

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01
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-別添 3-2-2 防波壁通路防波扉の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-2-2 R0

2023年4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	6
2.4	評価方針	7
2.5	適用規格・基準等	8
2.6	記号の説明	9
3.	強度評価	11
3.1	評価対象部位	11
3.2	荷重及び荷重の組合せ	12
3.2.1	荷重の設定	12
3.2.2	荷重の組合せ	13
3.3	許容限界	14
3.3.1	使用材料	14
3.3.2	許容限界	14
3.4	評価方法	16
3.4.1	応力算定	16
3.4.2	断面検定	23
3.4.3	評価条件	26
4.	評価結果	27

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基本方針」に基づき、津波防護施設である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遡上波の浸水に伴う津波荷重に対し、地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計であることを説明するものである。

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）の設置位置を図2-1に、防波扉（1号機北側）の構造概要を図2-2に、防波扉（2号機北側）の構造概要を図2-3に示す。

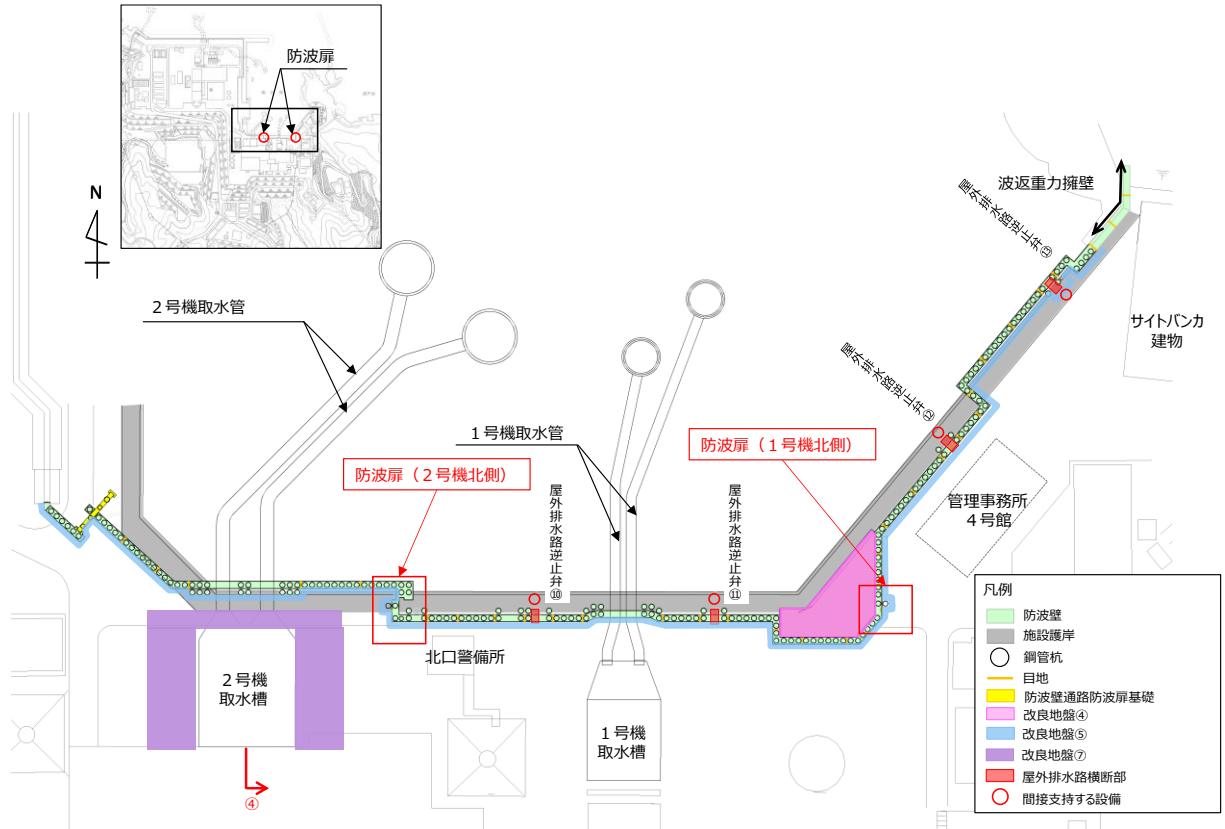
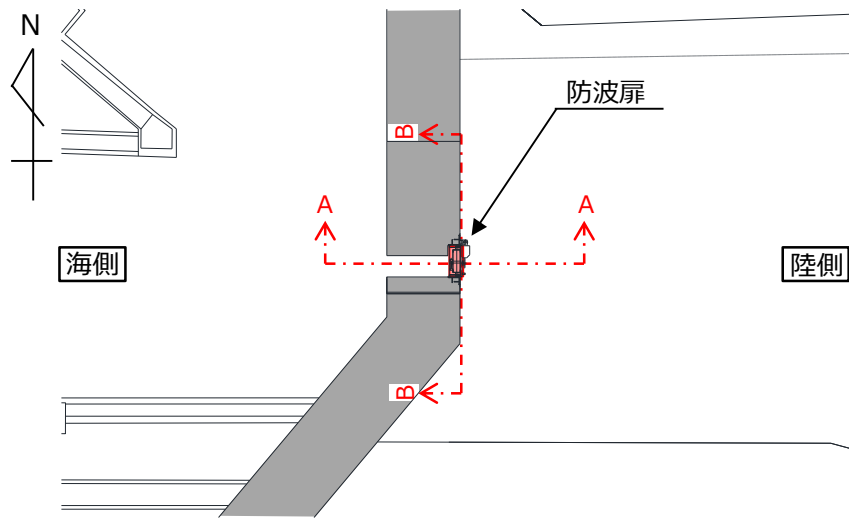
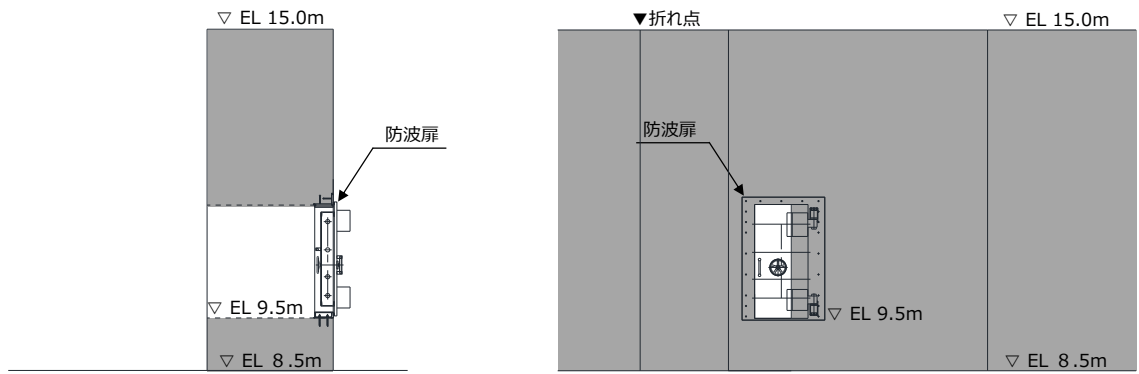


図 2-1 防波扉設置位置



平面図

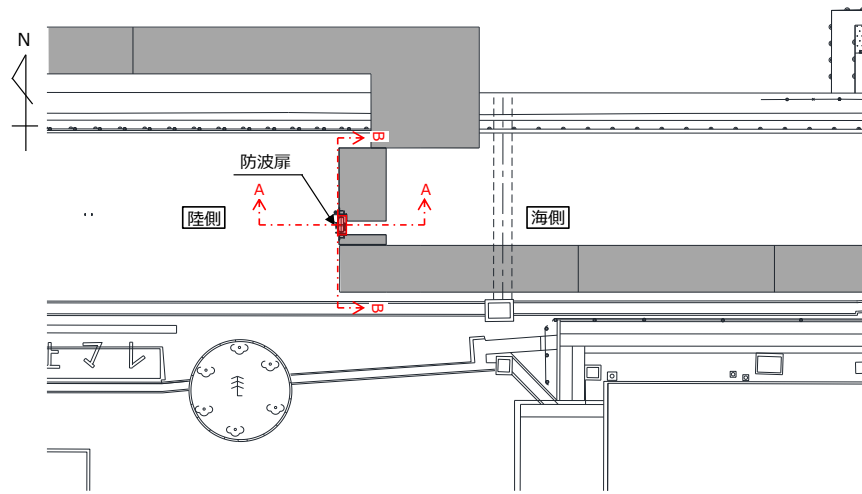


A-A 断面

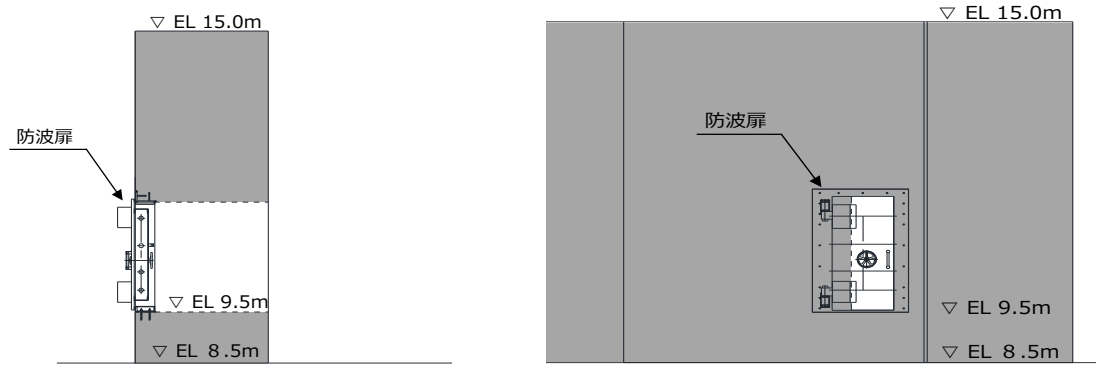
B-B 断面

断面図

図 2-2 防波扉（1号機北側）構造概要



平面図



A—A断面

B—B断面

断面図

図 2-3 防波扉（2号機北側）構造概要

2.3 構造計画

防波扉の構造計画を表 2-2 に示す。防波扉は扉板、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 防波扉の構造計画（防波扉（1号機北側）、防波扉（2号機北側））

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジ部により扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠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、扉体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>正面図</p> <p>断面図</p>

2.4 評価方針

防波扉の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、防波扉の評価対象部位に生じる応力度等が許容限界内に収まることを、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。

強度評価フローを図 2-4 に示す。

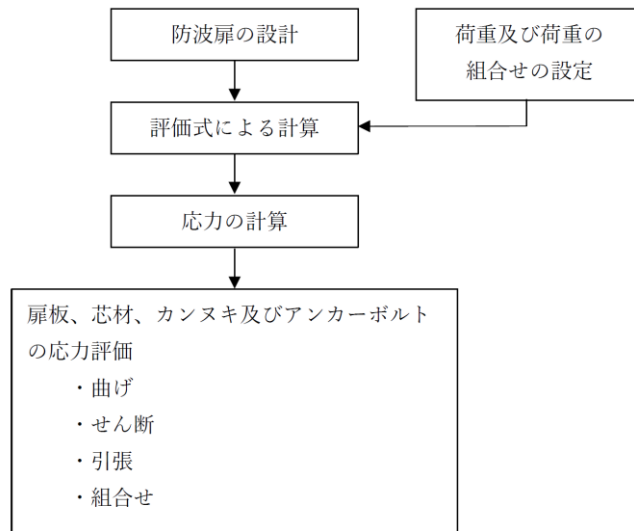


図 2-4 防波扉の強度評価フロー

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 強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
G	kN	扉の固定荷重
P_t	kN/m^2	遡上津波荷重
P_c	kN	衝突荷重
P_1	kN/m	扉板上端に作用する遡上津波荷重
ρ	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h_1	m	水頭高さ
h_2	m	床面から扉板上端までの高さ
L_1	m	扉板の短辺方向の長さ
P_2	kN/m	扉板下端に作用する遡上津波荷重
h_3	m	床面から扉板下端までの高さ
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
L_2	m	扉板の長辺方向の長さ
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}$	扉板の遡上津波荷重による曲げモーメント
V_1	kN	遡上津波荷重により扉上端に生じる反力
M_2	$\text{kN} \cdot \text{m}$	扉板の衝突荷重による曲げモーメント
M_3	$\text{kN} \cdot \text{m}$	扉板に作用する曲げモーメント
P_3	kN/m	芯材上端に作用する遡上津波荷重
h_4	m	床面から芯材上端までの高さ
L_4	m	芯材の負担幅
P_4	kN/m	芯材下端に作用する遡上津波荷重
h_5	m	床面から芯材下端までの高さ
M_4	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の遡上津波荷重による曲げモーメント
V_2	kN	遡上津波荷重により芯材上端に生じる反力
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
L_5	m	芯材の負担長さ
M_5	$\text{kN} \cdot \text{m}$	芯材の衝突荷重による曲げモーメント

表 2-3 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
M_6	kN・m	芯材に作用する曲げモーメント
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	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 本あたりの曲げモーメント
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
σ_1	N/mm ²	扉板に生じる曲げ応力度
Z_1	mm ³	扉板の断面係数
σ_2	N/mm ²	芯材に生じる曲げ応力度
Z_2	mm ³	芯材の断面係数
τ_1	N/mm ²	芯材に生じるせん断応力度
A_1	mm ²	芯材の断面積
x_1	N/mm ²	芯材に生じる組合せ応力度
σ_3	N/mm ²	カンヌキに生じる曲げ応力度
Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数
τ_2	N/mm ²	カンヌキに生じるせん断応力度
A_2	mm ²	カンヌキの断面積
x_2	N/mm ²	カンヌキに生じる組合せ応力度
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。

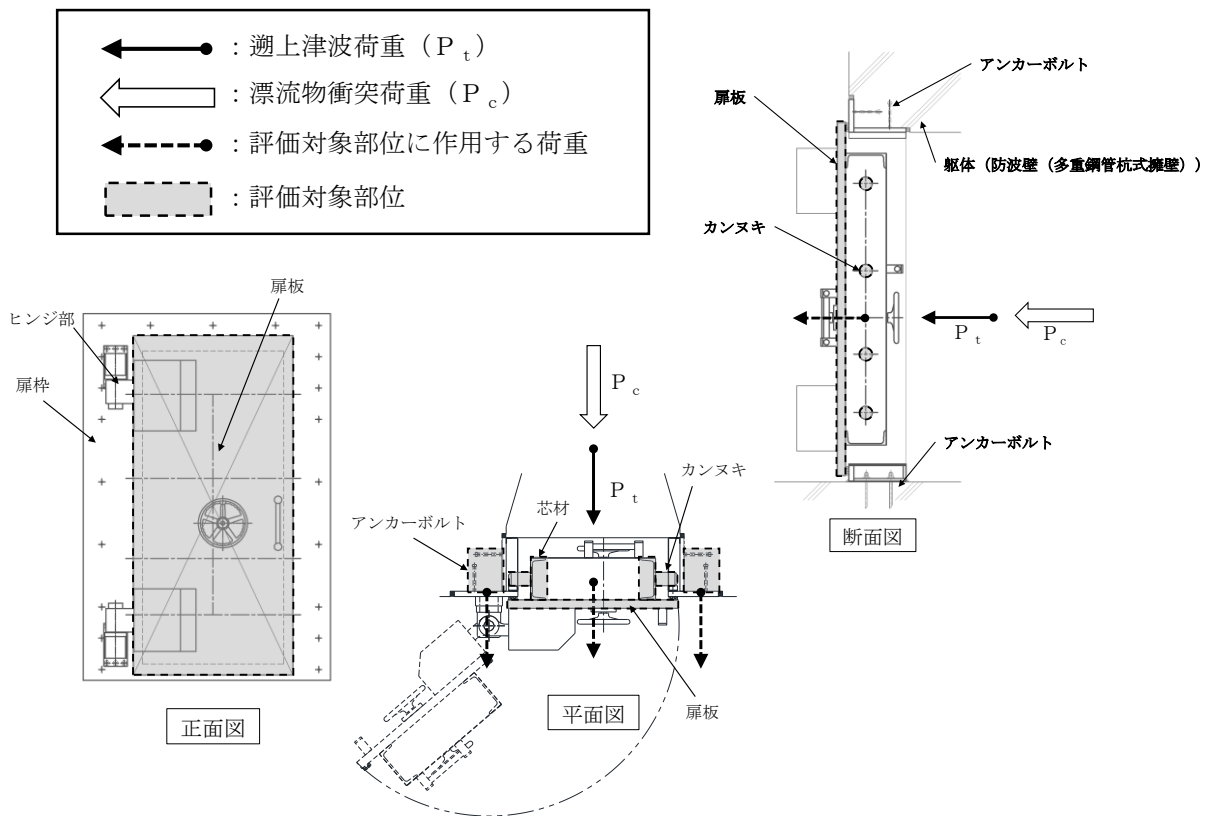


図3-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）が開く方向に作用する荷重の作用図

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) 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。

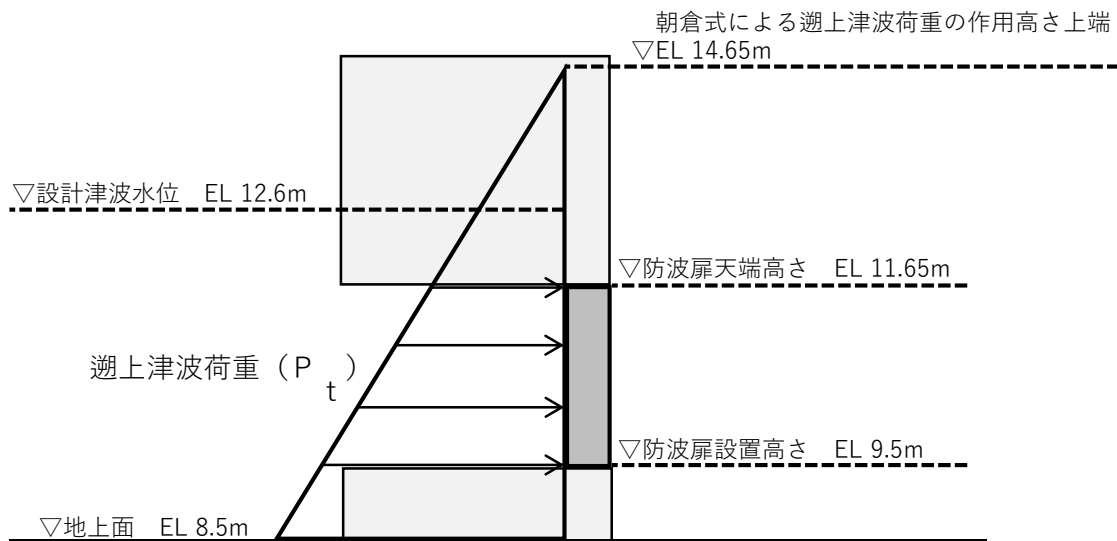


図 3-2 遡上津波荷重イメージ図

表 3-1 水頭高さ及び水の密度

名称	水頭高さ	水の密度
	h_1 (m)	(t/m^3)
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。

(2) 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	M16×160

3.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改訂）」（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 ²)	
	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の算定値

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基本方針」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梁として、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。

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

ここに、

P_1 : 扉板上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

ρ : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

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)

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

ここに、

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)

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

ここに、

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)

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

ここに、

M_1 : 扉板の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)

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

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

ここに、

M_2 : 扉板の衝突荷重による曲げモーメント (kN・m)

P_c : 衝突荷重 (kN)

$$M_3 = M_1 + M_2$$

ここに、

M_3 : 扉板に作用する曲げモーメント (kN・m)

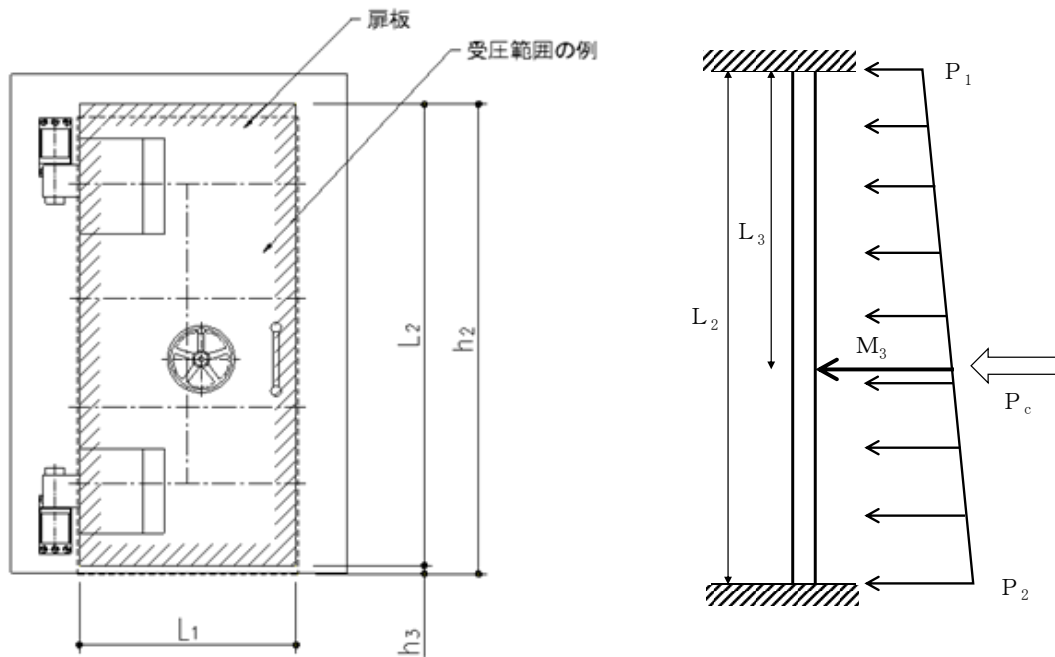


図 3-3 扉板に作用する荷重の例

(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梁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。

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

ここに、

P_3 : 芯材上端に作用する**遡上津波荷重** (kN/m)

ρ : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

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)

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

ここに、

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)

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

ここに、

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)

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

ここに、

M_4 : 芯材の**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)

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

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

ここに、

M_5 : 芯材の**衝突荷重による**曲げモーメント (kN・m)

$$M_6 = M_4 + M_5$$

ここに,

M_6 : 芯材に作用する曲げモーメント (kN・m)

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

ここに,

Q_1 : 芯材に作用するせん断力 (kN)

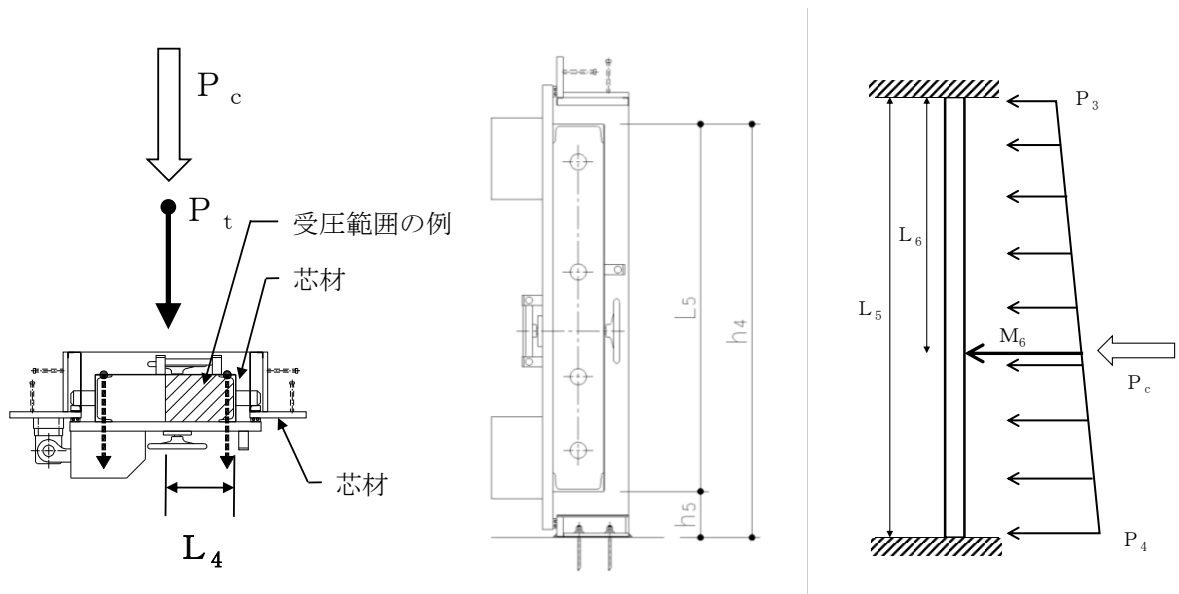


図 3-4 芯材に作用する荷重の例

(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。

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

ここに、

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

ρ : 水の密度 (t/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

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)

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

ここに、

P_6 : 開口下端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

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

ここに、

R_1 : カンヌキ 1 本あたりに作用する遡上津波荷重 (kN/本)

n_1 : 最下部カンヌキの本数 (本)

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

ここに、

M_7 : カンヌキ 1 本あたりの曲げモーメント (kN・m)

L_9 : カンヌキの扉外間距離 (m)

$$Q_2 = R_1 + P_c / n_1$$

ここに、

Q_2 : カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断力 (kN/本)

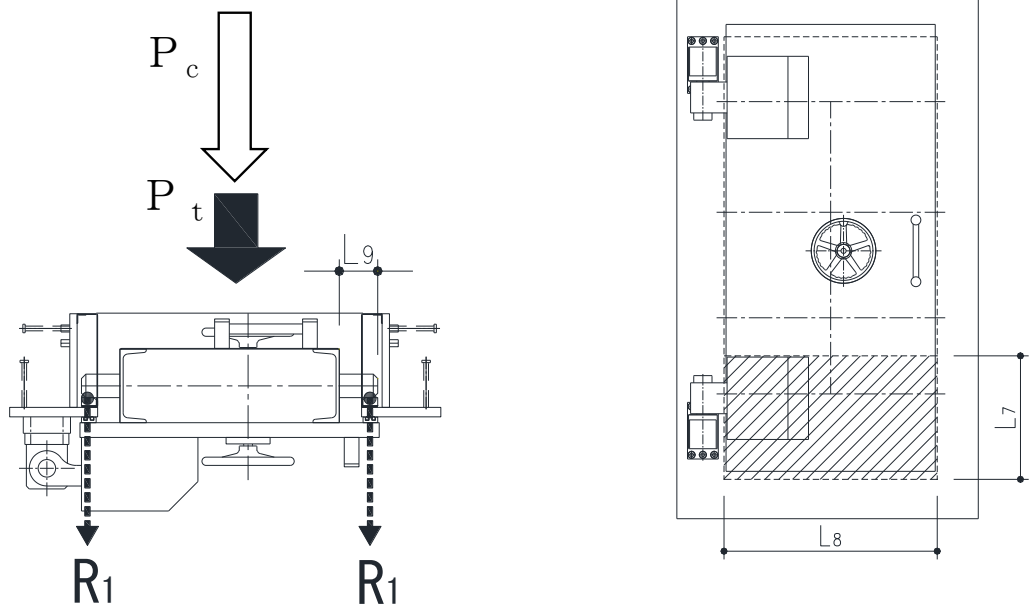


図 3-5 カンヌキに作用する荷重の例

(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も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。

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

ここに、

P_7 : 開口上端に作用する遡上津波荷重 (kN/m)

L_{10} : 開口高さ (m)

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

ここに、

T_1 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN/本)

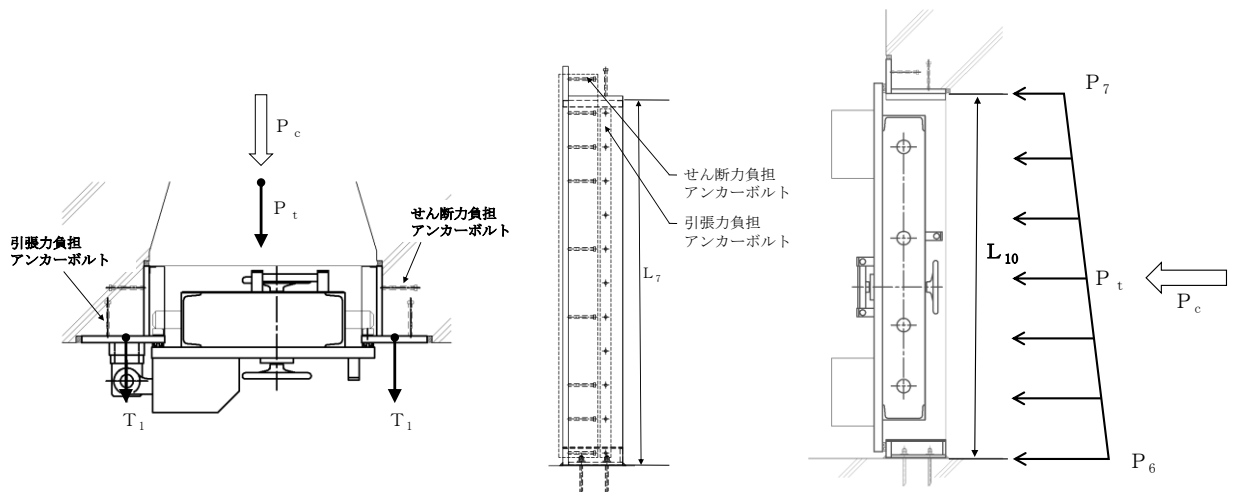


図 3-6 アンカーボルトに作用する荷重の例

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。

$$\sigma_1 = M_3 / Z_1$$

ここに、

σ_1 : 扉板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : 扉板に作用する曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 扉板の断面係数 (mm³)

(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

$$\sigma_2 = M_6 / Z_2$$

ここに、

σ_2 : 芯材に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_6 : 芯材に作用する曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = Q_1 / A_1$$

ここに、

τ_1 : 芯材に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : 芯材に生じるせん断力 (kN)

A_1 : 芯材の断面積 (mm²)

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「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改訂）（以下「S規準」という。）」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。

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

ここに、

x_1 ：芯材に作用する組合せ応力度（N/mm²）

(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

$$\sigma_3 = M_7 / Z_3$$

ここに、

σ_3 ：カンヌキに生じる曲げ応力度（N/mm²）

M_7 ：カンヌキ 1 本あたりの曲げモーメント（kN・m）

Z_3 ：カンヌキの断面係数（mm³）

b. カンヌキに生じるせん断応力度

$$\tau_2 = Q_2 / A_2$$

ここに、

τ_2 ：カンヌキに生じるせん断応力度（N/mm²）

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（mm²）

c. カンヌキに生じる組合せ応力度

カンヌキに生じる曲げ応力度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。

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

ここに、

x_2 ：カンヌキに生じる組合せ応力度（N/mm²）

(4) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力が、「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。

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

ここに、

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

「3.4 評価方法」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	ρ	t/m ³	水の密度	1.03
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665
	h ₁	m	水頭高さ	5.15
	P _c	kN/m ²	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 ³	芯材の断面係数	374000
	τ_1	N/mm ²	芯材に生じるせん断応力度	7
	A ₁	mm ²	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 ²	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 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の断面検定結果

対象評価部材	単位	分類	発生値 (応力度又は荷重)	許容 限界	発生値/ 許容限界
扉板	N/mm ²	曲げ	66	215	0.31
芯材	N/mm ²	組合せ	27	235	0.12
カンヌキ	N/mm ²	組合せ	49	205	0.24
アンカーボルト	kN	引張	10.89	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	27
3.3 解析方法	29
3.4 荷重及び荷重の組合せ	29
3.4.1 荷重	29
3.4.2 荷重の組合せ	31
3.5 解析モデル及び諸元	32
3.5.1 解析モデル	32
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	34
3.5.3 地盤の物性値	35
3.5.4 地下水位	35
3.6 評価対象部位	36
3.6.1 施設・地盤の健全性評価	36
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	36
3.7 許容限界	37
3.7.1 防波扉	37
3.7.2 漂流物対策工	40
3.8 評価方法	42
3.8.1 防波扉	43
3.8.2 漂流物対策工	53
4. 評価条件	62
5. 評価結果	66
5.1 防波扉	66
5.2 漂流物対策工	73

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基本方針」に基づき、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説明するものである。

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。

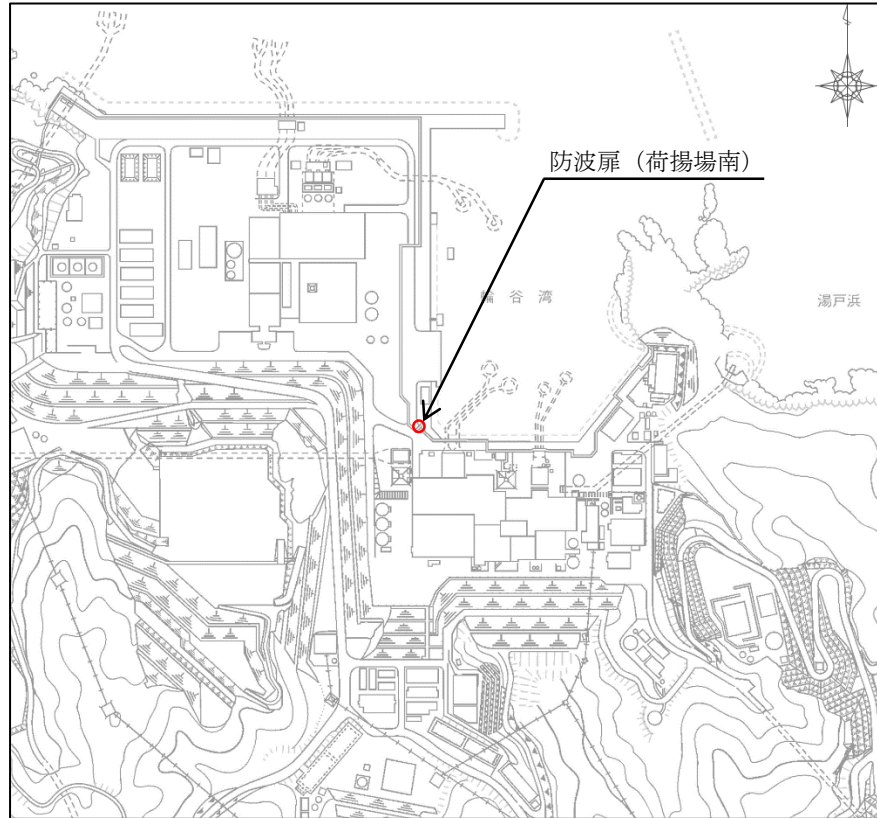


図2-1 防波扉（荷揚場南）位置図

2.2 構造概要

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（鋼製扉体），戸当り（RC支柱）及び基礎スラブは，鋼管杭により岩盤に支持される構造とし，防波扉（鋼製扉体）と戸当り（RC支柱）及び基礎スラブとの間には水密ゴム（側部水密ゴム及び底部水密ゴム）を設置し，止水性を確保する。

防波扉（荷揚場南）の構造概要図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

防波扉の構造図を図 2-4 及び図 2-5 に，戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図 2-6 に，水密ゴムの概念図を図 2-7 に示す。

漂流物対策工は，漂流物対策工（鋼製扉体），戸当り（RC支柱）及び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。）を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図 2-8 及び図 2-9 に，漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図 2-10 に示す。

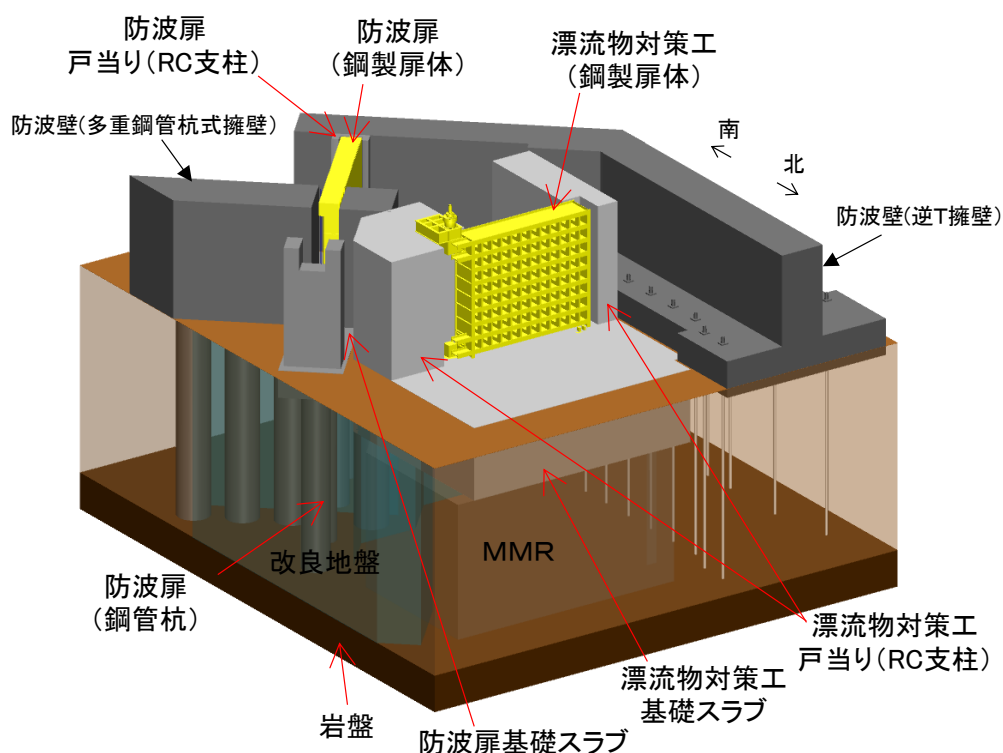


図 2-2(1) 防波扉（荷揚場南）の構造概要図

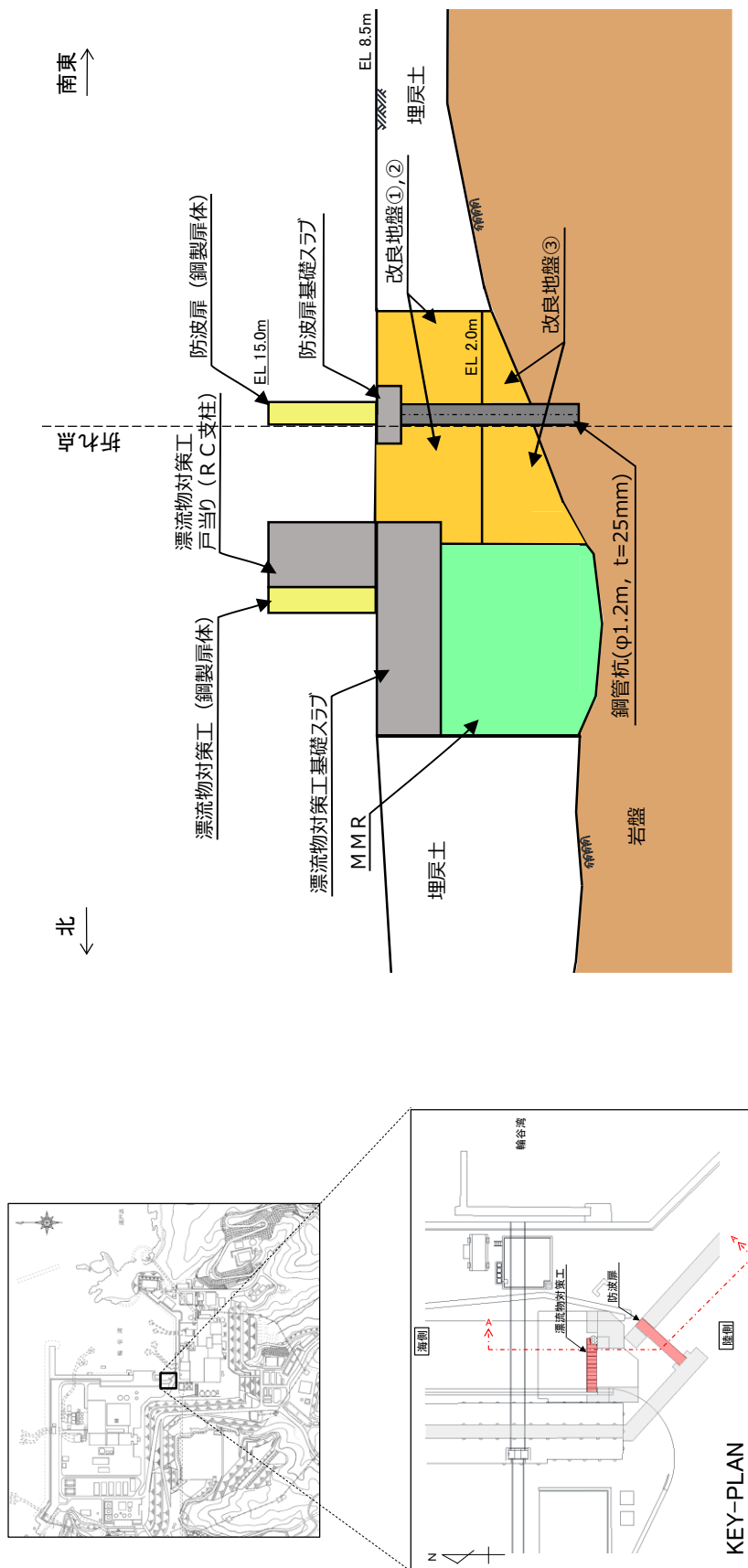


図 2-3 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (断面図)

