

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0003_改3
提出年月日	2021年10月13日

VI-3-別添 3-2-1 防潮堤の強度計算書

2021年10月

東北電力株式会社

目 次

VI-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書

VI-3-別添 3-2-1-2 防潮堤（盛土堤防）の強度計算書



: 本日の説明範囲

VI-3-別添 3-2-1-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書

## 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	10
2.4	適用基準	16
3.	強度評価方法	17
3.1	記号の定義	17
3.2	評価対象断面及び部位	20
3.2.1	評価対象断面	20
3.2.2	評価対象部位	26
3.3	荷重及び荷重の組合せ	27
3.3.1	荷重	27
3.3.2	荷重の組合せ	28
3.4	許容限界	31
3.4.1	鋼管杭	31
3.4.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工	36
3.4.3	背面補強工	37
3.4.4	置換コンクリート	37
3.4.5	改良地盤	37
3.4.6	セメント改良土	37
3.4.7	止水ジョイント部材	38
3.4.8	基礎地盤	39
3.5	評価方法	40
3.5.1	津波時	40
3.5.2	重畳時	66
4.	評価条件	100
4.1	津波時	100
4.2	重畳時	111
5.	評価結果	120
5.1	津波時	120
5.1.1	鋼管杭の評価結果	120
5.1.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果	136
5.1.3	背面補強工の評価結果	137
5.1.4	置換コンクリートの評価結果	140
5.1.5	改良地盤の評価結果	143
5.1.6	セメント改良土の評価結果	146

5.1.7	止水ジョイント部材の評価結果	149
5.2	重畳時	153
5.2.1	鋼管杭の評価結果	153
5.2.2	鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果	169
5.2.3	背面補強工の評価結果	171
5.2.4	置換コンクリートの評価結果	175
5.2.5	改良地盤の評価結果	178
5.2.6	セメント改良土の評価結果	181
5.2.7	止水ジョイント部材の評価結果	184
5.2.8	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	188



: 本日の説明範囲

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 (1) 強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN/m <sup>2</sup>	積載荷重
P <sub>s</sub>	kN/m <sup>2</sup>	積雪荷重
P <sub>k</sub>	kN/m <sup>2</sup>	風荷重
P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	遡上津波荷重
P <sub>c</sub>	kN	衝突荷重
K <sub>Sd</sub>	—	余震荷重
P <sub>d</sub>	kN/m <sup>2</sup>	動水圧
γ <sub>w</sub>	kN/m <sup>3</sup>	海水の単位体積重量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	海水の密度
σ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容曲げ圧縮応力度
τ <sub>sa</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容せん断応力度
σ <sub>ca</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の短期許容圧縮応力度
σ <sub>1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭の曲げモーメント及び軸力より算定される応力度
M <sub>1</sub>	kN・m	鋼管杭に発生する曲げモーメント
Z <sub>1</sub>	mm <sup>3</sup>	鋼管杭の断面係数
N <sub>1</sub>	kN	鋼管杭の軸力
τ <sub>1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度
S <sub>1</sub>	kN	鋼管杭に発生するせん断力
A <sub>1</sub>	mm <sup>2</sup>	鋼管杭の断面積
κ <sub>1</sub>	—	せん断応力の分布係数 (2.0)
σ <sub>2</sub>	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによるスキンプレーットの発生応力度
M <sub>2</sub>	kN・m	スキンプレーットに発生する曲げモーメント
Z <sub>2</sub>	mm <sup>3</sup>	スキンプレーットの断面係数
P <sub>2</sub>	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの津波波圧
P <sub>2</sub> '	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの地震慣性力
P <sub>2</sub> ''	kN/m	スキンプレーットに作用する単位幅あたりの動水圧
L	mm	水平リブ間隔

