

図 3.5-9 (3) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造概要図

(a) スキンプレート

スキンプレートの照査方法を図 3.5-10 に示す。水平リブを支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメントを用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。なお、照査箇所については、スキンプレートの材質及び水平リブ間隔 L を考慮し、図 3.5-10 に示す箇所とした。

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$M_2 = P_2 \frac{L^2}{8} \dots \dots \dots (3.4)$$

ここで、

σ_2 : 曲げモーメントによるスキンプレートの発生応力度 (N/mm²)

M_2 : スキンプレートに発生する曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : スキンプレートの断面係数 (mm³) *

P_2 : スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 (kN/m)

L : 水平リブ間隔 (mm)

注記 * : スキンプレートの外側 1mm を腐食代として考慮する。

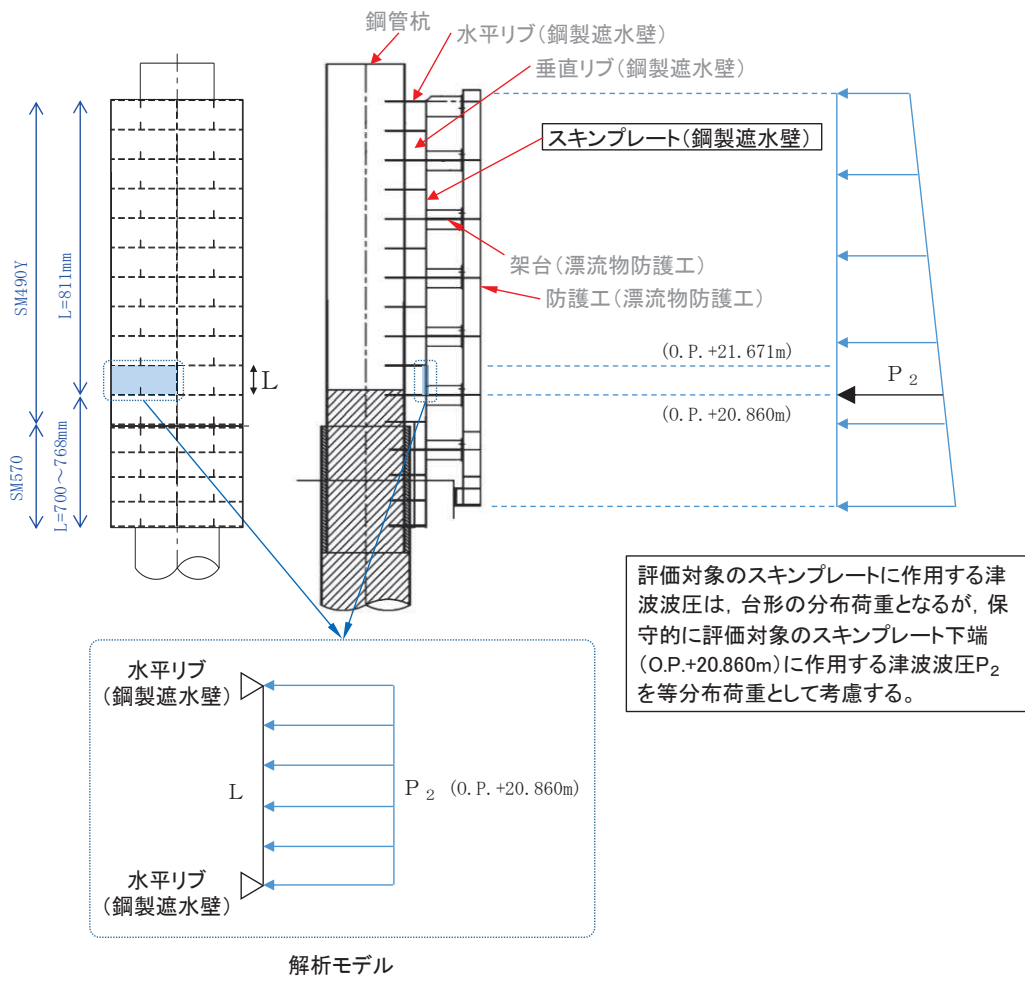


図 3.5-10 スキンプレートの照査概念図 (津波時)

(b) 垂直リブ

垂直リブの照査方法を図 3.5-11 に示す。垂直リブに作用する軸力から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。なお、照査箇所については、水平リブ間隔 L を考慮し、図 3.5-11 に示す箇所とした。

$$\sigma_3 = \frac{P}{t \cdot L} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$P = P_3 \cdot L \cdot B \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

ここで、

- σ_3 : 垂直リブに発生する圧縮応力度 (N/mm²)
- P : 受圧面積に発生する水平荷重 (kN)
- t : 垂直リブの板厚 (mm)
- L : 水平リブ間隔 (mm)
- P_3 : 垂直リブに作用する津波波圧 (kN/m²)
- B : 鋼製遮水壁の総幅 (m)

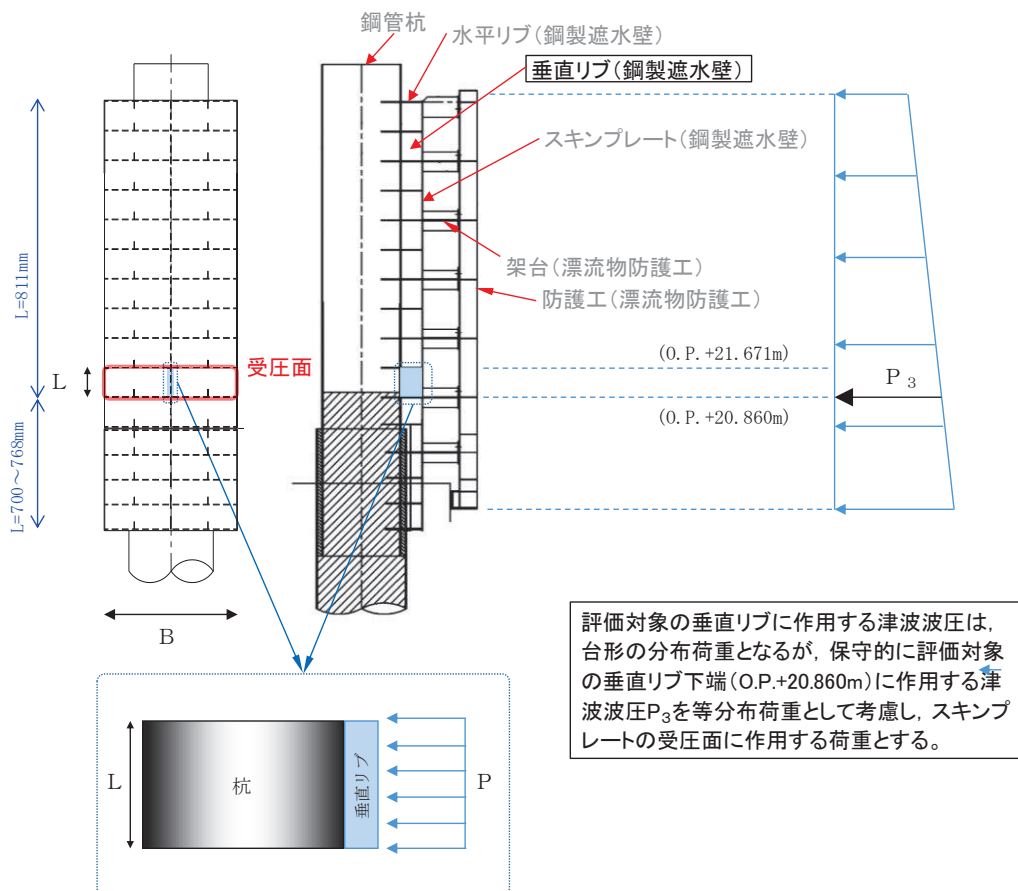


図 3.5-11 垂直リブの照査概念図 (津波時)

(c) 水平リブ及び架台

水平リブ，スキンプレート及び架台を一つの充腹形断面とみなして，鋼管杭中心線上を固定支点とする片持ちばりでモデル化し，曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また，合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

なお，衝突荷重の作用位置については，O.P.+25.0mを基本とするが，水平リブ及び架台で負担する割合が最大となるよう水平リブ及び架台の高さであるO.P.+24.104mに作用させる。

水平リブ及び架台の照査方法を図 3.5-12 に示す。

曲げ応力照査（水平リブ）

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{Z_4} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$M_4 = \frac{1}{2} P_4 \cdot \ell \cdot b^2 + P_c \cdot b' \dots \dots \dots (3.8)$$

せん断力照査（水平リブ）

$$\tau_4 = \frac{S_4}{A_w} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$S_4 = P_4 \cdot \ell \cdot b + P_c \dots \dots \dots (3.10)$$

合成応力照査（水平リブ）

$$\left(\frac{\sigma_4}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_4}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.11)$$

曲げ応力照査（架台）

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{Z_5} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$M_5 = \frac{1}{2} P_4 \cdot \ell \cdot b^2 + P_c \cdot b' \dots \dots \dots (3.13)$$

せん断力照査 (架台)

$$\tau_5 = \frac{S_5}{A_w} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$S_5 = P_4 \cdot \ell \cdot b + P_c \dots \dots \dots (3.15)$$

合成応力照査 (架台)

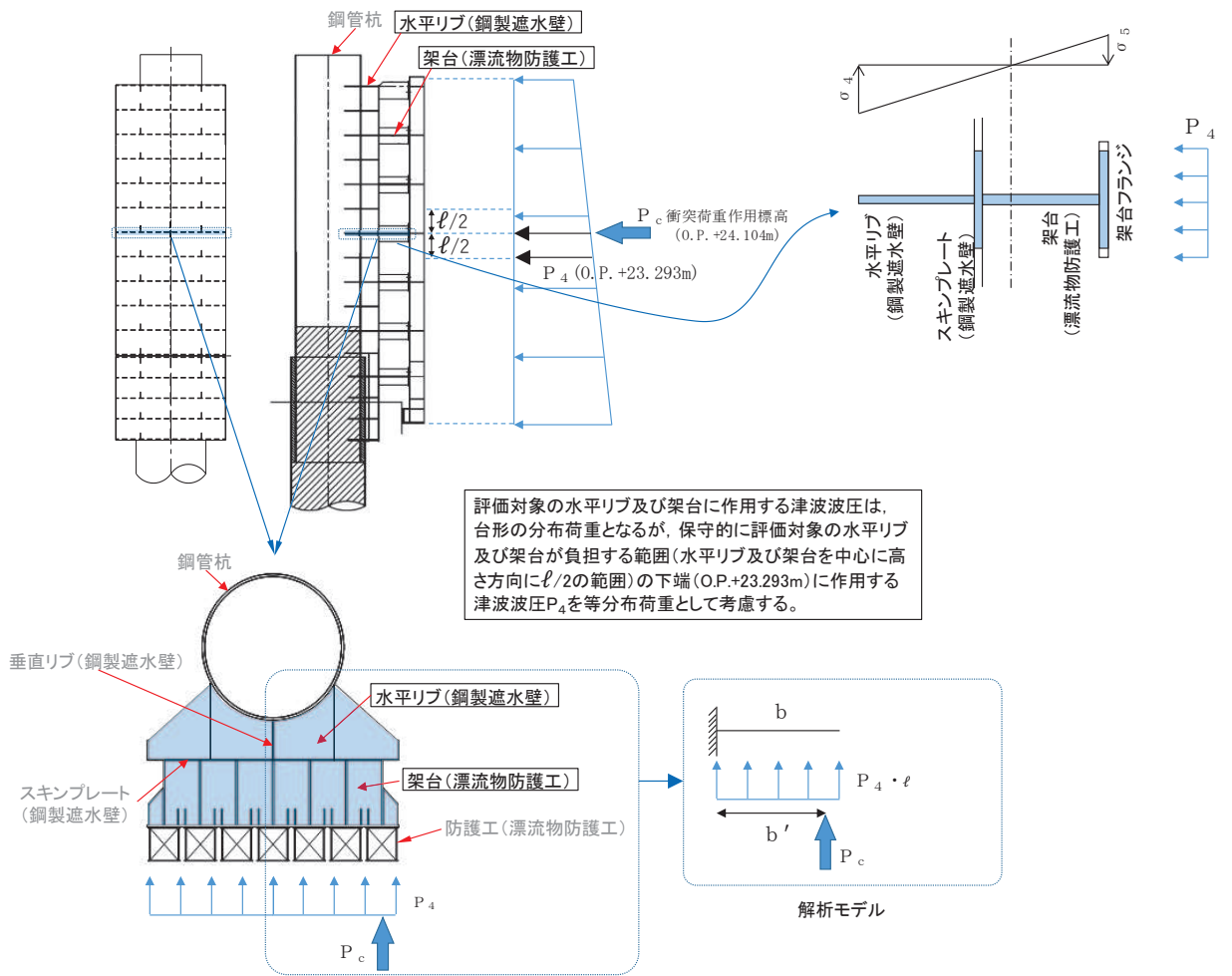
$$\left(\frac{\sigma_5}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_5}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.16)$$

ここで,

- σ_4 : 曲げモーメントによる水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- M_4 : 水平リブに発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_4 : 水平リブの断面係数 (mm³) *1
- P_4 : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 (kN/m²)
- τ_4 : せん断力による水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- S_4 : 水平リブに発生するせん断力 (kN)
- σ_5 : 曲げモーメントによる架台の発生応力度 (N/mm²)
- M_5 : 架台に発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_5 : 架台の断面係数 (mm³) *1*2
- τ_5 : せん断力による架台の発生応力度 (N/mm²)
- S_5 : 架台に発生するせん断力 (kN)
- ℓ : 架台間隔 (mm)
- P_c : 衝突荷重 (kN)
- b : モーメントアーム長 (m)
- b' : 衝突荷重のモーメントアーム長 (m)
- A_w : 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 (mm²) *2
- σ_{sa} : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_{sa} : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

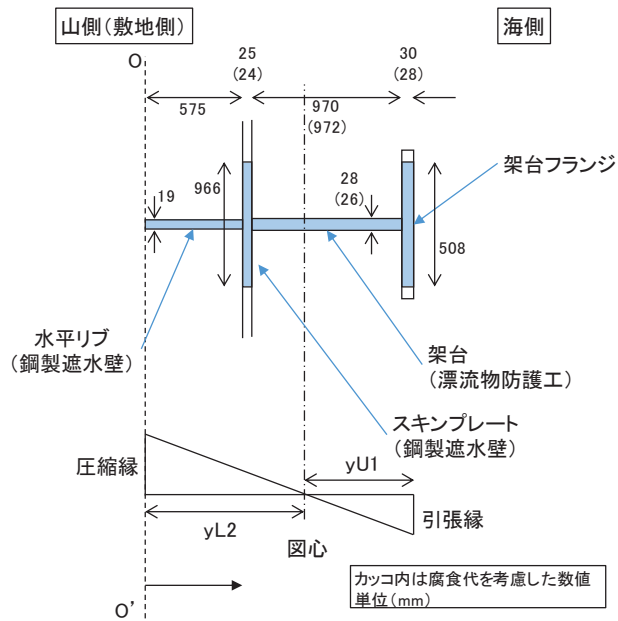
注記 *1: 水平リブ及び架台の断面係数の算出方法は図 3.5-11 に示す。

*2: 架台は腐食代 2mm を考慮する。



評価対象の水平リブ及び架台に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に評価対象の水平リブ及び架台が負担する範囲(水平リブ及び架台を中心に高さ方向に $\ell/2$ の範囲)の下端(O.P.+23.293m)に作用する津波波圧 P_4 を等分布荷重として考慮する。

図 3.5-12(1) 水平リブ及び架台の照査概念図 (津波時)



架台フランジの幅(有効幅)の算出

$bg/La = 300/4000 = 0.075$ bg : 架台フランジ片側張出長(幅600÷2)
 La : 等価支間長(2×b(=2000))

0.02 < bg/La < 0.30 であることから、道路橋示方書(H24)の式を用いて、 λ (片側有効幅)を算出する。

$\lambda g = (1.06 - 3.2 \times (bg/La) + 4.5 \times (bg/La)^2) \times bg$
 $= 254$

以上から、架台フランジの幅(有効幅)は508mmとする。

スキンプレートの幅(有効幅)の算出

$bs/La = 811/4000 = 0.203$ bs : スキンプレート片側張出長(811)
 La : 等価支間長(2×b(=2000))

0.02 < bs/La < 0.30 であることから、道路橋示方書(H24)の式を用いて、 λ (片側有効幅)を算出する。

$\lambda s = (1.06 - 3.2 \times (bs/La) + 4.5 \times (bs/La)^2) \times bs$
 $= 483$

以上から、架台フランジの幅(有効幅)は966mmとする。

| | 幅 (有効幅) a(mm) | 高さ b (mm) | 断面積 A (mm ²) | O-O' 軸から 要素図心までの 距離y(mm) | 断面一次 モーメント Ay(mm ²) | Ay ² (mm ³) | 要素図心回りの要素単体の 断面二次モーメント I' (mm ⁴) (ab ³ /12) | O-O' 軸回りの要素単体の 断面二次モーメント Ay ² +I' (mm ⁴) |
|---------|---------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| 架台フランジ | 508 | 28 | 14224 | 1585 | 2.255 × 10 ⁷ | 3.573 × 10 ¹⁰ | 9.293 × 10 ⁵ | 3.573 × 10 ¹⁰ |
| 架台 | 26 | 972 | 25272 | 1085 | 2.742 × 10 ⁷ | 2.975 × 10 ¹⁰ | 1.990 × 10 ⁹ | 3.174 × 10 ¹⁰ |
| スキンプレート | 966 | 24 | 23184 | 587 | 1.361 × 10 ⁷ | 7.988 × 10 ⁹ | 1.113 × 10 ⁶ | 7.990 × 10 ⁹ |
| 水平リブ | 19 | 575 | 10925 | 287.5 | 0.314 × 10 ⁷ | 9.030 × 10 ⁸ | 3.010 × 10 ⁸ | 1.204 × 10 ⁹ |
| 合計 | - | - | ① 73605 | - | ② 6.672 × 10 ⁷ | - | - | ③ 7.667 × 10 ¹⁰ |

O-O' 軸から図心までの長さ

$e = ((2) \text{断面一次モーメントの合計}) / ((1) \text{面積の合計})$
 $= 906.4 \text{ (mm)}$

図心回りの断面二次モーメント

$I = ((3) \text{O-O' 軸回りの要素単体の断面二次モーメントの合計}) - (e^2 \times ((1) \text{面積の合計}))$
 $= 1.620 \times 10^{10} \text{ (mm}^4\text{)}$

水平リブ(下縁)の断面係数

$yL2$ (圧縮縁から図心までの長さ) = e
 $= 906.4 \text{ (mm)}$

Z_4 (断面係数) = $I / yL2$
 $= 1.787 \times 10^7 \text{ (mm}^3\text{)}$

架台(上縁)の断面係数

$yU1$ (引張縁から図心までの長さ) = $1599 - 906.4$
 $= 692.6 \text{ (mm)}$

Z_5 (断面係数) = $I / yU1$
 $= 2.339 \times 10^7 \text{ (mm}^3\text{)}$

図 3.5-12(2) 水平リブ及び架台の断面係数の算出方法

(d) 防護工

防護工の照査方法を図 3.5-13 に示す。防護工は架台を支点とする単純ばりモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

曲げ応力照査（衝突荷重が防護工中心に作用する場合）

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{Z_6} \quad \dots \dots \dots (3.17)$$

$$M_6 = P_6 \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} + P_c \cdot \frac{\ell}{4} \quad \dots \dots \dots (3.18)$$

せん断力照査（衝突荷重が防護工端部に作用する場合）

$$\tau_6 = \frac{S_6}{A_{wc}} \quad \dots \dots \dots (3.19)$$

$$S_6 = P_6 \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} + P_c \quad \dots \dots \dots (3.20)$$

合成応力照査

$$\left(\frac{\sigma_6}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_6}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \quad \dots \dots \dots (3.21)$$

ここで、

- σ_6 : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm²)
- M_6 : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_6 : 防護工の断面係数 (mm³) *
- P_6 : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m²)
- τ_6 : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm²)
- S_6 : 防護工に発生するせん断力 (kN)
- b'' : 防護工の幅 (m)
- P_c : 衝突荷重 (kN)
- A_{wc} : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm²) *
- σ_{sa} : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_{sa} : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

注記 * : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

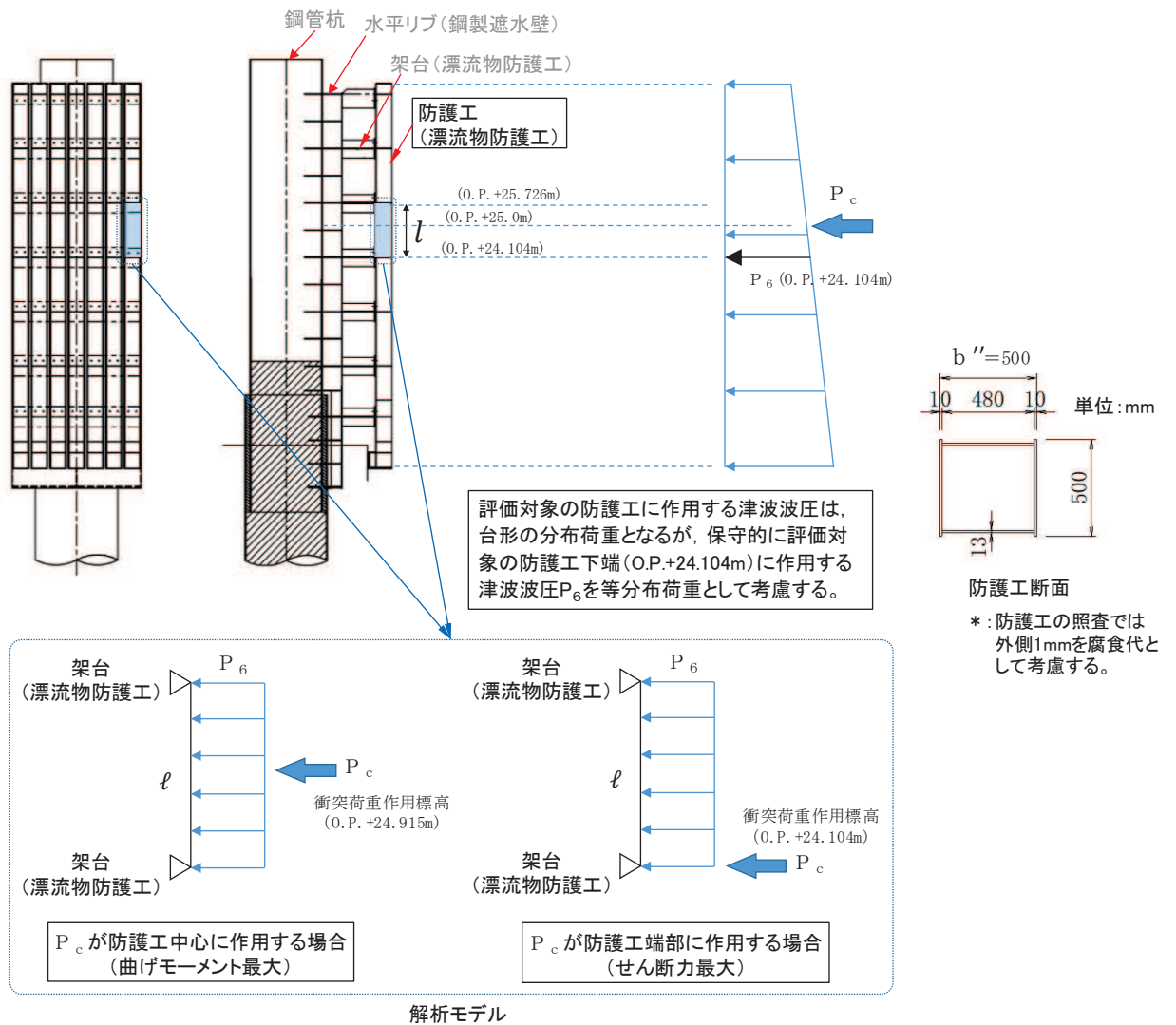


図 3.5-13 防護工の照査概念図 (津波時)

(e) 防護工取付ボルト

防護工取付ボルトは、津波時において津波による波圧により防護工が敷地側に押されるため防護工取付ボルトに引張力は生じない。

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。

すべり安全率の算定フローを図3.5-14に示す。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、最小すべり安全率のすべり線を選定する。想定すべり線は、背面補強工の端部を基点として±5° 間隔で設定する。背面補強工の想定すべり線を図3.5-15に示す。

また、すべり線設定の考え方は「6.1.9 12. すべり線設定の考え方」に示す。

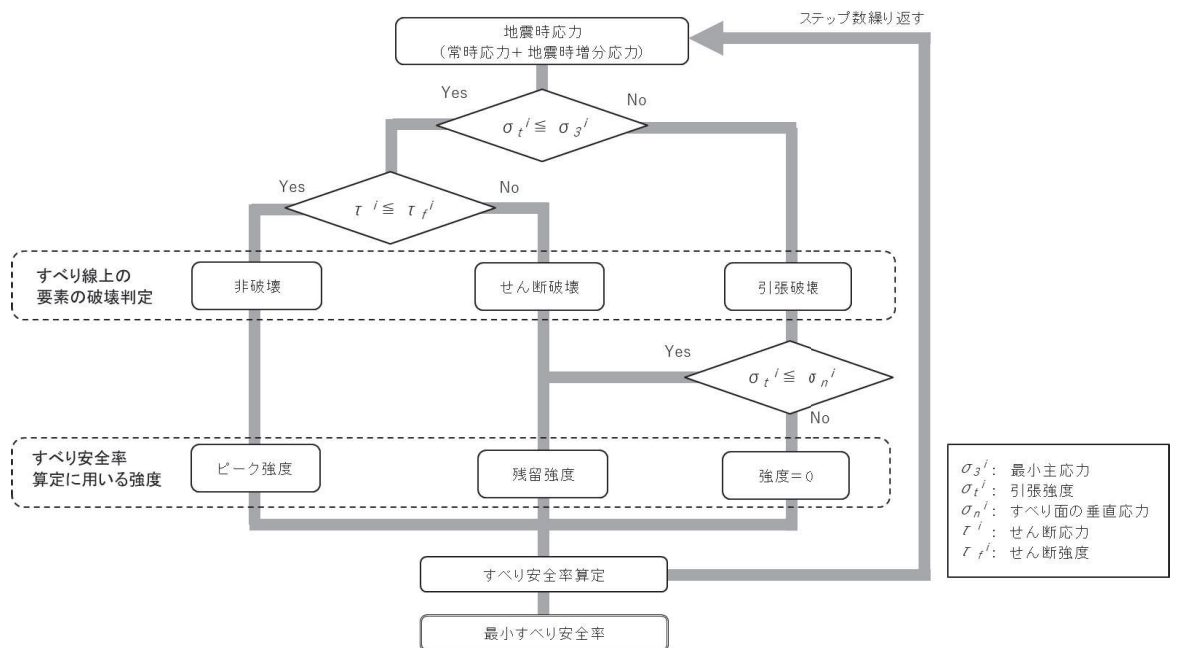


図 3.5-14 すべり安全率算定のフロー

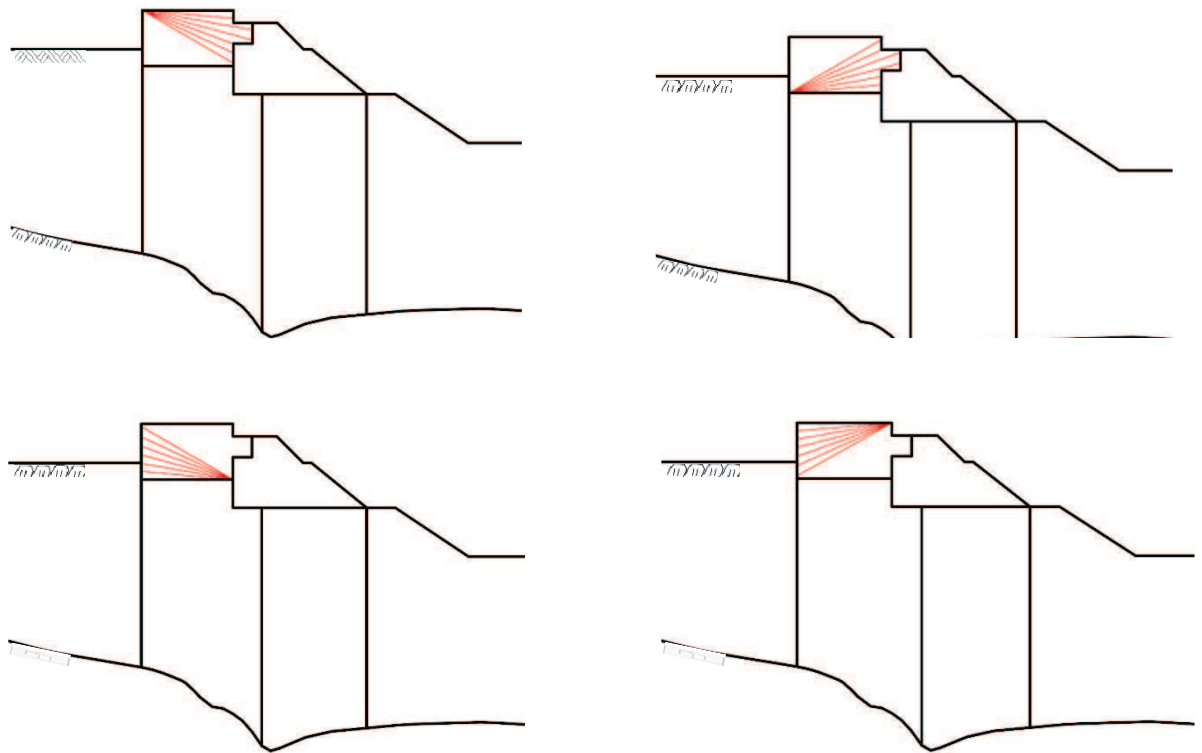


図 3.5-15 背面補強工の想定すべり線（断面①～④共通）

d. 置換コンクリート

置換コンクリートの評価は、置換コンクリート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。なお、地盤と施設を連成した 2 次元動的有限要素法解析により、各要素の破壊状況についても確認し、必要に応じて破壊の進展を考慮した検討（非線形解析等）を行う。

すべり安全率の算定フローを図 3.5-14 に示す。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、最小すべり安全率のすべり線を選定する。想定すべり線は、置換コンクリートの端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定する。置換コンクリートの想定すべり線を図 3.5-16 に示す。

また、すべり線設定の考え方は「6.1.9 12. すべり線設定の考え方」に示す。

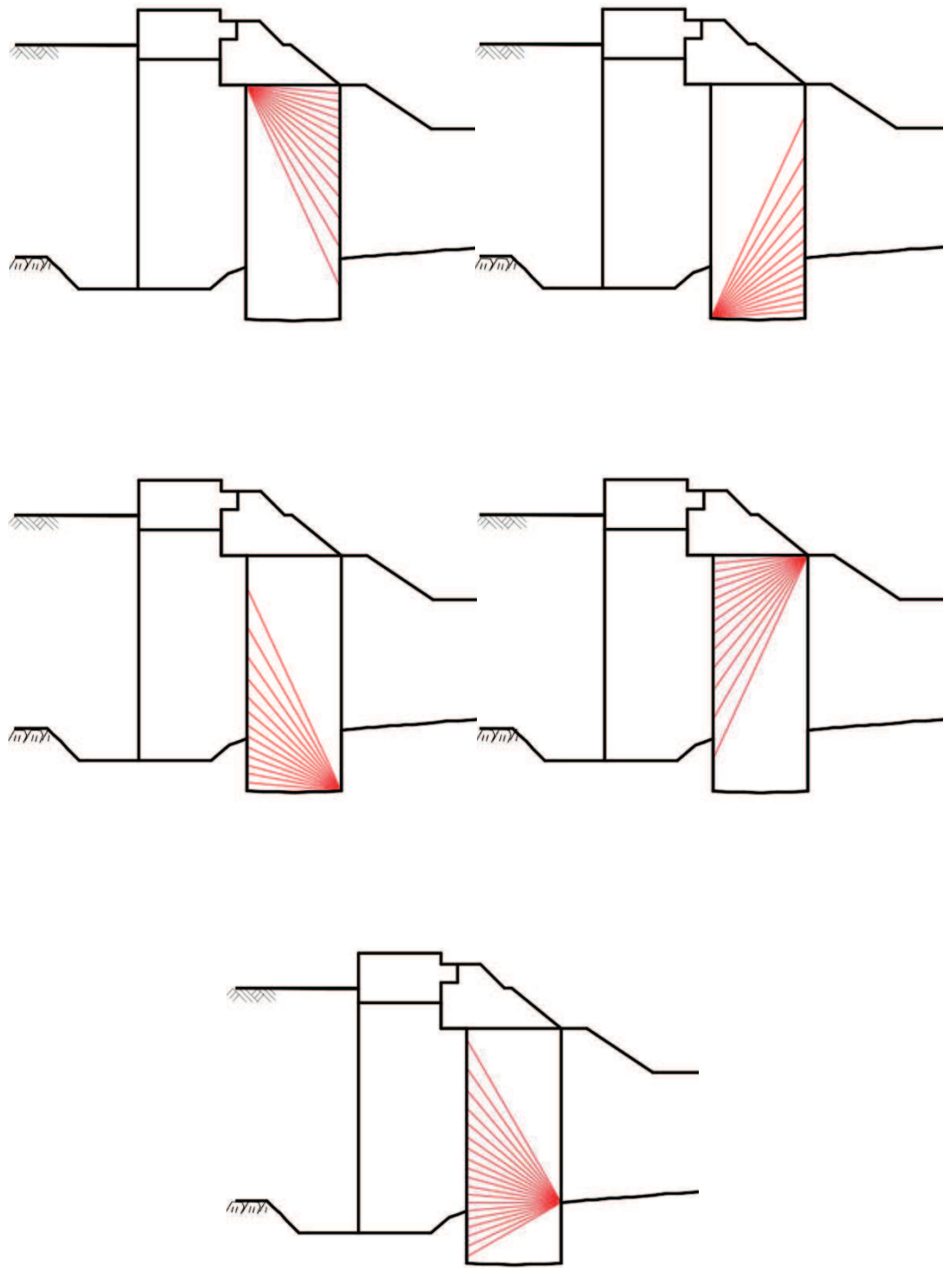


図 3.5-16 (1) 置換コンクリートの想定すべり線 (断面①)

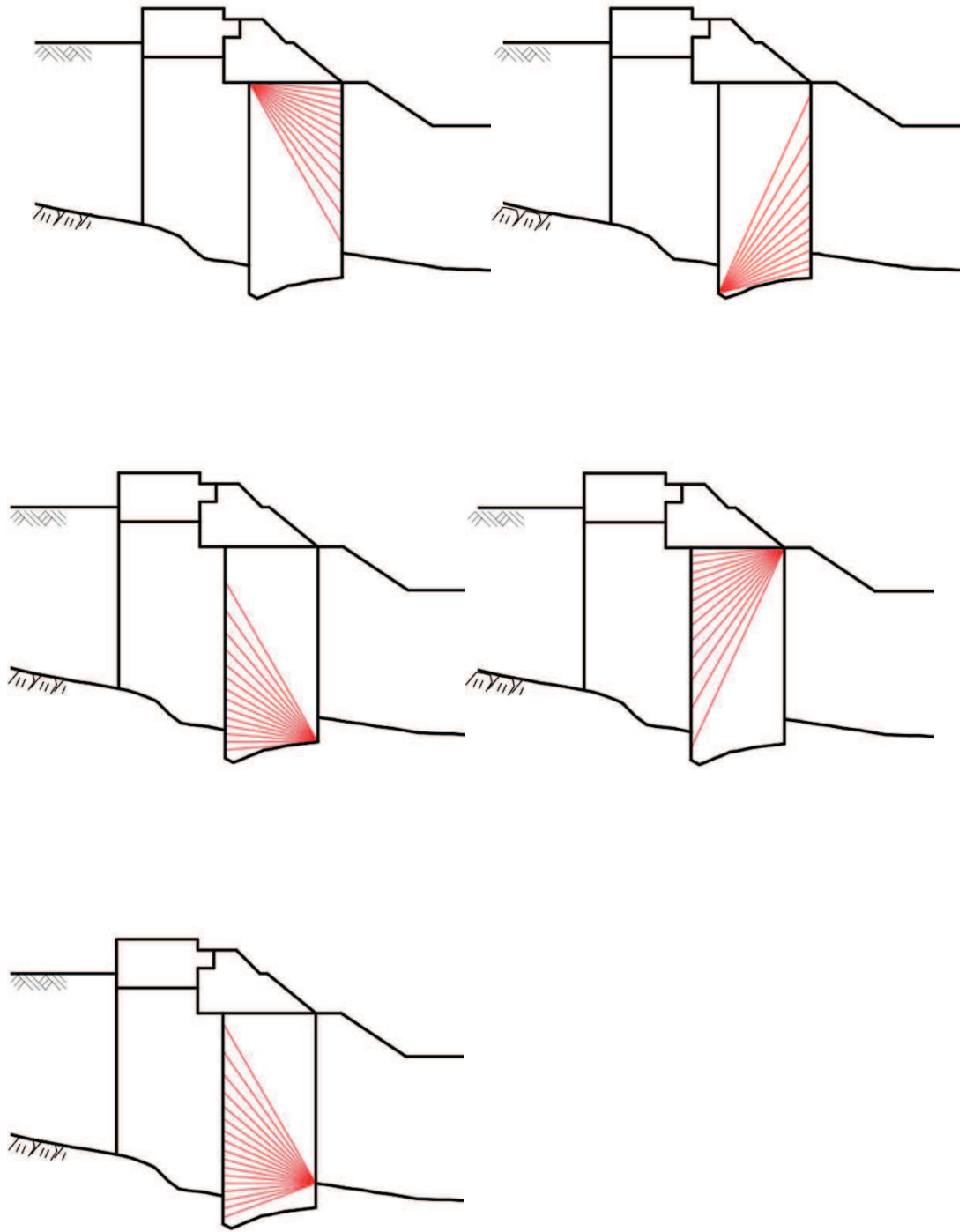


図 3.5-16 (2) 置換コンクリートの想定すべり線 (断面②)

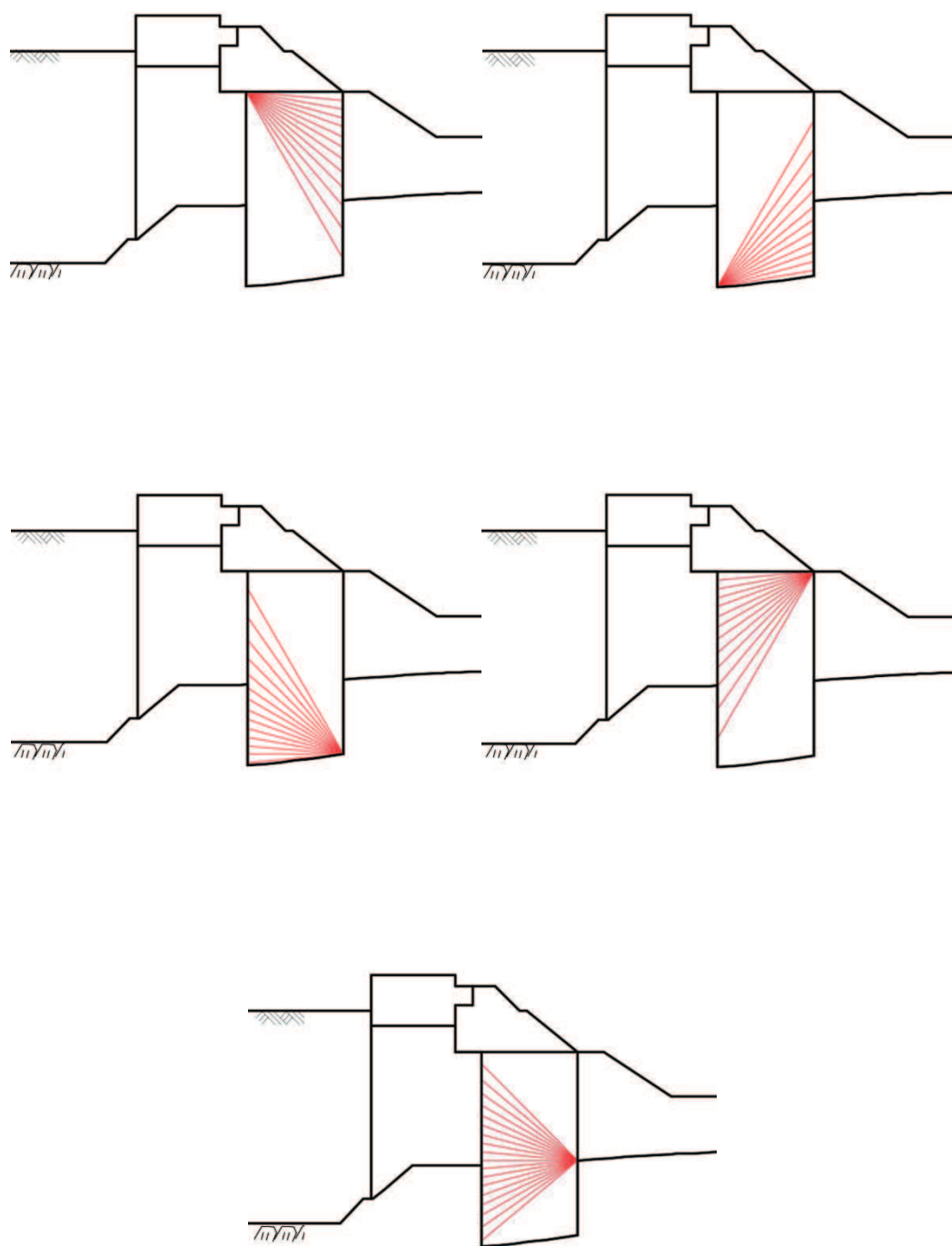


図 3.5-16 (3) 置換コンクリートの想定すべり線 (断面③)

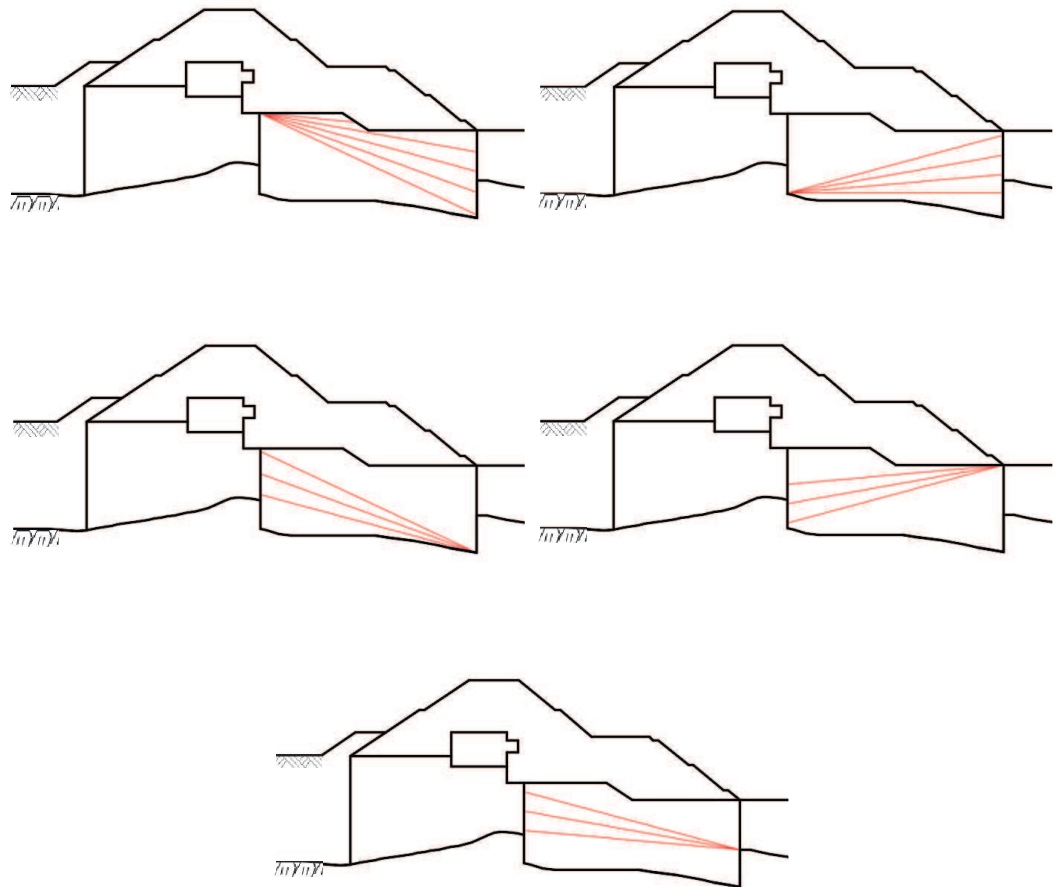


図 3.5-16 (4) 置換コンクリートの想定すべり線 (断面④)

e. 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤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。

また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 - 1 σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

すべり安全率の算定フローを図 3.5-14 に示す。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、最小すべり安全率のすべり線を選定する。想定すべり線は、改良地盤の端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定する。改良地盤の想定すべり線を図 3.5-17 に示す。

また、すべり線設定の考え方は「6.1.9 12. すべり線設定の考え方」に示す。

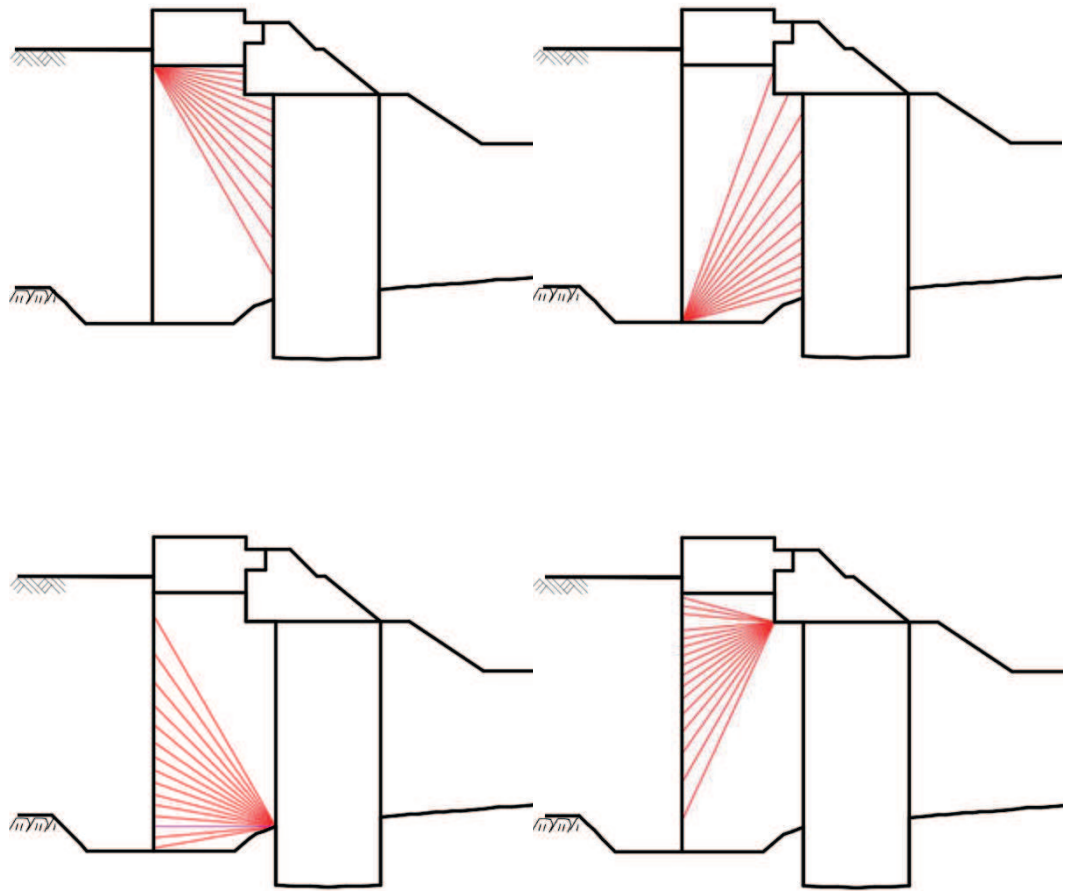


図 3.5-17 (1) 改良地盤の想定すべり線 (断面①)

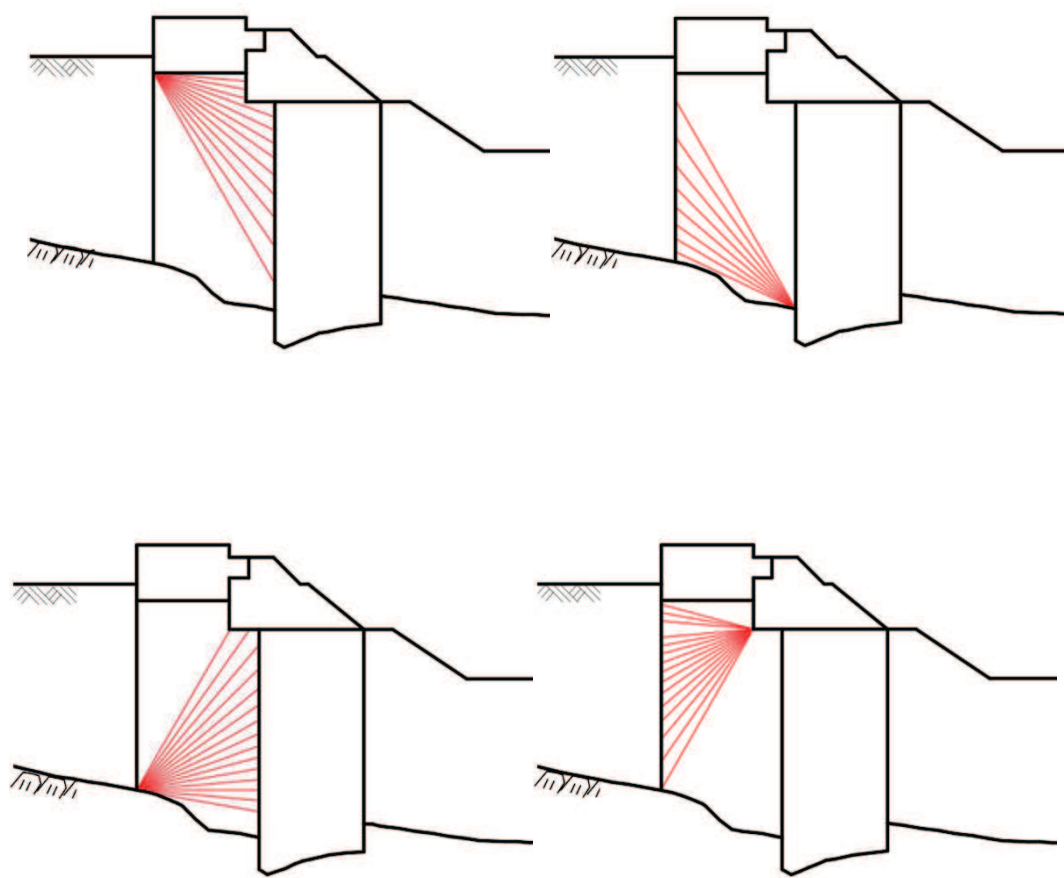


図 3.5-17 (2) 改良地盤の想定すべり線 (断面②)

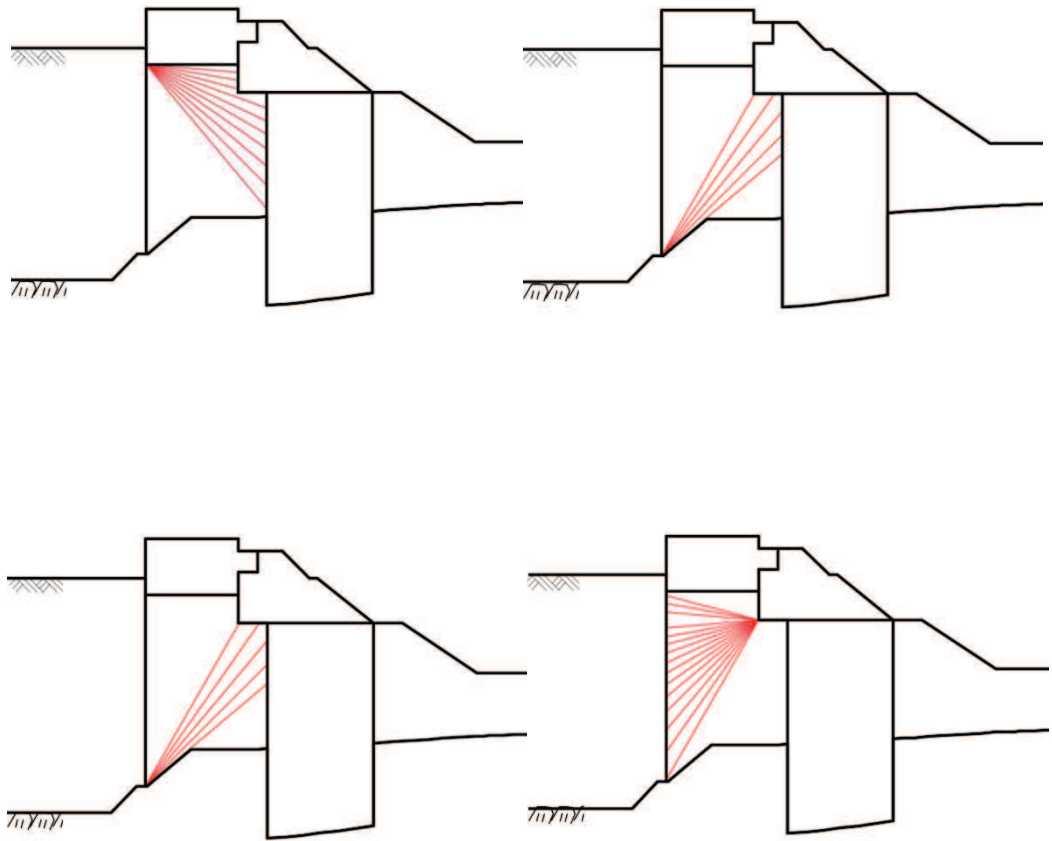


図 3.5-17 (3) 改良地盤の想定すべり線 (断面③)

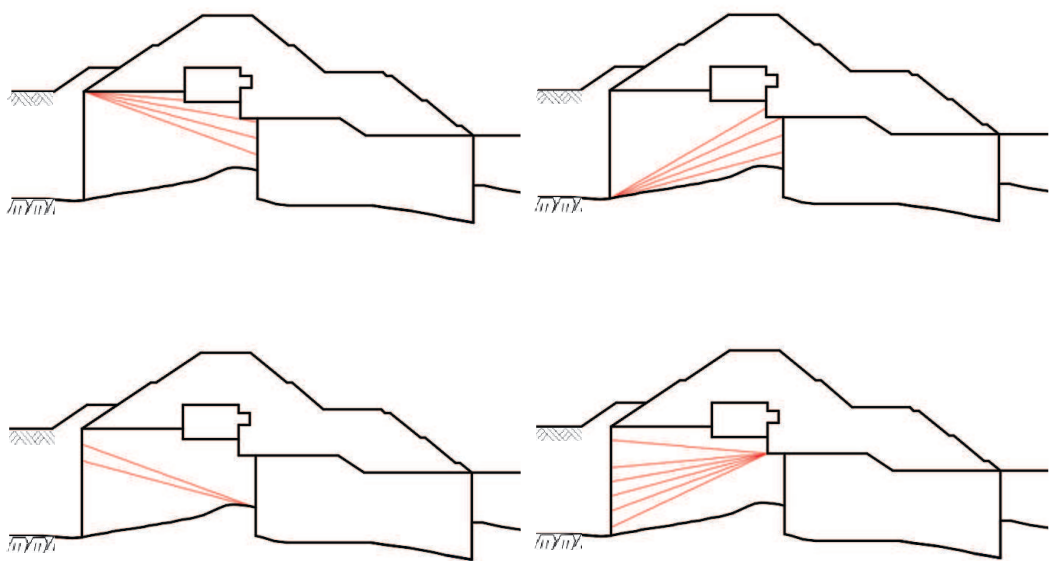


図 3.5-17 (4) 改良地盤の想定すべり線 (断面④)

f. セメント改良土

セメント改良土の評価は、セメント改良土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。

また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 -1σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。

すべり安全率の算定フローを図3.5-14に示す。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、最小すべり安全率のすべり線を選定する。想定すべり線は、セメント改良土の端部を基点として $\pm 5^\circ$ 間隔で設定する。セメント改良土の想定すべり線を図3.5-18に示す。

また、すべり線設定の考え方は「6.1.9 12. すべり線設定の考え方」に示す。

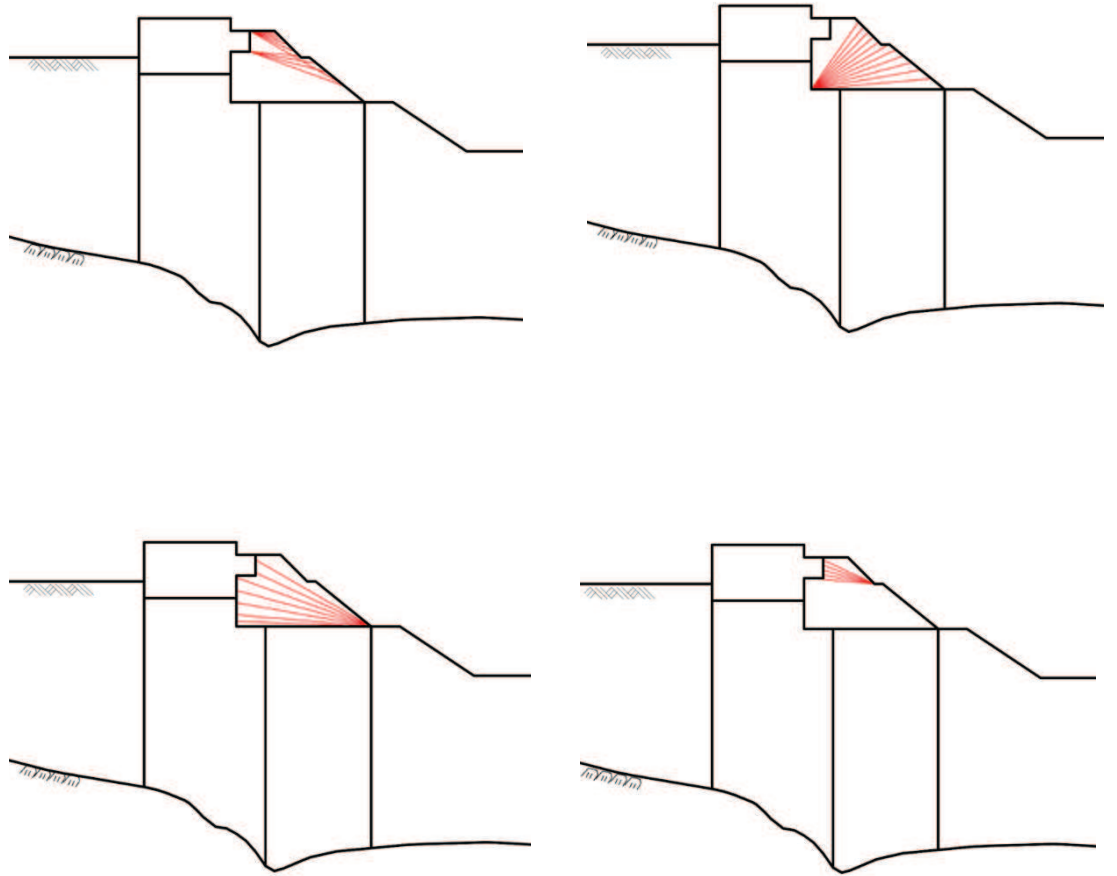


図 3.5-18(1) セメント改良土の想定すべり線（断面①～③）

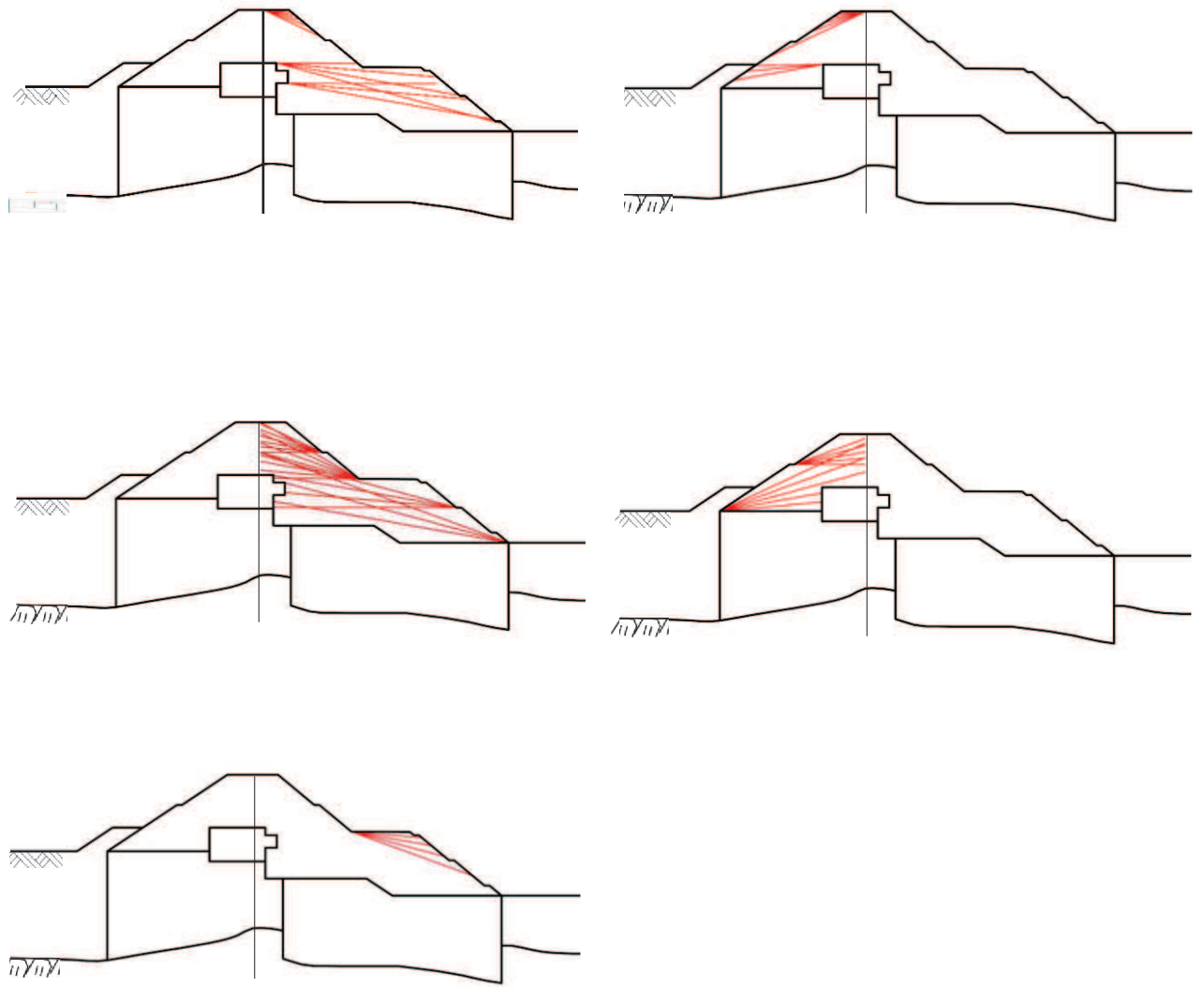


図 3.5-18(2) セメント改良土の想定すべり線 (断面④)

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、防潮堤軸直交方向（以下、「軸直交方向」という）は、津波時に生じる相対変位に、残留変位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。

なお、防潮堤軸方向（以下、「軸方向」という）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。

また、漂流物防護工の偏心荷重を考慮した止水ジョイント部材の相対変位量の算定方法は、「a. 鋼管杭」を参照する。

h. 基礎地盤

津波時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、基礎地盤に生じる接地圧が重畳時に包絡されると考えられることから実施しない。

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。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部については、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。防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち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、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部には「FLIP Ver7.3.0_2」を使用し、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部には「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. 地震応答解析手法

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

地震応答解析手法の選定フローを図3.5-19に示す。

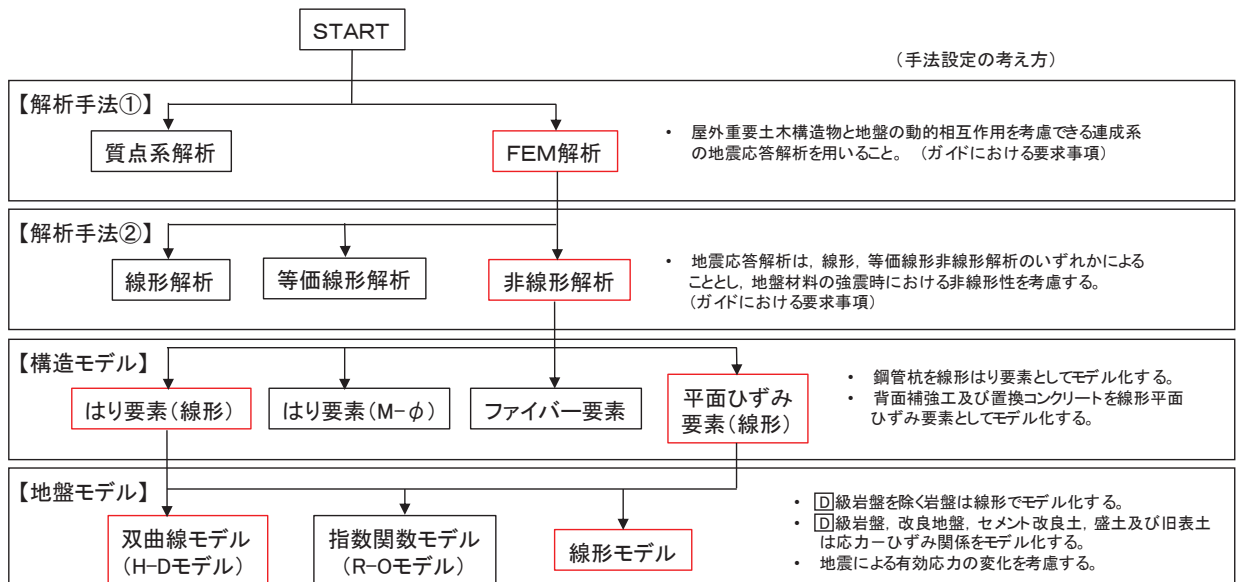


図3.5-19(1) 地震応答解析手法の選定フロー（一般部）

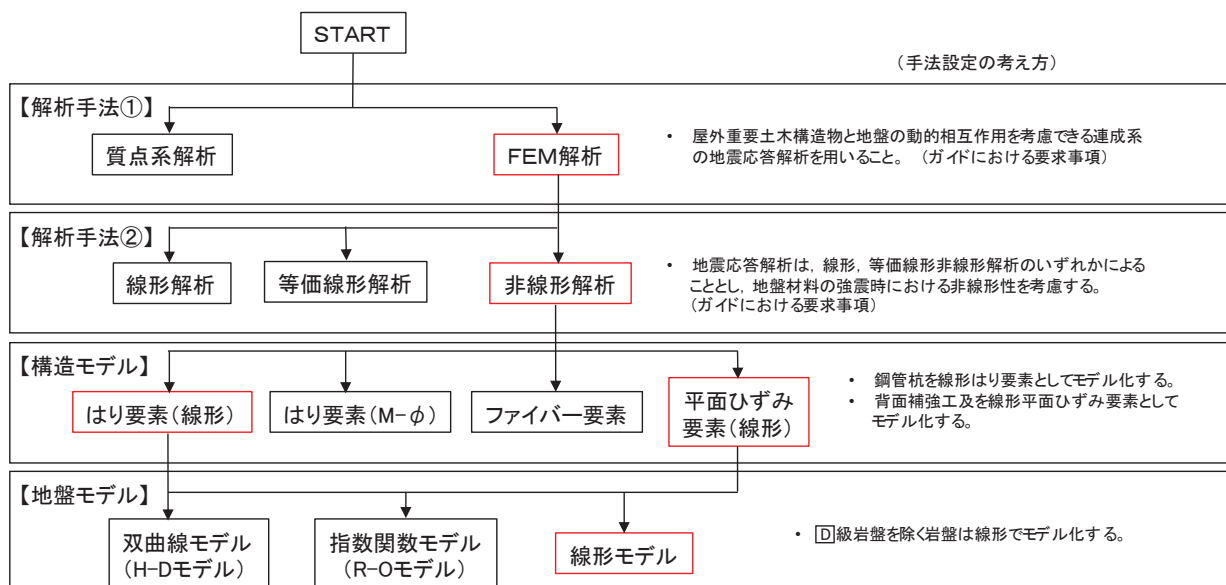


図 3.5-19(2) 地震応答解析手法の選定フロー (岩盤部)

b. 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。

c. 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 3.5-13 及び表 3.5-14 に示す解析ケースにて行う。

(a) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部

図 3.2-2～図 3.2-3 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部の周辺には、主として旧表土、盛土、 \square 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地震時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に大きく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) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部

図 3.2-5～図 3.2-6 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の周辺には、主として、 \square_L 級岩盤、 \square_M 級岩盤、 \square_H 級岩盤及び \square 級岩盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）の応答に大きく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。

表 3.5-13 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部）

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| | | 旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |
| ケース② | 設計基準強度 | 平均値 + 1 σ | 平均値 |
| ケース③ | 設計基準強度 | 平均値 - 1 σ | 平均値 |

表 3.5-14 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部）

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| | | 旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |
| ケース② | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 + 1 σ |
| ケース③ | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 - 1 σ |

d. 減衰定数

時刻歴応答解析（全応力解析及び有効応力解析）における構造物及び地盤の減衰定数は、履歴減衰及び粘性減衰で考慮している。

履歴減衰は、応力-ひずみ関係の非線形性に起因する減衰であり、履歴曲線が面積を持つとき、その分だけ力学的なエネルギーが失われ、振動が小さくなる現象として現れる。構造物の履歴減衰は構造部材の非線形性（曲げモーメント-曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応力-ひずみ関係）の程度に応じた値、地盤の履歴減衰は地盤の非線形性（せん断剛性-せん断ひずみ関係）の程度に応じた値となる。

粘性減衰は、時刻歴数値解析において急変時等に対して計算を安定させるために用いられる数値粘性の一種で、解析モデルに減衰を付加するものであり、実現象に影響を与えない程度に小さな減衰として与えることが推奨される。今回採用する Rayleigh 減衰は、実務的によく用いられる粘性減衰であり、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で下式のとおり表される。

防潮堤の耐震・耐津波計算では、Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与えている。

なお、構造物及び地盤のモデル化方法（線形又は非線形）によらず、係数 α 、 β の設定方法は同一としており、構造物及び地盤を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス, [M] : 質量マトリックス,

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

Rayleigh 減衰は、有効応力解析（一般部）では剛性比例型減衰（ $\alpha=0, \beta=0.002$ ）を考慮する。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

全応力解析（岩盤部）では質量比例型減衰と剛性比例型減衰の組み合わせによる減衰を設定する。岩盤部（全応力解析）における Rayleigh 減衰の設定フローを図 3.5-20 に示す。

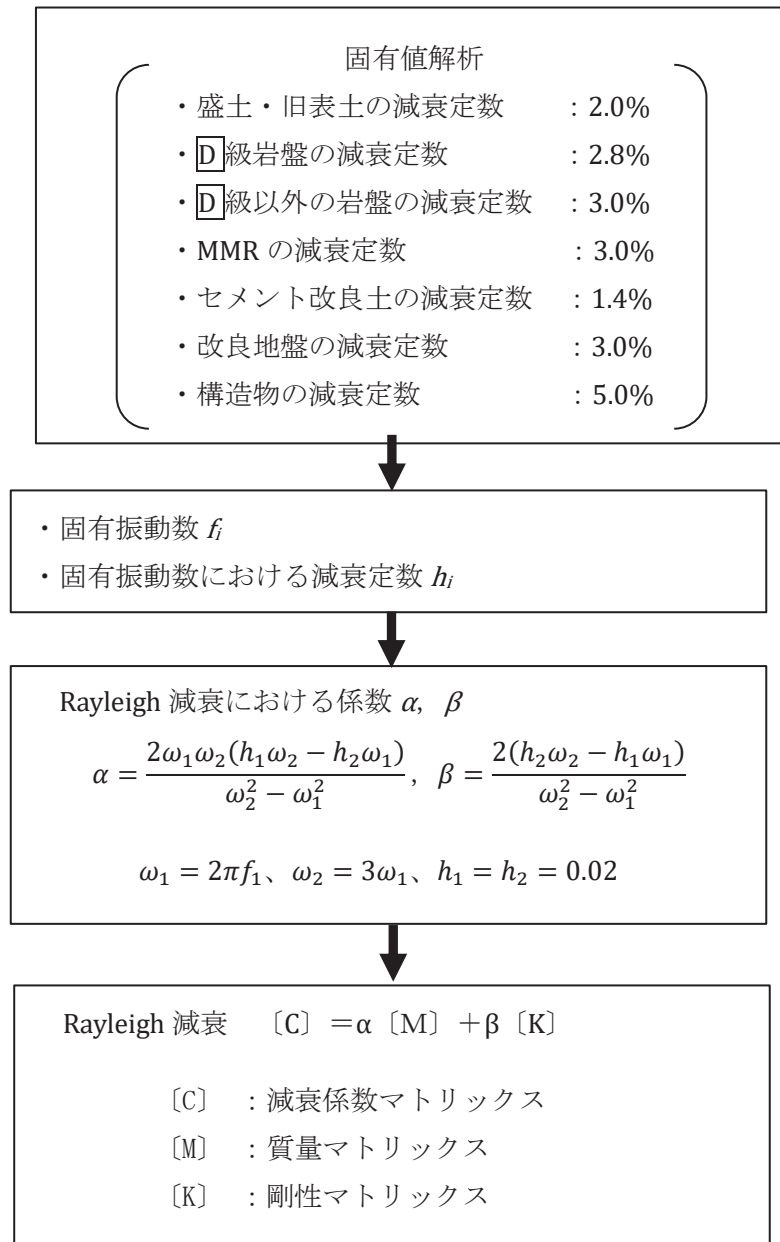


図 3.5-20 岩盤部（全応力解析）における Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定にあたっては、低次のモードが支配的となる地盤および構造物連成系に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、1 次及び 2 次モードの固有振動数において、過大な減衰とならないよう定めている。

1 次固有振動数 (f_1) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から算定する。2 次固有振動数 (f_2) は、図 3.5-21 に示すとおり、水平成層地盤の 2 次固有振動数が 1 次固有振動数の 3 倍であることから、固有値解析から算定した 1 次固有振動数の 3 倍とする。

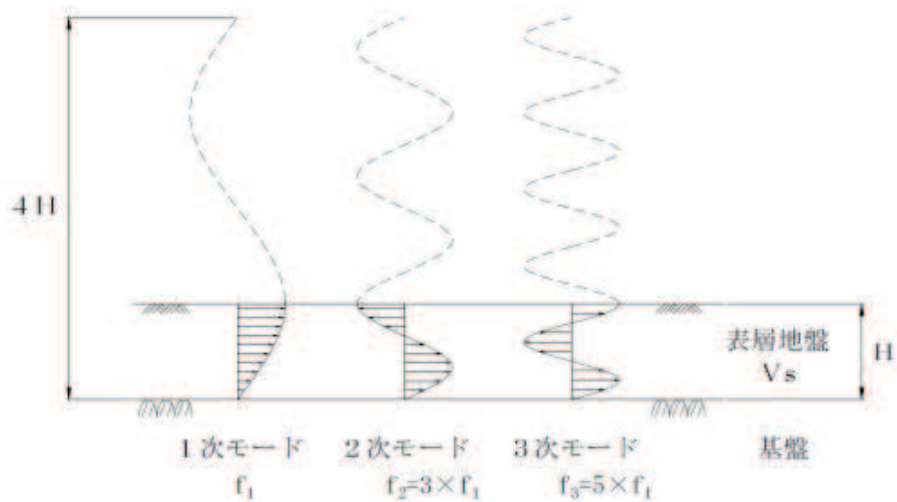


図 3.5-21 せん断振動の固有振動モード
(実務に役立つ耐震設計入門 (土木学会, 2011))

固有値解析結果の一覧を表 3.5-15 に、固有値解析におけるモード図を図 3.5-22 に、固有値解析結果に基づき設定した係数 α 、 β を表 3.5-16 に Rayleigh 減衰を図 3.5-23 に示す。

表 3.5-15(1) 固有値解析結果 (断面⑤)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| | | T _x | T _y | β_x | β_y | |
| 1 | 5.848 | 84 | 0 | 192.80 | 2.27 | 1次として採用 |
| 2 | 7.585 | 84 | 0 | 9.83 | 0.26 | — |
| 3 | 11.054 | 85 | 3 | 19.24 | 35.67 | — |
| 4 | 11.366 | 85 | 57 | 6.86 | -148.70 | — |
| 5 | 13.324 | 85 | 57 | 13.34 | -8.74 | — |
| 6 | 14.847 | 89 | 58 | -40.71 | 26.87 | — |
| 7 | 17.616 | 92 | 60 | -34.11 | -21.59 | — |
| 8 | 18.405 | 92 | 60 | -2.30 | 0.59 | — |
| 9 | 19.625 | 92 | 76 | -16.12 | -83.23 | — |
| 10 | 20.668 | 94 | 78 | 26.98 | -23.90 | — |

表 3.5-15(2) 固有値解析結果 (断面⑥)

| | 固有振動数 (Hz) | 有効質量比 (%) | | 刺激係数 | | 備考 |
|----|---------------|----------------|----------------|-----------|-----------|---------|
| | | T _x | T _y | β_x | β_y | |
| 1 | 6.035 | 84 | 0 | 177.60 | -0.28 | 1次として採用 |
| 2 | 7.228 | 84 | 0 | 17.68 | -0.08 | — |
| 3 | 11.528 | 84 | 58 | -0.91 | -142.40 | — |
| 4 | 14.022 | 87 | 59 | 31.85 | 18.22 | — |
| 5 | 14.656 | 88 | 59 | -20.18 | -2.82 | — |
| 6 | 17.711 | 92 | 63 | -39.83 | 35.48 | — |
| 7 | 19.593 | 93 | 71 | 8.10 | 51.52 | — |
| 8 | 21.271 | 93 | 73 | -13.56 | 29.54 | — |
| 9 | 23.186 | 96 | 74 | 30.90 | 19.11 | — |
| 10 | 24.495 | 96 | 78 | -8.54 | -36.04 | — |

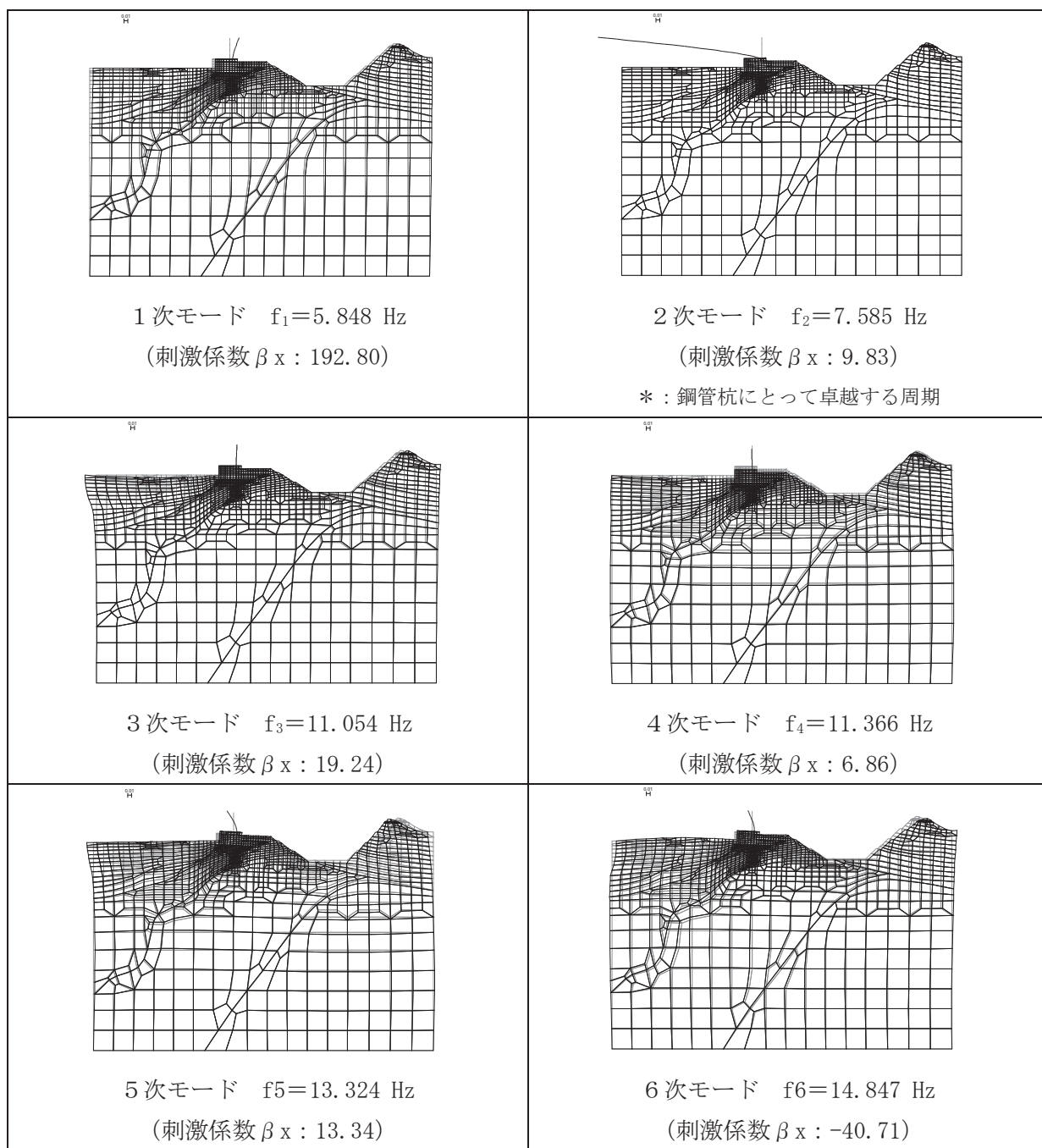


図 3.5-22(1) 固有値解析結果 (断面⑤ : モード図)

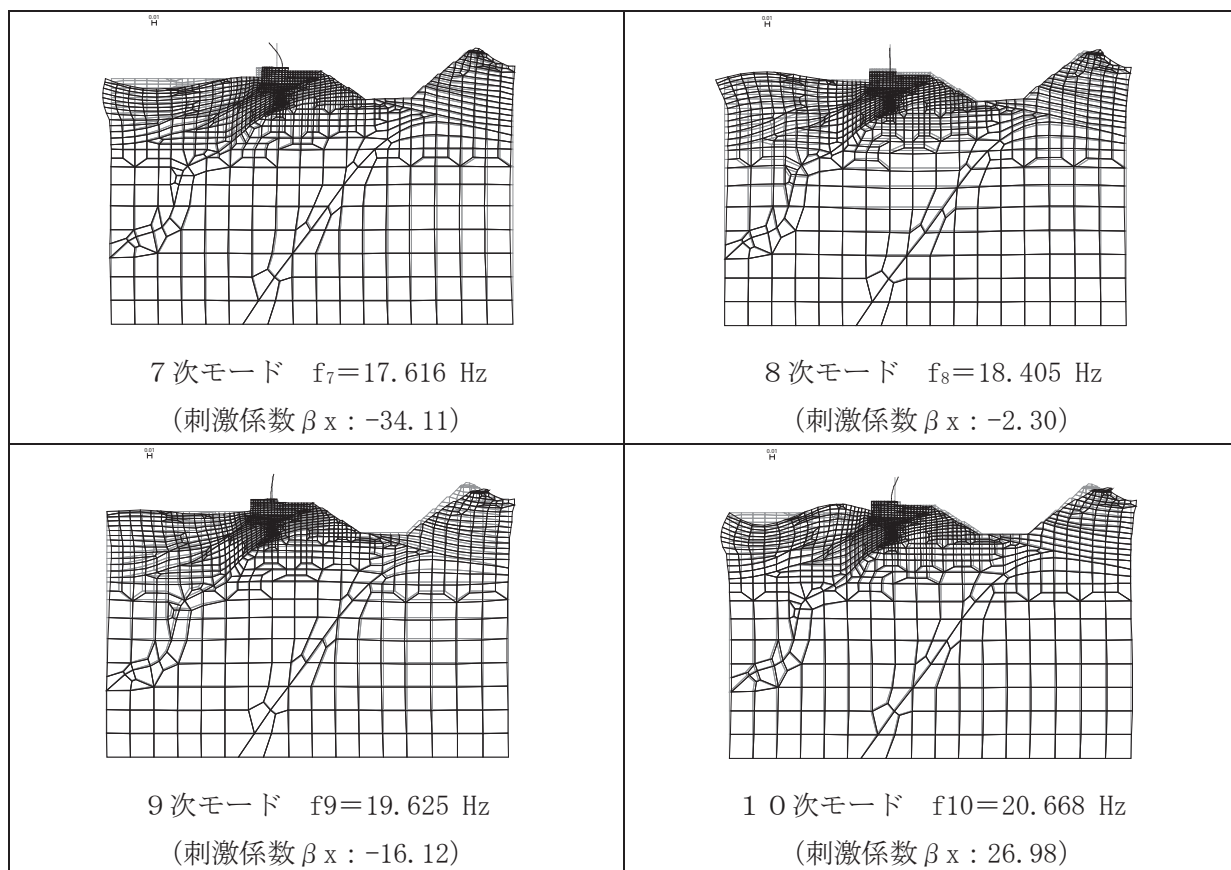


図 3.5-22(2) 固有値解析結果 (断面⑤ : モード図)

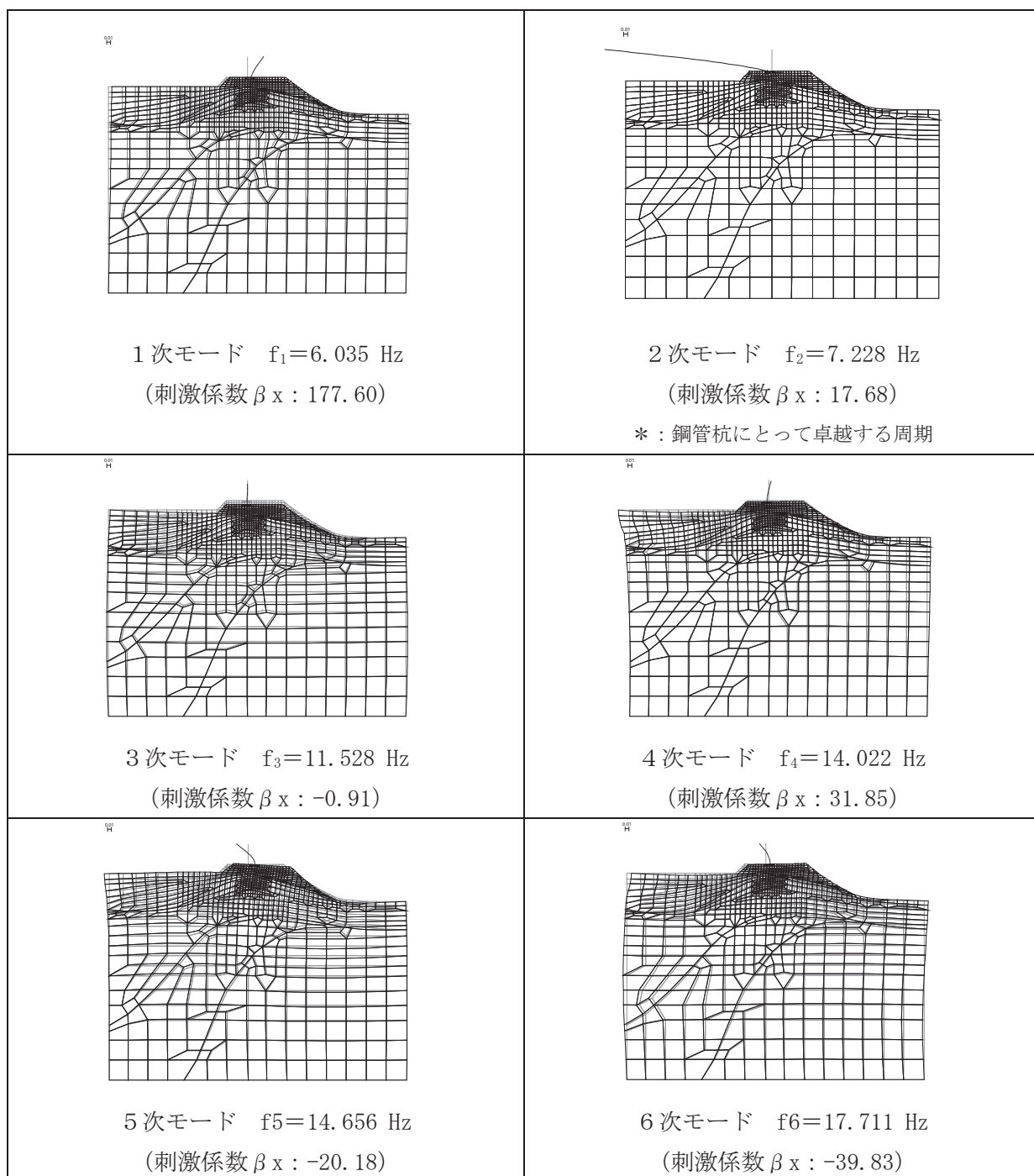


図 3.5-22(3) 固有値解析結果 (断面⑥ : モード図)

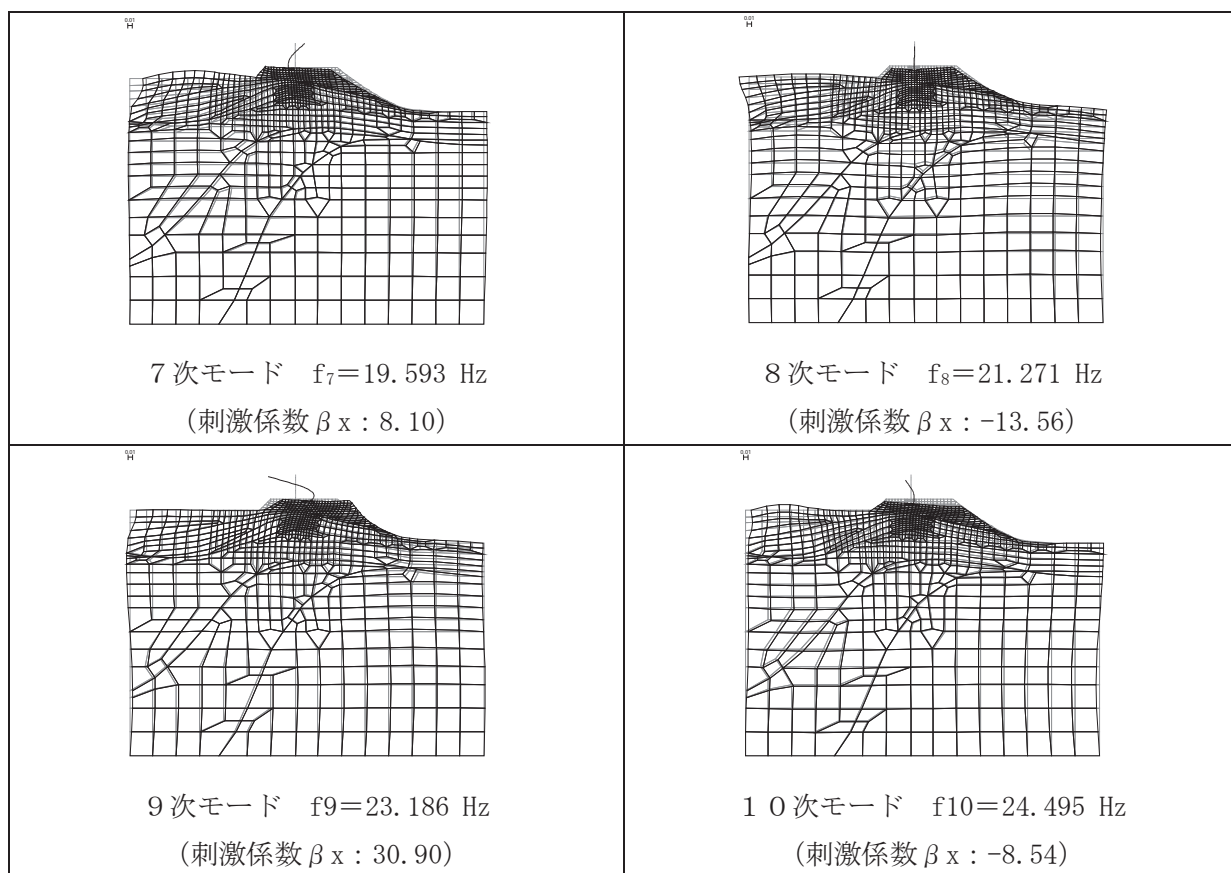


図 3.5-22(4) 固有値解析結果 (断面⑥ : モード図)

表 3.5-16 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

| 評価対象断面 | α | β |
|--------|----------|------------------------|
| 断面⑤ | 1.653 | 4.803×10^{-4} |
| 断面⑥ | 1.706 | 3.956×10^{-4} |

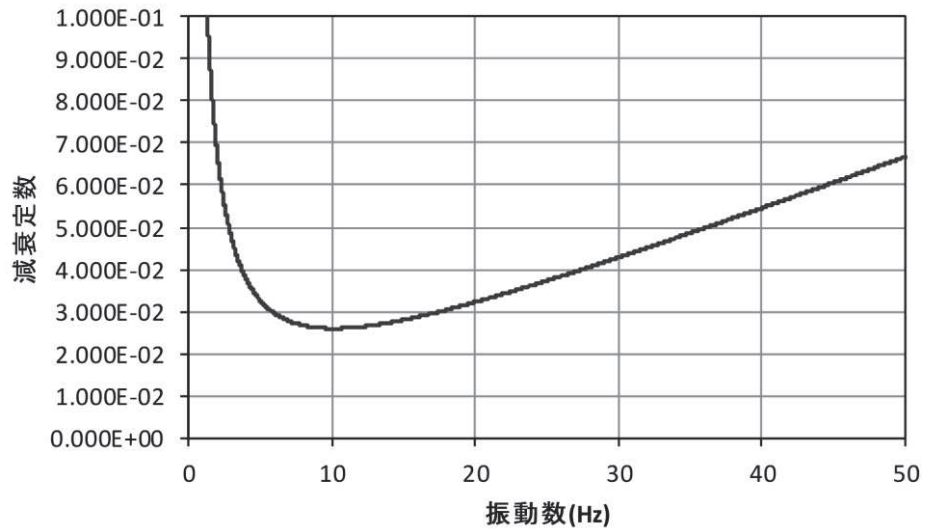


図 3.5-23(1) 設定した Rayleigh 減衰 (断面⑤)

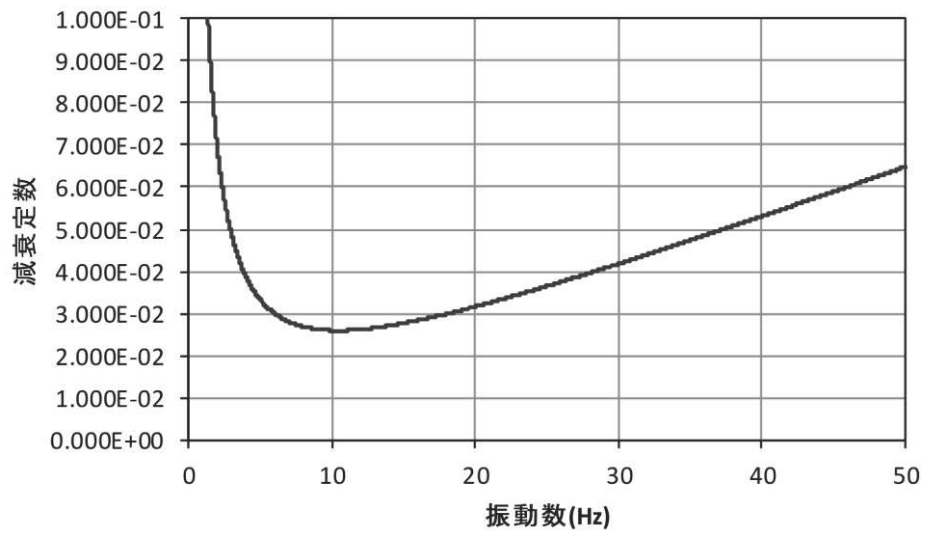


図 3.5-23(2) 設定した Rayleigh 減衰 (断面⑥)

e. 解析ケース

重畳時においては、弾性設計用地震動 S d - D 2 に対して、ケース① (基本ケース) を実施する。ケース①において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、表 3.5-13 及び表 3.5-14 に示すケース②及び③を実施する。重畳時における解析ケースを表 3.5-17 に示す。

表 3.5-17 重畳時における解析ケース

| 解析ケース | | ケース① | ケース② | ケース③ |
|-------------|-----------|------------------|----------------------------|--|
| | | 基本ケース | 地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース | 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース |
| 地盤物性 | | 平均値 | 平均値 + 1σ | 平均値 - 1σ |
| 地震動 (位相) | S d - D 2 | ++* ¹ | ○ | 弾性設計用地震動 S d - D 2 (1波) 及び位相反転を考慮した地震動 (3波) を加えた全4波により照査を行ったケース①(基本ケース)の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が0.5以上となる又はすべり安全率が2.4以下* ² となる全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②～③を実施する。 照査値がいずれも0.5未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～③を実施する。 |
| | | -+* ¹ | ○ | |
| | | +-* ¹ | ○ | |
| | | --* ¹ | ○ | |

注記 *1：地震動の位相について (++) の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：許容限界であるすべり安全率 1.2 に対して 2 倍の裕度

(2) 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 $S_d - D2$ を1次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3.5-24 に入力地震動算定の概念図を、図 3.5-25～図 3.5-31 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

①引戻し解析

引戻し地盤モデル（解放基盤モデル）を用いて、水平方向地震動及び鉛直方向地震動をそれぞれ引戻し地盤モデル底面位置まで引戻す。

②水平方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（水平方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで水平方向地震動を引き上げる。

③鉛直方向地震動の引上げ解析

引上げ地盤モデル（鉛直方向地震動用）を用いて、構造物－地盤連成系解析モデル底面位置まで鉛直方向地震動を引き上げる。

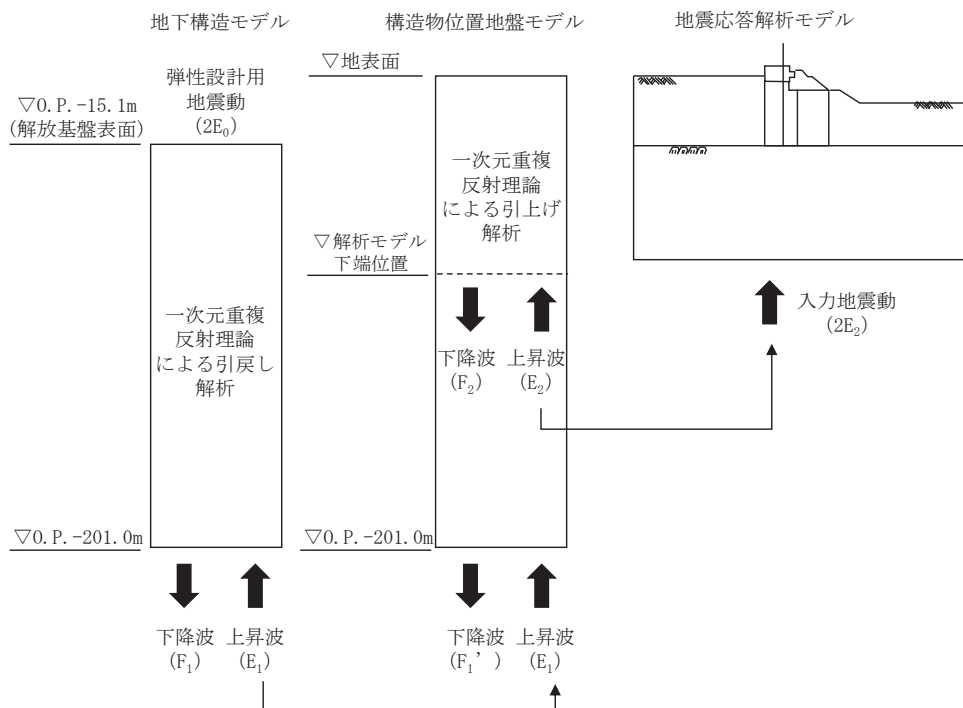


図 3.5-24 入力地震動算定の概念図

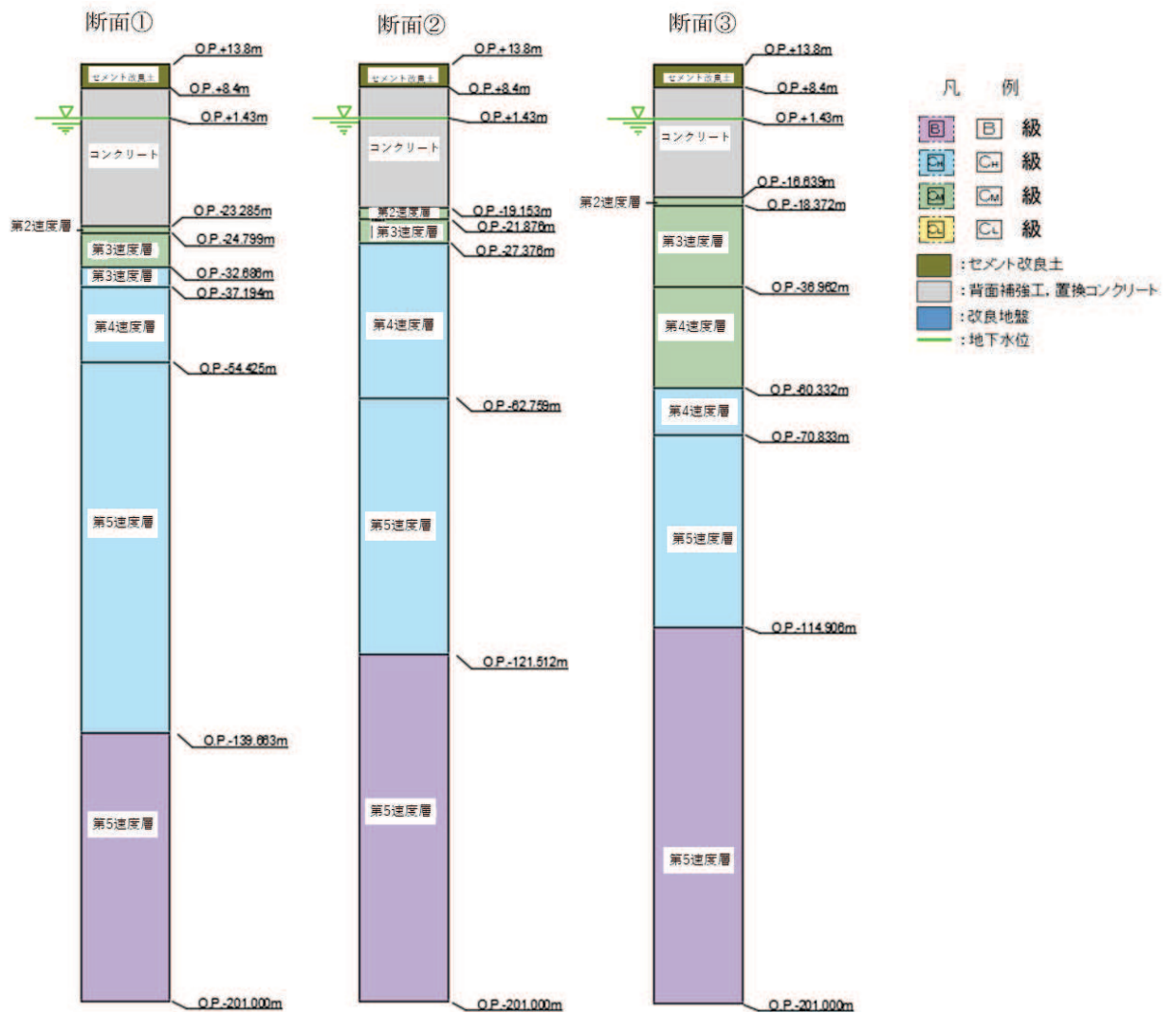


図 3.5-25 (1) 1次元解析モデル図 (断面①~③)

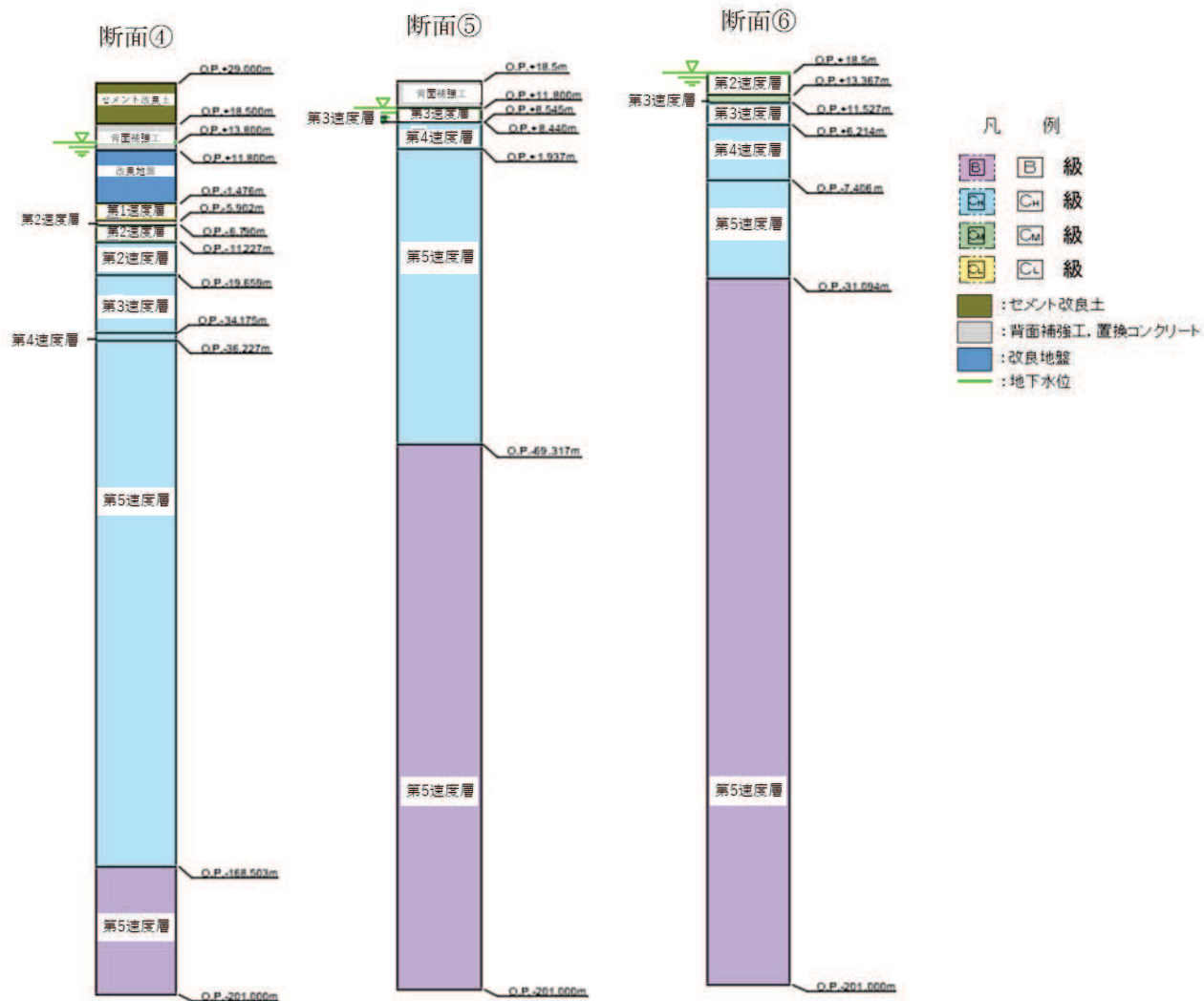


図 3.5-25 (2) 1次元解析モデル図 (断面④～⑥)

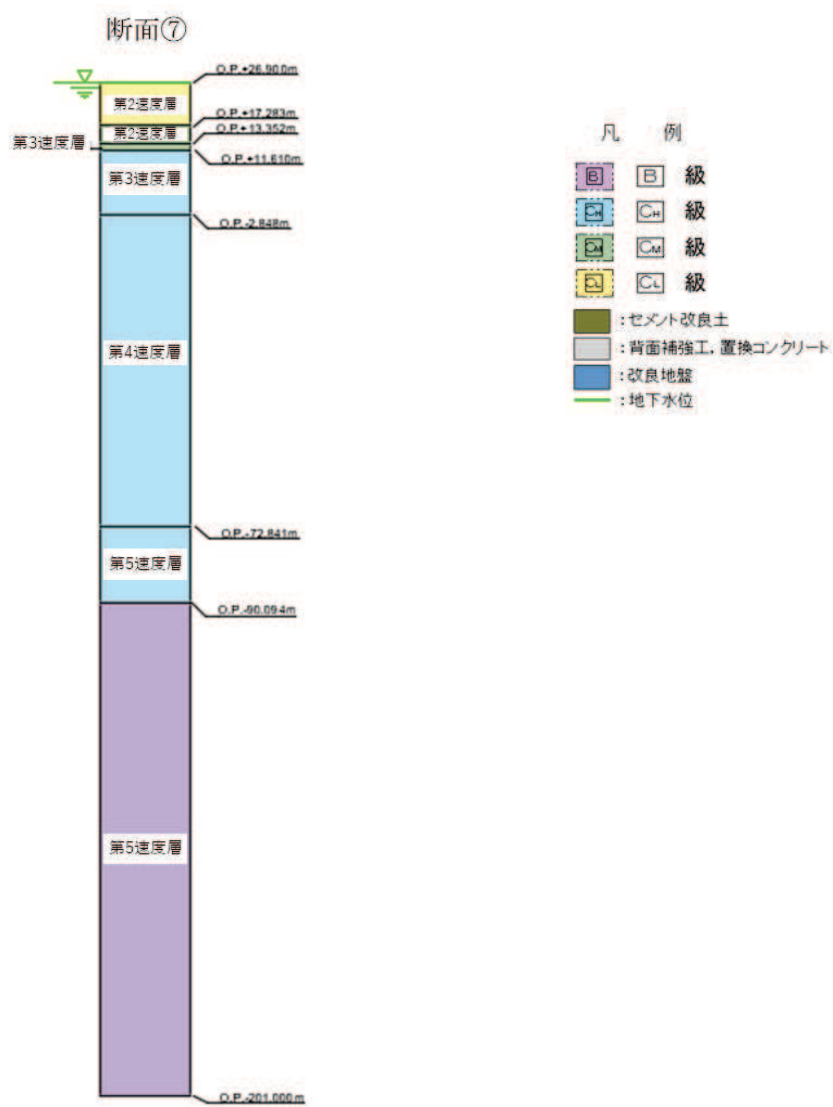
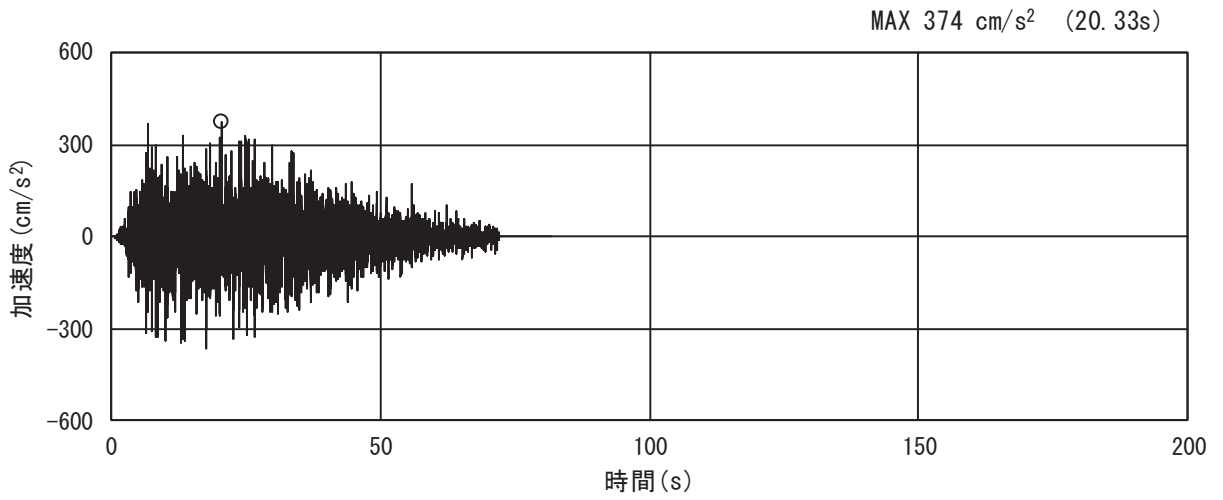
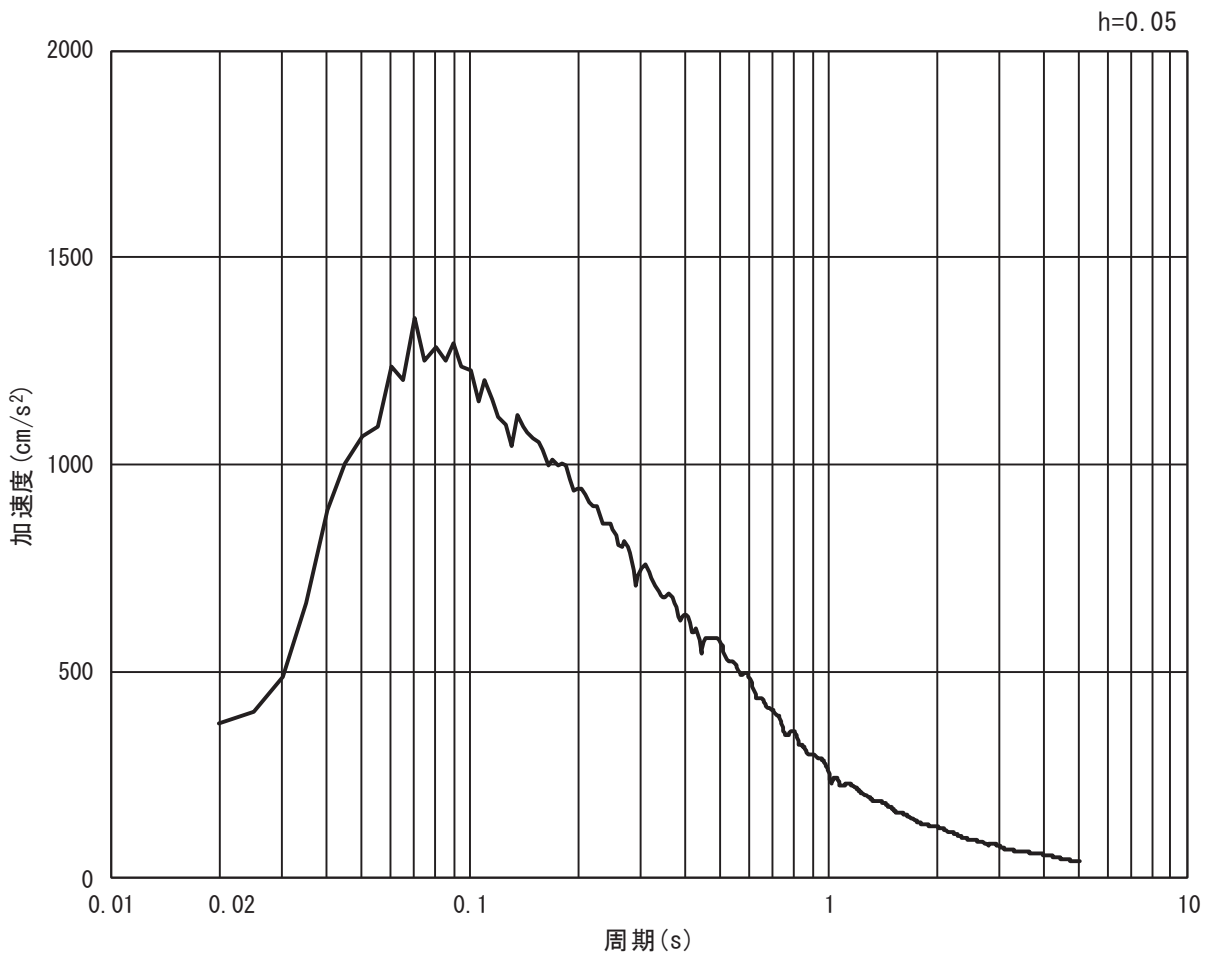


図 3.5-25 (3) 1次元解析モデル図 (断面⑦)

a. 一般部
イ. 断面①

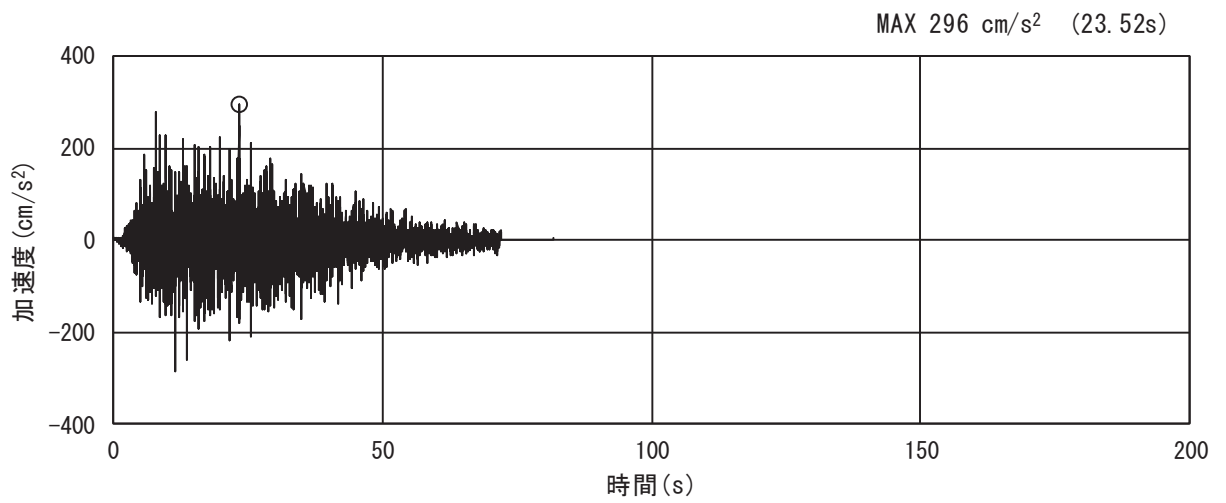


(a) 加速度時刻歴波形

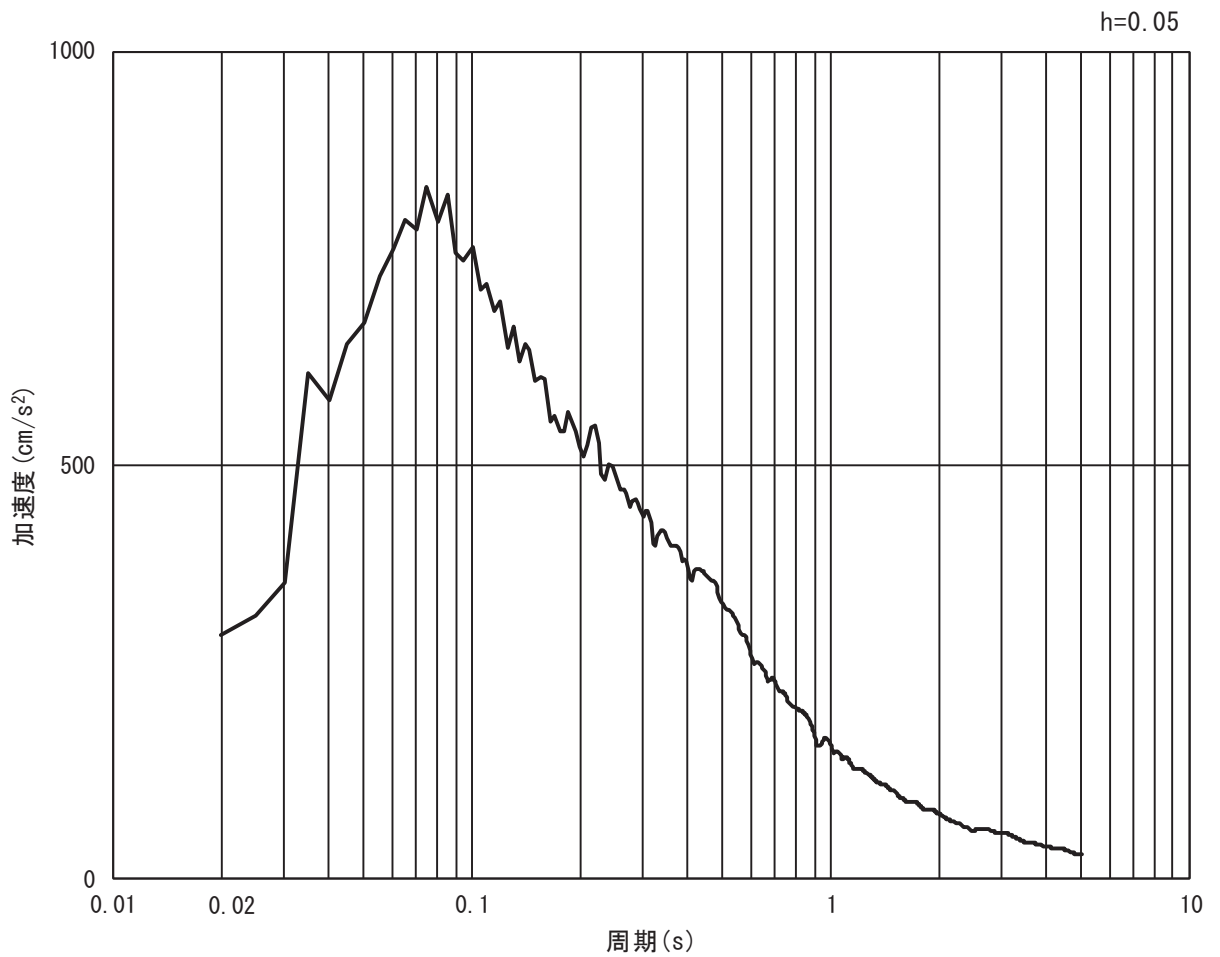


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-26 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d - D 2)



