

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-015-05改02
提出年月日	2023年6月7日

VI-3-別添 3-2-2 防波壁通路防波扉の強度計算書

2023年6月

中国電力株式会社

## 防波壁通路防波扉の強度計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）に関する強度計算書
2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する強度計算書
3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する強度計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）  
に関する強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象防波扉一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	7
2.4 評価方針	8
2.5 適用規格・基準等	9
2.6 記号の説明	10
3. 強度評価	12
3.1 評価対象部位	12
3.2 荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1 荷重の設定	13
3.2.2 荷重の組合せ	14
3.3 許容限界	15
3.3.1 使用材料	15
3.3.2 許容限界	15
3.4 評価方法	17
3.4.1 応力算定	17
3.4.2 断面検定	24
3.4.3 評価条件	27
4. 評価結果	28



## 1. 概要

本資料は、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、防波壁通路防波扉のうち、防波壁通路防波扉（1号機北側）（以下「防波扉（1号機北側）」という。）及び防波壁通路防波扉（2号機北側）（以下「防波扉（2号機北側）」という。）が、地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、施設の構造健全性を保持することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 検討対象防波扉一覧

検討対象の防波扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象防波扉一覧

扉名称	設置高さ
	EL (m)
防波扉 (1号機北側)	9.5
防波扉 (2号機北側)	9.5

## 2.2 配置概要

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の位置図を図2-1に，防波扉（1号機北側）の構造図を図2-2に，防波扉（2号機北側）の構造図を図2-3に示す。

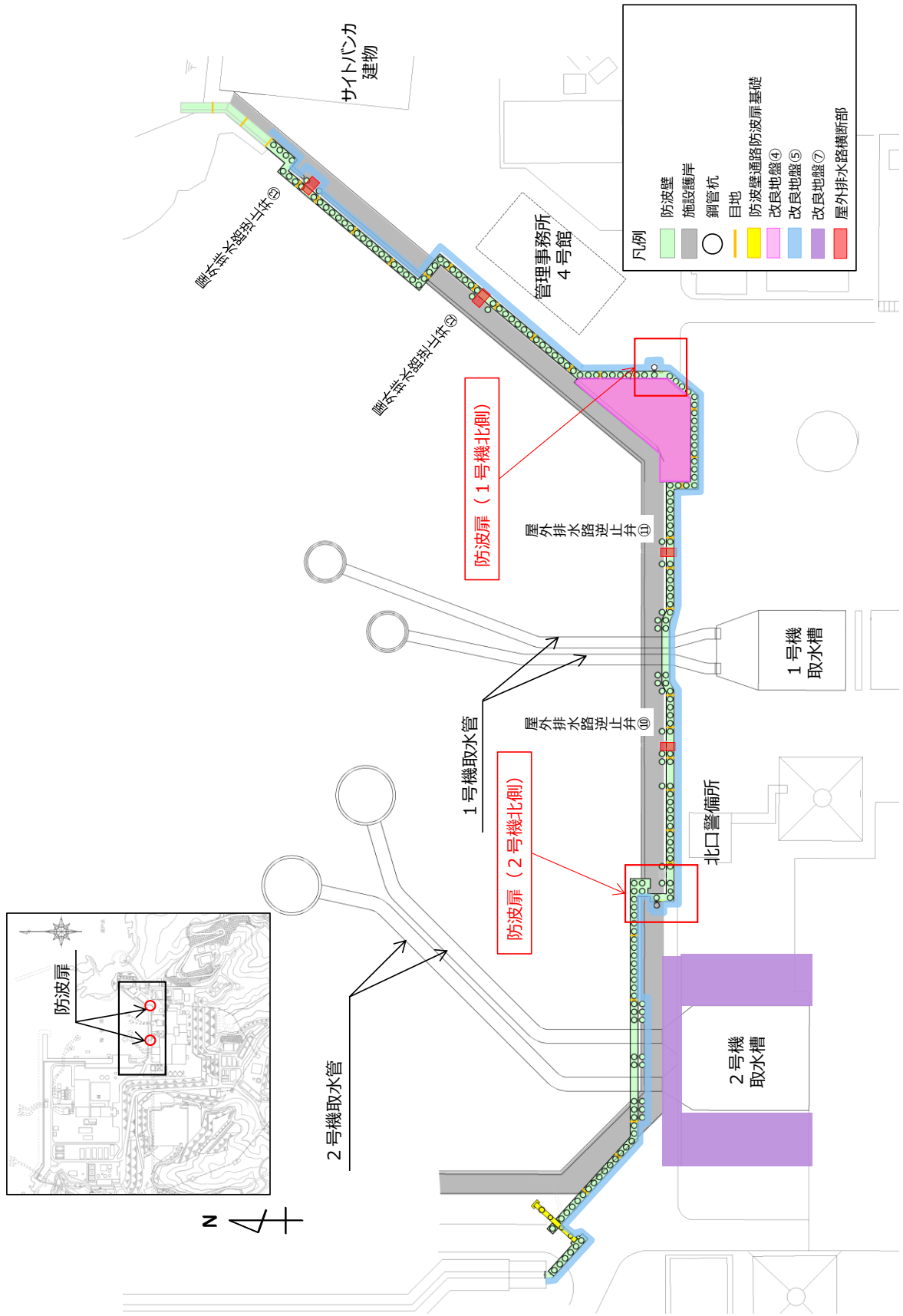
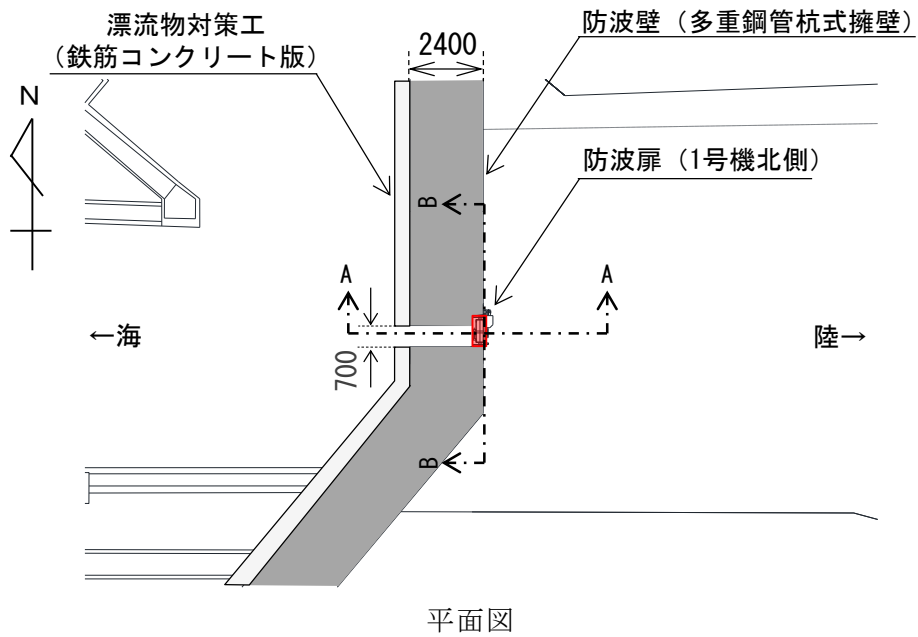
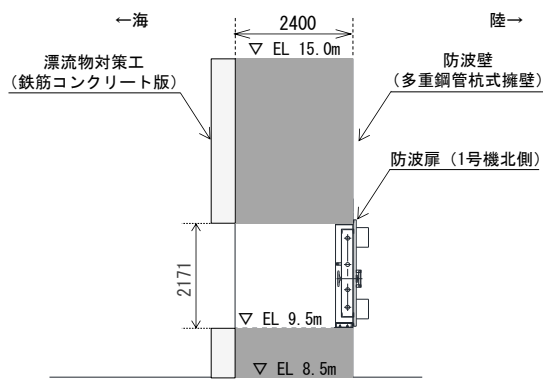


図 2-1 防波扉 (1号機北側) 及び防波扉 (2号機北側) の位置図

(単位 : mm)



(単位 : mm)



(単位 : mm)

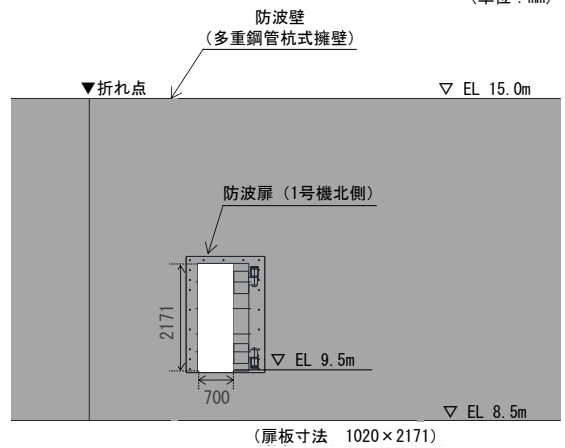


図 2-2 防波扉 (1号機北側) の構造図

(単位 : mm)

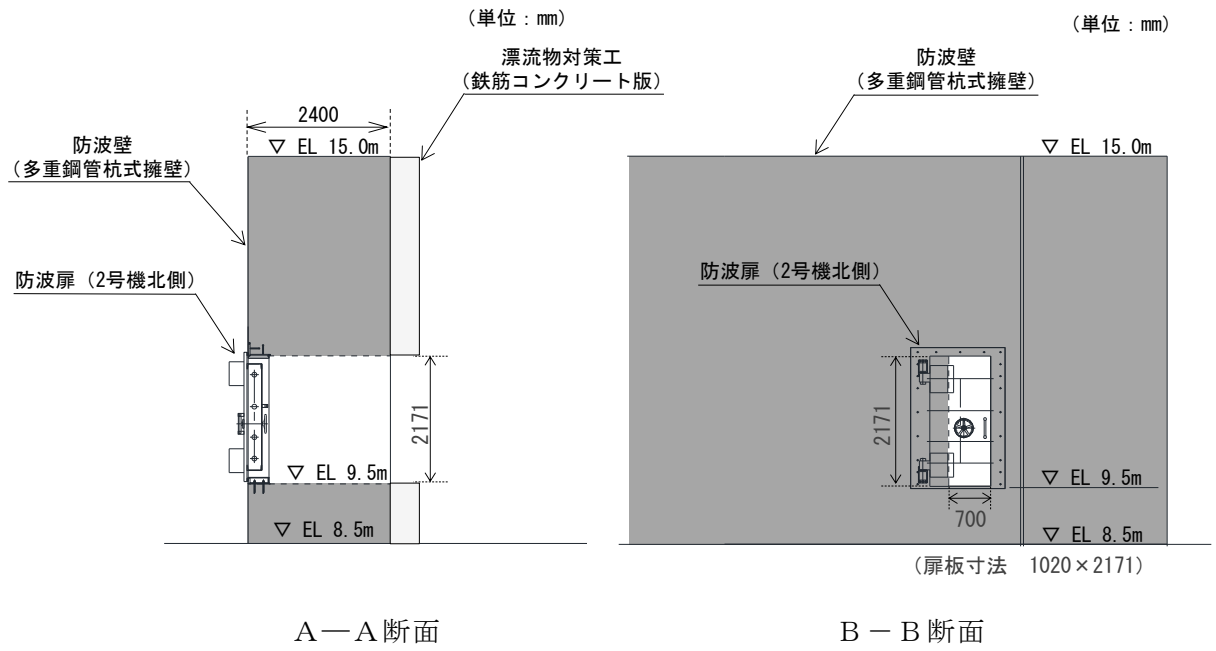
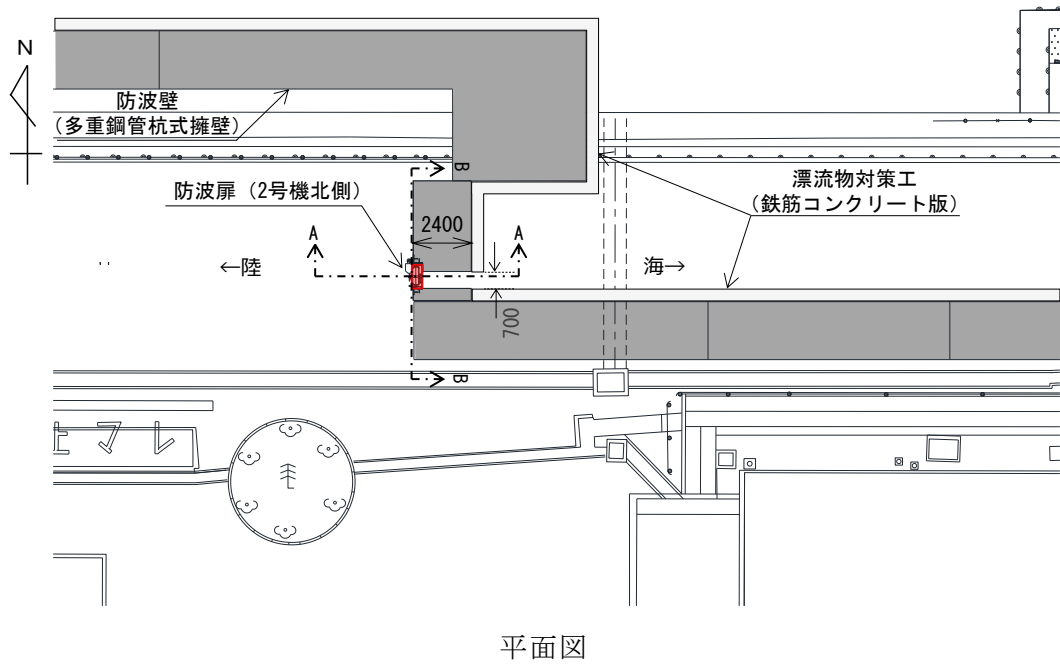


図 2-3 防波扉 (2号機北側) の構造図

### 2.3 構造計画

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造計画を表 2-2 に示す。防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は扉板、芯材、カンヌキ、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）、扉枠、アンカーボルトにより構成され、アンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。なお、固定する躯体は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）である。

表 2-2 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジ部を介する構造とする。</p>	<p style="text-align: center;">説明図</p> <p style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: center;">断面図</p>

## 2.4 評価方針

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、防波扉の評価対象部位に生じる応力度等が許容限界以下であることを、各設備の「3.4 評価方法」に示す方法により、「3.4.3 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認結果を「4. 評価結果」にて示す。

なお、強度評価については、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）について評価を実施することとし、津波と余震に伴う荷重が作用する重畳時については、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の前面の敷地高さ（EL 8.5m）は「海域活断層から想定される地震による津波（津波水位 EL 4.9m）」より高いため、評価を実施しない。

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価フローを図 2-4 に示す。

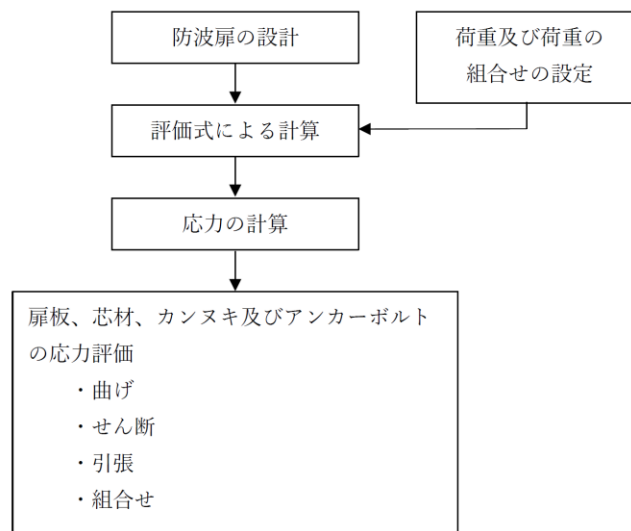


図 2-4 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価フロー



## 2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

## 2.6 記号の説明

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価に用いる記号を表2-3に示す。

表2-3(1) 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
G	kN	扉の固定荷重
P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	遡上津波荷重
P <sub>c</sub>	kN	衝突荷重
P <sub>1</sub>	kN/m	扉板上端に作用する遡上津波荷重
ρ	t/m <sup>3</sup>	水の密度
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
h <sub>1</sub>	m	水頭高さ
h <sub>2</sub>	m	床面から扉板上端までの高さ
L <sub>1</sub>	m	扉板の短辺方向の長さ
P <sub>2</sub>	kN/m	扉板下端に作用する遡上津波荷重
h <sub>3</sub>	m	床面から扉板下端までの高さ
L <sub>2</sub>	m	扉板の長辺方向の長さ
L <sub>3</sub>	m	扉板の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ
M <sub>1</sub>	kN・m	扉板に生じる遡上津波荷重による曲げモーメント
V <sub>1</sub>	kN	遡上津波荷重により扉上端に生じる反力
M <sub>2</sub>	kN・m	扉板に生じる衝突荷重による曲げモーメント
M <sub>3</sub>	kN・m	扉板に生じる曲げモーメント
P <sub>3</sub>	kN/m	芯材上端に作用する遡上津波荷重
h <sub>4</sub>	m	床面から芯材上端までの高さ
L <sub>4</sub>	m	芯材の負担幅
P <sub>4</sub>	kN/m	芯材下端に作用する遡上津波荷重
h <sub>5</sub>	m	床面から芯材下端までの高さ
M <sub>4</sub>	kN・m	芯材に生じる遡上津波荷重による曲げモーメント
V <sub>2</sub>	kN	遡上津波荷重により芯材上端に生じる反力
L <sub>6</sub>	m	芯材の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ
L <sub>5</sub>	m	芯材の負担長さ
M <sub>5</sub>	kN・m	芯材に生じる衝突荷重による曲げモーメント

表 2-3(2) 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$M_6$	kN・m	芯材に生じる曲げモーメント
$Q_1$	kN	芯材に生じるせん断力
$P_5$	kN/m	最下部カンヌキ負担範囲の上端に作用する遡上津波荷重
$L_7$	m	最下部カンヌキ負担高さ
$L_8$	m	開口幅
$P_6$	kN/m	開口下端に作用する遡上津波荷重
$R_1$	kN	カンヌキ 1 本あたりに作用する遡上津波荷重
$n_1$	本	最下部カンヌキの本数
$M_7$	kN・m	カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げモーメント
$L_9$	m	カンヌキの扉外間距離
$Q_2$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力
$P_7$	kN/m	開口上端に作用する遡上津波荷重
$n_2$	本	引張力を受けるアンカーボルトの本数
$L_{10}$	m	開口高さ
$T_1$	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$\sigma_1$	N/mm <sup>2</sup>	扉板に生じる曲げ応力度
$Z_1$	mm <sup>3</sup>	扉板の断面係数
$\sigma_2$	N/mm <sup>2</sup>	芯材に生じる曲げ応力度
$Z_2$	mm <sup>3</sup>	芯材の断面係数
$\tau_1$	N/mm <sup>2</sup>	芯材に生じるせん断応力度
$A_1$	mm <sup>2</sup>	芯材の断面積
$x_1$	N/mm <sup>2</sup>	芯材に生じる組合せ応力度
$\sigma_3$	N/mm <sup>2</sup>	カンヌキに生じる曲げ応力度
$Z_3$	mm <sup>3</sup>	カンヌキの断面係数
$\tau_2$	N/mm <sup>2</sup>	カンヌキに生じるせん断応力度
$A_2$	mm <sup>2</sup>	カンヌキの断面積
$x_2$	N/mm <sup>2</sup>	カンヌキに生じる組合せ応力度
$T_1$	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$T_{1A}$	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力

### 3. 強度評価

#### 3.1 評価対象部位

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す構造上の特徴を踏まえ選定する。

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）を開く方向に外部から作用する遡上津波荷重は、扉板から芯材に伝わり、カンヌキに伝達され、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の防波壁躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトとする。

なお、ヒンジ部は遡上津波荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）が開く方向に作用する荷重の作用図を図3-1に示す。

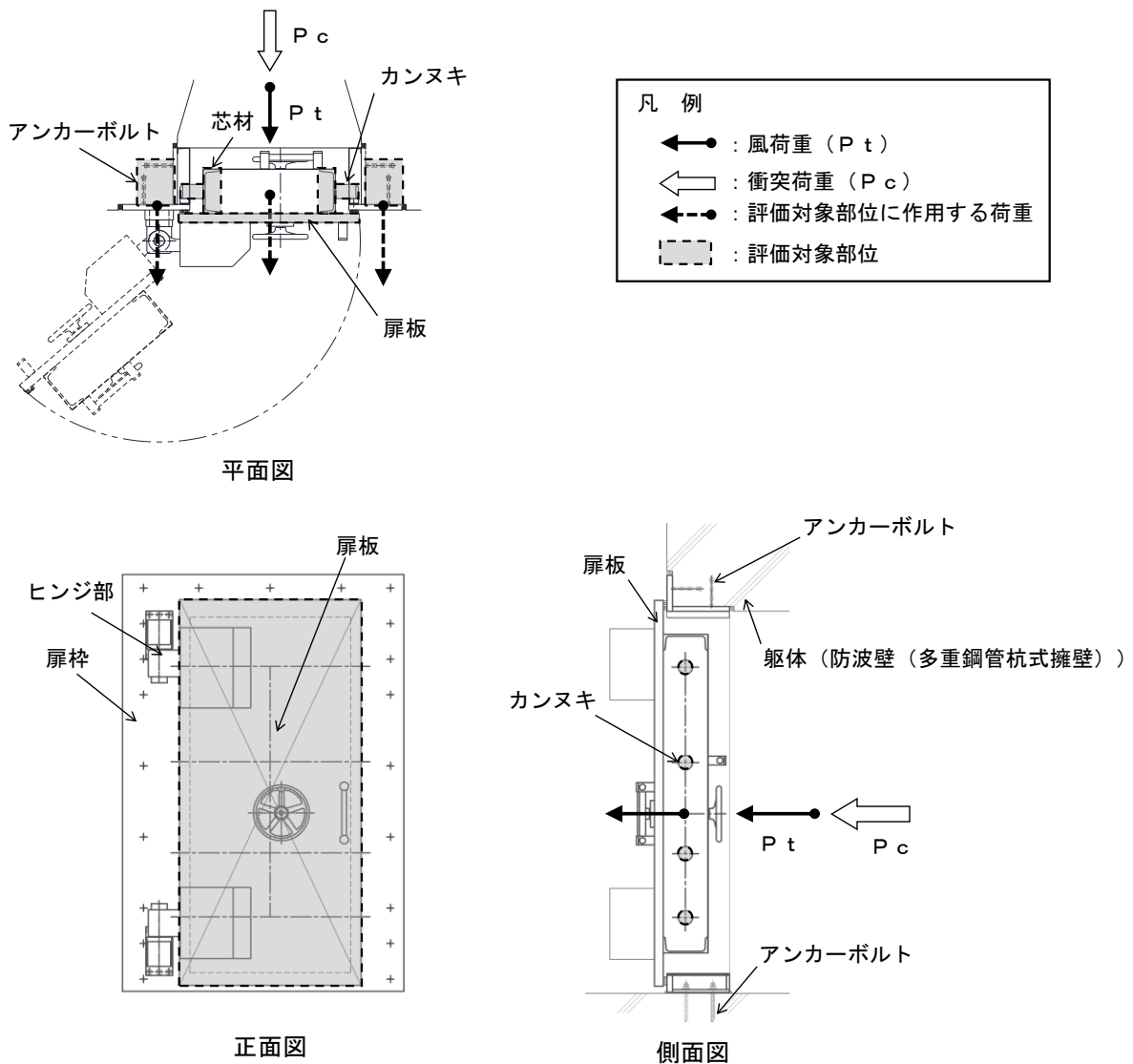


図3-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）が開く方向に作用する荷重の作用図

### 3.2 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、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。

#### 3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### (1) 扉の固定荷重 (G)

固定荷重として防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の自重を考慮する。

##### (2) 遡上津波荷重 (P t)

遡上波により波圧として作用する遡上津波荷重を考慮する。朝倉式により、設計津波水位（入力津波高さに参照する裕度（0.64m）を考慮した水位）と防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の設置高さを用いて算出する。

遡上津波荷重イメージ図を図 3-2 に、遡上津波荷重の算定に用いる水頭高さ及び水の密度を表 3-1 に示す。

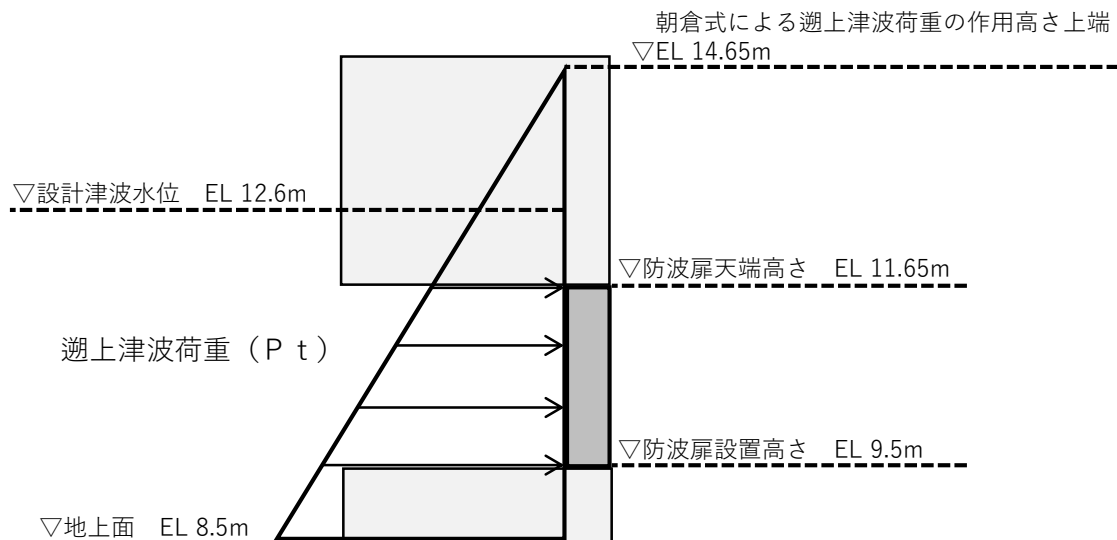


図 3-2 遡上津波荷重イメージ図

表 3-1 水頭高さ及び水の密度

名称	水頭高さ $h_1$ (m)	水の密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )
防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側）	5.15*	1.03

注記\*：水頭高さは防波扉設置高さ（EL 9.5m）から，朝倉式による  
遡上津波荷重の作用高さ上端（EL 14.65m）の間とする。

(3) 衝突荷重（ $P_c$ ）

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置することで，漂流物として船舶が衝突しない構造とするため，漂流物として枕木を考慮する。

衝突荷重は，津波荷重により各部材に作用する荷重が最大となる高さに集中荷重として作用するものとし，算定にあたっては既往の算定式により算定した衝突荷重を考慮する。

3.2.2 荷重の組合せ

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$

$G$  : 扉の固定荷重

$P_t$  : 遡上津波荷重

$P_c$  : 衝突荷重

### 3.3 許容限界

許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 3.3.1 使用材料

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）を構成する扉板、芯材、カンヌキ及びアンカーボルトの使用材料を表 3-3 に示す。

表 3-3 使用材料

評価対象部位	材質 強度区分	仕様
扉板	SS400	PL-50
芯材	SS400	[-250×90×11×14.5
カンヌキ	SUS304	80φ
アンカーボルト	アルミキルド鋼	φ 16×160

#### 3.3.2 許容限界

##### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）及び「日本産業規格（JIS）」を踏まえて表 3-4 の値とする。

表 3-4 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40*)	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100*)	215	124
SUS304	205	118

注記\*：t は板厚 (mm) を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した表 3-5 の値とする。

表 3-5 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN/本)	
	引張	せん断
アルミキルド鋼	47	33



### 3.4 評価方法

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の強度評価は、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」にて設定している評価式を用いる。

#### 3.4.1 応力算定

##### (1) 扉板

扉板に生じる応力は、等変分布荷重を受ける両端固定支持の**はり**として、次式により算定する。

扉板に作用する荷重の例を図 3-3 に示す。

$$P_1 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot L_1$$

ここで、

$P_1$  : 扉板上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$\rho$  : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  : 水頭高さ (m)

$h_2$  : 床面から扉板上端までの高さ (m)

$L_1$  : 扉板の短辺方向の長さ (m)

$$P_2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_3) \cdot L_1$$

ここで、

$P_2$  : 扉板下端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$h_3$  : 床面から扉板下端までの高さ (m)

$$L_3 = (L_2 / (P_2 - P_1)) \cdot \left\{ -P_1 + \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (P_1^2 + P_1 \cdot P_2 + P_2^2)} \right\}$$

ここで、

$L_3$  : 扉板の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ (m)

$L_2$  : 扉板の長辺方向の長さ (m)

$$M_1 = V_1 \cdot L_3 - (P_1 \cdot L_3^2) / 2 - (P_2 - P_1) \cdot L_3^3 / (6 \cdot L_2)$$

ここで、

$M_1$  : 扉板に**生じる**遡上津波荷重による曲げモーメント (kN・m)

$V_1$  : 遡上津波荷重により扉上端に生じる反力 (kN)

$$V_1 = L_2 \cdot (2 \cdot P_1 + P_2) / 6$$

$$M_2 = P_c \cdot L_3 \cdot (L_2 - L_3) / L_2$$

ここで,

$M_2$  : 扉板に生じる衝突荷重による曲げモーメント (kN・m)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

$$M_3 = M_1 + M_2$$

ここで,

$M_3$  : 扉板に生じる曲げモーメント (kN・m)

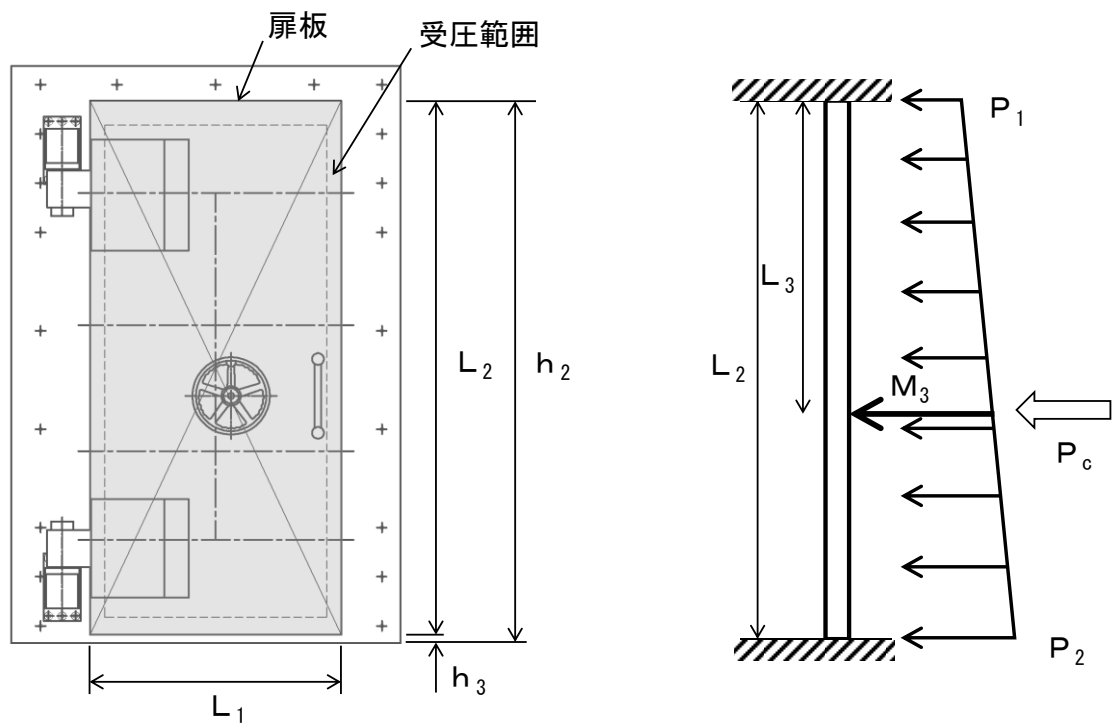


図 3-3 扉板に作用する荷重の例

b

## (2) 芯材

芯材に生じる応力は、遡上津波荷重として等変分布荷重を、集中荷重として衝突荷重をそれぞれ受ける両端固定支持の**はり**として次式により算定する。芯材に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

$$P_3 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_4) \cdot L_4$$

ここで、

$P_3$  : 芯材上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$\rho$  : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  : 水頭高さ (m)

$h_4$  : 床面から芯材上端までの高さ (m)

$L_4$  : 芯材の負担幅 (m)

$$P_4 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_5) \cdot L_4$$

ここで、

$P_4$  : 芯材下端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$h_5$  : 床面から芯材下端までの高さ (m)

$$L_6 = (L_5 / (P_4 - P_3)) \cdot \left\{ -P_3 + \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (P_3^2 + P_3 \cdot P_4 + P_4^2)} \right\}$$

ここで、

$L_6$  : 芯材の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ (m)

$L_5$  : 芯材の負担長さ (m)

$$M_4 = V_2 \cdot L_6 - (P_3 \cdot L_6^2) / 2 - (P_4 - P_3) \cdot L_6^3 / (6 \cdot L_5)$$

ここで、

$M_4$  : 芯材に**生じる**遡上津波荷重による曲げモーメント (kN・m)

$V_2$  : 遡上津波荷重により芯材上端に生じる反力 (kN)

$$V_2 = L_5 \cdot (2 \cdot P_3 + P_4) / 6$$

$$M_5 = P_c \cdot L_6 \cdot (L_5 - L_6) / L_5$$

ここで、

$M_5$  : 芯材に**生じる**衝突荷重による曲げモーメント (kN・m)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

$$M_6 = M_4 + M_5$$

ここで、

$M_6$  : 芯材に生じる曲げモーメント (kN・m)

$$Q_1 = (P_3 + P_4) \cdot L_5 / 2 + P_c$$

ここで、

$Q_1$  : 芯材に生じるせん断力 (kN)

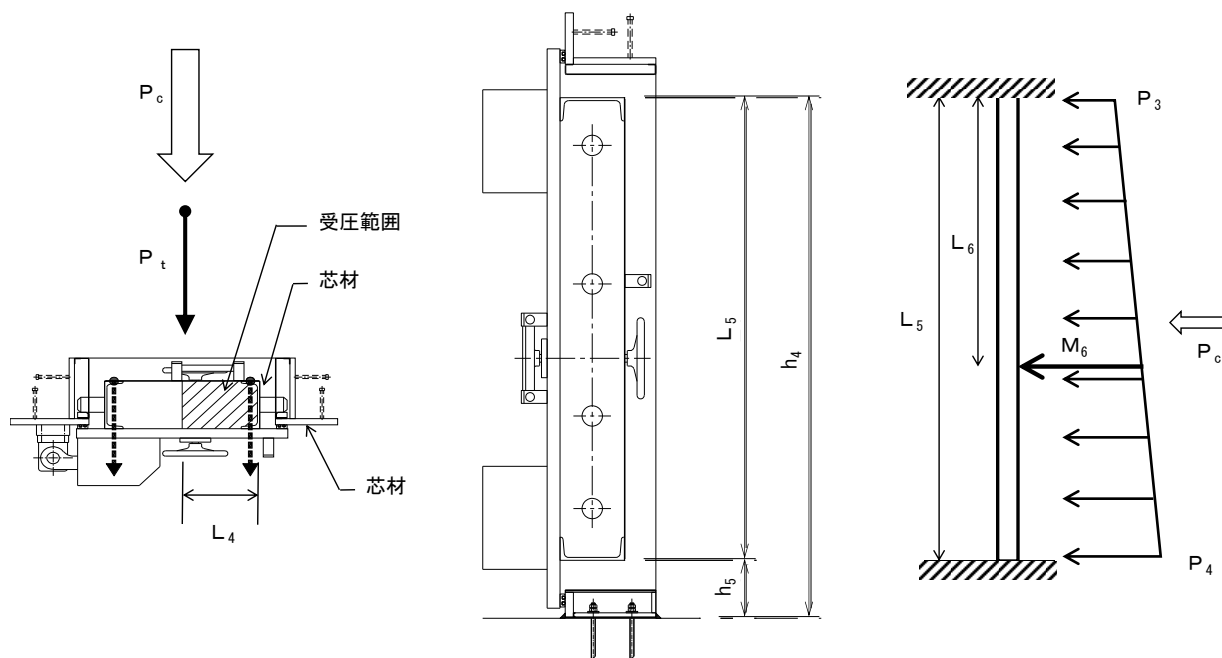


図 3-4 芯材に作用する荷重の例

## (3) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は次式により算定する。カンヌキは、遡上津波荷重及び衝突荷重が均等に作用するとして算定する。

カンヌキに作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

$$P_5 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - L_7) \cdot L_8$$

ここで、

$P_5$  : 最下部カンヌキ負担範囲の上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$\rho$  : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  : 水頭高さ (m)

$L_7$  : 最下部カンヌキ負担高さ (m)

$L_8$  : 開口幅 (m)

$$P_6 = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot L_8$$

ここで、

$P_6$  : 開口下端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$$R_1 = (P_5 + P_6) \cdot L_7 / 2 \cdot n_1$$

ここで、

$R_1$  : カンヌキ 1 本あたりに作用する遡上津波荷重 (kN)

$n_1$  : 最下部カンヌキの本数 (本)

$$M_7 = (R_1 + P_c / n_1) \cdot L_9$$

ここで、

$M_7$  : カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げモーメント (kN・m)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

$L_9$  : カンヌキの扉外間距離 (m)

$$Q_2 = R_1 + P_c / n_1$$

ここで、

$Q_2$  : カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

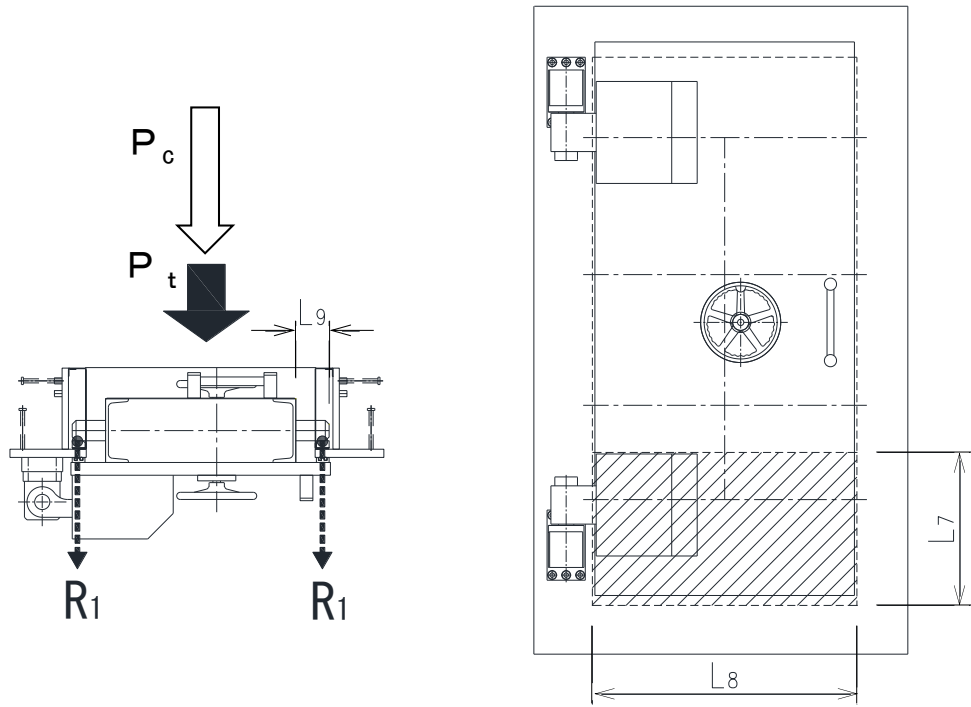


図 3-5 カンヌキに作用する荷重の例

## (4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、遡上津波荷重及び衝突荷重を左右若しくは上下に配置されたアンカーボルトに分配したものである。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

$$P_7 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - L_{10}) \cdot L_8$$

ここで、

$P_7$  : 開口上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$\rho$  : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$  : 水頭高さ (m)

$L_{10}$  : 開口高さ (m)

$L_8$  : 開口幅 (m)

$$T_1 = \{ (P_6 + P_7) \cdot L_{10} / (2 \cdot n_2) \} + P_c / n_2$$

ここで、

$T_1$  : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

$P_6$  : 開口下端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

$P_c$  : 衝突荷重 (kN)

$n_2$  : 引張力を受けるアンカーボルトの本数 (本)

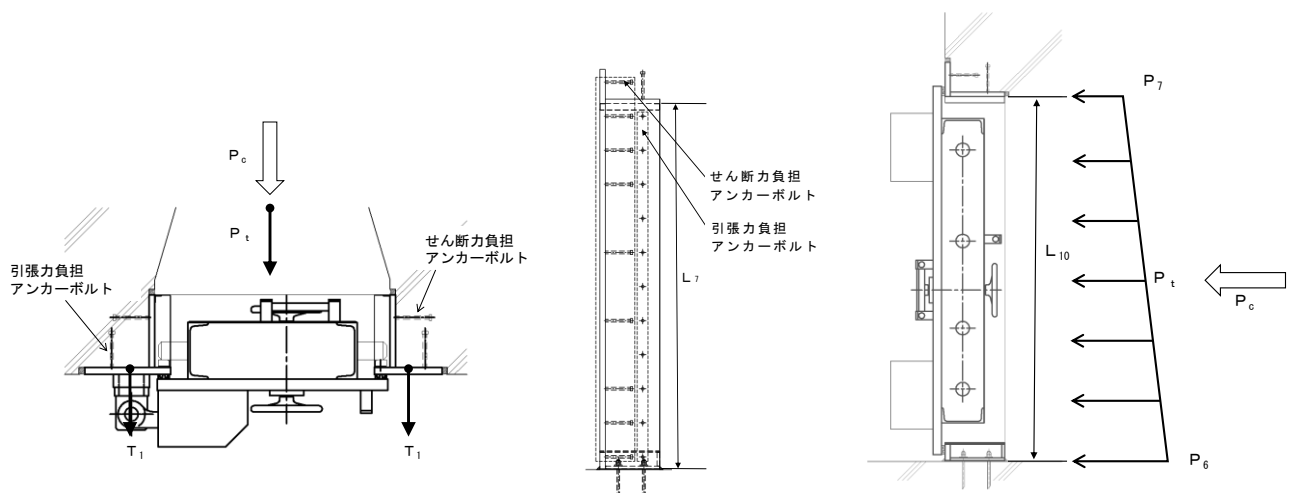


図 3-6 アンカーボルトに作用する荷重の例

### 3.4.2 断面検定

評価対象部位に生じる応力より算定する応力度及び荷重が、許容限界以下であることを確認する。

#### (1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = M_3 / Z_1$$

ここで、

$\sigma_1$  : 扉板に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_3$  : 扉板に生じる曲げモーメント (kN・m)

$Z_1$  : 扉板の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

#### (2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

##### a. 芯材に生じる曲げ応力度

$$\sigma_2 = M_6 / Z_2$$

ここで、

$\sigma_2$  : 芯材に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_6$  : 芯材に生じる曲げモーメント (kN・m)

$Z_2$  : 芯材の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

##### b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = Q_1 / A_1$$

ここで、

$\tau_1$  : 芯材に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_1$  : 芯材に生じるせん断力 (kN)

$A_1$  : 芯材の断面積 (mm<sup>2</sup>)



c. 芯材に生じる組合せ応力度

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

$$x_1 = \sqrt{(\sigma_2^2 + 3\tau_1^2)}$$

ここで，

$x_1$ ：芯材に生じる組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(3) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を算定し，カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

a. カンヌキに生じる曲げ応力度

$$\sigma_3 = M_7 / Z_3$$

ここで，

$\sigma_3$ ：カンヌキに生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_7$ ：カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げモーメント (kN・m)

$Z_3$ ：カンヌキの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

b. カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = Q_2 / A_2$$

ここで，

$\tau_2$ ：カンヌキに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_2$ ：カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

$A_2$ ：カンヌキの断面積 (mm<sup>2</sup>)

c. カンヌキに生じる組合せ応力度

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

$$x_2 = \sqrt{(\sigma_3^2 + 3\tau_2^2)}$$

ここで，

$x_2$ ：カンヌキに生じる組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力が、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$T_1 / T_{1A} \leq 1.0$$

ここで、

$T_1$  : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

$T_{1A}$  : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

### 3.4.3 評価条件

強度計算に用いる評価条件を表 3-6 に示す。

表 3-6 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	値
共通	$\rho$	t/m <sup>3</sup>	水の密度	1.03
	$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	9.80665
	$h_1$	m	水頭高さ	5.15
	$P_c$	kN	衝突荷重	6.0
扉板	$h_2$	m	床面から扉板上端までの高さ	2.21
	$h_3$	m	床面から扉板下端までの高さ	0.039
	$L_1$	m	扉板の短辺方向の長さ	1.020
	$L_2$	m	扉板の長辺方向の長さ	2.171
	$L_3$	m	扉板の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ	1.134
芯材	$V_2$	kN	遡上津波荷重により芯材上端に生じる反力	12.64
	$h_4$	m	床面から芯材上端までの高さ	2.02
	$h_5$	m	床面から芯材下端までの高さ	0.225
	$L_4$	m	芯材の負担幅	0.374
	$L_5$	m	芯材の負担長さ	1.795
	$L_6$	m	芯材の遡上津波荷重による曲げモーメントが最大となる高さ	0.9307
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	芯材の断面係数	374000
	$\tau_1$	N/mm <sup>2</sup>	芯材に生じるせん断応力度	7
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	芯材の断面積	5117
カンヌキ	$L_7$	m	最下部カンヌキ負担高さ	0.600
	$L_8$	m	開口幅	1.040
	$L_9$	m	カンヌキの扉外間距離	0.131
	$n_1$	本	最下部カンヌキの本数	2
	$A_2$	mm <sup>2</sup>	カンヌキの断面積	5027
アンカー ボルト	$T_{1A}$	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	47

#### 4. 評価結果

強度評価結果を表 4-1 に示す。防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 断面検定結果

対象評価部材	単位	分類	発生応力度 又は荷重 (a)	許容 限界 (b)	照査値 (a)/(b)
扉板	N/mm <sup>2</sup>	曲げ	66	215	0.31
芯材	N/mm <sup>2</sup>	組合せ	27	235	0.12
カンヌキ	N/mm <sup>2</sup>	組合せ	49	205	0.24
アンカーボルト	kN	引張	11	47	0.24

## 2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する強度計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	15
2.4	適用規格・基準等	20
3.	強度評価	21
3.1	記号の定義	21
3.2	評価対象断面	29
3.3	解析方法	31
3.4	荷重及び荷重の組合せ	31
3.4.1	荷重	31
3.4.2	荷重の組合せ	33
3.5	解析モデル及び諸元	34
3.5.1	解析モデル	34
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	36
3.5.3	地盤の物性値	37
3.5.4	地下水位	37
3.6	評価対象部位	38
3.6.1	施設・地盤の健全性評価	38
3.6.2	基礎地盤の支持性能評価	38
3.7	許容限界	39
3.7.1	防波扉	39
3.7.2	漂流物対策工	43
3.8	評価方法	45
3.8.1	防波扉	46
3.8.2	漂流物対策工	56
4.	評価条件	68
5.	評価結果	72
5.1	防波扉	72
5.1.1	防波扉（鋼製扉体）	72
5.1.2	防波扉戸当り（R C支柱）	72
5.1.3	防波扉基礎スラブ	73
5.1.4	防波扉（鋼管杭）	77

5.1.5	改良地盤	79
5.1.6	基礎地盤	80
5.2	漂流物対策工	81
5.2.1	漂流物対策工（鋼製扉体）	81
5.2.2	漂流物対策工戸当り（RC支柱）	82
5.2.3	漂流物対策工基礎スラブ	86
5.2.4	基礎地盤	90