表 3-1 (2) 強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
$\sigma_3$	N/mm <sup>2</sup>	垂直リブに発生する圧縮応力度
$P_3$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する津波波圧
$P_3'$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する地震慣性力
$P_3''$	kN/m <sup>2</sup>	垂直リブに作用する動水圧
$P$	kN	受圧面積に発生する水平荷重
$t$	mm	垂直リブの板厚
$B$	m	鋼製遮水壁の総幅
$\sigma_4$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる水平リブの発生応力度
$\sigma_5$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる架台の発生応力度
$M_4$	kN・m	水平リブに発生する曲げモーメント
$M_5$	kN・m	架台に発生する曲げモーメント
$Z_4$	mm <sup>3</sup>	水平リブの断面係数
$Z_5$	mm <sup>3</sup>	架台の断面係数
$P_4$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する津波波圧
$P_4'$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する地震慣性力
$P_4''$	kN/m <sup>2</sup>	水平リブ及び架台に作用する動水圧
$\ell$	mm	架台間隔
$b$	m	モーメントアーム長
$b'$	m	衝突荷重のモーメントアーム長
$\tau_4$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による水平リブの発生応力度
$\tau_5$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による架台の発生応力度
$S_4$	kN	水平リブに発生するせん断力
$S_5$	kN	架台に発生するせん断力
$A_w$	mm <sup>2</sup>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積
$\sigma_6$	N/mm <sup>2</sup>	曲げモーメントによる防護工の発生応力度
$M_6$	kN・m	防護工に発生する曲げモーメント
$Z_6$	mm <sup>3</sup>	防護工の断面係数
$P_6$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する津波波圧
$P_6'$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する地震慣性力
$P_6''$	kN/m <sup>2</sup>	防護工に作用する動水圧
$b''$	m	防護工の幅
$\tau_6$	N/mm <sup>2</sup>	せん断力による防護工の発生応力度
$S_6$	kN	防護工に発生するせん断力
$A_{wc}$	mm <sup>2</sup>	防護工のせん断抵抗断面積

表 3-1 (3) 強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
$A_7$	$\text{mm}^2$	防護工取付けボルト断面積 (M24)
$n_7$	本	防護工 1 本当たりのボルトの本数
$L_8$	mm	梁部材の張出長
$p_8$	kN/m	梁部材の用する津波波圧
$Z_8$	$\text{mm}^3$	梁部材工の断面係数
$P_c'$	kN	寸法の小さな漂流物の衝突荷重
$A_8$	$\text{mm}^2$	梁部材のせん断抵抗断面積
$e_8$	mm	偏心量
$D_8$	mm	台座の長さ (曲げ方向)
$x_8$	mm	接地幅
$d_8$	mm	台座端部～アンカーの距離
$n_8$	本	アンカーボルトの本数



### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

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

#### 3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重 (防護設備 (防潮堤 (鋼管式鉛直壁)) を含む) を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である  $43\text{cm}$  に平均的な積雪荷重を与えるための係数  $0.35$  を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量  $1\text{cm}$  ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 風荷重 ( $P_k$ )

風荷重については、敷地側から海側に作用する場合は遡上津波荷重を打ち消す側に荷重が作用するため、海側から敷地側の方向で津波水位から防潮堤天端までに作用することを考慮する。

(5) 遡上津波荷重 ( $P_t$ )

遡上津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位 O.P.  $+24.4\text{m}$  に余裕を考慮した津波水位 O.P.  $+25.0\text{m}$  を用いることとし、その標高と防潮堤前面の地盤標高の差分の  $1/2$  倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。

(6) 衝突荷重 ( $P_c$ )

衝突荷重については、2.15 t の車両を対象に「FEMA (2012) \*」式による漂流物荷重に余裕を考慮して設定する。

なお、止水ジョイントの保護部材に対しては、水平部は、FRP 製船舶の自重 (15t) を考慮することとし、鉛直部は、寸法の小さい漂流物 (木材 (直径 5cm, 長さ 2m) を対象) による漂流物荷重に余裕を考慮した 200kN を考慮する。