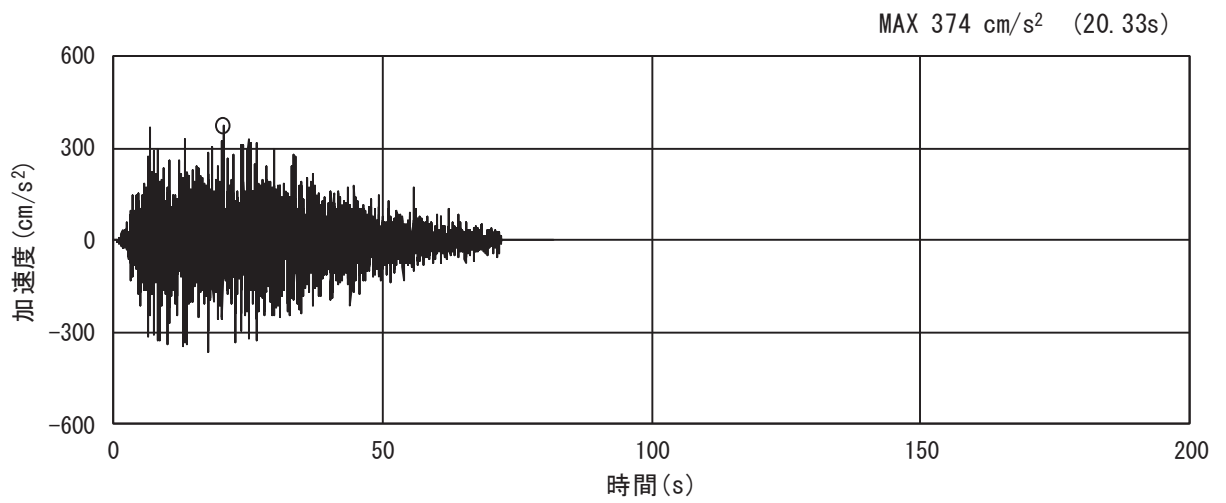
(a) 加速度時刻歴波形



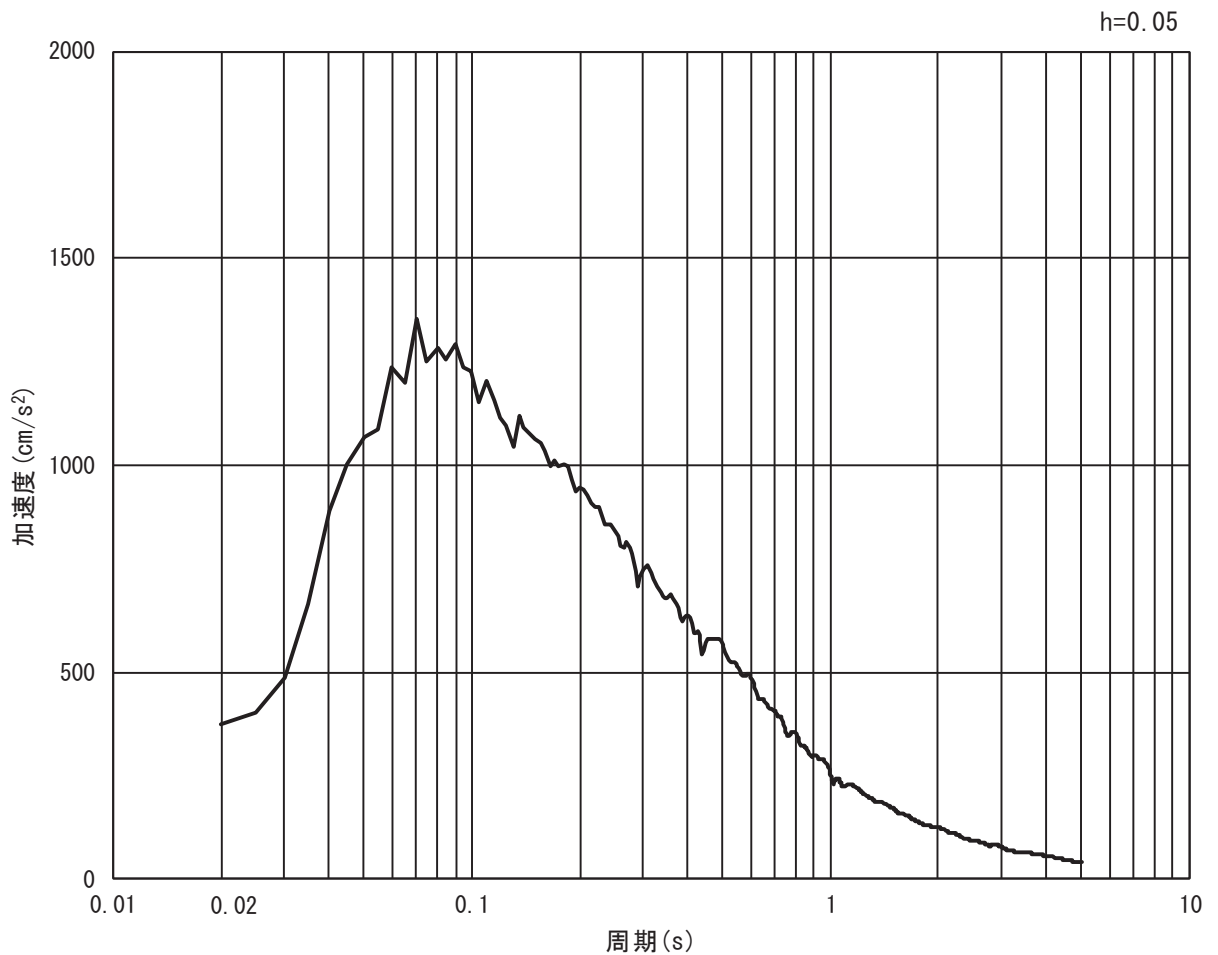
(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-26 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S d - D 2)

ロ. 断面②



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-27 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S d - D 2)

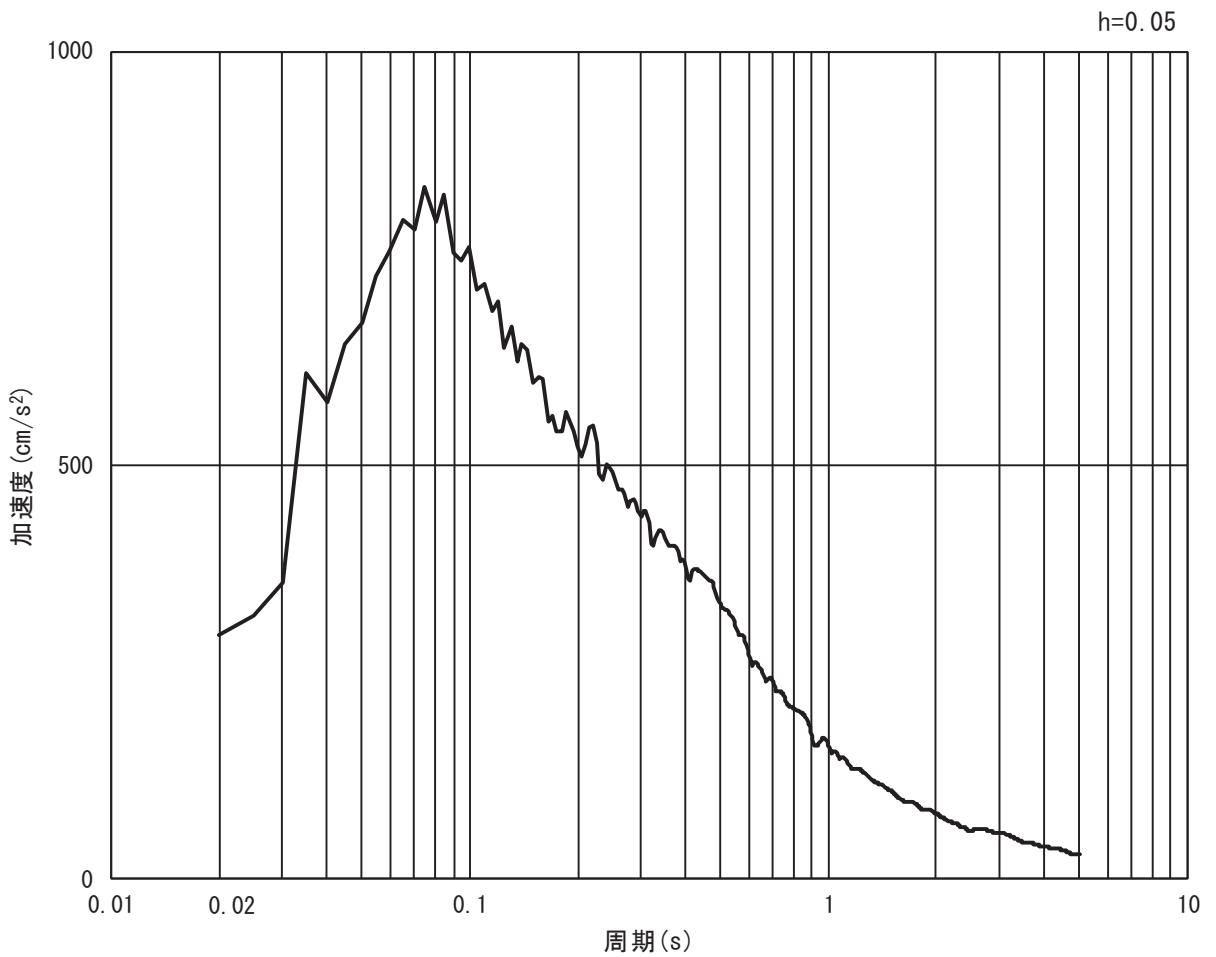
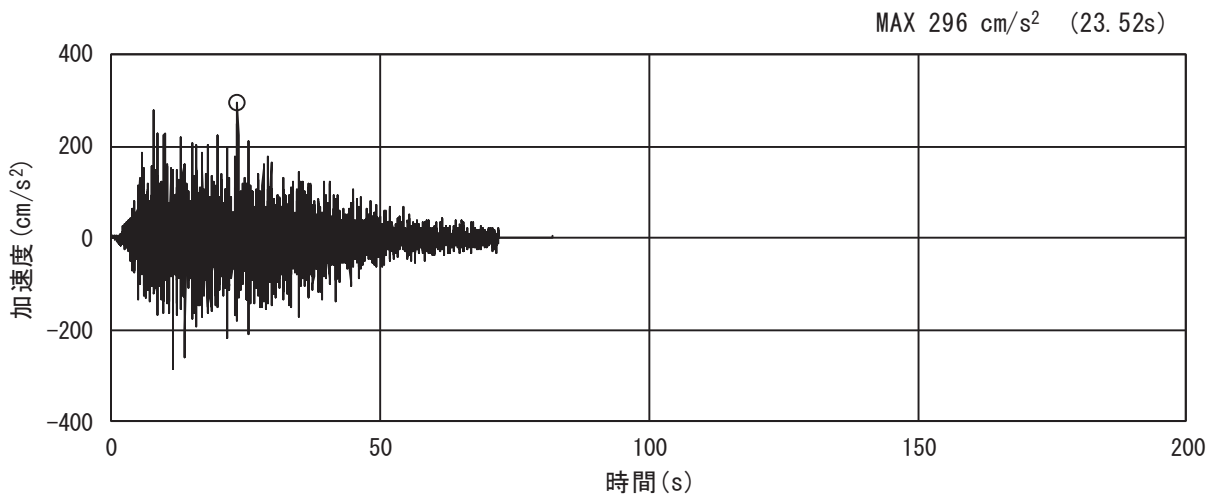
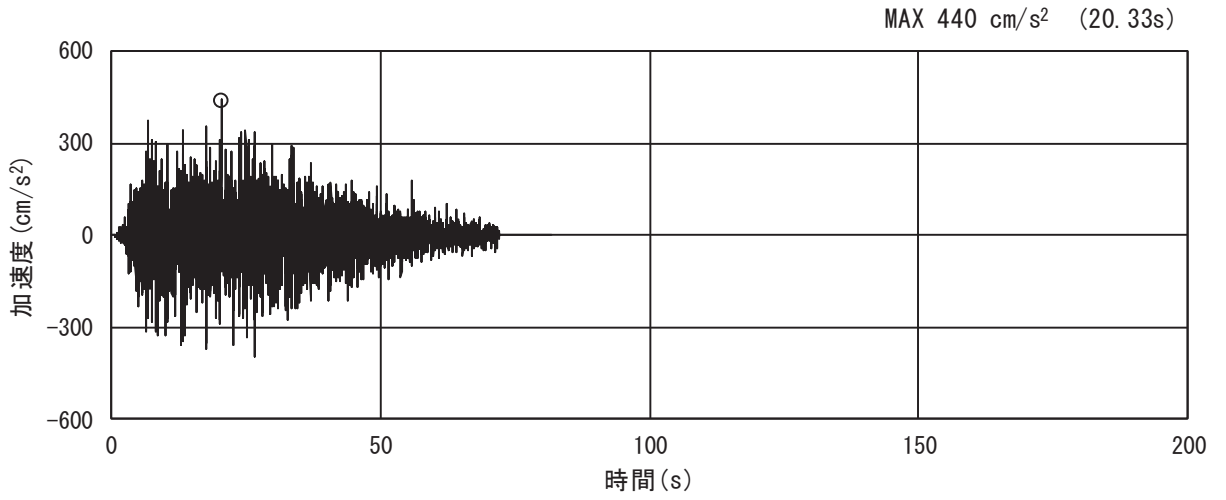
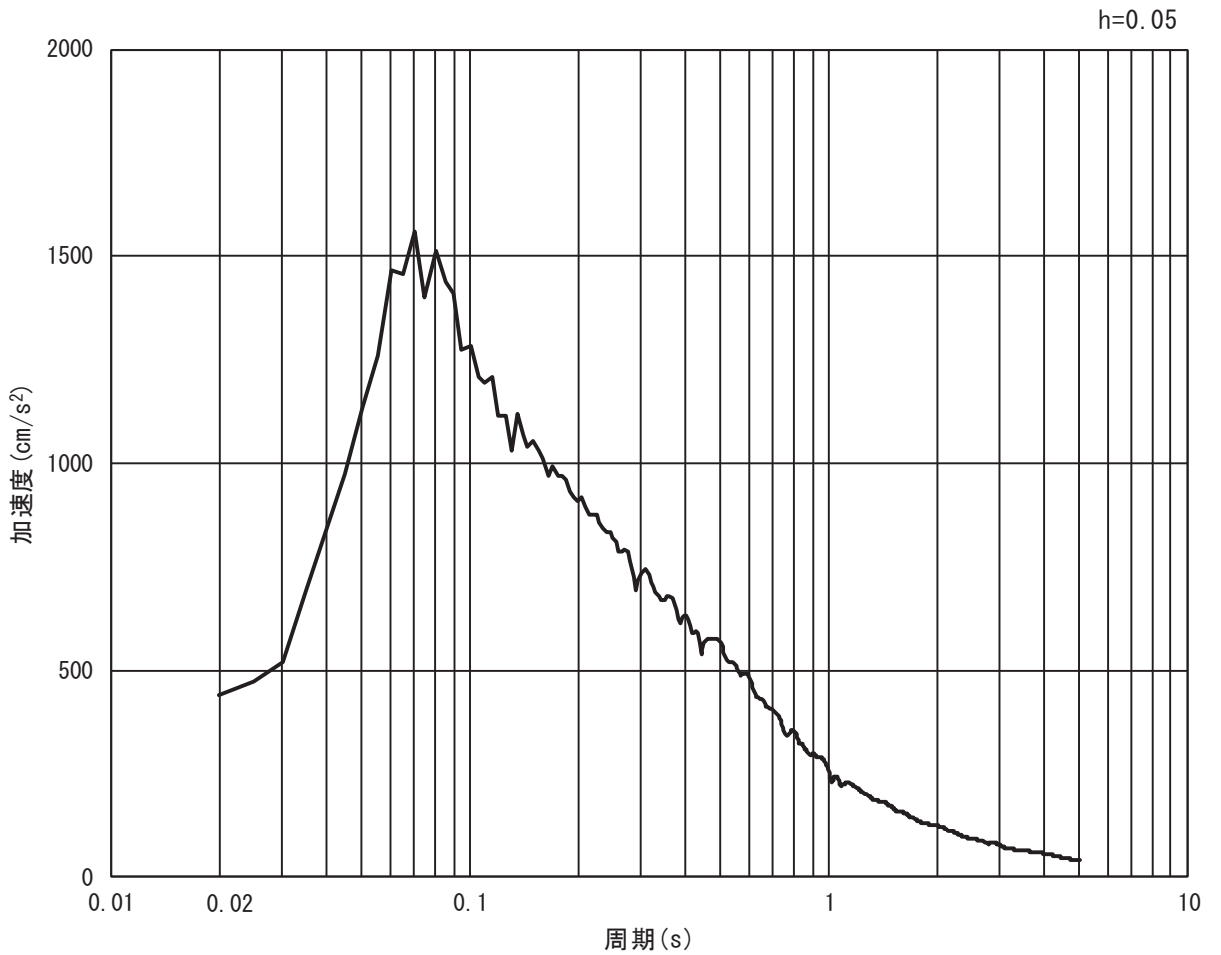


図 3.5-27 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

ハ. 断面③



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-28 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d - D 2)

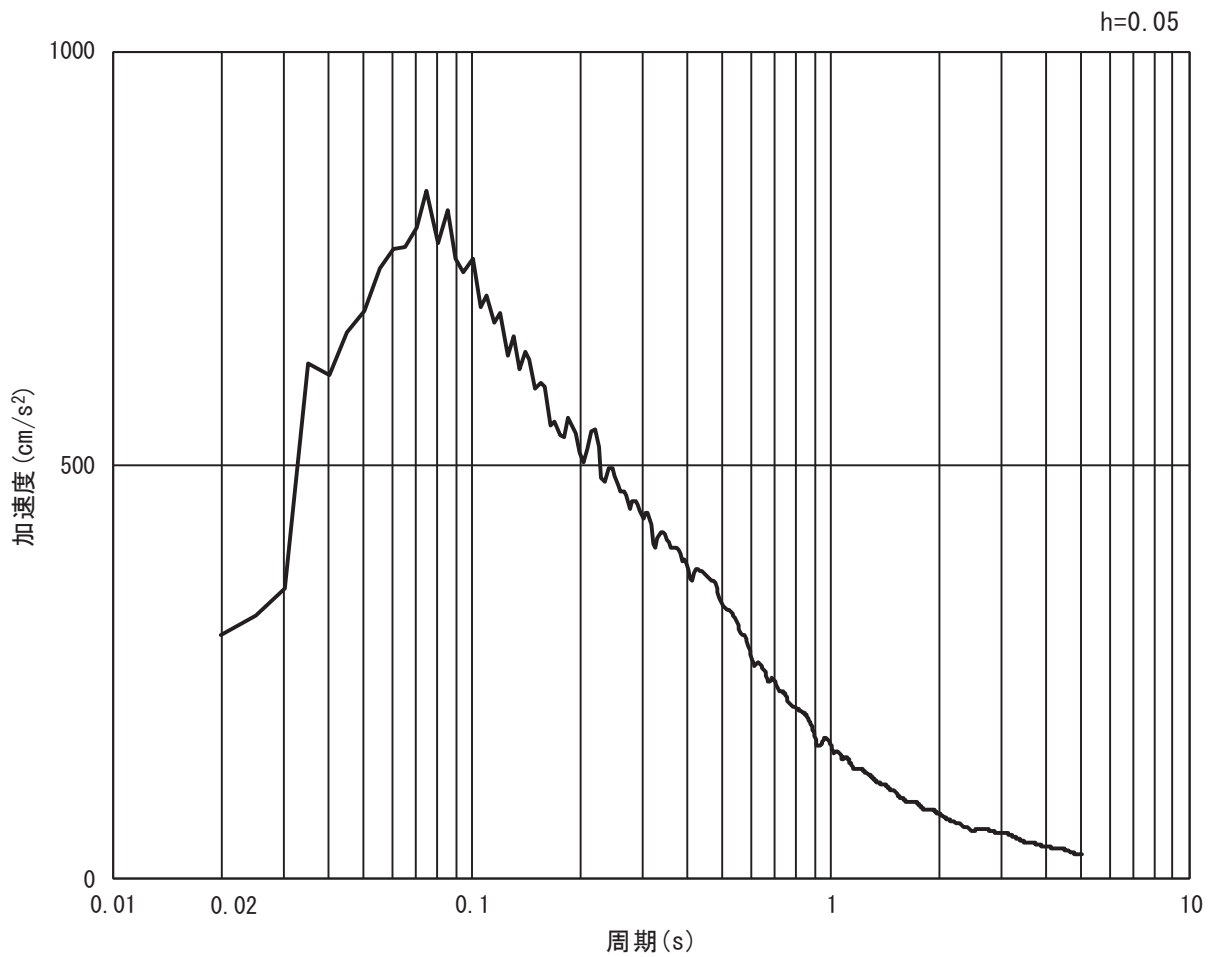
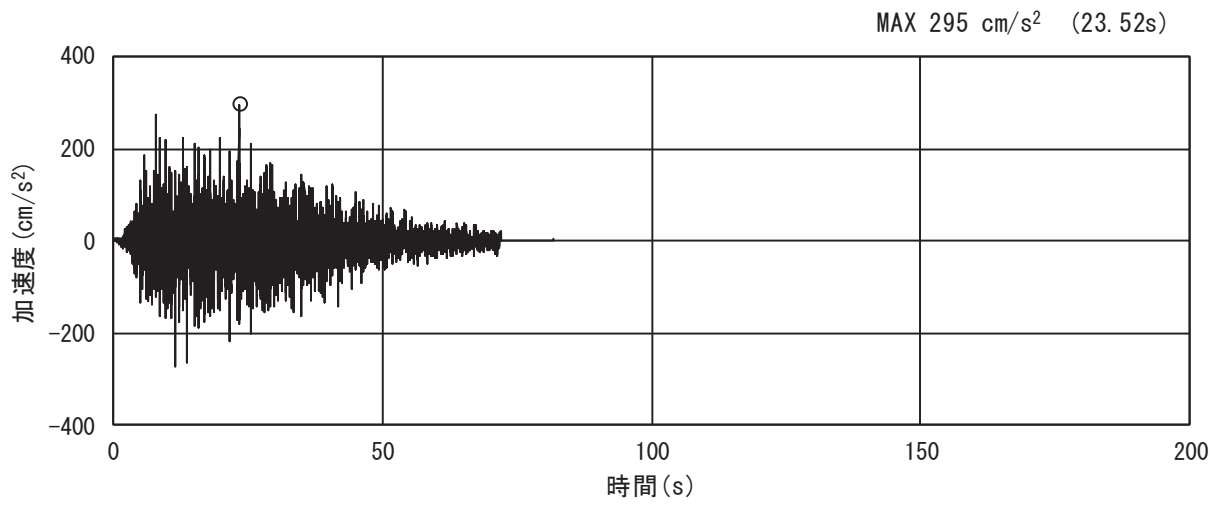
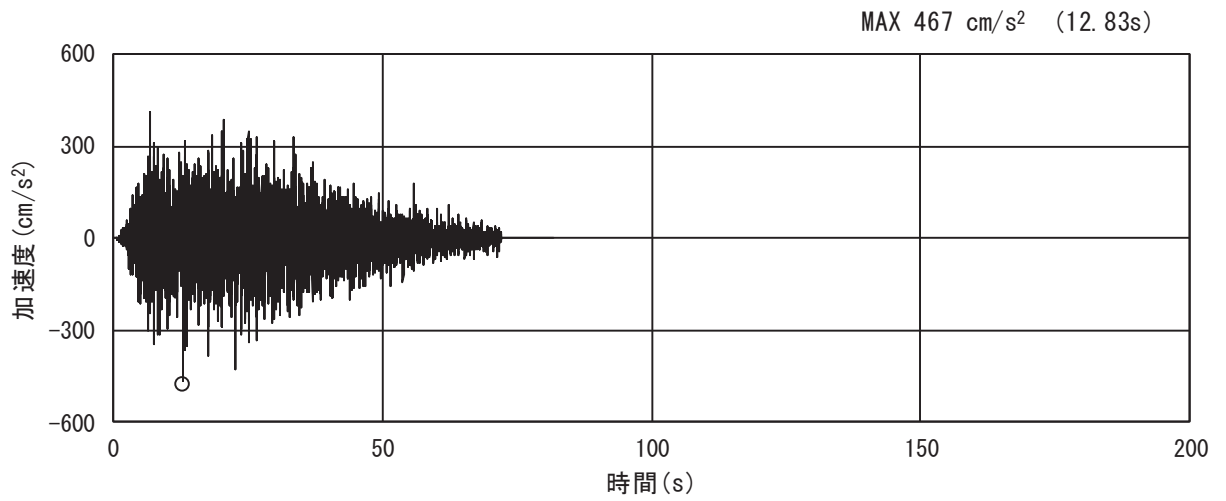
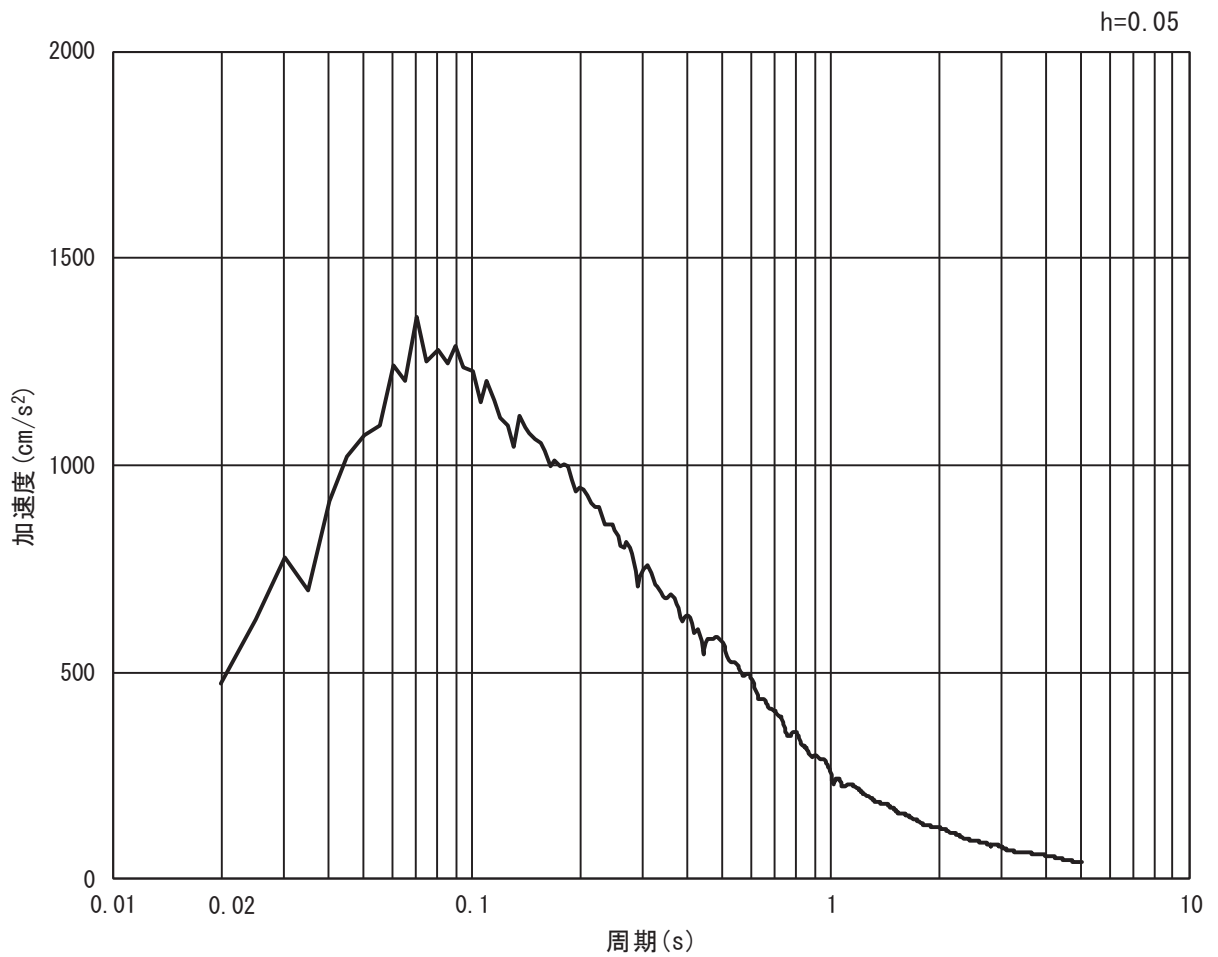


図 3.5-28 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

二. 断面④



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-29 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d - D 2)

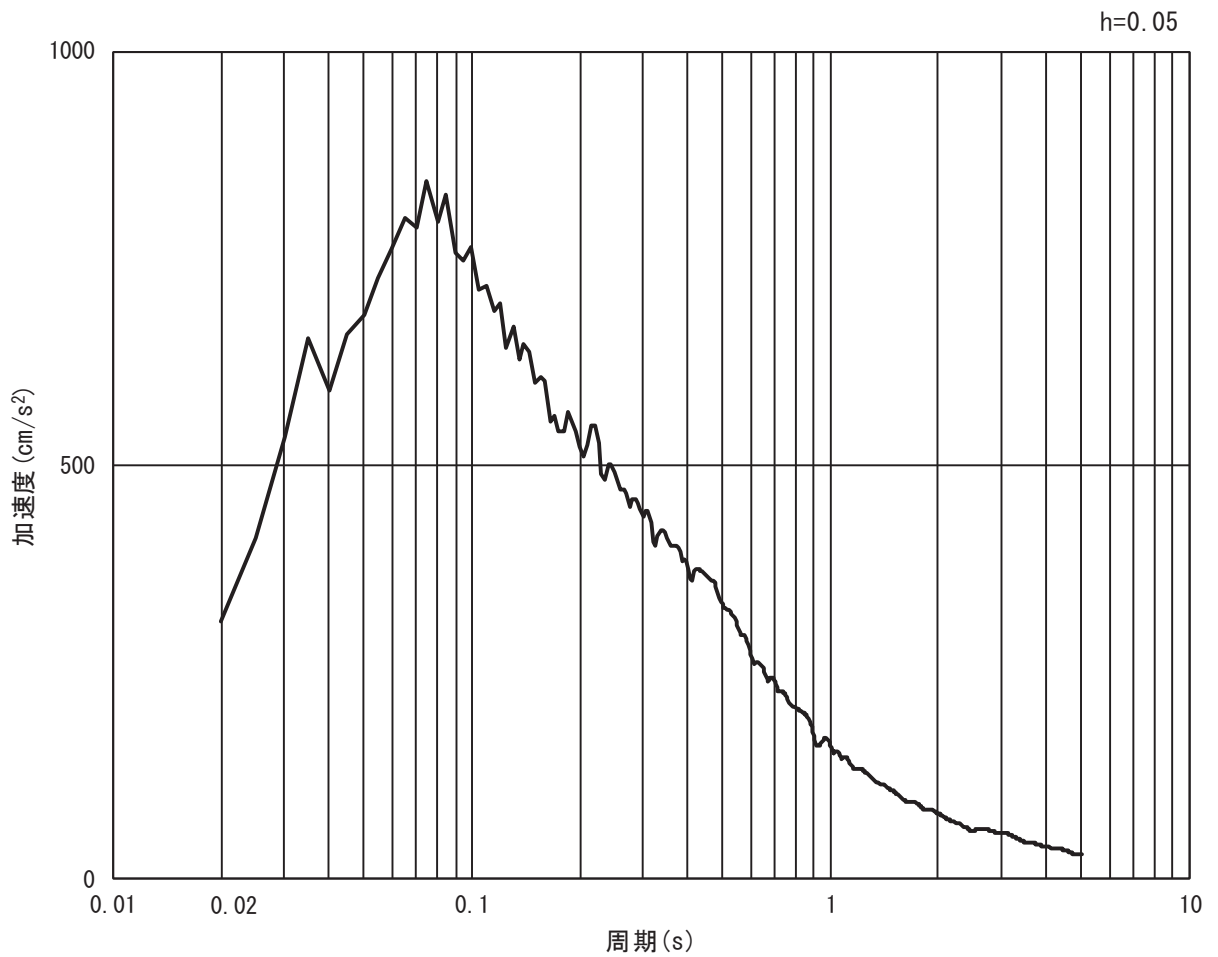
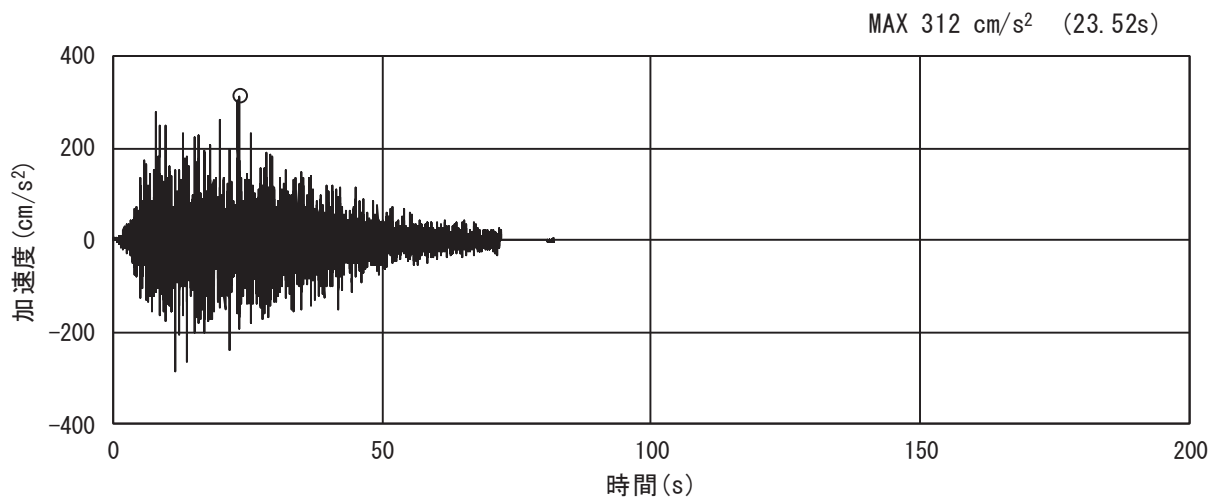
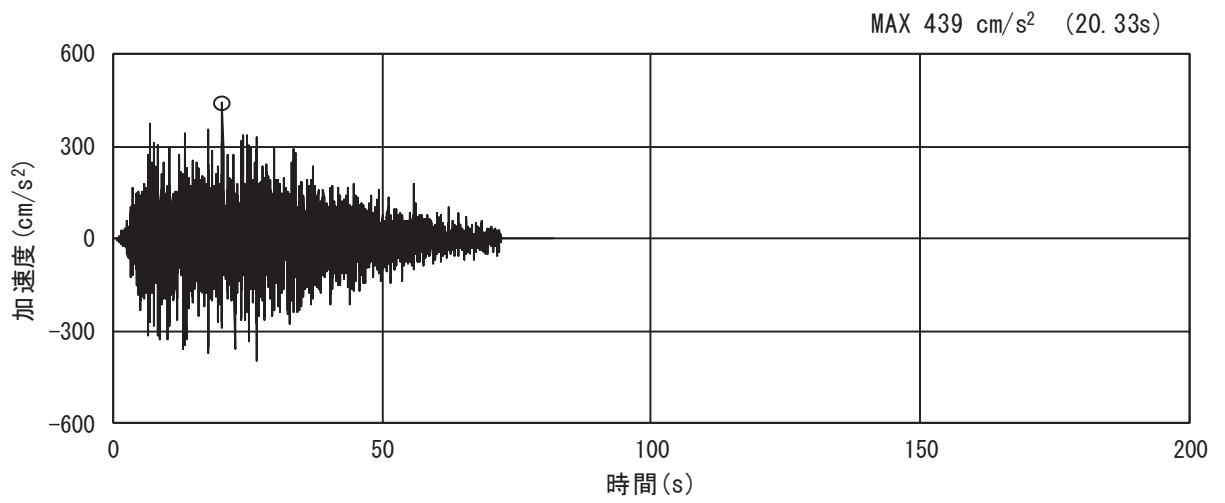
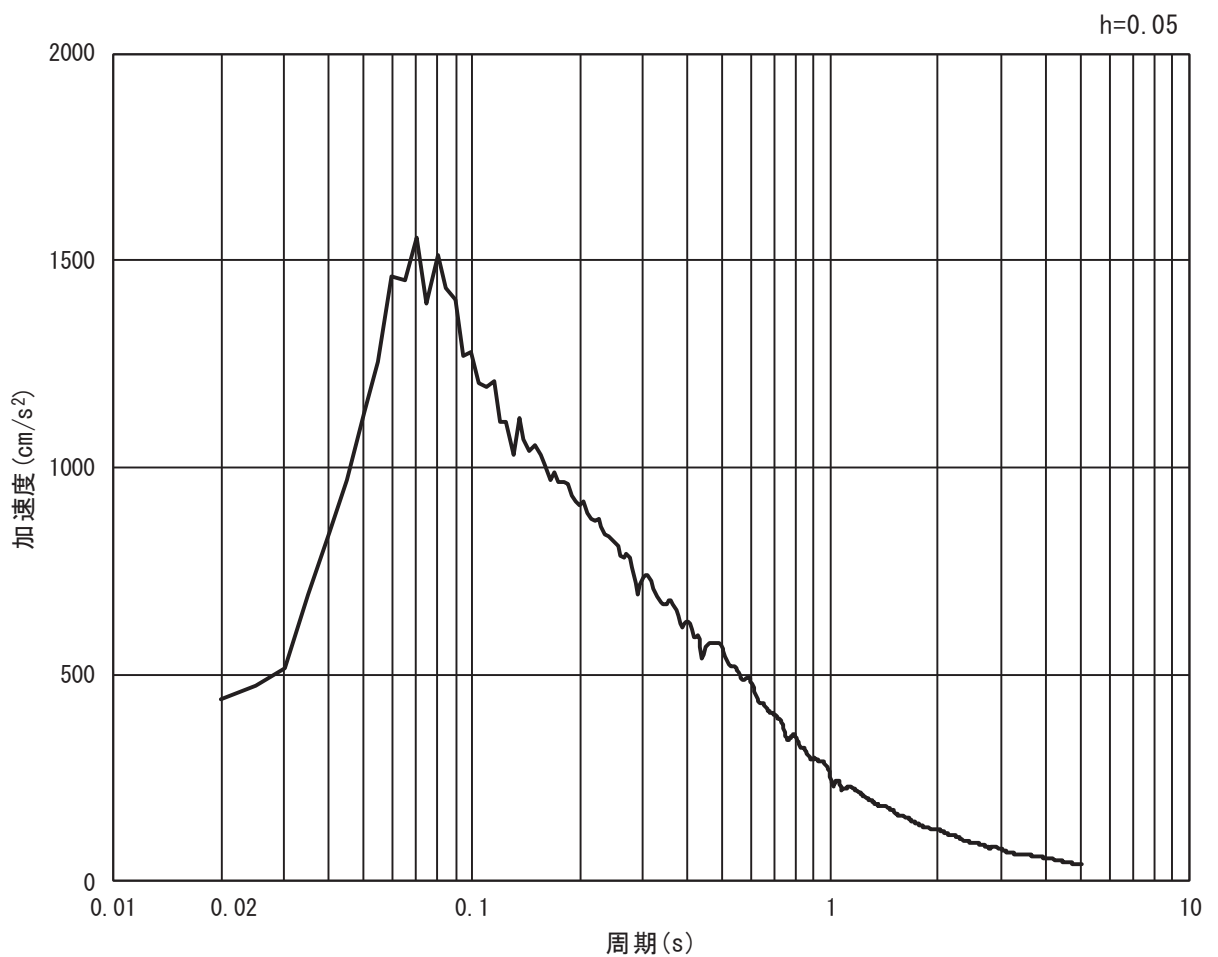


図 3.5-29 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

b. 岩盤部
イ. 断面⑤

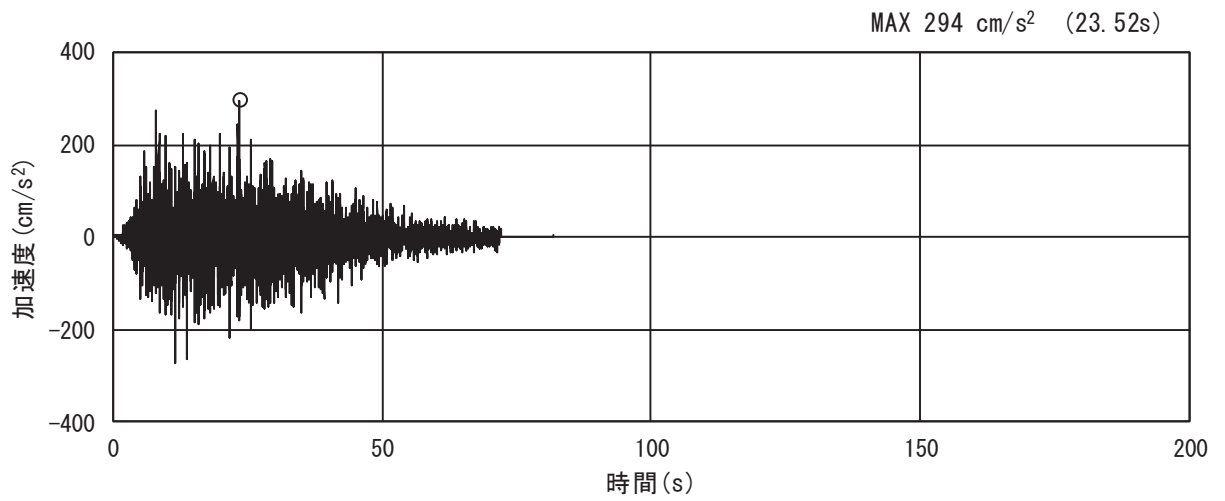


(a) 加速度時刻歴波形

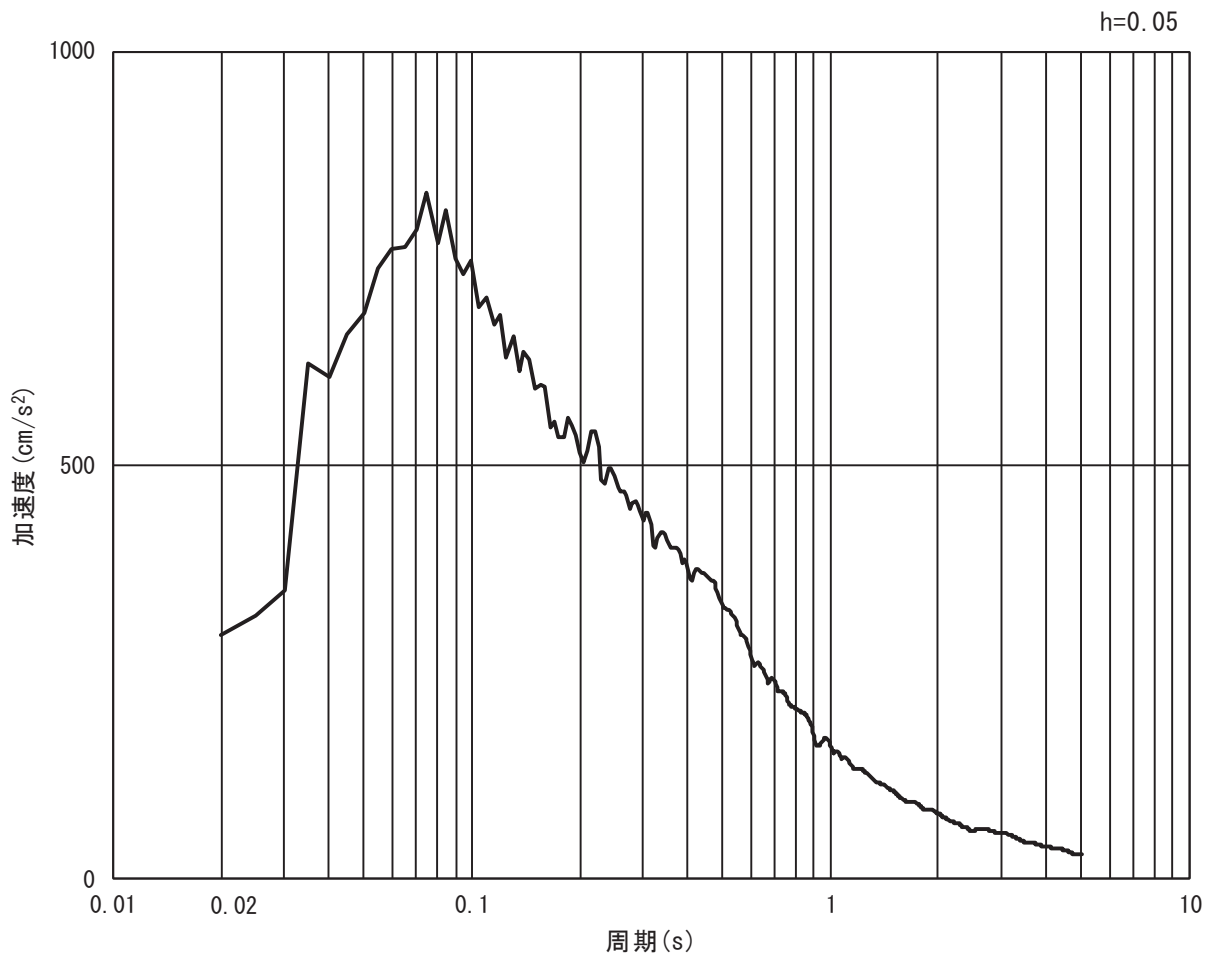


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-30 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S d - D 2)



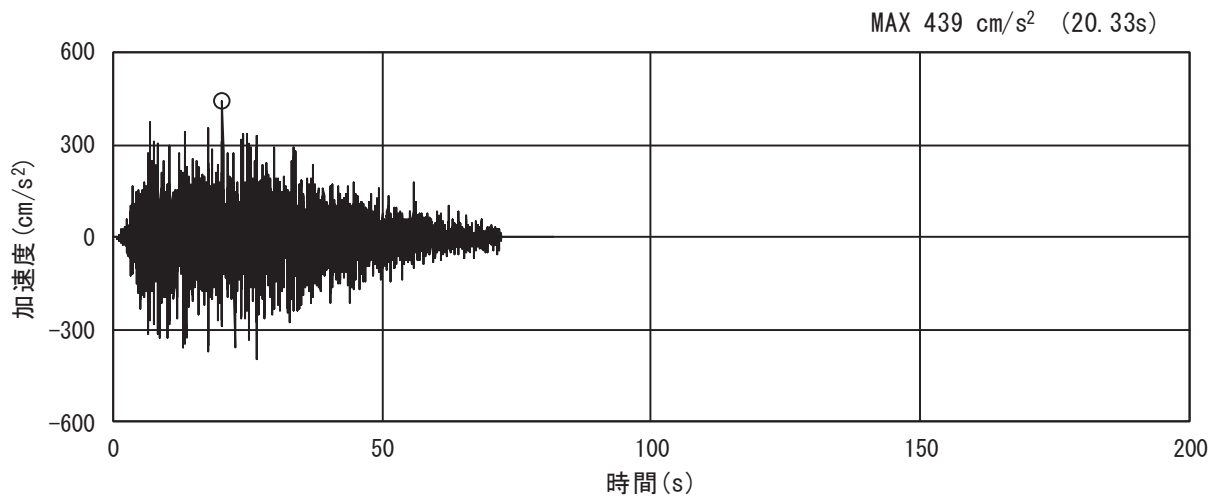
(a) 加速度時刻歴波形



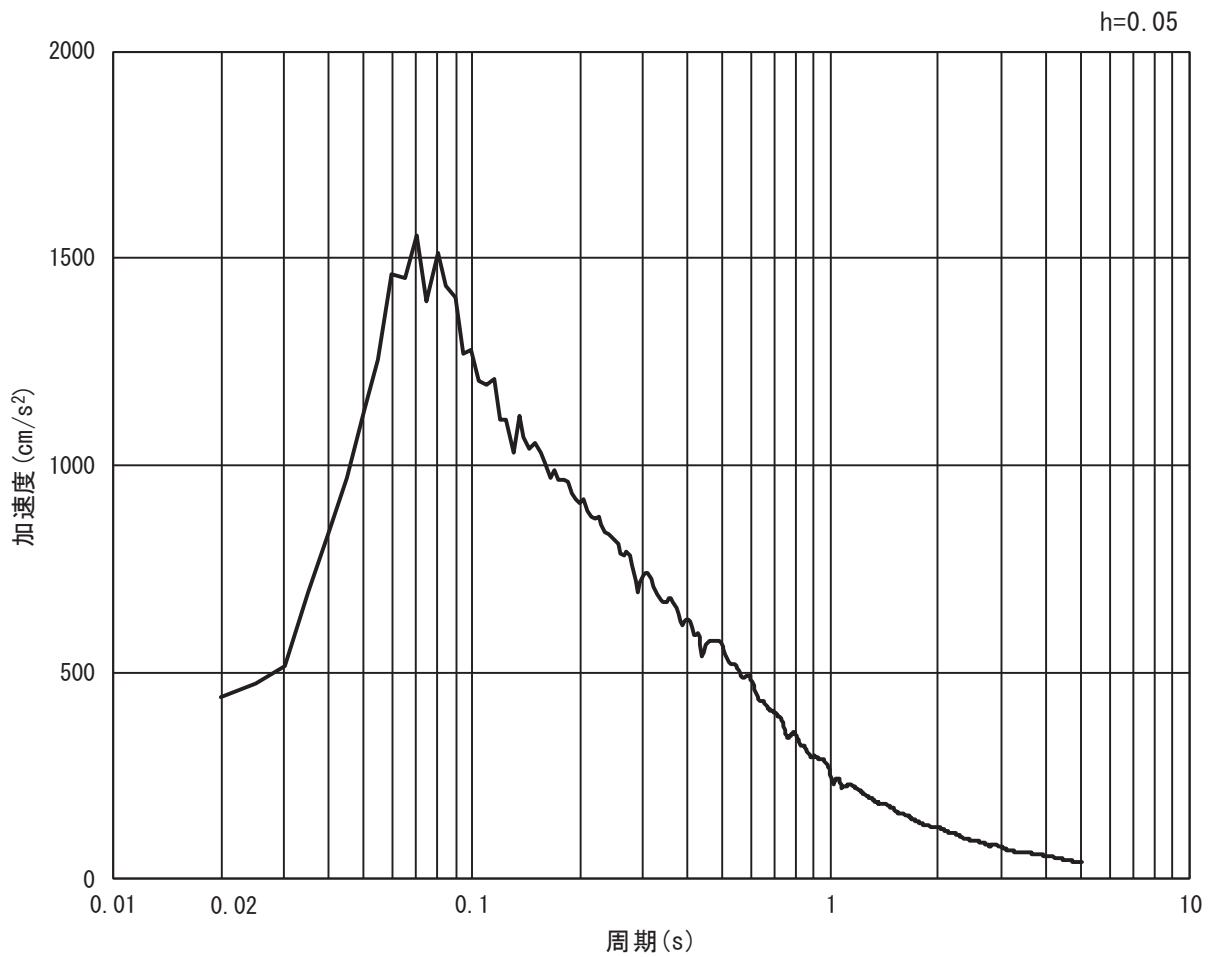
(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-30 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S d - D 2)

ロ. 断面⑥



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.5-31 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S d - D 2)

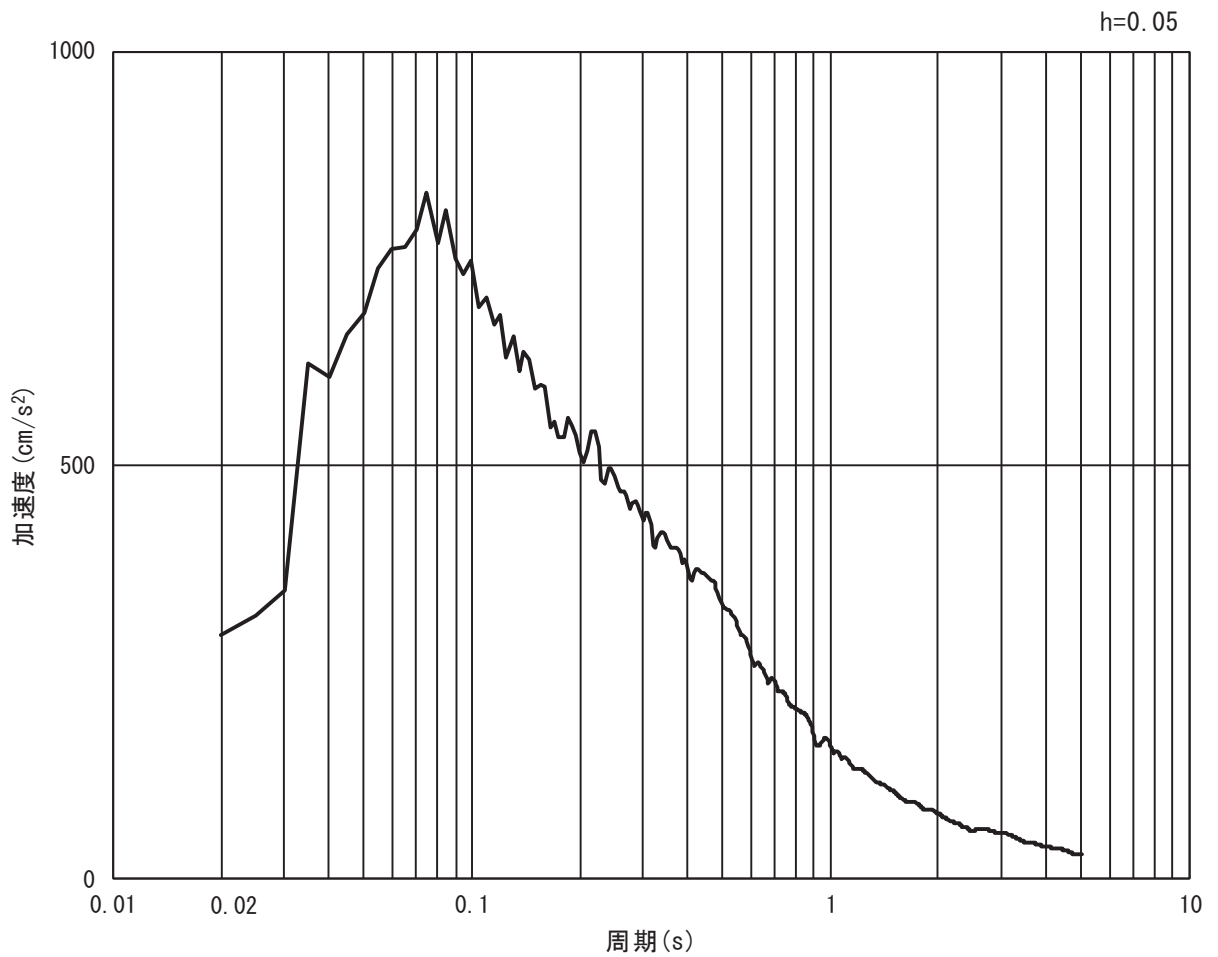
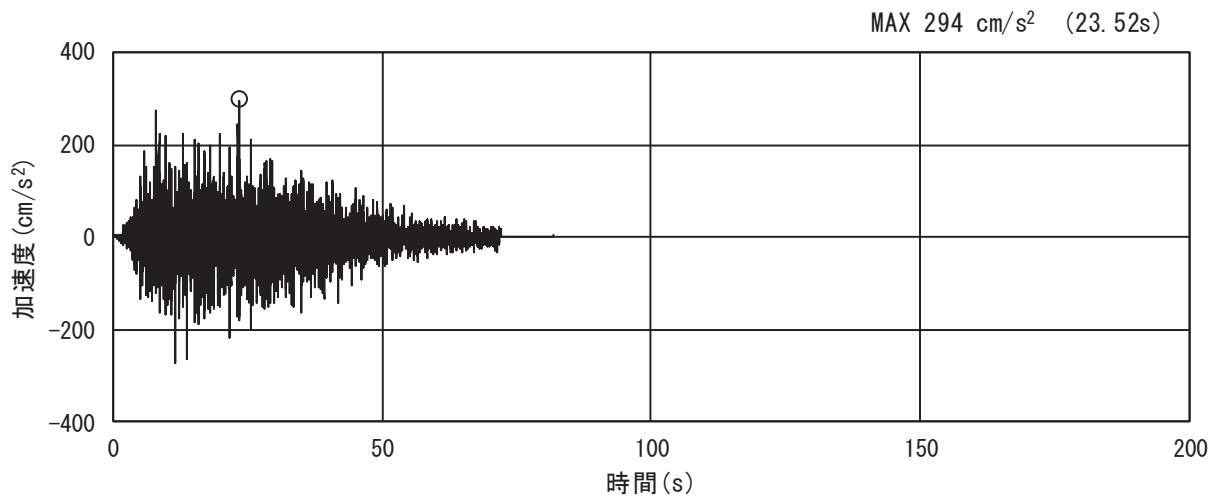


図 3.5-31 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

(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 3.5-36 に示す。

(a) 解析領域（断面①～断面⑥）

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が構造物及び地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987(社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会)を参考に、図 3.5-32 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、対象断面によって、地層形状に合わせてモデル化幅を調整する。

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

解析モデルの下端については、O.P. -90.0m までモデル化する。

2次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する 1次元地盤モデルである。2次元地震応答解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3.5-33 に示す。

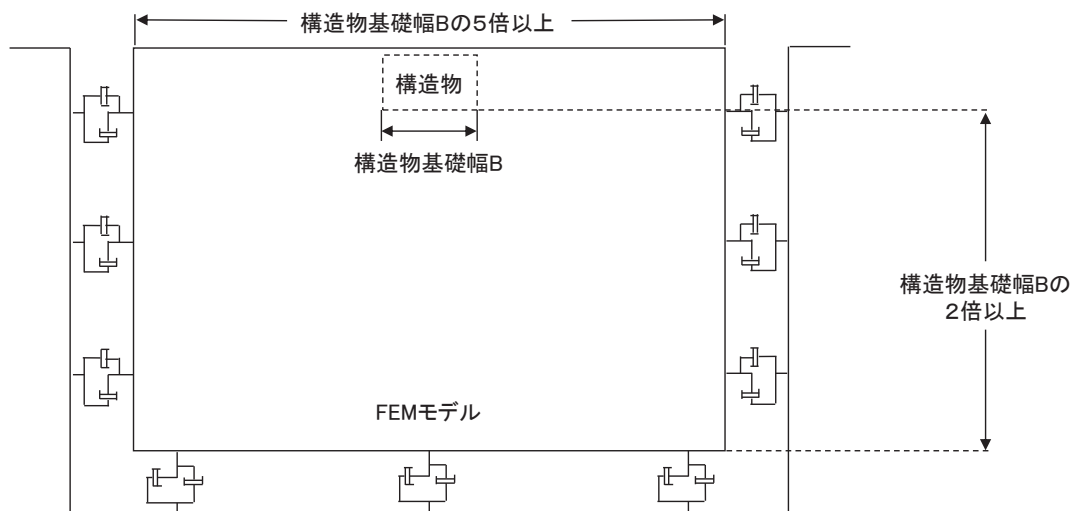


図 3.5-32 モデル化範囲の考え方

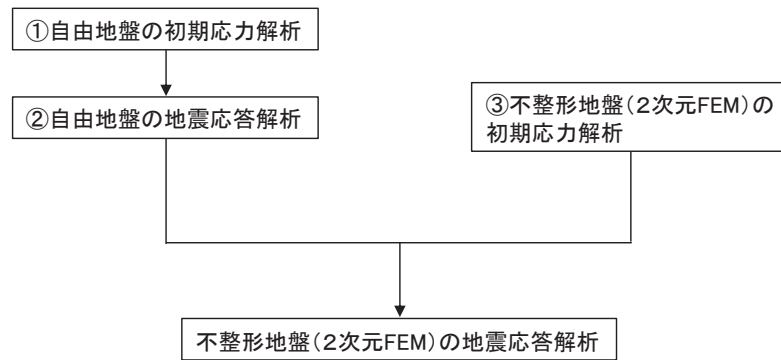


図 3.5-33 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

(b) 境界条件

イ. 固有値解析時

固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側面は実地盤が側方に連続していることを模擬するため水平ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.5-34 に示す。

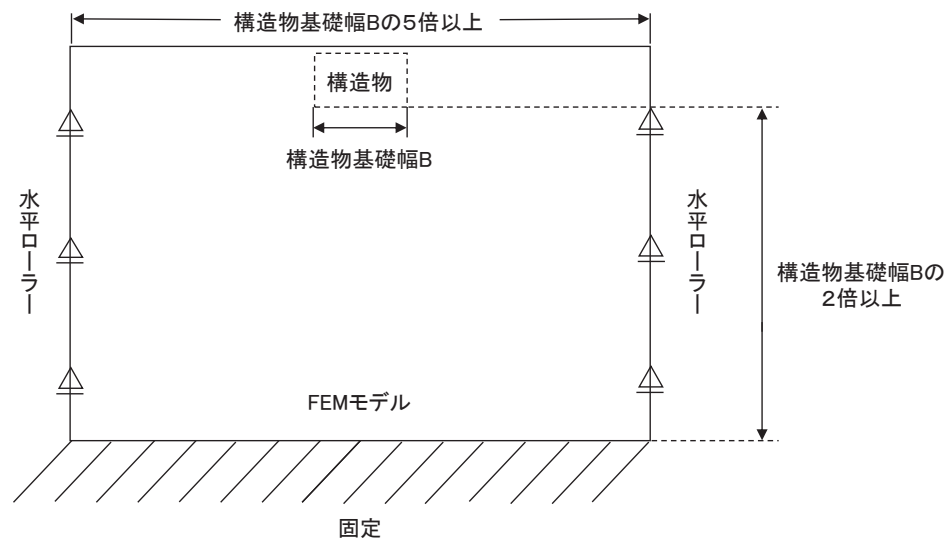


図 3.5-34 固有値解析における境界条件の概念図

ロ. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.5-35 に示す。

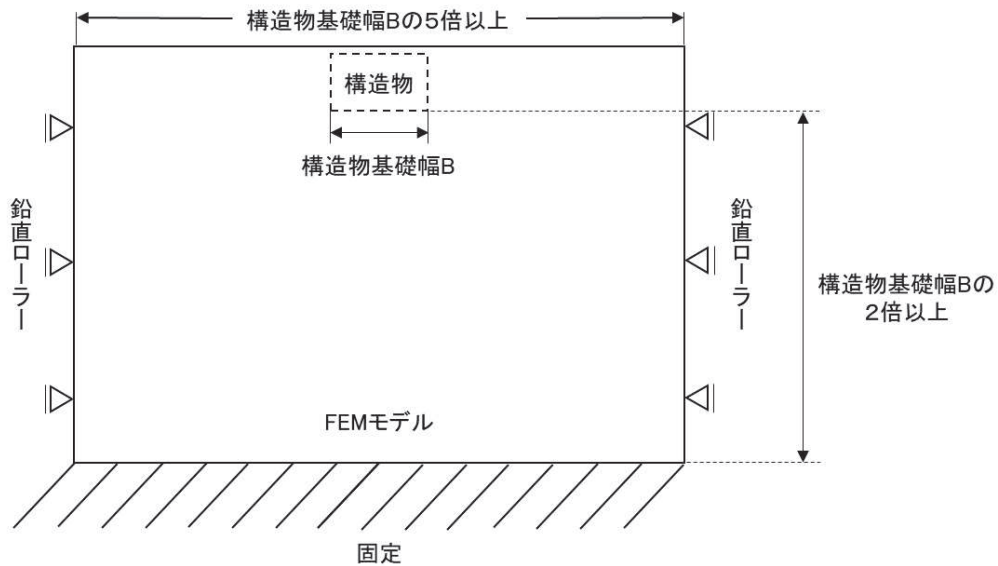


図 3.5-35 初期応力解析における境界条件の概念図

ハ. 地震応答解析時

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

(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

Ⅲ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Ⅳ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。また、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。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は前面の盛土斜面含む）の地盤沈下を考慮したモデル化とする。

なお、岩盤は砂岩でモデル化する。

(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。

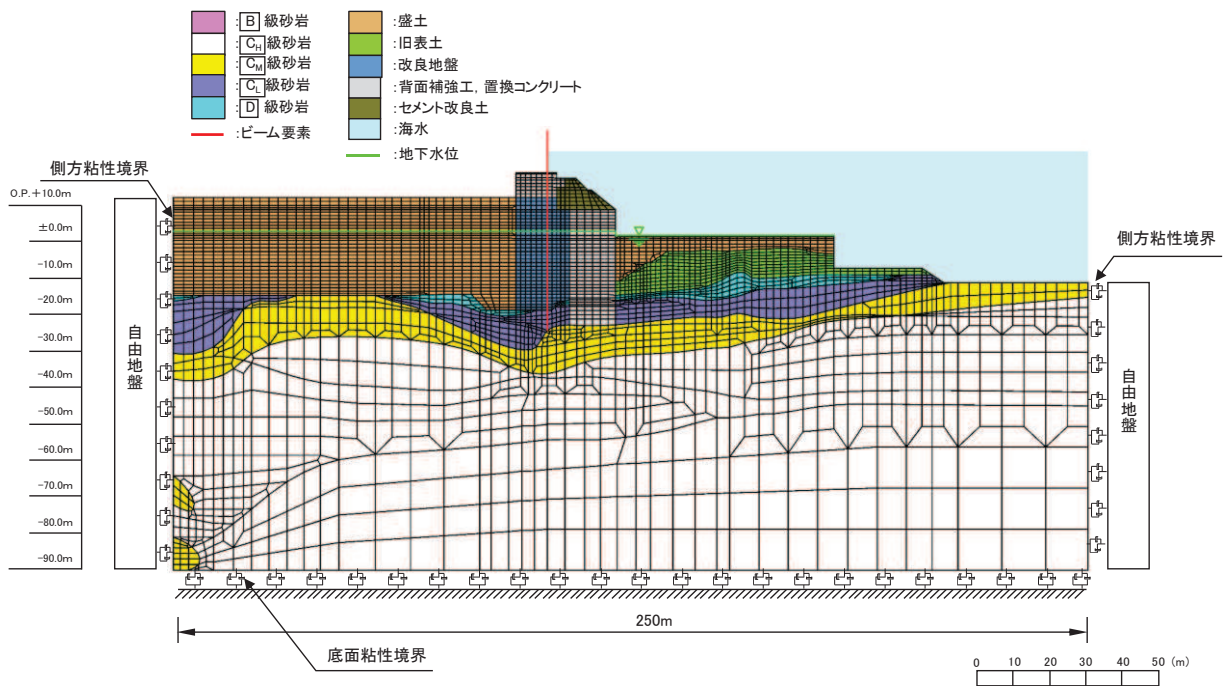


図 3.5-36 (1) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデル（一般部，断面①）

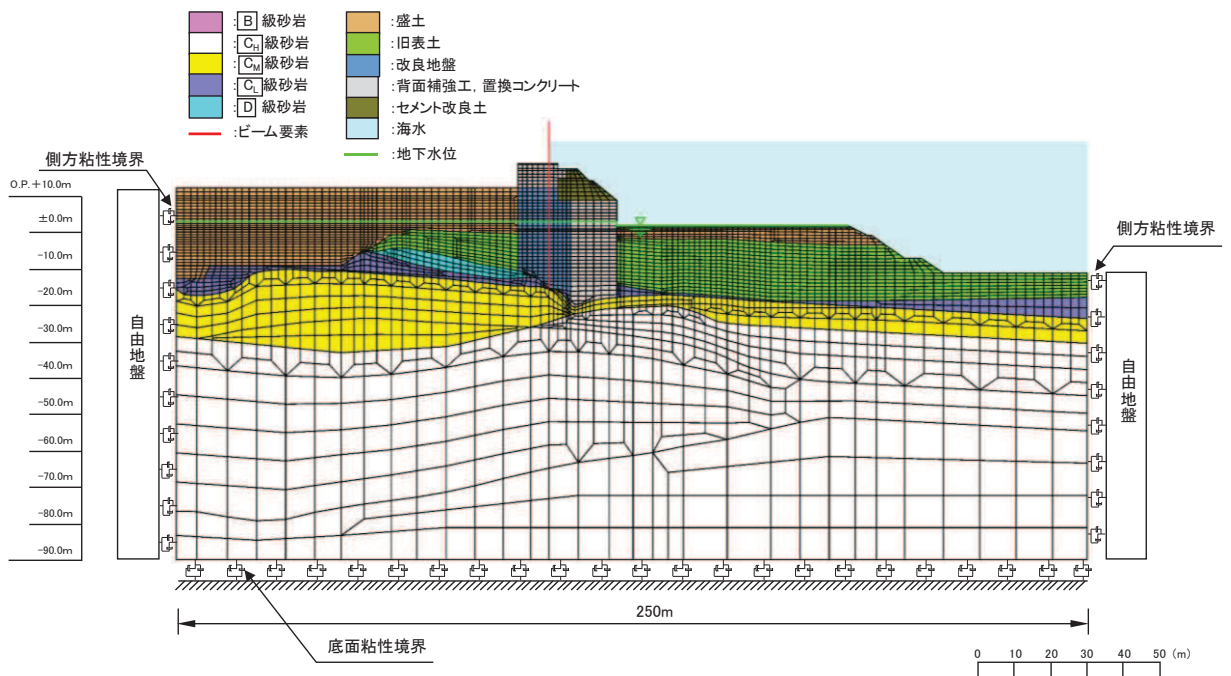


図 3.5-36 (2) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデル（一般部，断面②）

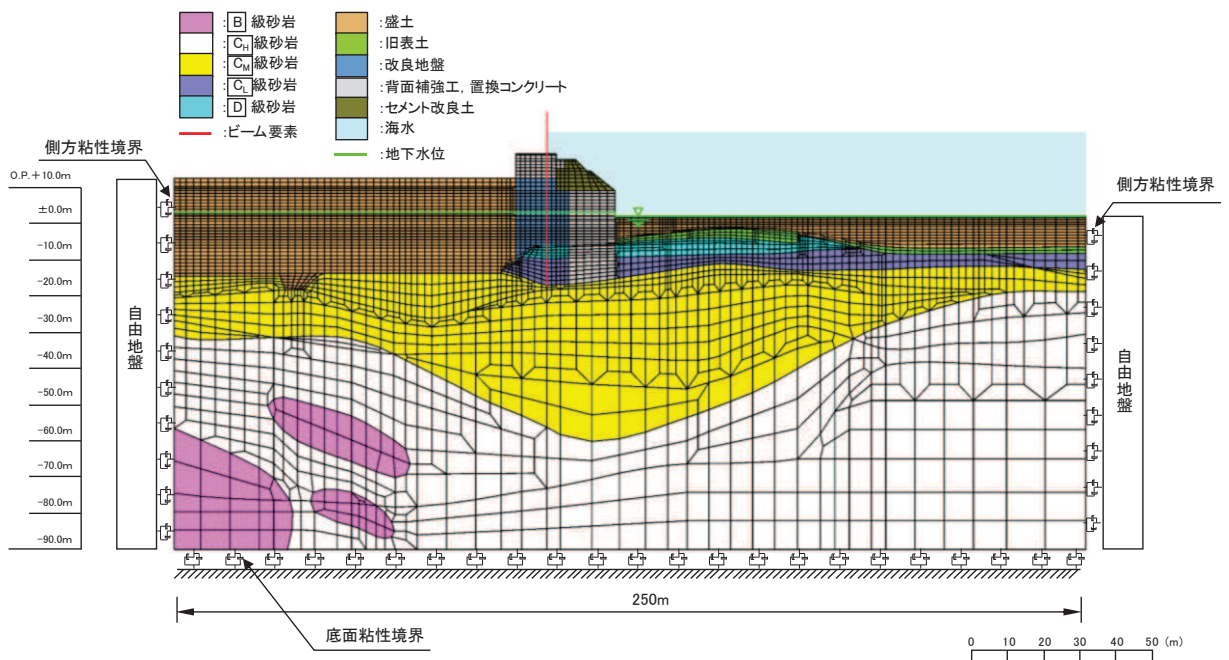


図 3.5-36 (3) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の解析モデル (一般部, 断面③)

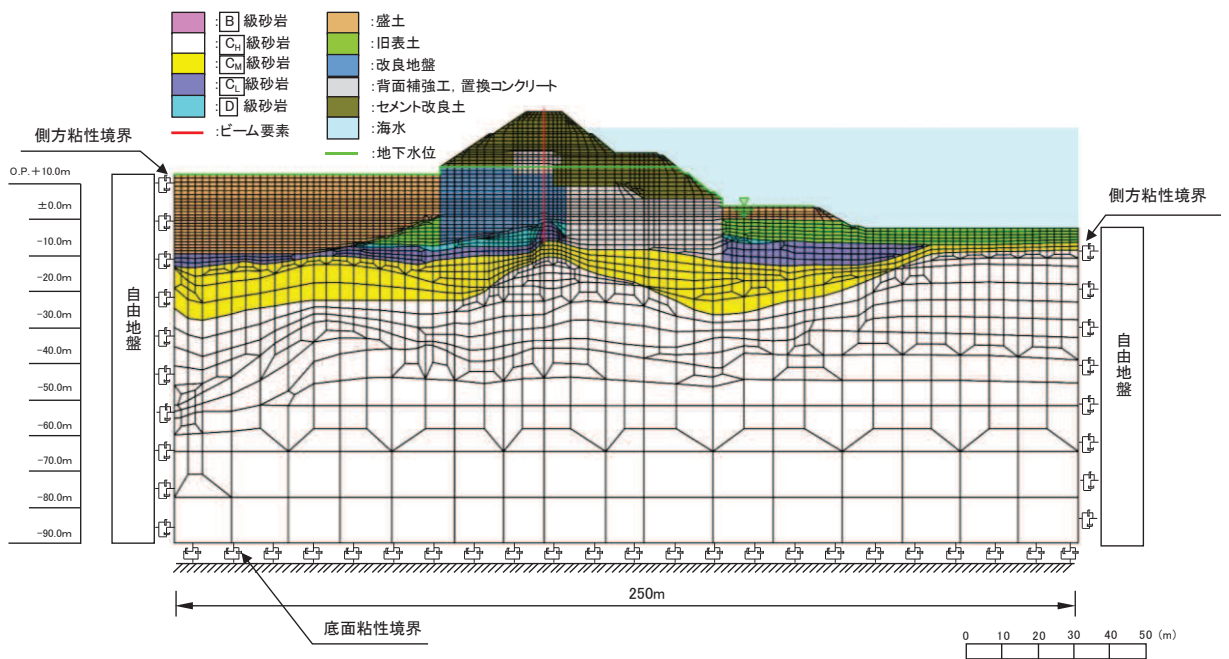


図 3.5-36 (4) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の解析モデル (一般部, 断面④)

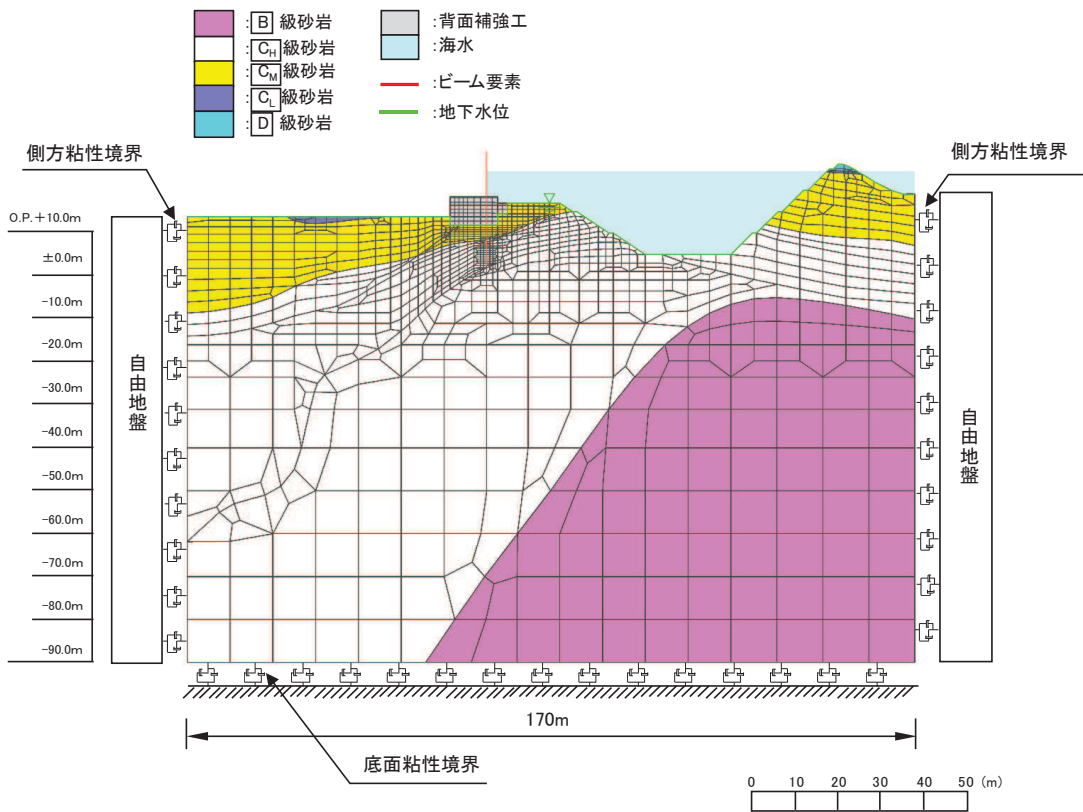


図 3.5-36 (5) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデル（岩盤部，断面⑤）

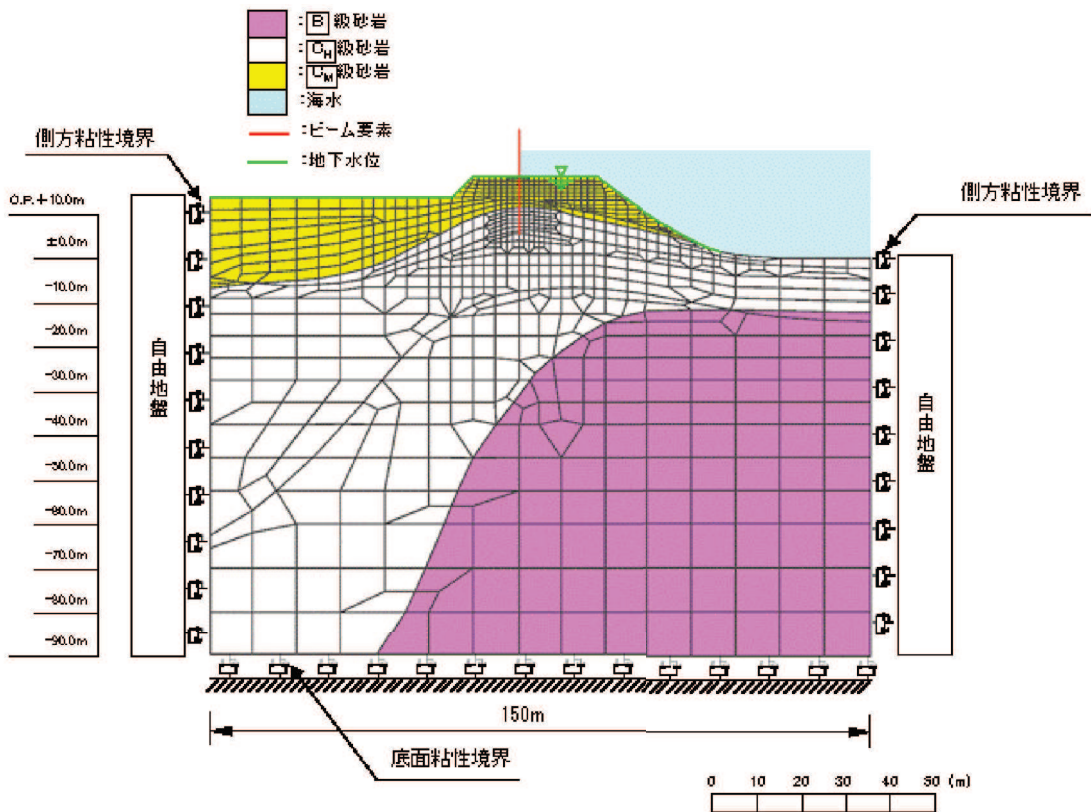


図 3.5-36 (6) 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の解析モデル（岩盤部，断面⑥）

(f) ジョイント要素の設定

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

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

ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。具体的には、背面補強工（コンクリート）と改良地盤の水平境界及びセメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。なお、背面補強工と改良地盤の境界は鋼管杭が貫いていることから、剥離を考慮した場合に鋼管杭に与える影響を確認するため、この箇所にジョイントを設定した場合の影響について参考資料 4 に示す。

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

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 3.5-37 にジョイント要素の力学特性、図 3.5-38 にジョイント要素の配置図を示す。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3.5-18～表 3.5-19 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 3.5-20 のとおり設定する。

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

ここで、

| | |
|----------|---------|
| τ_f | : せん断強度 |
| c | : 粘着力 |
| ϕ | : 内部摩擦角 |

表 3.5-18 (1) 周辺地盤との境界に用いる強度特性（狐崎部層）

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

注記*：砂岩

表 3.5-18 (2) 周辺地盤との境界に用いる強度特性（牧の浜部層）

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|-------------------|------------------------------|------------------|
| C _M 級* | 0.78 | 50.0 |
| C _H 級* | 1.29 | 54.0 |

注記*：砂岩

表 3.5-19 周辺地盤との境界に用いる強度特性（共通）

| 地盤 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (°) |
|------------------|------------------------------|------------------|
| 盛土* ¹ | 0.10 | 33.9 |
| 盛土* ² | 0.00 | 30.0 |
| 旧表土 | 0.00 | 26.2 |
| セメント改良土 | 0.65 | 44.3 |
| 改良地盤 | 1.39 | 22.1 |
| D級 | 0.10 | 24.0 |
| C _L 級 | 0.46 | 44.0 |

注記 *¹：地下水位以浅

*²：地下水位以深

表 3.5-20 要素間の粘着力と内部摩擦角

| 条件 | 粘着力 c (N/mm ²) | 内部摩擦角 ϕ (度) |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|
| 背面補強工-盛土 | 盛土の c | 盛土の ϕ |
| 改良地盤-盛土・旧表土 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 改良地盤-岩盤 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 置換コンクリート-岩盤 | 岩盤の c | 岩盤の ϕ |
| 置換コンクリート-盛土・旧表土 | 盛土・旧表土の c | 盛土・旧表土の ϕ |
| 改良地盤-セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 背面補強工-セメント改良土 | セメント改良土の c | セメント改良土の ϕ |
| 改良地盤-置換コンクリート | 改良地盤の c | 改良地盤の ϕ |

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009）に従い，表 3.5-21 のとおり設定する。

表 3.5-21 ジョイント要素のばね定数

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

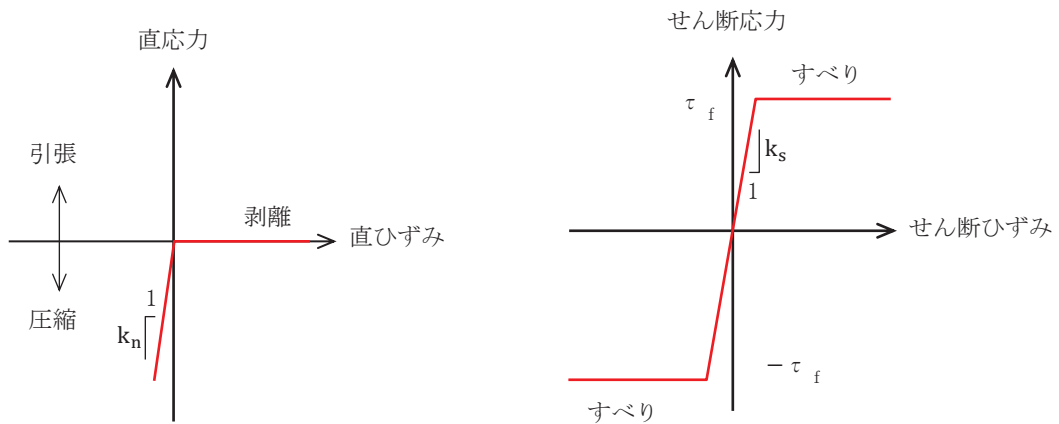


図 3.5-37 ジョイント要素の力学特性

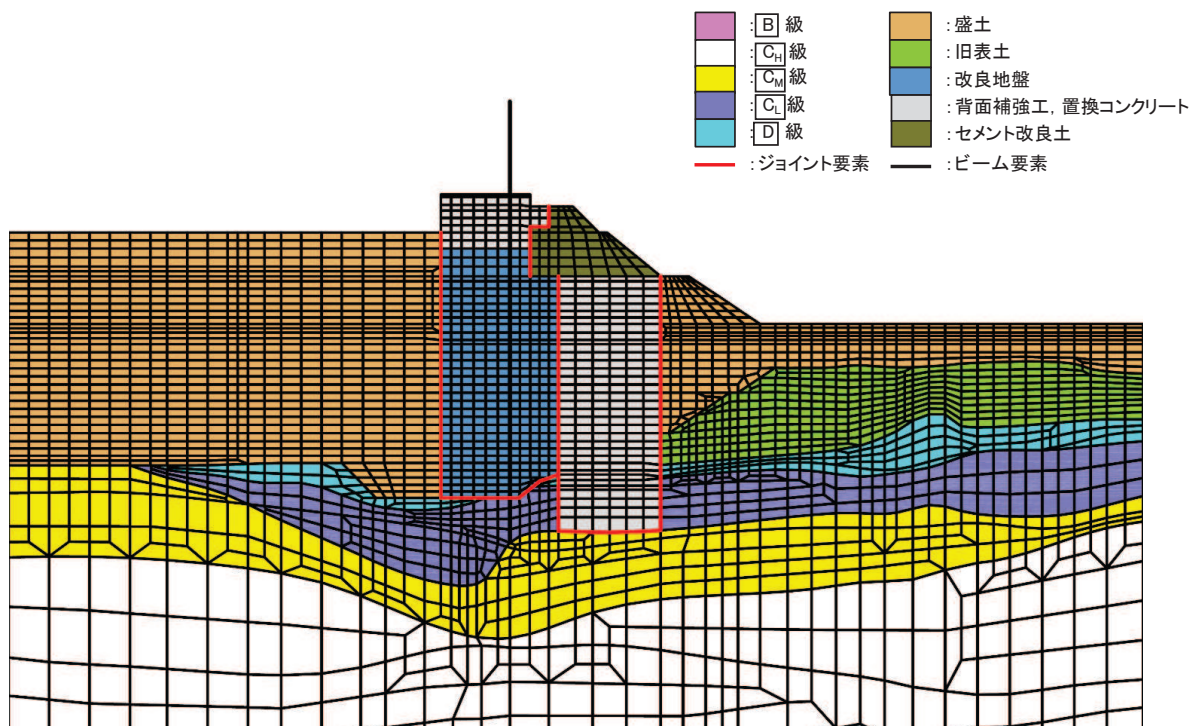


図 3.5-38 (1) 断面①におけるジョイント要素の配置図

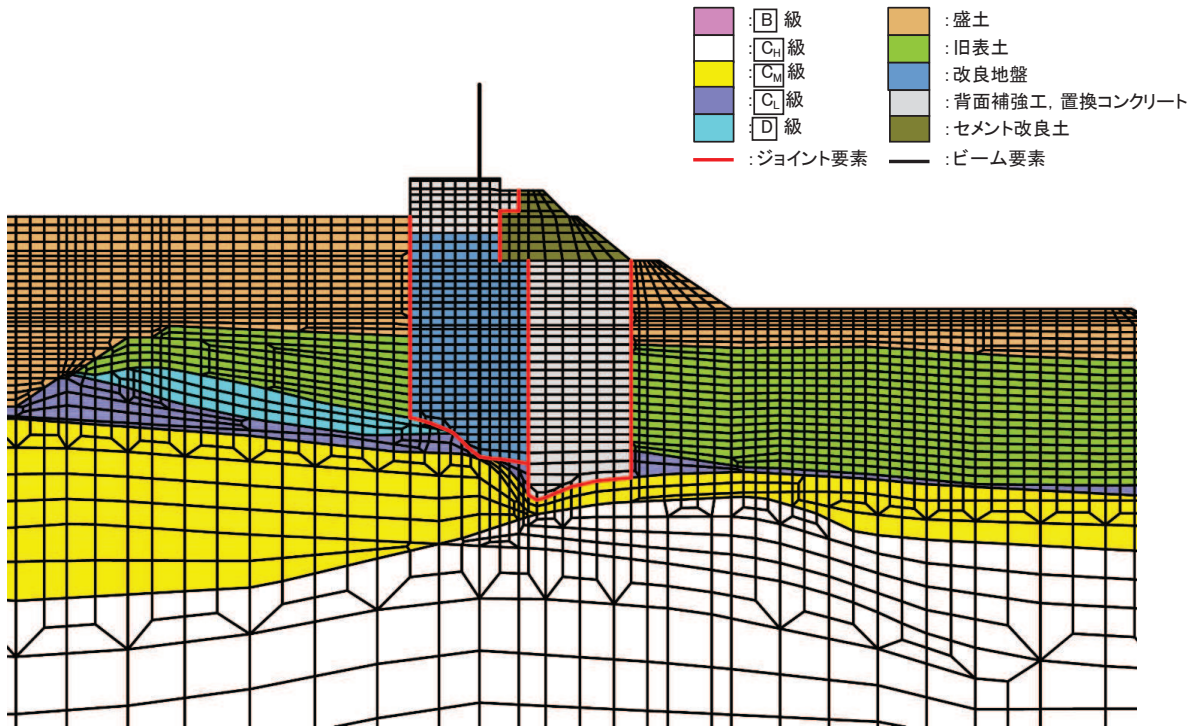


図 3.5-38 (2) 断面②におけるジョイント要素の配置図

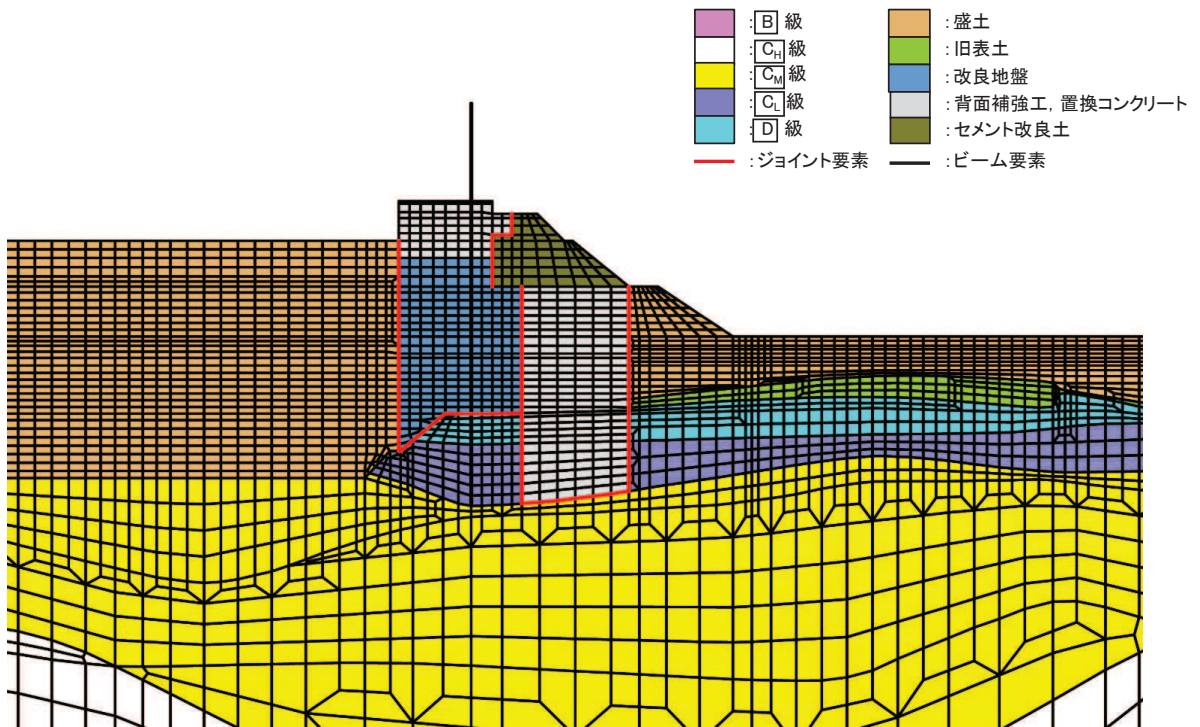


図 3.5-38 (3) 断面③におけるジョイント要素の配置図

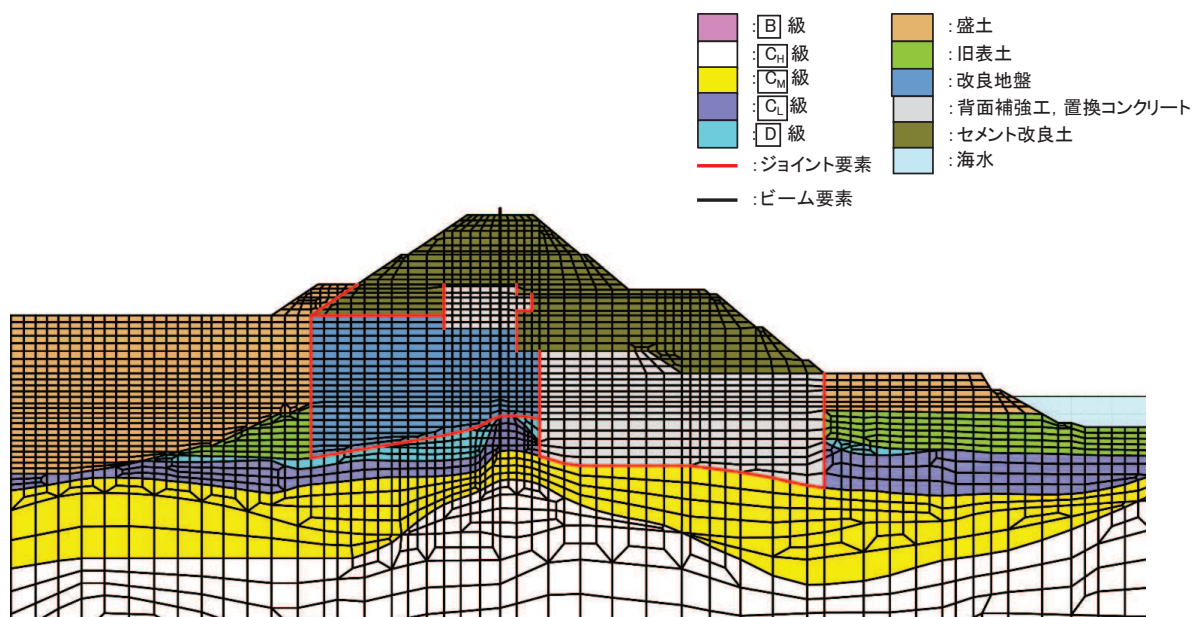


図 3.5-38 (4) 断面④におけるジョイント要素の配置図

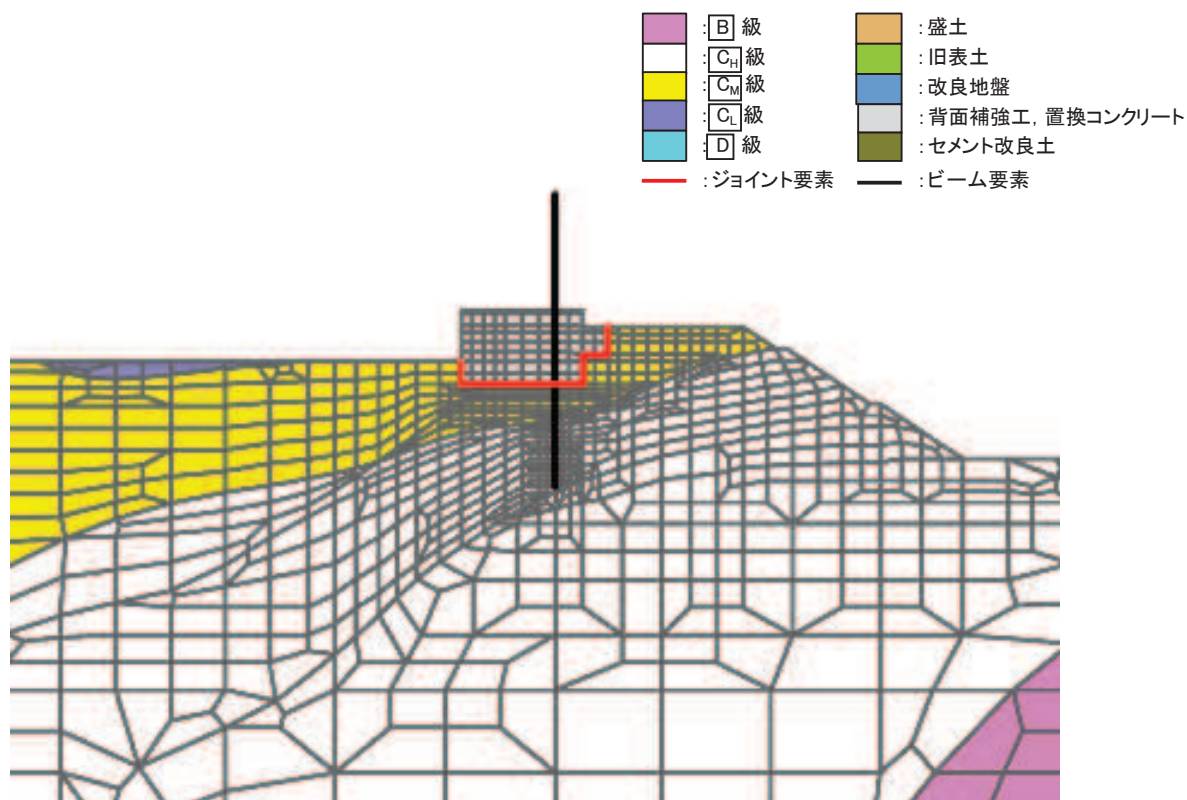


図 3.5-38 (5) 断面⑤におけるジョイント要素の配置図

b. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

c. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様である。

d. 地下水位

地下水位は、「3.5.1 津波時」と同様であり、図 3.5-36 のとおりである。

(4) 評価方法

a. 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

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} \pm \frac{M_1}{Z_1} \dots \dots \dots (3.22)$$

ここで、

σ_1 : 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 (N/mm²)

M_1 : 鋼管杭に発生する曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼管杭の断面係数 (mm³) *

N_1 : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A_1 : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記 * : 鋼管杭の外側 1mm 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。

$$\tau_1 = \kappa_1 \frac{S_1}{A_1} \dots \dots \dots (3.23)$$

ここで、

τ_1 : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm²)

S_1 : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)

A_1 : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

κ_1 : せん断応力の分布係数 (2.0)

注記 * : 鋼管杭の外側 1mm を腐食代として考慮する。

(c) 漂流物防護工による偏心荷重

漂流物防護工は、図 3.5-39 に示すとおり、鋼管杭（鋼製遮水壁）前面に張り出した構造となるため、設置による偏心の影響が考えられる。漂流物防護工及び鋼製遮水壁が取り付けられる鋼管杭が、直接偏心によるモーメントやねじり応力を受けることから、漂流物防護工が鋼管杭に与える偏心荷重及びその評価方法について、表 3.5-22 に示す。

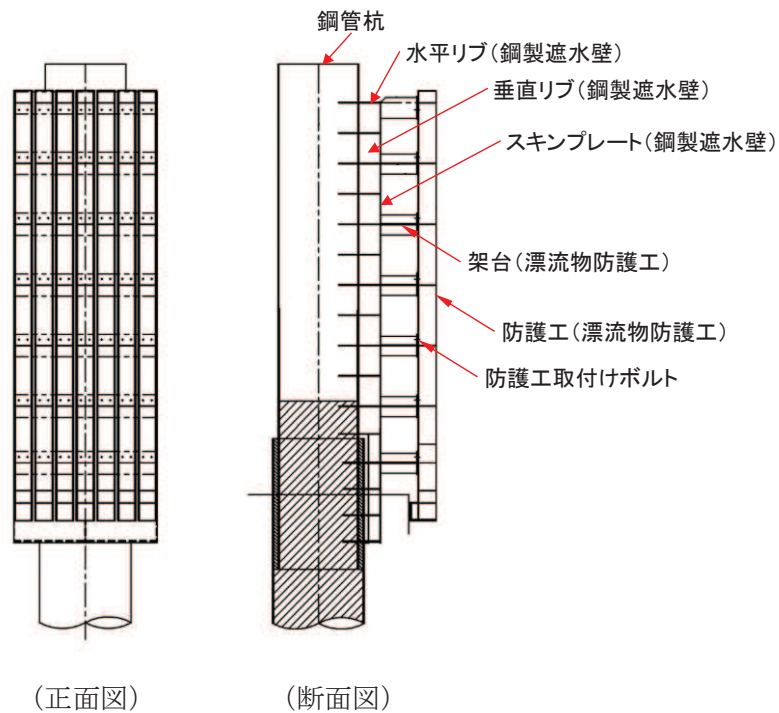
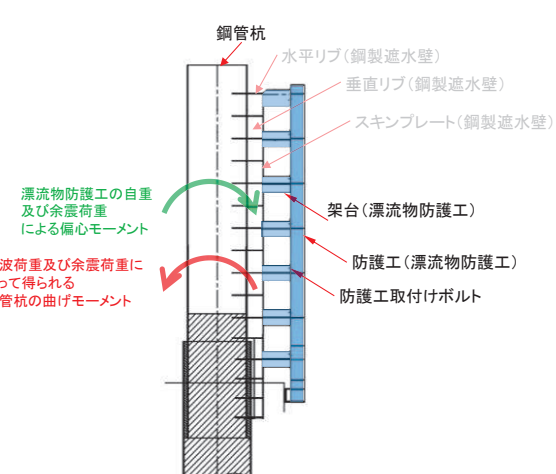
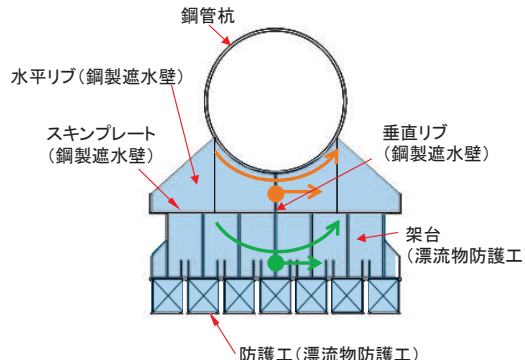


図 3.5-39 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図（正面図，断面図）

表 3.5-22 漂流物防護工による偏心荷重（重畳時）

| 鋼管杭に生じる応力 | |
|---|--|
| 偏心モーメント | ねじれ |
|  <ul style="list-style-type: none"> 漂流物防護工の自重及び余震荷重による偏心モーメント 津波荷重及び余震荷重によって得られる鋼管杭の曲げモーメント <ul style="list-style-type: none"> 鋼管杭に生じる重畳時の最大鉛直震度は $k_v=0.7$ であり、余震時に鋼管杭に作用する偏心モーメントは、常時に鋼管杭に生じる偏心モーメントよりも小さい。 そのため、鋼管杭に作用する偏心モーメントは海側方向（緑矢印）となる。 一方、重畳時に鋼管杭に生じる曲げモーメントは敷地側方向（赤矢印）であるため、偏心モーメントは曲げモーメントを打ち消す方向となる。 よって、重畳時に生じる偏心モーメントは保守的に考慮しない。 |  <ul style="list-style-type: none"> 漂流物防護工が張り出す方向と直交する方向の成分の加振（縦断方向加振）により、鋼管杭にねじれ応力が発生する（緑+橙矢印）。 水平加振により鋼管杭に生じるねじれの影響は、水平震度が大きい地震時で検討する。 |
| 鋼管杭に生じる相対変位 | |
| 汀線直交方向 | 汀線方向 |
| <ul style="list-style-type: none"> 隣り合う構造（鋼管杭+鋼製遮水壁+漂流物防護工）が同じであり、海側へ張り出す構造の汀線直交方向の相対変位への影響は小さい。 | <ul style="list-style-type: none"> 隣り合う構造（鋼管杭+鋼製遮水壁+漂流物防護工）が同じであり、海側へ張り出す構造の汀線方向の相対変位への影響は小さい。 |

b. 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁は、スキンプレート、垂直リブ及び水平リブで構成され、漂流物防護工は架台及び防護工で構成されている。防護工は架台に取り付けられており、架台はスキンプレートを挟んで水平リブと同じ高さに設置されている。鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図 3.5-40 に示す。

これらの各部材について、単純ばり又は片持ちばりでモデル化し、それぞれ許容限界以下であることを確認する。

余震荷重については、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価部材ごとにその自重を算定して設計用水平震度との積として設定する。設計水平震度については、重畳時の地震応答解析の結果に基づき、鋼製遮水壁及び漂流物防護工が設置される断面①～③、⑤及び⑥の鋼管杭に発生する最大水平加速度から以下の式により各断面の最大水平震度 k_h を算定した上で、保守的に設計水平震度を設定し、高さ方向に一律作用させることとする。

(水平震度算定式)

$$k_h = \frac{\alpha_{max}}{g} \dots \dots \dots (3.24)$$

α_{max} : 最大水平加速度 (m/s²)

g : 重力加速度 (m/s²)

また、動水圧については、重畳時の地震応答解析の結果に基づき、鋼製遮水壁及び漂流物防護工が設置される断面①～③、⑤及び⑥に作用する動水圧から保守的に設定し、高さ方向に一律作用させることとする。

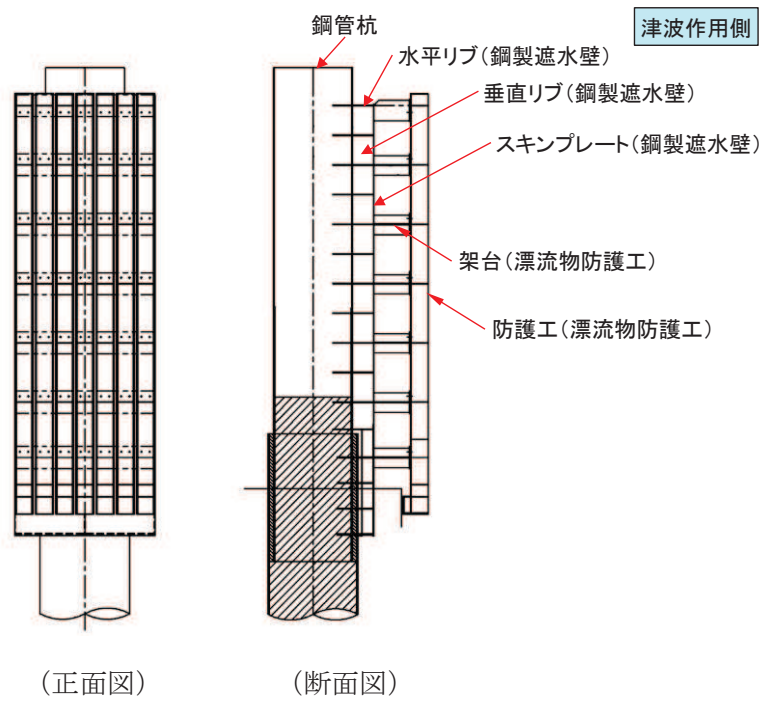


図 3.5-40(1) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (正面図, 断面図)

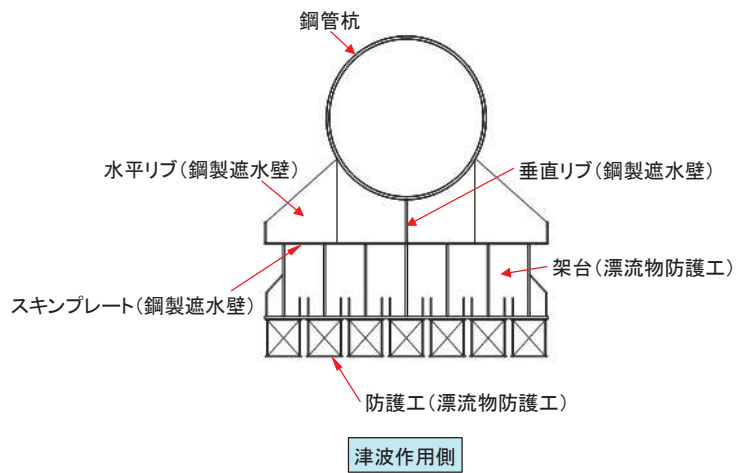


図 3.5-40(2) 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図 (平面図)

(a) スキンプレート

スキンプレートの照査方法を図 3.5-41 に示す。水平リブを支点とする単純ばりモデル化し、曲げモーメントを用いて次式により算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_2 = \frac{M_2}{Z_2} \dots \dots \dots (3.25)$$

$$M_2 = (P_2 + P_2' + P_2'') \frac{L^2}{8} \dots \dots \dots (3.26)$$

ここで、

- σ_2 : 曲げモーメントによるスキンプレートの発生応力度 (N/mm²)
- M_2 : スキンプレートに発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_2 : スキンプレートの断面係数 (mm³) *
- P_2 : スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 (kN/m)
- P_2' : スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 (kN/m)
- P_2'' : スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 (kN/m)
- L : 水平リブ間隔 (mm)

注記 * : スキンプレートの外側 1mm を腐食代として考慮する。

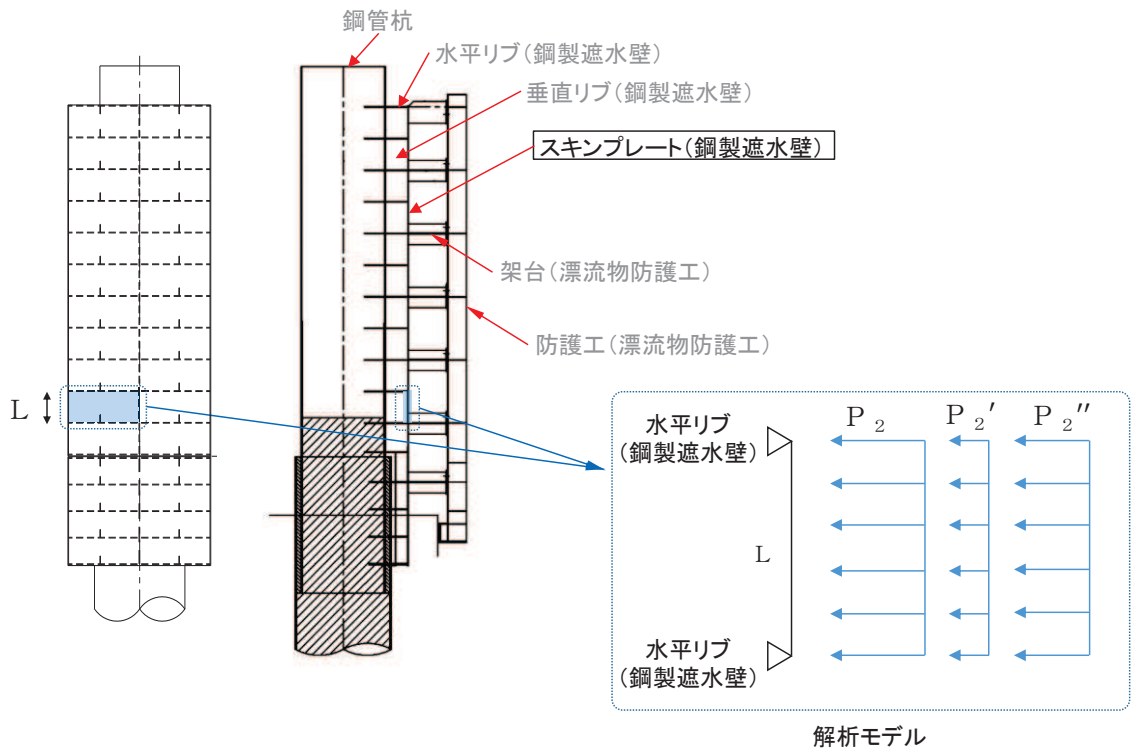


図 3.5-41 スキンプレートの照査概念図 (重畳時)

(b) 垂直リブ

垂直リブの照査方法を図 3.5-42 に示す。垂直リブに作用する軸力から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_3 = \frac{P}{t \cdot L} \quad \dots \dots \dots (3.27)$$

$$P = (P_3 + P_3' + P_3'') \cdot L \cdot B \quad \dots \dots \dots (3.28)$$

ここで、

- σ_3 : 垂直リブに発生する圧縮応力度 (N/mm²)
- P : 受圧面積に発生する水平荷重 (kN)
- t : 垂直リブの板厚 (mm)
- L : 水平リブ間隔 (mm)
- P₃ : 垂直リブに作用する津波波圧 (kN/m²)
- P₃' : 垂直リブに作用する地震慣性力 (kN/m²)
- P₃'' : 垂直リブに作用する動水圧 (kN/m²)
- B : 鋼製遮水壁の総幅 (m)

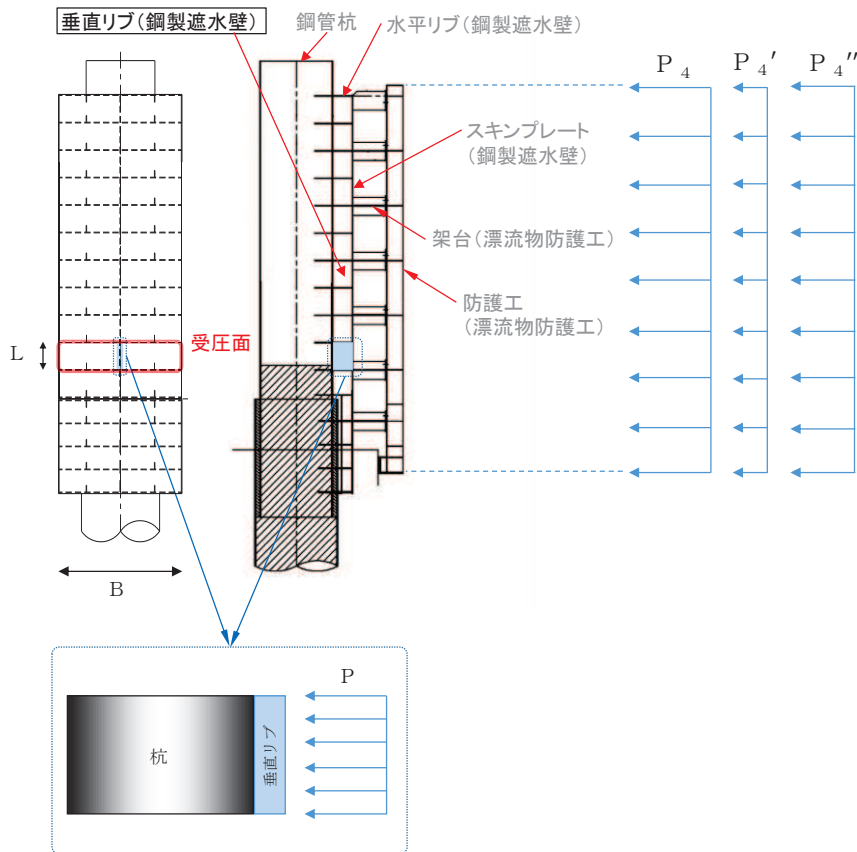


図 3.5-42 垂直リブの照査概念図 (重畳時)

(c) 水平リブ及び架台

水平リブ，スキンプレート及び架台を一つの充腹形断面とみなして，鋼管杭中心線上を固定支点とする片持ちばりでモデル化し，曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また，合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

水平リブ及び架台の照査方法を図 3.5-43 に示す。

曲げ応力照査（水平リブ）

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{Z_4} \dots \dots \dots (3.29)$$

$$M_4 = \frac{1}{2} (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.30)$$

せん断力照査（水平リブ）

$$\tau_4 = \frac{S_4}{A_w} \dots \dots \dots (3.31)$$

$$S_4 = (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.32)$$

合成応力照査（水平リブ）

$$\left(\frac{\sigma_4}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_4}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.33)$$

曲げ応力照査（架台）

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{Z_5} \dots \dots \dots (3.34)$$

$$M_5 = \frac{1}{2} (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b^2 \dots \dots \dots (3.35)$$

せん断力照査 (架台)

$$\tau_5 = \frac{S_5}{A_w} \dots \dots \dots (3.36)$$

$$S_5 = (P_4 + P_4' + P_4'') \cdot \ell \cdot b \dots \dots \dots (3.37)$$

合成応力照査 (架台)

$$\left(\frac{\sigma_5}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_5}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.38)$$

ここで,

- σ_4 : 曲げモーメントによる水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- M_4 : 水平リブに発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_4 : 水平リブの断面係数 (mm³) *1
- P_4 : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 (kN/m²)
- P_4' : 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 (kN/m²)
- P_4'' : 水平リブ及び架台に作用する動水圧 (kN/m²)
- τ_4 : せん断力による水平リブの発生応力度 (N/mm²)
- S_4 : 水平リブに発生するせん断力 (kN)
- σ_5 : 曲げモーメントによる架台の発生応力度 (N/mm²)
- M_5 : 架台に発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_5 : 架台の断面係数 (mm³) *1*2
- τ_5 : せん断力による架台の発生応力度 (N/mm²)
- S_5 : 架台に発生するせん断力 (kN)
- ℓ : 架台間隔 (mm)
- b : モーメントアーム長 (m)
- A_w : 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 (mm²) *2
- σ_{sa} : 短期許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_{sa} : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

