

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0088_改0
提出年月日	2021年4月21日

VI-3-別添 3-2-5 逆流防止設備の強度計算書

2021年4月

東北電力株式会社

## 目 次

- VI-3-別添 3-2-5-1 屋外排水路逆流防止設備の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-5-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の強度計算書

VI-3-別添 3-2-5-1 屋外排水路逆流防止設備の強度計算書

## 目 次

VI-3-別添 3-2-5-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-5-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-5-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の  
強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価部位	9
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.2	固有周期の計算条件	10
4.3	固有周期の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.2.1	荷重の設定	12
5.2.2	荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	13
5.4	設計用地震力	14
5.5	計算方法	15
5.6	計算条件	21
6.	評価結果	22
7.	出口側集水ピットの強度評価	23
7.1	出口側集水ピットの構造概要	23
7.2	評価方針	26
7.3	適用基準	28
8.	強度評価方法	29
8.1	記号の定義	29
8.2	荷重算出断面	30
8.3	荷重及び荷重の組合せ	31
8.3.1	荷重	31
8.3.2	荷重の組合せ	31
8.4	許容限界	32
8.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	32
8.4.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	33
8.5	評価方法	34

8.5.1	二次元動的解析	34
8.5.2	三次元構造解析	48
8.5.3	評価方法	63
9.	評価条件	64
10.	評価結果	65
10.1	構造部材の健全性に対する評価結果	65
10.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	68

## 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（防潮堤南側）(No. 1)，(No. 2)，(No. 3)（以下「屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）」という。）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震，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（防潮堤南側）が設置される出口側集水ピットは耐震重要度分類Sクラスの間接支持構造物としての機能が要求されることから，津波荷重，余震，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及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価においては，平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い，牡鹿半島全体で約 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（防潮堤南側）の設置位置を図 2-1 に示す。

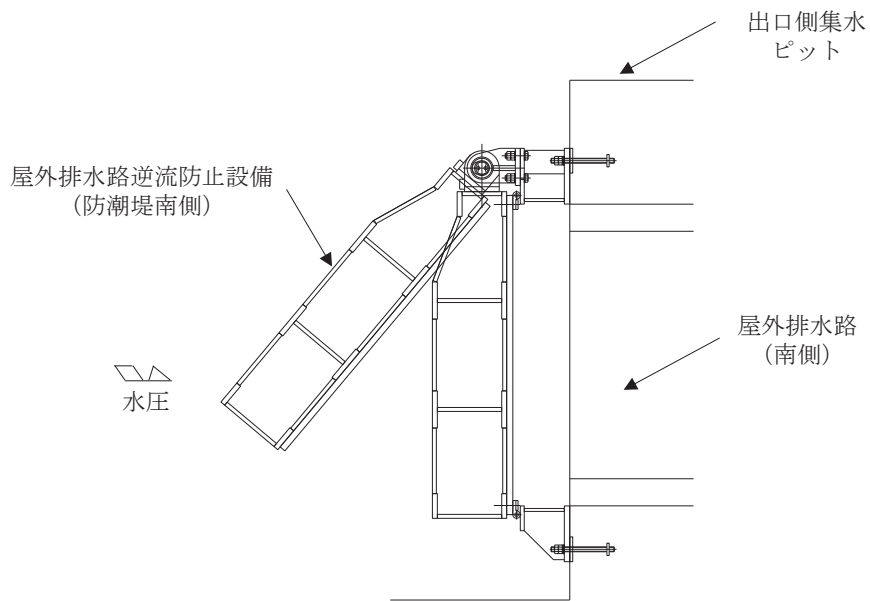
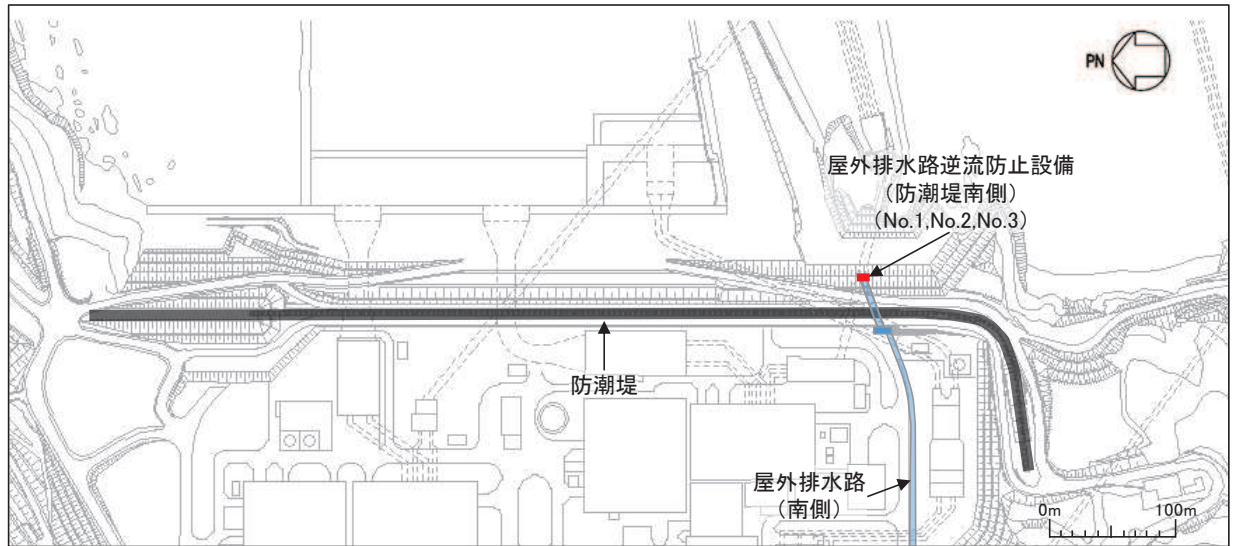


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設置位置

## 2.2 構造計画

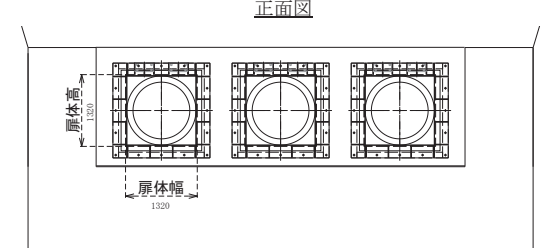
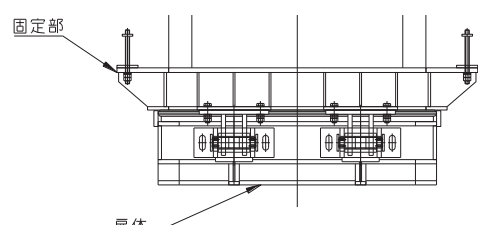
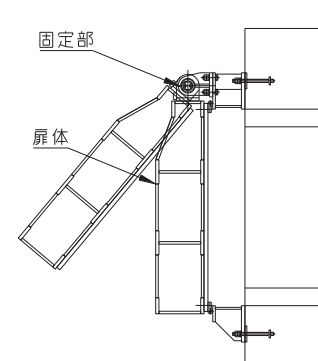
防潮堤の南側に位置する3本の屋外排水路に対してそれぞれ屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を設置する。各屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、鋼製の扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、ヒンジ（吊りピン含む）及びヒンジ取付けボルト）、固定部（ヒンジ、ヒンジ取付けボルト、戸当り及びアンカーボルト）で構成される。

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

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

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の構造概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））

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

### 2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価は、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（防潮堤南側）の評価部位に作用す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（防潮堤南側）の強度評価フローを図 2-2 に示す。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価においては、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。ただし、「重畳時」の遡上津波荷重は「津波時」の遡上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。

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屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）設置箇所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。

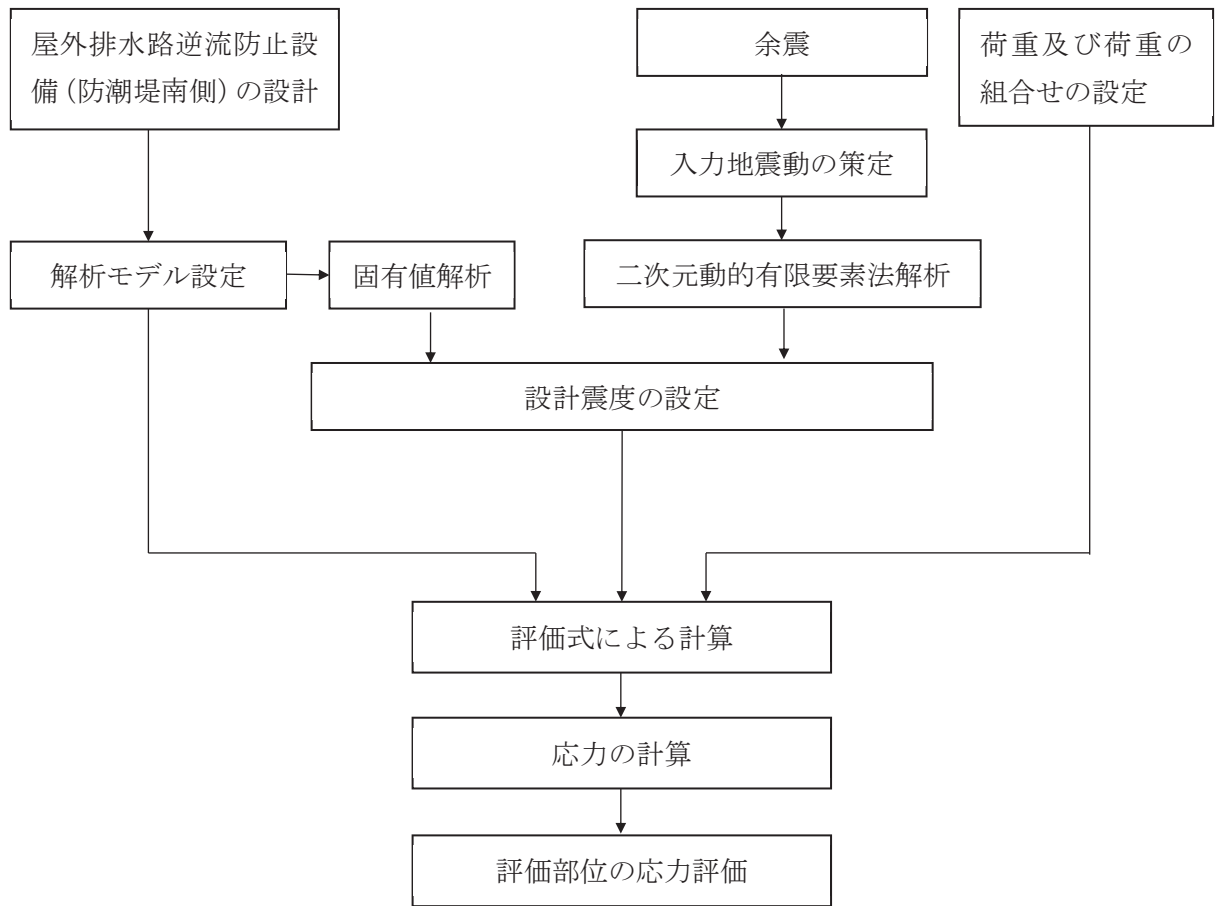


図 2-2 強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補一  
1984 (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) 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
- (4) ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・設備計画マニュアル編)(ダム・堰施設技術  
協会 平成 28 年 3 月)
- (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)

## 2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に用いる記号

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

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

記号	定義	単位
G	固定荷重（扉体の自重）	N
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重	N/mm <sup>2</sup>
K <sub>HSd</sub>	余震による水平方向の設計震度	—
K <sub>VSd</sub>	余震による鉛直方向の設計震度	—
P <sub>d</sub>	余震による動水圧	N/mm <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	扉体面積	mm <sup>2</sup>
W <sub>o</sub>	水の単位体積重量	N/mm <sup>3</sup>
k	スキンプレートの辺長比 (b <sub>1</sub> /a <sub>1</sub> ) による係数	—
a <sub>1</sub>	スキンプレートの短辺	mm
b <sub>1</sub>	スキンプレートの長辺	mm
P <sub>1</sub>	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm <sup>2</sup>
t <sub>1</sub>	スキンプレートの板厚	mm
W	各主桁に作用する等分布荷重	N/mm
L <sub>2</sub>	主桁支間長	mm
Z <sub>2</sub>	各主桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
A <sub>w2</sub>	各主桁のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	N/mm <sup>2</sup>
ℓ	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z <sub>3</sub>	補助縦桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
A <sub>w3</sub>	補助縦桁のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>

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

記号	定義	単位
$P_5$	戸当りへ作用する荷重	$N/mm^2$
$L_s$	扉体幅	mm
$L_c$	戸当り支圧部の板厚	mm
$q$	下部作用圧力	$N/mm^2$
$L_x$	戸当り横幅	mm
$L_y$	戸当り縦幅	mm
$l_x$	支圧板中心横幅	mm
$l_y$	支圧板中心縦幅	mm
$b_{wx}$	支圧横幅	mm
$b_{wy}$	支圧縦幅	mm
$S$	戸当り幅	mm
$H$	入力津波高	m
$h$	設計用浸水深	m

### 3. 評価部位

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

津波による荷重の作用時には屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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、重畳時において屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）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（防潮堤南側）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-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」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（防潮堤南側）の横断方向及び鉛直方向の評価については添付書類「VI-2-10-2-6-1-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書」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、スキンプレート、主桁、補助縦桁、戸当りを選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位を図 3-1 に示す。

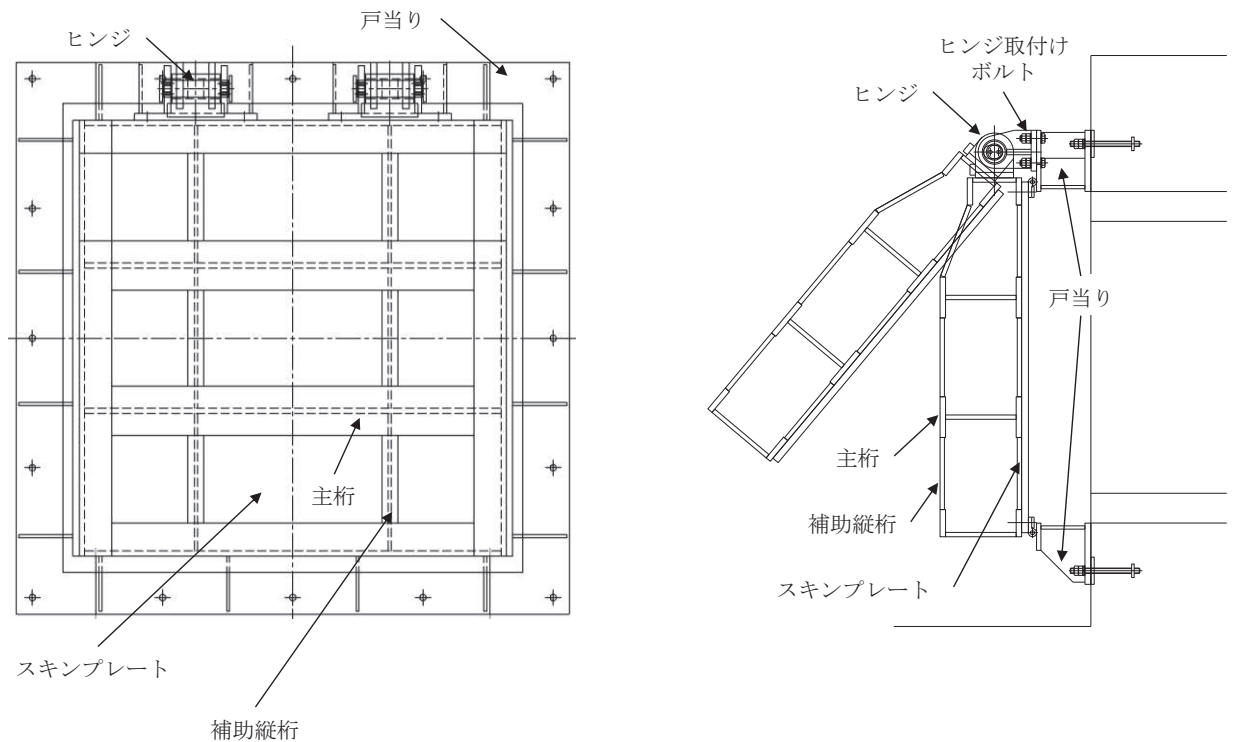


図 3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の評価部位



#### 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（防潮堤南側）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（防潮堤南側）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（防潮堤南側）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（防潮堤南側）の主桁を単純梁としてモデル化する。

##### (2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

「構造力学公式集（土木学会，1988年）」より，単純梁の一次固有振動数  $f$  及び固有周期  $T$  は次のとおり与えられる。

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

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

##### 4.2 固有周期の計算条件

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

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

#### 4.3 固有周期の計算結果

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の扉体の固有周期の計算結果を表 4-2 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 4-2 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
245	0.0041

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度評価は、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（防潮堤南側）の強度評価において考慮する荷重を以下に示す。その構造及び設置位置から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。

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

##### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

##### (2) 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。

##### (3) 余震荷重 ( $K_{sd}$ )

余震荷重として、弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による地震力及び動水圧を考慮する。

#### 5.2.2 荷重の組合せ

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

表 5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
重畳時	$G + P_t + K_{sd}$

G : 固定荷重

$P_t$  : 遡上津波荷重

$K_{sd}$  : 余震荷重

### 5.3 許容限界

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の各部材の許容値は、評価対象部位毎に、「水門鉄管技術基準 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（防潮堤南側）の許容限界を表 5-2 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 5-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )				短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) *2			
		曲げ $\sigma_{ab}$ *1	引張 $\sigma_{at}$ *1	せん断 $\tau_a$ *1	支圧 $\sigma_{as}$ *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	—	151*3	154	88	—
	2,3桁					154			
	4桁					151*3			
補助縦桁	SUS304	103	103	59	—	144*3	154	88	—
戸当り	SUS304	—	—	—	154	—	—	—	231
戸当り部コンクリート	コンクリート	—	—	1.0	9.0	—	—	1.5	13.5

注記 \*1 :  $\sigma_{ab}$  : 許容曲げ応力度,  $\sigma_{at}$  : 許容引張応力度,  $\tau_a$  : 許容せん断応力度,  $\sigma_{as}$  : 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 : 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（防潮堤南側）は剛構造として考慮し，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の設計震度は，「8.5.1(1) 二次元動的解析」の結果に基づき，表5-3に示すとおりとする。

表 5-3 設計用地震力

設備名称	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	
				水平方向 K <sub>H</sub>	鉛直方向 K <sub>V</sub>
屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤南側)	S d - D 2 (- +)	②	出口側集水ピット O. P. +8.38 m (屋外排水路底面高さ)	0.4	0.4
	S d - D 2 (+ +)	②		0.4	0.4

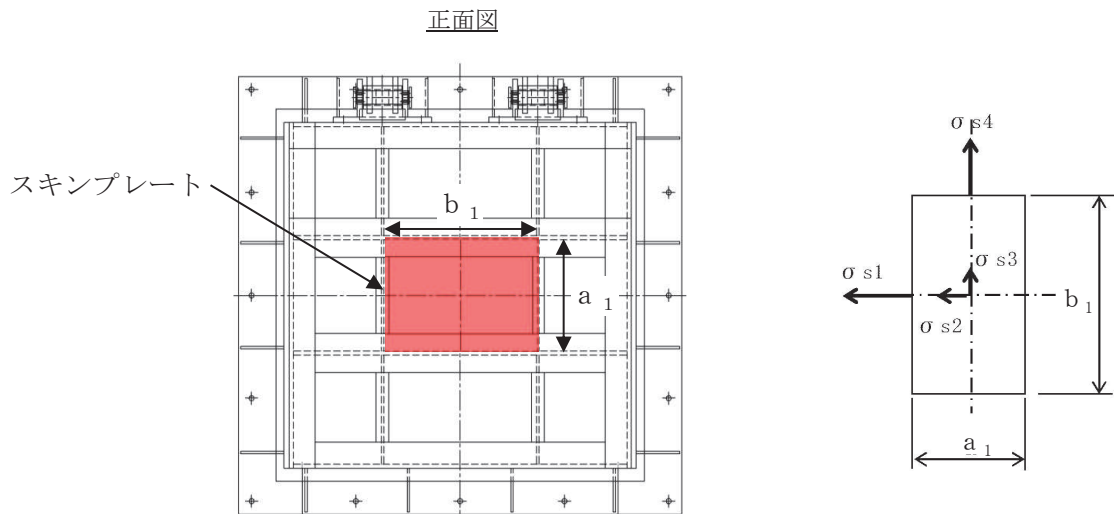
## 5.5 計算方法

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、「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，発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートのモデル図及び応力算定式を図 5-1 に示す。



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

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : 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/mm<sup>2</sup>)

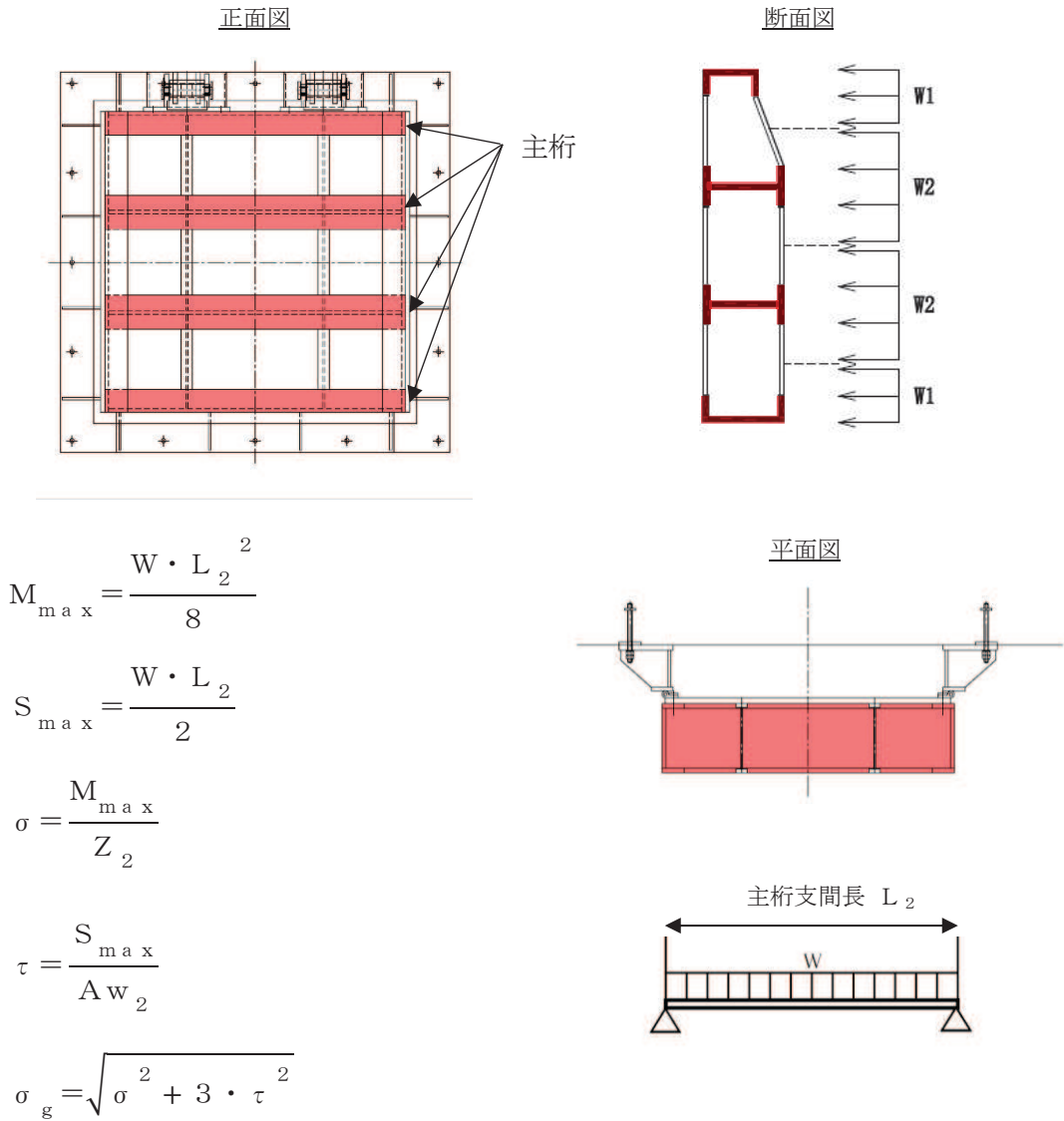
$t_1$  : スキンプレートの板厚 (mm)

図 5-1 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

(2) 主桁

主桁は、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。

主桁のモデル図及び応力算定式を図 5-2 に示す。



- W : 各主桁に作用する荷重 (N/mm)
- L<sub>2</sub> : 主桁支間長 (mm)
- Z<sub>2</sub> : 各主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- A w<sub>2</sub> : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)
- M<sub>max</sub> : 最大曲げモーメント (N・mm)
- S<sub>max</sub> : 最大せん断力 (N)

- σ : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- σ<sub>g</sub> : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-2 主桁のモデル図及び応力算定式

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、「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。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 5-3 及び図 5-4 に示す。

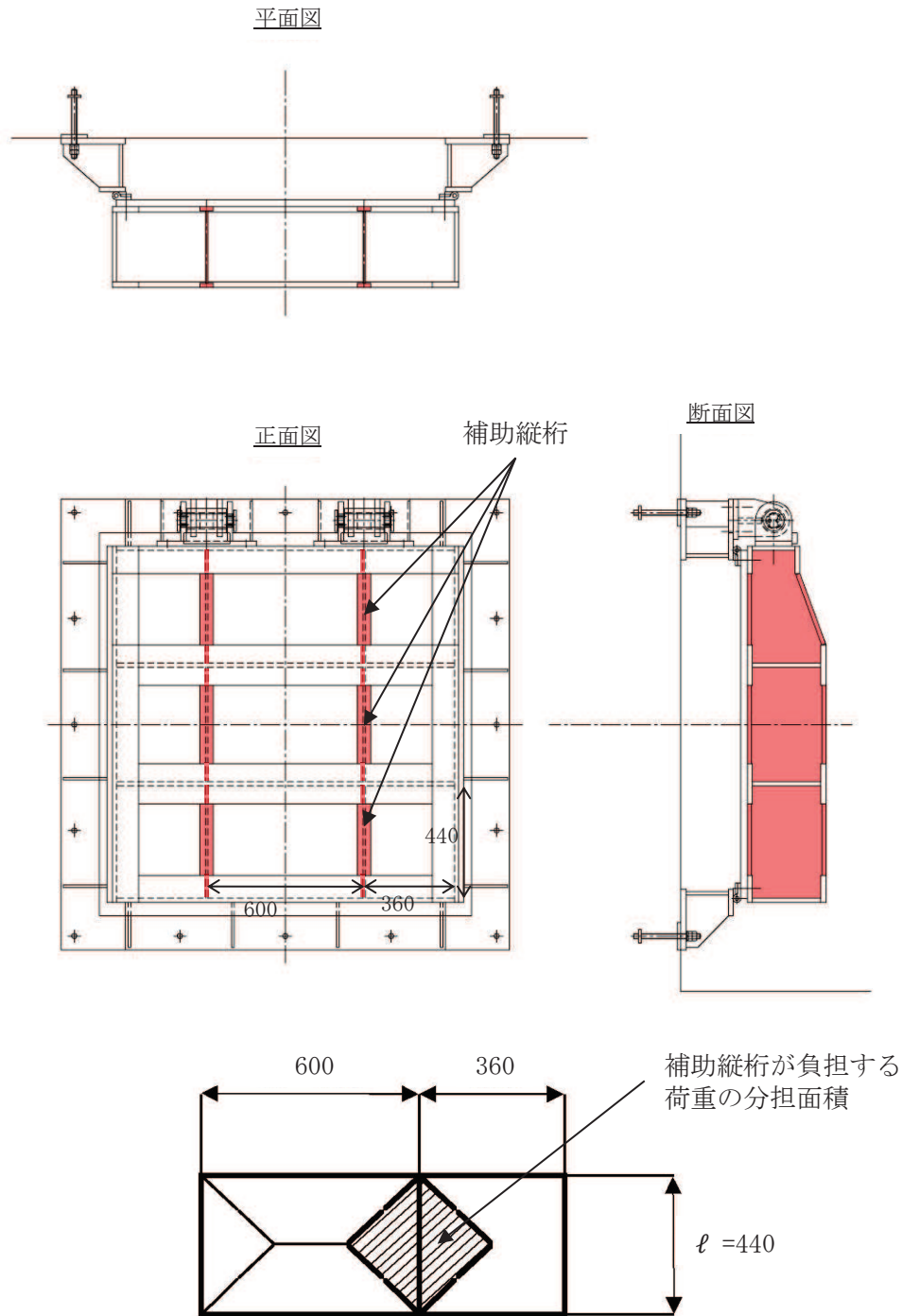


図 5-3 補助縦桁の構造図及びモデル図（単位：mm）



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

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

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

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

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

$p$  : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell$  : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

$Z_3$  : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_{w3}$  : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{\max}$  : 最大せん断力 (N)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

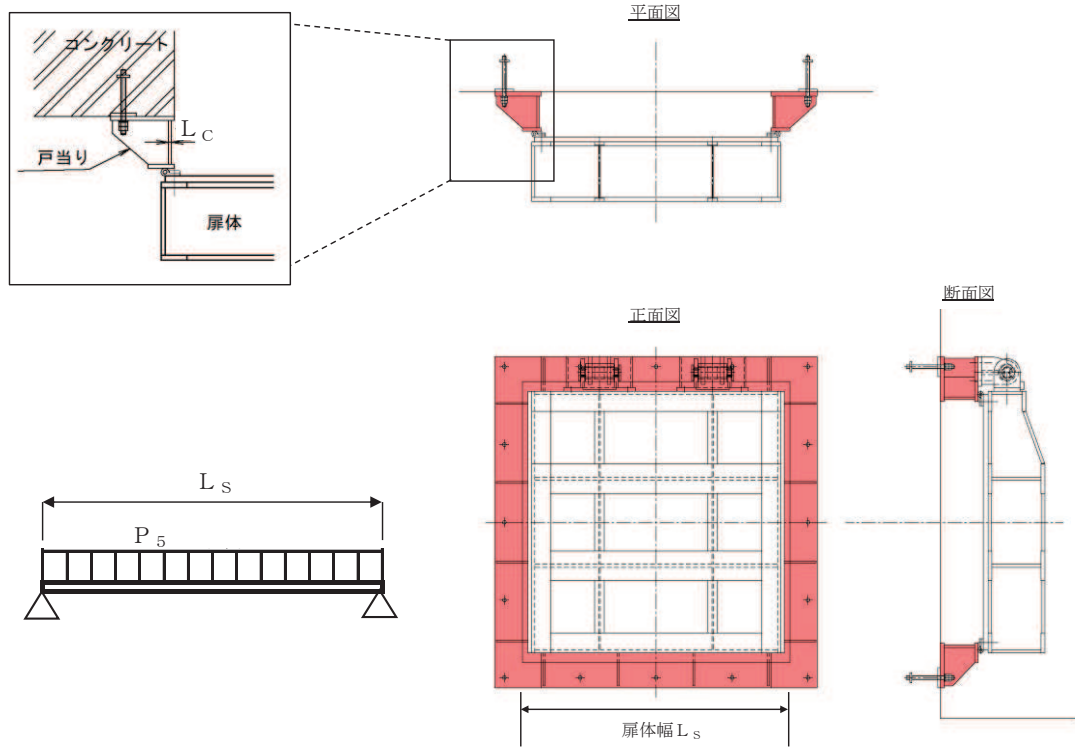
$\sigma_g$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-4 補助縦桁の応力算定式

(4) 戸当り

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

戸当りのモデル図及び応力算定式を図 5-5 に示す。



$$\sigma = \frac{P_5 \cdot L_s}{2 \cdot L_c}$$

$P_5$  : 戸当りへ作用する荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$L_s$  : 扉体幅 (mm)

$L_c$  : 戸当り支圧部の板厚 (mm)

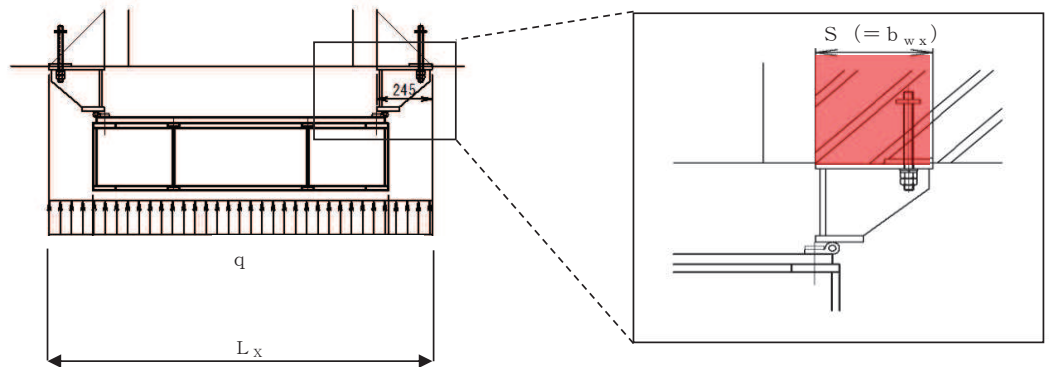
$\sigma$  : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-5 戸当りのモデル図及び応力算定式

(5) 戸当り部コンクリート

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

戸当り部コンクリートの構造図、モデル図及び応力算定式を図 5-6 に示す。



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

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

- q : 水平荷重 (N/mm<sup>2</sup>)
- L<sub>x</sub> : 戸当り横幅 (mm)
- L<sub>y</sub> : 戸当り縦幅 (mm)
- ℓ<sub>x</sub> : 支圧板中心横幅 (mm)
- ℓ<sub>y</sub> : 支圧板中心縦幅 (mm)
- S : 戸当り幅 (mm)
- b<sub>wx</sub> : 支圧横幅 (mm) (= S)
- b<sub>wy</sub> : 支圧縦幅 (mm)
- σ<sub>bk</sub> : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

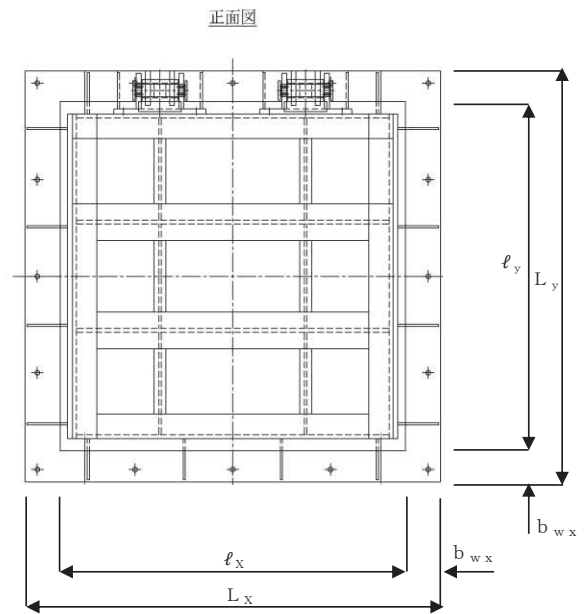


図 5-6 戸当り部コンクリートの構造図、モデル図及び応力算定式

## 5.6 計算条件

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

表 5-4 応力評価に用いる計算条件

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 <sup>2</sup> )	水の単位体積重量 $W_0$ (N/mm <sup>3</sup> )	入力津波高 $H$ (m)	設計用 浸水深 $h$ (m)
$1.4709975 \times 10^4$	$1.7424 \times 10^6$	$1.01 \times 10^{-5}$	24.4	11.95

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 <sup>2</sup> )
1~2桁	41.96	440	600	25	0.31
2~3桁	41.96	440	600	25	0.31
3~4桁	41.96	440	600	25	0.31

区画	主桁へ作用する 等分布荷重 $W$ (N/mm)	主桁支間長 $L_2$ (mm)	主桁の 断面係数 $Z_2$ (mm <sup>3</sup> )	主桁の せん断抵抗断面積 $Aw_2$ (mm <sup>2</sup> )
1桁	68.2	1320	$3.799467 \times 10^5$	$2.56 \times 10^3$
2, 3桁	136.4	1320	$9.415644 \times 10^5$	$4.16 \times 10^3$
4桁	68.2	1320	$6.797867 \times 10^5$	$4.16 \times 10^3$

補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 $p$ (N/mm <sup>2</sup> )	補助縦桁の 主桁間隔 $\ell$ (mm)	補助縦桁の断面係数 $Z_3$ (mm <sup>3</sup> )	補助縦桁の せん断抵抗断面積 $Aw_3$ (mm <sup>2</sup> )
0.31	440	$1.713276 \times 10^5$	$1.512 \times 10^3$

戸当りへ作用する 荷重 $P_5$ (N/mm <sup>2</sup> )	扉体幅 $L_s$ (mm)	戸当り支圧部の 板厚 $L_c$ (mm)	戸当り幅 $S$ (mm)	支圧幅 $b_{wx}$ (mm)	支圧幅 $b_{wy}$ (mm)
0.31	1320	12	245	245	225

水平荷重 $q$ (N/mm <sup>2</sup> )	戸当り横幅 $L_x$ (mm)	戸当り縦幅 $L_y$ (mm)	支圧板中心横幅 $\ell_x$ (mm)	支圧板中心縦幅 $\ell_y$ (mm)
0.31	1710	1670	1465	1445

6. 評価結果

重畳時における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 強度評価結果（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側））

評価部位		評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)		
扉体	スキンプレート		曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	40.30	154	0.27	
	主桁	1桁	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	39.10	151	0.26	
		2,3桁		31.56	154	0.21	
		4桁		21.86	151	0.15	
		1桁	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	17.59	88	0.20	
		2,3桁		21.65	88	0.25	
		4桁		10.83	88	0.13	
		1桁	合成応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) *	49.57	154	0.33	
		2,3桁		49.02	154	0.32	
	4桁	28.81		154	0.19		
	補助縦桁			曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	12.85	144	0.09
				せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	9.93	88	0.12
				合成応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) *	21.47	154	0.14
固定部	戸当り		支圧応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	17.05	231	0.08	
	戸当り部コンクリート		支圧応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.65	13.5	0.05	
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.33	1.5	0.22	

注記 \* : 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。

## 7. 出口側集水ピットの強度評価

### 7.1 出口側集水ピットの構造概要

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

出口側集水ピットに要求される機能維持の確認として、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

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

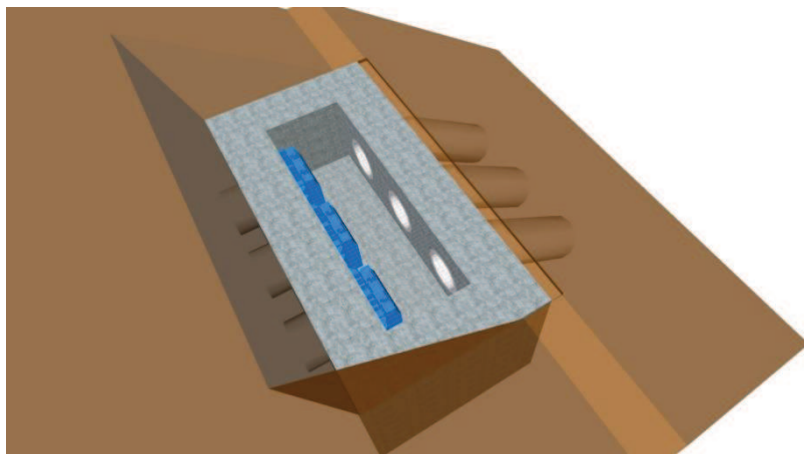
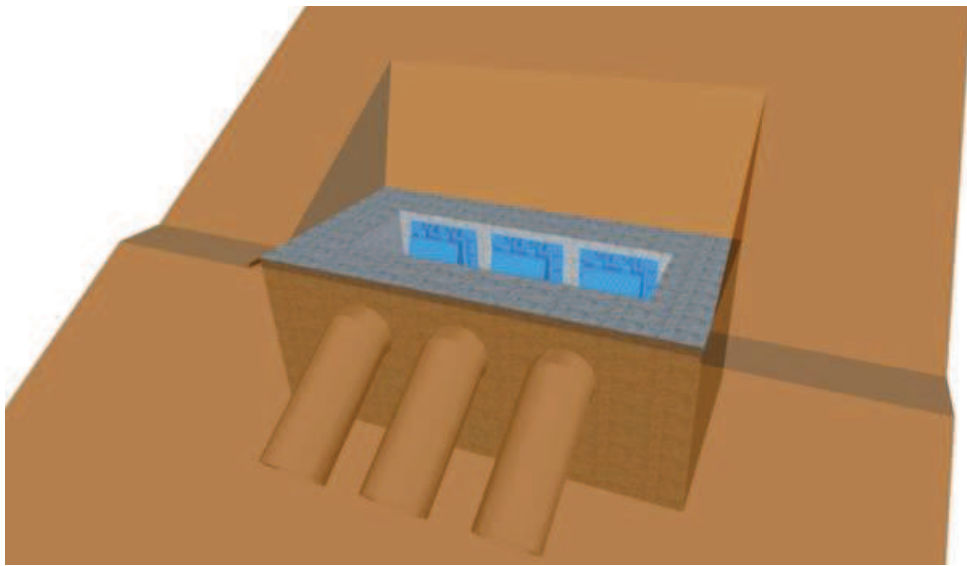


図7-1 出口側集水ピットの概念図

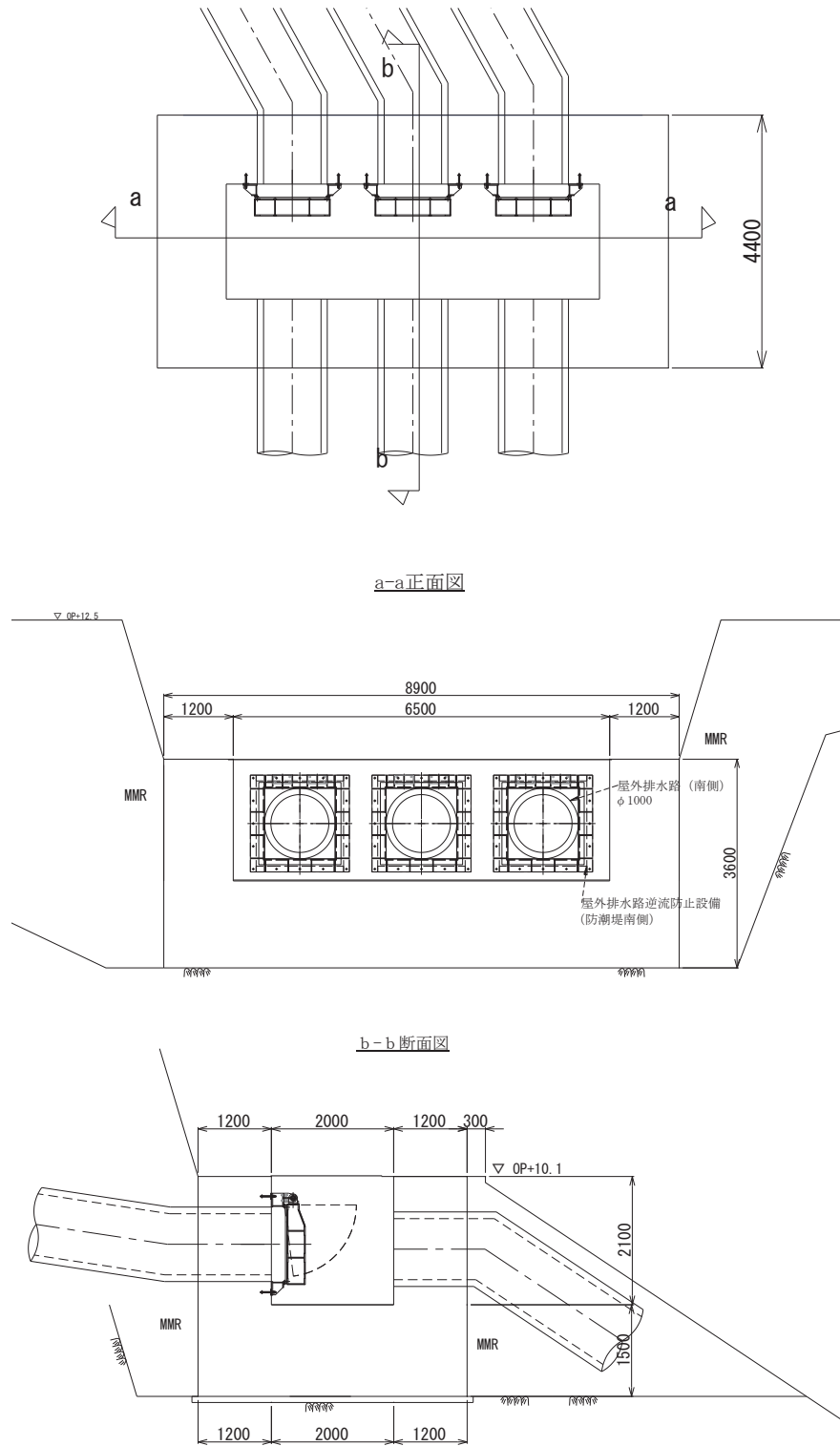
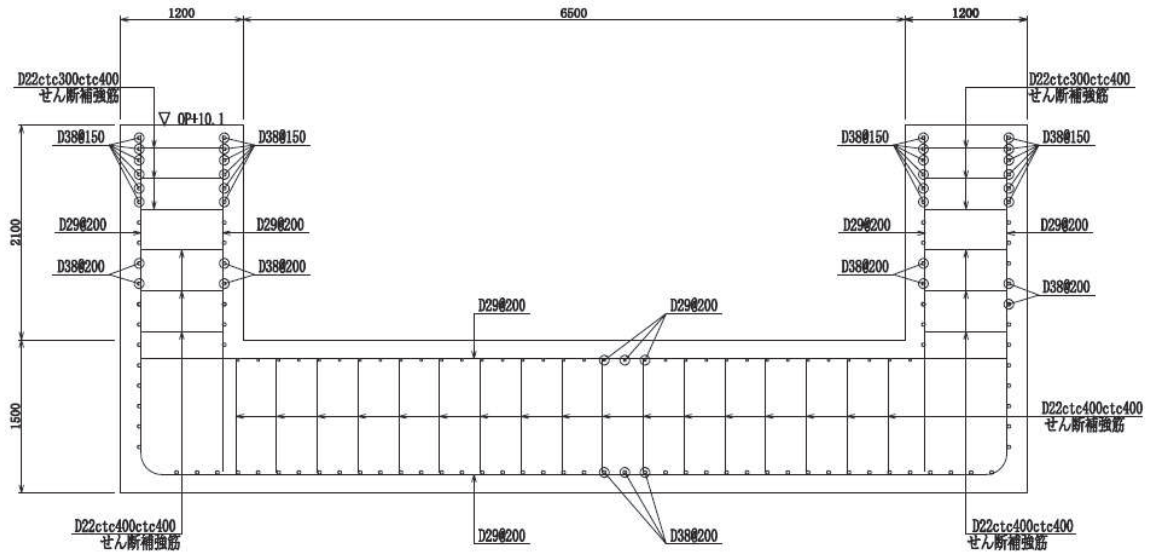


