

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 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 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

表 5.2-2 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体自重	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		—	静止土圧は考慮しない。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		—	積雪荷重は考慮しない。
	風荷重		—	風荷重は考慮しない。
偶発荷重		水平地震動	○	基準地震動 S_s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
		鉛直地震動	○	
		動水圧	—	動水圧は考慮しない。

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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界を表 5.3-1、表 5.3-5、表 5.3-8 及び表 5.3-9 に示す。また、計算諸元を表 5.3-2～表 5.3-4 及び表 5.3-6～表 5.3-7 に示す。

なお、地震後の再使用性を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、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 5.3-1 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	SUS304	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。

*3：補助縦桁，中央支柱及び中央横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する。

（補助縦桁の許容応力）

補助縦桁の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-2 に示す。

表 5.3-2 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	400	mm
b	圧縮フランジ幅	75	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	2160	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	1500	mm ²

よって,

$$A_w/A_c = 2160/1500 = 1.44 \quad \therefore A_w/A_c < 2$$

ここで、係数Kについては $A_w/A_c < 2$ の場合 $K = 2$ であることから、

$$K = 2$$

$$10/K = 10/2 = 5$$

$$L/b = 400/75 = 5.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$(\sigma_{ab} - 0.9 \times (K \times L/b - 10)) \times 1.5 = (103 - 0.9 \times (2 \times 5.33 - 10)) \times 1.5 = 153.6 \text{ N/mm}^2 = 153 \text{ N/mm}^2$$

(中央支柱の許容応力)

中央支柱の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-3 に示す。

表 5.3-3 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	2500	mm
b	圧縮フランジ幅	300	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	34300	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	10500	mm ²

よって,

$$A_w/A_c = 34300/10500 = 3.26 \quad \therefore A_w/A_c > 2$$

ここで、係数Kについては $A_w/A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_w / (2 \cdot A_c)} = \sqrt{3 + 3.26 \div 2} = 2.15$$

$$10/K = 10/2.15 = 4.646$$

$$L/b = 2500/300 = 8.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$(\sigma_{ab}-0.9 \times (K \times L/b-10)) \times 1.5 = (103-0.9 \times (2.15 \times 8.33-10)) \times 1.5 = 143.8 \text{ N/mm}^2 = 143 \text{ N/mm}^2$
 (中央支柱の許容応力)

中央支柱の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-4 に示す。

表 5.3-4 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	1600	mm
b	圧縮フランジ幅	300	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	15000	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	7500	mm ²

よって、

$$A_w/A_c = 15000/7500 = 2.00 \quad \therefore A_w/A_c \geq 2$$

ここで、係数Kについては $A_w/A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_w / (2 \cdot A_c)} = \sqrt{3 + 2 \div 2} = 2$$

$$10/K = 10/2 = 5$$

$$L/b = 1600/300 = 5.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$(\sigma_{ab}-0.9 \times (K \times L/b-10)) \times 1.5 = (103-0.9 \times (2 \times 5.33-10)) \times 1.5 = 153.6 \text{ N/mm}^2 = 153 \text{ N/mm}^2$$

表 5.3-5 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	許容荷重	
	引張* (N)	せん断* (N)
アンカーボルト (中央支柱)	2.92×10^5	2.04×10^5

注記 * : 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。

(アンカーボルト)

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」における頭付きアンカーボルトの短期荷重時として算定する。

引張に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$P_{a1} = \phi_1 \times \sigma_{pa} \times s_c \times a$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-6 に示す。

表 5.3-6 アンカーボルトの許容引張力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容引張力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
${}_s\sigma_{pa}$	アンカーボルトの許容引張応力度	205	N/mm ²
${}_s c a$	ねじの有効断面積	1424.439	mm ²

よって、

$$P_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{pa} \times {}_s c a = 1 \times 205 \times 1424.439 = 292009.995\text{N} = 2.92 \times 10^5\text{N}$$

せん断に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_s c a$$

$${}_s\sigma_{qa} = 0.7\sigma_Y$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-7 に示す。

表 5.3-7 アンカーボルトの許容せん断力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Q_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容せん断力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
${}_s\sigma_{qa}$	アンカーボルトの許容せん断応力度	143.5	N/mm ²
${}_s c a$	ねじの有効断面積	1424.439	mm ²

よって、

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_s c a = 1 \times 143.5 \times 1424.439 = 204406.9965\text{N} = 2.04 \times 10^5\text{N}$$

表 5.3-8 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 (ブラケット)	SS400	140	—	80	—	210	—	120	—
漂流物防護工 (防護梁)	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	—

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。

*3 : 補助縦桁, 中央支柱及び中央横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する。

表 5.3-9 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, 「各種合成構造設計指針同解説 ((社) 日本建築学会 平成 22 年)」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 5.4-1 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 for Windows 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 5.4-2 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 5.4-3 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 5.4-1 に示す。なお、設計震度は図 5.4-1 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。

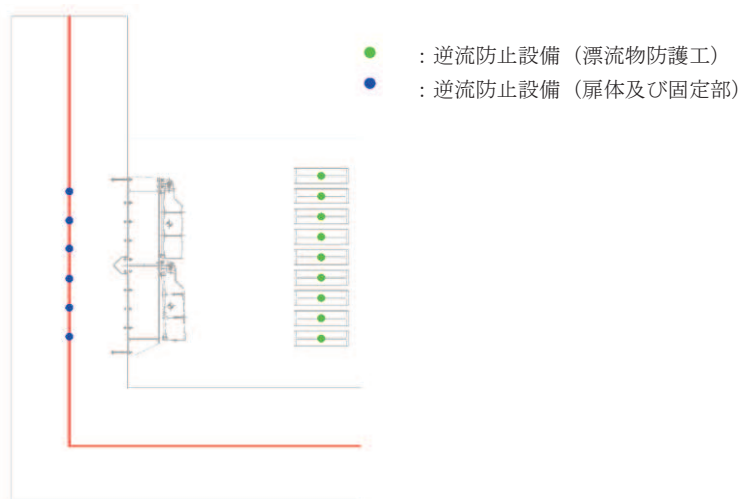
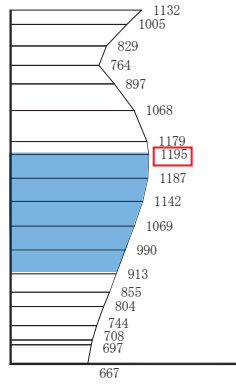
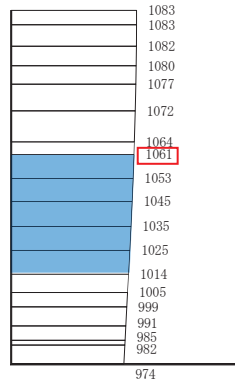


図 5.4-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, $S_s-D1(-+)$, 解析ケース①)

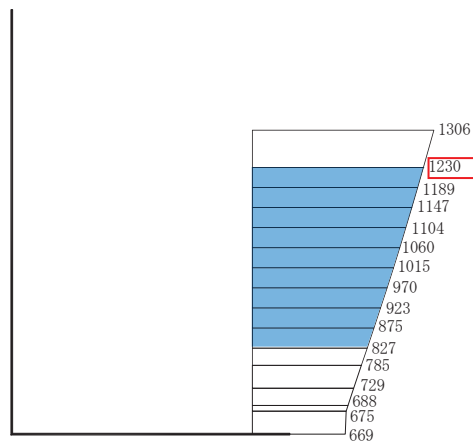


(鉛直方向, $S_s-D1(++)$, 解析ケース①)

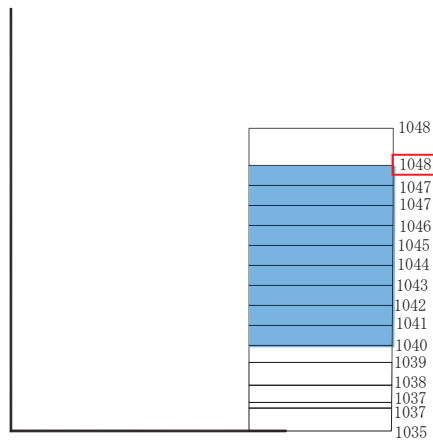
■ : 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

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

図 5.4-2(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 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 5.4-2(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)

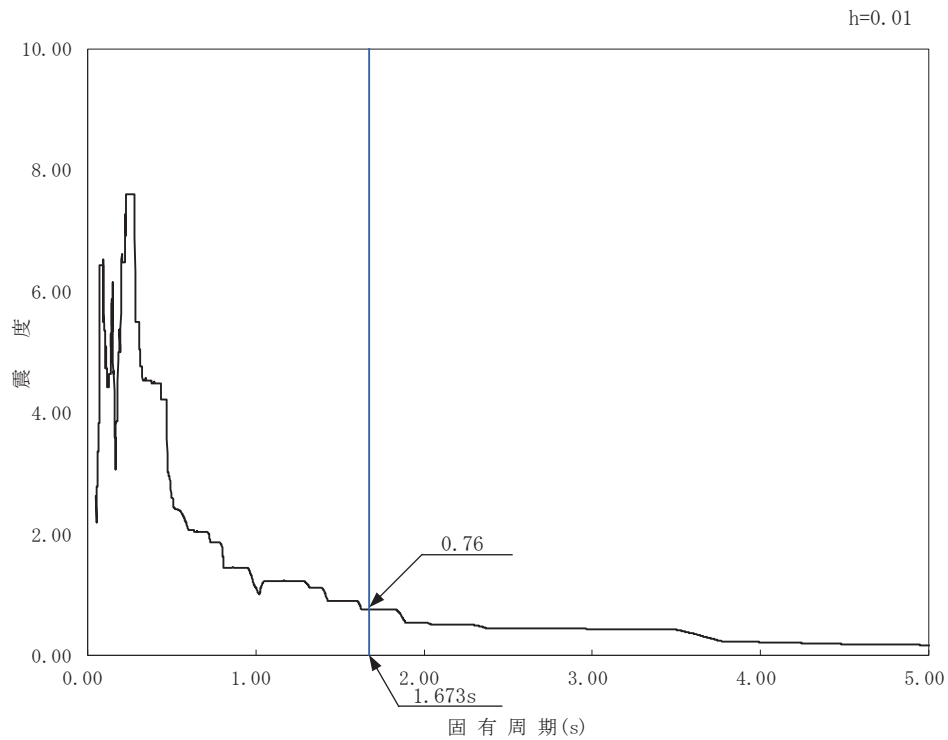


図5.4-3 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）における設計用床応答曲線

表 5.4-1(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 5.4-1(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、「水門鉄管技術基準 水門扉編（（社）水門鉄管協会，平成31年）」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、発生する曲げ応力度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5.5-1に示す。

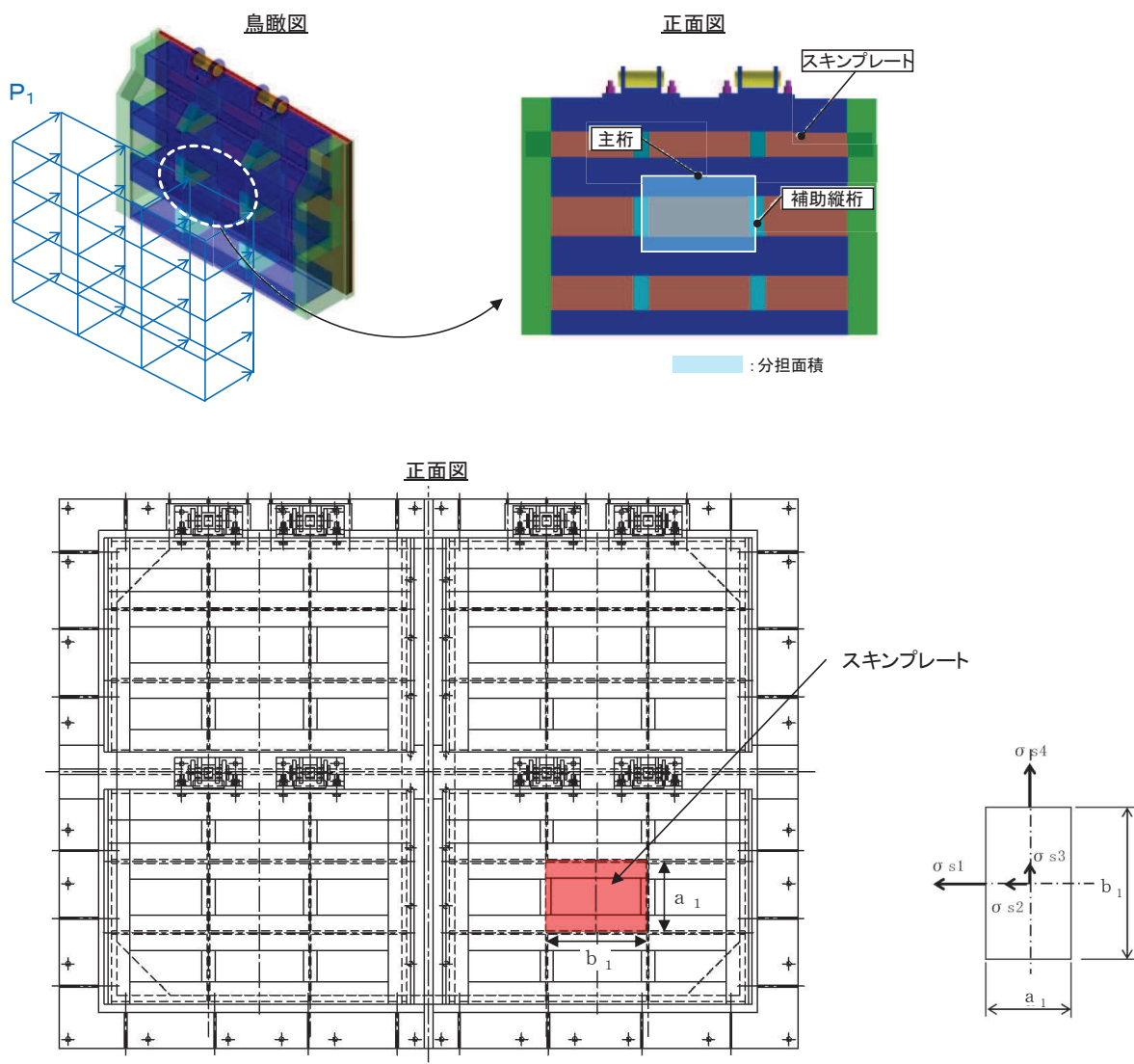


図 5.5-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレーートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

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。

主桁の構造及びモデル図を図 5.5-2 に示す。

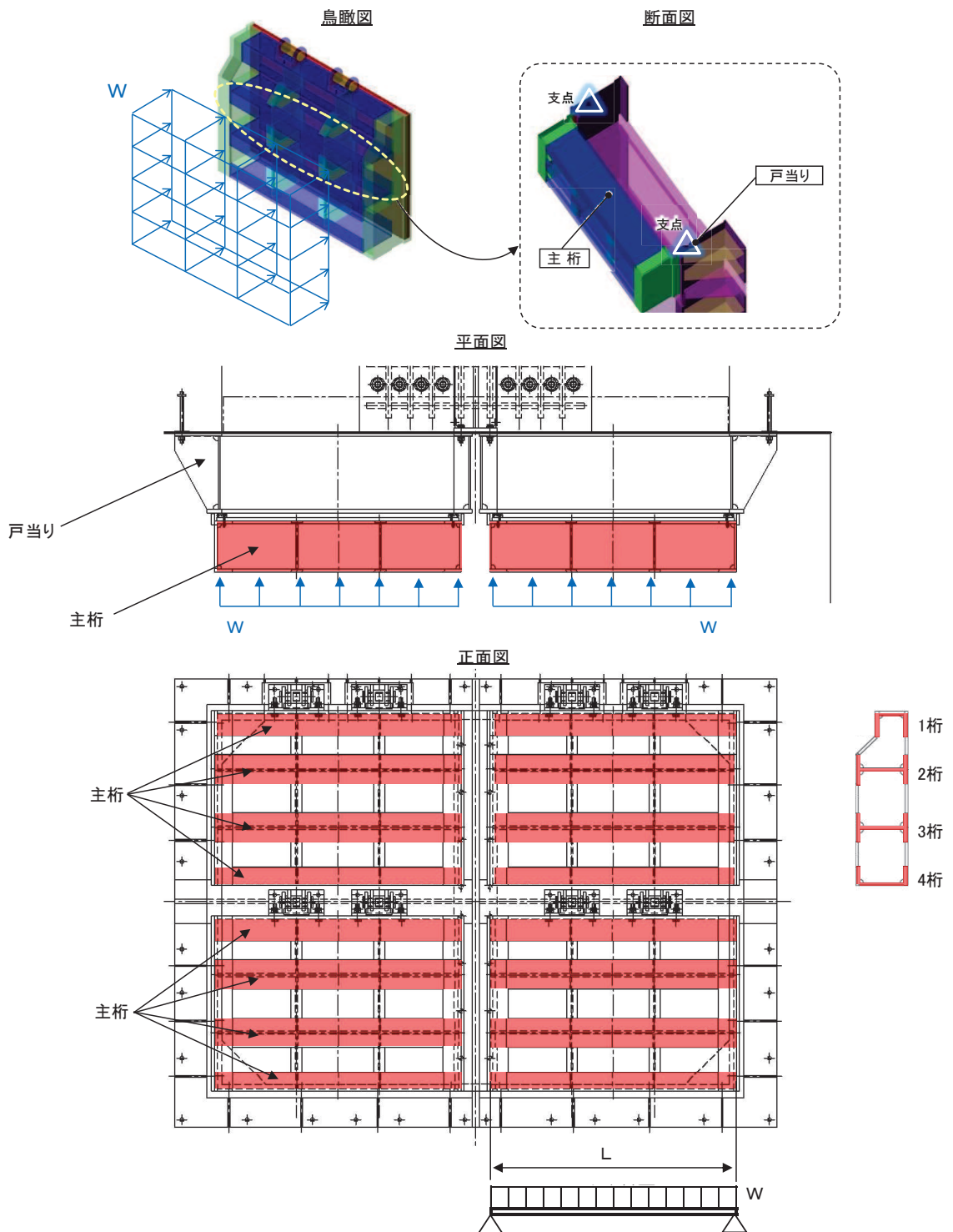


図 5.5-2 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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 (mm³)

$A w_2$: 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、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成31年)」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 5.5-3 に示す。

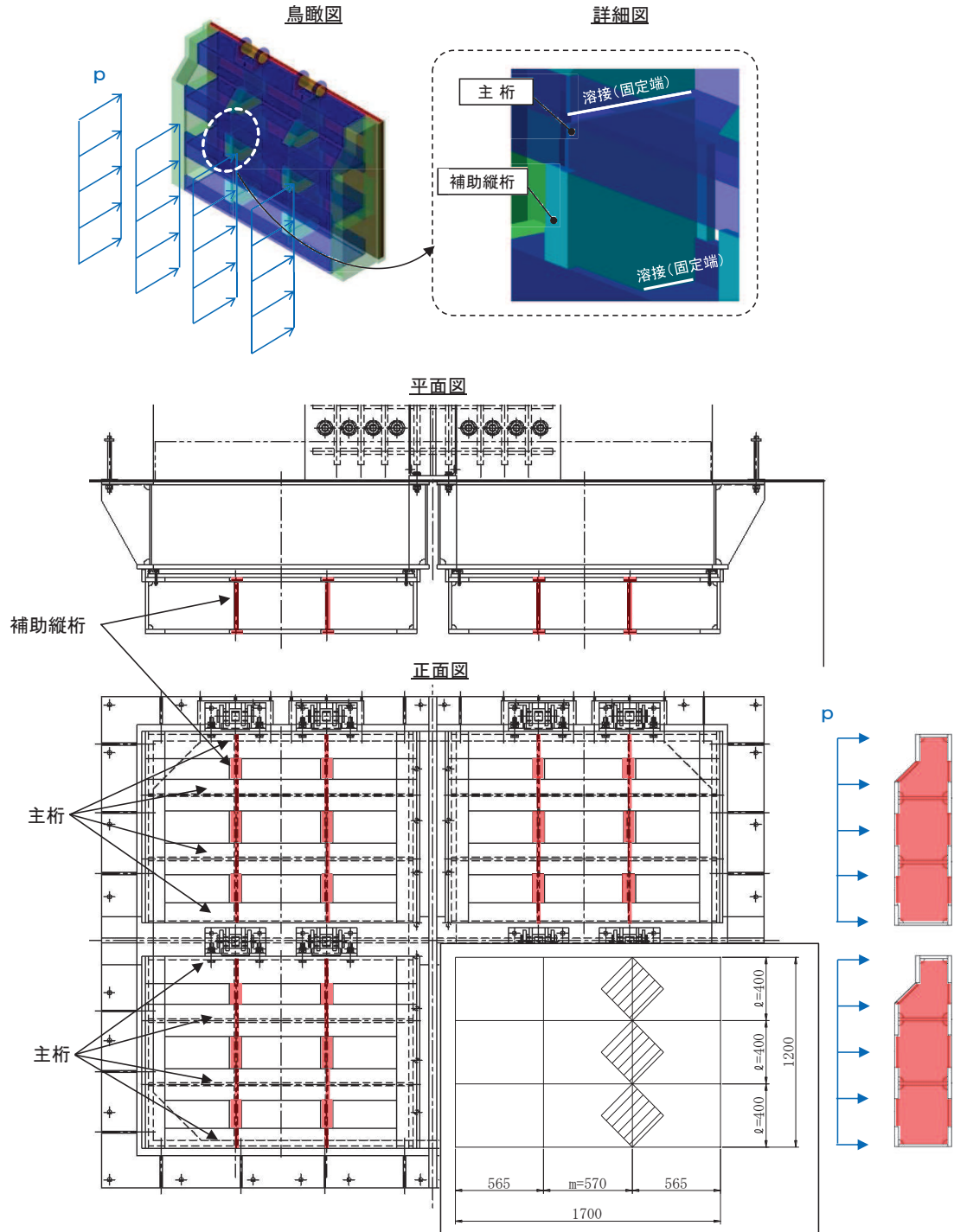


図 5.5-3 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位: mm)

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) 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 5.5-4 に示す。

【中央支柱】

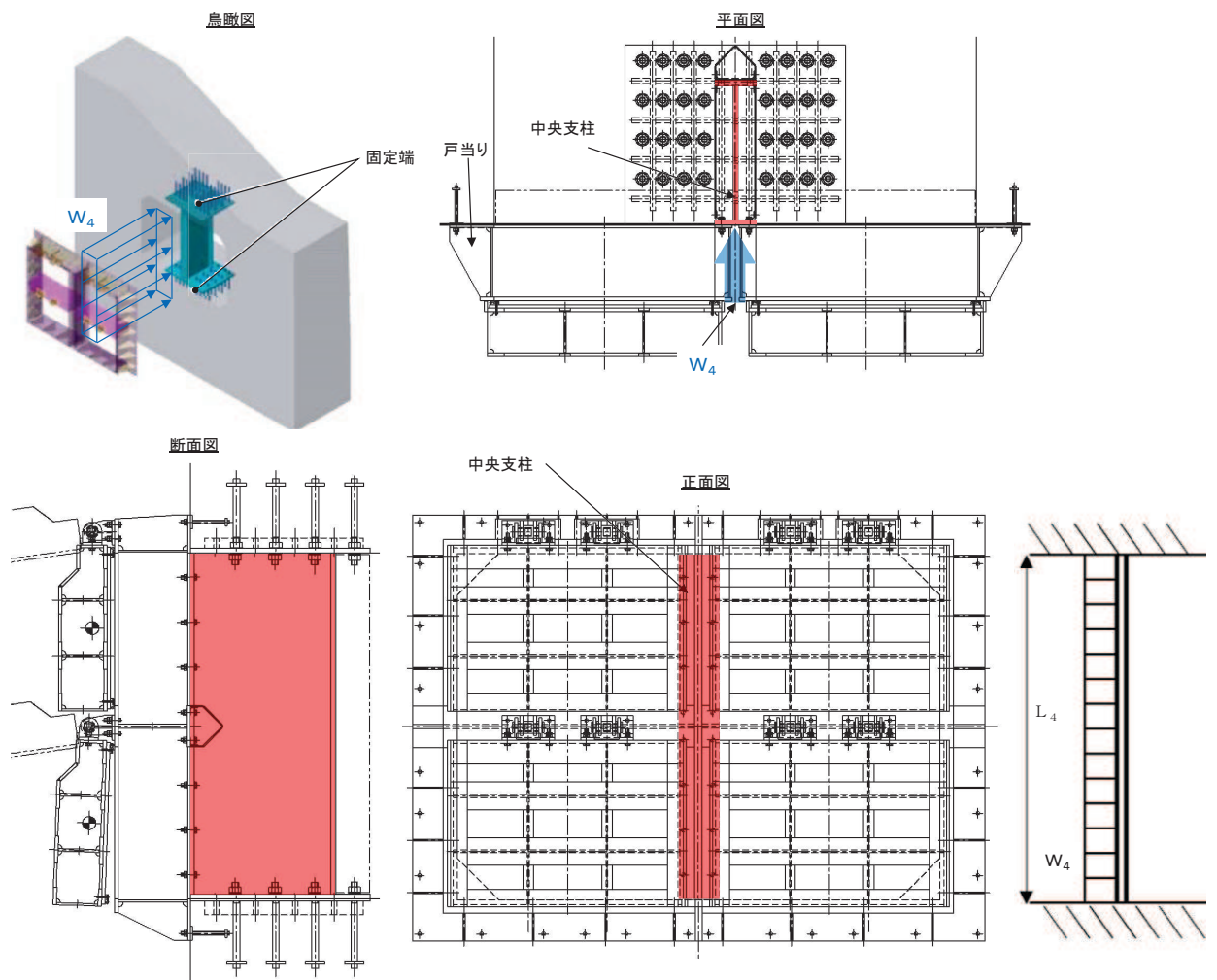


図5.5-4(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

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）】

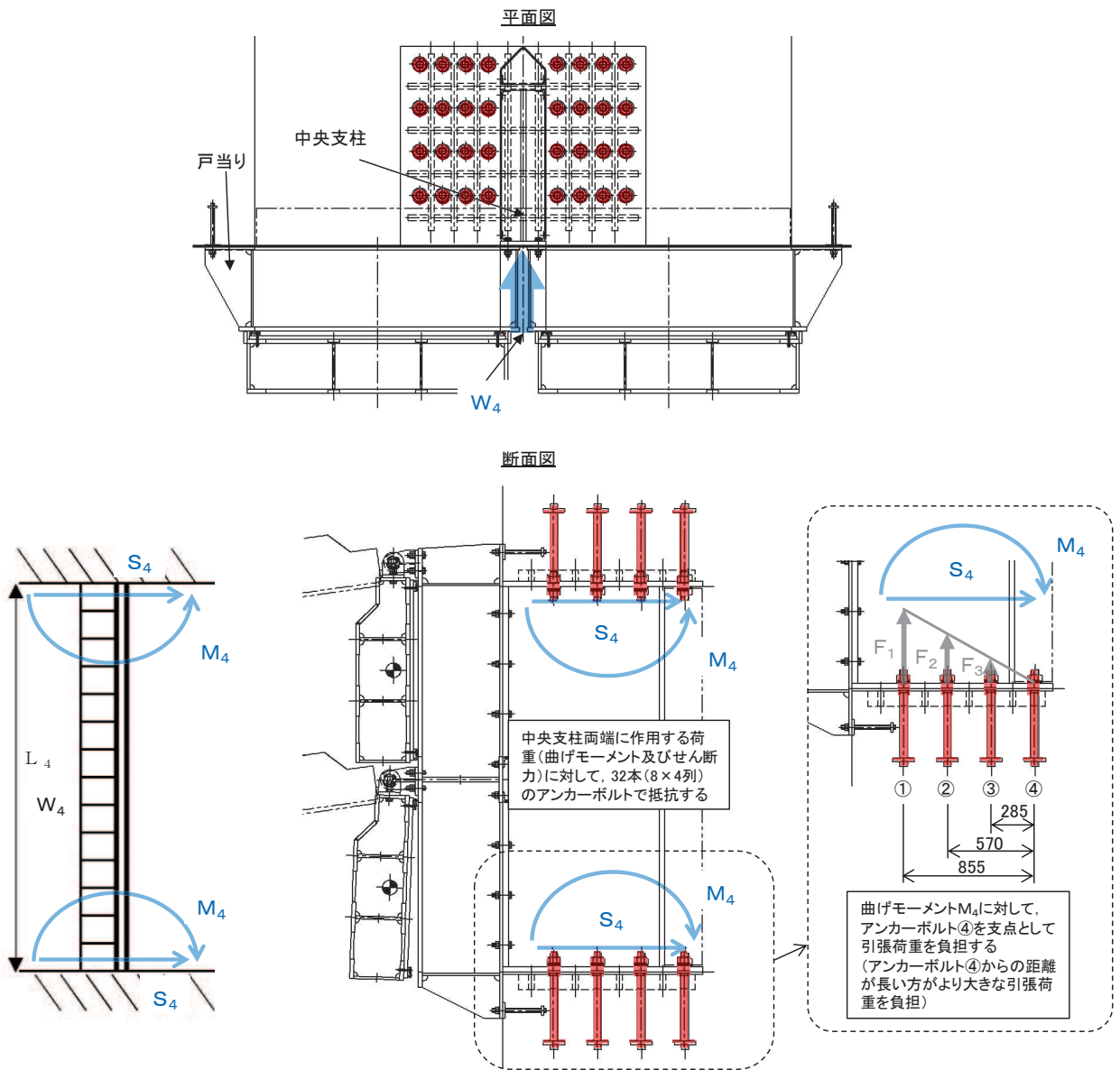


図5.5-4(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

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 5.5-5 に示す。

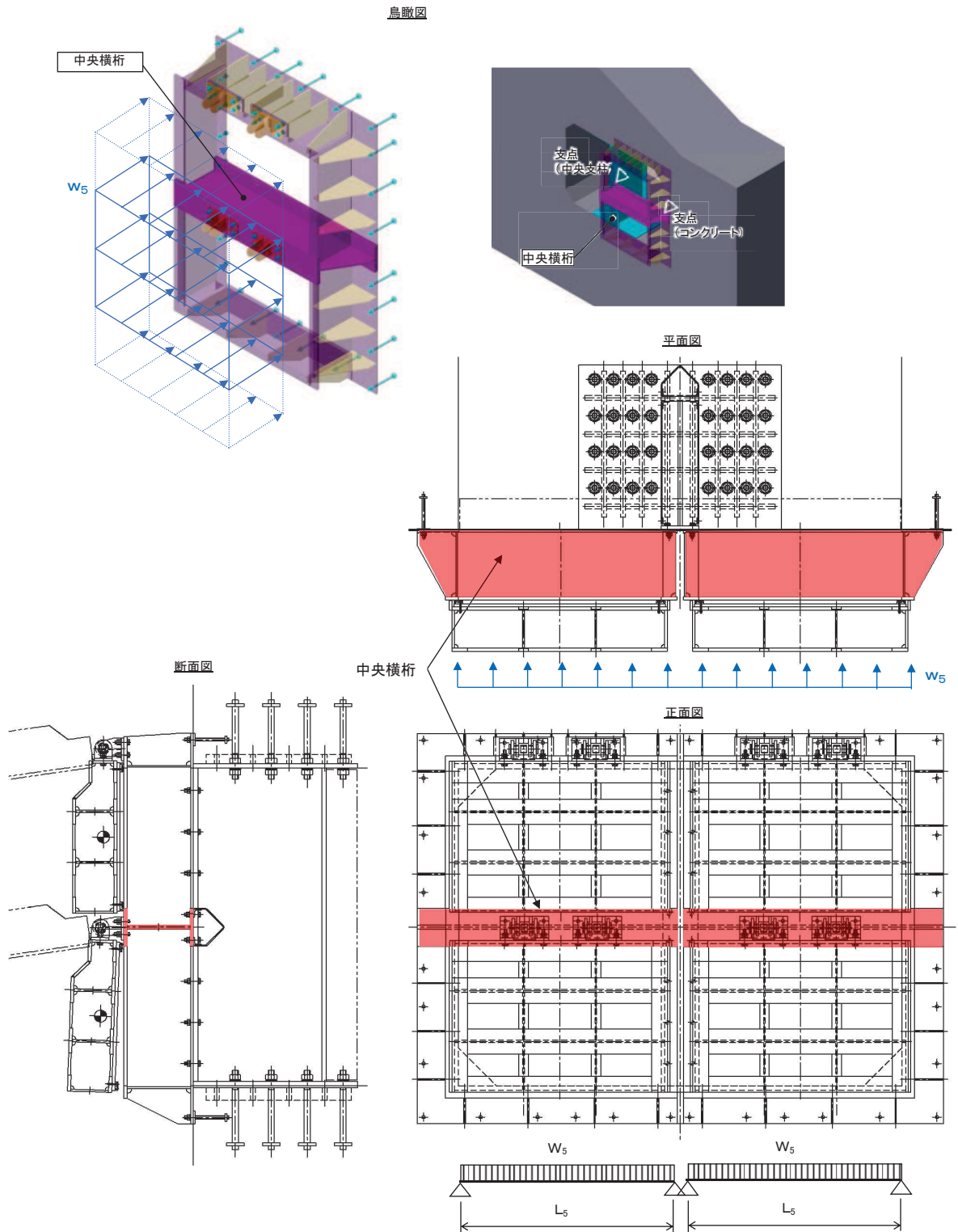


図 5.5-5 中央横桁の構造図及びモデル図

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。

ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図を図 5.5-6 に示す。

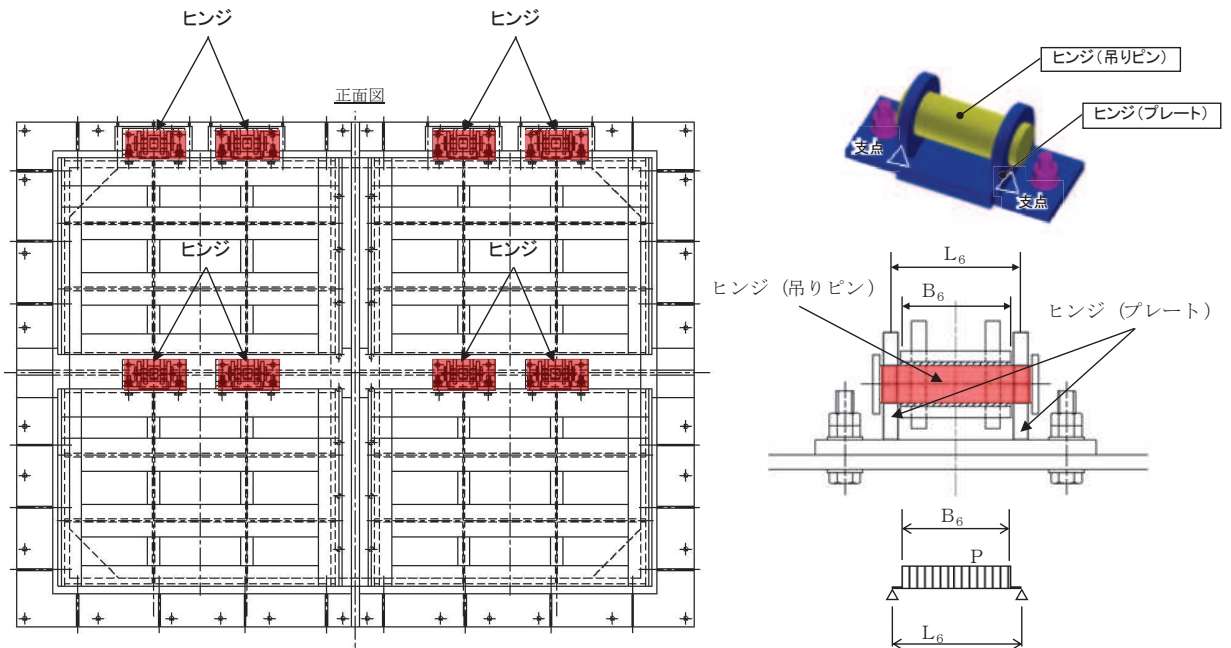


図 5.5-6 ヒンジ (吊りピン) の構造図及びモデル図

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。

$$M_{\max} = \frac{P_6 \cdot (2 \cdot L_6 - B_6)}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P_6}{2}$$

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

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

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

ここで,

- L_6 : ヒンジピン支間長 (mm)
- B_6 : ヒンジピン受圧幅 (mm)
- P_6 : 総荷重
- Z_6 : ヒンジピンの断面係数 (mm^3)
- A_6 : ヒンジピンの断面積 (mm^2)
- M_{max} : 最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)
- S_{max} : せん断力 (N)
- σ : 曲げ応力度 (N/mm^2)
- τ : せん断応力度 (N/mm^2)
- σ_g : 合成応力度 (N/mm^2)

(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、吊り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 5.5-7 に示す。

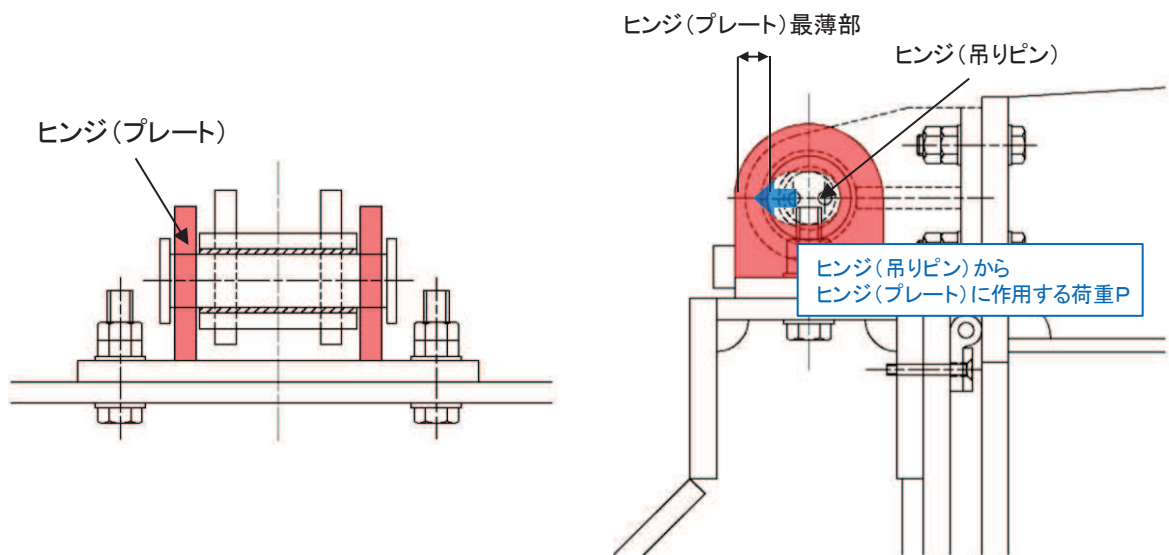


図5.5-7(1) ヒンジ（プレート）の構造図（水路縦断方向）

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)

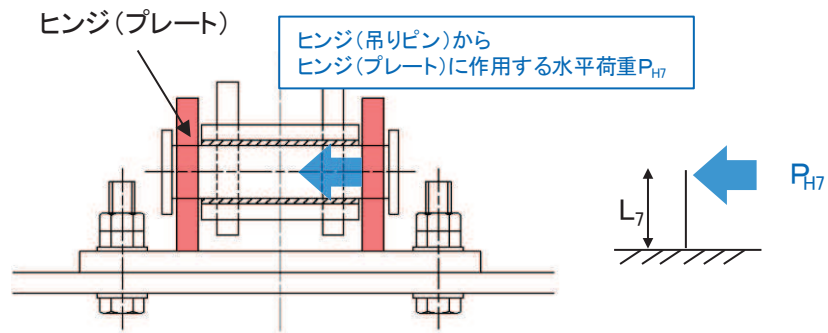


図5.5-7(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

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を図5.5-8に、応力算定式を図5.5-9に示す。

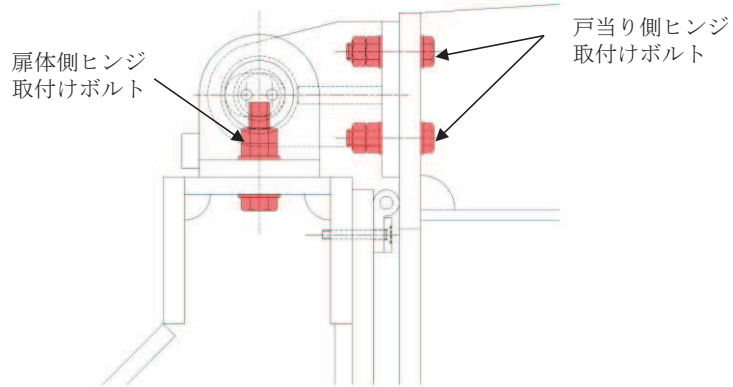
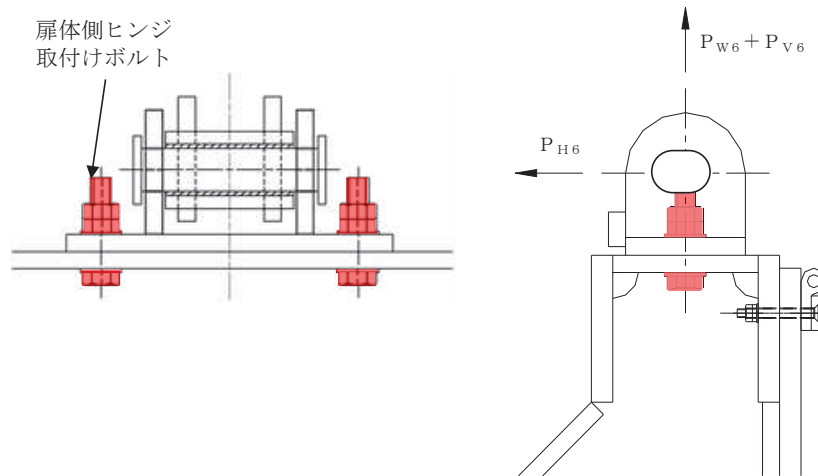


図 5.5-8 ヒンジ取付けボルトの構造図

【扉体側】



$$\sigma = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 2}$$

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

$A b_8$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W8} : ヒンジ1箇所当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)

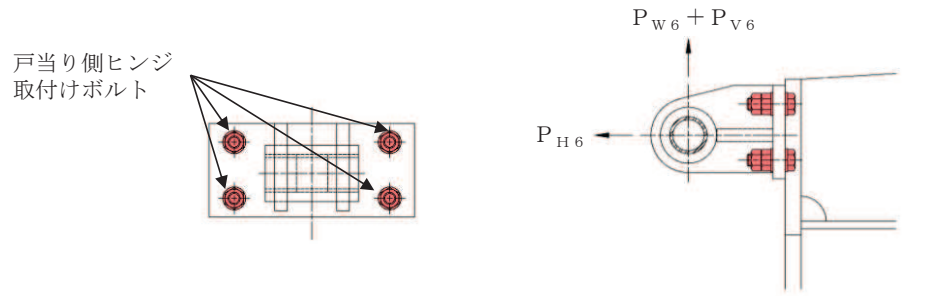
σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5.5-9(1) ヒンジ取付けボルト (扉体側) の応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 4}$$

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

$A b_8$: 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)

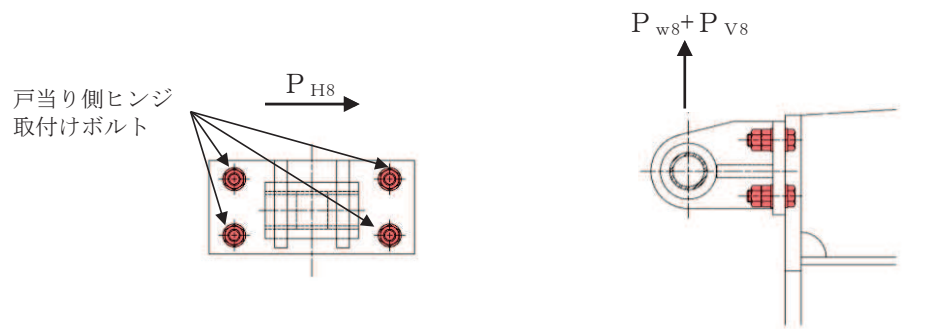
P_{H8} : 水平地震力 (N)

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 5.5-9(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の応力算定式 (水路縦断方向)



$$\tau = \frac{\sqrt{(P_{w8} + P_{v8})^2 + P_{H8}^2}}{Ab \cdot 4}$$

- 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)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)

図5.5-9(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）

(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5.5-10に示す。

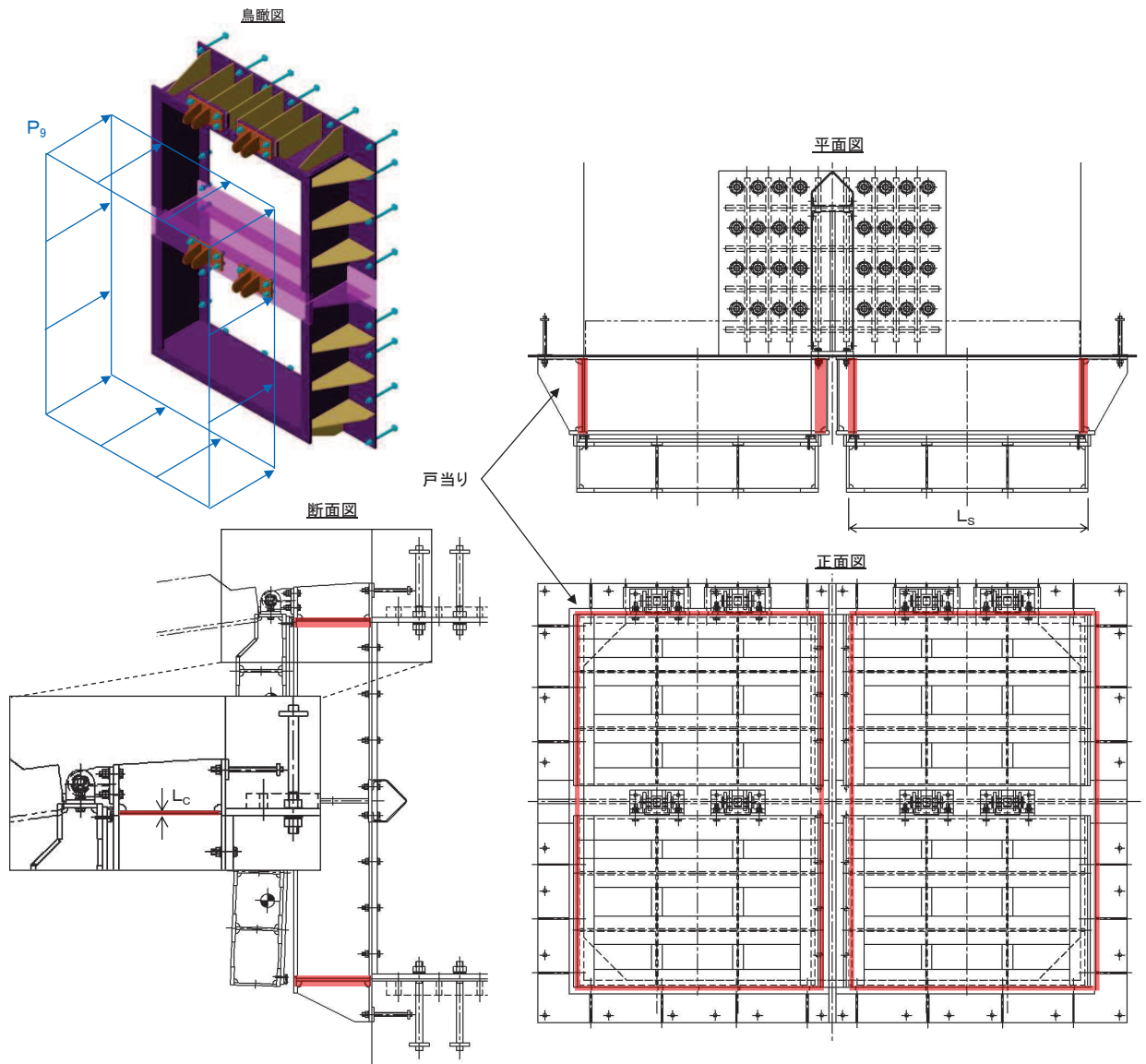


図 5.5-10 戸当りの構造図

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 5.5-11 に示す。

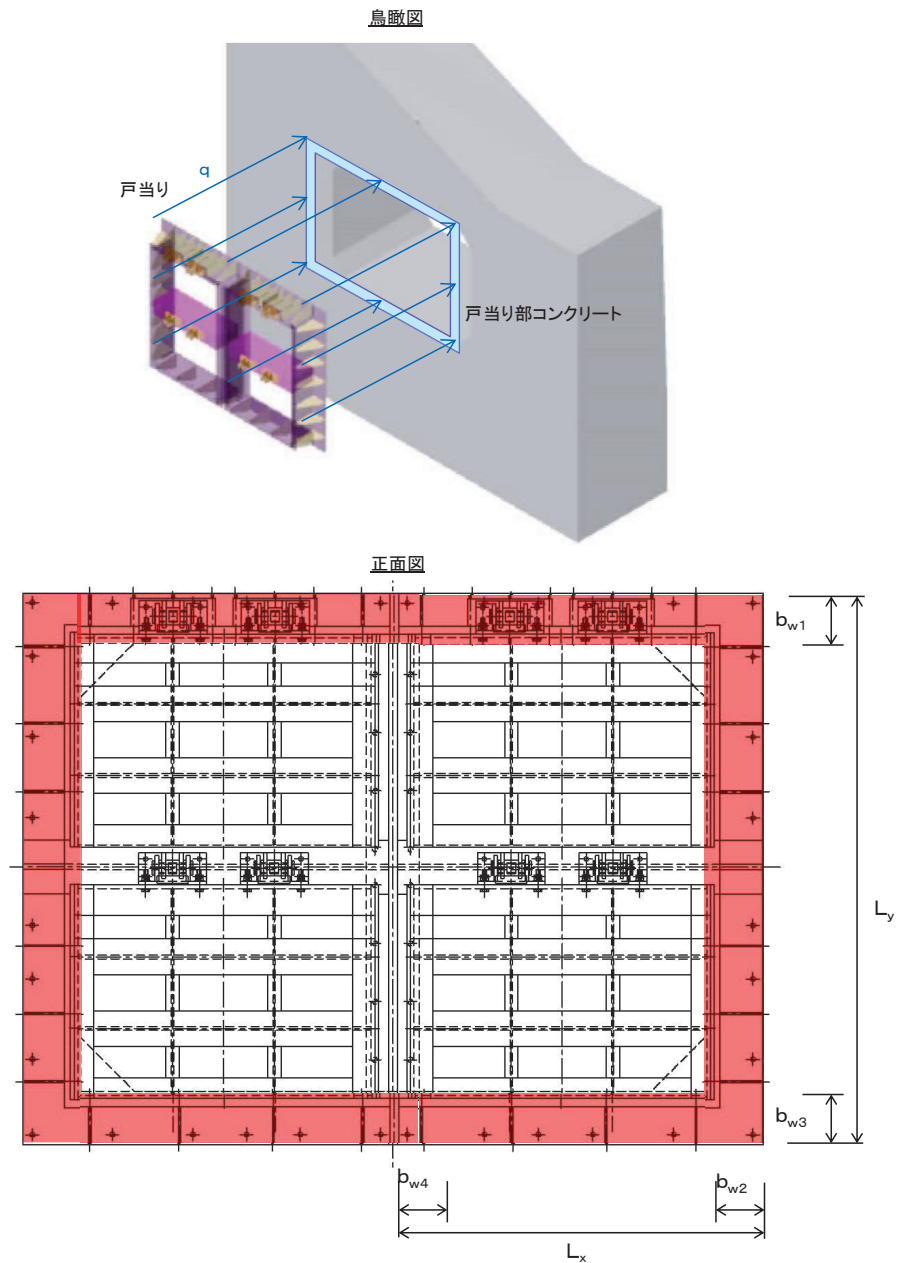


図 5.5-11 戸当り部コンクリートの構造図

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，等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化する。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 5.5-12 に示す。

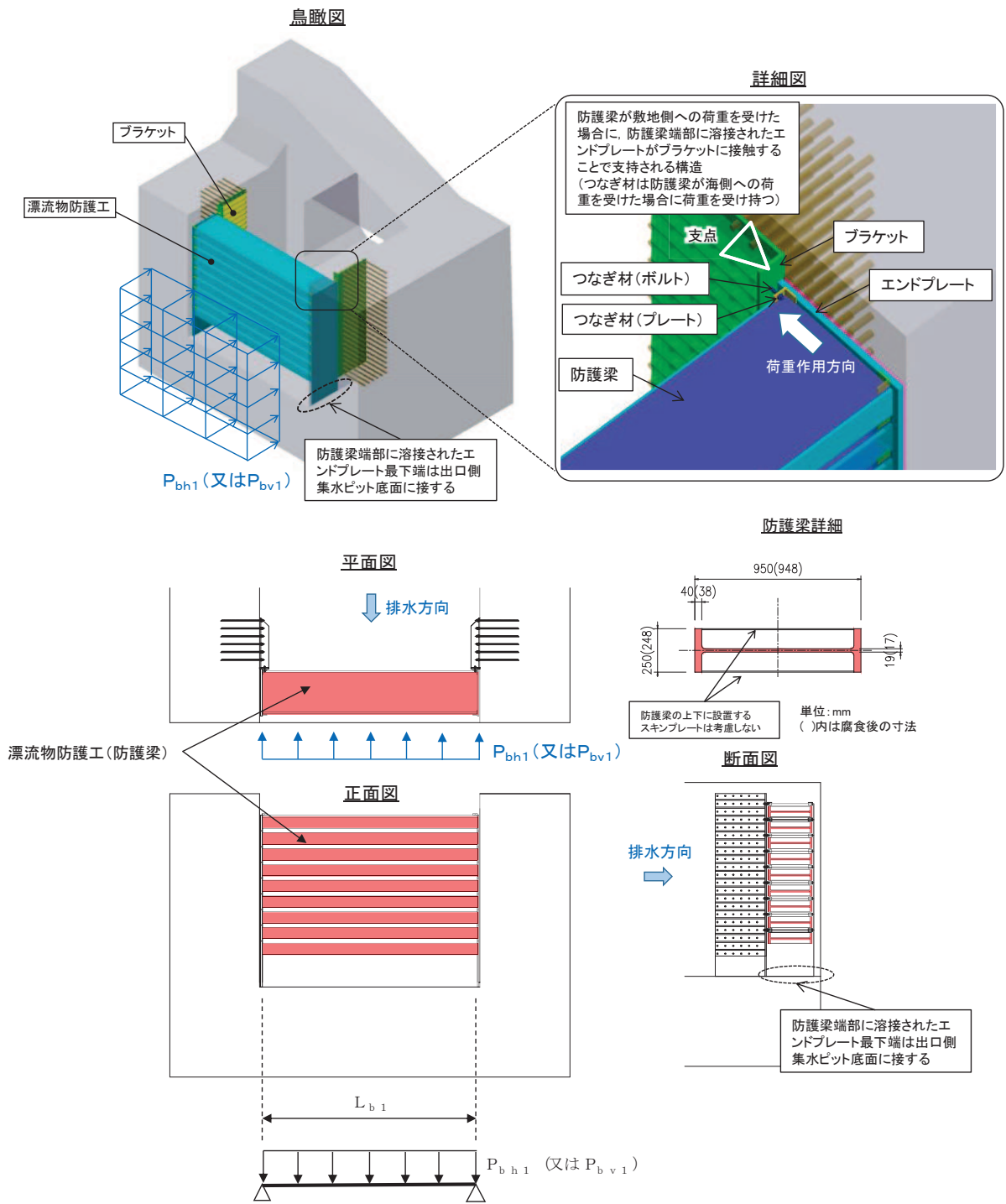


図 5.5-12 防護梁の構造及びモデル図

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】

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

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

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

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

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

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)

(合成応力度)

【鉛直方向】

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

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

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

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

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

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)

(合成応力度)

【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。

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。

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 5.5-13 に示す。

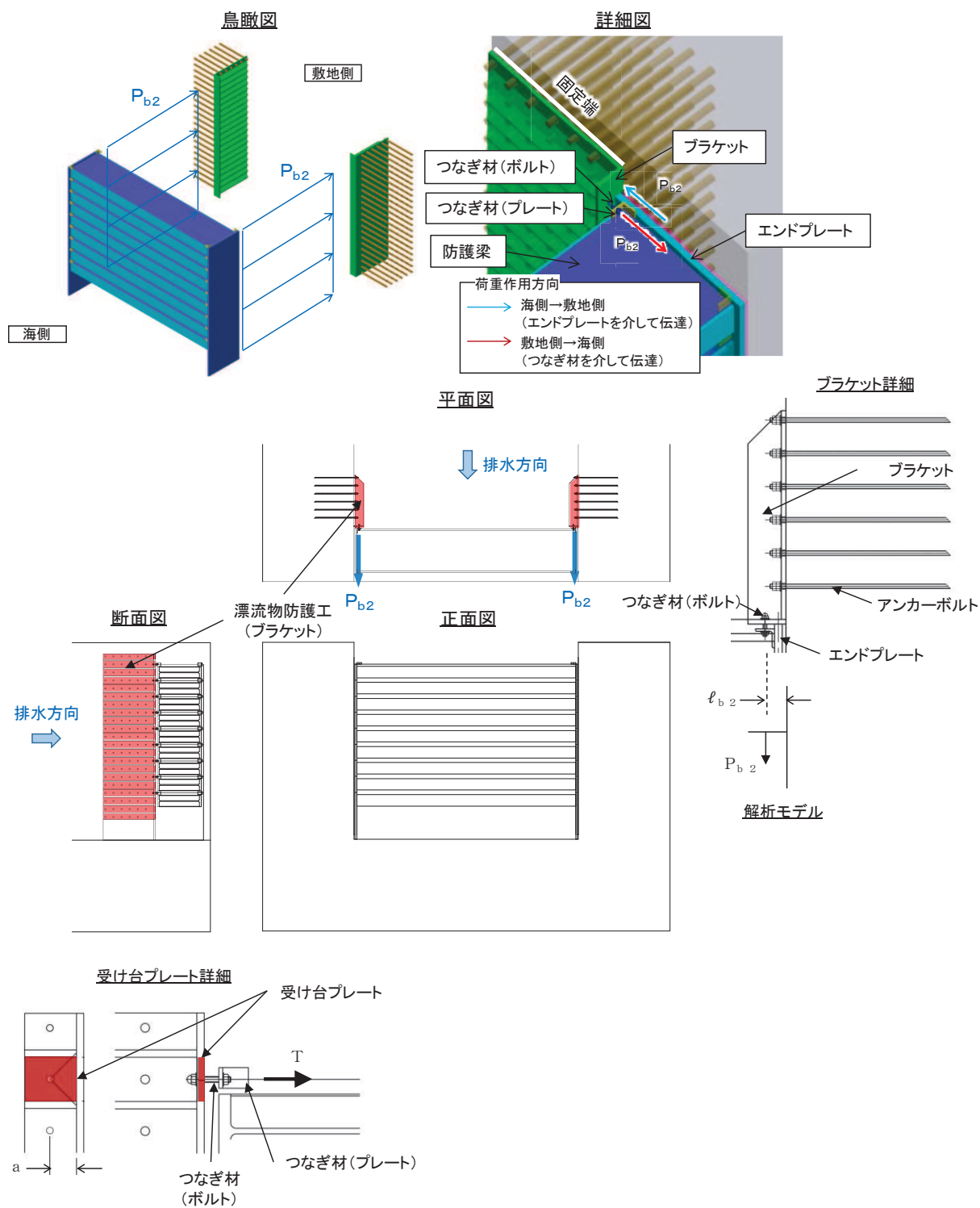


図 5.5-13 ブラケットの構造及びモデル図

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】

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

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

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

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

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（M-20）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、つなぎ材の照査に当たっては腐食代を 1mm 考慮する。

つなぎ材の構造図を図 5.5-14 に示す。

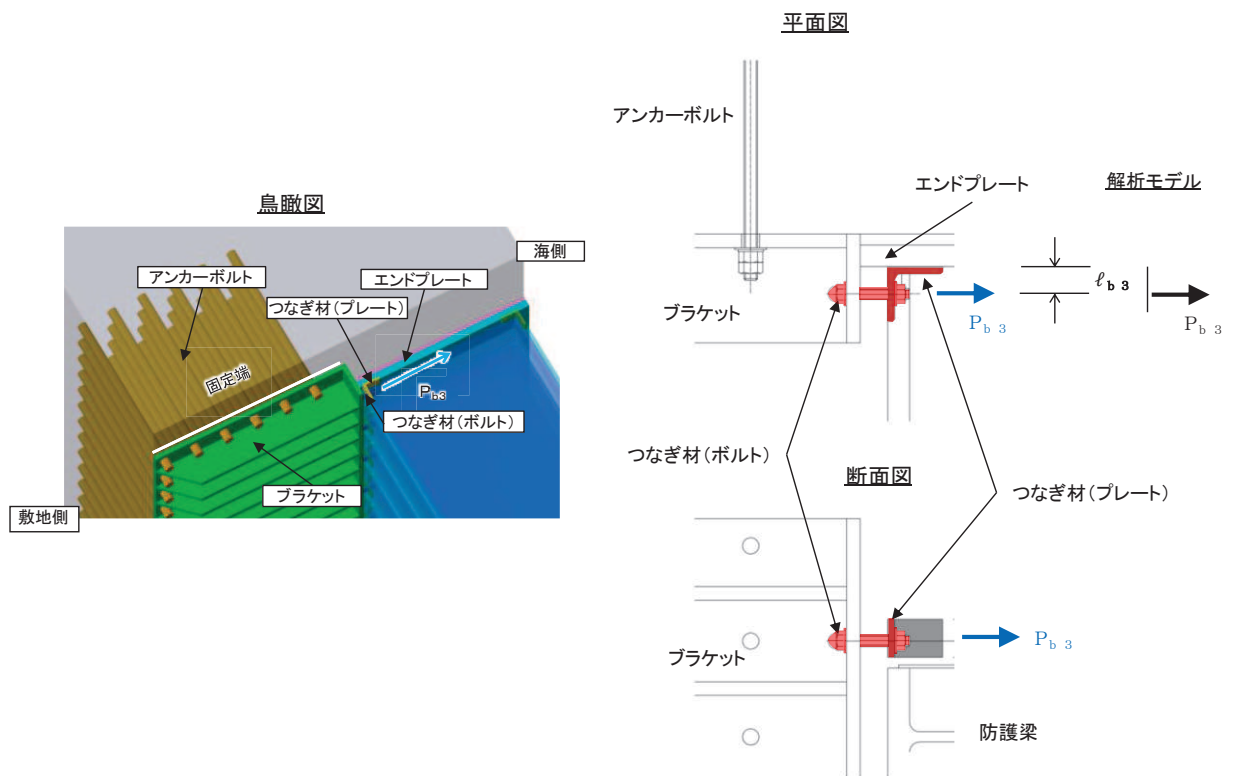


図 5.5-14(1) つなぎ材の構造図及びモデル図（水路縦断方向）

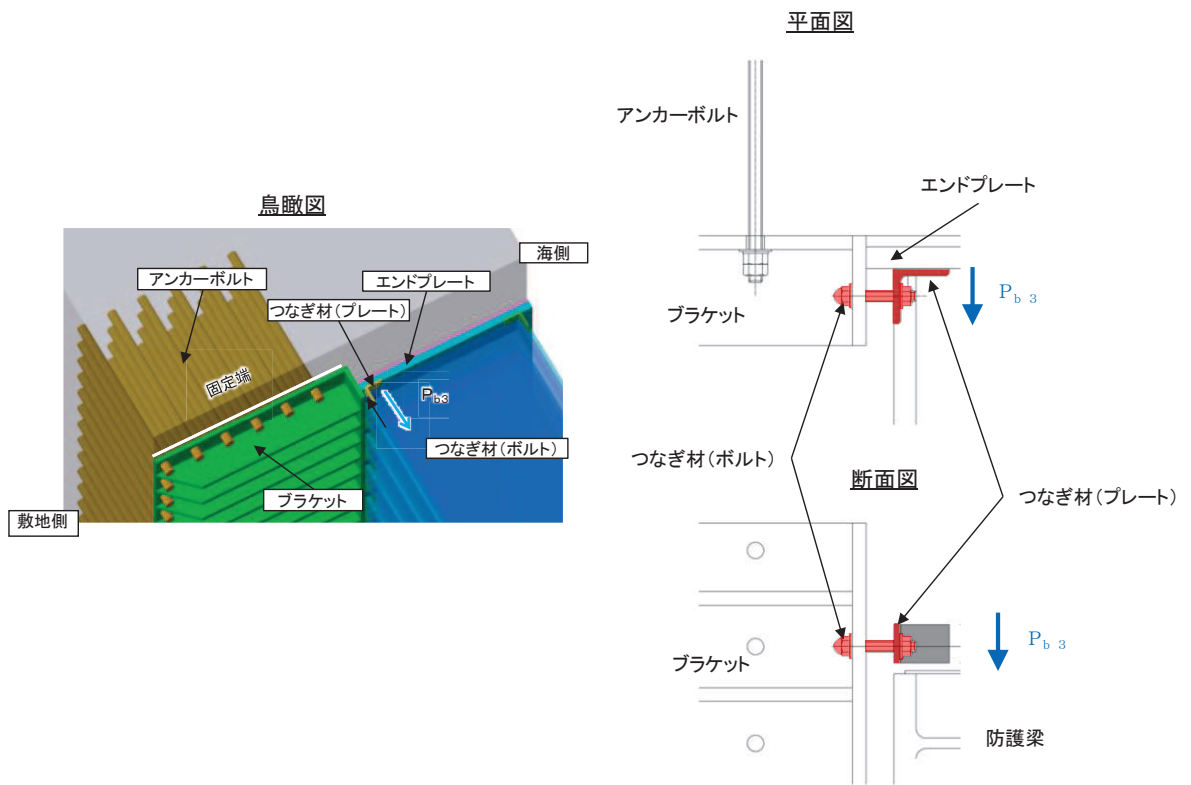


図5.5-14(2) つなぎ材の構造図及び計算モデル（水路横断方向）

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5.5-15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所要引張力および所要せん断力が確保できるか確認する。

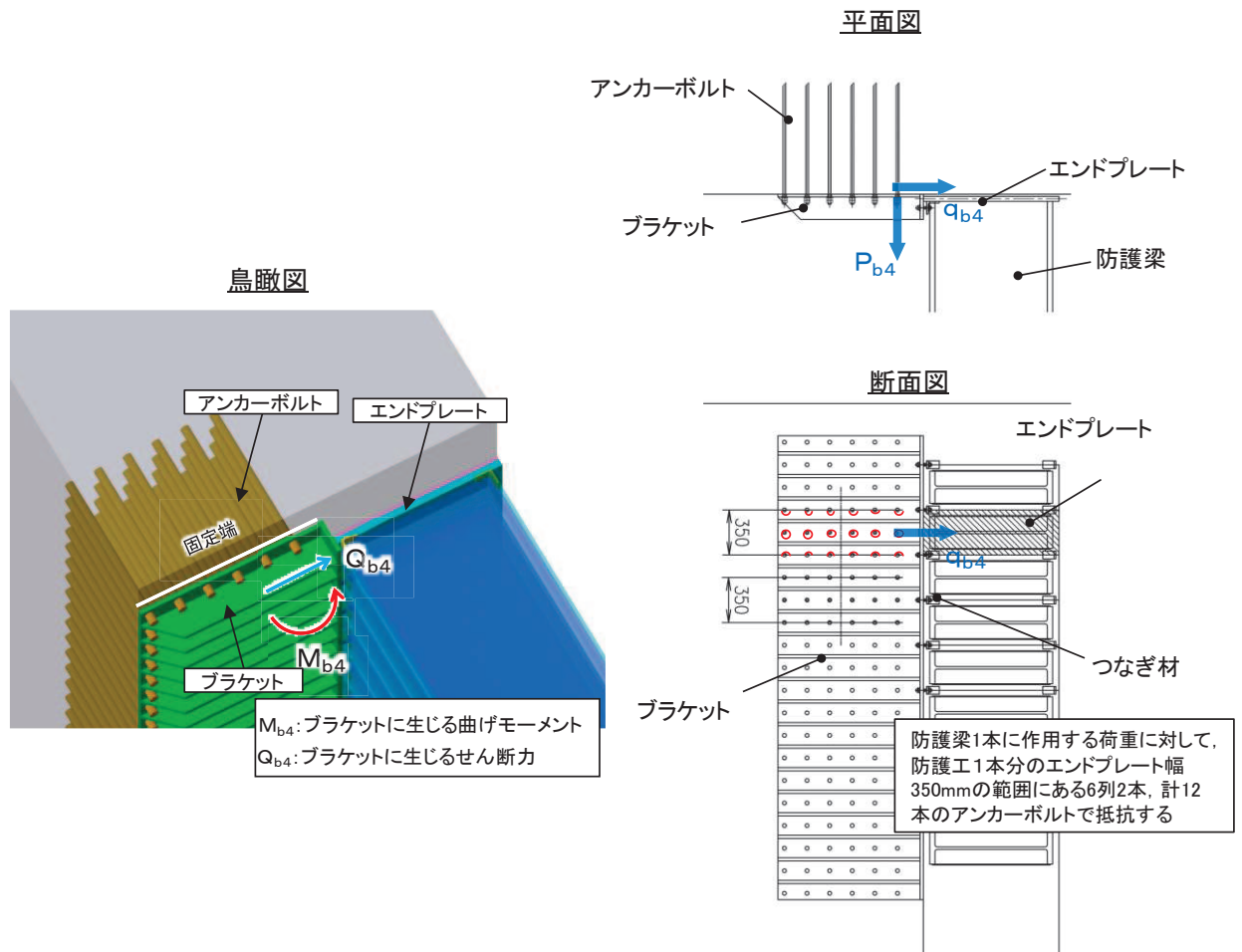


図 5.5-15 アンカーボルトの構造図

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5.6-1に示す。

表 5.6-1(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 5.6-1(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 5.6-1(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 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)
36.5	23

5.7 応力計算

(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、「水門鉄管技術基準 水門扉編（（社）水門鉄管協会、平成31年）」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、発生する曲げ応力度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5.7-1に示す。

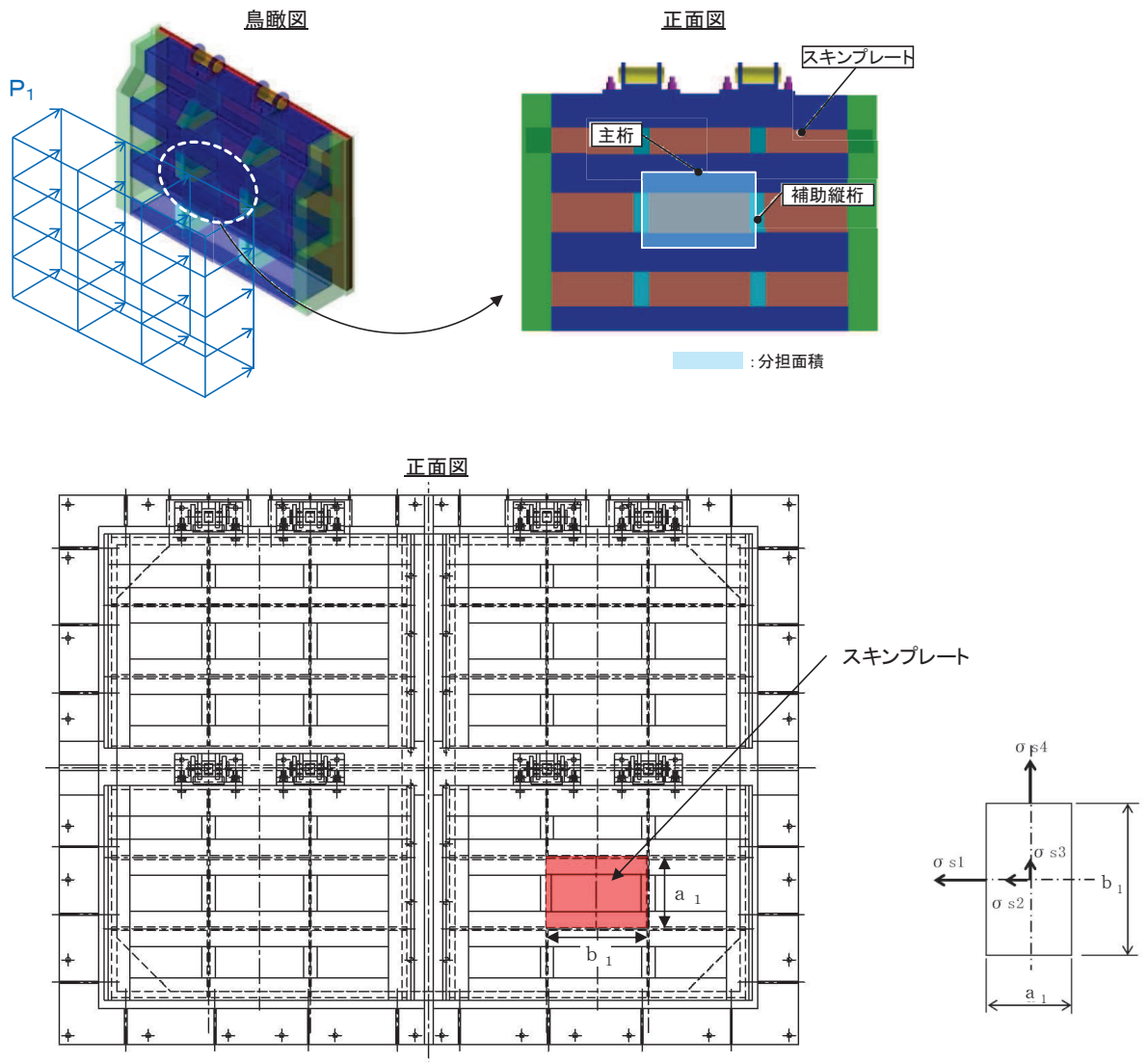


図 5.7-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm)

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)

a. 発生荷重

スキンプレートには作用する荷重として、板の自重による水平方向地震荷重を考慮し、以下の式により計算する。

$$P_1 = K_H \times G \times A_1$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 スキンプレートの発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
K_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	1.3	—
G	扉体の自重	14.70988×10^3	N
A_1	扉体面積	2.04×10^6	mm ²

よって、

$$P_1 = 1.3 \times 14.70988 \times 10^3 \div (2.04 \times 10^6) = 0.00937 \text{ N/mm}^2 = 0.0094 \text{ N/mm}^2$$

b. 発生応力

スキンプレートに発生する曲げ応力は以下の式により求める。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1^2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-2 に示す。

表 5.7-2 スキンプレートに生じる曲げ応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	板に生じる最大応力度	—	N/mm ²
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
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
t_1	スキンプレートの板厚	25	mm

辺長比による係数 k 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、各区間における辺長比を元に数値を求める。各区間の計算に用いた短辺 a_1 、長辺 b_1 及び発生圧力 P に加え、辺長比による係数 k 及び曲げ応力度 σ の導出結果及び計算諸元を表 5.7-3、表 5.7-4 に示す。また、スキンプレートの固定間隔概要を図 5.7-2 に示す。

表 5.7-3 k の値

b/a	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1.00	30.9	13.7	13.7	30.9
1.25	40.3	18.8	13.5	33.9
1.50	45.5	22.1	12.2	34.3
1.75	48.4	23.9	10.8	34.3
2.00	49.9	24.7	9.5	34.3
2.50	50.0	25.0	8.0	34.3
3.00	50.0	25.0	7.5	34.3
∞	50.0	25.0	7.5	34.3

表 5.7-4 スキンプレートに生じる曲げ応力度及び計算諸元

区画	a_1 (mm)	b_1 (mm)	b_1/a_1	k	P_1 (N/mm ²)	t_1 (mm)
1～2桁	400	570	1.425	43.94	0.0094	25
2～3桁	400	570	1.425	43.94	0.0094	25
3～4桁	400	570	1.425	43.94	0.0094	25

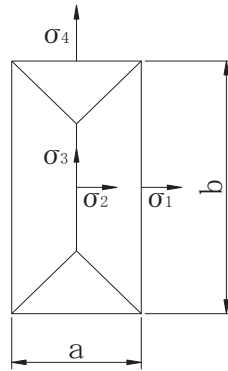


図 5.7-2 スキンプレートの固定間隔概要図

以上により,

$$\sigma = \left(\frac{1}{100}\right) \cdot 43.94 \cdot 400^2 \cdot \frac{0.0094}{25^2} = 1.06\text{N/mm}^2$$

(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。

主桁の構造及びモデル図を図 5.7-3 に示す。

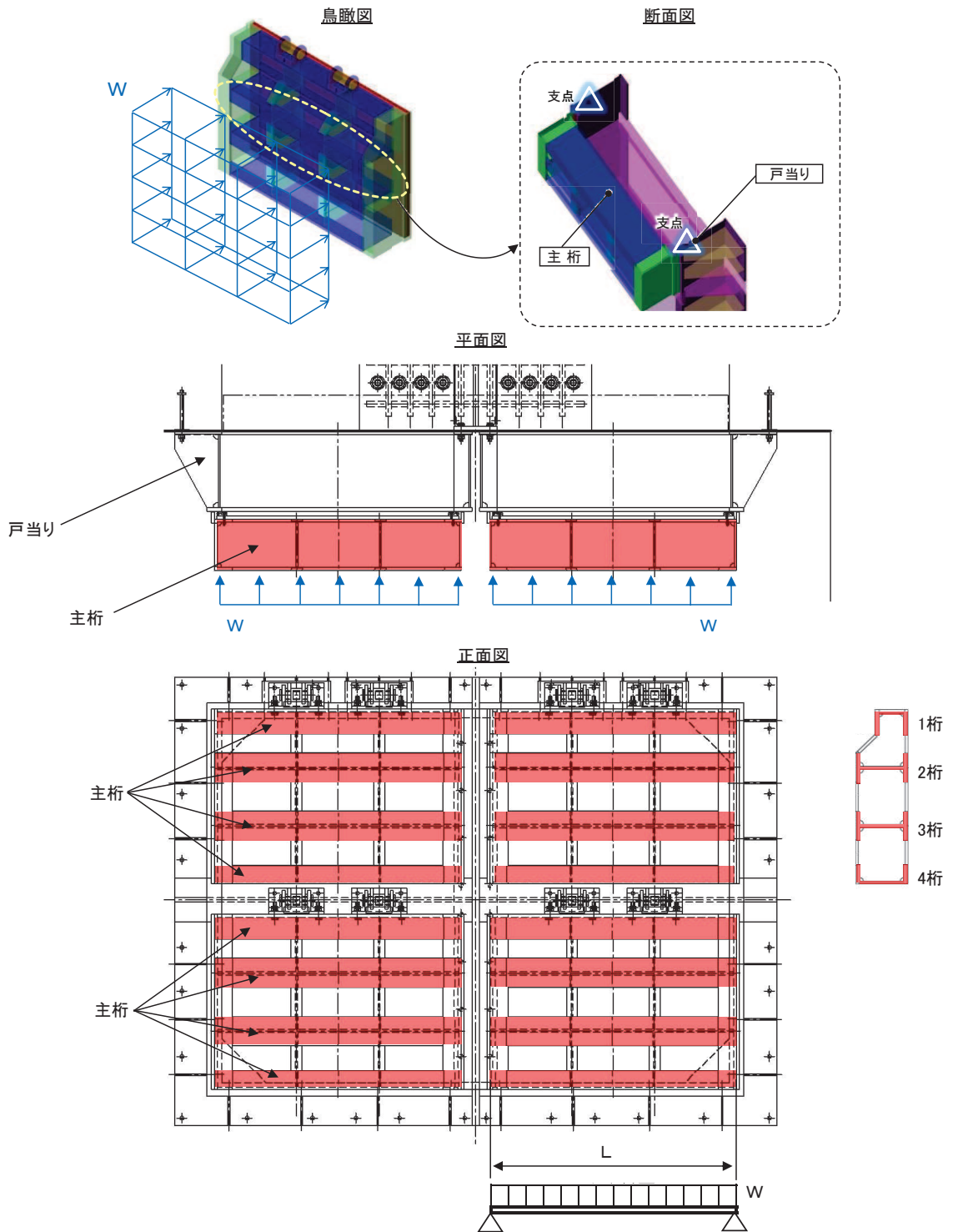


図 5.7-3 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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 (mm³)

$A w_2$: 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)

a. 発生荷重

等分布荷重

扉体主桁へ作用する等分布荷重は以下の式にて計算を行う。

$$W = P_2 \cdot \frac{H_2}{2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-5 に示す。

表 5.7-5 主桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W	主桁に加わる地震による等分布荷重	—	N/mm
P ₂	主桁に作用する水平地震荷重 (= P ₁)	0.0093740036765	N/mm ²
H ₂	主桁の最大間隔	400	mm

1 桁, 4 桁

$$W = P_2 \times \frac{H_2}{2} = 0.0093740036765 \times \frac{400}{2} = 1.87 \text{ N/mm}$$

2 桁, 3 桁

$$W = P_2 \times \frac{H_2}{2} \times 2 = 0.0093740036765 \times \frac{400}{2} \times 2 = 3.75 \text{ N/mm}$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

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

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

ここで,

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

よって,

曲げモーメント

1 桁, 4 桁

$$M_{\text{max}} = \frac{W \cdot L_2^2}{8} = \frac{1.87 \times 1700^2}{8} = 675537.5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

2桁, 3桁

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8} = \frac{3.7496 \times 1700^2}{8} = 1354687.5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ただし,

扉体主桁支間長 $L_2 : 1700\text{mm}$

せん断力

1桁, 4桁

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2} = \frac{1.87 \times 1700}{2} = 1589.5\text{N}$$

2桁, 3桁

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2} = \frac{3.75 \times 1700}{2} = 3187.5\text{N}$$

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

発生応力を算定するに当たり, 主桁の断面係数及びせん断抵抗断面積を求める。図 5.7-5 に主桁の断面形状を示す。

扉体主桁 (1桁) 断面性能及び許容応力度

使用部材 PLC-220×170×20/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \frac{(220^3 \times 170 - 170^3 \times 150)}{220} = 8.130379 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A_w = 170 \times 20 = 3.40 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

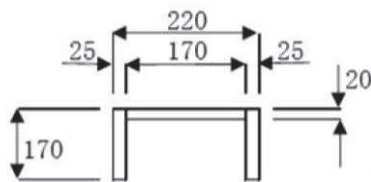


図 5.7-4 (1) 主桁 (1桁) の断面形状 (単位: mm)

扉体主桁 (2, 3桁) 断面性能及び許容応力度

使用部材 PLC-350×200×20/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{350^3 \times 200 - 300^3 \times 180}{350} \right) = 1.769048 \times 10^6 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_2 = 300 \times 20 = 6.00 \times 10^3 \text{mm}^2$$

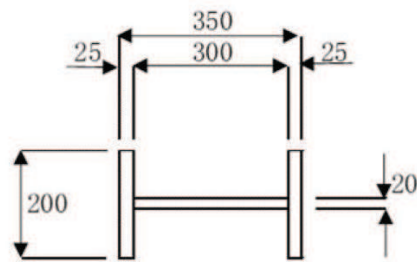


図 5.7-4 (2) 主桁 (2, 3 桁) の断面形状 (単位 : mm)

扉体主桁 (4 桁) 断面性能及び許容応力度

使用部材 PLH-350×125×15/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{350^3 \times 125 - 300^3 \times 110}{350} \right) = 1.137798 \times 10^6 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_2 = 300 \times 15 = 4.50 \times 10^3 \text{mm}^2$$

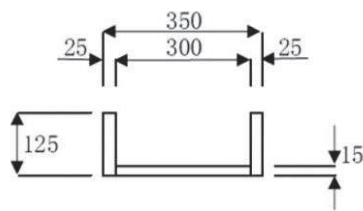


図 5.7-4 (3) 主桁 (4 桁) の断面形状 (単位 : mm)

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{\max}}{Aw_2}$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-6 に示す。

表 5.7-6 主桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{\max}	1, 4 桁の最大曲げモーメント	675537.5	N・mm
	2, 3 桁の最大曲げモーメント	1354687.5	N・mm
S_{\max}	1, 4 桁の最大せん断力	1589.5	N
	2, 3 桁の最大せん断力	3187.5	N
Z_2	主桁 (1 桁) の断面係数	8.130379×10^5	mm ³
	主桁 (2, 3 桁) の断面係数	1.769048×10^6	mm ³
	主桁 (4 桁) の断面係数	1.137798×10^6	mm ³
Aw_2	主桁 (1 桁) のせん断抵抗断面積	3.40×10^3	mm ²
	主桁 (2, 3 桁) のせん断抵抗断面積	6.00×10^3	mm ²
	主桁 (4 桁) のせん断抵抗断面積	4.50×10^3	mm ²

以上により，

曲げ応力度

1 桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{675537.5}{8.130379 \times 10^5} = 0.84 \text{N/mm}^2$$

2 桁, 3 桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{1354687.5}{1.769048 \times 10^6} = 0.77 \text{N/mm}^2$$

4桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{675537.5}{1.137798 \times 10^6} = 0.60 \text{N/mm}^2$$

せん断応力度

1桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{1589.5}{3.40 \times 10^3} = 0.47 \text{N/mm}^2$$

2桁, 3桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{3187.5}{6.00 \times 10^3} = 0.54 \text{N/mm}^2$$

4桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{1589.5}{4.50 \times 10^3} = 0.36 \text{N/mm}^2$$

合成応力度

1桁

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0.84^2 + 3 \cdot 0.47^2} = 1.17 \text{N/mm}^2$$

2桁, 3桁

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0.77^2 + 3 \cdot 0.54^2} = 1.22 \text{N/mm}^2$$

4桁

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0.60^2 + 3 \cdot 0.36^2} = 0.87 \text{N/mm}^2$$

(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、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成31年)」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 5.7-5 に示す。

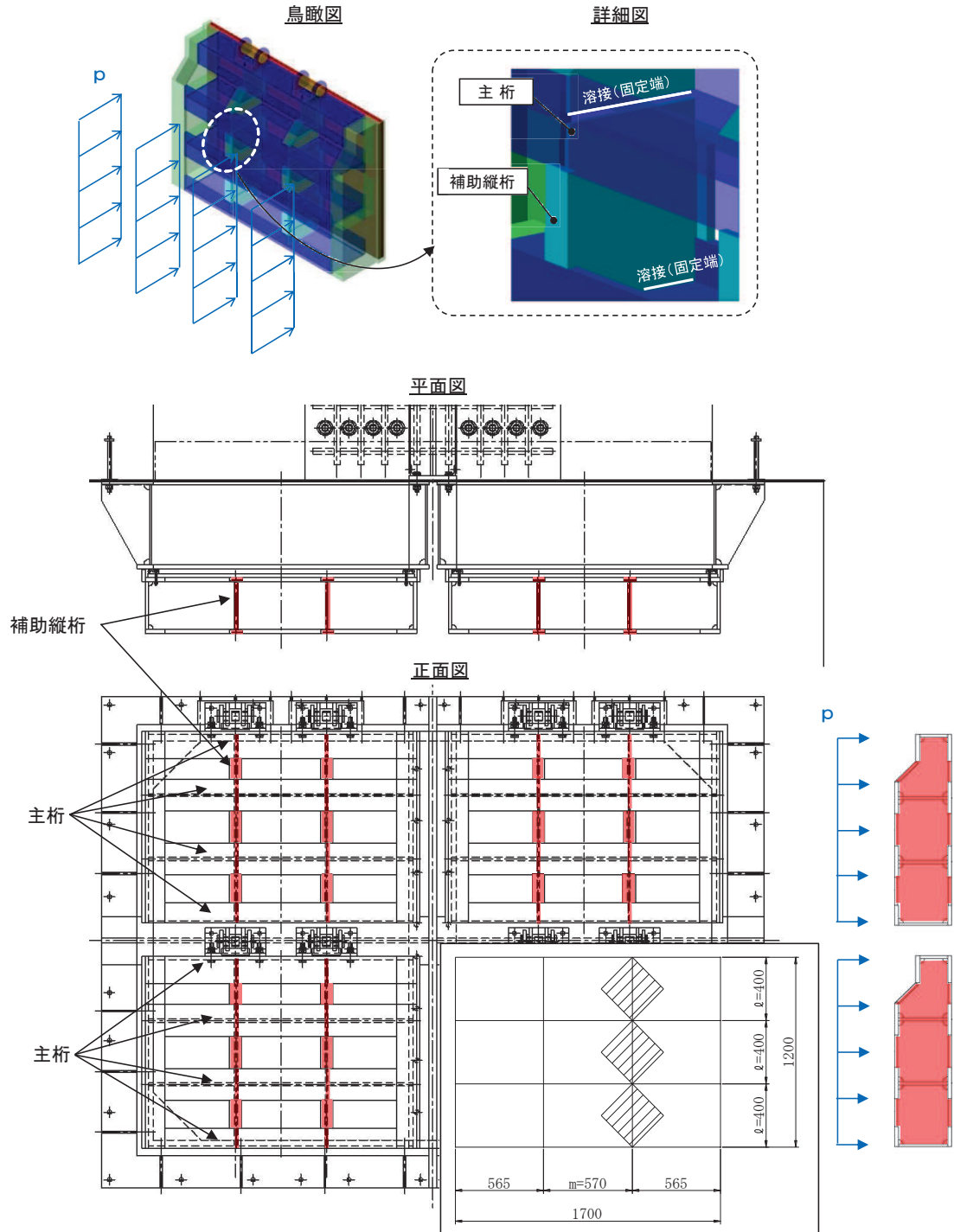


図 5.7-5 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位: mm)

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)

a. 発生荷重

補助縦桁に作用する各区画の平均荷重として、以下の式により計算する。

$$p = K_H \times G \div A_1$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-7 に示す。

表 5.7-7 スキンプレートの発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	—	N/mm ²
K _H	基準地震動 S _s による水平方向の設計震度	1.3	—
G	扉体の自重	14.70998×10 ³	N
A ₁	扉体面積	2.04×10 ⁶	mm ²

よって、

$$p = 1.3 \times 14.70998 \times 10^3 \div (2.04 \times 10^6) = 0.009374 \text{ N/mm}^2 = 0.0094 \text{ N/mm}^2$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

発生応力を計算するに当たり、最大曲げモーメント及び最大せん断力を以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで、

M_{max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{max} : 最大せん断力 (N)

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12} = \frac{0.0094 \times 400^3}{12} = 50133.33333 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4} = \frac{0.0094 \times 400^2}{4} = 376 \text{ N}$$

ただし、

補助縦桁の主桁間隔 ℓ : 400 mm

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

発生応力を算定するに当たり、主桁の断面係数及びせん断抵抗断面積を求める。図 5.7-6 に主桁の断面形状を示す。

中間縦桁断面性能

使用部材 PLH-220×75×12/20(SUS304)

断面係数

$$Z_3 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{220^3 \times 75 - 180^3 \times 63}{220} \right) = 3.266545 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_3 = 180 \times 12 = 2.16 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

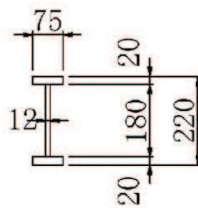


図 5.7-6 補助縦桁の断面形状 (単位: mm)

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_3}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-8 に示す。

表 5.7-8 補助縦桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	最大曲げモーメント	50133.33333	N・mm
S_{max}	最大せん断力	376	N
Z_3	補助縦桁の断面係数	3.266545×10^5	mm ³
$A w_3$	補助縦桁のせん断抵抗断面積	2.16×10^3	mm ²

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_3} = \frac{50133.33333}{3.266545 \times 10^5} = 0.16 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_3} = \frac{376}{2.16 \times 10^3} = 0.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0.16^2 + 3 \times 0.18^2} = 0.36 \text{ N/mm}^2$$

(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 5.7-7 に示す。

【中央支柱】

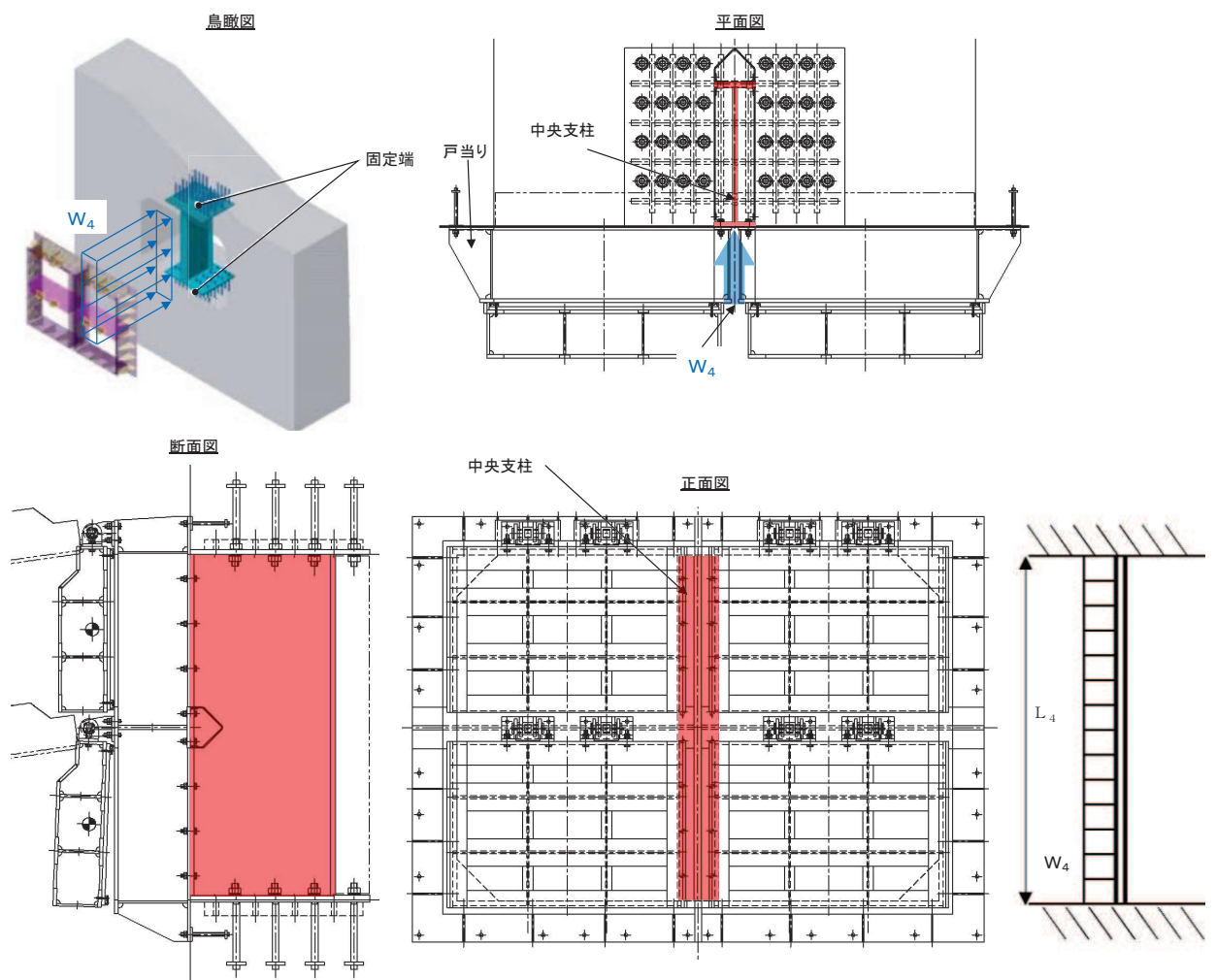


図5.7-7(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

また、中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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）】

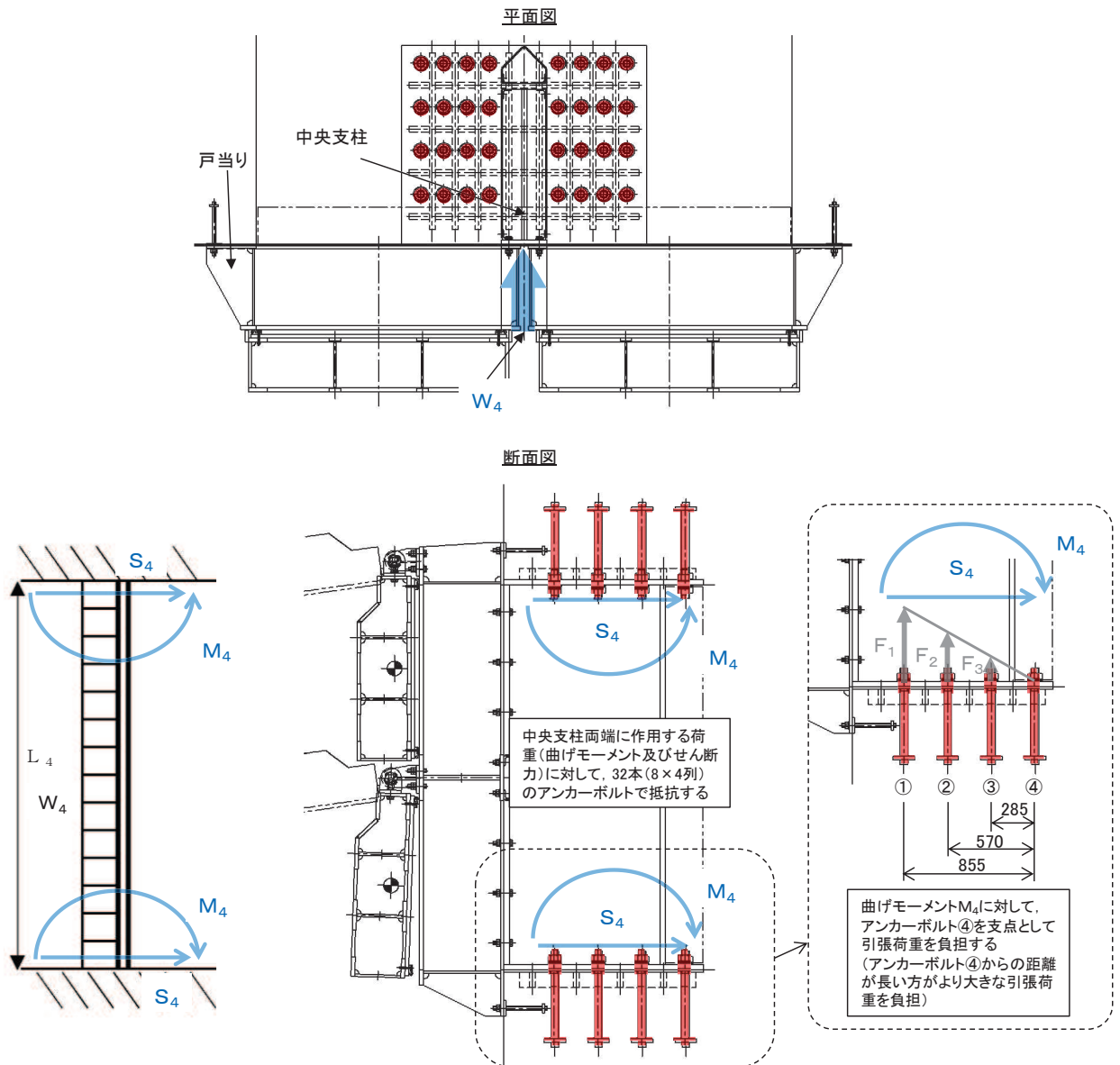


図5.5-4(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

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

a. 発生荷重

中央支柱へ作用する荷重は、以下の式により計算する。

$$w_4 = P_4 \cdot \frac{B}{2}$$

$$P_4 = \frac{\sqrt{FH^2 + (G_f + FV)^2}}{B \cdot H}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-9 に示す。

表 5.7-9 中央支柱に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
w_4	中央支柱に作用する荷重	—	N/mm
P_4	中央支柱に作用する水平地震荷重	—	N/mm ²
B	扉体幅	3600	mm
H	扉体高	2610	mm
FH	水平地震力	200	kN
FV	鉛直地震力	170	kN
G_f	F G 自重 (扉体 4 門+戸当り 4 門+中央支柱)	147.100	kN

$$w_4 = P_4 \cdot \frac{B}{2} = 0.0399 \times \frac{3600}{2} = 71.82 \text{ N/mm}$$

$$P_4 = \frac{\sqrt{FH^2 + (G_f + FV)^2}}{B \cdot H} = \frac{\sqrt{200^2 + (147.100 + 170)^2}}{3600 \cdot 2610} = 0.0399 \text{ N/mm}^2$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

中央支柱に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\text{max}} = \frac{w_4 \cdot L_4^2}{12} = \frac{71.82 \times 2500^2}{12} = 37406250 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_4 \cdot L_4}{2} = 71.82 \times 2500 / 2 = 89775 \text{ N}$$

ここで

L_4 : 中央支柱固定高 2500 mm

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

【中央支柱】

発生応力を算定するに当たり，中央支柱の断面係数及びせん断抵抗面積を求める。図 5.7-10 に中央支柱の断面形状を示す。

使用部材 PLC-1050×300×35/35 (SUS304)

断面係数

$$Z_4 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{1050^3 \times 300 - 980^3 \times 265}{1050} \right) = 1.5535178 \times 10^7 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_4 = 980 \times 35 = 3.43 \times 10^4 \text{mm}^2$$

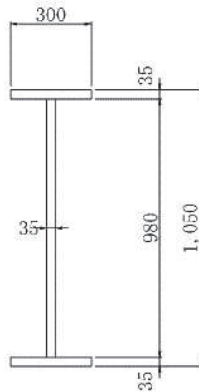


図 5.7-8 中央支柱の断面形状

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

【中央支柱】

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

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

【中央支柱（アンカーボルト）】

$$M_{\text{max}} = (F_1 \times 855 + F_2 \times 570 + F_3 \times 285) \cdot 8$$

$$= (3 \times F_3 \times 855 + 2 \times F_3 \times 570 + F_3 \times 285) \times 8 = 3990 \times F_3 \times 8$$

$$F_3 = \frac{M_{\text{max}}}{3900 \times 8}$$

$$F_1 = 3 \times F_3 = 3 \times \frac{M_{\text{max}}}{3900 \times 8}$$

$$P_4 = F_1$$

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-10 に示す。

表 5.7-10 中央支柱の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
M_{max}	最大曲げモーメント	37406250	N・mm
S_{max}	最大せん断力	89775	N
Z_4	中央支柱の断面係数	1.5535178×10^7	mm ³
A_{w4}	中央支柱のせん断抵抗断面積	3.43×10^4	mm ²
F_1	アンカーボルト①が負担する引張荷重	—	N
n_4	アンカーボルトの本数	32	本

【中央支柱】

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_4} = \frac{37406250}{1.5535178 \times 10^7} = 2.41 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_4} = \frac{89775}{3.43 \times 10^4} = 2.62 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{2.41^2 + 3 \times 2.62^2} = 5.14 \text{N/mm}^2$$

【中央支柱（アンカーボルト）】

$$F_1 = 3 \times F_3 = 3 \times \frac{M_{\text{max}}}{3900 \times 8} = 3 \times \frac{37406250}{3900 \times 8} = 3596.754808 \text{N} = 3597 \text{N}$$

$$P_4 = F_1 = 3597 \text{N} = 3.60 \times 10^3 \text{N}$$

$$Q_4 = \frac{S_{\text{max}}}{n_4} = \frac{89775}{32} = 2806 \text{N} = 2.81 \times 10^3 \text{N}$$

(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 5.7-9 に示す。

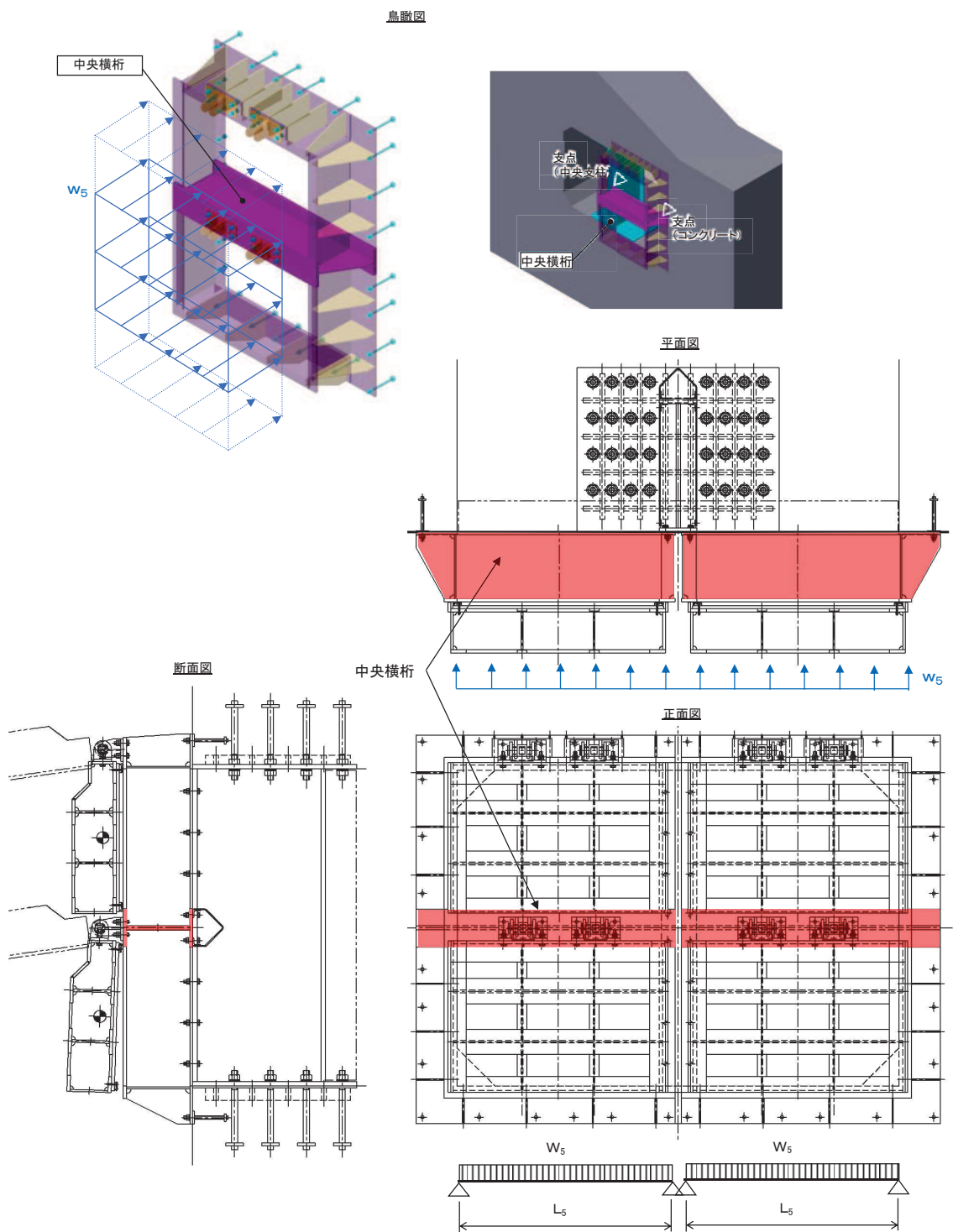


図 5.7-9 中央横桁の構造図及びモデル図

また、中央横桁の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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)

a. 発生荷重

中央横桁へ作用する荷重は、以下の式により計算する。

$$w_5 = P_5 \cdot \frac{H_5}{2}$$

$$P_5 = \frac{\sqrt{FH^2 + (G_f + FV)^2}}{B \cdot H}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-11 に示す。

表 5.7-11 中央横桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
w_5	中央横桁に作用する荷重	—	N/mm
P_5	中央横桁に作用する水平地震荷重	—	N/mm ²
B	扉体幅	3600	mm
H_5	扉体高	2610	mm
FH	水平地震力	200	kN
FV	鉛直地震力	170	kN
G_f	FG自重 (扉体 4 門+戸当り 4 門+中央支柱)	147.100	kN

$$w_5 = P_5 \cdot \frac{H_5}{2} = 0.0399 \times \frac{2610}{2} = 52.07 \text{ N/mm}$$

$$P_5 = \frac{\sqrt{FH^2 + (G_f + FV)^2}}{B \cdot H} = \frac{\sqrt{200^2 + (147.100 + 170)^2}}{3600 \cdot 2610} = 0.0399 \text{ N/mm}^2$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5^2}{8} = \frac{52.07 \times 1600^2}{8} = 166622400 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{w_5 \cdot L_5}{2} = 52.07 \times \frac{1600}{2} = 41656 \text{ N}$$

ここで

L_5 : 中央横桁支間長 1600 mm

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

発生応力を算定するに当たり，中央横桁の断面係数及びせん断抵抗面積を求める。図 5.7-12 に中央横桁の断面形状を示す。

使用部材 PLH-550×300×30/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_5 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{550^3 \times 300 - 500^3 \times 270}{550} \right) = 4.897727 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_5 = 500 \times 30 = 1.50 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

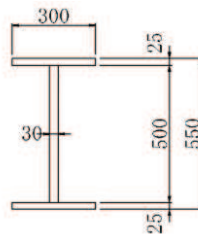


図 5.7-10 中央横桁の断面形状

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-12 に示す。

表 5.7-12 補助縦桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	最大曲げモーメント	16662400	N・mm
S_{max}	最大せん断力	41656	N
Z_5	中央横桁の断面係数	4.897727×10^6	mm ³
$A w_5$	中央横桁のせん断抵抗断面積	1.50×10^4	mm ²

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_5} = \frac{16662400}{4.897727 \times 10^6} = 3.41 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_5} = \frac{41656}{1.50 \times 10^4} = 2.78 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{3.41^2 + 3 \times 2.78^2} = 5.9002 \text{N/mm}^2 = 5.91 \text{N/mm}^2$$

(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。

ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図を図 5.7-11 に示す。

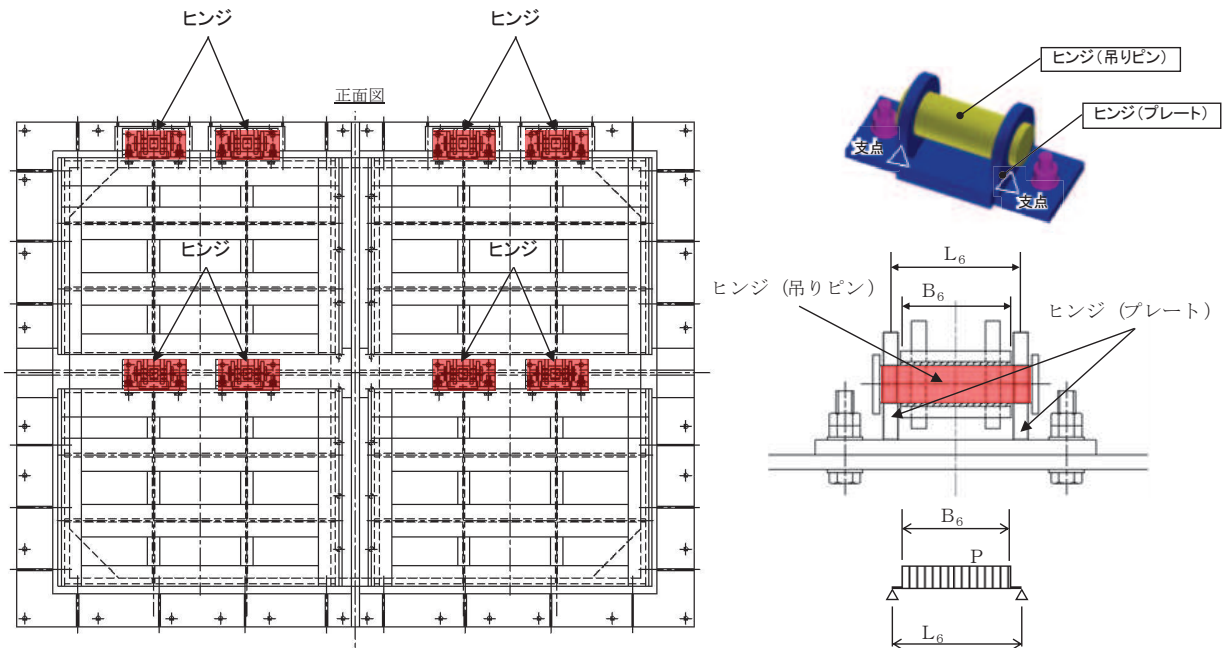


図 5.7-11 ヒンジ（吊りピン）の構造図及びモデル図

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。

$$M_{\max} = \frac{P_6 \cdot (2 \cdot L_6 - B_6)}{8}$$

$$S_{\max} = \frac{P_6}{2}$$

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

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

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

ここで,

- L_6 : ヒンジピン支間長 (mm)
- B_6 : ヒンジピン受圧幅 (mm)
- P_6 : 総荷重
- Z_6 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)
- A_6 : ヒンジピンの断面積 (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)

a. 発生荷重

ヒンジ（吊りピン）へ作用する荷重は、以下の式により計算する。

$$P_6 = \sqrt{\left(P_{w6} + P_{v6}\right)^2 + P_{H6}^2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-13 に示す。

表 5.7-13 ヒンジ（吊りピン）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_6	総荷重		
P_{w6}	自重による荷重	7354.9875	N
P_{v6}	鉛直地震荷重	8090.4863	N
P_{H6}	水平地震荷重	9561.4838	N

$$P_6 = \sqrt{\left(P_{w6} + P_{v6}\right)^2 + P_{H6}^2} = \sqrt{(7354.9875 + 8090.4863)^2 + 9561.4838^2} = 18165\text{N}$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

ヒンジ（吊りピン）に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\max} = \frac{P_6 \cdot (2 \cdot L_6 - B_6)}{8} = \frac{18165 \times (2 \cdot 176 - 150)}{8} = 458666.25\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\max} = \frac{P_6}{2} = \frac{18165}{2} = 9082.5\text{N}$$

ここで、

ヒンジピン支間長 L_6 : 176mm

ヒンジピン受圧幅 B_6 : 150mm

c. 断面係数及び断面積

発生応力を算定するに当たり、ヒンジ（吊りピン）の断面係数及び断面積を求める。

ヒンジ（吊りピン）断面性能

使用部材 $\phi 50$ (SUS304)

断面係数

$$Z_6 = \pi \times 50^3 \div 32 = 1.2272 \times 10^4 \text{mm}^3$$

断面積

$$A_{w6} = \frac{1}{4} \times \pi \times 50^2 = 1.963 \times 10^4 \text{mm}^2$$

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\text{max}}}{3 \cdot A_{w6}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-14 に示す。

表 5.7-14 ヒンジ（吊りピン）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	最大曲げモーメント	458666.25	N・mm
S_{max}	最大せん断力	9082.5	N
Z_6	ヒンジ（吊りピン）の断面係数	1.2272×10^4	mm ³
A_{w6}	ヒンジ（吊りピン）の断面積	1.963×10^3	mm ²

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_6} = \frac{458666.25}{1.2272 \times 10^4} = 37.38 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{4 \cdot S_{\text{max}}}{3 \cdot A_{w6}} = \frac{4}{3} \times \frac{9082.5}{1.963 \times 10^3} = 6.17 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{37.38^2 + 3 \times 6.17^2} = 38.88 \text{N/mm}^2$$

(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、吊り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 5.7-12 に示す。

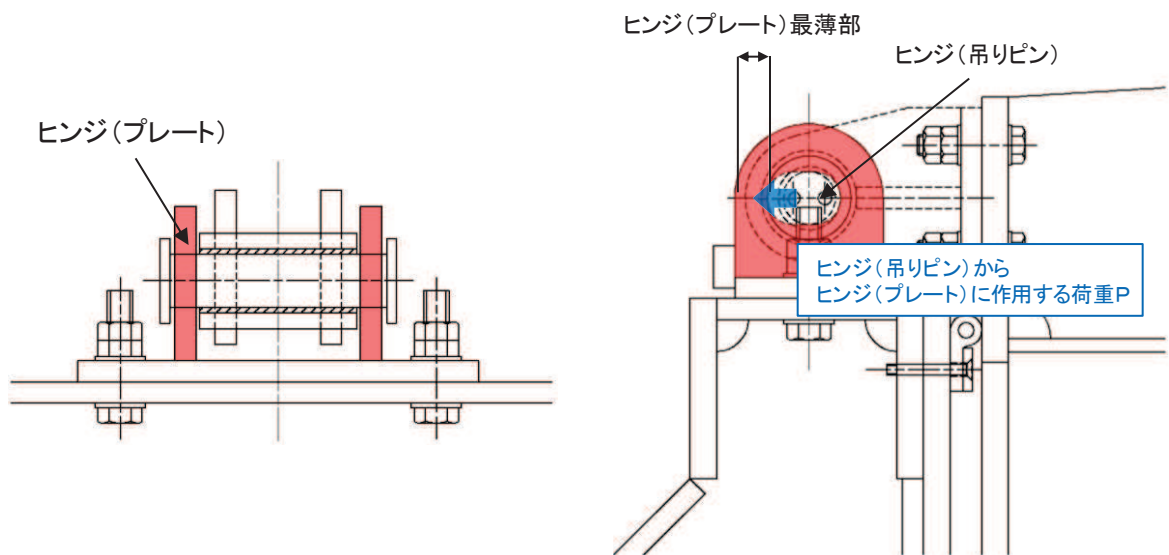


図5.7-12 ヒンジ (プレート) の構造図 (水路縦断方向)

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)

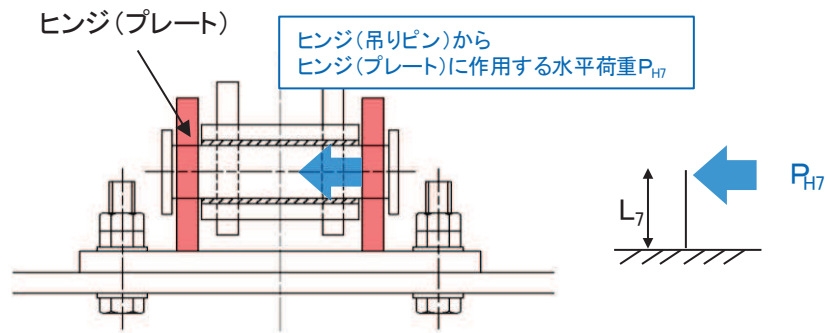


図5.7-12(2) ヒンジ (プレート) の構造図 (水路横断方向)

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。

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

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

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

$$\sigma_{bk} = \frac{P_H}{A_p}$$

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)

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_{bk} : 支圧応力度 (N/mm^2)

a. 水路縦断方向

(a) 発生応力

せん断応力について，以下の式にて計算を行う。

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-15 に示す。

表 5.7-15 ヒンジ（プレート）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
τ	せん断応力	—	N/mm ²
P_7	ヒンジ（プレート）に作用する荷重 = (P_6)	18165	N
$A h_7$	ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積	1.2×10^3	mm

$$\tau = \frac{P_7}{A h_7} = \frac{18165}{1.2 \times 10^3} = 15.14 \text{ N/mm}^2$$

b. 水路横断方向

(a) 発生応力

せん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\sigma_b = \frac{M_7}{Z_7}$$

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-16 に示す。

表 5.7-16 ヒンジ（プレート）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
τ	せん断応力	—	N/mm ²
P	ヒンジ（プレート）に作用する鉛直荷重	15445.4738	N
$A h_7$	ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積	1.2×10^3	mm
P_{H7}	水平地震荷重	9561.4838	N
L_7	吊ピン中心からヒンジ（プレート）下端までの距離	75	mm
M_7	ヒンジ（プレート）下端部に作用する曲げモーメント	717111.29	N・mm
Z_7	ヒンジ（プレート）の断面係数	9.3333×10^3	mm ³
A_p	支圧抵抗面積	3.063×10^3	mm ²

$$\tau = \frac{P}{A h_7} = \frac{15445.4738}{1.2 \times 10^3} = 12.88 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_7}{Z_7} = \frac{717111.29}{9.3333 \times 10^3} = 76.84 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_p = \frac{P_{H7}}{A_p} = \frac{9561.4838}{3.063 \times 10^3} = 3.13 \text{N/mm}^2$$

(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5.5-13に、応力算定式を図5.5-14に示す。

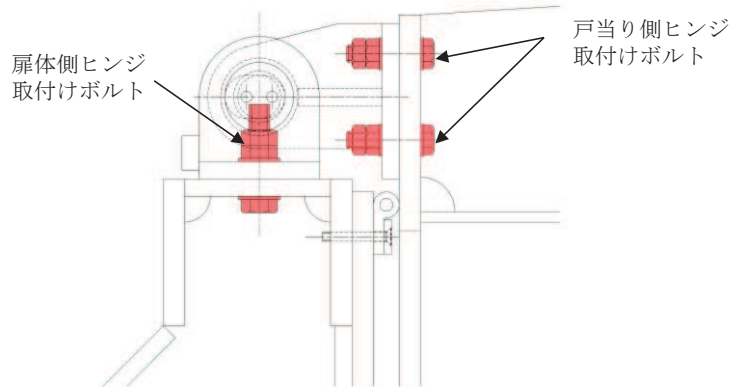
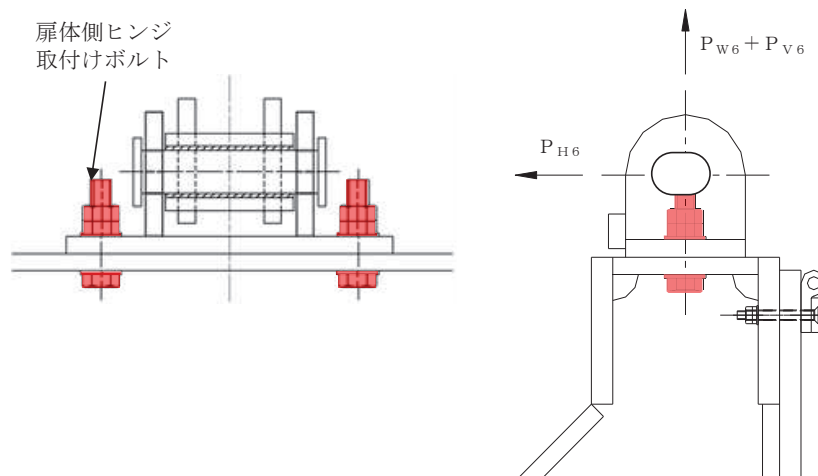


図 5.5-13 ヒンジ取付けボルトの構造図

【扉体側】



$$\sigma = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 2}$$

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

$A b_8$: 取付けボルトの断面積 (mm²)

P_{W8} : ヒンジ1箇所当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)

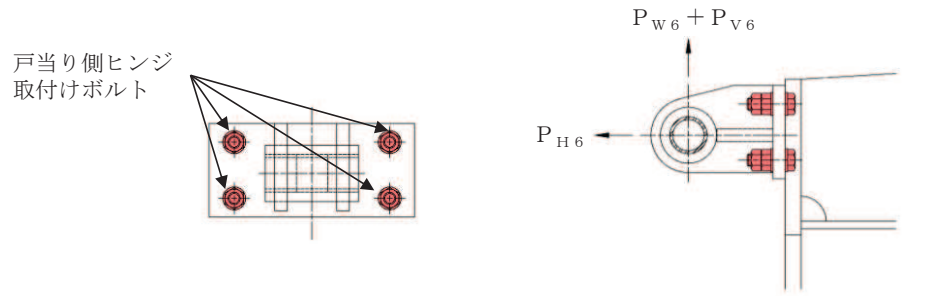
σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

σ_g : 合成応力度 (N/mm²)

図 5.5-14(1) ヒンジ取付けボルト (扉体側) の応力算定式

【戸当り側】



$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 4}$$

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

- $A b_8$: 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 5.5-14(2) ヒンジ取付けボルト (戸当り側) の応力算定式

a. 扉体側

(a) 発生荷重

ヒンジ取付けボルトに扉体の自重，鉛直方向及び水平方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。それぞれの数値を表 5.7-17 に示す。

表 5.7-17 ヒンジ取付けボルトに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{W8}	ヒンジ 1 箇所当たりが負担する扉体の自重 (= P_{W6})	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 (= P_{V6})	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 (= P_{H6})	9561.4838	N

(b) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 2}$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 2}$$

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-18 に示す。

表 5.7-18 ヒンジ取付けボルトの発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
P_{W8}	ヒンジ 1 箇所当たりが負担する扉体の自重 (= P_{W6})	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 (= P_{V6})	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 (= P_{H6})	9561.4838	N
$A b_8$	取付けボルトの断面積	234.89880	mm

$$\sigma = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 2} = \frac{7354.9875 + 8090.4863}{234.89880 \times 2} = 32.88 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 2} = \frac{9561.4838}{234.89880 \times 2} = 20.36 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{32.88^2 + 3 \cdot 20.36^2} = 48.22 \text{N/mm}^2$$

b. 戸当り側

(a) 水路縦断方向

i. 発生荷重

ヒンジ取付けボルトに扉体の自重，鉛直方向及び水平方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。それぞれの数値を表 5.7-19 に示す。

表 5.7-19 ヒンジ取付けボルトに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{W8}	ヒンジ1箇所当たりが負担する扉体の自重 ($= P_{W6}$)	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 ($= P_{V6}$)	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 ($= P_{H6}$)	9561.4838	N

ii. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 4}$$

$$\tau = \frac{P_{W8} + P_{V8}}{A b_8 \cdot 4}$$

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-20 に示す。

表 5.7-20 ヒンジ取付けボルトの発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
P_{W8}	ヒンジ1箇所当たりが負担する扉体の自重 ($= P_{W6}$)	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 ($= P_{V6}$)	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 ($= P_{H6}$)	9561.4838	N
$A b_8$	取付けボルトの断面積	234.89880	mm

$$\sigma = \frac{P_{H8}}{A b_8 \cdot 4} = \frac{9561.4838}{234.89880 \times 4} = 10.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{P_{w8} + P_{v8}}{A b_8 \cdot 4} = \frac{7354.9875 + 8090.4863}{234.89880 \times 4} = 16.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{10.18^2 + 3 \cdot 16.44^2} = 30.24 \text{ N/mm}^2$$

(b) 水路横断方向

i. 発生荷重

ヒンジ取付けボルトに扉体の自重、鉛直方向及び水平方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。それぞれの数値を表 5.7-21 に示す。

表 5.7-21 ヒンジ取付けボルトに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{W8}	ヒンジ 1 箇所当たりが負担する扉体の自重 (= P_{W6})	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 (= P_{V6})	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 (= P_{H6})	9561.4838	N

ii. 発生応力

せん断応力について、以下の式にて計算を行う。

$$\tau = \frac{\sqrt{(P_{W8} + P_{V8})^2 + P_{H8}^2}}{Ab \cdot 4}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-21 に示す。

表 5.7-21 ヒンジ取付けボルトの発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
P_{W8}	ヒンジ 1 箇所当たりが負担する扉体の自重 (= P_{W6})	7354.9875	N
P_{V8}	鉛直地震荷重 (= P_{V6})	8090.4863	N
P_{H8}	水平地震荷重 (= P_{H6})	9561.4838	N
Ab_8	取付けボルトの断面積	234.89880	mm

$$\tau = \frac{\sqrt{(P_{W8} + P_{V8})^2 + P_{H8}^2}}{Ab \cdot 4} = \frac{\sqrt{(7354.9875 + 8090.4863)^2 + 9561.4838^2}}{234.89880 \times 4} = 19.34 \text{ N/mm}^2$$

(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5.7-15に示す。

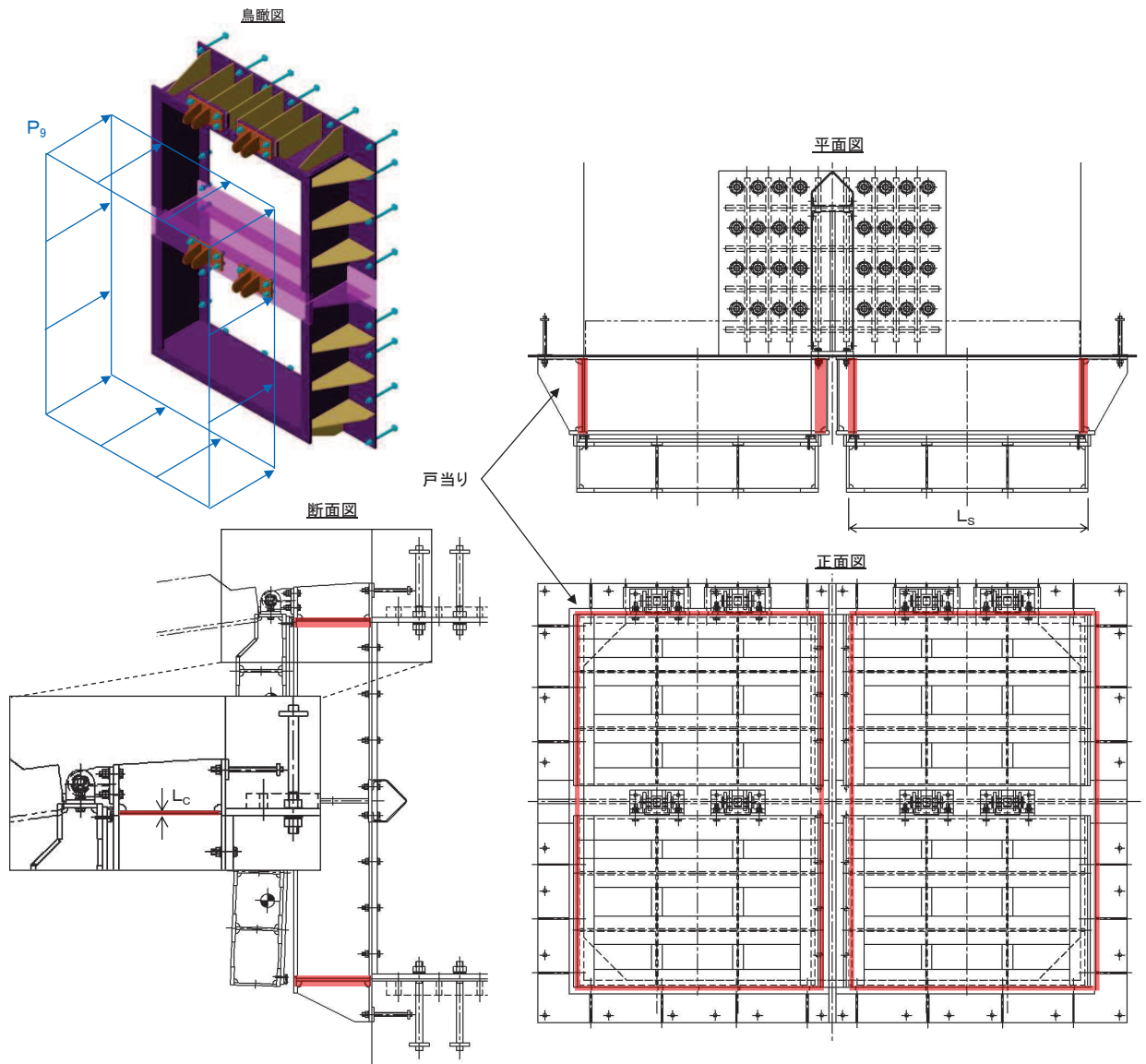


図 5.7-15 戸当りの構造図

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

a. 発生荷重

戸当りに水平方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。数値を表 5.7-22 に示す。

表 5.7-22 戸当りに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_g	戸当りへ作用する荷重	0.0225	N/mm ²

b. 発生応力

支圧応力について、以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-23 に示す。

表 5.7-23 ヒンジ取付けボルトの発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	支圧応力度	—	N/mm ²
P_g	戸当りへ作用する荷重	0.0225	N/mm ²
L_s	戸当りから中央支柱中心までの距離	1700	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	12	mm

$$\sigma_{bk} = \frac{P_g \cdot L_s}{2 \cdot L_c} = \frac{0.0225 \times 1700}{2 \times 12} = 1.60 \text{ N/mm}^2$$

(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 5.7-16 に示す。

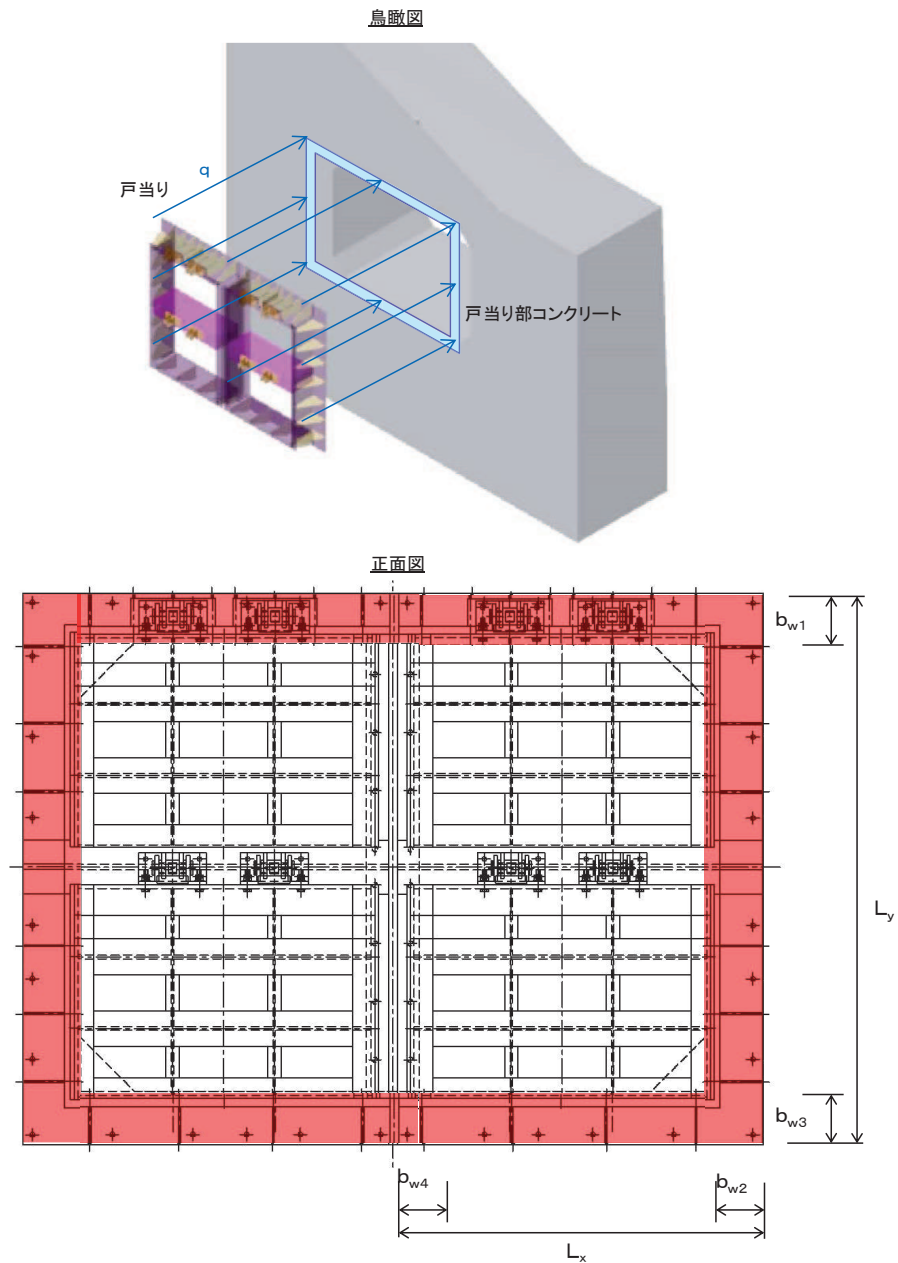


図 5.7-16 戸当り部コンクリートの構造図

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)

a. 発生荷重

戸当り部コンクリートに水平方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。数値を表 5.7-24 に示す。

表 5.7-24 戸当りに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
q	戸当りへ作用する水平地震力	0.0225	N/mm ²

b. 発生応力

支圧応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{w1}}{2 \cdot S}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-25 に示す。

表 5.7-25 コンクリートの支圧応力度算定に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	コンクリート支圧応力度	—	N/mm ²
τ	せん断応力度	—	N/mm ²
q	戸当りへ作用する水平地震力	0.0225	N/mm ²
L_x	戸当り横幅	2075	mm
L_y	戸当り縦幅	3075	mm
b_{w1}	上部戸当り支圧幅	275	mm
b_{w2}	側部戸当り支圧幅	325	mm
b_{w3}	下部戸当り支圧幅	300	mm
b_{w4}	中央支柱部の戸当り支圧幅	125	mm
S	戸当り幅(上部及び下部戸当りの最小支圧幅)	275	mm

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

$$= \frac{0.0225 \times 2075 \times 3075}{2075 \times (275 + 300) + (3075 - 275 - 300) (325 + 125)} = 0.07 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{0.07 \cdot 275}{2 \cdot 275} = 0.04 \text{N/mm}^2$$

(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、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化する。なお、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、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 5.7-18 に示す。

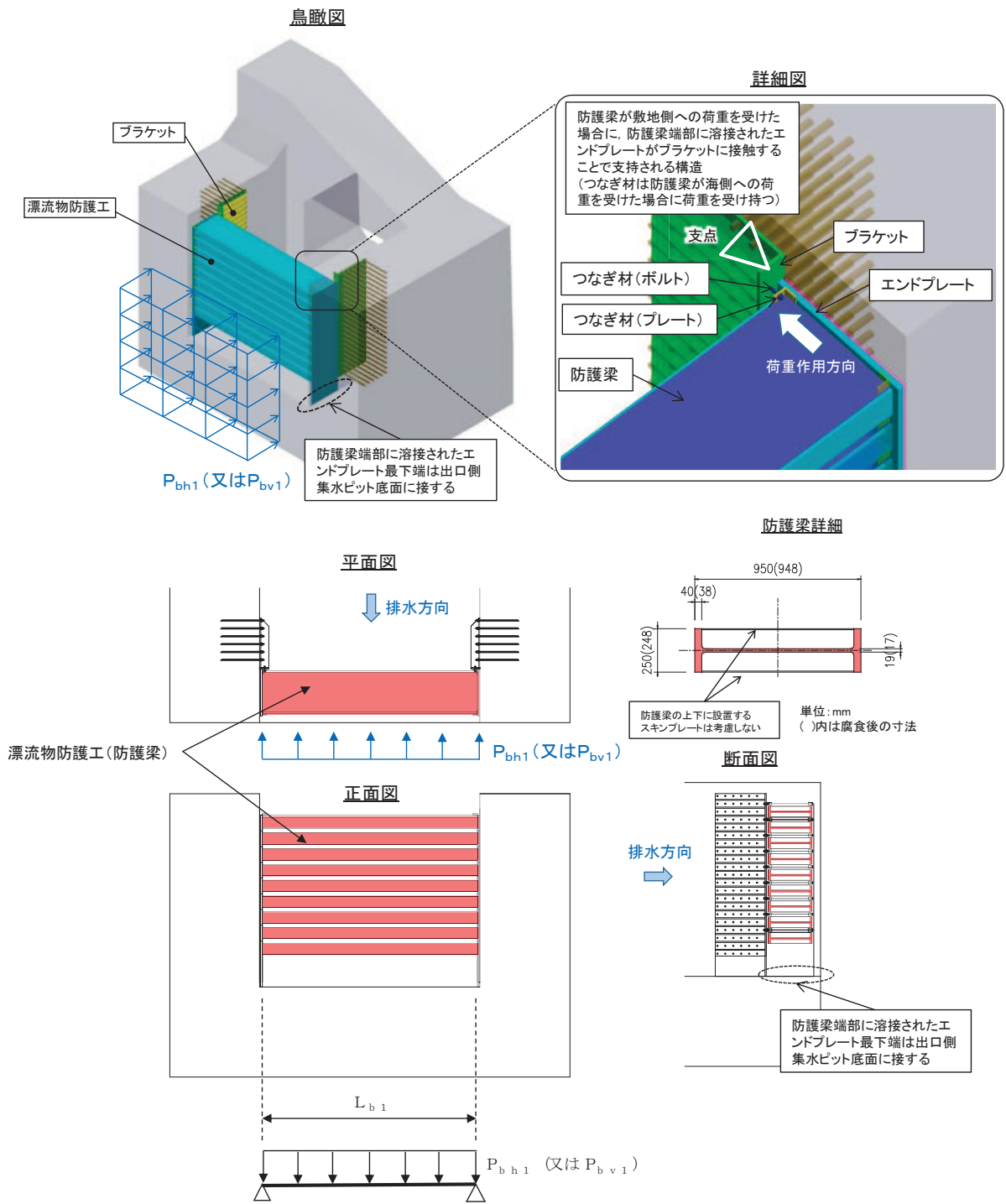


図 5.7-18 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁の応力算定式は以下のとおりである。

【水平方向】

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

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

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

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

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

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)

(合成応力度)

【鉛直方向】

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

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

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

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

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

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)

(合成応力度)

【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)

a. 防護梁

(a) 発生荷重

漂流物防護工（防護梁）に水平方向及び鉛直方向の地震荷重が加わったものとして計算を行う。数値を表 5.7-26 に示す。

表 5.7-26 漂流物防護工（防護梁）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	6.743	N/mm ²
P_{bv1}	防護梁に作用する鉛直荷重（自重含む）	10.892	N/mm ²

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（防護梁）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

【水平方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} = 6.743 \times \frac{4820^2}{8} = 19582009.15 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2} = 6.743 \times \frac{4820}{2} = 16250.63 \text{ N}$$

【鉛直方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}^2}{8} = 10.892 \times \frac{4820^2}{8} = 31630912.6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bv1} \cdot L_{b1}}{2} = 10.892 \times \frac{4820}{2} = 26249.72 \text{ N}$$

ここで、

漂流物防護工（防護梁）のスパン長 L_{b1} : 4820mm

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【水平方向】

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

$$\tau_x = \frac{S_{max}}{A_{w_{bh1}}}$$

【鉛直方向】

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

$$\tau_y = \frac{S_{max}}{A_{w_{bv1}}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-27 に示す。

表 5.7-27 漂流物防護工（防護梁）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
$\sigma_{x,y}$	曲げ応力	—	N/mm ²
$\tau_{x,y}$	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	水平方向の最大曲げモーメント	19582009.15	N・mm
	鉛直方向の最大曲げモーメント	31630912.6	N・mm
S_{max}	水平方向の最大せん断力	16250.63	N
	鉛直方向の最大せん断力	26249.72	N
Z_{bh1}	水平（強軸）方向の断面係数	10.22×10^6	mm ³
Z_{bv1}	鉛直（弱軸）方向の断面係数	0.7819×10^6	mm ³
$A_{w_{bh1}}$	水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	14.82×10^3	mm ²
$A_{w_{bv1}}$	鉛直（弱軸）方向のせん断抵抗断面積	18.85×10^3	mm ²

以上により、

【水平方向】

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{bh1}} = 19582009.15 / 10.22 \times 10^6 = 1.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{w_{bh1}}} = 16250.63 / 14.82 \times 10^3 = 1.10 \text{ N/mm}^2$$

【鉛直方向】

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{bv1}} = 31630912.6 / 0.7819 \times 10^6 = 41 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{w_{bv1}}} = 26249.72 / 18.85 \times 10^3 = 2 \text{ N/mm}^2$$

b. 二軸応力状態の照査

二軸応力状態の照査について、以下の式にて計算を行う。

$$\tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} = \sqrt{1.10^2 + 1.40^2} = 1.79 \text{ N/mm}^2$$

よって、

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_a} \right) \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a} \right) + \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \\ &= \left(\frac{1.92}{382} \right)^2 - \left(\frac{1.92}{382} \right) \left(\frac{41}{382} \right) + \left(\frac{41}{382} \right)^2 + \left(\frac{1.79}{217} \right)^2 = 0.02 \end{aligned}$$

c. 出口側集水ピット底版コンクリート

(a) 発生荷重

出口側集水ピットに、漂流物防護工（防護梁）の自重及び鉛直方向の地震荷重作用するものとして計算を行う。数値を表 5.7-28 に示す。

$$P_{10} = \frac{1}{2} w_{10} (1 + K_v) = \frac{1}{2} \cdot 294.1995 \cdot (1 + 1.1) = 308.909475 \text{ kN}$$

表 5.7-28 エンドプレート下端コンクリートに作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{10}	エンドプレート下端の鉛直荷重	—	N
w_{10}	防護梁の重量	294.1995	kN
K_v	鉛直震度	1.1	—

(b) 発生応力

支圧応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$A_{10} = B_e \cdot t_e$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-29 に示す。

表 5.7-29 漂流物防護工（防護梁）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	支圧応力度	—	N/mm ²
P_{10}	エンドプレート下端の鉛直荷重	308.909475	kN
A_{10}	エンドプレート下端の断面積	—	mm
B_e	エンドプレート幅*	1048	mm
t_e	エンドプレート厚さ*	38	mm

注記*：腐食代 2mm を考慮

以上により、

$$\sigma_{bk} = \frac{P_{10}}{A_{10}} = \frac{308909.475}{1048 \cdot 38} = 7.76 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

(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。

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。

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 5.7-20 に示す。

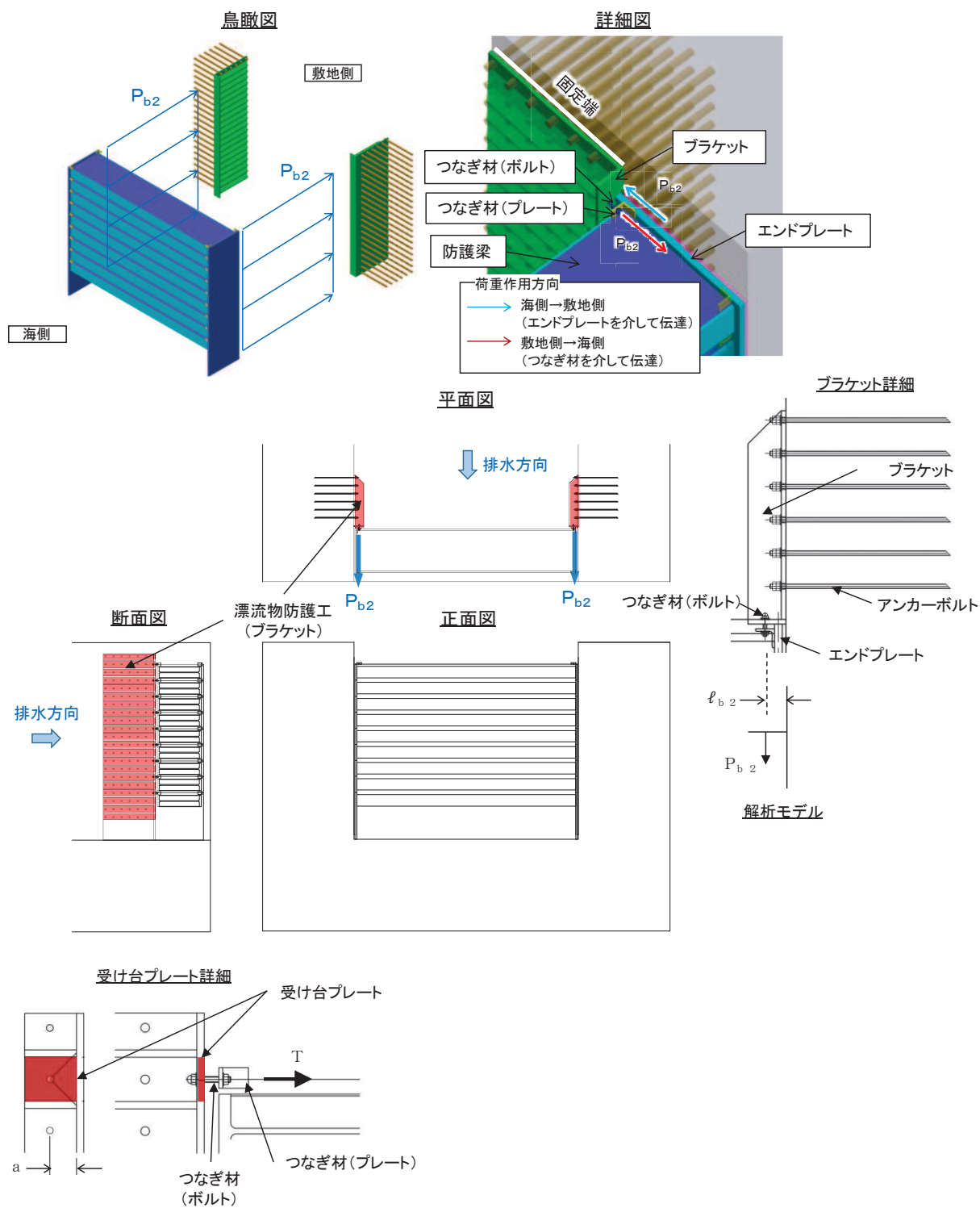


図 5.7-20 ブラケットの構造及びモデル図

a. 発生荷重

漂流物防護工（ブラケット）に作用する水平力を表 5.7-30 に示す。

表 5.7-30 漂流物防護工（ブラケット）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	16.3×10^3	N

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（ブラケット）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

【ブラケット本体】

$$M_{max} = P_{b2} \cdot \ell_{b2} = 16.3 \times 10^3 \times 110 = 1.793 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{max} = P_{b2} = 16.3 \times 10^3 \text{ N}$$

ここで、

側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ ℓ_{b2} : 110mm

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$M_{max} = T \cdot a = 16.3 \times 10^3 \times 90 = 1.467 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

ここで、

受け台に作用する引張力 T : $16.3 \times 10^3 \text{ N}$

側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ a : 90mm

c. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【ブラケット本体】

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

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{w_{b2}}}$$

【ブラケットのうち受け台プレート】

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-31 に示す。

表 5.7-31 漂流物防護工（防護梁）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{\max}	ブラケット本体の最大曲げモーメント	1.793×10^6	N・mm
	ブラケットのうち受け台の最大曲げモーメント	1.467×10^6	N・mm
S_{\max}	ブラケット本体の最大せん断力	16.3×10^3	N
Z_{b2}	ブラケットの断面係数	14.67×10^6	mm ³
Z_c	受け台プレートとの断面係数	13.225×10^3	mm ³
A_{wb2}	ブラケットのせん断抵抗断面積	50.6×10^3	mm ²