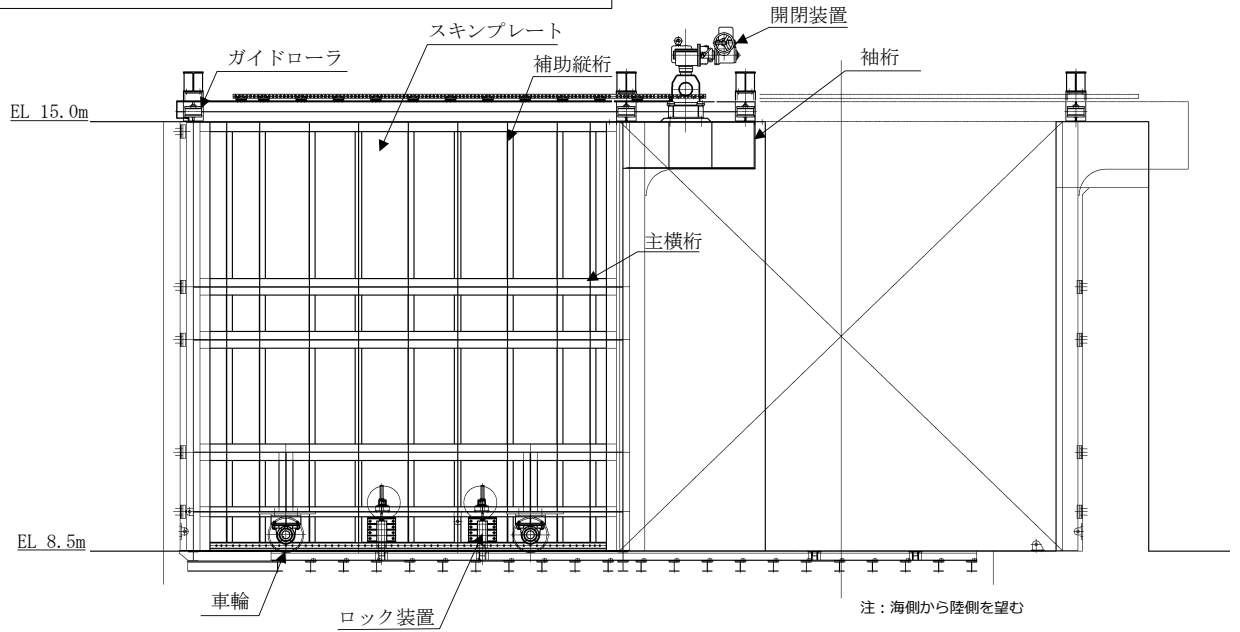
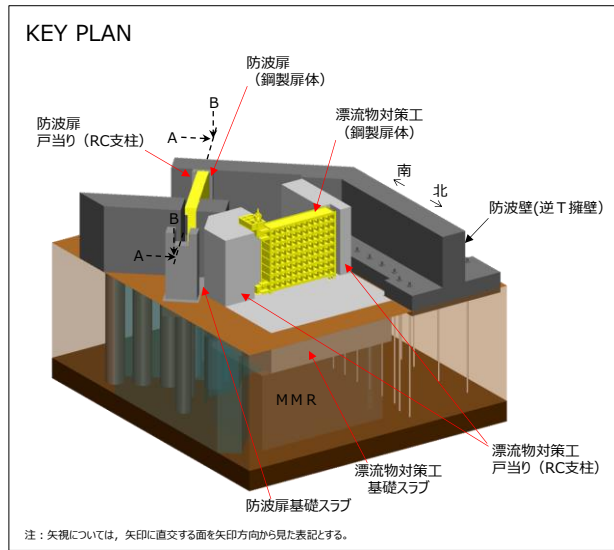


図 2-4(1) 防波扉の構造図 (鋼製扉体正面図, A-A 断面)

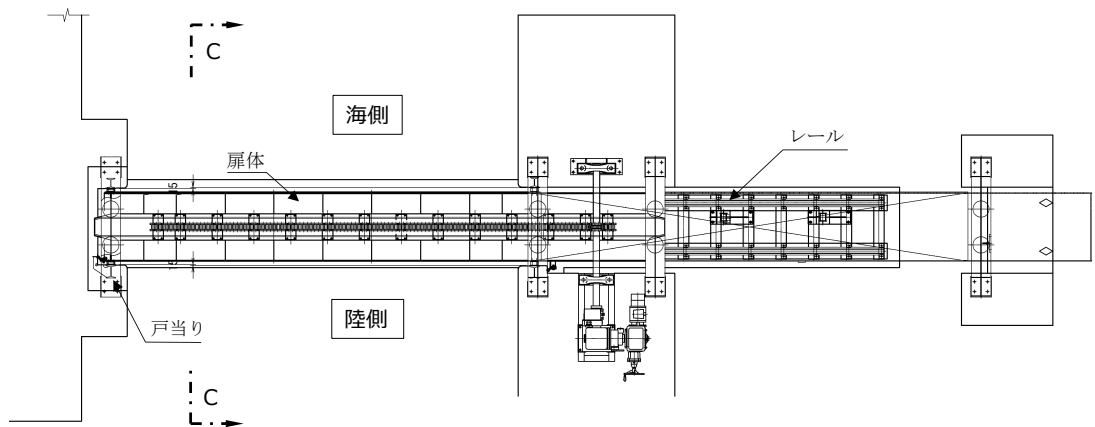


図 2-4(2) 防波扉の構造図 (鋼製扉体平面図, B-B 断面)

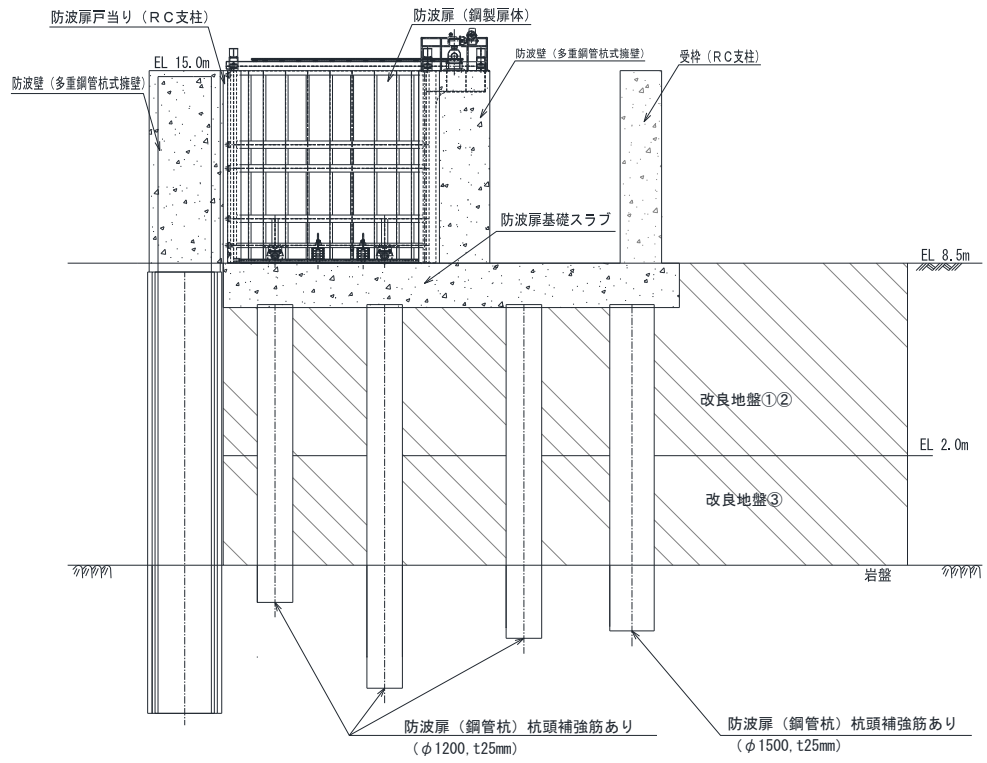


図 2-5(1) 防波扉の構造図 (基礎正面図, A-A 断面)

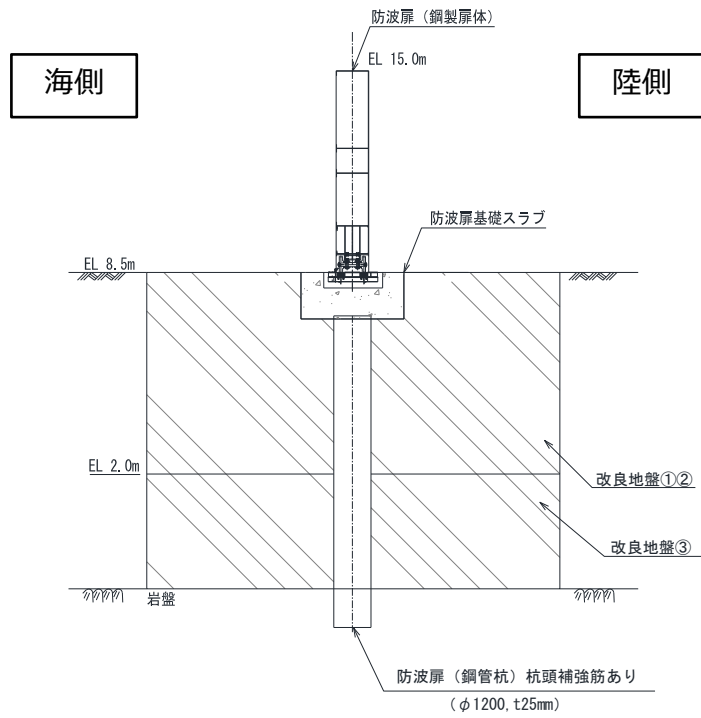


図 2-5(2) 防波扉の構造図 (基礎断面図, C-C 断面)

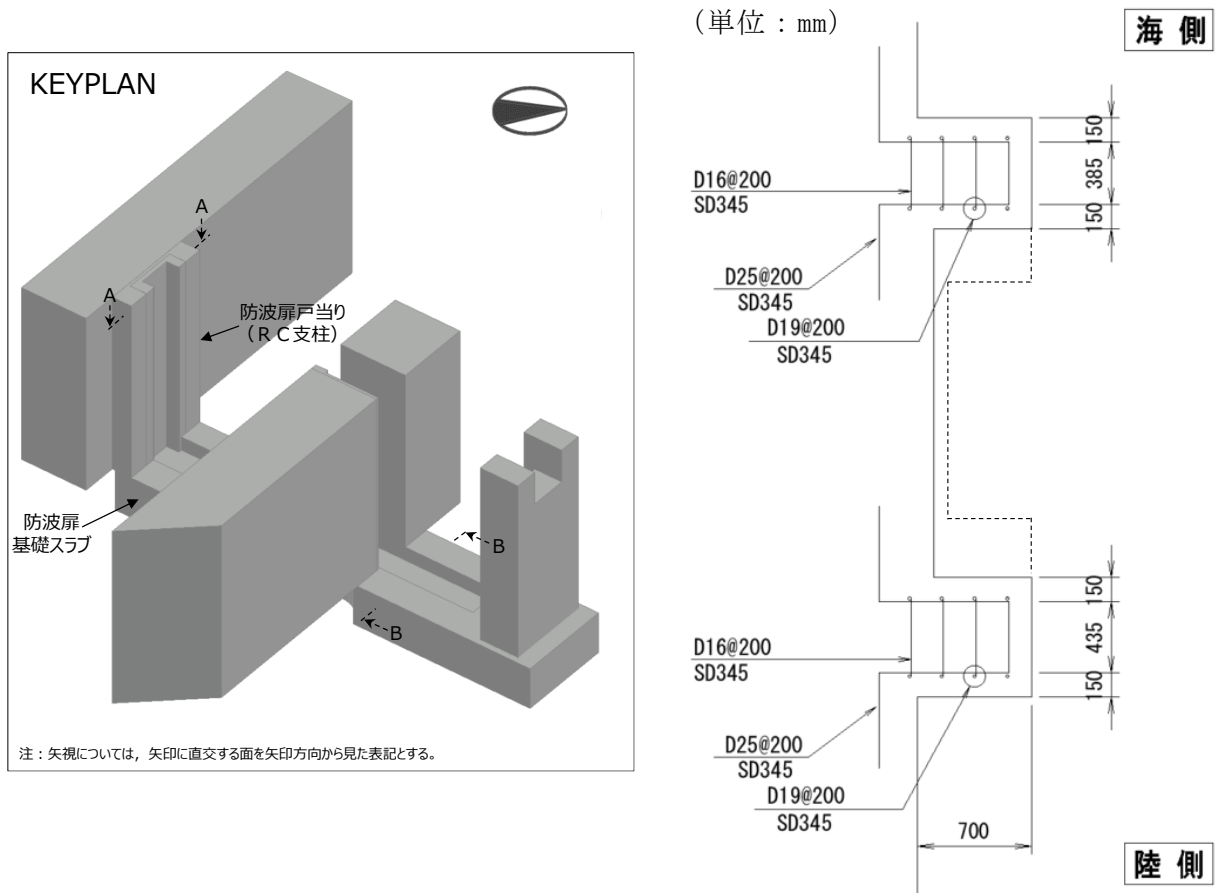


図 2-6(1) 防波扉戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

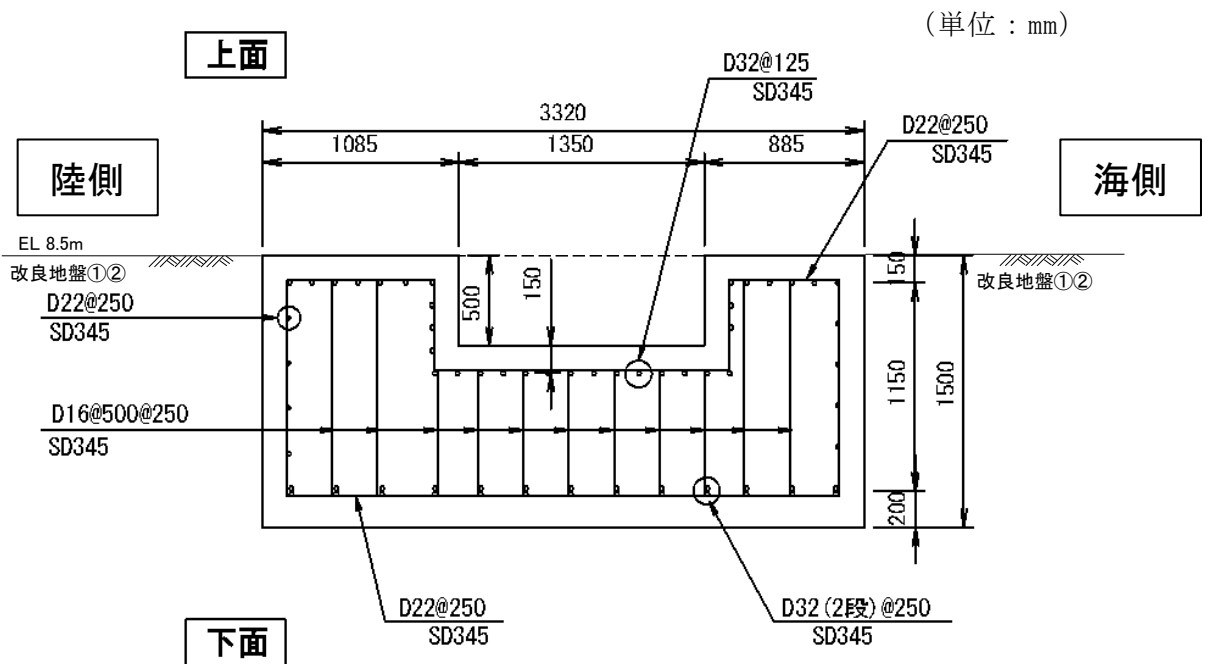


図 2-6(2) 防波扉基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

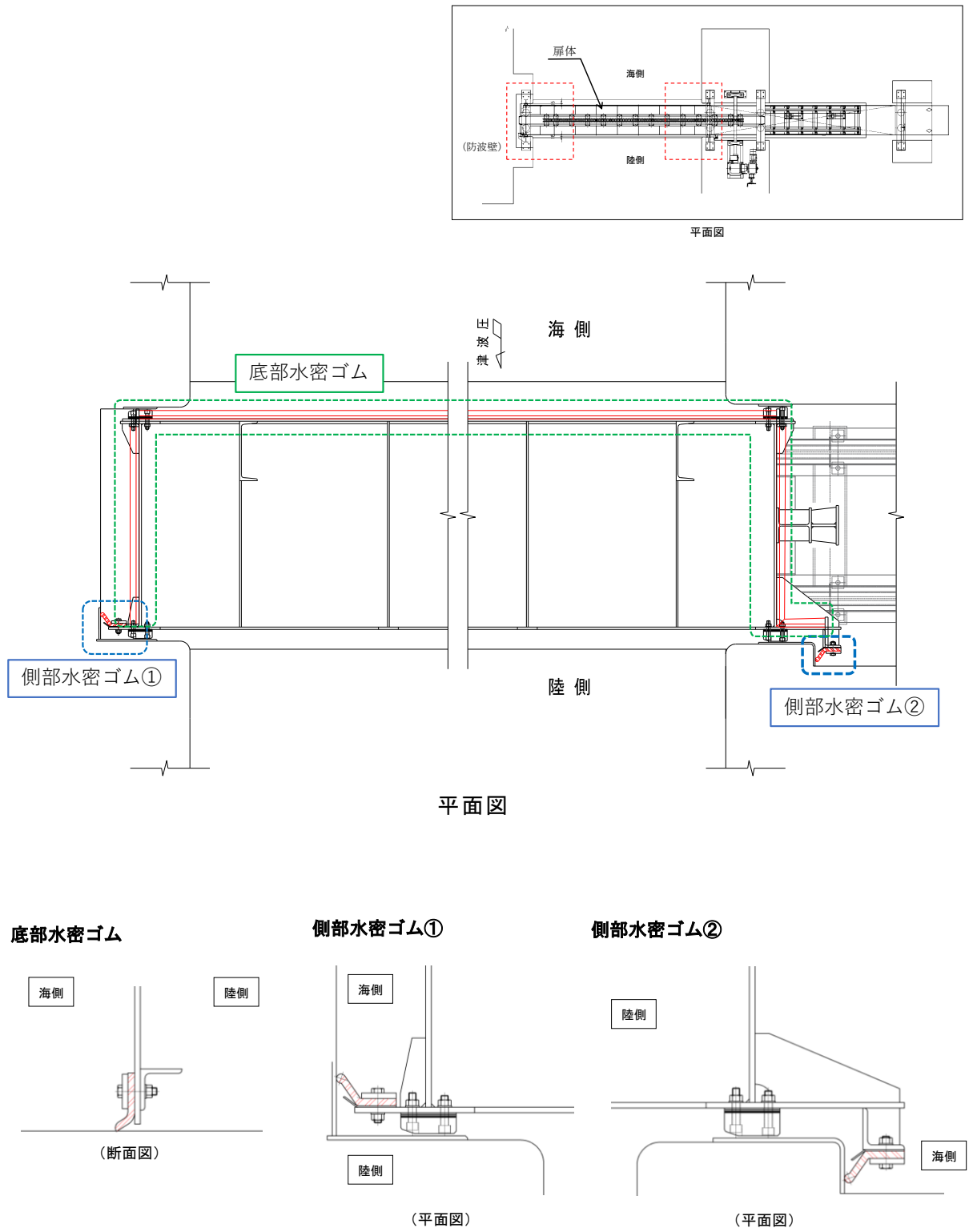


図 2-7 防波扉の水密ゴム概念図

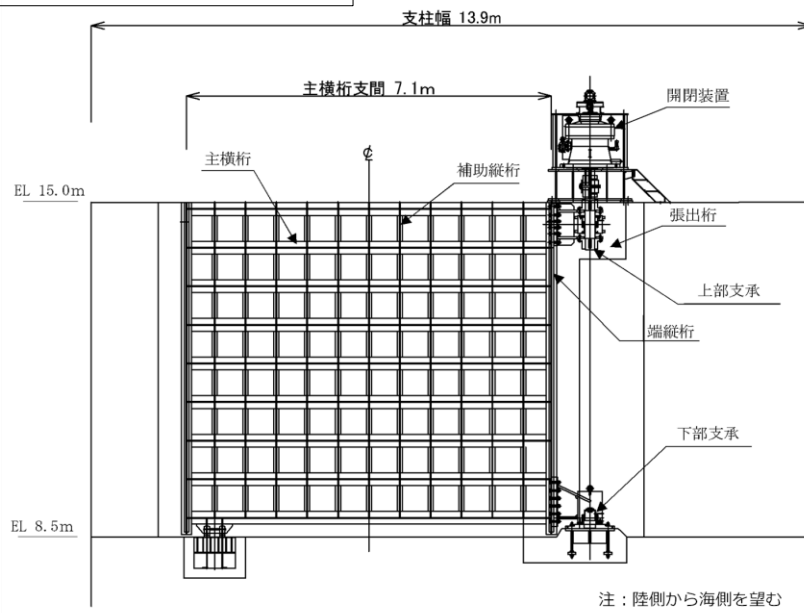
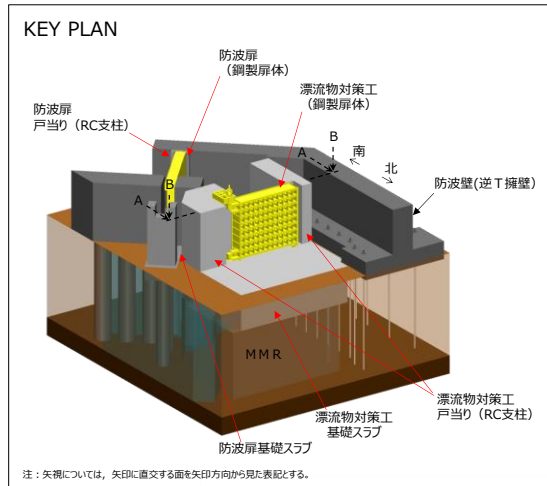


図 2-8(1) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体正面図, A-A 断面)

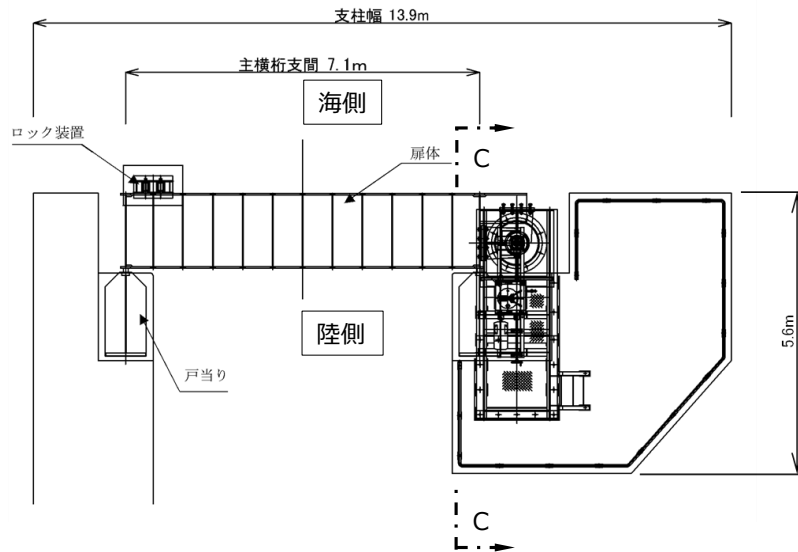


図 2-8(2) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体平面図, B-B 断面)

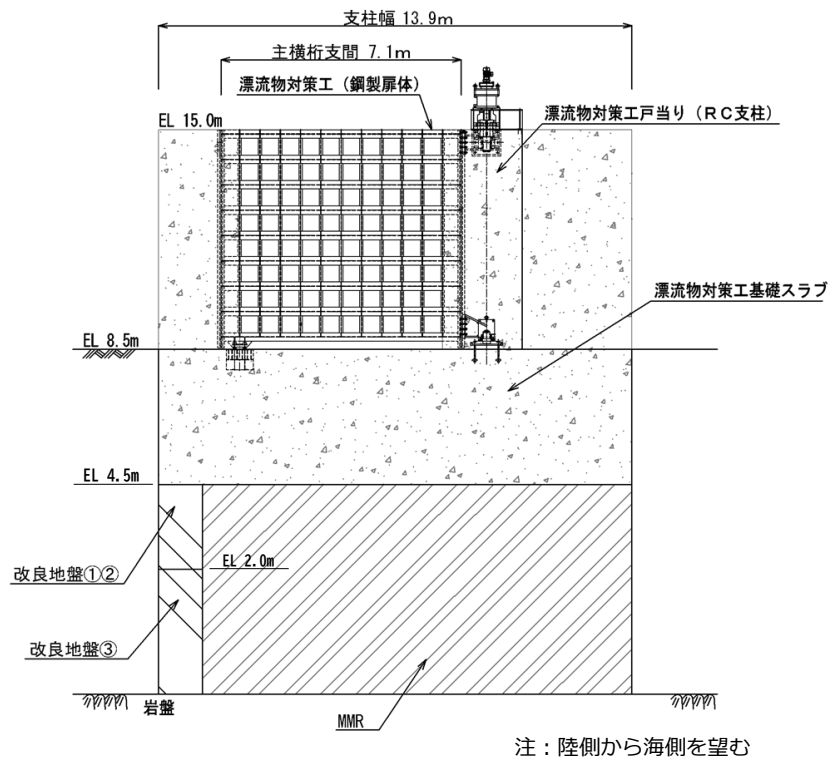


図 2-9(1) 漂流物対策工の構造図 (基礎正面図, A-A 断面)

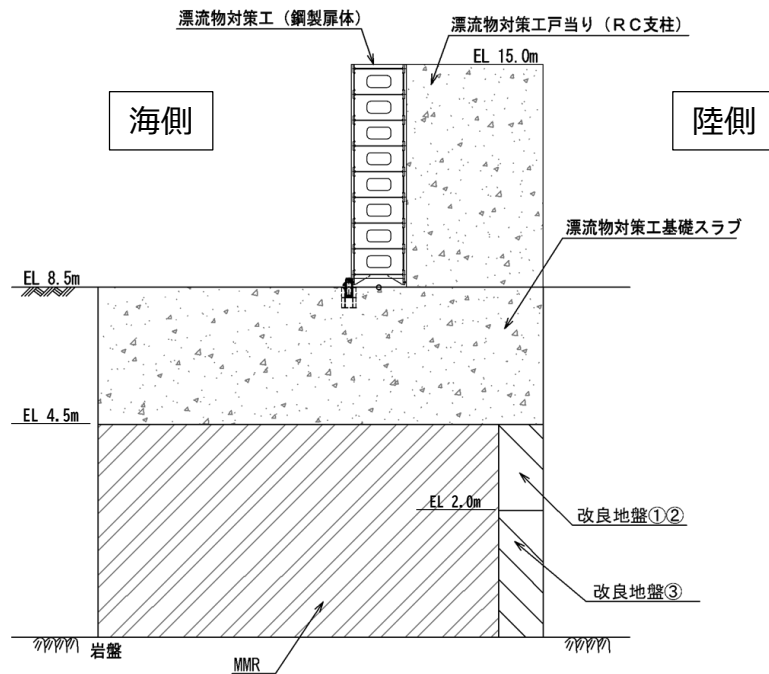


図 2-9(2) 漂流物対策工の構造図 (基礎断面図, C-C 断面)

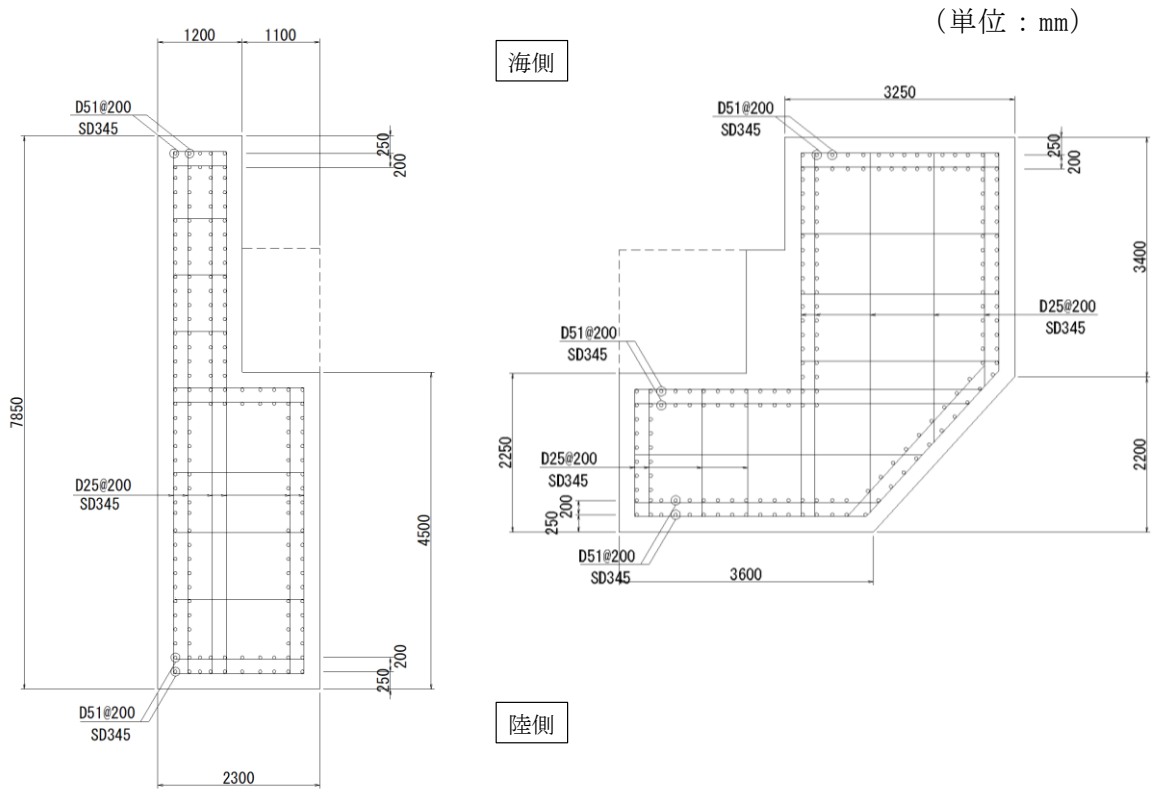
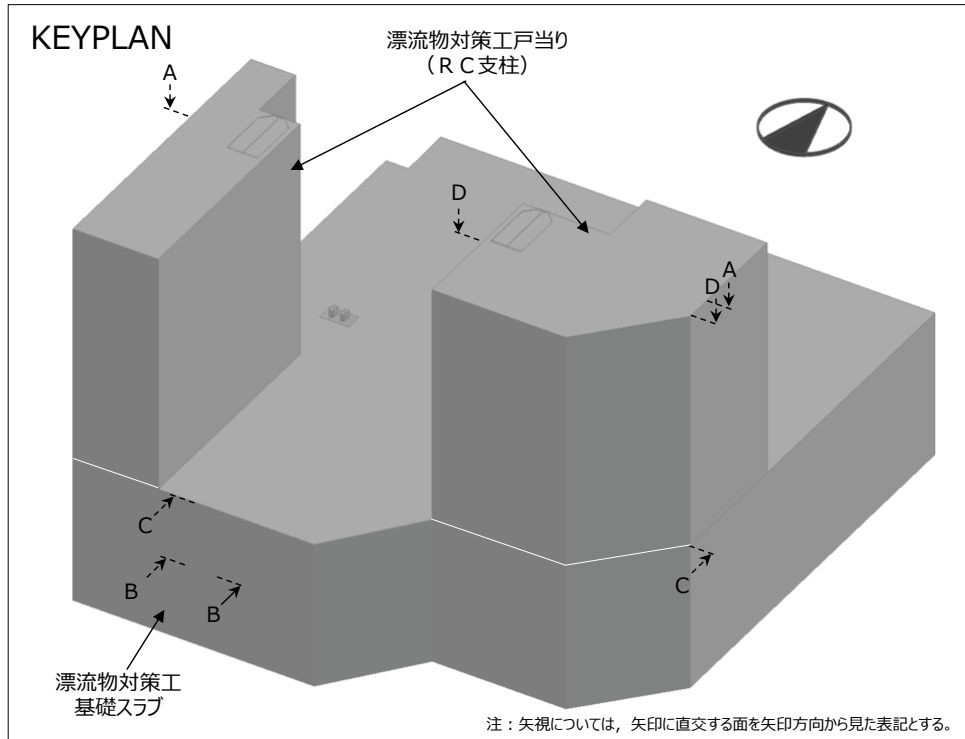


図 2-10(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

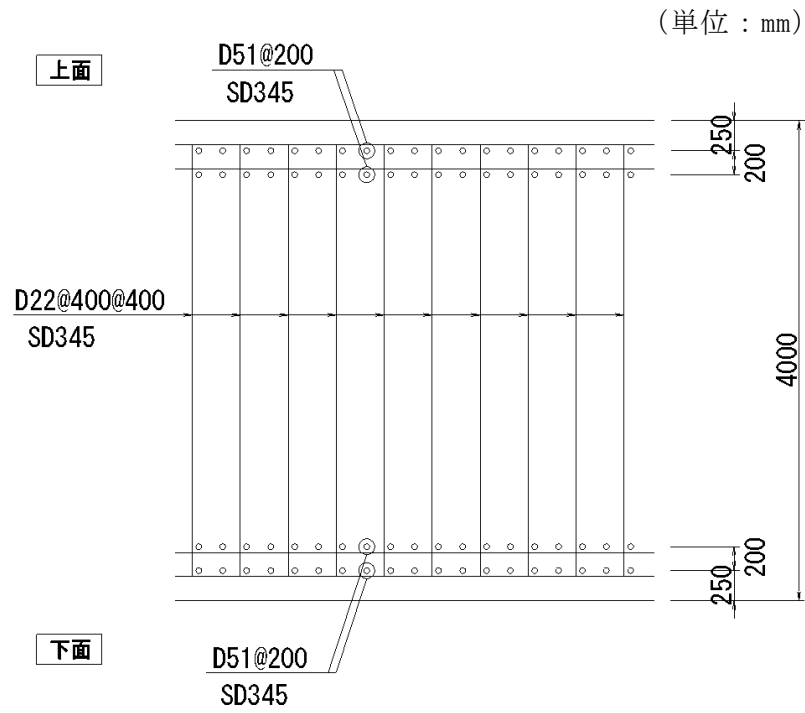


図 2-10(2) 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

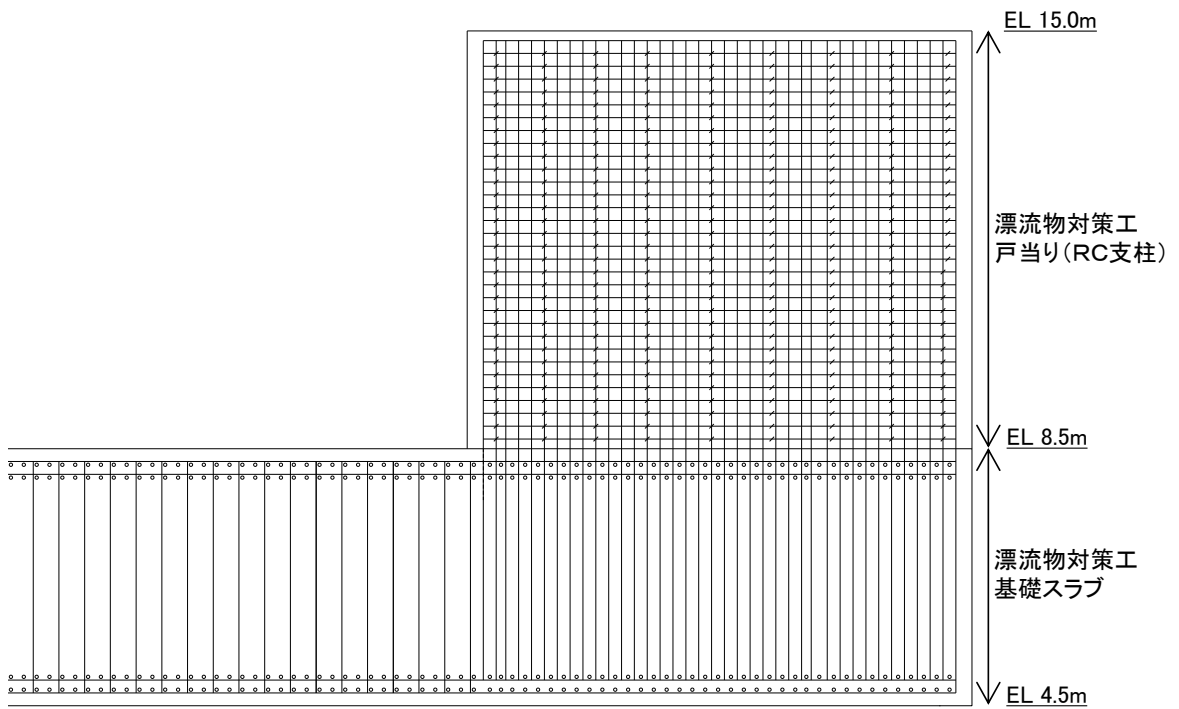
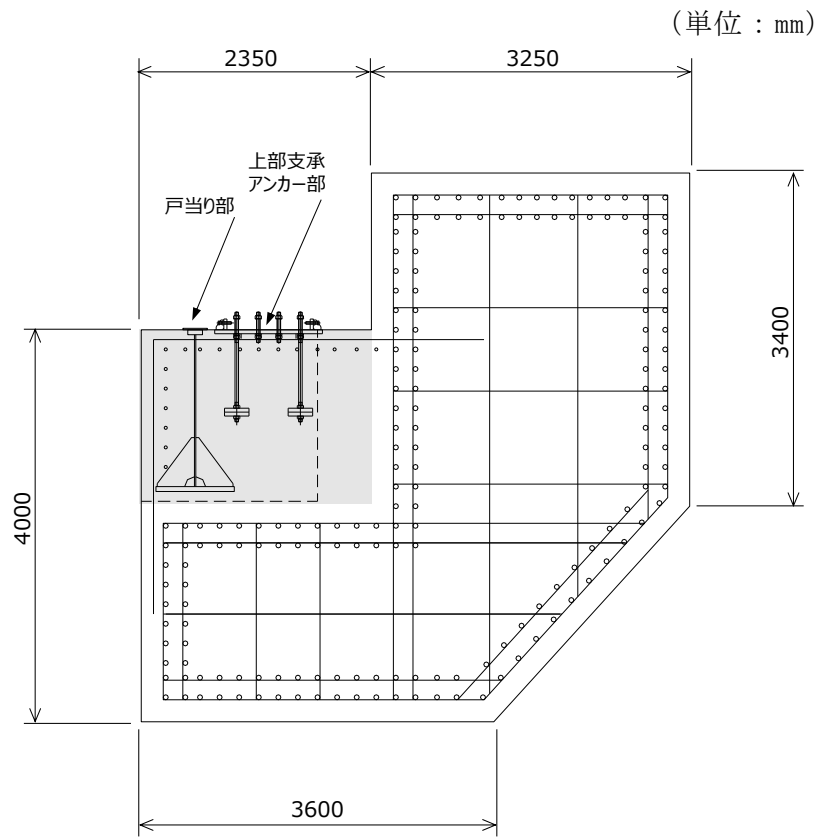


図 2-10(3) 漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブの
接続部における概略配筋図 (C-C 断面)



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 2-10(4) 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基本方針」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。

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 2-11 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"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。
	防波扉 (鋼管杭)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。 ・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）。
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭，漂流物対策工基礎スラブ並びに改良地盤又はMMRを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭，漂流物対策工基礎スラブ並びに改良地盤又はMMRを鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波扉及び漂流物対策工への相互作用を考慮する）。