## 1. 概要

本資料は、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、防波壁通路防波扉（荷揚場南）（以下「防波扉（荷揚場南）」という。）が、地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対して、施設・地盤の構造健全性を保持すること及び十分な支持性能を有する地盤に設置していることを確認するものである。



## 2. 基本方針

### 2.1 位置

防波扉（荷揚場南）の位置図を図2-1に示す。

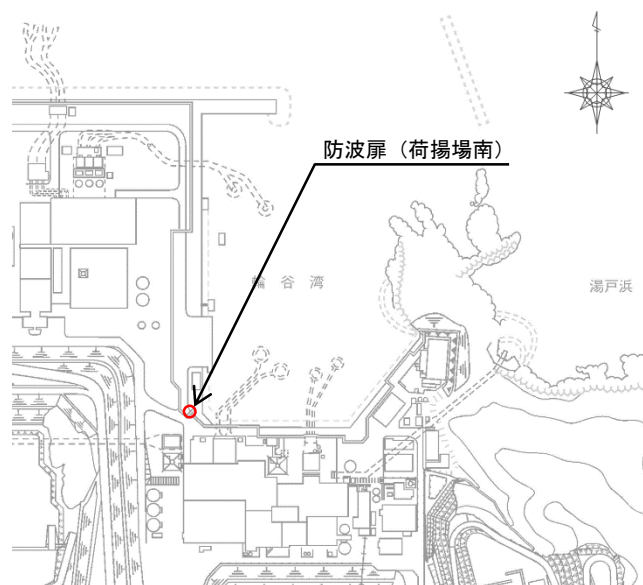


図2-1 防波扉（荷揚場南）の位置図

## 2.2 構造概要

防波扉（荷揚場南）の構造概要図を図 2-2 に示す。

防波扉（荷揚場南）は，入力津波高さ（EL 11.9m）に対して，余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波扉（荷揚場南）は，防波扉及び漂流物対策工から構成される。

防波扉は，岩盤に支持される鋼管（以下，「防波扉（鋼管杭）」という。）による杭基礎構造と，防波扉（鋼製扉体），防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブによる上部構造から構成される。防波扉（鋼製扉体），防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの境界部には水密ゴムを設置し，止水性を確保する。

防波扉（荷揚場南）の構造図を図 2-3，防波扉戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図 2-4 に，防波扉基礎スラブの概略配筋図を図 2-5 に，水密ゴムの概念図を図 2-6 に示す。

漂流物対策工は，漂流物対策工（鋼製扉体），漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブから構成され，マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図 2-7 に，漂流物対策工戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図 2-8 に，漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図を図 2-9 に，漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの接続部における概略配筋図を図 2-10 に，漂流物対策工戸当り（RC支柱）のアンカー部付近における概略配筋図を図 2-11 に示す。

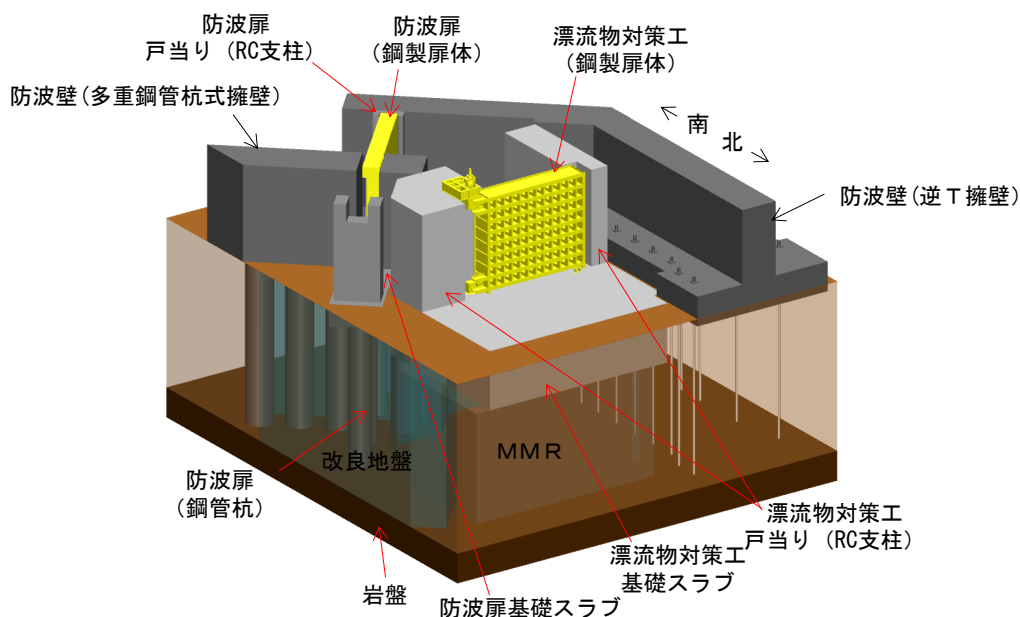


図 2-2(1) 防波扉（荷揚場南）の構造概要図（鳥瞰図）

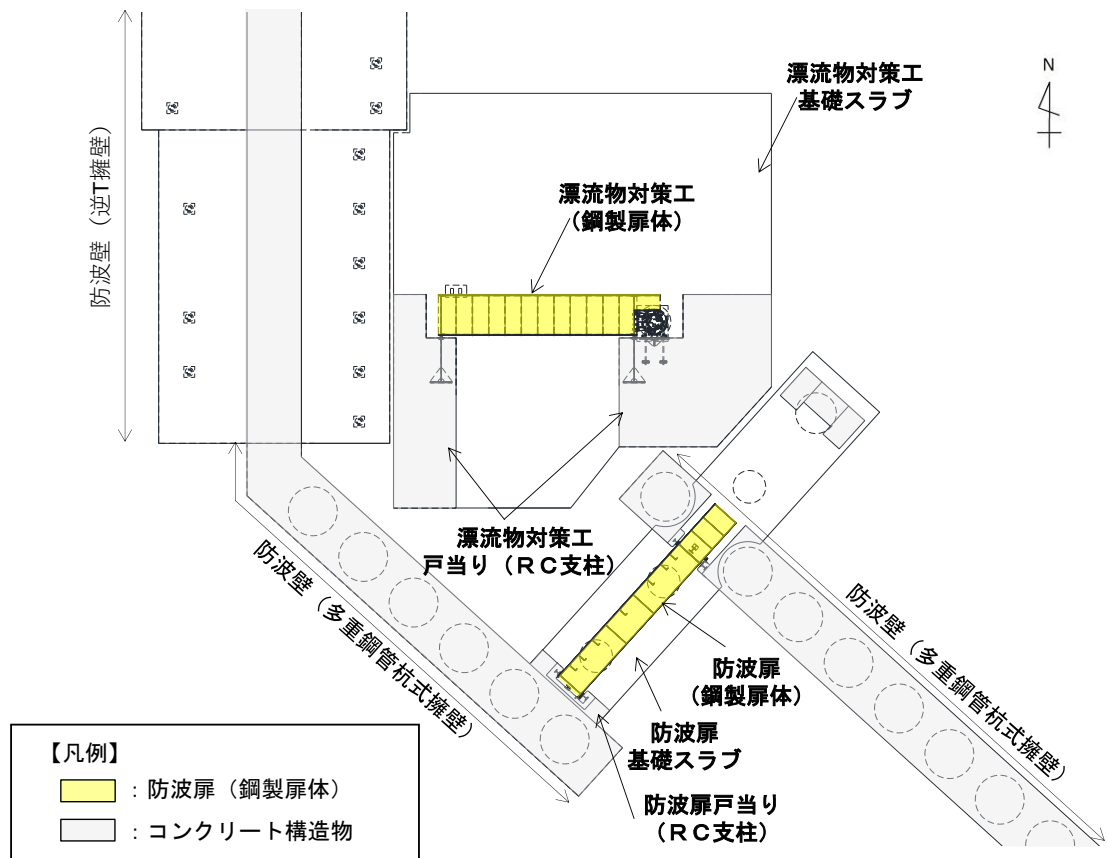


図 2-2(2) 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (平面図)

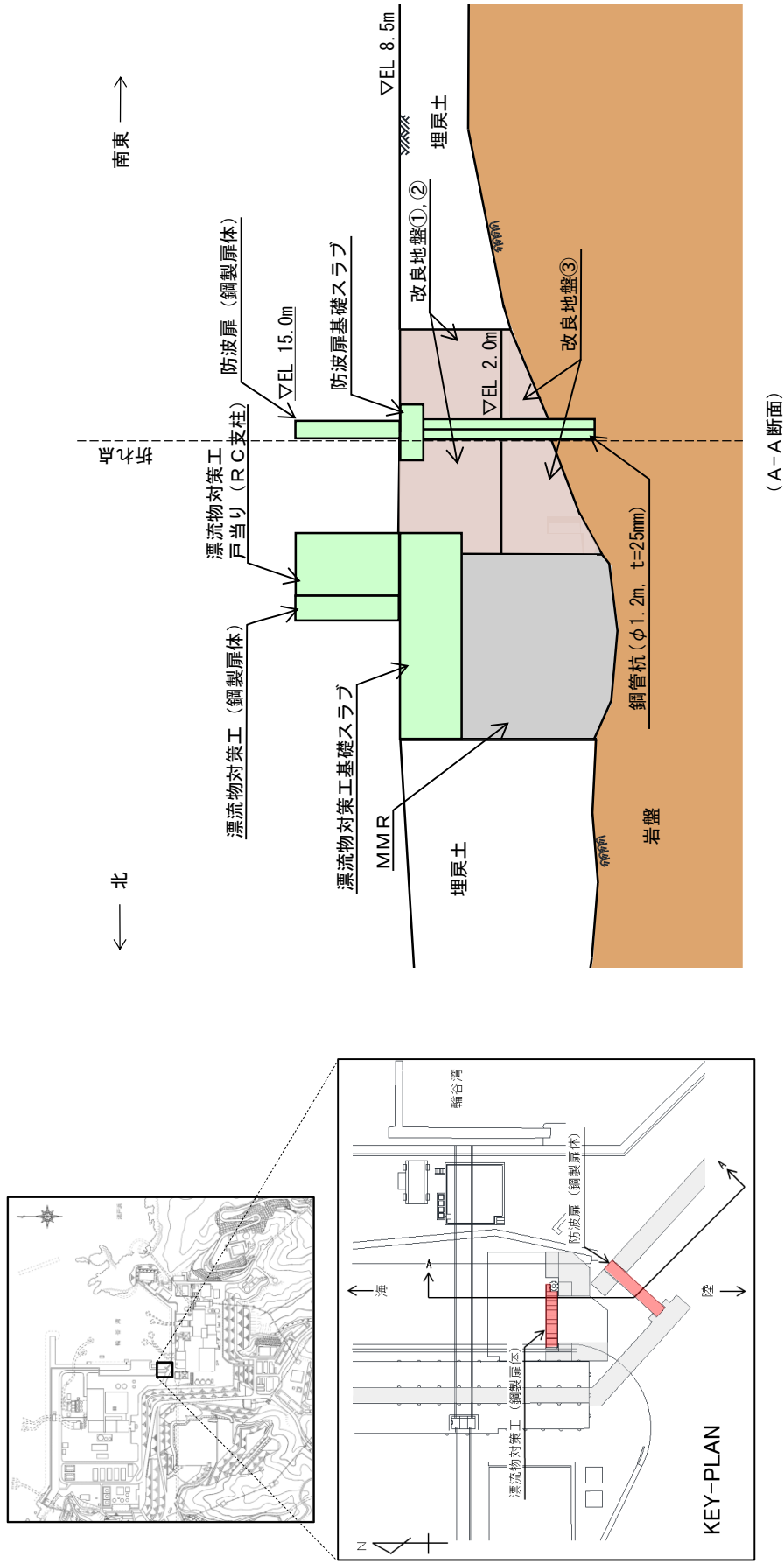
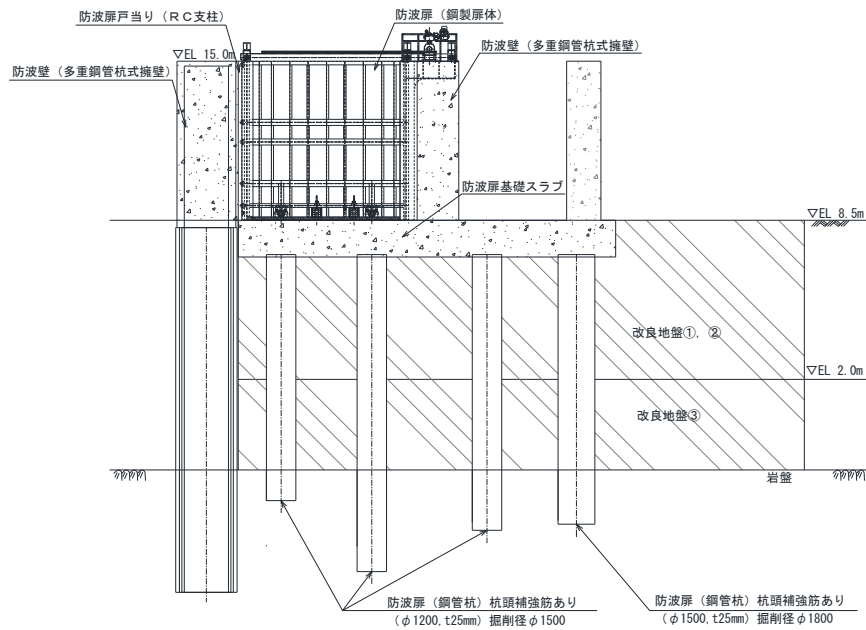
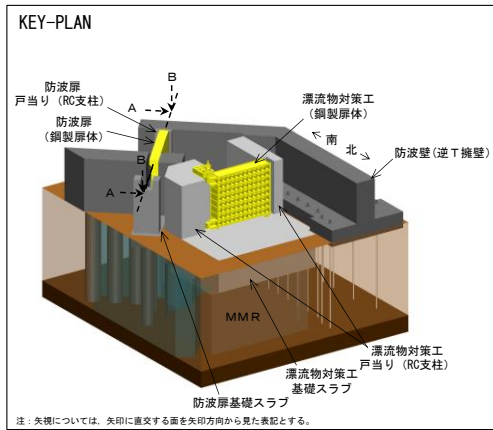
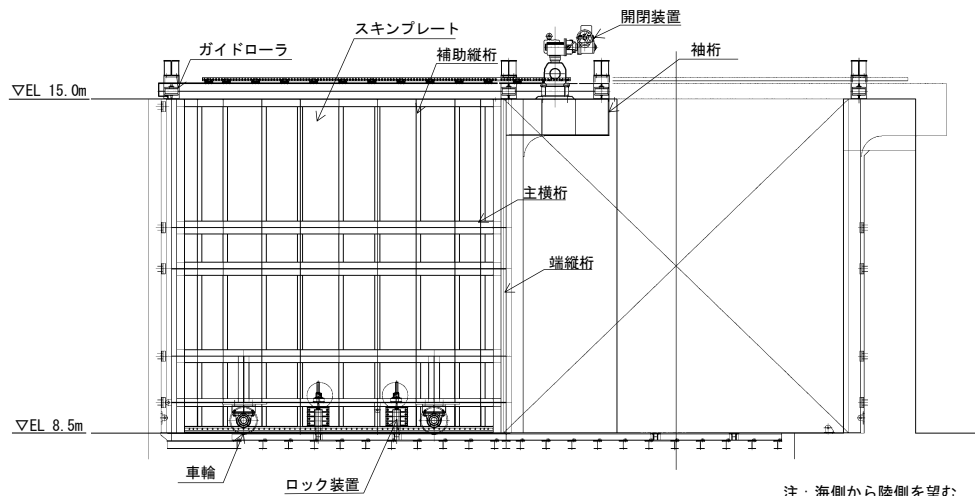


図 2-2 (3) 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (断面図)



注：海側から陸側を望む

(全体図)



注：海側から陸側を望む

(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-3(1) 防波扉の構造図 (A-A断面)

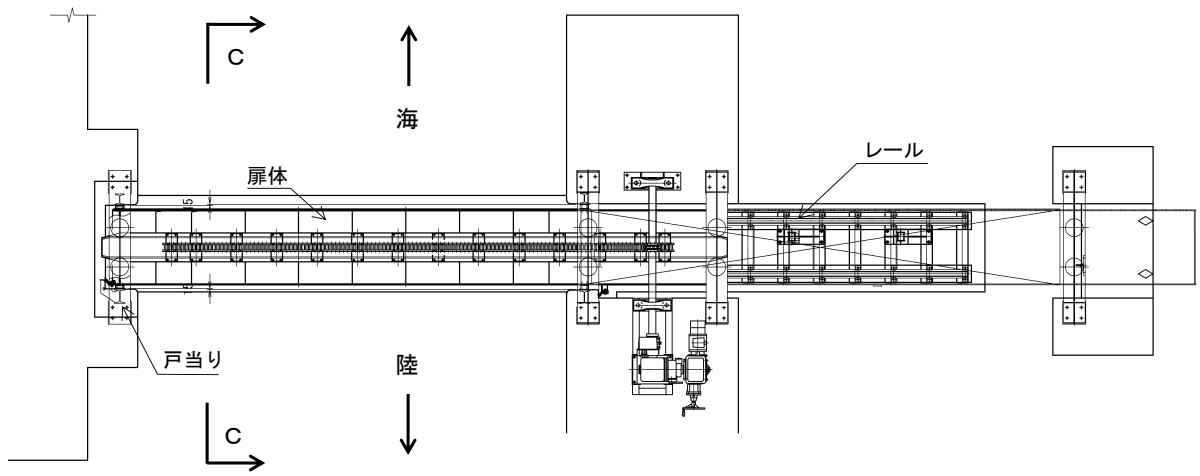


図 2-3(2) 防波扉の構造図 (B-B 断面)

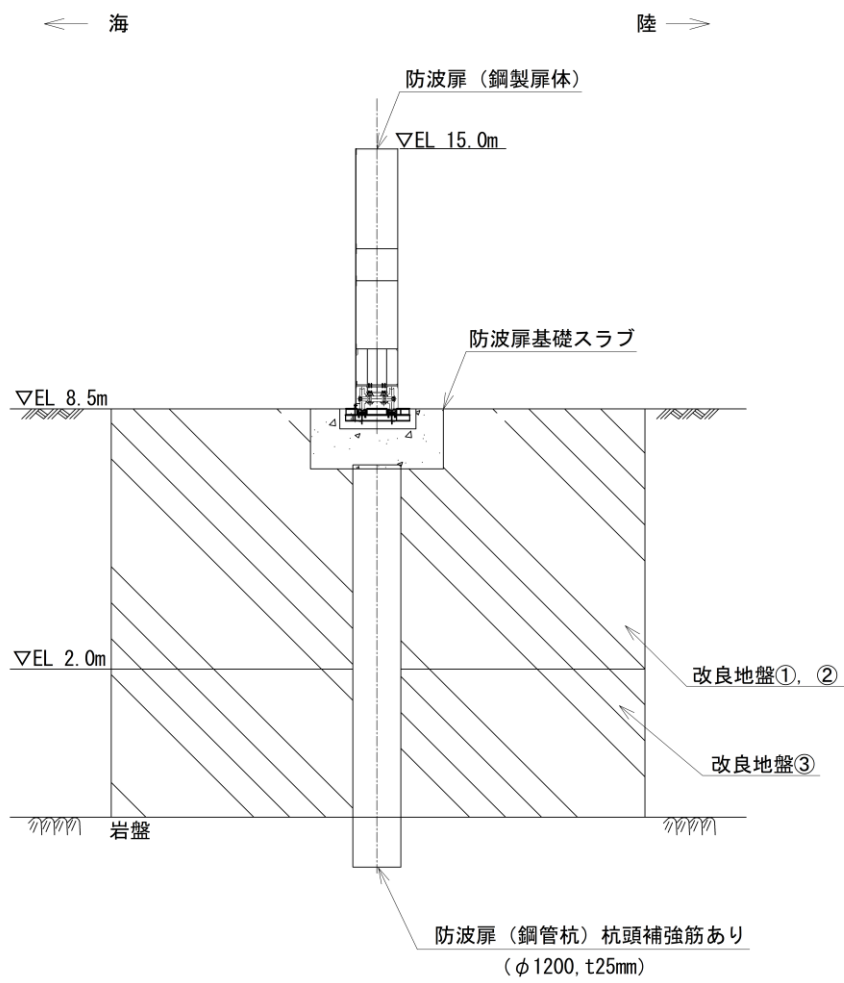


図 2-3(3) 防波扉の構造図 (C-C 断面)

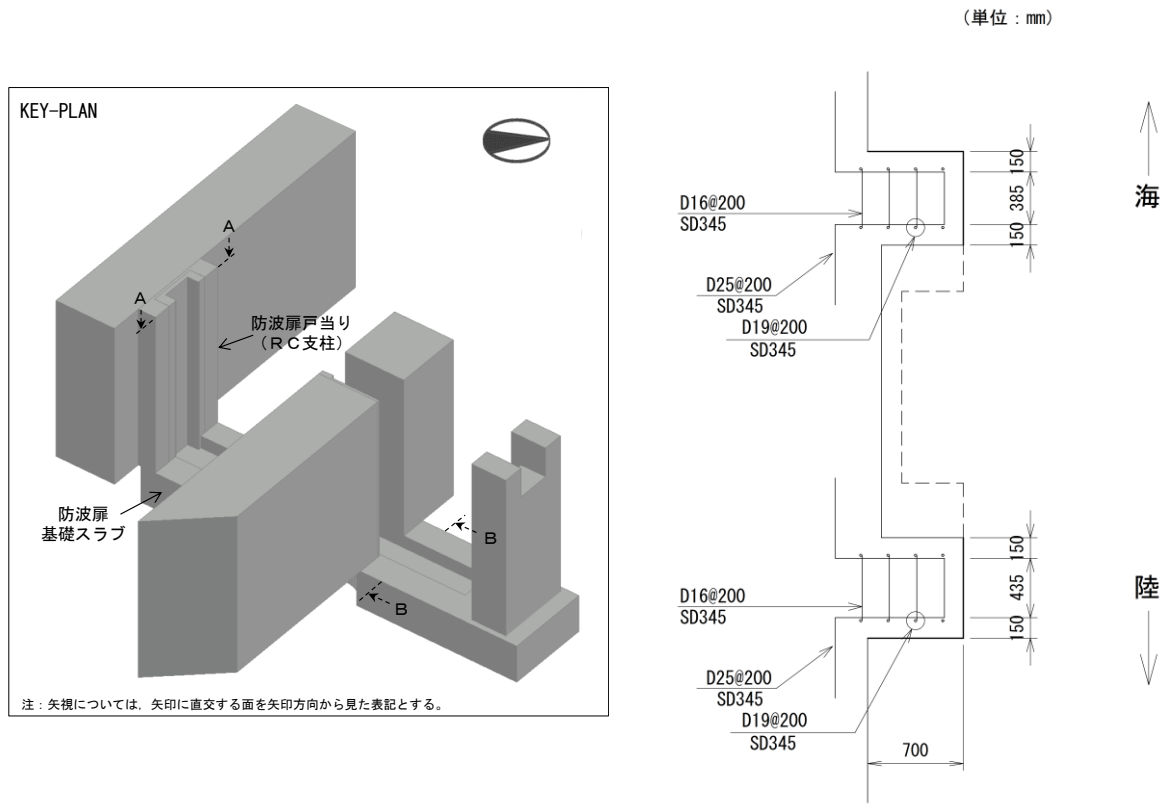


図 2-4 防波扉当り (RC 支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

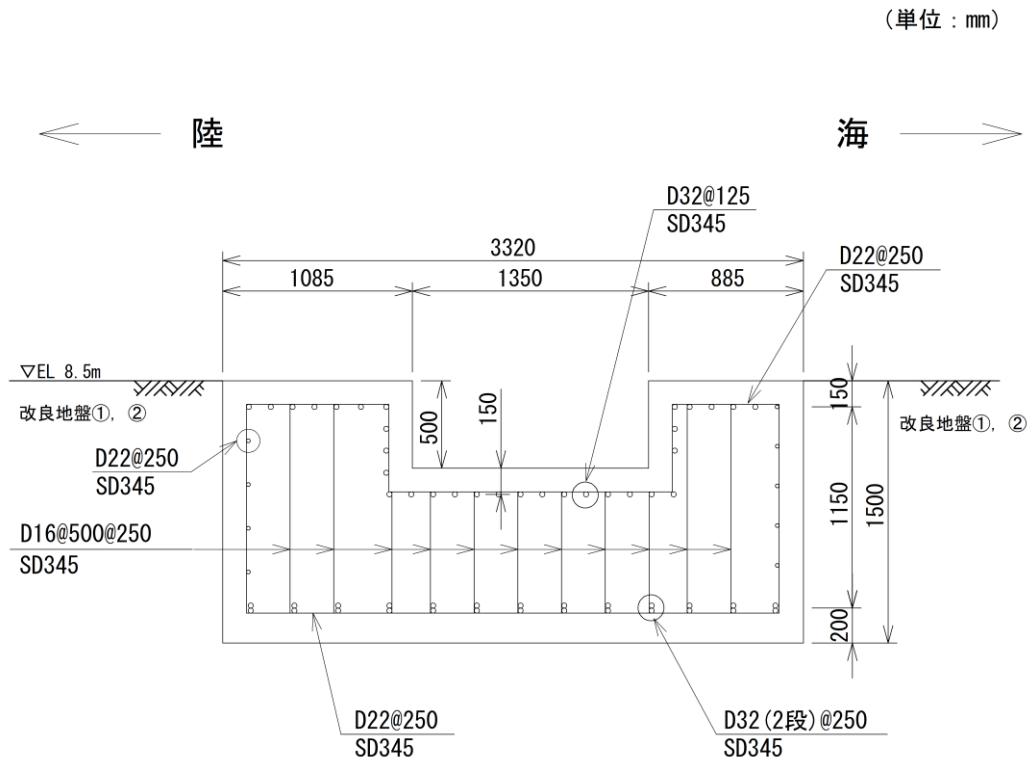


図 2-5 防波扉基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

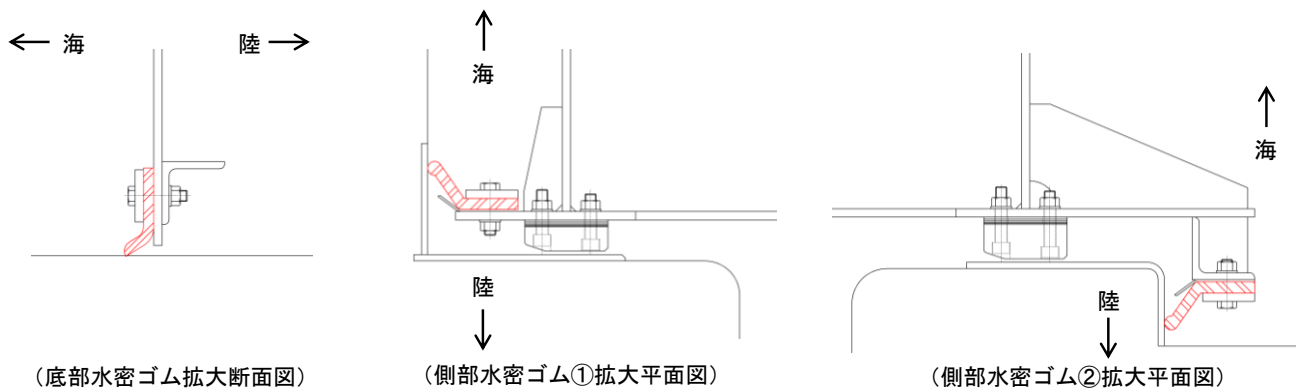
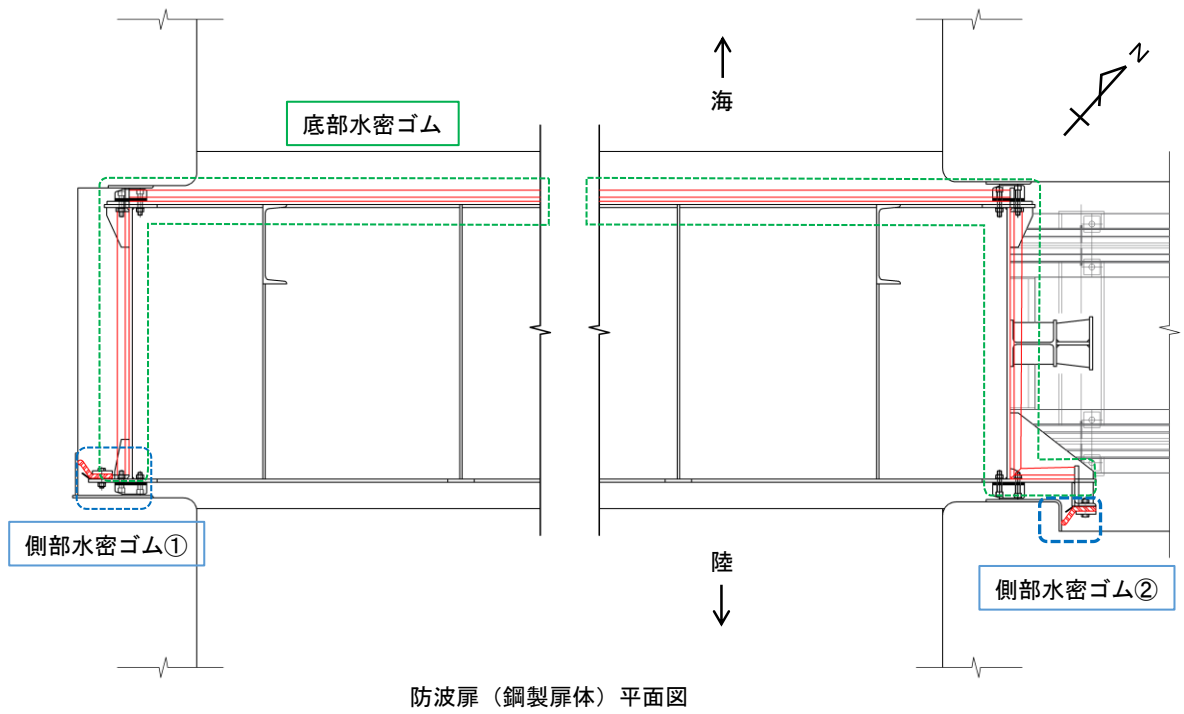
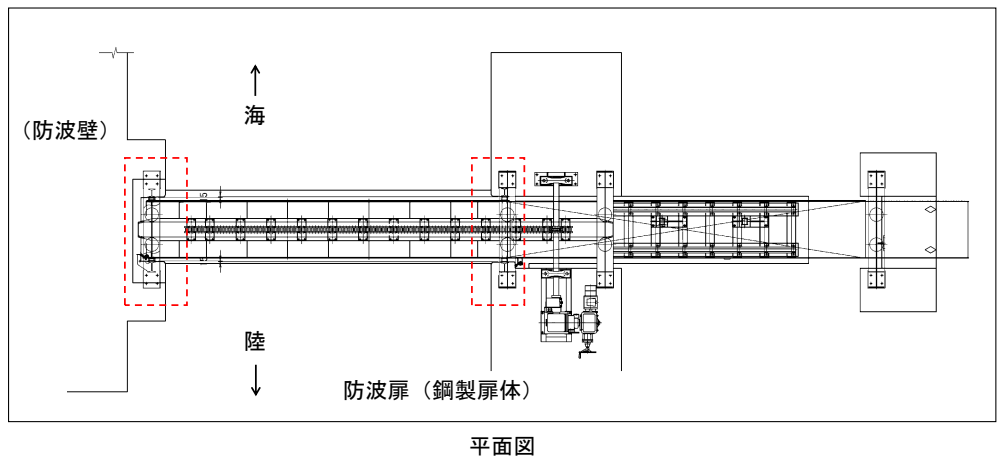
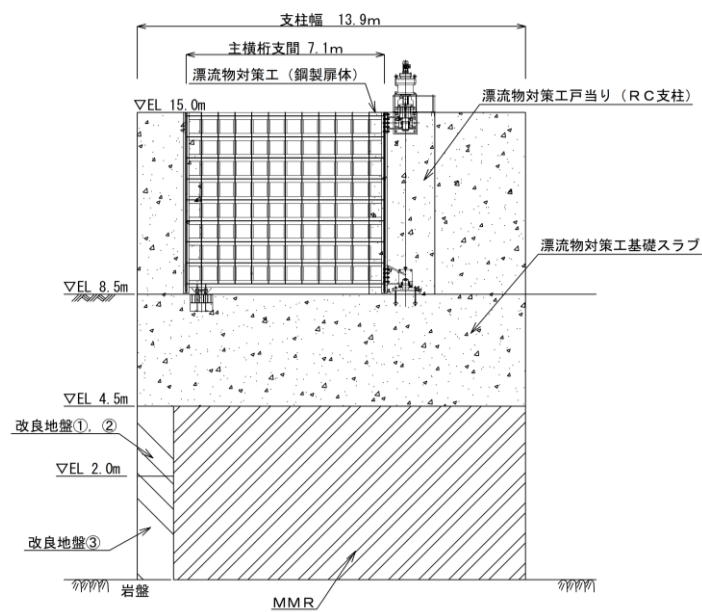
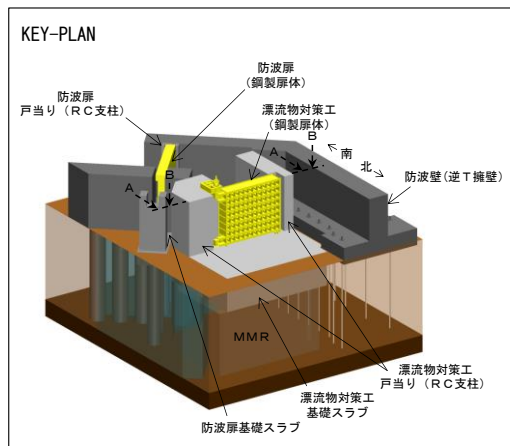


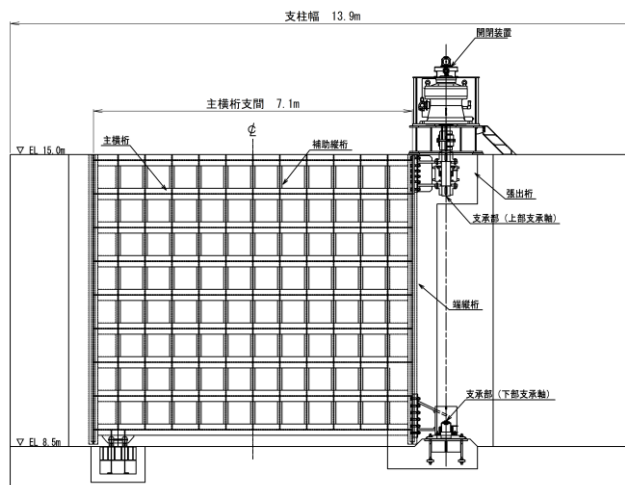
図 2-6 水密ゴムの概念図





注：陸側から海側を望む

(全体図)



注：陸側から海側を望む

(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-7(1) 漂流物対策工の構造図 (A-A 断面)

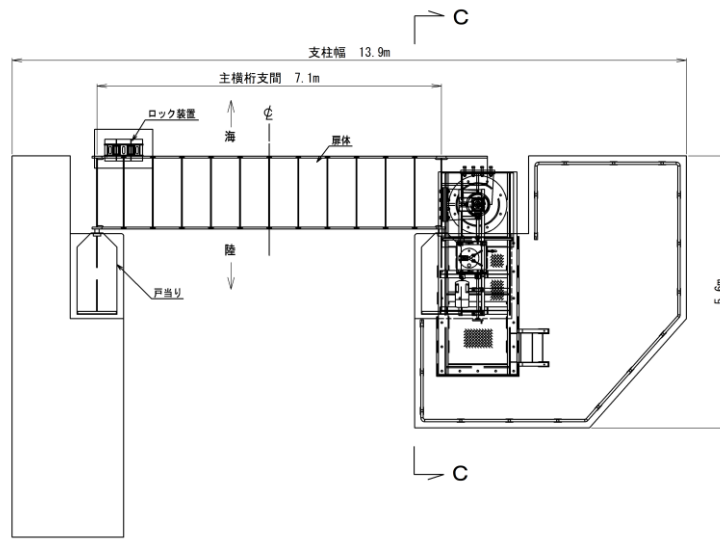


図 2-7(2) 漂流物対策工の構造図 (B-B 断面)

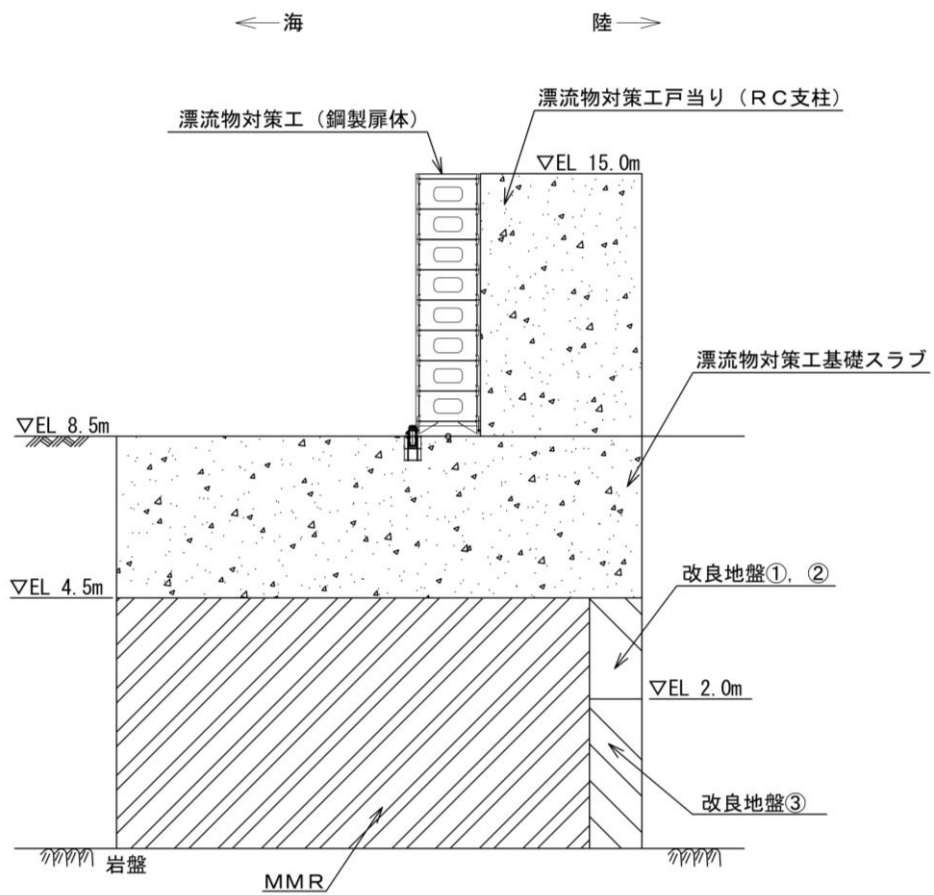


図 2-7(3) 漂流物対策工の構造図 (C-C 断面)

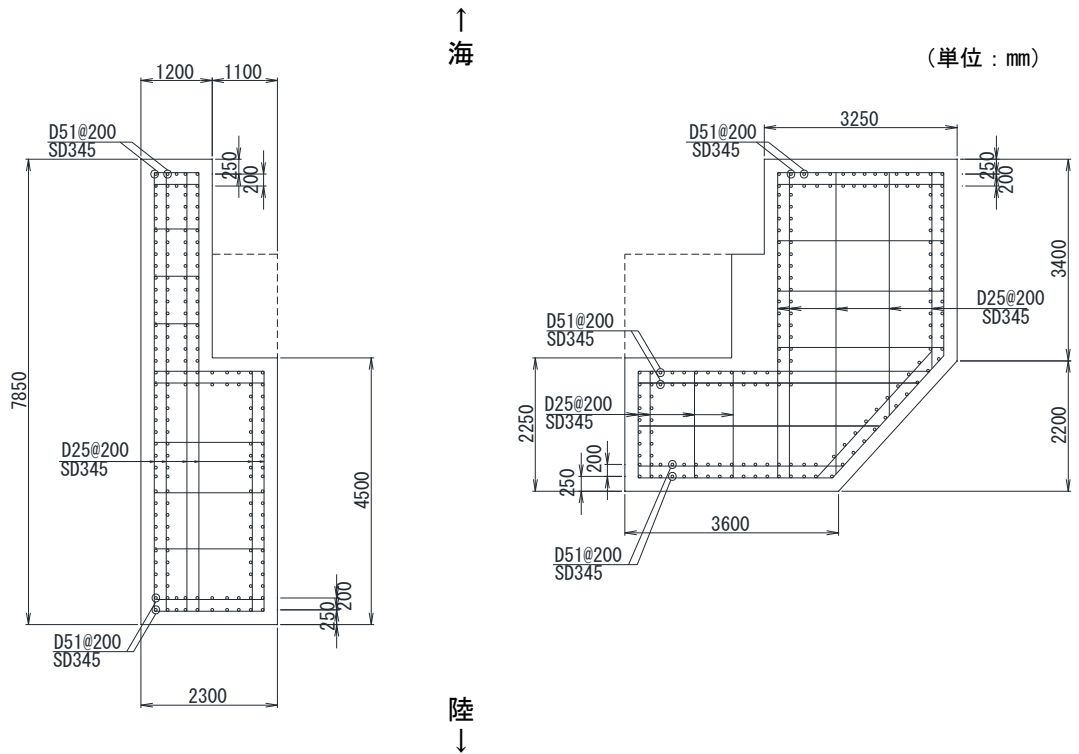
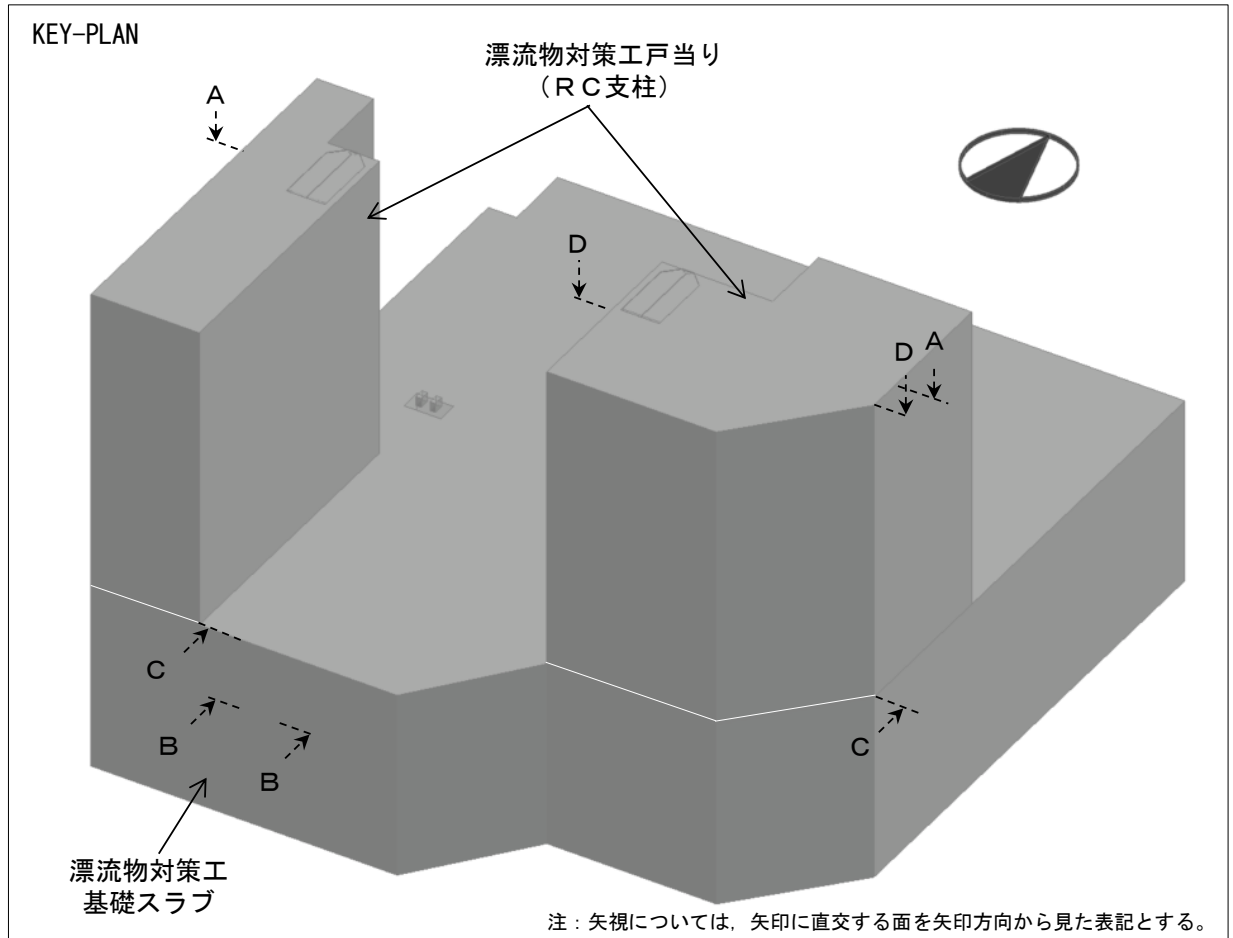


図 2-8 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A断面)

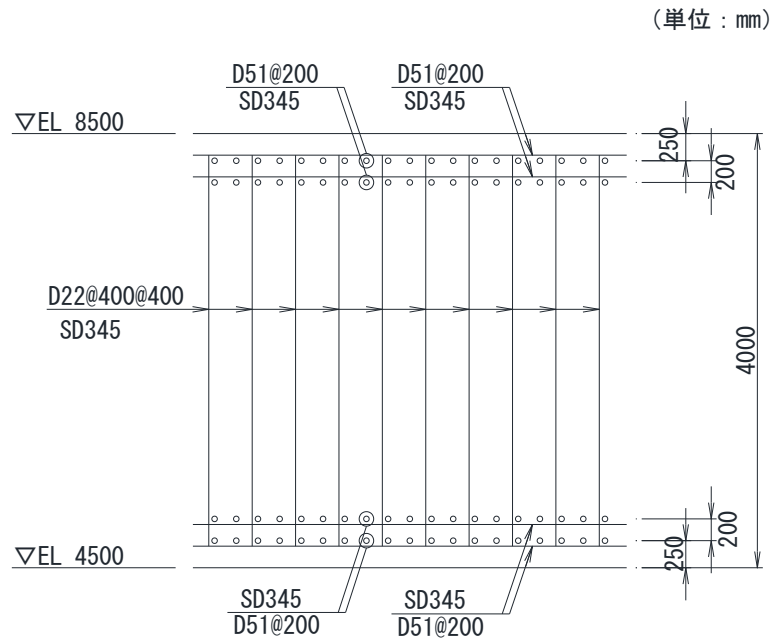


図 2-9 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

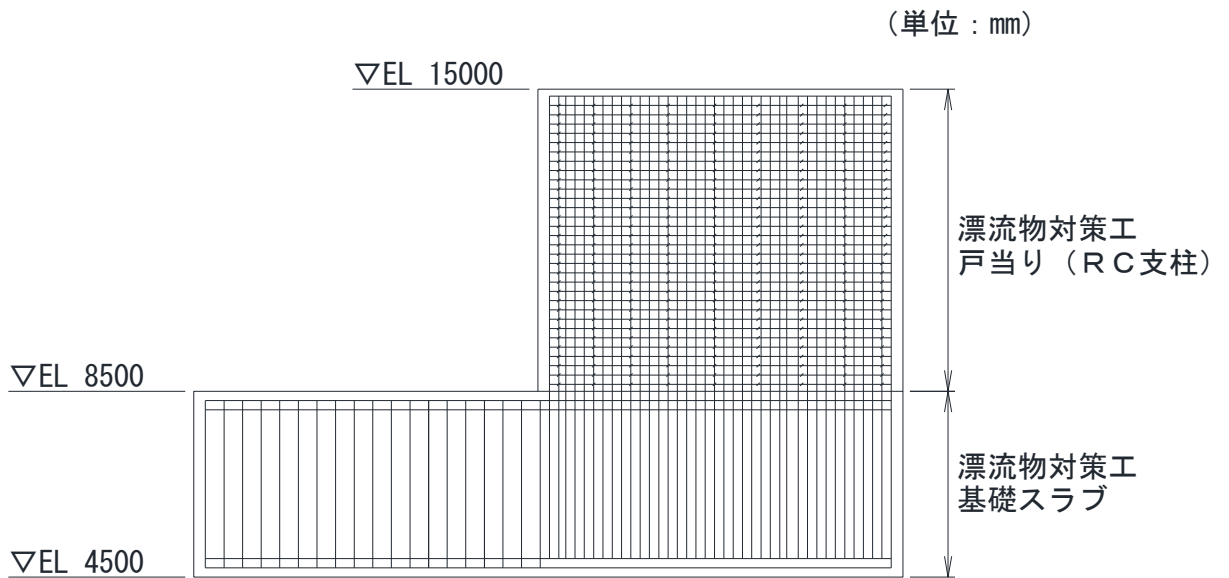


図 2-10 漂流物対策工戸当り (RC支柱) 及び基礎スラブの  
接続部における概略配筋図 (C-C 断面)