【ブラケット本体】

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_{b2}} = 1.793 \times 10^6 / 14.67 \times 10^6 = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A_{wb2}} = 16.3 \times 10^3 / 50.6 \times 10^3 = 1 \text{ N/mm}^2$$

【ブラケットのうち受け台プレート】

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_c} = \frac{1.467 \times 10^6}{13.225 \times 10^3} = 111 \text{ N/mm}^2$$

(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（M-20）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、つなぎ材の照査に当たっては腐食代を 1mm 考慮する。

つなぎ材の構造図を図 5.7-21 に示す。

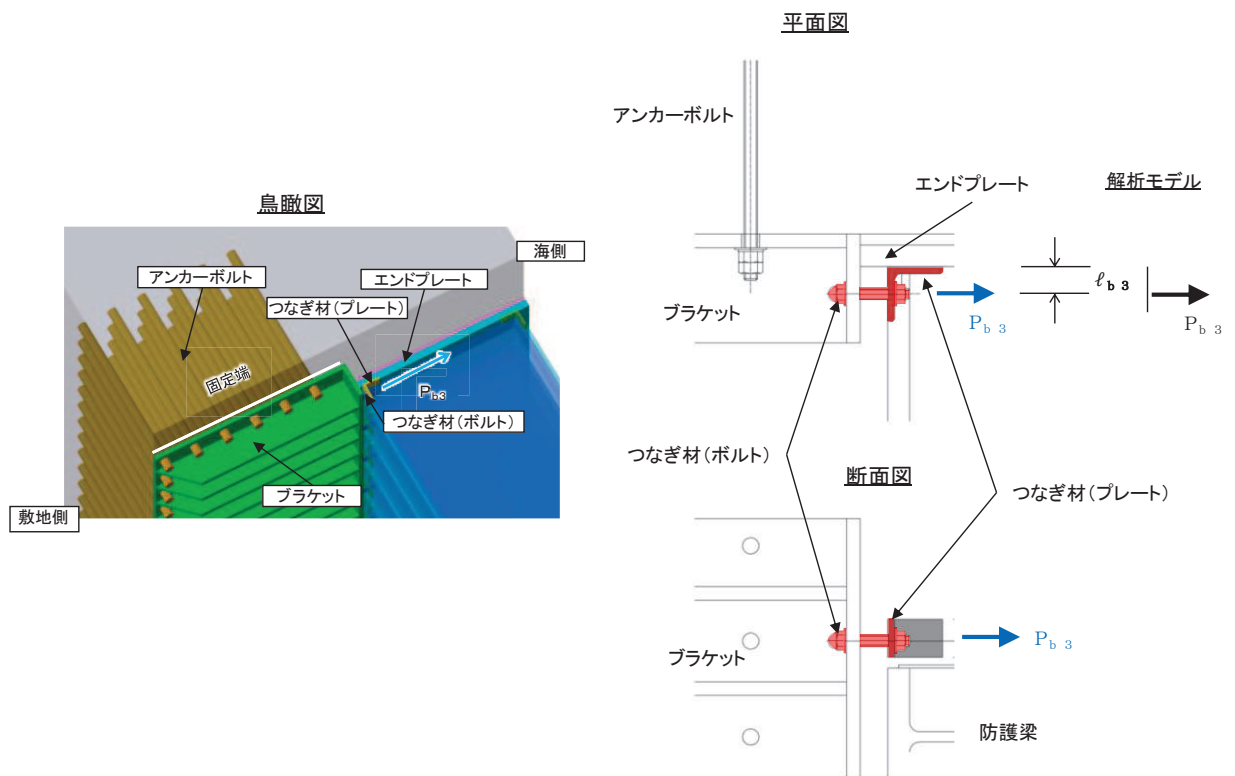


図 5.7-21(1) つなぎ材の構造図及びモデル図（水路縦断方向）

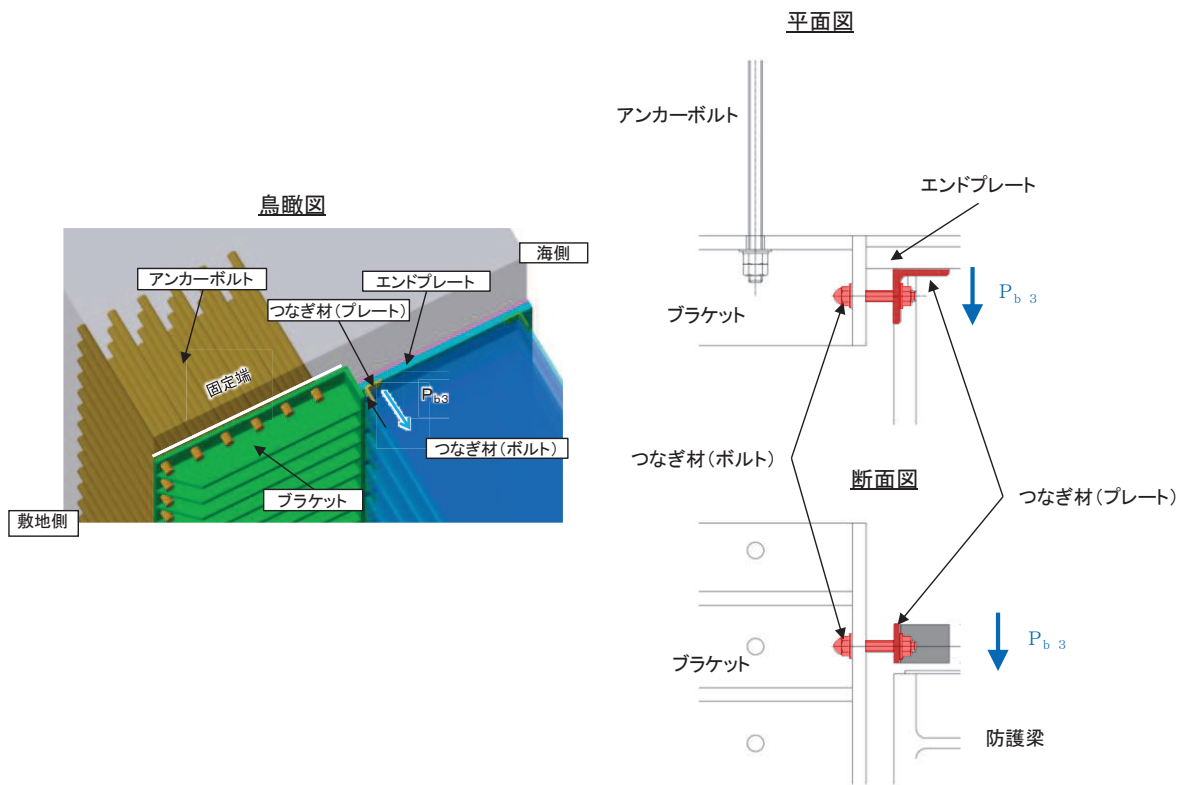


図5.7-21(2) つなぎ材の構造図 (水路横断方向)

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)

a. 水路縦断方向

(a) 発生荷重

漂流物防護工（つなぎ材）に作用する水平力を表 5.7-32 に示す。

表 5.7-32 漂流物防護工（つなぎ材）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b3}	つなぎ材プレート作用する水平力	16.3×10^3	N
P_d	つなぎ材ボルトに作用する引張力	16.3×10^3	N

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（つなぎ材）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

【プレート】

$$M_{max} = P_{b3} \cdot \ell_{b3} = 16.3 \times 10^3 \times 43 = 7.01 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{max} = P_{b3} = 16.3 \times 10^3 \text{ N}$$

ここで、

エンドプレートからボルト中心までの長さ ℓ_{b3} : 43mm

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【プレート】

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

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

【ボルト】

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-33 に示す。

表 5.7-33 漂流物防護工（つなぎ材）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	つなぎ材プレートの最大曲げモーメント	7.01×10^5	N・mm
S_{max}	つなぎ材プレートの最大せん断力	16.3×10^3	N
Z_{b3}	つなぎ材プレートの断面係数	5.995×10^3	mm ³
A_{wb3}	つなぎ材プレートの断面係数	1.564×10^3	mm ²
A_d	つなぎ材ボルトの有効断面積	245	mm ²

【プレート】

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b3}} = \frac{7.01 \times 10^5}{5.995 \times 10^3} = 117 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{wb3}} = \frac{16.3 \times 10^3}{1.564 \times 10^3} = 11 \text{N/mm}^2$$

【ボルト】

$$\sigma = \frac{P_d}{A_d} = \frac{16.3 \times 10^3}{245} = 67 \text{N/mm}^2$$

b. 水路横断方向

(a) 発生荷重

漂流物防護工（つなぎ材）に作用する水平力を表 5.7-34 に示す。

表 5.7-34 漂流物防護工（つなぎ材）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b3}	つなぎ材ボルト及びつなぎ材プレート作用する水平力	16.3×10^3	N

(b) 発生応力

せん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【プレート】

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-35 に示す。

表 5.7-35 漂流物防護工（つなぎ材）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
τ	せん断応力	—	N/mm ²
B_p	つなぎ材プレートの有効プレート幅	36.5	mm
t_p	つなぎ材プレート厚さ	23	mm

【プレート】

$$\tau = \frac{P_{b3}}{B_p \cdot t_p} = \frac{16.3 \times 10^3}{36.5 \cdot 23} = 20 \text{ N/mm}^2$$

(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5.7-22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所要引張力および所要せん断力が確保できるか確認する。

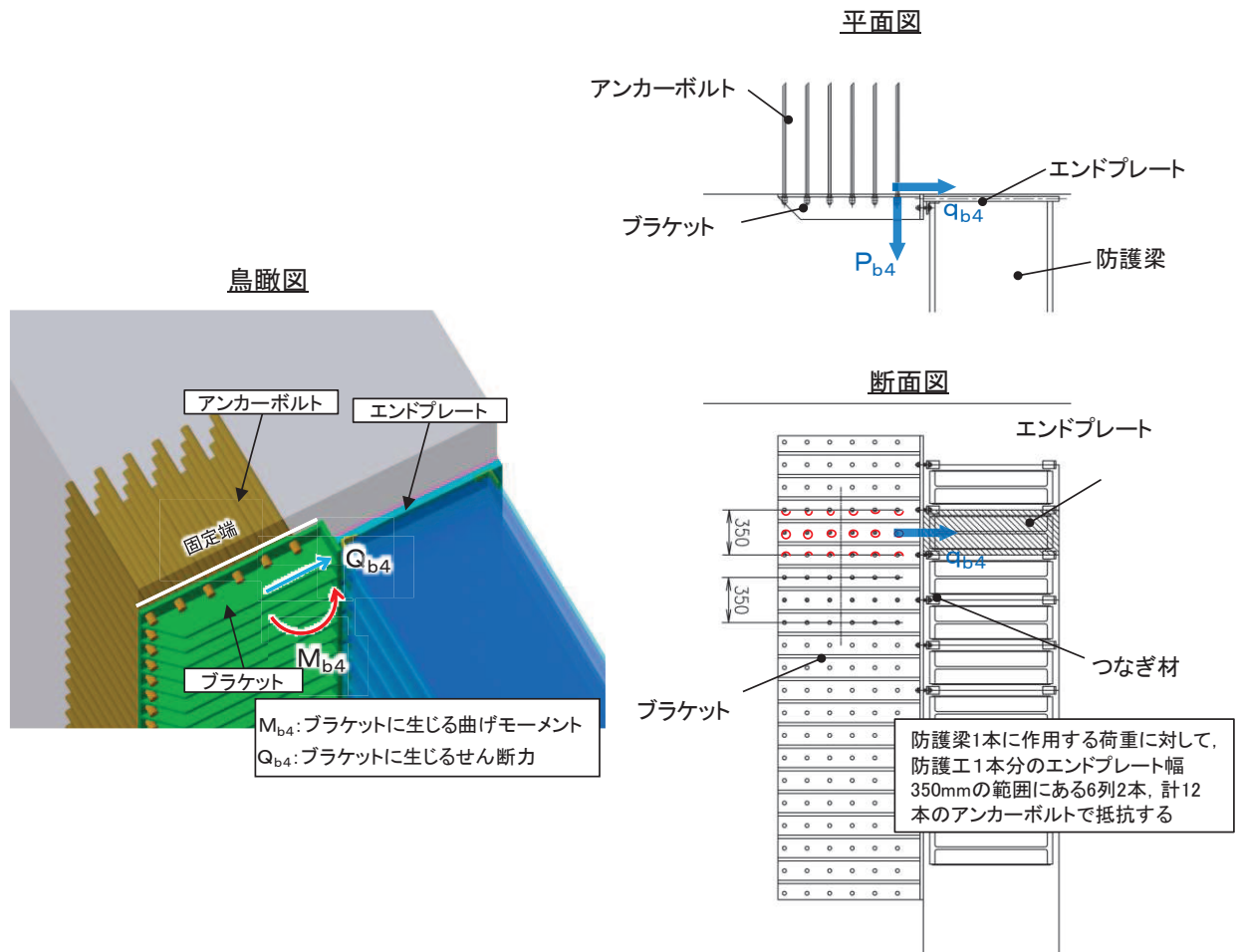


図 5.7-22 アンカーボルトの構造図

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)

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
			曲げ応力度	12.88	154	0.09
		水路横断方向	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 鉛直方向	曲げ応力度	37.38	154	0.25
			せん断応力度	6.17	88	0.08
		—	合成応力度	38.88	154	0.26
	ヒンジ取付け ボルト	水路縦断方向 鉛直方向	引張応力度	32.88	154	0.22
			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 鉛直方向	引張応力度	10.18	154	0.07
			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 鉛直方向	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 鉛直方向	曲げ応力度	41	382	0.11	
			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 底版コンクリート	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7.1-1に、構造図を図7.1-2に、概略配筋図を図7.1-3に示す。

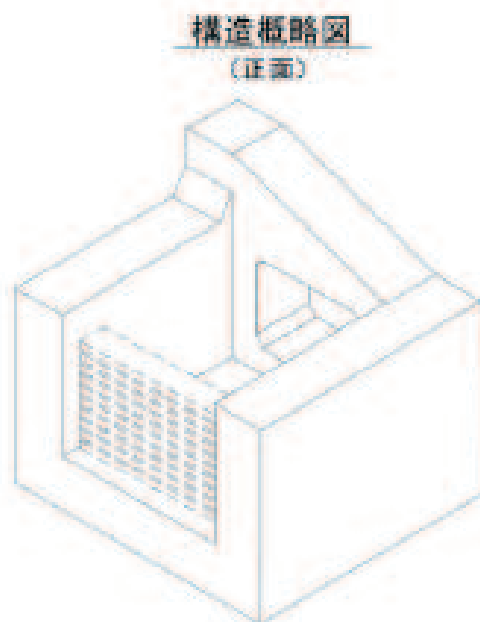
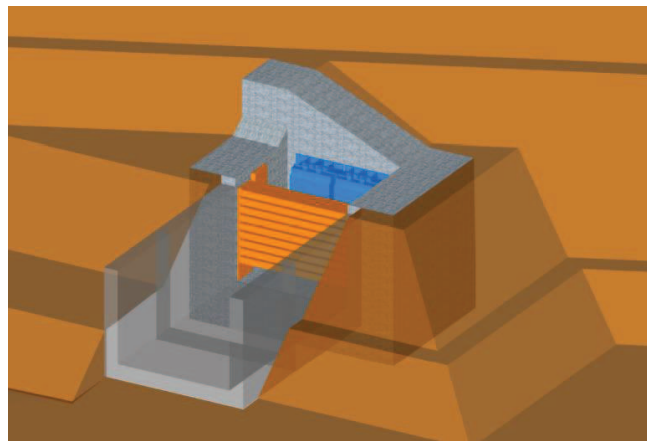


図7.1-1 出口側集水ピットの概念図

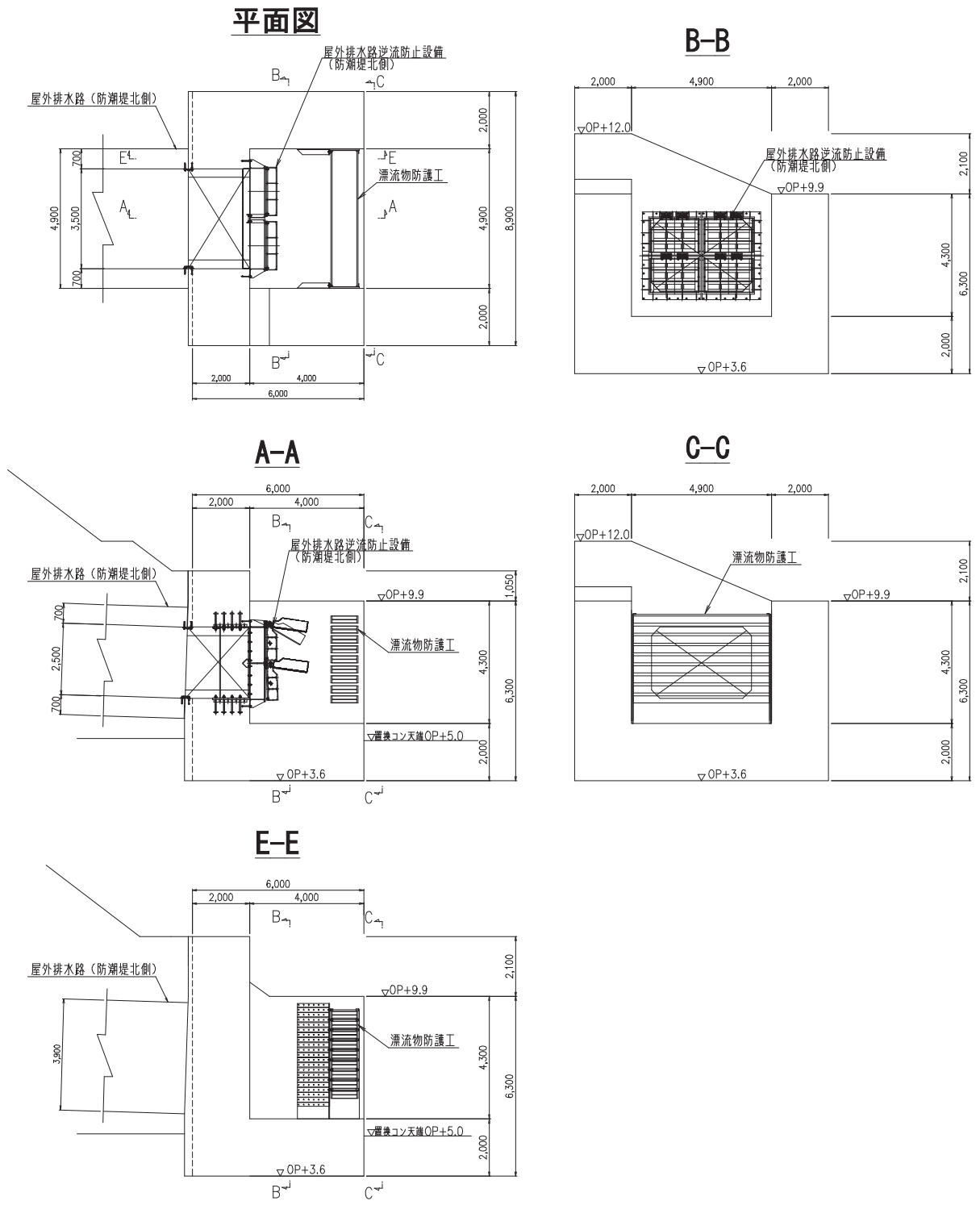
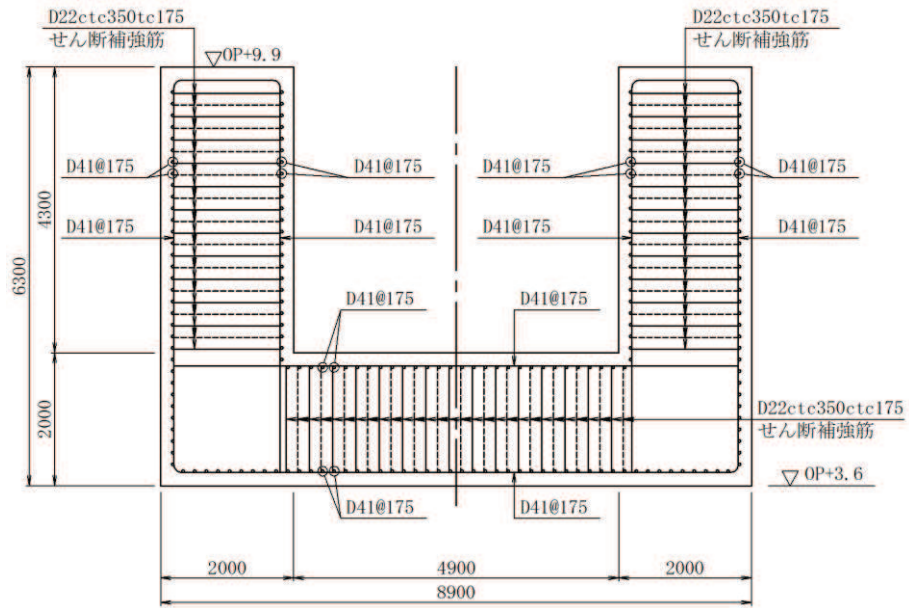


図 7.1-2 出口側集水ピット構造図

B-B 断面



E-E 断面

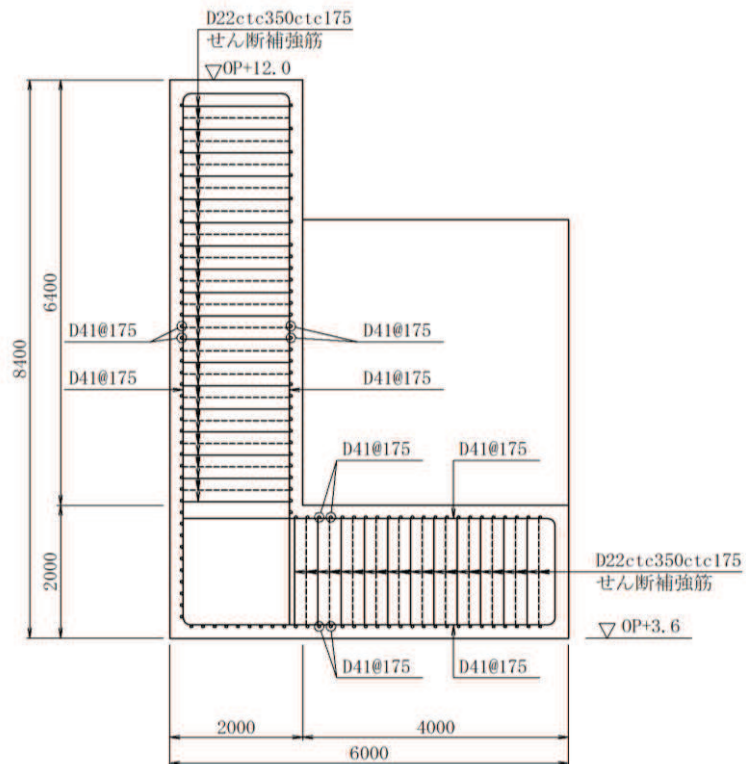


図 7.1-3 出口側集水ピット概略配筋図

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に基づき、表 7.2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することにより、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7.2-1に出口側集水ピットの耐震評価フローを示す。

表 7.2-1 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

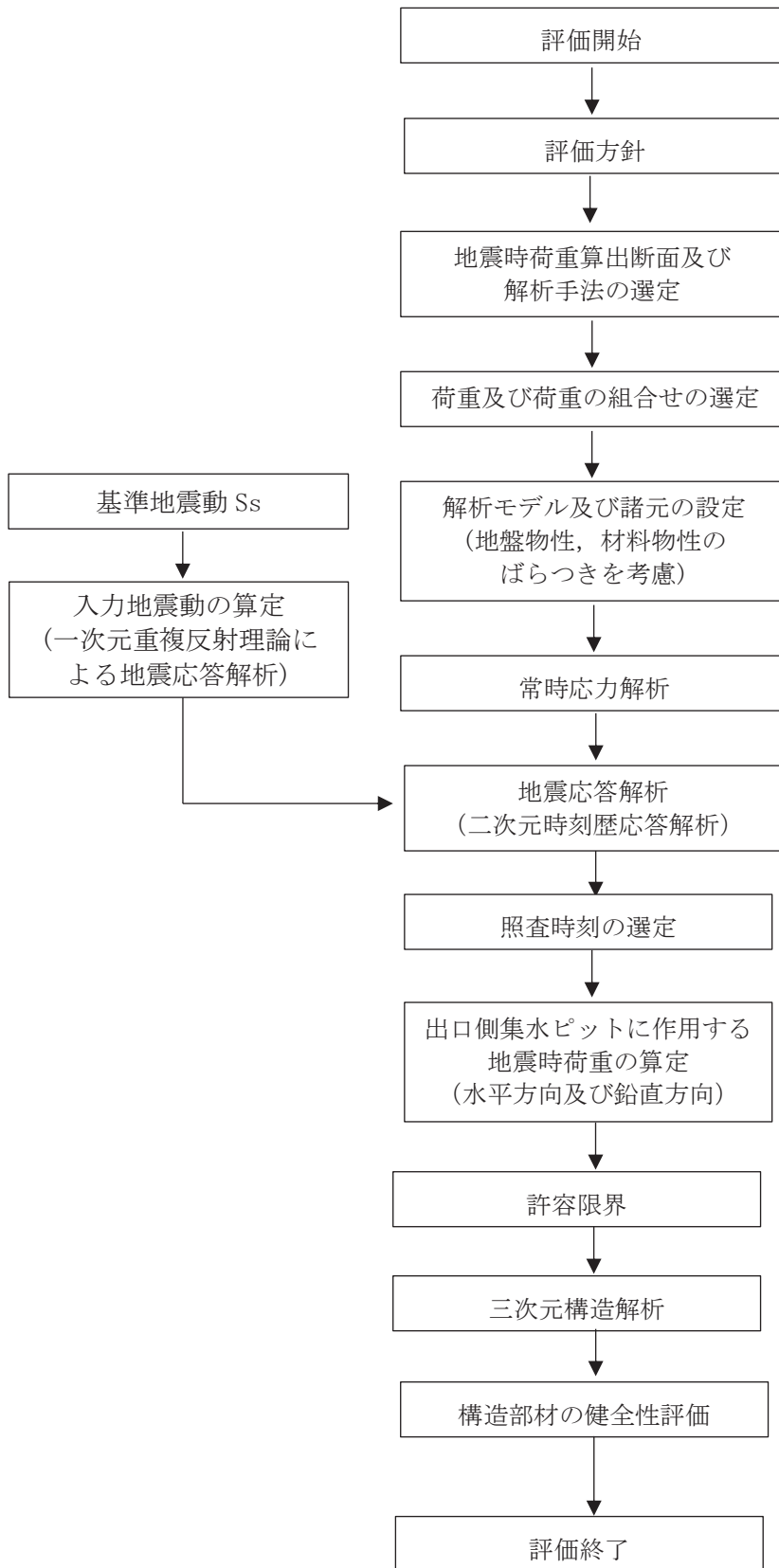


図 7.2-1 出口側集水ピットの耐震評価フロー

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 8.1-1 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 8.1-2 に示す。

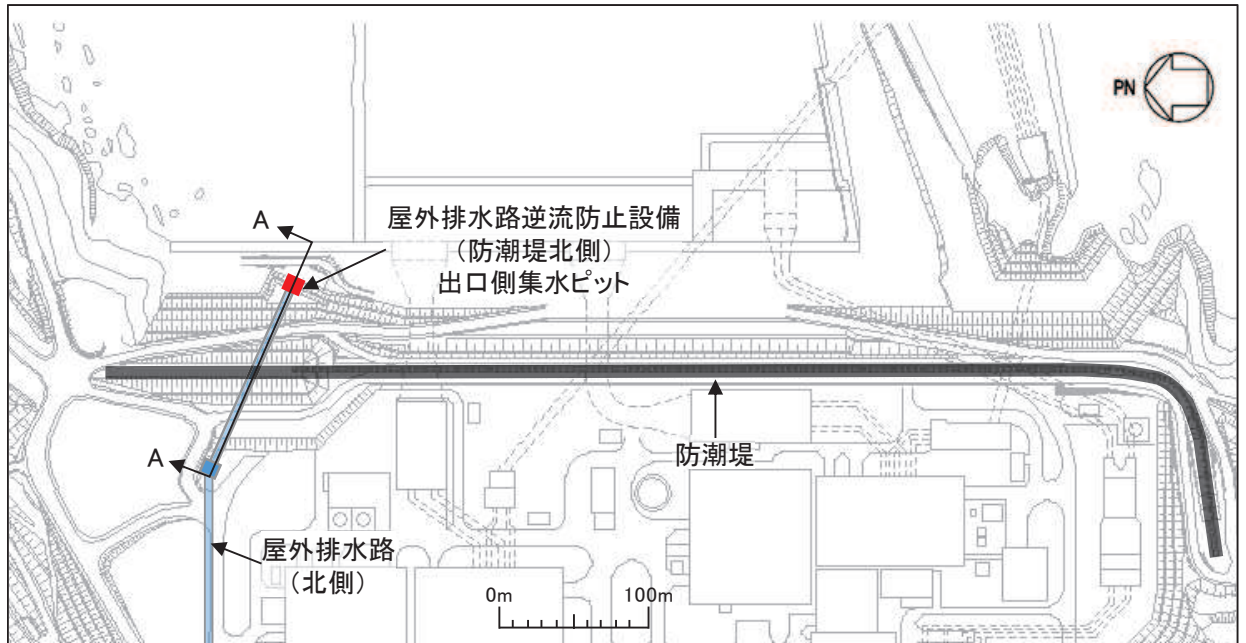


図 8.1-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

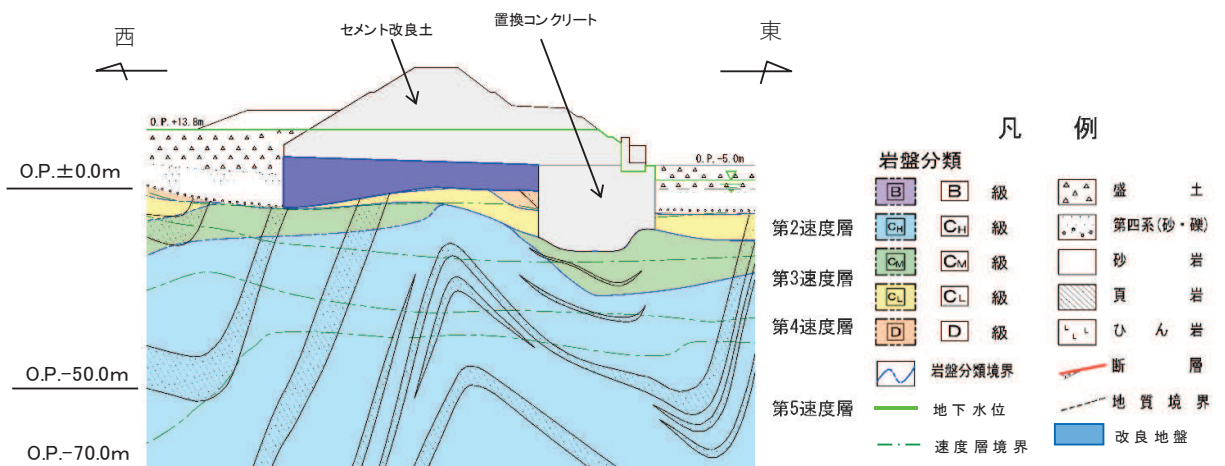


図 8.1-2 出口側集水ピットの評価対象断面図

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、解析コード「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。

8.2.1 地震応答解析手法

出口側集水ピットの地震応答解析は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

地震応答解析の選定フローを図 8.2-1 に示す。

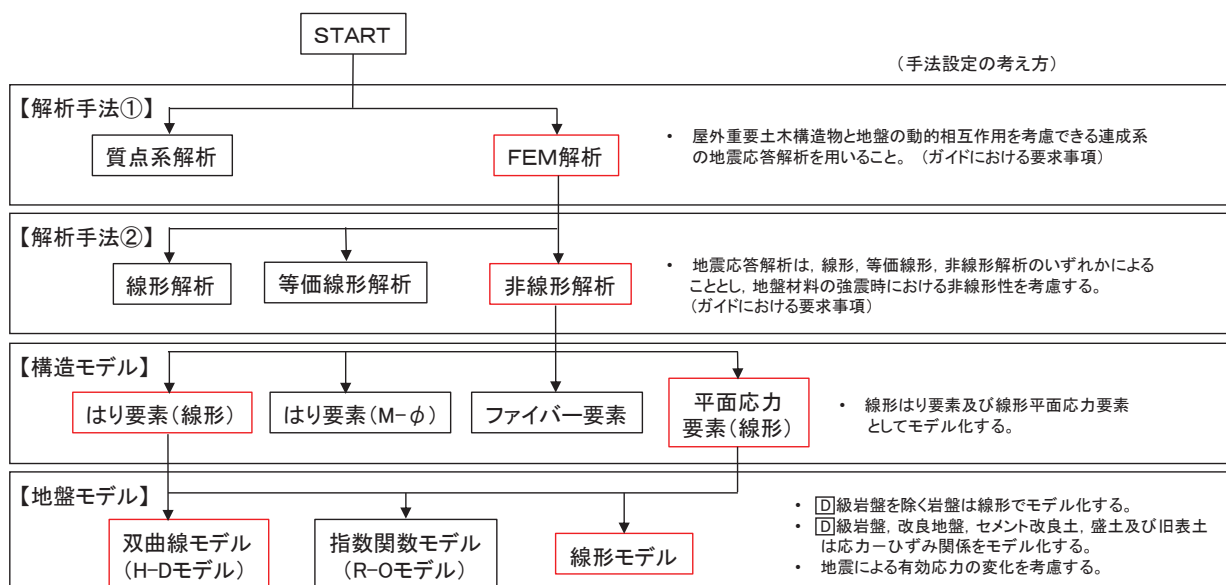


図 8.2-1 地震応答解析手法のフロー（出口側集水ピット）

8.2.2 構造部材

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。

8.2.3 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8.1-2 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重畳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 8.2-1 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 8.2-1 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_L 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。

8.2.4 減衰定数

Rayleigh 減衰はについて，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットは有効応力解析であることから，剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) を考慮する。なお，係数 β の設定については，「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

8.2.5 地震応答解析の検討ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、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 8.2-2 に示す。

表 8.2-2 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	○	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、すべり安全率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。	
		–+*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	○		

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。

- (2) 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 8.2-3 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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体及び戸当りの荷重は、解析モデルの各質点に考慮することとし、各支持点の荷重を分担距離に応じて設定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重図及び考慮する荷重を図8.3-1及び表8.3-1に、積載荷重の荷重図を図8.3-2に示す。

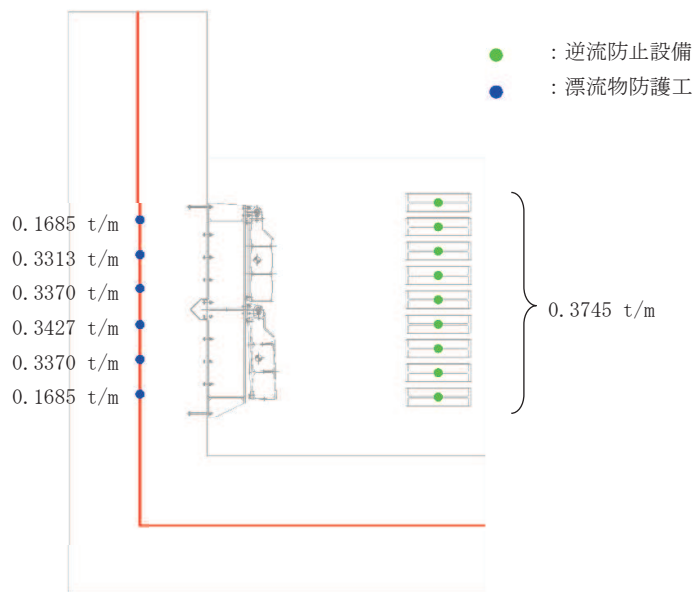


図 8.3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重図

表 8.3-1 荷重を考慮する屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

考慮する荷重	重量 (t/m)
①逆流防止設備	1.685
②漂流物防護工	3.371

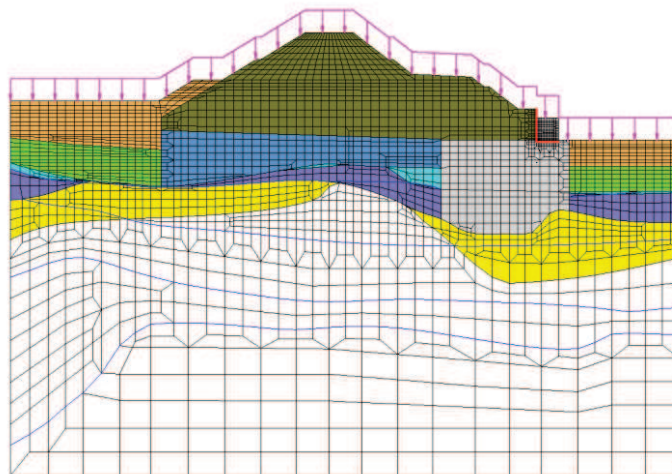


図 8.3-2 積載荷重の荷重図

(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 8.3-2、荷重の種別及び算定方法を表 8.3-3 に示す。

表 8.3-2 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

表 8.3-3 荷重の種別及び算定方法

種別		荷重	算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	○ 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の荷重を考慮する。
		土被り荷重	— 土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○ 積雪荷重を含めて 4.9kN/m^2 を考慮する。
	静止土圧		○ 常時応力解析により設定する。
	外水圧		— 外水圧は考慮しない。
	内水圧		— 内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○ 積雪荷重 (0.301kN/m^2) を考慮する。
風荷重		○ 風荷重 (30m/s) を考慮する。	
偶発荷重	水平地震動		○ 基準地震動 S_s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○ 躯体の慣性力を考慮する。
	動水圧		— 動水圧は考慮しない。

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。

入力地震動算定の概念図を図 8.4-1 に、一次元解析モデル図を図 8.4-2 に示す。図 8.4-3 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。

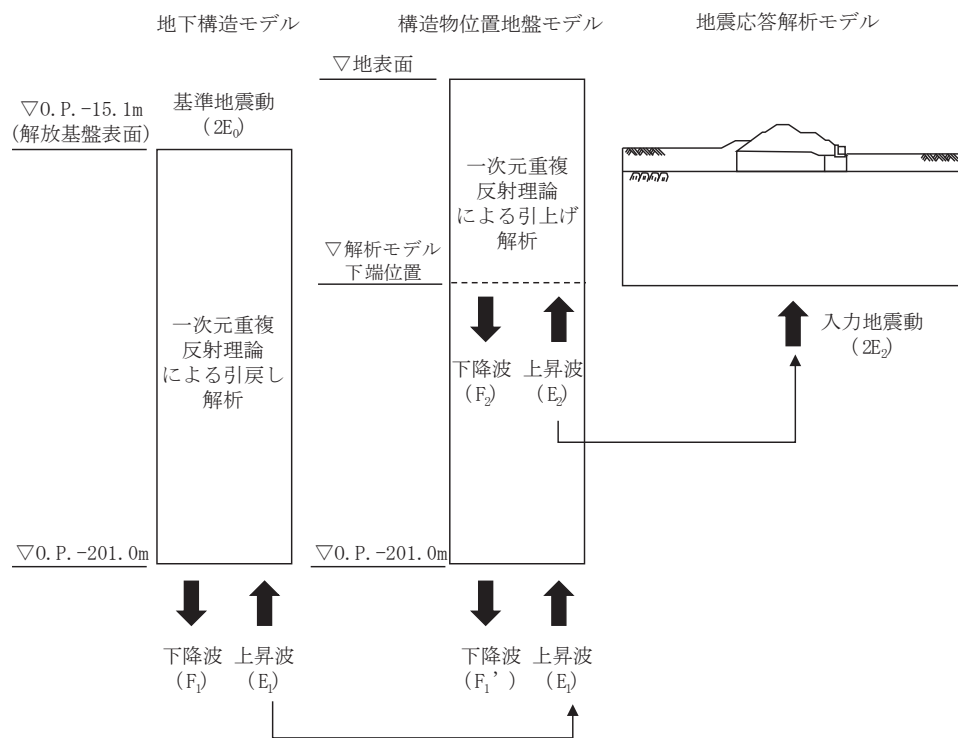


図 8.4-1 入力地震動算定の概念図

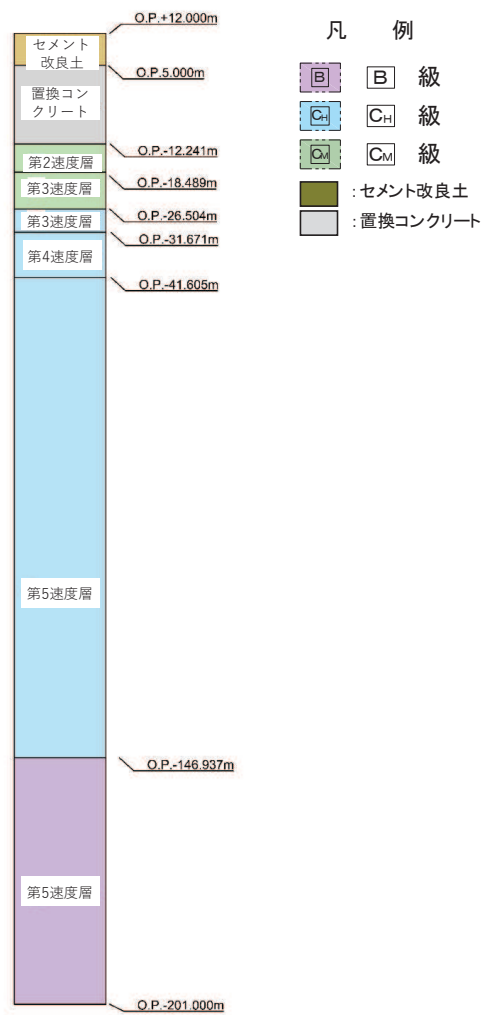
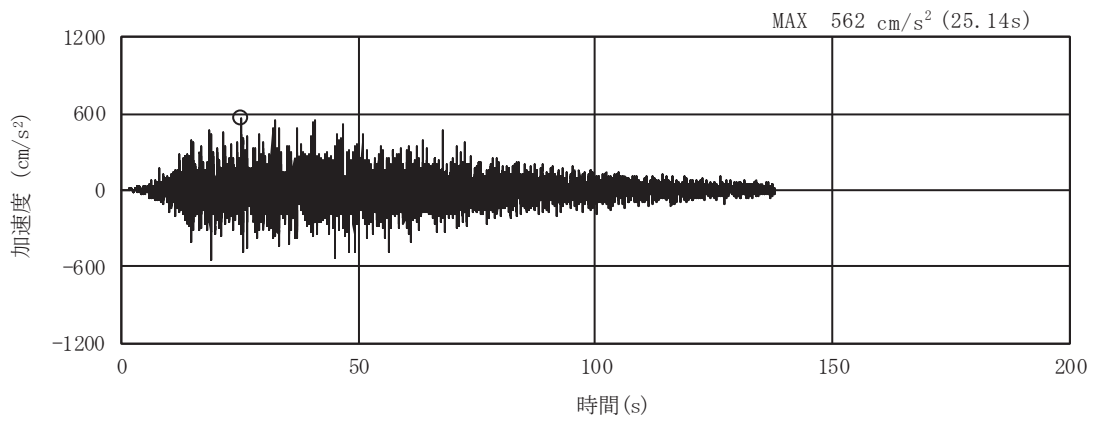
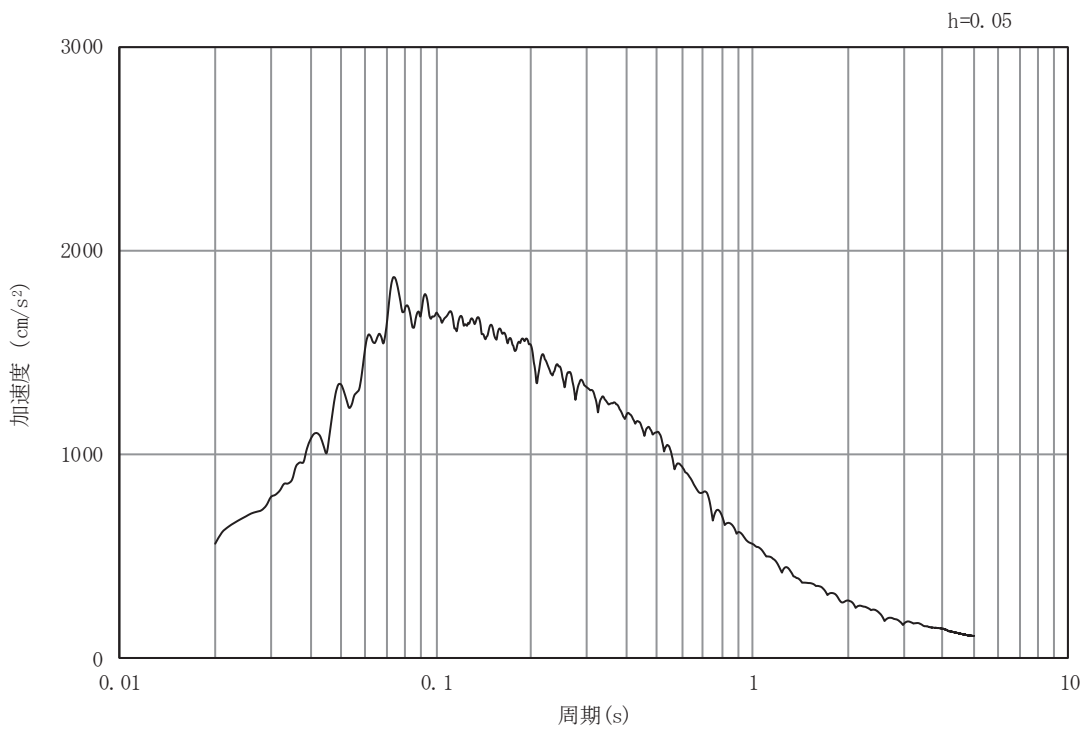


図 8.4-2 一次元解析モデル図

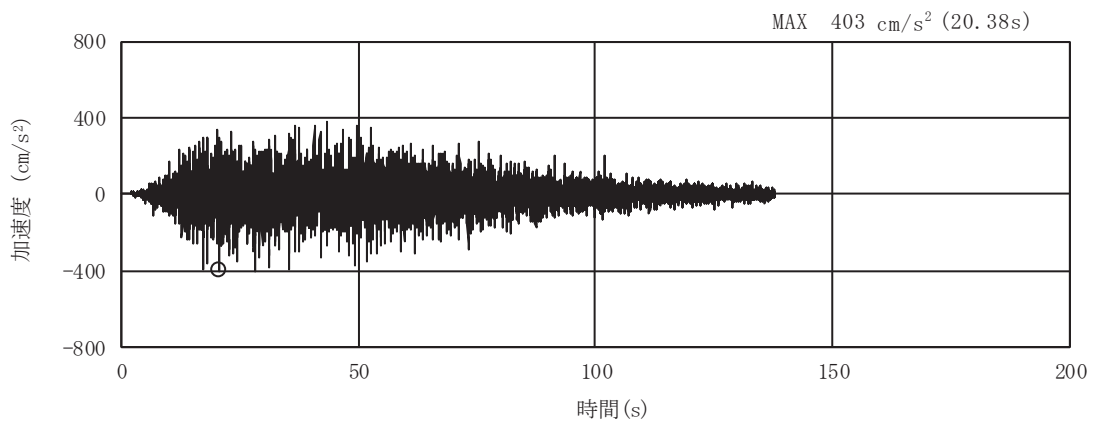


(a) 加速度時刻歴波形

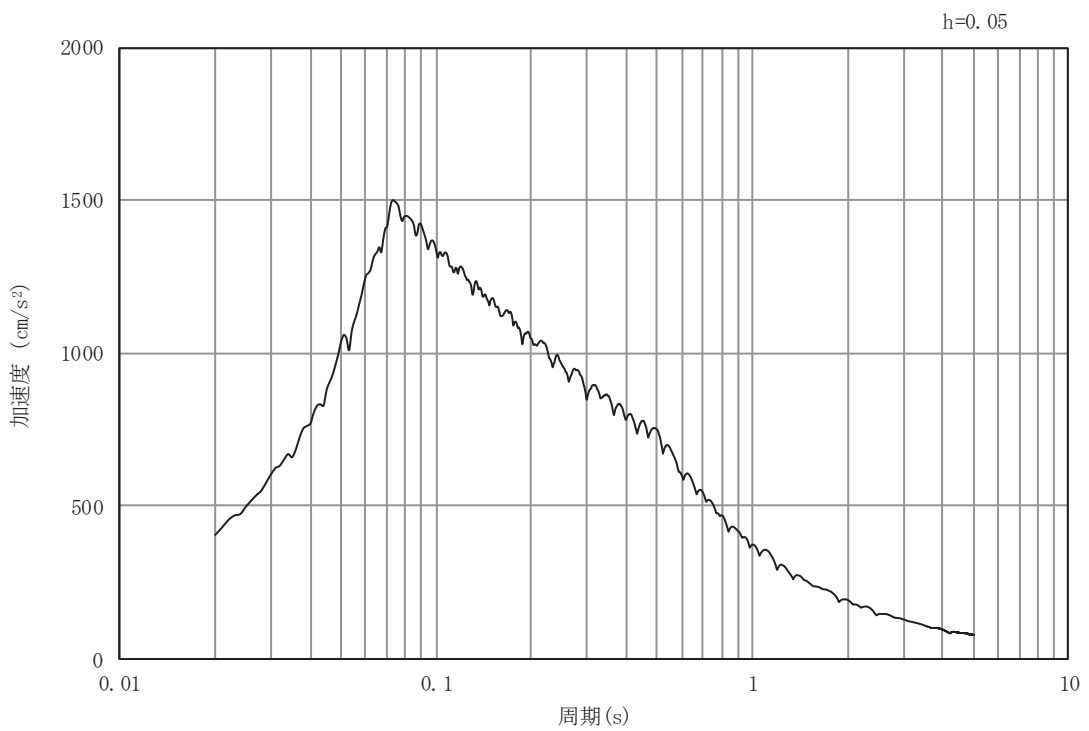


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(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)

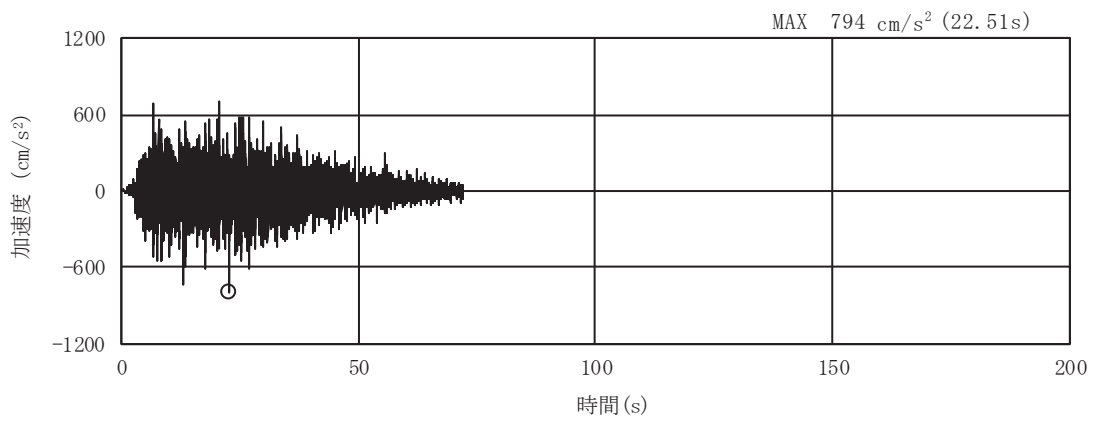


(a) 加速度時刻歴波形

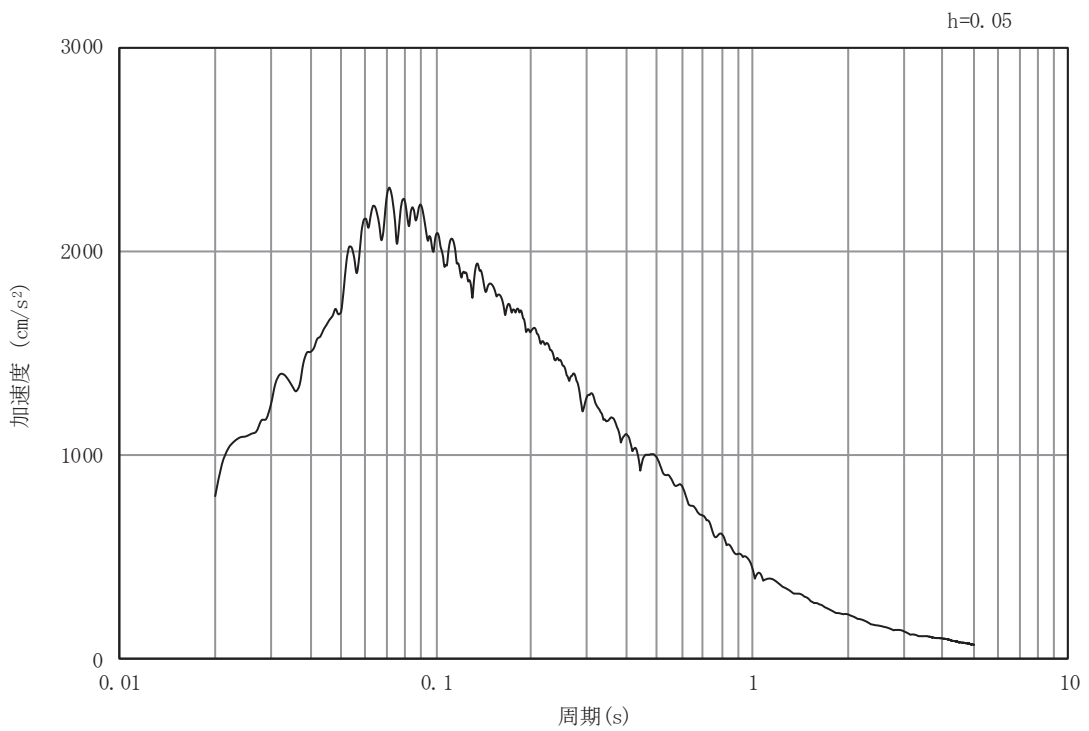


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(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)

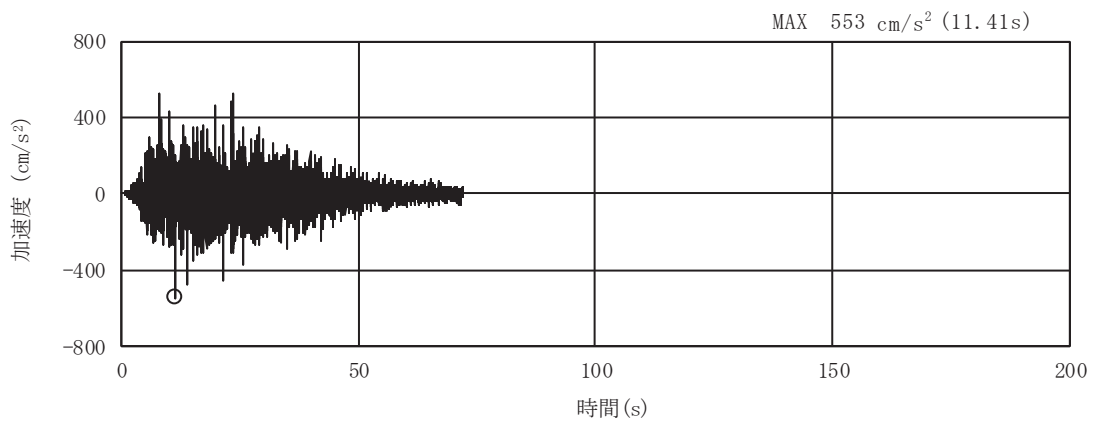


(a) 加速度時刻歴波形

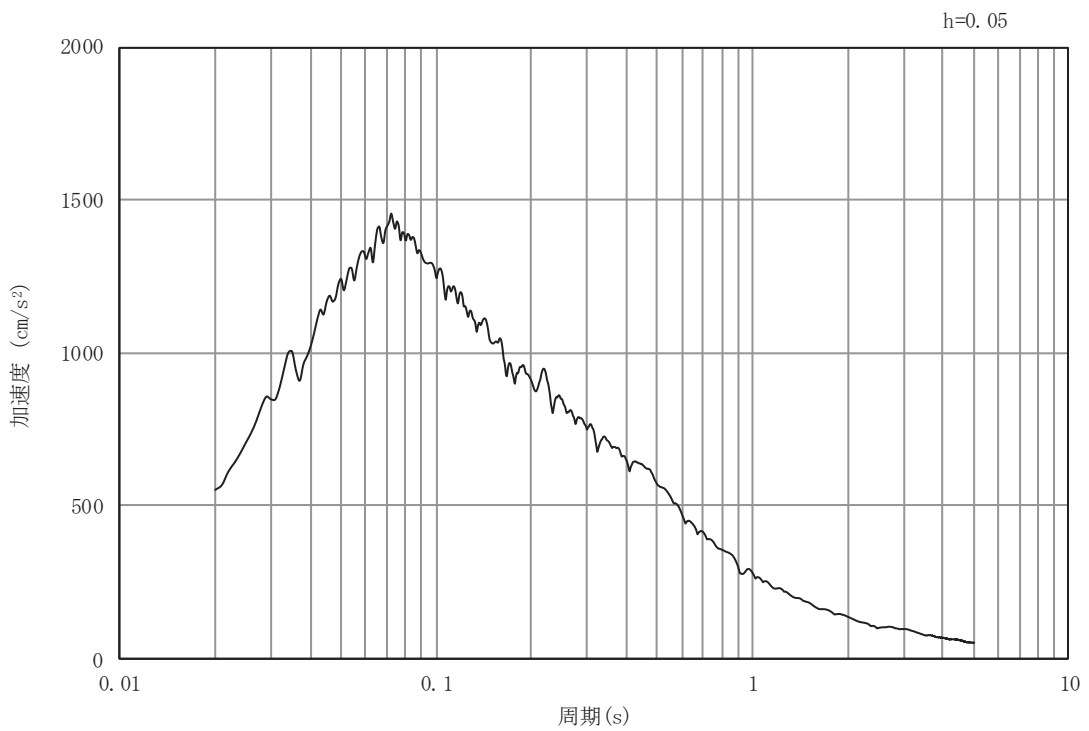


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(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)

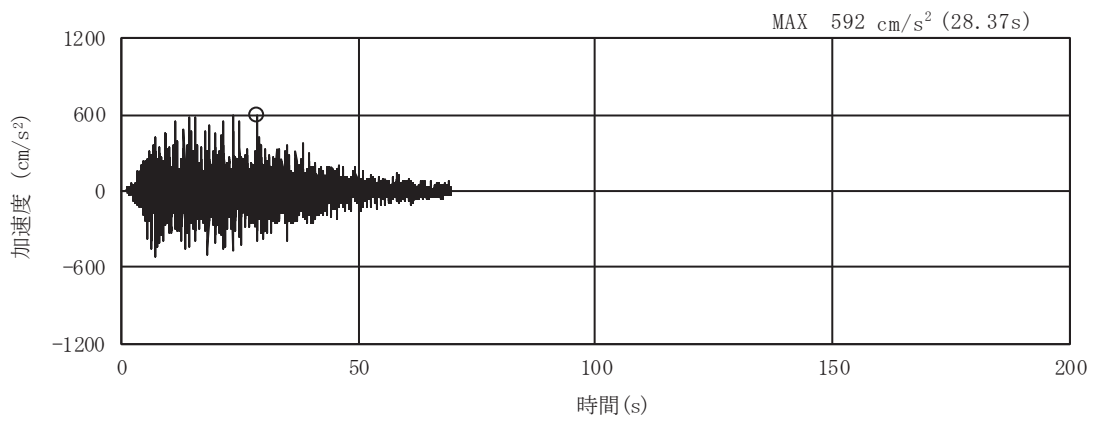


(a) 加速度時刻歴波形

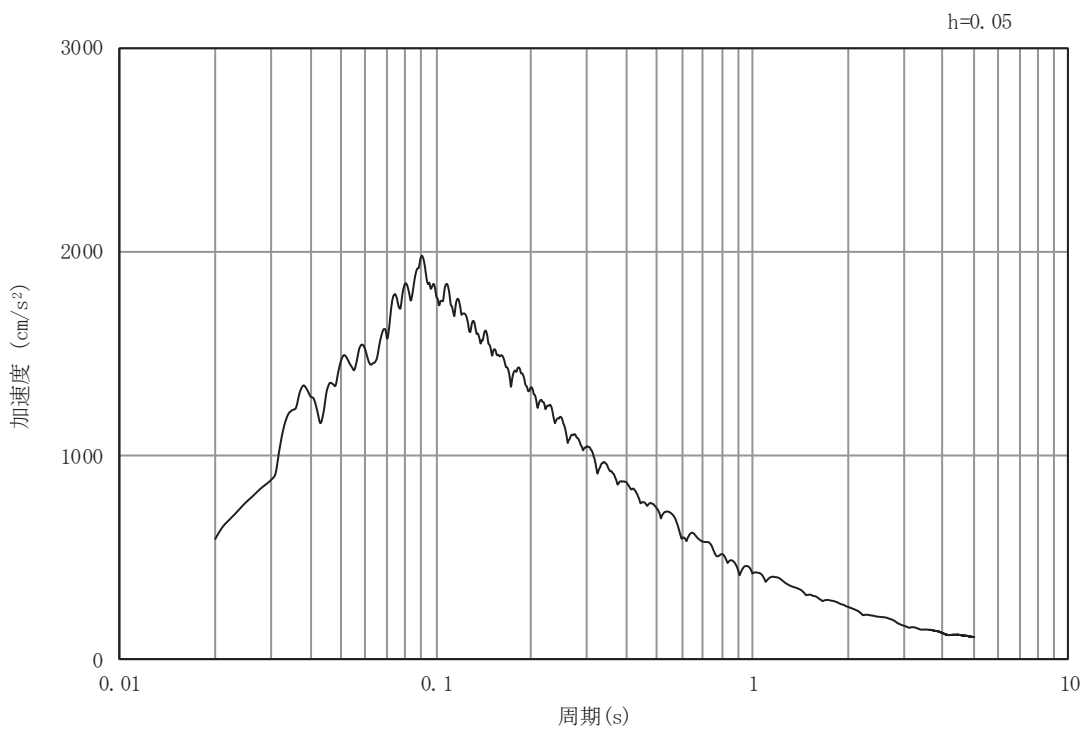


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(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)

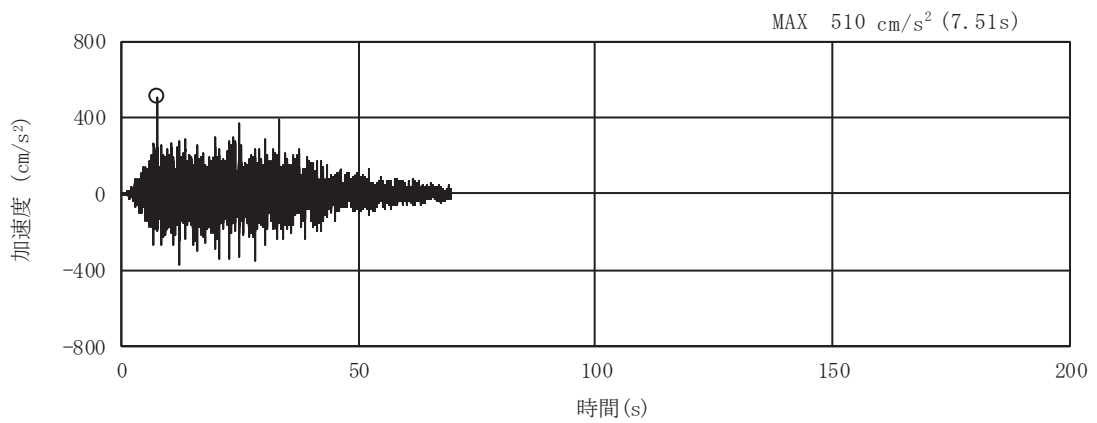


(a) 加速度時刻歴波形

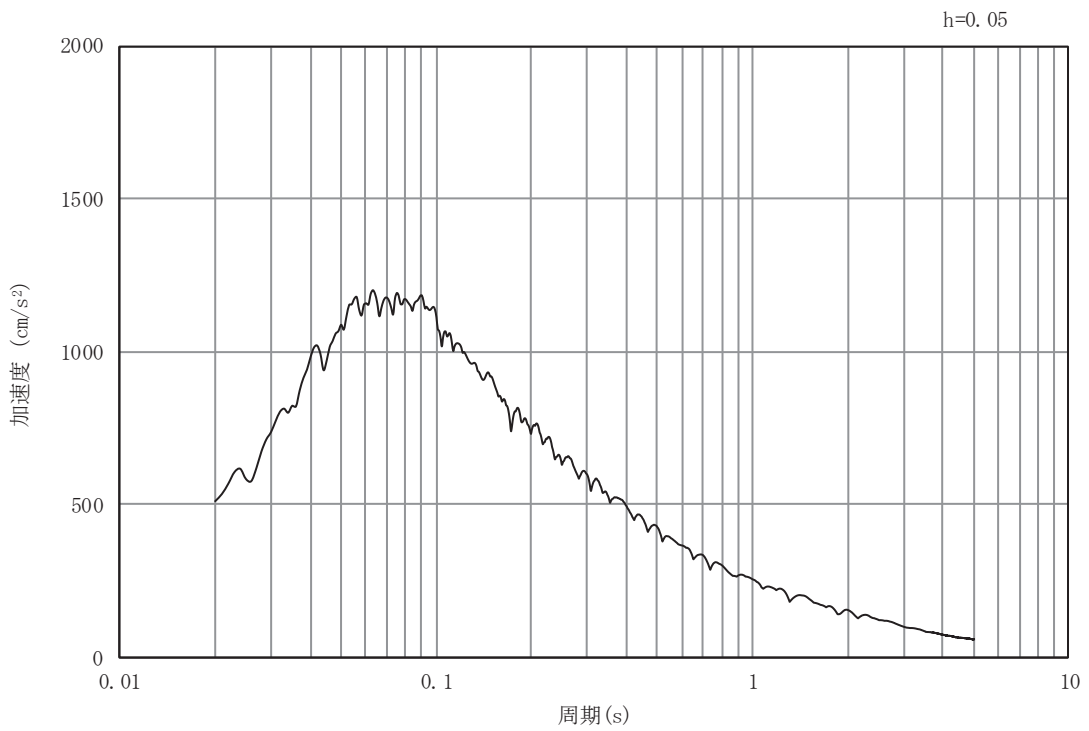


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

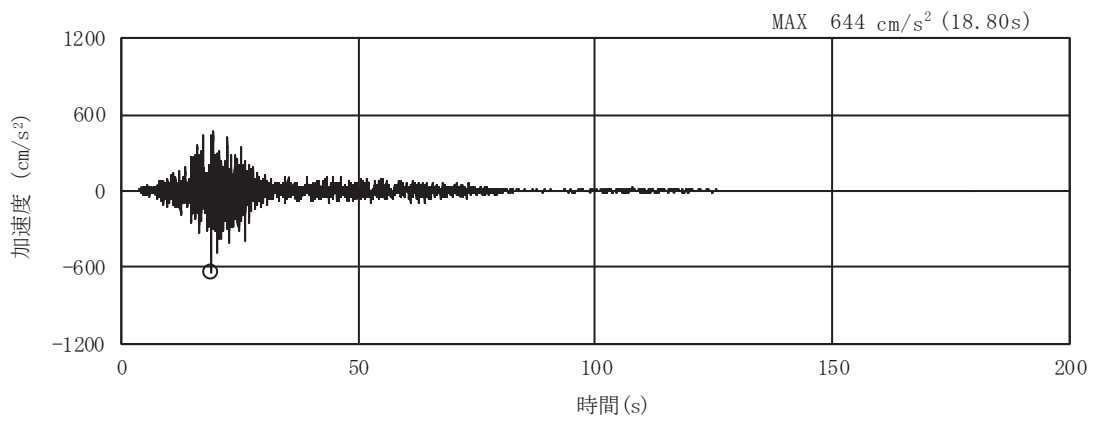


(a) 加速度時刻歴波形

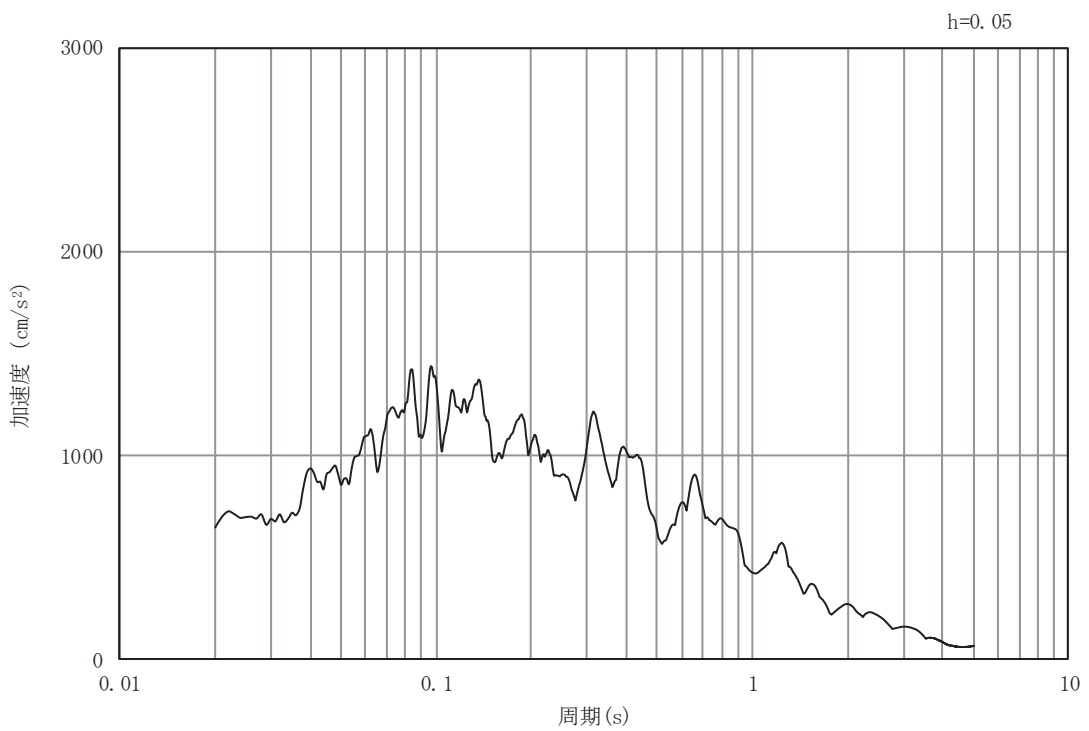


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)

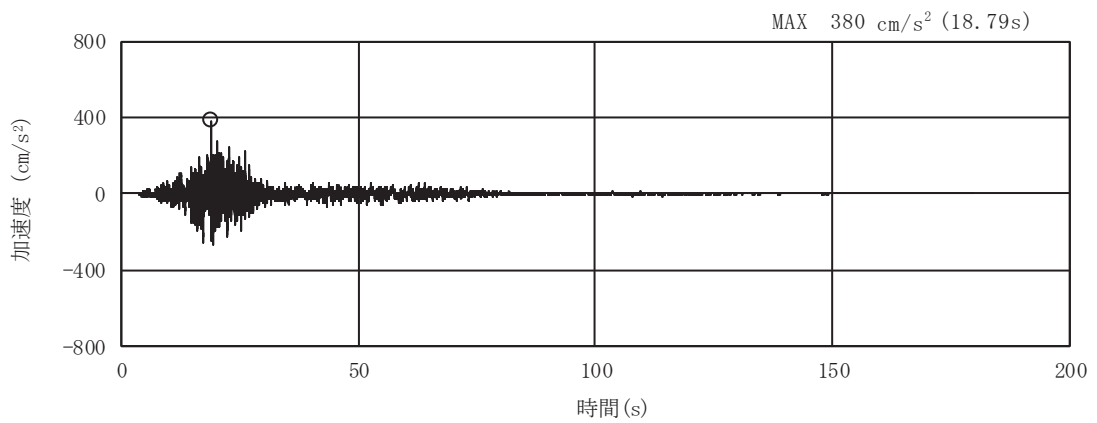


(a) 加速度時刻歴波形

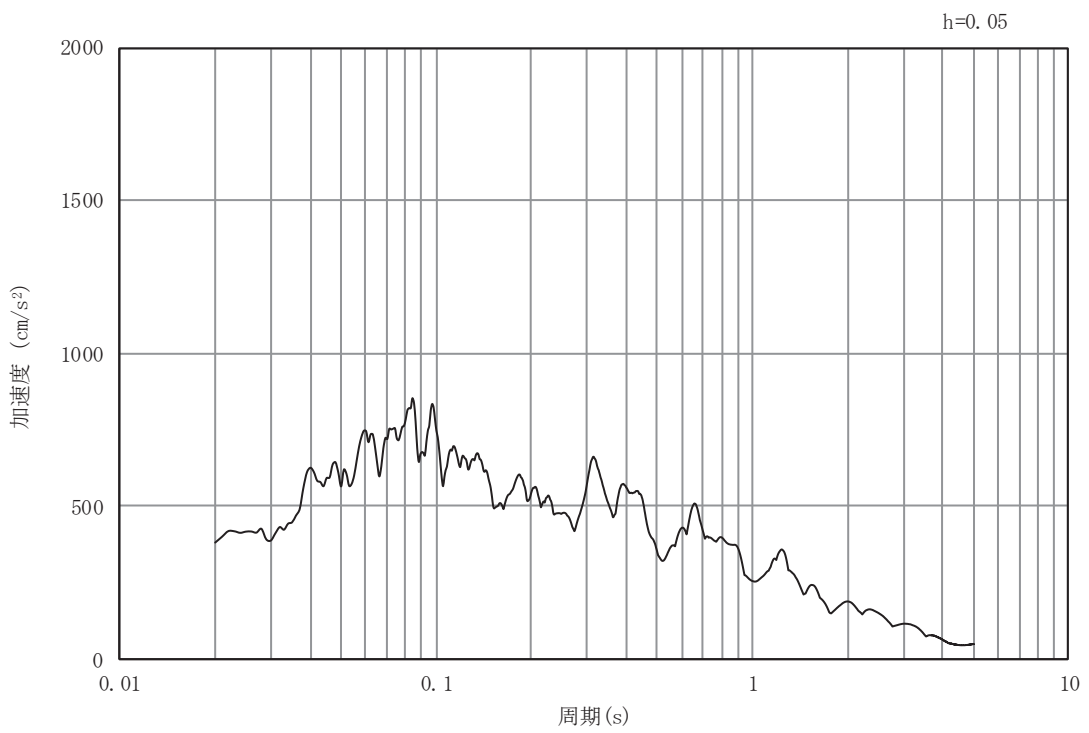


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

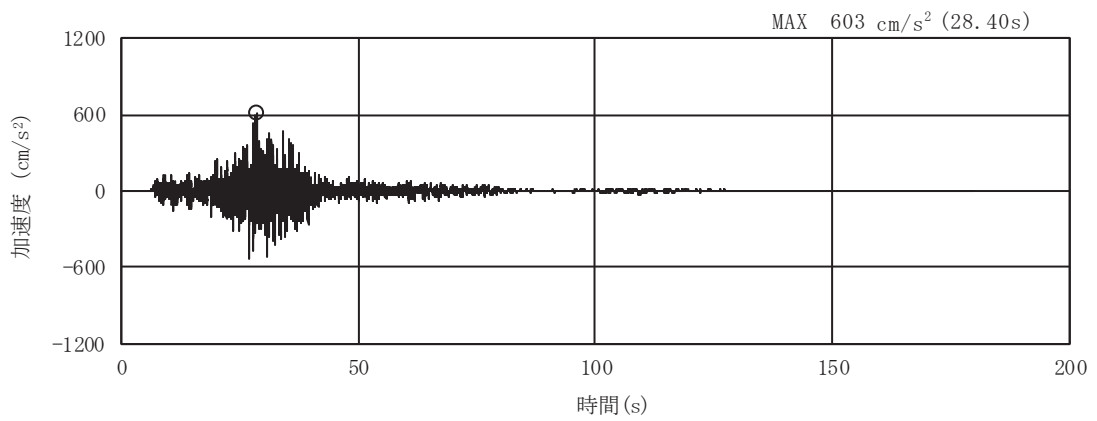


(a) 加速度時刻歴波形

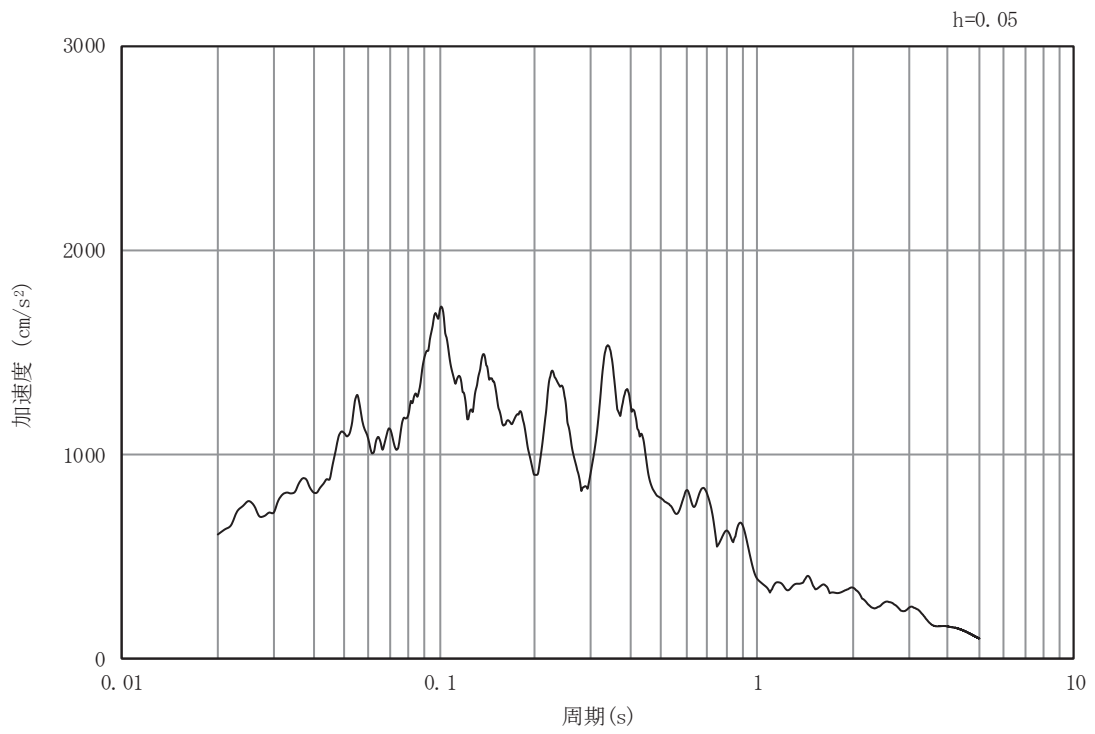


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 1)

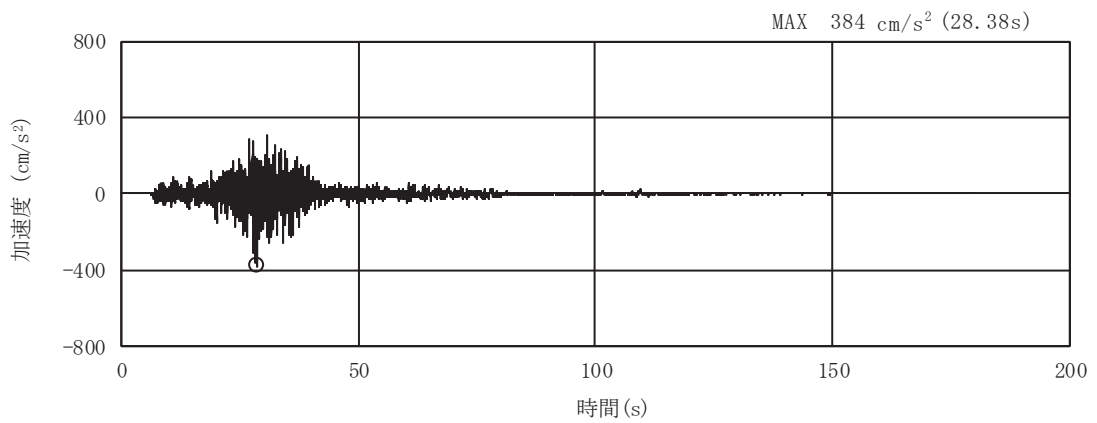


(a) 加速度時刻歴波形

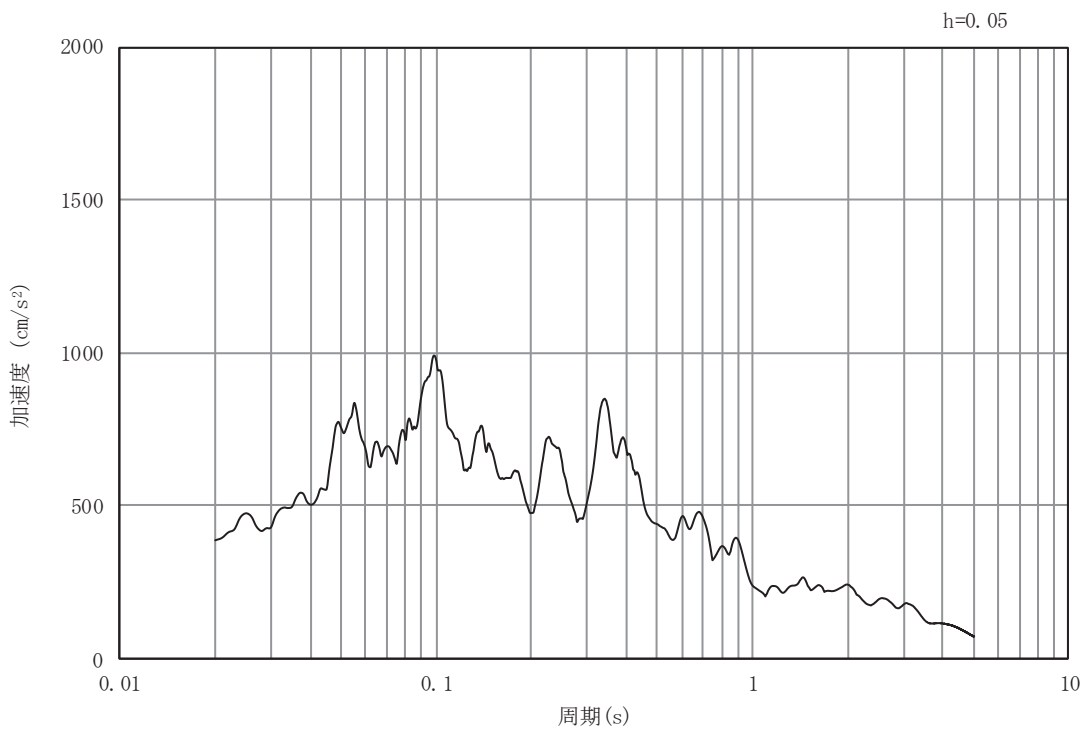


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向：S s - F 2)

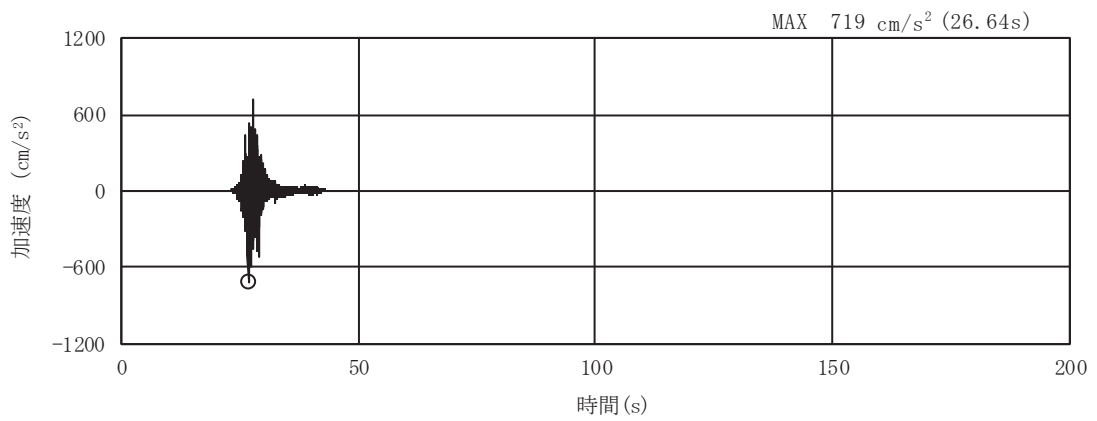


(a) 加速度時刻歴波形

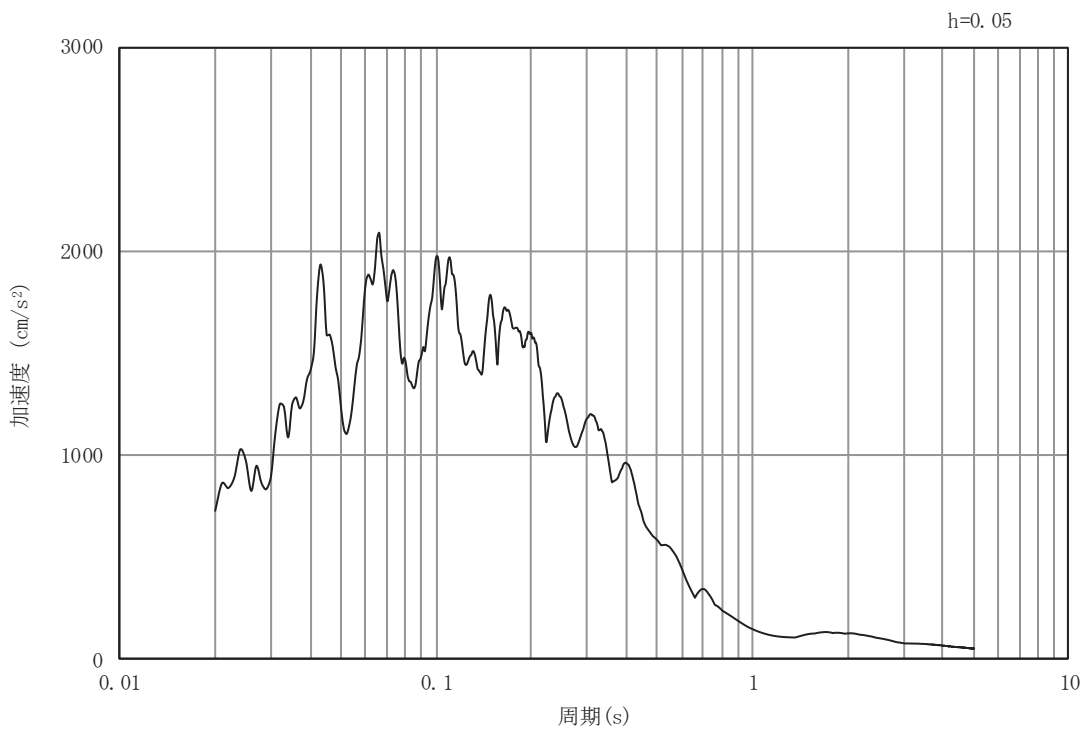


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 2)

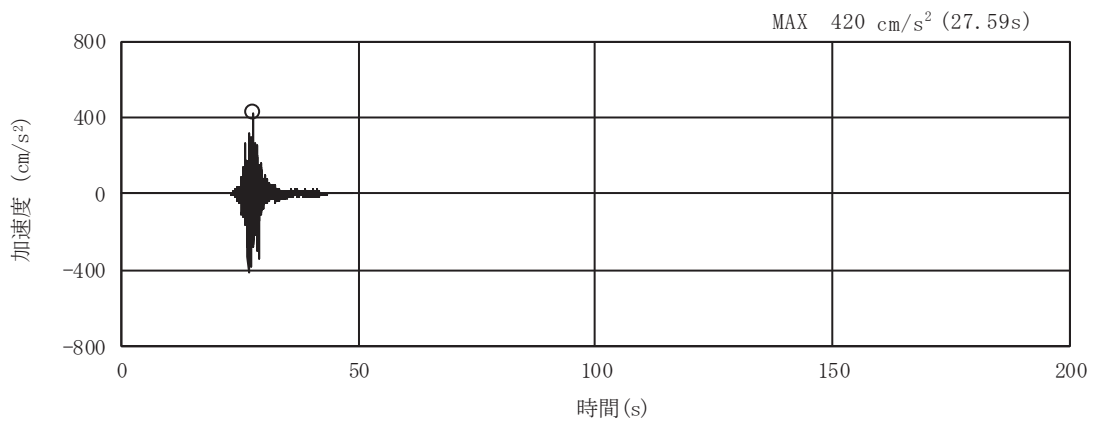


(a) 加速度時刻歴波形

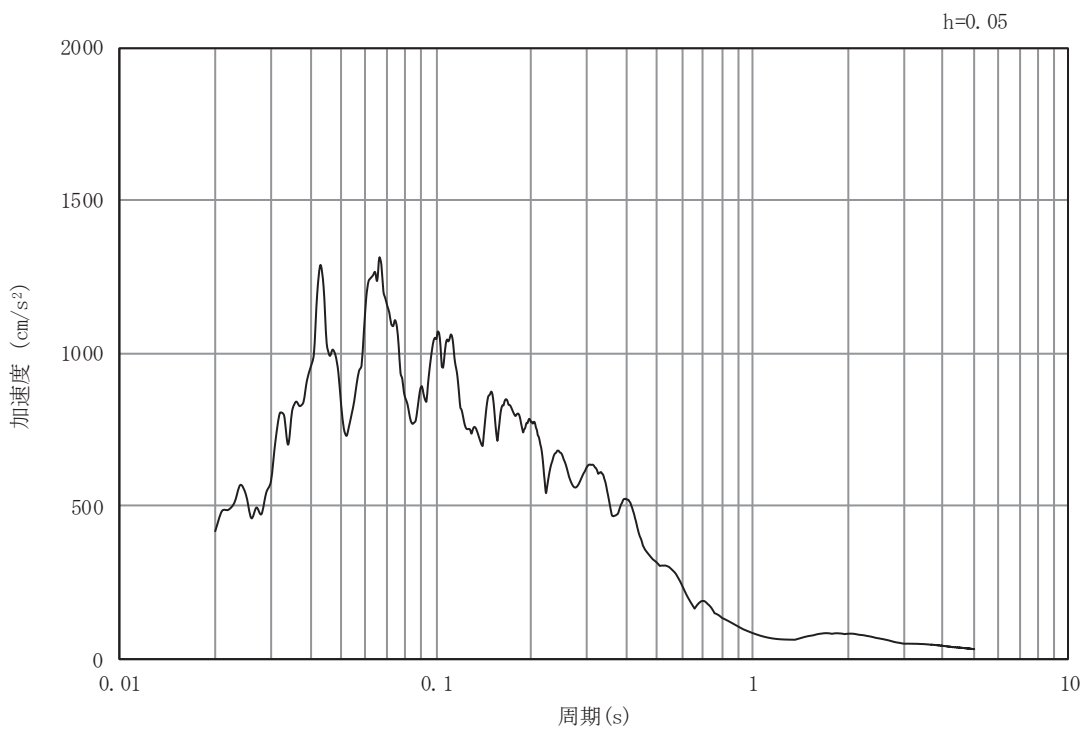


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3)

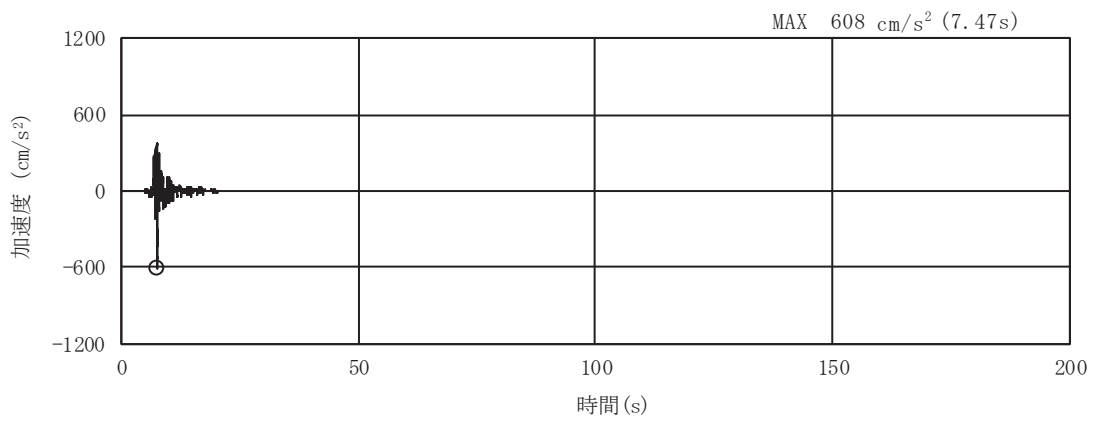


(a) 加速度時刻歴波形

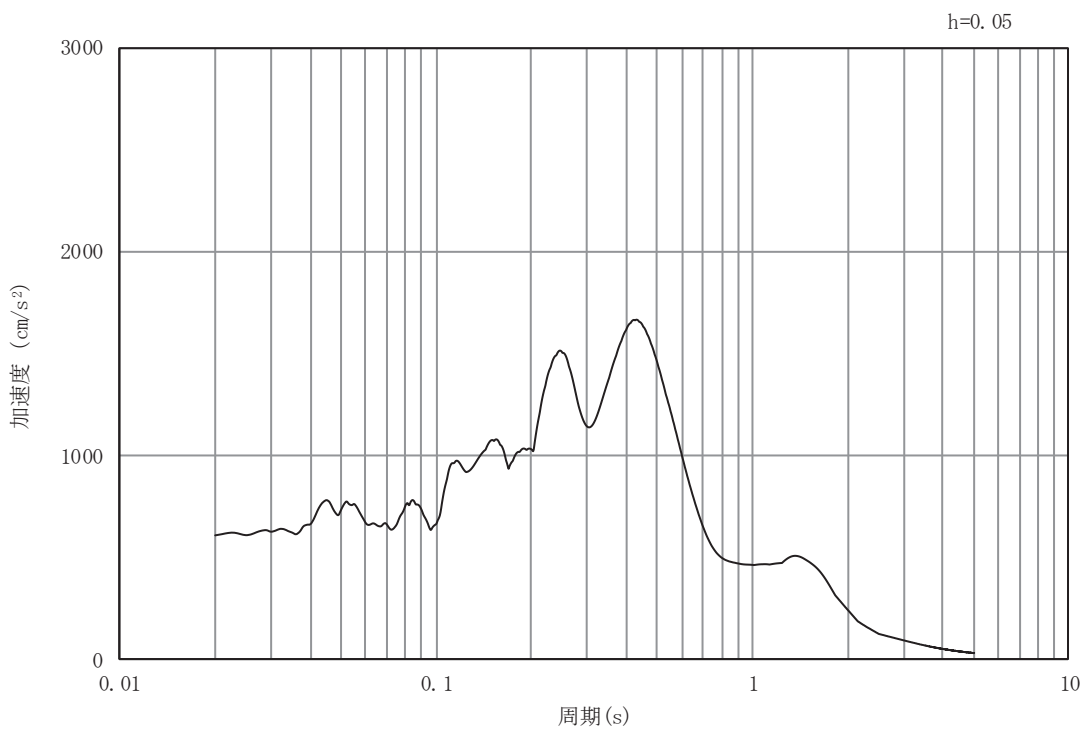


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 3)

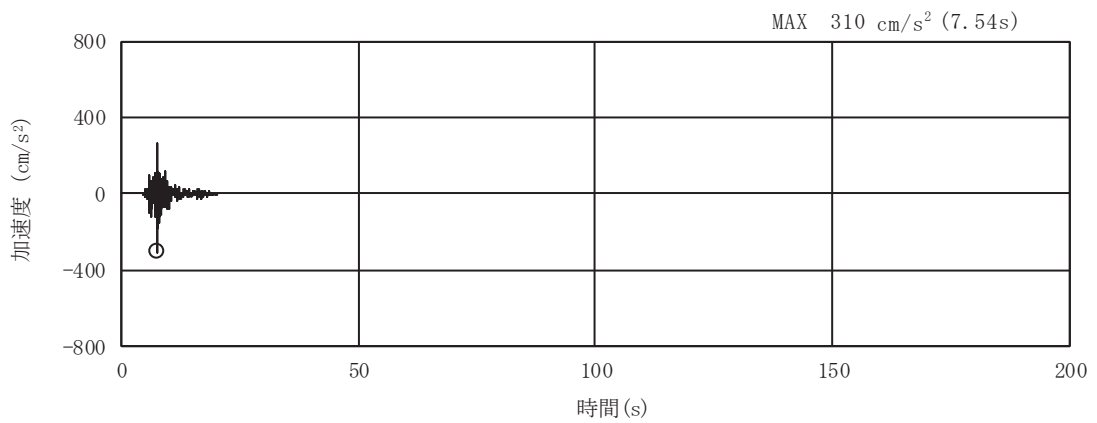


(a) 加速度時刻歴波形

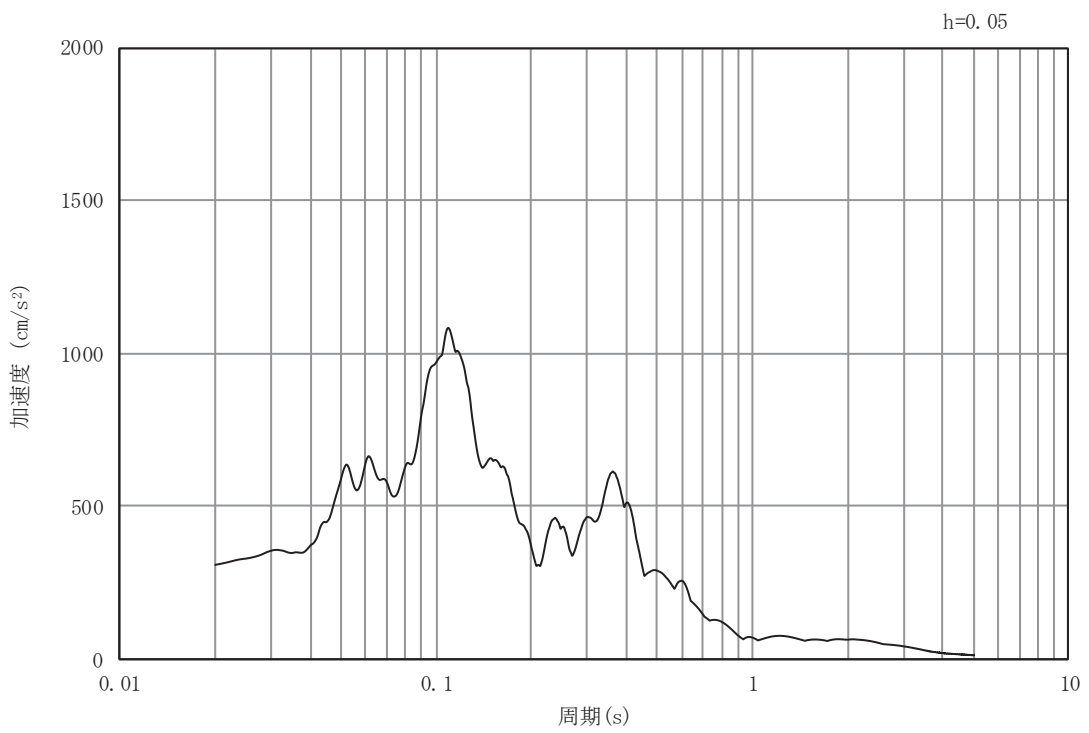


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.4-3(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : 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 8.4-3(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)

8.5 解析モデル及び諸元

8.5.1 解析モデル

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) を参考に、図 8.5-1 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、対象断面によって、地層形状に合わせてモデル化領域を調整する。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元地震応答解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 8.5-2 に示す。

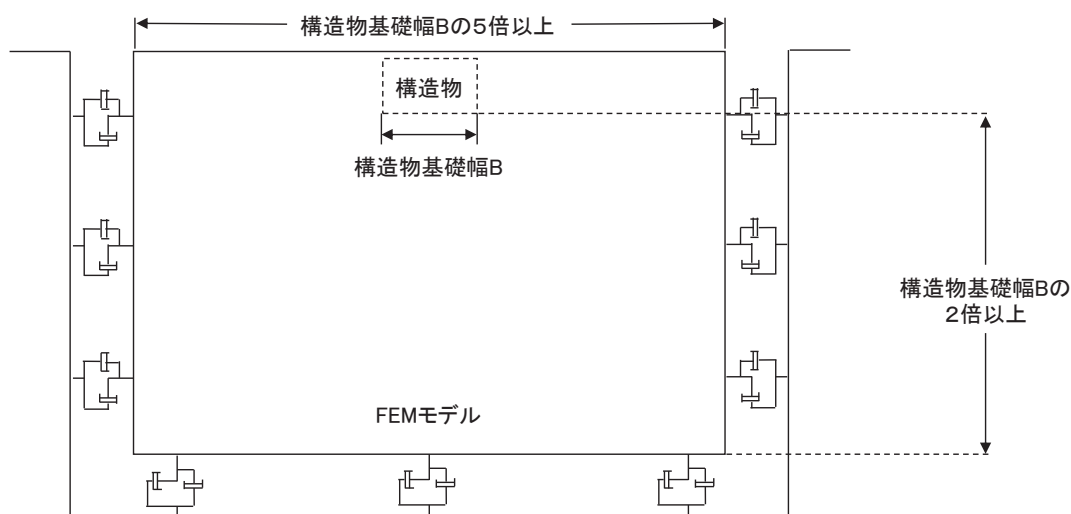


図 8.5-1 モデル化範囲の考え方

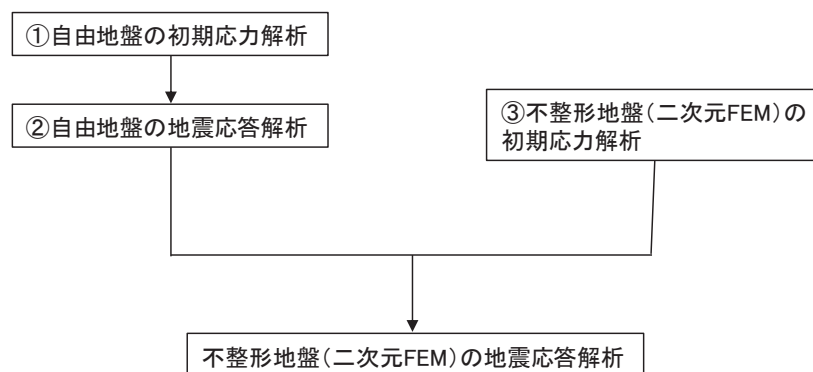


図 8.5-2 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

(2) 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。

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 8.5-3 に示す。

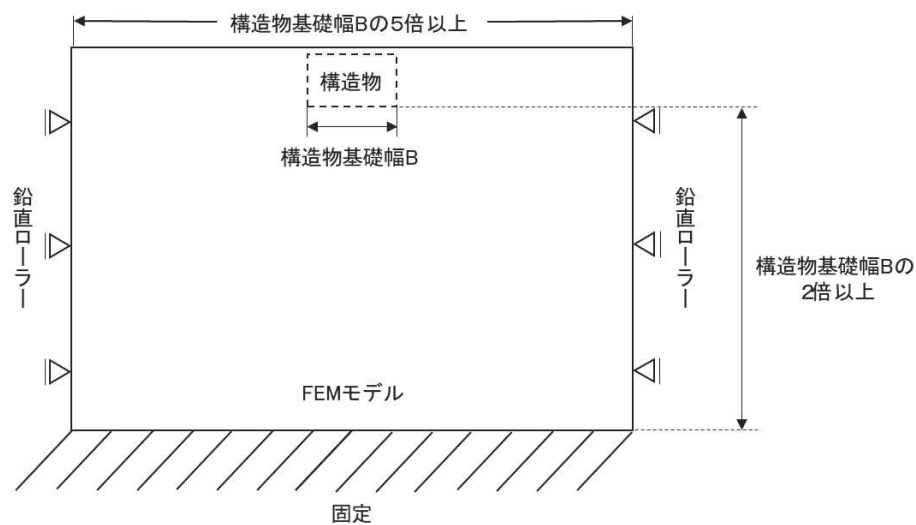


図 8.5-3 初期応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不成形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

(3) 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。構造部材のモデル化を図 8.5-4 に示す。

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。

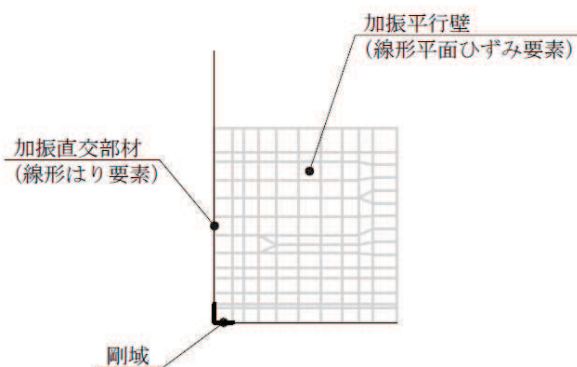


図 8.5-4 構造部材のモデル化

(4) 地盤のモデル化

D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D級岩盤，改良地盤，セメント改良土及び盛土・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。解析モデルを図 8.5-5 に示す。

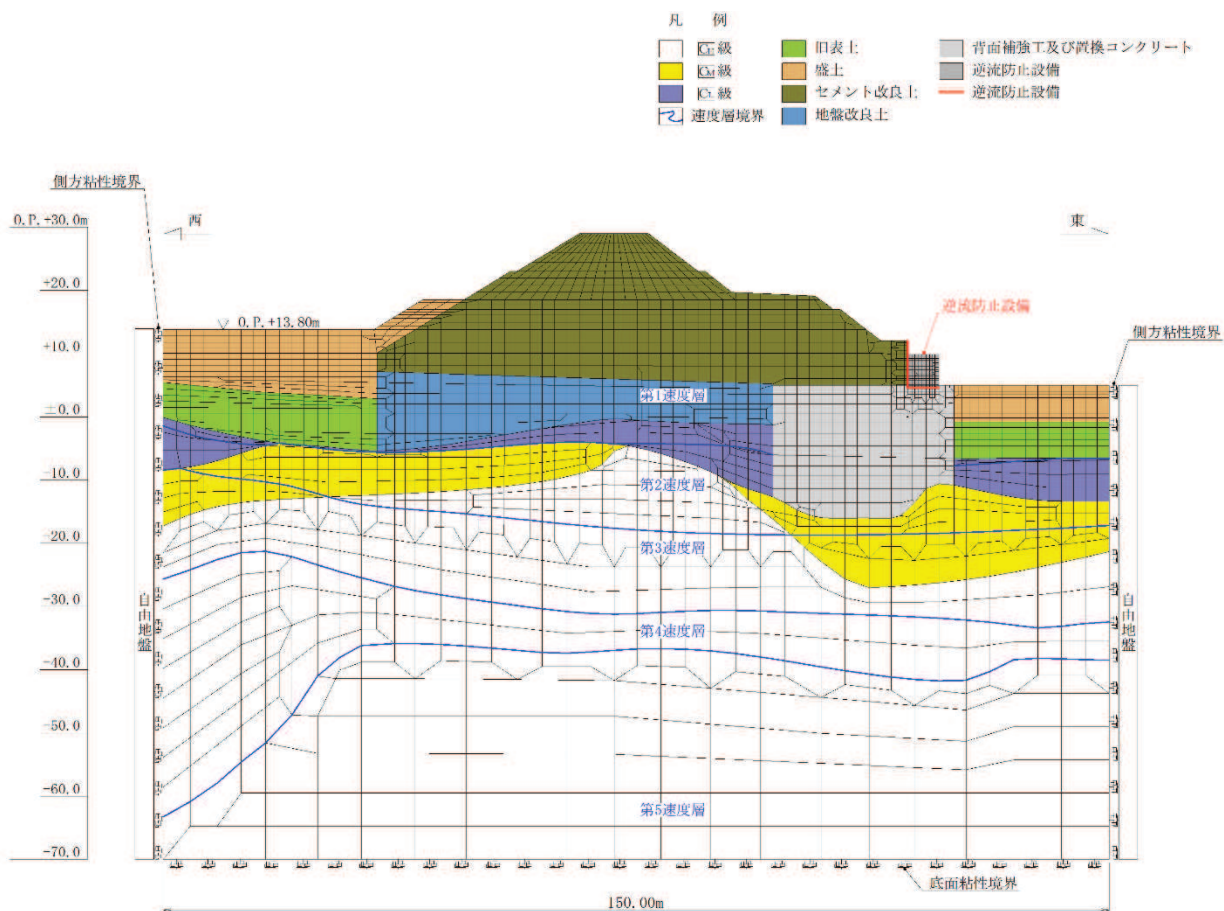


図 8.5-5 出口側集水ピットの解析モデル（A-A断面）

(5) ジョイント要素のモデル化

地盤と構造体の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造体の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤及び構造体のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時における地形の影響も含めた実挙動を正確に把握するために、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。具体的には、セメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。

一方、コンクリートと岩盤の境界や改良地盤と岩盤の境界については、岩盤の引張強度を0として設定していることから、これらの境界にはジョイント要素を設定する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 8.5-6 にジョイント要素の力学特性、図 8.5-7 にジョイント要素の配置図を示す。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 8.5-1 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 8.5-2 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 8.5-1 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (狐崎部層)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.49	47.0
C _H 級*	1.72	43.0

注記* : 砂岩

表 8.5-1 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (共通)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
置換コンクリート	5.97	40

表 8.5-2 要素間の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
構造物-置換コンクリート	置換コンクリートの c	置換コンクリートの ϕ
構造物-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値とし、松本らの方法 (松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009) に従い、表 8.5-3 のとおり設定する。

表 8.5-3 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

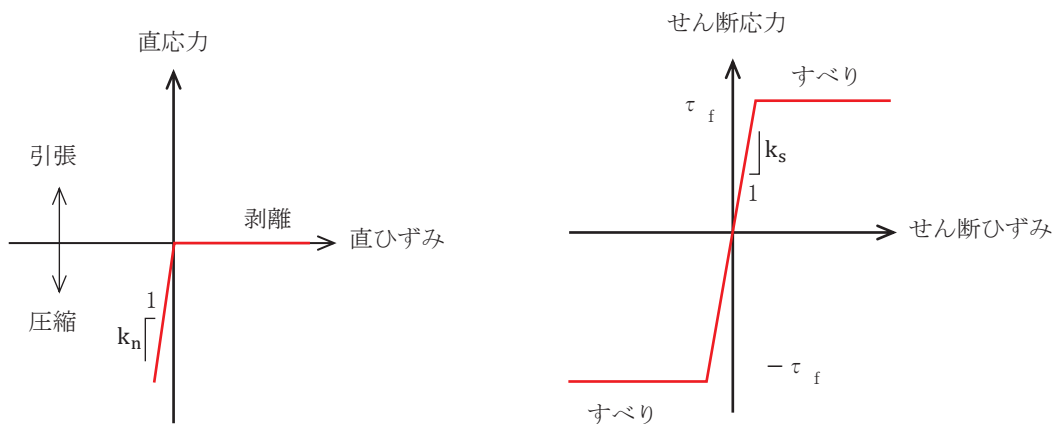


図 8.5-6 ジョイント要素の力学特性

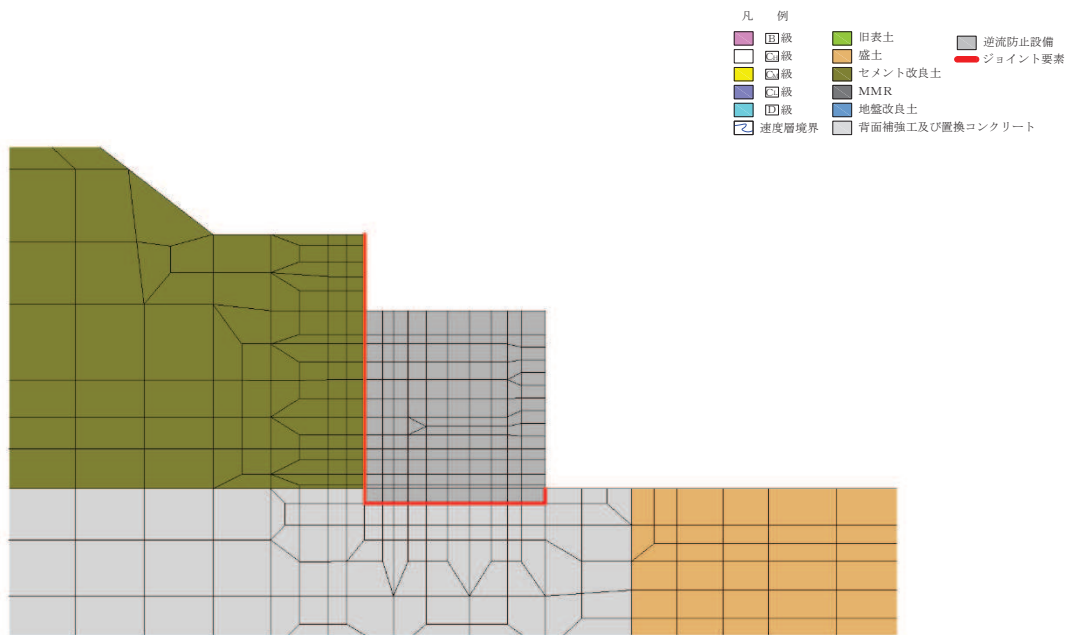


図 8.5-7 ジョイント要素の配置

8.5.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8.5-4 に、材料の物性値を表 8.5-5 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 8.5-4 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 8.5-5 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

8.5.3 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。地盤の物性値を表 8.5-6 に示す。

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。

表 8.5-6 (1) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級	物理特性		強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	静的・動的特性		静的特性		動的特性		減衰定数 h	
			内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d		
B級	26.4	1.29	54.0	$1.12\sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表 8.5-6(2) 参照	0.03		
C _H 級	26.2	1.29	54.0	$1.12\sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03		
C _M 級	25.5	0.78	50.0	$1.09\sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03		
C _L 級	23.1	0.46	44.0	$0.73\sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03		
D級	20.2	0.10	24.0	$0.41\sigma^{0.49}$	78	0.38	$G_0 = 255.4\sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1+119\gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085\gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$		

表 8.5-6 (2) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
C _M 級		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.2×10^3	0.45	
	第3速度層	4.7×10^3	0.41	
D級	第1速度層	表 8.5-6 (1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.45	

表 8.5-6 (3) 地盤の解析用物性値 (盛土他)

岩種・岩級	物理特性		強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		減衰定数 h
			内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	せん断係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma/0.00036)^{*1}$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma/0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びシーム ^{*2}	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma/0.0012)^{*1}$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089(\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma/0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma/0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$

*1: 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s/2 (1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1/(1 + \gamma/\gamma_m), \quad \gamma_m = \tau/\sigma$$

*2: 断層及びびシームの存在物は、「粘土状」, 「砂状」, 「鱗片上」等の性状が確認されているが, そのうち最も強度の小さい粘土状物質にて試験を行い解析用物性値を設定している

表 8.5-6 (4) 地盤の解析用物性値 (有効応力解析, 液状化検討対象層)

		旧表土	盛土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	
	間隙率 n	0.437	0.363	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4	
	基準平均 有効拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	0.40	0.40	
	減衰定数 の上限値 h_{max}	0.220	0.183	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *	
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005
		w_1	1.0	14.0
		p_1	1.4	1.0
		p_2	1.5	0.6
		c_1	2.0	2.8

注記 * : 括弧内の数値は, 地下水位以浅の値を表す。

表 8.5-6 (5) 地盤の解析用物性値 (有効応力解析, 非液状化検討対象層)

		D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.06 (1.95)*	2.10 (2.00)*	2.20	
	間隙率 n	0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)	1.67×10^6	
	基準平均 有効拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第1 速度層	0.48	0.35	0.36
		第2 速度層	0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層)		
減衰定数 の上限値 h_{max}		0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)	24.0	22.1	44.3	

注記 * : 括弧内の数値は, 地下水位以浅の値を表す。

(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 8.1-2 に示す。また, 設計用地下水位の一覧を表 8.5-7 に示す。

表 8.5-7 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

8.6.1 解析ケースと照査値

耐震評価においては、「8. 地震応答解析」に基づき、すべての基準地震動 S_s に対して実施するケース①において、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以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いて、ケース②～④を実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 8.6-1 に曲げ・軸力系の破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.6-1 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値（底版）

地震動 \ 解析ケース		曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
		①	②	③
$S_s - D 1$	++	0.20		
	-+	0.17		
$S_s - D 2$	++	0.17		
	-+	0.27	0.22	0.35
$S_s - D 3$	++	0.14		
	-+	0.14		
$S_s - F 1$	++	0.12		
	-+	0.11		
$S_s - F 2$	++	0.20		
	-+	0.16		
$S_s - F 3$	++	0.13		
	-+	0.15		
$S_s - N 1$	++	0.16		
	-+	0.34		

表 8.6-1 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (南壁)

地震動 \ 解析ケース		曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.19		
	-+	0.19		
S _s -D 2	++	0.22		
	-+	0.23	0.21	0.27
S _s -D 3	++	0.17		
	-+	0.16		
S _s -F 1	++	0.15		
	-+	0.16		
S _s -F 2	++	0.18		
	-+	0.19		
S _s -F 3	++	0.18		
	-+	0.17		
S _s -N 1	++	0.24		
	-+	0.20		

表 8.6-1 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (西壁)

地震動 \ 解析ケース		曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.45		
	-+	0.37		
S _s -D 2	++	0.42		
	-+	0.50	0.50	0.52
S _s -D 3	++	0.35		
	-+	0.33		
S _s -F 1	++	0.28		
	-+	0.31		
S _s -F 2	++	0.41		
	-+	0.37		
S _s -F 3	++	0.34		
	-+	0.29		
S _s -N 1	++	0.42		
	-+	0.39		

表 8.6-1 (4) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (北壁)

地震動 \ 解析ケース		曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.17		
	-+	0.17		
S _s -D 2	++	0.19		
	-+	0.19	0.19	0.19
S _s -D 3	++	0.16		
	-+	0.14		
S _s -F 1	++	0.13		
	-+	0.14		
S _s -F 2	++	0.17		
	-+	0.17		
S _s -F 3	++	0.16		
	-+	0.14		
S _s -N 1	++	0.21		
	-+	0.13		

(2) せん断破壊に対する照査

表 8.6-2 にせん断破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.6-2 (1) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (底版)

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.38		
	-+	0.31		
S _s -D 2	++	0.32		
	-+	0.48	0.42	0.59
S _s -D 3	++	0.26		
	-+	0.25		
S _s -F 1	++	0.23		
	-+	0.23		
S _s -F 2	++	0.38		
	-+	0.29		
S _s -F 3	++	0.25		
	-+	0.27		
S _s -N 1	++	0.33		
	-+	0.40		

表 8.6-2 (2) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (南壁)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S s - D 1	++		0.13		
	-+		0.11		
S s - D 2	++		0.12		
	-+		0.15	0.13	0.17
S s - D 3	++		0.11		
	-+		0.10		
S s - F 1	++		0.09		
	-+		0.10		
S s - F 2	++		0.12		
	-+		0.11		
S s - F 3	++		0.10		
	-+		0.10		
S s - N 1	++		0.12		
	-+		0.11		

表 8.6-2 (3) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (西壁)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S s - D 1	++		0.35		
	-+		0.36		
S s - D 2	++		0.36		
	-+		0.45	0.38	0.52
S s - D 3	++		0.30		
	-+		0.28		
S s - F 1	++		0.25		
	-+		0.25		
S s - F 2	++		0.35		
	-+		0.34		
S s - F 3	++		0.30		
	-+		0.30		
S s - N 1	++		0.41		
	-+		0.29		

表 8.6-2 (4) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (北壁)

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S s - D 1	++	0.06		
	-+	0.05		
S s - D 2	++	0.05		
	-+	0.07	0.06	0.08
S s - D 3	++	0.05		
	-+	0.04		
S s - F 1	++	0.04		
	-+	0.04		
S s - F 2	++	0.05		
	-+	0.05		
S s - F 3	++	0.05		
	-+	0.04		
S s - N 1	++	0.06		
	-+	0.07		

(3) 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 8.6-3 に基礎地盤の支持性能に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.6-3 基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S s - D 1	++	0.04		
	-+	0.04		
S s - D 2	++	0.04		
	-+	0.05	0.04	0.05
S s - D 3	++	0.03		
	-+	0.04		
S s - F 1	++	0.03		
	-+	0.03		
S s - F 2	++	0.04		
	-+	0.04		
S s - F 3	++	0.03		
	-+	0.03		
S s - N 1	++	0.03		
	-+	0.05		

8.6.2 各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果

(1) 頂底版間の層間変位が最大となる時刻（時刻1）

頂底版間の層間変位が最大となる時刻（時刻1）を表8.6-4に示す。

表8.6-4 頂底版間の層間変位が最大となる時刻（時刻1）

解析ケース	地震動		最大層間変位(mm)		
			(時刻 (s))		
①	S s - D 1	++	+0.421	(45.53)	
		-+	+0.385	(25.22)	
	S s - D 2	++	+0.452	(13.52)	
		-+	+0.517	(13.65)	
	S s - D 3	++	+0.344	(21.04)	
		-+	+0.308	(30.15)	
	S s - F 1	++	+0.258	(22.40)	
		-+	+0.281	(19.49)	
	S s - F 2	++	+0.404	(31.42)	
		-+	+0.386	(31.29)	
	S s - F 3	++	+0.349	(28.62)	
		-+	+0.306	(26.81)	
	S s - N 1	++	+0.457	(7.51)	
		-+	+0.311	(7.90)	
	②	S s - D 2	-+	+0.472	(13.64)
	③	S s - D 2	-+	+0.565	(13.66)

(2) 総水平荷重が最大となる時刻（時刻2）

総水平荷重が最大となる時刻（時刻2）を表8.6-5に示す。

表 8.6-5 総水平荷重が最大となる時刻 (時刻 2)

解析ケース	地震動		総水平荷重絶対値 (kN/m) (時刻 (s))	
①	S s - D 1	++	+1565	(45.52)
		-+	+1691	(25.21)
	S s - D 2	++	+1850	(13.52)
		-+	+1845	(13.65)
	S s - D 3	++	+1452	(21.03)
		-+	+1370	(29.56)
	S s - F 1	++	+1332	(18.89)
		-+	+1360	(19.49)
	S s - F 2	++	+1547	(27.84)
		-+	+1679	(31.29)
	S s - F 3	++	+1506	(28.62)
		-+	+1523	(26.81)
	S s - N 1	++	+2117	(7.50)
		-+	+1323	(7.34)
②	S s - D 2	-+	+1805	(13.64)
③	S s - D 2	-+	+1639	(13.66)

(3) 面部材の層間変位が最大となる時刻（時刻 3）

面部材の層間変位が最大となる時刻（時刻 3）を表 8.6-6 に示す。

表 8.6-6 面部材の層間変位が最大となる時刻（時刻 3）

解析ケース	地震動		最大層間変位(mm) (時刻 (s))		
①	S s - D 1	++	+0.421	(45.53)	
		-+	+0.385	(25.22)	
	S s - D 2	++	+0.452	(13.52)	
		-+	+0.517	(13.65)	
	S s - D 3	++	+0.344	(21.04)	
		-+	+0.308	(30.15)	
	S s - F 1	++	+0.258	(22.40)	
		-+	+0.281	(19.49)	
	S s - F 2	++	+0.404	(31.42)	
		-+	+0.386	(31.29)	
	S s - F 3	++	+0.349	(28.62)	
		-+	+0.306	(26.81)	
	S s - N 1	++	+0.457	(7.51)	
		-+	+0.311	(7.90)	
	②	S s - D 2	-+	+0.472	(13.64)
	③	S s - D 2	--	+0.565	(13.66)

8.6.3 作用荷重分布図

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査のうち、照査値が最大となるせん断破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 8.6-7 及び図 8.6-8 に示す。

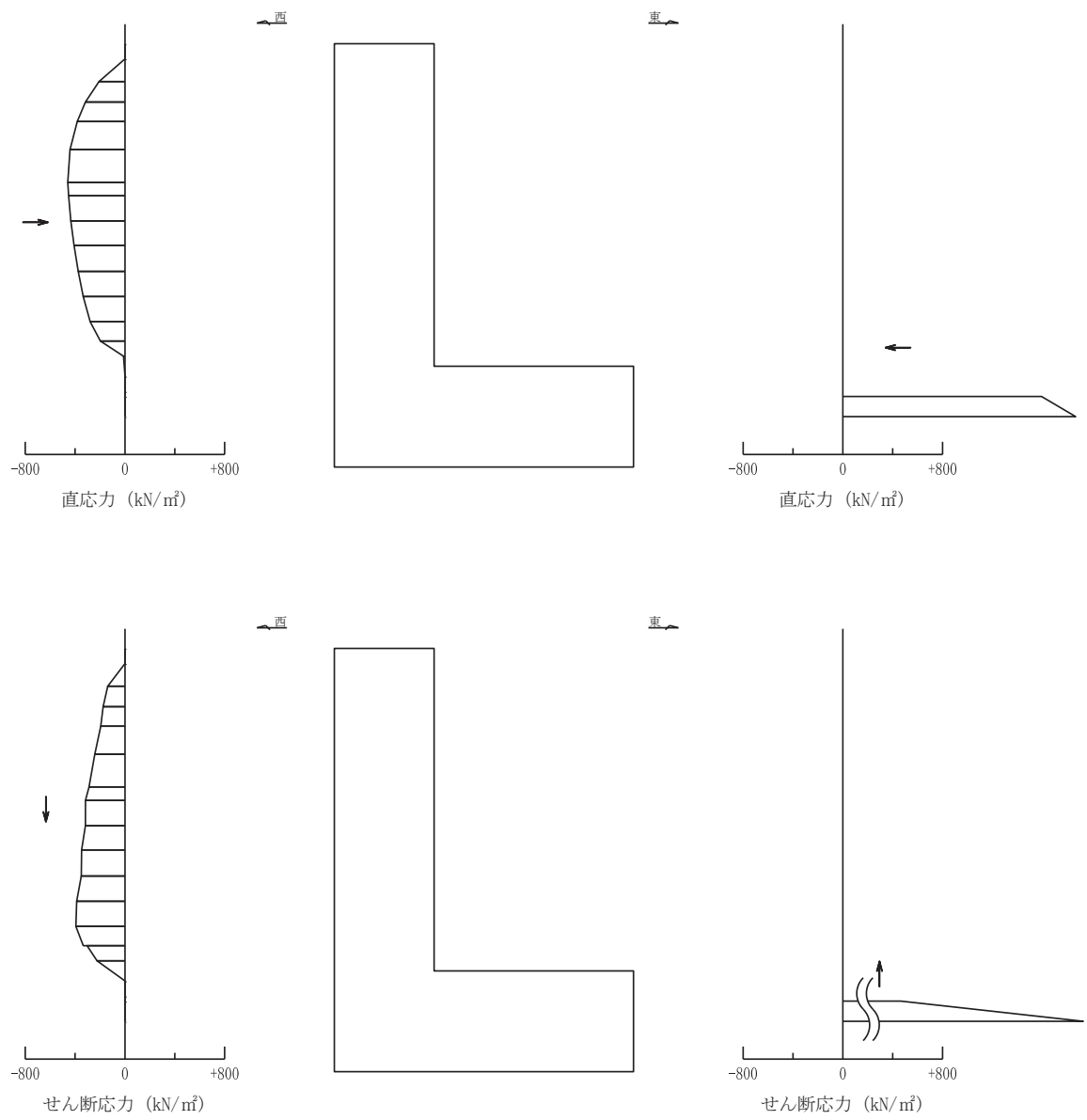
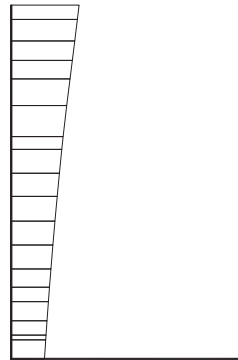


図 8.6-7 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (解析ケース③, S s - D 2 (-+))

構造スケール 0 2 (m)

設計震度スケール 0 1.0

← 設計震度 ↓ | ↑ 設計震度 →



構造スケール 0 2 (m)

設計震度スケール 0 1.0

← 設計震度 ↓ | ↑ 設計震度 →

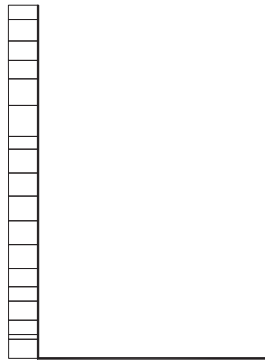
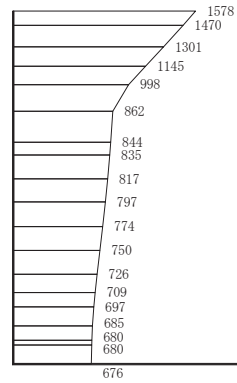


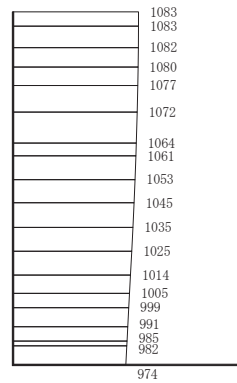
図 8.6-8 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース③, $S_s - D2 (-+)$)

8.6.4 最大加速度分布図

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 8.6-9 に示す。



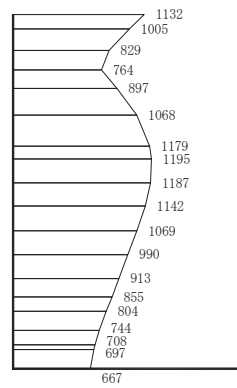
(a) S s - D 1 (++) 水平



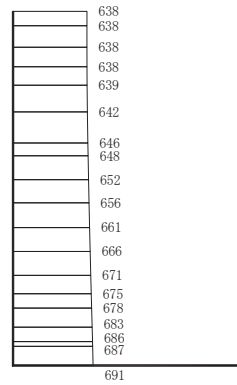
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 1 (++) 鉛直

図 8.6-9(1) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



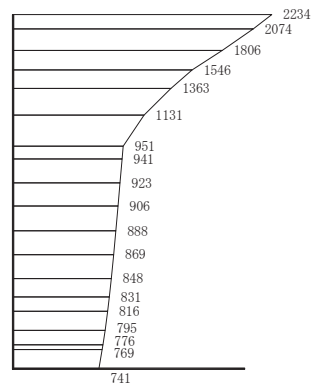
(a) S s - D 1 (-+) 水平



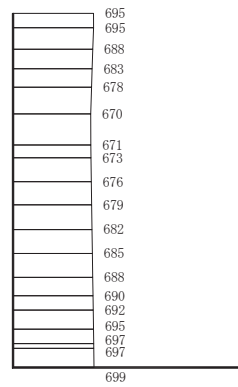
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 1 (-+) 鉛直

図 8.6-9(2) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



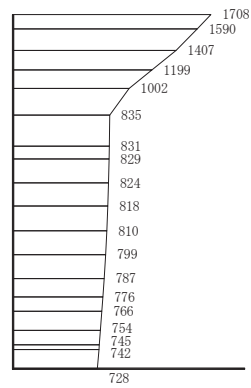
(a) S s - D 2 (++) 水平



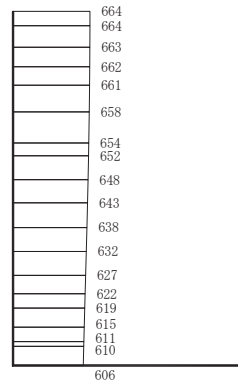
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)


(b) S s - D 2 (++) 鉛直

図 8.6-9(3) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



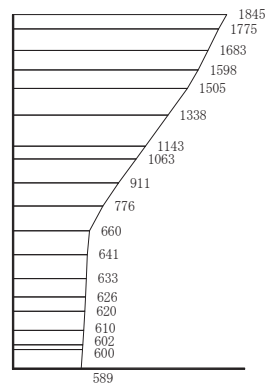
(a) $S_s - D2$ (一十) 水平



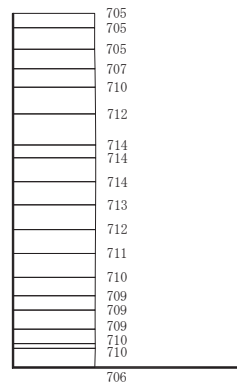
構造スケール 0  (m) 応答値スケール 0  (cm/s²)

(b) $S_s - D2$ (一十) 鉛直

図 8.6-9(4) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



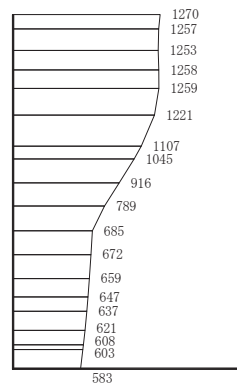
(a) S s - D 3 (++) 水平



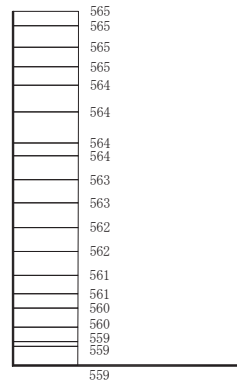
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 3 (++) 鉛直

図 8.6-9(5) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



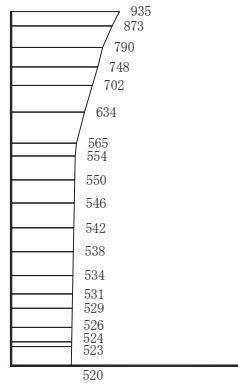
(a) $S_s - D3$ (一十) 水平



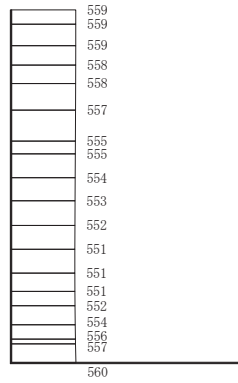
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - D3$ (一十) 鉛直

図 8.6-9(6) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



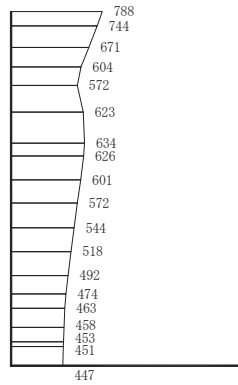
(a) $S_s - F1$ (++) 水平



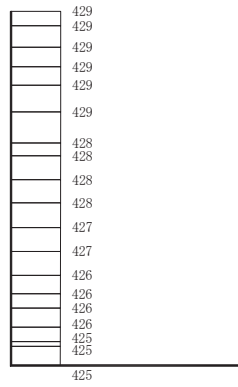
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F1$ (++) 鉛直

図 8.6-9(7) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



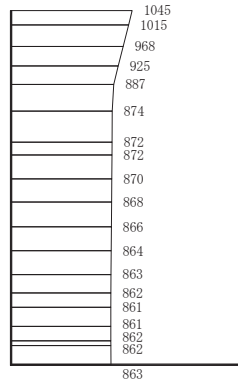
(a) $S_s - F1$ (一十) 水平



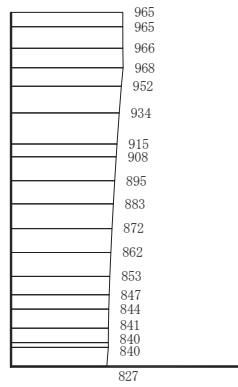
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s^2)

(b) $S_s - F1$ (一十) 鉛直

図 8.6-9(8) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



(a) $S_s - F_2$ (++) 水平

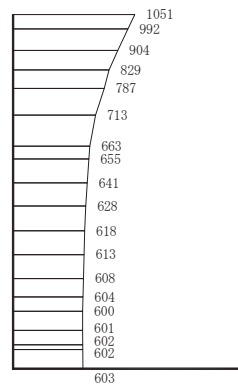


(b) $S_s - F_2$ (++) 鉛直

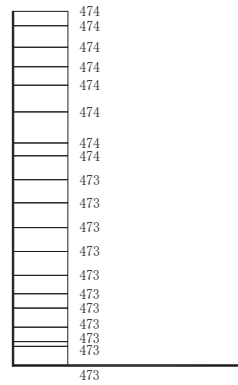
構造スケール 0 2 (m)

応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8.6-9(9) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



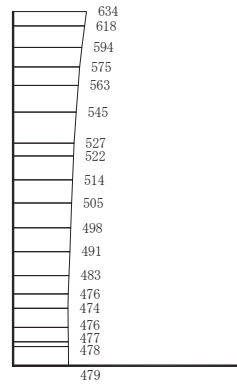
(a) S s - F 2 (-+) 水平



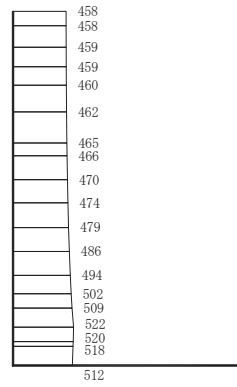
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - F 2 (-+) 鉛直

図 8.6-9(10) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



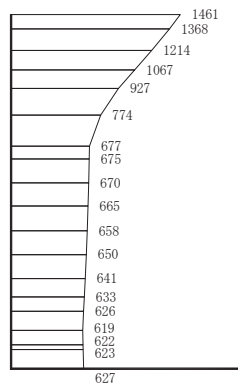
(a) $S_s - F_3$ (++) 水平



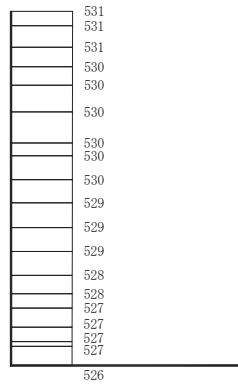
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - F_3$ (++) 鉛直

図 8.6-9(11) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



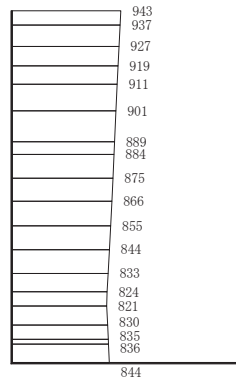
(a) $S_s - F_3 (-+)$ 水平



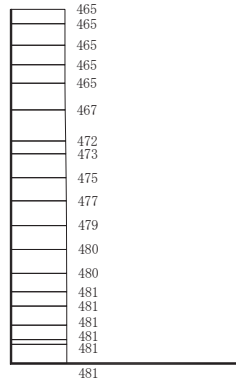
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) $S_s - F_3 (-+)$ 鉛直

図 8.6-9(12) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



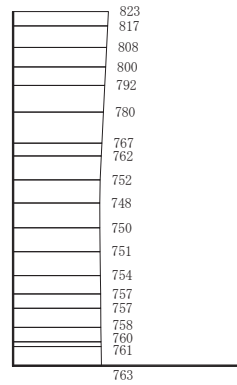
(a) $S_s - N1$ (++) 水平



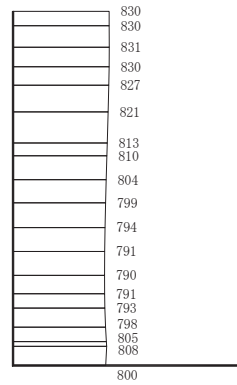
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) $S_s - N1$ (++) 鉛直

図 8.6-9(13) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



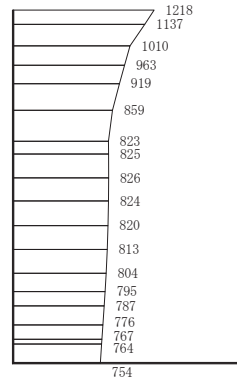
(a) $S_s - N1$ (一十) 水平



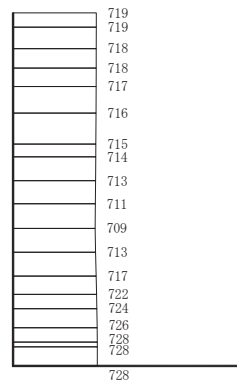
構造スケール $0 \quad \quad \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \quad \quad 1000$ (cm/s²)

(b) $S_s - N1$ (一十) 鉛直

図 8.6-9(14) 最大加速度分布図
(解析ケース①)



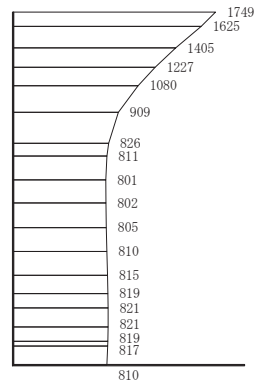
(a) S s - D 2 (- +) + σ 水平



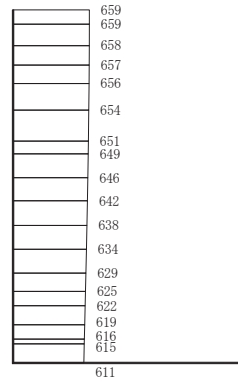
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (- +) + σ 鉛直

図 8.6-9(15) 最大加速度分布図
 (解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース)



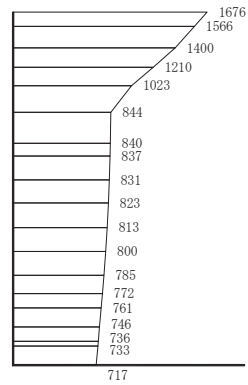
(a) S s - D 2 (- +) - σ 水平



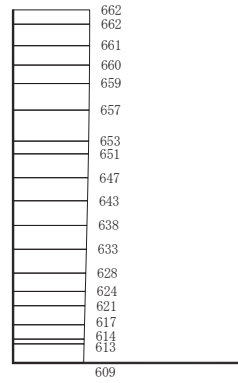
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

(b) S s - D 2 (- +) - σ 鉛直

図 8.6-9(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 8.6-9(17) 最大加速度分布図

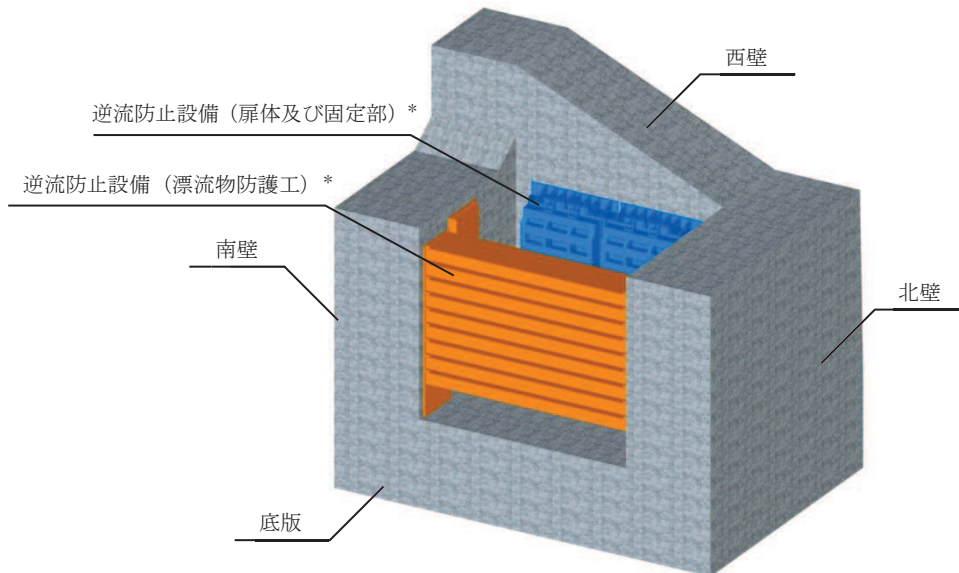
(解析ケース④) : 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース

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 9.1-1 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 9.1-1 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。

出口側集水ピットの耐震評価は、構造的特徴や周辺状況から主たる荷重方向（弱軸方向であるピット縦断方向）を評価対象として実施する。

一方、主たる荷重（ピット縦断方向）に対し、加振方向に平行に配置される北壁及び南壁は面内荷重に抵抗しているが、従方向（ピット横断方向）の地震力に対しては、面外荷重の影響を受けることになる。よって、出口側集水ピットはピット縦断方向の耐震評価に加えて加振方向に平行に配置された壁部材への影響を確認するため、従方向の荷重を作用させる。

この水平2方向载荷の耐震評価について、評価用地震動及び時刻は、基準地震動 S_s (7 波)、水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) 及びばらつきケースの中で最も照査値が厳しい地震動、時刻に対し実施することとし、「VI-2-12-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

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 9.3-1 に，要素分割図を図 9.3-2 に示す。

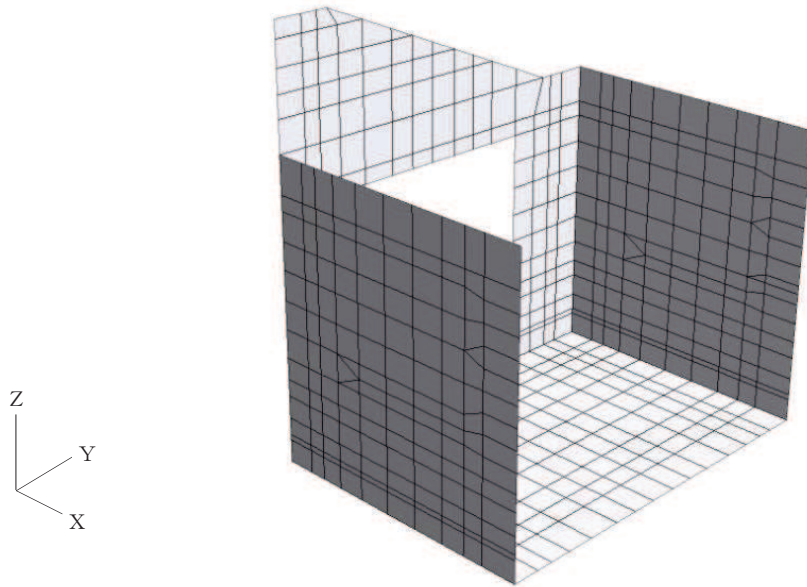
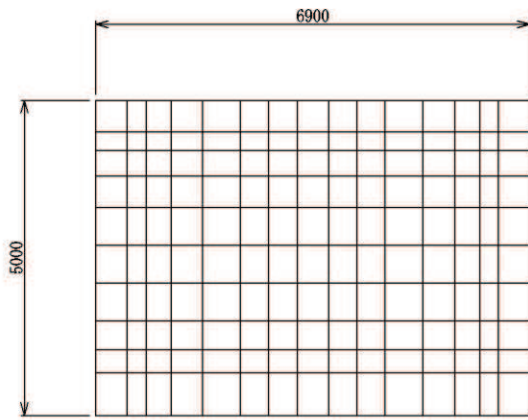
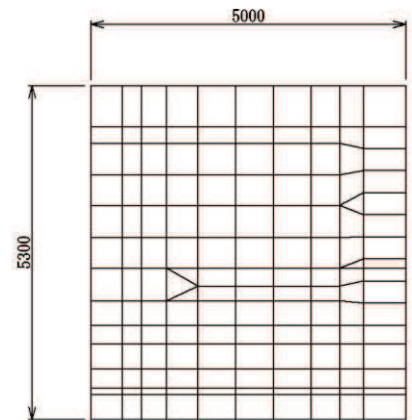


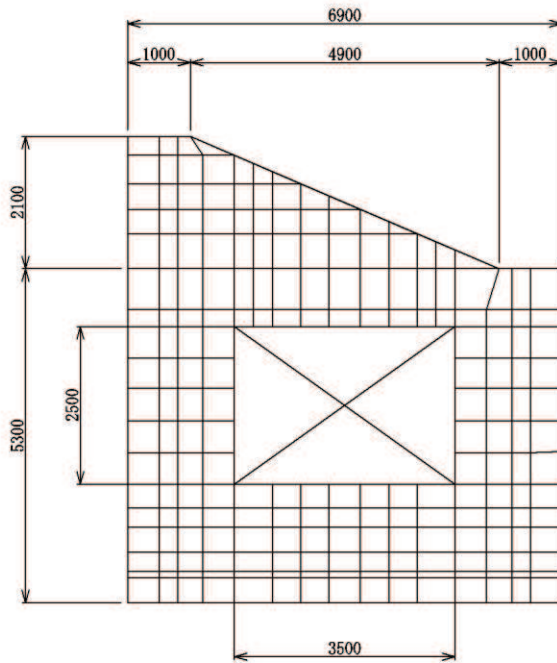
図 9.3-1 出口側集水ピットの解析モデル



(a) 底版



(b) 南壁及び北壁



(c) 西壁

図 9.3-2 要素分割図

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。

(a) 常時解析

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。

①鉛直方向地盤反力係数

$$k_V = k_{V0} \left(\frac{B_V}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$k_{V0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

ここに、

k_V : 鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

k_{V0} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_V : 基礎の換算載荷幅 (m) $B_V = \sqrt{A_V}$

A_V : 鉛直方向の載荷面積 (m²)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数。女川 3 号物性は、平板載荷試験から求めた変形数であることから $\alpha = 1$ (常時) とする。

E_0 : 地盤の変形係数で、道路橋示方書 IV 10.4 に従い、地盤の変化を考慮に入れた換算変形係数 (kN/m²) とする。

$$E_0 = \frac{\log \frac{(B + 2h_n \tan \theta) D}{(D + 2h_n \tan \theta) B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B + 2h_i \tan \theta)(D + 2h_{i-1} \tan \theta)}{(D + 2h_i \tan \theta)(B + 2h_{i-1} \tan \theta)}}$$