表 2-2 防波扉（荷揚場南）の各部位の性能目標

部位	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(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、おおむね弾性状態に留まること。
	防波扉基礎 スラブ				構造物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)				構造物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。
	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、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。
漂流物対策工 基礎スラブ	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。				
地盤	改良地盤	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)。	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)。
	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）	主横桁，スキンプレート，補助縦桁，端縦桁，支圧板，戸当り	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・軸力）及び応力（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）	主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁，戸当り	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・軸力，せん断力）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		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	
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）	主横桁，スキンプレート，補助縦桁，端縦桁，支圧板，戸当り	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	降伏モーメント（曲げ・軸力） 短期許容応力度
		改良地盤		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。

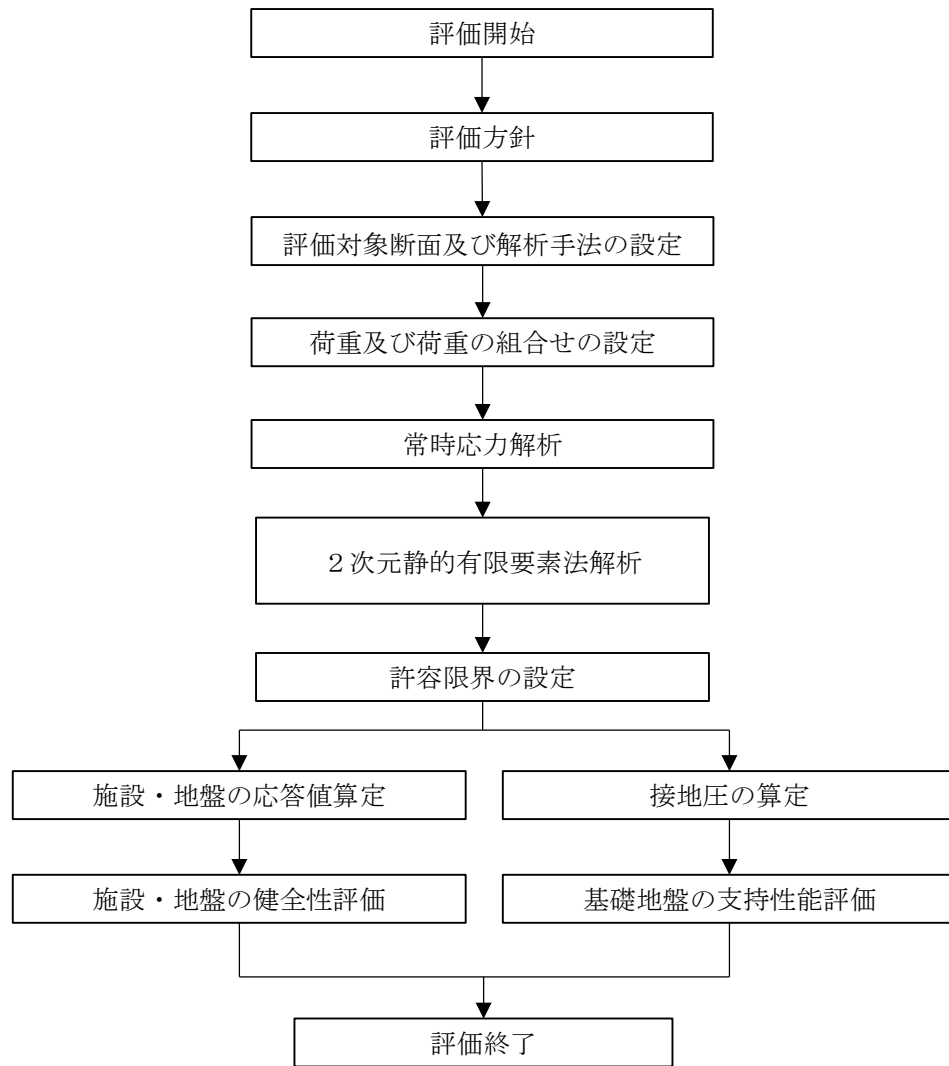


図 2-11 防波扉（荷揚場南）の強度評価フロー

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)
- ・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
- ・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 防波扉の強度評価に用いる記号(1/3)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	kN・m	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	N	kN	圧縮力
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	正面水密幅
	B_1	m	側面水密幅
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	A_s	mm ²	全断面積
	σ_c	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
スキンプレート	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	L	mm	縦桁の間隔 (区画の短辺 a)
	l	mm	主桁の間隔 (区画の長辺 b)
	t_f	mm	桁フランジの厚さ
	t_s	mm	スキンプレーートの厚さ
	t	mm	有効板厚
	L/l	-	辺長比
	k_1	-	辺長比 (長辺 b / 短辺 a) による係数
	β_1	-	応力の補正係数
	P	N/mm ²	水平荷重 (水圧荷重 + 風荷重)
σ_1	N/mm ²	曲げ応力度	
σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度	

表 3-1 防波扉の強度評価に用いる記号(2/3)

部材	記号	単位	定義
補助縦桁	ℓ	m	主横桁間隔
	m	m	補助縦桁間隔
	P	kN/m ²	水平荷重 (水圧荷重+風荷重)
	M	kN・m	曲げモーメント
	S	kN	せん断力
	Z	mm ³	断面係数
	A _w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A _q	mm ²	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm ²	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
支圧板	P	N/mm ²	水平荷重 (水圧荷重+風荷重)
	C	mm	支圧板の有効幅
	L ₁	mm	水密幅
	σ_p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ_{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度

表 3-1 防波扉の強度評価に用いる記号(3/3)

部材	記号	単位	定義
戸当り	P	N/mm^2	水平荷重（水圧荷重+風荷重）
	L_1	mm	水密幅
	b_f	mm	底面フランジの幅
	t_f	mm	底面フランジの厚さ
	ℓ_1	mm	戸当り深さ
	ℓ_2	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M_f	$N \cdot mm$	底面フランジに作用する曲げモーメント
	$\Sigma \ell$	mm	せん断抵抗長さ（ $=\ell_1+2\ell_2$ ）
	σ_f	N/mm^2	底面フランジの曲げ応力度
	σ_{cb}	N/mm^2	コンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm^2	コンクリートのせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm^2	コンクリートの許容支圧応力度
	τ_{ca}	N/mm^2	コンクリートの許容せん断応力度
防波扉 (鋼管 杭)	M_y	$kN \cdot m$	曲げモーメント
	f_y	N/mm^2	鋼管杭の降伏基準点
	Z_e	mm^3	鋼管杭の断面係数
	N_p	kN	鋼管杭に発生する軸力
	A	mm^2	鋼管杭の断面積
	τ_p	N/mm^2	鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度
	Q_p	kN	鋼管杭に発生するせん断力

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(1/3)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	kN・m	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	P	kN/m	衝突荷重
	P'	kN/m	船首衝突による衝突荷重
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	扉体幅
	b	m	船首衝突作用幅
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
張出桁	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	M_2	kN・m	曲げモーメント
	S_2	kN	せん断力
	P	kN	衝突荷重
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	L_2	m	張出長さ
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
補助縦桁	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
	M_3	kN・m	曲げモーメント
	S_3	kN	せん断力
	P	kN	衝突荷重
補助縦桁	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	ℓ	m	主横桁の間隔

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(2/3)

部材	記号	単位	定義
補助 縦桁	Z	mm^3	断面係数
	A_w	mm^2	腹板断面積
	σ	N/mm^2	曲げ応力度
	τ	N/mm^2	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A_q	mm^2	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm^2	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容圧縮応力度

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(3/3)

部材	記号	単位	定義
戸当り	W	kN/m	水平荷重（水圧荷重+風荷重）
	P	kN/m	衝突荷重
	C	mm	支圧板の有効幅
	L_1	mm	扉体幅
	L_2	mm	主横桁の荷重分担長さ
	L_4	mm	衝突荷重分担長さ（鉛直方向に 45° 分散）
	t_w	mm	腹板の厚さ
	b_f	mm	底面フランジの幅
	t_f	mm	底面フランジの厚さ
	l_1	mm	戸当り深さ
	l_2	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M_f	N・mm	底面フランジに作用する曲げモーメント
	Σl	mm	せん断抵抗長さ（ $=l_1+2l_2$ ）
	σ_p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ_b	N/mm ²	腹板の支圧応力度
	σ_f	N/mm ²	底面フランジの曲げ応力度
	σ_{cb}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
	σ_{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
	σ_{ba}	N/mm ²	腹板の許容支圧応力度
σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度	
σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度	
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

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（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（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。

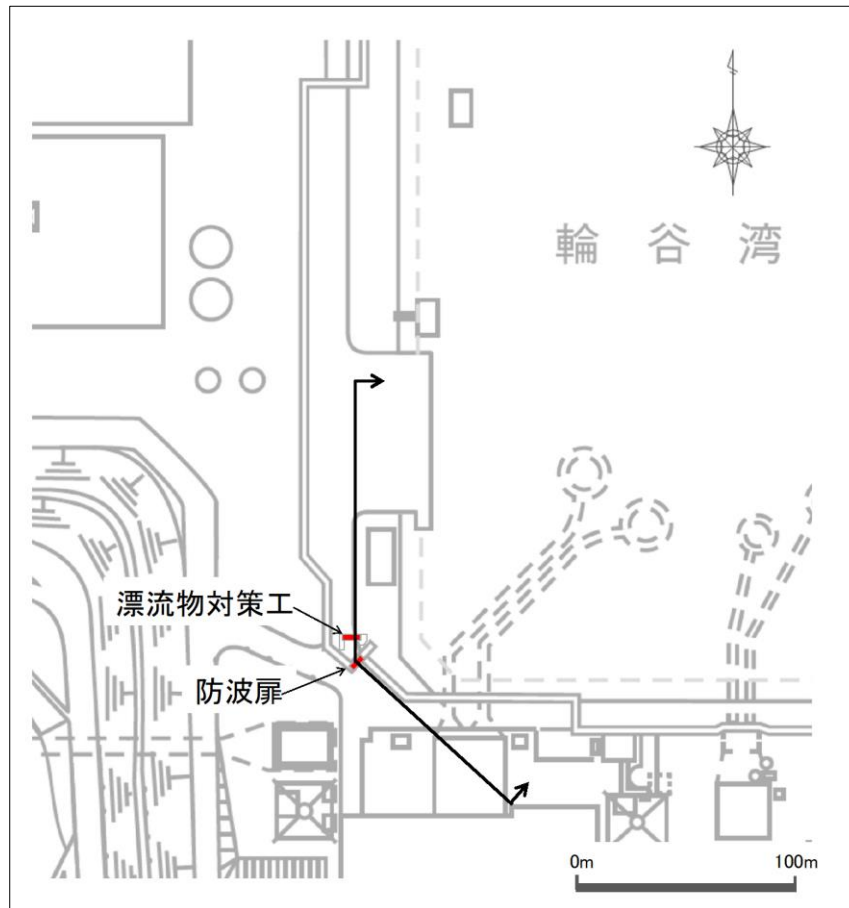


図 3-1 防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図

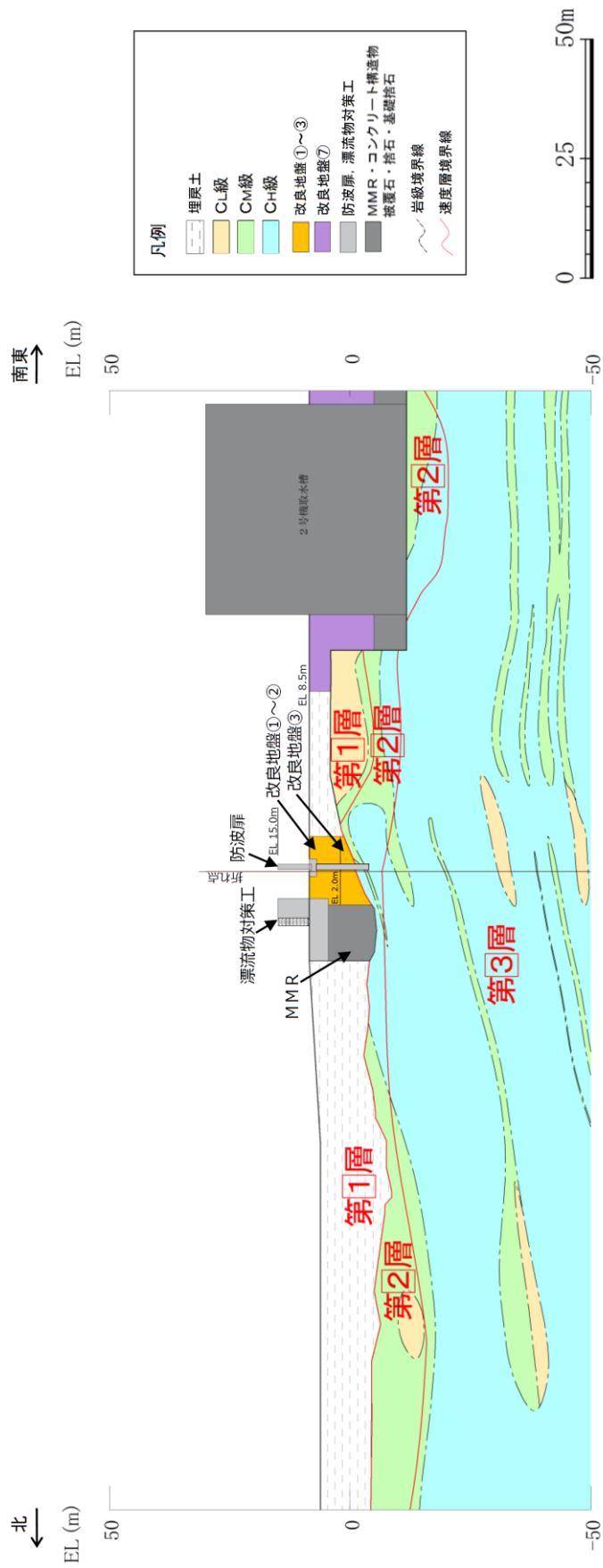


図 3-2 防波扉（荷揚場南）の縦断面図

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基本方針」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次元静的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）に参照する裕度（0.64m）を加えた高さ（EL 12.6m）に作用させる。

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

3.4 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基本方針」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）

常時作用する荷重として、固定荷重、土圧及び海中部に対する静水圧（浮力含む。）を考慮する。

(2) 積雪荷重（P_s）

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/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重（P_k）

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

(4) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重は、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。

(5) 衝突荷重 (P_c)

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。

衝突荷重として考慮する漂流物は、最も重量が大きい総トン数 19 トンの船舶を選定する。

衝突荷重については、衝突荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、「施設の延長に応じた衝突荷重」、「船首衝突による衝突荷重」又は「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

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の作用図を図 3-3 に示す。なお、漂流物対策工については、鋼製扉体が格子状の構造を有するが、安全側の評価となるよう格子状の隙間も受圧面として風荷重及び遡上津波荷重を作用させる。

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）	$G + P_s + P_k + P_t$
津波時（漂流物対策工）	$G + P_s + P_k + P_t + P_c$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

P_t : 遡上津波荷重

P_c : 衝突荷重

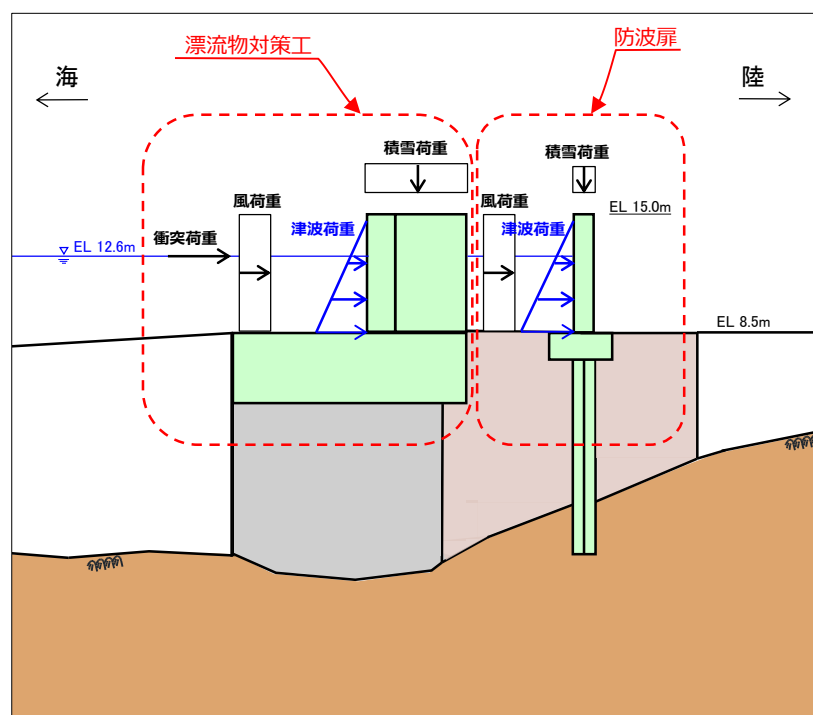


図 3-3 強度評価に用いる荷重の作用図

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

解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(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）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化する。

(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。

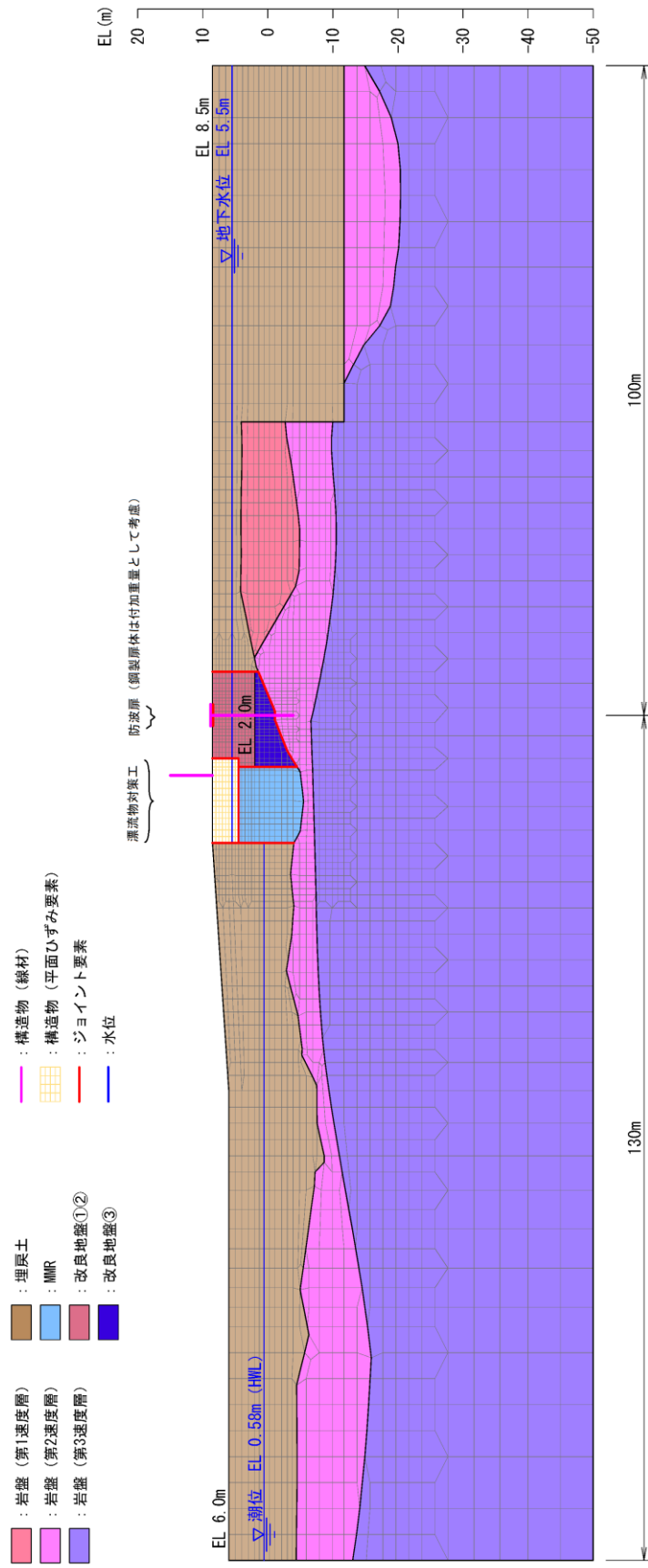


図 3-4 防波扉 (荷揚場南) の解析モデル (評価対象断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

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
コンクリート	防波扉戸当り (RC 支柱) 及び防波扉基礎スラブ	設計基準強度 : 24N/mm ²
鋼材	防波扉 (鋼製扉体)	SM490, SS400
	防波扉 (鋼管杭) *	φ 1200mm, t=25mm (SKK490)
	鉄筋	SD345

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。杭体の断面照査において、腐食代 1mm による断面積の低減を考慮する。

表 3-4(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
コンクリート	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	設計基準強度 : 40N/mm ²
鋼材	漂流物対策工 (鋼製扉体)	SBHS700, SM570
	鉄筋	SD345

表 3-5(1) 材料の物性値 (防波扉)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0* ¹	2.5×10 ⁴ * ¹	0.2* ¹
鋼管杭	77.0* ²	2.0×10 ⁵ * ²	0.3* ²

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)

*2 : 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 ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	3.1×10 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)

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 (N/mm ²)
	C' (N/mm ²)	φ' (°)	
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 設計地下水位の一覧

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

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）、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及び改良地盤①～③とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉（荷揚場南）を支持する基礎地盤（鋼管杭を支持する岩盤、MMR、改良地盤並びにMMR及び改良地盤直下の岩盤）とする。

3.7 許容限界

許容限界は、「3.6 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

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）（ダム・堰施設技術協会、平成 28 年 3 月）」以下、「ダム・堰施設技術基準（案）」という。）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，戸当り）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_{ca}	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 σ_{ca}	160	240
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 σ_{ca}	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 σ_{ca}	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り (底面フランジ)	SS400	許容曲げ応力度 σ_{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 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{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 ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9
許容せん断応力度 τ_{ca}		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294
	許容せん断応力度 τ_{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・同解説IV下部構造編（（社）日本道路協会，平成14年3月）」及び「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）」に基づき，表3-10に示す短期許容応力度とする。

表3-10 防波扉（鋼管杭）の許容限界

種別	杭径 (mm)	杭板厚 (mm)	鋼種	降伏基準点 f _y (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)
鋼管杭	1200	25*	SKK490	315	157

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。杭の断面計算及び杭の曲げ剛性の算出をする際は腐食代の断面積の低減を考慮する。

(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」を準用し、表 3-11 に示すすべり安全率を設定する。

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、支持力試験及び「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）」により設定する。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 ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 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）（ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」（以下，「ダム・堰施設技術基準（案）」という。）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 ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	207 ^{*1, *2}	310
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
戸当り （コンクリート）	f _{ck} =40 N/mm ²	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1：「ダム・堰施設技術基準（案）」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 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

*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）」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，横倒れ座屈に対する配慮として許容応力度を下記の計算式により算出する。

圧縮フランジがスキンプレート等で固定されていない場合

$$L/b \leq 10/K : \sigma_{ca} = 225 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$10/K < L/B \leq 25 : \sigma_{ca} = 225 - 2.9(KL/b - 10) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

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

但し， $A_w/A_c < 2$ の場合は $K=2$ とする

ここに，L：圧縮フランジの固定点間距離(mm)

b：圧縮フランジの幅(mm)

A_w ：腹板の総断面積(mm²)

A_c ：圧縮フランジの総断面積(mm²)

(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 ²)		短期許容応力度*
			(N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度	14	21
	許容せん断応力度	0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	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，支持力試験及び「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）」により設定する。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 ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度	MMR		18.0

3.8 評価方法

防波扉（荷揚場南）の強度評価のうち，防波扉（鋼製扉体），防波扉戸当り（RC支柱）及び漂流物対策工（鋼製扉体）については，津波荷重により各部材に発生する応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。

また，防波扉基礎及び漂流物対策工基礎については，2次元静的有限要素法に基づいて算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。応力度の算定には，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）及び戸当り（RC支柱）

防波扉（鋼製扉体）は、扉体（スキムプレート、主横桁、補助縦桁、端縦桁及び袖桁）、車輪、レール、ガイドローラ、ロック装置、支圧板、戸当り及び防波扉戸当り（RC支柱）で構成されている。津波荷重に対して、応力算定式により、扉体（主横桁、スキムプレート、補助縦桁、及び端縦桁）、支圧板、戸当り及び防波扉戸当り（RC支柱）の耐震評価を行う。

a. 主横桁

主横桁は、扉体の支圧板と側部戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し、水平荷重（水圧荷重＋風荷重）から算定される応力^度が許容限界以下であることを確認する。なお、側面からの水圧荷重は圧縮力として評価する。

主横桁の照査対象部を図 3-5 に、主横桁のモデル図及び応力算定式を図 3-6 に示す。

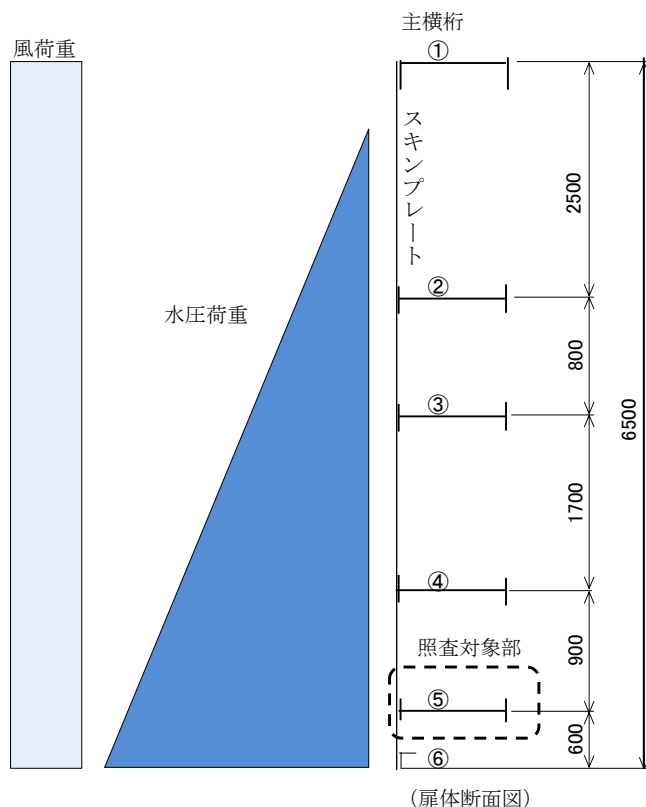
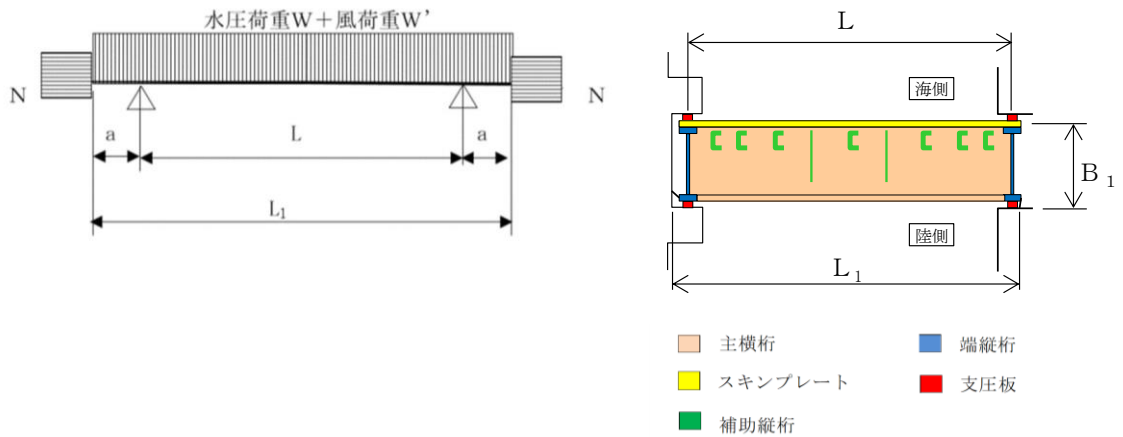


図 3-5 主横桁の照査対象部



(扉体平面図)

断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

- ・ せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W')L$$

- ・ 圧縮力

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

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{M_1}{Z} \pm \frac{N}{A_s}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに,

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

N : 圧縮力 (kN)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

a : 張り出し部 (m)

L_1 : 正面水密幅 (m)

B_1 : 側面水密幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

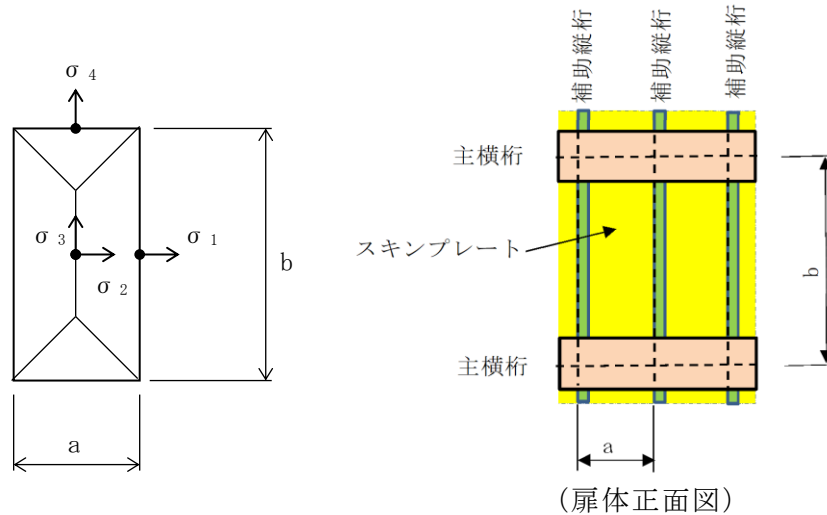
A_s : 全断面積 (mm²)

図 3-6 主横桁のモデル図及び応力算定式

b. スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げモーメントは、4辺を固定支持された平板としてモデル化し、水平荷重（水圧荷重＋風荷重）から算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及び応力算定式を図3-7に示す。



$$\sigma_1 = \frac{1}{100} k \cdot a^2 \cdot \frac{P}{t^2} \cdot \beta_1$$

ここに、

σ_1 : 曲げ応力度 (N/mm²)

t_f : 桁フランジの厚さ (mm)

t_s : スキンプレートの厚さ (mm)

L/l : 辺長比

k_1 : 辺長比 (長辺 b / 短辺 a) による係数

L : 縦桁の間隔 (区画の短辺 a) (mm)

l : 主桁の間隔 (区画の長辺 b) (mm)

P : 水平荷重 (水圧荷重＋風荷重) (N/mm²)

t : 有効板厚 (mm)

β_1 : 応力の補正係数

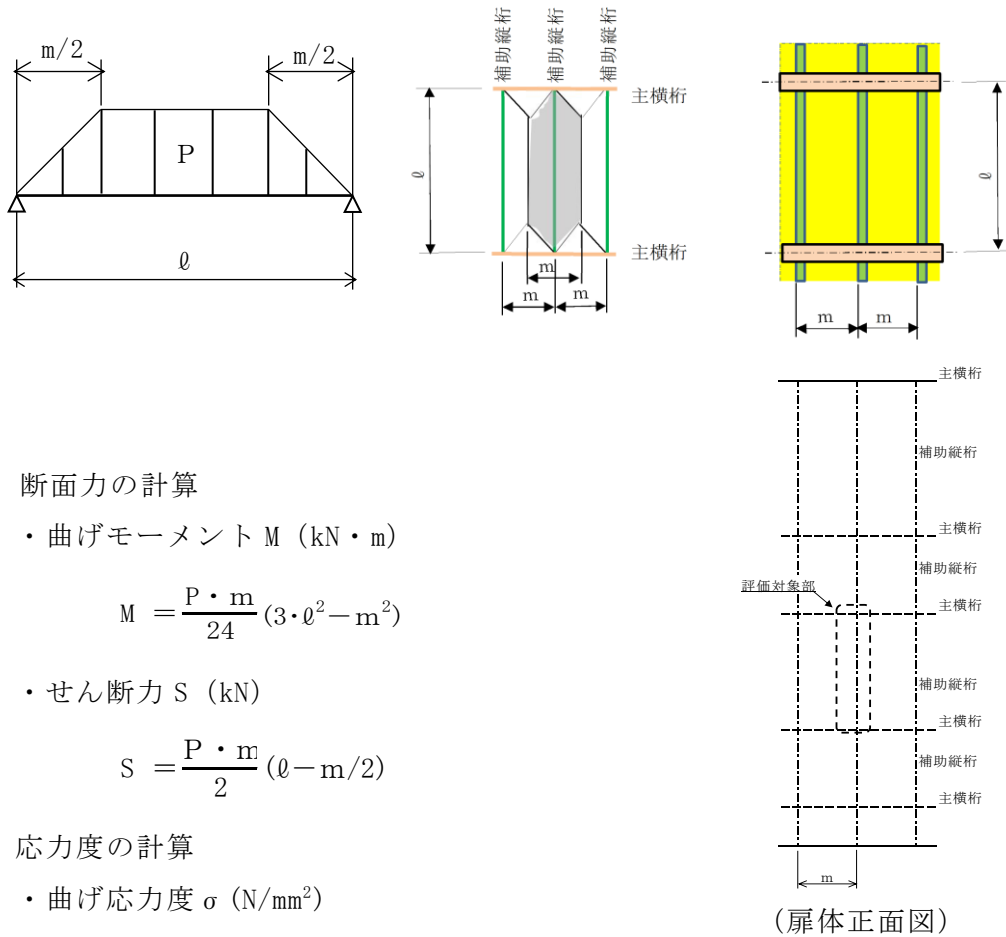
図3-7 スキンプレートの構造図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁は、水平荷重（水圧荷重＋風荷重）を受ける単純梁として計算し、その応力度が許容限界以下であることを確認する。

また、補助縦桁の照査対象部は、荷重と主横桁間隔を考慮し選定する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 3-8 に示す。



断面力の計算

- 曲げモーメント M (kN・m)

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

- せん断力 S (kN)

$$S = \frac{P \cdot m}{2} (l - m/2)$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

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

- せん断応力度 τ (N/mm²)

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

ここに、P : 水平荷重 (kN/m²)
(水圧荷重＋風荷重)

l : 主横桁間隔 (m)

m : 補助縦桁間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

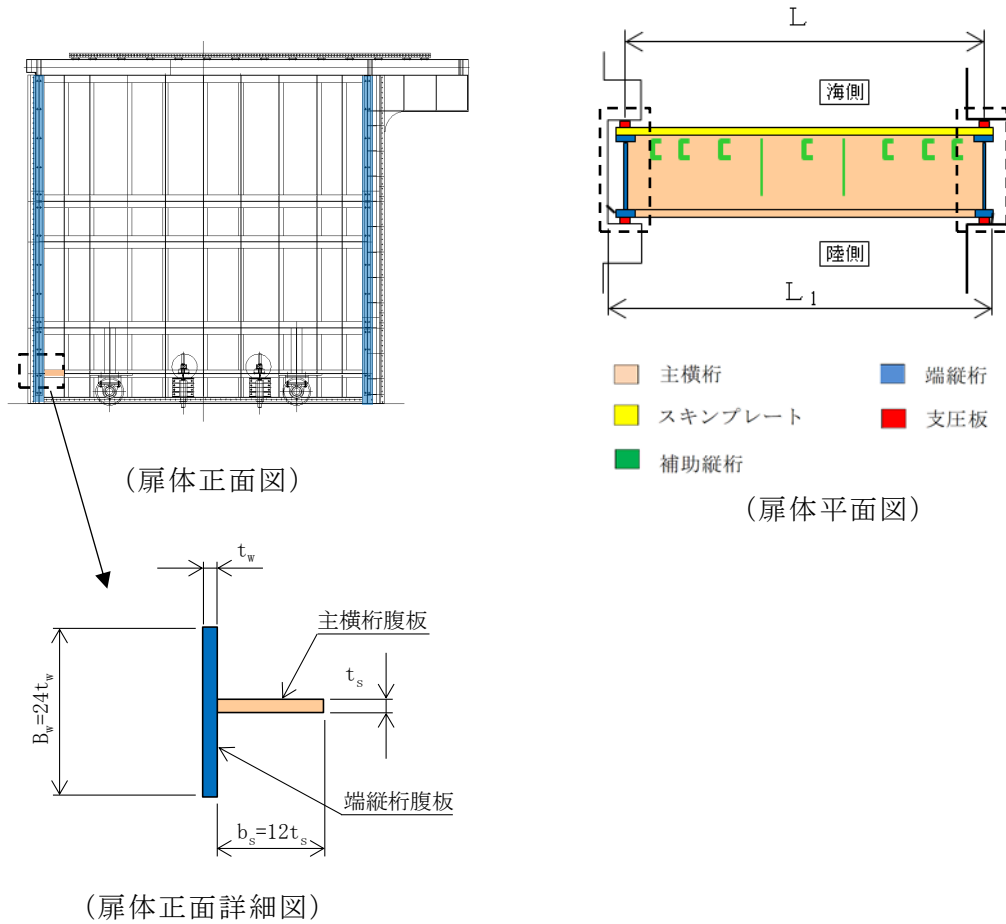
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-8 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力 σ_c が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図 3-9 に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

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

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

$$A_q = A_w + A_s$$

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

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

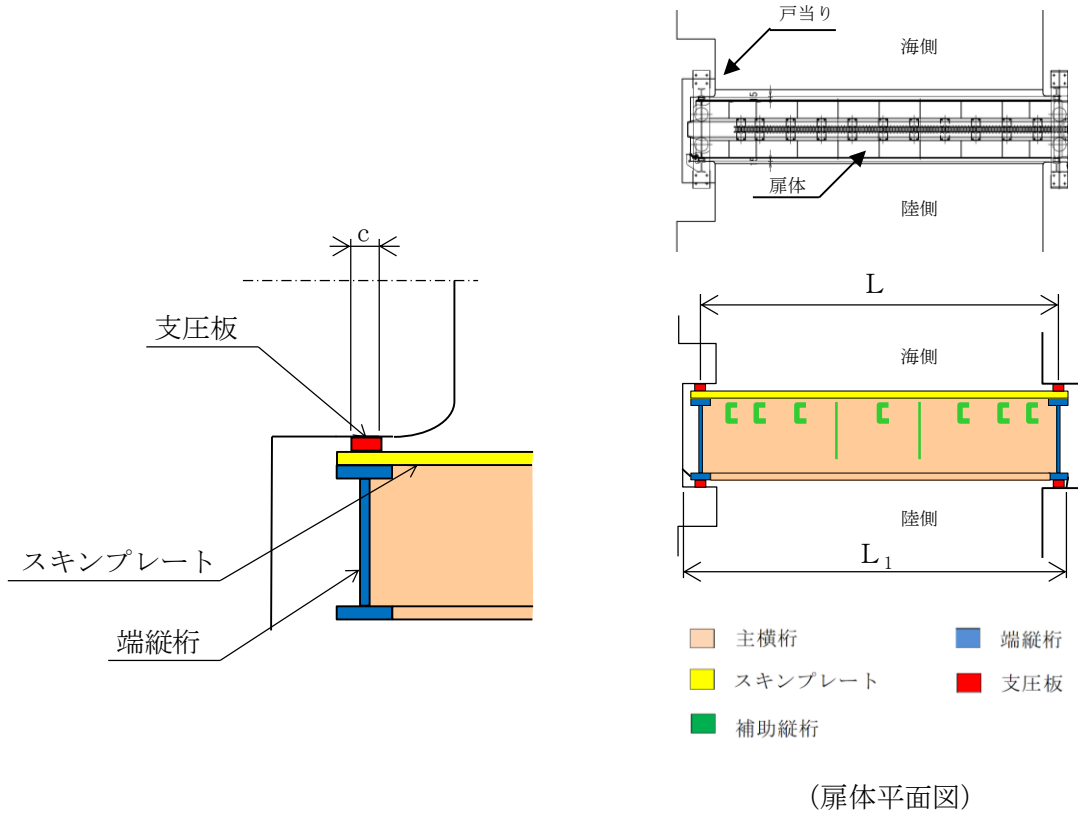
但し、 $A_q \leq 1.7 A_s$

図 3-9 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 支圧板

支圧板の面圧は扉体に作用する荷重から求め、算定される応力^度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の構造図及び応力算定式を図 3-10 に示す。



支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{P L_1}{2 C}$$

ここに、

P : 水平荷重 (kN/m²)
(水圧荷重 + 風荷重)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

