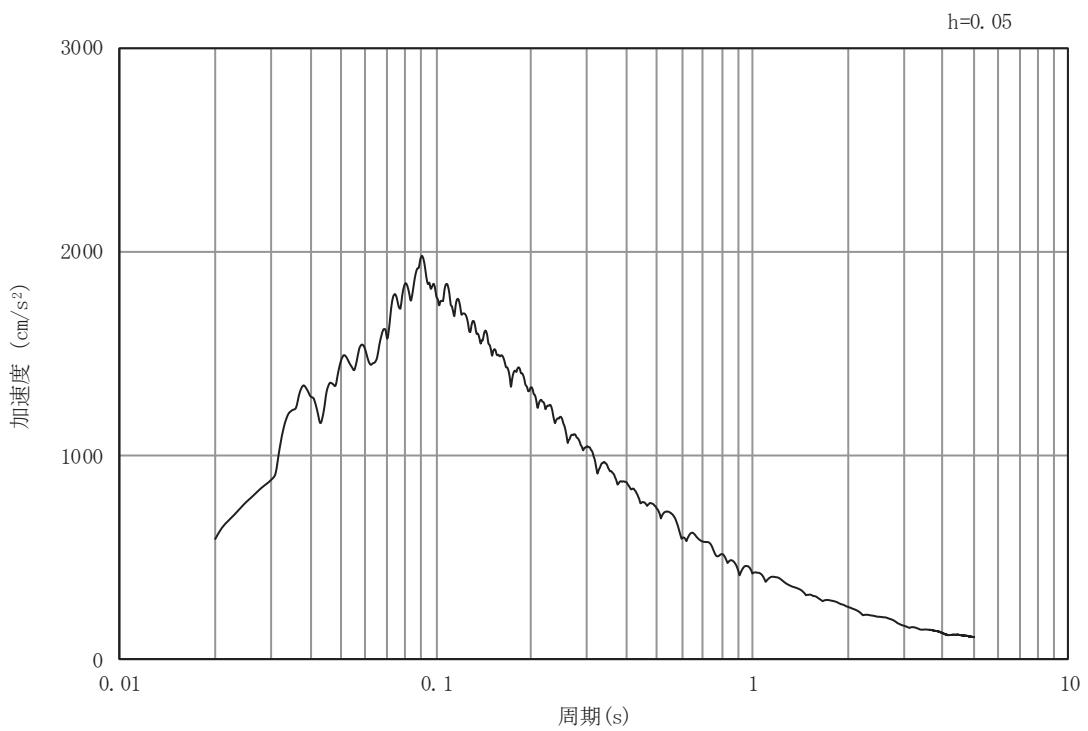


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(4) 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
(鉛直方向：S s -D 2)

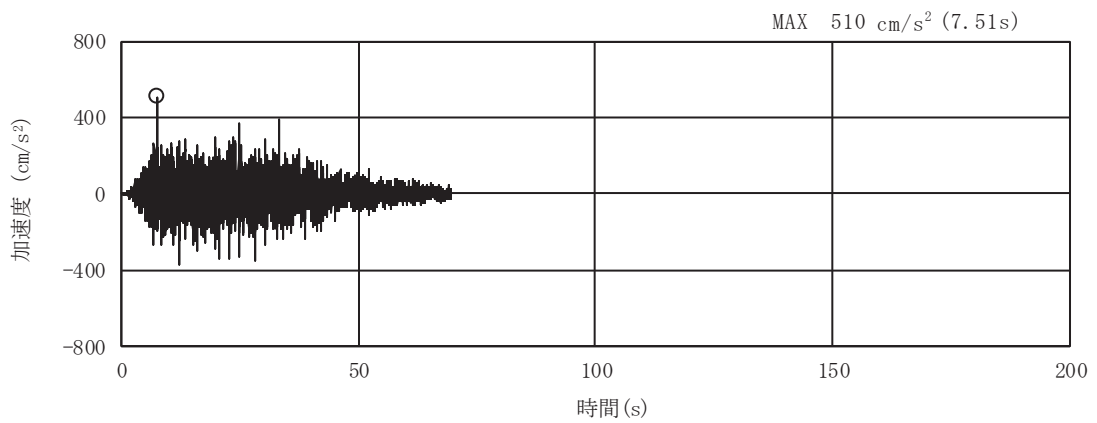


(a) 加速度時刻歴波形

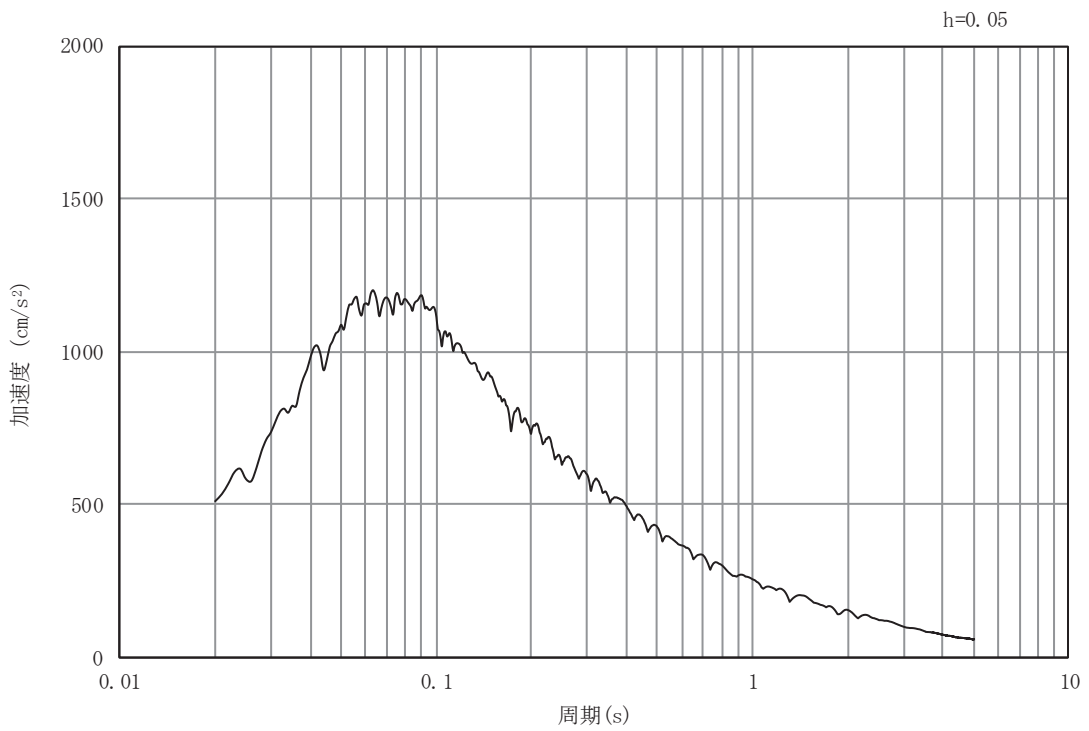


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向 : S s - D 3)

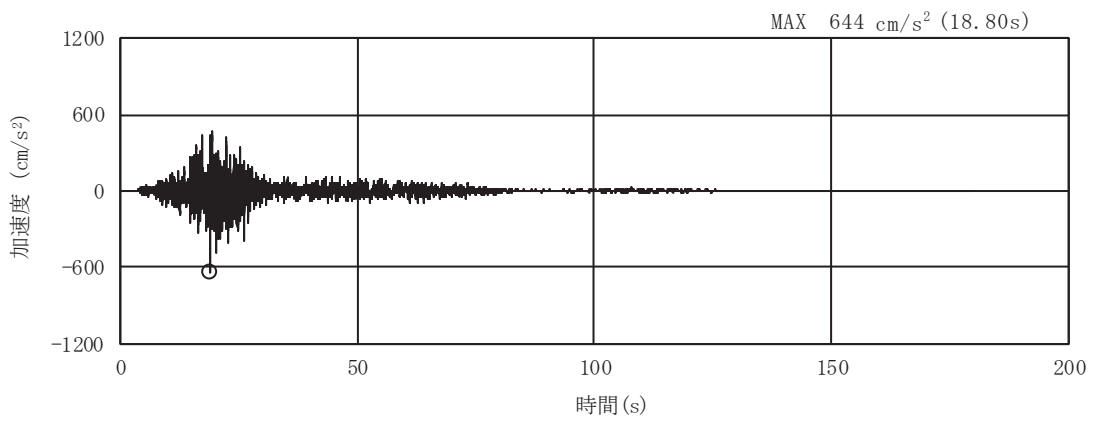


(a) 加速度時刻歴波形

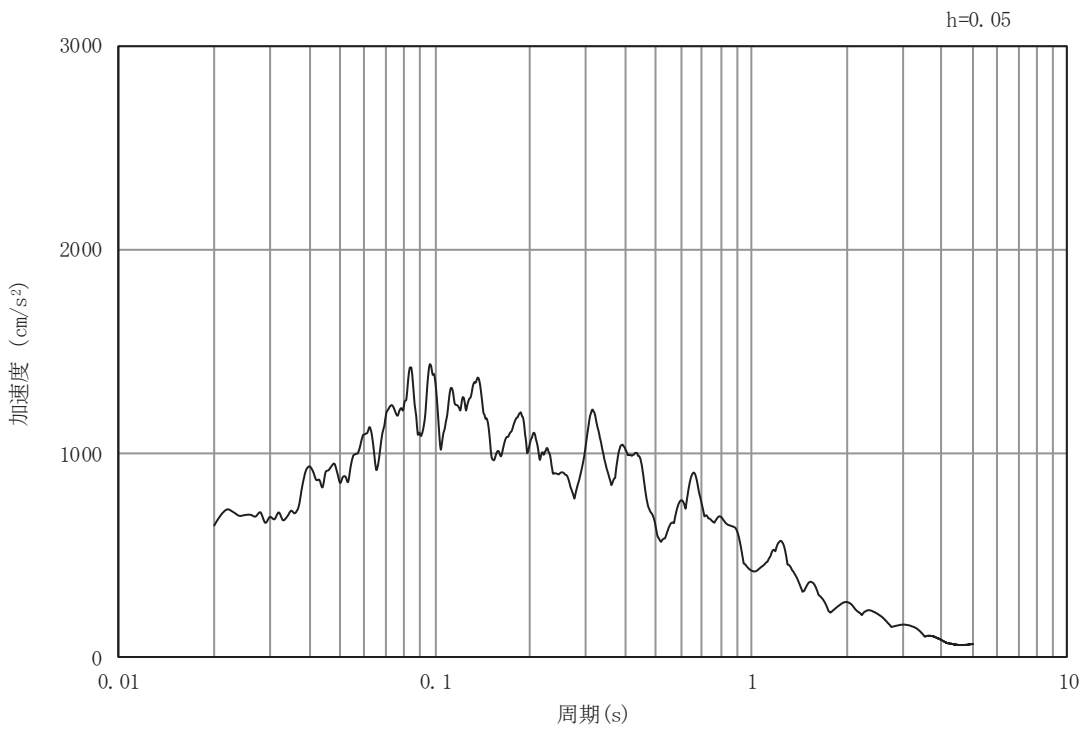


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - D 3)

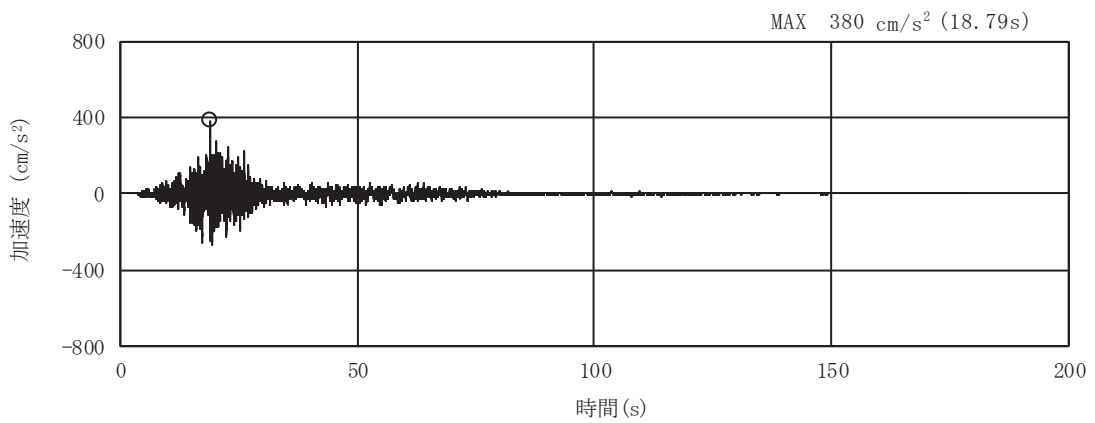


(a) 加速度時刻歴波形

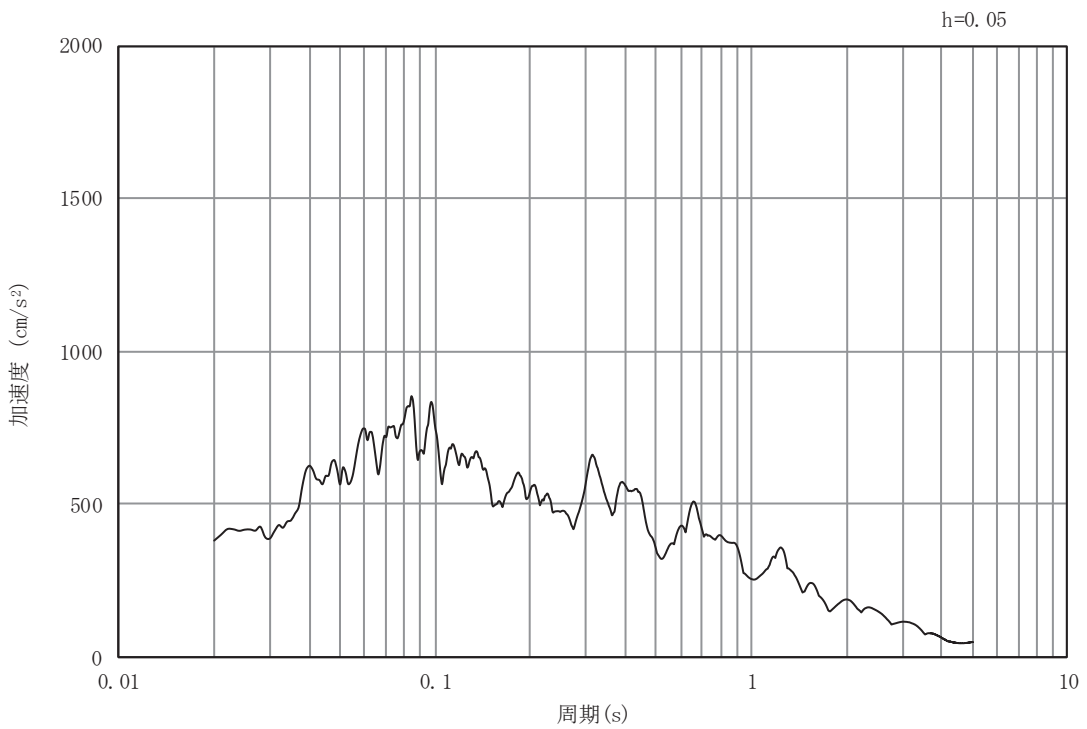


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向 : S s - F 1)

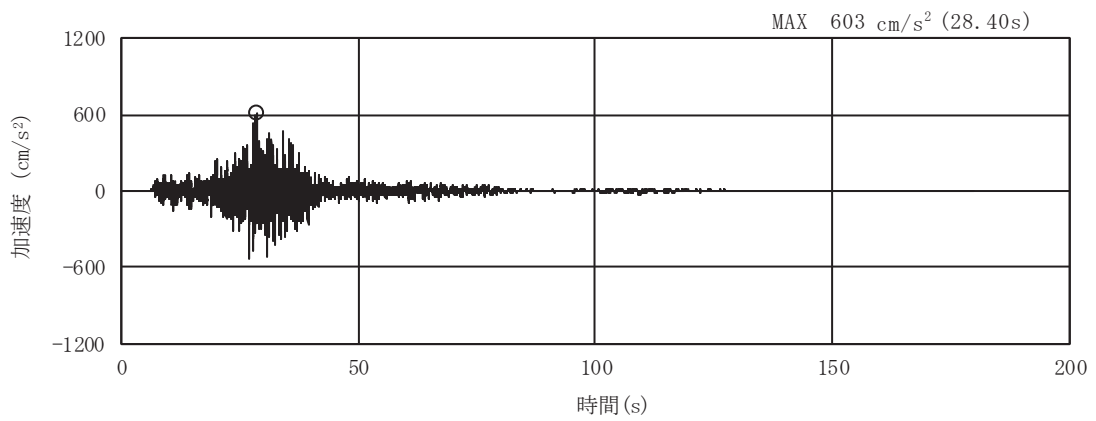


(a) 加速度時刻歴波形

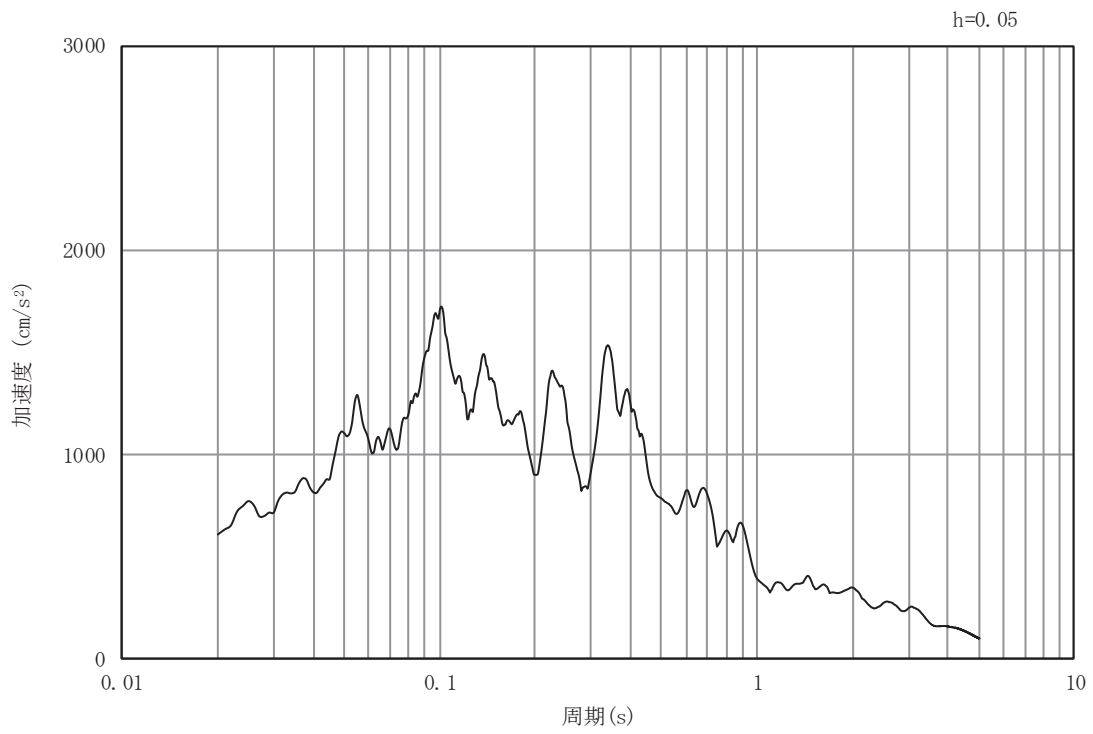


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 1)

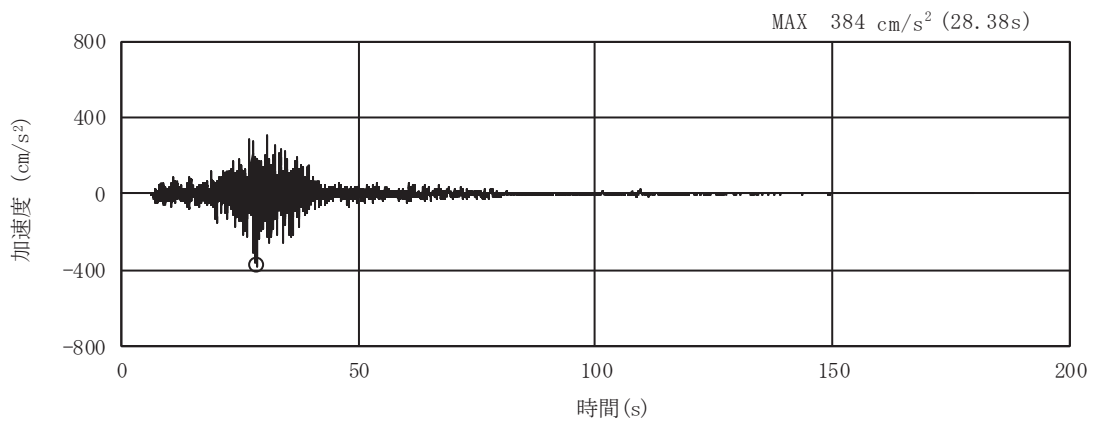


(a) 加速度時刻歴波形

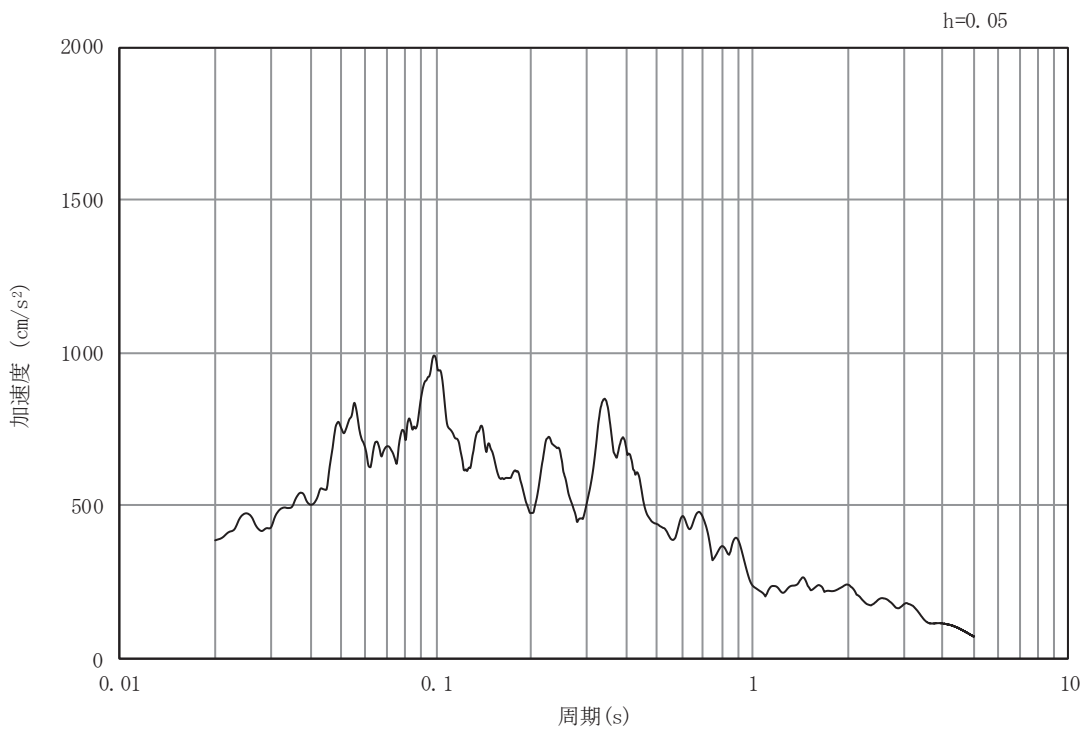


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：S s - F 2)

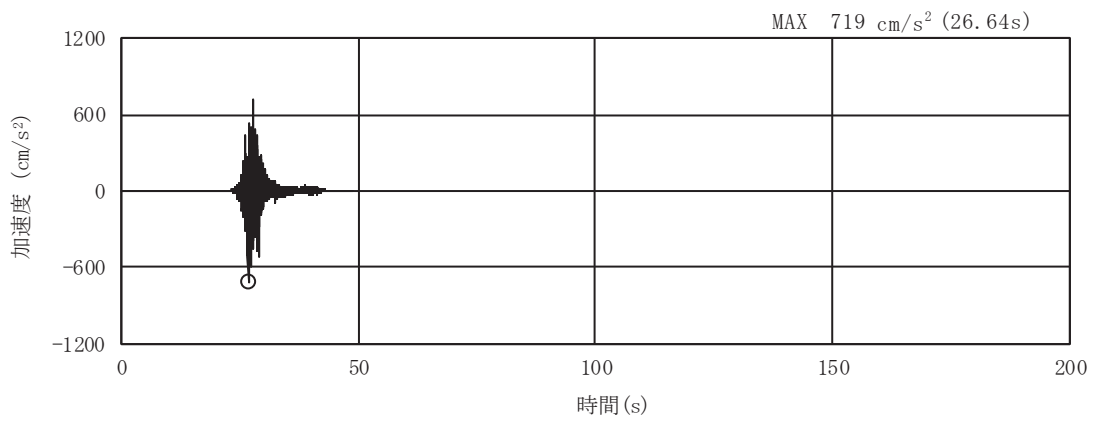


(a) 加速度時刻歴波形

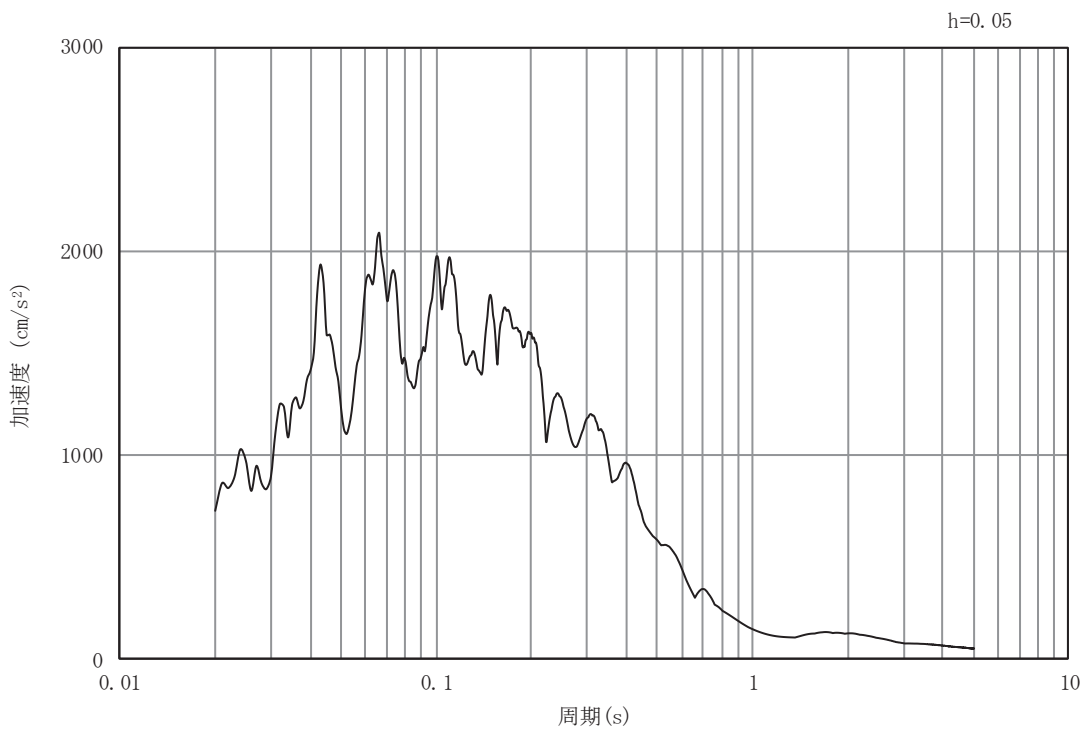


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 2)