B : 基礎幅 (m)

D : 基礎の奥行 (m)

h_n : 影響を調べる深さ (m)

h_i : 細分する各層底面までの深さ (m)

E_{0i} : 細分した第 i 番目の層の変形係数 (kN/m²)

θ : 荷重の分散角度で、 $\theta = 30^\circ$ とする

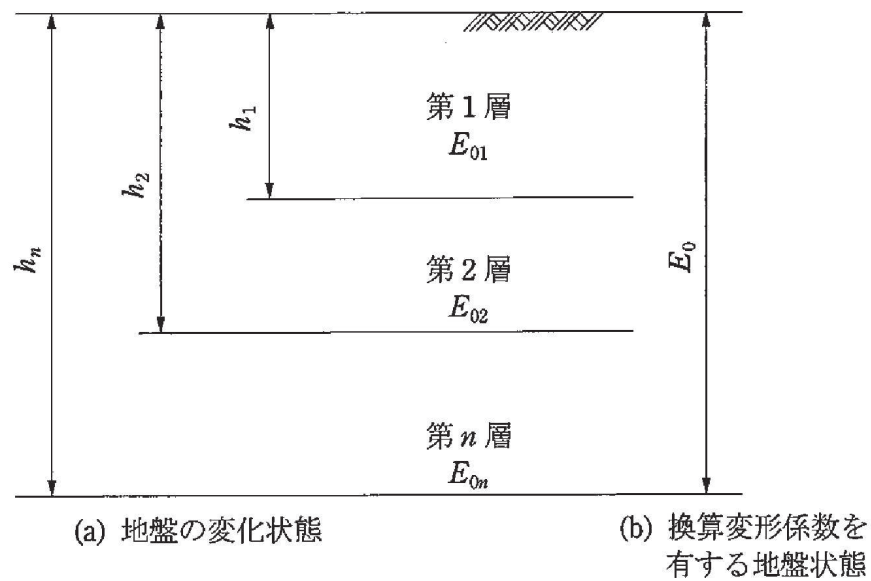


図 9.3-3 地盤が深さ方向に変化する場合の換算変形係数

②水平方向せん断地盤反力係数

$$k_S = \lambda k_V$$

ここに、

k_S : 水平方向せん断地盤反力係数(kN/m³)

λ : 鉛直方向地盤反力係数に対する水平方向せん断地盤反力係数の比で、
 $\lambda = 0.3$ とする。

(b) 地震時解析 (支持地盤)

地震時解析における支持地盤は、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タンス理論」に基づき設定する。

①岩盤の等価せん断弾性係数

$$G_R = \frac{G_{R1}}{\sum \left[\left(\frac{G_{R1}}{G_{Ri}} \right) \cdot \{F_H(\zeta_{i-1}) - F_H(\zeta_i)\} \right]}$$

$$F_H(\zeta) = \frac{1}{(2-\nu)} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{3+4\zeta^2}{\sqrt{1+\zeta^2}} - 2\zeta + \frac{1-2\nu}{2} \cdot (\sqrt{1+\zeta^2} - \zeta) \right]$$

$$\zeta = \frac{Z}{a}$$

ここで、

G_R : 等価せん断弾性係数(kN/m²)

G_{Ri} : 第 i 層のせん断弾性係数(kN/m²) 動せん断弾性係数 (初期剛性)

Z_i : 第 i 層の下端の深さ(m)

a : 基礎の等価半径 (m)

$$a = 2 \sqrt{\frac{\ell_x \cdot \ell_y}{\pi}}$$

$2\ell_x$: 加力方向の基礎の辺長 (m)

$2\ell_y$: 加力直角方向の基礎の辺長 (m)

ν : 岩盤のポアソン比 (動ポアソン比)

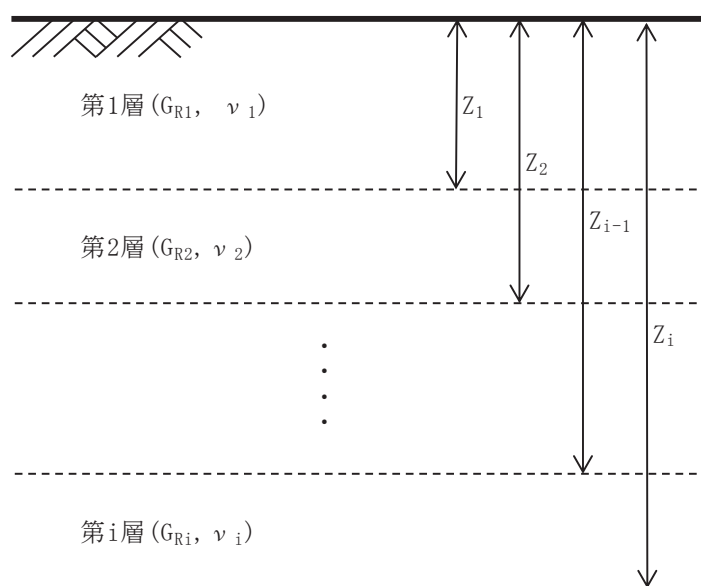


図 9.3-4 等価せん断弾性係数の算出概念図

②岩盤の鉛直方向地盤反力係数(地震時増分)

$$k_{VR} = 0.5 \cdot (k_{VRX} + k_{VRY})$$

$$k_{VRX} = \frac{\pi \cdot G_R}{1 - \nu} \cdot \frac{1}{2\ell_x} \cdot \frac{1}{\lambda_x \times \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_x^2 + 1}}{\lambda_x}\right)}$$

$$k_{VRY} = \frac{\pi \cdot G_R}{1 - \nu} \cdot \frac{1}{2\ell_y} \cdot \frac{1}{\lambda_y \times \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_y^2 + 1}}{\lambda_y}\right)}$$

$$\lambda_x = \ell_y / \ell_x$$

$$\lambda_y = \ell_x / \ell_y$$

ここで,

k_{VR} : 鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

③岩盤のせん断方向地盤反力係数

$$k_{SR} = 0.5 \cdot (k_{SRX} + k_{SRY})$$

$$k_{SRX} = \frac{\pi \cdot G_R}{2 \cdot \ell_x \cdot F(\lambda_x)}$$

$$F(\lambda_x) = (1 - \nu) \cdot \ln\left(\sqrt{1 + \lambda_x^2} + \lambda_x\right) + \lambda_x \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_x^2 + 1}}{\lambda_x}\right)$$

$$\lambda_x = \ell_y / \ell_x$$

$$k_{SRY} = \frac{\pi \cdot G_R}{2 \cdot \ell_y \cdot F(\lambda_y)}$$

$$F(\lambda_y) = (1 - \nu) \cdot \ln\left(\sqrt{1 + \lambda_y^2} + \lambda_y\right) + \lambda_y \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_y^2 + 1}}{\lambda_y}\right)$$

$$\lambda_y = \ell_x / \ell_y$$

ここで,

k_{SR} : 水平方向せん断地盤反力係数 (kN/m³)

(c) 地震時解析（側方地盤）

地震時解析における側方地盤は、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。

①水平方向地盤反力係数

側壁部の水平方向地盤反力係数は、道示IV下部構造編 9.5.2 より算出する。

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$B_H = \sqrt{A_H}$$

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} E_D \quad (E_D = \text{Max}(E_{D1}, E_{D2}))$$

$$E_{D1} = 2(1 + \nu_D) G_D$$

$$E_{D2} = \frac{9K G_D}{3K + G_D}$$

ここで、

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (m)

A_H : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷面積 (m²)

k_{H0} : 水平方向地盤反力係数の基準値 (kN/m³)

E_{D1} : 一次元地震応答解析による収束剛性から ν 一定として算定する地盤の動的変形係数 (kN/m²)

ν_D : 地盤の動的ポアソン比 (セメント改良土 : 0.36)

G_D : 地盤の動的せん断変形係数 (kN/m²) で一次元地震応答解析による収束剛性を用いる。また、セメント改良土の区間内の平均値を代表値として用いる。

E_{D2} : 一次元地震応答解析による収束剛性から K 一定として算定する地盤の動的変形係数 (kN/m²)

K : 体積弾性係数 (kN/m³) で、地下水位以深の場合は、地盤の初期堆積弾性係数と水の体積弾性係数 ($K_w = 2222 \times 10^3$ kN/m³) の大きい方の値とする。

②せん断方向地盤反力係数

$$k_S = 0.3k_H$$

ここで、

k_S : 側壁部のせん断地盤反力係数 (kN/m³)

k_h : 側壁部の水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

(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。

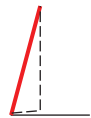

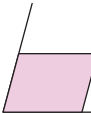
9.4 照査時刻

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 9.4-1 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 8.6-7 及び図 8.6-8 に示す。

表 9.4-1 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

9.5 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9.5-1に示す。また、地震応答解析から算出される荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフローを図9.5-2に示す。常時荷重は表8.3-3に示す荷重を考慮する。

表9.5-1 三次元構造解析における入力荷重

入力荷重		地震応答解析から抽出する応答値	載荷位置
慣性力	機器・配管の慣性力	応答加速度	設置位置
	躯体の慣性力	応答加速度	躯体全体
	積載荷重の慣性力	応答加速度	作用位置
地震時土圧		土圧	作用位置
周面せん断力		土圧	作用位置

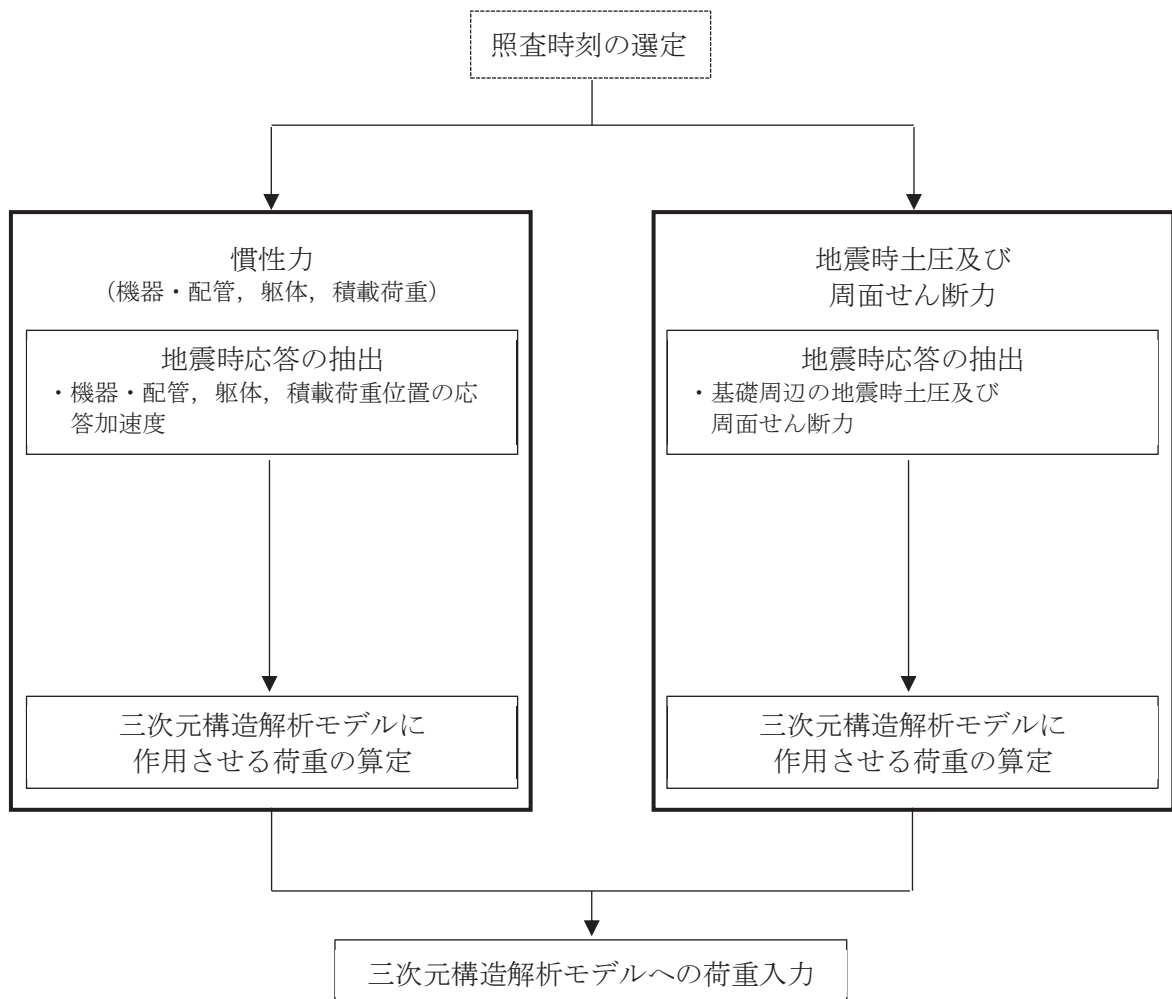


図9.5-1 各入力荷重の算定フロー

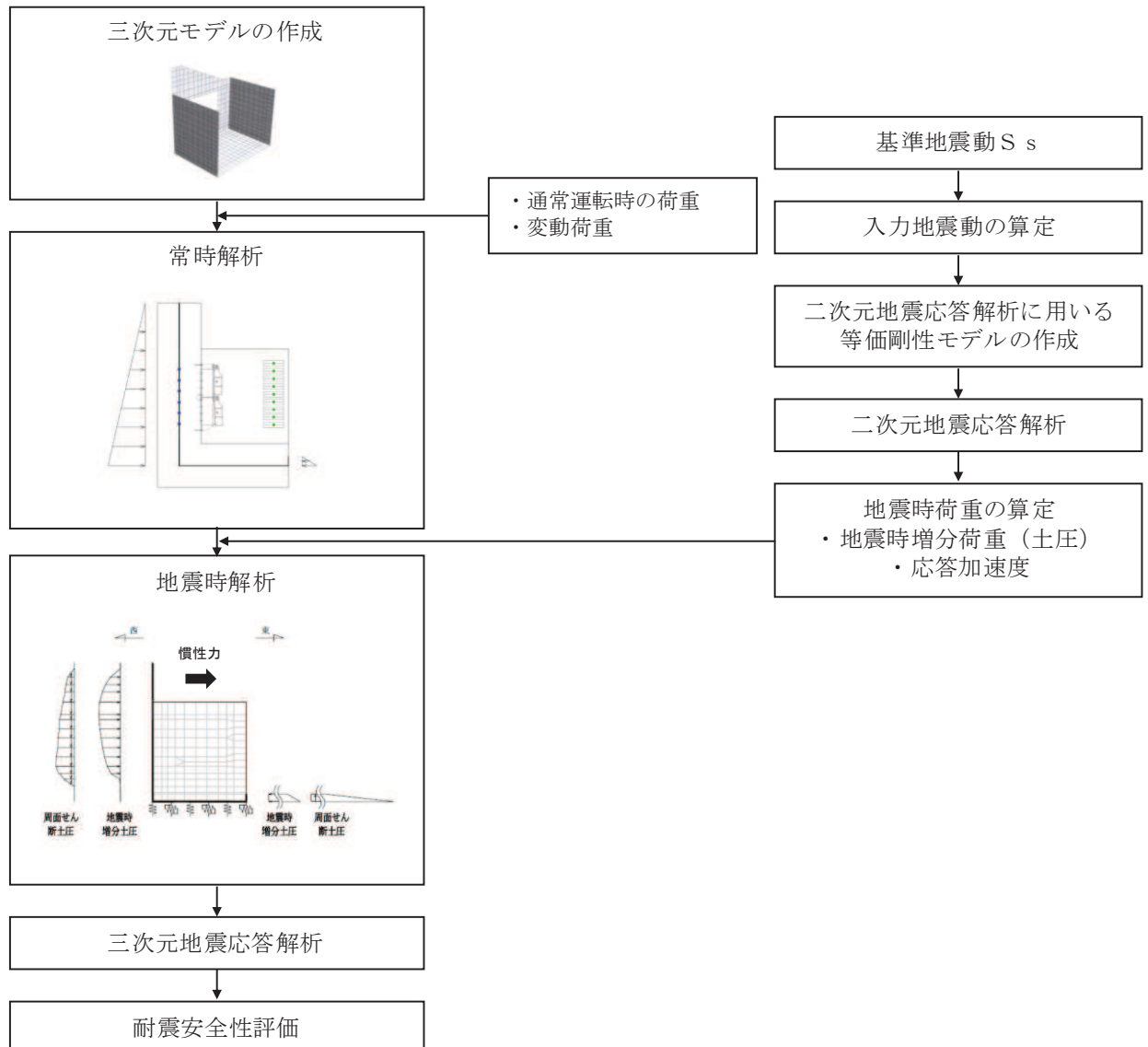


図 9.5-2 地震時荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフロー図

9.5.1 慣性力

機器・配管及び躯体の慣性力は、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材の各節点の、照査時刻における応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図 9.5-2 に示す。

算定した慣性力は図 9.5-4 に示すとおり、出口側集水ピットの三次元構造解析モデルに入力する。なお、算定した慣性力は三次元構造解析モデルの各節点において、水平方向及び鉛直方向同時に入力する。

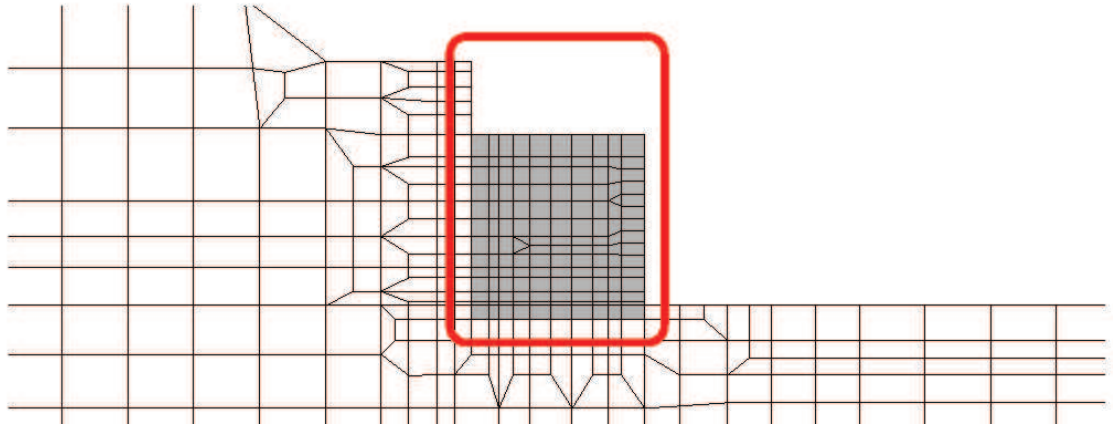
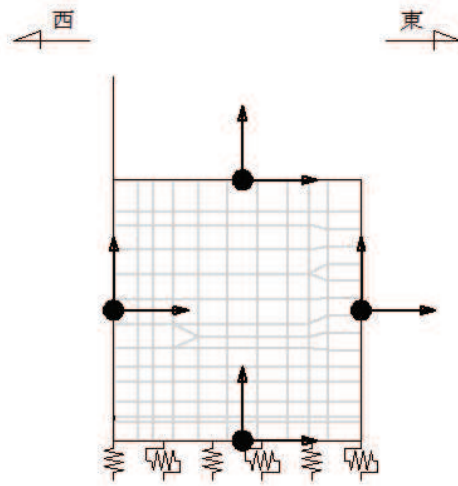


図 9.5-3 加速度抽出位置図



注記*：図中の黒丸は水平方向及び鉛直方向同時入力することを表している

図 9.5-4 三次元構造解析モデルに入力する慣性力の概念図（東西断面，北 FG）

9.5.2 地震時増分土圧及び周面せん断土圧

躯体側面に作用する地震時増分土圧及び周面せん断土圧は、地震応答解析モデルにおいて各部位に接するジョイント要素の、照査時刻における要素応力（直応力及びせん断応力）から算定する。地震時増分土圧及び周面せん断土圧の抽出位置を図9.5-5に示す。また、算定した地震時増分土圧及び周面せん断土圧は、図9.5-6に示すとおり、出口側集水ピットの三次元構造解析モデルに入力する。

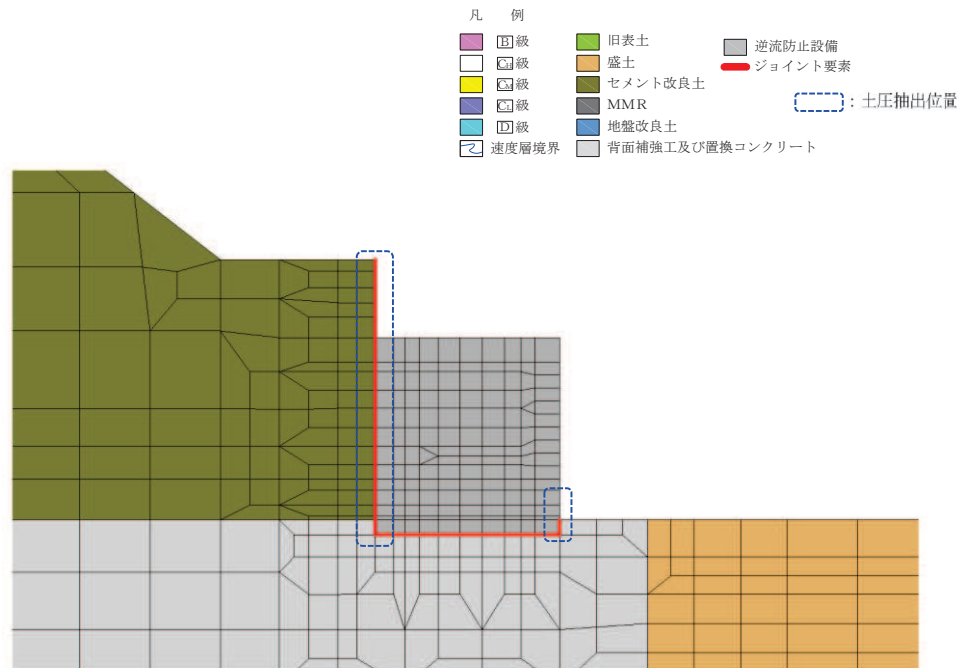


図 9.5-5 地震時増分土圧及び周面せん断土圧抽出位置

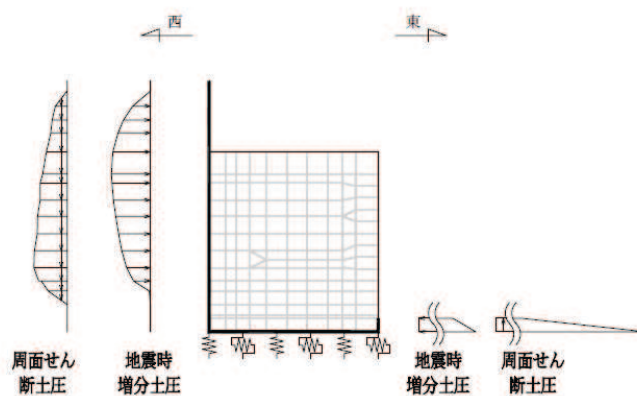


図 9.5-6 三次元構造解析モデルに入力する土圧の概念図

10. 耐震評価

10.1 許容限界

10.1.1 構造部材の健全に対する許容限界

(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 10.1-1 及び表 10.1-2 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 10.1-1 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*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

表 10.1-2 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*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）に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 10.1-1 及び表 10.1-2 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

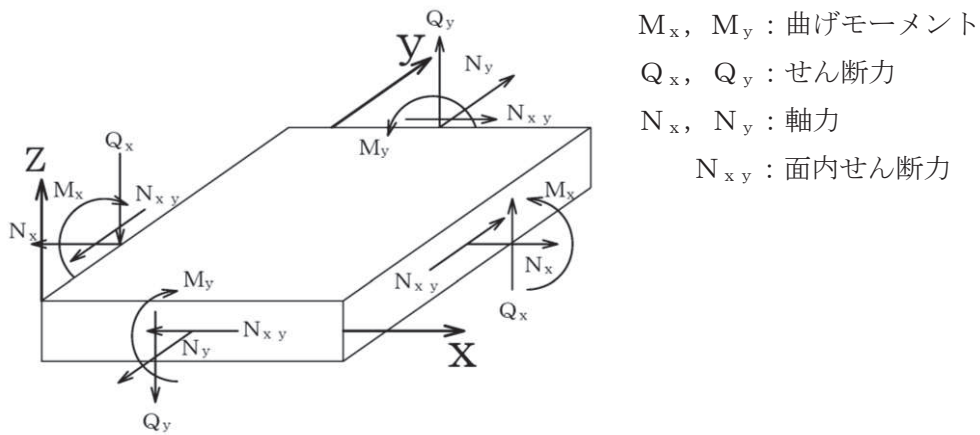
出口側集水ピットの耐震評価は、地震応答解析により得られた応答値から、三次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

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。

10.3 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 10.3-1 に、断面力の組合せを表 10.3-1 に示す。面内せん断力 N_{xy} については、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、軸力として考慮する。

また、各部材の要素座標系を図 10.3-2 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 10.3-1 シェル要素における応答断面力

表 10.3-1 断面力の組合せ

	X 方向断面力		Y 方向断面力	
	曲げモーメント	軸力	曲げモーメント	軸力
組合せ①	M_x	N_x	M_y	N_y
組合せ②	M_x	$N_x + N_{xy} $	M_y	$N_y + N_{xy} $
組合せ③	M_x	$N_x - N_{xy} $	M_y	$N_y - N_{xy} $

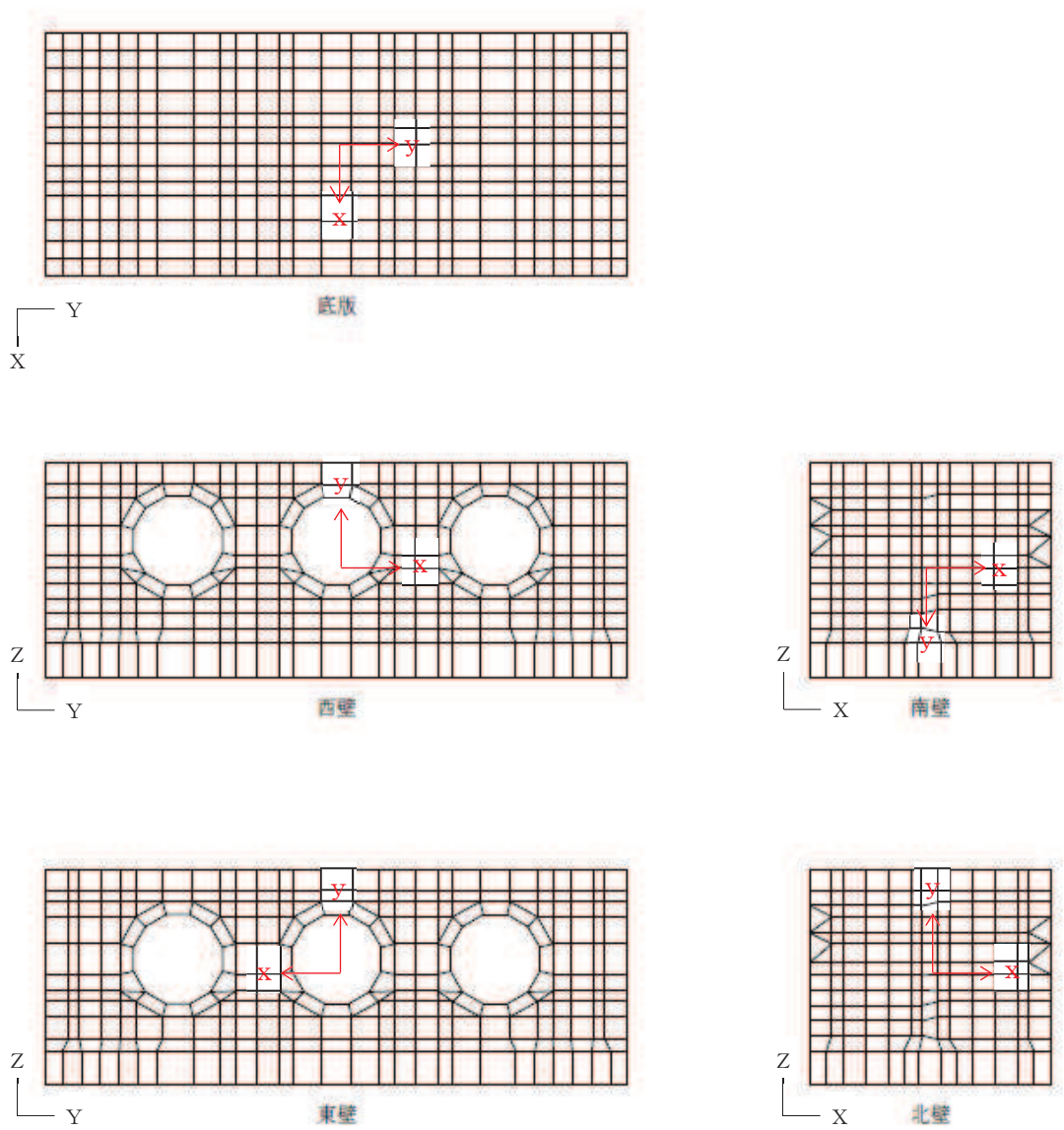


図 10.3-2 各部材の要素座標系

11. 評価結果

11.1 構造部材の断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 11.1-1 に示す。また、最大照査値となる評価時刻における断面力分布（曲げモーメント、軸力）を図 11.1-2 に示す。

表 11.1-1 (1) 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	軸力	発生応力度	短期許容応力度	照査値	
			(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)		σ'_c/σ'_{ca}
底版	1	③	S s - D 2 (-+)	-1283	-1051	2.7	16.5	0.17
南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	1366	-4646	3.8	16.5	0.24
西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	-1206	-363	2.5	16.5	0.16
北壁	4	③	S s - D 2 (-+)	667	-4029	2.7	16.5	0.17

注記*：評価位置は図11.1-1に示す。

表 11.1-1 (2) 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	軸力	発生応力度	短期許容応力度	照査値	
			(kN・m/m)	(kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		σ_s/σ_{sa}
底版	1	③	S s - D 2 (-+)	594	824	102.1	294	0.35
南壁	2	③	S s - D 2 (-+)	624	420	77.2	294	0.27
西壁	3	③	S s - D 2 (-+)	-1304	740	152.2	294	0.52
北壁	4	①	S s - N 1 (++)	102	803	60.8	294	0.21

注記*：評価位置は図11.1-1に示す。

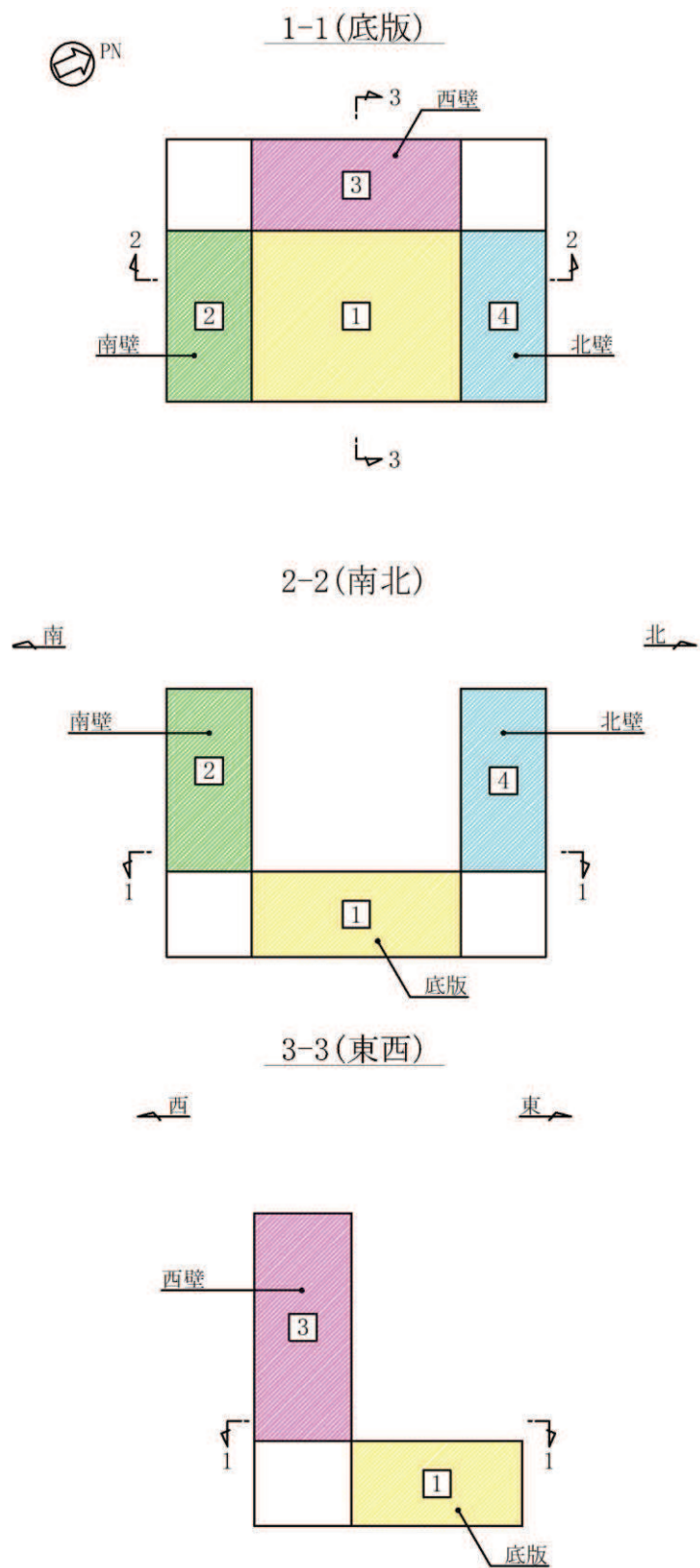


图 11.1-1 評価位置図

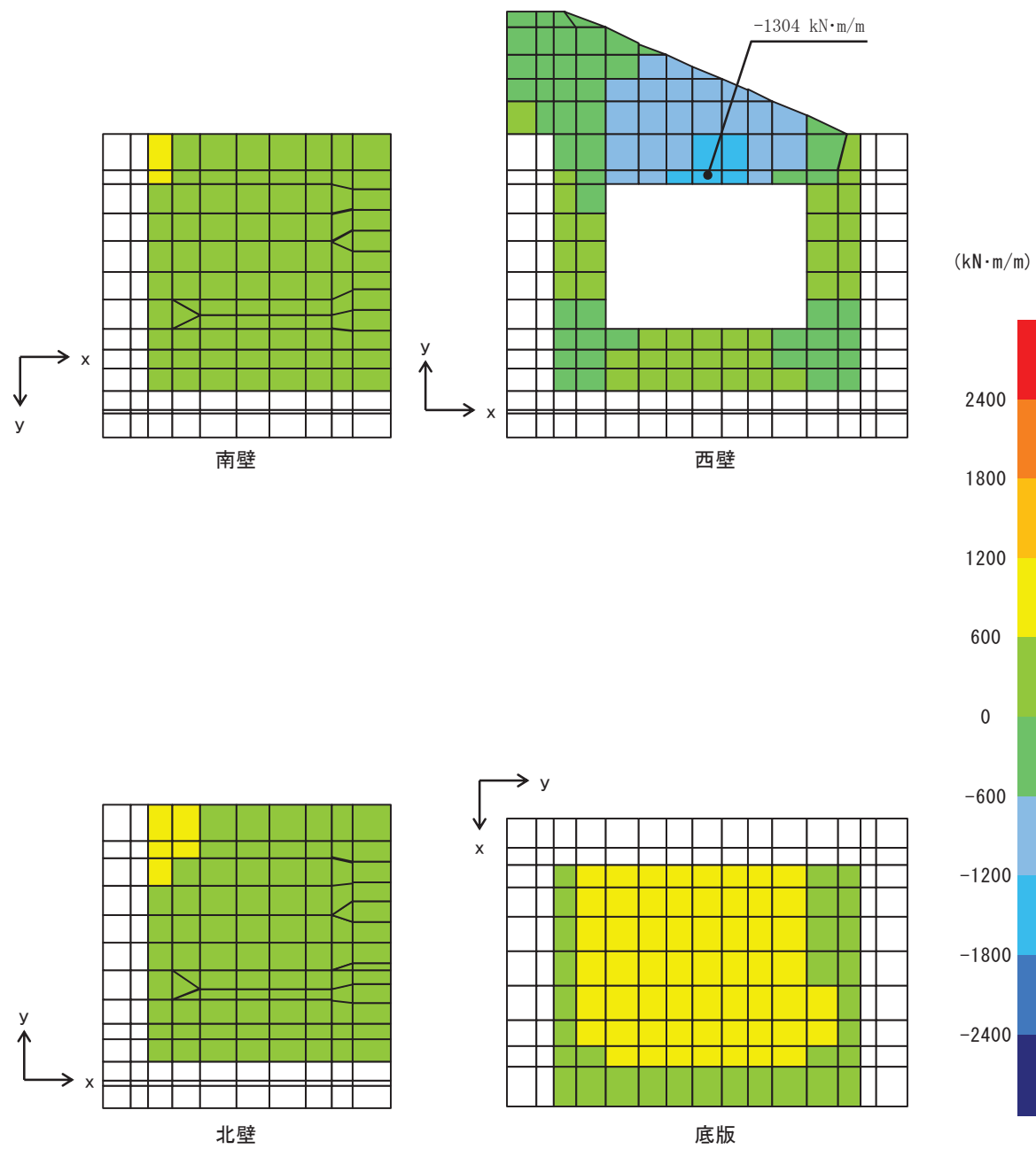


図 11.1-2 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 M_x (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66 \text{ s}$)

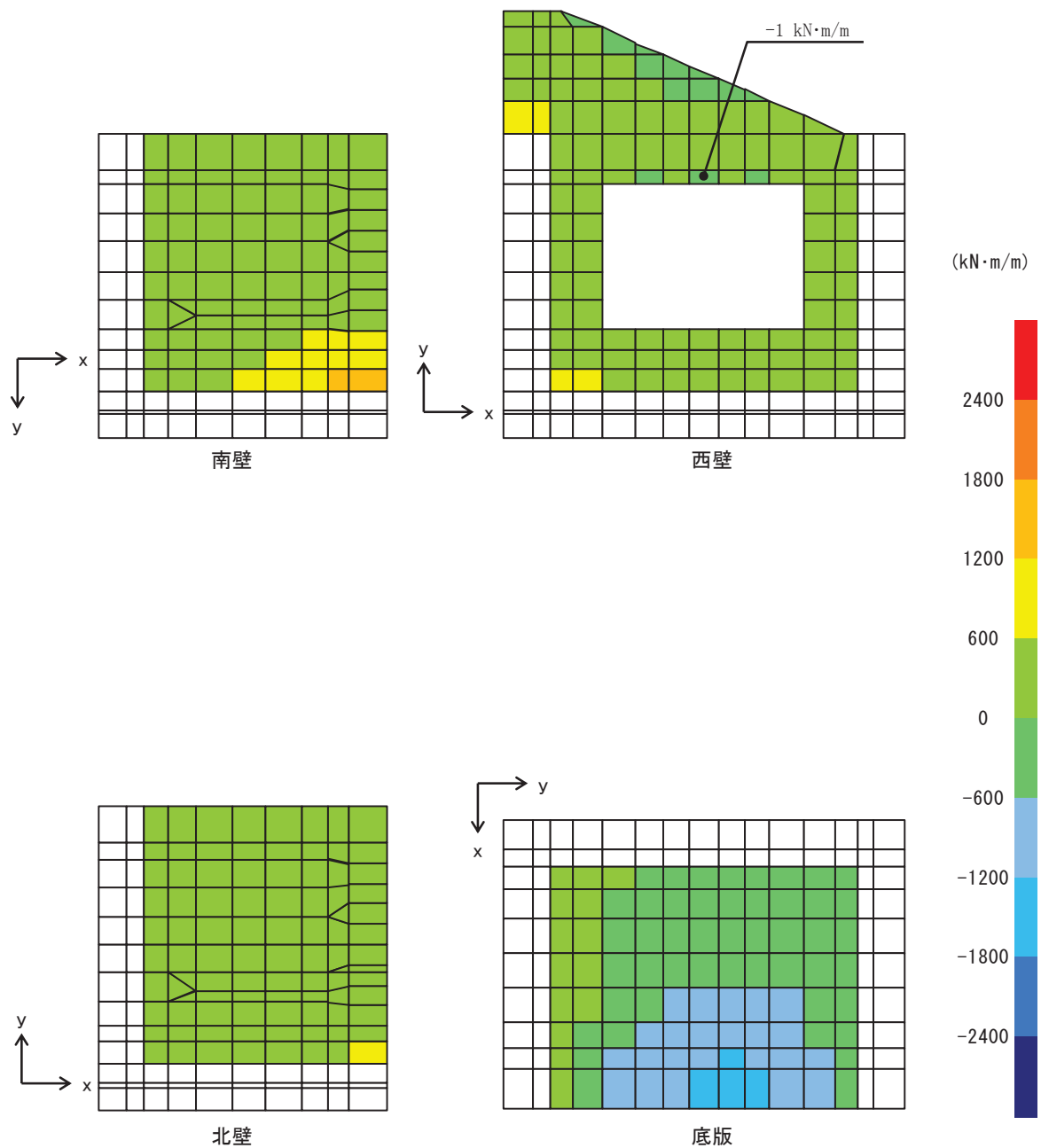


図 11.1-2 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 M_y (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66 \text{ s}$)

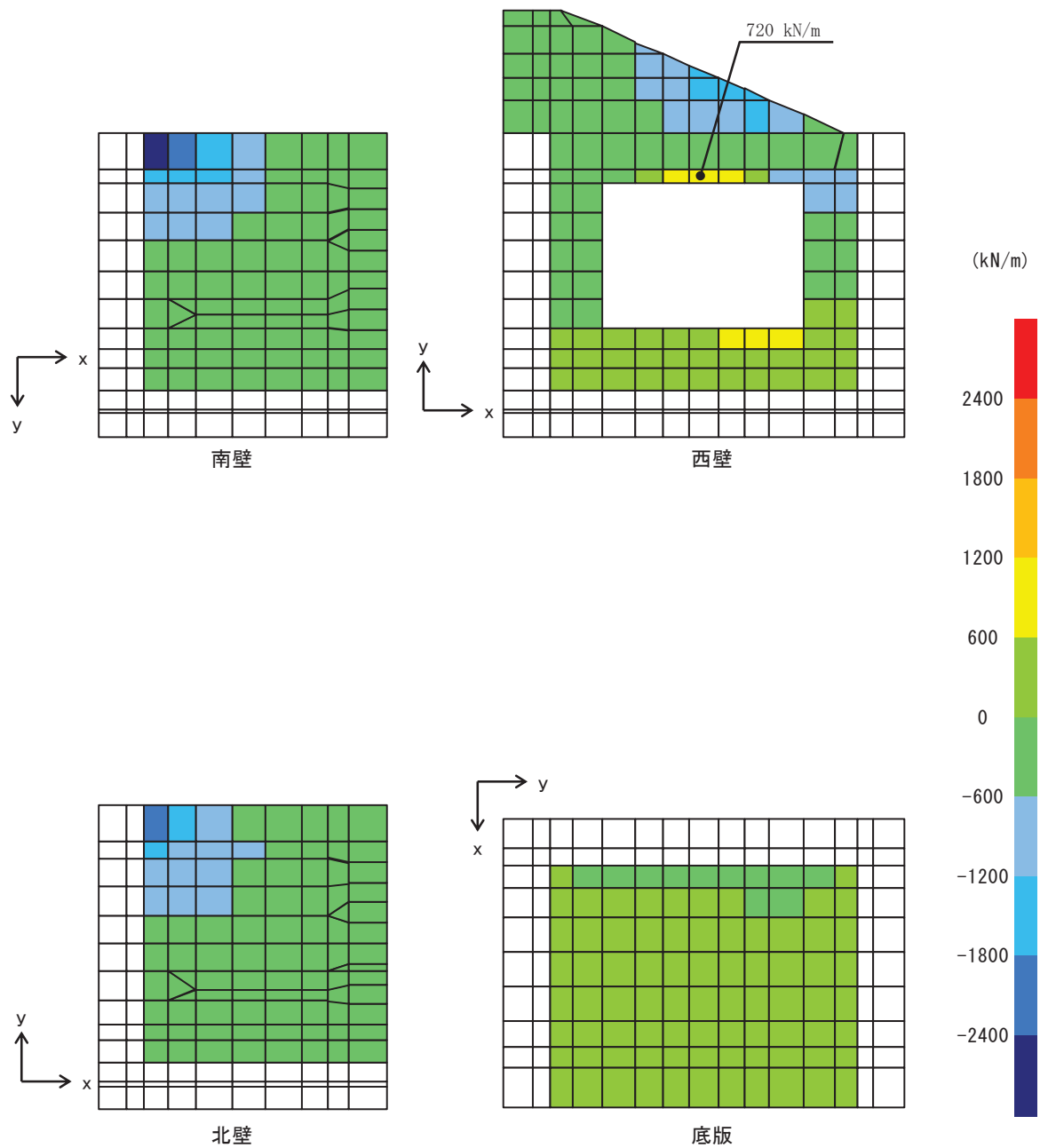


図 11.2-2 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 N_x (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66 \text{ s}$)

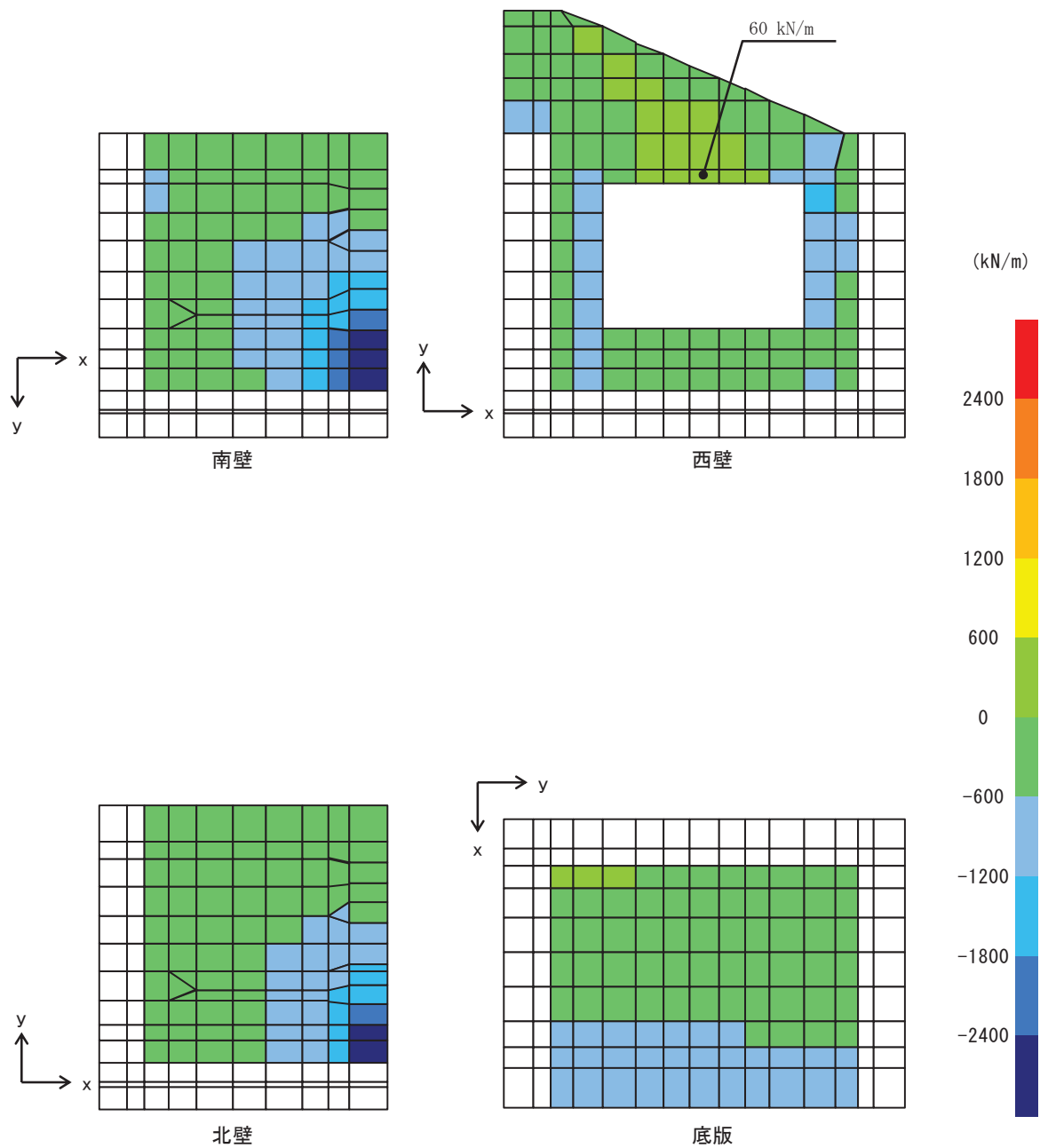


図 11.2-2 (4) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 N_y (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66 \text{ s}$)

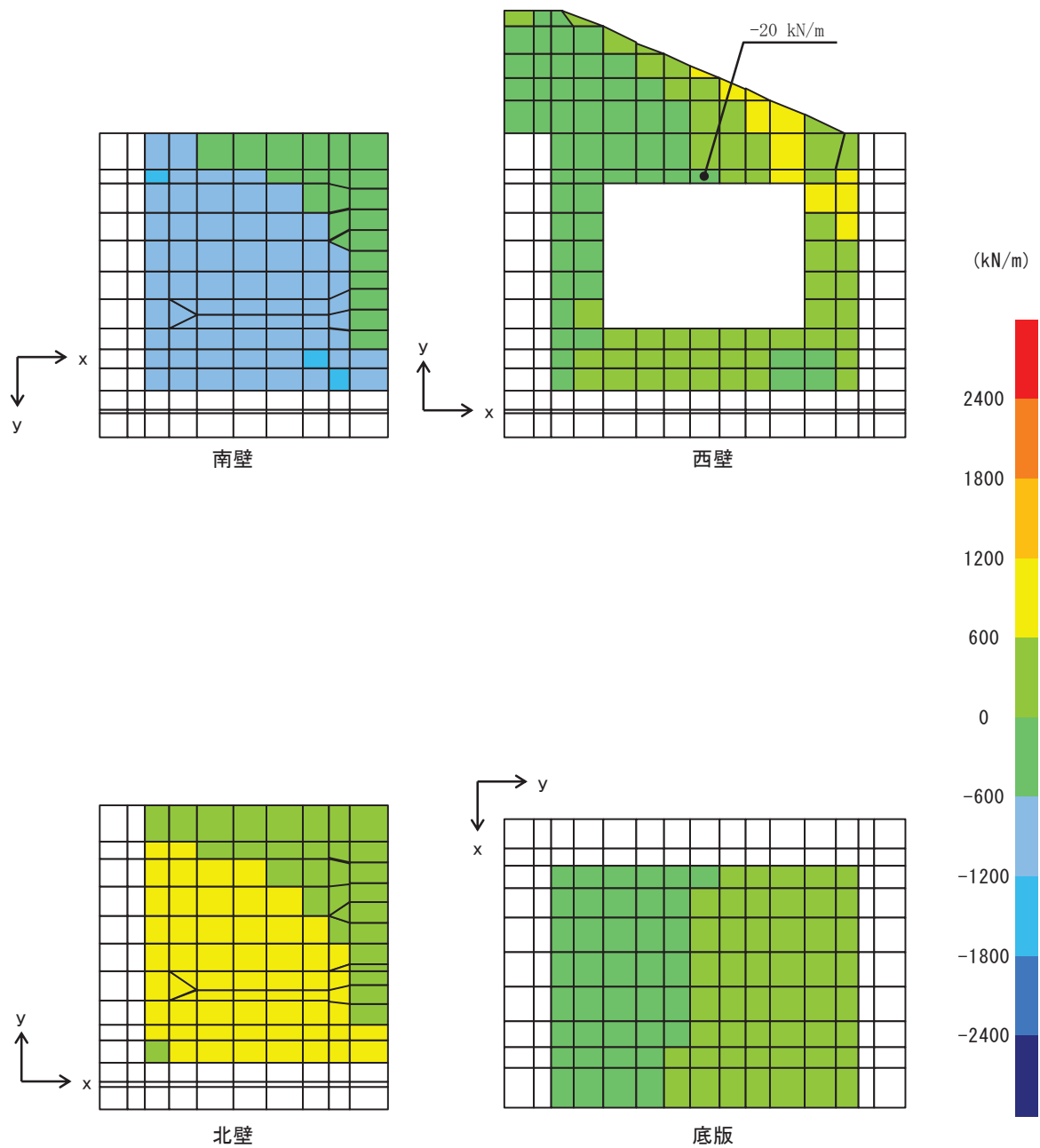


図 11.1-2 (5) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 $N_{x y}$ (ケース③, $S s - D 2 (-+)$, $t = 13.66 \text{ s}$)

11.2 構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）

構造部材のせん断破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 11.2-1 に示す。また、最大照査値となる評価時刻における断面力分布（せん断力）を図 11.2-2 に示す。

表 11.2-1 せん断破壊に対する最大照査値

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

注記*：評価位置は図 11.2-1 に示す。

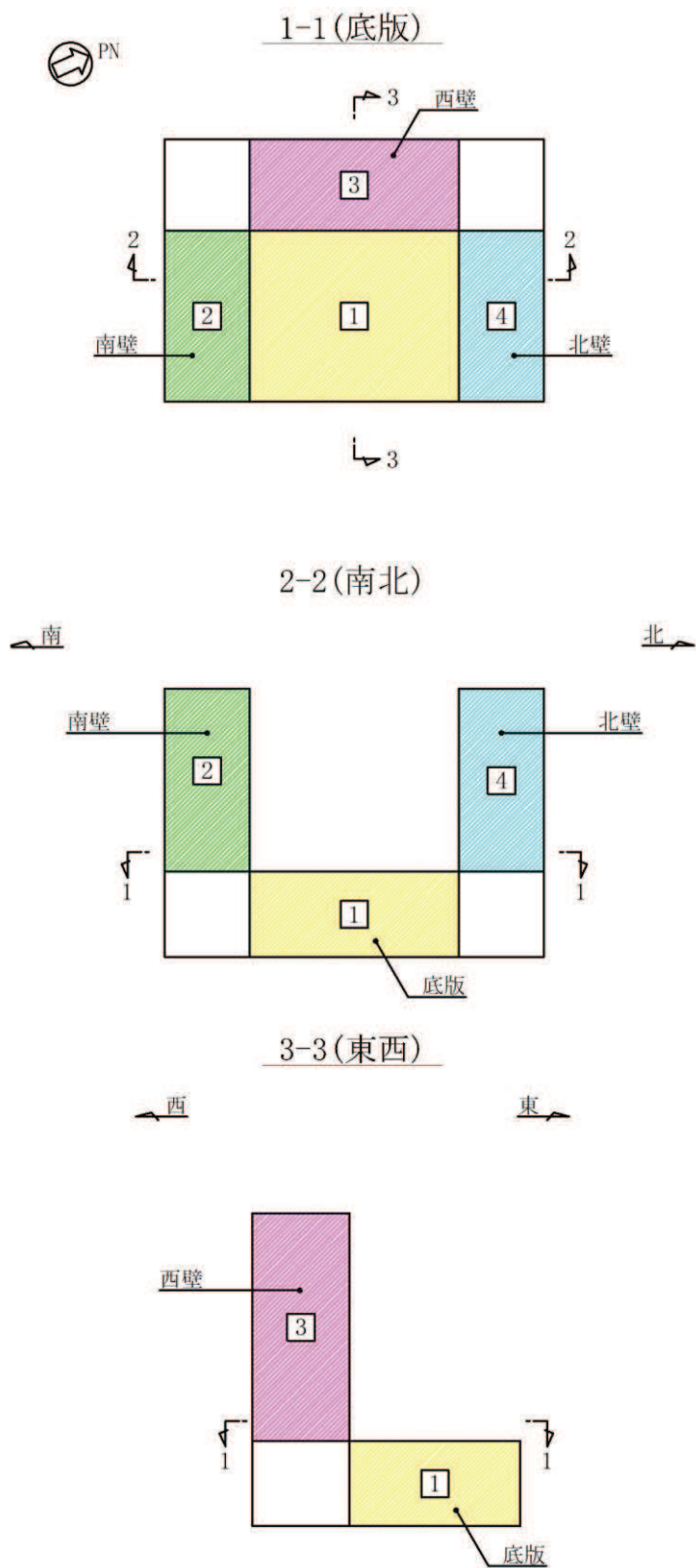


图 11.2-1 評価位置図

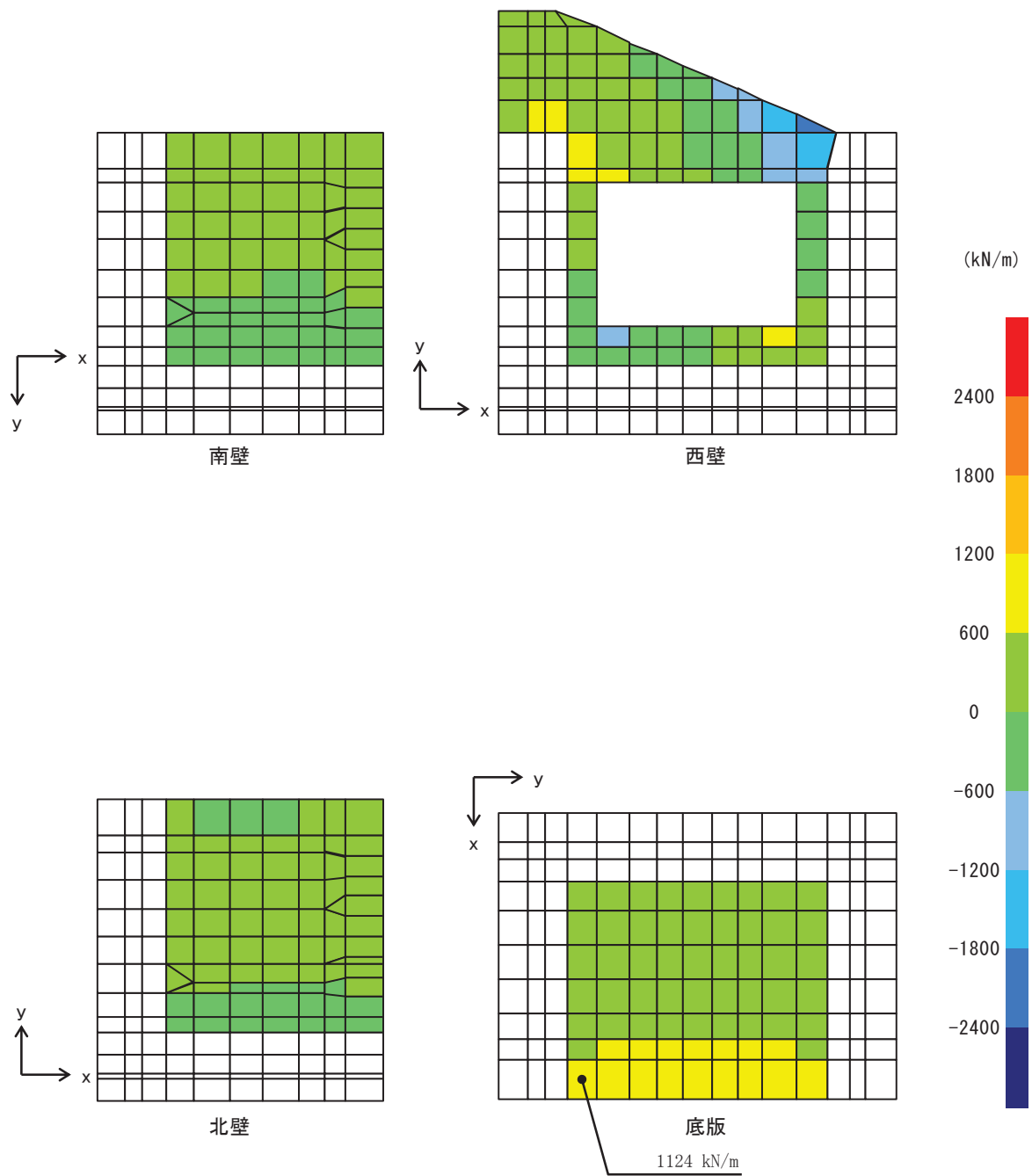


図 11.2-2 (1) せん断破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 Q_x (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66$ s)

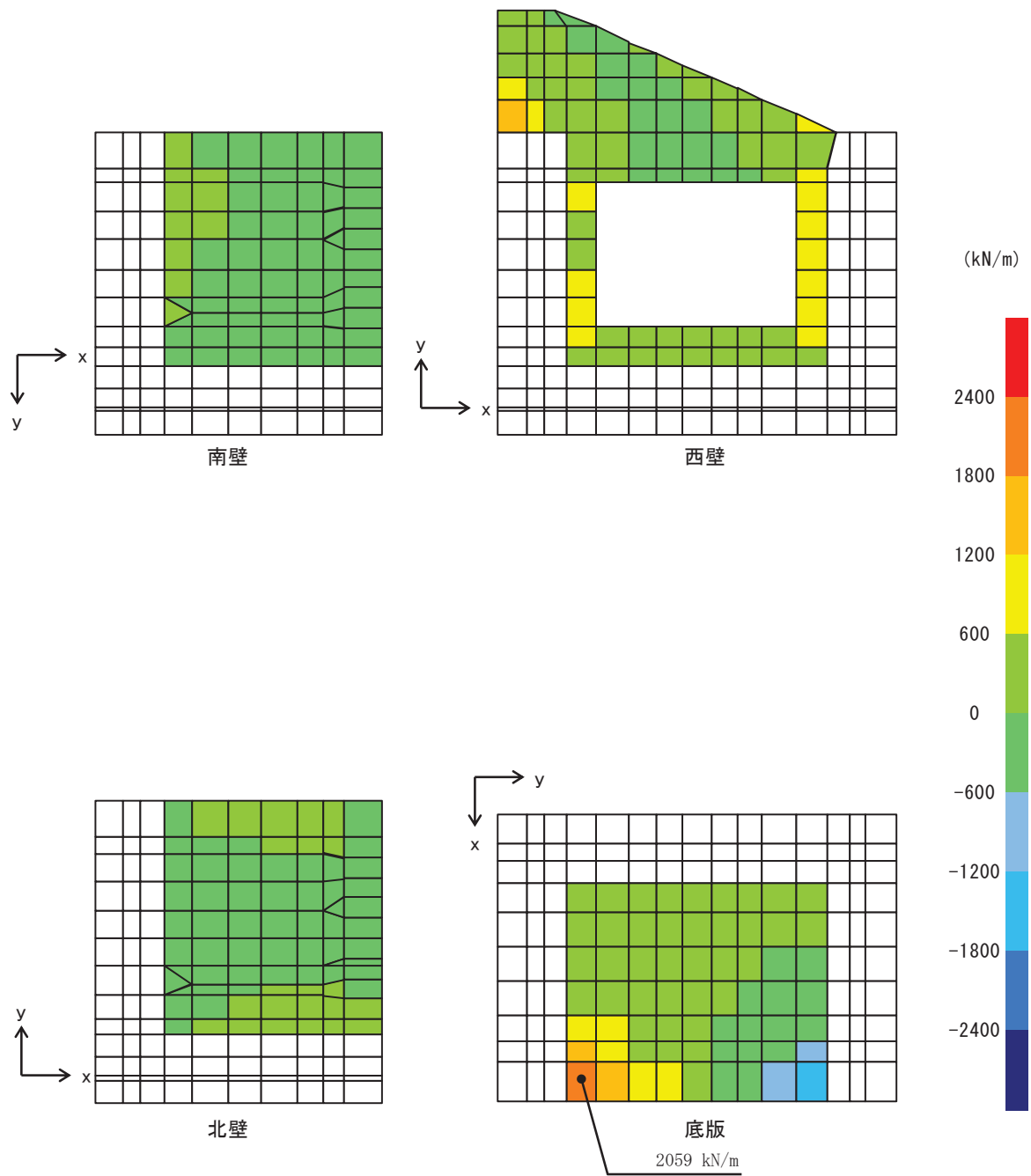


図 11.2-2 (2) せん断破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 Q_y (ケース③, $S_s - D_2 (-+)$, $t = 13.66$ s)

11.3 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 11.3-1 に示す。

表 11.3-1 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。

11.3.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各部材での最大照査値について，表 11.3-2 に解析ケース・地震動ごとに示す。全ケースにおいて，出口側集水ピットの構造部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表11.3-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c/\sigma'ca$
①	S _s -D1 (++)	底版	1	45.52	-879	-871	1.90	16.5	0.12
		南壁	2	45.52	965	-3255	2.70	16.5	0.17
		西壁	3	45.52	-621	-2680	2.00	16.5	0.13
		北壁	4	45.52	461	-2847	1.90	16.5	0.12
	S _s -D1 (-+)	底版	1	25.21	-719	-866	1.50	16.5	0.10
		南壁	2	25.21	856	-2967	2.40	16.5	0.15
		西壁	3	25.22	-843	-344	1.80	16.5	0.11
		北壁	4	25.21	380	-2559	1.70	16.5	0.11
	S _s -D2 (++)	底版	1	13.52	-778	-606	1.70	16.5	0.11
		南壁	2	13.52	916	-3068	2.50	16.5	0.16
		西壁	3	13.52	-640	-2595	2.00	16.5	0.13
		北壁	4	13.52	420	-2654	1.80	16.5	0.11
	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.65	-1066	-981	2.30	16.5	0.14
		南壁	2	13.65	1158	-4079	3.30	16.5	0.20
		西壁	3	13.65	-1092	-361	2.30	16.5	0.14
		北壁	4	13.65	562	-3547	2.30	16.5	0.14
	S _s -D3 (++)	底版	1	21.03	-643	-484	1.40	16.5	0.09
		南壁	2	21.04	729	-2381	2.00	16.5	0.13
		西壁	3	21.03	-488	-2226	1.60	16.5	0.10
		北壁	4	21.03	325	-1986	1.30	16.5	0.08
	S _s -D3 (-+)	底版	1	29.56	-600	-693	1.30	16.5	0.08
		南壁	2	29.56	707	-2287	1.90	16.5	0.12
		西壁	3	29.56	-463	-2026	1.50	16.5	0.10
		北壁	4	29.56	299	-1966	1.30	16.5	0.08
	S _s -F1 (++)	底版	1	18.89	-552	-390	1.20	16.5	0.08
		南壁	2	22.40	646	-2035	1.80	16.5	0.11
		西壁	3	22.40	-421	-1729	1.30	16.5	0.08
		北壁	4	22.40	260	-1734	1.10	16.5	0.07
S _s -F1 (-+)	底版	1	19.49	-580	-413	1.30	16.5	0.08	
	南壁	2	19.49	655	-1910	1.70	16.5	0.11	
	西壁	3	19.49	-437	-1899	1.40	16.5	0.09	
	北壁	4	19.49	441	-1161	1.10	16.5	0.07	

軸力：引張正

表11.3-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c/\sigma'ca$
①	S _s -F2 (++)	底版	1	31.42	-848	-811	1.80	16.5	0.11
		南壁	2	31.42	919	-3051	2.50	16.5	0.16
		西壁	3	27.84	-602	-2360	1.80	16.5	0.11
		北壁	4	31.42	447	-2691	1.80	16.5	0.11
	S _s -F2 (-+)	底版	1	31.29	-694	-809	1.50	16.5	0.10
		南壁	2	31.29	829	-2820	2.30	16.5	0.14
		西壁	3	31.29	-583	-2218	1.80	16.5	0.11
		北壁	4	31.29	361	-2417	1.60	16.5	0.10
	S _s -F3 (++)	底版	1	28.62	-637	-464	1.40	16.5	0.09
		南壁	2	28.62	731	-2277	2.00	16.5	0.13
		西壁	3	28.62	-524	-2027	1.60	16.5	0.10
		北壁	4	28.62	534	-1404	1.30	16.5	0.08
	S _s -F3 (-+)	底版	1	26.81	-621	-708	1.30	16.5	0.08
		南壁	2	26.81	745	-2503	2.10	16.5	0.13
		西壁	3	26.81	-700	-292	1.50	16.5	0.10
		北壁	4	26.81	314	-2140	1.40	16.5	0.09
	S _s -N1 (++)	底版	1	7.50	-811	-653	1.70	16.5	0.11
		南壁	2	7.50	947	-3233	2.70	16.5	0.17
		西壁	3	7.51	-975	-411	2.10	16.5	0.13
		北壁	4	7.50	422	-2775	1.80	16.5	0.11
S _s -N1 (-+)	底版	1	7.90	-886	-947	1.90	16.5	0.12	
	南壁	2	7.90	922	-3076	2.60	16.5	0.16	
	西壁	3	7.90	-480	-1951	1.50	16.5	0.10	
	北壁	4	7.90	499	-2791	1.90	16.5	0.12	
②	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.64	-964	-949	2.10	16.5	0.13
		南壁	2	13.64	1044	-3599	2.90	16.5	0.18
		西壁	3	13.64	-696	-3003	2.20	16.5	0.14
		北壁	4	13.64	524	-3182	2.10	16.5	0.13
③	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.66	-1283	-1051	2.70	16.5	0.17
		南壁	2	13.66	1366	-4646	3.80	16.5	0.24
		西壁	3	13.66	-1206	-363	2.50	16.5	0.16
		北壁	4	13.66	667	-4029	2.70	16.5	0.17

軸力：引張正

表11.3-2(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	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}
①	S _s -D1 (++)	底版	1	45.53	279	531	57.50	294.0	0.20
		南壁	2	45.52	129	658	53.50	294.0	0.19
		西壁	3	45.52	-906	896	131.30	294.0	0.45
		北壁	4	45.52	184	531	49.70	294.0	0.17
	S _s -D1 (-+)	底版	1	25.21	189	495	47.80	294.0	0.17
		南壁	2	25.21	121	701	55.70	294.0	0.19
		西壁	3	25.21	-876	584	108.00	294.0	0.37
		北壁	4	25.22	199	493	48.50	294.0	0.17
	S _s -D2 (++)	底版	1	13.52	434	208	48.20	294.0	0.17
		南壁	2	13.52	135	815	64.30	294.0	0.22
		西壁	3	13.52	-918	743	122.00	294.0	0.42
		北壁	4	13.52	195	609	55.70	294.0	0.19
	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.65	405	682	77.60	294.0	0.27
		南壁	2	13.65	574	293	64.90	294.0	0.23
		西壁	3	13.65	-1155	804	144.70	294.0	0.50
		北壁	4	13.65	240	550	55.60	294.0	0.19
	S _s -D3 (++)	底版	1	21.04	234	297	38.40	294.0	0.14
		南壁	2	21.03	108	626	49.70	294.0	0.17
		西壁	3	21.03	-699	713	102.80	294.0	0.35
		北壁	4	21.03	144	505	44.80	294.0	0.16
	S _s -D3 (-+)	底版	1	29.56	123	437	38.60	294.0	0.14
		南壁	2	29.56	99	554	44.30	294.0	0.16
		西壁	3	29.56	-676	616	94.40	294.0	0.33
		北壁	4	30.15	156	411	39.60	294.0	0.14
	S _s -F1 (++)	底版	1	22.40	88	404	33.60	294.0	0.12
		南壁	2	18.89	90	529	41.90	294.0	0.15
		西壁	3	22.40	-620	478	80.80	294.0	0.28
		北壁	4	22.40	141	379	36.30	294.0	0.13
	S _s -F1 (-+)	底版	1	19.49	250	172	31.20	294.0	0.11
		南壁	2	19.49	80	577	44.30	294.0	0.16
		西壁	3	19.49	-631	581	88.60	294.0	0.31
		北壁	4	19.49	78	507	39.50	294.0	0.14

軸力：引張正

表11.3-2(4) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma's$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'sa$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma's/\sigma'sa$
①	S _s -F 2 (++)	底版	1	31.42	321	498	58.80	294.0	0.20
		南壁	2	27.84	119	655	52.50	294.0	0.18
		西壁	3	31.42	-813	827	119.40	294.0	0.41
		北壁	4	27.84	189	484	47.10	294.0	0.17
	S _s -F 2 (-+)	底版	1	31.29	203	432	44.80	294.0	0.16
		南壁	2	31.29	119	705	55.80	294.0	0.19
		西壁	3	31.29	-856	587	106.60	294.0	0.37
		北壁	4	31.29	184	520	49.00	294.0	0.17
	S _s -F 3 (++)	底版	1	28.62	326	170	37.10	294.0	0.13
		南壁	2	28.62	105	641	50.50	294.0	0.18
		西壁	3	28.62	-766	558	97.60	294.0	0.34
		北壁	4	28.62	168	474	44.70	294.0	0.16
	S _s -F 3 (-+)	底版	1	26.81	123	498	42.60	294.0	0.15
		南壁	2	26.81	104	598	47.60	294.0	0.17
		西壁	3	26.81	-741	373	83.40	294.0	0.29
		北壁	4	26.81	169	400	40.00	294.0	0.14
	S _s -N 1 (++)	底版	1	7.50	446	159	45.90	294.0	0.16
		南壁	2	7.50	143	858	67.70	294.0	0.24
		西壁	3	7.50	-1015	609	120.70	294.0	0.42
		北壁	4	7.50	102	803	60.80	294.0	0.21
S _s -N 1 (-+)	底版	1	7.90	450	939	98.10	294.0	0.34	
	南壁	2	7.90	541	214	57.10	294.0	0.20	
	西壁	3	7.90	-741	827	113.80	294.0	0.39	
	北壁	4	7.90	96	451	37.30	294.0	0.13	
②	S _s -D 2 (-+)	底版	1	13.64	307	601	64.40	294.0	0.22
		南壁	2	13.64	141	735	59.60	294.0	0.21
		西壁	3	13.64	-989	1028	146.70	294.0	0.50
		北壁	4	13.64	206	556	53.20	294.0	0.19
③	S _s -D 2 (-+)	底版	1	13.66	594	824	102.20	294.0	0.35
		南壁	2	13.66	624	420	77.20	294.0	0.27
		西壁	3	13.66	-1304	740	152.20	294.0	0.52
		北壁	4	13.66	392	362	55.10	294.0	0.19

軸力：引張正

11.3.2 せん断破壊に対する評価結果

構造部材のせん断破壊に対する各部材での最大照査値について、表 11.3-3 に解析ケース・地震動ごとに示す。全ケースにおいて、出口側集水ピットの構造部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表11.3-3(1) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	照査用 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
①	S _s -D 1 (++)	底版	1	45.52	1318	3495	0.38
		南側壁	2	45.52	426	3495	0.13
		妻壁	3	45.52	1223	3495	0.35
		北側壁	4	45.52	179	3495	0.06
	S _s -D 1 (-+)	底版	1	25.21	1056	3495	0.31
		南側壁	2	25.21	383	3495	0.11
		妻壁	3	25.22	1225	3495	0.36
		北側壁	4	25.22	166	3495	0.05
	S _s -D 2 (++)	底版	1	13.52	1099	3495	0.32
		南側壁	2	13.52	408	3495	0.12
		妻壁	3	13.52	1234	3495	0.36
		北側壁	4	13.52	168	3495	0.05
	S _s -D 2 (-+)	底版	1	13.65	1655	3495	0.48
		南側壁	2	13.65	493	3495	0.15
		妻壁	3	13.65	1565	3495	0.45
		北側壁	4	13.65	215	3495	0.07
	S _s -D 3 (++)	底版	1	21.03	884	3495	0.26
		南側壁	2	21.03	350	3495	0.11
		妻壁	3	21.04	1036	3495	0.30
		北側壁	4	21.04	142	3495	0.05
	S _s -D 3 (-+)	底版	1	29.56	863	3495	0.25
		南側壁	2	29.56	333	3495	0.10
		妻壁	3	30.15	963	3495	0.28
		北側壁	4	30.15	130	3495	0.04
	S _s -F 1 (++)	底版	1	22.40	780	3495	0.23
		南側壁	2	22.40	311	3495	0.09
		妻壁	3	22.40	854	3495	0.25
		北側壁	4	22.40	118	3495	0.04
S _s -F 1 (-+)	底版	1	19.49	773	3495	0.23	
	南側壁	2	19.49	317	3495	0.10	
	妻壁	3	19.49	860	3495	0.25	
	北側壁	4	19.49	118	3495	0.04	

表11.3-3(2) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	照査用 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
①	S _s -F2 (++)	底版	1	31.42	1325	3495	0.38
		南側壁	2	31.42	411	3495	0.12
		妻壁	3	27.84	1193	3495	0.35
		北側壁	4	31.42	174	3495	0.05
	S _s -F2 (-+)	底版	1	31.29	1004	3495	0.29
		南側壁	2	31.29	375	3495	0.11
		妻壁	3	31.29	1170	3495	0.34
		北側壁	4	31.29	158	3495	0.05
	S _s -F3 (++)	底版	1	28.62	869	3495	0.25
		南側壁	2	28.62	342	3495	0.10
		妻壁	3	28.62	1048	3495	0.30
		北側壁	4	28.62	142	3495	0.05
	S _s -F3 (-+)	底版	1	26.81	914	3495	0.27
		南側壁	2	26.81	344	3495	0.10
		妻壁	3	26.81	1017	3495	0.30
		北側壁	4	26.81	136	3495	0.04
	S _s -N1 (++)	底版	1	7.50	1150	3495	0.33
		南側壁	2	7.50	412	3495	0.12
		妻壁	3	7.51	1412	3495	0.41
		北側壁	4	7.51	193	3495	0.06
S _s -N1 (-+)	底版	1	7.90	1384	3495	0.40	
	南側壁	2	7.90	384	3495	0.11	
	妻壁	3	7.90	1007	3495	0.29	
	北側壁	4	7.90	213	3495	0.07	
②	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.64	1436	3495	0.42
		南側壁	2	13.64	451	3495	0.13
		妻壁	3	13.64	1309	3495	0.38
		北側壁	4	13.64	204	3495	0.06
③	S _s -D2 (-+)	底版	1	13.66	2060	3495	0.59
		南側壁	2	13.66	570	3495	0.17
		妻壁	3	13.66	1807	3495	0.52
		北側壁	4	13.66	251	3495	0.08

11.4 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 11.4-1 に示す。最大接地圧分布図を図 11.4-1 に示す。

上記により，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 11.4-1 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	基準地震動	位相	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u	
①	S s - D 1	(++)	1.1	30	0.04	
		(-+)	1.2		0.04	
	S s - D 2	(++)	1.1		0.04	
		(-+)	1.3		0.05	
	S s - D 3	(++)	0.9		0.03	
		(-+)	1.0		0.04	
	S s - F 1	(++)	0.8		0.03	
		(-+)	0.8		0.03	
	S s - F 2	(++)	1.1		0.04	
		(-+)	1.0		0.04	
	S s - F 3	(++)	0.9		0.03	
		(-+)	0.9		0.03	
	S s - N 1	(++)	0.9		0.03	
		(-+)	1.5		0.05	
	②	S s - D 2	(-+)		1.2	0.04
	③		(-+)		1.5	0.05

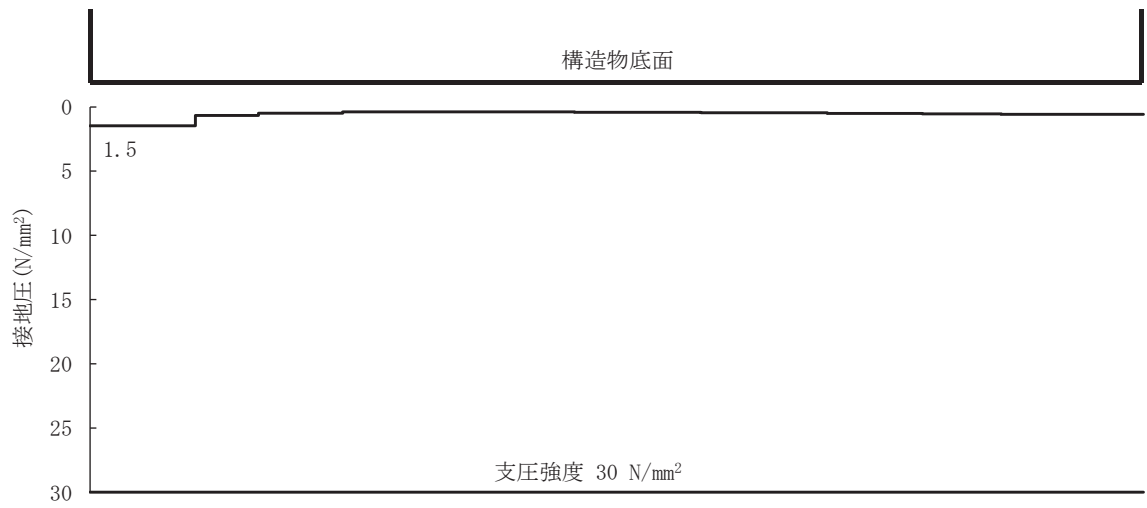


図 11.4-1 出口側集水ピットの基礎地盤の最大接地圧分布図
 (解析ケース③, S s - D 2 (-+))

(参考資料 1) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の構造詳細について

1. 構造概要

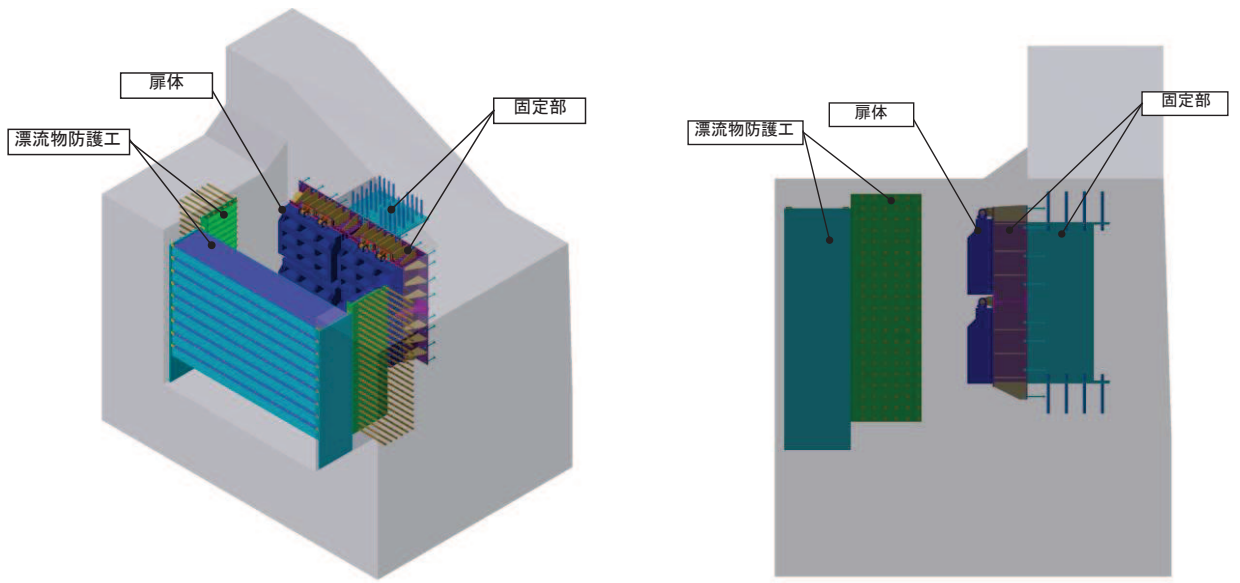
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) は、4 門の鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ (吊りピン含む) 及びヒンジ取付けボルト)、固定部 (ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト) 及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

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、屋外排水路を經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) の使用材料を表 1-1 に、構造概要を図 1-1 に示す。

表 1-1 使用材料

部位	材質	仕様
扉体	スキンプレート	SUS304 板厚 25mm
	主桁	SUS304 BC-220x170x20/25 (1 段目) H-350x200x20/25 (2, 3 段目) BC-350x125x15/25 (4 段目)
	補助縦桁	SUS304 BH-220x75x12/20 (主桁 1-2 段目間) BH-350x75x12/20 (その他)
	側部縦桁	SUS304 BC-350x125x20/25
	ヒンジ (吊りピン)	SUS304 φ 50mm
扉体及び固定部	ヒンジ (プレート)	SUS304 板厚 20mm
	ヒンジ取付けボルト	SUS304 M20
固定部	中央支柱	SUS304 BH-1050x300x35/35
	中央横桁	SUS304 BH-550x300x30/25
	戸当り	SUS304 板厚 12mm
	アンカーボルト	SUS304 頭付きアンカーボルト (M20)
漂流物防護工	防護梁	SM570 1-H-950x250x19/40 (母材) 2-PL-870x6x4780 (箱型断面用 PL) 2-PL-1050x40x350 (エンドプレート一般部) 2-PL-1050x40x1025 (エンドプレート最下段)
	ブラケット	SS400 PL-200x25x3600 (受台) PL-1100x25x4050 (ベースプレート) 20-PL-175x25x1100 (リブプレート)
	つなぎ材	強度区分 4.6 M20
	つなぎ材プレート	SM570 板厚 25mm
	アンカーボルト	SD345 D25



(鳥瞰図)

(側面図)

図 2.2-1(1) 構造概要図 (鳥瞰図, 側面図)

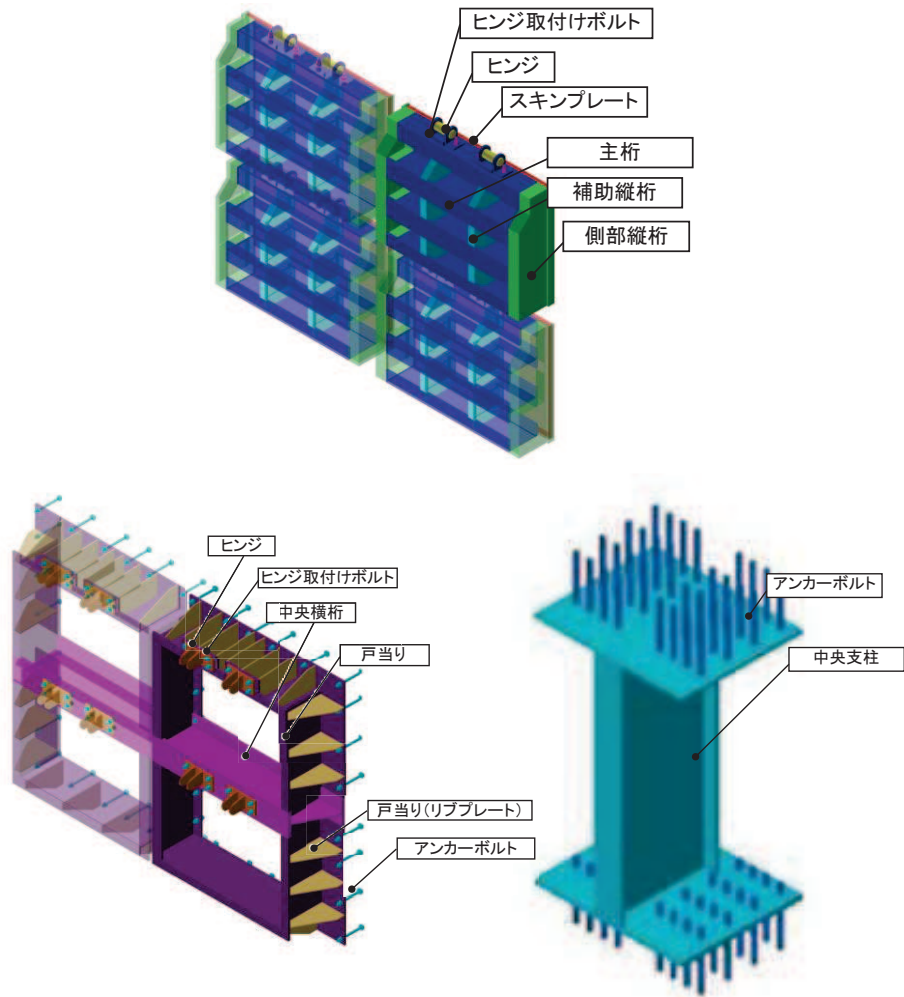


図 2.2-1(2) 構造概要図 (扉体及び固定部)

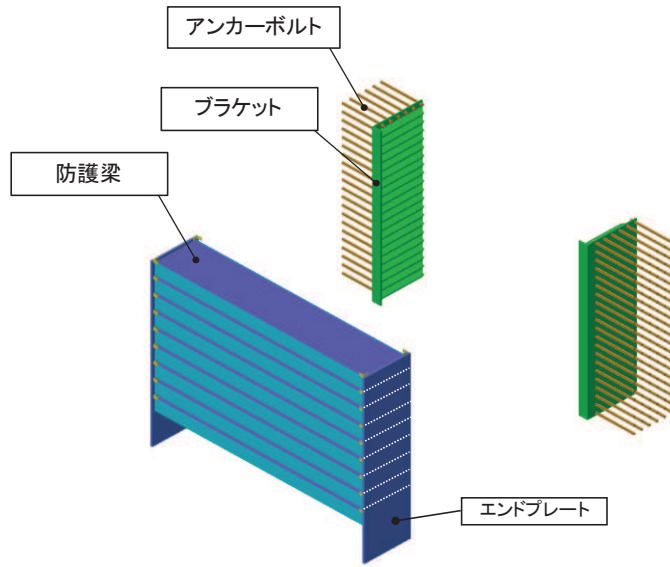


図 2.2-1(3) 構造概要図 (漂流物防護工)

2. 扉体

扉体部の詳細を図 2-1 に示す。

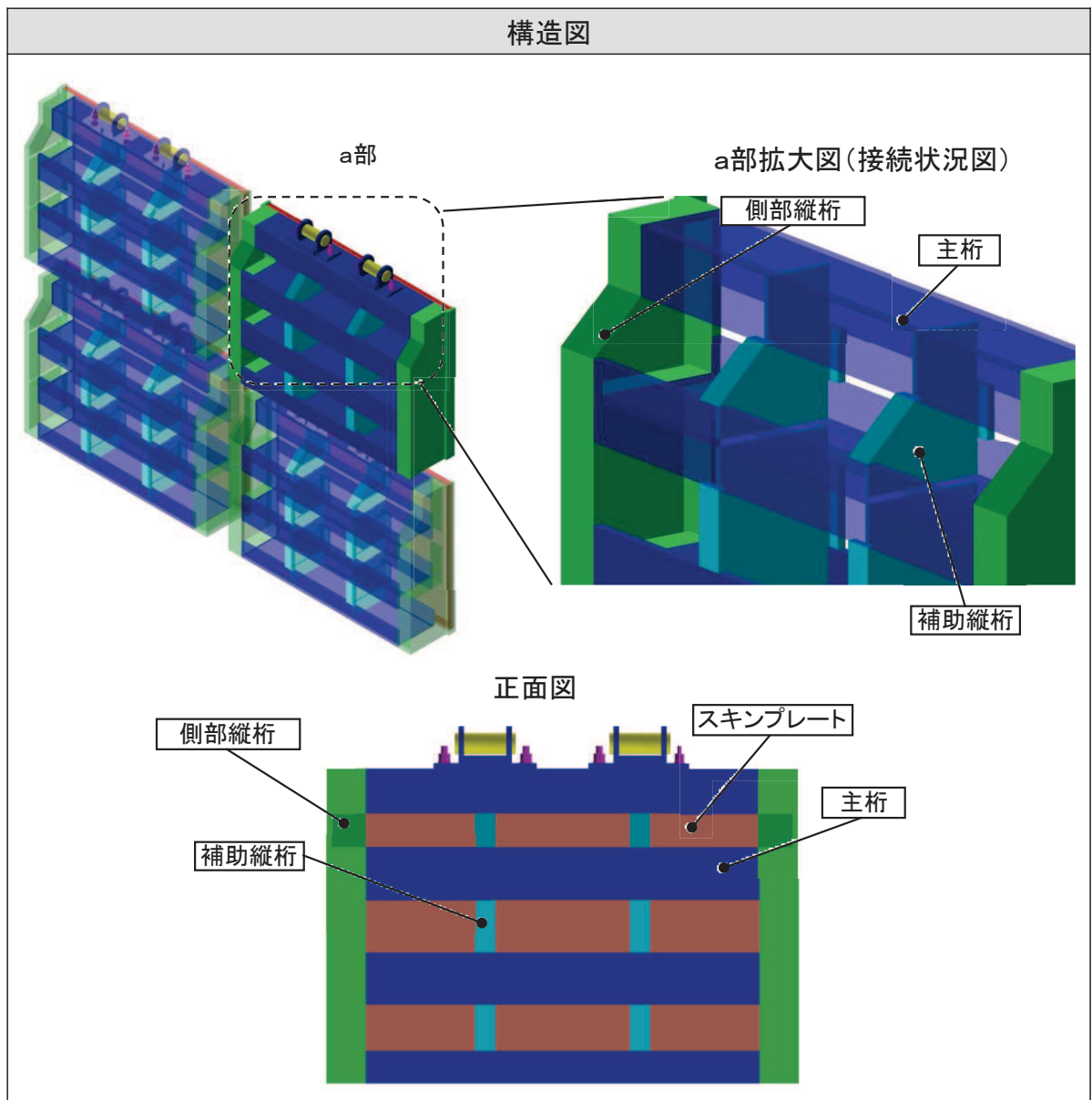


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体部の構造図

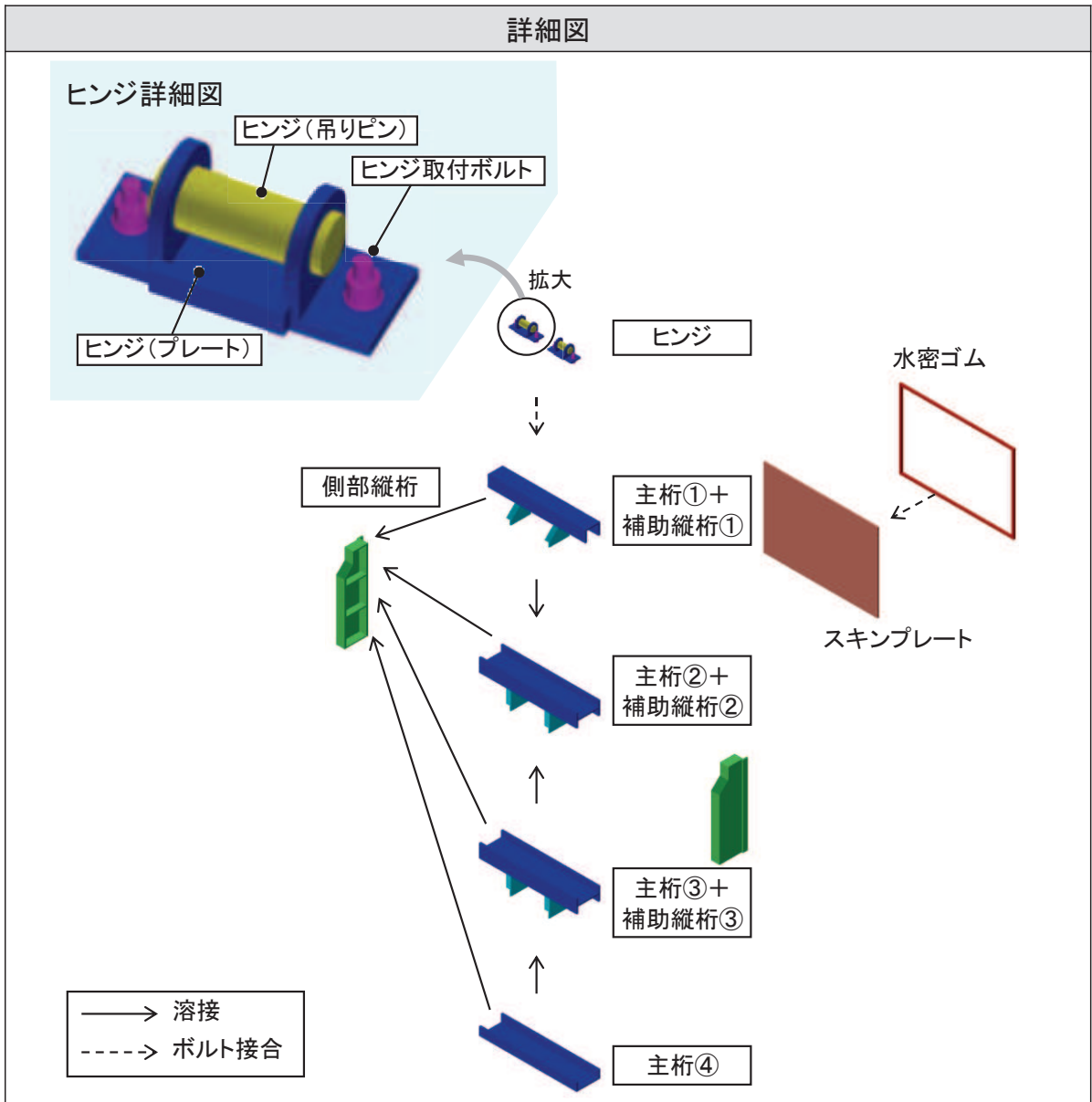


図 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体部の詳細図

3. 固定部

固定部の詳細を図 3-1 に、止水性確保の考え方を図 3-2 に示す。

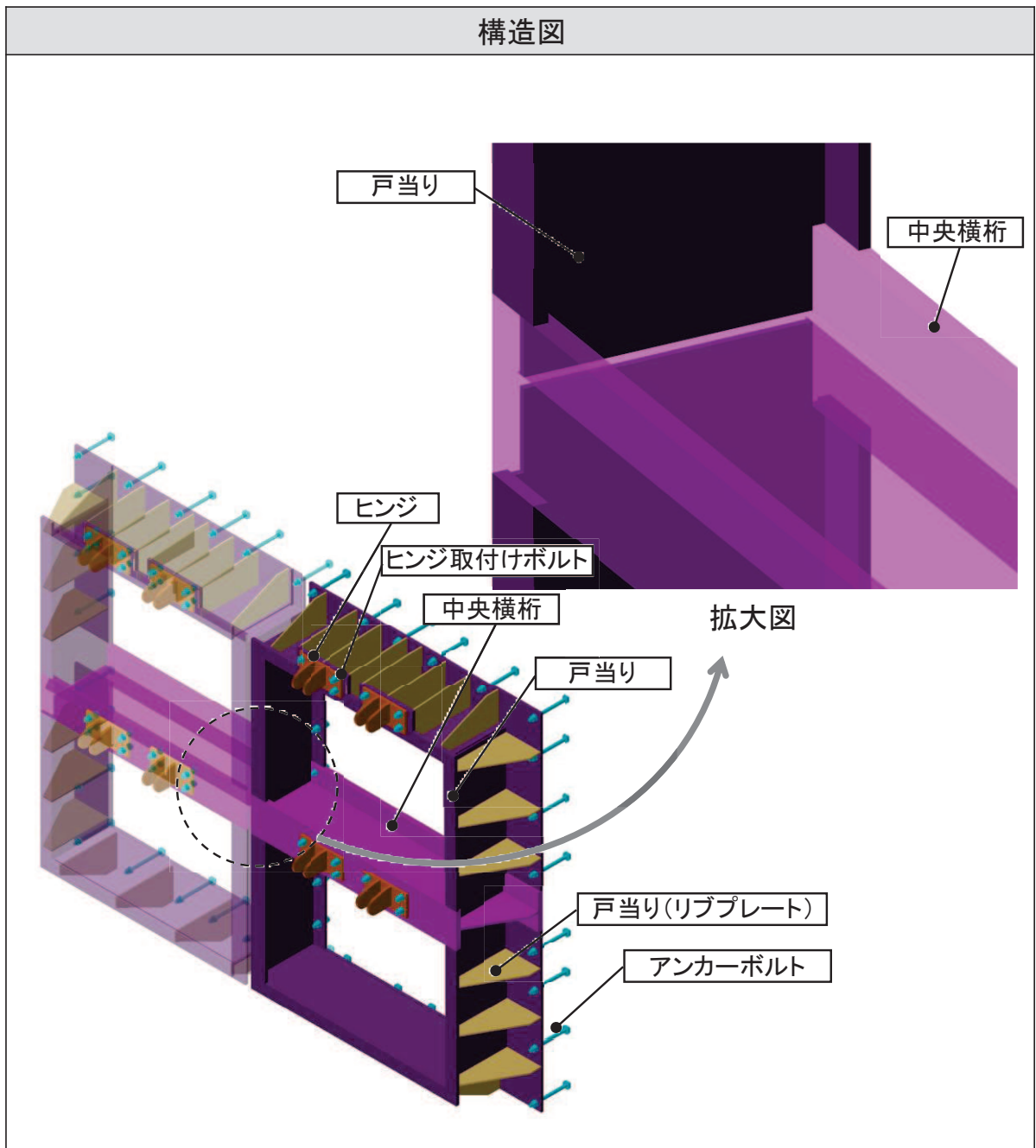


図 3-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（戸当り）の構造図

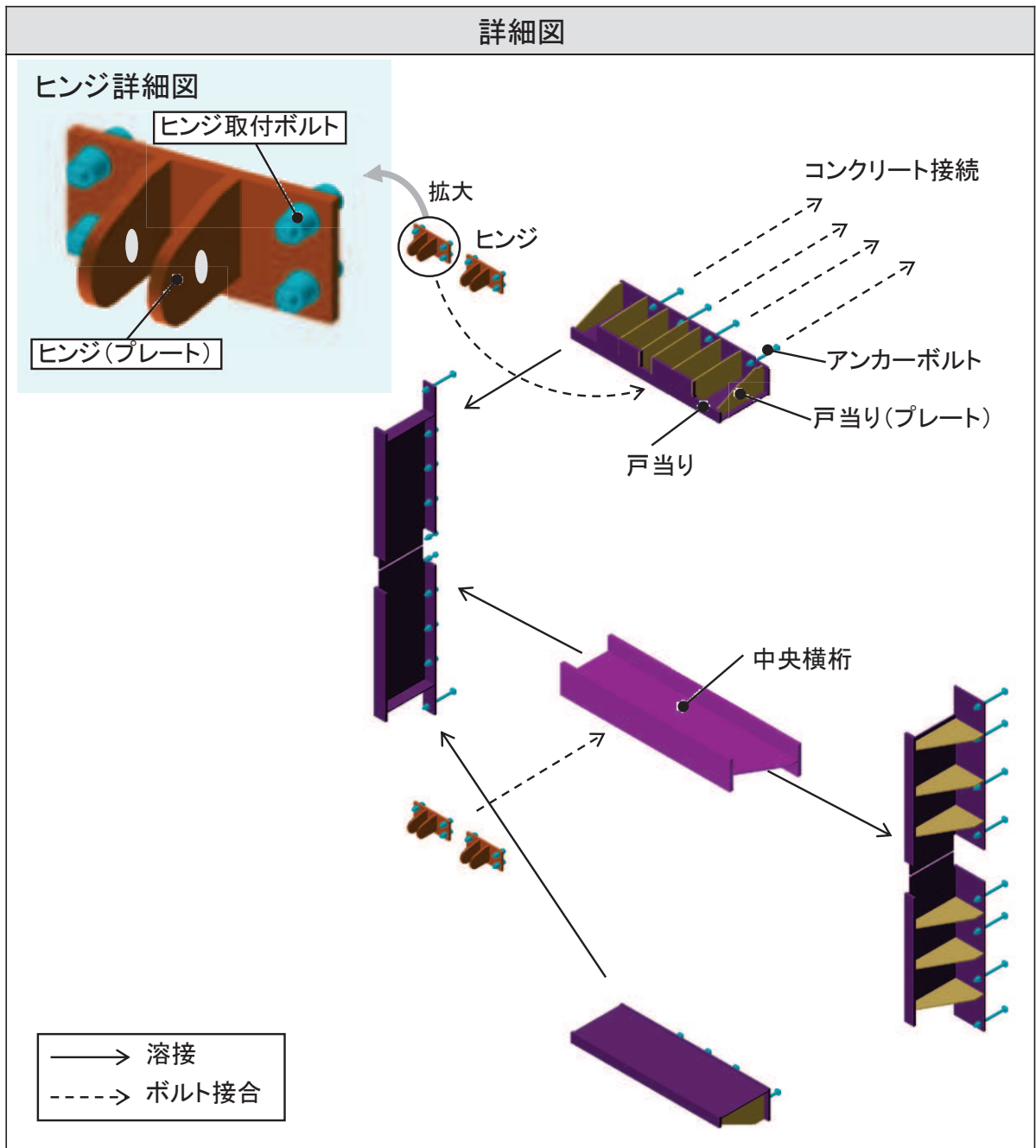


図 3-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（戸当り）の詳細図

構造図

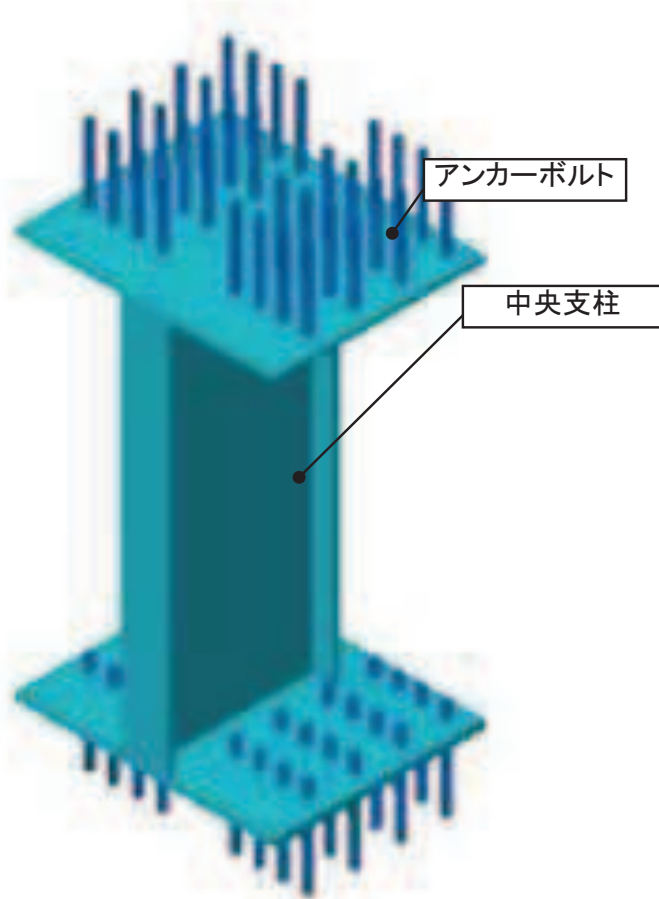


図 3-1(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（中央支柱）の構造図

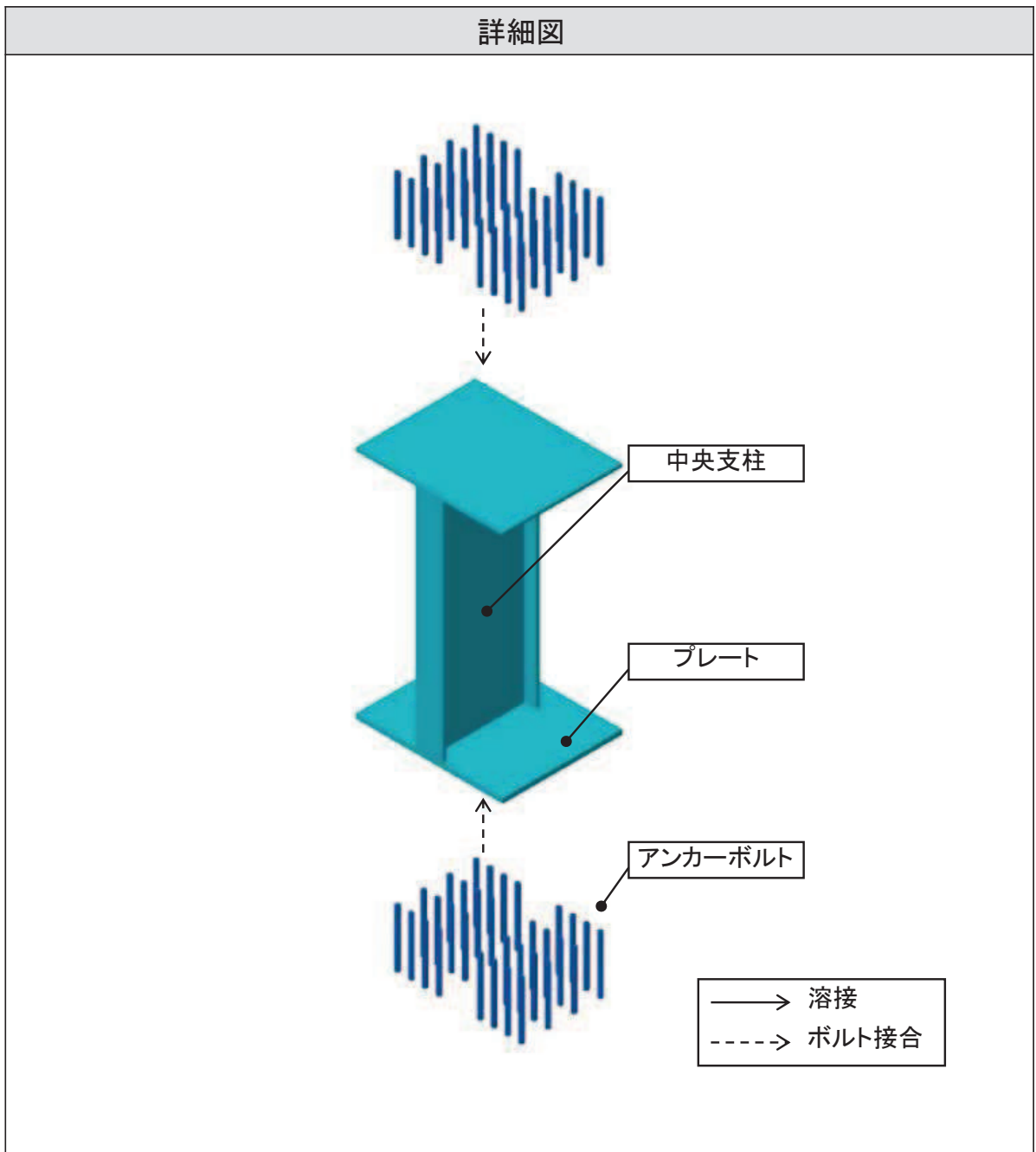


図 3-1(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（中央支柱）の詳細図

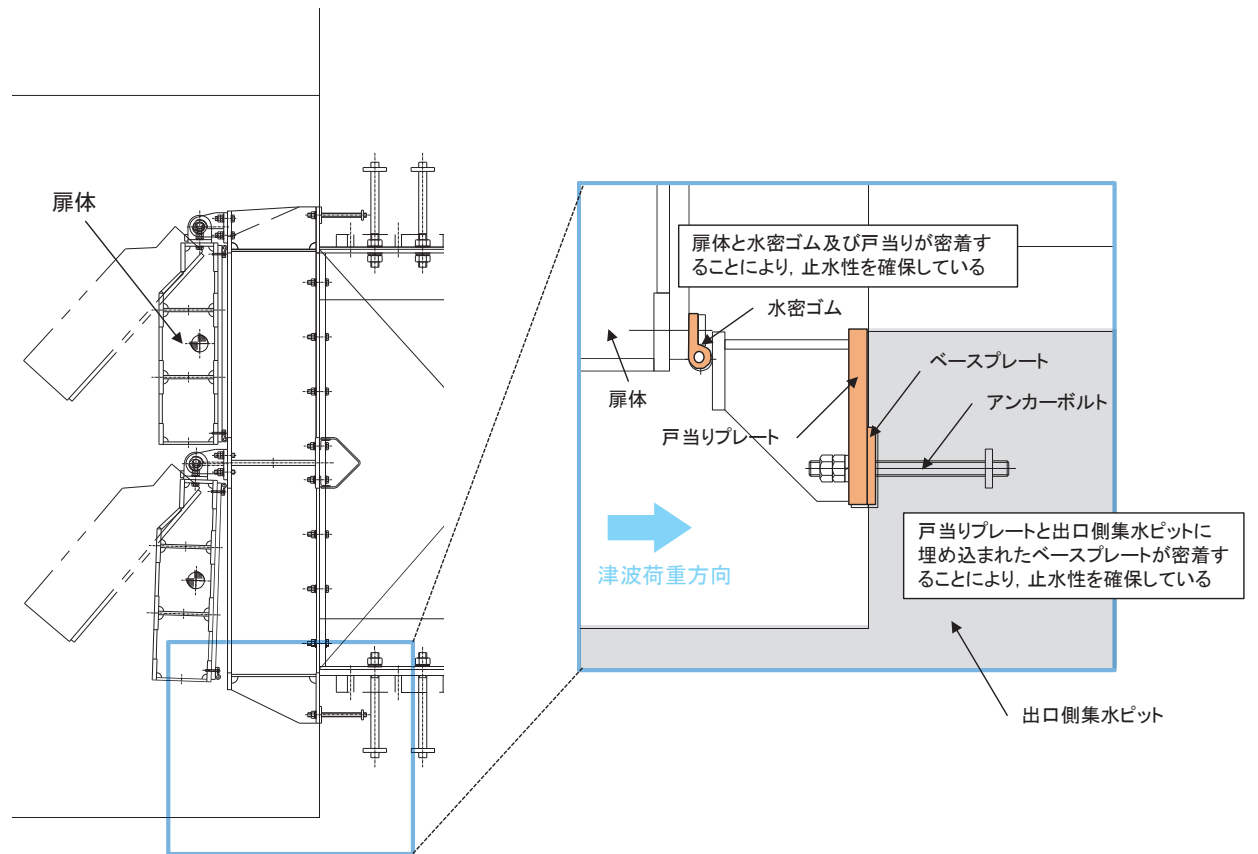


図 3-2 止水性確保の考え方

4. 漂流物防護工

漂流物防護工の詳細を図 4-1 に示す。

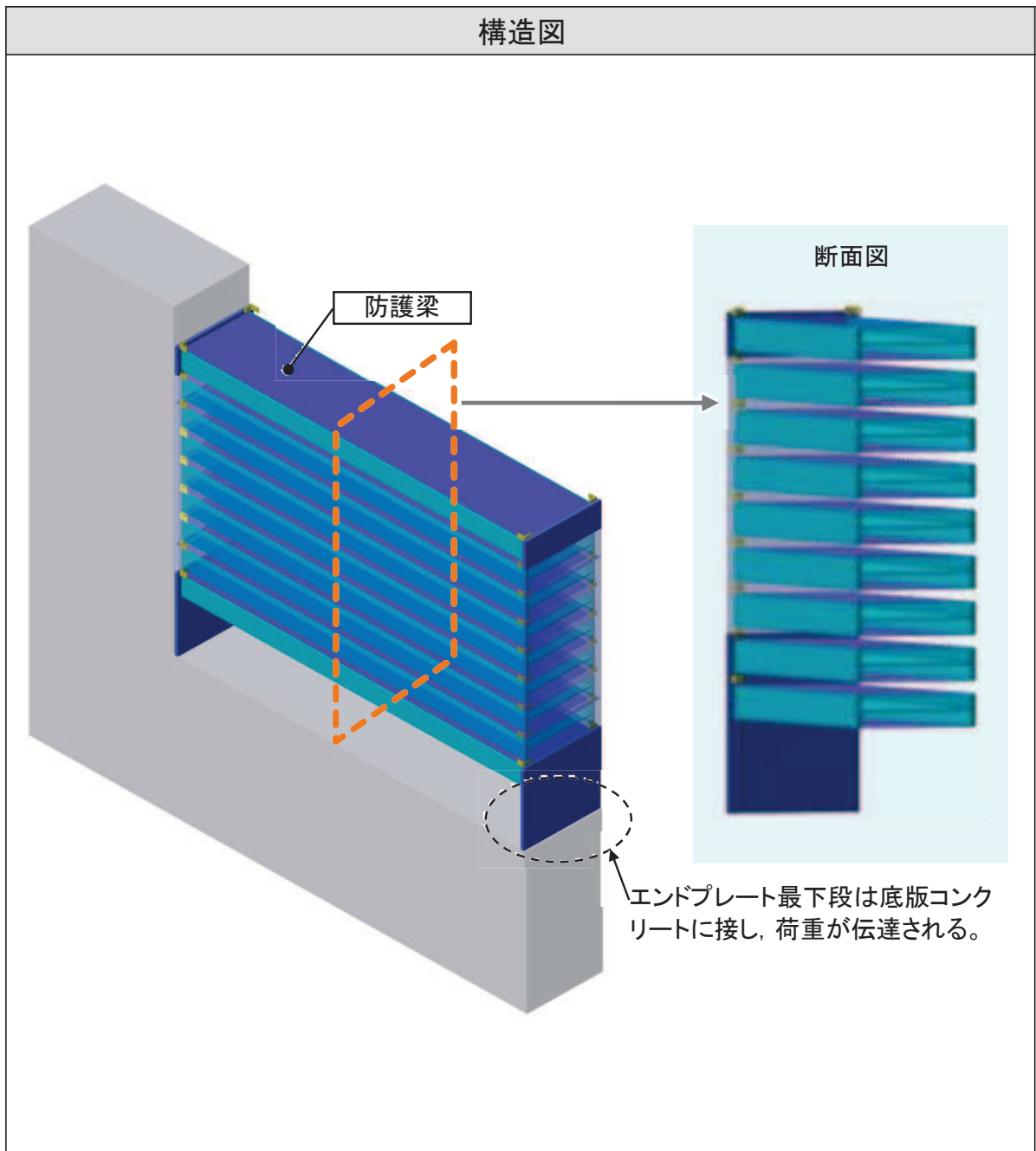


図 4-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の構造図

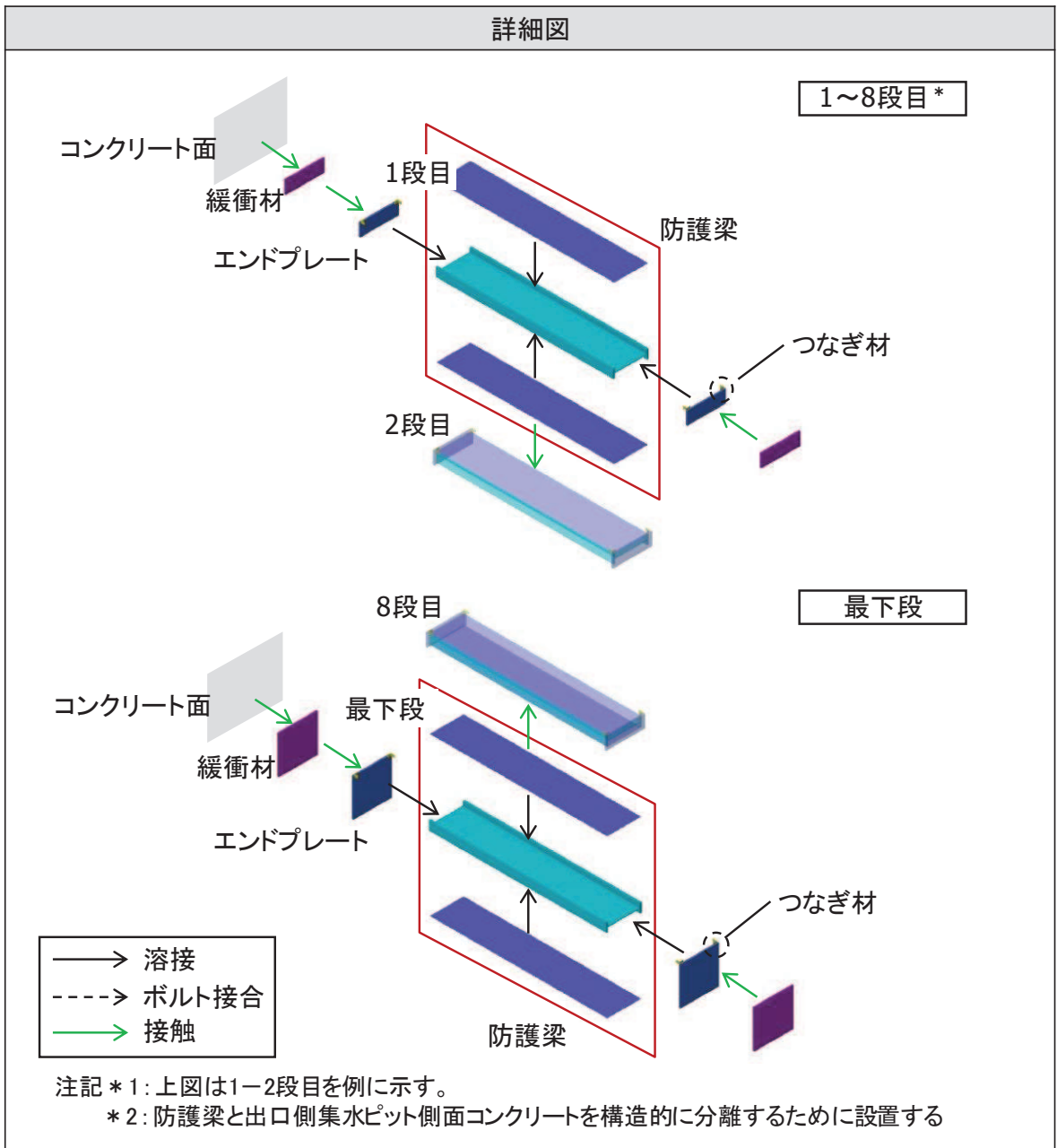


図 4-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の詳細図

構造図

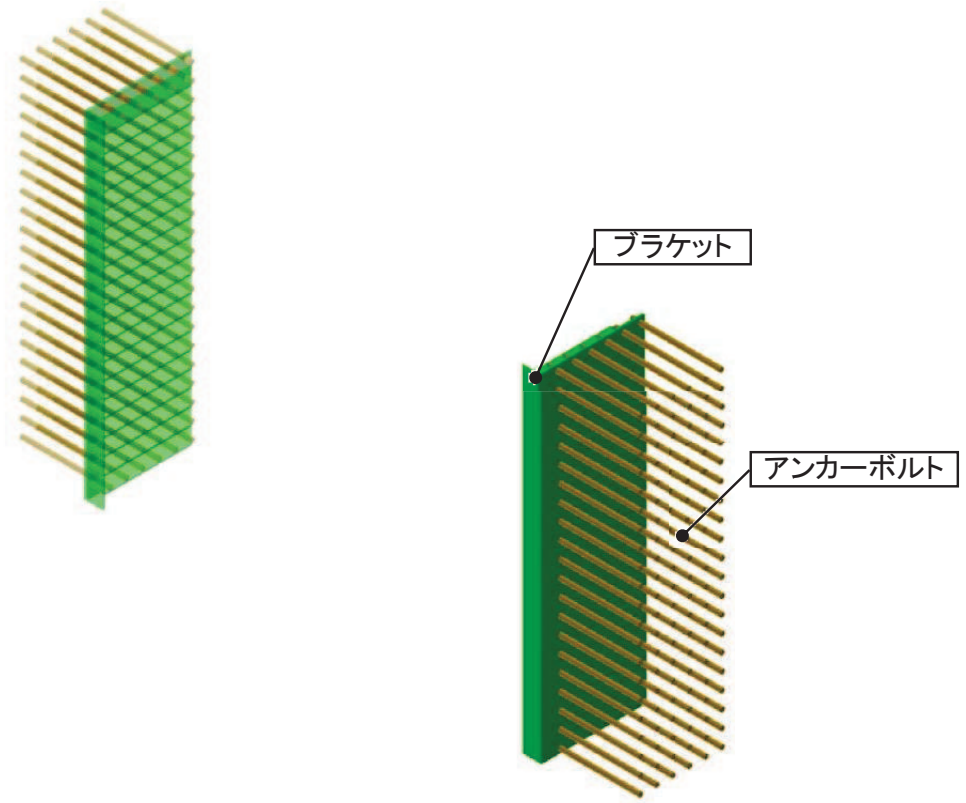


図 4-1(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の構造図

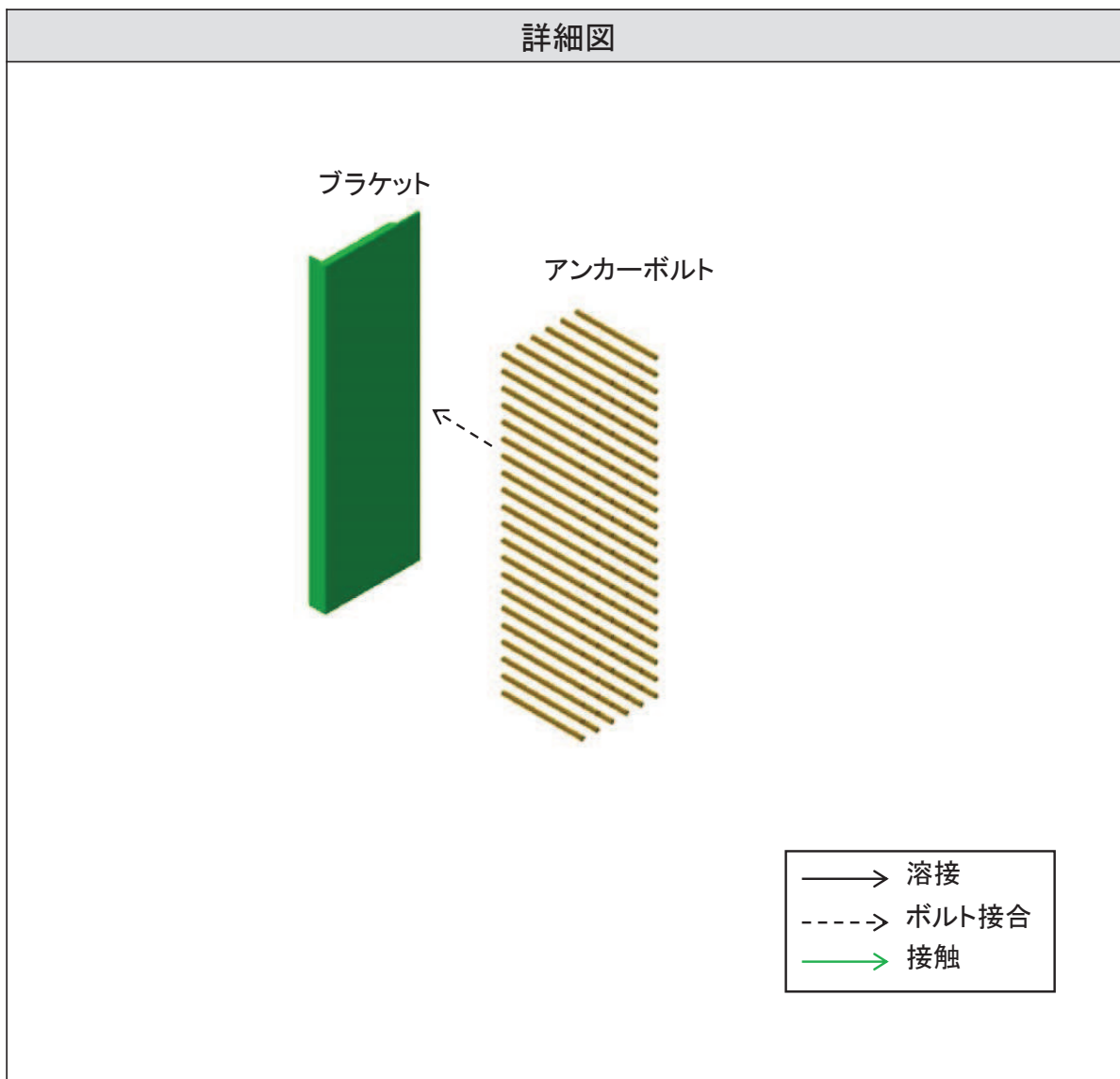


図 4-1(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の詳細図

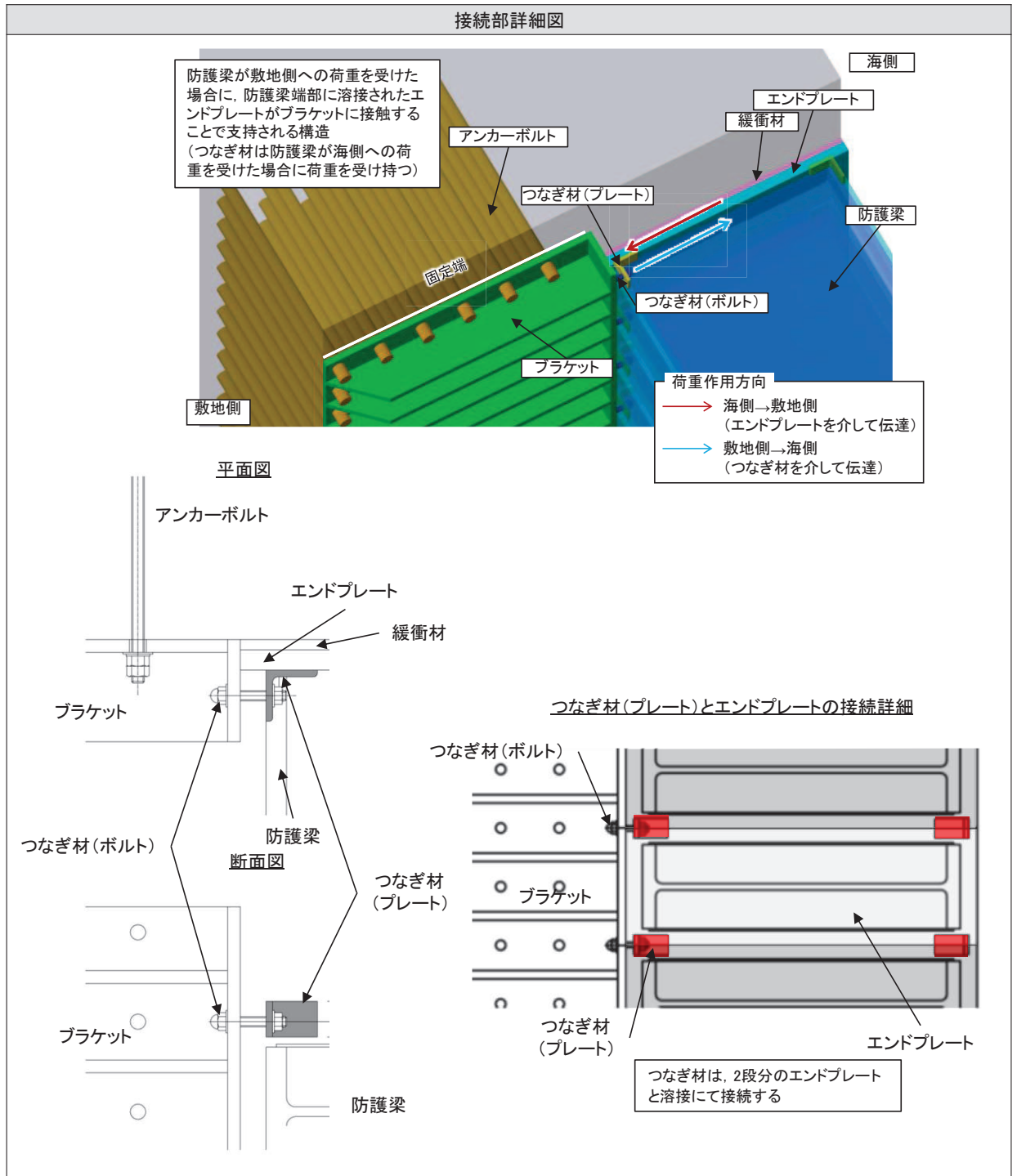


図 4-1 (5) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の防護梁とブラケットの接続部詳細図

5. 荷重伝達経路

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重伝達経路を図 5-1 に示す。

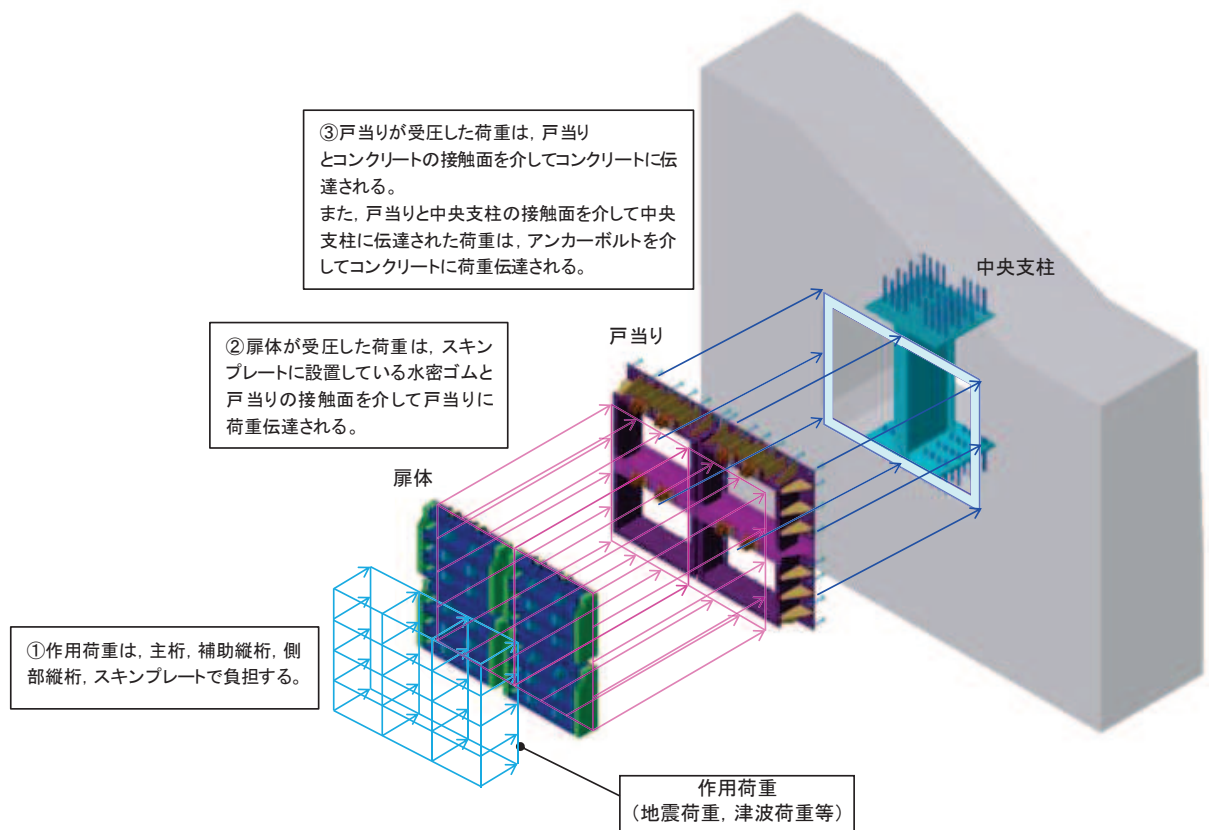


図 5-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち逆流防止設備の荷重伝達経路

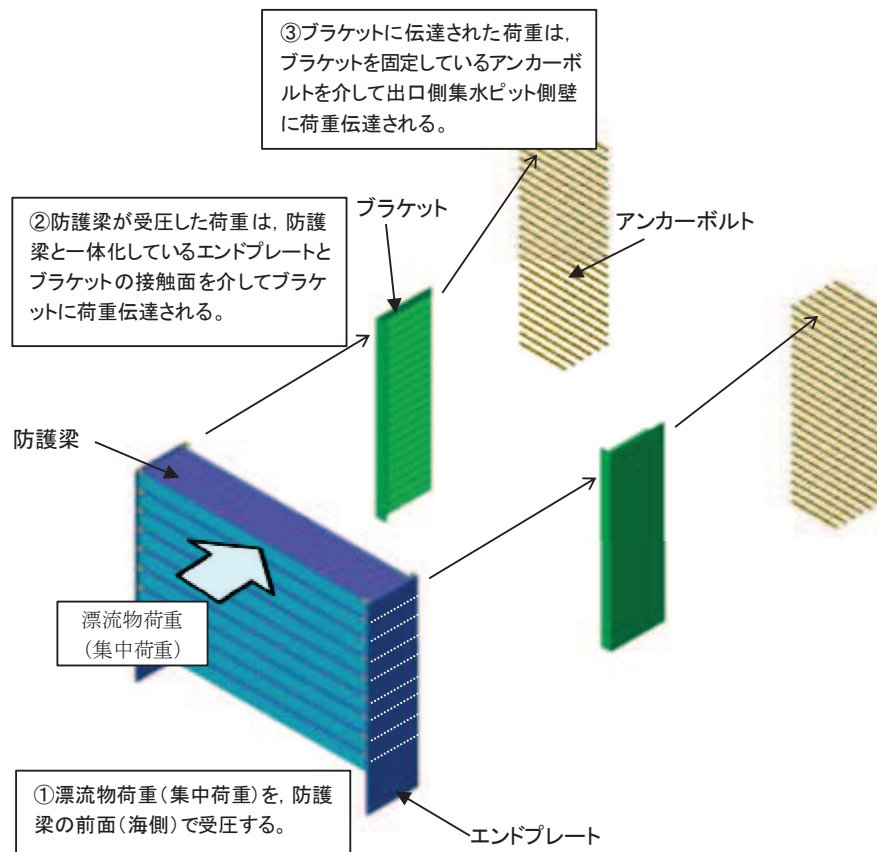


図 5-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の荷重伝達経路

(参考資料 2) 戸当りアンカーボルトの強度評価

1. 許容限界

1.1 使用材料

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の戸当りアンカーボルトの使用材料を表 1-1 に示す。

表 1-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
アンカーボルト	SUS304	頭付きアンカーボルト (M20)

1.2 許容限界

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の戸当りアンカーボルトの許容限界を表 1-2 に示す。

表 1-2 アンカーボルトの許容限界

評価部位	材質	許容限界 (N)	
		引張*	せん断*
アンカーボルト	SUS304	48154	33707

注記 * : 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、「各種合成構造設計指針同解説（（社）日本建築学会 平成 22 年）」に基づき算出する。

2. 計算方法

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及びせん断力が、許容限界以下となることを確認する。アンカーボルトの構造図を図2-1に示す。

アンカーボルトの検討に当たっては、戸当りが上下の扉体2門の周囲に設置するため、2門分の荷重で検討する。

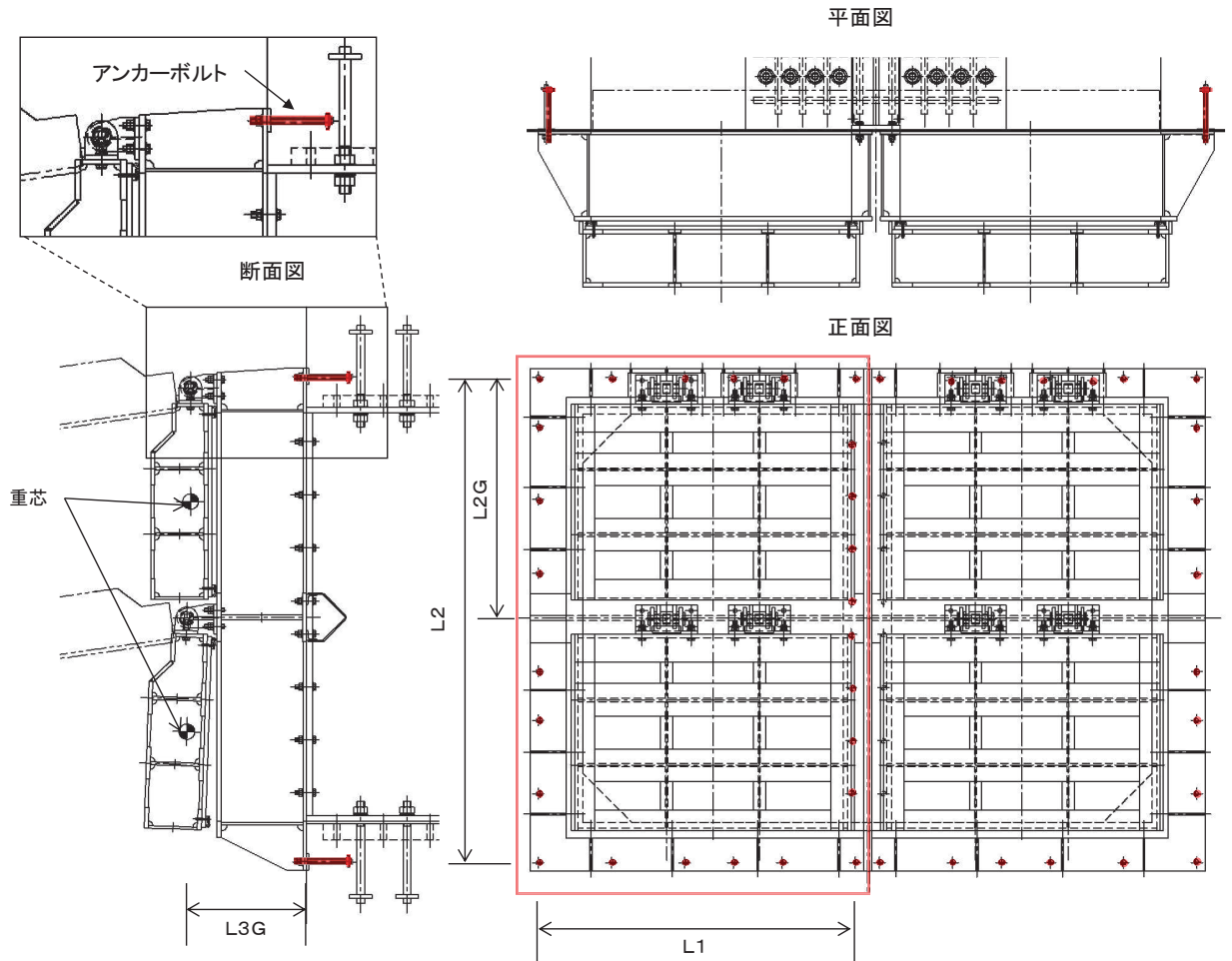


図 2-1 アンカーボルトの構造図及び応力算定式

また、アンカーボルトに作用する荷重について、以下の式にて計算を行う。

$$P = \frac{F H \cdot L 3 G}{L 1 \cdot n 2} + \frac{(w + F V) \cdot L 3 G}{L 2 \cdot n 1}$$

または、

$$P = \frac{F H \cdot (L 2 - L 2 G) + (w + F V) \cdot L 3 G}{L 2 \cdot n 1}$$

$$Q = \frac{\sqrt{F H^2 + (w + F V)^2}}{n}$$

ここに、

P：アンカーボルト 1 本に作用する引張力 (N) *

Q：アンカーボルト 1 本に作用するせん断力 (N)

w：扉体+戸当りの質量 (kN)

F H：アンカーボルトに作用する水平方向荷重 (kN)

F V：アンカーボルトに作用する鉛直方向荷重 (kN)

L 1：水平方向最端部のアンカーボルトスパン (mm)

L 2：鉛直方向最端部のアンカーボルトスパン (mm)

L 2 G：上部側アンカーボルト中心～扉体重芯距離 (mm)

L 3 G：壁面～扉体重芯距離 (mm)

n：アンカーボルト総本数(本)

n₁：上下面のアンカーボルト片側本数(本)

n₂：側面のアンカーボルト片側本数(本)

注記*：2つの式のうち、大きくなる荷重を評価に用いる。

3. 応力計算

アンカーボルトに作用する荷重について、以下の式にて計算を行う。

また、アンカーボルト 1 本に作用する引張力 P は P₁ と P₂ の大きい方を使用する。

$$P_1 = \frac{FH \cdot L3G}{L1 \cdot n_2} + \frac{(w + FV) \cdot L3G}{L2 \cdot n_1}$$

$$P_2 = \frac{FH \cdot (L2 - L2G) + (w + FV) \cdot L3G}{L2 \cdot n_1}$$

$$Q = \frac{\sqrt{FH^2 + (w + FV)^2}}{n}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 アンカーボルトの発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位	
P	アンカーボルト 1 本に作用する引張力	—	N	
Q	アンカーボルト 1 本に作用するせん断力	—	N	
w	扉体 + 戸当りの質量	51484.91	N	
FH	水平地震力	66930.39	N	
FV	鉛直地震力	56633.40	N	
L1	水平方向最端部のアンカーボルトスパン	1950	mm	
L2	鉛直方向最端部のアンカーボルトスパン	2975	mm	
L2G	上部側アンカーボルト中心～ 扉体重芯距離	1470	mm	
L3G	壁面～扉体重芯距離	713	mm	
n	アンカーボルト総本数	26	本	
n ₁	上下面のアンカーボルト片側本数	6	本	
n ₂	側面のアンカーボルト片側本数	扉体内側	8	本
		扉体外側	10	

以上により,

$$P_1 = \frac{66930.39 \cdot 713}{1950 \cdot 8} + \frac{(51484.91 + 56633.40) \cdot 713}{2975 \cdot 6} = 7378\text{N}$$

$$P_2 = \frac{66930.39 \cdot (2975 - 1470) + (51484.91 + 56633.40) \cdot 713}{2975 \cdot 6} = 9962\text{N}$$

$$Q = \frac{\sqrt{66930.39^2 + (51484.91 + 56633.40)^2}}{26} = 4891\text{N}$$

よって, $P = P_2$ とする。

3. 評価結果

アンカーボルトの評価結果を表3-1 に示す。

発生値が許容値以下であることから十分な構造健全性を有することを確認した。

表 3-1 評価結果 (アンカーボルト)

評価部位	評価項目	発生値 a (N)	許容値 b (N)	照査値 a/b
アンカーボルト	引張	9962	48154	0.21
	せん断	4891	33707	0.15

- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
 - 6.5.1 逆流防止設備に関する補足説明
 - 6.5.1.4 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書に関する補足説明

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	7
2.4 適用基準	9
2.5 記号の説明	10
3. 評価部位	15
3.1 荷重伝達経路	15
3.2 評価部位	16
3.3 評価方向の整理	19
4. 固有周期	20
4.1 固有周期の計算方法	20
4.2 固有周期の計算条件	20
4.3 固有周期の計算結果	21
5. 構造強度評価	22
5.1 構造強度評価方法	22
5.2 荷重及び荷重の組合せ	22
5.2.1 荷重の設定	22
5.2.2 荷重の組合せ	26
5.3 許容限界	28
5.4 設計用地震力	33
5.5 計算方法	37
5.6 計算条件	61
5.7 応力計算	63
6. 評価結果	112
7. 出口側集水ピットの強度評価	114
7.1 出口側集水ピットの構造概要	114
7.2 評価方針	117
8. 強度評価方法	119
8.1 記号の定義	119

8.2	評価対象断面	120
8.3	荷重及び荷重の組合せ	121
8.3.1	荷重	121
8.3.2	荷重の組合せ	123
8.4	許容限界	125
8.4.1	構造部材の健全に対する許容限界	125
8.5	評価方法	126
8.5.1	津波時	126
8.5.2	重畳時	159
9.	評価条件	212
10.	評価結果	213
10.1	津波時	213
10.1.1	構造部材の健全性に対する評価結果	213
10.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	218
10.2	重畳時	219
10.2.1	構造部材の健全性に対する評価結果	219
10.2.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	221

(参考資料1) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の構造詳細について

(参考資料2) 砂移動による屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) への影響確認について

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持することを確認するものである。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、津波荷重、余震、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対して、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、構造部材の健全性評価を行う。

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 1 m 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 2.1-1 に示す。

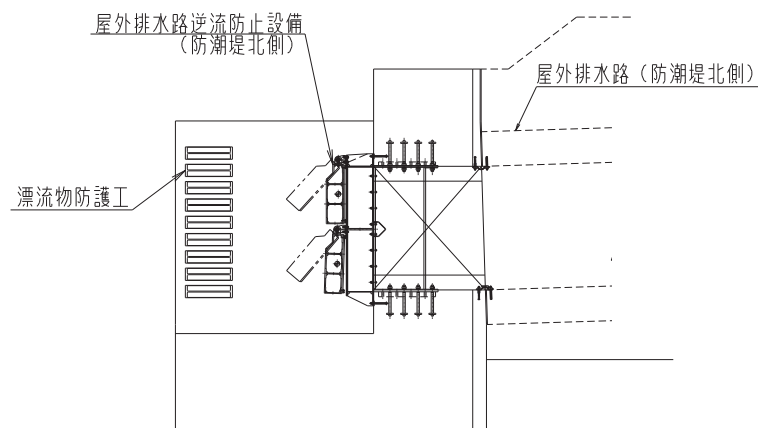
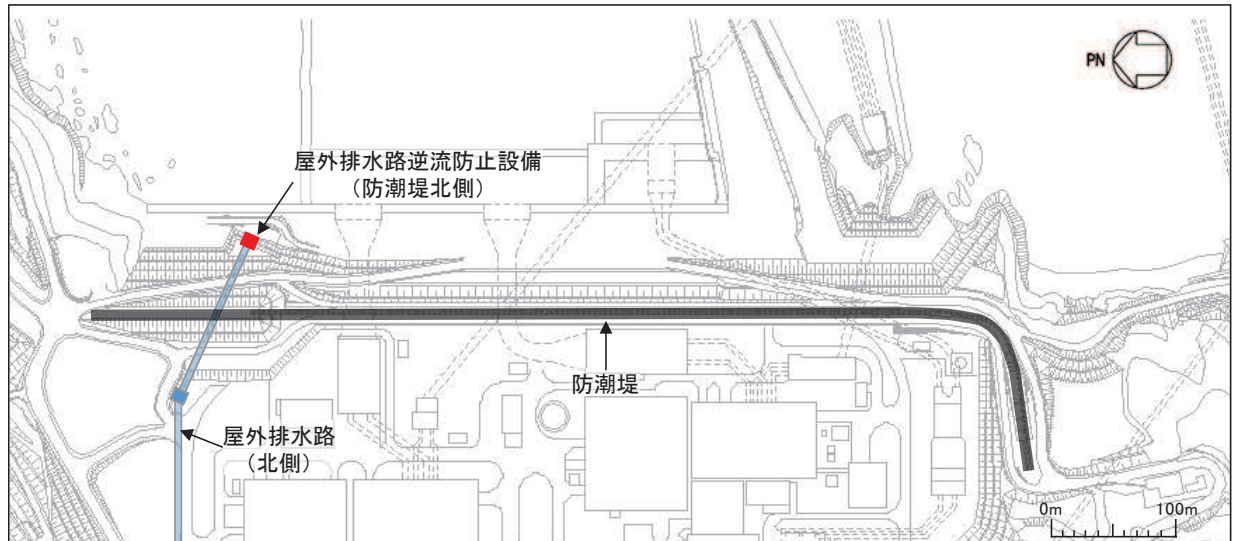