注記 *1: 水平リブ及び架台の断面係数の算出方法は図 3.5-11 に示す。
 *2: 架台は腐食代 2mm を考慮する。

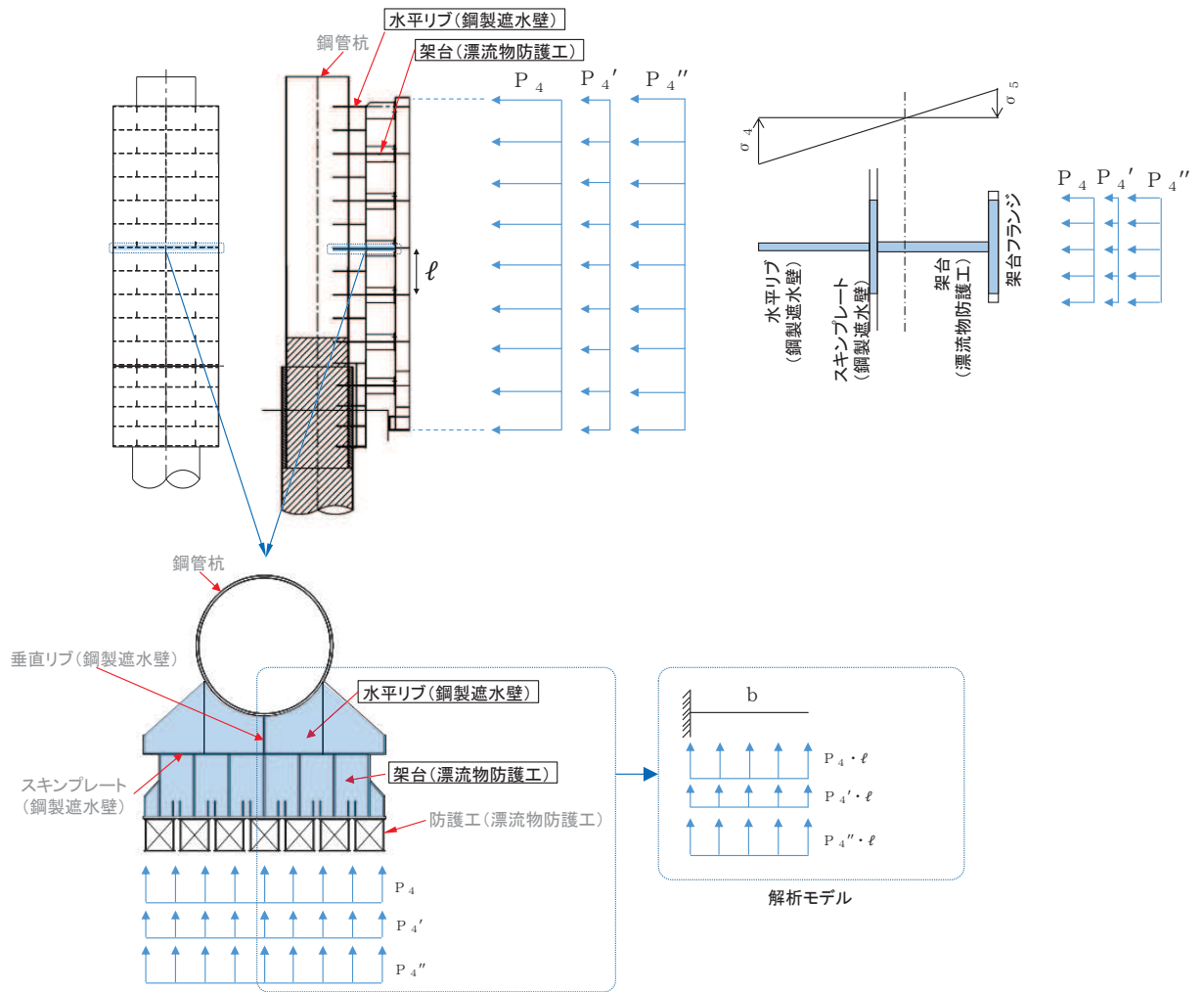


図 3.5-43 水平リブの照査概念図 (重畳時)

(d) 防護工

防護工の照査方法を図 3.5-44 に示す。防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、曲げモーメント及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。また、合成応力に対しても許容限界以下であることを確認する。

曲げ応力照査

$$\sigma_6 = \frac{M_6}{Z_6} \dots \dots \dots (3.39)$$

$$M_6 = (P_6 + P_6' + P_6'') \cdot b'' \cdot \frac{\ell^2}{8} \dots \dots \dots (3.40)$$

せん断力照査

$$\tau_6 = \frac{S_6}{A_{wc}} \dots \dots \dots (3.41)$$

$$S_6 = (P_6 + P_6' + P_6'') \cdot b'' \cdot \frac{\ell}{2} \dots \dots \dots (3.42)$$

合成応力照査

$$\left(\frac{\sigma_6}{\sigma_{sa}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_6}{\tau_{sa}} \right)^2 \leq 1.2 \dots \dots \dots (3.43)$$

ここで、

- σ_6 : 曲げモーメントによる防護工の発生応力度 (N/mm²)
- M_6 : 防護工に発生する曲げモーメント (kN・m)
- Z_6 : 防護工の断面係数 (mm³) *
- P_6 : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m²)
- P_6' : 防護工に作用する地震慣性力 (kN/m²)
- P_6'' : 防護工に作用する動水圧 (kN/m²)
- τ_6 : せん断力による防護工の発生応力度 (N/mm²)
- S_6 : 防護工に発生するせん断力 (kN)
- b'' : 防護工の幅 (m)
- A_{wc} : 防護工のせん断抵抗断面積 (mm²) *

注記 * : 防護工は外側 1mm を腐食代として考慮する。

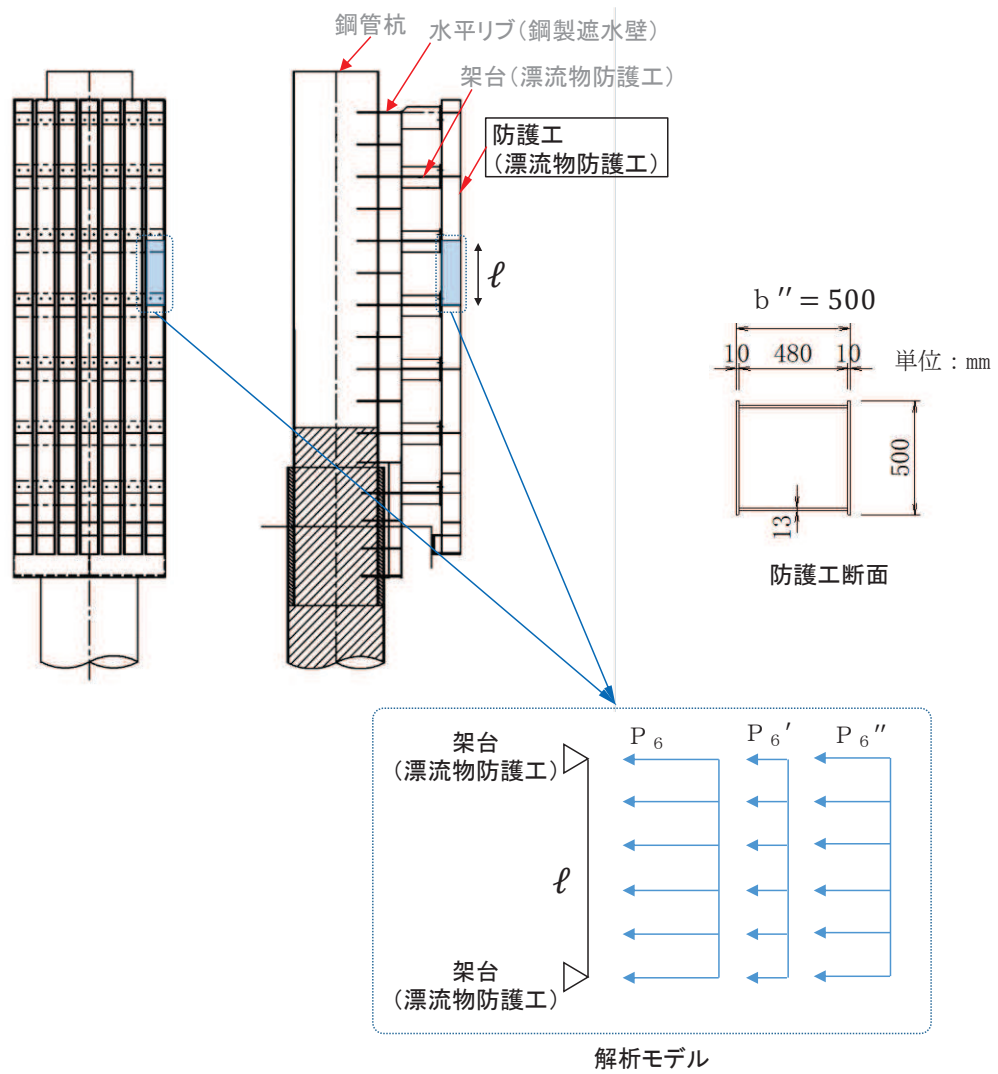


図 3.5-44 防護工の照査概念図 (重疊時)

- 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。
すべり安全率の算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。
- d. 置換コンクリート
置換コンクリートの評価は、置換コンクリート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。
すべり安全率の算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。
- e. 改良地盤
改良地盤の評価は、改良地盤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。
また、改良地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。
すべり安全率の算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。
- f. セメント改良土
セメント改良土の評価は、セメント改良土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。
また、セメント改良土の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1 σ 強度）についても実施する。その際の解析ケースはケース①（基本ケース）とする。
すべり安全率の算定フロー及び想定すべり線は、「3.5.1 津波時」と同様である。
- g. 止水ジョイント部材
止水ジョイント部材の重畳時の評価について、軸直交方向は、重畳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。
なお、軸方向に生じる相対変位は、余震荷重のみによって生じるが、余震荷重は地震荷重に包絡されることから、保守的に地震時で算出される相対変位を考慮し、残留変位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。
- h. 基礎地盤
重畳時における基礎地盤の支持性能に係る評価は、弾性設計用地震動 S d - D 2 を入力地震動とした 2 次元有効応力解析から求められる基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

3.6 評価条件

強度評価に用いる評価条件を表 3.6-1～表 3.6-12 に示す。

3.6.1 津波時

表 3.6-1 強度評価に用いる条件（断面①）

| 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 ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数（2.0） | 2.0 | — |
| Z ₂ | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P ₂ | 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 ₃ | 垂直リブに作用する津波波圧 | 168.1 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z ₄ | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z ₅ | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P ₄ | 水平リブに作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| P ₅ | 架台に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| ℓ | 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 _w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z ₆ | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P ₆ | 防護工に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A _{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-2 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 ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z ₂ | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P ₂ | 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 ₃ | 垂直リブに作用する津波波圧 | 168.1 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z ₄ | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z ₅ | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P ₄ | 水平リブに作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| P ₅ | 架台に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| ℓ | 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 _w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z ₆ | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P ₆ | 防護工に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A _{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-3 強度評価に用いる条件 (断面③)

| 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 ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z ₂ | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P ₂ | 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 ₃ | 垂直リブに作用する津波波圧 | 168.1 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z ₄ | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z ₅ | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P ₄ | 水平リブに作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| P ₅ | 架台に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| ℓ | 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 _w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z ₆ | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P ₆ | 防護工に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A _{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-4 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 ² |
| P _t | 遡上津波荷重 (O.P. +18.5m) | 189.4 | kN/m ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |

表 3.6-5 強度評価に用いる条件 (断面⑤)

| 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 ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z ₂ | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P ₂ | 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 ₃ | 垂直リブに作用する津波波圧 | 168.1 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z ₄ | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z ₅ | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P ₄ | 水平リブに作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| P ₅ | 架台に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| ℓ | 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 _w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z ₆ | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P ₆ | 防護工に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A _{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-6 強度評価に用いる条件 (断面⑥)

| 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 ² |
| P _c | 衝突荷重 | 2000 | kN |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z ₂ | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P ₂ | 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 ₃ | 垂直リブに作用する津波波圧 | 168.1 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z ₄ | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z ₅ | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P ₄ | 水平リブに作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| P ₅ | 架台に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| ℓ | 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 _w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z ₆ | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P ₆ | 防護工に作用する津波波圧 | 135.3 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A _{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

3.6.2 重畳時

表 3.6-7(1) 強度評価に用いる条件 (断面①)

| 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 ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z_2 | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P_2 | スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 | 210 | kN/m |
| P_2' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 | 21 | kN/m |
| P_2'' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 | 100 | kN/m |
| L | 水平リブ間隔 | 811 | mm |
| P_3 | 垂直リブに作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_3' | 垂直リブに作用する地震慣性力 | 21 | kN/m ² |
| P_3'' | 垂直リブに作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z_4 | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z_5 | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P_4 | 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_4' | 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 | 112 | kN/m ² |
| P_4'' | 水平リブ及び架台に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| ℓ | 架台間隔 | 1622 | mm |
| b | モーメントアーム長 | 2.0 | m |
| A_w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z_6 | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P_6 | 防護工に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_6' | 防護工に作用する地震慣性力 | 35 | kN/m ² |
| P_6'' | 防護工に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |

表 3.6-7(2) 強度評価に用いる条件 (断面①)

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------|--------------|-------|-----------------|
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A_{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-8(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 ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z_2 | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P_2 | スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 | 210 | kN/m |
| P_2' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 | 21 | kN/m |
| P_2'' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 | 100 | kN/m |
| L | 水平リブ間隔 | 811 | mm |
| P_3 | 垂直リブに作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_3' | 垂直リブに作用する地震慣性力 | 21 | kN/m ² |
| P_3'' | 垂直リブに作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z_4 | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z_5 | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P_4 | 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_4' | 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 | 112 | kN/m ² |
| P_4'' | 水平リブ及び架台に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| ℓ | 架台間隔 | 1622 | mm |
| b | モーメントアーム長 | 2.0 | m |
| A_w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z_6 | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P_6 | 防護工に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_6' | 防護工に作用する地震慣性力 | 35 | kN/m ² |
| P_6'' | 防護工に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |

表 3.6-8(2) 強度評価に用いる条件 (断面②)

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------|--------------|-------|-----------------|
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A_{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-9(1) 強度評価に用いる条件 (断面③)

| 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 ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数 (2.0) | 2.0 | — |
| Z_2 | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P_2 | スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 | 210 | kN/m |
| P_2' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 | 21 | kN/m |
| P_2'' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 | 100 | kN/m |
| L | 水平リブ間隔 | 811 | mm |
| P_3 | 垂直リブに作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_3' | 垂直リブに作用する地震慣性力 | 21 | kN/m ² |
| P_3'' | 垂直リブに作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z_4 | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z_5 | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P_4 | 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_4' | 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 | 112 | kN/m ² |
| P_4'' | 水平リブ及び架台に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| ℓ | 架台間隔 | 1622 | mm |
| b | モーメントアーム長 | 2.0 | m |
| A_w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z_6 | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P_6 | 防護工に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_6' | 防護工に作用する地震慣性力 | 35 | kN/m ² |
| P_6'' | 防護工に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |

表 3.6-9(2) 強度評価に用いる条件 (断面③)

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------|--------------|-------|-----------------|
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A_{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-10 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 ² |
| P _t | 遡上津波荷重（O.P.+18.5m） | 189.4 | kN/m ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数（2.0） | 2.0 | — |

表 3.6-11 強度評価に用いる条件（断面⑤）

| 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 ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数（2.0） | 2.0 | — |
| Z_2 | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P_2 | スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 | 210 | kN/m |
| P_2' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 | 21 | kN/m |
| P_2'' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 | 100 | kN/m |
| L | 水平リブ間隔 | 811 | mm |
| P_3 | 垂直リブに作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_3' | 垂直リブに作用する地震慣性力 | 21 | kN/m ² |
| P_3'' | 垂直リブに作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z_4 | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z_5 | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P_4 | 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_4' | 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 | 112 | kN/m ² |
| P_4'' | 水平リブ及び架台に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| ℓ | 架台間隔 | 1622 | mm |
| b | モーメントアーム長 | 2.0 | m |
| A_w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z_6 | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P_6 | 防護工に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_6' | 防護工に作用する地震慣性力 | 35 | kN/m ² |
| P_6'' | 防護工に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A_{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

表 3.6-12 強度評価に用いる条件（断面⑥）

| 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 ² |
| γ_w | 海水の単位体積重量 | 10.1 | kN/m ³ |
| ρ | 海水の密度 | 1030 | kg/m ³ |
| κ_1 | せん断応力の分布係数（2.0） | 2.0 | — |
| Z_2 | スキンプレートの断面係数 | 96000 | mm ³ |
| P_2 | スキンプレートに作用する単位幅あたりの津波波圧 | 210 | kN/m |
| P_2' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの地震慣性力 | 21 | kN/m |
| P_2'' | スキンプレートに作用する単位幅あたりの動水圧 | 100 | kN/m |
| L | 水平リブ間隔 | 811 | mm |
| P_3 | 垂直リブに作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_3' | 垂直リブに作用する地震慣性力 | 21 | kN/m ² |
| P_3'' | 垂直リブに作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| t | 垂直リブの板厚 | 20 | mm |
| B | 鋼製遮水壁の総幅 | 4.0 | m |
| Z_4 | 水平リブの断面係数 | 17870000 | mm ³ |
| Z_5 | 架台の断面係数 | 23390000 | mm ³ |
| P_4 | 水平リブ及び架台に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_4' | 水平リブ及び架台に作用する地震慣性力 | 112 | kN/m ² |
| P_4'' | 水平リブ及び架台に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| ℓ | 架台間隔 | 1622 | mm |
| b | モーメントアーム長 | 2.0 | m |
| A_w | 水平リブ及び架台のせん断抵抗断面積 | 36200 | mm ² |
| Z_6 | 防護工の断面係数 | 3041000 | mm ³ |
| P_6 | 防護工に作用する津波波圧 | 210 | kN/m ² |
| P_6' | 防護工に作用する地震慣性力 | 35 | kN/m ² |
| P_6'' | 防護工に作用する動水圧 | 100 | kN/m ² |
| b'' | 防護工の幅 | 0.5 | m |
| A_{wc} | 防護工のせん断抵抗断面積 | 11520 | mm ² |

4. 評価結果

4.1 津波時

4.1.1 解析結果

解析結果として「断面力分布図」, 「最大せん断ひずみ分布」, 「過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお, 断面力分布について, 鋼管杭は杭1本あたり, RC 遮水壁は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

(1) 解析ケースと照査値

解析ケースはケース①～③を実施する。

a. 断面①

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-1 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.1-2 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-2 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.1-3 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-3 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 12.2 | 12.2 | 12.2 |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.1-4 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-4 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 26.0 | 26.8 | 24.6 |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.1-5 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-5 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|-----|-----|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 4.2 | 3.9 | 4.7 |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-6 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-6 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 42.1 | 40.7 | 43.9 |

b. 断面②

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-7 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-7 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.1-8 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-8 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.1-9 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-9 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 12.2 | 12.1 | 12.2 |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.1-10 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-10 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 26.0 | 27.2 | 24.7 |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.1-11 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-11 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|-----|-----|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 5.0 | 4.9 | 5.1 |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-12 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-12 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面②)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 42.7 | 41.3 | 44.1 |

c. 断面③

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-13 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-13 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値 (断面③)

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.1-14 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-14 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値 (断面③)

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.1-15 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-15 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面③)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 12.2 | 12.2 | 12.2 |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.1-16 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-16 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 19.4 | 19.6 | 19.3 |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.1-17 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-17 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|-----|-----|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 4.8 | 4.4 | 4.9 |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-18 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-18 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 40.0 | 38.6 | 42.2 |

d. 断面④

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-19 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-19 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4. 1-20 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4. 1-20 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値 (断面④)

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4. 1-21 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4. 1-21 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面④)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 23.7 | 23.6 | 23.4 |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4. 1-22 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4. 1-22 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面④)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 36.6 | 36.8 | 36.5 |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4. 1-23 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4. 1-23 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面④)

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|-----|-----|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 7.9 | 7.7 | 8.2 |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.1-24 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-24 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 10.2 | 10.0 | 10.4 |

e. 断面⑤

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-25 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-25 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.66 | 0.66 | 0.66 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.1-26 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-26 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.1-27 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-27 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 解析ケース | すべり安全率照査 | | |
|-------|----------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 11.8 | 11.8 | 11.8 |

f. 断面⑥

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.1-28 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-28 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑥）

| 解析ケース | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------|-----------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.1-29 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1-29 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑥）

| 解析ケース | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------|-------------|------|------|
| | ① | ② | ③ |
| 津波時 | 0.40 | 0.41 | 0.38 |

(2) 断面力分布（鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

断面照査に用いた断面諸元を表 4. 1-30 に、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 4. 1-31 に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図 4. 1-1 に示す。

表 4. 1-30 鋼管杭断面諸元（断面①～断面⑥）

| 杭種 | | 設置標高 | | 板厚*2 (mm) | 断面積 (mm ²) | 断面係数 (mm ³) | |
|----|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| A | 鋼管杭 (上杭) φ 2200 | SKK490 (t=25mm) | 0. P. +30. 0m*1～ 0. P. +23. 5m | 24 | 1. 639×10 ⁵ | 8. 813×10 ⁷ | |
| B | | SM570 (t=40mm) | 0. P. +23. 5m～ 0. P. +21. 0m | 39 | 2. 645×10 ⁵ | 1. 403×10 ⁸ | |
| | 0. P. +21. 0m～ 0. P. +20. 0m | | | | | | |
| C | 鋼管杭 (下杭) φ 2500 | SM570 (t=35mm) | 長杭 | 0. P. +20. 0m～ 0. P. ±0. 0m | 34 | 2. 632×10 ⁵ | 1. 599×10 ⁸ |
| | | | 短杭 断面⑤ | 0. P. +20. 0m～ 0. P. +5. 0m | | | |
| | | | 断面⑥ | 0. P. +20. 0m ～ +8. 0m | | | |
| D | 鋼管杭 (下杭) φ 2500 | SKK490 (t=25mm) | 長杭 | 0. P. ±0. 0m～ 杭下端 | 24 | 1. 865×10 ⁵ | 1. 143×10 ⁸ |
| | | | 短杭 断面⑤ | 0. P. +5. 0m～ 0. P. +2. 5m | | | |
| | | | 断面⑥ | 0. P. +8. 0m ～ +5. 5m | | | |

注記 *1：岩盤部（断面⑤及び断面⑥）は 0. P. +29. 0m。

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査において，腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 4. 1-31 (1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値（断面①）

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | ② | 40998 | 1182 | 261 | 382 | 0. 69 |

表 4.1-31(2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面②)

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | ② | 41017 | 1180 | 261 | 382 | 0.69 |

表 4.1-31(3) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面③)

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | ② | 40978 | 1183 | 261 | 382 | 0.69 |

表 4.1-31(4) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面④)

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| D | ③ | 106 | 3334 | 19 | 277 | 0.07 |

表 4.1-31(5) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | ①②③* | 39164 | 1167 | 250 | 382 | 0.66 |

注記 * : 解析ケース①～③において、発生断面力は同値である。

表 4.1-31(6) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 杭種 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | ③ | 39907 | 1167 | 255 | 382 | 0.67 |

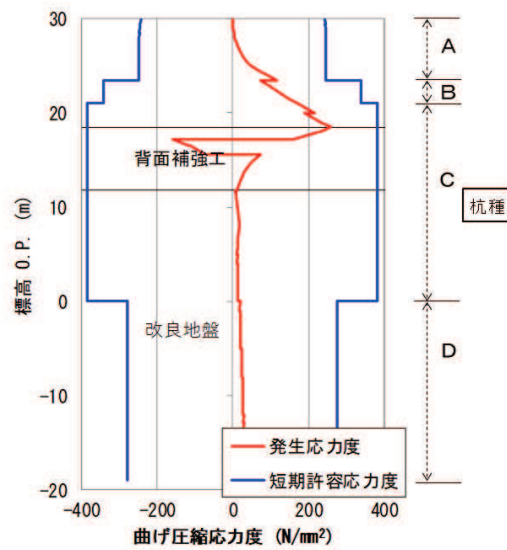
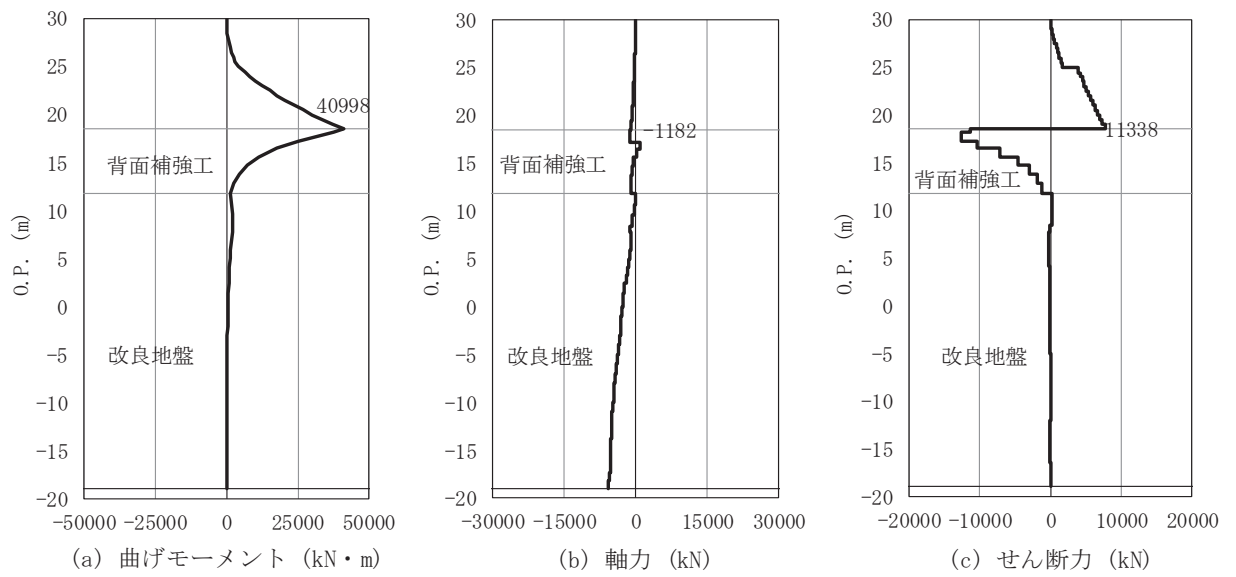


図 4.1-1(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面①)
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

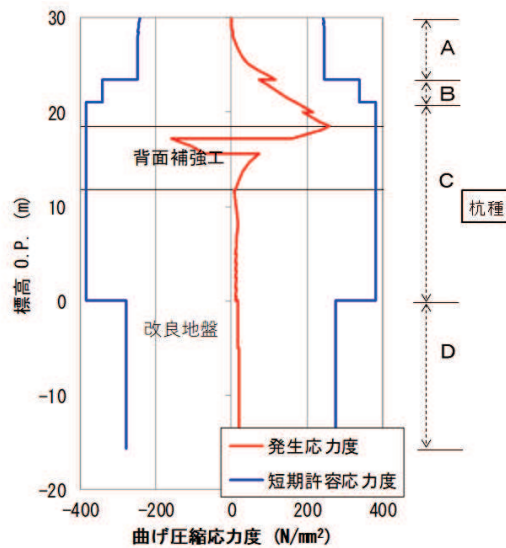
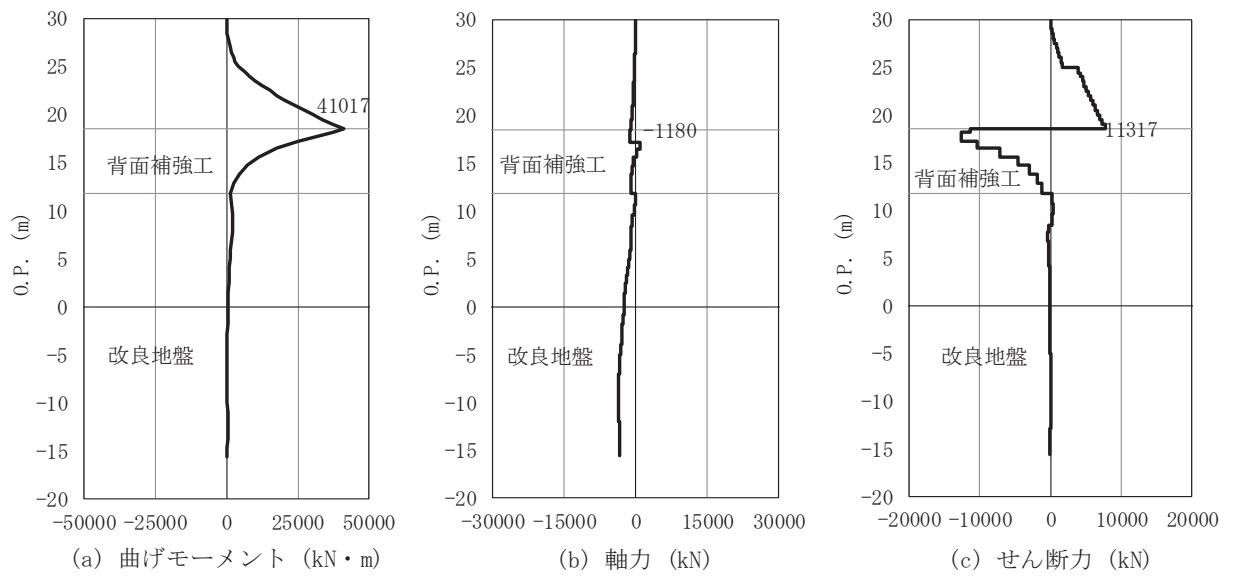


図 4.1-1(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面②)
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

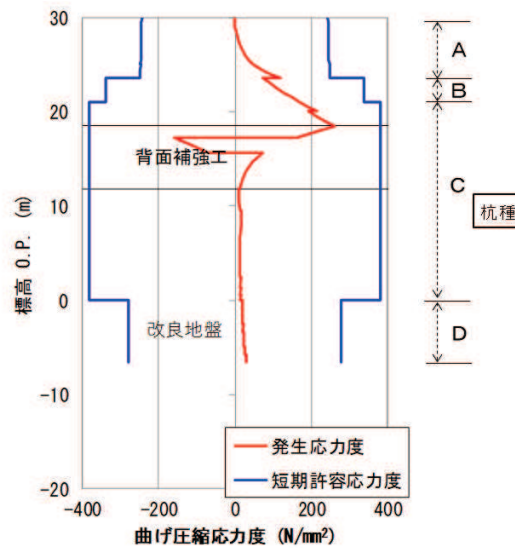
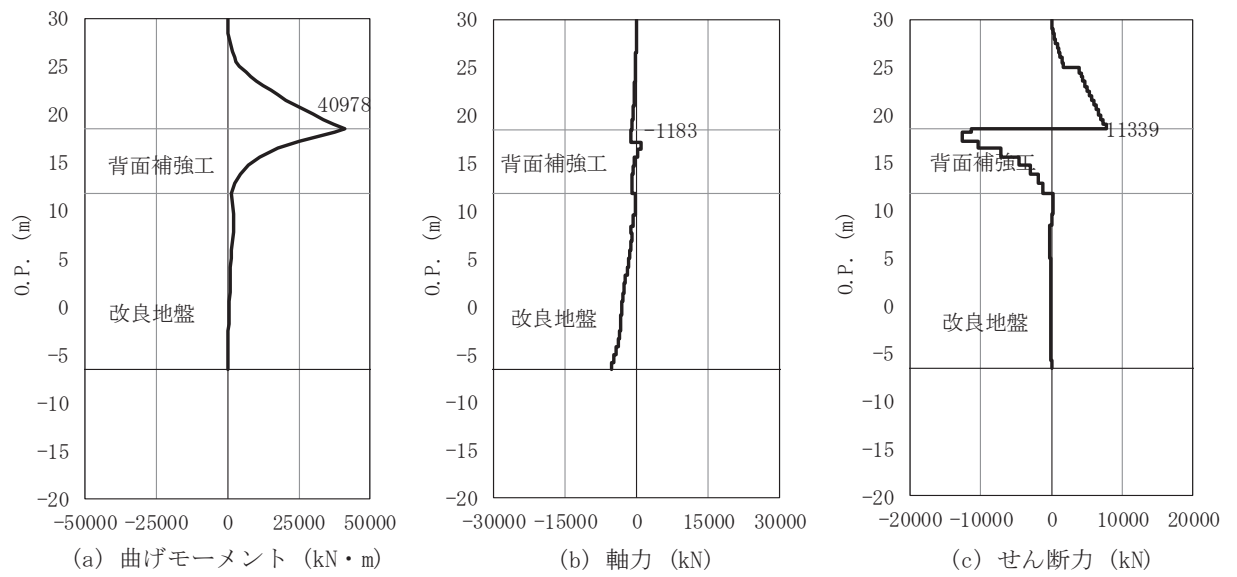


図 4.1-1(3) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面③)
解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

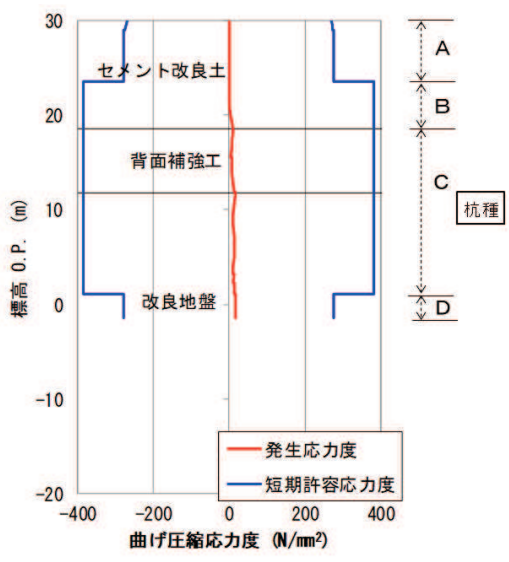
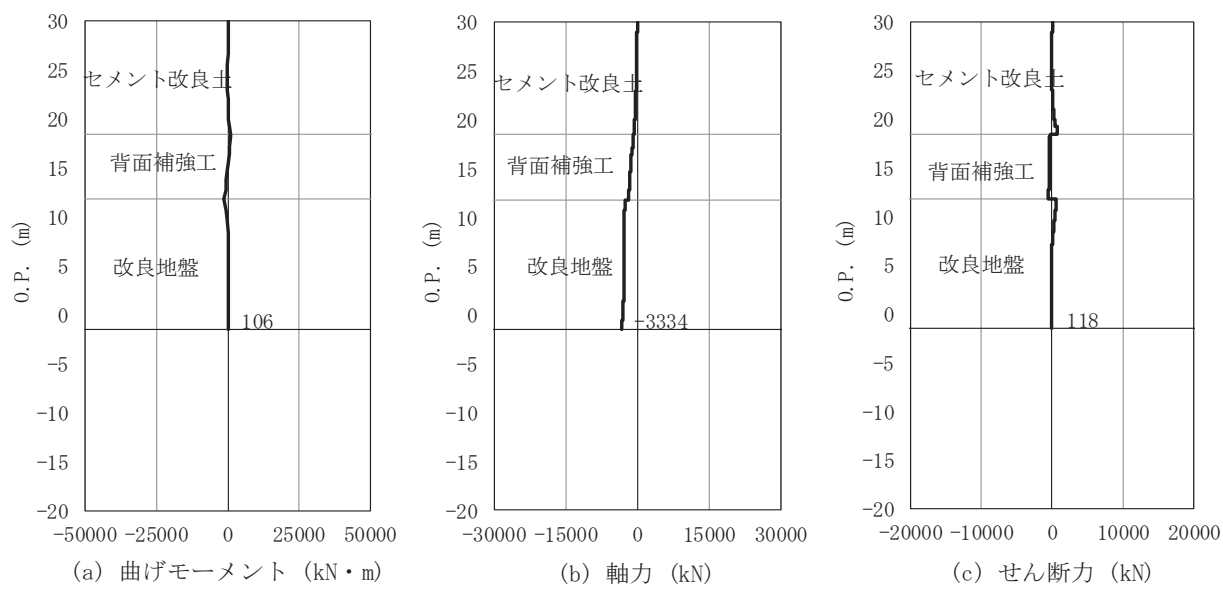


図 4.1-1(4) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面④)
解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

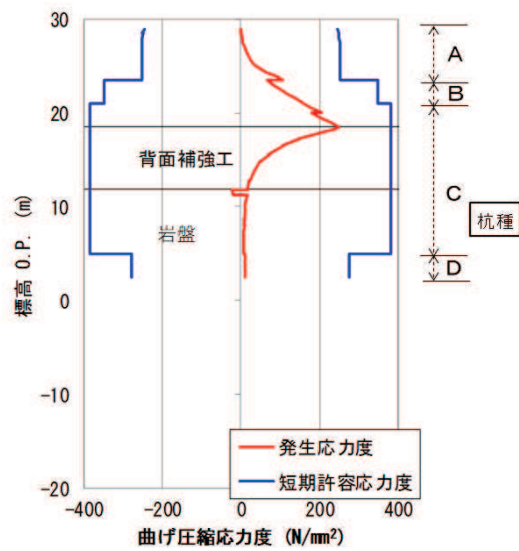
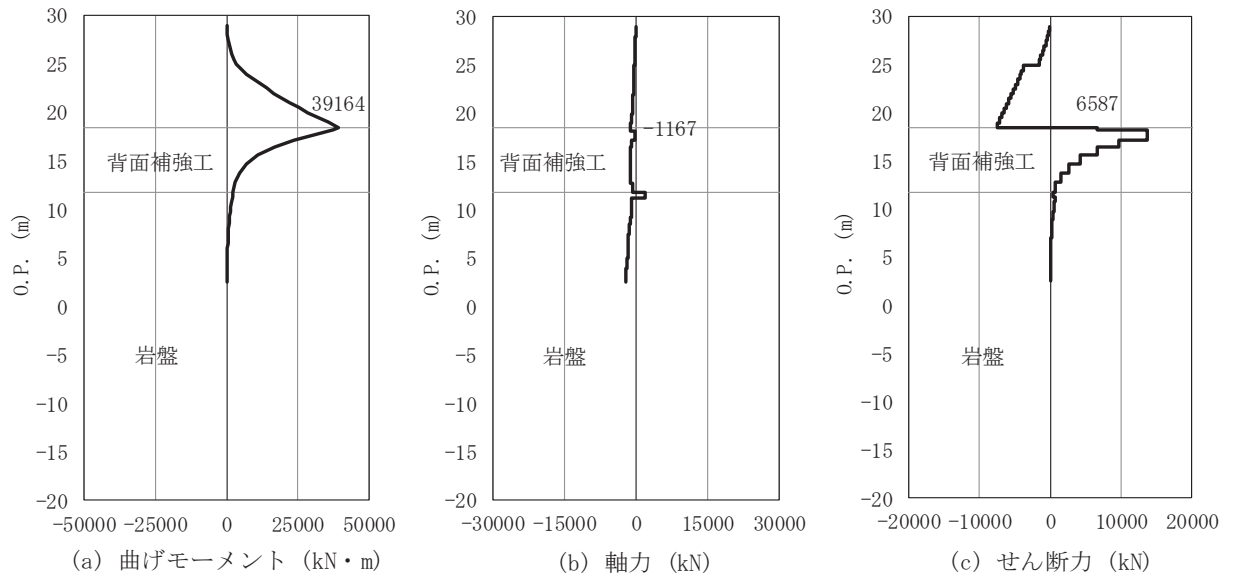


図 4.1-1(5) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面⑤)
(解析ケース①～③において、発生断面力は同値であり、
本図では解析ケース①における図を示す)

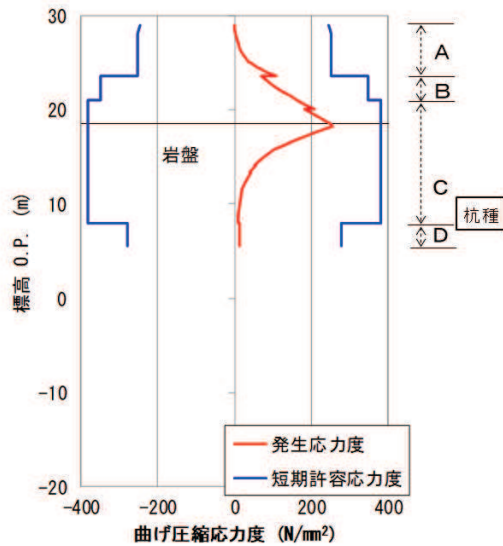
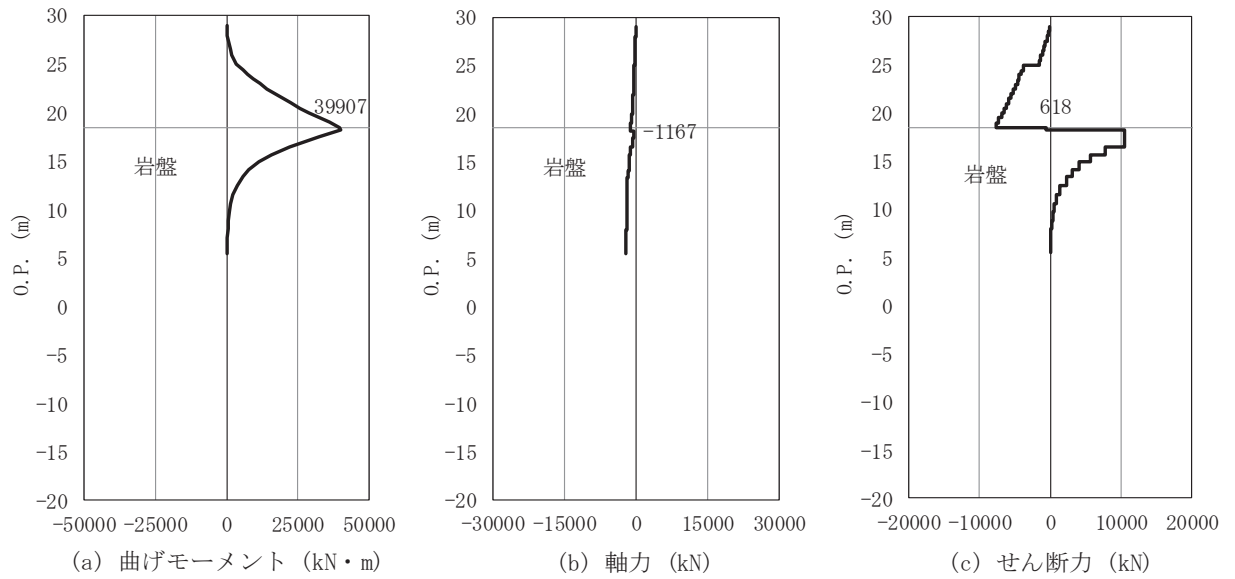


図 4. 1-1 (6) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
及び曲げ圧縮応力度 (断面⑥)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

(3) 断面力分布 (鋼管杭のせん断破壊に対する照査)

断面照査に用いた断面諸元を表 4. 1-30 に、鋼管杭のせん断破壊に対する照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 4. 1-32 に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図 4. 1-2 に示す。

表 4.1-32(1) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面①)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ① | 12572 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.1-32(2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面②)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ② | 12650 | 97 | 217 | 0.45 |

表 4.1-32(3) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面③)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ③ | 12604 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.1-32(4) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面④)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ③ | 713 | 6 | 217 | 0.03 |

表 4.1-32(5) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ①②③* | 13688 | 105 | 217 | 0.49 |

注記 * : 解析ケース①～③において, 発生断面力は同値である。

表 4.1-32(6) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 杭種 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | ② | 11492 | 88 | 217 | 0.41 |

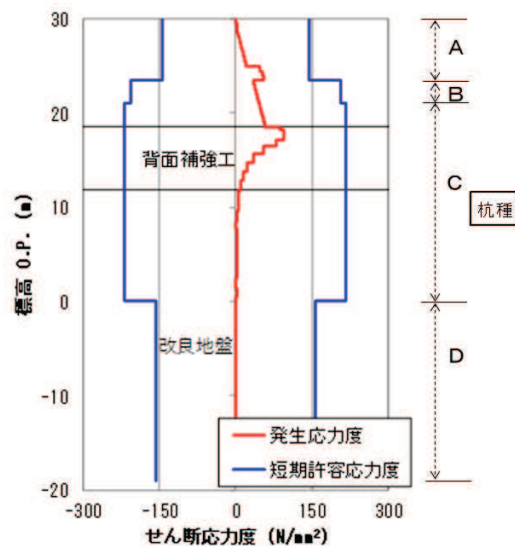
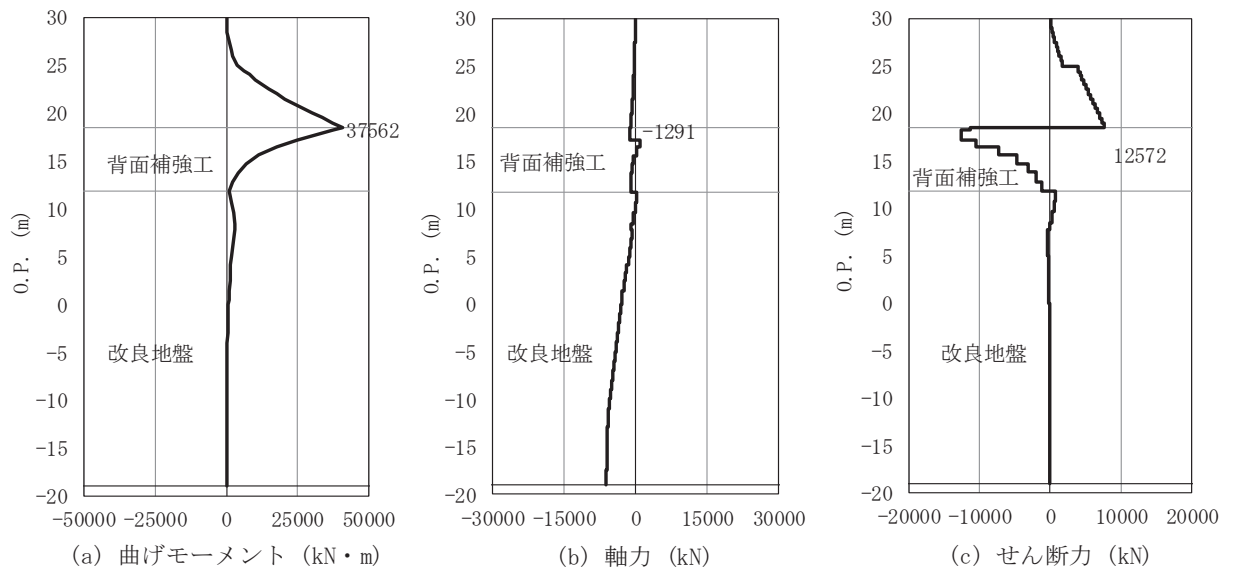


図 4. 1-2(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面①)
解析ケース①：基本ケース

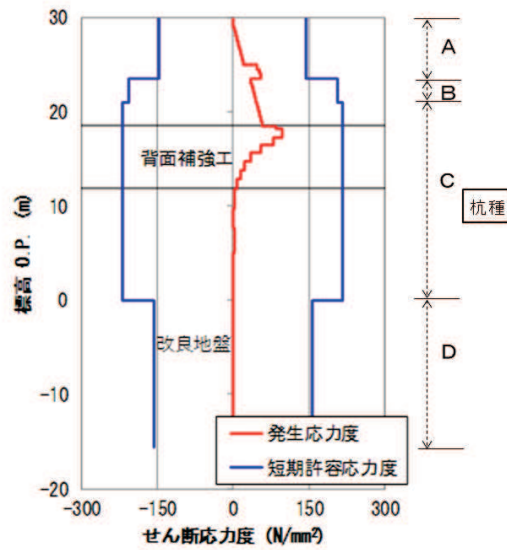
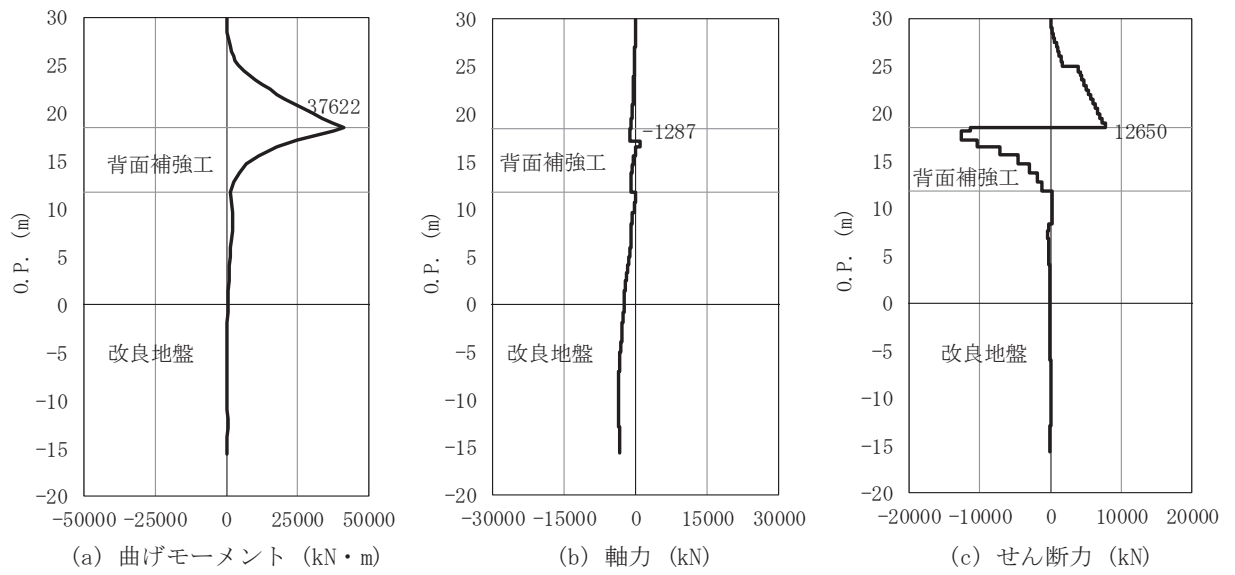


図 4. 1-2 (2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面②)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

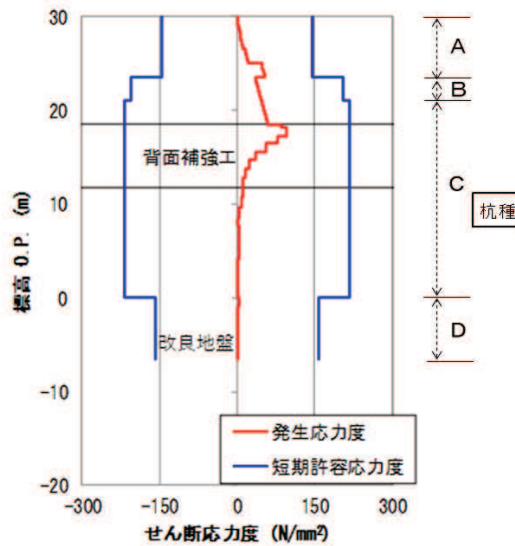
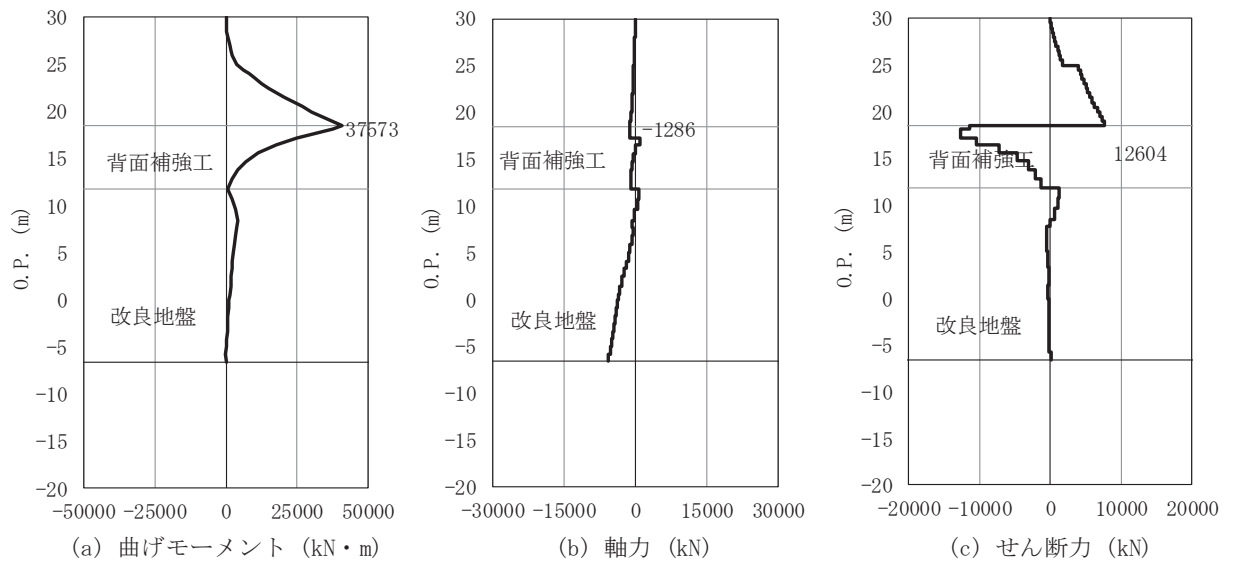


図 4. 1-2 (3) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面③)
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

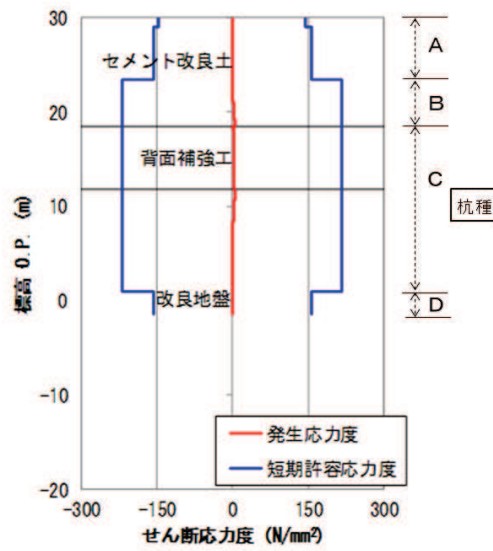
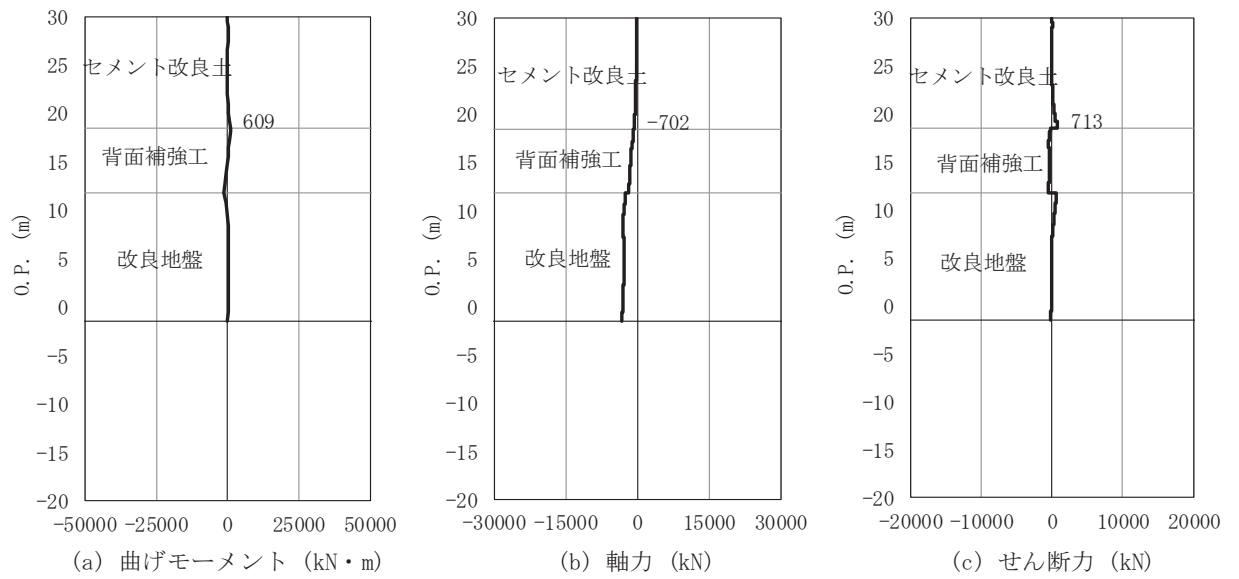


図 4. 1-2(4) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面④)
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

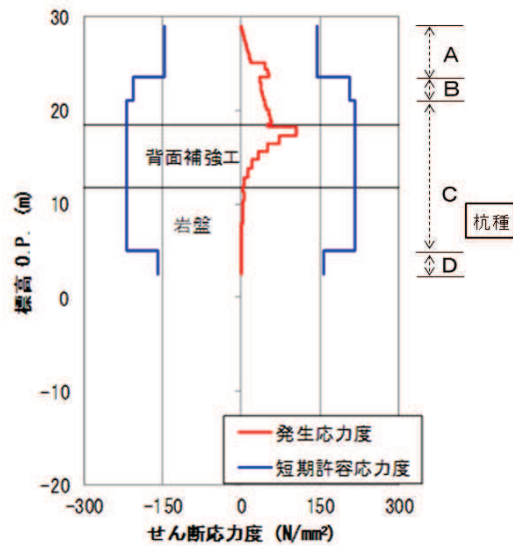
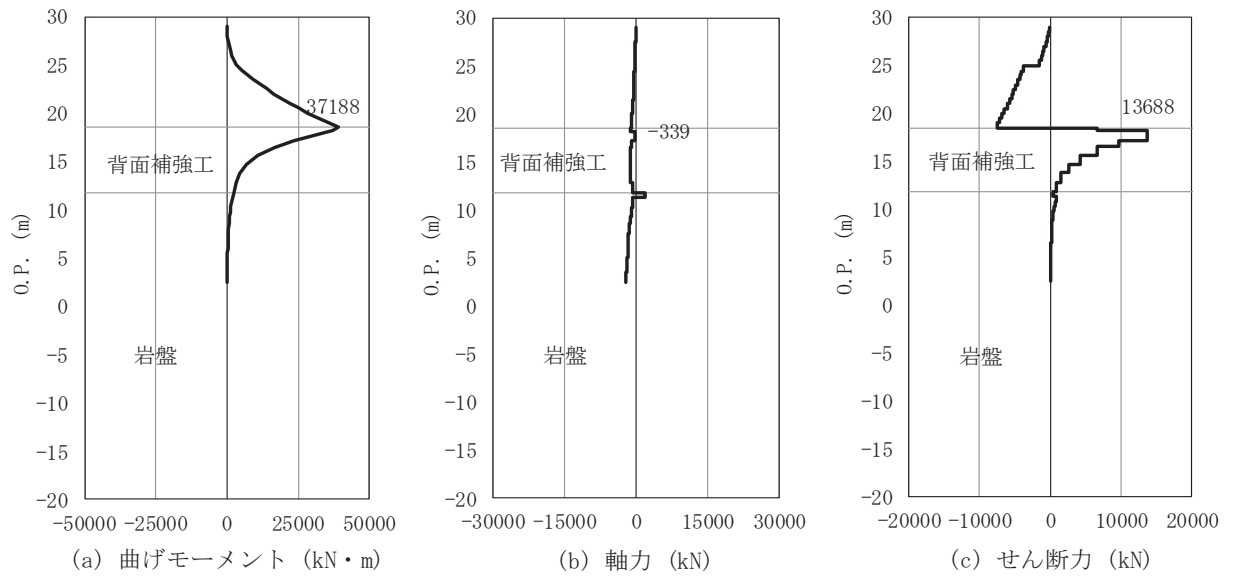


図 4. 1-2 (5) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面⑤)
 (解析ケース①～③において、発生断面力は同値である。)

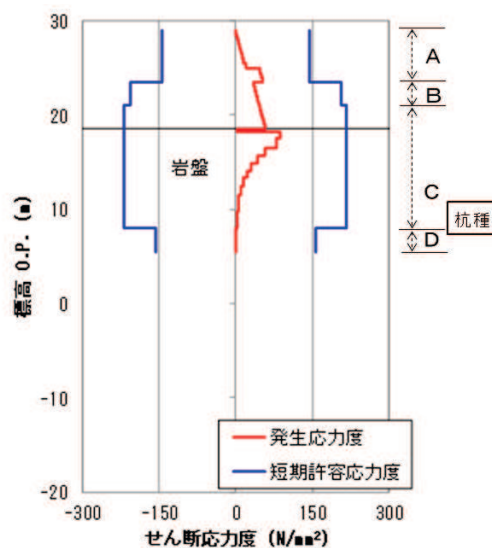
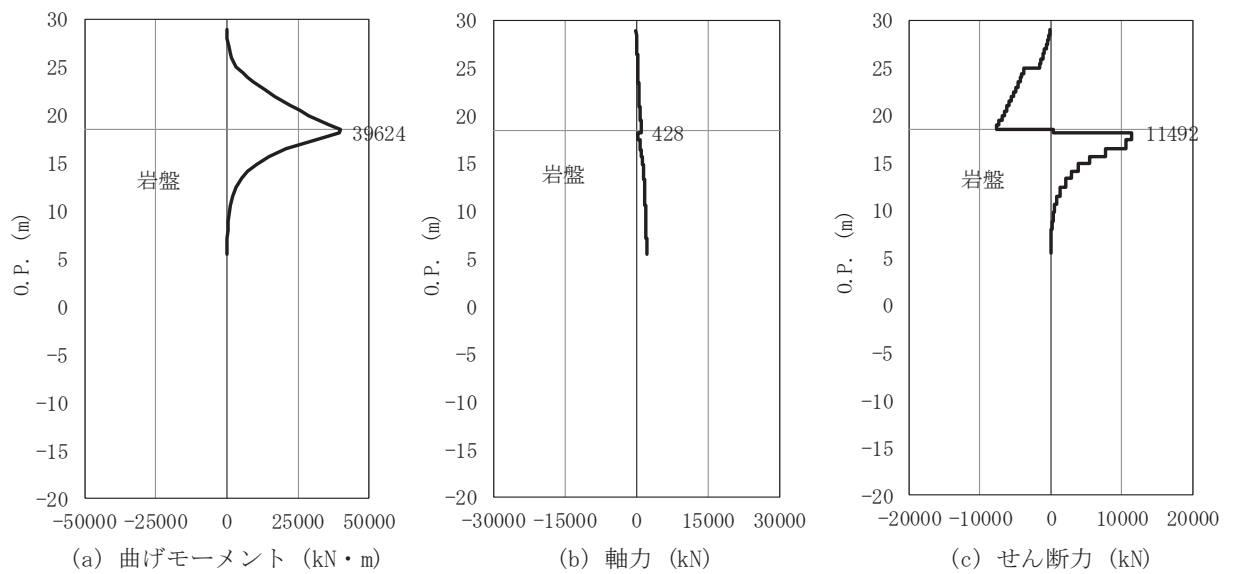


図 4. 1-2(6) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力 (断面⑥)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

(4) 局所安全係数分布 (背面補強工)

背面補強工のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4. 1-33 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4. 1-3 に示す。

表 4.1-33(1) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ② | 12.2 |

表 4.1-33(2) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ② | 12.1 |

表 4.1-33(3) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 12.2 |

表 4.1-33(4) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 23.4 |

表 4.1-33(5) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面⑤)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ①②③ | 11.8 |

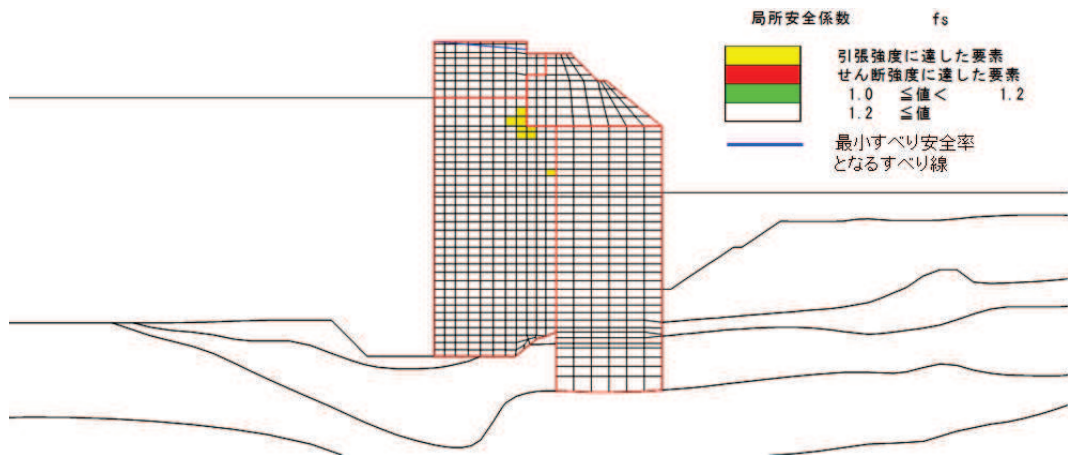


図 4.1-3(1) 背面補強工の局所安全係数分布 (断面①)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

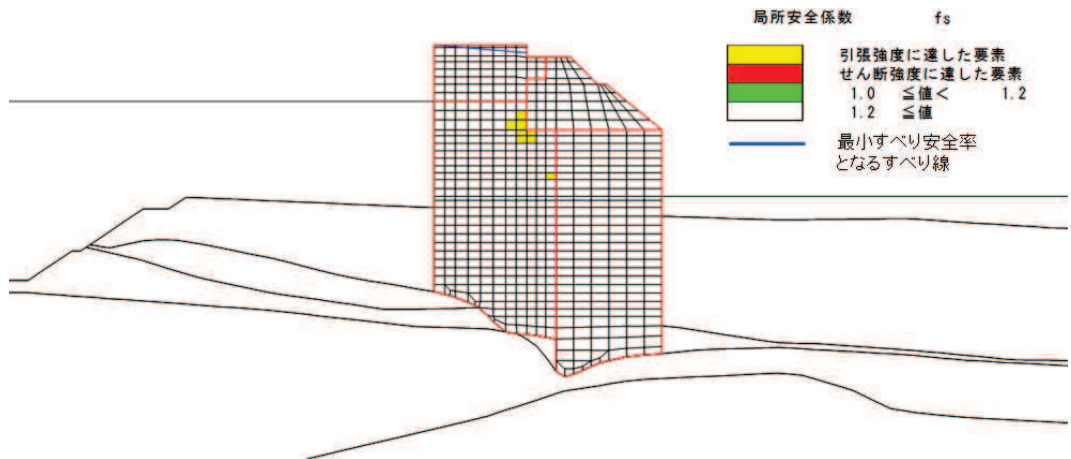


図 4.1-3(2) 背面補強工の局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

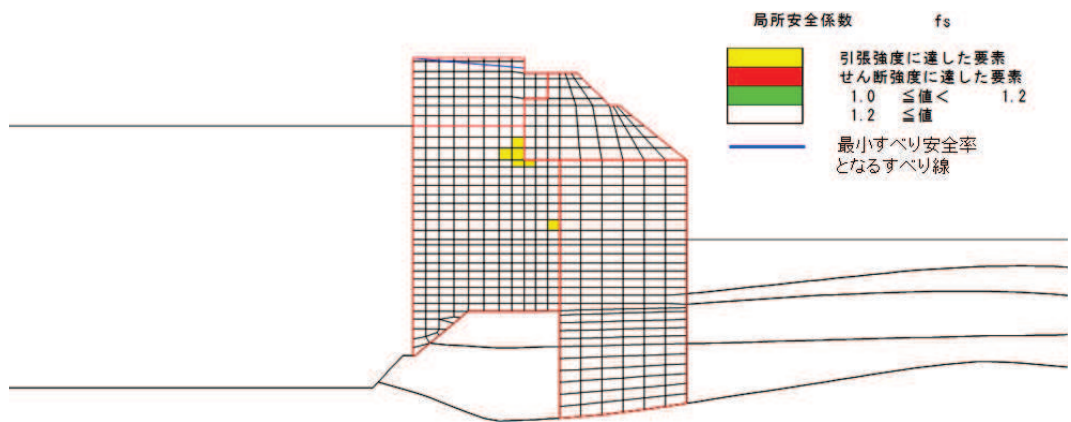


図 4.1-3(3) 背面補強工の局所安全係数分布 (断面③)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

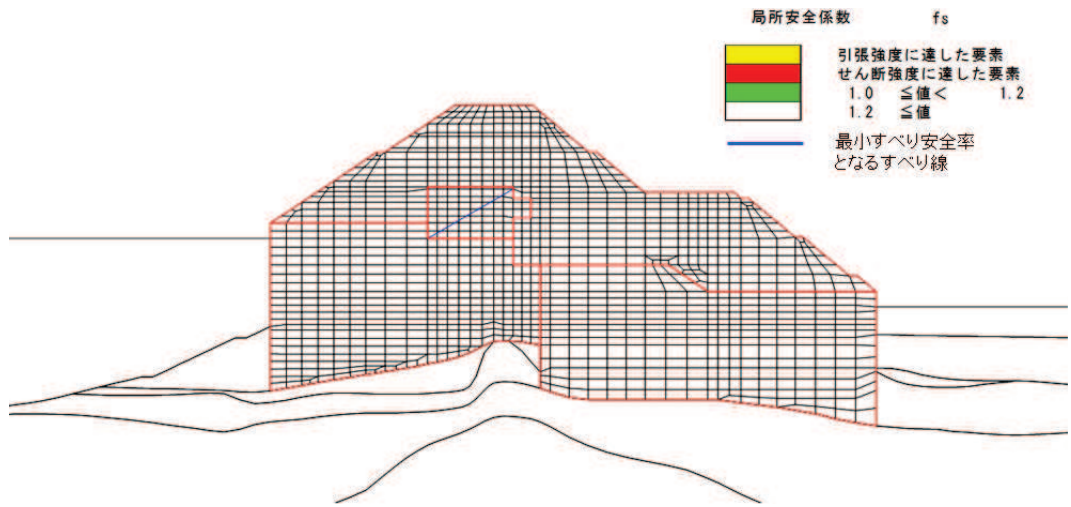


図 4.1-3(4) 背面補強工の局所安全係数分布 (断面④)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

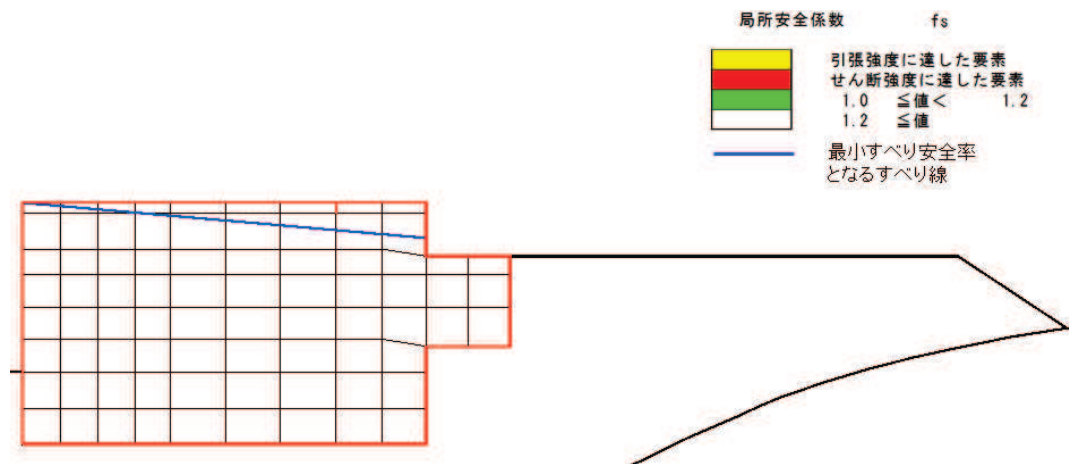


図 4.1-3(5) 背面補強工の局所安全係数分布 (断面⑤)

解析ケース①～③

(5) 局所安全係数分布 (置換コンクリート)

置換コンクリートのすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-34 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-4 に示す。

表 4.1-34(1) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 24.6 |

表 4.1-34(2) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 24.7 |

表 4.1-34(3) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 19.3 |

表 4.1-34(4) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------|----------|
| ③ | 36.5 |

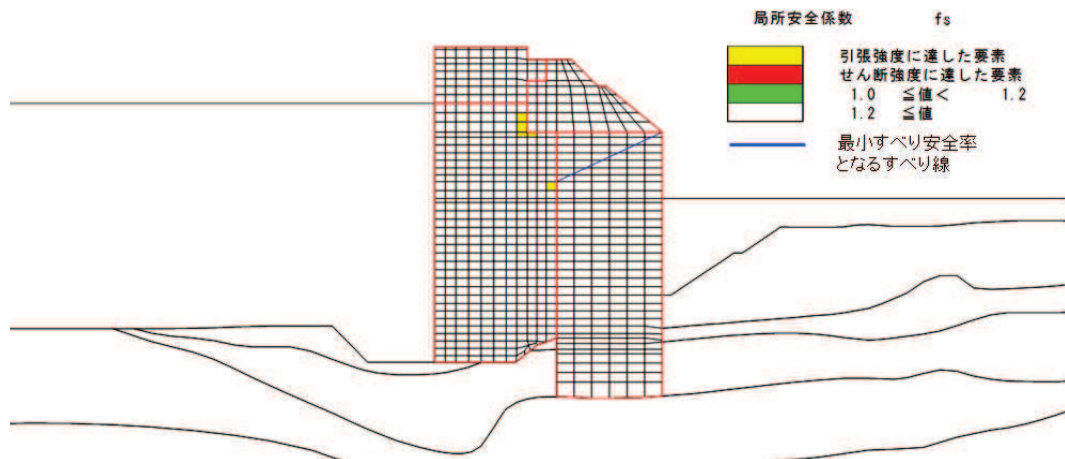


図 4.1-4(1) 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面①)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

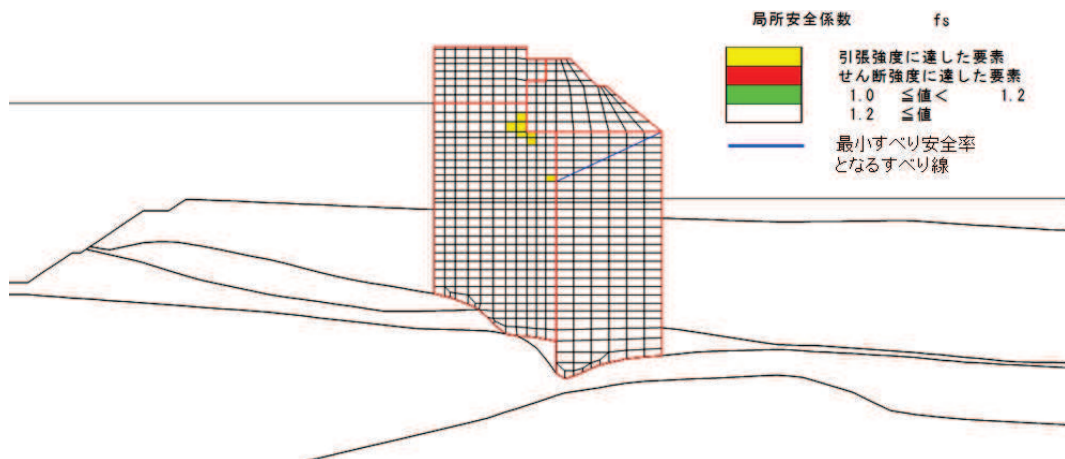


図 4.1-4(2) 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

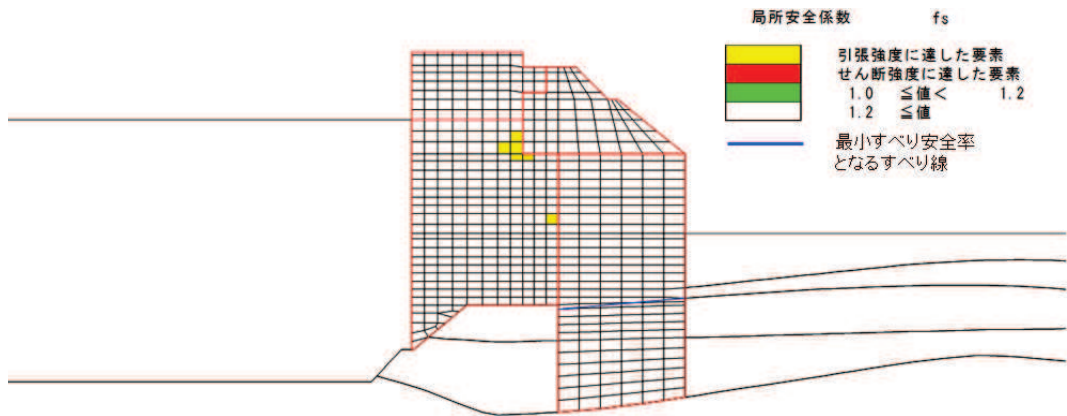


図 4.1-4(3) 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面③)
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

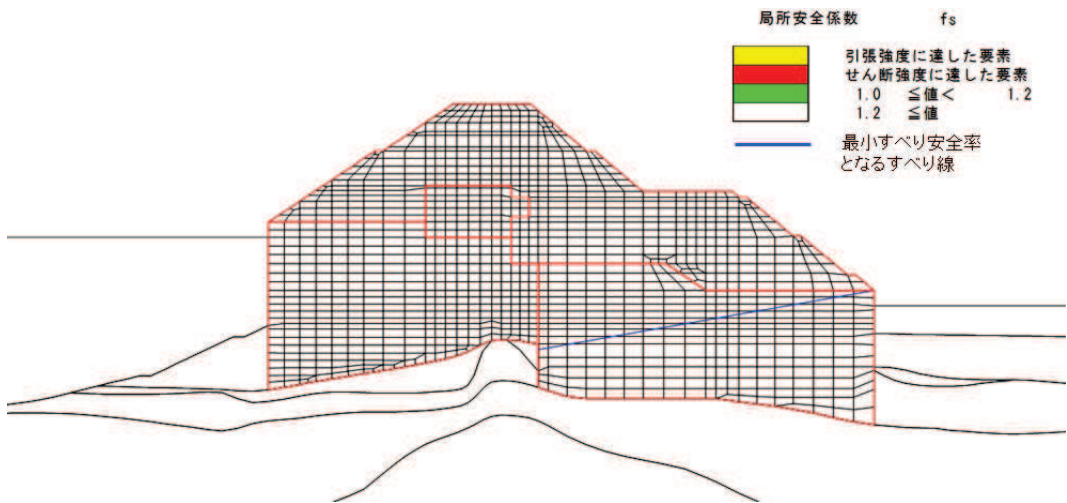


図 4.1-4(4) 置換コンクリートの局所安全係数分布 (断面④)
 解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

(6) 局所安全係数分布 (改良地盤)

改良地盤のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-35 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-5 に示す。

表 4.1-35(1) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-----------------|----------|
| ② | 3.9 |
| ① (平均値 - 1σ 強度) | 4.2 |

表 4.1-35(2) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 4.9 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 4.9 |

表 4.1-35(3) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 4.4 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 4.7 |

表 4.1-35(4) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 7.7 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 7.8 |

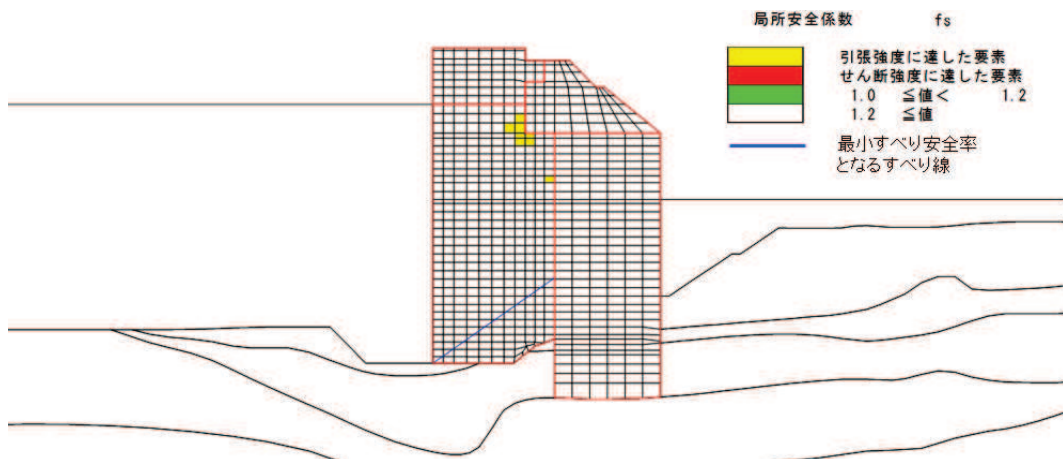


図 4.1-5(1) 改良地盤の局所安全係数分布 (断面①)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

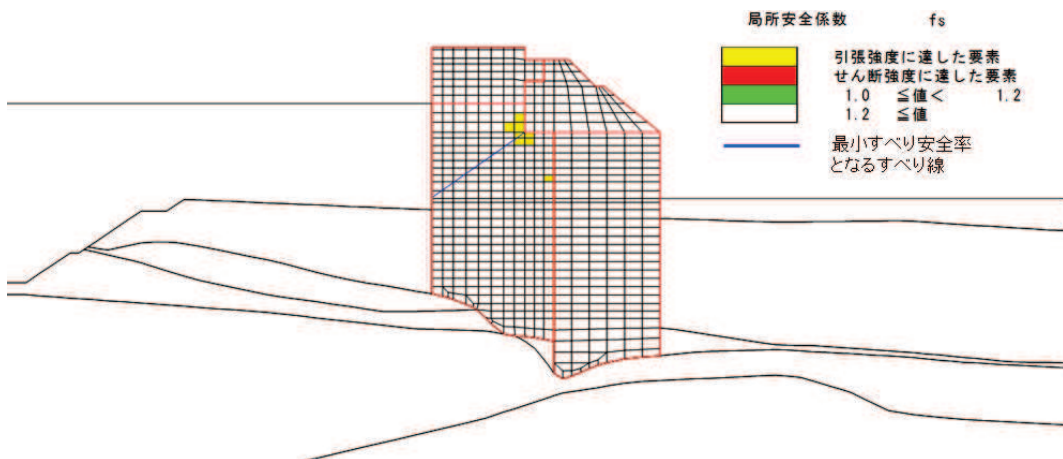


図 4.1-5(2) 改良地盤の局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

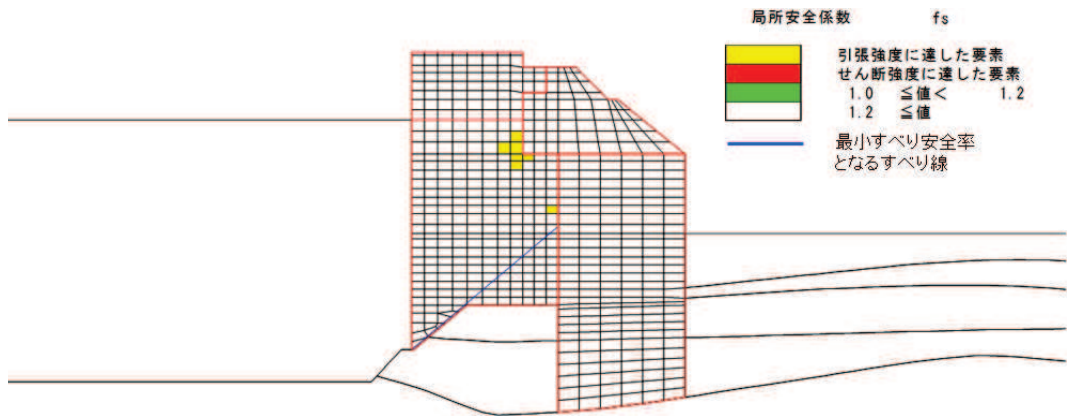


図 4.1-5(3) 改良地盤の局所安全係数分布 (断面③)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

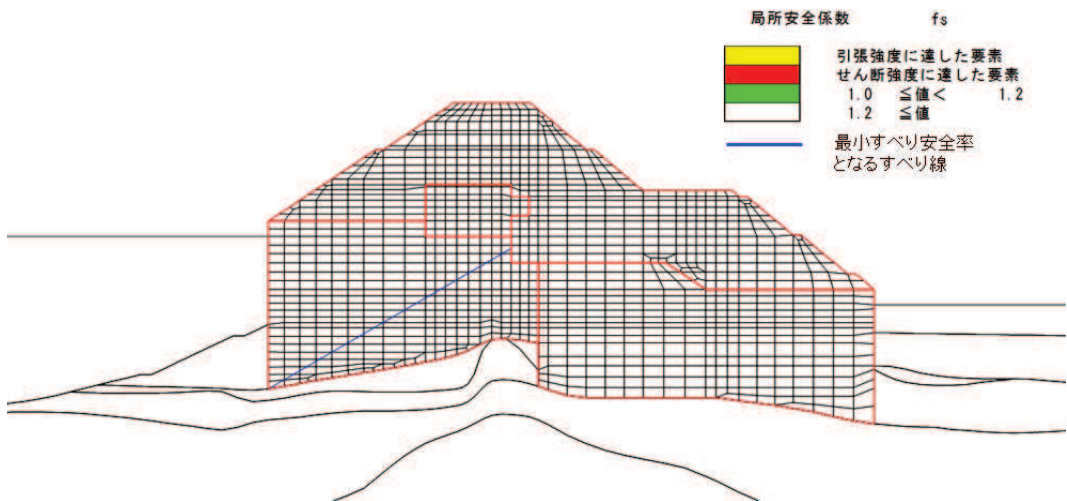


図 4.1-5(4) 改良地盤の局所安全係数分布 (断面④)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

(7) 局所安全係数分布 (セメント改良土)

セメント改良土のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.1-36 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.1-6 に示す。

表 4.1-36(1) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-----------------|----------|
| ② | 40.7 |
| ① (平均値 - 1σ 強度) | 40.3 |

表 4.1-36(2) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 41.3 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 40.9 |

表 4.1-36(3) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 38.6 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 38.3 |

表 4.1-36(4) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|-------------------------|----------|
| ② | 10.0 |
| ① (平均値 - 1 σ 強度) | 9.8 |

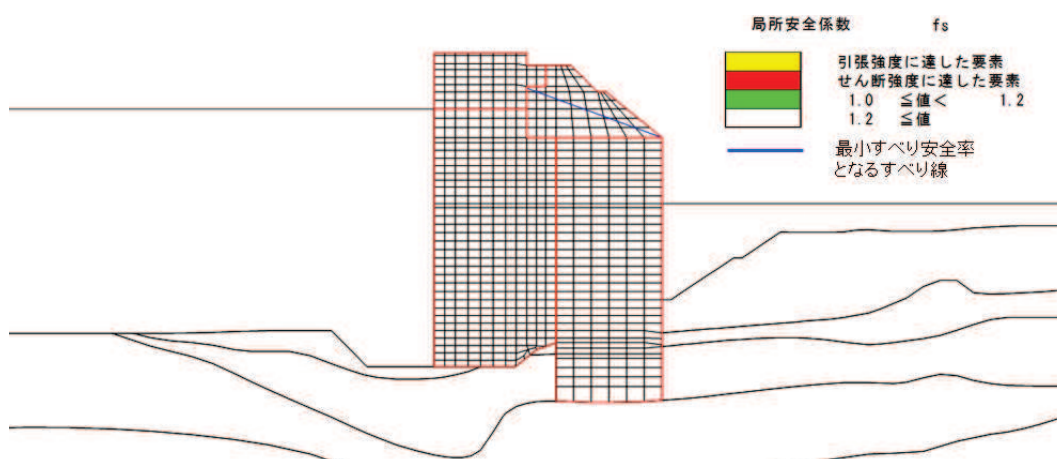


図 4.1-6(1) セメント改良土の局所安全係数分布 (断面①)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

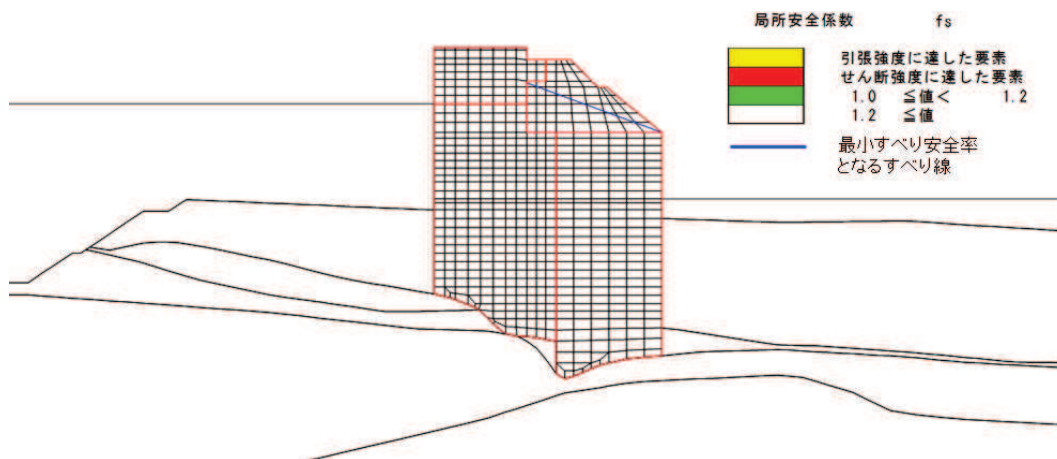


図 4.1-6(2) セメント改良土の局所安全係数分布 (断面②)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

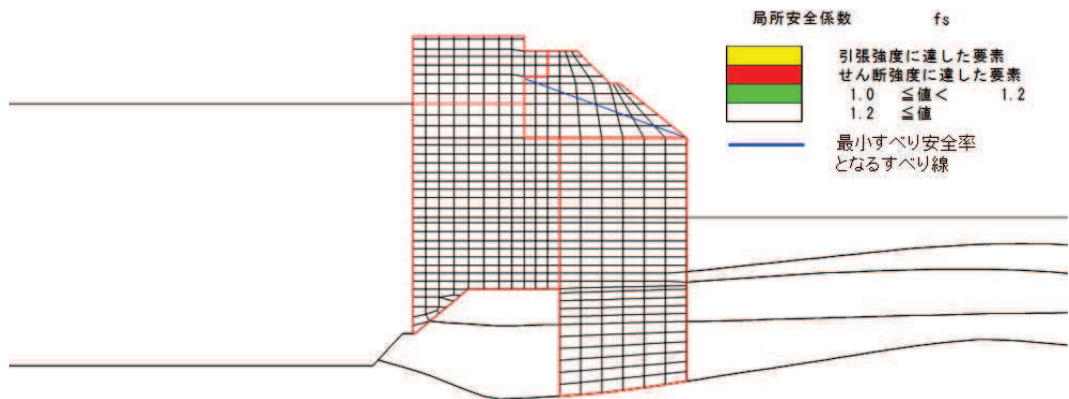


図 4.1-6(3) セメント改良土の局所安全係数分布 (断面③)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

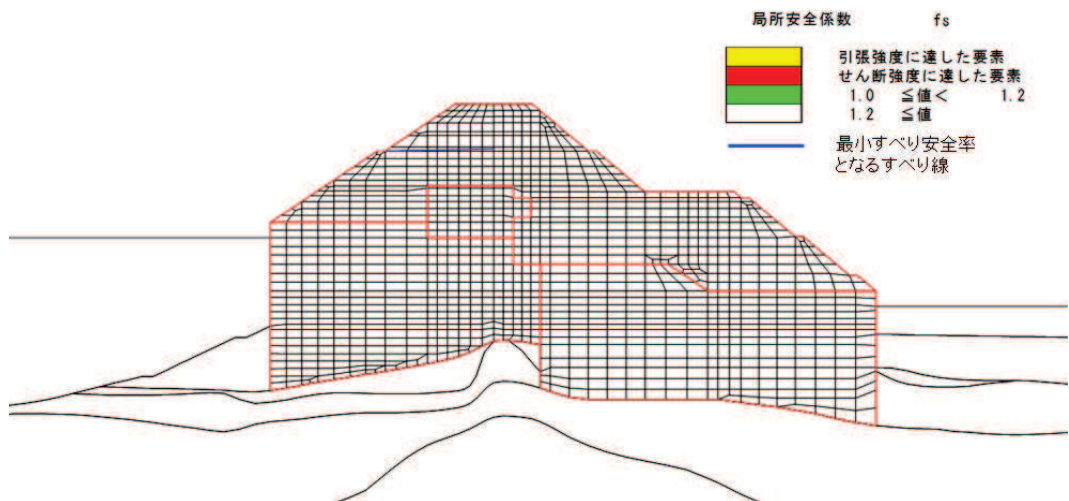


図 4.1-6(4) セメント改良土の局所安全係数分布 (断面④)
 解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

4.1.2 鋼管杭の評価結果

(1) 曲げ軸力照査

断面計算に用いた断面諸元を表 4.1-30 に、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 4.1-37 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査における評価時刻での断面力図を図 4.1-1 に示す。鋼管杭に対して許容応力度法による照査を行った結果、鋼管杭に発生する曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.1-37(1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面①)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| ① (平均) | C | 40963 | 1183 | 261 | 382 | 0.69 |
| ② (+1 σ) | C | 40998 | 1182 | 261 | 382 | 0.69 |
| ③ (-1 σ) | C | 40828 | 1172 | 260 | 382 | 0.69 |

表 4.1-37(2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面②)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| ① (平均) | C | 40932 | 1182 | 261 | 382 | 0.69 |
| ② (+1 σ) | C | 41017 | 1180 | 261 | 382 | 0.69 |
| ③ (-1 σ) | C | 40983 | 1181 | 261 | 382 | 0.69 |

表 4.1-37(3) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面③)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| ① (平均) | C | 40946 | 1180 | 261 | 382 | 0.69 |
| ② (+1 σ) | C | 40978 | 1183 | 261 | 382 | 0.69 |
| ③ (-1 σ) | C | 40981 | 1178 | 261 | 382 | 0.69 |

表 4.1-37(4) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面④)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| ① (平均) | D | 106 | 3001 | 18 | 277 | 0.07 |
| ② (+1 σ) | D | 92 | 2732 | 16 | 277 | 0.06 |
| ③ (-1 σ) | D | 106 | 3334 | 19 | 277 | 0.07 |

表 4.1-37(5) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|---------------------------------|
| ① (平均) | C | 39164 | 1167 | 250 | 382 | 0.66 |
| ② (+1 σ) | C | 39164 | 1167 | 250 | 382 | 0.66 |
| ③ (-1 σ) | C | 39164 | 1167 | 250 | 382 | 0.66 |

表 4.1-37(6) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|------------------|----|-------------------|------------|--|---|---------------------------------|
| ① (平均) | C | 39758 | 1167 | 254 | 382 | 0.67 |
| ② (+1 σ) | C | 39721 | 1167 | 253 | 382 | 0.67 |
| ③ (-1 σ) | C | 39907 | 1167 | 255 | 382 | 0.67 |

(2) せん断力照査

断面計算に用いた断面諸元は表 4.1-30 に、鋼管杭のせん断力照査における最大照査値を表 4.1-38 に示す。

鋼管杭に発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.1-38(1) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面①)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 12572 | 96 | 217 | 0.45 |
| ② (+1 σ) | C | 12566 | 96 | 217 | 0.45 |
| ③ (-1 σ) | C | 12551 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.1-38(2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面②)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 12563 | 96 | 217 | 0.45 |
| ② (+1 σ) | C | 12650 | 97 | 217 | 0.45 |
| ③ (-1 σ) | C | 12606 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.1-38(3) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面③)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 12568 | 96 | 217 | 0.45 |
| ② (+1 σ) | C | 12559 | 96 | 217 | 0.45 |
| ③ (-1 σ) | C | 12604 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.1-38(4) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面④)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 595 | 5 | 217 | 0.03 |
| ② (+1 σ) | C | 504 | 4 | 217 | 0.02 |
| ③ (-1 σ) | C | 713 | 6 | 217 | 0.03 |

表 4.1-38(5) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 13688 | 105 | 217 | 0.49 |
| ② (+1 σ) | C | 13688 | 105 | 217 | 0.49 |
| ③ (-1 σ) | C | 13688 | 105 | 217 | 0.49 |

表 4.1-38(6) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ① (平均) | C | 11073 | 85 | 217 | 0.40 |
| ② (+1 σ) | C | 11492 | 88 | 217 | 0.41 |
| ③ (-1 σ) | C | 10568 | 81 | 217 | 0.38 |

(3) 漂流物防護工のねじり応力

漂流物衝突荷重を漂流物防護工の端部に作用させた場合の鋼管杭に発生するねじれを考慮した評価結果を表 4.1-39 に示す。検討ケースはせん断破壊に対する照査値が最も厳しい「断面⑤、解析ケース③」とした。漂流物防護工のねじれ応力を考慮することで、せん断応力度が 1 割程度上昇するものの、許容限界以下であることを確認した。

表 4.1-39 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 解析 ケース | 杭種 | 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} |
|-----------|----|---|---|-----------------------------|
| ③* | C | 105 | 217 | 0.49 |
| ③ (ねじれ考慮) | C | 117 | 217 | 0.54 |

注記* : 「4. 評価結果」の値を再掲。

4.1.3 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主要材の照査結果を表 4.1-40 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材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.1-40 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 ²) | 144 | 315 | 0.46 |
| | 垂直リブ | SM490Y | 圧縮応力度 (N/mm ²) | 34 | 190 | 0.18 |
| | 水平リブ | SM490Y | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 221 | 315 | 0.71 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 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 ²) | 169 | 315 | 0.54 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 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 ²) | 275 | 382 | 0.72 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 179 | 217 | 0.83 |
| | | | 合成応力度 | 0.68 | 1.20 | 0.57 |

4.1.4 背面補強工の評価結果

背面補強工のすべり安全率による評価結果を表 4.1-41 に示す。これらの結果から、背面補強工のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

また、図 4.1-7 に背面補強工の津波時の局所安全係数分布を示す。これにより、鋼管杭が背面補強工に接する部分について、背面補強工は津波時にせん断破壊していないことが確認できるため、背面補強工は鋼管杭からの反力に対して弾性範囲である。

表 4.1-41(1) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 12.2 |
| ② (+1 σ) | 12.2 |
| ③ (-1 σ) | 12.2 |

表 4.1-41(2) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 12.2 |
| ② (+1 σ) | 12.1 |
| ③ (-1 σ) | 12.2 |

表 4.1-41(3) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面③)

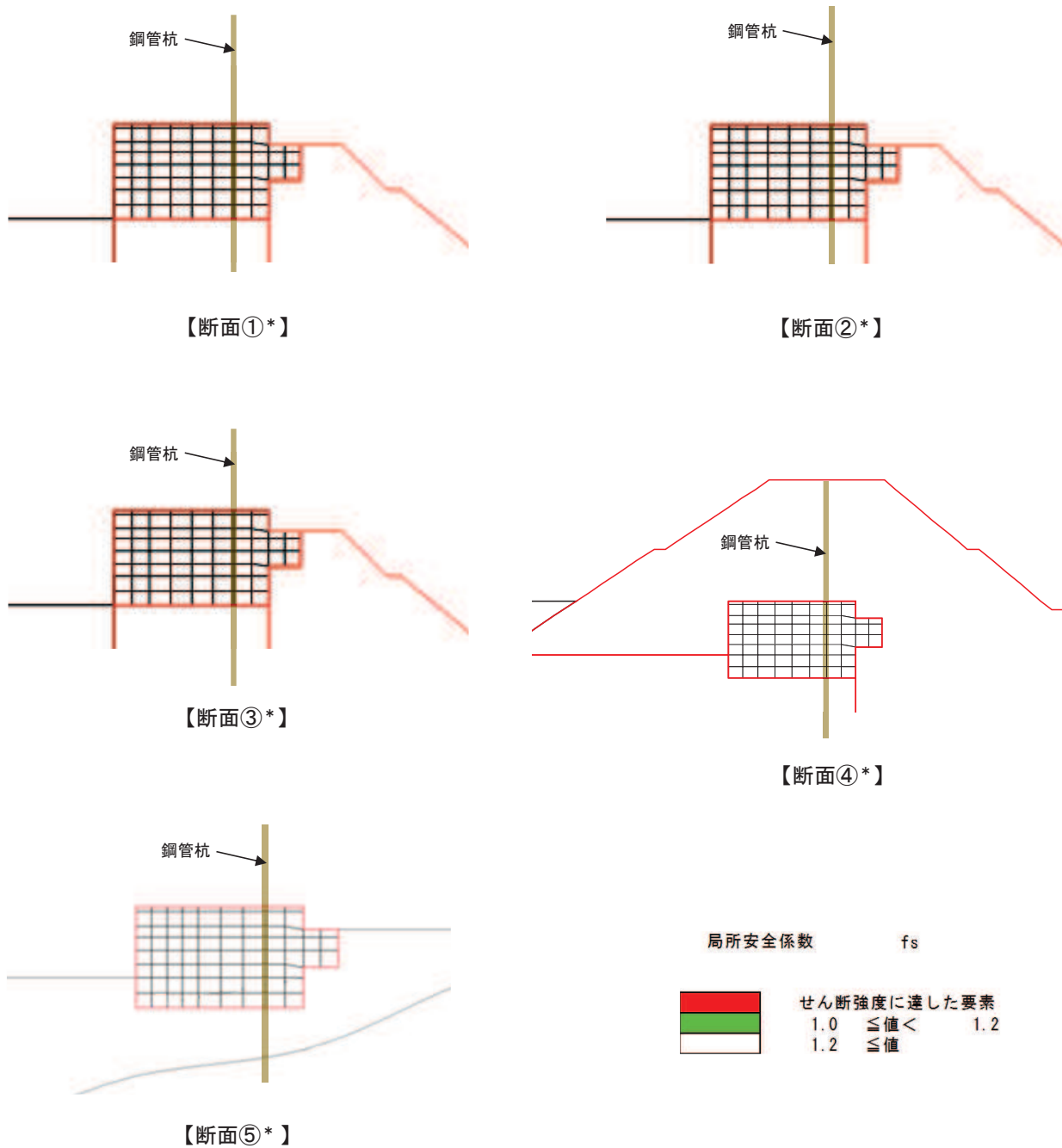
| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 12.2 |
| ② (+1 σ) | 12.2 |
| ③ (-1 σ) | 12.2 |

表 4.1-41(4) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 23.7 |
| ② (+1 σ) | 23.6 |
| ③ (-1 σ) | 23.4 |

表 4.1-41(5) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面⑤)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 11.8 |
| ② (+1 σ) | 11.8 |
| ③ (-1 σ) | 11.8 |



注記*：全ての解析ケースでせん断強度に達した要素が無かった

図 4.1-7 背面補強工の津波時の局所安全係数分布（断面①～断面⑤）

4.1.5 置換コンクリートの評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表4.1-42に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表 4.1-42(1) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 26.0 |
| ② (+1 σ) | 26.8 |
| ③ (-1 σ) | 24.6 |

表 4.1-42(2) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 26.0 |
| ② (+1 σ) | 27.2 |
| ③ (-1 σ) | 24.7 |

表 4.1-42(3) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 19.4 |
| ② (+1 σ) | 19.6 |
| ③ (-1 σ) | 19.3 |

表 4.1-42(4) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 36.6 |
| ② (+1 σ) | 36.8 |
| ③ (-1 σ) | 36.5 |

4.1.6 改良地盤の評価結果

(1) 評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.1-43 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 4.1-43(1) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 4.2 |
| ② (+1 σ) | 3.9 |
| ③ (-1 σ) | 4.7 |

表 4.1-43(2) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 5.0 |
| ② (+1 σ) | 4.9 |
| ③ (-1 σ) | 5.1 |

表 4.1-43(3) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 4.8 |
| ② (+1 σ) | 4.4 |
| ③ (-1 σ) | 4.9 |

表 4.1-43(4) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 7.9 |
| ② (+1 σ) | 7.7 |
| ③ (-1 σ) | 8.2 |

(2) 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

図 4.1-5 に示す、各断面での改良地盤の最小すべり安全率における局所安全係数分布のうち、引張破壊が生じている断面（断面①～断面③）について、局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認する。

a. 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ

断面①～断面③について、改良地盤の最小すべり安全率における局所安全係数分布に検討すべり線を重ね合わせた図を図 4.1-8 に示す。

これにより、検討すべり線は、引張破壊に達した要素をおおむね通過していることが確認できることから、引張破壊に達した要素を考慮し改良地盤の健全性を確保していることを確認した。

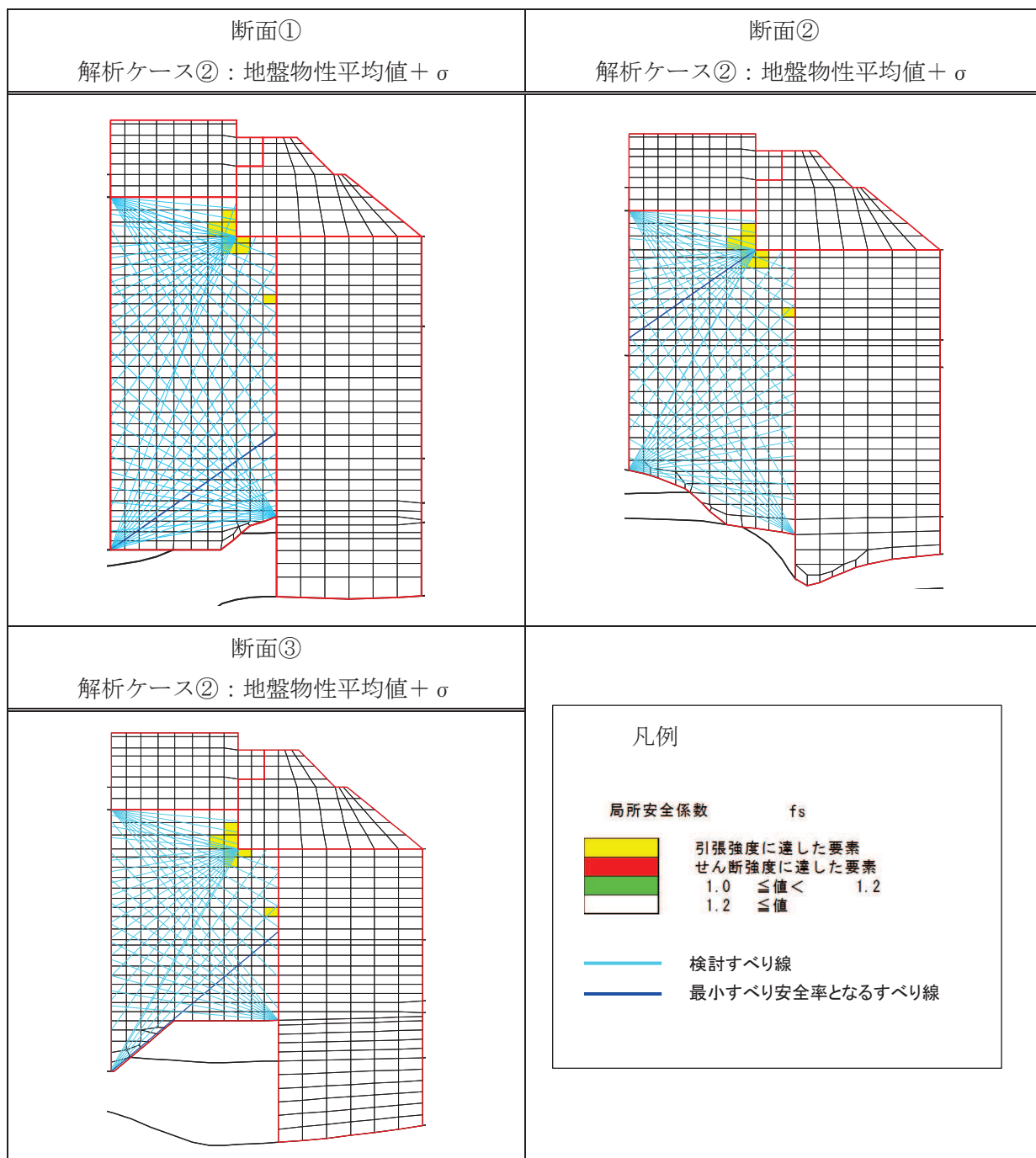


図 4.1-8 改良地盤の最小すべり安全率における局所安全係数分布と
 検討すべり線の重ね合わせ（断面①～断面③）

b. 応力状態に着目した追加すべり検討

改良地盤に局所的な引張破壊が生じている断面①～断面③について、a. に加えて引張破壊している要素の応力状態に着目し、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加しすべり安全率照査を行う。図4.1-9に断面①～断面③について、改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線を示す。ここで、クラック方向は、引張強度に達した要素に生じている引張応力の直交方向とする。

図4.1-9に示した追加すべり線における最小すべり安全率を表4.1-44に示す。この結果より、追加すべり線におけるすべり安全率は、当初のすべり線でのすべり安全率と比較し同等以上であり、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加した場合においても、改良地盤は健全であることを確認した。

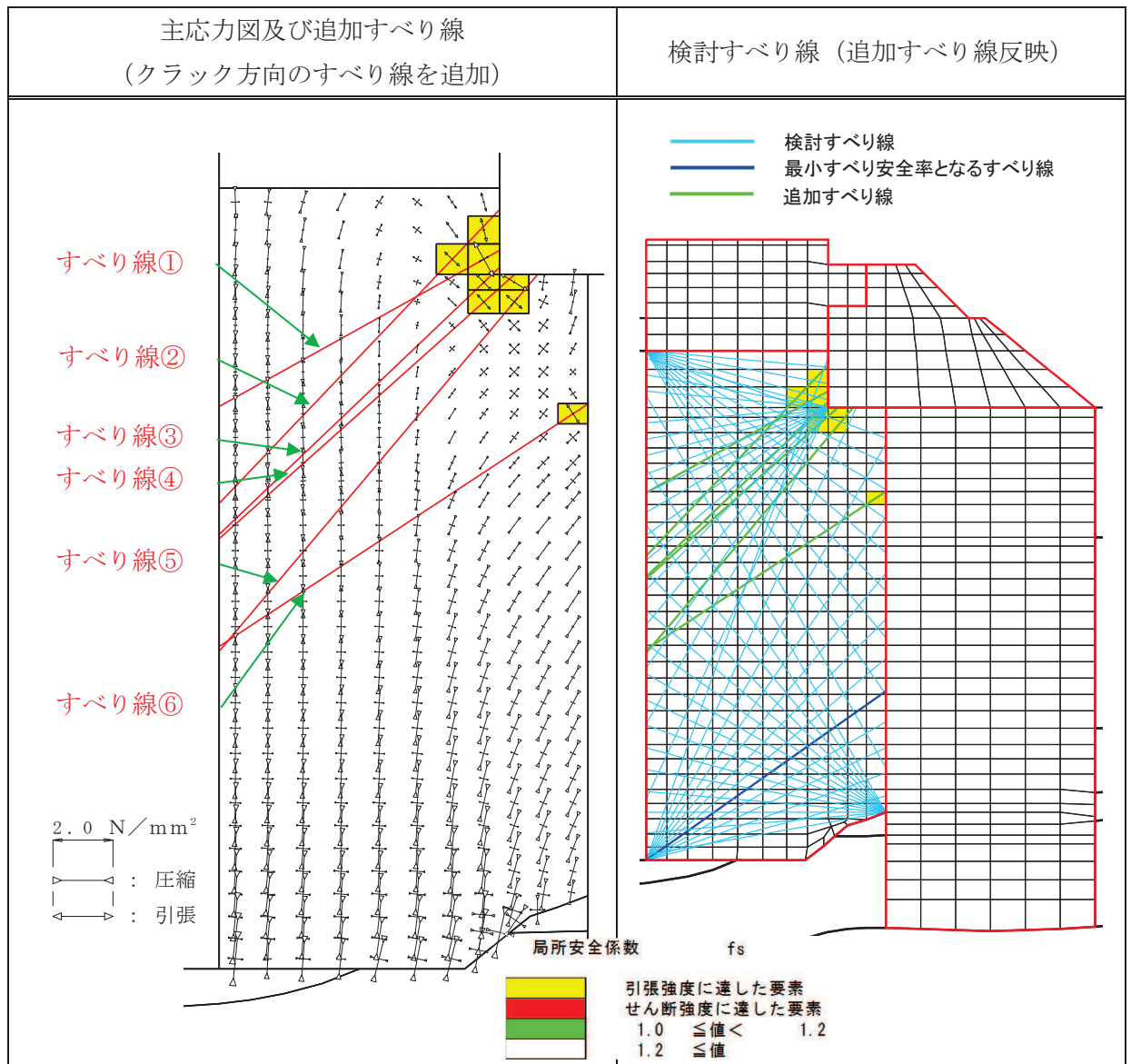


図4.1-9(1) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線 (断面①)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+σ)

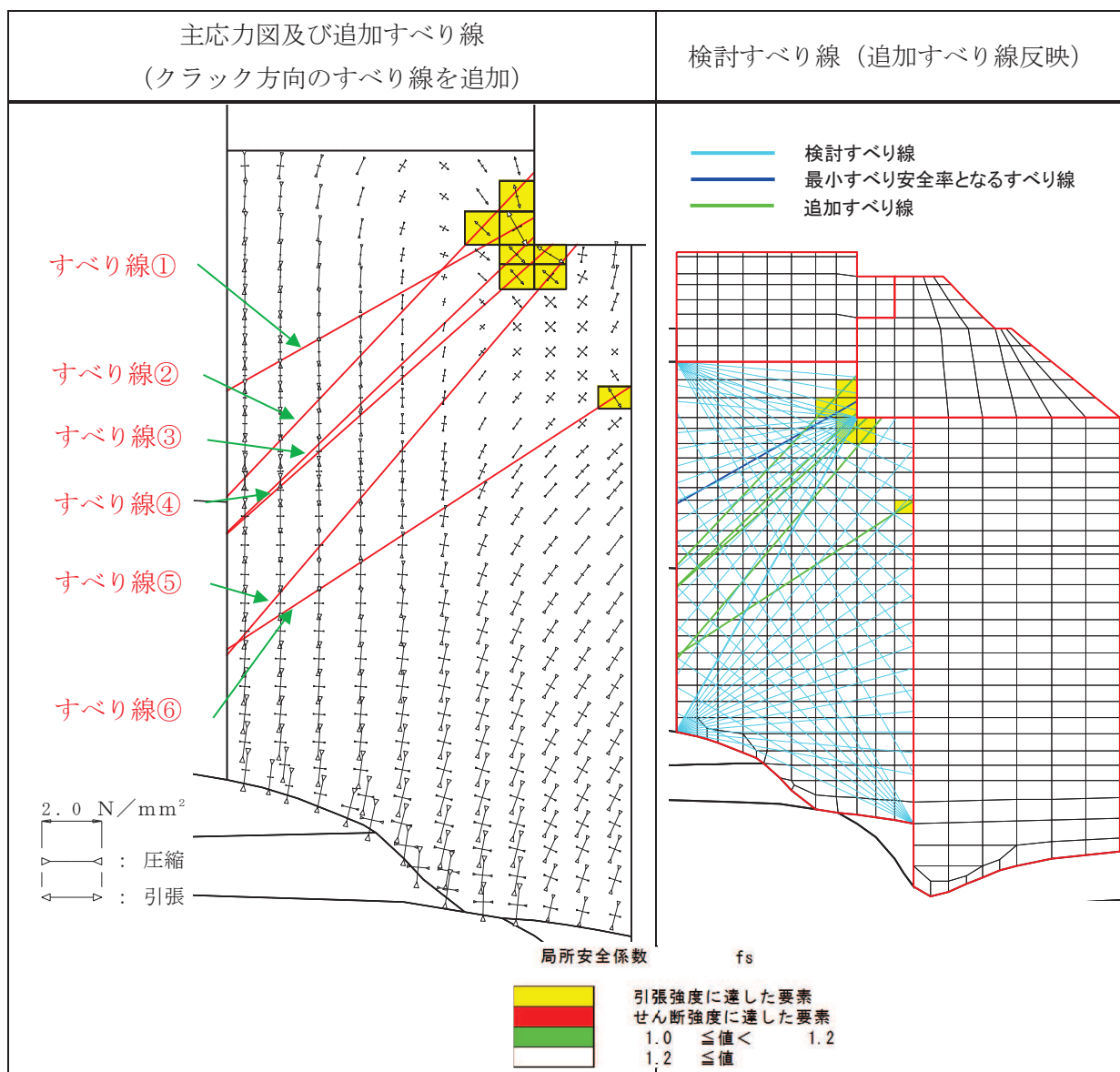


図 4.1-9(2) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線 (断面②)
 解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + σ)

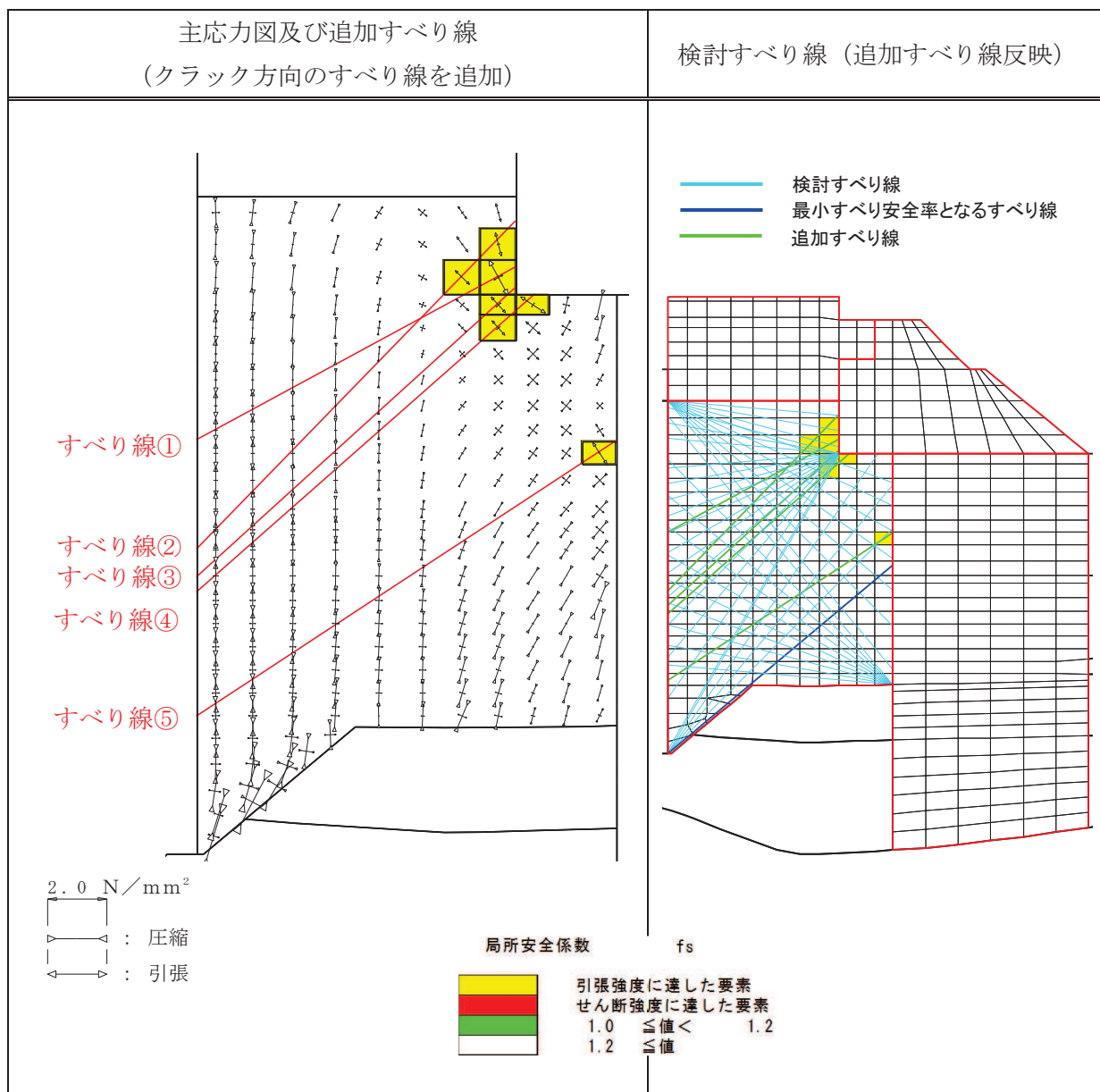


図 4.1-9(3) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線 (断面③)
解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + σ)

表 4.1-44 追加すべり線における最小すべり安全率

| 断面 | すべり線 | 最小すべり安全率 | (参考) 追加すべり線を除く最小すべり安全率 |
|-----|-------|----------|------------------------|
| 断面① | すべり線④ | 4.8 | 3.9 |
| 断面② | すべり線① | 4.9 | 4.9 |
| 断面③ | すべり線④ | 4.5 | 4.4 |

c. まとめ

a. 及びb. の検討により, 改良地盤に局所的に発生している引張破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.1.7 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4.1-45 に示す。これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.1-45(1) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 42.1 |
| ② (+1 σ) | 40.7 |
| ③ (-1 σ) | 43.9 |

表 4.1-45(2) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 42.7 |
| ② (+1 σ) | 41.3 |
| ③ (-1 σ) | 44.1 |

表 4.1-45(3) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 40.0 |
| ② (+1 σ) | 38.6 |
| ③ (-1 σ) | 42.2 |