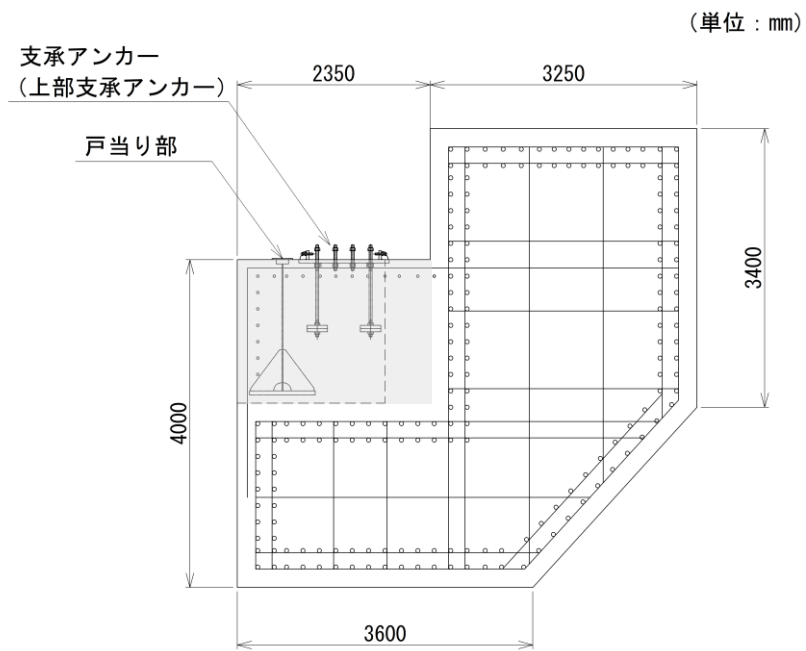


図 2-11 漂流物対策工戸当り (RC支柱) のアンカー部付近  
における概略配筋図 (D-D断面)

### 2.3 評価方針

防波扉（荷揚場南）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉（荷揚場南）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

また、防波扉（荷揚場南）の強度評価は、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」及び「4.2 許容限界」におい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実施する。強度評価では、「3. 強度評価」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 評価結果」より、防波扉（荷揚場南）の評価対象部位の発生応力度及びすべり安全率が許容限界を満足することを確認する。

防波扉（荷揚場南）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波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、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）について行う。

なお、津波と余震に伴う荷重が作用する重畳時については、防波扉（荷揚場南）前面の敷地高さ (EL 8.5m) は海域活断層から想定される地震による津波 (津波水位 EL 4.9m) より高いため、評価を実施しない。

防波扉（荷揚場南）の強度評価は、設計基準対象施設として表 2-3 の防波扉（荷揚場南）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

防波扉 (荷揚場南) の強度評価フローを図 2-12 に示す。

表 2-1 防波扉（荷揚場南）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遮水性を保持する。</li> <li>・津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）を支持する。</li> <li>・津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>
	防波扉 (鋼管杭)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブを支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブを支持する。</li> </ul>
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漁船等の漂流物を防波扉に直接衝突させない。</li> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉に漁船等の漂流物を衝突させない。</li> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。</li> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>
地盤	改良地盤 ①～③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭の変形を抑制する。</li> <li>・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。</li> <li>・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭の変形を抑制する。</li> <li>・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。</li> <li>・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。</li> </ul>
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。</li> </ul>
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼管杭，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。</li> </ul>
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。</li> </ul>

表 2-2 防波扉（荷揚場南）の各部位の性能目標

性能目標		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (遮水性, 難透水性)		
施設	防波扉 (鋼製扉体)	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉戸当り (RC支柱)				防波扉の支持機能を喪失して防波扉との間から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉基礎 スラブ				構造部材の健全性を保持するために、おおむね弾性状態に留まること。		
	防波扉 (鋼管杭)			-	-	-	漁船等の漂流物を防波扉に衝突させないために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)						構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)						構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 基礎スラブ						構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
地盤	改良地盤 ①～③	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安定性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。 改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を維持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。		
	岩盤	鋼管杭及び漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。			-	-	
	MMR	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。			-	-	-



表 2-3 防波扉（荷揚場南）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉（鋼管杭）	発生する断面力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力） 短期許容応力度
		漂流物対策工（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上	
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉（鋼管杭）	発生する断面力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント（曲げ・軸力） 短期許容応力度
	改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上	
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

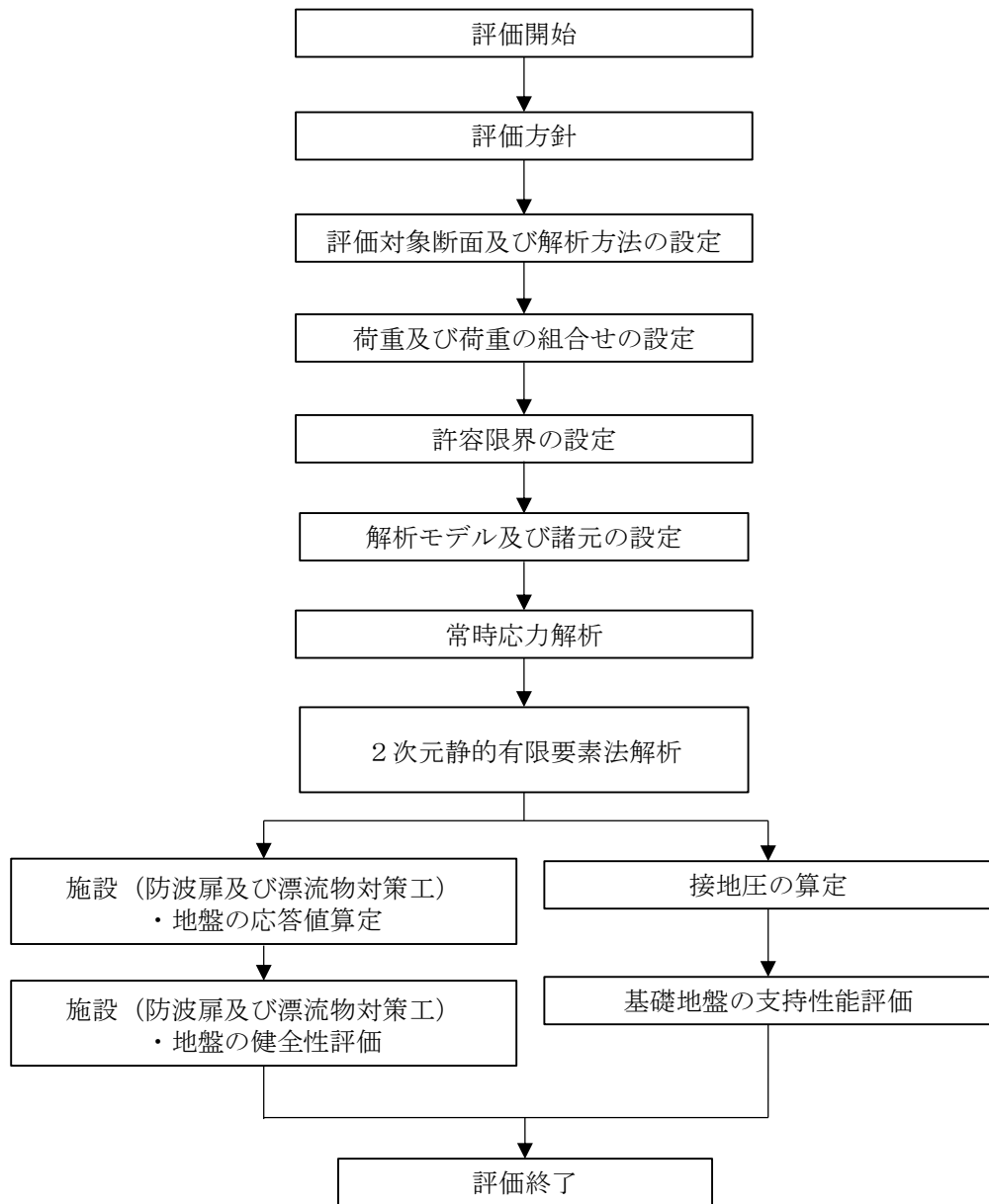


図 2-12 防波扉（荷揚場南）の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・機械工学便覧 ( (社) 日本機械学会)
- ・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)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ( (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・建築基準法・同施行令

### 3. 強度評価

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1(1) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製 扉体)	スキン プレート	a	mm	スキンプレーートの短辺
		b	mm	スキンプレーートの長辺
		t	mm	スキンプレーートの板厚
		k	-	スキンプレーートの辺長比 (b/a) による係数
		$\beta_1$	-	応力の補正係数
		P	N/mm <sup>2</sup>	スキンプレーートに作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	スキンプレーートに生じる曲げ応力度
		$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
	主横桁	M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		N	kN	主横桁に生じる軸力
		W	kN/m	主横桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L	m	主横桁の支間長
		a	m	主横桁の張出長さ
		$L_1$	m	主横桁の水密幅
		B	m	側部水密幅
		Z	mm <sup>3</sup>	主横桁の断面係数
		$A_w$	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の断面積
		$A_s$	mm <sup>2</sup>	主横桁の断面積
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じる曲げ応力度		
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じるせん断応力度		
$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度		
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度		

表 3-1(2) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義	
防波扉 (鋼製扉体)	補助縦桁	l	m	主横桁間隔
		m	m	補助縦桁間隔
		P	kN/m <sup>2</sup>	補助縦桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重)
		M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		Z	mm <sup>3</sup>	補助縦桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	補助縦桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		τ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度
	端縦桁	R	kN	端縦桁に生じる支点反力
		A <sub>q</sub>	mm <sup>2</sup>	補剛材の有効断面積
		σ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容圧縮応力度
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	端縦桁腹板の有効断面積
		A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の有効断面積
		b <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の幅
		b <sub>s</sub>	mm	主横桁腹板の幅
		t <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の厚さ
	t <sub>s</sub>	mm	主横桁腹板の厚さ	
	支圧板	P	kN/m <sup>2</sup>	支圧板に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重)
		C	mm	支圧板の有効幅
		L	mm	防波扉 (鋼製扉体) の水密幅
		σ <sub>p</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板に生じる支圧応力度
		σ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容支圧応力度

表 3-1(3) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製扉体)	戸当り	P	kN/m <sup>2</sup>	防波扉(鋼製扉体)最下部に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		L <sub>1</sub>	mm	防波扉(鋼製扉体)の水密幅
		b <sub>f</sub>	mm	戸当り(底面フランジ)の幅
		t <sub>f</sub>	mm	戸当り(底面フランジ)の厚さ
		l <sub>1</sub>	mm	戸当りの埋込深さ
		l <sub>2</sub>	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ
		M <sub>f</sub>	N・mm/mm	戸当り(底面フランジ)に生じる曲げモーメント
		∑l	mm	せん断抵抗長さ(=l <sub>1</sub> +2l <sub>2</sub> )
		σ <sub>f</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り(底面フランジ)に生じる曲げ応力度
		σ <sub>cb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り(コンクリート)に生じる支圧応力度
		τ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り(コンクリート)に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		σ <sub>cba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容支圧応力度
τ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度		
防波扉戸当り(RC支柱)		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
		τ <sub>a1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
		σ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
防波扉基礎スラブ		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
		τ <sub>a1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
		σ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
		M	kN・m	防波扉基礎スラブに生じる曲げモーメント
		N	kN	防波扉基礎スラブに生じる軸力
		Q	kN	防波扉基礎スラブに生じるせん断力

表 3-1(4) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義
防波扉 (鋼管杭)	$M_y$	kN・m	降伏モーメント
	$f_y$	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭の降伏基準点
	$Z_e$	mm <sup>3</sup>	鋼管杭の断面係数
	$N$	kN	鋼管杭に発生する軸力
	$A$	mm <sup>2</sup>	鋼管杭の断面積
	$M$	kN・m	防波扉（鋼管杭）に生じる曲げモーメント
	$N$	kN	防波扉（鋼管杭）に生じる軸力
	$Q$	kN	鋼管杭に生じるせん断力
	$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭に生じるせん断応力度
改良地盤	$F_s$	—	局所安全係数
基礎地盤	$R_u$	N/mm <sup>2</sup>	極限支持力度
	$N$	kN	軸力
	$R_d$	N/mm <sup>2</sup>	軸力応力度

表 3-2(1) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		P	kN/m	主横桁に作用する衝突荷重
		P'	kN/m	船首衝突による衝突荷重
		W	kN/m	主横桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L	m	主横桁の支間長
		a	m	主横桁の張出長さ
		L <sub>1</sub>	m	漂流物対策工（鉄製扉体）の幅
		b	m	船首衝突作用幅
		Z	mm <sup>3</sup>	主横桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		τ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度
	張出桁	M	kN・m	張出桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	張出桁に生じるせん断力
		P	kN	張出桁に作用する衝突荷重
		W	kN/m	張出桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	張出桁に作用する風荷重
		L	m	張出長さ
		Z	mm <sup>3</sup>	張出桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	張出桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	張出桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	張出桁に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
	τ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度	
	補助 縦桁	M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		P	kN	補助縦桁に作用する衝突荷重
		W	kN/m	補助縦桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	補助縦桁に作用する風荷重
		l	m	主横桁の間隔



表 3-2(2) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	補助 縦桁	$Z$	mm <sup>3</sup>	補助縦桁の断面係数
		$A_w$	mm <sup>2</sup>	補助縦桁腹板の断面積
		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じるせん断応力度
		$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度
	端縦桁	$R$	kN	端縦桁に生じる支点反力
		$A_q$	mm <sup>2</sup>	補剛材の有効断面積
		$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	端縦桁に生じる圧縮応力度
		$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	許容圧縮応力度
		$A_w$	mm <sup>2</sup>	端縦桁腹板の有効断面積
		$A_{s1}$	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の有効断面積
		$A_{s2}$	mm <sup>2</sup>	スチフナの有効断面積
		$t_w$	mm	端縦桁腹板の厚さ
		$t_{s1}$	mm	主横桁腹板の厚さ
		$t_{s2}$	mm	スチフナの厚さ
		$b_w$	mm	端縦桁腹板の長さ
		$b_{s1}$	mm	主横桁腹板の長さ
		$b_{s2}$	mm	スチフナの長さ

表 3-2(3) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	支圧 板, 戸 当り	W	kN/m	戸当り (コンクリート) に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		P	kN/m	戸当り (コンクリート) に作用する衝突荷重
		C	mm	支圧板の有効幅
		L <sub>1</sub>	mm	漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅
		L <sub>2</sub>	mm	主横桁の荷重分担長さ
		L <sub>4</sub>	mm	衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散)
		t <sub>w</sub>	mm	戸当り (腹板) の厚さ
		b <sub>f</sub>	mm	戸当り (底面フランジ) の幅
		t <sub>f</sub>	mm	戸当り (底面フランジ) の厚さ
		l <sub>1</sub>	mm	戸当りの埋込深さ
		l <sub>2</sub>	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ
		M <sub>f</sub>	N・mm/mm	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント
		Σl	mm	せん断抵抗長さ (=l <sub>1</sub> +2l <sub>2</sub> )
		σ <sub>p</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板に生じる支圧応力度
		σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (腹板) に生じる支圧応力度
		σ <sub>f</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度
		σ <sub>cb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度
		τ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度
		σ <sub>pa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板の許容支圧応力度
		σ <sub>ba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (腹板) の許容支圧応力度
σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (底面フランジ) の許容曲げ応力度		
σ <sub>cba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの許容支圧応力度		
τ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの許容せん断応力度		

表 3-2(4) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義
漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	M	kN・m	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じるせん断力
漂流物対策工 基礎スラブ	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	M	kN・m	漂流物対策工基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じるせん断力
基礎地盤	$R_u$	N/mm <sup>2</sup>	極限支持力度
	$f'_a$	N/mm <sup>2</sup>	支圧強度
	$R_d$	N/mm <sup>2</sup>	基礎地盤の最大接地圧

### 3.2 評価対象断面

防波扉（荷揚場南）の評価対象断面は，津波荷重の作用方向を踏まえ，防波扉及び漂流物対策工の扉体軸方向が強軸方向であるため，弱軸方向である防波扉及び漂流物対策工の扉体直交方向の断面とする。

防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図を図 3-1 に，縦断面図を図 3-2 に示す。

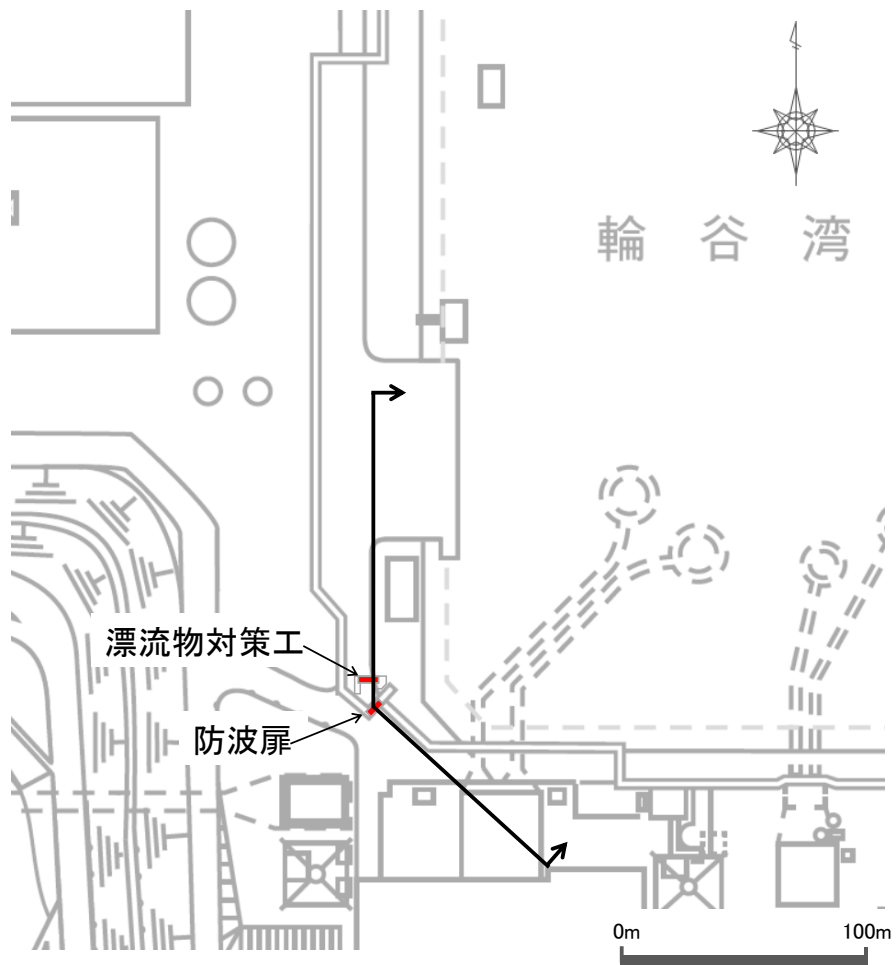


図 3-1 防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図

(単位：m)

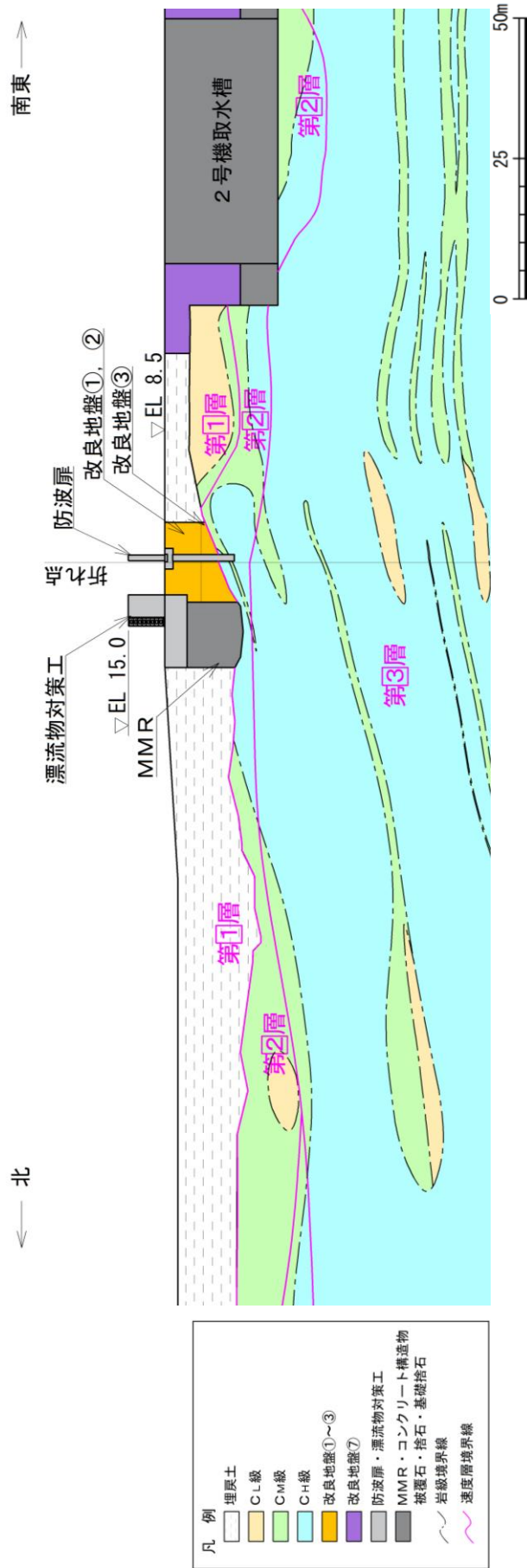


図 3-2 防波扉（荷揚場南）の縦断面図

### 3.3 解析方法

防波扉（荷揚場南）の強度評価は、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「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

津波時に発生する応答値は、「3.4 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて、応力算定式又は2次元有限要素法により算定する。なお、衝突荷重は入力津波高さ EL 11.9m に余裕を考慮した EL 12.6m の位置に作用させる。

2次元有限要素法に用いる解析コードは「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.4 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、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」のうち、「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。

#### 3.4.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重（G）

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び土圧を考慮する。

(2) 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

遡上津波荷重について、朝倉式により、防波扉（荷揚場南）の設置高さを考慮し、津波の水位と防波扉（荷揚場南）の設置高さの差分の1/2倍を浸水深として、浸水深の3倍で作用する水圧として算定する。

(3) 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

衝突荷重については、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とすることから、漂流物対策工の強度評価において考慮する。

衝突荷重については、漂流物対策工を構成する部材の構造的特徴を踏まえて、評価が厳しくなるよう設定する。

(4) 風荷重（P<sub>k</sub>）

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

(5) 積雪荷重 (P<sub>s</sub>)

積雪荷重は、発電所に最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）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35.0cmとする。

積雪荷重については、「松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）」により、積雪量1cmごとに20N/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

### 3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-3に、強度評価に用いる荷重作用図を図3-3に示す。なお、漂流物対策工については、漂流物対策工（鋼製扉体）は格子構造であるが、安全側に漂流物対策工（鋼製扉体）の全面に荷重を作用させる。

表3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時（防波扉）	$G + P_t + P_k + P_s$
津波時（漂流物対策工）	$G + P_t + P_c + P_k + P_s$

G : 固定荷重

$P_t$  : 遡上津波荷重

$P_c$  : 衝突荷重

$P_k$  : 風荷重

$P_s$  : 積雪荷重

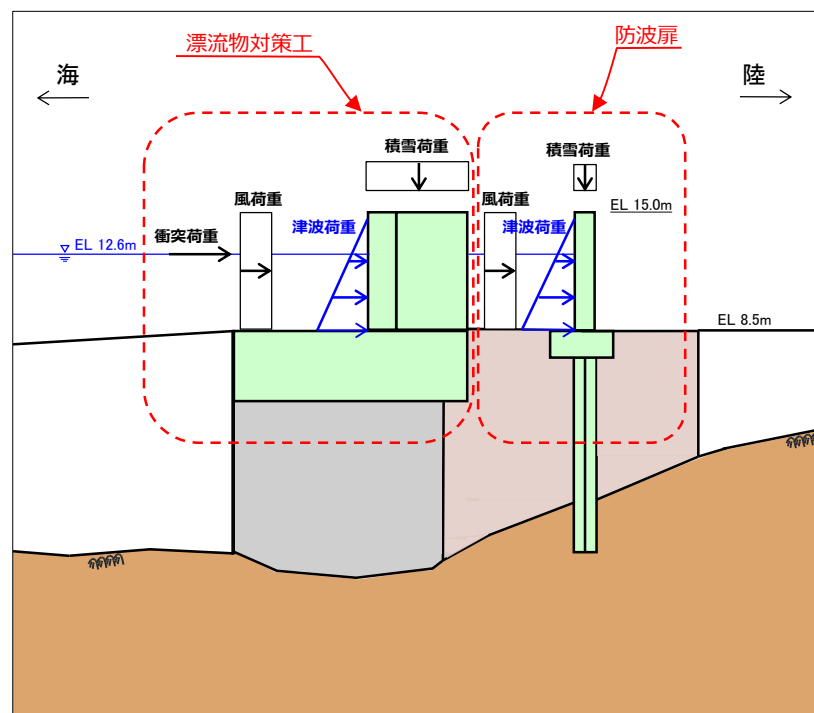


図3-3 防波扉（荷揚場南）の荷重作用図（津波時）



### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

防波扉（荷揚場南）の解析モデルを図 3-4 に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」を参考に、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。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、津波時の 2 次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

##### (3) 構造物のモデル化

防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC 支柱）は線形はり要素（ビーム要素）で、漂流物対策工基礎スラブは、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

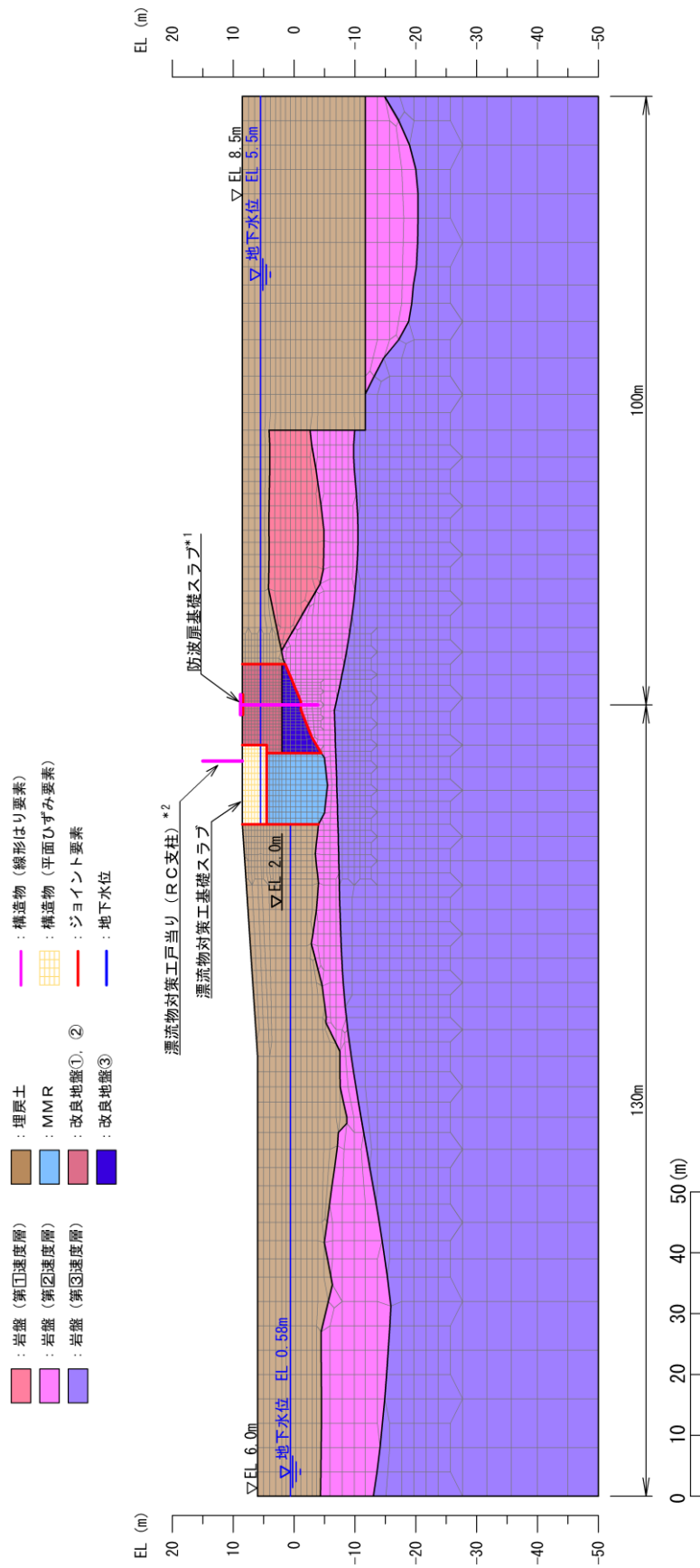
##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007 年版）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成 19 年 3 月）」に準拠して、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



注記 \*1: 鋼管杭との接続位置において、防波扉 (鋼製扉体) を付加質量として考慮する。  
 \*2: 線形はり要素の上下端において、漂流物対策工 (鋼製扉体) を付加質量として考慮する。

図 3-4 防波扉 (荷揚場南) の解析モデル (評価対象断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4(1) 使用材料（防波扉）

材料		諸元
防波扉戸当り（RC支柱） 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>
防波扉（鋼製扉体）		SM490, SS400
防波扉（鋼管杭）*		φ1200mm（SKK490）t=25mm

注記\*：「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき腐食代 1mm を考慮する。

表 3-4(2) 使用材料（漂流物対策工）

材料		諸元
漂流物対策工戸当り（RC支柱） 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：40N/mm <sup>2</sup>
漂流物対策工（鋼製扉体）		SBHS700, SM570

表 3-5(1) 材料の物性値（防波扉）

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* <sup>1</sup>	2.5×10 <sup>4</sup> * <sup>1</sup>	0.2* <sup>1</sup>
鋼管杭	77.0* <sup>2</sup>	2.0×10 <sup>5</sup> * <sup>2</sup>	0.3* <sup>2</sup>

注記\*1：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）

\*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

表 3-5(2) 材料の物性値（漂流物対策工）

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*	3.1×10 <sup>4</sup> *	0.2*

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

### 3.5.3 地盤の物性値

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

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表3-6のとおり設定する。

表 3-6 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	
改良地盤①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

### 3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位を表3-7に示す。

表 3-7 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波扉 (荷揚場南)	漂流物対策工より陸側 : EL 5.5m
	漂流物対策工より海側 : EL 0.58m

### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（荷揚場南）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

#### 3.6.1 施設・地盤の健全性評価

##### (1) 防波扉

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、防波扉（鋼管杭）及び改良地盤①～③とする。

##### (2) 漂流物対策工

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブとする。

#### 3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

##### (1) 防波扉

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉を支持する基礎地盤（岩盤）とする。

##### (2) 漂流物対策工

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤及び岩盤）とする。

### 3.7 許容限界

許容限界は、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」に基づき設定する。

#### 3.7.1 防波扉

##### (1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」に基づき，表 3-8 に示す短期許容応力度とする。

表 3-8 防波扉（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
		許容せん断応力度 $\tau_a$	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	120	180
		許容せん断応力度 $\tau_a$	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り (底面フランジ)	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	120	180
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-9に示す短期許容応力度とする。

表3-9 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =24N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

## (3) 防波扉（鋼管杭）

防波扉（鋼管杭）の許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を基に算出した降伏モーメント及び短期許容せん断応力度とする。表3-10に鋼管杭の許容限界を示す。

降伏モーメントは次式により算定する。

$$M_y = (f_y - \frac{|N|}{A}) Z_e$$

ここで，

$M_y$  : 鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

$f_y$  : 鋼管杭の降伏基準点 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_e$  : 鋼管杭の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$N$  : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

$A$  : 鋼管杭の断面積 (mm<sup>2</sup>)

表3-10 防波扉（鋼管杭）の許容限界

杭径	杭板厚	鋼種	降伏 モーメント*2 (kN・m)	短期許容 せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
φ 1.2m	25mm*1	SKK490	7978	157

注記\*1: 「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，腐食代1mmを考慮する。

\*2: 降伏モーメントは，鋼管杭に発生する軸力を考慮する。



(4) 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号）」を準用し、表 3-11 に改良地盤の許容限界を示す。

表 3-11 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率 $F_s$	1.2 以上

(5) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-12 に示す。

表 3-12 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度 $R_u$	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	

### 3.7.2 漂流物対策工

#### (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」に基づき，表 3-13 に示す短期許容応力度とする。

表 3-13 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
	SM570	許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
		許容せん断応力度 $\tau_a$	202 <sup>*1</sup>	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	207 <sup>*1, *2</sup>	310
		許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	225 <sup>*1</sup>	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り (腹板)	SM400	許容支圧応力度 $\sigma_{ba}$	180	270
戸当り (底面フランジ)	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

注記\*1：「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）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

\*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「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）」及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，横倒れ座屈を考慮する。

## (2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-14に示す短期許容応力度とする。

表3-14 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =40N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	14.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

## (3) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表3-15に示す。

表3-15 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度 $R_u$	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度 $f'_a$	MMR		18.0

### 3.8 評価方法

防波扉（荷揚場南）の耐震評価のうち、防波扉（鋼製扉体）、漂流物対策工（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）については、構成する各部材に発生する発生応力度又は作用荷重を算定式より算出し、「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

また、防波扉（鋼管杭）、防波扉基礎スラブ、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及び基礎地盤は、2次元有限要素法より算定した発生応力度又は発生断面力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。2次元有限要素法における応力算定には、解析コード「RC断面計算」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 3.8.1 防波扉

## (1) 防波扉（鋼製扉体）

## a. スキンプレート

スキンプレートは、4辺が固定された平板としてモデル化し、津波荷重が作用することでスキンプレートに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの評価イメージ図を図3-5に示す。

$$\sigma = \frac{1}{100} k \cdot a^2 \cdot \frac{P}{t^2} \cdot \beta_1$$

ここで、

$\sigma$  : スキンプレートに生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : スキンプレートの辺長比 (b/a) による係数

$a$  : スキンプレートの短辺 (mm)

$b$  : スキンプレートの長辺 (mm)

$P$  : スキンプレートに作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)  
(N/mm<sup>2</sup>)

$t$  : スキンプレートの板厚 (mm)

$\beta_1$  : 応力の補正係数

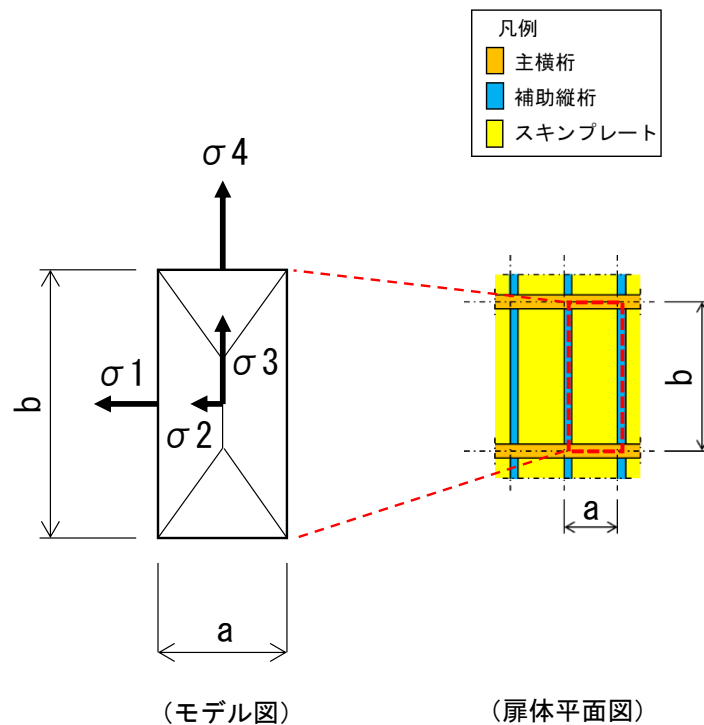


図3-5 スキンプレートの評価イメージ図

b. 主横桁

主横桁は、戸当たりとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。また、主横桁の側面から作用する津波荷重を軸力として考慮する。

主横桁の評価対象部を図 3-6 に、主横桁の評価イメージ図を図 3-7 に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2\left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4}\right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L$$

$$N = (W + W')B_1$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z} + \frac{N \cdot 10^3}{A_s}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

N : 主横桁に生じる軸力 (kN)

$\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 主横桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

L : 主横桁の支間長 (m)

a : 主横桁の張出長さ (m)

L<sub>1</sub> : 主横桁の水密幅 (m)

B : 側部水密幅 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>s</sub> : 主横桁の断面積 (mm<sup>2</sup>)

A<sub>w</sub> : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

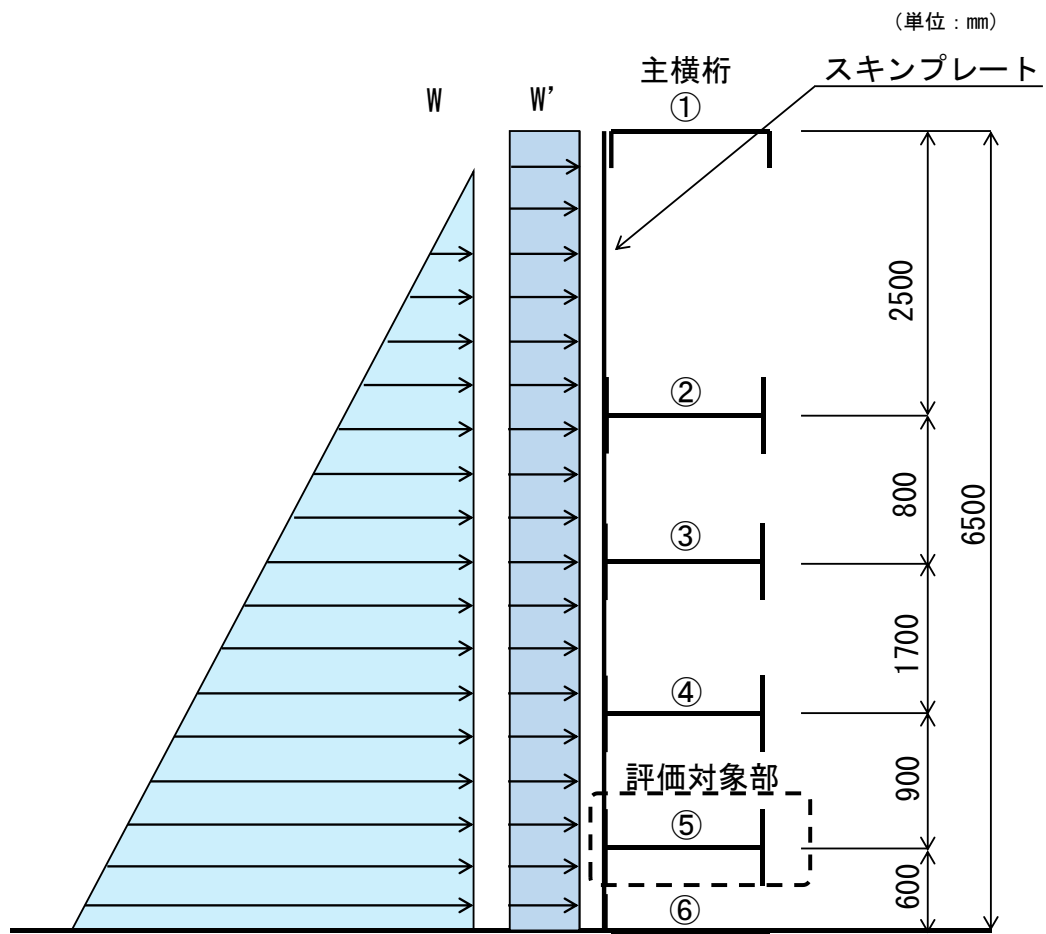


図 3-6 主横桁の評価対象部

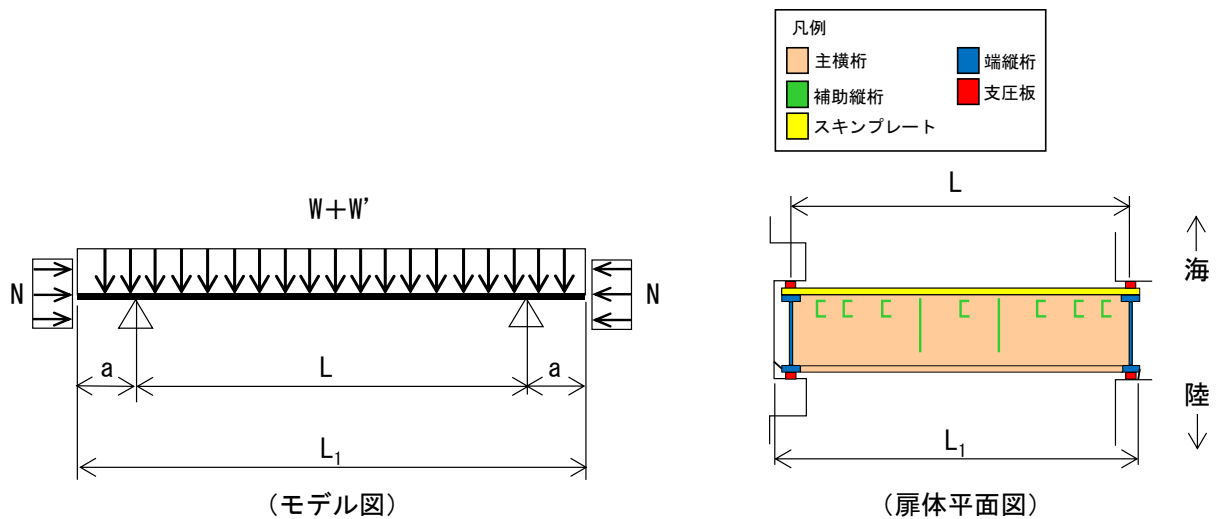


図 3-7 主横桁の評価イメージ図

## c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 3-8 に示す。

$$M = \frac{P \cdot m}{24} (3 \cdot l^2 - m^2)$$

$$S = \frac{P \cdot m}{2} \left(1 - \frac{m}{2}\right)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

P : 補助縦桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

m : 補助縦桁間隔 (m)

l : 主横桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_w$  : 補助縦桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

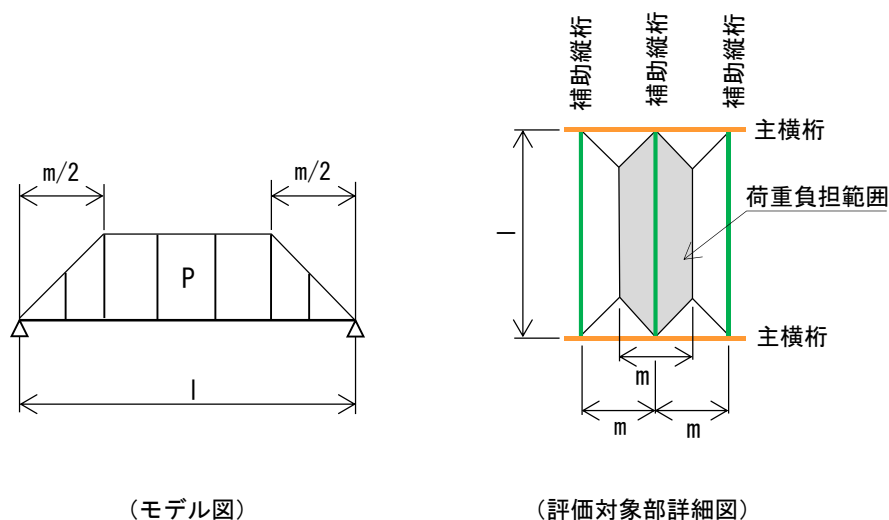


図 3-8 補助縦桁の評価イメージ図



d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 3-9 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_s \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7A_s$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_s = b_s \cdot t_s \quad (\text{主横桁腹板})$$

ここで、

$\sigma_c$  : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

R : 端縦桁に生じる支点反力 (kN)

$A_q$  : 補剛材の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : 主横桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : 端縦桁腹板の幅 (mm)

$t_w$  : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

$b_s$  : 主横桁腹板の幅 (mm)

$t_s$  : 主横桁腹板の厚さ (mm)

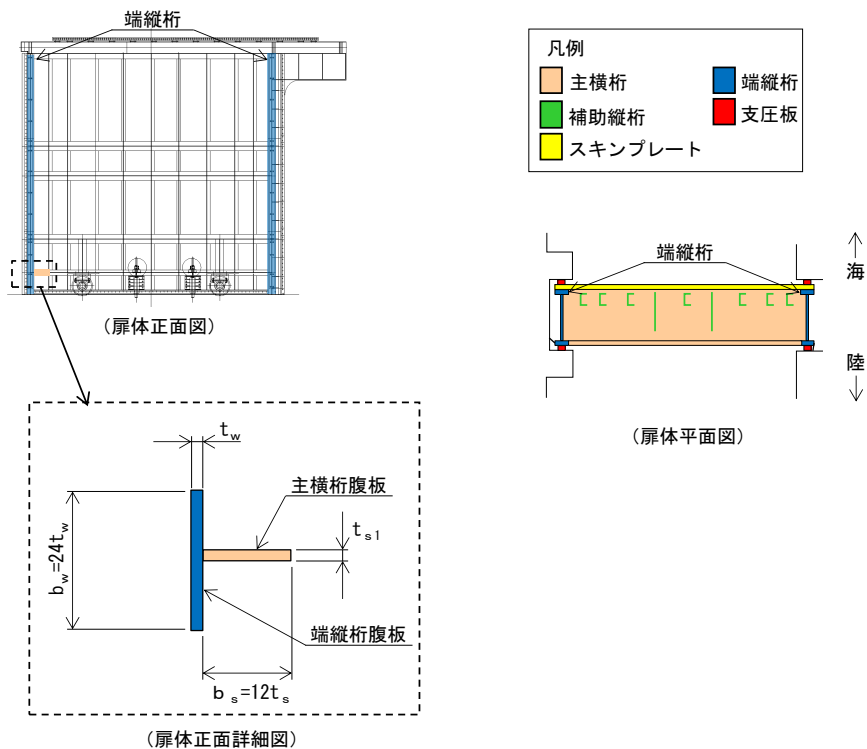


図 3-9 端縦桁の評価イメージ図

e. 支圧板

支圧板は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで支圧板に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の評価イメージ図を図 3-10 に示す。

$$\sigma_p = \frac{P \cdot L \cdot 10^{-3}}{2 \cdot C}$$

ここで、

$\sigma_p$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

P : 支圧板に作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m<sup>2</sup>)

L : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

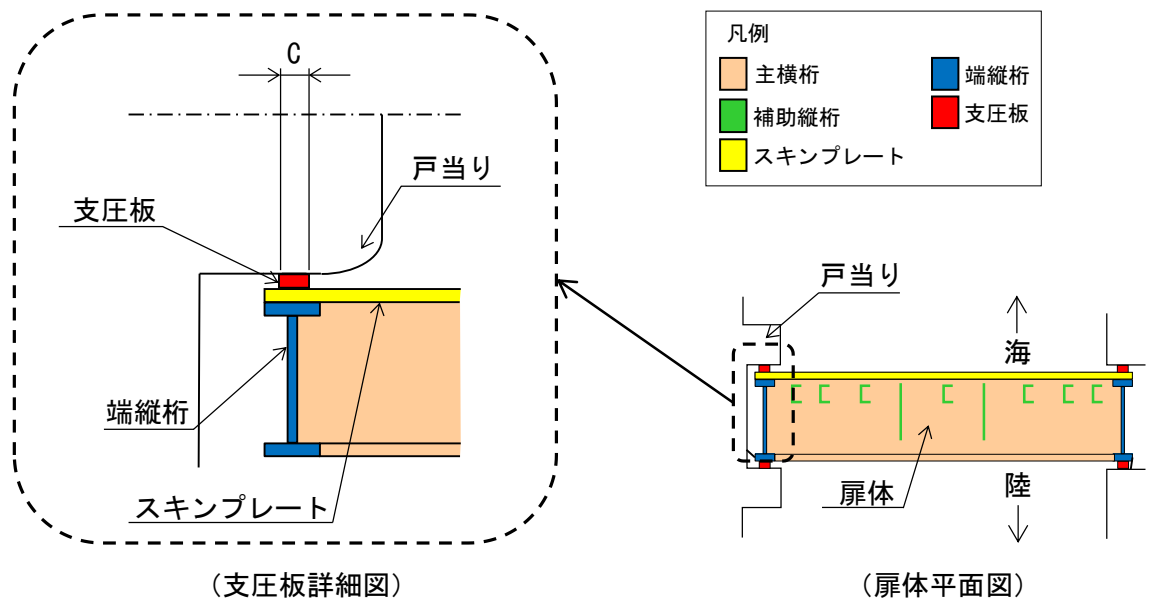


図 3-10 支圧板の評価イメージ図

f. 戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）の評価イメージ図を 3-11 に示す。

(a) 戸当り（底面フランジ）

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot M_f}{t_f^2}$$

ここで、

$M_f$  : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma$  : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cb}$  : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_f$  : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)

$t_f$  : 戸当り（底面フランジ）の厚さ (mm)

(b) 戸当り（コンクリート）

$$\sigma_{cb} = \frac{PL_1 \times 10^{-3}}{2b_f}$$

$$\tau = \frac{PL_1 \cdot 10^{-3}}{2\Sigma l}$$

ここで、

$\sigma_{cb}$  : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 戸当り（コンクリート）に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 防波扉（鋼製扉体）最下部に作用する津波荷重  
(遡上津波荷重+風荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

$L_1$  : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

$b_f$  : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)

$\Sigma l$  : せん断抵抗長さ(=  $l_1 + 2l_2$ ) (mm)

$l_1$  : 戸当りの埋込深さ (mm)

$l_2$  : 戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ (mm)

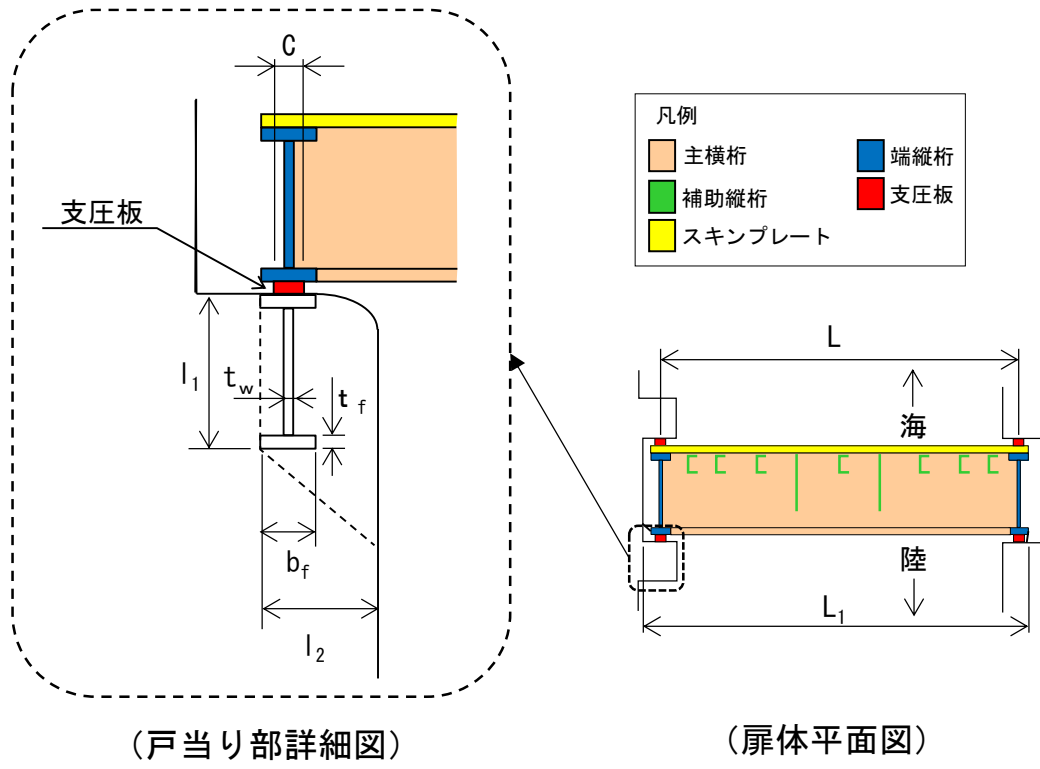


図 3-11 戸当りの評価イメージ図

## (2) 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) は, 防波壁を支点とした片持ちはりでモデル化し, 津波荷重が作用することで防波扉戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

防波扉戸当り (RC支柱) の位置図を図 3-12 に示す。

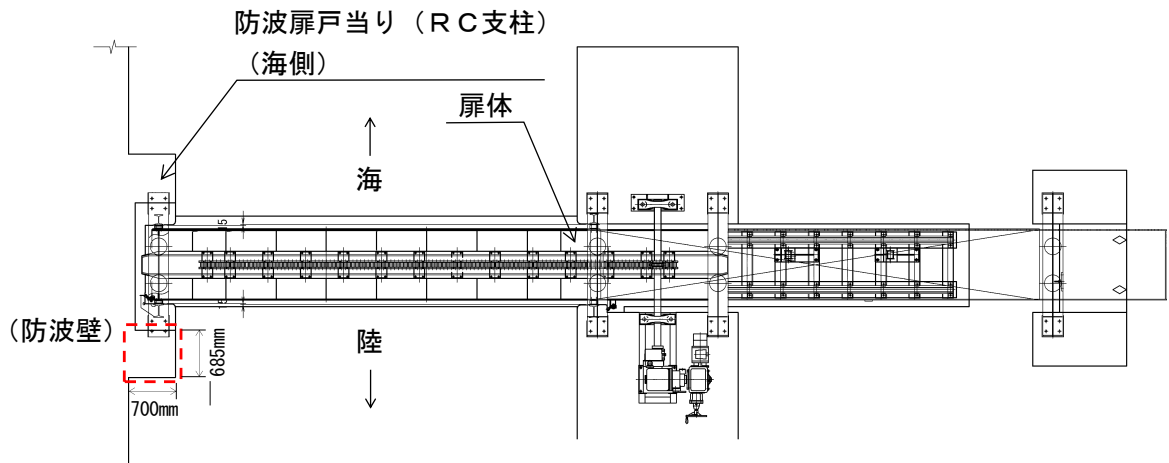


図 3-12 防波扉戸当り (RC支柱) の位置図

## (3) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

## (4) 防波扉（鋼管杭）

鋼管杭の評価は、鋼管杭の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度が許容限界以下であることを確認する。

## a. 曲げ照査

防波扉（鋼管杭）の発生曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。

## b. せん断照査

防波扉（鋼管杭）の発生せん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

## (5) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり面のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を求め、最小すべり安全率を算定する。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## (6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、鋼管杭下端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力度が基礎地盤の許容限界以下であることを確認する。

$$R_d = \frac{N}{A'}$$

ここで、

$R_d$  : 鋼管杭下端の軸力より算定される軸応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : 鋼管杭下端に発生する軸力 (N)

$A'$  : 鋼管杭下端の断面積 (mm<sup>2</sup>)

### 3.8.2 漂流物対策工

#### (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

##### a. 主横桁

主横桁は、戸当りとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁に作用する衝突荷重は、「施設の延長に応じた衝突荷重」及び「船首衝突による衝突荷重」を考慮する。

主横桁の評価対象部を図 3-13 に、主横桁の評価イメージ図を図 3-14 に示す。

(a) 施設の延長に応じた衝突荷重を考慮する場合

$$M = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1^2\left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4}\right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W' + P)L$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 主横桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

P : 主横桁に作用する衝突荷重 (kN/m)

L<sub>1</sub> : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (m)

a : 主横桁の張出長さ (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

L : 主横桁の支間長 (m)



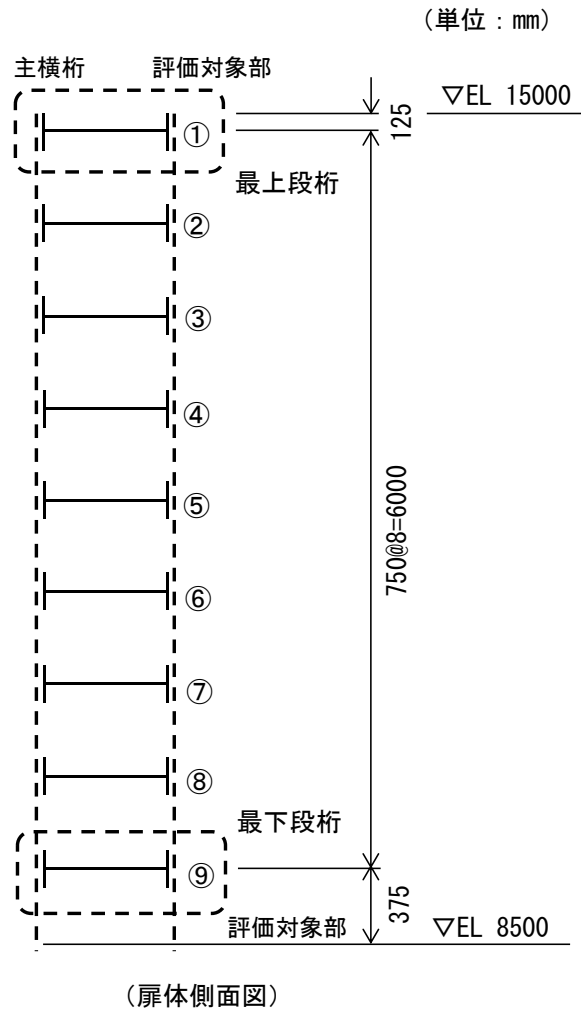


図 3-13 主横桁の評価対象部

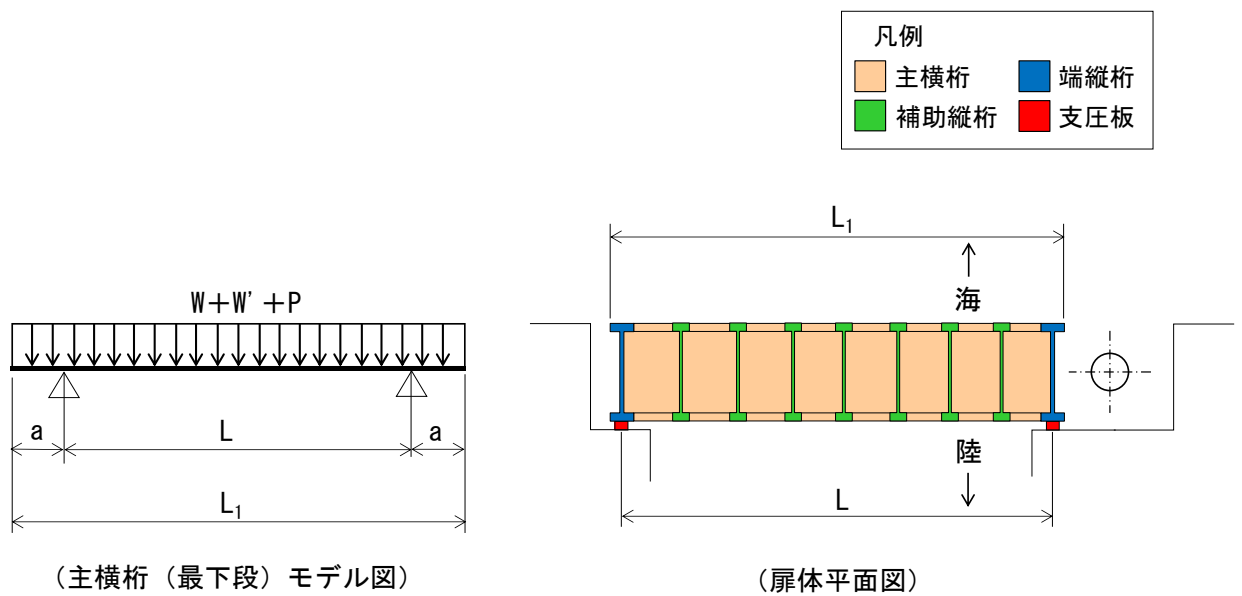


図 3-14(1) 主横桁の評価イメージ図

(b) 船首衝突による衝突荷重を考慮する場合

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left( \frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{8}P' \{L^2 - (L^2 - b)^2\}$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L + \frac{1}{2}P' b$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

- M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)
- S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)
- $\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- W : 主横桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)
- W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)
- L<sub>1</sub> : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (m)
- a : 主横桁の張出長さ (m)
- P' : 船首衝突による衝突荷重 (kN/m)
- L : 主横桁の支間長 (m)
- b : 船首衝突作用幅 (m)
- Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- A<sub>w</sub> : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

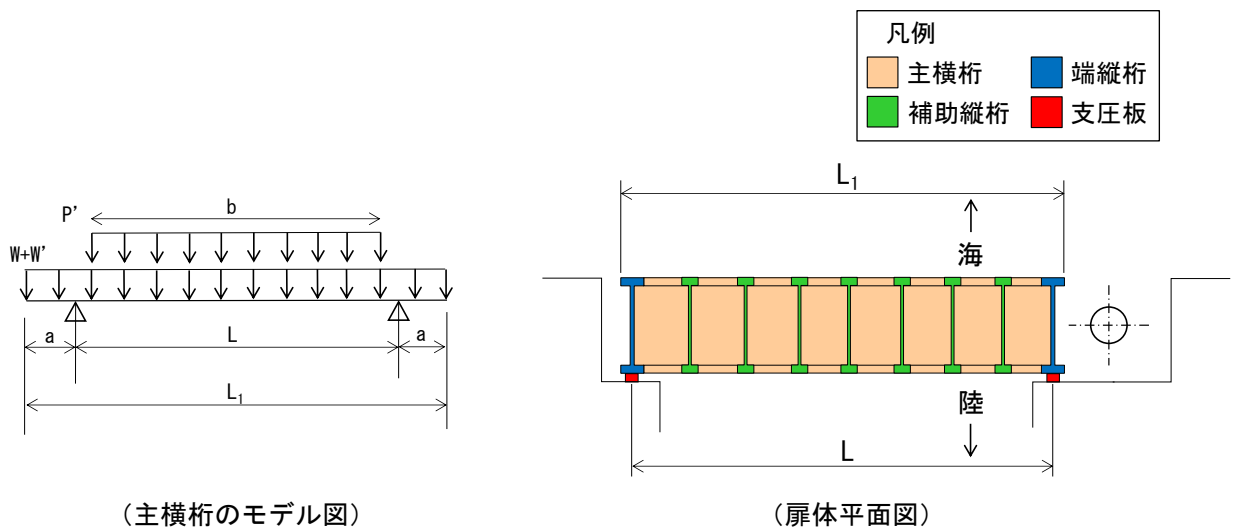


図 3-14(2) 主横桁の評価イメージ図

## b. 張出桁

張出桁は、片持ちはりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで張出桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、主横桁に作用する衝突荷重は、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。張出桁の評価イメージ図を図 3-15 に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L^2 + PL$$

$$S = (W + W')L + P$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 張出桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 張出桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 張出桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 張出桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 張出桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

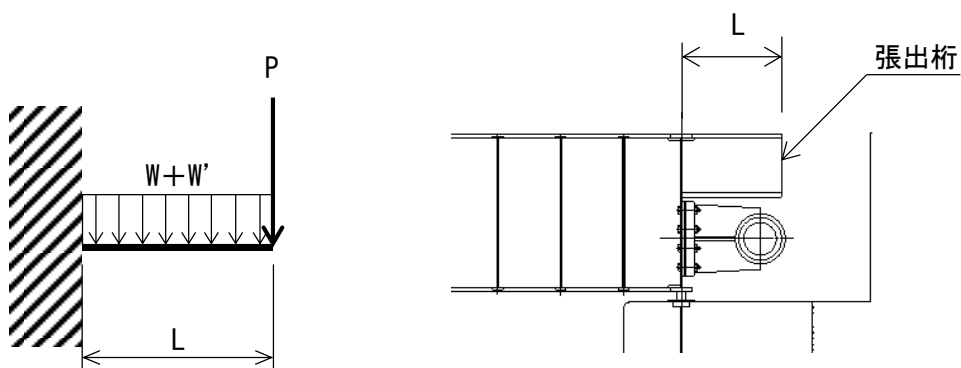
W' : 張出桁に作用する風荷重 (kN/m)

L : 張出長さ (m)

P : 張出桁に作用する衝突荷重 (kN)

Z : 張出桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 張出桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)



(張出桁のモデル図)

(張出桁平面図)

図 3-15 張出桁の評価イメージ図

## c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、補助縦桁に作用する衝突荷重は、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。補助縦桁の評価イメージ図を図 3-16 に示す。

$$M = \frac{1}{8}(W + W')l^2 + \frac{1}{4}P \cdot l$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W') l + P$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 補助縦桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

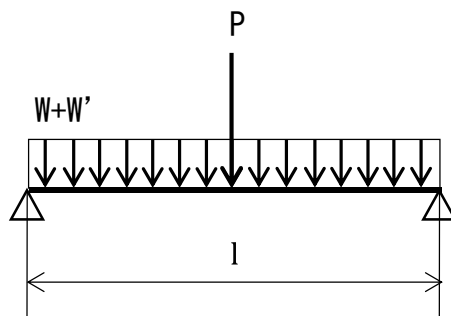
W' : 補助縦桁に作用する風荷重 (kN/m)

P : 補助縦桁に作用する衝突荷重 (kN)

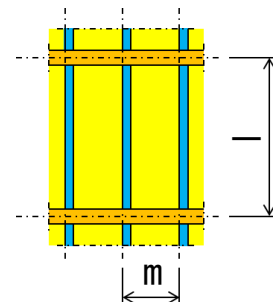
l : 主横桁の間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 補助縦桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)



(補助縦桁のモデル図)



(補助縦桁平面図)

図 3-16 補助縦桁の評価イメージ図

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 3-17 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

$\sigma_c$  : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

R : 端縦桁に生じる支点反力 (kN)

$A_q$  : 補剛材の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s1}$  : 主横桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s2}$  : スチフナの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : 端縦桁腹板の長さ (mm)

$t_w$  : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s1}$  : 主横桁腹板の長さ (mm)

$t_{s1}$  : 主横桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s2}$  : スチフナの長さ (mm)

$t_{s2}$  : スチフナの厚さ (mm)

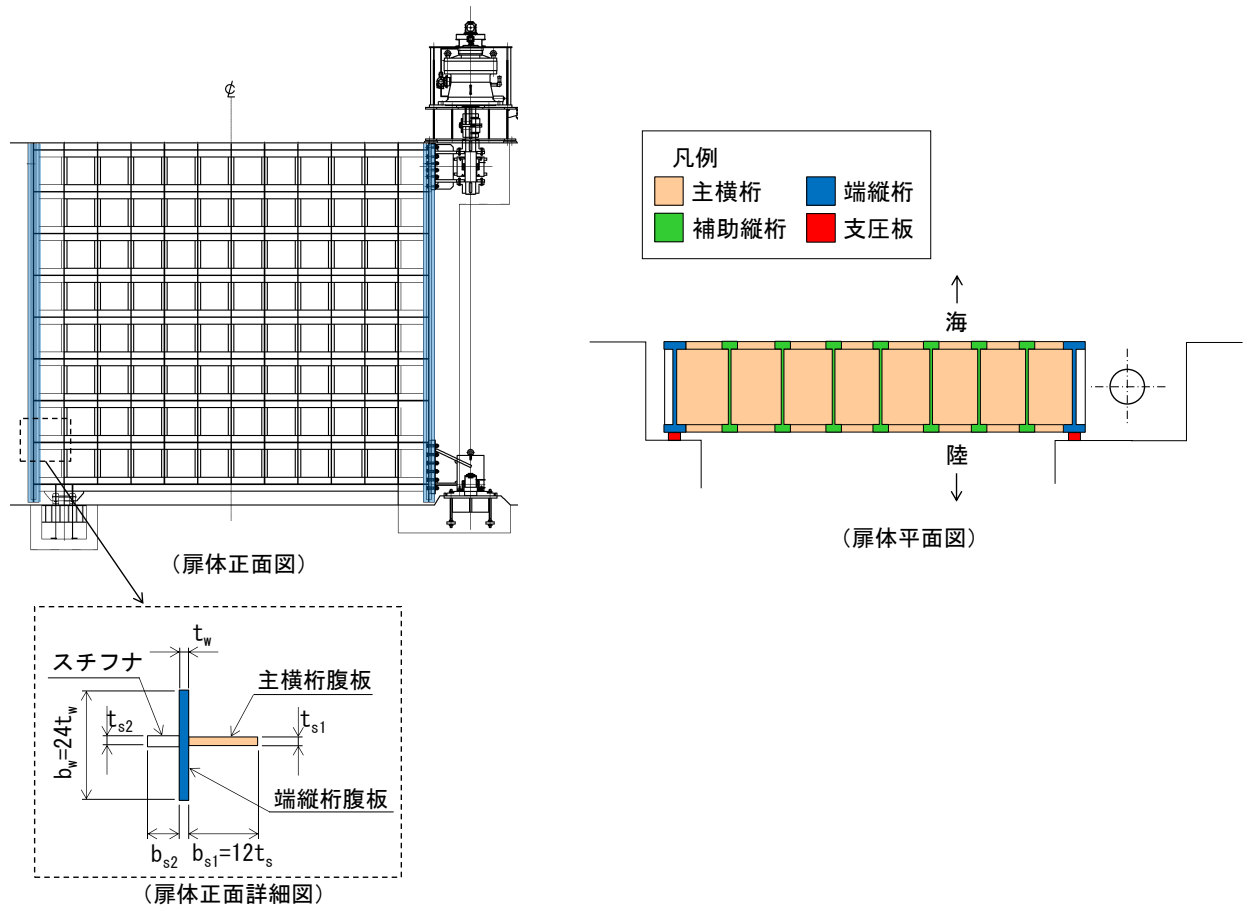


図 3-17 端縦桁の評価イメージ図

e. 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）は，漂流物対策工（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお，衝突荷重は，「施設の延長に応じた衝突荷重」を考慮する。

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）の評価イメージ図を図3-18に示す。

(a) 支圧板

$$\sigma_p = \frac{WL_1}{2CL_2} + \frac{PL_1}{2CL_4}$$

ここで，

$\sigma_p$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 戸当りに作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m)

P : 戸当りに作用する衝突荷重 (kN/m)

L<sub>1</sub> : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L<sub>2</sub> : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

L<sub>4</sub> : 衝突荷重分担長さ (mm)（鉛直方向に 45° 分散）

(b) 戸当り（腹板）

$$\sigma_b = \frac{WL_1}{2t_w L_2} + \frac{PL_1}{2t_w L_4}$$

ここで，

$\sigma_b$  : 戸当り（腹板）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 戸当りに作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m)

P : 戸当りに作用する衝突荷重 (kN/m)

L<sub>1</sub> : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

t<sub>w</sub> : 戸当り（腹板）の厚さ (mm)

L<sub>2</sub> : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

L<sub>4</sub> : 衝突荷重分担長さ (mm)（鉛直方向に 45° 分散）

(c) 戸当り (底面フランジ)

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

ここで,

$M_f$  : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_f$  : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cb}$  : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_f$  : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

$t_f$  : 戸当り (底面フランジ) の厚さ (mm)

(d) 戸当り (コンクリート)

$$\sigma_{cb} = \frac{WL_1}{2b_fL_2} + \frac{PL_1}{2b_fL_4}$$

$$\tau_c = \frac{WL_1}{2\Sigma lL_2} + \frac{PL_1}{2\Sigma lL_4}$$

ここで,

$\sigma_{cb}$  : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_c$  : 戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  : 戸当り (コンクリート) に作用する津波荷重  
(遡上津波荷重+風荷重) (kN/m)

$P$  : 戸当り (コンクリート) に作用する衝突荷重 (kN/m)

$L_1$  : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (mm)

$L_2$  : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

$L_4$  : 衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散) (mm)

$b_f$  : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

$\Sigma l$  : せん断抵抗長さ (=  $l_1 + 2l_2$ ) (mm)

$l_1$  : 戸当りの埋込深さ (mm)

$l_2$  : 戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ (mm)



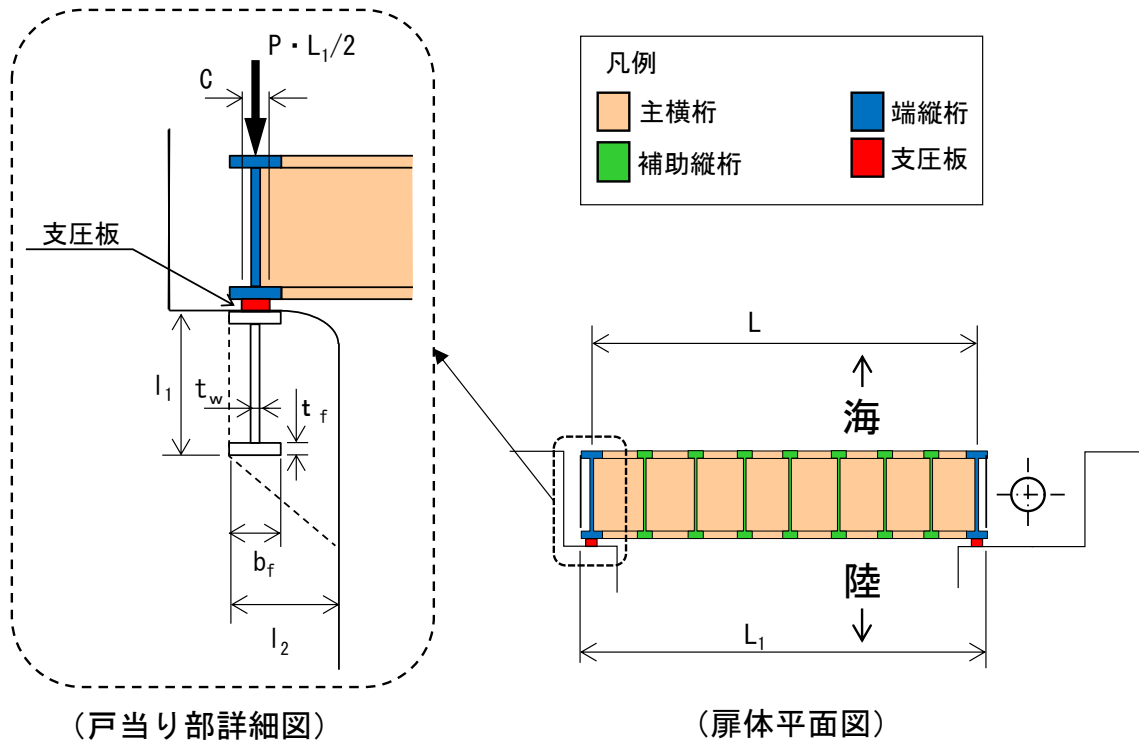


図 3-18 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）の評価イメージ図

(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱)

漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、MMR, 改良地盤及び岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 評価条件

「3. 強度評価」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1(1) 防波扉の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
スキンプレート	a	スキンプレーートの短辺	754.5	mm
	b	スキンプレーートの長辺	1700	mm
	t	スキンプレーートの板厚	12	mm
	k	スキンプレーートの辺長比 (b/a) による係数	50	-
	$\beta_1$	応力の補正係数	0.8	-
	P	スキンプレーートに作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)	0.04877	N/mm <sup>2</sup>
主横桁	M	主横桁に生じる曲げモーメント	385.260	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	237.985	kN
	N	主横桁に生じる軸力	85.821	kN
	W	主横桁に作用する遡上津波荷重	71.331	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	1.895	kN/m
	L	主横桁の支間長	6.500	m
	a	主横桁の張出長さ	0.200	m
	L <sub>1</sub>	主横桁の水密幅	6.900	m
	B	側部水密幅	1.172	m
	Z	主横桁の断面係数	3904000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	主横桁腹板の断面積	11350	mm <sup>2</sup>
	A <sub>s</sub>	主横桁の断面積	15912	mm <sup>2</sup>
補助縦桁	l	主横桁間隔	1.7	m
	m	補助縦桁間隔	0.7545	m
	P	補助縦桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)	40.185	kN/m <sup>2</sup>
	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	10.234	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	20.053	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	424000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	補助縦桁腹板の断面積	2470	mm <sup>2</sup>

表 4-1(2) 防波扉の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
端縦桁	R	端縦桁に生じる支点反力	237.985	kN
	$A_q$	補剛材の有効総断面積	2938	mm <sup>2</sup>
支圧板	P	支圧板に作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）	63.92	kN/m <sup>2</sup>
	C	支圧板の有効幅	85	mm
	$L_1$	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	6900	mm
戸当り （底面 フランジ）, 戸当り （コン クリー ト）	P	防波扉（鋼製扉体）最下部に作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）	63.92	kN/m <sup>2</sup>
	$L_1$	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	6900	mm
	$b_f$	戸当り（底面フランジ）の幅	150	mm
	$t_f$	戸当り（底面フランジ）の厚さ	21.2	mm
	$l_1$	戸当り埋込深さ	200	mm
	$l_2$	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ	325	mm
	$M_f$	戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント	4219	N・mm/mm
$\Sigma l$	せん断抵抗長さ（ $= l_1 + 2l_2$ ）	850	mm	

表 4-2(1) 漂流物対策工の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M	主横桁に生じる曲げモーメント	3359.5	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	1894.2	kN
	P	主横桁に作用する衝突荷重	483	kN/m
	P'	船首衝突による衝突荷重	520	kN/m
	W	主横桁に作用する遡上津波荷重	49.214	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	1.354	kN/m
	L	主横桁の支間長	7.1	m
	a	主横桁の張出長さ	0.1	m
	L <sub>1</sub>	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅	7.3	m
	b	船首衝突作用幅	6.0	m
	Z	主横桁の断面係数	18674000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	主横桁腹板の断面積	21500	mm <sup>2</sup>
張出桁	M	張出桁に生じる曲げモーメント	1147.2	kN・m
	S	張出桁に生じるせん断力	1215.2	kN
	P	張出桁に作用する衝突荷重	1200	kN
	W	張出桁に作用する遡上津波荷重	15.529	kN/m
	W'	張出桁に作用する風荷重	0.451	kN/m
	L	張出長さ	0.950	m
	Z	張出桁の断面係数	6527000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	張出桁腹板の断面積	16870	mm <sup>2</sup>
補助縦桁	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	228.6	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	1202.4	kN
	P	補助縦桁に作用する衝突荷重	1200	kN
	W	補助縦桁に作用する遡上津波荷重	6.212	kN/m
	W'	補助縦桁に作用する風荷重	0.181	kN/m
	l	主横桁の間隔	0.750	m
	Z	補助縦桁の断面係数	7567000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	補助縦桁腹板の断面積	21500	mm <sup>2</sup>
端縦桁	R	端縦桁に生じる支点反力	1894.2	kN
	A <sub>q</sub>	補鋼材の有効断面積	10747	mm <sup>2</sup>

表 4-2(2) 漂流物対策工の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り	W	戸当りに作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重）	50.568	kN/m
	P	戸当りに作用する衝突荷重	483	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L <sub>1</sub>	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅	7300	mm
	L <sub>2</sub>	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	L <sub>4</sub>	衝突荷重分担長さ（鉛直方向に 45° 分散）	1875	mm
	t <sub>w</sub>	戸当り（腹板）の厚さ	14	mm
	b <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の幅	800	mm
	t <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の厚さ	50	mm
	l <sub>1</sub>	戸当りの埋込深さ	1650	mm
	l <sub>2</sub>	戸当りのコンクリート側面からの埋込み深さ	950	mm
	M <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント	120000	N・mm/mm
Σl	せん断抵抗長さ（= l <sub>1</sub> + 2l <sub>2</sub> ）	3550	mm	

## 5. 評価結果

## 5.1 防波扉

## 5.1.1 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の強度評価結果を表 5-1 に示す。防波扉（鋼製扉体）の各部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 防波扉（鋼製扉体）の強度評価結果

部位	種別	発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
スキンプレート	曲げ応力度	77	240	0.33
主横桁	曲げ応力度	104	240	0.44
	せん断応力度	21	135	0.16
補助縦桁	曲げ応力度	24	180	0.14
	せん断応力度	8	105	0.08
端縦桁	圧縮応力度	81	240	0.34
支圧板	支圧応力度	3	225	0.02
戸当り (底面フランジ)	圧縮応力度	56	180	0.32
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	1.5	8.8	0.18
	せん断応力度	0.26	0.6	0.44

## 5.1.2 防波扉戸当り（RC支柱）

防波扉戸当り（RC支柱）の強度評価結果を表 5-2 に示す。防波扉戸当り（RC支柱）の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-2 防波扉戸当り（RC支柱）の耐震評価結果

部位	種別	発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
防波扉戸当り (RC支柱)	曲げ引張応力度	75	294	0.26
	曲げ圧縮応力度	2.1	13.5	0.16
	せん断応力度	0.43	0.67	0.65

### 5.1.3 防波扉基礎スラブ

#### (1) 曲げ照査

防波扉基礎スラブのコンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力図を図 5-1 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-3 に示す。鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-4 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。



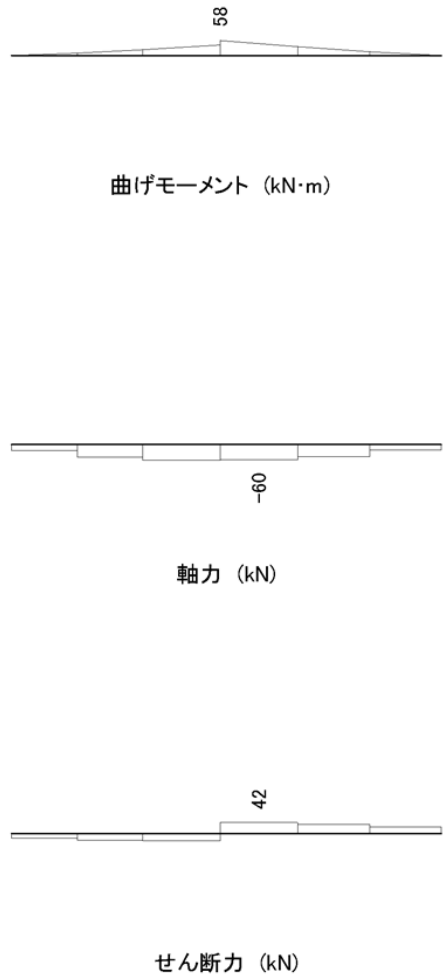


図 5-1 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

表 5-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
58	60	0.2	13.5	0.02

表 5-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
58	60	6	294	0.03

(2) せん断照査

防波扉基礎スラブのコンクリートのせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-2 に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表 5-5 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブのコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

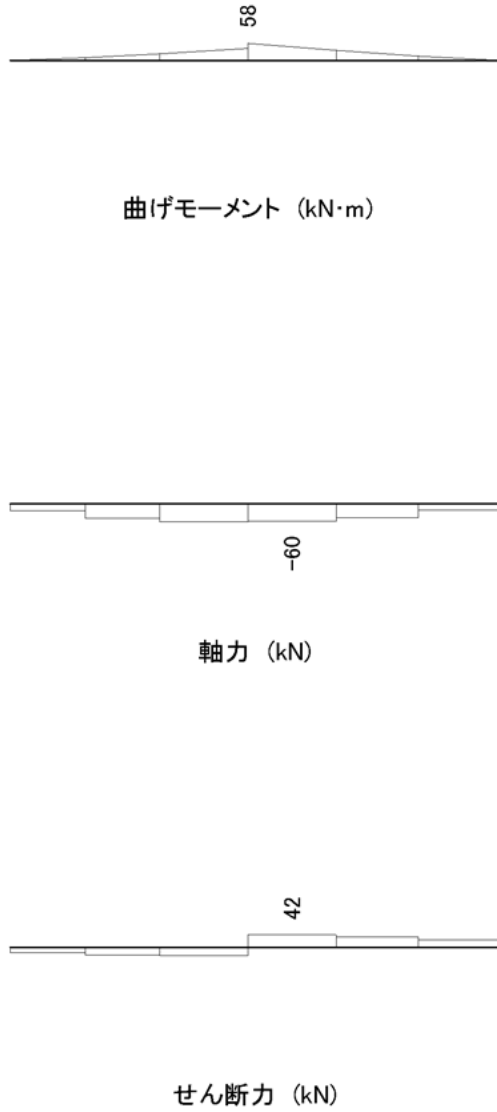


図 5-2 コンクリートのせん断破壊に対する照査における断面力

表 5-5 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
せん断力 Q (kN)			
42	0.01	0.67	0.02

### 5.1.4 防波扉（鋼管杭）

#### (1) 曲げ照査

防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力図を図 5-3 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 5-6 に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）に発生する断面力が許容限界以下であることを確認した。

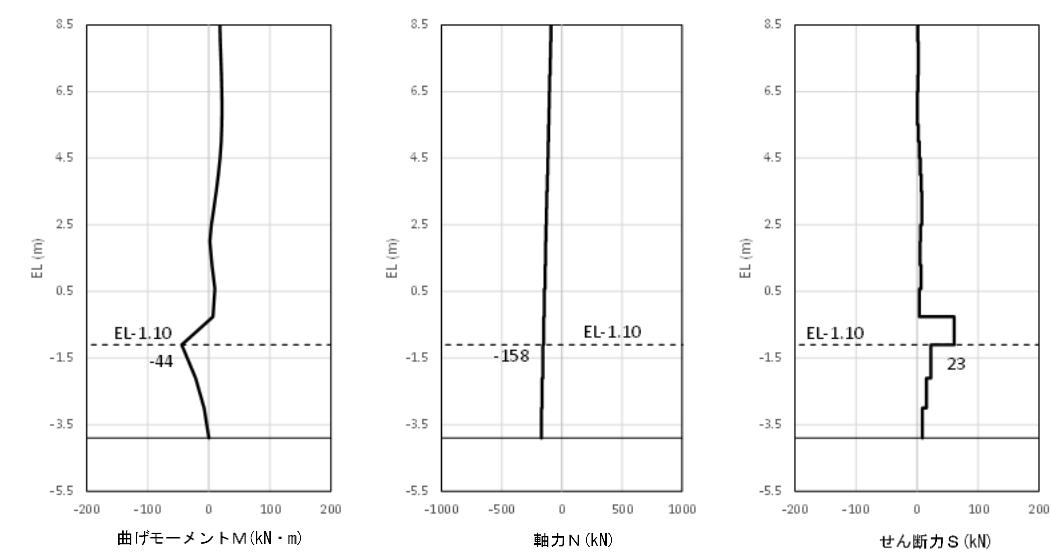


図 5-3 防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

表 5-6 防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		降伏モーメント $M_y$ (kN・m)	照査値 $M/M_y$
曲げモーメント $M$ (kN・m)	軸力 $N$ (kN)		
44	158	7978	0.01

(2) せん断照査

防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-4 に、せん断破壊に対する照査値を表 5-7 に示す。

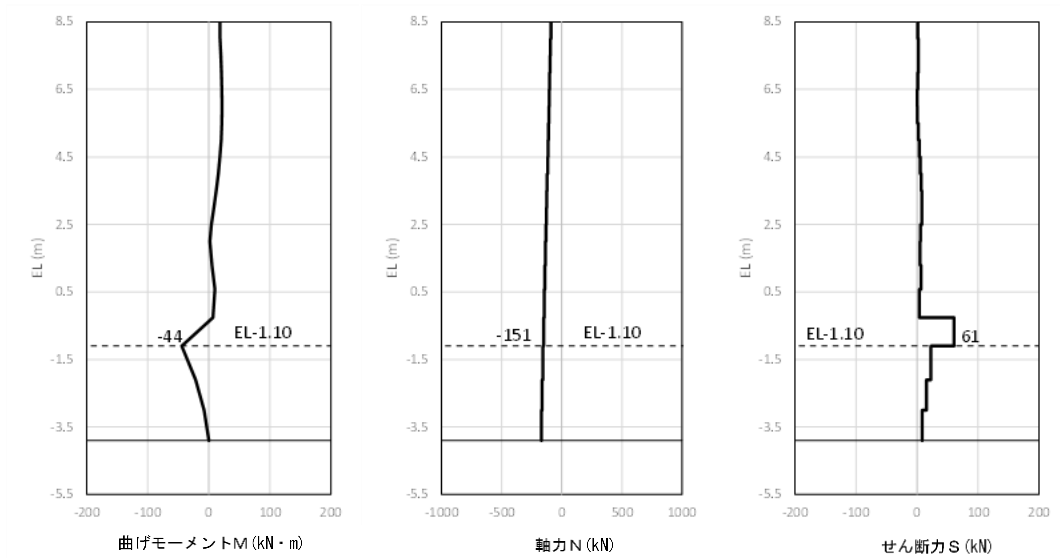


図 5-4 防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における断面力

表 5-7 防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
せん断力 Q (kN)			
61	1	157	0.01

### 5.1.5 改良地盤

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 5-8 に、最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図を図 5-5 に示す。この結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-8 改良地盤のすべり安全率評価結果

最小すべり安全率
14.52

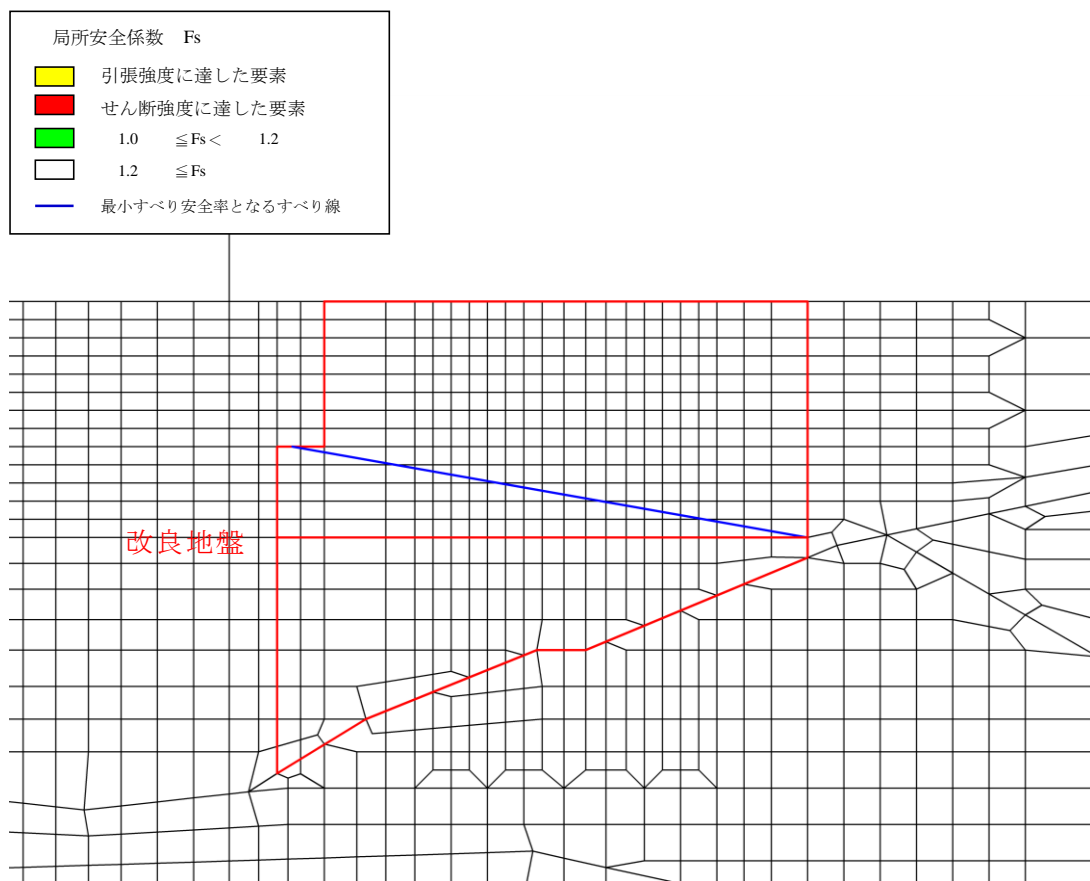


図 5-5 改良地盤の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布

#### 5.1.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-9 に示す。

防波扉（鋼管杭）の杭下端部に生じる軸応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-9 基礎地盤の支持性能照査結果

発生断面力 軸力 N (kN)	軸応力度 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d / R_u$
170	0.151	9.8	0.02

## 5.2 漂流物対策工

### 5.2.1 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の評価結果を表5-10に示す。この結果から、漂流物対策工（鋼製扉体）の各部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-10 漂流物対策工（鋼製扉体）の評価結果

評価対象部材		応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 (a/b)
主横桁	曲げ応力度	180	525	0.35
	せん断応力度	88	193	0.46
主横桁 (船首衝突)	曲げ応力度	188	525	0.36
	せん断応力度	81	193	0.42
張出桁	曲げ応力度	176	525	0.34
	せん断応力度	72	303	0.24
補助縦桁	曲げ応力度	30	310	0.10
	せん断応力度	56	193	0.30
端縦桁	圧縮応力度	176	337	0.53
支圧板	支圧応力度	15	225	0.07
戸当り (腹板)	支圧応力度	85	270	0.32
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	288	525	0.55
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	1.5	8.8	0.18
	せん断応力度	0.33	0.60	0.55



## 5.2.2 漂流物対策工戸当り（RC支柱）

### (1) 曲げ照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力図を図 5-6 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-11 に示す。漂流物対策工戸当り（RC支柱）の鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-12 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