図 2.1-1 屋外排水路逆流防止設備の設置位置

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。

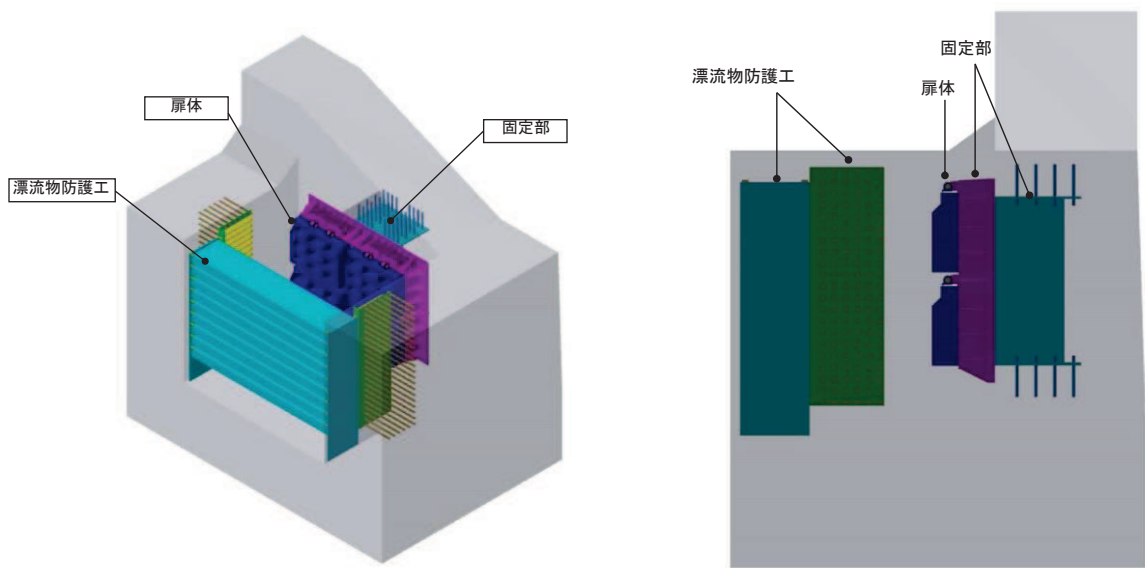
屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造概要を表 2.2-1 及び図 2.2-1 に，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の構造詳細を参考資料 1 に示す。

なお，扉体と戸当り間は扉体側に止水ゴム（P 型ゴム）を設置し，戸当りと出口側集水ピット間は戸当りプレートにより一体化を講じることで，構造境界部における止水性を確保する。

また，津波に伴う砂移動による屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）への影響検討を参考資料 2 に示す。

表 2.2-1 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（スキムプレート、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>	



(鳥瞰図)

(側面図)

図 2.2-1(1) 構造概要図 (鳥瞰図, 側面図)

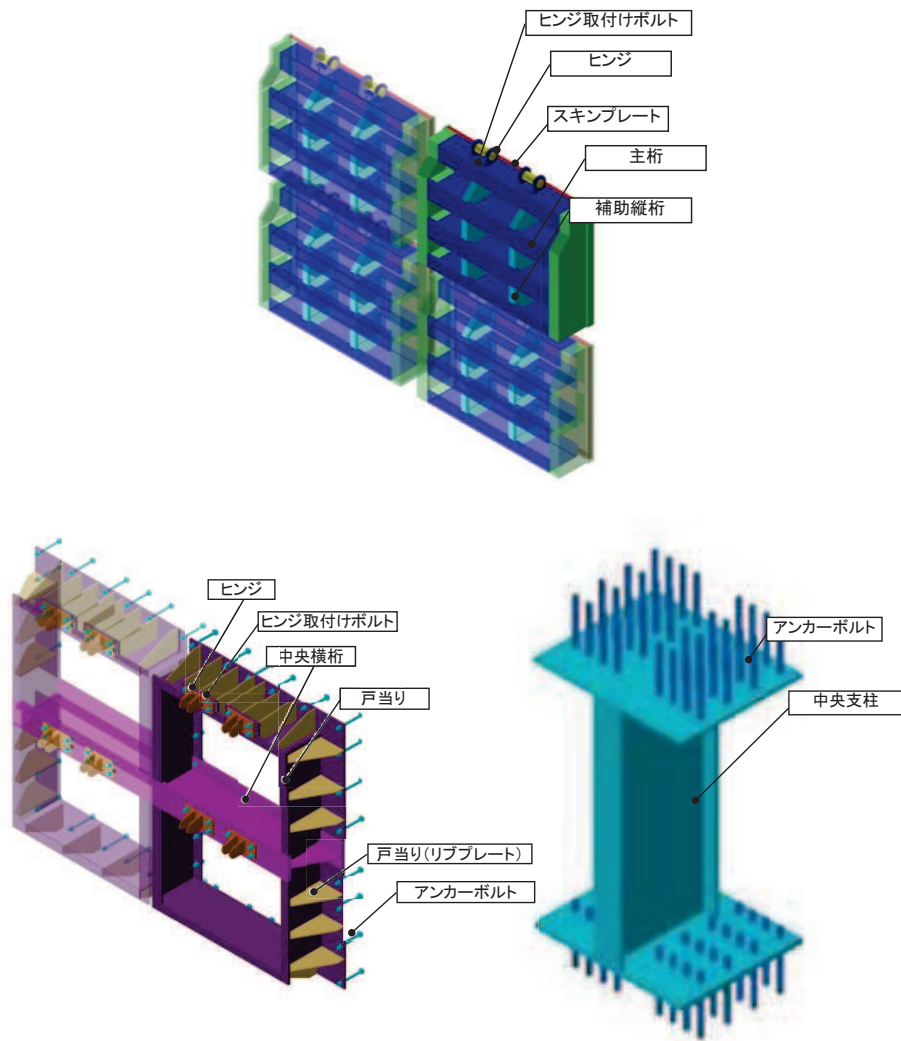


図 2.2-1(2) 構造概要図 (扉体及び固定部)

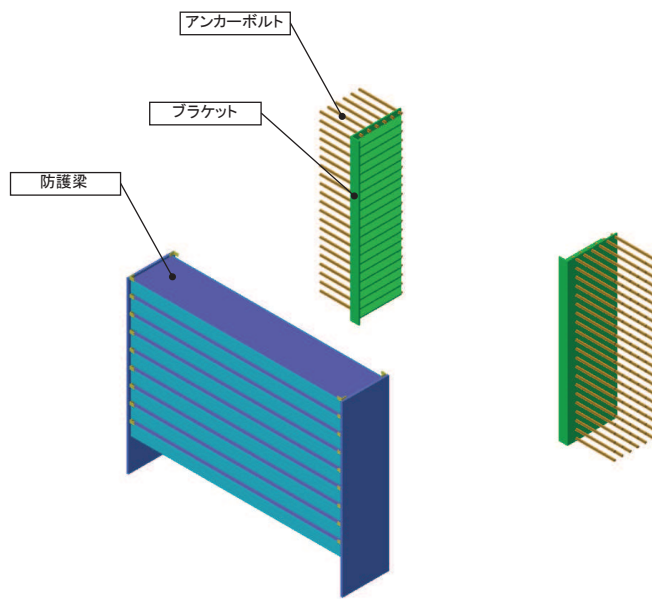


図 2.2-1(3) 構造概要図 (漂流物防護工)

2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5. 構造強度評価」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、「6. 評価結果」にて確認する。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価項目を表 2.3-1 に、強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

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、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

重畳時における余震荷重は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S d - D 2 による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

表 2.3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物防護工	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

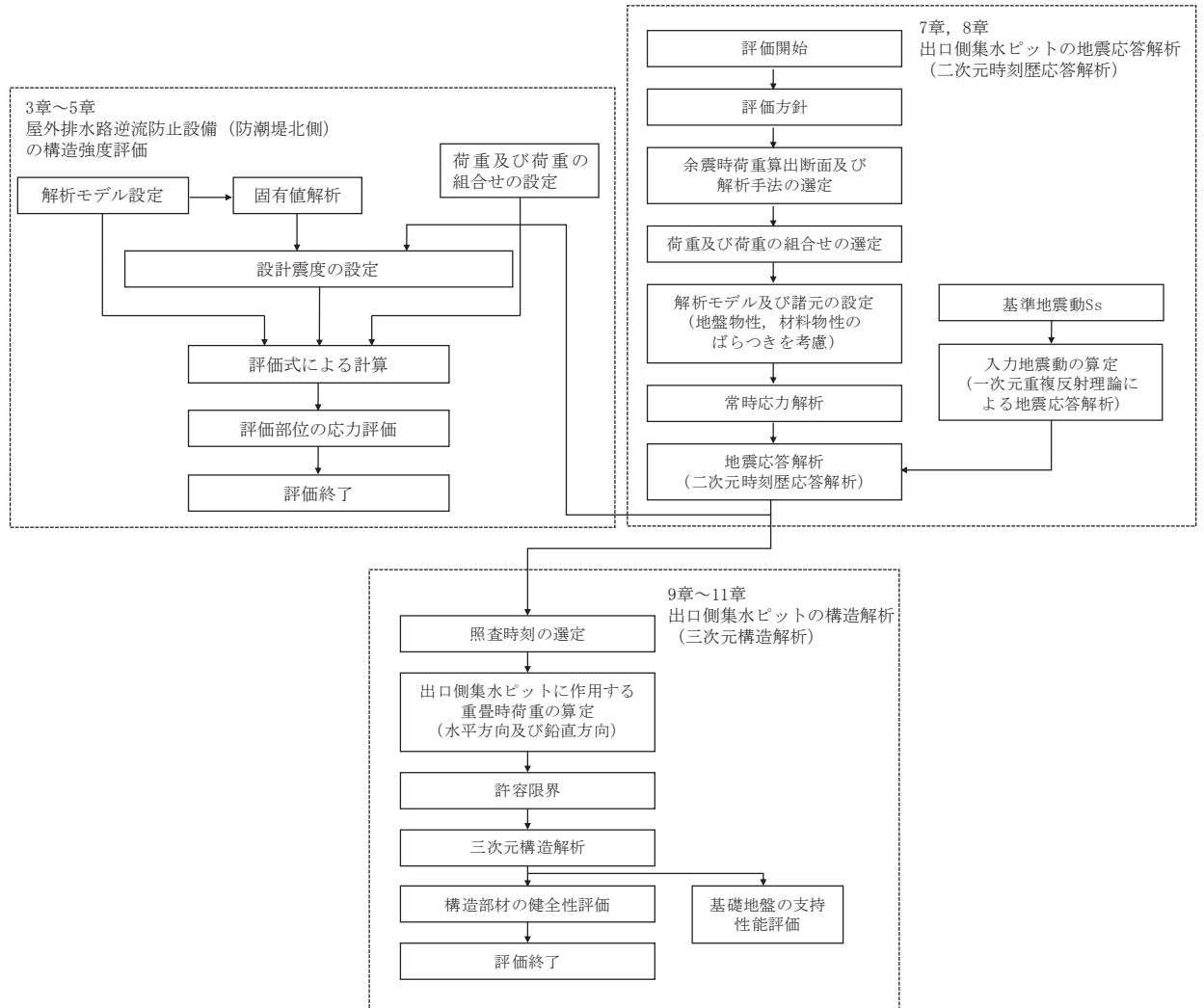


図 2.3-1 耐震評価フロー

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 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991 追補版 (日本電気協会)
- (4) 日本工業規格 J I S G 4 0 5 3－2008 機械構造用合金鋼鋼材
- (5) 水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年)
- (6) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 平成 22 年)
- (7) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)
- (8) 構造力学公式集 (土木学会, 1988 年)

表 2.4-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
耐震重要度分類	原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補－1984 (日本電気協会)	
使用材料及び材料定数	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年) 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	—
荷重及び荷重の組合せ	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年)	永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討
許容限界	扉体 水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年)	曲げ軸力に対する照査は，発生応力が，短期許容応力度以下であることを確認。 せん断力に対する照査は，発生応力または発生せん断力が，短期許容応力度または短期許容せん断応力度以下であることを確認。
	固定部 道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説 (平成 14 年 3 月) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 平成 22 年)	
	出口側集水ピット コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002 年)	
地震応答解析	構造力学公式集 (土木学会, 1988 年)	扉体及び固定部の固有値解析
	原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1987 ((社) 日本電気協会)	有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

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 2.5-1 に、応力評価に用いる記号を表 2.5-2 にそれぞれ示す。

表 2.5-1 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	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

表 2.5-2(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

記号	定義	単位
G	固定荷重（扉体の自重）	N
P _t	遡上津波荷重	N/mm ²
P _c	衝突荷重	N/mm ²
K _{Hsd}	余震による水平方向の設計震度	—
K _{Vsd}	余震による鉛直方向の設計震度	—
P _d	余震による動水圧	N/mm ²
A ₁	扉体面積	mm ²
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 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
P ₂	主桁に作用する単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	N/mm ²
L ₂	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（津波荷重+余震荷重）	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 2.5-2(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

記号	定義	単位
W_4	中央支柱に作用する荷重	N/mm^2
P_4	中央支柱に作用する単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	N/mm^2
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
M_4	中央支柱両端に生じる曲げモーメント	$N \cdot mm$
S_4	中央支柱両端に生じるせん断力	N
F_1	アンカーボルト①が負担する引張荷重	N
F_2	アンカーボルト②が負担する引張荷重	N
F_3	アンカーボルト③が負担する引張荷重	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	本
W_5	中央横桁に作用する荷重	N
P_5	中央横桁に作用する単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	N/mm^2
L_5	中央横桁の支間長	mm
L_o	支圧板中心間	mm
B_5	水密幅	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

表 2.5-2(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

記号	定義	単位
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_6	ヒンジ（吊りピン）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_{h7}	ヒンジ（プレート）の最薄部の断面積	mm ²
A_{b8}	取付けボルトの断面積	mm ²
P_{w8}	ヒンジ1箇所が負担する扉体の荷重	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単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	N/mm ²
L_s	扉体幅	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	mm
q	コンクリートに作用する単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	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（上部及び下部戸当りの最小支圧幅）	mm

表 2.5-2(4) 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

記号	定義	単位
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	N
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_{b2}	ブラケットに作用する水平力	N
l_{b2}	側壁からエンドプレート中心までの長さ	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
P_{b4}	アンカーボルト 1 本の引張力	N
P_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	N
P_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	N
M_{b4a}	衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_{b4b}	衝突荷重により生じる曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
q_{b4}	アンカーボルト 1 本のせん断力	N
q_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	N
q_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	N
Q_{b4a}	衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力	N
Q_{b4b}	衝突荷重により生じるせん断力	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
M_{\max}	最大曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
S_{\max}	最大せん断力	N
τ	せん断応力度	N/mm^2
σ_g	合成応力度	N/mm^2
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
σ_s	SUS304の許容引張応力度	N/mm^2
h	設計浸水深	m
K_{sd}	余震荷重	N/mm^2
L	圧縮フランジの固定間隔	mm
b	圧縮フランジ幅	mm
K	座屈を求めるための係数	—

表 2.5-2(5) 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

記号	定義	単位
A_{w1}	腹板の総断面積	mm^2
A_c	圧縮フランジの総断面積	mm^2
σ	曲げ応力度	N/mm^2
σ_{bk}	支圧応力度	N/mm^2
ρ	海水密度	g/cm^3
g	重力加速度	m/s^2
w_1	扉体質量	kN
w_2	戸当り質量	kN
w_3	中央支柱質量	kN
H	扉体の最外端幅	mm

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。

3.1 荷重伝達経路

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重伝達経路を図 3.1-1 に示す。

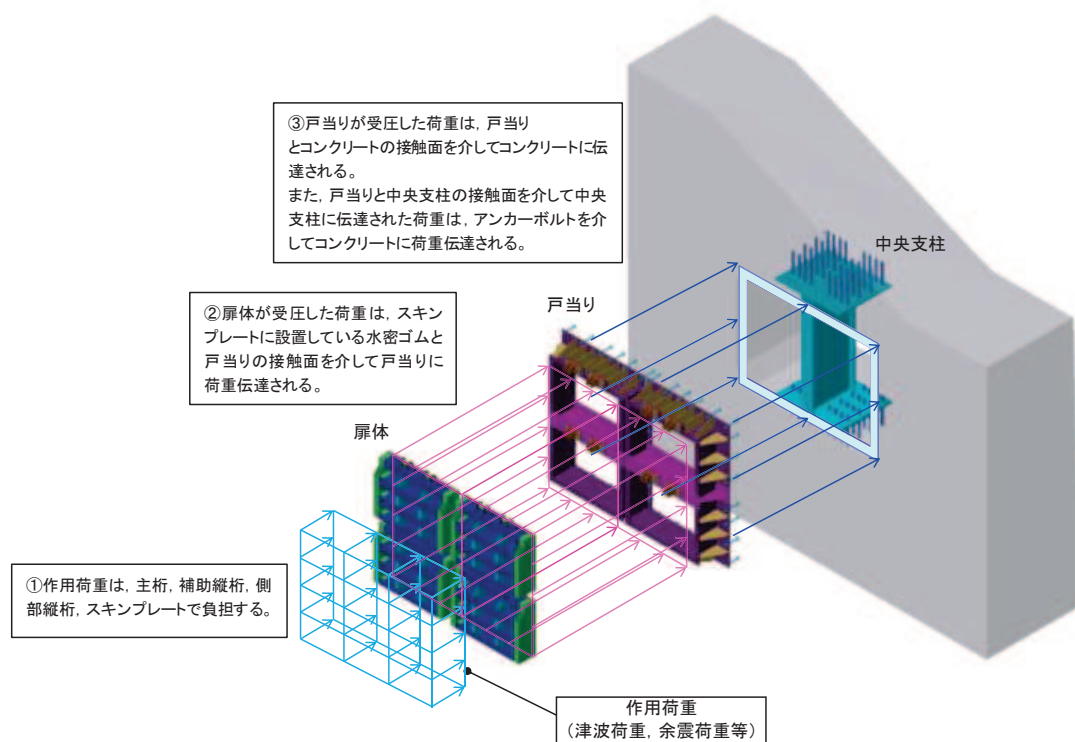


図 3.1-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち逆流防止設備の荷重伝達経路

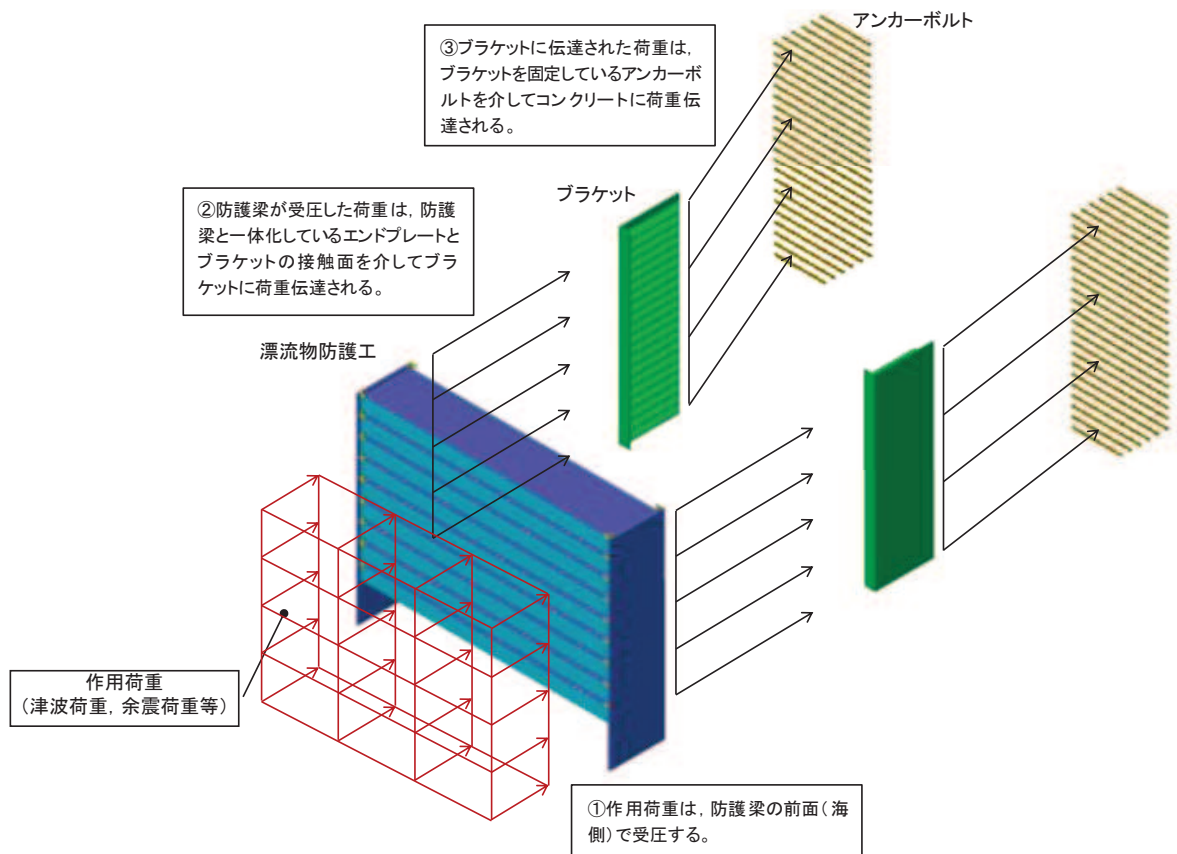


図 3. 1-1 (2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工の荷重伝達経路

3.2 評価部位

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は外水圧により閉じる構造となっており、津波による荷重が余震による地震力よりも大きいことから、津波時及び重畳時において屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は閉じた状態を想定する。このため、扉体側と固定部側のヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルトには津波荷重による引張荷重は作用しない。また、重畳時においては屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の横断方向及び鉛直方向にも余震荷重が作用するが、添付書類「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」に示す地震時に考慮する地震荷重と比較して、重畳時に作用する余震荷重が小さいことから、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の横断方向及び鉛直方向の評価については添付書類「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」にて示した評価に包含される。

上記を踏まえ、強度評価においては、「3.1 荷重伝達経路」を踏まえ、津波時は漂流物防護工を、重畳時は、スキンプレート、主桁、補助縦桁、中央支柱、中央横桁、戸当たり及び漂流物防護工を、評価部位として選定する。評価部位選定の考え方を表 3.2-1 に示す。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位を図 3.2-1 に示す。

表 3.2-1(1) 評価対象外とする部位（津波時）

部位	評価対象外とする理由
スキンプレート	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重畳時の作用荷重に包絡されるため。
主桁	
補助縦桁	
側部縦桁	
ヒンジ（吊ピン含む）	
水密ゴム	
中央支柱	
中央横桁	
戸当り	
戸当り（リブプレート）	
つなぎ材 （漂流物防護工）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波荷重作用時は、圧縮される方向であり、防護梁の荷重はエンドプレートを介してブラケットに伝達されるため。

表 3.2-1(2) 評価対象外とする部位（重畳時）

部位	評価対象外とする理由
側部縦桁	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 ・ 補助縦桁より部材剛性が大きい。
ヒンジ（吊ピン含む）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水路縦断方向は、津波荷重により、圧縮される方向であるため。 ・ 水路横断及び鉛直方向は、地震時荷重に包絡されるため。
戸当り（リブプレート）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設計上の配慮として設置するものであり、戸当たりのみで照査項目を満たしているため。
つなぎ材 （漂流物防護工）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 津波荷重作用時は、圧縮される方向であり、防護梁の荷重はエンドプレートを介してブラケットに伝達されるため。

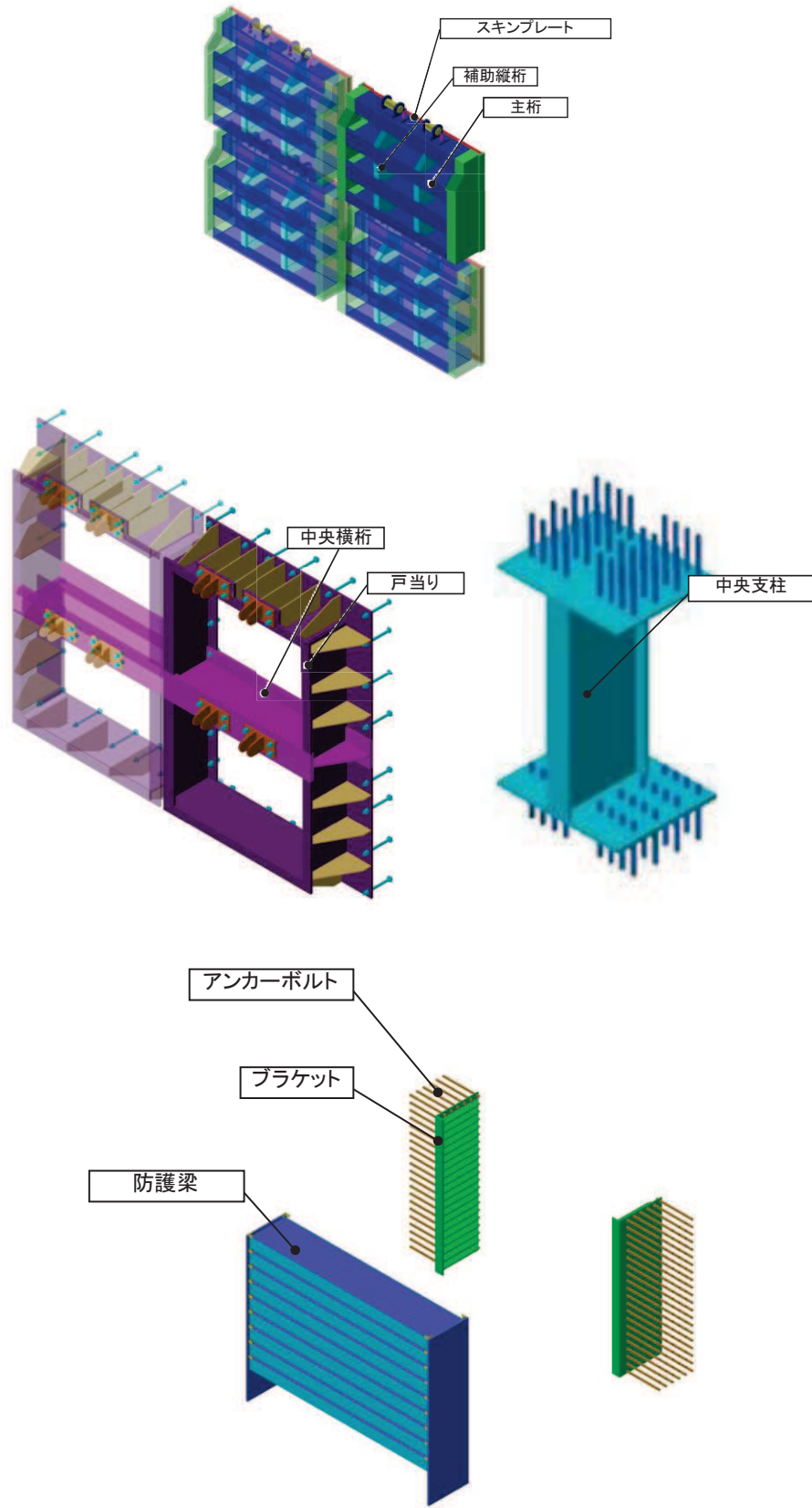


図 3.2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

3.3 評価方向の整理

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は出口側集水ピットに取り付く構造で、土圧等の影響を受けない構造であるため、強度評価における主たる荷重は津波荷重である。したがって、強度評価においては、評価対象部位である扉体部の弱軸方向でもある水路縦断方向を評価方向とする。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体は外水圧により閉じる構造となっており，津波による荷重が余震による地震力よりも大きいことから，重畳時において屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体は閉じた状態となる。このことから，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の強度評価に用いる固有周期の計算に当たっては，閉じた状態のみを考慮する。

固有周期の計算を以下で実施する。

(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。

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}}$$

4.2 固有周期の計算条件

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必要な諸元を表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 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）の断面二次モーメント	9.47×10^8	mm ⁴
m	扉体部の単位長さ当たり質量	0.88235	kg/mm
L	主桁の長さ	1700	mm

4.3 固有周期の計算結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体の固有周期の計算結果を表 4.3-1 に示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4.3-1 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
247	0.0040

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）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度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) 遡上津波荷重（ P_t ）

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高 0. P. +24. 4m に余裕を考慮した津波水位 0. P. +25. 0m を用いることとし、防潮堤前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深として、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。なお、衝突荷重と組み合わせる場合には、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）天端の津波水位標高と屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

遡上津波波圧を表 5. 2-1、遡上津波波圧の概念図を図 5. 2-1 に示す。

表 5. 2-1(1) 遡上津波荷重（津波時）

	津波水位 (0. P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (0. P. (m))	設計用 浸水深 η (m)	防護梁下 端の標高 (0. P. (m))	防護梁下端 での波圧 P_t (kN/m ²)
漂流物防護工	9. 9	0. 5	4. 7	6. 45	82. 3

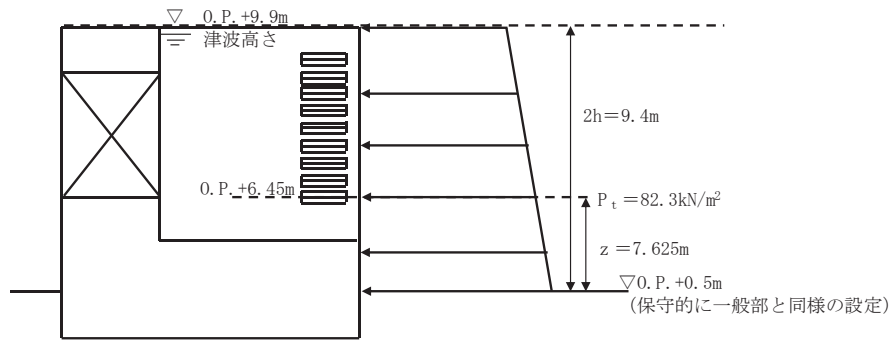


図 5.2-1 (1) 遡上津波波圧の概念図 (漂流物防護工, 津波時)

ここで,

津波波圧の計算は以下の式を適用する。

$$P_t = \rho \times g \times (3.0 \times \eta - z) = 10.1 \times (3.0 \times 4.7 - 5.95) \\ = 82.315 \text{ kN/m}^2 = 82.3 \text{ kN/m}^2$$

ρ : 海水密度 1.03 g/cm³

g : 重力加速度 9.80665m/s²

表 5.2-1 (2) 遡上津波荷重 (重畳時)

	津波水位 (O. P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (O. P. (m))	設計用 浸水深 η (m)	扉体下端 の標高 (O. P. (m))	扉体下端 での波圧 P_t (kN/m ²)
扉体	25.0	0.5	12.25	6.165	320.0

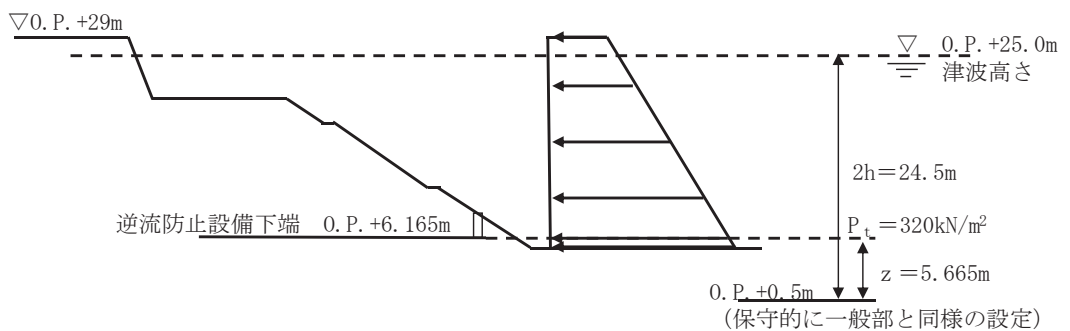


図 5.2-1 (2) 遡上津波波圧の概念図 (扉体, 重畳時)

ここで、

津波波圧の計算は以下の式を適用する。

$$P_t = \rho \times g \times (3.0 \times \eta - z) = 10.1 \times (3.0 \times 12.25 - 5.665) \\ = 313.9585 \text{ kN/m}^2 = 320 \text{ kN/m}^2$$

ρ : 海水密度 1.03 g/cm³

g : 重力加速度 9.80665m/s²

表 5.2-1(3) 遡上津波荷重 (重畳時)

	津波水位 (O. P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (O. P. (m))	設計用 浸水深 η (m)	防護梁下 端の標高 (O. P. (m))	防護梁下端 での波圧 P_t (kN/m ²)
漂流物防護工	25.0	0.5	12.25	6.45	311.1

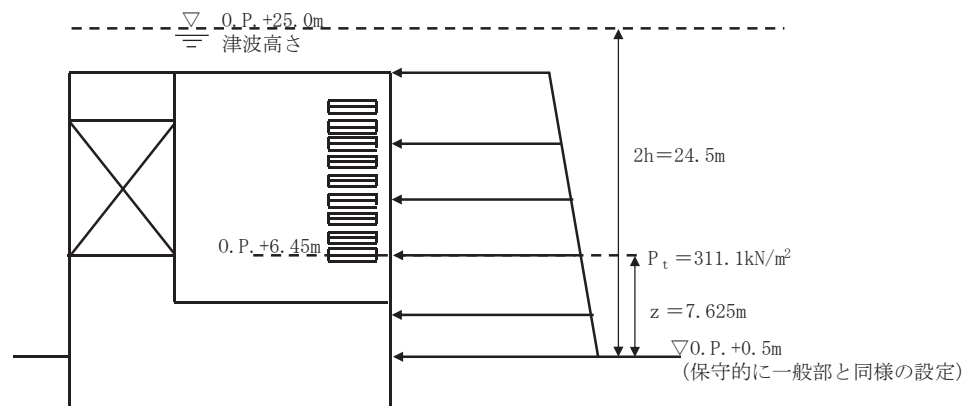


図 5.2-1(3) 遡上津波波圧の概念図 (漂流物防護工, 重畳時)

ここで、

津波波圧の計算は以下の式を適用する。

$$P_t = \rho \times g \times (3.0 \times \eta - z) = 10.1 \times (3.0 \times 12.25 - 7.625) \\ = 311.08 \text{ kN/m}^2 = 311.1 \text{ kN/m}^2$$

ρ : 海水密度 1.03 g/cm³

g : 重力加速度 9.80665m/s²

(3) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。衝突荷重の作用位置は扉体部の最上部とする。

衝突荷重を表 5.2-2 に示す。

注記 * : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 5.2-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(4) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として，弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

なお，動水圧は，二次元地震応答解析から得られる逆流防止設備（扉体及び固定部）又は逆流防止設備（漂流物防護工）の設置範囲における動水圧のうち，最大となる値から算出する。逆流防止設備（扉体及び固定部）又は逆流防止設備（漂流物防護工）の設置範囲を図 5.2-2 に示す。

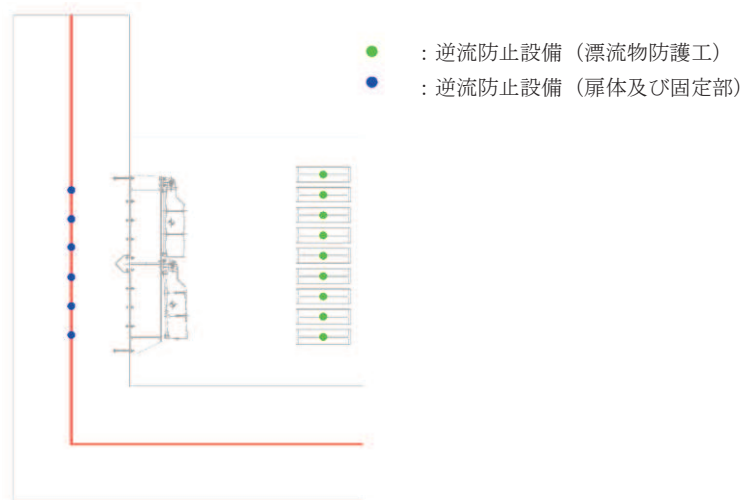


図 5.2-2 動水圧を抽出した位置（逆流防止設備の設置範囲）

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 5.2-3、荷重の種別及び算定方法を表 5.2-4 示す。

表 5.2-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時	$G + P_t + K_{Sd}$

G : 固定荷重

P_t : 遡上津波荷重

P_c : 衝突荷重

K_{Sd} : 余震荷重

表 5.2-4 荷重の種類及び算定方法

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時 考慮 荷重	躯体自重	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		—	静止土圧は考慮しない。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		—	積雪荷重は考慮しない。
	風荷重		—	風荷重は考慮しない。
偶発荷重		津波波圧	○	津波による波圧を考慮する。
		衝突荷重	○	漂流物の衝突による荷重を考慮する。
		余震荷重	○	弾性設計用地震動 $S_d - D^2$ による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
		動水圧	○	動水圧を考慮する。

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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界を表 5.3-1、表 5.3-5、表 5.3-8 及び表 5.3-9 に示す。また、計算諸元を表 5.3-2～表 5.3-4 及び表 5.3-6～表 5.3-7 に示す。

なお、地震後、津波後の再使用性を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、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 5.3-1 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

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。

*3 : 補助縦桁, 中央支柱及び中央横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する。

(補助縦桁の許容応力)

補助縦桁の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-2 に示す。

表 5.3-2 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	400	mm
b	圧縮フランジ幅	75	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _{w1}	腹板の総断面積	2160	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	1500	mm ²

よって、

$$A_{w1}/A_c = 2160/1500 = 1.44 \quad \therefore A_{w1}/A_c < 2$$

ここで、係数Kについては $A_{w1}/A_c < 2$ の場合 $K=2$ であることから、

$$K=2$$

$$10/K = 10/2 = 5$$

$$L/b = 400/75 = 5.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$(\sigma_{ab} - 0.9 \times (K \times L/b - 10)) \times 1.5 = (103 - 0.9 \times (2 \times 5.33 - 10)) \times 1.5 = 153.6 \text{ N/mm}^2 = 153 \text{ N/mm}^2$$

(中央支柱の許容応力)

中央支柱の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-3 に示す。

表 5.3-3 中央支柱の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	2500	mm
b	圧縮フランジ幅	300	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _{w1}	腹板の総断面積	34300	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	10500	mm ²

よって、

$$A_{w1}/A_c = 34300/10500 = 3.26 \quad \therefore A_{w1}/A_c > 2$$

ここで、係数Kについては $A_{w1}/A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_{w1}/(2 \cdot A_c)} = \sqrt{3 + 3.26/2} = 2.15$$

$$10/K = 10/2.15 = 4.646$$

$$L/b = 2500/300 = 8.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$(\sigma_{ab} - 0.9 \times (K \times L/b - 10)) \times 1.5 = (103 - 0.9 \times (2.15 \times 8.33 - 10)) \times 1.5 = 143.8 \text{ N/mm}^2 = 143 \text{ N/mm}^2$$

(中央横桁の許容応力)

中央横桁の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-4 に示す。

表 5.3-4 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	1600	mm
b	圧縮フランジ幅	300	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _{w1}	腹板の総断面積	15000	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	7500	mm ²

よって、

$$A_{w1}/A_c = 15000/7500 = 2.00 \quad \therefore A_{w1}/A_c \geq 2$$

ここで、係数Kについては $A_{w1}/A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_{w1}/(2 \cdot A_c)} = \sqrt{3 + 2 \div 2} = 2$$

$$10/K = 10/2 = 5$$

$$L/b = 1600/300 = 5.33$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$(\sigma_{ab} - 0.9 \times (K \times L/b - 10)) \times 1.5 = (103 - 0.9 \times (2 \times 5.33 - 10)) \times 1.5 = 153.6 \text{ N/mm}^2 = 153 \text{ N/mm}^2$$

表 5.3-5 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	許容荷重	
	引張* (N)	せん断* (N)
アンカーボルト (中央支柱)	2.92×10^5	2.04×10^5

注記 * : 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。

(アンカーボルト)

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」における頭付きアンカーボルトの短期荷重時として算定する。

引張に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$P_{a1} = \phi_1 \times \sigma_{pa} \times s_c \times a$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-6 に示す。

表 5.3-6 アンカーボルトの許容引張力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容引張力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
${}_s\sigma_{pa}$	アンカーボルトの許容引張応力度	205	N/mm ²
${}_s c a$	ねじの有効断面積	1424.439	mm ²

よって、

$$P_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{pa} \times {}_s c a = 1 \times 205 \times 1424.439 = 292009.995\text{N} = 2.92 \times 10^5\text{N}$$

せん断に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_s c a$$

$${}_s\sigma_{qa} = 0.7\sigma_Y$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-7 に示す。

表 5.3-7 アンカーボルトの許容せん断力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Q_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容せん断力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
${}_s\sigma_{qa}$	アンカーボルトの許容せん断応力度	143.5	N/mm ²
${}_s c a$	ねじの有効断面積	1424.439	mm ²

よって、

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_s c a = 1 \times 143.5 \times 1424.439 = 204406.9965\text{N} = 2.04 \times 10^5\text{N}$$

表 5.3-8 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 (ブラケット)	SS400	140	—	80	—	210	—	120	—
漂流物防護工 (防護梁)	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	—

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。

*3 : 補助縦桁, 中央支柱及び中央横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する。

表 5.3-9 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, 「各種合成構造設計指針同解説 ((社) 日本建築学会 平成 22 年)」に基づき算出する。

5.4 設計用地震力

重畳時における屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は剛構造として考慮し，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設計震度は，「8.5.2(1) 二次元動的解析」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を図 5.4-1 に，地震応答解析結果を図 5.4-2 に，設計震度を表 5.4-1 に示す。

なお，設計震度は図 5.4-1 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。

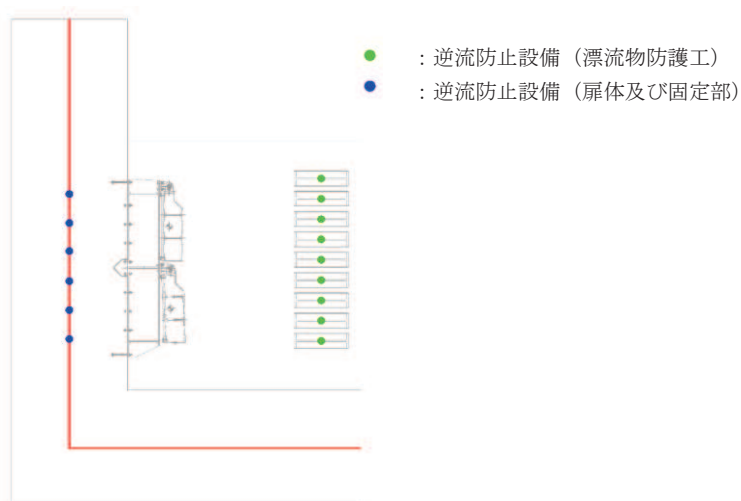
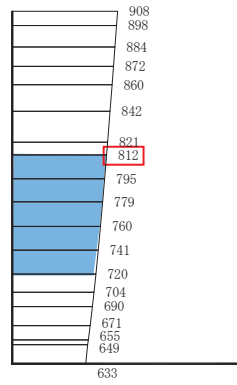
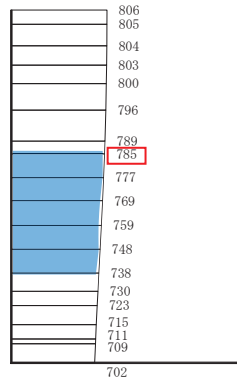


図 5.4-1 加速度応答を抽出した位置



(水平方向, $S_d-D2(+)$, 解析ケース②)



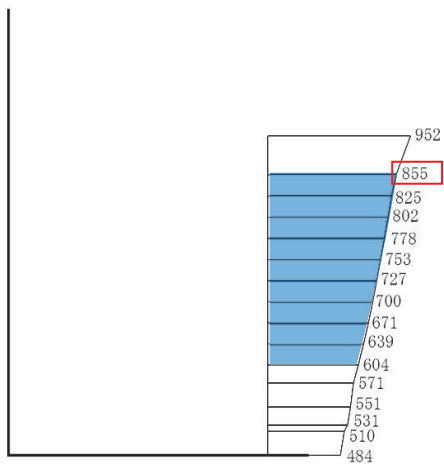
(鉛直方向, $S_d-D2(-)$, 解析ケース①)

■ : 逆流防止設備(扉体及び固定部)設置範囲

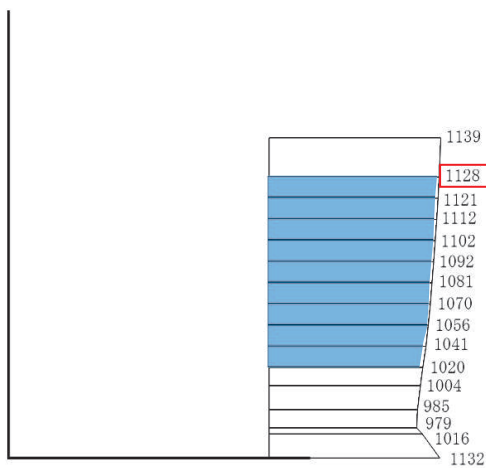
構造スケール 0 _____ 2 (m)

応答値スケール 0 _____ 1000 (cm/s²)

図 5.4-2(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, 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(漂流物防護工)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 5.4-2(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)

表 5.4-1(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)	余震による 設計震度	
S d - D 2 (++)	解析ケース②	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_{Hsd}	0.9
S d - D 2 (-+)	解析ケース①		鉛直方向 K_{Vsd}	0.9

表 5.4-1(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)	余震による 設計震度	
S d - D 2 (-+)	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_{Hsd}	0.9
S d - D 2 (-+)	解析ケース①		鉛直方向 K_{Vsd}	1.2

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、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年)」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、発生する曲げ応力度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 5.5-1 に示す。

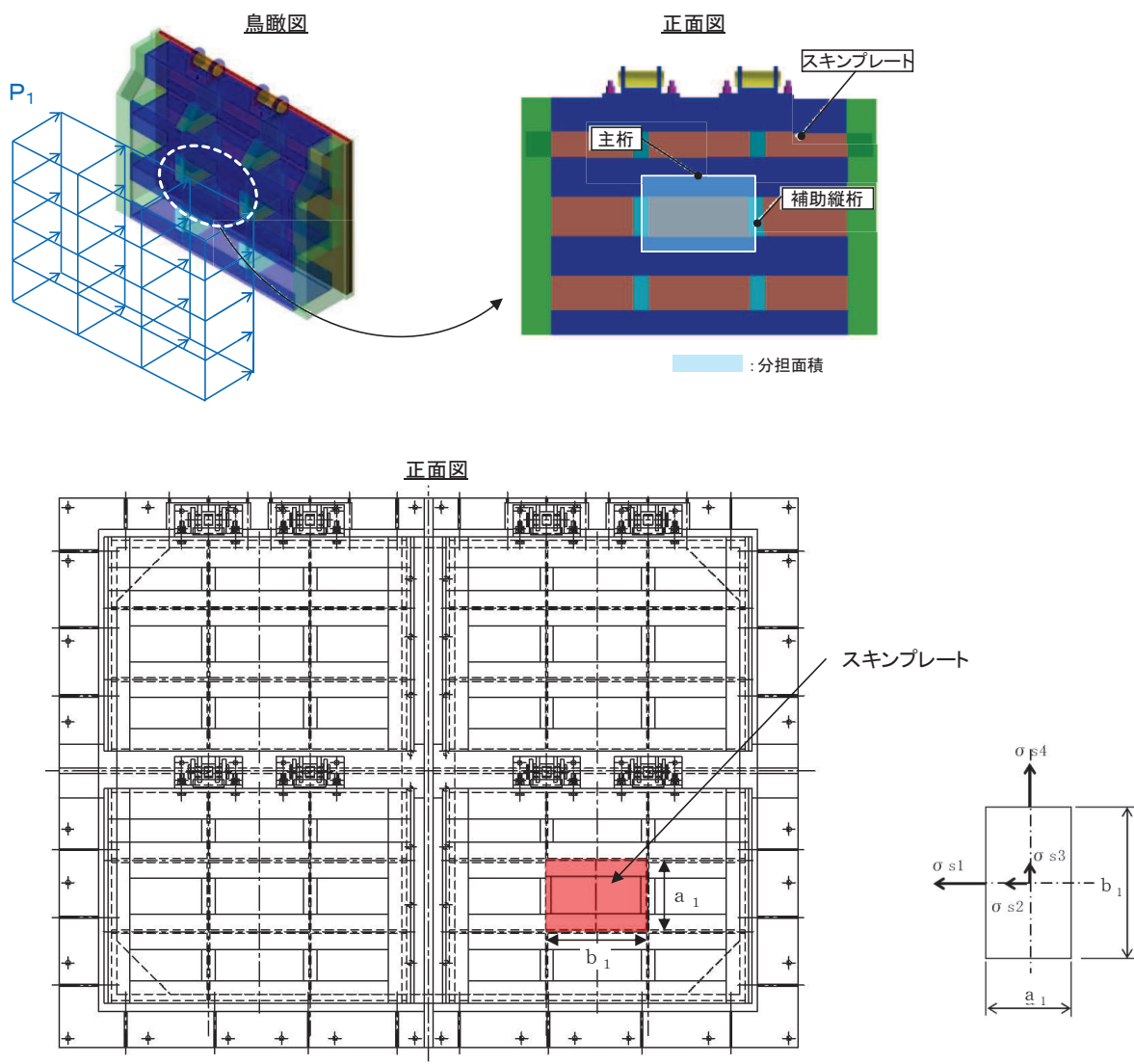


図 5.5-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

また、スキンプレーートの応力算定式は以下のとおりである。

$$\sigma = \left(\frac{1}{100} \right) \cdot k \cdot a_1^2 \cdot \frac{P_1}{t_1}$$

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。

主桁の構造及びモデル図を図 5.5-2 に示す。

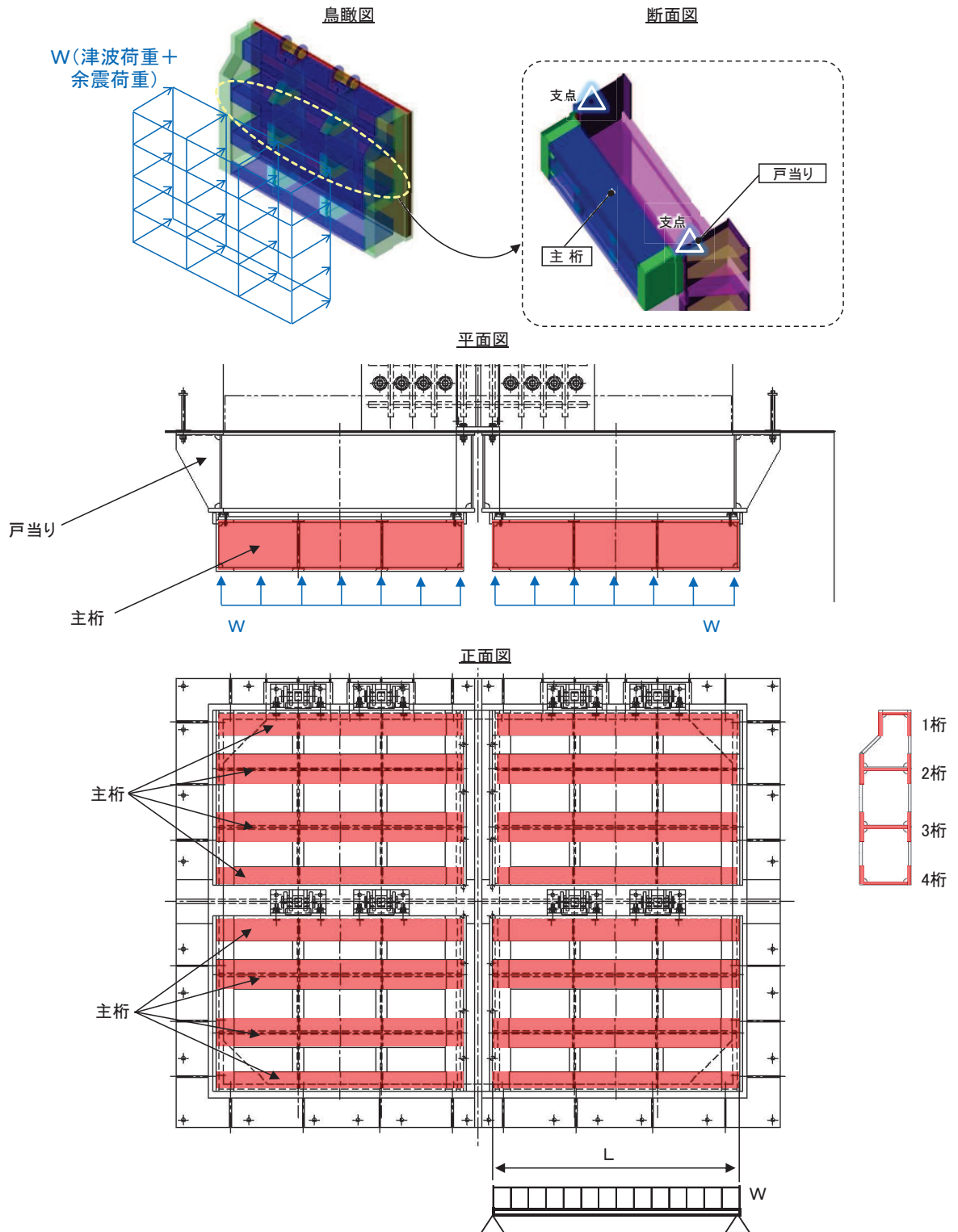


図 5.5-2 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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 (mm³)

$A w_2$: 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、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成31年)」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。

補助縦桁の構造及びモデル図を図 5.5-3 に示す。

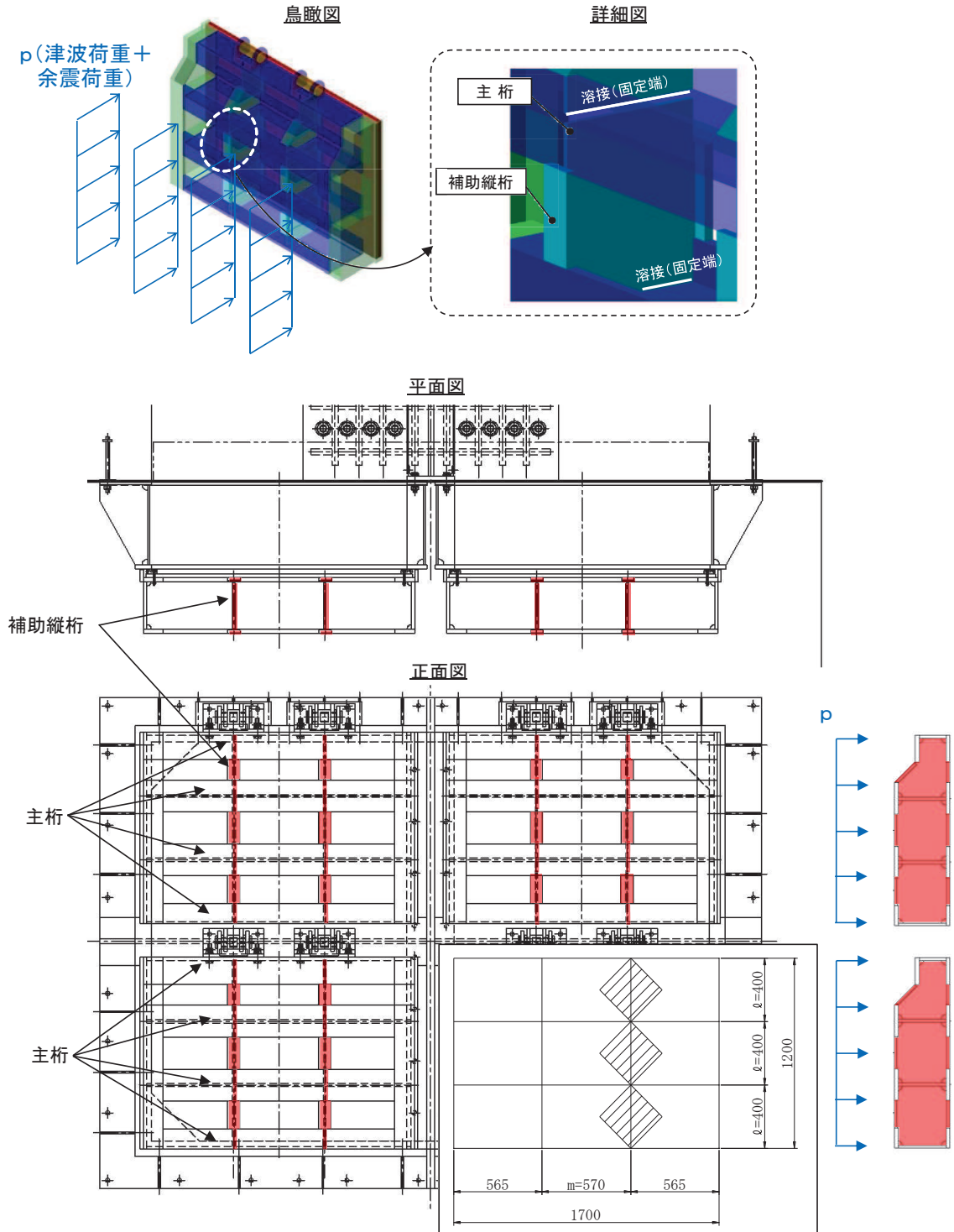


図 5.5-3 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位: mm)

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) 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、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5.5-4に示す。

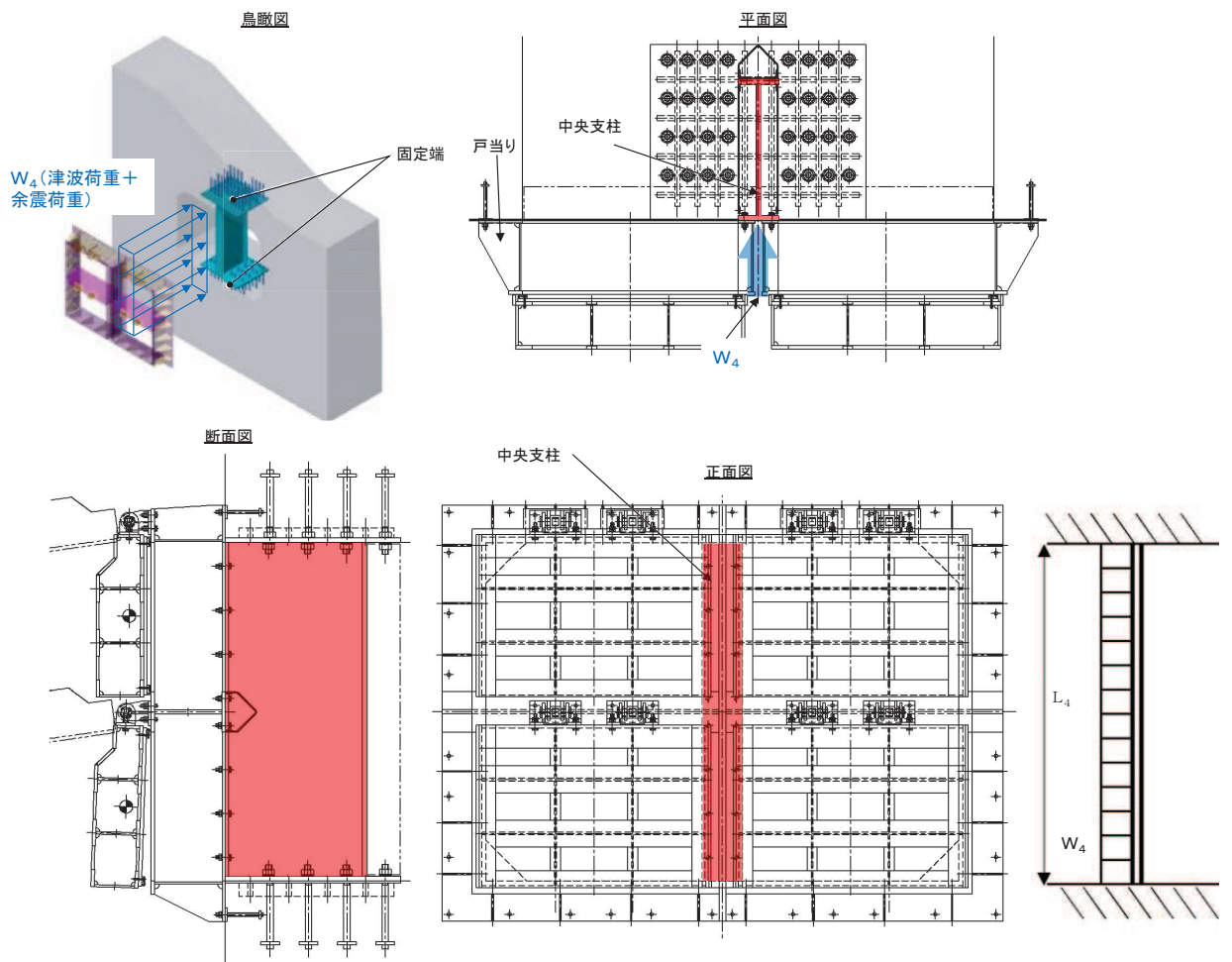


図5.5-4(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

また、中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\max} = \frac{W_4 \cdot L_4^2}{12}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4}{2}$$

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

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

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

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）】

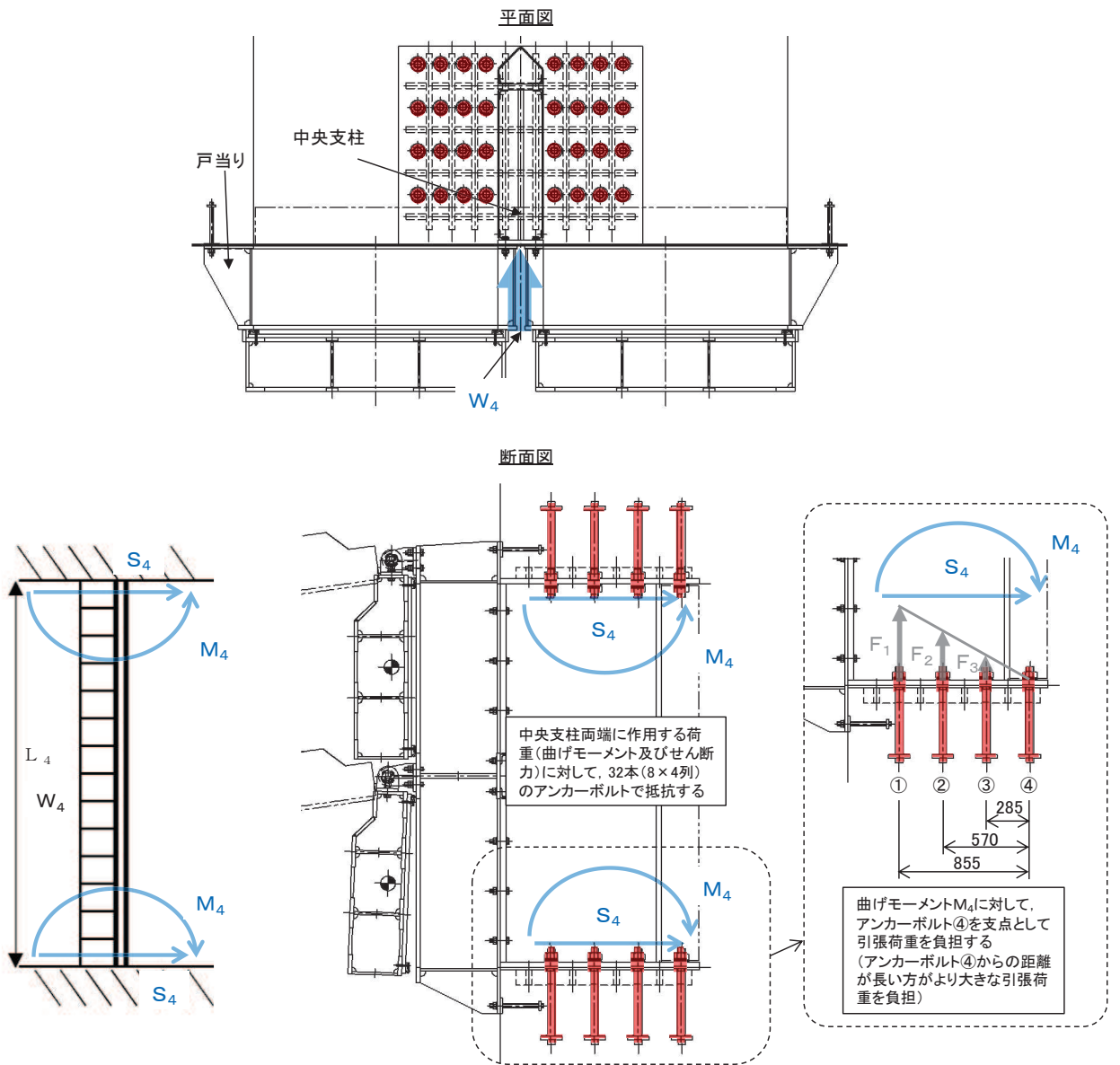


図5.5-4(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

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。

中央横桁のモデル図及び応力算定式を図 5.5-5 に示す。

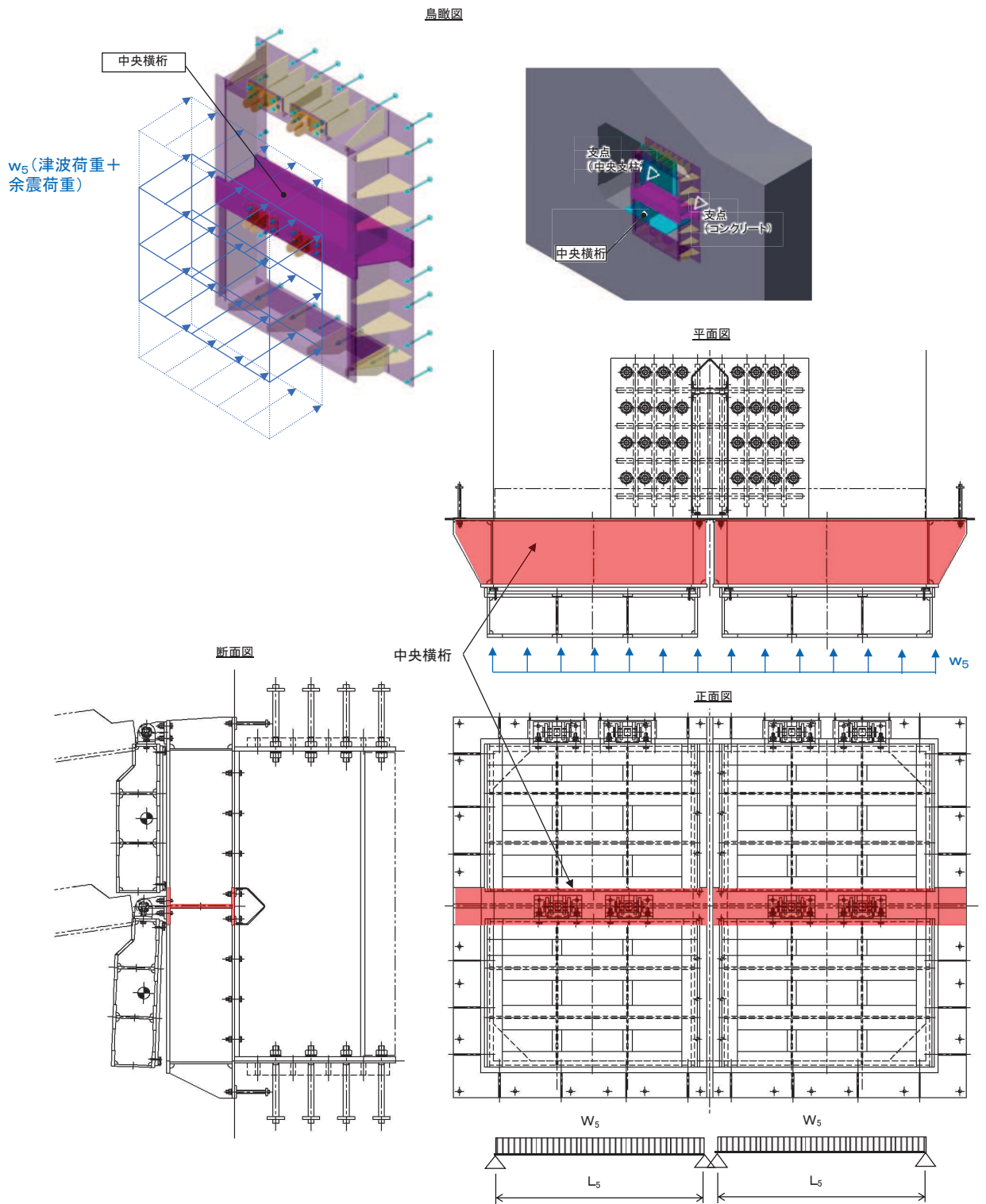


図 5.5-5 中央横桁の構造図及びモデル図

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) 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に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。

戸当りの構造図を図5.5-6に示す。

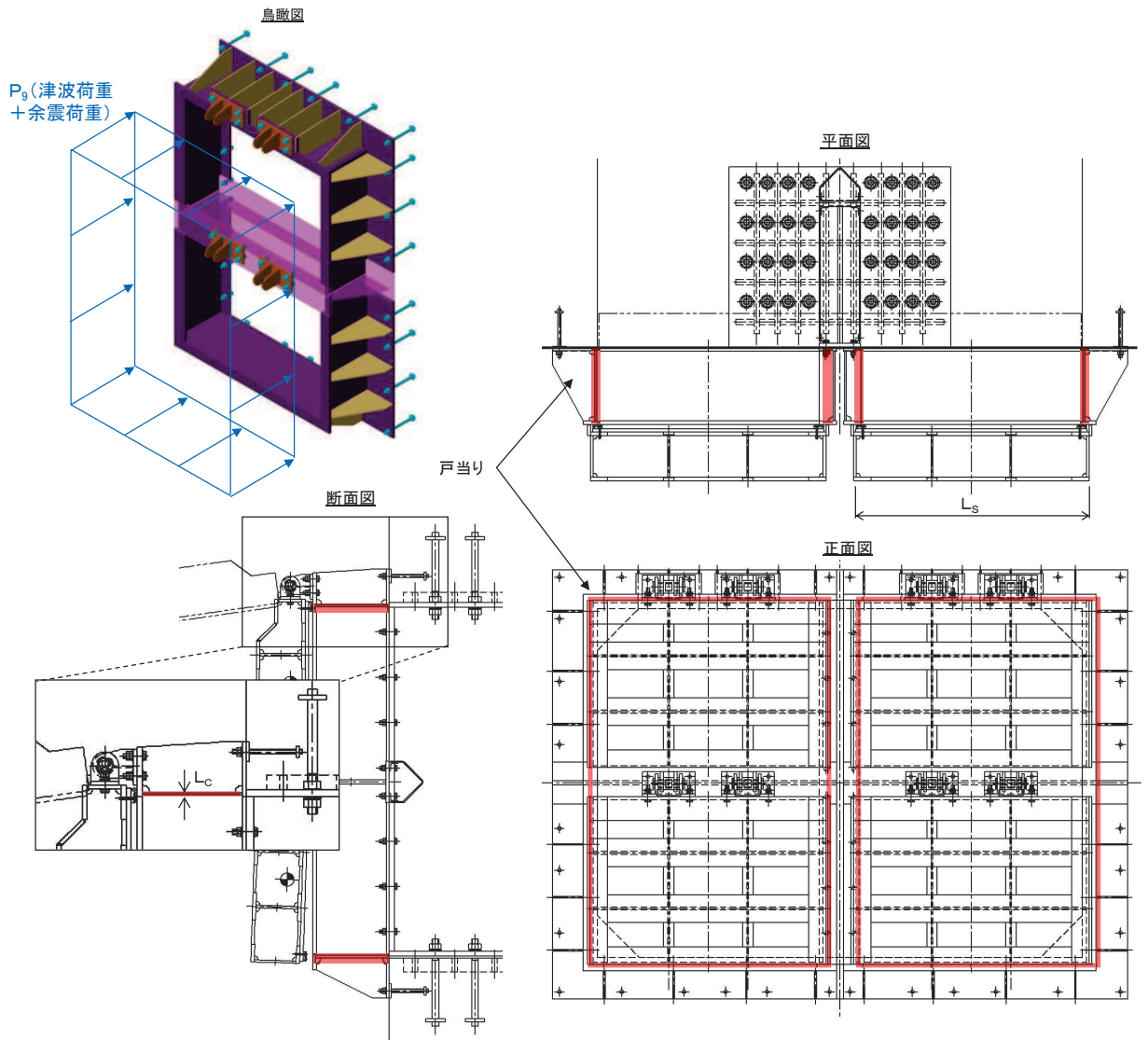


図 5.5-6 戸当りの構造図

また，戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

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

P_g : 戸当りへ作用する荷重単位面積当たりの荷重 (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)

(7) 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 5.5-7 に示す。

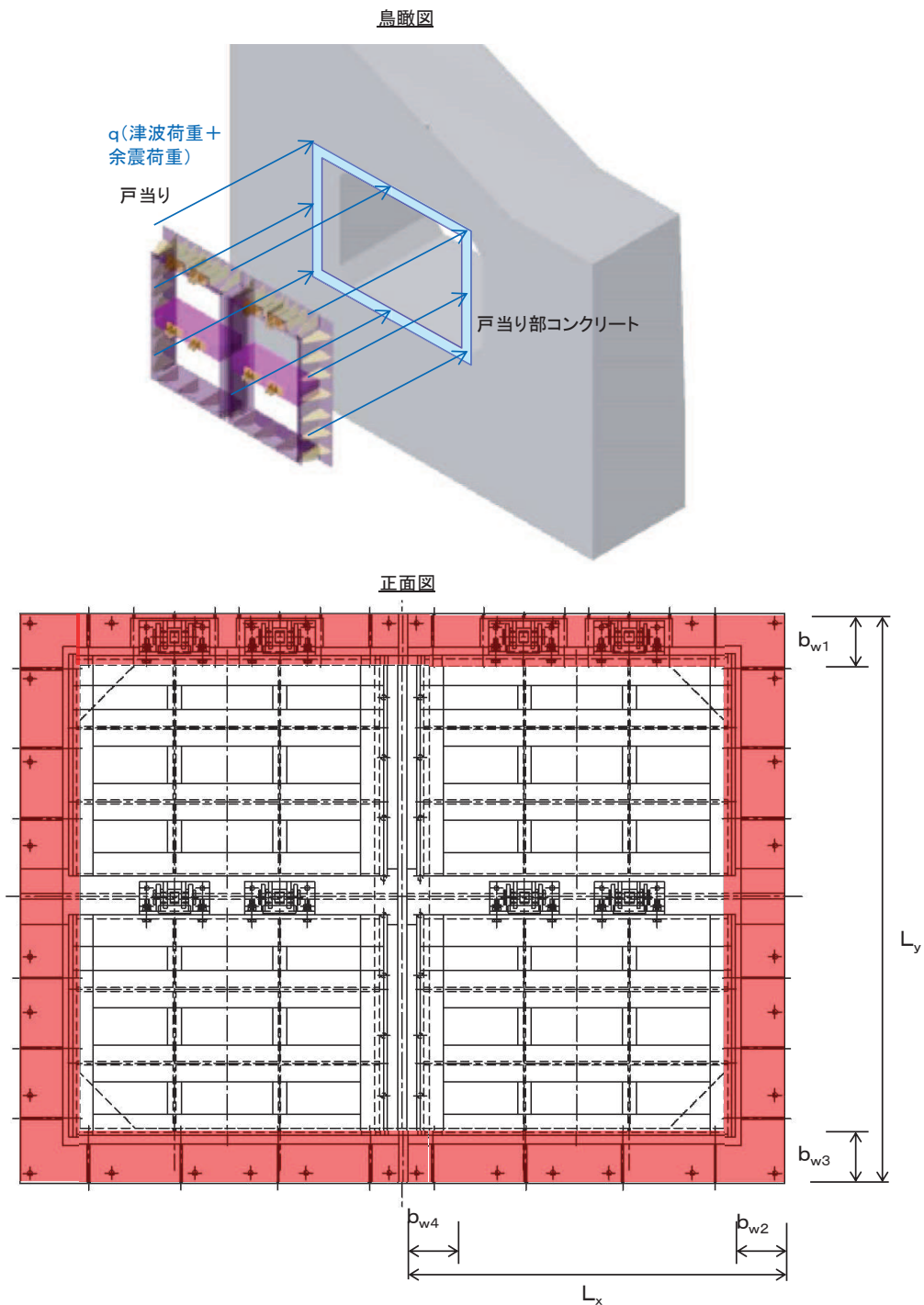


図 5.5-7 戸当り部コンクリートの構造図

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 : コンクリートに作用する単位面積当たりの荷重 (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)

(8) 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、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化する。なお、防護梁本体の腐食代を1mm考慮する。

照査は、津波時及び重畳時で行い、それぞれについて、曲げ応力度、せん断応力度の照査を行うとともに、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。

また、津波時において考慮する衝突荷重は、防護梁1本に対して集中荷重で考慮することとし、作用させるパターンは防護梁支間中央（曲げモーメント最大ケース）及び防護梁端部（せん断応力最大ケース）とする。

なお、鉛直方向の評価については、津波時では防護梁の自重のみが作用すること、重畳時では余震荷重が作用するが、添付書類「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」に示す地震時に考慮する地震荷重と比較して、重畳時に作用する余震荷重が小さいことから、鉛直方向の評価は添付書類「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」にて示した評価に包含される。

防護梁の構造及びモデル図を図5.5-8に示す。

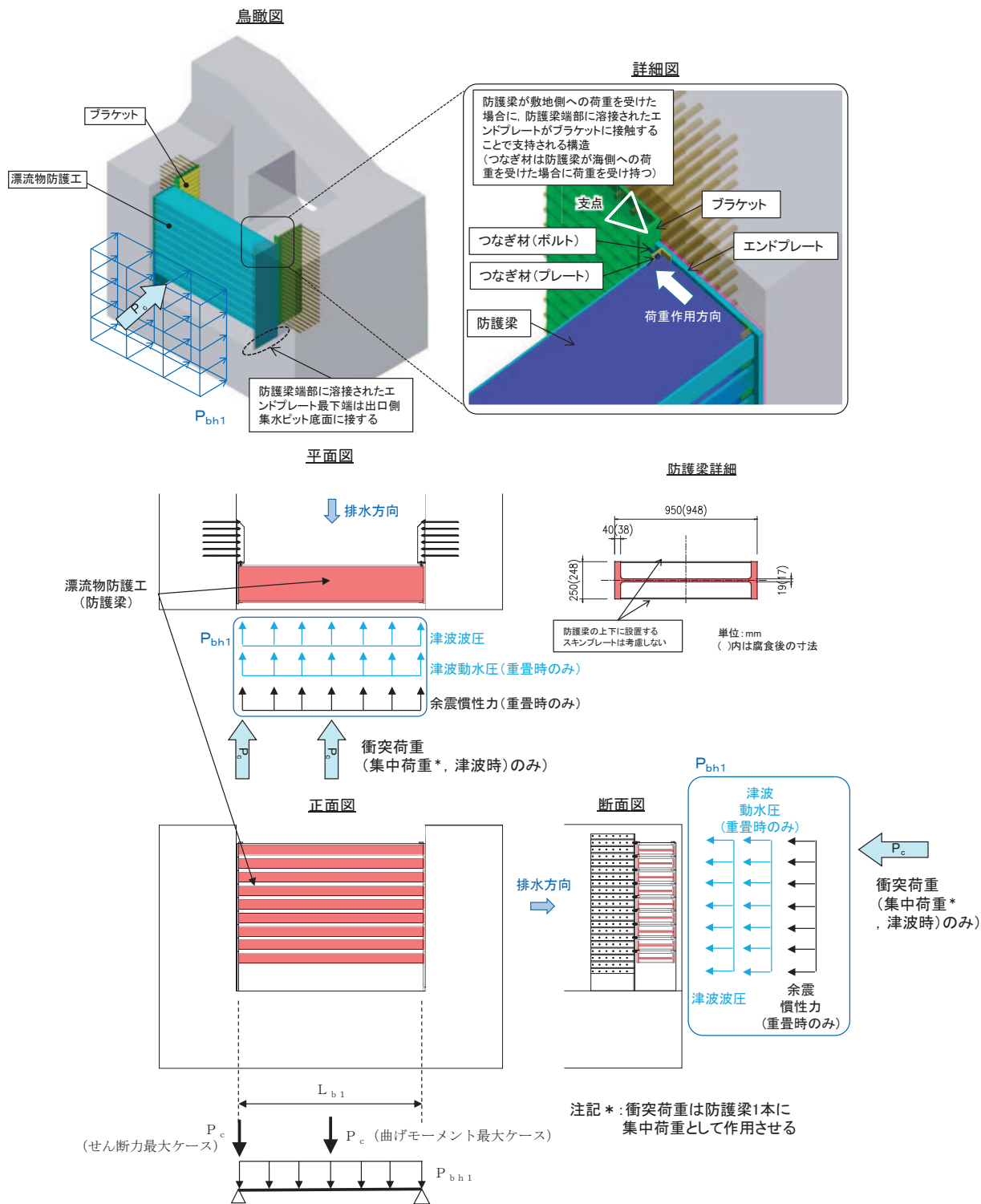


図 5.5-8 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁の応力算定式は以下のとおりである。

【水平方向】

$$M_{\max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} + \frac{P_c \cdot L_{b1}}{4}$$

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

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

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

(合成応力度)

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

ここで、

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)

P_c : 衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)

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 : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(9) 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通じ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。

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

なお、腐食代を 1mm 考慮する。

ブラケットの構造、モデル図を図 5.5-9 に示す。

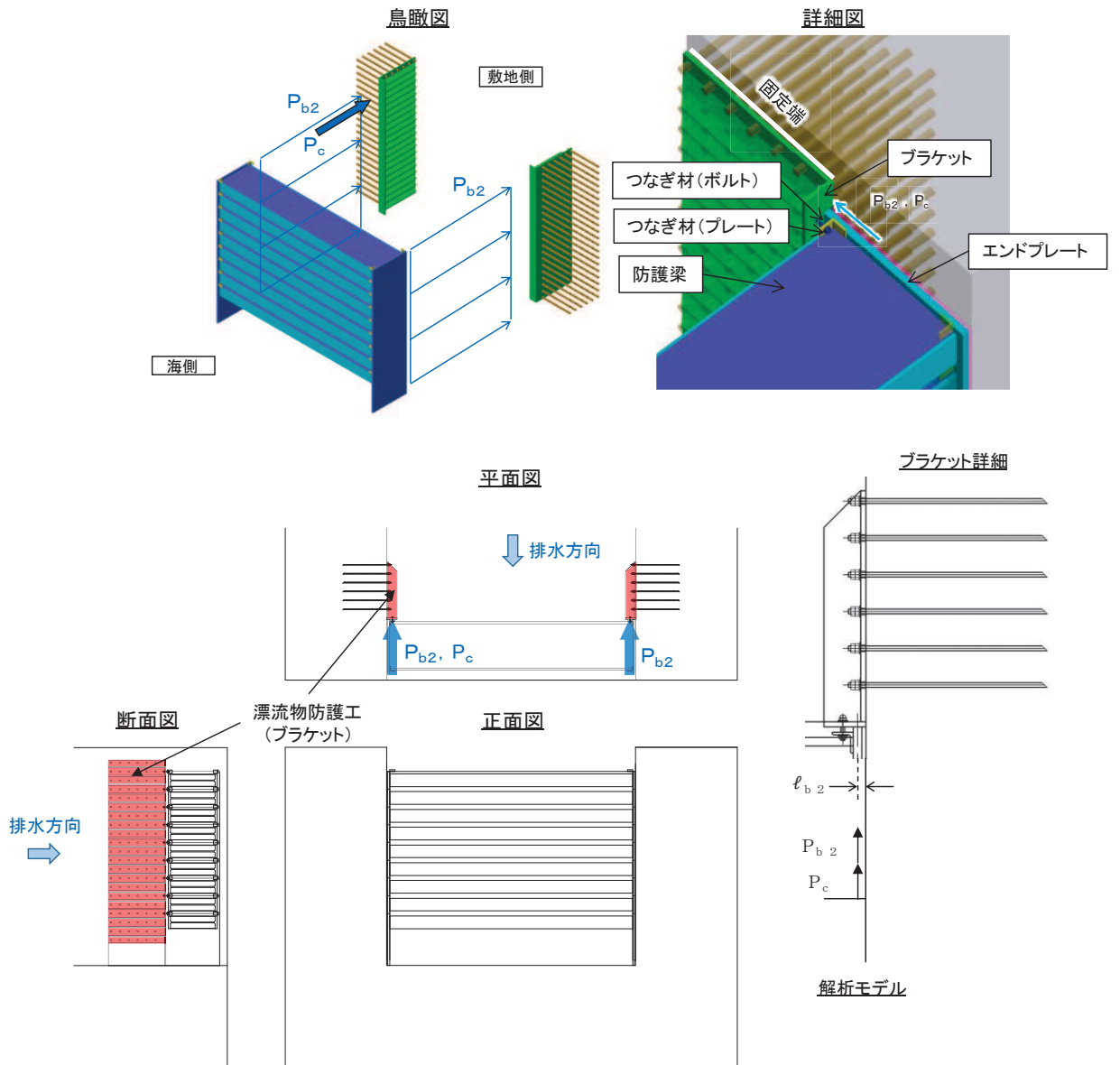


図 5.5-9 ブラケットの構造及びモデル図

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】

$$M_{\max} = (P_{b2} + P_c) \cdot \ell_{b2}$$

P_{b2} : ブラケットに作用する水平力 (N)

P_c : 衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)

$$S_{\max} = P_{b2} + P_c$$

ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート

中心までの長さ (mm)

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

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)

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

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)

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

(合成応力度)

(10) 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 5.5-10 に示す様に、津波波圧、津波動水圧及び余震慣性力に対してはエンドプレート幅 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。ただし、衝突荷重に対しては、図 5.5-10 に示すように防護梁 1 本だけに作用するため、エンドプレート幅 350mm から 45° の荷重伝達を考慮して 6 本 5 列、計 30 本で抵抗するものとする。

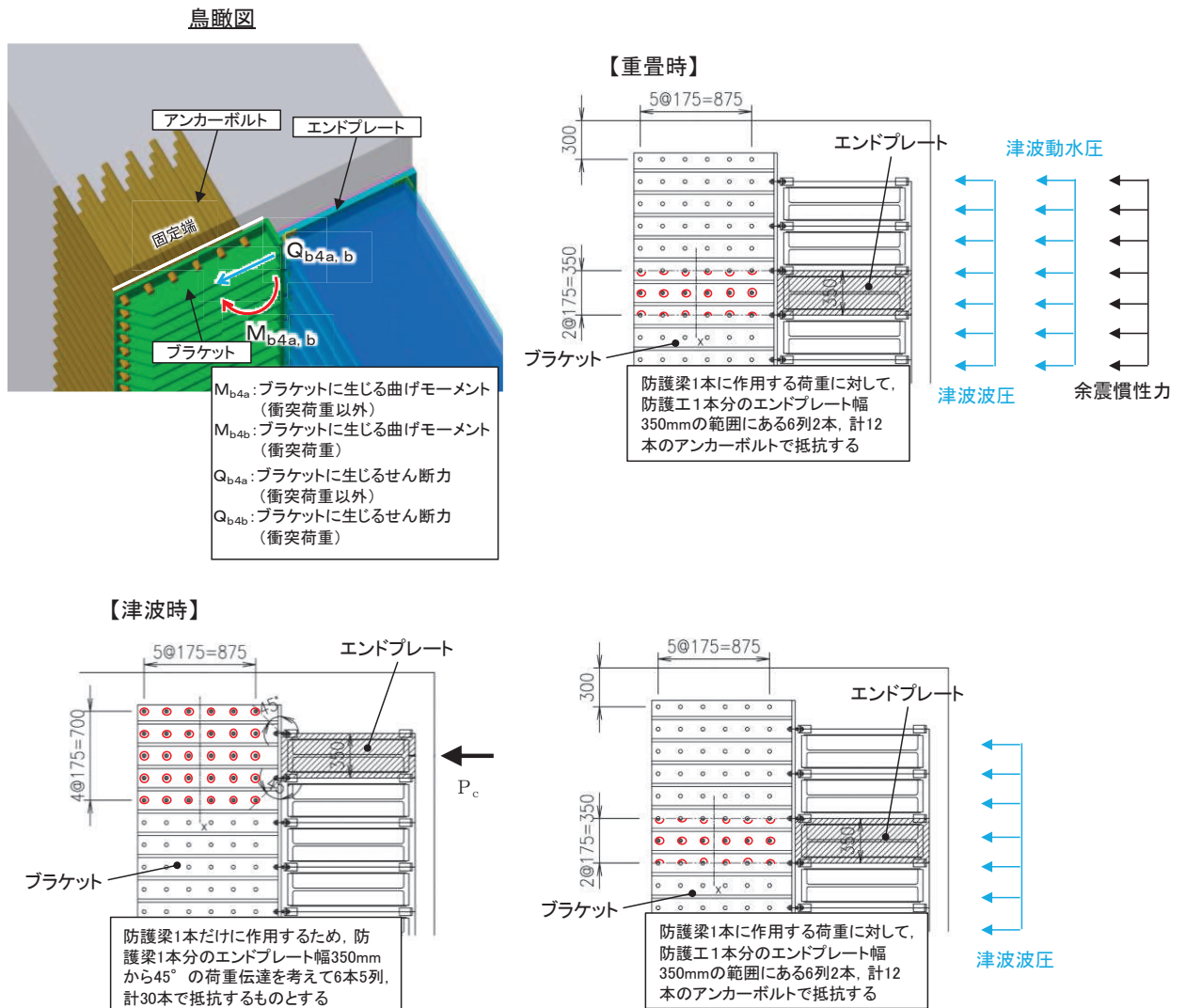


図 5.5-10 アンカーボルトの構造図

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。

$$P_{b4} = P_{b4a} + P_{b4b} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}} + \frac{(M_{b4b}/5)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} + q_{b4b} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n} + \frac{(Q_{b4b}/5)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}}{q_a}\right)^2 \leq 1.2$$

ここで、

P_{b4} : アンカーボルト1本の引張力 (N)

P_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト1本の引張力 (N)

P_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト1本の引張力 (N) (津波時のみ考慮)

M_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント (N・mm)

M_{b4b} : 衝突荷重により生じる曲げモーメント (N・mm) (津波時のみ考慮)

q_{b4} : アンカーボルト1本のせん断力 (N)

q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト1本のせん断力 (N)

q_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト1本のせん断力 (N) (津波時のみ考慮)

Q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力 (N)

Q_{b4b} : 衝突荷重により生じるせん断力 (N) (津波時のみ考慮)

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5.6-1に示す。

表 5.6-1(1) 応力評価に用いる計算条件

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	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	0.50
2~3桁	43.94	400	570	25	0.50
3~4桁	43.94	400	570	25	0.50

区画	主桁に作用する 等分布荷重 W (N/mm)	主桁支間長 L (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	100	1700	8.130379×10 ⁵	3.40×10 ³
2, 3桁	200	1700	1.769048×10 ⁶	6.00×10 ³
4桁	100	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)
0.50	400	3.266545×10 ⁵	2.16×10 ³

中央支柱に作用する 荷重W ₄ (N/mm ²)	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)
900.0	2500	1.5535178×10 ⁷	3.43×10 ⁴

中央横桁に作用する 荷重W ₅ (N/mm ²)	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)
652.5	1600	4.897727×10 ⁶	1.50×10 ⁴

表 5.6-1(2) 応力評価に用いる計算条件

戸当りへ作用する荷重 P (N/mm ²)	扉体幅 L_s (mm)	戸当り支圧部の板厚 L_c (mm)	戸当りへ作用する水平荷重 q (N/mm ²)	戸当り横幅 L_x (mm)	戸当り縦幅 L_y (mm)
0.50	1220	12	1.376	1710	1670

上部戸当り支圧幅 b_{w1} (mm)	側部戸当り支圧幅 b_{w2} (mm)	下部戸当り支圧幅 b_{w3} (mm)	中央支柱部の戸当り支圧幅 b_{w4} (mm)	戸当り幅 S (mm)
275	325	300	125	275

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)
(津波時)20.58 (重畳時)120.0	4820	10.22×10^6	14.82×10^3

ブラケットに作用する水平力 P_{b2} (N)	側壁からエンドプレート中心までの長さ 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)
(津波時) 50.4×10^3 (重畳時) 294.0×10^3	40	14.67×10^6	50.6×10^3

衝突荷重以外の荷重により生じる 曲げモーメント M_{b4a} (N・mm)	衝突荷重により生じる 曲げモーメント M_{b4b} (N・mm)
(津波時) 2.016×10^6 (重畳時) 11.8×10^6	80×10^6

衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力 Q_{b4a} (N)	衝突荷重により生じるせん断力 Q_{b4b} (N)	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)
(津波時) 50.4×10^3 (重畳時) 294.0×10^3	400×10^3	1225	6

5.7 応力計算

(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、「水門鉄管技術基準 水門扉編（（社）水門鉄管協会、平成31年）」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、発生する曲げ応力度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5.7-1に示す。

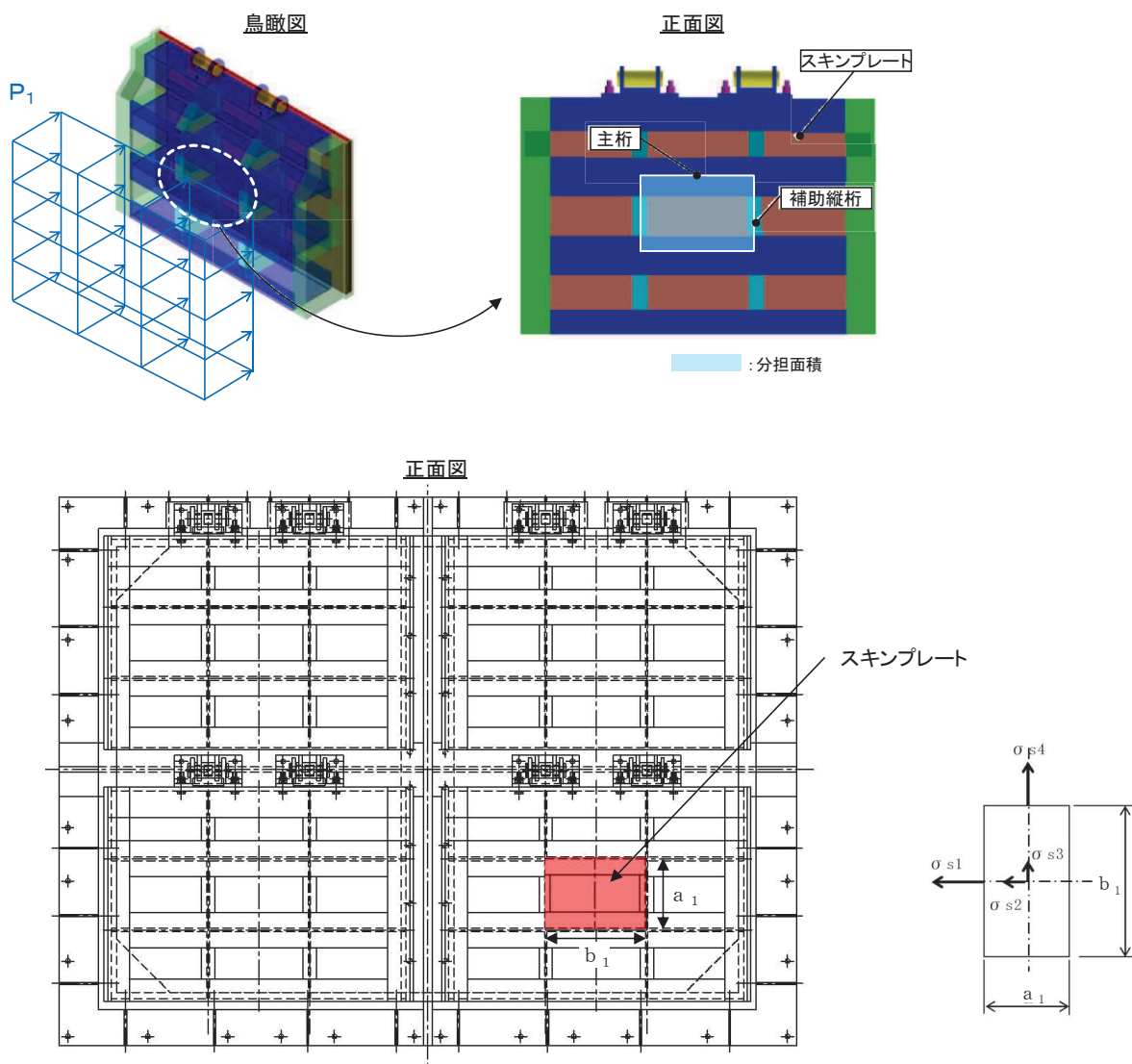


図 5.7-1 スキンプレートの構造図及びモデル図

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。

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

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)

a. 発生荷重

スキンプレートに作用する荷重として、津波荷重と地震（余震）荷重を考慮して、以下の式により計算する。

$$P_1 = P_t + K_{s d}$$

$$K_{s d} = K_h \times (w_1 + w_2) \div A_1 + p_d$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 スキンプレートの発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_1	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	—	kN/m ²
$K_{s d}$	余震荷重	—	kN/m ²
ρ	海水密度	1.03	g/cm ³
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
P_t	津波波圧	320	kN/m ²
p_d	動水圧	160	kN/m ²
w_1	扉体重量 (4 門分)	58.83990	kN
w_2	戸当り重量 (2 組分)	44.12993	kN
w_3	中央支柱質量	44.12993	kN
$K_{H s d}$	水平震度	0.9	—
A_1	扉体面積 (4 門分)	9.396×10^6	mm ²

津波荷重

$$P_t = \rho \cdot g \cdot (3.0 \cdot h - z) = 1.03 \times 9.80665 \times (3.0 \times 12.25 - (6.165 - 0.50))$$

$$= 313.9585 \text{ kN/m}^2 = 320 \text{ kN/m}^2$$

余震荷重

$$K_{s,d} = K_{H,s,d} \times (w_1 + w_2 + w_3) \div A_1 + P_d$$

$$= 0.9 \times (58.83990 + 44.12993 + 44.12993) \div 9.396 \times 10^6 + 160$$

$$= 174.09 \text{ kN/m}^2 = 180 \text{ kN/m}^2$$

スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重

$$P_1 = P_t + K_{s,d} = 320 + 180 = 500 \text{ kN/m}^2$$

b. 発生応力

スキンプレートに発生する曲げ応力は以下の式により求める。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 スキンプレートに生じる曲げ応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	板に生じる曲げ応力度	—	N/mm ²
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
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
t_1	スキンプレートの板厚	25	mm
σ_a	SUS304 の許容引張応力度	103	N/mm ²

辺長比による係数 k 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、各区間における辺長比を元に数値を求める。各区間の計算に用いた短辺 a_1 、長辺 b_1 及びスキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 P_1 に加え、辺長比による係数 k 及び曲げ応力度 σ の導出結果を表 5.7-2、スキンプレートに生じる曲げ応力度及び計算諸元を表 5.7-3 に示す。また、スキンプレートの固定間隔概要を図 5.7-2 に示す。

表 5.7-2 k の値

b/a	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1.00	30.9	13.7	13.7	30.9
1.25	40.3	18.8	13.5	33.9
1.50	45.5	22.1	12.2	34.3
1.75	48.4	23.9	10.8	34.3
2.00	49.9	24.7	9.5	34.3
2.50	50.0	25.0	8.0	34.3
3.00	50.0	25.0	7.5	34.3
∞	50.0	25.0	7.5	34.3

表 5.7-3 スキンプレートに生じる曲げ応力度及び計算諸元

区画	a_1 (mm)	b_1 (mm)	b_1/a_1	k	P_1 (N/mm ²)	t (mm)
1～2桁	400	570	1.425	43.940	0.50	25
2～3桁	400	570	1.425	43.940	0.50	25
3～4桁	400	570	1.425	43.940	0.50	25

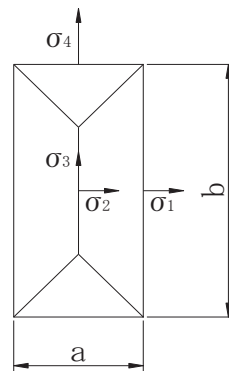


図 5.7-2 スキンプレートの固定間隔概要図

以上により,

$$\sigma = \left(\frac{1}{100}\right) \cdot 43.94 \cdot 400^2 \cdot \frac{0.50}{25^2} = 56.25 \text{N/mm}^2$$

(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。

主桁の構造及びモデル図を図 5.7-3 に示す。

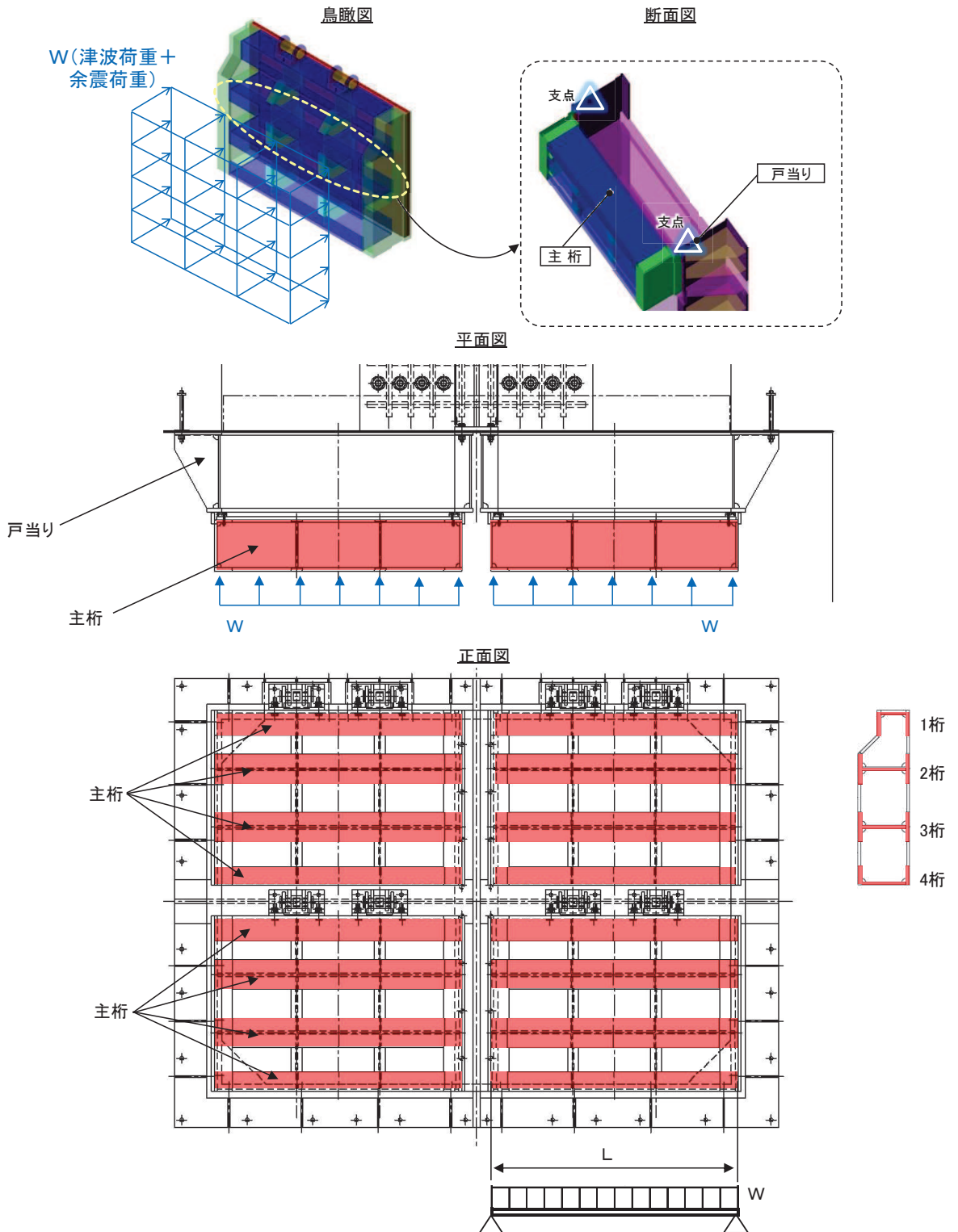


図 5.7-3 主桁の構造及びモデル図

また、主桁の応力算定式は以下のとおりである。

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

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

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

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

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

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 (mm³)

$A w_2$: 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)

a. 発生荷重

扉体主桁へ作用する等分布荷重は以下の式にて計算を行う。

$$W = P_2 \cdot \frac{H}{2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-4 に示す。

表 5.7-4 主桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W	主桁に作用する等分布荷重	—	N/mm
P ₂	主桁に作用する単位面積当たりの荷重 (津波荷重+余震荷重)	500	kN/m ²
H	主桁の最大間隔	0.400	m

1 桁, 4 桁

$$W = P_2 \times \frac{H}{2} = 500 \times \frac{0.400}{2} = 100 \text{ kN/m} = 100 \text{ N/mm}$$

2 桁, 3 桁

$$W = P_2 \times \frac{H}{2} \times 2 = 500 \times \frac{0.400}{2} \times 2 = 200 \text{ kN/m} = 200 \text{ N/mm}$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-5 に示す。

表 5.7-5 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M _{max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S _{max}	最大せん断力	—	N
L ₂	主桁支間長	1700	mm

よって、

曲げモーメント

1桁, 4桁

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8} = \frac{100 \times 1700^2}{8} = 36125000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

2桁, 3桁

$$M_{\max} = \frac{W \cdot L_2^2}{8} = \frac{200 \times 1700^2}{8} = 72250000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

せん断力

1桁, 4桁

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2} = \frac{100 \times 1700}{2} = 85000.0 \text{ N}$$

2桁, 3桁

$$S_{\max} = \frac{W \cdot L_2}{2} = \frac{200 \times 1700}{2} = 170000.0 \text{ N}$$

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

発生応力を計算するに当たり、主桁の断面係数及びせん断抵抗断面積を求める。図 5.7-4 に主桁の断面形状を示す。

扉体主桁 (1桁) 断面性能

使用部材 PLC-220×170×20/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \frac{(220^3 \times 170 - 170^3 \times 150)}{220} = 8.130379 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_2 = 170 \times 20 = 3.40 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

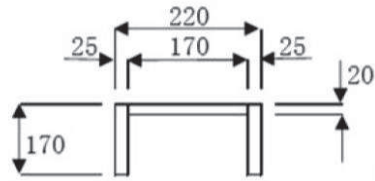


図 5.7-4 (1) 主桁 (1 桁) の断面形状 (単位 : mm)

扉体主桁 (2, 3 桁) 断面性能

使用部材 PLH-350×200×20/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{350^3 \times 200 - 300^3 \times 180}{350} \right) = 1.769048 \times 10^6 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_2 = 300 \times 20 = 6.00 \times 10^3 \text{mm}^2$$

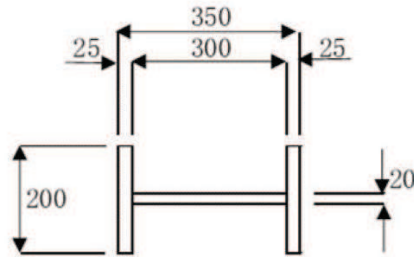


図 5.7-4 (2) 主桁 (2, 3 桁) の断面形状 (単位 : mm)

扉体主桁 (4 桁) 断面性能

使用部材 PLC-350×125×15/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_2 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{350^3 \times 125 - 300^3 \times 110}{350} \right) = 1.137798 \times 10^6 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_2 = 300 \times 15 = 4.50 \times 10^3 \text{mm}^2$$

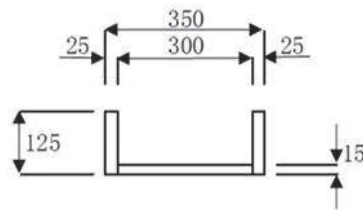


図 5.7-4 (3) 主桁 (4 桁) の断面形状 (単位 : mm)

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{\max}}{Aw_2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-6 に示す。

表 5.7-6 主桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{\max}	最大曲げモーメント (1 桁)	36125000	N・mm
	最大曲げモーメント (2 桁, 3 桁)	72250000	N・mm
	最大曲げモーメント (4 桁)	36125000	N・mm
S_{\max}	最大せん断力 (1 桁)	85000.0	N
	最大せん断力 (2 桁, 3 桁)	170000.0	N
	最大せん断力 (4 桁)	85000.0	N
Z_2	主桁の断面係数 (1 桁)	8.130379×10^5	mm ³
	主桁の断面係数 (2 桁, 3 桁)	1.769048×10^6	mm ³
	主桁の断面係数 (4 桁)	1.137798×10^6	mm ³
Aw_2	主桁のせん断抵抗断面積 (1 桁)	3.40×10^3	mm ²
	主桁のせん断抵抗断面積 (2 桁, 3 桁)	6.00×10^3	mm ²
	主桁のせん断抵抗断面積 (4 桁)	4.50×10^3	mm ²

以上により,
曲げ応力度

1桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{36125000}{8.130379 \times 10^5} = 44.44 \text{ N/mm}^2$$

2桁, 3桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{72250000}{1.769048 \times 10^6} = 40.85 \text{ N/mm}^2$$

4桁

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{Z_2} = \frac{36125000}{1.137798 \times 10^6} = 31.75 \text{ N/mm}^2$$

せん断応力度

1桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{85000}{3.40 \times 10^3} = 25.00 \text{ N/mm}^2$$

2桁, 3桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{170000}{6.00 \times 10^3} = 28.34 \text{ N/mm}^2$$

4桁

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_2} = \frac{85000}{4.50 \times 10^3} = 18.89 \text{ N/mm}^2$$

(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、「水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成31年)」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。

補助縦桁の構造及びモデル図を図 5.7-5 に示す。

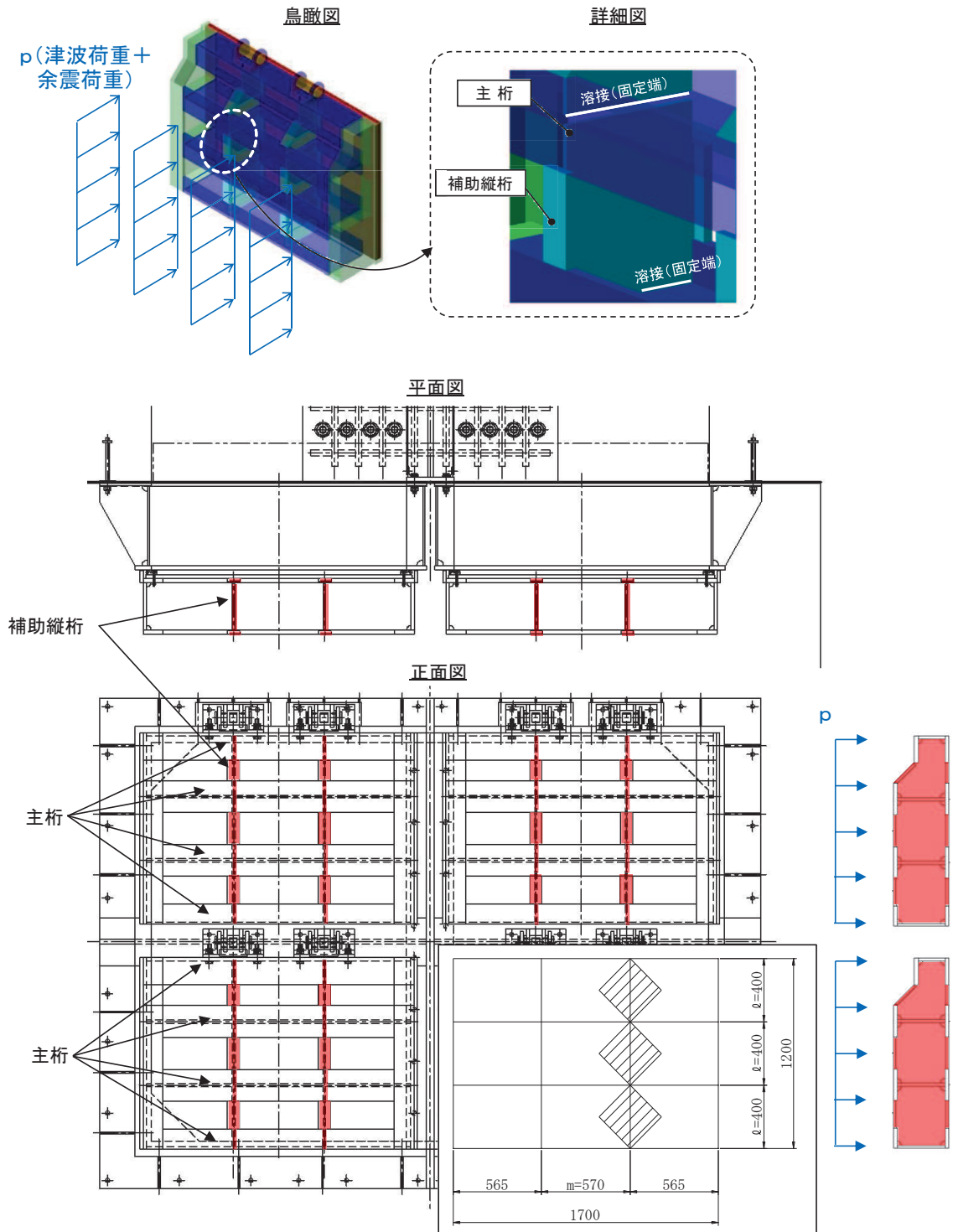


図 5.7-5 補助縦桁の構造図及びモデル図 (単位: mm)

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)

a. 発生荷重

補助縦桁へ作用する等分布荷重は以下の式にて計算を行う。

$$p = P_t + K_{s d}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-7 に示す。

表 5.7-7 補助縦桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (津波荷重+余震荷重)	—	kN/m ²
P _t	津波荷重	320	kN/m ²
K _{s d}	余震荷重	180	kN/m ²

$$p = P_t + K_{s d} = 320 + 180 = 500 \text{ kN/m}^2$$

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

発生応力を計算するにあたり、最大曲げモーメント及び最大せん断力を以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-8 に示す。

表 5.7-8 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M _{max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S _{max}	最大せん断力	—	N
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	0.50	N/mm ²
ℓ	主桁間隔 (補助縦桁の支持間隔)	400	mm

$$M_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^3}{12} = \frac{0.50 \times 400^3}{12} = 2666667 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{p \cdot \ell^2}{4} = \frac{0.50 \times 400^2}{4} = 20000 \text{ N}$$

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

補助縦桁断面性能

使用部材 PLH - 220 × 75 × 12/20(SUS304)

断面係数

$$Z_3 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{220^3 \times 75 - 180^3 \times 63}{220} \right) = 3.266545 \times 10^5 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_3 = 180 \times 12 = 2.16 \times 10^3 \text{mm}^2$$

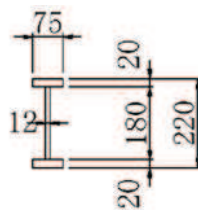


図 5.7-6 補助縦桁の断面形状 (単位 : mm)

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_3}$$

$$\sigma = \frac{2666667}{3.266545 \times 10^5} = 8.17 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{20000}{2.16 \times 10^3} = 9.26 \text{N/mm}^2$$

(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、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5.7-7に示す。

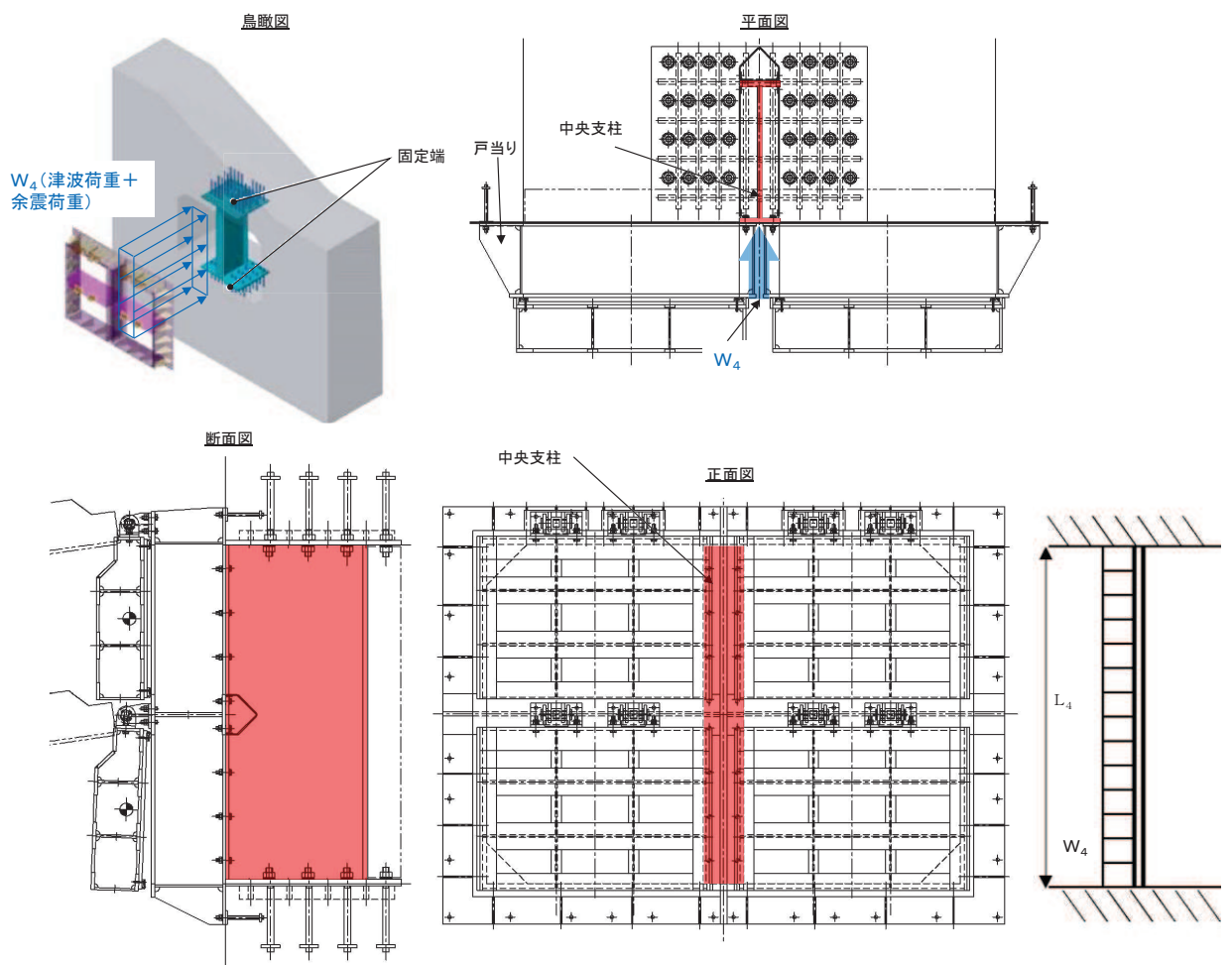


図5.7-7(1) 中央支柱の構造図及びモデル図

また、中央支柱の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4^2}{12}$$

$$S_{\max} = \frac{W_4 \cdot L_4}{2}$$

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

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A_{w4}}$$

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

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_{w4} : 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)

ここで,

【中央支柱（アンカーボルト）】

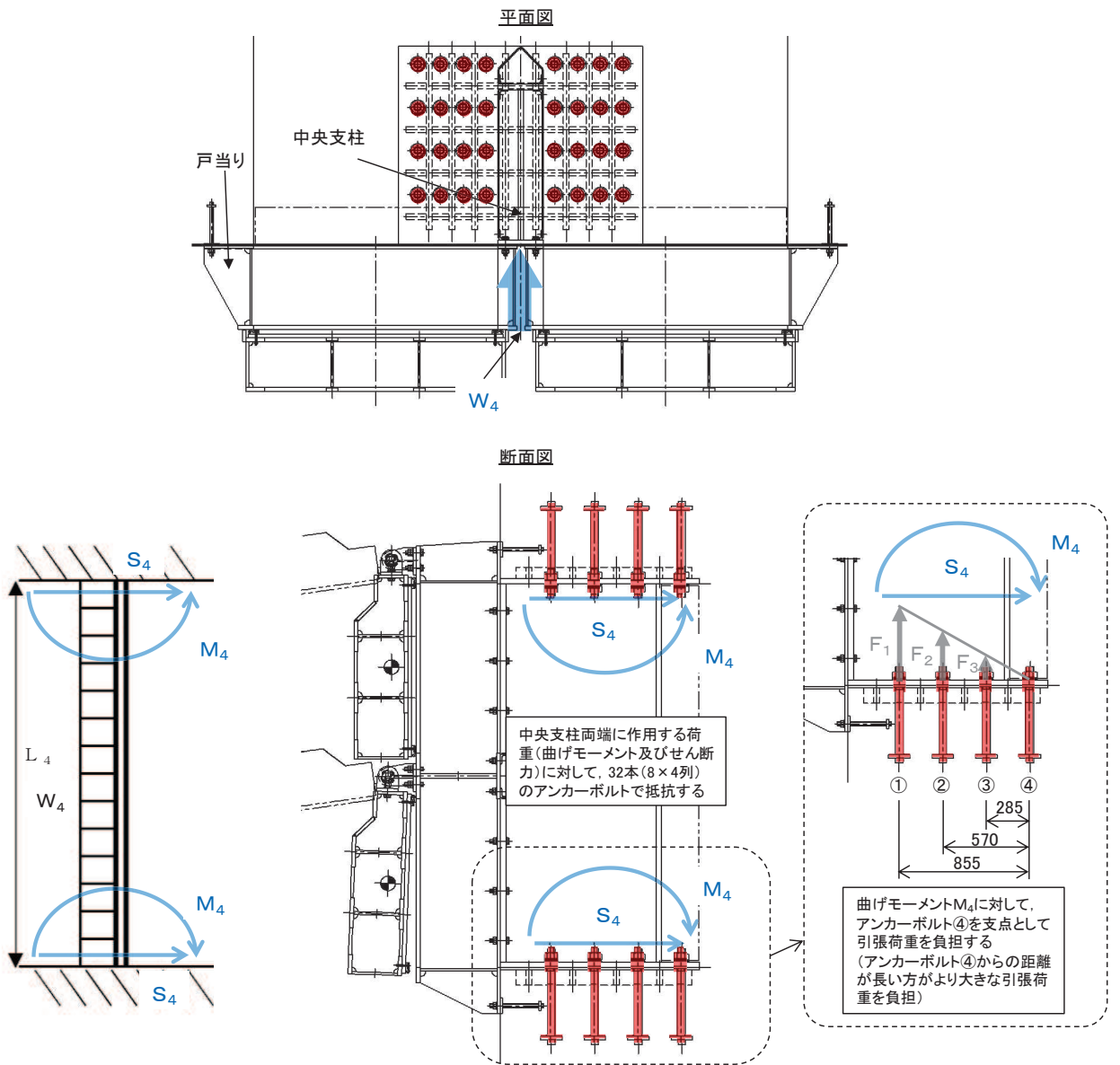


図5.7-7(2) 中央支柱（アンカーボルト）の構造図

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

a. 発生荷重

中央支柱へ作用する荷重は、以下の式にて計算を行う。

$$W_4 = P_4 \times \frac{H}{2} = 500 \times \frac{3.60}{2} = 900 \text{ kN/m} = 900 \text{ N/mm}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-9 に示す。

表 5.7-9 主桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W_4	中央支柱に作用する分布荷重	—	N/mm
P_4	中央支柱に作用する単位面積当たりの荷重 (津波荷重+余震荷重)	500	kN/m ²
H	扉体の最外端幅	3.6	m

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

中央支柱に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4^2}{12} = \frac{900 \times 2500^2}{12} = 468750000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_4 \cdot L_4}{2} = 900 \times 2500 / 2 = 1125000 \text{ N}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-10 に示す。

表 5.7-10 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M_{max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S_{max}	最大せん断力	—	N
W_4	中央支柱に作用する分布荷重	900	N/mm
L_4	中央支柱固定高	2500	mm

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

【中央支柱】

使用部材 PLC-1050×300×35/35 (SUS304)

断面係数

$$Z_4 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{1050^3 \times 300 - 980^3 \times 265}{1050} \right) = 1.5535178 \times 10^7 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_4 = 980 \times 35 = 3.43 \times 10^4 \text{mm}^2$$

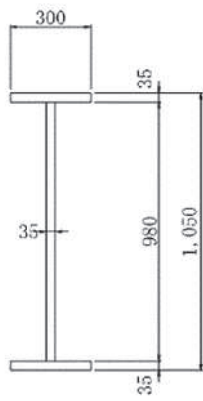


図 5.7-8 中央支柱の断面形状

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【中央支柱】

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

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

【中央支柱（アンカーボルト）】

$$M_{\max} = (F_1 \times 855 + F_2 \times 570 + F_3 \times 285) \cdot 8$$

$$= (3 \times F_3 \times 855 + 2 \times F_3 \times 570 + F_3 \times 285) \times 8 = 3990 \times F_3 \times 8$$

$$F_3 = \frac{M_{\max}}{3990 \times 8}$$

$$F_1 = 3 \times F_3 = 3 \times \frac{M_{\max}}{3990 \times 8}$$

$$P_4 = F_1$$

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-11 に示す。

表 5.7-11 中央支柱の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
M_{\max}	最大曲げモーメント	468750000	N・mm
S_{\max}	最大せん断力	1125000	N
Z_4	中央支柱の断面係数	1.5535178×10^7	mm ³
$A w_4$	中央支柱のせん断抵抗断面積	3.43×10^4	mm ²
F_1	アンカーボルトの最大引張荷重	—	N
n_4	アンカーボルトの本数	32	本

【中央支柱】

$$\sigma = \frac{468750000}{1.5535178 \times 10^7} = 30.18 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{1125000}{3.43 \times 10^4} = 32.80 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{30.18^2 + 3 \times 32.80^2} = 64.34 \text{N/mm}^2$$

【中央支柱（アンカーボルト）】

$$F_1 = 3 \times F_3 = 3 \times \frac{M_{\text{max}}}{3900 \times 8} = 3 \times \frac{468750000}{3900 \times 8} = 44055.45113 = 44056 \text{N}$$

$$P_4 = F_1 = 44056 \text{N} = 4.41 \times 10^4$$

$$Q_4 = \frac{S_{\text{max}}}{n_4} = \frac{1125000}{32} = 35156.25 = 35157 \text{N} = 3.52 \times 10^4$$

(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。

中央横桁のモデル図及び応力算定式を図 5.7-9 に示す。

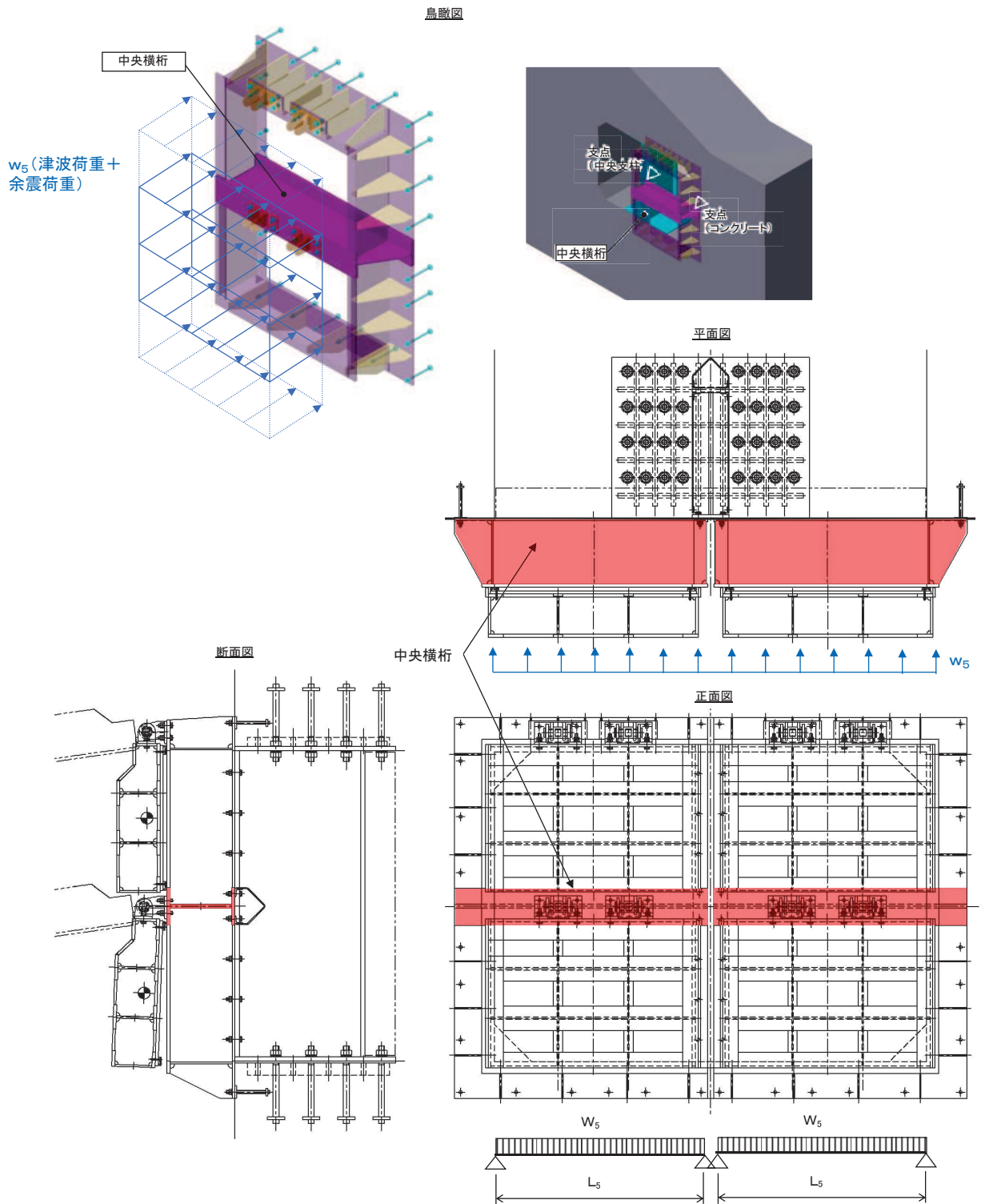


図 5.7-9 中央横桁の構造図及びモデル図

また、中央横桁の応力算定式は以下のとおりである。

$$M_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5^2}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5}{2}$$

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

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A_{w5}}$$

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

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_{w5} : 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)

a. 発生荷重

中央横桁へ作用する荷重は、以下の式にて計算を行う。

$$W_5 = P_5 \times \frac{H}{2} = 500 \times \frac{2.61}{2} = 652.5 \text{ kN/m} = 652.5 \text{ N/mm}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-12 に示す。

表 5.7-12 中央横桁に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W_5	中央横桁に作用する分布荷重	—	N/mm
P_5	中央横桁に作用する単位面積当たりの荷重 (津波荷重+余震荷重)	500	kN/m ²
H	扉体の最外端幅	2.61	m

b. 最大曲げモーメント・最大せん断力

中央横桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5^2}{8}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5}{2}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-13 に示す。

表 5.7-13 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M_{max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S_{max}	最大せん断力	—	N
W_5	中央横桁に作用する分布荷重	652.5	N/mm
L_5	中央横桁支間長	1600	mm

$$M_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5^2}{8} = \frac{652.5 \times 1600^2}{8} = 208800000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{W_5 \cdot L_5}{2} = 652.5 \times \frac{1600}{2} = 522000 \text{ N}$$

c. 断面係数及びせん断抵抗断面積

使用部材 PLH-550×300×30/25 (SUS304)

断面係数

$$Z_5 = \frac{1}{6} \times \left(\frac{550^3 \times 300 - 500^3 \times 270}{550} \right) = 4.897727 \times 10^6 \text{mm}^3$$

せん断抵抗断面積

$$A w_5 = 500 \times 30 = 1.50 \times 10^4 \text{mm}^2$$

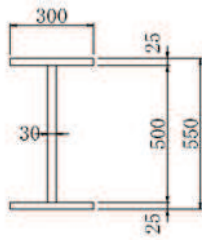


図 5.7-10 中央横桁の断面形状

d. 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-14 に示す。

表 5.7-14 中央横桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	最大曲げモーメント	208800000	N・mm
S_{max}	最大せん断力	522000	N
Z_5	中央横桁の断面係数	4.897727×10^6	mm ³
$A w_5$	中央横桁のせん断抵抗断面積	1.50×10^4	mm ²

$$\sigma = \frac{208800000}{4.897727 \times 10^6} = 42.64 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{522000}{1.50 \times 10^4} = 34.80 \text{ N/mm}^2$$

(6) 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に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。

戸当りの構造図を図5.7-10に示す。

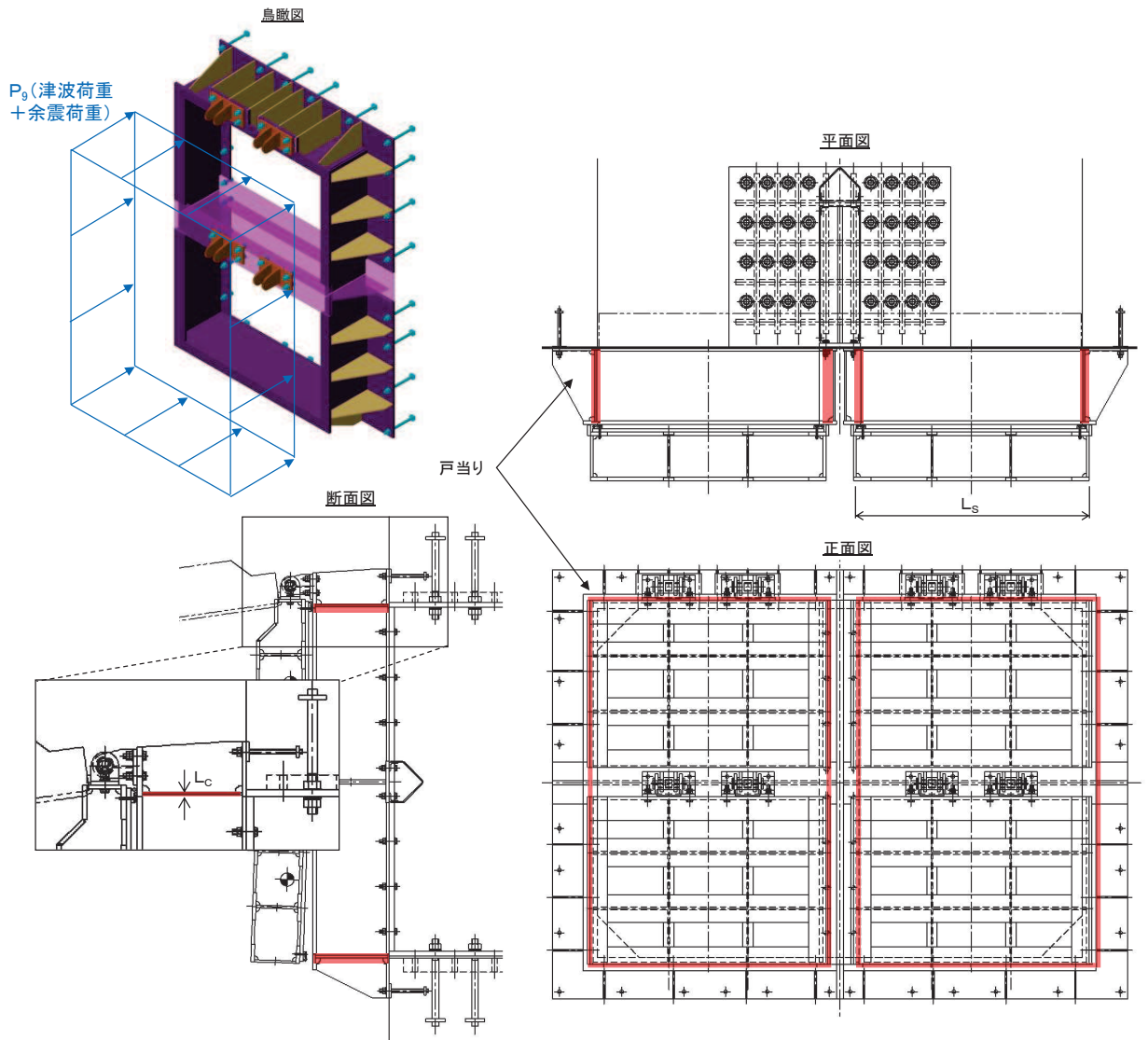


図 5.7-10 戸当りの構造図

また、戸当りの応力算定式は以下のとおりである。

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

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

a. 発生応力

支圧応力について、以下の式にて計算を行う。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-15 に示す。

表 5.7-15 戸当りの発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	支圧応力度	—	N/mm ²
P_g	戸当りへ作用する単位面積当たりの荷重 (津波荷重+余震荷重)	0.50	N/mm ²
L_s	扉体幅	1700	mm
L_c	戸当り支圧部の板厚	12	mm

$$\sigma_{bk} = \frac{0.50 \times 1700}{2 \times 12} = 36.00 \text{ N/mm}^2$$

(7) 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 5.7-11 に示す。

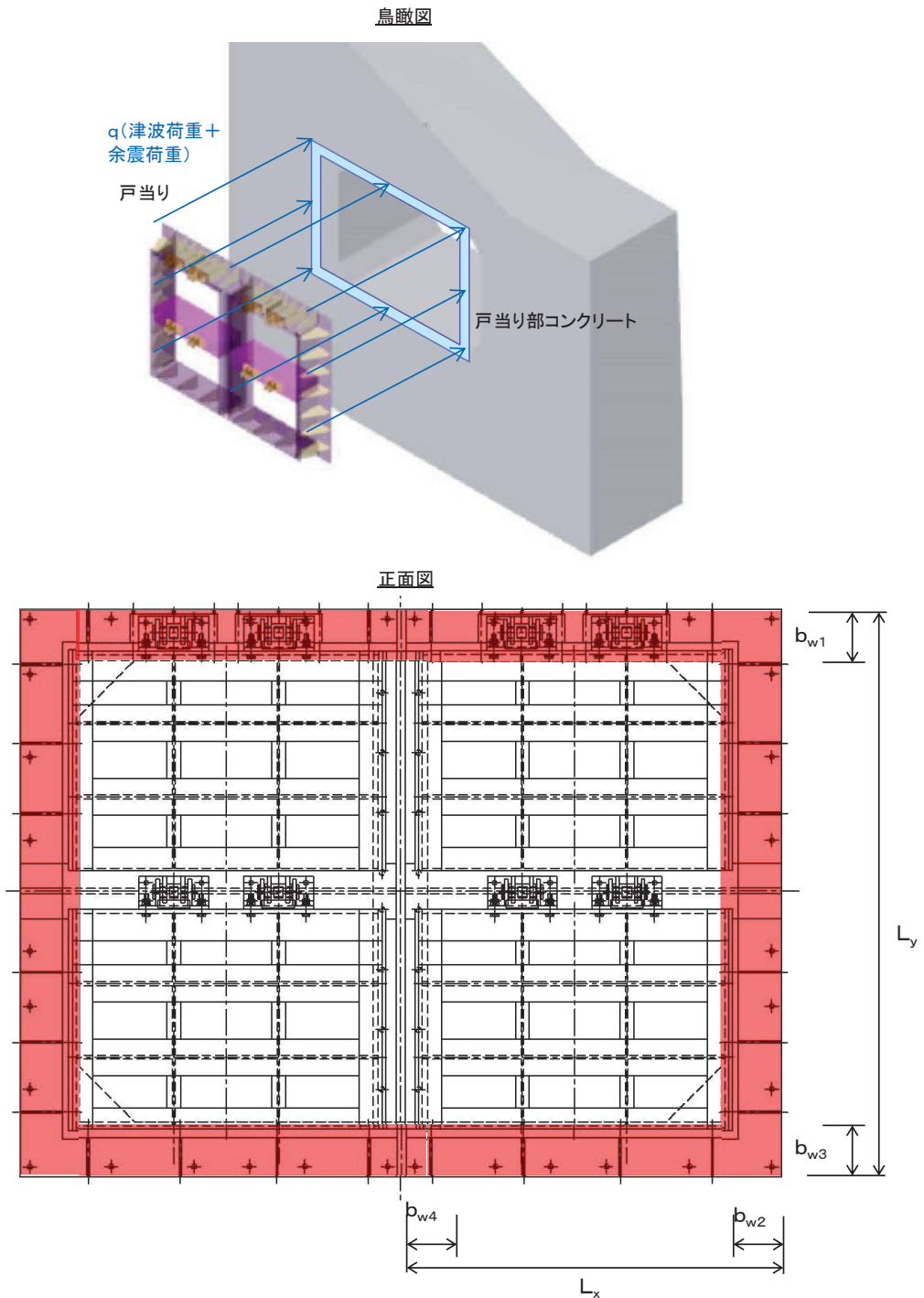


図 5.7-11 戸当り部コンクリートの構造図

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 : コンクリートに作用する単位面積当たりの荷重 (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)

コンクリートの支圧応力度

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

$$= \frac{0.50 \cdot (2075 \times 3075)}{2075 \times (275+300) + (3075-275-300)(325+125)} = 1.38 \text{ N/mm}^2$$

コンクリートのせん断応力度

$$\tau = \frac{\sigma_{bk} \cdot b_{w1}}{2 \cdot S} = \frac{1.38 \cdot 275}{2 \cdot 275} = 0.69 \text{ N/mm}^2$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-16 に示す。

表 5.7-16 コンクリートの支圧応力度算定に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	コンクリート支圧応力度	—	N/mm ²
τ	コンクリートせん断応力度	—	N/mm ²
q	コンクリートに作用する単位面積当たりの荷重（津波荷重+余震荷重）	0.50	N/mm ²
L_x	戸当り横幅	2075	mm
L_y	戸当り縦幅	3075	mm
b_{w1}	上部戸当り支持プレート幅	275	mm
b_{w2}	右部戸当り支持プレート幅	325	mm
b_{w3}	下部戸当り支持プレート幅	300	mm
b_{w4}	左部戸当り支持プレート幅	125	mm
S	戸当り幅	275	mm

(8) 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、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化する。なお、防護梁本体の腐食代を1mm考慮する。

照査は、津波時及び重畳時で行い、それぞれについて、曲げ応力度、せん断応力度の照査を行うとともに、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。

また、津波時において考慮する衝突荷重は、防護梁1本に対して集中荷重で考慮することとし、作用させるパターンは防護梁支間中央（曲げモーメント最大ケース）及び防護梁端部（せん断応力最大ケース）とする。

なお、鉛直方向の評価については、津波時では防護梁の自重のみが作用すること、重畳時では余震荷重が作用するが、添付書類「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」に示す地震時に考慮する地震荷重と比較して、重畳時に作用する余震荷重が小さいことから、鉛直方向の評価は添付書類「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」にて示した評価に包含される。

防護梁の構造及びモデル図を図5.7-12に示す。

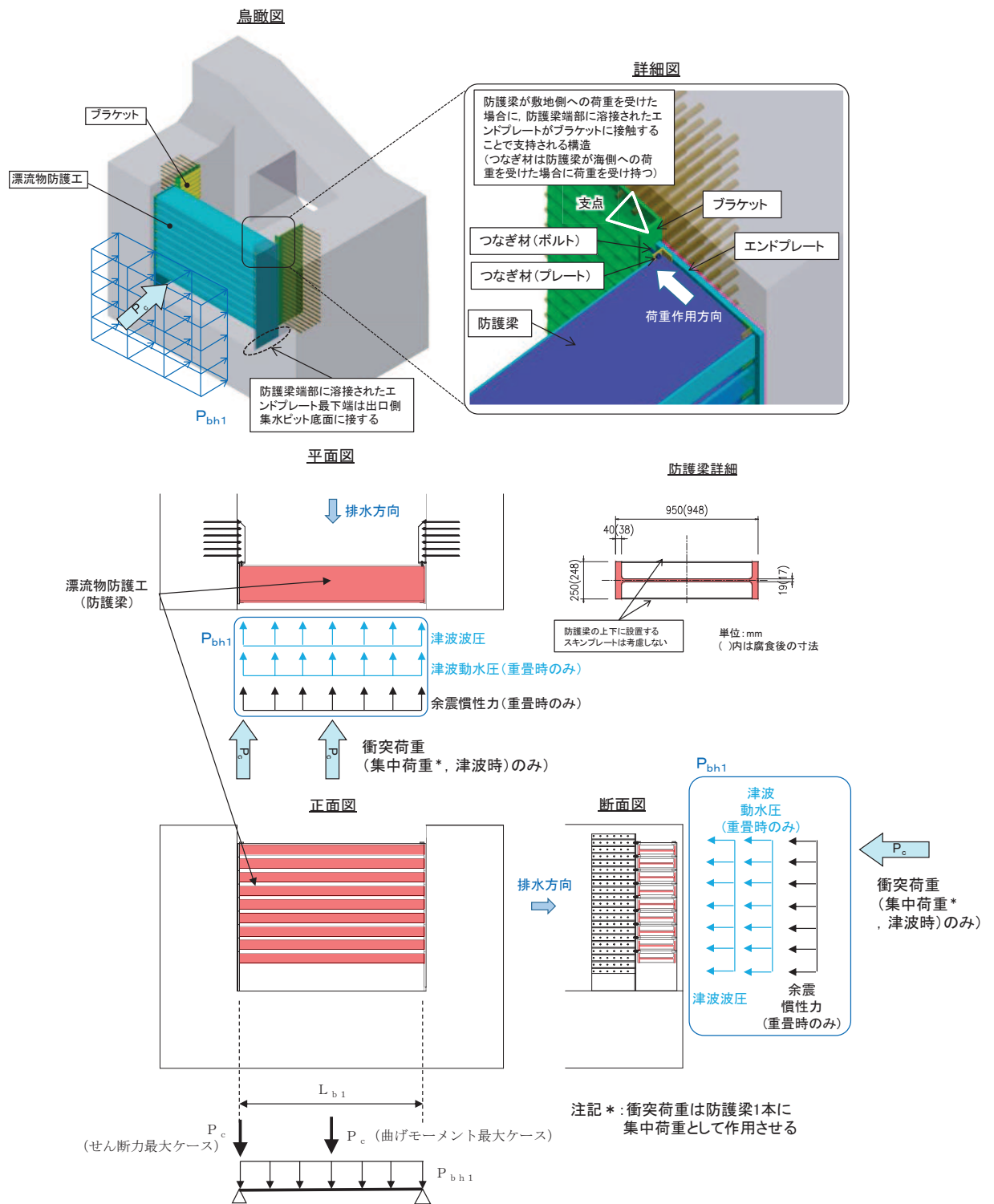


図 5.7-12 防護梁の構造及びモデル図

また、防護梁の応力算定式は以下のとおりである。

【水平方向】

$$M_{\max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} + \frac{P_c \cdot L_{b1}}{4}$$

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

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

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

(合成応力度)

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

ここで、

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)

P_c : 衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)

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 : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

a. 津波時

(a) 発生荷重

漂流物防護工（防護梁）に津波荷重及び漂流物衝突荷重が加わったものとして計算を行う。数値を表 5.7-17 に示す。

表 5.7-17 漂流物防護工（防護梁）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	20.58	N/mm
P_c	衝突荷重（津波時のみ考慮）	2000	kN
L_{b1}	漂流物防護工（防護梁）のスパン長	4820	mm

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（防護梁）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

【水平方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} + \frac{P_c \cdot L_{b1}}{4} = \frac{20.58 \times 4820^2}{8} + \frac{2000 \times 10^3 \times 4820}{4} = 2469765349 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2} + P_c = 20.58 \times 4820 / 2 + 2000 \times 10^3 = 2049597.8 \text{ N}$$

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【水平方向】

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

$$\tau = \frac{S_{max}}{Aw_{bh1}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-18 に示す。

表 5.7-18 漂流物防護工（防護梁）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	水平方向の最大曲げモーメント	2469765349	N・mm
S_{max}	水平方向の最大せん断力	2049597.8	N
Z_{bh1}	水平（強軸）方向の断面係数	10.22×10^6	mm ³
$A w_{bh1}$	水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	14.82×10^3	mm ²

以上により、

【水平方向】

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{bh1}} = \frac{2469765349}{10.22 \times 10^6} = 242 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A w_{bh1}} = \frac{2049597.8}{14.82 \times 10^3} = 139 \text{N/mm}^2$$

b. 重畳時

(a) 発生荷重

漂流物防護工(防護梁)に津波荷重及び余震荷重が加わったものとして計算を行う。
数値を表 5.7-19 に示す。

表 5.7-19 漂流物防護工（防護梁）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{bh1}	防護梁に作用する水平荷重	120.0	N/mm
L_{b1}	漂流物防護工（防護梁）のスパン長	4820	mm

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（防護梁）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

【水平方向】

$$M_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}^2}{8} = \frac{120.0 \times 4820^2}{8} = 348486000 \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{max} = \frac{P_{bh1} \cdot L_{b1}}{2} = \frac{120.0 \times 4820}{2} = 289200 \text{N}$$