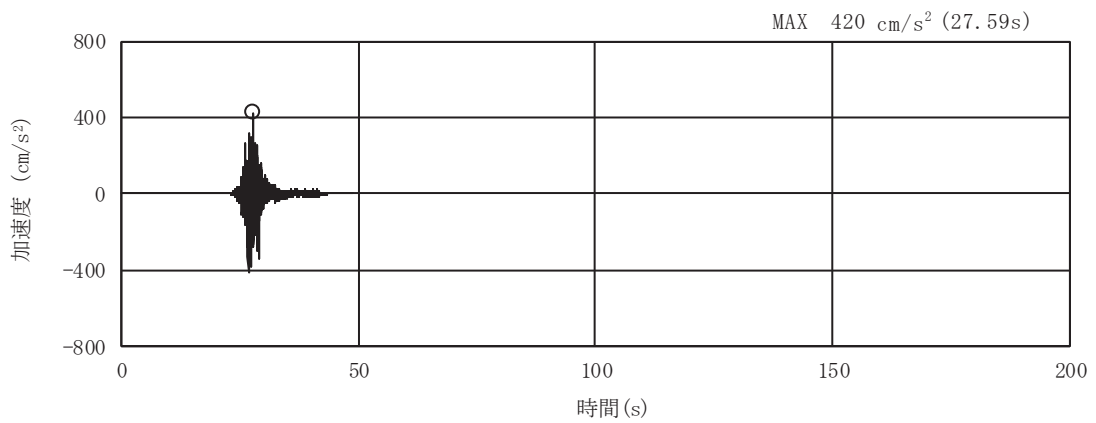


(a) 加速度時刻歴波形

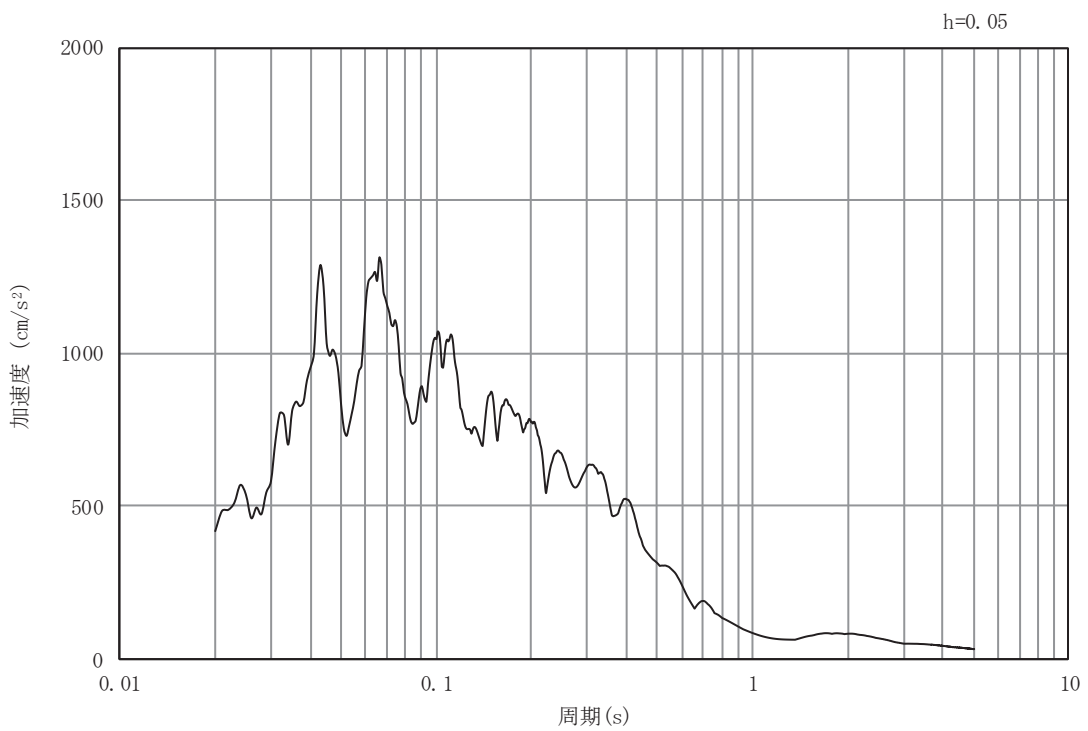


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(水平方向：S s - F 3)

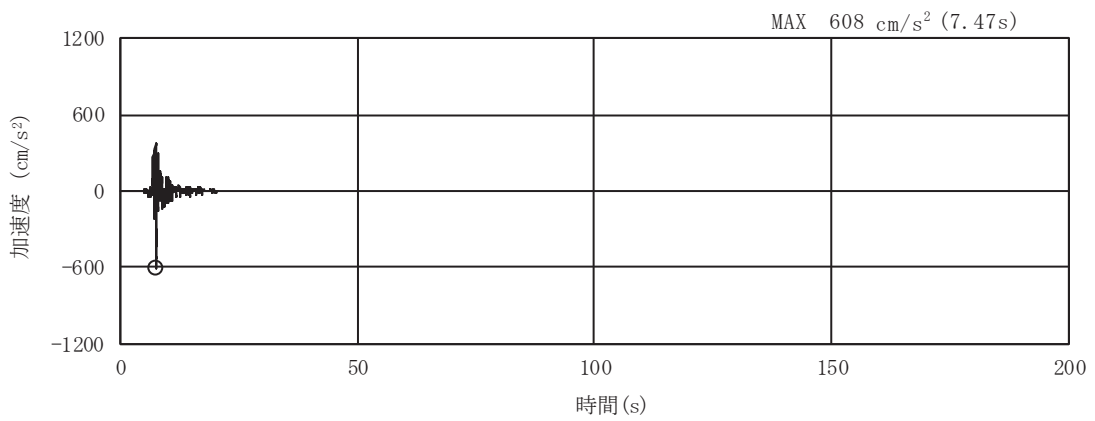


(a) 加速度時刻歴波形

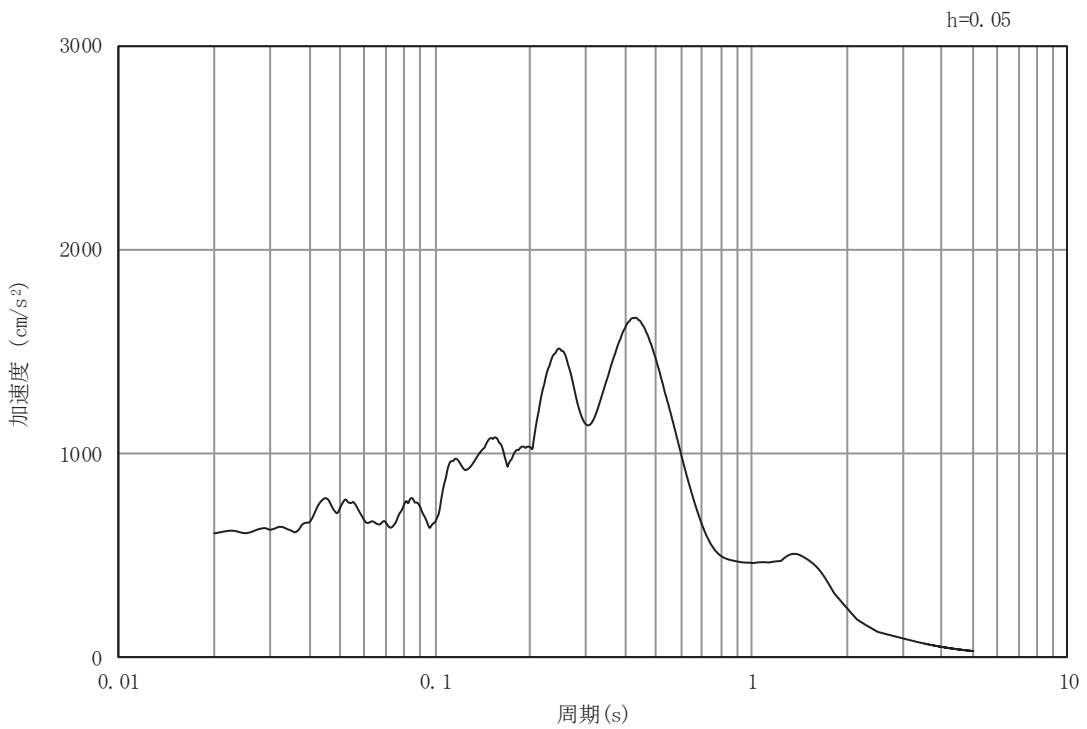


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
(鉛直方向：S s - F 3)

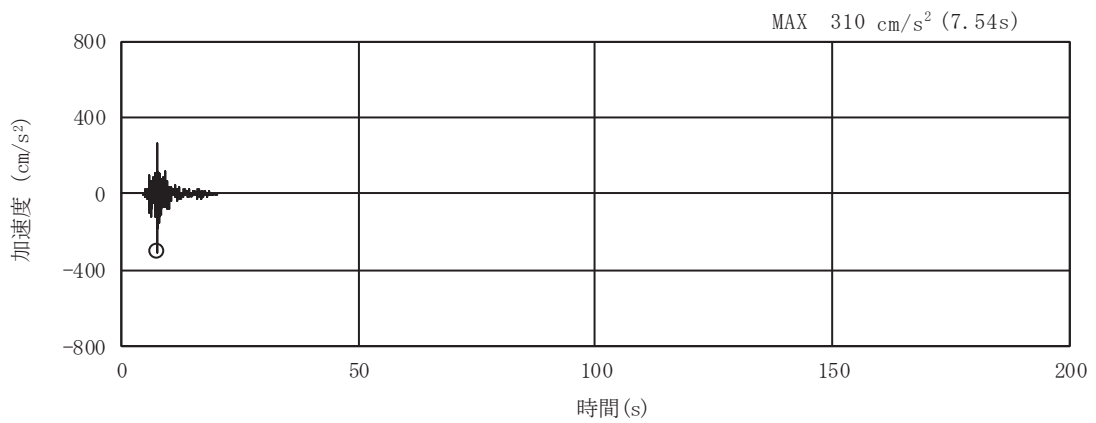


(a) 加速度時刻歴波形

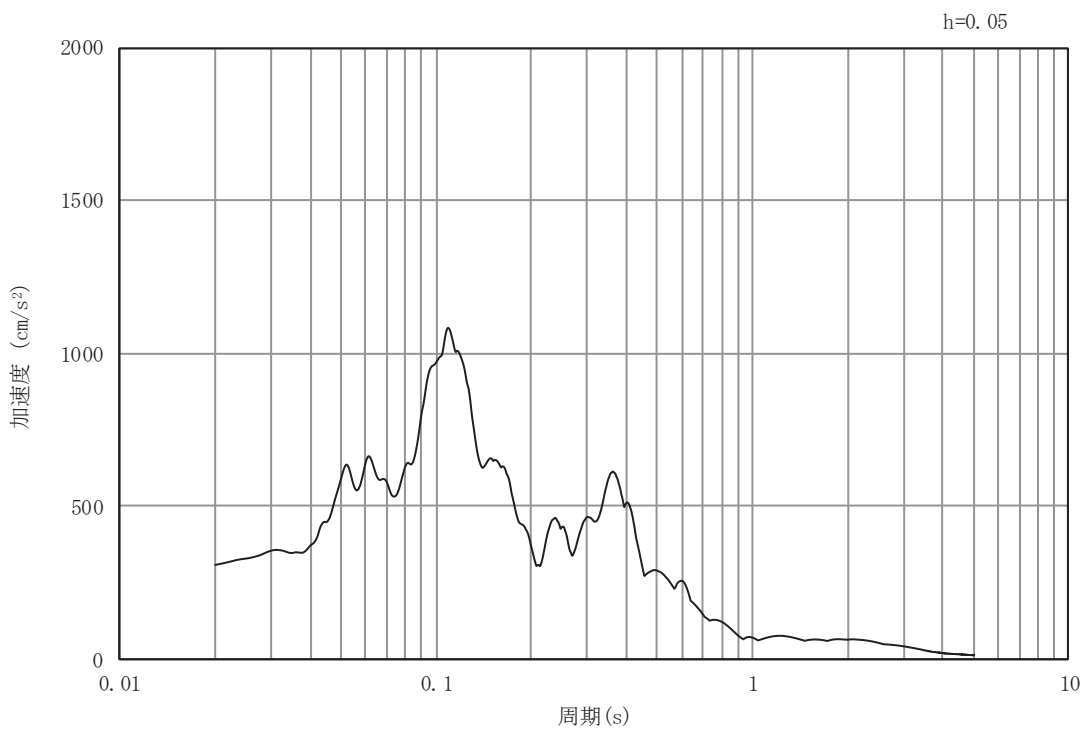


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(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
 (水平方向 : 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 8-4(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
(鉛直方向：S s - N 1)

8.5 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-5 に示す。

a. 解析領域

解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

b. 境界条件

境界条件は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

c. 構造物のモデル化

出口側集水ピットは、線形はり要素（ビーム要素）及び平面応力要素でモデル化する。

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土及び置換コンクリートは、非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）及び線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

d. 地盤のモデル化

D₁級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。また、一般部に分布するD₂級岩盤、改良地盤及び盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため、マルチスプリング要素でモデル化する。

e. ジョイントのモデル化

「セメント改良土・改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」、「改良地盤と置換コンクリート」、「出口側集水ピットとセメント改良土」及び「出口側集水ピットと置換コンクリート」との接合面における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。

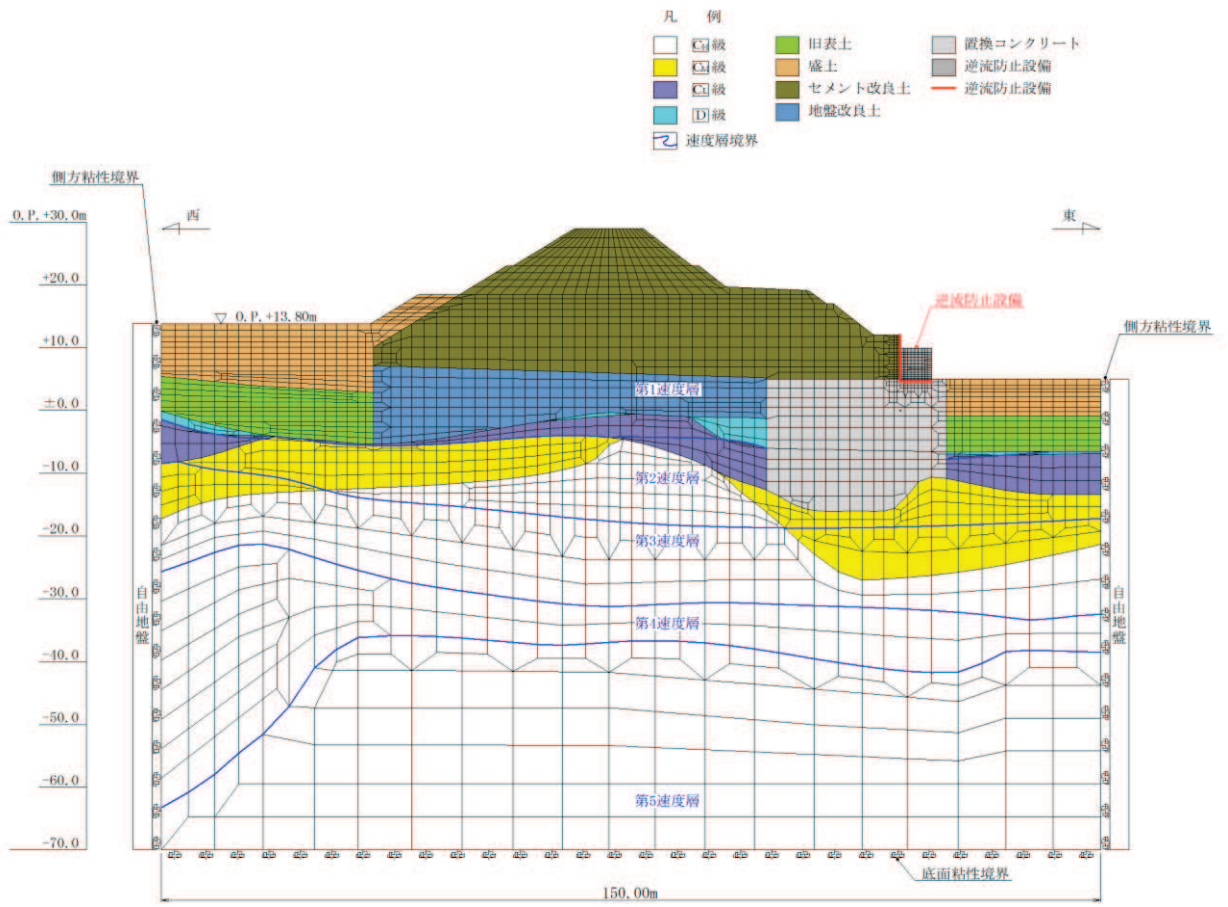


図 8-5 出口側集水ピットの解析モデル (A-A断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-5 に、材料の物性値を表 8-6 に示す。なお、セメント改良土及び改良地盤の物性値は、添付書類「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。

表 8-5 使用材料

| 諸元 | | |
|-----------|----------|-----------------------------|
| 出口側集水ピット | 鉄筋（主筋） | SD345 |
| | コンクリート | 設計基準強度 30 N/mm ² |
| 防潮堤（盛土堤防） | 置換コンクリート | 設計基準強度 30 N/mm ² |

表 8-6 材料の物性値

| 材料 | 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（出口側集水ピット） | 24.0 | 2.80×10 ⁴ | 0.2 |
| コンクリート （防潮堤（盛土堤防）：置換コンクリート） | 22.5 | 2.80×10 ⁴ | 0.2 |

(3) 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「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。

なお、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で、下限値として設定する。

(4) 地下水位

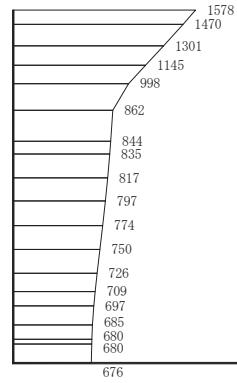
地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-7 に示す。

表 8-7 設計用地下水位の一覧

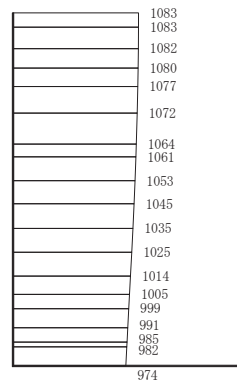
| 施設名称 | 評価対象断面 | 設計用地下水位 |
|----------|--------|-----------|
| 出口側集水ピット | A-A断面 | 地表面に設定する。 |



8.6 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの東西方向の最大加速度分布を図 8-6 に示す。



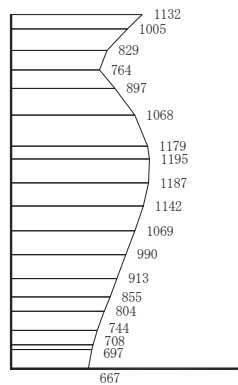
(a) S s - D 1 (++) 水平



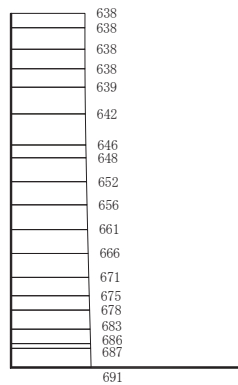
構造スケール 0  2 (m) 応答値スケール 0  1000 (cm/s²)

(b) S s - D 1 (++) 鉛直

図 8-6(1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



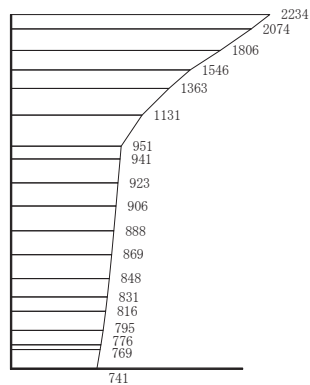
(a) S s - D 1 (- +) 水平



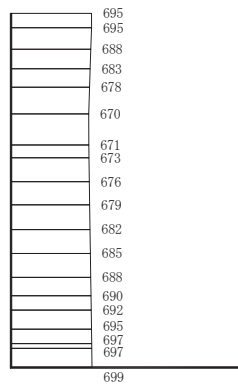
(b) S s - D 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8-6(2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



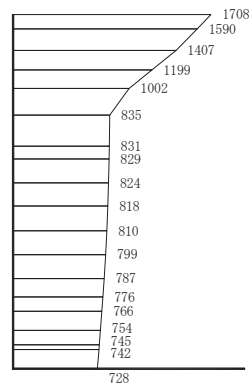
(a) S s - D 2 (++) 水平



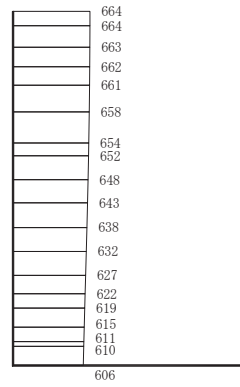
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 8-6(3) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



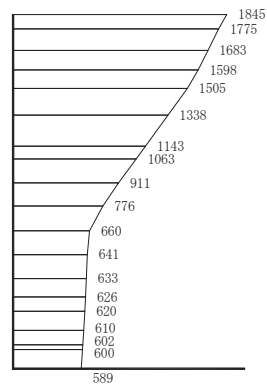
(a) $S_s - D 2$ (一十) 水平



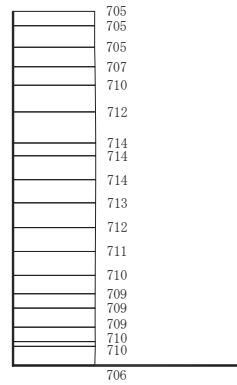
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - D 2$ (一十) 鉛直

図 8-6(4) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



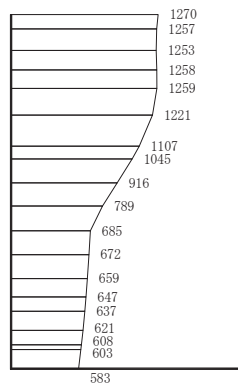
(a) S s - D 3 (++) 水平



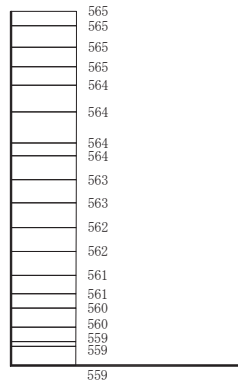
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) S s - D 3 (++) 鉛直

図 8-6(5) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



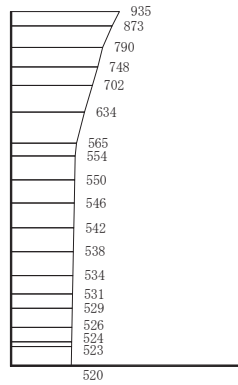
(a) S s - D 3 (- +) 水平



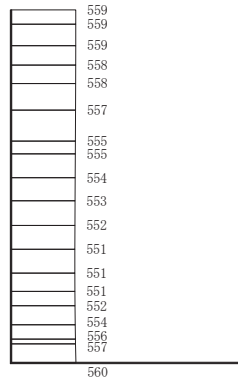
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 3 (- +) 鉛直

図 8-6(6) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



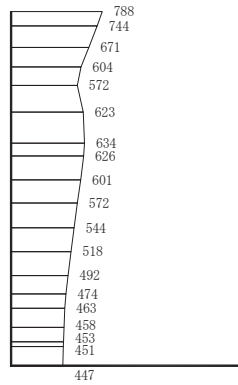
(a) S s - F 1 (++) 水平



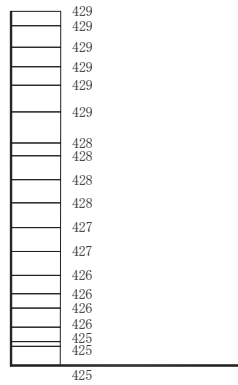
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 8-6(7) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