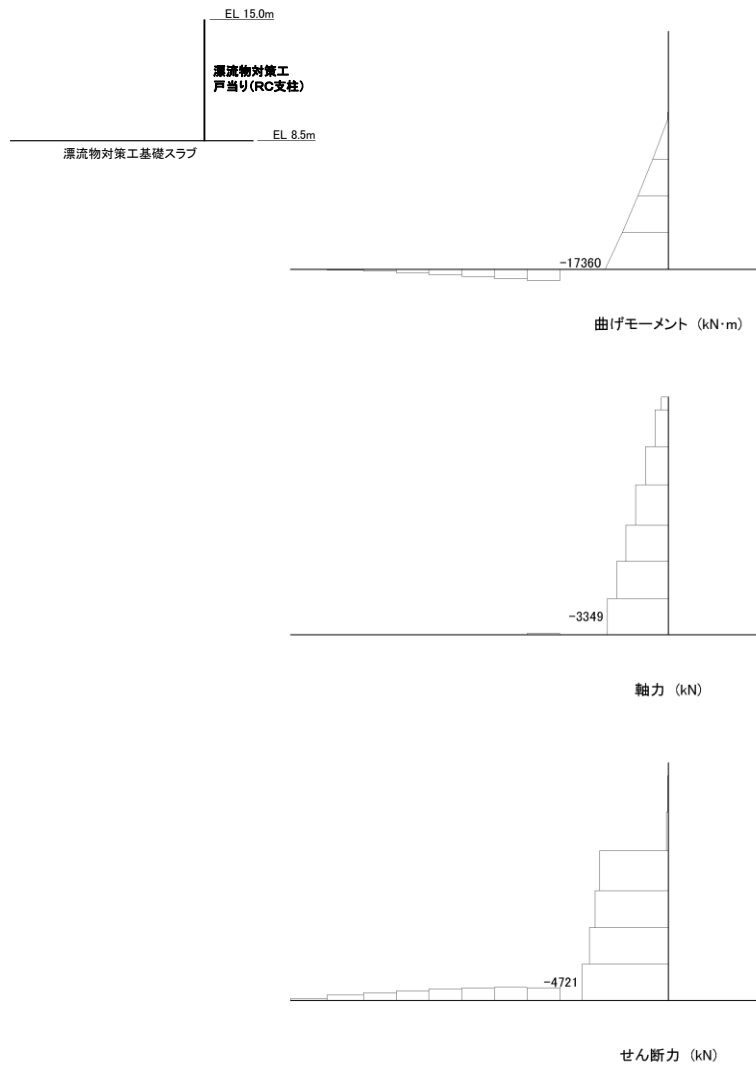


図 5-6 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

表 5-11 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
17360	3349	1.7	21.0	0.09

表 5-12 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
17360	3349	49	294	0.17

(2) せん断照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートのせん断破壊に対する照査における断面力図を図5-7に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表5-13に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

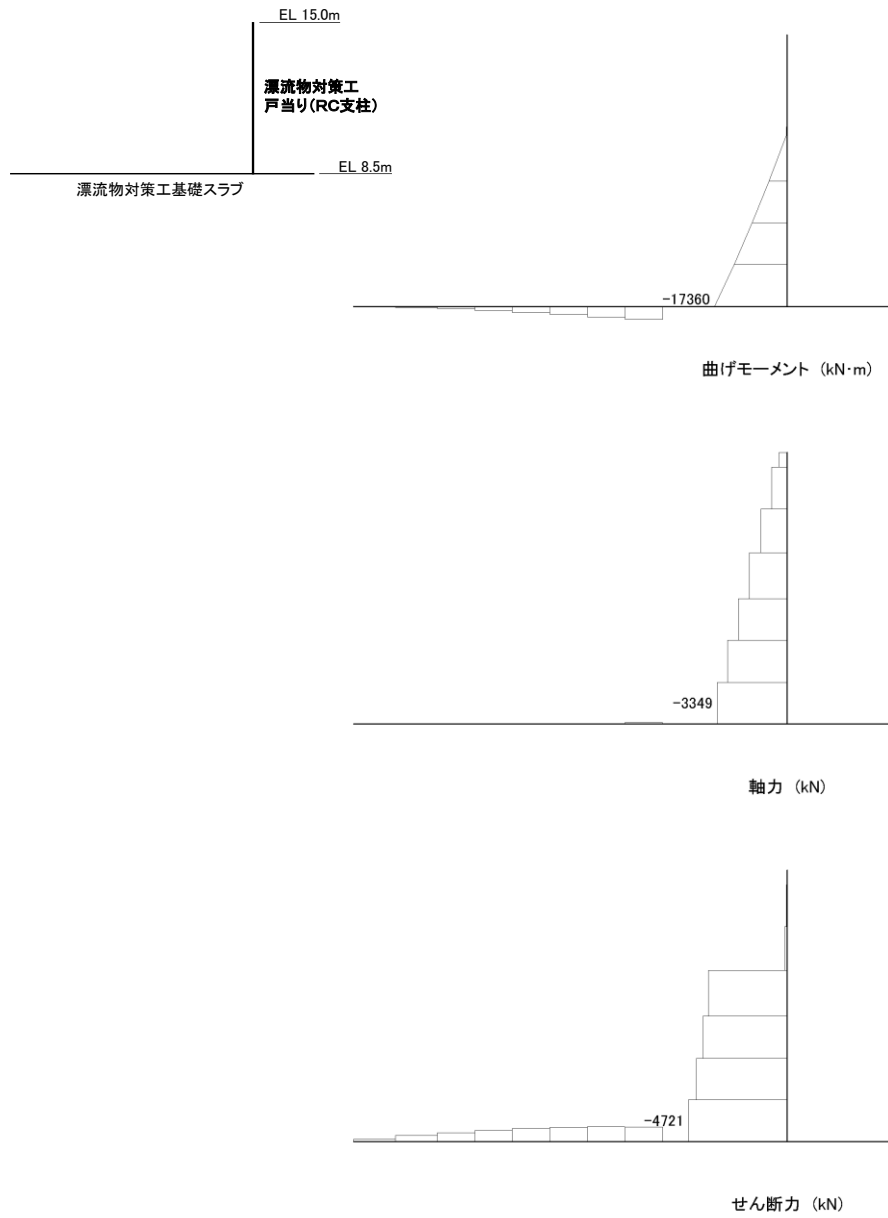


図 5-7 コンクリートのせん断破壊に対する照査における断面力

表 5-13 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{al}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{al}$
せん断力 Q (kN)			
4721	0.38	0.82	0.47

### 5.2.3 漂流物対策工基礎スラブ

#### (1) 曲げ照査

漂流物対策工基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力図を図 5-8 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-14 に示す。漂流物対策工基礎スラブの鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-15 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

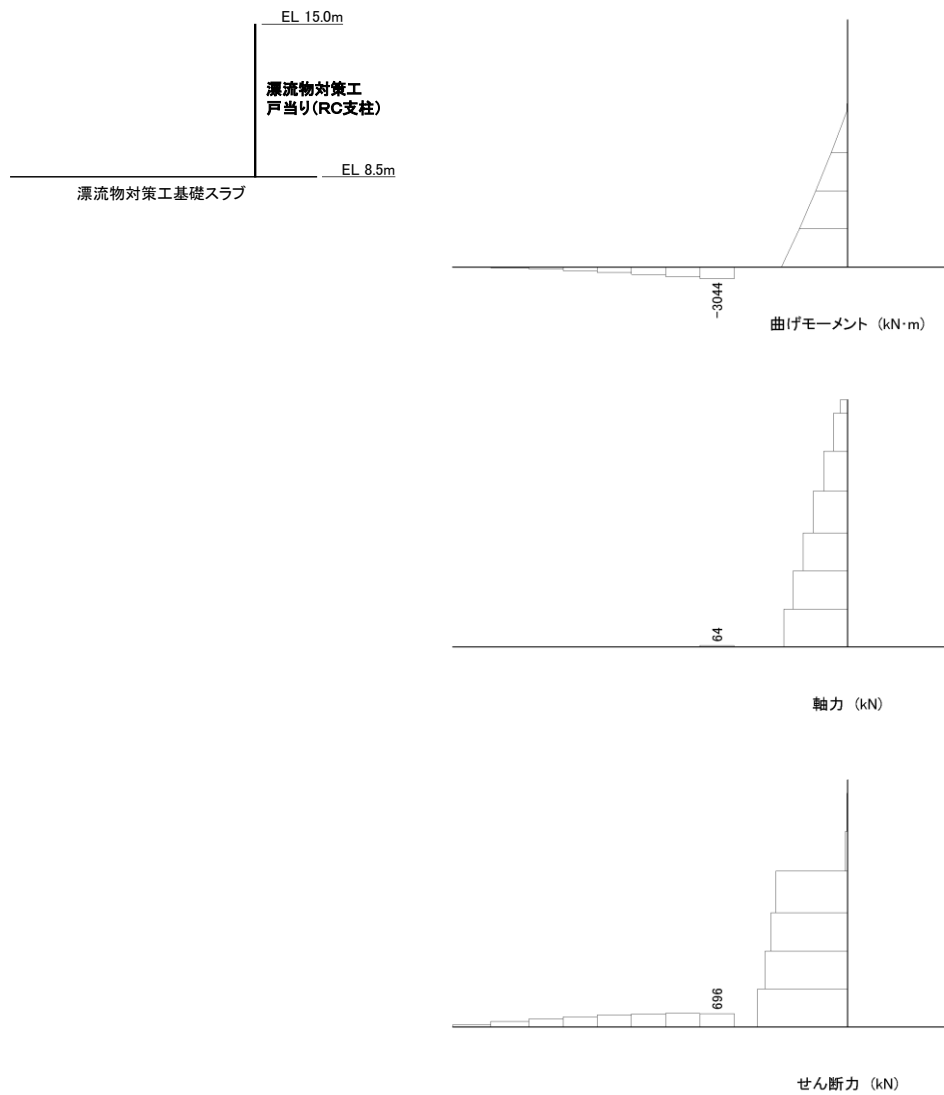


図 5-8 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

表 5-14 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
3044	64	1.2	21.0	0.06

表 5-15 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
3044	64	49	294	0.17

(2) せん断照査

漂流物対策工基礎スラブのコンクリートの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図を図 5-9 に、コンクリートのせん断破壊に対する最大照査値を表 5-16 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブのコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

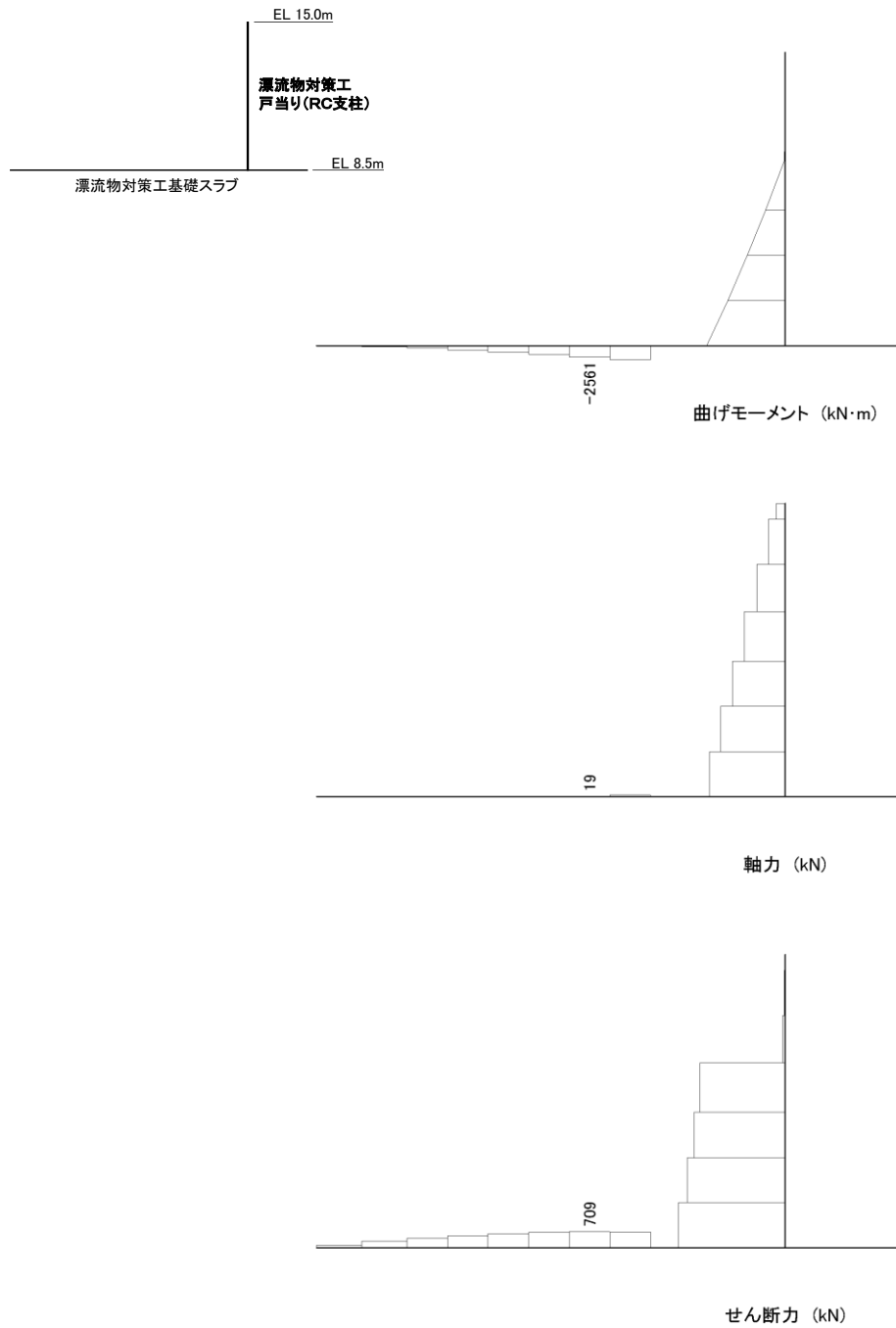


図 5-9 コンクリートのせん断破壊に対する照査における断面力

表 5-16 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値

発生断面力 せん断力 Q (kN)	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
709	0.22	0.82	0.28



#### 5.2.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-17 に、接地圧分布を図 5-10 に示す。

漂流物対策工の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した。

表 5-17(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 $f'_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R/f'_a$
0.5	18.0	0.03

表 5-17(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
0.2	1.4	0.17

表 5-17(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
0.7	9.8	0.07

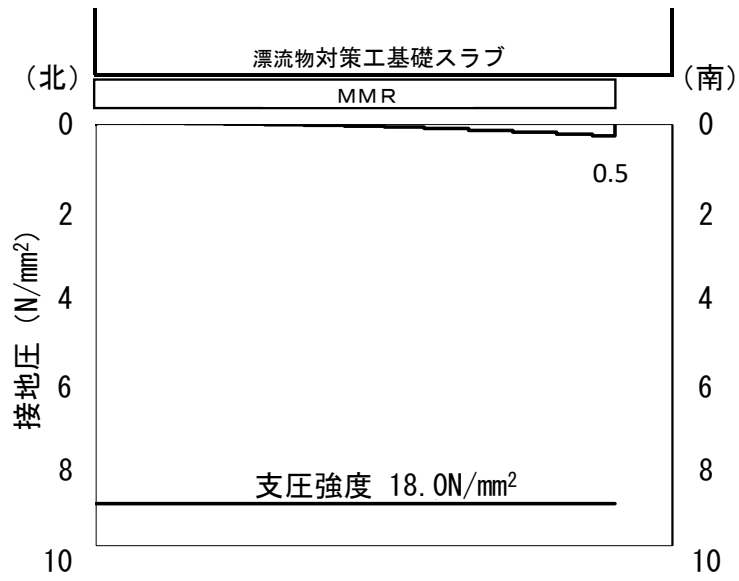


図 5-10(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (MMR)

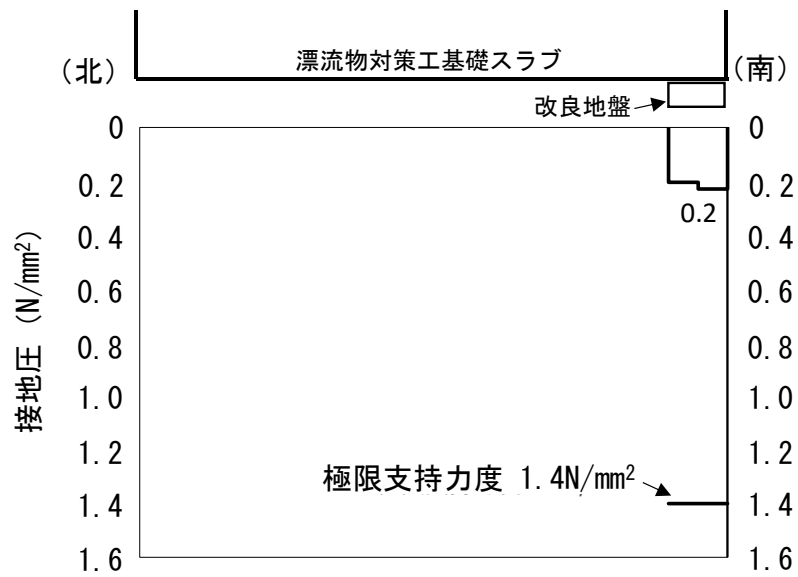


図 5-10(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)

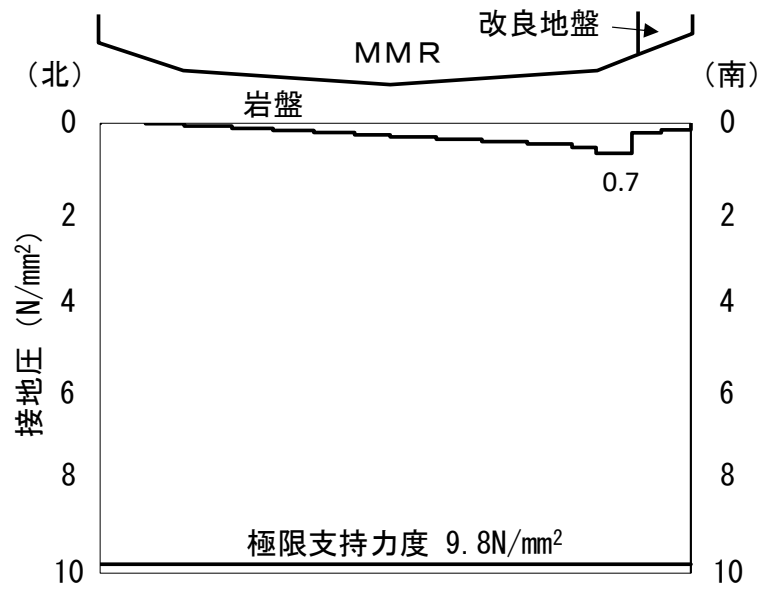


図 5-10(3) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)

### 3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	16
2.4 適用規格・基準等	21
3. 強度評価	22
3.1 記号の定義	22
3.2 評価対象断面	30
3.3 解析方法	32
3.4 荷重及び荷重の組合せ	32
3.4.1 荷重	32
3.4.2 荷重の組合せ	33
3.5 解析モデル及び諸元	35
3.5.1 解析モデル	35
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	37
3.5.3 地盤の物性値	39
3.5.4 地下水位	39
3.6 評価対象部位	40
3.6.1 施設・地盤の健全性評価	40
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	40
3.7 許容限界	41
3.7.1 防波扉	41
3.7.2 漂流物対策工	44
3.8 評価方法	46
3.8.1 防波扉	47
3.8.2 漂流物対策工	57
4. 評価条件	67
5. 評価結果	71
5.1 防波扉	71
5.1.1 防波扉（鋼製扉体）	71
5.1.2 防波扉戸当り（RC支柱）	72
5.1.3 防波扉基礎スラブ	76
5.1.4 グラウンドアンカ	81

5.1.5	改良地盤	82
5.1.6	基礎地盤	83
5.2	漂流物対策工	85
5.2.1	漂流物対策工（鋼製扉体）	85
5.2.2	漂流物対策工戸当り（RC支柱）	86
5.2.3	漂流物対策工基礎スラブ	89
5.2.4	基礎地盤	93

## 1. 概要

本資料は、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、防波壁通路防波扉（3号機東側）（以下「防波扉（3号機東側）」という。）が、地震後の繰返しの来襲を想定した津波荷重、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対して、施設・地盤の構造健全性を保持すること及び十分な支持性能を有する地盤に設置していることを確認するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

防波扉（3号機東側）の位置図を図2-1に示す。

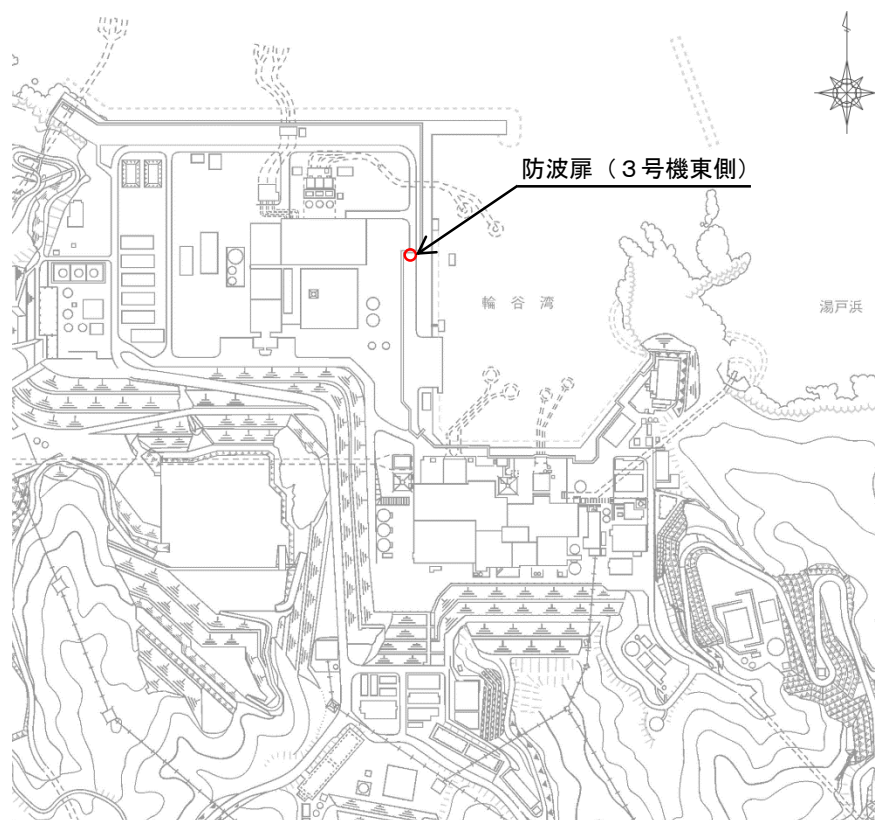


図2-1 防波扉（3号機東側）の位置図



## 2.2 構造概要

防波扉（3号機東側）の構造概要図を図2-2に示す。

防波扉（3号機東側）は、入力津波高さ（EL 11.9m）に対して、余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波扉（3号機東側）は、防波扉及び漂流物対策工から構成される。

防波扉は、改良地盤を介して岩盤に支持される直接支持構造と、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブによる上部構造から構成される。

防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの境界部には水密ゴムを設置し、止水性を確保する。また、防波扉基礎スラブにはグラウンドアンカを設置している。

防波扉（3号機東側）の構造図を図2-3に、防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ接続部の概略配筋図を図2-4に、防波扉戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図2-5に、水密ゴムの概念図を図2-6に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブから構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図2-7に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の概略配筋図を図2-8に、漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図を図2-9に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ接続部の概略配筋図を図2-10に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のアンカー部付近の概略配筋図を図2-11に示す。

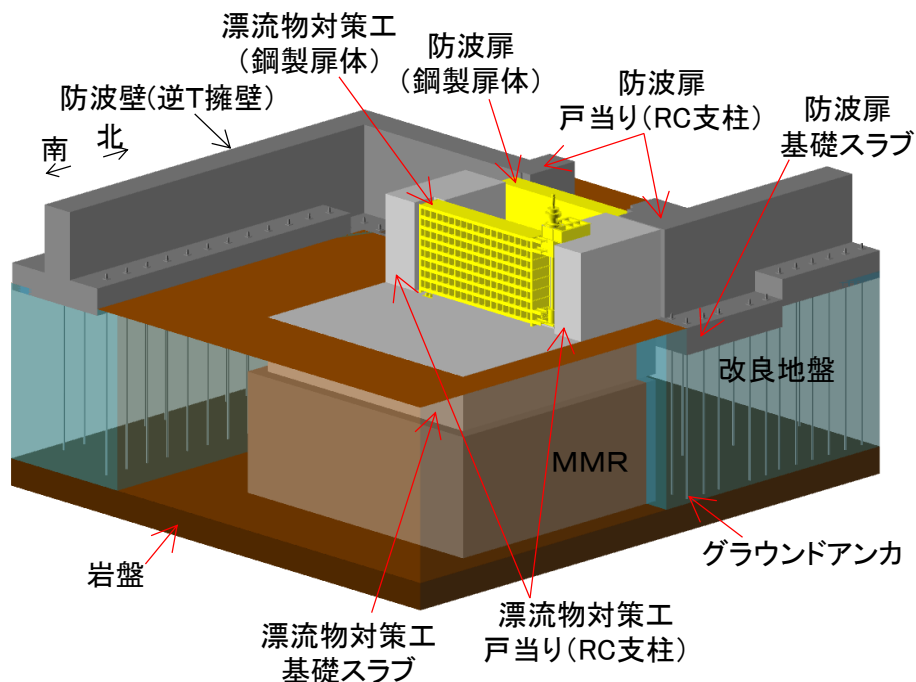


図2-2(1) 防波扉（3号機東側）の構造概要図（鳥瞰図）

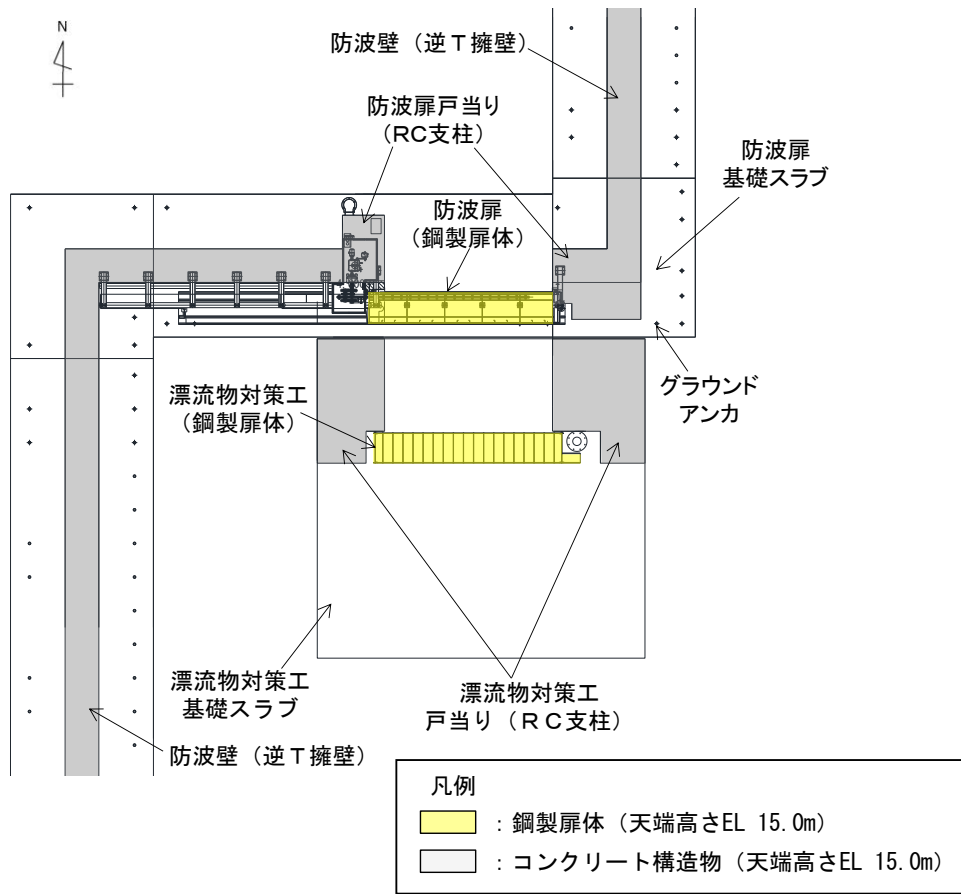


図 2-2(2) 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (平面図)

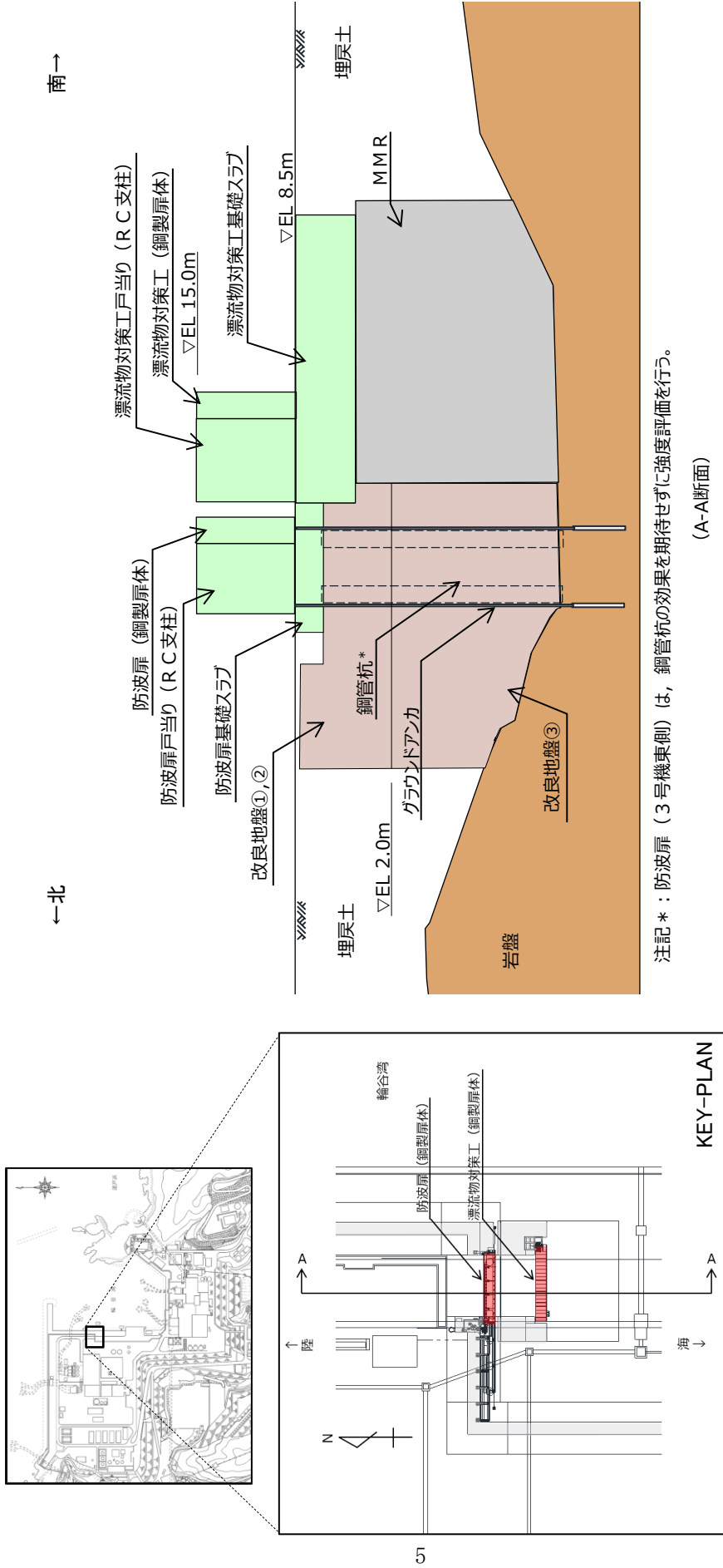
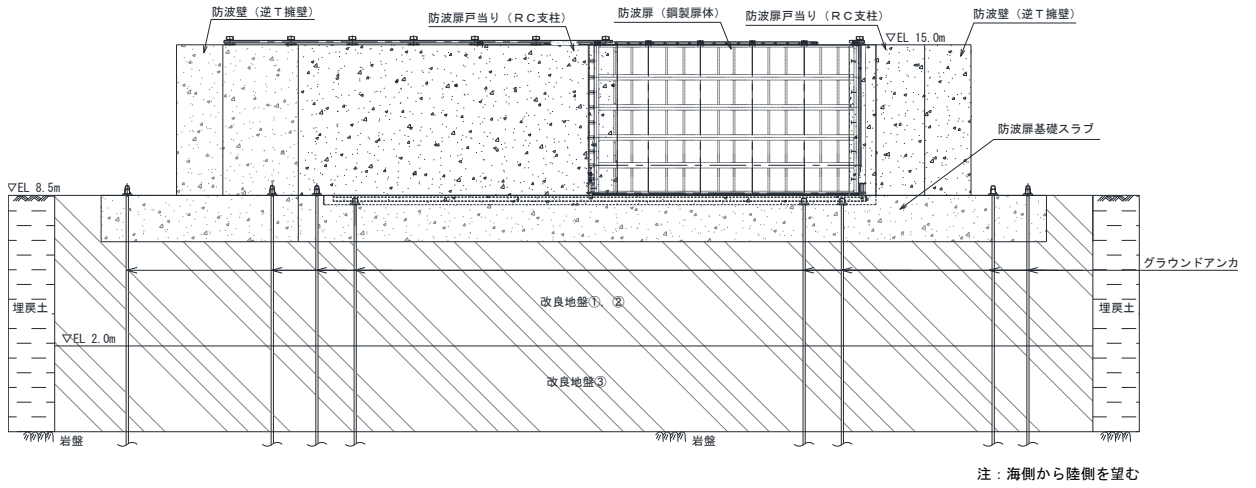
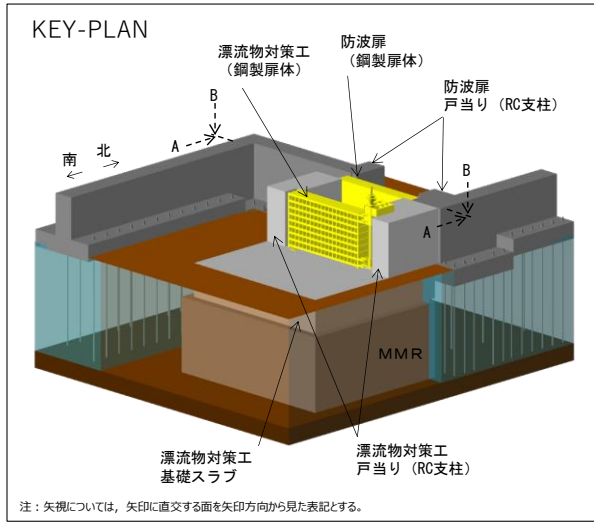
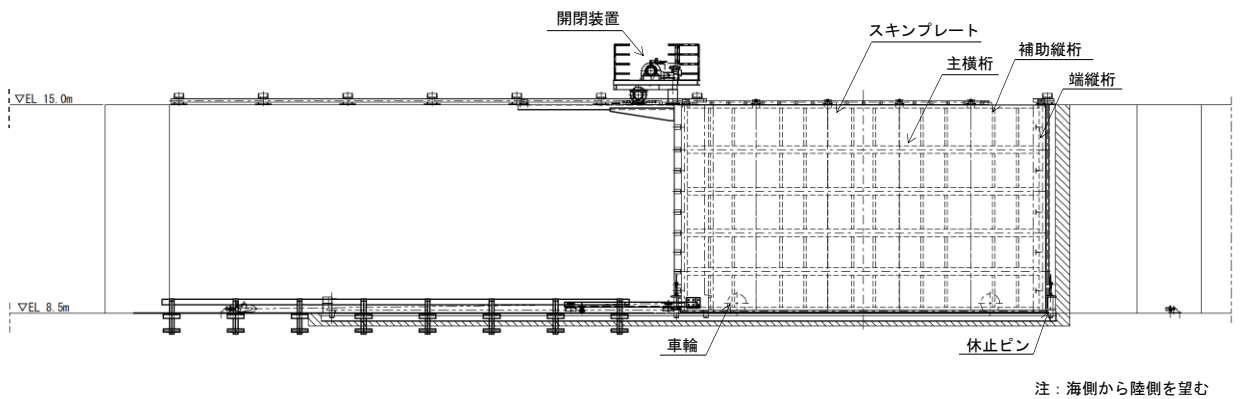


図 2-2 (3) 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (断面図)



(全体図)



(防波扉 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-3(1) 防波扉の構造図 (A-A断面)

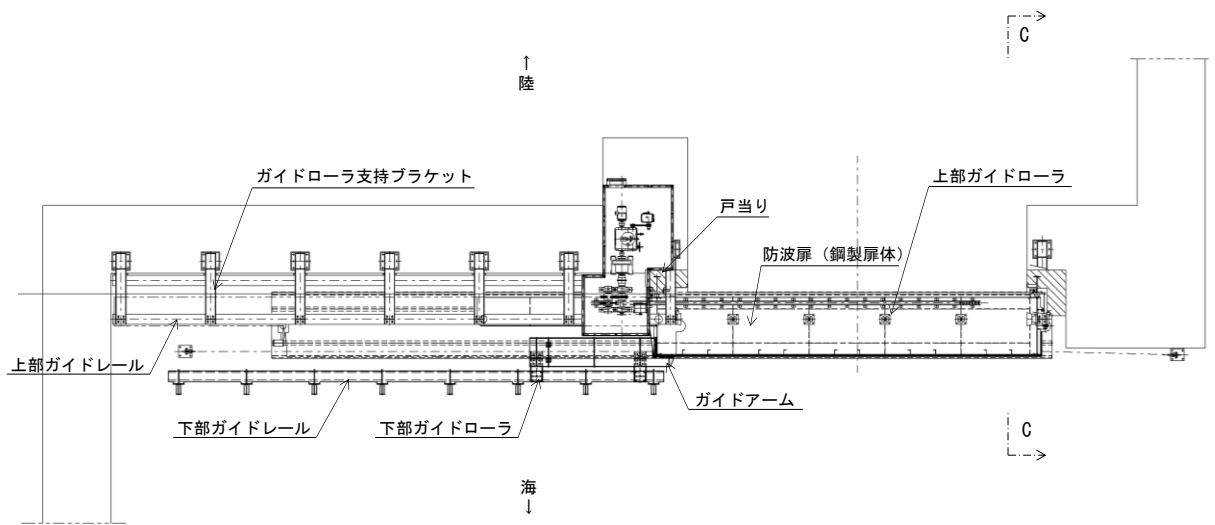


図 2-3(2) 防波扉の構造図 (B-B 断面)

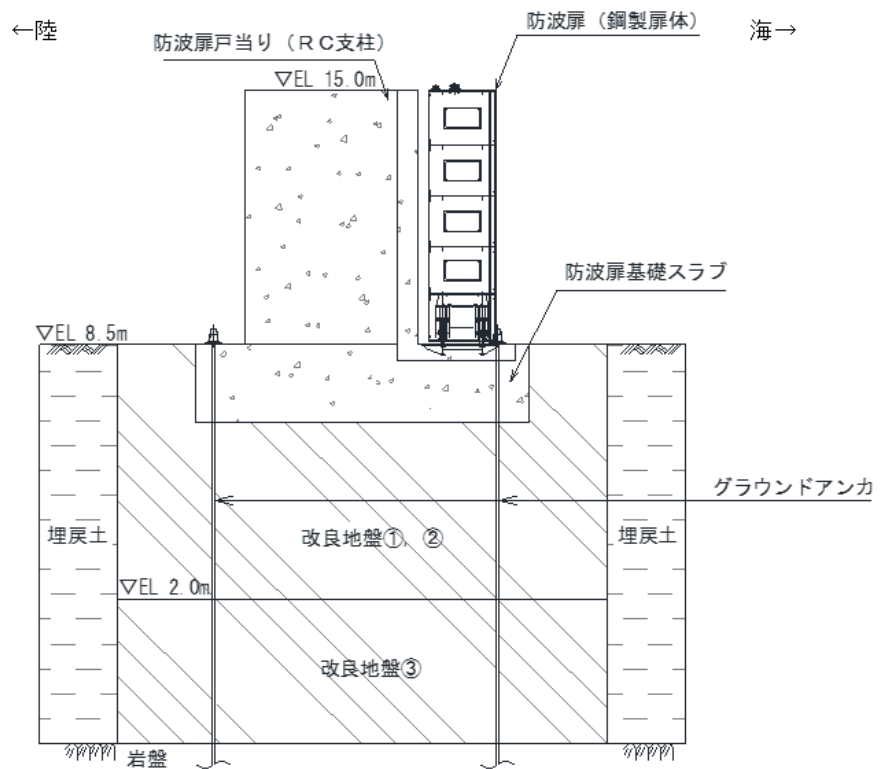


図 2-3(3) 防波扉の構造図 (C-C 断面)

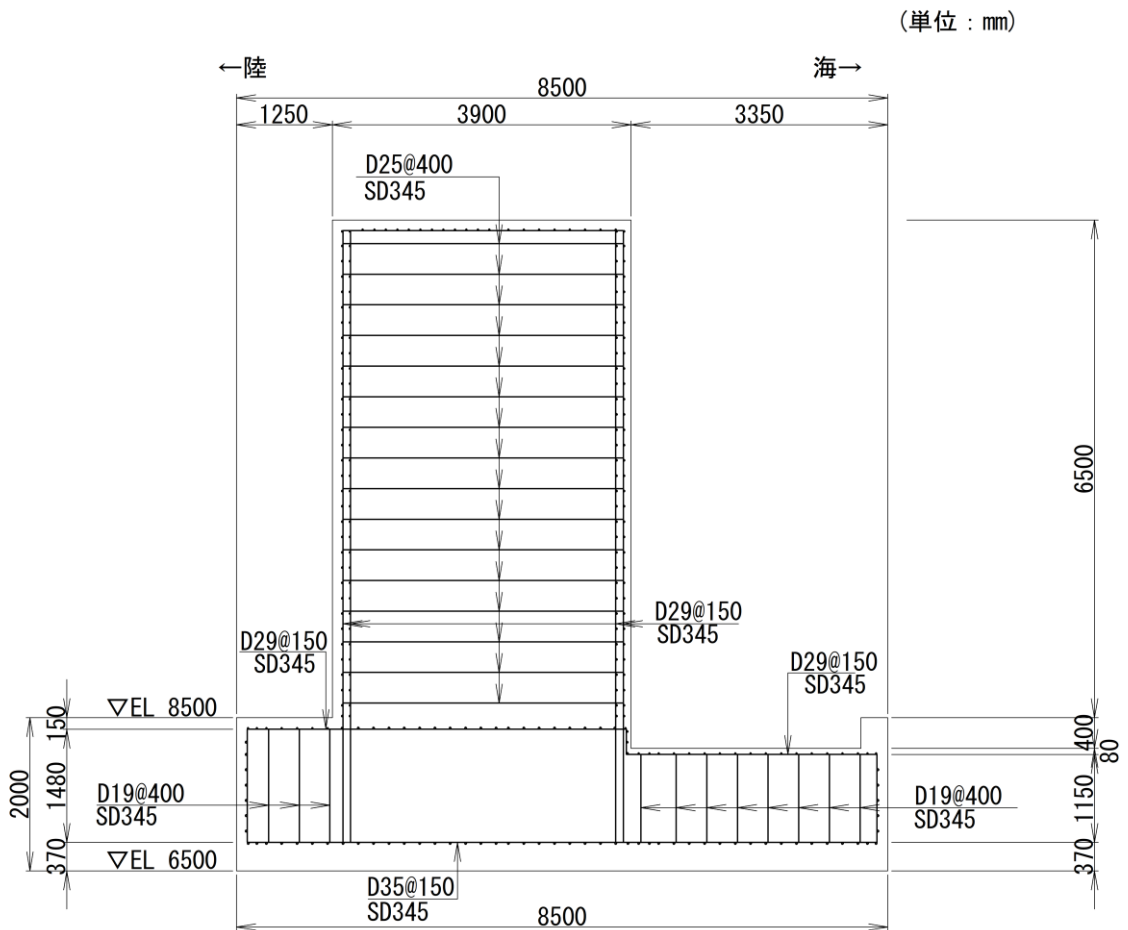
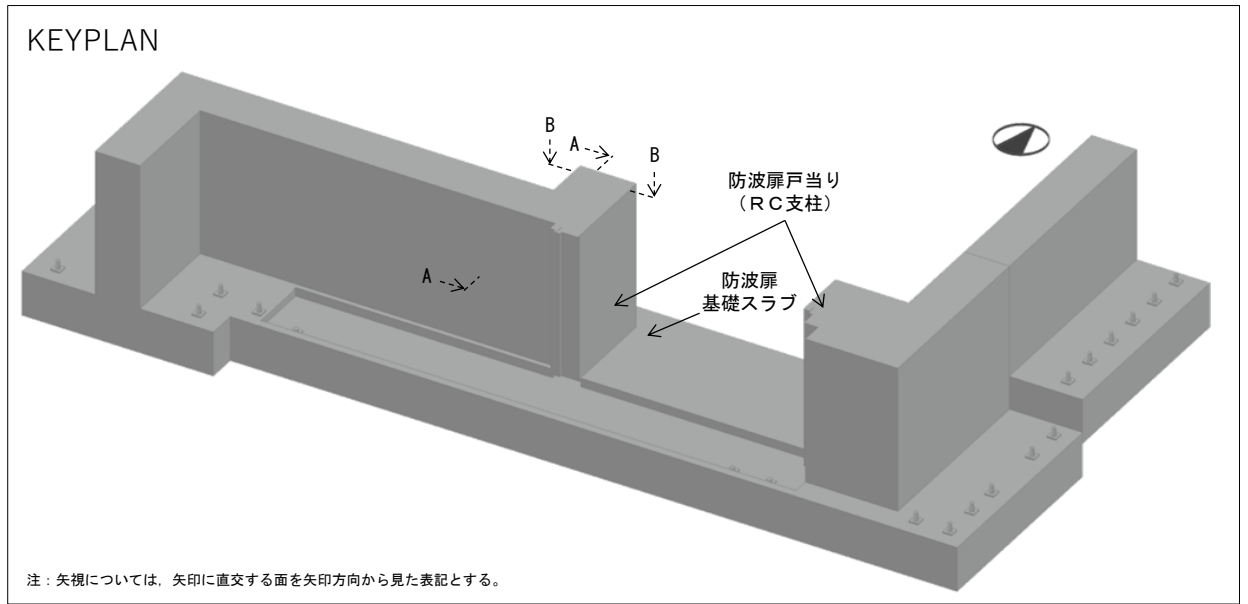


図 2-4 防波扉戸当り (RC支柱) 及び防波扉基礎スラブ接続部の概略配筋図 (A-A断面)

(単位 : mm)