衝突荷重を表 3-2 に示す。

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

表 3-2 衝突荷重

流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
13	2000

(7) 余震荷重 ( $K_{sd}$ )

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

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の作用図を図 3-12 及び図 3-13 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

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

$G$  : 固定荷重 (防護設備 (防潮堤 (鋼管式鉛直壁)) を含む)

$P$  : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含めて  $4.9\text{kN/m}^2$ )

$P_t$  : 遡上津波荷重 (風荷重  $P_k$  を含む)

$P_c$  : 衝突荷重

$K_{sd}$  : 余震荷重

### 3.4.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界は、日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編に基づき、表3-5に示す短期許容応力度とする。

表3-5 (1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界

部材		材質	座屈	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
鋼製 遮水壁	スキン プレート	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	210	315
	垂直リブ	SM490Y	考慮	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$ * <sup>1</sup>	127	190
	水平リブ	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	210	315
非考慮			許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	120	180	
漂流物 防護工	架台	SM490Y	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	210	315
			非考慮	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	120	180
	防護工	SM570	非考慮	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	255	382
			非考慮	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	145	217

注記 \*1: 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編に基づき、 $\sigma_{ca} = \sigma_{sa} \cdot (t \cdot f / L)^2$ より算出する。tは鋼製遮水壁の垂直リブの板厚(mm)、fは応力勾配による係数、Lは鋼製遮水壁の水平リブ間隔(mm)を示す。なお、t=20(mm)、L=811(mm)であり、fは保守的に最小値となるf=1とし、以下のとおり算出される。

$$\sigma_{ca} = 210 \cdot (20 \cdot 1 / 811)^2 = 127.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

\*2: 短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

表3-5 (2) 漂流物防護工（防護工取付けボルト）の許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
強度区分 8.8	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	360	540
	許容応力度 $\tau_{sa}$	200	300

注記 \* : 短期許容応力度は、道路橋示方書により許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

### 3.5 評価方法

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

#### 3.5.1 津波時

##### (1) 解析方法

津波時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて 2次元静的有限要素法解析により算定する。なお、衝突荷重は入力津波水位 O.P. +24.4m に余裕を考慮した津波水位 O.P. +25.0m を作用させる。

2次元静的有限要素法解析に用いる解析コードは、一般部には「FLIP Ver7.3.0\_2」を使用し、岩盤部には「TDAPⅢ Ver3.08」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### a. 施設

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

##### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の津波時の挙動は、周辺地盤の影響を受けることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、防潮堤（鋼管式鉛直壁）周辺の地盤状況に応じて一般部と岩盤部の2種類に分類し、表 3-12 及び表 3-13 に示す解析ケースにて行う。

##### (a) 一般部

図 3-2～図 3-6 に示すとおり、一般部の周辺には、主として旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

##### (b) 岩盤部

図 3-8～図 3-10 に示すとおり、岩盤部の周辺には、主として、 $C_L$ 級岩盤、 $C_M$ 級岩盤、 $C_H$ 級岩盤及び  $B$ 級岩盤が分布しており、これらの地盤の剛性が津波時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の挙動に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

## (2) 解析モデル及び諸元

## a. 解析モデル

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデルを図 3-15 及び図 3-16 に示す。

## (a) 解析領域

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

## (b) 境界条件

一般部は、解析領域の側方及び底面において半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

岩盤部は、解析領域の側方を鉛直ローラー境界、底面を固定境界とする。

## (c) 構造物のモデル化

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

## (d) 地盤のモデル化

D<sub>1</sub>級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。一般部に分布する D<sub>2</sub>級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は地盤の非線形性を考慮するため、マルチスプリング要素でモデル化する。なお、鋼管杭下方の MMR は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

また、断面①～断面④については、基準地震動  $S_s$  による防潮堤前背面の盛土（断面①～断面③は前面の盛土斜面、断面④は背面の盛土斜面を含む）の地盤沈下を考慮したモデル化とする。