表 4.1-45(4) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 最小すべり安全率 |
|------------------|----------|
| ① (平均) | 10.2 |
| ② (+1 σ) | 10.0 |
| ③ (-1 σ) | 10.4 |

4.1.8 止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果

津波時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査結果を表 4.1-46 及び表 4.1-47 に、止水ジョイント部材の相対変位量評価区間を図 4.1-10 に示す。

津波時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 4.1-46 (1) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(A 区間：構造境界部（一般部のうち突出長変化部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 5.7 | 71.4 | 77.1 | 350 |
| 軸方向 | 12.3* | 0 | 12.3 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-46 (2) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(B 区間：構造境界部（一般部のうち背面補強工間），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 31.5 | 93.5 | 125.0 | 350 |
| 軸方向 | 22.2* | 0 | 22.2 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-46 (3) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(C 区間：構造境界部（一般部と岩盤部の境界），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 31.5 | 93.5 | 125.0 | 350 |
| 軸方向 | 14.1* | 0 | 14.1 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-46 (4) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(D 区間：構造境界部（岩盤部のうち背面補強工間），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 0.3 | 59.5 | 59.8 | 350 |
| 軸方向 | 2.0* | 0 | 2.0 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-46 (5) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(E 区間：構造境界部（岩盤部のうち背面補強工端部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 0.1 | 66.6 | 66.7 | 350 |
| 軸方向 | 6.7* | 0 | 6.7 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-46 (6) ゴムジョイント部材設置箇所の津波時相対変位量

(F 区間：構造境界部（岩盤部のうち突出長変化部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | 0.1 | 66.6 | 66.7 | 350 |
| 軸方向 | 52.6* | 0 | 52.6 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-47 (1) ウレタンシリコン目地設置箇所の津波時相対変位量

(H 区間：構造同一部（一般部のうち背面補強工内），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | ③ | 1.2 | 21.4 | 22.6 | 30 |
| 軸方向 | —* | 1.6* | 0 | 1.6 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-47 (2) ウレタンシリコン目地設置箇所の津波時相対変位量

(I 区間：構造同一部（岩盤部のうち突出杭長同一部），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | ③ | 0.1 | 21.7 | 21.8 | 30 |
| 軸方向 | —* | 1.2* | 0 | 1.2 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.1-47 (3) ウレタンシリコーン目地設置箇所の津波時相対変位量

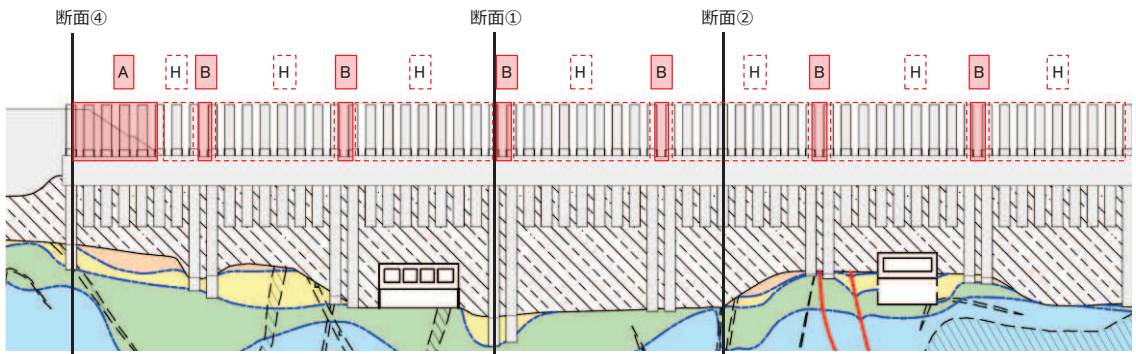
(J 区間：構造同一部（岩盤部のうち背面補強工内），鋼製遮水壁天端部：O. P. +29.0m)

| 方向 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 津波時変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------|------------------|---------------------|------------------|--------------|
| 軸直交方向 | ③ | 0.1 | 19.4 | 19.5 | 30 |
| 軸方向 | —* | 1.0* | 0 | 1.0 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

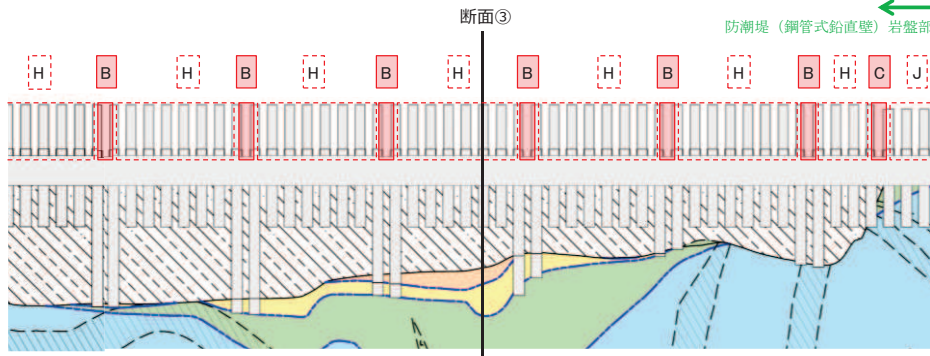
北
防潮堤（盛土堤防）

防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部



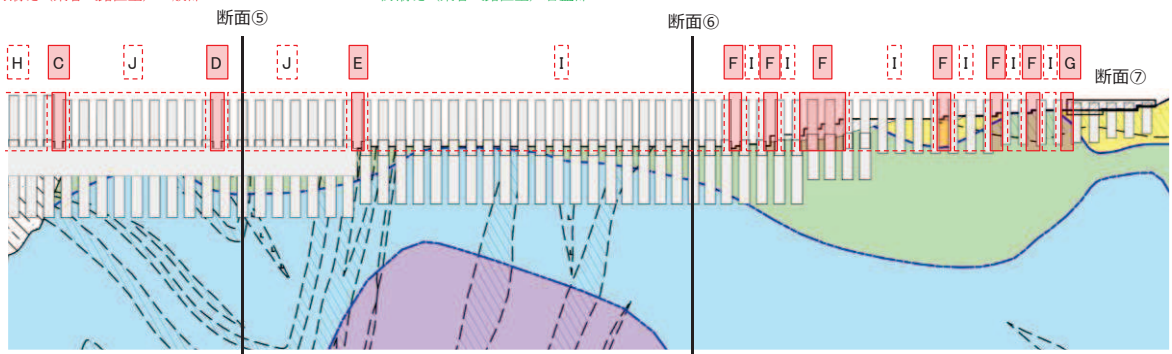
防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部

防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部



防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部

防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部



| 記号（区間） | | 評価対象断面 | 止水ジョイント部材 |
|--------|------------------|-----------------|-------------|
| 構造境界部 | A（一般部のうち突出長変化部） | 断面①，断面②，断面③ | ゴムジョイント |
| | B（一般部のうち背面補強工間） | 断面①，断面②，断面③ | ゴムジョイント |
| | C（一般部と岩盤部の境界） | 断面①，断面②，断面③，断面⑤ | ゴムジョイント |
| | D（岩盤部のうち背面補強工間） | 断面⑤ | ゴムジョイント |
| | E（岩盤部のうち背面補強工端部） | 断面⑤，断面⑥ | ゴムジョイント |
| | F（岩盤部のうち突出長変化部） | 断面⑥ | ゴムジョイント |
| | G（岩盤部のうちRC壁との境界） | 断面⑥，断面⑦ | ゴムジョイント |
| 構造同一部 | H（一般部のうち背面補強工内） | 断面①，断面②，断面③ | ウレタンシリコーン目地 |
| | I（岩盤部のうち突出長同一部） | 断面⑥ | ウレタンシリコーン目地 |
| | J（岩盤部のうち背面補強工内） | 断面⑤ | ウレタンシリコーン目地 |

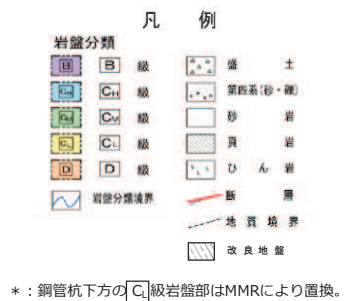


図 4.1-10 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間

4.2 重畳時

4.2.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「断面力分布図」,「最大せん断ひずみ分布」,「過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお,断面力分布について,鋼管杭は杭1本あたり,RC遮水壁は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

(1) 解析ケースと照査値

解析ケースはケース①～③を実施する。

a. 断面①

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表4.2-1に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-1 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース 地震動 | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.69 | | |
| | -+ | 0.76 | 0.76 | 0.71 |
| | +- | 0.73 | | |
| | -- | 0.67 | | |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表4.2-2に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-2 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース 地震動 | | せん断破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.44 | | |
| | -+ | 0.48 | 0.48 | 0.45 |
| | +- | 0.47 | | |
| | -- | 0.43 | | |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.2-3 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-3 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 12.2 | | |
| | -+ | 11.0 | 11.0 | 11.9 |
| | +- | 11.6 | | |
| | -- | 12.3 | | |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.2-4 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-4 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 13.4 | | |
| | -+ | 15.1 | 14.1 | 15.6 |
| | +- | 13.7 | | |
| | -- | 13.8 | | |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.2-5 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-5 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面①）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 2.6 | | |
| | -+ | 2.6 | 2.5 | 2.9 |
| | +- | 2.4 | | |
| | -- | 2.7 | | |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.2-6 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

なお、解析ケース③ですべり安全率が低下するのは、地盤物性値を平均値 -1σ とすることで、余震時の挙動が変わり、最小すべり線が変わること、背面補強工からセメント改良土への起動力が大きくなることが要因として考えられる。

表 4.2-6 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値 (断面①)

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 42.4 | | |
| | -+ | 48.2 | 56.7 | 52.2 |
| | +- | 44.5 | | |
| | -- | 43.1 | | |

(g) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-7 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-7 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値 (断面①, 鋼管杭)

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.22 | | |
| | -+ | 0.24 | 0.22 | 0.27 |
| | +- | 0.22 | | |
| | -- | 0.23 | | |

ロ 背面補強工

表 4.2-8 に背面補強工の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-8 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面①，背面補強工）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.23 | | |
| | -+ | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | +- | 0.23 | | |
| | -- | 0.25 | | |

ハ 置換コンクリート

表 4.2-9 に置換コンクリートの基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-9 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面①，置換コンクリート）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.15 | | |
| | -+ | 0.15 | 0.16 | 0.15 |
| | +- | 0.16 | | |
| | -- | 0.18 | | |

b. 断面②

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.2-10 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-10 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 地震動 \ 解析ケース | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.75 | 0.76 | 0.73 |
| | -+ | 0.75 | | |
| | +- | 0.74 | | |
| | -- | 0.73 | | |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.2-11 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-11 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 解析ケース 地震動 | | せん断破壊に対する照査 | | |
|--------------|-----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.48 | 0.48 | 0.46 |
| | -+ | 0.48 | | |
| | + - | 0.47 | | |
| | -- | 0.47 | | |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.2-12 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-12 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|-----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 11.4 | 11.3 | 11.6 |
| | -+ | 10.9 | | |
| | + - | 11.2 | | |
| | -- | 11.2 | | |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.2-13 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-13 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|-----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 13.1 | 13.5 | 12.6 |
| | -+ | 14.5 | | |
| | + - | 12.8 | | |
| | -- | 14.2 | | |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.2-14 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-14 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 3.0 | 2.9 | 3.0 |
| | -+ | 3.0 | | |
| | +- | 2.8 | | |
| | -- | 2.9 | | |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.2-15 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

なお、解析ケース③ですべり安全率が低下するのは、地盤物性値を平均値 -1σ とすることで、余震時の挙動が変わり、最小すべり線が変わること、背面補強工からセメント改良土への起動力が大きくなることが要因として考えられる。

表 4.2-15 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面②）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 29.5 | 46.4 | 15.1 |
| | -+ | 36.2 | | |
| | +- | 38.5 | | |
| | -- | 30.1 | | |

(g) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-16 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-16 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面②，鋼管杭）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.09 | 0.09 | 0.10 |
| | -+ | 0.10 | | |
| | +- | 0.09 | | |
| | -- | 0.09 | | |

ロ 背面補強工

表 4.2-17 に背面補強工の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-17 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面②，背面補強工）

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | -+ | 0.28 | | |
| | +- | 0.25 | | |
| | -- | 0.28 | | |

ハ 置換コンクリート

表 4.2-18 に置換コンクリートの基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-18 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面②，置換コンクリート）

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| | -+ | 0.13 | | |
| | +- | 0.14 | | |
| | -- | 0.14 | | |

c. 断面③

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.2-19 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-19 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース 地震動 | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.71 | | |
| | -+ | 0.75 | 0.76 | 0.75 |
| | +- | 0.73 | | |
| | -- | 0.75 | | |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.2-20 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-20 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース 地震動 | | せん断破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.45 | | |
| | -+ | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| | +- | 0.47 | | |
| | -- | 0.48 | | |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.2-21 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-21 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 11.6 | | |
| | -+ | 10.8 | 10.9 | 10.9 |
| | +- | 11.3 | | |
| | -- | 10.9 | | |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.2-22 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-22 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 12.6 | | |
| | -+ | 12.2 | 12.2 | 12.5 |
| | +- | 12.0 | | |
| | -- | 12.6 | | |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.2-23 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-23 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 2.9 | | |
| | -+ | 2.8 | 2.7 | 3.3 |
| | +- | 2.8 | | |
| | -- | 3.0 | | |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.2-24 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

なお、解析ケース③ですべり安全率が低下するのは、地盤物性値を平均値 -1σ とすることで、余震時の挙動が変わり、最小すべり線が変わること、背面補強工からセメント改良土への起動力が大きくなることが要因として考えられる。

表 4.2-24 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面③）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 60.5 | | |
| | -+ | 32.2 | 38.3 | 22.0 |
| | +- | 46.3 | | |
| | -- | 39.9 | | |

(g) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-25 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-25 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面③，鋼管杭）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.14 | | |
| | -+ | 0.15 | 0.13 | 0.18 |
| | +- | 0.14 | | |
| | -- | 0.15 | | |

ロ 背面補強工

表 4.2-26 に背面補強工の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-26 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面③，背面補強工）

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.25 | | |
| | -+ | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | +- | 0.23 | | |
| | -- | 0.28 | | |

ハ 置換コンクリート

表 4.2-27 に置換コンクリートの基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-27 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面③，置換コンクリート）

| 解析ケース 地震動 | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.15 | | |
| | -+ | 0.15 | 0.14 | 0.15 |
| | +- | 0.15 | | |
| | -- | 0.15 | | |

d. 断面④

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.2-28 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-28 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース 地震動 | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.25 | | |
| | -+ | 0.25 | | |
| | +- | 0.25 | | |
| | -- | 0.25 | 0.21 | 0.32 |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.2-29 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-29 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース 地震動 | | せん断破壊に対する照査 | | |
|--------------|----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.07 | | |
| | -+ | 0.08 | | |
| | +- | 0.07 | | |
| | -- | 0.08 | 0.06 | 0.09 |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.2-30 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-30 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 15.2 | | |
| | -+ | 13.8 | | |
| | +- | 14.8 | | |
| | -- | 14.3 | 14.6 | 14.1 |

(d) 置換コンクリートのすべり安全率照査

表 4.2-31 に置換コンクリートのすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-31 置換コンクリートのすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 解析ケース 地震動 | | すべり安全率照査 | | |
|--------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 13.2 | | |
| | -+ | 12.9 | | |
| | +- | 12.6 | | |
| | -- | 12.6 | 12.7 | 12.4 |

(e) 改良地盤のすべり安全率照査

表 4.2-32 に改良地盤のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-32 改良地盤のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 4.4 | | |
| | -+ | 4.1 | | |
| | +- | 4.4 | | |
| | -- | 4.2 | 4.2 | 4.1 |

(f) セメント改良土のすべり安全率照査

表 4.2-33 にセメント改良土のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-33 セメント改良土のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面④）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|-----|-----|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 7.5 | | |
| | -+ | 7.5 | | |
| | +- | 7.5 | | |
| | -- | 7.0 | 7.6 | 6.9 |

(g) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-34 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-34 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面④，鋼管杭）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.22 | | |
| | -+ | 0.21 | | |
| | +- | 0.21 | | |
| | -- | 0.22 | 0.18 | 0.27 |

ロ 背面補強工

表 4.2-35 に背面補強工の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-35 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面④，背面補強工）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.28 | | |
| | -+ | 0.28 | | |
| | +- | 0.28 | | |
| | -- | 0.30 | 0.30 | 0.28 |

ハ 置換コンクリート

表 4.2-36 に置換コンクリートの基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-36 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面④，置換コンクリート）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.20 | | |
| | -+ | 0.19 | | |
| | +- | 0.20 | | |
| | -- | 0.20 | 0.19 | 0.20 |

e. 断面⑤

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.2-37 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-37 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 地震動 \ 解析ケース | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.61 | 0.61 | 0.60 |
| | -+ | 0.58 | | |
| | +- | 0.59 | | |
| | -- | 0.57 | | |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.2-38 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-38 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 地震動 \ 解析ケース | | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------------|----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.45 | 0.45 | 0.44 |
| | -+ | 0.42 | | |
| | +- | 0.43 | | |
| | -- | 0.42 | | |

(c) 背面補強工のすべり安全率照査

表 4.2-39 に背面補強工のすべり安全率照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-39 背面補強工のすべり安全率照査に対する実施ケースと照査値（断面⑤）

| 地震動 \ 解析ケース | | すべり安全率照査 | | |
|-------------|----|----------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 12.8 | 12.8 | 12.8 |
| | -+ | 13.3 | | |
| | +- | 13.0 | | |
| | -- | 13.1 | | |

(d) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-40 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-40 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面⑤，鋼管杭）

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

ロ 背面補強工

表 4.2-41 に背面補強工の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-41 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面⑤，背面補強工）

| 地震動 \ 解析ケース | | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| | -+ | 0.06 | | |
| | +- | 0.06 | | |
| | -- | 0.06 | | |

f. 断面⑥

(a) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 4.2-42 に鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-42 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑥）

| 地震動 \ 解析ケース | | 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 | | |
|-------------|----|-----------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.64 | 0.64 | 0.65 |
| | -+ | 0.60 | | |
| | +- | 0.62 | | |
| | -- | 0.61 | | |

(b) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査

表 4.2-43 に鋼管杭のせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-43 鋼管杭のせん断破壊に対する実施ケースと照査値（断面⑥）

| 地震動 \ 解析ケース | | せん断破壊に対する照査 | | |
|-------------|----|-------------|------|------|
| | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | 0.38 | 0.39 | 0.36 |
| | -+ | 0.36 | | |
| | +- | 0.36 | | |
| | -- | 0.36 | | |

(g) 基礎地盤の支持性能に対する照査

イ 鋼管杭

表 4.2-44 に鋼管杭の基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.2-44 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値（断面⑥，鋼管杭）

| 地震動 | | 解析ケース | 基礎地盤の支持性能に対する照査 | | |
|-----------|-----|-------|-----------------|------|------|
| | | | ① | ② | ③ |
| S d - D 2 | ++ | | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | -+ | | 0.04 | | |
| | + - | | 0.04 | | |
| | -- | | 0.04 | | |

(2) 断面力分布（鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

断面照査に用いた断面諸元を表 4.2-45 に、鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 4.2-46 に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図 4.2-1 に示す。

表 4.2-45 鋼管杭断面諸元（断面①～断面⑥）

| 杭種 | | 設置標高 | 板厚*2 (mm) | 断面積 (mm ²) | 断面係数 (mm ³) |
|----|-----------------------|--|--------------|------------------------|-------------------------|
| A | 鋼管杭 (上杭) φ 2200 | SKK490 (t=25mm) 0. P. +30. 0m*1～ 0. P. +23. 5m | 24 | 1. 639×10 ⁵ | 8. 813×10 ⁷ |
| B | | SM570 (t=40mm) 0. P. +23. 5m～ 0. P. +21. 0m 0. P. +21. 0m～ 0. P. +20. 0m | 39 | 2. 645×10 ⁵ | 1. 403×10 ⁸ |
| C | 鋼管杭 (下杭) φ 2500 | SM570 (t=35mm) 長杭 0. P. +20. 0m～ 0. P. ±0. 0m 短杭 断面⑤ 0. P. +20. 0m～ 0. P. +5. 0m 断面⑥ 0. P. +20. 0m ～ +8. 0m | 34 | 2. 632×10 ⁵ | 1. 599×10 ⁸ |
| D | | SKK490 (t=25mm) 長杭 0. P. ±0. 0m～ 杭下端 短杭 断面⑤ 0. P. +5. 0m～ 0. P. +2. 5m 断面⑥ 0. P. +8. 0m ～ +5. 5m | 24 | 1. 865×10 ⁵ | 1. 143×10 ⁸ |

注記 *1：岩盤部（断面⑤及び断面⑥）は 0. P. +29. 0m。

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査において，腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 4.2-46(1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面①)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | S d - D 2 (-+) | ② | 45243 | 1277 | 288 | 382 | 0.76 |

表 4.2-46(2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面②)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ② | 45234 | 1095 | 288 | 382 | 0.76 |

表 4.2-46(3) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面③)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | S d - D 2 (-+) | ② | 45437 | 828 | 288 | 382 | 0.76 |

表 4.2-46(4) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面④)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| D | S d - D 2 (--) | ③ | 1153 | 14401 | 88 | 277 | 0.32 |

表 4.2-46(5) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ② | 35887 | 1335 | 230 | 382 | 0.61 |

表 4.2-46(6) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 発生断面力 | | 曲げ圧縮 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ③ | 38764 | 1260 | 248 | 382 | 0.65 |

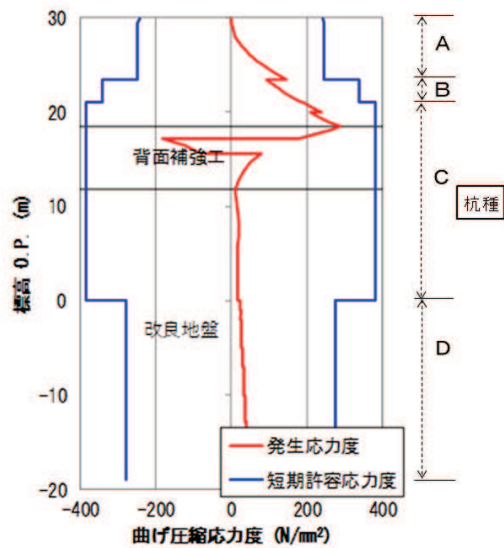
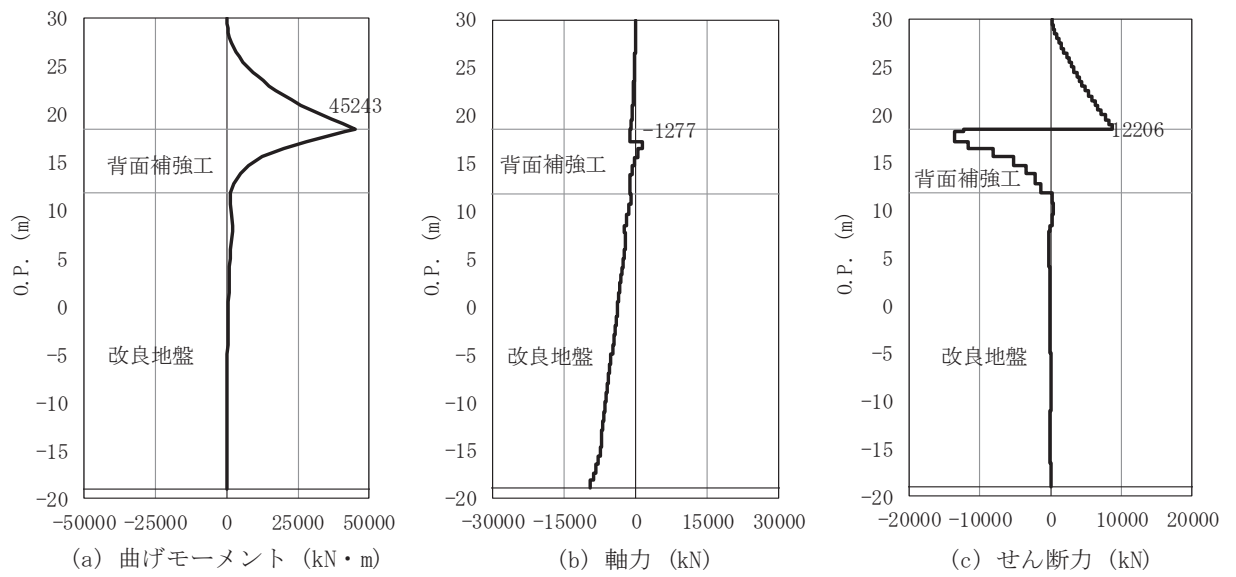


図 4.2-1(1) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面①, S d-D 2 (-+), t=17.47s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

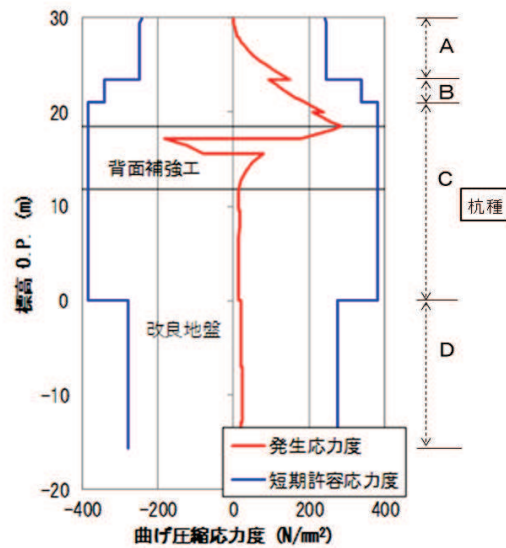
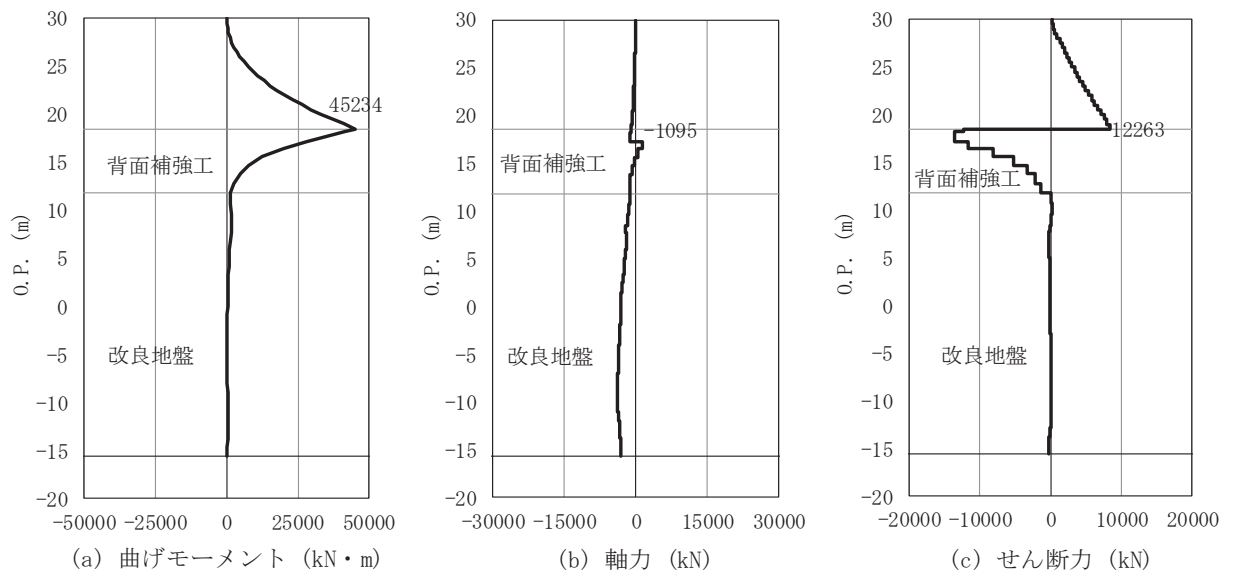


図 4.2-1(2) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面②, S d-D 2 (++) , t=6.93s)
 解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

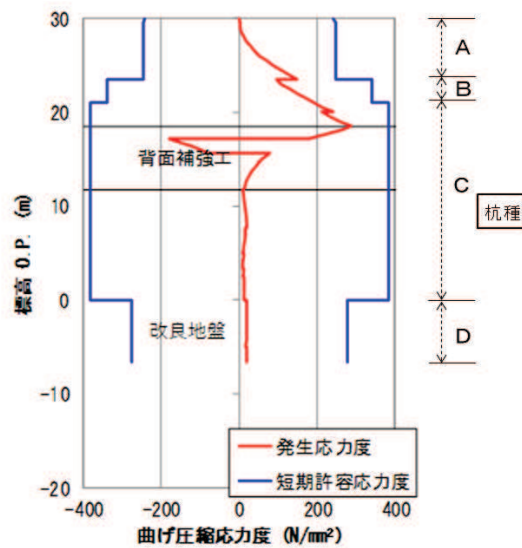
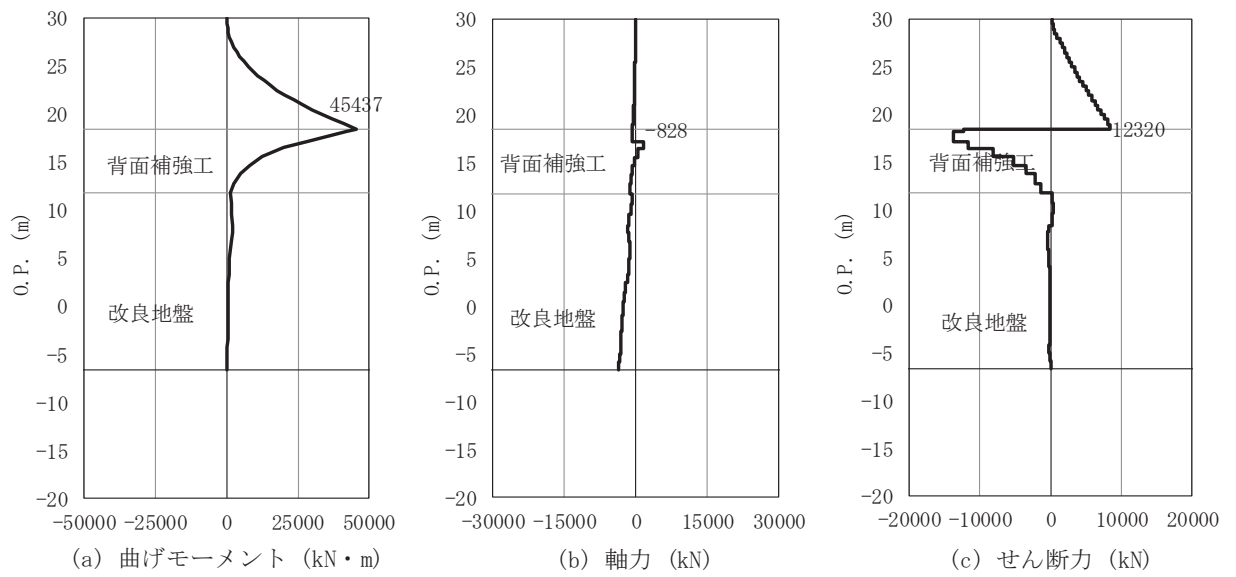


図 4.2-1(3) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面③, S d - D 2 (-+), t=16.37s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

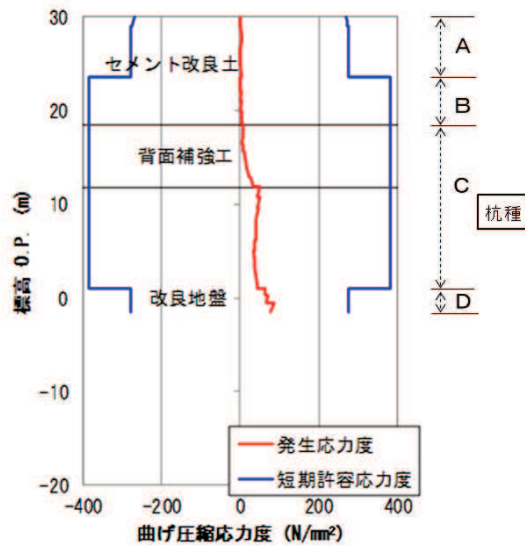
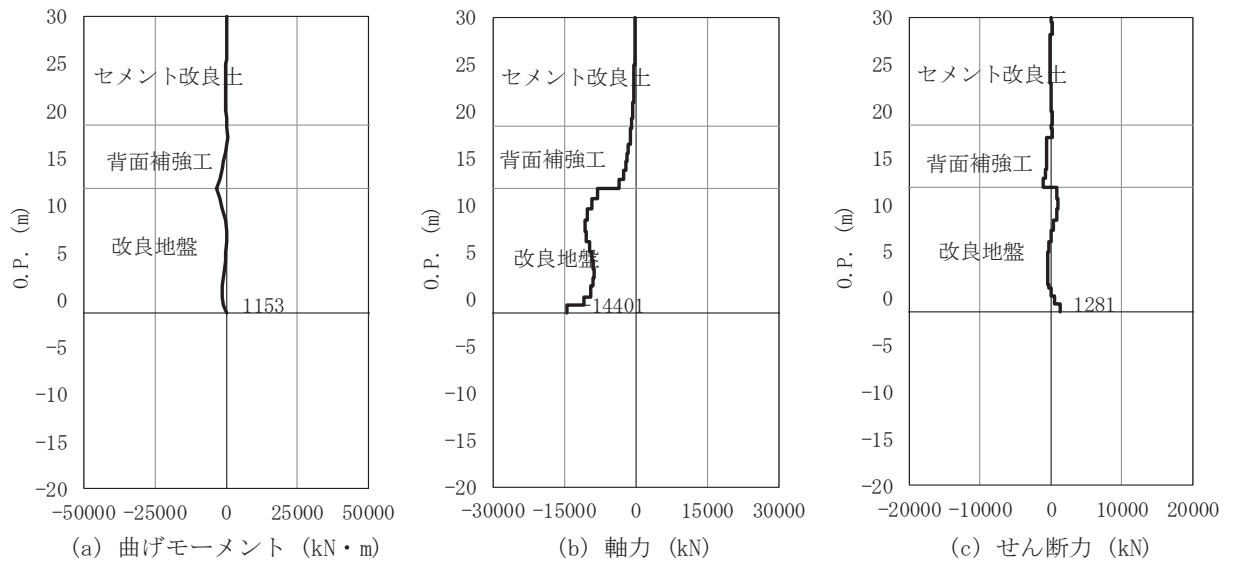


図 4.2-1(4) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面④, S d-D 2 (---), t=13.58s)
 解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値-1σ)

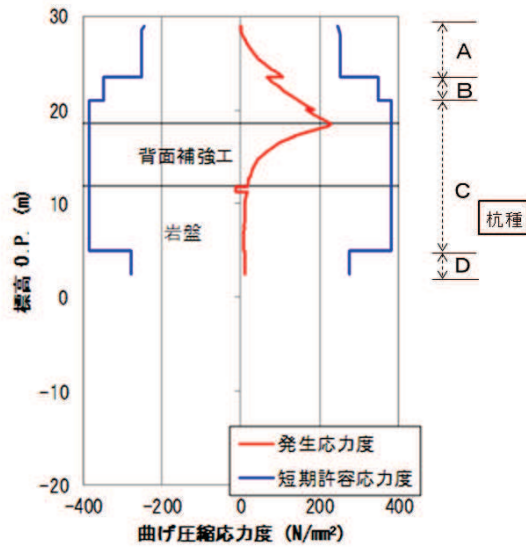
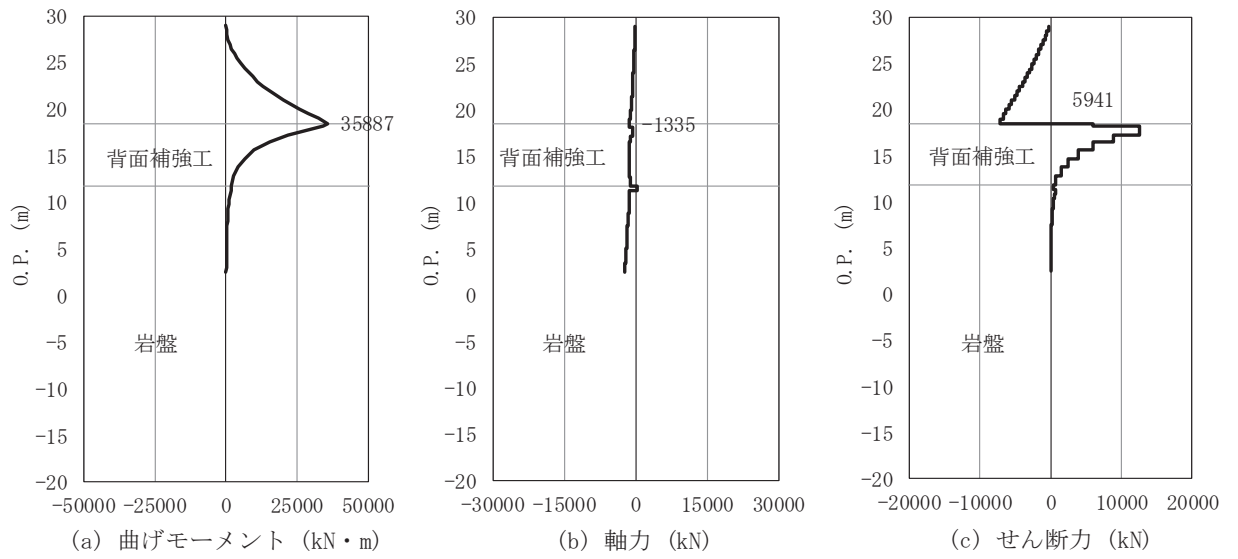


図 4.2-1(5) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面⑤, S d-D 2 (++) , t=6.85s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

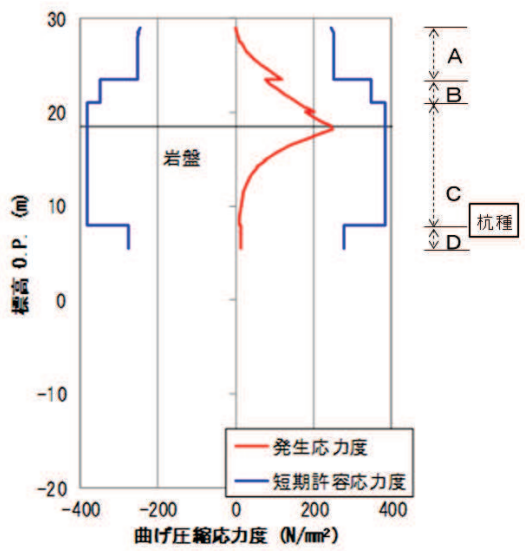
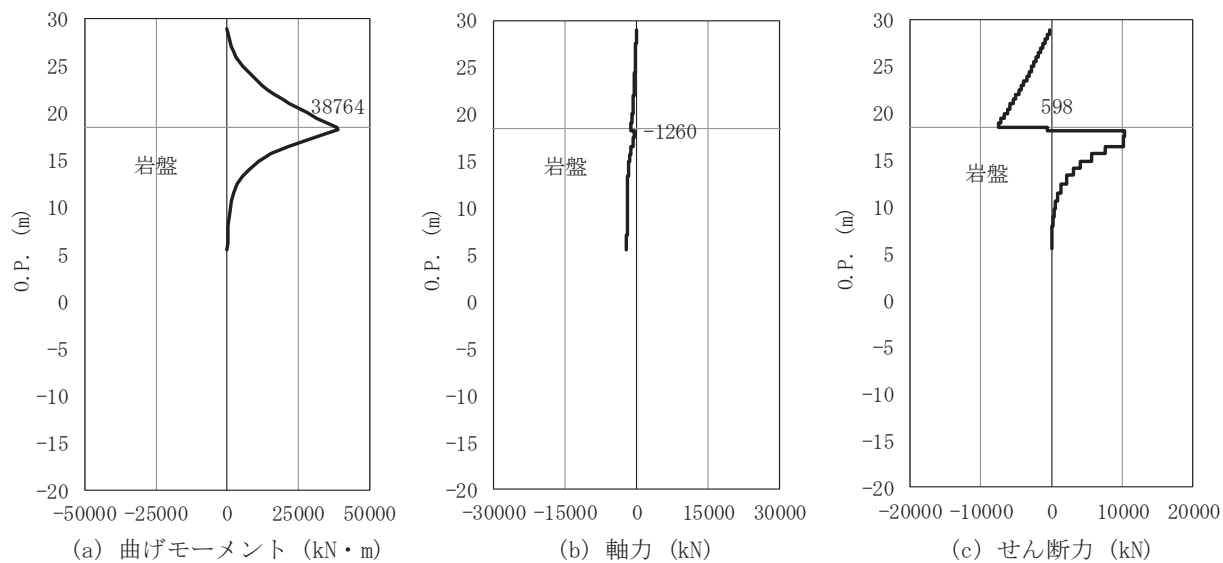


図 4.2-1(6) 鋼管杭の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における断面力
 (断面⑥, S d - D 2 (++) , t=6.86s)
 解析ケース③ : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

(3) 断面力分布（鋼管杭のせん断破壊に対する照査）

断面照査に用いた断面諸元を表 4.2-45 に、鋼管杭のせん断破壊に対する照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 4.2-47 に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図 4.2-2 に示す。

表 4.2-47(1) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①）

| 杭種 | 地震動 | 解析ケース | 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) | | | |
| C | S d - D 2 (-+) | ② | 13606 | 104 | 217 | 0.48 |

表 4.2-47(2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面②）

| 杭種 | 地震動 | 解析ケース | 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ② | 13590 | 104 | 217 | 0.48 |

表 4.2-47(3) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面③）

| 杭種 | 地震動 | 解析ケース | 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) | | | |
| C | S d - D 2 (-+) | ② | 13661 | 104 | 217 | 0.48 |

表 4.2-47(4) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面④）

| 杭種 | 地震動 | 解析ケース | 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) | | | |
| D | S d - D 2 (--) | ③ | 1281 | 14 | 157 | 0.09 |

表 4.2-47 (5) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ② | 12549 | 96 | 217 | 0.45 |

表 4.2-47 (6) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 杭種 | 地震動 | 解析 ケース | 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) | | | |
| C | S d - D 2 (++) | ② | 10910 | 83 | 217 | 0.39 |

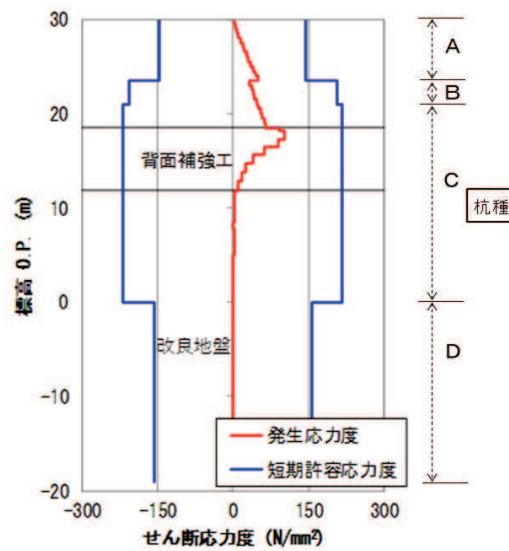
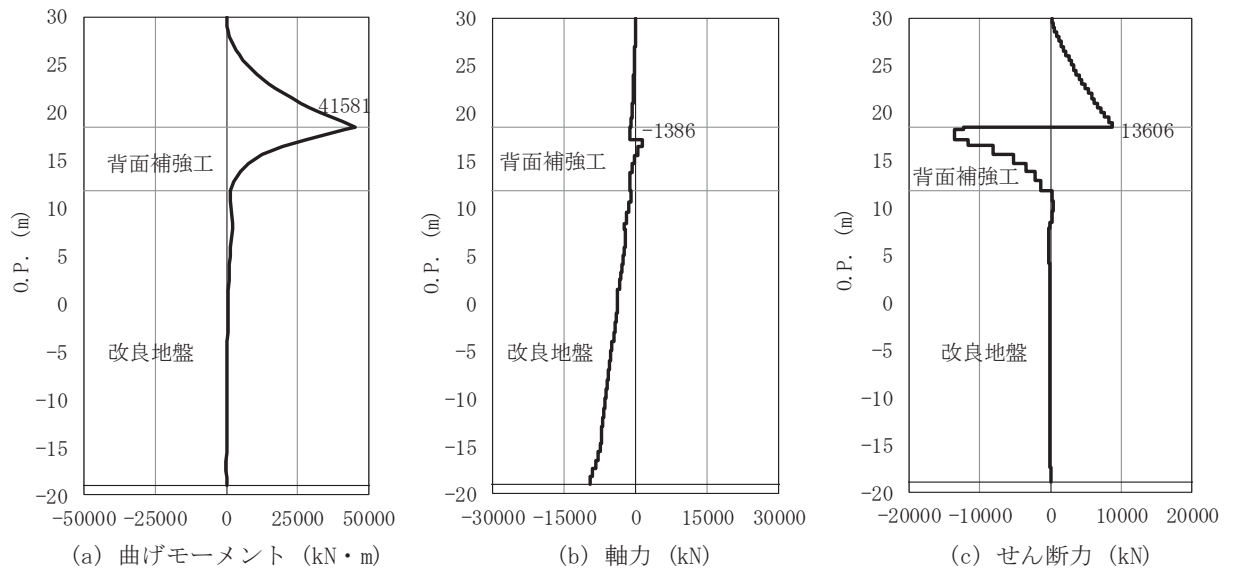


図 4.2-2(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力
 (断面①, S d - D 2 (-+), t=17.47s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

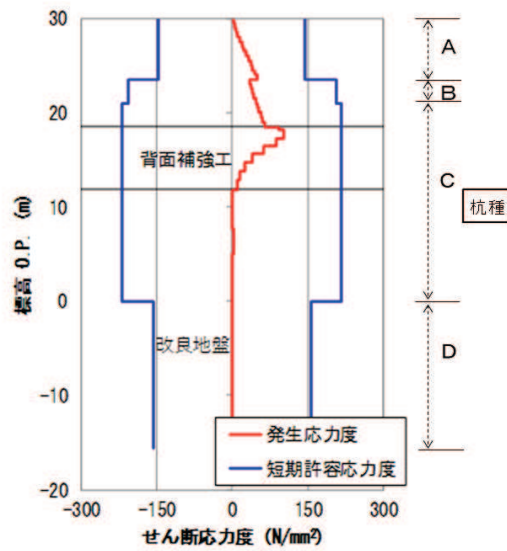
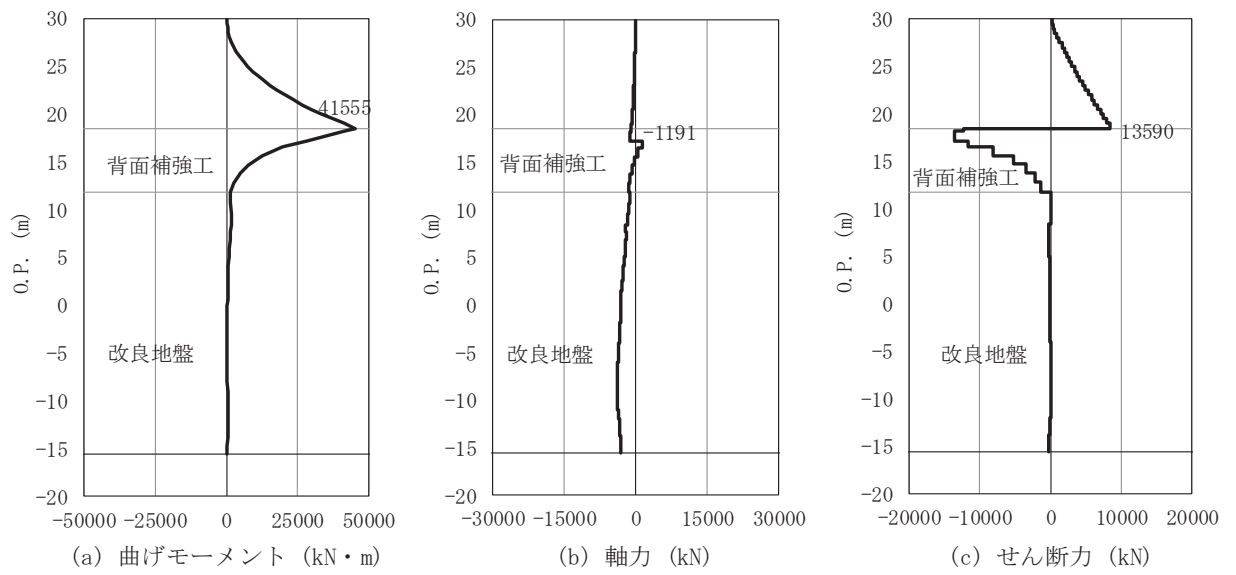


図 4.2-2(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力
 (断面②, S d-D 2 (++) , t=6.93s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

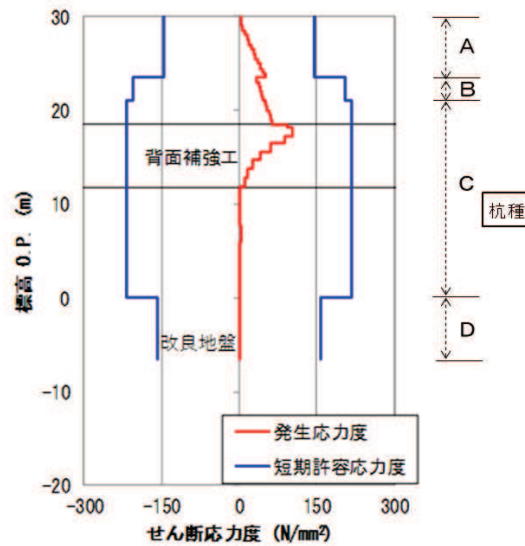
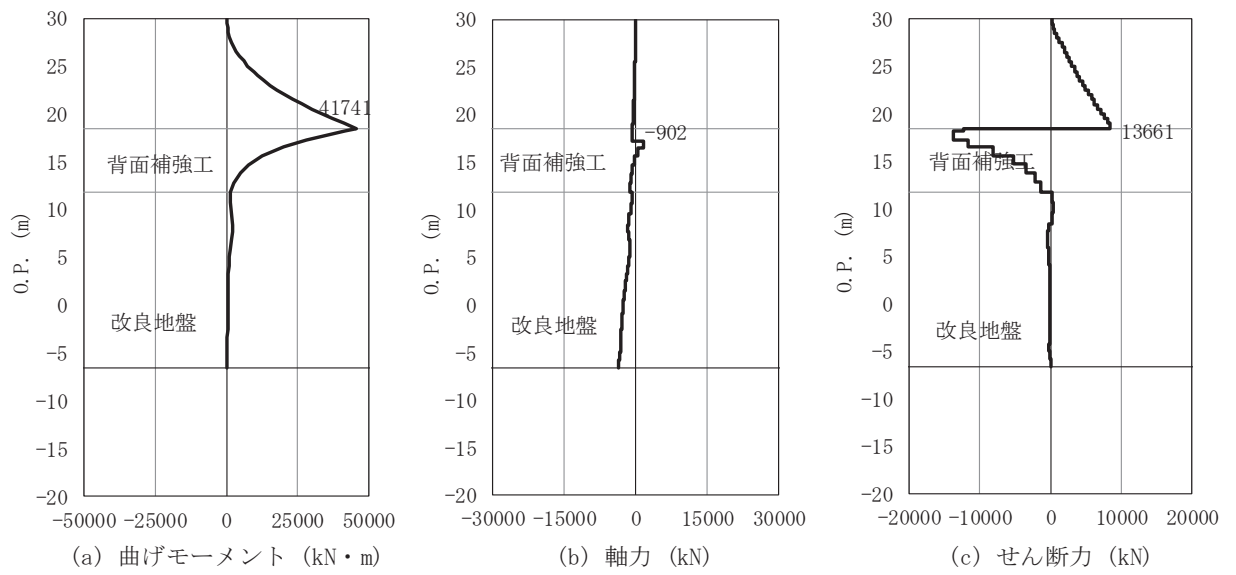


図 4.2-2(3) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力

(断面③, S d-D 2 (-+), t=16.37s)

解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

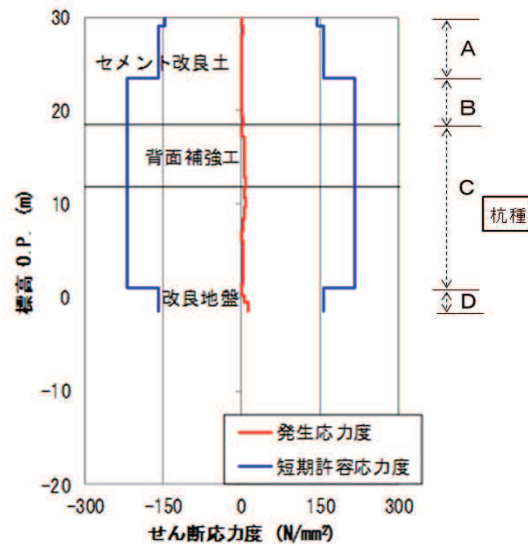
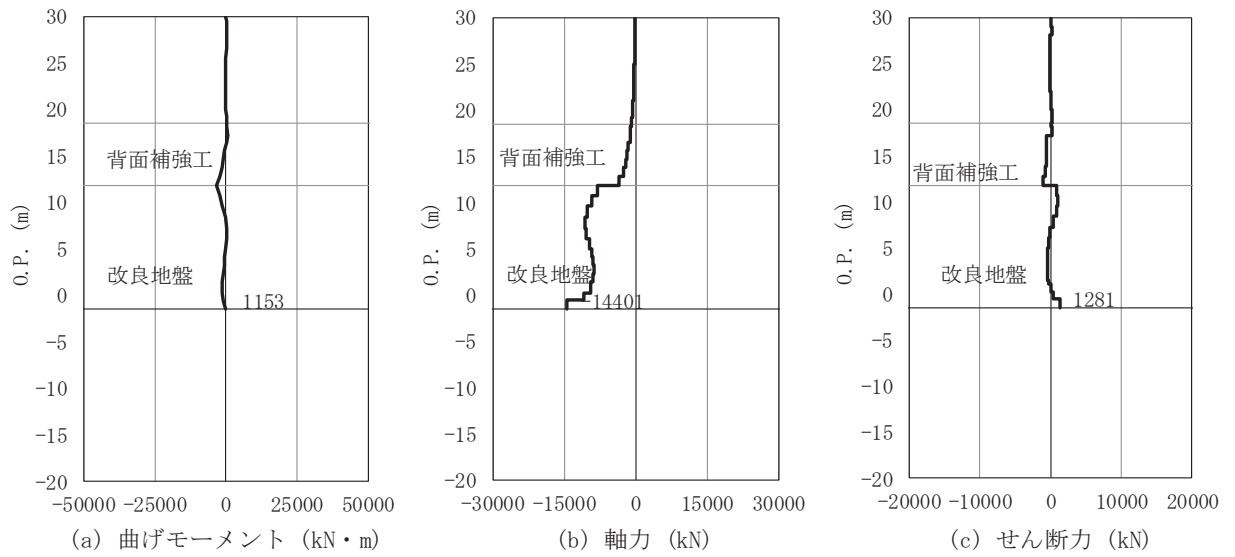


図 4.2-2(4) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力

(断面④, S d-D 2 (---), t=13.58s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値-1σ)

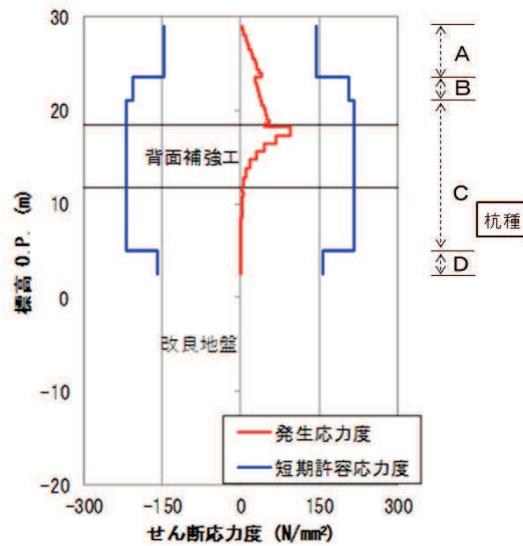
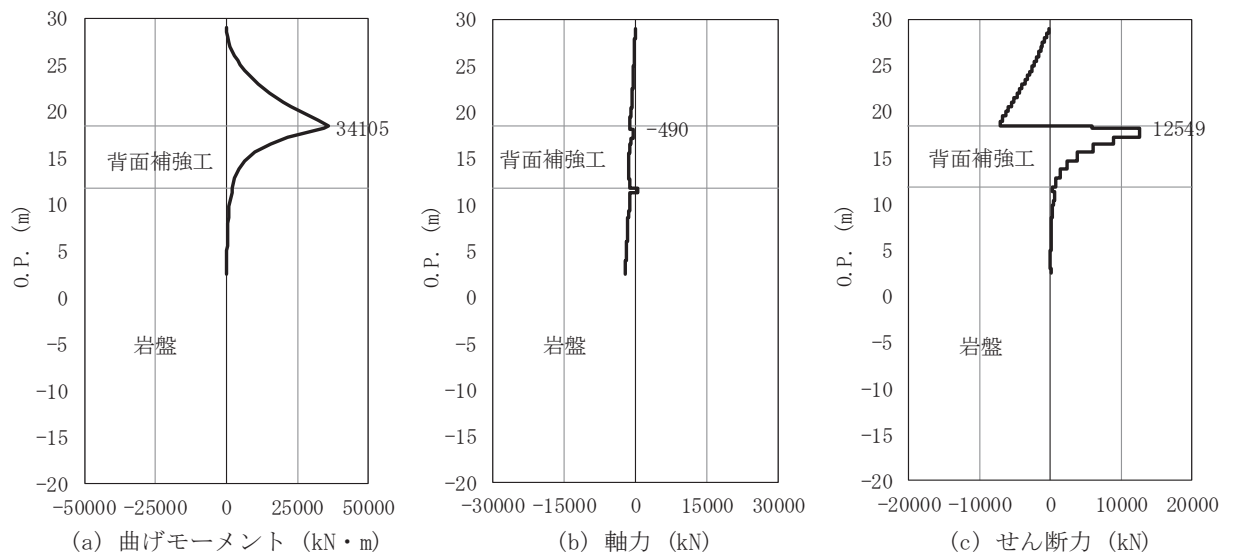


図 4.2-2(5) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力
 (断面⑤, S d-D 2 (++) , t=6.85s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

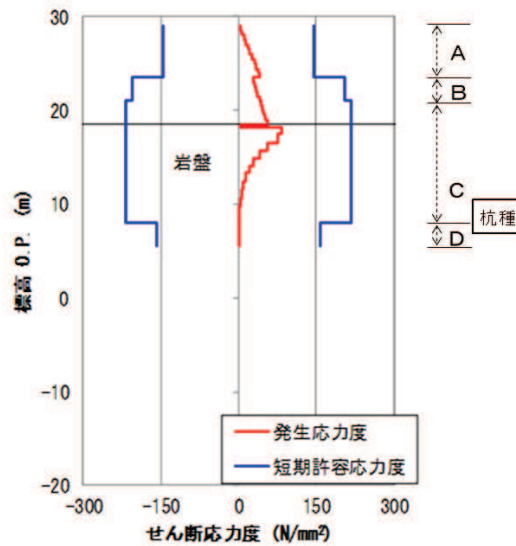
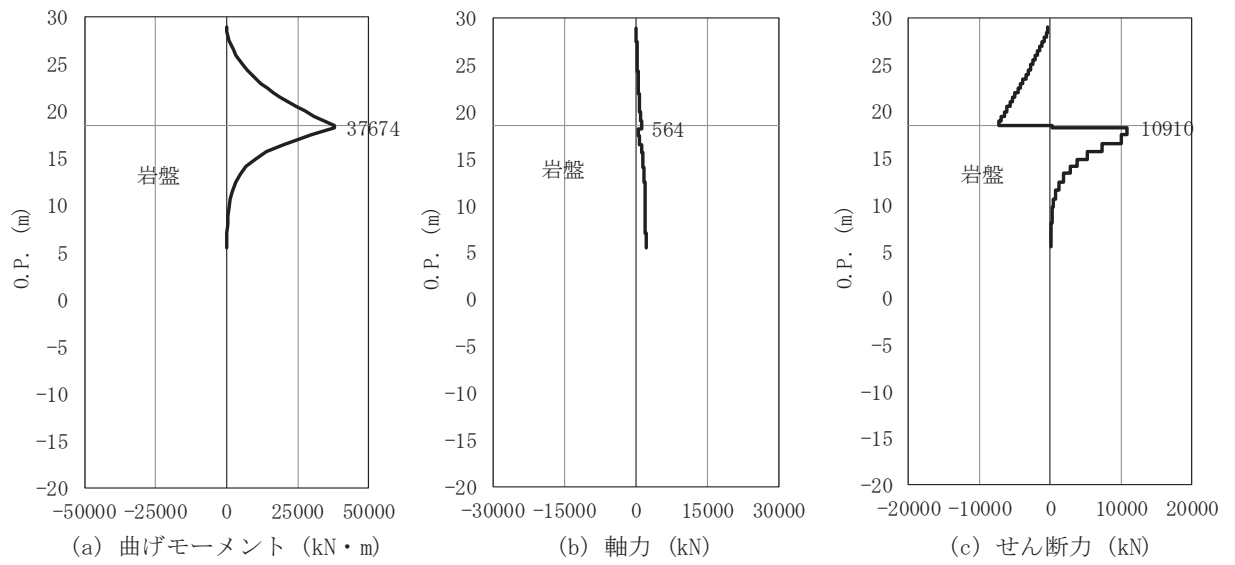


図 4.2-2(6) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における断面力
 (断面⑥, S d - D 2 (++) , t=6.85s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

(4) 局所安全係数分布（背面補強工）

背面補強工のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-48 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-3 に示す。

表 4.2-48(1) 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面①）

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ② | 17.47 | 11.0 |

表 4.2-48(2) 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面②）

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ① | 25.26 | 10.9 |

表 4.2-48(3) 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面③）

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ① | 13.58 | 10.8 |

表 4.2-48(4) 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面④）

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ① | 13.54 | 13.8 |

表 4.2-48(5) 背面補強工のすべり安全率評価結果（断面⑤）

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (++) | ② | 6.85 | 12.8 |

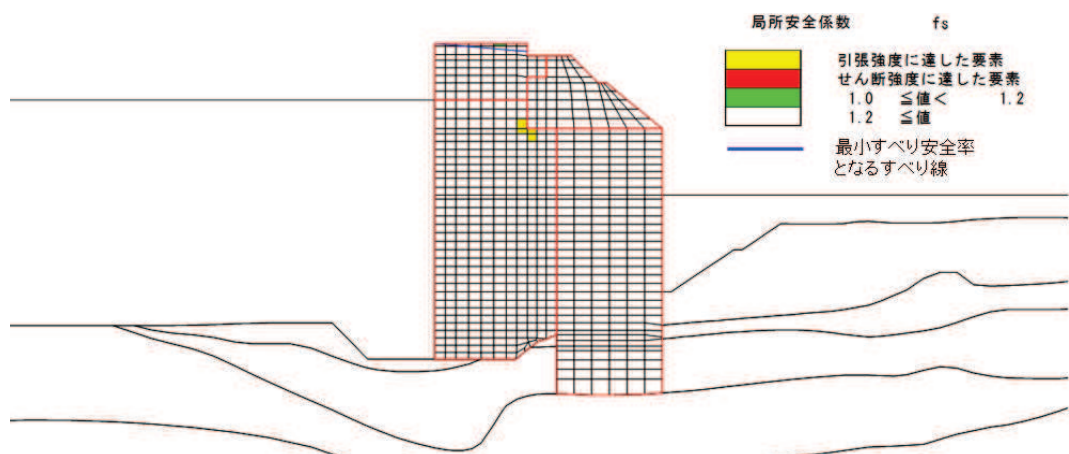


図 4.2-3(1) 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
（断面①, S d - D 2 (-+), t=17.47s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1σ）

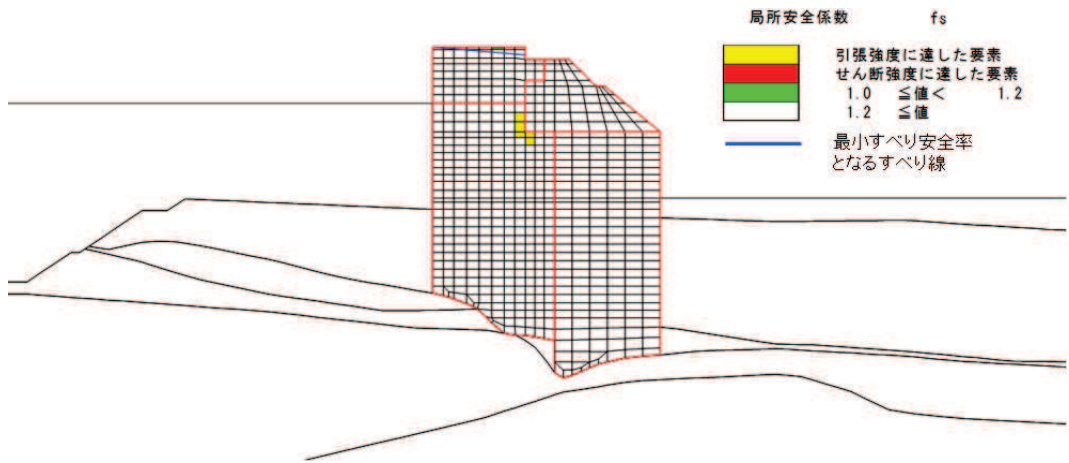


図 4.2-3(2) 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面②, S d - D 2 (-+), t=25.26s)
 解析ケース①: 基本ケース

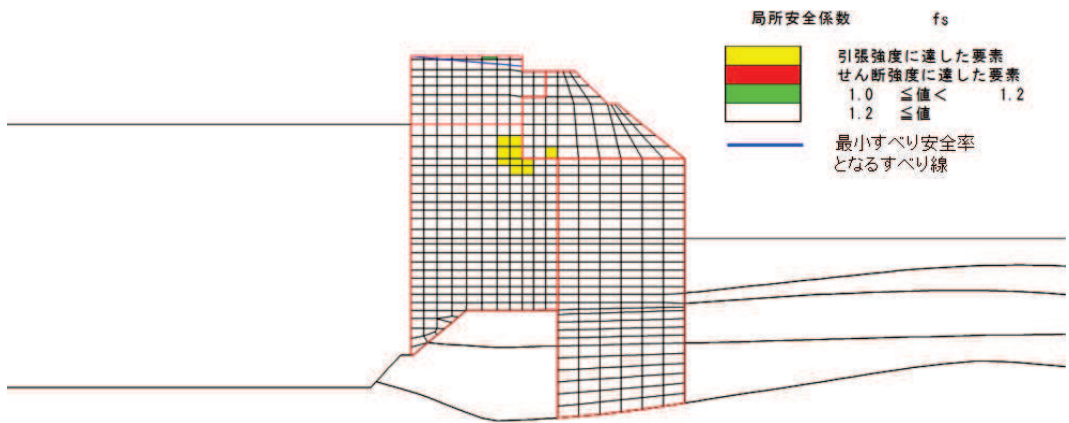


図 4.2-3(3) 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面③, S d - D 2 (-+), t=13.58s)
 解析ケース①: 基本ケース

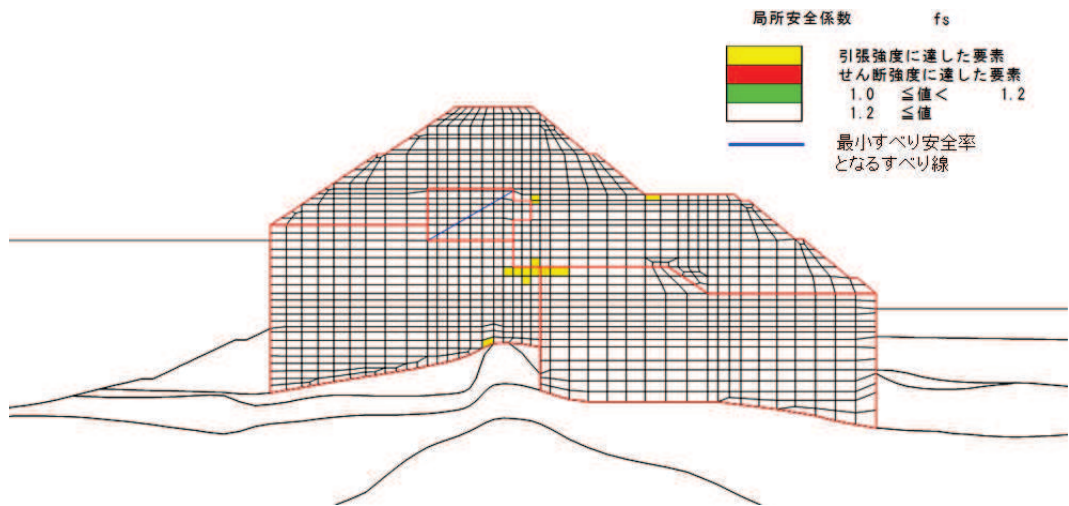


図 4.2-3(4) 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, S d - D 2 (-+), t=13.54s)

解析ケース①：基本ケース

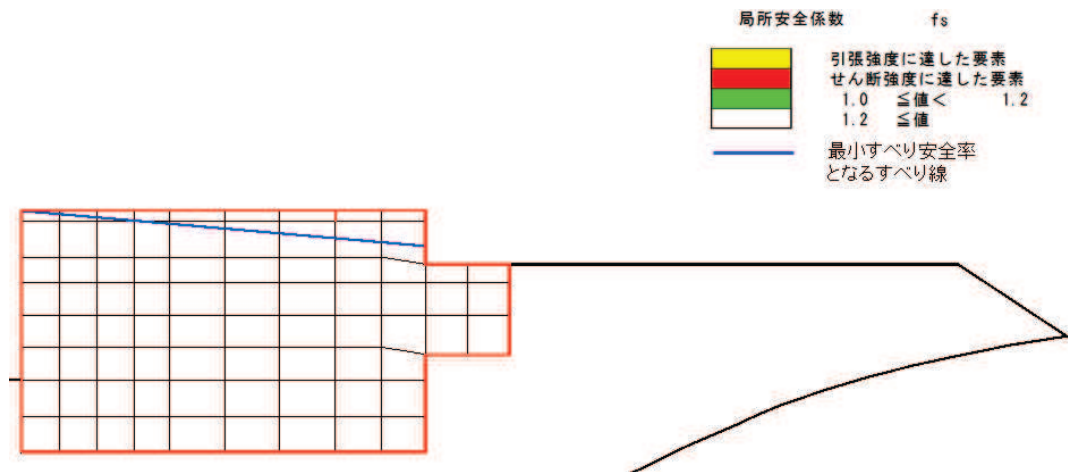


図 4.2-3(5) 背面補強工の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面⑤, S d - D 2 (++) , t=6.85s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

(5) 局所安全係数分布 (置換コンクリート)

置換コンクリートのすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-49 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-4 に示す。

表 4.2-49(1) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (++) | ① | 12.92 | 13.4 |

表 4.2-49(2) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (++) | ③ | 12.92 | 12.6 |

表 4.2-49(3) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (+-) | ① | 25.48 | 12.0 |

表 4.2-49(4) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻(s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------|---------|----------|
| S d - D 2 (--) | ③ | 13.55 | 12.4 |

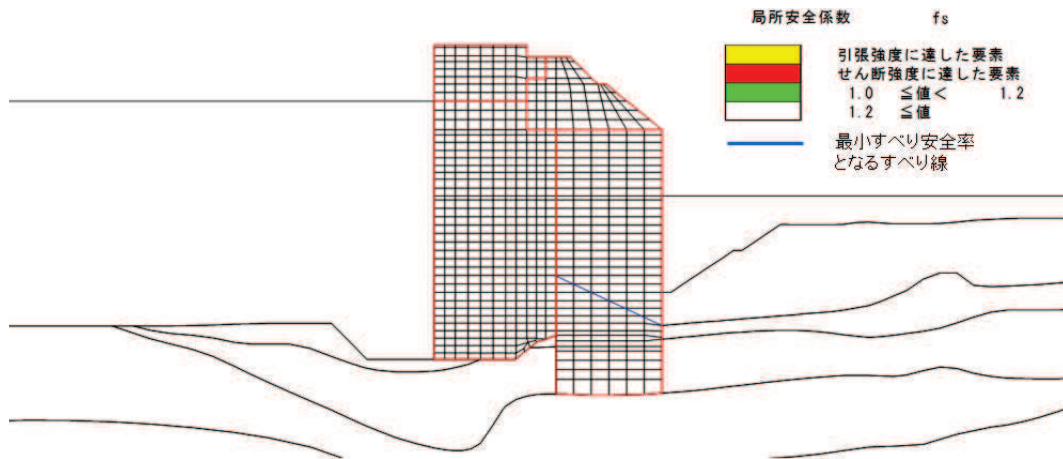


図 4.2-4(1) 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S d - D 2 (++) , t=12.92s)
解析ケース①: 基本ケース

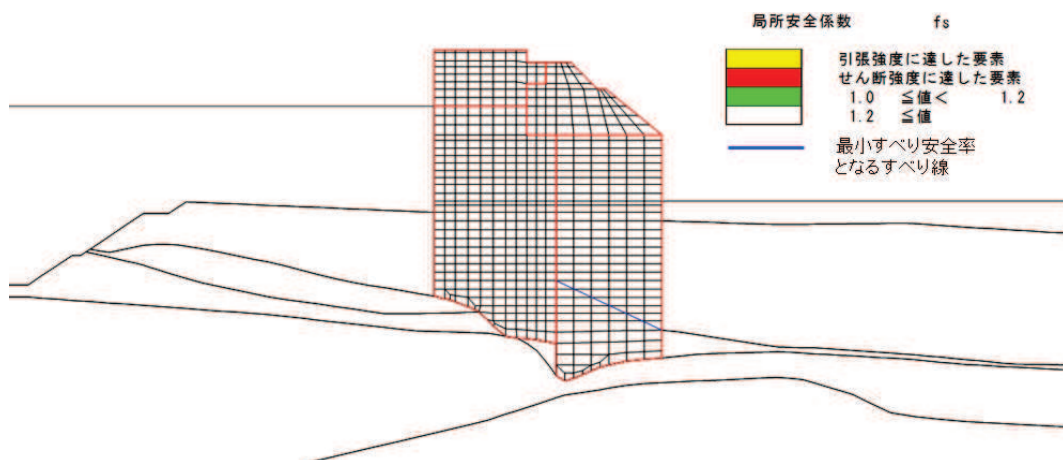


図 4.2-4(2) 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面②, S d - D 2 (++) , t=12.92s)
解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

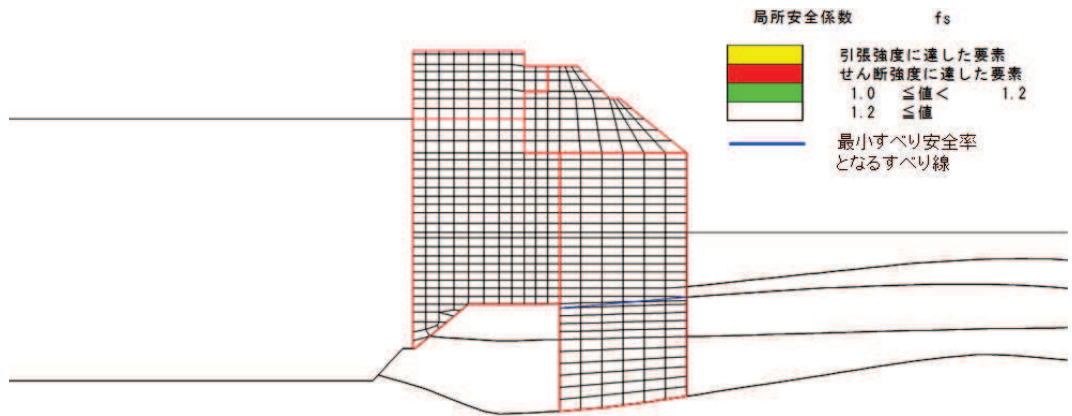


図 4.2-4(3) 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, S d - D 2 (+ -), $t=25.48s$)

解析ケース①：基本ケース

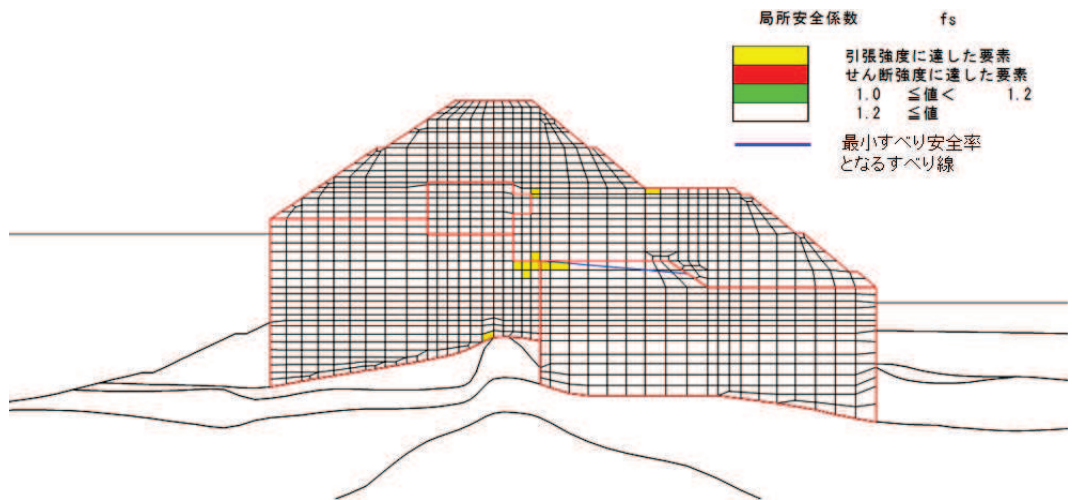


図 4.2-4(4) 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布 (断面④)
(解析ケース③, S d - D 2 (- -), $t=13.55s$)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

(6) 局所安全係数分布 (改良地盤)

改良地盤のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-50 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-5 に示す。

表 4.2-50(1) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (+-) | ① | 25.50 | 2.4 |
| S d - D 2 (+-) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.50 | 2.4 |

表 4.2-50(2) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (+-) | ① | 25.49 | 2.8 |
| S d - D 2 (+-) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.49 | 2.8 |

表 4.2-50(3) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ② | 12.92 | 2.7 |
| S d - D 2 (-+) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 12.93 | 2.8 |

表 4.2-50(4) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|----------------|-------------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (-+) | ① | 13.55 | 4.1 |
| S d - D 2 (-+) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 13.55 | 4.0 |

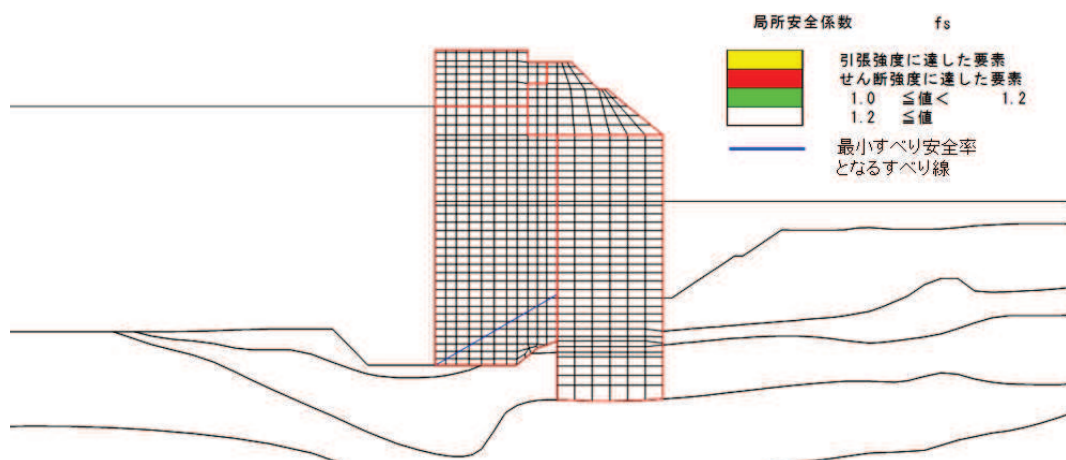


図 4.2-5(1) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面①, S d - D 2 (+-), t=25.50s)

解析ケース①: 基本ケース

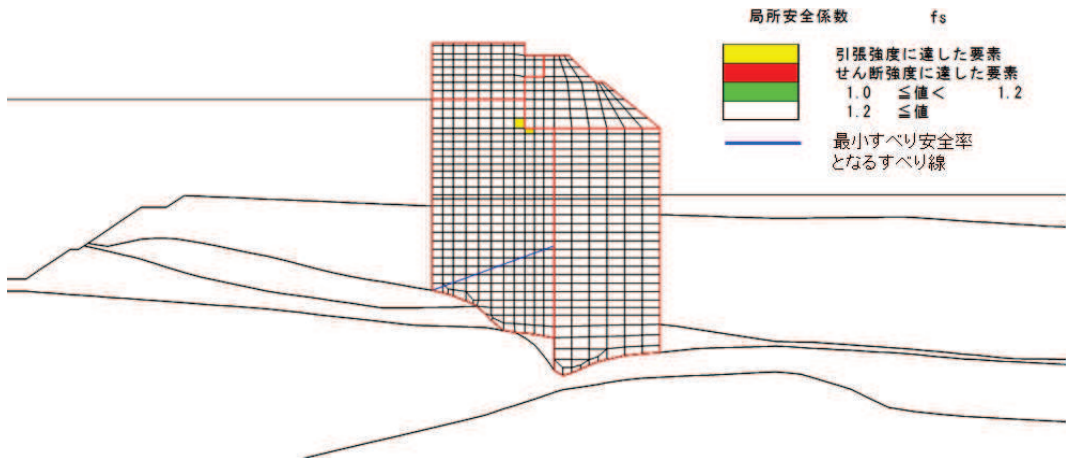


図 4.2-5(2) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面②, S d - D 2 (+ -), t=25.49s)
 解析ケース①: 基本ケース

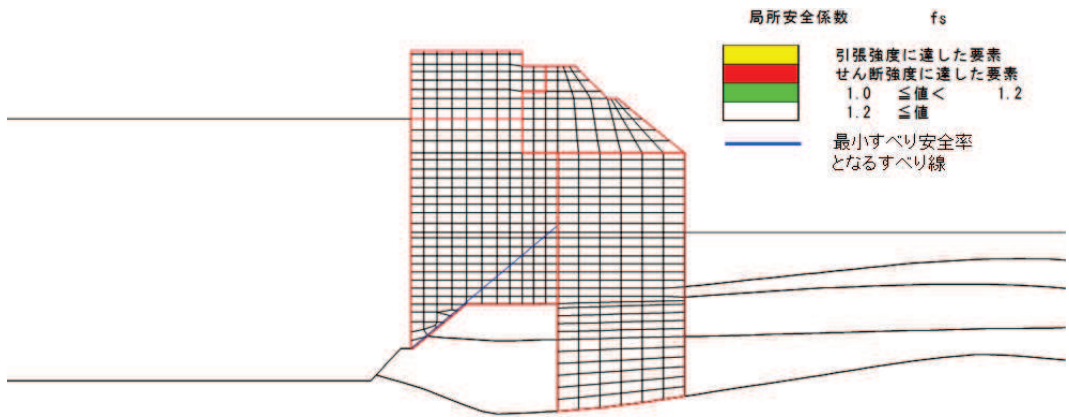


図 4.2-5(3) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面③, S d - D 2 (- +), t=12.92s)
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

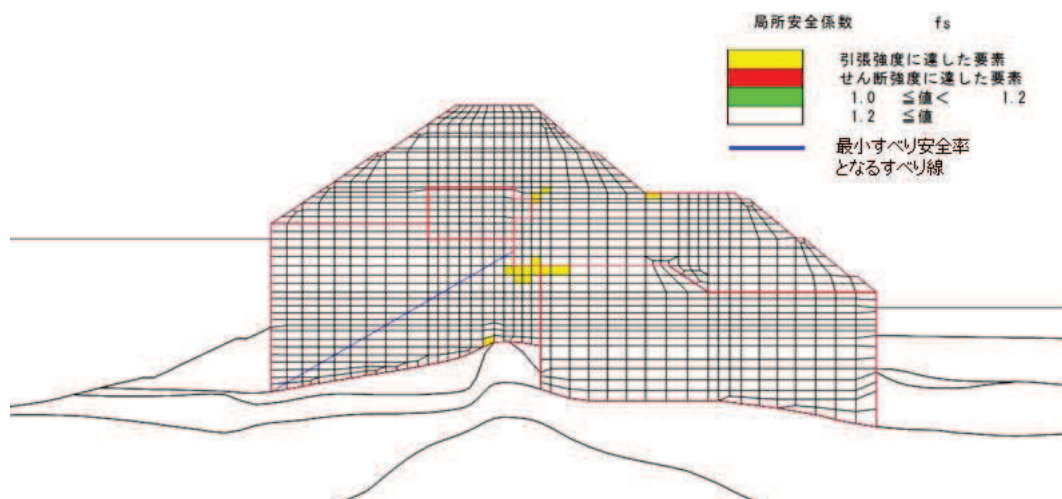


図 4.2-5(4) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, S d - D 2 (- +), t=13.55s)

解析ケース①：基本ケース

(7) 局所安全係数分布 (セメント改良土)

セメント改良土のすべり安全率による照査において、各解析ケースのうち最小すべり安全率となる結果を表 4.2-51 に示す。また、該当する解析ケースの局所安全係数分布を図 4.2-6 に示す。

表 4.2-51(1) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|-------------------|--------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (+ +) | ① | 25.27 | 42.4 |
| S d - D 2 (+ +) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.27 | 41.0 |

表 4.2-51(2) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|-------------------|--------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (+ +) | ③ | 25.27 | 15.1 |
| S d - D 2 (+ +) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.25 | 28.6 |

表 4.2-51(3) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|-------------------|--------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (- +) | ③ | 13.46 | 22.0 |
| S d - D 2 (- +) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.53 | 31.1 |

表 4.2-51(4) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 地震動 | 解析ケース | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|-------------------|--------------------|----------|----------|
| S d - D 2 (- -) | ③ | 25.50 | 6.9 |
| S d - D 2 (- -) | ① (平均値 - 1 σ 強度) | 25.49 | 6.8 |

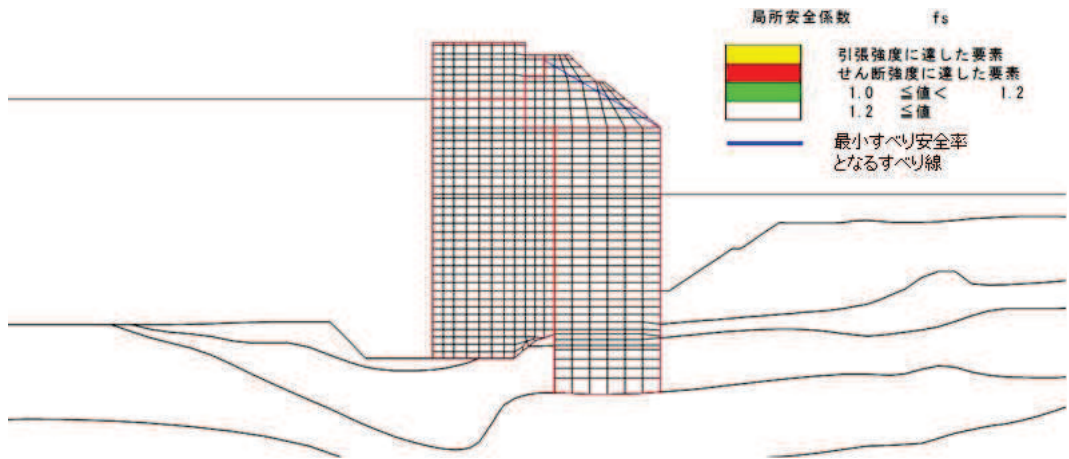


図 4.2-6(1) セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面①, S d-D 2 (++) , t=25.27s)
 解析ケース①: 基本ケース

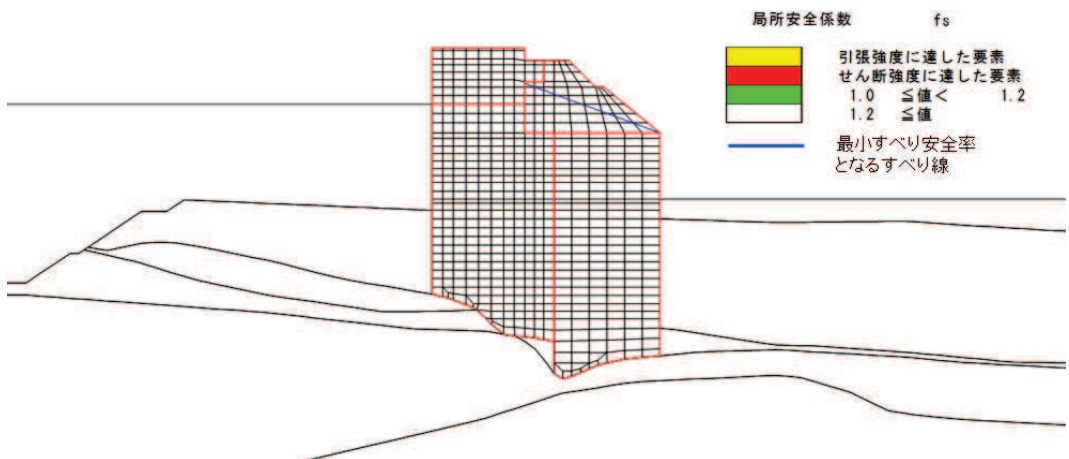


図 4.2-6(2) セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
 (断面②, S d-D 2 (++) , t=25.27s)
 解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

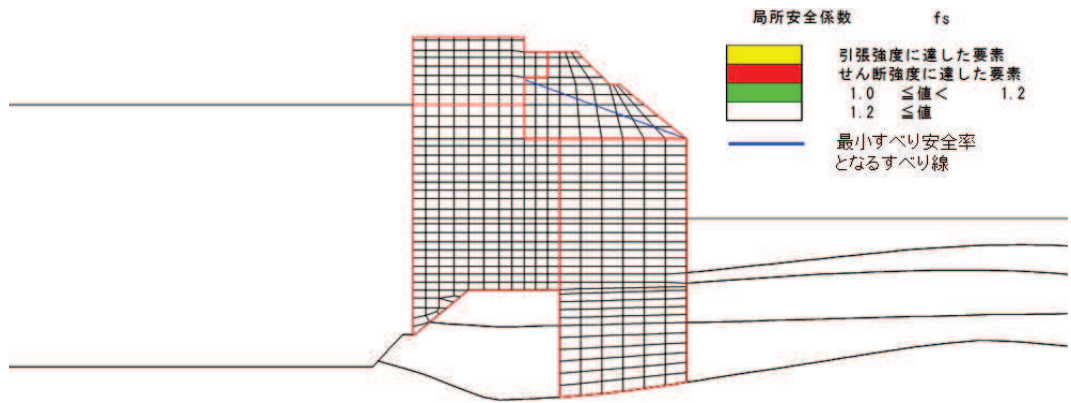


図 4.2-6(3) セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面③, S d - D 2 (- +), t=13.46s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

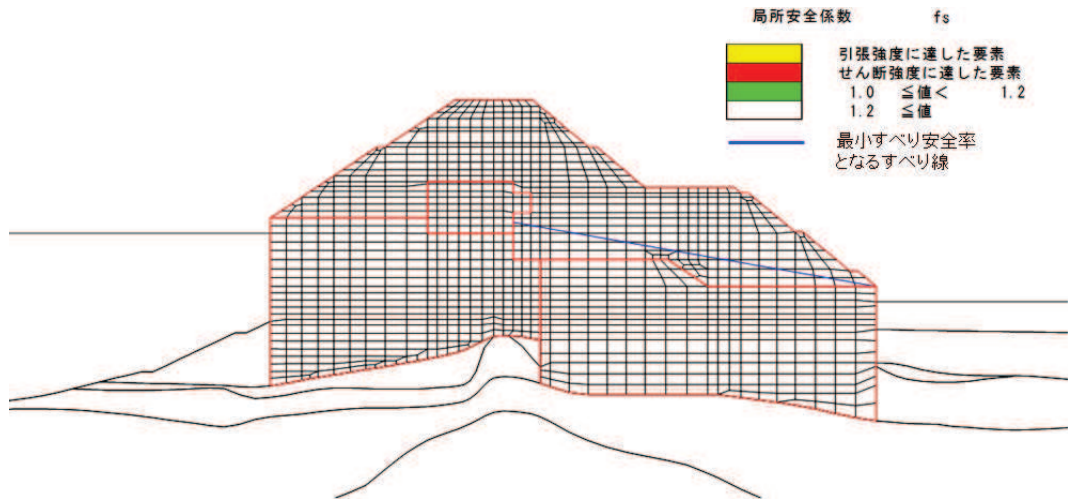


図 4.2-6(4) セメント改良土の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(断面④, S d - D 2 (- -), t=25.50s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

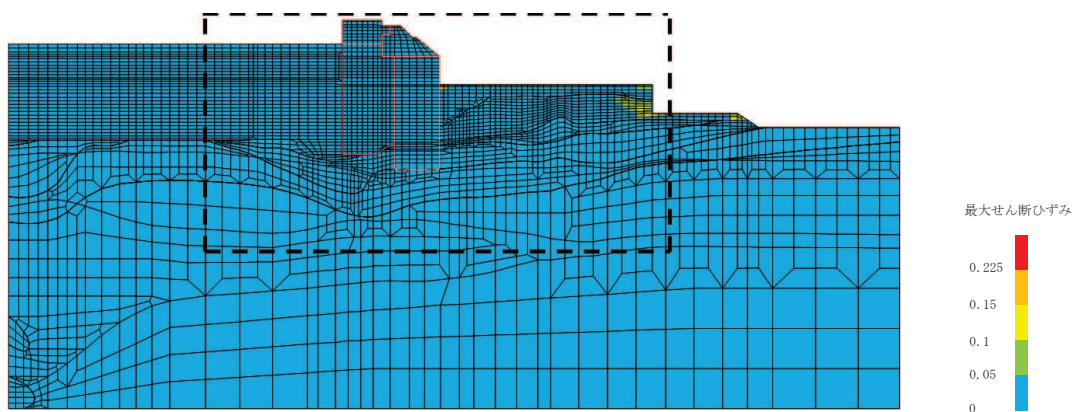
(8) 最大せん断ひずみ分布

各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表4.2-52に示す。

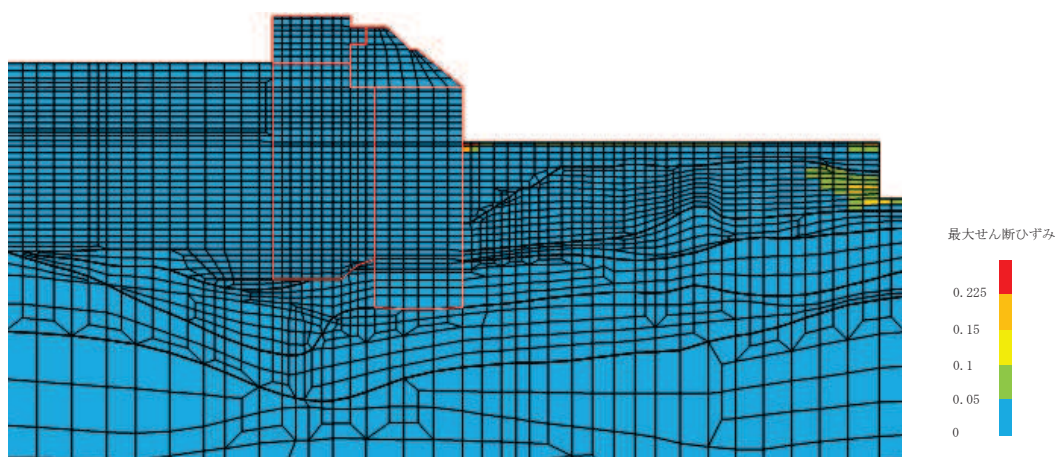
断面①～断面④における最大せん断ひずみ分布図を、それぞれ図4.2-7～図4.2-16に示す。

表4.2-52 最大照査値を示す解析ケースの一覧（断面①～断面④）

| 断面 | 評価項目 | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 鋼管杭 | | 背面補強工 | 置換コンクリート |
| | 曲げ・軸力系 | せん断 | すべり安全率 | すべり安全率 |
| 断面① | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (++) |
| 断面② | 解析ケース② S d - D 2 (++) | 解析ケース② S d - D 2 (++) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース③ S d - D 2 (++) |
| 断面③ | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (+-) |
| 断面④ | 解析ケース③ S d - D 2 (--) | 解析ケース③ S d - D 2 (--) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース③ S d - D 2 (--) |

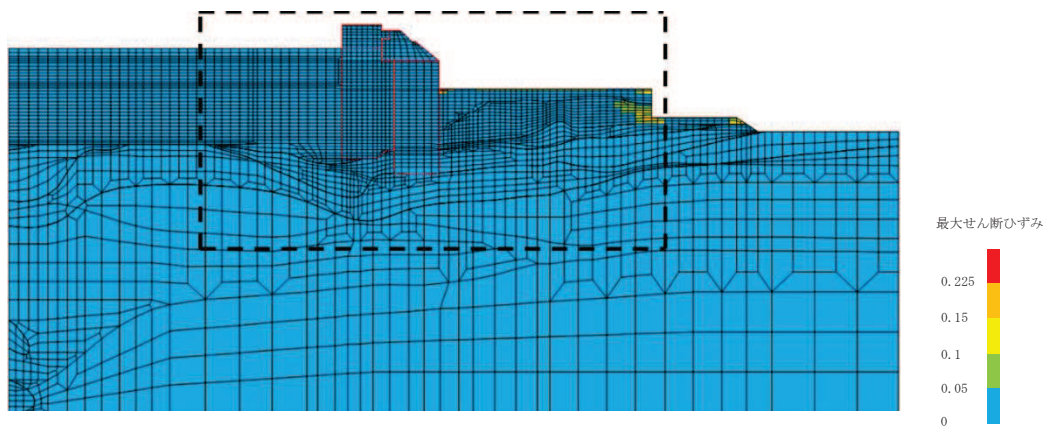


(a) 全体図

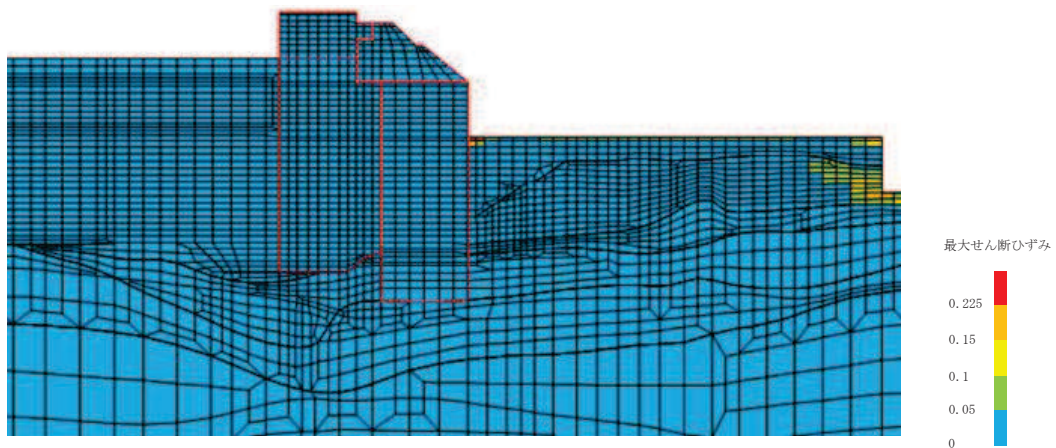


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-7 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, S d - D 2 (-+))

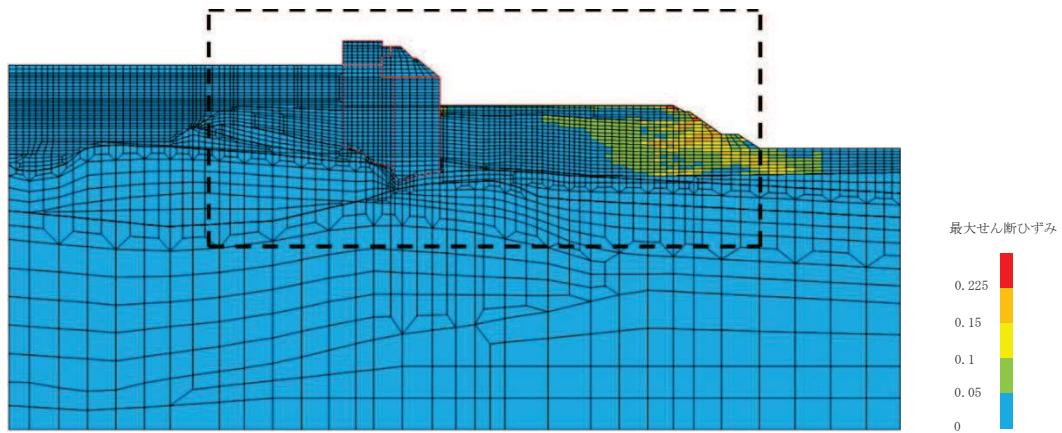


(a) 全体図

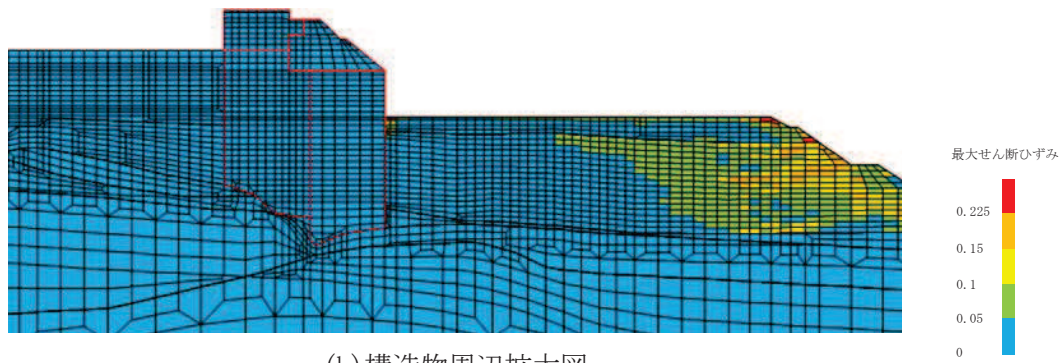


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-8 断面①の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (++))

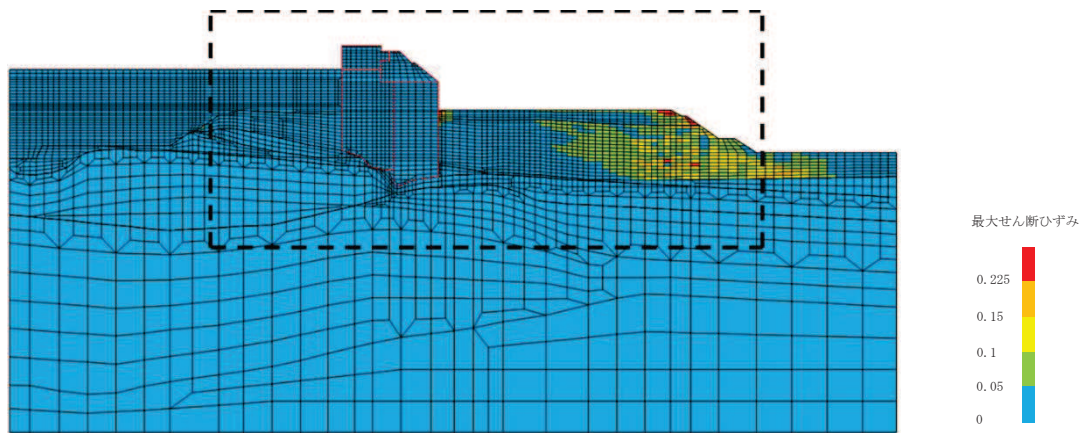


(a) 全体図

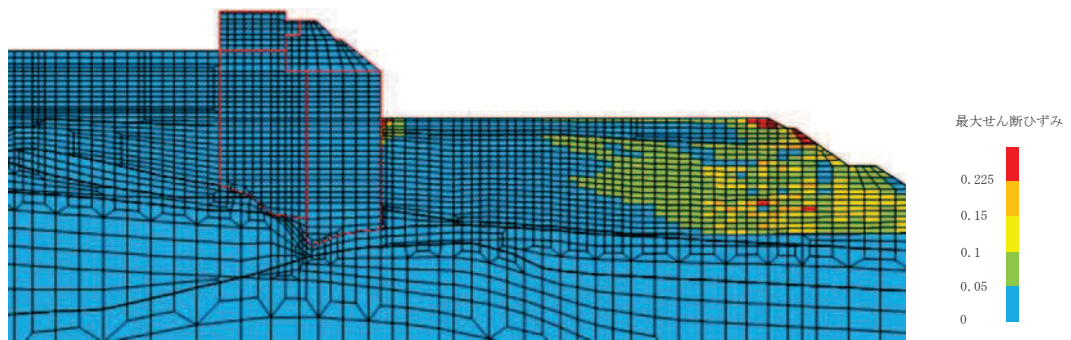


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-9 断面②の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, S d - D 2 (++))

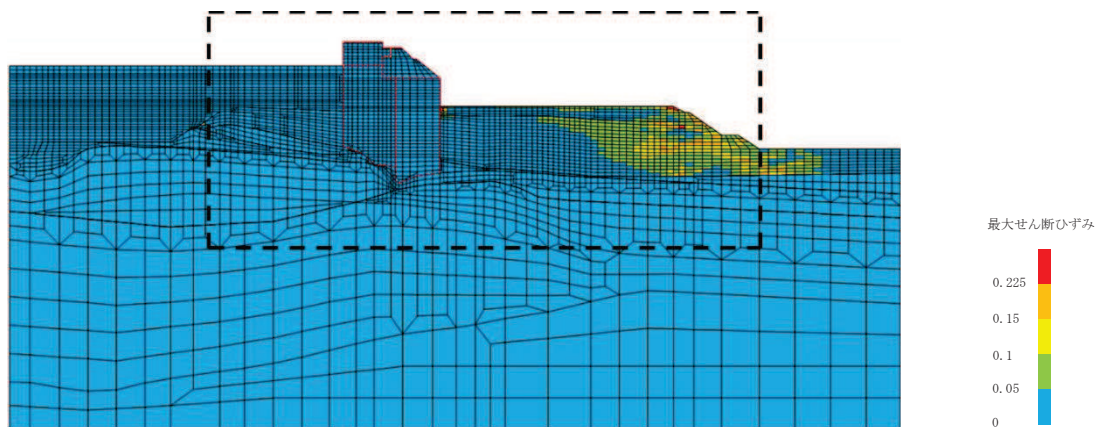


(a) 全体図

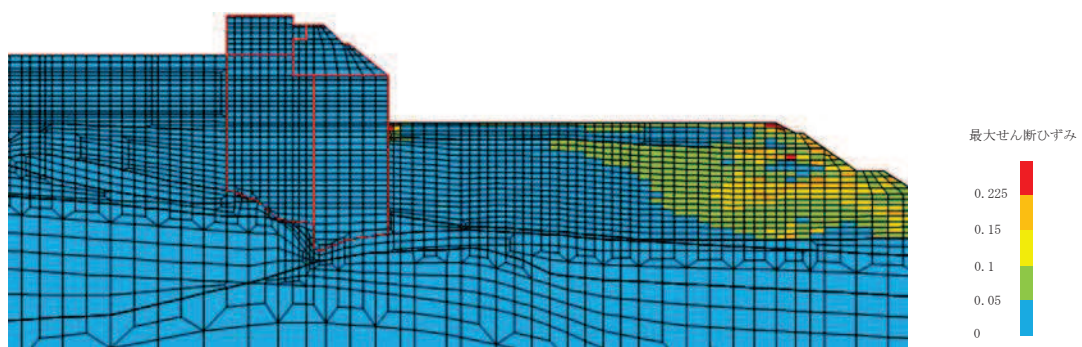


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-10 断面②の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

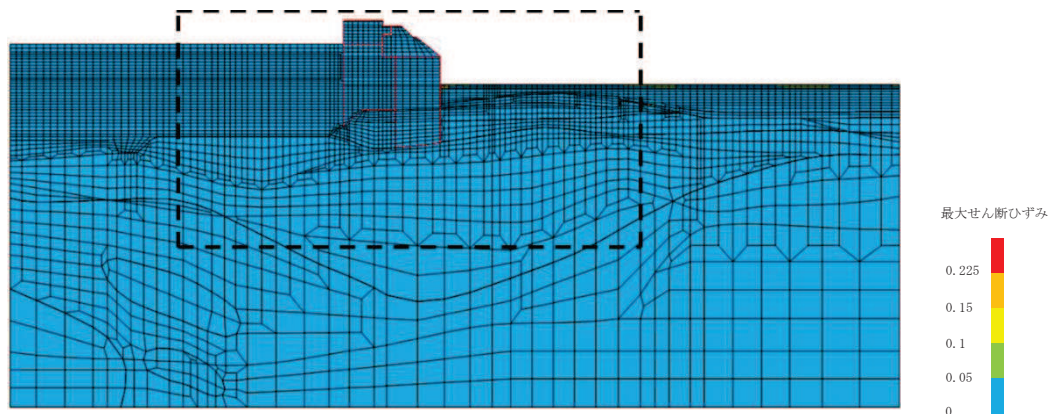


(a) 全体図

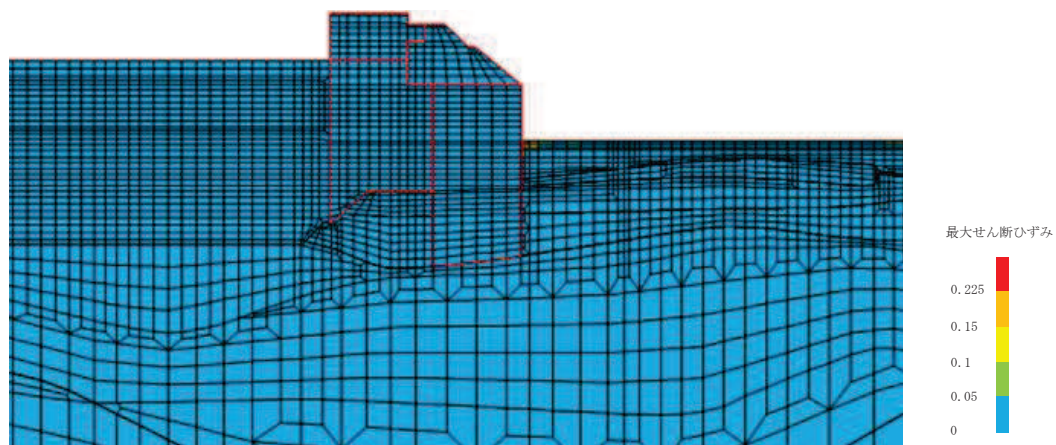


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-11 断面②の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S d - D 2 (++))

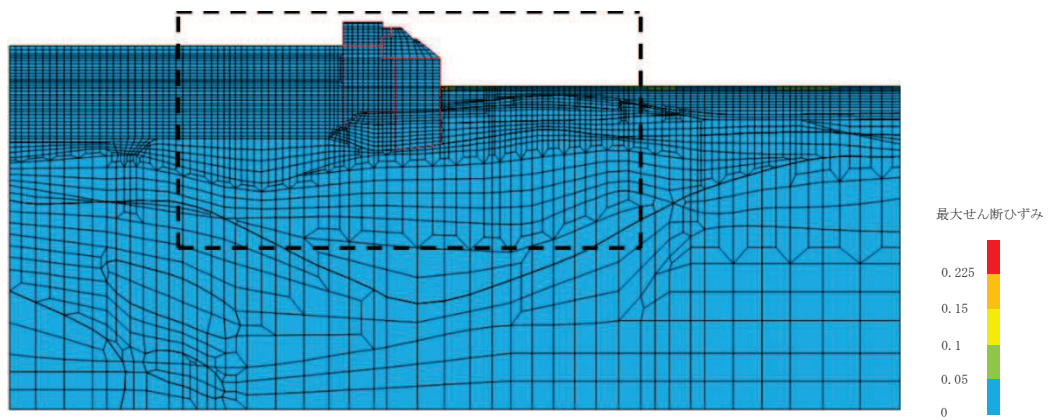


(a) 全体図

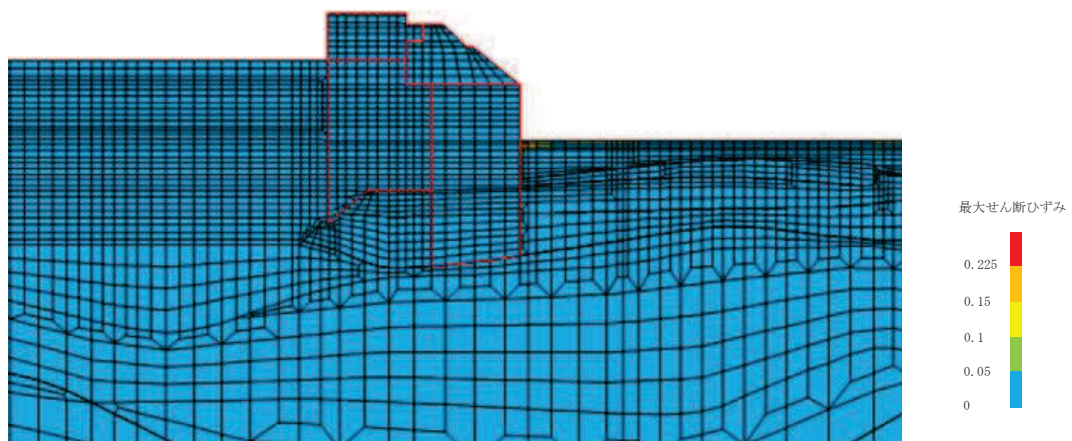


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-12 断面③の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, S d - D 2 (-+))

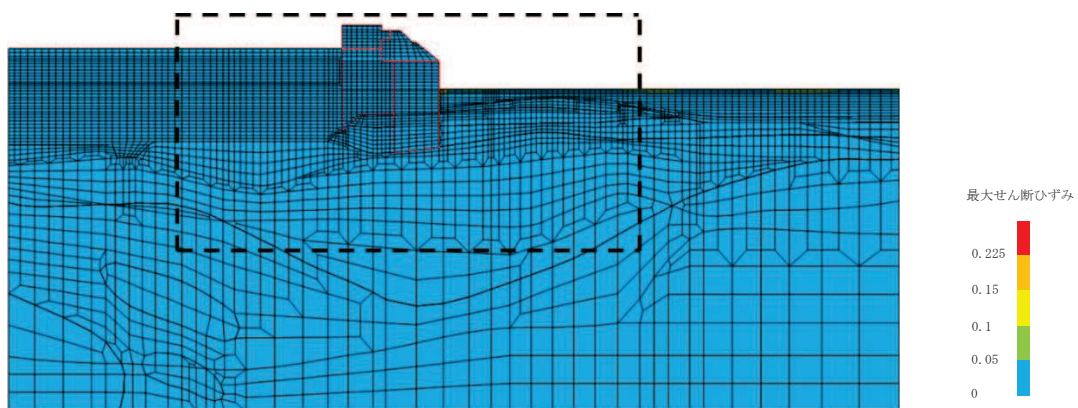


(a) 全体図

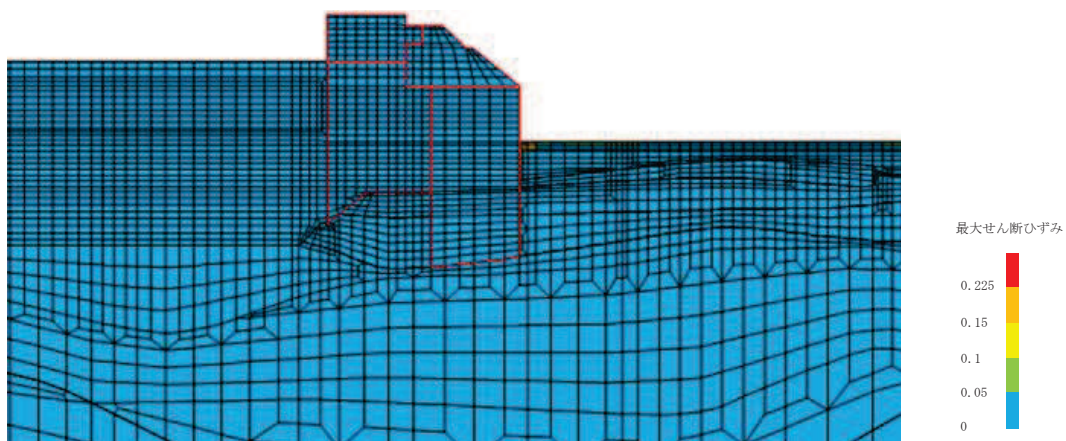


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-13 断面③の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

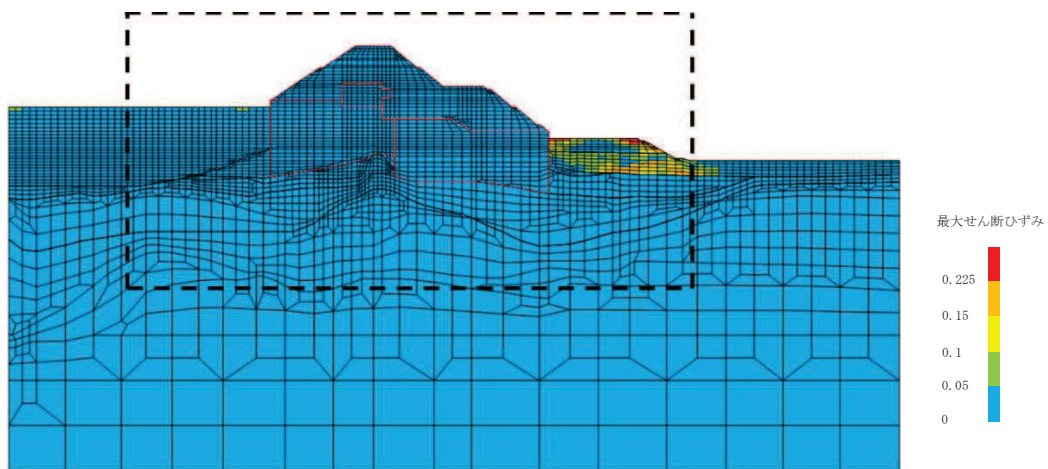


(a) 全体図

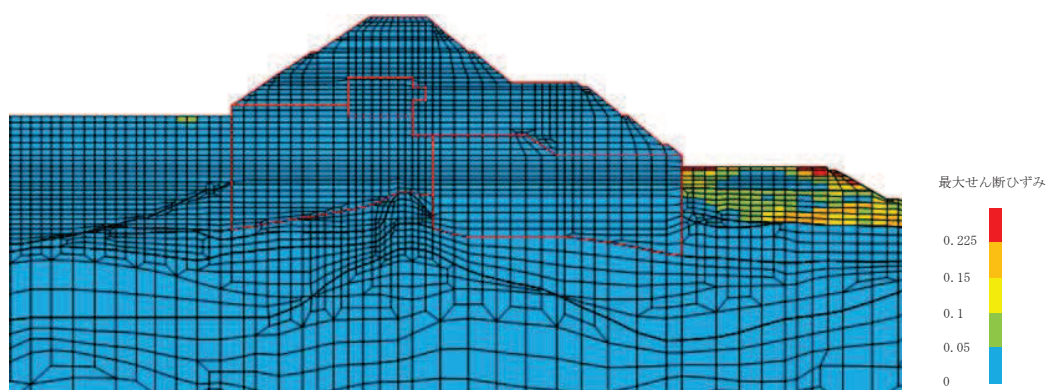


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-14 断面③の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (+ -))