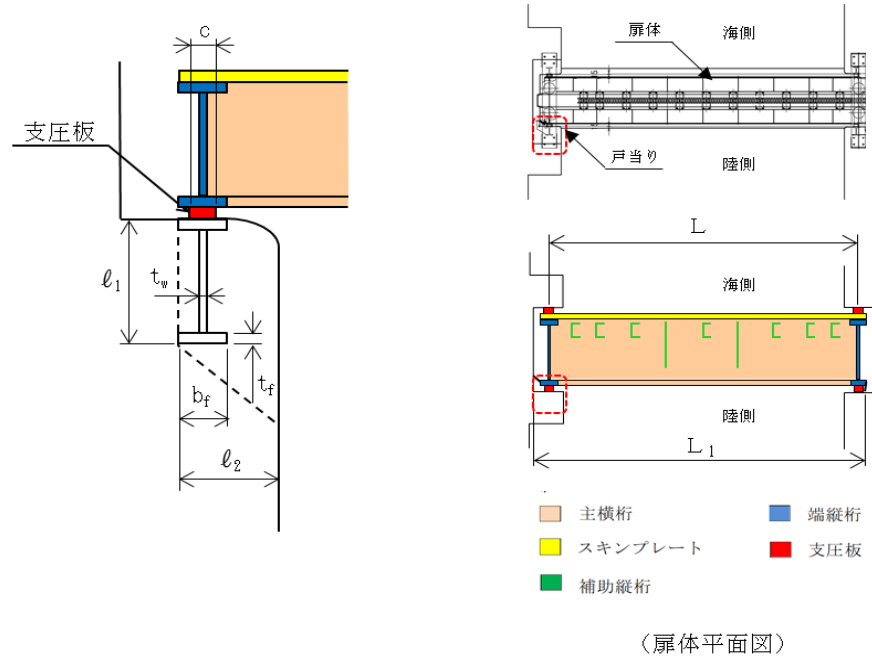
L₁ : 水密幅 (mm)

図 3-10 支圧板の構造図及び応力算定式

f. 戸当り

戸当りは、水平荷重（水圧荷重＋風荷重）の最も大きい扉体最下部に作用する荷重により評価を行い、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図及び応力算定式を図 3-11 に示す。



コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_{cb} = \frac{P L_1}{2b_f}$$

底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2} \quad M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{P L_1}{2 \Sigma \ell}$$

ここに、

P : 水平荷重 (kN/m²)

(水圧荷重＋風荷重)

L₁ : 水密幅 (mm)

b_f : 底面フランジの幅 (mm)

t_f : 底面フランジの厚さ (mm)

ℓ₁ : 戸当り深さ (mm)

ℓ₂ : 底面フランジのコンクリートまでの距離 (mm)

M_f : 底面フランジに作用する曲げモーメント (N・mm)

Σℓ : せん断抵抗長さ

(= ℓ₁ + 2ℓ₂) (mm)

図 3-11 戸当りの構造図及び応力算定式

g. 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) の陸側について、防波壁側を固定として水平荷重 (水压荷重+風荷重) を受ける片持梁にモデル化して計算し、その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。

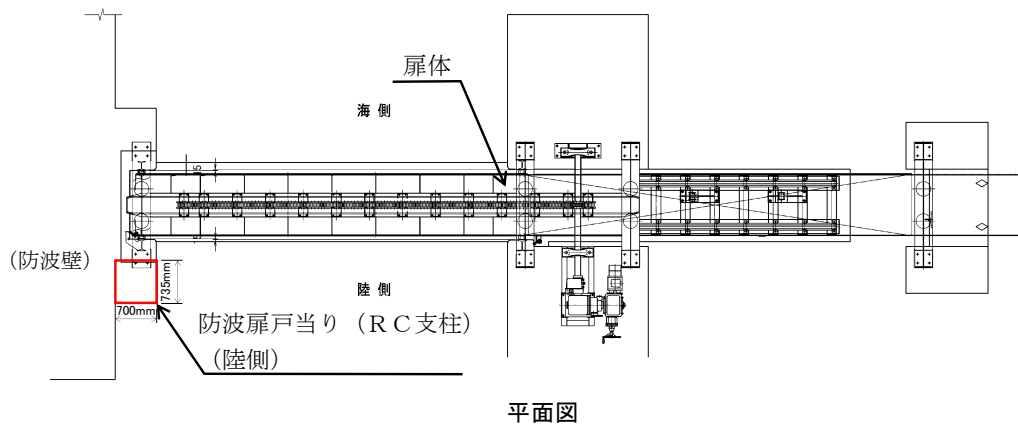


図 3-12 防波扉戸当り (RC支柱) の位置図

(2) 防波扉基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、2次元静的有限要素法により算定され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（鋼管杭）

鋼管杭の評価は、杭体の曲げモーメント及び軸力より算定される応力度及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

a. 曲げ軸力照査

発生曲げモーメントが、次式により算定される降伏曲げモーメント以下であることを確認する。

$$M_y = \left(f_y - \frac{|N_p|}{A} \right) Z_e$$

ここに、

M_y : 鋼管杭の降伏曲げモーメント (kN・m)

f_y : 鋼管杭の降伏基準点 (N/mm²)

Z_e : 鋼管杭の断面係数 (mm³) *

N_p : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記* : 鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

b. せん断力照査

せん断力を用いて次式により算定されるせん断応力が、せん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_p = \frac{Q_p}{A}$$

ここに、

τ_p : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm²)

Q_p : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記* : 鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

(4) 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時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

また、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示すとおり、改良地盤の解析用物性値のうちせん断強度は、室内配合試験結果よりも保守的な強度を設定していることから、強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1σ）は実施しない。

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。

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、「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）」に従い、杭下端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力が基礎地盤の極限支持力度以下であることを確認する。

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

ここに、

R_d : 鋼管杭下端の軸力より算定される軸応力度 (N/mm²)

N : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭先端の断面積 (mm²) *

注記* : 鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

3.8.2 漂流物対策工

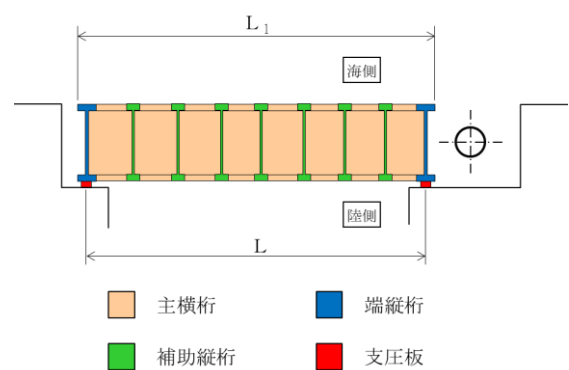
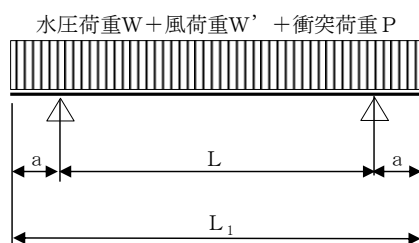
(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）は、扉体（主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁及び支圧板），支承部，ロック装置及び戸当りの部位から構成されている。津波荷重に対しては，主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁及び戸当り（支圧板含む）の強度評価を行う。

a. 主横桁

主横桁は、扉体と側部戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し、水平荷重（水圧荷重+風荷重+衝突荷重）から算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、主横桁の分担荷重は、保守的に津波波圧及び風荷重が桁の空隙を考慮せずに作用するものとする。また、主横桁に作用する衝突荷重としては、「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。

主横桁のモデル図及び応力算定式を図 3-13 に示す。



(扉体平面図)

断面力の計算

- 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

- せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに、

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

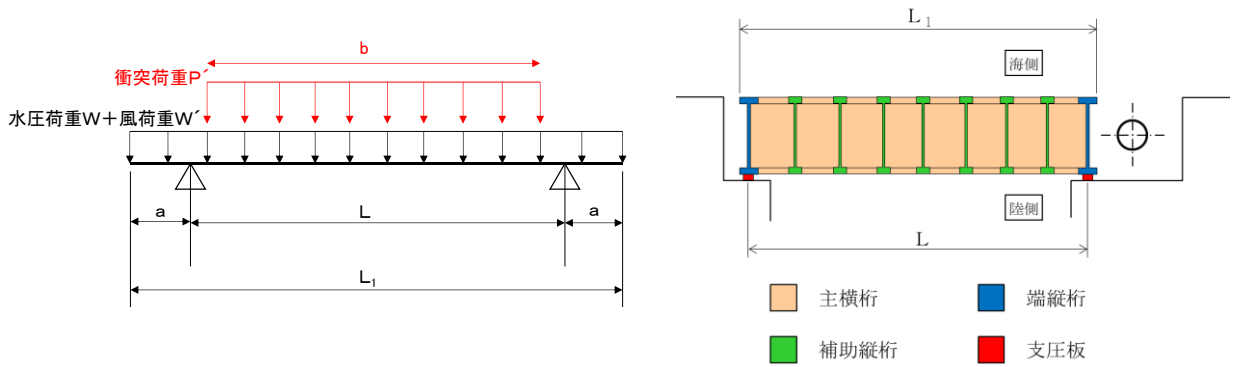
a : 張り出し部 (m)

L_1 : 扉体幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-13 (1) 主横桁のモデル図及び応力算定式



(扉体平面図)

断面力の計算

- 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W') L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{8} P' \{L^2 - (L - b)^2\}$$

- せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W') L_1 + \frac{1}{2} P' b$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに、

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

P' : 船首衝突による衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

a : 張り出し部 (m)

L_1 : 扉体幅 (m)

b : 船首衝突作用幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

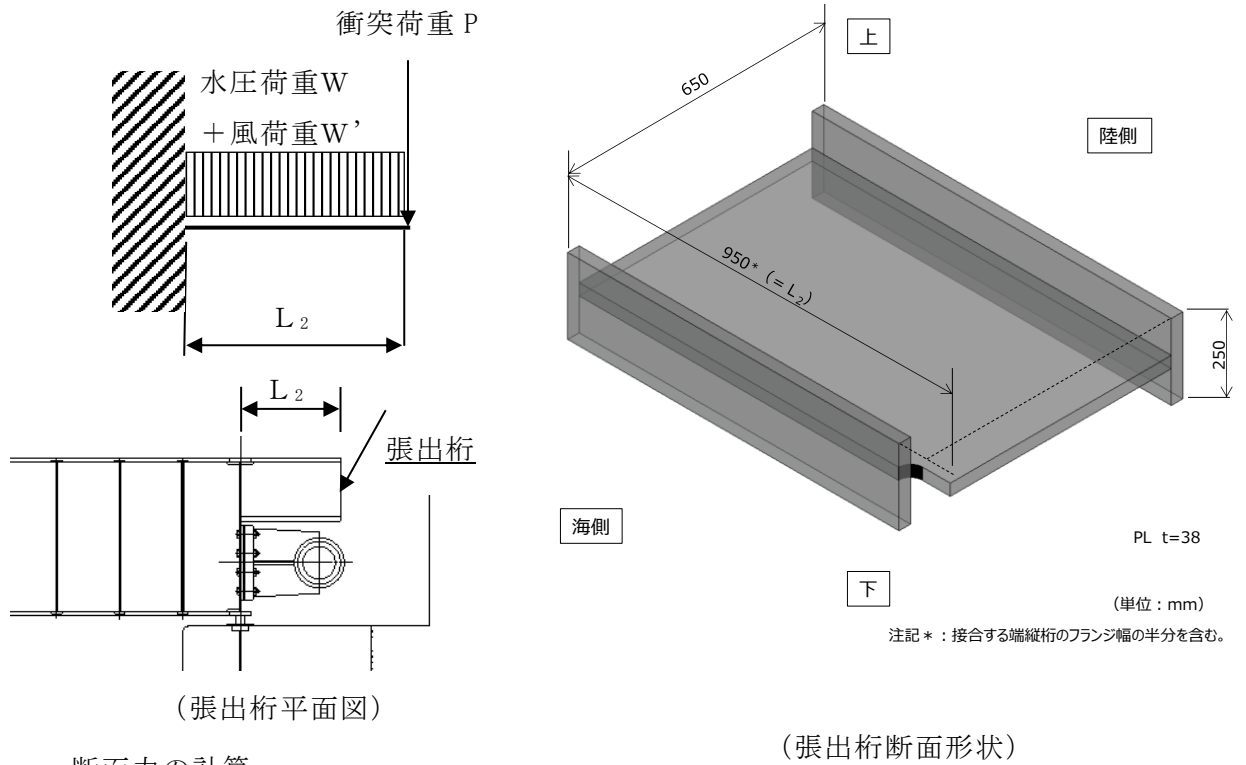
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-13(2) 主横桁のモデル図及び応力算定式
(船首衝突を考慮した場合)

b. 張出桁

張出桁は、扉体部を固定とする片持梁にモデル化し、水平荷重（水圧荷重＋風荷重＋衝突荷重）から算定され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、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

張出桁のモデル図及び応力算定式を図 3-14 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_2 = \frac{1}{2}(W + W') L_2^2 + P \cdot L$$

- ・ せん断力

$$S_2 = (W + W') L_2 + P$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_2}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_2}{A_w}$$

ここに、

M_2 : 曲げモーメント (kN・m)

S_2 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L_2 : 張出長さ (m)

Z : 断面係数 (mm³)

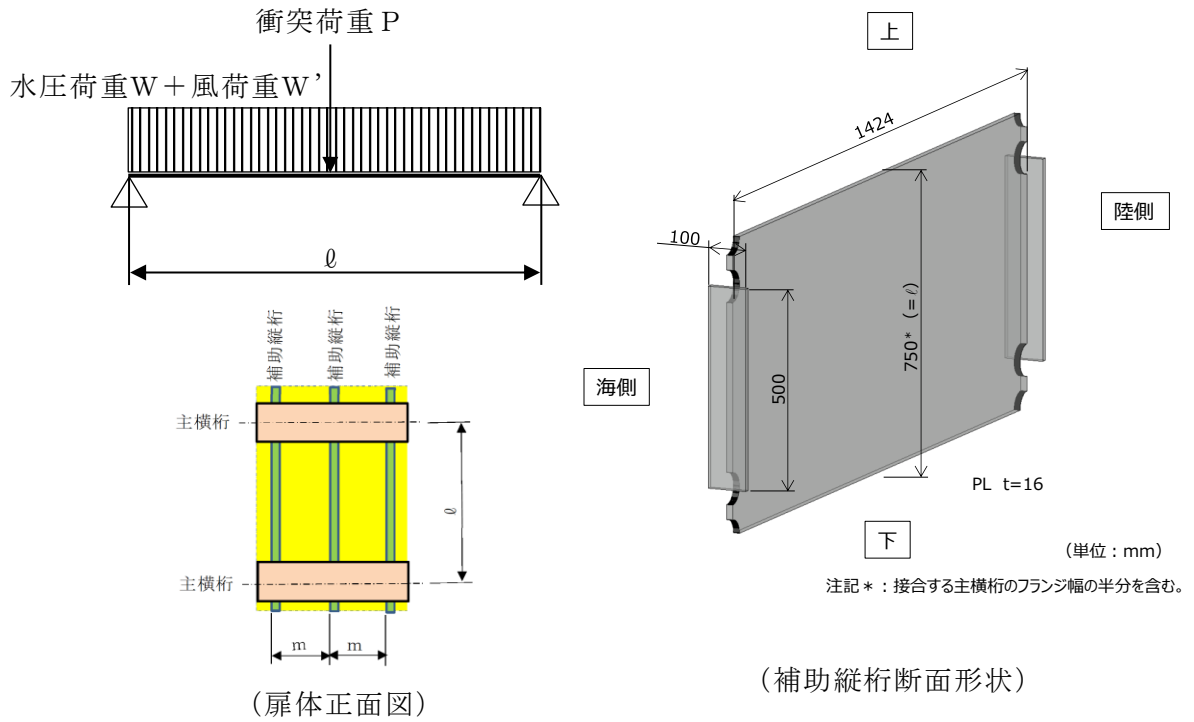
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-14 張出桁のモデル図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁に支持された単純梁としてモデル化し、水平荷重（水圧荷重＋風荷重＋衝突荷重）から算定され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、局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 3-15 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント（桁中央）

$$M_3 = \frac{1}{8}(W + W' + P)\ell^2$$

- ・ せん断力（桁端部）

$$S_3 = \frac{1}{2}(W + W' + P)\ell$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_3}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_3}{A_w}$$

ここに、

M_3 : 曲げモーメント (kN・m)

S_3 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

ℓ : 主横桁の間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

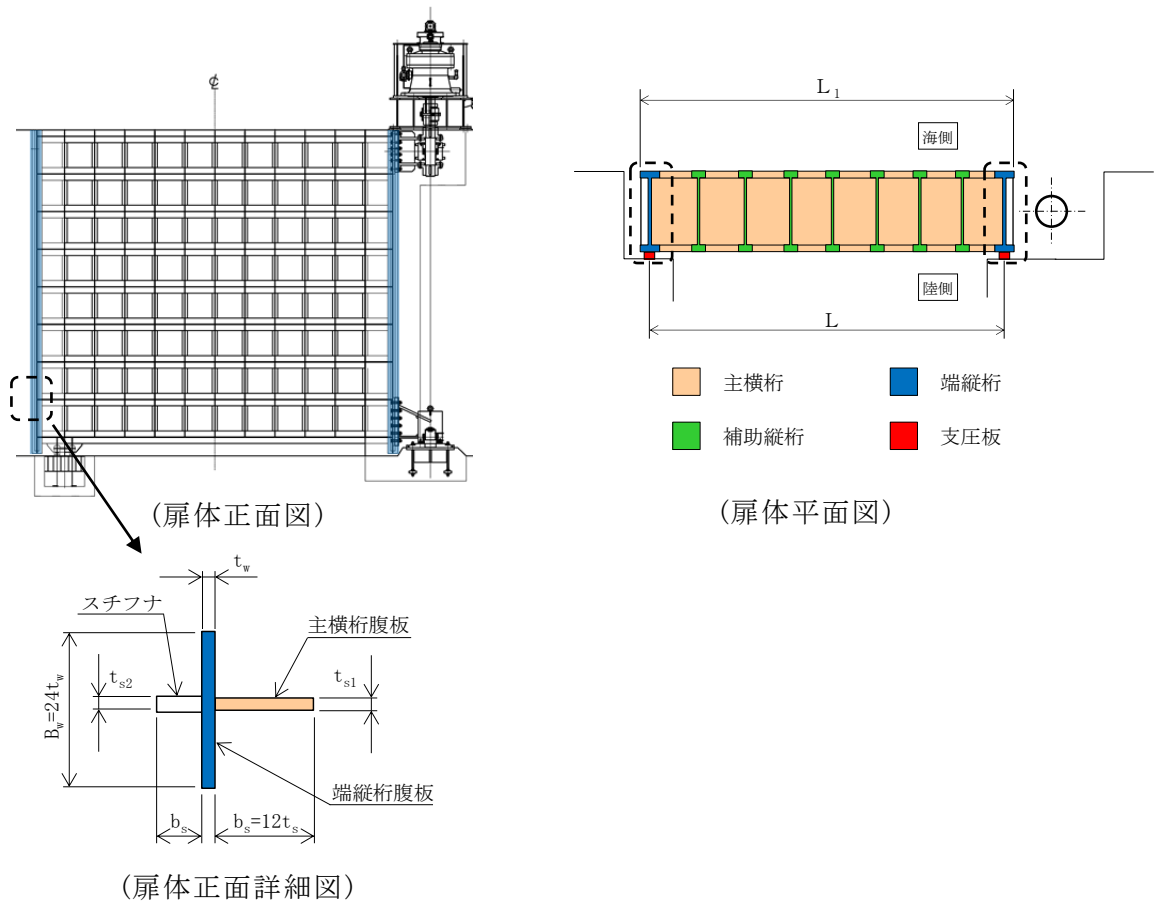
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-15 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力 σ_c が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図 3-16 に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

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

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2}$$

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

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

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{リブ})$$

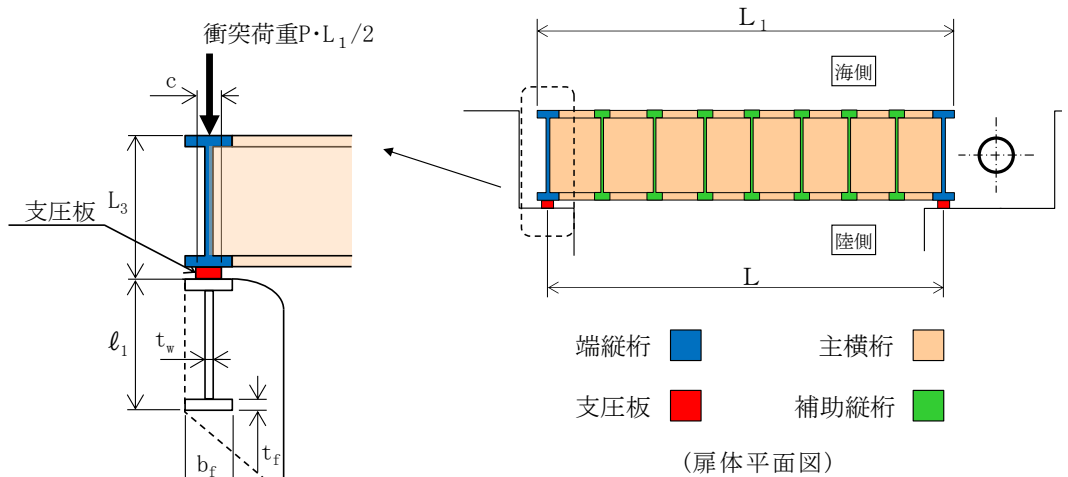
$$\text{但し, } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

図 3-16 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 戸当り

戸当りは、作用水圧の最も大きい扉体最下部に作用する水平荷重（水圧荷重＋風荷重＋衝突荷重）により評価を行い、その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。

戸当りの構造図及び応力算定式を図 3-17 に示す。



ここに、

- W : 水平荷重 (kN/m)
(水圧荷重＋風荷重)
- P : 衝突荷重 (kN/m)
- C : 支圧板の有効幅 (mm)
- L₁ : 扉体幅 (mm)
- L₂ : 主横桁の荷重分担長さ (mm)
- L₄ : 衝突荷重分担長さ (mm)
(鉛直方向に 45° 分散)
- t_w : 腹板の厚さ (mm)
- b_f : 底面フランジの幅 (mm)
- t_f : 底面フランジの厚さ (mm)
- ℓ₁ : 戸当り深さ (mm)
- ℓ₂ : 底面フランジのコンクリートまでの距離 (mm)
- M_f : 底面フランジに作用する曲げモーメント (N・mm)
- Σℓ : せん断抵抗長さ (=ℓ₁＋2ℓ₂) (mm)

支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{W L_1}{2 C L_2} + \frac{P L_1}{2 C L_4}$$

腹板の支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{W L_1}{2 t_w L_2} + \frac{P L_1}{2 t_w L_4}$$

底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

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

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

図 3-17(1) 戸当りの構造図及び応力算定式

コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{W L_1}{2b_f L_2} + \frac{P L_1}{2b_f L_4}$$

コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{W L_1}{2 \Sigma \ell L_2} + \frac{P L_1}{2 \Sigma \ell L_4}$$

図 3-17(2) 戸当りの応力算定式

- (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
鉄筋コンクリートの曲げ照査及びせん断力照査に対して、2次元静的有限要素法により算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。
- (3) 基礎地盤
基礎地盤の支持性能評価においては、漂流物対策工直下のMMR及び改良地盤並びにMMR及び改良地盤の直下の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 防波扉の強度評価に用いる条件 (1/2)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M_1	曲げモーメント	385.260	kN・m
	S_1	せん断力	237.985	kN
	N	圧縮力	85.821	kN
	W	水圧荷重	71.331	kN/m
	W'	風荷重	1.895	kN/m
	L	支間	6.500	m
	a	張り出し部	0.200	m
	L_1	正面水密幅	6.900	m
	B_1	側面水密幅	1.172	m
	Z	断面係数	3904000	mm ³
	A_w	腹板断面積	11350	mm ²
	A_s	全断面積	15912	mm ²
スキンプレート	L	縦桁の間隔 (区画の短辺 a)	754.5	mm
	l	主桁の間隔 (区画の長辺 b)	1700	mm
	t_f	桁フランジの厚さ	12	mm
	t_s	スキンプレートの厚さ	12	mm
	L/l	辺長比	0.444	-
	t	有効板厚	12	mm
	k_1	辺長比 (長辺 b / 短辺 a) による係数	50	-
	β_1	応力の補正係数	0.8	-
補助縦桁	P	水平荷重 (水圧荷重 + 風荷重)	0.04877	N/mm ²
	ℓ	主横桁間隔	1.7	m
	m	補助縦桁間隔	0.7545	m
	P	水平荷重 (水圧荷重 + 風荷重)	40.185	kN/m ²
	M	曲げモーメント	10.234	kN・m
	S	せん断力	20.053	kN
	Z	断面係数	424000	mm ³
端縦桁	A_w	腹板断面積	2470	mm ²
	R	主横桁の支点反力	237.985	kN
	A_q	補剛材の有効総断面積	2938	mm ²

表 4-1 防波扉の強度評価に用いる条件 (2/2)

部材	記号	定義	数値	単位
支圧板	P	水平荷重 (水圧荷重 + 風荷重)	63.92	kN/m ²
	C	支圧板の有効幅	85	mm
	L ₁	水密幅	6900	mm
戸当り	P	水平荷重 (水圧荷重 + 風荷重)	63.92	kN/m ²
	L ₁	水密幅	6900	mm
	b _f	底面フランジの幅	150	mm
	t _f	底面フランジの厚さ	21.2	mm
	ℓ ₁	戸当り深さ	200	mm
	ℓ ₂	底面フランジのコンクリートまでの距離	325	mm
	M _f	底面フランジに作用する曲げモーメント	4219	N・mm
	Σℓ	せん断抵抗長さ (=ℓ ₁ + 2ℓ ₂)	850	mm

表 4-2 漂流物対策工の強度評価に用いる条件 (1/2)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M ₁	曲げモーメント	3359.5	kN・m
	S ₁	せん断力	1894.2	kN
	P	衝突荷重	483	kN/m
	P'	船首衝突による衝突荷重	520	kN/m
	W	水圧荷重	49.214	kN/m
	W'	風荷重	1.354	kN/m
	L	支間	7.1	m
	a	張り出し部	0.1	m
	L ₁	扉体幅	7.3	m
	Z	断面係数	18674000	mm ³
	A _w	腹板断面積	21500	mm ²
張出桁	M ₂	曲げモーメント	1147.2	kN・m
	S ₂	せん断力	1215.2	kN
	P	衝突荷重	1200	kN/m
	W	水圧荷重	15.529	kN/m
	W'	風荷重	0.451	kN/m
	L ₂	張出長さ	0.950	m
	Z	断面係数	6527000	mm ³
	A _w	腹板断面積	16870	mm ²
補助縦桁	M ₃	曲げモーメント	228.6	kN・m
	S ₃	せん断力	1202.4	kN
	P	衝突荷重	1200	kN/m
	W	水圧荷重	6.212	kN/m
	W'	風荷重	0.181	kN/m
	ℓ	主横桁の間隔	0.750	m
	Z	断面係数	7567000	mm ³
	A _w	腹板断面積	21500	mm ²
端縦桁	R	主横桁の支点反力	1894.2	kN
	A _q	補鋼材の有効総断面積	10747	mm ²

表 4-2 漂流物対策工の強度評価に用いる条件 (2/2)

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り	W	水平荷重 (水圧荷重+風荷重)	50.568	kN/m
	P	衝突荷重	483	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L ₁	扉体幅	7300	mm
	L ₂	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	L ₄	衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散)	1875	mm
	t _w	腹板の厚さ	14	mm
	b _f	底面フランジの幅	800	mm
	t _f	底面フランジの厚さ	50	mm
	ℓ ₁	戸当り深さ	1650	mm
	ℓ ₂	底面フランジのコンクリートまでの距離	950	mm
	M _f	底面フランジに作用する曲げモーメント	120000	N・mm
	Σℓ	せん断抵抗長さ (=ℓ ₁ +2ℓ ₂)	3550	mm

5. 評価結果

5.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）

防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主部材及び戸当りの照査結果を表5-1に示す。この結果から、防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主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）及び戸当り（RC支柱）の主部材の照査結果

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
防波扉 (鋼製 扉体)	主横桁	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	104	240	0.44
			せん断応力度 (N/mm ²)	21	135	0.16
	スキンプ レート	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	77	240	0.33
	補助縦桁	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	24	180	0.14
			せん断応力度 (N/mm ²)	8	105	0.08
	端縦桁	SM490	圧縮応力度 (N/mm ²)	81	240	0.34
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	3	225	0.02
	戸当り (底面フ ランジ)	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	56	180	0.32
戸当り (コンク リート)	f _{ck} =24 N/mm ²	支圧応力度 (N/mm ²)	1.5	8.8	0.18	
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.26	0.6	0.44	
防波扉戸当り (RC支柱)	f _{ck} =40 N/mm ² , SD345	曲げ引張応力度 (N/mm ²)	75	294	0.26	
		曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	2.1	13.5	0.16	
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.43	0.67	0.65	

(2) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-1 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する最大照査値を表 5-2 に示す。

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

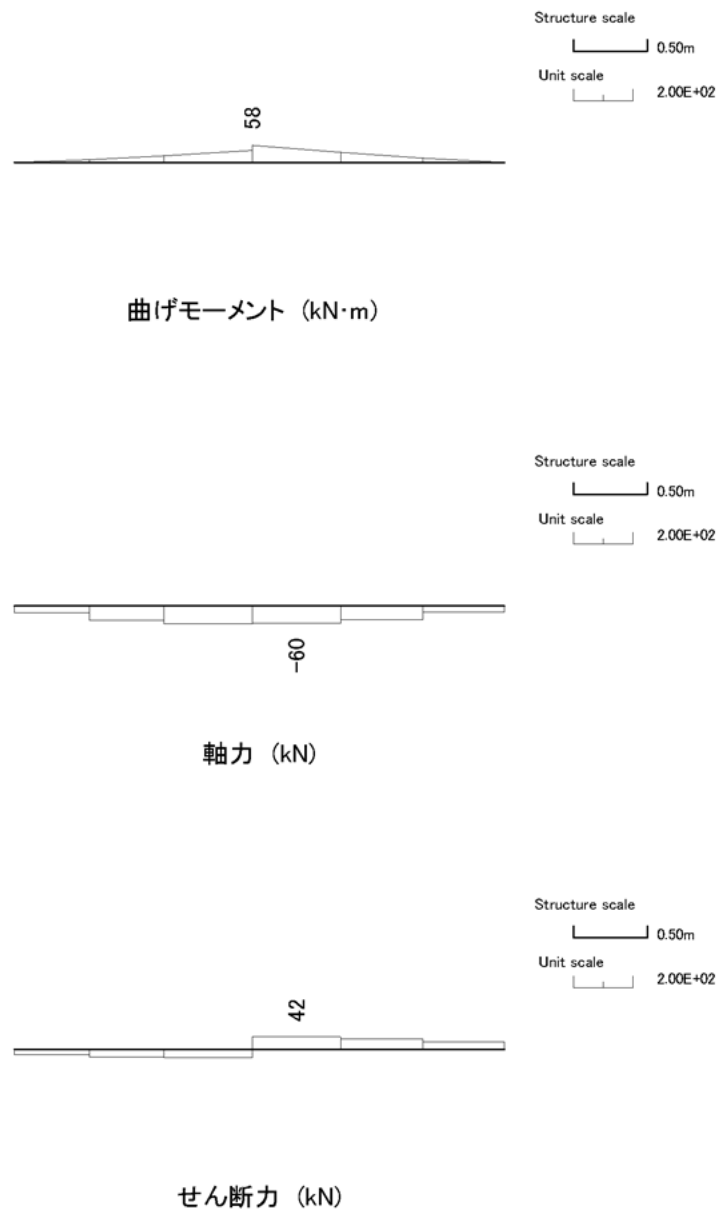


図 5-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力

表 5-2(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	58	60	0.2	13.5	0.02

表 5-2(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	58	60	6	294	0.03

表 5-2(3) コンクリートのせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	42	0.01	0.67	0.02

(3) 防波扉（鋼管杭）

防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力図を図 5-2 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査に対する最大照査値を表 5-3 に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

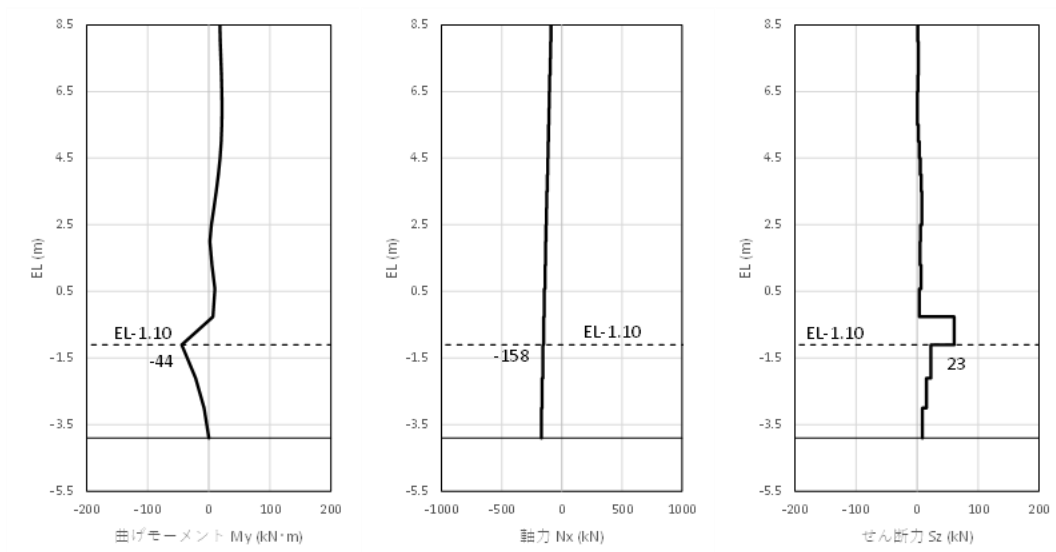


図 5-2(1) 防波扉（鋼管杭）の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

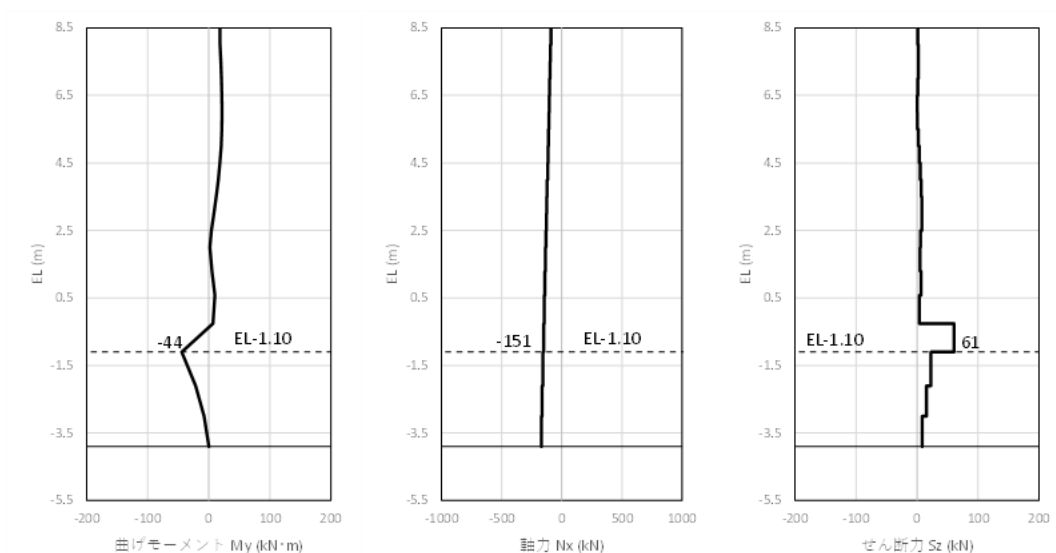


図 5-2(2) 防波扉（鋼管杭）のせん断照査における断面力

表 5-3(1) 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_p / M_y
	曲げモーメント M_p (kN・m)	軸力 Q_p (kN)		
津波時	44	158	7978	0.01

表 5-3(2) 防波扉（鋼管杭）のせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_p (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ_p / τ_s
	せん断力 Q_p (kN)			
津波時	61	1	157	0.01

(4) 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 5-4 に、局所安全係数分布図を図 5-3 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 5-4 改良地盤のすべり安全率評価結果

	最小すべり安全率
津波時	14.52

- 引張強度に達した要素
- せん断強度に達した要素
- 1.0 ≤ 値 < 1.2
- 1.2 ≤ 値
- 最小すべり安全率となるすべり線

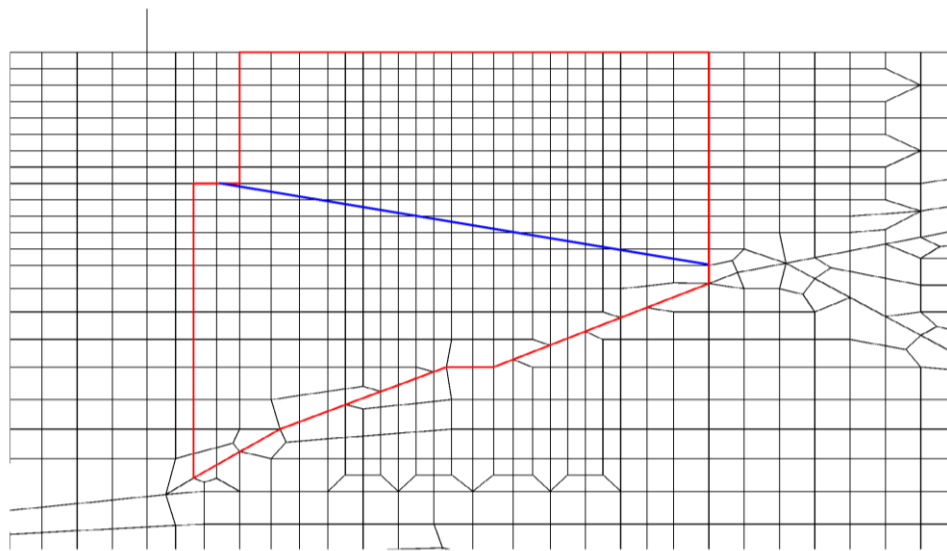


図 5-3 改良地盤の局所安全係数分布

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-5 に示す。

防波扉（鋼管杭）の杭先端部に生じる軸応力度が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-5 基礎地盤の支持性能照査結果（鋼管杭直下の岩盤）

	発生断面力	軸応力度 R_d (N/mm^2)	極限支持力度 R_u (N/mm^2)	照査値 R_d / R_u
	軸力 N_p (kN)			
津波時	170	0.151	9.8	0.02

5.2 漂流物対策工

(1) 流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の照査結果を表5-6に示す。この結果から、漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の発生応力 σ が許容限界以下であることを確認した。

表5-6 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果

部材	材質	種別	応力 度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	SBHS700	曲げ応力 度 (N/mm^2)	180	525	0.35
		SM570	せん断応力 度 (N/mm^2)	88	193	0.46
	主横桁 (船首衝突)	SBHS700	曲げ応力 度 (N/mm^2)	188	525	0.36
		SM570	せん断応力 度 (N/mm^2)	81	193	0.42
	張出桁	SBHS700	曲げ応力 度 (N/mm^2)	176	525	0.34
			せん断応力 度 (N/mm^2)	72	303	0.24
	補助縦桁	SM570	曲げ応力 度 (N/mm^2)	30	310	0.10
			せん断応力 度 (N/mm^2)	56	193	0.30
	端縦桁	SM490	圧縮応力 度 (N/mm^2)	176	337	0.53
	支圧板	SUS304	支圧応力 度 (N/mm^2)	15	225	0.07
	戸当り (腹板)	SM400	支圧応力 度 (N/mm^2)	85	270	0.32
	戸当り (底面フラ ンジ)	SBHS700	曲げ応力 度 (N/mm^2)	288	525	0.55
	戸当り (コンクリ ート)	$f'_{ck}=40$ N/mm^2	支圧応力 度 (N/mm^2)	1.5	8.8	0.18
せん断応力 度 (N/mm^2)			0.33	0.60	0.55	

(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) の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-4 に、曲げ・軸力系の破壊及び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、漂流物対策工戸当り (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。