## (e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお、遡上津波荷重は別途考慮する。

## (f) ジョイント要素の設定

「背面補強工と盛土」、「改良地盤と盛土・旧表土」、「改良地盤と岩盤」、「置換コンクリートと岩盤」、「置換コンクリートと盛土・旧表土」、「改良地盤とセメント改良土」、「背面補強工とセメント改良土」及び「改良地盤と置換コンクリート」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。

(e) 防護工取付けボルト

防護工取付けボルトの照査概念図を図 3-24 に示す。防護工取付けボルトは、せん断力より算定される応力が許容応力限界以下であることを確認する。

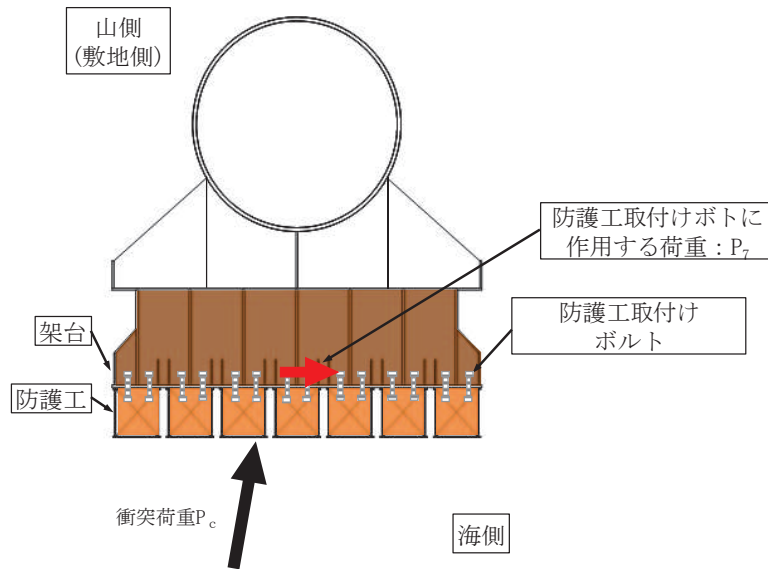


図 3-24 防護工取付けボルトの照査概念図

せん断力照査

$$\tau_7 = P_7 / A_7 / n \quad \dots \dots \dots (3.22)$$

ここで、

- $\tau_7$  : せん断力による防護工取付けボルト 1 本当たりの発生応力度 (kN/mm<sup>2</sup>)
- $P_7$  : 防護工取付けボルトに作用する荷重 (kN)
- $A_7$  : 防護工取付けボルト断面積 (M24) (mm<sup>2</sup>)
- $n_7$  : 防護工 1 本当たりのボルトの本数 (本)

c. 背面補強工

背面補強工の評価は、背面補強工を通るすべり線のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値として時々刻々求め、最小すべり安全率となるすべり線を選定する。

g. 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の津波時の評価について、軸直交方向は、津波時に生じる相対変位に、地震時における最終変位（以下「残留変位」という。）を加えた相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

軸方向については、主たる荷重が軸直交方向に作用する遡上津波荷重及び衝突荷重であることから、軸方向の相対変位は生じないため、残留変位が許容限界以下であることを確認する。

漂流物防護工の下部にある止水ジョイント前面の保護部材の津波時の評価について、発生応力が許容限界以下であることを確認する。

なお、鋼管杭の評価においては、漂流物が漂流物防護工端部に衝突した場合のねじり評価を実施するものの、漂流物が鋼管杭中心の漂流物防護工位置に衝突する場合の方が、鋼管杭（止水ジョイント部材）に生じる軸直交方向の変位は大きいことから、鋼管杭中心の漂流物防護工位置に衝突する場合を考慮する。

**(1) 津波時（水平部）における保護部材の照査**

FRP 製船舶（排水トン数 15t）の自重による評価を行うこととする。ただし、水平部に用いるグレーチングはメーカーによる試験で 15t 以上の上載荷重に耐えられることが確認された仕様のものを採用する。