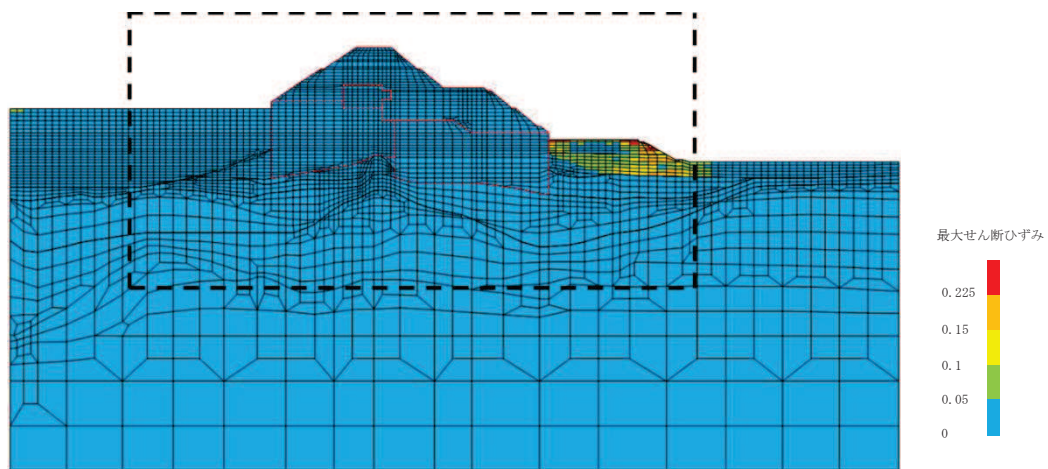


(a) 全体図

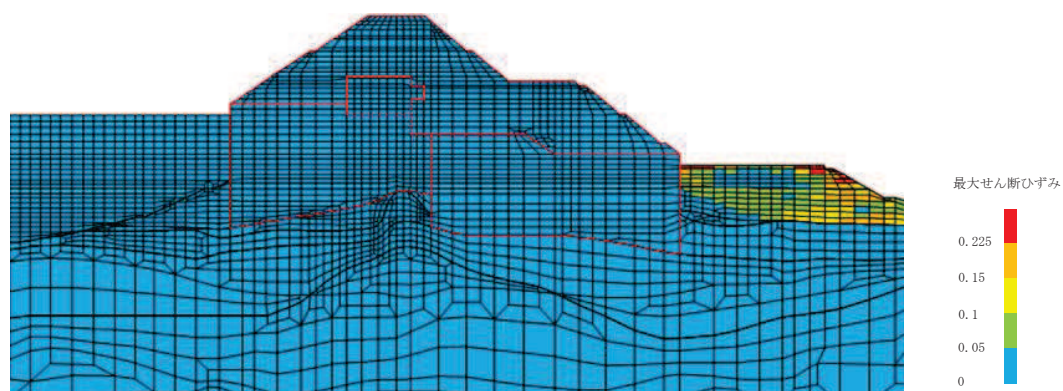


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-15 断面④の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S d - D 2 (一一))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-16 断面④の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

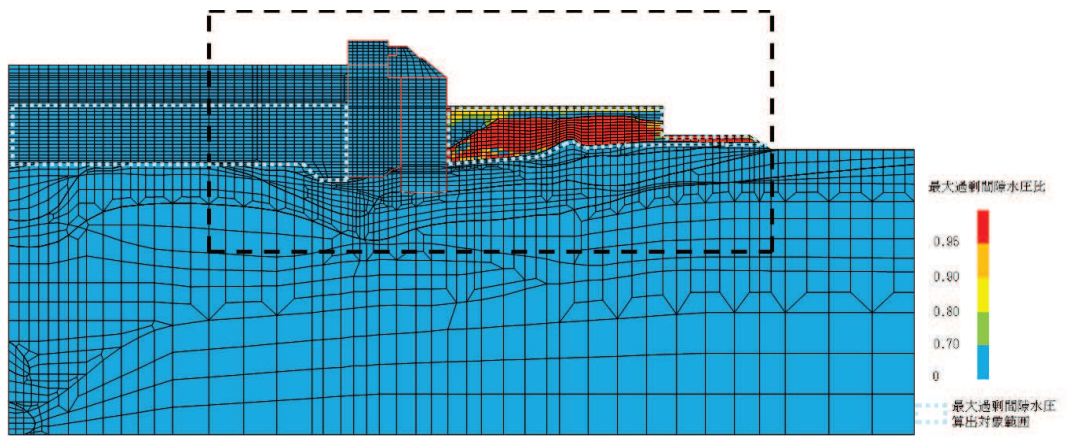
(9) 過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、各施設の照査で最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースについて、地震応答解析の全時刻における過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。最大照査値及び最小すべり安全率を示す解析ケースの一覧を表4.2-53に示す。

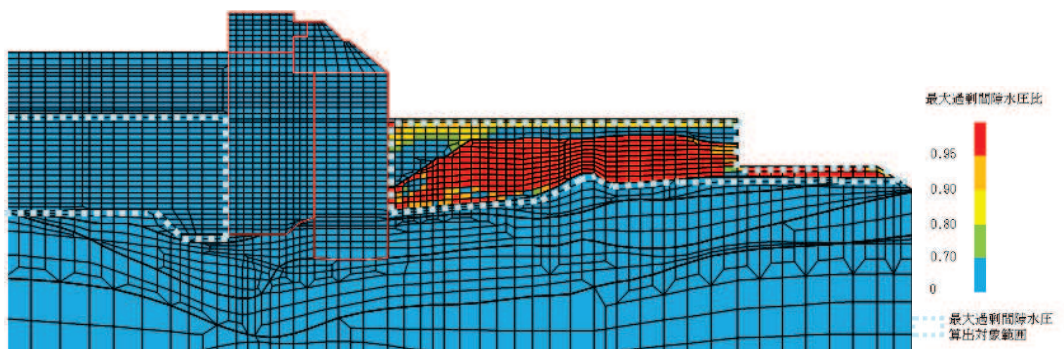
断面①～断面④における過剰間隙水圧比分布を、それぞれ図4.2-17～図4.2-26に示す。

表 4.2-53 最大照査値を示す解析ケースの一覧（断面①～断面④）

| 断面 | 評価項目 | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 鋼管杭 | | 背面補強工 | 置換コンクリート |
| | 曲げ・軸力系 | せん断 | すべり安全率 | すべり安全率 |
| 断面① | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (++) |
| 断面② | 解析ケース② S d - D 2 (++) | 解析ケース② S d - D 2 (++) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース③ S d - D 2 (++) |
| 断面③ | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース② S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース① S d - D 2 (+-) |
| 断面④ | 解析ケース③ S d - D 2 (--) | 解析ケース③ S d - D 2 (--) | 解析ケース① S d - D 2 (-+) | 解析ケース③ S d - D 2 (--) |

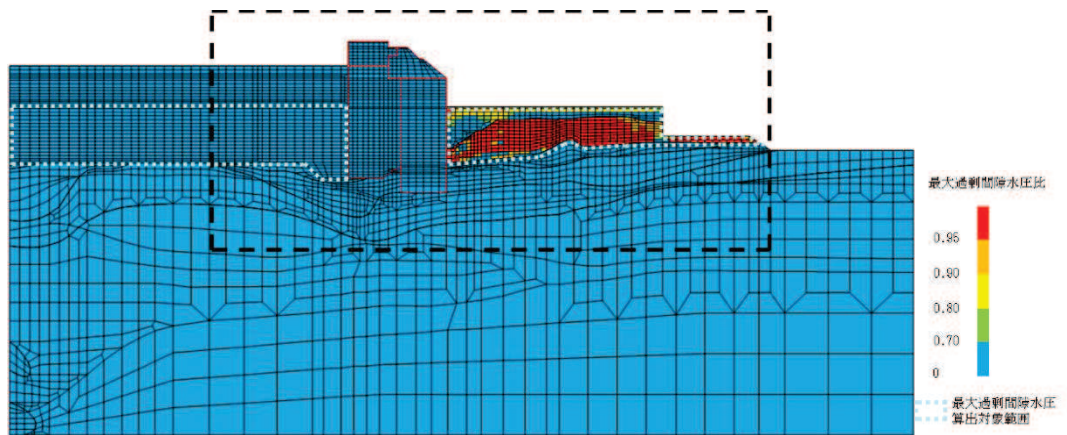


(a) 全体図

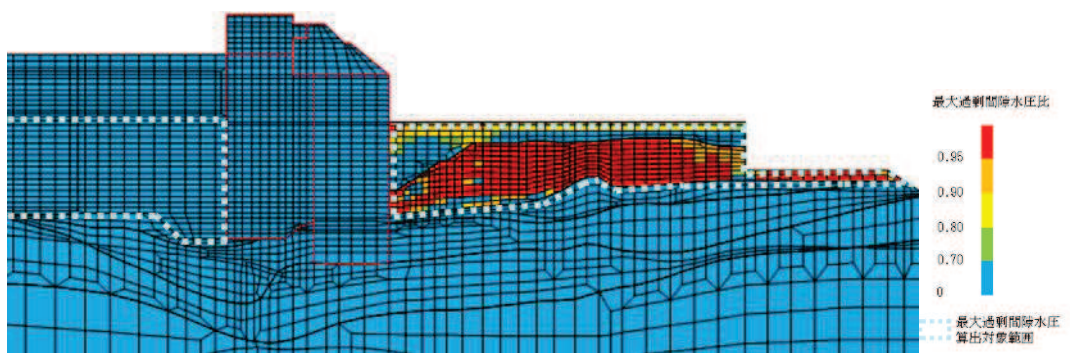


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-17 断面①の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース②, S d - D 2 (-+))

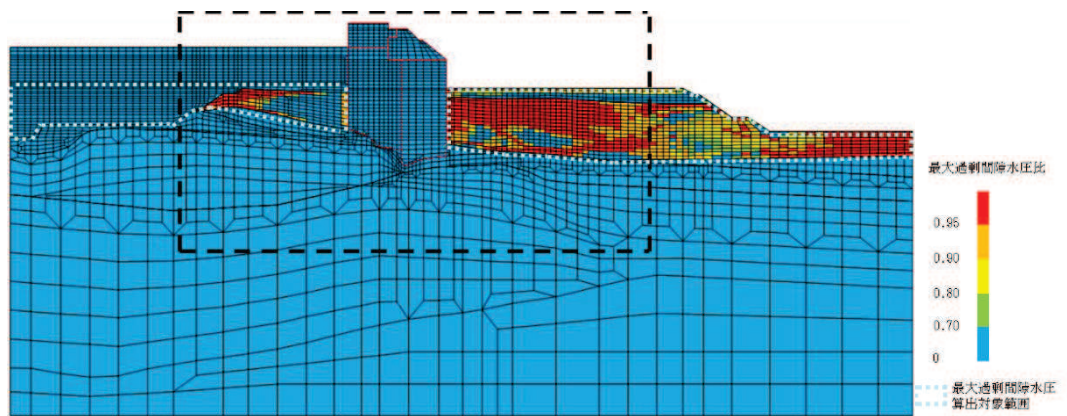


(a) 全体図

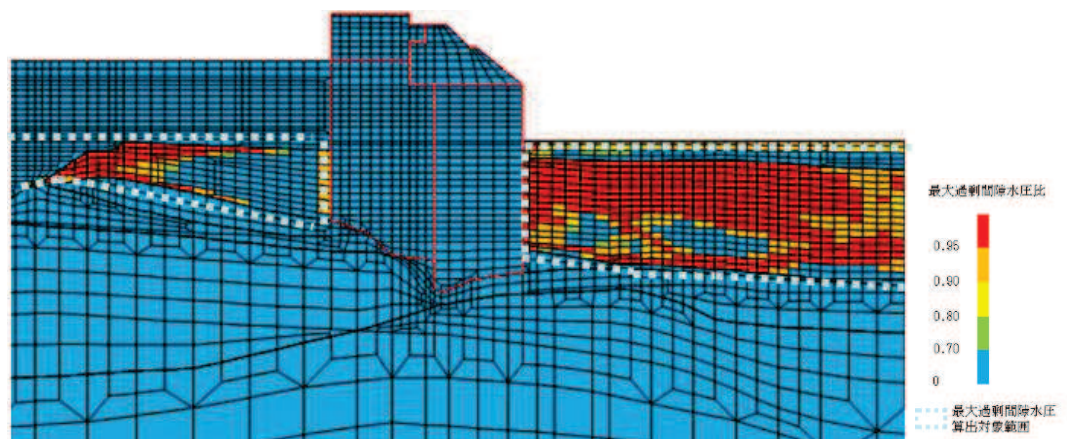


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-18 断面①の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (++))

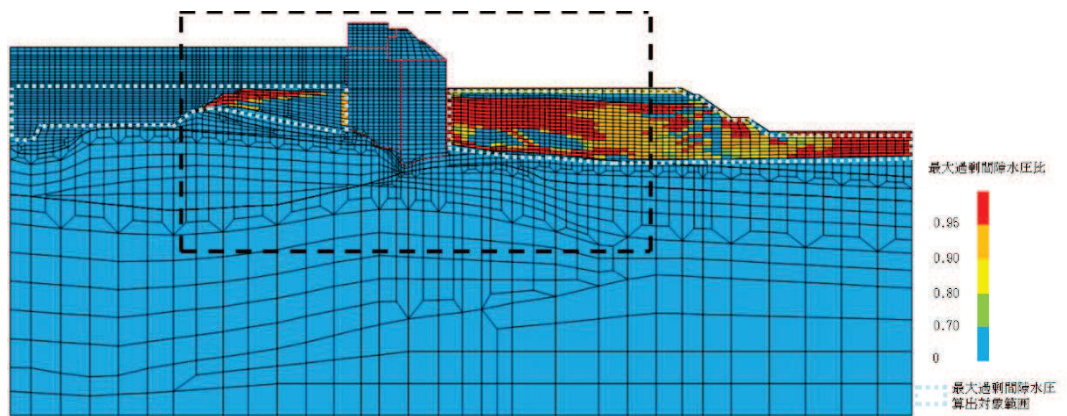


(a) 全体図

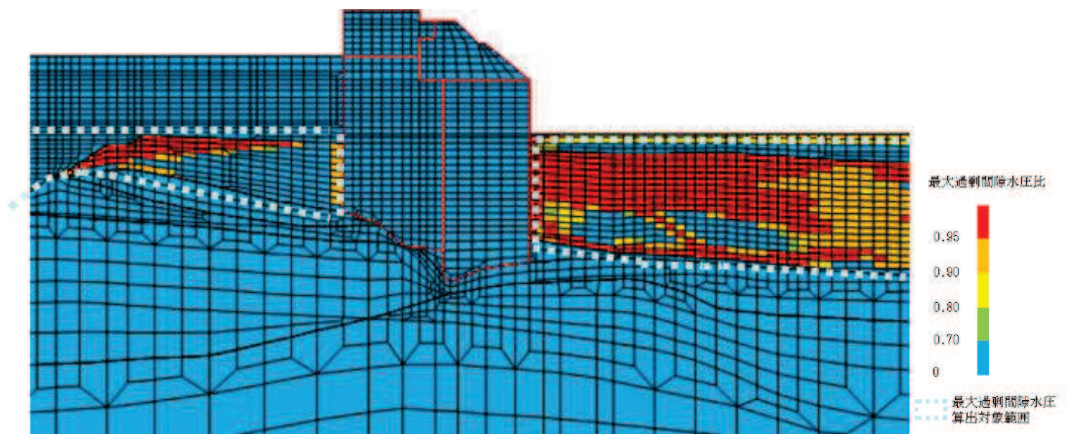


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-19 断面②の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース②, S d - D 2 (++))

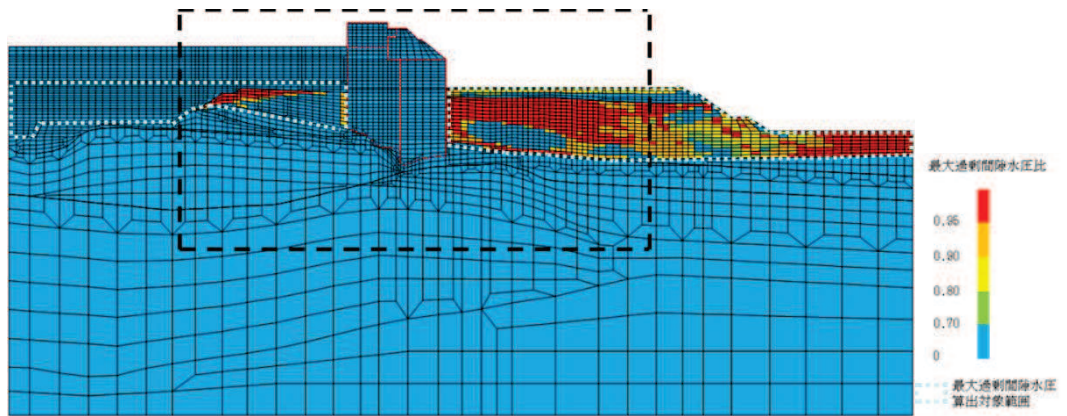


(a) 全体図

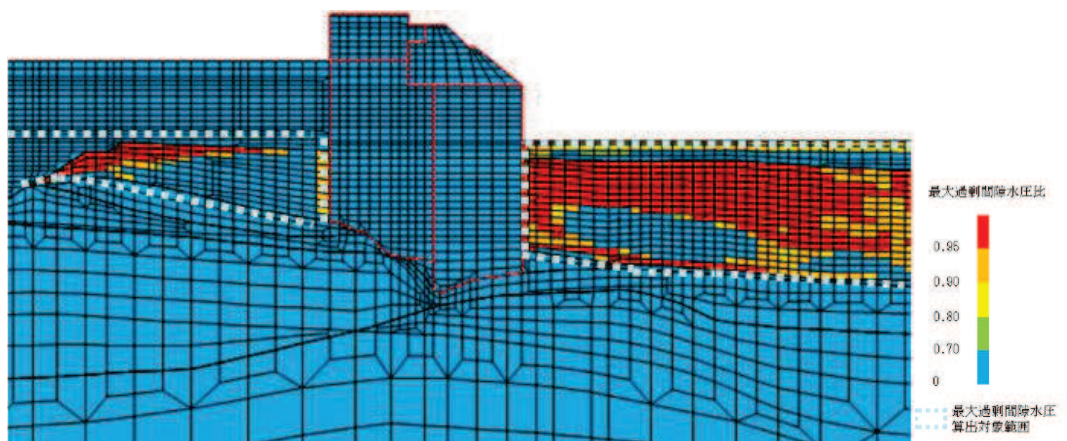


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-20 断面②の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

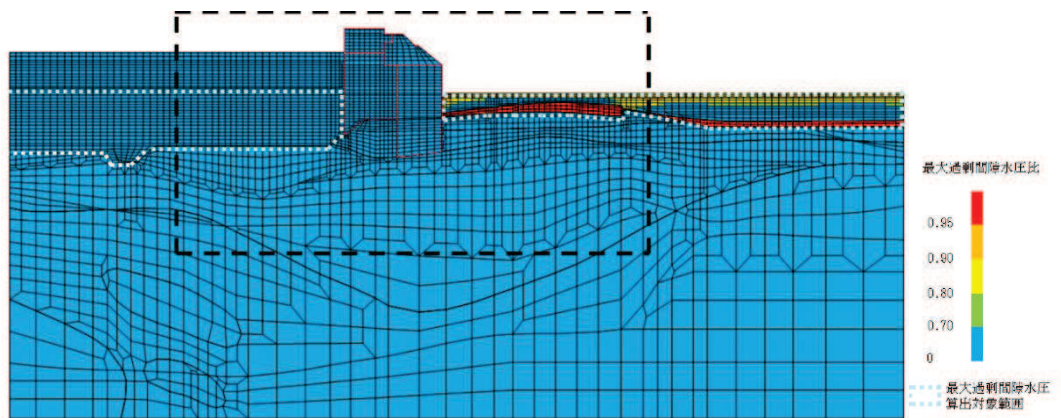


(a) 全体図

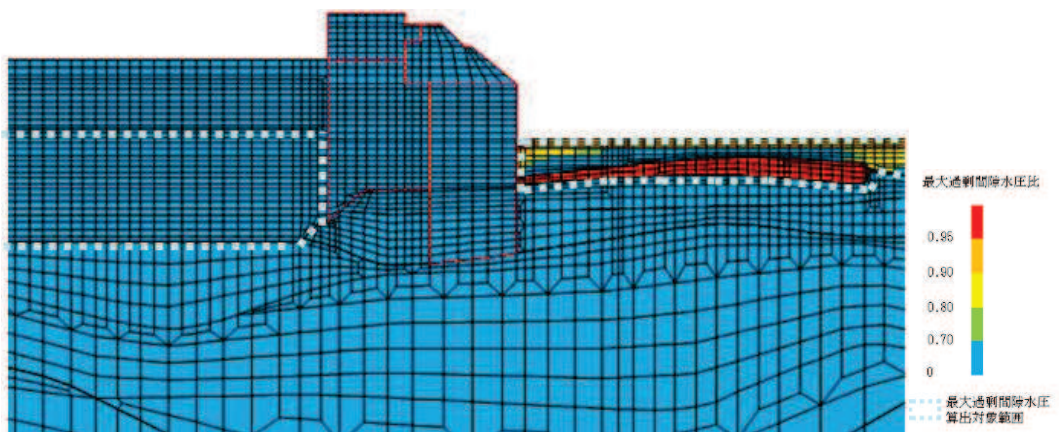


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-21 断面②の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース③, S d - D 2 (++))

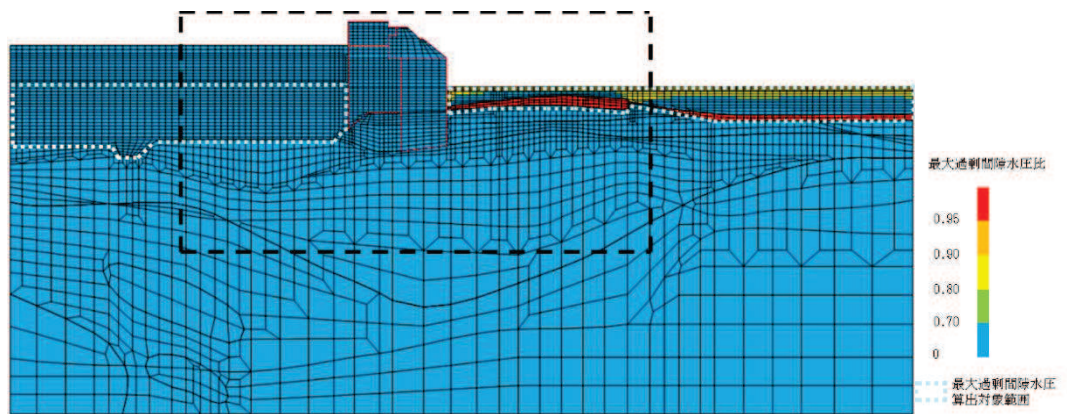


(a) 全体図

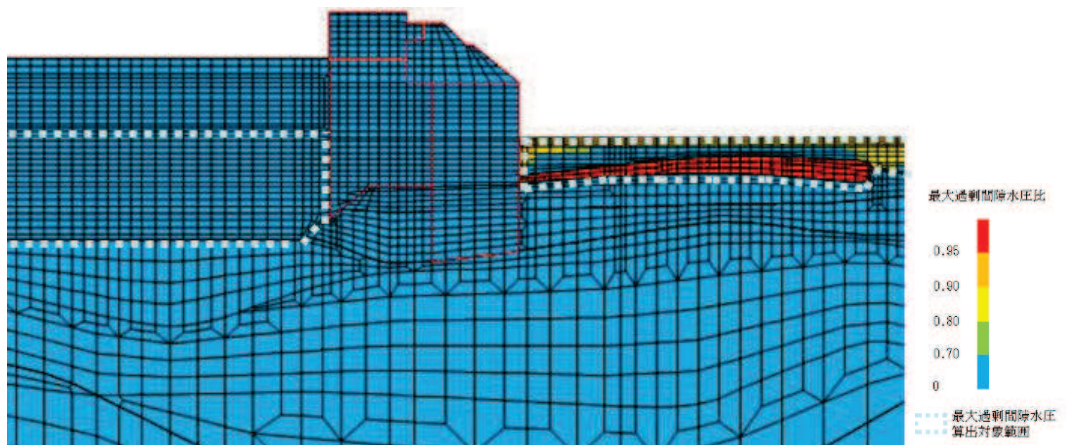


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-22 断面③の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース②, S d - D 2 (-+))

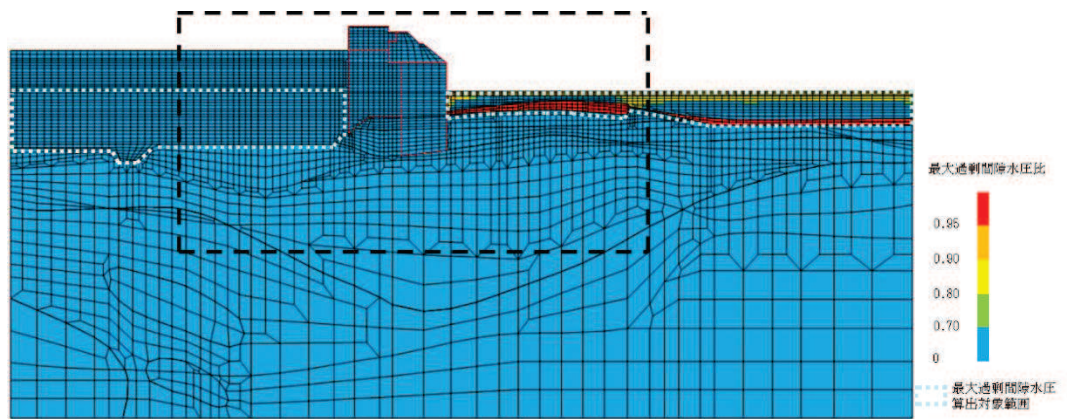


(a) 全体図

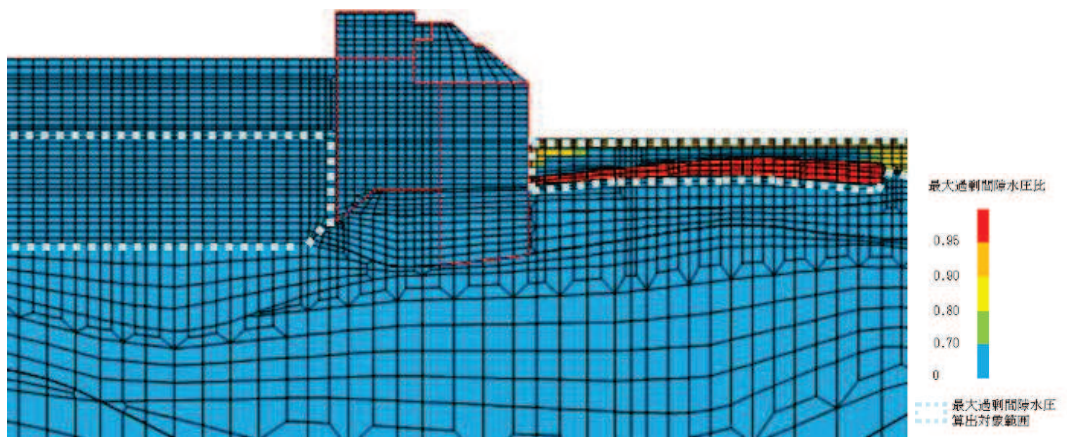


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-23 断面③の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

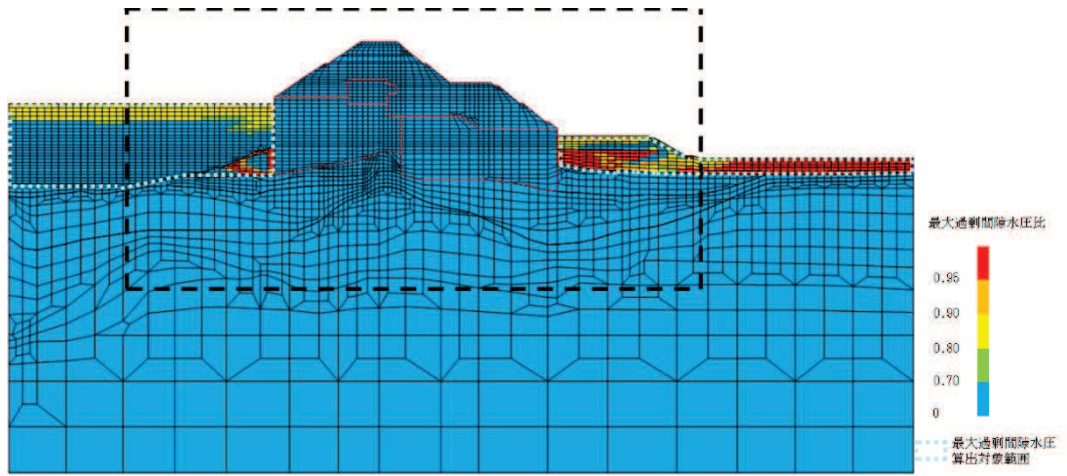


(a) 全体図

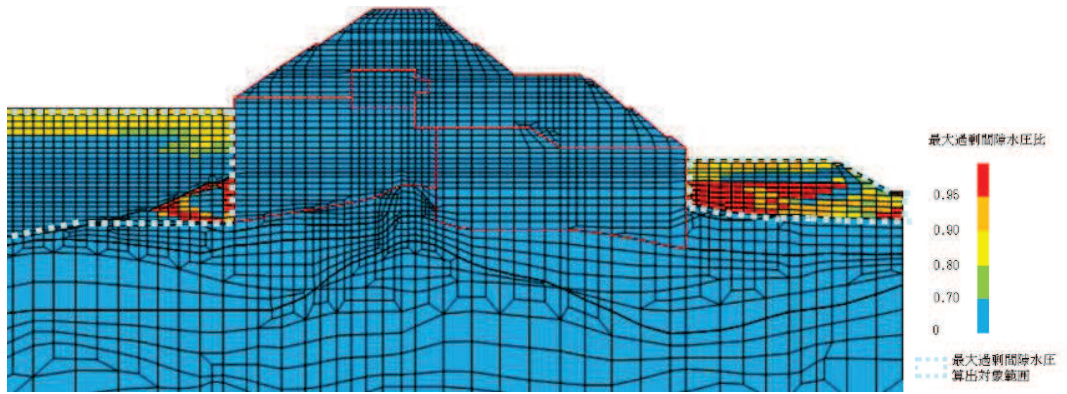


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-24 断面③の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (+ -))

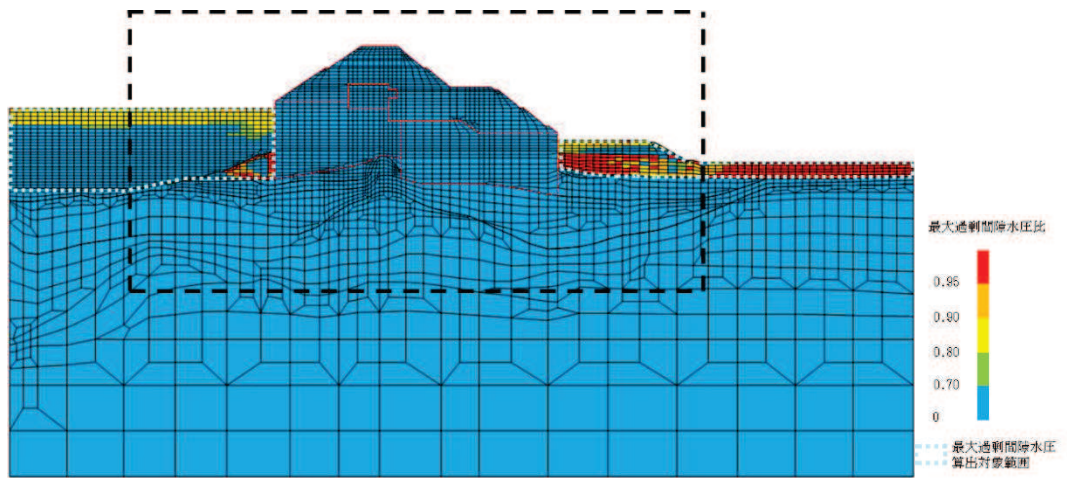


(a) 全体図

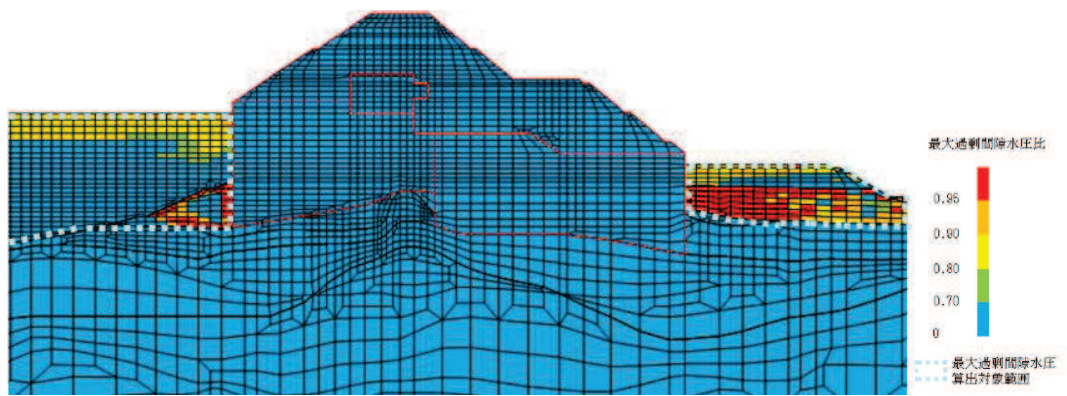


(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-25 断面④の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース③, S d - D 2 (一一))



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 4.2-26 断面④の過剰間隙水圧比分布
(解析ケース①, S d - D 2 (-+))

4.2.2 鋼管杭の評価結果

(1) 曲げ軸力照査

断面計算に用いた断面諸元を表 4.2-54 に、鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4.2-55 に示す。鋼管杭に対して許容応力度法による照査を行った結果、鋼管杭に発生する曲げ応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2-54 鋼管杭断面諸元

| 杭種 | | 設置標高 | | 板厚*2 (mm) | 断面積 (mm ²) | 断面係数 (mm ³) |
|----|-----------------------|--|--|--------------|------------------------|-------------------------|
| A | 鋼管杭 (上杭) φ 2200 | SKK490 (t=25mm) | 0. P. +30. 0m*1~ 0. P. +23. 5m | 24 | 1. 639×10 ⁵ | 8. 813×10 ⁷ |
| B | | SM570 (t=40mm) | 0. P. +23. 5m~ 0. P. +21. 0m 0. P. +21. 0m~ 0. P. +20. 0m | 39 | 2. 645×10 ⁵ | 1. 403×10 ⁸ |
| C | 鋼管杭 (下杭) φ 2500 | SM570 (t=35mm) | 長杭 0. P. +20. 0m~ 0. P. ±0. 0m | 34 | 2. 632×10 ⁵ | 1. 599×10 ⁸ |
| D | | | 短杭 断面⑤ 0. P. +20. 0m~ 0. P. +5. 0m | | | |
| | | | 断面⑥ 0. P. +20. 0m ~ +8. 0m | | | |
| | | SKK490 (t=25mm) | 長杭 0. P. ±0. 0m~ 杭下端 | 24 | 1. 865×10 ⁵ | 1. 143×10 ⁸ |
| | | 短杭 断面⑤ 0. P. +5. 0m~ 0. P. +2. 5m | | | | |
| | | 断面⑥ 0. P. +8. 0m ~ +5. 5m | | | | |

注記 *1：岩盤部（断面⑤及び断面⑥）は 0. P. +29. 0m。

*2：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき腐食代 1 mm を考慮する。杭体の断面照査及び杭の曲げ剛性を算出する際は腐食代 1 mm による断面積の低減を考慮する。

表 4.2-55(1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面①)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 | 短期許容 応力度 | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-------------------|------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | σ_s (N/mm ²) | σ_{sa} (N/mm ²) | |
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 40886 | 1163 | 261 | 382 | 0.69 |
| | | (-+) | C | 44972 | 1316 | 287 | 382 | 0.76 |
| | | (+-) | C | 43581 | 1158 | 277 | 382 | 0.73 |
| | | (--) | C | 40142 | 1007 | 255 | 382 | 0.67 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 45243 | 1277 | 288 | 382 | 0.76 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 42182 | 1312 | 269 | 382 | 0.71 |

表 4.2-55(2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面②)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメン ト | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 | 短期許容 応力度 | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-------------|------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | (kN・m) | | σ_s (N/mm ²) | σ_{sa} (N/mm ²) | |
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 44856 | 1136 | 285 | 382 | 0.75 |
| | | (-+) | C | 44944 | 742 | 284 | 382 | 0.75 |
| | | (+-) | C | 43939 | 1181 | 280 | 382 | 0.74 |
| | | (--) | C | 43624 | 1196 | 278 | 382 | 0.73 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 45234 | 1095 | 288 | 382 | 0.76 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 43416 | 1095 | 276 | 382 | 0.73 |

表 4.2-55(3) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面③)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメン ト | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 | 短期許容 応力度 | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-------------|------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | (kN・m) | | σ_s (N/mm ²) | σ_{sa} (N/mm ²) | |
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 42337 | 1178 | 270 | 382 | 0.71 |
| | | (-+) | C | 44733 | 1208 | 285 | 382 | 0.75 |
| | | (+-) | C | 43696 | 1175 | 278 | 382 | 0.73 |
| | | (--) | C | 44452 | 1357 | 284 | 382 | 0.75 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 45437 | 828 | 288 | 382 | 0.76 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 44683 | 1318 | 285 | 382 | 0.75 |

表 4.2-55(4) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面④)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメ ント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-----------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| | | | | | | | | |
| ① | S d - D 2 | (++) | D | 783 | 11503 | 69 | 277 | 0.25 |
| | | (-+) | D | 828 | 10959 | 67 | 277 | 0.25 |
| | | (+-) | D | 826 | 11232 | 68 | 277 | 0.25 |
| | | (--) | D | 836 | 11475 | 69 | 277 | 0.25 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | D | 678 | 9618 | 58 | 277 | 0.21 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | D | 1153 | 14401 | 88 | 277 | 0.32 |

表 4.2-55(5) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメ ント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-----------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| | | | | | | | | |
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 35866 | 1332 | 230 | 382 | 0.61 |
| | | (-+) | C | 34093 | 1230 | 218 | 382 | 0.58 |
| | | (+-) | C | 34736 | 1029 | 222 | 382 | 0.59 |
| | | (--) | C | 33750 | 1224 | 216 | 382 | 0.57 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 35887 | 1335 | 230 | 382 | 0.61 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 35655 | 1309 | 228 | 382 | 0.60 |

表 4.2-55(6) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭 種 | 曲げモーメ ント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮 応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s/σ_{sa} |
|------------------|-----------|------|--------|-----------------------|------------|--|---|-------------------------------|
| | | | | | | | | |
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 38024 | 1252 | 243 | 382 | 0.64 |
| | | (-+) | C | 35832 | 1226 | 229 | 382 | 0.60 |
| | | (+-) | C | 36806 | 1208 | 235 | 382 | 0.62 |
| | | (--) | C | 36154 | 1230 | 231 | 382 | 0.61 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 37780 | 1289 | 242 | 382 | 0.64 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 38764 | 1260 | 248 | 382 | 0.65 |

(2) せん断力照査

断面計算に用いた断面諸元は表 4.2-54 に、鋼管杭のせん断力照査における最大照査値を表 4.2-56 に示す。

鋼管杭に発生するせん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2-56(1) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面①)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|-----------|------|----|--------------|---|--|-----------------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 12257 | 94 | 217 | 0.44 |
| | | (-+) | C | 13526 | 103 | 217 | 0.48 |
| | | (+-) | C | 13091 | 100 | 217 | 0.47 |
| | | (--) | C | 12017 | 92 | 217 | 0.43 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 13606 | 104 | 217 | 0.48 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 12646 | 97 | 217 | 0.45 |

表 4.2-56(2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面②)

| 解析 ケース | 地震動 | | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|------------------|-----------|------|----|--------------|---|--|-----------------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 13476 | 103 | 217 | 0.48 |
| | | (-+) | C | 13510 | 103 | 217 | 0.48 |
| | | (+-) | C | 13215 | 101 | 217 | 0.47 |
| | | (--) | C | 13116 | 100 | 217 | 0.47 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 13590 | 104 | 217 | 0.48 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 13023 | 99 | 217 | 0.46 |

表 4.2-56(3) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面③)

| 解析 ケース | 地震動 | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} | |
|------------------|-----------|------|--------------|---|--|-----------------------------|------|
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 12733 | 97 | 217 | 0.45 |
| | | (-+) | C | 13466 | 103 | 217 | 0.48 |
| | | (+-) | C | 13143 | 100 | 217 | 0.47 |
| | | (--) | C | 13374 | 102 | 217 | 0.48 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 13661 | 104 | 217 | 0.48 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | C | 13447 | 103 | 217 | 0.48 |

表 4.2-56(4) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面④)

| 解析 ケース | 地震動 | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} | |
|------------------|-----------|------|--------------|---|--|-----------------------------|------|
| ① | S d - D 2 | (++) | D | 896 | 10 | 157 | 0.07 |
| | | (-+) | D | 936 | 11 | 157 | 0.08 |
| | | (+-) | D | 917 | 10 | 157 | 0.07 |
| | | (--) | D | 946 | 11 | 157 | 0.08 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | D | 768 | 9 | 157 | 0.06 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | D | 1281 | 14 | 157 | 0.09 |

表 4.2-56(5) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑤)

| 解析 ケース | 地震動 | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} | |
|------------------|-----------|------|--------------|---|--|-----------------------------|------|
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 12543 | 96 | 217 | 0.45 |
| | | (-+) | C | 11930 | 91 | 217 | 0.42 |
| | | (+-) | C | 12146 | 93 | 217 | 0.43 |
| | | (--) | C | 11809 | 90 | 217 | 0.42 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 12549 | 96 | 217 | 0.45 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 12471 | 95 | 217 | 0.44 |

表 4.2-56(6) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (断面⑥)

| 解析 ケース | 地震動 | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} | |
|------------------|-----------|------|--------------|---|--|-----------------------------|------|
| ① | S d - D 2 | (++) | C | 10549 | 81 | 217 | 0.38 |
| | | (-+) | C | 9915 | 76 | 217 | 0.36 |
| | | (+-) | C | 10191 | 78 | 217 | 0.36 |
| | | (--) | C | 10010 | 77 | 217 | 0.36 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 10910 | 83 | 217 | 0.39 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | C | 10235 | 78 | 217 | 0.36 |

4.2.3 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果

鋼管杭に発生する最大水平加速度から算出される最大水平震度 k_h は表 4.2-57 のとおりである。

また、各断面における最大水平震度の深度分布及び最大動水圧の深度分布を図 4.2-27 に示す。

上記より、保守的に評価に用いる水平震度は $k_h = 7$ とし、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の高さ方向に作用するものとして評価を行った。

鋼製遮水壁及び漂流物防護工の主部材の照査結果を表 4.2-58 に示す。この結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工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 4.2-57 各評価断面における最大水平震度及び設計水平震度

| 断面 | 最大加速度 となる標高 | 最大水平震度 k_h | 設計用水平震度 |
|-----|----------------|--------------|---------|
| 断面① | O. P. +29.0m | 5.5 | 7 |
| 断面② | O. P. +29.0m | 6.1 | |
| 断面③ | O. P. +29.0m | 5.2 | |
| 断面⑤ | O. P. +29.0m | 3.0 | |
| 断面⑥ | O. P. +29.0m | 4.6 | |

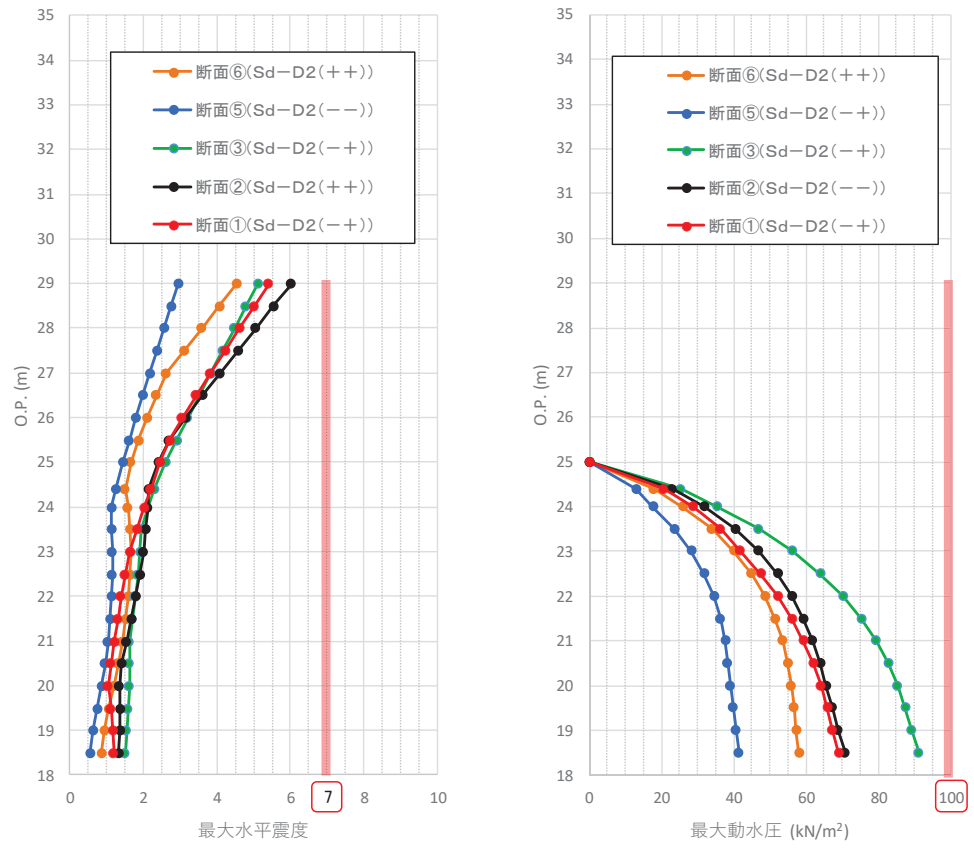


図 4.2-27 各断面における最大水平震度及び最大動水圧の深度分布

表 4.2-58 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 | | 応力成分 | 材質 | 応力度 | 許容限界 | 照査値 |
|--------|---------|--------------------------------|--------|------|------|------|
| 鋼製遮水壁 | スキンプレート | 曲げ応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 284 | 315 | 0.91 |
| | 垂直リブ | 圧縮応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 67 | 190 | 0.36 |
| | 水平リブ | 曲げ応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 77 | 315 | 0.25 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 38 | 180 | 0.22 |
| | | 合成応力度 | SM490Y | 0.12 | 1.20 | 0.10 |
| 漂流物防護工 | 架台 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 59 | 315 | 0.19 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | SM490Y | 38 | 180 | 0.22 |
| | | 合成応力度 | SM490Y | 0.09 | 1.20 | 0.08 |
| | 防護工 | 引張応力度 (N/mm ²) | SM570 | 19 | 382 | 0.05 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | SM570 | 13 | 217 | 0.06 |
| | | 合成応力度 | SM570 | 0.01 | 1.20 | 0.01 |

4.2.4 背面補強工の評価結果

背面補強のすべり安全率による評価結果を表 4.2-59 に示す。これらの結果から、背面補強のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

また、図 4.2-28 に背面補強工の全時刻での局所安全係数分布を示す。これにより、鋼管杭が背面補強工に接する部分について、背面補強工は全時刻を通じてせん断破壊していないことが確認できるため、背面補強工は鋼管杭からの反力に対して弾性範囲である。

表 4.2-59(1) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 13.70 | 12.2 |
| | | (-+) | 17.48 | 11.0 |
| | | (+-) | 17.40 | 11.6 |
| | | (--) | 13.59 | 12.3 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 17.47 | 11.0 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 17.49 | 11.9 |

表 4.2-59(2) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.17 | 11.4 |
| | | (-+) | 25.26 | 10.9 |
| | | (+-) | 25.17 | 11.2 |
| | | (--) | 25.26 | 11.2 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 6.93 | 11.3 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 25.19 | 11.6 |

表 4.2-59(3) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面③)

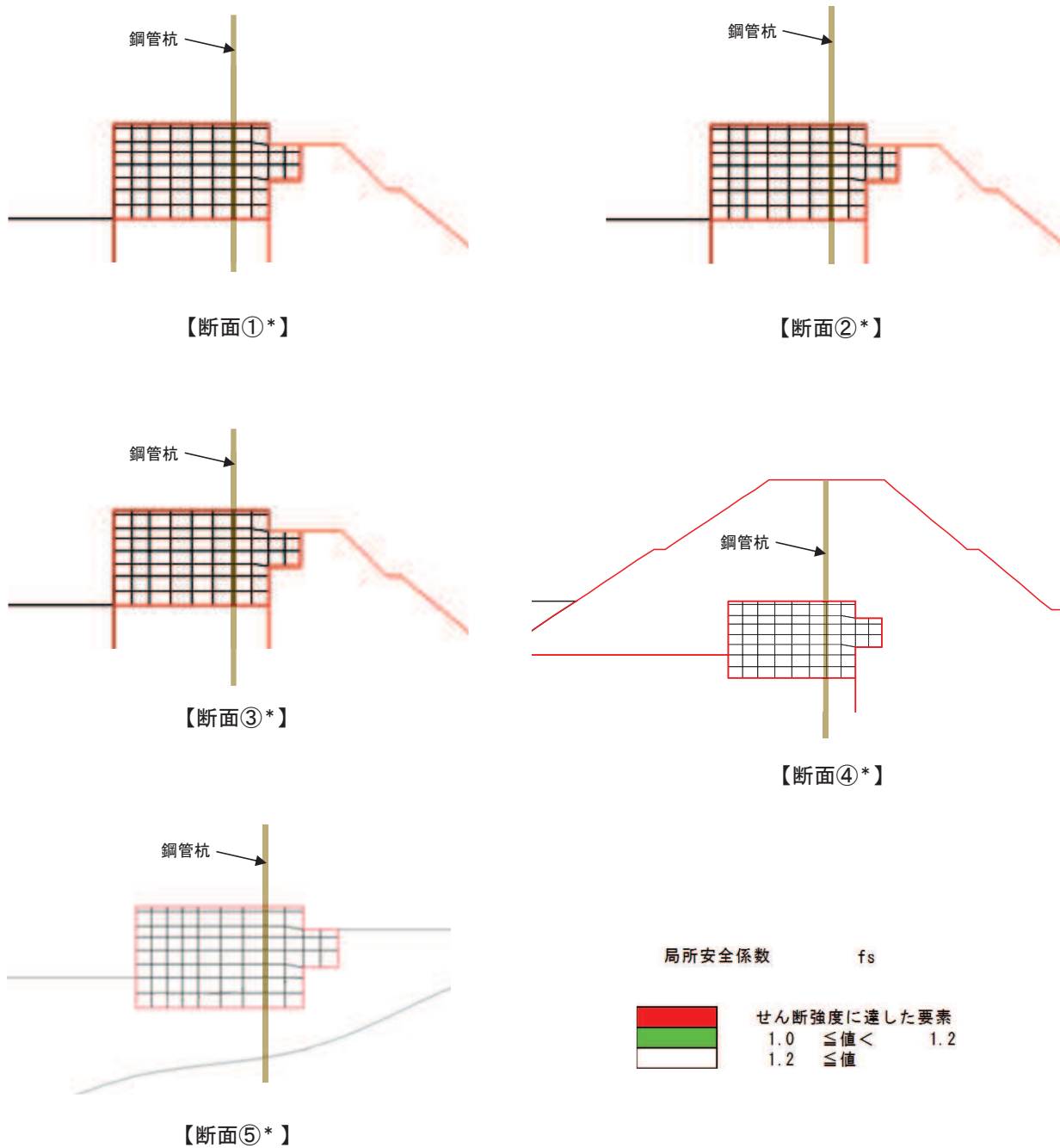
| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.18 | 11.6 |
| | | (-+) | 13.58 | 10.8 |
| | | (+-) | 25.18 | 11.3 |
| | | (--) | 13.58 | 10.9 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 13.57 | 10.9 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 13.58 | 10.9 |

表 4.2-59(4) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 13.68 | 15.2 |
| | | (-+) | 13.54 | 13.8 |
| | | (+-) | 13.66 | 14.8 |
| | | (--) | 13.53 | 14.3 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.52 | 14.6 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.55 | 14.1 |

表 4.2-59(5) 背面補強工のすべり安全率評価結果 (断面⑤)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 6.85 | 12.8 |
| | | (-+) | 17.67 | 13.3 |
| | | (+-) | 29.98 | 13.0 |
| | | (--) | 6.93 | 13.1 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 6.85 | 12.8 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 6.86 | 12.8 |



注記* 1 : 全ての解析ケースかつ全時刻においてせん断強度に達した要素が無かった

図 4.2-28 背面補強工の全時刻での局所安全係数分布 (断面①～断面⑤)

4.2.5 置換コンクリートの評価結果

(1) 評価結果

置換コンクリートのすべり安全率による評価結果を表 4.2-60 に示す。これらの結果から、置換コンクリートのすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4.2-60(1) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 12.92 | 13.4 |
| | | (-+) | 13.20 | 15.1 |
| | | (+-) | 12.96 | 13.7 |
| | | (--) | 25.57 | 13.8 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.55 | 14.1 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.32 | 15.6 |

表 4.2-60(2) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 12.91 | 13.1 |
| | | (-+) | 25.50 | 14.5 |
| | | (+-) | 25.31 | 12.8 |
| | | (--) | 25.50 | 14.2 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 25.31 | 13.5 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 12.92 | 12.6 |

表 4.2-60(3) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.44 | 12.6 |
| | | (-+) | 12.92 | 12.2 |
| | | (+-) | 25.48 | 12.0 |
| | | (--) | 20.26 | 12.6 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 12.92 | 12.2 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.30 | 12.5 |

表 4.2-60(4) 置換コンクリートのすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 20.43 | 13.2 |
| | | (-+) | 13.55 | 12.9 |
| | | (+-) | 25.46 | 12.6 |
| | | (--) | 13.55 | 12.6 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.54 | 12.7 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.55 | 12.4 |

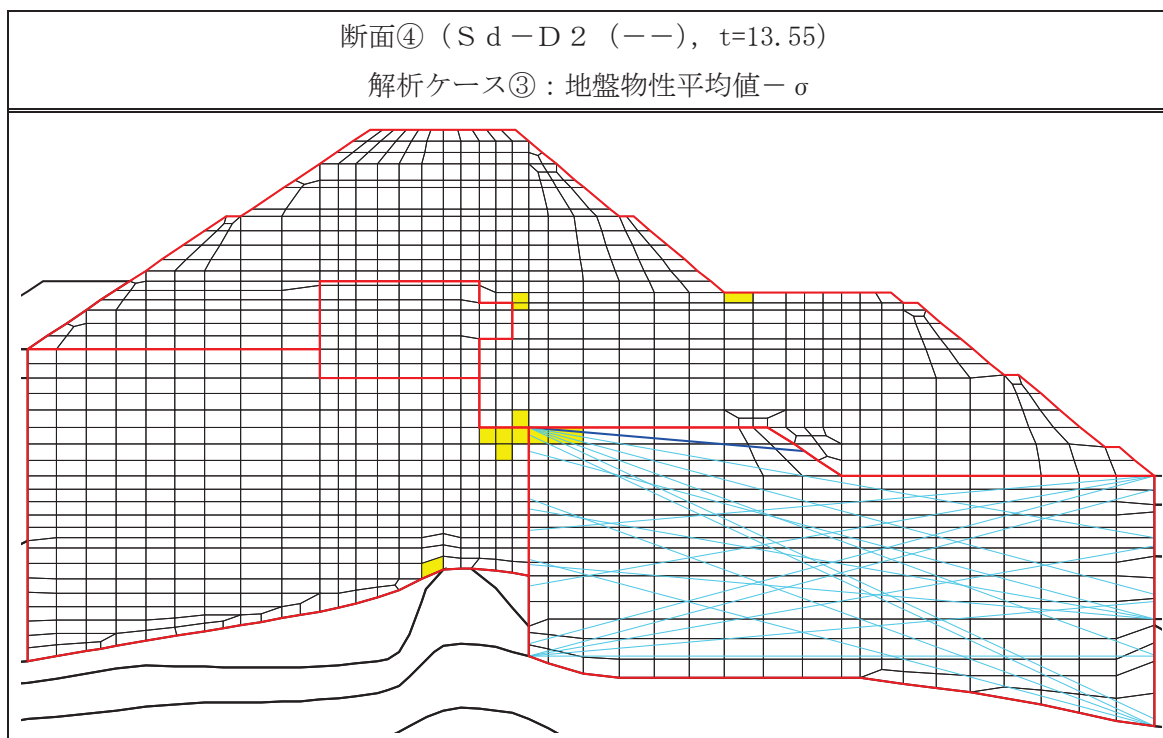
(2) 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

図 4.2-4 に示す, 各断面での置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布のうち, 引張破壊が生じている断面 (断面④) について, 局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認する。

a. 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ

断面④について, 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布に検討すべり線を重ね合わせた図を図 4.2-29 に示す。

これにより, 検討すべり線は, 引張破壊に達した要素をおおむね通過していることが確認できることから, 引張破壊に達した要素を考慮し改良地盤の健全性を確保していることを確認した。



| 凡例 | |
|------------|---------------------------|
| 局所安全係数 | f_s |
| ■ (Yellow) | 引張強度に達した要素 |
| ■ (Red) | せん断強度に達した要素 |
| ■ (Green) | $1.0 \leq \text{値} < 1.2$ |
| ■ (White) | $1.2 \leq \text{値}$ |
| — (Blue) | 検討すべり線 |
| — (Yellow) | 最小すべり安全率となるすべり線 |

図 4.2-29 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布と検討すべり線の重ね合わせ (断面④)

b. 応力状態に着目した追加すべり検討

置換コンクリートに局所的な引張破壊が生じている断面④について、引張破壊している要素の応力状態に着目し、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加しすべり安全率照査を行う。図 4.2-30 に断面④について、置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線を示す。ここで、クラック方向は、引張強度に達した要素に生じている引張応力の直交方向とする。

図 4.2-30 に示した追加すべり線における最小すべり安全率を表 4.2-61 に示す。この結果より、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加した場合において、改良地盤のすべり安全率は、当初のすべり線でのすべり安全率と比較し同等以上であり、健全であることを確認した。

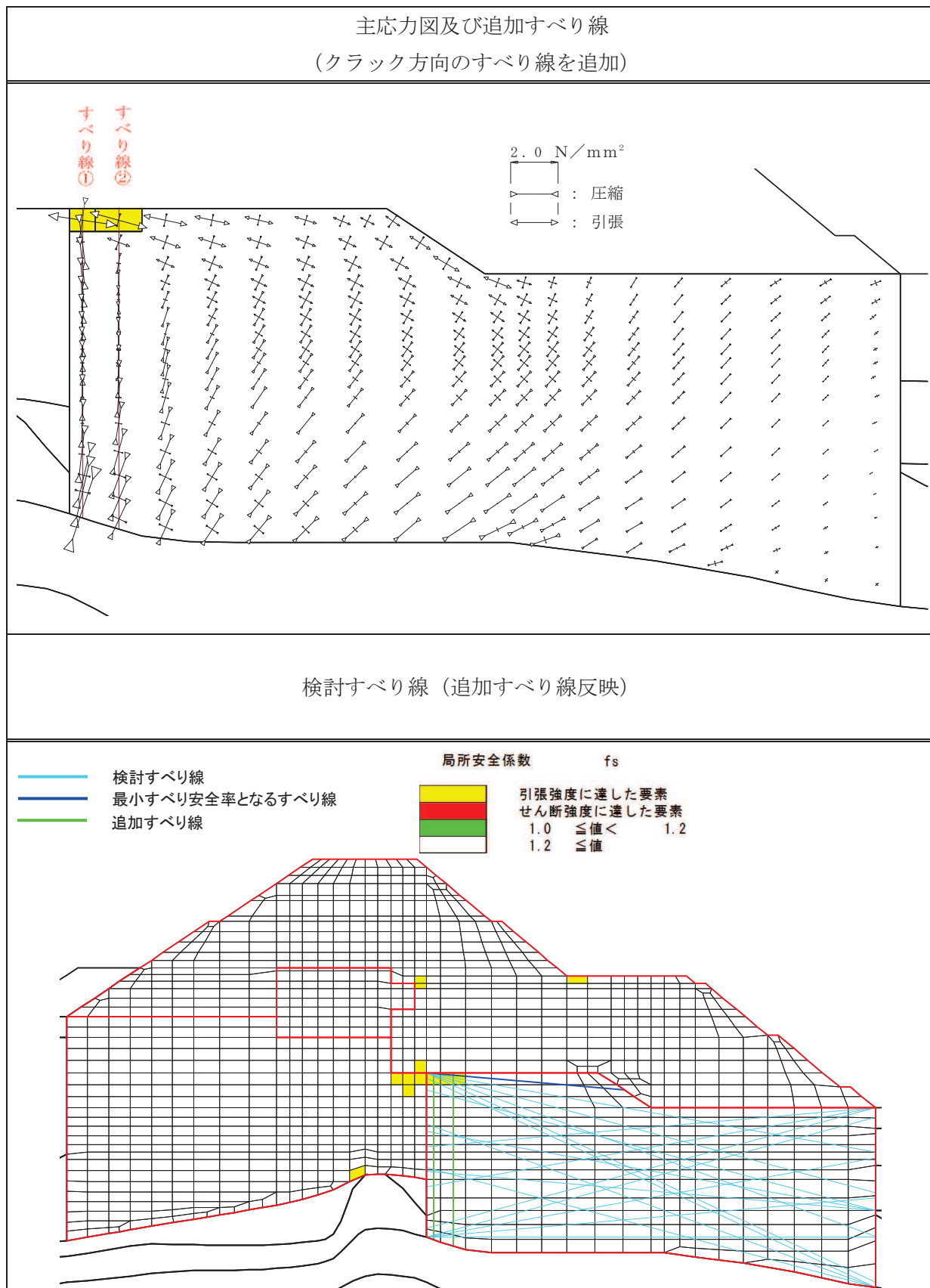


図 4.2-30 置換コンクリートの最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
(断面④, S d - D 2 (—), t=13.55s)

解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

表 4.2-61 追加すべり線における最小すべり安全率

| 断面 | すべり線 | 最小すべり 安全率 | (参考) 追加すべり線を 除く最小すべり安全率 |
|-----|-------|--------------|----------------------------|
| 断面④ | すべり線② | 21.4 | 12.4 |

c. まとめ

a. 及びb. の検討により、置換コンクリートに局所的に発生している引張破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.2.6 改良地盤の評価結果

(1) 評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.2-62 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 4.2-62(1) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|---------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.50 | 2.6 |
| | | (-+) | 12.93 | 2.6 |
| | | (+-) | 25.50 | 2.4 |
| | | (--) | 25.75 | 2.7 |
| ② (+1σ) | S d - D 2 | (-+) | 12.93 | 2.5 |
| ③ (-1σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.79 | 2.9 |

表 4.2-62(2) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|---------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.45 | 3.0 |
| | | (-+) | 12.93 | 3.0 |
| | | (+-) | 25.49 | 2.8 |
| | | (--) | 25.32 | 2.9 |
| ② (+1σ) | S d - D 2 | (++) | 25.44 | 2.9 |
| ③ (-1σ) | S d - D 2 | (++) | 25.49 | 3.0 |

表 4.2-62(3) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|---------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.51 | 2.9 |
| | | (-+) | 12.93 | 2.8 |
| | | (+-) | 25.49 | 2.8 |
| | | (--) | 25.33 | 3.0 |
| ② (+1σ) | S d - D 2 | (++) | 12.92 | 2.7 |
| ③ (-1σ) | S d - D 2 | (++) | 12.93 | 3.3 |

表 4.2-62(4) 改良地盤のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 13.68 | 4.4 |
| | | (-+) | 13.55 | 4.1 |
| | | (+-) | 13.66 | 4.4 |
| | | (--) | 13.57 | 4.2 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.57 | 4.2 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 13.57 | 4.1 |

(2) 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

図 4.2-5 に示す, 各断面での改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布のうち, 引張破壊が生じている断面 (断面②及び断面④) について, 局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認する。

a. 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ

断面②及び断面④について, 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布に検討すべり線を重ね合わせた図を図 4.2-31 に示す。

これにより, 検討すべり線は, 引張破壊に達した要素をおおむね通過していることが確認できることから, 引張破壊に達した要素を考慮し改良地盤の健全性を確保していることを確認した。

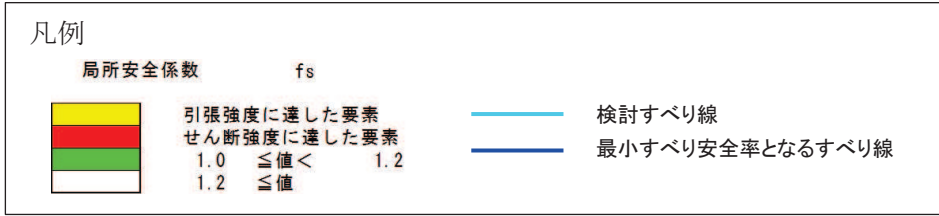
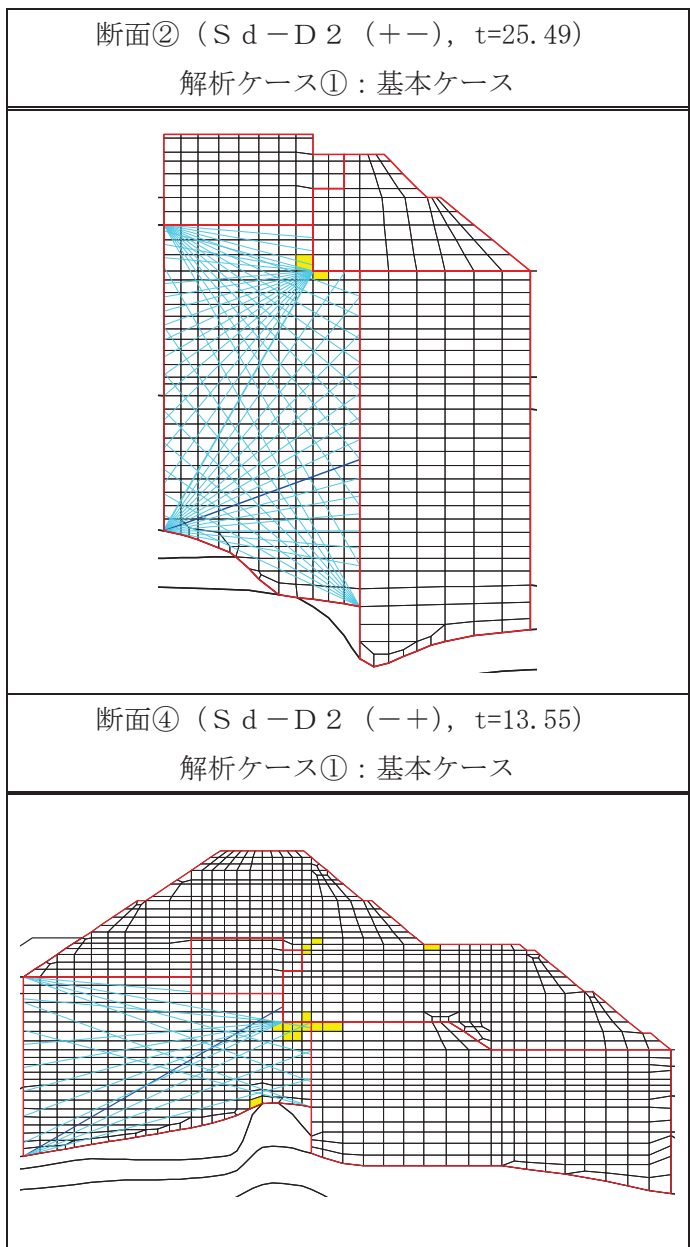


図 4.2-31 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布と
検討すべり線の重ね合わせ (断面②及び断面④)

b. 応力状態に着目した追加すべり検討

改良地盤に局所的な引張破壊が生じている断面②及び断面④について、引張破壊している要素の応力状態に着目し、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加しすべり安全率照査を行う。図 4.2-32 に断面②及び断面④について、改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線を示す。ここで、クラック方向は、引張強度に達した要素に生じている引張応力の直交方向とする。

図 4.2-32 に示した追加すべり線における最小すべり安全率を表 4.2-63 に示す。この結果より、引張強度に達した要素を基点とした、クラック方向のすべり線を追加した場合において、改良地盤のすべり安全率は、当初のすべり線でのすべり安全率と比較し同等以上であり、健全であることを確認した。

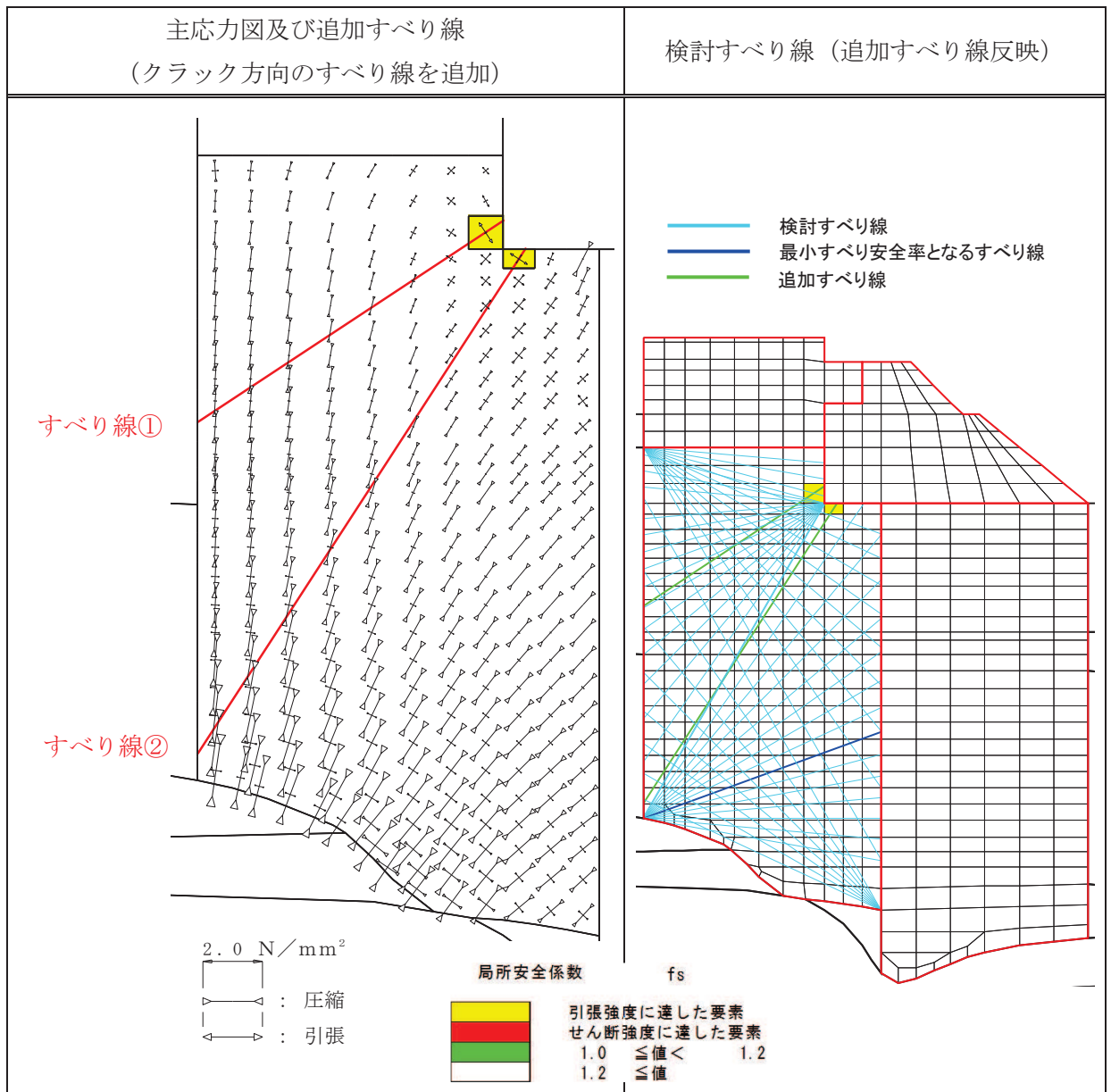
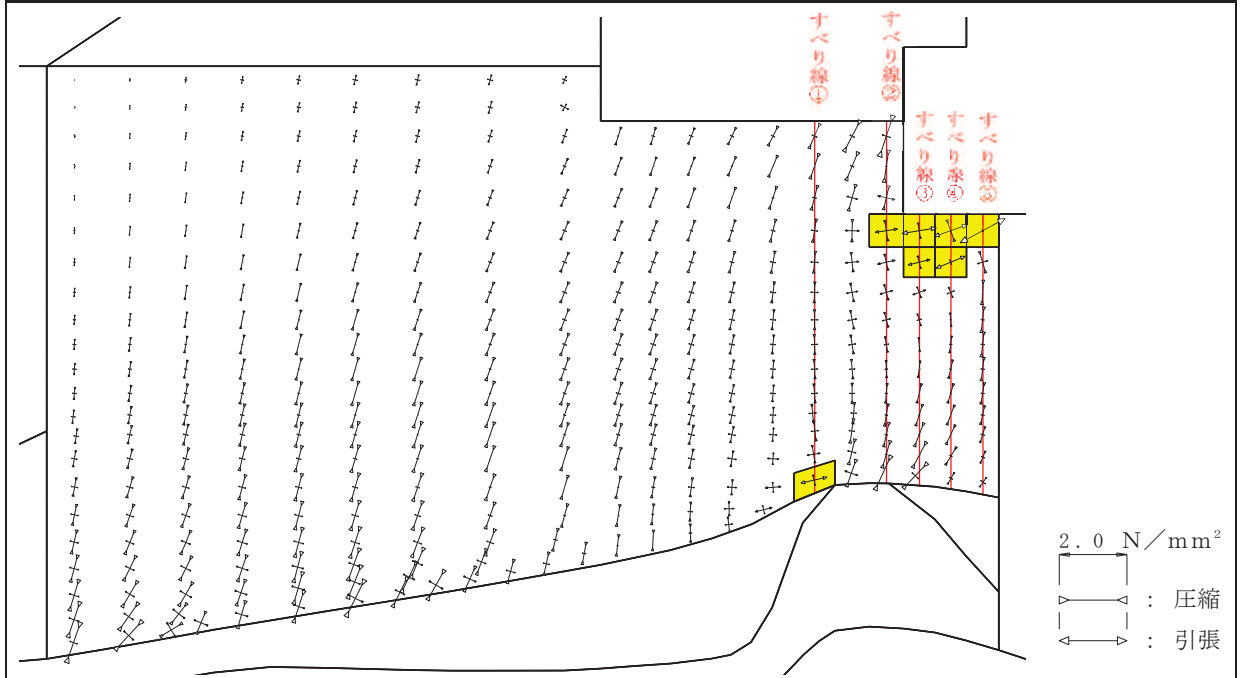


図 4.2-32(1) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
(断面②, S d - D 2 (+), t=25.49s)

解析ケース①：基本ケース

主応力図及び追加すべり線
(クラック方向のすべり線を追加)



検討すべり線 (追加すべり線反映)

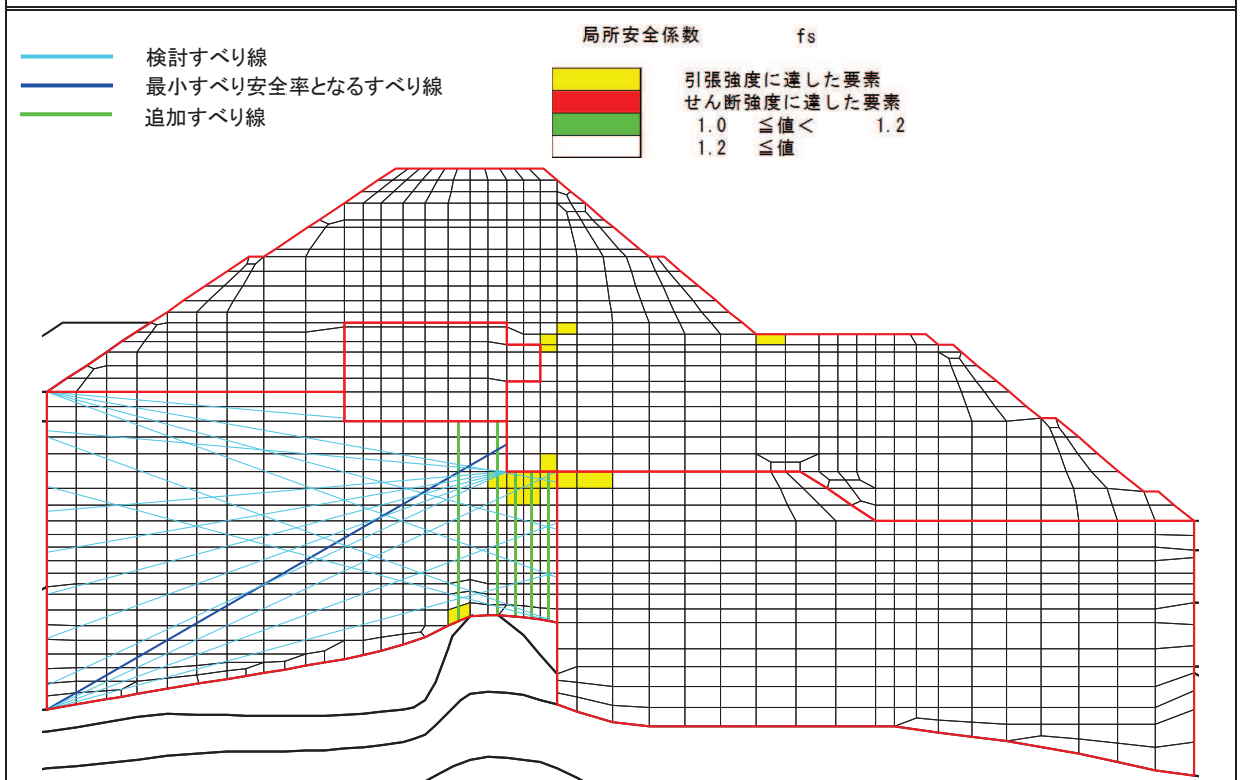


図 4.2-32(2) 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
(断面④, S d - D 2 (-+), t=13.55s)

解析ケース①：基本ケース

表 4.2-63 追加すべり線における最小すべり安全率

| 断面 | すべり線 | 最小すべり安全率 | (参考) 追加すべり線を除く最小すべり安全率 |
|-----|-------|----------|------------------------|
| 断面② | すべり線① | 4.2 | 2.8 |
| 断面④ | すべり線④ | 26.5 | 4.1 |

c. まとめ

a. 及びb. の検討により，改良地盤に局所的に発生している引張破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.2.7 セメント改良土の評価結果

セメント改良土のすべり安全率による評価結果を表 4.2-64 に示す。これらの結果から、セメント改良土のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

なお、断面②及び断面③において、解析ケース③ですべり安全率が低下するのは、地盤物性値を平均値 -1σ とすることで、最小すべり線が変わること、背面補強工からセメント改良土への起動力が大きくなることが要因として考えられる。

表 4.2-64(1) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面①)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.27 | 42.4 |
| | | (-+) | 24.99 | 48.2 |
| | | (+-) | 17.13 | 44.5 |
| | | (--) | 25.53 | 43.1 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.55 | 56.7 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 30.05 | 52.2 |

表 4.2-64(2) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面②)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.25 | 29.5 |
| | | (-+) | 13.44 | 36.2 |
| | | (+-) | 25.25 | 38.5 |
| | | (--) | 13.44 | 30.1 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 25.24 | 46.4 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 25.27 | 15.1 |

表 4.2-64(3) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面③)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 20.32 | 60.5 |
| | | (-+) | 25.53 | 32.2 |
| | | (+-) | 25.28 | 46.3 |
| | | (--) | 13.46 | 39.9 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 25.52 | 38.3 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 13.46 | 22.0 |

表 4.2-64(4) セメント改良土のすべり安全率評価結果 (断面④)

| 解析ケース | 地震動 | | 発生時刻 (s) | 最小すべり安全率 |
|------------------|-----------|------|----------|----------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 25.30 | 7.5 |
| | | (-+) | 25.48 | 7.5 |
| | | (+-) | 13.55 | 7.5 |
| | | (--) | 25.49 | 7.0 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 25.47 | 7.6 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 25.50 | 6.9 |

4.2.8 止水ジョイント部材の相対変位量に対する評価結果

重畳時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査結果を表 4.2-65 及び表 4.2-66 に示す。また、止水ジョイント部材の相対変位量評価区間を図 4.2-33 に示す。

重畳時の止水ジョイント部材の相対変位量に対する照査を行った結果、相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2-65 (1) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(A 区間：構造境界部（一般部のうち突出長変化部），鋼製遮水壁天端部：O.P.+29.0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|------------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (--) | ③ | 5.7 | 83.0 | 88.7 | 350 |
| 軸方向 | — * | — * | 12.3* | 12.3* | 24.6 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-65 (2) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(B 区間：構造境界部（一般部のうち背面補強工間），鋼製遮水壁天端部：O.P.+29.0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-------------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (- +) | ③ | 31.5 | 137.0 | 168.5 | 350 |
| 軸方向 | — * | — * | 22.2* | 22.2* | 44.4 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-65 (3) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(C 区間：構造境界部（一般部と岩盤部の境界），鋼製遮水壁天端部：O.P.+29.0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-------------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (- +) | ③ | 31.5 | 137.0 | 168.5 | 350 |
| 軸方向 | — * | — * | 14.1* | 14.1* | 28.2 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-65 (4) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(D 区間：構造境界部 (岩盤部のうち背面補強工間), 杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (++) | ① | 0.3 | 55.4 | 55.7 | 350 |
| 軸方向 | -* | -* | 2.0* | 2.0* | 4.0 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-65 (5) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(E 区間：構造境界部 (岩盤部のうち背面補強工端部), 杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (++) | ③ | 0.1 | 66.0 | 66.1 | 350 |
| 軸方向 | -* | -* | 6.7* | 6.7* | 13.4 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-65 (6) ゴムジョイント部材設置箇所の重畳時相対変位量

(F 区間：構造境界部 (岩盤部のうち突出長変化部), 杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (++) | ③ | 0.1 | 66.0 | 66.1 | 350 |
| 軸方向 | -* | -* | 52.6* | 52.6* | 105.2 | 150 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-66 (1) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量

(H 区間：構造同一部（一般部のうち背面補強工内），杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (- +) | ③ | 1. 2 | 17. 7 | 18. 9 | 30 |
| 軸方向 | - * | - * | 1. 6* | 1. 6* | 3. 2 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-66 (2) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量

(I 区間：構造同一部（岩盤部のうち突出杭長同一部），杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (+ +) | ③ | 0. 1 | 5. 2 | 5. 3 | 30 |
| 軸方向 | - * | - * | 1. 2* | 1. 2* | 2. 4 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

表 4.2-66 (3) ウレタンシリコーン目地設置箇所の重畳時相対変位量

(J 区間：構造同一部（岩盤部のうち背面補強工内），杭天端部：0. P. +29. 0m)

| 方向 | 地震動 | 解析 ケース | 残留変位 (a) (mm) | 重畳時 変位増分 (b) (mm) | 合計 (a+b) (mm) | 許容限界 (mm) |
|-------|-----------------|-----------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------|
| 軸直交方向 | S d - D 2 (+ +) | ③ | 0. 1 | 2. 3 | 2. 4 | 30 |
| 軸方向 | - * | - * | 1. 0* | 1. 0* | 2. 0 | 6 |

注記 *：軸方向の残留変位及び重畳時変位増分は保守的に地震時の最大相対変位量を考慮する。

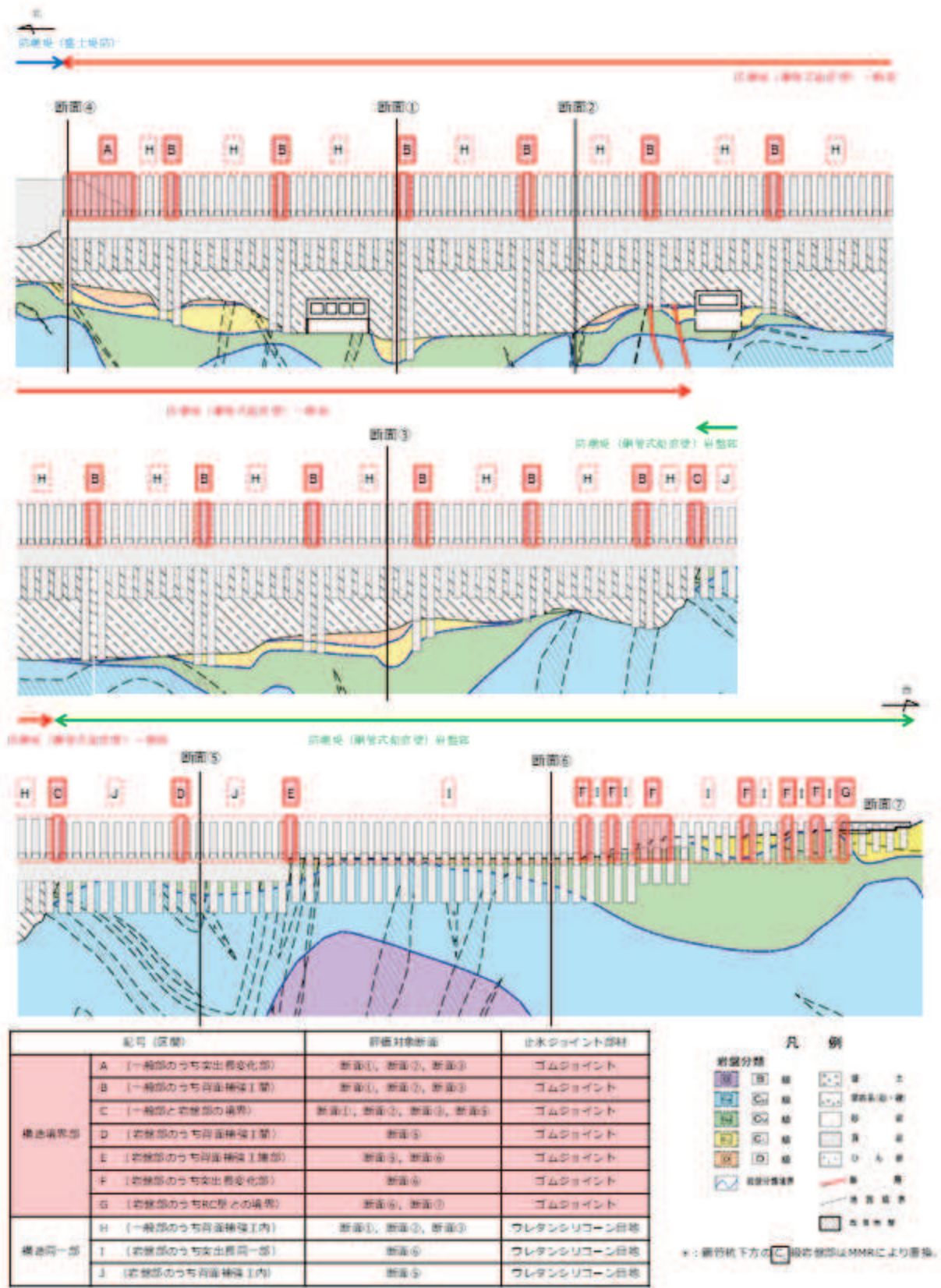


図 4.2-33 止水ジョイント部材の相対変位量評価区間

4.2.9 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価結果を表4.2-67～表4.2-69に示す。

また、背面補強工及び置換コンクリートの最大接地圧分布図を図4.2-34～図4.2-35に示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 4.2-67(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面①）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 | 極限支持力 | 照査値 |
|------------------|-----------|------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| | | | R_a (N/mm ²) | R_{ua} (N/mm ²) | R_a/R_{ua} |
| ① | S d - D 2 | (++) | 2.5 | 11.4 | 0.22 |
| | | (-+) | 2.7 | 11.4 | 0.24 |
| | | (+-) | 2.5 | 11.4 | 0.22 |
| | | (--) | 2.6 | 11.4 | 0.23 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 2.5 | 11.4 | 0.22 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 3.0 | 11.4 | 0.27 |

表 4.2-67(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面②）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 | 極限支持力 | 照査値 |
|------------------|-----------|------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| | | | R_a (N/mm ²) | R_{ua} (N/mm ²) | R_a/R_{ua} |
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.0 | 11.4 | 0.09 |
| | | (-+) | 1.1 | 11.4 | 0.10 |
| | | (+-) | 1.0 | 11.4 | 0.09 |
| | | (--) | 1.0 | 11.4 | 0.09 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.0 | 11.4 | 0.09 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.1 | 11.4 | 0.10 |

表 4.2-67(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面③）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 | 極限支持力 | 照査値 |
|------------------|-----------|------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| | | | R_a (N/mm ²) | R_{ua} (N/mm ²) | R_a/R_{ua} |
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.8 | 13.7 | 0.14 |
| | | (-+) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| | | (+-) | 1.8 | 13.7 | 0.14 |
| | | (--) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.7 | 13.7 | 0.13 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 2.4 | 13.7 | 0.18 |

表 4.2-67(4) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面④）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 2.4 | 11.4 | 0.22 |
| | | (-+) | 2.3 | 11.4 | 0.21 |
| | | (+-) | 2.3 | 11.4 | 0.21 |
| | | (--) | 2.4 | 11.4 | 0.22 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 2.0 | 11.4 | 0.18 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 3.0 | 11.4 | 0.27 |

表 4.2-67(5) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面⑤）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (-+) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (+-) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (--) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |

表 4.2-67(6) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，鋼管杭，断面⑥）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (-+) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (+-) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| | | (--) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.5 | 13.7 | 0.04 |

表 4.2-68(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，背面補強工，断面①）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.0 | 4.4 | 0.23 |
| | | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| | | (+-) | 1.0 | 4.4 | 0.23 |
| | | (--) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |

表 4.2-68(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，背面補強工，断面②）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| | | (-+) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| | | (+-) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| | | (--) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |

表 4.2-68(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，背面補強工，断面③）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| | | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| | | (+-) | 1.0 | 4.4 | 0.23 |
| | | (--) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.1 | 4.4 | 0.25 |

表 4.2-68(4) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，背面補強工，断面④）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| | | (-+) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| | | (+-) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |
| | | (--) | 1.3 | 4.4 | 0.30 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 1.3 | 4.4 | 0.30 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 1.2 | 4.4 | 0.28 |

表 4.2-68(5) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，背面補強工，断面⑤）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① (平均) | S d - D 2 | (++) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |
| | | (-+) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |
| | | (+-) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |
| | | (--) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 0.8 | 13.7 | 0.06 |

表 4.2-69(1) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，置換コンクリート，断面①）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.7 | 11.4 | 0.15 |
| | | (-+) | 1.7 | 11.4 | 0.15 |
| | | (+-) | 1.8 | 11.4 | 0.16 |
| | | (--) | 2.0 | 11.4 | 0.18 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.8 | 11.4 | 0.16 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.7 | 11.4 | 0.15 |

表 4.2-69(2) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，置換コンクリート，断面②）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 1.6 | 11.4 | 0.15 |
| | | (-+) | 1.4 | 11.4 | 0.13 |
| | | (+-) | 1.5 | 11.4 | 0.14 |
| | | (--) | 1.5 | 11.4 | 0.14 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.5 | 11.4 | 0.14 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (++) | 1.6 | 11.4 | 0.15 |

表 4.2-69(3) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，置換コンクリート，断面③）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| | | (-+) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| | | (+-) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| | | (--) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 1.9 | 13.7 | 0.14 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (-+) | 2.0 | 13.7 | 0.15 |

表 4.2-69(4) 基礎地盤の支持性能照査結果（重畳時，置換コンクリート，断面④）

| 解析ケース | 地震動 | | 最大接地圧 R_a (N/mm ²) | 極限支持力 R_{ua} (N/mm ²) | 照査値 R_a/R_{ua} |
|------------------|-----------|------|-------------------------------------|--|---------------------|
| ① | S d - D 2 | (++) | 2.2 | 11.4 | 0.20 |
| | | (-+) | 2.1 | 11.4 | 0.19 |
| | | (+-) | 2.2 | 11.4 | 0.20 |
| | | (--) | 2.2 | 11.4 | 0.20 |
| ② (+1 σ) | S d - D 2 | (--) | 2.1 | 11.4 | 0.19 |
| ③ (-1 σ) | S d - D 2 | (--) | 2.2 | 11.4 | 0.20 |

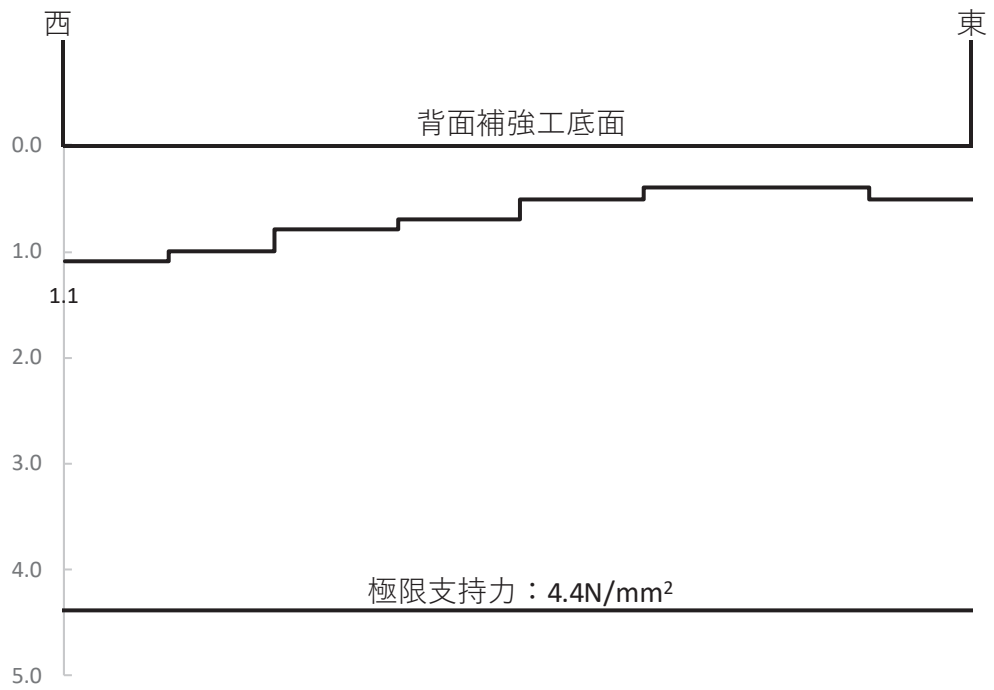


図 4.2-34(1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, 背面補強工)
 (S d - D 2 (--))
 解析ケース①：基本ケース

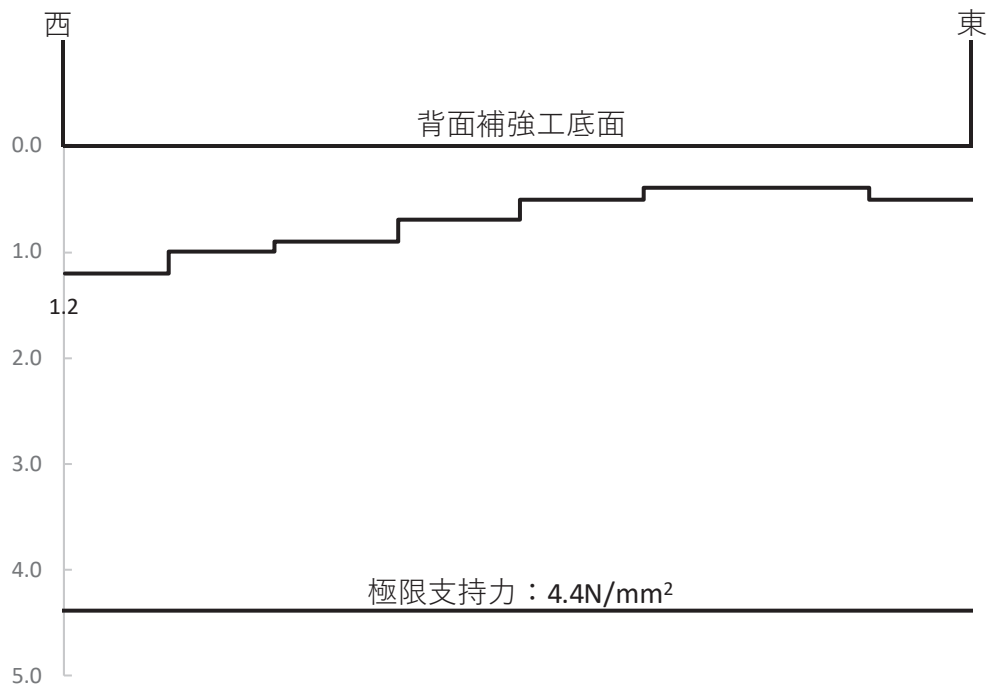


図 4.2-34(2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面②, 背面補強工)
 (S d - D 2 (- +))
 解析ケース①：基本ケース

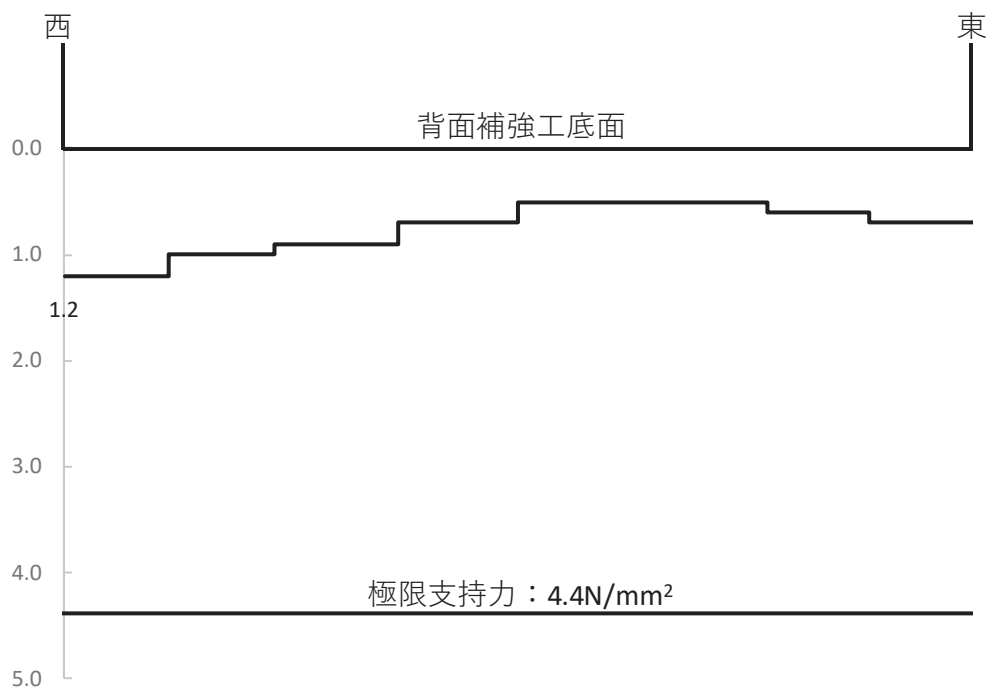


図 4.2-34(3) 支持地盤の接地圧分布図 (断面③, 背面補強工)
 (S d - D 2 (---))
 解析ケース①: 基本ケース

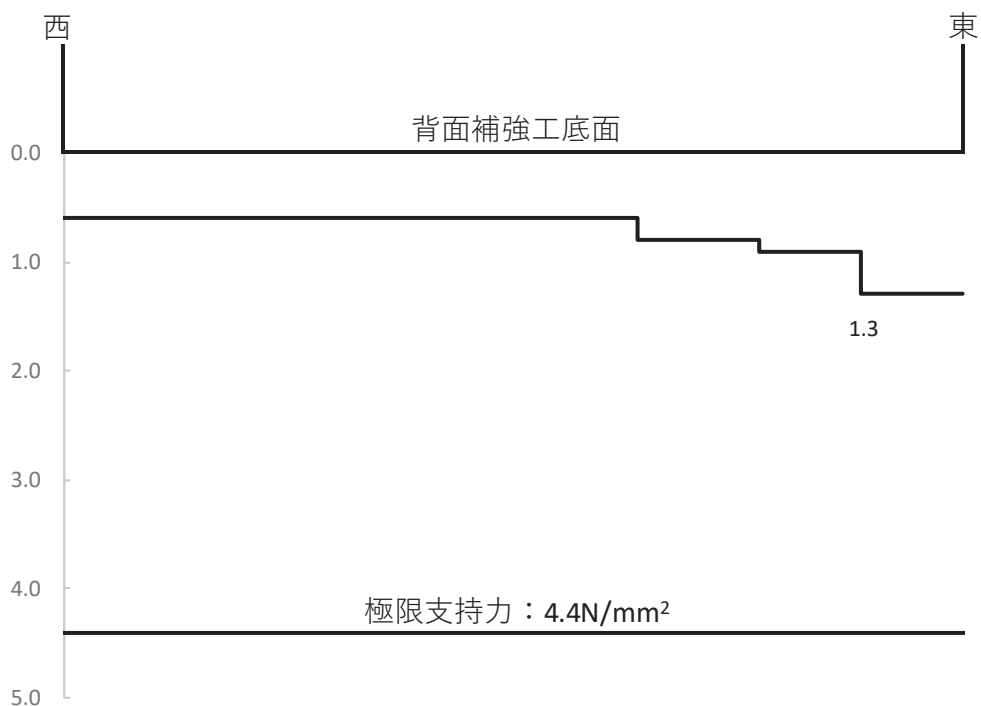


図 4.2-34(4) 支持地盤の接地圧分布図 (断面④, 背面補強工)
 (S d - D 2 (---))
 解析ケース②: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

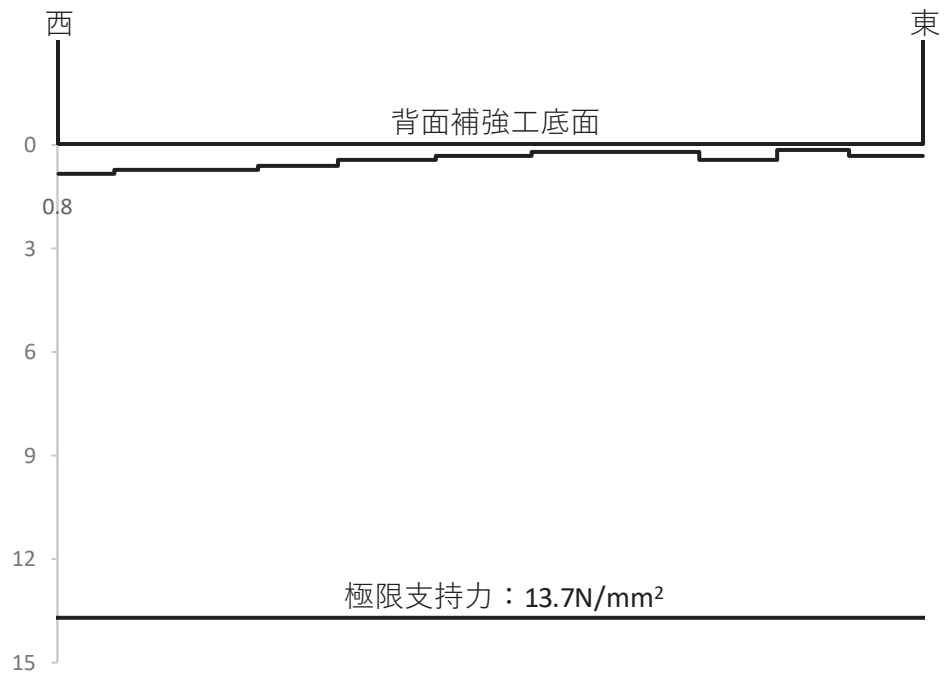


図 4.2-34(5) 支持地盤の接地圧分布図 (断面⑤, 背面補強工)
 (S d - D 2 (+ -))
 解析ケース①: 基本ケース

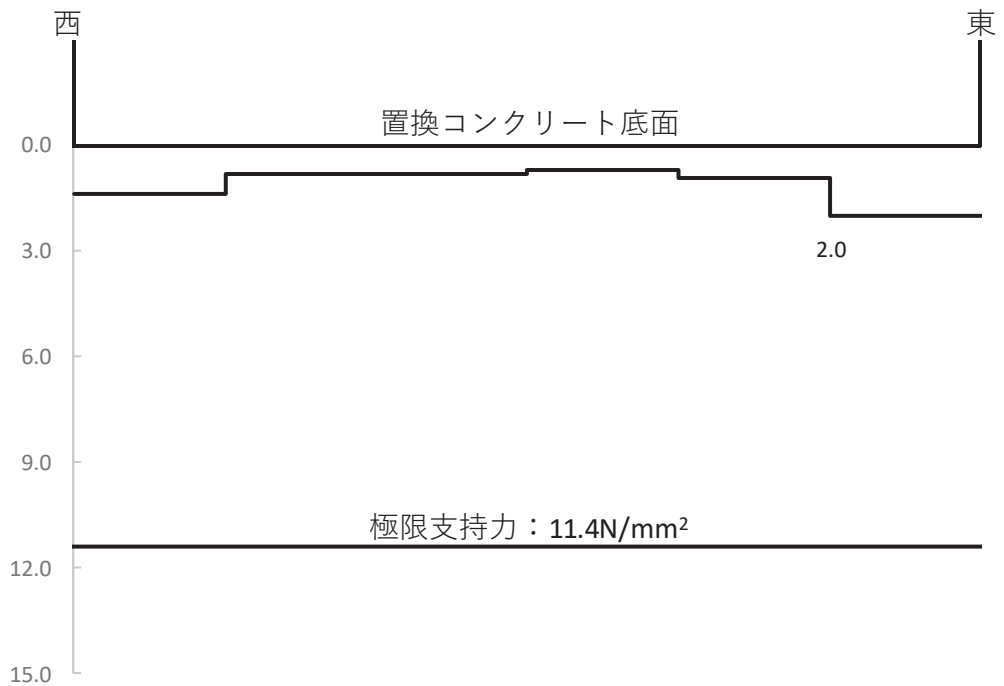


図 4.2-35(1) 支持地盤の接地圧分布図 (断面①, 置換コンクリート)
 (S d - D 2 (- -))
 解析ケース①: 基本ケース

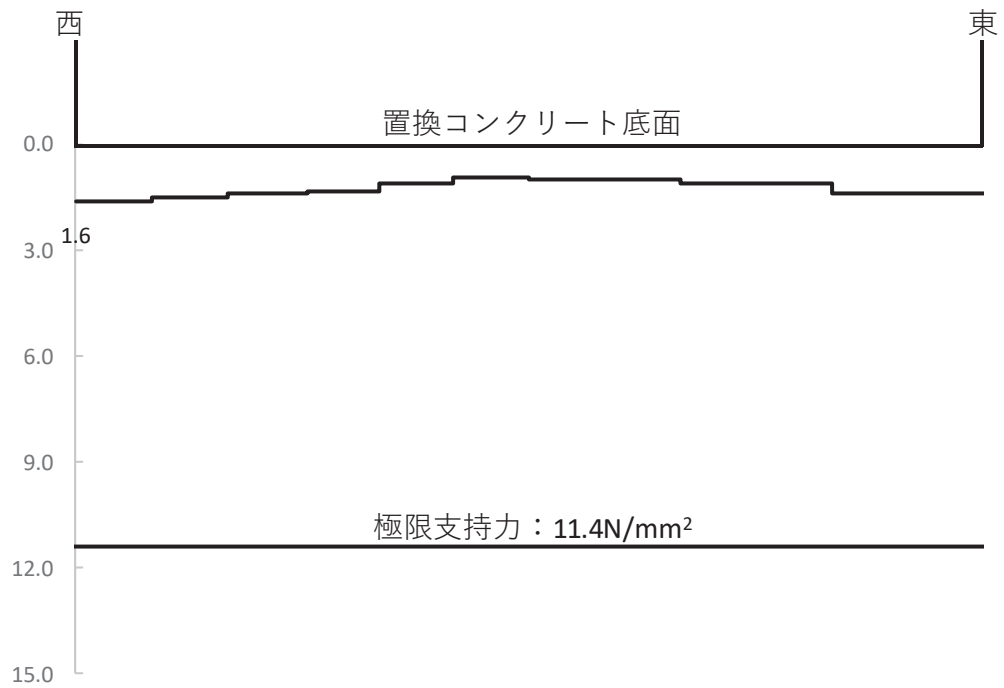


図 4.2-35(2) 支持地盤の接地圧分布図 (断面②, 置換コンクリート)
(S d - D 2 (++))

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1 σ)

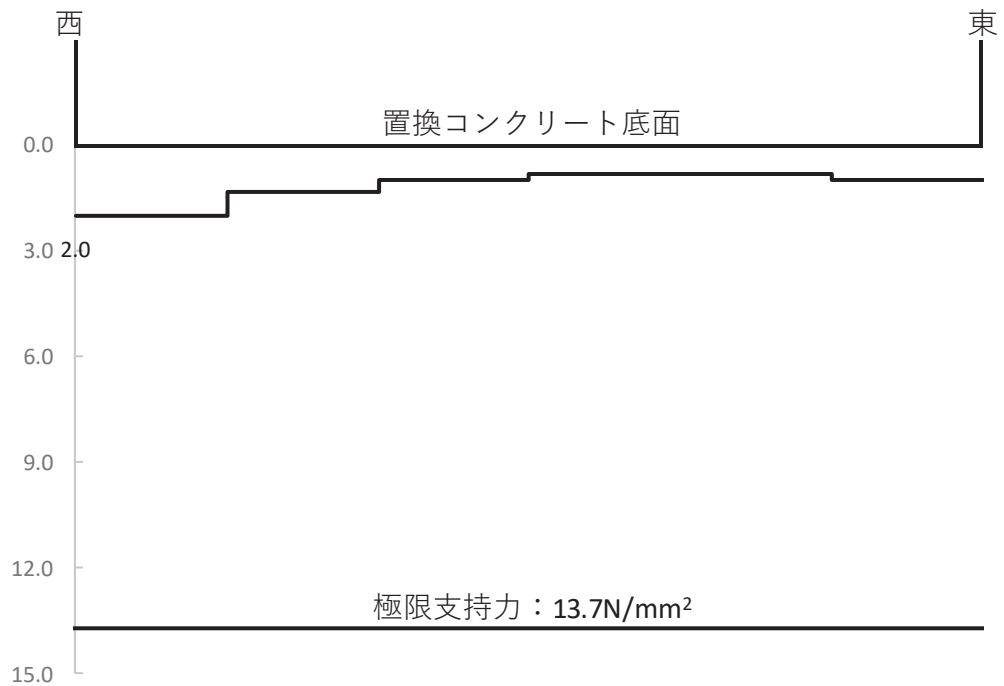


図 4.2-35(3) 支持地盤の接地圧分布図 (断面③, 置換コンクリート)
(S d - D 2 (+-))

解析ケース①：基本ケース

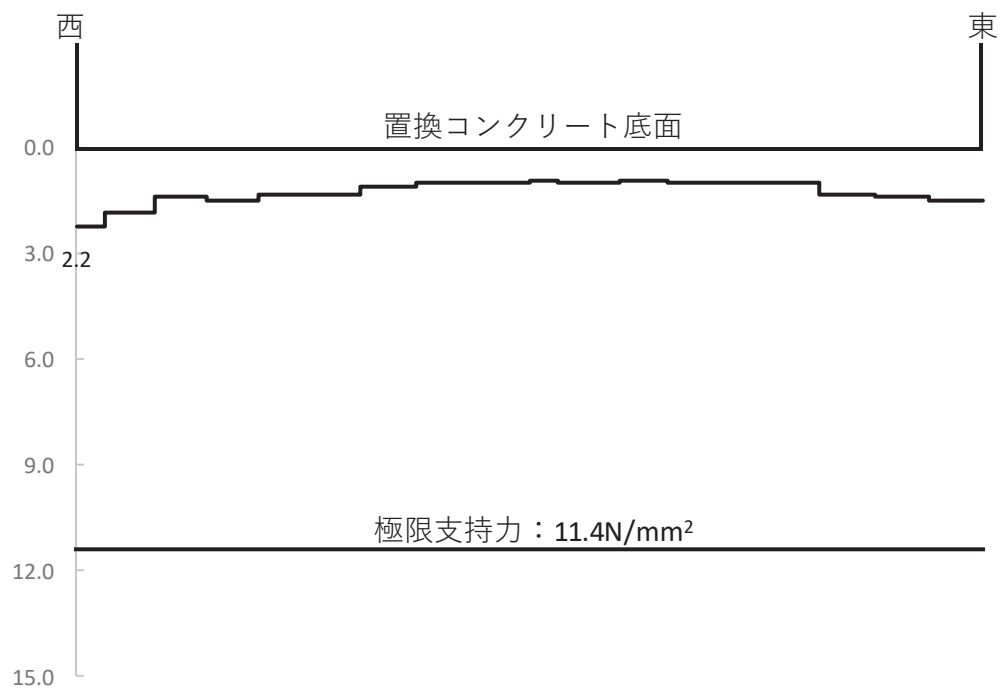


図 4.2-35(3) 支持地盤の接地圧分布図 (断面④, 置換コンクリート)
 (S d - D 2 (+ -))
 解析ケース①: 基本ケース

5. 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度評価に関する影響検討

5.1 基準地震動 S_s 後の剛性低下の影響について

(1) 概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）については、基準地震動 S_s を経験した後（以下「 S_s 後」という。）に、必ずしも基準津波が来襲するものではないが、設置変更許可申請時において確認していたことを踏まえ、念のため S_s 後に基準津波を考慮した場合の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐津波設計への影響を確認する。

(2) 評価方針

基準地震動 S_s によって地盤の剛性低下が生じた状態を考慮し、その上で津波時及び重畳時の評価を行う。

評価に用いる基準地震動 S_s については、地盤の剛性低下の観点から、地震継続時間が長い $S_s - D1$ を対象とする。

a. 津波時

津波時の評価対象断面及び評価部位については、「4.1 津波時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において、照査値が最も厳しい「断面②，鋼管杭」とする。

断面②の地震応答解析モデルを図 5.1-1 に示す。

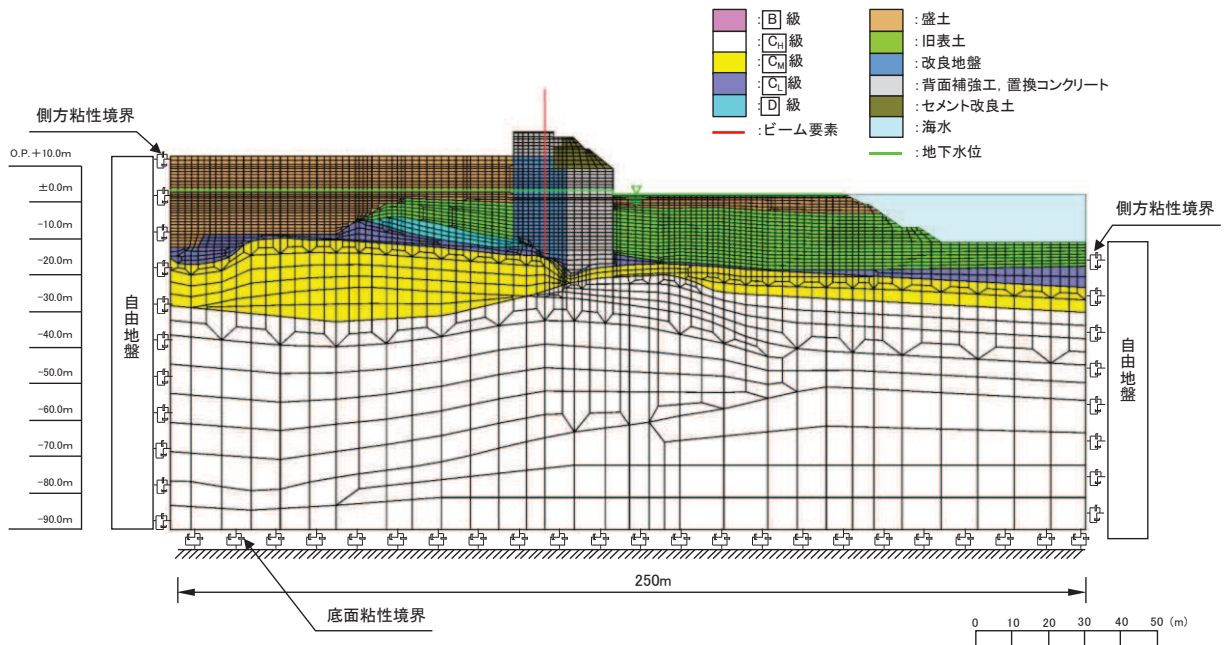


図 5.1-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面②の解析モデル

解析方法については、「3.5.1(1) 解析方法」と同様であるが、 S_s 後の津波時の評価として、基準地震動 S_s による解析の後に遡上津波荷重及び衝突荷重を図 5.1-2 に示すように 100 分割 ($\Delta t=0.01(s)$) して漸増載荷させる。

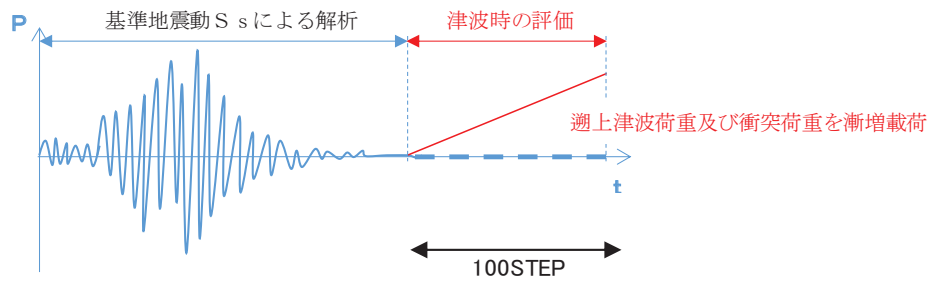


図 5.1-2 S s 後を考慮した津波時の遡上津波荷重及び衝突荷重の载荷方法のイメージ

また、影響検討を行う解析ケースについては、表 5.1-1 のとおり「3.5.2(1)b. 材料物性及び地盤物性のばらつき」の解析ケース①を実施する。

表 5.1-1 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁），基準地震動 S s 後を考慮した津波時）

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|---|--|
| | | 旧表土, 盛土, D 級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C ₁ 級岩盤, C ₂ 級岩盤 C ₃ 級岩盤, B 級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |

b. 重畳時

重畳時の評価対象断面，評価部位及び入力地震動については，「4.2 重畳時」から解析ケース①（基本ケース）の結果において，照査値が最も厳しい「断面①，鋼管杭，S d-D 2（-+）」とする。

断面①の地震応答解析モデルを図 5.1-3 に示す。

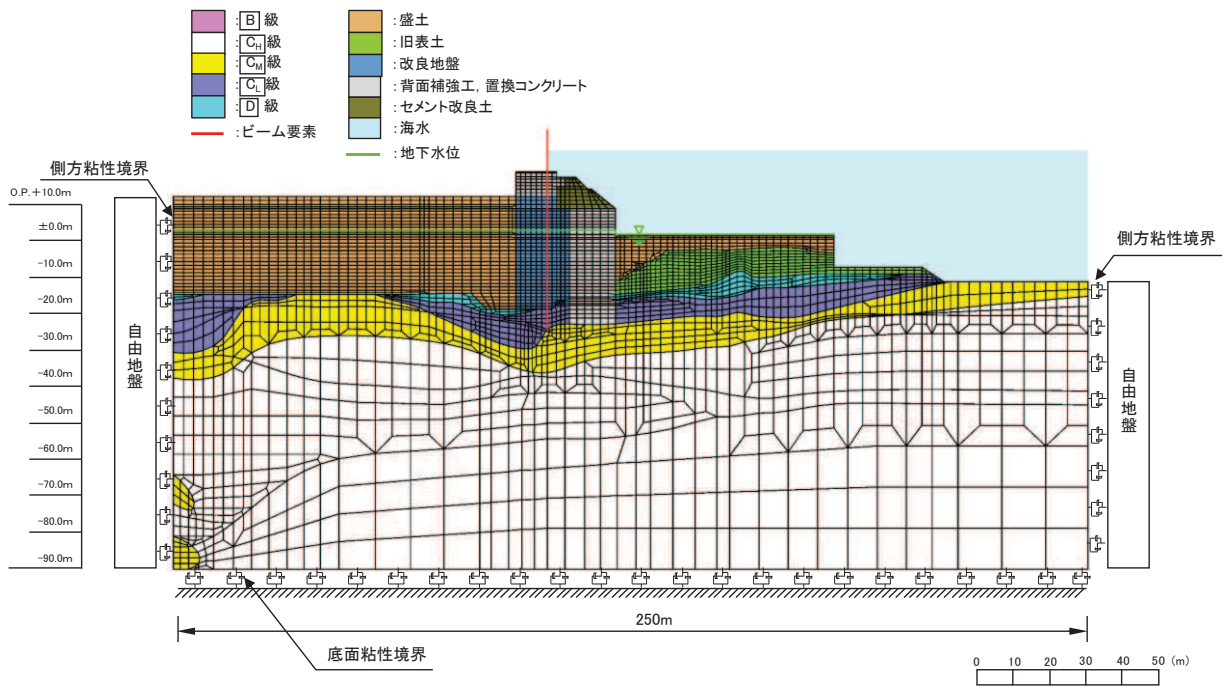
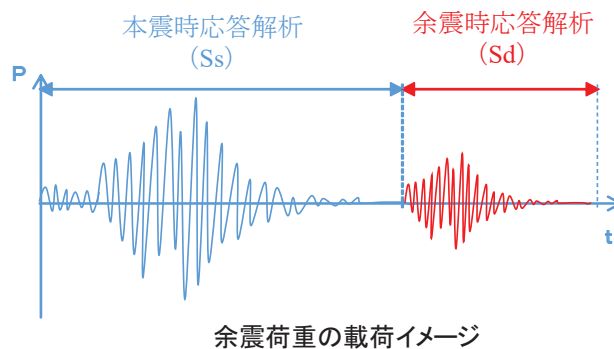