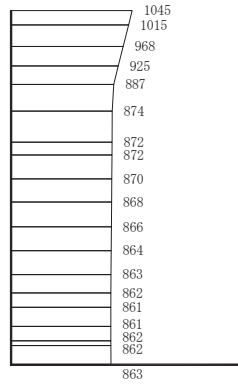
(a) $S_s - F 1$ (- +) 水平



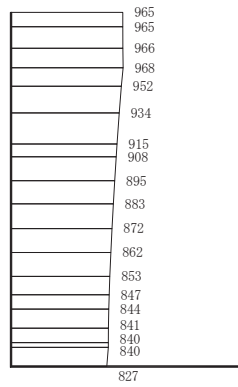
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 1$ (- +) 鉛直

図 8-6(8) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



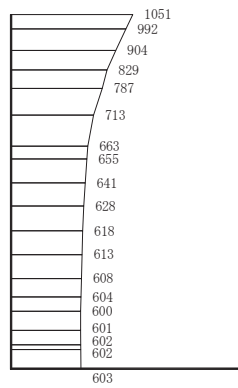
(a) S_s - F 2 (++) 水平



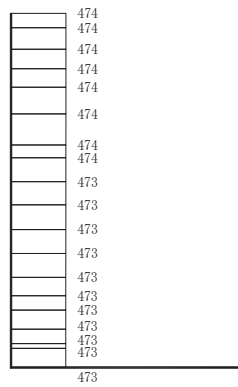
(b) S_s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

図 8-6(9) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



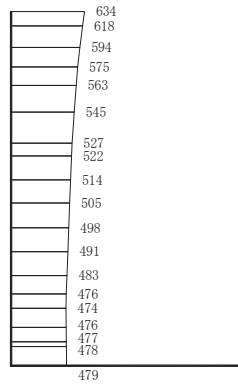
(a) $S_s - F 2$ (ー+) 水平



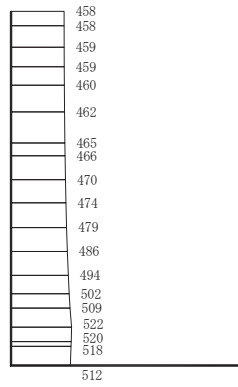
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 2$ (ー+) 鉛直

図 8-6(10) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



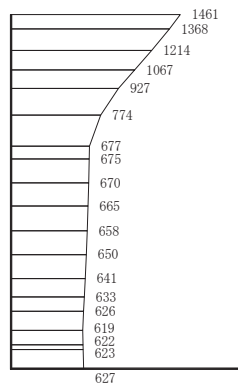
(a) $S_s - F 3$ (++) 水平



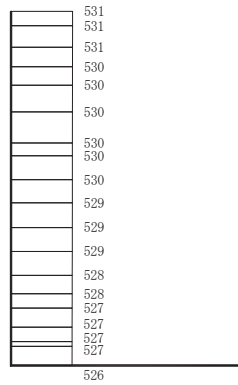
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 3$ (++) 鉛直

図 8-6(11) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



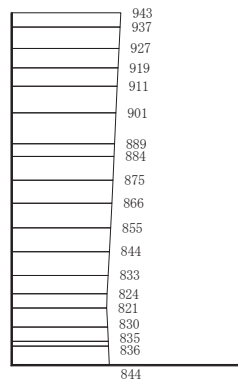
(a) $S_s - F 3 (-+)$ 水平



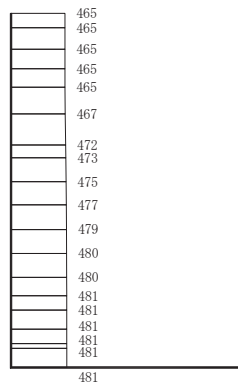
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F 3 (-+)$ 鉛直

図 8-6(12) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



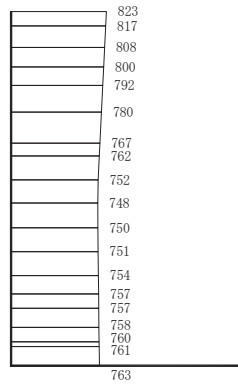
(a) $S_s - N 1$ (++) 水平



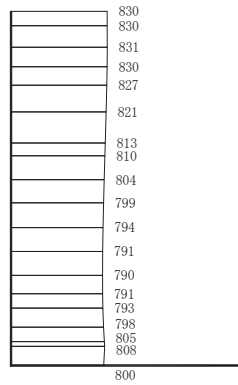
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - N 1$ (++) 鉛直

図 8-6(13) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



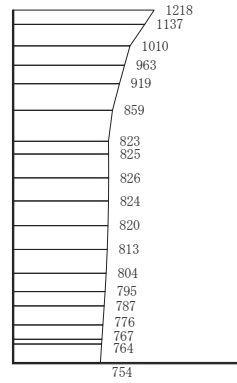
(a) S s - N 1 (- +) 水平



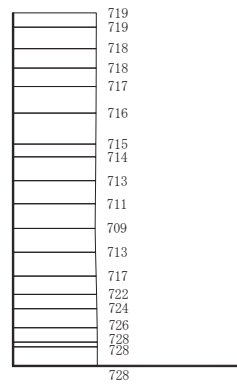
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

図 8-6(14) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) S s - D 2 (- +) 水平

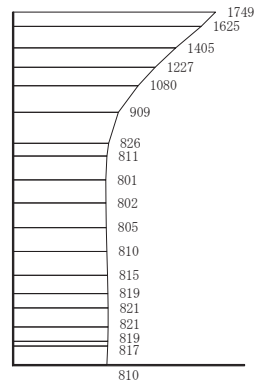


(b) S s - D 2 (- +) 鉛直

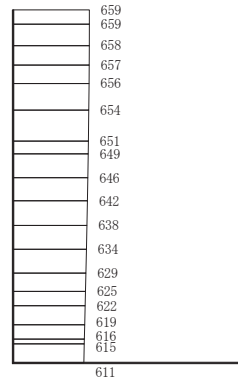
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8-6(15) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - D 2 (- +) 水平

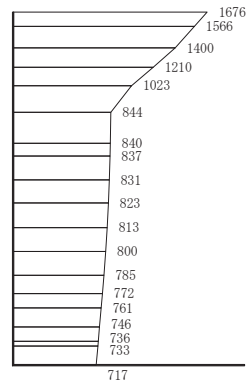


構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

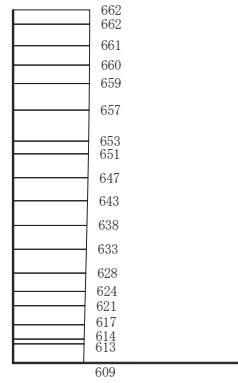
(b) S s - D 2 (- +) 鉛直

図 8-6(16) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (- 1 σ) を考慮した解析ケース)



(a) S s - D 2 (- +) 水平



構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (- +) 鉛直

図 8-6(17) 最大加速度分布図

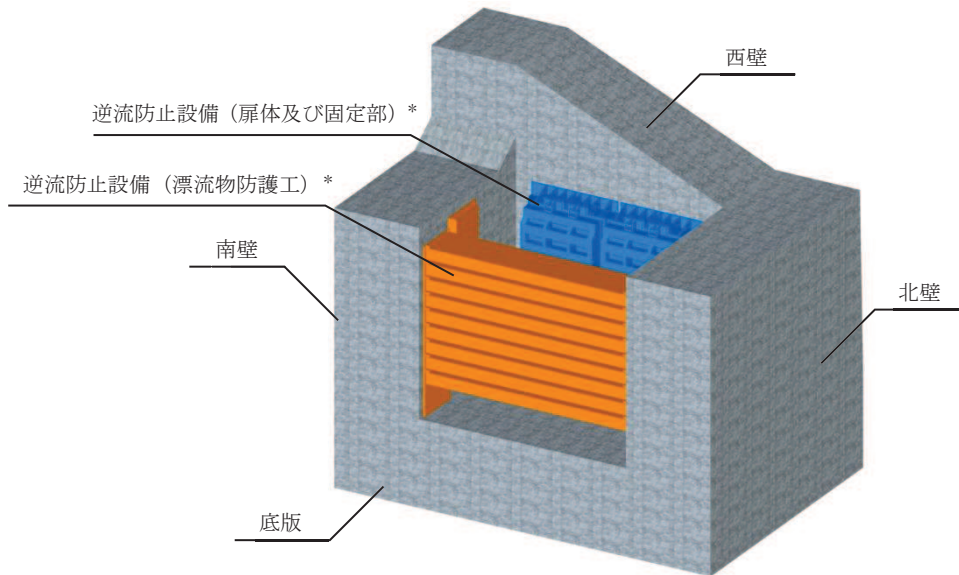
(解析ケース④：材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース)

9. 三次元構造解析

9.1 評価対象部材

三次元構造解析の評価対象部材は、出口側集水ピットを構成する構造部材である側壁（北壁、南壁及び西壁）及び底版とする。

図 9-1 に評価対象部材を示す。



注記*：三次元構造解析においては、荷重としてモデル化

図 9-1 三次元構造解析の評価対象部材

9.2 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8. 地震応答解析」により得られた応答値に基づき、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

三次元構造解析には、解析コード「SLAP ver6.64」を用いる。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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

9.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 9-2 に、要素分割図を図 9-3 に示す。

a. 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

b. 境界条件

構造物と周辺地盤には、境界条件としての地盤ばねを配置する。地盤ばねは節点ばねとする。

地盤ばねは、常時解析においては「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。また、側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」に基づき設定する。

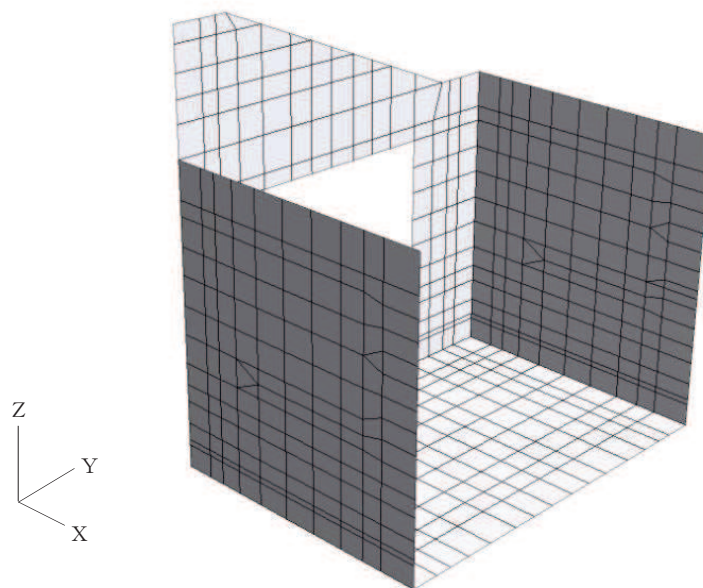
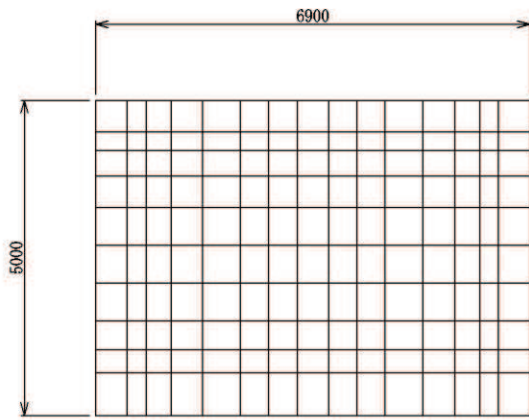
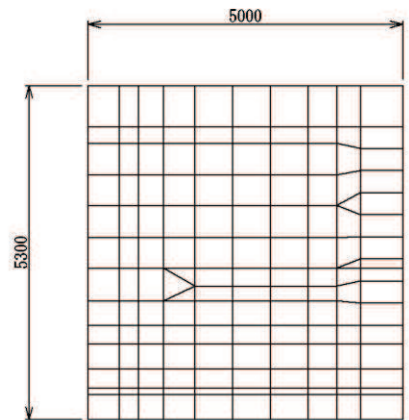


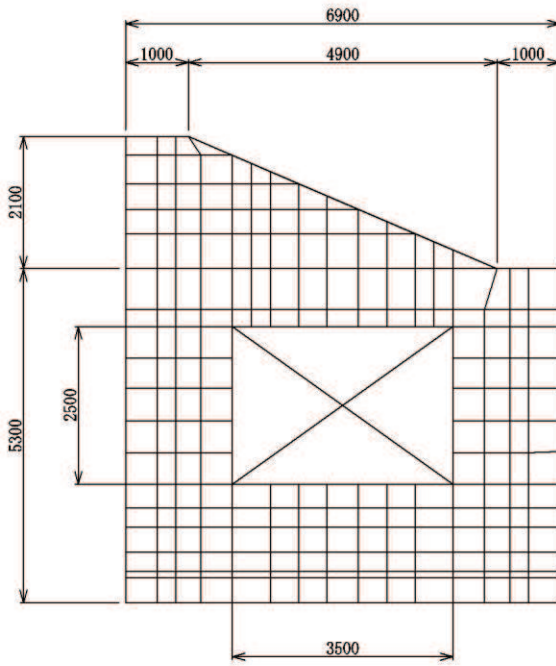
図 9-2 出口側集水ピットの解析モデル



(a) 底版



(b) 南壁及び北壁



(c) 西壁

図 9-3 要素分割図

(2) 使用材料及び材料の物性値

出口側集水ピットの使用材料及び材料の物性値は、「8.5(2) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

9.4 照査時刻及び入力荷重

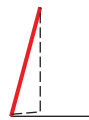

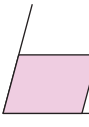
(1) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モード毎及び部材毎に評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。

表 9-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 9-4、照査値最大時刻震度分布図を図 9-5 に示す。

表 9-1 照査時刻の考え方

| 照査時刻 | 損傷モード | 着目部位 | | 荷重抽出時刻 |
|----------------|---------------|-----------|---|------------------------|
| 時刻 1 | 曲げ・軸力系の破壊 | 壁 (面外) |  | 構造物の上面と下面の層間変位が最大となる時刻 |
| 時刻 2 | せん断破壊 (面外) | 壁 (面外) |  | 総水平荷重が最大となる時刻 |
| 時刻 3 (時刻 1) | せん断破壊 (面内) | 壁 (面内) |  | 面部材の層間変位が最大となる時刻 |

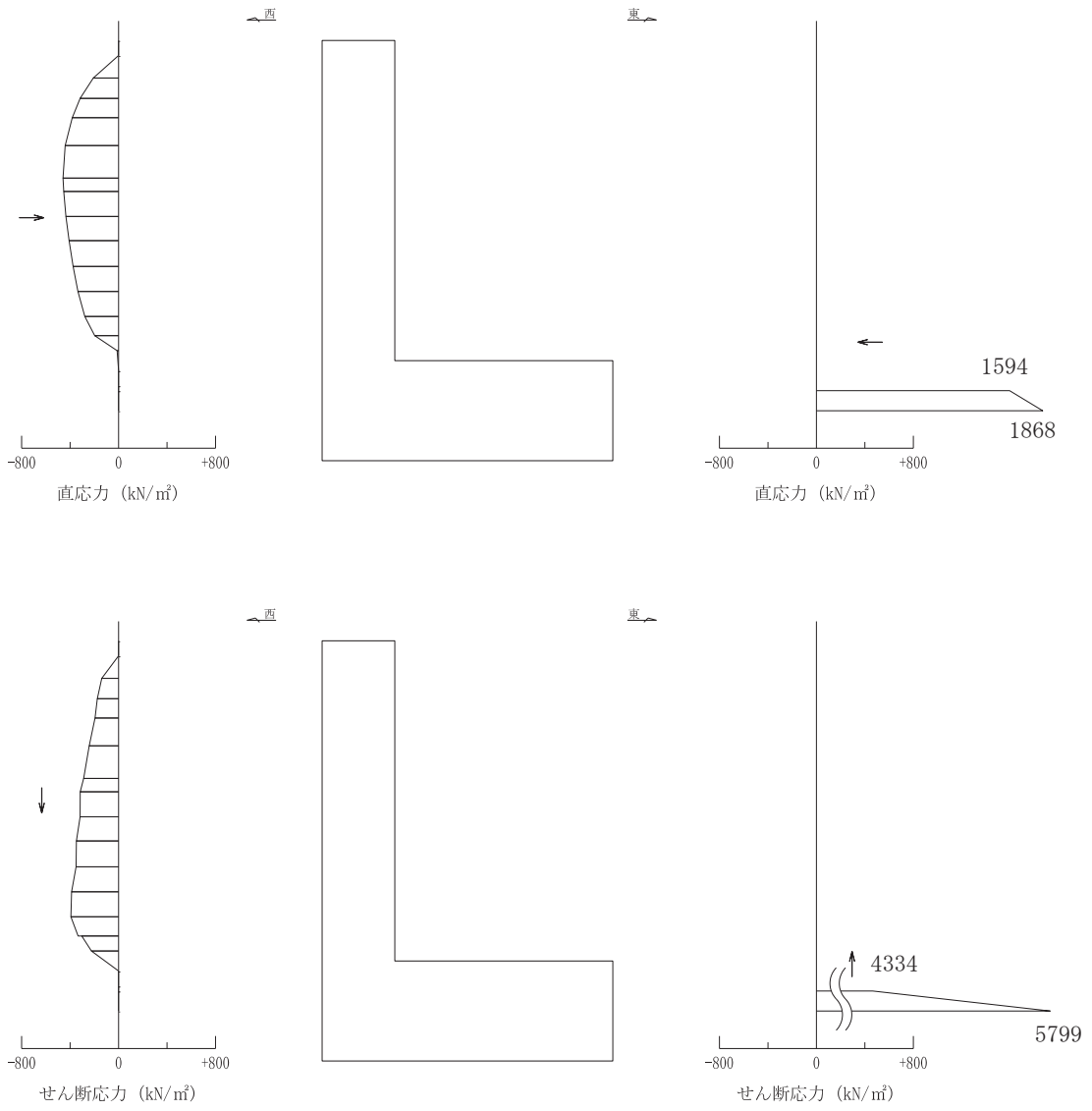
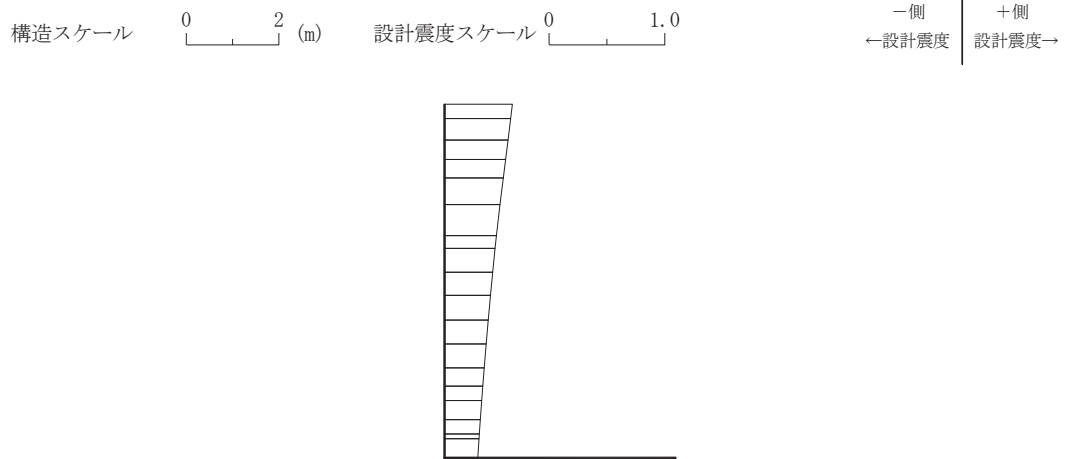
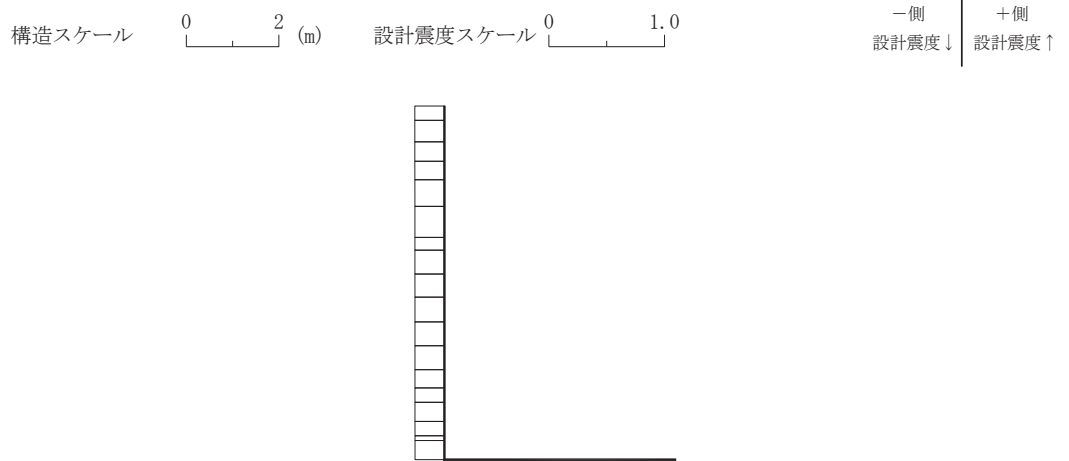


図 9-4 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース③, S s - D 2 (-+))



設計水平震度



設計鉛直震度

図 9-5 照査値最大時刻震度分布図
(解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

(2) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、二次元動的解析に基づく「9.4(1) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 9-2 に示す。

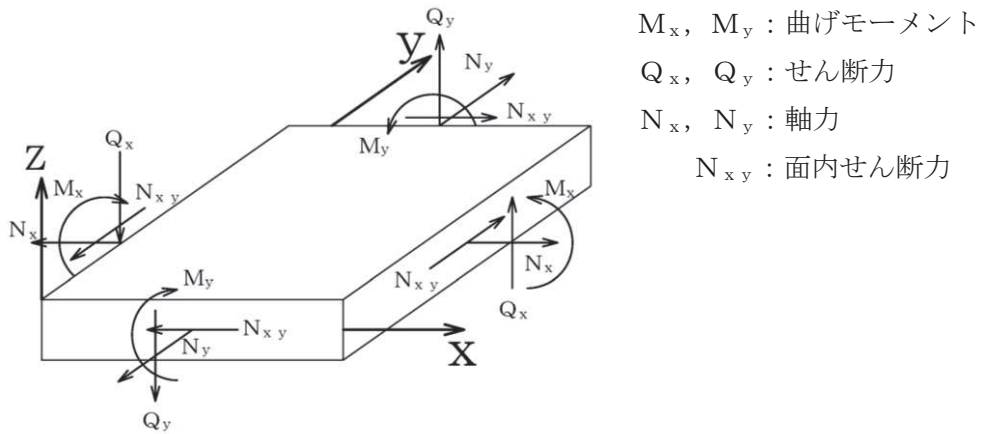
表9-2 三次元構造解析における入力荷重

| 区分 | 種別 | 考慮する荷重 |
|-----------|-------|----------------|
| 常時 荷重 | 固定荷重 | 躯体自重 |
| | 積載荷重 | 機器・配管荷重 |
| | 常時土圧 | 躯体側面に作用する常時土圧 |
| | 常時水圧 | 躯体側面に作用する常時水圧 |
| 地震時 荷重 | 慣性力 | 躯体に作用する慣性力 |
| | 地震時土圧 | 躯体側面に作用する地震時土圧 |
| | 地震時水圧 | 躯体側面に作用する地震時水圧 |

9.5 三次元構造解析結果

シェル要素における各要素の断面力の方向を図 9-6 に示す。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-7～図 9-11 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 9-12, 図 9-13 に示す。



M_x, M_y : 曲げモーメント
 Q_x, Q_y : せん断力
 N_x, N_y : 軸力
 N_{xy} : 面内せん断力

図 9-6 シェル要素における応答断面力

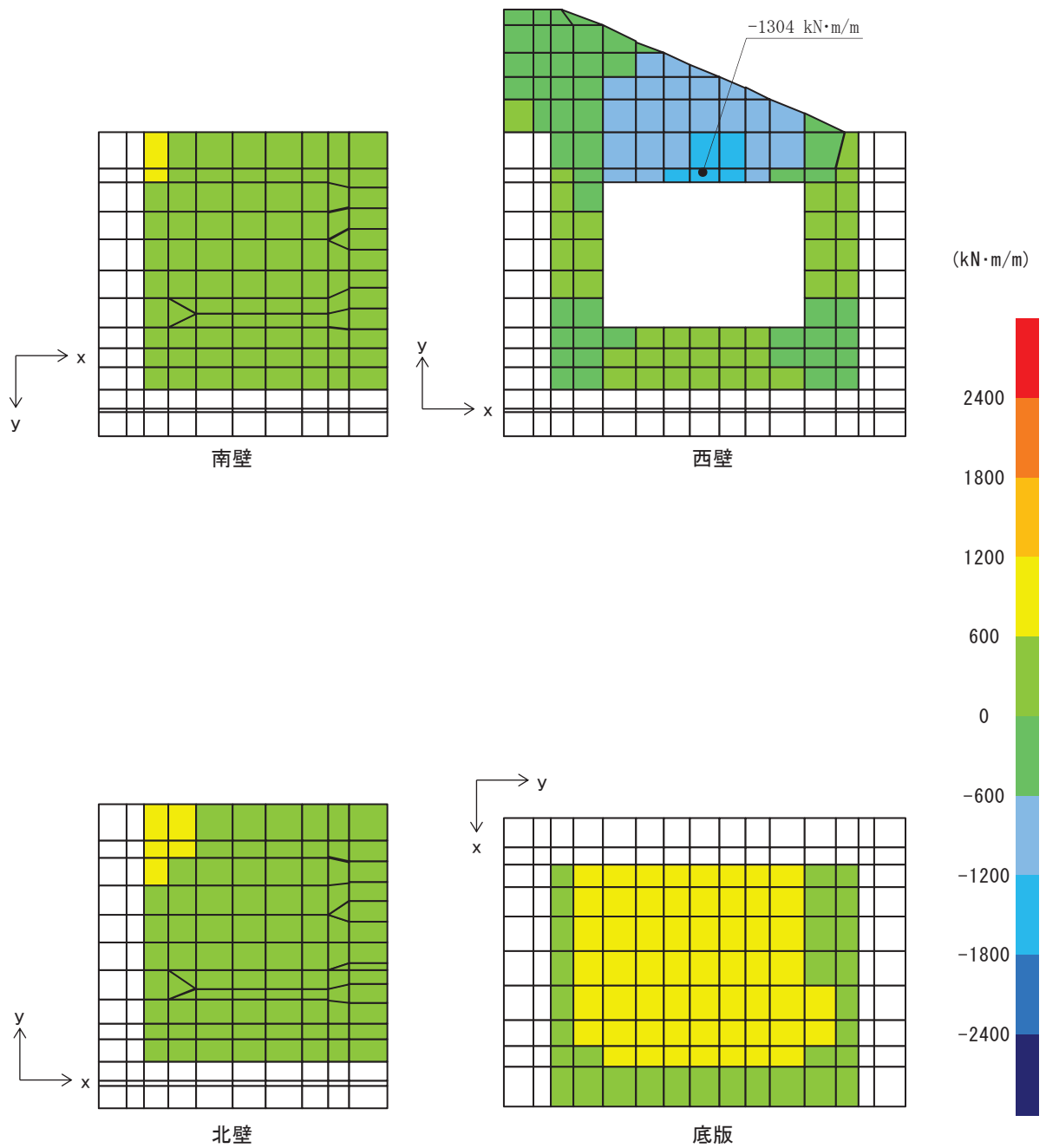


図 9-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_x)
 (西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