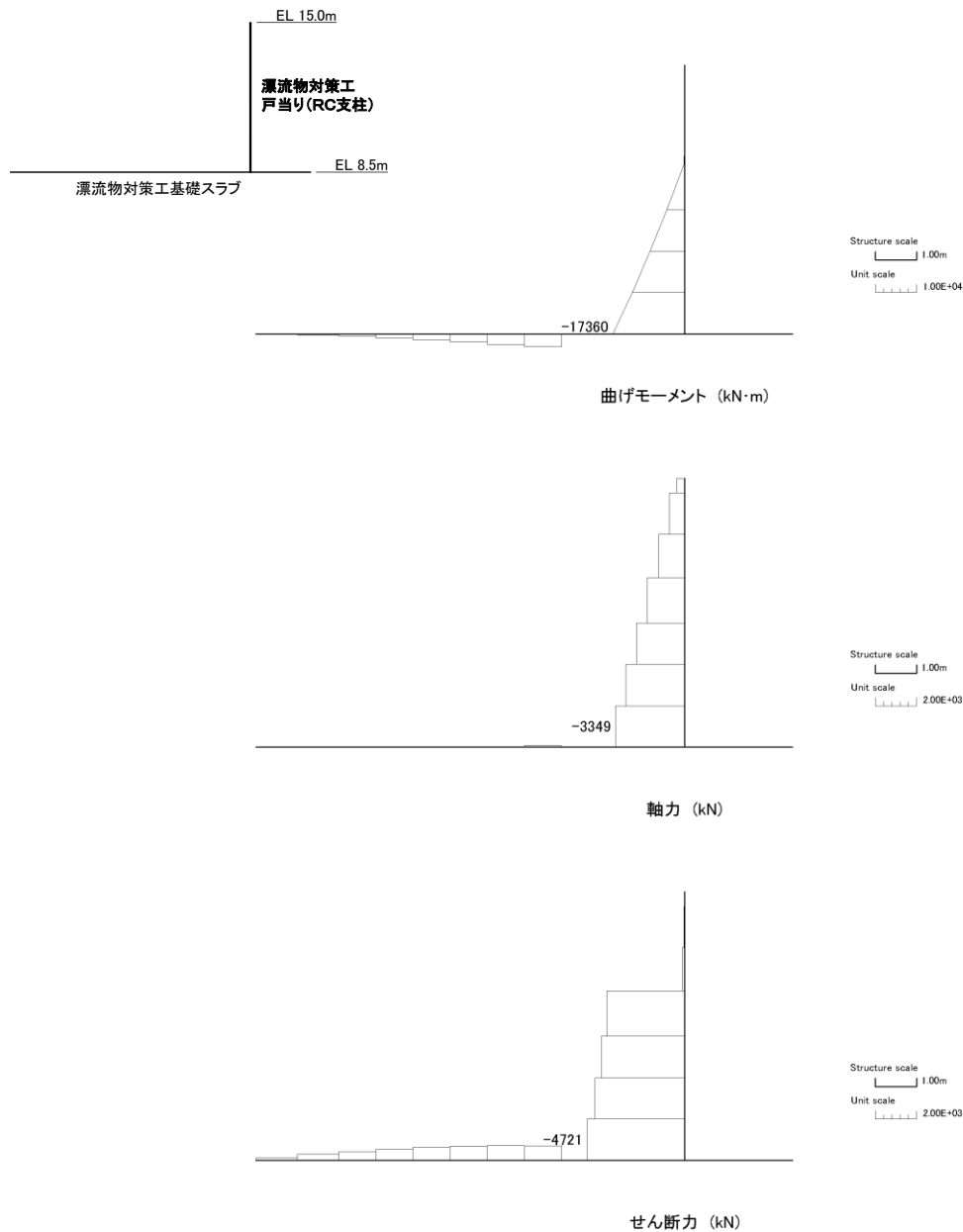


図 5-4 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力

表 5-7(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	17360	3349	1.7	21.0	0.09

表 5-7(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	17360	3349	49	294	0.17

表 5-7(3) コンクリートのせん断照査における照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	4721	0.38	0.82	0.47

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-5 に、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を表 5-8 に示す。

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

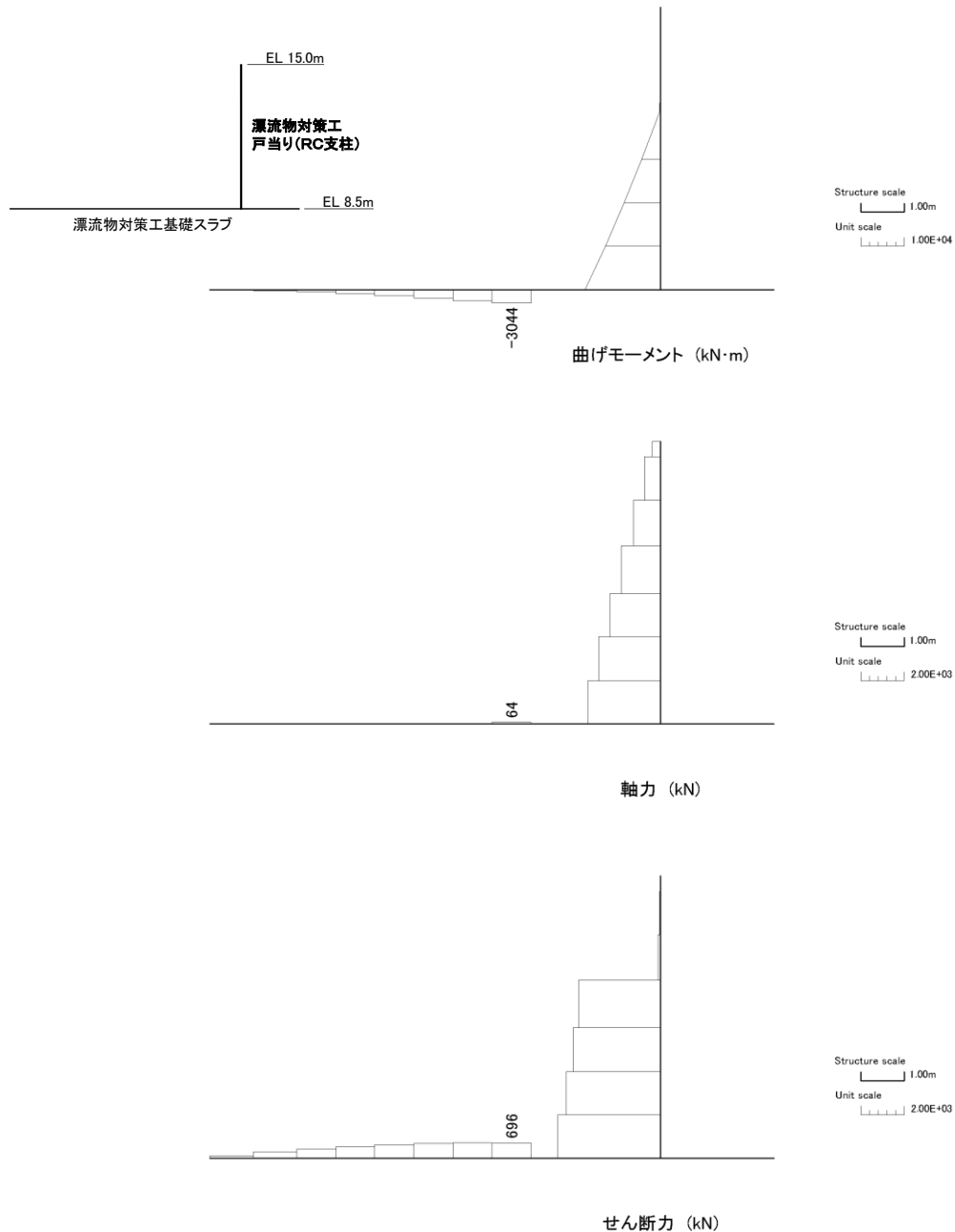


図 5-5(1) コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

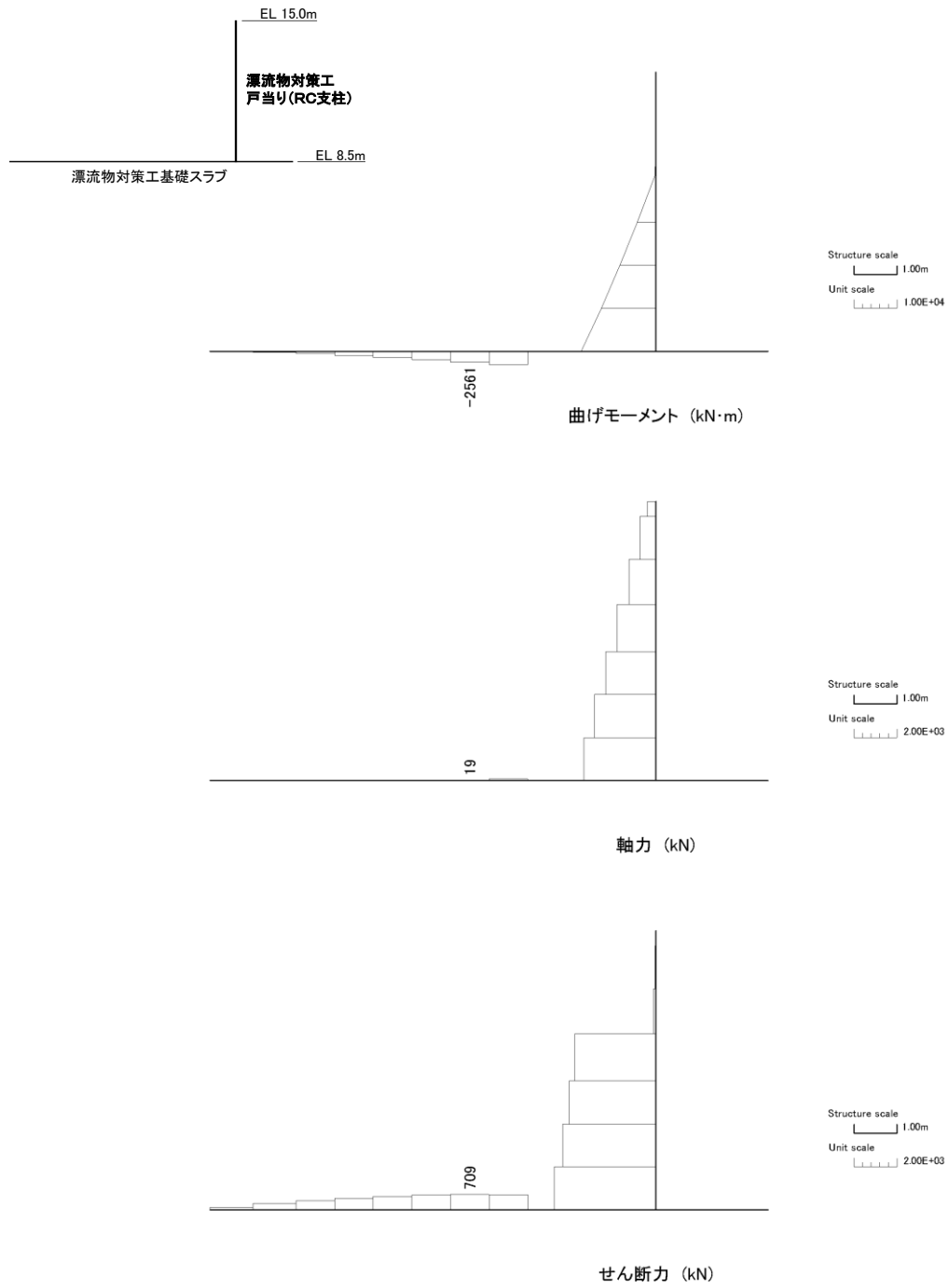


図 5-5(2) コンクリートのせん断照査における断面力

表 5-8(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	3044	64	1.2	21.0	0.06

表 5-8(2) 鉄筋曲げ・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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	3044	64	49	294	0.17

表 5-8(3) コンクリートのせん断照査における照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	709	0.22	0.82	0.28

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-9 に、最大接地圧分布を図 5-6 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 5-9(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.5	18.0	0.03

表 5-9(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.2	1.4	0.17

表 5-9(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.7	9.8	0.07

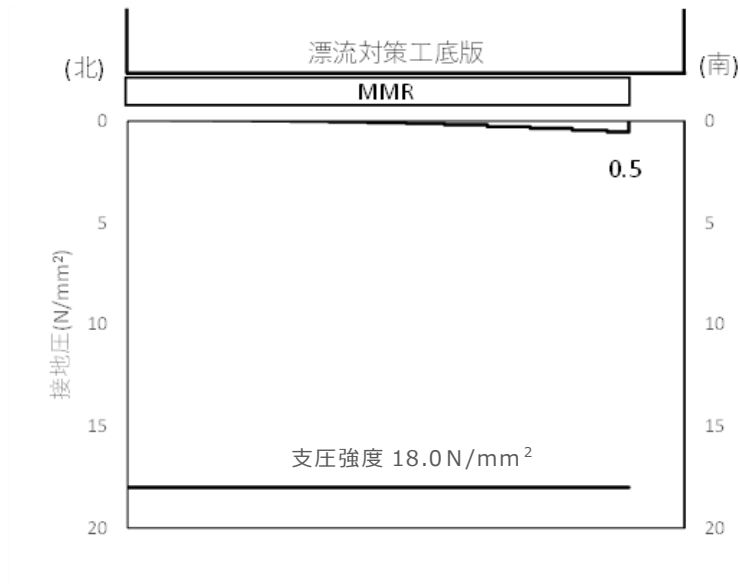


図 5-6(1) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (MMR)

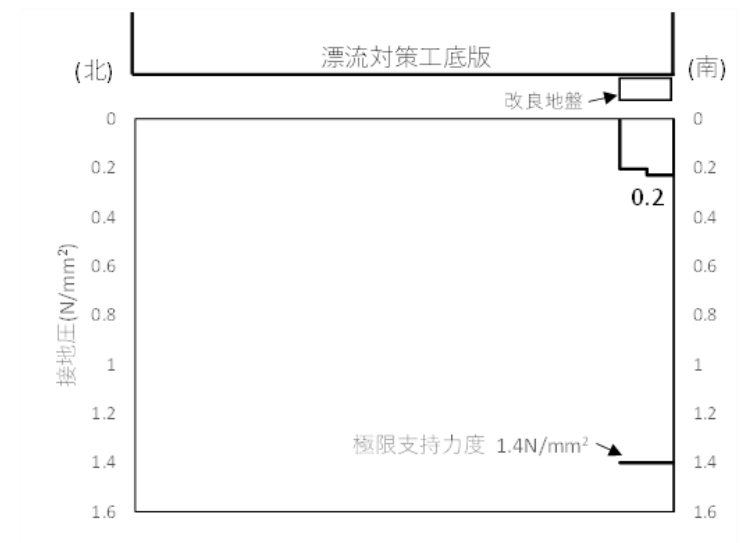


図 5-6(2) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (改良地盤)

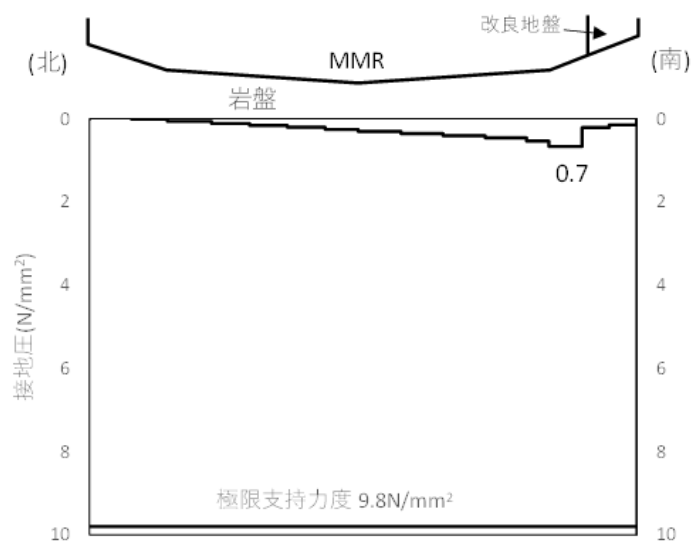


図 5-6(3) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (岩盤)

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	27
3.3 解析方法	29
3.4 荷重及び荷重の組合せ	29
3.4.1 荷重	29
3.4.2 荷重の組合せ	30
3.5 解析モデル及び諸元	32
3.5.1 解析モデル	32
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	34
3.5.3 地盤の物性値	36
3.5.4 地下水位	36
3.6 評価対象部位	37
3.6.1 施設・地盤の健全性評価	37
3.6.2 基礎地盤の支持性能評価	37
3.7 許容限界	38
3.7.1 防波扉	38
3.7.2 漂流物対策工	41
3.8 評価方法	43
3.8.1 防波扉	43
3.8.2 漂流物対策工	52
4. 評価条件	60
5. 評価結果	64
5.1 防波扉	64
5.2 漂流物対策工	74

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基本方針」に基づき、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説明するものである。

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）位置図

2.2 構造概要

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（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブは、改良地盤を介して岩盤に支持される構造とし、防波扉（鋼製扉体）と戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの間には水密ゴム（側部水密ゴム及び底部水密ゴム）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）の構造概要図を図2-2及び図2-3に示す。

防波扉の構造図を図2-4及び図2-5に、防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-6に、水密ゴムの概念図を図2-7に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び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。）を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図2-8及び図2-9に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-10に示す。

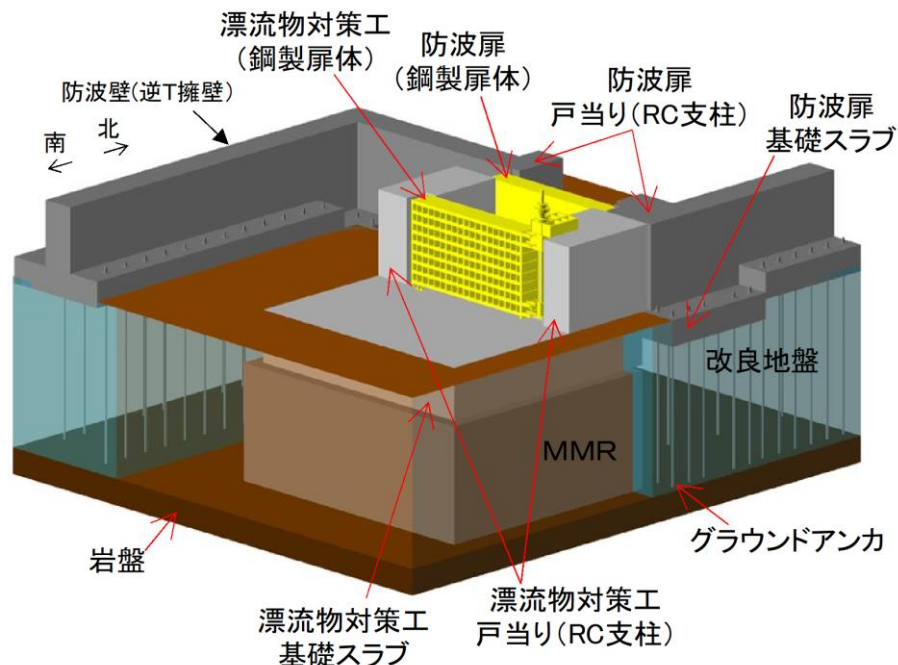


図2-2(1) 防波扉（3号機東側）の構造概要図

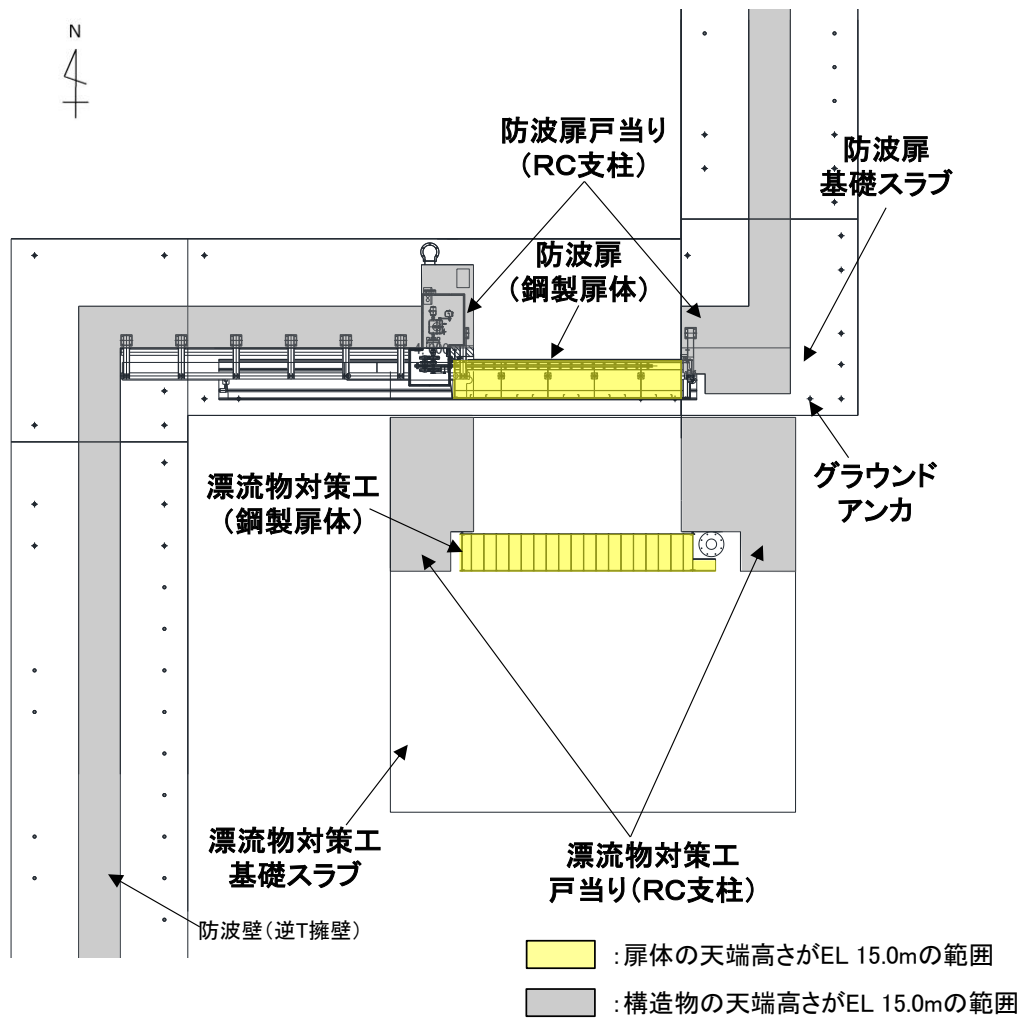


図 2-2(2) 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (平面図)

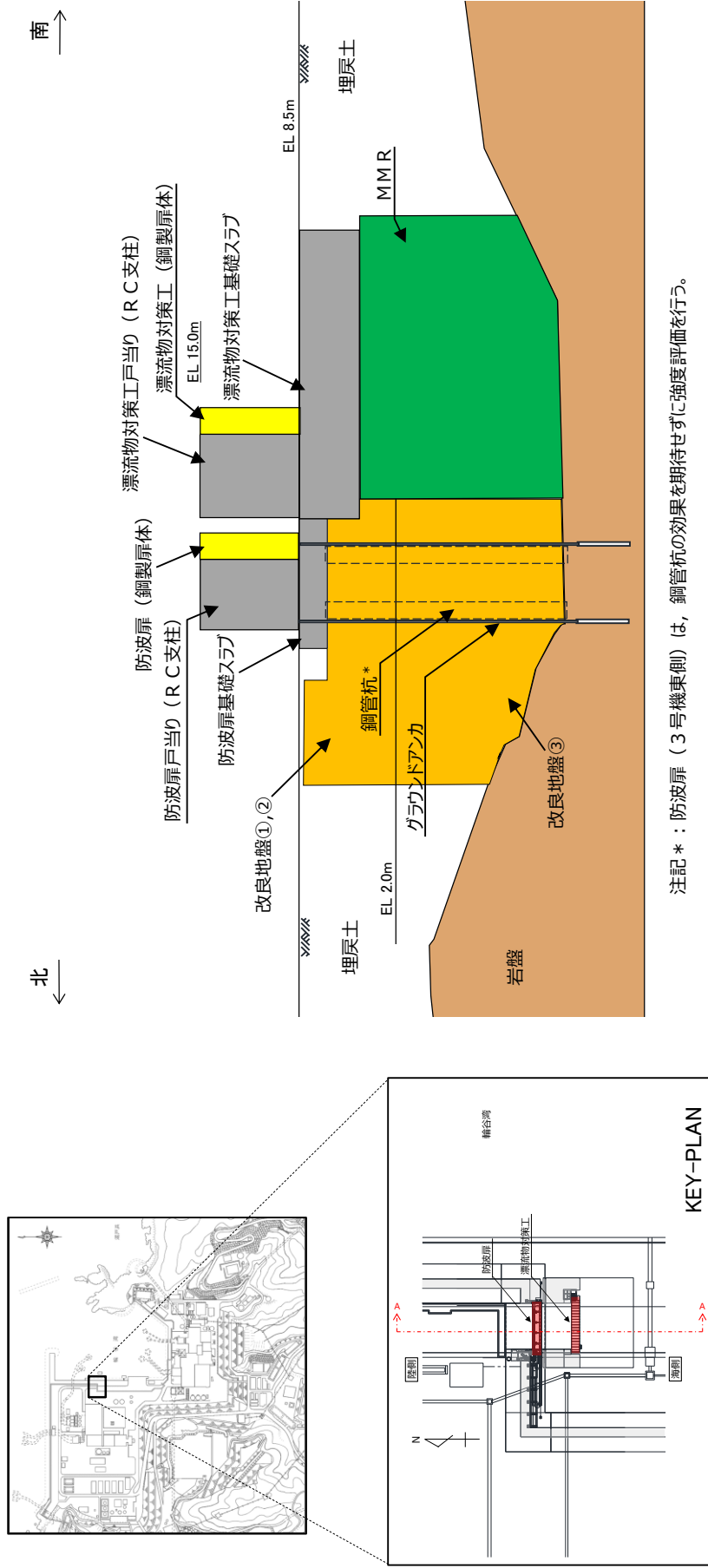


図 2-3 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (断面図)

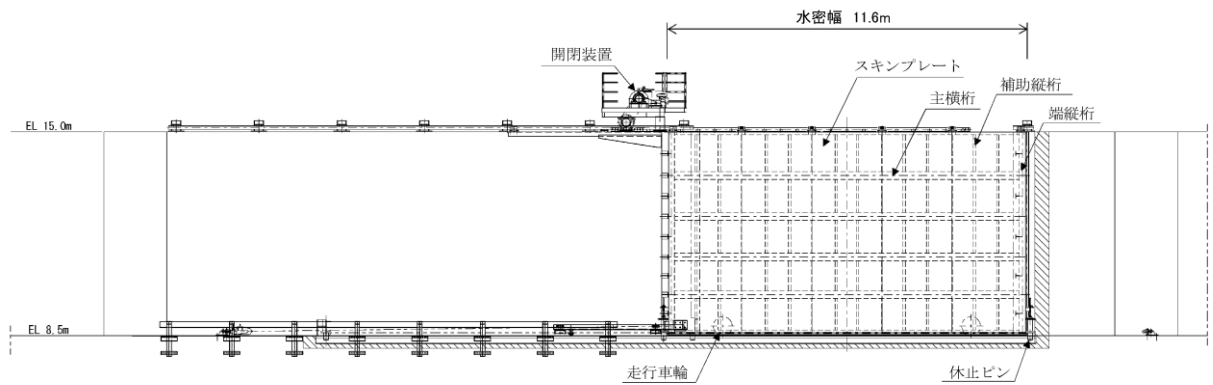
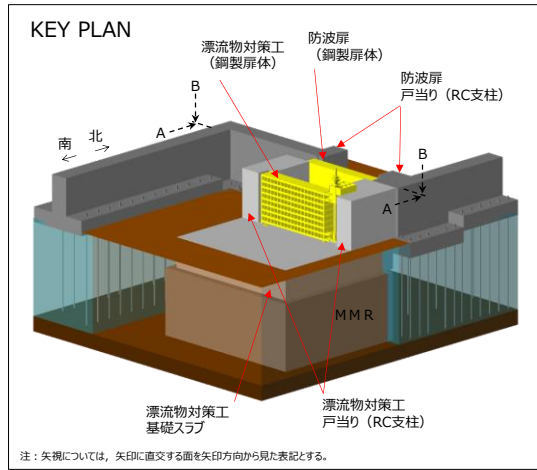


図 2-4(1) 防波扉の構造図 (鋼製扉体正面図, A-A 断面)

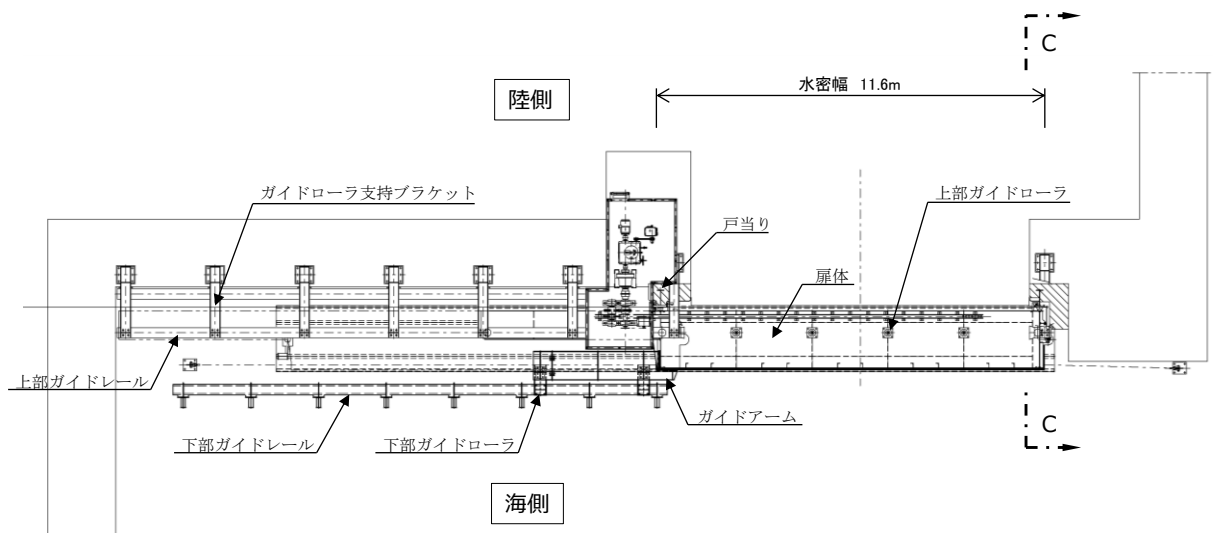
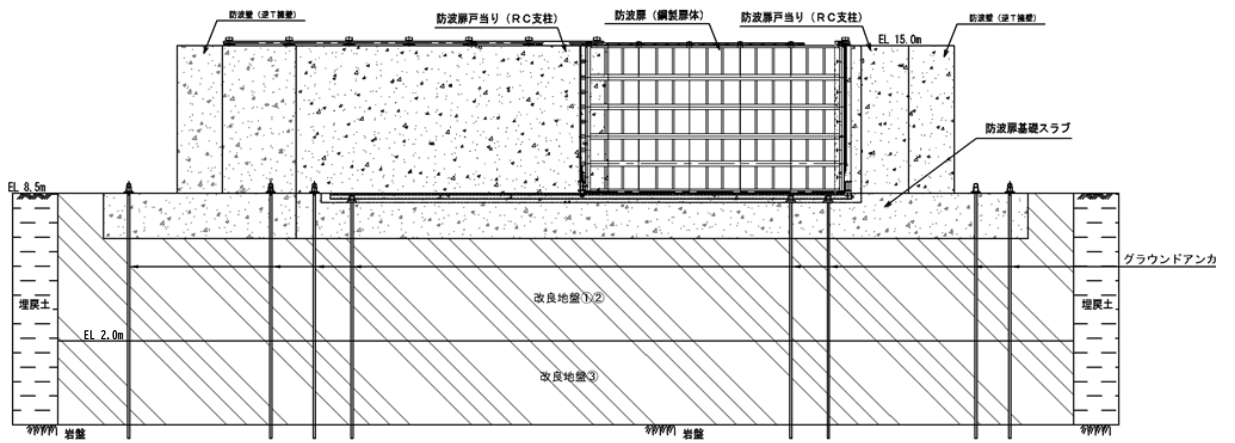


図 2-4(2) 防波扉の構造図 (鋼製扉体平面図, B-B 断面)



注：海側から陸側を望む

図 2-5(1) 防波扉の構造図（基礎正面図，A-A断面）

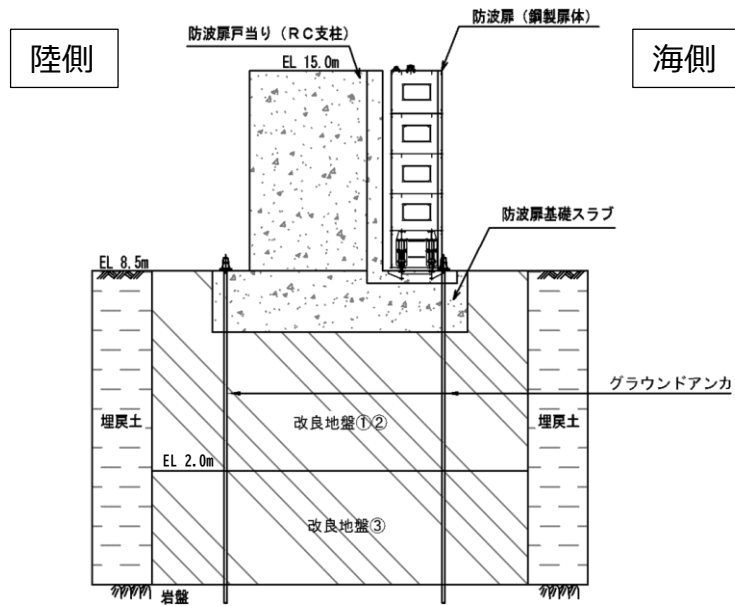


図 2-5(2) 防波扉の構造図（基礎断面図，C-C断面）

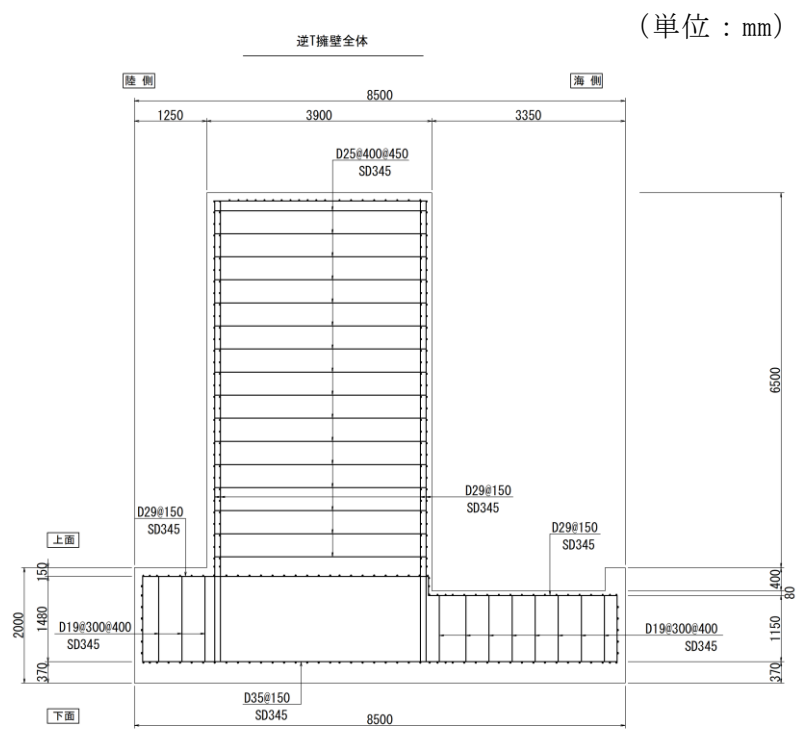
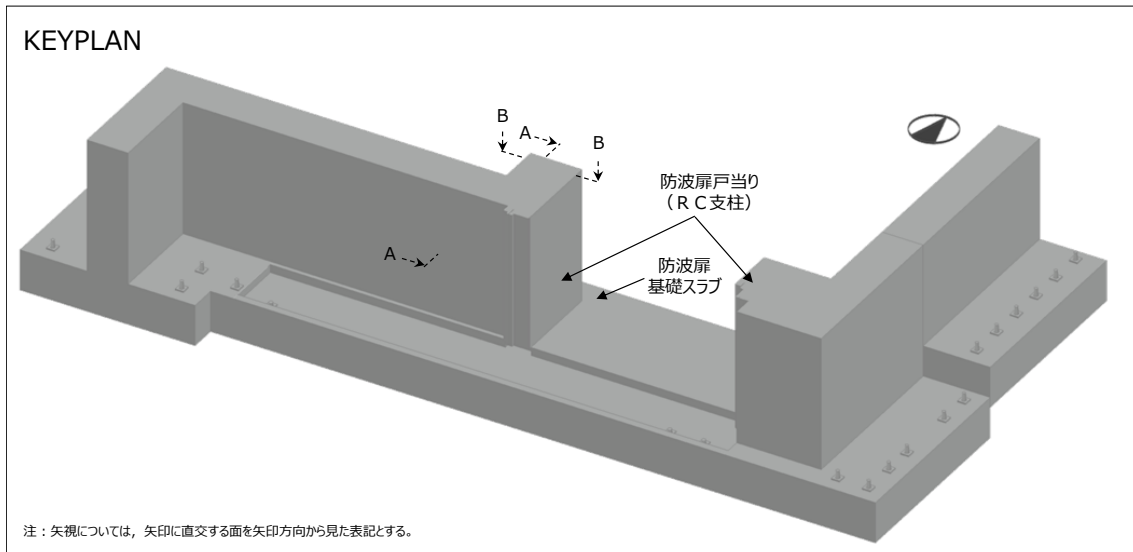


図 2-6(1) 防波扉当り (RC支柱) 及び基礎スラブの概略配筋図 (A-A断面)

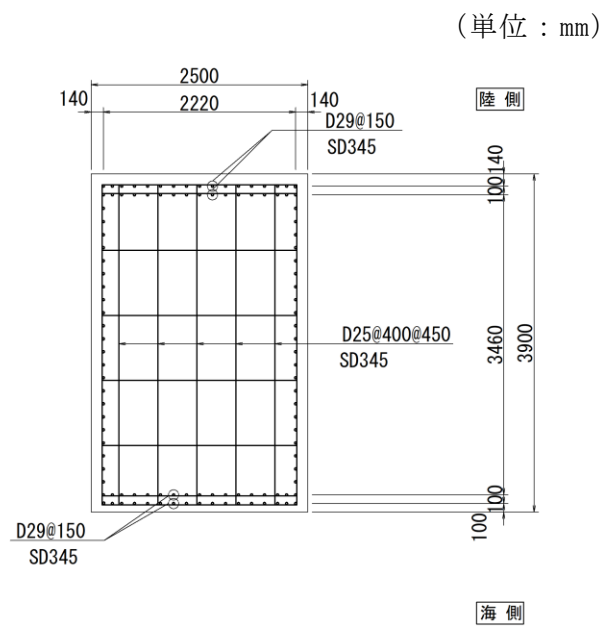
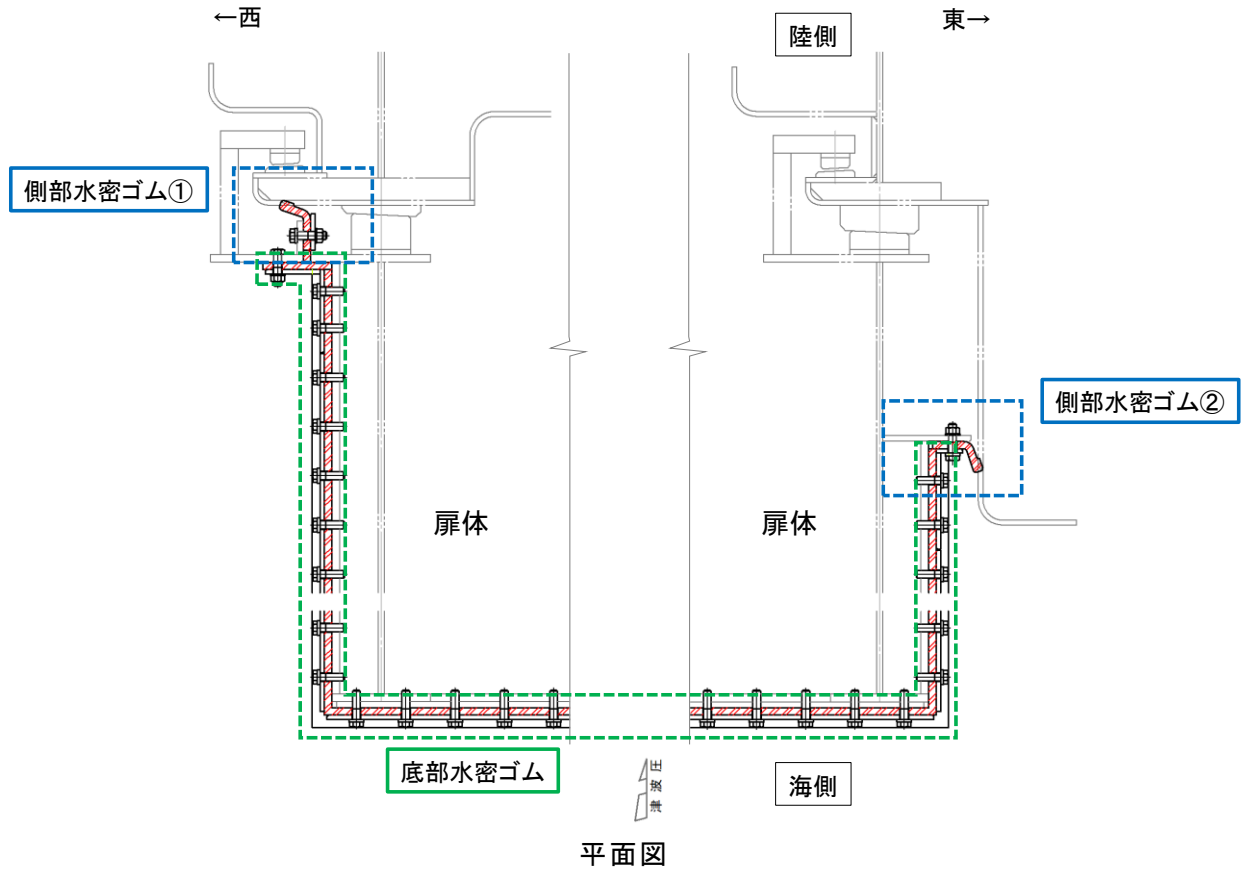
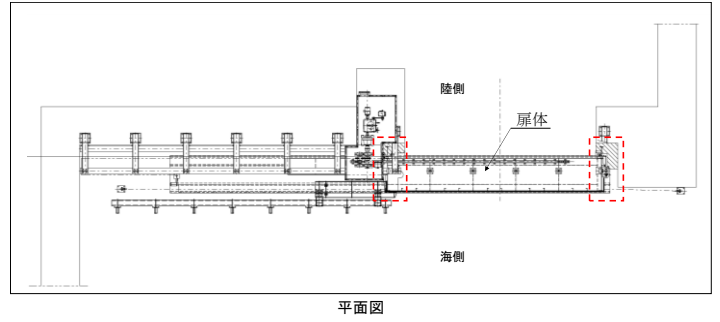
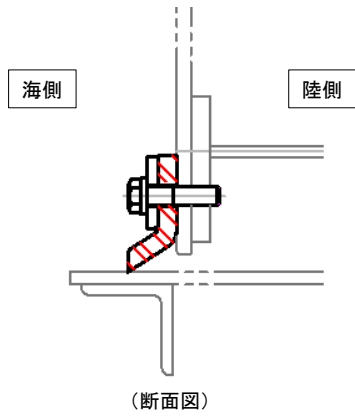