図 5.1-3 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面①の解析モデル

解析方法については，「3.5.2(1) 解析方法」と同様であるが，S s 後の重畳時の評価としては，仮想的な荷重載荷状況とはなるが，以下の流れで荷重を載荷させている。

まず，初期状態において遡上津波荷重を 100 分割 ($\Delta t=0.01(s)$) で漸増載荷させ，その状態を保持したまま図 5.1-4 のとおり基準地震動 S s による地震荷重を載荷させ，その後弾性設計用地震動 S d-D 2 による余震荷重載荷させることとした。



余震荷重の載荷イメージ

図 5.1-4 S s 後を考慮した重畳時の余震荷重及び遡上津波荷重の載荷方法のイメージ

また、影響検討を行う解析ケースについては、表 5.1-2 のとおり「3.5.2(1)b. 材料物性及び地盤物性のばらつき」の解析ケース①を実施する。

表 5.1-2 解析ケース（防潮堤（鋼管式鉛直壁），基準地震動 S_s 後を考慮した重畳時）

| 解析ケース | 材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数) | 地盤物性 | |
|-----------------|--------------------------------------|--|---|
| | | 旧表土, 盛土, D級岩盤 セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数) | C ₁ 級岩盤, C ₂ 級岩盤 C ₃ 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数) |
| ケース① (基本ケース) | 設計基準強度 | 平均値 | 平均値 |

(3) 評価結果

a. 津波時

S s 後の津波時の評価結果を表 5. 1-3 及び表 5. 1-4 に示す。

本検討の結果， S s 後の地盤剛性の低下による影響はほとんどなく， 照査結果に影響しないことを確認した。

表 5. 1-3 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面②）

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|----|-------------------|------------|--|---|---------------------------------|
| ①* | C | 40932 | 1182 | 261 | 382 | 0. 69 |
| ②* | C | 41017 | 1180 | 261 | 382 | 0. 69 |
| ③* | C | 40983 | 1181 | 261 | 382 | 0. 69 |
| S s 後 | C | 40998 | 1181 | 261 | 382 | 0. 69 |

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5. 1-4 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面②）

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|-----------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ①* | C | 12563 | 96 | 217 | 0. 45 |
| ②* | C | 12650 | 97 | 217 | 0. 45 |
| ③* | C | 12606 | 96 | 217 | 0. 45 |
| S s 後 | C | 12587 | 96 | 217 | 0. 45 |

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

b. 重畳時

S s 後の重畳時の評価結果を表 5. 1-5 及び表 5. 1-6 に示す。

本検討の結果， S s 後の地盤剛性の低下による影響はほとんどなく， 照査にも影響しないことを確認した。

表 5. 1-5 鋼管杭の曲げ圧縮照査における最大照査値（断面①， S d - D 2（-+））

| 解析 ケース | 杭種 | 曲げモーメント (kN・m) | 軸力 (kN) | 曲げ圧縮応力度 σ_s (N/mm ²) | 短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²) | 照査値 σ_s / σ_{sa} |
|-----------|----|-------------------|------------|--|---|---------------------------------|
| ①* | C | 44972 | 1316 | 287 | 382 | 0.76 |
| ②* | C | 45243 | 1277 | 288 | 382 | 0.76 |
| ③* | C | 42182 | 1312 | 269 | 382 | 0.71 |
| S s 後 | C | 44062 | 1346 | 281 | 382 | 0.74 |

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

表 5. 1-6 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面①， S d - D 2（-+））

| 解析 ケース | 杭種 | せん断力 (kN) | 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} |
|-----------|----|--------------|---|---|-----------------------------|
| ①* | C | 13526 | 103 | 217 | 0.48 |
| ②* | C | 13606 | 104 | 217 | 0.48 |
| ③* | C | 12646 | 97 | 217 | 0.45 |
| S s 後 | C | 13238 | 101 | 217 | 0.47 |

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

5.2 0. P. +33. 9m 津波による影響について

(1) 概要

防潮堤に対する津波 PRA については、設置変更許可申請時において、フラジリティ評価によりその耐性を確認している。

一方、設置変更許可申請時の有効性評価においては、年超過確率 10^{-7} オーダーである津波高さ 0. P. +33. 9m に対する防潮堤の機能維持を前提として事故シーケンスの選定を行っていることから、決定論評価として防潮堤の主要部位である鋼管杭の耐性を確認している。

ここでは、鋼管杭以外の評価部位（鋼製遮水壁及び漂流物防護工）についても耐性を有することを確認する。

(2) 評価方針

評価対象断面については、設計用津波水位に対する照査結果として最も裕度が小さい断面と支配的な損傷部位及び損傷モードを確認して選定する。「4. 評価結果」から解析ケース①（基本ケース）の結果において鋼管杭の照査値が最も厳しい「断面②」とする。

断面②の解析モデルを図 5. 2-1 に示す。

遡上津波荷重については、0. P. +33. 9m の津波水位から、設計用津波水位に対する検討と同様、防潮堤前面の地盤標高 (0. P. +0. 5m) の差分の 1/2 倍を設計用浸水深 (16. 7m) とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。また、津波 PRA における検討では現実的な応答を考慮することとしており、年超過確率 10^{-7} オーダーの遡上津波荷重の最大値と漂流物衝突荷重が同時に作用することは考えにくいですが、ここでは保守的に設計用津波水位に対する検討において考慮する漂流物衝突荷重 (2000kN) を防潮堤天端 (0. P. +29. 0m) に作用させる。

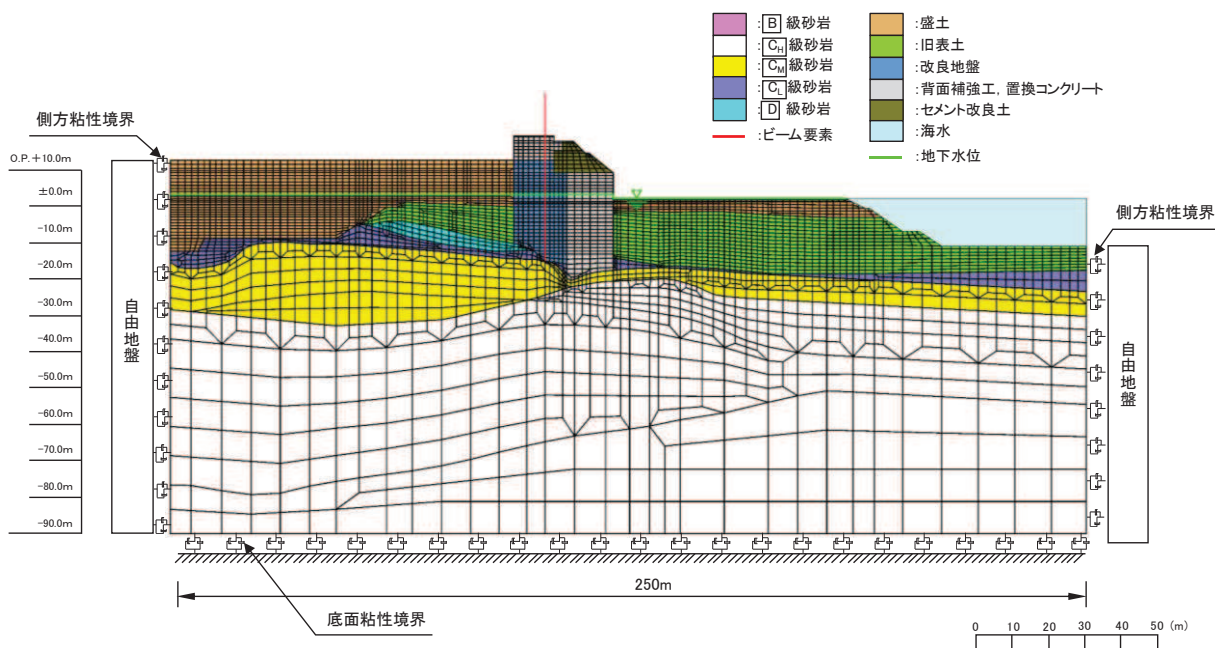


図 5. 2-1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の断面②の解析モデル

O. P. +33. 9m 津波に対する評価については、年超過確率 10^{-7} オーダーである津波が防潮堤を超えた場合の敷地内の浸水量の評価ということを踏まえ、津波遡上荷重及び衝突荷重によって防潮堤が機能喪失して敷地内への津波の浸水量が急増しないように、鋼管杭が倒壊しないことを確認することとし、許容限界を「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（日本道路協会）」に基づく全塑性モーメント*¹以下として設定する。また、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の許容限界については、「3.4 許容限界」と同様する。

注記* 1 杭体の曲げモーメント-曲率関係（図 5.2-2）における上限値として全塑性モーメントが規定されており、鋼管杭の一部は塑性化しているものの、顕著な剛性低下は見られず、おおむね線形領域に留まる状態となる。

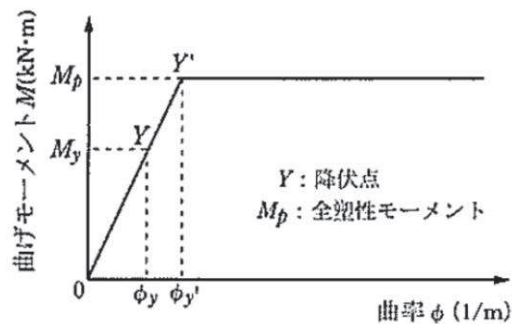


図5.2-2 鋼管杭の杭体の曲げモーメント-曲率関係
 （道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編（日本道路協会，平成14年3月））

(3) 評価結果

津波高さ O.P. +33.9m に対する評価結果を表 5.2-1 及び表 5.2-2 に示す。

本検討の結果, 年超過確率 10^{-7} オーダーである津波高さ O.P. +33.9m に対しても防潮堤の機能が維持されることを確認した。

表 5.2-1 鋼管杭の評価結果 (断面②)

| 評価部位 | 杭種 | 発生モーメント M (kN・m) | 全塑性モーメント M _p (kN・m) | 照査値 M _p /M |
|------|----|---------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 鋼管杭 | C | 81726 | 89478 | 0.92 |

表 5.2-2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工の評価結果 (断面②)

| 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 ²) | 284 | 315 | 0.91 |
| | 垂直リブ | SM490Y | 圧縮応力度 (N/mm ²) | 66 | 190 | 0.35 |
| | 水平リブ | SM490Y | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 236 | 315 | 0.75 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 76 | 180 | 0.43 |
| | | | 合成応力度* | 0.74 | 1.20 | 0.62 |
| 漂流物防護工 | 架台 | SM490Y | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 181 | 315 | 0.58 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 76 | 180 | 0.43 |
| | | | 合成応力度* | 0.51 | 1.20 | 0.43 |
| | 防護工 | SM570 | 曲げ応力度 (N/mm ²) | 280 | 382 | 0.74 |
| | | | せん断応力度 (N/mm ²) | 182 | 217 | 0.84 |
| | | | 合成応力度* | 0.74 | 1.20 | 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。

5.3 漂流物衝突による鋼管杭のねじれについて

(1) 概要

漂流物は図5.3-1に示すとおり、漂流物防護工の端部に衝突する可能性があることから、漂流物衝突荷重を漂流物防護工の端部に作用させた場合の検討を実施し、鋼管杭に生じるねじれについて照査を行う。

なお、漂流物の衝突形態は「4.3 漂流物による衝突荷重について」で示すとおり、漂流物が防潮堤（鋼管式鉛直壁）に対して直角方向に衝突する場合の他に、斜め方向から衝突することも考えられる。直角方向の検討については、「4. 評価結果」で示していることから、本検討では、斜め方向から衝突した場合のねじれについて照査を行う。

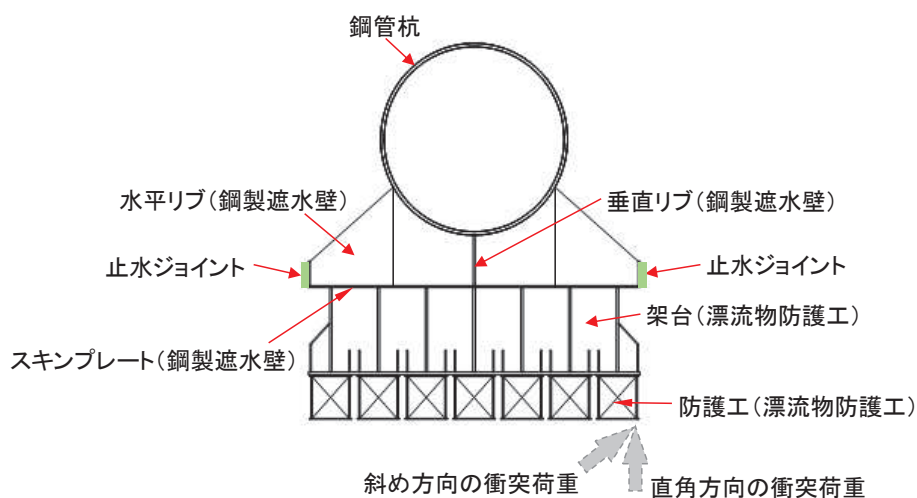


図 5.3-1 漂流物荷重の作用イメージ図

(2) 評価方法

図 5.3-1 のように、漂流物衝突荷重が漂流物防護工端部に斜め方向に作用した場合の鋼管杭のねじりモーメントを以下式により算出する。また、計算の概念図を図 5.3-2 に、計算に必要な諸元を表 5.3-1 に示す。なお、漂流物衝突荷重の方向については、ねじれモーメントが最大となるよう鋼管杭中心から防護工の端部を結ぶ線に対して直角とする。

評価対象断面については、「4. 評価結果」の津波時の結果において、照査値が最も厳しい「断面②、解析ケース③」とする。

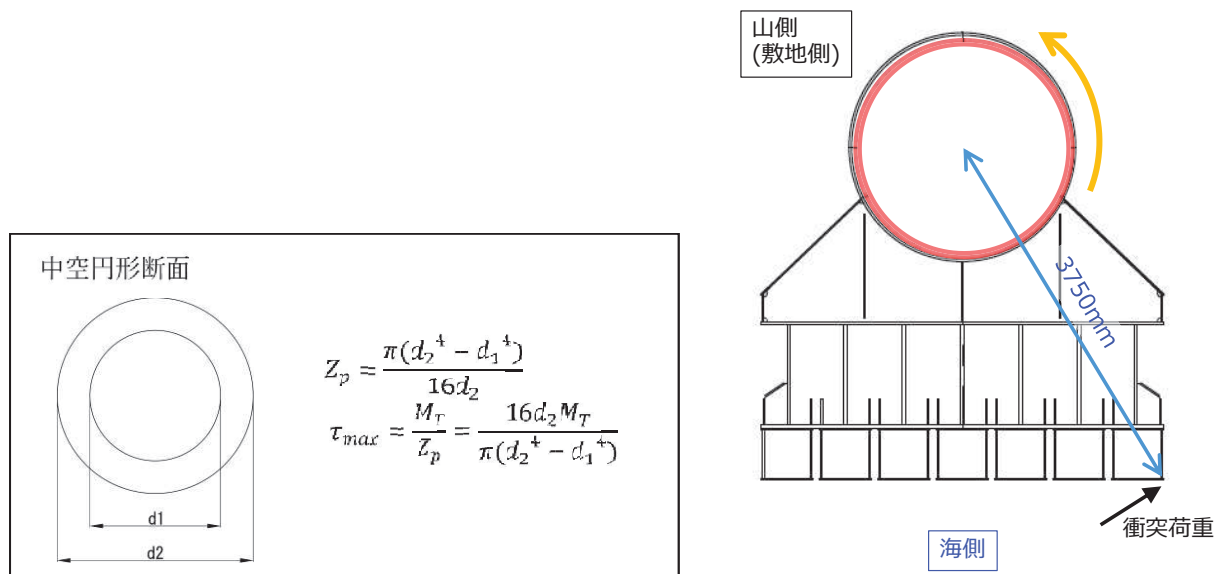


図 5.3-2 漂流物荷重によるねじりモーメントの計算の概念図

表 5.3-1 計算に必要な諸元

| 記号 | 定義 | 数値 | 単位 |
|----------------|----------|-----------------------|-----------------|
| L | ねじりアーム長 | 3750 | mm |
| P _c | 漂流物衝突荷重 | 2000 | kN |
| d ₁ | 内径 | 2430 | mm |
| d ₂ | 外径 | 2498 | mm |
| t | 板厚 | 34 | mm |
| M _T | ねじりモーメント | 7500000000 | N・mm |
| Z _p | ねじりの断面係数 | 3.199×10 ⁸ | mm ³ |

(3) 評価結果

漂流物衝突荷重を漂流物防護工の端部に斜め方向に作用させた場合の鋼管杭に発生するねじれモーメントを考慮した評価結果を表 5.3-2 に示す。

漂流物衝突荷重を漂流物防護工の端部に斜め方向に作用させた場合に鋼管杭に発生するねじれモーメントを考慮しても、構造成立性に大きな影響がないことを確認した。

表 5.3-2 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値（断面⑤）

| 解析 ケース | 杭種 | 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} |
|----------------|----|---|---|-----------------------------|
| ③* | C | 105 | 217 | 0.49 |
| ③（ねじれ考慮，直角方向）* | C | 117 | 217 | 0.54 |
| ③（ねじれ考慮，斜め方向） | C | 129 | 217 | 0.60 |

注記*：「4. 評価結果」の値を再掲。

(参考資料 2) 津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重を組合せる場合と津波時及び重畳時の比較について

1. 概要

津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せ (以下「重畳時 2」という。) については, 「5.6 津波防護施設の強度計算における津波荷重, 余震荷重及び衝突荷重の組合せについて」に示すように, それぞれの荷重が同時に作用する可能性は小さいと考えられるが, 安全側の評価を行う観点から, これらの組合せを考慮する方針としている。ただし, 重畳時 2 の荷重及び断面力は, 津波時又は重畳時に包絡されることが確認されたため, 重畳時 2 による強度評価は実施しない。

本参考資料では, 津波時, 重畳時及び重畳時 2 の荷重及び断面力を比較した結果から, 重畳時 2 が津波時又は重畳時に包絡されることを示すものである。

なお, 本検討において設定する津波水位は入力津波水位 0.P. +24.4m を用いることとする。

2. 荷重の組合せについて

重畳時2で考慮する津波荷重，余震荷重及び衝突荷重は，それぞれの最大荷重の継続時間は短時間であり，同時に作用する可能性は非常に小さいことから，各荷重の最大荷重**同士**の組合せは考慮せず，津波により浸水している状態で余震が発生することを想定し，津波荷重は入力津波による浸水深さに応じた静水圧とする。なお，津波により浸水している状態においては，衝突荷重についても最大流速で衝突する可能性が小さいと考えられるが，十分な余裕を有した設定とするために，最大流速での衝突荷重を考慮する。

津波時，重畳時及び重畳時2の荷重の組合せの考え方を表2-1に示す。

表 2-1 荷重の組合せの考え方

| 事象 | 組合せ | 津波荷重 | 余震荷重 | 衝突荷重 | 備考 |
|----------|------------------------|-----------------|--------------------|----------------|----------------------|
| 津波時 | 津波荷重 +衝突荷重 | 波圧 (最大波高) | — | 衝突荷重 (最大流速) | 最大荷重 同士 の組合せ |
| 重畳時 | 津波荷重 +余震荷重 | 波圧 (最大波高) | 慣性力+動水圧 (最大加速度) | — | 最大荷重 同士 の組合せ |
| 重畳時 2 | 津波荷重 +余震荷重 +衝突荷重 | 静水圧 (最大浸水深さ) | 慣性力+動水圧 (最大加速度) | 衝突荷重 (最大流速) | 津波により浸水している状態での余震を想定 |

3. 比較対象部位について

津波時、重畳時及び重畳時2の荷重及び断面力を比較する部位については、津波荷重、余震荷重及び衝突荷重による影響が大きい鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工を選定する。

鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図を図3-1に示す。

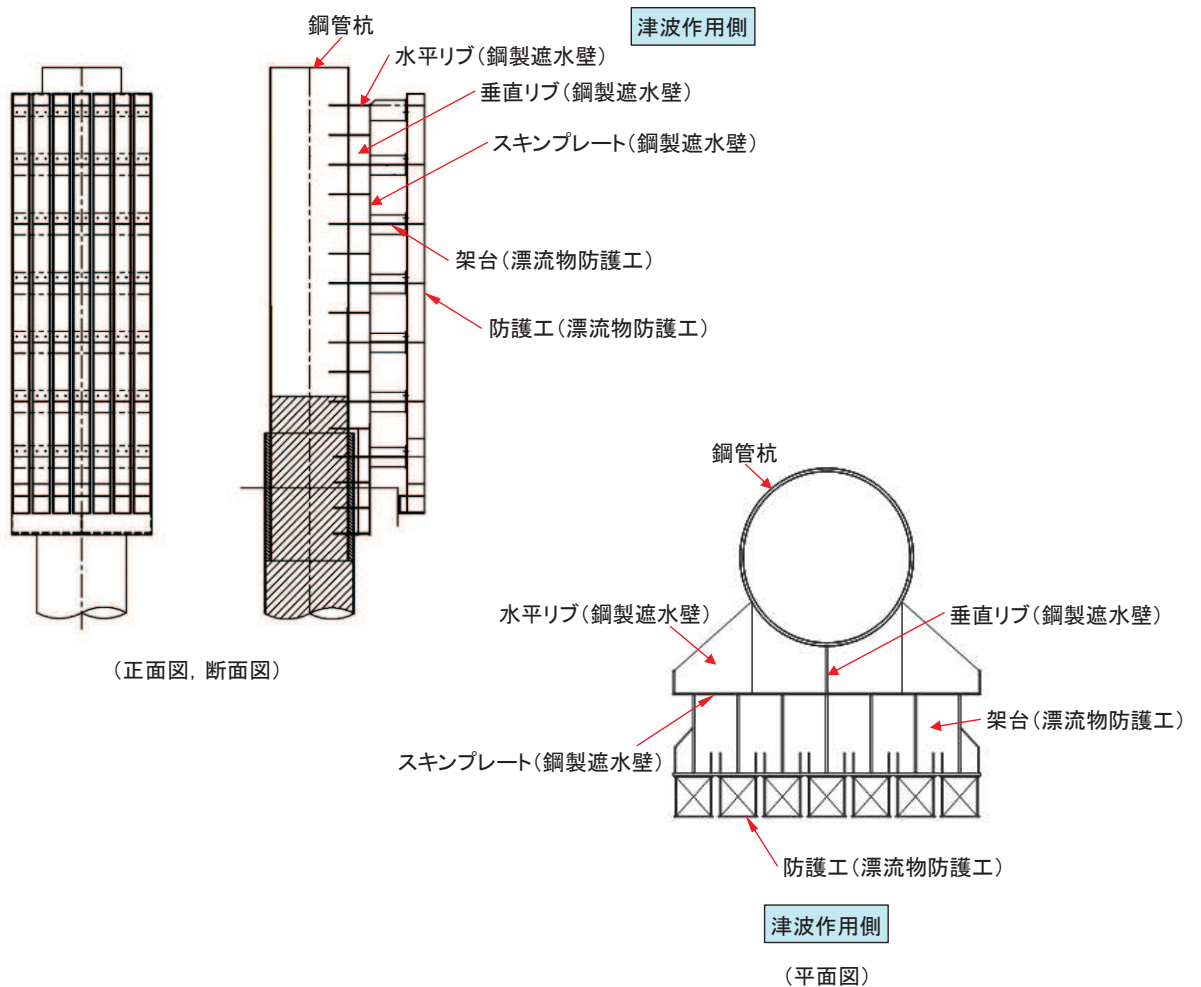


図3-1 鋼管杭、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の構造図

4. 重畳時 2 と比較する事象の選定について

重畳時 2 と比較する事象については、本編「4. 評価結果」から鋼管杭，鋼製遮水壁及び漂流物防護工に厳しい評価となる事象（津波時又は重畳時）を表 4-1 のとおり選定した。

表 4-1 重畳時 2 と比較する事象

| 比較対象部位 | 重畳時 2 と比較する事象 |
|-----------------------|---|
| 鋼管杭 | 鋼管杭は、本編「4. 評価結果」から最も厳しい照査値となるのは重畳時であることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては重畳時を選定する。なお、重畳時と重畳時 2 は、余震荷重が同じであるため、津波荷重及び衝突荷重を用いた比較を行う。 |
| 鋼製遮水壁 及び 漂流物防護工 | 鋼製遮水壁の水平リブ，漂流物防護工の架台及び防護工は、本編「4. 評価結果」から津波時の方が厳しい照査値となることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては津波時を選定する。なお、津波時と重畳時 2 は、衝突荷重が同じであるため、津波荷重及び余震荷重を用いた比較を行う。 一方、鋼製遮水壁のうちスキンプレート及び垂直リブは、本編「4. 評価結果」から重畳時の方が厳しい照査値となることを確認しているため、重畳時 2 と比較する事象としては重畳時を選定するが、重畳時と重畳時 2 は余震荷重が同じであり、スキンプレート及び垂直リブには衝突荷重が作用しないことから、津波荷重のみの比較となる。津波荷重は、重畳時が朝倉式の 3 倍波圧，重畳時 2 が静水圧を考慮するため、重畳時の方が厳しい評価となるのは明らかであり、本検討から除外する。 |

5. 荷重及び断面の比較方法について

5.1 鋼管杭

鋼管杭については、重畳時と重畳時2の断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）による比較を行う。

重畳時と重畳時2では余震荷重（慣性力及び動水圧）が同じで、荷重として差が生じるのは津波波圧と衝突荷重であることから、津波波圧と衝突荷重を考慮する。また、鋼管杭は本編「4. 評価結果」から重畳時は弾性範囲内にあることを確認しているため、図5-1に示す片持ちばりでモデル化し、津波波圧と衝突荷重による断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）の比較を行う。

なお、重畳時の津波荷重は朝倉式の3倍波圧を考慮し、重畳時2の津波荷重は「2. 荷重の組合せについて」のとおり静水圧を考慮するとともに、衝突荷重は漂流物防護工の端部に作用することを想定してねじり影響を考慮する。

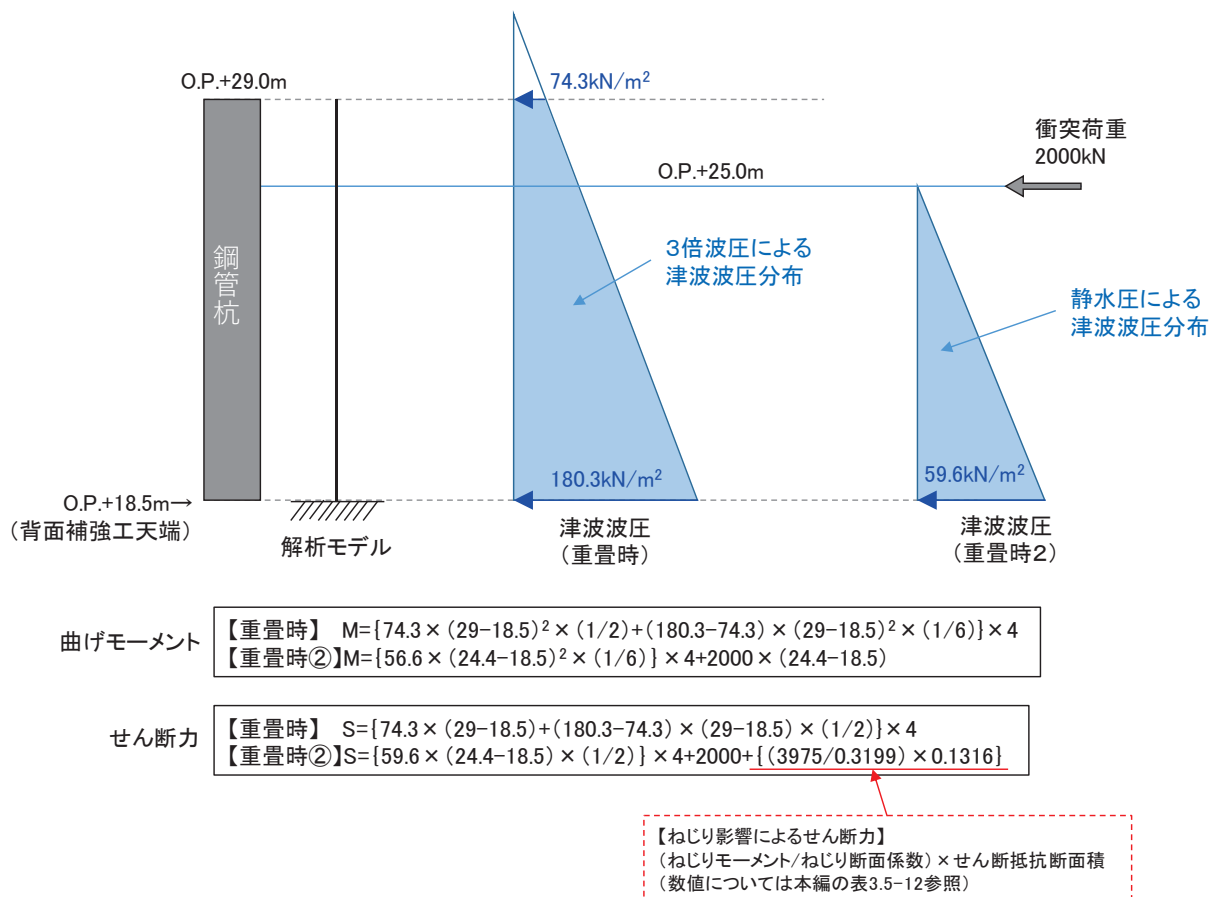


図5-1 鋼管杭に作用する津波波圧及び衝突荷重

5.2 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については、津波時と重畳時2の断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）による比較を行う。

津波時と重畳時2では衝突荷重が同じで、荷重として差が生じるのは津波波圧と余震荷重であることから、津波波圧と余震荷重を考慮する。また、断面力の算定方法は「3.5 評価方法」と同様とし、津波波圧と余震荷重による断面力（発生曲げモーメント及びせん断力）の比較を行う。

津波時と重畳時2に作用する津波波圧の詳細を図5-2に示す。また、重畳時2で考慮する余震荷重（慣性力及び動水圧）の詳細を図5-3に示す。

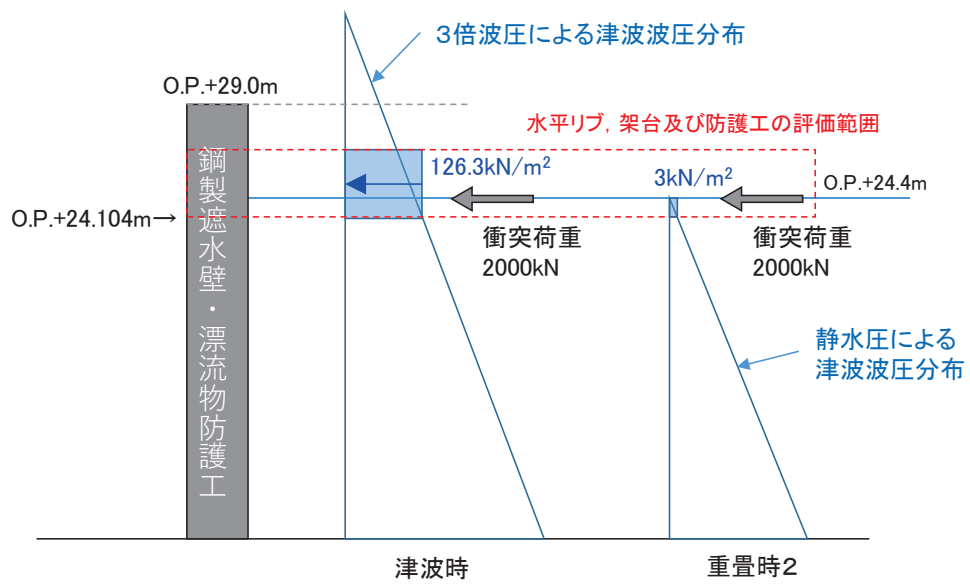


図 5-2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工に作用する津波波圧

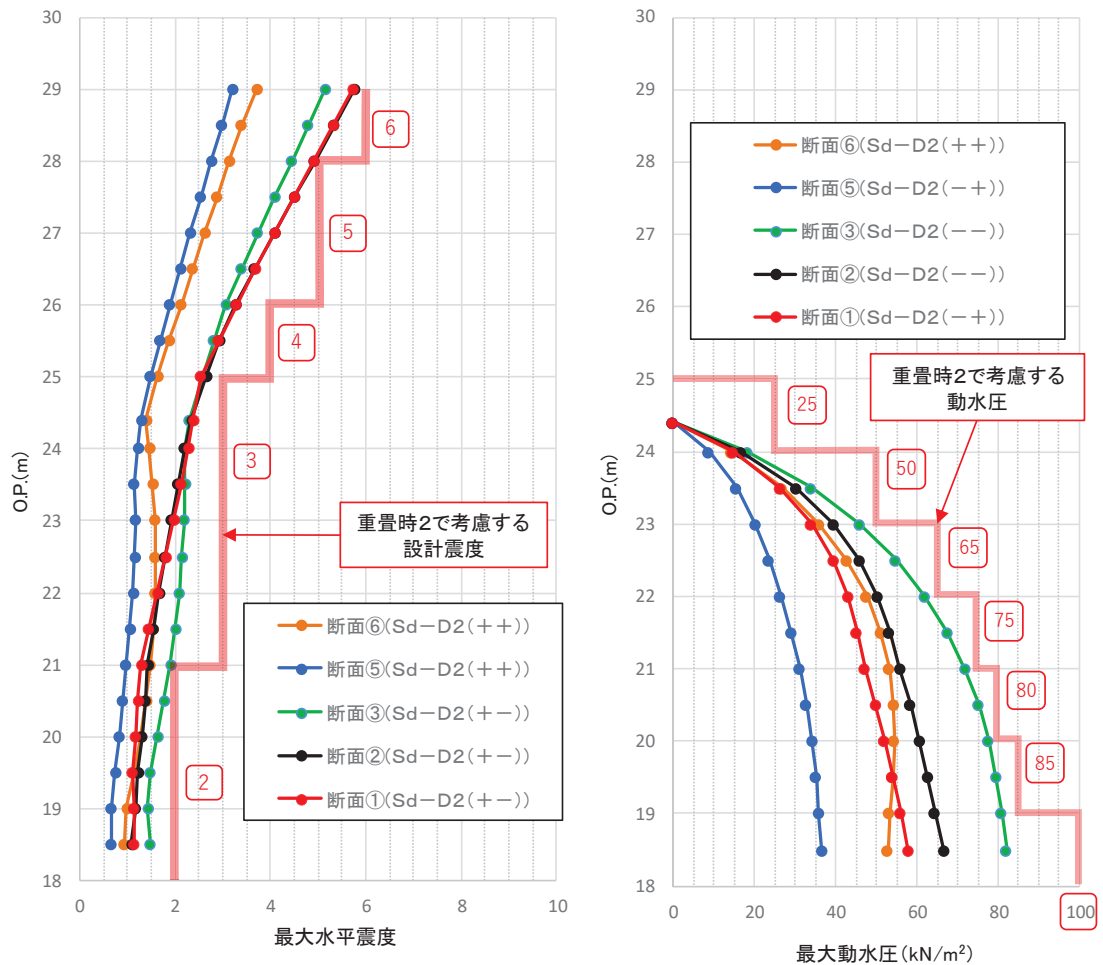


図 5-3 鋼製遮水壁及び漂流物防護工で考慮する設計震度及び動水圧
(各評価断面での震度・動水圧が最大となる位相の地震動を図化)

6. 評価結果

6.1 鋼管杭

鋼管杭について、重畳時と重畳時2の断面力（発生曲げモーメントとせん断力）を比較した結果を表6-1に示す。

この結果から、鋼管杭の重畳時2は重畳時に包絡されることを確認した。

表 6-1 鋼管杭の断面力の比較

| 部材 | 区分 | 0. P. +18. 5m での 津波波圧 (kN/m ²) | 衝突荷重 (kN) | 曲げモーメント* (kN・m) | せん断力* ¹ (kN) |
|-----|-------|---|--------------|--------------------|----------------------------|
| 鋼管杭 | 重畳時 | 180. 3 | 0 | 24175 | 5347 |
| | 重畳時 2 | 59. 6 | 2000 | 13184 | 2704 4339* ² |

注記*1：余震荷重（慣性力及び動水圧）は重畳時と重畳時2で同一であることから含めず算定。

*2：衝突荷重を漂流物防護工の端部に作用させてねじり影響を考慮した場合。

6.2 鋼製遮水壁及び漂流物防護工

鋼製遮水壁の水平リブ、漂流物防護工の架台及び防護工について、津波時と重畳時2の断面力（曲げモーメント及びせん断力）を比較した結果を表6-2に示す。

なお、鋼製遮水壁のうちスキムプレート及び垂直リブは、表4-1に示したとおり重畳時2よりも重畳時の方が厳しい評価となるのは明らかである。

これらの結果から、鋼製遮水壁及び漂流物防護工の重畳時2は津波時又は重畳時に包絡されることを確認した。

表 6-2 鋼製遮水壁の水平リブ、漂流物防護工の架台及び防護工の断面力の比較

| 部材 | | 区分 | 0. P. + 24. 104m での津波波圧 (kN/m ²) | 余震 慣性力 (kN/m ²) | 動水圧 (kN/m ²) | 曲げ モーメント* (kN・m) | せん断力* (kN) |
|-------------------------------|------------------|-------|--|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| 鋼製 遮水壁 及び 漂流物 防護工 | 水平リブ 及び 架台 | 津波時 | 126. 3 | 0 | 0 | 409. 7 | 409. 7 |
| | | 重畳時 2 | 3. 0 | 48. 0 | 25. 0 | 246. 5 | 246. 5 |
| | 防護工 | 津波時 | 126. 3 | 0 | 0 | 20. 8 | 51. 2 |
| | | 重畳時 2 | 3. 0 | 15. 0 | 25. 0 | 7. 1 | 17. 4 |

注記*：衝突荷重は津波時と重畳時2で同一であることから荷重として含めず算定している。

6.3 まとめ

津波荷重，余震荷重及び衝突荷重による影響が大きい鋼管杭，鋼製遮水壁及び漂流物防護工の重畳時2については，津波時又は重畳時に包絡されることを確認した。

このことから，防潮堤は津波時及び重畳時の評価を実施し，重畳時2の評価を実施しないこととする。

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.1 防潮堤の設計に関する補足説明
- 6.1.5 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材について

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 1. 概要及び評価方針 | 1 |
| 1.1 概要 | 1 |
| 1.2 評価方針 | 7 |
| 2. 性能確認試験 | 14 |
| 2.1 ゴムジョイント | 14 |
| 2.2 ウレタンシリコーン目地 | 25 |
| 3. 許容限界の設定 | 60 |
| 4. 耐久性 | 61 |
| 4.1 評価項目 | 61 |
| 4.2 ゴムジョイントの評価結果 | 63 |
| 4.3 ウレタンシリコーン目地の評価結果 | 69 |
| 5. 維持管理方針の検討 | 80 |
| 6. ウレタンシリコーン目地の施工方法について | 81 |

（参考資料1）ゴムジョイント下端部の詳細について

（参考資料2）設計水圧（0.3MPa）を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験（試験水圧：0.34MPa）について

（参考資料3）鋼製遮水壁の塗装について

（参考資料4）ウレタンシリコーン目地の施工管理について

（参考資料5）止水ジョイント部材に生じる回転影響について

1. 概要及び評価方針

1.1 概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位に対して有意な漏えいを生じない変形に留まる止水ジョイント部材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としている。

止水ジョイント部材は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位の大きさに応じて、ゴムジョイントとウレタンシリコーン目地を使い分ける。

これを踏まえ、各止水ジョイント部材を評価対象とし、止水ジョイント部材が地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な耐候性に関しては、耐候性試験により確認する。

防潮堤の平面位置図を図 6.1.5-1 に示す。また、止水ジョイント部材の仕様、設置箇所、拡大図及び詳細図を、それぞれ表 6.1.5-1, 図 6.1.5-2, 図 6.1.5-3 及び図 6.1.5-4 に示す。

なお、ウレタンシリコーン目地の下端部については、図 6.1.5-3 に示すように背面補強工内まで施工することで止水性を確実なものとする。また、背面補強工がある区間のゴムジョイントの下端部については、図 6.1.5-3 に示すように背面補強工には構造目地部があることから、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することで構造境界部の止水性を確実なものとする。ゴムジョイントの下端部の詳細については参考 1 に示す。

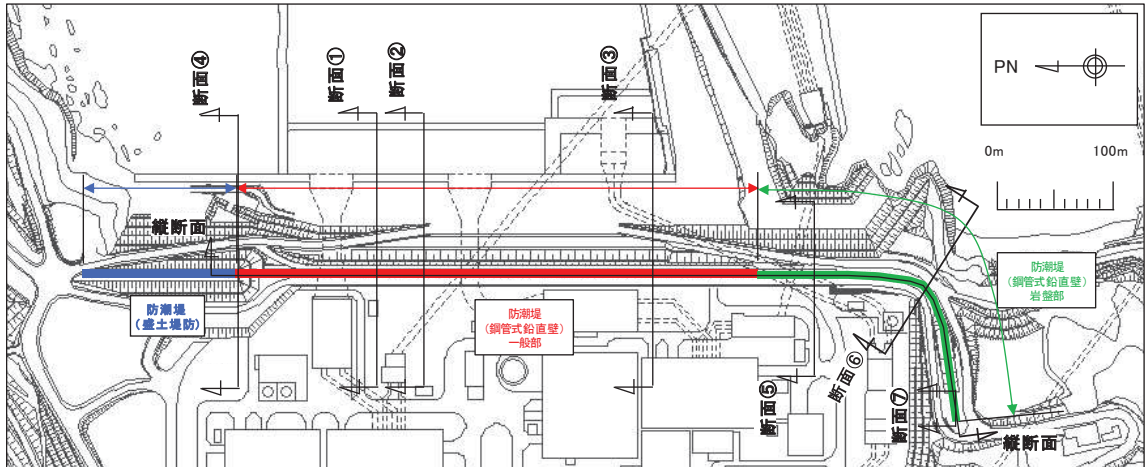
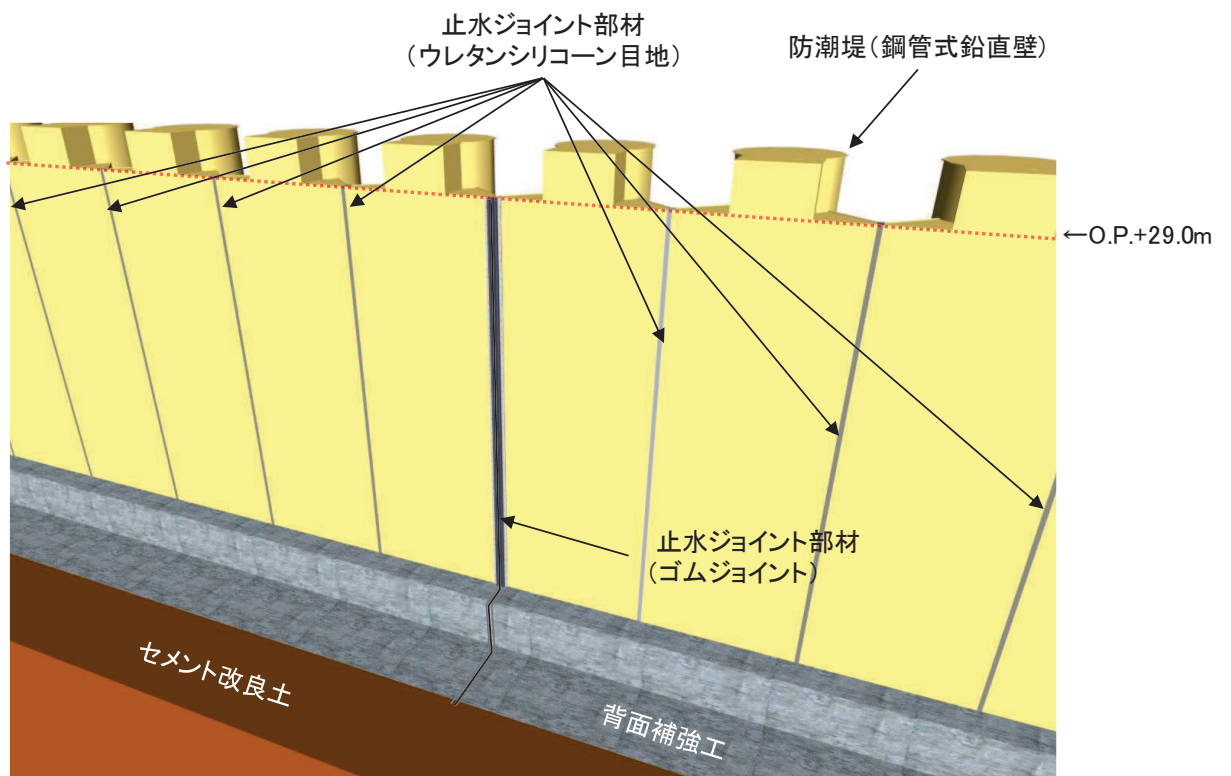


図 6.1.5-1 防潮堤平面位置図

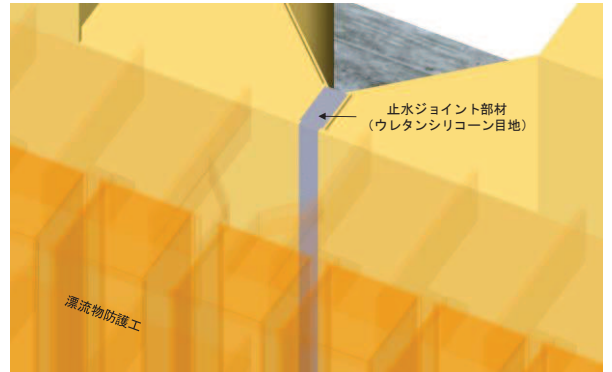
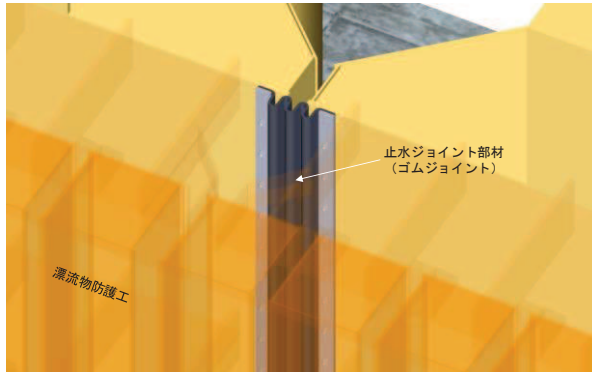
表 6.1.5-1 止水ジョイント部材の仕様

| 止水ジョイント部材の種類 | 適用部位 | 主成分 | 設置箇所 |
|--------------|--------|---------------|----------------|
| ゴムジョイント | 構造境界部* | クロロプレンゴム | 図 6.1.5-2 のとおり |
| ウレタンシリコーン目地 | 構造同一部* | ウレタン シリコーン | 図 6.1.5-2 のとおり |

注記 *：詳細は「6.1.6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」に示す。



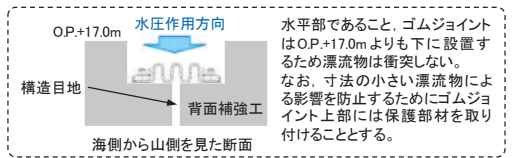
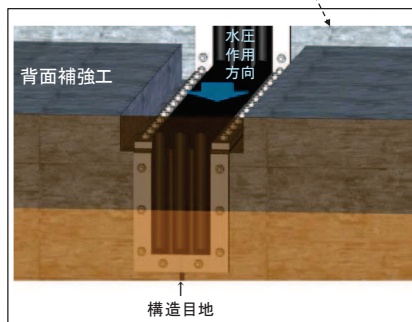
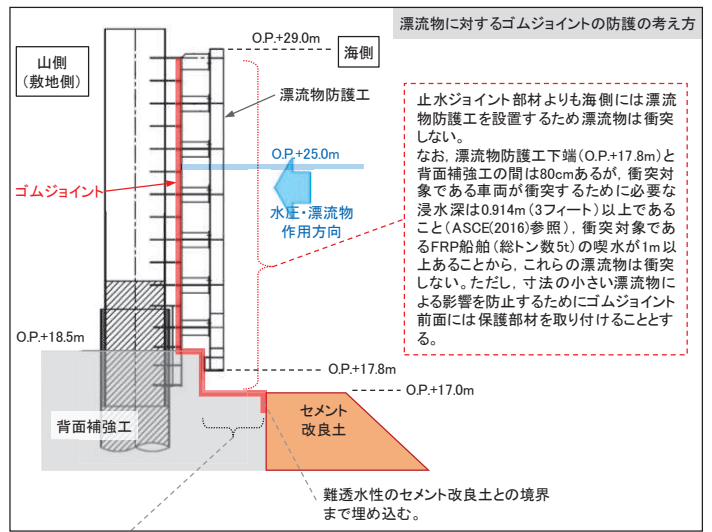
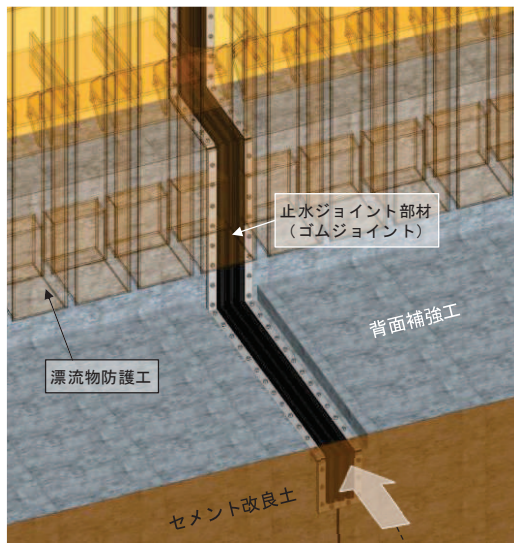
(全体)



(ゴムジョイント部材の設置イメージ)

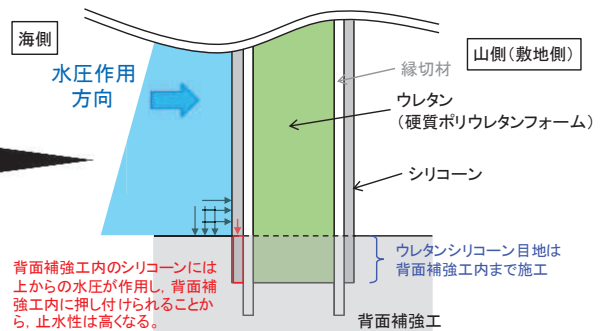
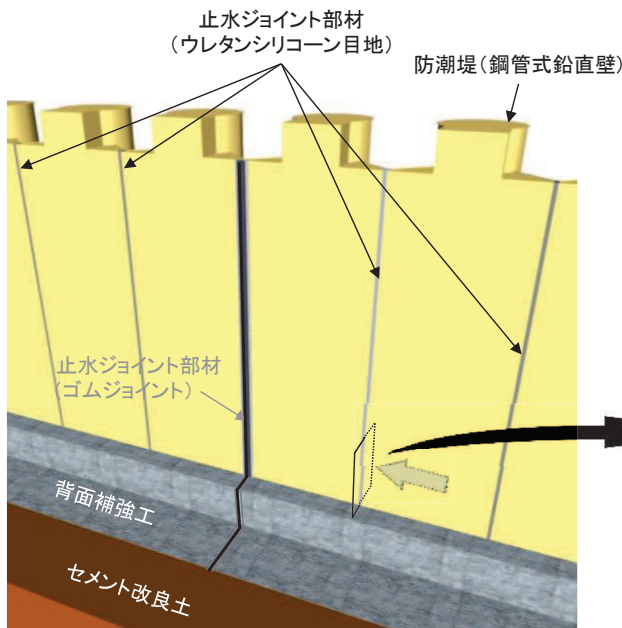
(ウレタンシリコーン目地の設置イメージ)

図 6.1.5-3(1) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ゴムジョイント部材の下部詳細)

図 6.1.5-3(2) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ウレタンシリコン目地の下部詳細)

図 6.1.5-3(3) 止水ジョイント部材設置イメージ図

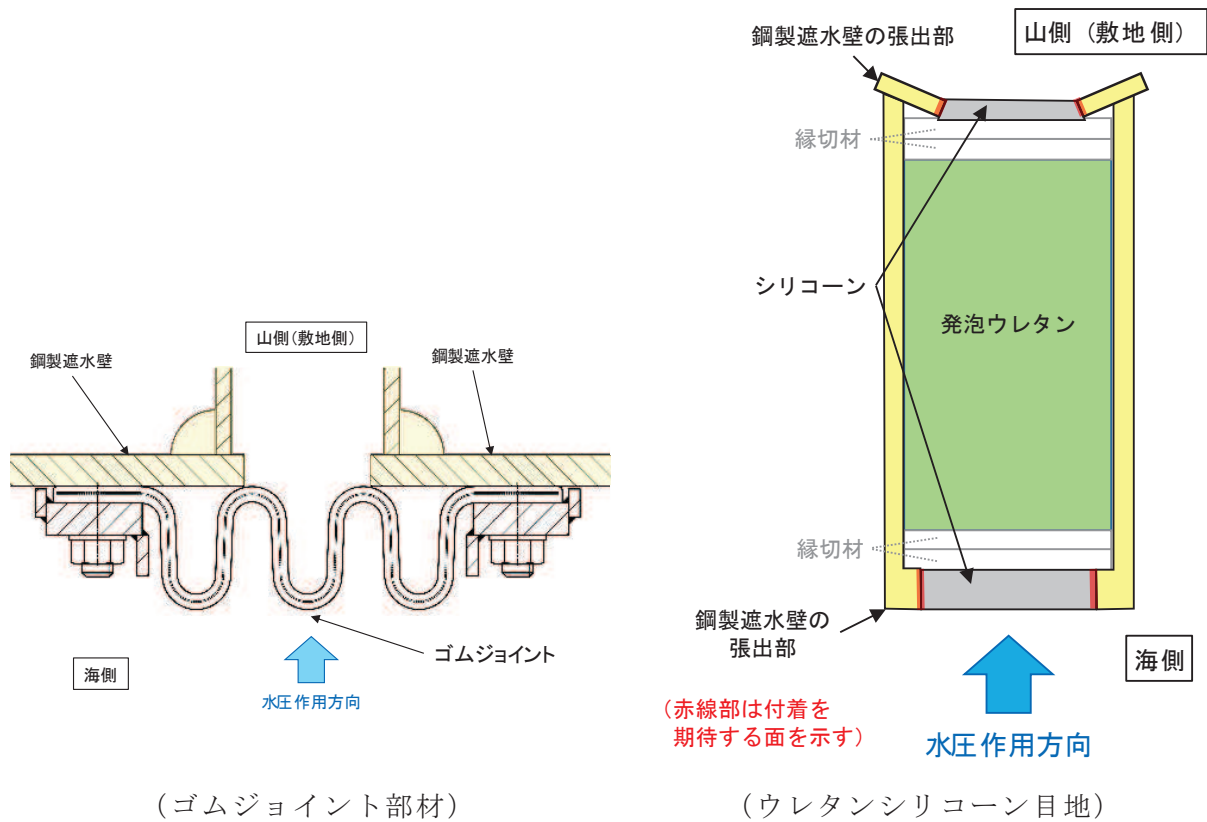


図 6.1.5-4 止水ジョイント部材詳細図

1.2 評価方針

止水ジョイント部材の評価方針として、地震時、津波時及び重畳時による変位に対し有意な漏えいを生じない変形に留まること、津波による波圧に対し止水ジョイント部材から有意な漏えいが生じないことを性能確認試験により確認する。また、長期的な経年劣化に対して、有意な性能低下が生じないことを耐候性試験により確認する。

止水ジョイント部材の評価フローを図 6.1.5-5 に、確認試験の一覧を表 6.1.5-2 に示す。

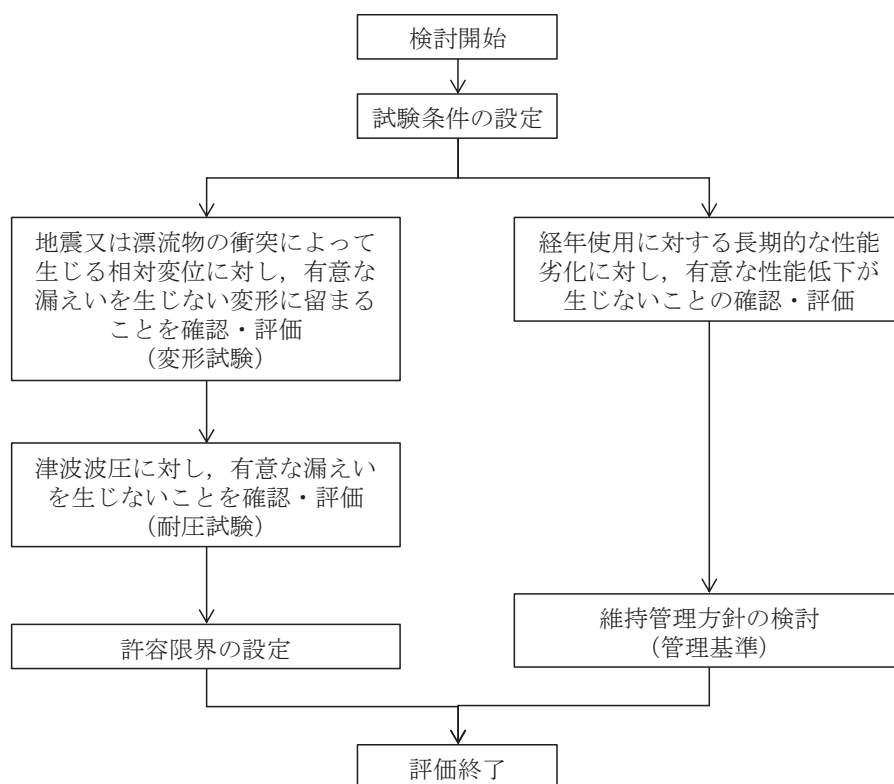


図 6.1.5-5 止水ジョイント部材の評価フロー

表 6.1.5-2 確認試験一覧

| 項目 確認 | 地震時 | 津波時 | 重畳時 |
|---------------------------------|----------------------------|---|------------------------------------|
| 有形に留まること の確認 有意な漏えいを生じない変 | — (地震時は津波時の試験で代表) | 変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に地震時の変位量又は漂流物衝突による変位量を模擬) | 変形試験* (津波波圧を負荷すると同時に余震時の変位量を模擬) |
| との確認 有意な漏えいを生じないこ | — (地震時は要求されな いため対象外) | 耐圧試験 | 耐圧試験 |
| ことの確認 有意な性能低下が生じない | 耐候性試験 | | |

注記 * : 繰返し荷重及び継続荷重を実施する。

(1) 試験変形量

止水ジョイント部材の変位方向については、図 6.1.5-6 に示すとおり、防潮堤軸方向（以下、「伸び方向」という）及び防潮堤軸直交方向（以下、「せん断方向」という）の2方向とする。

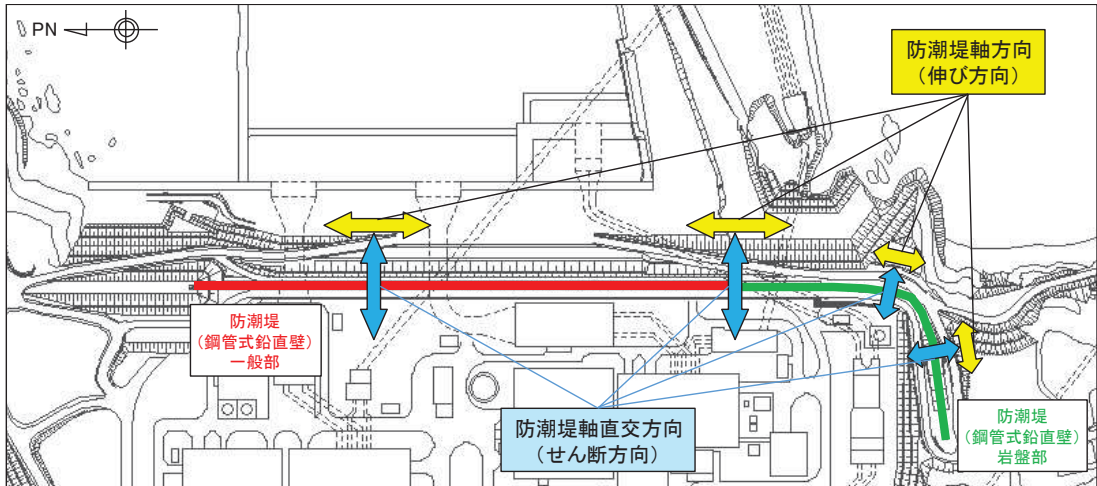


図 6.1.5-6 防潮堤軸直交方向及び防潮堤軸方向の定義

a. ゴムジョイント

ゴムジョイントの試験時変位量は図 6.1.5-7 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-3 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-3 に示す変位量を与えた条件で実施する。

耐圧条件 : 0.40 MPa

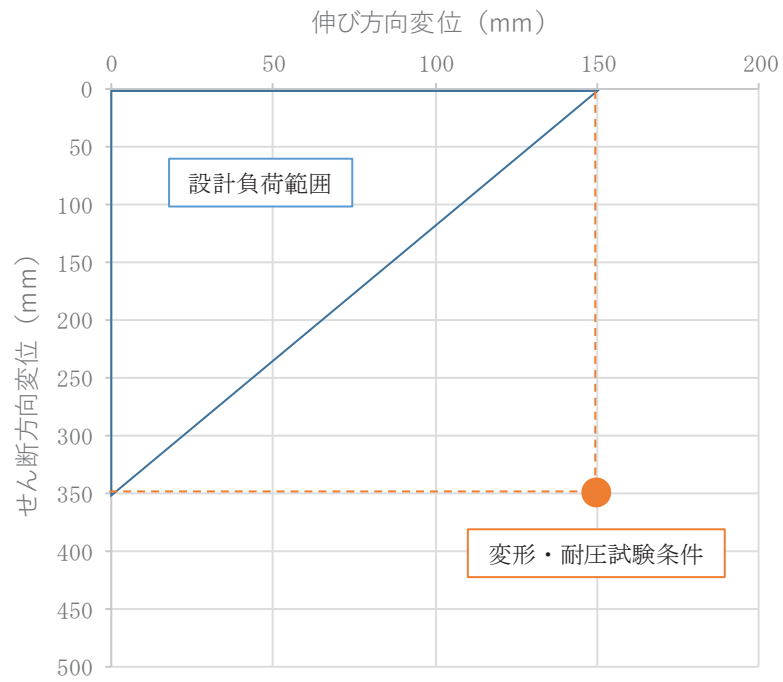


図 6.1.5-7 ゴムジョイントの設計負荷範囲

表 6.1.5-3 ゴムジョイントの試験時変位量

| 変位量 |
|---------------------|
| 伸び 150mm, せん断 350mm |

b. ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地の試験時変位量は図 6.1.5-8 に示す設計負荷範囲を超える値として、表 6.1.5-4 に示す試験条件で実施する。なお、耐圧試験は表 6.1.5-4 に示す変位量を与えた条件で実施する。

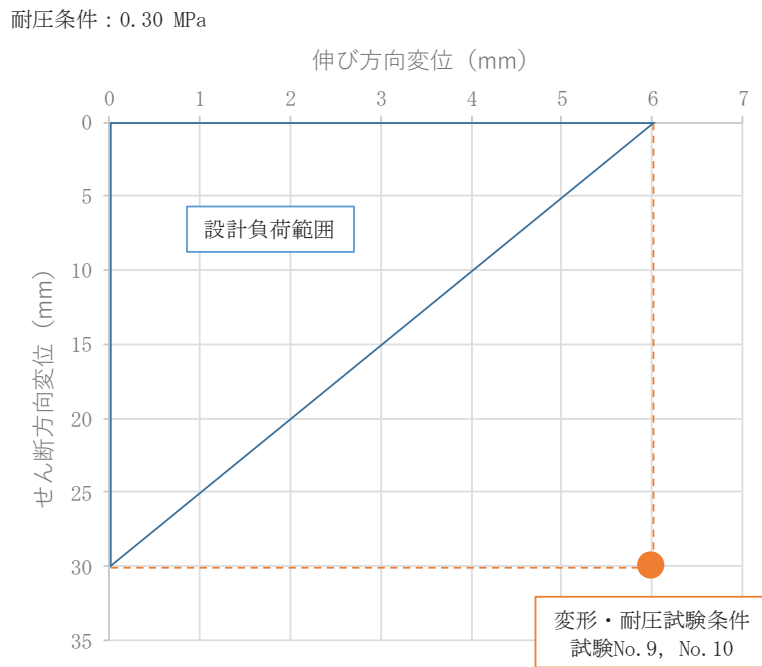


図 6.1.5-8 ウレタンシリコーン目地の設計負荷範囲

表 6.1.5-4 ウレタンシリコーン目地の試験時変位量

| |
|------------------|
| 変位量 |
| 伸び 6mm, せん断 30mm |

(2) 試験水圧

試験水圧は、津波時に止水ジョイント部材に作用する水圧として、遡上津波波圧及び余震による動水圧を算定の上、設定する。

遡上津波波圧については、防潮堤前面における最大津波水位標高（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 と防潮堤前面（海側）の地盤標高の差分の 1/2 倍を設計用浸水深とし、朝倉式に基づき、その 3 倍を考慮して算定する。遡上津波波圧を表 6.1.5-5 に示す。

また、余震による最大動水圧は、弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ を入力地震動とした地震応答解析より算出する。最大動水圧を表 6.1.5-6 に示す。

各評価断面における遡上津波波圧と最大動水圧の合計は表 6.1.5-7 のとおりであり、断面③における 280.6kN/m^2 (0.2806MPa) が最大である。そのため、保守的に 300kN/m^2 (0.30MPa) とする。ゴムジョイントについては、更に保守的に 400kN/m^2 (0.40MPa) とする。

なお、念のため、海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.05g/cm^3 又は 1.1g/cm^3 と仮定した場合においても水圧は 300kN/m^2 以下であることを確認しているが、 299.67kN/m^2 であり、ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m^2 に対して余裕が少ないことから、 340kN/m^2 (0.34MPa) とした場合の試験も実施した（参考資料 2）。

断面①～⑥の位置を図 6.1.5-1 及び図 6.1.5-2 に示す。

表 6.1.5-5 遡上津波波圧

| 断面 | 設計津波高 (O.P. (m)) | 防潮堤前面 の地盤高 (O.P. (m)) | 設計用 浸水深 (m) | 防潮堤 天端波圧 (kN/m ²) | 背面補強工 天端での波圧 (kN/m ²) |
|-----|---------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| ①～⑤ | 25.0 | 0.5 | 12.25 | 83.4 | 189.4 |
| ⑥ | 25.0 | 0.0 | 12.5 | 85.9 | 191.9 |

注記 *1: 防潮堤天端高は O.P. +29.0m

*2: 背面補強工天端高は O.P. +18.5m

表 6.1.5-6 最大動水圧

| 断面 | 防潮堤天端高 (O.P. (m)) | 入力津波高 (O.P. (m)) | 地震動 (位相) | 最大動水圧 (kN/m ²) |
|----|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|
| ① | 29.0 | 25.0 | S d - D 2 (- +) | 69.0 |
| ② | 29.0 | 25.0 | S d - D 2 (- -) | 70.9 |
| ③ | 29.0 | 25.0 | S d - D 2 (- +) | 91.2 |
| ⑤ | 29.0 | 25.0 | S d - D 2 (- +) | 41.5 |
| ⑥ | 29.0 | 25.0 | S d - D 2 (+ +) | 58.2 |

表 6.1.5-7 遡上津波波圧と最大動水圧の合計

| 断面 | 防潮堤前面の 地盤高での波圧 (kN/m ²) | 最大動水圧 (kN/m ²) | 波圧と動水圧の合 計 (kN/m ²) |
|----|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| ① | 189.4 | 69.0 | 258.4 |
| ② | 189.4 | 70.9 | 260.3 |
| ③ | 189.4 (202.25) * | 91.2 (97.42) * | <u>280.6</u> (299.67) * |
| ⑤ | 189.4 | 41.5 | 230.9 |
| ⑥ | 191.9 | 58.2 | 250.1 |

注記*: 海水に浮遊砂が混入した状況を想定し、海水密度を 1.1g/cm³ と仮定した場合の水圧を示す。

2. 性能確認試験

止水ジョイント部材に対して，地震時，津波時及び重畳時の最大相対変位を想定して伸び・せん断変形させ，有意な漏えいを生じない変形に留まることを試験により確認する。また，止水ジョイント部材に対して，上記最大相対変位及び津波による波圧を想定した伸び・せん断変形及び水圧を作用させることにより，有意な漏えいを生じない性能を保持することを試験により確認する。

2.1 ゴムジョイント

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

試験条件として表 6.1.5-8 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 1 時間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，ゴムジョイントに有意な損傷や漏えいが生じないことを確認する。

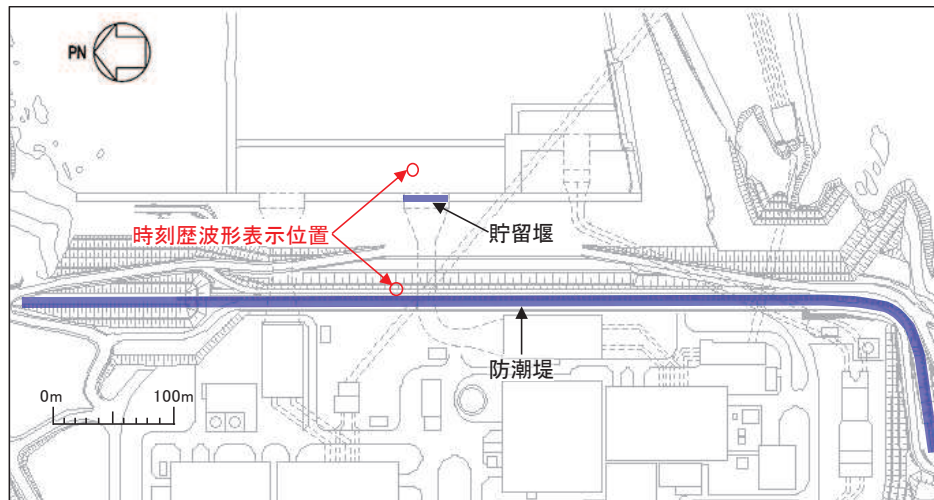
なお，地震時及び津波時にはねじり変位が生じるものの，その時の回転角度は最大でも約 0.35° と小さいため，試験変位については平行移動により設定する。

ゴムジョイントの性能確認試験フローを図 6.1.5-10 に，変形・耐圧試験のイメージを図 6.1.5-11 に，変形・耐圧試験の状況を図 6.1.5-12 に示す。

表 6.1.5-8 ゴムジョイントの試験条件

| 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 必要耐圧 保持時間 |
|------|-----------------------|---------|--------------|
| 変形試験 | 伸び 150mm せん断 350mm | — | — |
| 耐圧試験 | 伸び 150mm せん断 350mm | 0.40MPa | 10 分以上* |

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 1 時間とした。



(時刻歴波形表示位置)

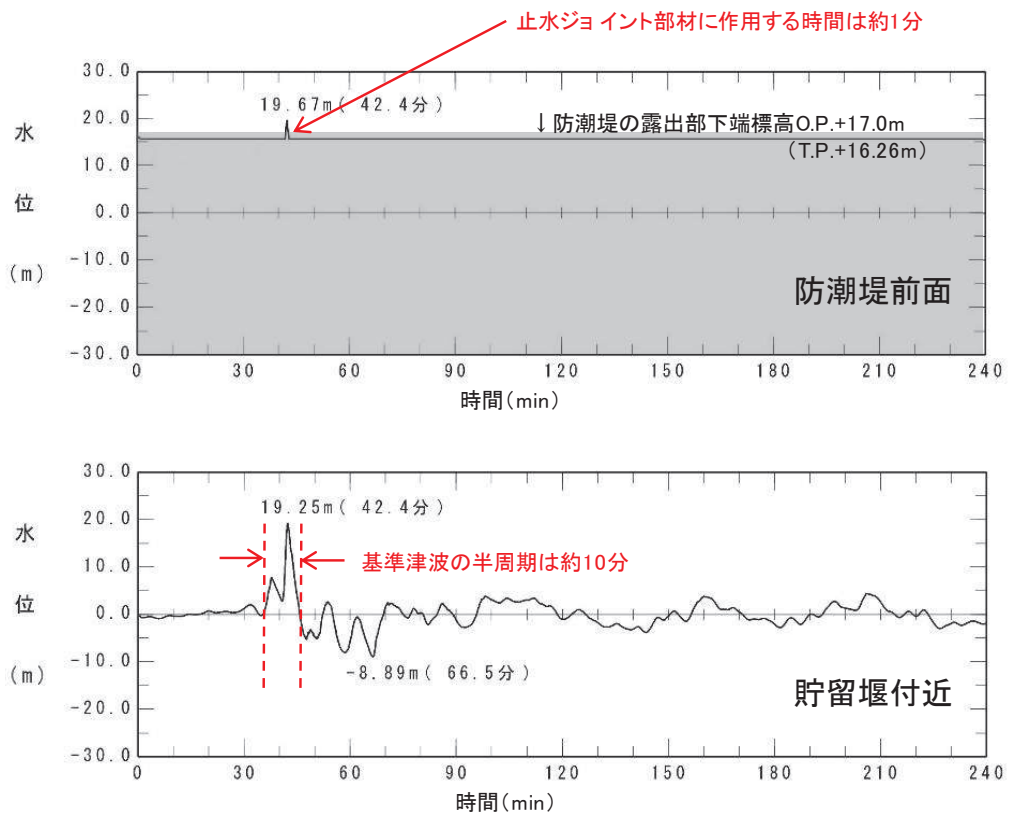


図 6.1.5-9 防潮堤前面及び貯留堰付近の水位時刻歴波形

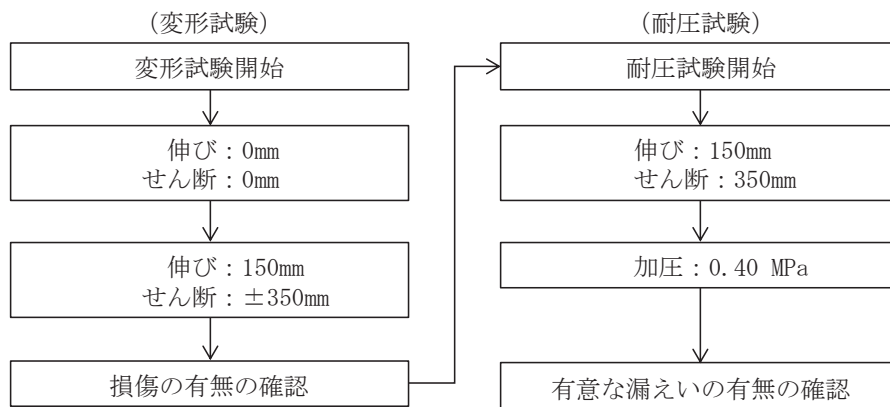


図 6.1.5-10 ゴムジョイントの性能確認試験フロー

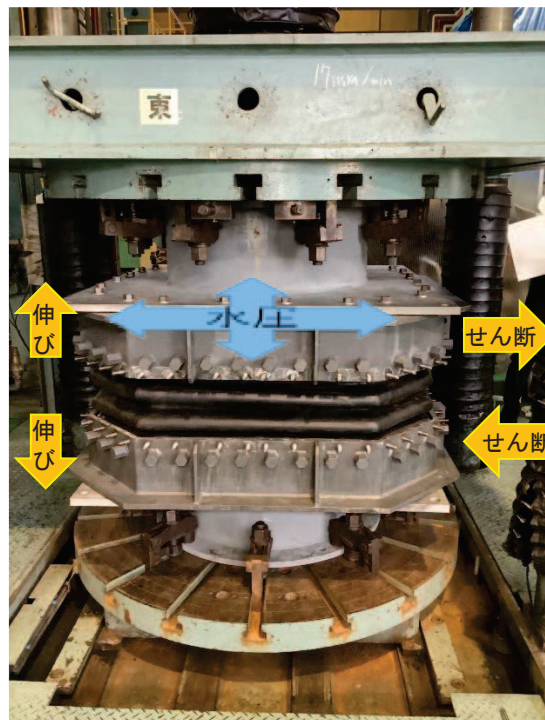


図 6.1.5-11 変形・耐圧試験のイメージ

(2) 試験状況写真

a. 設置状況確認 (伸び 0mm, せん断 0mm, 水圧 0MPa)

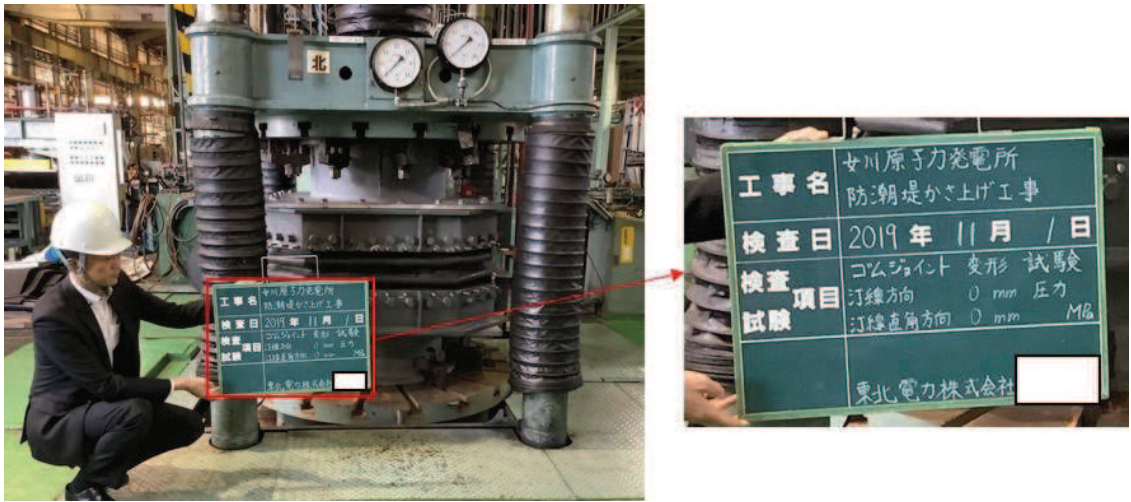


図 6.1.5-12(1) 全体状況



図 6.1.5-12(2) ゴムジョイント設置状況



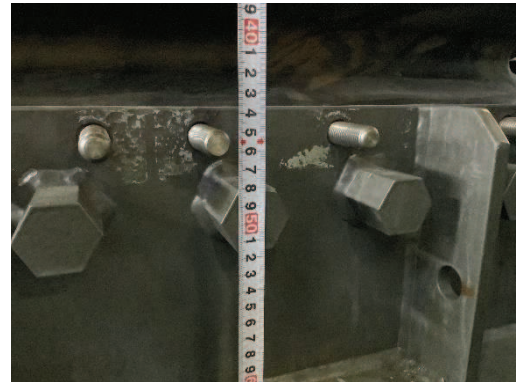
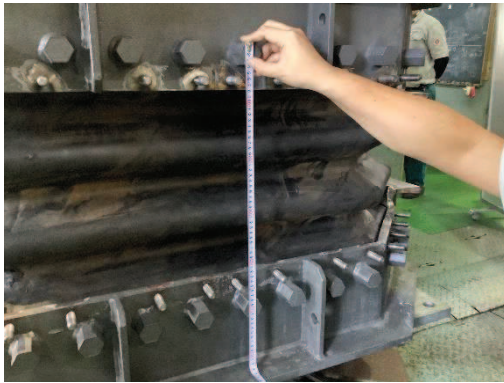
枠間距離計測状況



ボルト間距離 (初期値): 330 mm

図 6.1.5-12(3) ゴムジョイント設置状況 (枠間距離計測)

b. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



枠間距離計測状況（損傷無し）

ボルト間距離：480 mm
 （初期値 330mm + 伸び 150mm = 480mm）

図 6.1.5-12(4) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm）

c. 変形試験状況確認（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）

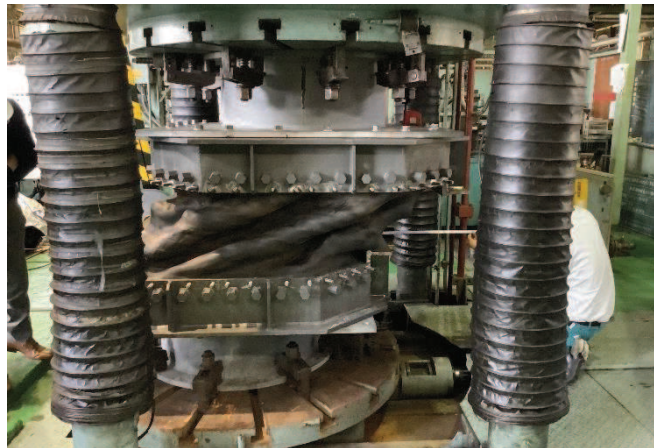


図 6.1.5-12(5) 変形試験全体状況（伸び 150mm，せん断 350mm，水圧 0MPa）



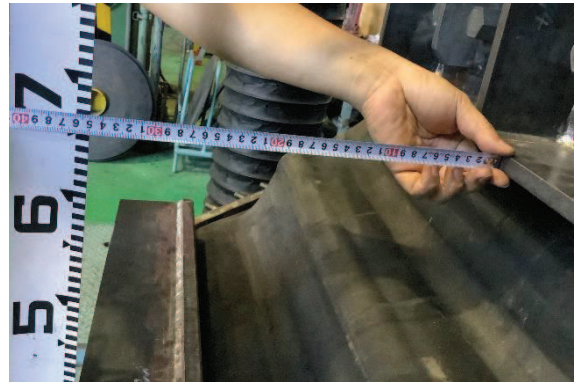
せん断方向距離計測状況

せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(6) ゴムジョイント変形試験状況（伸び：150mm，せん断：350mm）



せん断方向距離計測状況



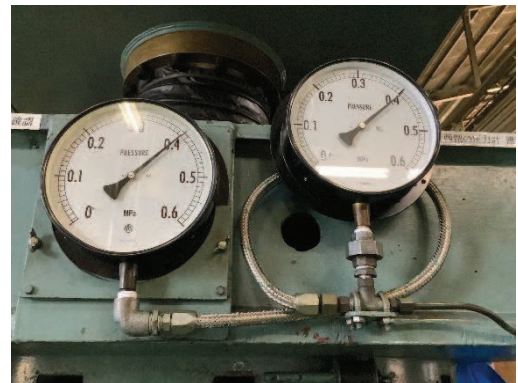
せん断方向変位：350 mm

図 6.1.5-12(7) ゴムジョイント変形試験状況 (伸び：150mm, せん断：350mm)

d. 耐圧試験状況確認 (伸び 150mm, せん断 350mm, 水圧 0.40MPa)



加圧状況 (漏えい無し)



0.40MPa 加圧

図 6.1.5-12(8) ゴムジョイント耐圧試験状況(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)



0.40MPa, 1時間保持後 (漏えい無し)



0.40MPa, 1時間保持後

図 6.1.5-12(9) ゴムジョイント耐圧試験結果(伸び:150mm,せん断:350mm,水圧 0.40MPa)

(3) 試験結果

所定の変位（伸び 150mm，せん断 350mm）を与えた上で，津波による波圧を上回る水圧 0.40MPa を 10 分以上（加圧時間：1 時間）加圧した結果，表 6.1.5-9 に示すとおり損傷及び漏えいが無いことを確認した。

表 6.1.5-9 ゴムジョイントの試験結果

| 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 耐圧 保持時間 | 損傷， 漏えい | 判定 |
|------|-----------------------|---------|------------|------------|----|
| 変形試験 | 伸び 150mm せん断 350mm | | | 無し | OK |
| 耐圧試験 | 伸び 150mm せん断 350mm | 0.40MPa | 10 分以上 | 無し | OK |

(4) ゴムジョイント取付け部

ゴムジョイントの取付け部から有意な漏えいを生じさせないためには、以下に示す取付けボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する必要がある。図 6.1.5-13 にゴムジョイントの断面を示す。

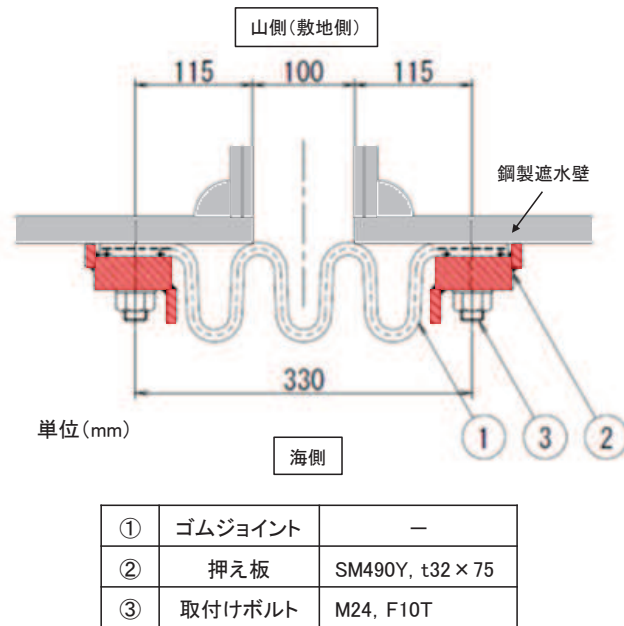


図 6.1.5-13 ゴムジョイントの断面

変位及び水圧が作用した際に、ゴムジョイントに張力が発生して、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれる方向に力が働く。この力に対して、押え板又は鋼製遮水壁とゴムの摩擦力で抵抗するため、摩擦力を発生させるために必要な取付けボルトの軸力を算出し、ボルトに発生する応力が許容応力以下であることを確認する。

図 6.1.5-14 に示すとおり、ゴムジョイントに作用している変位は、上述の試験と同様の伸び方向 150mm、せん断方向 350mm とし、水圧は 0.4MPa とする。この条件でのゴムジョイントの耐圧半径は 270mm であり、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm) は構造力学公式集の式から算出される。

8.2 円筒シェル

(A) 一様内圧

$$N_x = \frac{pr}{2}, \quad N_\theta = pr, \quad \Delta r = \frac{r}{Et} (N_\theta - \nu N_x)$$

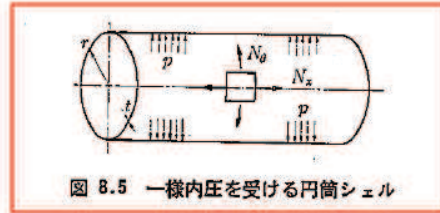


図 8.5 一様内圧を受ける円筒シェル

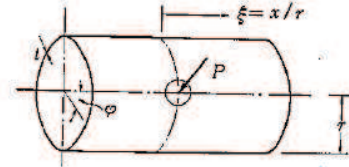


図 8.6 径方向集中荷重を受ける円筒シェル

構造力学公式集 (一部加筆)

$$N_0 = pr = 0.4 \times 270 = 108 \text{ (N/mm)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

p : 作用水圧 (MPa=N/mm²)

r : 水圧を受ける半径 (mm)

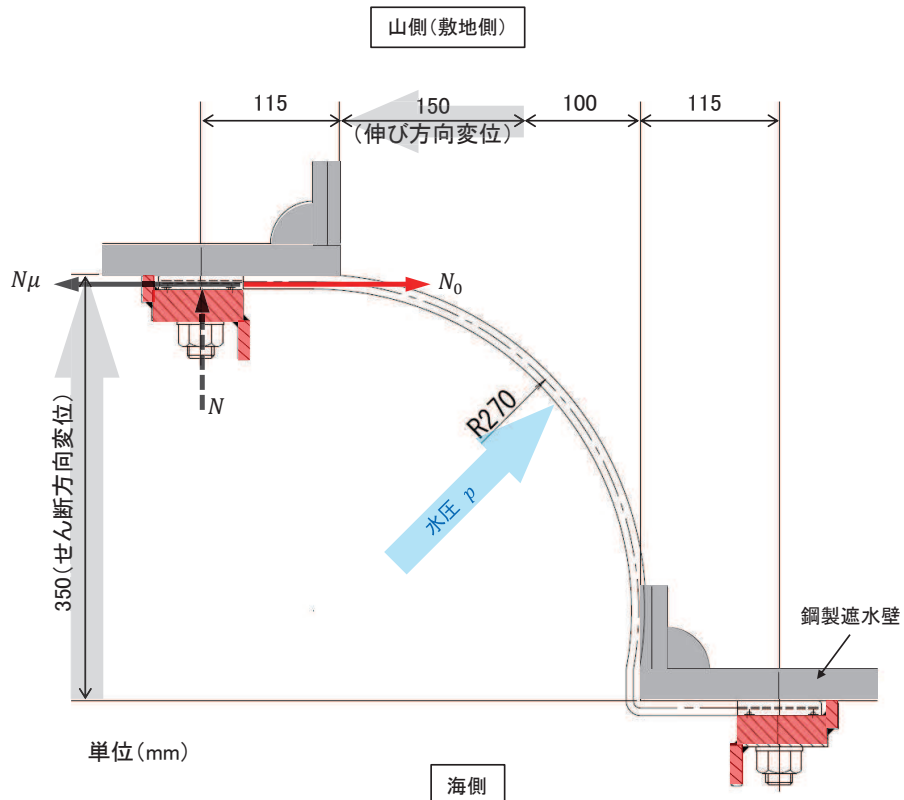


図 6.1.5-14 ゴムジョイントに生じる引張応力及び変位及び水圧作用時のゴムジョイントの断面図

ゴムジョイントが押え板と鋼製遮水壁から引き抜かれる力(引抜力: T (N))は、ゴムジョイントに発生する引張応力 N_0 (N/mm)と取付けボルトのピッチ L (mm)から算出される(図 6.1.5-14)。

$$T = N_0 L = 108 \times 200 = 21600 \text{ (N)}$$

N_0 : ゴムジョイントに生じる引張応力 (N/mm)

T : 引抜力 (N)

L : 取付けボルトのピッチ (mm)

この引抜力 T (N) から取付けボルトの必要軸力 N (N) は以下のとおり算出される(図 6.1.5-14)。

$$N = \frac{T}{\mu} \gamma = 21600 / 0.4 \times 1.8 = 97200 \text{ (N)}$$

N : 取付けボルトの必要軸力 (N)

μ : 摩擦係数 (=0.4, メーカー基準(試験値))

γ : 安全率 (=1.8, メーカー基準)

T : 引抜力 (N)

取付けボルトの発生応力(引張応力) σ_t 及び締付け面圧 P_0 は以下のとおり算出される。

$$\sigma_t = \frac{N}{A_S} = 97200 / 353 = 275.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 465 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

σ_t : 取付けボルトの発生応力(引張応力) (N/mm²)

A_S : 取付けボルトの有効断面積 (353mm²) *

注記* : 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編より

$$P_0 = \frac{N}{wL} = 97200 / (200 \times 75) = 6.48 \text{ (MPa)} > 0.4 \text{ (MPa)}$$

P_0 : 締付け面圧 (MPa=N/mm²)

w : 押え板の接触幅 (75mm)

以上から、取付けボルトの発生応力(引張応力) σ_t は276 (N/mm²)であり、F10Tの短期許容引張応力 σ_{ta} の465 (N/mm²) *以下であること、締付け面圧 P_0 も設計水

圧 0.4 (MPa) 以下であることから、ゴムジョイント取付け部からゴムジョイントが引き抜かれることはないことを確認した。

なお、取付けボルトの軸力は経時によって低下することを想定しているため、施工時の軸力（導入軸力 N' (N)）は取付けボルトの必要軸力 N (N) よりも大きくしておく必要がある。

導入軸力 N' (N) は以下のとおり算出されるため、この軸力を確保するため施工時においてトルク管理を行うこととする。

$$N' = \frac{N}{\alpha} = 97200/0.77 = 126234 \quad (\text{N})$$

α : 応力緩和係数 (=0.77, メーカーによる基準 (試験値))

2.2 ウレタンシリコーン目地

ウレタンシリコーン目地は図 6.1.5-15 に示すように、シリコーン及び**硬質ポリウレタンフォーム**で構成され、シリコーンとウレタンの間にはウレタンを施工するための型枠としてポリエチレン製の縁切材を**設置する**。

ウレタンシリコーン目地は複数の部位で構成されていることを踏まえ、性能確認試験において確認する事項を明確にする必要がある。そのため、荷重伝達、止水機能を発揮するメカニズム、各部位の役割及び損傷モードを整理し、試験での確認事項を設定する方針とした。

まず、地震時、津波時及び重畳時の荷重の伝達及び止水機能を発揮するメカニズムについて整理を行った。荷重伝達の概要及び止水機能を発揮するメカニズムを**図 6.1.5-16**に、荷重伝達の詳細を**図 6.1.5-17**に示す。

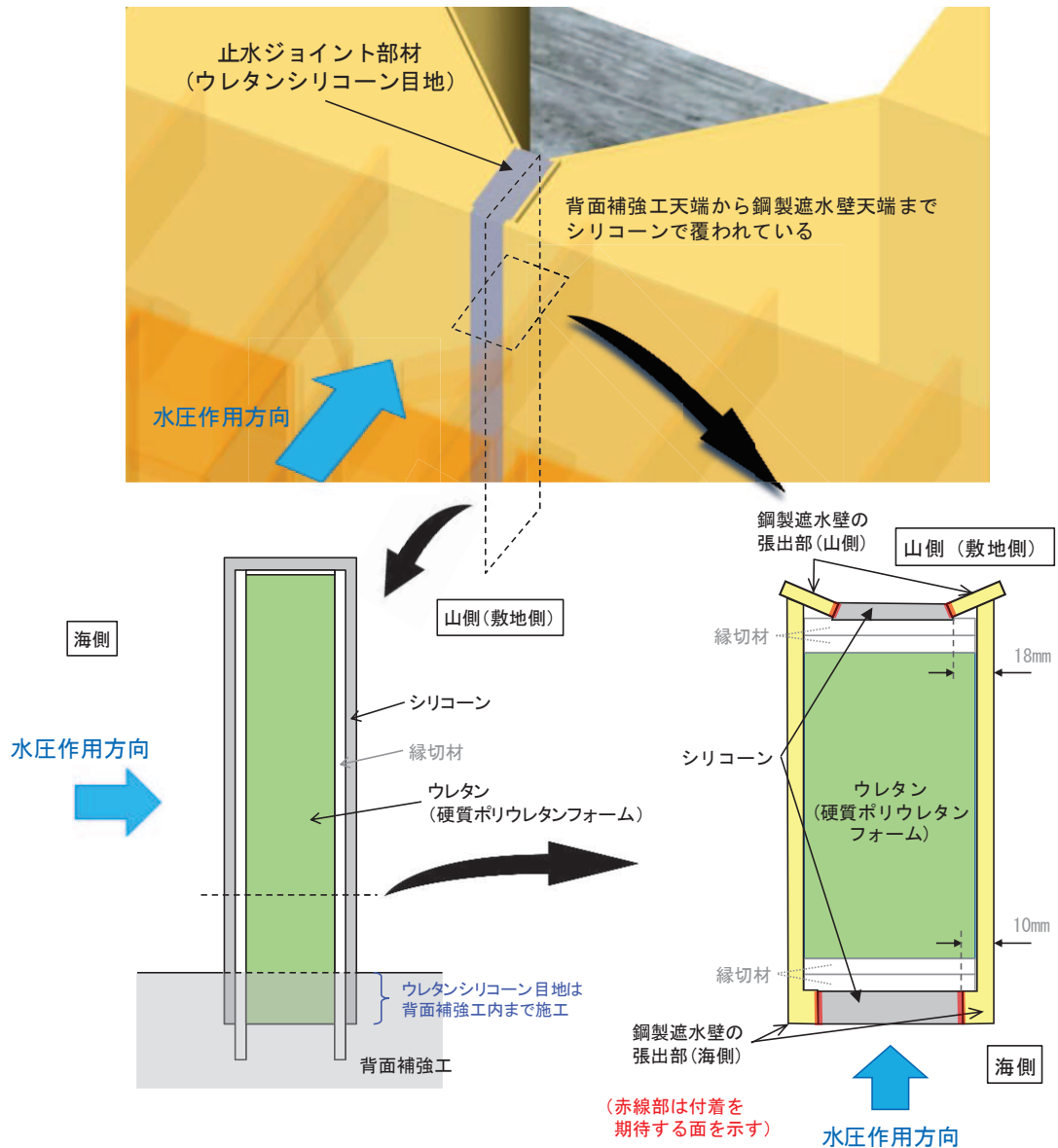


図 6.1.5-15 ウレタンシリコーン目地の詳細

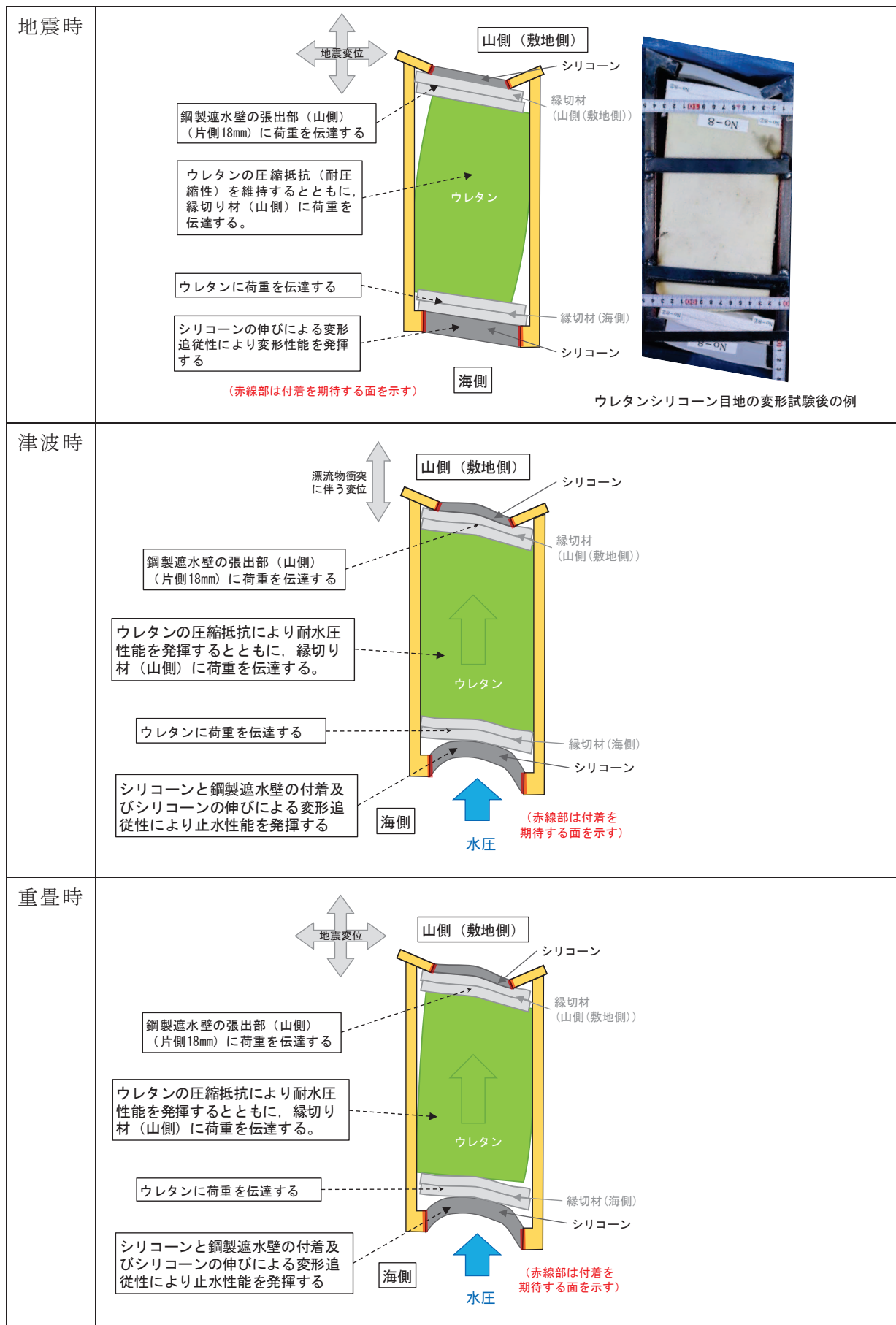


図 6.1.5-16 荷重伝達の概要及び止水性能発揮のメカニズム

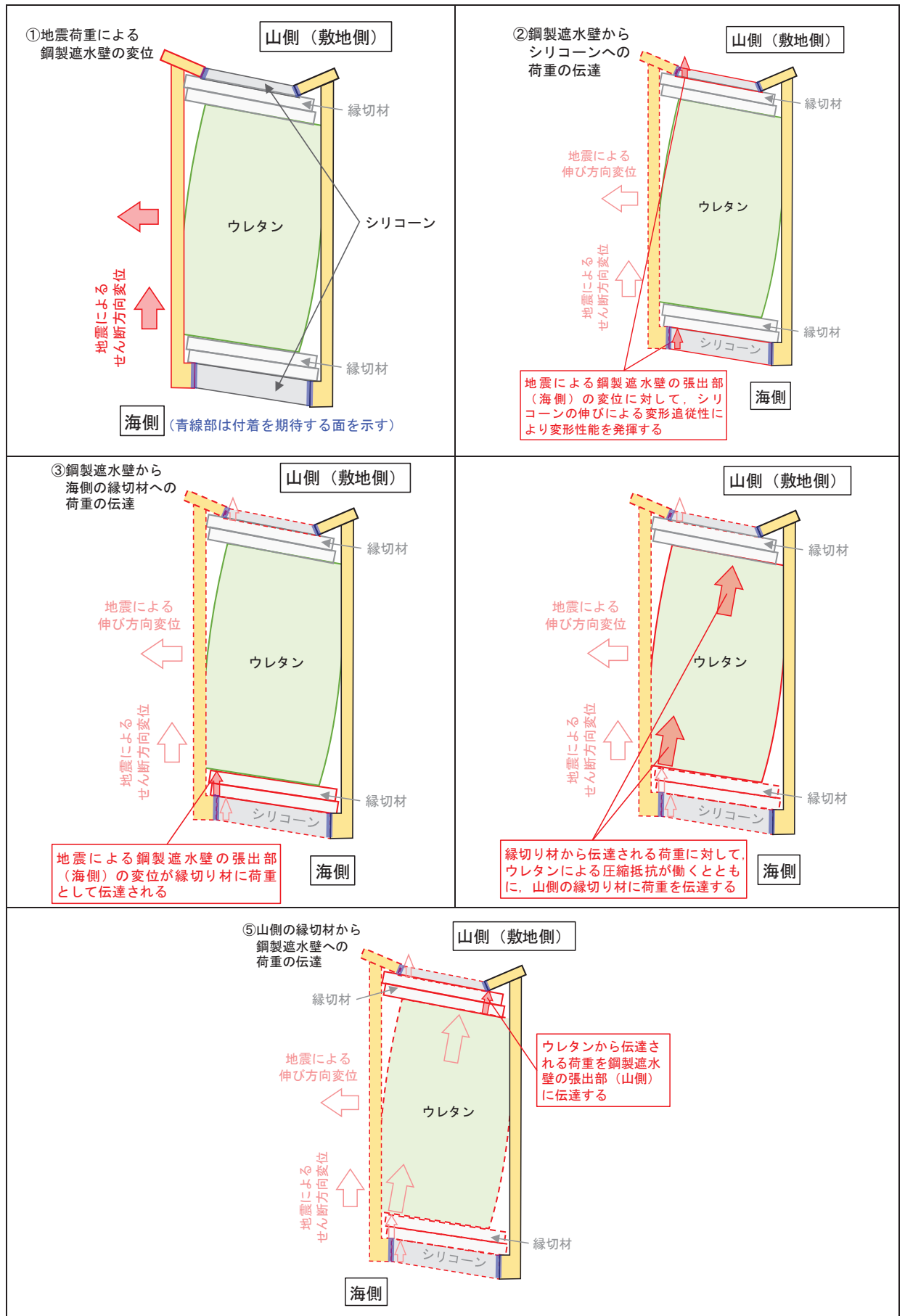


図 6.1.5-17(1) 地震時の荷重伝達

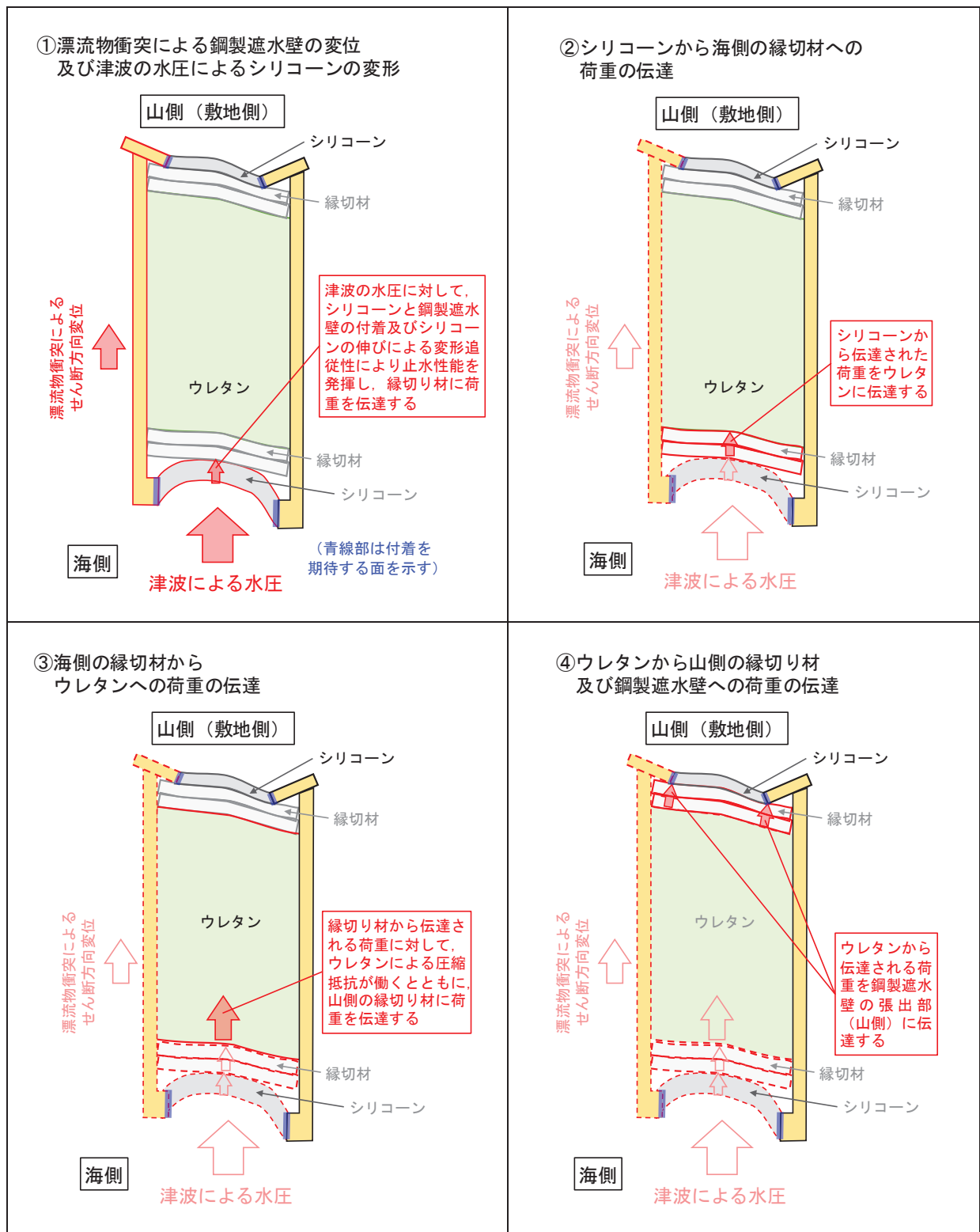


図 6.1.5-17(2) 津波時の荷重伝達

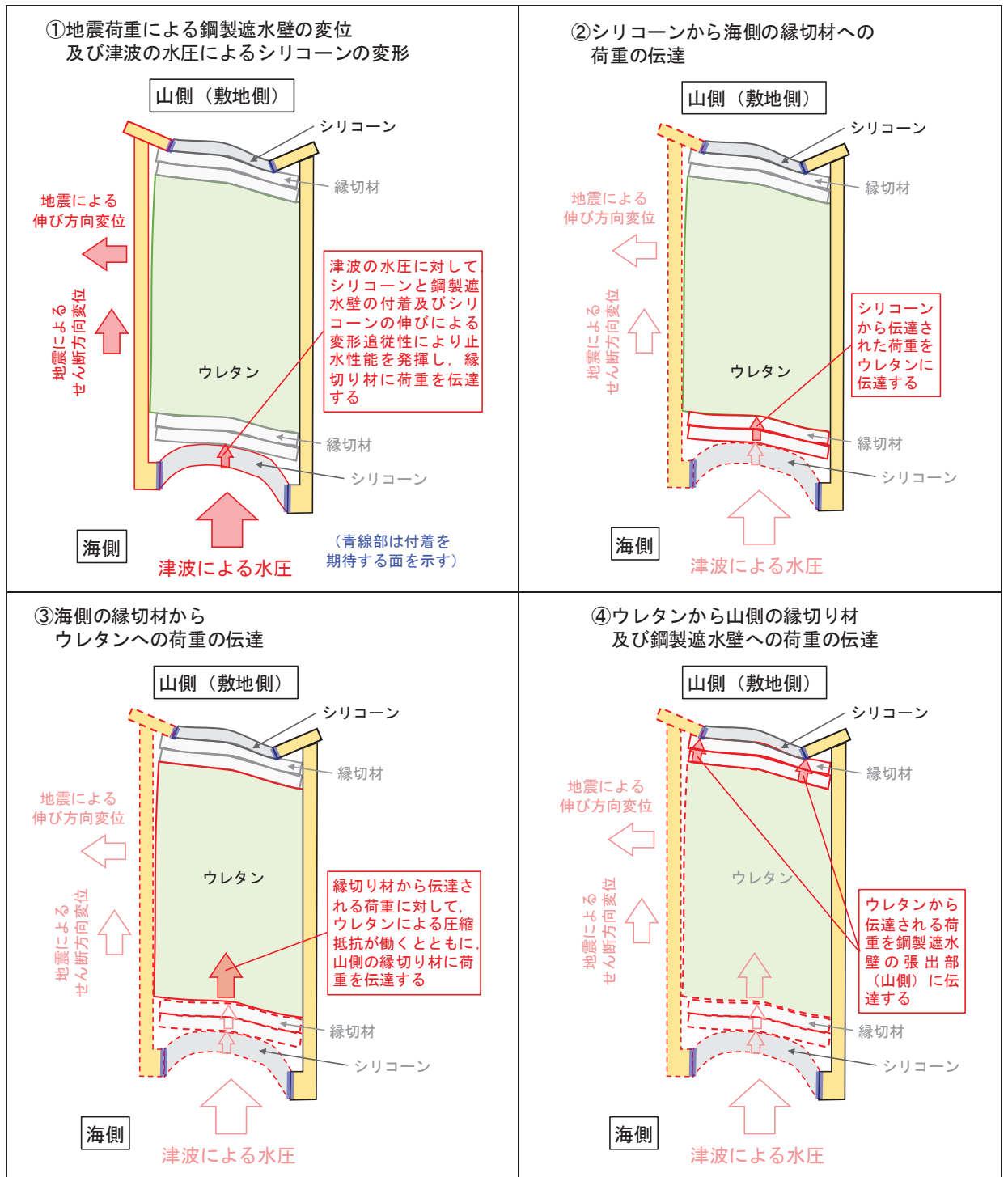


図 6.1.5-17(3) 重畳時の荷重伝達

上述の荷重伝達及び止水機能を発揮するメカニズムの整理結果を踏まえ、ウレタンシリコーン目地を構成する各部位の役割を表 6.1.5-10 のとおりとした。

表 6.1.5-10 ウレタンシリコーン目地の各部位の役割

| 構成部位 | 地震時 | 津波時 | 重畳時 |
|---------------------|--|--|--|
| シリコーン* (海側) | 鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。 | 津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。 | 津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる地震変位に対して、シリコーンと鋼製遮水壁の付着及びシリコーンの伸びによる変形追従性により止水性能を発揮する。 止水機能に対して直接的な役割を担う。 |
| 縁切材 (海側) | 鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる地震変位をウレタンに伝達する。 | シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる漂流物衝突に伴う変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(荷重伝達)を担う。 | シリコーンから伝達される津波の水圧及び鋼製遮水壁の張出部(海側)に生じる地震変位をウレタンに伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(荷重伝達)を担う。 |
| ウレタン | 縁切材(海側)から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を維持するとともに、縁切材(山側)に荷重を伝達する。 | 縁切材(海側)から伝達される荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材(山側)に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(圧縮抵抗・荷重伝達)を担う。 | 縁切材(海側)から伝達される津波の荷重に対して、ウレタンの圧縮抵抗により耐水圧性能を発揮するとともに、縁切材(山側)に荷重を伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(圧縮抵抗・荷重伝達)を担う。 |
| 縁切材 (山側(敷地側)) | ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部(山側)に伝達する。 | ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部(山側)に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(荷重伝達)を担う。 | ウレタンから伝達される荷重を鋼製遮水壁の張出部(山側)に伝達する。 止水機能に対して間接的な役割(荷重伝達)を担う。 |
| シリコーン* (山側(敷地側)) | 鋼製遮水壁の張出部(山側)に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。 | 鋼製遮水壁の張出部(山側)に生じる漂流物衝突に伴う変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。 | 鋼製遮水壁の張出部(山側)に生じる地震変位に対して、シリコーンの変形性能を維持する。 |

注記*：シリコーンはウレタン及び縁切材を覆っており、「4.耐久性」に示すようにウレタン及び縁切材の主たる劣化要因である紫外線を遮断する役割も有している。

以上の検討，整理結果から，ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた変形・耐圧試験の確認事項を表 6.1.5-11 のとおり設定した。また，止水機能は，ウレタンシリコーン目地を構成する，シリコーン，ウレタン及び縁切材が，それぞれ直接的又は間接的に役割を担っているため，これらの構成される部位全体で止水機能（津波のバウンダリ）は発揮される。

表 6.1.5-11 ウレタンシリコーン目地の要求機能・損傷モードを踏まえた
変形・耐圧試験の確認事項

| 要求機能 | 機能損傷モード | 試験での着目点 | 試験での確認事項 |
|-----------|---|--|---|
| 変形 追従性 | （作用する変位により） シリコーンが切れて変 形追従性を喪失する。 | シリコーンが切 れていないか。 | 変形試験から，シリコーンが切 れていないことを確認する。 |
| 止水性 | （作用する変位又は水 圧により）シリコーンが 切れて止水性を喪失す る。 | シリコーンが切 れていないか。 ウレタンに割れ が生じていない か。 | 耐圧試験から，シリコーンが切 れていないことを確認する。 変形試験及び耐圧試験から，ウ レタンが割れていないことを確 認する。 |
| | （作用する変位又は水 圧により）シリコーンが 鋼製遮水壁から剥がれ て止水性を喪失する。 | シリコーンが鋼 製遮水壁から剥 がれていないか。 | 変形試験及び耐圧試験から，シ リコーンが鋼製遮水壁から剥が れていないことを確認する。 |
| | （作用する変位又は水 圧により）鋼製遮水壁の 張出し部からウレタン （縁切材）が外れて止水 性を喪失する。 | 鋼製遮水壁の張 出し部からウレ タン（縁切材）が 外れないか。 | 変形試験及び耐圧試験から，鋼 製遮水壁の張出し部からウレタ ン（縁切材）が外れていないこ とを確認する。 |

(1) 試験条件（試験変位量，水圧）

変形試験及び耐圧試験に用いる試験体は，ウレタンシリコン目地の一部（高さ190mm）を模擬したものとする。図6.1.5-18に試験体のイメージを示す。

試験中には表6.1.5-11に示す確認事項を確認する必要があることから，試験体の上部と下部はシリコンで覆わずに露出した状態とする。一方，実際の施工ではウレタン及び縁切材は，背面補強工天端から鋼製遮水壁天端までの施工範囲において露出しておらずシリコンに覆われている（図6.1.5-15）ため，実際とは異なる状態での試験となる。このような状況を踏まえ，試験体の上部及び下部から20mmずつ内側の150mmの範囲を試験の適用範囲とする。

また，シリコンを施工する面にプライマーを塗布することで，塗装の有無による付着強度の差はないため，試験体の鋼製遮水壁には塗装を施していない。なお，念のため鋼製遮水壁に塗装されている場合のシリコンとの付着影響について確認を行った。

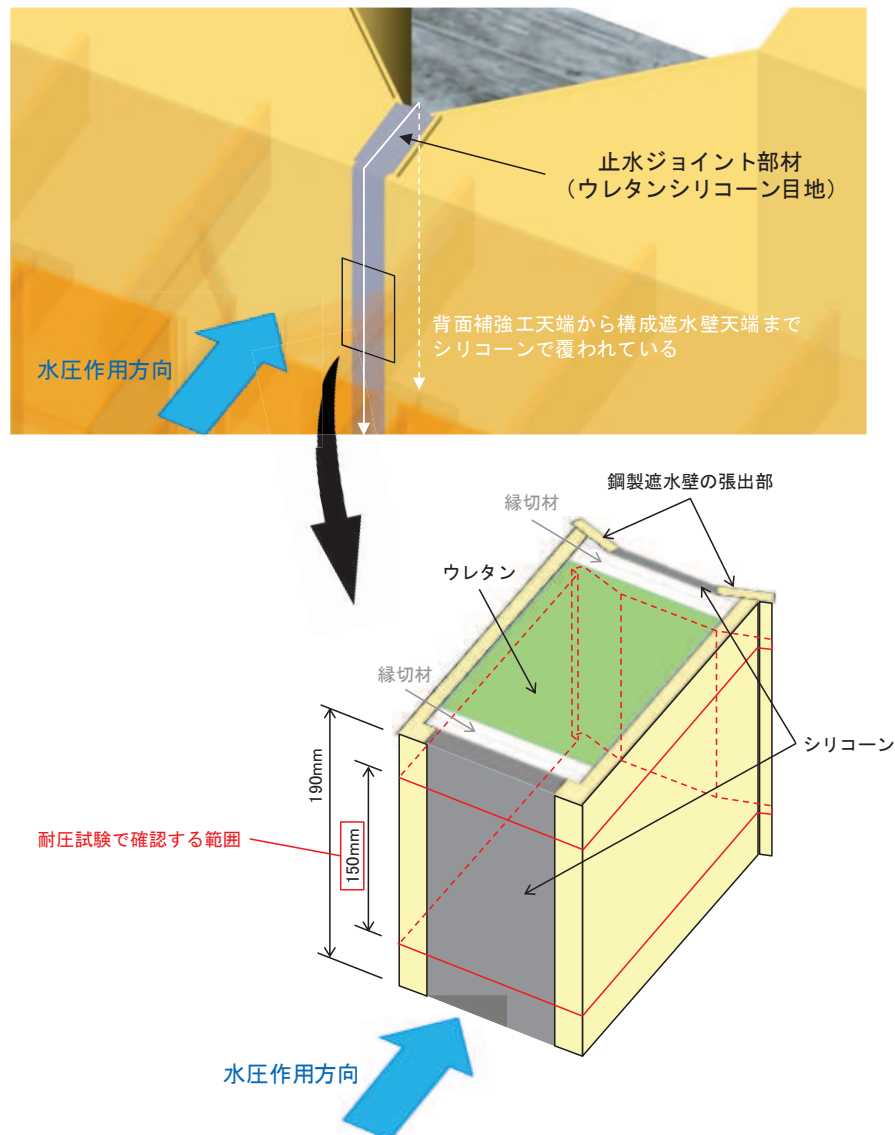


図6.1.5-18 ウレタンシリコン目地の試験体イメージ

試験条件として表 6.1.5-12 に示す変位量，水圧を作用させる。図 6.1.5-9 に示すとおり止水ジョイント部材に津波荷重が作用する時間は約 1 分であるが，基準津波の半周期が約 10 分であることを踏まえ，加圧時間は 10 分以上を基本とし，試験では保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後，表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