图 7-2 出口側集水ピット構造図 (单位 : mm)

a-a 断面



b-b 断面

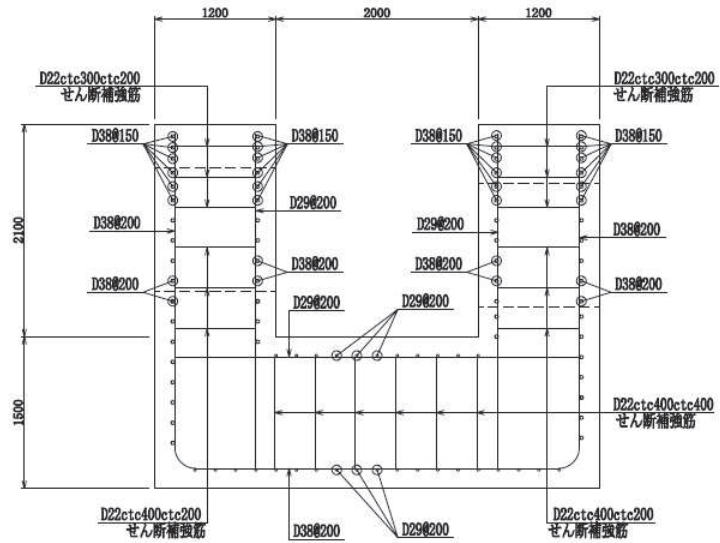


図 7-3 出口側集水ピットの配筋概要図 (単位: mm)



## 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 7-1 の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことを確認する。

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。ただし、「重畳時」の遡上津波荷重は「津波時」の遡上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。

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。

出口側集水ピットの支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧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  $S_d - D2$  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 7-4 に示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				曲げ・軸力	せん断力
構造強度を有すること及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	短期許容応力度	短期許容せん断力
				せん断力	
	構造部材の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	極限支持力*	

注記 \*：妥当な安全余裕を考慮する。

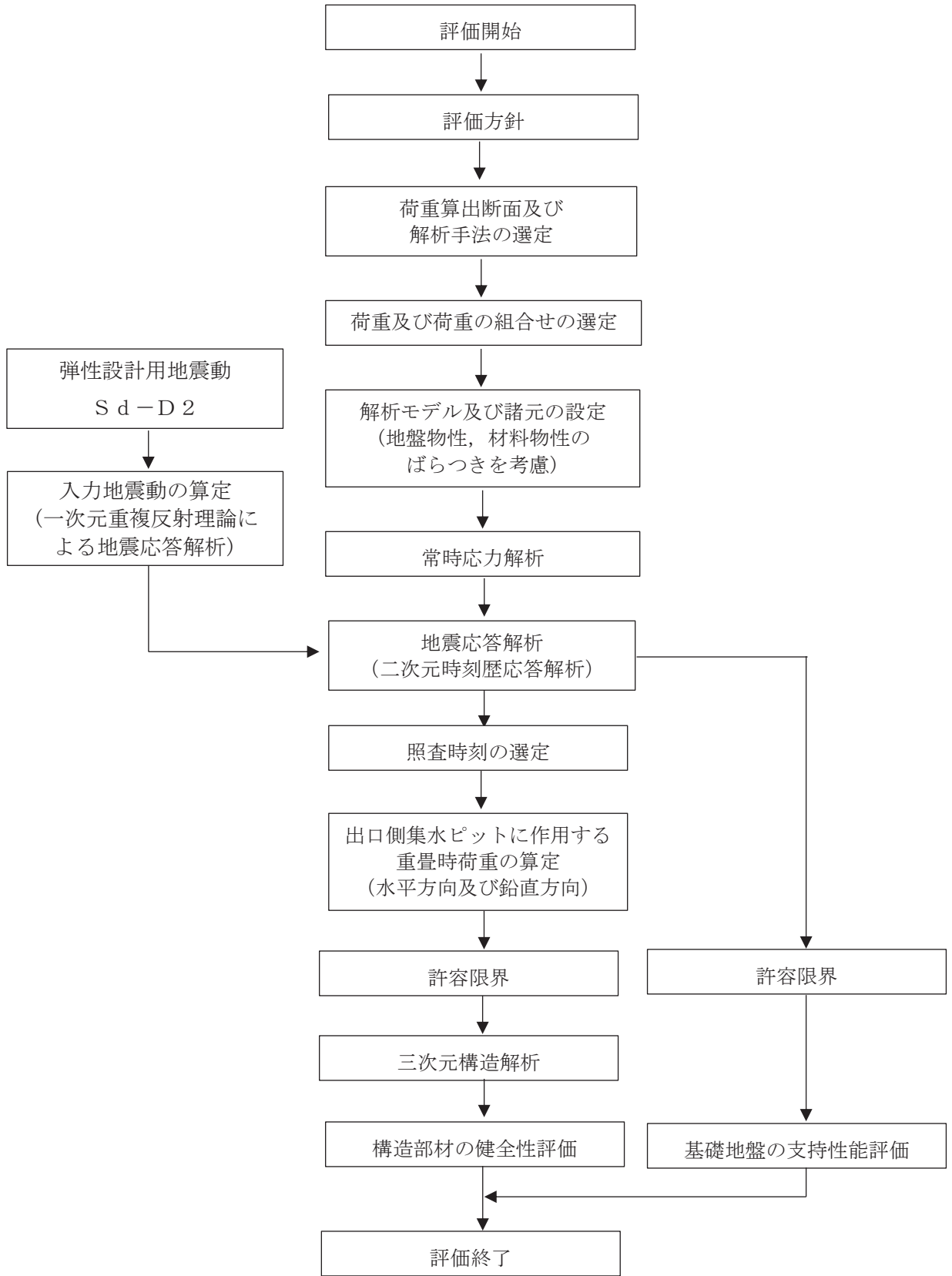


図 7-4 出口側集水ピットの強度評価フロー

### 7.3 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- (2) 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）（以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。）
- (3) 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）
- (4) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- (5) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- (6) 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）
- (7) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005年6月）

## 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 に示す。

表 8-1 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
$P_t$	$\text{kN/m}^2$	遡上津波荷重
$K_{Sd}$	$\text{kN/m}^2$	余震荷重
$\sigma_{ca}$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
$\tau_{a1}$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの短期許容せん断応力度
$V_a$	kN	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力
D	m	有効高さ
$A_w$	$\text{cm}^2$	斜め引張鉄筋断面積
$\sigma_{sa}$	$\text{N/mm}^2$	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
s	m	斜め引張鉄筋間隔
$M_x, M_y$	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	曲げモーメント
$Q_x, Q_y$	$\text{kN/m}$	面外せん断力
$N_x, N_y$	$\text{kN/m}$	軸方向力
$N_{xy}$	$\text{kN/m}$	面内せん断力
$M_{xy}$	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	ねじりモーメント
$R_d$	$\text{N/mm}^2$	最大接地圧
$R_u$	$\text{N/mm}^2$	極限支持力

## 8.2 荷重算出断面

出口側集水ピットの荷重算出断面位置を図 8-1 に示す。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荷重算出断面図を図 8-2 に示す。

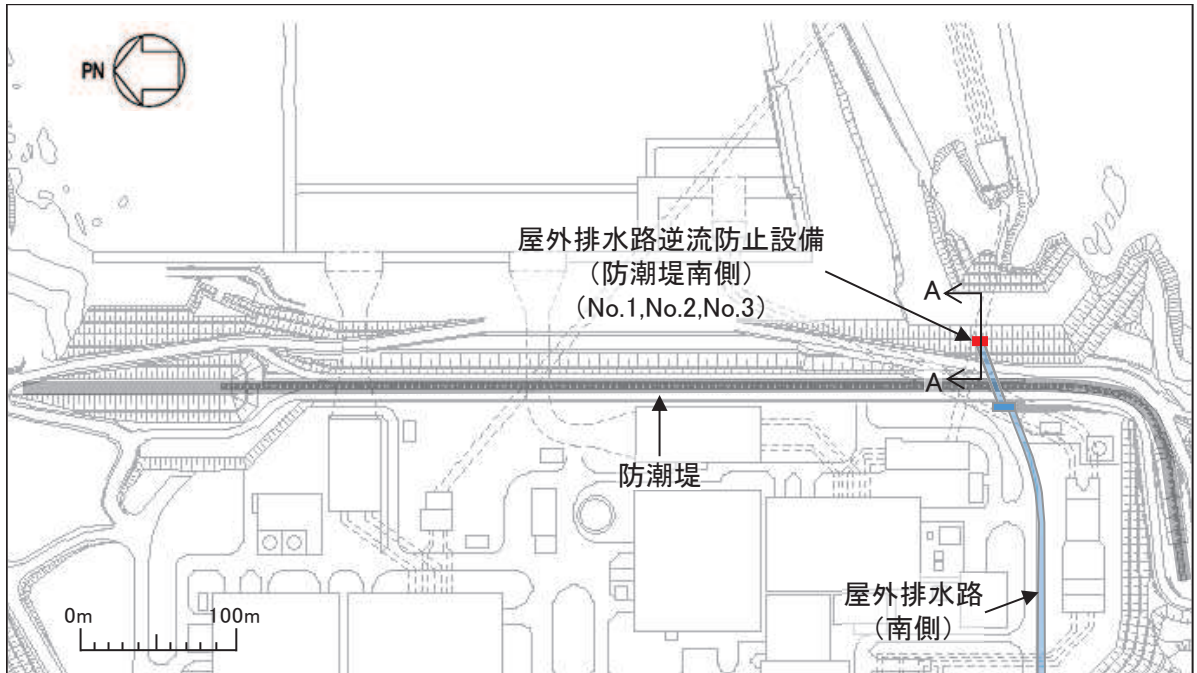


図 8-1 出口側集水ピットの荷重算出断面位置図

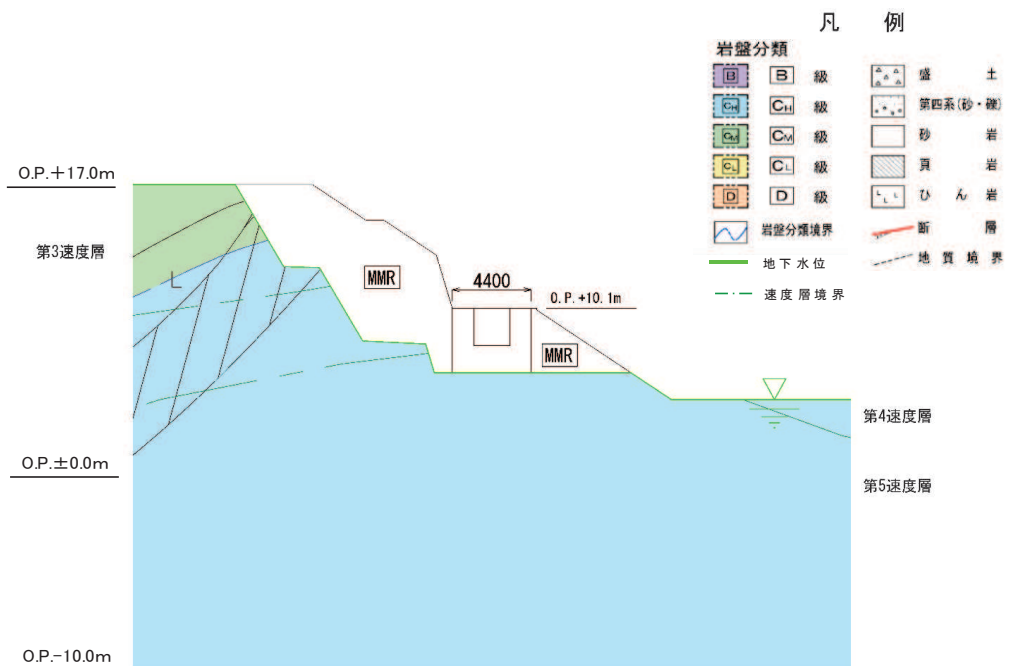


図 8-2 出口側集水ピットの荷重算出断面図 (A-A 断面)

### 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（防潮堤南側）の荷重を考慮する。

(3) 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。

(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。

#### 8.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 8-2 に示す。

表 8-2 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
重畳時	$G + P + P_t + K_{Sd}$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

$P_t$  : 遡上津波荷重

$K_{Sd}$  : 余震荷重

## 8.4 許容限界

### 8.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

#### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 8-3 及び表 8-4 に示す。

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

表 8-3 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
f' ck=30.0(N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{ca}$	11.0	16.5
	許容せん断応力度 $\tau_{al}$	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 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	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（防潮堤南側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 8-3 及び表 8-4 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。

#### 8.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表 8-5 に示す。

表 8-5 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	狐崎部層	13.7



## 8.5 評価方法

### 8.5.1 二次元動的解析

#### (1) 評価対象断面

評価対象断面については、「8.2 荷重算出断面」に示す断面とする。

#### (2) 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「8.3 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。

解析コードは、二次元動的有限要素法解析に「TDAPⅢ Ver3.11」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. 構造部材

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

#### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

図8-2に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として $C_{H1}$ 級岩盤及び $C_{M1}$ 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に出口側集水ピットの応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表8-6に示す。

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

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

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

表 8-6 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 <sub>1</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$
ケース③	設計基準強度	平均値	平均値 - 1 $\sigma$
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。

c. 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した係数  $\alpha$ ,  $\beta$  を表 8-7 に示す。

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

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

$\alpha$ ,  $\beta$  : 係数

表 8-7 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$ ,  $\beta$  の設定結果

地震時荷重算出断面	$\alpha$	$\beta$
A-A断面	1.743	$3.873 \times 10^{-4}$

d. 解析ケースの選定

重畳時においては、弾性設計用地震動 S d-D 2 に対して、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 8-6 に示す解析ケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 8-8 に示す。

また、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。

表 8-8 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、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び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。 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) に対する応答加速度抽出において、材料物性のばらつきを考慮した解析ケース④を実施する。	
		-+*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。

(3) 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  $S_d - D 2$  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」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 8-3 に入力地震動算定の概念図を、図 8-4 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「microSHAKE ver. 2.3.3」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

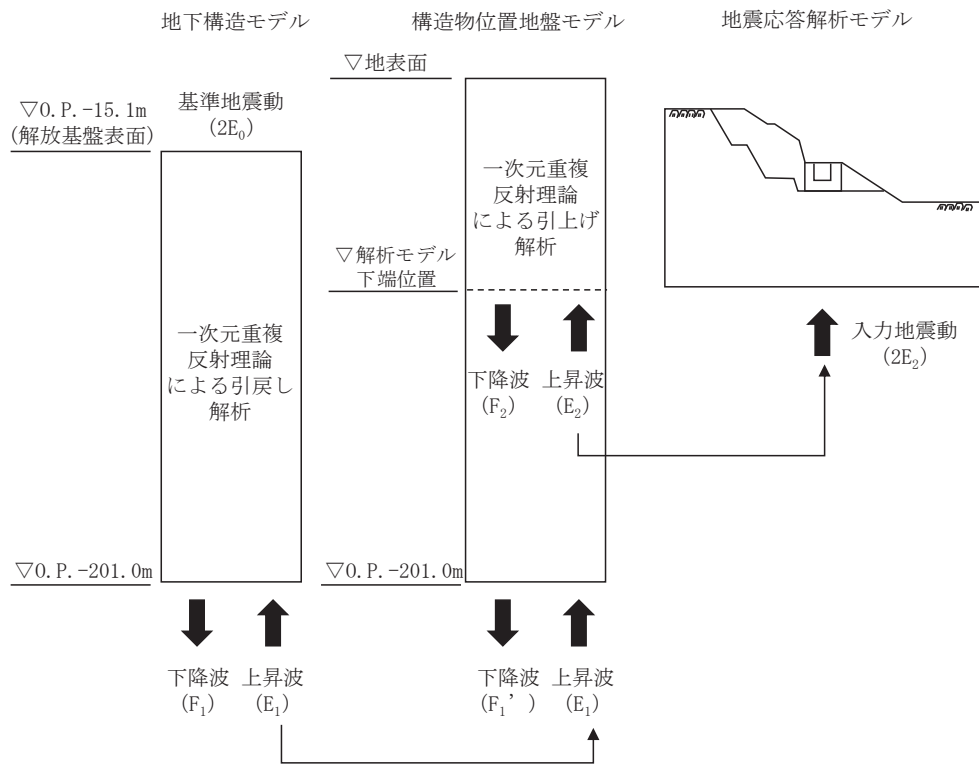
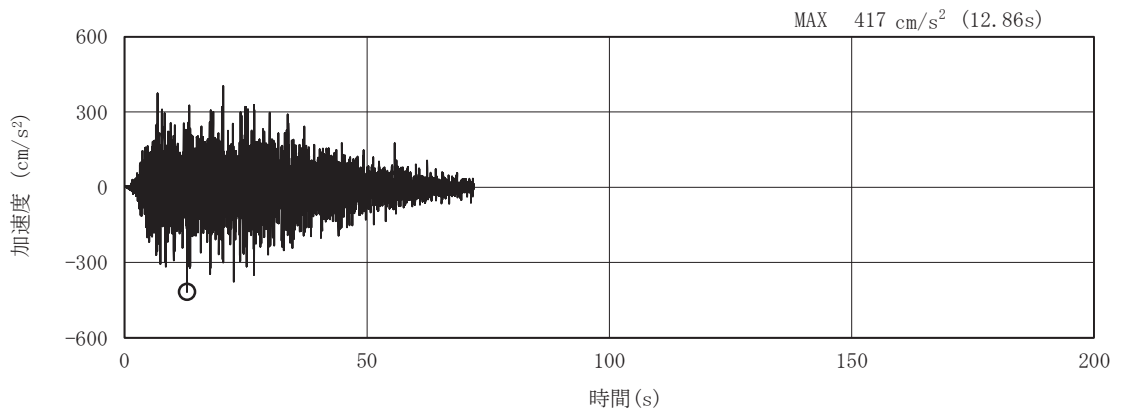
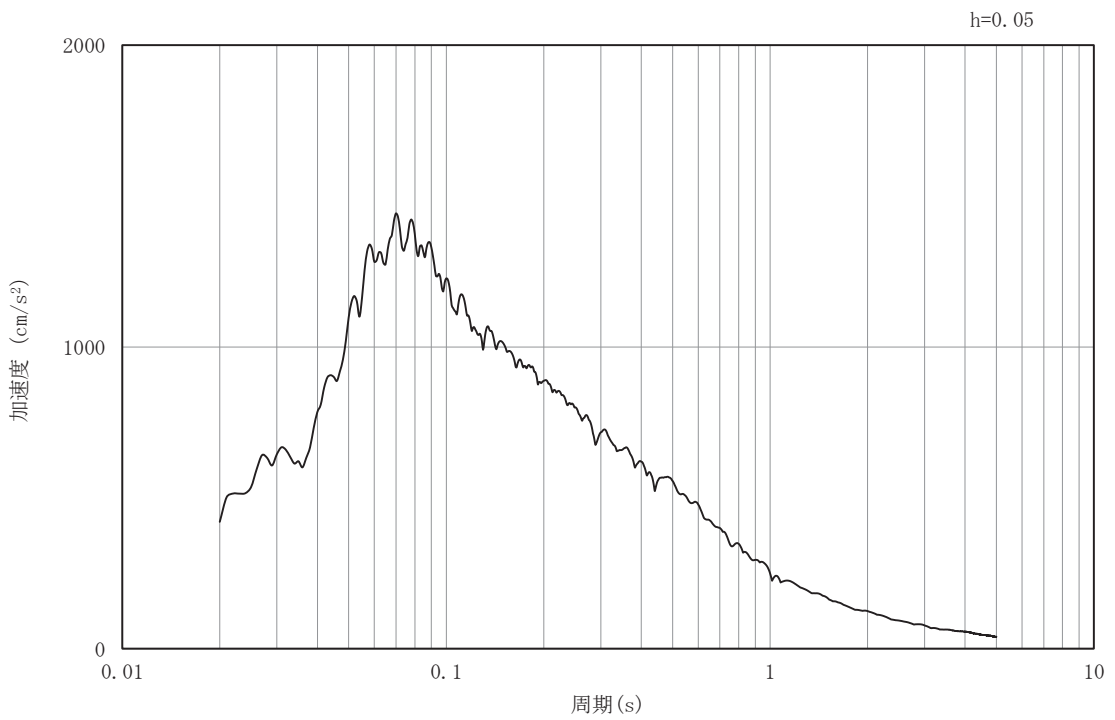


図 8-3 入力地震動算定の概念図

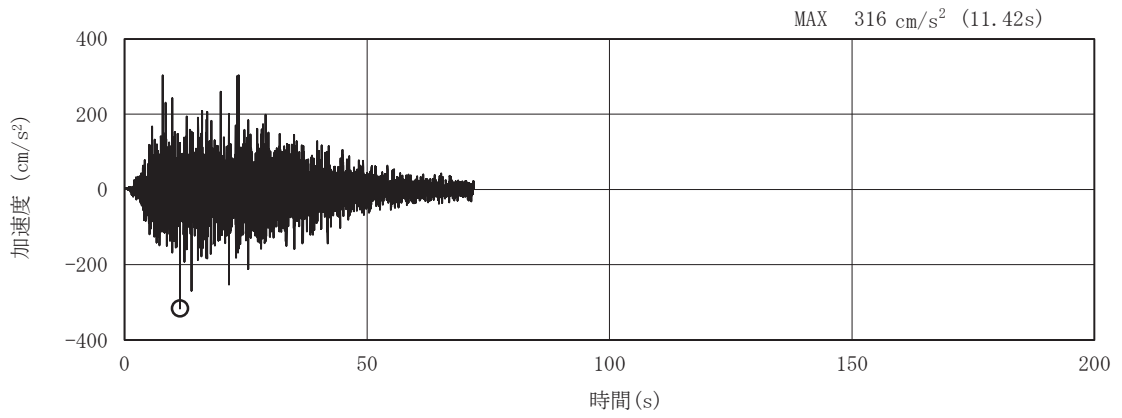


(a) 加速度時刻歴波形

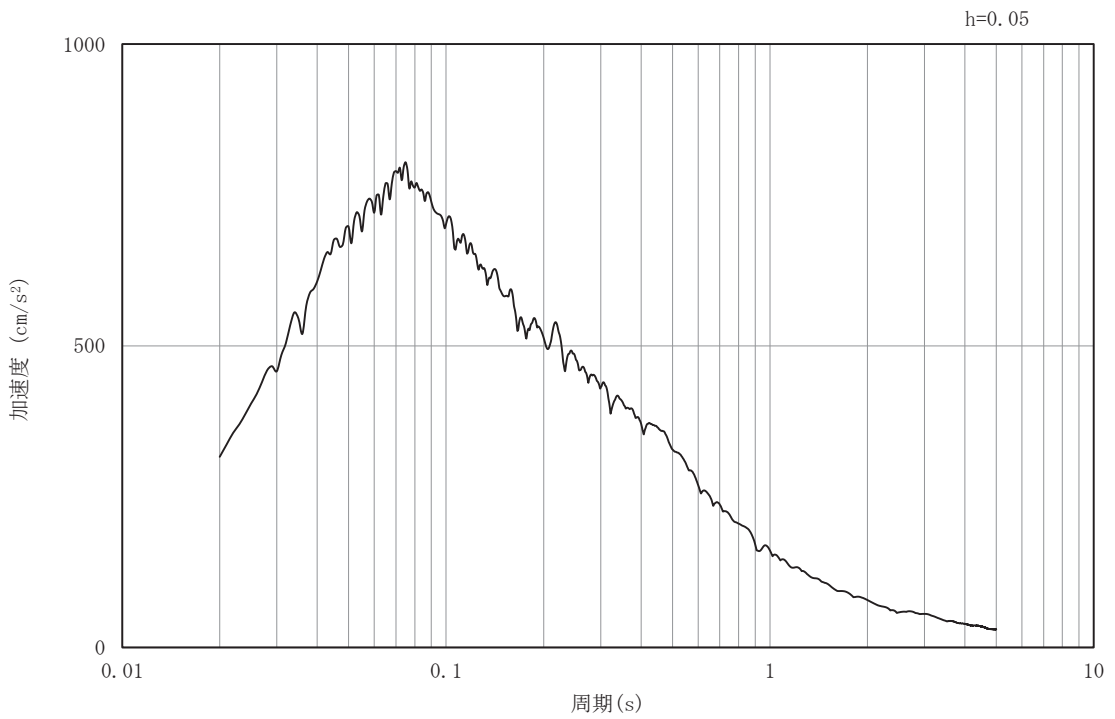


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-4(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S d - D 2)

(4) 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 に示す。

(a) 解析領域

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

(b) 境界条件

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

(c) 構造物のモデル化

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

(d) 地盤のモデル化

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

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

(f) ジョイント要素の設定

「構造物とマンメイドロック」、「構造物と岩盤」及び「マンメイドロックと岩盤」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

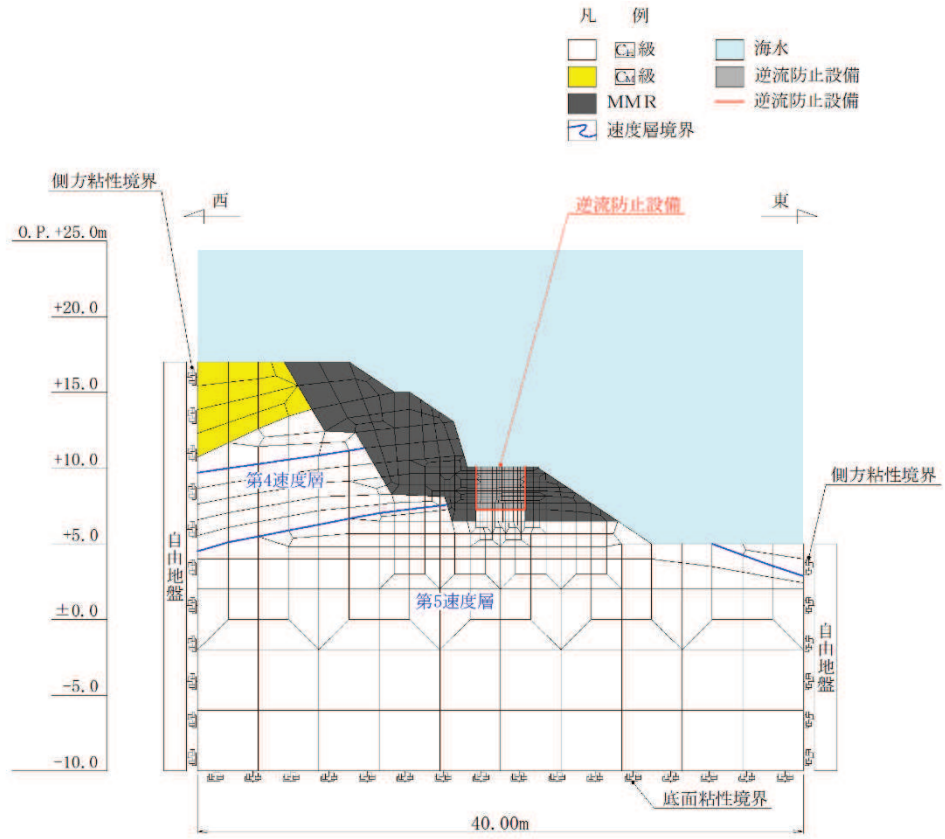


図 8-5 出口側集水ピットの解析モデル（重畳時）（A-A 断面）



b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-9 に、材料の物性値を表 8-10 に示す。

表 8-9 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 <sup>2</sup>

表 8-10 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0	2.80×10 <sup>4</sup>	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。

d. 地下水位

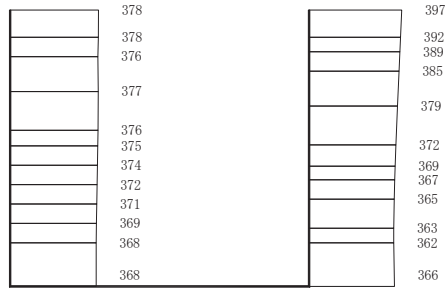
地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従って設定した設計用地下水位を図 8-2 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-11 に示す。

表 8-11 設計用地下水位の一覧

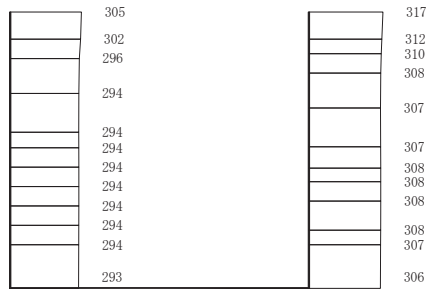
施設名称	評価対象断面	設計用地下水位
出口側集水ピット	A-A断面	地表面に設定する。

(5) 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの最大加速度分布を図 8-6 に示す。



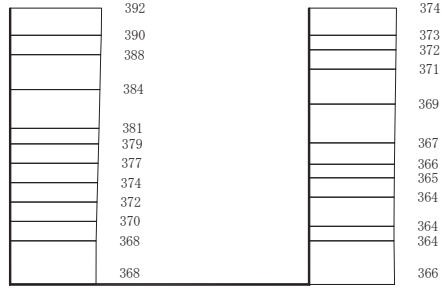
(a) S d - D 2 (++) 水平



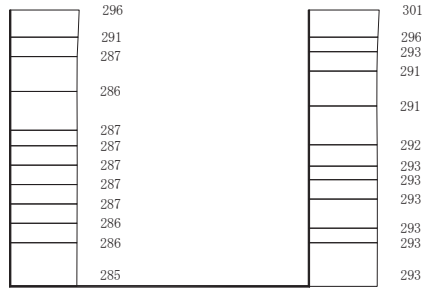
(b) S d - D 2 (++) 鉛直



図 8-6(1) 最大加速度分布図  
(解析ケース①)



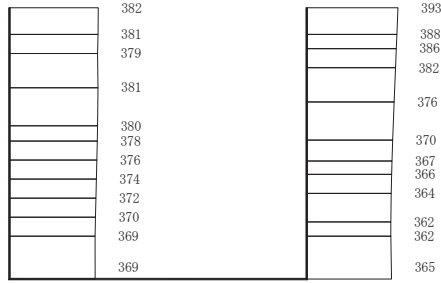
(a) S d - D 2 ( - + ) 水平



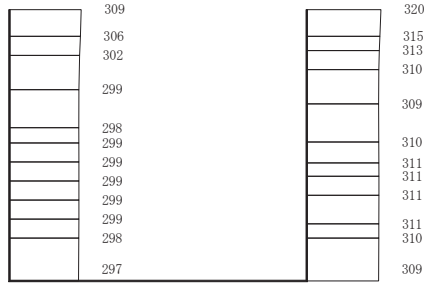
(b) S d - D 2 ( - + ) 鉛直



図 8-6(2) 最大加速度分布図  
(解析ケース①)



(a) S d - D 2 (++) 水平

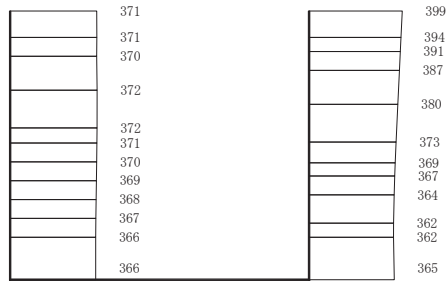


構造スケール 0 2 (m)      応答値スケール 0 1000 (cm/s<sup>2</sup>)

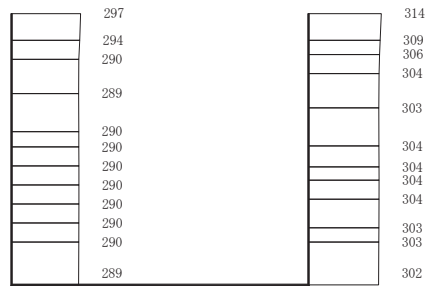
(b) S d - D 2 (++) 鉛直

図 8-6(3) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S d - D 2 (++) 水平

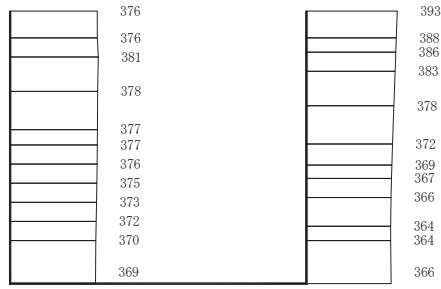


(b) S d - D 2 (++) 鉛直

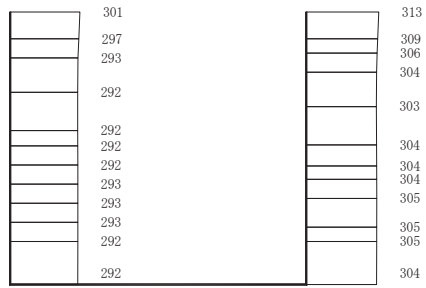


図 8-6(4) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S d - D 2 (++) 水平



(b) S d - D 2 (++) 鉛直



図 8-6(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) に実強度を考慮した解析ケース)

## 8.5.2 三次元構造解析

### (1) 評価対象部材

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

図 8-7 に評価対象部材を示す。

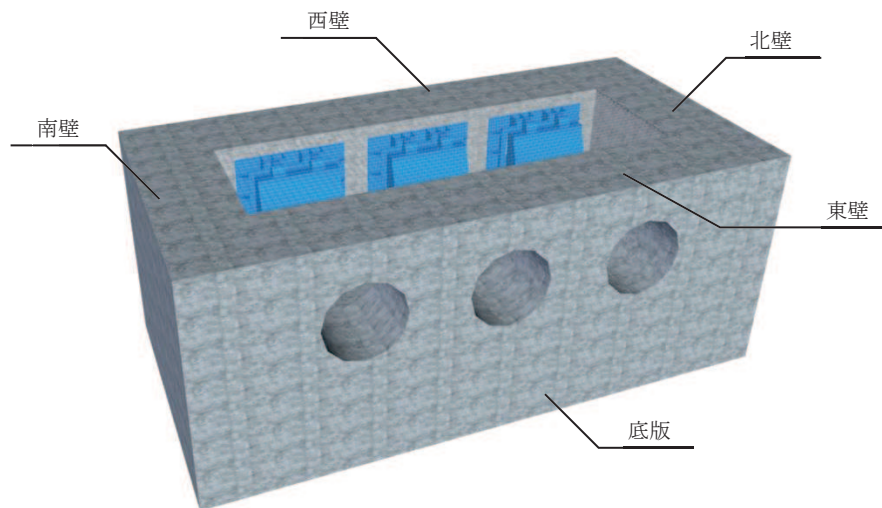


図 8-7 三次元構造解析の評価対象部材

### (2) 解析方法

出口側集水ピットの三次元構造解析は、「8.5.1 二次元静的解析」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。

### (3) 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 8-8 に、要素分割図を図 8-9 に示す。

#### (a) 構造物のモデル化

構造物は、線形シェル要素でモデル化する。

#### (b) 境界条件

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、北壁及び南壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に基づき設定する。

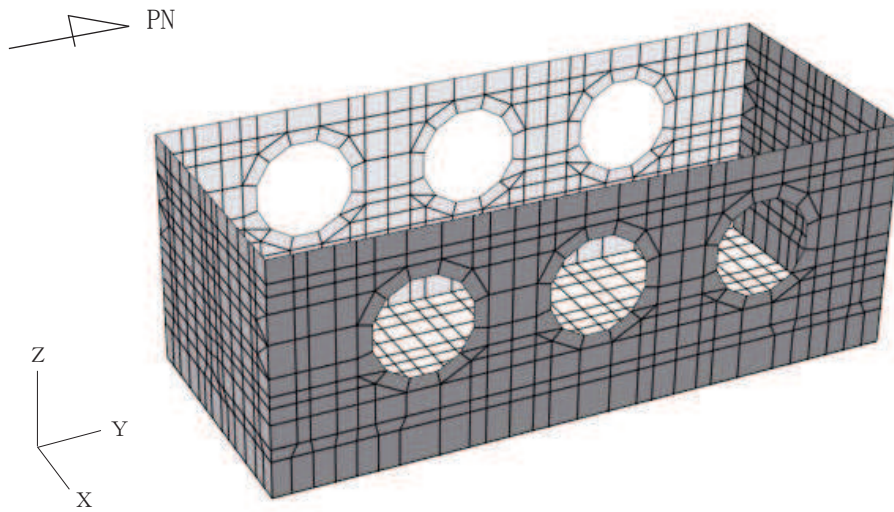


図 8-8 出口側集水ピットのモデル概念図



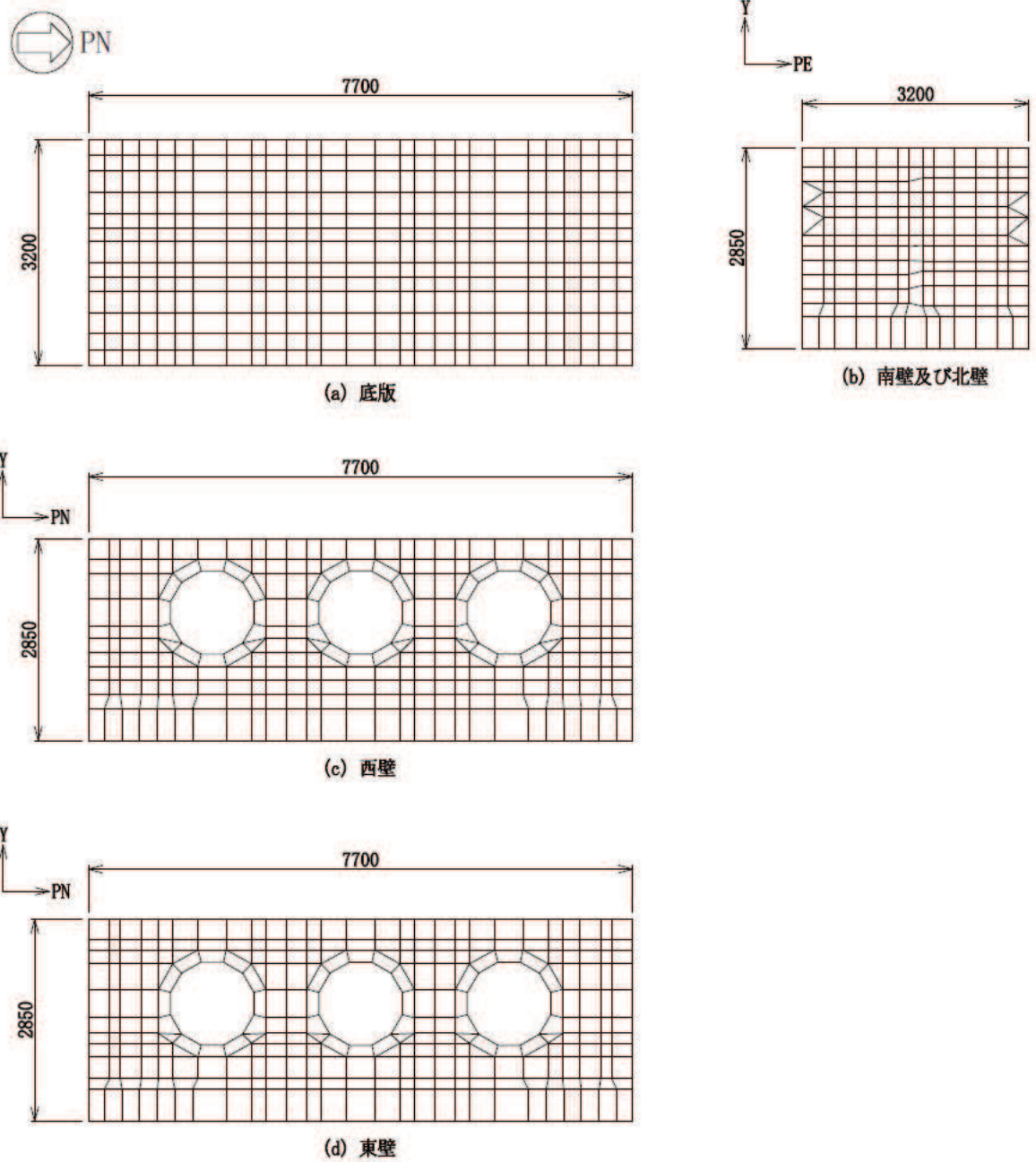


図 8-9 要素分割図

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 二次元動的解析」と同様である。

(4) 照査時刻及び入力荷重



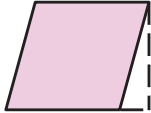
a. 照査時刻

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 8-12 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 8-10、図 8-11 に示す。

表8-12 照査時刻の考え方

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

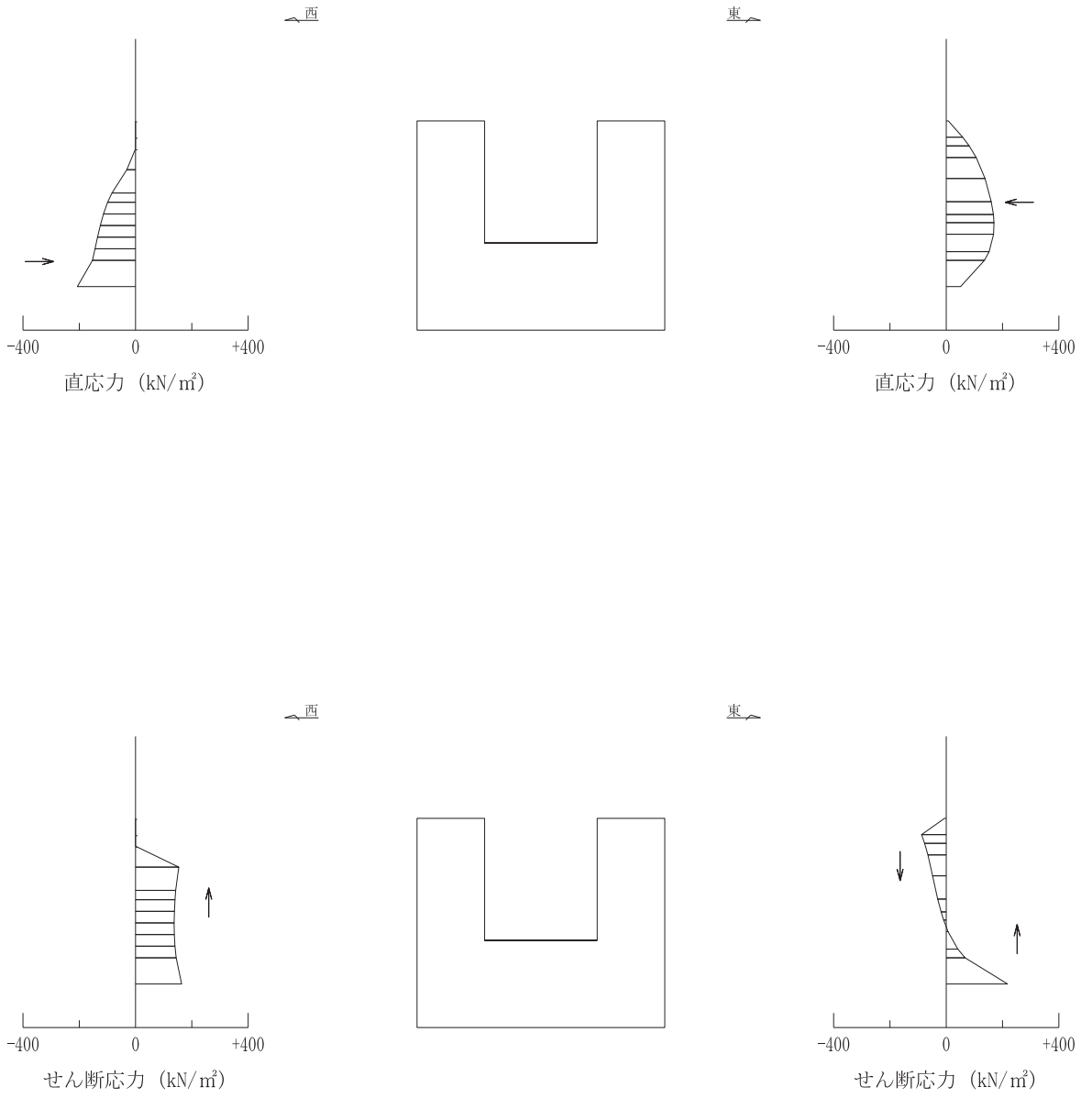
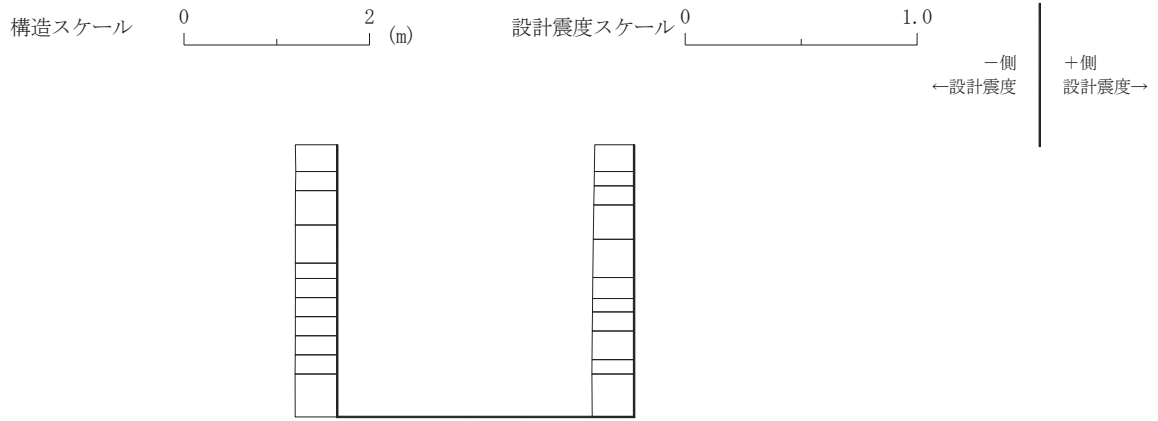
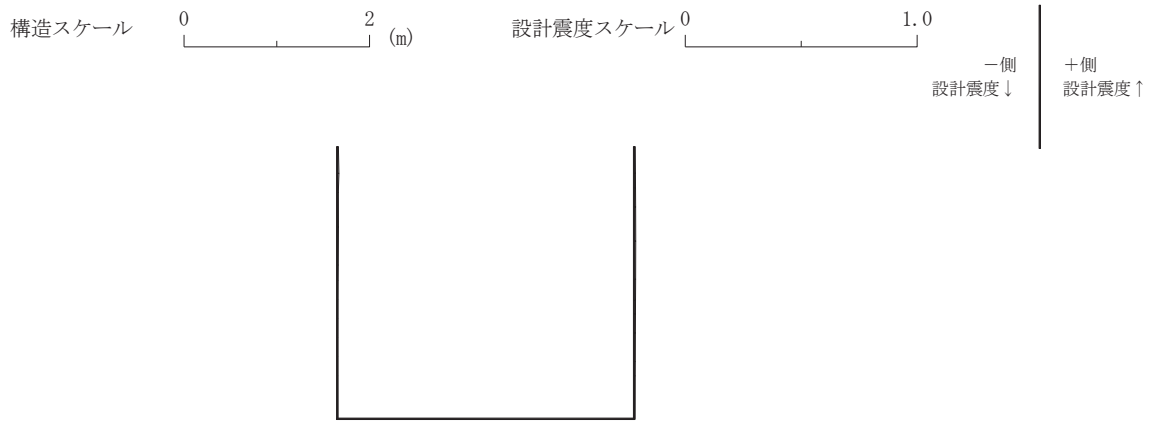