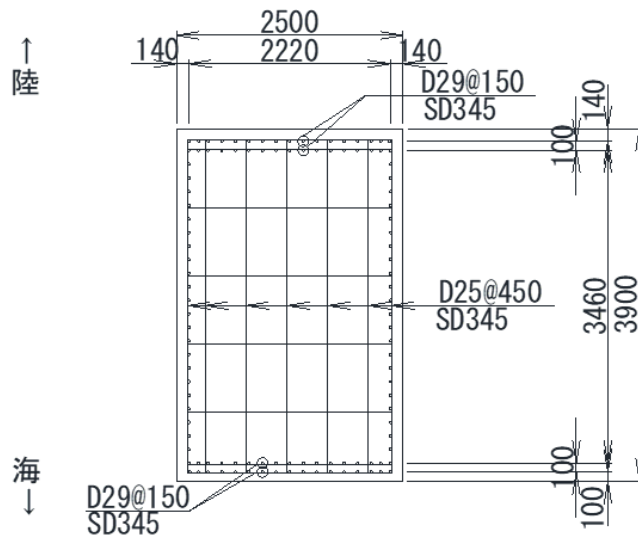
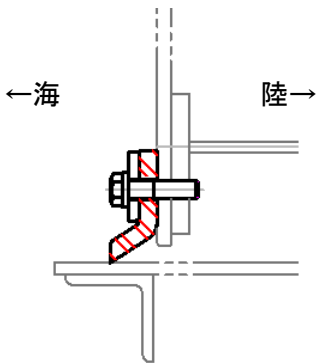
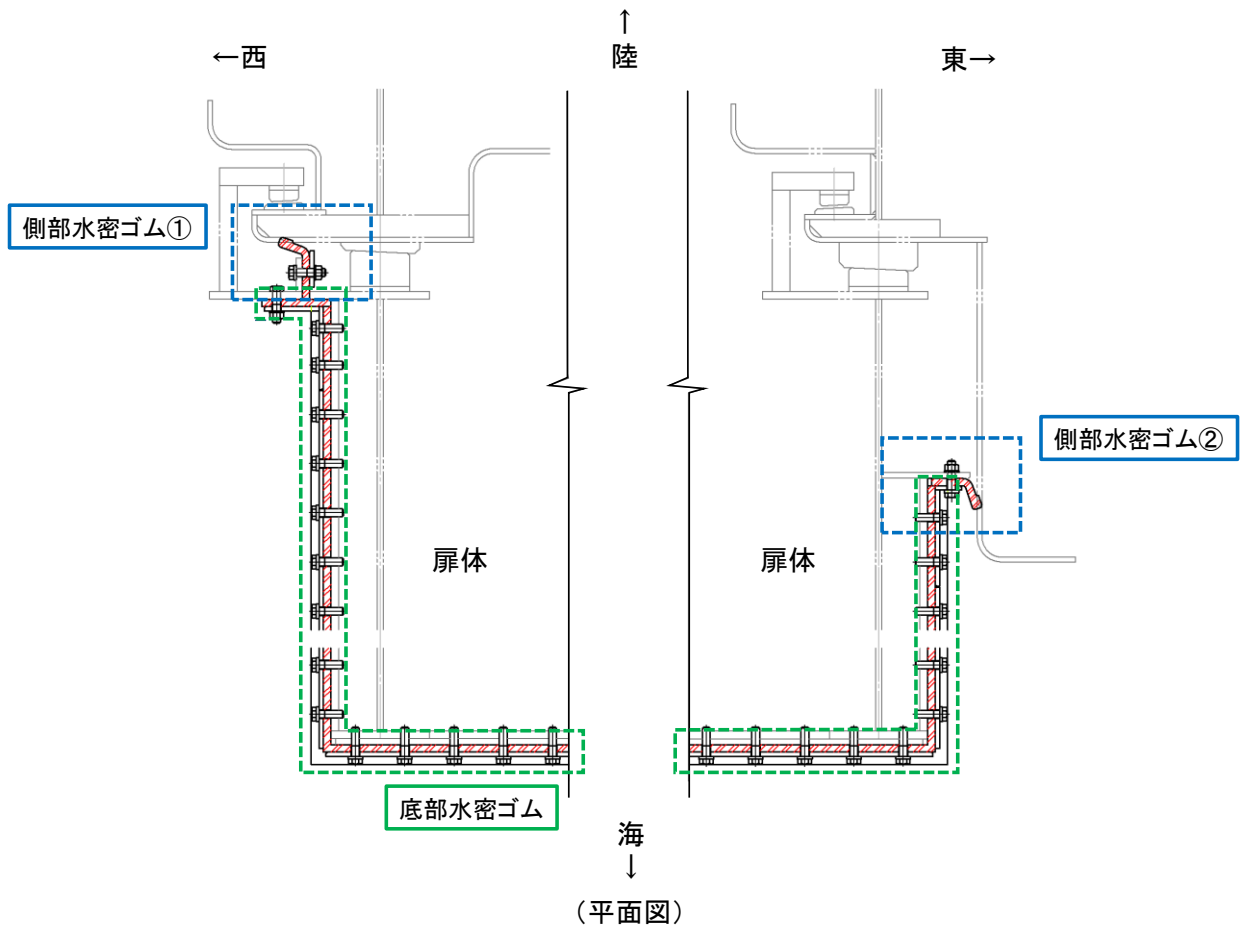
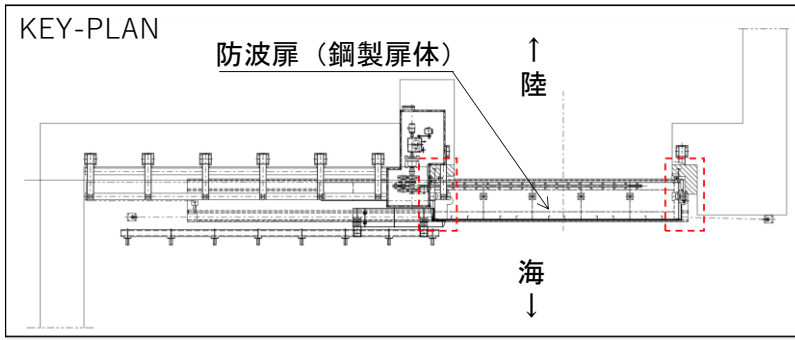
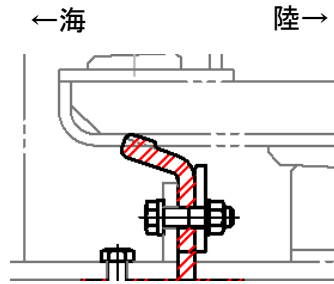


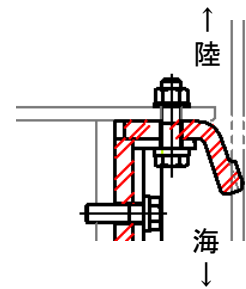
図 2-5 防波扉戸当り (RC 支柱) の概略配筋図 (B-B 断面)



(底部水密ゴム断面図)



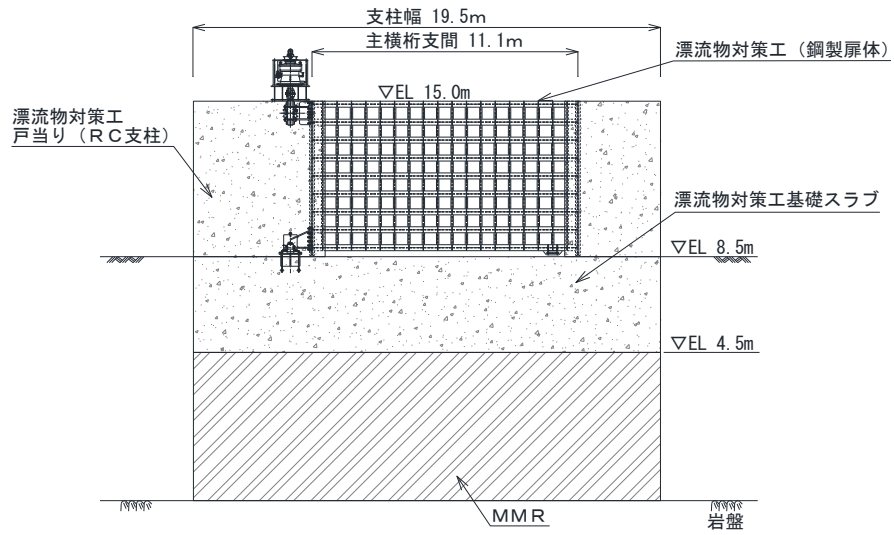
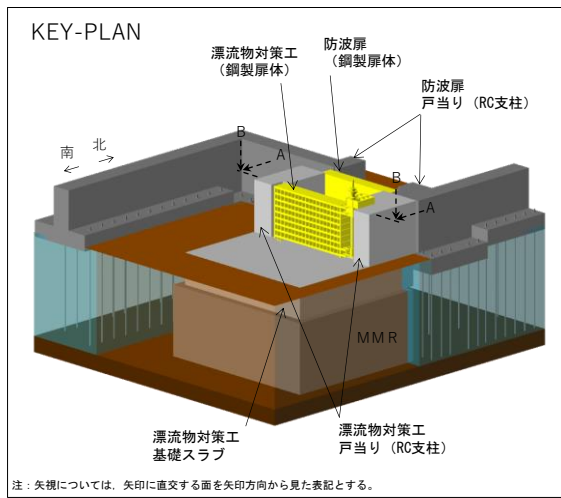
(側部水密ゴム①断面図)



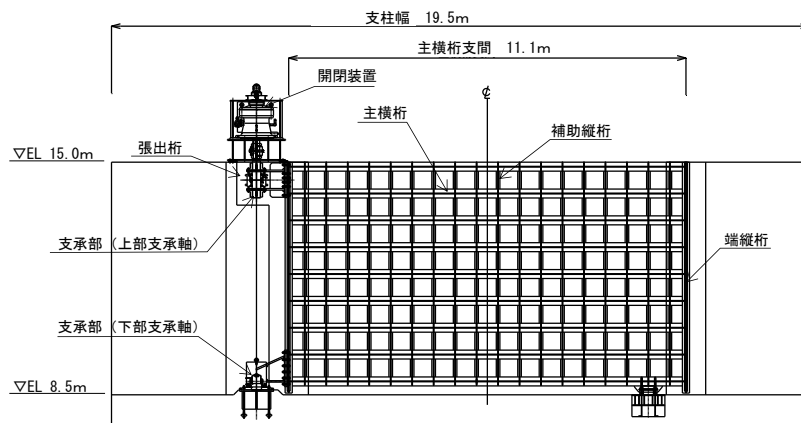
(側部水密ゴム②断面図)

図 2-6 水密ゴム概念図





(全体図)



(漂流物対策工 (鋼製扉体) 拡大図)

図 2-7(1) 漂流物対策工の構造図 (A-A 断面)

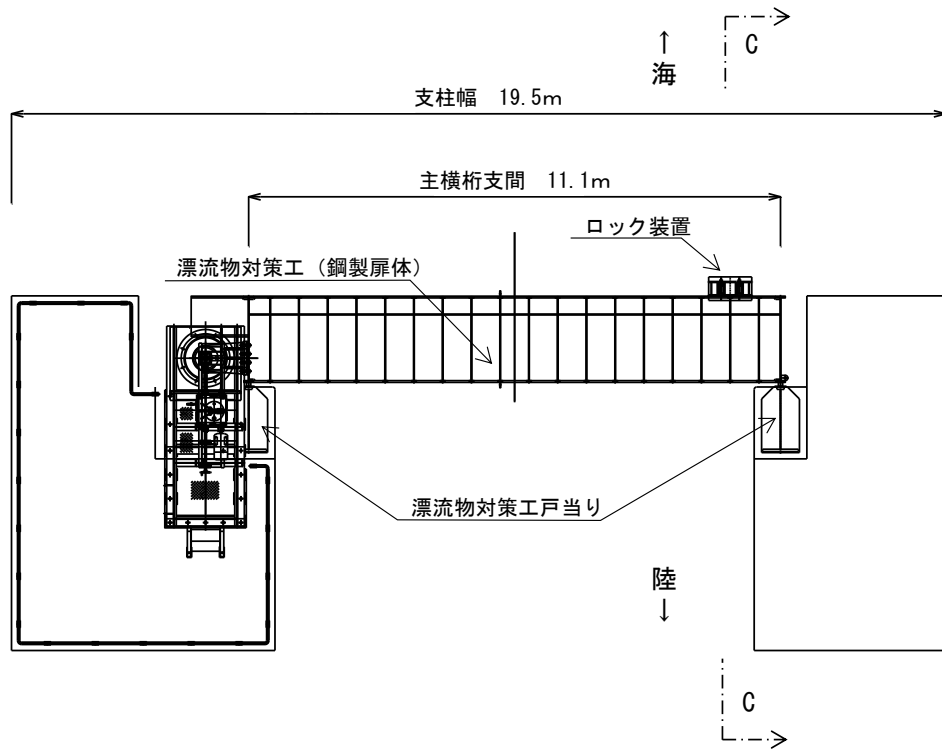


図 2-7(2) 漂流物対策工の構造図 (B-B 断面)

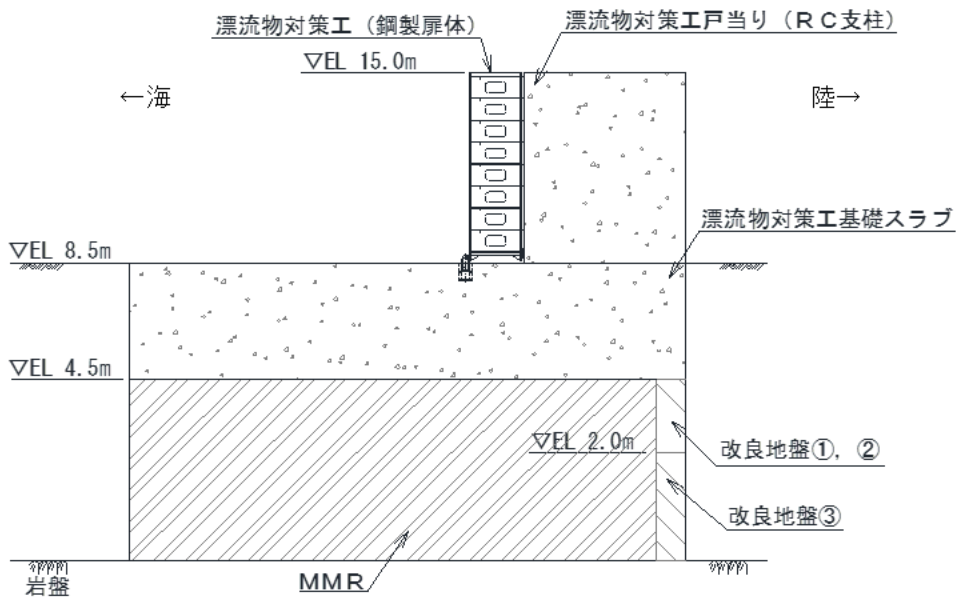
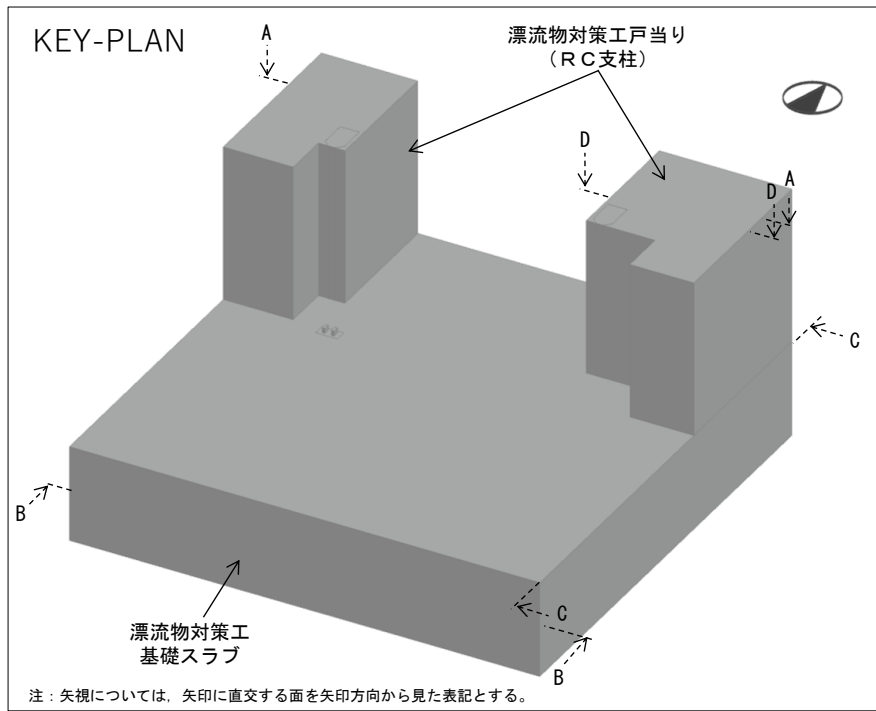


図 2-7(3) 漂流物対策工の構造図 (C-C 断面)



(単位：mm)

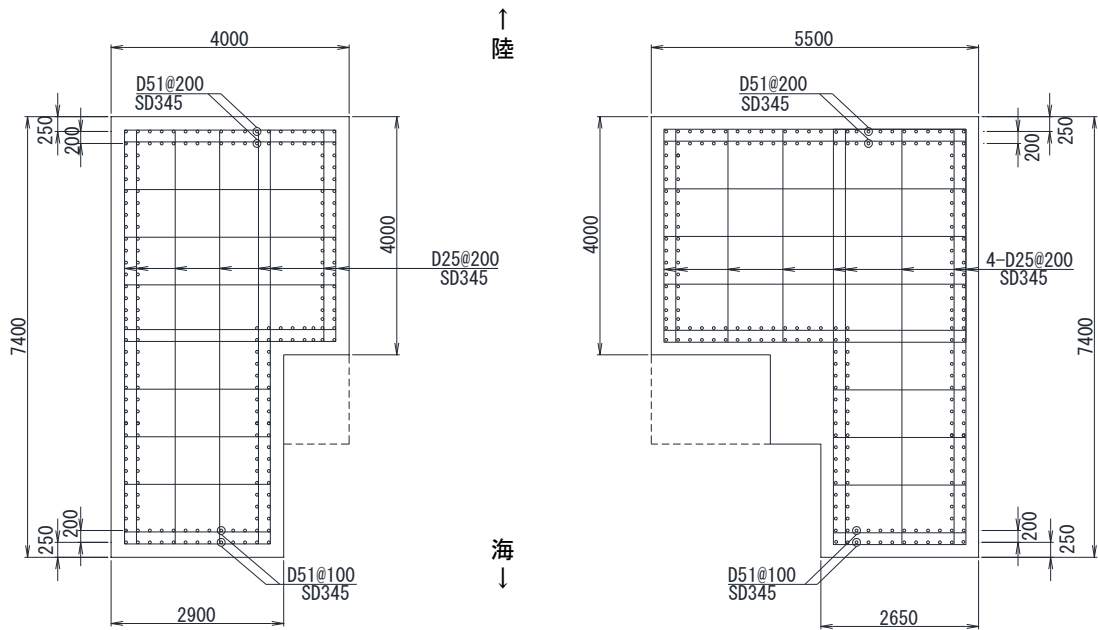


図 2-8 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

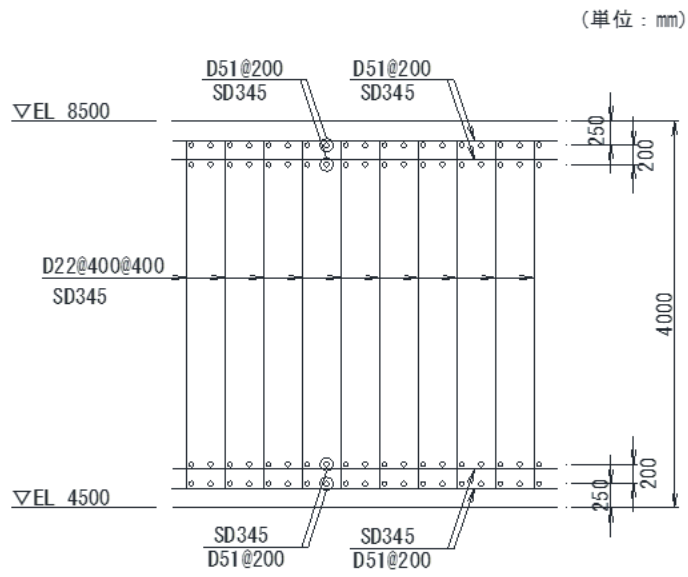


図 2-9 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

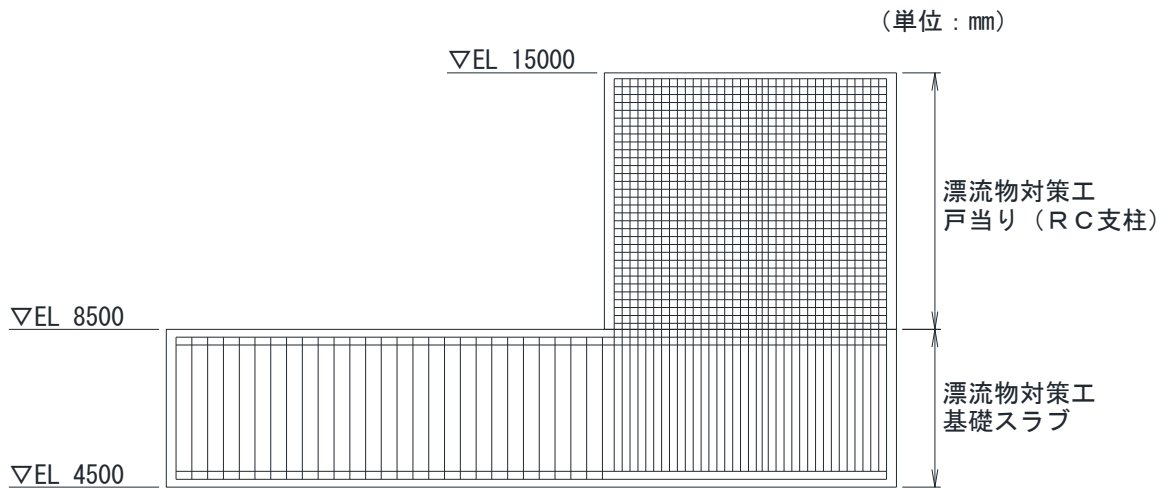
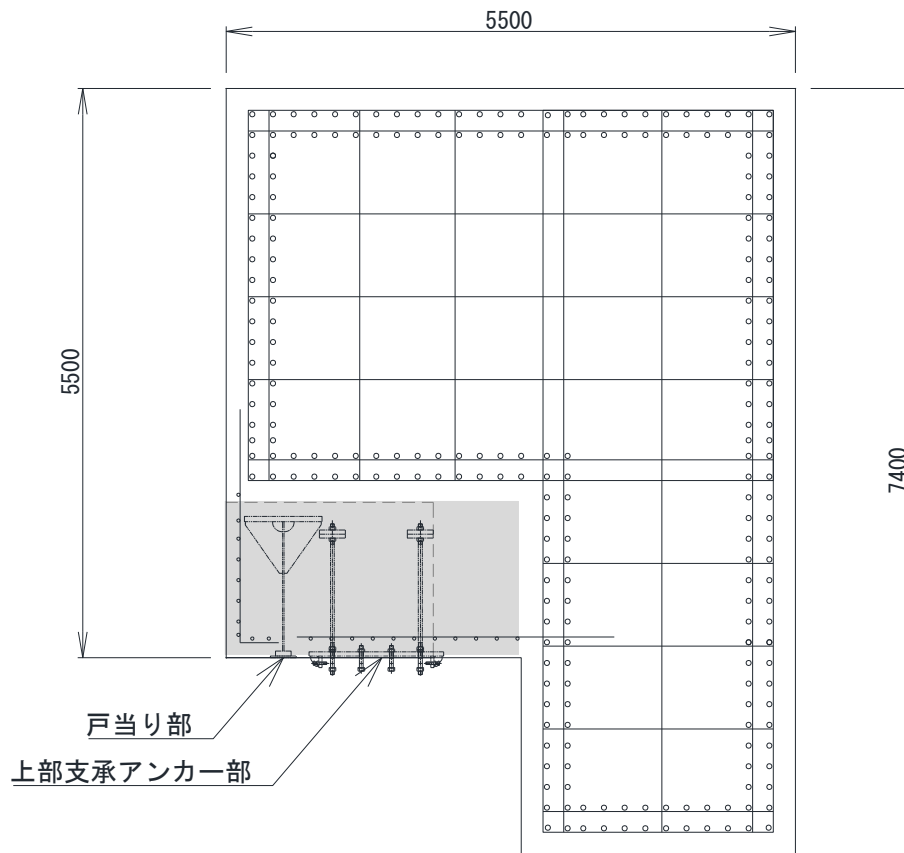


図 2-10 漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ  
接続部の概略配筋図 (C-C 断面)

(単位 : mm)



注 : なお, 戸当り部及び上部支承アンカー部には, ひび割れ補強鉄筋を配置する。  
ひび割れ補強鉄筋は構造部材として期待していない。

図 2-11 漂流物対策工戸当り (RC支柱) のアンカー部付近の概略配筋図 (D-D断面)

### 2.3 評価方針

防波扉（3号機東側）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉（3号機東側）の各部位の役割及び性能目標を表2-1及び表2-2に示す。

また、防波扉（3号機東側）の強度評価は、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」及び「4.2 許容限界」におい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実施する。強度評価では、「3. 強度評価」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 評価結果」より、防波扉（3号機東側）の評価対象部位の発生応力度及びすべり安全率が許容限界を満足することを確認する。

防波扉（3号機東側）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波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、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）について行う。

なお、津波と余震に伴う荷重が作用する重畳時については、防波扉（3号機東側）前面の敷地高さ(EL 8.5m)は海域活断層から想定される地震による津波(津波水位 EL 4.9m)より高いため、評価を実施しない。

防波扉（3号機東側）の強度評価は、設計基準対象施設として表2-3の防波扉（3号機東側）の評価項目に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

防波扉（3号機東側）の強度評価フローを図2-12に示す。

表 2-1 防波扉（3号機東側）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遮水性を保持する。</li> <li>・津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）を支持する。</li> <li>・津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>
	グラウンド アンカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。</li> </ul>
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漁船等の漂流物を防波扉に衝突させない。</li> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉に漁船等の漂流物を衝突させない。</li> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。</li> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。</li> </ul>
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工（鋼製扉体）及び漂流物対策工戸当り（RC支柱）を支持する。</li> </ul>
地盤	改良地盤 ①～③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。</li> <li>・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。</li> <li>・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。</li> <li>・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。</li> <li>・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する（難透水性を保持する）。</li> </ul>
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漂流物の衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。</li> </ul>
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブ，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉基礎スラブ，漂流物対策工基礎スラブ，改良地盤及びMMRを鉛直支持する。</li> </ul>
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役割に期待しない（解析モデルに反映し，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。</li> </ul>

表 2-2 防波扉（3号機東側）の各部位の性能目標

性能目標 部位		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (遮水性, 難透水性)		
施設	防波扉 (鋼製扉体)	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。		
	防波扉戸当り (RC支柱)				防波扉(鋼製扉体)の支持機能を喪失して防波扉(鋼製扉体)との間から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。		
	防波扉基礎 スラブ						
	グラウンド アンカ				防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	
	漂流物対策工 (鋼製扉体)				-	-	防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 戸当り(RC 支柱)			-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 基礎スラブ						
地盤	改良地盤 ①～③	防波扉及び漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安定性を保持すること。	-	地盤中からの回り込みによる浸水を防止(難透水性を維持)するため、改良地盤がすべり破壊しないこと(内的安定を保持)。		
	岩盤				-		
	MMR	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	-	-	-		



表 2-3 防波扉（3号機東側）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		漂流物対策工（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度	
	基礎地盤	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉（鋼製扉体）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ応力及びせん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度* 支圧強度

注記\*：妥当な安全余裕を考慮する。

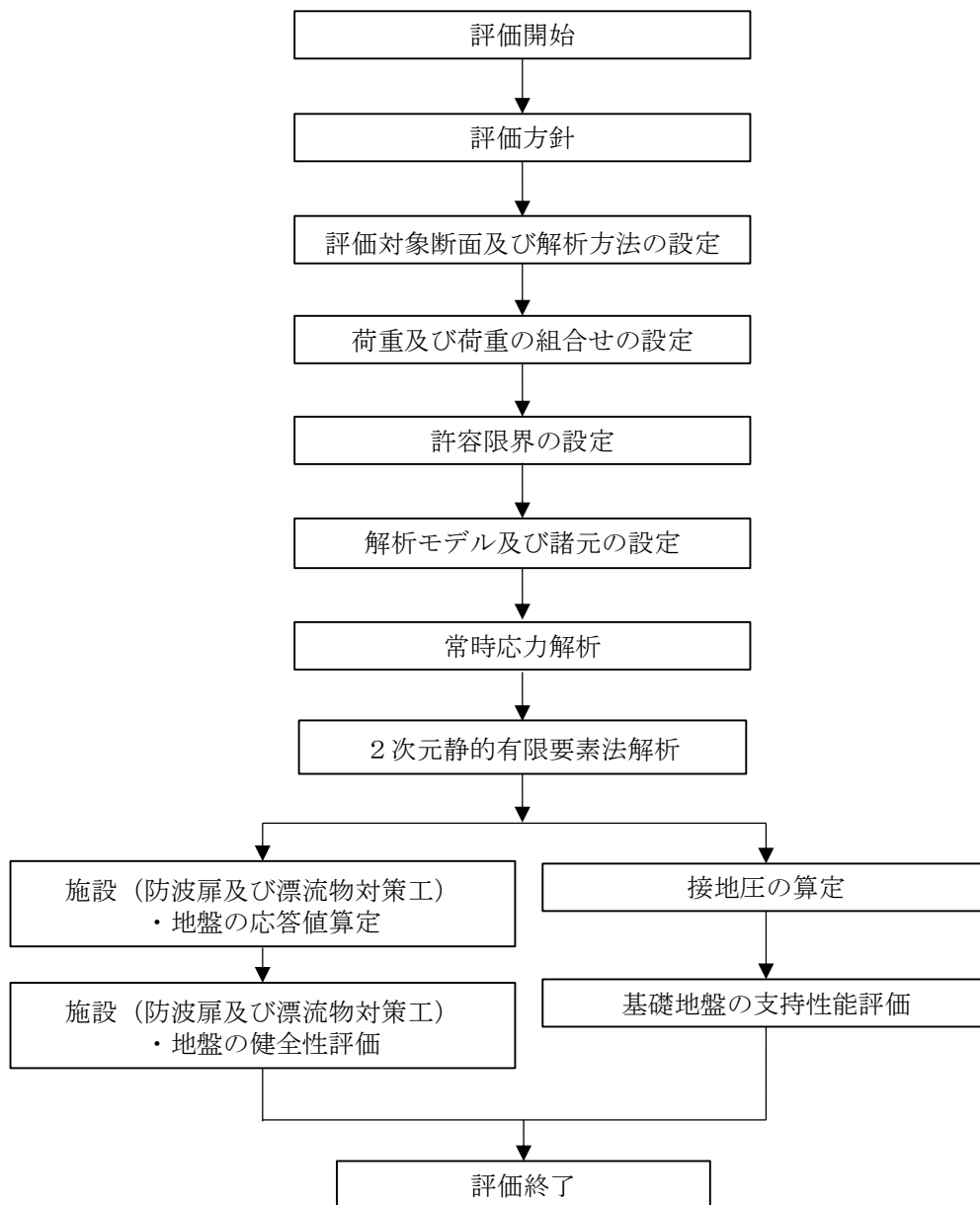


図 2-12 防波扉（3号機東側）の強度評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・機械工学便覧 ( (社) 日本機械学会)
- ・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)
- ・道路橋示方書 ( I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ( (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 ( (社) 地盤工学会, 2012 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・建築基準法・同施行令

### 3. 強度評価

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1(1) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製扉体)	スキンプレート	P	kN/m <sup>2</sup>	スキンプレートに作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		a	mm	スキンプレートの短辺
		b	mm	スキンプレートの長辺
		k	—	スキンプレートの辺長比 (b/a)による係数
		t	mm	スキンプレートの板厚
		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	スキンプレートに生じる曲げ応力度
		$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
	主横桁	W	kN/m	主横桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		B	m	主横桁の水密幅
		L	m	主横桁の支間長
		M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		N	kN	主横桁に生じる軸力
		Z	mm <sup>3</sup>	主横桁の断面係数
		D	m	側部水密幅
		$A_w$	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の断面積
		$A_g$	mm <sup>2</sup>	主横桁の断面積
		$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じる曲げ応力度
		$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じるせん断応力度
		$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度		
$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度		
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度		

表 3-1(2) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
防波扉 (鋼製 扉体)	補助 縦桁	P	kN/m <sup>2</sup>	補助縦桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重)
		a	m	補助縦桁間隔
		b	m	主横桁間隔
		M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		Z	mm <sup>3</sup>	補助縦桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	補助縦桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じるせん断応力度
	端縦桁	R	kN	主横桁に生じる支点反力
		A <sub>q</sub>	mm <sup>2</sup>	補剛材の有効断面積
		σ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容圧縮応力度
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	端縦桁腹板の有効断面積
		A <sub>s1</sub>	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の有効断面積
		A <sub>s2</sub>	mm <sup>2</sup>	スチフナの有効断面積
		t <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の厚さ
		t <sub>s1</sub>	mm	主横桁腹板の厚さ
		t <sub>s2</sub>	mm	スチフナの厚さ
		b <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の幅
		b <sub>s1</sub>	mm	主横桁腹板の幅
	b <sub>s2</sub>	mm	スチフナの幅	
	支圧板	P	kN/m <sup>2</sup>	支圧板に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重)
		B	mm	防波扉 (鋼製扉体) の水密幅
		b	mm	支圧板の有効幅
		σ <sub>p</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板に生じる支圧応力度
		σ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容支圧応力度

表 3-1(3) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
戸当り		P	kN/m <sup>2</sup>	防波扉（鋼製扉体）最下部に作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）
		B	mm	防波扉（鋼製扉体）の水密幅
		b <sub>f</sub>	mm	戸当り（底面フランジ）の幅
		t <sub>f</sub>	mm	戸当り（底面フランジ）の厚さ
		h	mm	戸当りの埋込深さ
		L	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ
		σ	N/mm <sup>2</sup>	戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度
		σ <sub>p</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	戸当り（コンクリート）に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		σ <sub>cba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容支圧応力度
		τ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度

表 3-1(4) 防波扉の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義
防波扉戸当り (RC支柱)	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	M	kN・m	防波扉戸当り (RC支柱) に生じる曲げモーメント
	N	kN	防波扉戸当り (RC支柱) に生じる軸力
	Q	kN	防波扉戸当り (RC支柱) に生じるせん断力
防波扉基礎スラブ	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	グラウンドアンカにより発生する支圧応力度
	T	kN	発生アンカー力
	S	mm <sup>2</sup>	支圧板の面積
	$T_a$	kN	許容アンカー力
	M	kN・m	防波扉基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	防波扉基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	防波扉基礎スラブに生じるせん断力
改良地盤	$F_s$	-	局所安全係数
基礎地盤	$R_u$	N/mm <sup>2</sup>	極限支持力度
	$R_d$	N/mm <sup>2</sup>	基礎地盤の最大接地圧

表 3-2(1) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	M	kN・m	主横桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	主横桁に生じるせん断力
		P	kN/m	主横桁に作用する衝突荷重
		P'	kN/m	船首衝突による衝突荷重
		W	kN/m	主横桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	主横桁に作用する風荷重
		L <sub>1</sub>	m	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅
		a	m	主横桁の張出長さ
		L	m	主横桁の支間長
		b	m	船首衝突作用幅
		Z	mm <sup>3</sup>	主横桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	主横桁に生じるせん断応力度
	σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度	
	τ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度	
	張出桁	M	kN・m	張出桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	張出桁に生じるせん断力
		P	kN	張出桁に作用する衝突荷重
		W	kN/m	張出桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	張出桁に作用する風荷重
		L	m	張出長さ
		Z	mm <sup>3</sup>	張出桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	張出桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	張出桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	張出桁に生じるせん断応力度
σ <sub>ca</sub>		N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度	
τ <sub>a</sub>		N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度	



表 3-2(2) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位		記号	単位	定義
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	補助 縦桁	M	kN・m	補助縦桁に生じる曲げモーメント
		S	kN	補助縦桁に生じるせん断力
		P	kN	補助縦桁に作用する衝突荷重
		W	kN/m	補助縦桁に作用する遡上津波荷重
		W'	kN/m	補助縦桁に作用する風荷重
		l	m	主横桁の間隔
		Z	mm <sup>3</sup>	補助縦桁の断面係数
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	補助縦桁腹板の断面積
		σ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じる曲げ応力度
		τ	N/mm <sup>2</sup>	補助縦桁に生じるせん断応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容曲げ応力度
		τ <sub>a</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度
	端縦桁	R	kN	端縦桁に生じる支点反力
		A <sub>q</sub>	mm <sup>2</sup>	補剛材の有効断面積
		σ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	端縦桁に生じる圧縮応力度
		σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	許容圧縮応力度
		A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	端縦桁腹板の有効断面積
		A <sub>s1</sub>	mm <sup>2</sup>	主横桁腹板の有効断面積
		A <sub>s2</sub>	mm <sup>2</sup>	スチフナの有効断面積
		t <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の厚さ
		t <sub>s1</sub>	mm	主横桁腹板の厚さ
		t <sub>s2</sub>	mm	スチフナの厚さ
		b <sub>w</sub>	mm	端縦桁腹板の長さ
b <sub>s1</sub>	mm	主横桁腹板の長さ (mm)		
b <sub>s2</sub>	mm	スチフナの長さ (mm)		

表 3-2(3) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	戸当り	W	kN/m	戸当りに作用する津波荷重 (遡上津波荷重+風荷重)
		P	kN/m	戸当りに作用する衝突荷重
		C	mm	支圧板の有効幅
		L <sub>1</sub>	mm	漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅
		L <sub>2</sub>	mm	主横桁の荷重分担長さ
		L <sub>4</sub>	mm	衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散)
		t <sub>w</sub>	mm	戸当り (腹板) の厚さ
		b <sub>f</sub>	mm	戸当り (底面フランジ) の幅
		t <sub>f</sub>	mm	戸当り (底面フランジ) の厚さ
		l <sub>1</sub>	mm	戸当りの埋込深さ
		l <sub>2</sub>	mm	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ
		M <sub>f</sub>	N・mm/mm	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント
		Σl	mm	せん断抵抗長さ (= l <sub>1</sub> +2l <sub>2</sub> )
		σ <sub>p</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板に生じる支圧応力度
		σ <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (腹板) に生じる支圧応力度
		σ <sub>f</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度
		σ <sub>cb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度
		τ <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度
		σ <sub>pa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	支圧板の許容支圧応力度
		σ <sub>ba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (腹板) の許容支圧応力度
σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (底面フランジ) の許容曲げ応力度		
σ <sub>cba</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) の許容支圧応力度		
τ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	戸当り (コンクリート) の許容せん断応力度		

表 3-2(4) 漂流物対策工の強度評価に用いる記号

評価対象部位	記号	単位	定義
漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	M	kN・m	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工戸当り (RC支柱) に生じるせん断力
漂流物対策工 基礎スラブ	$\sigma_{ca}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容曲げ圧縮応力度
	$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの短期許容せん断応力度
	$\sigma_{sa}$	N/mm <sup>2</sup>	鉄筋の短期許容曲げ引張応力度
	M	kN・m	漂流物対策工基礎スラブに生じる曲げモーメント
	N	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じる軸力
	Q	kN	漂流物対策工基礎スラブに生じるせん断力
基礎地盤	$R_u$	N/mm <sup>2</sup>	極限支持力度
	$f'_a$	N/mm <sup>2</sup>	支圧強度
	$R_d$	N/mm <sup>2</sup>	基礎地盤の最大接地圧

### 3.2 評価対象断面

防波扉（3号機東側）の評価対象断面は、津波荷重の作用方向を踏まえ、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の直交方向に作用した場合の影響を評価する。防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図を図3-1に、縦断面図を図3-2に示す。

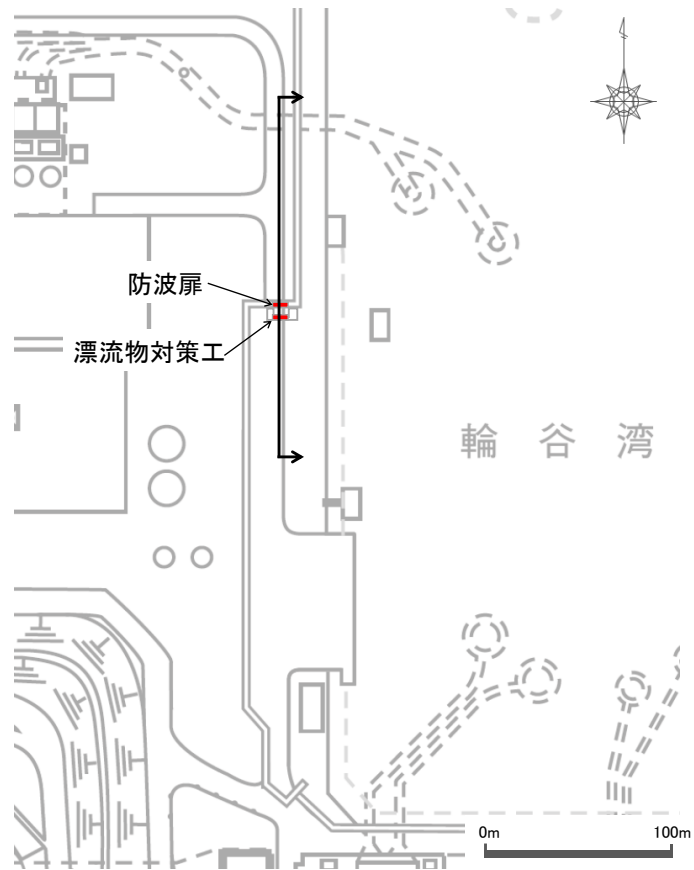


図3-1 防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図

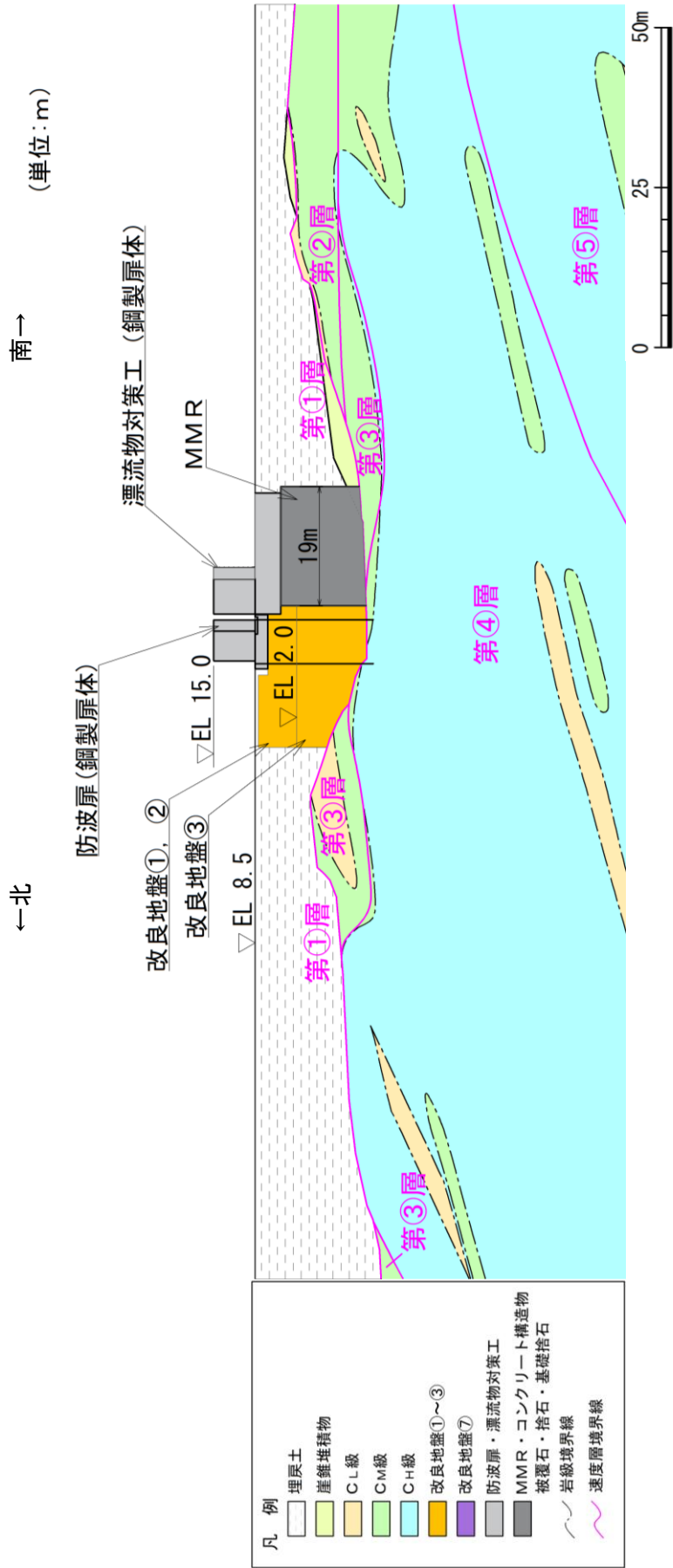


図 3-2 防波扉 (3号機東側) の縦断面図

### 3.3 解析方法

防波壁（3号機東側）の強度評価は、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「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

津波時に発生する応答値は、「3.4 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて、応力算定式又は2次元有限要素法により算定する。なお、衝突荷重は入力津波高さ EL 11.9m に余裕を考慮した EL 12.6m の位置に作用させる。

2次元有限要素法に用いる解析コードは「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.4 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、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」のうち、「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。

#### 3.4.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

##### (1) 常時作用する荷重（G）

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び土圧を考慮する。また、グラウンドアンカの初期緊張力を考慮する。

##### (2) 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

遡上津波荷重については、朝倉式により、防波壁（3号機東側）の設置高さを考慮し、津波の水位と防波扉（3号機東側）の設置高さの差分の1/2倍を浸水深として、浸水深の3倍で作用する水圧として算定する。

##### (3) 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

衝突荷重については、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とすることから、漂流物対策工の強度評価において考慮する。

衝突荷重については、漂流物対策工を構成する部材の構造的特徴を踏まえて、評価が厳しくなるよう設定する。

##### (4) 風荷重（P<sub>k</sub>）

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

(5) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重は、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）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35.0cmとする。

積雪荷重については、「松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）」により、積雪量1cmごとに $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

## 3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-3に、強度評価に用いる荷重作用図を図3-3に示す。なお、漂流物対策工については、漂流物対策工（鋼製扉体）は格子構造であるが、安全側に漂流物対策工（鋼製扉体）の全面に荷重を作用させる。

表3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
津波時（防波扉）	$G + P_t + P_k + P_s$
津波時（漂流物対策工）	$G + P_t + P_c + P_k + P_s$