試験に用いる試験体は 2 体（No. 9 及び No. 10）とし，耐圧試験時に変形試験で用いた変形を保持させて実施した。

なお，地震時及び津波時にはねじり変位が生じるものの，その時の回転角度は最大でも約 0.35° であるため，試験変位については平行移動により設定する。

ウレタンシリコン目地の性能確認試験フローを図 6.1.5-19 に示す。また，変形試験及び耐圧試験のイメージを図 6.1.5-20 に示す。また，耐圧試験に用いる試験体の製作過程を図 6.1.5-21 に示す。

なお，これらの試験体とは別に，水圧を 0.34MPa（変位量は伸び 4mm，せん断 30mm）とした試験を 1 体の試験体で実施している。この試験の詳細については参考資料 2 に示す。

表 6.1.5-12 ウレタンシリコン目地の試験条件

| 試験 No. | 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 必要耐圧 保持時間 |
|--------|------|--------------------|---------|--------------|
| No. 9 | 変形試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | | |
| | 耐圧試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | 0.30MPa | 10 分以上* |
| No. 10 | 変形試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | | |
| | 耐圧試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | 0.30MPa | 10 分以上* |

注記 *：加圧時間は必要耐圧保持時間に対し，十分な余裕をもって 30 分間とした。

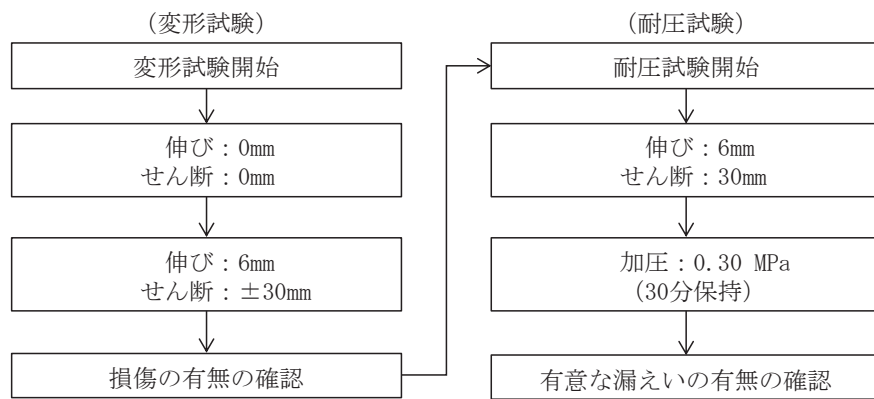
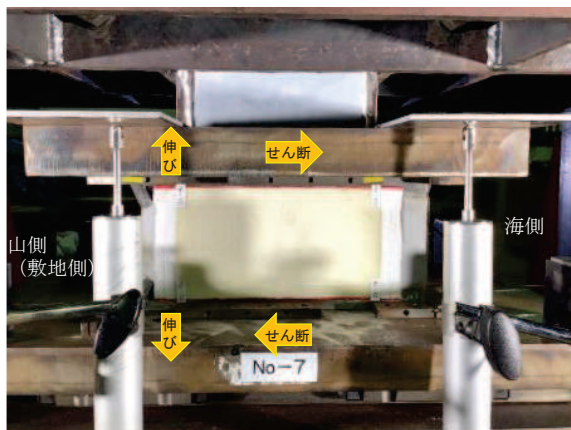
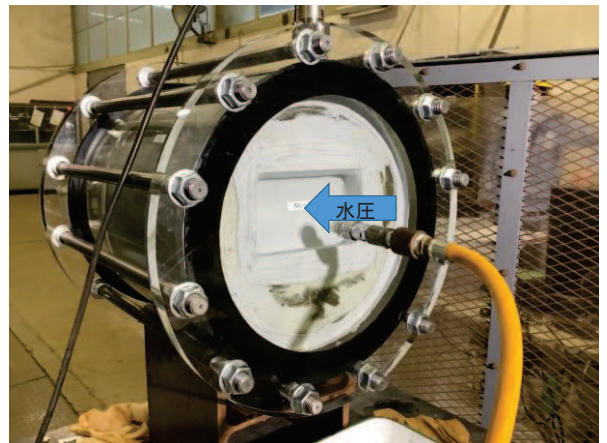


図 6.1.5-19 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー (No. 9, No. 10)



(変形試験)



(耐圧試験)

図 6.1.5-20 変形・耐圧試験のイメージ

| | |
|--|--|
| | <p>【試験体の仮固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 変形試験後に変形状態を保持したまま耐圧容器に仮固定する。 ✓ 試験体内部にモルタルが侵入しないよう試験体周囲にテープ及びシートで養生する。 ✓ 加圧によって試験体がモルタルから抜け出さないように、鋼板（鋼製遮水壁）にスタッドを溶接する。 ✓ なお、山側（敷地側）の一部を耐圧容器から露出させ、試験中に内部の状況を確認する。 |
| | <p>【試験体の固定】</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 耐圧容器内にモルタルを充填させ、試験体を固定する。 |
| | <p>【試験体の固定】 （耐圧容器を上から見た写真）</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 海側は注水して加圧を行うため海側のシリコーンは露出させておく。 |

図 6.1.5-21 (1) 耐圧試験体の製作過程

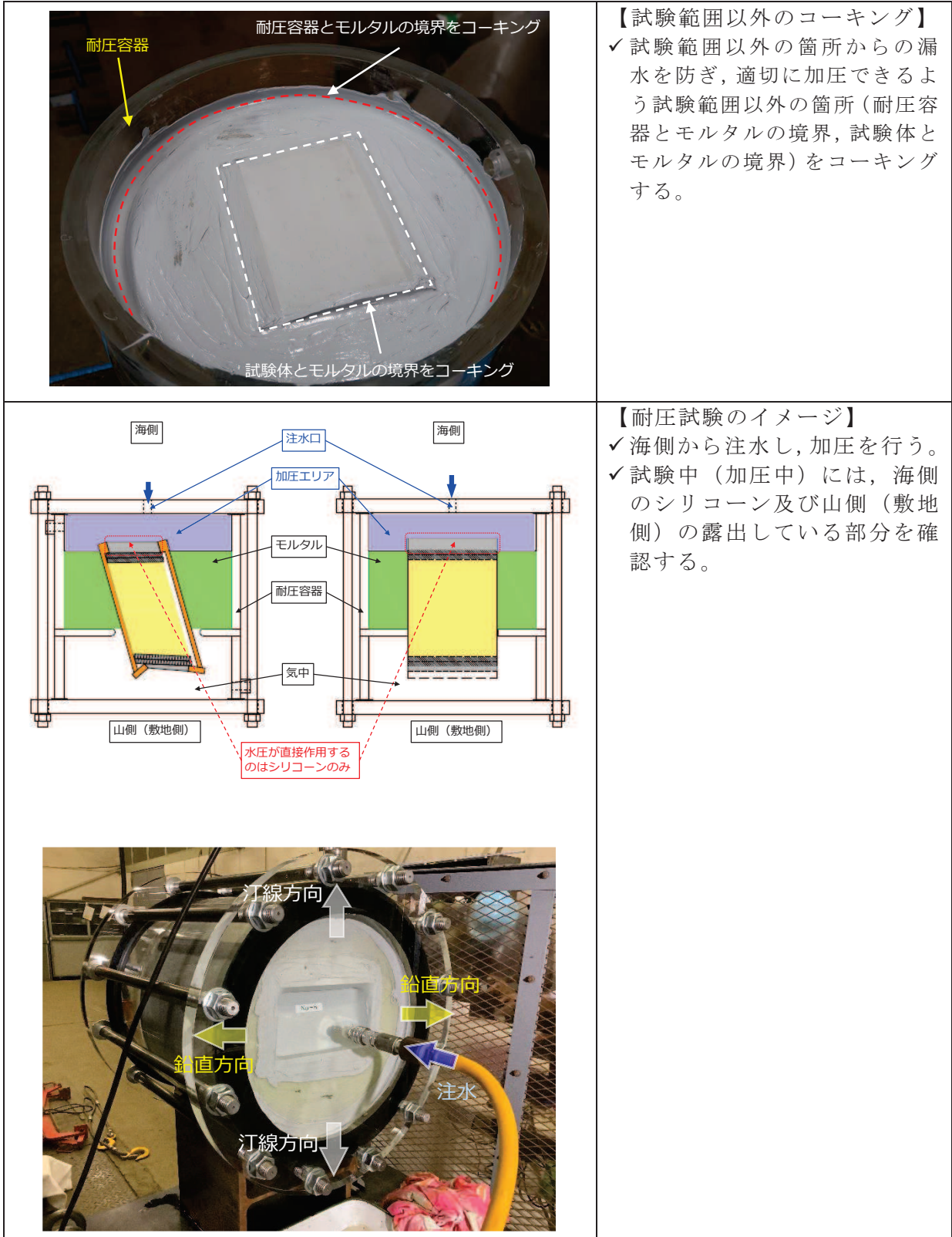


図 6.1.5-21 (2) 耐圧試験体の製作過程

(2) 試験状況写真

変形・耐圧試験の全体状況を [図 6.1.5-22](#) に、変形・耐圧試験の状況を [図 6.1.5-23](#) に示す。

a. 設置状況確認（伸び 0mm，せん断 0mm，水圧 0MPa）



[図 6.1.5-22](#) (1) 変形試験全体状況



[図 6.1.5-22](#) (2) 耐圧試験全体状況

b. 変形試験状況確認

変形試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

なお、変形試験の状況を示す断面において、わずかに鋼製遮水壁からシリコンが剥がれているところがあるが、この断面は「2.2 (1) 試験条件 (試験変位量, 水圧)」で示したように、表 6.1.5-11 の確認事項を確認するために、露出した状態としているものであり、試験の適用範囲 (写真の奥側) では剥けていないことを確認している。

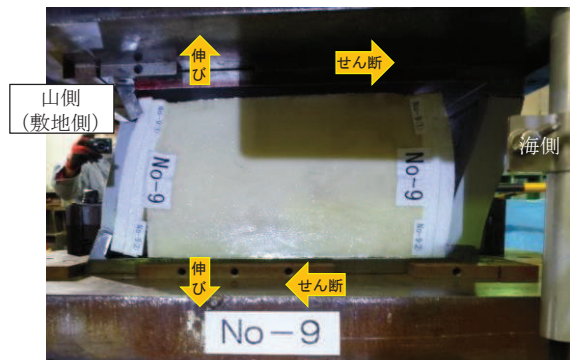
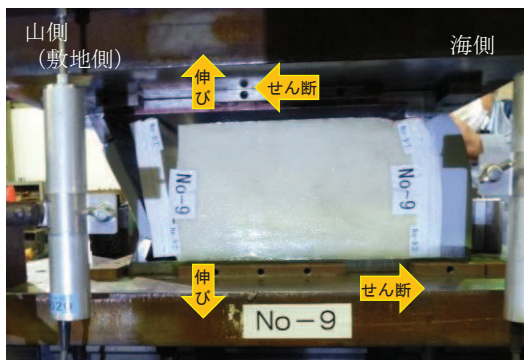


図 6.1.5-23 (1) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm)

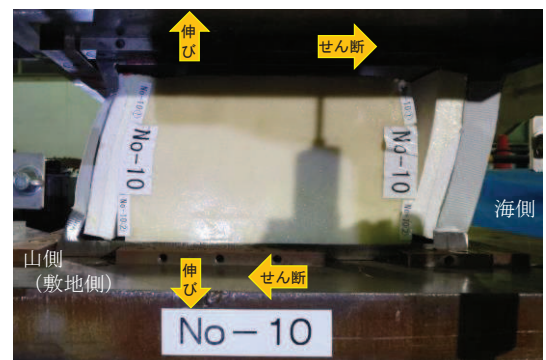
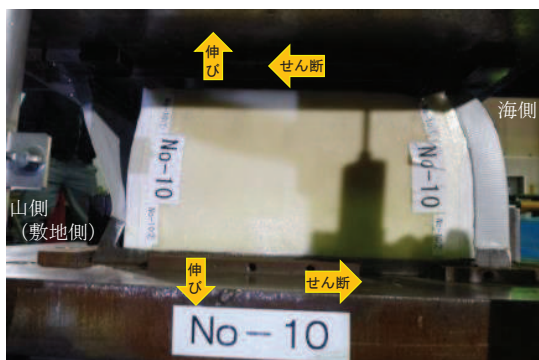
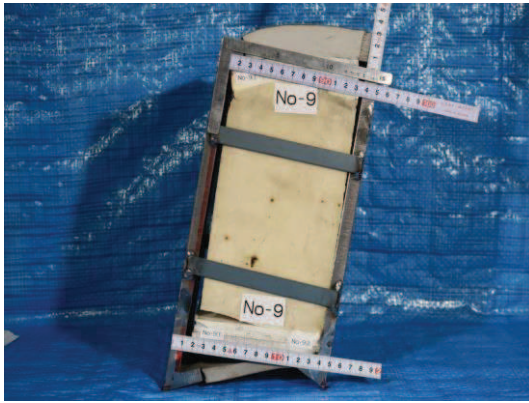
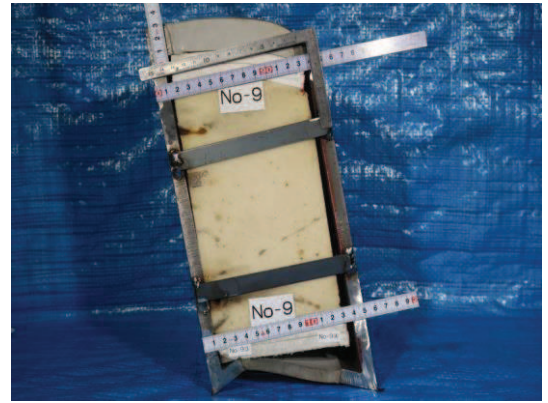


図 6.1.5-23 (2) ウレタンシリコン目地変形試験状況
(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm)



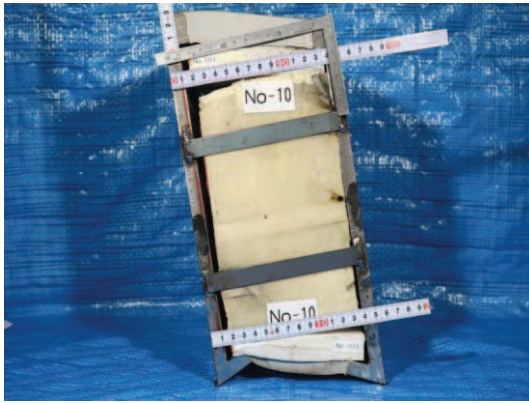
(写真上方が津波作用側)



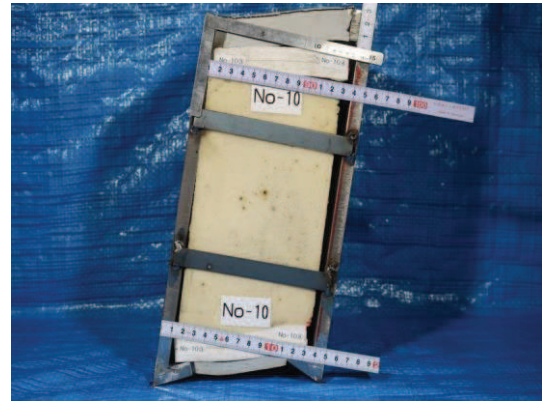
(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23 (3) ウレタンシリコーン目地変形試験状況

(試験体 No. 9, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)



(写真上方が津波作用側)



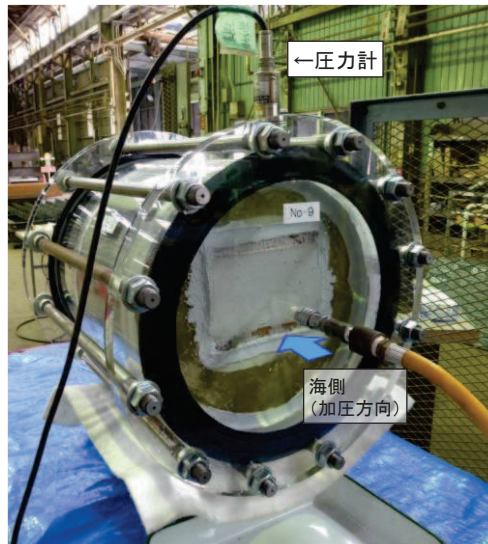
(写真上方が津波作用側)

図 6.1.5-23 (4) ウレタンシリコーン目地変形試験状況

(試験体 No. 10, 伸び 6mm, せん断 30mm) (耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

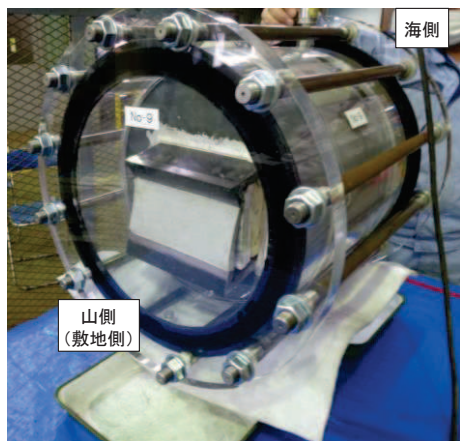
c. 耐圧試験状況確認

耐圧試験の状況を図 6.1.5-23 に示す。

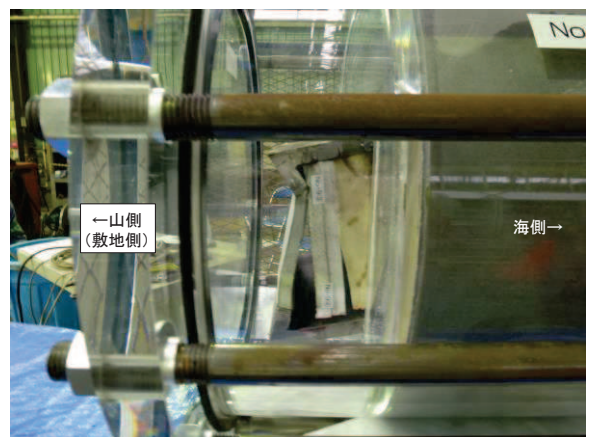


加圧前状況 (海側)

図 6.1.5-23 (5) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)

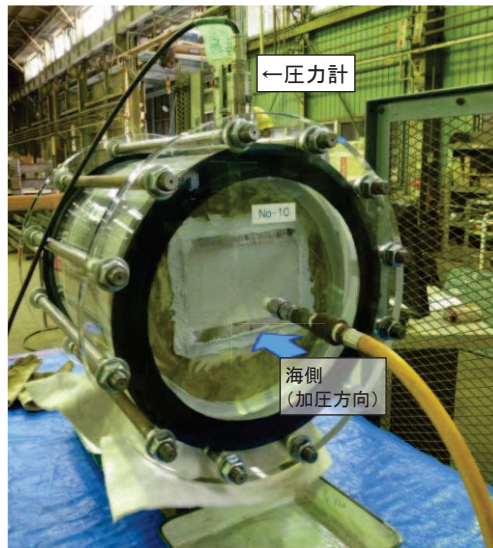


加圧前状況 (敷地側)



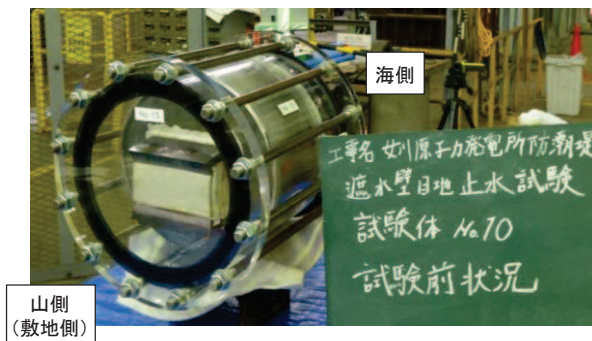
加圧前状況 (敷地側断面)

図 6.1.5-23 (6) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 9)
(伸び: 6mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



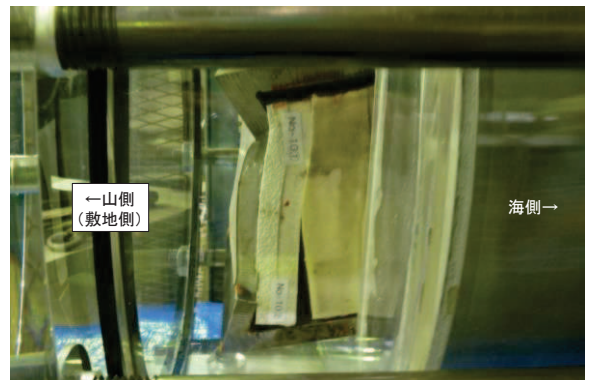
加圧前状況（海側）

図 6.1.5-23(7) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）



加圧前状況（敷地側）

図 6.1.5-23(8) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
（伸び：6mm，せん断：30mm，加圧前状況）



加圧前状況（敷地側断面）

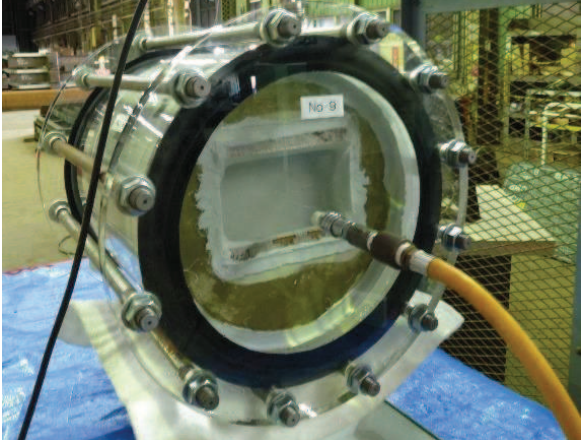
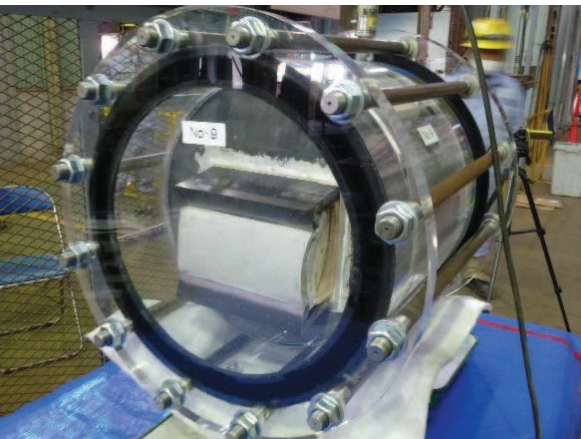
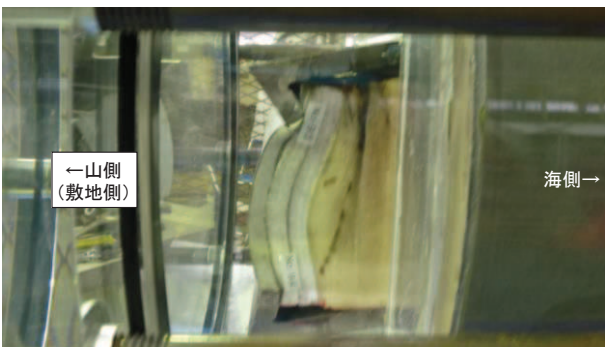
| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23 (9) ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 9）
（10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

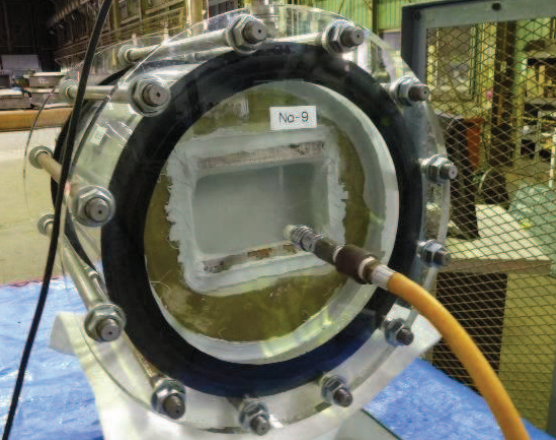
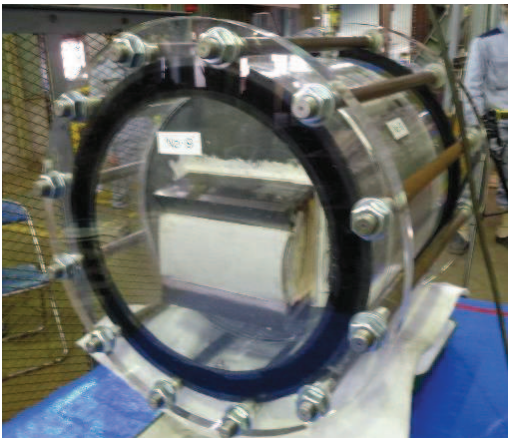
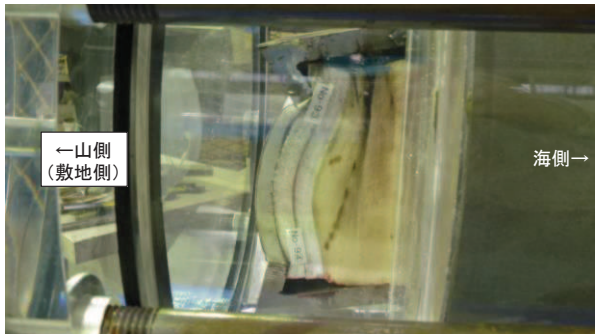
| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23 (10) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 9）
 （20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

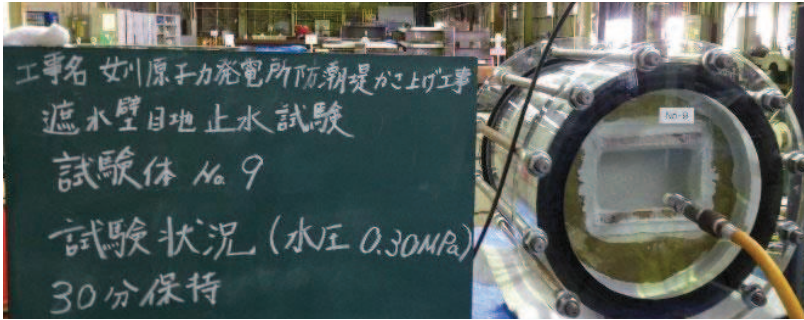
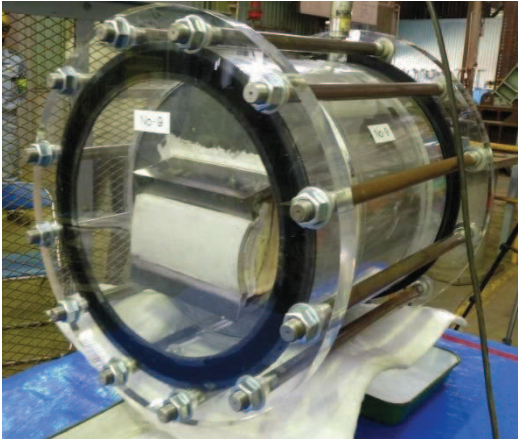
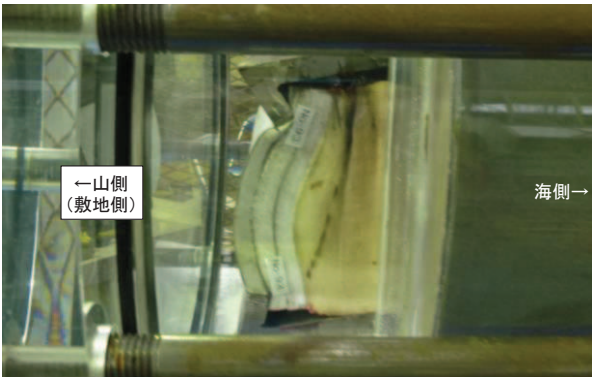
| | |
|---|--|
|  | <p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23(11) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.9）

（30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）


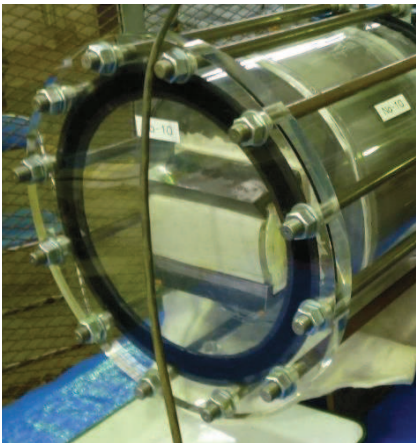
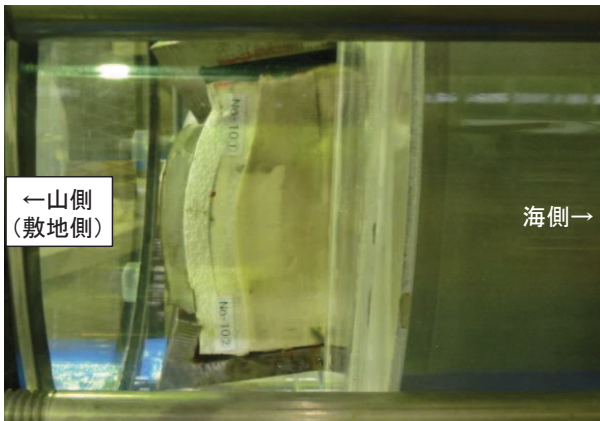
| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23 (12) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 10）
 （10分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

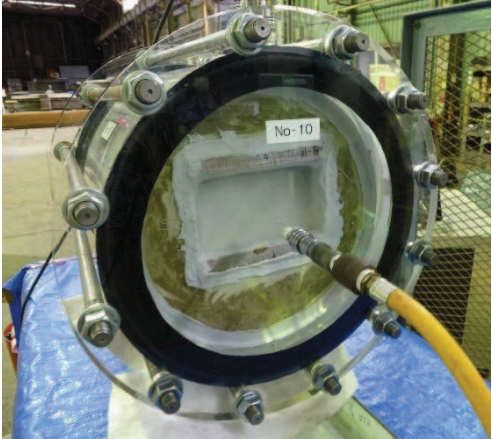
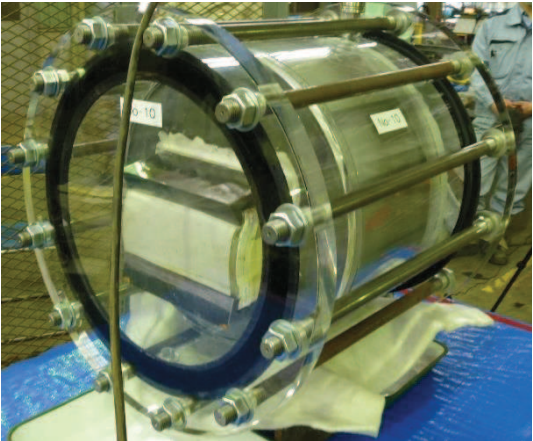
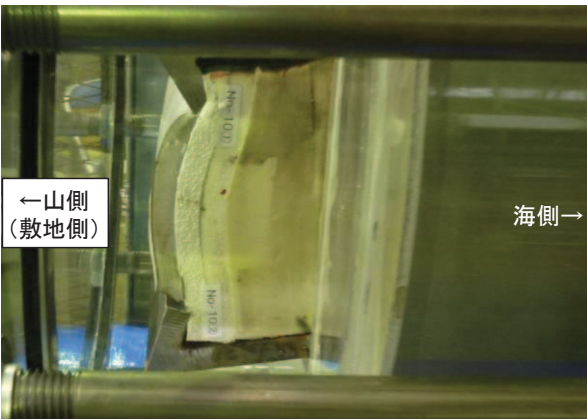
| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23 (13) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 10）
 （20分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

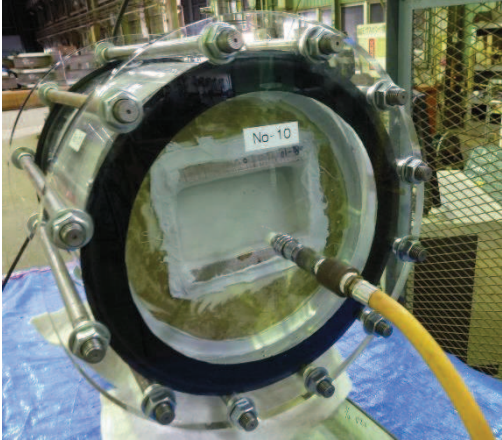

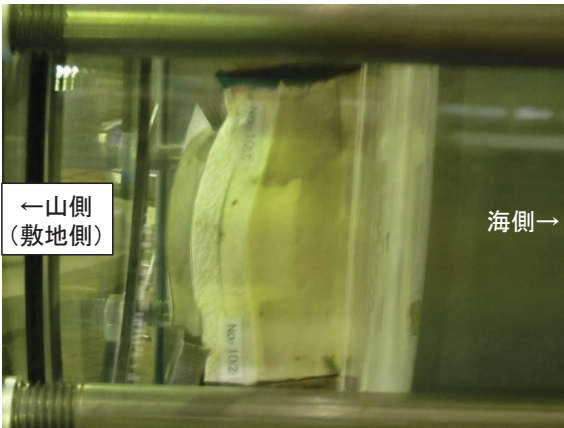
| | |
|---|--|
|  | <p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |

図 6.1.5-23 (14) ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No.10）
 （30 分経過，伸び：6mm，せん断：30mm，水圧 0.30MPa）

(3) 試験結果

試験体 No. 9 及び No. 10 について、所定の変位（伸び 6mm，せん断 30mm）を与えた上で、津波による波圧を上回る水圧 0.30MPa を 10 分以上（加圧時間：30 分間）加圧した結果、損傷及び漏えいが無いことを確認した。

試験結果を表 6.1.5-13 に示す。

また、これらの試験結果に対する考察を表 6.15-14 のとおり整理した。この考察から、ウレタンシリコーン目地に生じる変位量及び水圧は、変形試験及び耐圧試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び水圧（0.30MPa）以下とする必要がある。

表 6.1.5-13 ウレタンシリコーン目地の試験結果

| 試験 No. | 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 耐圧 保持時間 | 損傷*， 漏えい | 判定 |
|--------|------|--------------------|---------|------------|-------------|----|
| No. 9 | 変形試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | | | 無し | OK |
| | 耐圧試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | 0.30MPa | 10 分以上 | 無し | OK |
| No. 10 | 変形試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | | | 無し | OK |
| | 耐圧試験 | 伸び 6mm せん断 30mm | 0.30MPa | 10 分以上 | 無し | OK |

注記*：表 6.1.5-11 に基づき、シリコーンが切れていないか，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れていないか，ウレタンが割れていないかを確認する。

表 6.1.5-14 ウレタンシリコーン目地の試験結果に対する考察 (No.9 及び No.10)

| 要求機能 | 試験での確認結果 | 考察 |
|-------|--|--|
| 変形追従性 | 変形試験から、シリコーンは切れていないことを確認した。 | 変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。 |
| 止水性 | <p>耐圧試験から，シリコーンは切れていないことを確認した。</p> <p>変形試験及び耐圧試験から，ウレタンが割れていないことを確認した。</p> | <p>耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）が，シリコーンの変形追従性の許容範囲以内であったことから，シリコーンは切れなかったと判断される。</p> <p>また，変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，ウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタンは割れなかったと判断される。</p> |
| | 変形試験及び耐圧試験から，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないことを確認した。 | 変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）及び耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）で生じる力が，シリコーンと鋼製遮水壁の付着力以下であったことから，シリコーンは鋼製遮水壁から剥がれなかったと判断される。 |
| | 変形試験及び耐圧試験から，鋼製遮水壁の張出し部からウレタン（縁切材）が外れていないことを確認した。 | <p>変形試験で設定した変位量（伸び 6mm，せん断 30mm）は，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れる変位量以下であったことから，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p> <p>また，耐圧試験で設定した水圧（0.3MPa）はウレタンの圧縮抵抗力以下であったことからウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れなかったと判断される。</p> |

(4) 鋼製遮水壁とシリコン材の付着について

先に示したように、シリコン材を施工する面（鋼製遮水壁）にプライマーを塗布することで、塗装の有無等による付着強度の差はないと考えているが、図 6.1.5-15 のとおり、ウレタンシリコン目地で付着を期待している面としては、鋼製遮水壁とシリコン材の境界のみであることを踏まえ、念のため、シリコン材を施工する面（鋼製遮水壁）が塗装されている場合の影響について確認する。

実際の施工では、鋼製遮水壁は超厚膜塗装（ $2300\mu\text{m}$ ）とその表層にフッ素樹脂塗装（塗装仕様の詳細については参考資料 3 に示す。）が施されており、この塗装面にプライマーを塗布し、シリコン材を施工する。そのため、各境界となる面の付着力を図 6.1.5-24 のフローに従い確認する。

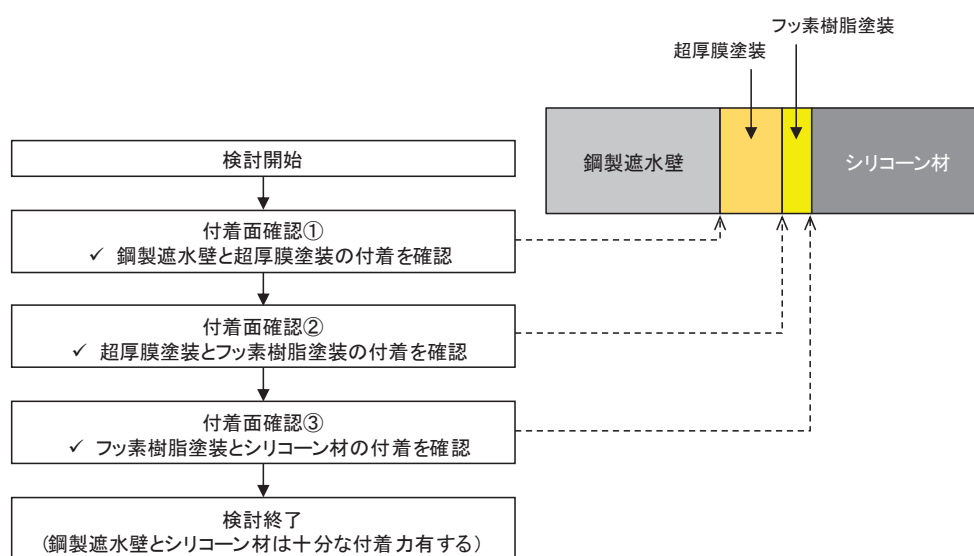


図 6.1.5-24 鋼製遮水壁とシリコン材の付着力確認フロー

a. 付着面確認①（鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着）

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着に関して、上記超厚膜塗装と同様の仕様の曝露試験結果が「長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告），No.1324，港湾空港技術研究所資料，2016」にて報告されており、経過年数29年でも付着強度が2.5～4.5（MPa）有することが示されている（参考資料 3）。このことから、鋼製遮水壁と塗装は、津波荷重から設定した試験水圧（0.3MPa）よりもはるかに高い圧力に耐えられることを確認した。

b. 付着面確認②（超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着）

超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着に関して、図 6.1.5-25 に示すような 4 種類の塗装断面（超厚膜 1 層、超厚膜塗装 2 層、中塗り（フッ素樹脂塗装）、上塗り（フッ素樹脂塗装）を対象に、付着試験（アドヒージョンテスト）を行い、塗膜の付着力を確認した（最も弱い箇所を剥離させ、その時の強度を測定）。

その結果を表 6.1.5-15 に示す。すべての供試体でドーリー剥離箇所は「接着剤」との結果であることから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界等の塗膜層間では剥離せず、ドーリーと塗装の境界（接着剤）が最も付着力が低いことを確認した。また、その際の最低付着力（アドヒージョン）は 1.8 (MPa) であり、耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上であることを確認した。

このことから、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界に耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上の引張力が発生したとしても、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の境界で剥れることがないことを確認した。

試験方法は以下のとおりである。

【試験方法】

- ① 測定位置の塗膜表面をウエス等で清掃した後、サンドペーパーで軽く研磨して清浄な状態にする。
- ② 接着剤をドーリー（端子）に塗り、塗膜表面にドーリーを押しつけるように貼り付ける。
- ③ 接着剤が固化した後、ドーリー周辺に沿って、塗膜をカッターなどで素地に達するまで傷を入れる。
- ④ アドヒージョンテストでドーリーを引き剥がし、強度を測定する。

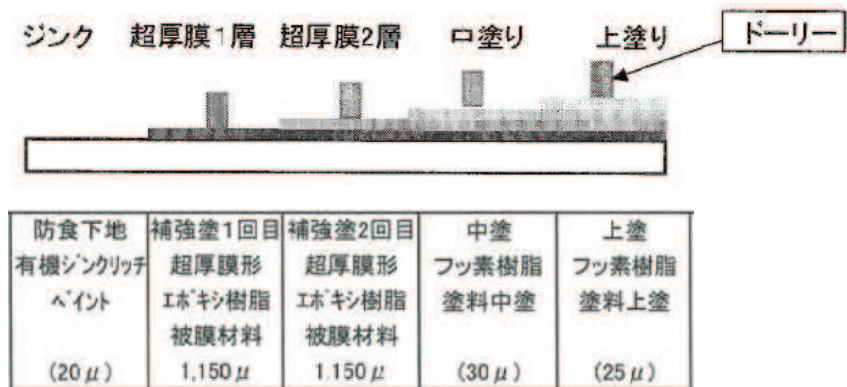


図 6.1.5-25 付着試験を実施した塗装断面

表 6.1.5-15 塗装付着試験 (アドヒージョンテスト)

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-4 ① | | | | |
| アドヒージョン | 3.7 Mpa | 4.8 Mpa | 2.9 Mpa | 2.7 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤 | 接着剤 | 接着剤 | 接着剤 |
| 硬度 | 70 | 67 | 63 | 62 |
| 表面温度 | 18 °C | 18 °C | 18 °C | 18 °C |

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-4 ② | | | | |
| アドヒージョン | 1.7 Mpa | 2.0 Mpa | — Mpa | 2.2 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤 | 接着剤 | — | 接着剤 |
| 硬度 | 70 | 68 | 65 | 64 |
| 表面温度 | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C |

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-4 ③ | | | | |
| アドヒージョン | 8.0 Mpa | 3.0 Mpa | 4.3 Mpa | 4.5 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤+塗膜 | 接着剤+塗膜 | 接着剤 | 接着剤 |
| 硬度 | 68 | 72 | 64 | 67 |
| 表面温度 | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C |

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|-------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-25 ① | | | | |
| アドヒージョン | 3.0 Mpa | 2.0 Mpa | — Mpa | 2.6 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤 | 接着剤 | — | 接着剤 |
| 硬度 | 69 | 65 | 61.5 | 61 |
| 表面温度 | 18 °C | 18 °C | 18 °C | 18 °C |

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-25 ② | | | | |
| アドヒージョン | 5.1 Mpa | 2.5 Mpa | 2.4 Mpa | 1.8 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤+塗膜 | 接着剤 | 接着剤 | 接着剤 |
| 硬度 | 66 | 64 | 56 | 58 |
| 表面温度 | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C |

| 試験体NO. | アドヒージョンテスト部位 | | | |
|----------------------------|--------------|---------|---------|---------|
| | 超厚膜1層 | 超厚膜2層 | 中塗り | 上塗り |
| 3-25 ③ | | | | |
| アドヒージョン | 5.0 Mpa | 4.0 Mpa | 1.9 Mpa | 2.8 Mpa |
| ドリーナー剥離箇所 (規格値1.5Mpa以上) | 接着剤+塗膜 | 接着剤 | 接着剤 | 接着剤 |
| 硬度 | 73 | 63 | 60 | 64 |
| 表面温度 | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C | 16.8 °C |

c. 付着面確認③（フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着）

フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の付着について、メーカーにてフッ素樹脂塗装面にシリコーン材を施工した場合の接着性（付着性）の試験で実施されている。

試験体を図 6.1.5-26 に示す。表 6.1.5-16 に示す塗料に対して、引張接着性試験（H 型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を実施した結果を表 6.1.5-17 及び図 6.1.5-27 に示す。

なお、試験に用いられたプライマー（トスプライムニューF）は、「(1) 試験条件（試験変位量，水圧）」～「(3) 試験結果」で実施した試験で鋼材（無塗装の鋼製遮水壁を模擬）とシリコーン材の境界に塗布されたものと同じものである。

表 6.1.5-17 及び図 6.1.5-27 の試験結果から、塗装の色及び膜厚の違いによらず、いずれの条件下においてもフッ素樹脂塗装面とシリコーンの境界では剥れず、シリコーン材による破壊（表 6.1.5-17 の CF：凝集破壊）が引張応力 0.38（MPa）以上で生じる結果となった。

このことから、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界に耐圧試験の水圧 0.3（MPa）以上の 0.38（MPa）の引張力が発生したとしても、フッ素樹脂塗装面とシリコーン材の境界で剥れることがないことを確認した。

表 6.1.5-16 接着試験の塗装種類

| 塗料種類 |
|-----------------------------|
| フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-1 |
| フッ素樹脂塗料*20 μ m ホワイト色-2 |
| フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-1 |
| フッ素樹脂塗料*40 μ m メタリック色-2 |

注記*：鋼製遮水壁の超厚膜塗装の中塗，上塗にはフッ素樹脂塗料を用いているため，試験条件としては同じである。

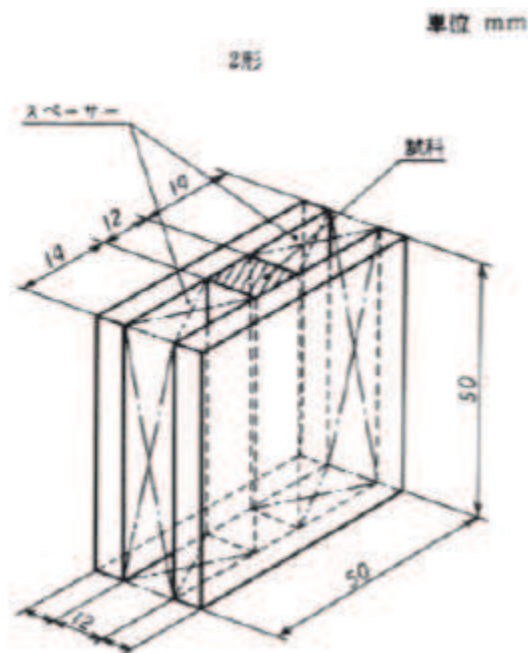


図 6.1.5-26 試験体

(JIS A 1439「建築用シーリング材の試験方法」に準拠して作製)

表 6.1.5-17 接着試験の塗装種類

| シーリング材 | プライマー | 被着体 | バフ掛け | 養生条件 | 試験体 | M50 MPa | Tmax MPa | E % | CF % | TCF % | AF % |
|---------------------|----------------|---------------------|------|------|------|------------|-------------|--------|---------|----------|---------|
| トスシール361 | トスプライム ニューF | 20 μ ホワイト-1 | 無し | 標準 | 1 | 0.18 | 0.50 | 1010 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.17 | 0.50 | 980 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 3 | 0.18 | 0.45 | 860 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.49 | 950 | | | | |
| | | | | 温水 | 1 | 0.17 | 0.58 | 1150 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.17 | 0.64 | 1190 | 100 | 0 | 0 |
| | | | 3 | | 0.17 | 0.55 | 1060 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 平均 | 0.17 | 0.59 | 1130 | | | | | |
| | | | 有り | 標準 | 1 | 0.18 | 0.49 | 950 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.17 | 0.40 | 780 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 3 | 0.18 | 0.49 | 900 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.46 | 870 | | | | |
| | | 温水 | | 1 | 0.18 | 0.50 | 970 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | | 2 | 0.17 | 0.48 | 1070 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 3 | 0.18 | 0.56 | 1080 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | 平均 | 0.18 | 0.51 | 1040 | | | | | | |
| | | 20 μ ホワイト-2 | 無し | 標準 | 1 | 0.18 | 0.54 | 1030 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.17 | 0.46 | 940 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 3 | 0.18 | 0.49 | 940 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.50 | 970 | | | | |
| | | | | 温水 | 1 | 0.16 | 0.45 | 1040 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.16 | 0.49 | 1110 | 100 | 0 | 0 |
| | | | 3 | | 0.16 | 0.57 | 1220 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 平均 | 0.16 | 0.50 | 1120 | | | | | |
| | | | 有り | 標準 | 1 | 0.17 | 0.43 | 870 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 2 | 0.19 | 0.56 | 1000 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 3 | 0.18 | 0.44 | 900 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.48 | 920 | | | | |
| | | 温水 | | 1 | 0.16 | 0.49 | 1090 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | | 2 | 0.17 | 0.50 | 1090 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 3 | 0.16 | 0.57 | 1210 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | 平均 | 0.16 | 0.52 | 1130 | | | | | | |
| | | 40 μ メタリック-1 | 無し | 標準 | 4 | 0.17 | 0.42 | 770 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 5 | 0.19 | 0.49 | 890 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 6 | 0.17 | 0.49 | 1010 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.46 | 890 | | | | |
| | | | | 温水 | 4 | 0.17 | 0.49 | 990 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 5 | 0.18 | 0.41 | 850 | 100 | 0 | 0 |
| | | | 6 | | 0.18 | 0.47 | 970 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 平均 | 0.18 | 0.45 | 940 | | | | | |
| | | | 有り | 標準 | 4 | 0.19 | 0.41 | 730 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 5 | 0.17 | 0.44 | 920 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | | 6 | 0.19 | 0.54 | 1030 | 100 | 0 | 0 |
| | | | | 平均 | 0.18 | 0.46 | 890 | | | | |
| | | 温水 | | 4 | 0.17 | 0.47 | 960 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | | 5 | 0.18 | 0.46 | 900 | 100 | 0 | 0 | |
| | | | 6 | 0.18 | 0.47 | 960 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | 平均 | 0.18 | 0.46 | 940 | | | | | | |
| 40 μ メタリック-2 | 無し | 標準 | 7 | 0.18 | 0.62 | 1080 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | | 8 | 0.17 | 0.45 | 1020 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | | 9 | 0.17 | 0.47 | 950 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | 平均 | 0.17 | 0.51 | 1020 | | | | | | |
| | | 温水 | 7 | 0.16 | 0.38 | 900 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | | 8 | 0.18 | 0.47 | 1010 | 100 | 0 | 0 | | |
| | 9 | | 0.16 | 0.37 | 900 | 100 | 0 | 0 | | | |
| | 平均 | 0.17 | 0.41 | 940 | | | | | | | |
| | 有り | 標準 | 7 | 0.17 | 0.46 | 960 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | | 8 | 0.18 | 0.45 | 880 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | | 9 | 0.18 | 0.51 | 950 | 100 | 0 | 0 | | |
| | | 平均 | 0.18 | 0.47 | 930 | | | | | | |
| 温水 | | 7 | 0.18 | 0.39 | 840 | 100 | 0 | 0 | | | |
| | | 8 | 0.17 | 0.47 | 980 | 100 | 0 | 0 | | | |
| | 9 | 0.18 | 0.40 | 860 | 100 | 0 | 0 | | | | |
| 平均 | 0.18 | 0.42 | 890 | | | | | | | | |

(表中のCFは凝集破壊(シーリング材の破壊状態の1つでシーリング材自身の破壊)、TCFは薄層凝集破壊(シーリング材の破壊状態の1つで被着面にごく薄くシーリング材が残る破壊)、AFは接着破壊(シーリング材の破壊状態の1つで被着体とシーリング材の分離)を示す。)

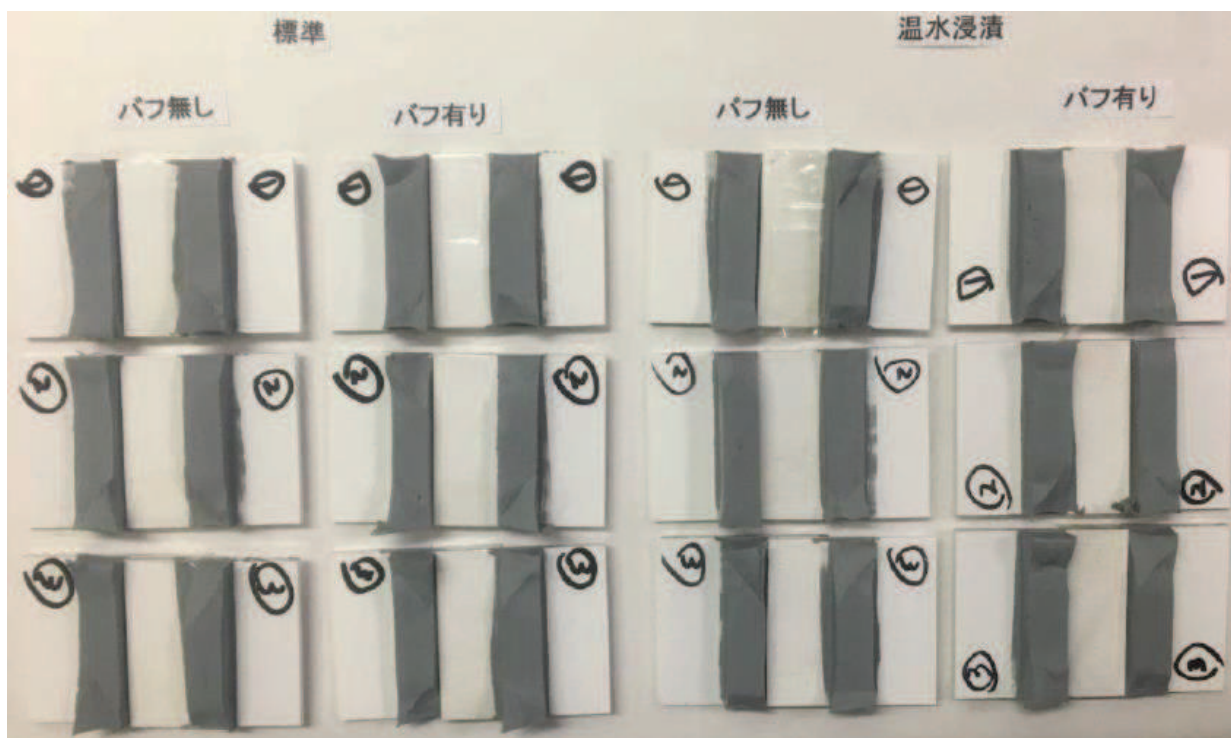


図 6.1.5-27 (1) 接着性（付着性）試験結果（20 μ m ホワイト色-1）

（いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

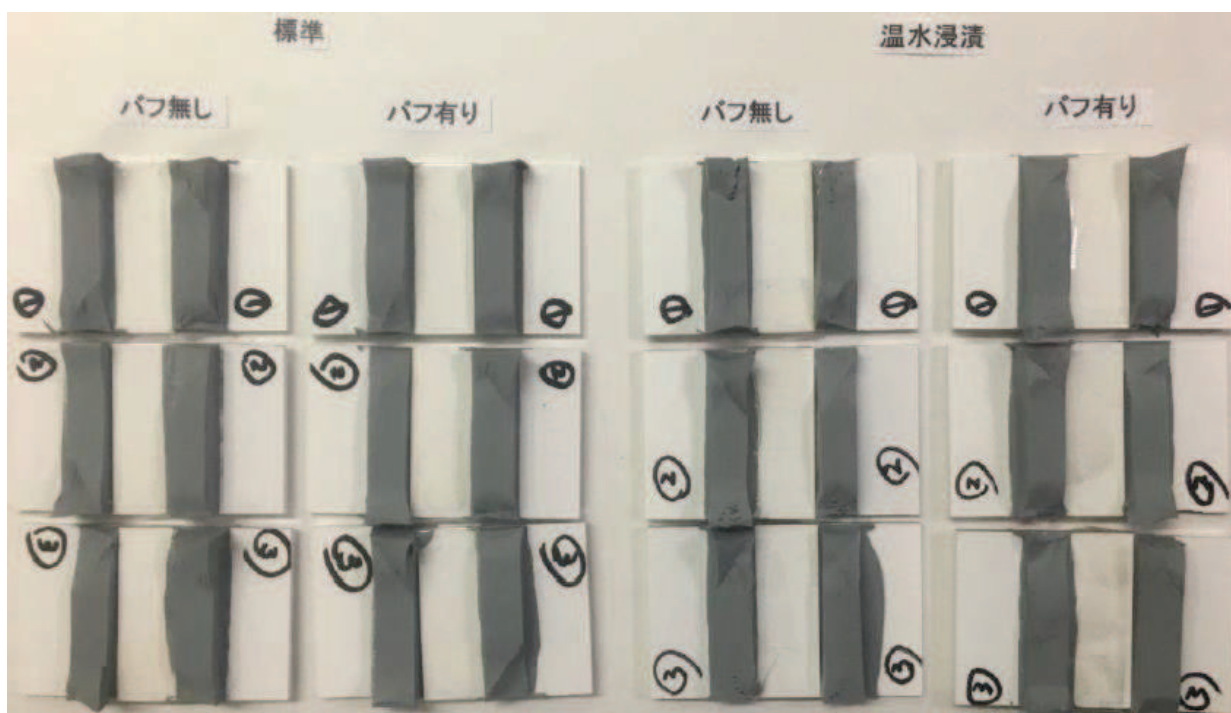


図 6.1.5-27 (2) 接着性（付着性）試験結果（20 μ m ホワイト色-2）

（いずれの試験結果もCFすなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

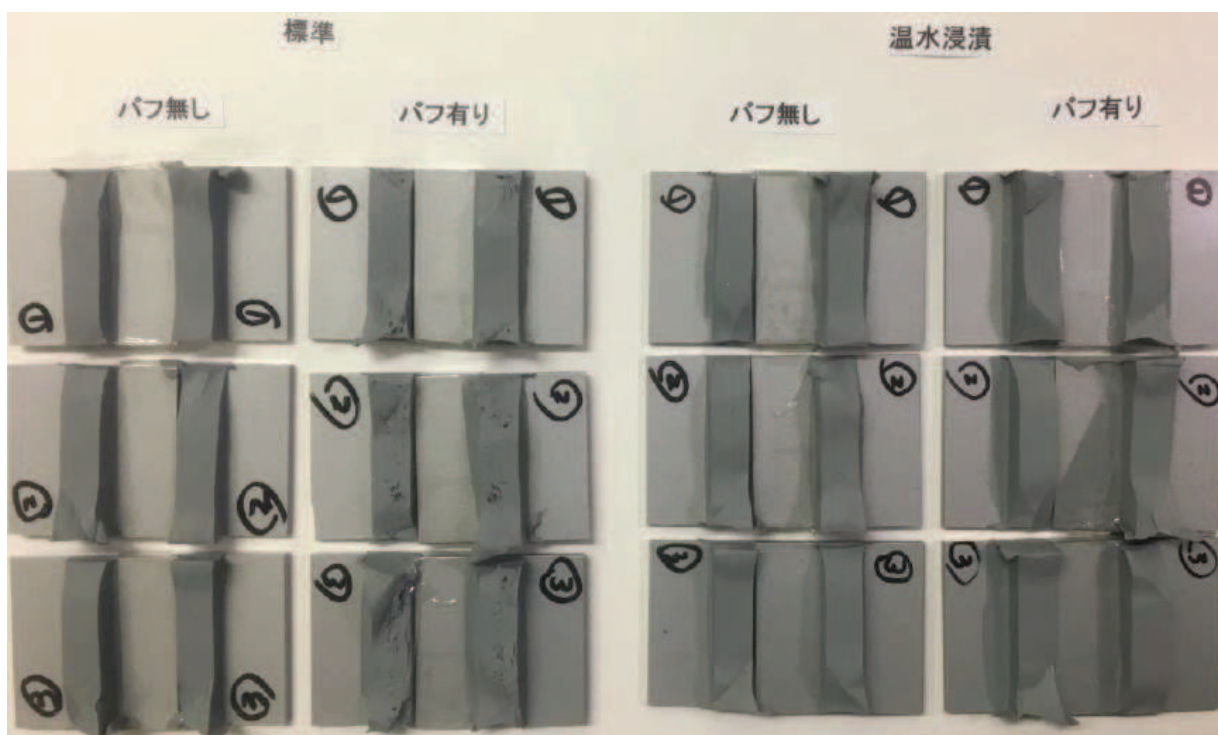


図 6.1.5-27(3) 接着性（付着性）試験結果（40 μm メタリック色-1）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

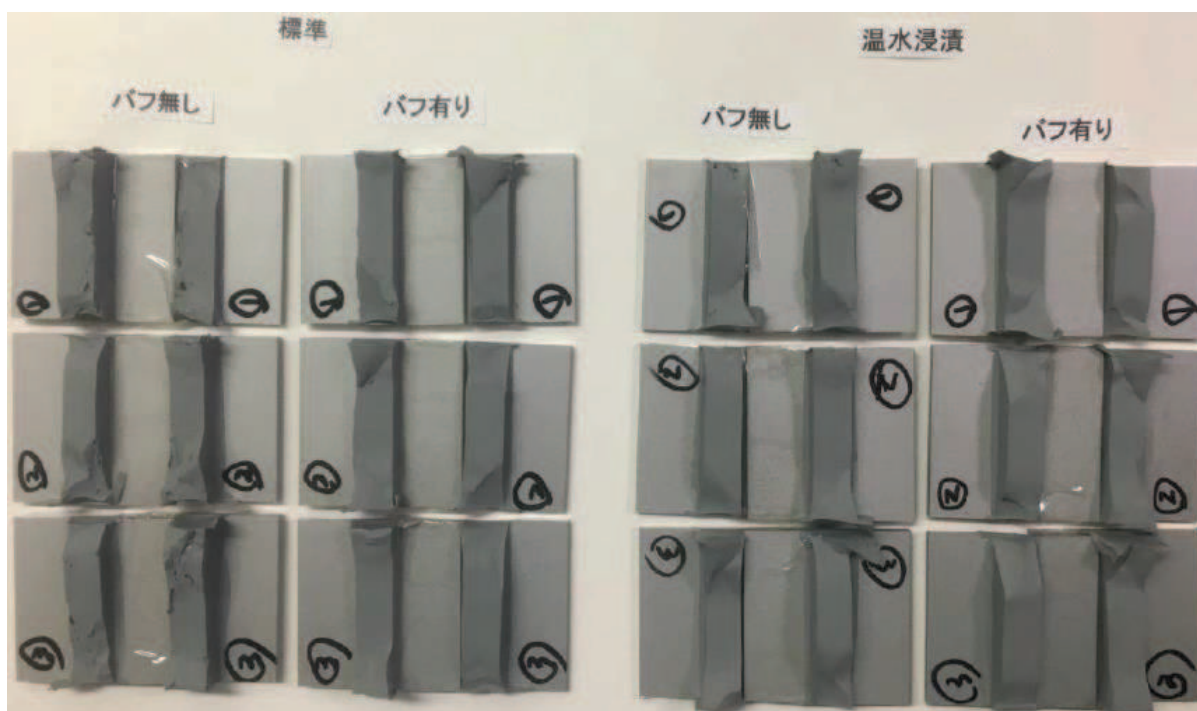


図 6.1.5-27(4) 接着性（付着性）試験結果（40 μm メタリック色-1）

（いずれの試験結果も CF すなわち、シリコン材で切れているため、左右どちらにも灰色のシリコン材が残っていることが確認される）

d. まとめ

鋼製遮水壁と超厚膜塗装の付着力は 2.5 (MPa) 以上、超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装の付着力は 1.8 (MPa) 以上、フッ素樹脂塗装とシリコーン材の付着力は 0.38 (MPa) 以上であり、いずれも耐圧試験の水圧 0.3 (MPa) 以上である。また、フッ素樹脂塗装とシリコーン材の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

以上のことから、超厚膜塗装及びフッ素樹脂塗装が施された鋼製遮水壁にシリコーン材を施工し、シリコーン材に引張力が作用した場合、「鋼製遮水壁と超厚膜塗装」、「超厚膜塗装とフッ素樹脂塗装」、「フッ素樹脂塗装とシリコーン材」の境界で剥れる前にシリコーン材が破壊することを確認した。

(1)～(3)で実施した試験結果からも、耐圧試験ではシリコーン材は健全を維持し、鋼材（無塗装の鋼製遮水壁を模擬）とシリコーン材で剥れることもないことから、シリコーン材を施工する面にプライマーを塗布することで、シリコーン材を施工する境界は十分な付着性を有することを確認した。

3. 許容限界の設定

止水ジョイント部材の変位量の許容限界は、「2. 性能確認試験」を踏まえ、ゴムジョイントとウレタンシリコーン目地でそれぞれ定める。

表 6.1.5-18 に止水ジョイント部材の変位量の許容限界を示す。

表 6.1.5-18 止水ジョイント部材の許容限界（変位量）

| 評価項目 | 許容限界 | 備考 |
|-------------|-------------------------|--------------|
| ゴムジョイント | 伸び：150 mm せん断：350 mm | 試験水圧：0.40MPa |
| ウレタンシリコーン目地 | 伸び：6 mm せん断：30 mm | 試験水圧：0.30MPa |

4. 耐久性

止水ジョイント部材の耐久性能について評価する。

4.1 評価項目

ゴムジョイントについては、ゴムの耐久性能に関する評価項目として、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。

一方、ウレタンシリコーン目地は、シリコーン、ウレタン及びウレタンの型枠としての縁切材で構成されており、ウレタン及び縁切材はシリコーンで覆われているため外部環境と接していないが、シリコーンは外部環境と接している、という特徴がある（図 6.1.5-15）。外部環境と接しているシリコーンについては、一般的に塩害を含む耐久性に優れた材料であり、劣化の恐れがある物質としては、濃硫酸（ H_2SO_4 ）やフッ化水素酸（HF）が挙げられるが、これらは自然界にはない。ただし、上記ゴムジョイントと同様にウレタンを含め、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性を評価項目とする。また、ウレタンについては、「2.2 ウレタンシリコーン目地」で整理したとおり、要求機能にシリコーンのような変形追従性はないため、低温環境下で硬化することの影響評価は不要である。

止水ジョイント部材の評価項目を表 6.1.5-19 に示す。なお、縁切材（ポリエチレン製）は止水機能に対して間接的な役割を担っているものの、汎用品であり、ウレタンを施工するための型枠としてウレタンシリコーン目地内に設置するものであること、上記のとおりシリコーンで覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響がないことを踏まえ、使用実績を確認することとする。

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

熱によって老化（酸化・分解）が促進されることに抵抗する性質。

(2) 耐寒性

低温環境下にさらされ、硬化することによって弾性が失われることに抵抗する性質。なお、耐寒性については、温度が上がれば機能が回復するという点で、耐熱性（耐熱老化性）とは性質が異なる。

(3) 耐候性

屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用に抵抗する性質。

表 6.1.5-19 止水ジョイント部材の評価項目（耐久性）

| 止水ジョイント部材 | | 耐熱性（耐熱老化性） | 耐寒性 | 耐候性 |
|-----------|-------|------------|-----|-----|
| ゴムジョイント | | ○ | ○ | ○ |
| ウレタン | シリコーン | ○ | ○ | ○ |
| シリコーン目地 | ウレタン | ○ | —*1 | —*2 |

注記*1：ウレタンは変形追従性の要求機能がないため、耐寒性の評価不要である。

*2：ウレタンはシリコーンで覆われているため耐候性の評価は不要である。

4.2 ゴムジョイントの評価結果

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムについて、メーカーにて熱老化試験が実施されている。熱老化試験では、70℃、100℃、120℃の3種類の異なる加熱温度下において、加熱前に切断時伸び480%のゴムが、ゴム伸び残存率50%に相当する切断時伸び240%に至るまで、気中において加熱を与え続けた試験を実施している。ここで、ゴム伸び残存率は、経年劣化後の切断時伸びを初期の切断時伸びで除した値と定義される劣化指標で、ゴム伸び残存率50%となる時間をもとに予測寿命が算定される。図 6.1.5-28 に熱老化試験結果を示す。

熱老化試験結果をもとに、ゴム伸び残存率が50%、60%、70%、80%及び90%となる時間と温度の関係をグラフ化したものを図 6.1.5-29 に示す。図 6.1.5-29 により温度20℃、30℃及び40℃におけるゴム伸び残存率と時間の値を読み取り、作成した時間－ゴム伸び残存率の推定線を図 6.1.5-30 に示す。

なお、図 6.1.5-30 にはメーカーにて調査された実際に長時間使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率をプロットしているが、ほぼ推定線上に散布しており調和的である。気中下にて約46年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は50%以上であることが確認されている。

女川地点における月平均気温は、図 6.1.5-31 に示すように通年で約2～23℃の範囲で変化し、年平均気温は約13℃である。ゴムジョイント使用環境の気温を20℃とすると、図 6.1.5-30 よりゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は127年と推定される。

なお、女川地点における月平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に8月であり、保守的にゴムジョイント使用環境の気温を30℃として評価しても、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は38年と推定され、十分な耐熱性を有している。

長期にわたり供用されたクロロプレンゴムの耐久性について調査された事例は少ないが、宇佐美ら（1981*¹、1982*²）は約17年間使用された鉄道橋梁の支承に用いられたクロロプレンゴムは、列車通過に起因する大きな荷重を受けている点で、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に用いられるクロロプレンゴムよりも厳しい条件下で使用されたにもかかわらず、ゴム伸び残存率50%を確保できる耐用年数は85年以上と推定されており、クロロプレンゴムは十分な耐久性能を有していることを示している。

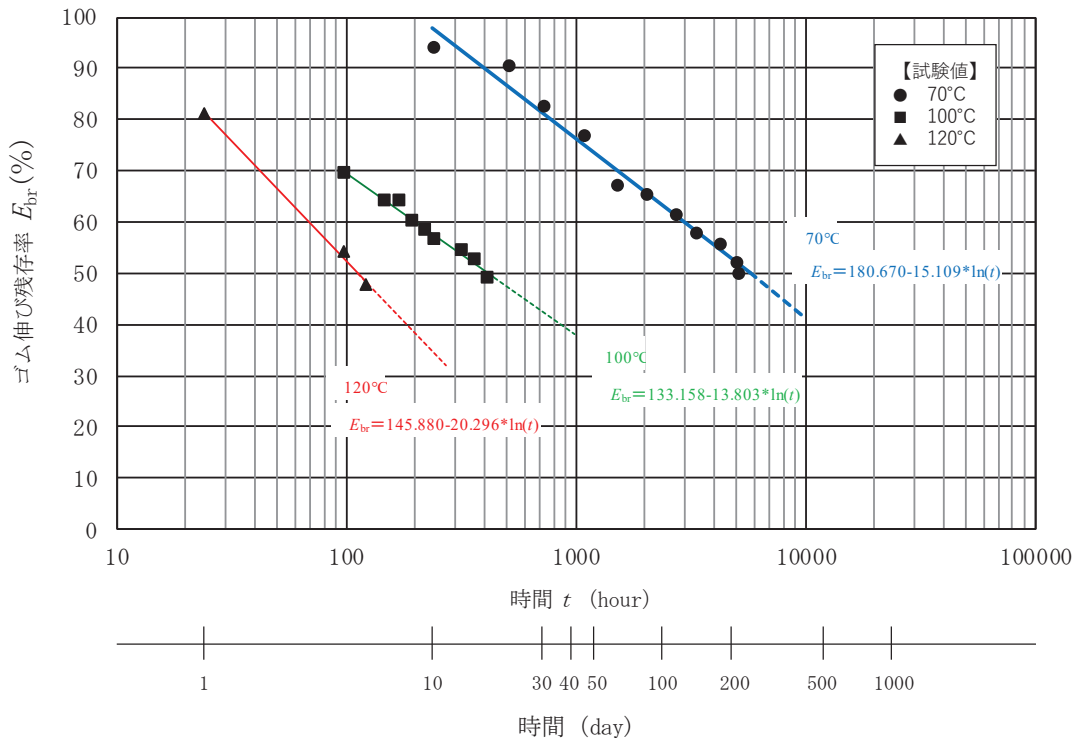


図 6.1.5-28 ゴム材料の熱老化試験結果

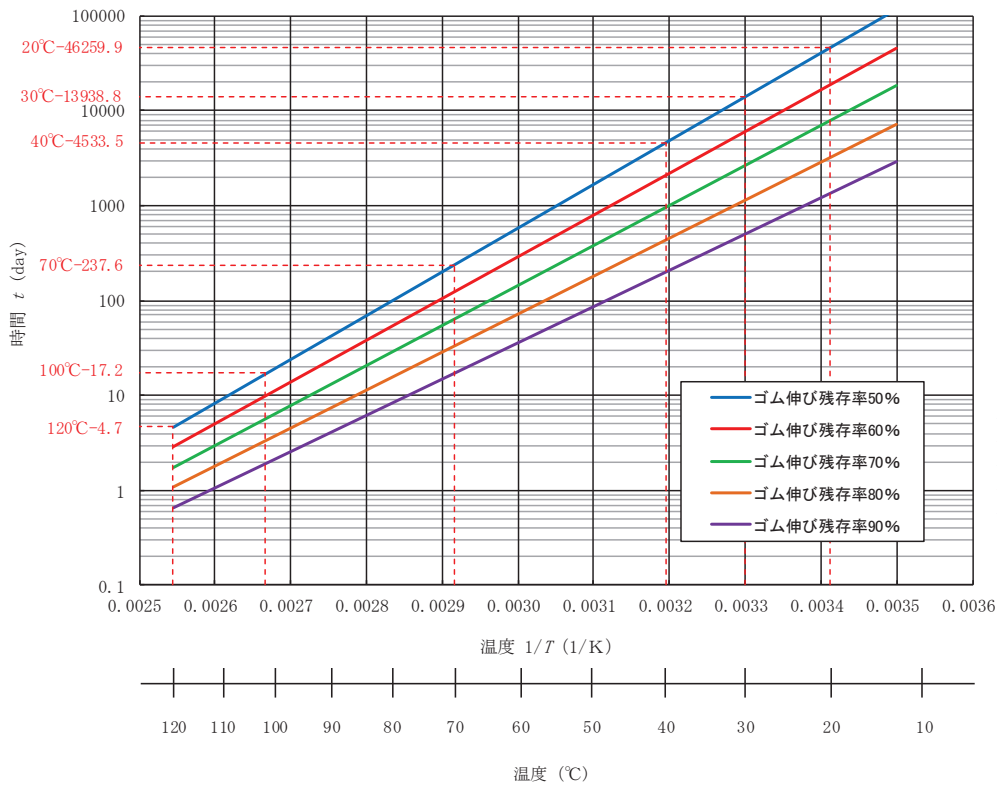


図 6.1.5-29 ゴム材料の残存率に応じた温度と日数の関係

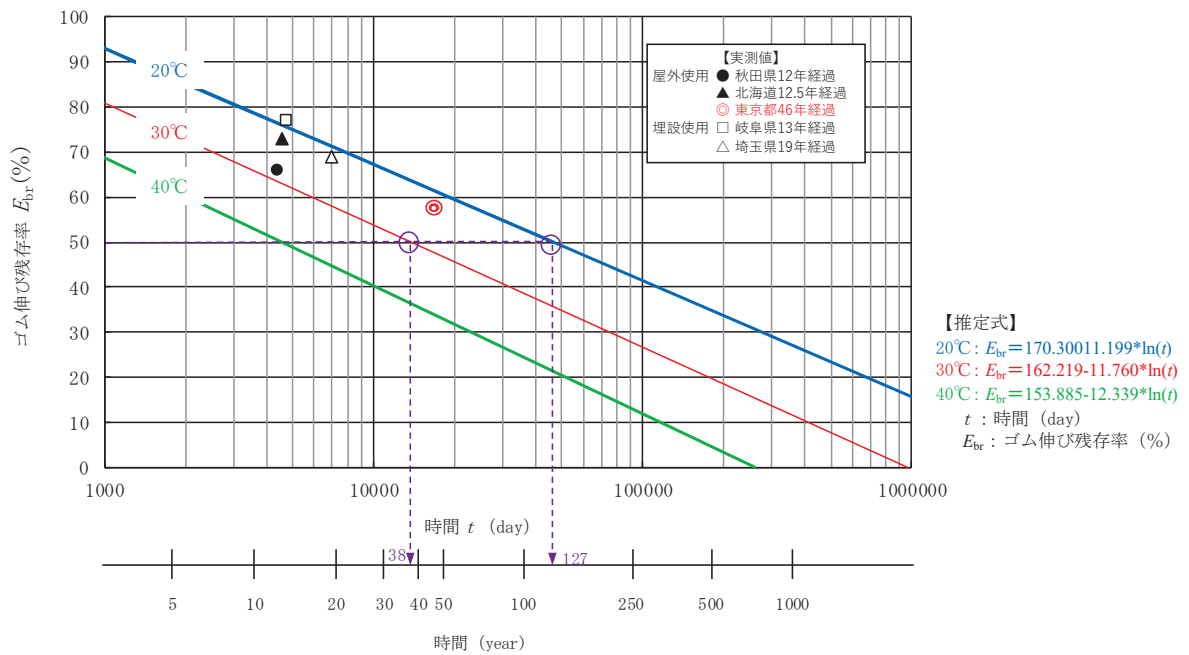


図 6.1.5-30 ゴムジョイントの耐候年数推定結果

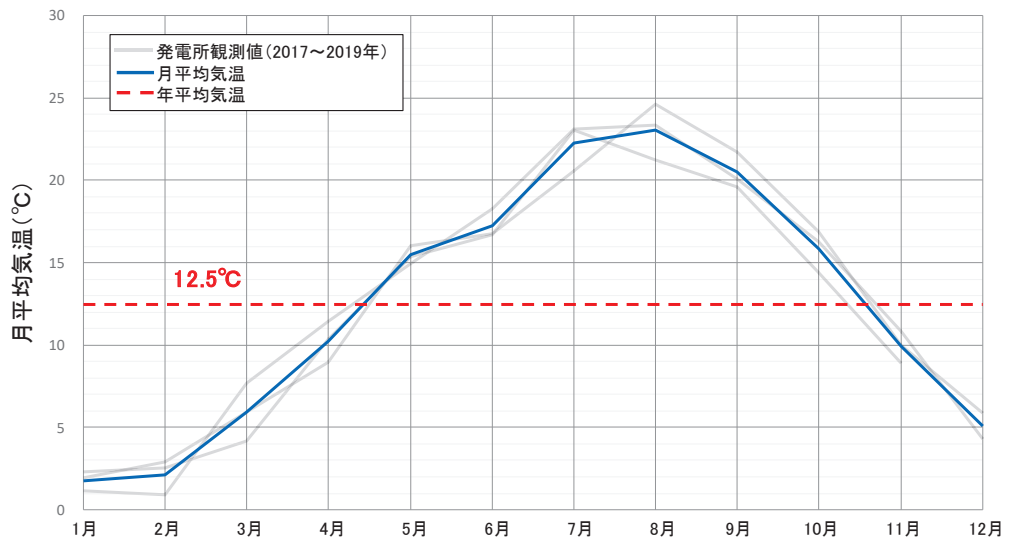


図 6.1.5-31 女川地点における月平均気温

(2) 耐寒性

図 6.1.5-32 に各種加硫ゴムの低温特性値を示す。一般的に、クロロプレンゴムのガラス転移温度（ゴムが温度の低下とともに硬くなり、最後には弾性を失ってもろくなるガラス転移現象が生じる温度で、ガラス転移温度以下ではゴムとしての特性を喪失する）は-40°C程度とされている。

クロロプレンゴムを対象にメーカーにて実施された低温下における引張試験について、図 6.1.5-33 に各試験温度におけるクロロプレンゴムの切断時伸びの結果を示す。比較のため、同図には常温における結果も併記した。温度の低下に伴っ

てクロロプレングムの切断時伸びも低下するが、その変化量はわずかである。また、低温下においても切断時伸びは製品規格値を上回っており、十分な耐寒性を有している。

女川地点における月平均気温は、年平均値は約 13℃で、最低でも約 2℃であることを踏まえると、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレングムを原材料とするゴムジョイントの使用に関して影響はほとんどないと考えられる。

各種加硫ゴムの低温特性値

| ゴムの種類 | カーボンブラック量 phr | 低温特性値 (単位℃) | | | | |
|----------------------|------------------|-------------|-------|----------|----------|----------|
| | | T_g | T_b | T_{10} | T_{50} | T_{70} |
| BR | SRF 50 | -70以下 | -70以下 | — | — | — |
| NR | " | -62 | -59 | -59 | -53 | -48 |
| SBR | " | -51 | -58 | -47 | -41 | -38 |
| IIR | " | -61 | -46 | -56 | -46 | -42 |
| CR (W) | " | -41 | — | -38 | -25 | -6 |
| CR (WRT) | " | -40 | -37 | -37 | -28 | -19 |
| NBR (ハイカー1041) | " | -15 | -20 | -14 | -10 | -7 |
| NBR (ハイカー1042) | " | -27 | -36 | — | — | — |
| CIIR | | | | | | |
| (Esso Butyl HT-1066) | FEF 30 | -56 | -45 | -45 | -32 | -23 |
| CO (ハイドリソ100) | FEF 30 | -25 | -19 | -18 | -12 | -9 |
| ECO (ハイドリソ200) | FEF 30 | -46 | -40 | -36 | -30 | -29 |
| CSM (ハイパロン40) | FEF 40 | -27 | -43 | -6 | +6 | +7 |
| ACM (チアクリル76) | FEF 45 | — | -18 | -18 | -8 | -2 |
| FKM (G-501) | FT 25 | — | -36 | -14 | +9 | +15 |
| T (チオコロールFA) | FEF 30 | -49 | — | -42 | -30 | -18 |
| U (エラストサン455) | FEF 25 | -32 | -36 | -22 | -13 | -7 |

T_g : ゲーマンねじり試験より
 T_b : ぜい化試験より
 T_{10}, T_{50}, T_{70} : T-R試験より

出典 丹野博実:日ゴム協誌, 46, 644 (1973)

図 6.1.5-32 ゴムの低温特性

(非金属材料データブック (日本規格協会) *3, 一部加筆)

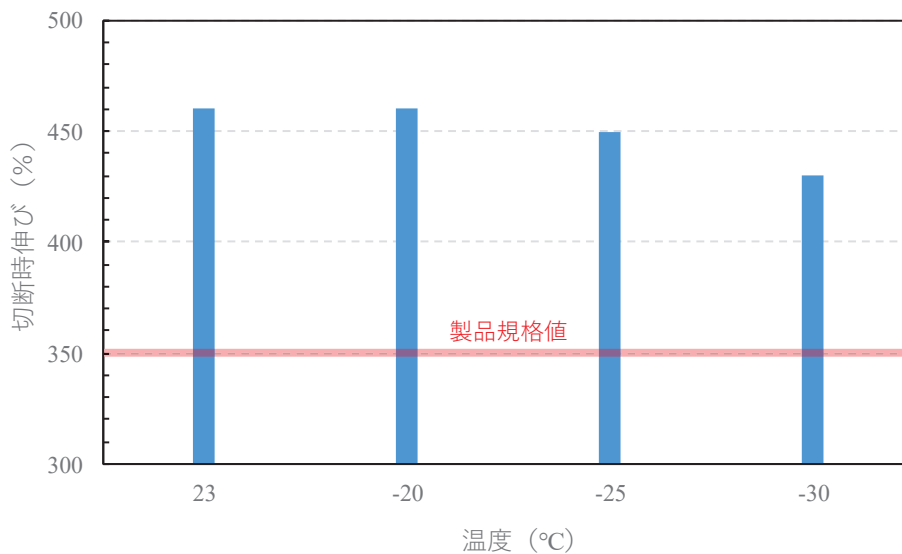


図 6.1.5-33 低温下におけるクロロプレングムの切断時伸び

(3) 耐候性

クロロプレンゴムを対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。耐候性試験は、屋外に長期曝露された状況を想定し、主に日光（紫外線）や雨雪に対する耐性を評価するための試験である。試験体に対し、太陽光に近い人工光源の照射や断続した水の噴霧を与え、自然環境に起因する劣化促進を図っている。耐候性試験をもとに、熱老化試験と同様の整理を経て得られた時間－ゴム伸び残存率の推定線を図 6.1.5-34 に示す。比較のため、図 6.1.5-34 には、熱老化試験より得られた推定線も併記した。熱老化による影響と比較するとゴム伸び残存率の低下は緩やかであり、熱老化よりも影響は少なく十分な耐候性を有している。

なお、ゴムジョイントは防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置され、その海側には漂流物防護工が設置されるから、日光（紫外線）や雨雪等の影響を受けにくいと考えられ、劣化速度は耐候性試験結果よりも更に緩やかになると考えられる。

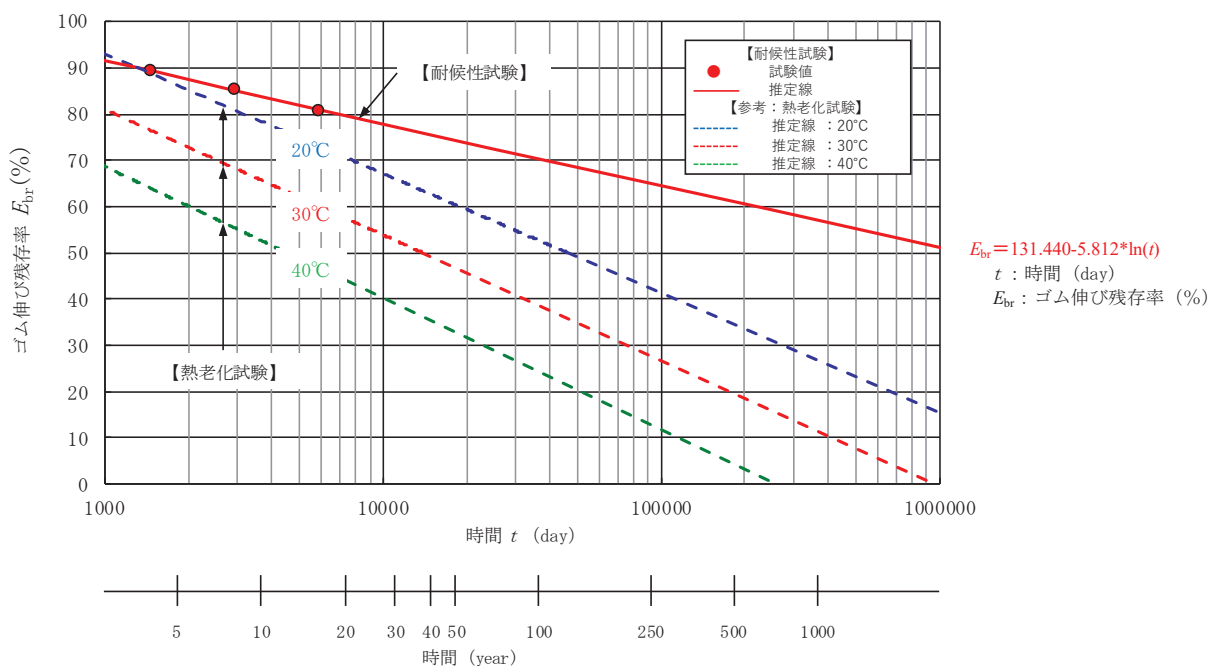


図 6.1.5-34 耐候性試験より推定される時間－ゴム伸び残存率の関係

(4) まとめ

ゴムジョイントの伸縮部材に用いている原材料のクロロプレンゴムに対する耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性について検討した。その結果、クロロプレンゴムの耐久性に最も大きな影響を与える項目は耐熱性（耐熱老化性）であると考えられる。耐熱性（耐熱老化性）について、女川地点における平均気温が約 13°C

であることを踏まえると、ゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 127 年と推定される。

なお、女川地点における平均気温が最高気温に達するのは、年間を通して主に 8 月であり、保守的に評価してもゴム伸び残存率 50%を確保できる耐用年数は 38 年と推定され、十分な耐熱性を有している。また、気中下において約 46 年間屋外で使用されていたクロロプレンゴム製品のゴム伸び残存率は 50%以上であることが確認されている。

以上により、女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるクロロプレンゴムを原材料とするゴムジョイントは、耐熱性（耐熱老化性）、耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

注記 *1：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
(1981)：ゴム支承の経年変化と静的特性，日本ゴム協会誌，55
巻，3号，pp.174-184

*2：宇佐美民雄，渡邊正夫，橘田敏之，米浜光郎，林邦明，長野悦子
(1982)：ゴム支承の経年変化と活荷重の影響，日本ゴム協会誌，
55巻，12号，pp.777-783

*3：日本規格協会（1983） 非金属材料データブック pp.192-193

4.3 ウレタンシリコーン目地の評価結果

長期的な使用のための耐久性に関しては、ウレタンシリコーン目地を構成するシリコーン及びウレタンについてメーカーによる耐候性試験（熱老化試験，乾湿繰り返し試験）により確認する。

(1) 耐熱性（耐熱老化性）

a. シリコーン材（トスシール 361）

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

表 6.1.5-20 に示す養生及び加熱劣化条件で熱劣化試験を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min:50%引張応力（M50），最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を実施している。試験結果を表 6.1.5-21 に示す。

表 6.1.5-21 の試験結果から、いずれの条件下においてもシリコーン材（トスシール 361）に異常は確認されなかった。また、100℃で 365 日加熱促進劣化しても異常がなかったことを踏まえ、女川地点における年平均気温が約 13℃であることを踏まえると、250 年以上物性の変化がなく使用できることになる。

なお、女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23℃であることを踏まえ、保守的に 30℃としたとしても、120 年以上物性の変化がなく使用できることになり、十分な耐熱性を有している。

$$365 \text{ 日} \times 2^8 = 93440 \text{ 日} = 256 \text{ 年}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い, } (100-20)/10=8 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^8 \end{array} \right]$$

表 6.1.5-20 養生及び加熱劣化条件

| | 養生 | 加熱劣化条件 |
|--------------|--------------|--------------|
| ① 標準養生（2成分形） | 23℃50%RH×7日間 | 50℃7日間 |
| ② 加熱劣化 | 標準養生 | 100℃加熱 365日間 |
| ③ 加熱劣化 | 標準養生 | 120℃加熱 365日間 |
| ④ 加熱劣化 | 標準養生 | 150℃加熱 365日間 |
| ⑤ 加熱劣化 | 標準養生 | 175℃加熱 28日間 |
| ⑥ 加熱劣化 | 標準養生 | 200℃加熱 10日間 |

表 6.1.5-21 標準養生後と加熱促進劣化後の引張接着試験結果（H型）

| 条件 | M50 | Tmax | E _{max} | 破壊状況 | | |
|------------|------|------|------------------|------|-----|----|
| | | | | CF | TCF | AF |
| | MPa | MPa | % | % | % | % |
| 標準 | 0.14 | 0.58 | 1480 | 100 | 0 | 0 |
| 100°CX365日 | 0.14 | 0.56 | 1400 | 100 | 0 | 0 |
| 120°CX365日 | 0.13 | 0.62 | 1380 | 100 | 0 | 0 |
| 150°CX365日 | 0.09 | 0.53 | 1180 | 100 | 0 | 0 |
| 175°CX28日 | 0.07 | 0.54 | 1010 | 100 | 0 | 0 |
| 200°CX10日 | 0.06 | 0.50 | 910 | 100 | 0 | 0 |

表中の破壊状況:CF は凝集破壊、TCF は薄層破壊、AF 界面剥離を示す。

b. ウレタン材（エアライトフォーム GK-K700）

ウレタンシリコン目地に用いている原材料のうちウレタン材（エアライトフォーム GK-K700）について、メーカーにて熱老化試験が実施されている。

試験条件を 70°C，95%RH，600 日とした湿熱老化試験（試験片寸法：50×50×50mm）を実施し，経過日数に応じて体積変化率，重量変化率及び圧縮強度を確認した。試験結果を表 6.1.5-22 に示す。

表 6.1.5-22 の試験結果から，600 日経過した時点においても体積変化率，重量変化率及び圧縮強度に変化は生じていないことを確認した。また，70°C で 600 日経過しても異常がなかったことを踏まえ，女川地点における年平均気温が約 13°C であることを踏まえると，50 年以上物性変化なく使用できることになる。

なお，女川地点における月平均気温の最高は 8 月の約 23°C であることを踏まえ，保守的に 30°C としたとしても，26 年以上物性の変化がなく使用できることになり，十分な耐熱性を有している。

$$600 \text{ 日} \times 2^5 = 19200 \text{ 日} \approx 52 \text{ 年}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{アレニウスの式に従い，} (70-20)/10=5 \\ 10^\circ\text{C 上昇することで 2 倍則となるため } 2^5 \end{array} \right)$$

表 6.1.5-22 湿熱老化試験結果（体積変化率、重量変化率及び圧縮強度）

| 湿熱劣化日数（日） | 体積変化率（%） | 重量変化率（%） | 圧縮強度（kgf/cm ² ） |
|-----------|----------|----------|----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 2.86 |
| 40 | +2.5 | +1.2 | 3.13 |
| 80 | +2.7 | +2.3 | 3.13 |
| 160 | +1.2 | +1.8 | 3.01 |
| 240 | +2.3 | +2.6 | 3.30 |
| 360 | +1.3 | +1.1 | 3.18 |
| 480 | -0.4 | +1.9 | 3.20 |
| 600 | +0.4 | +1.0 | 3.26 |

(2) 耐寒性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材（トスシール 361）について、メーカーにて温度変化を踏まえた引張試験が実施されている。試験方法は以下の手順で行っている。

- ① シリコーン材（トスシール 361）を厚さ 2mm のシート状に伸ばし、23℃ 50%RH 雰囲気下で 7 日、その後 50℃ 恒温槽で 7 日養生する。
- ② 硬化後専用打ち抜き型を使用して、JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ③ 規定の温度（200℃、175℃、150℃、125℃、100℃、20℃、-20℃、-40℃、-60℃、-80℃）に 7 日間放置したあと、直ちに以下の試験を行う。
- ④ 2 号ダンベルに打ち抜いたシリコーン材（トスシール 361）を 3 枚重ねて、Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑤ その後、ショッパー引張り試験器を使用して引張特性を評価する。

試験結果を表 6.1.5-23 に示す。その結果、シリコーン材（トスシール 361）は -60℃～150℃ の範囲で硬さ・引張強さ・伸びのいずれの特性もほとんど変化していないことが確認された。女川地点において、月平均気温が最低となるのは 1 月であり、約 2℃ であるため、シリコーン材（トスシール 361）は十分な耐寒性を有している。

表 6.1.5-23 シリコーン材（トスシール 361）の温度による特性

表 トスシール 361 の温度による特性

| 条件 | 硬さ | 引張強さ | 伸び |
|------|----|------|------|
| | | MPa | % |
| 200℃ | 15 | 1.51 | 980 |
| 175℃ | 14 | 1.35 | 1080 |
| 150℃ | 13 | 1.18 | 1480 |
| 125℃ | 12 | 1.14 | 1550 |
| 100℃ | 12 | 1.12 | 1540 |
| 20℃ | 12 | 1.10 | 1580 |
| -20℃ | 12 | 1.07 | 1530 |
| -40℃ | 13 | 1.08 | 1500 |
| -60℃ | 13 | 1.06 | 1460 |
| -80℃ | 17 | 1.67 | 780 |

(3) 耐候性

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のうちシリコーン材を対象とした耐候性試験（ウェザーメーター試験）がメーカーにて実施されている。表 6.1.5-24 に示す養生及び促進曝露劣化条件でウェザーメーター試験（サンシャインカーボンアーク式）を行った後、引張接着性試験（H型）（引張速度 50mm/min：50%引張応力（M50）、最大引張応力（Tmax）及び伸び（Emax）を測定）を行った。試験結果を表 6.1.5-25 に示す。

一般に、サンシャインカーボンアーク式ウェザーメーター照射は 300 時間が 1 年に相当すると考えられており、10000 時間照射は 33 年に相当する。この条件下においても引張強さや伸び等の物性に变化がまったく認められず、凝集破壊の状態にも異常はなかったことから、シリコーン材は十分な耐候性を有している。

表 6.1.5-24 養生及び促進劣化条件

| 試験名 | 養生 | 促進曝露劣化条件 |
|------------------|--------------|---------------------------|
| ① 標準養生 (2成分形) | 23℃50%RH×7日間 | 50℃7日間 |
| ②促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 1000時間 |
| ③促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 1500時間 |
| ④促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 3000時間 |
| ⑤促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 5000時間 |
| ⑥促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 8000時間 |
| ⑦促進曝露劣化 | 標準養生 | サンシャインウェザーメーター 10000時間 |

表 6.1.5-25 標準養生後と促進曝露劣化後の引張接着試験結果 (H型)

| 条件 | M50 | Tmax | Emax | 破壊状況 | | |
|-----------------------|------|------|------|------|-----|----|
| | MPa | MPa | % | CF | TCF | AF |
| | | | | % | % | % |
| 標準 | 0.15 | 0.56 | 1440 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター1000時間 | 0.15 | 0.58 | 1480 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター1500時間 | 0.15 | 0.55 | 1460 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター3000時間 | 0.15 | 0.58 | 1520 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター5000時間 | 0.15 | 0.56 | 1490 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター8000時間 | 0.15 | 0.54 | 1510 | 100 | 0 | 0 |
| サンシャインウェザーメーター10000時間 | 0.15 | 0.56 | 1470 | 100 | 0 | 0 |

表中の破壊状況:CFは凝集破壊、TCFは薄層破壊、AF界面剥離を示す。

また、シリコン材(トスシール 361)の屋外曝露 30年経過品の特性について、以下のとおりメーカーによる試験が行われており、その結果、30年経過した製品と新品では、硬さ、引張強さ及び伸び率に変化がなく、30年経過した製品の外観に顕著な異常はないことを確認している。

試験の実施状況写真を図 6.1.5-35 に、試験結果を表 6.1.5-26 に示す。

【試験方法】

- ① 屋外暴露試験場に仕掛けてあるシリコーン材（トスシール 361）をカッターナイフで慎重に切り取り，外観を目視で確認し，指触でべたつきや硬化に異常がないかを確認する。
- ② 切り取ったシリコーン材（トスシール 361）を 2mm の厚さにスライスしやすくするために，Asker 硬度計 A 型での硬度約 50 の 2 成分アルコール型シーラントを，攪拌混合後トスシール 361 の周りにセットし，23℃50%RH 雰囲気下で 3 日養生する。
- ③ 2 成分アルコール型シーラントが硬化後，カッターナイフを使い，厚さ 2mm になるように，トスシール 361 とアルコール型シーラントをスライスする。
- ④ 専用打ち抜き型を使用して，JIS K 6251 の 2 号ダンベルに打ち抜く。
- ⑤ 2 号ダンベルに打ち抜いたトスシール 361 を 3 枚重ねて，Asker 硬度計 A 型で測定する。
- ⑥ その後，ショッパー引張試験器を使用して引張特性を評価する。

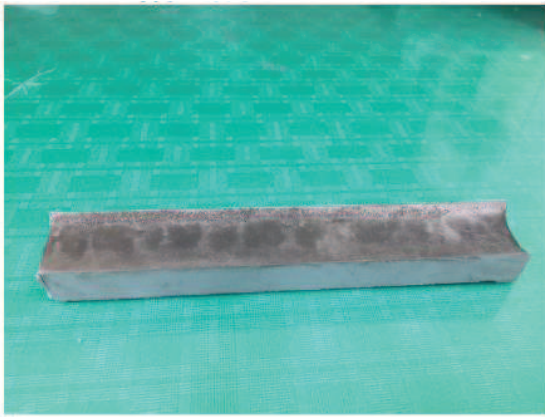


曝露状況

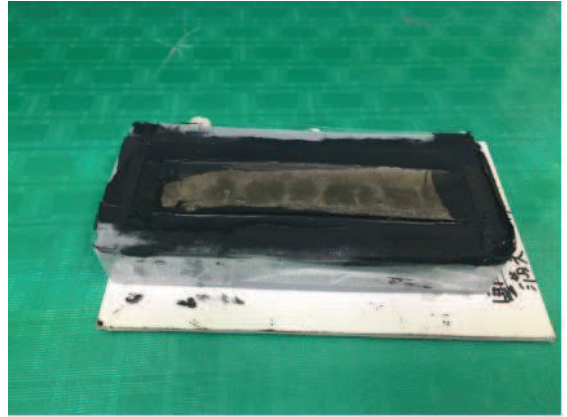


シリコーン材の切り取り状況

図 6.1.5-35(1) シリコーン材の耐候性試験



切り取ったシリコーン材

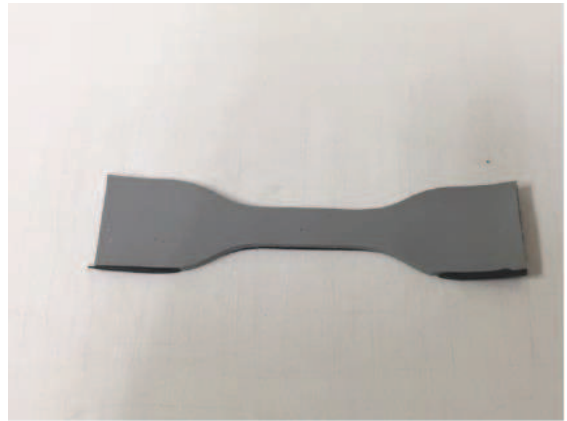


シリコーン材を2成分アルコール型シーラントでサポート

図 6.1.5-35(2) シリコーン材の耐候性試験



シリコーン材を2mmの厚さにスライス



シリコーン材をを2号ダンベルに打ち抜く

図 6.1.5-35(3) シリコーン材の耐候性試験



図 6.1.5-35(4) シリコーン材の耐候性試験 (引張試験)

表 6.1.5-26 30年経過のシリコーン材（トスシール 361）の特性と初期値（新品）平均の比較

| | 30年経過トスシール361 | トスシール361(2015年平均) |
|-----------------------------|---------------|-------------------|
| 外観 | 顕著な異常無し | 異常無し |
| 硬さ | 12 | 12.4 |
| 引張り強さTs(N/mm ²) | 1.14 | 1.01 |
| 伸び(%) | 1600 | 1470 |

「清水ら 2018*¹」及び「鳥居ら 2018*²」によれば、旭川、銚子及び宮古島において屋外曝露試験を行い、15年経過した製品に劣化は確認されないことが報告されている。

なお、ウレタン材及び縁切材については、シリコーン材で覆われているため、屋外曝露状態で受ける、日光（紫外線）や雨雪等の作用は及ばない箇所に位置している。

注記 *1：清水祐介・松村宇・鳥居智之・竹本喜昭・伊藤彰彦：防水材料の耐候性試験 その1 1 静的屋外暴露 15年後の表面劣化状態と物性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）2018年9月．

*2：鳥居智之・清水祐介・伊藤彰彦・竹本喜昭：防水材料の耐候性試験 その1 2 建築用シーリング材の表面のひび割れの程度を尺度とした動的屋外暴露と動的人工光暴露の相関性検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）2018年9月．

(4) 縁切材（ポリエチレン製）の使用実績

ウレタンシリコーン目地に用いている縁切材の原材料はポリエチレンであり、長期間にわたって使用された実績が多数ある。また、同種材料の発泡スチロールでは盛土材料として用いられた事例もある。

1987年10月から1995年2月までの約7年5ヶ月の間、茨城県つくば市（当時）建設省土木研究所で発泡スチロール盛土を実物大規模（盛土構造は高さ3mでダンプトラックの走行が可能な規模）で行い、道路構造体としての挙動並びに自立体としての側方応力の発生状況が報告されている（メーカーカタログ及び「発泡スチロール土工法開発機構（EDO）平成7年度第一回合同部会資料（平成7年11月20日）」）。なお、この試験では盛土材料として埋設されるため、ウレタンシリコーン目地に使用する場合と同様に紫外線が当たらない状況は同じであるが、常時荷重が作用しているため、ウレタンシリコーン目地よりも過酷な条件となっている。

盛土材料の試験結果（表 6.1.5-27）から、いずれの試験体でも7年5ヶ月経過

後の形状寸法、密度及び圧縮強度は規格値（表 6.1.5-28）を満足していることが確認されている。また、地下水位以下のもの、直接土面に接しているものについては、若干の着色変化や汚れが見られたものの、品質の点から新品同様との判断がなされている。

表 6.1.5-27 試験結果（メーカーカタログ引用）

| | 密度 kg/m ³ | 5%圧縮強度 kgf/cm ² | | 密度 kg/m ³ | 5%圧縮強度 kgf/cm ² |
|-----------|----------------------|----------------------------|-----------|----------------------|----------------------------|
| サンプル No.1 | 19.7 | 1.32 | サンプル No.4 | 19.6 | 1.30 |
| サンプル No.2 | 20.0 | 1.36 | サンプル No.5 | 21.1 | 1.42 |
| サンプル No.3 | 21.3 | 1.41 | サンプル No.6 | 20.5 | 1.34 |
| 平均 | | | | 20.4 | 1.36 |

表 6.1.5-28 品質規格（メーカーカタログ引用）

| 項目 | D-20（型内法） | 測定法 |
|--------------------------|---------------------------------------|------------|
| 密度 kg/m ³ | 19-23 | JIS A 9511 |
| 質量 kg/本 | (12. ³ -15. ⁶) | 台秤 |
| 寸法 mm | 縦 1820±10 | 巻尺 |
| | 横 910±6 | |
| | 厚さ 400±5 | |
| 圧縮強度 kgf/cm ² | 0.8以上 | JIS A 9511 |

また、「黒木 2001*」によれば、南極の昭和基地で同種材料を芯材にした断熱パネルの 40 年経過後熱伝導率を測定しており、まったく劣化しておらず、性能が維持されていることを報告している（図 6.1.5-36）。

注記 *：黒木勝一：断面材の種類と素材特性，建築技術 2001 年 2 月号。

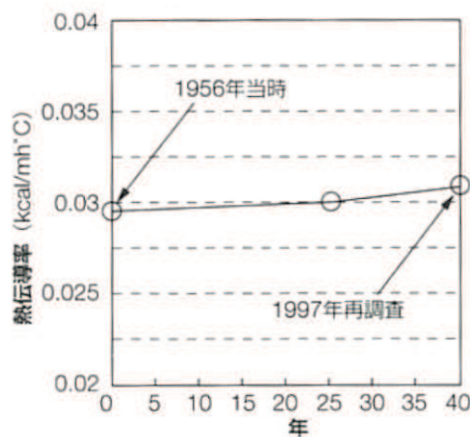


図 6.1.5-36 南極昭和基地の断熱材の熱伝導率変化（40 年経過）（「黒木 2001」引用）

縁切材（ポリエチレン製）と同種材料による２事例については、紫外線の影響がほとんどない状態で長期にわたり十分な耐久性を有していることが確認されている。この使用環境下に対して、ウレタンシリコーン目地で用いる縁切材は完全にシリコーンに覆われており、主たる劣化要因である紫外線の影響が全くない状況となることから、ウレタンシリコーン目地の使用環境下において、縁切材（ポリエチレン製）は十分な耐久性を有している。

(5) まとめ

ウレタンシリコーン目地に用いている原材料のシリコーン材，ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）に対する耐熱性（耐熱老化性），耐寒性，耐候性及び使用実績について検討した。その結果，ウレタンシリコーン目地の耐久性としては，シリコーン材及びウレタン材の耐熱性（耐熱老化性）が最も大きな影響を与える項目であると考えられる。ただし，この耐熱性（耐熱老化性）について，女川地点における平均気温が 20℃であることを踏まえると，シリコーン材は 250 年以上物性に変化はなく，ウレタン材は 50 年以上物性に変化はないと推定される。

以上により，女川地点の防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置されるシリコーン材，ウレタン材及び縁切材（ポリエチレン製）を原材料とするウレタンシリコーン目地は，耐熱性（耐熱老化性），耐寒性及び耐候性に関する耐久性能を有していることを確認した。

5. 維持管理方針の検討

止水ジョイント部材（ゴムジョイント：クロロプレン，ウレタンシリコーン目地：シリコーン材，ウレタン材及び縁切材）の維持管理は，部材の劣化，変状の発生・進行を把握し，許容限界を満足することを確認することを目的に，定期的な目視点検及び暴露試験を行う。

点検時期や点検方法について表 6.1.5-29 に示す。なお，詳細は別途定める保全計画に基づくものとして保安規定及び個別文書に示す。

表 6.1.5-29 点検時期および点検方法

| 時期 | 分類 | | 時期，頻度 | 方法 |
|---------|------|------|----------------------------------|---------------|
| 維持管理開始時 | 初回点検 | | 竣工直後 | 定期点検に準じる |
| 供用中 | 点検 | 巡視点検 | 1回/月 ^{*1} | 双眼鏡等を用いた目視点検 |
| | | 定期点検 | 1回/年 ^{*1} | 足場等を用いた目視点検 |
| | 暴露試験 | | 1回/月 ^{*2} | 暴露試験体の目視点検 |
| | | | 1回/年 ^{*1} (竣工後15年以降) | 暴露試験体を用いた引張試験 |

注記*1：ゴムジョイント及びシリコーン材を対象とする。

*2：ウレタン材及び縁切材を対象とする。

(点検)

- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に巡視点検（1回/月），並びに定期点検（1回/年）による外観目視点検を行う。
- ・ 巡視点検では可視範囲で，定期点検では足場等を用いて全範囲を点検し，劣化及びひび割れ等の不具合の有無を確認するとともに，必要に応じ試験等を行う。

(暴露試験)

- ・ ウレタン材及び縁切材を対象に，目視点検（1回/月）を行う。
- ・ ゴムジョイント及びシリコーン材を対象に暴露試験体の伸び量等を測定（引張試験）し，設置当初からの変化率から性能劣化の程度を評価する。
- ・ 試験頻度は，設計値，劣化予測結果及び供用期間並びに暴露環境等を考慮して施工後15年以降1回/年行う。

(補修，取替え)

- ・ 点検により損傷等が確認された場合は，速やかに補修・取替えを行う。

6. ウレタンシリコーン目地の施工方法について

ウレタンシリコーン目地の施工フローを 図 6.1.5-37 に、施工状況を 図 6.1.5-38 に示す。なお、 図 6.1.5-15 で示したように、ウレタンと縁切材は海側、山側（敷地側）及び天端がシリコーンで覆われており、シリコーンの下端部は背面補強工内に約 5cm の深さまで施工している。

「2. 性能確認試験」で行った性能確認試験では 図 6.1.5-37 の施工フローに従って試験体を製作していることから、試験で確認された性能は、実機でも発揮できるものと考ええる。

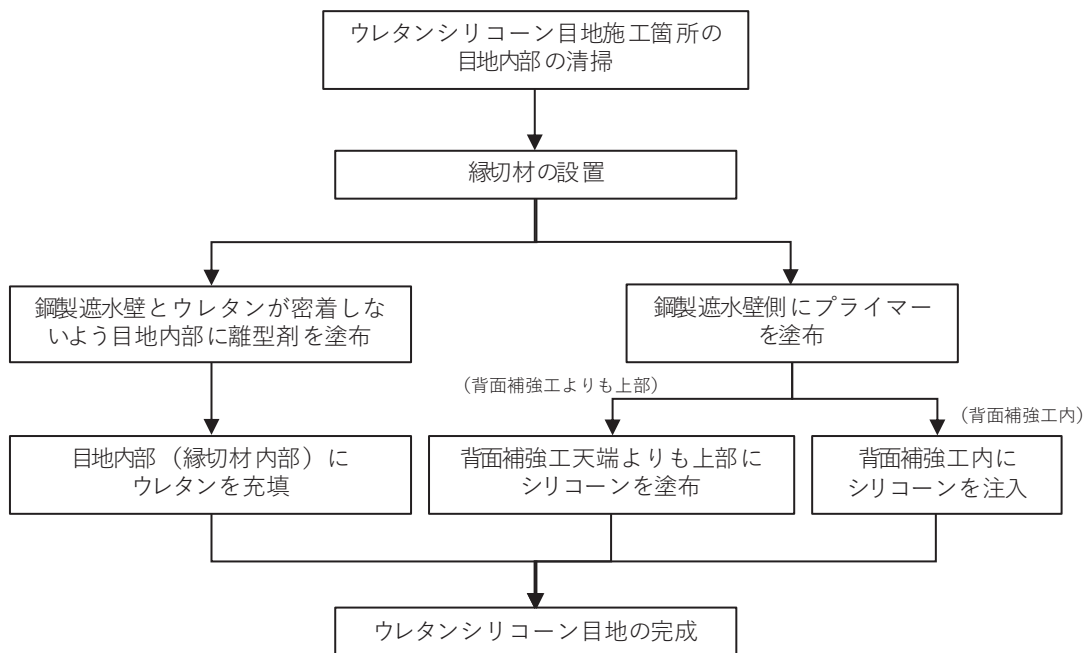


図 6.1.5-37 ウレタンシリコーン目地の施工フロー

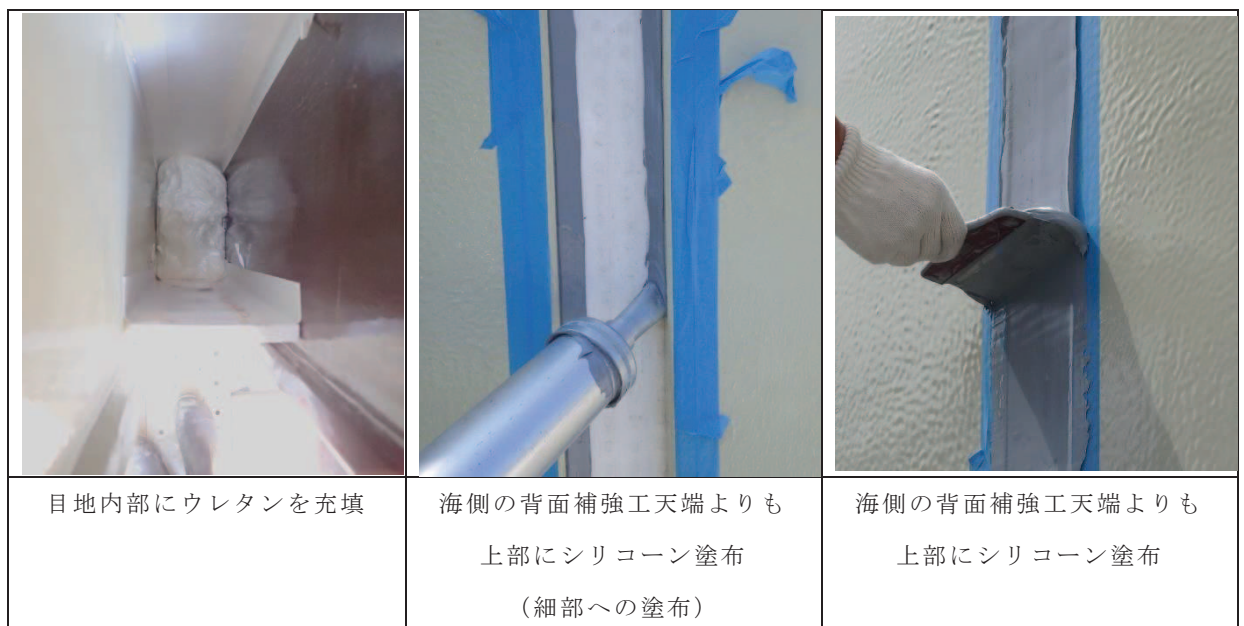


図 6.1.5-38 (1) ウレタンシリコーン目地の施工状況

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>背面補強工内の深さ約 5cm まで シリコーンを注入(山側(敷地側))</p> | <p>シリコーン注入後 (山側(敷地側))</p> | <p>シリコーン注入後 (海側)</p> |

図 6.1.5-38(2) ウレタンシリコーン目地の施工状況

(参考資料1) ゴムジョイント下端部の詳細について

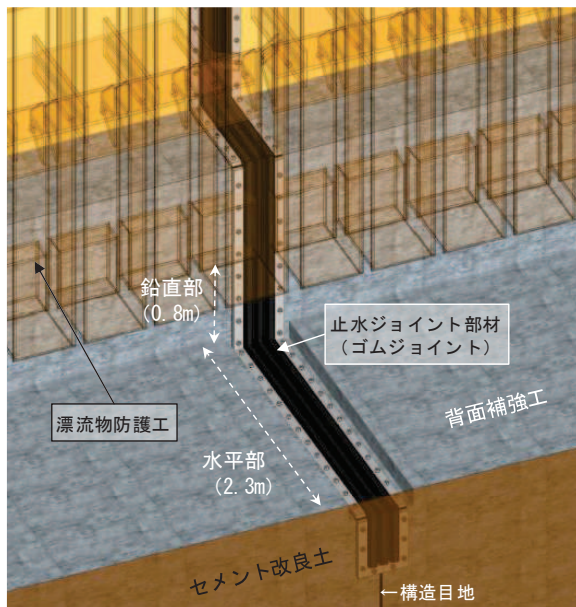
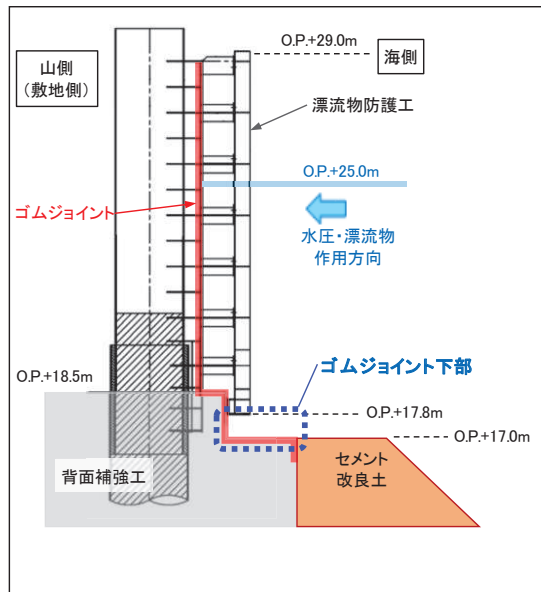
図 6.1.5-2 に示すように、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の背面補強工には構造目地部があることから、背面補強工がある区間に設置するゴムジョイントについては、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することとしている。

ゴムジョイントの下端部の詳細を図 1 に示す。

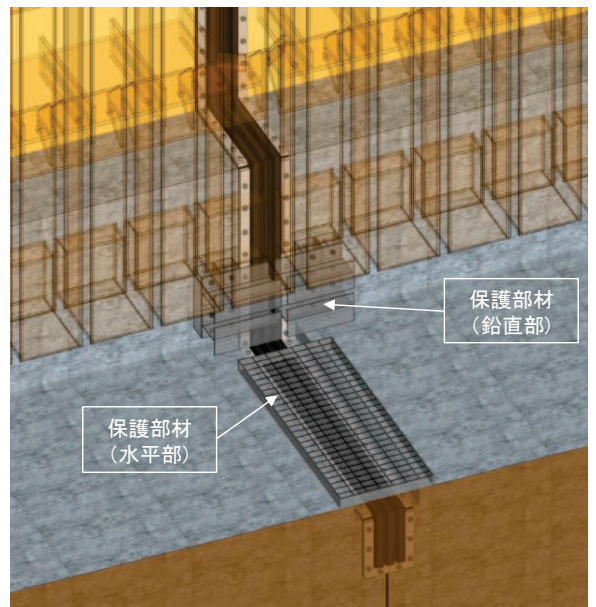
海側の背面補強工天端 (O.P. +17.0m) から漂流物防護工下端 (O.P. +17.8m) は 80cm の高さがあるが、衝突対象である車両が衝突するために必要な浸水深は 0.914m (3 フィート) 以上であること (ASCE (2016) 参照)、衝突対象である FRP 製船舶 (総トン数 5t) 及び FRP 製船舶 (総トン数 19t) の喫水は 1m 以上あることから、この 80cm の間には漂流物は衝突しない。