図 8-10 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)  
(解析ケース③, S d - D 2 (++) )



設計水平震度



設計鉛直震度

図 8-11 作用荷重分布図 (設計震度分布)  
(解析ケース③, S d - D 2 (++) )

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 (4) 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 8-13 に示す。

表8-13 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

(5) 三次元構造解析結果

シェル要素における応答断面力は図 8-12 に示す 8 成分を算出する。なお、プログラム上、断面力の出力が下記と異なる場合は、下記の断面力の向きに変換して取り扱う。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-13～図 8-17 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 8-18、図 8-19 に示す。

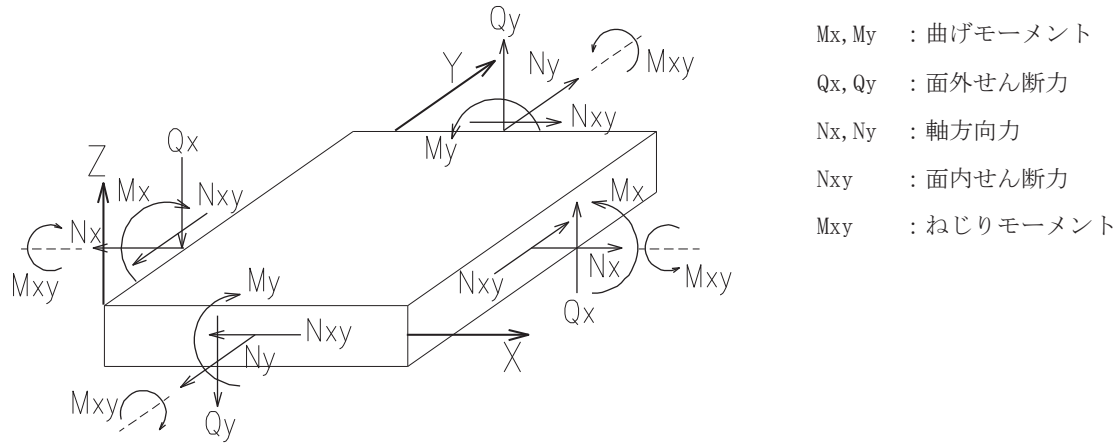


図 8-12 シェル要素における応答断面力

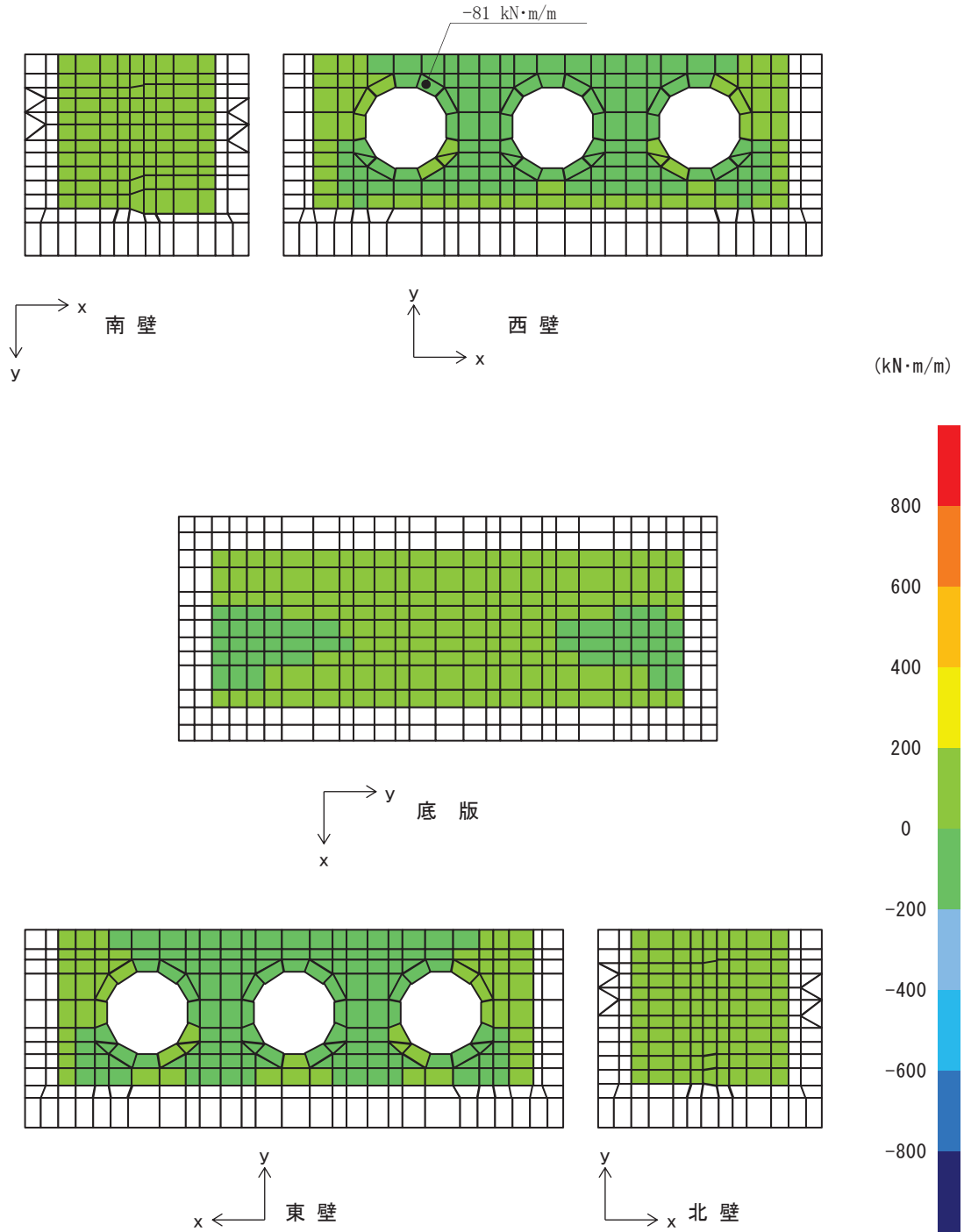


図 8-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

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

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (++) )

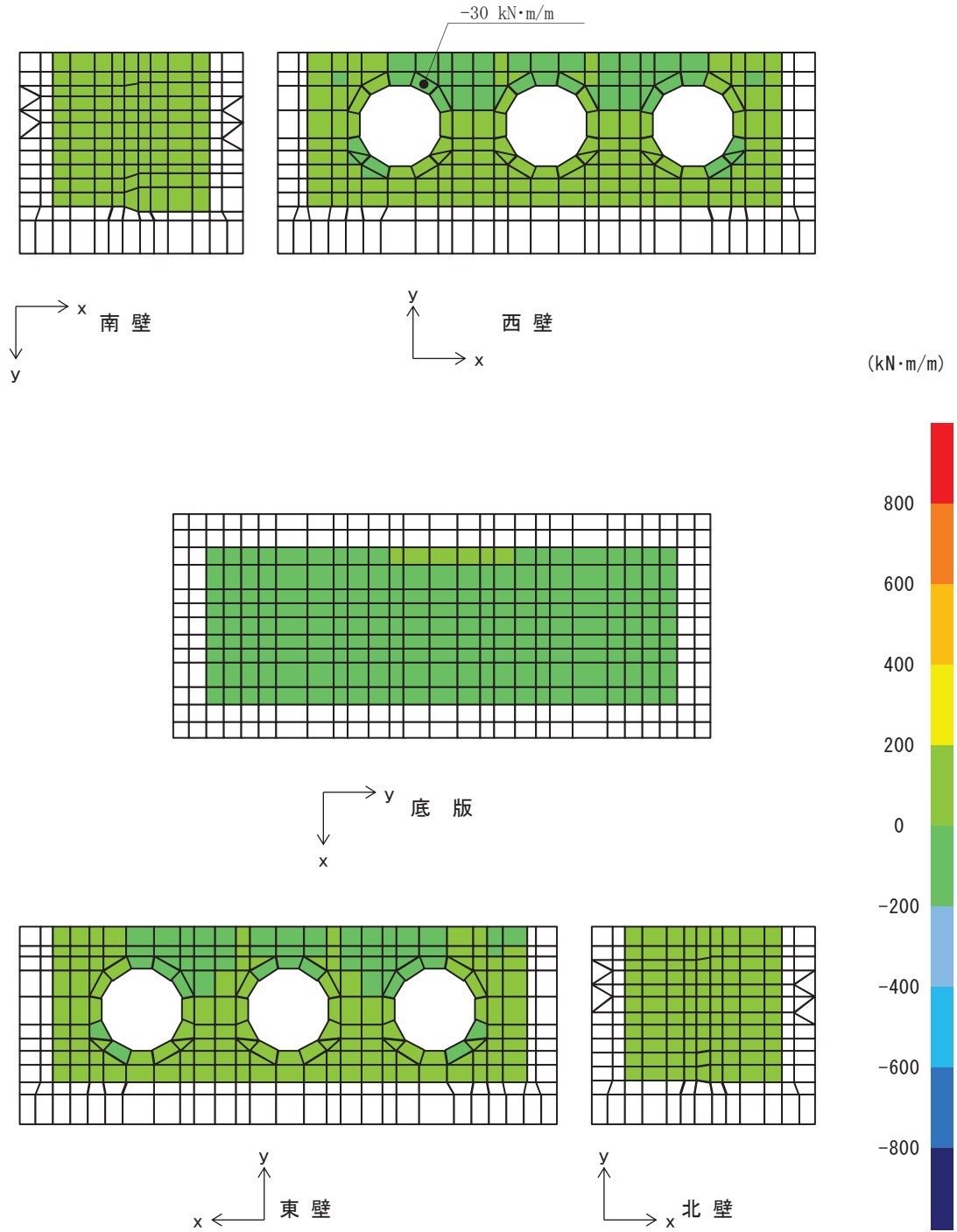


図8-14 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (曲げモーメント( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ) :  $M_y$ )  
 (西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (++) )



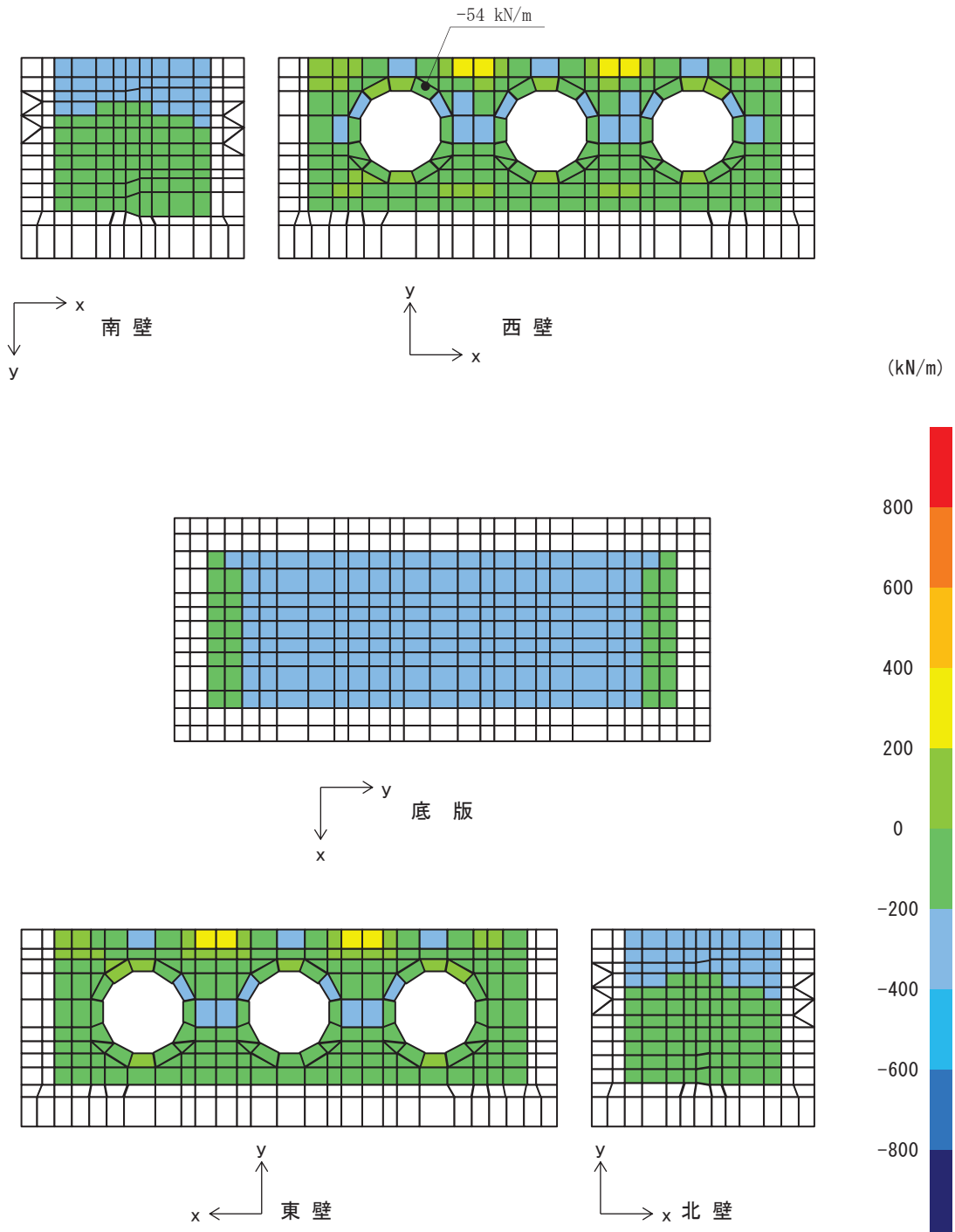


図 8-15 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (軸力(kN/m) :  $N_x$ )  
 (西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (++) )

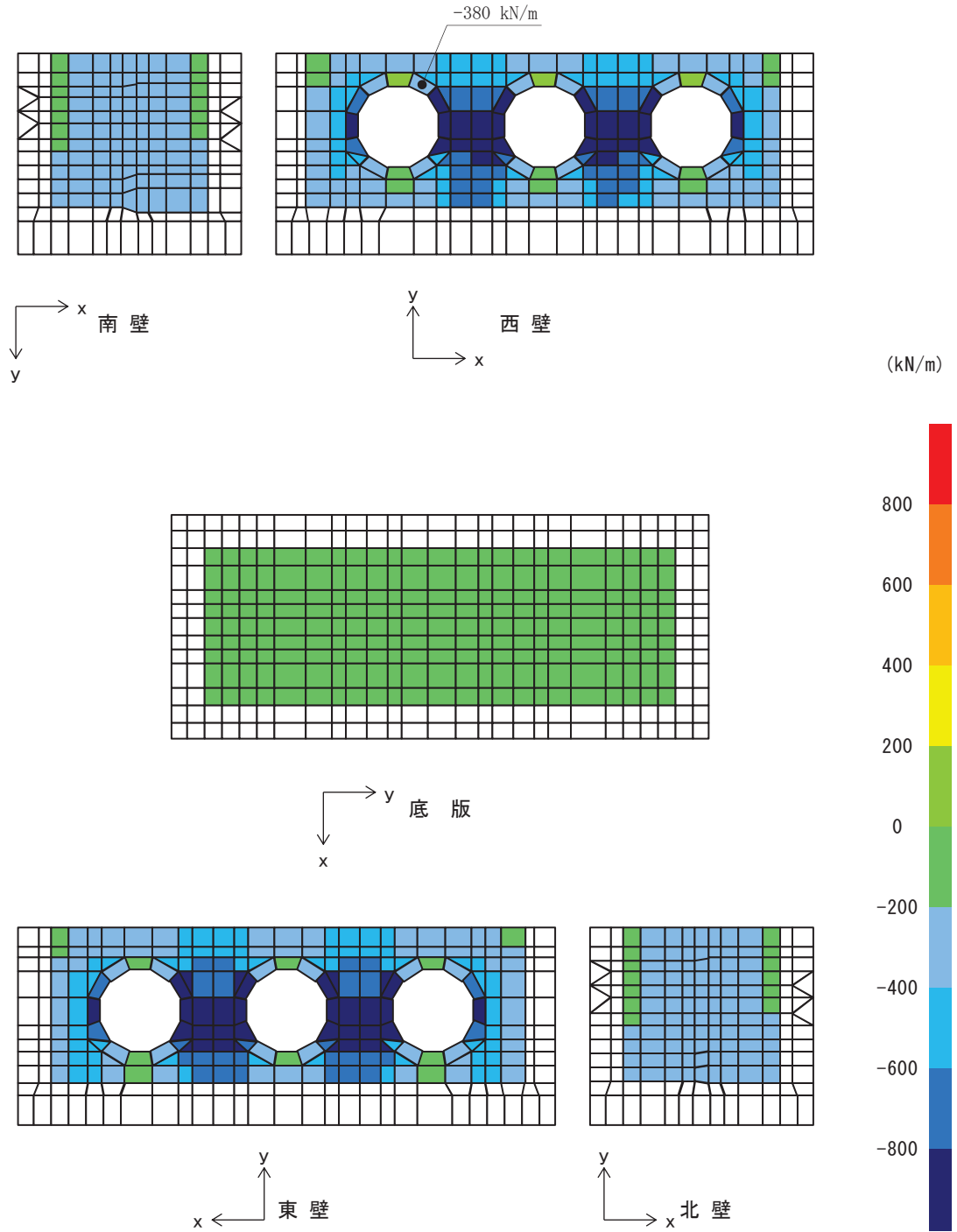


図8-16 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力  $(\text{kN/m}) : N_y$ )

(西壁, 解析ケース③,  $S_d - D_2 (+ +)$ )

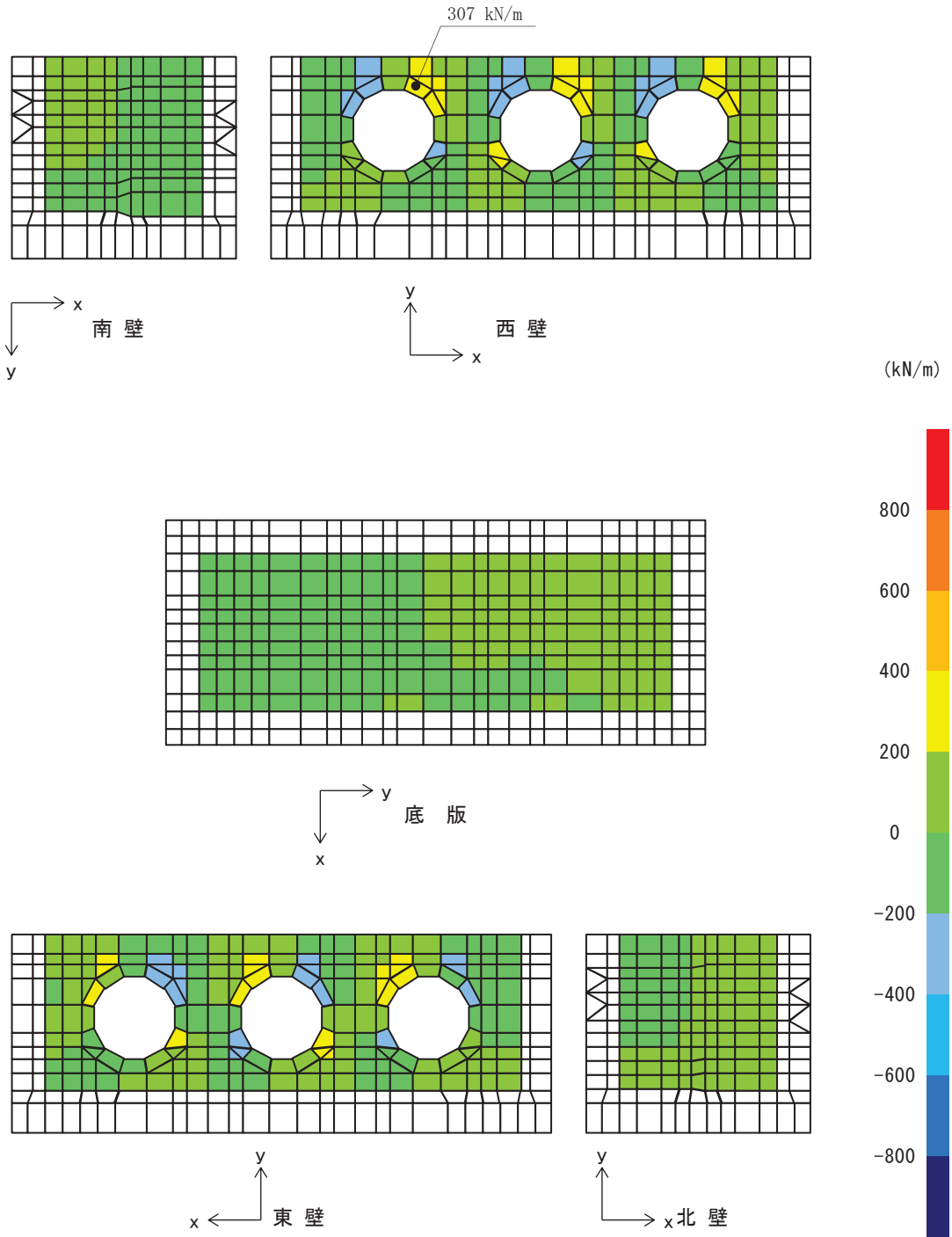


図8-17 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (面内せん断力(kN/m) :  $N_{xy}$ )  
 (西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (++) )

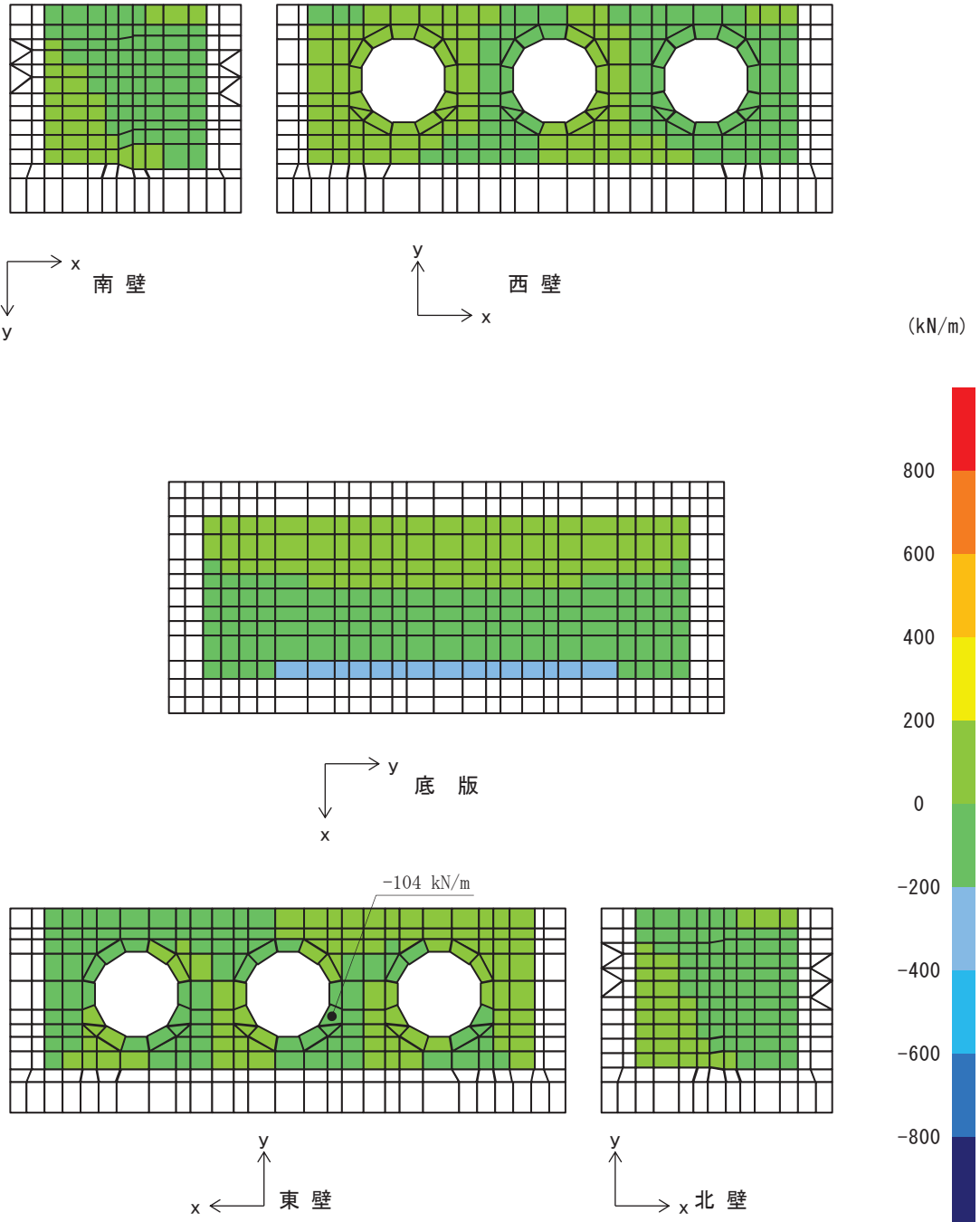


図8-18 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) :  $Q_x$ )

(東壁, 解析ケース③, S d - D 2 (++) )

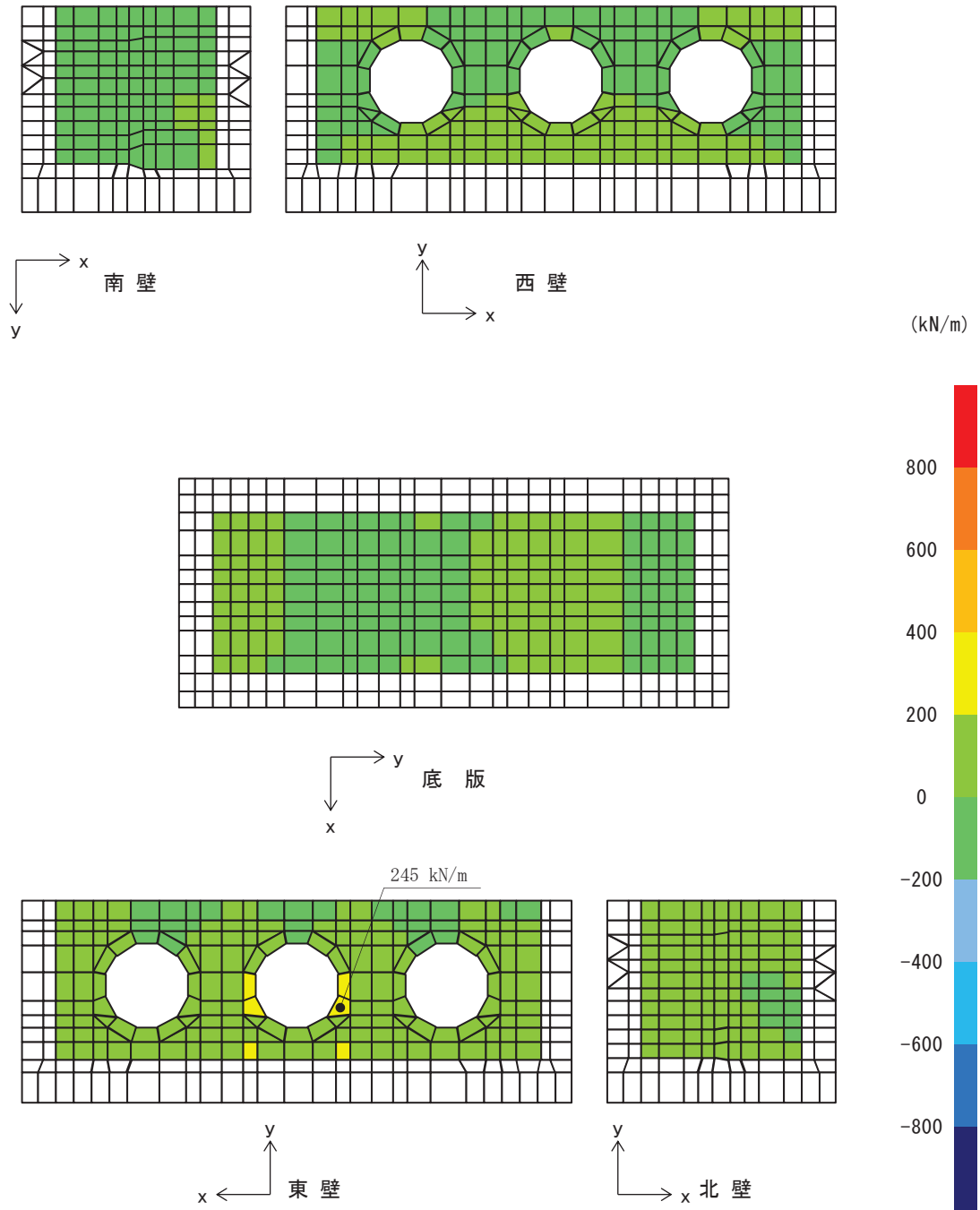


図8-19 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) :  $Q_y$ )

(東壁, 解析ケース③, Sd-D2 (++) )

### 8.5.3 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。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「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（出口側集水ピット）

記号	定義	数値	単位	
G	固定荷重（鉄筋コンクリート）	2526.223	kN	
G	固定荷重（（扉体+戸当り）×3 基）	66.195	kN	
$\sigma_{ca}$	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度	16.5	N/mm <sup>2</sup>	
$\tau_{a1}$	コンクリートの短期許容せん断応力度	0.75	N/mm <sup>2</sup>	
$V_a$	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
		南北壁下方	944	kN
		南北壁上方	1150	kN
		東西壁上方	1975	kN
		東西壁下方	1563	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（底版，東西南北壁下方）	9.6775	cm <sup>2</sup>	
	斜め引張鉄筋断面積（東西南北壁上方）	12.9033	cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{sa}$	鉄筋の短期許容引張応力度	294	N/mm <sup>2</sup>	
s	斜め引張鉄筋間隔（底版，南北壁）	0.4	m	
	斜め引張鉄筋間隔（東西壁）	0.2	m	

## 10. 評価結果

### 10.1 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 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-2 及び表 10-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10-1 に示す。

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

表 10-1 鉄筋コンクリート断面諸元

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

注記 \*1：特記のない場合，上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

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



表 10-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c/\sigma'_{ca}$
底版	1	③	Sd-D2 (++)	144	-378	0.7	16.5	0.05
西壁	2	②	Sd-D2 (++)	-6	-1502	1.3	16.5	0.08
東壁	3	③	Sd-D2 (++)	85	-1542	1.5	16.5	0.10
南北壁	4	③	Sd-D2 (++)	104	-226	0.7	16.5	0.05

表 10-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s/\sigma_{sa}$
底版	1	②	Sd-D2 (++)	-77	-60	11.2	294	0.04
西壁	2	③	Sd-D2 (++)	-81	253	39.8	294	0.14
東壁	3	③	Sd-D2 (++)	-65	258	36.9	294	0.13
南北壁	4	③	Sd-D2 (++)	21	46	8.5	294	0.03

表 10-4 せん断破壊に対する照査

評価位置		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN/m)	照査値 V/V <sub>a</sub>
底版	1	③	Sd-D2 (++)	174	1227	0.15
西壁	2	③	Sd-D2 (++)	201	1563	0.13
東壁	3	③	Sd-D2 (++)	246	1563	0.16
南北壁	4	③	Sd-D2 (++)	51	944	0.06

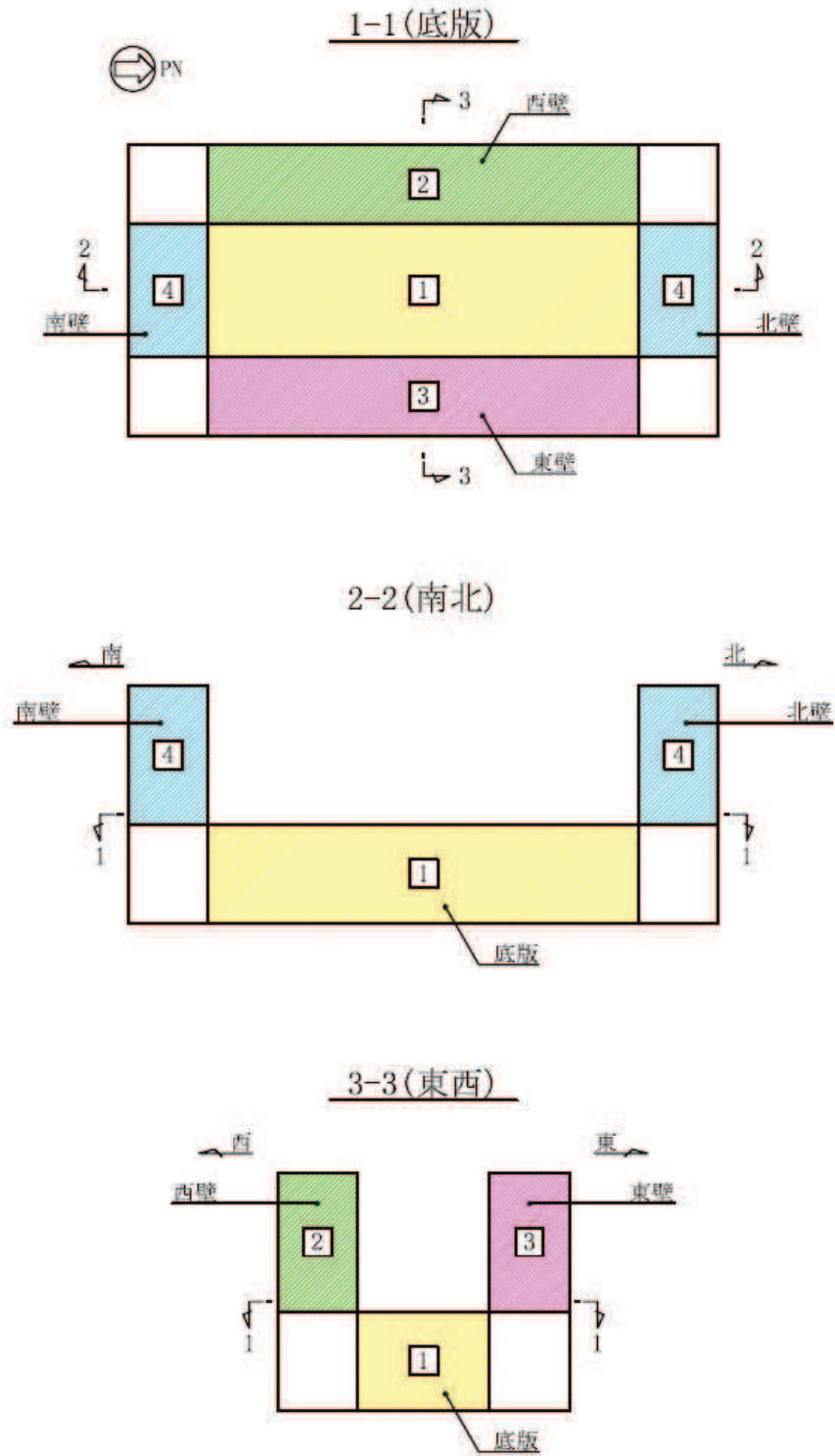


图 10-1 評価位置図

## 10.2 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10-5に示す。最大接地圧分布図を図10-2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 10-5 基礎地盤の支持性能照査結果

解析 ケース	地震動	最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
③	S d - D 2 (++)	0.5	13.7	0.04

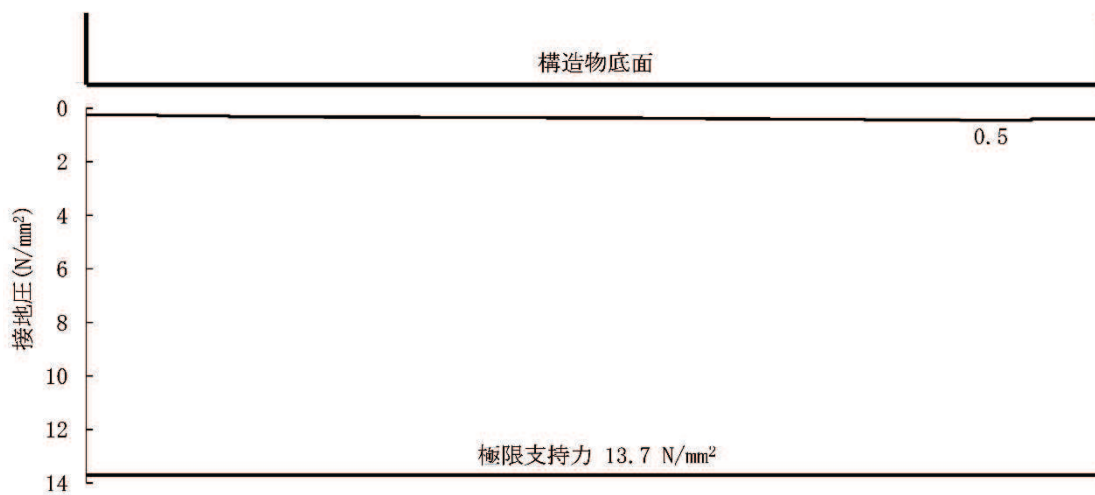


図 10-2 東西方向断面の最大接地分布図  
 (解析ケース③, S d - D 2 (++) )

VI-3-別添 3-2-5-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の  
強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価部位	10
4.	固有周期	12
4.1	固有周期の計算方法	12
4.2	固有周期の計算条件	12
4.3	固有周期の計算結果	13
5.	構造強度評価	14
5.1	構造強度評価方法	14
5.2	荷重及び荷重の組合せ	14
5.2.1	荷重の設定	14
5.2.2	荷重の組合せ	15
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	計算方法	19
5.6	計算条件	37
6.	評価結果	39
7.	出口側集水ピットの強度評価	41
7.1	出口側集水ピットの構造概要	41
7.2	評価方針	44
7.3	適用基準	46
8.	強度評価方法	47
8.1	記号の定義	47
8.2	評価対象断面	48
8.3	荷重及び荷重の組合せ	49
8.3.1	荷重	49
8.3.2	荷重の組合せ	50
8.4	許容限界	51
8.4.1	構造部材の健全性に対する許容限界	51
8.5	評価方法	52
8.5.1	津波時	52

8.5.2 重畳時	71
9. 評価条件	100
10. 評価結果	101
10.1 津波時	101
10.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果	101
10.2 重畳時	104
10.2.1 構造部材の健全性に対する評価結果	104

## 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 に示す。

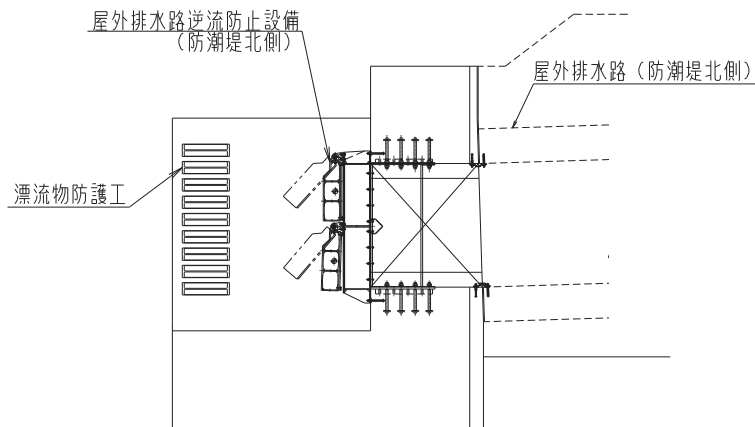
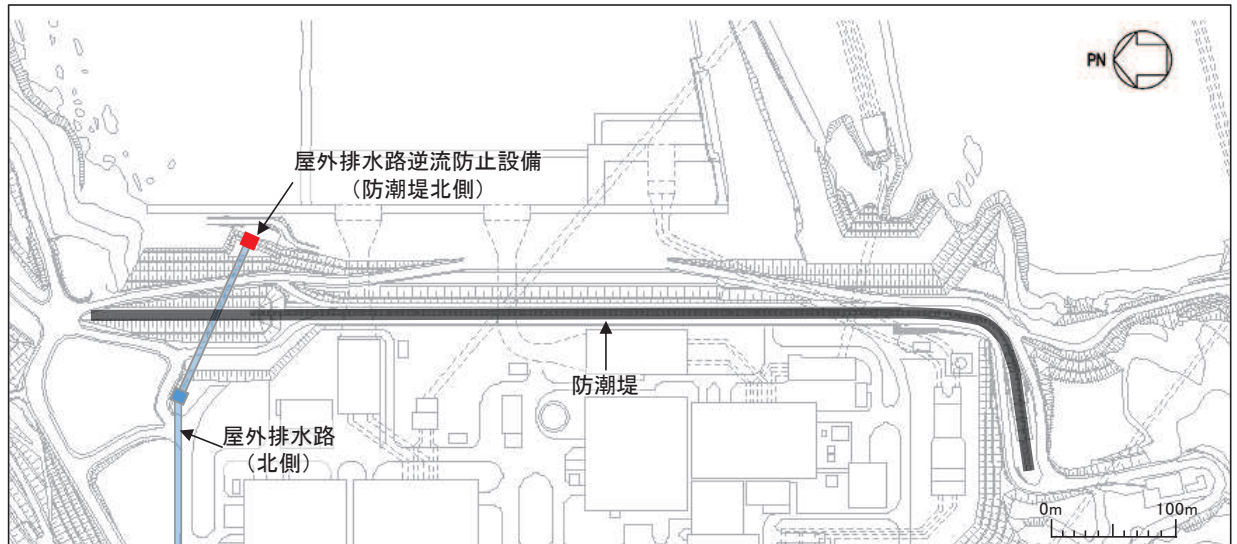


図 2-1 屋外排水路逆流防止設備の設置位置



## 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 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画（屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）

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

### 2.3 評価方針

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度評価は、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）の強度評価フローを図 2-2 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屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）設置箇所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。