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

【水平方向】

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{\text{bh1}}}$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_{\text{bh1}}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-20 に示す。

表 5.7-20 漂流物防護工（防護梁）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力		N/mm ²
M_{max}	水平方向の最大曲げモーメント	348486000	N・mm
S_{max}	水平方向の最大せん断力	289200	N
Z_{bh1}	水平（強軸）方向の断面係数	10.22×10^6	mm ³
$A w_{\text{bh1}}$	水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	14.82×10^3	mm ²

以上により、

【水平方向】

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{Z_{\text{bh1}}} = \frac{348486000}{10.22 \times 10^6} = 35 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{\text{max}}}{A w_{\text{bh1}}} = \frac{289200}{14.82 \times 10^3} = 20 \text{N/mm}^2$$

(9) 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通じ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。

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

なお、腐食代を 1mm 考慮する。

ブラケットの構造、モデル図を図 5.7-13 に示す。

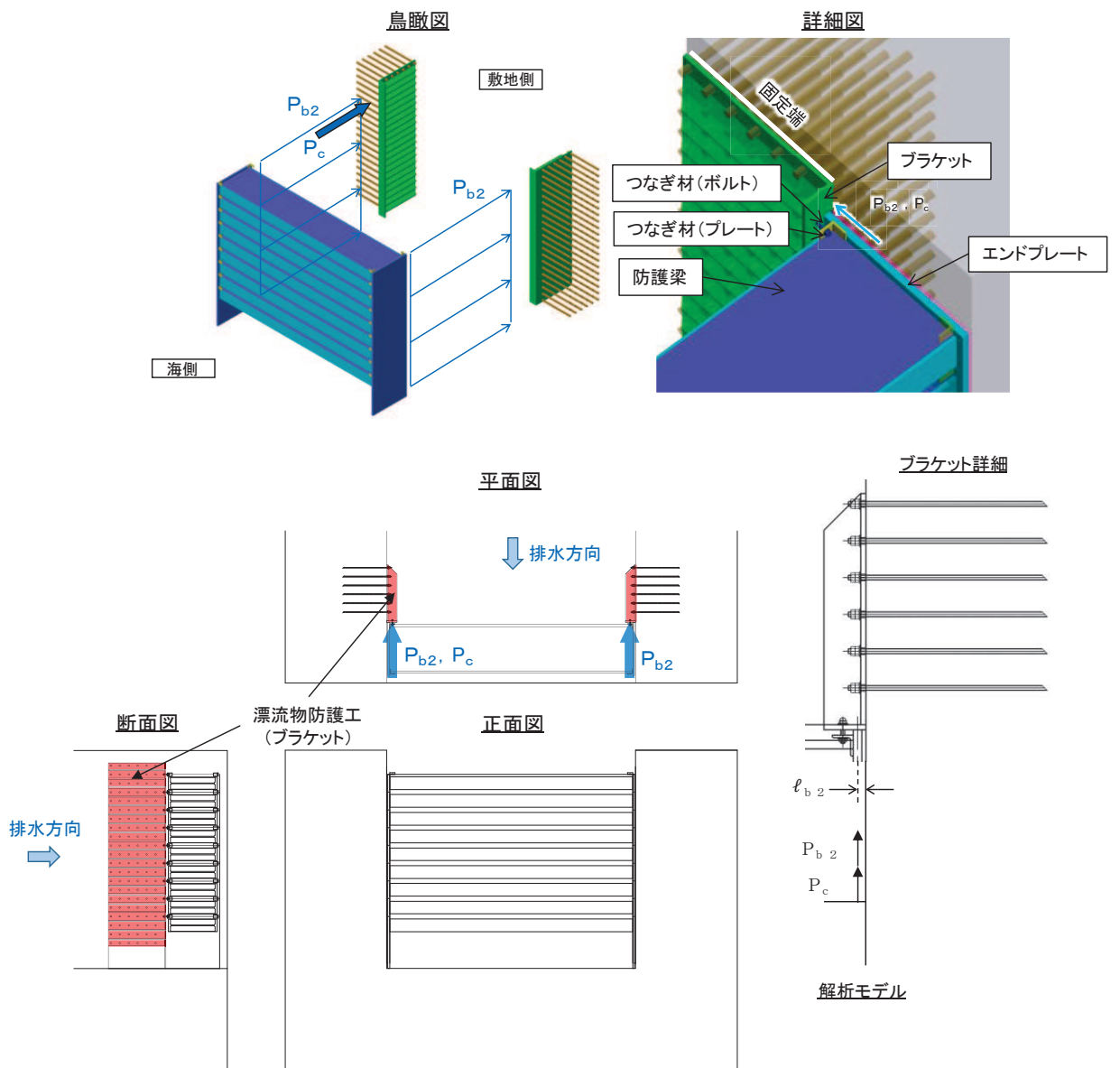


図 5.7-13 ブラケットの構造及びモデル図

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】

$$M_{\max} = (P_{b2} + P_c) \cdot \ell_{b2}$$

P_{b2} : ブラケットに作用する水平力 (N)

P_c : 衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)

$$S_{\max} = P_{b2} + P_c$$

ℓ_{b2} : 側壁からエンドプレート

中心までの長さ (mm)

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

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)

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

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)

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

a. 津波時

(a) 発生荷重

漂流物防護工（ブラケット）に作用する水平力を表 5.7-21 に示す。

表 5.7-21 漂流物防護工（ブラケット）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	50.4×10^3	N
P_c	衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)	2000×10^3	N

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（ブラケット）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\max} = (P_{b2} + P_c) \cdot \ell_{b2} = (50.4 \times 10^3 + 2000 \times 10^3) \times 40 = 82016000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\max} = P_{b2} + P_c = 2050.4 \times 10^3 \text{ N}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-22 に示す。

表 5.7-22 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M_{max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S_{max}	最大せん断力	—	N
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	50.4×10^3	N
P_c	衝突荷重 (N) (津波時のみ考慮)	2000×10^3	N
ℓ_{b2}	側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ	40	mm

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{max}}{A w_{b2}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-23 に示す。

表 5.7-23 漂流物防護工 (ブラケット) の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	ブラケット本体の最大曲げモーメント	82016000	N・mm
S_{max}	ブラケット本体の最大せん断力	2050.4×10^3	N
Z_{b2}	ブラケットの断面係数	14.67×10^6	mm ³
$A w_{b2}$	ブラケットのせん断抵抗断面積	50.6×10^3	mm ²

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b2}} = \frac{82016000}{14.67 \times 10^6} = 6 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A w_{b2}} = \frac{2050.4 \times 10^3}{50.6 \times 10^3} = 41 \text{N/mm}^2$$

b. 重畳時

(a) 発生荷重

漂流物防護工 (ブラケット) に作用する水平力を表 5.7-24 に示す。

表 5.7-24 漂流物防護工（ブラケット）に作用する荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	294.0×10^3	N

(b) 最大曲げモーメント・最大せん断力

漂流物防護工（ブラケット）発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\max} = P_{b2} \cdot \ell_{b2} = 294.0 \times 10^3 \times 40 = 11.76 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} = 11.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$S_{\max} = P_{b2} = 294.0 \times 10^3 \text{ N}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-25 に示す。

表 5.7-25 最大曲げモーメント及び最大せん断力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M_{\max}	最大曲げモーメント	—	N・mm
S_{\max}	最大せん断力	—	N
P_{b2}	ブラケットに作用する水平力	294.0×10^3	N
ℓ_{b2}	側壁からつなぎ材ボルト中心までの長さ	40	mm

(c) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

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

$$\tau = \frac{S_{\max}}{A w_{b2}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-26 に示す。

表 5.7-26 漂流物防護工（ブラケット）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
M_{max}	ブラケット本体の最大曲げモーメント	11800000	N・mm
S_{max}	ブラケット本体の最大せん断力	294.0×10^3	N
Z_{b2}	ブラケットの断面係数	14.67×10^6	mm ³
A_{wb2}	ブラケットのせん断抵抗断面積	50.6×10^3	mm ²

$$\sigma = \frac{M_{max}}{Z_{b2}} = \frac{11800000}{14.67 \times 10^6} = 1 \text{N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{S_{max}}{A_{wb2}} = \frac{294.0 \times 10^3}{50.6 \times 10^3} = 6 \text{N/mm}^2$$

(10) 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5.7-14に示す様に、津波波圧、津波動水圧及び余震慣性力に対してはエンドプレート幅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。ただし、衝突荷重に対しては、図5.5-10に示すように防護梁1本だけに作用するため、エンドプレート幅350mmから45°の荷重伝達を考慮して6本5列、計30本で抵抗するものとする。

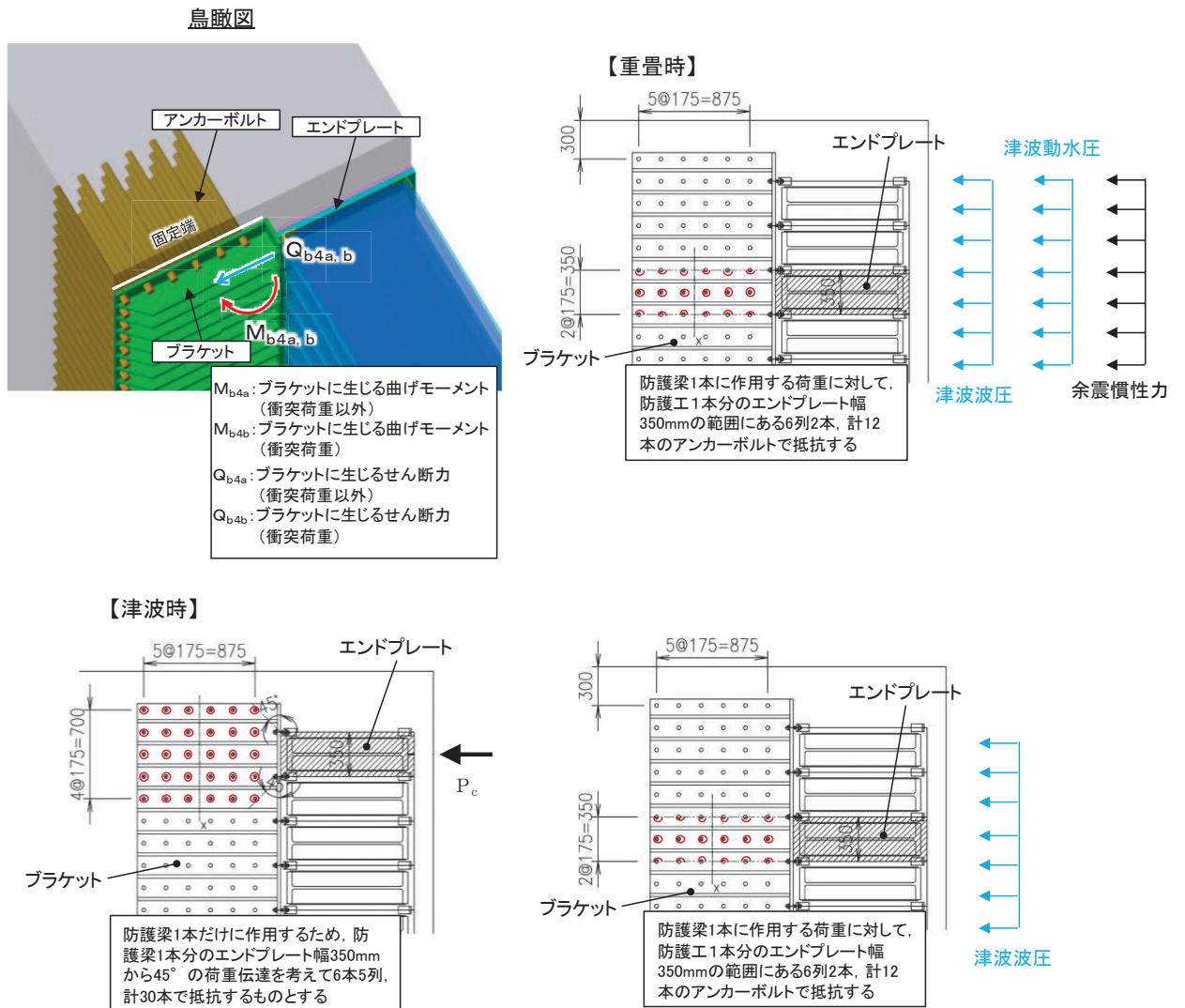


図 5.5-14 アンカーボルトの構造図

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。

$$P_{b4} = P_{b4a} + P_{b4b} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}} + \frac{(M_{b4b}/5)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} + q_{b4b} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n} + \frac{(Q_{b4b}/5)}{n}$$

$$\left(\frac{P_{b4}}{P_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{b4}}{q_a}\right)^2 \leq 1.2$$

ここで、

P_{b4} : アンカーボルト1本の引張力 (N)

P_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト1本の引張力 (N)

P_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト1本の引張力 (N) (津波時のみ考慮)

M_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント (N・mm)

M_{b4b} : 衝突荷重により生じる曲げモーメント (N・mm) (津波時のみ考慮)

q_{b4} : アンカーボルト1本のせん断力 (N)

q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト1本のせん断力 (N)

q_{b4b} : 衝突荷重によるアンカーボルト1本のせん断力 (N) (津波時のみ考慮)

Q_{b4a} : 衝突荷重以外の荷重により生じるせん断力 (N)

Q_{b4b} : 衝突荷重により生じるせん断力 (N) (津波時のみ考慮)

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)

a. 津波時

(a) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について、以下の式にて計算を行う。

$$P_{b4} = P_{b4a} + P_{b4b} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}} + \frac{(M_{b4b}/5)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} + q_{b4b} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n} + \frac{(Q_{b4b}/5)}{n}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-27 に示す。

表 5.7-27 漂流物防護工（アンカーボルト）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b4}	アンカーボルト 1 本の引張力	—	kN
P_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	—	kN
P_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力 (N) (津波時のみ考慮)	—	kN
q_{b4}	アンカーボルト 1 本のせん断力	—	kN
q_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	—	kN
q_{b4b}	衝突荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力 (N) (津波時のみ考慮)	—	kN
M_{b4a}	衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント	2.016×10^6	N・mm
M_{b4b}	衝突荷重により生じる曲げモーメント (津波時のみ考慮)	80×10^6	N・mm
Q_{b4a}	ブラケットに生じるせん断力	50.4×10^3	N
Q_{b4b}	衝突荷重により生じるせん断力 (N) (津波時のみ考慮)	2000×10^3	N
Z_{b4}	アンカーボルト群 1 列の断面係数	1225	mm
n	アンカーボルト群 1 列の本数	6	本

$$P_{b4} = P_{b4a} + P_{b4b} = \frac{(2.016 \times 10^6 / 2)}{1225} + \frac{(80 \times 10^6 / 5)}{1225} = 14 \text{ kN}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} + q_{b4b} = \frac{(50.4 \times 10^3 / 2)}{6} + \frac{(2000 \times 10^3 / 5)}{6} = 71 \text{ kN}$$

b. 重畳時

(a) 発生応力

曲げ応力及びせん断応力について，以下の式にて計算を行う。

$$P_{b4} = P_{b4a} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n}$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-28 に示す。

表 5.7-28 漂流物防護工（アンカーボルト）の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{b4}	アンカーボルト 1 本の引張力	—	kN
P_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本の引張力	—	kN
q_{b4}	アンカーボルト 1 本のせん断力	—	kN
q_{b4a}	衝突荷重以外の荷重によるアンカーボルト 1 本のせん断力	—	kN
M_{b4a}	衝突荷重以外の荷重により生じる曲げモーメント	11.8×10^6	N・mm
Q_{b4a}	ブラケットに生じるせん断力	294.0×10^3	N
Z_{b4}	アンカーボルト群 1 列の断面係数	1225	mm
n	アンカーボルト群 1 列の本数	6	本

$$P_{b4} = P_{b4a} = \frac{(M_{b4a}/2)}{Z_{b4}} = \frac{(11.8 \times 10^6 / 2)}{1225} = 5 \text{ kN}$$

$$q_{b4} = q_{b4a} = \frac{(Q_{b4a}/2)}{n} = \frac{(294.0 \times 10^3 / 2)}{6} = 25 \text{ kN}$$

6. 評価結果

津波時及び重畳時における評価部位の応力評価結果を表 6-1 及び表 6-2 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 強度評価結果

(屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち扉体及び固定部, 重畳時)

評価部位		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	曲げ応力度	56.25	154	0.37			
	主桁	1桁	曲げ応力度	44.44	154	0.29		
				2,3桁	40.85	154	0.27	
				4桁	31.75	154	0.21	
		2,3桁		せん断応力度	25.00	88	0.29	
					28.34	88	0.33	
					18.89	88	0.22	
		4桁			合成応力度*1	62.05	154	0.41
						63.87	154	0.42
						45.60	154	0.30
	補助縦桁	曲げ応力度	8.17			153	0.06	
		せん断応力度	9.26			88	0.11	
		合成応力度*1	18.00			154	0.12	
	中央支柱	曲げ応力度	30.18	143		0.22		
		せん断応力度	32.80	88		0.38		
		合成応力度*1	64.34	154		0.42		
	中央支柱 (アンカーボルト)	引張力*2	4.41×10^4	2.92×10^5	0.16			
		せん断力*2	3.52×10^4	2.04×10^5	0.18			
中央横桁	引張応力度	42.64	153	0.28				
	せん断応力度	34.80	88	0.40				
	合成応力度*1	73.84	154	0.48				
固定部	戸当り	支圧応力度	36.00	231	0.15			
	戸当り部コンクリート	支圧応力度	1.38	13.5	0.10			
		せん断応力度	0.69	1.5	0.46			

注記*1：同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断力度から算出する。

*2：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 6-2(1) 強度評価結果

(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, 津波時)

評価部位		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	曲げ応力度	242	382	0.64
		せん断応力度	139	217	0.65
		合成応力度*	0.81	1.2	0.68
	ブラケット	曲げ応力度	6	210	0.03
		せん断応力度	41	120	0.35
		合成応力度*	0.12	1.2	0.1
	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
		引張	14	105	0.14
		せん断	71	85	0.84
		合成*	0.71	1.2	0.60

注記* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

表 6-2(2) 強度評価結果

(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, 重畳時)

評価部位		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	曲げ応力度	35	382	0.10
		せん断応力度	20	217	0.10
		合成応力度*	0.02	1.2	0.02
	ブラケット	曲げ応力度	1	210	0.01
		せん断応力度	6	120	0.05
		合成応力度*	0.01	1.2	0.01
	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
		引張	5	105	0.05
		せん断	25	85	0.30
		合成*	0.09	1.2	0.08

注記* : 同じ荷重条件の曲げ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を行う。

出口側集水ピットの概念図を図7.1-1に、構造図を図7.1-2に、概略配筋図を図7.1-3に示す。

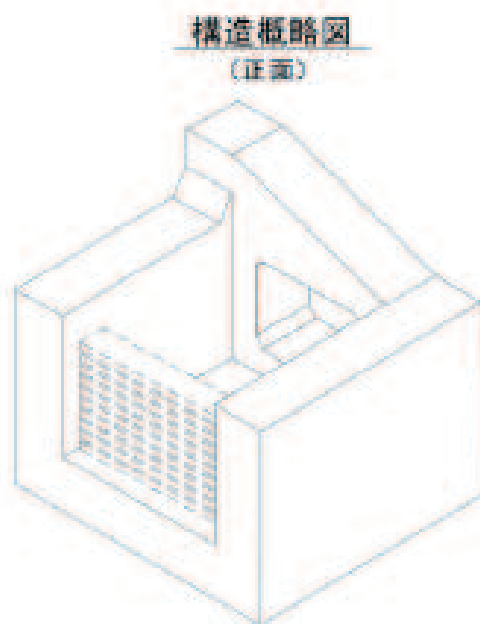
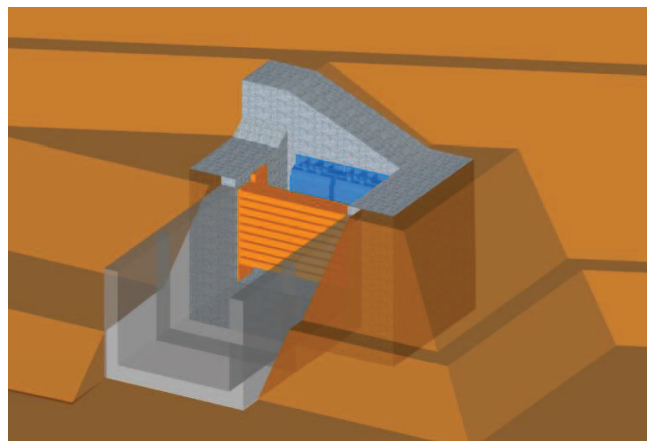


図7.1-1 出口側集水ピットの概念図

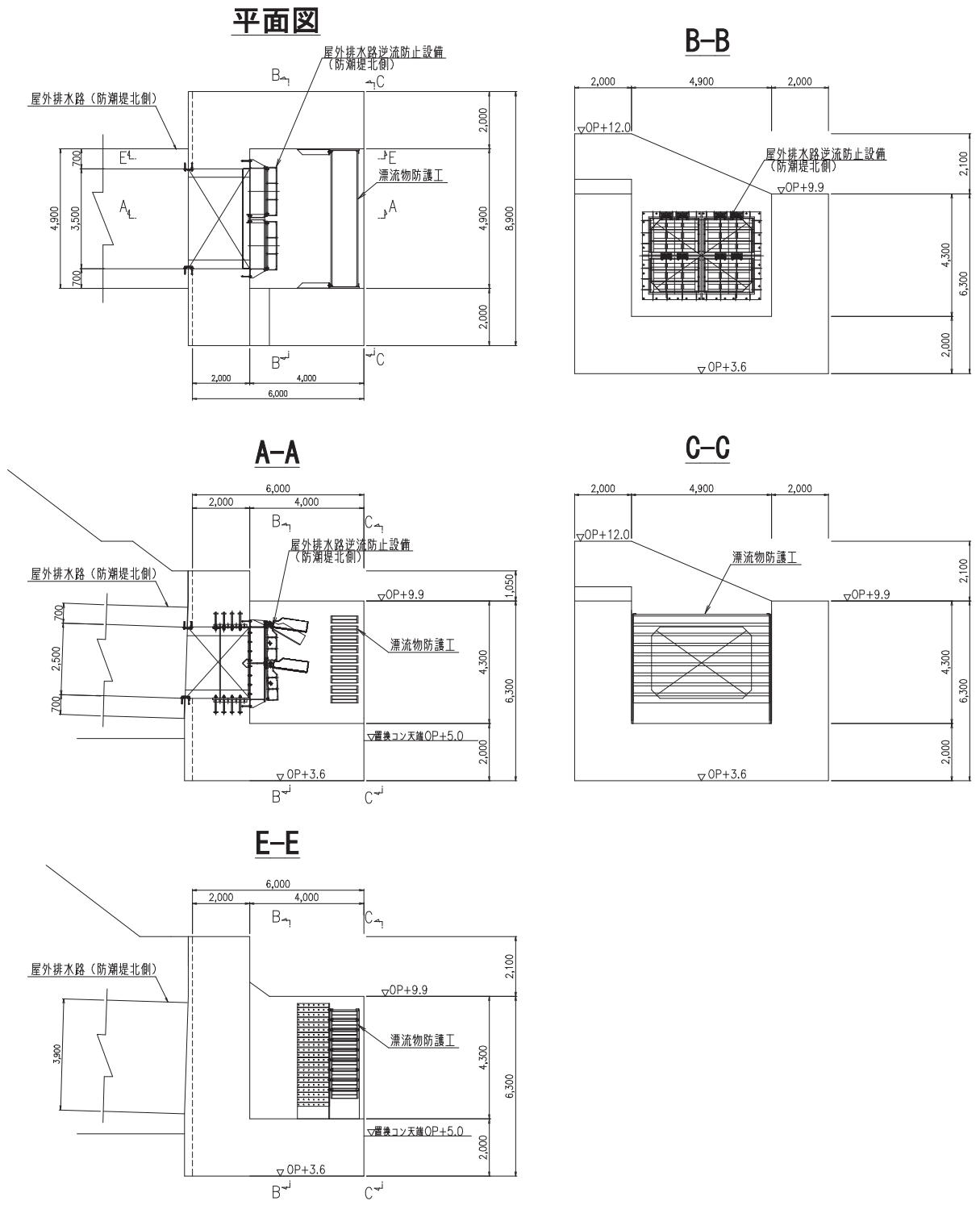
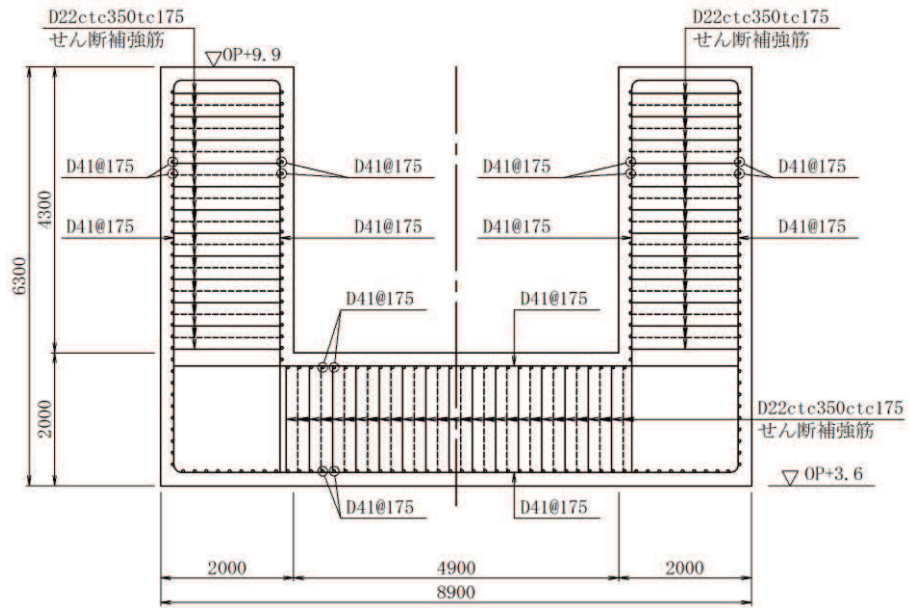


図 7.1-2 出口側集水ピット構造図

B-B 断面



E-E 断面

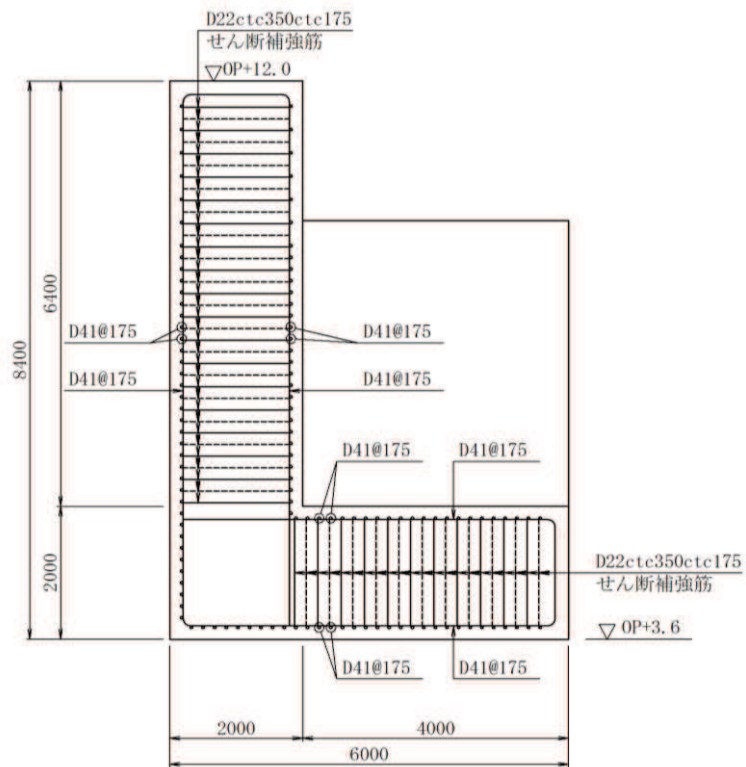


図 7.1-3 出口側集水ピット概要配筋図

7.2 評価方針

出口側集水ピットの強度評価は、「8. 強度評価方法」に示す方法により、「9. 評価条件」に示す評価条件を用いて、表 7.2-1 の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有すること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。

出口側集水ピットの強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「津波時」及び「重畳時」を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

構造部材の健全性評価については、「8.5.1 二次元動的解析」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。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S d - D 2 を一次元波動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。

出口側集水ピットの強度評価フローを図 7.2-1 に示す。

表 7.2-1 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

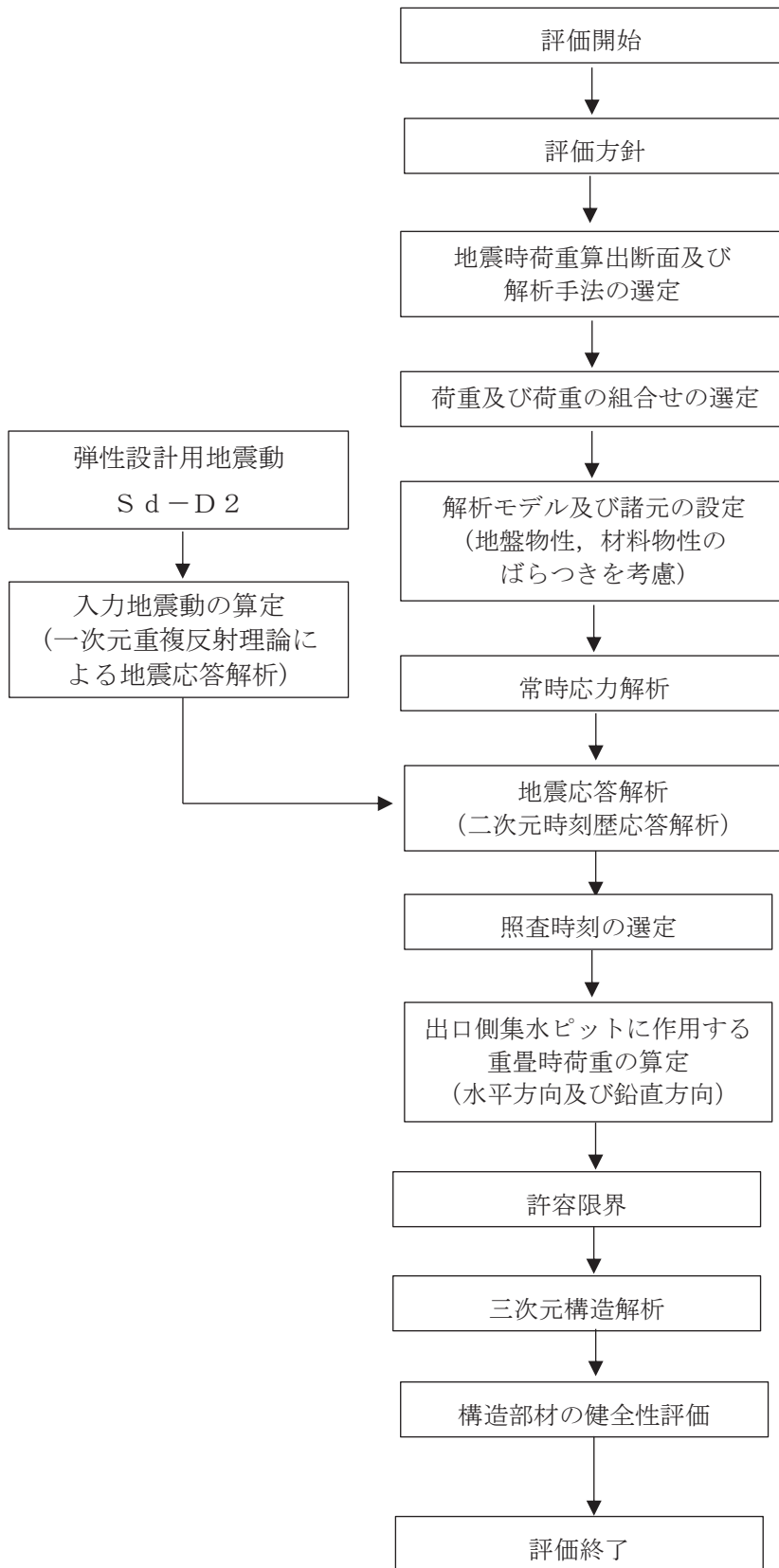


図 7.2-1 出口側集水ピットの強度評価フロー

8. 強度評価方法

8.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 8.1-1 に示す。

表 8.1-1 強度計算書に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P_t	kN/m^2	遡上津波荷重
K_{Sd}	kN/m^2	余震荷重
σ_{ca}	N/mm^2	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
τ_{a1}	N/mm^2	コンクリートの短期許容せん断応力度
σ_{sa}	N/mm^2	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
M_x, M_y	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	曲げモーメント
Q_x, Q_y	kN/m	面外せん断力
N_x, N_y	kN/m	軸方向力
N_{xy}	kN/m	面内せん断力
R_d	N/mm^2	最大接地圧
R_u	N/mm^2	極限支持力

8.2 評価対象断面

出口側集水ピットの重畳時荷重算出断面位置を図 8.2-1 に示す。重畳時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、ピット及び屋外排水路の縦断方向である 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 8.2-2 に示す。

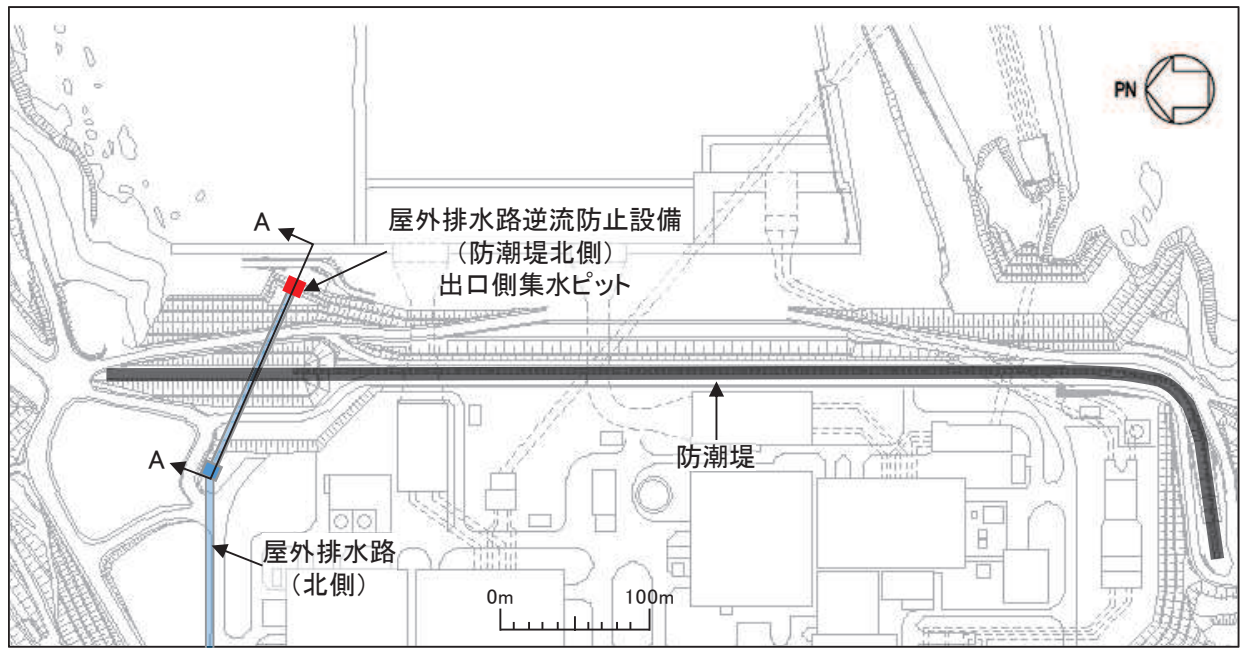


図 8.2-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

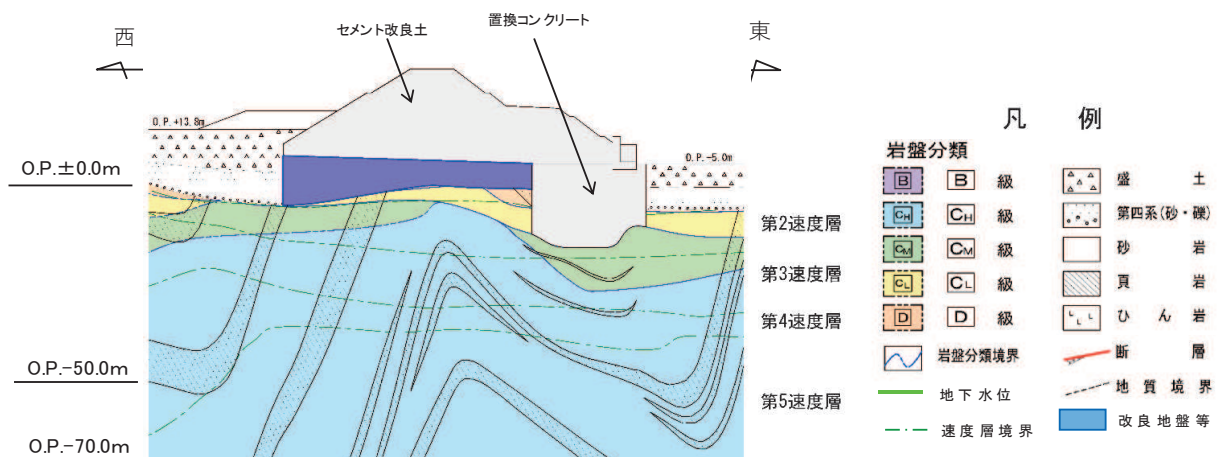


図 8.2-2 出口側集水ピットの評価対象断面図

8.3 荷重及び荷重の組合せ

8.3.1 荷重

出口側集水ピットの強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び漂流物防護工の荷重を考慮する。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。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の扉体及び戸当りの荷重は、解析モデルの各質点に考慮することとし、各支持点の荷重を分担距離に応じて設定する。

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重図及び考慮する荷重を図 8.3-1 及び表 8.3-1 に、積載荷重の荷重図を図 8.3-2 に示す。

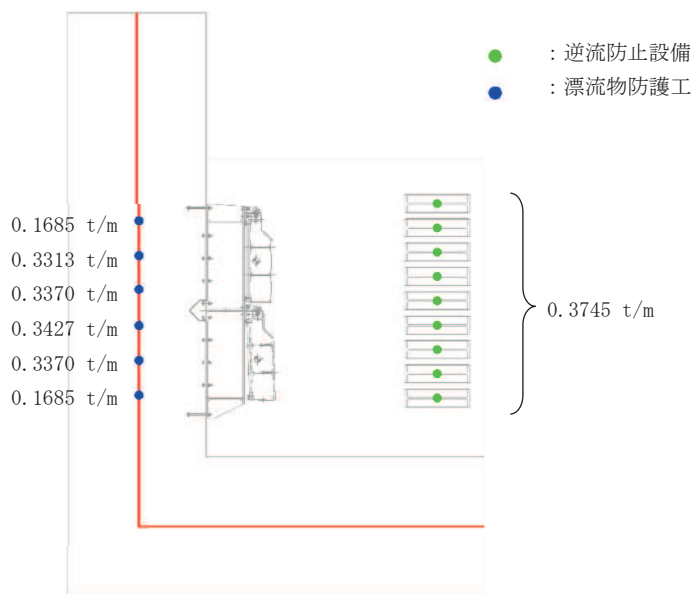


図 8.3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重図

表 8.3-1 荷重を考慮する屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

考慮する荷重	重量 (t/m)
①逆流防止設備	1.685
②漂流物防護工	3.371

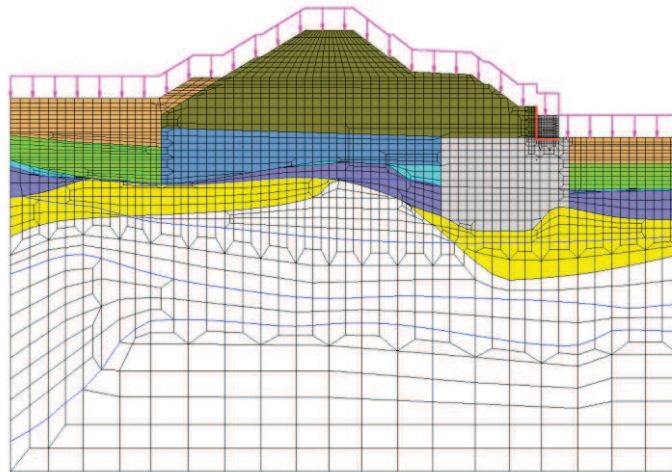


図 8.3-2 積載荷重の荷重図

(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)

海側は津波により水位が上昇しているため、海側から山側への風荷重は考慮しない。また、逆方向である山側から海側に風荷重が作用する場合を想定するが、この方向は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、風荷重は考慮しない。

(5) 遡上津波荷重 (P_t)

出口側集水ピットに作用する遡上津波荷重を考慮する。

遡上津波荷重については、防潮堤前面における入力津波水位標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

なお、衝突荷重と組合せる場合には、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）天端の津波水位標高と屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

遡上津波波圧を表 8.3-2 に示す。

表 8.3-2 遡上津波荷重（出口側集水ピット）

	津波水位 (O.P. (m))	防潮堤前面 の地盤高 (O.P. (m))	設計用 浸水深 (m)	出口側集 水ピット 天端標高 (O.P. (m))	出口側集 水ピット 下端標高 (O.P. (m))	出口側集 水ピット 天端波圧 (kN/m ²)	出口側集 水ピット 下端波圧 (kN/m ²)
津波時	9.9	0.5	4.7	12.000	5.000	26.26	96.96
重畳時	25.0	0.5	12.25	12.000	5.000	255.0	325.7

(6) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) *」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。衝突荷重の作用位置は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の最上部とする。

衝突荷重を表 8.3-3 に示す。

注記 * : FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

表 8.3-3 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(7) 余震荷重 (K_{Sd})

余震荷重として、弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

8.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8.3-4, 荷重の種別及び算定方法を表 8.3-5 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分する。

表 8.3-4 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t + P_c$
重畳時	$G + P + P_t + K_{Sd}$

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重（積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m²）
- P_t : 遡上津波荷重
- P_c : 衝突荷重
- K_{Sd} : 余震荷重

表 8.3-5 (1) 荷重の種類及び算定方法 (津波時)

種別		荷重		算出方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体重量	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の荷重を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○	積雪荷重を含めて 4.9kN/m ² を考慮する。
	静止土圧		○	常時応力解析により設定する。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○	積雪荷重 (0.301kN/m ²) を考慮する。
風荷重		—	風荷重は考慮しない。	
偶発荷重	津波波圧		○	津波による波圧を考慮する。
	衝突荷重		○	2.15t の車両の漂流物衝突を考慮する。。
	余震荷重		—	余震荷重は考慮しない。
	動水圧		—	動水圧は考慮しない。

表 8.3-5 (2) 荷重の種類及び算定方法 (重畳時)

種別		荷重		算出方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体重量	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管荷重	○	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の荷重を考慮する。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	○	積雪荷重を含めて 4.9kN/m ² を考慮する。
	静止土圧		○	常時応力解析により設定する。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○	積雪荷重 (0.301kN/m ²) を考慮する。
風荷重		—	風荷重は考慮しない。	
偶発荷重	津波波圧		○	津波による波圧を考慮する。
	衝突荷重		—	漂流物の衝突は考慮しない。
	余震荷重		○	弾性設計用地震動 S d - D 2 による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	動水圧		○	動水圧を考慮する。

8.4 許容限界

8.4.1 構造部材の健全に対する許容限界

(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 8.4-1 及び表 8.4-2 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の確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 8.4-1 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	16.5
	許容せん断応力度 τ_{al}	0.5	0.75

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

表 8.4-2 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	294

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）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 8.4-1 及び表 8.4-2 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。

8.5 評価方法

8.5.1 津波時

(1) 二次元静的解析

a. 荷重算出断面

出口側集水ピットの津波時荷重算出断面位置を図 8.2-1 に示す。津波時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺状況から、A-A断面とする。

断面図を図 8.2-2 に示す。

b. 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて二次元動的有限要素法解析により算定する。

二次元動的有限要素法解析については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、二次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」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。

(a) 解析手法

出口側集水ピットの津波時の解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる連成系の解析を用いる。

解析手法の選定フローを図 8.5-1 に示す。

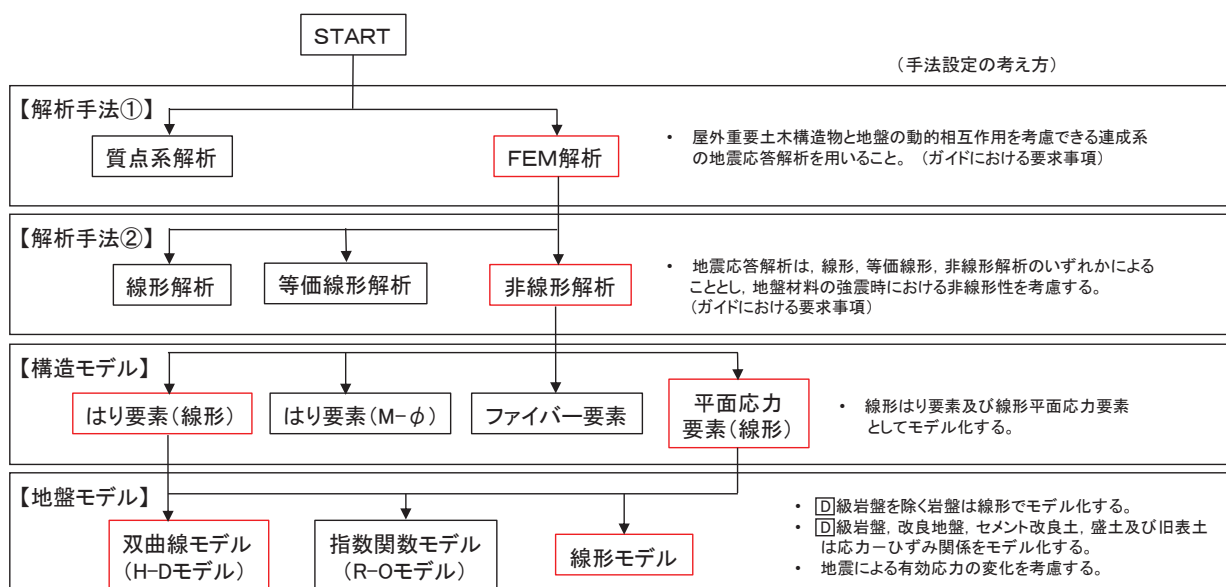


図 8.5-1 解析手法のフロー（出口側集水ピット）

(b) 構造部材

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。

(c) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8.5-2 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が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に出口側集水ピットの挙動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 8.5-1 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。

表 8.5-1 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_L 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

(d) 解析ケースの選定

津波時においては、表 8.5-1 に示すケース①～③を実施する。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

イ. 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) を参考に、図 8.5-3 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、対象断面によって、地層形状に合わせてモデル化領域を調整する。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元地震応答解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 8.5-4 に示す。

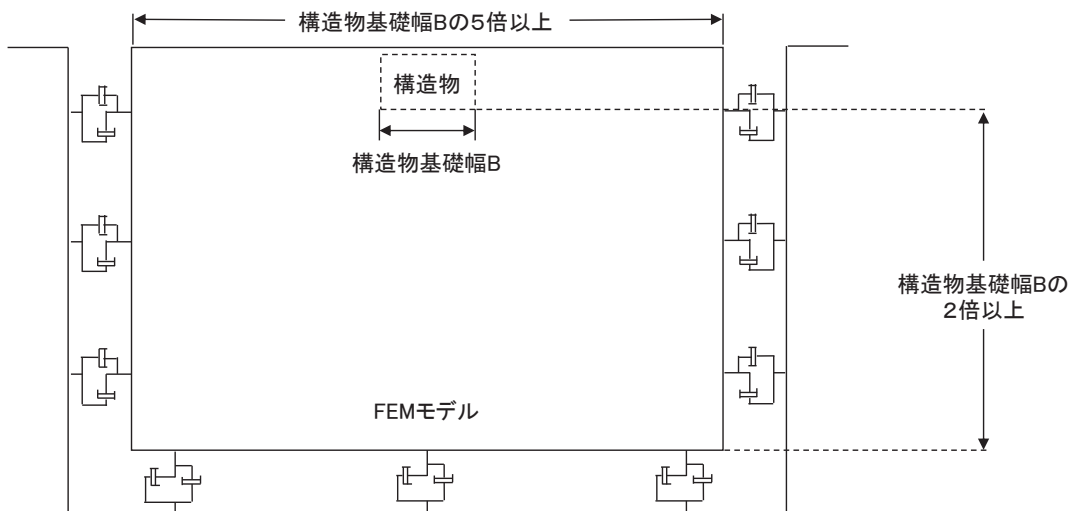


図 8.5-3 モデル化範囲の考え方

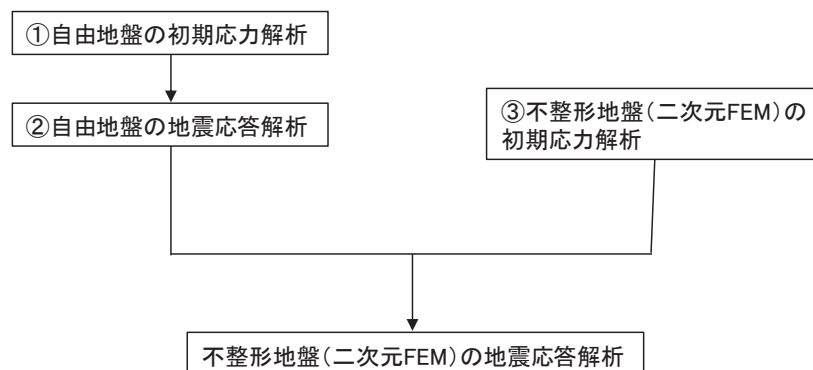


図 8.5-4 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

ロ. 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。

(イ) 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 8.5-6 に示す。

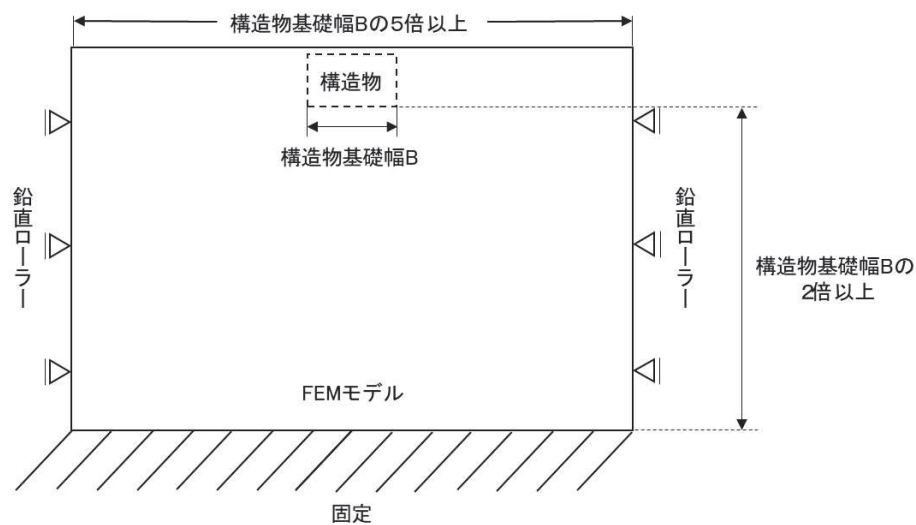


図 8.5-6 初期応力解析における境界条件の概念図

(ロ) 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

ハ. 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。構造部材のモデル化を図 8.5-7 に示す。

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。

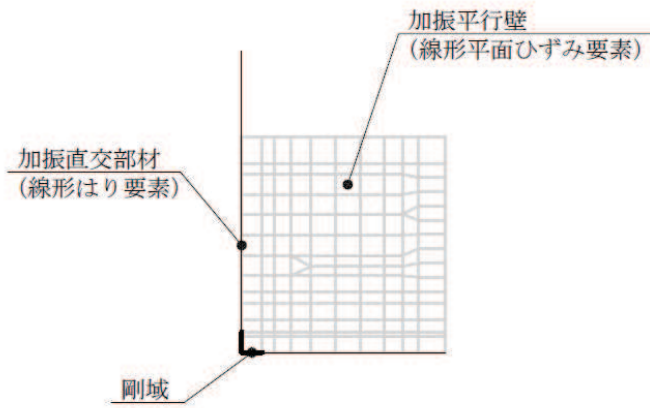


図 8.5-7 構造部材のモデル化

二. 地盤のモデル化

D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**D**級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・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。

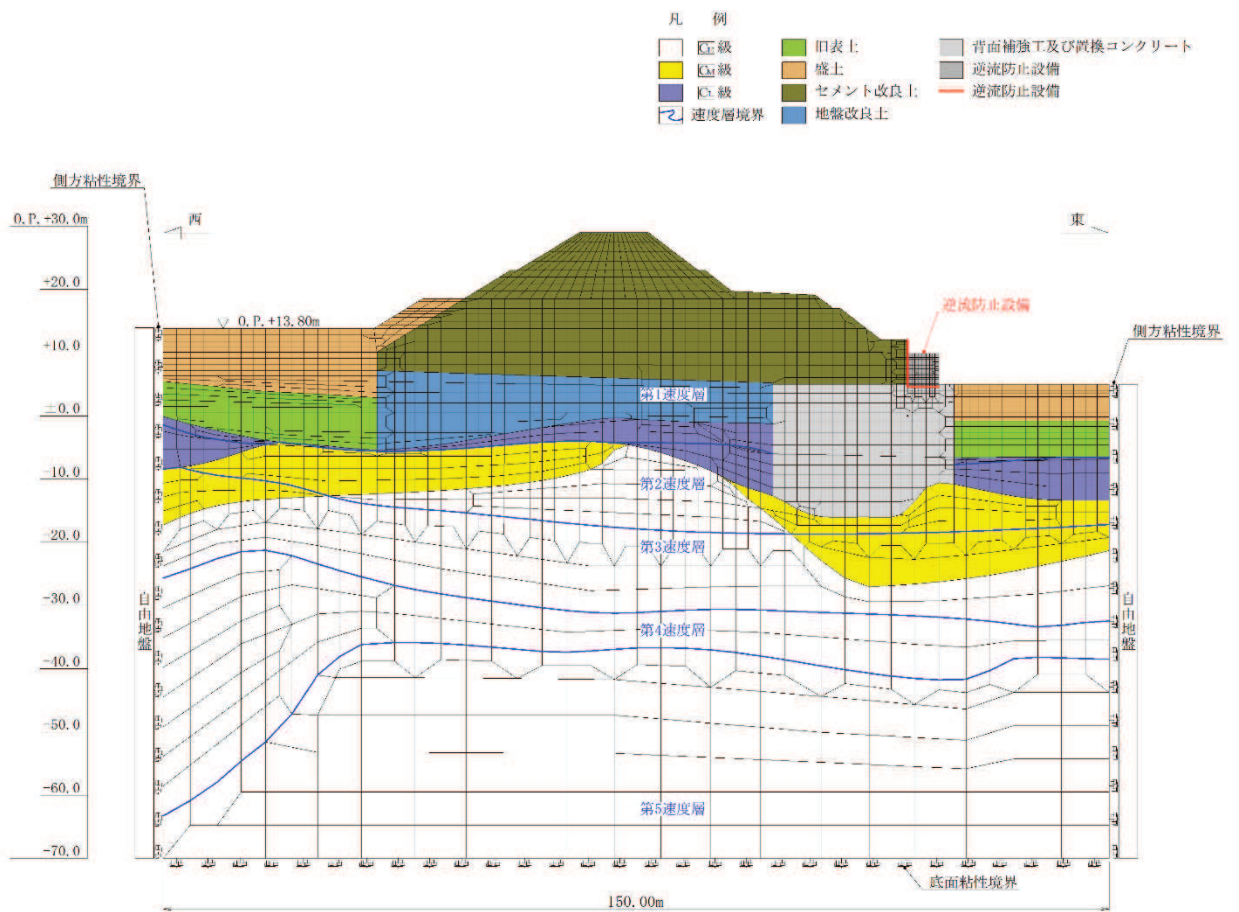


図 8.5-8 出口側集水ピットの解析モデル (A-A断面, 津波時)

ホ. ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。具体的には、セメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。

一方、コンクリートと岩盤の境界や改良地盤と岩盤の境界については、岩盤の引張強度を0として設定していることから、これらの境界にはジョイント要素を設定する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 8.5-9 にジョイント要素の力学特性、図 8.5-10 にジョイント要素の配置図を示す。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 8.5-2 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 8.5-3 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 8.5-2 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (狐崎部層)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.49	47.0
C _H 級*	1.72	43.0

注記* : 砂岩

表 8.5-2 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (共通)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
置換コンクリート	5.97	40

表 8.5-3 要素間の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ (度)
構造物-置換コンクリート	置換コンクリートの c	置換コンクリートの ϕ
構造物-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009）に従い、表 8.5-4 のとおり設定する。

表 8.5-4 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

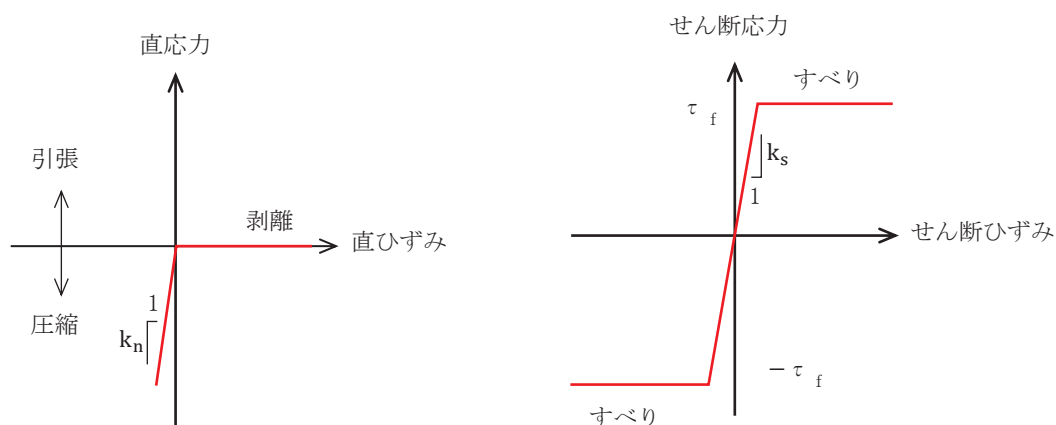


図 8.5-9 ジョイント要素の力学特性

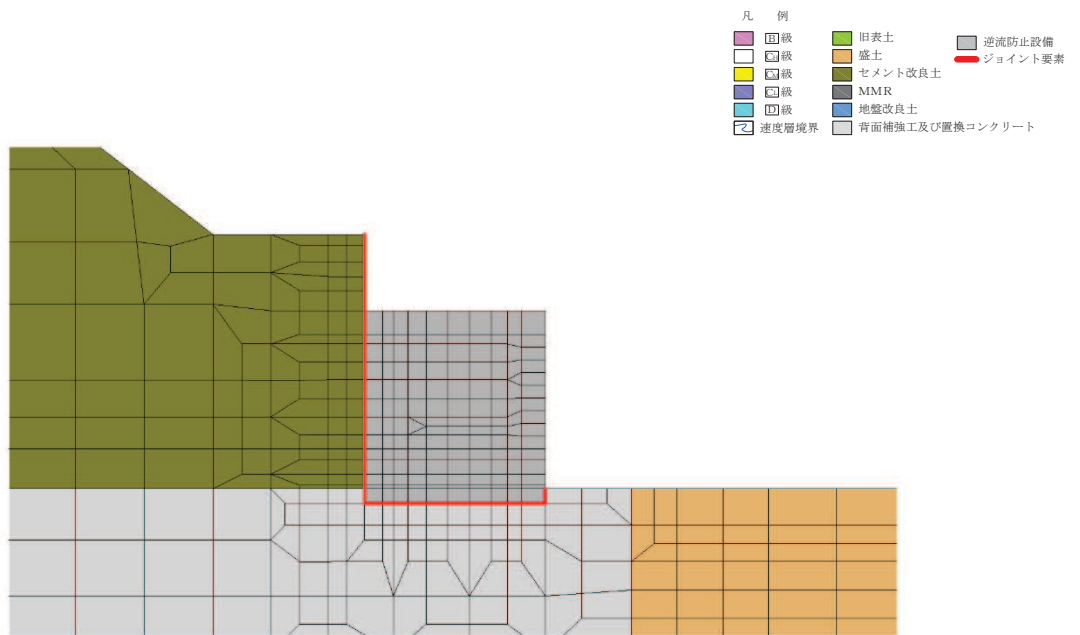


図 8.5-10 ジョイント要素の配置

(b) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8.5-5 に、材料の物性値を表 8.5-6 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 8.5-5 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 8.5-6 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

(c) 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。地盤の物性値を表 8.5-7 に示す。

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。

表 8.5-7 (1) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級	物理特性 単位体積重量 γ (kN/m ³)	強度特性				変形特性			
		静的・動的特性		静的特性		静的特性		動的特性	
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E_s (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
B級	26.4	1.29	54.0	$1.12\sigma^{0.74}$	4,100	0.21	表 8.5-7(2) 参照	0.03	
C _H 級	26.2	1.29	54.0	$1.12\sigma^{0.74}$	1,900	0.19		0.03	
C _M 級	25.5	0.78	50.0	$1.09\sigma^{0.72}$	1,200	0.24		0.03	
C _L 級	23.1	0.46	44.0	$0.73\sigma^{0.76}$	250	0.26		0.03	
D級	20.2	0.10	24.0	$0.41\sigma^{0.49}$	78	0.38		$h = 0.085\gamma / (0.00026 + \gamma) + 0.028$	

表 8.5-7 (2) 地盤の解析用物性値 (牧の浜部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
		第1速度層	0.2×10^3	0.48
C _M 級	砂岩	第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
		第4速度層	11.5×10^3	0.34
		第5速度層	16.8×10^3	0.33
C _L 級	砂岩	第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.2×10^3	0.45
		第3速度層	4.7×10^3	0.41
D級	砂岩	第1速度層	表 8.5-7(1) 参照	0.48
		第2速度層		0.45

表 8.5-7 (3) 地盤の解析用物性値 (盛土他)

岩種・岩級	物理特性			強度特性					変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	静的・動的特性		せん断弾性係数 E_s (N/mm ²)	静的特性		動的特性	
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)			残留強度 τ (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s		静弾性係数 E_s (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	減衰定数 h
盛土	20.6	0.06	30.0	—	—	0.06 + $\sigma \tan 30.0^\circ$	198 $\sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma / 0.00036)^{*1}$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$	
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	—	0.08 + $\sigma \tan 26.2^\circ$	302 $\sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma / 0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$	
断層 及びシーム ^{*2}	18.6	0.067	22.2	—	—	0.067 + $\sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma / 0.0012)^{*1}$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$	
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	0.21 + $\sigma \tan 40.9^\circ$	690	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma / 0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$	
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	0.51 + $\sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 =$ $1/(1 + \gamma / 0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$	

*1: 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s / 2 (1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \quad \gamma_m = \tau / G_0$$

*2: 断層及びびシームの存在物は、「粘土状」, 「砂状」, 「鱗片上」等の性状が確認されているが, そのうち最も強度の小さい粘土状物質にて試験を行い解析用物性値を設定している

表 8.5-7 (4) 地盤の解析用物性値 (有効応力解析, 液状化検討対象層)

		旧表土	盛土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	
	間隙率 n	0.437	0.363	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4	
	基準平均 有効拘束圧 σ_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	0.40	0.40	
	減衰定数 の上限値 h_{max}	0.220	0.183	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *	
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005
		w_1	1.0	14.0
		p_1	1.4	1.0
		p_2	1.5	0.6
		c_1	2.0	2.8

注記 * : 括弧内の数値は, 地下水位以浅の値を表す。

表 8.5-7 (5) 地盤の解析用物性値 (有効応力解析, 非液状化検討対象層)

		D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.06 (1.95)*	2.10 (2.00)*	2.20	
	間隙率 n	0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{max} (kN/m ²)	2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)	1.67×10^6	
	基準平均 有効拘束圧 σ'_{ma} (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第1 速度層	0.48	0.35	0.36
		第2 速度層	0.44(狐崎部層) 0.45(牧の浜部層)		
減衰定数 の上限値 h_{max}		0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)	24.0	22.1	44.3	

注記 * : 括弧内の数値は, 地下水位以浅の値を表す。

(d) 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 8.2-2 に示す。また, 設計用地下水位の一覧を表 8.5-8 に示す。

表 8.5-8 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。

d. 二次元静的解析結果

(a) 解析ケースと照査値

イ. 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 8.5-9 に曲げ・軸力系の破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-9 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値

部位	解析ケース	曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
		①	②	③
底板		0.08	0.07	0.08
南壁		0.37	0.37	0.37
西壁		0.20	0.20	0.20
北壁		0.38	0.38	0.38

ロ. せん断破壊に対する照査

表 8.5-10 にせん断破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-10 せん断破壊に対する解析ケースと照査値

部位	解析ケース	せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
底板		0.12	0.12	0.12
南壁		0.17	0.17	0.17
西壁		0.21	0.21	0.20
北壁		0.16	0.16	0.16

ハ. 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 8.5-11 に基礎地盤の支持性能に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-11 基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

(基礎地盤 (MMR) の接地圧)

基礎地盤の支持性能に対する照査		
①	②	③
0.02	0.02	0.01

(b) 作用荷重分布図

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査のうち、照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 8.5-11 に示す。

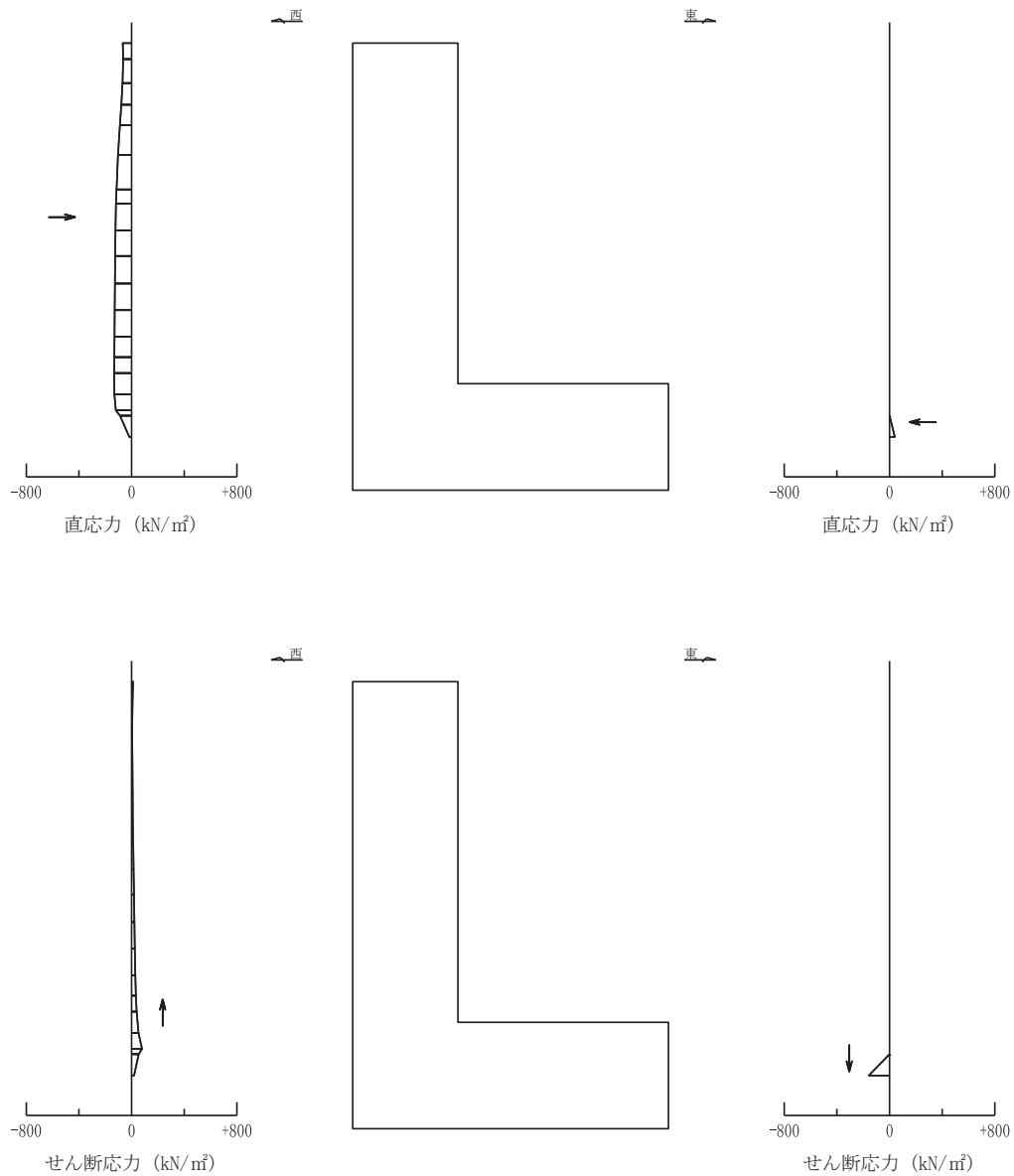


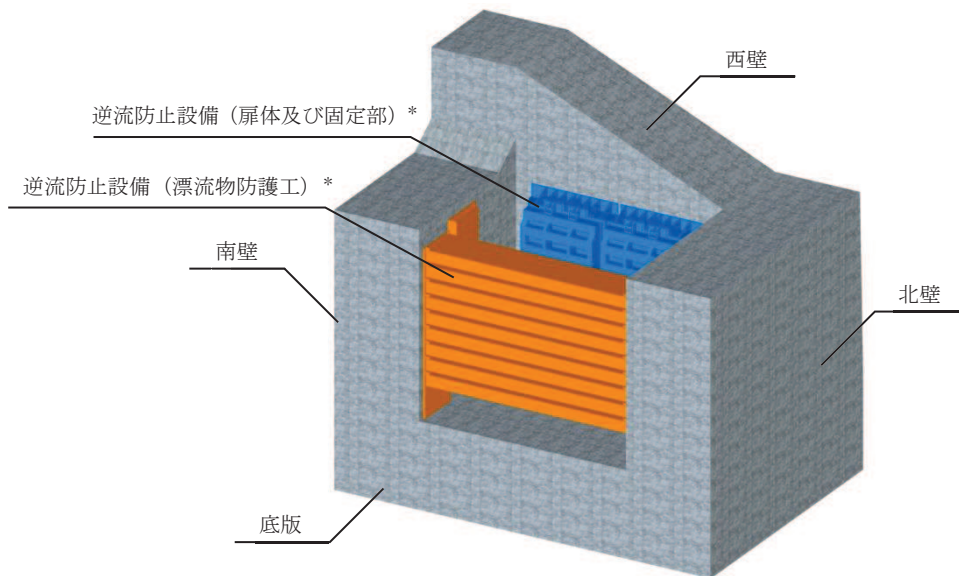
図 8.5-11 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース③)

(2) 三次元構造解析

a. 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及び底版とする。

図 8.5-12 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 8.5-12 三次元構造解析の評価対象部材

b. 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8.5.2(1) 二次元動的解析」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。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8.5-13 に、要素分割図を図 8.5-14 に示す。

イ. 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。

ロ. 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には，地盤ばね要素を配置する。

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。

津波時の解析においては，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，妻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。

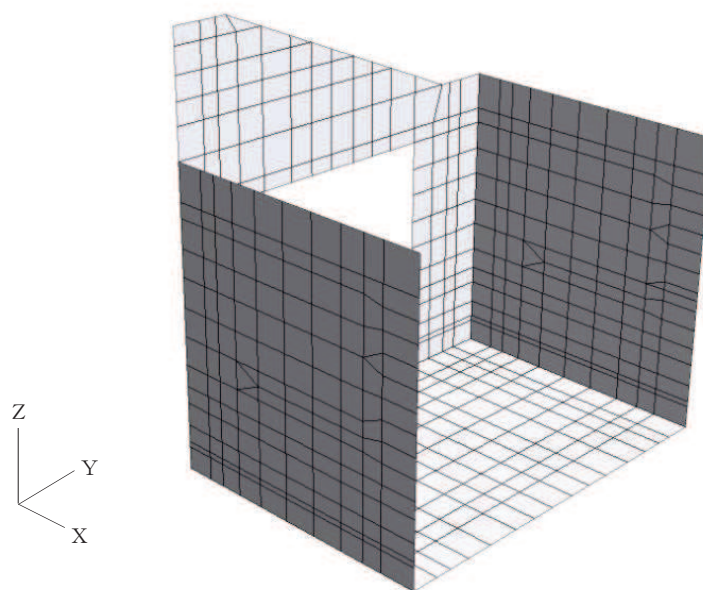
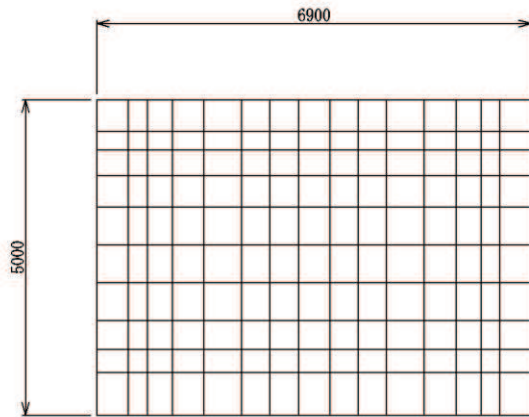
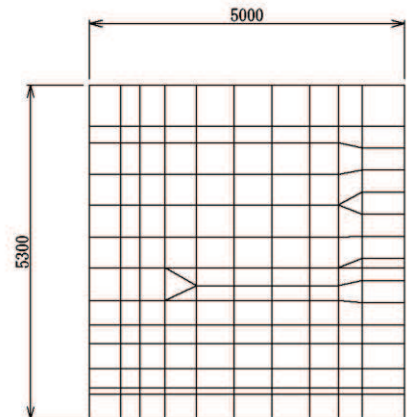


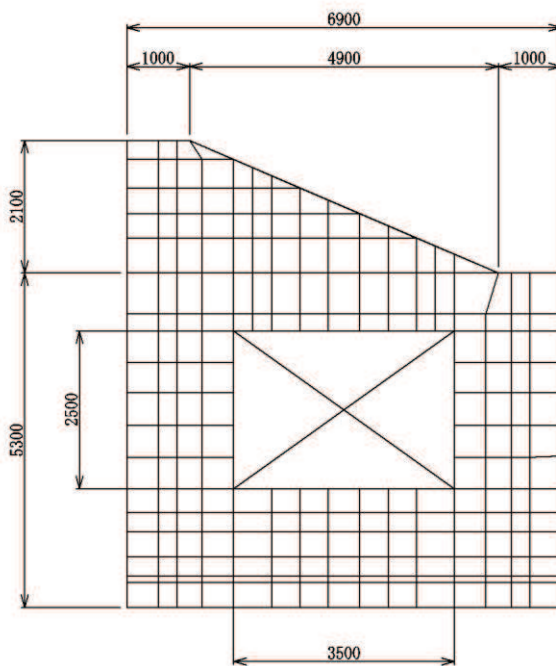
図 8.5-13 出口側集水ピットのモデル概念図



(a) 底版



(b) 南壁及び北壁



(c) 西壁

図 8.5-14 要素分割図

(b) 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、「8.5.1(1)c. (b) 使用材料及び材料の物性値」と同様である。

d. 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 a. 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 8.5-12 に示す。

なお、衝突荷重の作用位置は図 8.5-15 に示す 3 パターンを実施することとし、剛ビームを介して出口側集水ピット側壁に作用させる。

表8.5-12 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
津波時荷重	津波波圧	津波による波圧を考慮する。
	衝突荷重	漂流物の衝突による荷重を考慮する。

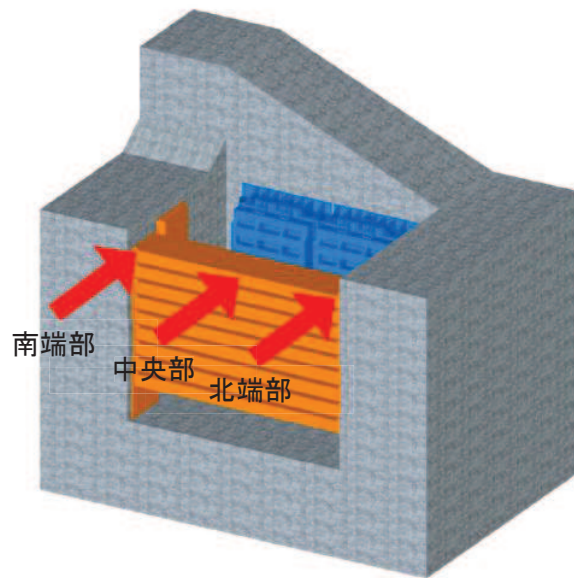


図 8.5-15 衝突荷重作用位置

e. 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 8.5-16 に、断面力の組合せを表 8.5-13 に示す。面内せん断力 N_{xy} については、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、軸力として考慮する。

また、各部材の要素座標系を図 8.5-17 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 8.5-18 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 8.5-19 に示す。

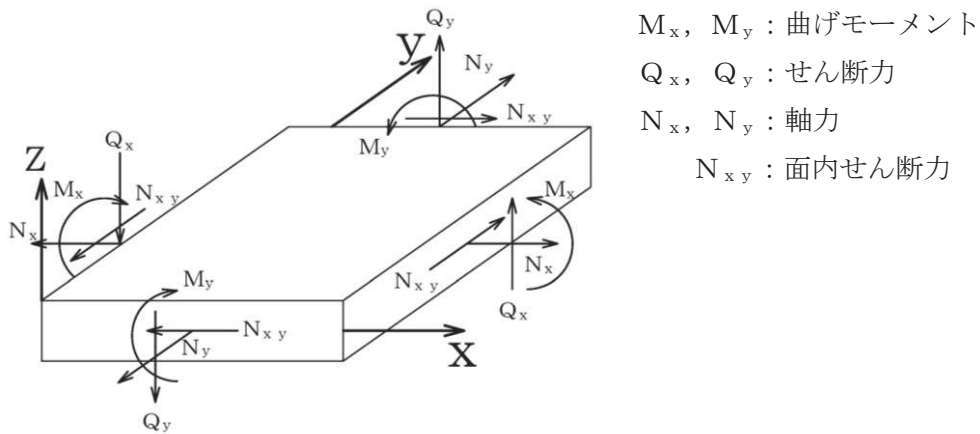


図 8.5-16 シェル要素における応答断面力

表 8.5-13 断面力の組合せ

	X 方向断面力		Y 方向断面力	
	曲げモーメント	軸力	曲げモーメント	軸力
組合せ①	M_x	N_x	M_y	N_y
組合せ②	M_x	$N_x + N_{xy} $	M_y	$N_y + N_{xy} $
組合せ③	M_x	$N_x - N_{xy} $	M_y	$N_y - N_{xy} $

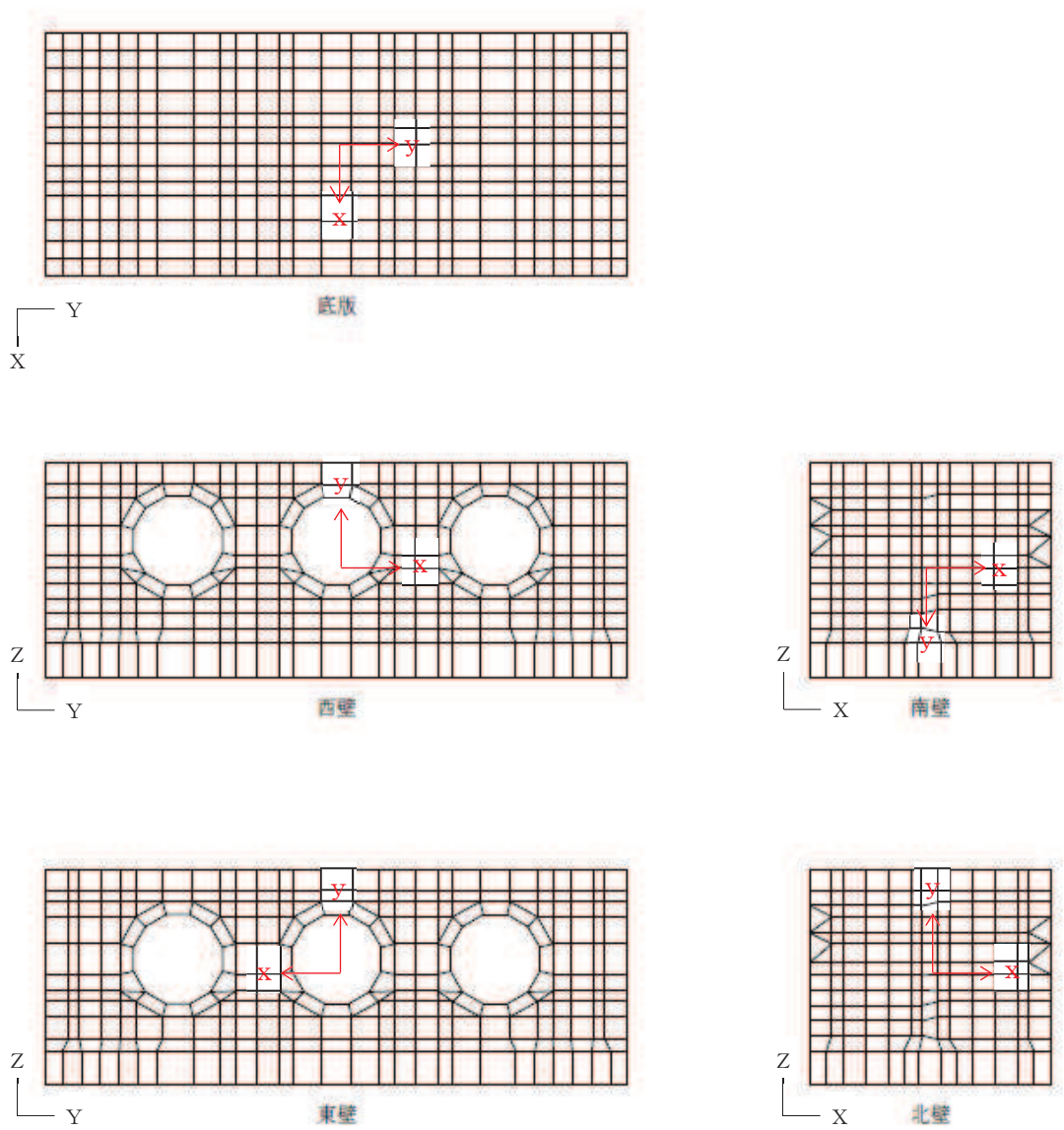


図 8.5-17 各部材の要素座標系

(a) 構造部材の断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査結果の一覧を表 8.5-14 に示す。また、最大照査値となる断面力分布（曲げモーメント，軸力）を図 8.5-19 に示す。

表 8.5-14 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置*		解析 ケース	漂流物荷重載荷位置	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	北端部	374	-338	0.8	16.5	0.05
南壁	2	②	南端部	2225	-1199	4.7	16.5	0.29
西壁	3	③	北端部	511	-156	1.1	16.5	0.07
北壁	4	②	北端部	2239	-1166	4.7	16.5	0.29

注記*：評価位置は図 8.5-18 に示す。

表 8.5-14 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置*		解析 ケース	漂流物荷重載荷位置	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	北端部	-131	170	21.8	294	0.08
南壁	2	②	南端部	2225	-1199	108.1	294	0.37
西壁	3	②	北端部	-510	246	56.7	294	0.20
北壁	4	③	北端部	2239	-1163	111.2	294	0.38

注記*：評価位置は図 8.5-18 に示す。

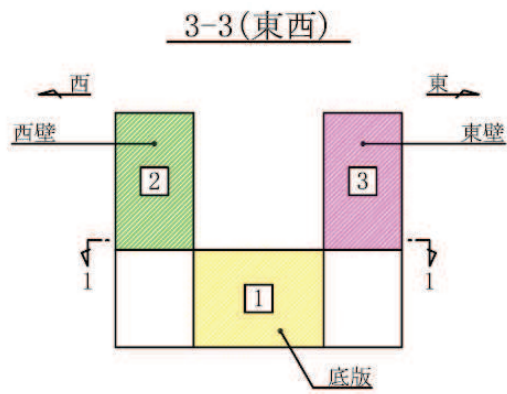
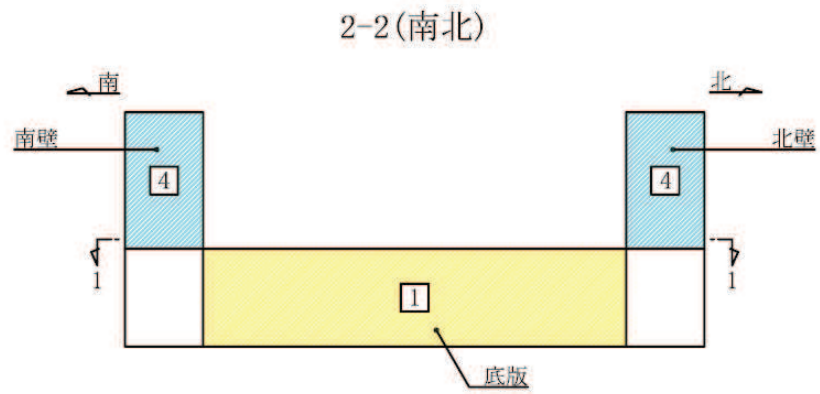
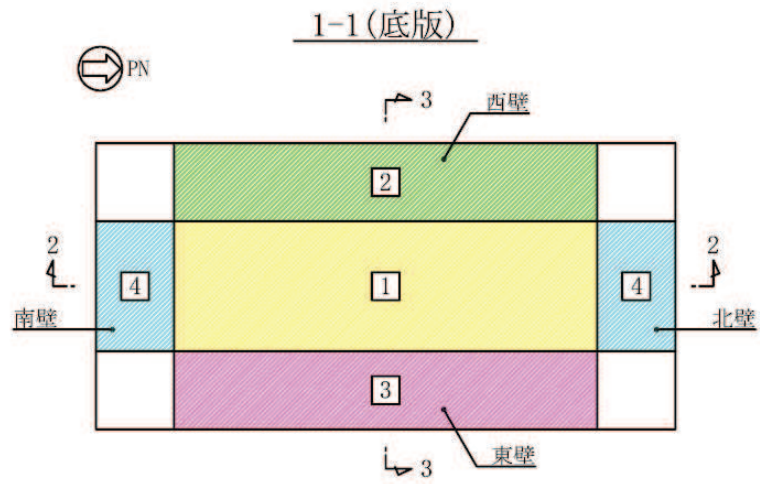


图 8.5-18 評価位置図

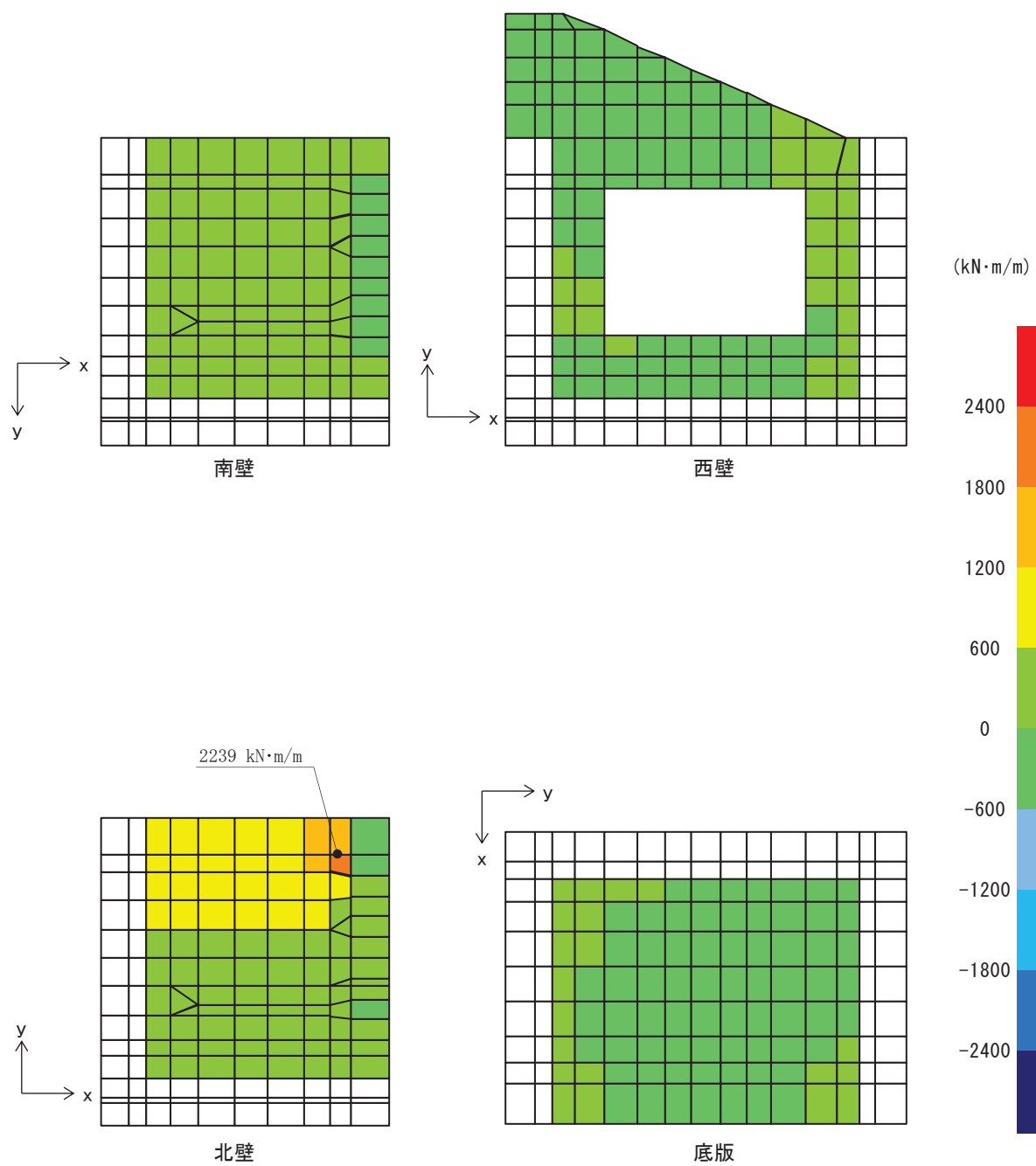


図 8.5-19(1) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
 M_x (解析ケース③)

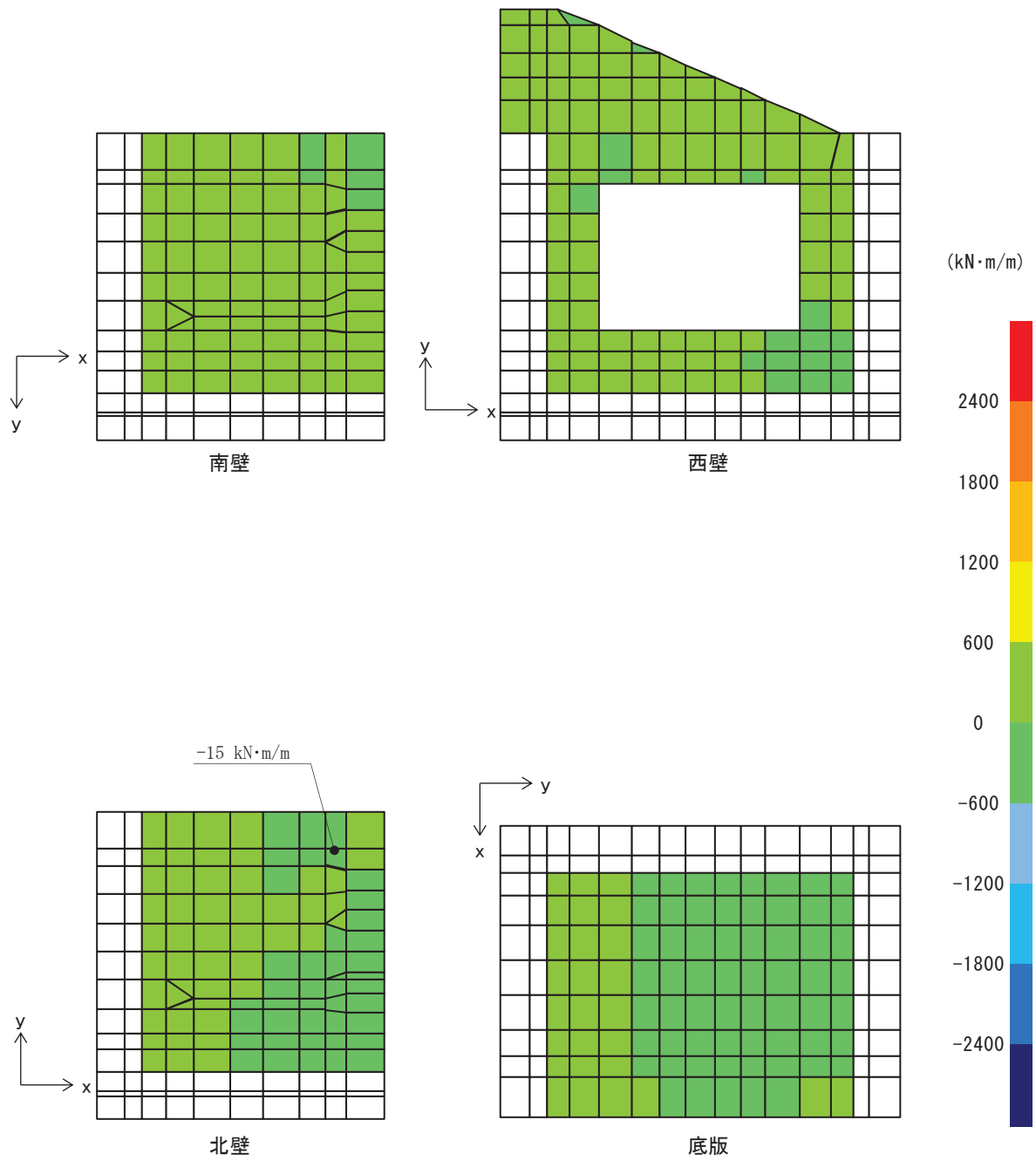


図 8.5-19(2) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図 M_y (解析ケース③)

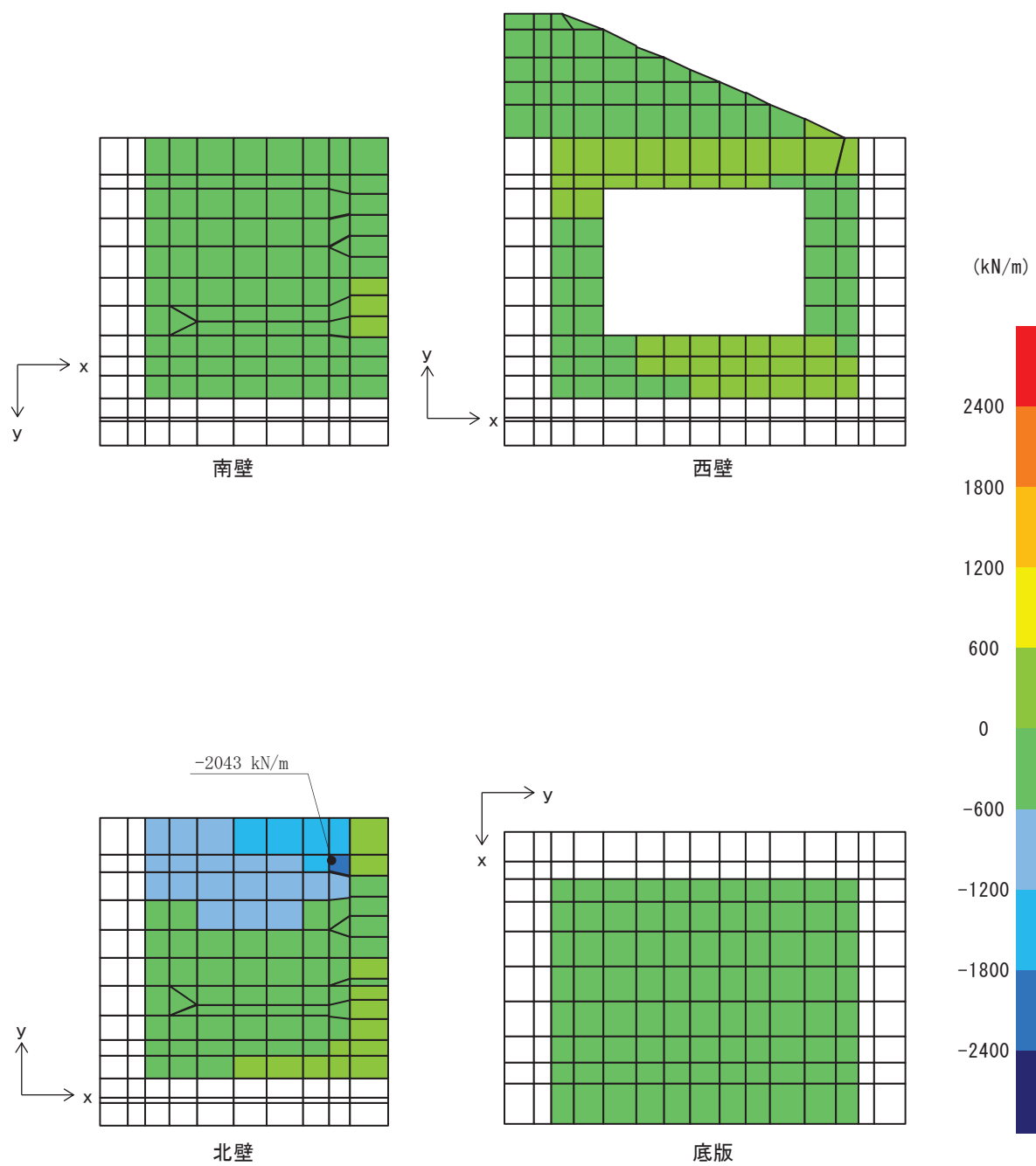


図 8.5-19(3) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図 N_x (解析ケース③)

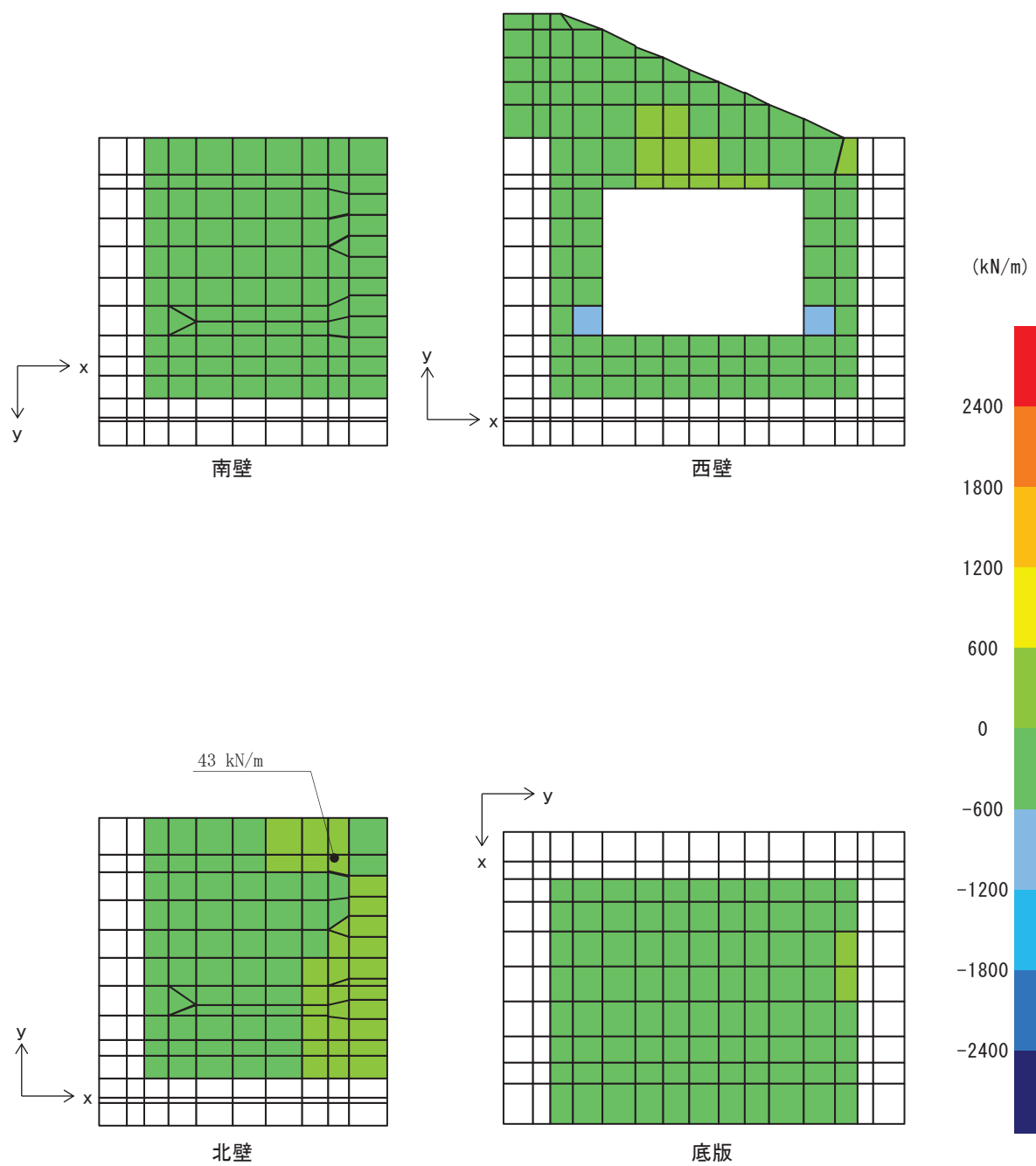


図 8.5-19(4) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図 N_y (解析ケース③)

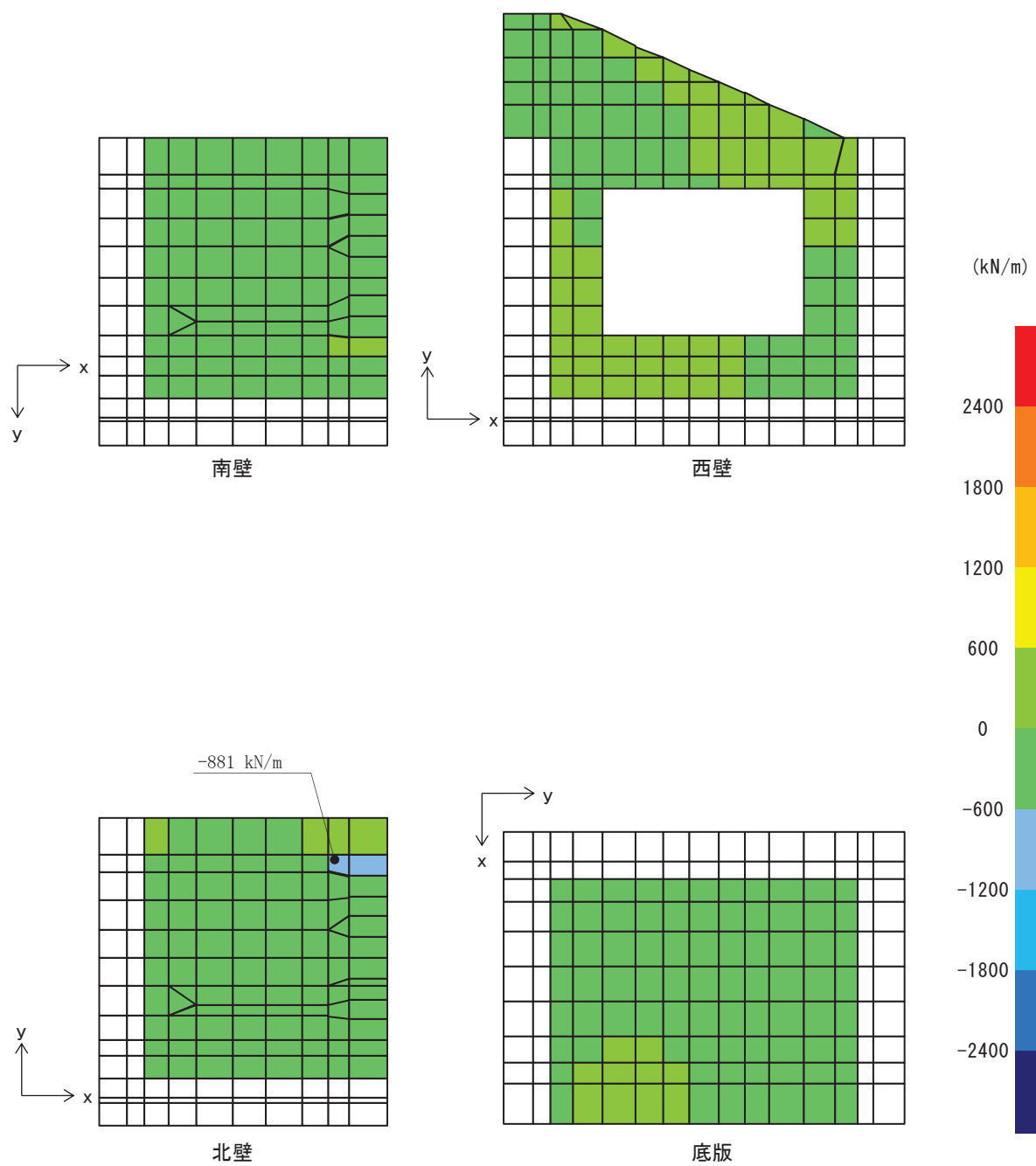


図 8.5-19(5) 曲げ・軸力系の破壊に対して最も厳しい照査値となる解析ケースの断面力分布図
N x y (解析ケース③)

(b) 構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）

構造部材のせん断破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 8.5-15 に示す。また、断面力分布（せん断力）を図 8.5-20 に示す。

表 8.5-15 解析ケース

評価位置	解析ケース	衝突荷重作用位置	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	418	3495	0.12
南壁	2	③	594	3495	0.17
西壁	3	②	709	3495	0.21
北壁	4	①	551	3495	0.16

注記*：評価位置は図 8.5-18 に示す。

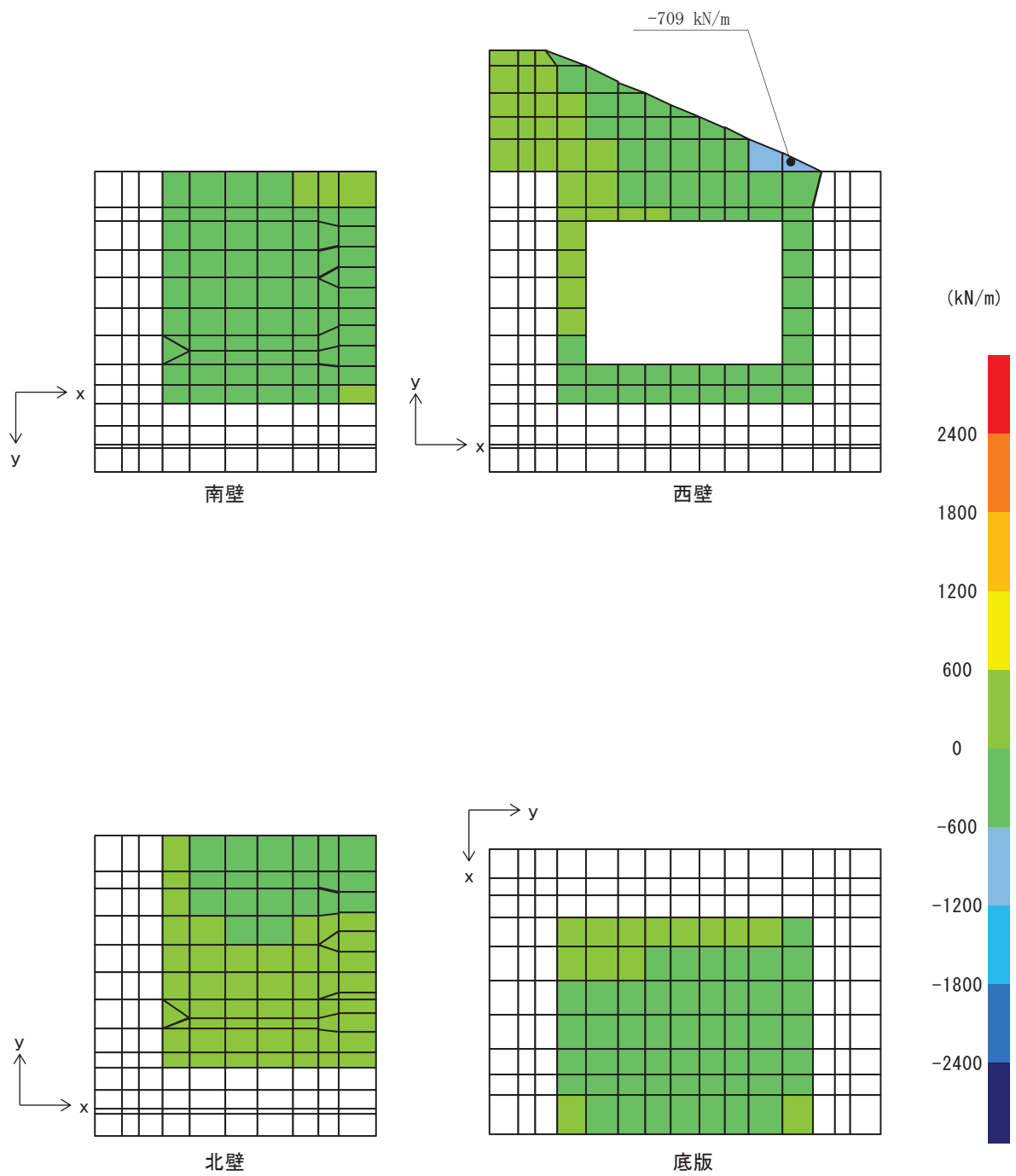


図8.5-20(1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力(kN/m) : Q_x)

(西壁, 解析ケース②, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

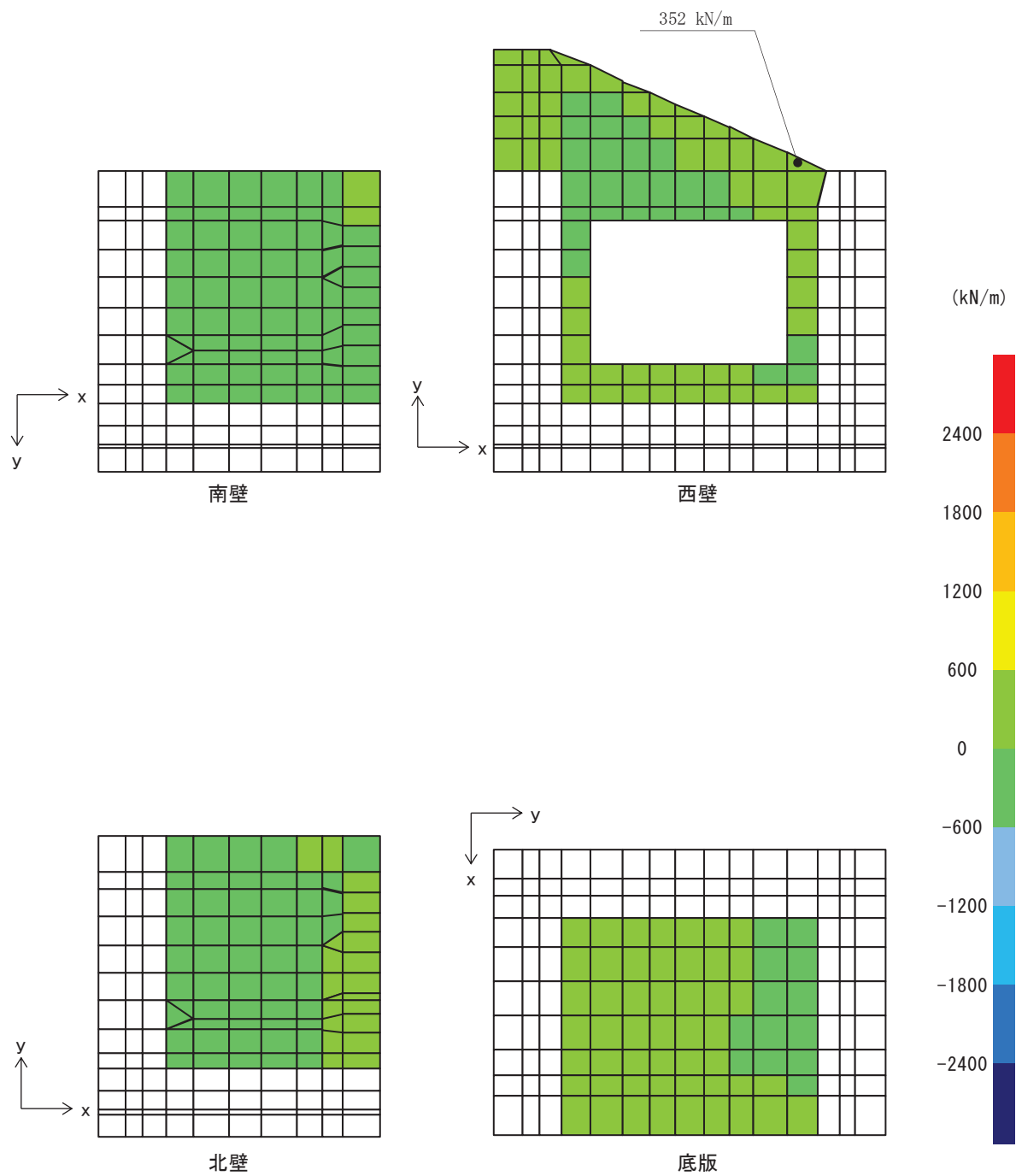


図8.5-20(2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力(kN/m) : Q_y)
 (西壁, 解析ケース②, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

(3) 評価方法

出口側集水ピットの強度評価は、二次元静的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、「8.4 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

8.5.2 重畳時

(1) 二次元動的解析

a. 評価対象断面

出口側集水ピットの重畳時の評価対象断面を図 8.2-2 に示す。重畳時の評価対象断面は、構造的特徴や周辺状況から、A-A断面とする。

b. 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて二次元動的有限要素法解析により算定する。

二次元動的有限要素法解析については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。

解析コードは、二次元動的有限要素法解析に「FLIP Ver7.3.0_2」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。

(a) 解析手法

出口側集水ピットの地震応答解析は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析を用いて、弾性設計用地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

解析手法の選定フローを図 8.5-21 に示す。

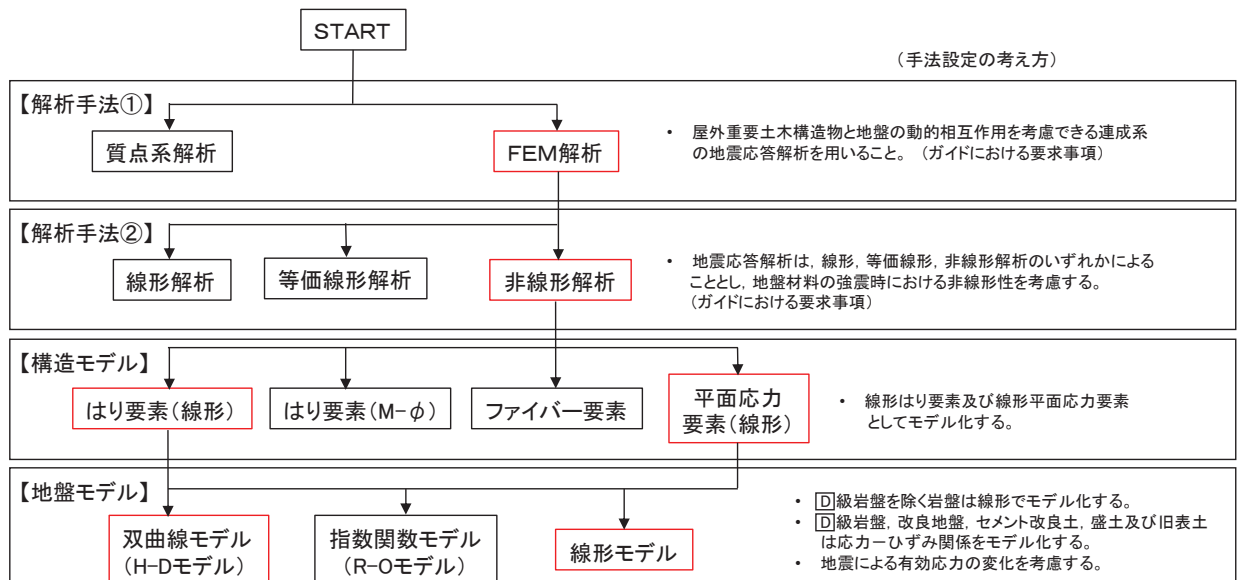


図 8.5-21 解析手法のフロー（出口側集水ピット）

(b) 構造部材

出口側集水ピットは線形はり要素（ビーム要素）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。

(c) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8.5-2 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重畳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 8.5-16 に示す。

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。

表 8.5-16 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_L 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。

(d) 減衰定数

Rayleigh 減衰について、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の出口側集水ピットは有効応力解析であることから、剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) を考慮する。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

(e) 解析ケースの選定

イ. 強度評価における解析ケース

重畳時においては、弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して、ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3-12 に示すケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 8.5-17 に示す。

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 8.5-17 重畳時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 (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) 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 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値
地震動 (位相)	S d - D 2	++*1	○	弾性設計用地震動 S d - D 2 (1波) 及び位相反転を考慮した地震動 (1波) を加えた全 2 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、すべり安全率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②～④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②～④を実施する。		
		-+*1	○			

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。

ロ. 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 8.5-18 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 8.5-18 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応答加速度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*
地震動 (位相)	S d - D 2	++* ¹	○	○	○
	S d - D 2	--* ^{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。

c. 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弾性設計用地震動 $S_d - D2$ 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。

入力地震動算定の概念図を図 8.5-22 に、一次元解析モデル図を図 8.5-23 に示す。図 8.5-24 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. 1.6」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。

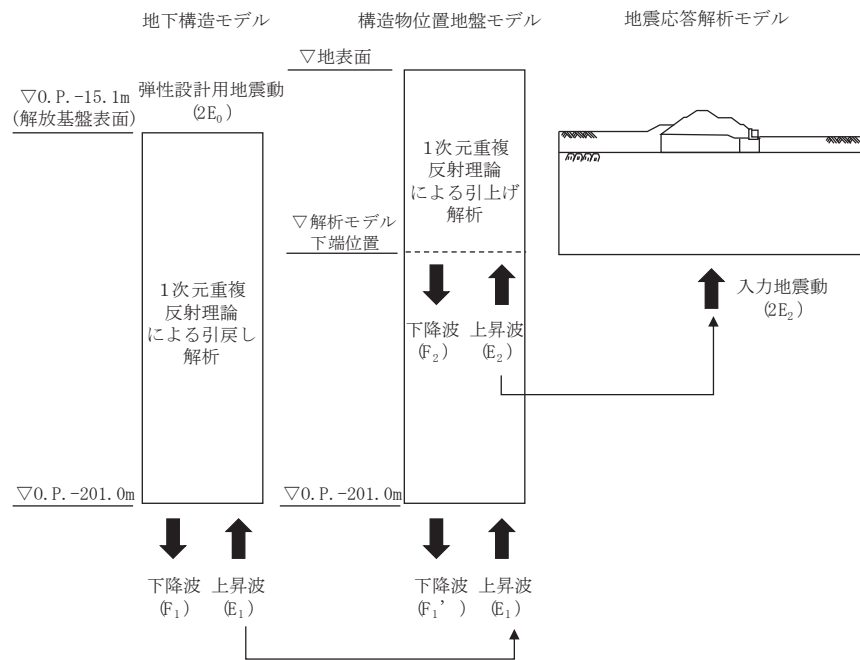


図 8.5-22 入力地震動算定の概念図

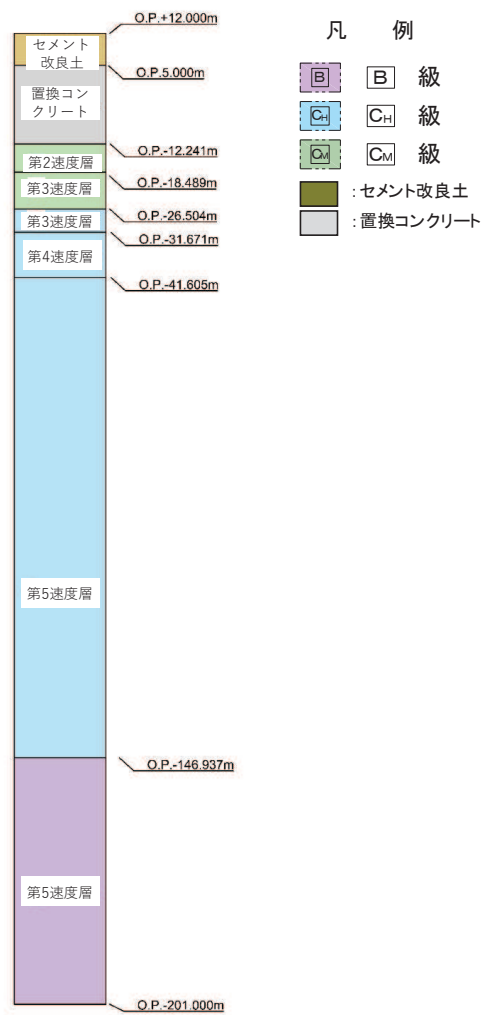
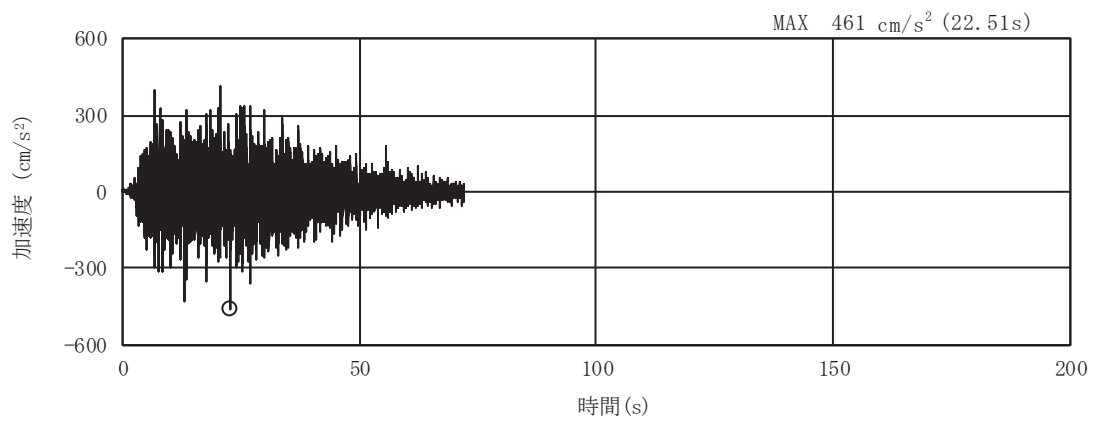
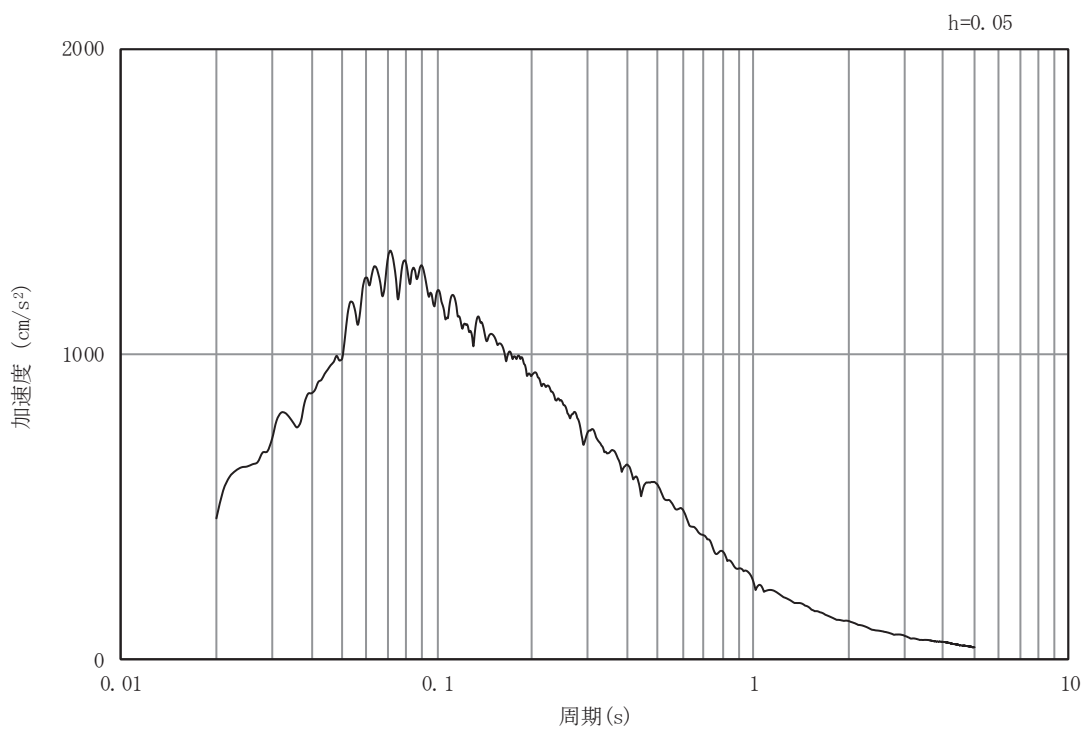


図 8.5-23 一次元解析モデル図

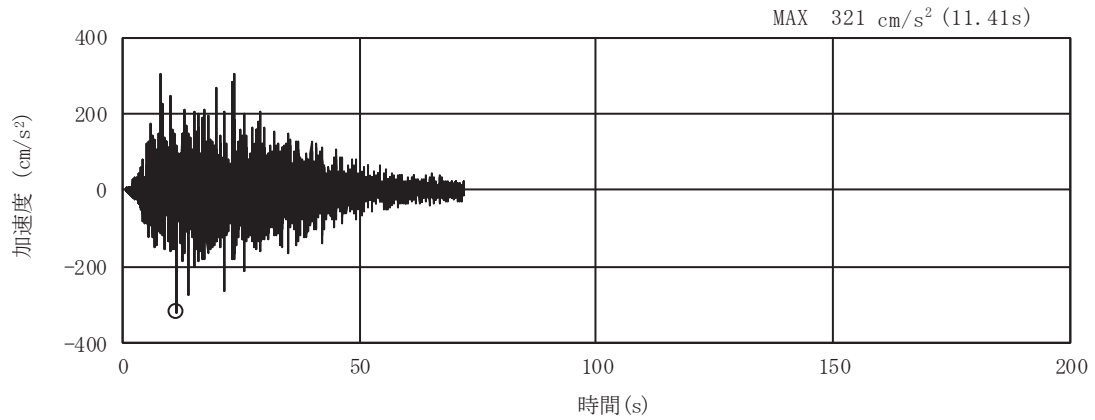


(a) 加速度時刻歴波形

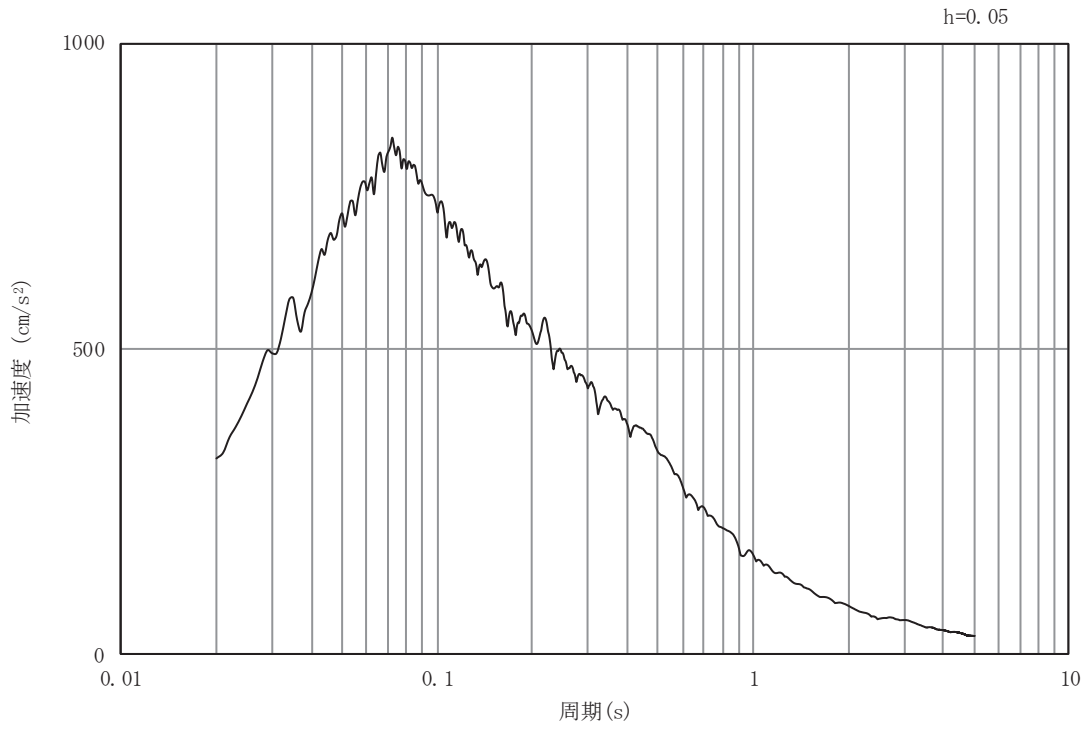


(b) 加速度応答スペクトル

図 8.5-24 (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 d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8.5-24(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 d - D 2)

d. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

イ. 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987(社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)を参考に、図 8.5-25 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、対象断面によって、地層形状に合わせてモデル化領域を調整する。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元地震応答解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 8.5-26 に示す。

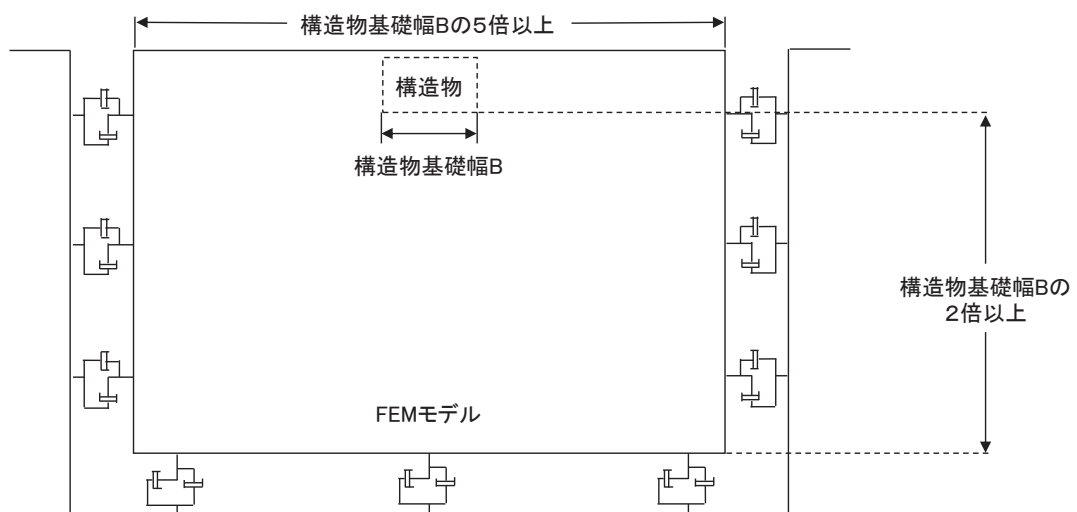


図 8.5-25 モデル化範囲の考え方

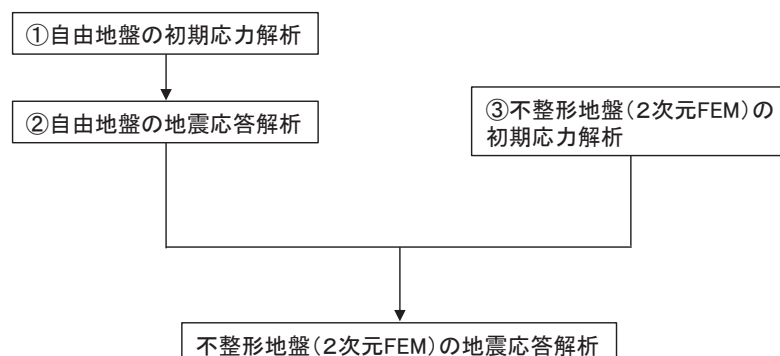


図 8.5-26 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

ロ. 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。

(イ) 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側面は実地盤が側方に連続していることを模擬するため水平ローラーとする。境界条件の概念図を図 8.5-27 に示す。

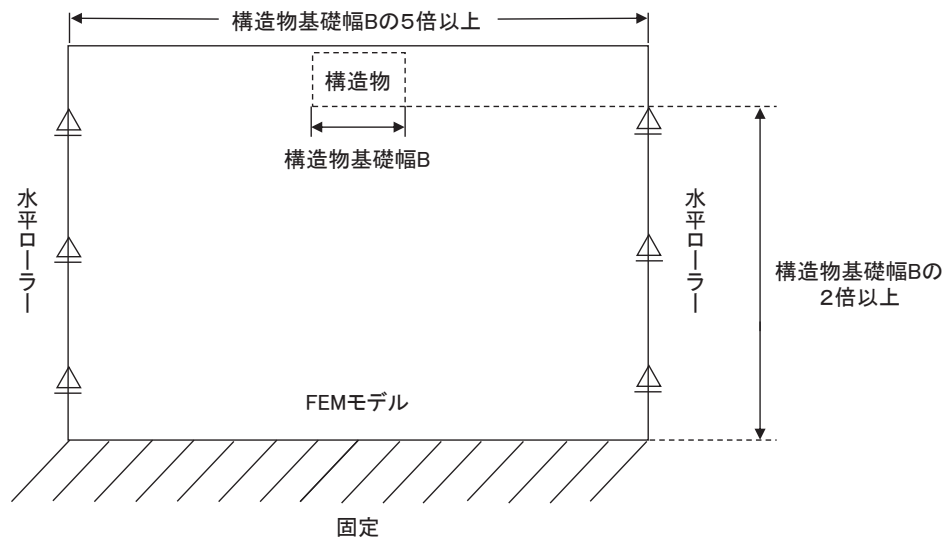


図 8.5-27 固有値解析における境界条件の概念図

(ロ) 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 8.5-28 に示す。

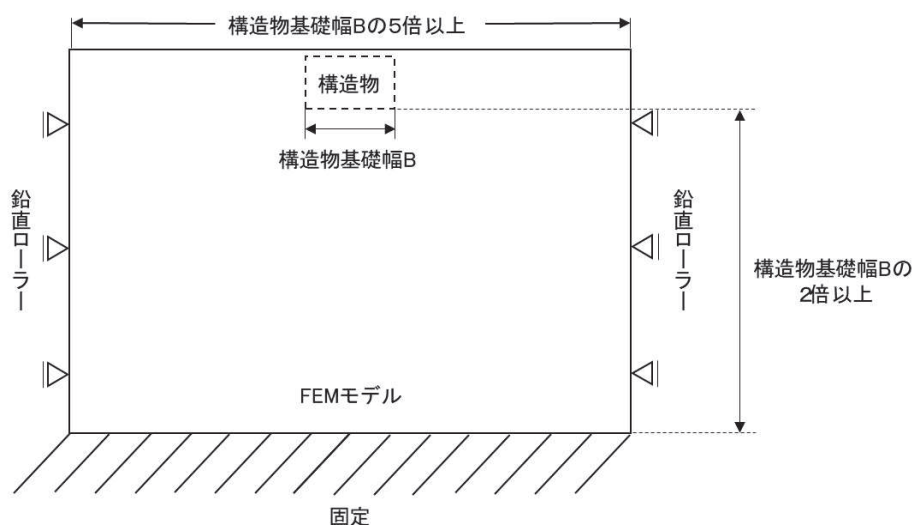


図 8.5-28 初期応力解析における境界条件の概念図

(ハ) 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不成形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。

ハ. 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。構造部材のモデル化を図 8.5-29 に示す。

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。

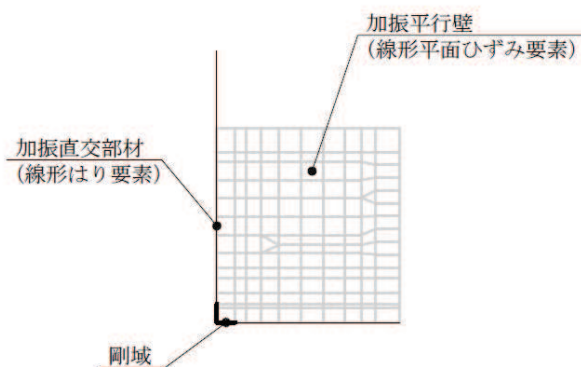


図 8.5-29 構造部材のモデル化

二. 地盤のモデル化

Ⅱ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Ⅱ級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・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。出口側集水ピットの解析モデルを図 8.5-30 に示す。

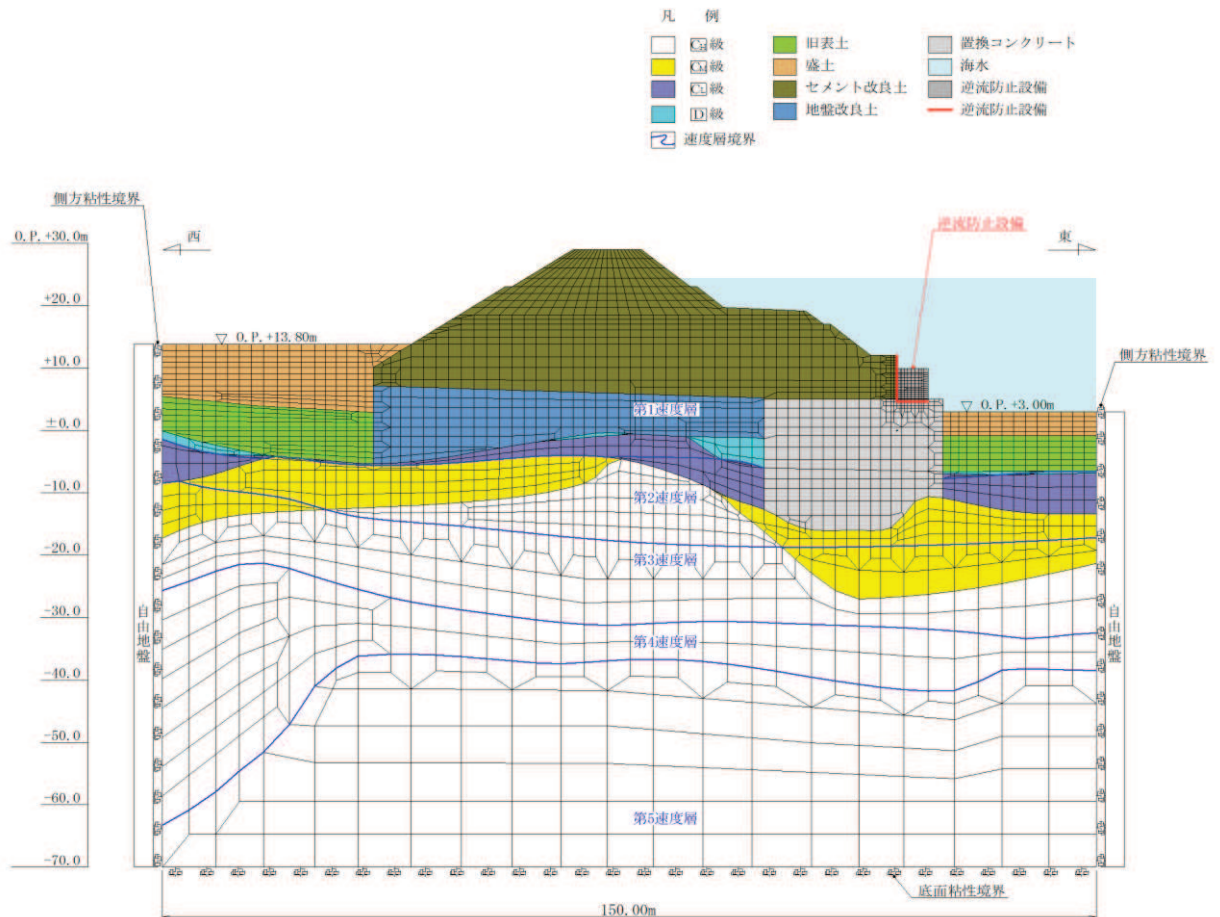


図 8.5-30 出口側集水ピットの解析モデル (重畳時)

ホ. ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造体の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤及び構造体のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時における地形の影響も含めた実挙動を正確に把握するために、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。具体的には、セメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可

能であることから、ジョイント要素を設定しない。なお、背面補強工と改良地盤の境界は鋼管杭が貫いていることから、剥離を考慮した場合に鋼管杭に与える影響を確認するため、この箇所にジョイントを設定した場合の影響について確認することとする。

一方、コンクリートと岩盤の境界や改良地盤と岩盤の境界については、岩盤の引張強度を0として設定していることから、これらの境界にはジョイント要素を設定する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 8.5-31 にジョイント要素の力学特性、図 8.5-32 にジョイント要素の配置図を示す。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 8.5-19 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 8.5-20 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 8.5-19 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (狐崎部層)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.49	47.0
C _H 級*	1.72	43.0

注記* : 砂岩

表 8.5-19 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性 (共通)

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
MMR	4.18	40

表 8.5-20 要素間の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ (度)
構造物-MMR	MMR の c	MMR の ϕ
構造物-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
MMR-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分大きな値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009）に従い，表 8.5-21 のとおり設定する。

表 8.5-21 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

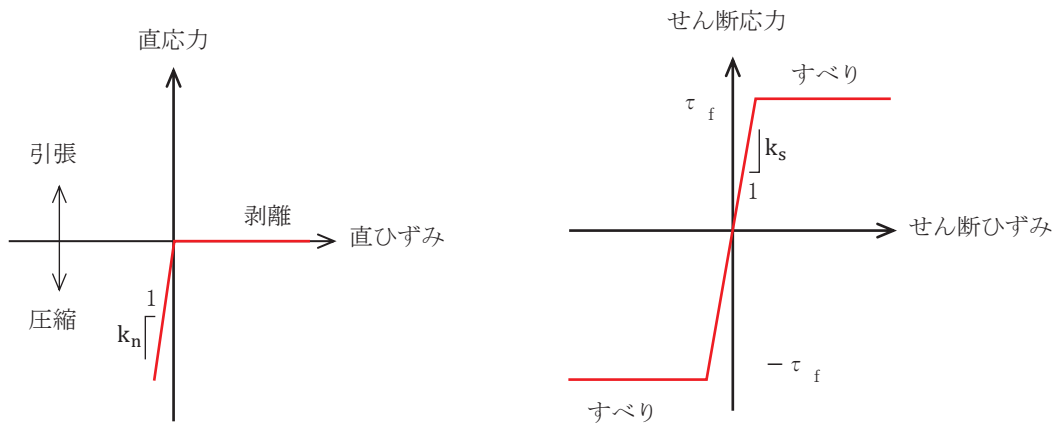


図 8.5-31 ジョイント要素の力学特性

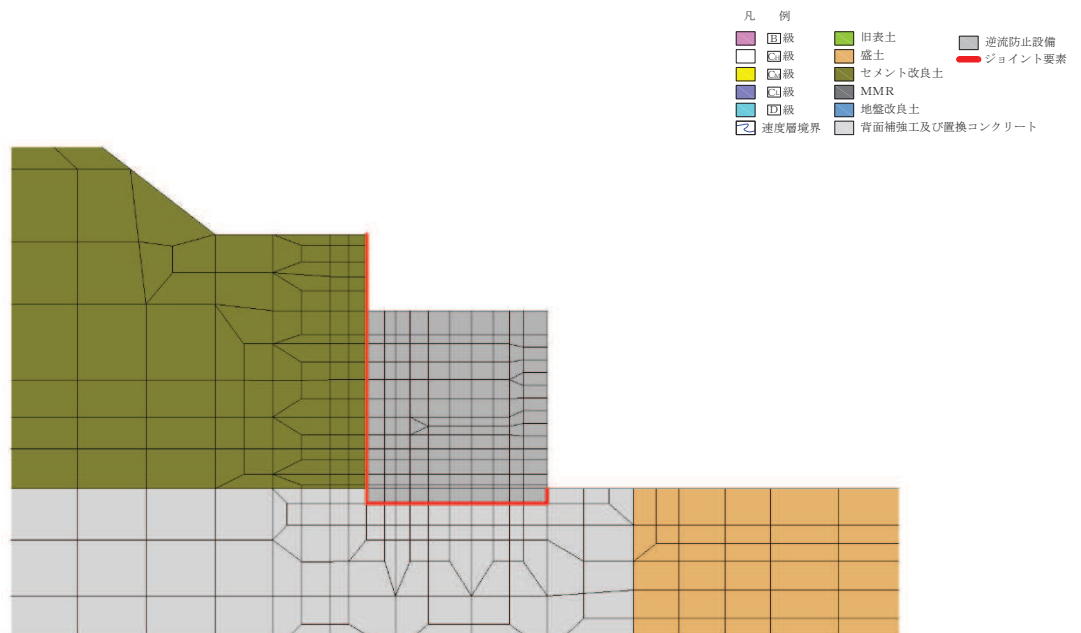


図 8.5-32 ジョイント要素の配置

- (b) 使用材料及び材料の物性値
 使用材料及び材料の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。
- (c) 地盤の物性値
 地盤の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。
- (d) 地下水位
 地下水位は、「8.5.1 津波時」と同様であり、図 8.2-2 のとおりである。

e. 地震応答解析結果

(a) 解析ケースと照査値

強度評価においては、「8.5. 評価方法」に基づき、すべての弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して実施するケース①において、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 以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いて、ケース②～④を実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

イ. 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 8.5-22 に曲げ・軸力系の破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-22 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (底版)

地震動		解析ケース	曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.13		
	-+		0.10	0.15	0.14

表 8.5-22 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (南壁)

地震動		解析ケース	曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.12		
	-+		0.13	0.13	0.14

表 8.5-22 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (西壁)

地震動		解析ケース	曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.34		
	-+		0.38	0.37	0.36

表 8.5-22 (4) 曲げ・軸力系の破壊に対する解析ケースと照査値 (北壁)

地震動		解析ケース	曲げ・軸力系の破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.13		
	-+		0.13	0.13	0.13

ロ. せん断破壊に対する照査

表 8.5-23 にせん断破壊に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-23 (1) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (底版)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.18		
	-+		0.18	0.16	0.20

表 8.5-23 (2) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (南壁)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.21		
	-+		0.21	0.21	0.22

表 8.5-23 (3) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (西壁)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.28		
	-+		0.30	0.31	0.36

表 8.5-23 (4) せん断破壊に対する解析ケースと照査値 (北壁)

地震動		解析ケース	せん断破壊に対する照査		
			①	②	③
S d - D 2	++		0.16		
	-+		0.15	0.16	0.16

ハ. 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 8.5-24 に基礎地盤の支持性能に対する照査の解析ケースと照査値を示す。

表 8.5-24 基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値
(基礎地盤 (MMR) の接地圧)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査		
		①	②	③
S d - D 2	++	0.03		
	-+	0.03	0.02	0.03

(b) 各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果

イ. 頂底板間の層間変位が最大となる時刻 (時刻 1)

頂底板間の層間変位が最大となる時刻 (時刻 1) を表 8.5-25 に示す。

表 8.5-25 頂底板間の層間変位が最大となる時刻 (時刻 1)

解析ケース	地震動		最大層間変位 (mm) (時刻 (s))	
	①	S d - D 2	++	+0.249
-+			+0.275	(13.63)
②	S d - D 2	-+	+0.245	(29.99)
③	S d - D 2	-+	+0.339	(13.64)

ロ. 総水平荷重が最大となる時刻 (時刻 2)

総水平荷重が最大となる時刻 (時刻 2) を表 8.5-26 に示す。

表 8.5-26 総水平荷重が最大となる時刻 (時刻 2)

解析ケース	地震動		総水平荷重 (kN/m) (時刻 (s))	
	①	S d - D 2	++	+1074
-+			+771	(13.63)
②	S d - D 2	-+	+1007	(13.62)
③	S d - D 2	-+	+654	(8.01)

ハ. 面部材の層間変位が最大となる時刻 (時刻 3)

面部材の層間変位が最大となる時刻 (時刻 3) を表 8.5-27 に示す。

表 8.5-27 面部材の層間変位が最大となる時刻 (時刻 3)

解析ケース	地震動		最大層間変位 (mm) (時刻 (s))	
	①	S d - D 2	++	+0.249
-+			+0.275	(13.63)
②	S d - D 2	-+	+0.245	(29.99)
③	S d - D 2	-+	+0.339	(13.64)

(c) 作用荷重分布図

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査のうち、照査値が最大となるせん断破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 8.5-33 及び図 8.5-34 に示す。