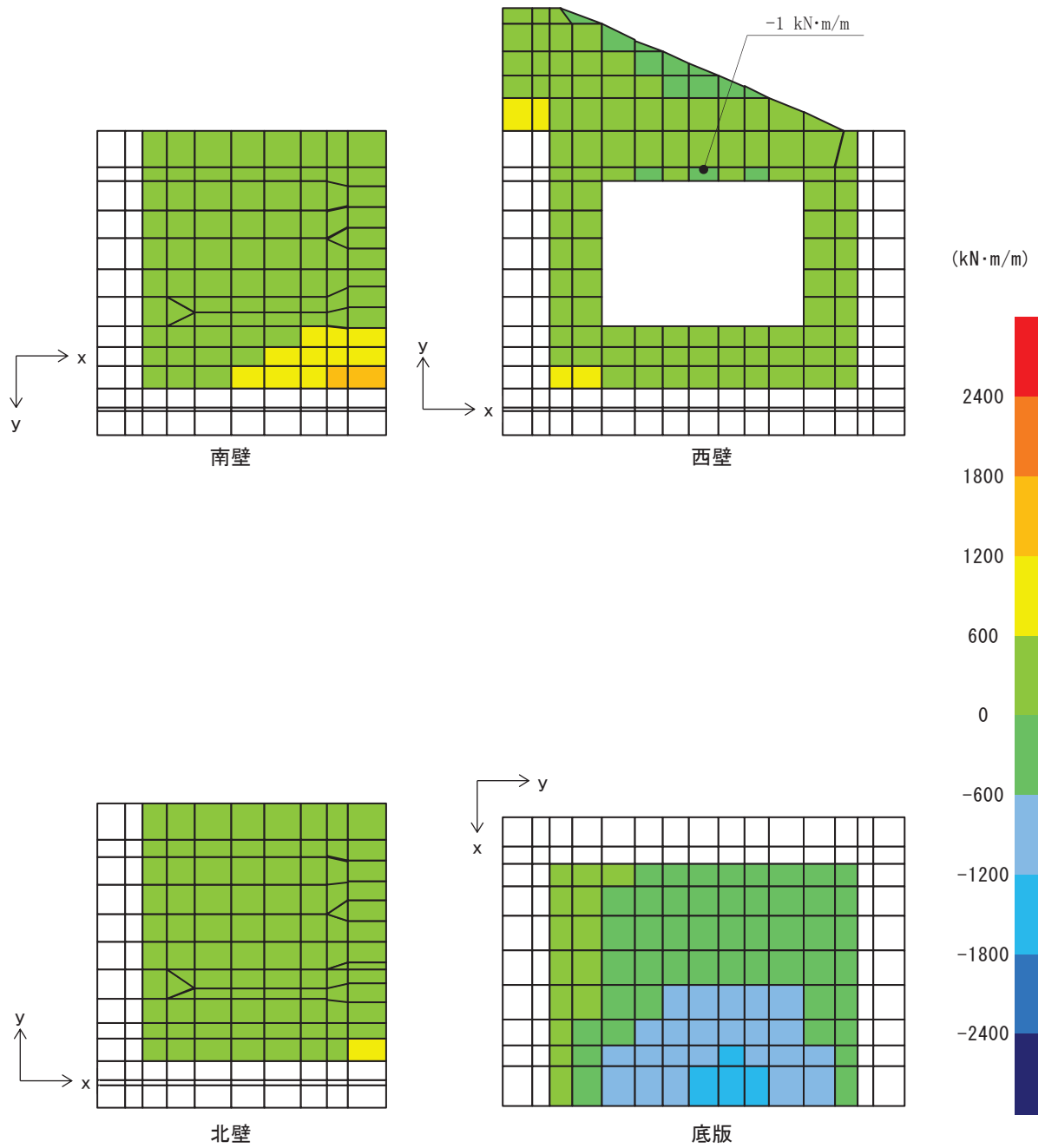


図 9-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$) : M_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D2$ (-+))

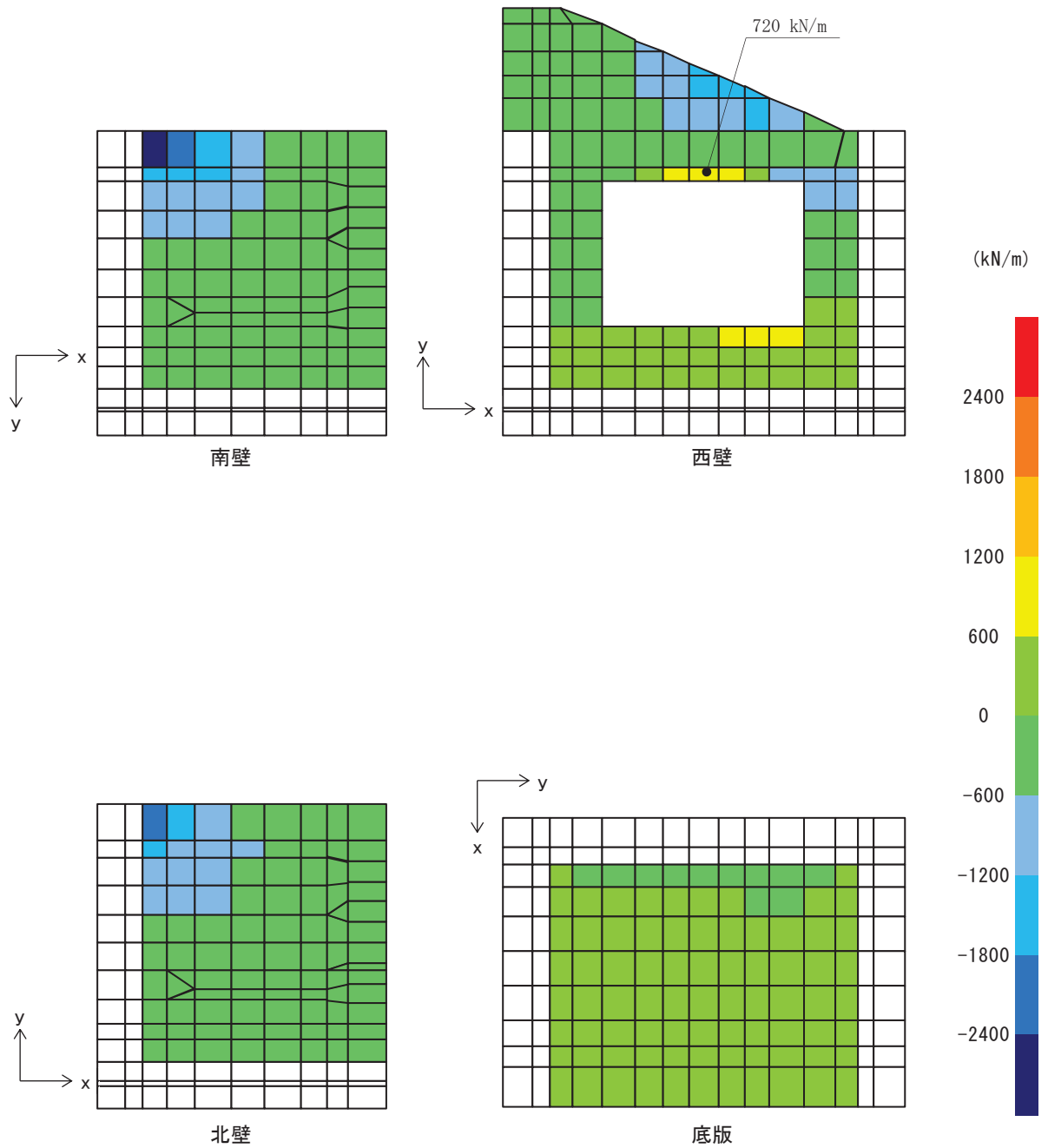


図 9-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

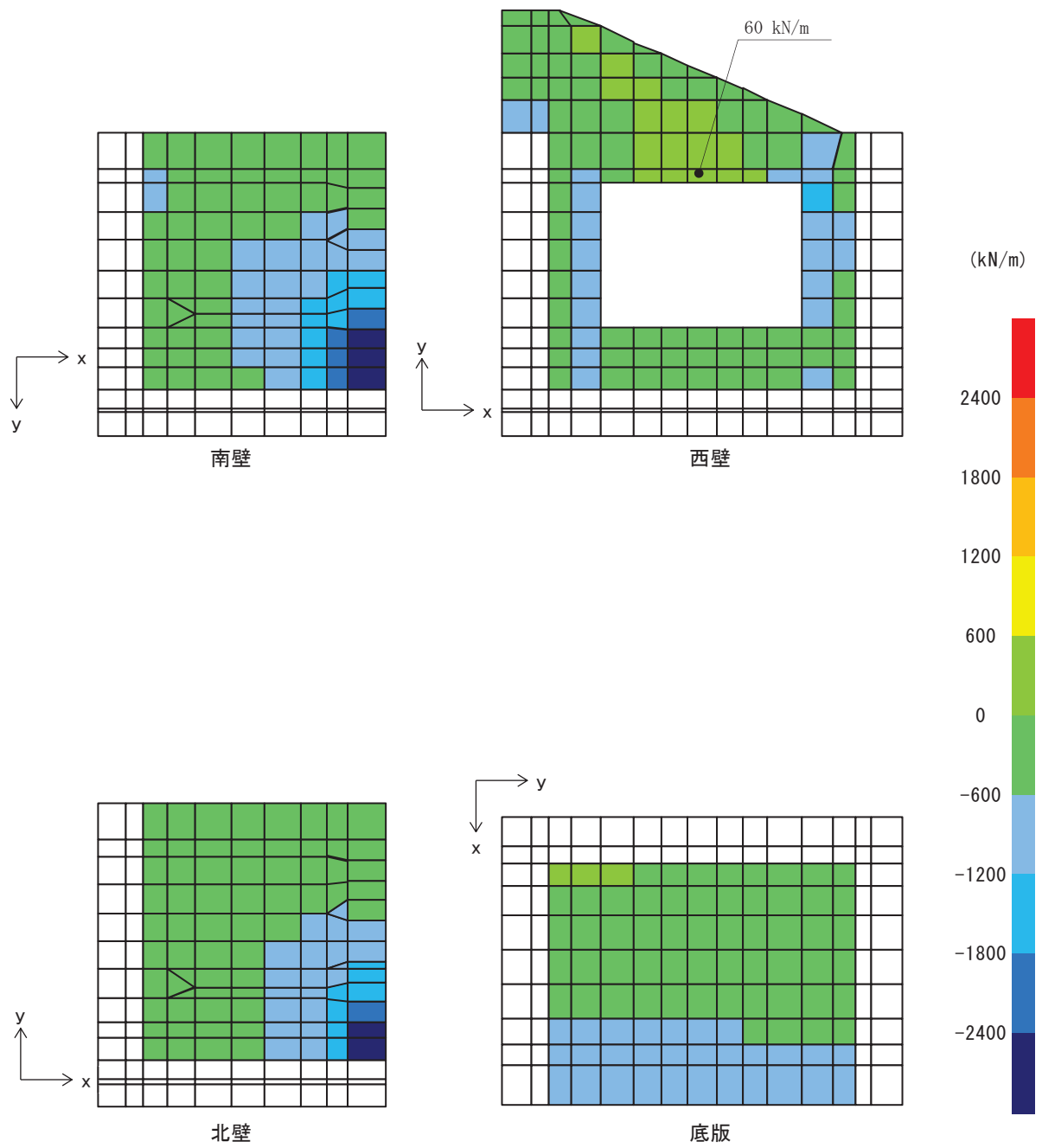


図 9-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D 2 (-+)$)

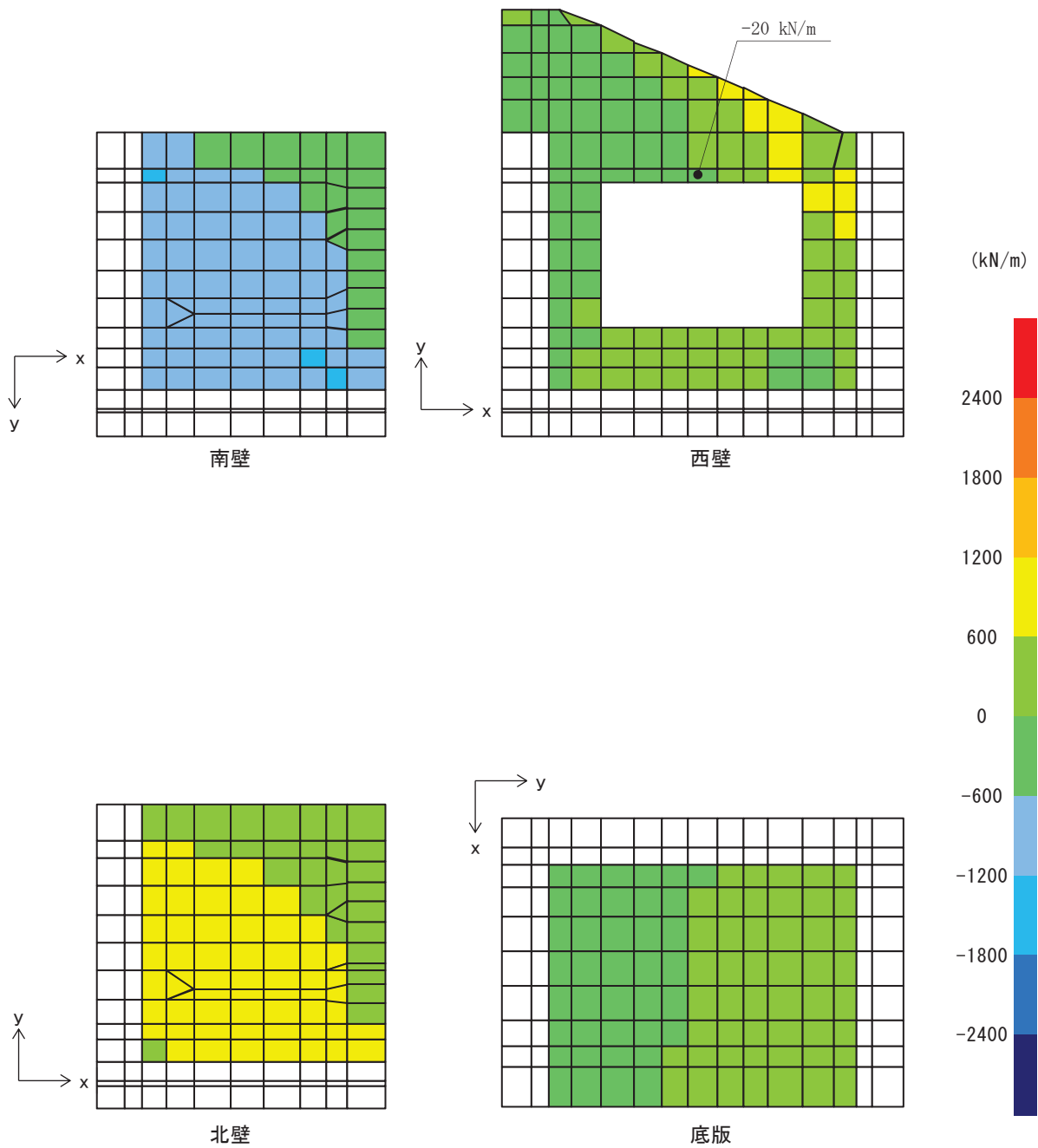


図 9-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})

(西壁, 解析ケース③, $S_s - D2$ (-+))

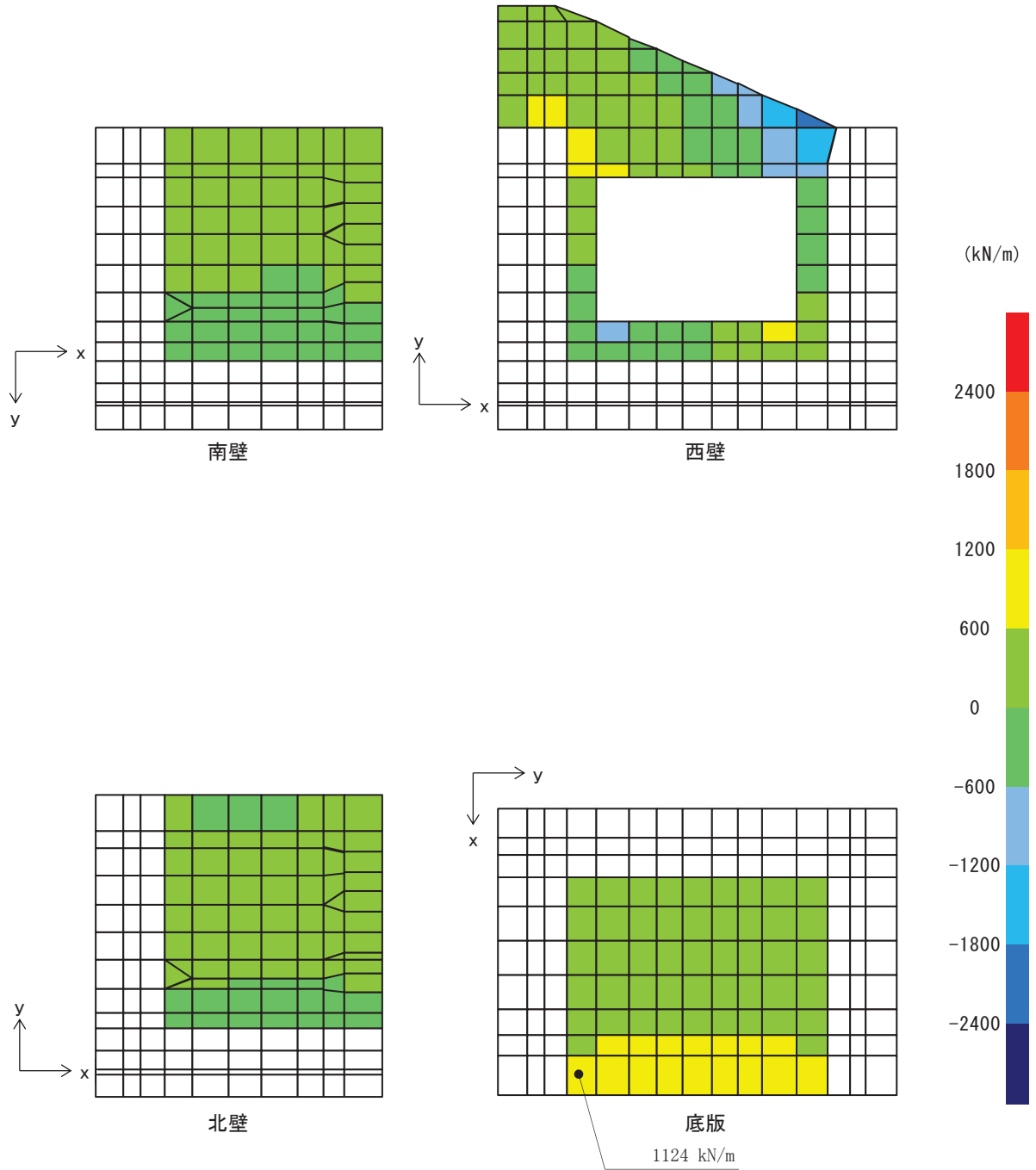


図 9-12 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(底版, 解析ケース③, $S_s - D2$ (-+))

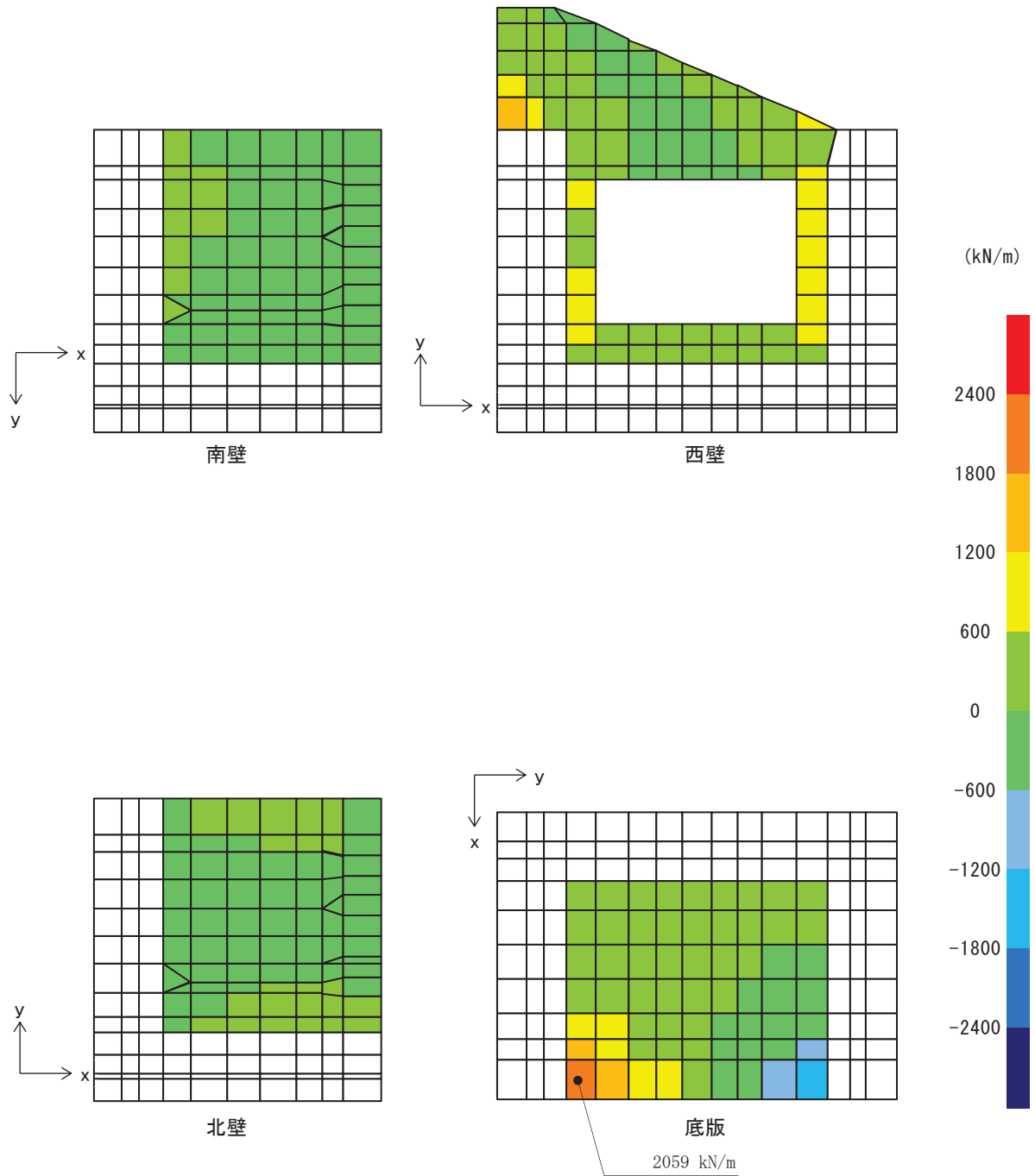


図 9-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(底版, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (-+))

10. 耐震評価

10.1 許容限界

10.1.1 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

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-1 及び表 10-2 に示す。

なお、西壁に屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

| 設計基準強度 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|-------------------------------------|-------------------------------|------|----------------------------------|
| | 許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca} | | |
| $f'_{ck}=30.0$ (N/mm ²) | | 11.0 | 16.5 |
| | 許容せん断応力度 τ_{al} | 0.5 | 0.75 |

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

| 鉄筋の種類 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|-------|-------------------------------|-----|----------------------------------|
| | 許容引張応力度 σ_{sa} | | |
| SD345 | | 196 | 294 |

注記*：土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 10-1 及び表 10-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

10.2 評価方法

出口側集水ピットの耐震評価は，地震応答解析により得られた応答値から，三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

構造部材の健全性評価については，三次元構造解析により算定した照査用応答値が，「10.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

11. 評価結果

11.1 構造部材の健全性に対する評価結果

断面計算に用いた断面諸元を表 11-1 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-2 及び表 11-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 11-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 11-1 に示す。

出口側集水ピットの構造部材の発生応力度及び発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 11-1 鉄筋コンクリート断面諸元

| 部材 | 部材厚 (mm) | X方向 (EW方向・水平方向) | | Y方向 (NS方向・鉛直方向) | |
|-----|-------------|------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| | | 配置鉄筋*1 | 芯かぶり*2 (mm) | 配置鉄筋*1 | 芯かぶり*2 (mm) |
| 底版 | 2000 | D41@175 (上側) D41@175 (下側) | 200 | D41@175 (上側) D41@175 (下側) | 200 |
| 南北壁 | 2000 | D41@175 (外側) D41@175 (内側) | 200 | D41@175 (外側) D41@175 (内側) | 200 |
| 西壁 | 2000 | D41@175 (外側) D41@175 (内側) | 200 | D41@175 (外側) D41@175 (内側) | 200 |