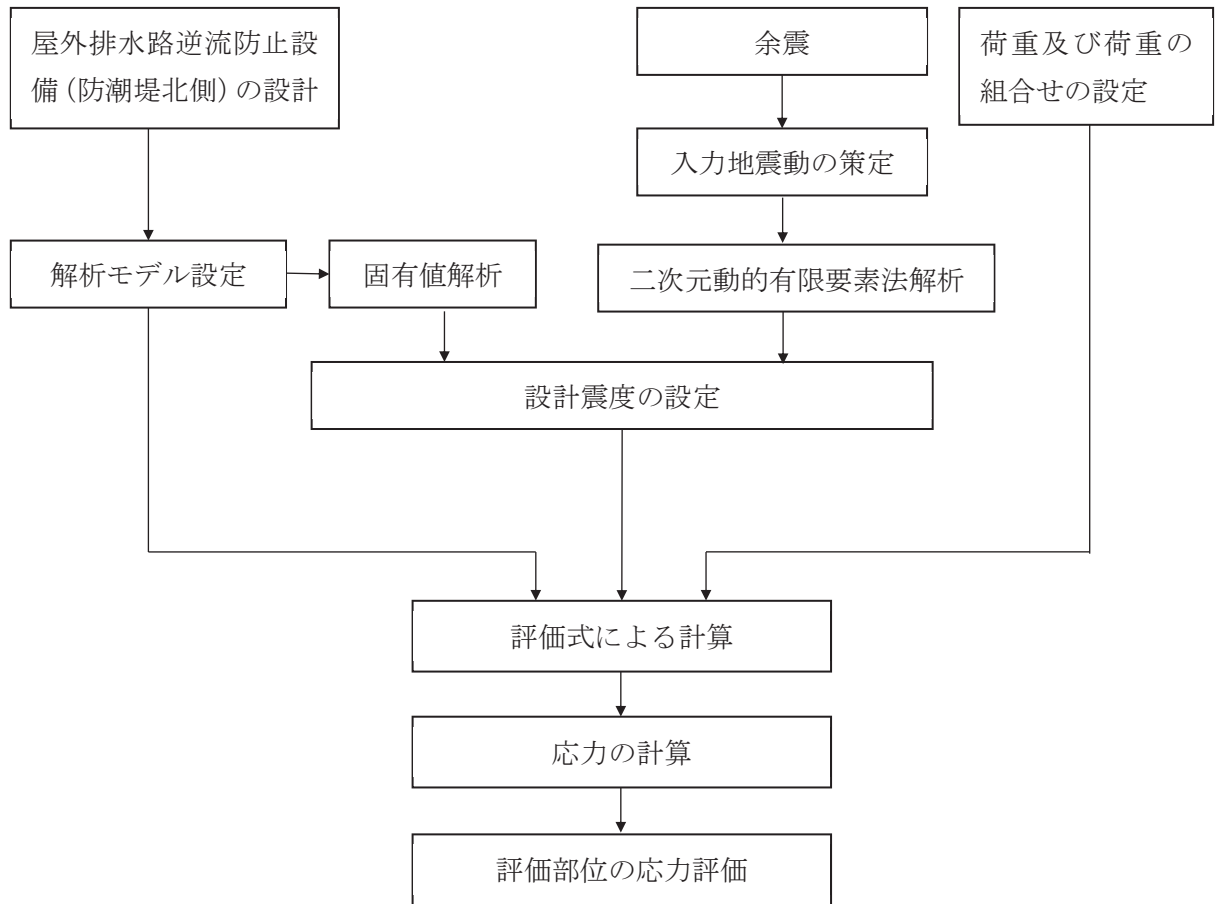


図 2-2 強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補一  
1984 (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) 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
- (4) ダム・堰施設技術基準(案)(基準解説編・設備計画マニュアル編)(ダム・堰施設技術  
協会 平成 28 年 3 月)
- (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)

## 2.5 記号の説明

屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

表 2-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の固有周期の計算に用いる記号

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
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 <sup>4</sup>
m	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L	主桁の長さ	mm

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

記号	定義	単位
G	固定荷重	N
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重	N/mm <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	kN
K <sub>Hsd</sub>	余震による水平方向の設計震度	—
K <sub>Vsd</sub>	余震による鉛直方向の設計震度	—
P <sub>d</sub>	余震による動水圧	N/mm <sup>2</sup>
A <sub>1</sub>	扉体面積	mm <sup>2</sup>
W <sub>o</sub>	水の単位体積重量	N/mm <sup>3</sup>
k	スキンプレートの辺長比 (b <sub>1</sub> /a <sub>1</sub> ) による係数	—
a <sub>1</sub>	スキンプレートの短辺	mm
b <sub>1</sub>	スキンプレートの長辺	mm
P <sub>1</sub>	スキンプレートに加わる単位面積当たりの荷重	N/mm <sup>2</sup>
t <sub>1</sub>	スキンプレートの板厚	mm
W	各主桁に作用する等分布荷重	N/mm
L <sub>2</sub>	主桁支間長	mm
Z <sub>2</sub>	各主桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
A <sub>w2</sub>	各主桁のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
p	補助縦桁に作用する各区画の平均荷重	N/mm <sup>2</sup>
ℓ	補助縦桁の主桁間隔	mm
Z <sub>3</sub>	補助縦桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
A <sub>w3</sub>	補助縦桁のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>

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

記号	定義	単位
$W_4$	中央支柱に作用する荷重	N/mm
$Z_4$	中央支柱の断面係数	mm <sup>3</sup>
$A_{w4}$	中央支柱のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
$W_5$	中央横桁に作用する荷重	N/mm
$L_5$	中央横桁の支間長	mm
$B_5$	水密幅	mm
$Z_5$	中央横桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
$A_{w5}$	中央横桁のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
$P_9$	戸当りへ作用する荷重	N
$L_s$	戸当りから中央支柱中心までの距離	mm
$L_c$	戸当り支圧部の板厚	mm
$q$	戸当りへ作用する水平荷重	N
$L_x$	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 2-3(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の応力評価に用いる記号（3/3）

記号	定義	単位
$P_{bh1}$	防護梁に作用する水平荷重	N
$L_{b1}$	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 <sup>3</sup>
$A_{wbh1}$	防護梁の水平（強軸）方向のせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
$P_{b2}$	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 <sup>3</sup>
$A_{wb2}$	ブラケットのせん断抵抗断面積	mm <sup>2</sup>
$P_{b4}$	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
$q_{b4}$	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
$Z_{b4}$	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

### 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。

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、スキンプレート、主桁、補助縦桁、中央支柱、中央横桁、戸当り及び漂流物防護工を、評価部位として選定する。屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位を図 3-1 に示す。



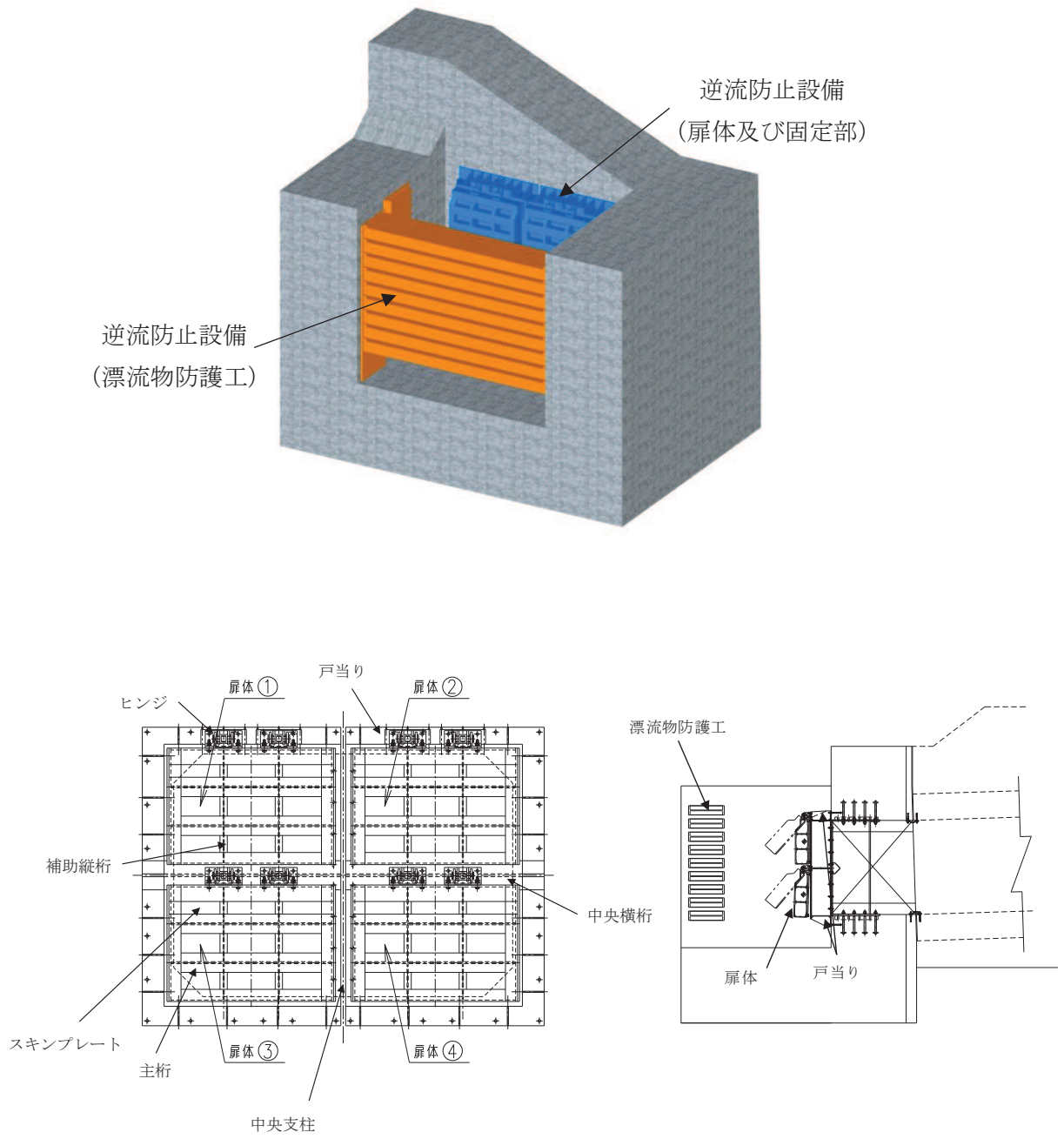


図 3-1 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の評価部位

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

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（土木学会，1988年）」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 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	$1.93 \times 10^5$	N/mm <sup>2</sup>
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	$9.47 \times 10^8$	mm <sup>4</sup>
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 4-2 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 4-2 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作用方向は扉体への作用荷重を打ち消す方向に作用するため考慮しないこととする。

##### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

##### (2) 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。

##### (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 5-1 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 5-1 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。

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 に示す。

表 5-2 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

### 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 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 <sup>2</sup> )				短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) *2			
		曲げ $\sigma_{ab}$ *1	引張 $\sigma_{at}$ *1	せん断 $\tau_a$ *1	支圧 $\sigma_{as}$ *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 :  $\sigma_{ab}$  : 許容曲げ応力度,  $\sigma_{at}$  : 許容引張応力度,  $\tau_a$  : 許容せん断応力度,  $\sigma_{as}$  : 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(2) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

評価部位	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )				短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> ) *2			
		曲げ $\sigma_{ab}$ *1	引張 $\sigma_{at}$ *1	せん断 $\tau_a$ *1	支圧 $\sigma_{as}$ *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 :  $\sigma_{ab}$  : 許容曲げ応力度,  $\sigma_{at}$  : 許容引張応力度,  $\tau_a$  : 許容せん断応力度,  $\sigma_{as}$  : 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(3) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の許容限界

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

注記 \* : 漂流物防護工 (アンカーボルト) に対する許容引張力及び許容せん断力の許容値は, 「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」の結果に基づき，表5-4に示すとおりとする。

表 5-4(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 $K_H$	0.8
			鉛直方向 $K_V$	
S d - D 2 (-+)	解析ケース①			

表 5-4(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. +5.6m (出口側集水ピット底面高さ)	水平方向 $K_H$	0.9
			鉛直方向 $K_V$	
S d - D 2 (-+)	解析ケース①			



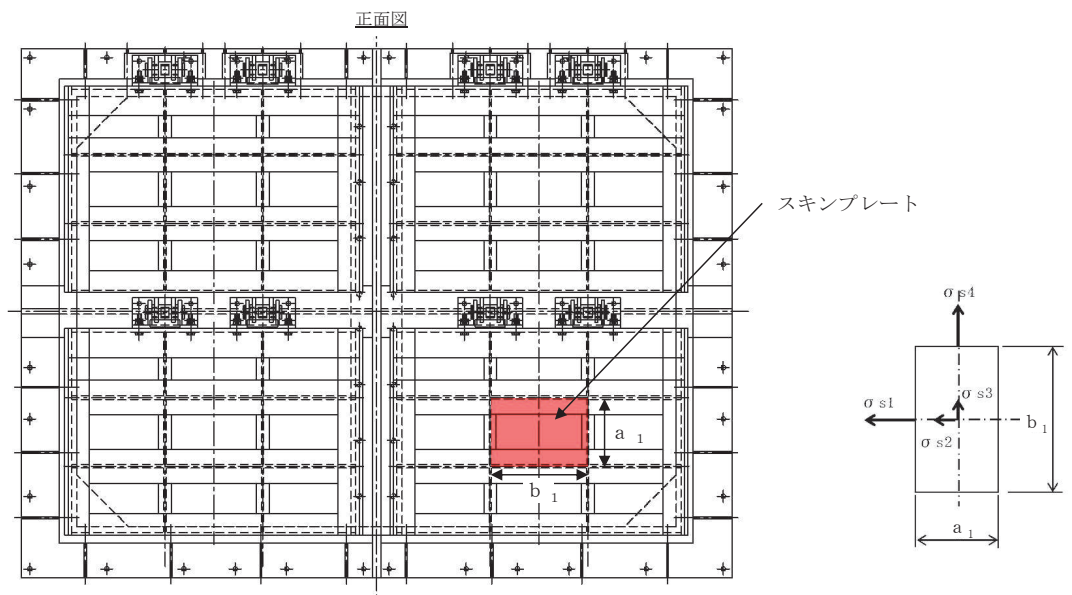
## 5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

### (1) スキンプレート

スキンプレートは、「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，発生する曲げモーメントより算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートのモデル図及び応力算定式を図 5-1 に示す。



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

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : 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/mm<sup>2</sup>)

$t_1$  : スキンプレートの板厚 (mm)

図 5-1 スキンプレートのモデル図及び応力算定式

(2) 主桁

主桁は、等分布荷重が作用する単純梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

主桁の構造及びモデル図を図 5-2 に、応力算定式を図 5-3 に示す。

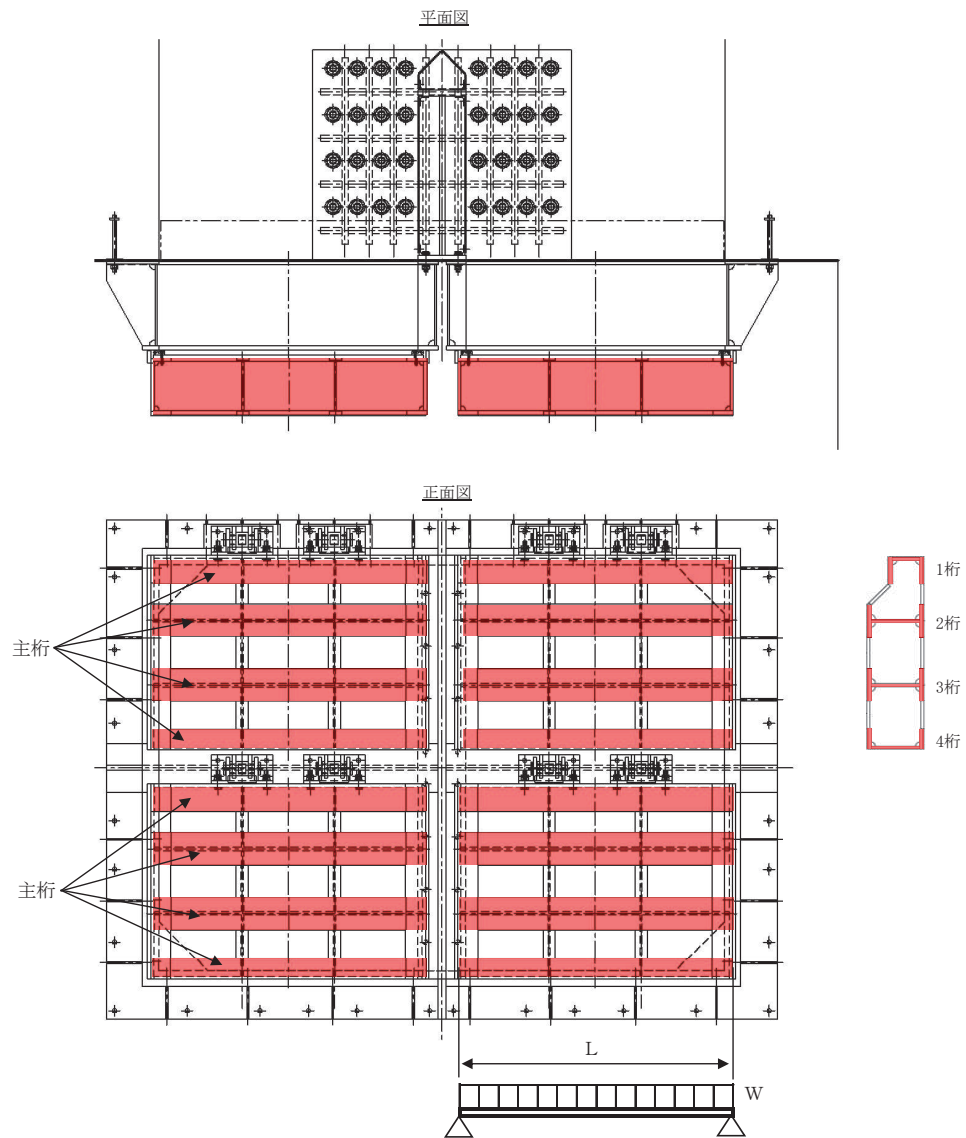


図 5-2 主桁の構造及びモデル図

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

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

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

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

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

W : 各主桁に作用する等分布荷重 (N/mm)

L : 主桁支間長 (mm)

Z<sub>2</sub> : 各主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A w<sub>2</sub> : 各主桁のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

M<sub>max</sub> : 最大曲げモーメント (N・mm)

S<sub>max</sub> : 最大せん断力 (N)

σ : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>g</sub> : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-3 主桁のモデル図及び応力算定式

(3) 補助縦桁

補助縦桁は、「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 5-4 に，応力算定式を図 5-5 に示す。

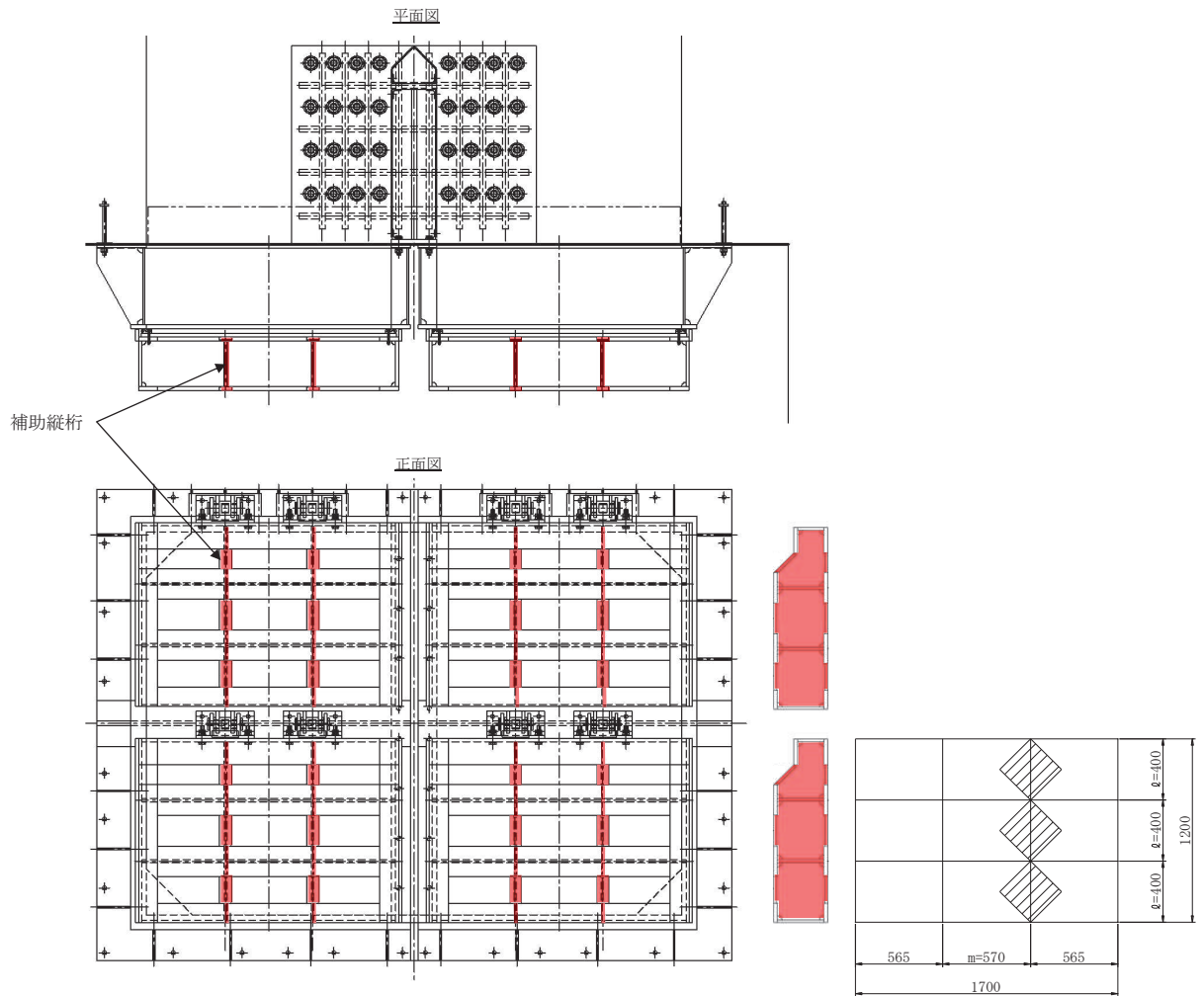


図 5-4 補助縦桁の構造及びモデル図（単位：mm）

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

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

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

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

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

$p$  : 補助縦桁に作用する各区画の平均荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell$  : 補助縦桁の主桁間隔 (mm)

$Z_3$  : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_{w3}$  : 補助縦桁のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{\text{max}}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{\text{max}}$  : 最大せん断力 (N)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

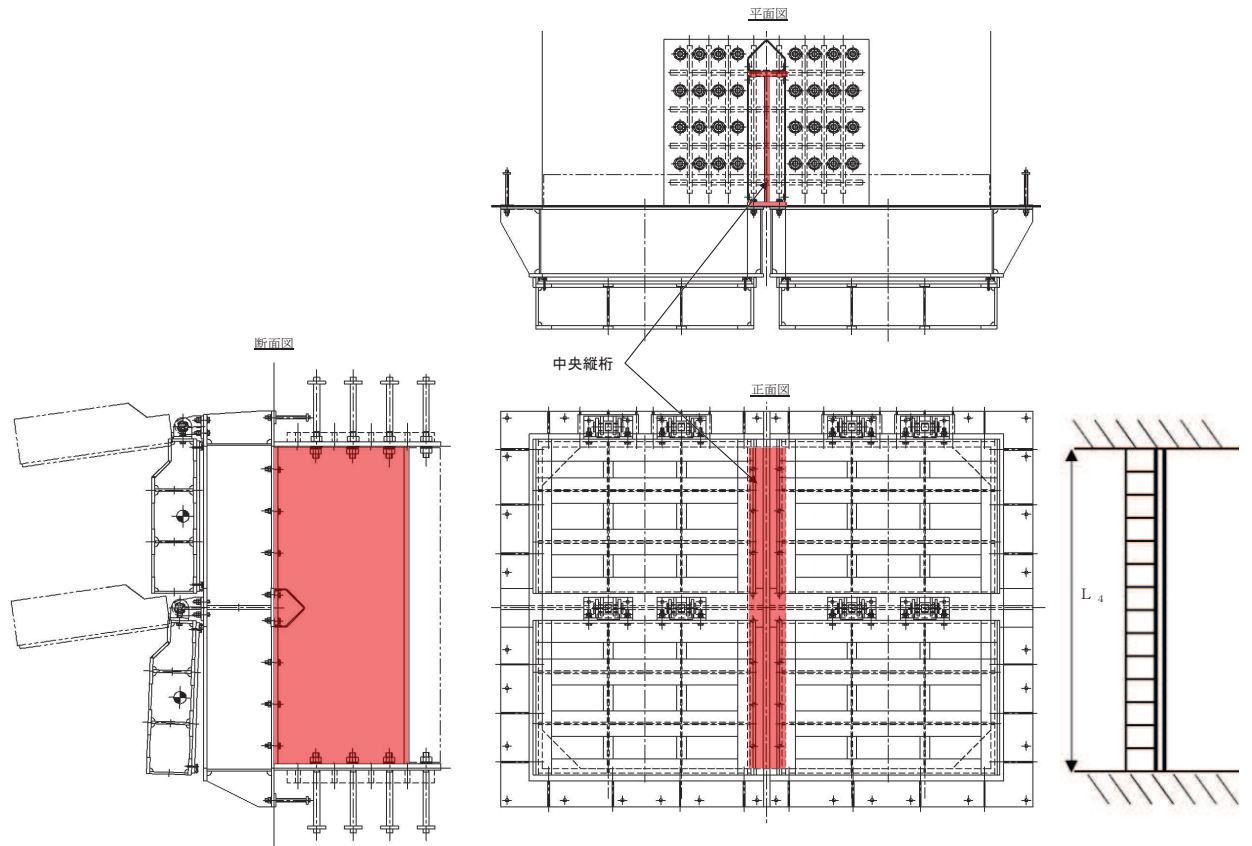
$\sigma_g$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-5 補助縦桁の応力算定式

(4) 中央支柱

中央支柱は、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。

中央支柱のモデル図及び応力算定式を図5-6に示す。



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

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

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

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

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

$w_4$  : 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 (mm<sup>3</sup>)

$A w_4$  : 中央支柱のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{\max}$  : 最大せん断力 (N)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

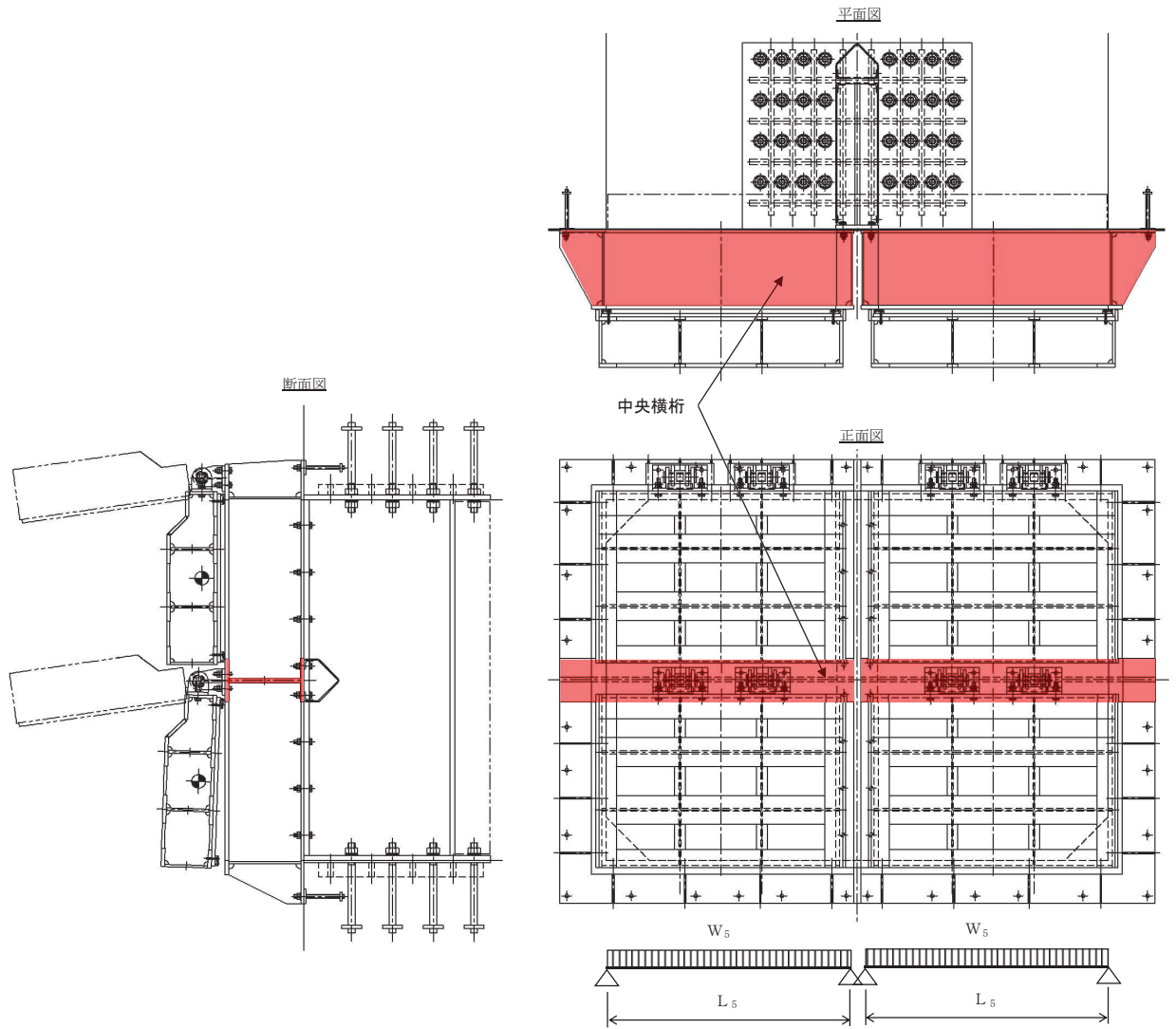
$\sigma_g$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-6 中央支柱のモデル図及び応力算定式

(5) 中央横桁

中央横桁は、等分布荷重（地震荷重）が作用する単純支持梁としてモデル化し、発生する曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

中央横桁のモデル図及び応力算定式を図 5-7 に示す。



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

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

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

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

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

$w_5$  : 中央横桁に作用する荷重 (N/mm)

$L_5$  : 中央横桁の支間長 (mm)

$Z_5$  : 中央横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A w_5$  : 中央横桁のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{\max}$  : 最大せん断力 (N)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_g$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

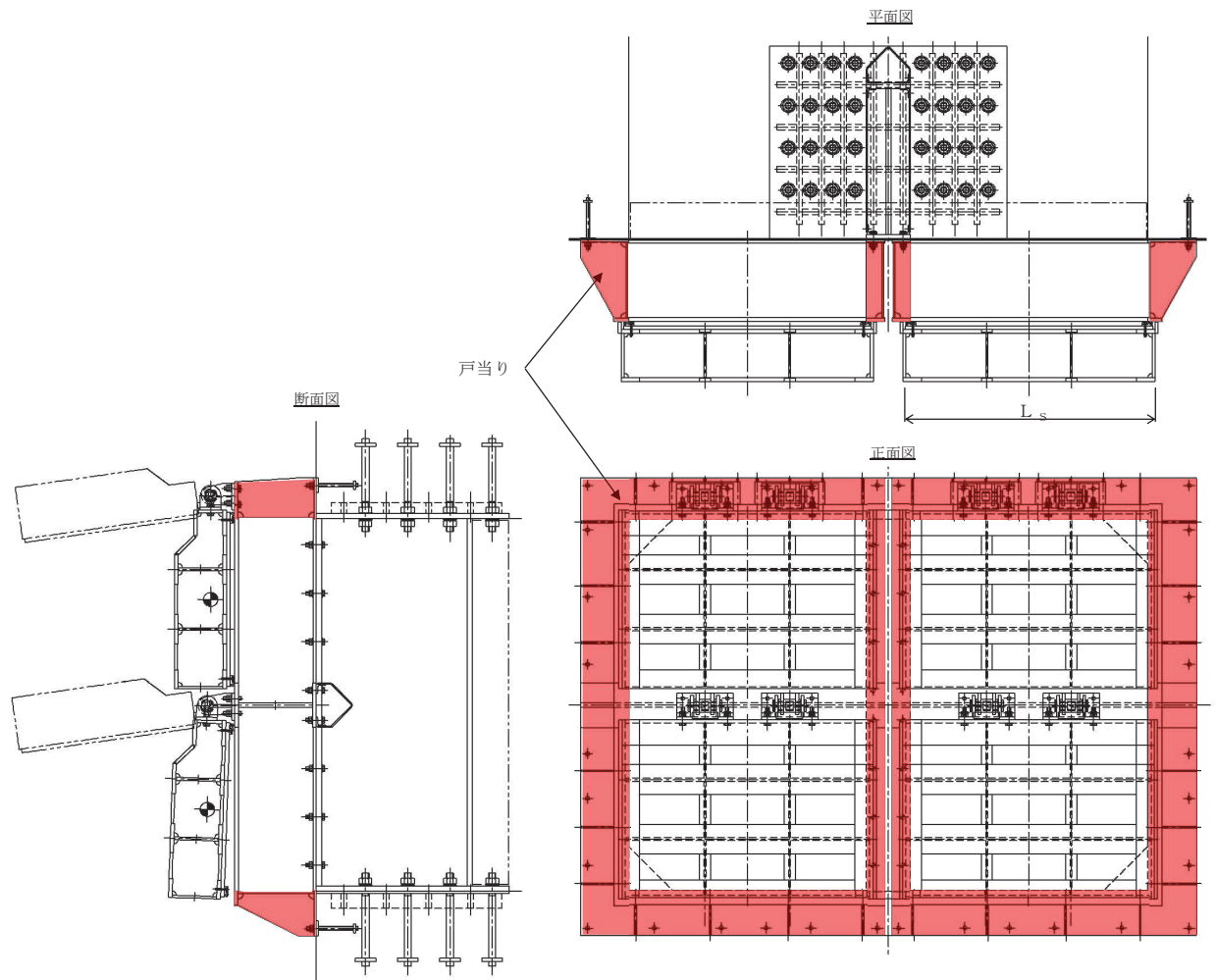
図 5-7 中央横桁のモデル図及び応力算定式



(6) 戸当り

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

戸当りのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = \frac{P_9 \cdot L_s}{2 \cdot L_c}$$

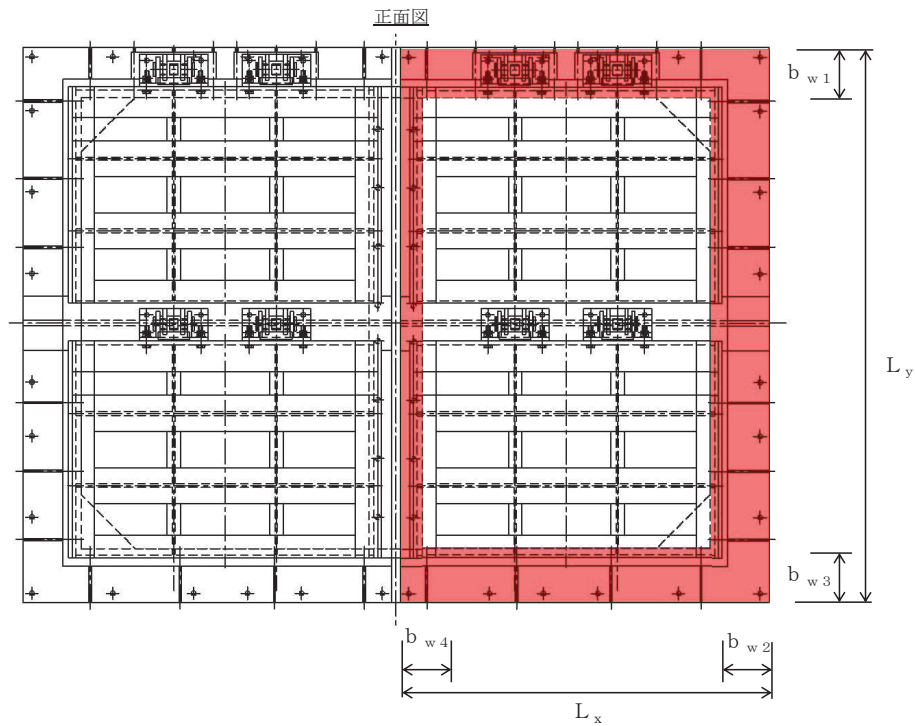
- $P_9$  : 戸当りへ作用する津波水压荷重 (N/mm<sup>2</sup>)
- $L_s$  : 戸当りから中央支柱中心までの距離 (mm)
- $L_c$  : 戸当り支圧部の板厚 (mm)
- $\sigma$  : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-8 戸当りのモデル図及び応力算定式

(7) 戸当り部コンクリート

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

戸当り部コンクリートのモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



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

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

- q : 戸当りへ作用する水平荷重 (N/mm<sup>2</sup>)
- L<sub>x</sub> : 戸当り横幅 (mm)
- L<sub>y</sub> : 戸当り縦幅 (mm)
- b<sub>w1</sub> : 上部戸当り支圧幅 (mm)
- b<sub>w2</sub> : 側部戸当り支圧幅 (mm)
- b<sub>w3</sub> : 下部戸当り支圧幅 (mm)
- b<sub>w4</sub> : 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<sub>bk</sub> : 支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図5-9 戸当り部コンクリートのモデル図及び応力算定式

(8) 漂流物防護工（防護梁）

防護梁は、両端のエンドプレートを紹介してブラケットに支持される構成のため、単純梁としてモデル化する。なお、評価においては防護梁の上下に設置するスキンプレートは考慮せず、防護梁本体の腐食代を 1mm 考慮する。

照査は、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。

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 5-10 に、応力計算式を図 5-11 に示す。

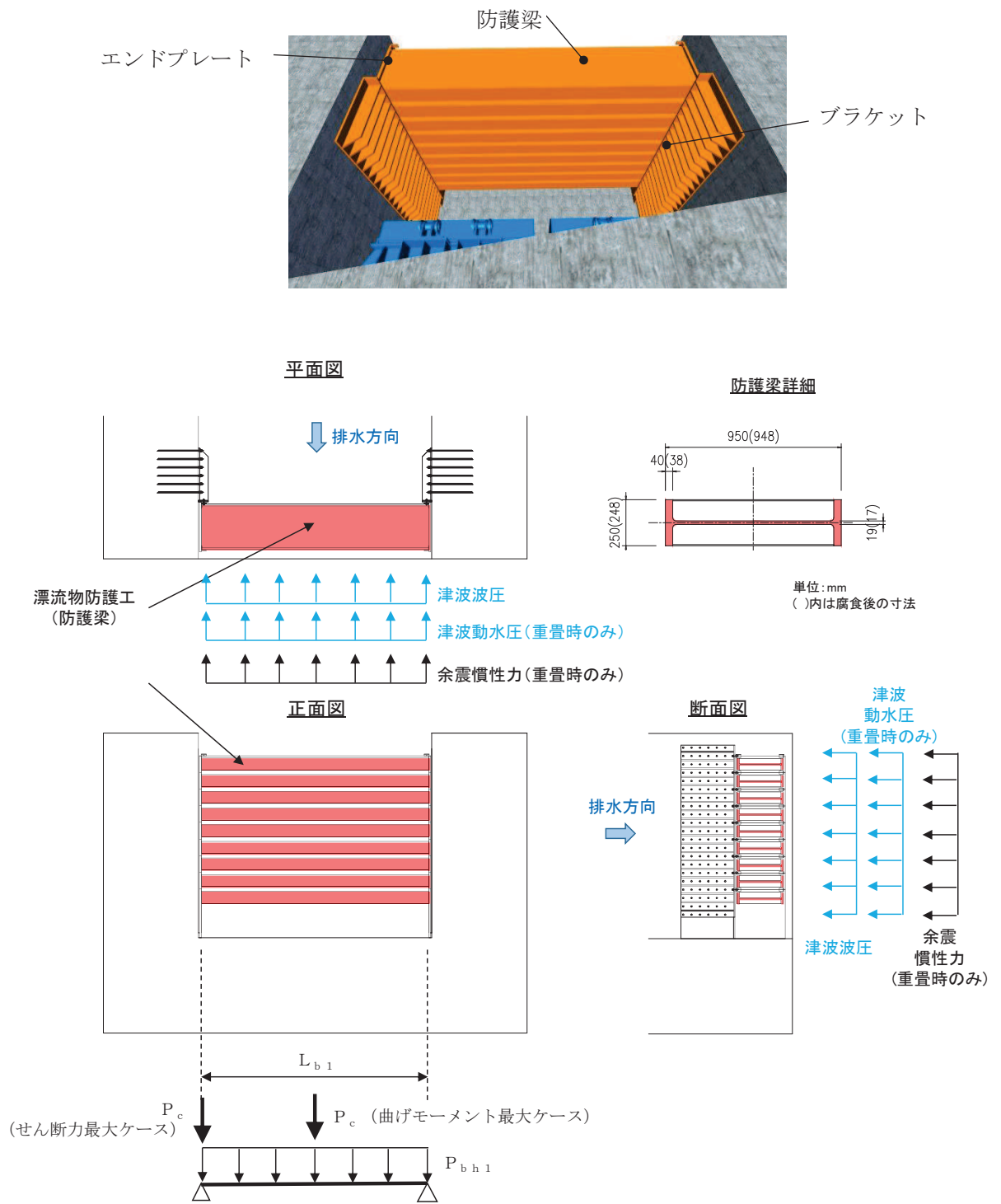


図 5-10 防護梁の構造及びモデル図

【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)

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

$P_{bh1}$  : 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 (mm<sup>3</sup>)

$A_{wbh1}$  : 防護梁の水平 (強軸) 方向のせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)

$M_{\max}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{\max}$  : 最大せん断力 (N)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$  : 短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$  : 短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-11 防護梁の応力計算式

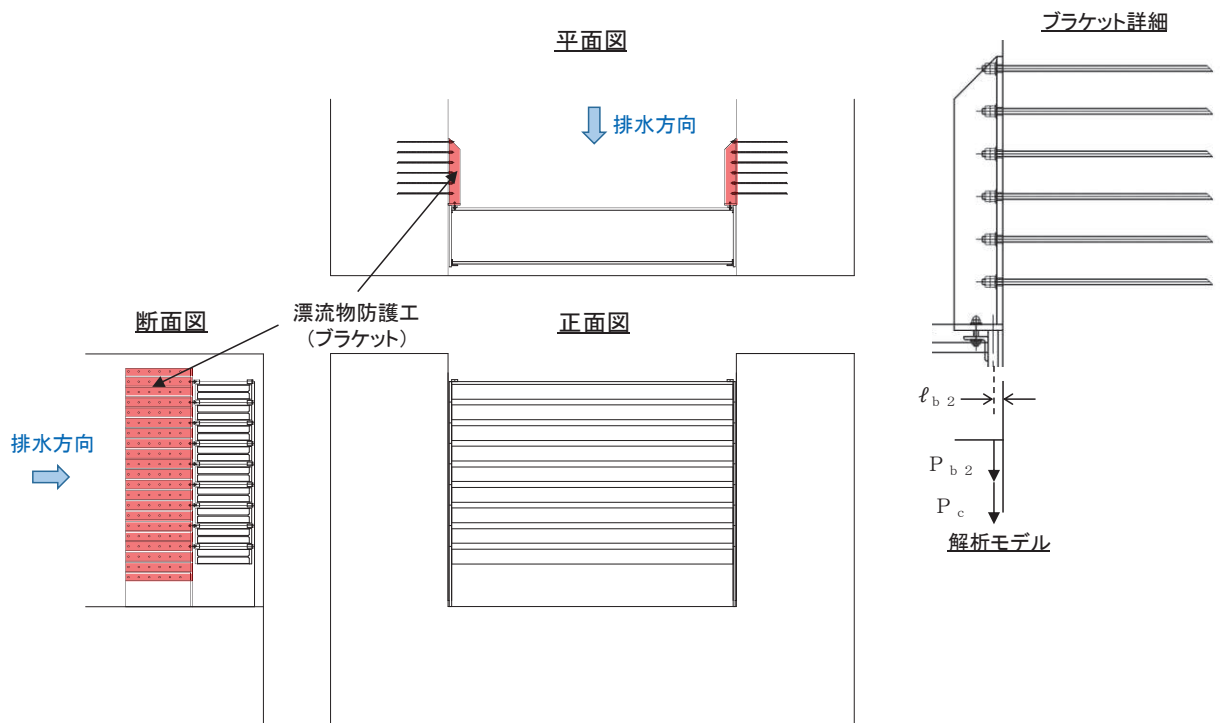
(9) 漂流物防護工（ブラケット）

ブラケットは、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。津波時及び重畳時では海側への荷重に対して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。

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、モデル図及び応力計算式を図 5-12 に示す。



$P_{b2}$  : 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)  
 $l_{b2}$  : 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<sup>3</sup>)  
 $A_{wb2}$  : ブラケットのせん断抵抗断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $M_{max}$  : 最大曲げモーメント (N・mm)  
 $S_{max}$  : 最大せん断力 (N)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_a$  : 短期許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau_a$  : 短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