なお、メーカーによるグレーチングの応力計算では、25 t の車両をグレーチングの中央部に載荷することによる生じる応力を 15.03kN/cm<sup>2</sup> と算出し、許容応力 18kN/cm<sup>2</sup> よりも小さいことを確認している。

**(2) 津波時（鉛直部）における保護部材の照査**

梁部材の照査概念図を図 3-25 に示す。

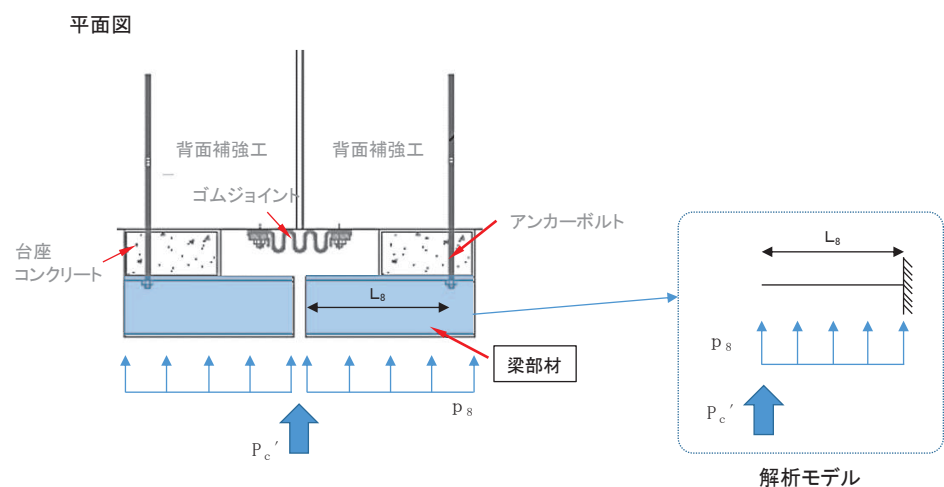


図 3-25 梁部材の照査概念図

### 3.5.2 重畳時

#### (1) 解析方法

重畳時に発生する応答値は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて2次元動的有限要素法解析により算定する。

一般部については、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析とする。岩盤部については岩盤内に設置され、液状化検討対象外の施設であることから、全応力解析とする。

2次元動的有限要素法解析に用いる解析コードは、一般部には「FLIP Ver7.3.0\_2」を使用し、岩盤部には「TDAPⅢ Ver3.08」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### a. 施設

鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリート（一般部のみ）は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

#### b. 材料物性及び地盤物性のばらつき

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の重畳時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を評価する。地盤物性のばらつきについては、防潮堤（鋼管式鉛直壁）周辺の地盤状況に応じて一般部と岩盤部の2種類に分類し、表3-18及び表3-19に示す解析ケースにて行う。

##### (a) 一般部

図3-2～図3-6に示すとおり、一般部の周辺には、主として旧表土、盛土、 $D$ 級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

##### (b) 岩盤部

図3-8～図3-10に示すとおり、岩盤部の周辺には、主として、 $C_L$ 級岩盤、 $C_M$ 級岩盤、 $C_H$ 級岩盤及び $B$ 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が重畳時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に影響を与えると判断されることから、これらの地盤の物性（せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。



(3) 解析モデル及び諸元

a. 解析モデル

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデルを図 3-31 及び図 3-32 に示す。

(a) 解析領域

解析領域は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(b) 境界条件

2次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデル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。

(c) 構造物のモデル化

構造物のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(d) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。D級岩盤、改良地盤、セメント改良土及び盛土・旧表土は非線形性を考慮した平面ひずみ要素（マルチスプリング要素）でモデル化する。地下水位以深の盛土・旧表土は、液状化パラメータを設定することで、有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。なお、鋼管杭下方のMMRは線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