注記 *1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

*2：実配筋は、格子鉄筋となるため、2方向の芯かぶりは鉄筋径分異なるが、保守的に有効高さが小さくなる側の芯かぶりを2方向に適用する

表 11-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げモー メント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 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} |
|------|---|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------|--|---|-----------------------------------|
| 底版 | 1 | ③ | S _s -D2 (-+) | -1283 | -1051 | 2.7 | 16.5 | 0.17 |
| 南壁 | 2 | ③ | S _s -D2 (-+) | 1366 | -4646 | 3.8 | 16.5 | 0.24 |
| 西壁 | 3 | ③ | S _s -D2 (-+) | -1206 | -363 | 2.5 | 16.5 | 0.16 |
| 北壁 | 4 | ③ | S _s -D2 (-+) | 667 | -4029 | 2.7 | 16.5 | 0.17 |

表 11-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 曲げモー メント (kN・m/m) | 軸力 (kN/m) | 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} |
|------|---|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------|---|--|---------------------------------|
| 底版 | 1 | ③ | S _s -D2 (-+) | 594 | 824 | 102.2 | 294 | 0.35 |
| 南壁 | 2 | ③ | S _s -D2 (-+) | 624 | 420 | 77.2 | 294 | 0.27 |
| 西壁 | 3 | ③ | S _s -D2 (-+) | -1304 | 740 | 152.2 | 294 | 0.52 |
| 北壁 | 4 | ① | S _s -N1 (++) | 102 | 803 | 60.8 | 294 | 0.21 |

表 11-4 せん断破壊に対する照査

| 評価位置 | | 解析 ケース | 地震動 | 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 |
|------|---|-----------|-------------------------|---------------------------|--|-------------------------|
| 底版 | 1 | ③ | S _s -D2 (-+) | 2060 | 3495 | 0.59 |
| 南壁 | 2 | ③ | S _s -D2 (-+) | 570 | 3495 | 0.17 |
| 西壁 | 3 | ③ | S _s -D2 (-+) | 1807 | 3495 | 0.52 |
| 北壁 | 4 | ③ | S _s -D2 (-+) | 251 | 3495 | 0.08 |

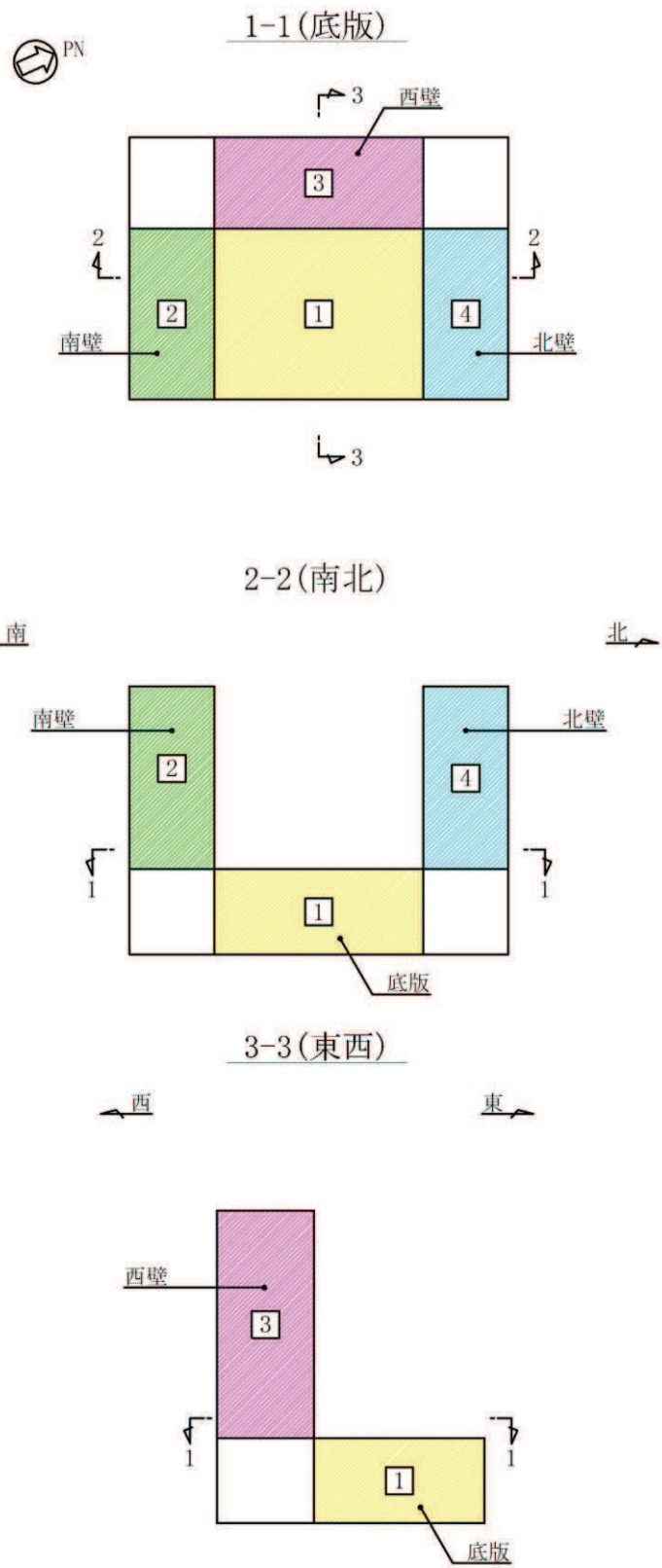


图 11-1 評価位置図

VI-2-10-2-6-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の
耐震性についての計算書

目 次

| | | |
|-------|------------|----|
| 1. | 概要 | 1 |
| 2. | 一般事項 | 2 |
| 2.1 | 配置概要 | 2 |
| 2.2 | 構造計画 | 3 |
| 2.3 | 評価方針 | 4 |
| 2.4 | 適用基準 | 5 |
| 2.5 | 記号の説明 | 6 |
| 3. | 評価部位 | 9 |
| 3.1 | 評価部位の選定 | 9 |
| 3.2 | 評価方向の整理 | 11 |
| 4. | 固有周期 | 12 |
| 4.1 | 固有周期の計算 | 12 |
| 4.1.1 | 閉門時 | 12 |
| 4.1.2 | 開門時 | 13 |
| 4.2 | 固有周期の計算結果 | 15 |
| 5. | 構造強度評価 | 16 |
| 5.1 | 構造強度評価方法 | 16 |
| 5.2 | 荷重及び荷重の組合せ | 16 |
| 5.2.1 | 荷重の設定 | 16 |
| 5.2.2 | 荷重の組合せ | 16 |
| 5.3 | 許容限界 | 18 |
| 5.3.1 | 使用材料 | 18 |
| 5.3.2 | 許容限界 | 18 |
| 5.4 | 設計用地震力 | 21 |
| 5.5 | 計算方法 | 25 |
| 5.5.1 | スキンプレート | 25 |
| 5.5.2 | 主桁 | 26 |
| 5.5.3 | 補助縦桁 | 28 |
| 5.5.4 | ヒンジ部 | 29 |
| 5.5.5 | 戸当りコンクリート | 38 |
| 5.5.6 | 戸当り | 39 |
| 5.6 | 計算条件 | 40 |
| 6. | 評価結果 | 43 |

1. 概要

本資料は、添付書類「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補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No.1）、（No.2）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。

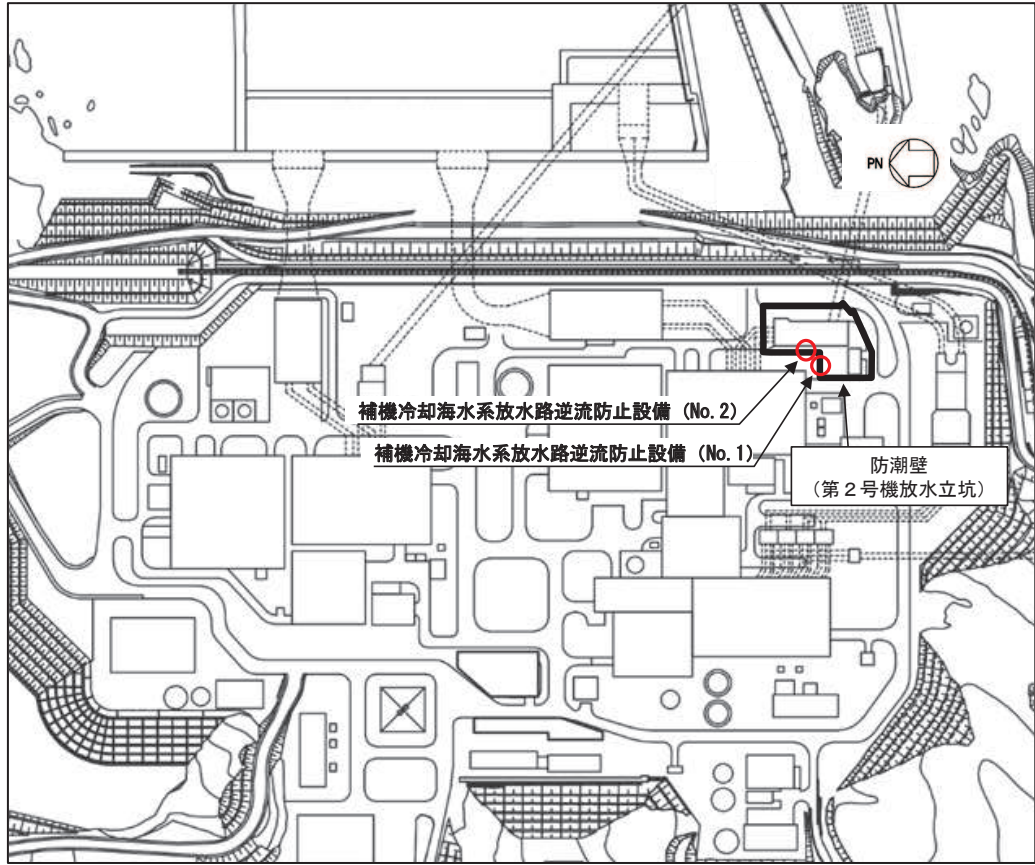
補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No.1）、（No.2）は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類され、津波防護施設である防潮壁(第2号機放水立坑)に支持される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No.1）、（No.2）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

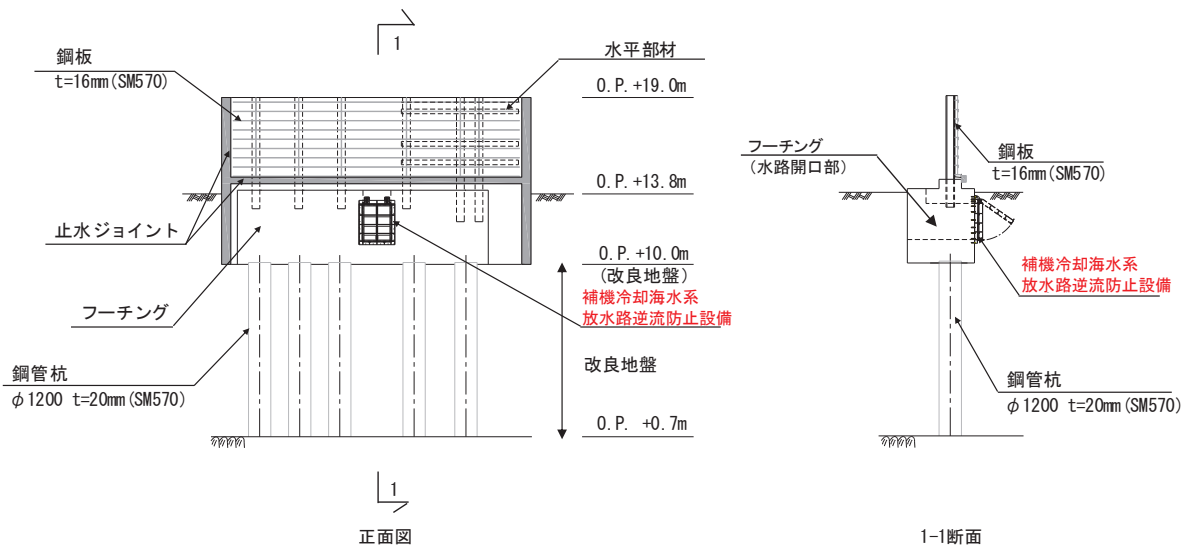
2. 一般事項

2.1 配置概要

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の設置位置を図 2-1 に示す。



(全体平面図)



(防潮壁(第 2 号機放水立坑)鋼製遮水壁 (鋼板) 断面⑦)

図 2-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の概要

2.2 構造計画

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造は、鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当りを主体構造とし、第 2 号機放水立坑を経由した津波の流入を防止する。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して防潮壁のフーチング部に伝達する構造とする。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2))

| 計画の概要 | | 説明図 |
|----------------------|---|---------------------------|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| 十分な支持機能を有する構造物に設置する。 | 鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部、ヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当り | <p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> |

2.3 評価方針

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価は, 添付書類「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に基づき, 「2.2 構造計画」に示す補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造を踏まえ, 「3. 評価部位」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が許容限界以下であることを, 「5. 構造強度評価」に示す方法にて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。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

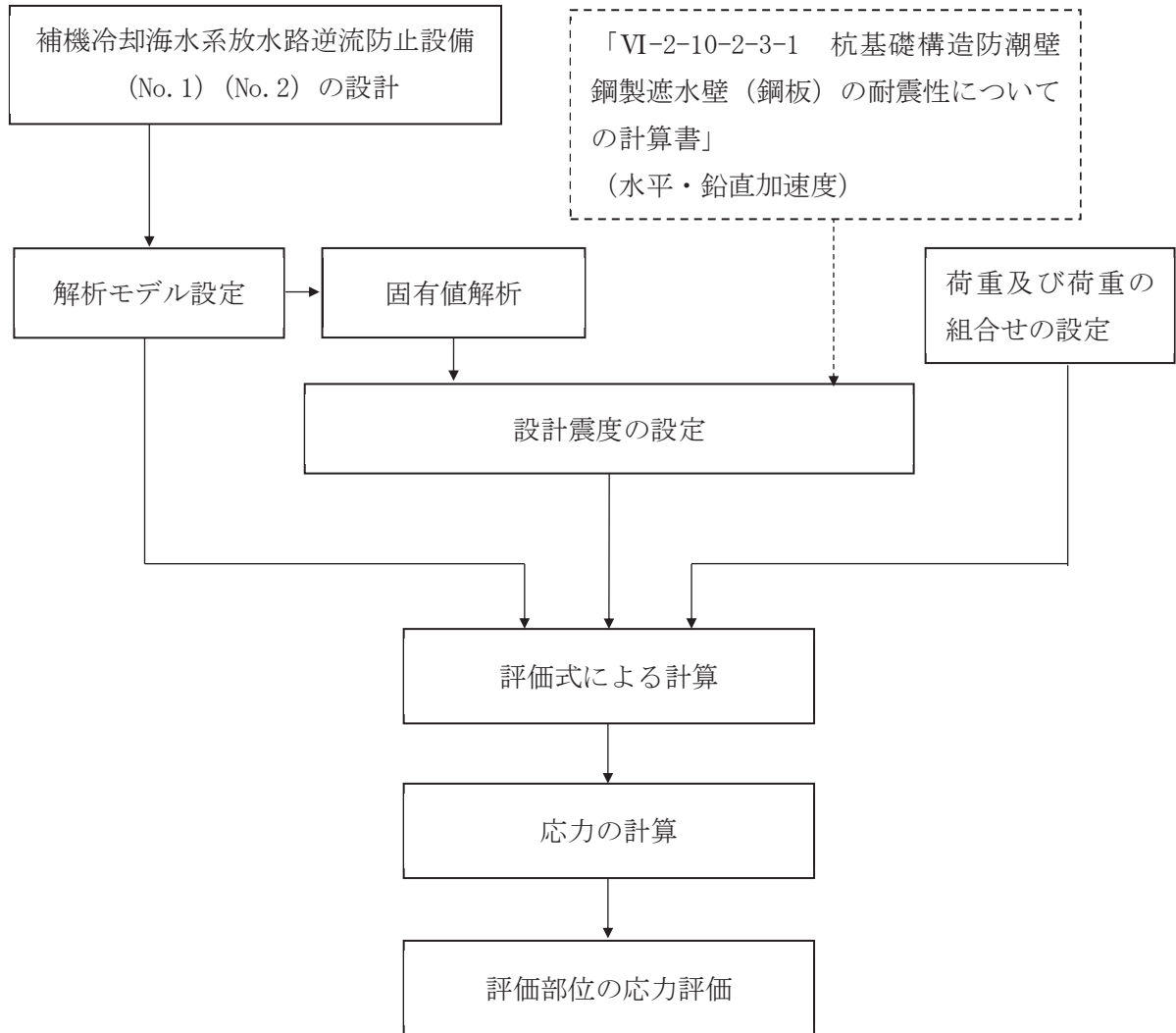


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 水門鉄管協会 平成 31 年 水門鉄管技術基準 水門扉編
- ・ 一般社団法人ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月 ダム・堰施設技術基準 (案)
- ・ 一般社団法人ダム・堰施設技術協会 平成 13 年 12 月 水門・樋門ゲート設計要領 (案)
- ・ 日本建築学会 2014 年 各種合成構造設計指針・同解説

2.5 記号の説明

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) 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 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----------------|-------------------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | s |
| f | 1 次固有振動数 | Hz |
| E | 縦弾性係数 | N/mm ² |
| I | 主桁の断面二次モーメント | mm ⁴ |
| m | 扉体部の単位長さ当たり質量 | kg/mm |
| L ₁ | 主桁の長さ | mm |
| L ₂ | 振り子の長さ (ピン (回転軸) ~ 扉体重心までの長さ) | mm |

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (1/3)

| 記号 | 定義 | 単位 |
|-----------------|---|-------------------|
| G | 固定荷重 (扉体の自重) | N |
| K _H | 基準地震動 S _s による水路縦断方向の設計震度 | — |
| K _V | 基準地震動 S _s による鉛直方向の設計震度 | — |
| K _{HX} | 基準地震動 S _s による水路横断方向の設計震度 | — |
| W _o | 水の単位体積重量 | N/mm ³ |
| k | スキンプレートの辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数 | — |
| a ₁ | スキンプレートの短辺 | mm |
| b ₁ | スキンプレートの長辺 | mm |
| P | スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 | N/mm ² |
| t ₁ | スキンプレートの板厚 | mm |
| W | 主桁に加わる地震による荷重 | N |
| b _{s1} | 主桁 1 と主桁 2 の間隔 | mm |
| b _{s2} | 主桁 2 と主桁 3 の間隔 | mm |
| b _{s3} | 主桁 3 と主桁 4 の間隔 | mm |
| b _{s4} | 主桁 4 と主桁 5 の間隔 | mm |
| L _{s1} | 主桁圧縮フランジの固定間隔 | mm |
| Z ₂ | 主桁の断面係数 | mm ³ |
| A _{w2} | 主桁のウェブ断面積 | mm ² |
| B | 扉体の水密幅 | mm |

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (2/3)

| 記号 | 定義 | 単位 |
|------------|---|----------|
| q_{s1} | 主桁 1 での発生圧力 | N/mm^2 |
| q_{s2} | 主桁 2 での発生圧力 | N/mm^2 |
| q_{s3} | 主桁 3 での発生圧力 | N/mm^2 |
| q_{s4} | 主桁 4 での発生圧力 | N/mm^2 |
| q_{s5} | 主桁 5 での発生圧力 | N/mm^2 |
| p_3 | 補助縦桁に加わる各区分の平均荷重 | N/mm^2 |
| a_3 | 補助縦桁の主桁間隔 | mm |
| Z_3 | 補助縦桁の断面係数 | mm^3 |
| A_{w3} | 補助縦桁のウェブ断面積 | mm^2 |
| q_b | 地震動により扉体に加わる最大分布荷重 | N/mm^2 |
| S | 戸当り幅 | mm |
| t_w | 戸当り腹板の板厚 | mm |
| I_{HSs} | 基準地震動 S_s による水路縦断方向地震荷重 | N |
| I_{HXSs} | 基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重 | N |
| I_{VSs} | 基準地震動 S_s による鉛直方向地震荷重 | N |
| i_{HSs} | 基準地震動 S_s による単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重 | N/mm^2 |
| P_H | 基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の水路縦断方向地震荷重 | N |
| P_{HX} | 基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の水路横断方向地震荷重 | N |
| P_V | 基準地震動 S_s によるヒンジ 1 箇所の鉛直方向地震荷重と固定荷重の和 | N |
| D_4 | ピンの直径 | mm |
| Z_4 | ピンの断面係数 | mm^3 |
| A_4 | ピンの断面積 | mm^2 |
| L_4 | ピンの支点間長さ | mm |
| B_4 | ピンの分布荷重載荷長 | mm |
| t_5 | ヒンジ (連結部) の板厚 | mm |
| L_5 | ヒンジ (連結部) の端抜けせん断長さ | mm |
| B_5 | ヒンジ (連結部) の板幅 | mm |
| D_5 | ヒンジ (連結部) のピン穴直径 | mm |
| H_5 | ヒンジ (連結部) のピン穴の距離 | mm |
| L_6 | アンカーボルト基部からピン穴中心の水平方向長さ | mm |
| H_6 | 鉛直方向アンカーボルト間距離 | mm |
| a_6 | アンカーボルトからピン穴中心までの鉛直方向長さ | mm |
| l_e | アンカーボルトのコンクリート内への有効埋め込み長さ | mm |
| D_A | 頭付きアンカーボルト頭部の直径 | mm |
| a_P | 近接する 2 本のアンカーボルトの距離 | mm |
| c | アンカーボルトのへりあき寸法 | mm |

表 2-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる記号 (3/3)

| 記号 | 定義 | 単位 |
|----------------|---------------------------|-----------------|
| H ₇ | ヒンジ（扉体側）の照査部位からピン穴までの鉛直距離 | mm |
| Z ₇ | ヒンジ（扉体側）の断面係数 | mm ³ |
| A ₇ | ヒンジ（扉体側）の断面積 | mm ² |
| L ₈ | ヒンジ（躯体側）の照査部位からピン穴までの水平距離 | mm |
| Z ₈ | ヒンジ（躯体側）の断面係数 | mm ³ |
| A ₈ | ヒンジ（躯体側）の断面積 | mm ² |

3. 評価部位

3.1 評価部位の選定

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は、鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部及びヒンジ部アンカーボルト) で構成されている。耐震評価においては、扉体部の評価部位として、主要部材であるスキンプレート、主桁及び補助縦桁を、固定部の評価部位としてヒンジ部 (ヒンジ、ピン (回転軸)) 及びヒンジ部アンカーボルトを選定するとともに、戸当りについても評価する。側部縦桁については、「地震時」の荷重が扉体に作用する状態において、扉体が戸当りと密着した状態であることから、側部縦桁には有意な変形等が生じないため評価を省略する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の構造概要を図 3-1 に示す。