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

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

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

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

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

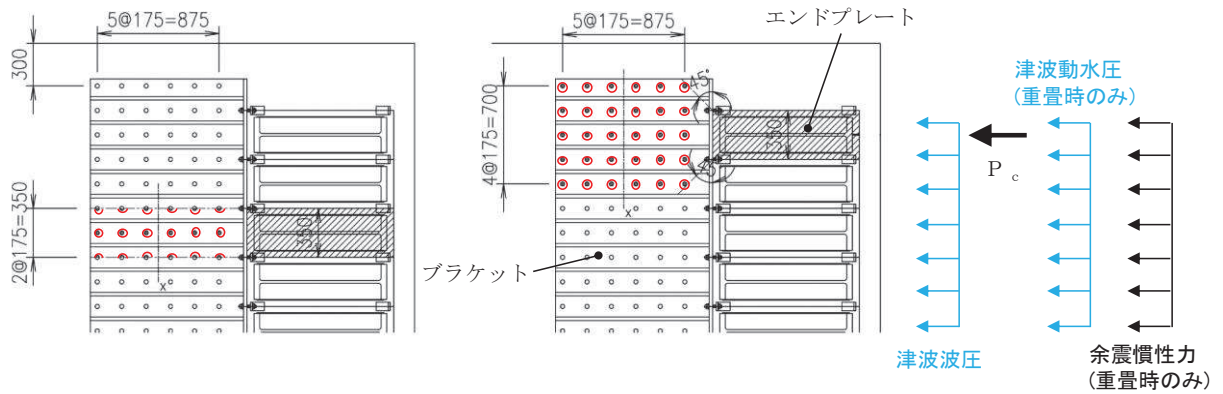
図 5-12 ブラケットの構造, モデル図及び応力計算式



(10) 漂流物防護工（アンカーボルト）

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。

防護梁 1 本に作用する荷重に対して，図 5-13 の左図に示す様に，エンドプレート幅 350mm の範囲にある 6 本 2 列，計 12 本のアンカーボルトで抵抗する。ただし，衝突荷重に対しては，図 5-13 の右図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° の荷重伝達を考えて 6 本 5 列，計 30 本で抵抗するものとする。



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

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

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

$P_{b4}$  : 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)

図 5-13 アンカーボルトの構造図 (単位 : mm)

## 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5-5に示す。

表 5-5 応力評価に用いる計算条件（1/2）

固定荷重 (1門あたりの扉体の自重) G (N)	1門あたりの 扉体面積 A <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )	水の単位体積重量 W <sub>0</sub> (N/mm <sup>3</sup> )
1.4709975×10 <sup>4</sup>	2.04×10 <sup>6</sup>	1.01×10 <sup>-5</sup>

区画	スキンプレート				
	辺長比 (b/a) に よる係数 k	短辺 a <sub>1</sub> (mm)	長辺 b <sub>1</sub> (mm)	板厚 t <sub>1</sub> (mm)	単位面積当たりの 荷重 P <sub>1</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1~2桁	43.94	400	570	25	0.48
2~3桁	43.94	400	570	25	0.48
3~4桁	43.94	400	570	25	0.48

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 <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	主桁の せん断抵抗断面積 A <sub>w2</sub> (mm <sup>2</sup> )
1桁	96	1700	8.130379×10 <sup>5</sup>	3.40×10 <sup>3</sup>
2, 3桁	192	1700	1.769048×10 <sup>6</sup>	6.00×10 <sup>3</sup>
4桁	96	1700	1.137798×10 <sup>6</sup>	4.50×10 <sup>3</sup>

補助縦桁に作用する 各区画の平均荷重 p (N/mm <sup>2</sup> )	補助縦桁の 主桁間隔 ℓ (mm)	補助縦桁の断面係数 Z <sub>3</sub> (mm <sup>3</sup> )	補助縦桁の せん断抵抗断面積 A <sub>w3</sub> (mm <sup>2</sup> )
4.8×10 <sup>-1</sup>	400	3.266545×10 <sup>5</sup>	2.16×10 <sup>3</sup>

中央支柱に作用する 荷重 w <sub>4</sub> (N/mm)	中央支柱固定高 L <sub>4</sub> (mm)	中央支柱の断面係数 Z <sub>4</sub> (mm <sup>3</sup> )	中央支柱の せん断抵抗断面積 A <sub>w4</sub> (mm <sup>2</sup> )
864.0	2500	1.5535178×10 <sup>7</sup>	3.43×10 <sup>4</sup>

中央横桁に作用する 荷重 w <sub>5</sub> (N/mm)	中央横桁の 支間長 L <sub>5</sub> (mm)	中央横桁の断面係数 Z <sub>5</sub> (mm <sup>3</sup> )	中央横桁の せん断抵抗断面積 A <sub>w5</sub> (mm <sup>2</sup> )
626.4	1600	4.897727×10 <sup>6</sup>	1.50×10 <sup>4</sup>

表 5-5 応力評価に用いる計算条件 (2/2)

戸当りへ作用する荷重 $P$ (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	戸当り横幅 $L_x$ (mm)	戸当り縦幅 $L_y$ (mm)
0.480	1220	12	1.32	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 <sup>3</sup> )	水平(強軸)方向のせん断抵抗断面積 $A_{wbh1}$ (mm <sup>2</sup> )
(津波時)0.02058 (重畳時)0.1172	4820	$10.22 \times 10^6$	$14.82 \times 10^3$

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 <sup>3</sup> )	ブラケットのせん断抵抗断面積 $A_{wb2}$ (mm <sup>2</sup> )
(津波時) $50.4 \times 10^3$ (重畳時) $287.1 \times 10^3$	40	$14.67 \times 10^6$	$50.6 \times 10^3$

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) $2.016 \times 10^6$ (重畳時) $11.5 \times 10^6$	$80 \times 10^6$

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) $50.4 \times 10^3$ (重畳時) $287.1 \times 10^3$	$400 \times 10^3$	1225	6

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 <sup>2</sup> )	許容応力 b (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 a/b		
扉体	スキンプレート	曲げ応力度	54.00	154	0.36		
	主桁	1桁	曲げ応力度	42.66	154	0.28	
				2,3桁	39.21	154	0.26
				4桁	30.48	154	0.20
		2,3桁	せん断応力度	24.00	88	0.28	
				27.20	88	0.31	
				18.14	88	0.21	
		1桁	合成応力度*	59.57	154	0.39	
				61.30	154	0.40	
	4桁	43.78	154	0.29			
	補助縦桁	曲げ応力度	7.84	153	0.06		
		せん断応力度	8.89	88	0.11		
		合成応力度*	17.28	154	0.12		
	中央支柱	曲げ応力度	28.97	143	0.21		
		せん断応力度	31.49	88	0.36		
		合成応力度*	61.76	154	0.41		
中央横桁	引張応力度	40.93	153	0.27			
	せん断応力度	33.41	88	0.38			
	合成応力度*	70.88	154	0.47			
固定部	戸当り	支圧応力度	34.00	231	0.15		
	戸当り部コンクリート	支圧応力度	1.33	13.5	0.10		
		せん断応力度	0.67	1.5	0.45		

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(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 <sup>2</sup> )	許容応力 b (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	許容応力 b (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 a/b
漂流物 防護工	防護梁	曲げ応力度	34	382	0.09
		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	24	85	0.29
		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。

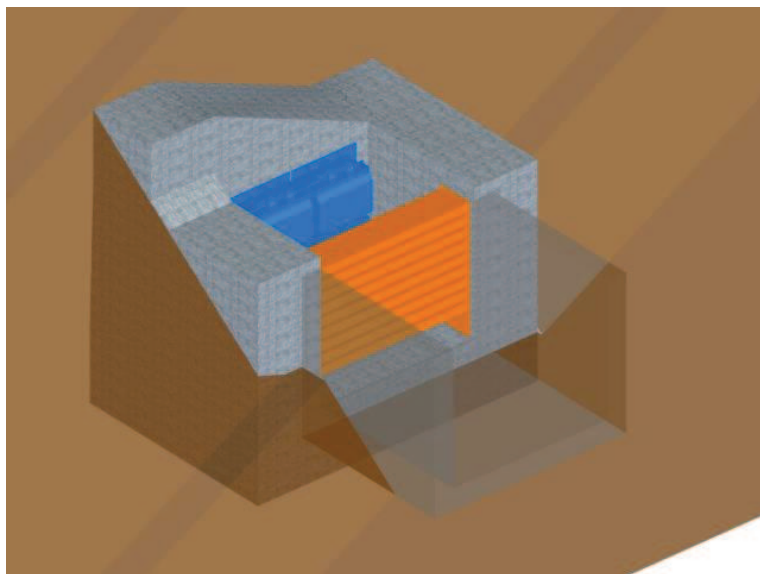
## 7. 出口側集水ピットの強度評価

### 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。

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 に、構造図を図 7-2 に、概略配筋図を図 7-3 に示す。



構造概略図  
(正面)

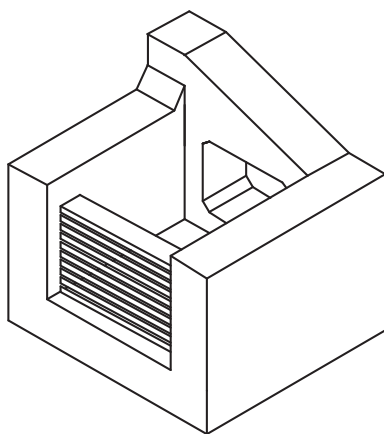


図 7-1 出口側集水ピットの概念図

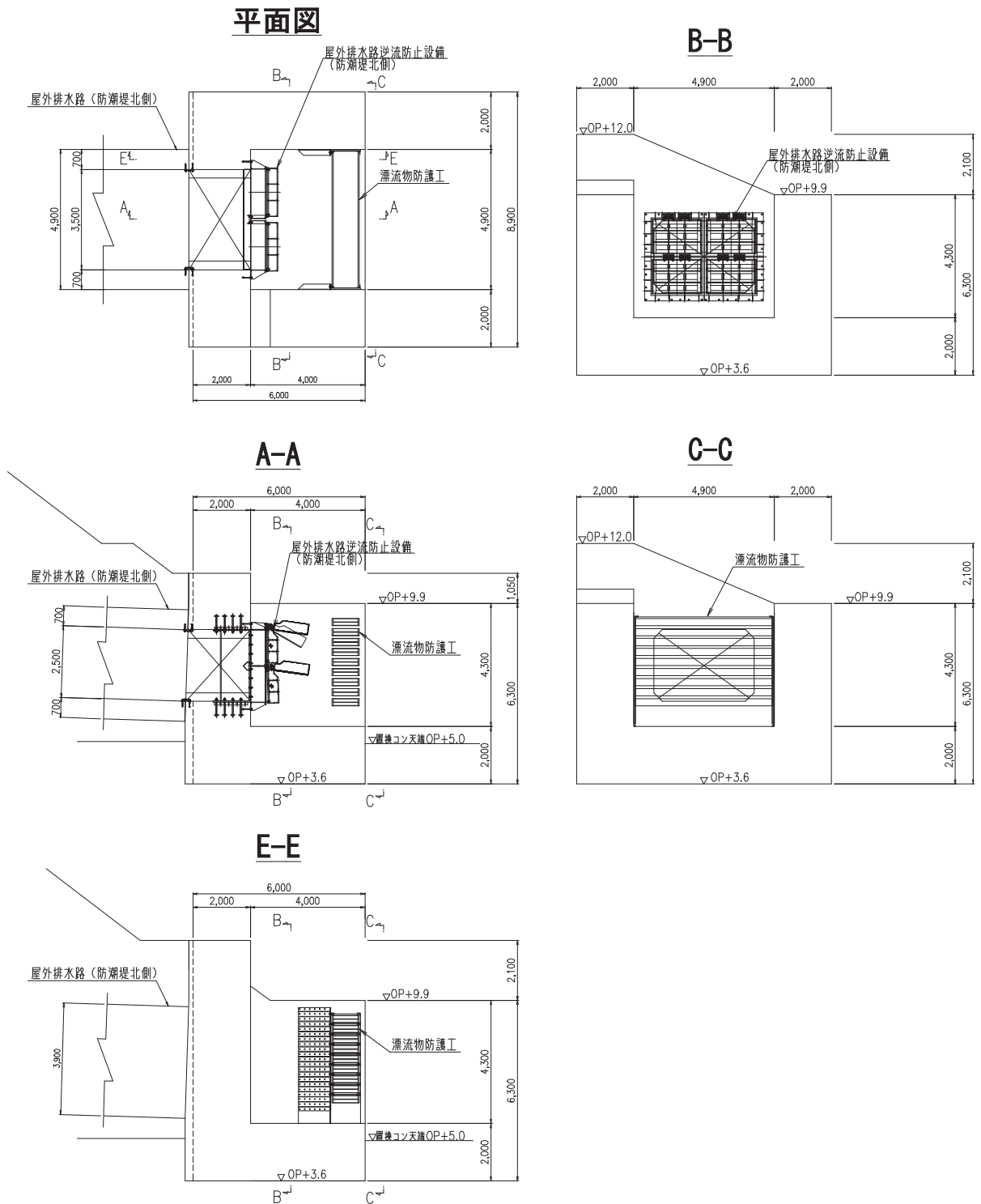
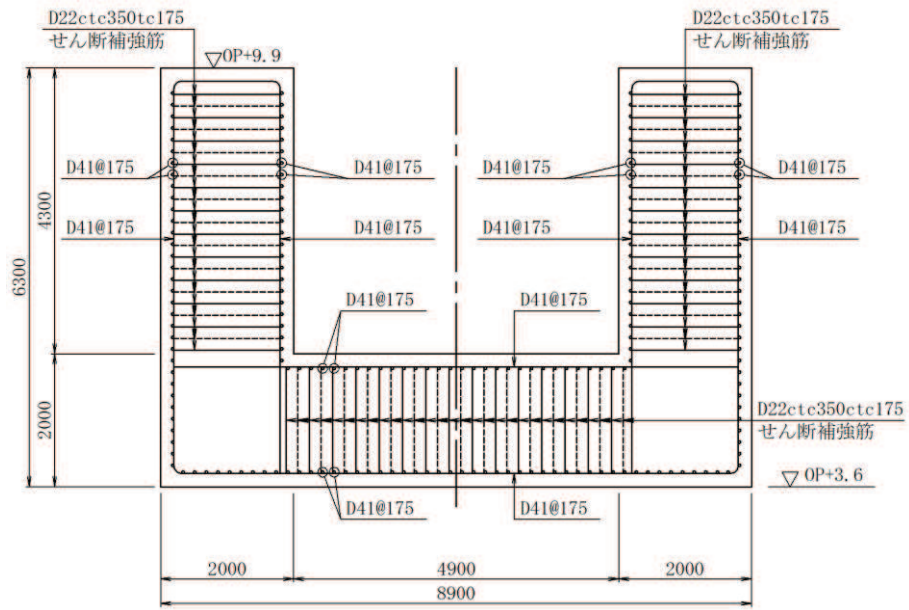


図 7-2 出口側集水ピット構造図 (単位 : mm)



B-B 断面



E-E 断面

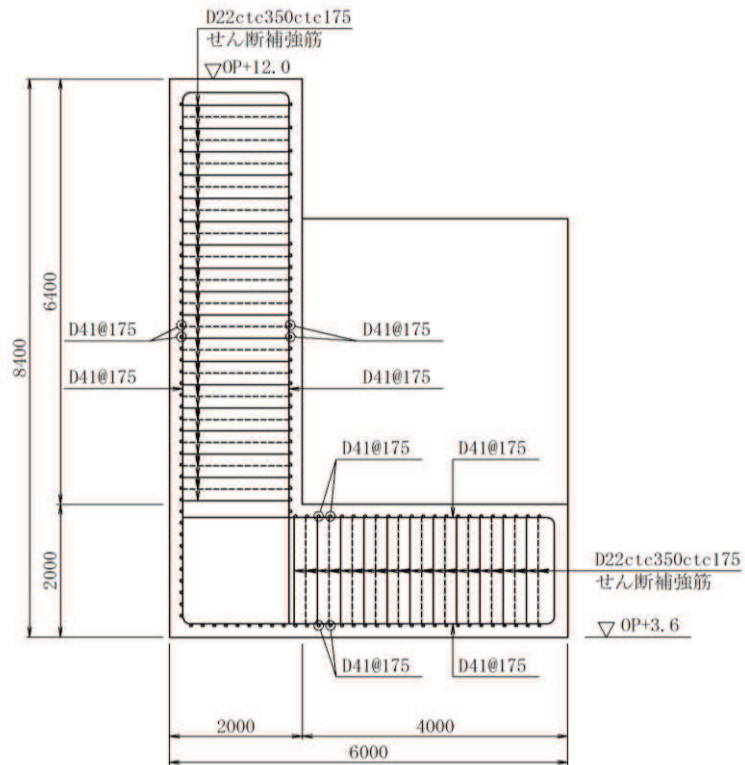


図 7-3 出口側集水ピット概要配筋図 (単位 : mm)

## 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 7-1 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  $S_d - D2$  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 7-4 に示す。

表 7-1 出口側集水ピットの評価項目

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

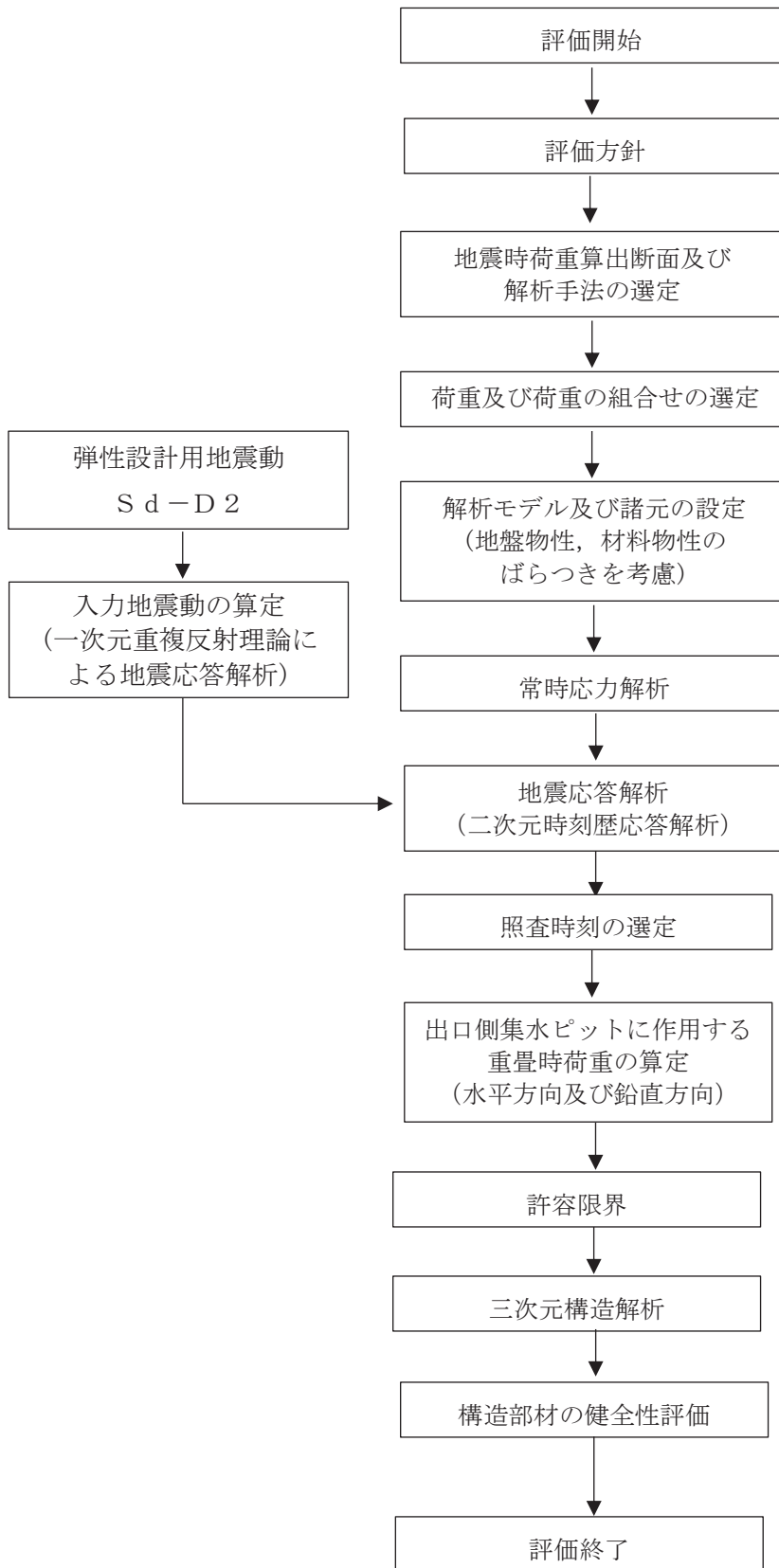


図 7-4 出口側集水ピットの強度評価フロー

### 7.3 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- (2) 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成25年6月制定）（以下「耐津波設計に係る工認審査ガイド」という。）
- (3) 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）
- (4) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- (5) 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- (6) 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）
- (7) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会 原子力土木委員会，2005年6月）

## 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 に示す。

表 8-1 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
$P_t$	$\text{kN/m}^2$	遡上津波荷重
$K_{Sd}$	$\text{kN/m}^2$	余震荷重
$\sigma_{ca}$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
$\tau_{a1}$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの短期許容せん断応力度
$\sigma_{sa}$	$\text{N/mm}^2$	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
$Q_x, Q_y$	$\text{kN/m}$	面外せん断力
$N_x, N_y$	$\text{kN/m}$	軸方向力
$N_{xy}$	$\text{kN/m}$	面内せん断力
$M_{xy}$	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	ねじりモーメント

## 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 8-1 に示す。重畳時荷重算出断面は、構造的な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 に示す。

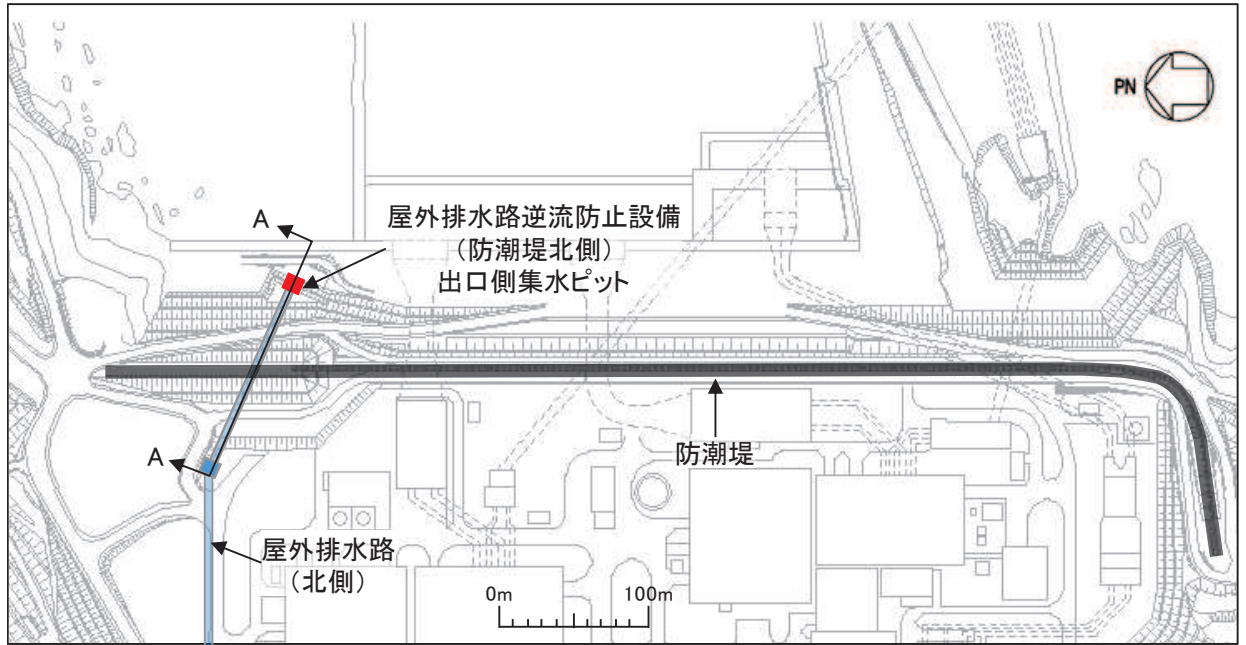


図 8-1 出口側集水ピットの評価対象断面位置図

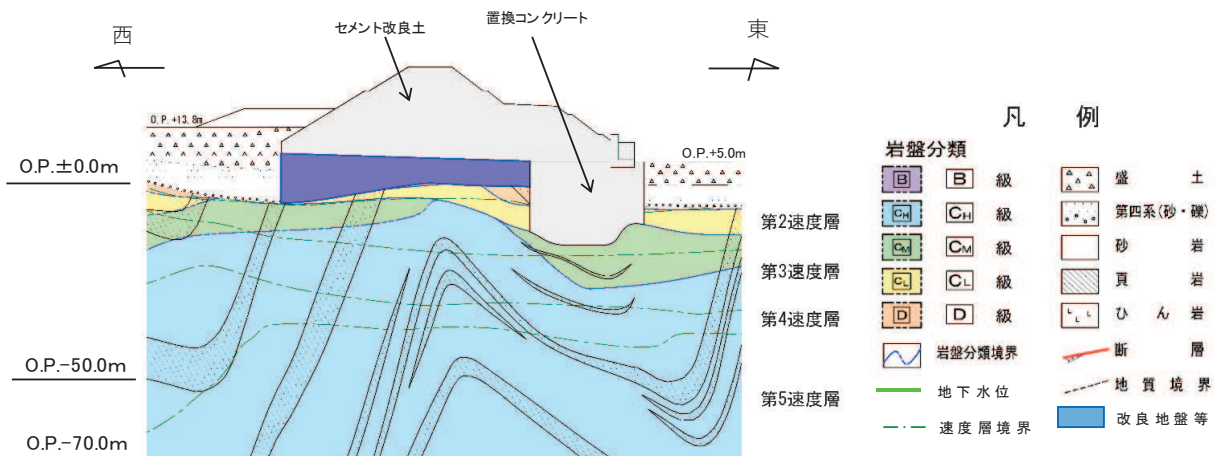


図 8-2 出口側集水ピットの評価対象断面図

### 8.3 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 $4.9\text{kN/m}^2$ を考慮する。

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である $43\text{cm}$ 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 $1\text{cm}$ ごとに $20\text{N/m}^2$ 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。

(6) 衝突荷重 ( $P_c$ )

衝突荷重については、 $2.15\text{t}$ 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 8-2 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 8-2 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 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 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P_t$
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  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$P_t$  : 遡上津波荷重

$K_{sd}$  : 余震荷重



## 8.4 許容限界

### 8.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

#### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 8-4 及び表 8-5 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 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	f' ck=30.0(N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{ca}$	11.0
許容せん断応力度 $\tau_{al}$		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 8-5 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	SD345	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	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 8-4 及び表 8-5 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 8-1 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 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) 構造部材

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

なお、防潮堤（盛土堤防）のセメント改良土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。

#### (b) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤が分布しており、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 8-6 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 $\sigma$ 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 8-6 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 <sub>1</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	平均値

(c) 解析ケースの選定

津波時においては, 表 8-6 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

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-3 に示す。

イ. 解析領域

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

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。

ハ. 構造物のモデル化

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

なお、防潮堤（盛土堤防）の鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、背面補強工及び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。

ニ. 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。

ホ. ジョイント要素の設定

「セメント改良土・改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「セメント改良土と改良地盤」、「改良地盤と置換コンクリート」、「出口側集水ピットとセメント改良土」及び「出口側集水ピットと置換コンクリート」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

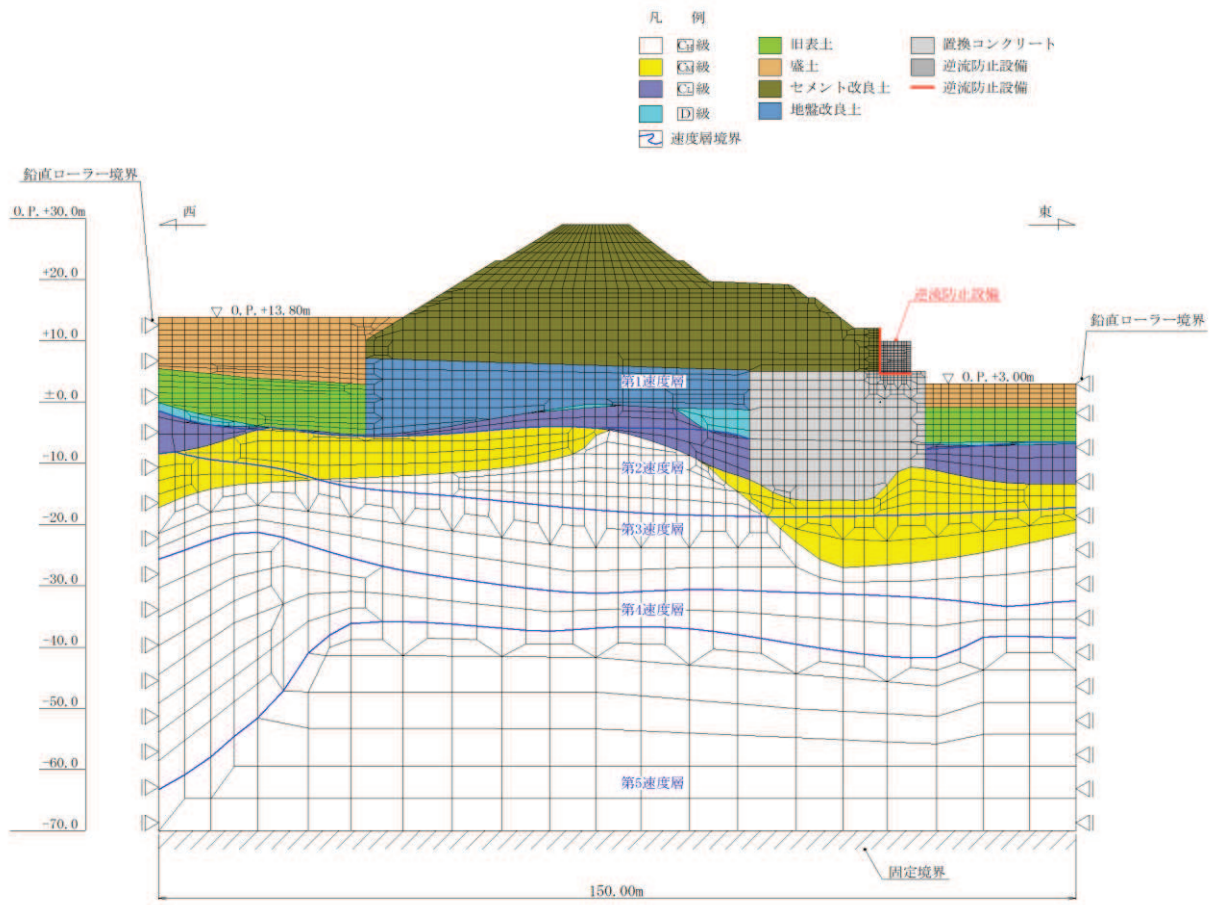


図 8-3 出口側集水ピットの解析モデル (津波時)

(b) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-7 に、材料の物性値を表 8-8 に示す。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 8-7 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 <sup>2</sup>
防潮堤（盛土堤防）	置換コンクリート	設計基準強度 30 N/mm <sup>2</sup>

表 8-8 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	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 <sup>4</sup>	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 <sup>4</sup>	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。

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。

(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 に示す。また、設計用地下水位の一覧を表 8-9 に示す。

表 8-9 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。

(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 8-4 に評価対象部材を示す。

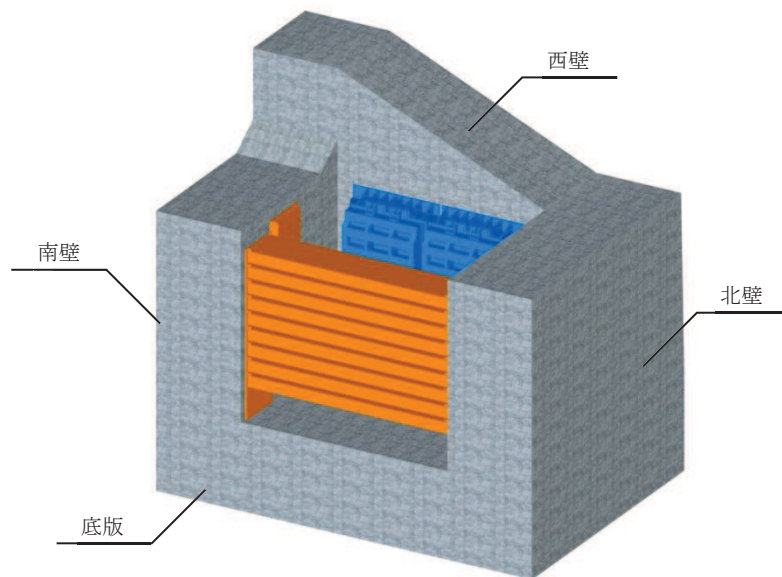


図 8-4 三次元構造解析の評価対象部材

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 に、要素分割図を図 8-6 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、西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。

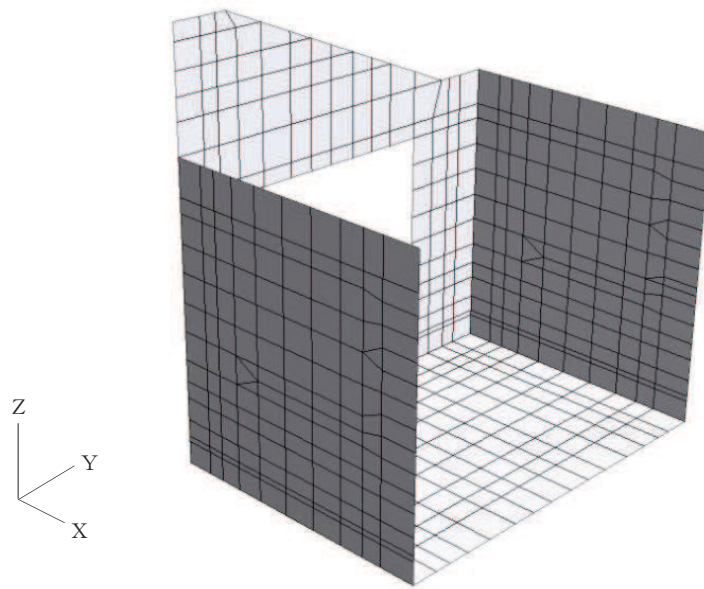
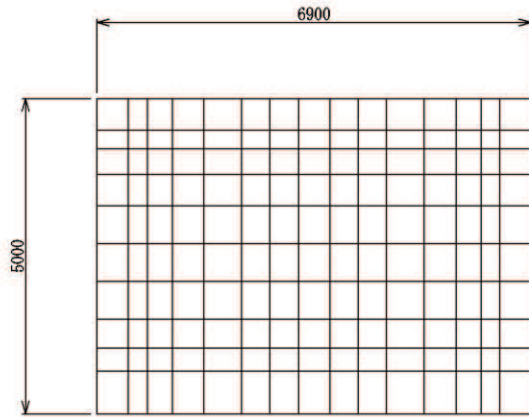
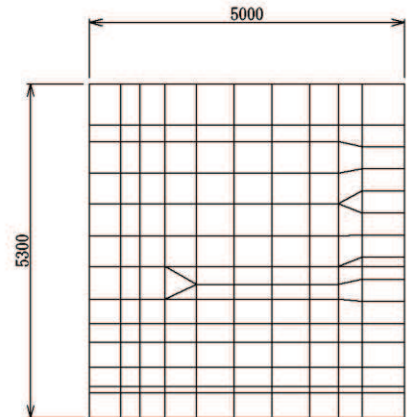


図 8-5 出口側集水ピットのモデル概念図

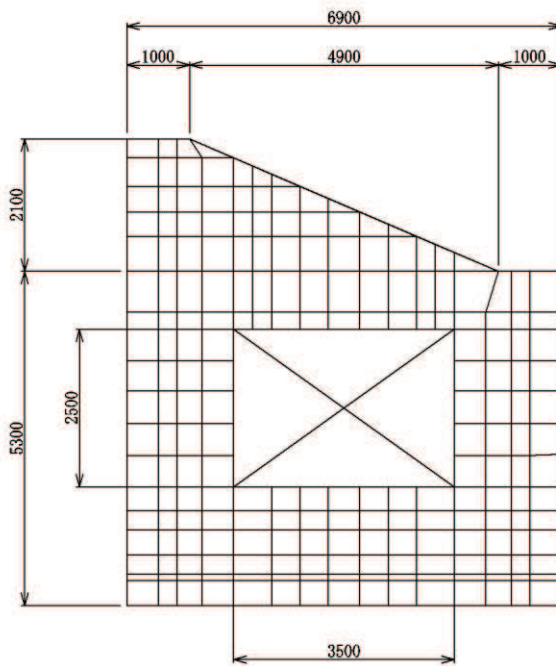




(a) 底板



(b) 南壁及び北壁



(c) 西壁

図 8-6 要素分割図 (単位 : mm)

(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 8-10 に示す。

表8-10 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	静水圧	躯体側面，上面に作用する静水圧

なお，衝突荷重の作用位置は図 8-7 に示す 3 パターンを実施する。

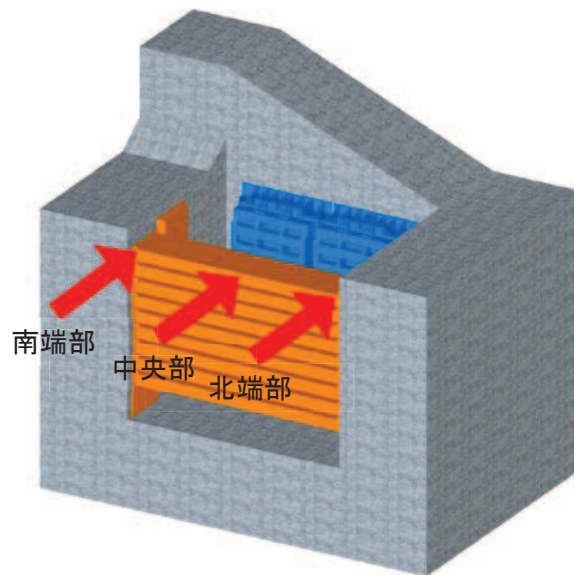


図 8-7 衝突荷重作用位置

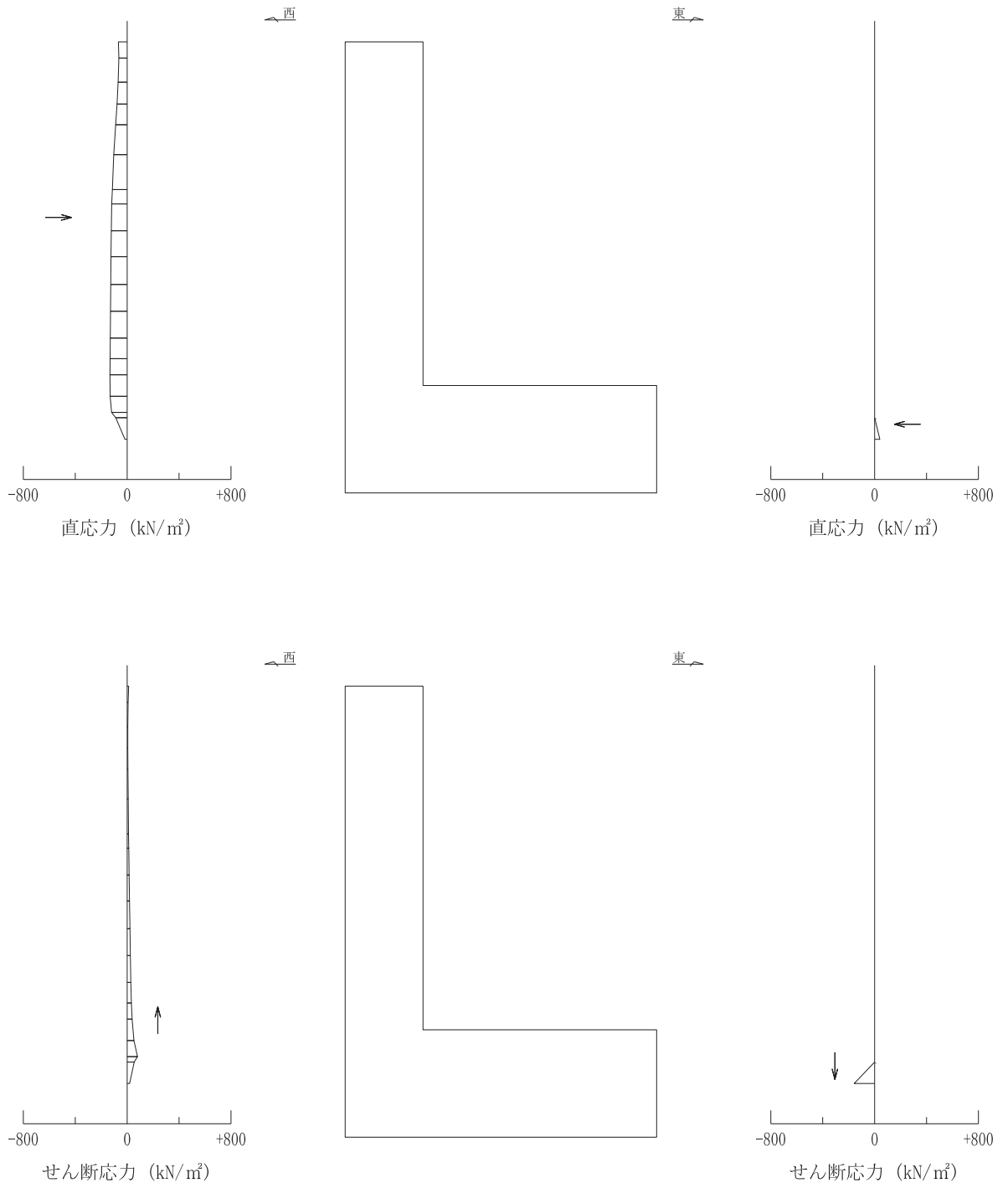


図 8-8 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)  
(解析ケース③)

e. 三次元構造解析結果

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

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-10～図 8-14 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 8-15、図 8-16 に示す。

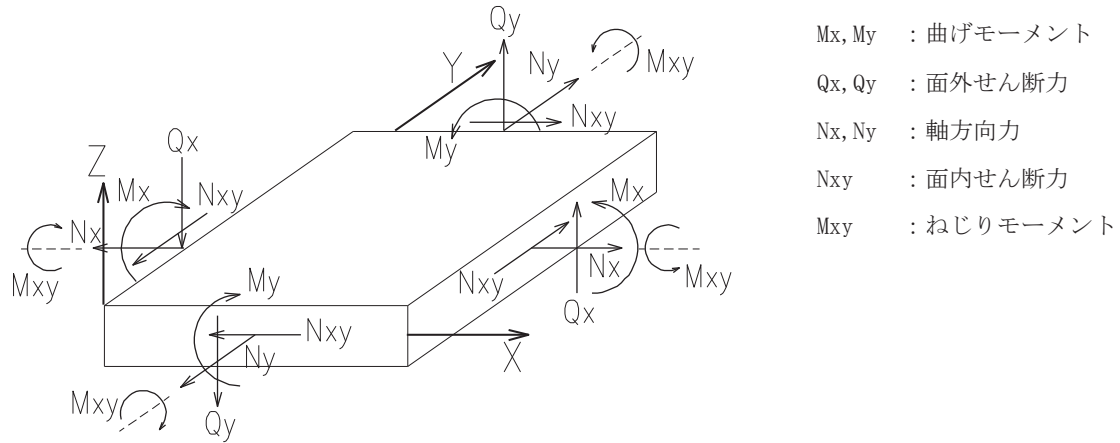


図 8-9 シェル要素における応答断面力

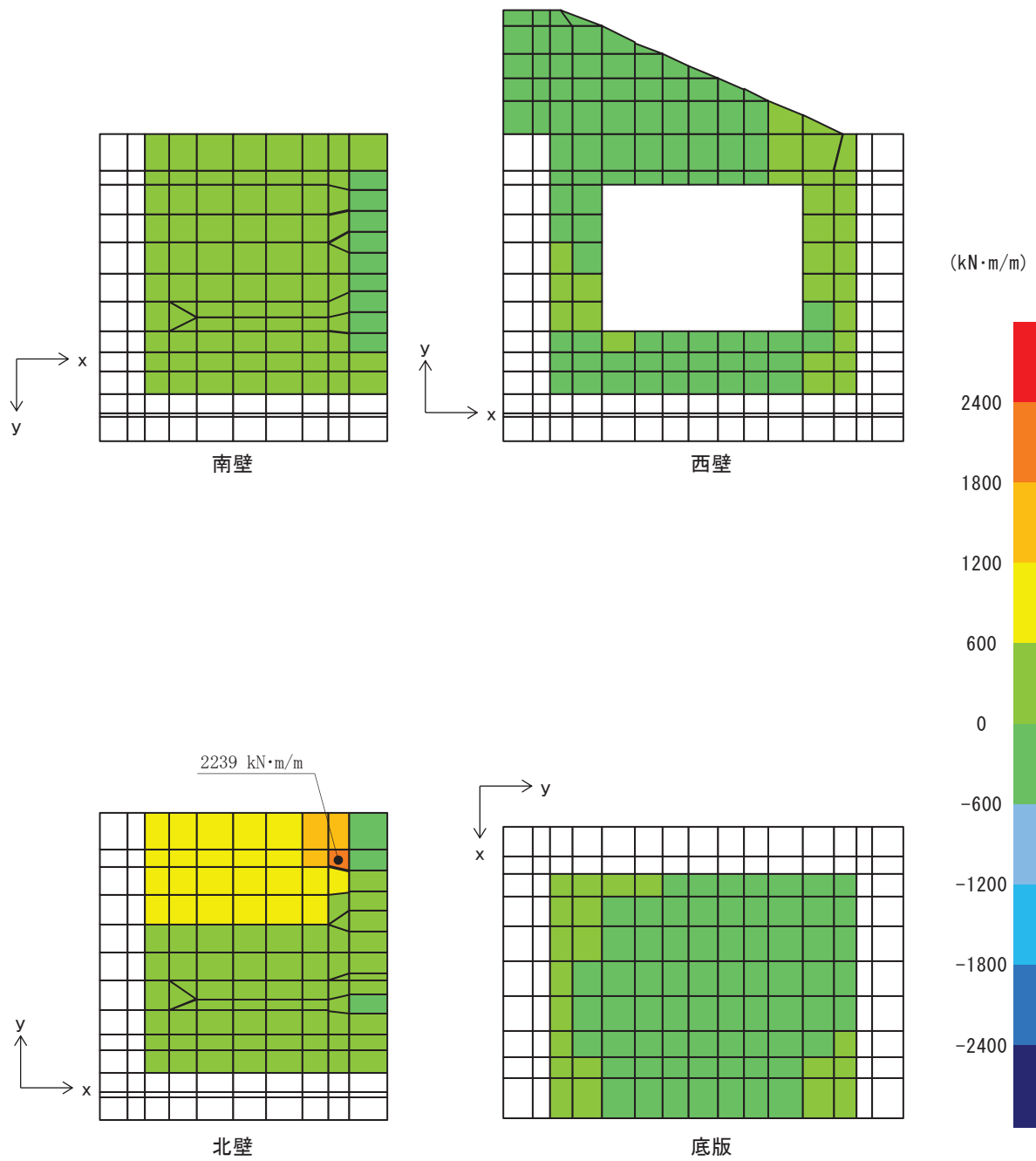


図 8-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (曲げモーメント( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ) :  $M_x$ )  
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