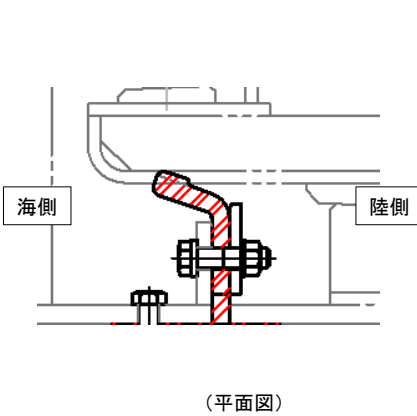
図 2-6(2) 防波扉戸当り (RC 支柱) の概略配筋図 (B-B 断面)



底部水密ゴム



側部水密ゴム①



側部水密ゴム②

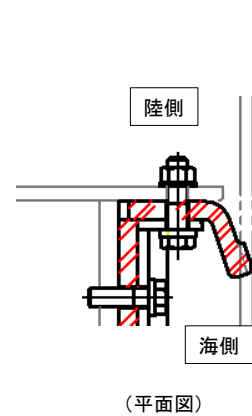


図 2-7 防波扉の水密ゴム概念図

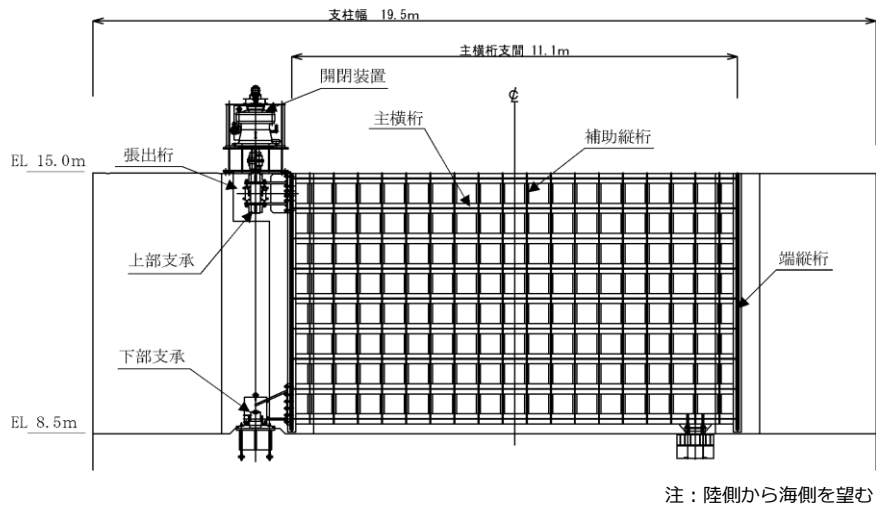
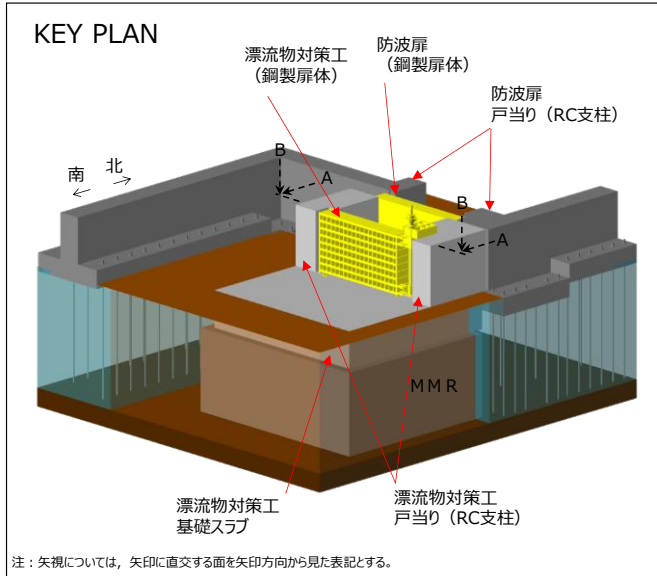


図 2-8(1) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体正面図, A-A 断面)

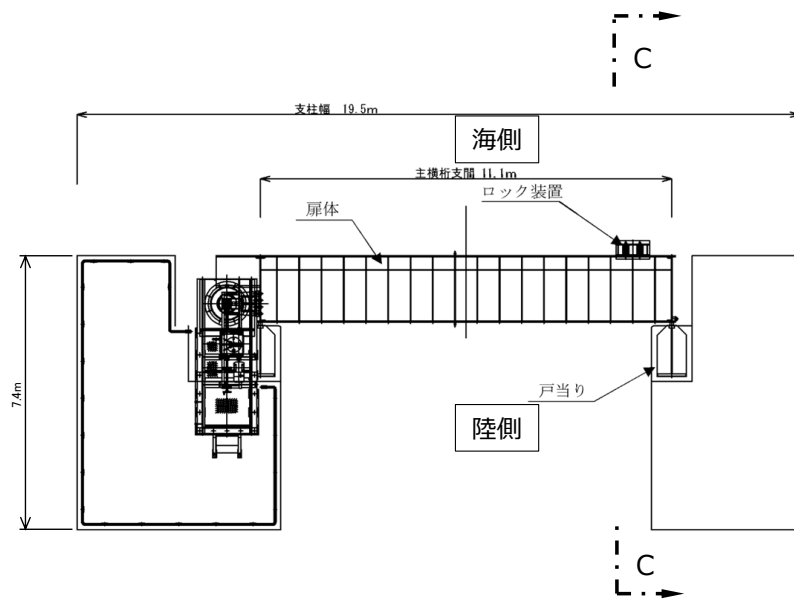


図 2-8(2) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体平面図, B-B 断面)

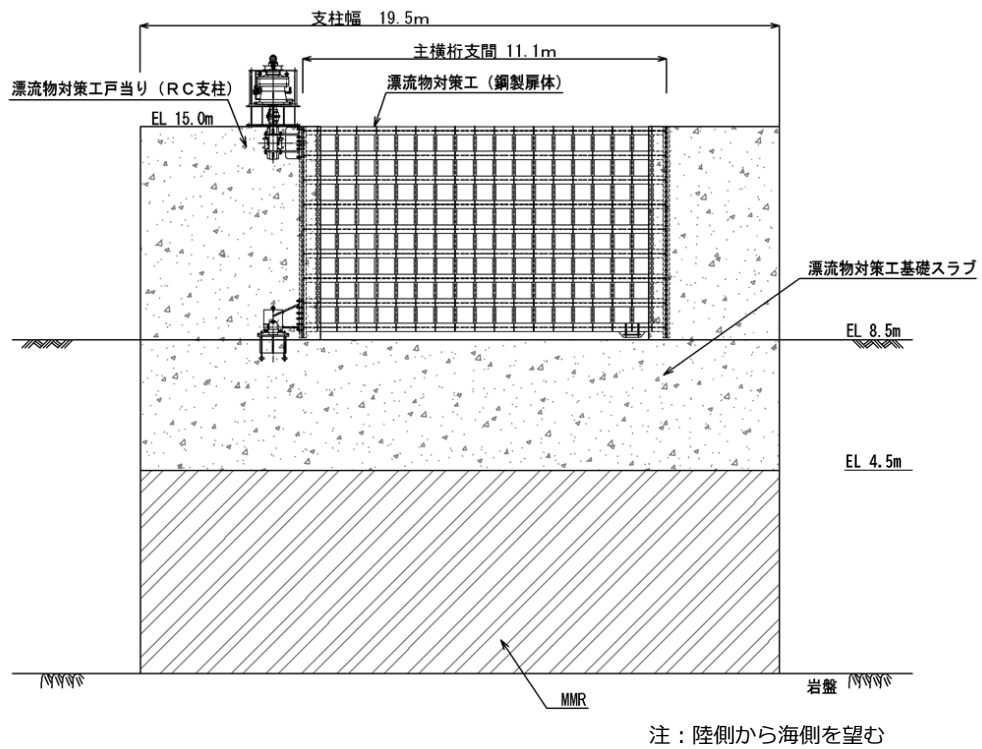


図 2-9(1) 漂流物対策工の構造図 (基礎正面図, A-A 断面)

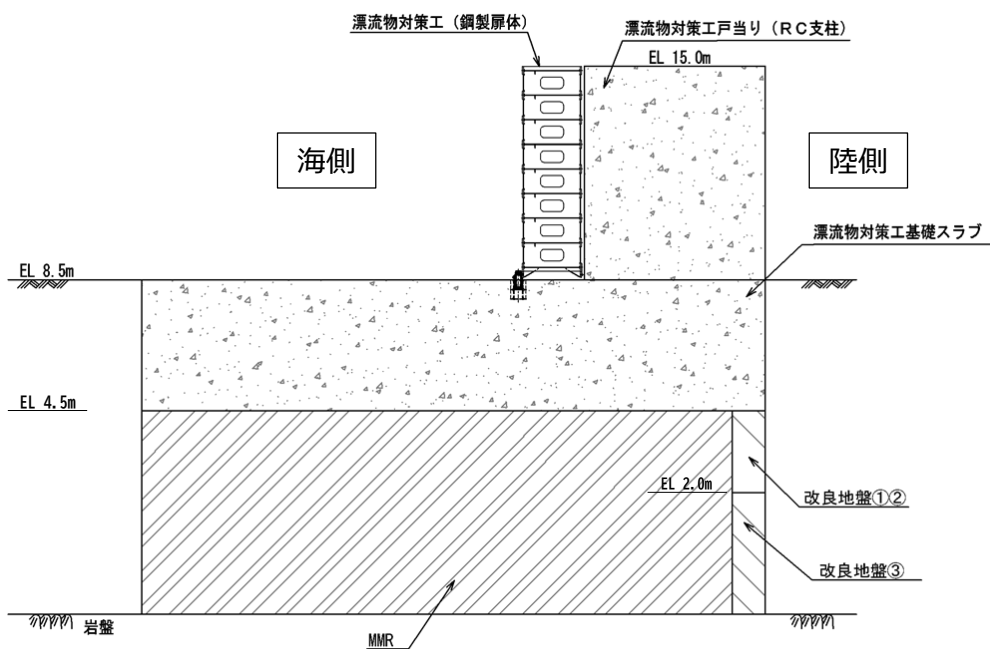


図 2-9(2) 漂流物対策工の構造図 (基礎断面図, C-C 断面)

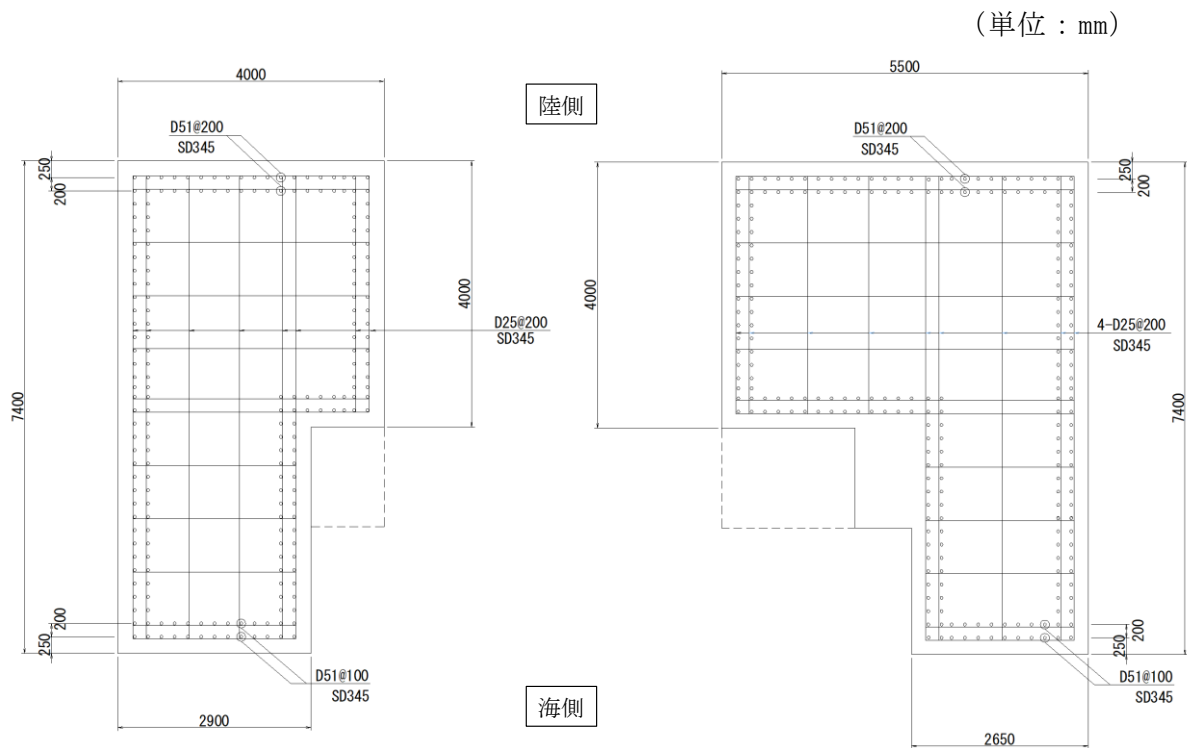
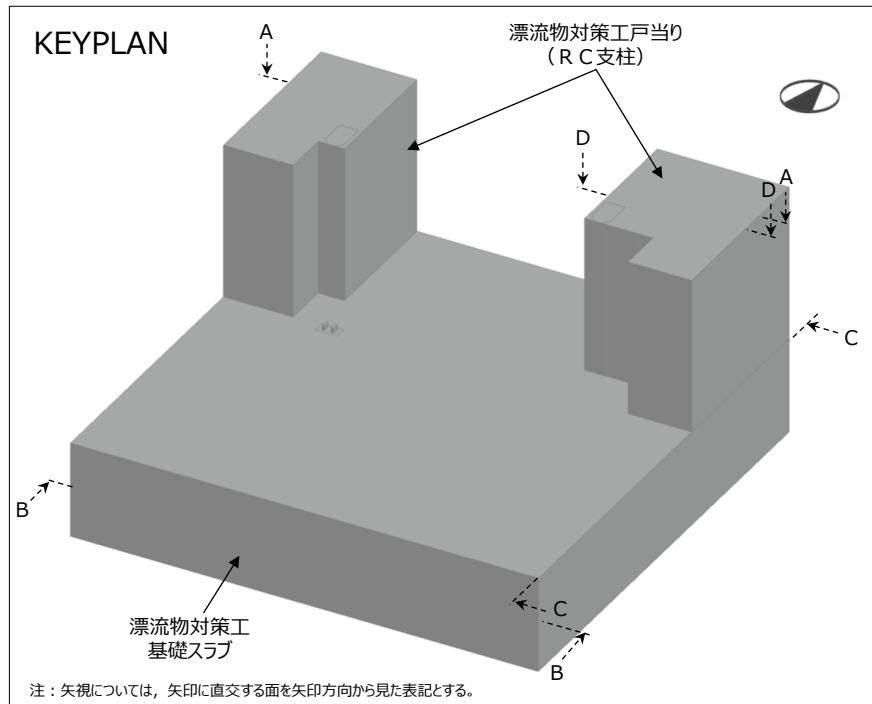


図 2-10(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図 (A-A 断面)

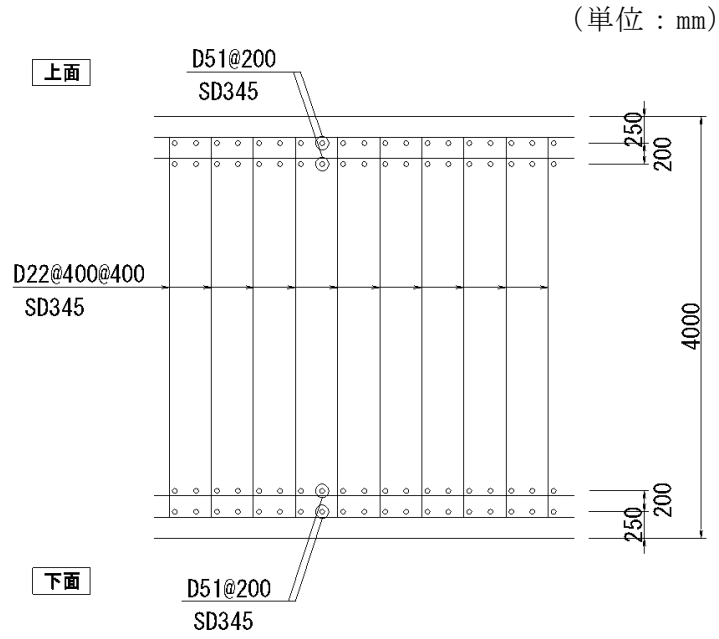


図 2-10(2) 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図 (B-B 断面)

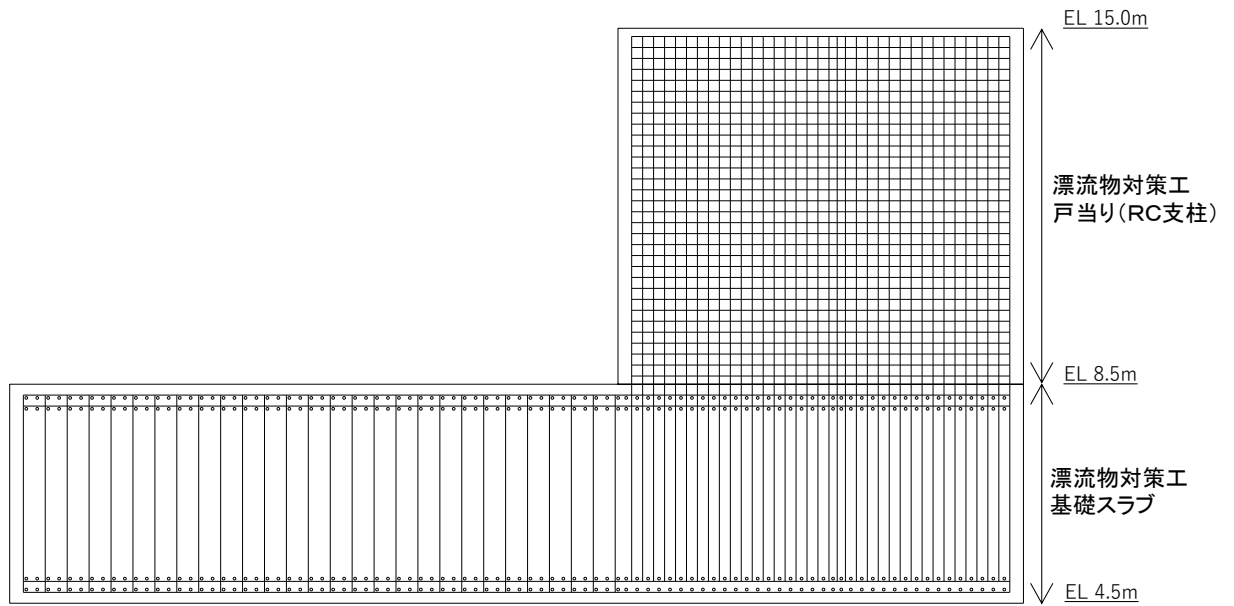


図 2-10(3) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) 及び基礎スラブの接続部における概略配筋図 (C-C 断面)

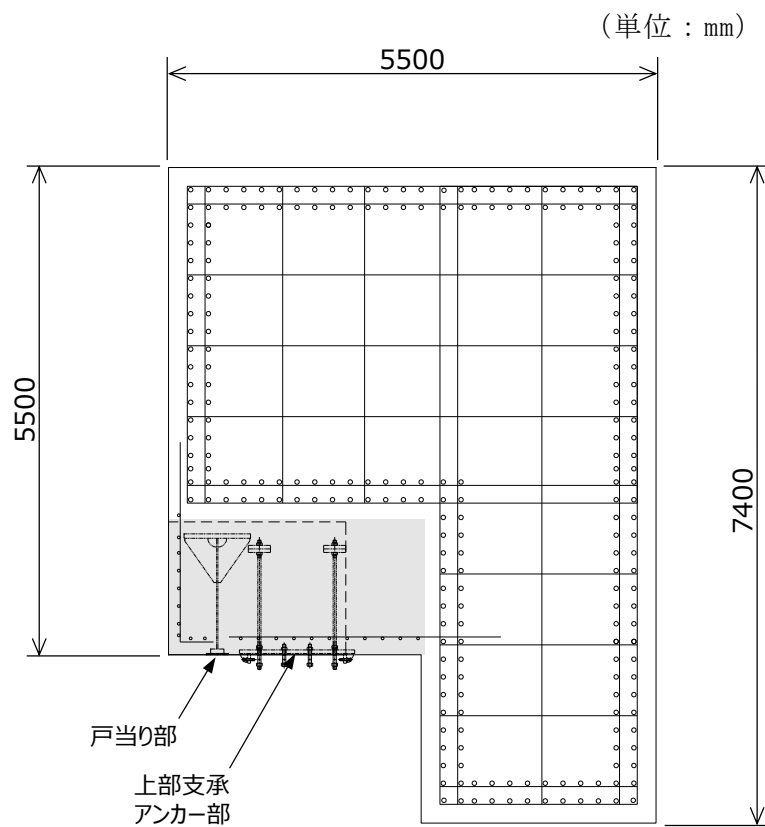


図 2-10(4) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) のアンカー部付近における概略配筋図 (D-D 断面)

2.3 評価方針

防波扉（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基本方針」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。

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2-11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"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉（鋼製扉体）及び防波扉戸当り（RC支柱）を支持する。
	グラウンド アンカ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物対策工（鋼製扉体）を支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。 ・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）。
	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ、漂流物対策工基礎スラブ並びに改良地盤又はMMRを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ、漂流物対策工基礎スラブ並びに改良地盤又はMMRを鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波扉への相互作用を考慮する）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない（解析モデルに反映し、防波扉への相互作用を考慮する）。

表 2-2 防波扉（3号機東側）の各部位の性能目標

部位	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、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				防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑制のために許容アンカー力を確保すること。
地盤	グラウンド アンカ	-	-	防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑制のために許容アンカー力を確保すること。	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 (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。	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）。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱) 漂流物対策工 基礎スラブ			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。	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）。
地盤	改良地盤	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。	-	-
	岩盤	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（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）	スキンプレート，主桁，補助縦桁，端縦桁，支圧板，戸当り	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）	主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁，戸当り	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	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）	スキンプレート，主桁，補助縦桁，端縦桁，支圧板，戸当り	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	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。

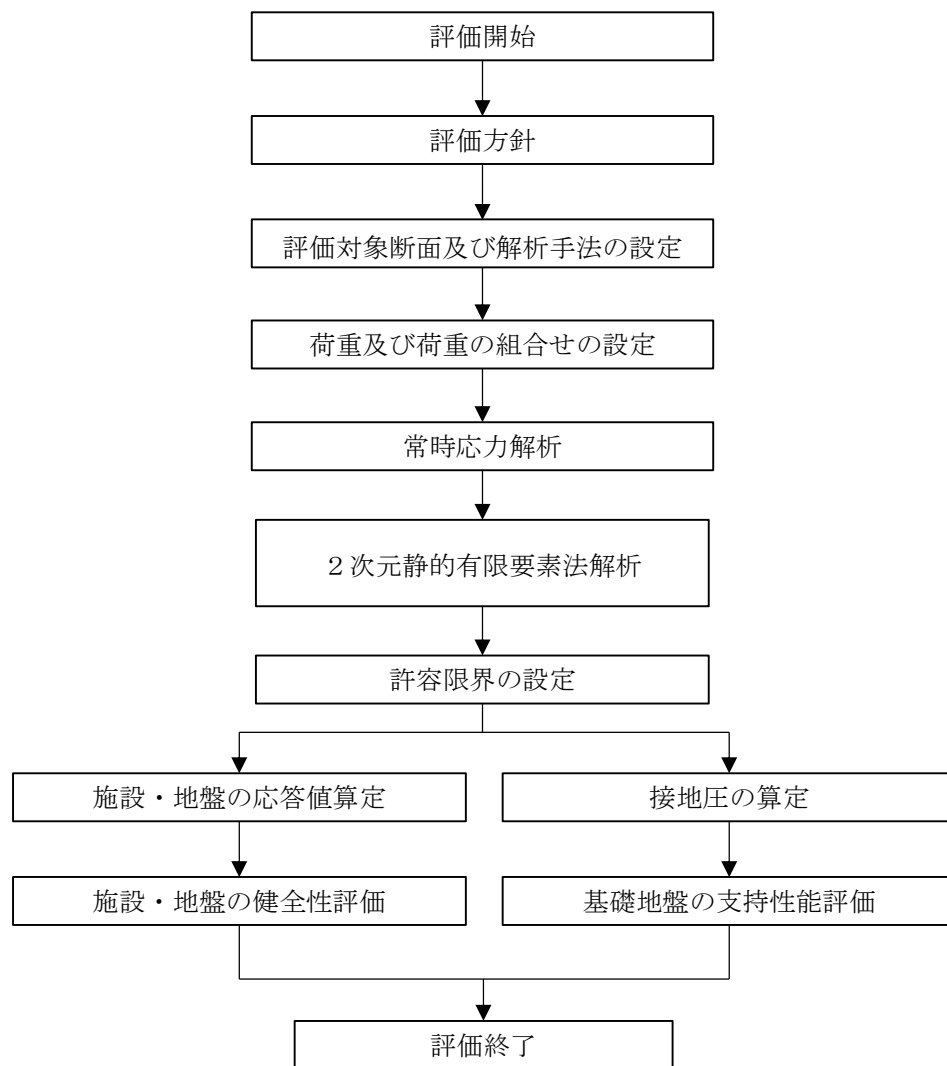


図 2-11 防波扉（3号機東側）の強度評価フロー

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)
- ・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 (JGS4101-2012) ((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
- ・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 防波扉の強度評価に用いる記号(1/2)

部材	記号	単位	定義
スキンプレート	P	kN/m ²	スキンプレーートの水平荷重（津波+風荷重）
	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
	k	—	スキンプレーートの辺長比 (b/a) による係数
	t	mm	スキンプレーートの板厚
	σ	N/mm ²	スキンプレーートの曲げ応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
主桁	W	kN/m	主桁の負担荷重（津波+風荷重）
	B	m	水密幅
	L	m	支圧板中心間
	M	kN・m	主桁の曲げモーメント
	S	kN	主桁のせん断力
	N	kN	主桁の軸力
	Z	mm ³	主桁の断面係数
	D	mm	側面水密幅
	A_w	mm ²	主桁の腹板断面積
	A_g	mm ²	主桁の断面積
	σ	N/mm ²	主桁の曲げ応力度
	τ	N/mm ²	主桁のせん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
補助縦桁	P	kN/m ²	補助縦桁の水平荷重（津波+風荷重）
	a	m	補助縦桁間隔
	b	m	主桁間隔
	M	kN・m	補助縦桁の曲げモーメント
	S	kN	補助縦桁のせん断力
	Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
	A_w	mm ²	補助縦桁の腹板断面積
	σ	N/mm ²	補助縦桁の曲げ応力度
	τ	N/mm ²	補助縦桁のせん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度

表 3-1 防波扉の強度評価に用いる記号(2/2)

部材	記号	単位	定義
端縦桁	R	kN	主桁の支点反力
	A_q	mm^2	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm^2	端縦桁の圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容圧縮応力度
支圧板	P	kN/m^2	扉体最下部の水平荷重（津波＋風荷重）
	B	mm	扉体の水密幅
	b	mm	支圧板の有効幅
	σ_p	N/mm^2	支圧板の支圧応力度
	σ_a	N/mm^2	許容支圧応力度
戸当り	P	kN/m^2	扉体最下部の水平荷重（津波＋風荷重）
	B	mm	扉体の水密幅
	b_f	mm	戸当り底面フランジ幅
	t_f	mm	戸当り底面フランジ板厚
	h	mm	戸当りの桁高
	L	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	σ_b	N/mm^2	戸当り底面フランジの曲げ応力度
	σ_k	N/mm^2	戸当りコンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm^2	戸当りコンクリートのせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm^2	許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm^2	許容せん断応力度	

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(1/3)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	$\text{kN}\cdot\text{m}$	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	P	kN/m	衝突荷重
	P'	kN/m	船首衝突による衝突荷重
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	扉体幅
	b	m	船首衝突作用幅
	Z	mm^3	断面係数
	A_w	mm^2	腹板断面積
	σ_c	N/mm^2	曲げ応力度
	τ	N/mm^2	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度	
張出桁	M_2	$\text{kN}\cdot\text{m}$	曲げモーメント
	S_2	kN	せん断力
	P	kN/m	衝突荷重
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	L_2	m	張出長さ
	Z	mm^3	断面係数
	A_w	mm^2	腹板断面積
	σ	N/mm^2	曲げ応力度
	τ	N/mm^2	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(2/3)

部材	記号	単位	定義
補助 縦桁	M_3	kN・m	曲げモーメント
	S_3	kN	せん断力
	P	kN/m	衝突荷重
	W	kN/m	水圧荷重
	W'	kN/m	風荷重
	ℓ	m	主横桁の間隔
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A_q	mm ²	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm ²	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度

表 3-2 漂流物対策工の強度評価に用いる記号(3/3)

部材	記号	単位	定義
戸当り	W	kN/m	水平荷重 (津波+風荷重)
	P	kN/m	衝突荷重
	C	mm	支圧板の有効幅
	L ₁	mm	扉体幅
	L ₂	mm	主横桁の荷重分担長さ
	L ₄	mm	衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散)
	t _w	mm	腹板の厚さ
	b _f	mm	底面フランジの幅
	t _f	mm	底面フランジの厚さ
	ℓ ₁	mm	戸当り深さ
	ℓ ₂	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M _f	N・mm	底面フランジに作用する曲げモーメント
	Σℓ	mm	せん断抵抗長さ (=ℓ ₁ +2ℓ ₂)
	σ _p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ _b	N/mm ²	腹板の支圧応力度
	σ _f	N/mm ²	底面フランジの曲げ応力度
	σ _{cb}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
	τ _c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
	σ _{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度 σ
	σ _{ba}	N/mm ²	腹板の許容支圧応力度 σ
σ _{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度 σ	
σ _{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度	
τ _{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

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。

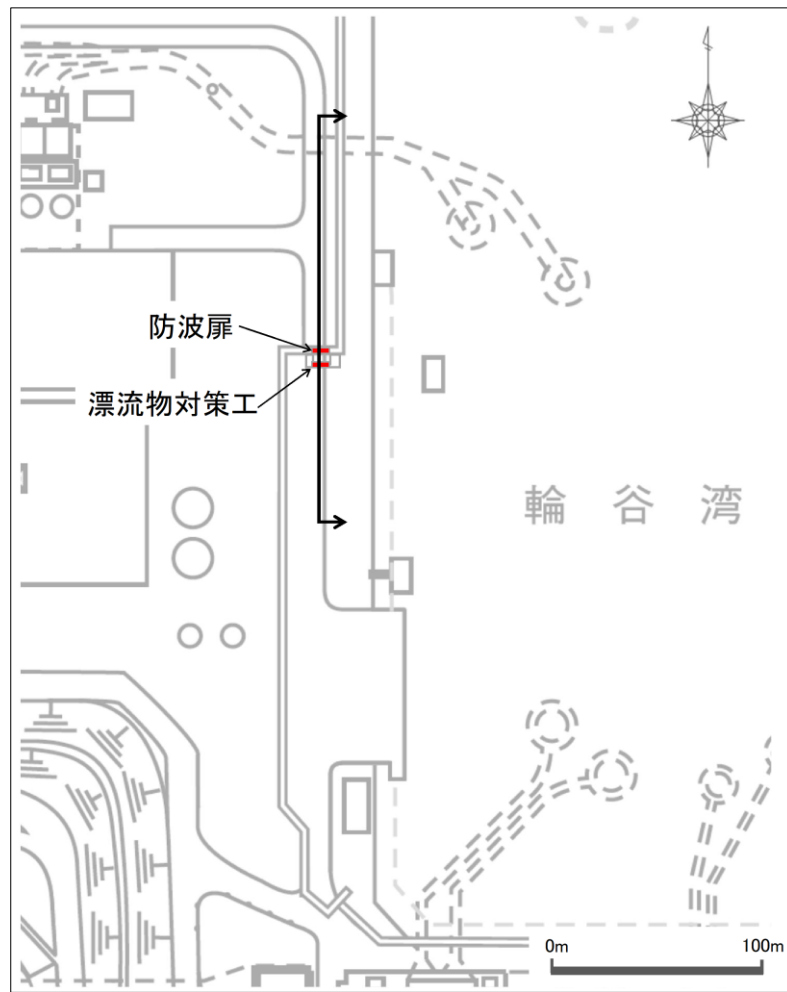


図3-1 防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図

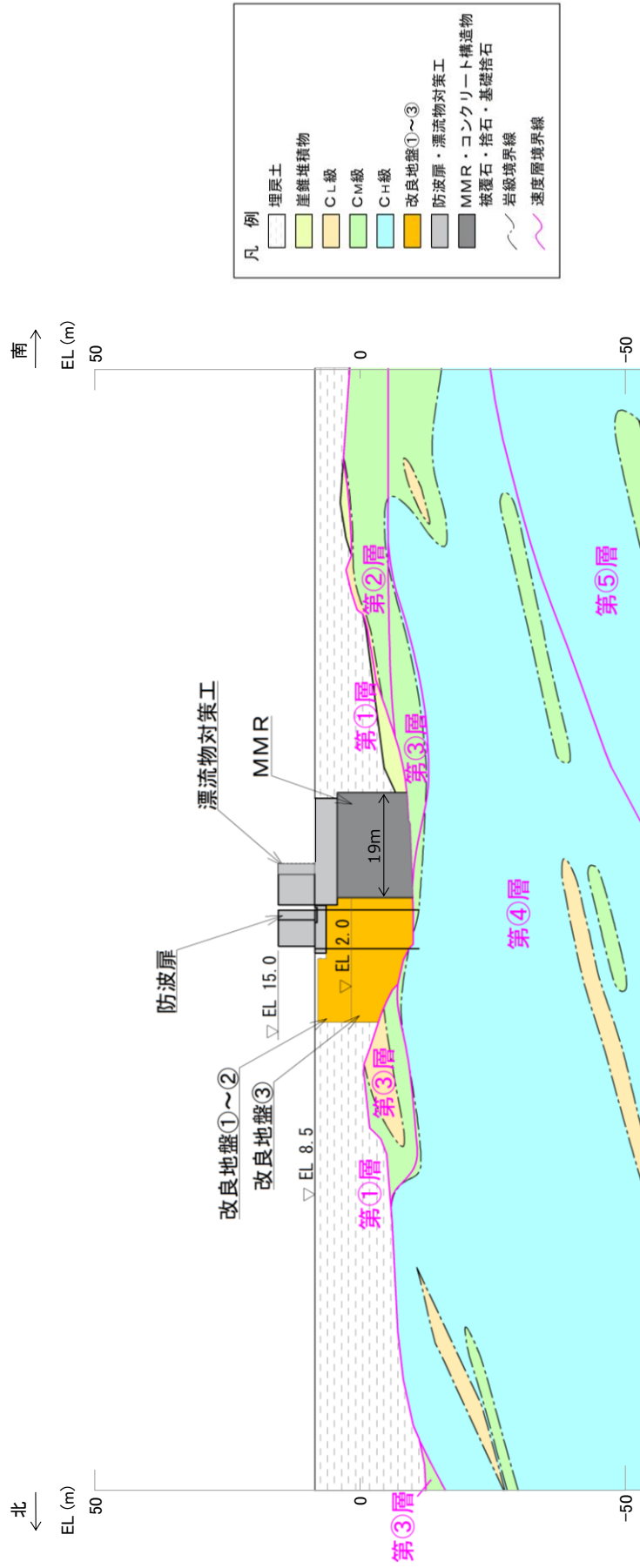


図 3-2 防波扉（3号機東側）の縦断面図

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基本方針」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次元静的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）に参照する裕度（0.64m）を加えた高さ（EL 12.6m）に作用させる。

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

3.4 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基本方針」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）

常時作用する荷重として、固定荷重、土圧及び海中部に対する静水圧（浮力含む。）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) 風荷重（Pk）

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。

(3) 積雪荷重（Ps）

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20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重は、朝倉式により、防波扉（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。

(5) 衝突荷重 (P_c)

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。

衝突荷重として考慮する漂流物は、最も重量が大きい総トン数19トンの船舶を選定する。

衝突荷重については、衝突荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、「施設の延長に応じた衝突荷重」、「船首衝突による衝突荷重」又は「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

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の作用図を図3-3に示す。なお、漂流物対策工については、鋼製扉体が格子状の構造を有するが、安全側の評価となるよう格子状の隙間も受圧面として風荷重及び遡上津波荷重を作用させる。

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）	$G + P_s + P_k + P_t$
津波時（漂流物対策工）	$G + P_s + P_k + P_t + P_c$

- G : 固定荷重
- P_s : 積雪荷重
- P_k : 風荷重
- P_t : 遡上津波荷重
- P_c : 衝突荷重

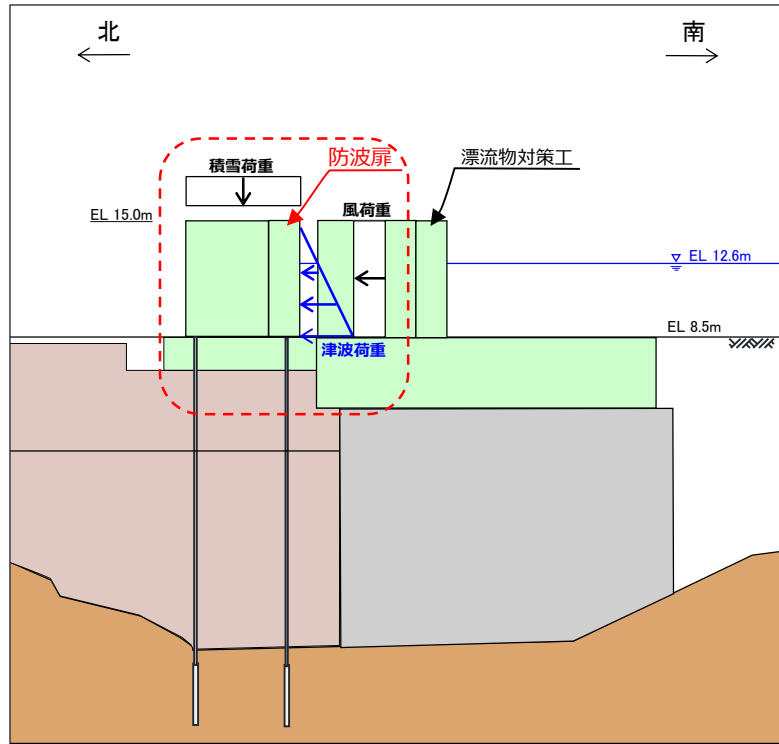


図 3-3(1) 強度評価に用いる荷重の作用図 (防波扉)