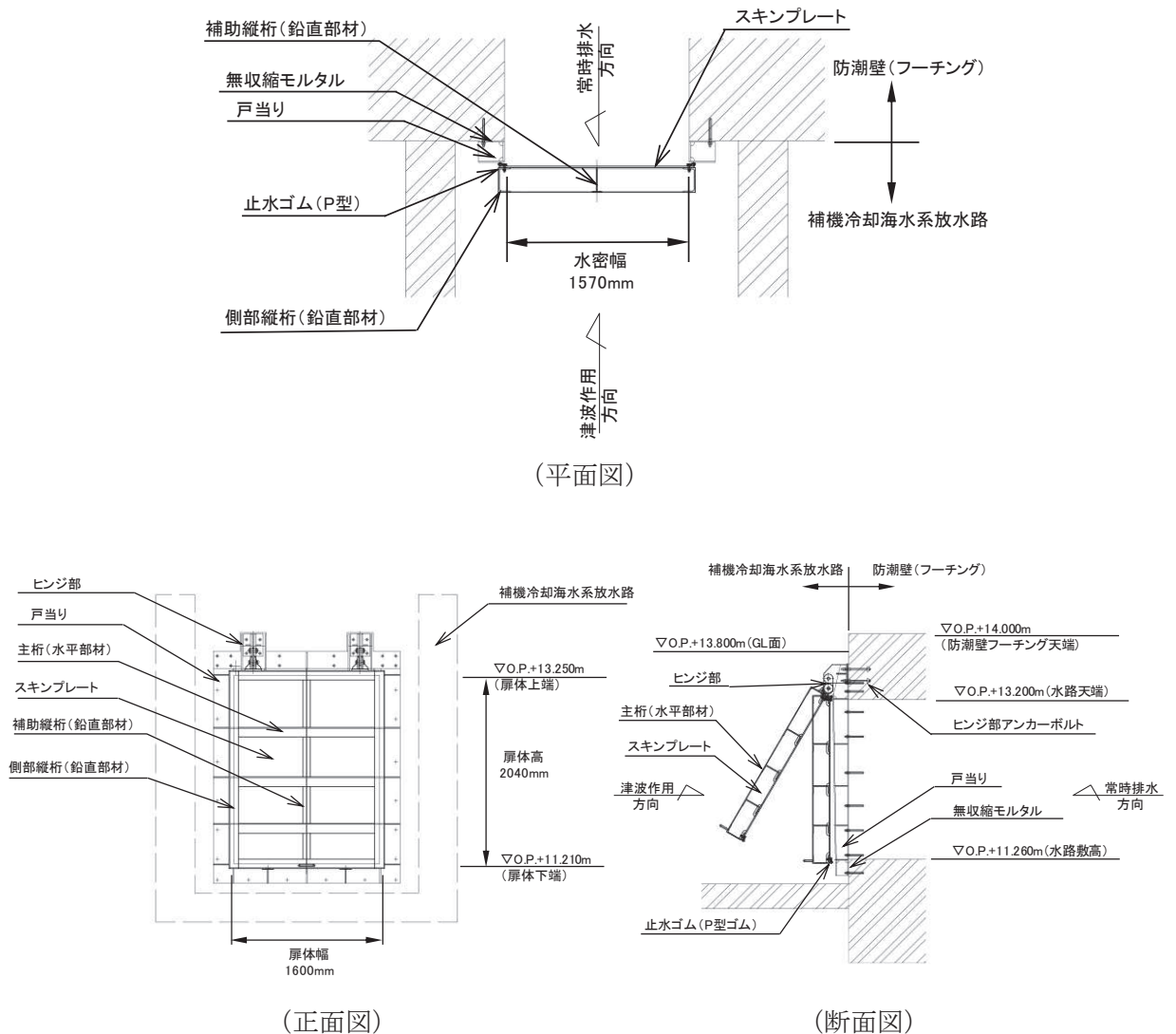


図 3-1 (1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要

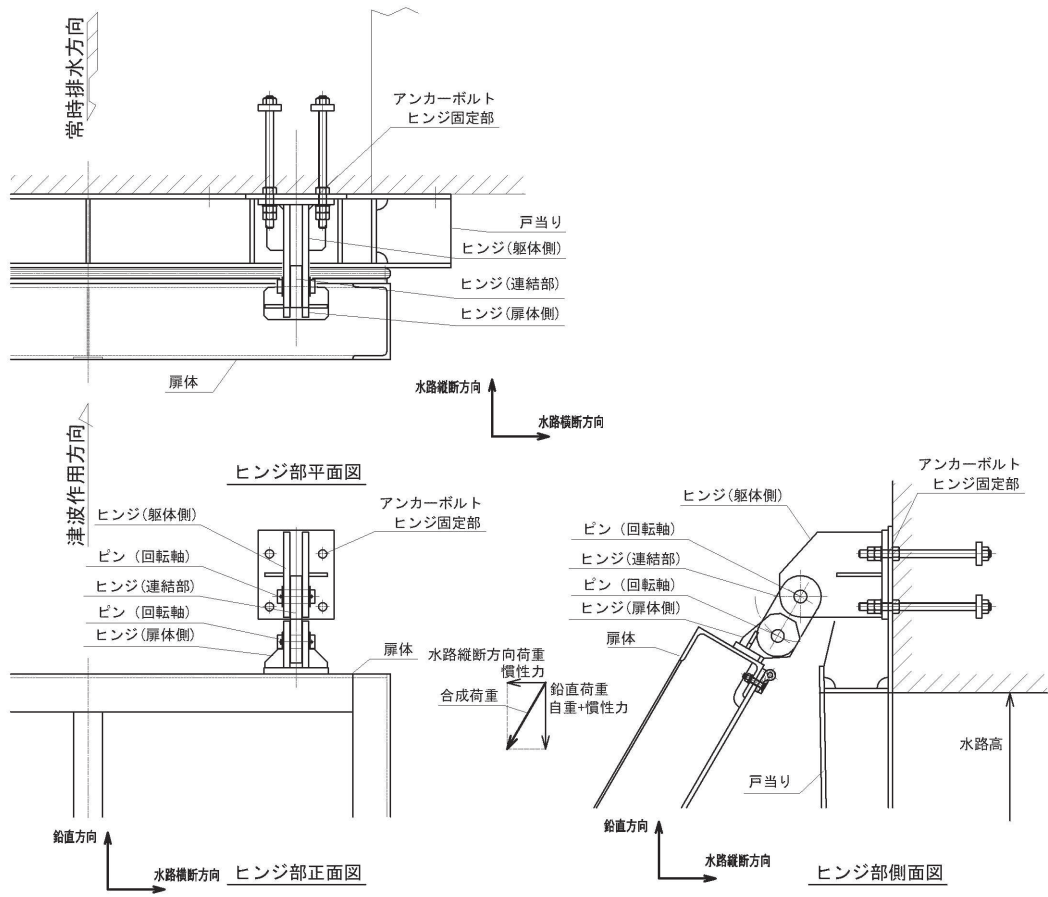


図 3-1 (2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要
(固定部 (ヒンジ部) 詳細)

3.2 評価方向の整理

補機冷却海水系放水路は防潮壁フーチング前面に取り付く構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、耐震評価における主たる荷重は地震力である。したがって、各評価部位については、構造的特徴を踏まえ、評価を行う地震力の方向を設定する。具体的には部位及び評価項目毎に、水平方向(水路縦断方向)及び水平方向(水路横断方向)(以下、それぞれ水路縦断方向、水路横断方向という。)荷重と鉛直方向荷重の組合せを考慮する。

表 3-1 に評価を行う地震力の方向を示す。なお、評価方法の詳細は「5.5 計算方法」に示す。

表 3-1 評価を行う地震力の方向

| 評価対象部位 | | 評価項目 | 地震力 | | |
|---------------|---------------|--------|--------|--------|------|
| | | | 水平方向 | | 鉛直方向 |
| | | | 水路縦断方向 | 水路横断方向 | |
| 扉体 | スキンプレート | 曲げ・せん断 | ○ | | |
| | 主桁 | | | | |
| | 補助縦桁 | | | | |
| 固定部 (ヒンジ部) | ヒンジ(扉体側及び躯体側) | 引張* | ○ | | ○ |
| | | 曲げ・せん断 | | ○ | |
| | ピン(回転軸) | 曲げ・せん断 | ○ | | ○ |
| | ヒンジ(連結部) | 引張* | ○ | | ○ |
| | | 曲げ・せん断 | | ○ | |
| | アンカーボルト | 引抜き | ○ | | ○ |
| せん断 | | | ○ | ○ | |
| 戸当り | 金物 | 圧縮 | ○ | | |
| | コンクリート | せん断 | ○ | | |

注記*：ヒンジ(扉体側及び躯体側)とヒンジ(連結部)における引張評価については、部材厚が最も薄く軸方向作用応力が最も大きくなると考えられるヒンジ(連結部)を代表に評価する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算

補機冷却海水系放水路逆流防止設備は扉体及び固定部で構成されており、扉体に地震力が作用する状態は、扉体と戸当りが密着した状態（閉状態）であることから、戸当り部を支点とする単純支持梁でモデル化する。固定部においては、扉体が戸当りから離れる状態（開状態）も想定し、その際の固有周期の計算は、扉体の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。

なお、水路横断方向（扉体軸方向）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、防潮壁と一体の剛体として評価する。

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

解析モデルを図4-1に示す。主要な構造部材である主桁を単純支持梁としてモデル化し、スキンプレート及び補助縦桁等は保守的に考慮しないものとする。

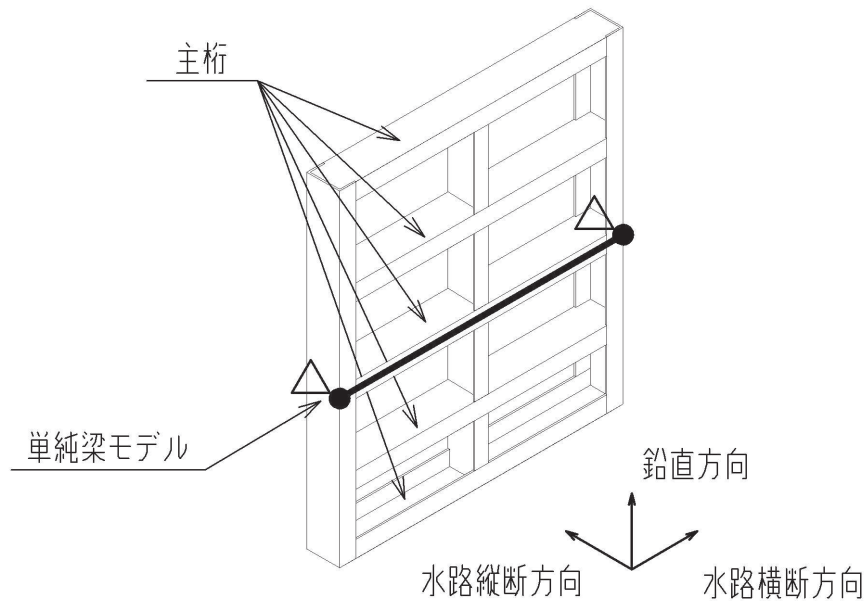


図4-1 両端単純支持梁によるモデル化

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「構造力学公式集（土木学会，1986年）」より、両端支持梁の1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。

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

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_1^2} \sqrt{\frac{E \times I \times 10^3}{m}}$$

(3) 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------------|---------------|---------------------|-------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 1 次固有振動数 | — | Hz |
| E | 縦弾性係数 | 1.93×10^5 | N/mm ² |
| I | 主桁の断面二次モーメント | 1.155×10^8 | mm ⁴ |
| m | 扉体部の単位長さ当たり質量 | 0.46875 | kg/mm |
| L ₁ | 主桁の長さ | 1600 | mm |

全主桁の断面二次モーメントは以下により計算を行う。

$$I = I_0 \times 5$$

ここで,

I₀: 主桁 1 本あたりの断面二次モーメント (mm⁴)

主桁の形状は溝形鋼 (CH200×100×10×10) とする。主桁 1 本あたりの断面二次モーメントは日本産業規格 (JIS G 4317) より

$$I_0 = 2.3100 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

以上より,

$$I = 2.3100 \times 10^7 \times 5 = 1.1550 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル

解析モデルを図 4-2 に示す。扉体のヒンジ部を回転中心とした振り子と考えてモデル化し算出する。

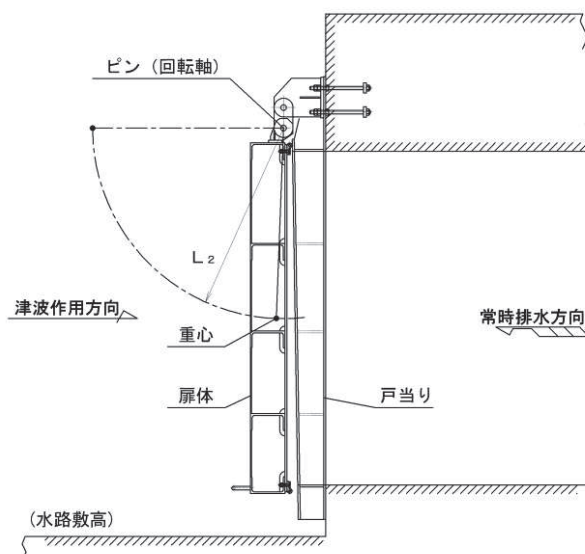


図4-2 解析モデル図

(2) 固有周期の計算

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下式により計算する。

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

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

(3) 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の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

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------------|------------------------------|---------|-------------------|
| T | 固有周期 | — | s |
| f | 1 次固有振動数 | — | Hz |
| g | 重力加速度 | 9806.65 | mm/s ² |
| L ₂ | 振り子の長さ (ピン (回転軸) ~扉体重心までの長さ) | 1108 | mm |

4.2 固有周期の計算結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。閉門時の固有周期は, 0.05s 以下であることから, 剛構造である。開門時の固有周期は 2.12s と 0.05s 以上であることから, 設計用床応答曲線をもとに固有周期を考慮する。

表 4-3 固有周期の計算結果

| 分類 | 固有周期 (s) * |
|-----|------------|
| 閉門時 | 0.0075 |
| 開門時 | 2.11 |

注記* : 計算過程を以下に示す。

(閉門時)

$$f = \frac{\pi^2}{2 \times \pi \times 1600^2} \sqrt{\frac{1.93 \times 10^5 \times 1.155 \times 10^8 \times 10^3}{0.46875}} = 133.843 \text{ Hz}$$

$$T = 1 \div 133.843 = 0.0075 \text{ s}$$

(開門時)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9806.65}{1108}} = 0.474 \text{ Hz}$$

$$T = 1 \div 0.474 = 2.11 \text{ s}$$

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価は, 添付書類「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. 評価部位」にて設定する評価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

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) は, 防潮壁(第2号機放水立坑)を横断する補機冷却海水系放水路の開口部に設置されるため, 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。また, 補機冷却海水系放水路を常時流下する放水の水圧は, 地震による扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しない。

(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

荷重の組合せを表 5-1 に, 扉体に作用する荷重の概念図を図 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

| 区分 | 荷重の組合せ |
|-----|--------------------|
| 地震時 | G + S _s |

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

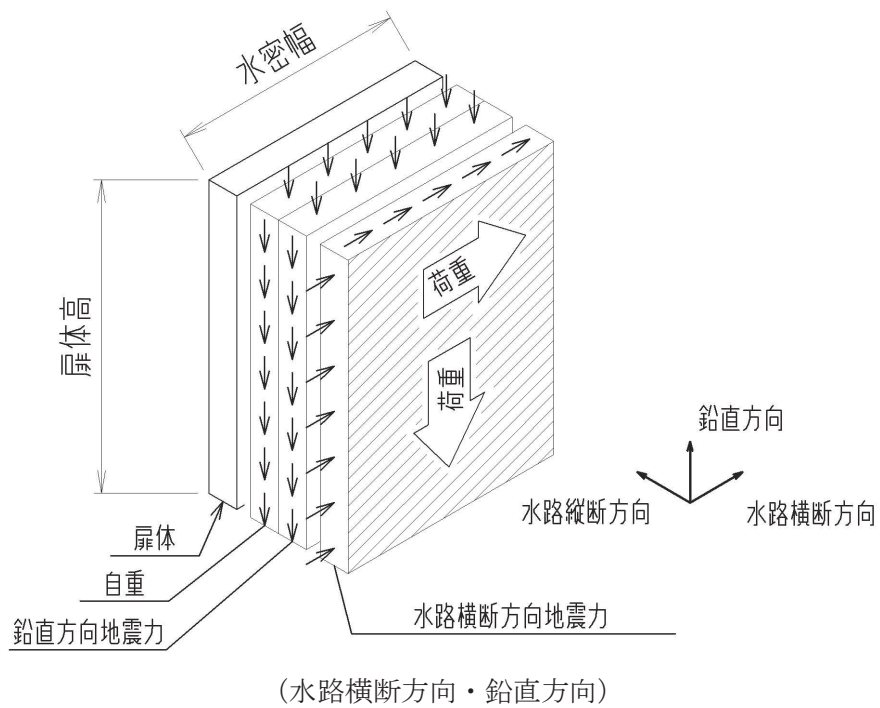
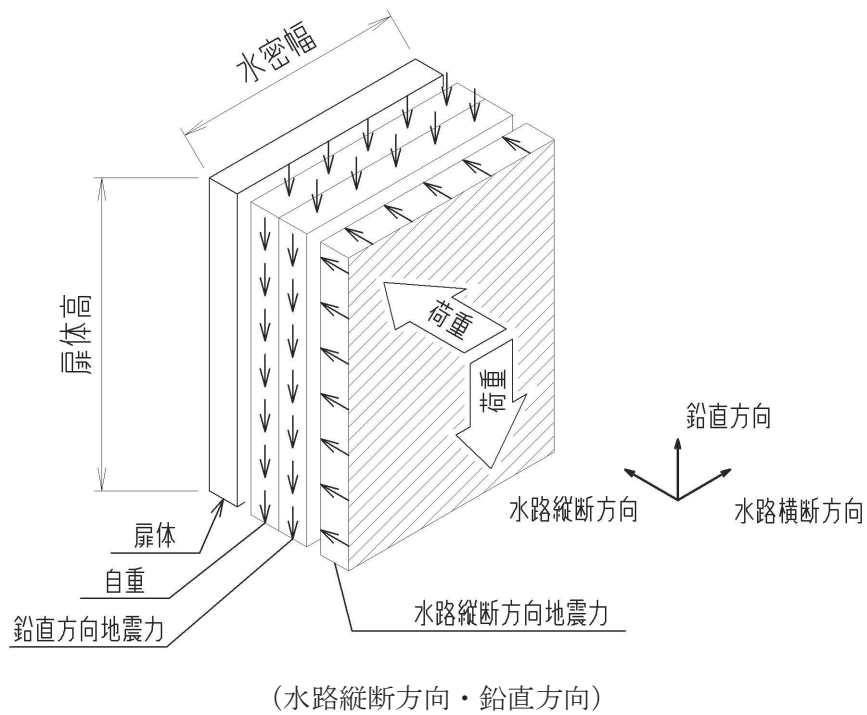


図 5-1 扉体に作用する荷重の概念図

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.3.1 使用材料

補機冷却海水系放水路逆流防止設備を構成するスキンプレート、主桁、補助縦桁、固定ボルトの使用材料を表 5-2 に示す。

表 5-2 使用材料

| 評価対象部位 | 材質 | 仕様 |
|----------|---------|---|
| スキンプレート | SUS316L | PL12mm |
| 主桁 | SUS316L | CH200×100×10×10 |
| 補助縦桁 | SUS316L | BT 200×75×6×6 (溶接構造) |
| ヒンジ | SUS316L | PL20mm×1 枚(連結部) PL16mm×2 枚(扉体部) PL16mm×2 枚(固定部) |
| ピン (回転軸) | SUS316L | φ 35mm |
| 戸当り | SUS316L | PL12mm (腹板) $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ (コンクリート) |
| アンカーボルト | SUS316L | 頭付きアンカーボルト (M20) |

5.3.2 許容限界

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会 平成 31 年)」に規定される許容応力度を用いる。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界を表 5-3 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件を表 5-4 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果を表 5-5 にそれぞれ示す。

表 5-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界

| 許容限界*1 | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| 曲げ | 引張 | せん断 | 支圧 |
| $1.5\sigma_{ab}^{*2}$ | $1.5\sigma_{at}^{*2}$ | $1.5\tau_a^{*2}$ | $1.5\sigma_{as}^{*2}$ |

注記 *1: 地震後, 津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し, 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, 設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

*2: 扉体の許容限界は, 「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会 平成 31 年)」に基づき, 短期許容応力度とする。短期許容応力度は, 鋼材又はコンクリートの許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

表 5-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件 (1/2)

| 評価部位 | 材料 | $\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm ²) | $\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm ²) | $\tau_a^{*1,2,3}$ (N/mm ²) | $\sigma_{as}^{*1,3}$ (N/mm ²) |
|-----------|---------|--|--|---|--|
| スキンプレート | SUS316L | 88 | — | — | — |
| 主桁 | SUS316L | 88 | — | 51 | — |
| 補助縦桁 | SUS316L | 88 | — | 51 | — |
| ヒンジ | SUS316L | 88 | 88 | 51 | — |
| ピン (回転軸) | SUS316L | 88 | — | 51 | — |
| 戸当り | SUS316L | — | 88 | — | — |
| 戸当りコンクリート | コンクリート | — | — | 0.40 | 5.9 |

注記 *1: σ_{ab} : 許容曲げ応力度, σ_{at} : 許容引張応力度, τ_a : 許容せん断応力度, σ_{as} : 許容支圧応力度を示す。

*2: 鋼材の各許容応力度の値は, 「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会 平成 31 年)」に基づく。

*3: コンクリートの許容応力度の値は, 「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) ((社) ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月)」に基づく。

表 5-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件 (2/2)

| 評価部位 | 材料 | $\sigma_Y^{*1,2}$ (N/mm ²) |
|---------|---------|---|
| アンカーボルト | SUS316L | 175 |

*1: σ_Y : 耐力を示す。

*2: アンカーボルトの耐力の値は, 「J I S G 4304 熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」に基づく。

表 5-5 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果 (1/2)

| 許容応力 状態 | 評価部位 | 短期許容応力度 | | | | |
|-------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|
| | | 曲げ (N/mm ²) | 引張/圧縮 (N/mm ²) | せん断 (N/mm ²) | 支圧 (N/mm ²) | 合成応力 (-) |
| 短期許容 応力度 | スキンプレート | 132 | — | — | — | — |
| | 主桁 | 125* ¹ | — | 76 | — | 1.1 |
| | 補助縦桁 | 125* ¹ | — | 76 | — | 1.1 |
| | ヒンジ | 132 | 132 | 76 | — | — |
| | ピン (回転軸) | 132 | — | 76 | — | 1.1 |
| | 戸当り | — | 132* ² | — | — | — |
| | 戸当り コンクリート | — | — | 0.6 | 8.8 | — |

注記 *1: 主桁, 補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は, 「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会 平成 31 年)」に基づき, 許容曲げ応力度横倒れ座屈に対する配慮として許容応力の低減を考慮し算出する。

*2: 戸当りの照査に用いる腹板の許容軸方向圧縮応力度は, 構造上躯体に固定されており座屈に対する許容応力度の低減検討が必要ないことから, 許容軸方向引張応力度の数値を使用する。

表 5-5 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果 (2/2)

| 評価部位 | 許容荷重 | |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 引張* ^{1, 2} (N) | せん断* ^{1, 2} (N) |
| アンカーボルト | 4.28×10^4 | 3.00×10^4 |
| コンクリートの コーン状破壊 | 1.89×10^5 | 1.19×10^5 |

注記 *1: アンカーボルトに対する許容引張力, 許容せん断力の許容値は, 「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 平成 26 年)」に基づき算出する。

*2: アンカーボルトの埋め込まれるコンクリートのコーン状破壊に対する許容せん断力は, 「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 平成 26 年)」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

設計震度は、添付書類「VI-2-10-2-3-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書」に示す鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における、ゲート固定部の最大応答加速度に基づき設定する。なお、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦は、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）を支持する断面で鋼製遮水壁（鋼板）の評価対象断面としている。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）と補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）は、構造仕様が同じで、応答加速度の観点からも支持する鋼製遮水壁（鋼板）は、構造や地盤条件に有意な差が無いため、鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦の応答加速度を用いた設計用地震力を用いた評価により、（No. 1）及び（No. 2）の評価を代表させる。

鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦の加速度応答を抽出した節点位置を図5-2に示す。

応答加速度は、「4. 固有周期」に示したとおり、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）の固有周期は、閉門時は固有周期が0.05s以下である一方、固定部の照査で考慮する開門時には固有周期が $T=2.12s$ と0.05s以上であることから、閉門時としてゲート固定部の最大応答加速度と、開門時として添付書類「V2-1-7 設計用床応答曲線の算定方針」に基づき作成した設計用床応答曲線より固有周期を考慮した最大応答加速度をそれぞれ算定する。設計用床応答曲線の作成に用いる解析コードは「波形処理プログラム k-WAVE for Windows ver. 6.2.0」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）と補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）は構造仕様及び設計津波水位が同じとなっている。

地震応答解析ケースを表5-6に、地震応答解析結果を表5-7に、開門時に参照する設計用床応答曲線を図5-3に示す。

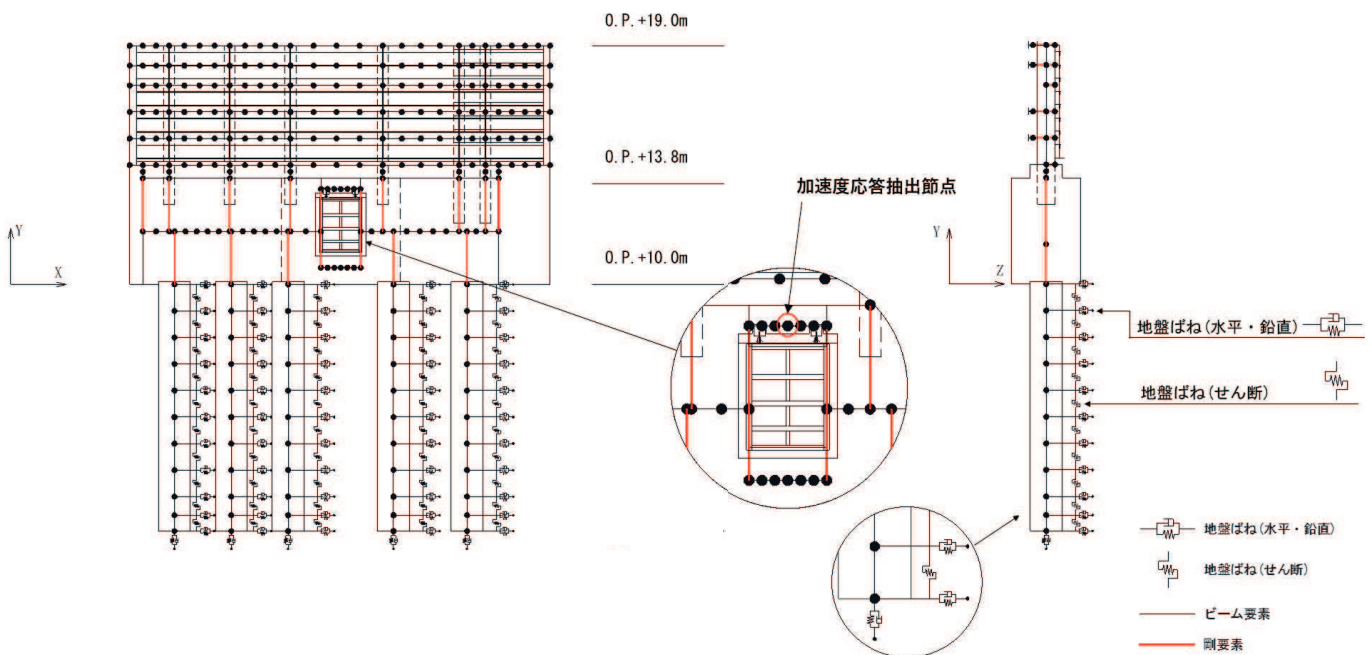


図5-2 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置

表 5-6 鋼製遮水壁（鋼板） 断面⑦の地震応答解析ケース（加速度応答抽出）

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ | ケース④ | |
|---------|---------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース | 材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース | |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値+1 σ | 平均値-1 σ | 平均値 | |
| 材料物性 | | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 設計基準強度 | 実強度に基づく圧縮強度*3 | |
| 地震動（位相） | S _s -D 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -D 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -D 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -F 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -F 2 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -F 3 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |
| | S _s -N 1 | ++*1 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | -+*1,2 | ○ | - | - | - |

注記*1：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：位相反転ケース（-+）については，構造的に位相の影響は小さいため影響確認の位置付けとし，ケース②～④は（++）に対してのみ実施する。