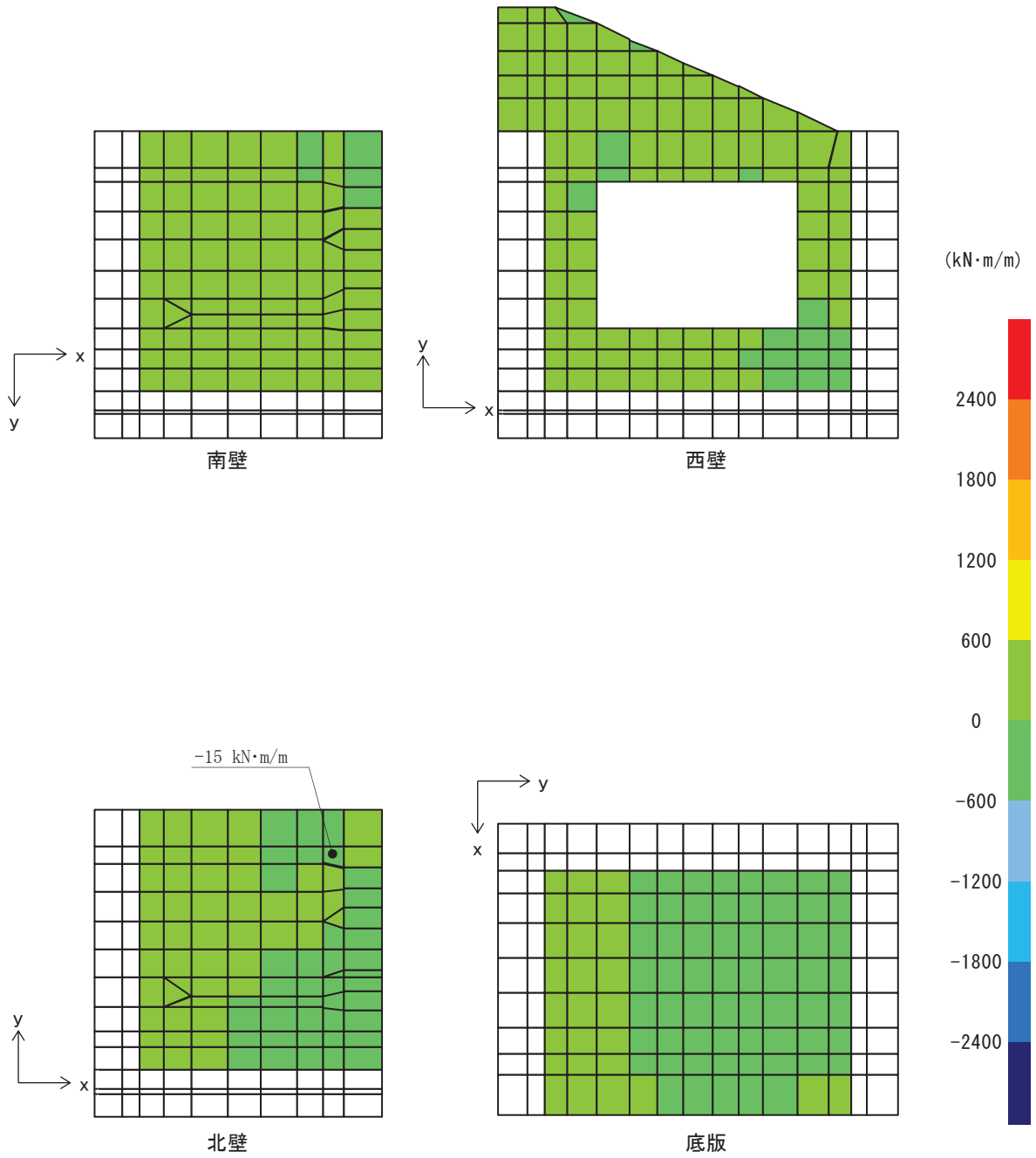


図 8-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (曲げモーメント( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ) :  $M_y$ )  
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

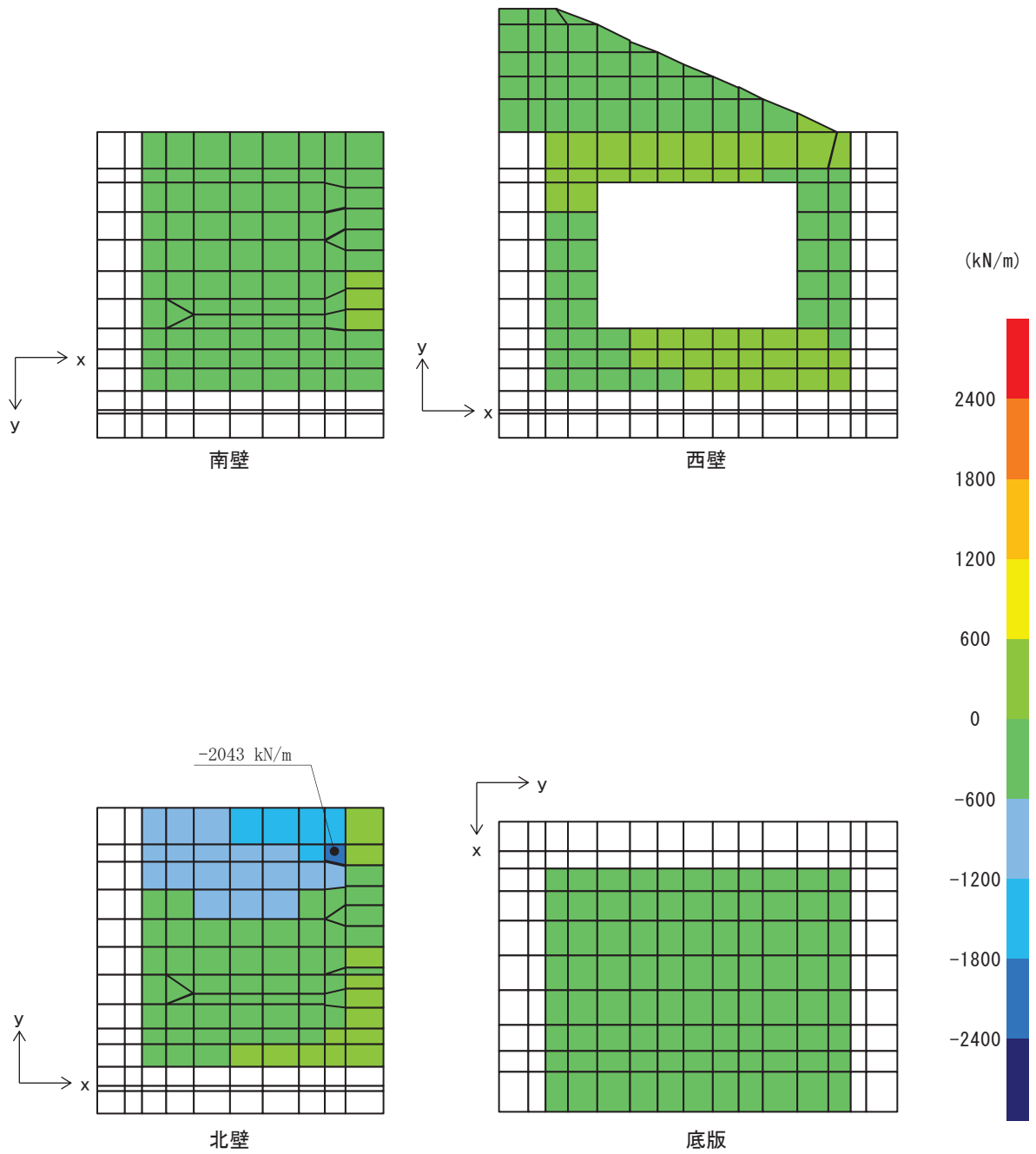


図 8-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (軸力  $\text{(kN/m)}$  :  $N_x$ )  
 (北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置 : 北端部)

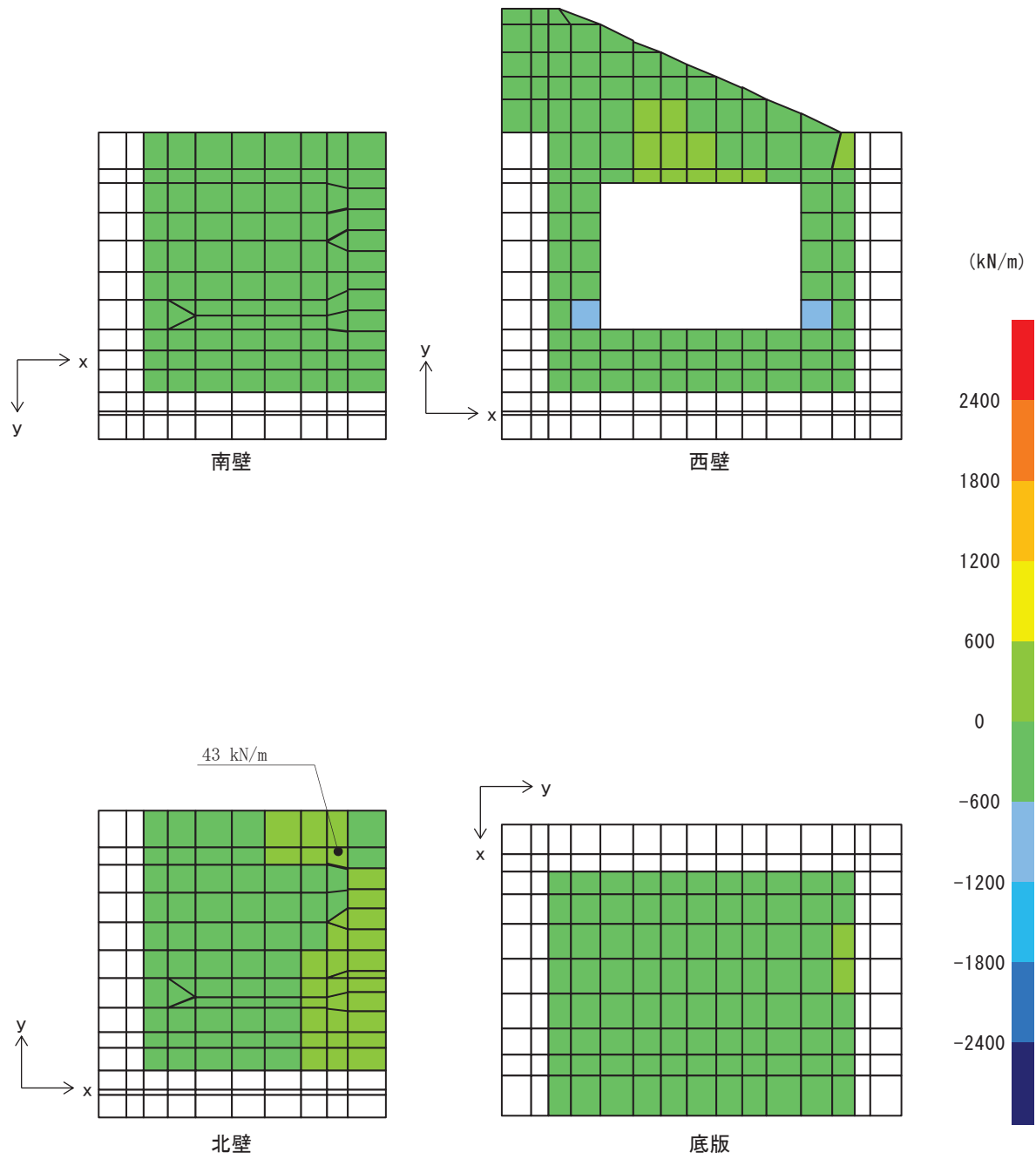


図 8-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) :  $N_y$ )

(北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置: 北端部)



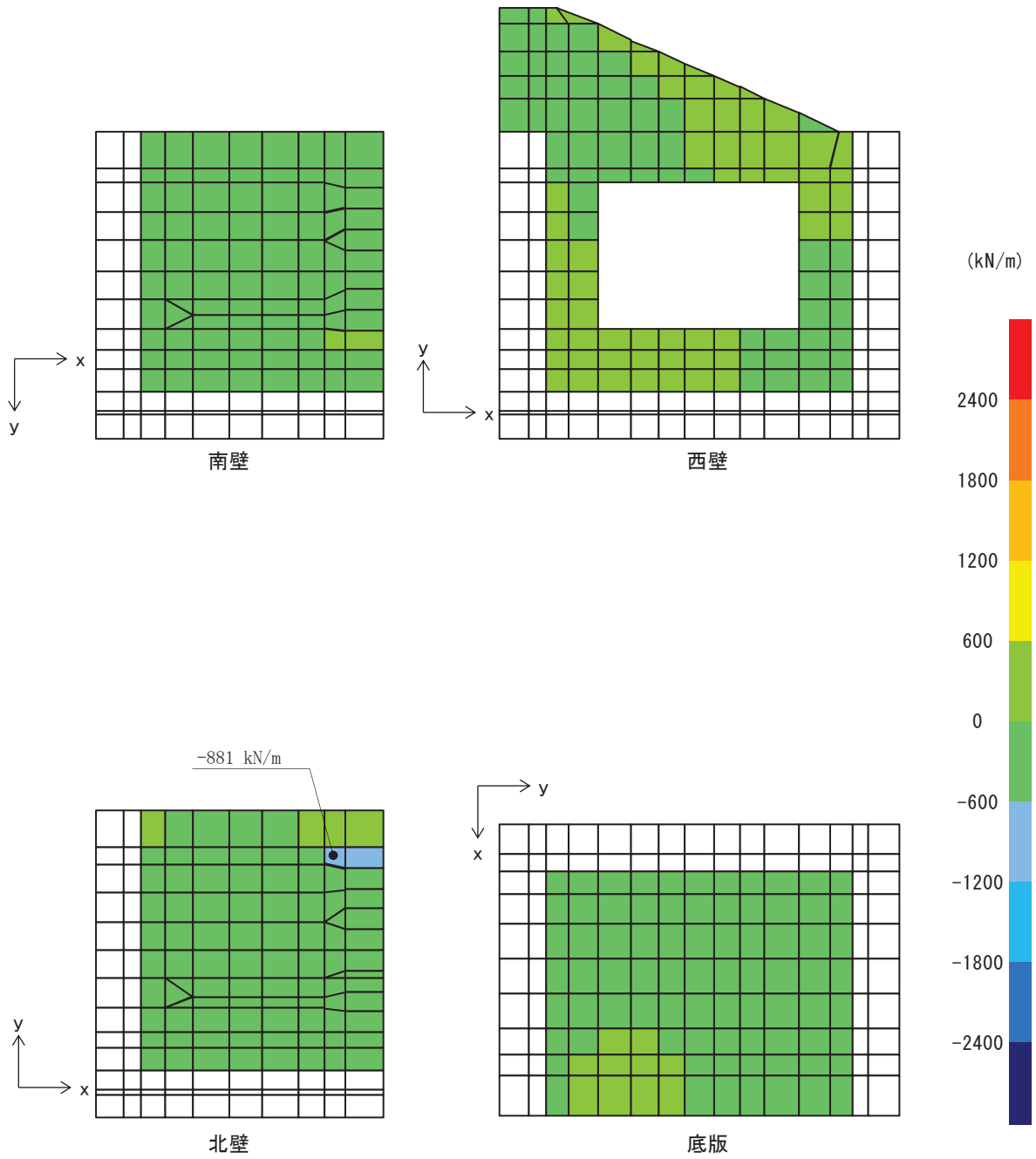


図8-14 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力  $(\text{kN/m})$  :  $N_{xy}$ )

(北壁, 解析ケース③, 衝突荷重作用位置: 北端部)

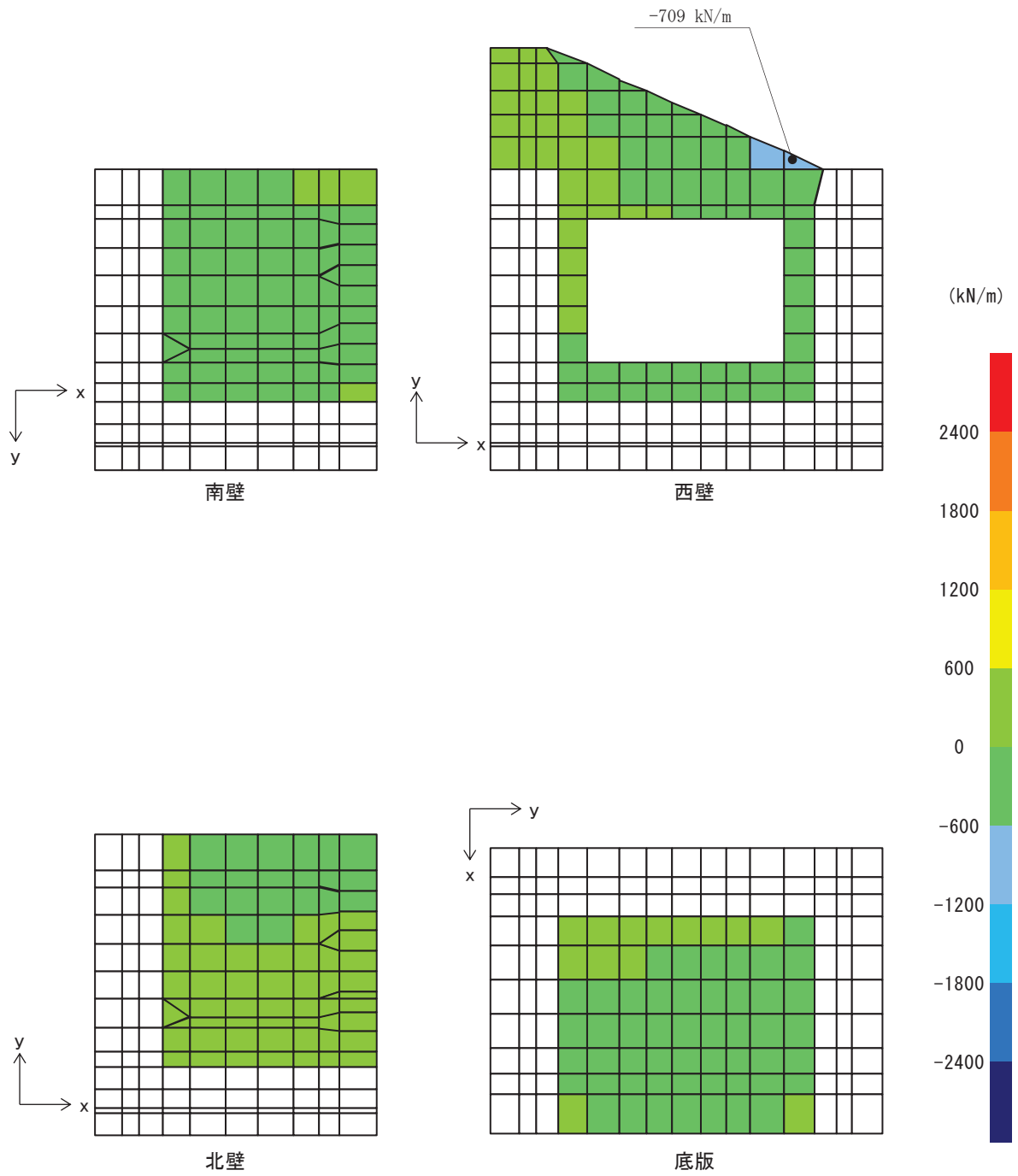


図8-15 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(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)

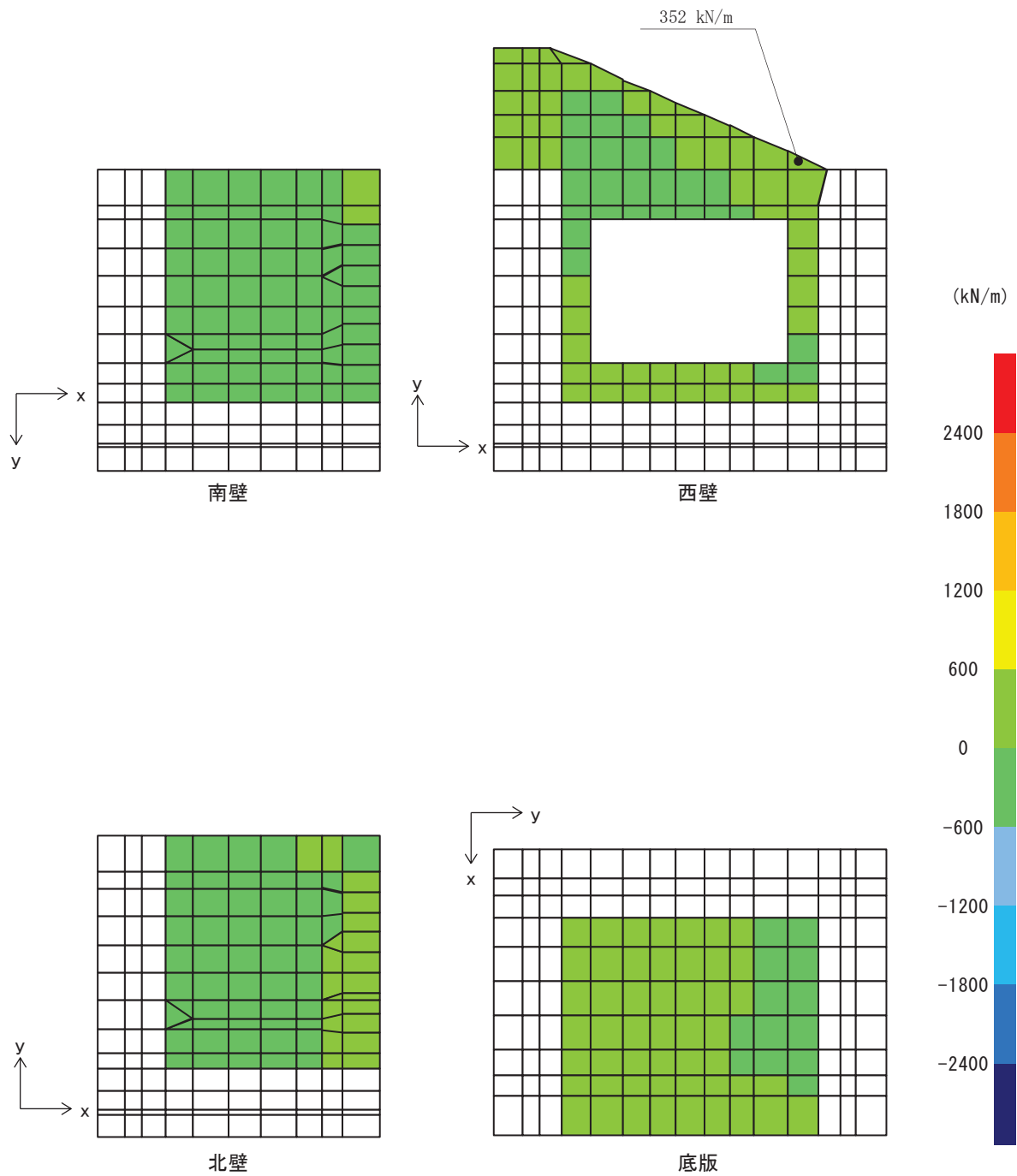


図8-16 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(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. 荷重算出断面

出口側集水ピットの重畳時荷重算出断面位置を図 3-1 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、A-A断面とする。

断面図を図 8-2 に示す。

#### 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) 構造部材

出口側集水ピットは、西壁及び底版は線形はり要素（ビーム要素）、南北壁は平面ひずみ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。

#### (b) 材料物性及び地盤物性のばらつき

図 8-2 に示すとおり、出口側集水ピットの周辺には、主として旧表土、盛土、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が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 8-11 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。

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 8-11 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 <sub>1</sub> 級岩盤, C <sub>M</sub> 級岩盤, C <sub>H</sub> 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 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 $\sigma$	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。

(c) 減衰定数

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

(d) 解析ケースの選定

重畳時においては, 弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して, 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・軸力系の破壊及びせん断破壊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 8-11 に示す解析ケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 8-12 に示す。

また, 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 8-12 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 (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) 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 $\sigma$	平均値 - 1 $\sigma$	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、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊において照査値が 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。 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。	
		-+*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。

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  $S_d - D 2$  を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 8-17 に入力地震動算定の概念図を、図 8-18 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。

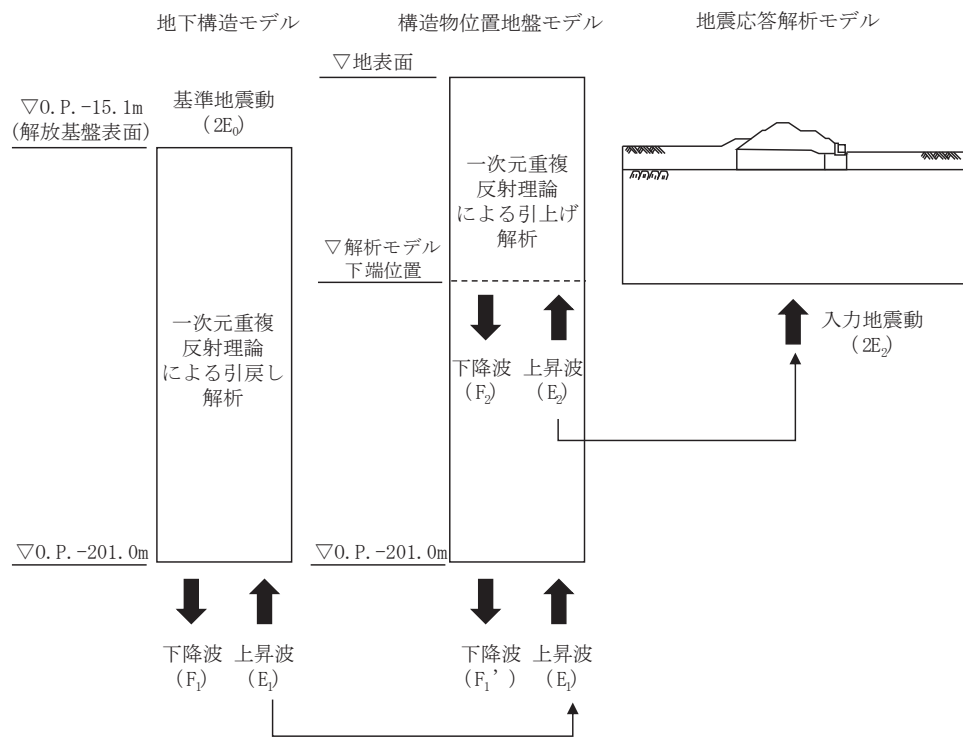
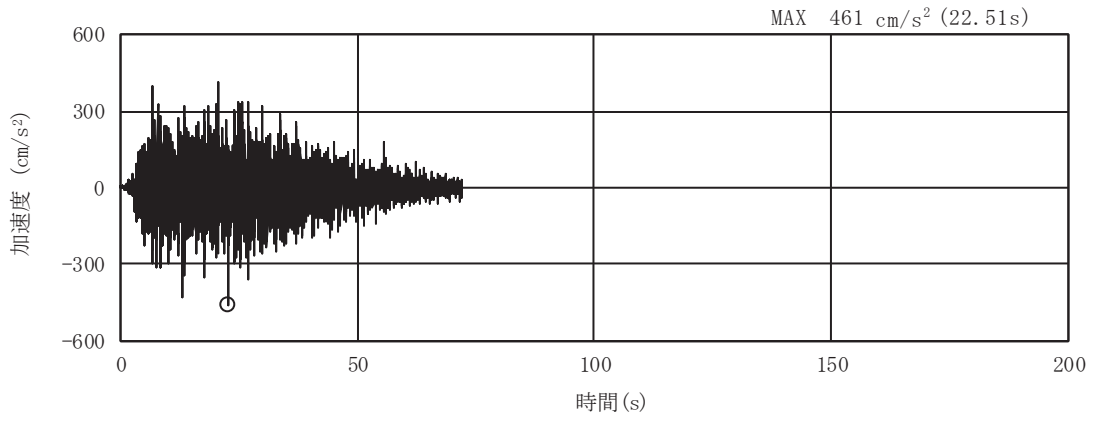
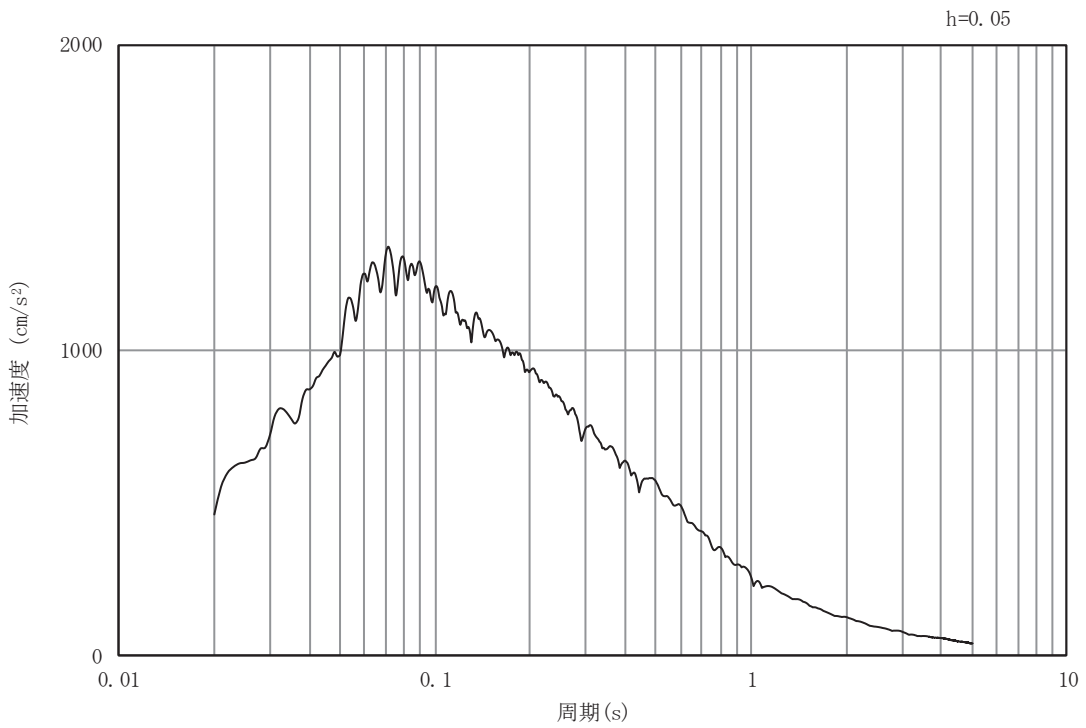


図 8-17 入力地震動算定の概念図



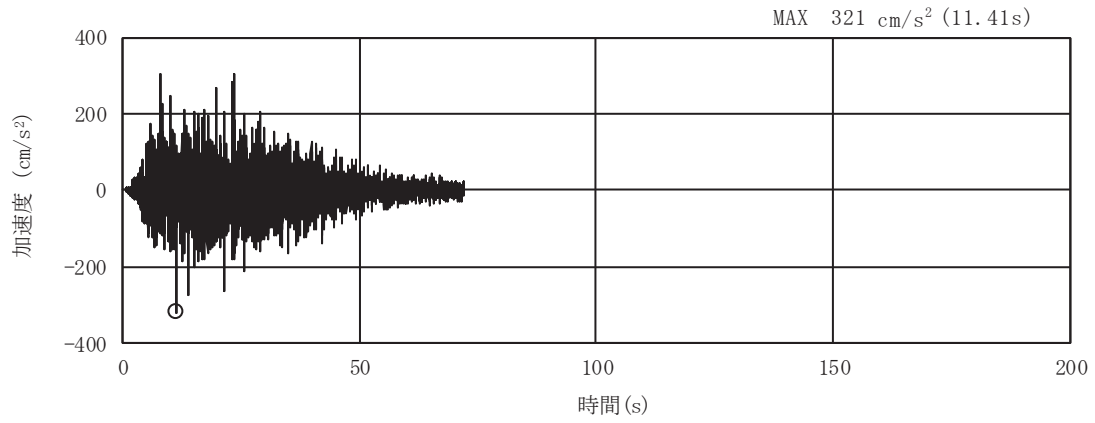


(a) 加速度時刻歴波形

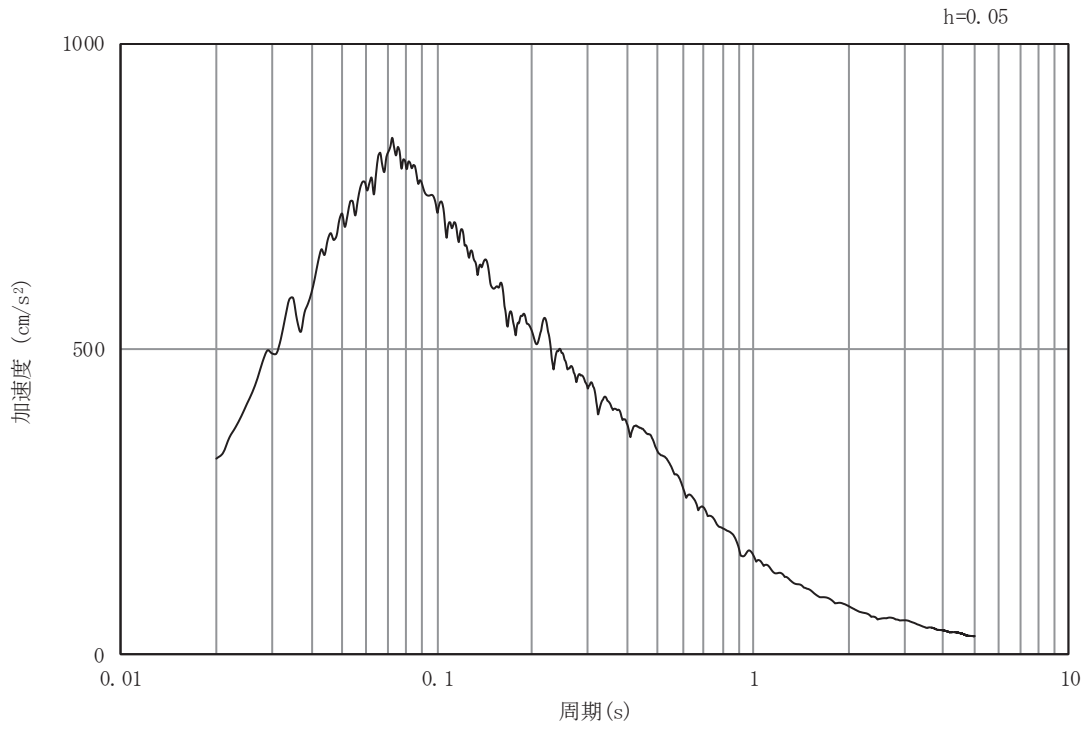


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-18 (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 8-18 (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

出口側集水ピットの解析モデルを図 8-19 に示す。

イ. 解析領域

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

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。

ハ. 構造物のモデル化

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

なお、防潮堤（盛土堤防）の鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、背面補強工及び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。

ニ. 地盤のモデル化

地盤のモデル化は、「8.5.1 津波時」と同様である。

ホ. 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

ヘ. ジョイント要素の設定

ジョイント要素の設定は、「8.5.1 津波時」と同様である。

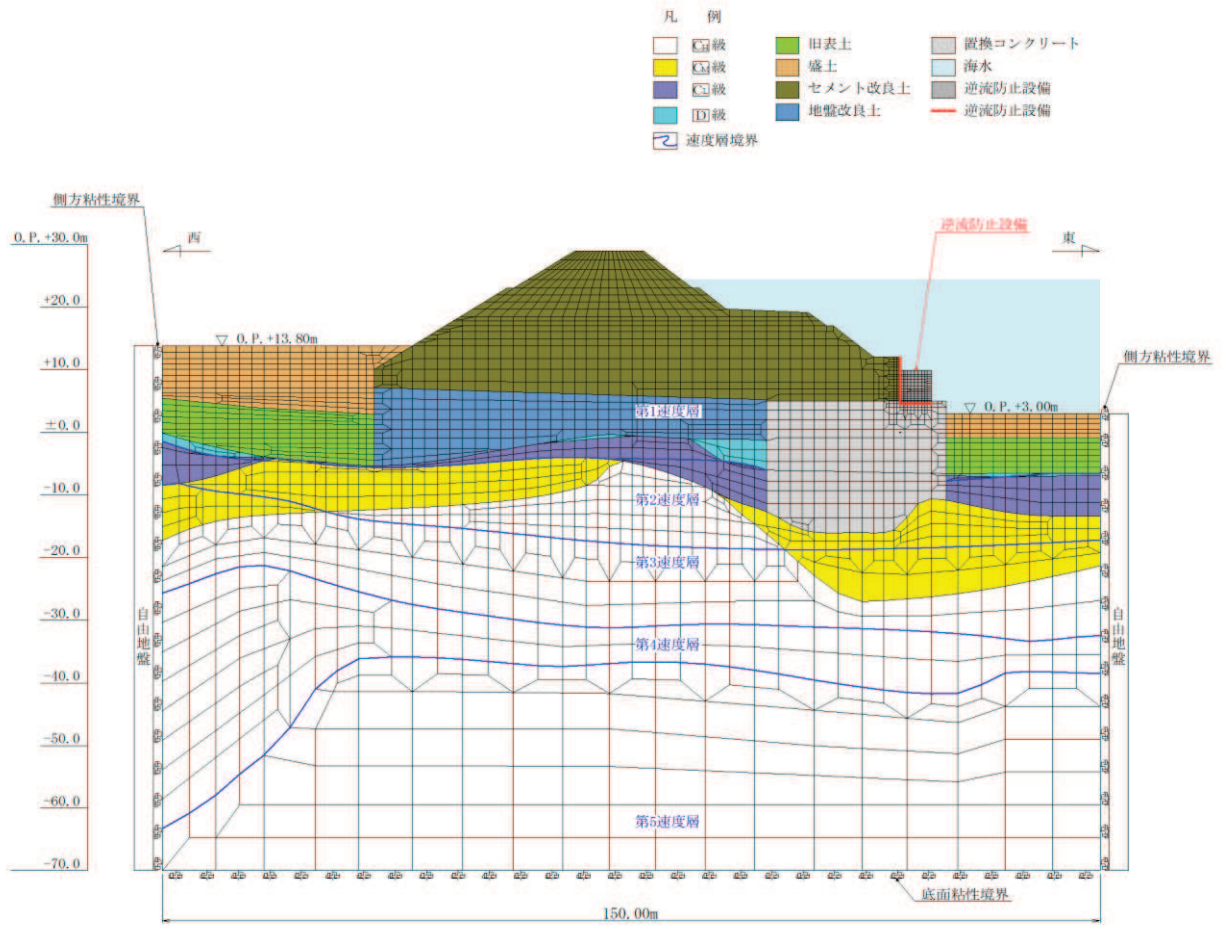


図 8-19 出口側集水ピットの解析モデル（重畳時）

(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

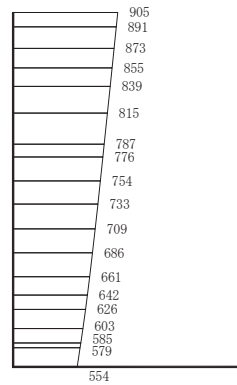
地盤の物性値は、「8.5.1 津波時」と同様である。

(d) 地下水位

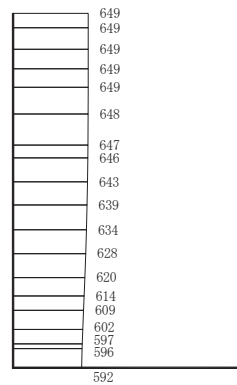
地下水位は、「8.5.1 津波時」と同様であり、図 8-2 のとおりである。

(2) 地震応答解析結果

地震応答解析で得られた各ケースの東西方向の最大加速度分布を図 8-20 に示す。



(a) S d - D 2 (++) 水平

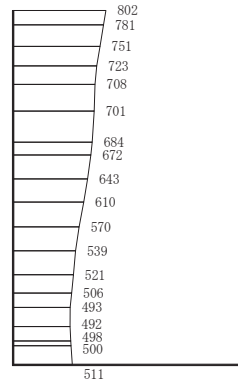


(b) S d - D 2 (++) 鉛直

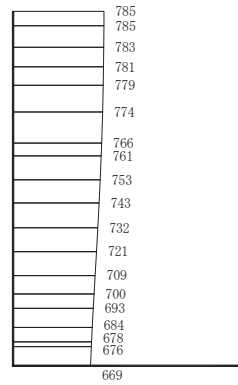
構造スケール 0 \_\_\_\_\_ 2 (m)

応答値スケール 0 \_\_\_\_\_ 1000 (cm/s²)

図 8-20 (1) 最大加速度分布図  
(解析ケース①)



(a) S d - D 2 ( - + ) 水平

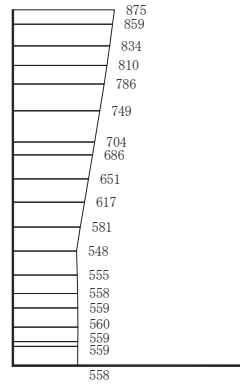


(b) S d - D 2 ( - + ) 鉛直

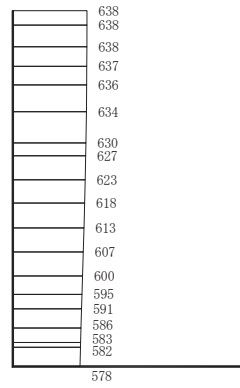
構造スケール 0 \_\_\_\_\_ 2 (m)

応答値スケール 0 \_\_\_\_\_ 1000 (cm/s<sup>2</sup>)

図 8-20 (2) 最大加速度分布図  
(解析ケース①)



(a) S d - D 2 ( - + ) 水平



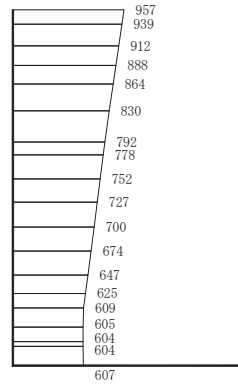
(b) S d - D 2 ( - + ) 鉛直

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

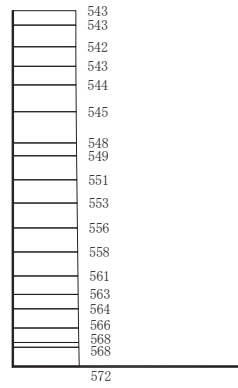
図 8-20 (3) 最大加速度分布図

(解析ケース②：地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース)





(a) S d - D 2 ( - + ) 水平

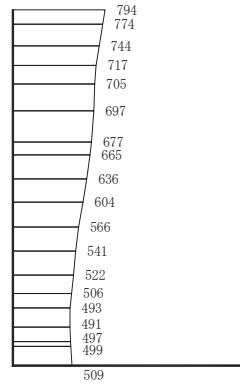


(b) S d - D 2 ( - + ) 鉛直

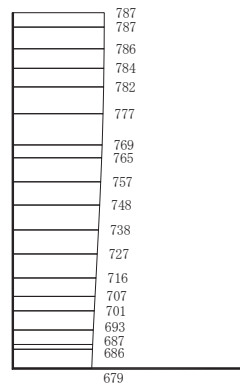
構造スケール  $0 \quad \quad \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \quad \quad 1000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 8-20 (4) 最大加速度分布図

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) S 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/s<sup>2</sup>)