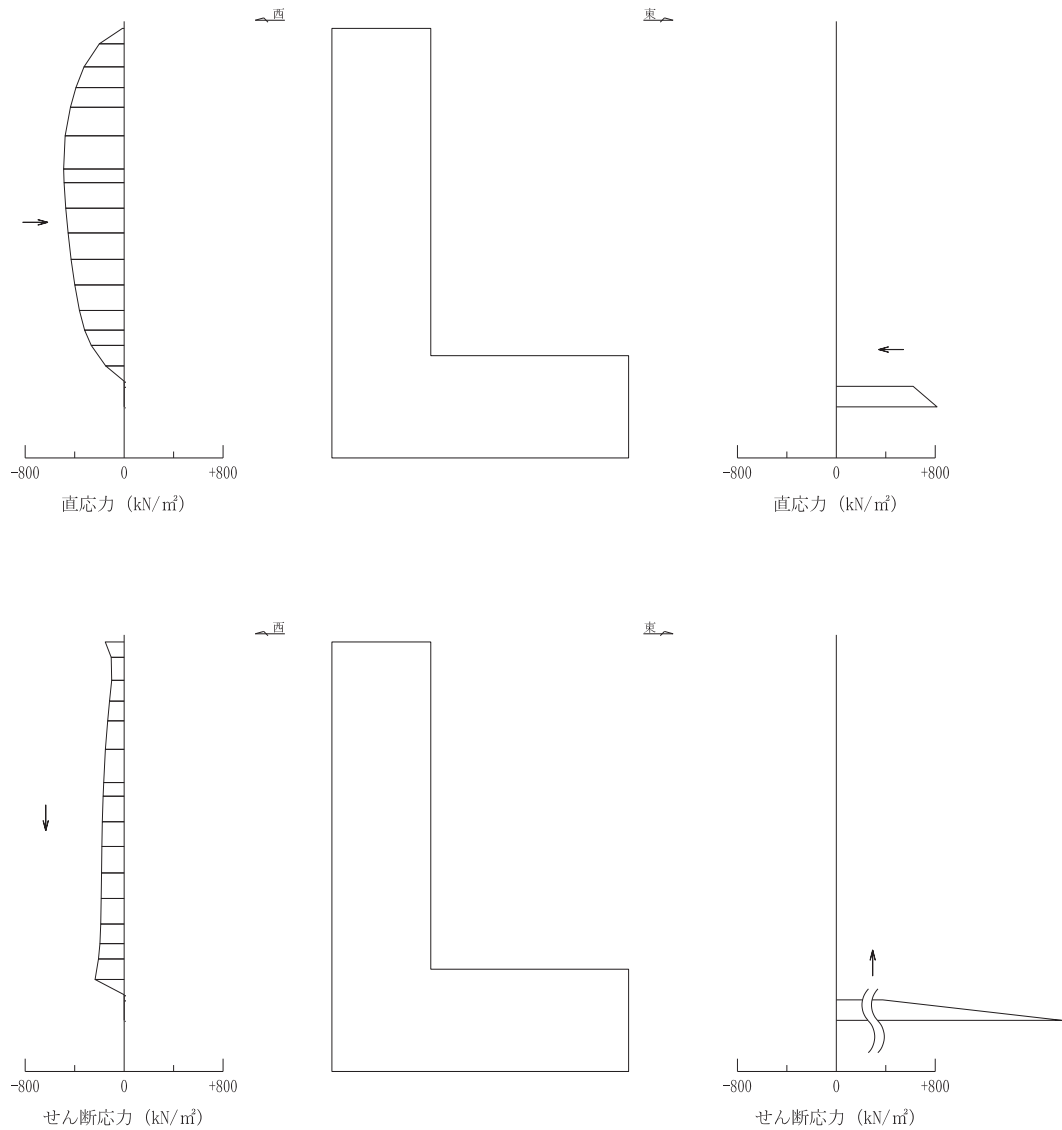


図 8.5-33 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)

(解析ケース①, 地震動 S d - D 2 (- +) , t = 13.63 s)

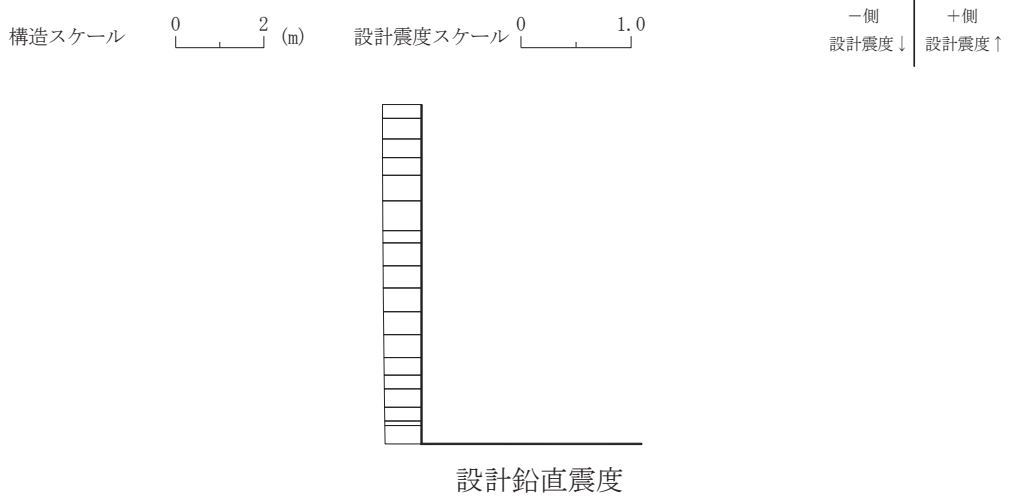
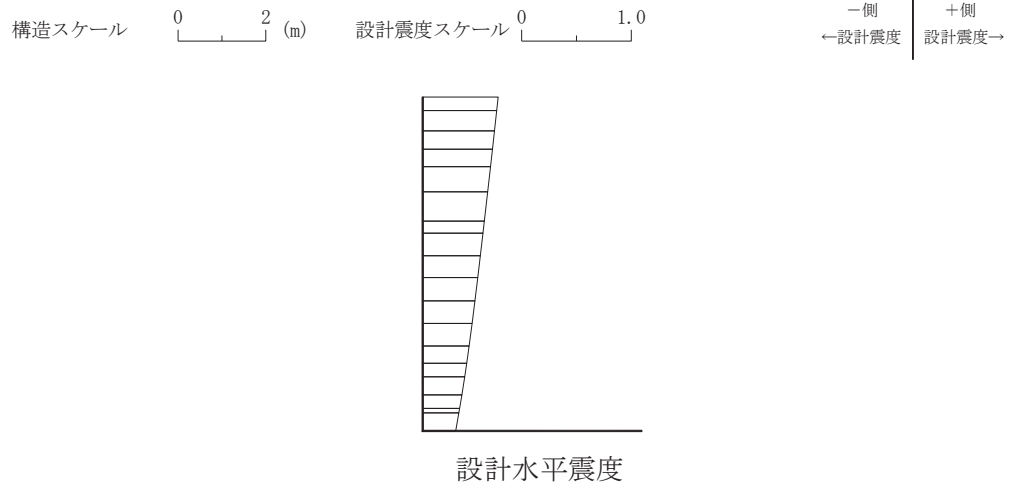
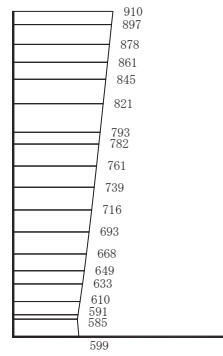


図 8.5-34 作用荷重分布図 (設計震度分布)

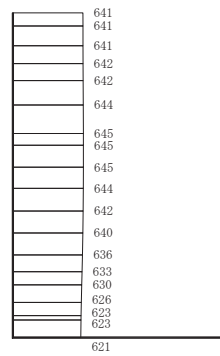
(解析ケース①, 地震動 S d - D 2 (-+), $t = 13.63$ s)

(d) 最大加速度分布図

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 8.5-35 に示す。



(a) S d - D 2 (++) 水平



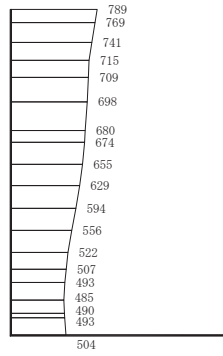
(b) S d - D 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m)

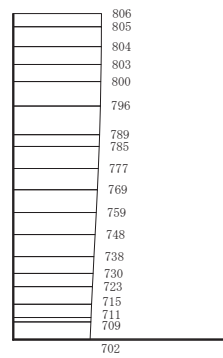
応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8.5-35 (1) 最大加速度分布図

(解析ケース①：基本ケース)



(a) S d - D 2 (- +) 水平



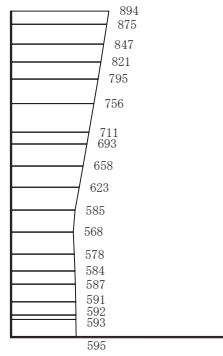
(b) S d - D 2 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2 (m)

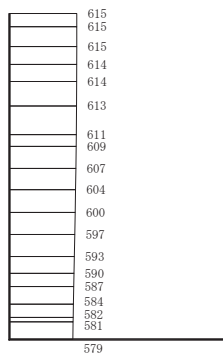
応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8.5-35 (2) 最大加速度分布図

(解析ケース①：基本ケース)



(a) S d - D 2 (- +) + σ 水平

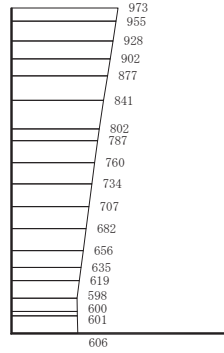


構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

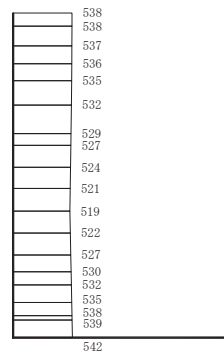
(b) S d - D 2 (- +) + σ 鉛直

図 8.5-35 (3) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース)



(a) S d - D 2 (- +) - σ 水平

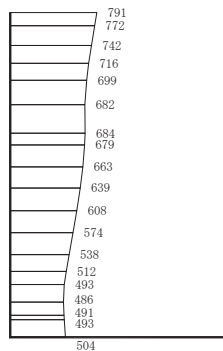


(b) S d - D 2 (- +) - σ 鉛直

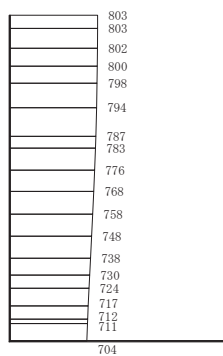
構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 8.5-35 (4) 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 d - 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 d - D 2 (- +) 鉛直

図 8.5-35 (5) 最大加速度分布図

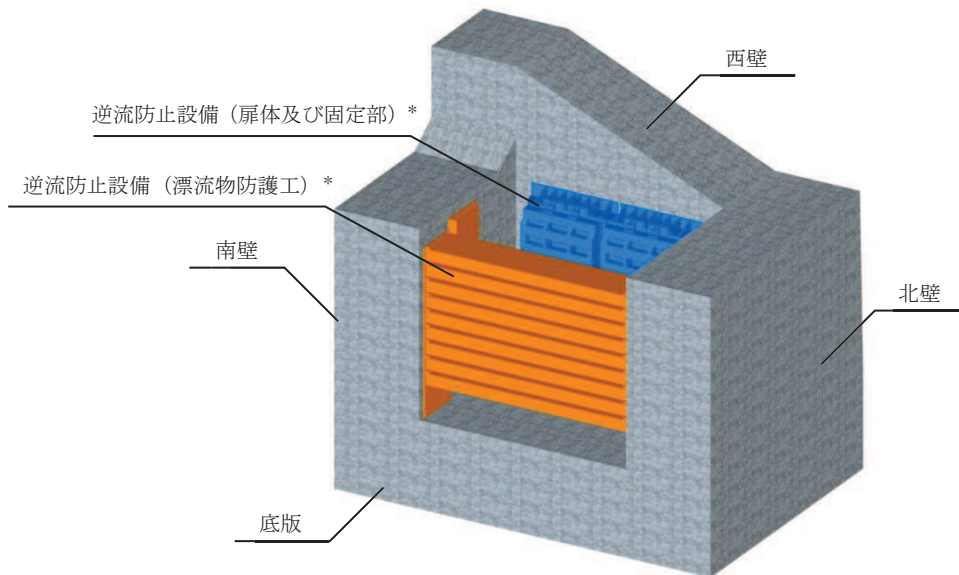
(解析ケース④：材料物性（コンクリート）の実剛性を考慮した解析ケース)

(3) 三次元構造解析

a. 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及び底版とする。

図 8.5-36 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 8.5-36 三次元構造解析の評価対象部材

b. 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8.5.2(1) 二次元動的解析」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。

c. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

出口側集水ピットの解析モデルを図 8.5-37 に、要素分割図を図 8.5-38 に示す。

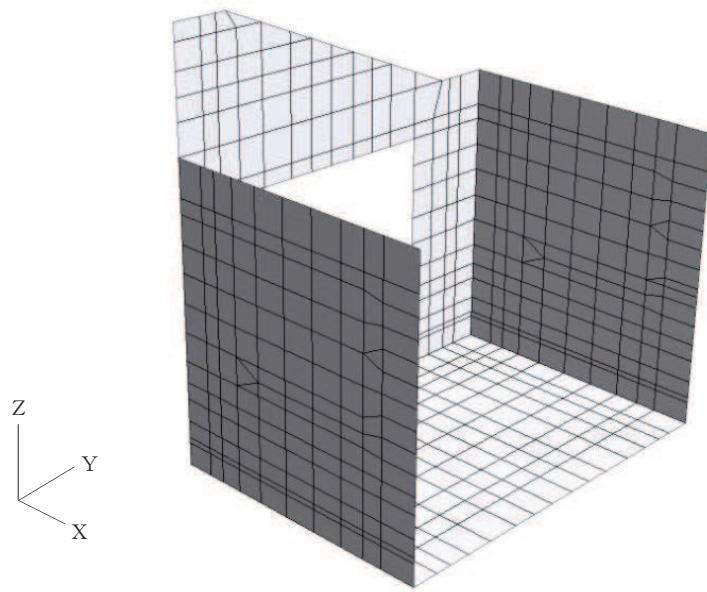


図 8.5-37 出口側集水ピットのモデル概念図

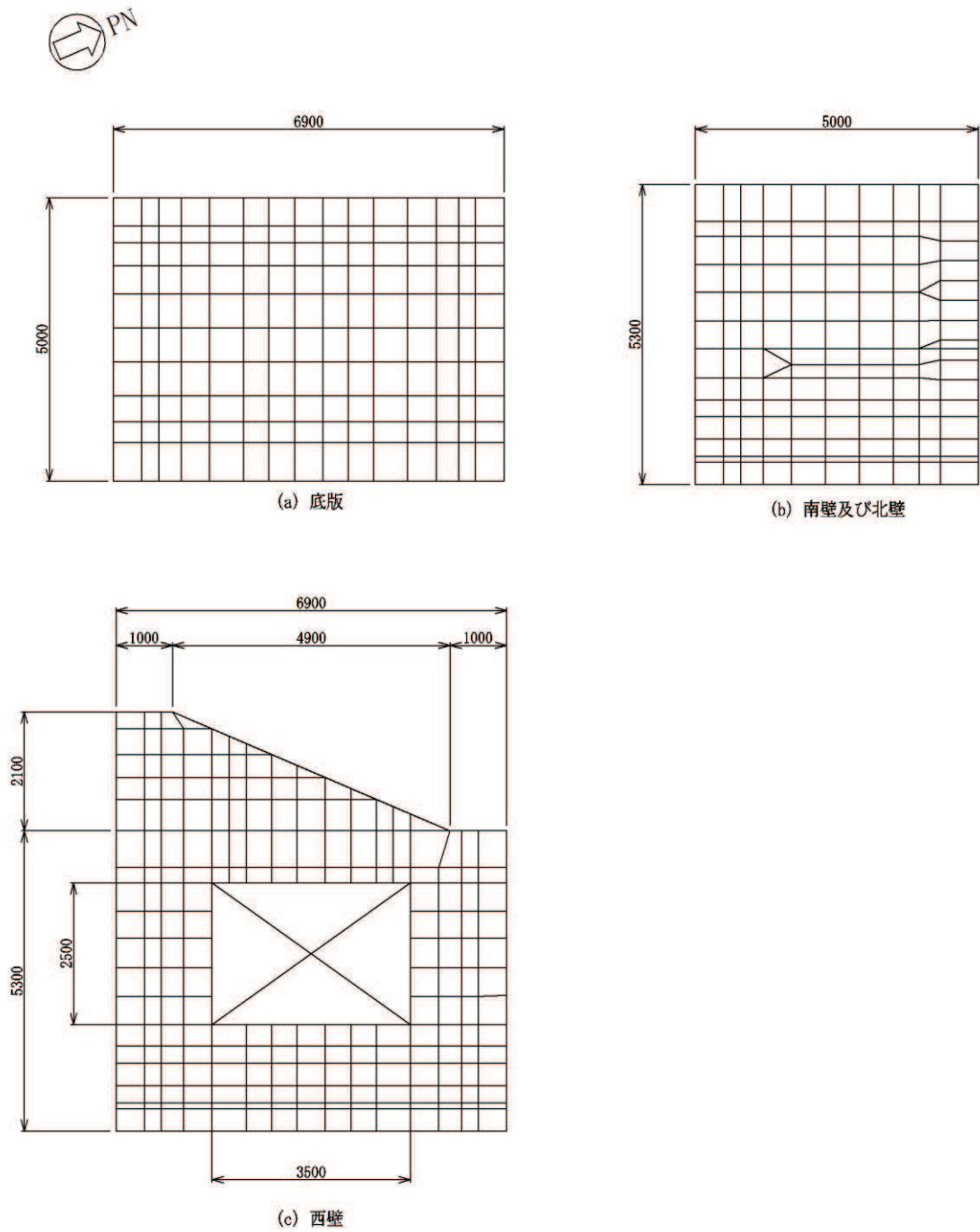


図 8.5-38 要素分割図

イ. 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。

ロ. 境界条件

三次元構造解析モデルの底面には、地盤ばね要素を配置する。

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。

重畳時の解析においては、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、妻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。

① 常時解析

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。

(鉛直方向地盤反力係数)

$$k_V = k_{V0} \left(\frac{B_V}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$k_{V0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

ここに、

k_V : 鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

k_{V0} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_V : 基礎の換算載荷幅 (m) $B_V = \sqrt{A_V}$

A_V : 鉛直方向の載荷面積 (m²)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数。女川3号物性は、平板載荷試験から求めた変形数であることから $\alpha = 1$ (常時) とする。

E_0 : 地盤の変形係数で、道路橋示方書IV 10.4 に従い、地盤の変化を考慮に入れた換算変形係数 (kN/m²) とする。

$$E_0 = \frac{\log \frac{(B + 2h_n \tan \theta) D}{(D + 2h_n \tan \theta) B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B + 2h_i \tan \theta)(D + 2h_{i-1} \tan \theta)}{(D + 2h_i \tan \theta)(B + 2h_{i-1} \tan \theta)}}$$

B : 基礎幅 (m)

D : 基礎の奥行 (m)

h_n : 影響を調べる深さ (m)

h_i : 細分する各層底面までの深さ (m)

E_{0i} : 細分した第 i 番目の層の変形係数 (kN/m²)

θ : 荷重の分散角度で、 $\theta = 30^\circ$ とする

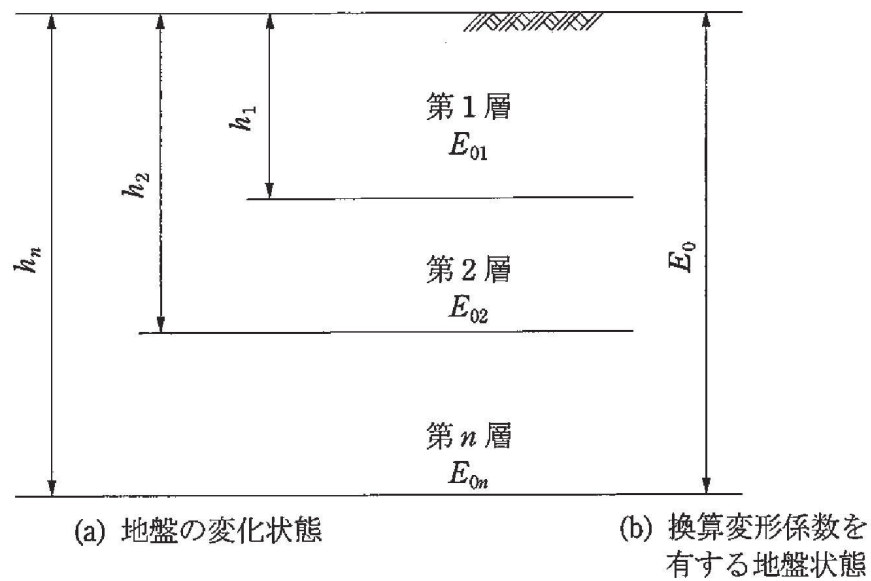


図 8.5-39 地盤が深さ方向に変化する場合の換算変形係数

(水平方向せん断地盤反力係数)

$$k_S = \lambda k_V$$

ここに,

k_S : 水平方向せん断地盤反力係数 (kN/m^3)

λ : 鉛直方向地盤反力係数に対する水平方向せん断地盤反力係数の比で,
 $\lambda = 0.3$ とする。

② 地震時解析 (支持地盤)

地震時解析における支持地盤は、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タンス理論」に基づき設定する。

(岩盤の等価せん断弾性係数)

$$G_R = \frac{G_{R1}}{\sum \left[\left(\frac{G_{R1}}{G_{Ri}} \right) \cdot \{F_H(\zeta_{i-1}) - F_H(\zeta_i)\} \right]}$$

$$F_H(\zeta) = \frac{1}{(2-\nu)} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{3+4\zeta^2}{\sqrt{1+\zeta^2}} - 2\xi + \frac{1-2\nu}{2} \cdot (\sqrt{1+\zeta^2} - \zeta) \right]$$

$$\zeta = \frac{Z}{a}$$

ここで,

G_R : 等価せん断弾性係数 (kN/m^2)

G_{Ri} : 第 i 層のせん断弾性係数 (kN/m^2) 動せん断弾性係数 (初期剛性)

Z_i : 第 i 層の下端の深さ (m)

a : 基礎の等価半径 (m)

$$a = 2 \sqrt{\frac{\ell_x \cdot \ell_y}{\pi}}$$

$2\ell_x$: 加力方向の基礎の辺長 (m)

$2\ell_y$: 加力直角方向の基礎の辺長 (m)

ν : 岩盤のポアソン比 (動ポアソン比)

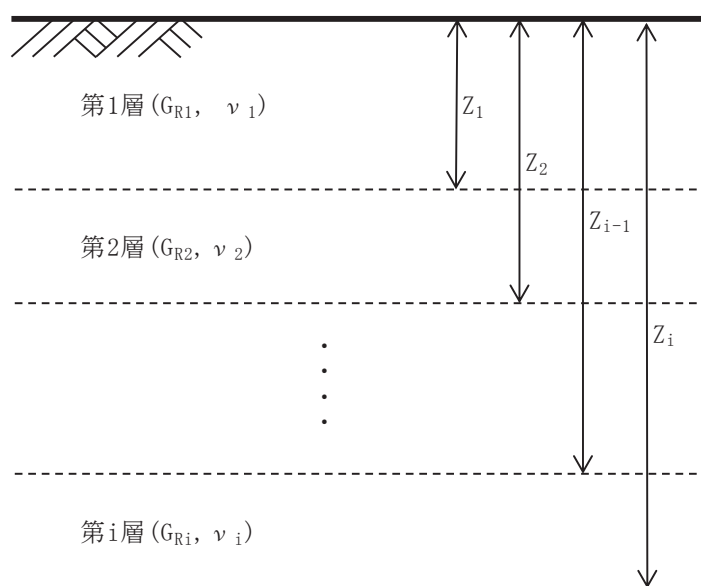


図 8.5-40 等価せん断弾性係数の算出概念図

(岩盤の鉛直方向地盤反力係数(地震時増分))

$$k_{VR} = 0.5 \cdot (k_{VRX} + k_{VRY})$$

$$k_{VRX} = \frac{\pi \cdot G_R}{1 - \nu} \cdot \frac{1}{2\ell_x} \cdot \frac{1}{\lambda_x \times \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_x^2 + 1}}{\lambda_x}\right)}$$

$$k_{VRY} = \frac{\pi \cdot G_R}{1 - \nu} \cdot \frac{1}{2\ell_y} \cdot \frac{1}{\lambda_y \times \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_y^2 + 1}}{\lambda_y}\right)}$$

$$\lambda_x = \ell_y / \ell_x$$

$$\lambda_y = \ell_x / \ell_y$$

ここで,

k_{VR} : 鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

(岩盤のせん断方向地盤反力係数)

$$k_{SR} = 0.5 \cdot (k_{SRX} + k_{SRY})$$

$$k_{SRX} = \frac{\pi \cdot G_R}{2 \cdot \ell_x \cdot F(\lambda_x)}$$

$$F(\lambda_x) = (1 - \nu) \cdot \ln\left(\sqrt{1 + \lambda_x^2} + \lambda_x\right) + \lambda_x \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_x^2 + 1}}{\lambda_x}\right)$$

$$\lambda_x = \ell_y / \ell_x$$

$$k_{SRY} = \frac{\pi \cdot G_R}{2 \cdot \ell_y \cdot F(\lambda_y)}$$

$$F(\lambda_y) = (1 - \nu) \cdot \ln\left(\sqrt{1 + \lambda_y^2} + \lambda_y\right) + \lambda_y \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{1 + \lambda_y^2 + 1}}{\lambda_y}\right)$$

$$\lambda_y = \ell_x / \ell_y$$

ここで,

k_{SR} : 水平方向せん断地盤反力係数 (kN/m³)

③ 地震時解析（側方地盤）

地震時解析における側方地盤は、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。

（水平方向地盤反力係数）

側壁部の水平方向地盤反力係数は、道示IV下部構造編 9.5.2 より算出する。

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$B_H = \sqrt{A_H}$$

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} E_D \quad (E_D = \text{Max}(E_{D1}, E_{D2}))$$

$$E_{D1} = 2(1 + \nu_D) G_D$$

$$E_{D2} = \frac{9K G_D}{3K + G_D}$$

ここで、

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (m)

A_H : 荷重作用方向に直交する基礎の載荷面積 (m²)

k_{H0} : 水平方向地盤反力係数の基準値 (kN/m³)

E_{D1} : 一次元地震応答解析による収束剛性から ν 一定として算定する地盤の動的変形係数 (kN/m²)

ν_D : 地盤の動的ポアソン比 (セメント改良土 : 0.36)

G_D : 地盤の動的せん断変形係数 (kN/m²) で一次元地震応答解析による収束剛性を用いる。また、セメント改良土の区間内の平均値を代表値として用いる。

E_{D2} : 一次元地震応答解析による収束剛性から K 一定として算定する地盤の動的変形係数 (kN/m²)

K : 体積弾性係数 (kN/m³) で、地下水位以深の場合は、地盤の初期堆積弾性係数と水の体積弾性係数 ($K_w = 2222 \times 10^3$ kN/m³) の大きい方の値とする。

(せん断方向地盤反力係数)

$$k_S = 0.3k_H$$

ここで,

k_S : 側壁部のせん断地盤反力係数 (kN/m³)

k_h : 側壁部の水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

(b) 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、「8.5.1 使用津波時」と同様である。

d. 照査時刻及び入力荷重

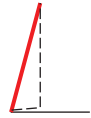

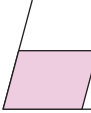
(a) 照査時刻

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 8.5-28 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 8.5-33、図 8.5-34 に示す。

表 8.5-28 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 (面外)	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

(b) 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「8.5.2(3)d.(a) 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 8.5-29 に各入力荷重の算定フローを図 8.5-41 に示す。また、地震応答解析から算出される荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフローを図 8.5-42 に示す。

表8.5-29 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
津波時荷重	動水圧	躯体側面，上面に作用する動水圧
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

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

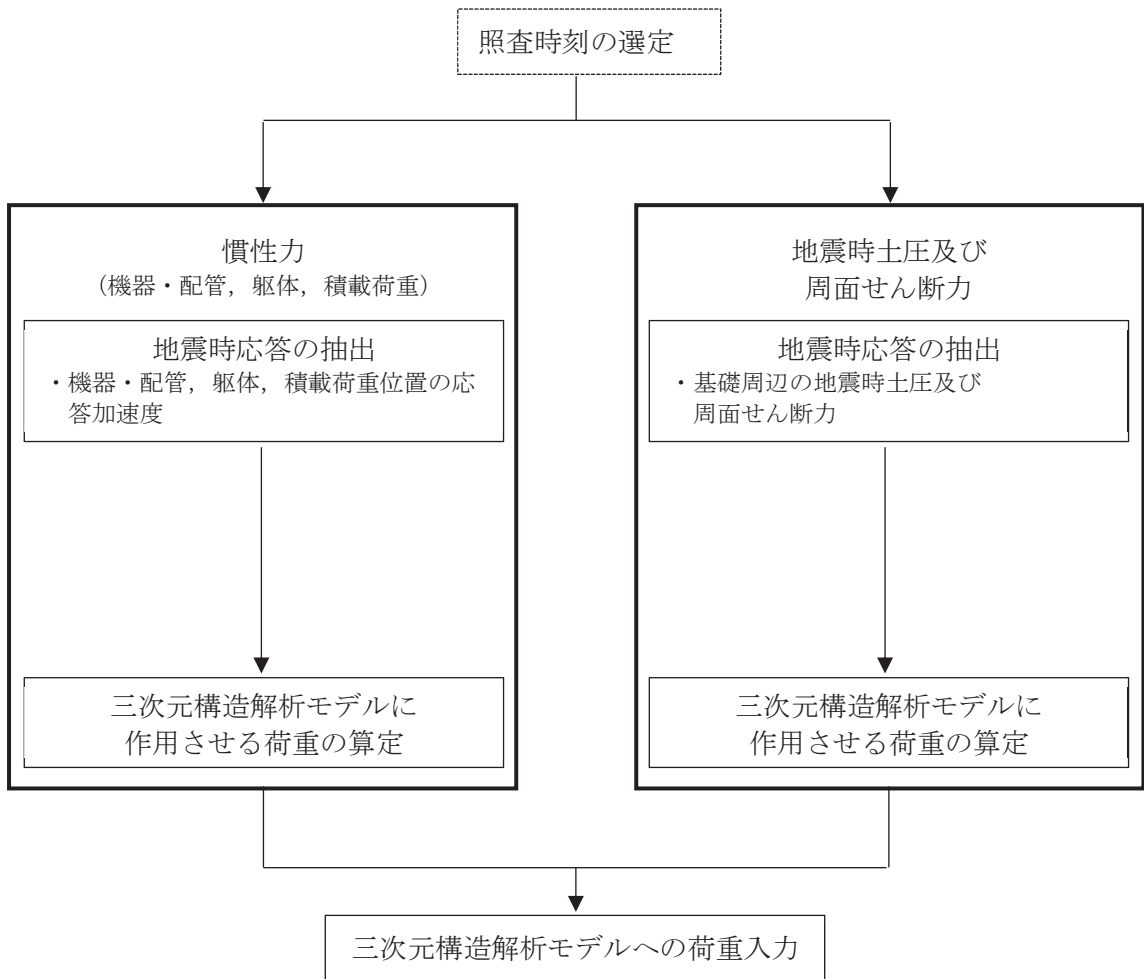


図 8.5-41 各入力荷重の算定フロー

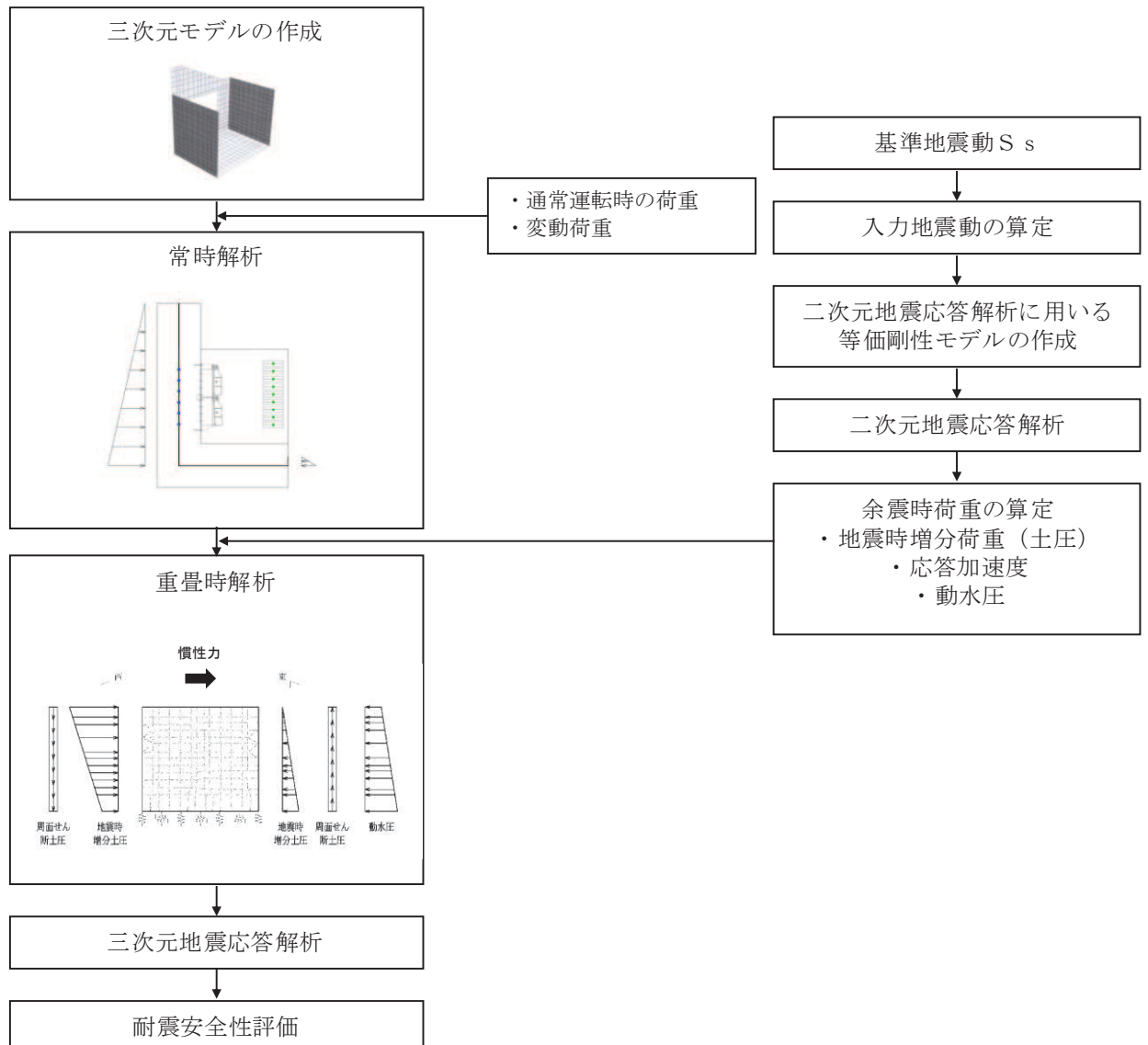


図 8.5-42 地震時荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフロー図

イ. 慣性力

機器・配管及び躯体の慣性力は、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材の各節点の、照査時刻における応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図 8.5-43 に示す。

算定した慣性力は図 8.5-44 に示すとおり、出口側集水ピットの三次元構造解析モデルに入力する。なお、算定した慣性力は三次元構造解析モデルの各節点において、水平方向及び鉛直方向同時に入力する。

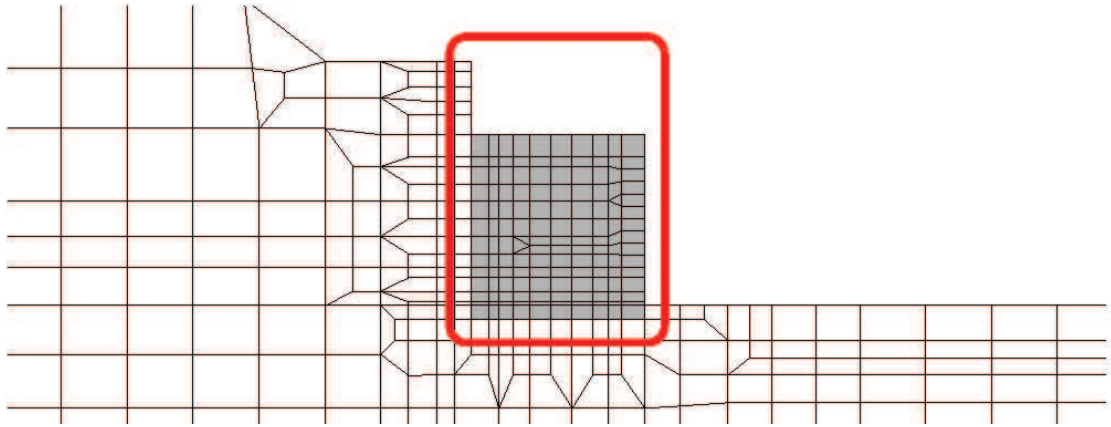
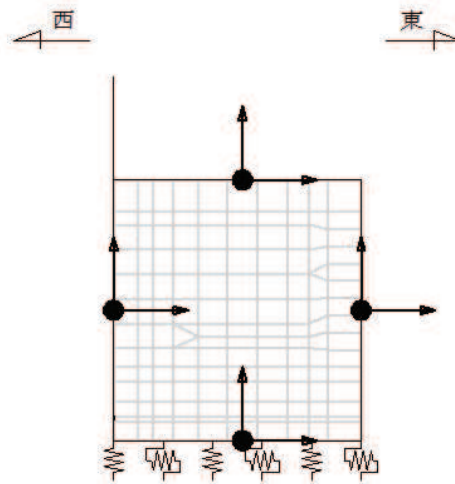


図 8.5-43 応答加速度抽出位置



注記*：図中の黒丸は水平方向及び鉛直方向同時入力することを表している

図 8.5-44 三次元構造解析モデルに入力する慣性力の概念図

ロ. 地震時増分土圧及び周面せん断土圧

躯体側面に作用する地震時増分土圧及び周面せん断土圧は、地震応答解析モデルにおいて各部位に接するジョイント要素の、照査時刻における要素応力（直応力及びせん断力）から算定する。地震時増分土圧及び周面せん断土圧の抽出位置を図 8.5-45 に示す。また、算定した地震時増分土圧及び周面せん断土圧は、図 8.5-46 に示すとおり、出口側集水ピットの三次元構造解析モデルに入力する。

e. 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 8.5-47 に、断面力の組合せを表 8.5-30 に示す。面内せん断力 N_{xy} については、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、軸力として考慮する。

また、各部材の要素座標系を図 8.5-48 に示す。

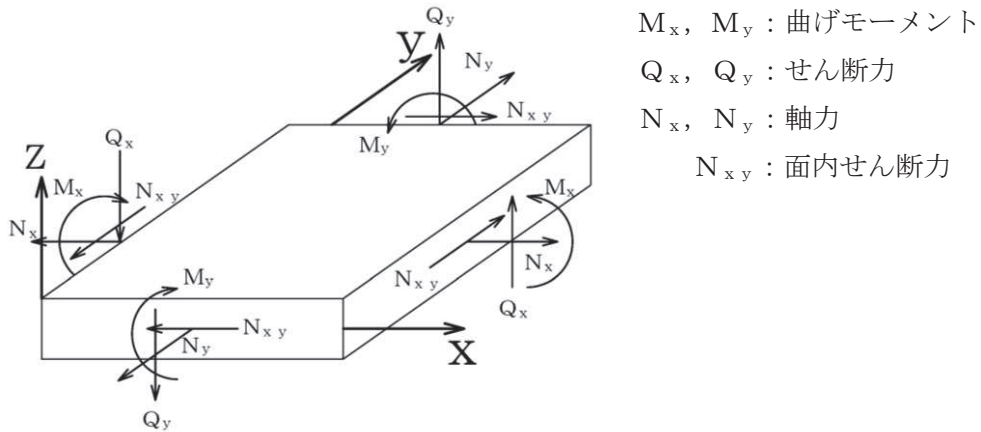


図 8.5-47 シェル要素における応答断面力

表 8.5-30 断面力の組合せ

	X 方向断面力		Y 方向断面力	
	曲げモーメント	軸力	曲げモーメント	軸力
組合せ①	M_x	N_x	M_y	N_y
組合せ②	M_x	$N_x + N_{xy} $	M_y	$N_y + N_{xy} $
組合せ③	M_x	$N_x - N_{xy} $	M_y	$N_y - N_{xy} $

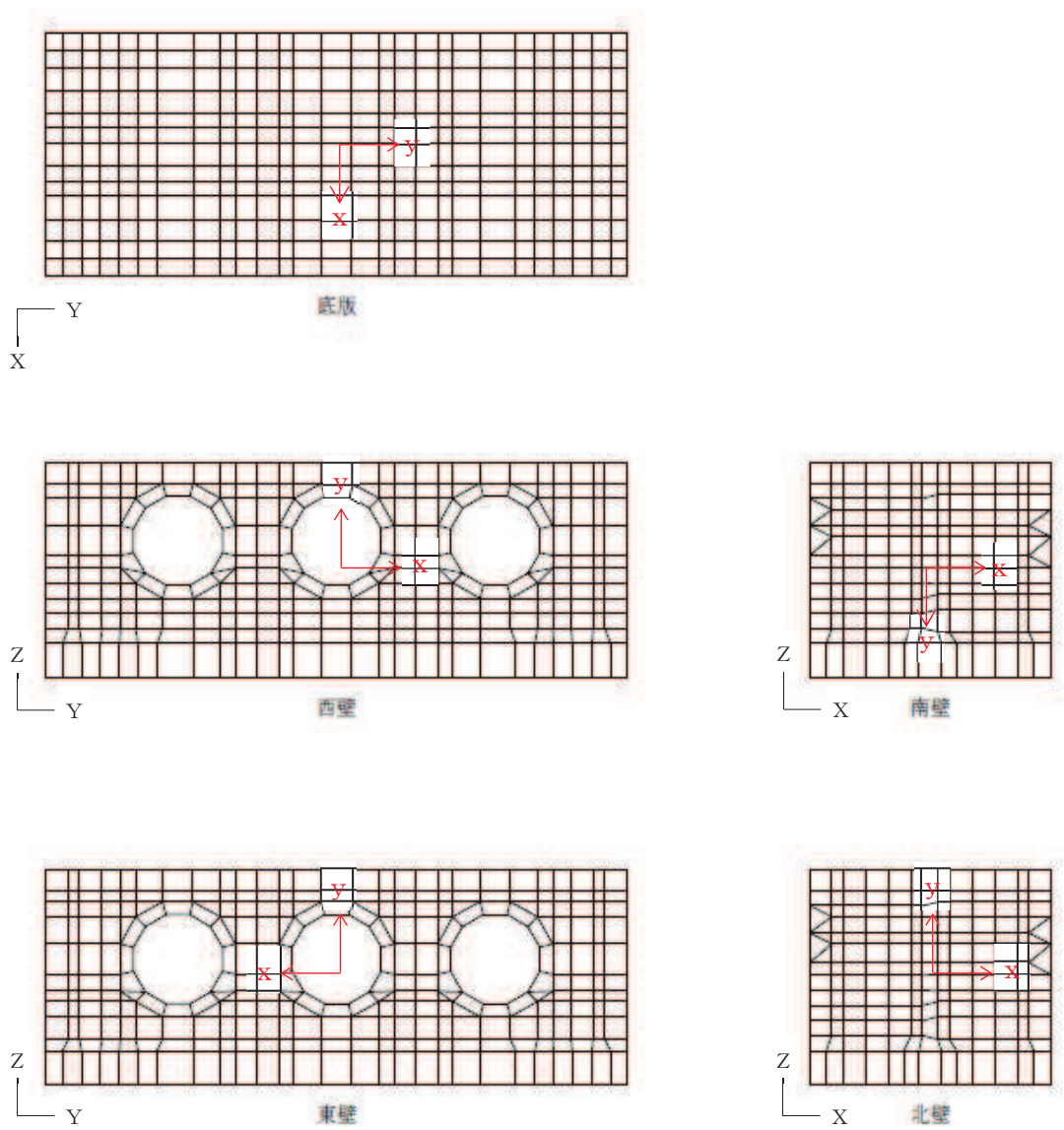


図 8.5-48 各部材の要素座標系

(a) 構造部材の断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 8.5-31 に示す。また、最大照査値となる評価時刻における断面力分布（曲げモーメント、軸力）を図 8.5-50 に示す。

表 8.5-31 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（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	短期許容	照査値 σ' / σ'_{ca}	
					応力度 σ'_c (N/mm ²)	応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)		
底版	1	③	S d-D 2 (-+)	410	-735	0.9	16.5	0.06
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	857	-2807	2.3	16.5	0.14
西壁	3	③	S d-D 2 (-+)	-845	-152	1.7	16.5	0.11
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	956	-1798	2.0	16.5	0.13

注記*：評価位置は図 8.5-49 に示す。

表 8.5-31 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（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	短期許容	照査値 σ_s / σ_{sa}	
					応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 σ_{sa} (N/mm ²)		
底版	1	②	S d-D 2 (-+)	163	440	42.0	294.0	0.15
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	952	-670	38.1	294.0	0.13
西壁	3	①	S d-D 2 (-+)	-790	726	110.7	294.0	0.38
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	803	-482	36.4	294.0	0.13

注記*：評価位置は図 8.5-49 に示す。

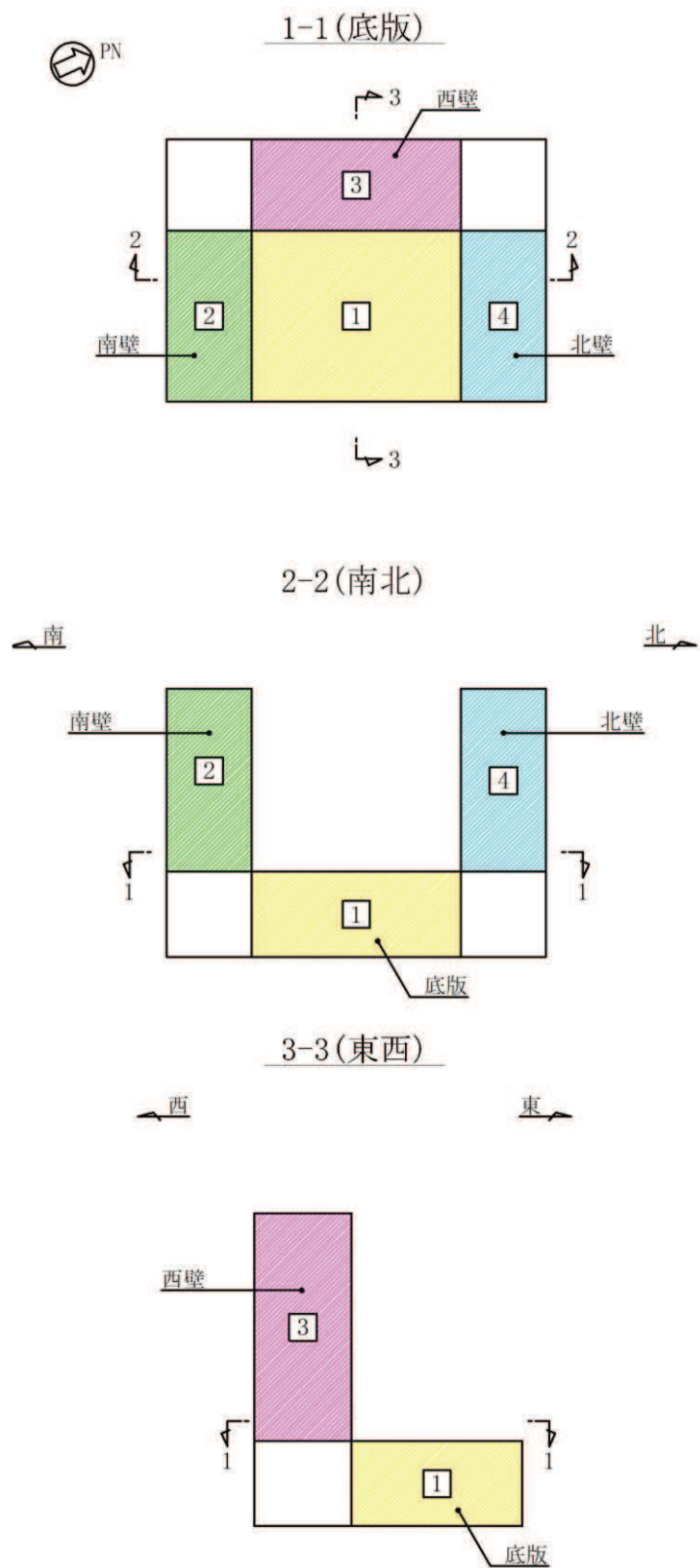


图 8.5-49 評価位置図

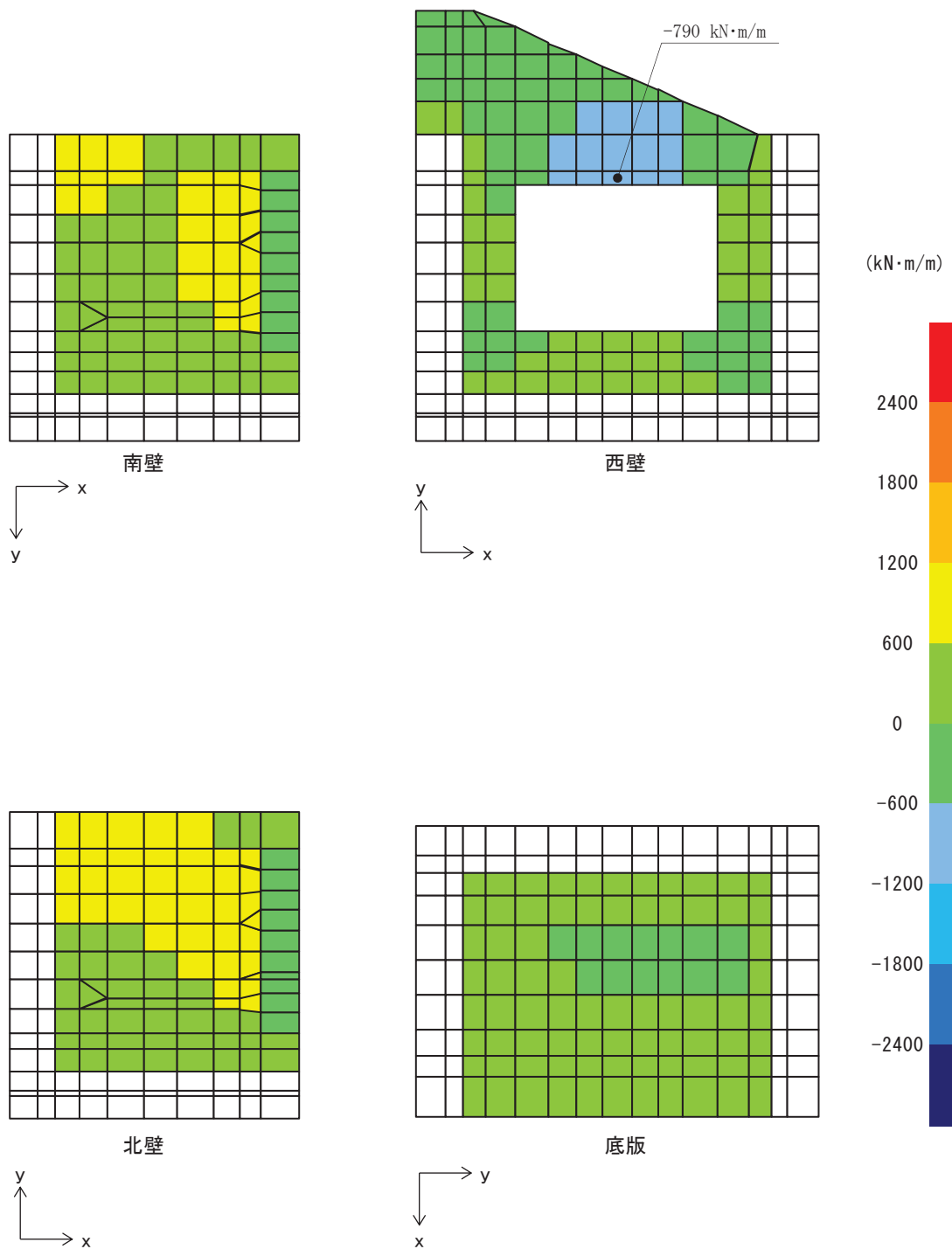


図 8.5-50 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

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

(西壁, 解析ケース①, S d-D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

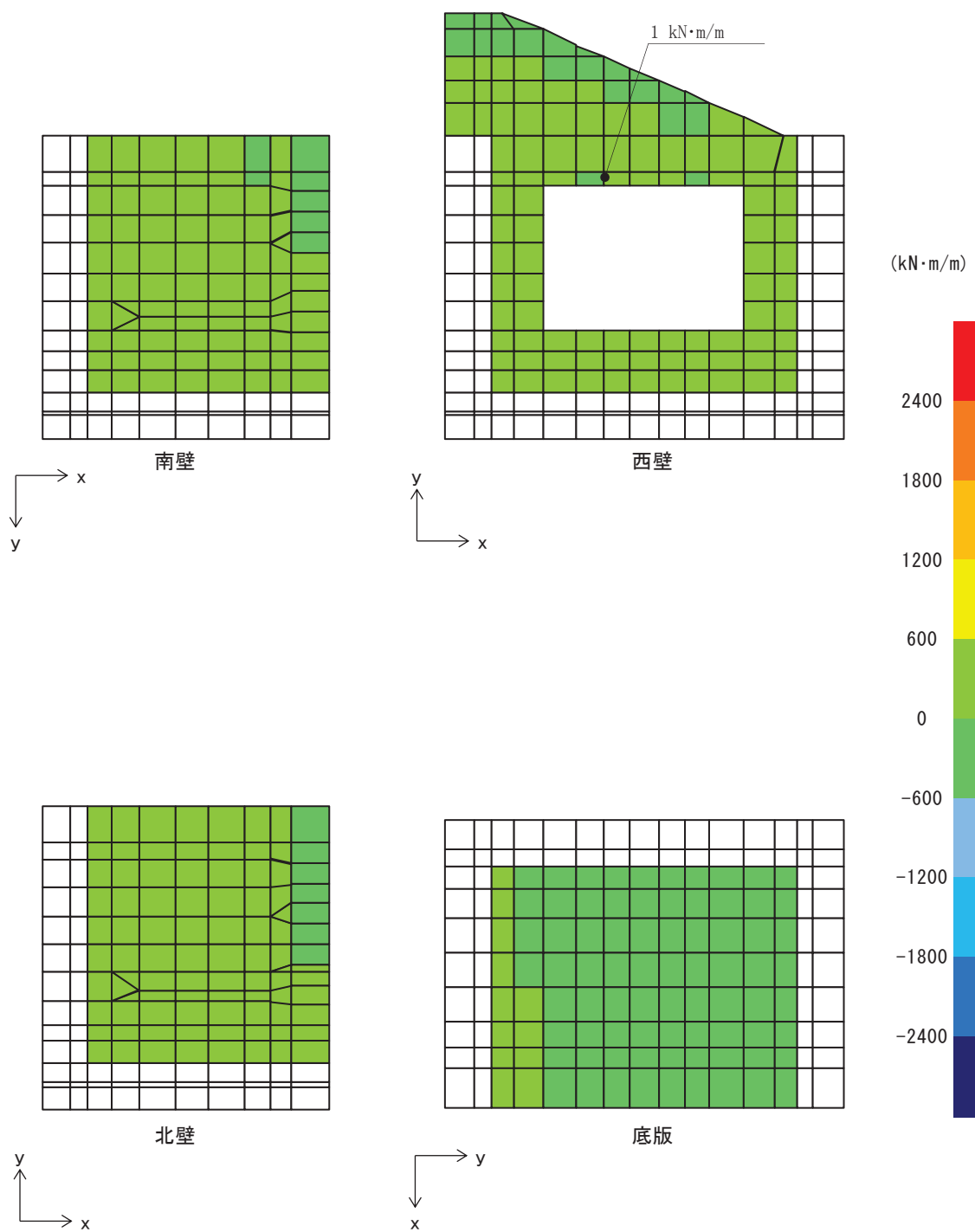


図8.5-50 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

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

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

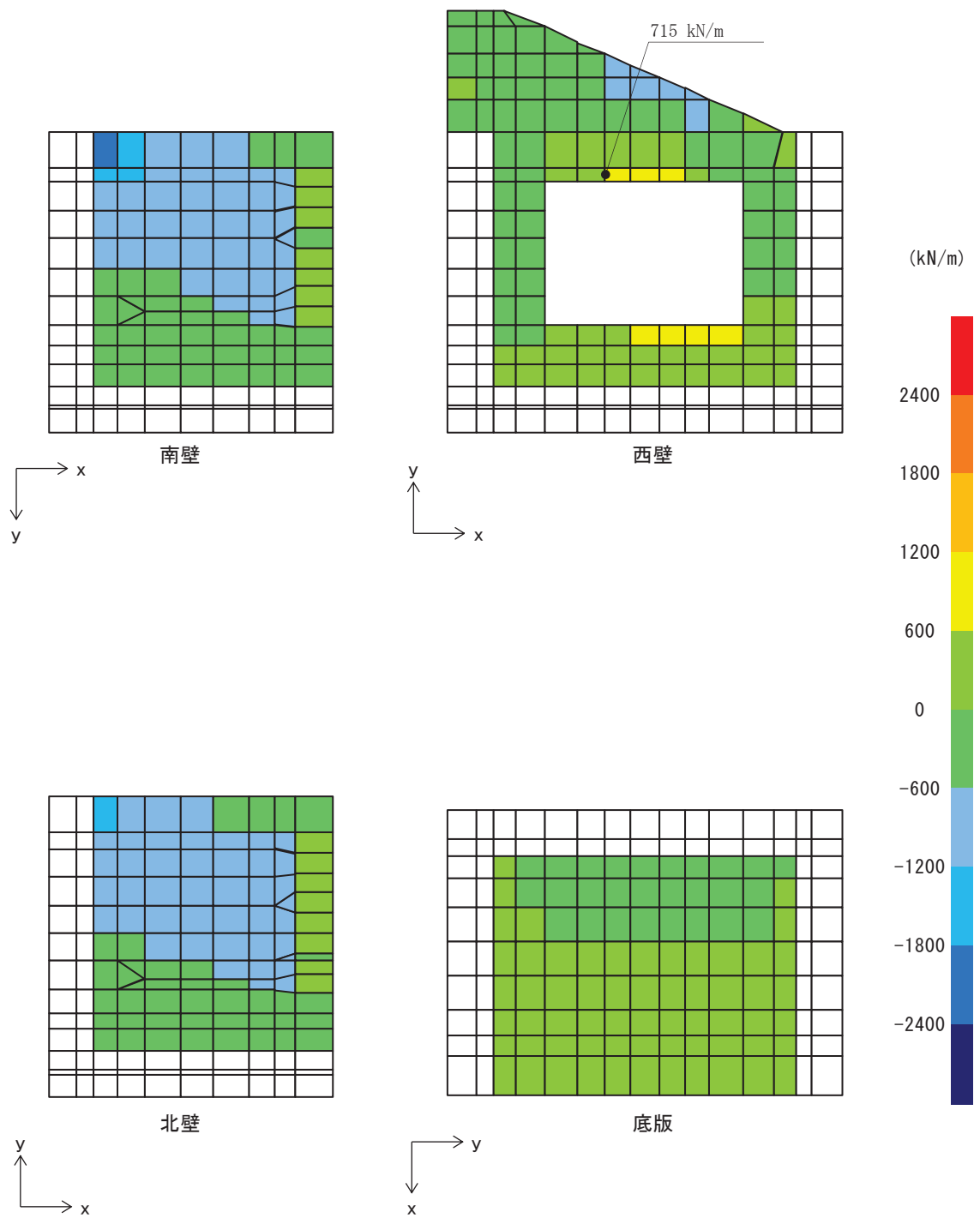


図 8.5-50 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力(kN/m) : N_x)

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

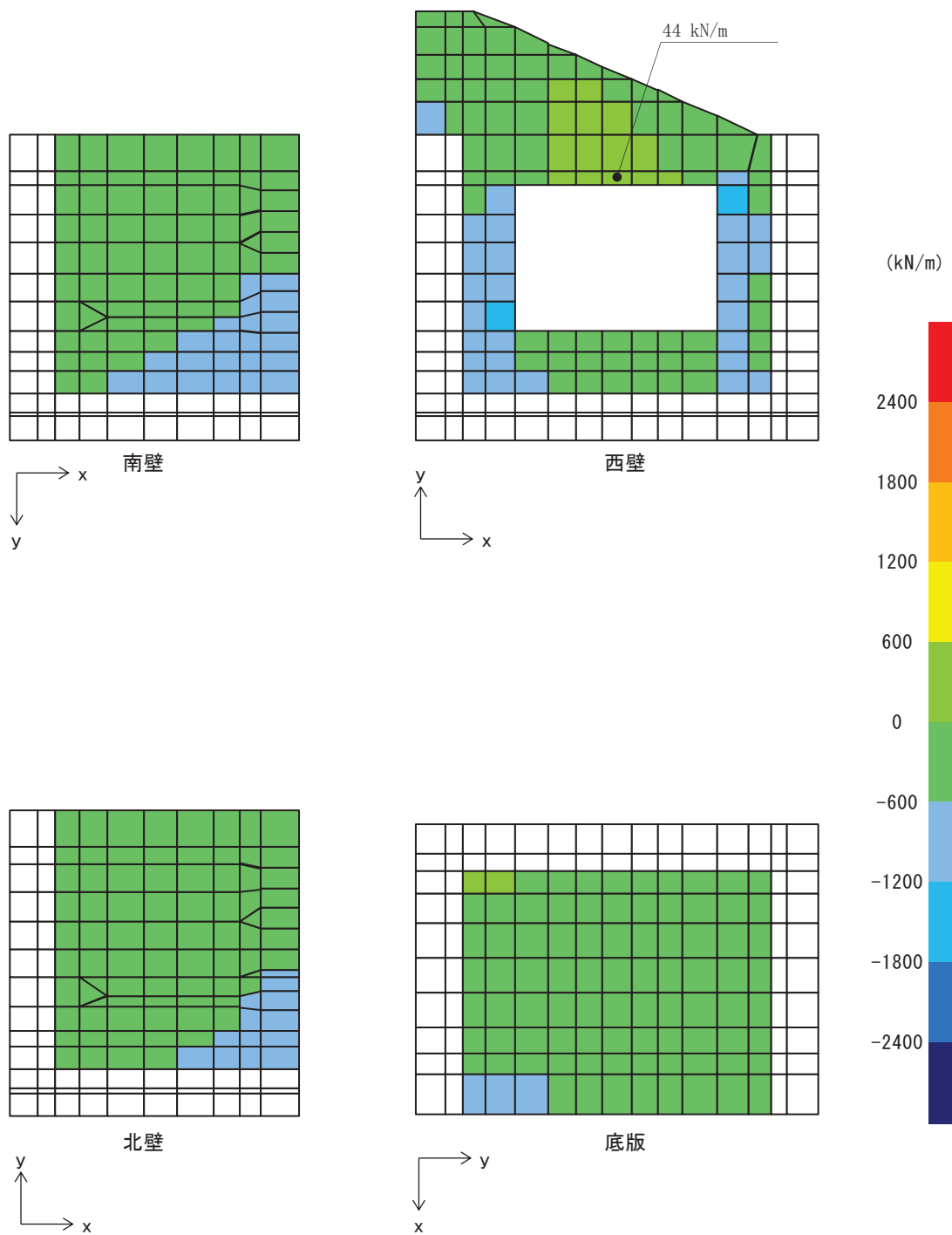


図8.5-50 (4) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力(kN/m) : N_y)

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

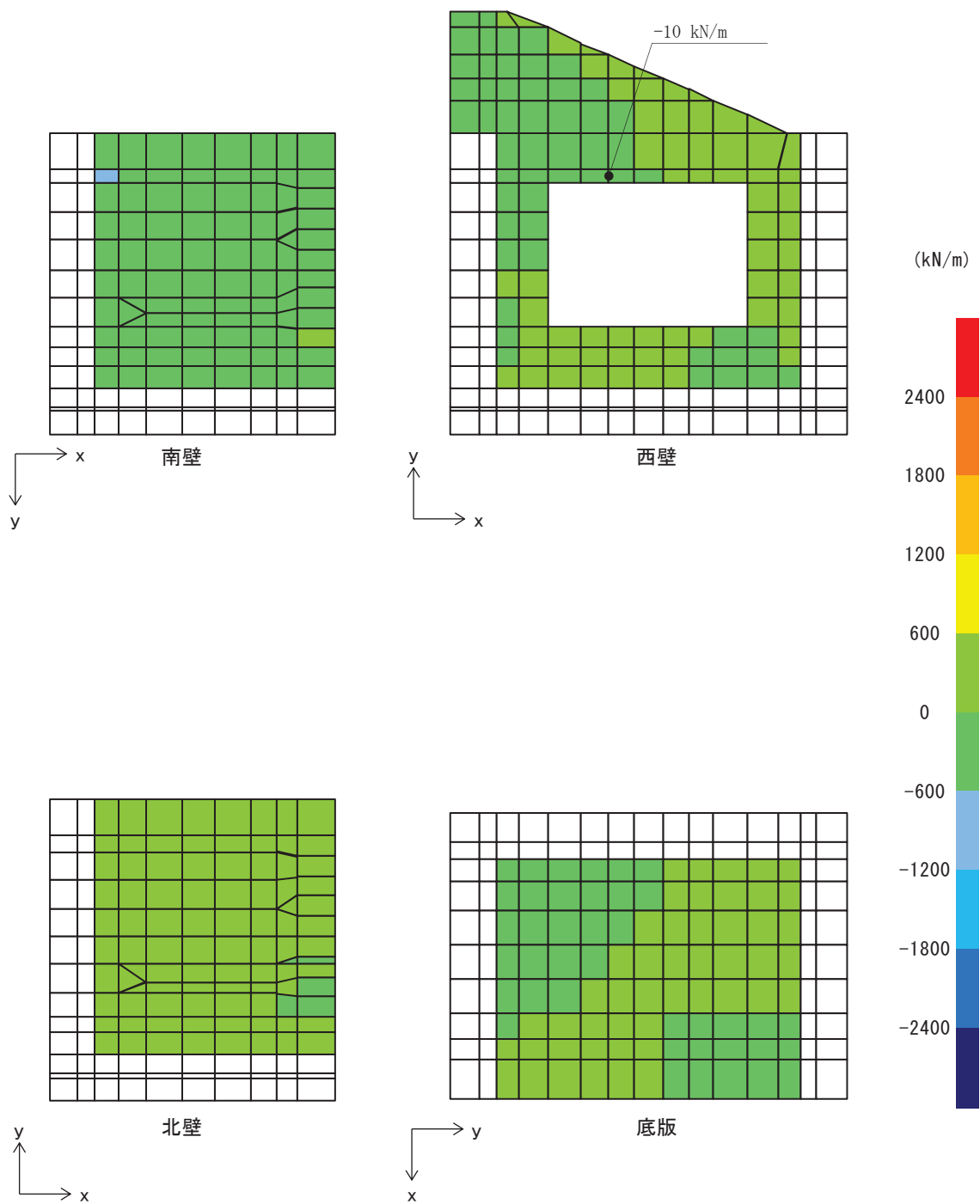


図8.5-50 (5) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力(kN/m) : N_{xy})

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

(b) 構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）

構造部材のせん断破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 8.5-32 に示す。また、最大照査値となる評価時刻における断面力分布（せん断力）を図 8.5-51 に示す。

表 8.5-32(1) せん断破壊に対する最大照査値

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 d-D 2 (-+)	695	3495	0.20
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	760	3495	0.22
西壁	3	③	S d-D 2 (-+)	1239	3495	0.36
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	541	3495	0.16

注記*：評価位置は図 8.5-49 に示す。

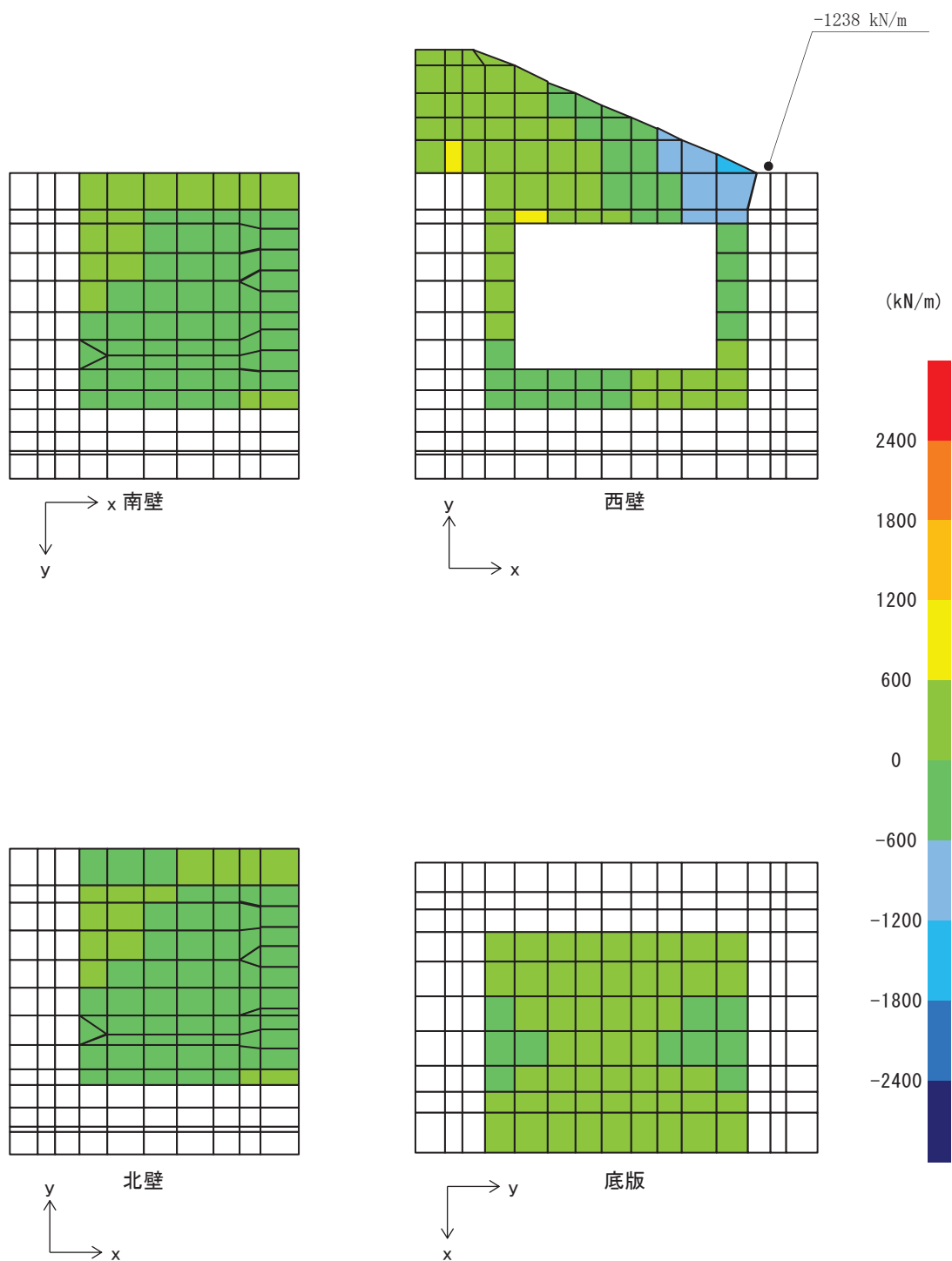


図8.5-51 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

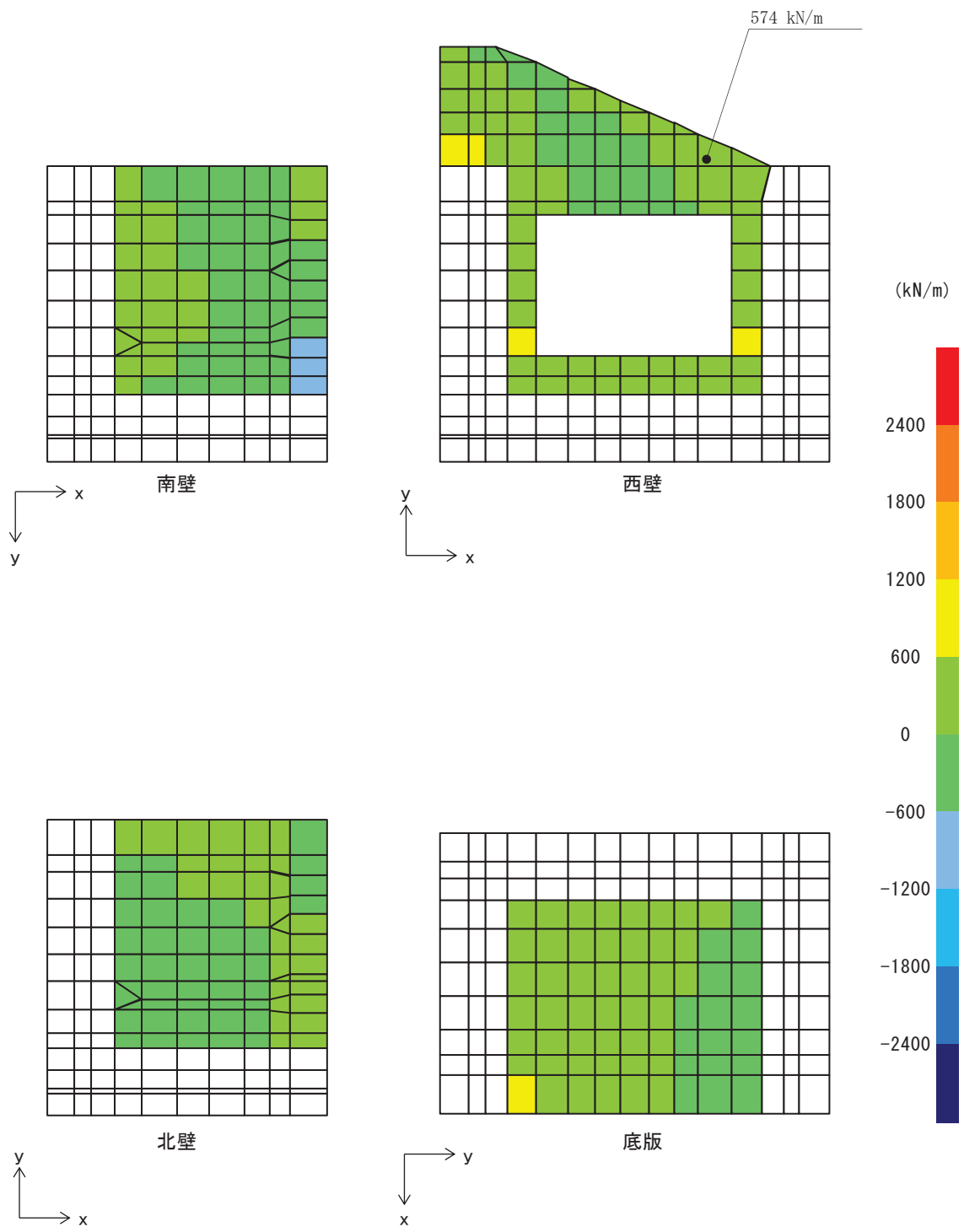


図8.5-51 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力(kN/m) : Q_y)

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+), 衝突荷重作用位置 : 北端部)

(4) 評価方法

出口側集水ピットの強度評価は、二次元動的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、「8.4 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

9. 評価条件

「8. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 9-1 に示す。

表 9-1 強度評価に用いる条件

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鉄筋コンクリート)	2562.223	kN
G	固定荷重 (FG 扉体+戸当り ×3 基)	66.195	kN
σ_{ca}	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度	16.5	N/mm ²
τ_{a1}	コンクリートの短期許容せん断応力度	0.75	N/mm ²
V_a	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力(底版)	1227	kN
V_a	南北壁下方	944	kN
	南北壁上方	1150	kN
V_a	東西壁上方	1563	kN
	東西壁下方	1975	kN
D	有効高さ (底版)	1.3	m
D	有効高さ (壁)	1.0	m
A_w	斜め引張鉄筋断面積	9.6775	cm ²
σ_{sa}	鉄筋の短期許容引張応力度	294	N/mm ²
S	斜め引張鉄筋間隔 (底版)	0.4	m
	斜め引張鉄筋間隔 (壁)	0.2	m

10. 評価結果

10.1 津波時

10.1.1 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 10.1-1 に、曲げ軸力に対する照査結果を表 10.1-2 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10.1-1 に示す。

鉄筋コンクリートに対して許容応力度法による照査を行った結果、コンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 10.1-1 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

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

構造部材の曲げ軸力に対する照査結果を表 10.1-2 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10.1-1 に示す。

鉄筋コンクリートに対して許容応力度法による照査を行った結果、コンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

表10.1-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	衝突作用位置	評価位置		曲げモー メント	軸力	発生 応力度 $\sigma'c$	短期許容 応力度 $\sigma'ca$	照査値 $\sigma'c/\sigma'ca$
				(kN・m/m)	(kN/m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
①	中間	底版	1	344	-513	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	1194	-718	2.5	16.5	0.16
		西壁	3	91	-996	0.6	16.5	0.04
		北壁	4	1209	-684	2.6	16.5	0.16
	南端部	底版	1	332	-661	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	2224	-1198	4.7	16.5	0.29
		西壁	3	-439	-411	1	16.5	0.07
		北壁	4	255	-227	0.6	16.5	0.04
	北端部	底版	1	353	-316	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	417	-391	0.9	16.5	0.06
		西壁	3	507	-152	1.1	16.5	0.07
		北壁	4	2239	-1164	4.7	16.5	0.29
②	中間	底版	1	325	-496	0.7	16.5	0.05
		南壁	2	1195	-719	2.5	16.5	0.16
		西壁	3	94	-984	0.6	16.5	0.04
		北壁	4	1209	-685	2.6	16.5	0.16
	南端部	底版	1	315	-649	0.7	16.5	0.05
		南壁	2	2225	-1199	4.7	16.5	0.29
		西壁	3	-449	-394	1	16.5	0.07
		北壁	4	255	-227	0.6	16.5	0.04
	北端部	底版	1	334	-306	0.7	16.5	0.05
		南壁	2	407	-393	0.9	16.5	0.06
		西壁	3	503	-149	1.1	16.5	0.07
		北壁	4	2239	-1166	4.7	16.5	0.29
③	中間	底版	1	366	-408	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	1193	-717	2.5	16.5	0.16
		西壁	3	88	-1012	0.6	16.5	0.04
		北壁	4	1209	-684	2.6	16.5	0.16
	南端部	底版	1	351	-679	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	2223	-1197	4.7	16.5	0.29
		西壁	3	-429	-433	0.9	16.5	0.06
		北壁	4	255	-227	0.6	16.5	0.04
	北端部	底版	1	374	-329	0.8	16.5	0.05
		南壁	2	431	-390	0.9	16.5	0.06
		西壁	3	511	-156	1.1	16.5	0.07
		北壁	4	2239	-1164	4.7	16.5	0.29

軸力：引張正

表10.1-2 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (鉄筋)

解析 ケース	衝突作用位置	評価位置		曲げモー メント	軸力	発生 応力度 $\sigma's$	短期許容 応力度 $\sigma'sa$	照査値 $\sigma's/\sigma'sa$
				(kN・m/m)	(kN/m)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
①	南端部	底版	1	239	-41	16.7	294	0.06
		南壁	2	2224	-1198	108.1	294	0.37
		西壁	3	-312	319	46.0	294	0.16
		北壁	4	234	-191	8.1	294	0.03
	中間	底版	1	323	-241	12.3	294	0.05
		南壁	2	1194	-718	54.1	294	0.19
		西壁	3	-279	359	46.1	294	0.16
		北壁	4	1209	-684	57.0	294	0.2
	北端部	底版	1	-124	167	21.0	294	0.08
		南壁	2	188	-2	15.0	294	0.06
		西壁	3	561	178	56.3	294	0.2
		北壁	4	2239	-1164	111.1	294	0.38
②	南端部	底版	1	224	-37	15.7	294	0.06
		南壁	2	2225	-1199	108.1	294	0.37
		西壁	3	-315	336	47.3	294	0.17
		北壁	4	234	-190	8.2	294	0.03
	中間	底版	1	305	-231	11.4	294	0.04
		南壁	2	1195	-719	54.1	294	0.19
		西壁	3	-290	367	47.5	294	0.17
		北壁	4	1209	-685	57.0	294	0.2
	北端部	底版	1	-119	164	20.4	294	0.07
		南壁	2	185	-8	14.4	294	0.05
		西壁	3	-510	246	56.7	294	0.2
		北壁	4	2239	-1166	111.0	294	0.38
③	南端部	底版	1	258	-39	18.3	294	0.07
		南壁	2	2223	-1197	108.1	294	0.37
		西壁	3	-306	331	46.3	294	0.16
		北壁	4	234	-193	8.0	294	0.03
	中間	底版	1	345	-251	13.4	294	0.05
		南壁	2	1193	-717	54.1	294	0.19
		西壁	3	-270	351	44.9	294	0.16
		北壁	4	1209	-682	57.1	294	0.2
	北端部	底版	1	-131	170	21.8	294	0.08
		南壁	2	192	4	15.7	294	0.06
		西壁	3	566	173	56.4	294	0.2
		北壁	4	2239	-1163	111.2	294	0.38

軸力：引張正

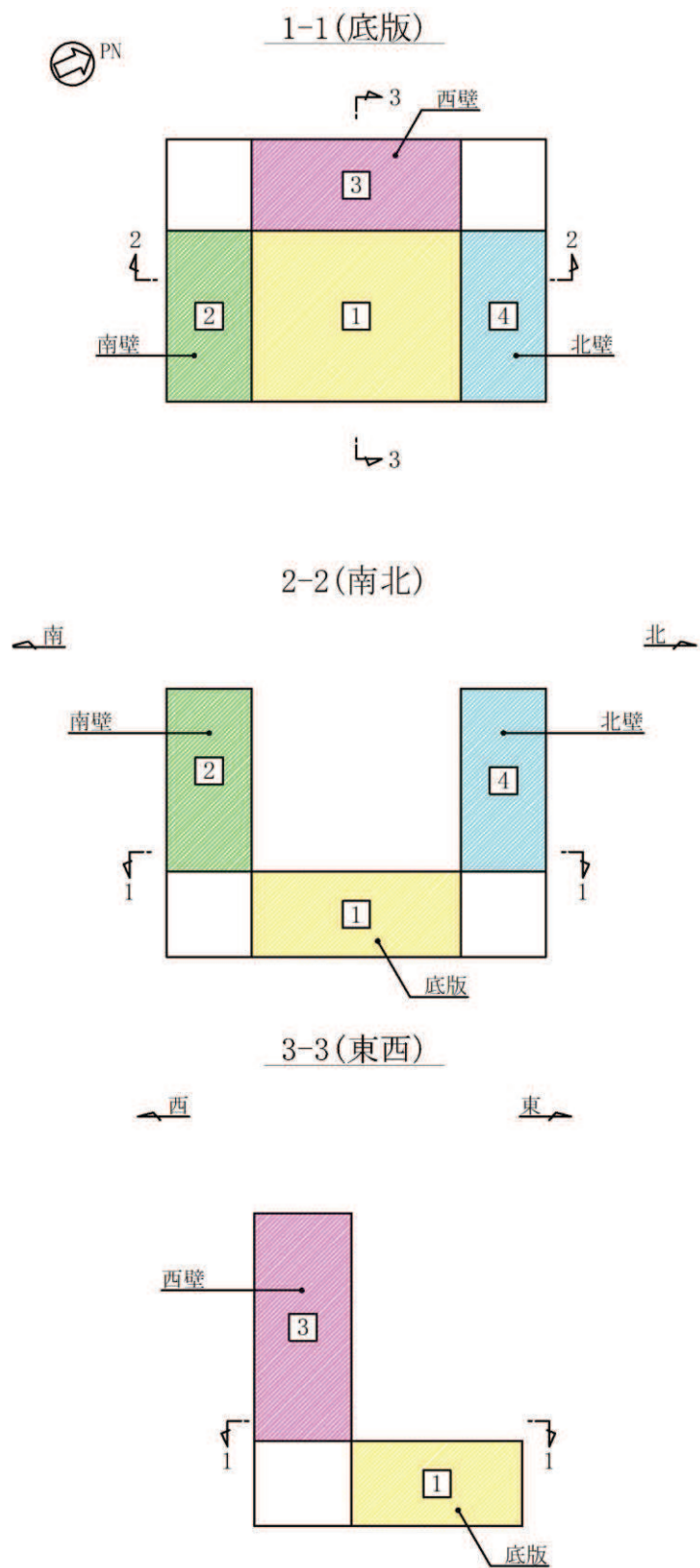


图 10.1-1 評価位置図

(2) せん断破壊に対する評価結果

構造部材のせん断破壊に対する各部材での最大照査値について、表 10.1-3 に解析ケース・地震動ごとに示す。全ケースにおいて、出口側集水ピットの構造部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表10.1-3 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	衝突作用位置	評価位置		照査用	短期許容	照査値 V/V_a
				せん断力 V (kN/m)	せん断力 V_a (kN/m)	
①	南端部	底版	1	211	3495	0.07
		南壁	2	590	3495	0.17
		西壁	3	397	3495	0.12
		北壁	4	189	3495	0.06
	中間	底版	1	279	3495	0.08
		南壁	2	435	3495	0.13
		西壁	3	451	3495	0.13
		北壁	4	285	3495	0.09
	北端部	底版	1	405	3495	0.12
		南壁	2	371	3495	0.11
		西壁	3	702	3495	0.21
		北壁	4	551	3495	0.16
②	南端部	底版	1	215	3495	0.07
		南壁	2	588	3495	0.17
		西壁	3	402	3495	0.12
		北壁	4	192	3495	0.06
	中間	底版	1	272	3495	0.08
		南壁	2	424	3495	0.13
		西壁	3	458	3495	0.14
		北壁	4	285	3495	0.09
	北端部	底版	1	396	3495	0.12
		南壁	2	359	3495	0.11
		西壁	3	709	3495	0.21
		北壁	4	551	3495	0.16
③	南端部	底版	1	208	3495	0.06
		南壁	2	594	3495	0.17
		西壁	3	393	3495	0.12
		北壁	4	185	3495	0.06
	中間	底版	1	289	3495	0.09
		南壁	2	449	3495	0.13
		西壁	3	445	3495	0.13
		北壁	4	285	3495	0.09
	北端部	底版	1	418	3495	0.12
		南壁	2	384	3495	0.11
		西壁	3	696	3495	0.20
		北壁	4	551	3495	0.16

10.1.2 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 10.1-4 に示す。最大接地圧分布図を図 10.1-2 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 10.1-4 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	0.4	30	0.02
②	0.4		0.02
③	0.3		0.01

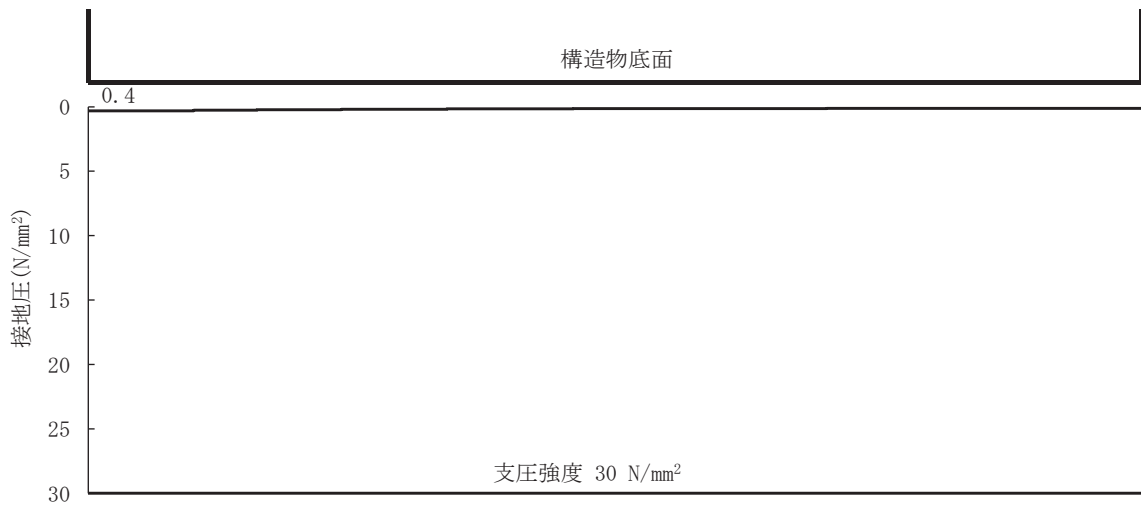


図 10.1-2 東西方向断面の最大接地分布図
(解析ケース②)

10.2 重畳時

10.2.1 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 10.1-1 に、曲げ軸力に対する照査結果を表 10.2-1 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10.1-1 に示す。

鉄筋コンクリートに対して許容応力度法による照査を行った結果、コンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

構造部材の曲げ軸力に対する照査結果を表 10.2-1 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10.1-1 に示す。

鉄筋コンクリートに対して許容応力度法による照査を行った結果、コンクリートに発生する曲げ圧縮応力及び鉄筋に発生する曲げ引張応力が短期許容応力度以下であることを確認した。なお、発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

表10.2-1(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c/\sigma'ca$
①	S d - D 2 (++)	底版	1	25.24	-363	-454	0.80	16.50	0.05
		南壁	2	25.24	926	-707	1.90	16.50	0.12
		西壁	3	25.24	-693	-80	1.40	16.50	0.09
		北壁	4	25.24	943	-784	2.00	16.50	0.13
	S d - D 2 (-+)	底版	1	13.63	-400	-482	0.80	16.50	0.05
		南壁	2	13.63	799	-2281	2.00	16.50	0.13
		西壁	3	13.63	-759	-85	1.50	16.50	0.10
		北壁	4	13.63	939	-766	2.00	16.50	0.13
②	S d - D 2 (-+)	底版	1	13.62	-405	-335	0.80	16.50	0.05
		南壁	2	29.99	793	-2421	2.10	16.50	0.13
		西壁	3	29.99	-724	-104	1.50	16.50	0.10
		北壁	4	29.99	962	-826	2.00	16.50	0.13
③	S d - D 2 (-+)	底版	1	8.01	410	-735	0.90	16.50	0.06
		南壁	2	13.64	857	-2807	2.30	16.50	0.14
		西壁	3	13.64	-845	-152	1.70	16.50	0.11
		北壁	4	13.64	956	-1798	2.00	16.50	0.13

軸力：引張正

表10.2-1(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (鉄筋)

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	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}
①	S d-D 2 (++)	底版	1	25.24	132	381	35.70	294.00	0.13
		南壁	2	13.51	183	304	34.80	294.00	0.12
		西壁	3	25.24	-724	623	98.60	294.00	0.34
		北壁	4	25.24	930	-735	33.30	294.00	0.12
	S d-D 2 (-+)	底版	1	13.63	44	391	29.10	294.00	0.10
		南壁	2	13.63	920	-685	35.00	294.00	0.12
		西壁	3	13.63	-790	726	110.70	294.00	0.38
		北壁	4	13.63	924	-719	33.60	294.00	0.12
②	S d-D 2 (-+)	底版	1	29.99	163	440	42.00	294.00	0.15
		南壁	2	29.99	936	-712	34.80	294.00	0.12
		西壁	3	13.62	-636	863	108.00	294.00	0.37
		北壁	4	29.99	950	-767	33.30	294.00	0.12
③	S d-D 2 (-+)	底版	1	13.64	162	411	40.10	294.00	0.14
		南壁	2	13.64	952	-670	38.10	294.00	0.13
		西壁	3	13.64	-907	489	104.10	294.00	0.36
		北壁	4	8.01	803	-482	36.40	294.00	0.13

軸力：引張正

(2) せん断破壊に対する評価結果

構造部材のせん断破壊に対する各部材での最大照査値について、表 10.2-2 に解析ケース・地震動ごとに示す。全ケースにおいて、出口側集水ピットの構造部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 10.2-2 せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動 (位相)	評価位置		照査 時刻 (s)	照査用 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
①	S d-D 2 (++)	底版	1	25.24	605	3495	0.18
		南壁	2	25.24	730	3495	0.21
		西壁	3	25.24	945	3495	0.28
		北壁	4	25.24	532	3495	0.16
	S d-D 2 (-+)	底版	1	13.63	614	3495	0.18
		南壁	2	13.63	724	3495	0.21
		西壁	3	13.63	1022	3495	0.30
		北壁	4	13.63	522	3495	0.15
②	S d-D 2 (-+)	底版	1	29.99	553	3495	0.16
		南壁	2	29.99	728	3495	0.21
		西壁	3	29.99	1059	3495	0.31
		北壁	4	29.99	536	3495	0.16
③	S d-D 2 (-+)	底版	1	13.64	695	3495	0.20
		南壁	2	13.64	760	3495	0.22
		西壁	3	13.64	1239	3495	0.36
		北壁	4	8.01	541	3495	0.16

10.2.2 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 10.2-3 に示す。最大接地圧分布図を図 10.2-1 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 10.2-3 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	基準地震動	位相	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S d - D 2	(++)	0.7	30	0.03
		(-+)	0.7		0.03
②		(-+)	0.6		0.02
③		(-+)	0.8		0.03

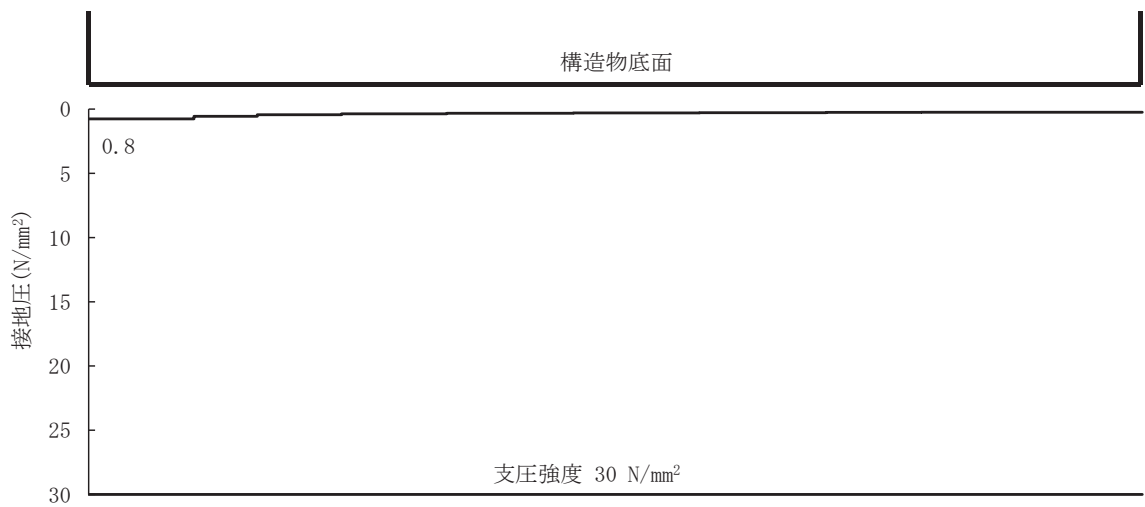


図 10.2-1 東西方向断面の最大接地分布図
(解析ケース③, S d - D 2 (++))

(参考資料 1) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の構造詳細について

1. 構造概要

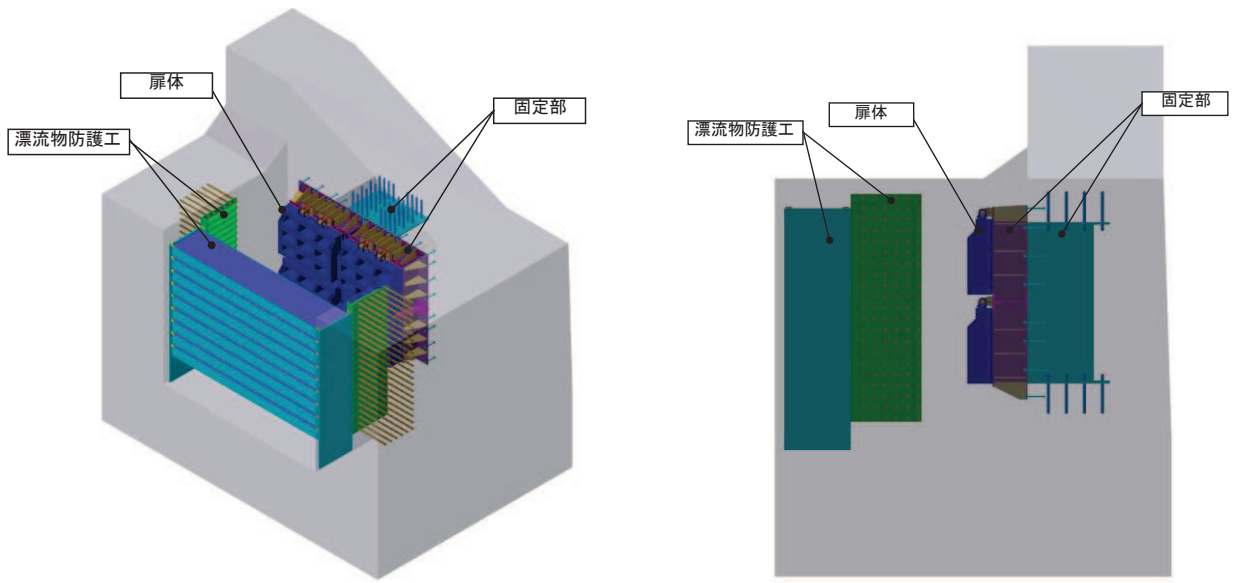
屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) は、4 門の鋼製の扉体 (スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ (吊りピン含む) 及びヒンジ取付けボルト)、固定部 (ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、中央支柱、中央横桁、戸当り及びアンカーボルト) 及び漂流物防護工で構成され、漂流物防護工により扉体及び固定部には漂流物が衝突しない構造とする。

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、屋外排水路を經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) の使用材料を表 1-1 に、構造概要を図 1-1 に示す。

表 1-1 使用材料

部位	材質	仕様
扉体	スキンプレート	SUS304 板厚 25mm
	主桁	SUS304 BC-220x170x20/25 (1 段目) H-350x200x20/25 (2, 3 段目) BC-350x125x15/25 (4 段目)
	補助縦桁	SUS304 BH-220x75x12/20 (主桁 1-2 段目間) BH-350x75x12/20 (その他)
	側部縦桁	SUS304 BC-350x125x20/25
	ヒンジ (吊りピン)	SUS304 φ 50mm
扉体及び固定部	ヒンジ (プレート)	SUS304 板厚 20mm
	ヒンジ取付けボルト	SUS304 M20
固定部	中央支柱	SUS304 BH-1050x300x35/35
	中央横桁	SUS304 BH-550x300x30/25
	戸当り	SUS304 板厚 12mm
	アンカーボルト	SUS304 頭付きアンカーボルト (M20)
漂流物防護工	防護梁	SM570 1-H-950x250x19/40 (母材) 2-PL-870x6x4780 (箱型断面用 PL) 2-PL-1050x40x350 (エンドプレート一般部) 2-PL-1050x40x1025 (エンドプレート最下段)
	ブラケット	SS400 PL-200x25x3600 (受台) PL-1100x25x4050 (ベースプレート) 20-PL-175x25x1100 (リブプレート)
	つなぎ材	強度区分 4.6 M20
	つなぎ材プレート	SM570 板厚 25mm
	アンカーボルト	SD345 D25



(鳥瞰図)

(側面図)

図 2.2-1(1) 構造概要図 (鳥瞰図, 側面図)

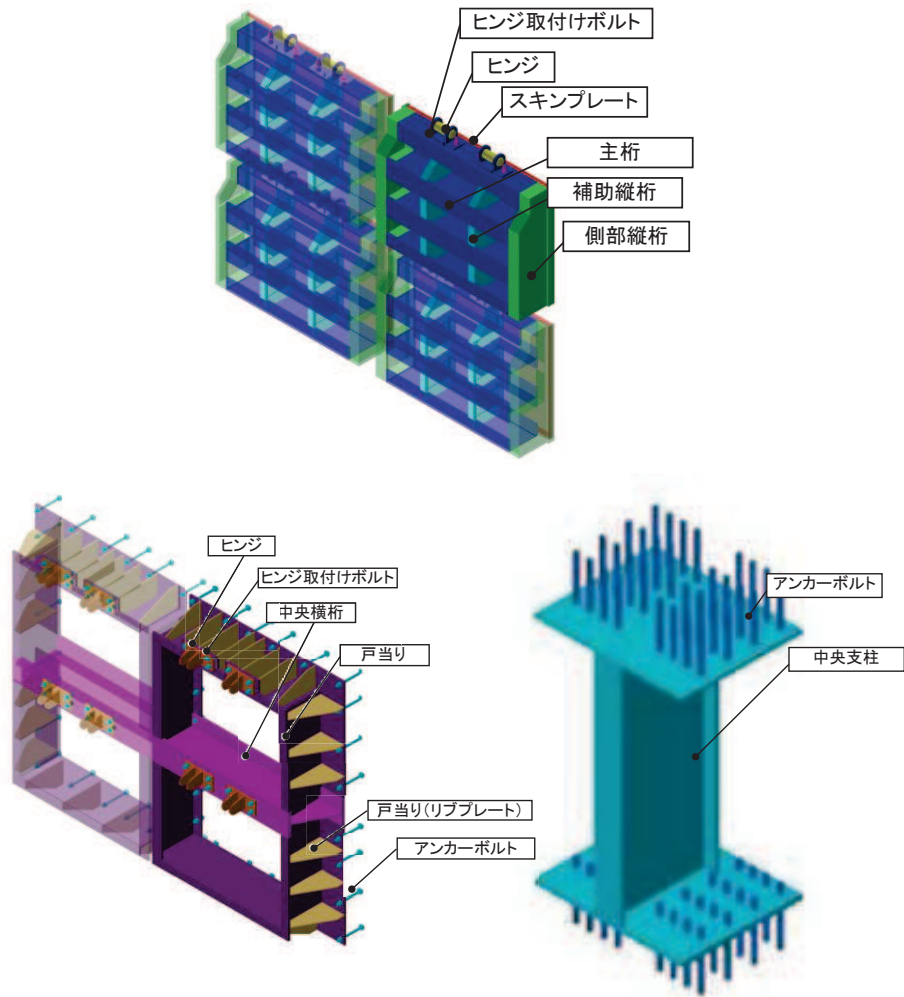


図 2.2-1(2) 構造概要図 (扉体及び固定部)

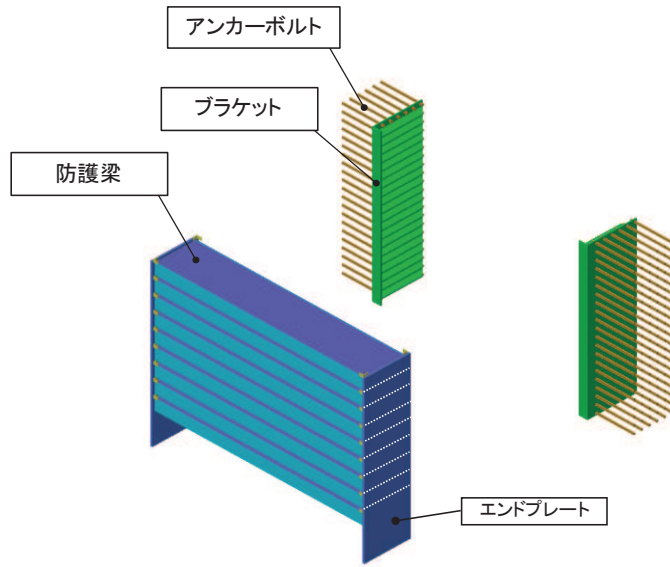


図 2.2-1(3) 構造概要図 (漂流物防護工)

2. 扉体

扉体部の詳細を図 2-1 に示す。

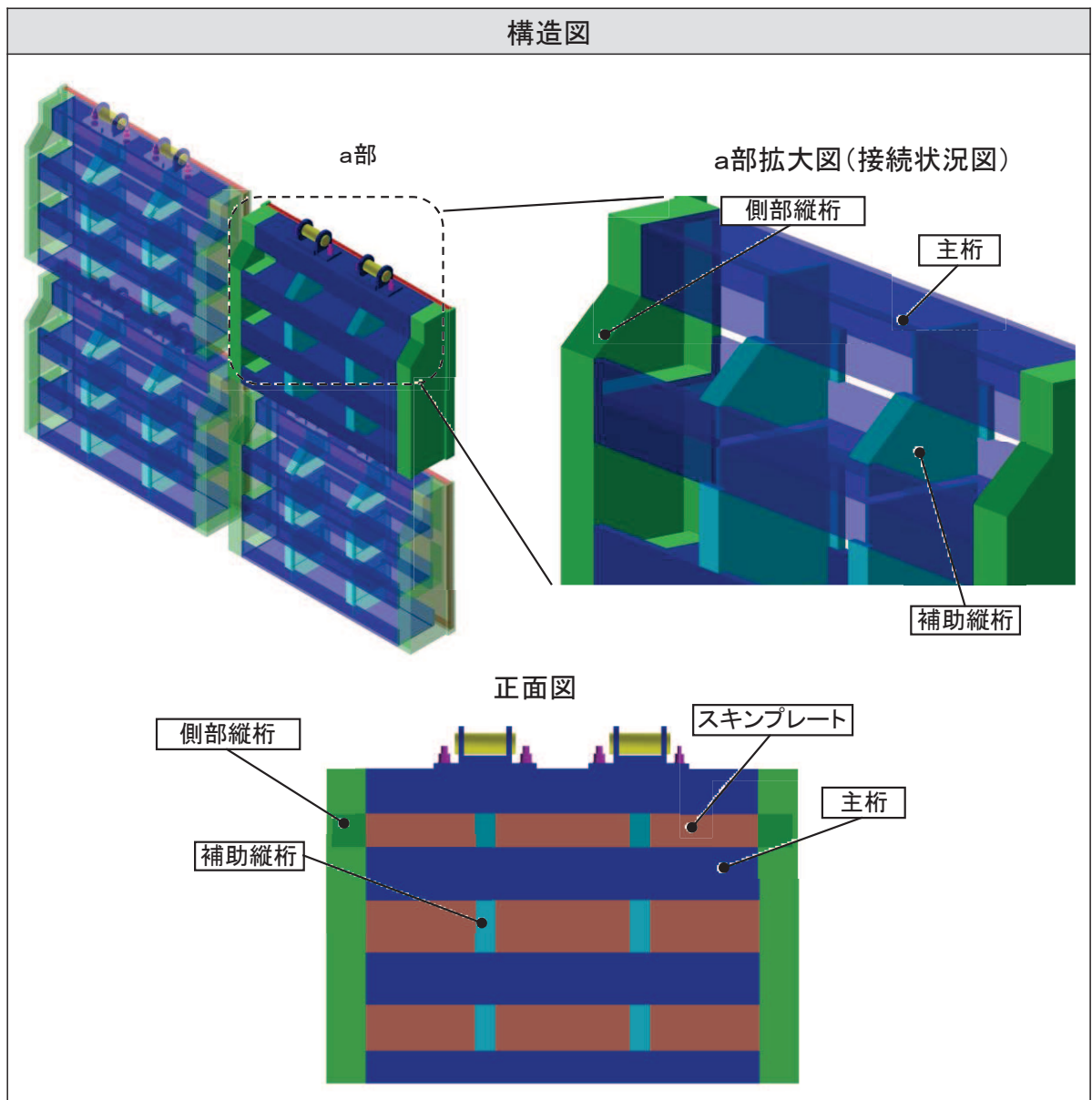


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体部の構造図

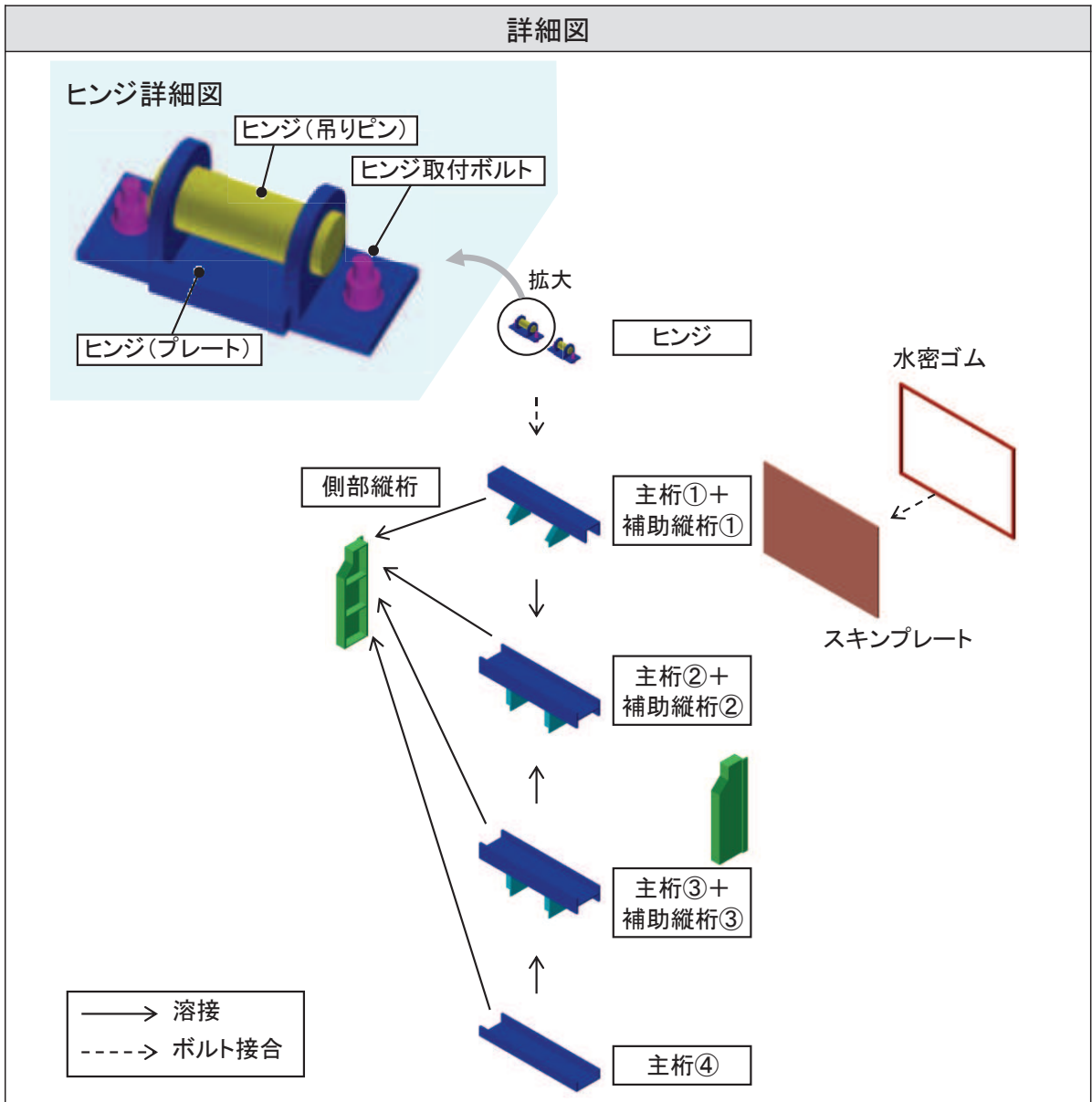


図 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち扉体部の詳細図

3. 固定部

固定部の詳細を図 3-1 に、止水性確保の考え方を図 3-2 に示す。

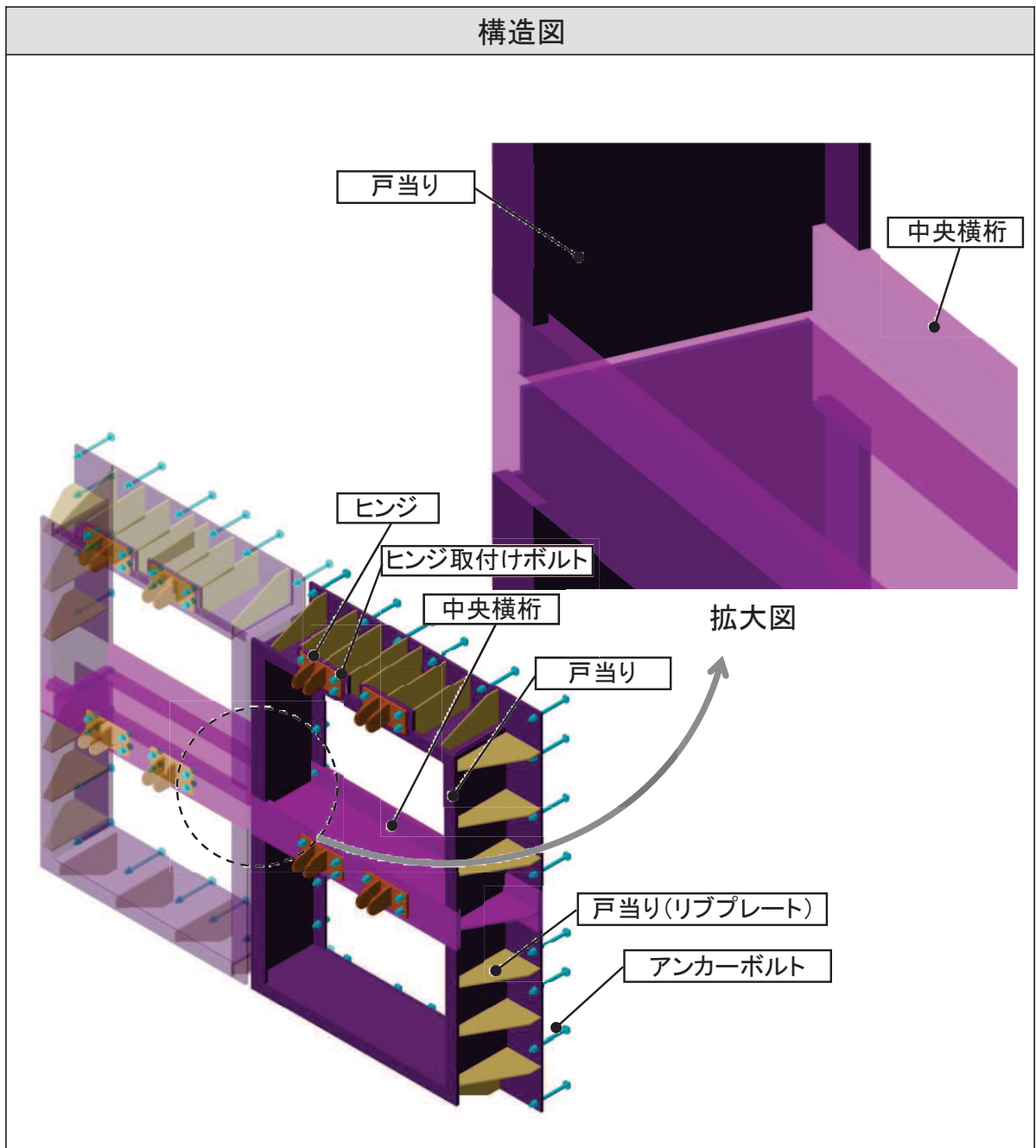


図 3-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（戸当り）の構造図

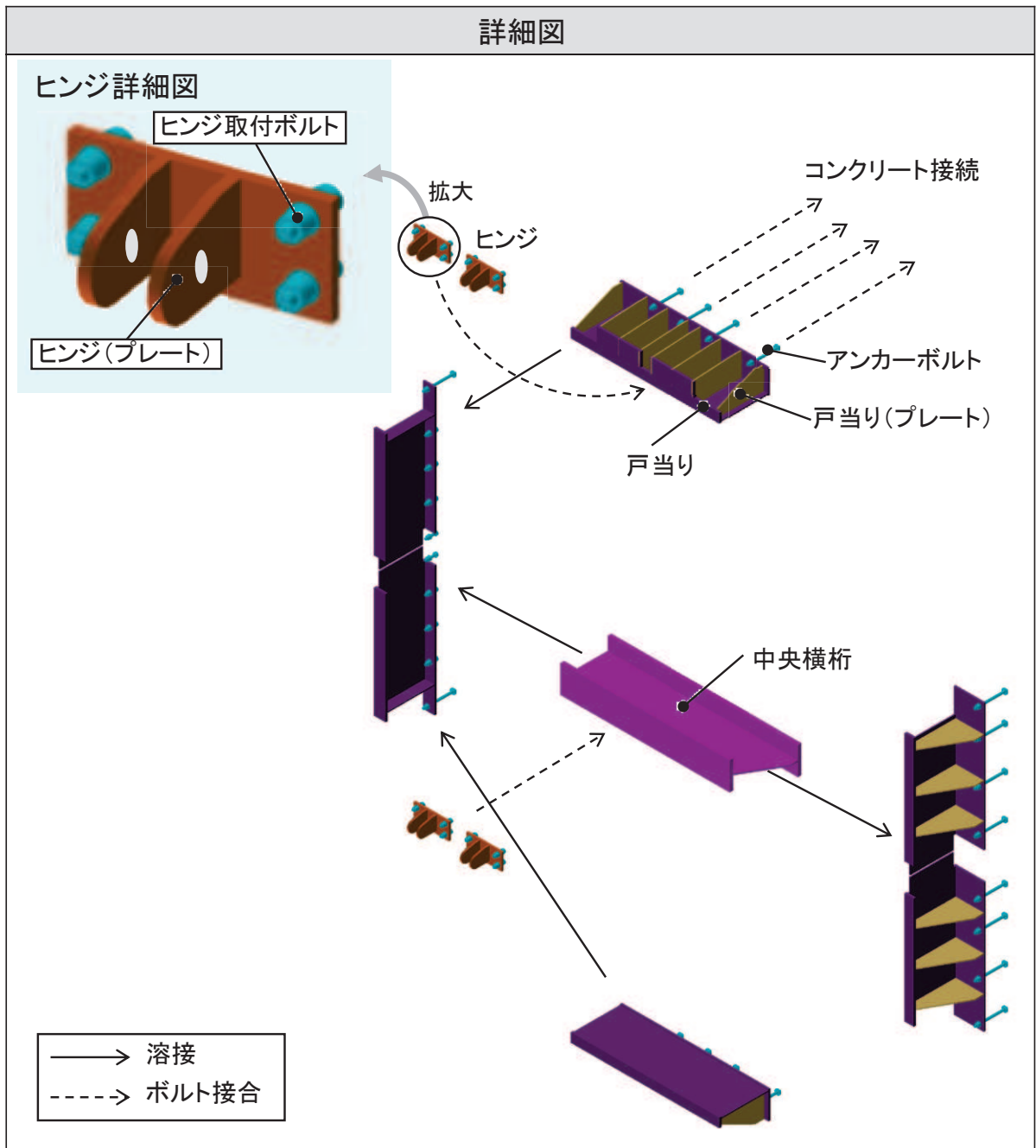


図 3-1(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（戸当り）の詳細図

構造図

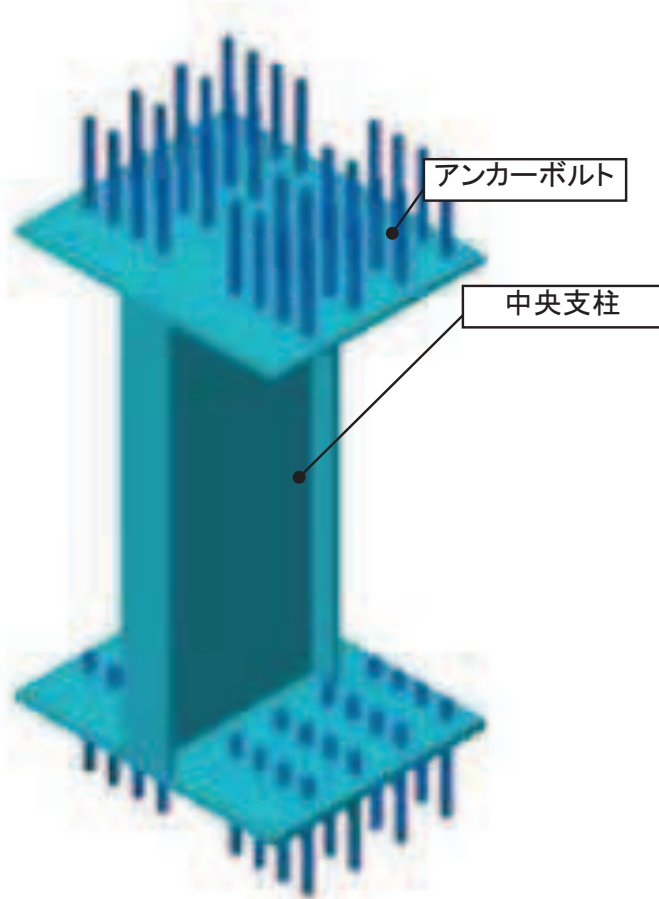


図 3-1(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（中央支柱）の構造図

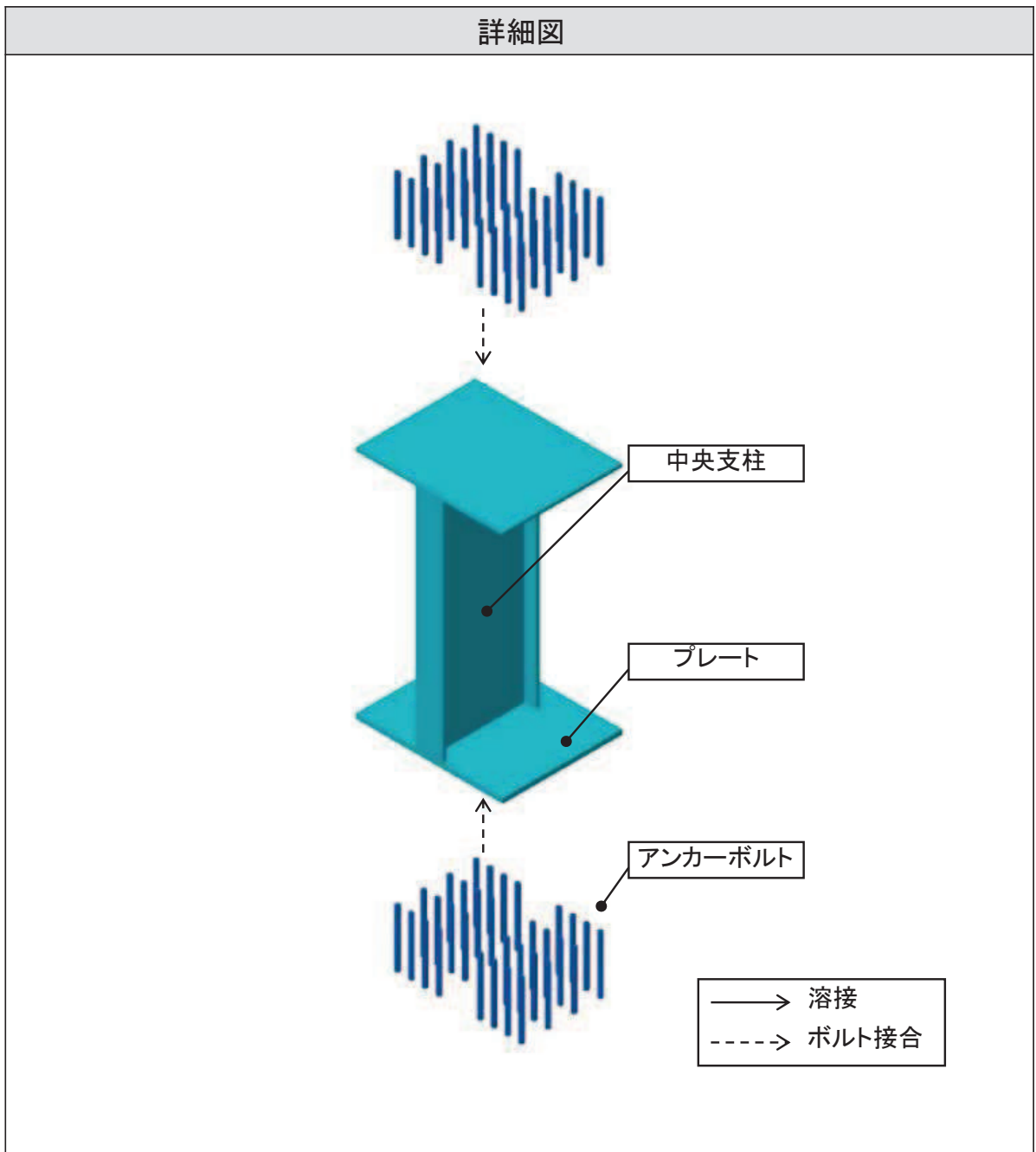


図 3-1(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち固定部（中央支柱）の詳細図

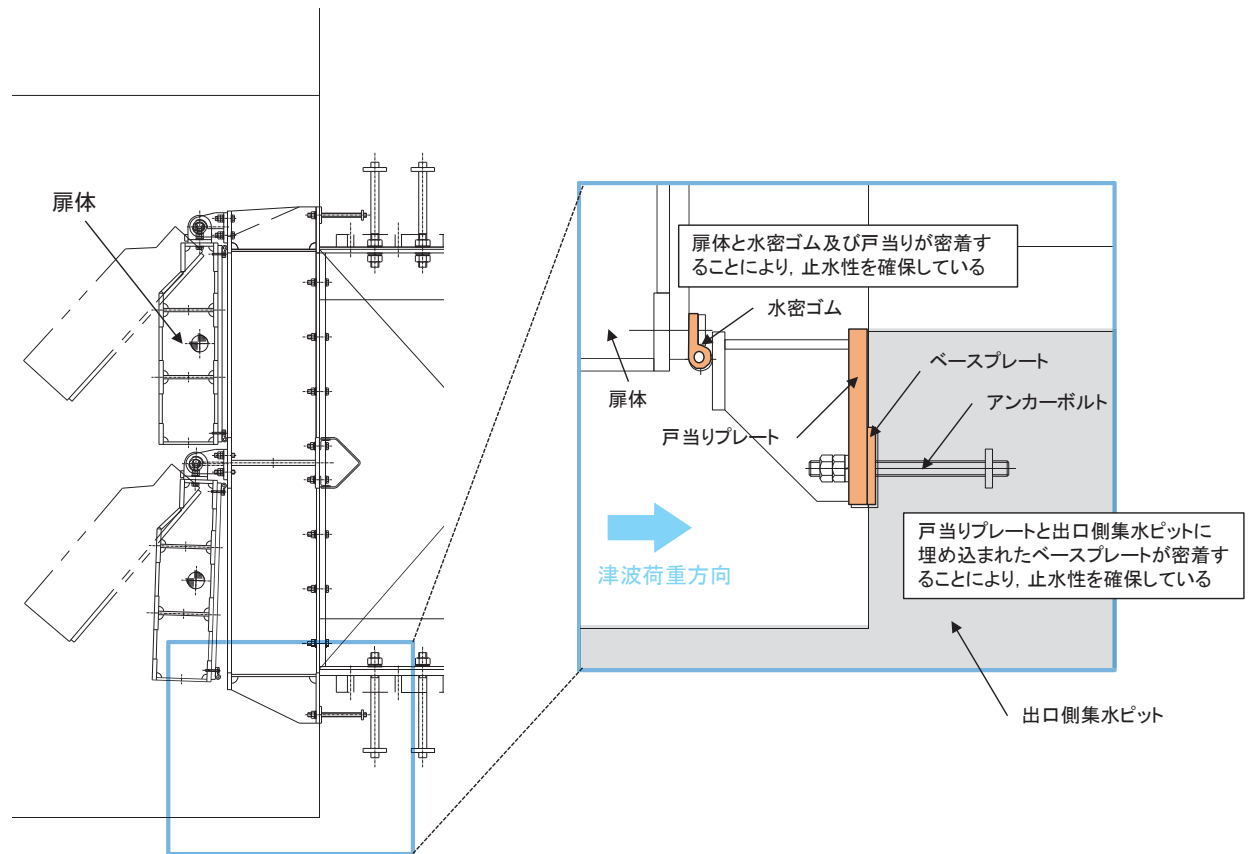


図 3-2 止水性確保の考え方

4. 漂流物防護工

漂流物防護工の詳細を図 4-1 に示す。

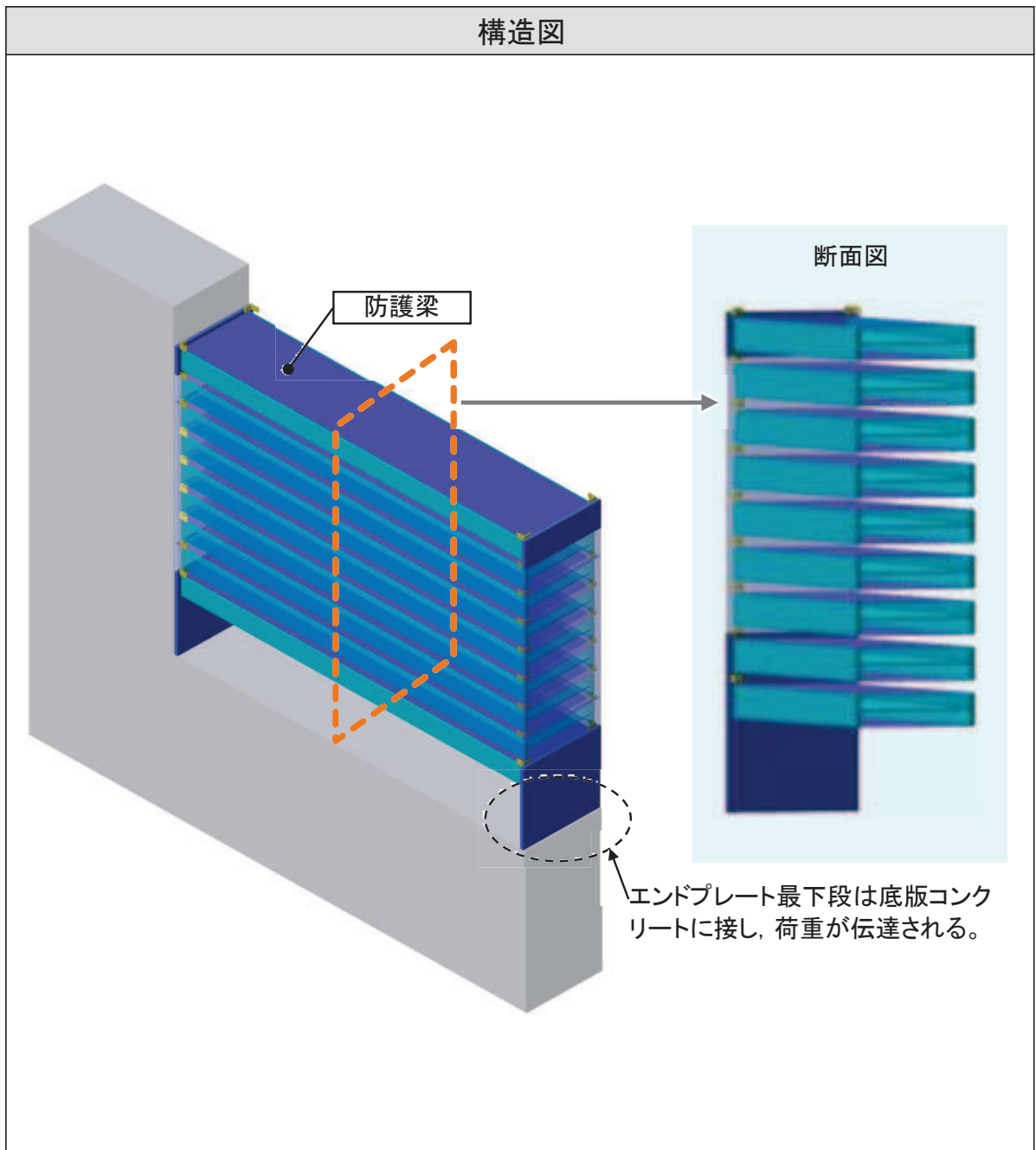


図 4-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の構造図

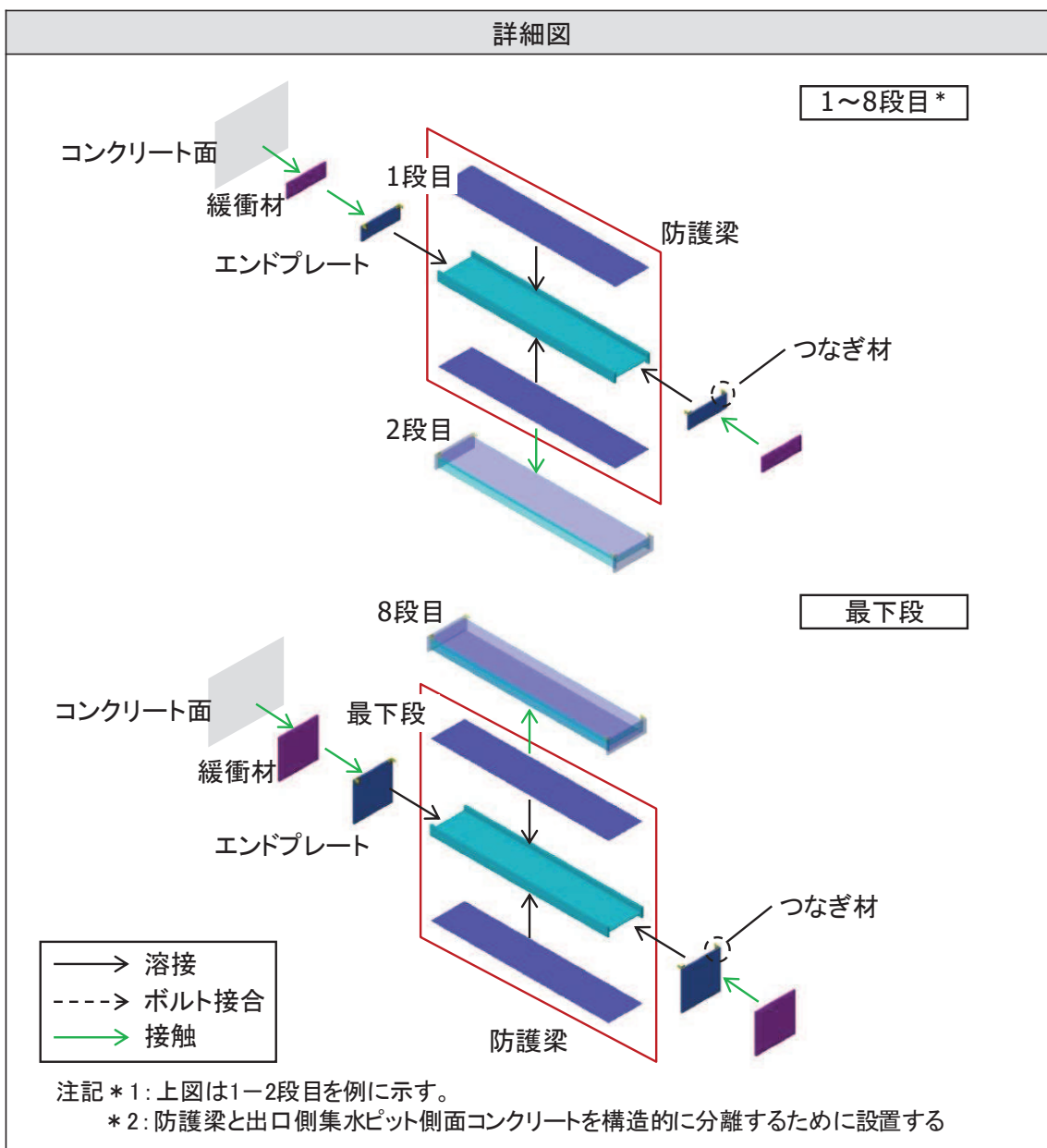


図 4-1 (2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（防護梁）の詳細図

構造図

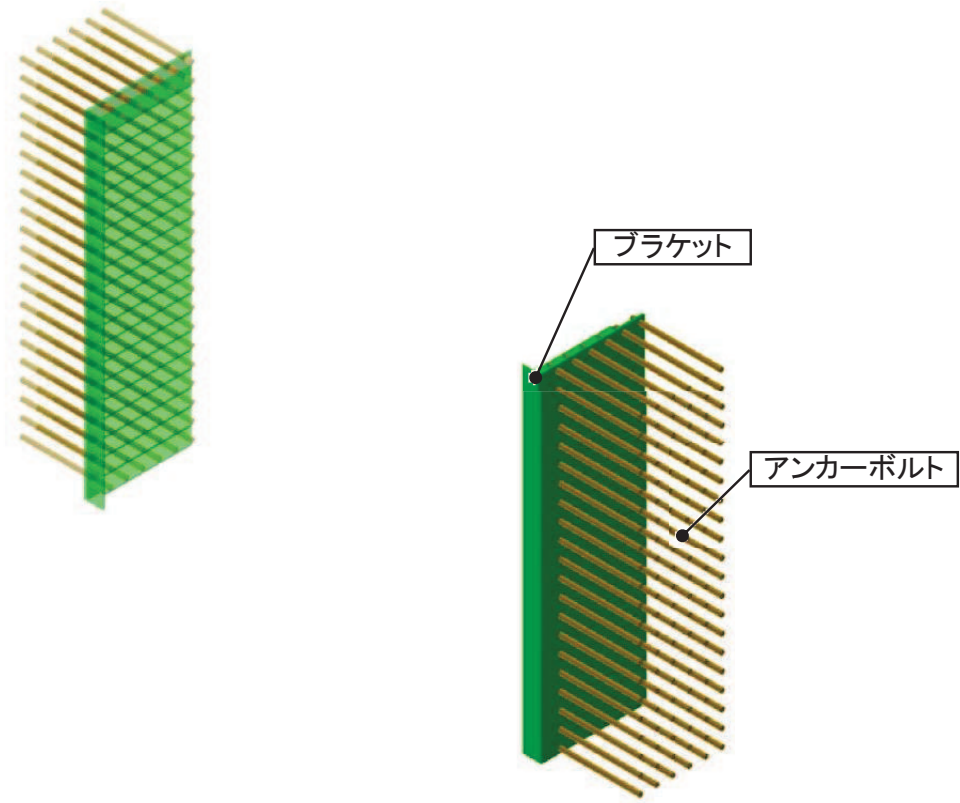


図 4-1(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の構造図

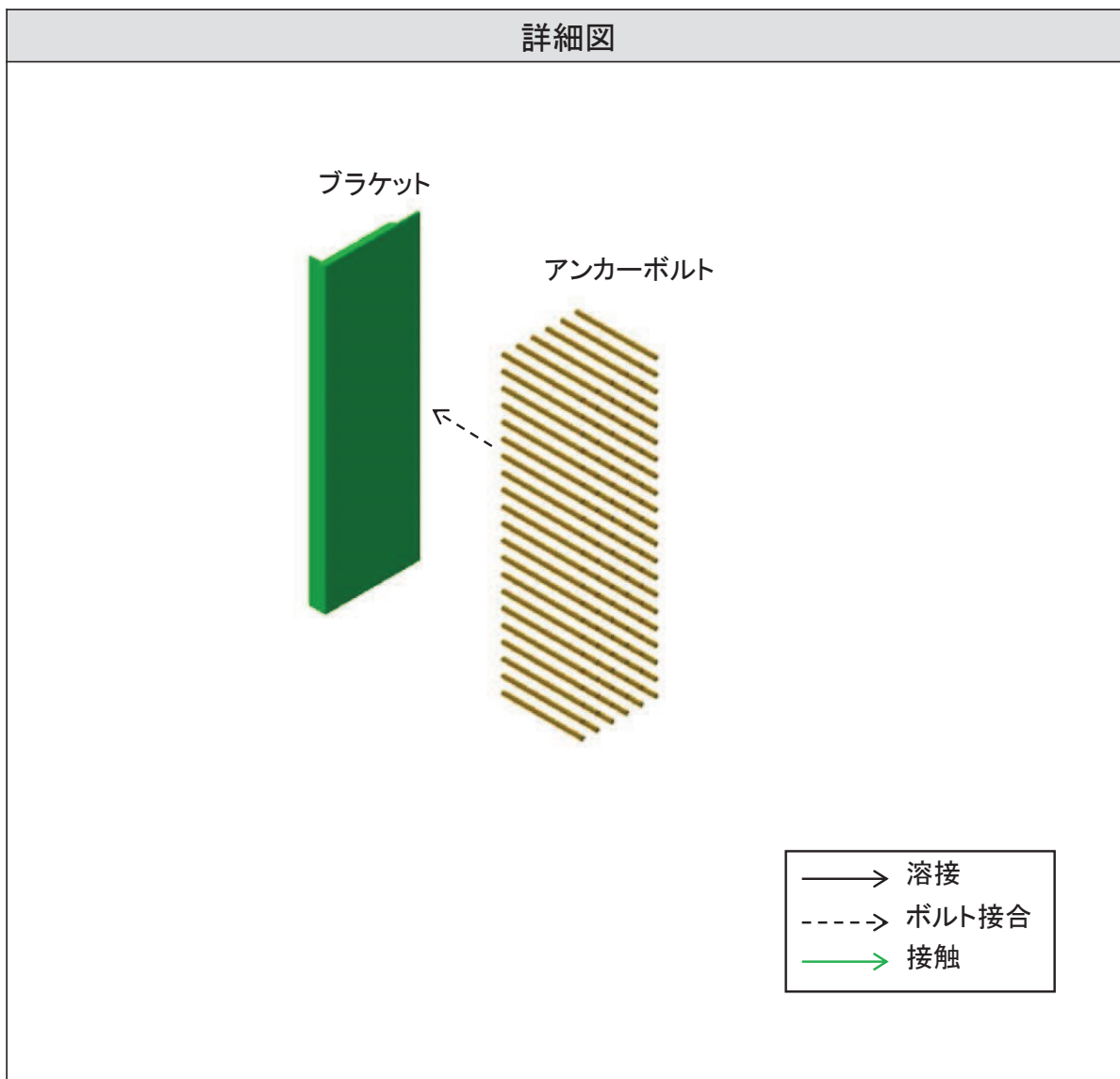


図 4-1(4) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち漂流物防護工（ブラケット）の
詳細図

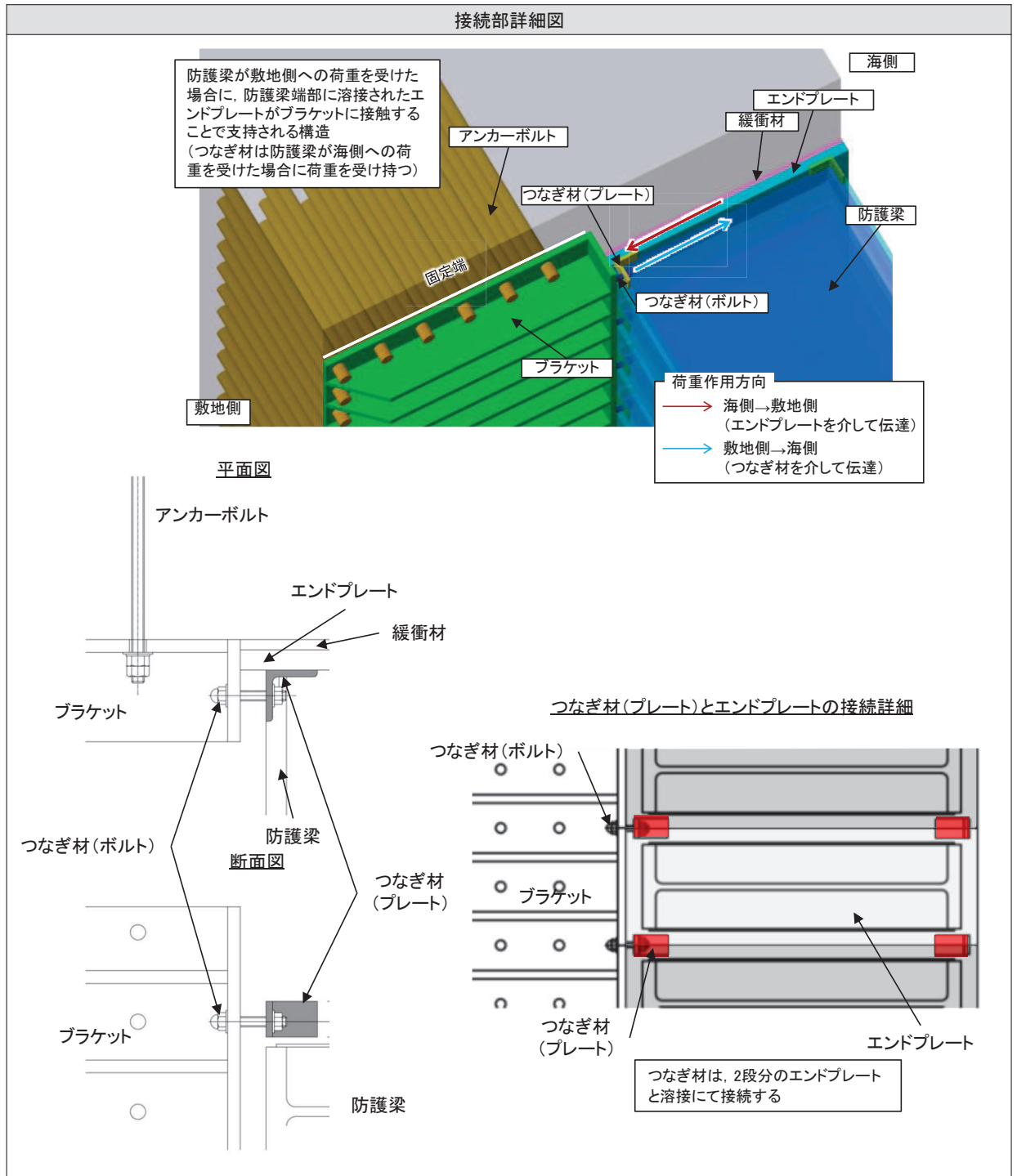


図 4-1 (5) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工の防護梁とブラケットの接続部詳細図

5. 荷重伝達経路

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の荷重伝達経路を図 5-1 に示す。

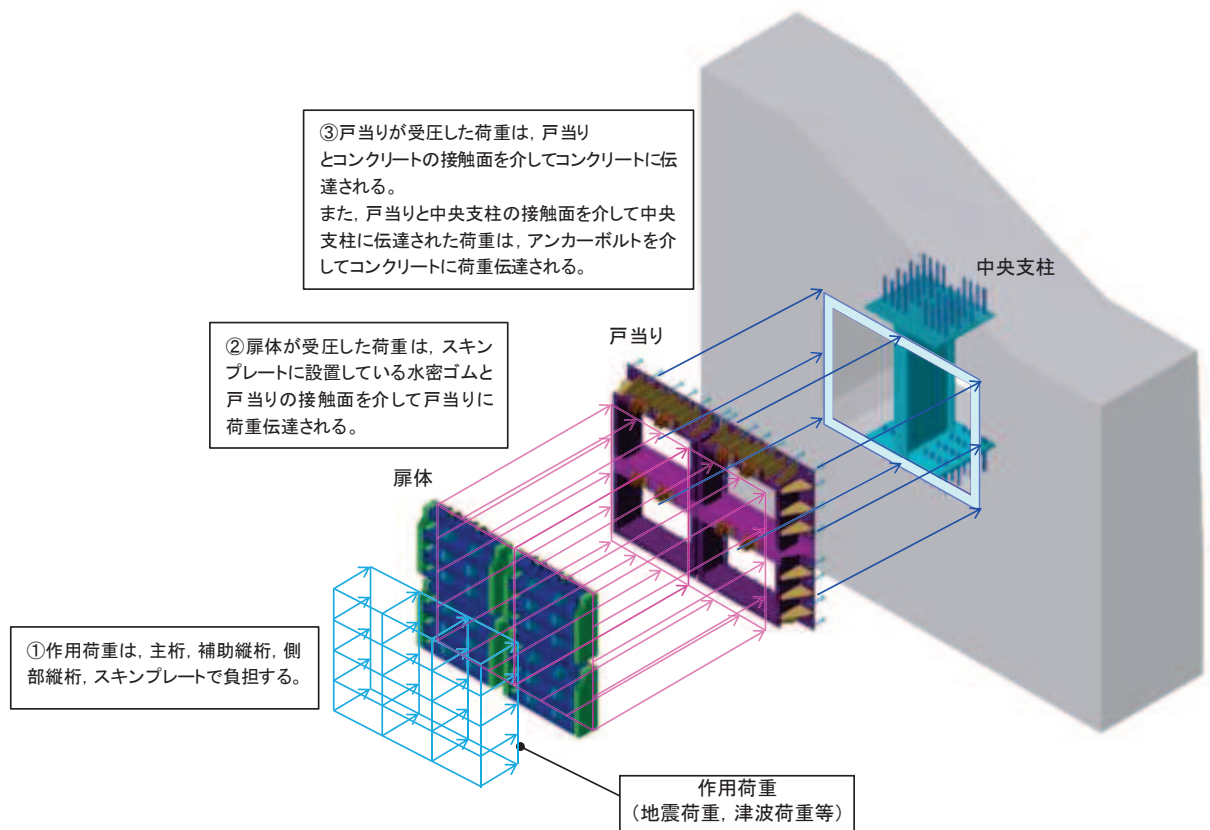


図 5-1(1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）のうち逆流防止設備の荷重伝達経路

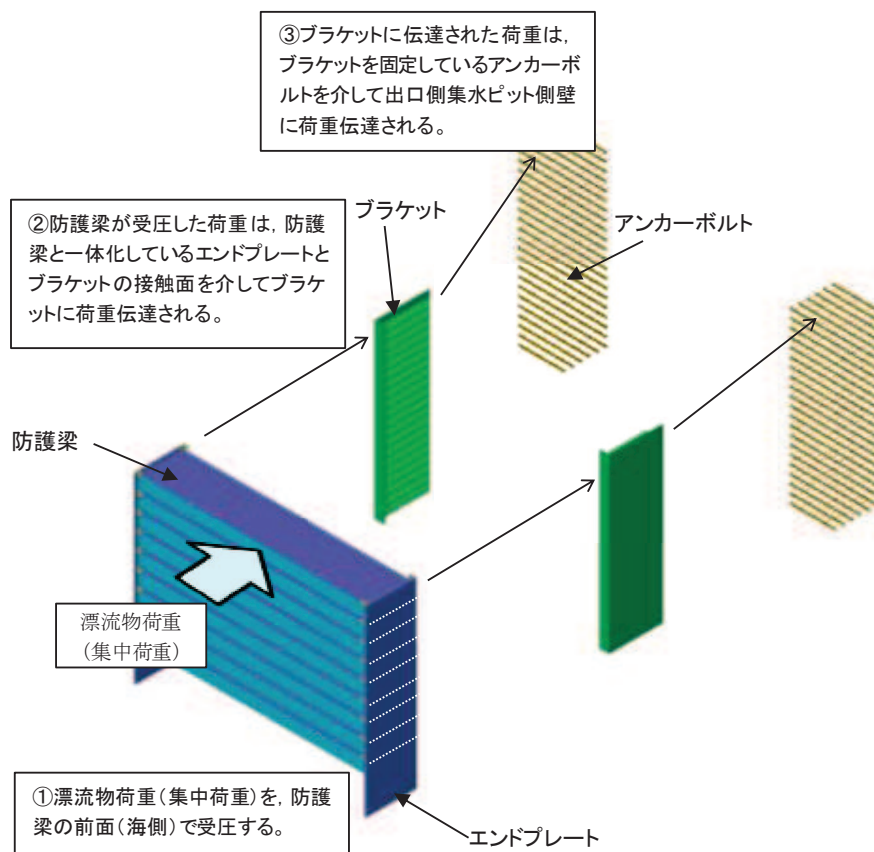


図 5-1 (2) 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) のうち漂流物防護工の荷重伝達経路