また、断面①～断面④については、基準地震動 $S_s$ による防潮堤前背面の盛土（断面①～断面③は前面の盛土斜面、断面④は背面の盛土斜面を含む）の地盤沈下を考慮したモデル化とする。

(e) 海水のモデル化

海水のモデル化は、「3.5.1 津波時」と同様である。

(f) ジョイント要素の設定

ジョイント要素の設定は、「3.5.1 津波時」と同様である。

#### 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-12 に示す。

##### 4.1 津波時

表 4-1 (1) 強度評価に用いる条件 (断面①) (1/2)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	934	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	8993	kN
	固定荷重 (改良地盤)	8674	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	168.1	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	168.1	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-1 (2) 強度評価に用いる条件 (断面①) (2/2)

$A_7$	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	$\text{mm}^2$
$n_7$	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
$L_8$	梁部材の張出長	300	mm
$p_8$	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
$Z_8$	梁部材工の断面係数	1448998	$\text{mm}^3$
$P_c'$	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
$A_8$	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	$\text{mm}^2$
$e_8$	偏心量	500	mm
$D_8$	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
$x_8$	接地幅	148.5	mm
$d_8$	台座端部～アンカーの距離	100	mm
$n_8$	アンカーボルトの本数	4	本

表 4-2 (1) 強度評価に用いる条件 (断面②)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	883	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7890	kN
	固定荷重 (改良地盤)	7355	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	168.1	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	168.1	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-2 (2) 強度評価に用いる条件 (断面②)

$A_7$	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	$\text{mm}^2$
$n_7$	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
$L_8$	梁部材の張出長	300	mm
$p_8$	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
$Z_8$	梁部材工の断面係数	1448998	$\text{mm}^3$
$P_c'$	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
$A_8$	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	$\text{mm}^2$
$e_8$	偏心量	500	mm
$D_8$	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
$x_8$	接地幅	148.5	mm
$d_8$	台座端部～アンカーの距離	100	mm
$n_8$	アンカーボルトの本数	4	本

表 4-3 (1) 強度評価に用いる条件 (断面③) (1/2)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	748	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	7108	kN
	固定荷重 (改良地盤)	5386	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	1846	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	168.1	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	168.1	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-3 (2) 強度評価に用いる条件 (断面③) (2/2)

$A_7$	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	$\text{mm}^2$
$n_7$	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
$L_8$	梁部材の張出長	300	mm
$p_8$	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
$Z_8$	梁部材工の断面係数	1448998	$\text{mm}^3$
$P_c'$	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
$A_8$	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	$\text{mm}^2$
$e_8$	偏心量	500	mm
$D_8$	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
$x_8$	接地幅	148.5	mm
$d_8$	台座端部～アンカーの距離	100	mm
$n_8$	アンカーボルトの本数	4	本

表 4-4 強度評価に用いる条件 (断面④)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	665	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	319	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
	固定荷重 (置換コンクリート)	15724	kN
	固定荷重 (改良地盤)	12344	kN
	固定荷重 (セメント改良土)	16262	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>t</sub>	遡上津波荷重 (O.P. +18.5m)	189.4	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
A <sub>7</sub>	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	mm <sup>2</sup>
n <sub>7</sub>	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
L <sub>8</sub>	梁部材の張出長	300	mm
p <sub>8</sub>	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
Z <sub>8</sub>	梁部材工の断面係数	1448998	mm <sup>3</sup>
P <sub>c</sub> '	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
A <sub>8</sub>	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	mm <sup>2</sup>
e <sub>8</sub>	偏心量	500	mm
D <sub>8</sub>	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
x <sub>8</sub>	接地幅	148.5	mm
d <sub>8</sub>	台座端部～アンカーの距離	100	mm
n <sub>8</sub>	アンカーボルトの本数	4	本



表 4-5 (1) 強度評価に用いる条件 (断面⑤) (1/2)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	569	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	292	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
	固定荷重 (背面補強工)	1916	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	168.1	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	168.1	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-5 (2) 強度評価に用いる条件 (断面⑤) (2/2)