図 8-20 (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 8-21 に評価対象部材を示す。

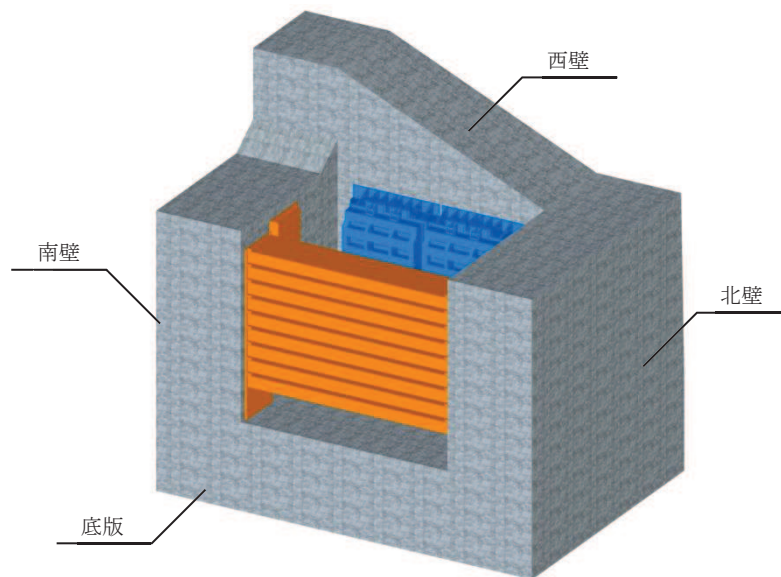


図 8-21 三次元構造解析の評価対象部材

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 8-22 に、要素分割図を図 8-23 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。

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、西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。

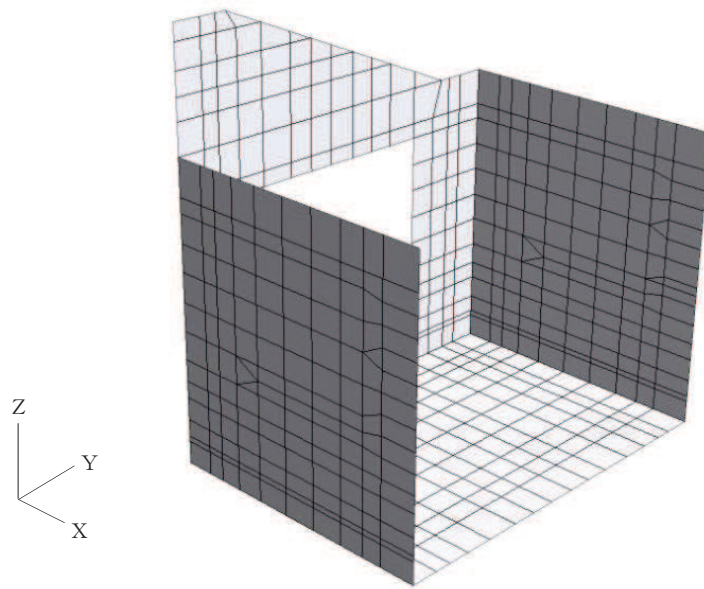


図 8-22 出口側集水ピットのモデル概念図

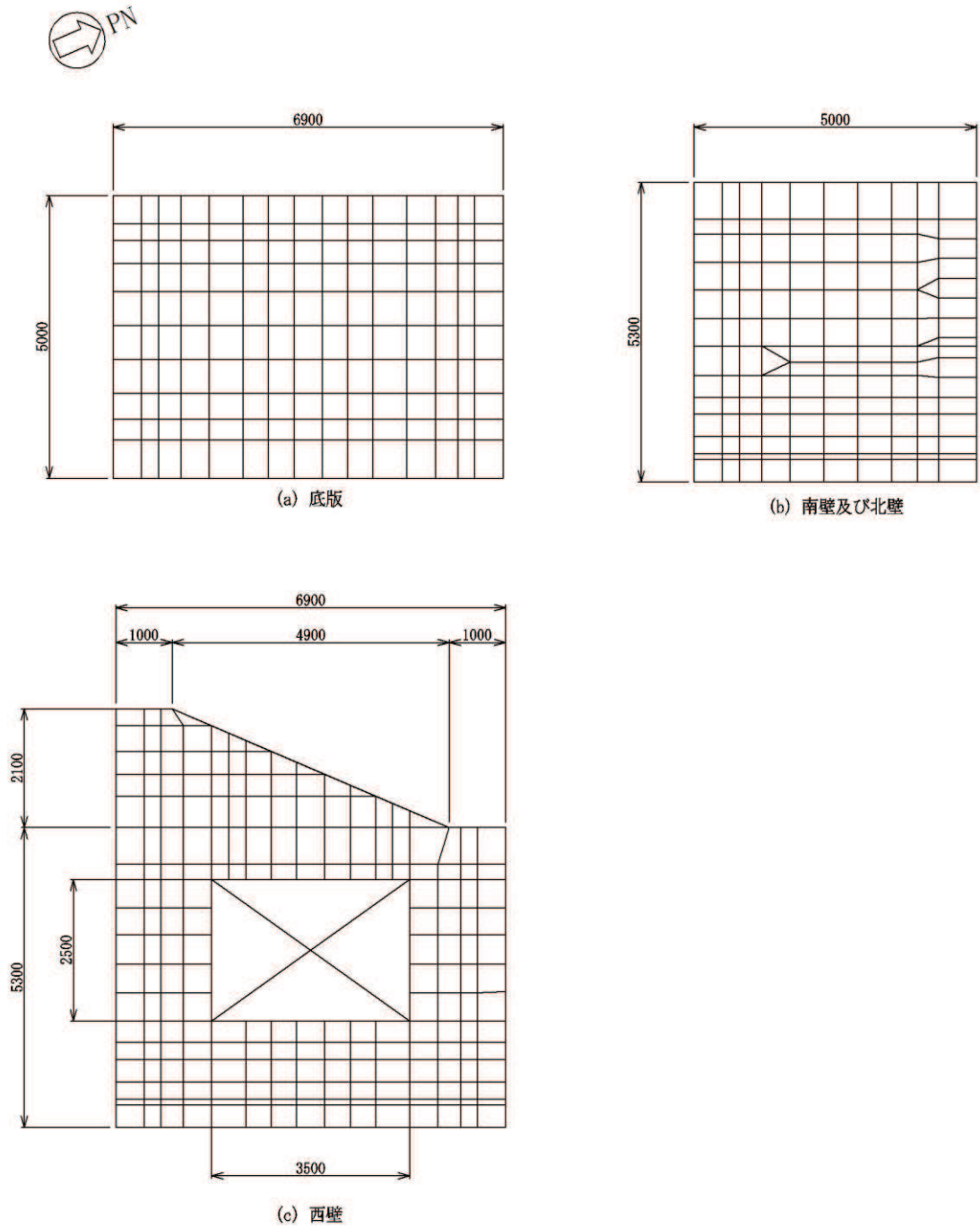


図 8-23 要素分割図 (単位 : mm)

(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 津波時」と同様である。

d. 照査時刻及び入力荷重

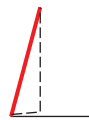

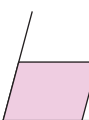
(a) 照査時刻

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 8-13 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 8-24, 図 8-25 に示す。

表 8-13 照査時刻の考え方

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

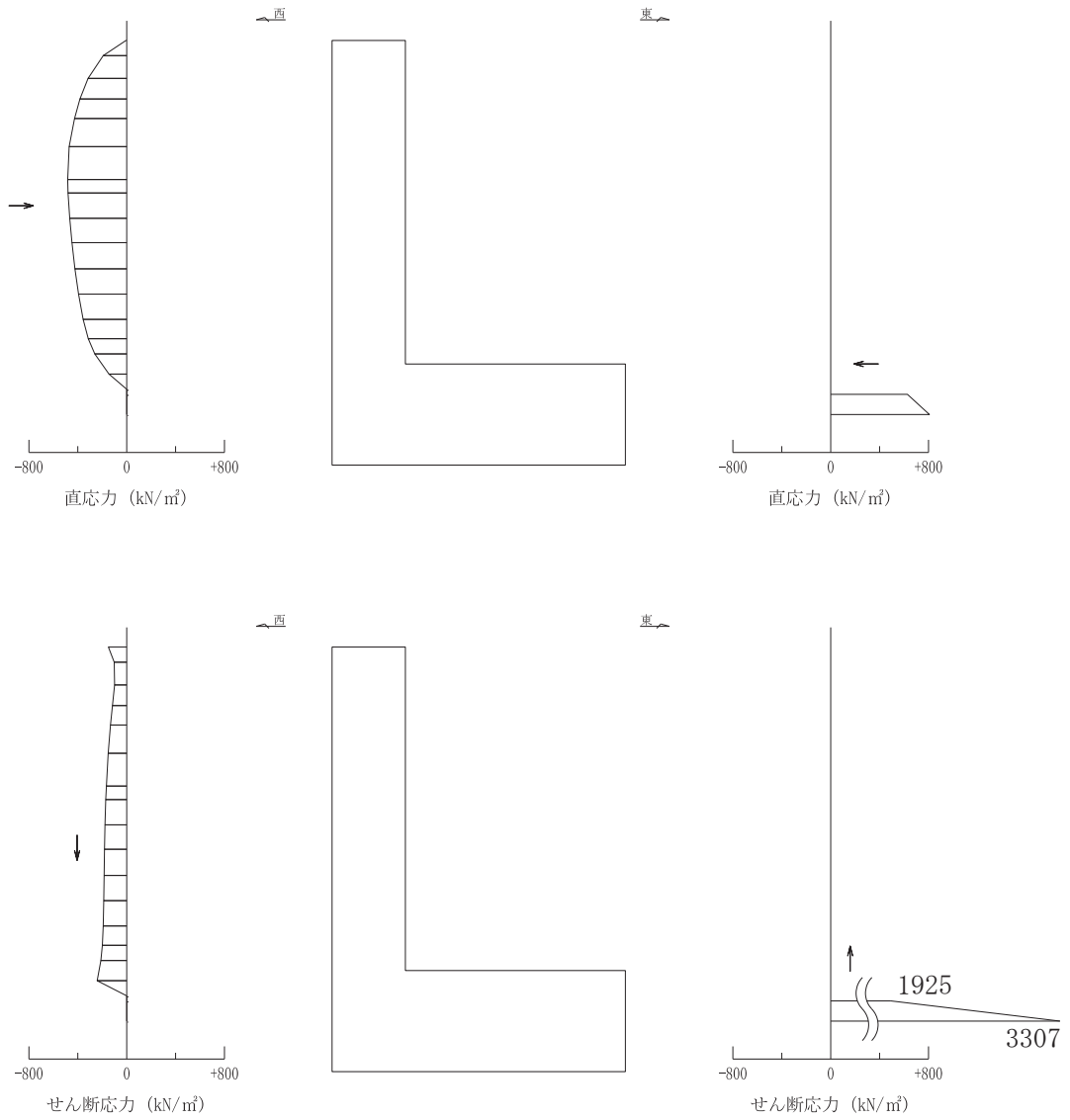
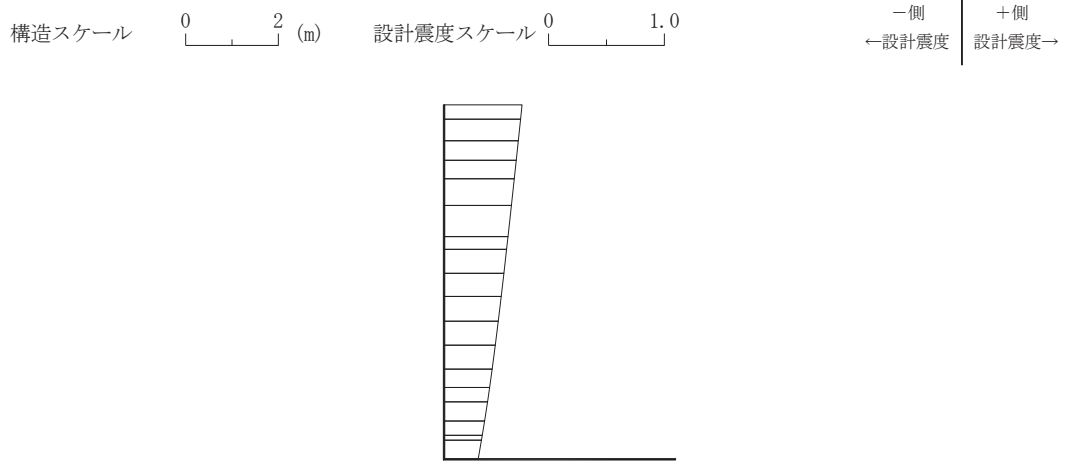
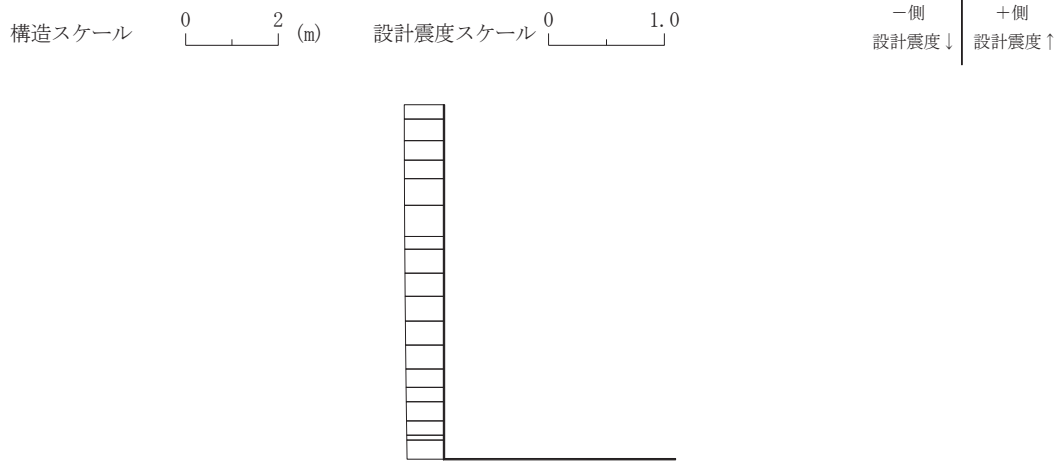


図 8-24 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)  
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))



設計水平震度



設計鉛直震度

図 8-25 照査値最大時刻震度分布図  
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))



(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 8-14 に示す。

表8-14 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。

e. 三次元構造解析結果

シェル要素における応答断面力は図 8-26 に示す 8 成分を算出する。なお、プログラム上、断面力の出力が下記と異なる場合は、下記の断面力の向きに変換して取り扱う。

三次元構造解析に基づく構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図 8-27～図 8-31 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 8-32、図 8-33 に示す。

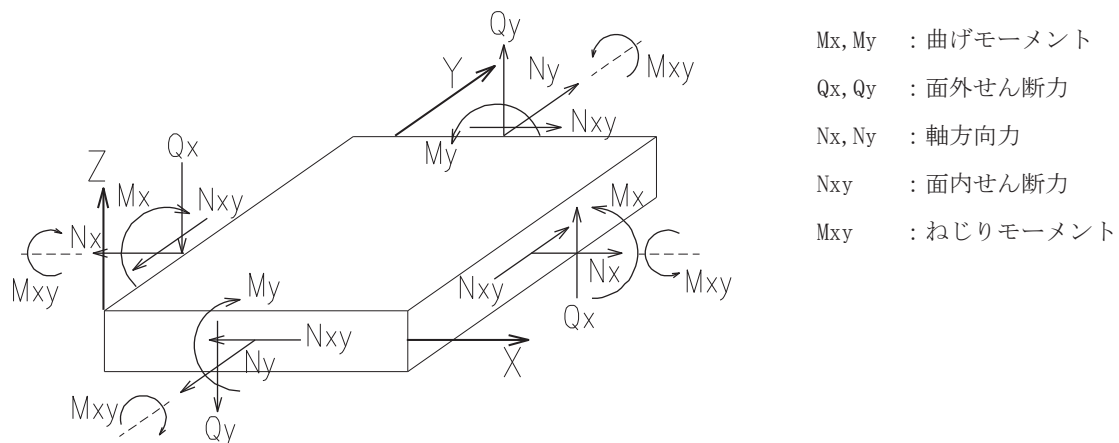


図 8-26 シェル要素における応答断面力

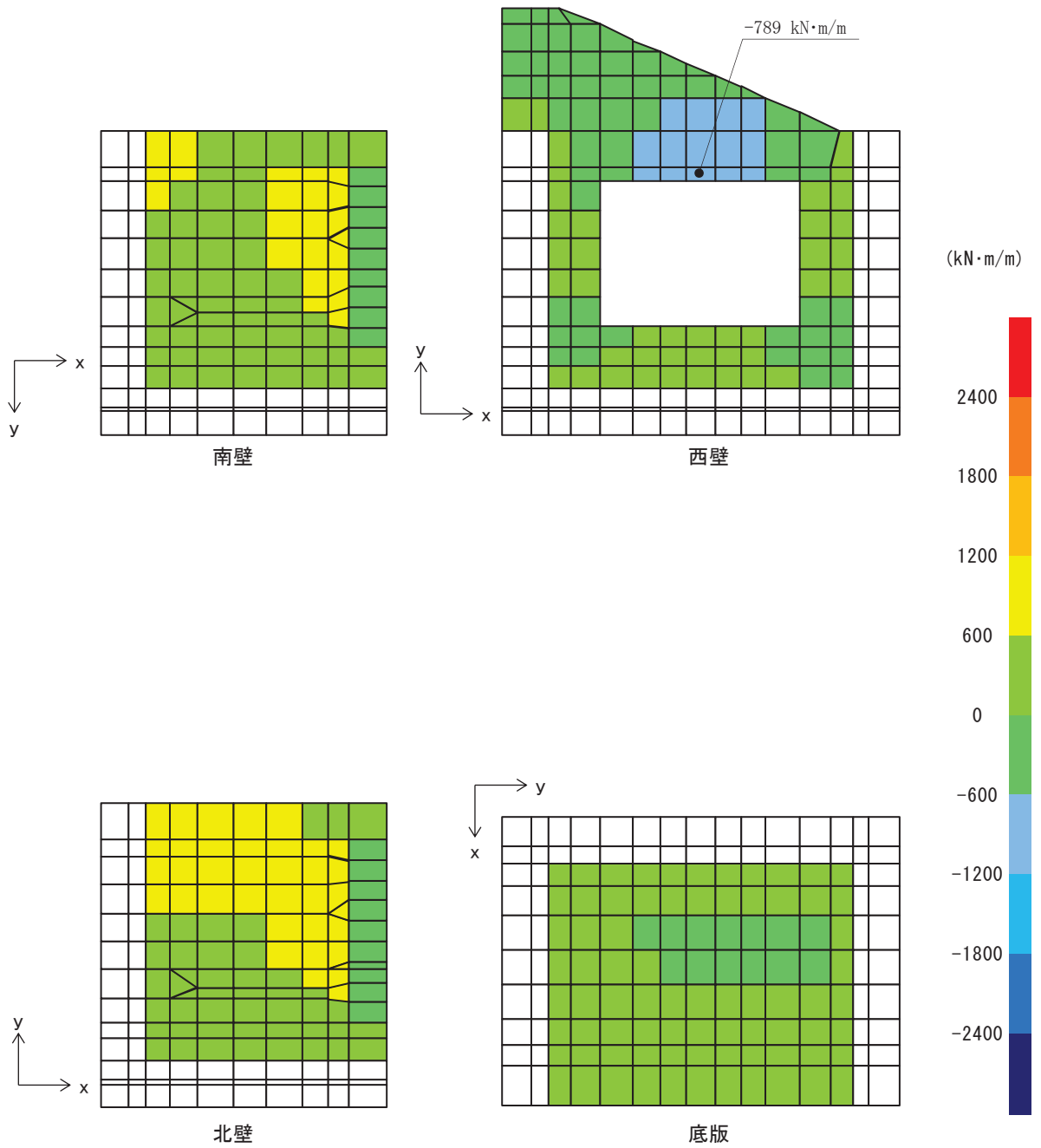


図 8-27 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

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

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

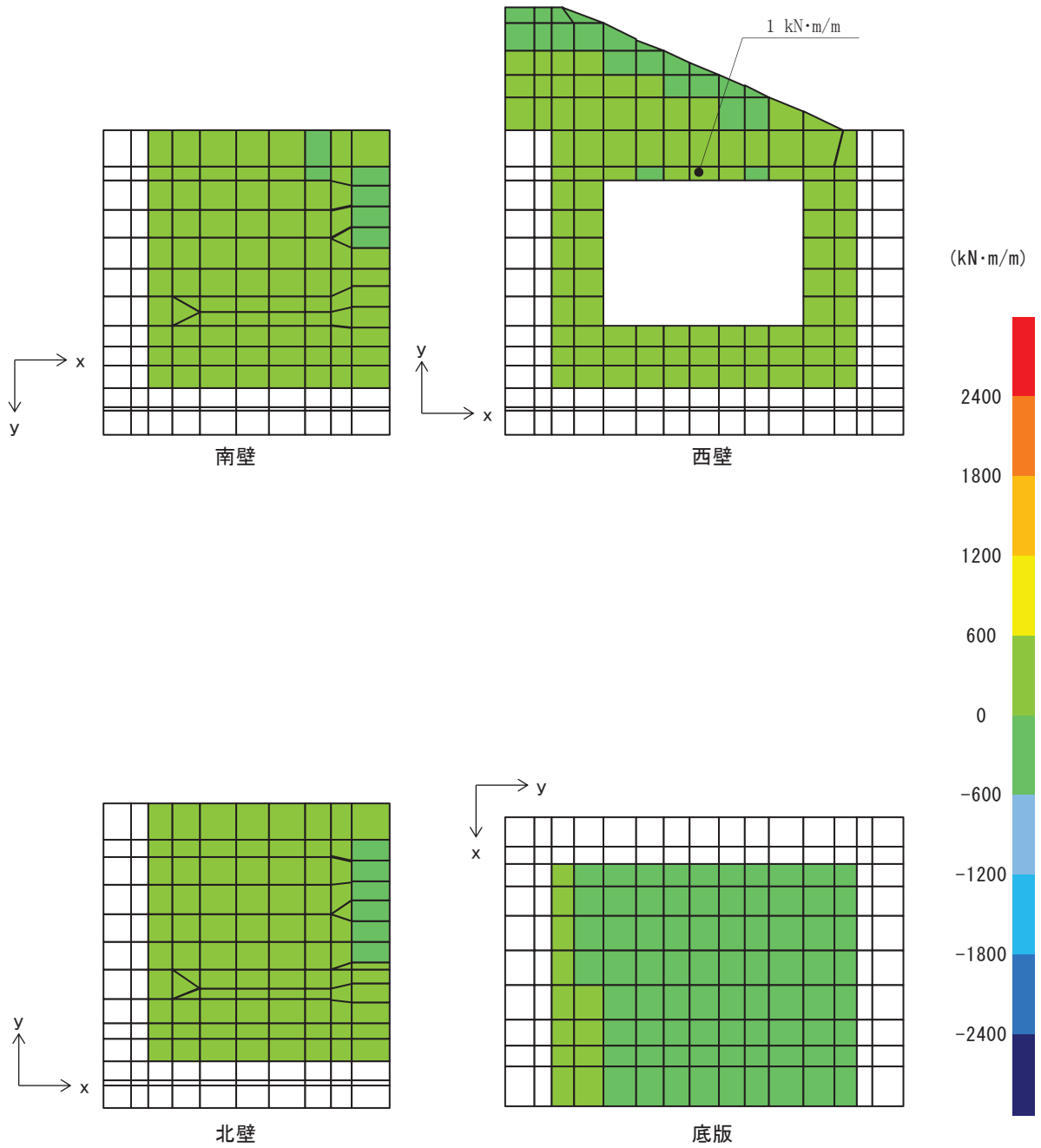


図8-28 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (曲げモーメント( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ ) :  $M_y$ )  
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

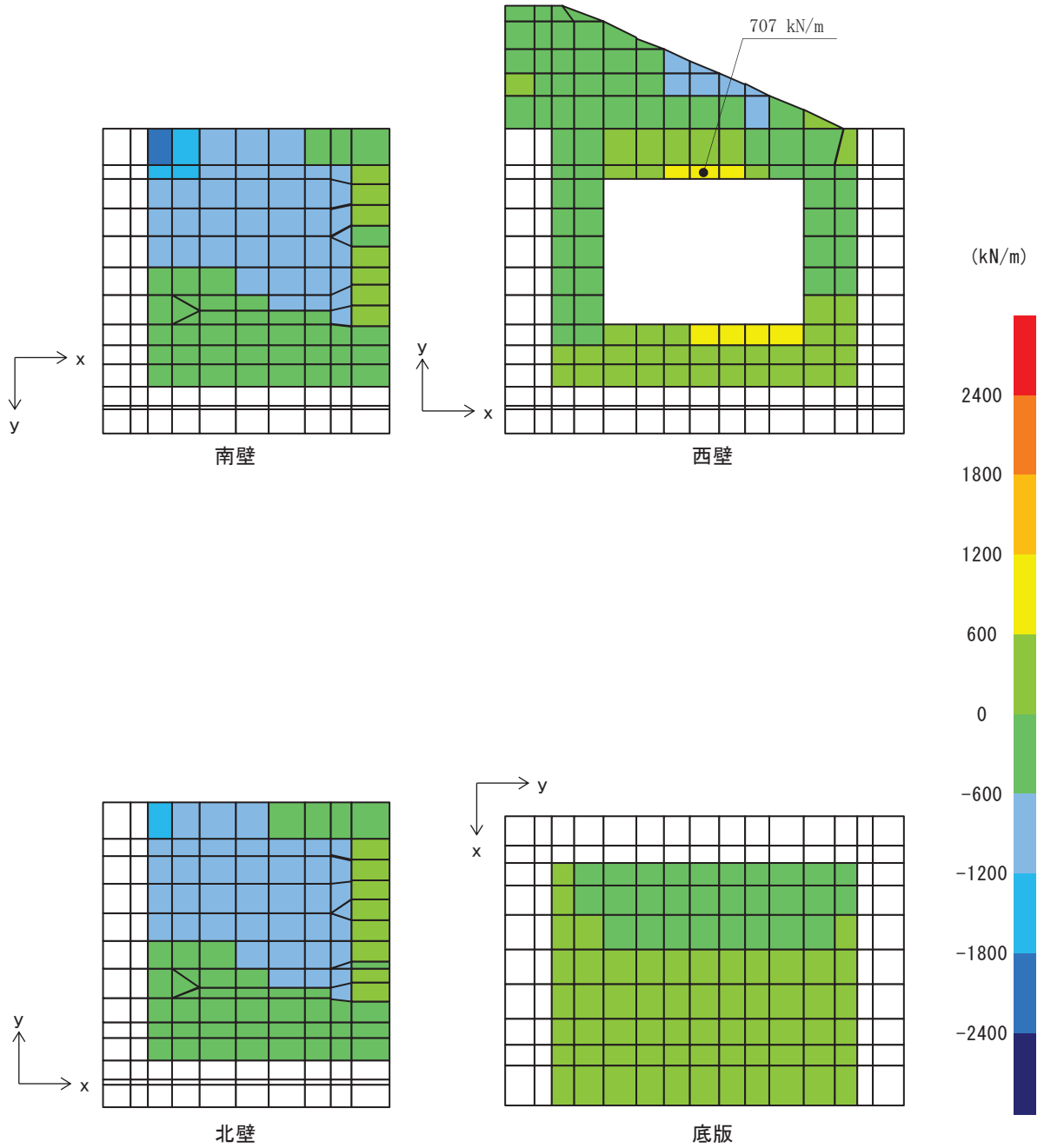


図 8-29 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力(kN/m) :  $N_x$ )

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

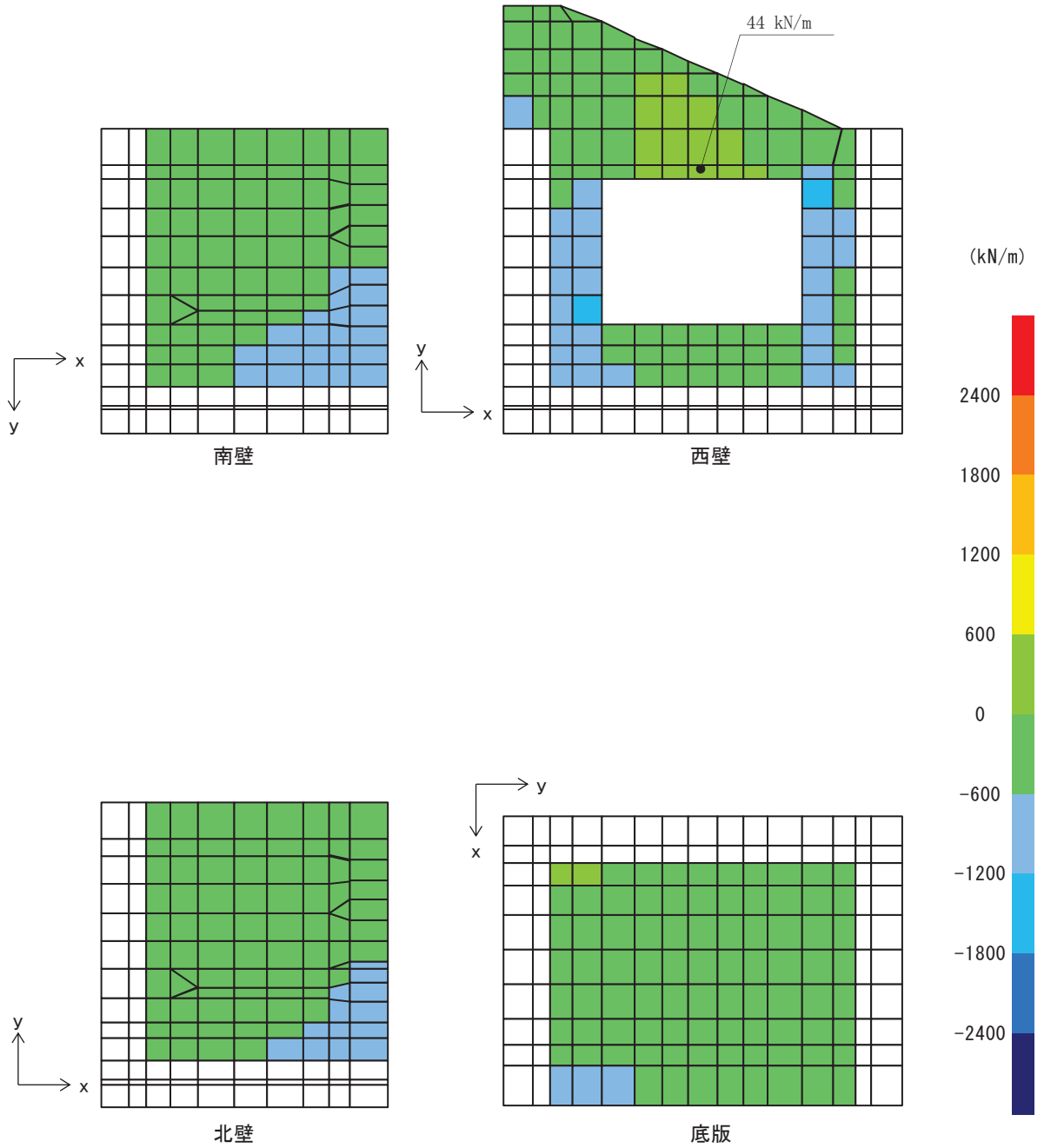


図8-30 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力(kN/m) :  $N_y$ )

(西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

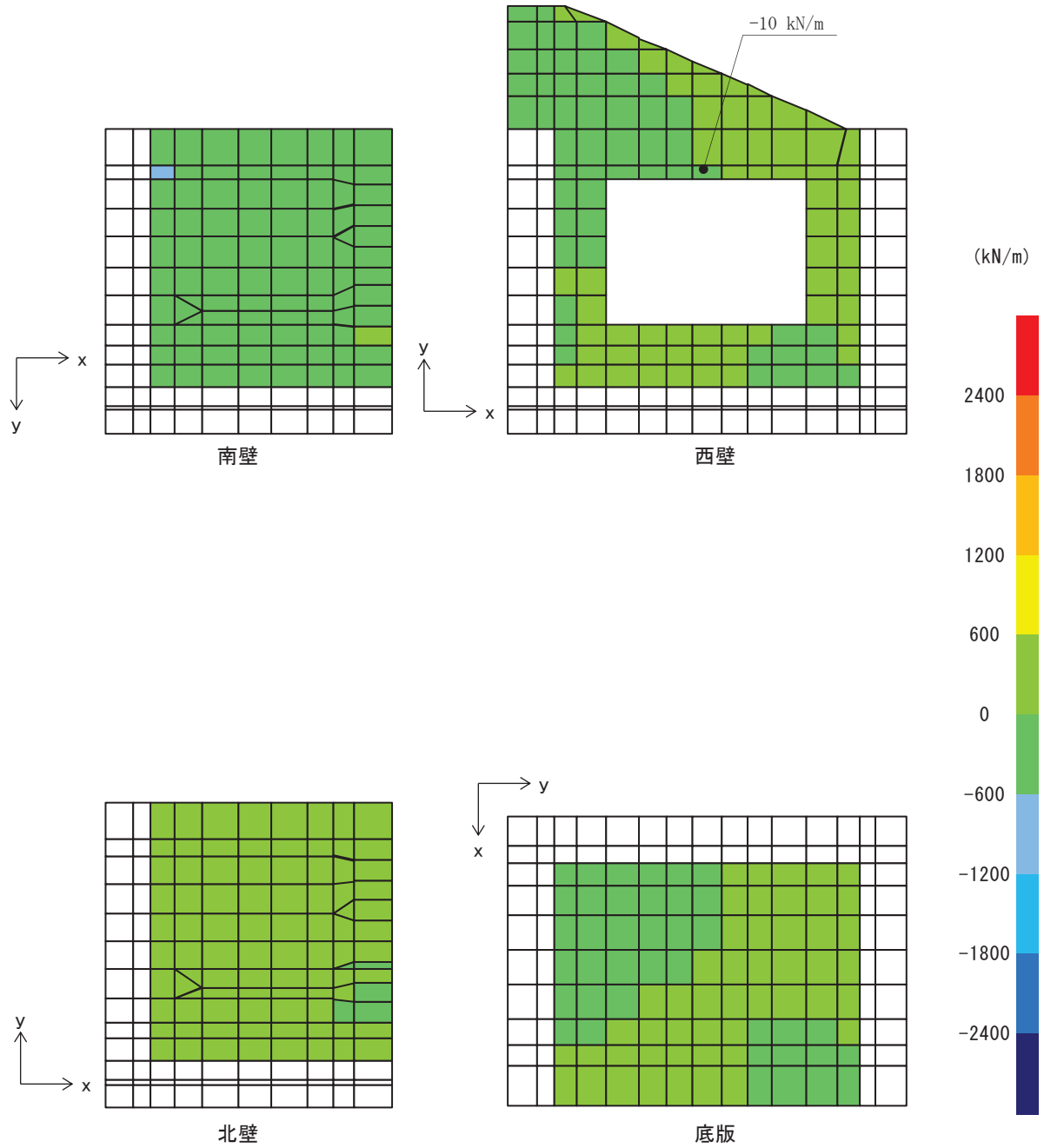


図8-31 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図  
 (面内せん断力( $\text{kN/m}$ ):  $N_{xy}$ )  
 (西壁, 解析ケース①, S d - D 2 (-+))

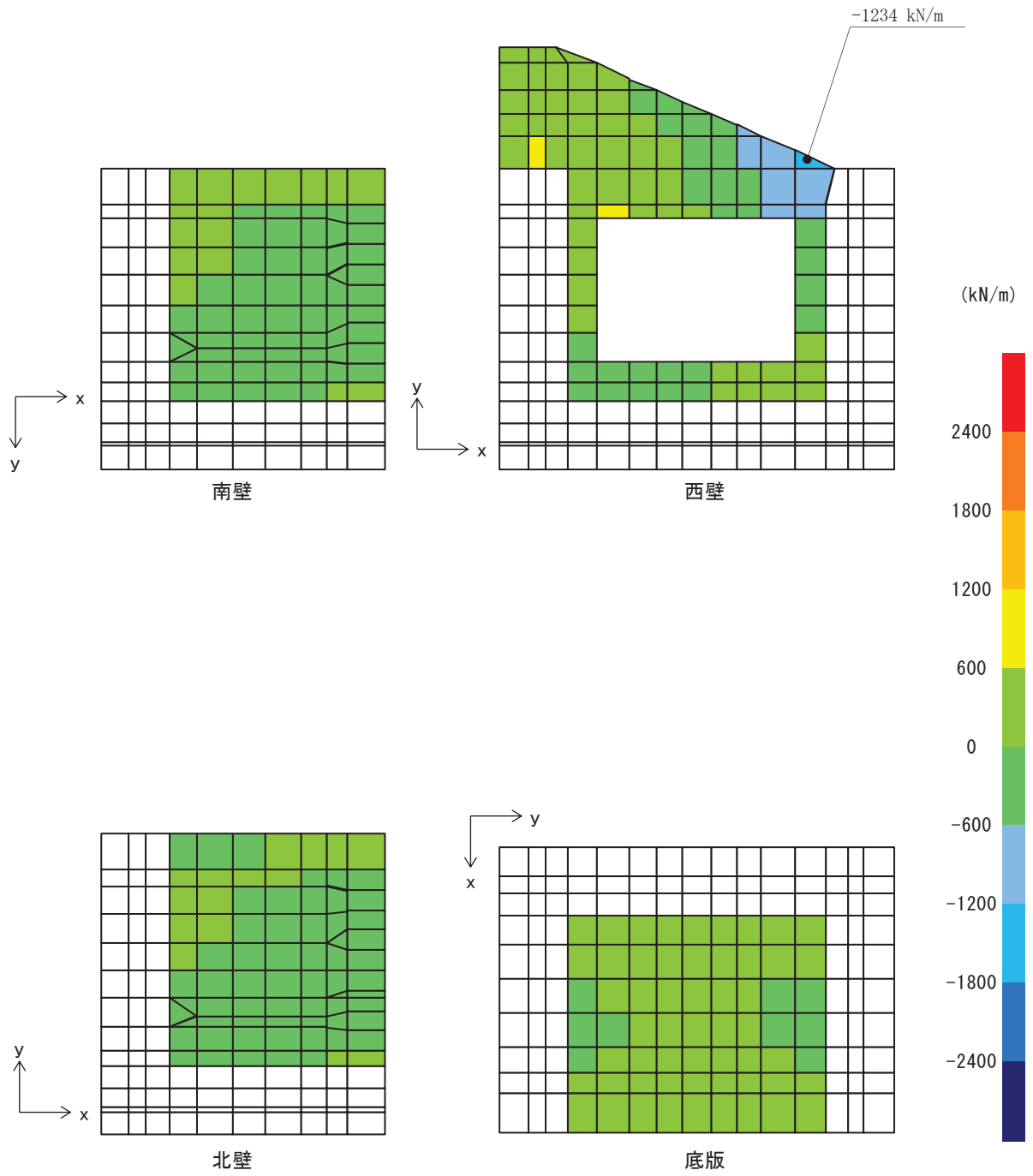


図8-32 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) :  $Q_x$ )

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+))

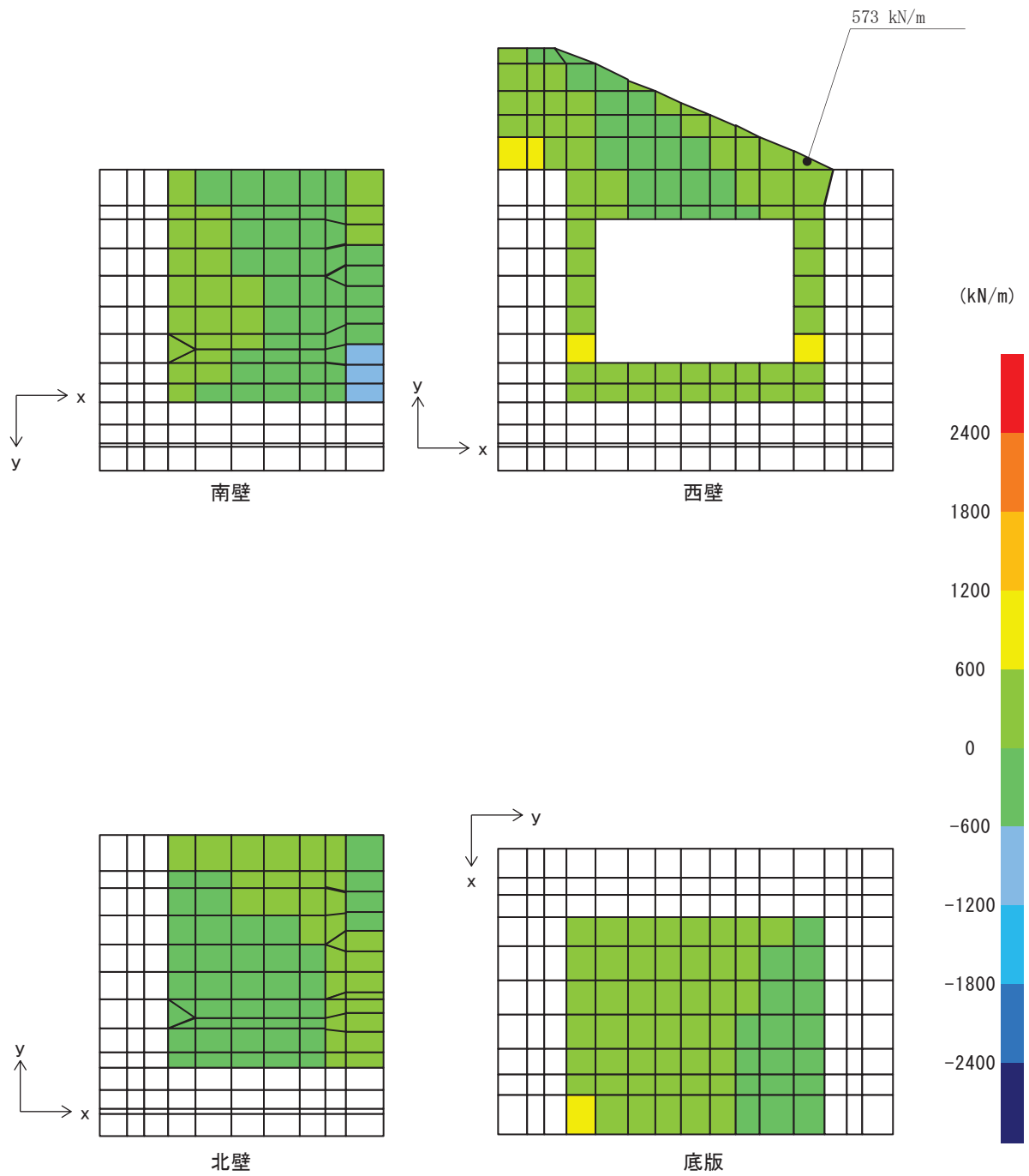


図8-33 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) :  $Q_y$ )

(西壁, 解析ケース③, S d - D 2 (-+))



(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)	5891.520	kN
G	固定荷重 (FG 扉体+戸当り)	147.100	kN
G	固定荷重 (漂流物防護工)	294.200	kN
$\sigma_{ca}$	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度	16.5	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_{a1}$	コンクリートの短期許容せん断応力度	0.75	N/mm <sup>2</sup>
$V_a$	斜め引張鉄筋を考慮する場合の短期許容せん断力	3495	kN
D	有効高さ	1.8	m
$A_w$	斜め引張鉄筋断面積	22.12	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{sa}$	鉄筋の短期許容引張応力度	294	N/mm <sup>2</sup>
s	斜め引張鉄筋間隔	0.35	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 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-2 及び表 10-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-4 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10-1 に示す。

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

表 10-1 鉄筋コンクリート断面諸元

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

注記 \*1：特記のない場合、上縁・下縁の配筋は同配筋とする。

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

表 10-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	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)	$\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma'_c/\sigma'_{ca}$
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

表 10-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	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)	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_s/\sigma_{sa}$
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

表 10-4 せん断破壊に対する照査

評価位置	解析 ケース	衝突荷重作用位置	発生 せん断力	短期許容 せん断力	照査値	
			V (kN/m)	V <sub>a</sub> (kN/m)		V/V <sub>a</sub>
底版	1	③	北端部	418	3495	0.12
南壁	2	③	南端部	594	3495	0.17
西壁	3	②	北端部	709	3495	0.21
北壁	4	①	北端部	551	3495	0.16

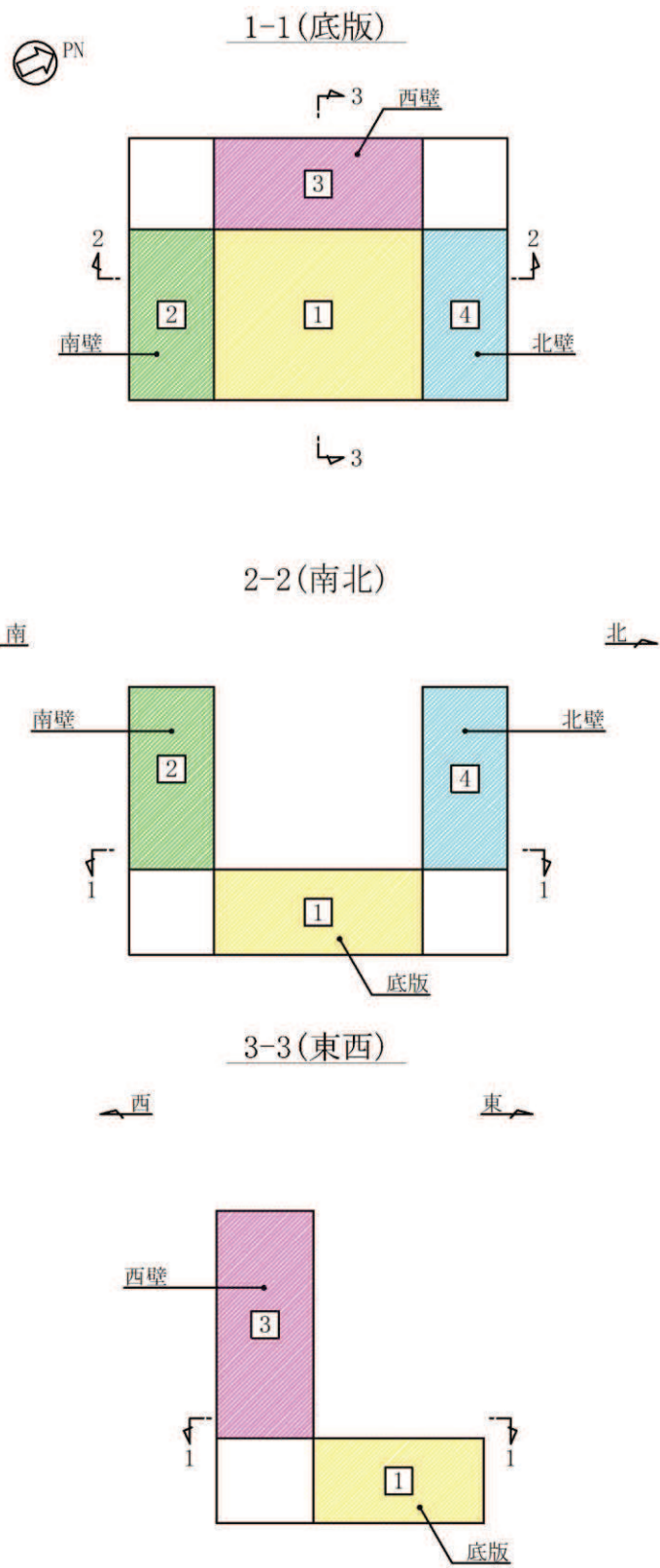


図 10-1 評価位置図

## 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 に示す。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-5 及び表 10-6 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 10-7 に示す。また、出口側集水ピットの評価位置を図 10-1 に示す。