(参考資料2) 砂移動による屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)への影響確認について

1. 検討概要

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は、扉体及び固定部並びに漂流物防護工が海に面した構造となっていることから、基準津波に伴う砂移動に対して浸水防護機能が確保されることを確認する。

2. 砂移動による屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)への影響について

2.1 砂移動による第2号機取水口前面における砂の堆積厚さ

「補足-140-1【津波への配慮に関する説明書の補足説明資料】3.1 砂移動による影響確認について」によると、第2号機取水口前面における砂の堆積厚さは、最大で約0.3mである。また、津波来襲後における取水口前の海底面はO.P.-8.3m(O.P.-7.5mに基準津波による地盤沈下量0.72mを考慮した値)である。

2.2 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)への影響

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の構造概要を図2-1に示す。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)下端の設置標高は、それぞれO.P.+6.165m及びO.P.+6.325mであり、第2号機取水口の海底面高さよりも約14m以上高い位置にある。

以上のことから基準津波による水位変動に伴う海底の砂移動が屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の浸水防護機能に影響を及ぼさないことを確認した。

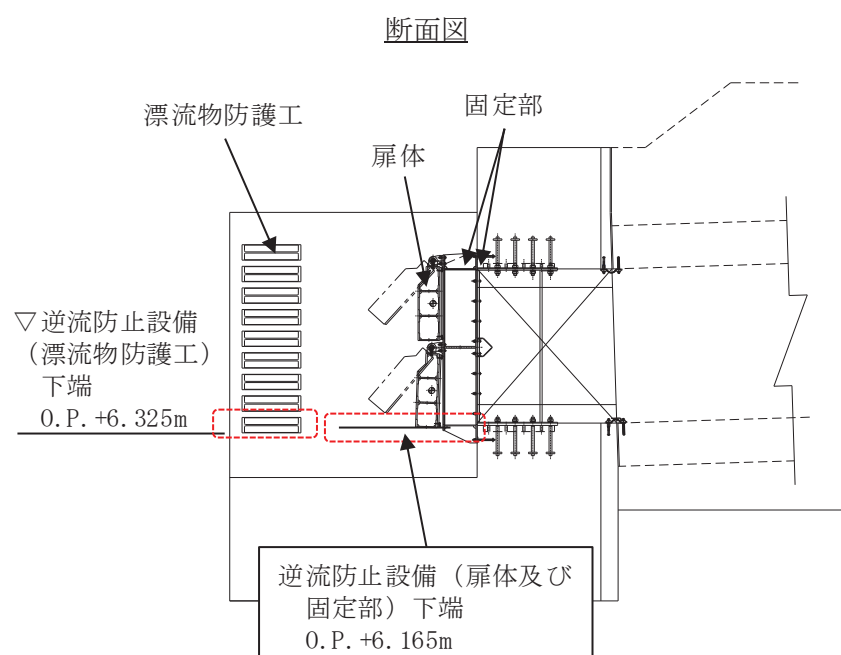


図 2-1 逆流防止設備設置高さ

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.1.5 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に関する補足説明

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	7
2.5 記号の説明	8
3. 評価部位	11
3.1 評価部位の選定	11
3.2 評価方向の整理	13
4. 固有周期	14
4.1 固有周期の計算	14
4.2 固有周期の計算結果	17
5. 構造強度評価	18
5.1 構造強度評価方法	18
5.2 荷重及び荷重の組合せ	19
5.3 許容限界	22
5.4 設計用地震力	33
5.5 計算方法	38
5.6 計算条件	53
5.7 応力計算	56
6. 評価結果	103

(参考資料)補機冷却海水系放水路におけるゲート開閉機能への影響について

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。

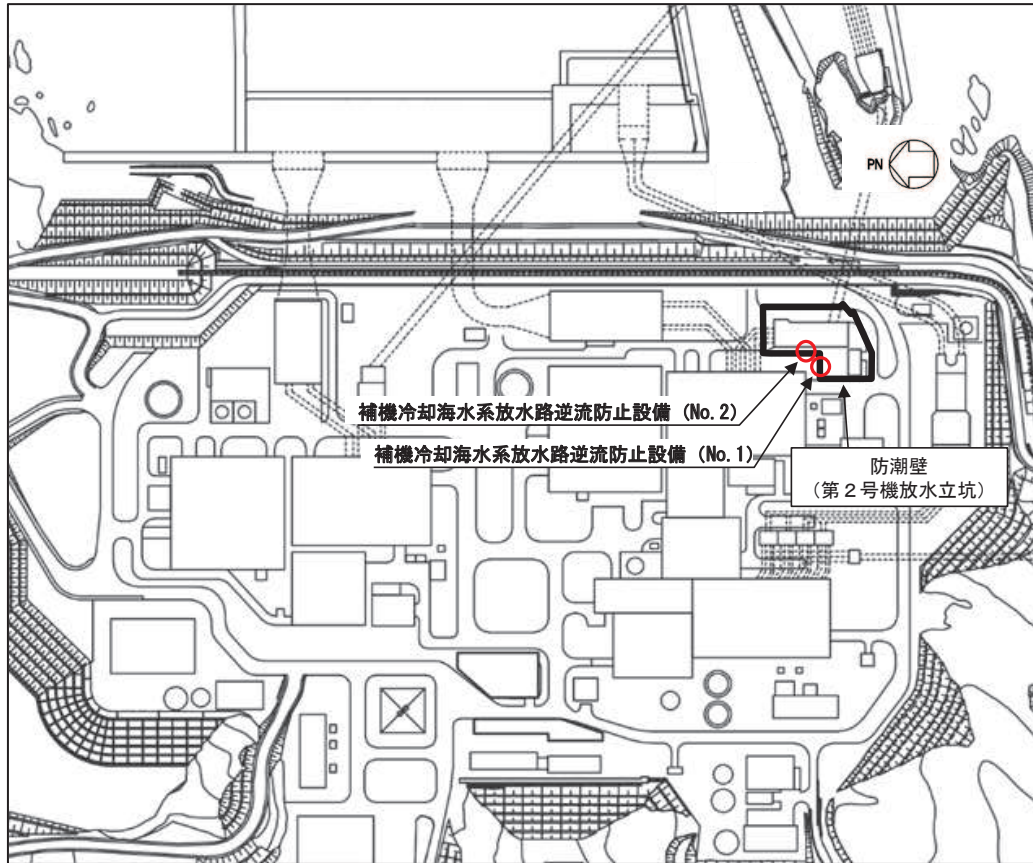
補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類され、津波防護施設である第2号機放水立坑防潮壁に支持される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

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。

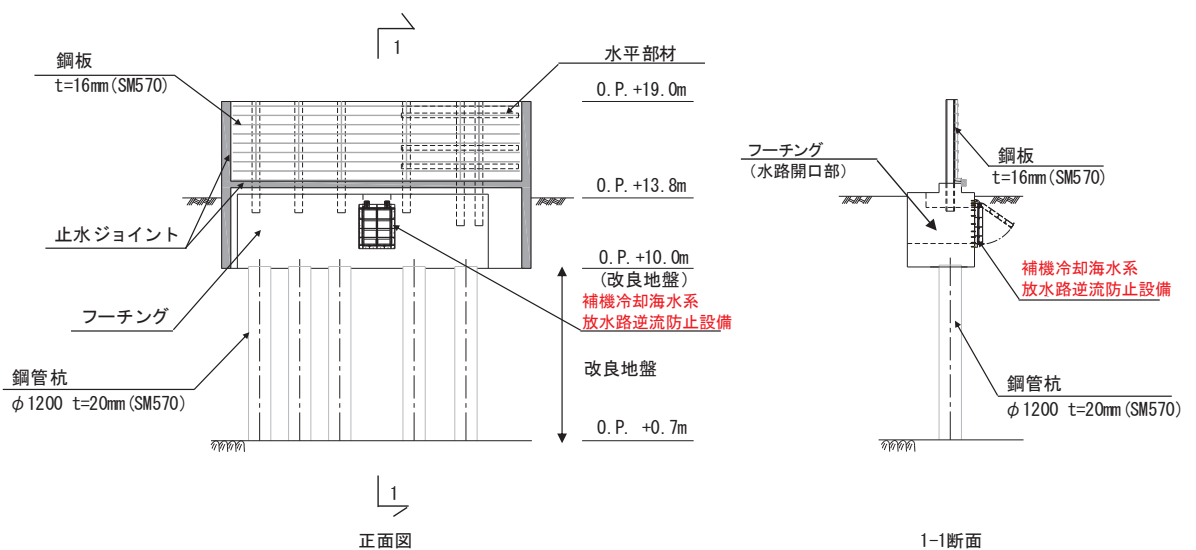
2. 一般事項

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 2.1-1 に示す。

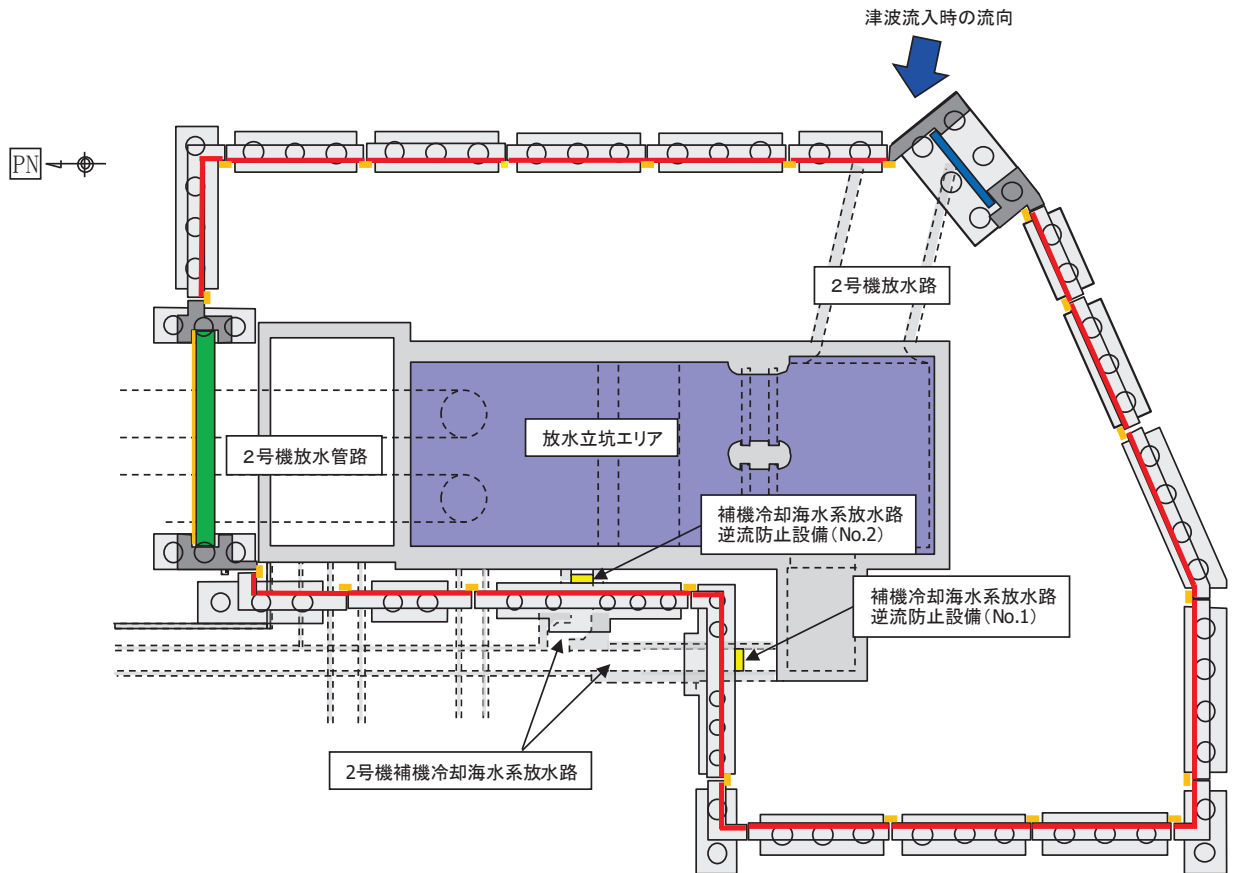


(全体平面図)



(鋼製遮水壁 (鋼板) 断面⑦)

図 2.1-1(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の設置位置



凡例			
	鋼製遮水壁(鋼板)		鋼管杭
	鋼製遮水壁(鋼桁) (海水ポンプ室横断面・ 地中構造物横断面)		津波流入経路 (開口部)
	鋼製扉 (車両進入路部)		止水ジョイント (M型ジョイント)
	フーチング		逆流防止設備 (フラップゲート)
	RC支柱		

(第2号機放水立坑)

図 2.1-1(2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の設置位置

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) 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。

なお、扉体と戸当り間は扉体側に止水ゴム (P 型ゴム) を設置し、戸当りとフーチング間は無収縮モルタルにより一体化を講じることで、構造境界部における止水性を確保する。

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 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 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) の評価項目を表 2.3-1 に、耐震評価フローを図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		戸当り	支圧力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		戸当り	支圧力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

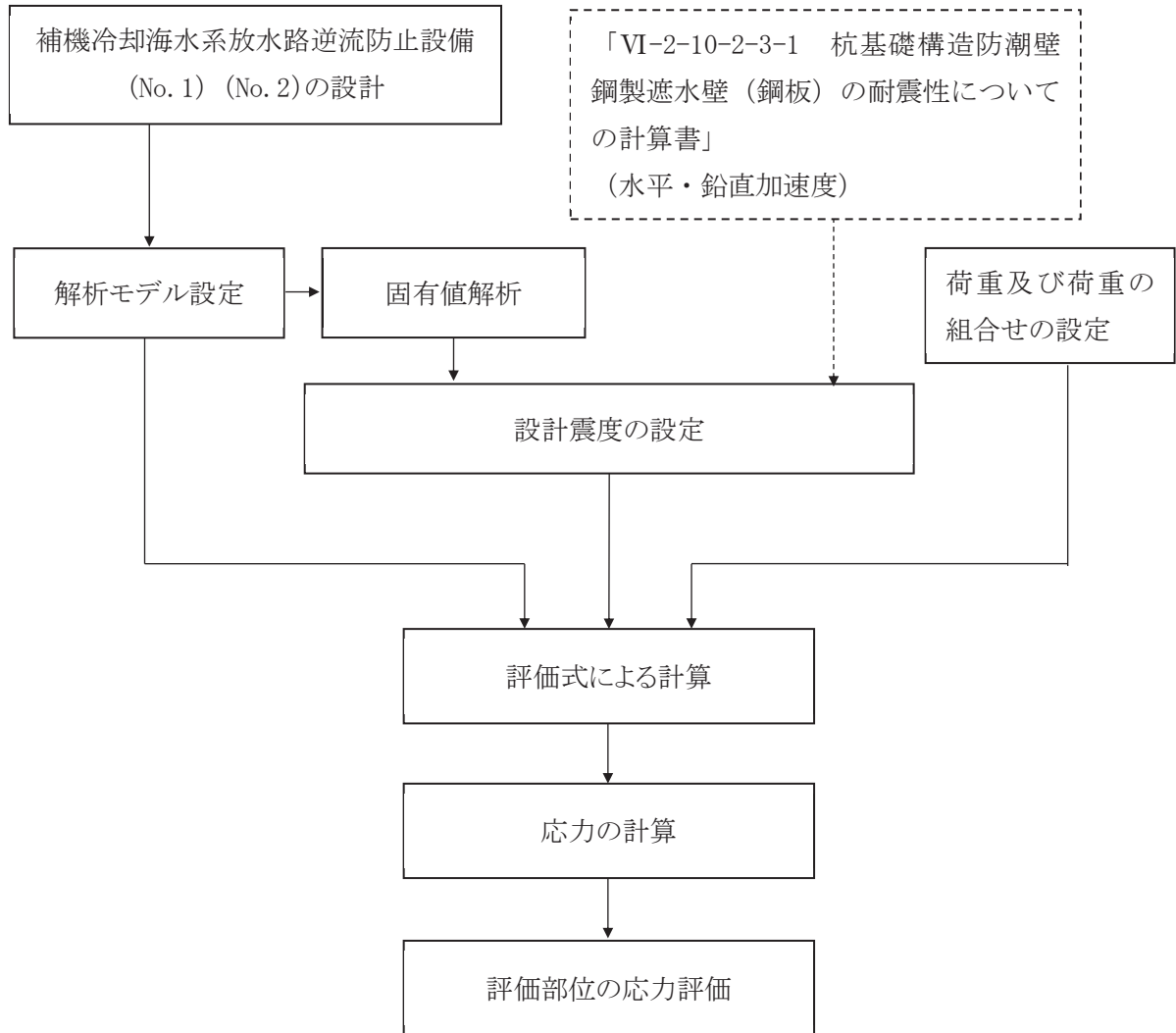


図 2.3-1 耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
許容限界 及び応力 計算	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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)	曲げ軸力に対する照査は，発生応力が，短期許容応力度以下であることを確認。 せん断力に対する照査は，発生応力または発生せん断力が，短期許容応力度または短期許容せん断応力度以下であることを確認。
	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 平成 26 年)	
	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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)	

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 2.5-1 に、応力評価に用いる記号を表 2.5-2 にそれぞれ示す。

表 2.5-1 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 2.5-2(1) 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

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 2.5-2(2) 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

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 2.5-2(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

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 3.1-1 に示す。

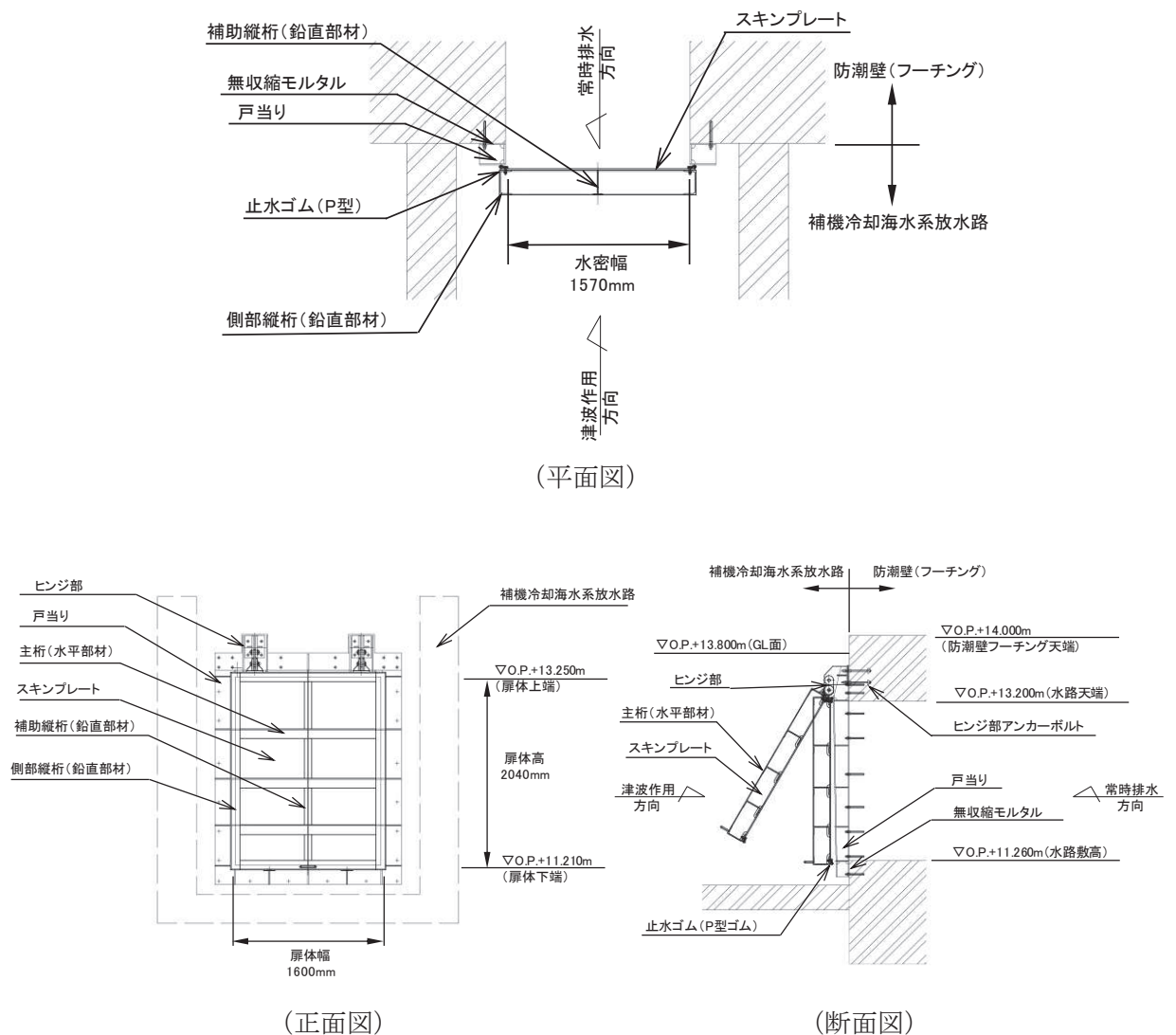


図 3.1-1(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要

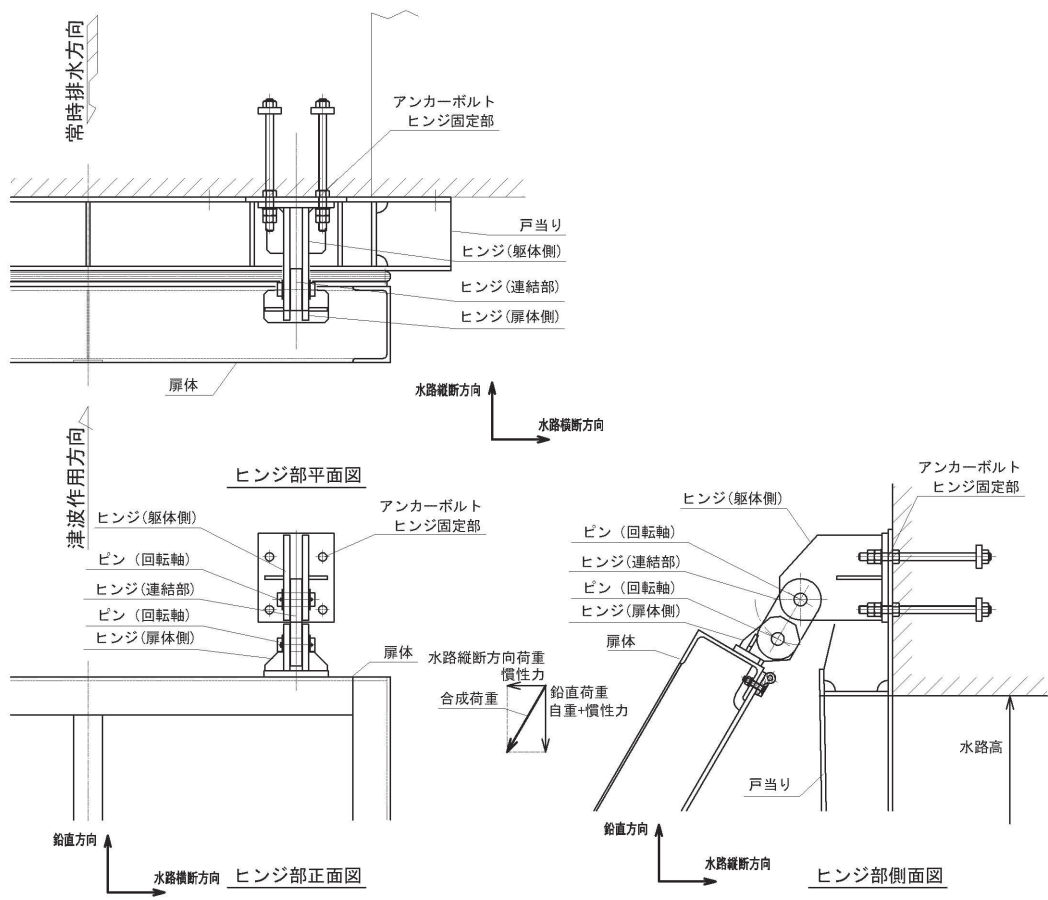


図 3.1-1(2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要
(固定部(ヒンジ部)詳細)

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。)荷重と鉛直荷重の組合せを考慮する。

表 3.2-1 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 3.2-1 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両端固定梁でモデル化する。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 4.1-1 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。

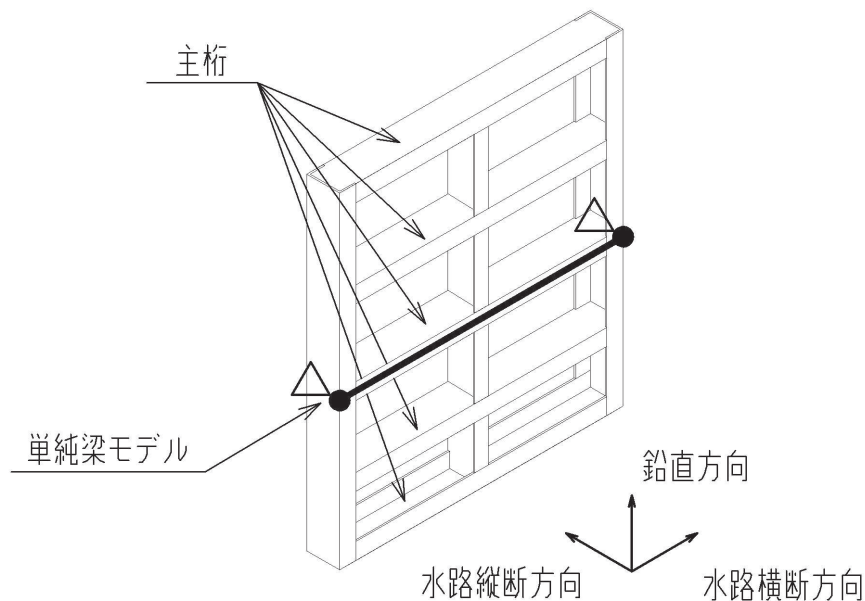


図 4.1-1 両端単純支持梁によるモデル化

(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 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 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 2 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工業規格 (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 4.1-2 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。

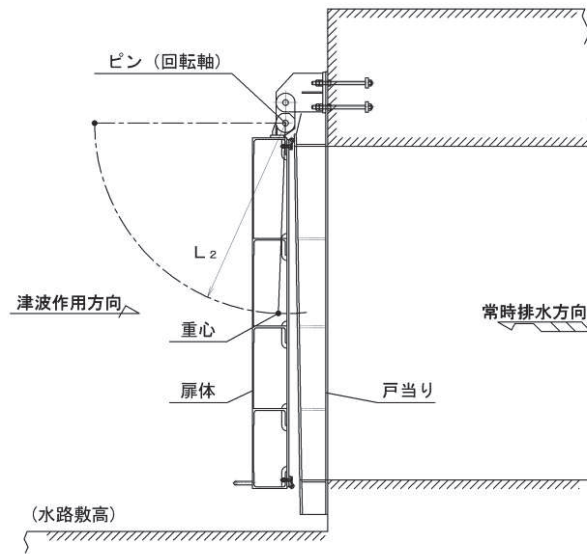


図4.1-2 解析モデル図

(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 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 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 4.1-3 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 4.1-3 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 (鋼製遮水壁 (鋼板)) の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 5.2-1 に, 扉体に作用する荷重の概念図を図 5.2-1 に示す。

表 5.2-1(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

表 5.2-1(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	固定荷重 (躯体自重)	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	— 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	— 土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	— 積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		— 土被りはないため考慮しない。
	外水圧		— 補機冷却海水系放水路を常時流下する放水による水圧は、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。
	内水圧		— 内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		— 積雪荷重は考慮しない。
風荷重		— 風荷重は考慮しない。	
偶発荷重	地震荷重 (地震力)	○ 基準地震動 S_s による水平及び鉛直動による慣性力を考慮する。	

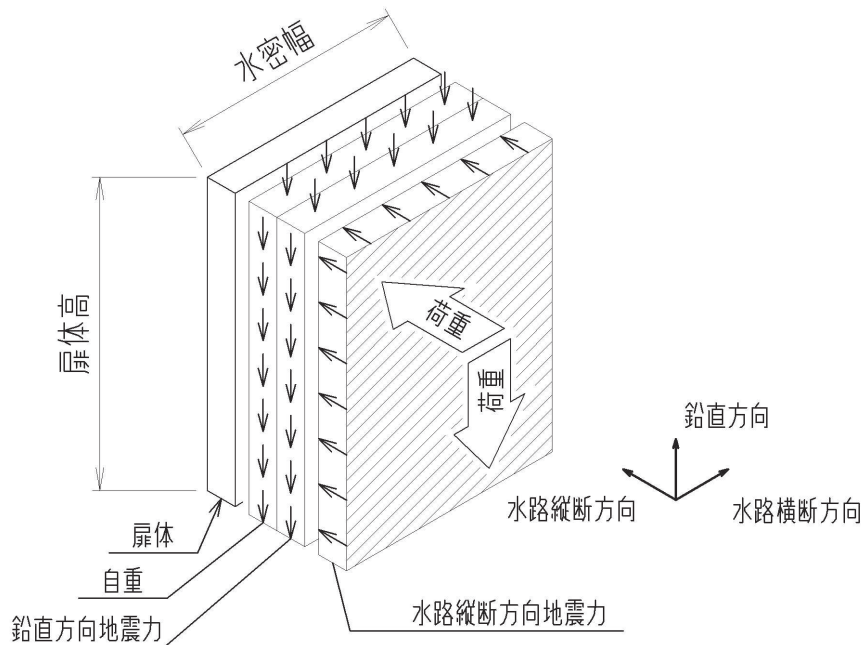


図 5.2-1(1) 扉体に作用する荷重の概念図
(水路縦断方向・鉛直方向)

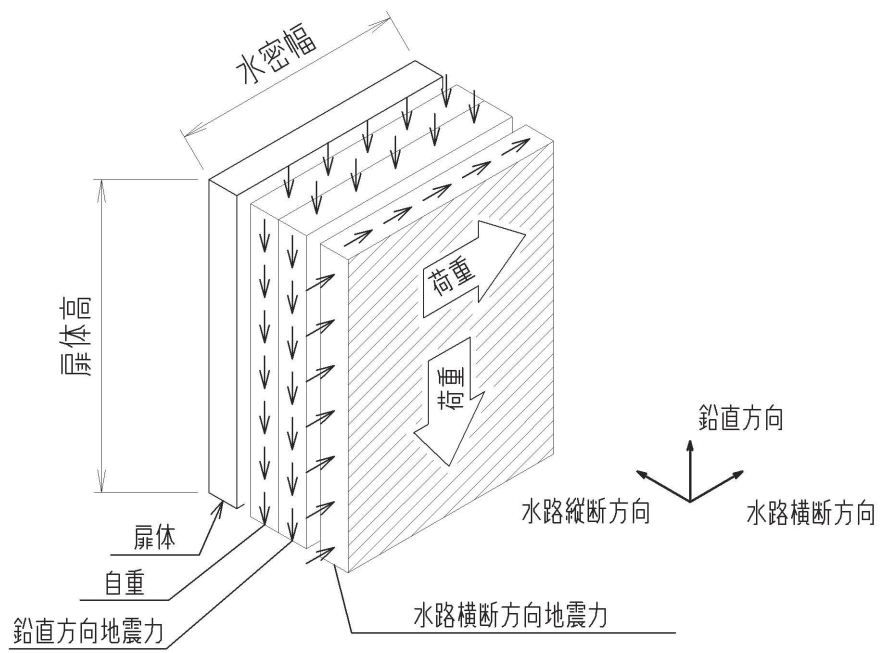


図 5.2-1(2) 扉体に作用する荷重の概念図
(水路横断方向・鉛直方向)

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 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 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	PL30mm×1 枚(連結部) PL16mm×2 枚(扉体側) PL16mm×2 枚(躯体側)
アンカーボルト	SUS316L	頭付きアンカーボルト (M20)
戸当り	SUS316L	PL12mm (腹板) $f'_{ck}=50\text{N/mm}^2$ (コンクリート)

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、評価対象部位ごとに、「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 5.3-2 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容応力評価条件を表 5.3-3, 表 5.3-4 に、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容応力算出結果及び計算諸元を表 5.3-5~表 5.3-8 に示す。

表 5.3-2 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 5.3-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件

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(扉体側)	SUS316L	88	—	51	—
ヒンジ(躯体側)	SUS316L	88	—	51	—
ヒンジ(連結部)	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 5.3-4 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

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

注記*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 5.3-5 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

評価部位	許容応力				
	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 (-)
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(扉体側)	132	—	76	—	1.1
ヒンジ(躯体側)	132	—	76	—	1.1
ヒンジ(連結部)	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, 許容曲げ応力度に対する配慮として許容応力の低減を考慮し, 以下の計算式により算出する。各圧縮フランジの固定間隔のモデル図について図 5.3-1 に示す。

$$\frac{L}{b} \leq \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = 88 \times 1.5 = 132 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{L}{b} > \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = \left(88 - 0.7 \left(K \frac{L}{b} - 10 \right) \right) \times 1.5 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2 \times A_c}}$$

ただし $\frac{A_w}{A_c} < 2$ の場合 $K = 2$

ここに, L : 圧縮フランジの固定間隔 (mm)

b : 圧縮フランジ幅 (mm)

A_w : 腹板の総断面積 (mm²)

A_c : 圧縮フランジの総断面積 (mm²)

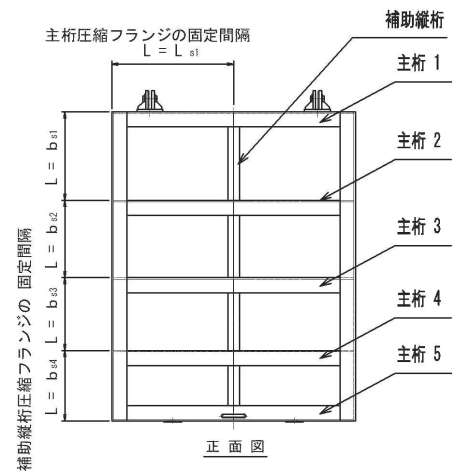


図 5.3-1 圧縮フランジの固定間隔のモデル図及び許容曲げ圧縮応力度算定式

*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, 腹板をリブによって補剛し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。

(主桁の許容応力)

主桁の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-6 に示す。

表 5.3-6 主桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	800	mm
b	圧縮フランジ幅	100	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	1800	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	1000	mm ²

よって、

$$A_w / A_c = 1800 / 1000 = 1.80 \quad \therefore A_w / A_c < 2$$

ここで、係数Kについては $A_w / A_c < 2$ の場合 $K = 2$ であることから、

$$K = 2$$

$$10 / K = 10 / 2 = 5$$

$$L / b = 800.0 / 100 = 8$$

$$\therefore L / b > 10 / K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$\begin{aligned} \left(\sigma_{ab} - 0.70 \times (K \times L / b - 10) \right) \times 1.5 &= \left(88 - 0.70 \times (2 \times 8 - 10) \right) \times 1.5 \\ &= 83.80 \text{ N/mm}^2 \times 1.5 = 125.70 \text{ N/mm}^2 = 125 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(補助縦桁の許容応力)

補助縦桁の許容応力は保守的に許容値が最も小さくなるよう固定間隔の最も大きい主桁 1~2 間の補助縦桁において算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-7 に示す。

表 5.3-7 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	585	mm
b	圧縮フランジ幅	75	mm
K	座屈を求めるにあたる係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	1164	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	450	mm ²

よって、

$$A_w / A_c = 1164.0 / 450.00 = 2.59 \quad \therefore A_w / A_c \geq 2$$

ここで、係数Kについては $A_w / A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_w / (2 \times A_c)} = \sqrt{3 + 2.59 \div 2} = 2.07$$

$$10 / K = 10 / 2.07 = 4.83$$

$$L / b = 585 / 75 = 7.8$$

$$\therefore L / b > 10 / K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$\begin{aligned} \left(\sigma_{ab} - 0.70 \times (K \times L / b - 10) \right) \times 1.5 &= \left(88 - 0.70 \times (2.07 \times 7.8 - 10) \right) \times 1.5 \\ &= 83.70 \text{ N/mm}^2 \times 1.5 = 125.55 \text{ N/mm}^2 = 125 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

表 5.3-8 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

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)」に基づき以下の式により算出する。

(アンカーボルト)

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」における頭付きアンカーボルトの短期荷重時として算定する。

a. 引張

引張に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$P_{a1} = \phi_1 \times \sigma_{pa} \times s_c a$$

$$\sigma_{pa} = \sigma_Y$$

ここで, 各記号の定義及び数値を表 5.3-9 に示す。

表 5.3-9 アンカーボルトの許容引張力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容引張力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
σ_Y	アンカーボルトの耐力 (許容引張力)	175	N/mm ²
$s_c a$	ねじの有効断面積	245	mm ²

よって,

$$P_{a1} = \phi_1 \times \sigma_{pa} \times s_c a = 1 \times 175 \times 245 = 42.88 \times 10^3 \text{N} = 4.28 \times 10^4 \text{N}$$

b. せん断

せん断に対する許容限界は以下により計算を行う。

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_sca$$

$${}_s\sigma_{qa} = 0.7\sigma_Y$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-10 に示す。

表 5.3-10 アンカーボルトの許容せん断力の計算諸元

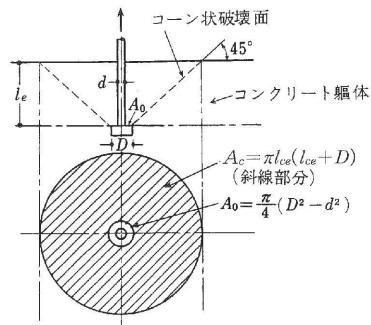
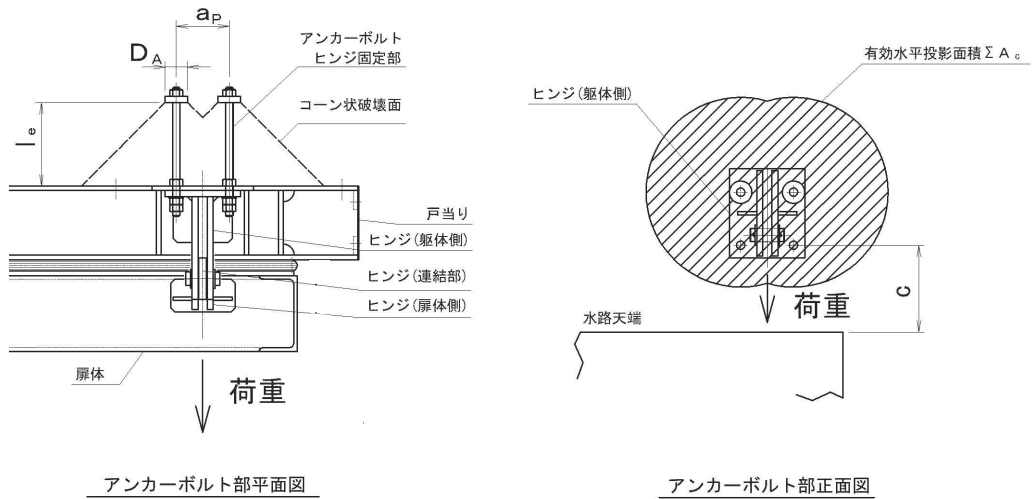
記号	定義	数値	単位
Q_{a1}	アンカーボルト 1 本当りの許容せん断力	—	N
ϕ_1	低減係数(短期荷重時)	1	—
${}_s\sigma_{qa}$	アンカーボルトの許容せん断応力度	—	N/mm ²
${}_sca$	ねじの有効断面積	245	mm ²

よって、

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s\sigma_{qa} \times {}_sca = 1 \times 0.7 \times 175 \times 245 = 30.01 \times 10^3 \text{N} = 3.00 \times 10^4 \text{N}$$

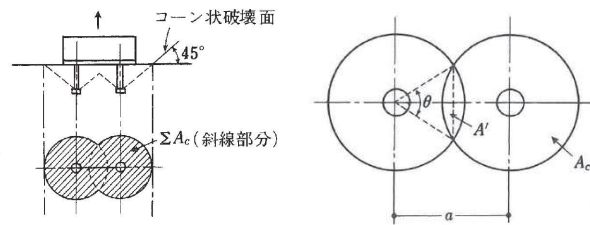
(コンクリートのコーン状破壊)

アンカーボルトの周辺のコンクリートのコーン状破壊に対する許容荷重については「各種合成構造設計指針・同解説」における頭付きアンカーボルトの短期荷重時として算定する。コーン状破壊面の概要及び有効投影面積の計算モデルについて図 5.3-2 に示す。



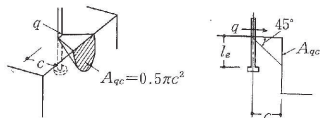
引張力に対するコーン状破壊面

(1)1 本の場合



アンカーボルトが近接する場合の有効水平投影面積の算定方法概要

(2)複数本の場合



せん断力に対するコーン状破壊面

図 5.3-2 コンクリートのコーン状破壊のモデル図及び耐力算定式

a. 引張

引張に対する許容限界は以下により計算を行う。各記号の定義及び数値を表 5.3-11 に示す。

$$P_{a2} = \phi_2 \times c \sigma_t \times A_c \quad (\text{N})$$

$$c \sigma_t = 0.31 \sqrt{f'_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$A_c = \Sigma A_c \div 2 \quad (\text{mm}^2)$$

$$\Sigma A_c = \left(2\pi - \frac{\theta}{180} \pi + \sin \theta \right) \left(l_e + \frac{D_A}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \pi D_A^2 \quad (\text{mm}^2)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{a_p}{2 l_e + D_A} \quad ^\circ$$

表 5.3-11 コンクリートのコーン状破壊に対する許容引張力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{a2}	アンカーボルト 1 本当りのコーン状破壊に対する許容引張力	—	N
ϕ_2	低減係数(短期荷重時)	2/3	—
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	—	N/mm ²
ΣA_c	アンカーボルト 2 本のコーン状破壊面の有効水平投影面積	—	mm ²
A_c	アンカーボルト 1 本当りのコーン状破壊面の有効水平投影面積	—	mm ²
f'_{ck}	コンクリートの設計基準強度	50	N/mm ²
θ	近接して設けたアンカーボルトの有効水平投影面積が互いに重なるとき、その円の中心と 2 つの円周の交点がもたらす角度	—	°
D_A	頭付きアンカーボルト頭部の直径	60	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	220	mm
a_p	近接する 2 本のアンカーボルトの距離	140	mm

よって,

$$\sigma_t = 0.31 \times \sqrt{50} = 2.192 \text{ N/mm}^2$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{140}{2 \times 220 + 60} = 147.480^\circ$$

$$A_c = \left(\left(2\pi - \frac{147.480}{180} \pi + \sin 147.480^\circ \right) \times \left(220 + \frac{60}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \pi \times 60^2 \right) \div 2$$

$$= (4.2468 \times 62500 - 5654.9) \div 2 = 2.5977 \times 10^5 \div 2 = 1.29885 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$P_{a2} = 2 \div 3 \times 2.192 \times 129885 = 1.898 \times 10^5 \text{ N} = 1.89 \times 10^5 \text{ N}$$

b. せん断

せん断に対する許容限界は以下により計算を行う。各記号の定義及び数値を表 5.3-12 に示す。

$$Q_{a2} = \phi_2 \times {}_c \sigma_t \times A_{qc} \quad (\text{N})$$

$${}_c \sigma_t = 0.31 \sqrt{f'_{ck}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$A_{qc} = 0.5 \pi c^2 \quad (\text{mm}^2)$$

表 5.3-12 コンクリートのコーン状破壊に対する許容せん断力の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Q_{a2}	アンカーボルト 1 本当りのコーン状破壊に対する許容せん断力	—	N
ϕ_2	低減係数(短期荷重時)	2/3	—
${}_c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	—	N/mm ²
A_{qc}	せん断力方向の側面におけるコーン状破壊面の有効投影面積	—	mm ²
f'_{ck}	コンクリートの設計基準強度	50	N/mm ²
c	アンカーボルトのへりあき寸法	228	mm

よって,

$${}_c \sigma_t = 0.31 \times \sqrt{50} = 2.192 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{qc} = 0.5 \times \pi \times 228^2 = 81656 \text{ mm}^2$$

$$Q_{a2} = \phi_2 \times {}_c \sigma_t \times A_{qc} = 2 \div 3 \times 2.192 \times 81656 = 1.193 \times 10^5 \text{ N} = 1.19 \times 10^5 \text{ N}$$

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。断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置を図5.4-1に示す。

加速度応答は、「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 $T=2.12$ s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。

断面⑦の地震応答解析ケースを表5.4-1に、地震応答解析結果を表5.4-2に、開門時に参照する設計用床応答曲線を図5.4-4に示す。

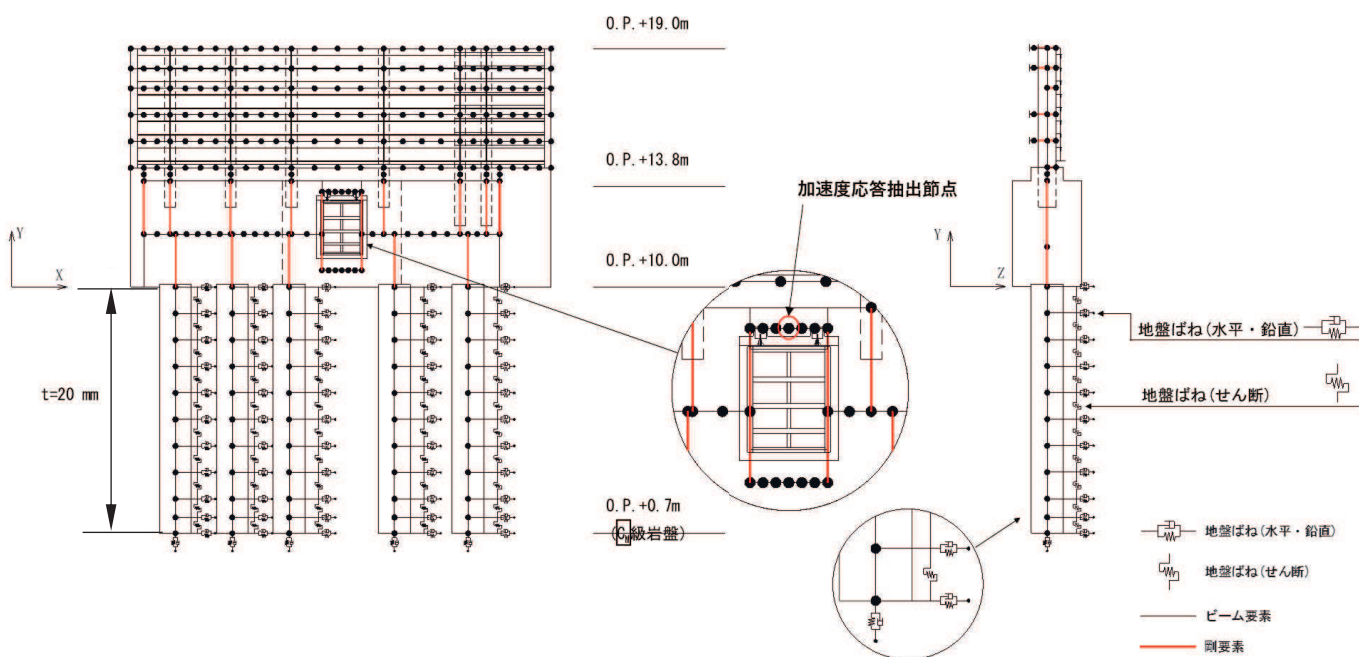


図5.4-1 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置

表 5.4-1 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(+1σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき(-1σ)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+1σ	平均値-1σ	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)	Ss-D1	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-D2	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-D3	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-F1	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-F2	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-F3	++*1	○	○	○	○
		-+*1,2	○	-	-	
	Ss-N1	++*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 5.4-2 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)	—	—

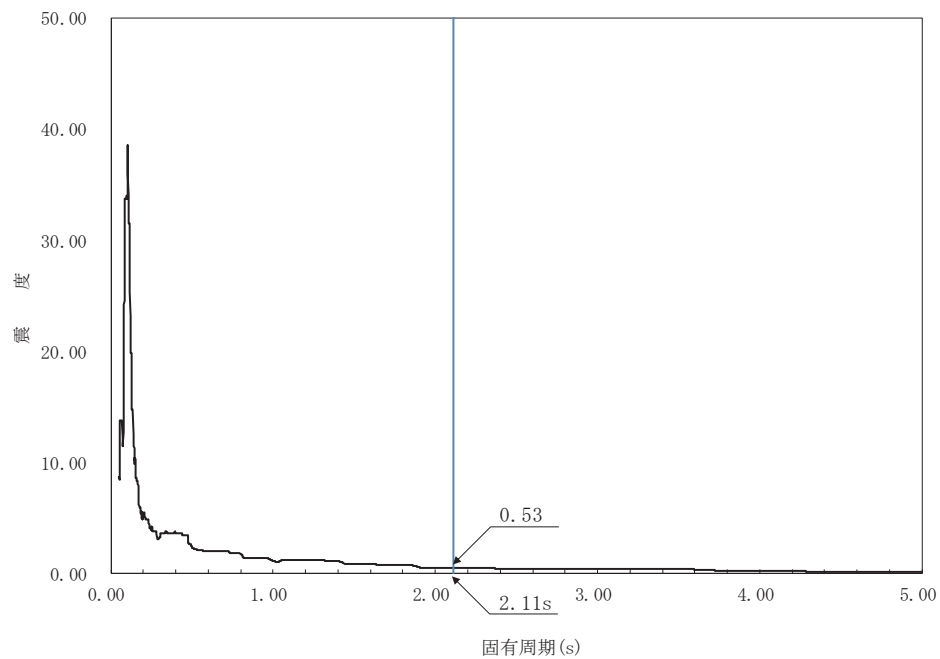


図5.4-2 鋼製遮水壁（鋼板）（断面⑦）における設計用床応答曲線

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 5.4-3 に示す。

表 5.4-3 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 - D 2 (++)	ケース③	防潮壁 (第 2 号機放水立坑) (図 5.4-1 参照)	水平方向 K_H (縦断)	2.6
	S s - D 2 (++)	ケース③		水平方向 K_{HX} (横断)	1.4
	S s - D 2 (++)	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

ここで、断面⑦は、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 2) を支持する断面であるが、「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について」に示すとおり、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1) を支持する断面位置との地盤応答の比較により、地盤（フーチング下面）の加速度応答が大きいため、上部工へ作用する地震荷重（慣性力）が大きくなると想定されることから選定している評価対象代表断面である。また、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) は構造仕様が同じとなっている。

よって、補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 2) の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。

各断面の地質構造を図5.4-3に、各断面のフーチング下面位置における加速度応答を表5.4-4に示す。

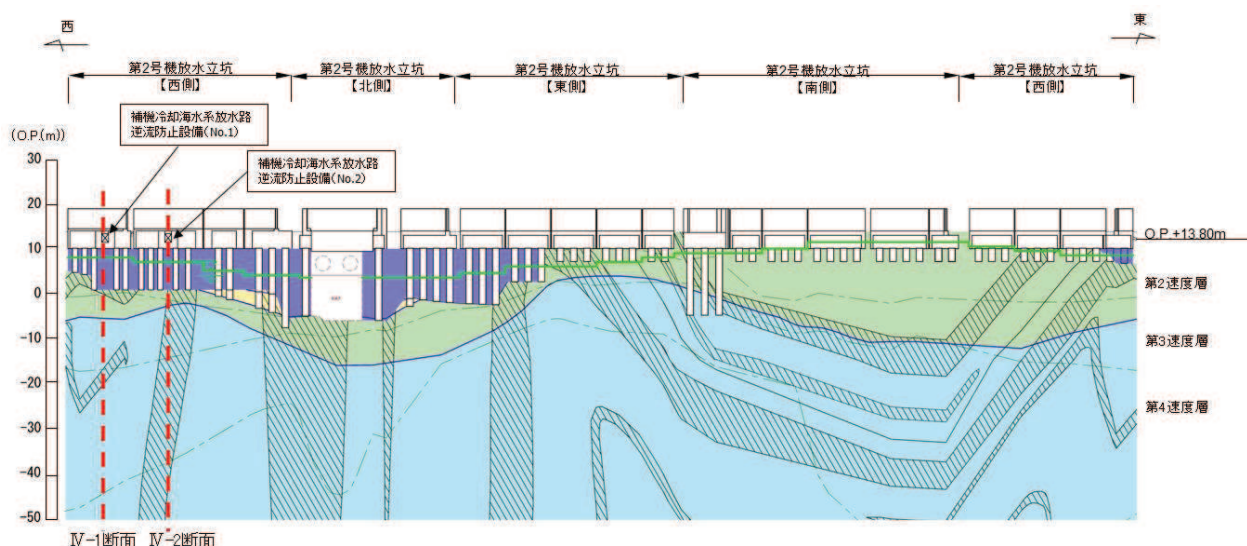


図5.4-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備設置部の地質構造

表 5.4-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備設置部の自由地盤応答(フーチング下面)の比較結果

断面	最大応答加速度 (cm/sec ²)	備考
IV-1 断面 (No. 1)	1114 (Ss-D2)	
IV-2 断面 (No. 2)	1186 (Ss-D2)	鋼製遮水壁 (鋼板) 断面⑦

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5.5-1に示す。

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

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)

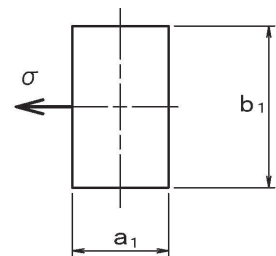
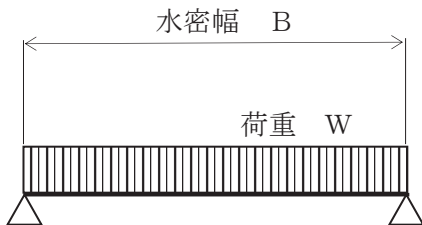


図5.5-1 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

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 5.5-2 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 5.5-3 に示す方法により算出する。



$$W = R \times B$$

$$M_{M a x} = \frac{W \times B}{8}$$

$$S_{M a x} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{M a x}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{M a x}}{A_{w 2}}$$

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

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)

$M_{M a x}$: 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{M a x}$: 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)

$A_{w 2}$: 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図 5.5-2 主桁のモデル図及び応力算定式

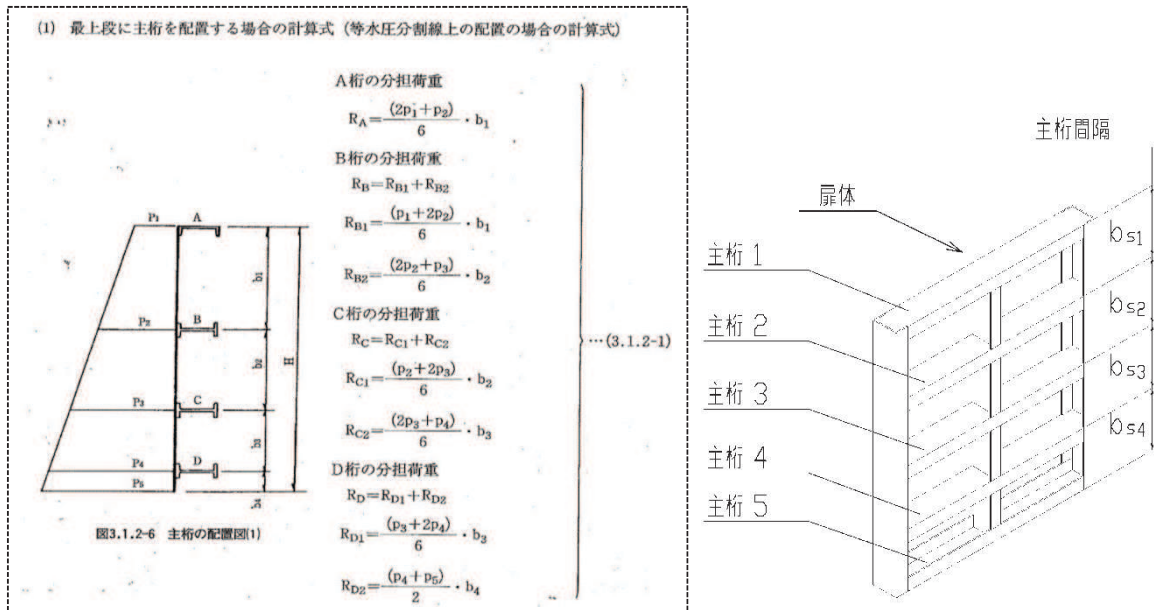


図 5.5-3 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「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。

$$\begin{aligned} \text{主桁 1: } R_1 &= \frac{2 \times q_{s1} + q_{s2}}{6} b_{s1} & b_{s1}: & \text{主桁 1, 主桁 2 の桁間隔 (mm)} \\ \text{主桁 2: } R_2 &= \frac{q_{s1} + 2 \times q_{s2}}{6} b_{s1} & b_{s2}: & \text{主桁 2, 主桁 3 の桁間隔 (mm)} \\ &+ \frac{2 \times q_{s2} + q_{s3}}{6} b_{s2} & b_{s3}: & \text{主桁 3, 主桁 4 の桁間隔 (mm)} \\ \text{主桁 3: } R_3 &= \frac{q_{s2} + 2 \times q_{s3}}{6} b_{s2} & b_{s4}: & \text{主桁 4, 主桁 5 の桁間隔 (mm)} \\ &+ \frac{2 \times q_{s3} + q_{s4}}{6} b_{s3} & q_{s1}: & \text{主桁 1 での発生圧力 (N/mm}^2\text{)} \\ \text{主桁 4: } R_4 &= \frac{q_{s3} + 2 \times q_{s4}}{6} b_{s3} & q_{s2}: & \text{主桁 2 での発生圧力 (N/mm}^2\text{)} \\ &+ \frac{2 \times q_{s4} + q_{s5}}{6} b_{s4} & q_{s3}: & \text{主桁 3 での発生圧力 (N/mm}^2\text{)} \\ \text{主桁 5: } R_5 &= \frac{q_{s4} + 2 \times q_{s5}}{6} b_{s4} & q_{s4}: & \text{主桁 4 での発生圧力 (N/mm}^2\text{)} \\ & & q_{s5}: & \text{主桁 5 での発生圧力 (N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

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 5.5-4 に示す。

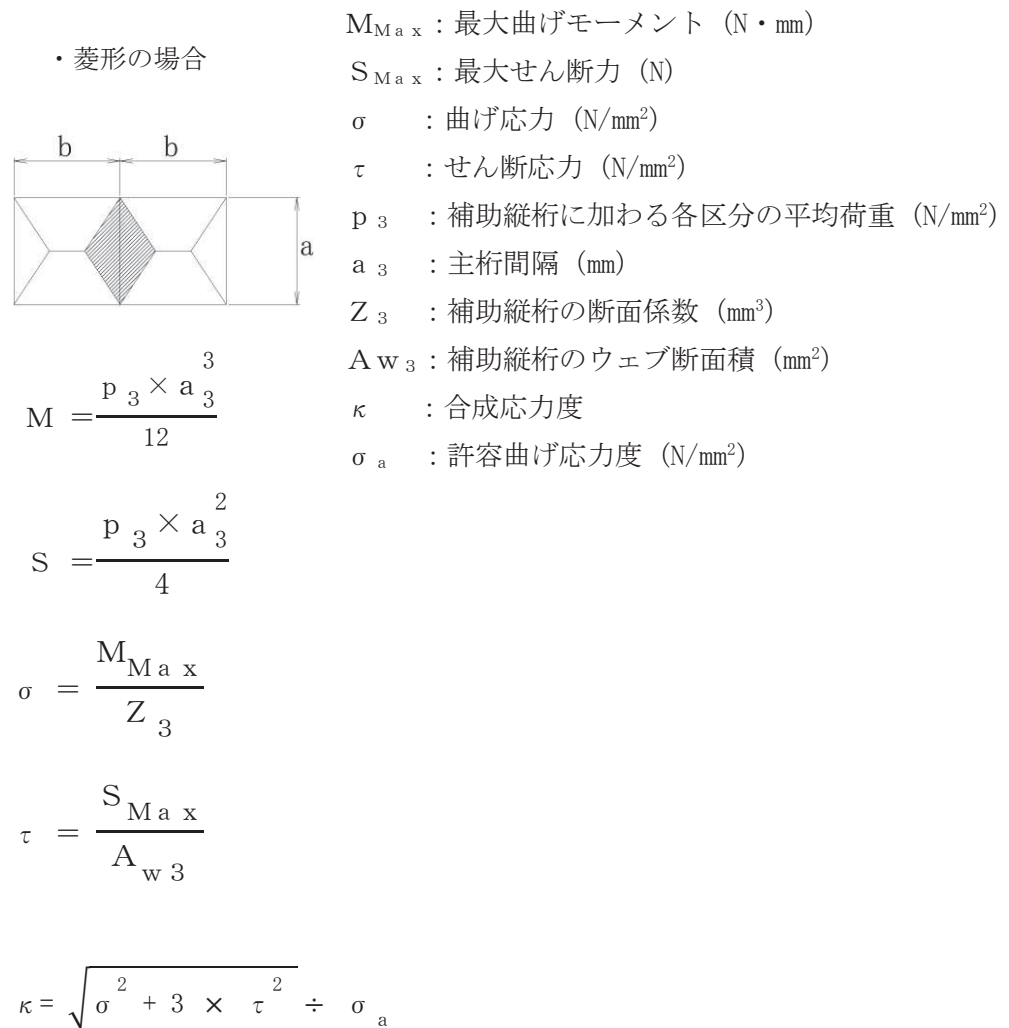


図 5.5-4 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

5.5.4 ヒンジ部

ヒンジ部の構造概要を図5.5-5に、ヒンジに作用する荷重の計算モデルを図5.5-6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、ヒンジ（扉体側、躯体側、連結部）、ピン（回転軸）及びアンカーボルトについて評価を行う。

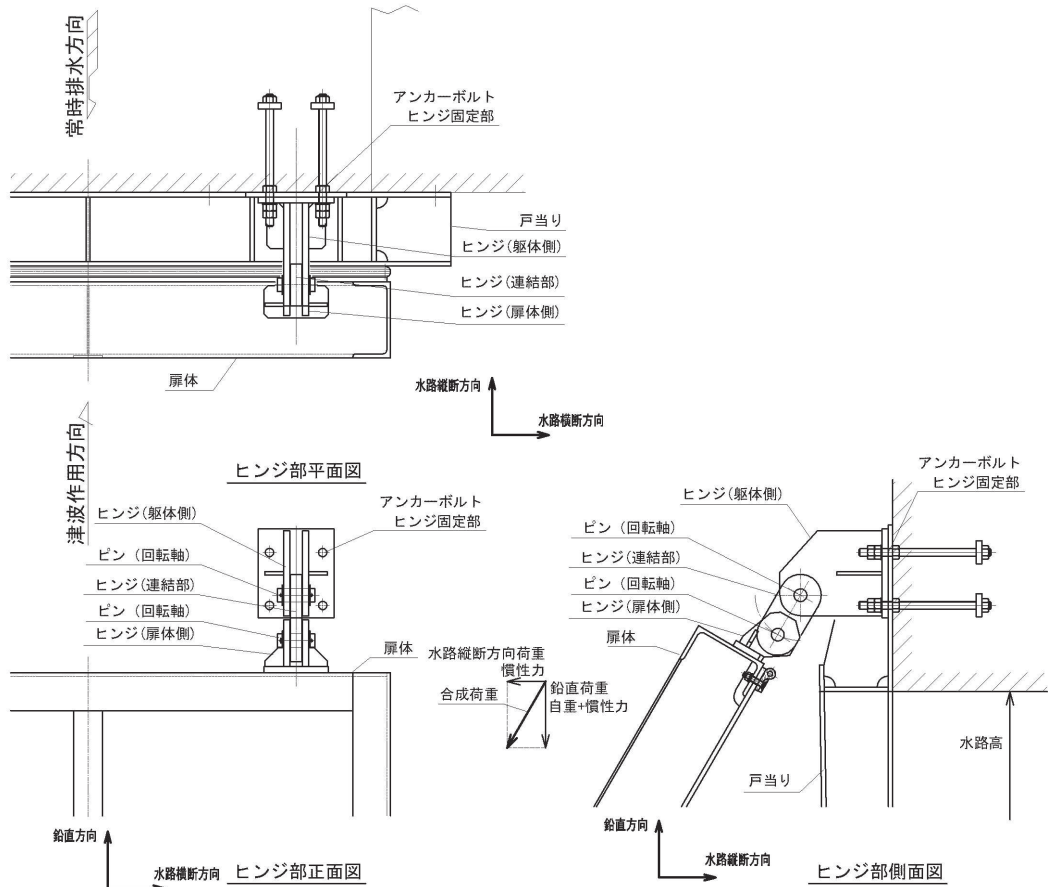
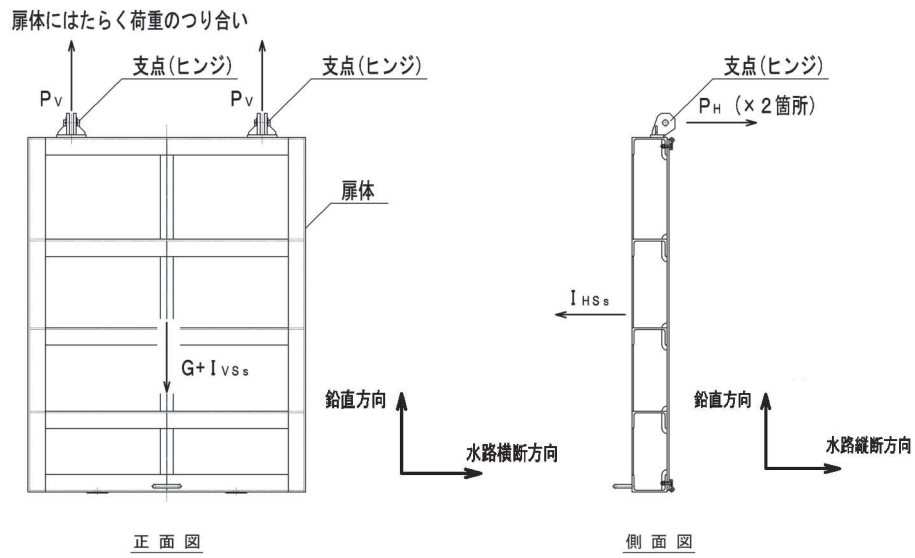


図 5.5-5 ヒンジ部の構造概要



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

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

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

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

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)

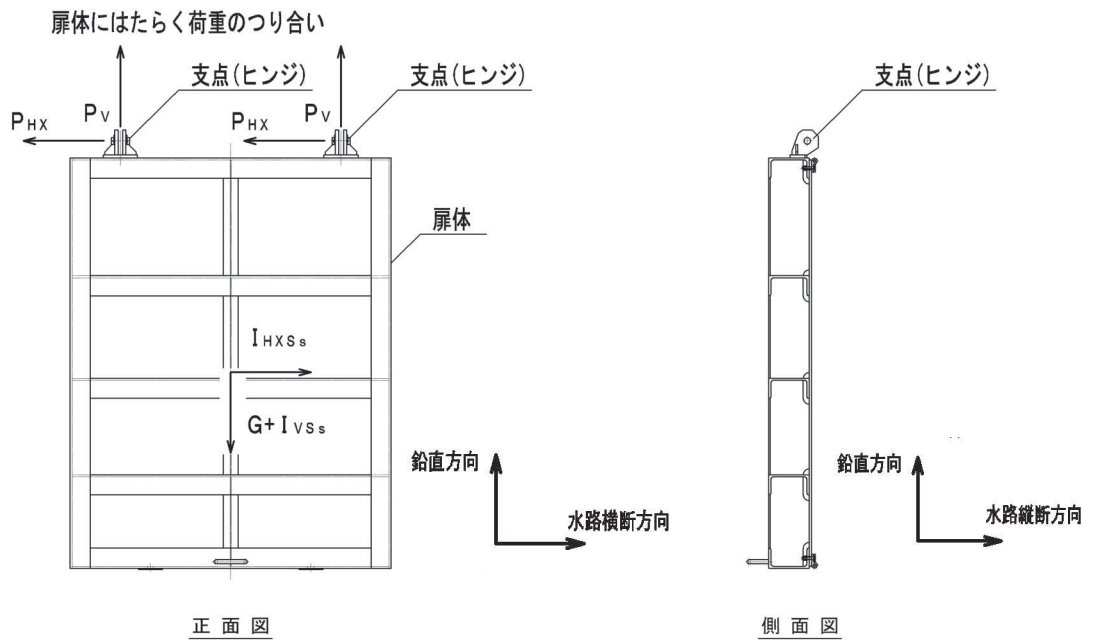
G : 扉体自重 (N)

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 5.5-6(1) ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル
(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)

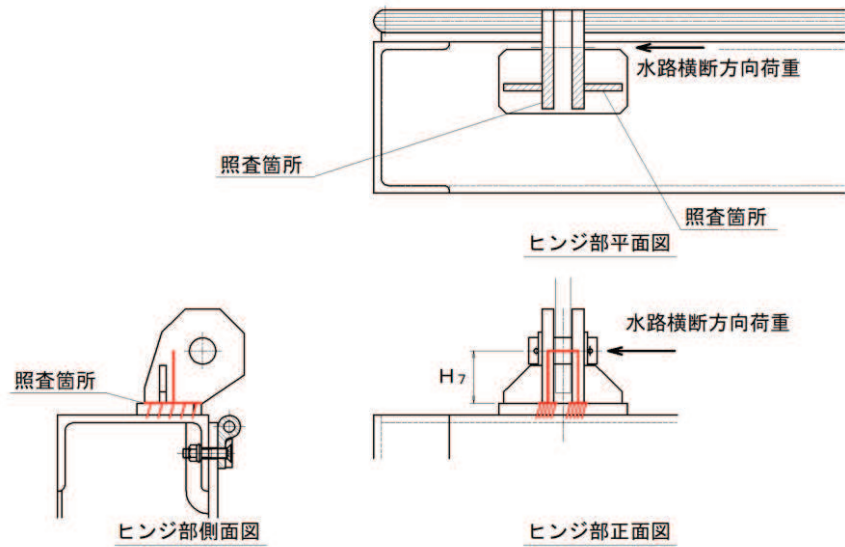
K_{HX} : 基準地震動 S_s による水路横断方向設計震度

K_V : 基準地震動 S_s による鉛直方向設計震度

図 5.5-6(2) ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル
(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5.5-7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)

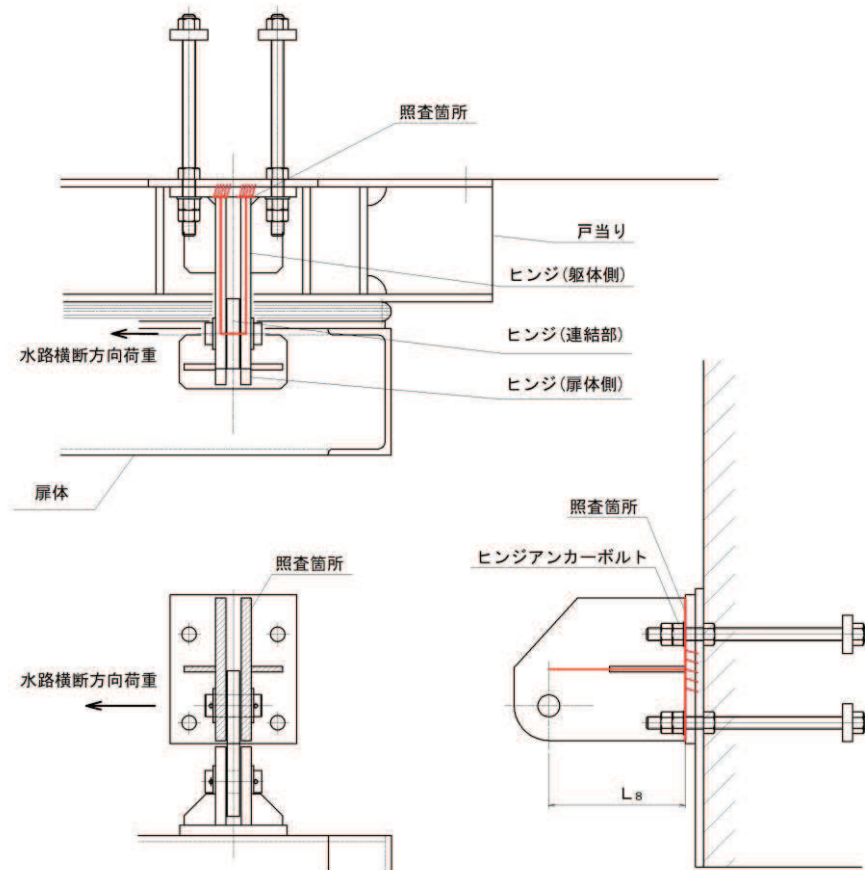
κ : 合成応力度

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図 5.5-7 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5.5-8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 (mm^3)

A_8 : ヒンジ（躯体側）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)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm^2)

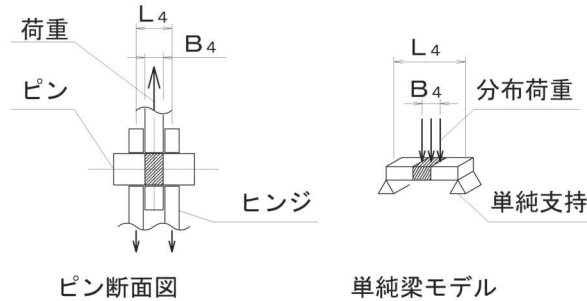
τ : せん断応力度 (N/mm^2)

κ : 合成応力度

図 5.5-8 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5.5-9に示す。



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

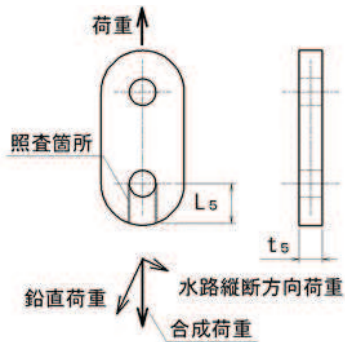
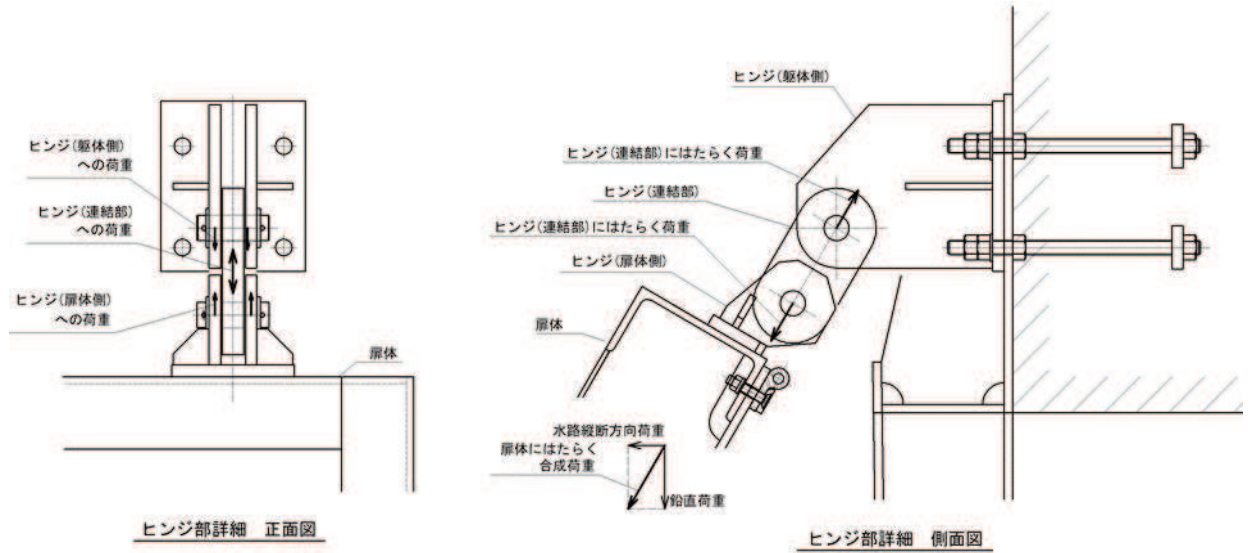
σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

図 5.5-9 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 5.5-10 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)

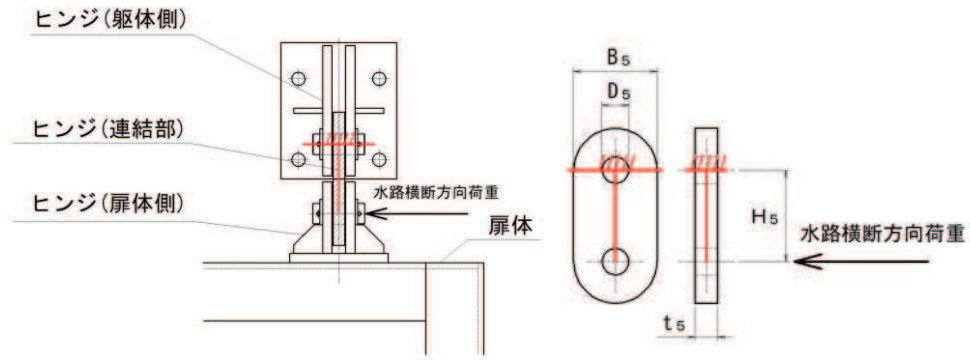
L_5 : ピン穴周りの端抜けせん断長さ (mm)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

図 5.5-10 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 5.5-11 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)

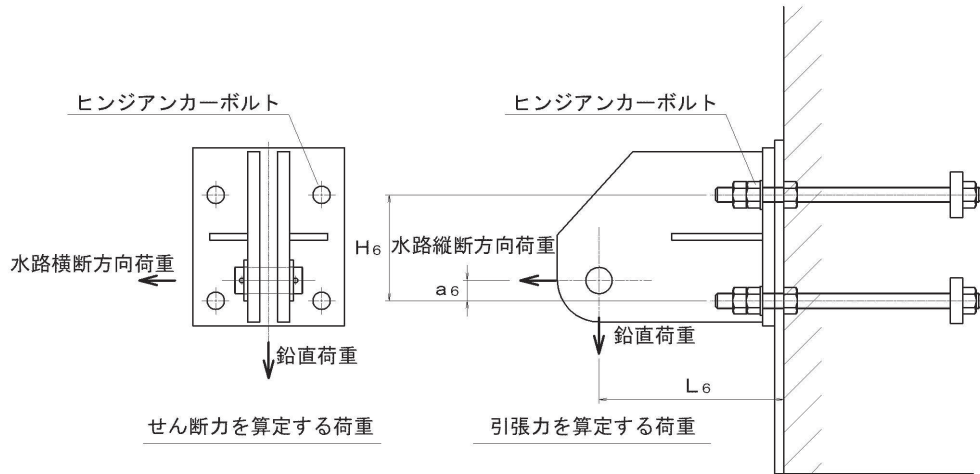
κ : 合成応力度

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図 5.5-11 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5.5-12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)

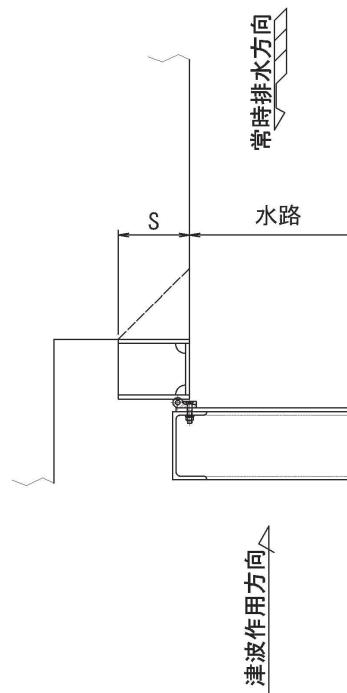
a_6 : アンカーボルトからピン穴中心までの鉛直方向長さ (mm)

図 5.5-12 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 5.5-13 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)

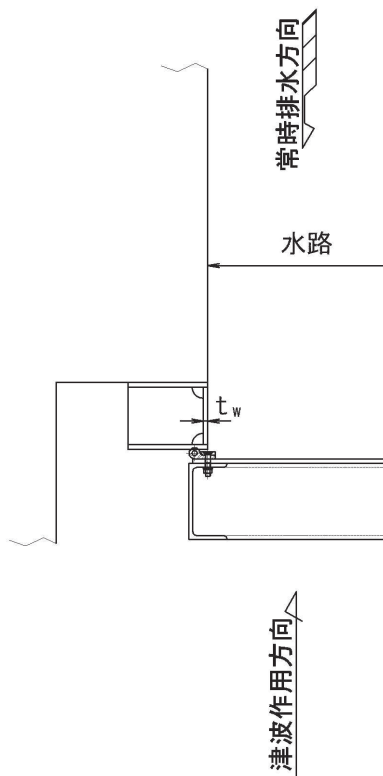
τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

図 5.5-13 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 5.5-14 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

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

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 5.5-14 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5.6-1に示す。

表 5.6-1(1) 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 5.6-1(2) 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 5.6-1(3) 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

5.7 応力計算

応力計算に用いる，基準地震動 S_s による水路縦断方向地震荷重 I_{HS_s} ，水路横断方向地震荷重 I_{HXS_s} ，鉛直方向地震荷重 I_{VS_s} 及び単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重 i_{HS_s} は以下の式により算出する。

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

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

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

$$i_{HS_s} = \frac{G}{H_p \times B} \times K_H$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 S_s 地震荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
I_{HS_s}	基準地震動 S_s による水路縦断方向地震荷重	—	N
I_{HXS_s}	基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重	—	N
I_{VS_s}	基準地震動 S_s による鉛直方向地震荷重	—	N
i_{HS_s}	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
K_H	基準地震動 S_s による水路縦断方向の設計震度	2.6	—
K_{HX}	基準地震動 S_s による水路横断方向の設計震度	1.4	—
K_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	0.7	—
G	固定荷重 (扉体の自重)	7.355×10^3	N
H_p	扉体の高さ	2.040×10^3	mm
B	扉体の水密幅	1.570×10^3	mm

よって，

$$I_{HS_s} = 7.355 \times 10^3 \times 2.6 = 19123 = 1.9123 \times 10^4 \text{ N}$$

$$I_{HXS_s} = 7.355 \times 10^3 \times 1.4 = 10297 = 1.0297 \times 10^4 \text{ N}$$

$$I_{VS_s} = 7.355 \times 10^3 \times 0.7 = 5148.5 = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

$$i_{HS_s} = \frac{7.355 \times 10^3}{2.040 \times 10^3 \times 1.570 \times 10^3} \times 2.6 = 5.97 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

5.7.1 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 5.7-1 に示す。

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

- 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)

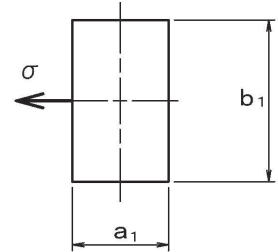


図 5.7-1 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

スキンプレートにはたらく荷重として，板の自重による水路縦断方向地震荷重を考慮し，以下の式により計算する。

$$P = P_{SHS_s}$$

$$P_{SHS_s} = \rho_{SUS} \times g \times t_1 \times K_H$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-2 に示す。

表 5.7-2 スキンプレートが発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
P _{SHS_s}	スキンプレートに加わる単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重	—	N/mm ²
ρ _{SUS}	スキンプレート材料の単位体積重量	7.980×10 ⁻⁶	kg/mm ³
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
t ₁	スキンプレートの板厚	12	mm
K _H	基準地震動S _s による水路縦断方向の設計震度	2.6	—

よって,

$$P_{SHS_s} = 7.980 \times 10^{-6} \times 9.80665 \times 12 \times 2.6 = 2.44 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

$$P = 2.44 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

(2) 発生応力

スキンプレートに発生する曲げ応力は以下の式により求める。

$$\sigma = k \times a_1^2 \times P \div (100 \times t_1^2)$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-3 に示す。

表 5.7-3 スキンプレートに生じる曲げ応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	板に生じる最大応力度	—	N/mm ²
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
k	辺長比 (b ₁ /a ₁) による係数	—	N/mm ²
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
t ₁	スキンプレートの板厚	12	mm

辺長比による係数 k 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、各区間における辺長比を元に数値を求める。

各区間の計算に用いた短辺 a_1 、長辺 b_1 、発生圧力 P 、辺長比による係数 k 及び曲げ応力度 σ の導出結果を表 5.7-4 に示す。また、スキンプレーートの固定間隔概要を図 5.7-2 に示す。

表 5.7-4 スキンプレーートに生じる曲げ応力度及び計算諸元

	a_1 (mm)	b_1 (mm)	b_1 / a_1	k	P (N/mm^2)	σ (N/mm^2)
区間 1	585	800	1.3675	42.74	2.44×10^{-3}	2.5
区間 2	510	800	1.5686	46.30	2.44×10^{-3}	2.1
区間 3	480	800	1.6667	47.43	2.44×10^{-3}	1.9
区間 4	465	800	1.7204	48.06	2.44×10^{-3}	1.8

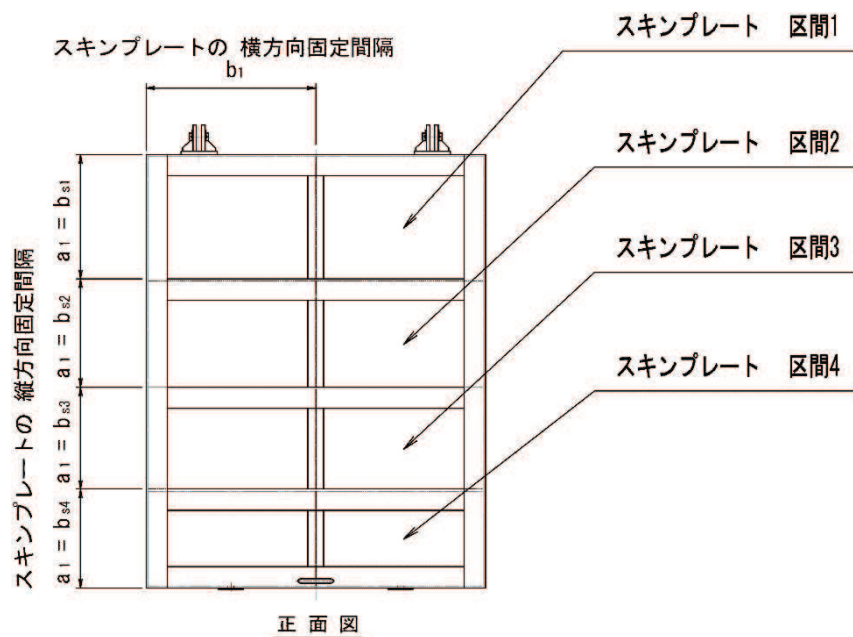


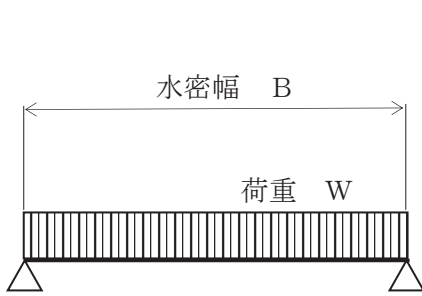
図 5.7-2 スキンプレーートの固定間隔概要図

以上より、スキンプレーートの最大応力が発生する箇所は区間 1 であり、当該箇所の計算諸元である短辺 $a_1 = 585.0$ mm、長辺 $b_1 = 800.0$ mm、辺長比による係数 $k = 42.74$ 、発生圧力 $P = 2.44 \times 10^{-3} N/mm^2$ より、スキンプレーートの最大曲げ応力度 $\sigma = 2.5 N/mm^2$ である。

5.7.2 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 5.7-3 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 5.7-4 に示す方法により算出する。



$$W = R \times B$$

$$M_{M_{a x}} = \frac{W \times B}{8}$$

$$S_{M_{a x}} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{M_{a x}}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{M_{a x}}}{A_{w 2}}$$

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

- 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)
- $M_{M_{a x}}$: 最大曲げモーメント (N・mm)
- $S_{M_{a x}}$: 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)
- $A_{w 2}$: 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図 5.7-3 主桁のモデル図及び応力算定式

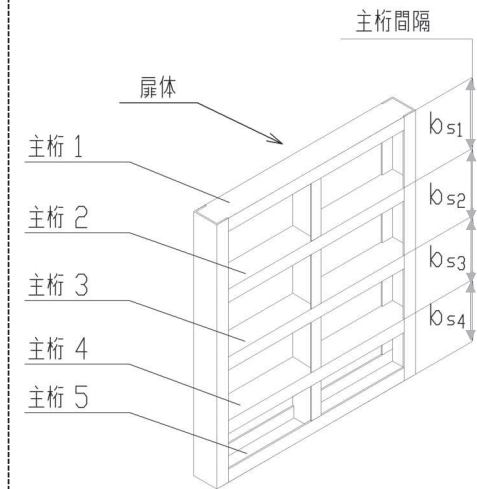
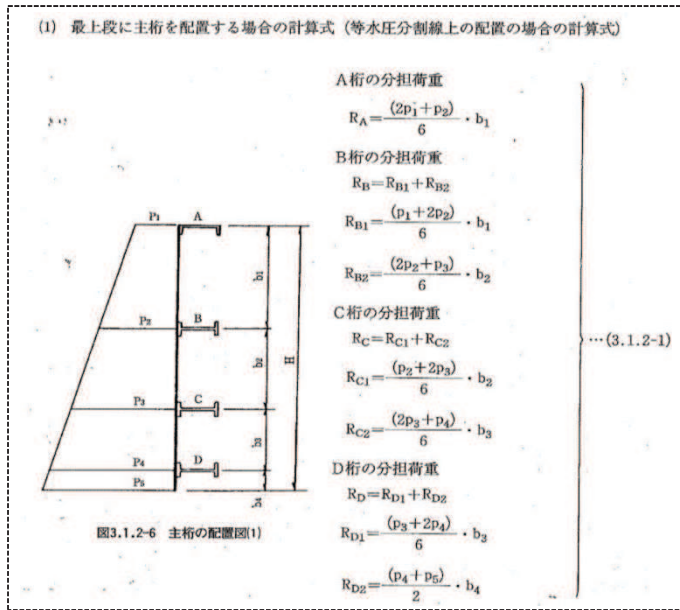


図 5.7-4 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「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)

(1) 発生荷重

桁に生じる荷重は以下の式にて計算を行う。

$$W = R \times B$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-5 に示す。

表 5.7-5 主桁にはたらく荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
B	扉体の水密幅	1.570×10^3	mm

各主桁に加わる荷重は隣り合う主桁との間隔を考慮して分担するものとし、各桁に生じる単位長さ当りの荷重を以下の式にて計算を行う。得られた値を比較し、最も発生荷重の大きい箇所について評価を行う。

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

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

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

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

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

各主桁での発生圧力は地震動による慣性力のみであるため

$$q_{s1} = q_{s2} = q_{s3} = q_{s4} = q_{s5} = i_{HSs} = 5.97 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-6 に示す。

表 5.7-6 主桁にはたらく荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
R_1	主桁 1 に加わる地震による線荷重	—	N/mm
R_2	主桁 2 に加わる地震による線荷重	—	N/mm
R_3	主桁 3 に加わる地震による線荷重	—	N/mm
R_4	主桁 4 に加わる地震による線荷重	—	N/mm
R_5	主桁 5 に加わる地震による線荷重	—	N/mm
b_{s1}	主桁 1 と主桁 2 の間隔	585	mm
b_{s2}	主桁 2 と主桁 3 の間隔	510	mm
b_{s3}	主桁 3 と主桁 4 の間隔	480	mm
b_{s4}	主桁 4 と主桁 5 の間隔	465	mm
q_{s1}	主桁 1 での発生圧力	5.97×10^{-3}	N/mm ²
q_{s2}	主桁 2 での発生圧力	5.97×10^{-3}	N/mm ²
q_{s3}	主桁 3 での発生圧力	5.97×10^{-3}	N/mm ²
q_{s4}	主桁 4 での発生圧力	5.97×10^{-3}	N/mm ²
q_{s5}	主桁 5 での発生圧力	5.97×10^{-3}	N/mm ²

よって,

$$R_1 = (2 \times 5.97 \times 10^{-3} + 5.97 \times 10^{-3}) \times 585 \div 6 = 1.746 \text{ N/mm}$$

$$R_2 = (5.97 \times 10^{-3} + 2 \times 5.97 \times 10^{-3}) \times 585 \div 6 \\ + (2 \times 5.97 \times 10^{-3} + 5.97 \times 10^{-3}) \times 510 \div 6 = 3.269 \text{ N/mm}$$

$$R_3 = (5.97 \times 10^{-3} + 2 \times 5.97 \times 10^{-3}) \times 510 \div 6 \\ + (2 \times 5.97 \times 10^{-3} + 5.97 \times 10^{-3}) \times 480 \div 6 = 2.955 \text{ N/mm}$$

$$R_4 = (5.97 \times 10^{-3} + 2 \times 5.97 \times 10^{-3}) \times 480 \div 6 \\ + (2 \times 5.97 \times 10^{-3} + 5.97 \times 10^{-3}) \times 465 \div 6 = 2.821 \text{ N/mm}$$

$$R_5 = (5.97 \times 10^{-3} + 2 \times 5.97 \times 10^{-3}) \times 465 \div 6 = 1.388 \text{ N/mm}$$

以降、主桁に加わる荷重が最大となる 2 番目の桁に対して、以下の荷重を用いて応力計算を行う。

$$R = R_2 = 3.269 \text{ N/mm}$$

$$W = R \times B = 3.269 \times 1.570 \times 10^3 = 5.13 \times 10^3 \text{ N}$$

(2) 最大曲げモーメント・最大せん断力

主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{M a x} = W \times B \div 8$$

$$S_{M a x} = W \div 2$$

ここで、

$M_{M a x}$: 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{M a x}$: 最大せん断力 (N)

よって、

$$M_{M a x} = 5.13 \times 10^3 \times 1.570 \times 10^3 \div 8 = 1.01 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$S_{M a x} = 5.13 \times 10^3 \div 2 = 2.57 \times 10^3 \text{ N}$$

(3) 断面係数及びウェブ断面積

発生応力を計算するにあたり、主桁の断面係数及びウェブ断面積を求める。図 5.7-5 に主桁の断面形状を示す。

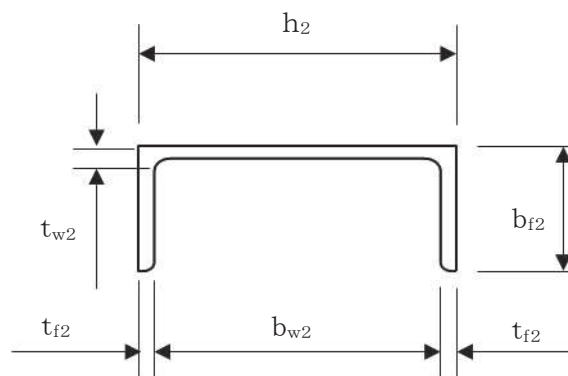


図 5.7-5 主桁の断面形状

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-7 に示す。

表 5.7-7 主桁の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_{f2}	フランジの板厚	10	mm
b_{f2}	フランジの板幅	100	mm
t_{w2}	主桁のウェブ板厚	10	mm
b_{w2}	主桁のウェブ板幅	180	mm
h_2	主桁の桁高さ	200	mm

主桁は日本工業規格で規定された溝形鋼を用いており，断面係数として日本工業規格に記載された数値を用いる。

ウェブ断面積は以下の式にて計算を行う。

$$A_{w2} = t_{w2} \times b_{w2}$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-8 に示す。

表 5.7-8 主桁の断面係数及びウェブ断面積の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Z_2	主桁の断面係数	2.3100×10^5	mm^3
A_{w2}	主桁のウェブ断面積	1800	mm^2

(4) 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = M_{\text{Max}} \div Z_2$$

$$\tau = S_{\text{Max}} \div A_{w2}$$

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-9 に示す。

表 5.7-9 主桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
κ	合成応力	—	—
σ_a	許容曲げ応力	125	N/mm ²
M_{Max}	最大曲げモーメント	1.01×10^6	N・mm
S_{Max}	最大せん断力	2.57×10^3	N
Z_2	主桁の断面係数	2.3100×10^5	mm ³
A_{w2}	主桁のウェブ断面積	1800	mm ²

以上より,

$$\sigma = M_{Max} \div Z_2 = 1.01 \times 10^6 \div 231000 = 4.37 \text{ N/mm}^2 = 4.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = S_{Max} \div A_{w2} = 2.57 \times 10^3 \div 1800 = 1.43 \text{ N/mm}^2 = 1.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \div \sigma_a = \sqrt{4.37^2 + 3 \times 1.43^2} \div 125 = 0.05$$

5.7.3 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5.7-6に示す。

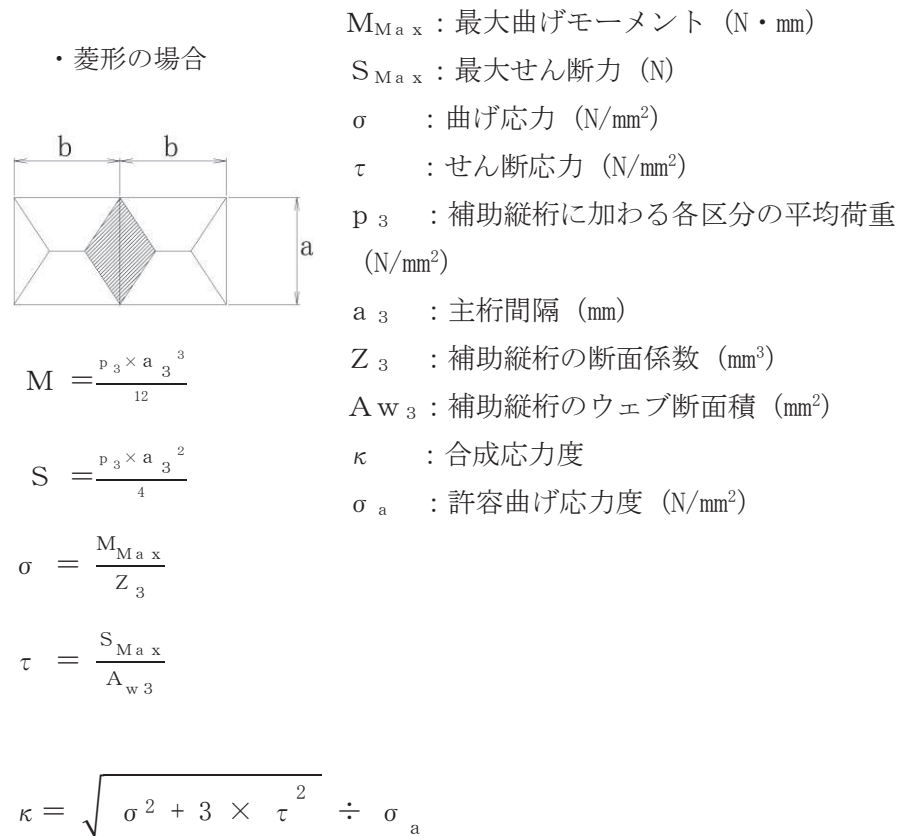


図 5.7-6 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

平均荷重が菱形に作用したものとして、以下の式にて計算を行う。

$$p_3 = i_{HSs}$$

ここで、

p_3 : 補助縦桁に加わる各区分の平均荷重 (N/mm²)

よって、

$$p_3 = 5.97 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$$

(2) 最大曲げモーメント・最大せん断力

発生応力を計算するにあたり、最大曲げモーメント及び最大せん断力を以下の式にて計算を行う。

$$M = p_3 \times a_3^3 \div 12$$

$$S = p_3 \times a_3^2 \div 4$$

ここで、

M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{Max} : 最大せん断力 (N)

a_3 : 主桁間隔 (補助縦桁の支持間隔) (mm)

各主桁間の補助縦桁の最大曲げモーメント及び最大せん断力の計算結果を表 5.7-10 に示す。また、補助縦桁の固定間隔概要を図 5.7-7 に示す。

表 5.7-10 補助縦桁の断面力

	p_3 (N/mm ²)	a_3 (mm)	M_{Max} (N・mm)	S_{Max} (N)
区間 1	5.97×10^{-3}	585	9.9600×10^4	5.1077×10^2
区間 2	5.97×10^{-3}	510	6.5994×10^4	3.8820×10^2
区間 3	5.97×10^{-3}	480	5.5020×10^4	3.4387×10^2
区間 4	5.97×10^{-3}	465	5.0021×10^4	3.2272×10^2

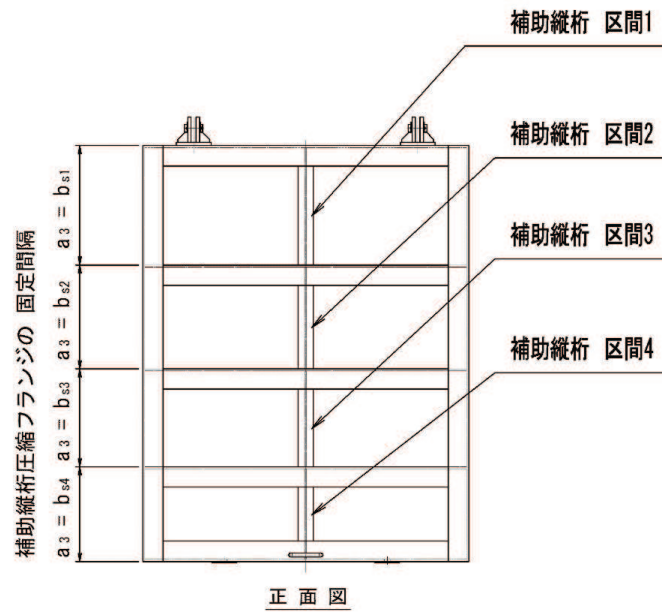


図 5.7-7 補助縦桁の固定間隔概要図

以降, 補助縦桁のうち最大曲げモーメント及び最大せん断力が生じる区間1に対して応力計算を行う。

(3) 断面係数及びウェブ断面積

発生応力を計算するにあたり，補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積を求める。図 5.7-8 に補助縦桁の断面形状を示す。

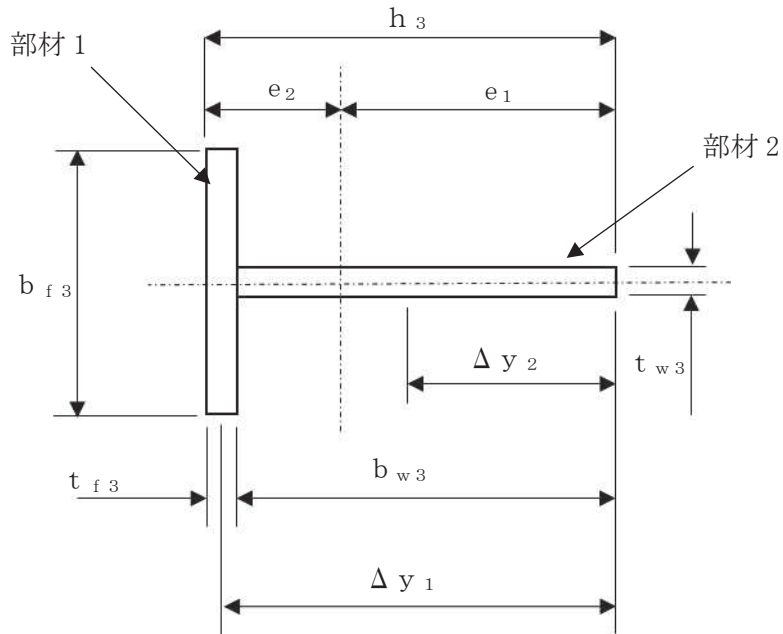


図 5.7-8 補助縦桁の断面形状

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-11 に示す。

表 5.7-11 補助縦桁の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_{f3}	部材 1 (フランジ) の板厚	6	mm
b_{f3}	部材 1 (フランジ) の板幅	75	mm
Δy_1	部材端面 1 から部材 1 の図心までの距離	197	mm
t_{w3}	部材 2 (ウェブ) の板厚	6	mm
b_{w3}	部材 2 (ウェブ) の板幅	194	mm
Δy_2	部材端面 1 から部材 2 の図心までの距離	97	mm
h_3	補助縦桁の桁高さ	200	mm
e_1	中立軸から部材端面 1 までの距離	—	mm
e_2	中立軸から部材端面 2 までの距離	—	mm

補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積を以下の式にて計算を行う。

$$Z_3 = I \div e$$

$$A_{w3} = b_{w3} \times t_{w3}$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-12 に示す。

表 5.7-12 補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積に関する記号の定義

記号	定義	数値	単位
Z_3	補助縦桁の断面係数	—	N/mm ²
A_{w3}	補助縦桁のウェブ断面積	—	N/mm ²
I	断面 2 次モーメント	—	N/mm ²
e	中立軸から部材端面までの距離	—	mm

非対称断面においては中立軸から部材端面までの距離 e が二通りあり、異なる断面係数が得られるため、保守的に小さくなるものを部材の断面係数として取り扱う。補助縦桁断面の端から中立軸までの距離 e_1 及び e_2 は以下の式により求める。

$$e_1 = \Sigma (A_i \cdot \Delta y_i) / \Sigma A_i$$

$$e_2 = h_3 - e_1$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-13 に示す。

表 5.7-13 補助縦桁の中立軸の計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
ΣA_i	桁を構成する各部材の断面積の合計値	—	mm ²
$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i)$	部材端面 1 に対する各部材の断面一次モーメントの合計値	—	mm ³

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i) = t_{f3} \times b_{f3} \times \Delta y_1 + t_{w3} \times b_{w3} \times \Delta y_2$$

$$\Sigma A_i = t_{f3} \times b_{f3} + t_{w3} \times b_{w3}$$

部材の中立軸から断面までの距離を求める。

$$\Sigma (A_i \times \Delta y_i) = 6 \times 75 \times 197 + 6 \times 194 \times 97 = 201558 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma A_i = 6 \times 75 + 6 \times 194 = 1614 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = \Sigma (A_i \times \Delta y_i) / \Sigma A_i = 201558 \div 1614 = 124.8810409 \text{ mm}$$

$$e_2 = h_3 - e_1 = 200 - 124.8810409 = 75.1189591 \text{ mm}$$

平行軸の定理より，複数の部材で構成される断面の断面二次モーメントを以下の式によって求める。

$$I = \Sigma (A_i \times \Delta y_i^2) + \Sigma I_i - \Sigma A_i \times e_1^2$$

それぞれ以下の式により計算を行う。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = t_{f3} \times b_{f3} \times \Delta y_1^2 + t_{w3} \times b_{w3} \times \Delta y_2^2$$

$$\Sigma I_i = t_{f3}^3 \times b_{f3} \div 12 + b_{w3}^3 \times t_{w3} \div 12$$

ここで，各記号の定義を表 5.7-14 に示す。

表 5.7-14 補助縦桁の断面二次モーメントの計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
$\Sigma (A_i \times \Delta y_i^2)$	端面 1 まわりの断面二次モーメントと中立軸まわりの断面二次モーメントの差	—	mm ⁴
ΣI_i	各部材ごとの図心に対する断面二次モーメントの合計値	—	mm ⁴

補助縦桁の断面二次モーメントは以下の式より求める。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = 6 \times 75 \times 197^2 + 6 \times 194 \times 97^2 = 28416126 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_i = 6^3 \times 75 \div 12 + 194^3 \times 6 \div 12 = 3652042 \text{ mm}^4$$

$$I = 28416126 + 3652042 - 1614.00 \times 124.8810409^2 = 6897395.16 \text{ mm}^4$$

以上より，断面係数及びウェブ断面積は

$$I / e_1 = 6897395.16 \div 124.8810409 = 55231.72 \text{ mm}^3 = 55232 \text{ mm}^3$$

$$I / e_2 = 6897395.16 \div 75.1189591 = 91819.63 \text{ mm}^3 = 91820 \text{ mm}^3$$

$$I / e_1 < I / e_2 \text{ である。}$$

よって，

$$Z_3 = I / e_1 = 55232 \text{ mm}^3$$

$$A_{w3} = 194 \times 6 = 1164 \text{ mm}^2$$

(4) 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = M_{\text{Max}} / Z_3$$

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

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

以上より，

$$\sigma = 9.9600 \times 10^4 \div 55232 = 1.8033 \text{ N/mm}^2 = 1.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 5.1077 \times 10^2 \div 1164 = 0.4388 \text{ N/mm}^2 = 0.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{1.8033^2 + 3 \times 0.4388^2} \div 125 = 0.02$$

5.7.4 ヒンジ部

ヒンジ部の構造概要を図5.7-9に、ヒンジに作用する荷重の計算モデルを図5.7-10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。

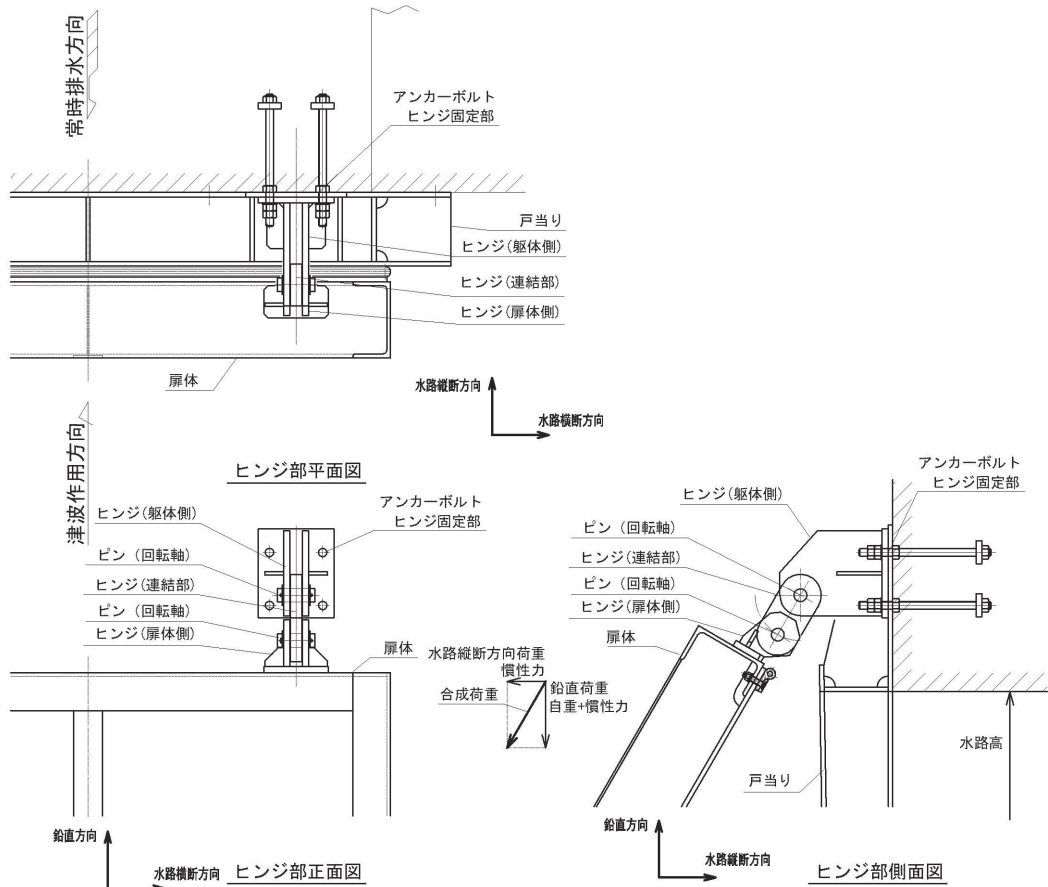
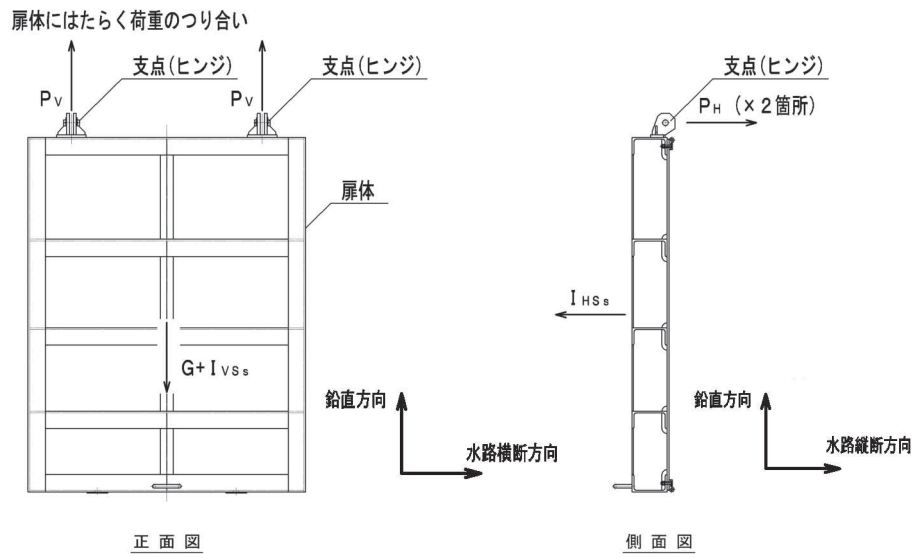


図 5.7-9 ヒンジ部の構造概要



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

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

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

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

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)

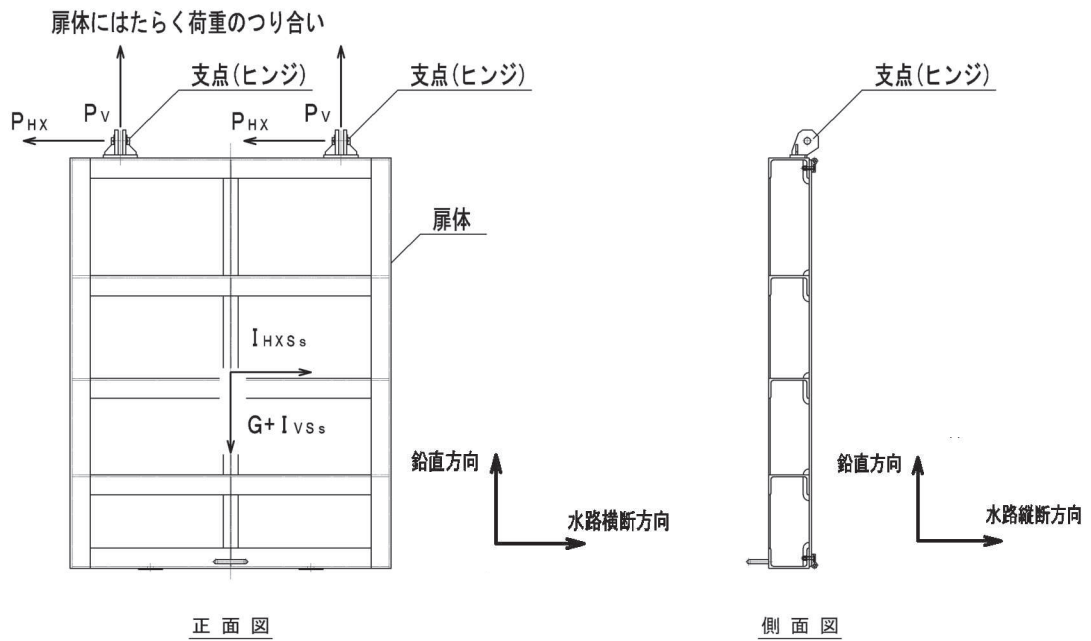
G : 扉体自重 (N)

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 5.7-10(1) ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル
(水路縦断方向・鉛直方向)



ここに、

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

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

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

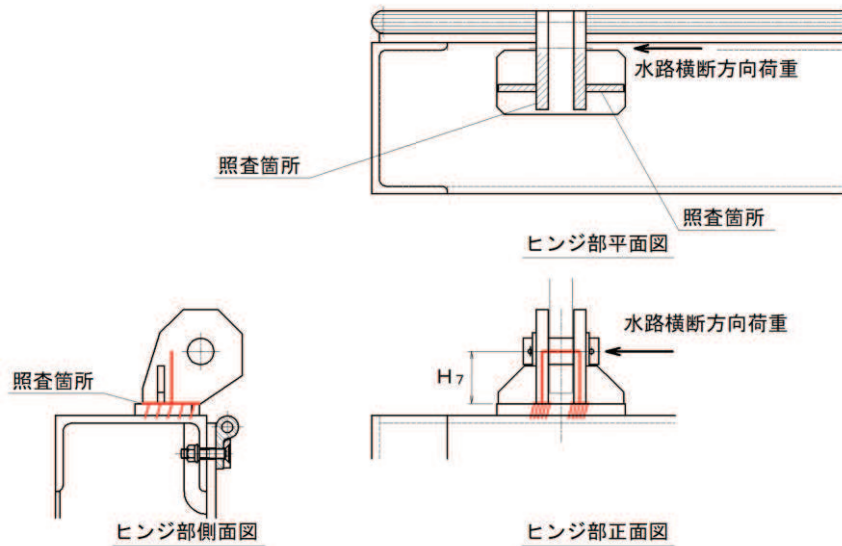
$$I_{VS_s} = G \times K_V$$

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 5.7-10(2) ヒンジ部に作用する荷重の計算モデル
(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 5.7-11 に示す。



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 (mm^3)

A_7 : ヒンジ（扉体側）の断面積 (mm^2)

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 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S : せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm^2)

τ : せん断応力度 (N/mm^2)

κ : 合成応力度

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm^2)

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

$$S = P_{HX}$$

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

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

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

図 5.7-11 ヒンジ（扉体側）の構造概要及び応力算定式

a. 発生荷重

ヒンジに対して水路横断方向地震荷重が加わったものとして、以下の式にて計算を行う。また、ヒンジは2か所設置することから、全荷重を等分する。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-15 に示す。

表 5.7-15 ヒンジ（扉体側）の発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{HX}	ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重	—	N
I_{HXS_s}	基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重	1.0297×10^4	N

よって、

$$P_{HX} = 1.0297 \times 10^4 \div 2 = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

ヒンジ(扉体側)に発生する最大曲げモーメント・最大せん断力を以下の式にて計算する。

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

$$S = P_{HX}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-16 に示す。

表 5.7-16 ヒンジ(扉体側)の発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M	水路横断方向荷重による曲げモーメント	—	N・mm
S	水路横断方向荷重によるせん断力	—	N
P_{HX}	ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重	5.1485×10^3	N
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	96	mm

よって、

$$M = 5.1485 \times 10^3 \times 96 = 4.9426 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

b. 断面係数及び断面積

発生応力を計算するにあたり，ヒンジ(扉体側)の断面係数及び断面積を求める。図 5.7-12 にヒンジ(扉体側)の断面形状を示す。

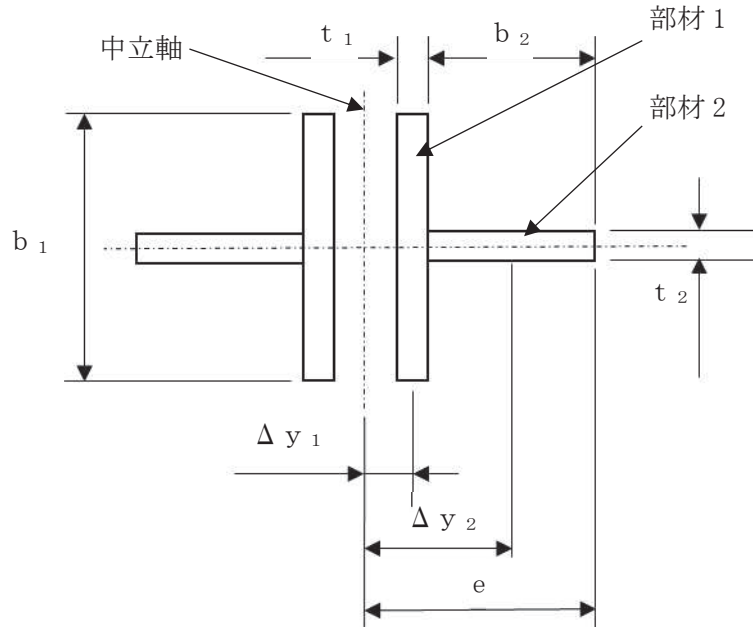


図 5.7-12 ヒンジ(扉体側)の断面形状

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-17 に示す。

表 5.7-17 ヒンジ(扉体側)の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_1	部材 1 の板厚	16	mm
b_1	部材 1 の板幅	75	mm
Δy_1	中立軸から部材 1 の図心までの距離	25	mm
t_2	部材 2 の板厚	9	mm
b_2	部材 2 の板幅	50	mm
Δy_2	中立軸から部材 2 の図心までの距離	58	mm
e	中立軸から部材端面までの距離	83	mm

ヒンジ(扉体側)の断面係数及び断面積を以下の式にて計算を行う。

$$Z_7 = I \div e$$

$$A_7 = 2 \times (b_1 \times t_1 + b_2 \times t_2)$$

ここで，各記号の定義を表 5.7-18 に示す。

表 5.7-18 ヒンジ(扉体側)の断面係数及び断面積に関する記号の定義

記号	定義	数値	単位
Z_7	ヒンジ(扉体側)の断面係数	—	N/mm ²
A_7	ヒンジ(扉体側)の断面積	—	N/mm ²
I	断面 2 次モーメント	—	N/mm ²

平行軸の定理より，複数の部材で構成される断面の断面二次モーメントを以下の式によって求める。

$$I = \Sigma (A_i \times \Delta y_i^2) + \Sigma I_i$$

それぞれ以下の式により計算を行う。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = 2 \times (t_1 \times b_2 \times \Delta y_1^2 + t_1 \times b_2 \times \Delta y_2^2)$$

$$\Sigma I_i = 2 \times (t_1^3 \times b_1 \div 12 + b_2^3 \times t_2 \div 12)$$

ここで，各記号の定義を表 5.7-19 に示す。

表 5.7-19 ヒンジ(扉体側)の断面二次モーメントの計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
$\Sigma (A_i \times \Delta y_i^2)$	各部材ごとの断面二次モーメントと中立軸まわりの断面二次モーメントの差	—	mm ⁴
ΣI_i	各部材ごとの図心に対する断面二次モーメントの合計値	—	mm ⁴

ヒンジ(扉体側)の断面二次モーメントは以下の式より求める。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = 2 \times (16 \times 75 \times 25^2 + 9 \times 50 \times 58^2) = 4527600 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_i = 2 \times (16^3 \times 75 \div 12 + 50^3 \times 9 \div 12) = 238700 \text{ mm}^4$$

$$I = 4527600 + 238700 = 4766300 \text{ mm}^4$$

以上より，断面係数及び断面積は

$$Z_7 = I / e = 4766300 \div 83 = 57425 \text{ mm}^3$$

$$A_7 = 2 \times (16 \times 75 + 50 \times 9) = 3300 \text{ mm}^2$$

c. 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

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

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

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

以上より，

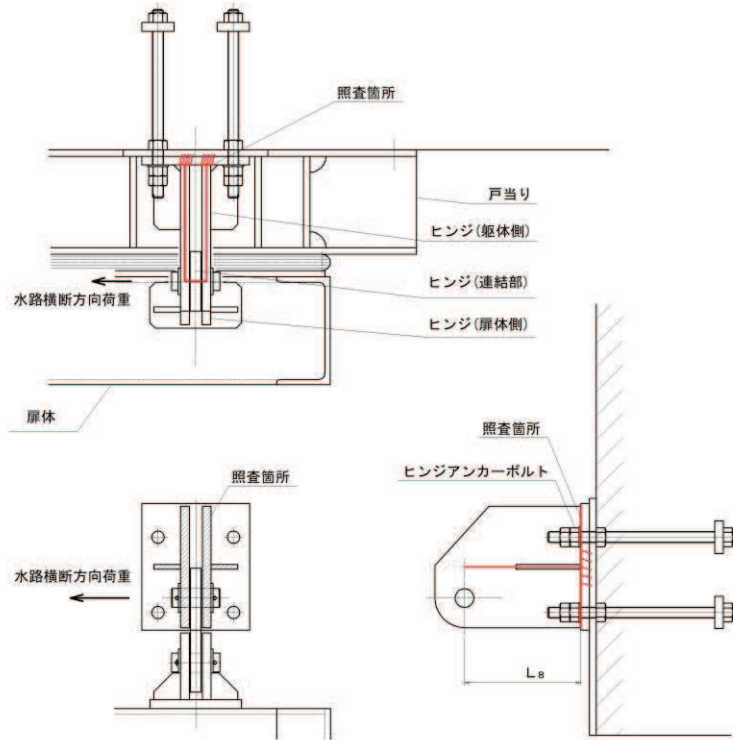
$$\sigma = 4.9426 \times 10^5 \div 57425 = 8.60698 \text{ N/mm}^2 = 8.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 5.1485 \times 10^3 \div 3300 = 1.56015 \text{ N/mm}^2 = 1.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{8.60698^2 + 3 \times 1.56015^2} \div 132 = 0.06834 = 0.07$$

(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 5.7-13 に示す。



ここに，

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

$$S = P_{HX}$$

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

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

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

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

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図 5.7-13 ヒンジ（躯体側）の構造概要及び応力算定式

a. 発生荷重

ヒンジに対して水路横断方向地震荷重が加わったものとして、以下の式にて計算を行う。また、ヒンジは2か所設置することから、全荷重を等分する。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-20 に示す。

表 5.7-20 ヒンジ（躯体側）の発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{HX}	ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重	—	N
I_{HXS_s}	基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重	1.0297×10^4	N

よって、

$$P_{HX} = 1.0297 \times 10^4 \div 2 = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

ヒンジ（躯体側）に発生する最大曲げモーメント・最大せん断力を以下の式にて計算する。

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

$$S = P_{HX}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-21 に示す。

表 5.7-21 ヒンジ（躯体側）の発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M	水路横断方向荷重による曲げモーメント	—	N・mm
S	水路横断方向荷重によるせん断力	—	N
P_{HX}	ヒンジ1箇所への水路横断方向荷重	5.1485×10^3	N
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	216	mm

よって、

$$M = 5.1485 \times 10^3 \times 216 = 1.1121 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

b. 断面係数及び断面積

発生応力を計算するにあたり、ヒンジ（躯体側）の断面係数及び断面積を求める。図 5.7-14 にヒンジ（躯体側）の断面形状を示す。

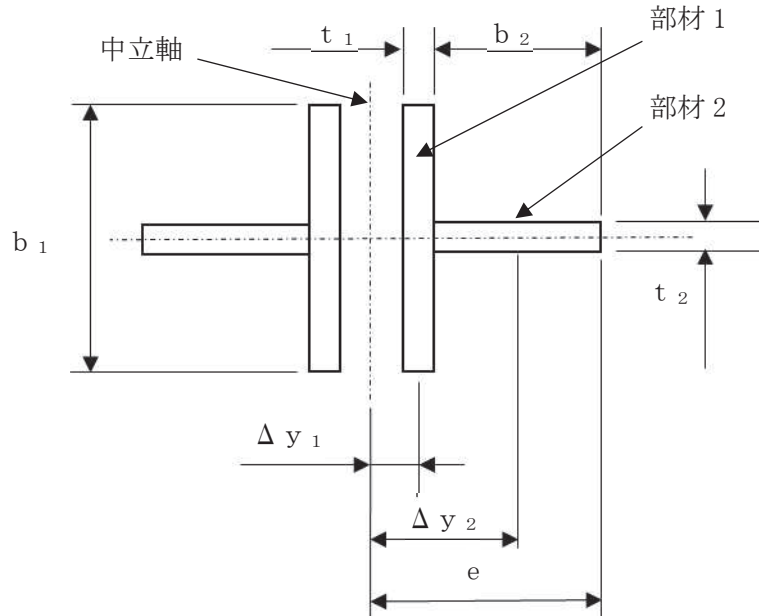


図 5.7-14 ヒンジ(躯体側)の断面形状

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-22 に示す。

表 5.7-22 ヒンジ（躯体側）の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_1	部材 1 の板厚	16	mm
b_1	部材 1 の板幅	225	mm
Δy_1	中立軸から部材 1 の図心までの距離	25	mm
t_2	部材 2 の板厚	9	mm
b_2	部材 2 の板幅	50	mm
Δy_2	中立軸から部材 2 の図心までの距離	58	mm
e	中立軸から部材端面までの距離	83	mm

ヒンジ（躯体側）の断面係数及び断面積を以下の式にて計算を行う。

$$Z_g = I \div e$$

$$A_g = 2 \times (b_1 \times t_1 + b_2 \times t_2)$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-23 に示す。

表 5.7-23 ヒンジ（躯体側）の断面係数及び断面積に関する記号の定義

記号	定義	数値	単位
Z_g	ヒンジ（躯体側）の断面係数	—	N/mm ²
A_g	ヒンジ（躯体側）の断面積	—	N/mm ²
I	断面 2 次モーメント	—	N/mm ²

平行軸の定理より、複数の部材で構成される断面の断面二次モーメントを以下の式によって求める。

$$I = \Sigma (A_i \times \Delta y_i^2) + \Sigma I_i$$

それぞれ以下の式により計算を行う。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = 2 \times (t_1 \times b_2 \times \Delta y_1^2 + t_1 \times b_2 \times \Delta y_2^2)$$

$$\Sigma I_i = 2 \times (t_1^3 \times b_1 \div 12 + b_2^3 \times t_2 \div 12)$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-24 に示す。

表 5.7-24 ヒンジ（躯体側）の断面二次モーメントの計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
$\Sigma (A_i \times \Delta y_i^2)$	各部材ごとの断面二次モーメントと中立軸まわりの断面二次モーメントの差	—	mm ⁴
ΣI_i	各部材ごとの図心に対する断面二次モーメントの合計値	—	mm ⁴

ヒンジ（躯体側）の断面二次モーメントは以下の式より求める。

$$\Sigma \left(A_i \cdot \Delta y_i^2 \right) = 2 \times (16 \times 225 \times 25^2 + 9 \times 50 \times 58^2) = 7527600 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_i = 2 \times (16^3 \times 225 \div 12 + 50^3 \times 9 \div 12) = 341100 \text{ mm}^4$$

$$I = 7527600 + 341100 = 7868700 \text{ mm}^4$$

以上より，断面係数及び断面積は

$$Z_7 = I / e = 7868700 \div 83 = 94804 \text{ mm}^3$$

$$A_7 = 2 \times (16 \times 225 + 50 \times 9) = 8100 \text{ mm}^2$$

c. 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

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

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

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

以上より，

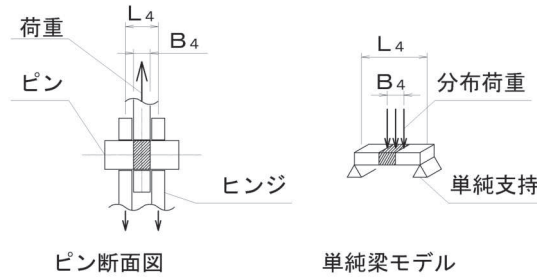
$$\sigma = 1.1121 \times 10^6 \div 94804 = 11.730 \text{ N/mm}^2 = 11.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 5.1485 \times 10^3 \div 8100 = 0.6356 \text{ N/mm}^2 = 0.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{11.730^2 + 3 \times 0.6356^2} \div 132 = 0.08926 = 0.09$$

(2) 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5.7-15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 (N)

P_V : ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重 (N)

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 5.7-15 ピン（回転軸）の構造概要及び応力算定式

a. 発生荷重

ヒンジに対して鉛直方向及び水路縦断方向地震荷重が加わったものとして、以下の式にて計算を行う。また、ヒンジは2か所設置することから、全荷重を等分する。

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

$$P_H = I_{H S_s} \div 2$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-25 に示す。

表 5.7-25 ヒンジ部の発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_V	ヒンジ1箇所への鉛直方向荷重	—	N
P_H	ヒンジ1箇所への水路縦断方向荷重	—	N
$I_{H S_s}$	基準地震動 S_s による水路縦断方向地震荷重	1.9123×10^4	N
$I_{V S_s}$	基準地震動 S_s による鉛直方向地震荷重	5.1485×10^3	N
G	固定荷重 (扉体の自重)	7.3550×10^3	N

よって、

$$P_V = (7.3550 \times 10^3 + 5.1485 \times 10^3) \div 2 = 6.2518 \times 10^3 \text{N}$$

$$P_H = 1.9123 \times 10^4 \div 2 = 9.5615 \times 10^3 \text{N}$$

ピン (回転軸) に発生する最大曲げモーメント・最大せん断力を以下の式にて計算する。

$$M_H = P_H \times (2 \times L_4 - B_4) \div 8$$

$$M_V = P_V \times (2 \times L_4 - B_4) \div 8$$

$$S_H = P_H \div 2$$

$$S_V = P_V \div 2$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-26 に示す。

表 5.7-26 吊ピンの発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
M_V	鉛直方向荷重による曲げモーメント	—	N・mm
M_H	水路縦断方向荷重による曲げモーメント	—	N・mm
S_V	鉛直方向荷重によるせん断力	—	N
S_H	水路縦断方向荷重によるせん断力	—	N
P_V	ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重	6.2518×10^3	N
P_H	ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重	9.5615×10^3	N
L_4	ピンの支点間長さ	50	mm
B_4	ピンの分布荷重載荷長	30	mm

よって、

$$M_V = 6.2518 \times 10^3 \times (2 \times 50 - 30) \div 8 = 5.4703 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_H = 9.5615 \times 10^3 \times (2 \times 50 - 30) \div 8 = 8.3663 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$S_V = 6.2518 \times 10^3 \div 2 = 3.1259 \times 10^3 \text{ N}$$

$$S_H = 9.5615 \times 10^3 \div 2 = 4.7808 \times 10^3 \text{ N}$$

b. 断面係数及び断面積

発生応力の計算にあたって、ピンの断面係数及び断面積を以下の式にて計算を行う。

$$A_4 = \pi \times D_4^2 \div 4$$

$$Z_4 = \pi \times D_4^3 \div 32$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-27 に示す。

表 5.7-27 吊ピンの発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
D_4	ピンの直径	35	mm
A_4	ピンの断面積	—	mm ²
Z_4	ピンの断面係数	—	mm ³

よって,

$$A_4 = \pi \times 35^2 \div 4 = 962.11 \text{ mm}^2$$

$$Z_4 = \pi \times 35^3 \div 32 = 4209.2 \text{ mm}^3$$

c. 発生応力

ピン (回転軸) に発生する曲げ応力度, せん断応力度及び合成応力度を以下の式にて計算する。

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

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

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

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

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

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

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

ここで, 各記号の定義及び数値を表 5.7-28 に示す。

表 5.7-28 吊ピンの発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_V	鉛直方向荷重による曲げ応力度	—	N/mm ²
σ_H	水路縦断方向荷重による曲げ応力度	—	N/mm ²
$\Sigma \sigma $	曲げ応力度の合計値	—	N/mm ²
τ_V	鉛直方向荷重によるせん断応力度	—	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
$\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	132	N/mm ²
M_V	鉛直方向荷重による曲げモーメント	5.4703×10^4	N・mm
M_H	水路縦断方向荷重による曲げモーメント	8.3663×10^4	N・mm
S_V	鉛直方向荷重によるせん断力	3.1259×10^3	N
S_H	水路縦断方向荷重によるせん断力	4.7808×10^3	N
A_4	ピンの断面積	962.11	mm ²
Z_4	ピンの断面係数	4209.2	mm ³

以上より,

$$\sigma_H = \frac{8.3663 \times 10^4}{4209.2} = 19.876 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_V = \frac{5.4703 \times 10^4}{4209.2} = 12.996 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma|\sigma| = 19.876 + 12.996 = 32.872 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_H = \frac{4.7808 \times 10^3}{962.11} = 4.97 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_V = \frac{3.1259 \times 10^3}{962.11} = 3.25 \text{ N/mm}^2$$

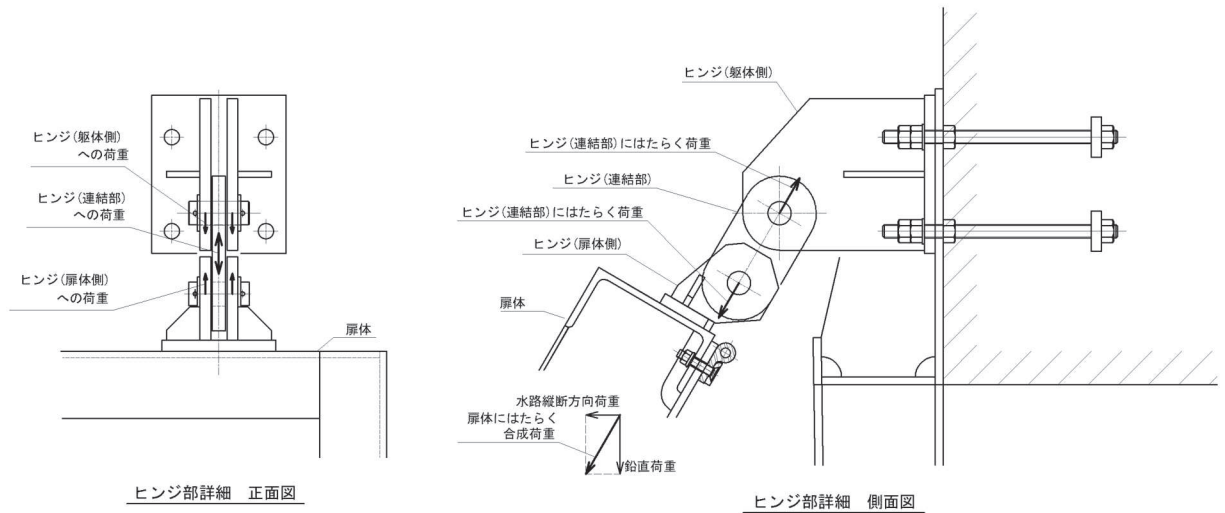
$$\Sigma|\tau| = 4.97 + 3.25 = 8.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{32.872^2 + 3 \times 8.22^2} \div 132 = 0.271 = 0.28$$

(3) 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 5.7-16 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 5.7-16 ヒンジ (連結部) の構造概要及びせん断応力算定式

(a) 発生荷重

ピン穴に対して鉛直方向及び水路縦断方向地震荷重が加わったものとして計算を行う。

それぞれ数値を表 5.7-29 に示す。

表 5.7-29 吊ピンの発生断面力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_V	ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重	6.2518×10^3	N
P_H	ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重	9.5615×10^3	N

(b) 発生応力

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について以下の式にて計算する。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-30 に示す。

表 5.7-30 ヒンジ（連結部）の発生応力の評価に用いる計算諸元

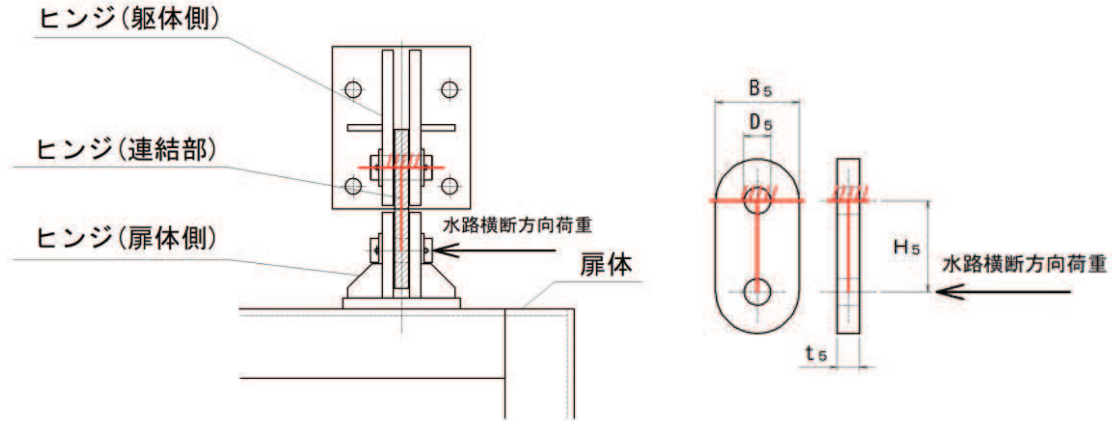
記号	定義	数値	単位
τ	鉛直方向荷重によるせん断応力度	—	N/mm ²
P_V	ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重	6.2518×10^3	N
P_H	ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重	9.5615×10^3	N
L_5	ヒンジ（連結部）の端抜けせん断長さ	52.057	mm
t_5	ヒンジ（連結部）の板厚	30	mm

以上より、

$$\tau = \frac{\sqrt{(9.5615 \times 10^3)^2 + (6.2518 \times 10^3)^2}}{(2 \times 52.057 \times 30)} = 3.7 \text{ N/mm}^2$$

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 5.7-17 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 5.7-17 ヒンジ（連結部）の構造概要及び曲げ・せん断応力算定式

(a) 発生荷重

ヒンジに対して水路横断方向地震荷重が加わったものとして，以下の式にて計算を行う。また，ヒンジは 2 か所設置することから，全荷重を等分する。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-31 に示す。

表 5.7-31 ヒンジ（連結部）の発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{HX}	ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重	—	N
I_{HXS_s}	基準地震動 S_s による水路横断方向地震荷重	1.0297×10^4	N

よって、

$$P_{HX} = 1.0297 \times 10^4 \div 2 = 5.1485 \times 10^3 \text{ N}$$

(b) 発生応力

曲げ応力、せん断応力及び合成応力について、以下の式にて計算を行う。

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

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-32 に示す。

表 5.7-32 ヒンジ（連結部）の発生応力度の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力度	—	N/mm ²
τ	せん断応力度	—	N/mm ²
P_H	ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重	5.1485×10^3	N
H_5	ヒンジ（連結部）のピン穴の距離	120	mm
B_5	ヒンジ（連結部）の板幅	110	mm
D_5	ヒンジ（連結部）のピン穴の直径	35.5	mm
t_5	ヒンジ（連結部）の板厚	30	mm

以上より、

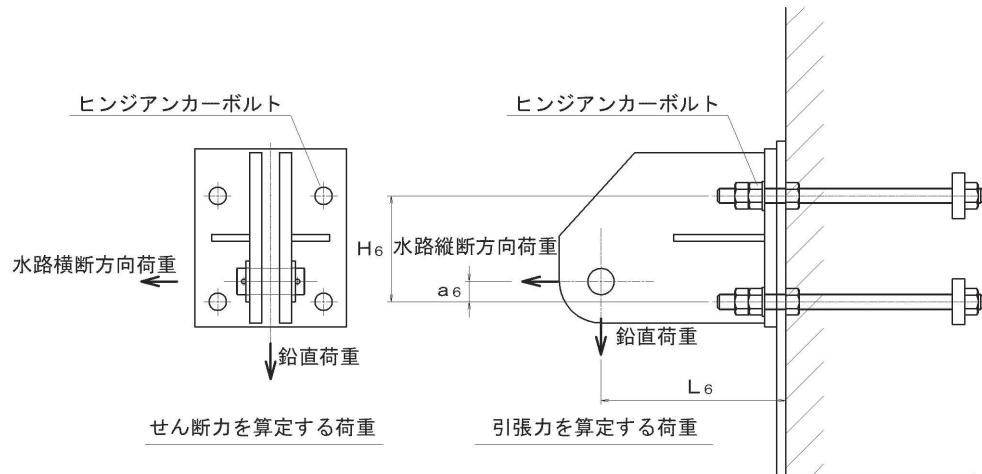
$$\sigma = 5.1485 \times 10^3 \times 120 \div \{(110 - 35.5) \times 30^2 \div 6\} = 55.2858 \text{ N/mm}^2 = 55.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 5.1485 \times 10^3 \div \{(110 - 35.5) \times 30\} = 2.3036 \text{ N/mm}^2 = 2.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{55.2858^2 + 3 \times 2.3036^2} \div 132 = 0.41992 = 0.42$$

(4) 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5.7-18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)

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)

図 5.7-18 アンカーボルトの構造概要及び応力算定式

a. 発生荷重

アンカーボルトに生じる荷重は以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-33 に示す。

表 5.7-33 アンカーボルトの発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
P_V	ヒンジ 1 箇所への鉛直方向荷重	6.2518×10^3	N
P_H	ヒンジ 1 箇所への水路縦断方向荷重	9.5615×10^3	N
P_{HX}	ヒンジ 1 箇所への水路横断方向荷重	5.1485×10^3	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	244	mm
H_6	鉛直方向アンカーボルト間距離	140	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	27	mm

以上より、

$$P_6 = 9.5615 \times 10^3 \times \frac{27}{140} \div 2 + 6.2518 \times 10^3 \times \frac{244}{140} \div 2 = 6.37 \times 10^3 \text{ N}$$

$$Q_6 = \sqrt{6.2518 \times 10^3 + 5.1485 \times 10^3} \div 4 = 2.03 \times 10^3 \text{ N}$$

5.7.5 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 5.7-19 に示す。

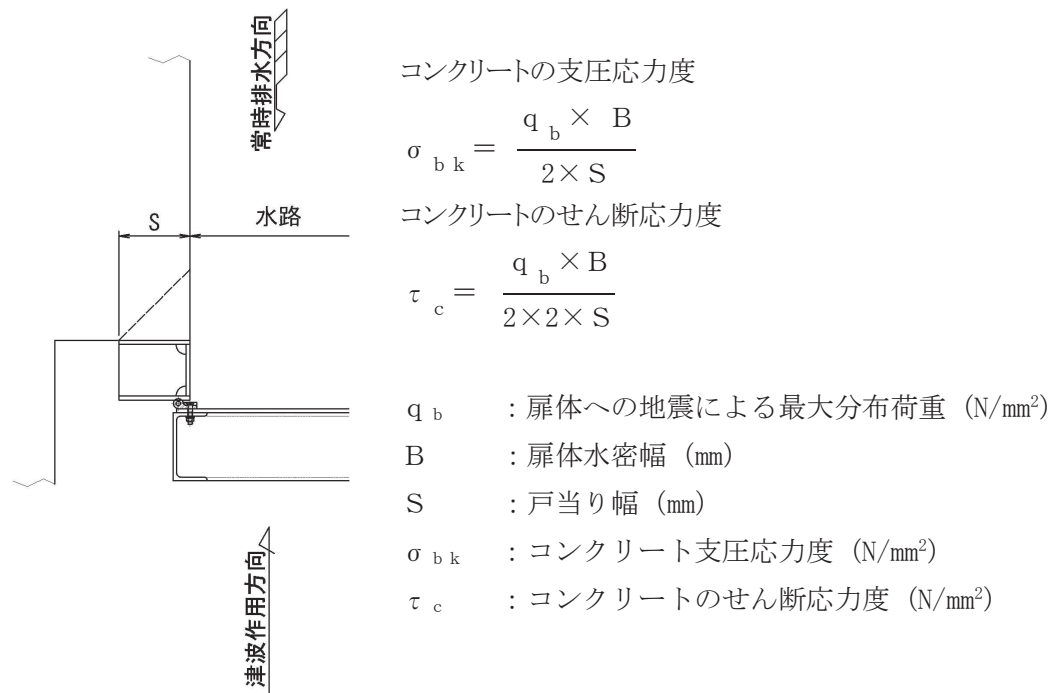


図 5.7-19 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

戸当りコンクリートにかかる荷重を以下の式にて計算を行う。

$$q_b = i_{HS} s_s$$

ここで、

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

$i_{HS} s_s$: 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/mm²)

よって、

$$q_b = 5.97 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

(2) 発生応力

コンクリートの支圧応力度及びせん断応力度，戸当り腹板の圧縮応力度について以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで，各記号の定義及び数値を表5.7-34に示す。

表 5.7-34 戸当りコンクリートの計算に用いた計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	コンクリート支圧応力度	—	N/mm ²
τ_c	コンクリートのせん断応力度	—	N/mm ²
q_b	扉体への地震による最大分布荷重	5.97×10^{-3}	N/mm ²
B	水密幅	1.57×10^3	mm
S	戸当り幅	210	mm