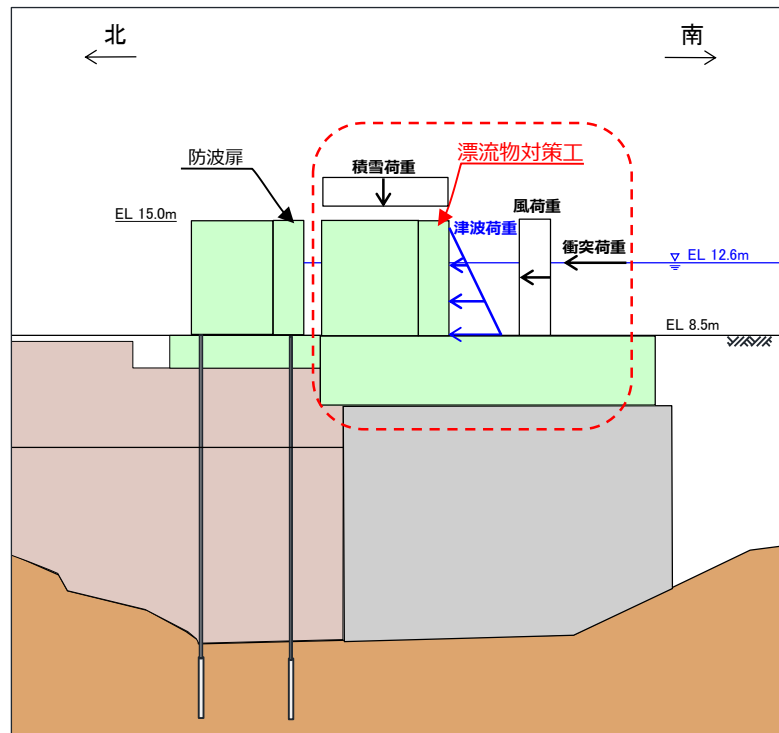


図 3-3(2) 強度評価に用いる荷重の荷重作用図 (漂流物対策工)

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

解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(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。

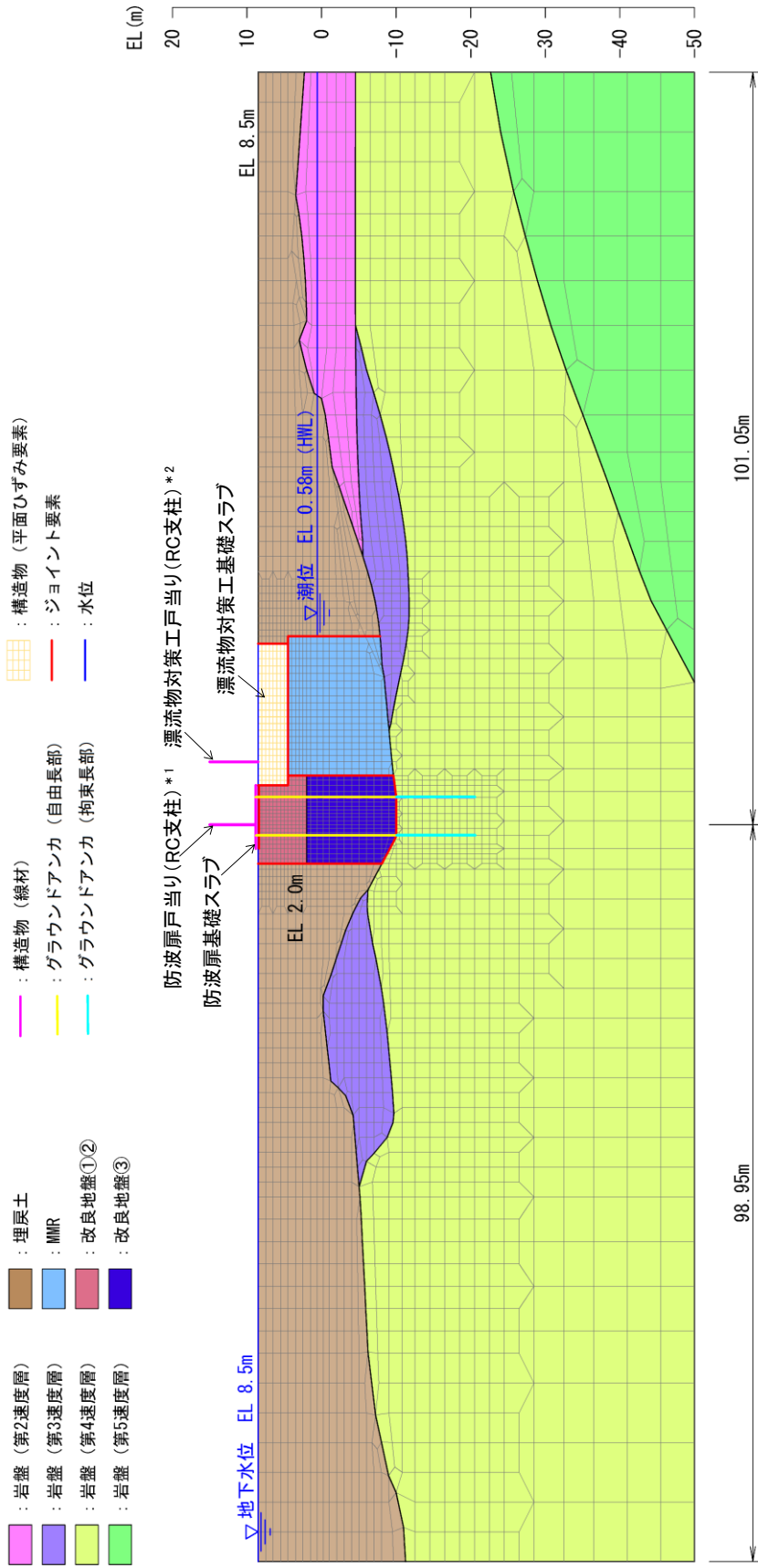
また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化する。

(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(上・下部支承部位置)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

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

表 3-4(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
コンクリート	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	設計基準強度 : 40N/mm ²
鋼材	漂流物対策工 (鋼製扉体)	SM490, SS400, SUS304
	鉄筋	SD345

表 3-5(1) 材料の物性値 (防波扉)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 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^3)	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	3.1×10^4 *	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(3) 材料の物性値 (グラウンドアンカ)

材料	引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏 引張り力 (kN)	設計 アンカー力 (kN)	初期変位量 (mm)
グラウンドアンカ	14777	2400	1650	112

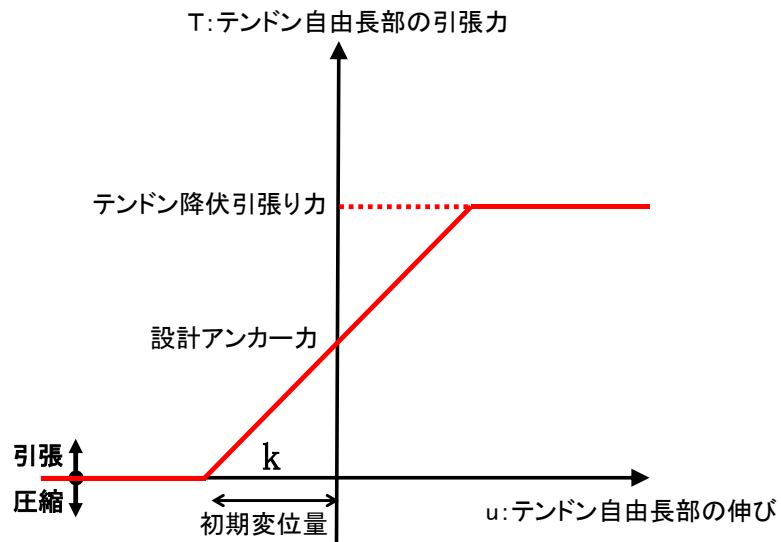


図 3-5 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

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 (N/mm ²)
	c' (N/mm ²)	φ' (°)	
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 設計地下水位の一覧

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

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、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、MMR及び改良地盤①～③とする。

3.6.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉（3号機東側）を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤並びにMMR及び改良地盤直下の岩盤）とする。

3.7 許容限界

許容限界は、「3.6 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の応力度や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

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 月）」（以下、「ダム・堰施設技術基準（案）」という。）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，戸当り）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 σ_a	160	240
主桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_a	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 σ_a	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 σ_{ca}	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_a	150	225
戸当り	SM490	許容曲げ応力度 σ_a	160	240
戸当り部 コンクリート	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_a	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_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 ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度	9
許容せん断応力度		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	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 T_a 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_a (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」を準用し，表3-11に示すすべり安全率を設定する。

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、支持力試験及び「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）」により設定する。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 ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 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）」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 ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	204 ^{*1, *2}	306
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
戸当り （コンクリート）	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1：「ダム・堰施設技術基準（案）」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 で割った値とし、また、許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

*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）」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、横倒れ座屈に対する配慮として許容応力度を下記の計算式により算出する。

圧縮フランジがスキンプレート等で固定されていない場合

$$\frac{L}{b} \leq \frac{10}{K} : \sigma_{ca} = 225(\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{10}{K} < \frac{L}{b} \leq 25 : \sigma_{ca} = 225 - 2.9(K\frac{L}{b} - 10)(\text{N/mm}^2)$$

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

但し、 $A_w/A_c < 2$ の場合は $K=2$ とする

ここに、 L ：圧縮フランジの固定点間距離 (mm)

b ：圧縮フランジの幅 (mm)

A_w ：腹板の総断面積 (mm²)

A_c ：圧縮フランジの総断面積 (mm²)

(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 ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度	14
	許容せん断応力度	0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	196	294

(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，支持力試験及び「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）」により設定する。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 ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
支圧強度	MMR		18.0

3.8 評価方法

防波扉（3号機東側）の強度評価のうち、防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）については、津波荷重により各部材に発生する応力度が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。

また、防波扉基礎及び漂流物対策工基礎については、2次元静的有限要素法に基づいて算定した発生応力度が「3.7 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。応力度の算定には、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

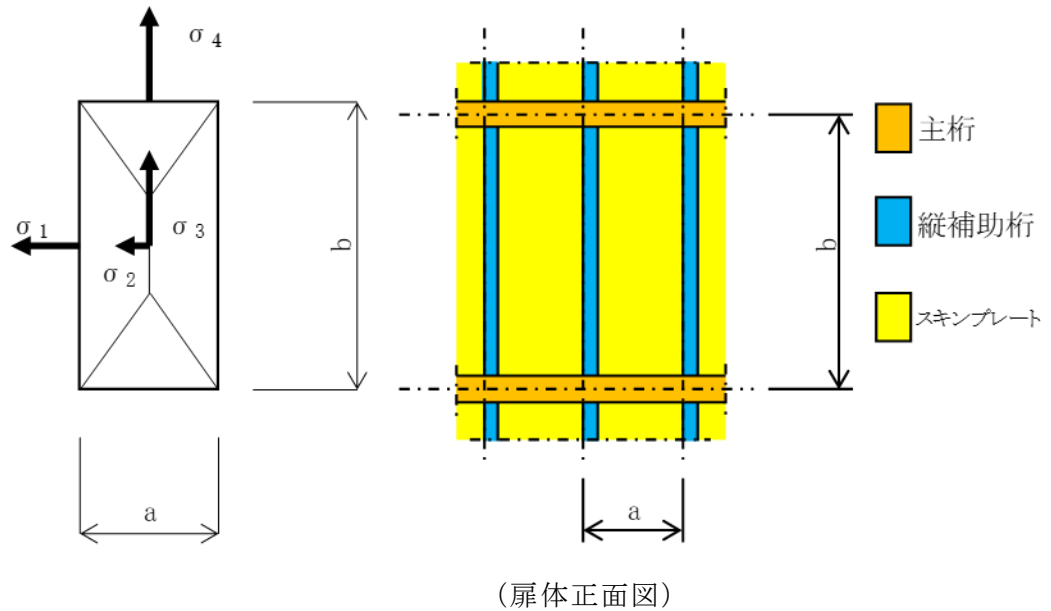
(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）は、扉体（スキンプレート、主桁、補助縦桁、端縦桁、支圧板）、戸当り、走行車輪、車輪戸当り、ガイドアーム、ガイドローラレール支持ブラケット及び休止ピンで構成されている。津波荷重に対しては、スキンプレート、主桁、補助縦桁、端縦桁、支圧板及び戸当りの強度評価を行う。

a. スキンプレート

スキンプレートに発生する曲げモーメントは、4辺を固定支持された平板としてモデル化し、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

スキンプレートの構造図及び応力算定式を図3-6に示す。



スキンプレートの曲げ応力度 σ (N/mm²)

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

ここに、

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 : スキンプレートの水平荷重 (津波+風荷重) (N/mm²)

t : スキンプレートの板厚 (mm)

図3-6 スキンプレートの構造図及び応力算定式

b. 主桁

主桁は、部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう、支圧板の設置位置を支点とする両端をピン支点の単純梁によりモデル化し、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

主桁の照査対象部を図 3-7 に、主桁のモデル図及び応力算定式を図 3-8 に示す。

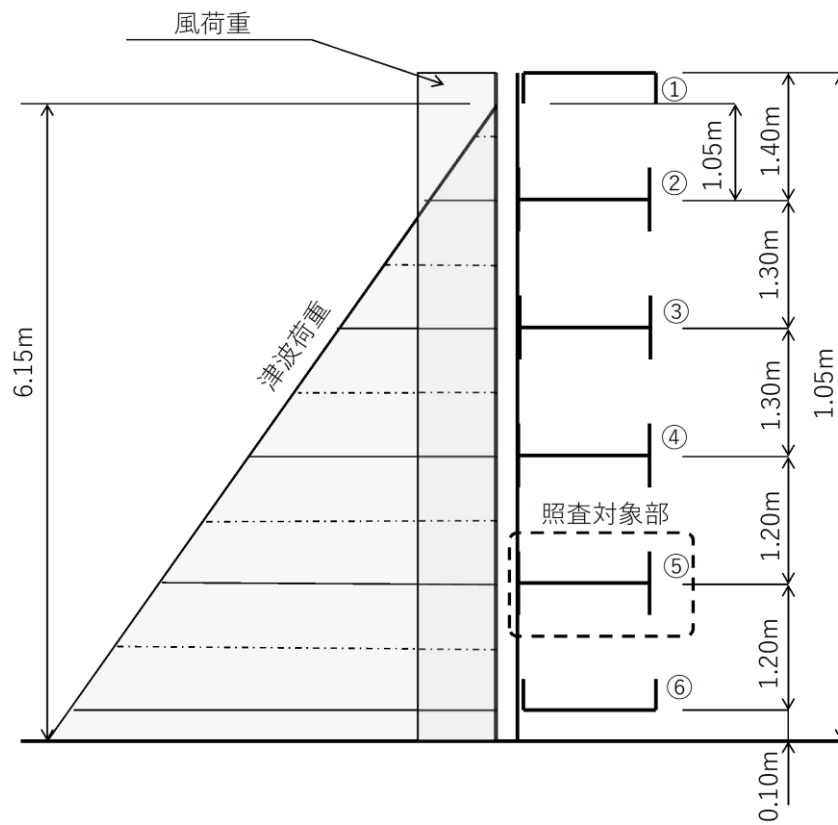
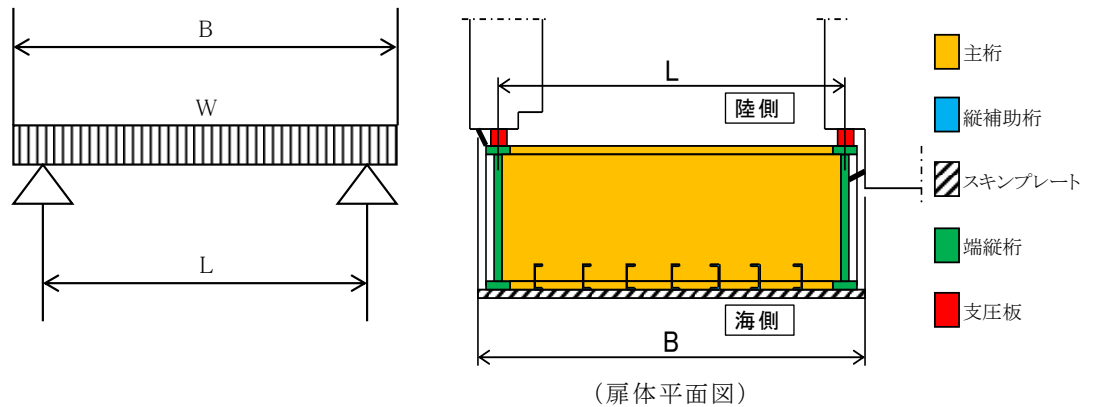


図 3-7 主桁の照査対象部



断面力の計算

- ・主桁の曲げモーメント

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

- ・主桁のせん断力

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

- ・主桁の軸力

$$N = W \cdot D$$

応力度の計算

- ・主桁の曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_{\max} \times 10^6}{Z} + \frac{N \times 10^6}{A_g}$$

- ・主桁のせん断応力度 τ (N/mm²)

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

ここに,

M : 主桁の曲げモーメント (kN・m)

S : 主桁のせん断力 (kN)

N : 主桁の軸力 (kN)

W : 主桁の負担荷重 (kN/m)
(津波+風荷重)

B : 水密幅 (m)

L : 支圧板中心間 (m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

D : 側面水密幅 (mm)

A_g : 主桁の断面積 (mm²)

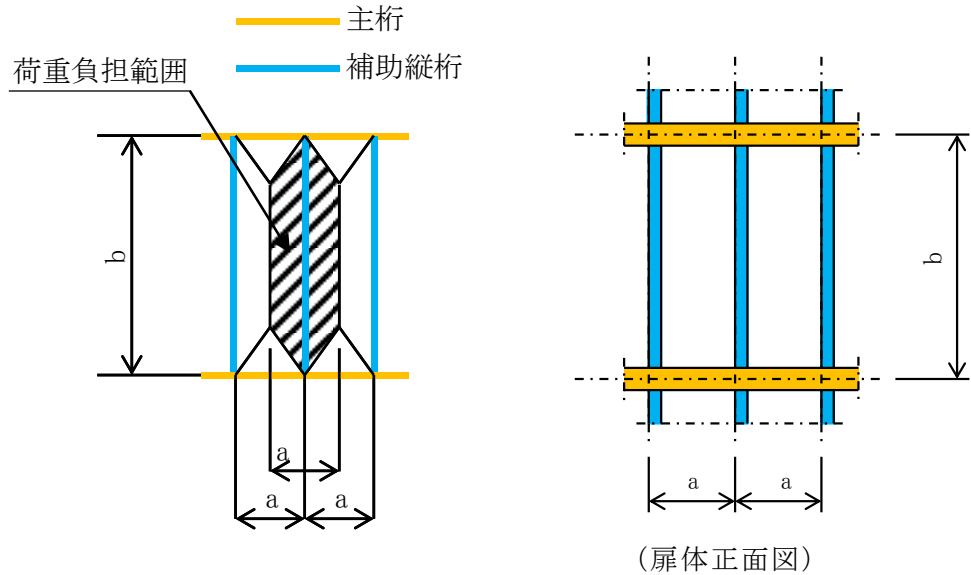
A_w : 主桁の腹板断面積 (mm²)

図 3-8 主桁のモデル図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が亀甲形に作用するものとしてモデル化し、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造図及び応力算定式を図 3-9 に示す。



断面力の計算

- ・ 補助縦桁の曲げモーメント

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

- ・ 補助縦桁のせん断力

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

応力度の計算

- ・ 補助縦桁の曲げ応力度 σ (N/mm²)

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

- ・ 補助縦桁のせん断応力度 τ (N/mm²)

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

ここに、

M : 補助縦桁の曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁のせん断力 (kN)

P : 補助縦桁の水平荷重 (kN/m²)
(津波+風荷重)

a : 補助縦桁間隔 (m)

b : 主桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm³)

A_w : 補助縦桁の腹板断面積 (mm²)

図 3-9 補助縦桁の構造図及び応力算定式

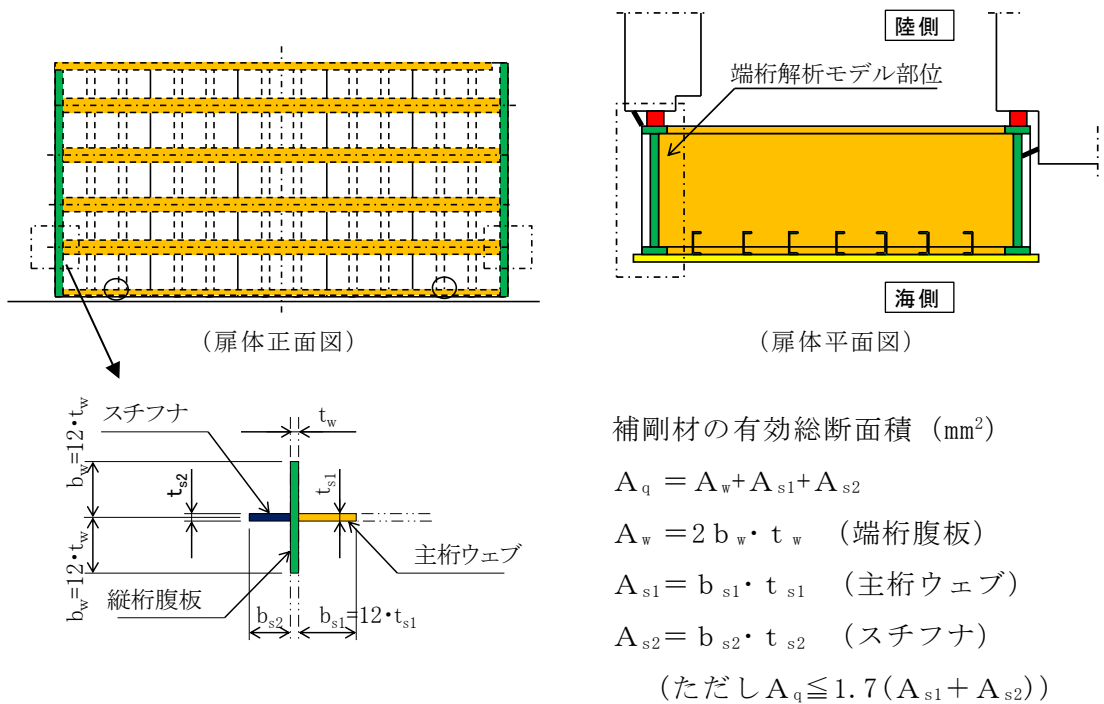
d. 端縦桁

本設備は横引きゲートであるが、全閉時端桁には、主桁端部反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する役割を果たしている。

端桁腹板には垂直補剛材として主桁ウェブとスチフナを有する。端桁腹板は上下方向に、主桁ウェブは径間方向に部材が伸びているが、実際に荷重が作用している有効断面のみで評価する。

垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点としてモデル化し、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

縦桁の構造図及び応力算定式を図 3-10 に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

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

ここに、

R : 主桁の支点反力 (kN)

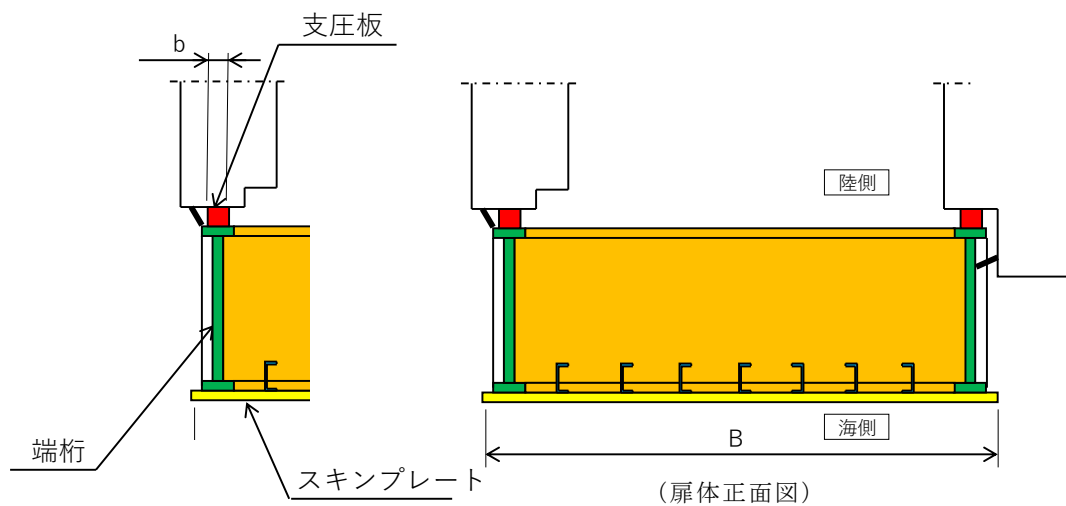
A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

図 3-10 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 支圧板

支圧板の面圧は最も荷重の大きい扉体最下部に作用する荷重から求め、算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の構造図及び応力算定式を図 3-11 に示す。



支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{P \cdot B}{2 \cdot b}$$

ここに、

P : 扉体最下部の水平荷重 (kN/m²)
(津波+風荷重)

B : 扉体の水密幅 (mm)

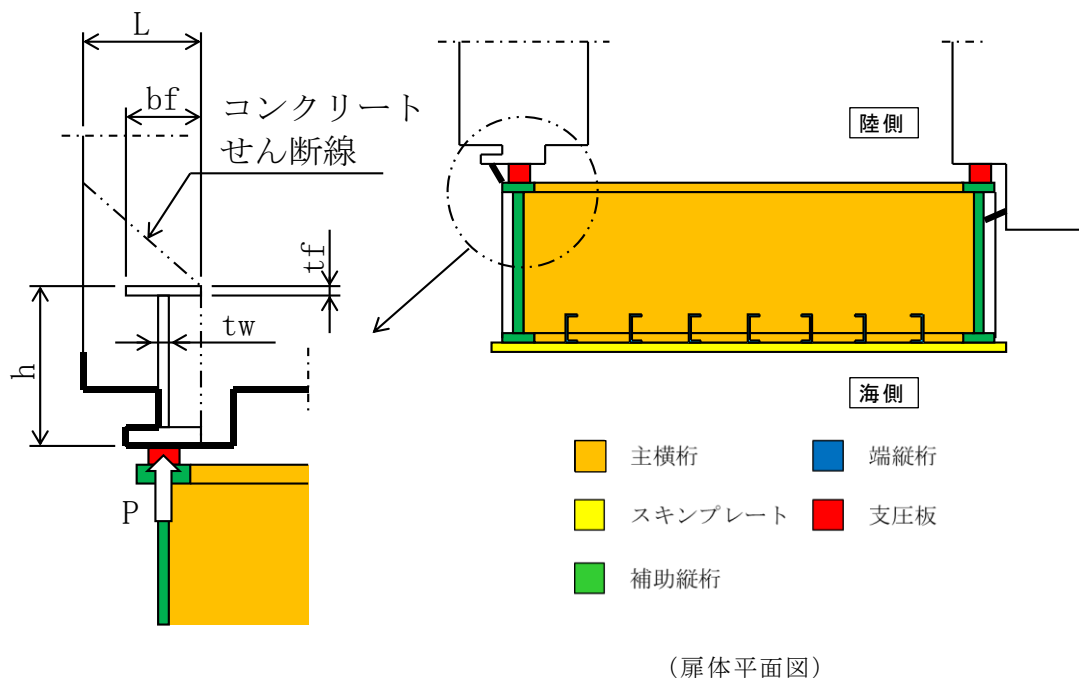
b : 支圧板の有効幅 (mm)

図 3-11 支圧板の構造図及び応力算定式

f. 戸当り

戸当りは最も荷重の大きい扉体最下部に作用する荷重から算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図及び応力算定式を図 3-12 に示す。



応力度の計算

- ・ 戸当り底面フランジの曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot \sigma_k \cdot b_f^2}{8 \cdot t_f^2}$$

- ・ 戸当りコンクリートの支圧応力度 σ_k (N/mm²)

$$\sigma_k = \frac{P \cdot B}{2 \cdot b_f}$$

- ・ 戸当りコンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{\sigma_k \cdot b_f}{h + 2 \cdot L}$$

ここに、

b_f : 戸当り底面フランジ幅 (mm)

t_f : 戸当り底面フランジ板厚 (mm)

P : 扉体最下部の水平荷重 (kN/m²)
(津波+風荷重)

B : 扉体の水密幅 (mm)

h : 戸当りの桁高 (mm)

L : 底面フランジのコンクリートまでの距離 (mm)

図 3-12 戸当りの構造図及び応力算定式

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査に対して、2次元静的有限要素法により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

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。

グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = T/S$$

ここで、

T : 発生アンカー力（引張）（N）

S : 支圧板の面積（mm²）

(3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの強度評価は、2次元静的有限要素法により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。

(4) 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。

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、防波扉基礎スラブ直下の改良地盤及び改良地盤直下の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

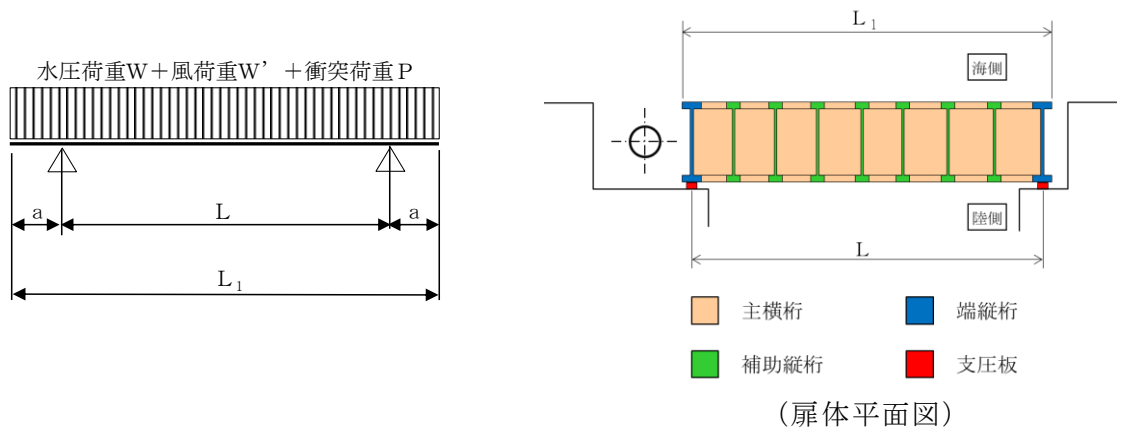
(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）は、扉体（主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁及び支圧板），支承部，支承アンカー，ロック装置及び戸当りで構成されている。津波荷重に対しては，主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁及び戸当りの強度評価を行う。

a. 主横桁

主横桁は、扉体と側部戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し、水平荷重（水圧荷重＋風荷重＋衝突荷重）から算定される応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、主横桁の分担荷重は、保守的に津波波圧及び風荷重が桁の空隙を考慮せずに作用するものとする。また、主横桁に作用する衝突荷重としては、「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。

主横桁のモデル図及び応力算定式を図 3-13 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

- ・ せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_1$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに、

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

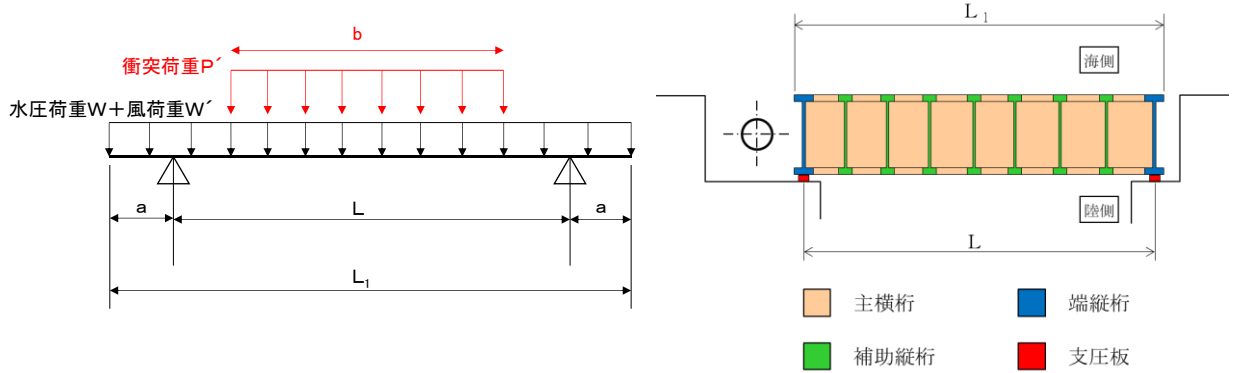
a : 張り出し部 (m)

L_1 : 扉体幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-13 主横桁のモデル図及び応力算定式



(扉体平面図)

断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W') L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{8} P' \{L^2 - (L - b)^2\}$$

- ・ せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W') L_1 + \frac{1}{2} P' b$$

ここに、

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

P' : 船首衝突による衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

a : 張り出し部 (m)

L_1 : 扉体幅 (m)

b : 船首衝突作用幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

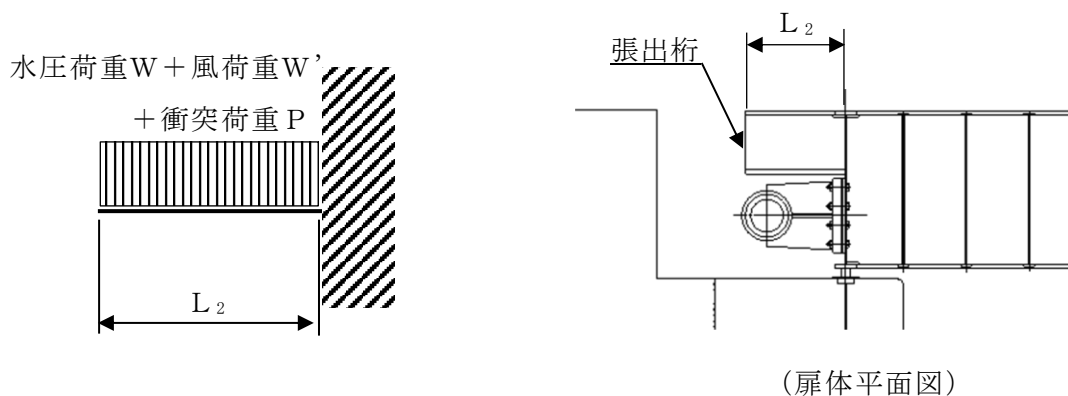
図 3-13(2) 主横桁のモデル図及び応力算定式

(船首衝突を考慮した場合)

b. 張出桁

張出桁は、扉体支持部を固定とする片持梁にモデル化し、算定され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、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する

張出桁のモデル図及び応力算定式を図 3-14 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_2 = \frac{1}{2}(W + W' + P)L_2^2$$

- ・ せん断力

$$S_2 = (W + W' + P)L_2$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{M_2}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_2}{A_w}$$

ここに、

M_2 : 曲げモーメント (kN・m)

S_2 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L_2 : 張出長さ (m)

Z : 断面係数 (mm³)

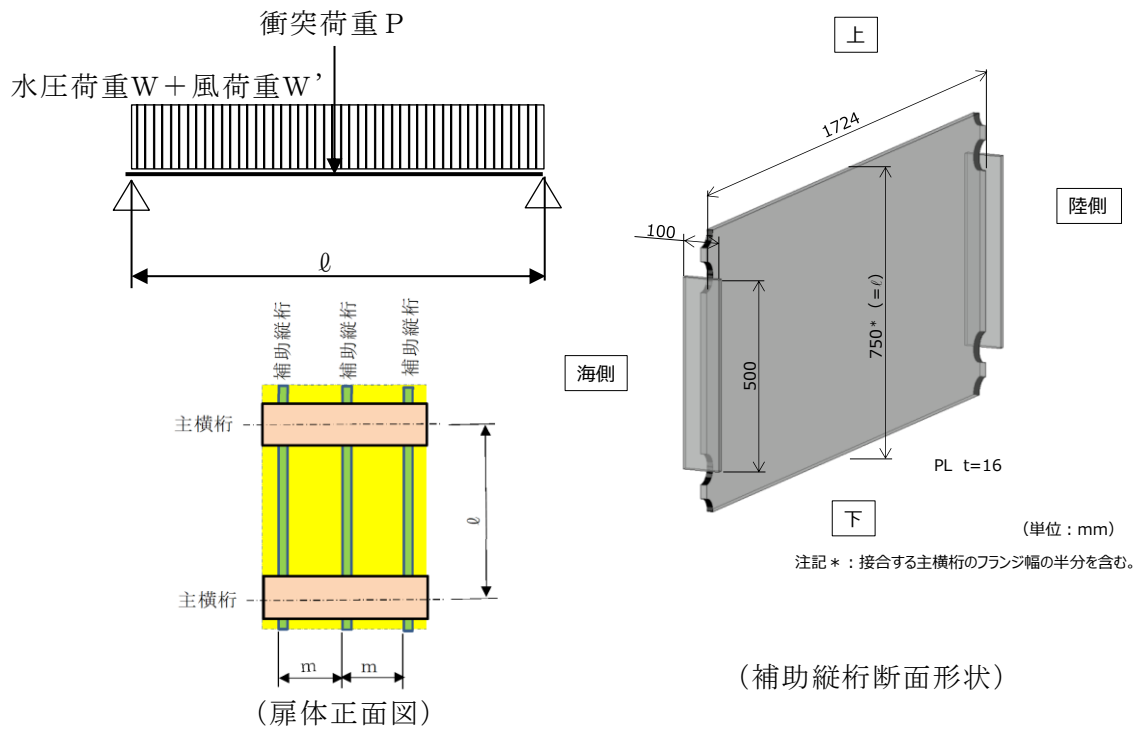
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-14 張出桁のモデル図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁は、主横桁に支持された単純梁としてモデル化し、その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、「局所的な漂流物衝突荷重」を考慮する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 3-15 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント (桁中央)

$$M_3 = \frac{1}{8}(W + W' + P)\ell^2$$

- ・ せん断力 (桁端部)

$$S_3 = \frac{1}{2}(W + W' + P)\ell$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{M_3}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_3}{A_w}$$

ここに、

M_3 : 曲げモーメント (kN・m)

S_3 : せん断力 (kN)

P : 衝突荷重 (kN/m)