ただし、寸法の小さい漂流物による影響を防止するため、O.P. +17.8m～O.P. +17.0m の鉛直部及び O.P. +17.0m の水平部のゴムジョイントにはゴムジョイントを構成する部材として鋼製の保護部材を取り付けることとする。

本資料では、ゴムジョイント下端部の水平部及び鉛直部の鋼製保護部材の地震時、津波時及び重畳時の健全性を確認する。



(保護部材設置前の状態)



(保護部材の設置イメージ)

図1 ゴムジョイントの下端部の詳細

1. 水平部

ゴムジョイント下端部の水平部は、図2に示すように、上方からの寸法の小さい漂流物に対してゴムジョイントを保護する目的でゴムジョイントを覆うようにグレーチングを保護部材（以下「保護部材（水平部）」という。）として設置する。

ゴムジョイントが設置される構造境界部には、せん断方向及び伸び方向の変位が生じることから、保護部材（水平部）は、これらの変位（地震時の最大でせん断方向 209.5mm, 伸び方向 22.2mm）による影響が生じないように、片側のみ背面補強工にボルトで固定し、逆側は背面補強工に固定しないこととする（図2参照）。

このような構造特徴を踏まえ、地震時には保護部材（水平部）を固定するボルトの引抜き及びせん断の照査を行うこととする。また、津波時には、保護部材（水平部）が隙間の多い構造であることから津波による水圧（上から下に作用する力）はほとんど作用せず、設置箇所が水平部であるため漂流物の衝突も生じないが、津波第一波襲来後の引き波時に漂流物が保護部材（水平部）上に残置される可能性は否定できないため、津波第一波で到達する可能性のある漂流物のうち最も重量のある 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。なお、重畳時については、地震時の慣性力の方が大きくなるのが自明であるため、地震時の評価に包絡される。

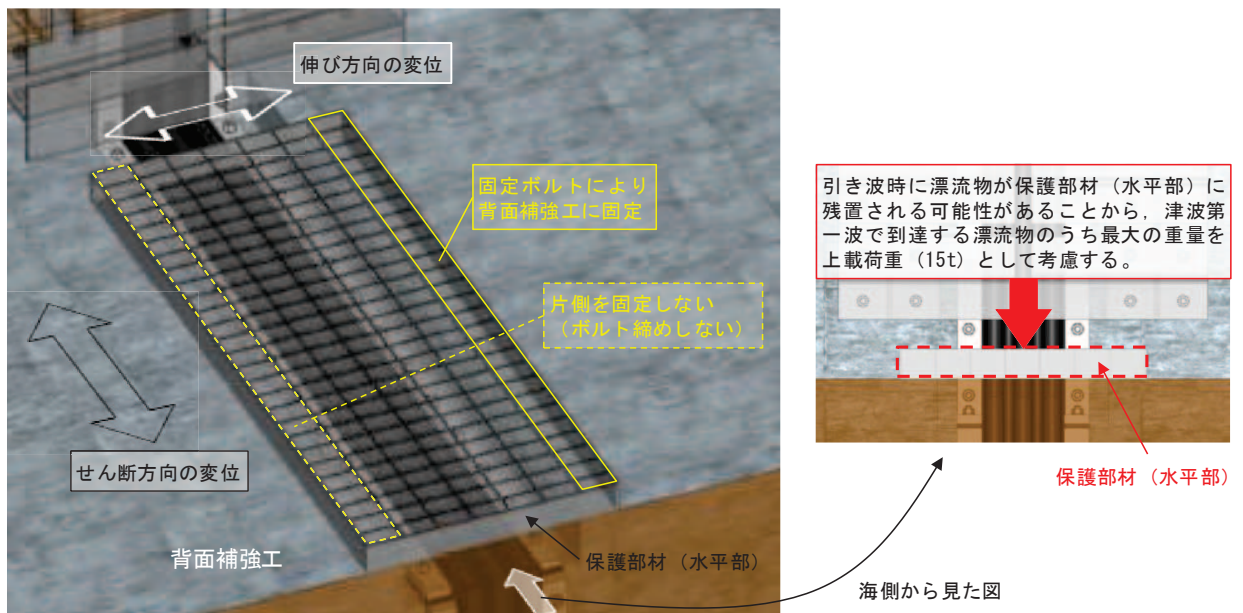


図2 ゴムジョイントの下端部（水平部）の詳細

1.1 地震時（水平部）

地震時には基準地震動 S_s による地震力を考慮し，保護部材（水平部）の固定ボルトに生じる引張力及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。表 1 に保護部材（水平部）の固定ボルトの許容限界を示す。

表 1 保護部材（水平部）の固定ボルトの許容限界

| 鋼材 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|----|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | 強度区分 追而 | 許容引張応力度 σ_{sa} | 追而 |
| | 許容せん断応力度 τ_{sa} | 追而 | 追而 |

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。

地震時において，鋼管杭に発生する最大加速度から算出される最大震度は「6.1.1 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明」の「4.3 鋼製遮水壁及び漂流物防護工」に示しており，図 3 のとおりである。図 3 の下端は O.P. +18.5m であり，背面補強工の天端と同じ標高であるため，この標高の最大震度に対して余裕を考慮して，設計水平震度を 2，設計鉛直震度を 2 とした。

保護部材（水平部）の固定ボルトの照査結果を表 2 に示す。この結果から，保護部材（水平部）の固定ボルトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

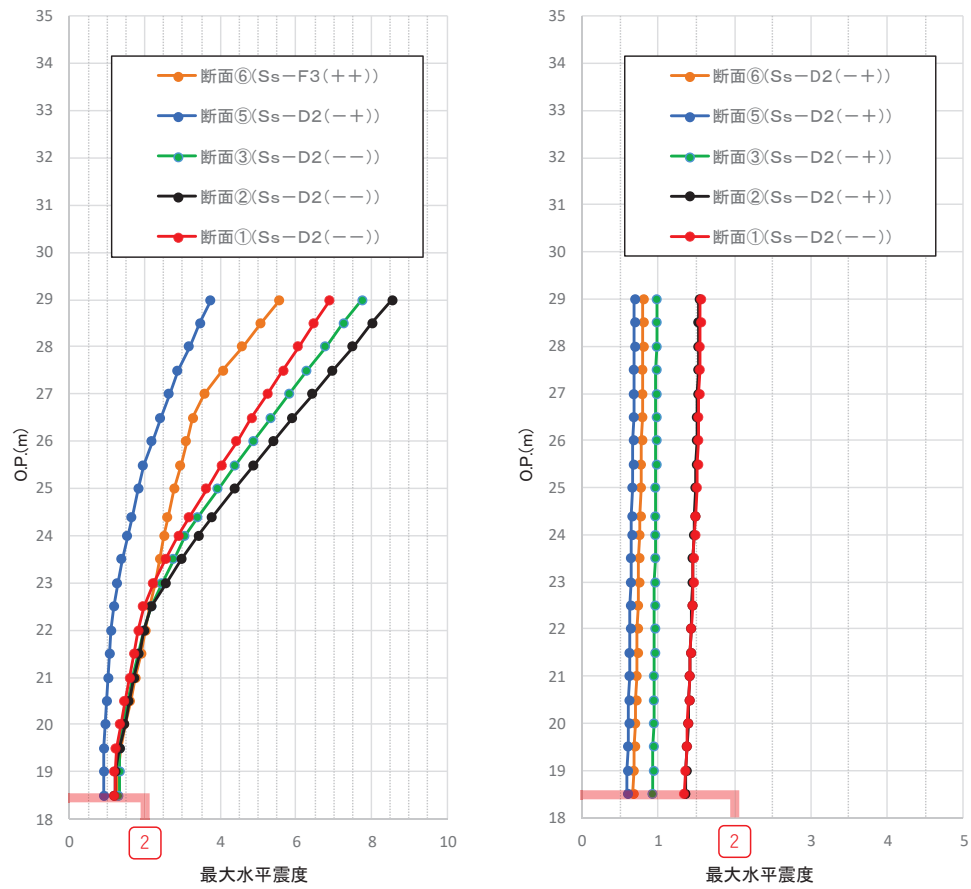


図3 最大震度分布

表2 保護部材（水平部）の固定ボルトの照査結果

| 部材 | 材質 | 応力成分 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) |
|-------|------------|--------------------------------|------------|-------------|--------------|
| 固定ボルト | 強度区分 追而 | 引張応力度 (N/mm ²) | 追而 | 追而 | 追而 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 追而 | 追而 | 追而 |

1.2 津波時（水平部）

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方針であるため、照査は省略する。

2. 鉛直部

保護部材（鉛直部）は、図4に示すようにゴムジョイントを覆うように鋼製の角型鋼管とH鋼を固定ボルトにより背面補強工に固定する構造とする。保護部材（鉛直部）についても、ゴムジョイントが設置される構造境界部でせん断方向及び伸び方向の変位による影響が生じないように、両側の背面補強工からH鋼を片持ちばりの構造とする（図4参照）。

このような構造特徴を踏まえ、地震時、津波時及び重畳時の照査を行うこととする。

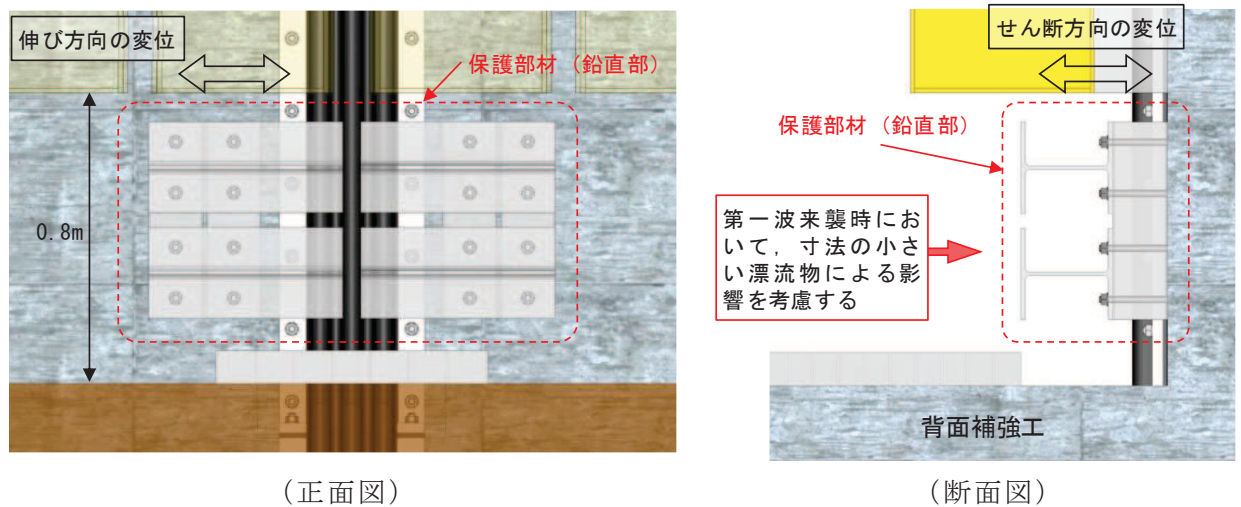


図4 保護部材（鉛直部）の正面及び断面図

2.1 地震時（鉛直部）

地震時には基準地震動 S_s による地震力を考慮し、保護部材（鉛直部）の固定ボルトに生じる引張力及びせん断力よりそれぞれ算定される応力が許容限界以下であることを確認する。表 3 に保護部材（鉛直部）の固定ボルトの許容限界を示す。

表 3 保護部材（鉛直部）の固定ボルトの許容限界

| 鋼材 | 許容応力度 (N/mm ²) | | 短期許容応力度* (N/mm ²) |
|------------|-------------------------------|----|----------------------------------|
| 強度区分 追而 | 許容引張応力度 σ_{sa} | 追而 | 追而 |
| | 許容せん断応力度 τ_{sa} | 追而 | 追而 |

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。

保護部材（鉛直部）の固定ボルトの評価に用いる設計水平震度及び設計鉛直震度は、保護部材（水平部）の固定ボルトの評価と同様に、設計水平震度を 2、設計鉛直震度を 2 として評価を行った。

保護部材（鉛直部）の固定ボルトの照査結果を表 4 に示す。この結果から、保護部材（鉛直部）の固定ボルトの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4 保護部材（鉛直部）の固定ボルトの照査結果

| 部材 | 材質 | 応力成分 | 応力度 (a) | 許容限界 (b) | 照査値 (a/b) |
|-------|------------|--------------------------------|------------|-------------|--------------|
| 固定ボルト | 強度区分 追而 | 引張応力度 (N/mm ²) | 追而 | 追而 | 追而 |
| | | せん断応力度 (N/mm ²) | 追而 | 追而 | 追而 |

2.2 津波時（鉛直部）

保護部材（鉛直部）は、図4のとおり高さ0.8mの範囲に設置すること、保護部材（鉛直部）の内側（ゴムジョイントがある側）には下方から容易に津波が侵入できる構造となっていることから、保護部材（鉛直部）に遡上津波荷重は作用しない。

また、前述のとおり、漂流物による衝突は生じないものの、寸法の小さい漂流物が保護部材（鉛直部）に影響を及ぼす可能性は否定できないため、寸法の小さい漂流物による荷重を考慮することとする。なお、寸法の小さい漂流物による荷重については、衝突速度13m/sとし、「4.3 漂流物による衝突荷重について」の「(参考1) 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）について」で示した、東北地方太平洋沖地震直後の敷地内での調査で確認された直径5cmの木片を想定する。木片の長さは1m前後のものが大半であるが、保守的に長さ2mとした場合、荷重としては約100(kN)となるが、津波の不確実性を踏まえ、安全側の評価となるような2倍の荷重として200(kN)を考慮する(表5)。

表5 寸法の小さい漂流物による衝突荷重の算定

| 種類 | 質量(kg) | 適用式 | 衝突速度 (m/s) | 衝突荷重 (kN) | 評価用衝突荷重 (kN) |
|----|--------|------------|---------------|--------------|-----------------|
| 木片 | 4* | FEMA(2012) | 13 | 98.7 | 200 |
| | | 松富(1999) | 13 | 74.1 | |
| | | 有川(2010) | 13 | 73.8 | |

注記*：直径5cm、長さ200cmの木片に、浮遊する限界の単位体積重量 $1\text{g}/\text{cm}^3$ を用いた場合、約3.93kgであるため、4kgと設定した。

以下に、保護部材（鉛直部）の照査方法を示す。

追而

2.3 重畳時（鉛直部）

重畳時においては、津波時と同様に遡上津波荷重は作用しない。また、弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による地震力は、明らかに基準地震動 S_s よりも小さいことから重畳時の評価は地震時に包絡される。

(参考資料 2) 設計水圧 (0.3MPa) を超える水圧に対するウレタンシリコーン目地の性能確認試験 (試験水圧 : 0.34MPa) について

ウレタンシリコーン目地の変形試験及び耐圧試験は、先述で示した No.9 及び No.10 の他に No.11 の試験体でも行っていることから、その試験結果について示すものである。

1. 試験条件 (試験変位量, 水圧)

試験条件として表 1 に示す変位量, 水圧を作用させる。加圧時間は津波の作用時間を考慮して 10 分以上を基本とし、本試験では更に保守的に 30 分間とした。加圧時間中及び加圧時間経過後、表 6.1.5-11 に示す試験での確認事項を確認する。

ウレタンシリコーン目地に作用する水圧は、「1.2 (2) 試験水圧」で示したとおり、最大で 280.6kN/m² (0.2806MPa) であるが、海水に浮遊砂が混入した状況を念のため想定し、海水密度を 1.1g/cm³ と仮定した場合、299.67kN/m² であり、ウレタンシリコーン目地の試験水圧 300kN/m² に対して余裕が少ないことから、1 割以上の余裕を確保するため 0.34MPa (340kN/m²) とした。

また、上記水圧は背面補強工の天端 (ウレタンシリコーン目地の設置範囲の下端部) で生じるが、この位置での変位はほとんど生じないため、伸び方向の変位については「6.1.6 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」で評価した伸び方向の最大変位 (重畳時の H 区間 : 3.2mm) を踏まえて 4mm とした。ただし、せん断方向の変位量は No.9 及び No.10 と同様に 30mm とした。

ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フローを図 1 に、変形・耐圧試験の状況を図 2~8 に示す。

表 1 ウレタンシリコーン目地の試験条件

| 試験 No. | 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 必要耐圧 保持時間 |
|--------|------|--------------------|---------|--------------|
| No. 11 | 変形試験 | 伸び 4mm せん断 30mm | / | / |
| | 耐圧試験 | 伸び 4mm せん断 30mm | 0.34MPa | 10 分以上* |

注記 * : 加圧時間は必要耐圧保持時間に対し、十分な余裕をもって 30 分間とした。

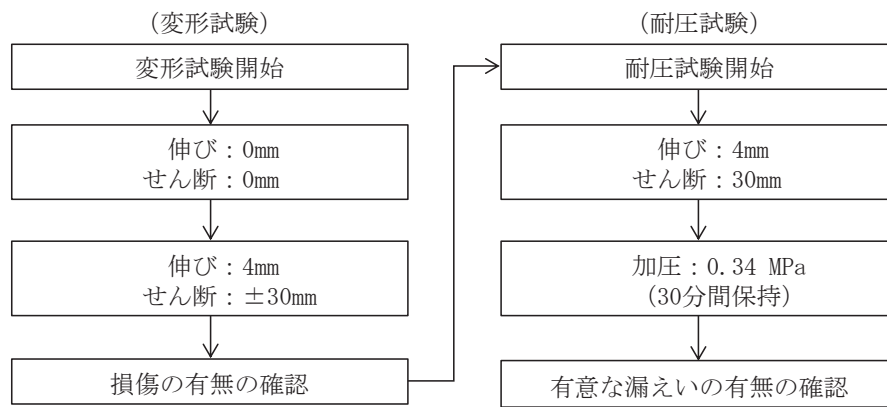


図1 ウレタンシリコーン目地の性能確認試験フロー

2. 試験状況写真

(1) 変形試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm)

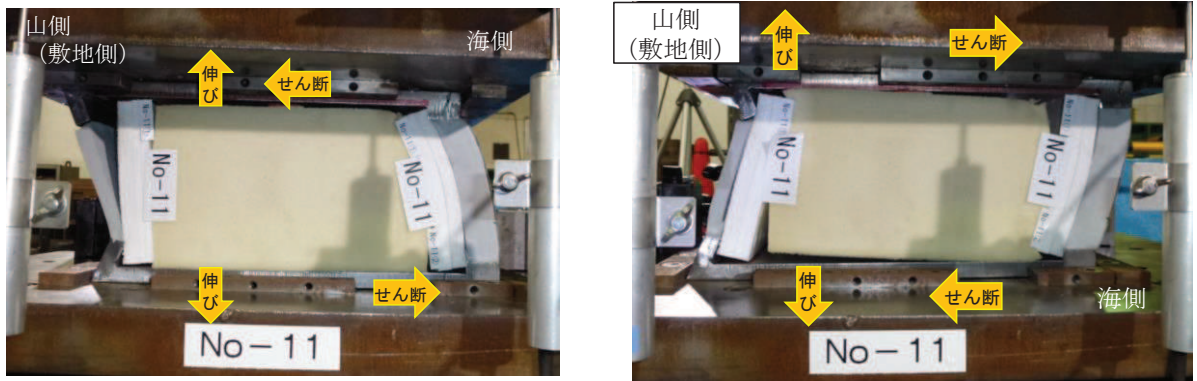
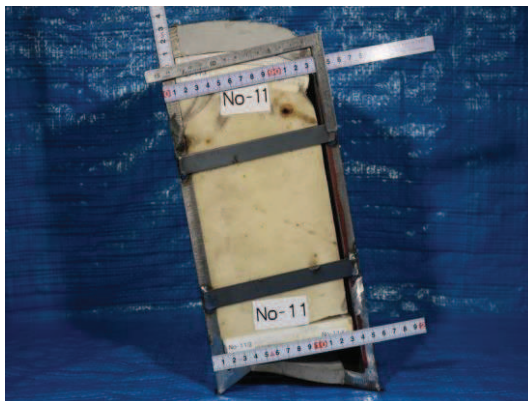


図2 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)



(写真上方が津波作用側)



(写真上方が津波作用側)

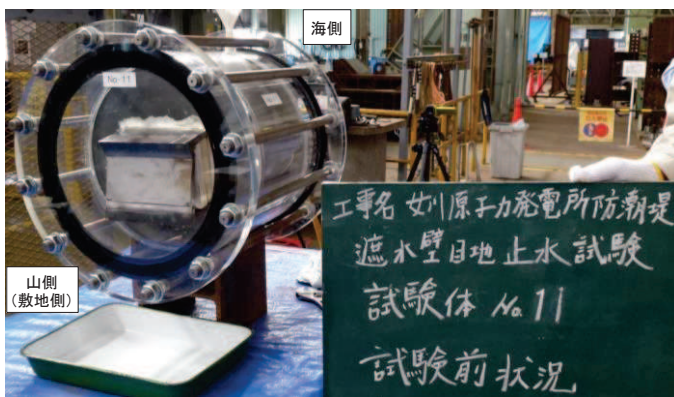
図3 ウレタンシリコーン目地変形試験状況
(試験体 No. 11, 伸び 4mm, せん断 30mm)
(耐圧試験を実施するため, 変形状態を保持)

(2) 耐圧試験状況確認 (伸び 4mm, せん断 30mm, 水圧 0.34MPa)

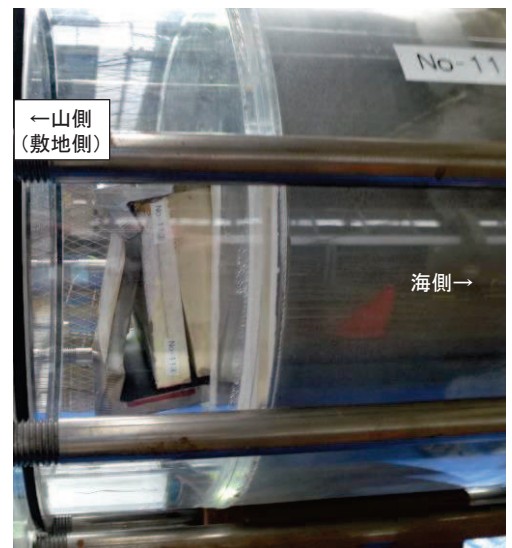


加圧前状況 (海側)

図4 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)



加圧前状況 (敷地側)



加圧前状況 (敷地側断面)

図5 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況 (試験体 No. 11)
(伸び: 4mm, せん断: 30mm, 加圧前状況)


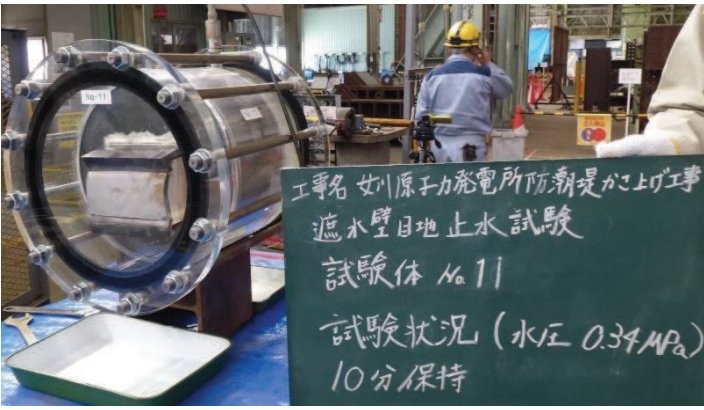

| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 10分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 10分経過，漏えい無し</p> |

図6 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）
（10分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧 0.34MPa）

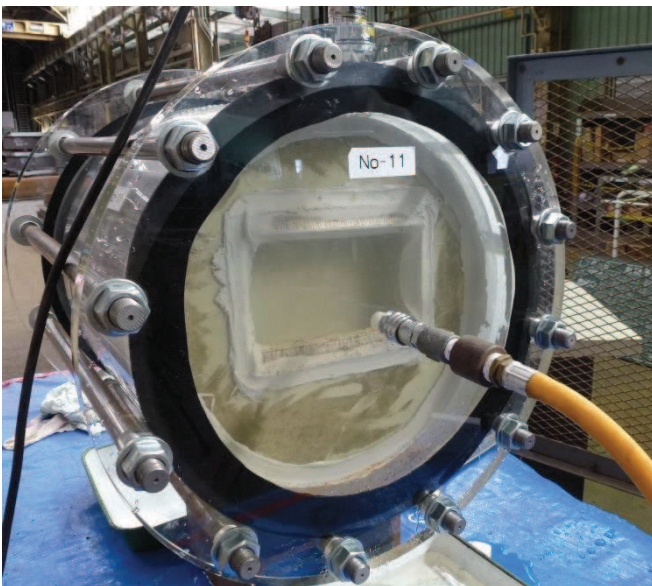
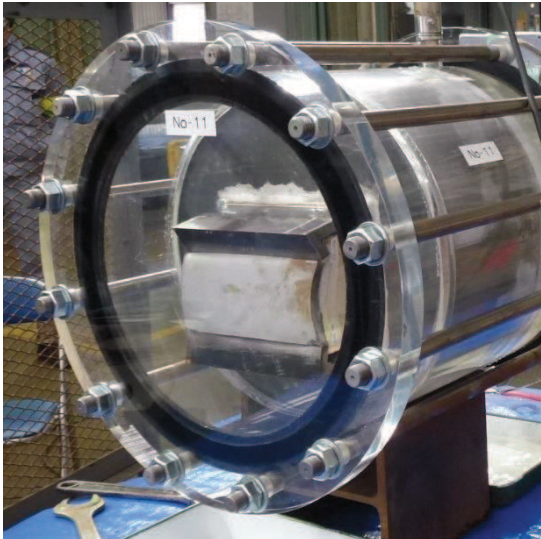
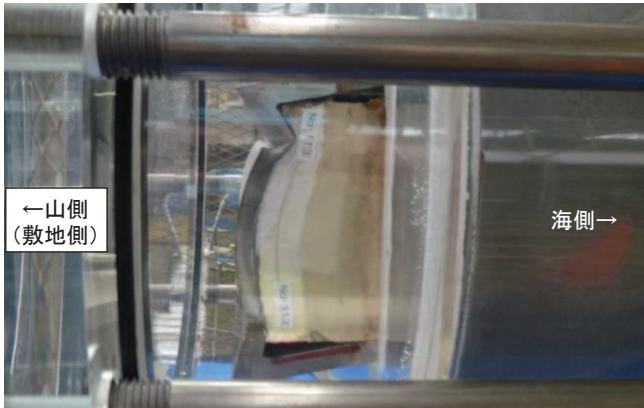
| | |
|---|--|
|  | <p>加圧状況（海側）</p> <p>✓ 20分経過，損傷無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側））</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |
|  | <p>加圧状況（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 20分経過，漏えい無し</p> |

図7 ウレタンシリコン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）

（20分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧0.34MPa）

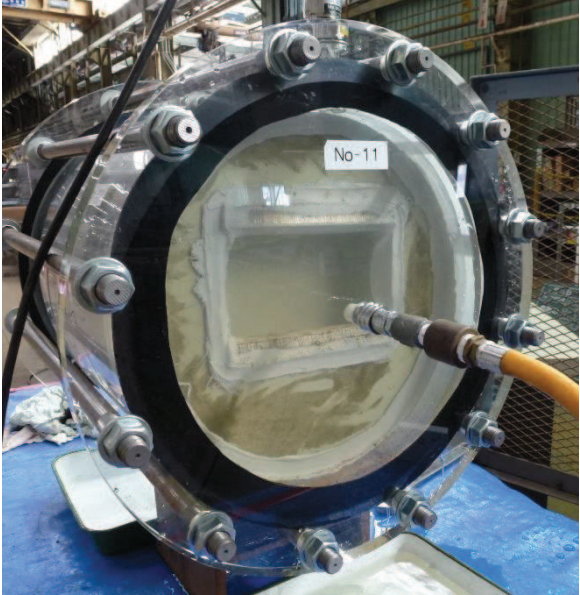


| | |
|---|--|
|  | <p>30 分間保持後（海側）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側））</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |
|  | <p>30 分間保持後（山側（敷地側）の断面）</p> <p>✓ 損傷及び漏えい無し</p> |

図 8 ウレタンシリコーン目地耐圧試験状況（試験体 No. 11）

（30 分経過，伸び：4mm，せん断：30mm，水圧 0.34MPa）

3. 試験結果

所定の変位（伸び 4mm，せん断 30mm）を与えた上で，津波による波圧を上回る水圧 0.34MPa を 10 分以上（加圧時間：30 分間）加圧した結果，表 2 に示すとおり損傷及び漏えいが無いことを確認した。

表 2 ウレタンシリコーン目地の試験結果

| 試験 No. | 試験種別 | 変位量 | 水圧 | 耐圧 保持時間 | 損傷*， 漏えい | 判定 |
|--------|------|--------------------|---------|------------|-------------|----|
| No. 11 | 変形試験 | 伸び 4mm せん断 30mm | / | / | 無し | OK |
| | 耐圧試験 | 伸び 4mm せん断 30mm | 0.34MPa | 10 分以上 | 無し | OK |

注記*：表 6.1.5-11 に基づき，シリコーンが切れていないか，シリコーンが鋼製遮水壁から剥がれていないか，ウレタン（縁切材）が鋼製遮水壁の張出し部から外れていないか，ウレタンが割れて隙間が生じていないかを確認する。

(参考資料 3) 鋼製遮水壁の塗装について

シリコン材を施工する鋼製遮水壁には塗装が施されているため、津波作用時に水圧が作用した場合、鋼製遮水壁の母材（鋼材）と塗装が剥がれる可能性がある。そのため、塗装の付着力について以下のとおり確認し、止水性に対して十分な付着力を有することを確認した。

1. 塗装仕様

鋼製遮水壁に施工する塗装は、超厚膜塗装であり、仕様は表 1 のとおりである。この超厚膜塗装は、厳しい腐食環境にある鋼構造物向けのエポキシ樹脂被覆材料であり、一度にミリ単位の厚塗りが可能で、この厚塗りにより高度な環境遮断機能を有し、優れた耐久性を発揮する特徴がある。

表 1 鋼製遮水壁の塗装仕様

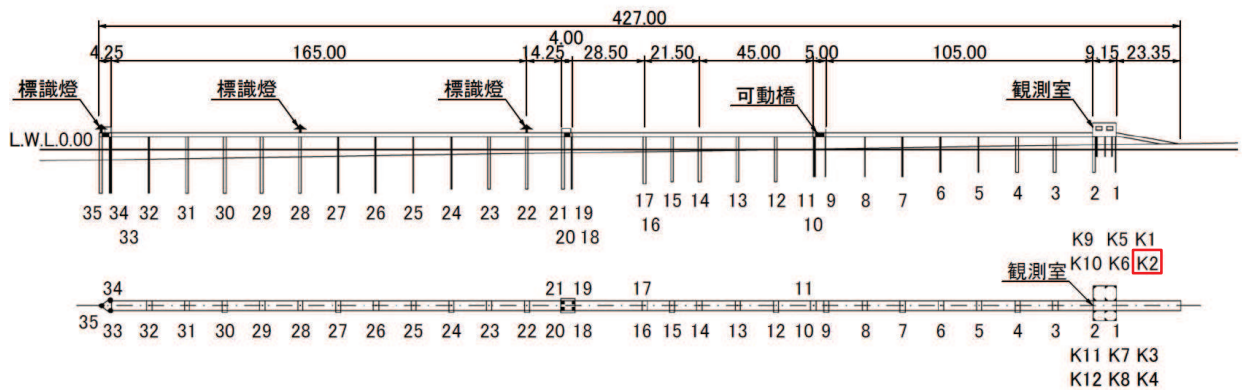
| 工程 | | 塗料 | 膜厚 |
|------|----------|--------------------|-------------|
| 製鋼工場 | 素地調整 | ブラスト処理 SIS-Sa2 1/2 | — |
| | プライマー | 無機ジンクリッチプライマー | (15 μ) |
| 製作工場 | 素地調整 | ブラスト処理 SIS-Sa2 1/2 | — |
| | 防食下地 | 有機ジンクリッチペイント | 75 μ |
| | 補強塗（1回目） | 超厚膜形エポキシ樹脂被覆材料 | 1150 μ |
| | 補強塗（2回目） | 超厚膜形エポキシ樹脂被覆材料 | 1150 μ |
| | 中塗 | フッ素樹脂塗料用中塗 | 30 μ |
| | 上塗 | フッ素樹脂塗料用上塗 | 25 μ |

2. 塗装の耐久性

上記塗装と同様の仕様の曝露試験結果が、「長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告），No.1324，港湾空港技術研究所資料，2016」で報告されている。なお，曝露試験が行われた栈橋は，茨城県神栖市須田浜地先の海岸に位置している。

曝露試験が行われた超厚膜塗装の鋼管杭の配置を図1に，塗装概要を表2に示す。

29年経過の付着試験結果を表3に示す。この結果から，29年経過したとしても，超厚膜塗装は2.5（MPa）以上の付着力を有することを確認した。



| 杭No. | 塗装工法名 |
|------|---------------------------|
| K1 | 超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法 |
| K2 | 超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法 |
| K3 | 超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法 |
| K4 | ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法 |
| K5 | 超厚膜型エポキシ樹脂塗装工法 |
| K6 | タールエポキシ樹脂塗装工法 |
| K7 | タールエポキシ樹脂塗装工法 |
| K8 | ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法 |
| K9 | C5 塗装系塗装工法 |
| K10 | ガラスフレークポリエステル樹脂/ふっ素樹脂塗装工法 |
| K11 | 湿潤面用エポキシ樹脂塗装工法 |
| K12 | ガラスフレークエポキシ樹脂塗装工法 |

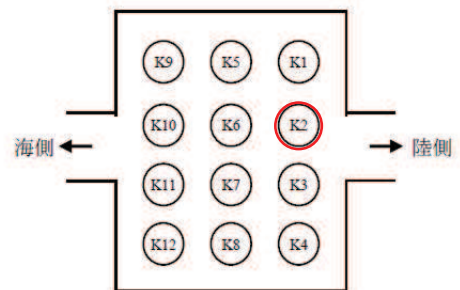


図-2.19 観測室下部塗装鋼管杭配置図

表-2.15 施工した素地調整グレード

| 施工法 | 素地グレード | プラスト処理後の仕上り素地 |
|--------|------------------------|--|
| プラスト処理 | ISO-Sa2 ^{1/2} | 拡大鏡なしで，表面に見える油，グリース，泥土およびミルスケール，さび，塗膜，異物などがほとんどないこと．残存している汚れの全ての痕跡は，斑点あるいはすじ状の僅かな染みとしてのみ認められること． |

図1 超厚膜塗装を施工した鋼管杭の配置図

（「長期海洋曝露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究（30年経過時の報告），No.1324，港湾空港技術研究所資料，2016」に一部加筆）

表 2 塗装工法概要と調査項目

(「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究
(30年経過時の報告), No.1324, 港湾空港技術研究所資料, 2016」に一部加筆)

| 杭No. | K2 | K3 | K4 | K8 | K12 |
|---------------------|---------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 内容 | 超厚膜エポキシ | | ガラスフレーク(GF) | | |
| 上塗 | エポキシ | エポキシ | GFエポキシ | GFエポキシ | GFエポキシ |
| 中塗 | 1000 μ m | 2000 μ m | 300 μ m | 300 μ m | 500 μ m |
| 下塗 | \times 2回 | \times 1回 | \times 3回 | \times 3回 | \times 2回 |
| ジンクリッチペイント(亜鉛末塗料)膜厚 | 20 | 20 | 15 | 15 | なし |
| 設定トータル膜厚(μ m) | 2020 | 2020 | 915 | 915 | 1000 |
| 経過年数(年) | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 定期調査 | 外観観察 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 写真撮影 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 膜厚測定 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 詳細調査 | 付着力測定 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 鋼材素地観察 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 電気化学インピーダンス | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 分析 \cdots 塩素イオン透過 | ○ | ○ | ○ | ○ |

表3 付着力試験結果

(「長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究
(30年経過時の報告)」、No.1324、港湾空港技術研究所資料、2016」に一部加筆)

| | | K2 | K3 | K4 | K8 | K12 |
|-----|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------|-----------------|
| 部位1 | 剥離面 | | | | | |
| | | 一般部 | 過去補修部近傍 | 過去補修部・錆部近傍 | 一般部 | 錆部直近 |
| | 付着強度(MPa) | 3.5 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 0.5 |
| | 剥離部位 | 表層 100 | シンク層内 100 | GF層間 100 | GF層間 100 | 鋼素地 100 |
| 部位2 | 剥離面 | | | | | |
| | | 一般部 | 一般部 | 一般部 | 過去補修部近傍 | 錆部近傍 |
| | 付着強度(MPa) | 3.5 | 6.0 | 3.5 | 2.5 | 1.5 |
| | 剥離部位 | 表層/層内/シンク層内 50/40/10 | 層内 100 | GF層間 100 | GF層間 100 | 鋼素地 100 |
| 部位3 | 剥離面 | | | | | |
| | | 過去補修部近傍 | 過去補修部近傍 | 過去補修部・錆部近傍 | 一般部 | 錆部近傍 |
| | 付着強度(MPa) | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 2.0 |
| | 剥離部位 | 層内/シンク層内 30/70 | 層内/シンク層内 90/10 | GF層間 100 | GF層間 100 | 表層/鋼素地 50/50 |
| 部位4 | 剥離面 | | | | | |
| | | 一般部 | 一般部 | 一般部 | 過去補修部近傍 | 錆部近傍 |
| | 付着強度(MPa) | 3.0 | 4.0 | 4.5 | 0.5 | 1.5 |
| | 剥離部位 | 表層 100 | 層内/シンク層内 50/50 | GF層間/GF層内 80/20 | GF層間 100 | 表層/鋼素地 90/10 |
| 部位5 | 剥離面 | | | | | |
| | | 過去補修部近傍 | 過去補修部近傍 | | | |
| | 付着強度(MPa) | 4.0 | 2.0 | | | |
| | 剥離部位 | 表層/エポキシ・シンク層間 40/60 | 層内/シンク層内/錆層内 30/50/20 | | | |
| 部位6 | 剥離面 | | | | | |
| | | 一般部 | 一般部 | | | |
| | 付着強度(MPa) | 4.5 | 4.0 | | | |
| | 剥離部位 | 表層/エポキシ・シンク層間 40/60 | 表層/層内 50/50 | | | |

防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、構造上の境界部及び構造物間に生じる相対変位に対して有意な漏えいを生じない変形に留まる止水ジョイント部材を設置することにより、有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としており、表 6.1.5-1 及び図 6.1.5-2 に示す構造同一部にはシリコーン、ウレタン及び縁切材で構成されるウレタンシリコーン目地を設置することとしている。

ここでは、ウレタンシリコーン目地の施工にあたり、ウレタンシリコーン目地が、本編の「2.2 ウレタンシリコーン目地」で確認した止水性能を発揮できるように以下に示す施工管理を行う。

1. ウレタン

1.1 ウレタンの概要

ウレタンは、発泡機を用いて2液（T液：ポリイソシアネート，R液：ポリエーテルポリオール）を混合したものが液状から発泡し、固形物になるものであり、発泡することで鋼製遮水壁及び縁切材で四方を囲われた目地内部を充填するものである。

ウレタンを施工する目地の内部充填高さは1箇所あたり最大10.5mと高くなることを踏まえ、ウレタンを目地内部で発泡させて確実に充填させるため、図1に示すとおり1回の充填高さを最大3.6m以内として高さ方向に4分割し施工する。

なお、ウレタンは、海側及び山側（敷地側）のシリコーンを施工する前に施工する。

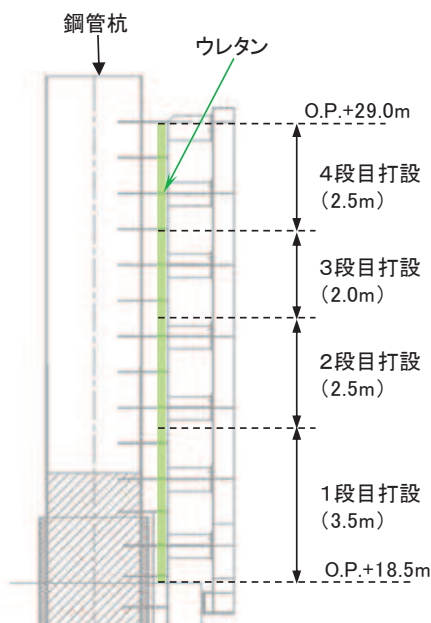
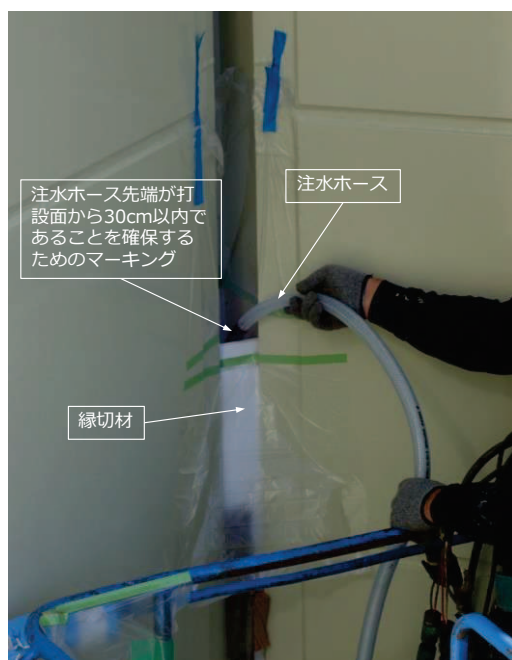


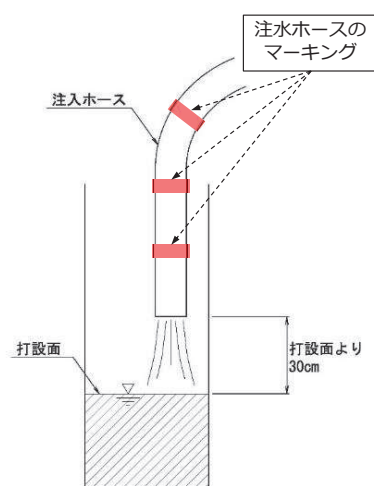
図1 ウレタンの打設高さ（4分割）
(参考) 4-1

1.2 ウレタンの施工手順

- ・ ウレタンを施工する前に、ウレタンシリコン目地を施工する目地内部（鋼製遮水壁面）を清掃し、図1で示した所定の高さまで海側及び山側（敷地側）の鋼製遮水壁縁の張出部に接するように縁切材を設置する。
- ・ また、ウレタンは施工日毎にキャリブレーションを行う。具体的には、T液とR液の吐出量を同等にして混合（以下、「混合液」という）し、配合比 T/R（重量比）が管理基準内（ 0.96 ± 0.05 ）であることを確認するとともに、この混合液が良好にウレタンとして発泡することを確認（試験用箱を用いて発泡状況を確認）する。このキャリブレーションの結果を踏まえ、T液とR液の吐出量を規定する。なお、吐出量は7～9kg/min程度であり、気温や湿度によりウレタンの発泡状況は変わるため、上記のとおり吐出量は施工日毎に規定する。
- ・ キャリブレーションで規定した吐出量で、注入ホースにより混合液を所定の高さまで打設する。混合液を目地部に打設する際には、事前に注入ホースにテープ等でマーキングを行い、打設状況を目視で確認しながら、打設面に対して注入ホース先端が高さ30cm以内であることを確認しながら注水ホースを徐々に上げて所定の高さまで施工する（図2及び図3）。
- ・ P.+29.0mの高さまで上記手順を繰り返し行う。



(混合液の打設状況)



(目地内部の打設イメージ)

図2 ウレタンの打設方法及び検査



図3 目地内部でのウレタンの発泡状況

2. シリコーン

2.1 シリコーンの概要

ウレタンと同様，シリコーンを施工する高さは1箇所あたり最大10.5mと高くなることを踏まえ，シリコーンを確実に施工するため，図4に示すとおり1回の施工高さを最大3.6m以内として高さ方向に4分割し実施する。

なお，シリコーンは，海側及び山側（敷地側）の縁切材及びウレタンの施工後に施工する。

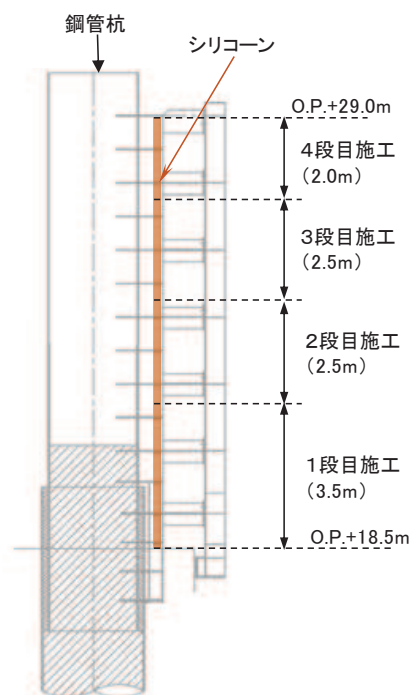


図4 シリコーンの施工高さ（4分割）
（参考）4-3

2.2 シリコーンの施工手順

鋼製遮水壁に余分なシリコーンが接着しないように、目地両側の鋼製遮水壁にマスキングテープを貼り付ける（図5）。また、縁切材についてもプライマーが付着すると、シリコーンと縁切材が接着してしまうため、縁切材にもマスキングテープを張り付ける（図5）。

マスキングテープ貼り付け後、シリコーンと鋼製遮水壁の接着面（張出部）の清掃を行い、ゴミ等の付着物を取り除く。その後、プライマーを刷毛で塗布し、マスキングテープを取り外す。

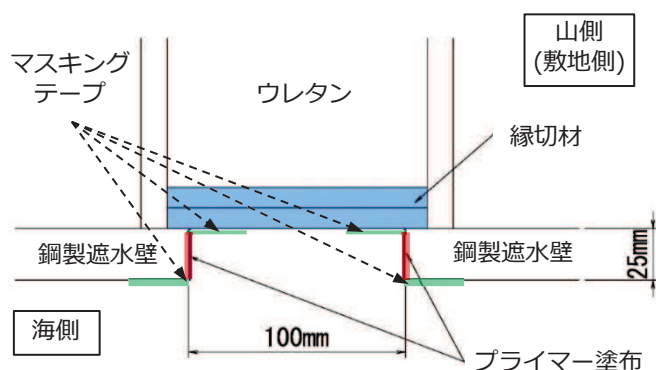


図5 シリコーン施工前の状況

シリコーンとプライマーを塗布した鋼製遮水壁の張出部の付着性が重要となるが、その付着の厚みは25mmと厚くなっている。そのため、塗布後に自重によりシリコーンが垂れ下がったり、シリコーン内に気泡が混入しないための塗布方法として、塗布を1段ごと3回に分けて行うこととする。なお、山側（敷地側）については、目地幅が海側に比べて狭くなっていることから、1回目は同様の手順とするが、2回目と3回目を同時に行うこととする。

以下に1～3回目の手順を示す（図6）。

【1回目】

鋼製遮水壁と縁切材の隅部①にコーキングガンのガン先を当て、気泡が混入しないように充填する。充填後は、ヘラやコテを使用して隅までシーリング材を押し込むように押さえる。

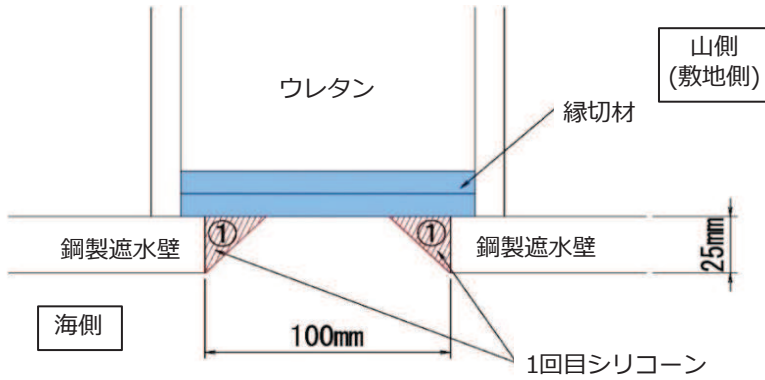
【2回目】

1回目のシーリング材が指触できる状態まで硬化していることを確認し、縁切材を覆うように2回目の充填を行う。

【3回目】

2回目のシーリング材も指触できる状態まで硬化していることを確認し、3回目の充填を行う。3回目の充填後ヘラやコテを使い押さえ平らになる（参考）4-4

るようにする。



(施工時写真)

図6 (1) シリコン施工手順 (1回目シリコン充填時)

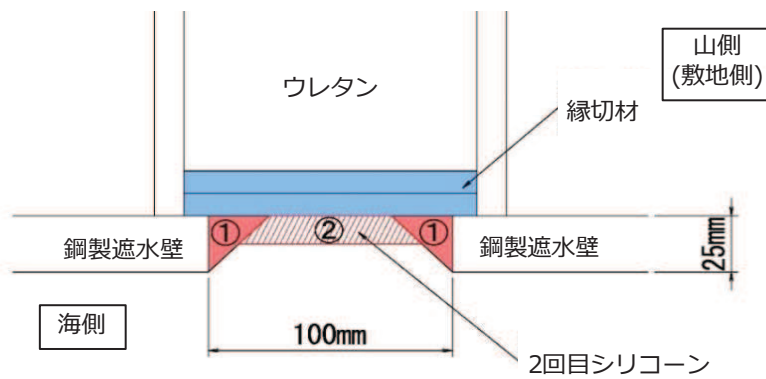
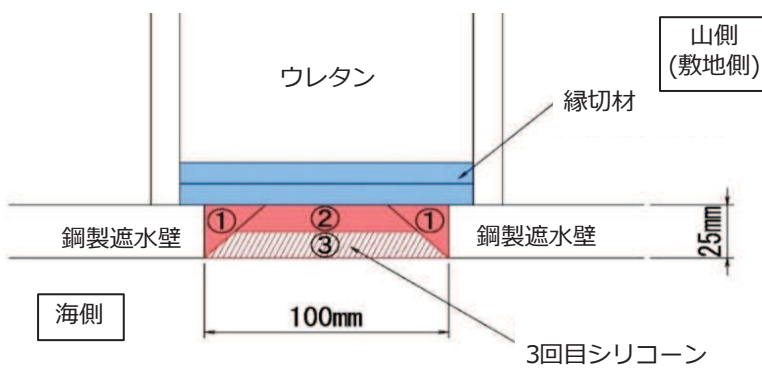


図6 (2) シリコン施工手順 (2回目シリコン充填時)



(施工時写真)

図6 (3) シリコン施工手順 (3回目シリコン充填時)

2.3 シリコーンの検査

シリコーンの品質を確保するため、施工の各工程で検査を行い、施工状況を確認しながら施工する施工管理を行うこととする。

施工の各工程で行う検査については、「建築工事標準仕様書・同解説/JASS 8 防水工事」を参考に、表1に示す項目を実施する。

表1 シリコーンの施工の各工程で行う検査内容

| 工 程 | 管理項目 | 管 理 基 準 | 管 理 方 法 | | | チェック欄 | 備考 |
|-----|------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------|-------|----|
| | | | 時 期 | 検査方法 測定方法 | 数量また は頻度 | | |
| 1 | 材料の搬入 | 製造年月日 | 製造後6か月以内 | 材料納入時 | 目 視 | 全 数 | |
| 2 | 作業可否の判断 | 温度・湿度 | 気温5℃以上、湿度80%以下 | 施工当日 AM PM 10:00. 14:00 | 温 度 計 湿 度 計 | 毎 日 | |
| 3 | 被着面の確認 | 乾燥程度 脆弱程度 | 乾燥していること、脆弱でないこと | マスキングテープ張り付け前 | 目 視 | 全 数 | |
| 4 | マスキングテープ張り | 張付け位置 | プライマー、シリコーン付着不可箇所 | プライマー塗布前 | 目 視 | 全 数 | |
| 5 | プライマーの塗布 | 塗布の状態 オープンタイム(t) | 塗布むらのないこと 30分<t<480分 | シーリング材充填前 | 目 視 | 全 数 | |
| 6 | マスキングテープ除去 | テープの有無 | プライマー塗布後に除去(縁切材養生用) | プライマー塗布終了後 | 目 視 | 全 数 | |
| 7 | 混 練 | 混練時間 | 10分以上、15分以内 | タイマーセット後 | タイマー | 全 数 | |
| 8 | シーリング材の充填 | 空洞の有無 | 施工規定通りであること | 充填時 | 目 視 | 全 数 | |
| 9 | へら仕上げ | 表面の平滑度 | 平滑であること | 仕上げ時 | 目 視 | 全 数 | |
| 10 | マスキングテープ除去 | テープの有無 | 仕上げ後に除去すること(遮水壁養生用) | 仕上げ終了後 | 目 視 | 全 数 | |
| 11 | 検 査 | 被着面への接着性 | よく接着していること | 施工2週間経過後 | 指 触 検 査 | 全 数 | |

施工後の検査として、表1に示すとおり指触検査を行い、シリコーン内の気泡やシリコーンと鋼製遮水壁の付着不良を確認することが可能となる。ただし、シリコーンと鋼製遮水壁の張出部の付着性がウレタンシリコーン目地の止水性能として最も重要であることを踏まえ、非破壊検査や引張試験（または圧縮試験）4-6

験)を実施する。

シリコーンの表面(海側)に目視では確認できない傷があると、津波作用時にその小さな傷が拡大し、シリコーンが切れて止水性能を確保できなくなる可能性があるため、非破壊検査を行うことで、目視では確認できない傷を確認する。なお、非破壊検査で傷を確認した場合にはシリコーンを塗布することで補修する。

また、ウレタンシリコーン目地は実物を模擬した試験体を用いて耐圧試験により0.3(MPa)及び0.34(MPa)に耐えることを確認しているが、実施工でも同様の圧力に対して止水性能が発揮できることを確認する必要がある。そのため、止水性能として最も重要なシリコーンと鋼製遮水壁の付着性を確認する目的で、ウレタンシリコーン目地の施工後に、1つの目地(鋼製遮水壁と鋼製遮水壁の間の目地を指す)に対して、高さ方向に3箇所程度で引張試験(または圧縮試験)を実施し、シリコーンと鋼製遮水壁の付着が0.34(MPa)以上の耐圧性能を有していることを確認する。

(参考資料 5) 止水ジョイント部材に生じる回転影響について

「6.1.10 漂流物防護工の評価について」に示すとおり、地震時及び津波時には鋼管杭にねじり影響を考慮しているため、止水ジョイント部材にも、ねじりによる影響を考慮する必要がある。

止水ジョイント部材のねじり影響のうち、変位については、「6.1.6 防潮堤の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明」で伸び及びせん断方向の変位にねじり変位を加えて評価を行っている。そのため、本資料では止水ジョイント部材に生じるねじり影響のうち回転について確認する。特に、ゴムジョイント及びウレタンシリコーン目地の性能確認試験において回転の影響を考慮していないため、その妥当性について確認する。

地震時及び津波時のねじりによる回転角度は、表 1 に示すとおり、いずれも 1° よりも十分小さく、最大でもゴムジョイントの 0.35° である。

表 1 止水ジョイント部材の回転角度

| 事象 | ゴムジョイント | ウレタンシリコーン目地 |
|--------------------------------------|--|---|
| 地震時* ¹ (括弧内の数値は震度を示す。) | 2×0.35° 【8.6】* ² | H 区間：0.082° 【2.0】* ² I 区間：0.053° 【1.3】* ² J 区間：0.037° 【0.9】* ² |
| 津波時 | 0.128° (衝突荷重 2000kN を斜めに作用させた場合の回転角度) | 0.128°* ³ (衝突荷重 2000kN を斜めに作用させた場合の回転角度) |

注記 *1：地震時の回転角度は鋼管杭 1 本あたりの角度を示す。

*2：括弧内の数値は回転角度を求めた際の伸び方向の震度を示す。なお、ゴムジョイントは保守的にせん断方向の震度を伸び方向に適用している。

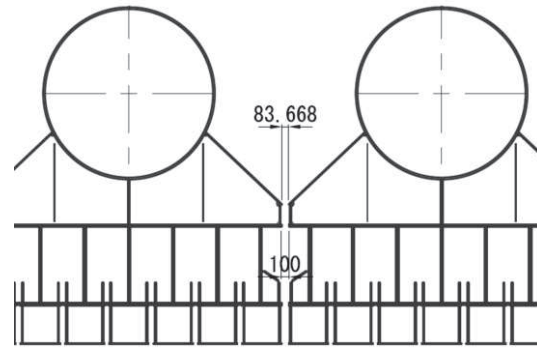
*3：海側と山側（敷地側）の鋼製遮水壁の伸び方向の偏差は 0.7mm である。

ゴムジョイントは、回転角度が十分小さく、海側の鋼製遮水壁の面のみで止水する構造であることから、ねじりによる回転の影響は考慮する必要はないと評価した。

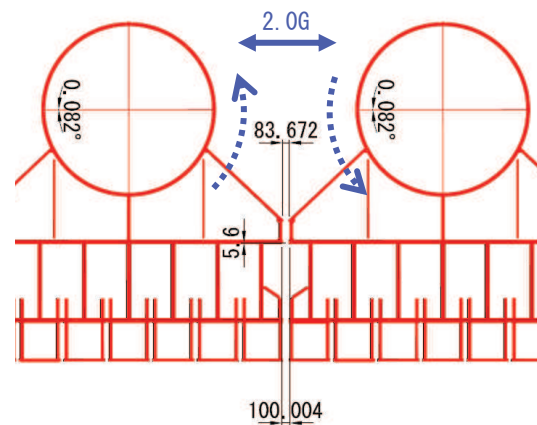
また、ウレタンシリコーン目地は、防潮堤の軸直交方向（海側－山側の方向）に長さを持つ構造（3 次元的な止水構造）であるものの、海側と山側（敷地側）で生じる偏差は最大でも 0.64mm（回転角度が最大となる 0.13° の場合）と極めて小さいため、ねじりによる回転の影響は考慮する必要はないと評価した。なお、地震時の偏差は隣り合う鋼管杭もねじりの影響を受けるため偏差はほぼゼロであることを確認した。初期状態、地震時及び津波時における海側と山側（敷地側）の偏差を図 1

に示す。

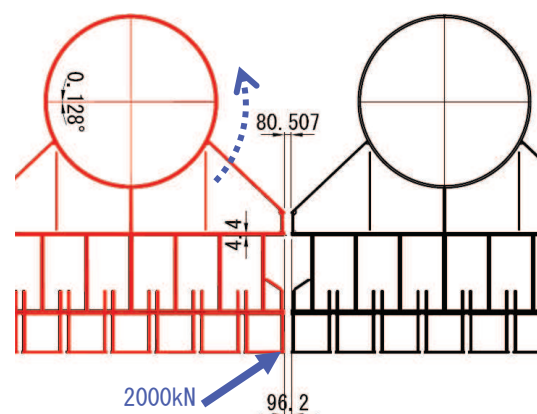
以上のことから、ゴムジョイント及びウレタンシリコン目地の性能確認試験において回転の影響を考慮しないことは妥当である。



(初期状態, 海側 100mm, 山側 83.668mm)



(地震時【2.0G】, 海側 100.004mm, 山側 83.672mm)



(津波時【端部に斜め衝突 2000kN】, 海側 96.2mm, 山側 80.507mm)

図1 ウレタンシリコン目地のねじり影響を受けた場合の海側と山側の偏差
(赤線はねじりの影響を受けて変位していることを示す)
(参考) 5-2

6. 浸水防護施設に関する補足説明

6.1 防潮堤の設計に関する補足説明

6.1.6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材の相対変位量に関する補足説明

目 次

| | |
|----------------------|-----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 基本方針 | 2 |
| 2.1 設置位置及び構造概要 | 2 |
| 2.2 評価方針 | 7 |
| 2.3 適用基準 | 8 |
| 2.4 相対変位算出における評価対象断面 | 9 |
| 2.5 相対変位の算出方法 | 14 |
| 3. 解析方法 | 23 |
| 3.1 横断方向 | 23 |
| 3.2 縦断方向 | 40 |
| 4. 許容限界 | 83 |
| 5. 評価方法 | 84 |
| 5.1 地震時相対変位 | 84 |
| 5.2 津波時相対変位 | 84 |
| 5.3 重畳時相対変位 | 84 |
| 6. 評価結果 | 85 |
| 6.1 地震時相対変位 | 85 |
| 6.2 津波時相対変位 | 119 |
| 6.3 重畳時相対変位 | 138 |

（参考資料 1）漂流物が防護工端部に衝突した場合の影響について

1. 概要

添付書類「VI-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）においては、構造上の境界部及び構造物間には地震時及び津波時・重畳時の荷重に伴う部材間の相対変位に追従する止水ジョイント部材を設置し、機能維持を図る設計とする。

本資料は、止水ジョイント部材の相対変位量に関して、その算出方法と結果を示し、相対変位量が許容限界以下であることを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 設置位置及び構造概要

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の止水ジョイント部材は、ゴムジョイント及びウレタンシリコーン目地の2種類を用い、それぞれ防潮堤（鋼管式鉛直壁）の鋼製遮水壁間に設置する。

防潮堤の平面位置図を図 6.1.6-1 に、ゴムジョイント及びウレタンシリコーン目地の設置位置を図 6.1.6-2 に、設置イメージ図を図 6.1.6-3 に、それぞれの詳細図を図 6.1.6-4 に示す。

なお、背面補強工がある区間のゴムジョイントの下端部については、図 6.1.6-3 に示すように背面補強工には構造目地部があることから、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することで構造境界部の止水性を確実なものとする。

なお、ウレタンシリコーン目地の下端部については、図 6.1.6-3 に示すように背面補強工内まで施工することで止水性を確実なものとする。また、背面補強工がある区間のゴムジョイントの下端部については、図 6.1.6-3 に示すように背面補強工には構造目地部があることから、鋼製遮水壁下端部からセメント改良土の中までゴムジョイントを設置することで構造境界部の止水性を確実なものとする。

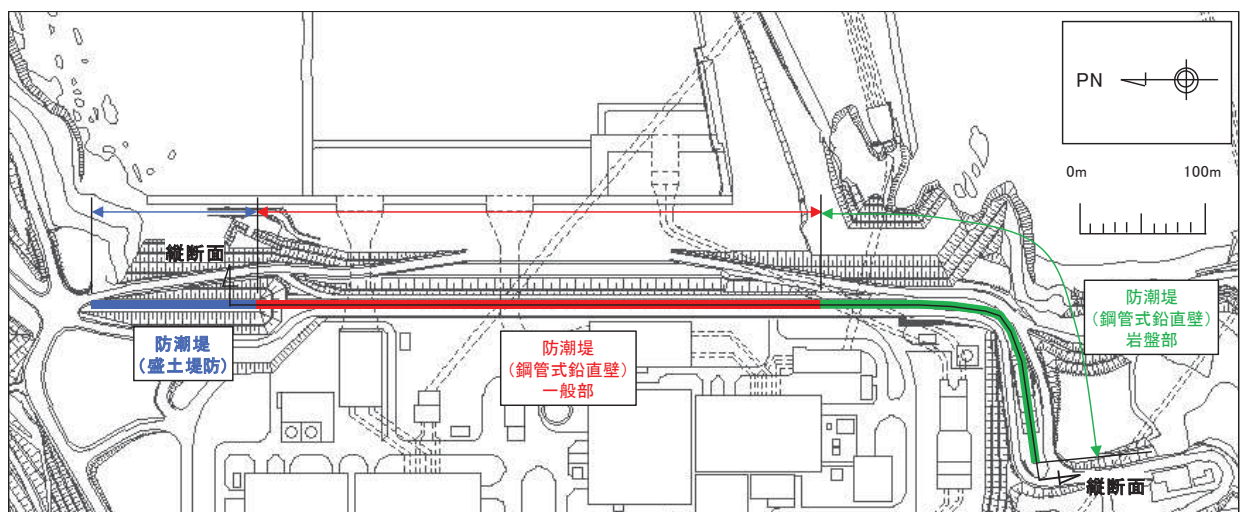


図 6.1.6-1 防潮堤平面位置図

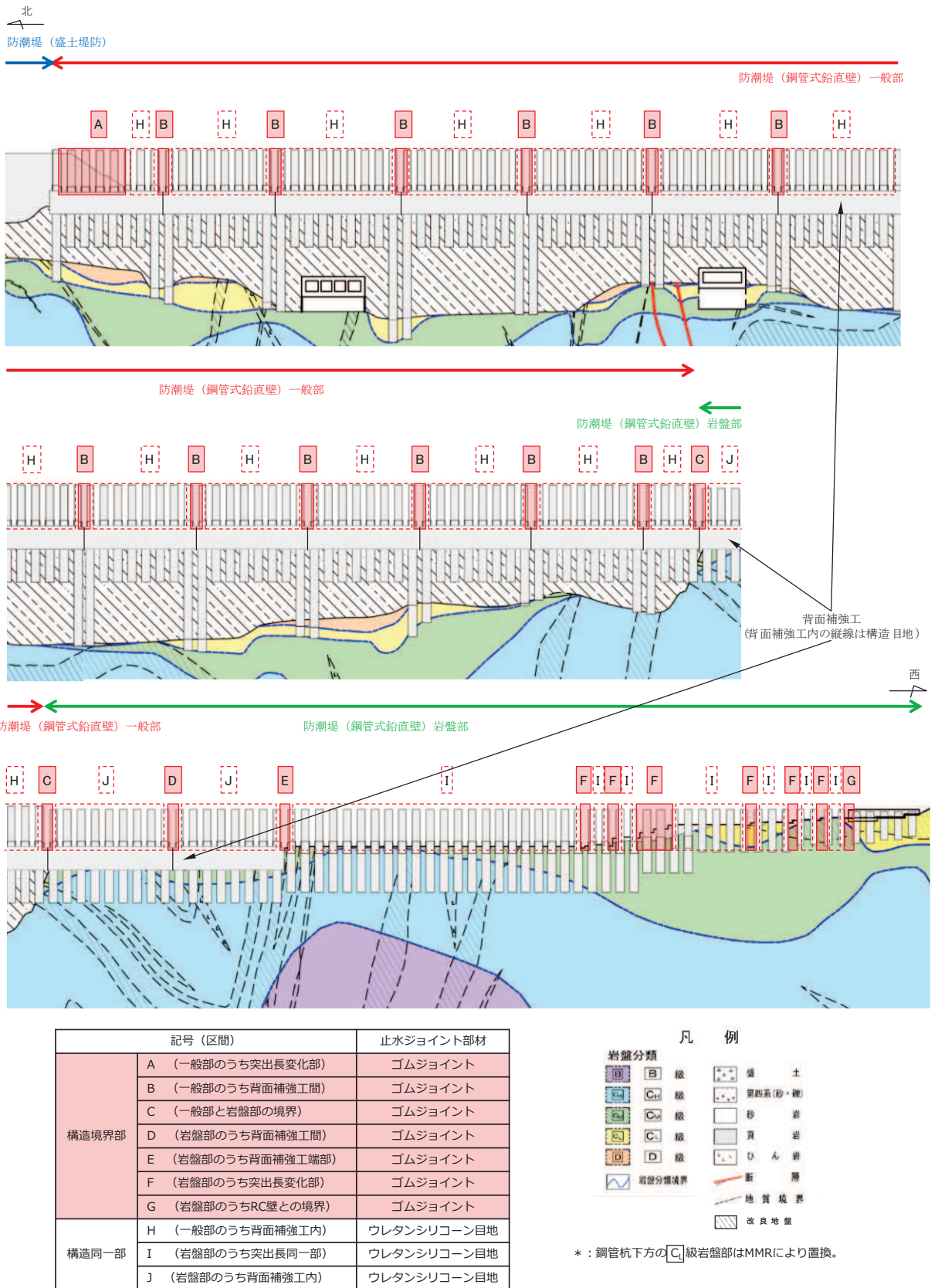
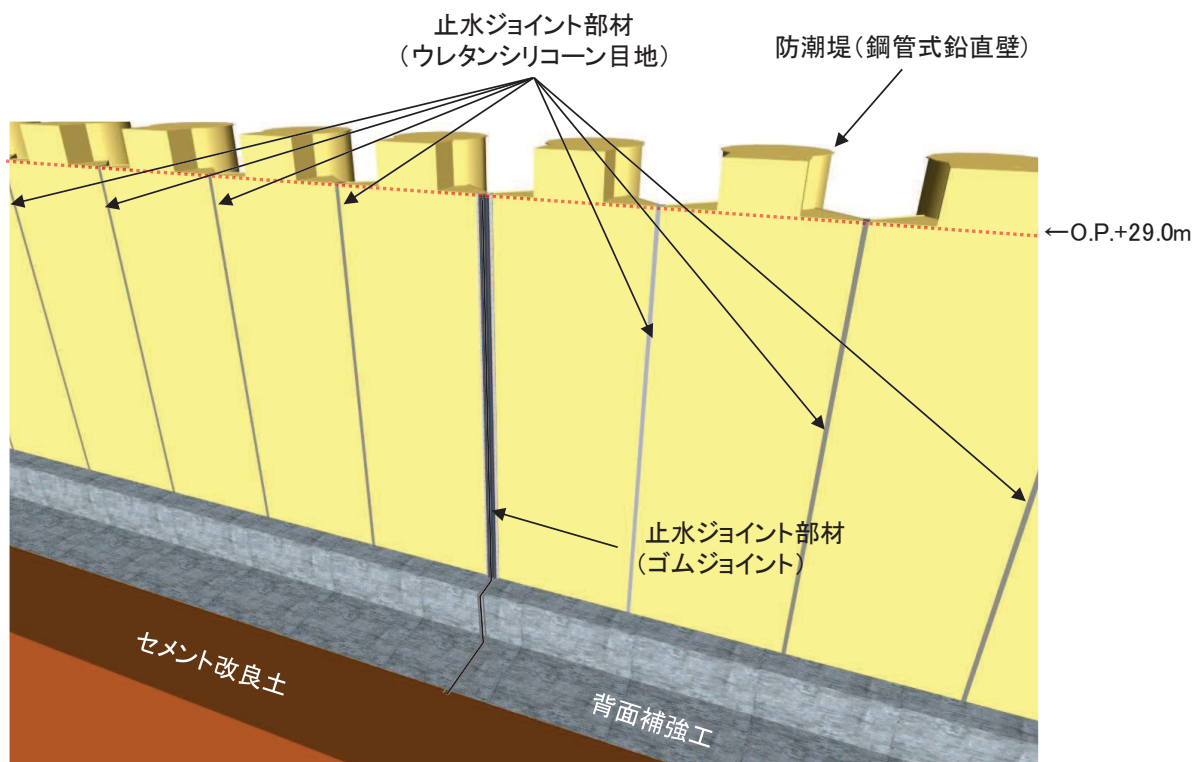
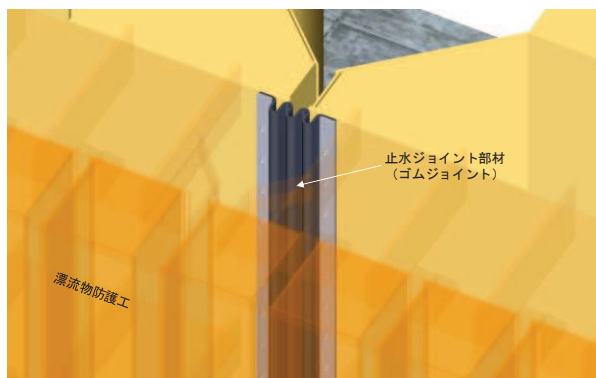


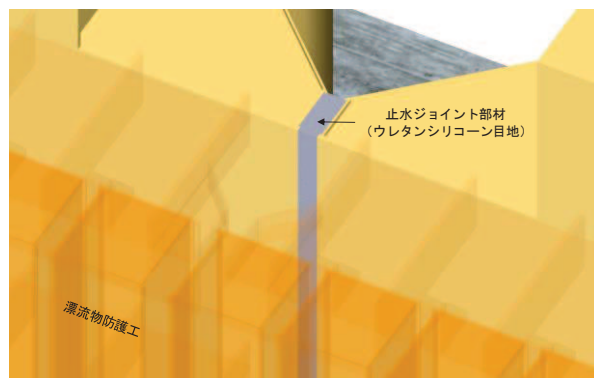
図 6.1.6-2 止水ジョイント部材 設置位置図



(全体)

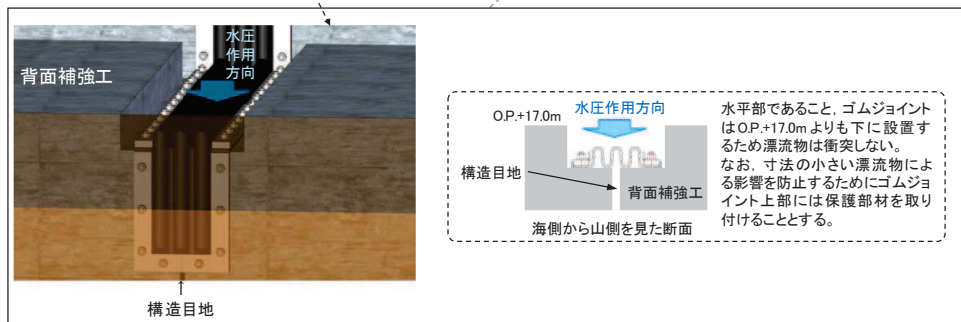
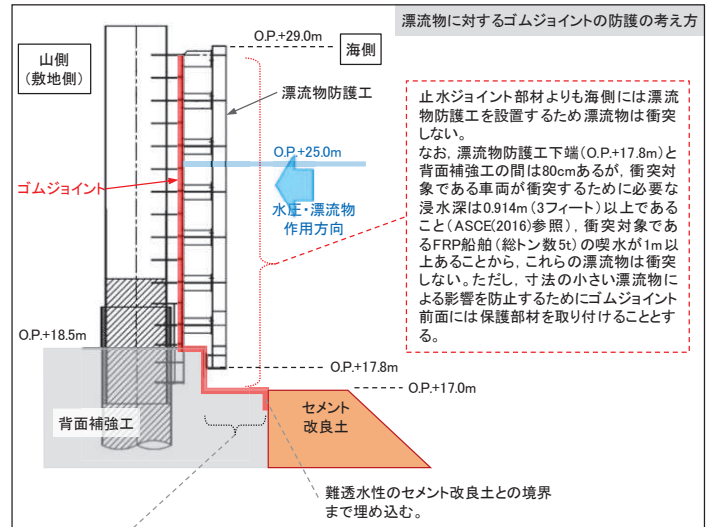
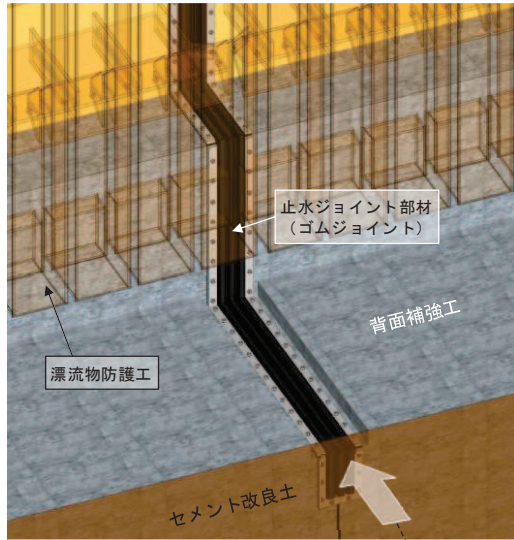


(ゴムジョイント部材の設置イメージ)



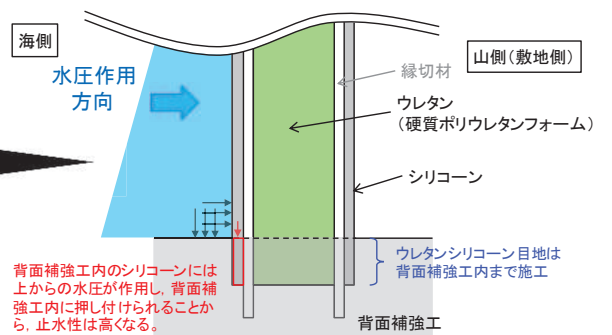
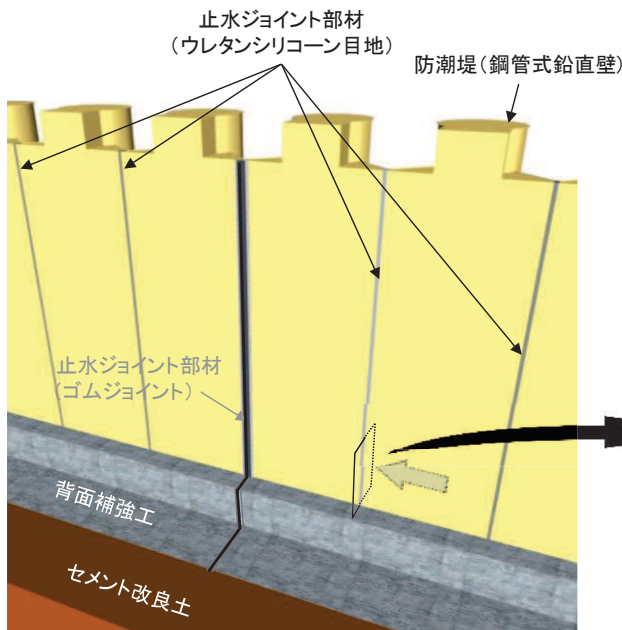
(ウレタンシリコーン目地の設置イメージ)

図 6.1.6-3(1) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ゴムジョイント部材の下部詳細)

図 6.1.6-3(2) 止水ジョイント部材設置イメージ図



(ウレタンシリコン目地の下部詳細)

図 6.1.6-3(3) 止水ジョイント部材設置イメージ図

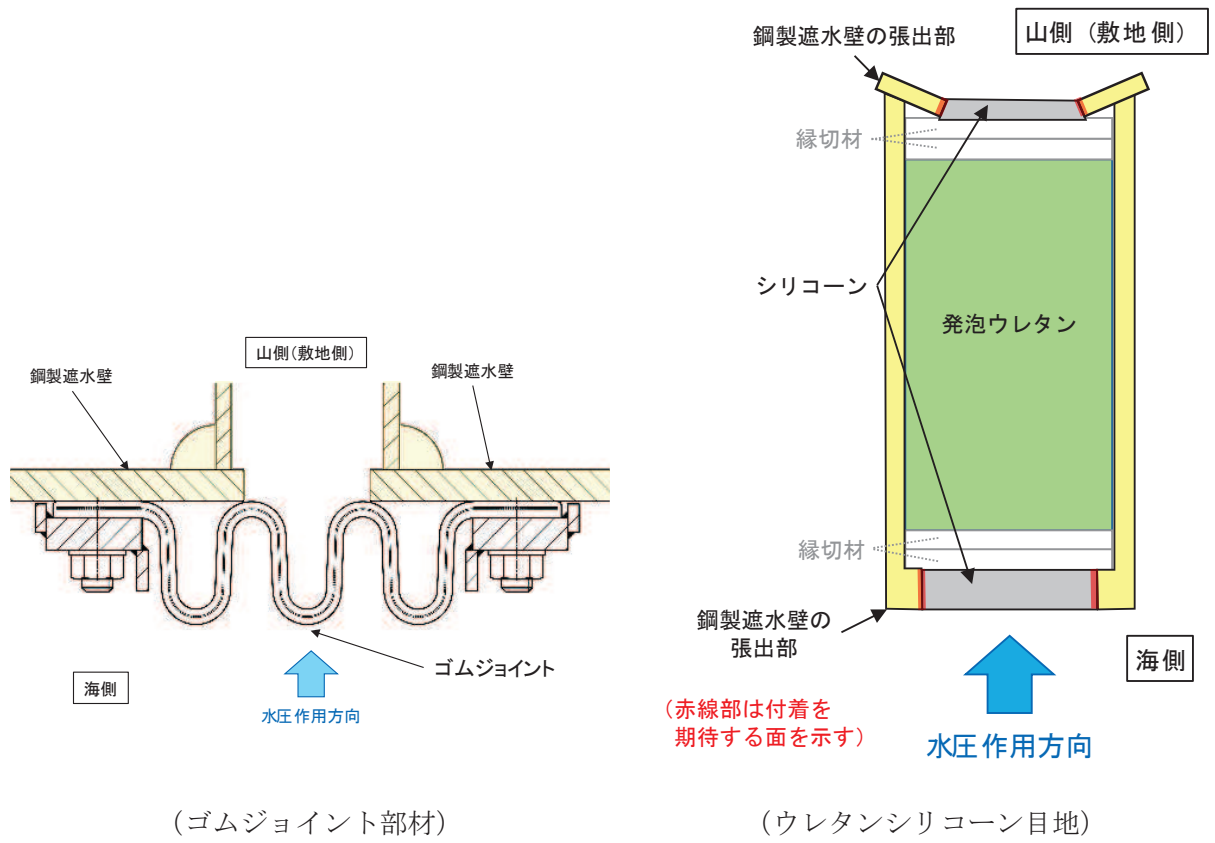


図 6.1.6-4 止水ジョイント部材詳細図

2.2 評価方針

地震時に発生する構造物間の最大相対変位が、止水ジョイント部材が追従できる変位量以下であることを確認する。また、地震後に津波及び余震が襲来すること（以下「重畳時」）を想定し、地震後の最終変位量に津波及び余震による最大相対変位量を加えた値が、止水ジョイント部材が健全性を保つことができる変位量以下であることを確認する。止水ジョイント部材の設計フローを図 6.1.6-5 に示す。

止水ジョイント部材の仕様は、津波荷重に耐え、構造物間の相対変位に追従して有意な漏えいを生じない機能を維持できる材料を設定し、性能試験によってこれらを確認する。

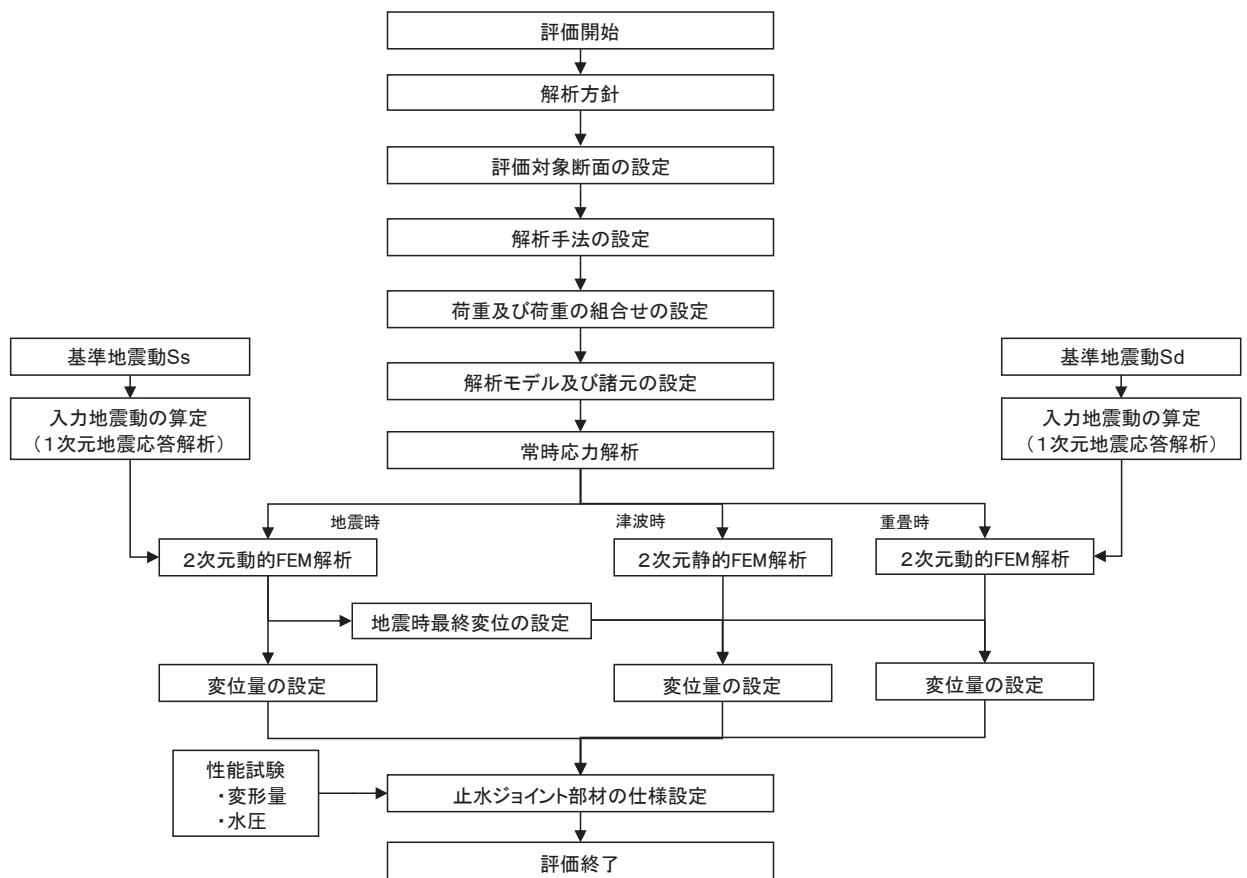


図 6.1.6-5 止水ジョイント部材の設計に関する評価フロー

2.3 適用基準

表 6.1.6-1 に適用する規格，基準類を示す。

表 6.1.6-1 適用する規格，基準類

| 項目 | 適用する規格，基準類 | 備考 |
|--------------|--|--|
| 使用材料及び材料定数 | <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 〔構造性能照査編〕（土木学会，2002 年制定） ・コンクリート標準示方書 〔ダムコンクリート編〕（土木学会，2013 年制定） ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月） | — |
| 荷重及び荷重の組み合わせ | <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書 〔構造性能照査編〕（2002 年） | <ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重＋偶発荷重＋従たる変動荷重の適切な組み合わせを検討 |
| 地震応答解析 | <ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 2015 | <ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析 |

2.4 相対変位算出における評価対象断面

止水ジョイント部材の防潮堤軸直交方向（以下、「軸直交方向」という）及び防潮堤軸方向（以下、「軸方向」という）2方向の相対変位量を算出するため、軸直交方向及び軸方向のそれぞれの評価対象断面を選定した。

軸直交方向及び軸方向は図 6.1.6-6 に示すとおり定義する。

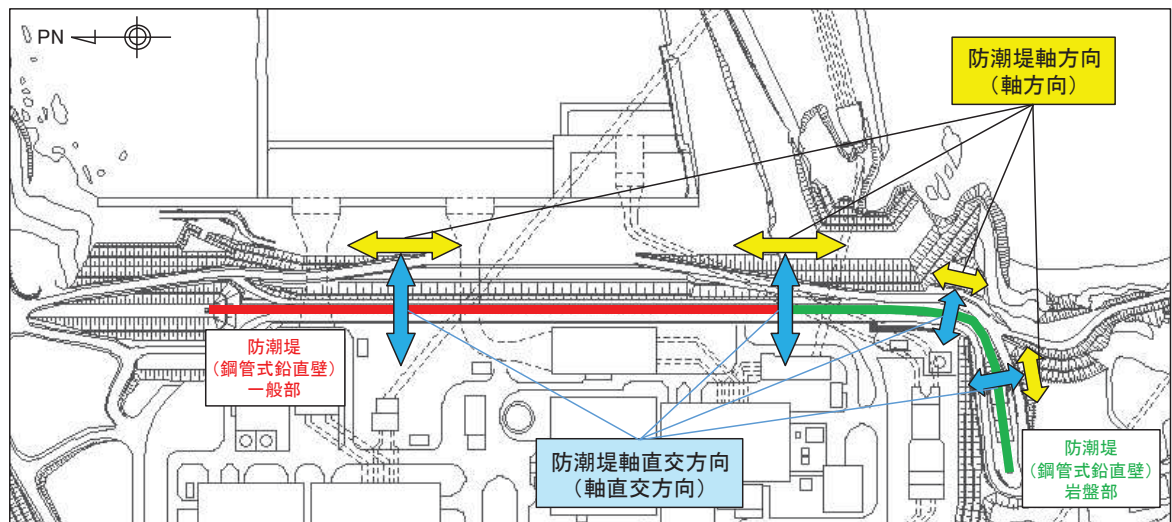


図 6.1.6-6 防潮堤軸直交方向及び防潮堤軸方向の定義

(1) 横断方向の相対変位算出における評価対象断面

横断方向の相対変位算出における評価対象断面は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴を考慮し、表 6.1.6-2 に示す A～J 区間に区分した上で、それぞれの区間に対して断面①～断面⑦から選定する。これらの評価対象断面に対して、位相反転（20 波）等を考慮した 2 次元動的有限要素法解析又は 2 次元静的有限要素法解析を実施し、最大となる相対変位を設定する。なお、評価対象断面が複数ある場合には、その中から最大となる相対変位を設定する。

評価対象断面の位置図を図 6.1.6-7 に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の縦断面図を図 6.1.6-8 に示す。

表 6.1.6-2 構造的特徴を考慮した評価対象断面

| 構造的特徴（区間） | | 評価対象断面 |
|-----------|---------------------|-----------------|
| 一般部 | 構造境界部（A：突出長変化部） | 断面①，断面②，断面③ |
| | 構造同一部（H：背面補強工内） | 断面①，断面②，断面③ |
| | 構造境界部（B：背面補強工間） | 断面①，断面②，断面③ |
| 岩盤部 | 構造境界部（C：一般部と岩盤部の境界） | 断面①，断面②，断面③，断面⑤ |
| | 構造同一部（J：（背面補強工内） | 断面⑤ |
| | 構造境界部（D：背面補強工間） | 断面⑤ |
| | 構造境界部（E：背面補強工端部） | 断面⑤，断面⑥ |
| | 構造同一部（I：突出長同一部） | 断面⑥ |
| | 構造境界部（F：突出長変化部） | 断面⑥ |
| | 構造境界部（G：RC 壁との境界） | 断面⑥，断面⑦ |

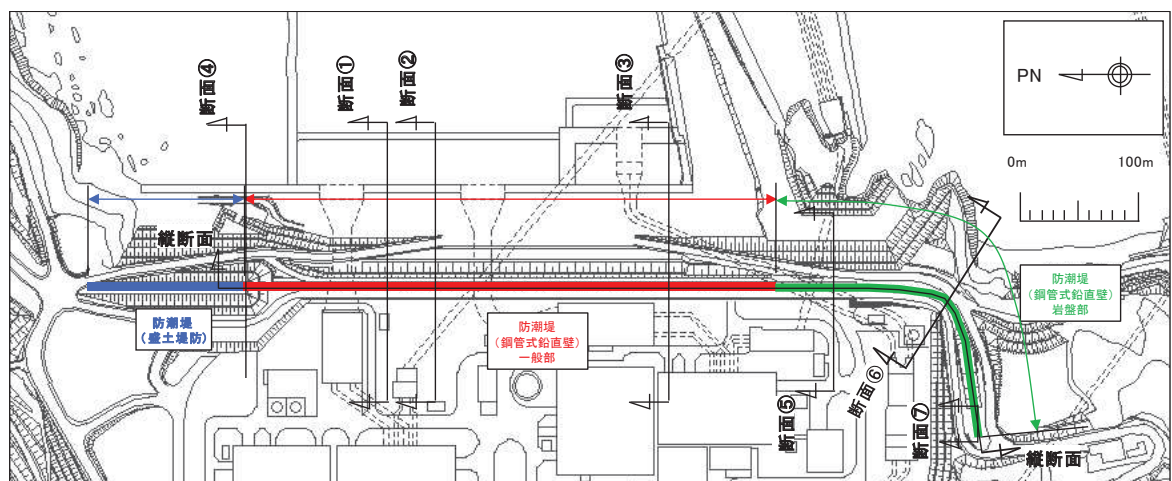


図 6.1.6-7 防潮堤（鋼管式鉛直壁） 評価対象断面位置図

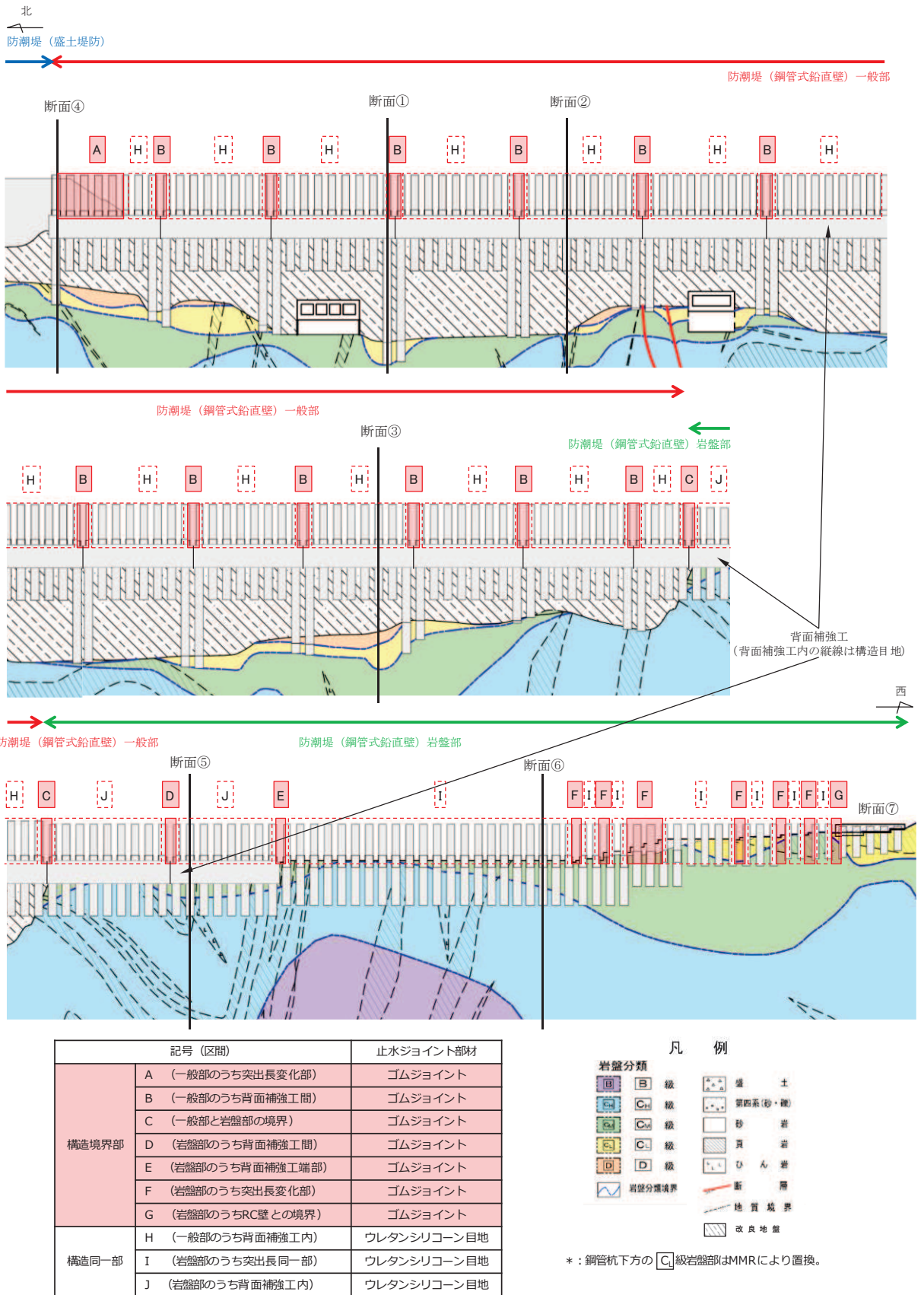


図 6. 1. 6-8 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の縦断図

(2) 縦断方向の相対変位算出における評価対象断面

縦断方向の相対変位算出における評価対象断面は、横断方向と同様に A～J 区間に対して断面⑧～断面⑨から選定する。これらの評価対象断面に対して、位相反転（20 波）等を考慮した 2 次元動的有限要素法解析を実施し、最大となる相対変位を設定する。なお、評価対象断面が複数ある場合には、その中から最大となる相対変位を設定する。

A～J 区間と評価対象断面の組合せを表 6.1.6-3 に、評価対象断面の位置図を図 6.1.6-9 に示す。

表 6.1.6-3 縦断方向における各区間と評価対象断面の組合せ

| 構造的特徴 | | 評価対象断面 |
|-------|---------------------|---------|
| 一般部 | 構造境界部（A：突出長変化部） | 断面⑧ |
| | 構造同一部（H：背面補強工内） | 断面⑧，断面⑨ |
| | 構造境界部（B：背面補強工間） | 断面⑧，断面⑨ |
| | 構造境界部（C：一般部と岩盤部の境界） | 断面⑨ |
| 岩盤部 | 構造同一部（J：(背面補強工内) | 断面⑨ |
| | 構造境界部（D：背面補強工間） | 断面⑨ |
| | 構造境界部（E：背面補強工端部） | 断面⑨ |
| | 構造同一部（I：突出長同一部） | 断面⑨ |
| | 構造境界部（F：突出長変化部） | — * |
| | 構造境界部（G：RC 壁との境界） | — * |

注記 *：構造境界部の F 区間と G 区間は、評価対象断面がないため、保守的に横断方向で評価する相対変位を縦断方向に適用して評価を行う。

2.5 相対変位の算出方法

(1) 横断方向の相対変位の算出方法

a. 地震時の相対変位の算出方法

地震時の構造物間の相対変位は、2次元動的有限要素法解析及び質点系モデルによる時刻歴応答解析により算出する。防潮堤（鋼管式鉛直壁）は地盤の物性が一様で同じ土層構成が続いている場合、地震時の構造物の変形量及び位相は同じになり、構造物間に相対変位は生じない。そこで、表 6.1.6-2 に示した防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴を踏まえ、保守的に以下に示す2種類の方法から設計用相対変位を設定する。また、漂流物防護工が鋼管杭（鋼製遮水壁）からの張り出し構造となっていることから、縦断方向加振によるねじり変位が横断方向の変位として生じるにため、ねじり変位を考慮する。地震時の横断方向の相対変位算出フローを図 6.1.6-10 に示す。

構造同一部については、各評価断面に対して基準地震動 S_s （7波）及び位相反転を考慮した地震動（13波）を加えた全20波（基本ケース）の地震応答解析を実施し、杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位が最大になる地震動を選定する。相対変位が最大となる地震動を用いて地盤の物性値（せん断剛性）のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1 σ 、平均値-1 σ ）を実施し、基本ケースとの時刻歴相対変位から最大相対変位を求め、同時刻の縦断方向加振によるねじり変位分を2倍したものを加えて設計用の相対変位として使用する。構造同一部の相対変位の概念図を図 6.1.6-11 に示す。

構造境界部については、各評価断面に対して基準地震動 S_s （7波）及び位相反転を考慮した地震動（13波）を加えた全20波（基本ケース）の地震応答解析を実施し、杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位が最大になる地震動を選定する。相対変位が最大となる地震動を用いて、地盤の物性値（せん断剛性）のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1 σ 、平均値-1 σ ）を実施し、基本ケースを含めた最大相対変位を求める。設計用の相対変位としては、評価対象が構造境界部であることを踏まえ、保守的に位相が逆になったことを考慮して、その最大相対変位を2倍したものに、縦断方向加振によるねじり変位分を2倍したものを加えたものを使用する。構造境界部の相対変位の概念図を図 6.1.6-12 に示す。

なお、構造境界部のねじり変位算出に当たっては、「6.1.10 漂流物防護工の評価について」の「5.4 漂流物防護工の偏心影響検討」の設定と同様に、保守的に横断方向加振による最大水平震度 8.6（断面②）を用いることとし、算出されるねじり変位をすべての構造境界部に考慮することとする。

止水ジョイント部材の地震時の評価について、軸直交方向及び軸方向ともに、地震荷重による最大相対変位が許容限界以下であることを確認する。

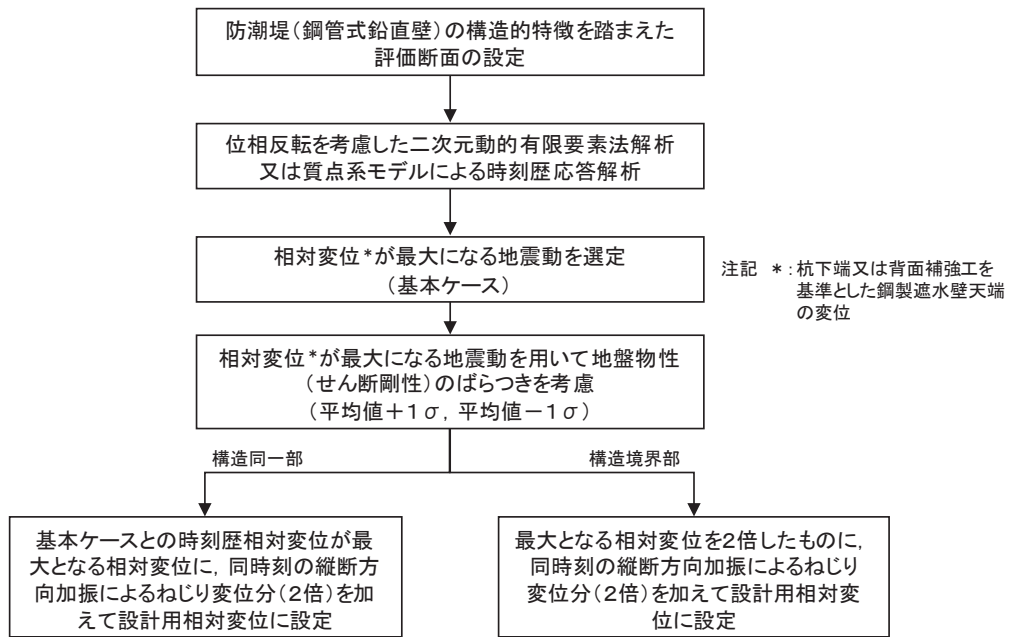


図 6.1.6-10 地震時の横断方向の相対変位算出フロー

構造同一部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x ：

$$\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\} + 2 \times \delta_{rx}(T_1, T_2)$$

$\delta_x(T_1)$ ：基本ケースと地盤の物性値（せん断剛性）のばらつき（+1σ）を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位

$\delta_x'(T_2)$ ：基本ケースと地盤の物性値（せん断剛性）のばらつき（-1σ）を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位

$\delta_{rx}(T_1, T_2)$ ：時刻歴相対変位が最大となる時刻において縦断方向加振で生じるねじり変位（基本ケース）

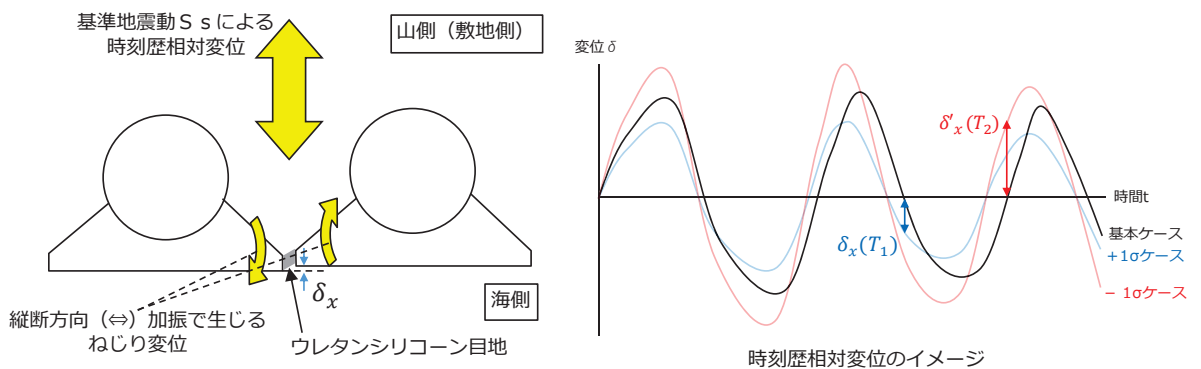


図 6.1.6-11 地震時の横断方向の相対変位の概念図（構造同一部）

構造境界部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x ：

$$\delta_x = 2 \times \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \delta_{rx}$$

$\delta_x(T_1)$ ：基本ケースの最大相対変位

$\delta_x'(T_2)$ ：地盤の物性値（せん断剛性）のばらつき（+1 σ ）を考慮した解析ケースの最大相対変位

$\delta_x''(T_3)$ ：地盤の物性値（せん断剛性）のばらつき（-1 σ ）を考慮した解析ケースの最大相対変位

δ_{rx} ：縦断方向加振（水平震度：8.6）で生じるねじり変位

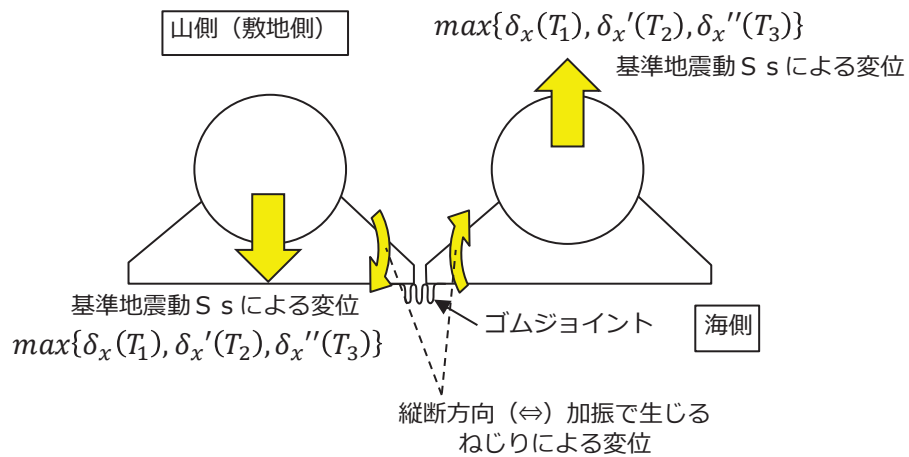


図 6. 1. 6-12 地震時の横断方向の相対変位の概念図（構造境界部）

b. 津波時の相対変位の算出方法

津波時の構造物間の相対変位は、2次元静的有限要素法解析により算出する。防潮堤に作用する遡上津波荷重は一方向に様に作用することから、地盤の物性が一様で同じ土層構成が続いている場合、津波時の構造物の変形量は同じになり、構造物間に相対変位は生じない。ただし、津波時には衝突荷重も考慮する必要がある。衝突荷重は漂流物防護工及び鋼製遮水壁の水平リブを介して1本の杭に作用するため、衝突荷重が作用しない隣の杭の鋼製遮水壁との間に衝突荷重による変形量分の相対変位が生じることとなる。そこで、表6.1.6-2に示した防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴を踏まえ、以下に示す2種類の手法から設計用相対変位を設定する。津波時の横断方向の相対変位算出フローを図6.1.6-13に示す。

上記に基づき、構造同一部については、衝突荷重により生じる杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位に、地震時における最終変位（以下「残留変位」という。）を加えた変位を設計用の相対変位として使用する。構造同一部の相対変位の概念図を図6.1.6-14に示す。

構造境界部についても衝突荷重により生じる相対変位を考慮することとするが、評価対象が構造境界部であることを踏まえ、保守的に遡上津波荷重と衝突荷重により生じる杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位を考慮し、残留変位を2倍したものを加えた変位を設計用の相対変位として使用する。構造境界部の相対変位の概念図を図6.1.6-15に示す。

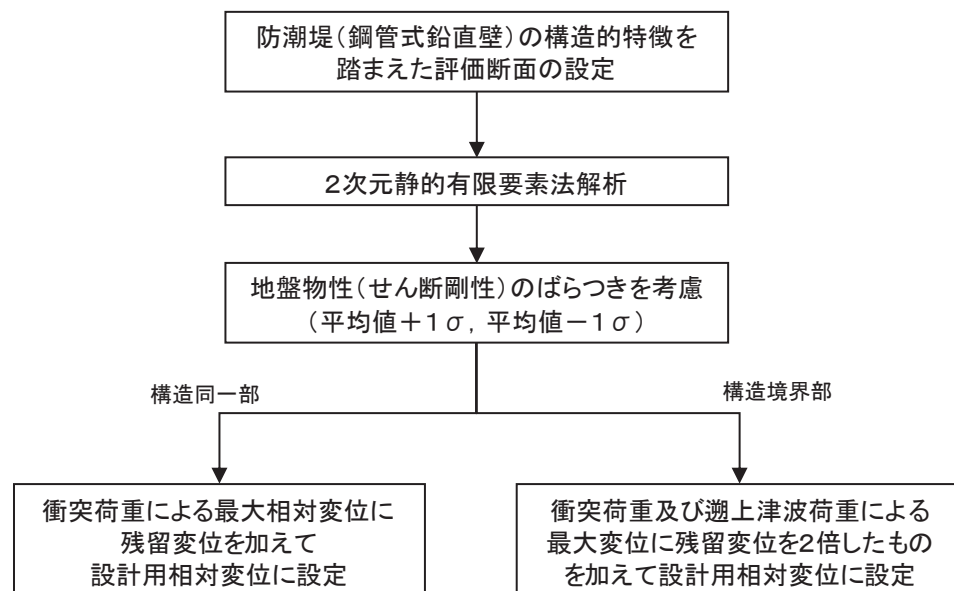


図 6.1.6-13 津波時の横断方向の相対変位算出フロー

構造同一部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x :

$$\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$$

$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの相対変位 (衝突荷重のみ作用)

$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重のみ作用)

$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重のみ作用)

δ_{finx} : 残留変位

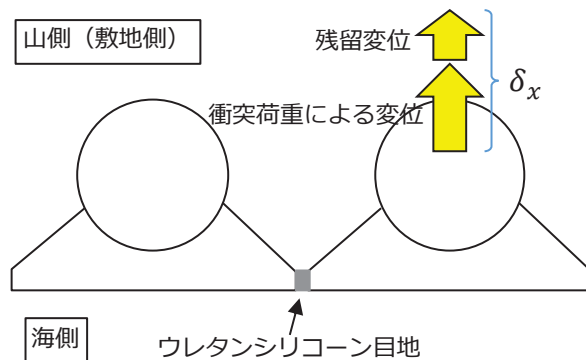


図 6.1.6-14 津波時の横断方向の相対変位の概念図 (構造同一部)

構造境界部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x :

$$\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$$

$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)

$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)

$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケースの相対変位 (衝突荷重及び遡上津波荷重を作用)

δ_{finx} : 残留変位

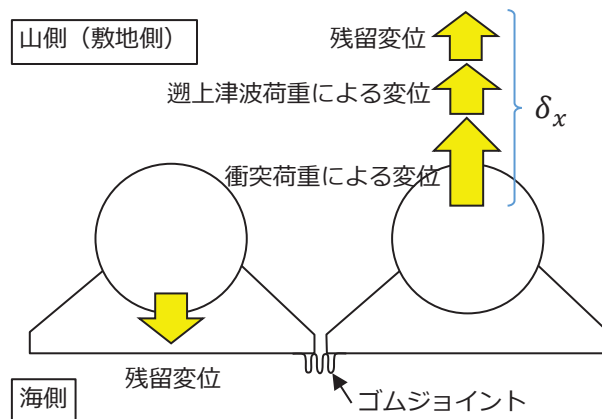


図 6.1.6-15 津波時の横断方向の相対変位の概念図 (構造境界部)

c. 重畳時の相対変位の算出方法

重畳時の構造物間の相対変位は、2次元動的有限要素法解析により算出する。重畳時に作用する荷重のうち遡上津波荷重は一方向に様に作用することから、地盤の物性が一様で同じ土層構成が続いている場合、重畳時の構造物の変形量は同じになり、構造物間に相対変位は生じない。そこで、表 6.1.6-2 に示した防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴を踏まえ、保守的に以下に示す2種類の方法から設計用相対変位を設定する。重畳時の横断方向の相対変位算出フローを図 6.1.6-16 に示す。

構造同一部については、各評価断面に対して弾性設計用地震動 S d - D 2（1波）及び位相反転を考慮した地震動（3波）を加えた全4波（基本ケース）の地震応答解析を実施し、杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位が最大になる地震動を選定する。最大となる地震動を用いて地盤の物性値（せん断剛性）のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 + 1σ, 平均値 - 1σ）を実施し、基本ケースとの時刻歴相対変位から最大相対変位を求め、残留変位を加えた変位を設計用の相対変位として使用する。重畳時の横断方向の相対変位の概念図を図 6.1.6-17 に示す。

構造境界部については、各評価断面に対して弾性設計用地震動 S d - D 2（1波）及び位相反転を考慮した地震動（3波）を加えた全4波（基本ケース）の地震応答解析を実施し、杭下端又は背面補強工天端を基準とした鋼製遮水壁天端の相対変位が最大になる地震動を選定する。最大となる地震動を用いて、地盤の物性値のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 + 1σ, 平均値 - 1σ）を実施し、基本ケースも含めた最大相対変位を求める。設計用の相対変位としては、評価対象が構造境界部であることを踏まえ、保守的に遡上津波荷重による変位も考慮した相対変位に残留変位を加えた変位を設計用相対変位として設定する。重畳時の横断方向の相対変位の概念図を図 6.1.6-18 に示す。

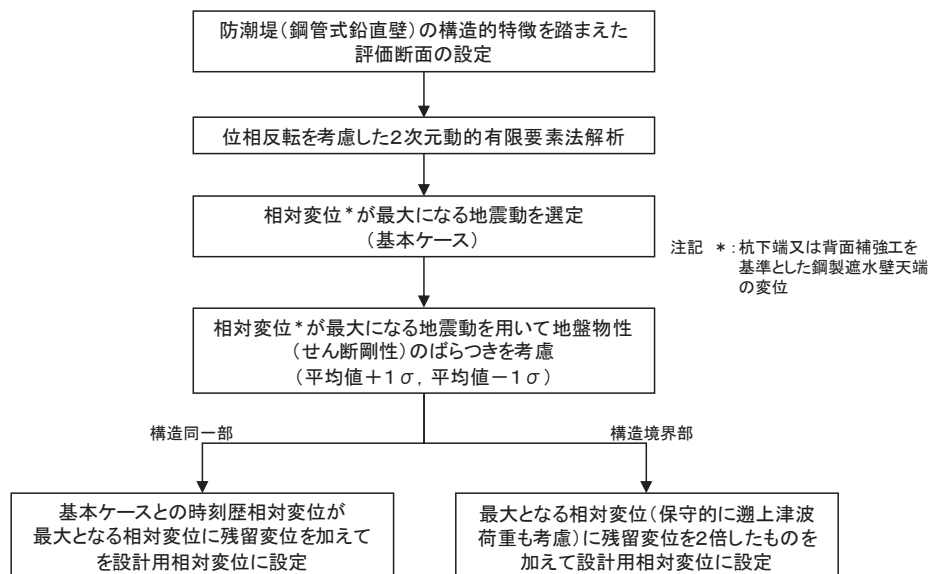


図 6.1.6-16 重畳時の横断方向の相対変位算出フロー

構造同一部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x :

$$\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2)\} + \text{abs}\{\delta_{finx}\}$$

$\delta_x(T_1)$: 基本ケースと地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位

$\delta_x'(T_2)$: 基本ケースと地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケースの時刻歴相対変位

δ_{finx} : 残留変位

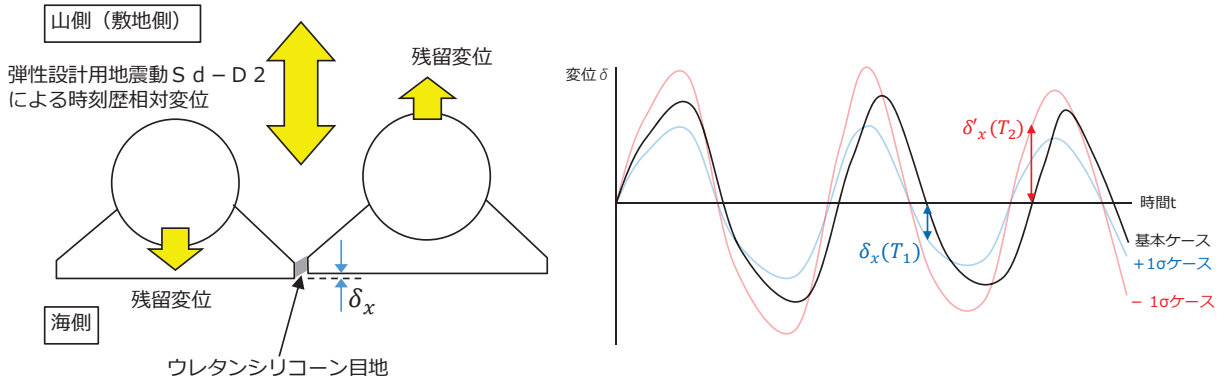


図 6. 1. 6-17 重畳時の横断方向の相対変位の概念図 (構造同一部)

構造境界部の横断方向の設計用の相対変位 δ_x :

$$\delta_x = \max\{\delta_x(T_1), \delta_x'(T_2), \delta_x''(T_3)\} + 2 \times \text{abs}\{\delta_{finx}\}$$

$\delta_x(T_1)$: 基本ケースの最大相対変位

$\delta_x'(T_2)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位

$\delta_x''(T_3)$: 地盤の物性値 (せん断剛性) のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケースの最大相対変位

δ_{finx} : 残留変位

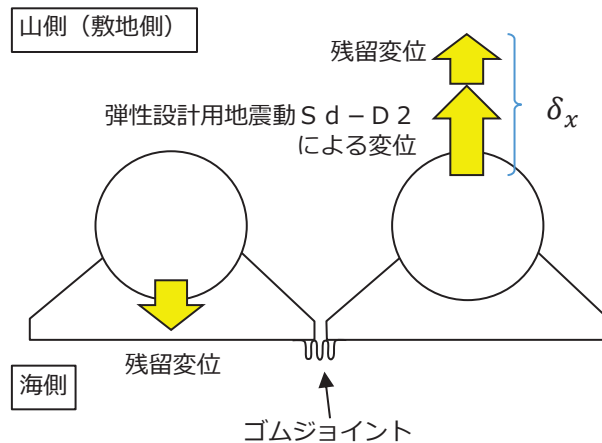


図 6. 1. 6-18 重畳時の横断方向の相対変位の概念図 (構造境界部)

(2) 縦断方向の相対変位の算出方法

地震時、津波時及び重畳時に作用する主たる荷重は、地震荷重（余震荷重を含む）、遡上津波荷重及び衝突荷重であり、このうち遡上津波荷重及び衝突荷重については横断方向に作用する荷重であるため、縦断方向の相対変位は地震荷重のみにより生じる。また、余震荷重は地震荷重に包絡されることから、地震荷重が作用する地震時のみを評価し、保守的に地震時で算出される相対変位を津波時及び重畳時に考慮する。

縦断方向の地震時の相対変位については、表 6.1.6-3 に示した防潮堤（鋼管式鉛直壁）の構造的特徴を考慮し、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部と防潮堤（盛土堤防）の境界部周辺及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち一般部と岩盤部の境界部周辺の2つの縦断面を対象に2次元動的有限要素法解析により算出する。

この2つの縦断面に対して、基準地震動 S_s （7波）及び位相反転を考慮した地震動（13波）を加えた全20波（基本ケース）の地震応答解析を実施し、隣り合う鋼製遮水壁間に生じる時刻歴相対変位が最大になる地震動を選定する。時刻歴相対変位が最大となる地震動を用いて地盤の物性値（せん断剛性）のばらつきを考慮した解析ケース（平均値+1 σ 、平均値-1 σ ）を実施し、基本ケースを含めて最大となる時刻歴相対変位を設計用の相対変位として使用する。なお、防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部のRC壁の境界及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）のうち岩盤部の突出長変化部については、解析範囲外であることから、保守的に横断方向で設定する相対変位を使用する。

地震時の縦断方向の相対変位算出フローを図 6.1.6-19 に、相対変位の概念図を図 6.1.6-20 に示す。

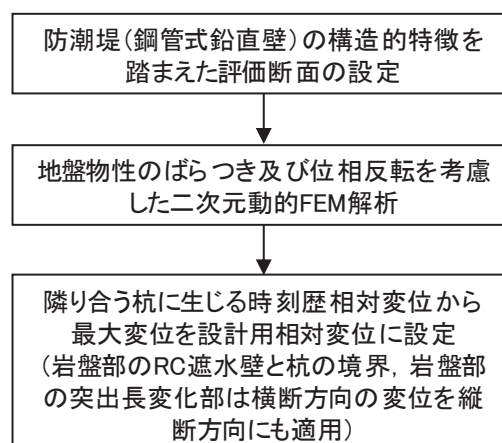


図 6.1.6-19 地震時の縦断方向の相対変位算出フロー