以上より，

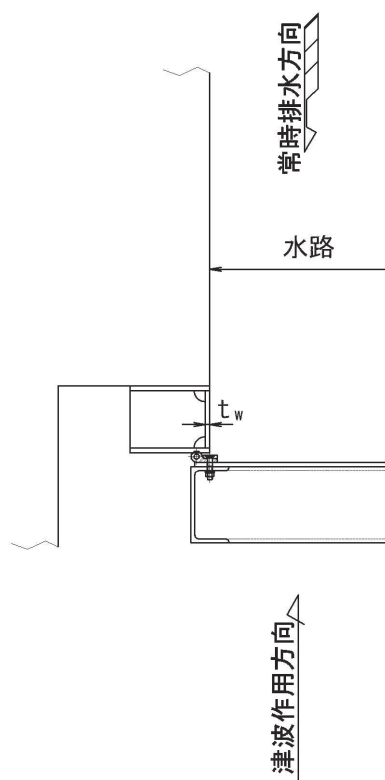
$$\sigma_{bk} = \frac{5.97 \times 10^{-3} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 210} = 0.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_c = \frac{5.97 \times 10^{-3} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 2 \times 210} = 0.02 \text{ N/mm}^2$$

5.7.6 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 5.7-20 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

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

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 5.7-20 戸当りのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

戸当りに掛かる荷重を以下の式にて計算を行う。

$$q_b = i_{HSs}$$

ここで、

q_b : 扉体への地震による最大分布荷重 (N/mm²)

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/mm²)

よって、

$$q_b = 5.97 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

(2) 発生応力

戸当り腹板の圧縮応力度について以下の式にて計算を行う。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表5.7-35に示す。

表 5.7-35 戸当り腹板の計算に用いた計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bw}	戸当り腹板の圧縮応力度	—	N/mm ²
q_b	扉体への地震による最大分布荷重	5.97×10^{-3}	N/mm ²
B	水密幅	1.57×10^3	mm
t_w	戸当り腹板の板厚	12	mm

以上より、

$$\sigma_{bw} = \frac{5.97 \times 10^{-3} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 12} = 0.4 \text{ N/mm}^2$$

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(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 (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(2) 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 (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

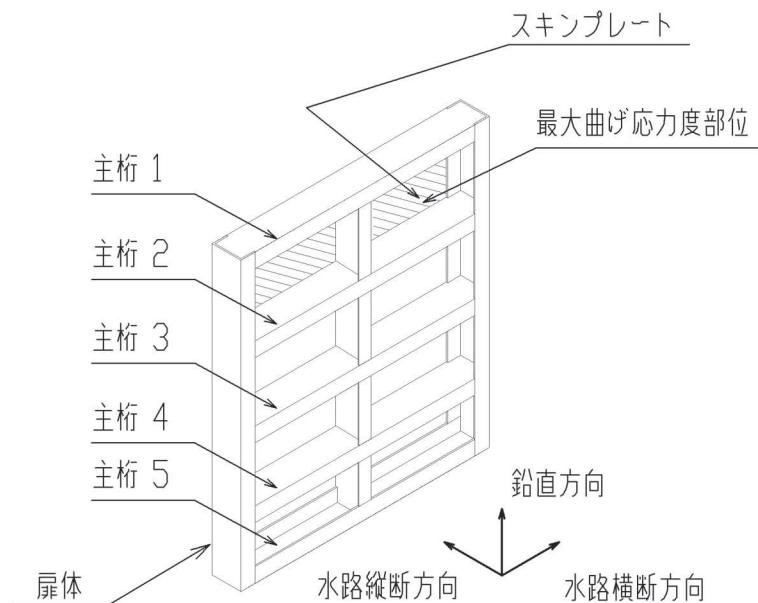


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

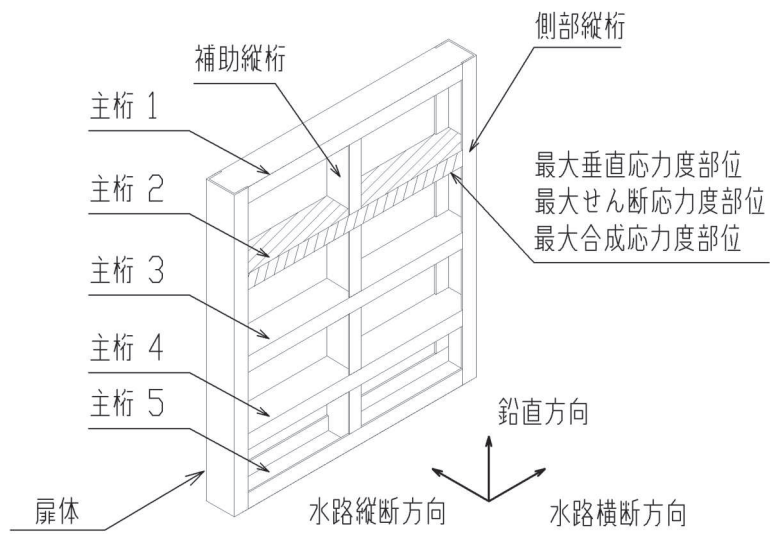


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

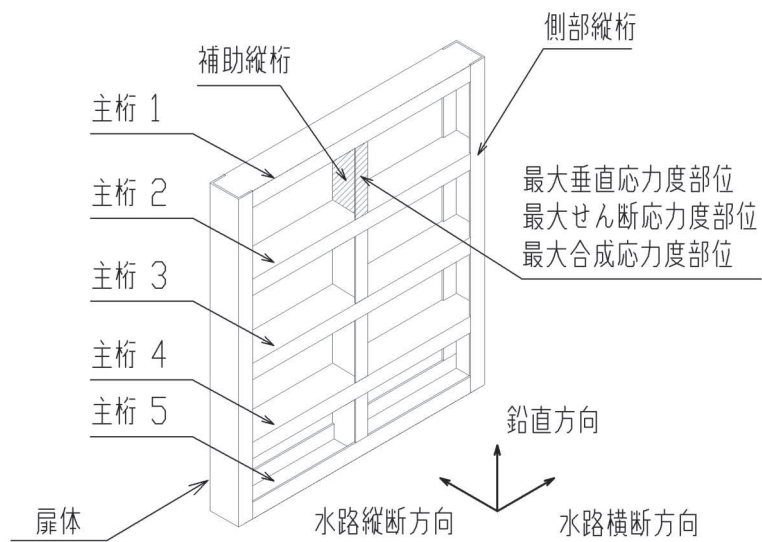


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置

(参考資料) 補機冷却海水系放水路におけるゲート開閉機能への影響について

1. 概要

第2号機補機冷却海水系放水路には防潮壁横断部に開口を設け、常時における放水を行い、津波時には放水立坑を經由した津波の流入を防止するために、防潮壁のフーチングにフラップゲート式の逆流防止設備を設置する計画としている。

本資料では、耐震下位クラスである第2号機補機冷却海水系放水路が地震 (Ss) により損壊等し、津波流入防止時にゲートの閉動作を阻害する可能性について確認する。

図 1-1 に補機冷却海水系放水路の構造概要を示す。

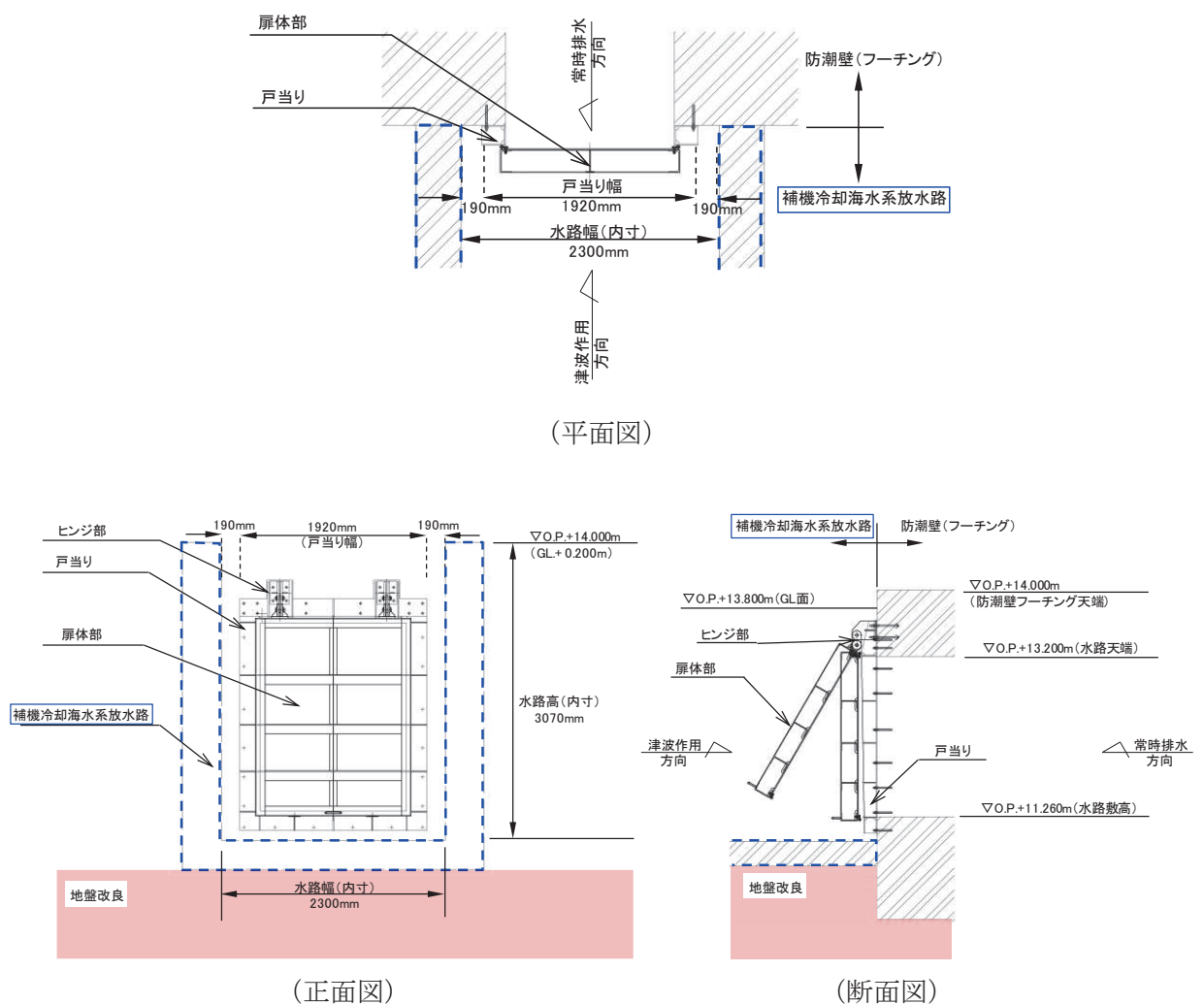
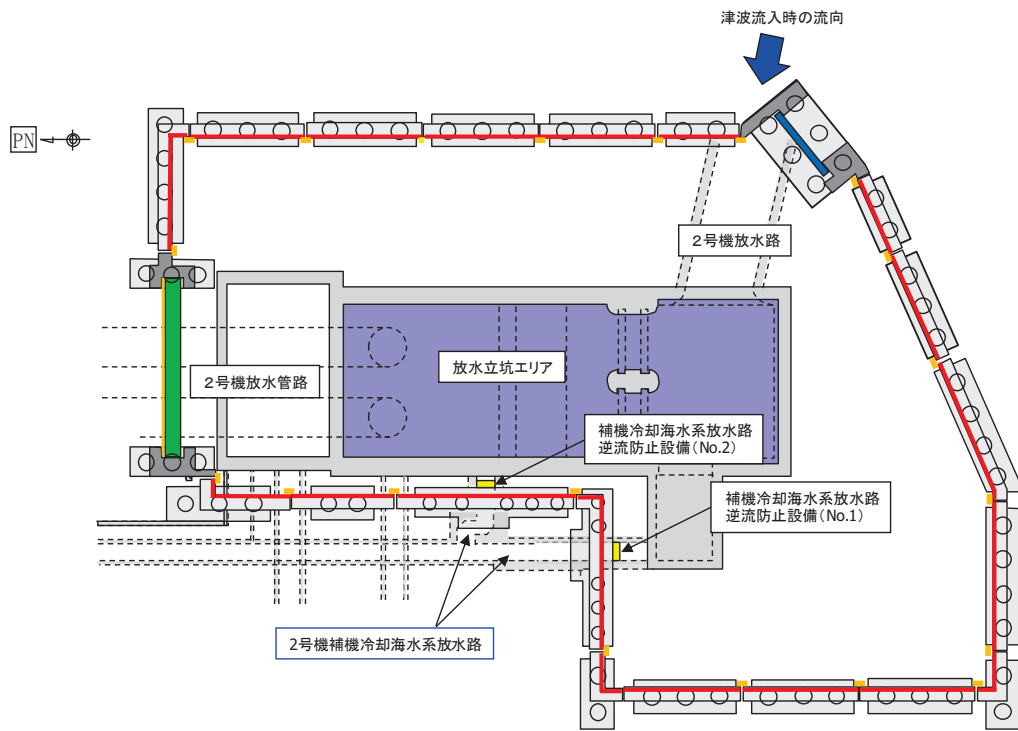
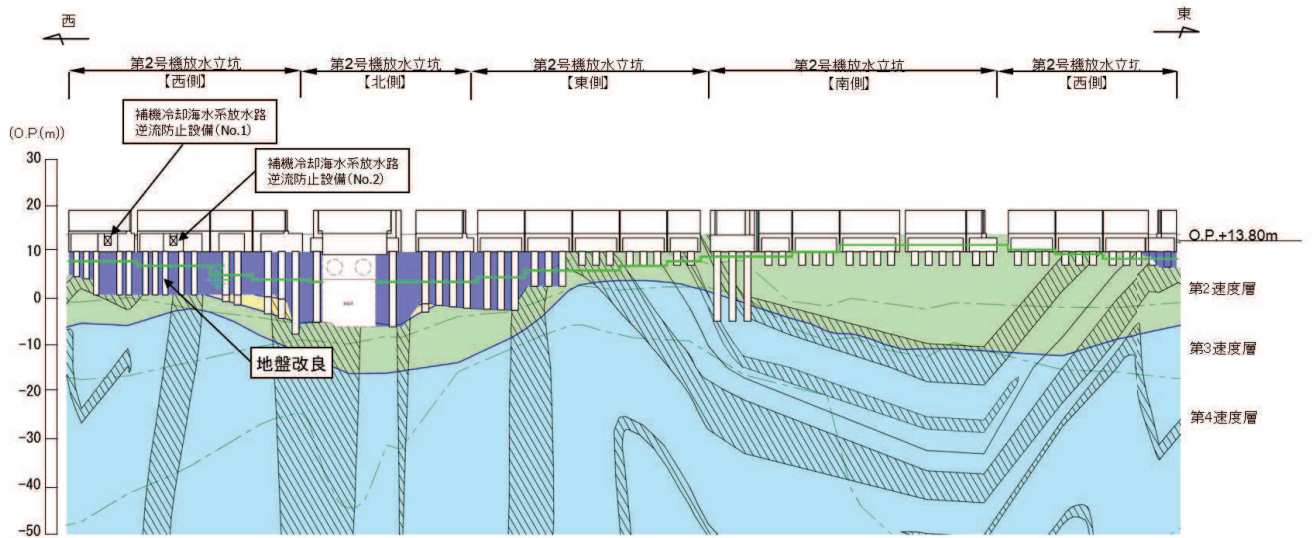


図 1-1 (1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要



(平面図)



(縦断面図)

図 1-1 (2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要
(配置概要)

2. 評価方針

第2号機補機冷却海水系放水路はU字型の開水路である。防潮壁フーチングとの境界部は構造目地が設置され、独立した構造となっており、防潮壁の変形抑制及び液状化対策として実施する地盤改良上に配置されている。

第2号機補機冷却海水系放水路が津波流入防止時にゲートの閉動作を阻害する可能性が考えられる損傷モードとして以下のパターンが想定される。

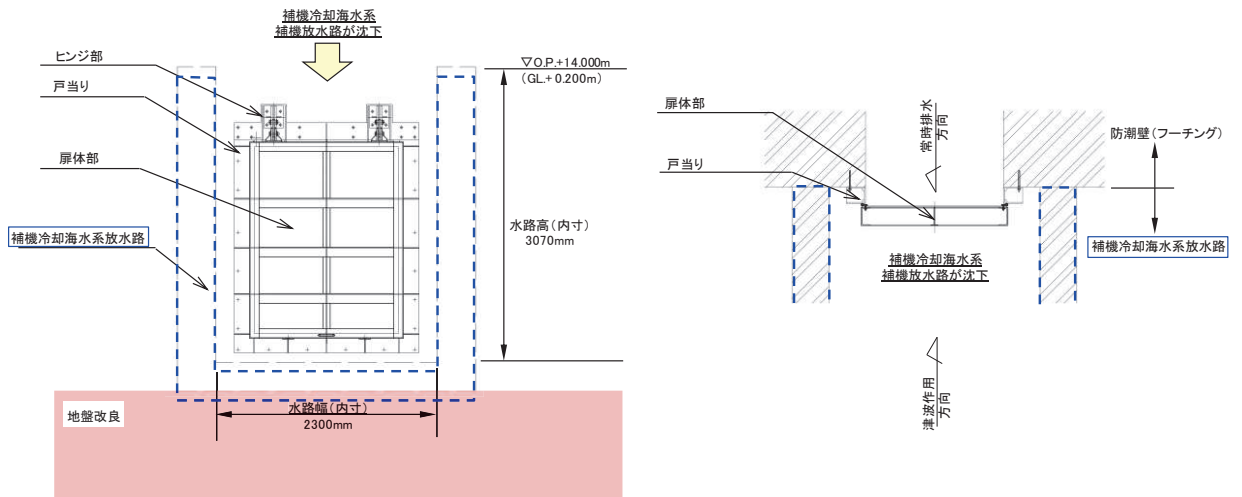
- ① 鉛直方向への不同沈下
- ② 水平方向（水路横断方向）への滑動
- ③ 水平方向（水路横断方向）への転倒
- ④ 水平方向（水路横断方向）への側壁変形
- ⑤ 水平方向（水路縦断方向）への滑動及び転倒

このうち、構造的な位置関係から、フラップゲートへの影響（水路の接触や荷重伝達）が想定される変形モードは、②・④である。これらの変形モードに対して、基準地震動 S_s 時における安定性等の評価を行う。

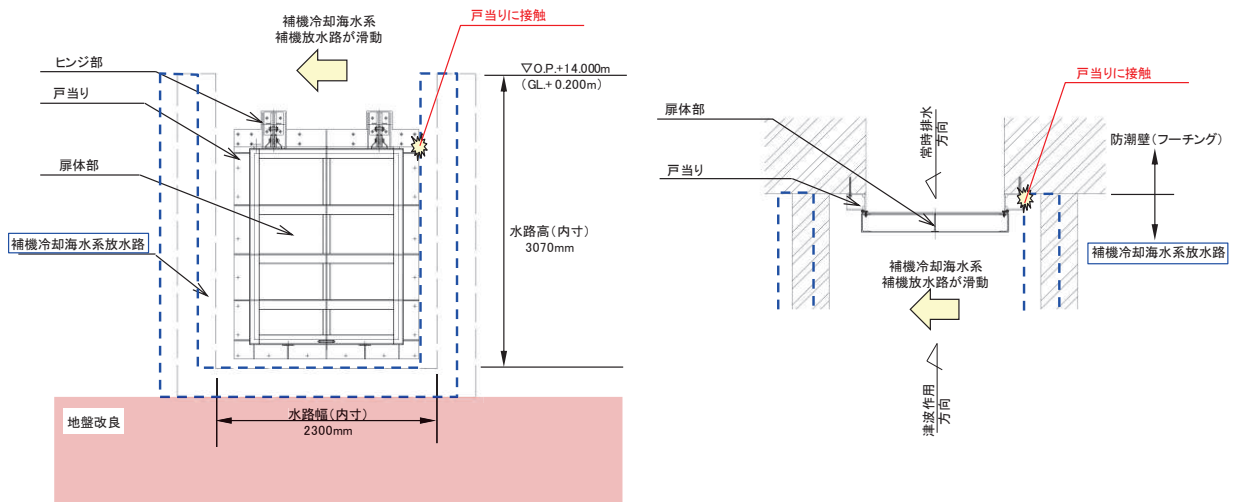
第2号機補機冷却海水系放水路の変形モードとモード毎のフラップゲートへの影響有無について表 2-1 に、変形モードのイメージを図 2-1 に示す。

表 2-1 地震時における補機冷却海水系放水路の変形モードとフラップゲートへの影響有無

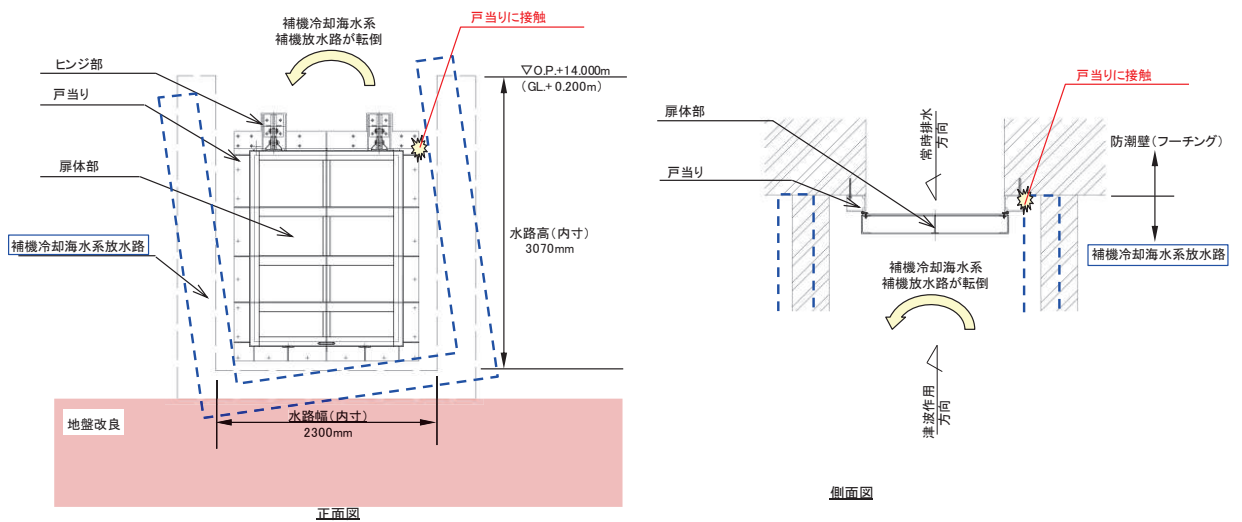
変形モード	フラップゲートへの影響有無	備考
① 鉛直方向への不同沈下	無	直接接触しない (なお、水路下部は地盤改良されており、有意な沈下は生じないと考えられる)
② 水平方向（水路横断方向）への滑動	有 (戸当り部に接触することで戸当りが損傷する)	想定される変形量が戸当りとのクリアランス以上を確保する。
③ 水平方向（水路横断方向）への転倒	無	水路下部が堅固な地盤改良であり、水路側部に受働側の地盤が分布することから転倒が生じないと判断される。
④ 水平方向（水路横断方向）への側壁変形	有 (戸当り部に接触することで戸当りが損傷する)	想定される変形量が戸当りとのクリアランス以上を確保する。
⑤ 水平方向（水路縦断方向）への滑動・転倒	無	直接接触しない



(①鉛直方向への不同沈下)

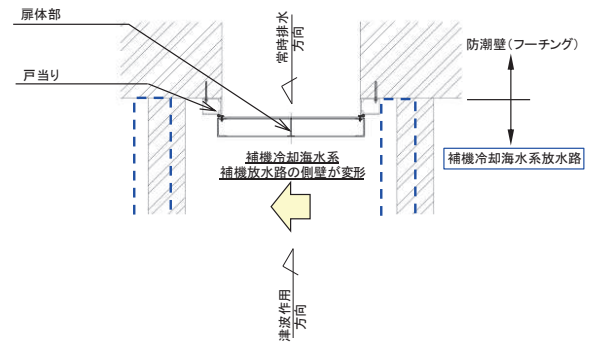
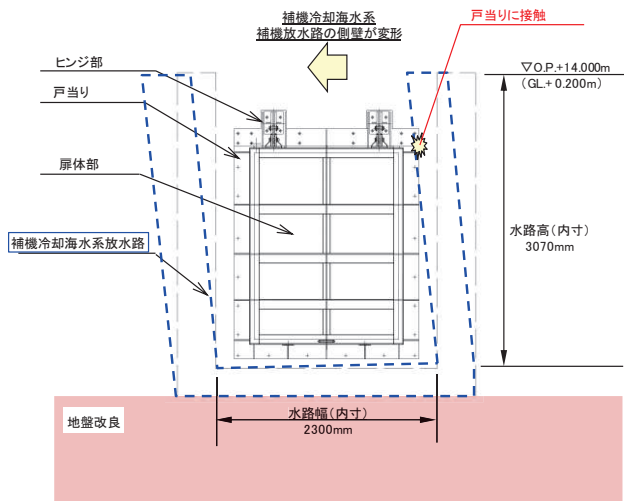


(②水平方向(水路横断方向)への滑動)

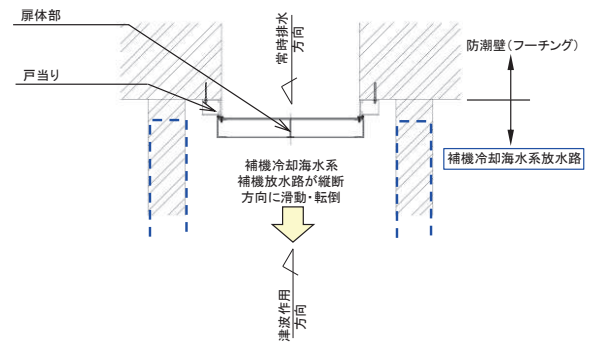
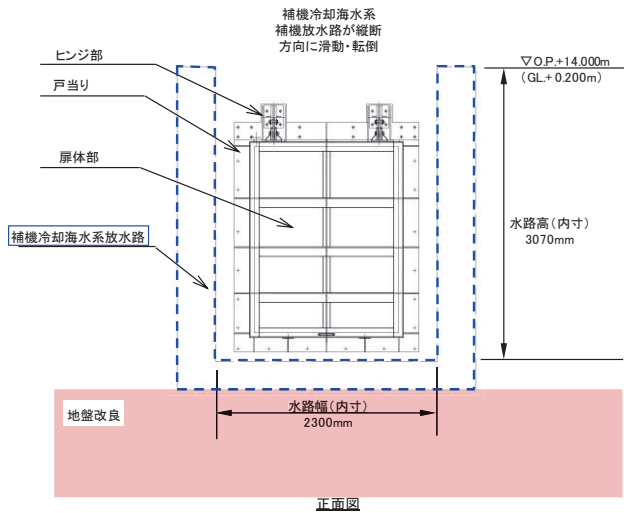


(③水平方向(水路横断方向)への転倒)

図 2-1(1) 変形モードの概要



(④水平方向 (水路横断方向) への側壁変形)



側面図

(⑤水平方向 (水路縦断方向) への滑動及び転倒)

図 2-1(2) 変形モードの概要

3. 影響評価結果

3.1 滑動による影響

滑動による影響については、「道路土工—カルバート工指針（日本道路協会，平成 21 年度版）」によれば、「偏荷重や基礎地盤に問題のない場合は，基礎の安定性照査を省略してよい」とされており，本構造についても改良地盤に支持され両側部に盛土が存在していることから，有意な滑動が生じないものと判断されるが，フラップゲートを支持する防潮壁との位相差等によって生じる相対変位（水平移動）が生じる可能性が否定できないことから，その影響を確認する。

第 2 号機補機冷却海水系放水路と防潮壁については，共に同じ改良地盤上に設置されることから，相対変位量は僅かと考えられるが，安全側に周辺地盤の変位分だけ第 2 号機補機冷却海水系放水路のみが変位した場合を仮定し，その変位量が許容変位（水路と戸当り間のクリアランス）以下に収まることを確認する。

地盤変位量の算定は，保守的に周辺の構造物（防潮壁や放水立坑等）による変位抑制効果を考慮せずに，水平成層地盤を仮定した一次元地震応答解析（全応力非線形解析）により算定する。解析コードは「Soilplus Ver.2015Build3」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。

地震応答解析に基づく地表面地盤変位を表 3-1 に示す。いずれの地震動においても，地表面の最大変位は許容変位に対して十分な裕度があり，滑動により水路とフラップゲートの接触が生じないことを確認した。

表 3-1 地表面の最大水平変位の算定結果

地震動	(A) 地表面最大水平変位 (mm)	(B) 許容変位 (mm)	判定 ((A) < (B) : OK)
Ss-D1	27	190	OK
Ss-D2	28		
Ss-D3	22		
Ss-F1	18		
Ss-F2	25		
Ss-F3	22		
Ss-N1	47		

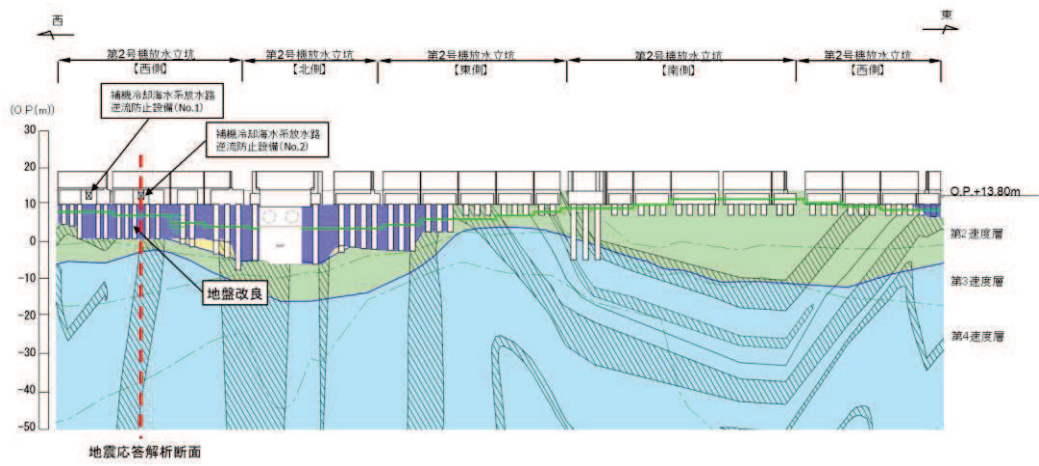


図 3-1 一次元地震応答解析の地盤モデル位置

3.2 側壁変形の影響

側壁変形による影響評価は、水路が基準地震動 S_s 時に土圧等の荷重が作用した場合における側壁の最大変形量が許容変位（水路と戸当り間のクリアランス）以下に収まることを確認する。

側壁部の変形量の算定は、水路部を線形はり要素でモデル化したフレーム計算*により算定する。モデル図を図 3-2 に、フレーム計算の検討ケースと荷重の組合せを表 3-2 に、設計震度を表 3-3 に、作用荷重概念図を図 3-3 に示す。解析コードは「FRAME マネージャー Ver. 5 5.0.6」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。

注記*：解析条件の詳細及び断面力の照査結果について（別紙 1）に示す。側壁・底版共に基準地震動 S_s に対して、発生応力が短期許容応力度以下と部材の弾性範囲内にとどまることを確認済み。

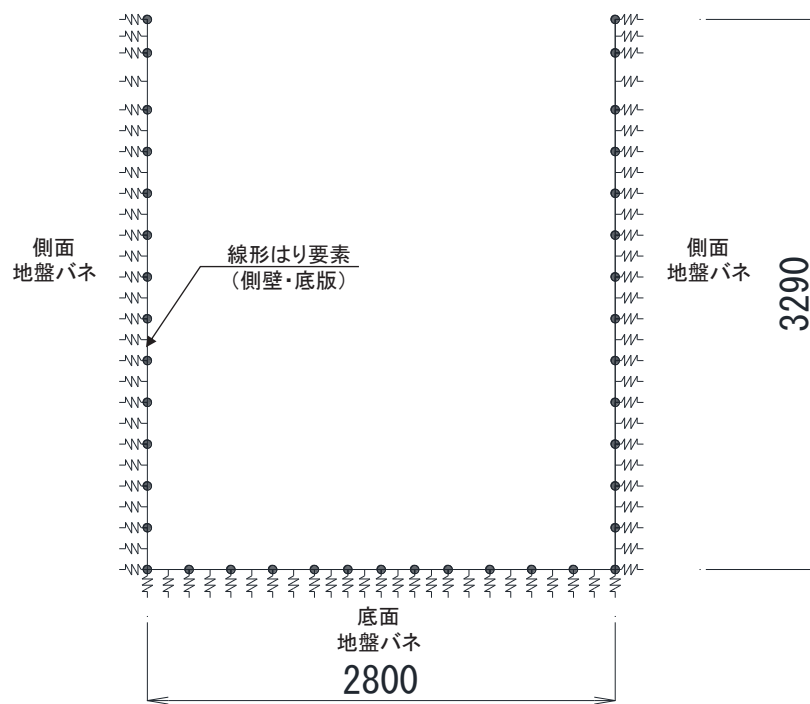


図 3-2 解析モデル図

表 3-2 検討ケースと荷重の組合せ

種別	荷重	検討ケース				算定方法
		①	②	③	④	
永久荷重	躯体自重	○	○	○	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
	機器・配管自重	—	—	—	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
	土被り荷重	—	—	—	—	土被りはないため考慮しない。
	積載荷重	—	—	—	—	積載物はないため考慮しない。
	静止土圧	○	○	○	○	常時解析にて考慮する。
	外水圧	—	—	—	—	外水(地下水位)は水路下部より低いため考慮しない。
	内水圧	—	—	○	○	考慮する。(ケース③・④のみ)
	積雪荷重	—	—	—	—	積雪荷重の載荷範囲が限定的であるため考慮しない。
偶発荷重	水平地震動	○ (→)	○ (→)	○ (→)	○ (→)	基準地震動 S_s による水平及び鉛直荷重(躯体の慣性力(水平・鉛直)及び地震時土圧(水平))を考慮する。(鉛直慣性力はケース①・③は下向き, ②・④は上向きを考慮する)
	鉛直地震動	○ (↓)	○ (↑)	○ (↓)	○ (↑)	
	動水圧	—	—	○ (↓)	○ (↑)	内水による動水圧を考慮する。(ケース③・④のみ)

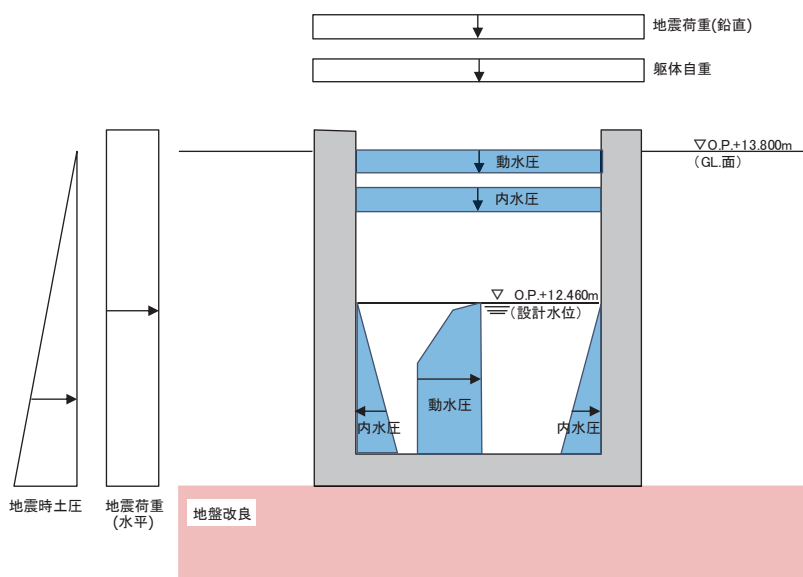


図 3-3 作用荷重の概要図
(検討ケース③の例)

表 3-3 設計震度

地震による設計震度(下段:地震応答解析結果)	
水平方向 K_H	鉛直方向 K_V
1.2 (1108cm/sec ² (Ss-N1))	0.18 (171cm/sec ² (Ss-N1))*

注記*: 水平方向の最大加速度(1108cm/sec²(Ss-N1))と同地震波及び等時刻における鉛直加速度

側壁部の変形量の算定結果を表 3-4 に、変形量最大ケースである検討ケース④における変位図を図 3-4 に示す。いずれの検討ケースにおいても、側壁部の最大水平変位は許容変位以下であることを確認した。

表 3-4 側壁部の最大水平変位の算定結果

地震動	(A) 側壁最大水平変位 (mm)	(B) 許容変位 (mm)	判定 ((A) < (B) : OK)
ケース①	7.2	190	OK
ケース②	7.8		
ケース③	7.5		
ケース④	8.0		

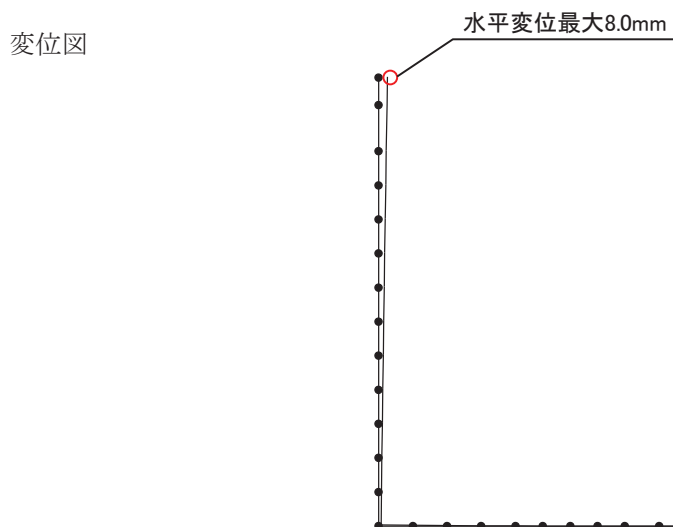


図 3-4 発生変位図(ケース④)

(別紙1) 補機冷却海水系放水路の耐震評価結果について

(1) はじめに

本資料は補機冷却海水系放水路逆流防止設備の耐震評価結果について示すものである。耐震評価は、基準地震動Ssによる荷重を想定した場合に、各部材が許容限界(短期許容応力度)に留まることを確認する。

評価に当たっては以下に示す規格、基準等を適用する。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説(日本道路協会, 平成14年3月)

(2) 評価対象

評価対象である補機冷却海水系放水路の構造概要を図1に、配筋概要を表1に、解析モデルを図2に示す。

本評価では、鉄筋コンクリートの水路部を線形はり要素でモデル化し、側壁部及び底面部には地盤ばねをモデル化する。地盤ばねのモデル化は「道路橋示方書(I共通編・IV下部構造編)・同解説(日本道路協会, 平成14年3月)」に基づきモデル化する。

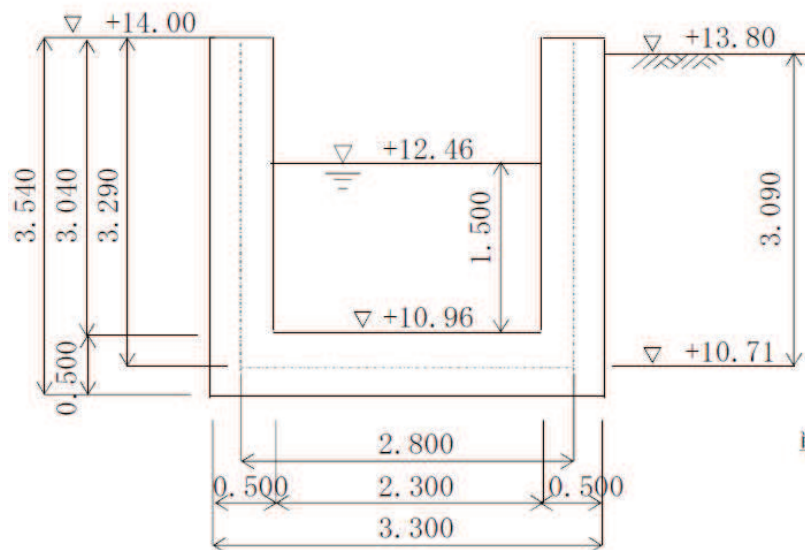


図1 補機冷却海水系放水路の構造概要

表1 配筋概要

部位	鉄筋配置	
	外側	内側
側壁	SD345,D22@125	SD345,D22@125
底版	SD345,D16@250	SD345,D16@250

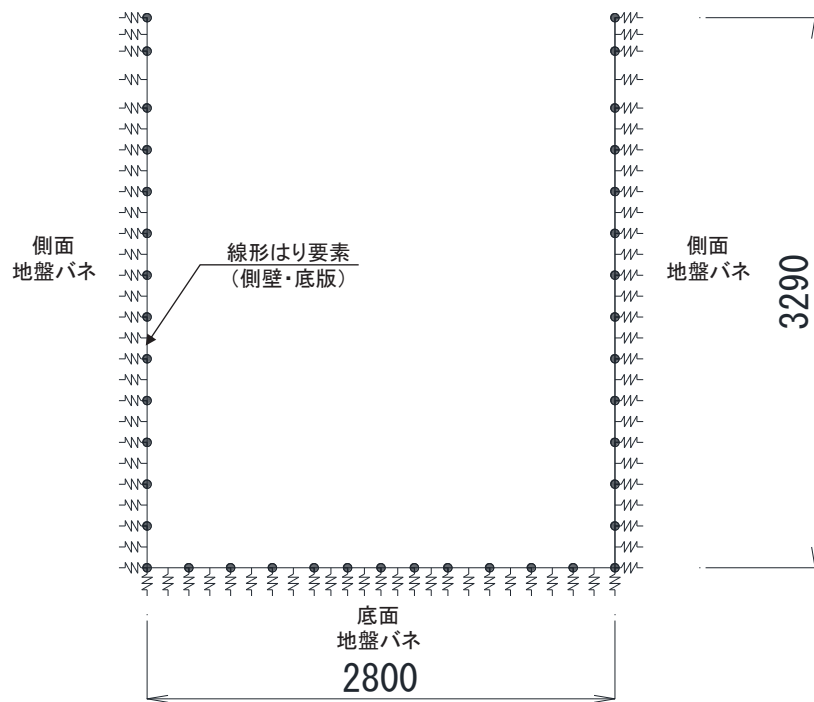


図2 補機冷却海水系放水路の解析モデル

(3) 使用材料及び物性値

使用材料の物性値を表2に示す。

表2 使用材料の物性値

材料	物性値	
鉄筋コンクリート	単位体積重量	24.5 kN/m ³
	コンクリートの設計基準強度	30 N/mm ²
	鉄筋(SD345)の引張降伏強度	345 N/mm ²
	コンクリートのヤング係数	2.8×10 ⁴ N/m ²
	ポアソン比	0.2

(4) 許容限界

許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)」に基づき, 設定する短期許容応力度とする。

許容限界を表3に示す。

表 3(1) 曲げ軸力系の破壊に対する許容限界

材料	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート (f' _{ck} =30 N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	11	16.5
鉄筋 (SD345)	許容引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記* : 短期許容応力度は, 許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 3(2) せん断破壊に対する許容限界

材料	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (N/mm ²)
コンクリート (f' _{ck} =30 N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_{al}	0.5	0.75

注記*1: 短期許容応力度は, 許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(5) 検討ケース及び荷重の組合せ

検討ケース及び荷重の組合せを表 4 に、設計震度を表 5 に、荷重図を図 3 に示す。検討ケースは、鉛直地震動が上向き・下向き及び水路内水のあり・なしケースにおける照査値への影響が明白では無いため、鉛直地震動の作用方向及び内水圧の有無を入れ替えた検討を行う(水平地震動については、構造や荷重の非対称性がないため、1 方向固定とする)。

表4 検討ケースと荷重の組合せ

種別	荷重	検討ケース				算定方法	
		①	②	③	④		
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	○	○	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	—	—	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	—	—	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	—	—	—	積載物はないため考慮しない。
	静止土圧	○	○	○	○	常時解析にて考慮する。	
	外水圧	—	—	—	—	外水(地下水位)は水路下部より低いため考慮しない。	
	内水圧	—	—	○	○	考慮する。(ケース③・④のみ)	
	積雪荷重	—	—	—	—	積雪荷重の載荷範囲が限定的であるため考慮しない。	
	風荷重	—	—	—	—	地中構造物のため考慮しない。	
偶発荷重	水平地震動	○ (→)	○ (→)	○ (→)	○ (→)	基準地震動 S_s による水平及び鉛直荷重(躯体の慣性力(水平・鉛直)及び地震時土圧(水平) ^{*1})を考慮する。(鉛直慣性力はケース①・③は下向き, ②・④は上向きを考慮する)	
	鉛直地震動	○ (↓)	○ (↑)	○ (↓)	○ (↑)		
	動水圧	—	—	○ (↓)	○ (↑)	内水による動水圧 ^{*2} を考慮する。(ケース③・④のみ)	

注記*1: 地震時土圧 P_{EA} は、「道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月)」に基づき, 以下の式により算定する。

$$P_{EA} = K_{EA} \times \sum (\gamma \cdot h + P_s)$$

$$K_{EA} = 0.24 + 1.08 K_{HSs} \quad (K_{HSs} : \text{設計震度 (水平)})$$

ここで,

γ : 盛土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 盛土厚さ (m)

P_s : 盛土部の上載荷重 (kN/m²)

K_{HSs} : 設計震度 (水平)

*2: 内水による動水圧は以下の式により算定する。

$$P_d = \frac{7}{8} \times W_o \times K_{HSs} \times \sqrt{H \times h}$$

ここで,

W_o : 内水の単位体積重量 (kN/m³)

K_{HSs} : 設計震度 (水平)

H : 設計水位 (m)

h : 設計水深 (m)

表 5 設計震度

地震による設計震度(下段:地震応答解析結果)	
水平方向 K_H	鉛直方向 K_V
1.2 (1108cm/sec ² (S _s -N1))	0.18 (171cm/sec ² (S _s -N1))*

注記*: 水平方向の最大加速度(1108cm/sec²(S_s-N1))と同地震波及び等時刻における鉛直加速度

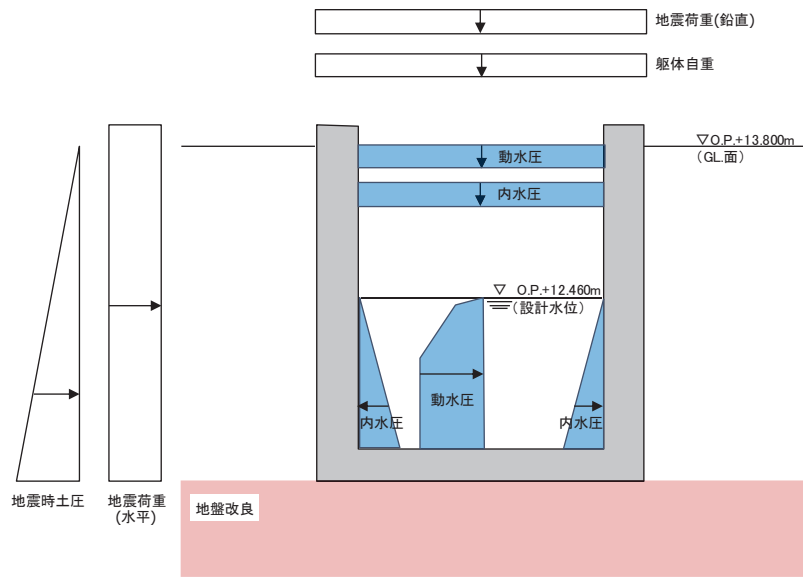


図 3 作用荷重の概要図
(検討ケース③の例)

(6) 評価方法

水路部の評価はフレーム解析により、作用する各荷重を静的に載荷し、解析結果より抽出した断面力に基づき断面照査を行う。

① 曲げ・軸力に対する評価方法

曲げ軸力に対する評価は、コンクリートの曲げ圧縮応力及び鉄筋の引張応力が許容限界以下であることを確認する。応力度算定は、解析コード「RC 断面計算 Ver8.0.7」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。

【コンクリート】

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$$

ここで、

σ_c : コンクリートの発生曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{ca} : コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

【鉄筋】

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa}$$

ここで、

σ_s : 鉄筋の発生曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{sa} : 鉄筋の許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

② せん断力に対する評価方法

せん断力に対して照査を行う。

$$\tau = \frac{Q}{b_w \cdot z} \quad \left(z = \frac{d}{1.15} \right)$$

$$\tau \leq \tau_{a1}$$

ここで、

τ_{a1} : 許容せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N)

b_w : 単位幅 (mm)

d : 有効高 (mm)

(7) 評価結果

曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する各部材の照査結果を表 6 に、最大照査値ケースであるケース③の断面力分布図を図 4 に示す。

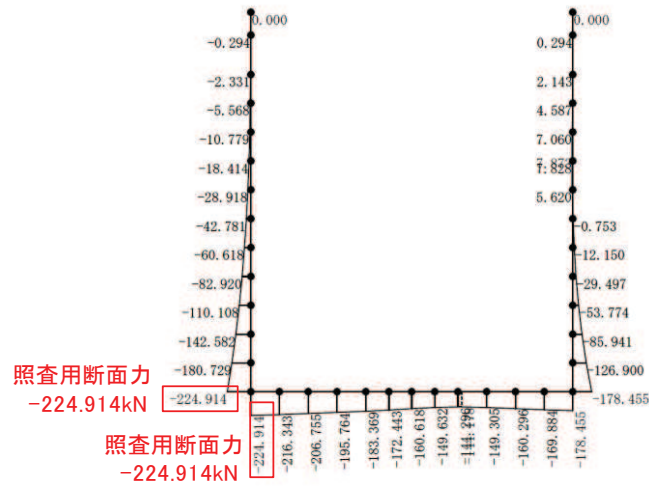
この結果から、発生応力が許容限界(短期許容応力度)以下であり、基準地震動Ssに対して有意な損傷が生じないことを確認した。

表 6 補機冷却海水系放水路の照査結果

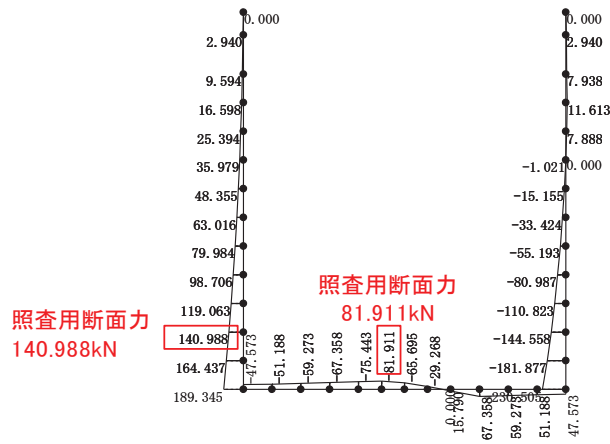
評価部位	評価項目	荷重組合せ ケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
側壁	曲げ軸力*	ケース③	σ_c (N/mm ²)	10	16.5	0.61
		ケース③	σ_s (N/mm ²)	226	294	0.77
	せん断	ケース③	τ (N/mm ²)	0.39	0.75	0.52
底版	曲げ軸力*	ケース③	σ_c (N/mm ²)	10	16.5	0.61
		ケース③	σ_s (N/mm ²)	226	294	0.77
	せん断	ケース③	τ (N/mm ²)	0.23	0.75	0.31

注記*: 軸力については全て圧縮方向に発生しているため、保守的に考慮しない(軸力は 0 とする。なお、 σ_c の照査においては非安全側になるが、最大軸力(圧縮)に対して発生応力度は 1 未満であり、照査値には影響しない)。

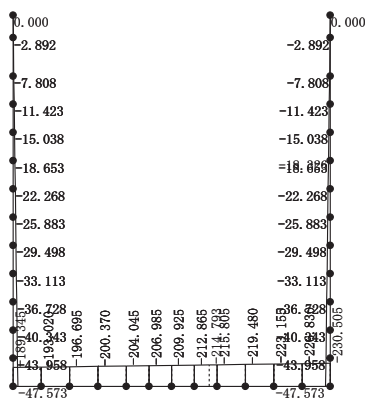
断面力M図*1



断面力S図



断面力N図*2



注記*1: +が部材外側, -が部材内側の発生曲げモーメントを示す。

*2: +が引張方向, -が圧縮方向を示す。(前述のとおり, 全て圧縮力となっているため評価用断面力としては考慮しない)

図4 発生断面力分布(ケース③)

6. 浸水防護施設に関する補足説明

6.5 浸水防止設備に関する補足説明

6.5.1.6 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の強度計算書に関する補足説明

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	7
2.5 記号の説明	8
3. 評価部位	10
3.1 評価部位の選定	10
3.2 評価方向の整理	11
4. 固有周期	12
4.1 固有周期の計算方法	12
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重及び荷重の組合せ	15
5.3 許容限界	17
5.4 設計用地震力	22
5.5 計算方法	26
5.6 計算条件	32
5.7 応力計算	34
6. 評価結果	60

1. 概要

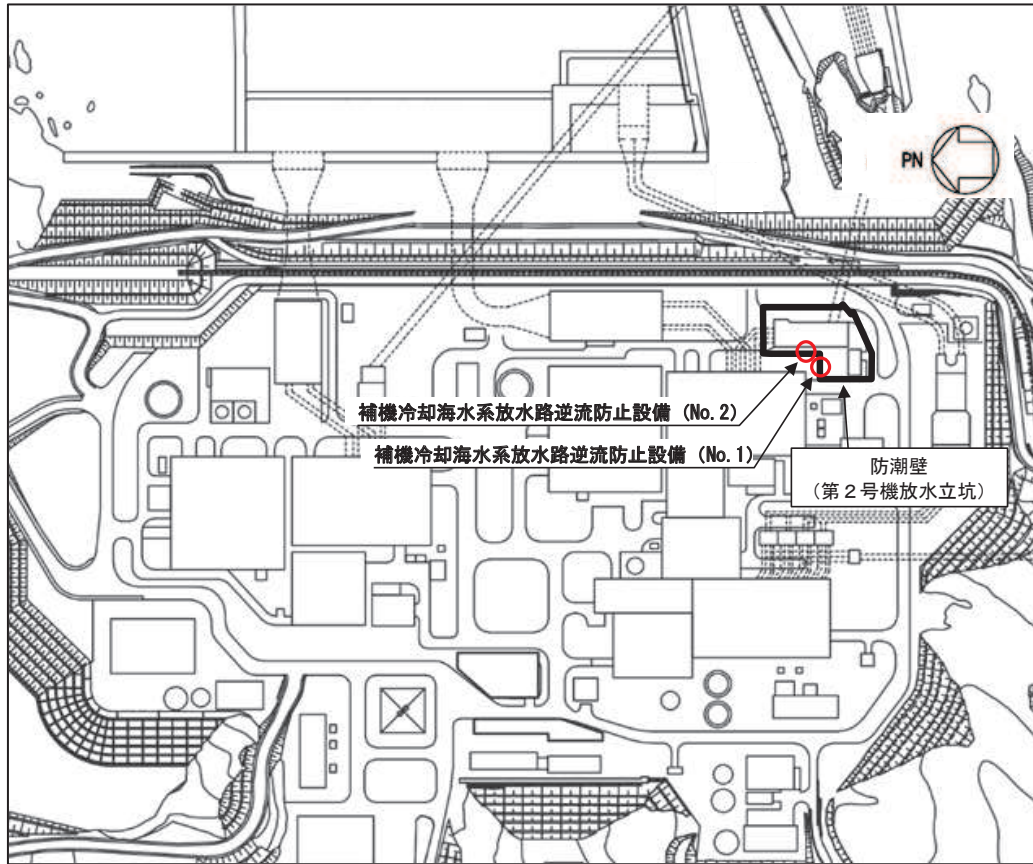
本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

なお、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）、（No. 2）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。

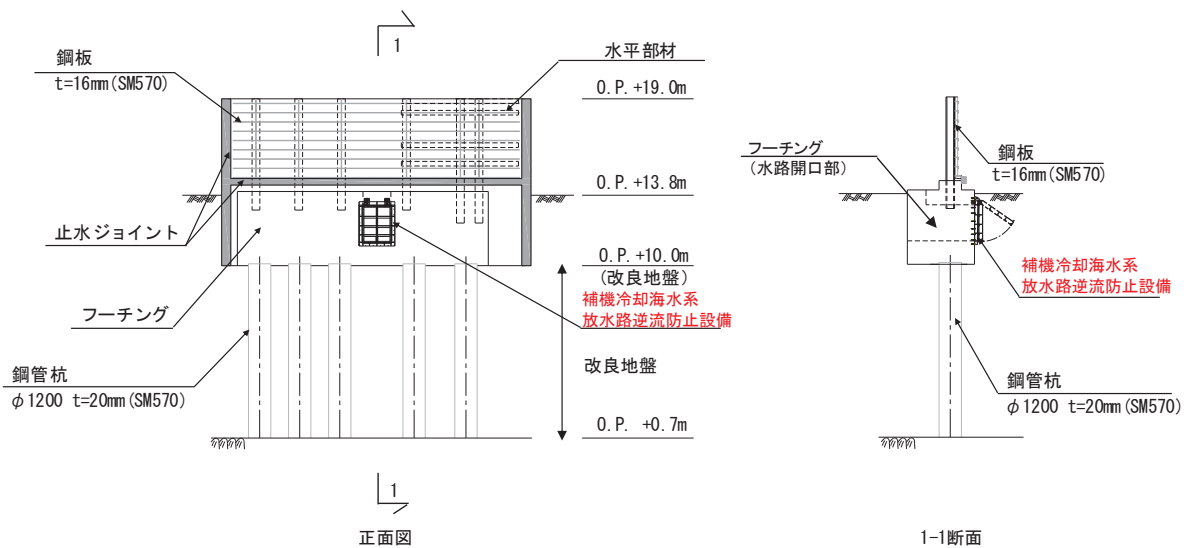
2. 一般事項

2.1 配置概要

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 2.1-1 に示す。

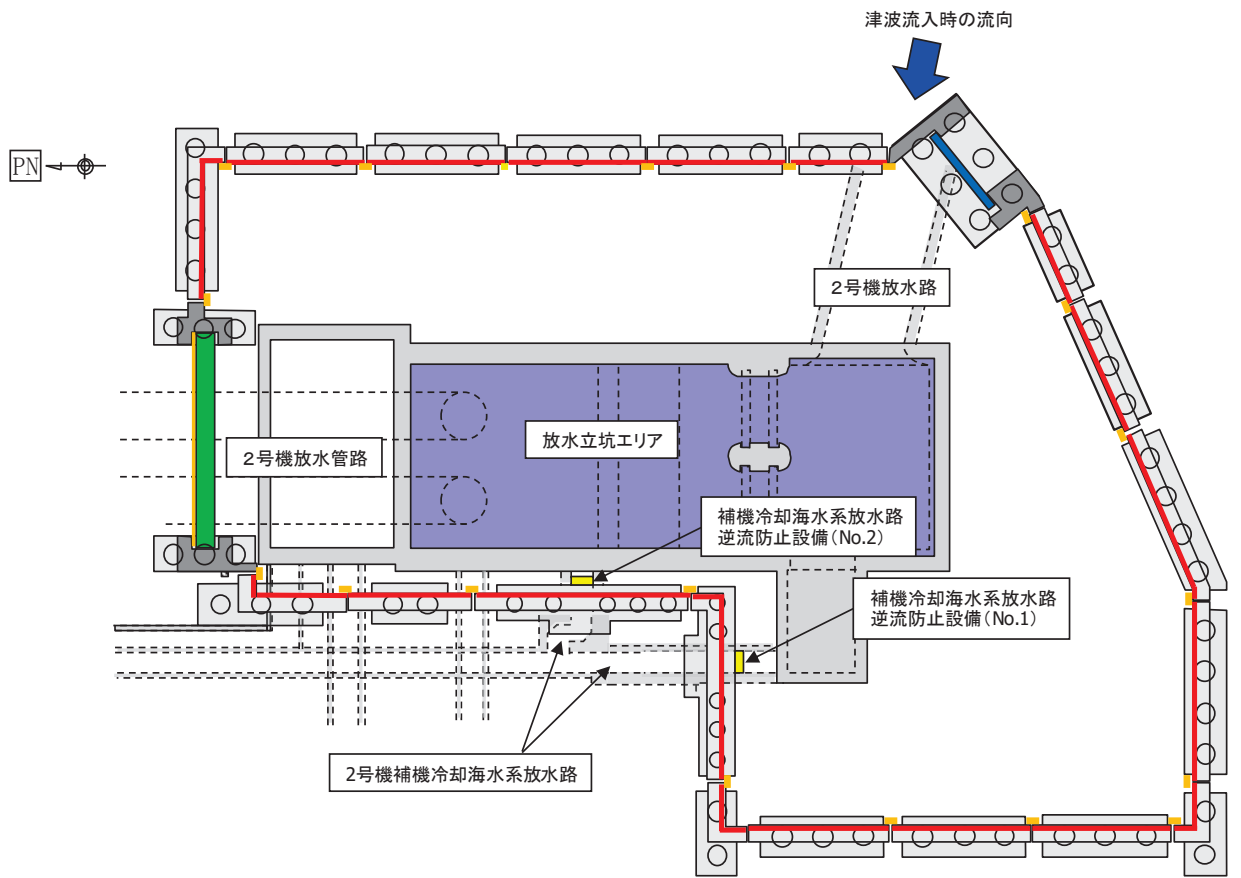


(全体平面図)



(鋼製遮水壁 (鋼板) 断面⑦)

図 2.1-1(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の設置位置



凡例			
	鋼製遮水壁(鋼板)		鋼管杭
	鋼製遮水壁(鋼桁) (海水ポンプ室横断部・ 地中構造物横断部)		津波流入経路 (開口部)
	鋼製扉 (車両進入路部)		止水ジョイント (M型ジョイント)
	フーチング		逆流防止設備 (フラップゲート)
	RC支柱		

(第2号機放水立坑)

図 2.1-1(2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の設置位置

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) 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。

なお、扉体と戸当り間は扉体側に止水ゴム (P 型ゴム) を設置し、戸当りとフーチング間は無収縮モルタルにより一体化を講じることで、構造境界部における止水性を確保する。

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 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 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) の強度評価は, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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, 「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) の強度評価における, 強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは, 津波に伴う荷重作用時 (以下「津波時」という。) 及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時 (以下「重畳時」という。) について行う。ただし, 「重畳時」の津波荷重は「津波時」の津波荷重を用いていることから, 「重畳時」が保守的な評価となることは明白であるため, 「津波時」の検討は省略する。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の評価項目を表 2.3-1 に, 強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		戸当り	支圧力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	扉体	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定部	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		戸当り	支圧力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

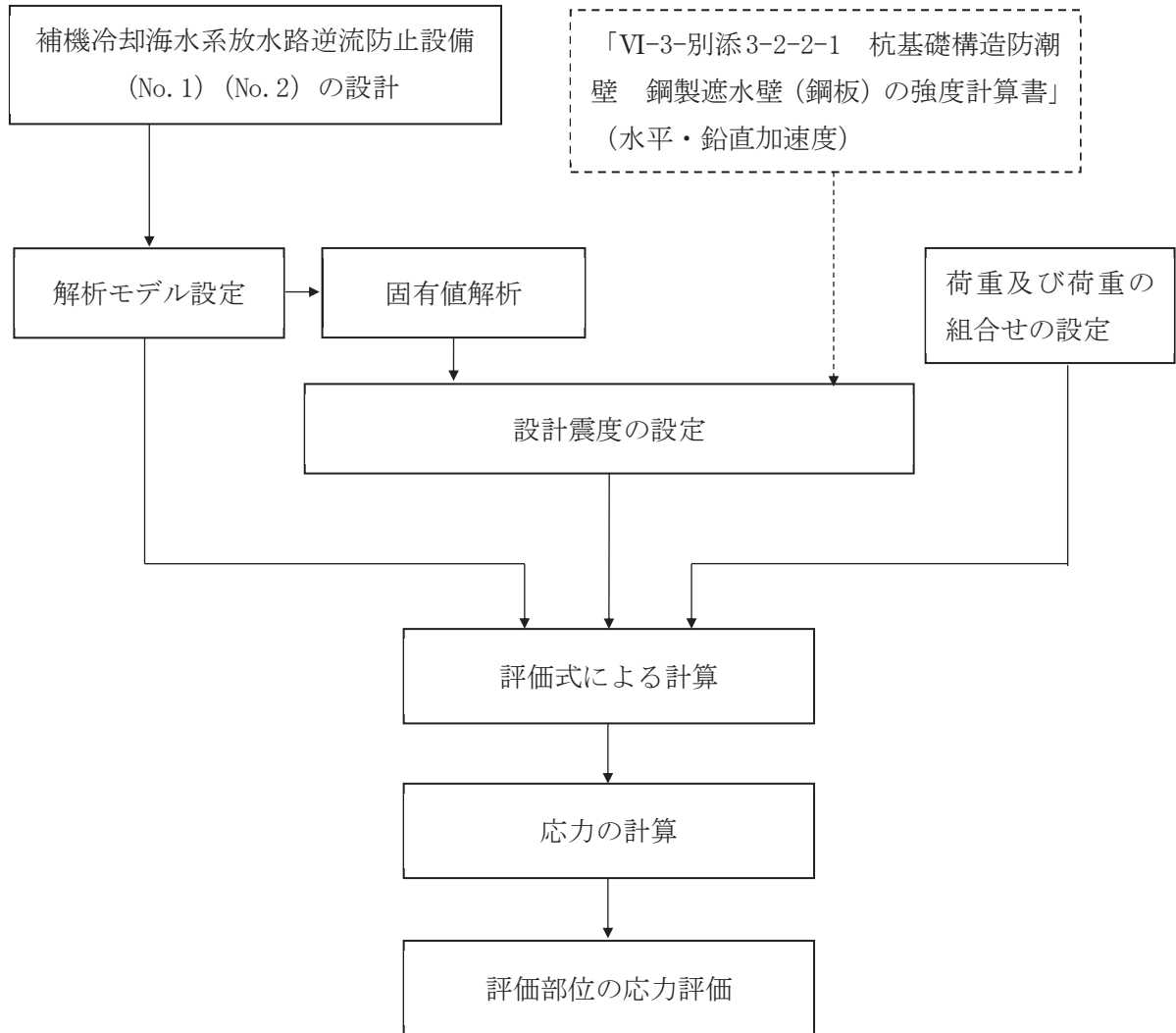


図 2.3-1 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を表 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 適用する規格，基準類

項目		適用する規格，基準類	備考
許容限界 及び応力 計算	扉体	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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)	曲げ軸力に対する照査は，発生応力が，短期許容応力度以下であることを確認。 せん断力に対する照査は，発生応力または発生せん断力が，短期許容せん断応力度以下であることを確認。
	固定部	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会 平成 26 年)	は，発生応力または発生せん断力が，短期許容せん断応力度以下であることを確認。
	戸当り	水門鉄管技術基準 水門扉編 ((社) 水門鉄管協会, 平成 31 年) 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)	

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 2.5-1 に、応力評価に用いる記号を表 2.5-2 にそれぞれ示す。

表 2.5-1 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	一次固有振動数	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

表 2.5-2(1) 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

記号	定義	単位
G	固定荷重 (扉体の自重)	N
K _{HSd}	余震による水路縦断方向の設計震度	—
K _{VSD}	余震による鉛直方向の設計震度	—
W ₀	水の単位体積重量	N/mm ³
H	設計用津波高さ	m
h	設計水深	m
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	主桁に加わる津波及び余震による荷重	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 2.5-2(2) 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

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
I_{HSd}	余震による水路縦断方向地震荷重	N
I_{Vsd}	余震による鉛直方向地震荷重	N
i_{HSd}	余震による単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重	N/mm^2
q_b	扉体への津波+余震による最大分布荷重	N/mm^2
S	戸当り幅	mm
t_w	戸当り腹板の板厚	mm

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。強度評価においては、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選定し、戸当り部についても評価をする。「津波時」及び「重畳時」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。また、固定部についても同様に有意な荷重は作用しないため、地震時の評価に包含される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。

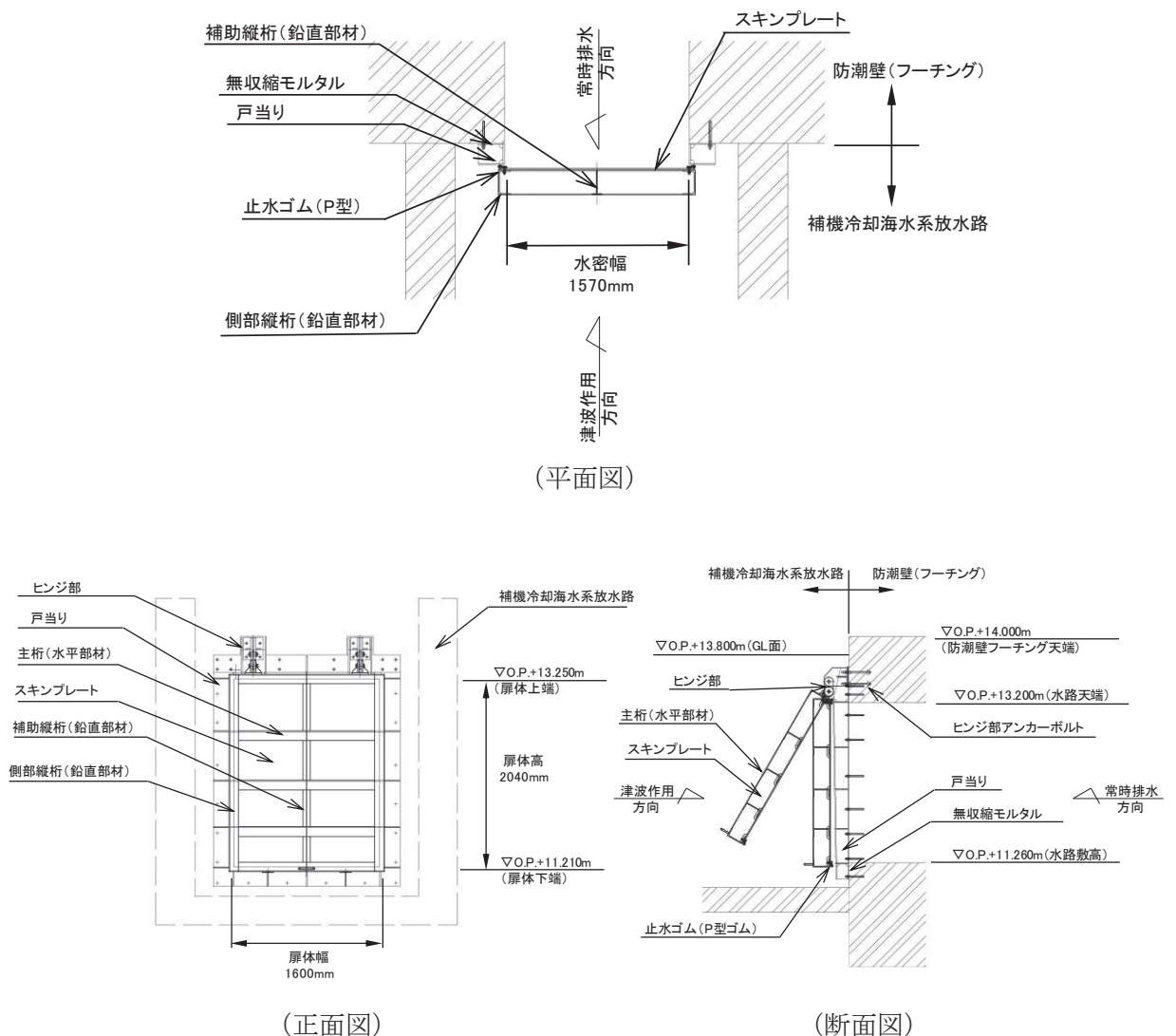


図 3.1-1(1) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要

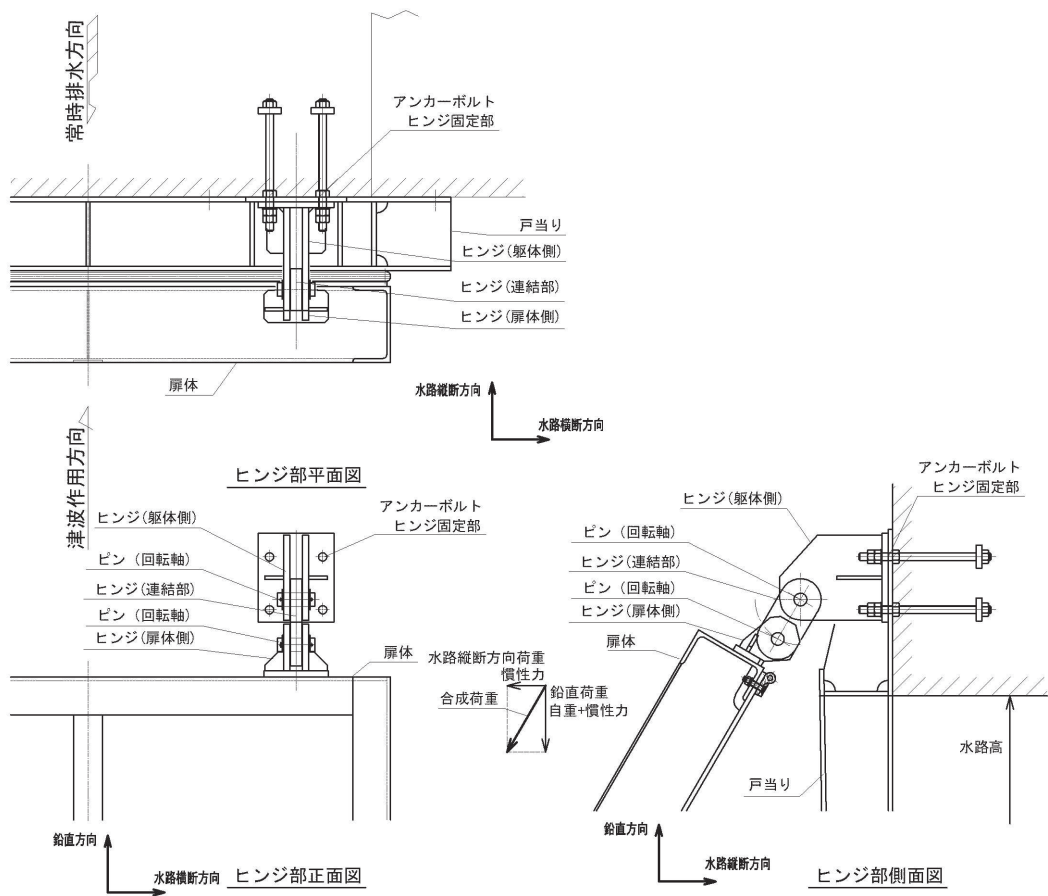


図 3.1-1(2) 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の構造概要
(固定部(ヒンジ部)詳細)

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、強度評価における主たる荷重は津波荷重である。したがって、強度評価においては、評価対象部位である扉体部の弱軸方向である水平方向(水路縦断方向)(以下、水路縦断方向という。)荷重と鉛直荷重の組合せを考慮する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

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，扉体に津波に伴う荷重と余震に伴う荷重が作用する状態は，扉体と戸当りが密着した状態であることから，戸当り部を支点とする両端固定梁でモデル化する。なお，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 解析モデル

解析モデルを図 4.1-1 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。

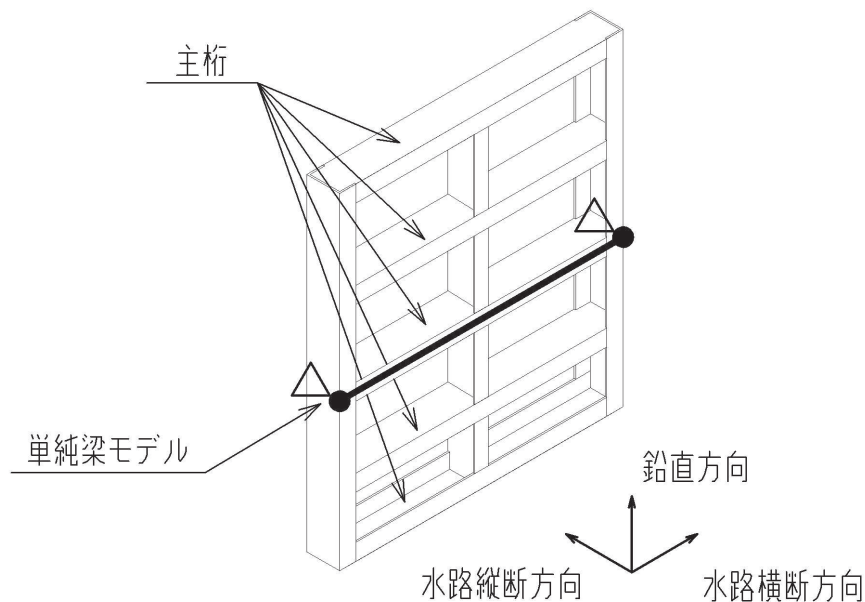


図 4.1-1 両端単純支持梁によるモデル化

4.1.2 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。

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_I} \sqrt{\frac{E \times I \times 10^3}{m}}$$

4.1.3 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 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 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,

I_0 : 主桁 1 本あたりの断面 2 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工業規格 (JIS G 4317) より

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

以上より,

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

4.2 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 4.1-2 に示す。固有周期は, 0.05s 以下であることから, 剛構造である。

表 4.1-2 固有周期の計算結果

固有周期 (s)
0.0075*

注記* : 計算過程を以下に示す。

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

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

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) の強度評価は, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは, 添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

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) の強度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 (鋼製遮水壁 (鋼板)) の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による水圧は, 津波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) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重については, 設計用津波水位 (入力津波による浸水高さに +0.5m の余裕を考慮した水位) に基づく静水圧を考慮する。

(3) 余震荷重 (K_{Sd})

余震荷重として, 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力及び動水圧を考慮する。

a. 余震による地震力

余震時の扉体自重による慣性力を考慮する。

$$I_{HSd} = W \times K_{HSd}$$

$$I_{VSd} = W \times K_{VSd}$$

b. 余震による動水圧

$$P_d = \frac{7}{8} \times W_o \times K_{HSd} \times \sqrt{H \times h}$$

地震力の算出に用いる設計震度 K_{HSd} 及び K_{VSd} については、「5.4 設計用地震力」に示す。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 5.2-1 に、扉体に作用する荷重の概念図を図 5.2-1 に示す。

表 5.2-1(1) 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
重畳時	$G + P_h + K_{Sd}$

G : 固定荷重

P_h : 浸水津波荷重

K_{Sd} : 余震荷重

表 5.2-1(2) 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	固定荷重 (躯体自重)	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	－ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	－ 土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	－ 積載荷重は考慮しない。
	静止土圧		－ 土被りはないため考慮しない。
	外水圧		－ 補機冷却海水系放水路を常時流下する放水による水圧は、津波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。
	内水圧		－ 内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		－ 積雪荷重は考慮しない。
風荷重		－ 風荷重は考慮しない。	
偶発荷重	浸水津波荷重		○ 津波による波圧を考慮する。
	余震荷重 (地震力)		○ 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による水平及び鉛直動による慣性力を考慮する。
	余震荷重 (動水圧)		○ 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による動水圧を考慮する。

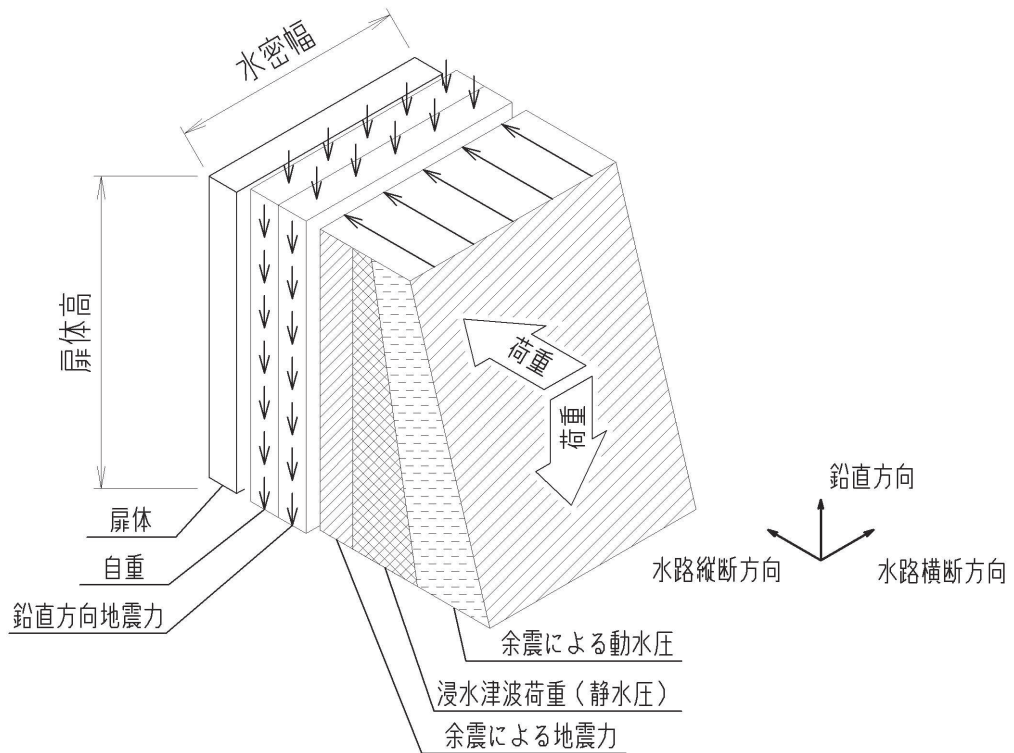


図 5.2-1 扉体に作用する荷重の概念図

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、補助縦桁の使用材料を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 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)
戸当り	SUS316L	PL12mm (腹板) $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$ (コンクリート)

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 5.3-2 に, 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容応力評価条件を表 5.3-3 に, 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容応力算出結果を表 5.3-4 にそれぞれ示す。

表 5.3-2 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 5.3-3 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界評価条件

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	—
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 5.3-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の許容限界算出結果

評価部位	許容応力				
	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 (-)
スキンプレート	132	—	—	—	—
主桁	125* ¹	—	76	—	1.1
補助縦桁	125* ¹	—	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, 以下の計算式により算出する。各圧縮フランジの固定間隔のモデル図について図 5.3-1 に示す。

$$\frac{L}{b} \leq \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = 88 \times 1.5 = 132 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{L}{b} > \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = \left(88 - 0.7 \left(K \frac{L}{b} - 10 \right) \right) \times 1.5 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2 \times A_c}}$$

ただし $\frac{A_w}{A_c} < 2$ の場合 $K = 2$

ここに, L : 圧縮フランジの固定間隔 (mm)

b : 圧縮フランジ幅 (mm)

A_w : 腹板の総断面積 (mm²)

A_c : 圧縮フランジの総断面積 (mm²)

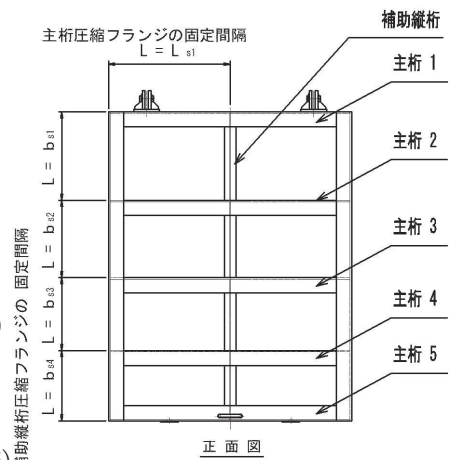


図 5.3-1 圧縮フランジの固定間隔のモデル図及び許容曲げ圧縮応力度算定式

*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, 腹板をリブによって補剛し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。

(主桁の許容応力)

主桁の許容応力について算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-5 に示す。

表 5.3-5 主桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	800	mm
b	圧縮フランジ幅	100	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	1800	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	1000	mm ²

よって、

$$A_w / A_c = 1800 / 1000 = 1.80 \quad \therefore A_w / A_c < 2$$

ここで、係数Kについては $A_w / A_c < 2$ の場合 $K = 2$ であることから、

$$K = 2$$

$$10 / K = 10 / 2.00 = 5$$

$$L / b = 800.0 / 100 = 8$$

$$\therefore L / b > 10 / K$$

以上より、許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し、

$$\begin{aligned} \left(\sigma_{ab} - 0.70 \times (K \times L / b - 10) \right) \times 1.5 &= \left(88 - 0.70 \times (2 \times 8 - 10) \right) \times 1.5 \\ &= 83.80 \text{ N/mm}^2 \times 1.5 = 125.70 \text{ N/mm}^2 = 125 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(補助縦桁の許容応力)

補助縦桁の許容応力は保守的に許容値が最も小さくなるよう固定間隔の最も大きい主桁 1～2 間の補助縦桁において算定する。ここで、各記号の定義及び数値を表 5.3-6 に示す。

表 5.3-6 補助縦桁の許容曲げ圧縮応力度の計算諸元

記号	定義	数値	単位
L	圧縮フランジの固定間隔	585	mm
b	圧縮フランジ幅	75	mm
K	座屈を求めるための係数	—	—
A _w	腹板の総断面積	1164	mm ²
A _c	圧縮フランジの総断面積	450	mm ²

よって,

$$A_w/A_c = 1164.0/450.00 = 2.59 \quad \therefore A_w/A_c \geq 2$$

ここで, 係数Kについては $A_w/A_c \geq 2$ の場合は以下の式を適用し

$$K = \sqrt{3 + A_w/(2 \times A_c)} = \sqrt{3 + 2.59 \div 2} = 2.07$$

$$10/K = 10/2.07 = 4.83$$

$$L/b = 585/75 = 7.8$$

$$\therefore L/b > 10/K$$

以上より, 許容曲げ圧縮応力度の計算は以下の式を適用し,

$$\begin{aligned} (\sigma_{ab} - 0.70 \times (K \times L/b - 10)) \times 1.5 &= (88 - 0.70 \times (2.07 \times 7.8 - 10)) \times 1.5 \\ &= 83.70 \text{ N/mm}^2 \times 1.5 = 125.55 \text{ N/mm}^2 = 125 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

5.4 設計用地震力

設計震度は、添付書類「VI-3-別添3-2-2-1 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書」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。断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置を図5.4-1に示す。

断面⑦の地震応答解析ケースを表5.4-1に、地震応答解析結果を表5.4-2に示す。

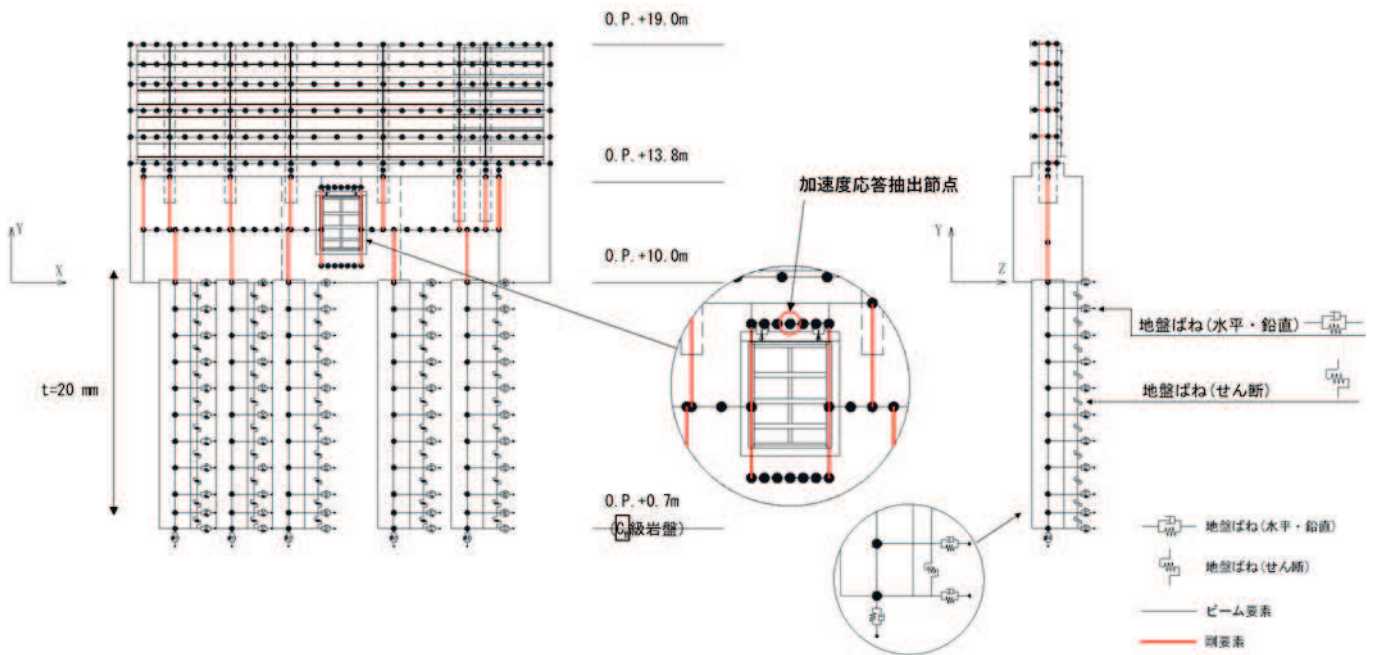


図5.4-1 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における加速度応答を抽出した節点位置

表 5.4-1 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)	Sd-D2	++*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 5.4-2 鋼製遮水壁（鋼板）断面⑦における地震応答解析結果

最大応答加速度 (cm/sec ²)	
水平方向 (水路縦断方向)	鉛直方向
990.5 (Sd-D2(++), ケース③)	407.7 (Sd-D2(++), ケース③)

以上より，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 5.4-3 に示す。

表 5.4-3 設計用地震力

設備名称	地震動	解析ケース	設置場所	地震による設計震度*	
補機冷却海水系放水路逆流防止設備	S d - D 2 (++)	ケース③	防潮壁 (第 2 号機放水立坑) (図 5.4-1 参照)	水平方向 K_H	1.1
	S d - D 2 (++)	ケース③		鉛直方向 K_V	0.5

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

ここで、断面⑦は、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）を支持する断面であるが、「5.10 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定について」に示すとおり、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 1）を支持する断面位置との地盤応答の比較により、地盤（フーチング下面）の加速度応答が大きいため、上部工へ作用する余震荷重（慣性力及び動水圧）が大きくなると想定されることから選定している評価対象代表断面である。また、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。

よって、補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No. 2）の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。

各断面の地質構造を図5.4-2に、各断面のフーチング下面位置における加速度応答を表5.4-4に示す。

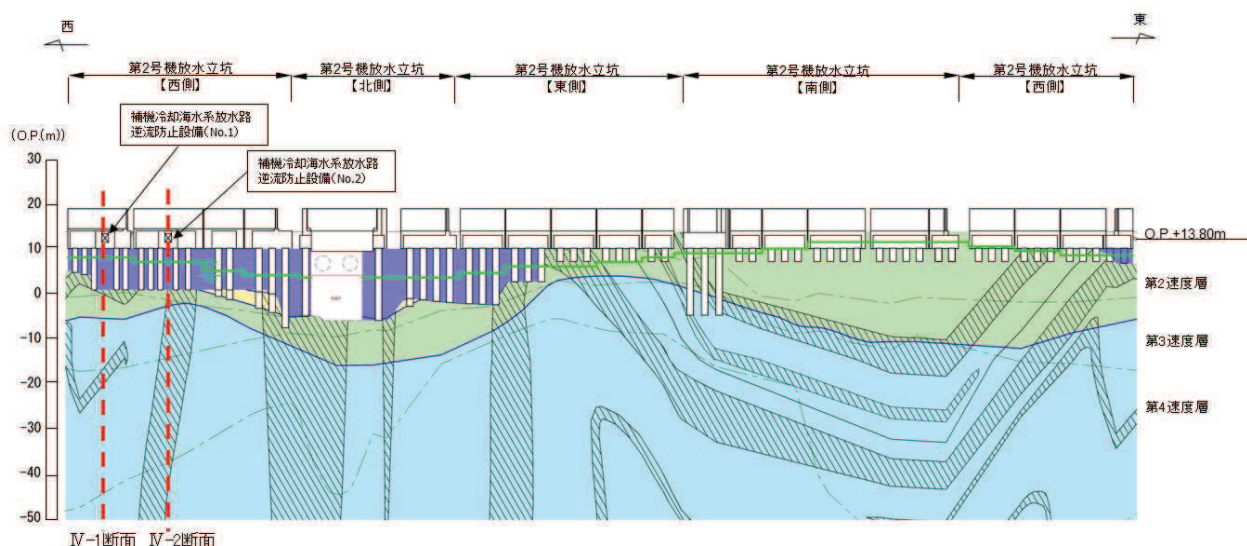


図5.4-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備設置部の地質構造

表 5.4-4 補機冷却海水系放水路逆流防止設備設置部の自由地盤応答（フーチング下面）の比較結果

断面	フーチング下面 最大応答加速度 (cm/sec ²)	備考
IV-1 断面 (No. 1)	643 (Sd-D2)	
IV-2 断面 (No. 2)	685 (Sd-D2)	鋼製遮水壁（鋼板） 断面⑦

5.5 計算方法

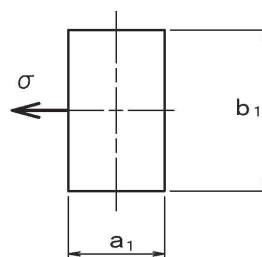
各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

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 5.5-1 に示す。

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



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)

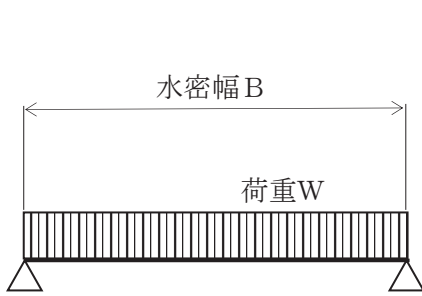
t_1 : スキンプレートの板厚 (mm)

図 5.5-1 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 5.5-2 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 5.5-3 に示す方法により算出する。



$$W = R \times B$$

$$M_{M a x} = \frac{W \times B}{8}$$

$$S_{M a x} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{M a x}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{M a x}}{A_{w 2}}$$

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

W : 主桁に加わる津波及び余震による荷重 (N)

R : 主桁に加わる津波及び余震による線荷重 (N/mm)

$M_{M a x}$: 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{M a x}$: 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)

$A_{w 2}$: 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図 5.5-2 主桁のモデル図及び応力算定式

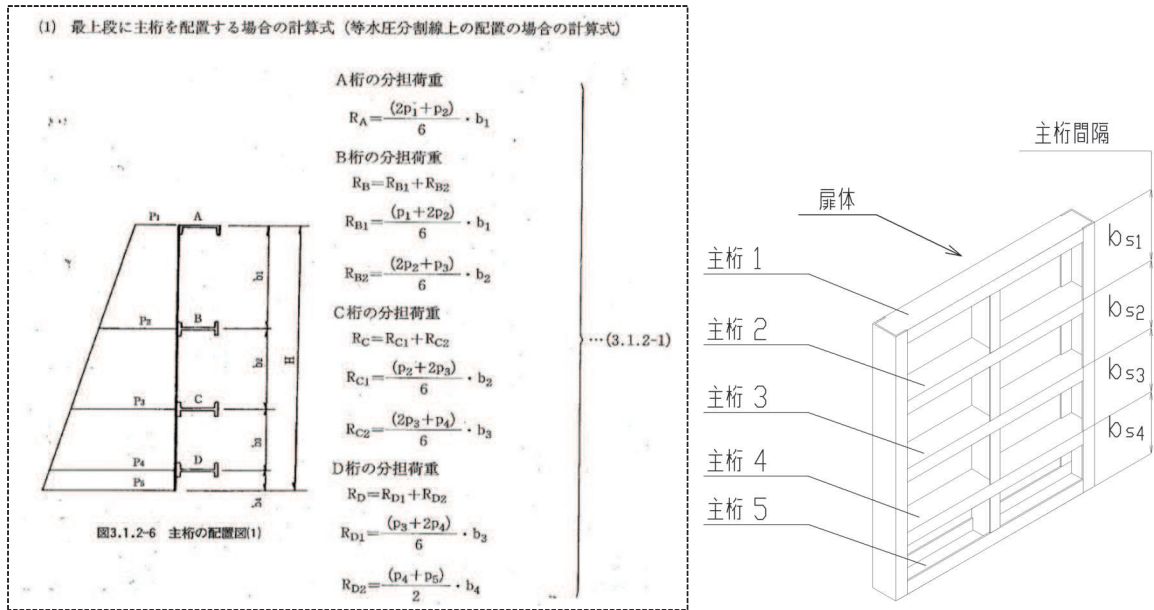


図 5.5-3 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「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)

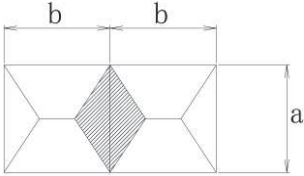
q_{s5} : 主桁 5 での発生圧力 (N/mm²)

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 5.5-4 に示す。

・ 菱形の場合



$$M = \frac{p_3 \times a_3^3}{12}$$

$$S = \frac{p_3 \times a_3^2}{4}$$

$$\sigma = \frac{M_{Max}}{Z_3}$$

$$\tau = \frac{S_{Max}}{A_{w3}}$$

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

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)

p_3 : 補助縦桁に加わる各区分の平均荷重 (N/mm²)

a_3 : 主桁間隔 (mm)

Z_3 : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_{w3} : 補助縦桁のウェブ断面積 (mm²)

κ : 合成応力度

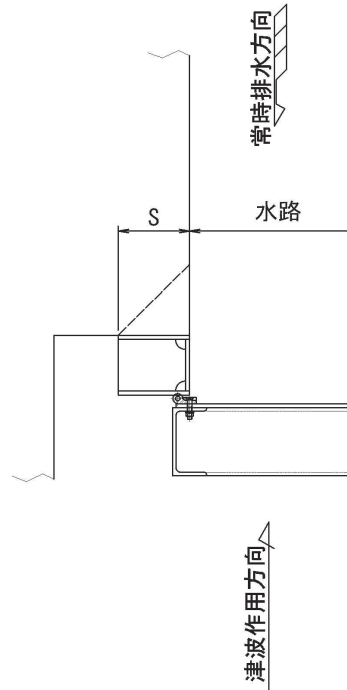
σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

図 5.5-4 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

5.5.4 戸当りコンクリート

戸当りコンクリートは、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。

戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5.5-5 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)

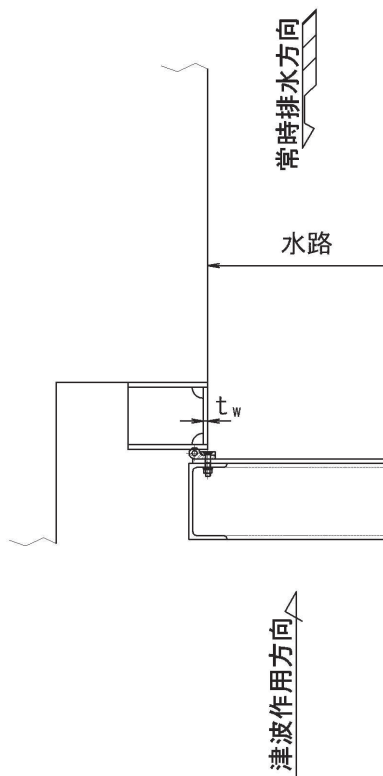
τ_c : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

図 5.5-5 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

5.5.5 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、扉体の下端からコンクリートに加わる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5.5-6に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

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

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5.5-6 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5.6-1に、強度評価に用いる津波荷重に関わる計算条件を表5.6-2に示す。

表 5.6-1(1) 応力評価に用いる計算条件

スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, ヒンジ及び吊りピン の材質	固定荷重 (扉体の自重) G (N)	扉体高 Hp (mm)	水の単位体積重量 Wo (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/a) 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)	スキンプレートの 板厚 t ₁ (mm)
42.74	585	800	12

水密幅 B (mm)	主桁の 断面係数 Z ₂ (mm ³)	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)
1.570×10^3	2.3100×10^5	1.8000×10^3	585

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)	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)
510	480	465	800

表 5.6-1(2) 応力評価に用いる計算条件

補助縦桁の 主桁間隔 a_3 (mm)	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)	戸当り幅 S (mm)
585	5.5232×10^4	1.1640×10^3	210

戸当り腹板の板厚 t_w (mm)	余震による水路縦断 方向地震荷重 I_{HSd} (N)	余震による鉛直方向 地震荷重 I_{VSD} (N)
12	8.090×10^3	3.677×10^3

表 5.6-2 津波荷重に関わる計算条件

設計用津波 高さ H (m)	設計水深 h (m)	主桁1での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s1} (N/mm ²)	主桁2での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s2} (N/mm ²)	主桁3での 津波及び余震 による 分布荷重 q_{s3} (N/mm ²)	主桁4での 津波及び余 震による 分布荷重 q_{s4} (N/mm ²)	主桁5での 津波及び余 震による 分布荷重 q_{s5} (N/mm ²)
17.9	6.74	1.0391×10^{-1}	1.1314×10^{-1}	1.2104×10^{-1}	1.2837×10^{-1}	1.3537×10^{-1}

スキンプレート(区間1) に作用する 単位面積当たりの 荷重 P (N/mm ²)	主桁2 に作用する 津波及び余震 による荷重 W (N)	補助縦桁(区間1) に加わる 単位面積当たりの 荷重 p_3 (N/mm ²)	扉体への津波及 び余震による最 大分布荷重 q_b (N/mm ²)
1.0704×10^{-1}	9.6897×10^4	1.0853×10^{-1}	1.3537×10^{-1}

5.7 応力計算

各評価対象部位に加わる応力等の計算結果を示す。

応力計算に用いる、余震(弾性設計用地震動 S d - D 2)による水路縦断方向地震荷重 I_{HSd} 及び単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重 i_{HSd} は以下の式により算出する。

$$I_{HSd} = G \times K_{HSd}$$

$$i_{HSd} = \frac{G}{H_p \times B} \times K_{HSd}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-1 に示す。

表 5.7-1 余震荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
I_{HSd}	弾性設計用地震動 S d - D 2 による水路縦断方向地震荷重	—	N
i_{HSd}	弾性設計用地震動 S d - D 2 による単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重	—	N/mm ²
G	固定荷重 (扉体の自重)	7.355×10^3	N
K_{HSd}	余震による水路縦断方向の設計震度	1.1	—
H_p	扉体の高さ	2.040×10^3	mm
B	扉体の水密幅	1.570×10^3	mm

よって、

$$I_{HSd} = 7.355 \times 10^3 \times 1.1 = 8.0905 \times 10^3 = 8.090 \times 10^3 \text{ N}$$

$$i_{HSd} = \frac{7.355 \times 10^3}{2.040 \times 10^3 \times 1.570 \times 10^3} \times 1.1 = 2.5261 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

また、浸水津波荷重として、設計用津波水位による浸水高さに基づく静水圧を考慮する。

静水圧 P_{sGi} は以下の式により算出する。

$$P_{sGi} = W_0 \times h_{Gi}$$

余震による動水圧 P_{dGi} は以下の式により算出する。

$$P_{dGi} = 7 \div 8 \times W_0 \times K_H \times \sqrt{h \times h_{Gi}}$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-2 に、設計用津波高さ (設計水位) と水圧評価位置の関係を図 5.7-1 に示す。

表 5.7-2 津波荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
P_{sGi}	各主桁の水深における静水圧	—	N/mm^2
P_{dGi}	各主桁の水深における動水圧	—	N/mm^2
h_{Gi}	各主桁の水深	—	mm
W_0	水の単位体積重量	1.01×10^{-5}	N/mm^3
h	設計水深	6740	mm

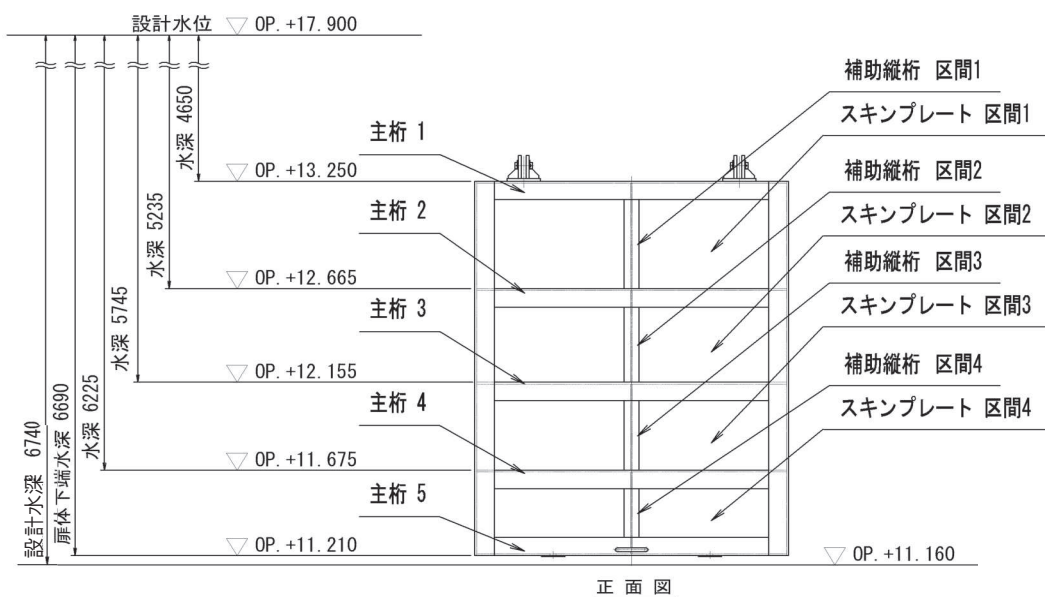


図 5.7-1 各評価部位における水圧算定用水深

以上より、各主桁位置での水深及び静水圧と動水圧の計算値を表 5.7-3 に示す。

表 5.7-3 各主桁における水深と静水圧及び動水圧

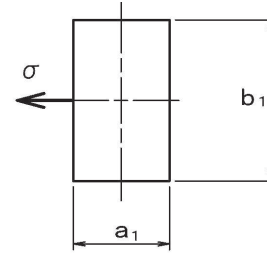
	h_{Gi} (mm)	P_{sGi} (N/mm^2)	P_{dGi} (N/mm^2)
主桁 1	4650	4.6965×10^{-2}	5.4423×10^{-2}
主桁 2	5235	5.2874×10^{-2}	5.7744×10^{-2}
主桁 3	5745	5.8025×10^{-2}	6.0492×10^{-2}
主桁 4	6225	6.2873×10^{-2}	6.2968×10^{-2}
主桁 5	6690	6.7569×10^{-2}	6.5278×10^{-2}

5.7.1 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 5.7-2 に示す。

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



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 5.7-2 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

スキンプレートにはたらく荷重として，板の自重による水路縦断方向地震荷重，静水圧および動水圧を考慮し，以下の式により計算する。

$$P = P_{SHSd} + P_s + P_d$$

$$P_{SHSd} = \rho_{SUS} \times g \times t \times K_H$$

$$P_s = (P_{sGi} + P_{sGj}) \div 2$$

$$P_d = (P_{dGi} + P_{dGj}) \div 2$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-4 に示す。

表 5.7-4 スキンプレートが発生荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
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
P _{SHSd}	スキンプレートに加わる単位面積当たりの水路縦断方向地震荷重	—	N/mm ²
P _s	スキンプレートに加わる静水圧	—	N/mm ²
P _d	スキンプレートに加わる動水圧	—	N/mm ²
ρ _{SUS}	スキンプレート材料の単位体積重量	7.980×10 ⁻⁶	kg/mm ³
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
t ₁	スキンプレートの板厚	12	mm
K _H	弾性設計用地震動 S _d -D ₂ による水路縦断方向の設計震度	1.1	—
P _{sGi}	スキンプレートを支持する主桁のうち低水深側に加わる静水圧	—	N/mm ²
P _{sGj}	スキンプレートを支持する主桁のうち高水深側に加わる静水圧	—	N/mm ²
P _{dGi}	スキンプレートを支持する主桁のうち低水深側に加わる動水圧	—	N/mm ²
P _{dGj}	スキンプレートを支持する主桁のうち高水深側に加わる動水圧	—	N/mm ²

よって、各区間に作用する荷重は以下のとおり。

水路縦断方向慣性力 P_{SHSd}

$$\text{区間 1~4 : } 7980 \times 10^{-9} \times 9.80665 \times 12 \times 1.1 = 1.0330 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$$

静水圧 P_s

$$\text{区間 1 : } (4.6965 \times 10^{-2} + 5.2874 \times 10^{-2}) \div 2 = 4.9919 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 2 : } (5.2874 \times 10^{-2} + 5.8025 \times 10^{-2}) \div 2 = 5.5449 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 3 : } (5.8025 \times 10^{-2} + 6.2873 \times 10^{-2}) \div 2 = 6.0449 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 4 : } (6.2873 \times 10^{-2} + 6.7569 \times 10^{-2}) \div 2 = 6.5221 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

動水圧 P_d

$$\text{区間 1 : } (5.4423 \times 10^{-2} + 5.7744 \times 10^{-2}) \div 2 = 5.6083 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 2 : } (5.7744 \times 10^{-2} + 6.0492 \times 10^{-2}) \div 2 = 5.9118 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 3 : } (6.0492 \times 10^{-2} + 6.2968 \times 10^{-2}) \div 2 = 6.1730 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

$$\text{区間 4 : } (6.2968 \times 10^{-2} + 6.5278 \times 10^{-2}) \div 2 = 6.4123 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$$

以上より、スキンプレートに作用する単位面積当たりの荷重を表 5.7-5 に示す。

表 5.7-5 各区間におけるスキンプレートに作用する荷重

	P_{SHSd} (N/mm ²)	P_s (N/mm ²)	P_d (N/mm ²)	P (N/mm ²)
区間 1	1.0330×10^{-3}	4.9919×10^{-2}	5.6083×10^{-2}	1.0704×10^{-1}
区間 2	1.0330×10^{-3}	5.5449×10^{-2}	5.9118×10^{-2}	1.1560×10^{-1}
区間 3	1.0330×10^{-3}	6.0449×10^{-2}	6.1730×10^{-2}	1.2321×10^{-1}
区間 4	1.0330×10^{-3}	6.5221×10^{-2}	6.4123×10^{-2}	1.3038×10^{-1}

(2) 発生応力

スキンプレートに発生する曲げ応力は以下の式により求める。

$$\sigma = k \times a_1^2 \times P \div (100 \times t_1^2)$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-6 に示す。

表 5.7-6 スキンプレートに生じる曲げ応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	板に生じる最大応力度	—	N/mm ²
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
k	辺長比 (b_1/a_1) による係数	—	N/mm ²
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
t_1	スキンプレートの板厚	12	mm

辺長比による係数 k 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、各区間における辺長比を元に数値を求める。

各区間の計算に用いた短辺 a_1 、長辺 b_1 、発生圧力 P 、辺長比による係数 k 及び曲げ応力度 σ の導出結果を表 5.7-7 に示す。また、スキンプレートの固定間隔概要を図 5.7-3 に示す。

表 5.7-7 スキンプレートに生じる曲げ応力度及び計算諸元

	a_1 (mm)	b_1 (mm)	b_1 / a_1	k	P (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
区間 1	585	800	1.3675	42.74	1.0704×10^{-1}	108.8
区間 2	510	800	1.5686	46.30	1.1560×10^{-1}	96.7
区間 3	480	800	1.6667	47.43	1.2321×10^{-1}	93.6
区間 4	465	800	1.7204	48.06	1.3038×10^{-1}	94.1

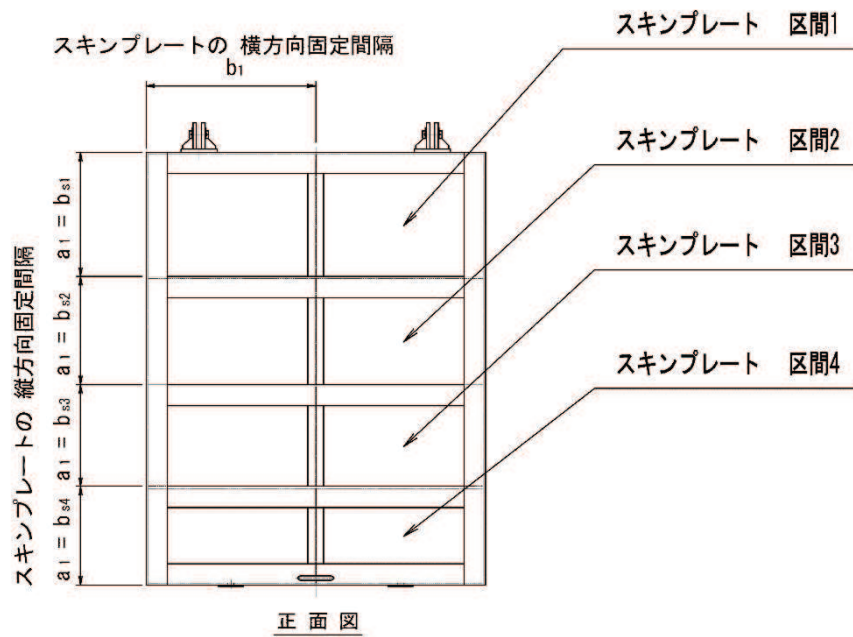


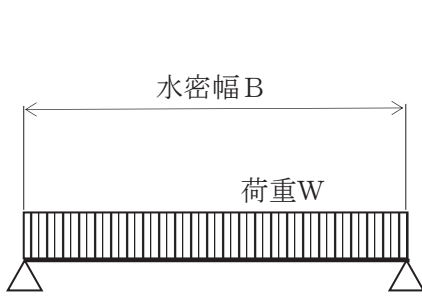
図 5.7-3 スキンプレートの固定間隔概要図

以上より、スキンプレートの最大応力が発生する箇所は区間 1 であり、最大応力発生箇所スキンプレート短辺 $a_1 = 585\text{mm}$ 、長辺 $b_1 = 800\text{mm}$ 、辺長比による係数 $k = 42.74$ 、スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重 $P = 1.0704 \times 10^{-1} \text{N/mm}^2$ より、スキンプレートの最大曲げ応力度 $\sigma = 108.8 \text{N/mm}^2$ である。

5.7.2 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 5.7-4 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 5.7-5 に示す方法により算出する。



$$W = R \times B$$

$$M_{M a x} = \frac{W \times B}{8}$$

$$S_{M a x} = \frac{W}{2}$$

$$\sigma = \frac{M_{M a x}}{Z_2}$$

$$\tau = \frac{S_{M a x}}{A_{w 2}}$$

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

W : 主桁に加わる津波及び余震による荷重 (N)

R : 主桁に加わる津波及び余震による線荷重 (N/mm)

$M_{M a x}$: 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{M a x}$: 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)

$A_{w 2}$: 主桁のウェブ断面積 (mm²)

図 5.7-4 主桁のモデル図及び応力算定式

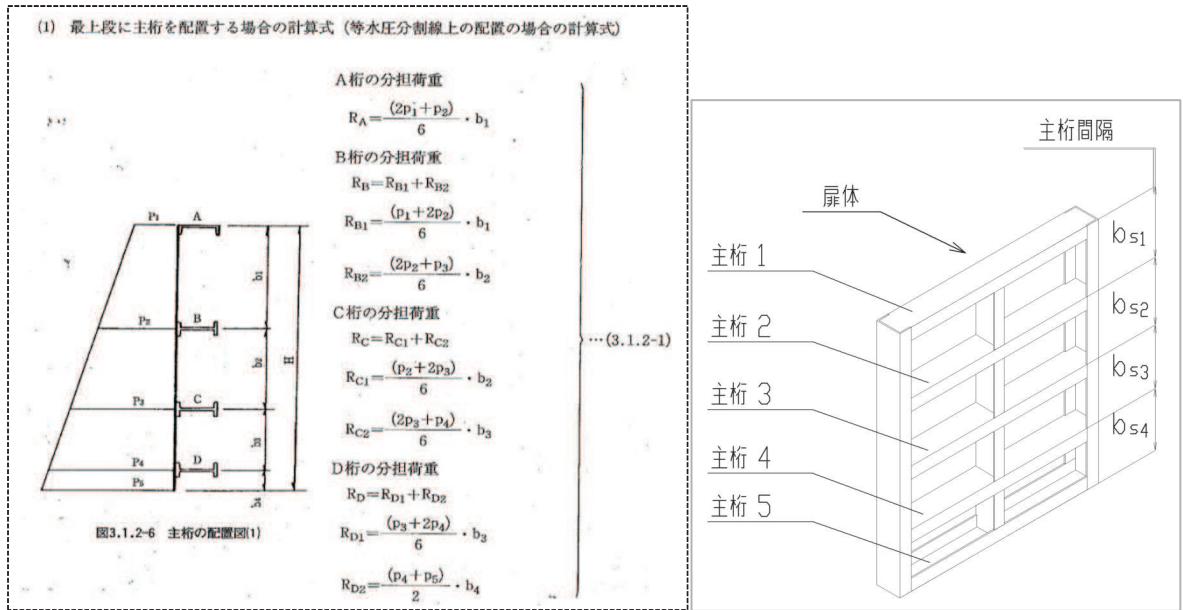


図 5.7-5 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「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)

(1) 発生荷重

桁に生じる荷重は以下の式にて計算を行う。

$$W = R \times B$$

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-8 に示す。

表 5.7-8 主桁にはたらく荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
W	主桁に加わる津波及び余震による荷重	—	N
R	主桁に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
B	扉体の水密幅	1.570×10^3	mm

各主桁に加わる荷重は隣り合う主桁との間隔を考慮して分担するものとし、各桁に生じる単位長さ当りの荷重を以下の式にて計算を行う。得られた値を比較し、最も発生荷重の大きい箇所について評価を行う。

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

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

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

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

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-9 に示す。

表 5.7-9 主桁にはたらく荷重の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
R_1	主桁 1 に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
R_2	主桁 2 に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
R_3	主桁 3 に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
R_4	主桁 4 に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
R_5	主桁 5 に加わる津波及び余震による線荷重	—	N/mm
b_{s1}	主桁 1 と主桁 2 の間隔	585	mm
b_{s2}	主桁 2 と主桁 3 の間隔	510	mm
b_{s3}	主桁 3 と主桁 4 の間隔	480	mm
b_{s4}	主桁 4 と主桁 5 の間隔	465	mm
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

各主桁での発生圧力は静水圧及び動水圧、慣性力を考慮し、以下の式により計算する。

$$q_{s i} = P_{s G i} + P_{d G i} + i_{H S d}$$

ここで、

$q_{s i}$: 主桁での発生圧力 (N/mm²)

$P_{s G i}$: 主桁位置での静水圧 (N/mm²)

$P_{d G i}$: 主桁位置での動水圧 (N/mm²)

$i_{H S d}$: 基準地震動 S_d による単位面積当たりの水平水路縦断方向地震荷重 (N/mm²)

各主桁での発生圧力の計算値を表 5.7-10 に示す。

表 5.7-10 各主桁における発生圧力

	$q_{s i}$ (N/mm ²)
主桁 1	1.0391×10^{-1}
主桁 2	1.1314×10^{-1}
主桁 3	1.2104×10^{-1}
主桁 4	1.2837×10^{-1}
主桁 5	1.3537×10^{-1}

$$q_{s 1} = 4.6965 \times 10^{-2} + 5.4423 \times 10^{-2} + 2.5261 \times 10^{-3} = 1.0391 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

$$q_{s 2} = 5.2874 \times 10^{-2} + 5.7744 \times 10^{-2} + 2.5261 \times 10^{-3} = 1.1314 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

$$q_{s 3} = 5.8025 \times 10^{-2} + 6.0492 \times 10^{-2} + 2.5261 \times 10^{-3} = 1.2104 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

$$q_{s 4} = 6.2873 \times 10^{-2} + 6.2968 \times 10^{-2} + 2.5261 \times 10^{-3} = 1.2837 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

$$q_{s 5} = 6.7569 \times 10^{-2} + 6.5278 \times 10^{-2} + 2.5261 \times 10^{-3} = 1.3537 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

よって、

$$R_1 = (2 \times 1.0391 \times 10^{-1} + 1.1314 \times 10^{-1}) \times 585 \div 6 = 31.295 \text{ N/mm}$$

$$R_2 = (1.0391 \times 10^{-1} + 2 \times 1.1314 \times 10^{-1}) \times 585 \div 6$$

$$+ (2 \times 1.1314 \times 10^{-1} + 1.2104 \times 10^{-1}) \times 510 \div 6 = 61.716 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}
R_3 &= (1.1314 \times 10^{-1} + 2 \times 1.2104 \times 10^{-1}) \times 510 \div 6 \\
&+ (2 \times 1.2104 \times 10^{-1} + 1.2837 \times 10^{-1}) \times 480 \div 6 = 59.830 \text{ N/mm} \\
R_4 &= (1.2104 \times 10^{-1} + 2 \times 1.2837 \times 10^{-1}) \times 480 \div 6 \\
&+ (2 \times 1.2837 \times 10^{-1} + 1.3537 \times 10^{-1}) \times 465 \div 6 = 60.611 \text{ N/mm} \\
R_5 &= (1.2837 \times 10^{-1} + 2 \times 1.3537 \times 10^{-1}) \times 465 \div 6 = 30.931 \text{ N/mm}
\end{aligned}$$

以降、主桁に加わる荷重が最大となる 2 番目の桁に対して、以下の荷重を用いて応力計算を行う。

$$\begin{aligned}
R &= R_2 = 61.716 \text{ N/mm} \\
W &= R \times B = 61.716 \times 1.570 \times 10^3 = 9.6894 \times 10^4 \text{ N}
\end{aligned}$$

(2) 最大曲げモーメント・最大せん断力

主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は以下の式により計算する。

$$M_{\text{Max}} = W \times B \div 8$$

$$S_{\text{Max}} = W \div 2$$

ここで、

M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{Max} : 最大せん断力 (N)

よって、

$$M_{\text{Max}} = 9.6894 \times 10^4 \times 1.570 \times 10^3 \div 8 = 1.9016 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$S_{\text{Max}} = 9.6894 \times 10^4 \div 2 = 4.8447 \times 10^4 \text{ N}$$

(3) 断面係数及びウェブ断面積

発生応力を計算するにあたり，主桁の断面係数及びウェブ断面積を求める。図 5.7-6 に主桁の断面形状を示す。

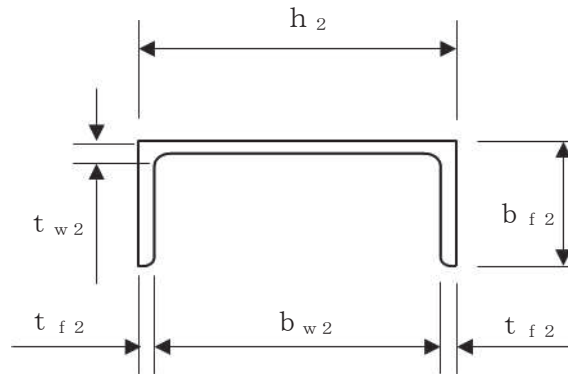


図 5.7-6 主桁の断面形状

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-11 に示す。

表 5.7-11 主桁の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_{f2}	フランジの板厚	10	mm
b_{f2}	フランジの板幅	100	mm
t_{w2}	主桁のウェブ板厚	10	mm
b_{w2}	主桁のウェブ板幅	180	mm
h_2	主桁の桁高さ	200	mm

主桁は日本工業規格で規定された溝形鋼を用いており，断面係数として日本工業規格に記載された数値を用いる。ウェブ断面積は以下の式にて計算を行う。

$$A_{w2} = t_{w2} \times b_{w2}$$

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-12 に示す。

表 5.7-12 主桁の断面係数及びウェブ断面積の計算諸元

記号	定義	数値	単位
Z_2	主桁の断面係数	2.3100×10^5	mm^3
A_{w2}	主桁のウェブ断面積	1800	mm^2

(4) 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = M_{\text{Max}} \div Z_2$$

$$\tau = S_{\text{Max}} \div A_{w2}$$

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-13 に示す。

表 5.7-13 主桁の発生応力の評価に用いる計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ	曲げ応力	—	N/mm ²
τ	せん断応力	—	N/mm ²
κ	合成応力	—	—
σ_a	許容曲げ応力	125	N/mm ²
M_{Max}	最大曲げモーメント	1.9016×10^7	N・mm
S_{Max}	最大せん断力	4.8447×10^4	N
Z_2	主桁の断面係数	2.3100×10^5	mm ³
A_{w2}	主桁のウェブ断面積	1800	mm ²

以上より，

$$\sigma = M_{\text{Max}} \div Z_2 = 1.9016 \times 10^7 \div 231000 = 82.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = S_{\text{Max}} \div A_{w2} = 4.8447 \times 10^4 \div 1800 = 27.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2}}{\sigma_a} = \frac{\sqrt{82.32^2 + 3 \times 26.92^2}}{125} = 0.76$$

5.7.3 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 5.7-8 に示す。

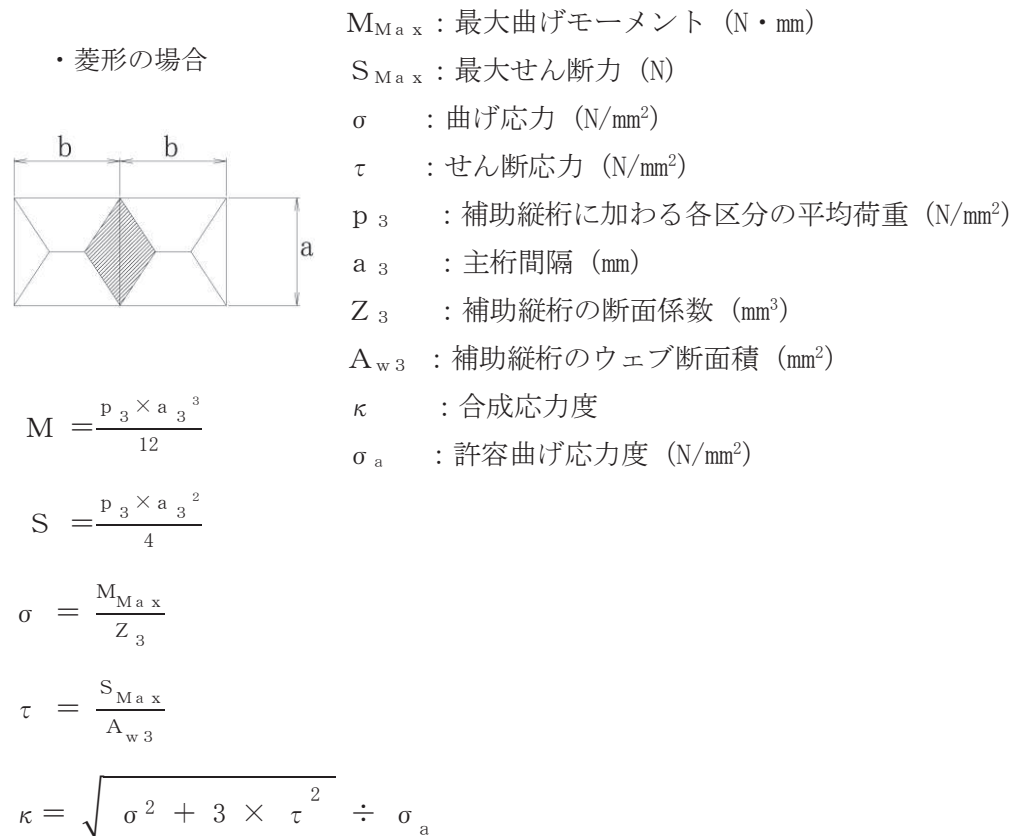


図 5.7-8 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

平均荷重が菱形に作用したものととして、以下の式にて計算を行う。

$$p_3 = (q_{s_i} + q_{s_j}) \div 2$$

ここで、

p_3 : 補助縦桁に加わる各区分の平均荷重 (N/mm²)

q_{s_i} : 補助縦桁を支持する主桁のうち低水深側の主桁に加わる荷重 (N/mm²)

q_{s_j} : 補助縦桁を支持する主桁のうち高水深側の主桁に加わる荷重 (N/mm²)

各主桁間の補助縦桁に作用する荷重を表 5.7-14 に示す。また、補助縦桁の固定間隔概要を図 5.7-7 に示す。

表 5.7-14 各区分における補助縦桁に作用する荷重

	q_{s_i} (N/mm ²)	q_{s_j} (N/mm ²)	p_3 (N/mm ²)
区間 1	1.0391×10^{-1}	1.1314×10^{-1}	1.0853×10^{-1}
区間 2	1.1314×10^{-1}	1.2104×10^{-1}	1.1709×10^{-1}
区間 3	1.2104×10^{-1}	1.2837×10^{-1}	1.2470×10^{-1}
区間 4	1.2837×10^{-1}	1.3537×10^{-1}	1.3187×10^{-1}

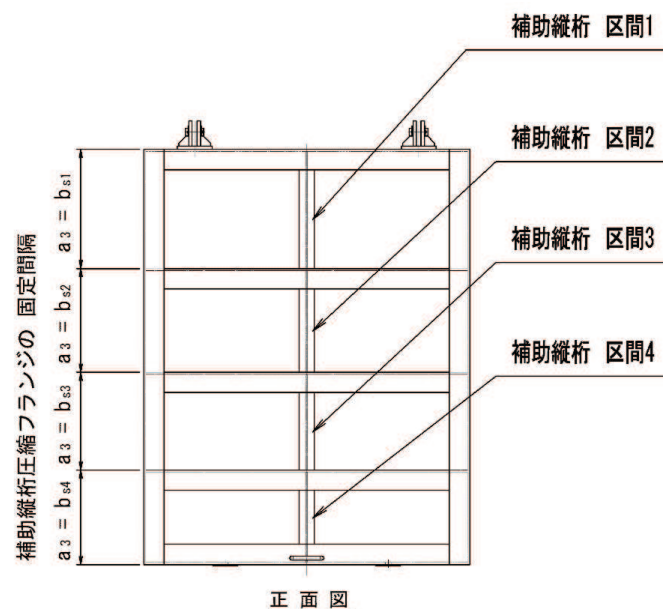


図 5.7-7 補助縦桁の固定間隔概要図

(2) 最大曲げモーメント・最大せん断力

発生応力を計算するにあたり，最大曲げモーメント及び最大せん断力を以下の式にて計算を行う。

$$M = p_3 \times a_3^3 \div 12$$

$$S = p_3 \times a_3^2 \div 4$$

ここで，

M_{Max} : 最大曲げモーメント (N・mm)

S_{Max} : 最大せん断力 (N)

a_3 : 主桁間隔 (補助縦桁の支持間隔) (mm)

各主桁間の補助縦桁の最大曲げモーメント及び最大せん断力の計算結果を表 5.7-15 に示す。

表 5.7-15 補助縦桁の断面力

	p_3 (N/mm ²)	a_3 (mm)	M_{Max} (N・mm)	S_{Max} (N)
区間 1	1.0853×10^{-1}	585	1.8106×10^6	9.2855×10^3
区間 2	1.1709×10^{-1}	510	1.2944×10^6	7.6140×10^3
区間 3	1.2470×10^{-1}	480	1.1493×10^6	7.1830×10^3
区間 4	1.3187×10^{-1}	465	1.1049×10^6	7.1284×10^3

以降，補助縦桁のうち最大曲げモーメント及び最大せん断力が生じる区間 1 に対して応力計算を行う。

(3) 断面係数及びウェブ断面積

発生応力を計算するにあたり，補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積を求める。図 5.7-9 に補助縦桁の断面形状を示す。

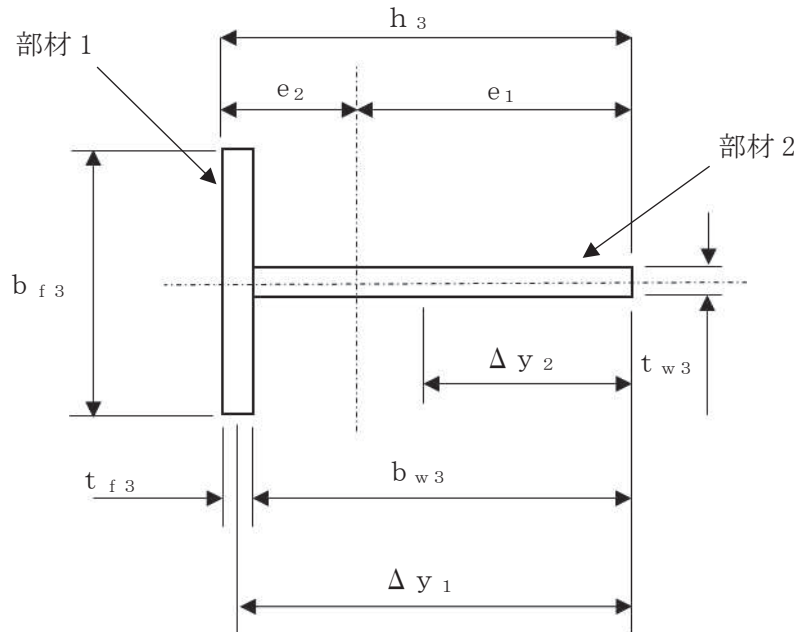


図 5.7-9 補助縦桁の断面形状

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-16 に示す。

表 5.7-16 補助縦桁の形状に関する諸元

記号	定義	数値	単位
t_{f3}	部材 1 (フランジ) の板厚	6	mm
b_{f3}	部材 1 (フランジ) の板幅	75	mm
Δy_1	部材端面 1 から部材 1 の図心までの距離	197	mm
t_{w3}	部材 2 (ウェブ) の板厚	6	mm
b_{w3}	部材 2 (ウェブ) の板幅	194	mm
Δy_2	部材端面 1 から部材 2 の図心までの距離	97	mm
h_3	補助縦桁の桁高さ	200	mm
e_1	中立軸から部材端面 1 までの距離	—	mm
e_2	中立軸から部材端面 2 までの距離	—	mm

補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積を以下の式にて計算を行う。

$$Z_3 = I \div e$$

$$A_{w3} = b_{w3} \times t_{w3}$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-17 に示す。

表 5.7-17 補助縦桁の断面係数及びウェブ断面積に関する記号の定義

記号	定義	数値	単位
Z_3	補助縦桁の断面係数	—	N/mm ²
A_{w3}	補助縦桁のウェブ断面積	—	N/mm ²
I	断面二次モーメント	—	N/mm ²
e	中立軸から部材端面までの距離	—	mm

非対称断面においては中立軸から部材端面までの距離 e が二通りあり、異なる断面係数が得られるため、保守的に小なるものを部材の断面係数として取り扱う。補助縦桁断面の端から中立軸までの距離 e_1 及び e_2 は以下の式により求める。

$$e_1 = \Sigma (A_i \cdot \Delta y_i) / \Sigma A_i$$

$$e_2 = h_3 - e_1$$

ここで、各記号の定義を表 5.7-18 に示す。

表 5.7-18 補助縦桁の中立軸の計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
ΣA_i	桁を構成する各部材の断面積の合計値	—	mm ²
$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i)$	部材端面 1 に対する各部材の断面一次モーメントの合計値	—	mm ³

それぞれ以下の式により計算を行う。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i) = t_{f3} \cdot b_{f3} \times \Delta y_1 + t_{w3} \cdot b_{w3} \times \Delta y_2$$

$$\Sigma A_i = t_{f3} \cdot b_{f3} + t_{w3} \cdot b_{w3}$$

部材の中立軸から断面までの距離を求める。

$$\Sigma (A_i \times \Delta y_i) = 6 \times 75 \times 197 + 6 \times 194 \times 97 = 201558 \text{ mm}^3$$

$$\Sigma A_i = 6 \times 75 + 6 \times 194 = 1614 \text{ mm}^2$$

$$e_1 = \Sigma (A_i \times \Delta y_i) / \Sigma A_i = 201558 \div 1614 = 124.8810409 \text{ mm}$$

$$e_2 = h_3 - e_1 = 200 - 124.8810409 = 75.1189591 \text{ mm}$$

平行軸の定理より，複数の部材で構成される断面の断面 2 次モーメントを以下の式によって求める。

$$I = \Sigma (A_i \times \Delta y_i^2) + \Sigma I_i - \Sigma A_i \times e_1^2$$

それぞれ以下の式により計算を行う。

$$\Sigma (A_i \times \Delta y_i^2) = t_{f3} \times b_{f3} \times \Delta y_1^2 + t_{w3} \times b_{w3} \times \Delta y_2^2$$

$$\Sigma I_i = t_{f3}^3 \times b_{f3} \div 12 + b_{w3}^3 \times t_{w3} \div 12$$

ここで，各記号の定義を表 5.7-19 に示す。

表 5.7-19 補助縦桁の断面二次モーメントの計算に用いる記号の定義

記号	定義	数値	単位
$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2)$	端面 1 まわりの断面 2 次モーメントと中立軸まわりの断面二次モーメントの差	—	mm ⁴
ΣI_i	各部材ごとの図心に対する断面 2 次モーメントの合計値	—	mm ⁴

補助縦桁の断面二次モーメントは以下の式より求める。

$$\Sigma (A_i \cdot \Delta y_i^2) = 6 \times 75 \times 197^2 + 6 \times 194 \times 97^2 = 28416126 \text{ mm}^4$$

$$\Sigma I_i = 6^3 \times 75 \div 12 + 194^3 \times 6 \div 12 = 3652042 \text{ mm}^4$$

$$I = 28416126 + 3652042 - 1614.00 \times 124.8810409^2 = 6897395.16 \text{ mm}^4$$

以上より，断面係数及びウェブ断面積は

$$I / e_1 = 6897395.16 \div 124.8810409 = 55231.72 \text{ mm}^3 = 55232 \text{ mm}^3$$

$$I / e_2 = 6897395.16 \div 75.1189591 = 91819.63 \text{ mm}^3 = 91820 \text{ mm}^3$$

$$I / e_1 < I / e_2 \text{ である。}$$

よって、

$$Z_3 = I / e_1 = 55232 \text{ mm}^3$$

$$A_{w3} = 194 \times 6 = 1164 \text{ mm}^2$$

(4) 発生応力

曲げ応力，せん断応力及び合成応力について，以下の式にて計算を行う。

$$\sigma = M_{\text{Max}} / Z_3$$

$$\tau = S_{\text{Max}} / A_{w3}$$

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

以上より、

$$\sigma = 1.8106 \times 10^6 \div 55232 = 32.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 9.2855 \times 10^3 \div 1164 = 8.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\kappa = \sqrt{32.782^2 + 3 \times 7.977^2} \div 125 = 0.29$$

5.7.4 戸当りコンクリート

戸当りコンクリートは、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。

戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5.7-10 に示す。

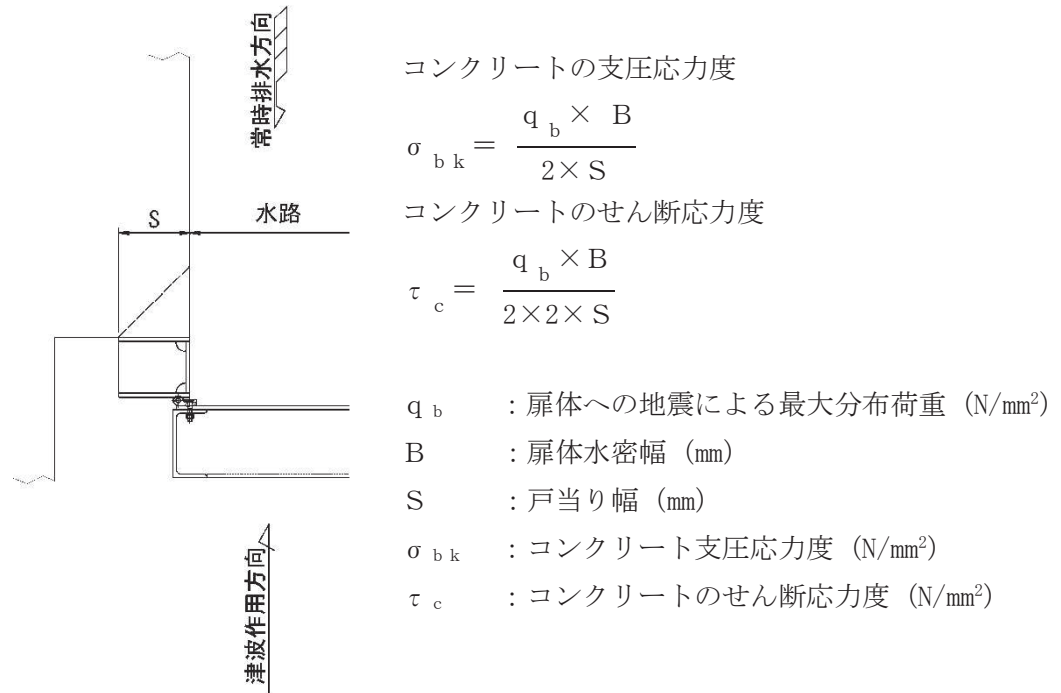


図 5.7-10 戸当りコンクリートのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

戸当りコンクリートに作用する荷重を以下の式にて計算を行う。

$$q_b = q_{s5}$$

ここで、

q_b : 扉体への津波及び余震による最大分布荷重 (N/mm²)

q_{s5} : 主桁 5 での津波及び余震による分布荷重 (N/mm²)

よって、

$$q_b = q_{s5} = 1.3537 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

(2) 発生応力

コンクリートの支圧応力度及びせん断応力度，戸当り腹板の圧縮応力度について以下の式にて計算を行う。

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

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

ここで，各記号の定義及び数値を表 5.7-20 に示す。

表 5.7-20 戸当りコンクリートの計算に用いた計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bk}	コンクリート支圧応力度	—	N/mm ²
τ_c	コンクリートのせん断応力度	—	N/mm ²
q_b	扉体への地震による最大分布荷重	1.3537×10^{-1}	N/mm ²
B	水密幅	1.57×10^3	mm
S	戸当り幅	210	mm

以上より，

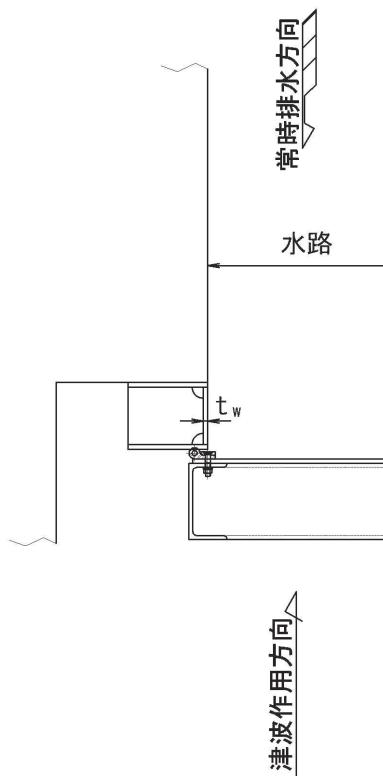
$$\sigma_{bk} = \frac{1.3537 \times 10^{-1} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 210} = 0.51 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_c = \frac{1.3537 \times 10^{-1} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 2 \times 210} = 0.26 \text{ N/mm}^2$$

5.7.5 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、扉体の下端からコンクリートに加わる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 5.7-11 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

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

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 5.7-11 戸当りのモデル図及び応力算定式

(1) 発生荷重

戸当りに作用する荷重を以下の式にて計算を行う。

$$q_b = q_{s5}$$

ここで、

q_b : 扉体への津波及び余震による最大分布荷重 (N/mm²)

q_{s5} : 主桁5での津波及び余震による分布荷重 (N/mm²)

よって、

$$q_b = q_{s5} = 1.3537 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$$

(2) 発生応力

戸当り腹板の圧縮応力度について以下の式にて計算を行う。

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

ここで、各記号の定義及び数値を表 5.7-21 に示す。

表 5.7-21 戸当り腹板の計算に用いた計算諸元

記号	定義	数値	単位
σ_{bw}	戸当り腹板の圧縮応力度	—	N/mm ²
q_b	扉体への地震による最大分布荷重	1.3537×10^{-1}	N/mm ²
B	水密幅	1.57×10^3	mm
t_w	戸当り腹板の板厚	12	mm

以上より、

$$\sigma_{bw} = \frac{1.3537 \times 10^{-1} \times 1.57 \times 10^3}{2 \times 12} = 8.9 \text{ N/mm}^2$$

なお、戸当り腹板に対しては、図 5.7-12 に示すような側部からの水圧が作用し、スキンプレート同様に補剛材により 4 辺を固定支持された平板としての応力が生じることが考えられるが、戸当り腹板はスキンプレートと同じ材質・板厚・強度であり、固定間距離がスキンプレートよりも狭く、照査値が小さくなることは明白であるため、評価を省略する。

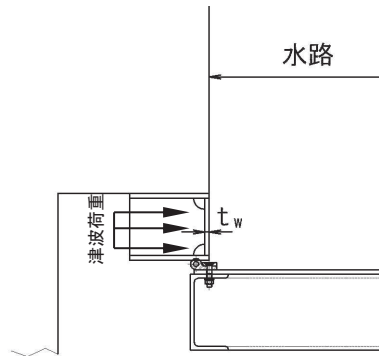


図 5.7-12 戸当り側部に作用する荷重の概念図

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、各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 強度評価結果 (補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2))

評価部位	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a / b)
スキンプレート	最大応力度 (N/mm ²)	108.8	132	0.83
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	82.4	125	0.66
	せん断応力度 (N/mm ²)	27.0	76	0.36
	合成応力度	0.76	1.1	0.70
補助縦桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	32.8	125	0.27
	せん断応力度 (N/mm ²)	8.0	76	0.11
	合成応力度	0.29	1.1	0.27
戸当り コンクリート	支圧応力度 (N/mm ²)	0.51	8.8	0.06
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.26	0.6	0.44
戸当り	圧縮応力度 (N/mm ²)	8.9	132	0.07

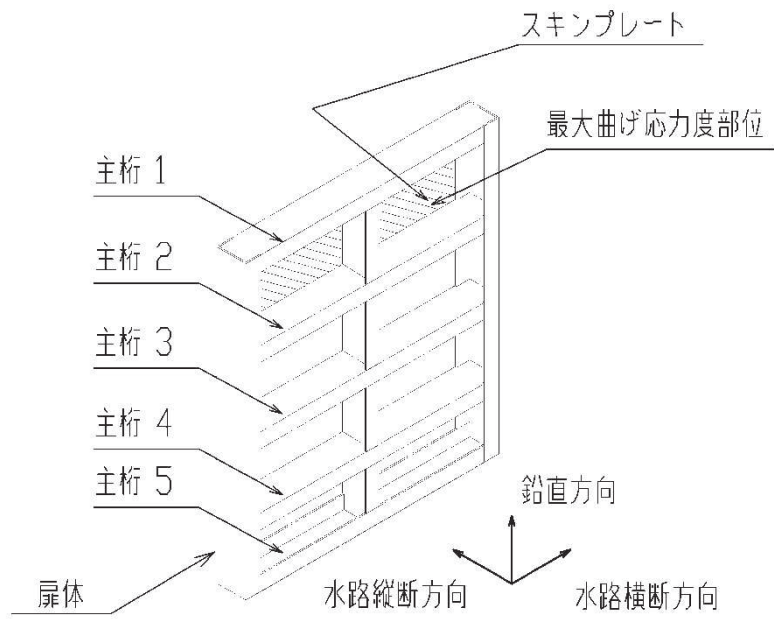


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

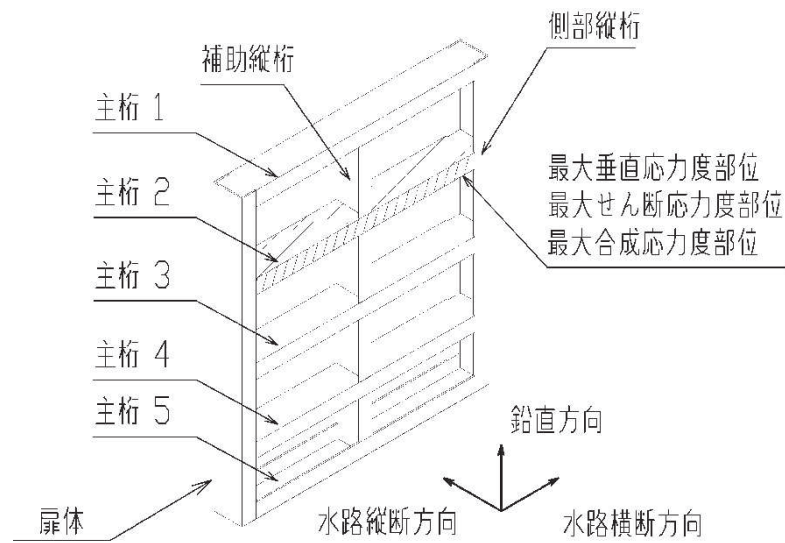


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

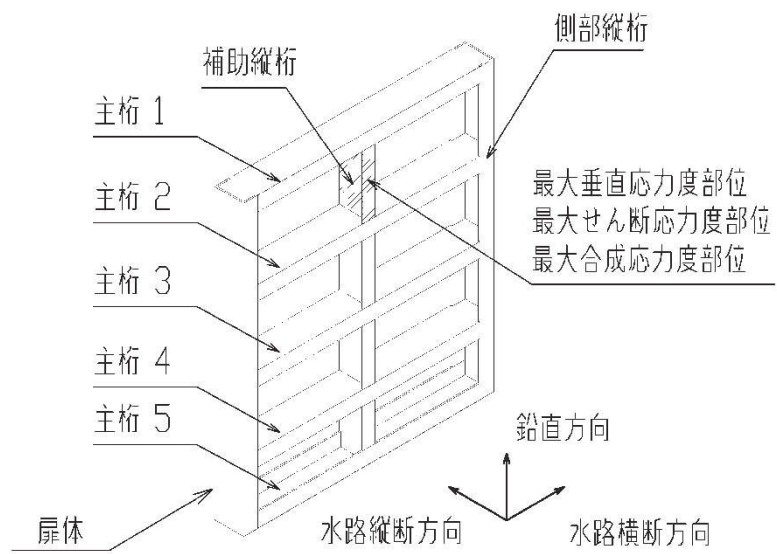


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置