W : 水圧荷重 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

ℓ : 主横桁の間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

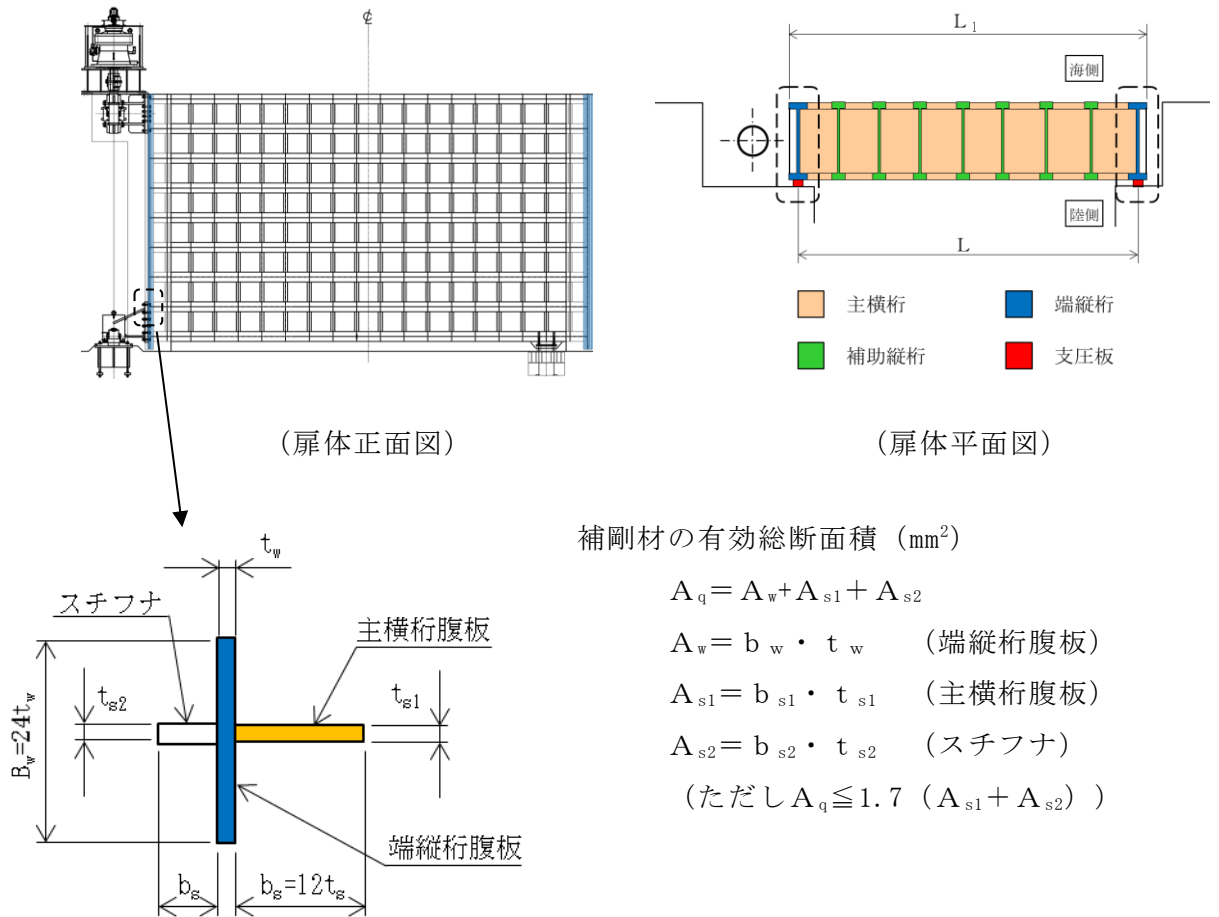
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 3-15 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力 σ_c が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図 3-16 に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

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

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

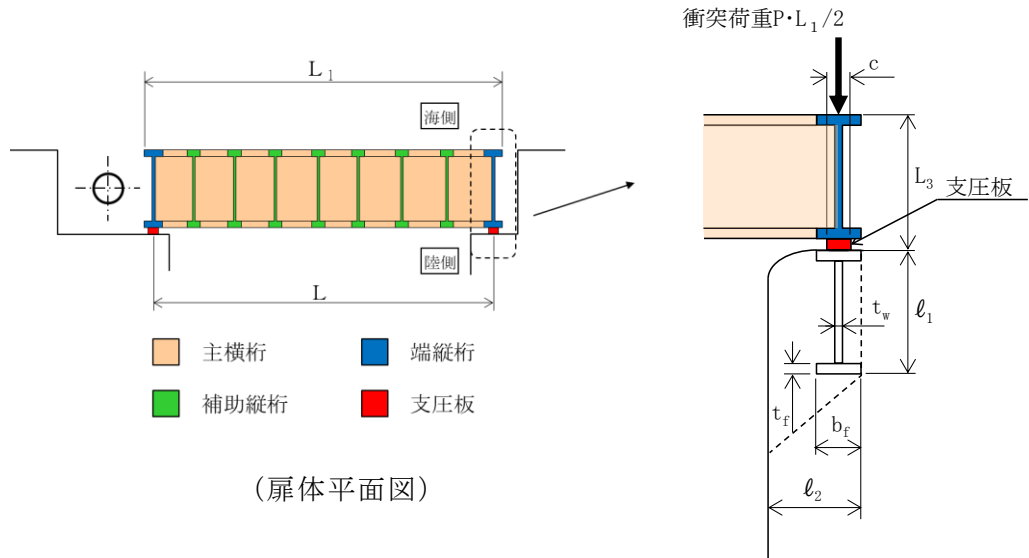
A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

図 3-16 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 戸当り

戸当りの鋼材は、作用水圧の最も大きい扉体最下部に作用する荷重により評価を行い、その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。

戸当りの構造図及び応力算定式を図 3-17 に示す。



支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{W L_1}{2 C L_2} + \frac{P L_1}{2 C L_4}$$

腹板の支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{W L_1}{2 t_w L_2} + \frac{P L_1}{2 t_w L_4}$$

底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

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

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

コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_{cb} = \frac{W L_1}{2 b_f L_2} + \frac{P L_1}{2 b_f L_4}$$

コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{W L_1}{2 \Sigma \ell L_2} + \frac{P L_1}{2 \Sigma \ell L_4}$$

ここに、

W : 水平荷重 (kN/m)

(津波+風荷重)

P : 衝突荷重 (kN/m)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L₁ : 扉体幅 (mm)

L₂ : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

L₄ : 衝突荷重分担長さ

(鉛直方向に 45° 分散) (mm)

t_w : 腹板の厚さ (mm)

b_f : 底面フランジの幅 (mm)

t_f : 底面フランジの厚さ (mm)

ℓ₁ : 戸当り深さ (mm)

ℓ₂ : 底面フランジのコンクリートまでの距離 (mm)

M_f : 底面フランジに作用する

曲げモーメント (N・mm)

Σℓ : せん断抵抗長さ (=ℓ₁+2ℓ₂) (mm)

図 3-17 戸当りの構造図及び応力算定式

- (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
鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して，2次元静的有限要素法により算定した応力度が許容限界以下であることを確認する。
- (3) 基礎地盤
基礎地盤の支持性能評価においては，漂流物対策工直下のMMR及び改良地盤並びにMMR及び改良地盤の直下の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 防波扉の強度評価に用いる条件 (1/2)

部材	記号	定義	数値	単位
スキンプレート	P	スキンプレーートの水平荷重 (津波+風荷重)	56.850	kN/m ²
	a	スキンプレーートの短辺	747	mm
	b	スキンプレーートの長辺	1200	mm
	k	スキンプレーートの辺長比 (b/a) による係数	46.8	-
	t	スキンプレーートの板厚	12	mm
主桁	W	主桁の負担荷重 (津波+風荷重)	60.948	kN/m
	B	水密幅	11.600	m
	L	支圧板中心間	11.200	m
	M	主桁の曲げモーメント	954.446	kN・m
	S	主桁のせん断力	353.498	kN
	N	主桁の軸力	109.706	kN
	Z	主桁の断面係数	10767582	mm ³
	D	側面水密幅	1800	mm
	A _w	主桁の腹板断面積	14382	mm ²
	A _g	主桁の断面積	23012	mm ²
補助縦桁	P	補助縦桁の水平荷重 (津波+風荷重)	56.850	kN/m ²
	a	補助縦桁間隔	0.747	m
	b	主桁間隔	1.200	m
	M	補助縦桁の曲げモーメント	6.657	kN・m
	S	補助縦桁のせん断力	17.549	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	114034	mm ³
	A _w	補助縦桁の腹板断面積	611	mm ²

表 4-1 防波扉の強度評価に用いる条件 (2/2)

部材	記号	定義	数値	単位
端縦桁	R	主桁の支点反力	353.498	kN
	A _q	補剛材の有効断面積	2938	mm ²
支圧板	P	扉体最下部の水平荷重 (津波+風荷重)	63.920	kN/m ²
	B	扉体の水密幅	11.600	m
	b	支圧板の有効幅	100	mm
戸当り	P	扉体最下部の水平荷重 (津波+風荷重)	63.920	kN/m ²
	B	扉体の水密幅	11.600	m
	b _f	戸当り底面フランジ幅	200	mm
	t _f	戸当り底面フランジ板厚	22	mm
	h	戸当りの桁高	510	mm
	L	底面フランジのコンクリートまでの距離	400	mm

表 4-2 漂流物対策工の強度評価に用いる条件 (1/2)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M ₁	曲げモーメント	8338.1	kN・m
	S ₁	せん断力	3005.7	kN
	P	衝突荷重	491	kN/m
	P'	船首衝突による衝突荷重	520	kN/m
	W	水圧荷重	49.214	kN/m
	W'	風荷重	1.354	kN/m
	L	支間	11.1	m
	a	張り出し部	0.1	m
	L ₁	扉体幅	11.3	m
	b	船首衝突作用幅	6.0	m
	Z	断面係数	23979000	mm ³
A _w	腹板断面積	26300	mm ²	
張出桁	M ₂	曲げモーメント	365.0	kN・m
	S ₂	せん断力	608.4	kN
	P	衝突荷重	491	kN/m
	W	水圧荷重	15.529	kN/m
	W'	風荷重	0.451	kN/m
	L ₂	張出長さ	1.2	m
	Z	断面係数	10829000	mm ³
A _w	腹板断面積	26370	mm ²	
補助縦桁	M ₃	曲げモーメント	225.4	kN・m
	S ₃	せん断力	1202.4	kN
	P	衝突荷重	1200	kN/m
	W	水圧荷重	6.212	kN/m
	W'	風荷重	0.181	kN/m
	ℓ	主横桁の間隔	0.75	m
	Z	断面係数	10540000	mm ³
A _w	腹板断面積	26300	mm ²	
端縦桁	R	主横桁の支点反力	3005.7	kN
	A _q	補剛材の有効総断面積	10747	mm ²

表 4-2 漂流物対策工の強度評価に用いる条件 (2/2)

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り	W	水平荷重 (津波+風荷重)	50.568	kN/m
	P	衝突荷重	491	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L ₁	扉体幅	11300	mm
	L ₂	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	L ₄	衝突荷重分担長さ (鉛直方向に 45° 分散)	2175	mm
	t _w	腹板の厚さ	14	mm
	b _f	底面フランジの幅	750	mm
	t _f	底面フランジの厚さ	50	mm
	ℓ ₁	戸当り深さ	1350	mm
	ℓ ₂	底面フランジのコンクリートまでの距離	925	mm
	M _f	底面フランジに作用する曲げモーメント	154.7	kN・m
	Σℓ	せん断抵抗長さ (=ℓ ₁ +2ℓ ₂)	3200	mm

5. 評価結果

5.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の主部材の照査結果を表 5-1 に示す。この結果から、防波扉（鋼製扉体）の主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，戸当り）の主部材の照査結果

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
防波扉 (鋼製 扉体)	スキンプレート	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	103.1	240	0.43
	主桁	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	94.7	240	0.40
			せん断応力度 (N/mm ²)	24.6	135	0.19
	補助縦桁	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	58.4	180	0.33
			せん断応力度 (N/mm ²)	28.7	105	0.28
	端縦桁	SM490	圧縮応力度 (N/mm ²)	120	240	0.50
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	3.7	225	0.02
	戸当り	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	114.9	240	0.48
		f' _{ck} =24N/mm ²	支圧応力度 (N/mm ²)	1.85	8.8	0.22
せん断応力度 (N/mm ²)			0.28	0.60	0.47	

(2) 防波扉戸当り (RC支柱)

防波扉戸当り (RC支柱) の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-1 に、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を表 5-2 に示す。

この結果から、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。

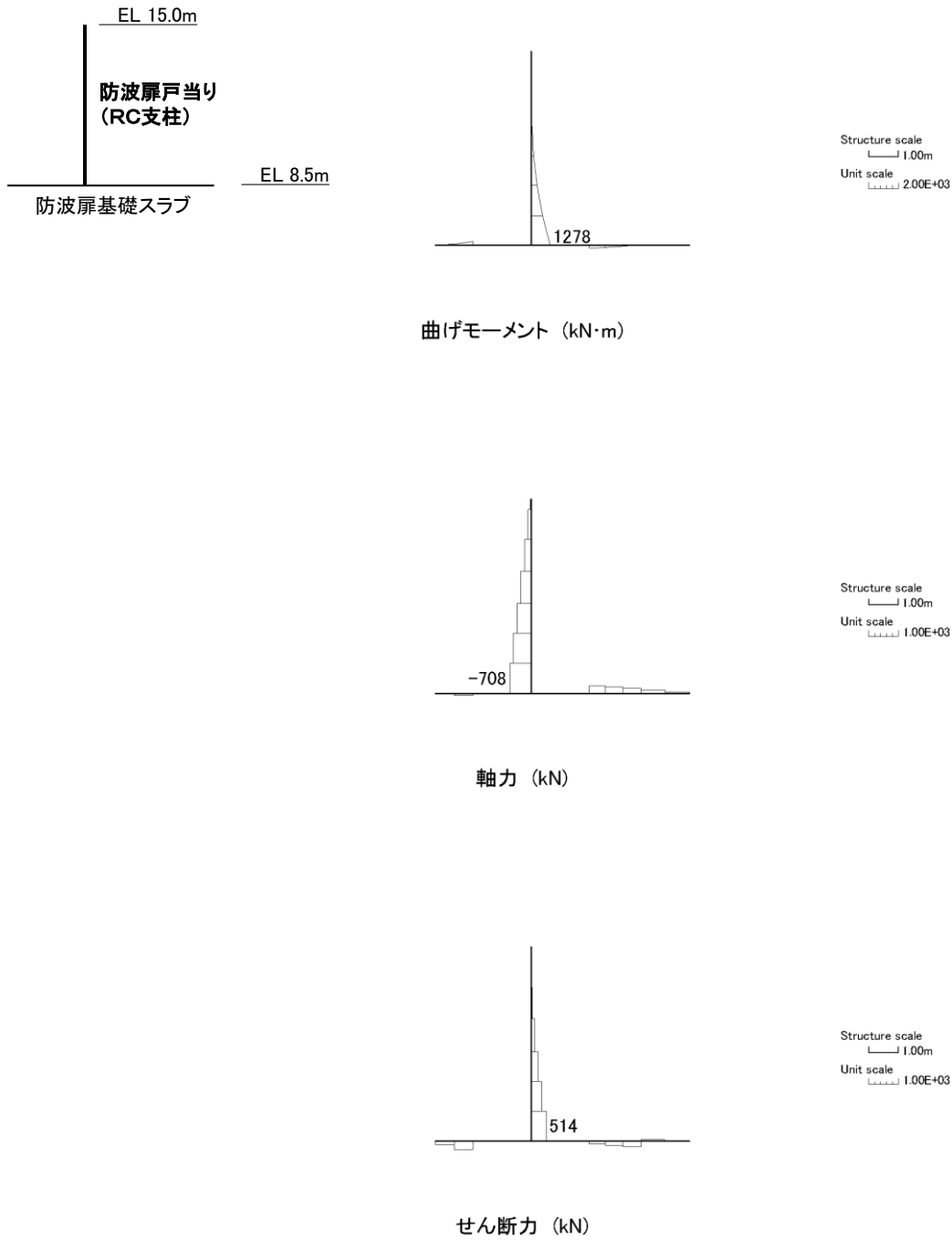


図 5-1 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力

表 5-2(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	1278	708	0.8	13.5	0.06

表 5-2(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	1278	708	12	294	0.04

表 5-2(3) コンクリートのせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	514	0.16	0.67	0.24

(3) 防波扉基礎スラブ

防波扉基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-2 に、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を表 5-3 に示す。

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

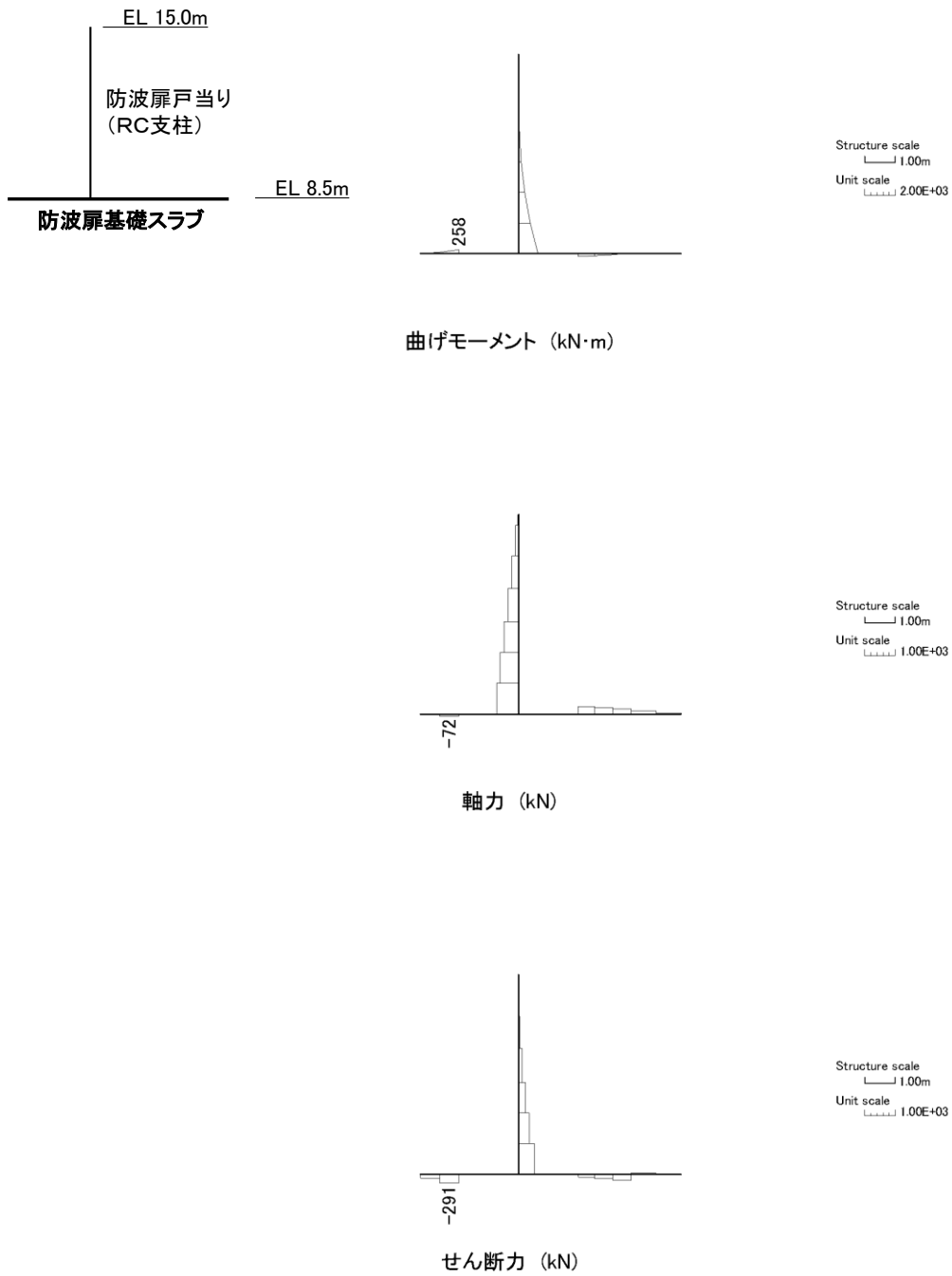


図 5-2(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力

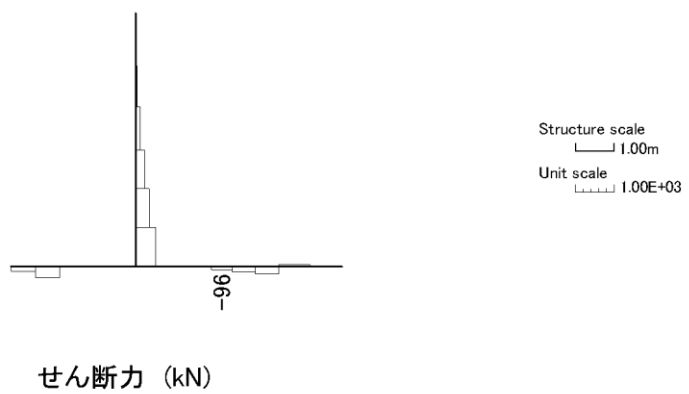
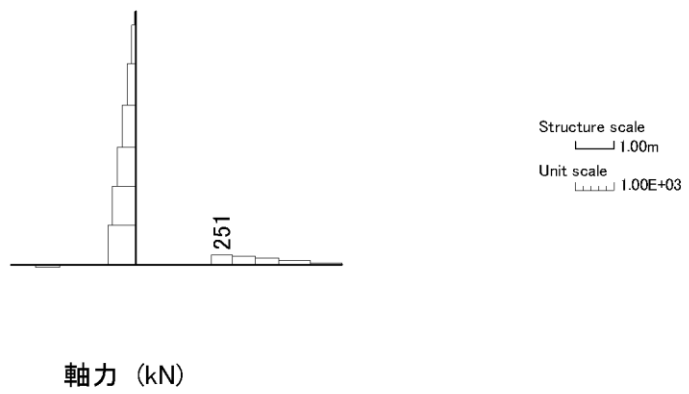
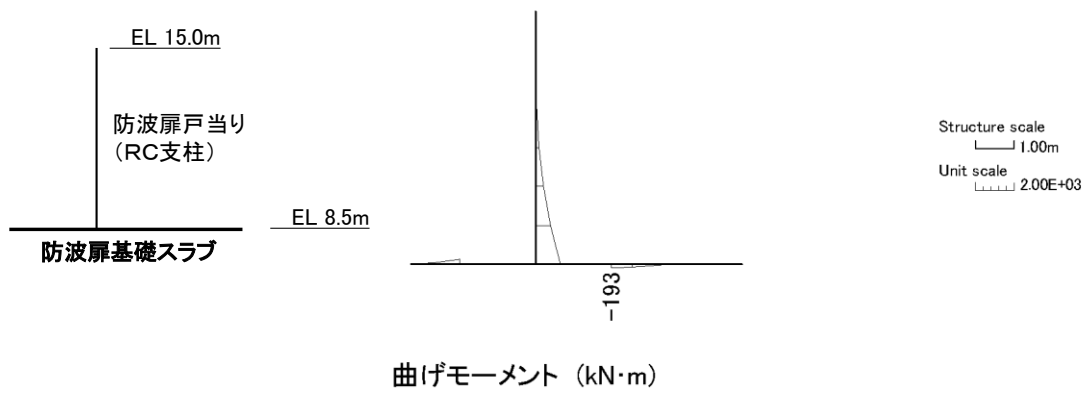


図 5-2(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力

表 5-3(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	258	72	0.7	13.5	0.05

表 5-3(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	193	251	58	294	0.20

表 5-3(3) コンクリートのせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	291	0.21	0.67	0.31

(4) 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 5-4 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 σ_b が許容限界以下であることを確認した。

表 5-4 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最大照査値

	支圧応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
津波時	11.5	18.0	0.64

(5) グラウンドアンカ

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 5-5 に示す。

この結果から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 5-5 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最大照査値

	発生アンカー力 T (kN)	許容アンカー力 T_a (kN)	照査値 T/ T_a
津波時	1651	2076	0.80

(6) 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 5-6 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 5-3 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 5-6 改良地盤のすべり安全率評価結果

	最小すべり安全率
津波時	8.23

- 引張強度に達した要素
- せん断強度に達した要素
- 1.0 ≤ 値 < 1.2
- 1.2 ≤ 値
- 最小すべり安全率となるすべり線

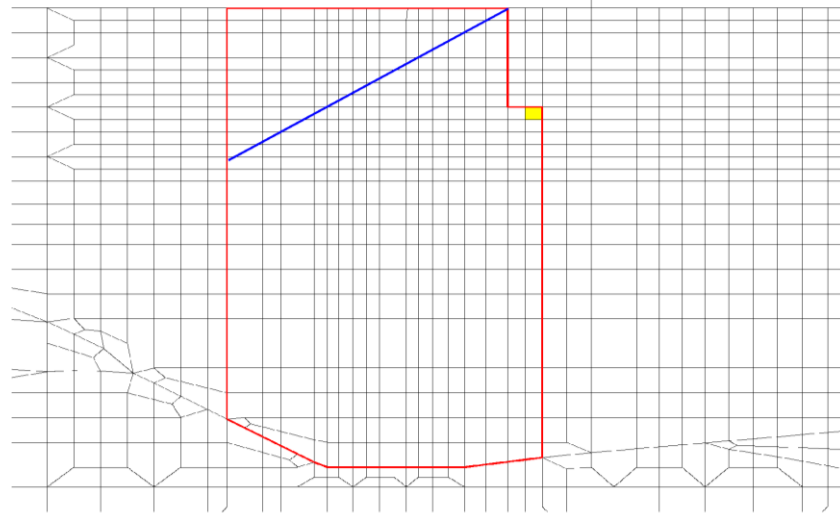


図 5-3 改良地盤の局所安全係数分布

(7) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-7 に、支持地盤の接地圧分布を図 5-4 に示す。

防波扉の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 5-7(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.3	1.4	0.24

表 5-7(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.5	9.8	0.06

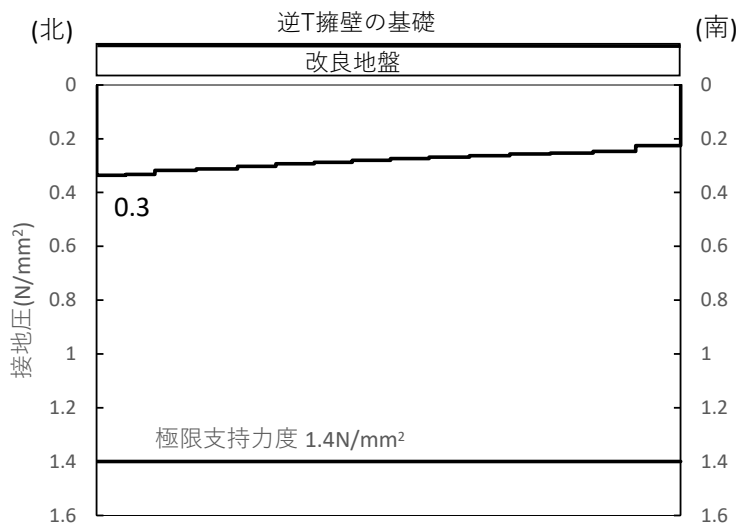


図 5-4(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)

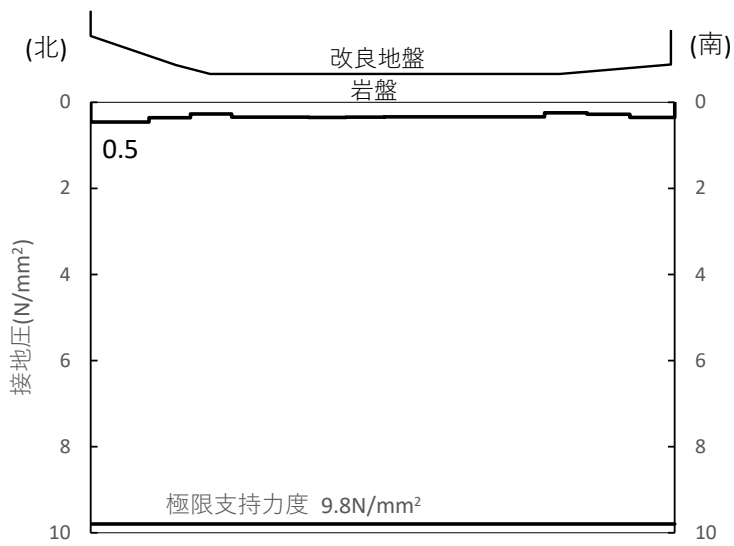


図 5-4(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)

5.2 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）の主部材及び戸当りの照査結果を表 5-8 に示す。この結果から、漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-8 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容 限界 (b)	照査値 (a/b)
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	348	525	0.67
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	114	193	0.60
	主横桁 (船首衝突)	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	296	525	0.57
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	70	193	0.37
	張出桁	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	34	525	0.07
			せん断応力度 (N/mm ²)	23	303	0.08
	補助縦桁	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	21	306	0.07
			せん断応力度 (N/mm ²)	46	193	0.24
	端縦桁	SM570	圧縮応力度 (N/mm ²)	280	337	0.84
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	21	225	0.10
	戸当り（腹板）	SM400	支圧応力度 (N/mm ²)	118	270	0.44
	戸当り（底面フランジ）	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	371	525	0.71
	戸当り（コンクリート）	f'ck=40 N/mm ²	支圧応力度 (N/mm ²)	2.2	8.8	0.25
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.52	0.60	0.87

(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) の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-5 に、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を表 5-9 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り (RC支柱) の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

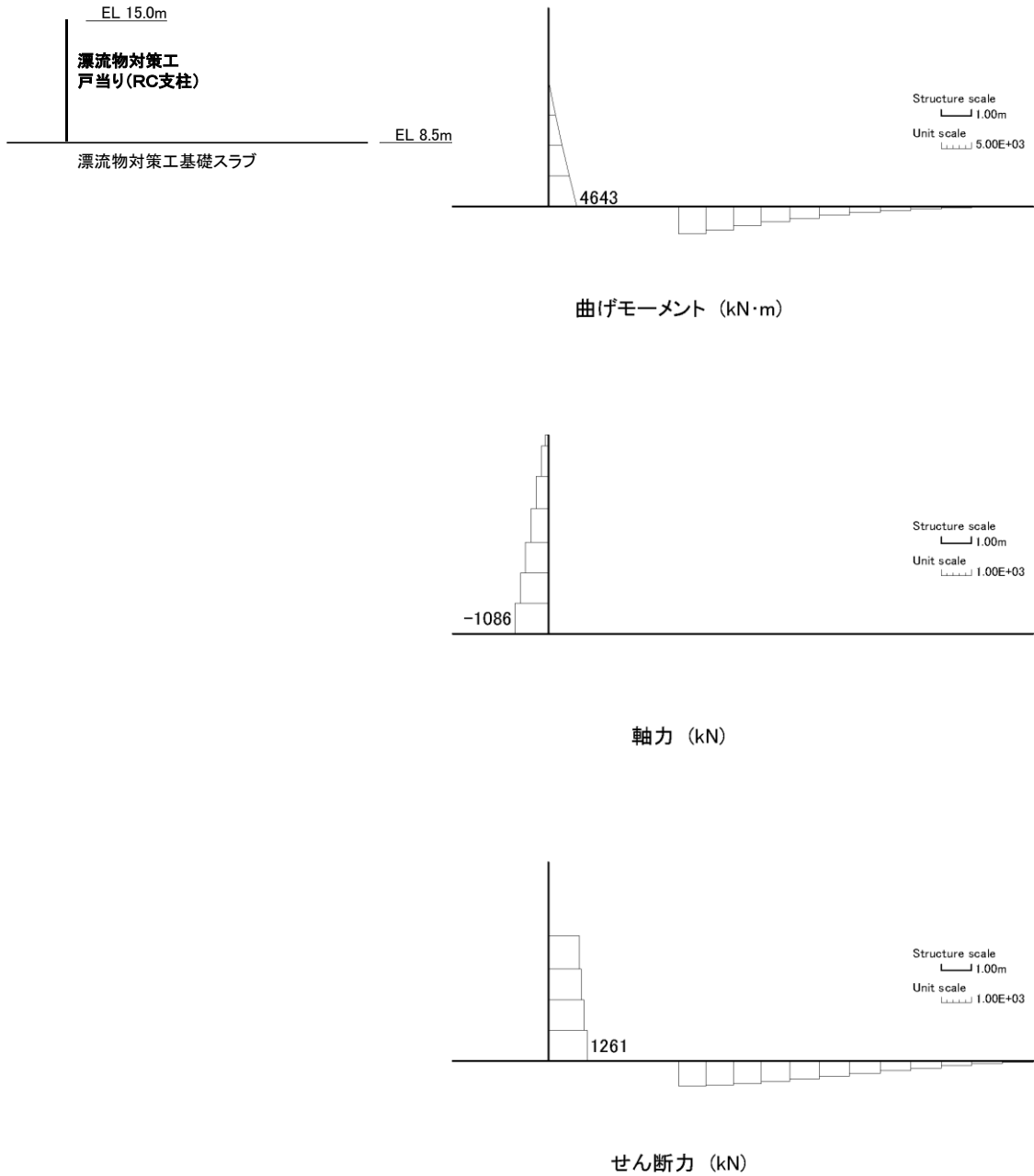


図 5-5 コンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断照査における断面力

表 5-9(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	4643	1086	1.4	21.0	0.07

表 5-9(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	4643	1086	33	294	0.12

表 5-9(3) コンクリートのせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	1261	0.43	0.82	0.53

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

漂流物対策工基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査における断面力図を図 5-6 に、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査値を表 5-10 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

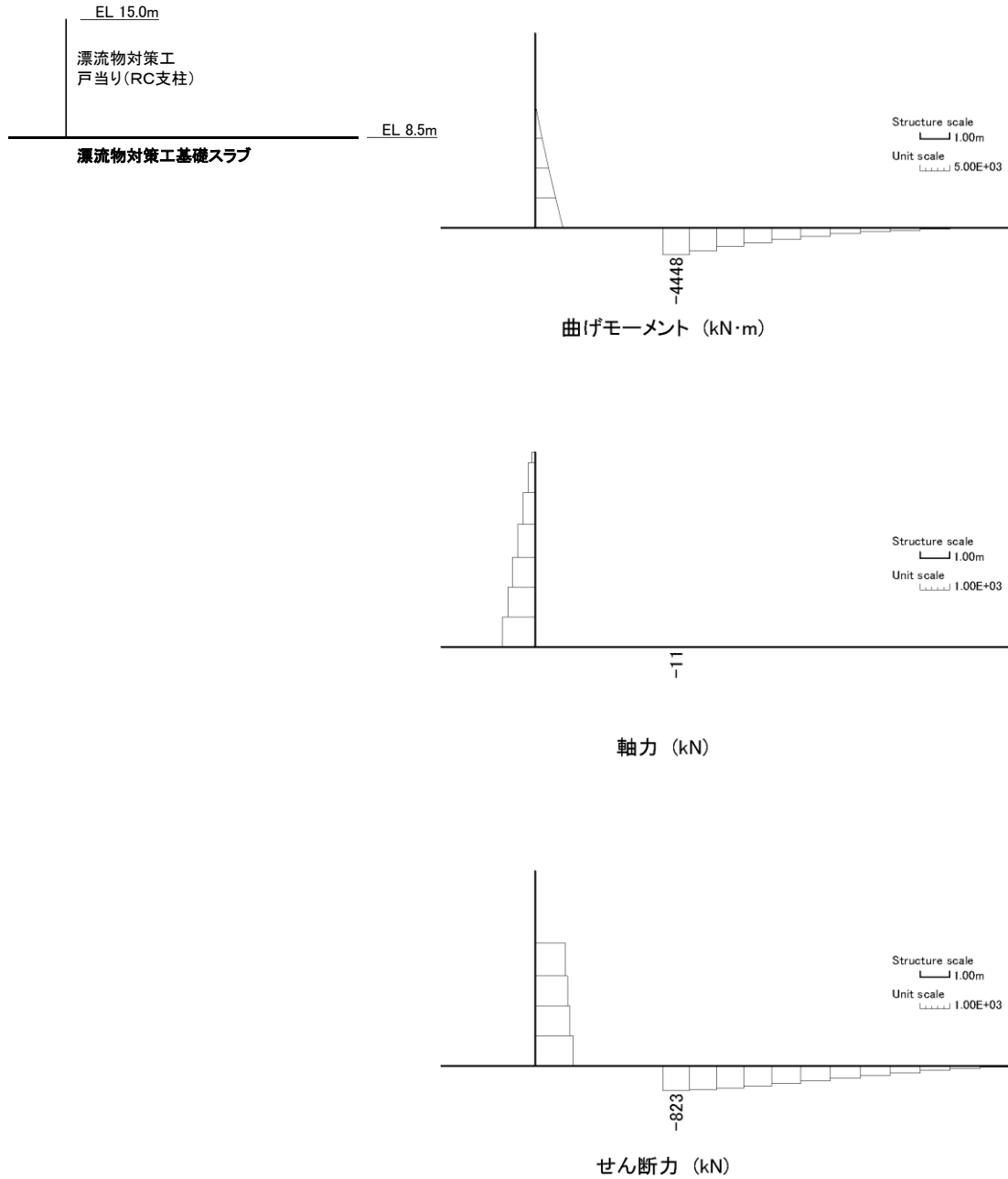


図 5-6(1) **コンクリート及び鉄筋**の曲げ・**軸力系**の破壊に対する**照査**及び**せん断照査**における断面力

表 5-10(1) 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 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	4448	11	1.8	21.0	0.09

表 5-10(2) 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 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
津波時	4448	11	69	294	0.24

表 5-10(3) コンクリートのせん断照査における最大照査値

	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
	せん断力 (kN)			
津波時	823	0.26	0.82	0.32

(3) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 5-11 に、最大接地圧分布を図 5-7 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 5-11(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.6	18.0	0.04

表 5-11(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.3	1.4	0.21

表 5-11(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
津波時	0.7	9.8	0.08

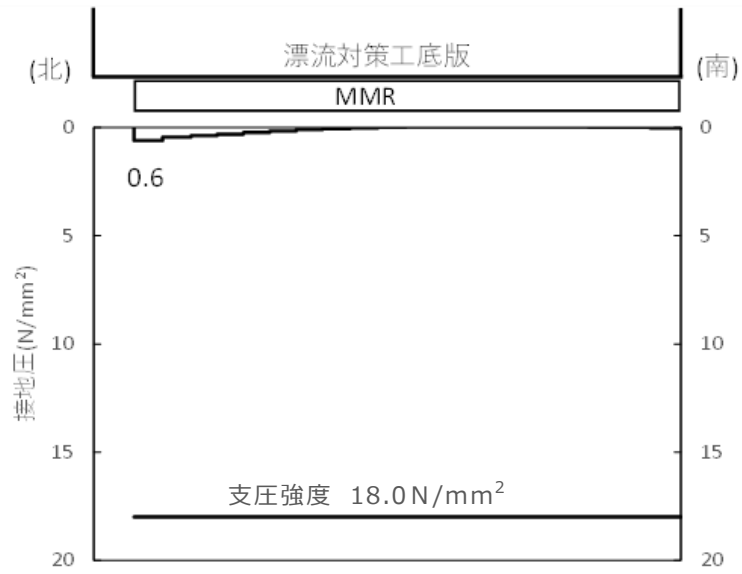


図 5-7(1) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (MMR)

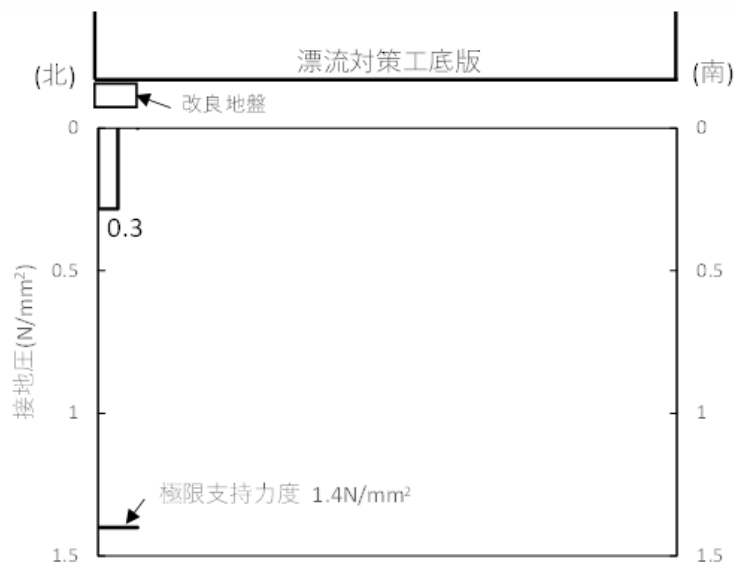


図 5-7(2) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (改良地盤)

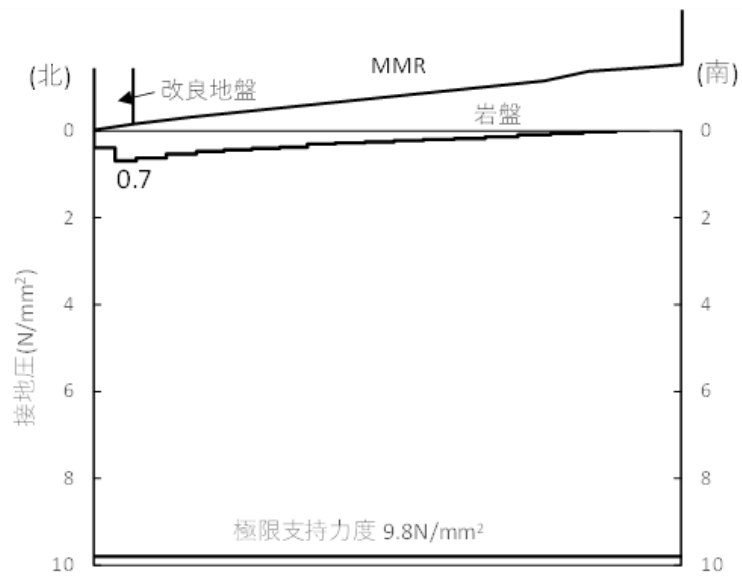


図 5-7(3) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (岩盤)