*3：新設構造物のため推定した圧縮強度とする。

表 5-7 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における地震応答解析結果

| 分類 | 最大応答加速度 (cm/sec ²) | | |
|-----|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | 水平方向 (水路縦断方向) | 水平方向 (水路横断方向) | 鉛直方向 |
| 閉門時 | 2524.8 (Ss-D2(++), ケース③) | 1344.0 (Ss-D2(++), ケース③) | 678.7 (Ss-D2(++), ケース③) |
| 開門時 | 512.4 (Ss-F2(++), ケース①) | — | — |

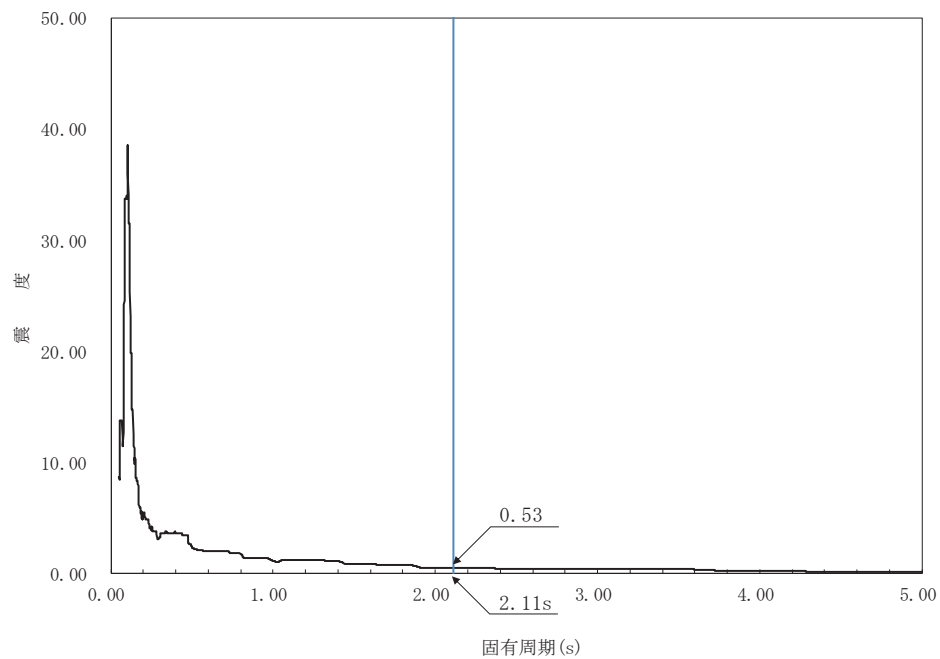


図5-3 鋼製遮水壁（鋼板）（断面⑦）における設計用床応答曲線

以上より、固定部の評価においては、「開門時」より震度の大きくなった「閉門時」における設計震度を応力評価に考慮する。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2）の設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-8 設計震度

| 設備名称 | 地震動 | 解析ケース | 設置場所及び 床面高さ (m) | 設計震度* | |
|----------------------|----------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------|-----|
| | | | | | |
| 補機冷却海水系放 水路逆流防止設備 | S _s -D2 (++) | ケース③ | 防潮壁 (第2号機放水立坑) (図5-2参照) | 水平方向K _H (縦断) | 2.6 |
| | S _s -D2 (++) | ケース③ | | 水平方向K _{HX} (横断) | 1.4 |
| | S _s -D2 (++) | ケース③ | | 鉛直方向K _V | 0.7 |

注記*：最大応答加速度を考慮した設計震度（最大応答加速度/980.665cm/s²）として設定

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

スキンプレートに発生する曲げ応力は、「水門鉄管技術基準水門扉編（（社）水門鉄管協会 平成31年）」に基づき、4辺を固定支持された平板としてモデル化し、曲げ応力を算定する。

スキンプレートのモデル図及び応力算定式を図5-4に示す。

$$\sigma = \frac{k \cdot a_1^2 \cdot P}{100 \cdot t_1^2}$$

σ : 板に生じる最大応力度 (N/mm²)

k : 辺長比 (b_1/a_1) による係数

a_1 : スキンプレートの短辺 (mm)

b_1 : スキンプレートの長辺 (mm)

P : スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 (N/mm²)

t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

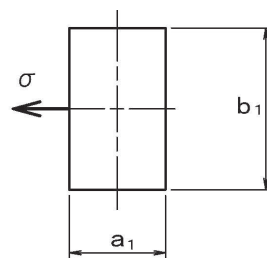
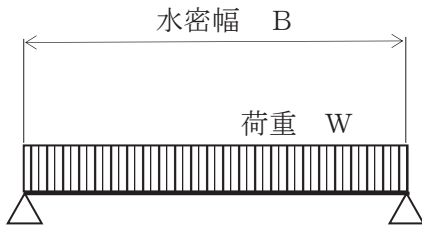


図5-4 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.2 主桁

主桁に発生する断面力は、側部水密ゴムの位置を支点とする両端ピン支点の単純梁によりモデル化し、算定する。主桁のモデル図を図5-5に示す。

なお、各主桁が分担する荷重は「水門・樋門ゲート設計要領（案）（（社）ダム・堰施設技術協会 平成13年12月）」に基づき、図5-6に示す方法により算出する。



$$W = R \cdot B$$

$$M_{Max} = \frac{W \cdot B}{8}$$

$$S_{Max} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{Max}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{Max}}{A_{w2}}$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}}{\sigma_a}$$

- W : 主桁に加わる地震による荷重 (N)
- R : 主桁に加わる地震による線荷重 (N/mm)
- M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S_{Max} : 最大せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力 (N/mm²)
- τ : せん断応力 (N/mm²)
- κ : 合成応力度
- σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)
- B : 水密幅 (mm)
- Z_2 : 主桁の断面係数 (mm³)
- A_{w2} : 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図5-5 主桁のモデル図及び応力算定式

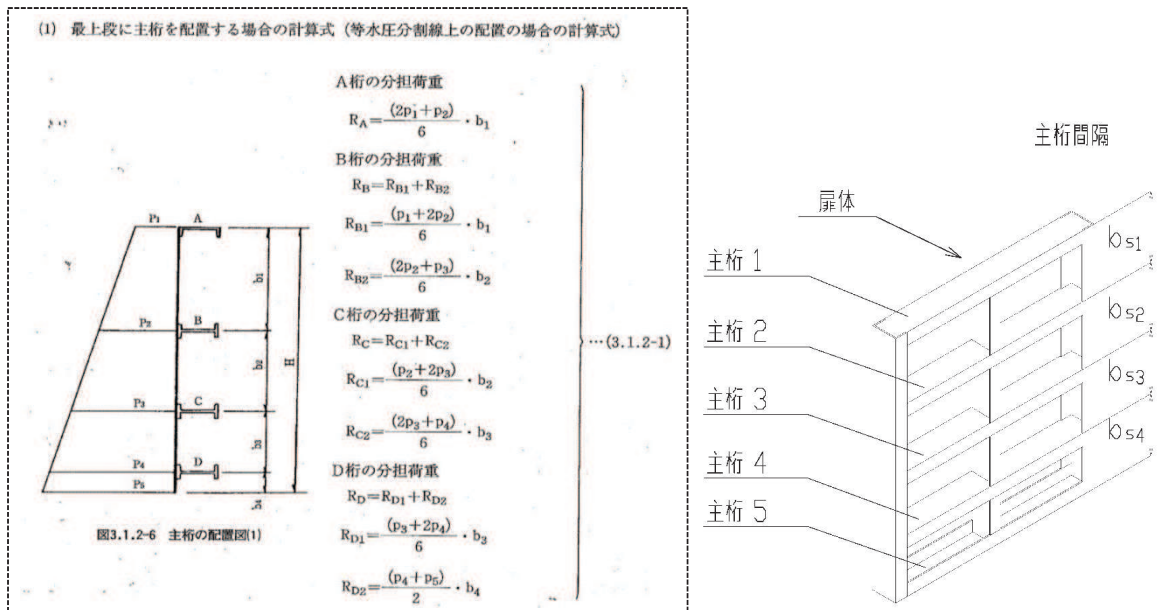


図5-6 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「水門・樋門ゲート設計要領（案）（（社）ダム・堰施設技術協会 平成 13 年 12 月）」より引用

上記算定式を本ゲートの構造に照らし合わせて主桁 1～5 がそれぞれ分担する線荷重 $R_1 \sim R_5$ を求める式を得る。

$$\text{主桁 1 : } R_1 = \frac{2 \times q_{s1} + q_{s2}}{6} b_{s1}$$

$$\text{主桁 2 : } R_2 = \frac{q_{s1} + 2 \times q_{s2}}{6} b_{s1} + \frac{2 \times q_{s2} + q_{s3}}{6} b_{s2}$$

$$\text{主桁 3 : } R_3 = \frac{q_{s2} + 2 \times q_{s3}}{6} b_{s2} + \frac{2 \times q_{s3} + q_{s4}}{6} b_{s3}$$

$$\text{主桁 4 : } R_4 = \frac{q_{s3} + 2 \times q_{s4}}{6} b_{s3} + \frac{2 \times q_{s4} + q_{s5}}{6} b_{s4}$$

$$\text{主桁 5 : } R_5 = \frac{q_{s4} + 2 \times q_{s5}}{6} b_{s4}$$

b_{s1} : 主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 (mm)
 b_{s2} : 主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 (mm)
 b_{s3} : 主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 (mm)
 b_{s4} : 主桁 4, 主桁 5 の桁間隔 (mm)
 q_{s1} : 主桁 1 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s2} : 主桁 2 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s3} : 主桁 3 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s4} : 主桁 4 での発生圧力 (N/mm²)
 q_{s5} : 主桁 5 での発生圧力 (N/mm²)

5.5.3 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が菱形に作用したものとして、「水門鉄管技術基準水門扉編（（社）水門鉄管協会、平成 31 年）」に基づき曲げ応力及びせん断応力を算定する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 5-7 に示す。

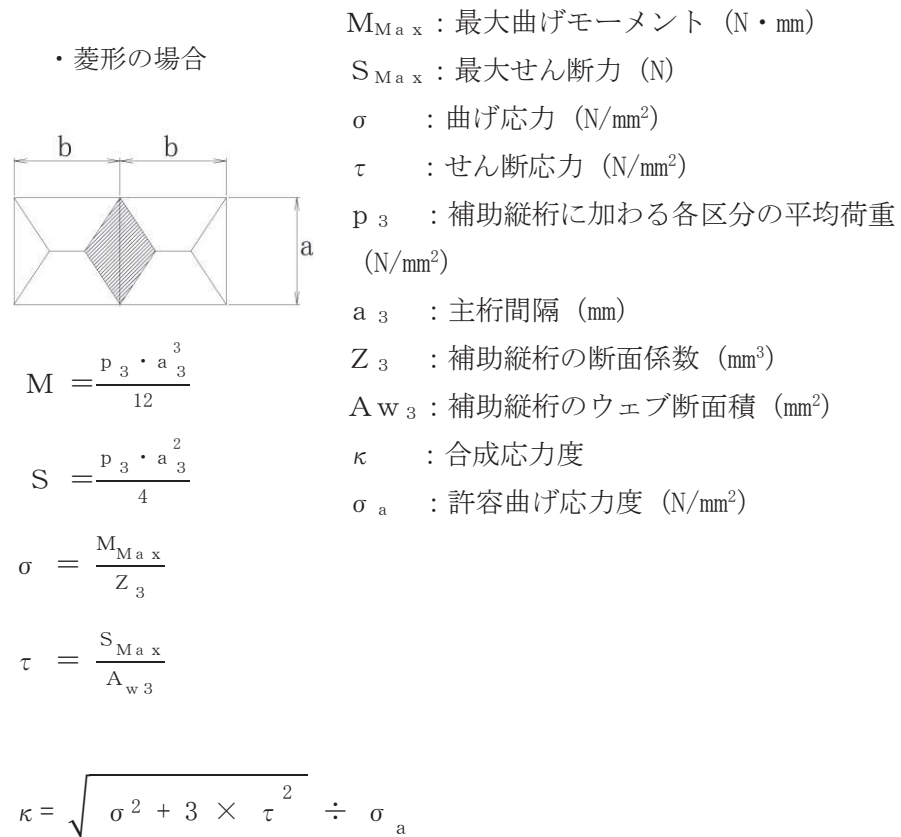


図 5-7 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

5.5.4 ヒンジ部

ヒンジ部の構造概要を図5-8に、ヒンジに作用する荷重の計算モデルを図5-9に示す。ヒンジ部の評価は、「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）（(社)ダム・堰施設技術協会 平成28年3月）」のピン接合として、ピン（回転軸）、ヒンジ及びアンカーボルトについて評価を行う。

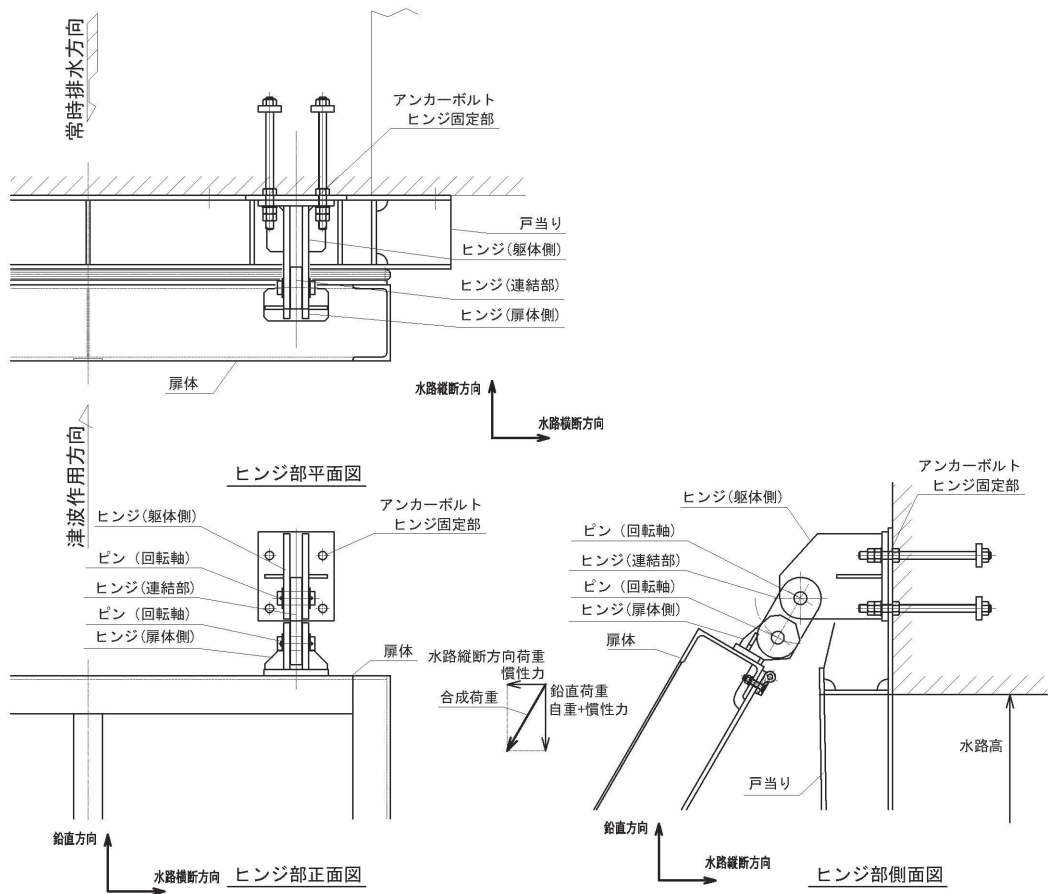
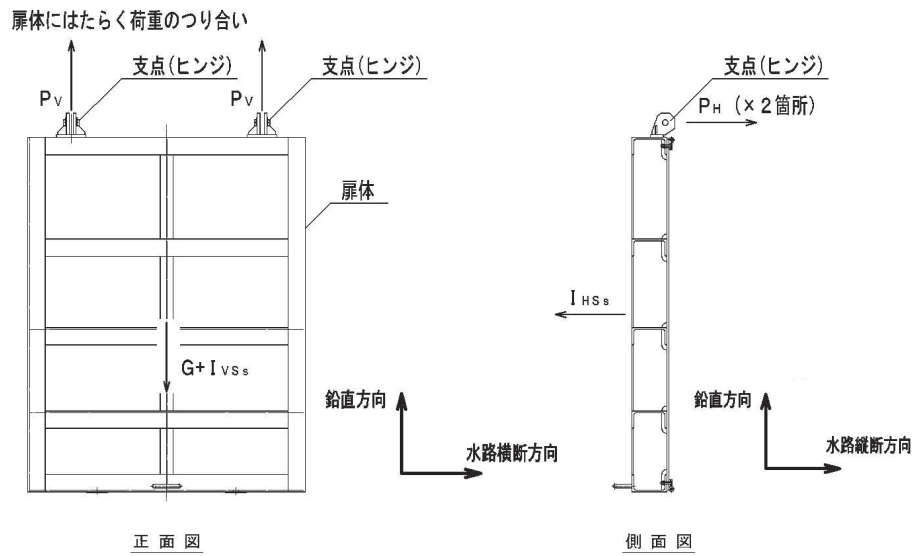


図5-8 ヒンジ部の構造概要



$$P_H = I_{HS_s} \div 2$$

$$P_V = (G + I_{VS_s}) \div 2$$

$$I_{HS_s} = G \times K_H$$

$$I_{VS_s} = G \times K_V$$

ここに、

P_H : ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N)

I_{HS_s} : 水路縦断方向地震荷重 (N)

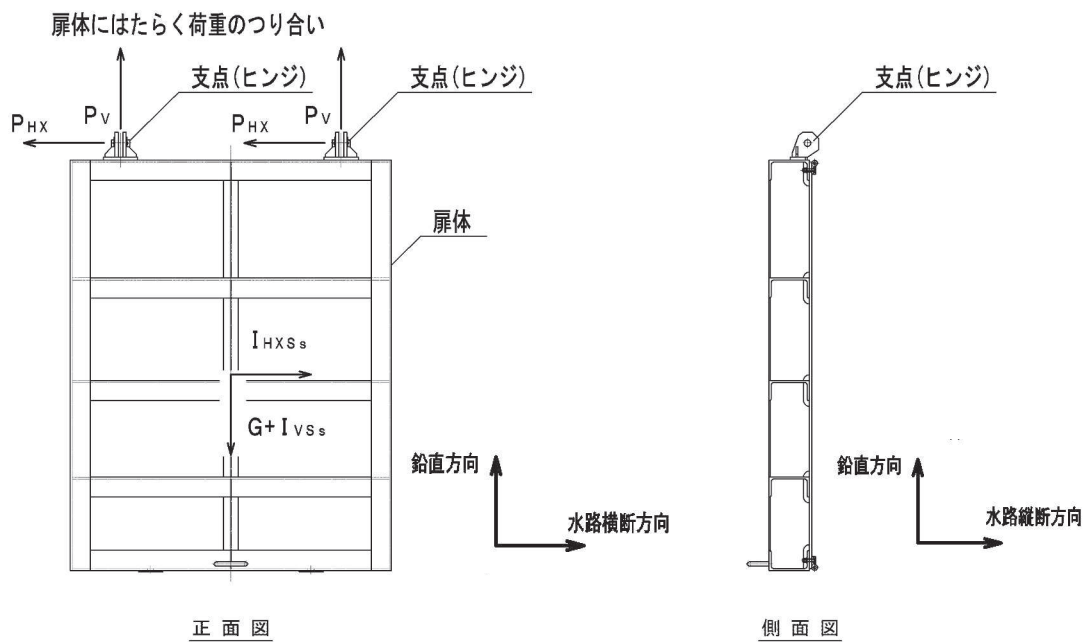
G : 扉体自重 (N)

I_{VS_s} : 鉛直方向地震荷重 (N)

K_H : 基準地震動 S_s による水路縦断方向設計震度

K_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向設計震度

図 5-9 ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル (1/2)
(水路縦断方向・鉛直方向)



$$P_{HX} = I_{HXS_s} \div 2$$

$$P_V = (G + I_{VS_s}) \div 2$$

$$I_{HXS_s} = G \times K_{HX}$$

$$I_{VS_s} = G \times K_V$$

ここに、

P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N)

I_{HXS_s} : 水路横断方向方向地震荷重 (N)

G : 扉体自重 (N)

I_{VS_s} : 鉛直方向地震荷重 (N)

K_{HX} : 基準地震動 S_s による水路横断方向設計震度

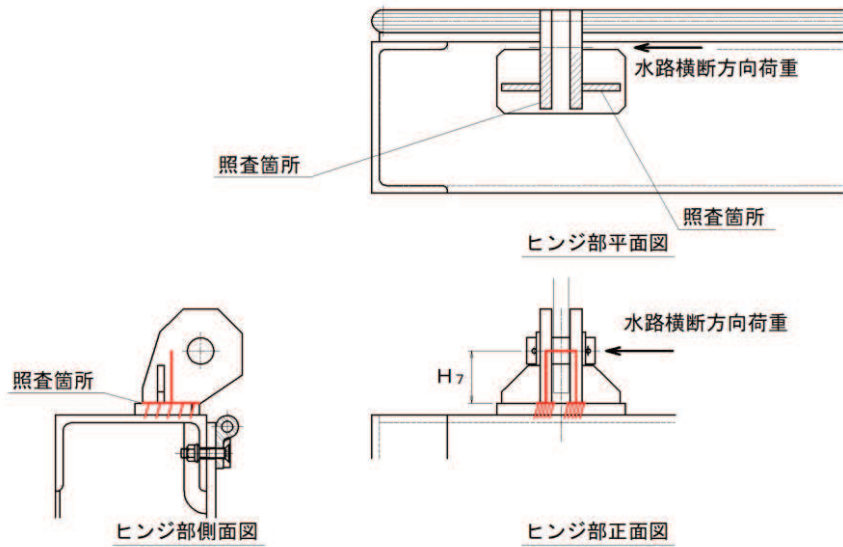
K_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向設計震度

図 5-9 ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル (2/2)

(水路横断方向・鉛直方向)

(1) ヒンジ（扉体側）

ヒンジ（扉体側）に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。ヒンジ（扉体側）のモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$M = P_{HX} \times H_7$$

$$S = P_{HX}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z_7}$$

$$\tau = \frac{S}{A_7}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重 (N)

Z_7 : ヒンジ（扉体側）の断面係数 (mm³)

A_7 : ヒンジ（扉体側）の断面積 (mm²)

H_7 : ヒンジ（扉体側）の照査部位からピン穴までの鉛直距離 (mm)

M : 曲げモーメント (N・mm)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

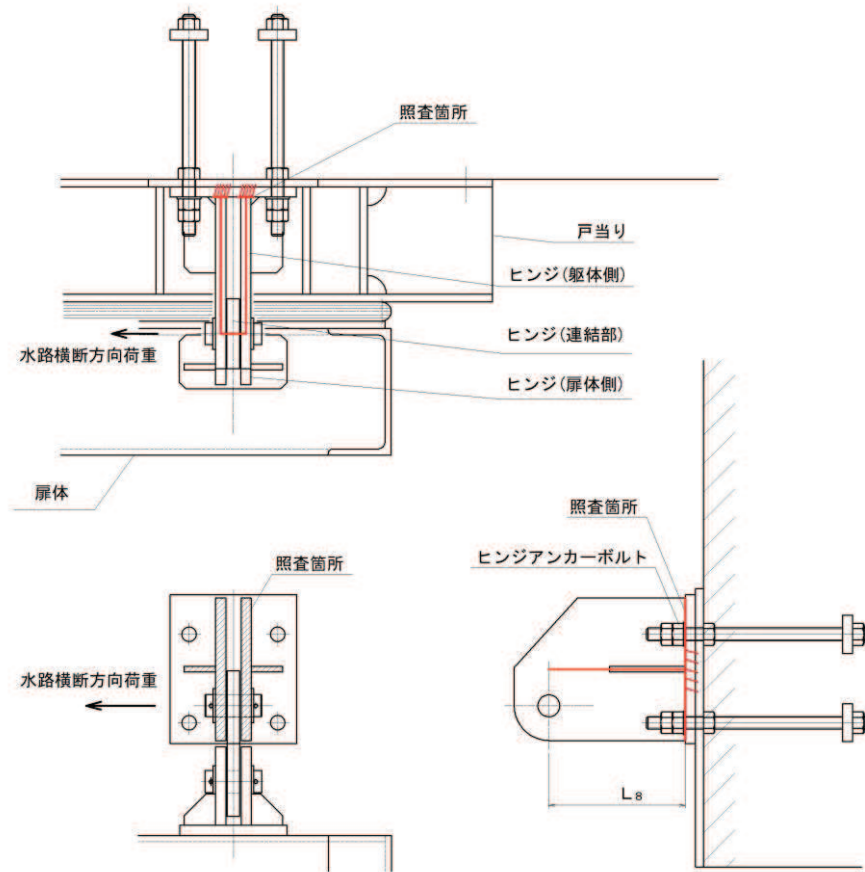
κ : 合成応力度

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図5-10 ヒンジ（扉体側）の構造概要及び応力算定式

(2) ヒンジ（躯体側）

ヒンジ（躯体側）に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。ヒンジ（躯体側）のモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$M = P_{HX} \times L_8$$

$$S = P_{HX}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z_8}$$

$$\tau = \frac{S}{A_8}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N)

Z_8 : ヒンジ（躯体側）の断面係数 (mm³)

A_8 : ヒンジ（躯体側）の断面積 (mm²)

L_8 : ヒンジ（躯体側）の照査部位からピン穴までの水平距離 (mm)

M : 曲げモーメント (N・mm)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

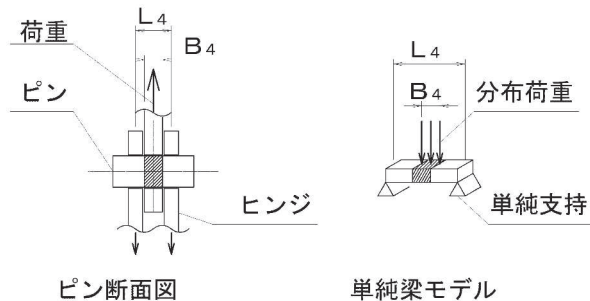
τ : せん断応力度 (N/mm²)