$G$  : 固定荷重

$P_t$  : 遡上津波荷重

$P_c$  : 衝突荷重

$P_k$  : 風荷重

$P_s$  : 積雪荷重

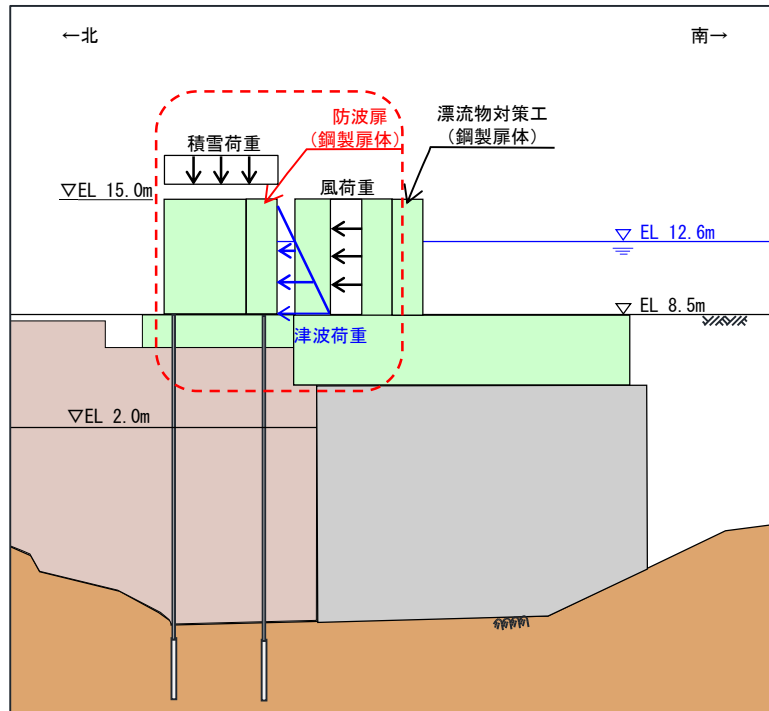


図 3-3(1) 強度評価に用いる荷重作用図 (津波時, 防波扉)

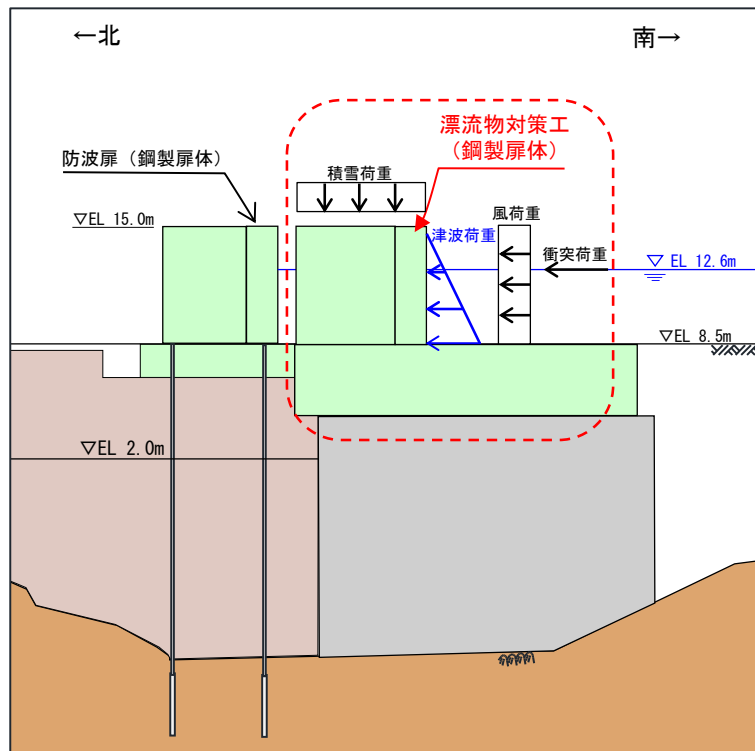


図 3-3(2) 強度評価に用いる荷重の荷重作用図 (津波時, 漂流物対策工)



### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

防波扉（3号機東側）の解析モデルを図3-4に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」を参考に、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。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、津波時の2次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

##### (3) 構造物のモデル化

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）で、漂流物対策工基礎スラブは線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

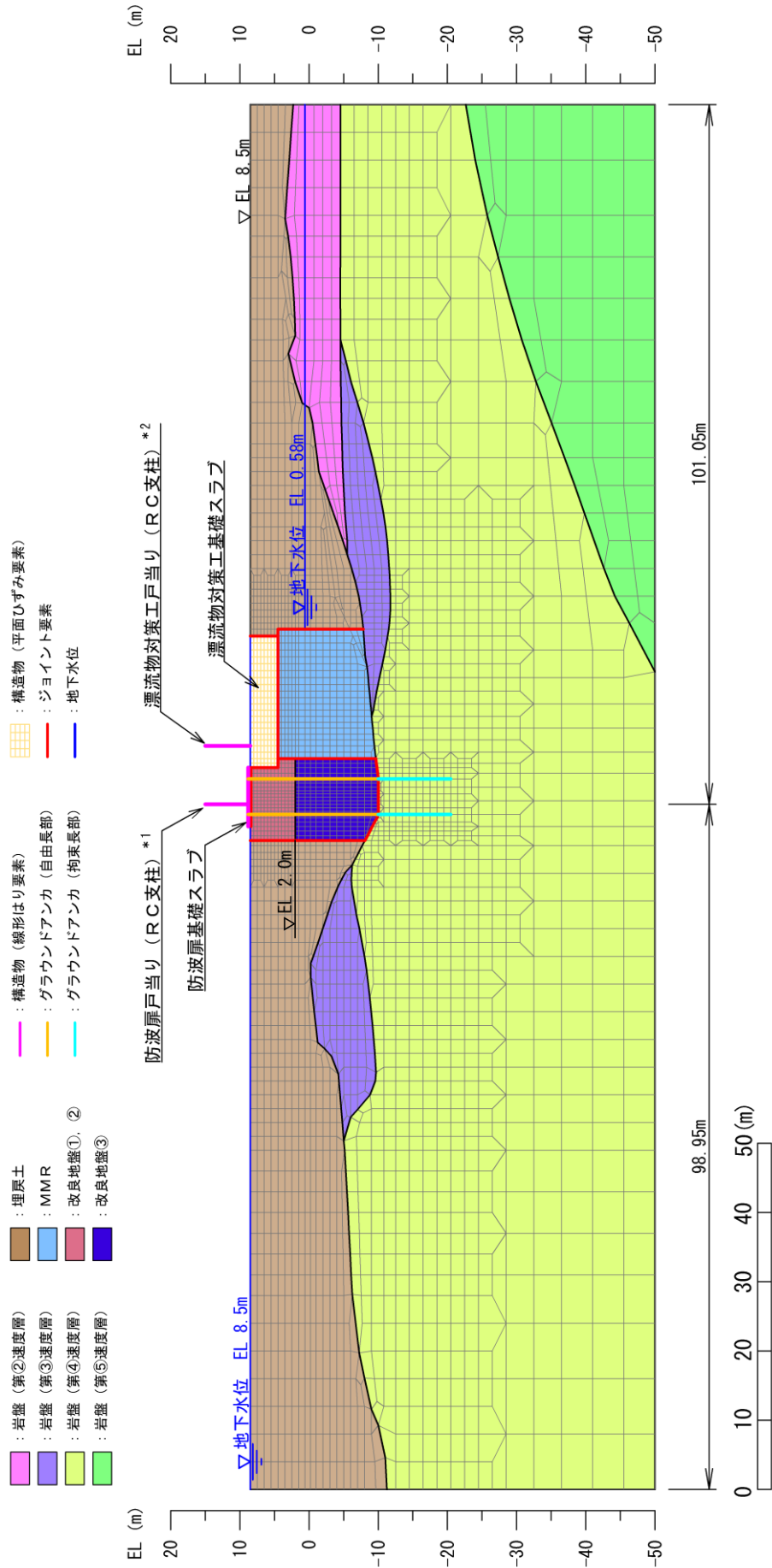
##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」に準拠して、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



注記 \* 1: 線形はり要素の全体の節点において、防波扉 (鋼製扉体) を付加重量として考慮する。  
 \* 2: 線形はり要素の上下端において、漂流物対策工 (鋼製扉体) を付加重量として考慮する。

図 3-4 防波扉 (3号機東側) の解析モデル (評価対象断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に、グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図を図 3-5 に示す。

表 3-4(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
防波扉戸当り (RC 支柱) 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 24N/mm <sup>2</sup>
防波扉 (鋼製扉体)		SM490, SS400, SUS304
グラウンドアンカ		アンカー長 : 27.5m~29.5m 極限引張力 : 2800kN 降伏引張力 : 2400kN

表 3-4(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 40N/mm <sup>2</sup>
漂流物対策工 (鋼製扉体)		SBHS700, SM570

表 3-5(1) 材料の物性値 (防波扉)

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*	$2.5 \times 10^4$ *	0.2*

注記\* : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

( (社) 土木学会, 2002 年制定)

表 3-5(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

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*	$3.1 \times 10^4$ *	0.2*

注記\* : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説

( (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

表 3-5(3) 材料の物性値 (グラウンドアンカ)

引張剛性 $k$ (kN/m)	テンドン降伏引張力 (kN)	設計アンカー力 (kN)	初期変位量 (mm)
14777	2400	1650	112

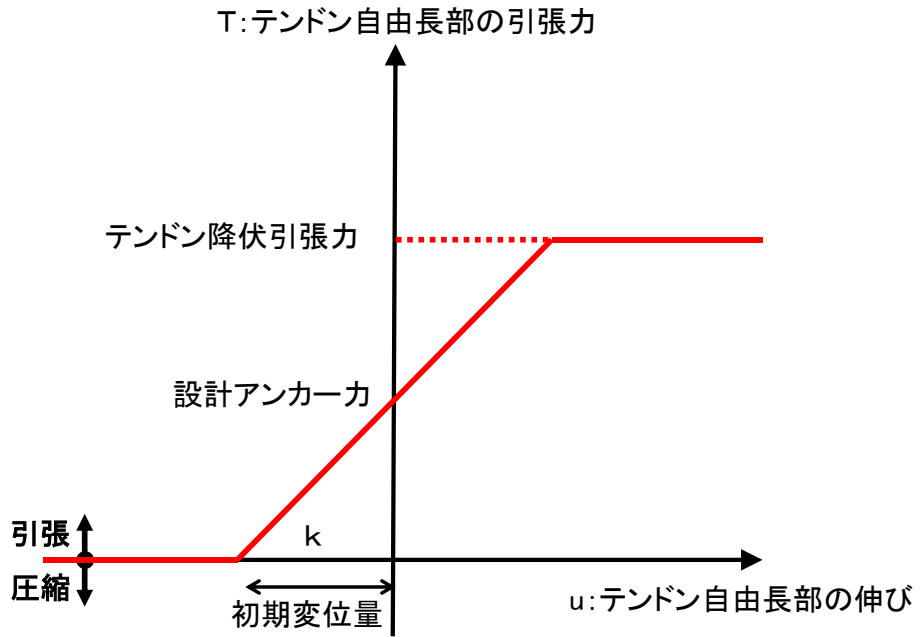


図 3-5 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

### 3.5.3 地盤の物性値

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

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表3-6のとおり設定する。

表 3-6 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	
改良地盤①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

### 3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位を表3-7に示す。

表 3-7 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波扉 (3号機東側)	漂流物対策工より陸側 : EL 8.5m 漂流物対策工より海側 : EL 0.58m

### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（3号機東側）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

#### 3.6.1 施設・地盤の健全性評価

##### (1) 防波扉

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、グラウンドアンカ及び改良地盤①～③とする。

##### (2) 漂流物対策工

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブとする。

#### 3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

##### (1) 防波扉

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉を支持する基礎地盤（改良地盤及び岩盤）とする。

##### (2) 漂流物対策工

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、漂流物対策工を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤及び岩盤）とする。

### 3.7 許容限界

許容限界は、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」に基づき設定する。

#### 3.7.1 防波扉

##### (1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」に基づき、表 3-8 に示す短期許容応力度とする。

表 3-8 防波扉（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
		許容せん断応力度 $\tau_a$	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	120	180
		許容せん断応力度 $\tau_a$	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_a$	150	225
戸当り (底面フランジ)	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
戸当り (コンクリート)	$f_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_a$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_a$	0.40	0.60

## (2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-9に示す短期許容応力度とする。

表3-9 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =24N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

## (3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は，「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」に基づき，許容アンカー力を表3-10のとおり設定する。

表3-10 グラウンドアンカの許容限界

許容アンカー力 T <sub>a</sub> (kN)
2076

## (4) 改良地盤

改良地盤の許容限界は，「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）」を準用し，表3-11に改良地盤の許容限界を示す。

表3-11 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上



(5) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、設定する。基礎地盤の許容限界を表3-12に示す。

表3-12 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度 R <sub>u</sub>	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	
	改良地盤		1.4

### 3.7.2 漂流物対策工

#### (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」に基づき，表 3-13 に示す短期許容応力度とする。

表 3-13 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
	SM570	許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
		許容せん断応力度 $\tau_a$	202 <sup>*1</sup>	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	204 <sup>*1, *2</sup>	306
		許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	225 <sup>*1</sup>	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 $\sigma_{ba}$	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*</sup>	525
戸当り （コンクリート）	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

注記\*1：「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）」に基づき，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

\*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「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）」及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，横倒れ座屈を考慮する。

## (2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-14に示す短期許容応力度とする。

表3-14 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =40N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	14.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は，「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

## (3) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，設定する。基礎地盤の許容限界を表3-15に示す。

表3-15 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度 $R_u$	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度 $f'_a$	MMR		18.0

### 3.8 評価方法

防波扉（3号機東側）の耐震評価のうち、防波扉（鋼製扉体）、漂流物対策工（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）については、構成する各部材に発生する発生応力度又は作用荷重を算定式より算出し、「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

また、グラウンドアンカ、防波扉基礎スラブ、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ、改良地盤及び基礎地盤は、2次元有限要素法より算定した発生応力度又は発生断面力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。2次元有限要素法における応力算定には、解析コード「RC断面計算」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.8.1 防波扉

#### (1) 防波扉（鋼製扉体）

##### a. スキンプレート

スキンプレートは，4辺が固定された平板としてモデル化し，津波荷重が作用することでスキンプレートに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの評価イメージ図を図3-6に示す。

$$\sigma = \frac{1}{100} \cdot k \cdot a^2 \cdot \frac{P \times 10^{-3}}{t^2}$$

ここで，

$\sigma$  : スキンプレートに生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : スキンプレートの辺長比(b/a)による係数

$a$  : スキンプレートの短辺 (mm)

$b$  : スキンプレートの長辺 (mm)

$P$  : スキンプレートに作用する津波時荷重

(遡上津波荷重+風荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

$t$  : スキンプレートの板厚 (mm)

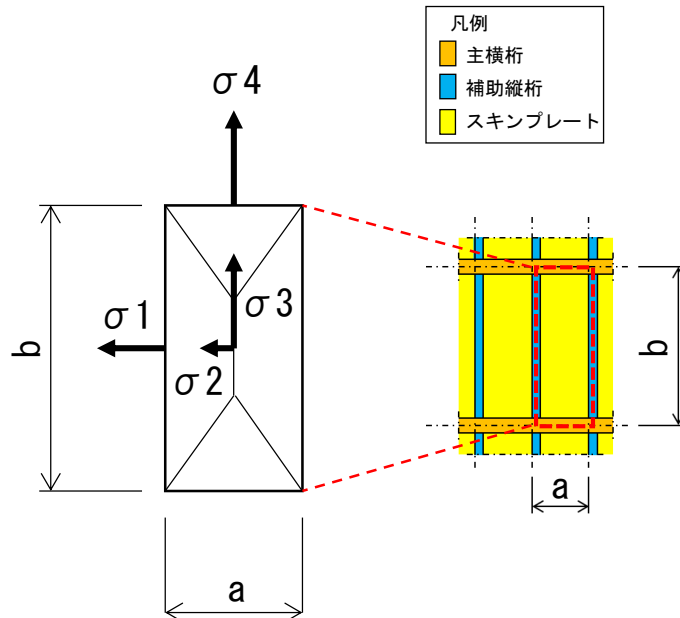


図3-6 スキンプレートの評価イメージ図

b. 主横桁

主横桁は、戸当りとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の評価対象部を図 3-7 に、主横桁の評価イメージ図を図 3-8 に示す。

$$M = \frac{W \cdot B}{8} (2L - B)$$

$$S = \frac{W \cdot B}{2}$$

$$N = W \cdot D$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10}{Z} + \frac{N \cdot 10^3}{A_g}$$

$$\tau = \frac{S \times 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

N : 主横桁に生じる軸力 (kN)

$\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 主横桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重) (kN/m)

B : 主横桁の水密幅 (m)

L : 主横桁の支間長 (m)

D : 側部水密幅 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A_g$  : 主横桁の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

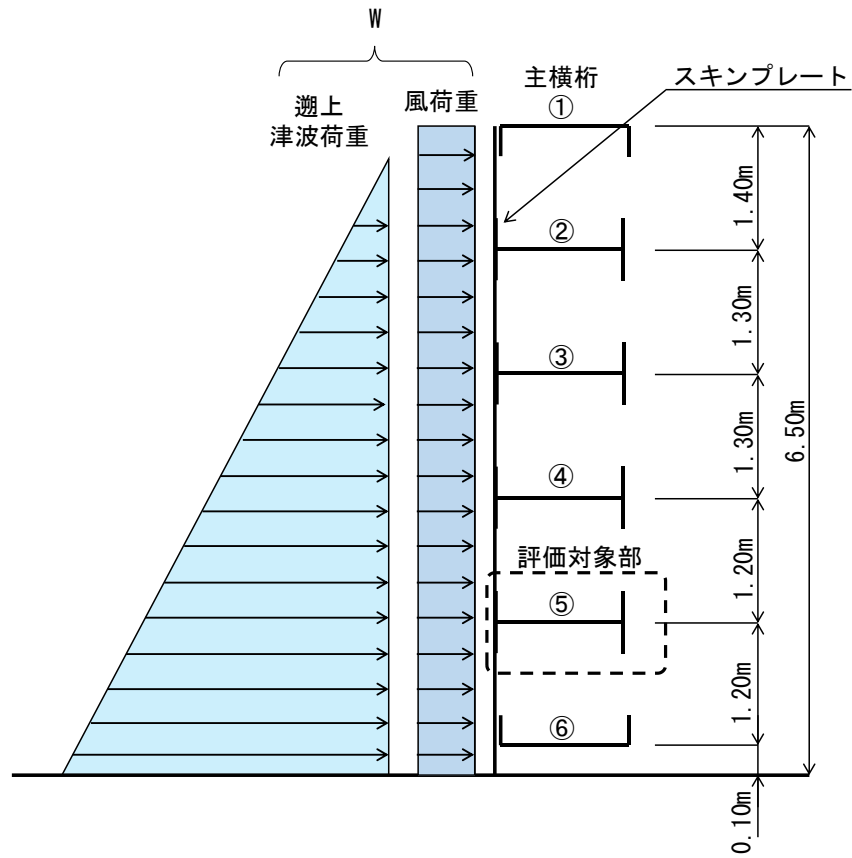


図 3-7 主横桁の評価対象部

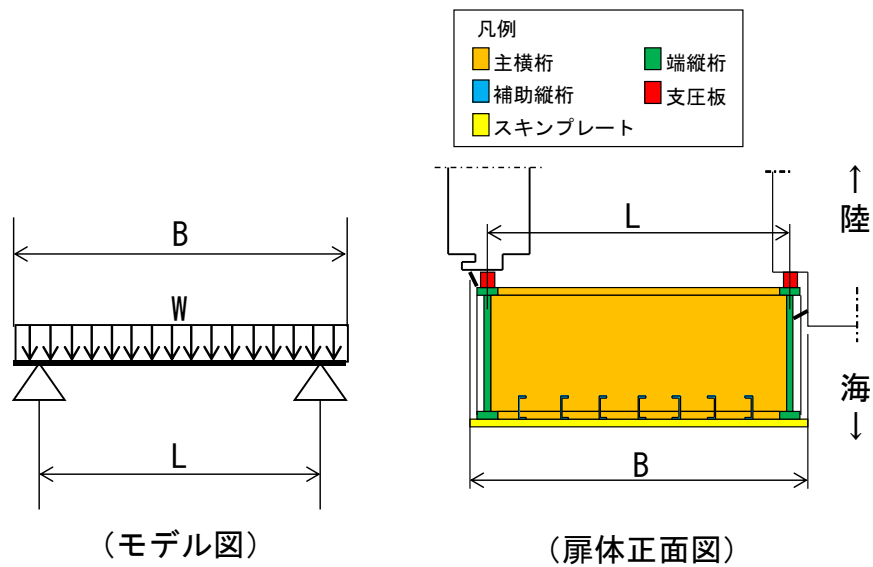


図 3-8 主横桁の評価イメージ図

## c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 3-9 に示す。

$$M = \frac{P \cdot a}{24} (3b^2 - a^2)$$

$$S = \frac{P \cdot a}{2} \left(b - \frac{a}{2}\right)$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

P : 補助縦桁に作用する津波時荷重 (遡上津波荷重 + 風荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

a : 補助縦桁間隔 (m)

b : 主横桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 補助縦桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

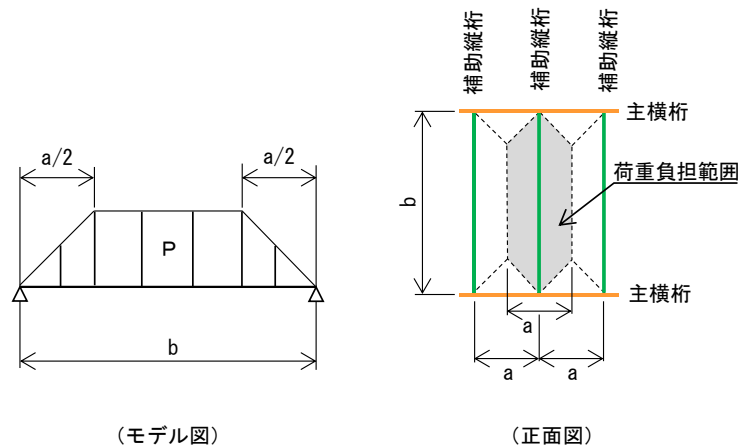


図 3-9 補助縦桁の評価イメージ図



d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 3-10 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = 2b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

$\sigma_c$  : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

R : 主横桁に生じる支点反力 (kN)

$A_q$  : 補剛材の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 端縦桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s1}$  : 主横桁腹板の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s2}$  : スチフナの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : 端縦桁腹板の幅 (mm)

$t_w$  : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s1}$  : 主横桁腹板の幅 (mm)

$t_{s1}$  : 主横桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s2}$  : スチフナの幅 (mm)

$t_{s2}$  : スチフナの厚さ (mm)

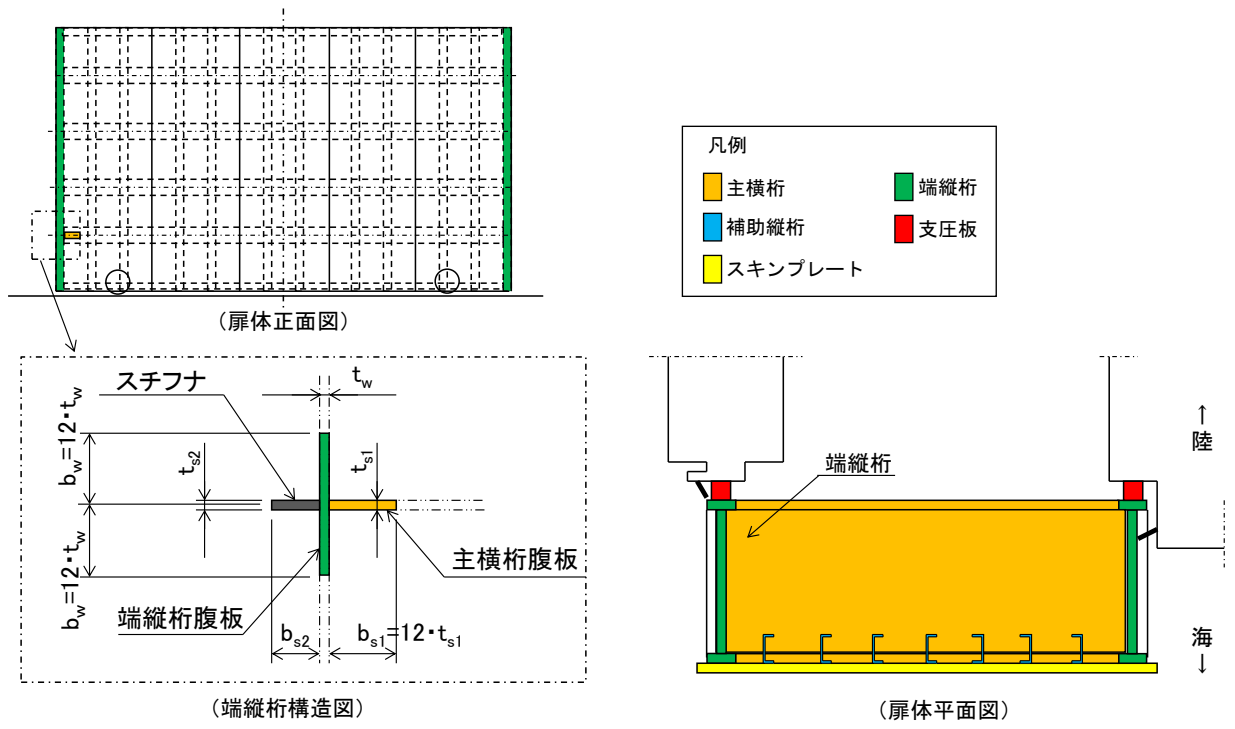


図 3-10 端縦桁の評価イメージ図

## e. 支圧板

支圧板は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで支圧板に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の評価イメージ図を図 3-11 に示す。

$$\sigma_p = \frac{P \cdot 10^{-3} \cdot B}{2 \cdot b}$$

ここで、

$\sigma_p$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 支圧板に作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

$b$  : 支圧板の有効幅 (mm)

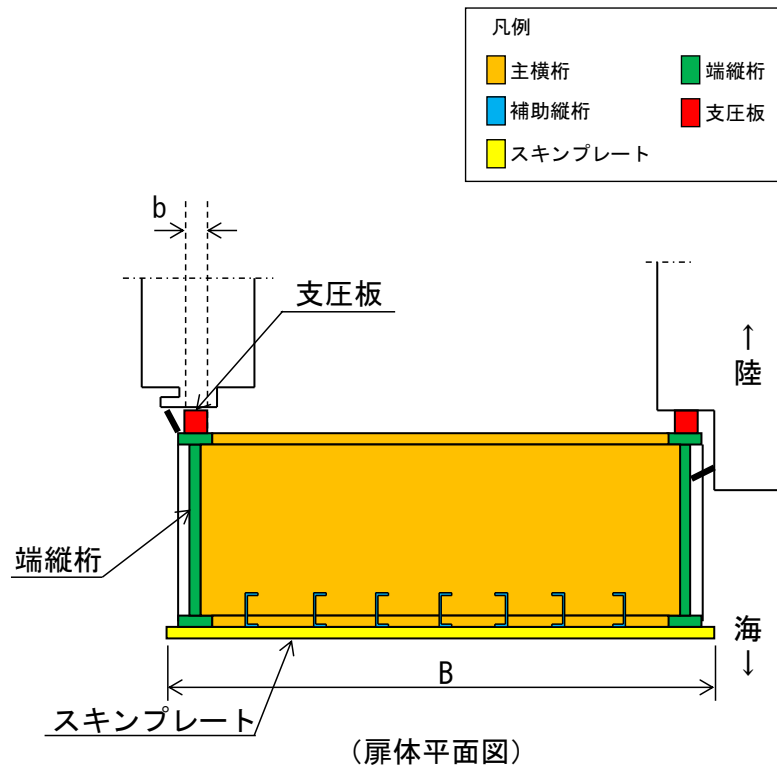


図 3-11 支圧板の評価イメージ図

f. 戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）

戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）は、防波扉（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで戸当り（底面フランジ）及び戸当り（コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの評価イメージ図を図 3-12 に示す。

(a) 戸当り（底面フランジ）

$$\sigma = \frac{6 \cdot \sigma_p \cdot b_f^2}{8 \cdot t_f^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 戸当り（底面フランジ）に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_p$  : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_f$  : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)

$t_f$  : 戸当り（底面フランジ）の厚さ (mm)

(b) 戸当り（コンクリート）

$$\sigma_p = \frac{P \cdot B \cdot 10^{-3}}{2 \cdot b_f}$$

$$\tau = \frac{\sigma_p \cdot b_f}{h + 2 \cdot L}$$

ここで、

$\sigma_p$  : 戸当り（コンクリート）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 戸当り（コンクリート）に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 防波扉（鋼製扉体）最下部に作用する津波時荷重  
(遡上津波荷重+風荷重) (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  : 防波扉（鋼製扉体）の水密幅 (mm)

$b_f$  : 戸当り（底面フランジ）の幅 (mm)

$h$  : 戸当りの埋込深さ (mm)

$L$  : 戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ (mm)

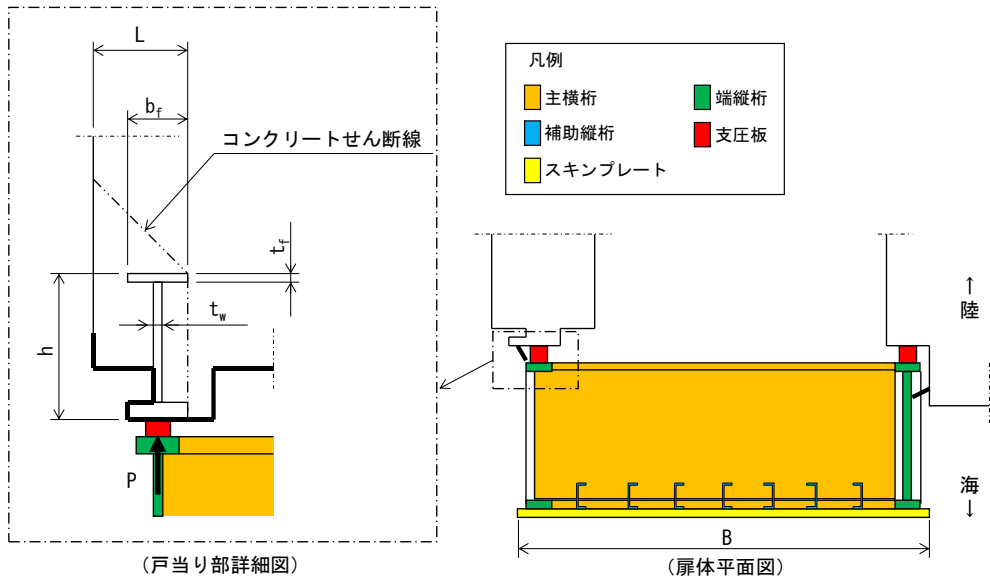


図 3-12 戸当りの評価イメージ図

## (2) 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

## (3) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、グラウンドアンカによる支圧照査として、発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{T}{S}$$

ここで、

$\sigma_b$  : グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

T : 発生アンカー力 (N)

S : 支圧板の面積 (mm<sup>2</sup>)

## (4) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの強度評価は、算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

## (5) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり面のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を求め、最小すべり安全率を算定する。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## (6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、改良地盤及び岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

## 3.8.2 漂流物対策工

## (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

## a. 主横桁

主横桁は、戸当りとの接触位置をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで主横桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

主横桁に作用する衝突荷重は、「施設の延長に応じた衝突荷重」及び「船首衝突による衝突荷重」を考慮する。

主横桁の評価対象部を図3-13に、主横桁の評価イメージ図を図3-14に示す。

## (a) 施設の延長に応じた衝突荷重を考慮する場合

$$M = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1^2 \left( \frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 主横桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

P : 主横桁に作用する衝突荷重 (kN/m)

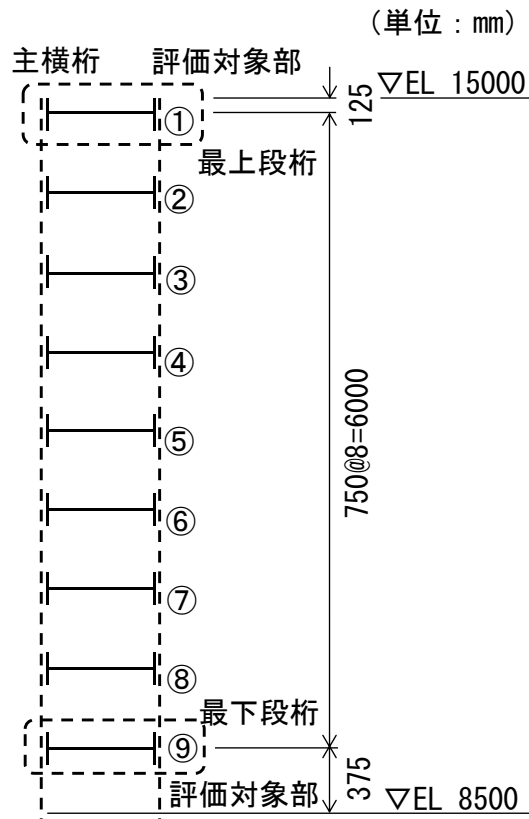
a : 主横桁の張出長さ (m)

L<sub>1</sub> : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

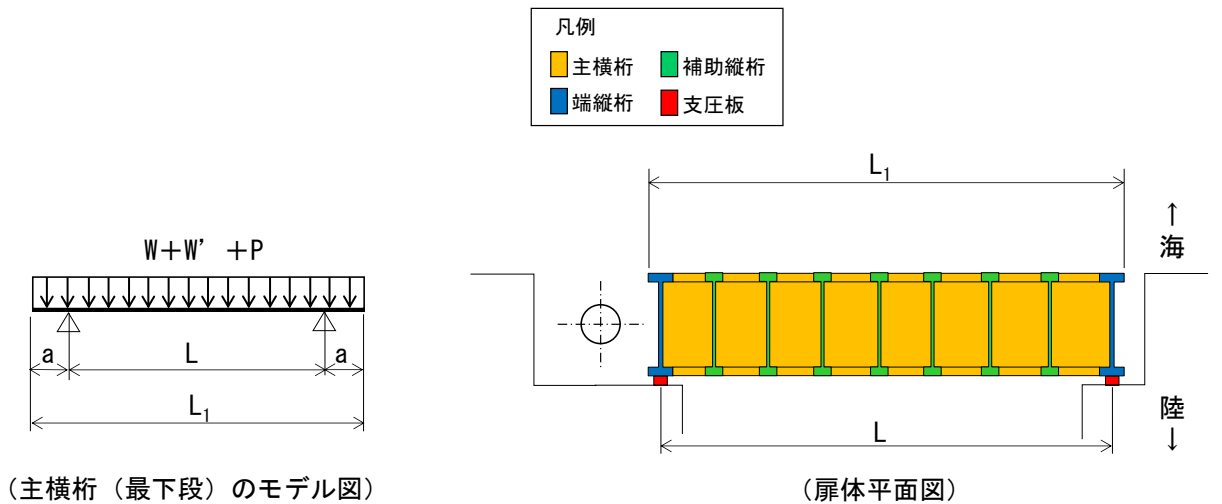
A<sub>w</sub> : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

L : 主横桁の支間長 (m)



(扉体側面図)

図 3-13 主横桁の評価対象部



(主横桁 (最下段) のモデル図)

(扉体平面図)

図 3-14(1) 主横桁の評価イメージ図



(b) 船首衝突による衝突荷重を考慮する場合

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left( \frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{8}P' \{L^2 - (L - b)^2\}$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W')L_1 + \frac{1}{2}P' b$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 主横桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 主横桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 主横桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 主横桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 主横桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 主横桁に作用する風荷重 (kN/m)

P' : 船首衝突による衝突荷重 (kN/m)

L<sub>1</sub> : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (m)

L : 主横桁の支間長 (m)

a : 主横桁の張出長さ (m)

b : 船首衝突作用幅 (m)

Z : 主横桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 主横桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

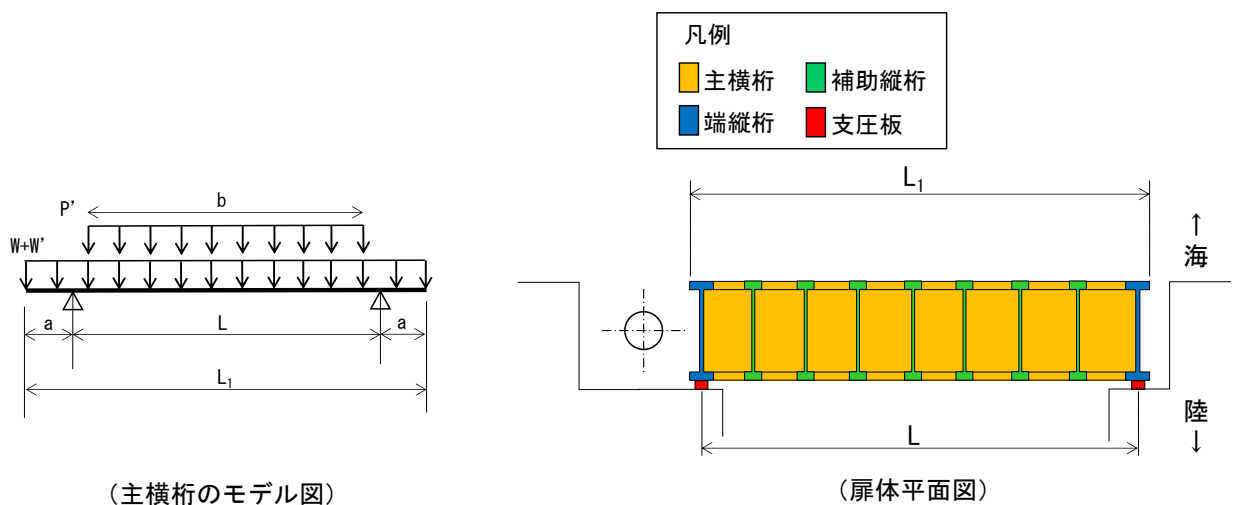


図 3-14(2) 主横桁の評価イメージ図

## b. 張出桁

張出桁は、片持ちはりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで張出桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、張出桁に作用する衝突荷重は、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

張出桁の評価イメージ図を図 3-15 に示す。

$$M = \frac{1}{2}(W + W')L^2 + PL$$

$$S = (W + W')L + P$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 張出桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 張出桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 張出桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 張出桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 張出桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 張出桁に作用する風荷重 (kN/m)

P : 張出桁に作用する衝突荷重 (kN/m)

L : 張出長さ (m)

Z : 張出桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 張出桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

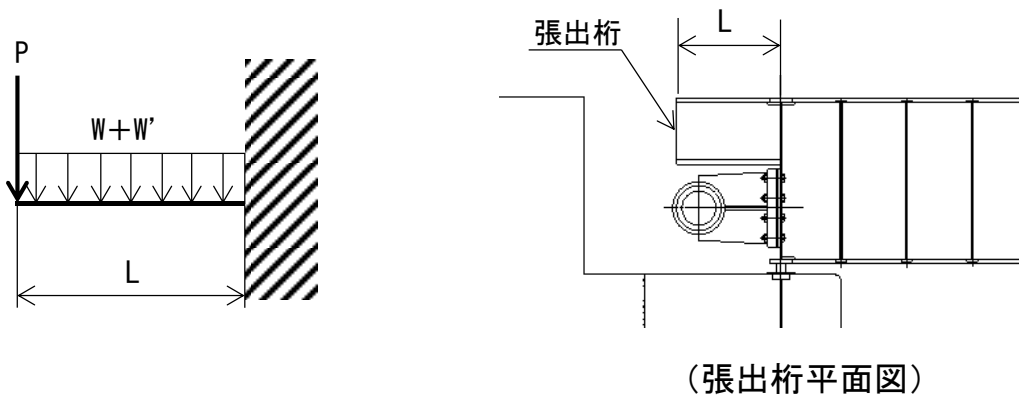


図 3-15 張出桁の評価イメージ図

c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁をピン固定とする単純はりでモデル化し、津波荷重として等分布荷重が作用することで補助縦桁に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、補助縦桁に作用する衝突荷重は、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

補助縦桁の評価イメージ図を図 3-16 に示す。

$$M = \frac{1}{8}(W + W')l^2 + \frac{1}{4}P \cdot l$$

$$S = \frac{1}{2}(W + W') l + P$$

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z}$$

$$\tau = \frac{S \cdot 10^3}{A_w}$$

ここで、

M : 補助縦桁に生じる曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁に生じるせん断力 (kN)

$\sigma$  : 補助縦桁に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 補助縦桁に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

W : 補助縦桁に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

W' : 補助縦桁に作用する風荷重 (kN/m)

P : 補助縦桁に作用する衝突荷重 (kN)

l : 主横桁の間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

A<sub>w</sub> : 補助縦桁腹板の断面積 (mm<sup>2</sup>)

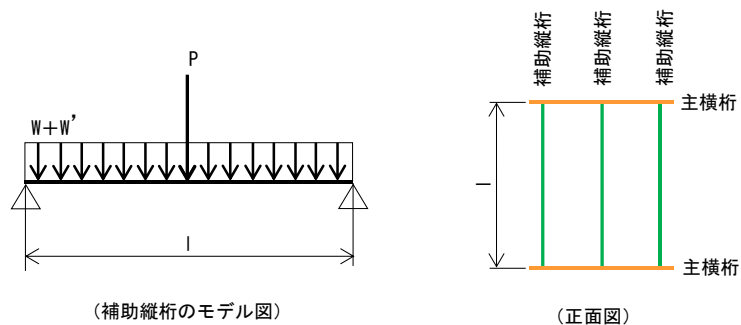


図 3-16 補助縦桁の評価イメージ図

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁からの荷重伝達を考慮し、端縦桁と主横桁の接合部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の評価イメージ図を図 3-17 に示す。

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{ただし, } A_q \leq 1.7(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

ここで、

$\sigma_c$  : 端縦桁に生じる圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

R : 端縦桁に生じる支点反力 (kN)

$A_q$  : 補剛材の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 端縦桁腹板の有効総断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s1}$  : 主横桁腹板の有効総断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_{s2}$  : スチフナの有効総断面積 (mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : 端縦桁腹板の長さ (mm)

$t_w$  : 端縦桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s1}$  : 主横桁腹板の長さ (mm)

$t_{s1}$  : 主横桁腹板の厚さ (mm)

$b_{s2}$  : スチフナの長さ (mm)

$t_{s2}$  : スチフナの厚さ (mm)

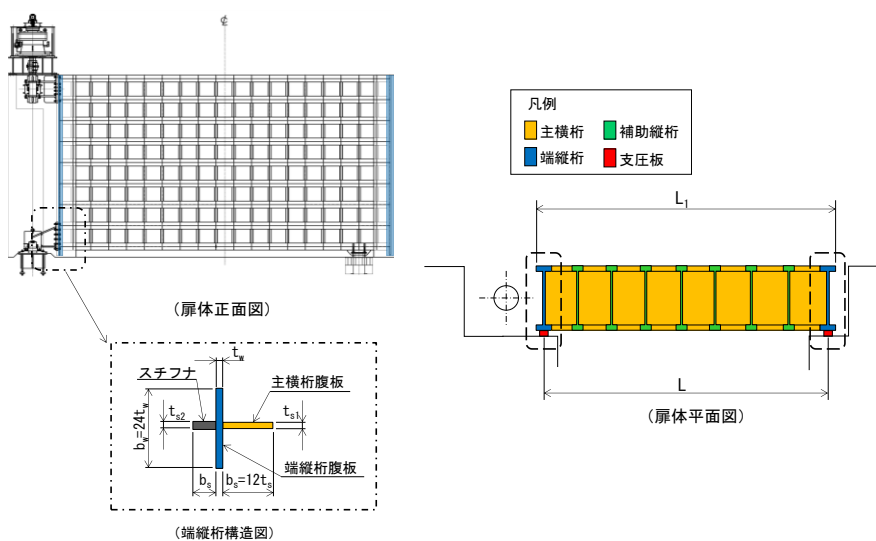


図 3-17 端縦桁の評価イメージ図

e. 支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）は，漂流物対策工（鋼製扉体）から伝達される津波荷重が作用することで支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，衝突荷重は，「施設の延長に応じた衝突荷重」を考慮する。

支圧板及び戸当り（腹板，底面フランジ，コンクリート）の評価イメージ図を図 3-18 に示す。

(a) 支圧板

$$\sigma_p = \frac{WL_1}{2CL_2} + \frac{PL_1}{2CL_4}$$

ここで，

$\sigma_p$  : 支圧板に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  : 戸当りに作用する津波荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m)

$L_1$  : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

$C$  : 支圧板の有効幅 (mm)

$L_2$  : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

$P$  : 戸当りに作用する衝突荷重 (kN/m)

$L_4$  : 衝突荷重分担長さ（鉛直方向に 45°分散） (mm)

(b) 戸当り（腹板）

$$\sigma_b = \frac{WL_1}{2t_w L_2} + \frac{PL_1}{2t_w L_4}$$

ここで，

$\sigma_b$  : 戸当り（腹板）に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  : 戸当りに作用する津波荷重（遡上津波荷重＋風荷重） (kN/m)

$L_1$  : 漂流物対策工（鋼製扉体）の幅 (mm)

$t_w$  : 戸当り（腹板）の厚さ (mm)

$L_2$  : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

$P$  : 戸当りに作用する衝突荷重 (kN/m)

$L_4$  : 衝突荷重分担長さ（鉛直方向に 45°分散） (mm)

(c) 戸当り (底面フランジ)

$$M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2}$$

ここで,

$M_f$  : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げモーメント (N・mm/mm)

$\sigma_f$  : 戸当り (底面フランジ) に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cb}$  : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_f$  : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

$t_f$  : 戸当り (底面フランジ) の厚さ (mm)

(d) 戸当り (コンクリート)

$$\sigma_{cb} = \frac{WL_1}{2b_f l_2} + \frac{PL_1}{2b_f l_4}$$

$$\tau_c = \frac{WL_1}{2 \Sigma l L_2} + \frac{PL_1}{2 \Sigma l L_4}$$

ここで,

$\sigma_{cb}$  : 戸当り (コンクリート) に生じる支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$W$  : 戸当り (コンクリート) に作用する津波荷重

(遡上津波荷重+風荷重) (kN/m)

$L_1$  : 漂流物対策工 (鋼製扉体) の幅 (mm)

$b_f$  : 戸当り (底面フランジ) の幅 (mm)

$L_2$  : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

$P$  : 戸当り (コンクリート) に作用する衝突荷重 (kN/m)

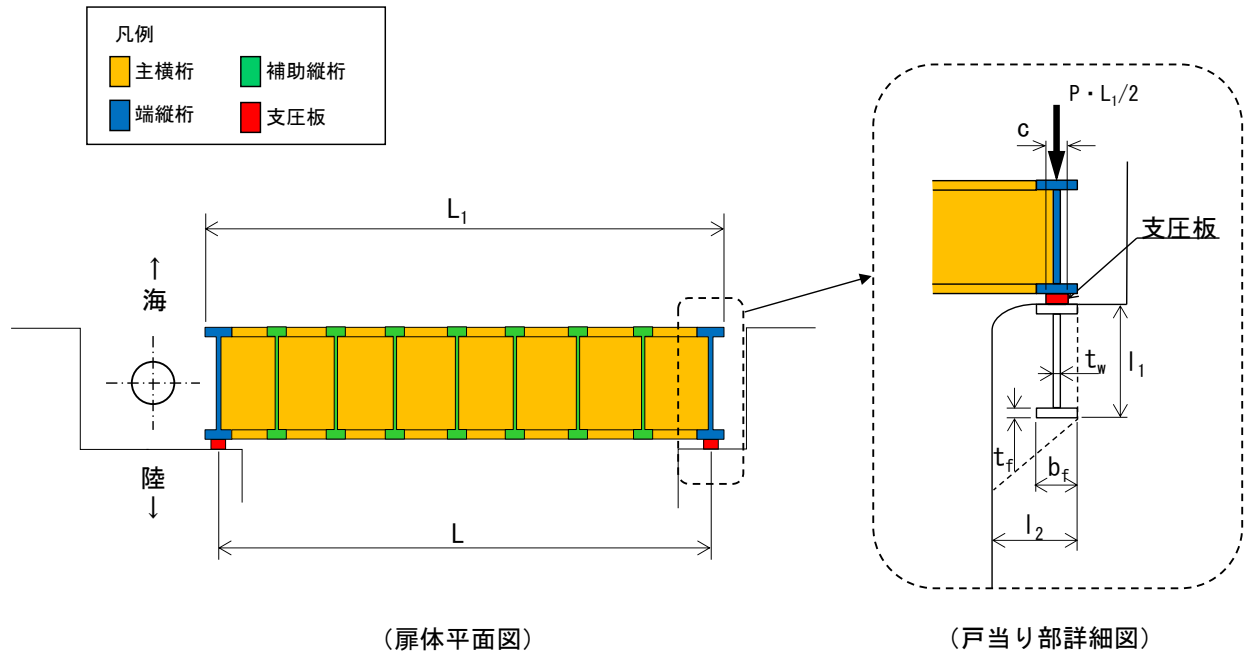
$L_4$  : 衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45°分散) (mm)