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

表 10-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置	解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$	
					応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
底版	1	②	S d-D 2 (-+)	-411	-337	0.9	16.5	0.06
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	845	-2793	2.3	16.5	0.14
西壁	3	③	S d-D 2 (-+)	-841	-156	1.8	16.5	0.11
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	943	-1786	2.1	16.5	0.13

表 10-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置	解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生	短期許容	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$	
					応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
底版	1	②	S d-D 2 (-+)	162	436	41.7	294	0.15
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	923	-643	37.3	294	0.13
西壁	3	①	S d-D 2 (-+)	-789	717	110.1	294	0.38
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	779	-469	35.3	294	0.13

表 10-7 せん断破壊に対する照査

評価位置	解析ケース	地震動	発生	短期許容	照査値 $V / V_a$	
			せん断力 V (kN/m)	せん断力 V <sub>a</sub> (kN/m)		
底版	1	③	S d-D 2 (-+)	698	3495	0.20
南壁	2	③	S d-D 2 (-+)	744	3495	0.22
西壁	3	③	S d-D 2 (-+)	1234	3495	0.36
北壁	4	③	S d-D 2 (-+)	523	3495	0.15

VI-3-別添 3-2-5-2 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の  
強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	8
4.	固有周期	9
4.1	固有周期の計算方法	9
4.1.1	解析モデル	9
4.1.2	固有周期の計算	9
4.2	固有周期の計算条件	10
4.3	固有周期の計算結果	10
5.	構造強度評価	11
5.1	構造強度評価方法	11
5.2	荷重及び荷重の組合せ	11
5.2.1	荷重の設定	11
5.2.2	荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	13
5.3.1	使用材料	13
5.3.2	許容限界	13
5.4	設計用地震力	16
5.5	計算方法	17
5.5.1	スキンプレート	17
5.5.2	主桁	18
5.5.3	補助縦桁	20
5.5.4	戸当りコンクリート	21
5.5.5	戸当り	22
5.6	計算条件	23
6.	評価結果	25



## 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 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

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

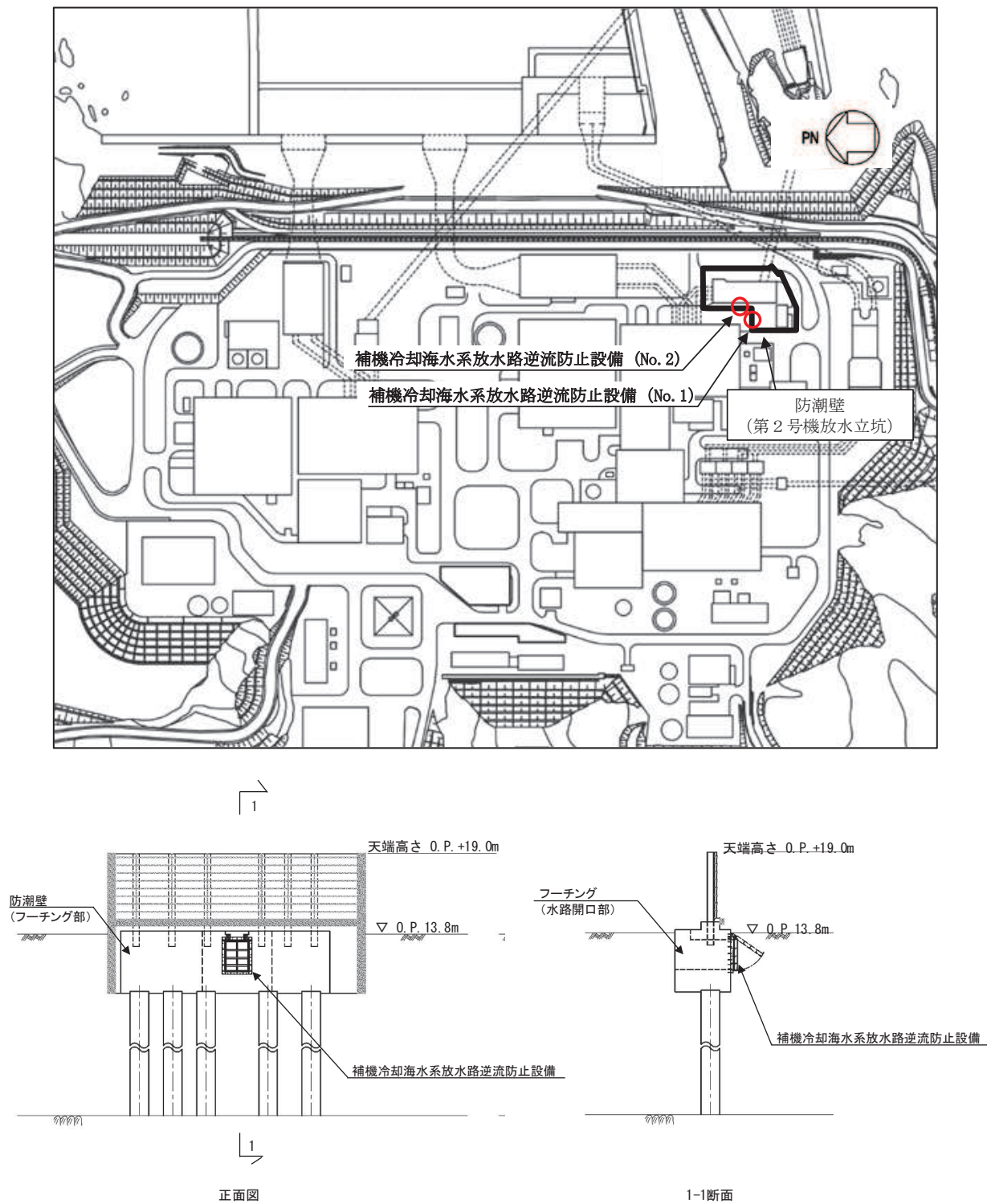


図 2-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備の概要

## 2.2 構造計画

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

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

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

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持機能を有する構造物に設置する。	鋼製の扉体 (スキンプレート, 主桁, 側部縦桁及び補助縦桁) 及び固定部 (ヒンジ部, ヒンジ部アンカーボルト) 並びに戸当り部	<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) の強度評価フローを図 2-2 に示す。

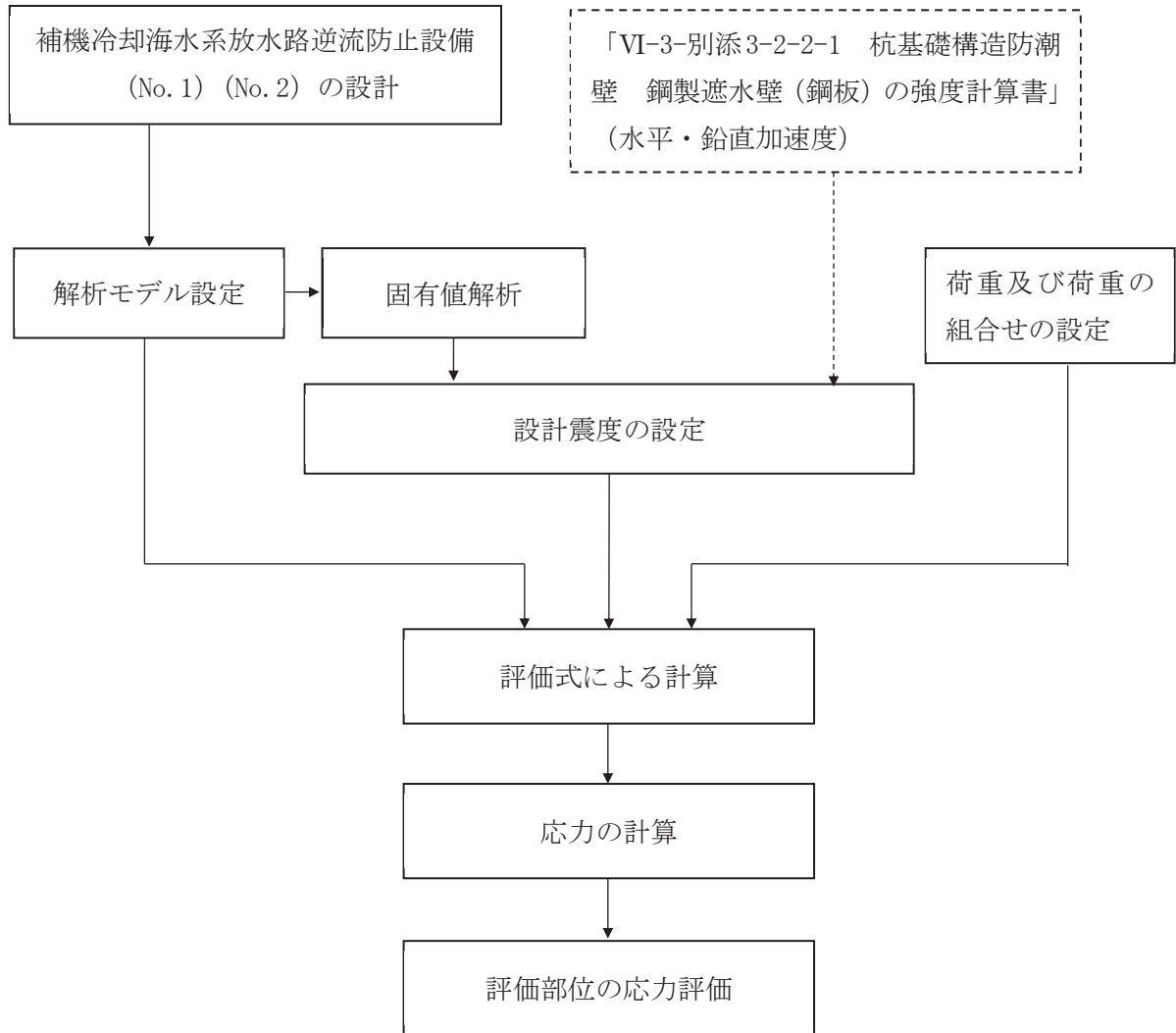


図 2-2 強度評価フロー

#### 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 水門鉄管技術基準水門扉編 ((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)
- ・ 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)

## 2.5 記号の説明

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に用いる記号を表 2-2 に、応力評価に用いる記号を表 2-3 にそれぞれ示す。

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

記号	定義	単位
T	固有周期	s
f	一次固有振動数	Hz
E	縦弾性係数	N/mm <sup>2</sup>
I	主桁の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
m	扉体部の単位長さ当たり質量	kg/mm
L <sub>1</sub>	主桁の長さ	mm

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

記号	定義	単位
G	固定荷重 (扉体の自重)	N
K <sub>HSd</sub>	余震による水平方向の設計震度	—
K <sub>VSd</sub>	余震による鉛直方向の設計震度	—
W <sub>o</sub>	水の単位体積重量	N/mm <sup>3</sup>
H	設計水深	m
h	作用位置までの水深	m
k	スキンプレートの辺長比 (b <sub>1</sub> /a <sub>1</sub> ) による係数	—
a <sub>1</sub>	スキンプレートの短辺	mm
b <sub>1</sub>	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 <sup>2</sup>
t <sub>1</sub>	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 <sub>s1</sub>	主桁 1 と主桁 2 の間隔	mm
b <sub>s2</sub>	主桁 2 と主桁 3 の間隔	mm
b <sub>s3</sub>	主桁 3 と主桁 4 の間隔	mm
b <sub>s4</sub>	主桁 4 と主桁 5 の間隔	mm
L <sub>s1</sub>	主桁圧縮フランジの固定間隔	mm
Z <sub>2</sub>	主桁の断面係数	mm <sup>3</sup>
A <sub>w2</sub>	主桁のウェブ断面積	mm <sup>2</sup>
B	扉体の水密幅	mm

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

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	$mm^2$
$I_{HSd}$	余震による水平方向地震荷重	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平方向地震荷重	$N/mm^2$
$q_b$	扉体への津波+余震による最大分布荷重	$N/mm^2$
$D$	コンクリート面より戸当り底面までの深さ	mm
$S$	戸当り幅	mm
$t_w$	戸当り腹板の板厚	mm

3. 評価部位

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 (スキムプレート、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ムプレート、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。

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の評価部位を図 3-1 に示す。

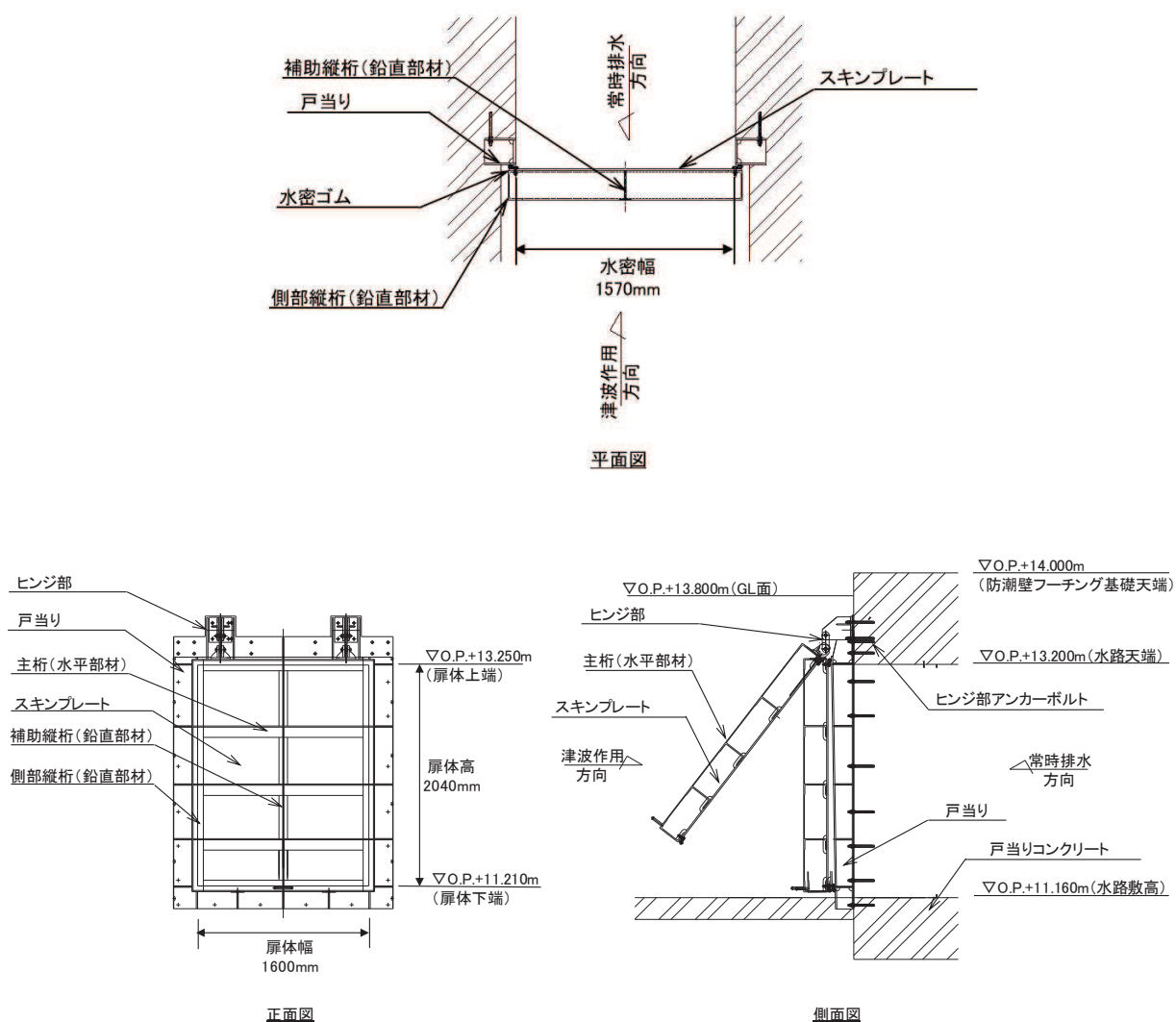


図 3-1 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の評価部位



#### 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，横断方向（水平方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから，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 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，スキムプレート及び補助縦桁等は保守的に考慮しないものとする。

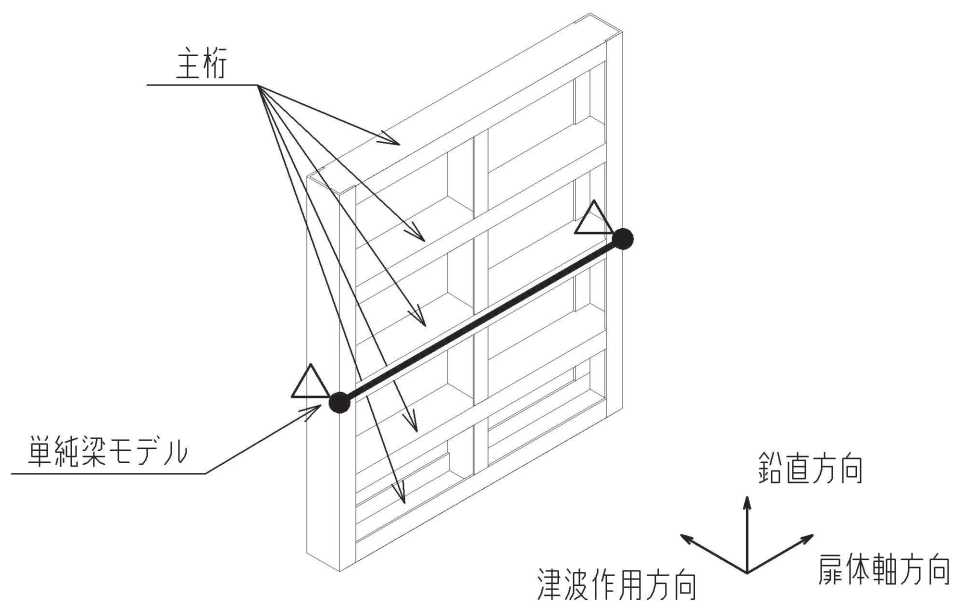


図 4-1 両端単純支持梁によるモデル化

##### 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，1988 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。

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

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

#### 4.2 固有周期の計算条件

補機冷却海水系放水路逆流防止設備 (No. 1), (No. 2) の固有周期の計算に必要な諸元を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に必要な諸元

記号	定義	数値	単位
T	固有周期	—	s
f	一次固有振動数	—	Hz
E	縦弾性係数	$1.93 \times 10^5$	N/mm <sup>2</sup>
I	主桁の断面二次モーメント	$1.155 \times 10^8$	mm <sup>4</sup>
m	扉体部の単位長さ当たり質量	0.46875	kg/mm
L <sub>1</sub>	主桁の長さ	1600	mm

#### 4.3 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 4-2 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 4-2 固有周期の計算結果

固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
133	0.0075

## 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, 設置位置における入力津波 (O.P. +17.4m) による浸水高さ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。

$$I_{HSd} = W \cdot K_{HSd}$$

$$I_{VSd} = W \cdot K_{VSd}$$

b. 余震による動水圧

$$P_d = \frac{7}{8} \cdot W_o \cdot K_{HSd} \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

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5-1に、扉体に作用する荷重の概念図を図5-1に示す。

表5-1 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
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

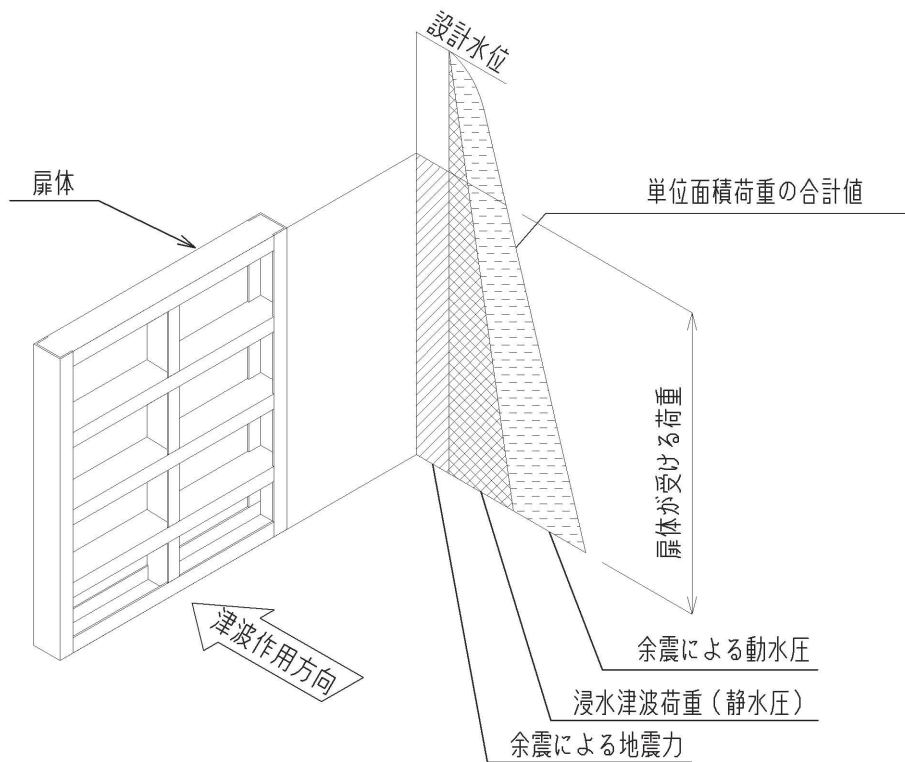


図5-1 扉体に作用する荷重の概念図

### 5.3 許容限界

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

#### 5.3.1 使用材料

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

表 5-2 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SUS316L	PL12mm
主桁	SUS316L	CH200×100×10×10
補助縦桁	SUS316L	BT 200×75×6×6 (溶接構造)
戸当り	SUS316L	PL12mm (腹板) f' <sub>ck</sub> =50N/mm <sup>2</sup> (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 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 5-4 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を表 5-5 にそれぞれ示す。

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

許容応力状態	許容限界*1			
	一次応力			
	曲げ	引張	せん断	支圧
短期許容応力度	$1.5 \sigma_{ab}^{*2}$	$1.5 \sigma_{at}^{*2}$	$1.5 \tau_a^{*2}$	$1.5 \sigma_{as}^{*2}$

注記 \*1: 地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

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

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

評価部位	材料	$\sigma_{ab}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{at}^{*1,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_a^{*1,2,3}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{as}^{*1,3}$ (N/mm <sup>2</sup> )
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:  $\sigma_{ab}$ : 許容曲げ応力度,  $\sigma_{at}$ : 許容引張応力度,  $\tau_a$ : 許容せん断応力度,  $\sigma_{as}$ : 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 5-5 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

許容応力 状態	評価部位	許容限界				
		一次応力				
		曲げ (N/mm <sup>2</sup> )	引張/圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	支圧 (N/mm <sup>2</sup> )	合成応力 (-)
短期許容 応力度	スキンプレート	132	-	-	-	-
	主桁	125* <sup>1</sup>	-	76	-	1.1
	補助縦桁	125* <sup>1</sup>	-	76	-	1.1
	戸当り	-	132* <sup>2</sup>	-	-	-
	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 5-2 に示す。

$$\frac{L}{b} \leq \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = 88 \times 1.5 = 132 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{L}{b} > \frac{10}{K} : \sigma_{ab} = \left( 88 - 0.7 \left( K \frac{L}{b} - 10 \right) \right) \times 1.5 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2 \cdot A_c}}$$

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 (mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : 圧縮フランジの総断面積 (mm<sup>2</sup>)

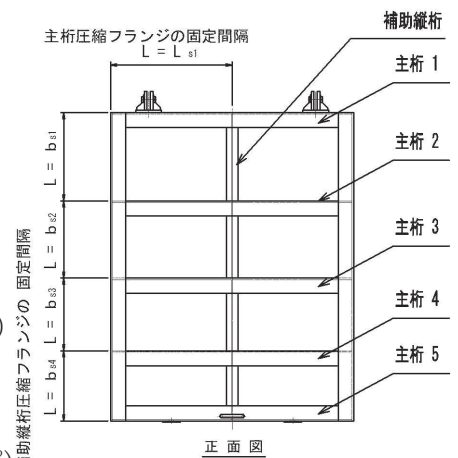


図 5-2 圧縮フランジの固定間隔のモデル図及び許容曲げ圧縮応力度算定式

\*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, 構造上躯体に固定されており座屈に対する許容応力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。

#### 5.4 設計用地震力

「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）の固有周期が0.05s以下であることを確認したため，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。補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No.1），（No.2）の設計震度は，表5-6に示すとおりとする。

表 5-6 設計用地震力

設備名称	地震動	解析ケース	設置場所及び 床面高さ (m)	地震による設計震度*	
補機冷却海水系放 水路逆流防止設備	S d - D 2 (++)	地盤ばらつき -1 $\sigma$	防潮壁 (第2号機放水立坑)  O.P. +11.160m (水路敷高)	水平方向K <sub>H</sub>	1.1
	S d - D 2 (++)	地盤ばらつき -1 $\sigma$		鉛直方向K <sub>V</sub>	0.5

注記 \* : 「4. 固有周期」より，補機冷却海水系放水路逆流防止設備（No.1），（No.2）の固有周期が0.05s以下であることを確認したため，設置部の最大応答加速度を考慮した設計震度を設定した。



## 5.5 計算方法

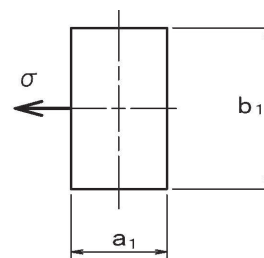
各評価対象部位に加わる応力等の算出式を以下にまとめる。

### 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 5-3 に示す。

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



$\sigma$  : 板に生じる最大応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : 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/mm<sup>2</sup>)

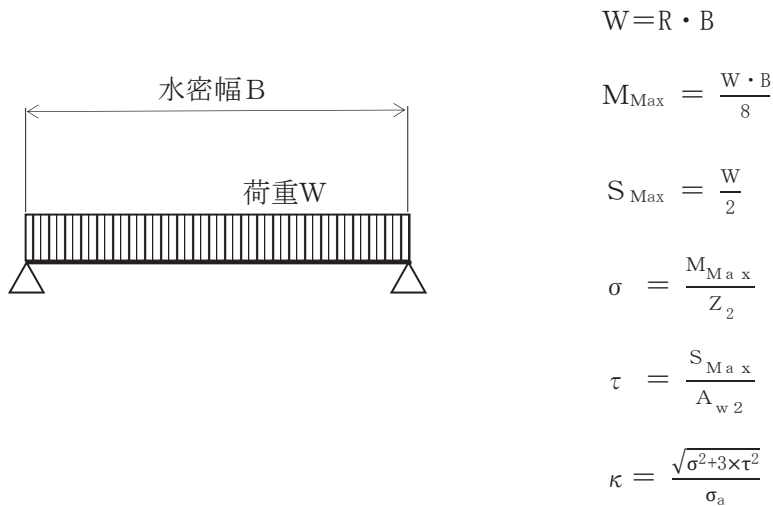
$t_1$  : スキンプレートの板厚 (mm)

図 5-3 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5-4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5-5に示す方法により算出する。



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)

$M_{Max}$ ：最大曲げモーメント (N・mm)

$S_{Max}$ ：最大せん断力 (N)

$\sigma$ ：曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$ ：せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$\kappa$ ：合成応力度

$\sigma_a$ ：許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

B：水密幅 (mm)

$Z_2$ ：主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_{w2}$ ：主桁のウェブ断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-4 主桁のモデル図及び応力算定式

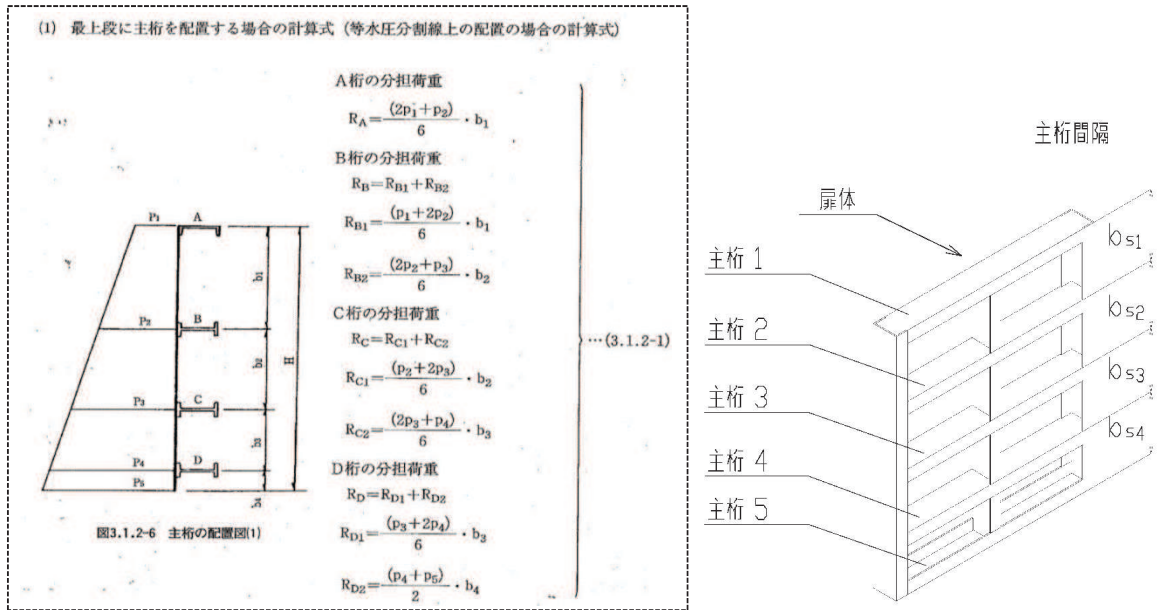


図5-5 主桁に作用する荷重の算定式及び本ゲートの主桁間隔概要図

「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 $R_1$ ～ $R_5$ 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/mm<sup>2</sup>)  
 $q_{s2}$ : 主桁2での発生圧力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q_{s3}$ : 主桁3での発生圧力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q_{s4}$ : 主桁4での発生圧力 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q_{s5}$ : 主桁5での発生圧力 (N/mm<sup>2</sup>)

### 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 5-6 に示す。

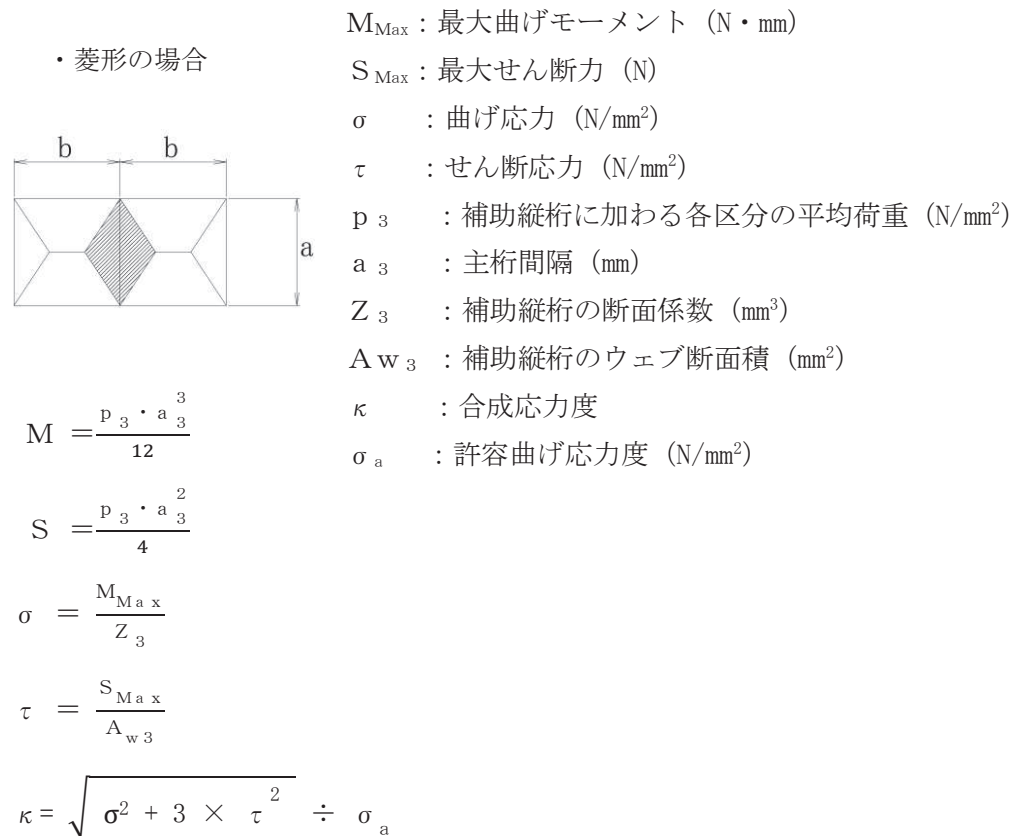
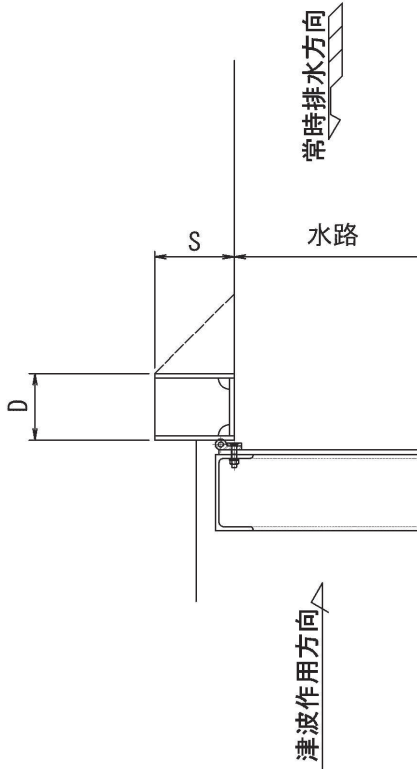


図 5-6 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

#### 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5-7に示す。



コンクリートの支圧応力度

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

コンクリートのせん断応力度

$$\tau_c = \frac{q_b \cdot B}{2 \cdot (D + 2 \cdot S)}$$

$q_b$  : 扉体への津波+余震による最大分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$D$  : コンクリート面より戸当り底面までの深さ (mm)

$B$  : 扉体水密幅 (mm)

$S$  : 戸当り幅 (mm)

$\sigma_{bk}$  : コンクリート支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

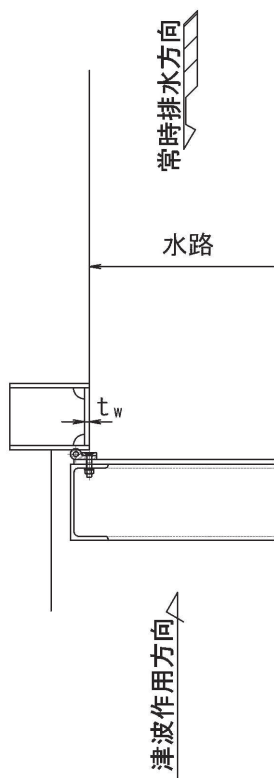
$\tau_c$  : コンクリートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図5-7 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 5-8 に示す。



戸当り腹板の圧縮応力度

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

$q_b$  : 扉体への津波+余震による最大分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$B$  : 水密幅 (mm)

$t_w$  : 戸当り腹板の板厚 (mm)

$\sigma_{bw}$  : 戸当り腹板の圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 5-8 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5-7に、強度評価に用いる津波荷重に関わる計算条件を表5-8に示す。

表 5-7 応力評価に用いる計算条件 (1/2)

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 <sup>3</sup> )
SUS316L	$7.355 \times 10^3$	$2.040 \times 10^3$	$1.01 \times 10^{-5}$

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 <sub>1</sub> (mm)	スキンプレートの 長辺 b <sub>1</sub> (mm)	スキンプレートの 板厚 t <sub>1</sub> (mm)
42.74	585	800	12

水密幅 B (mm)	主桁の 断面係数 Z <sub>2</sub> (mm <sup>3</sup> )	主桁の ウェブ断面積 Aw <sub>2</sub> (mm <sup>2</sup> )	主桁 1, 主桁 2 の 桁間隔 b <sub>s1</sub> (mm)
$1.570 \times 10^3$	$2.3100 \times 10^5$	$1.8000 \times 10^3$	585

主桁 2, 主桁 3 の 桁間隔 b <sub>s2</sub> (mm)	主桁 3, 主桁 4 の 桁間隔 b <sub>s3</sub> (mm)	主桁 4, 主桁 5 の 桁間隔 b <sub>s4</sub> (mm)	主桁圧縮フランジの 固定間隔 L <sub>s1</sub> (mm)
510	480	465	800

表 5-7 応力評価に用いる計算条件 (2/2)

補助縦桁の 主桁間隔 $a_3$ (mm)	補助縦桁の断面係数 $Z_3$ (mm <sup>3</sup> )	補助縦桁の ウェブ断面積 $A_{w3}$ (mm <sup>2</sup> )	コンクリート面より 戸当り底面までの深さ $D$ (mm)
585	$5.5232 \times 10^4$	$1.1640 \times 10^3$	159

戸当り幅 $S$ (mm)	戸当り腹板の板厚 $t_w$ (mm)	余震による水平方向 地震荷重 $I_{HSd}$ (N)	余震による鉛直方向 地震荷重 $I_{VSd}$ (N)
210	12	$8.090 \times 10^3$	$3.677 \times 10^3$

表 5-8 津波荷重に関わる計算条件

設計水深 $H$ (m)	作用位置ま での水深 $h$ (m)	主桁 1 での 津波及び余 震による 分布荷重 $q_{s1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	主桁 2 での 津波及び余 震による 分布荷重 $q_{s2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	主桁 3 での 津波及び余 震による 分布荷重 $q_{s3}$ (N/mm <sup>2</sup> )	主桁 4 での 津波及び余 震による 分布荷重 $q_{s4}$ (N/mm <sup>2</sup> )	主桁 5 での 津波及び余 震による 分布荷重 $q_{s5}$ (N/mm <sup>2</sup> )
6.24	4.15~6.19	$9.39 \times 10^{-2}$	$1.03 \times 10^{-1}$	$1.11 \times 10^{-1}$	$1.18 \times 10^{-1}$	$1.25 \times 10^{-1}$

スキンプレ ートに加わ る単位面積 当たりの 荷重 $P$ (N/mm <sup>2</sup> )	主桁に加わ る津波及び 余震による 荷重 $W$ (N)	補助縦桁に 加わる 各区分の 平均荷重 $p_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	扉体への津 波及び余震 による最大 分布荷重 $q_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
$9.71 \times 10^{-2}$	$8.834 \times 10^4$	$9.86 \times 10^{-2}$	$1.25 \times 10^{-1}$



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 <sup>2</sup> )	98.6	132	0.75
主桁	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	75.1	125	0.61
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	24.6	76	0.33
	合成応力度	0.69	1.1	0.63
補助縦桁	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	29.8	125	0.24
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7.3	76	0.10
	合成応力度	0.26	1.1	0.24
戸当り コンクリート	支圧応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.47	8.8	0.06
	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.18	0.6	0.30
戸当り	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	8.3	132	0.07

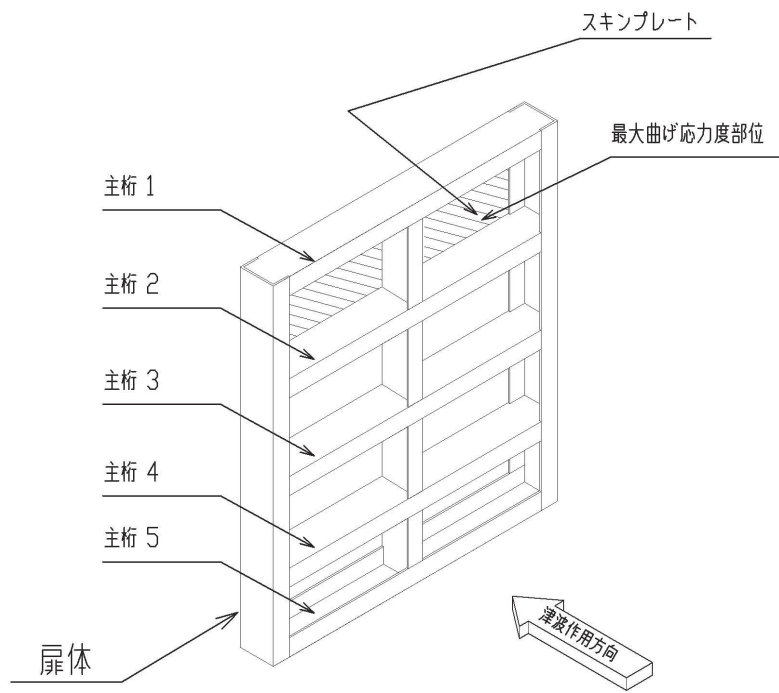


図 6-1 スキンプレート最大照査値発生位置

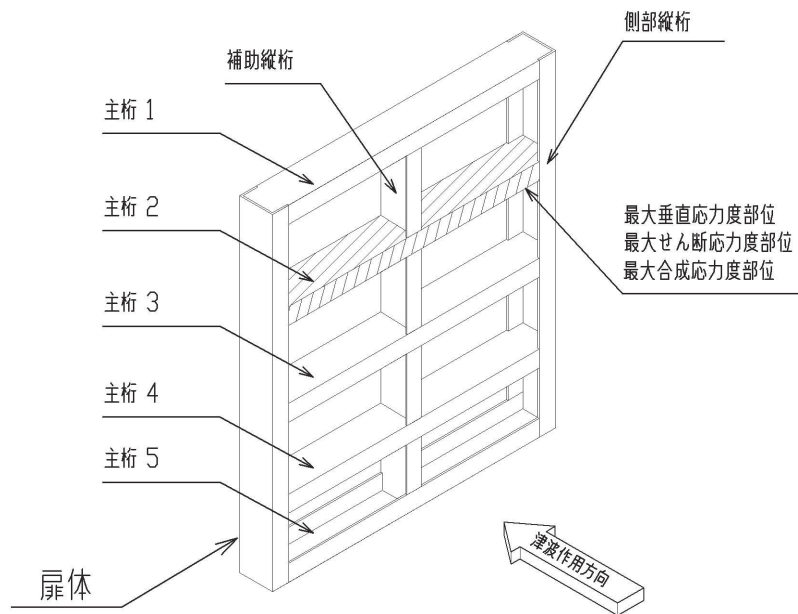


図 6-2 主桁最大照査値発生位置

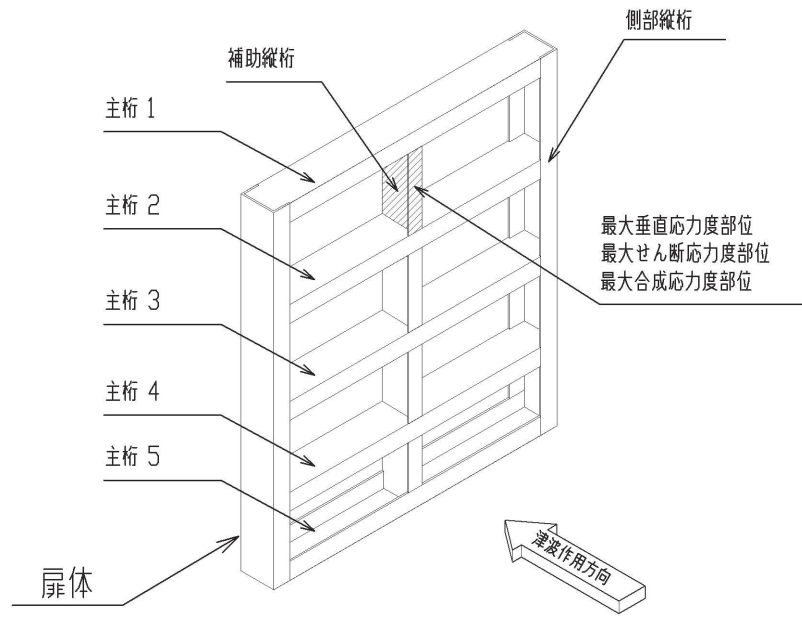


図 6-3 補助縦桁最大照査値発生位置