κ : 合成応力度

図5-11 ヒンジ（躯体側）の構造概要及び応力算定式

(3) ピン (回転軸)

ピン (回転軸) に発生する曲げ応力度, せん断応力度, 合成応力度が, 許容限界以下となることを確認する。ピンのモデル図及び応力算定式を図5-12に示す。



$$M_H = \frac{P_H \times (2 \times L_4 - B_4)}{8}$$

$$M_V = \frac{P_V \times (2 \times L_4 - B_4)}{8}$$

$$S_H = \frac{P_H}{2}$$

$$S_V = \frac{P_V}{2}$$

$$\sigma_H = \frac{M_H}{Z_4}$$

$$\sigma_V = \frac{M_V}{Z_4}$$

$$\tau_H = \frac{S_H}{A_4}$$

$$\tau_V = \frac{S_V}{A_4}$$

$$\Sigma |\sigma| = |\sigma_H| + |\sigma_V|$$

$$\Sigma |\tau| = |\tau_H| + |\tau_V|$$

$$\kappa = \sqrt{\Sigma |\sigma|^2 + 3 \times \Sigma |\tau|^2} \div \sigma_a$$

ここに,

P_H : ヒンジ1箇所への水路縦断方向荷重

P_V : ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重

Z_4 : ピンの断面係数 (mm^3)

A_4 : ピンの断面積 (mm^2)

L_4 : ピンの支点間長さ (mm)

B_4 : ピンの分布荷重載荷長 (mm)

M_H : 水路縦断方向荷重による曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

M_V : 鉛直方向荷重による曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S_H : 水路縦断方向荷重によるせん断力 (N)

S_V : 鉛直方向荷重によるせん断力 (N)

σ_H : 水路縦断方向荷重による曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_V : 鉛直方向荷重による曲げ応力度 (N/mm^2)

τ_H : 水路縦断方向荷重によるせん断応力度 (N/mm^2)

τ_V : 鉛直方向荷重によるせん断応力度 (N/mm^2)

$\Sigma |\sigma|$: 曲げ応力度の合計値 (N/mm^2)

$\Sigma |\tau|$: せん断応力度の合計値 (N/mm^2)

κ : 合成応力度

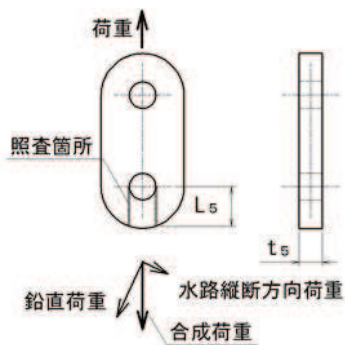
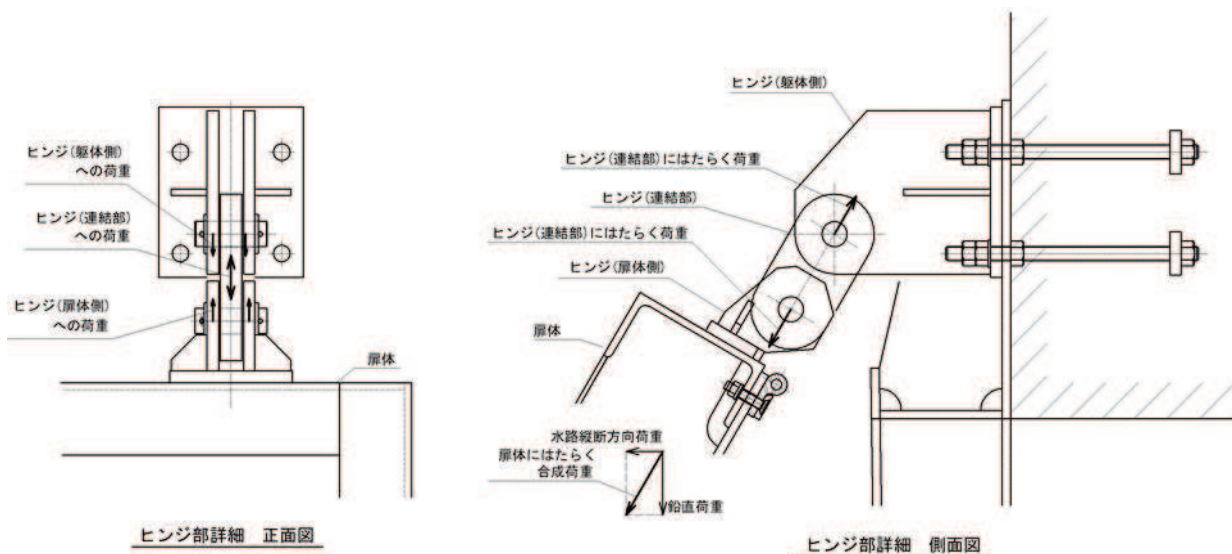
σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

図5-12 ピン (回転軸) の構造概要及び応力算定式

(4) ヒンジ (連結部)

a. 引張

ヒンジの扉体部側及び固定部側とその連結部のうち、作用荷重が最も大きくなる連結部のピン穴周りのせん断応力度が、許容限界以下となることを確認する。連結部のピン穴周りのせん断応力度のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す。



$$\tau = \frac{\sqrt{P_H^2 + P_V^2}}{2 \times L_5 \times t_5}$$

ここに、

P_H : ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重 (N)

t_5 : ヒンジ (連結部) の板厚 (mm)

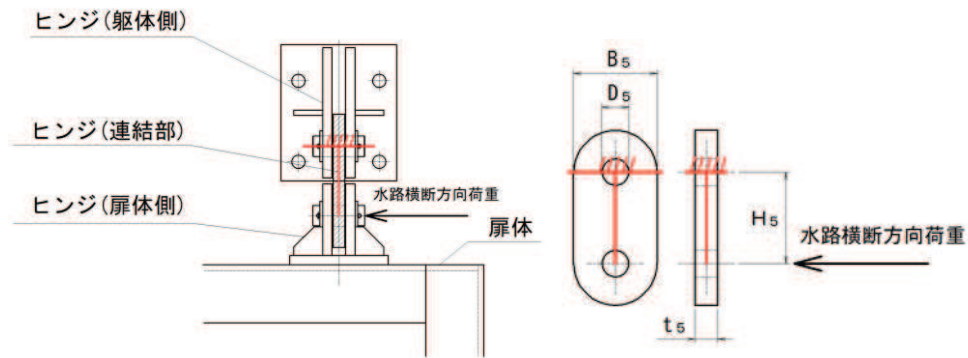
L_5 : ピン穴周りの端抜けせん断長さ (mm)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

図5-13 ヒンジ (連結部) の構造概要及びせん断応力算定式

b. 曲げ・せん断

ヒンジ（連結部）に水路横断方向荷重が作用した際の曲げ応力度，せん断応力度及び合成応力度が，許容限界以下となることを確認する。連結部の発生応力度のモデル図及び応力算定式を図5-14に示す。



$$\sigma = \frac{P_{HX} \times H_5}{(B_5 - D_5) \times t_5^2 \div 6}$$

$$\tau = \frac{P_{HX}}{(B_5 - D_5) \times t_5}$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a$$

ここに，

P_{HX} : ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重 (N)

B_5 : ヒンジ (連結部) の板幅 (mm)

D_5 : ヒンジ (連結部) のピン穴の直径 (mm)

H_5 : ヒンジ (連結部) のピン穴の距離 (mm)

t_5 : ヒンジ (連結部) の板厚 (mm)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

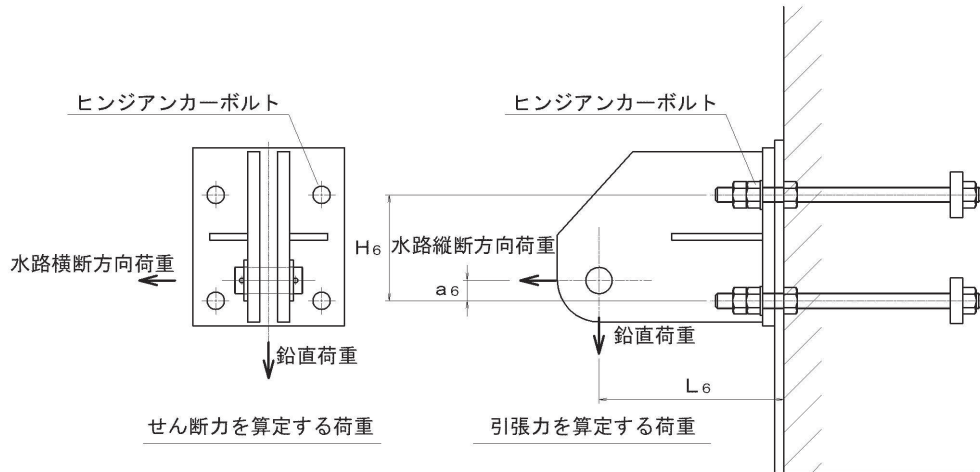
κ : 合成応力度

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図5-14 ヒンジ（連結部）の構造概要及びせん断応力算定式

(5) アンカーボルト

アンカーボルトは「各種合成構造設計指針・同解説」に従い、アンカーボルトに発生する引張力、せん断力及びコンクリートのコーン状破壊が、許容限界以下となることを確認する。アンカーボルトのモデル図及び応力算定式を図5-15に示す。



$$P_6 = |P_H| \times \frac{a_6}{H_6} \div 2 + |P_V| \times \frac{L_6}{H_6} \div 2$$

$$Q_6 = \sqrt{|P_V|^2 + |P_{HX}|^2} \div 4$$

ここに、

P_H : ヒンジ1箇所への水路縦断方向荷重 (N)

P_V : ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重 (N)

P_{HX} : ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重 (N)

P_6 : アンカーボルト1本にはたらく引張力 (N)

Q_6 : アンカーボルト1本にはたらくせん断力 (N)

L_6 : アンカーボルト基部からピン穴中心の水平方向長さ (mm)

H_6 : 鉛直方向アンカーボルト間距離 (mm)

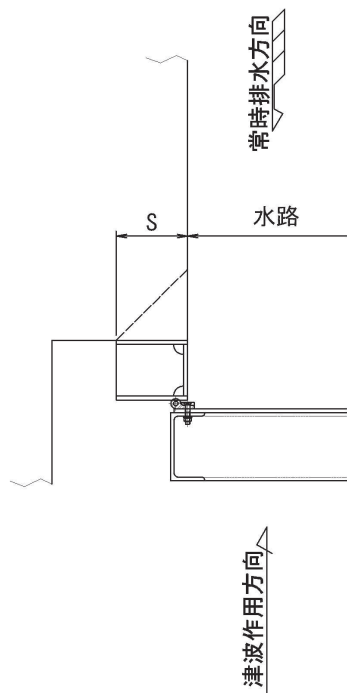
a_6 : アンカーボルトからピン穴中心までの鉛直方向長さ (mm)

図5-15 アンカーボルトの構造概要及び応力算定式

5.5.5 戸当りコンクリート

戸当りコンクリートは、「水門鉄管技術基準 水門扉編（社）水門鉄管協会 平成 31 年」に基づき、扉体の下端からコンクリートに加わる圧力を戸当り全幅で支持するものとして、支圧応力及びせん断応力を評価する。

戸当り部コンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5-16 に示す。



コンクリートの支圧応力度

$$\sigma_{bk} = \frac{q_b \times B}{2 \times S}$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_c = \frac{q_b \times B}{2 \times 2 \times S}$$

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 扉体水密幅 (mm)

S : 戸当り幅 (mm)

σ_{bk} : コンクリート支圧応力度 (N/mm²)

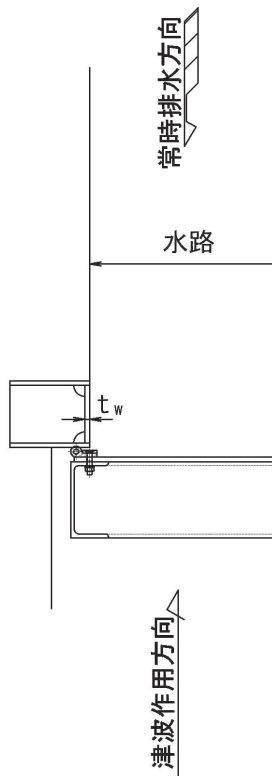
τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

図 5-16 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

5.5.6 戸当り

戸当りの腹板は、「水門鉄管技術基準 水門扉編（（社）水門鉄管協会 平成 31 年）」に基づき、扉体からコンクリートに加わる最大圧力を戸当りで負担するものとして、戸当り腹板の圧縮応力を評価する。

戸当りのモデル図及び応力算定式を図 5-17 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

$$\sigma_{bw} = \frac{q_b \cdot B}{2 \cdot t_w}$$

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

B : 水密幅 (mm)

t_w : 戸当り腹板の板厚 (mm)

σ_{bw} : 戸当り腹板の圧縮応力度 (N/mm²)

図 5-17 戸当りのモデル図及び応力算定式

5.6 計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の応力評価に用いる計算条件を表5-9に示す。

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (1/3)

| | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, ヒンジ及びピン (回転軸) の材質 | 固定荷重 (扉体の自重) G (N) | 扉体高 H_p (mm) | 水の単位体積重量 W_o (N/mm ³) |
| SUS316L | 7.355×10^3 | 2.040×10^3 | 1.01×10^{-5} |
| スキンプレートの辺長比 (b_1/a_1) による係数 k | スキンプレートの短辺 a_1 (mm) | スキンプレートの長辺 b_1 (mm) | スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 P (N/mm ²) |
| 42.74 | 585 | 800 | 2.44×10^{-3} |
| スキンプレートの板厚 t_1 (mm) | 主桁に加わる扉体自重による荷重 W (N) | 水密幅 B (mm) | 主桁の断面係数 Z_2 (mm ³) |
| 12 | 5.13×10^3 | 1.570×10^3 | 2.3100×10^5 |
| 主桁のウェブ断面積 A_{w2} (mm ²) | 主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 b_{s1} (mm) | 主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 b_{s2} (mm) | 主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 b_{s3} (mm) |
| 1.8000×10^3 | 585 | 510 | 480 |

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (2/3)

| | | | |
|---|---------------------------------------|---|---|
| 主桁 4, 主桁 5 の 桁間隔 b_{s4} (mm) | 主桁圧縮フランジの 固定間隔 L_{s1} (mm) | 主桁 1 での発生圧力 q_{s1} (N/mm ²) | 主桁 2 での発生圧力 q_{s2} (N/mm ²) |
| 465 | 800 | 5.97×10^{-3} | 5.97×10^{-3} |

| | | | |
|---|---|---|--------------------------------|
| 主桁 3 での発生圧力 q_{s3} (N/mm ²) | 主桁 4 での発生圧力 q_{s4} (N/mm ²) | 主桁 5 での発生圧力 q_{s5} (N/mm ²) | 補助縦桁の 主桁間隔 a_3 (mm) |
| 5.97×10^{-3} | 5.97×10^{-3} | 5.97×10^{-3} | 585 |

| | | | |
|--|---|---|--|
| 補助縦桁の断面係数 Z_3 (mm ³) | 補助縦桁の ウェブ断面積 A_{w3} (mm ²) | 補助縦桁に加わる 各区分の平均荷重 p_3 (N/mm ²) | ピンの断面係数 Z_4 (mm ³) |
| 5.5232×10^4 | 1.1640×10^3 | 5.97×10^{-3} | 4.2092×10^3 |

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| ピンの断面積 A_4 (mm ²) | ピンの支点間長さ L_4 (mm) | ピンの分布荷重 載荷長 B_4 (mm) | ヒンジ (連結部) の 板厚 t_5 (mm) |
| 9.6211×10^2 | 50 | 30 | 30 |

| | | | |
|--|--|-------------------------------------|--|
| ヒンジ (連結部) の 端抜けせん断長さ L_5 (mm) | アンカーボルト基部 からピン穴中心の 水平方向長さ L_6 (mm) | 鉛直方向アンカー ボルト間距離 H_6 (mm) | アンカーボルトから ピン穴中心までの 鉛直方向長さ a_6 (mm) |
| 52.057 | 244 | 140 | 27 |

表 5-9 応力評価に用いる計算条件 (3/3)

| | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| アンカーボルトの コンクリートへの 有効埋め込み長さ l_e (mm) | 頭付きアンカー ボルト頭部の直径 D_A (mm) | 水平方向アンカー ボルト間距離 a_P (mm) | アンカーボルトの へりあき寸法 c (mm) |
| 220 | 60 | 140 | 228 |

| | | | |
|--|---------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 扉体への地震による 最大分布荷重 q_b (N/mm ²) | 戸当り幅 S (mm) | 戸当り腹板の板厚 t_w (mm) | ヒンジ (連結部) の 板幅 B_5 (mm) |
| 5.97×10^{-3} | 210 | 12 | 110 |

| | | | |
|--|--|--|--|
| ヒンジ (連結部) の ピン穴の直径 D_5 (mm) | ヒンジ (連結部) の ピン穴の距離 H_5 (mm) | ヒンジ (扉体側) の 照査部位からピン穴 までの鉛直距離 H_7 (mm) | ヒンジ (扉体側) の 断面係数 Z_7 (mm ³) |
| 35.5 | 120 | 96 | 5.7425×10^4 |

| | | | |
|---|--|--|---|
| ヒンジ (扉体側) の 断面積 A_7 (mm ²) | ヒンジ (躯体側) の 照査部位からピン穴 までの水平距離 L_8 (mm) | ヒンジ (躯体側) の 断面係数 Z_8 (mm ³) | ヒンジ (躯体側) の 断面積 A_8 (mm ²) |
| 3.3000×10^3 | 216 | 9.4804×10^4 | 8.1000×10^3 |

6. 評価結果

補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2）の扉体部及び固定部の評価結果を表6-1に、評価部位の最大照査値発生位置を図6-1～図6-3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 耐震評価結果（補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2））（1/2）

| 評価部位 | 地震力方向 | 応力成分 | 応力度 又は荷重 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a / b) |
|--------------|----------------|--------------------------------|--------------------|-------------|----------------|
| スキンプレート | 水路縦断方向 | 最大応力度 (N/mm ²) | 2.5 | 132 | 0.02 |
| 主桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 4.4 | 125 | 0.04 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 1.5 | 76 | 0.02 |
| | — | 合成応力度 | 0.05 | 1.1 | 0.05 |
| 補助縦桁 | 水路縦断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 1.9 | 125 | 0.02 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.5 | 76 | 0.01 |
| | — | 合成応力度 | 0.02 | 1.1 | 0.02 |
| ヒンジ(扉体側) | 水路横断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 8.7 | 132 | 0.07 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 1.6 | 76 | 0.03 |
| | | 合成応力度 | 0.07 | 1.1 | 0.07 |
| ヒンジ(躯体側) | 水路横断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 11.8 | 132 | 0.09 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.7 | 76 | 0.01 |
| | | 合成応力度 | 0.09 | 1.1 | 0.09 |
| ピン | 水路縦断方向 鉛直方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 32.9 | 132 | 0.25 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 8.3 | 76 | 0.11 |
| | | 合成応力度 | 0.28 | 1.1 | 0.26 |
| ヒンジ (連結部) | 水路縦断方向 鉛直方向 | せん断応力度 (N/mm ²) | 3.7 | 76 | 0.05 |
| | 水路横断方向 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 55.3 | 132 | 0.42 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 2.4 | 76 | 0.04 |
| | | 合成応力度 | 0.42 | 1.1 | 0.39 |

表 6-1 耐震評価結果（補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1），（No. 2））（2/2）

| 評価部位 | 地震力方向 | 応力成分 | 応力度 又は荷重 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a / b) |
|----------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| アンカーボルト | 水路縦断方向 鉛直方向 | 引張力 (N) | 6.37×10^3 | 4.28×10^4 | 0.15 |
| | 水路横断方向 鉛直方向 | せん断力 (N) | 2.03×10^3 | 3.00×10^4 | 0.07 |
| アンカーボルト (コンクリートのコーン状破壊) | 水路縦断方向 鉛直方向 | 引張力 (N) | 6.37×10^3 | 1.89×10^5 | 0.04 |
| | 水路横断方向 鉛直方向 | せん断力 (N) | 2.03×10^3 | 1.19×10^5 | 0.02 |
| 戸当り コンクリート | 水路縦断方向 | 支圧応力度 (N/mm ²) | 0.03 | 8.8 | 0.01 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 0.02 | 0.6 | 0.04 |
| 戸当り | 水路縦断方向 | 圧縮応力度 (N/mm ²) | 0.4 | 132 | 0.01 |

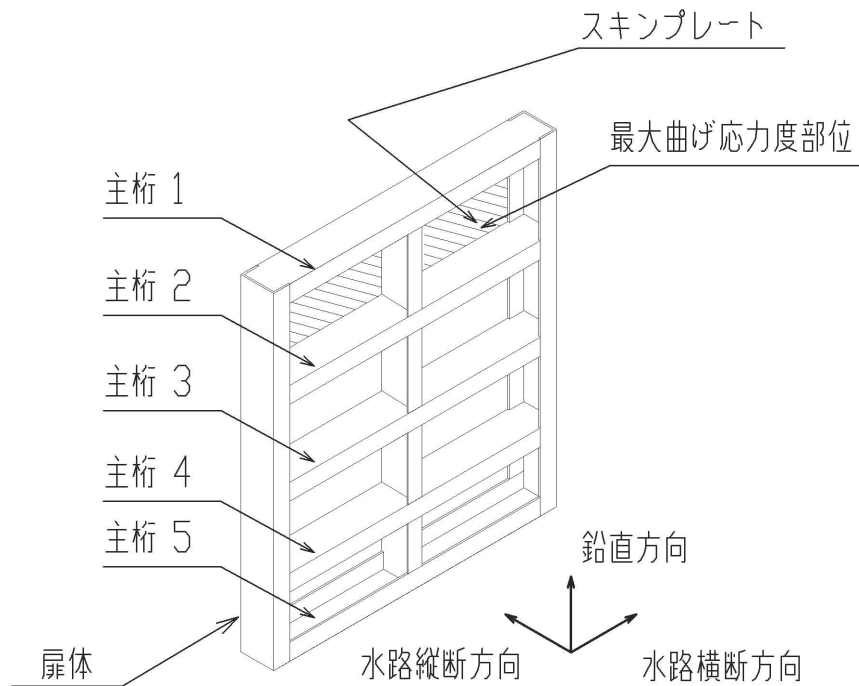


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

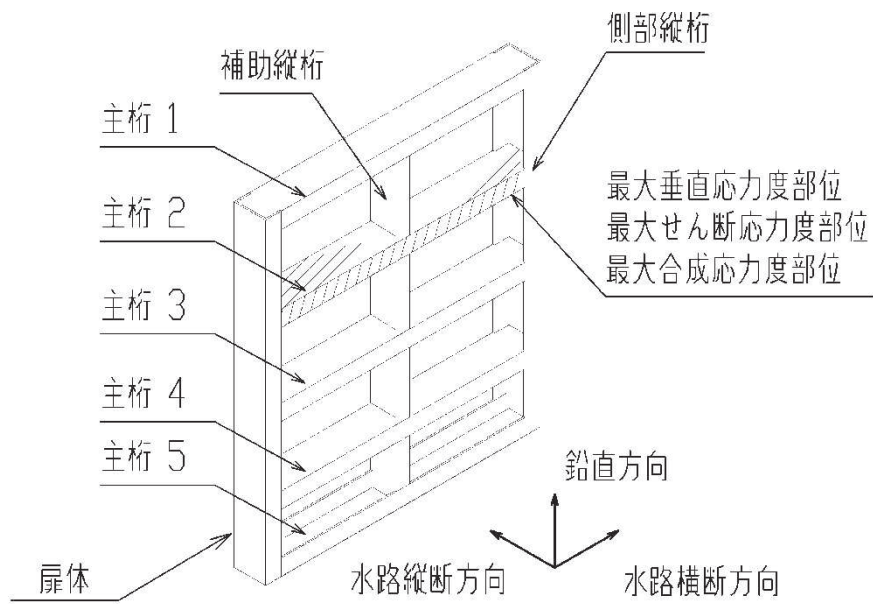


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

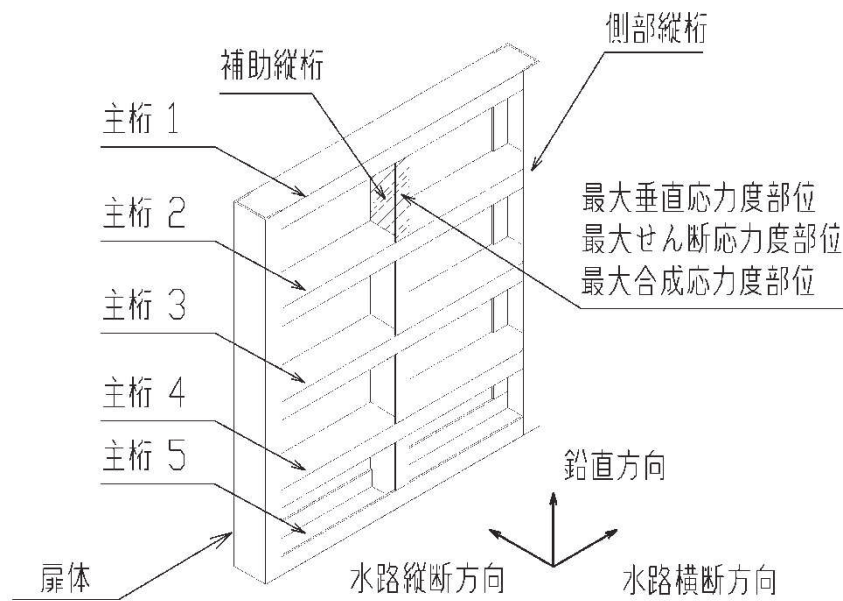


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置