$A_7$	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	$\text{mm}^2$
$n_7$	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
$L_8$	梁部材の張出長	300	mm
$p_8$	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
$Z_8$	梁部材工の断面係数	1448998	$\text{mm}^3$
$P_c'$	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
$A_8$	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	$\text{mm}^2$
$e_8$	偏心量	500	mm
$D_8$	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
$x_8$	接地幅	148.5	mm
$d_8$	台座端部～アンカーの距離	100	mm
$n_8$	アンカーボルトの本数	4	本

表 4-6 (1) 強度評価に用いる条件 (断面⑥) (1/2)

記号	定義	数値	単位
G	固定荷重 (鋼管杭)	507	kN
	固定荷重 (鋼製遮水壁)	292	kN
	固定荷重 (漂流物防護工)	392	kN
P	積載荷重	4.9	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>c</sub>	衝突荷重	2000	kN
$\gamma_w$	海水の単位体積重量	10.1	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	海水の密度	1030	kg/m <sup>3</sup>
$\kappa_1$	せん断応力の分布係数 (2.0)	2.0	—
Z <sub>2</sub>	スキンプレートの断面係数	96000	mm <sup>3</sup>
P <sub>2</sub>	スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧	168.1	kN/m
L	水平リブ間隔	811	mm
P <sub>3</sub>	垂直リブに作用する津波波圧	168.1	kN/m <sup>2</sup>
t	垂直リブの板厚	20	mm
B	鋼製遮水壁の総幅	4.0	m
Z <sub>4</sub>	水平リブの断面係数	17870000	mm <sup>3</sup>
Z <sub>5</sub>	架台の断面係数	23390000	mm <sup>3</sup>
P <sub>4</sub>	水平リブに作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>5</sub>	架台に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
$\ell$	架台間隔	1622	mm
b	モーメントアーム長	2.0	m
b'	衝突荷重のモーメントアーム長	1.75	m
A <sub>w</sub>	水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積	36200	mm <sup>2</sup>
Z <sub>6</sub>	防護工の断面係数	3041000	mm <sup>3</sup>
P <sub>6</sub>	防護工に作用する津波波圧	135.3	kN/m <sup>2</sup>
b''	防護工の幅	0.5	m
A <sub>wc</sub>	防護工のせん断抵抗断面積	11520	mm <sup>2</sup>

表 4-6 (2) 強度評価に用いる条件 (断面⑥) (2/2)

$A_7$	防護工取付けボルト断面積 (M24)	353	$\text{mm}^2$
$n_7$	防護工 1 本当たりのボルトの本数	14	本
$L_8$	梁部材の張出長	300	mm
$p_8$	梁部材の用する津波波圧	103.6	kN/m
$Z_8$	梁部材工の断面係数	1448998	$\text{mm}^3$
$P_c'$	寸法の小さな漂流物の衝突荷重	200	kN
$A_8$	梁部材のせん断抵抗断面積	3136	$\text{mm}^2$
$e_8$	偏心量	500	mm
$D_8$	台座の長さ (曲げ方向)	400	mm
$x_8$	接地幅	148.5	mm
$d_8$	台座端部～アンカーの距離	100	mm
$n_8$	アンカーボルトの本数	4	本

5.1.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果を表 5-15 に示す。この結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要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 5-15 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主要部材の照査結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製 遮水壁	スキンプレート	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	144	315	0.46
	垂直リブ	SM490Y	圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	34	190	0.18
	水平リブ	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	221	315	0.71
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	68	180	0.38
			合成応力度*	0.63	1.20	0.53
漂流物 防護工	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	169	315	0.54
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	68	180	0.38
			合成応力度*	0.43	1.20	0.36
	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	275	382	0.72
			せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	179	217	0.83
			合成応力度*	0.68	1.20	0.57
	防護工取付け ボルト	強度区分 8.8	せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	182	300	0.62

注記 \* : 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。