$\tau_c$  : 戸当り (コンクリート) に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\Sigma l$  : せん断抵抗長さ (=  $l_1 + 2l_2$ ) (mm)

$l_1$  : 戸当りの埋込深さ (mm)

$l_2$  : 戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ (mm)



(扉体平面図)

(戸当り部詳細図)

図 3-18 戸当りの評価イメージ図

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）

漂流物対策工戸当り（RC支柱）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、MMR, 改良地盤及び岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。



#### 4. 評価条件

「3. 強度評価」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1(1) 防波扉の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
スキンプレート	P	スキンプレートに作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）	56.850	kN/m <sup>2</sup>
	a	スキンプレートの短辺	747	mm
	b	スキンプレートの長辺	1200	mm
	k	スキンプレートの辺長比（b/a）による係数	46.8	-
	t	スキンプレートの板厚	12	mm
主横桁	W	主横桁に作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）	60.948	kN/m
	B	主横桁の水密幅	11.600	m
	L	主横桁の支間長	11.200	m
	M	主横桁に生じる曲げモーメント	954.446	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	353.498	kN
	N	主横桁に生じる軸力	109.706	kN
	Z	主横桁の断面係数	10767582	mm <sup>3</sup>
	D	側部水密幅	1.800	m
	A <sub>w</sub>	主横桁腹板の断面積	14382	mm <sup>2</sup>
	A <sub>g</sub>	主横桁の断面積	23012	mm <sup>2</sup>
補助縦桁	P	補助縦桁に作用する津波時荷重（遡上津波荷重+風荷重）	56.850	kN/m <sup>2</sup>
	a	補助縦桁間隔	0.747	m
	b	主横桁間隔	1.200	m
	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	6.657	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	17.549	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	114034	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	補助縦桁腹板の断面積	611	mm <sup>2</sup>

表 4-1(2) 防波扉の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
端縦桁	R	主横桁に生じる支点反力	353.498	kN
	A <sub>q</sub>	補剛材の有効総断面積	2938	mm <sup>2</sup>
支圧板	P	支圧板に作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重）	63.920	kN/m <sup>2</sup>
	B	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	11600	mm
	b	支圧板の有効幅	100	mm
戸当り	P	防波扉（鋼製扉体）最下部に作用する津波時荷重（遡上津波荷重＋風荷重）	63.920	kN/m <sup>2</sup>
	B	防波扉（鋼製扉体）の水密幅	11600	mm
	b <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の幅	200	mm
	t <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の厚さ	22	mm
	h	戸当りの埋込深さ	510	mm
	L	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ	400	mm

表 4-2(1) 漂流物対策工の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M	主横桁に生じる曲げモーメント	8338.1	kN・m
	S	主横桁に生じるせん断力	3005.7	kN
	P	主横桁に作用する衝突荷重	491	kN/m
	P'	船首衝突による衝突荷重	520	kN/m
	W	主横桁に作用する遡上津波荷重	49.214	kN/m
	W'	主横桁に作用する風荷重	1.354	kN/m
	L	主横桁の支間長	11.1	m
	a	主横桁の張出長さ	0.1	m
	L <sub>1</sub>	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅	11.3	m
	b	船首衝突作用幅	6.0	m
	Z	主横桁の断面係数	23979000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	主横桁腹板の断面積	26300	mm <sup>2</sup>
張出桁	M	張出桁に生じる曲げモーメント	1451.5	kN・m
	S	張出桁に生じるせん断力	1219.2	kN
	P	張出桁に作用する衝突荷重	1200	kN
	W	張出桁に作用する遡上津波荷重	15.529	kN/m
	W'	張出桁に作用する風荷重	0.451	kN/m
	L	張出長さ	1.2	m
	Z	張出桁の断面係数	10829000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	張出桁腹板の断面積	26370	mm <sup>2</sup>
補助縦桁	M	補助縦桁に生じる曲げモーメント	225.4	kN・m
	S	補助縦桁に生じるせん断力	1202.4	kN
	P	補助縦桁に作用する衝突荷重	1200	kN
	W	補助縦桁に作用する遡上津波荷重	6.212	kN/m
	W'	補助縦桁に作用する風荷重	0.181	kN/m
	l	主横桁の間隔	0.75	m
	Z	補助縦桁の断面係数	10540000	mm <sup>3</sup>
	A <sub>w</sub>	補助縦桁腹板の断面積	26300	mm <sup>2</sup>
端縦桁	R	端縦桁に生じる支点反力	3005.7	kN
	A <sub>q</sub>	補剛材の有効断面積	10747	mm <sup>2</sup>

表 4-2(2) 漂流物対策工の強度評価に用いる条件

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り	W	戸当りに作用する津波時荷重（遡上津波荷重 + 風荷重）	50.568	kN/m
	P	戸当りに作用する衝突荷重	491	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L <sub>1</sub>	漂流物対策工（鋼製扉体）の幅	11300	mm
	L <sub>2</sub>	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	L <sub>4</sub>	衝突荷重分担長さ（鉛直方向に 45° 分散）	2175	mm
	t <sub>w</sub>	戸当り（腹板）の厚さ	14	mm
	b <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の幅	750	mm
	t <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）の厚さ	50	mm
	l <sub>1</sub>	戸当りの埋込深さ	1350	mm
	l <sub>2</sub>	戸当りのコンクリート側面からの埋込深さ	925	mm
	M <sub>f</sub>	戸当り（底面フランジ）に生じる曲げモーメント	154700	N・m/mm
Σl	せん断抵抗長さ（= l <sub>1</sub> + 2l <sub>2</sub> ）	3200	mm	

## 5. 評価結果

### 5.1 防波扉

#### 5.1.1 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の耐震評価結果を表 5-1 に示す。防波扉（鋼製扉体）の各部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 防波扉（鋼製扉体）の主部材の照査結果

部材		発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
スキンプレート	曲げ応力度	103.1	240	0.43
主横桁	曲げ応力度	94.7	240	0.40
	せん断応力度	24.6	135	0.19
補助縦桁	曲げ応力度	58.4	180	0.33
	せん断応力度	28.7	105	0.28
端縦桁	圧縮応力度	120	240	0.50
支圧板	支圧応力度	3.7	225	0.02
戸当り (底面フランジ)	曲げ応力度	114.9	240	0.48
戸当り (コンクリート)	支圧応力度	1.85	8.8	0.22
	せん断応力度	0.28	0.60	0.47

### 5.1.2 防波扉戸当り（RC支柱）

#### (1) 曲げ照査

防波扉戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図を図 5-1 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-2 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-3 に示す。

この結果から、防波扉戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

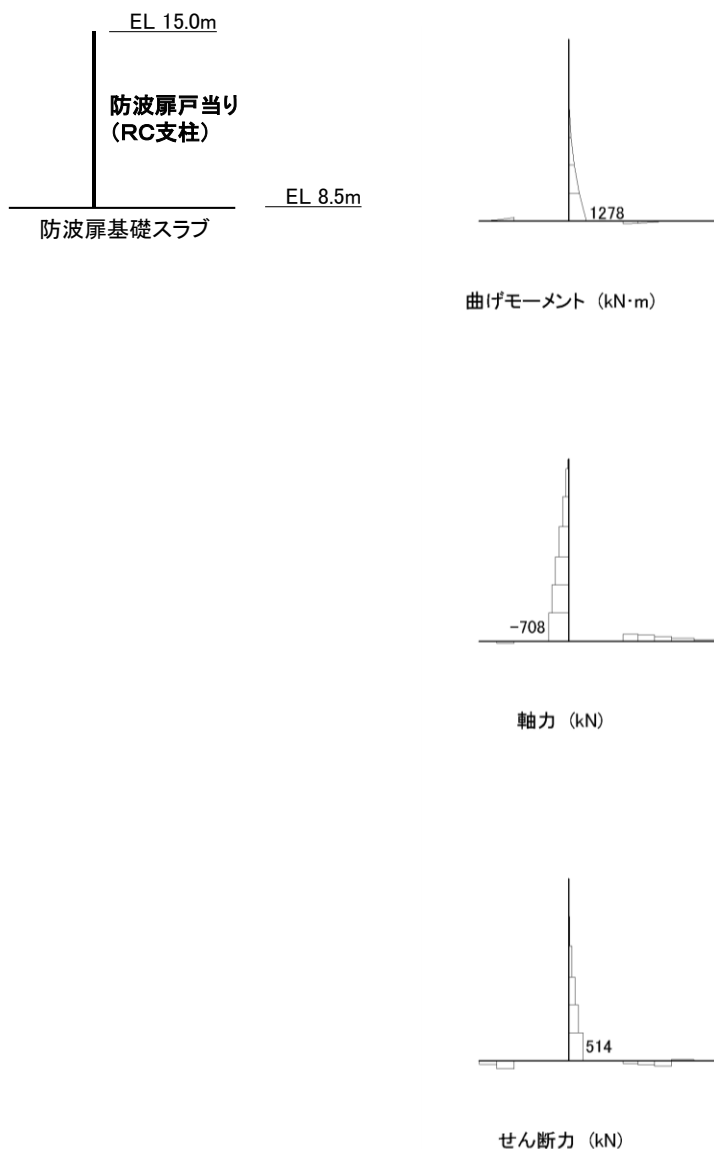


図 5-1 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図

表 5-2 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
1278	708	0.8	13.5	0.06

表 5-3 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
1278	708	12	294	0.04

(2) せん断照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図を図5-2に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表5-4に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。



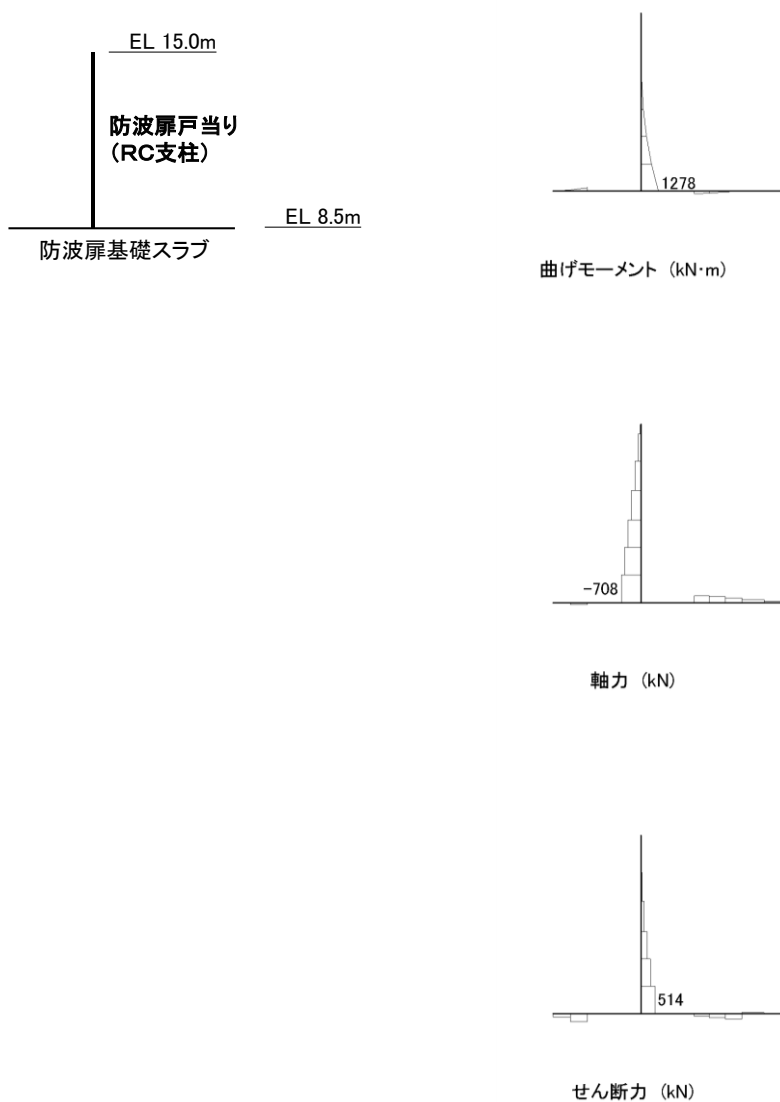


図 5-2 コンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図

表 5-4 コンクリートのせん断破壊に対する照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{al}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{al}$
せん断力 Q (kN)			
514	0.16	0.67	0.24

### 5.1.3 防波扉基礎スラブ

#### (1) 曲げ照査

防波扉基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する断面力図を図5-3及び図5-4に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表5-5に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表5-6に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

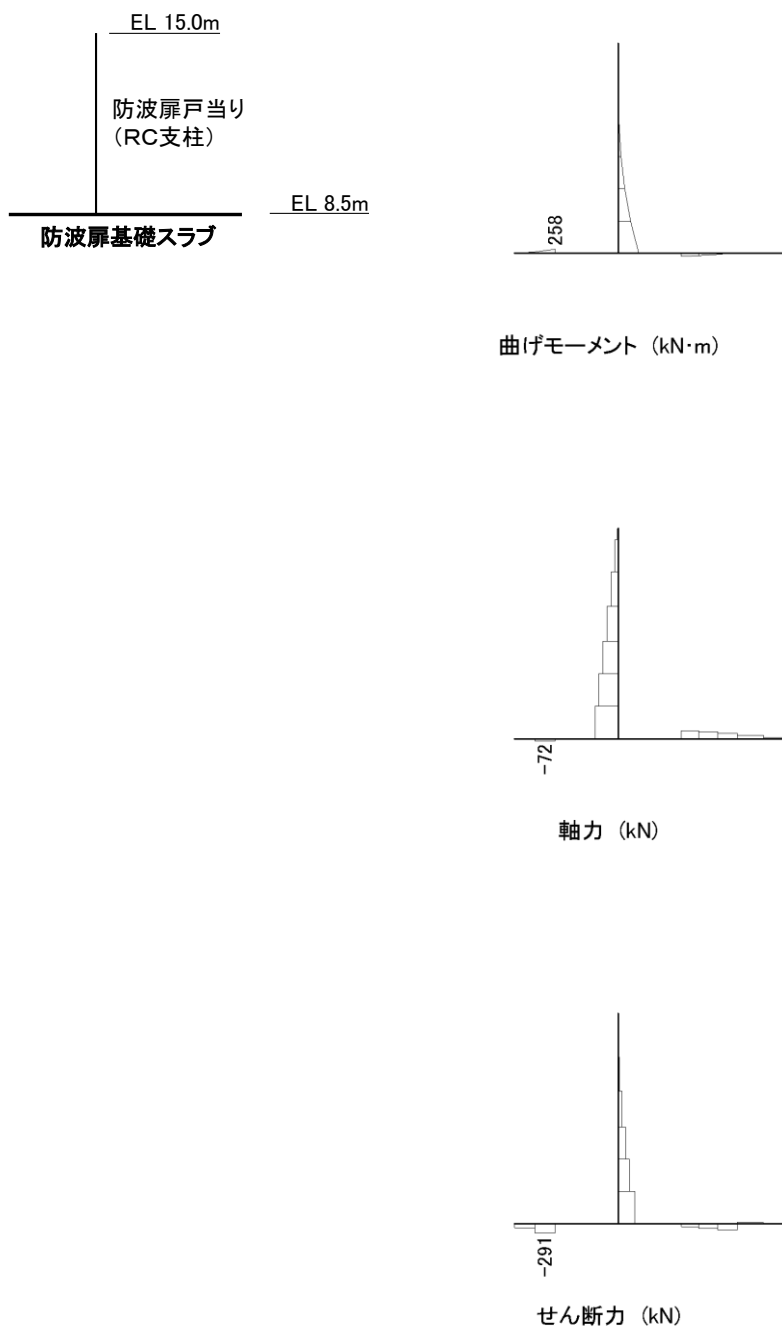


図 5-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図

表 5-5 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN·m)	軸力 N (kN)			
258	72	0.7	13.5	0.05

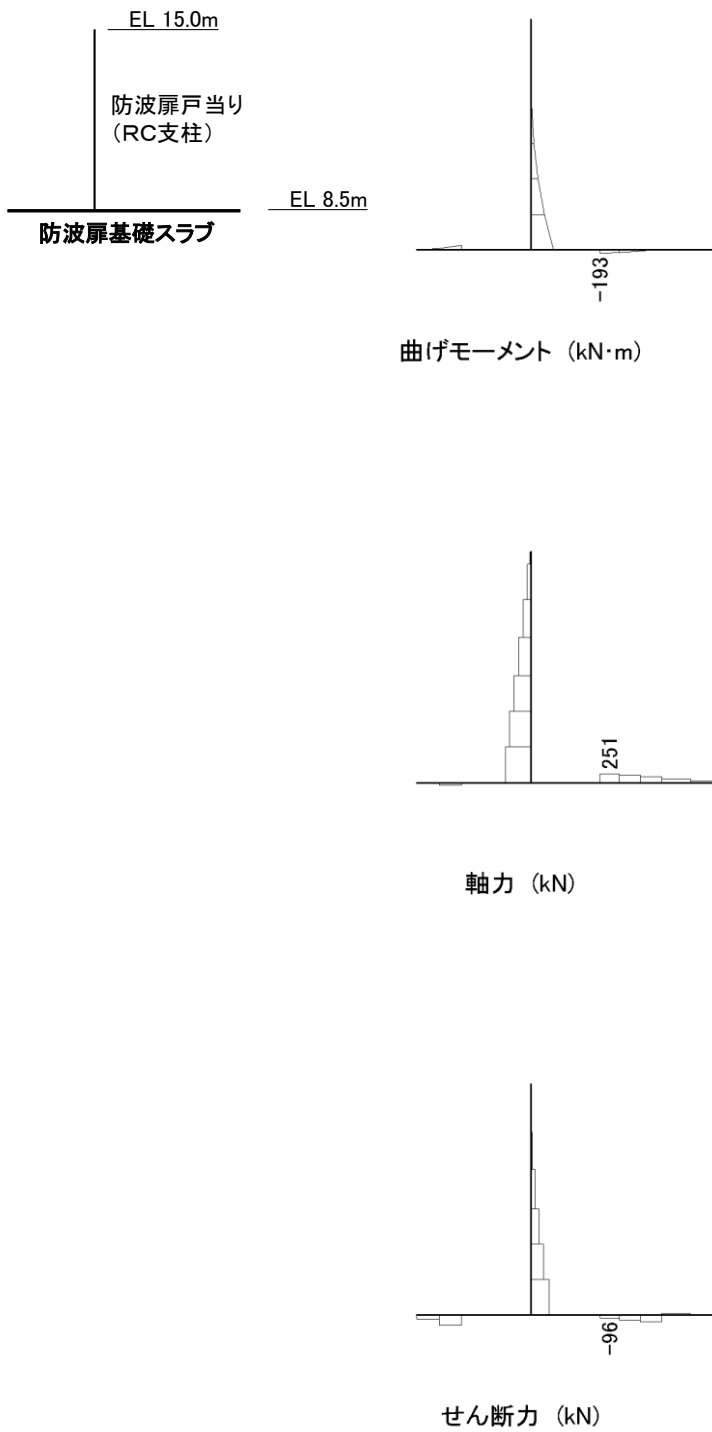


図 5-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図

表 5-6 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
193	251	58	294	0.20

(2) せん断照査

防波扉基礎スラブのコンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図を図 5-5 に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表 5-7 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブのコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

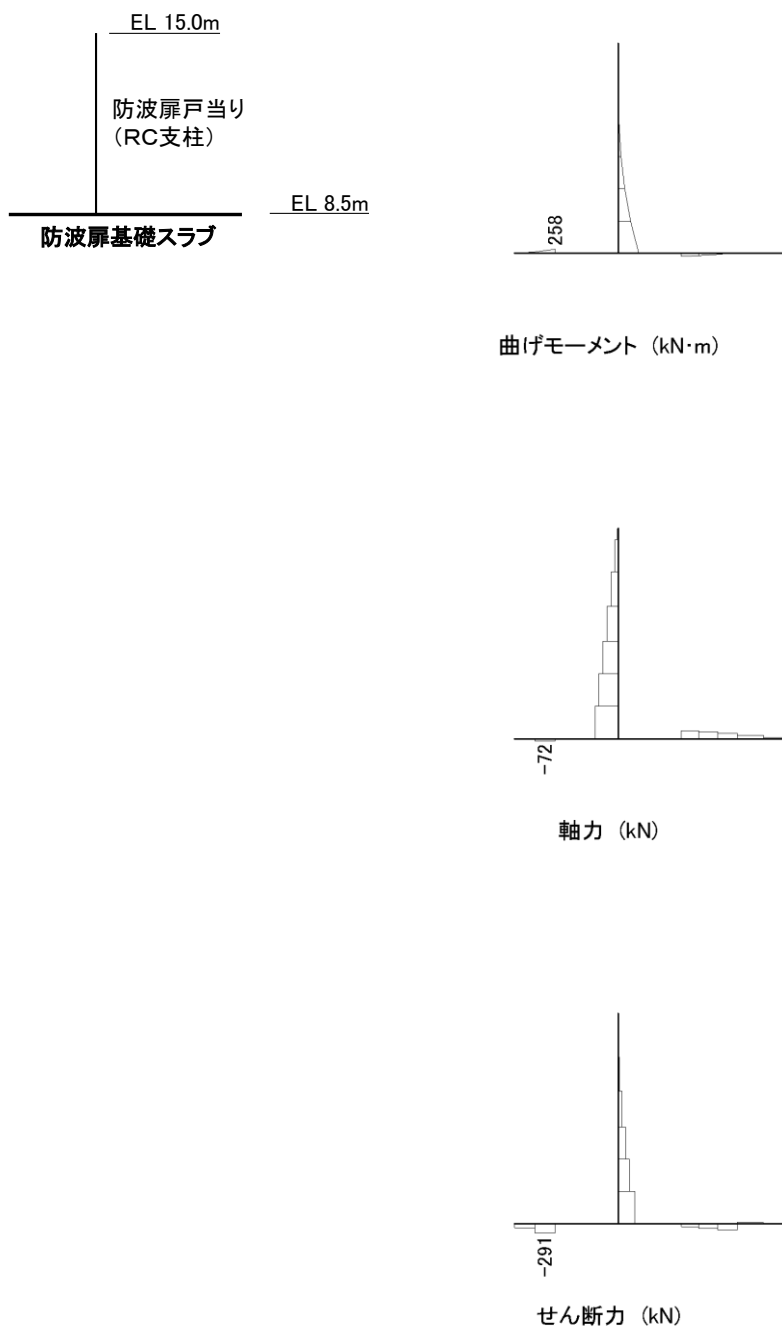


図 5-5 コンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図

表 5-7 コンクリートのせん断破壊に対する照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
せん断力 Q (kN)			
291	0.21	0.67	0.31

## (3) グラウンドアンカによる支圧照査

防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧に対する照査値を表 5-8 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-8 防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる  
支圧に対する照査における照査値

支圧応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_b / \sigma_{ba}$
11.5	18.0	0.64

## 5.1.4 グラウンドアンカ

防波扉基礎スラブのグラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を表 5-9 に示す。

この結果から防波扉基礎スラブのグラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-9 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する  
照査における照査値

発生アンカー力 T (kN)	許容 アンカー力 T <sub>a</sub> (kN)	照査値 T/T <sub>a</sub>
1651	2076	0.80

### 5.1.5 改良地盤

改良地盤におけるすべり安全率による評価結果を表 5-10 に、最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布図を図 5-6 に示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-10 改良地盤のすべり安全率評価結果

最小すべり安全率
8.23

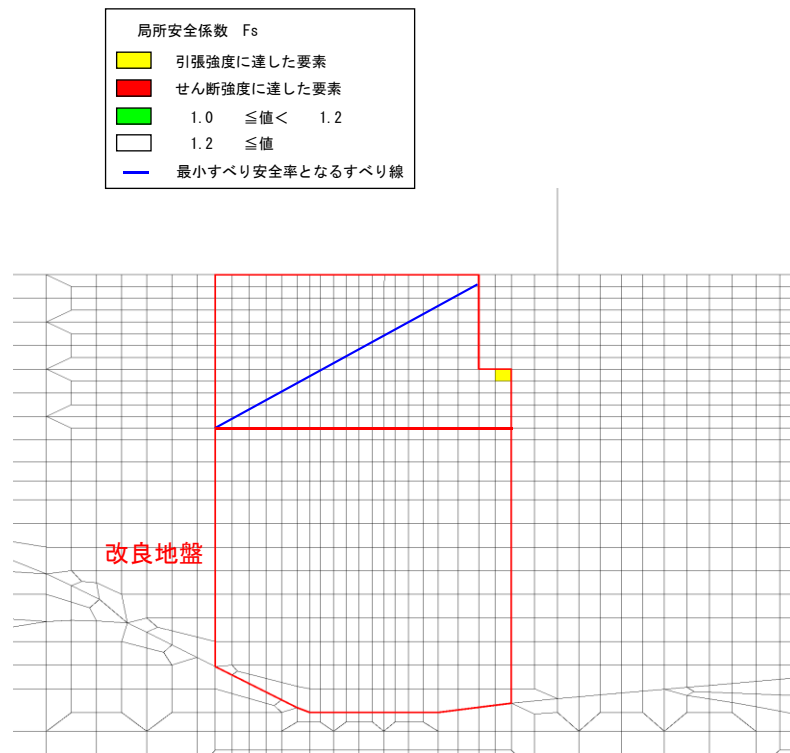


図 5-6 改良地盤の最小すべり安全率となるすべり線及び局所安全係数分布



### 5.1.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-11 に、接地圧分布を図 5-7 に示す。  
防波扉の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した。

表 5-11(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

最大接地圧 R (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 R <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R/R <sub>u</sub>
0.3	1.4	0.24

表 5-11(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

最大接地圧 R (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 R <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R/R <sub>u</sub>
0.5	9.8	0.06

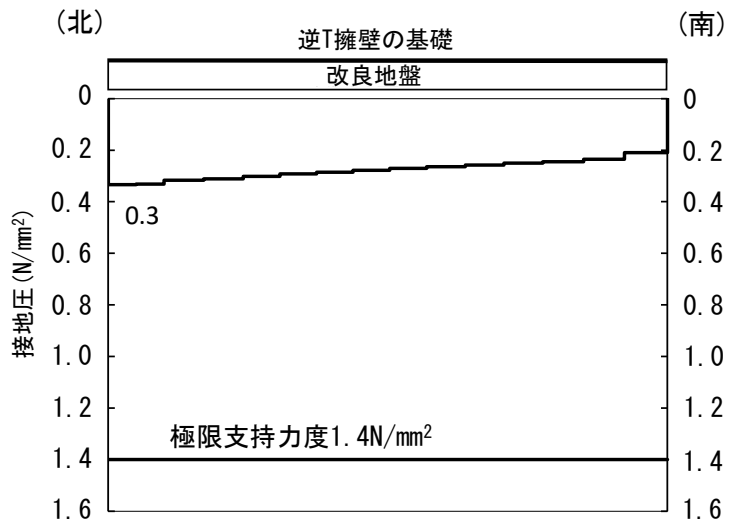


図 5-7(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)

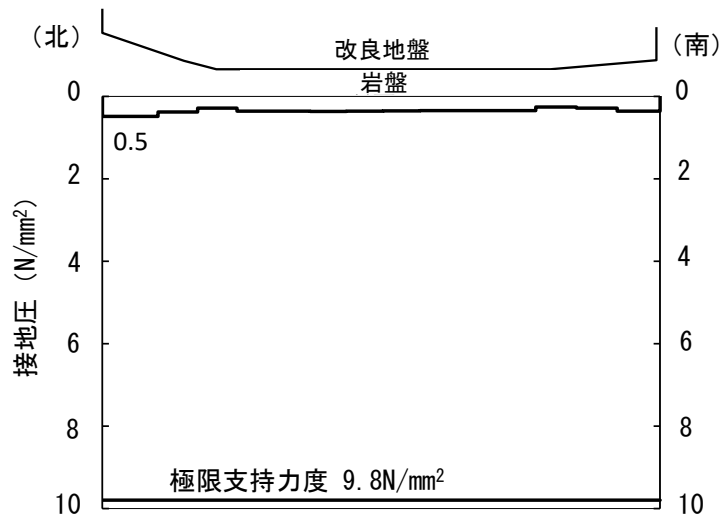


図 5-7(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)

## 5.2 漂流物対策工

### 5.2.1 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の強度評価結果を表 5-12 に示す。防波扉（鋼製扉体）の各部材の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-12 漂流物対策工（鋼製扉体）の強度評価結果

部材		発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値	
主横桁	施設の延長に応じた衝突荷重	曲げ応力度	348	525	0.67
		せん断応力度	114	193	0.60
	船首衝突による衝突荷重	曲げ応力度	296	525	0.57
		せん断応力度	70	193	0.37
張出桁		曲げ応力度	134	525	0.26
		せん断応力度	46	303	0.16
補助縦桁		曲げ応力度	21	306	0.07
		せん断応力度	46	193	0.24
端縦桁		圧縮応力度	280	337	0.84
支圧板		支圧応力度	21	225	0.10
戸当り（腹板）		支圧応力度	118	270	0.44
戸当り （底面フランジ）		曲げ応力度	371	525	0.71
戸当り （コンクリート）		支圧応力度	2.2	8.8	0.25
		せん断応力度	0.52	0.60	0.87

## 5.2.2 漂流物対策工戸当り（RC支柱）

### (1) 曲げ照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力を図 5-8 に、コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力を表 5-13 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-14 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

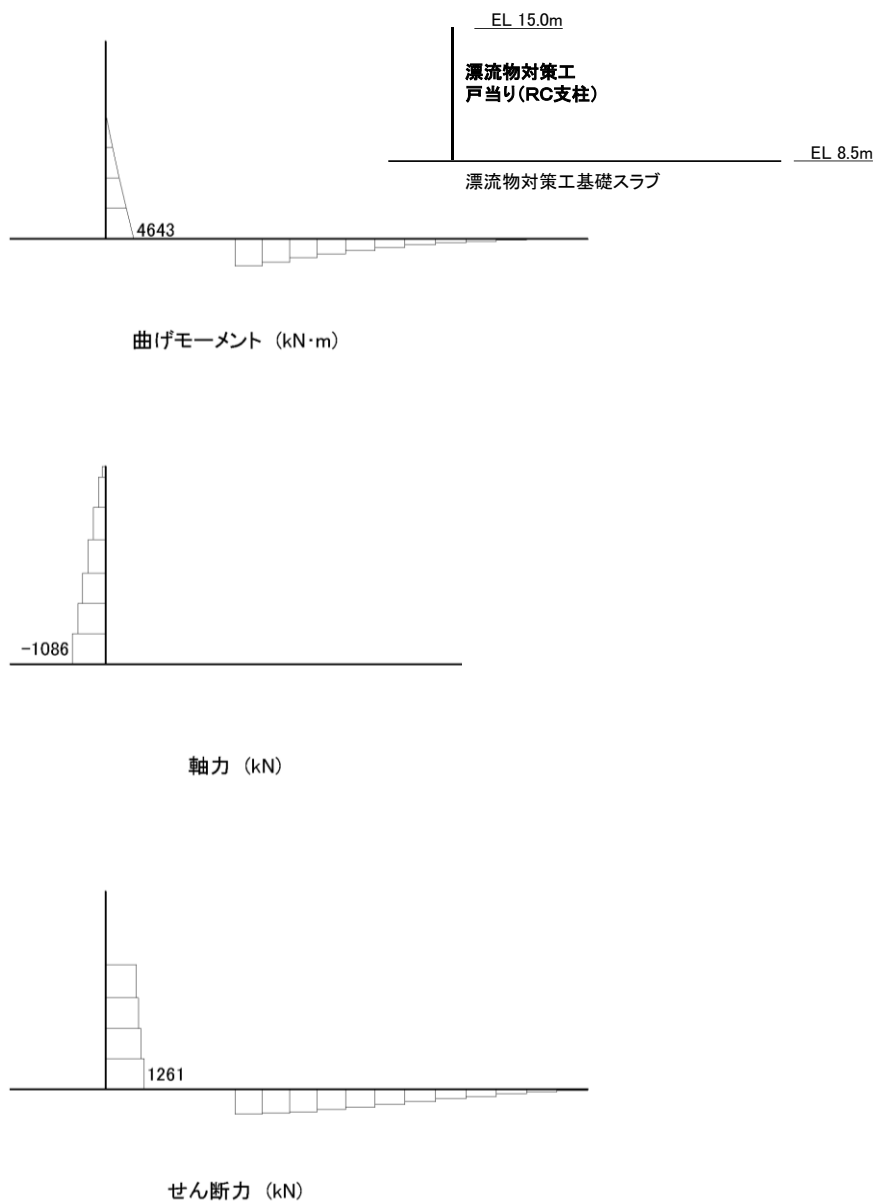


図 5-8 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図

表 5-13 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
4643	1086	1.4	21.0	0.07

表 5-14 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
4643	1086	33	294	0.12

(2) せん断照査

防波扉戸当り（RC支柱）のコンクリートのせん断破壊に対する照査断面力を図5-9に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表5-15に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

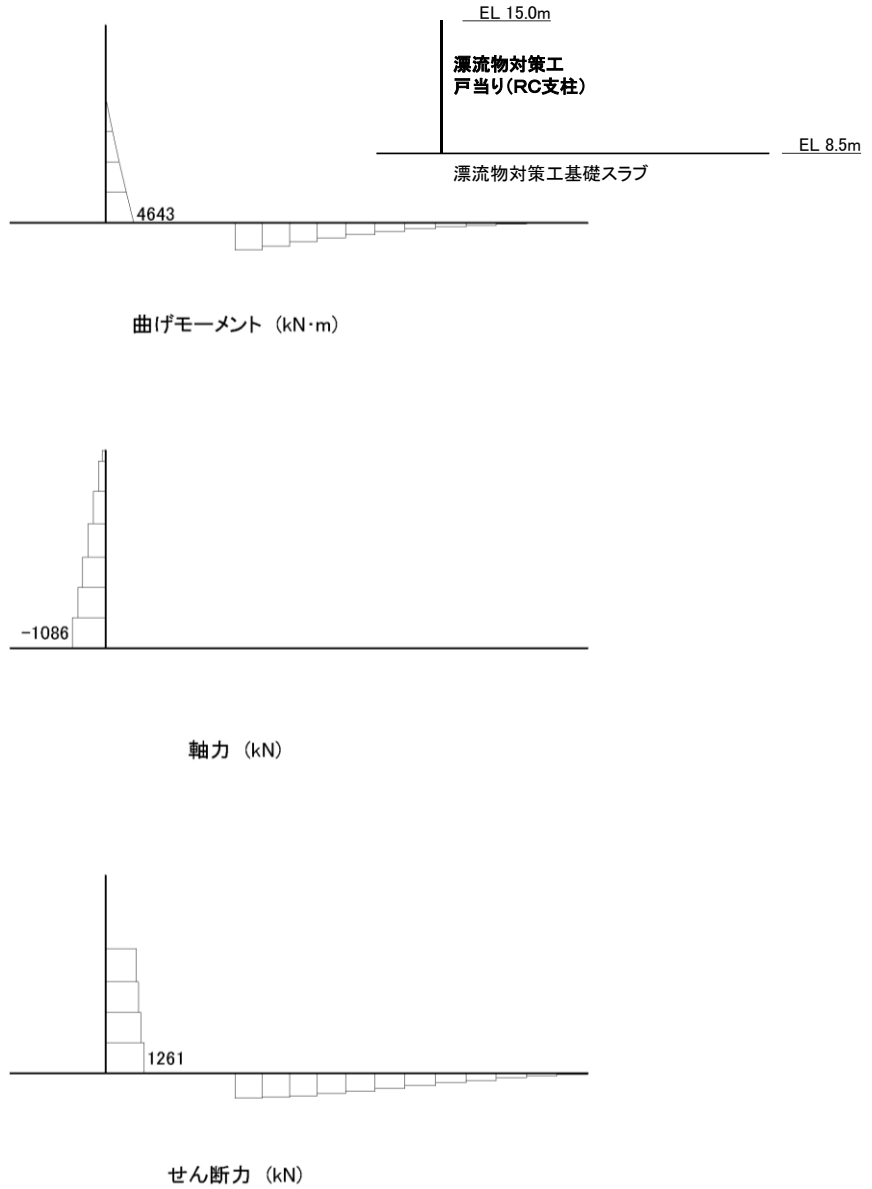


図 5-9 コンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図

表 5-15 コンクリートのせん断破壊に対する照査値

発生断面力	せん断応力度	短期許容 応力度	照査値
せん断力 Q (kN)	$\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{c1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_c / \tau_{c1}$
1261	0.43	0.82	0.53

### 5.2.3 漂流物対策工基礎スラブ

#### (1) 曲げ照査

漂流物対策工基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する断面力を図 5-10 に，コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-16 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 5-17 に示す。

この結果から，漂流物対策工基礎スラブのコンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

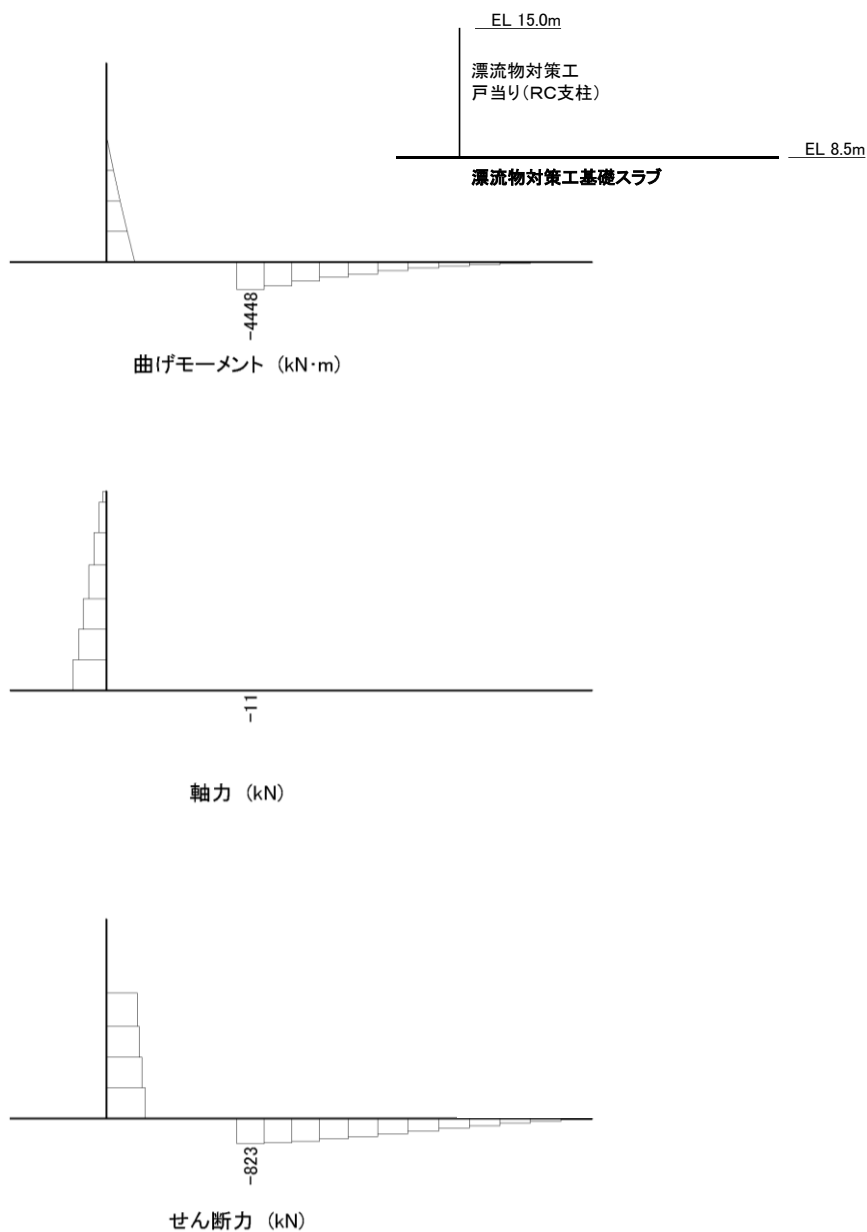


図 5-10 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査断面力図

表 5-16 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ圧縮 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 $\sigma_c / \sigma_{ca}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
4448	11	1.8	21.0	0.09

表 5-17 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値

発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
4448	11	69	294	0.24



(2) せん断照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図を図 5-11 に、コンクリートのせん断破壊に対する照査値を表 5-18 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）のコンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

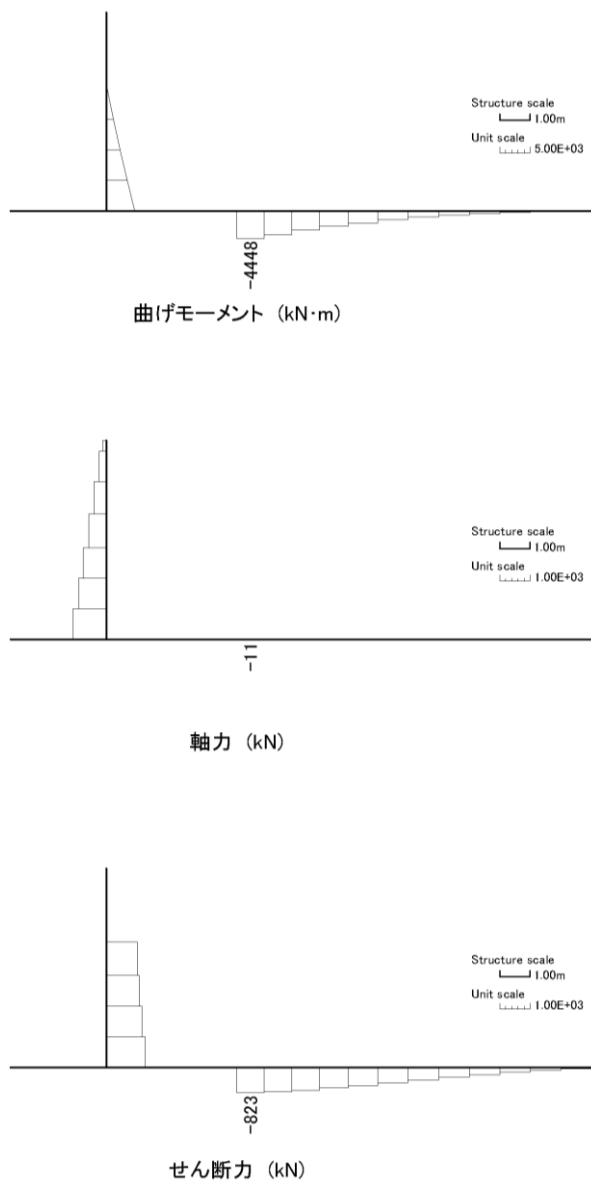


図 5-11 コンクリートのせん断破壊に対する照査断面力図

表 5-18 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値

発生断面力	せん断応力度 $\tau_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_c / \tau_{a1}$
せん断力 Q (kN)			
823	0.26	0.82	0.32

#### 5.2.4 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-19 に、接地圧分布を図 5-12 に示す。

漂流物対策工の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 5-19(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

最大接地圧 R (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 R <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R/R <sub>u</sub>
0.6	18.0	0.04

表 5-19(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

最大接地圧 R (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 R <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R/R <sub>u</sub>
0.3	1.4	0.21

表 5-19(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

最大接地圧 R (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度 R <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 R/R <sub>u</sub>
0.7	9.8	0.08

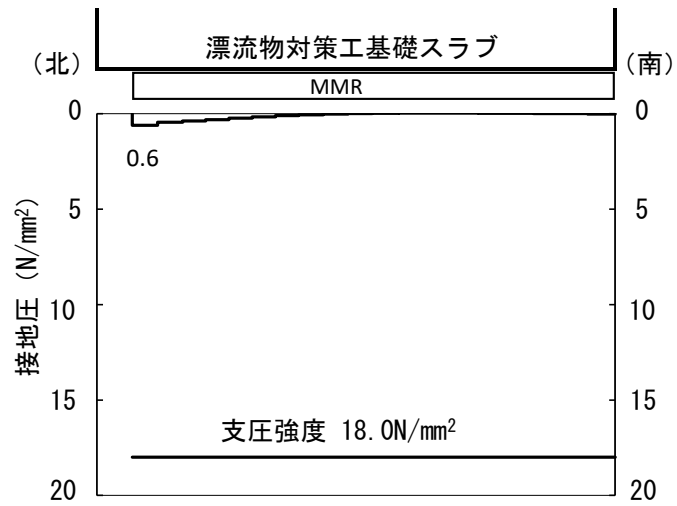


図 5-12(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (MMR)

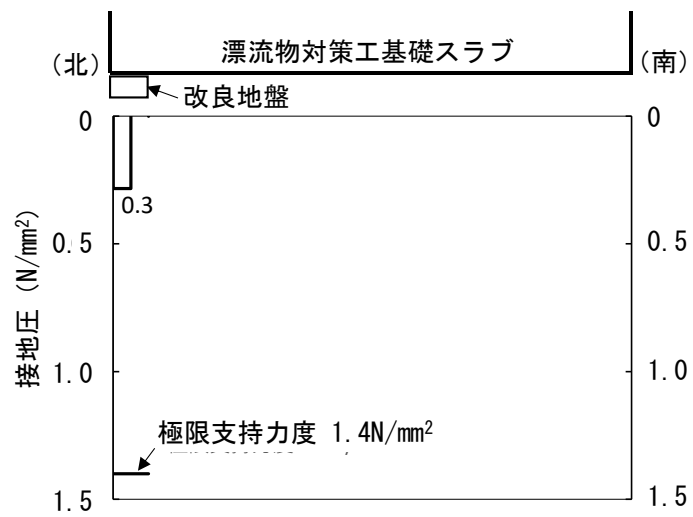


図 5-12(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)

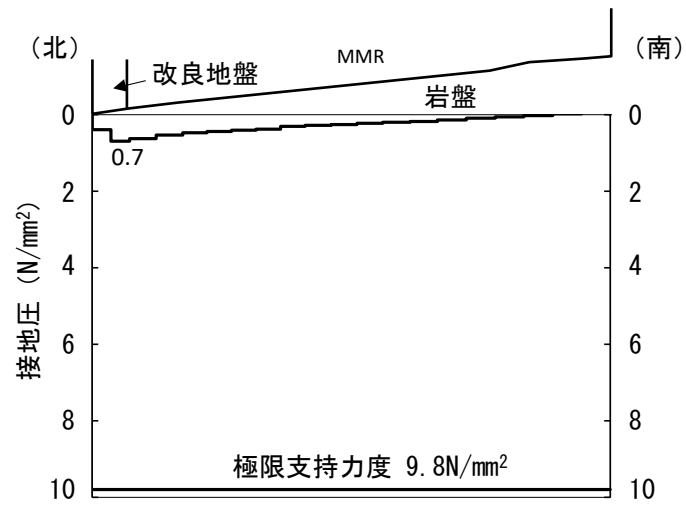


図 5-12(3) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)