

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-19改03
提出年月日	2023年3月24日

VI-2-2-19 取水槽の耐震性についての計算書

2023年3月

中国電力株式会社

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造及び補強の概要	3
2.3	評価方針	16
2.4	適用規格・基準等	19
3.	耐震評価	20
3.1	地震時荷重算出断面	20
3.2	使用材料及び材料の物性値	23
3.3	許容限界	24
3.3.1	構造部材の健全性に対する許容限界	24
3.3.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	31
3.4	評価方法	32
3.4.1	構造部材の健全性評価	32
3.4.2	基礎地盤の支持性能評価	44
4.	構造部材の地震時応答	45
5.	耐震評価結果	79
5.1	構造部材の健全性に対する評価結果	79
5.2	各要求機能に対する評価結果	85
5.2.1	通水機能及びSクラスの施設等を支持する機能	85
5.2.2	止水機能	85
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	89
5.3.1	基礎地盤	89
5.3.2	MMR	91

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水槽が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

取水槽に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析により算定した荷重を3次元構造解析モデルに作用させ、構造部材の健全性評価を行う。また、基礎地盤の支持性能評価にあたっては、地震応答解析により基礎地盤に発生した接地圧について確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

取水槽の位置図を図 2-1 に示す。

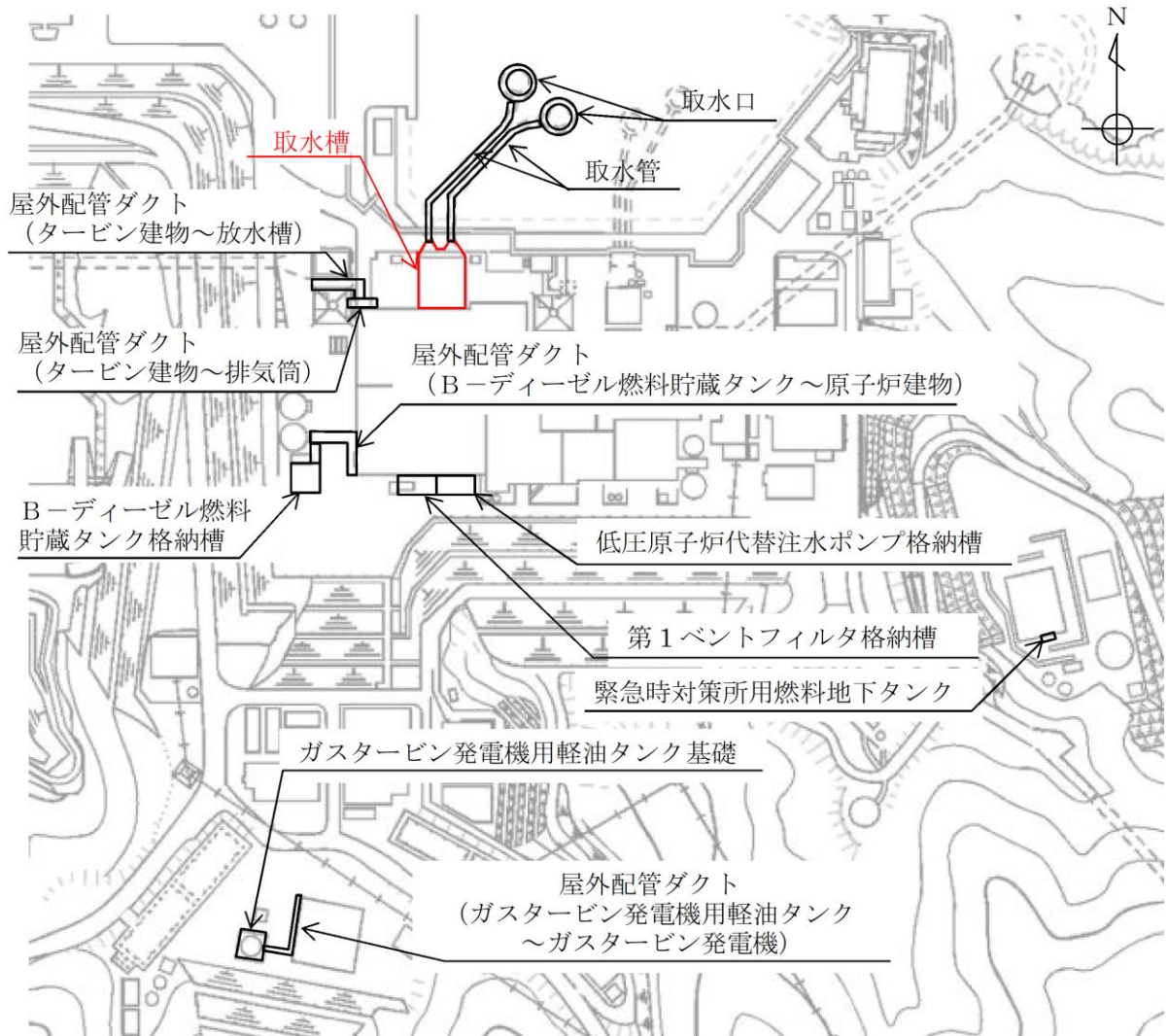


図 2-1 取水槽の位置図

2.2 構造及び補強の概要

取水槽の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3～図 2-6 に、概略配筋図を図 2-7～図 2-10 に示す。

取水槽は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能、浸水防止のための止水機能が要求される。

取水槽は、地下 2 階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア及びストレーナエリアの 3 エリアに分かれている。下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は 6 連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は 3 連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等の構造となっている。

取水槽は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱型構造物である。

取水槽の耐震性を確保するため、耐震補強を実施する。補強計画図を図 2-11～図 2-17 に示す。土圧低減を目的として、埋戻土の地盤改良（図 2-11）を実施する。曲げ・軸力系の破壊に対する補強として、気中部における妻壁の増厚補強（図 2-12）を実施する。また、せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法、以下「PHb 工法」という。）によるせん断補強（図 2-13～図 2-16）を実施する。併せて、波及的影響を防止するため、原子炉補機海水ポンプ棚（RSW ポンプ棚）の撤去（図 2-17）を実施する。

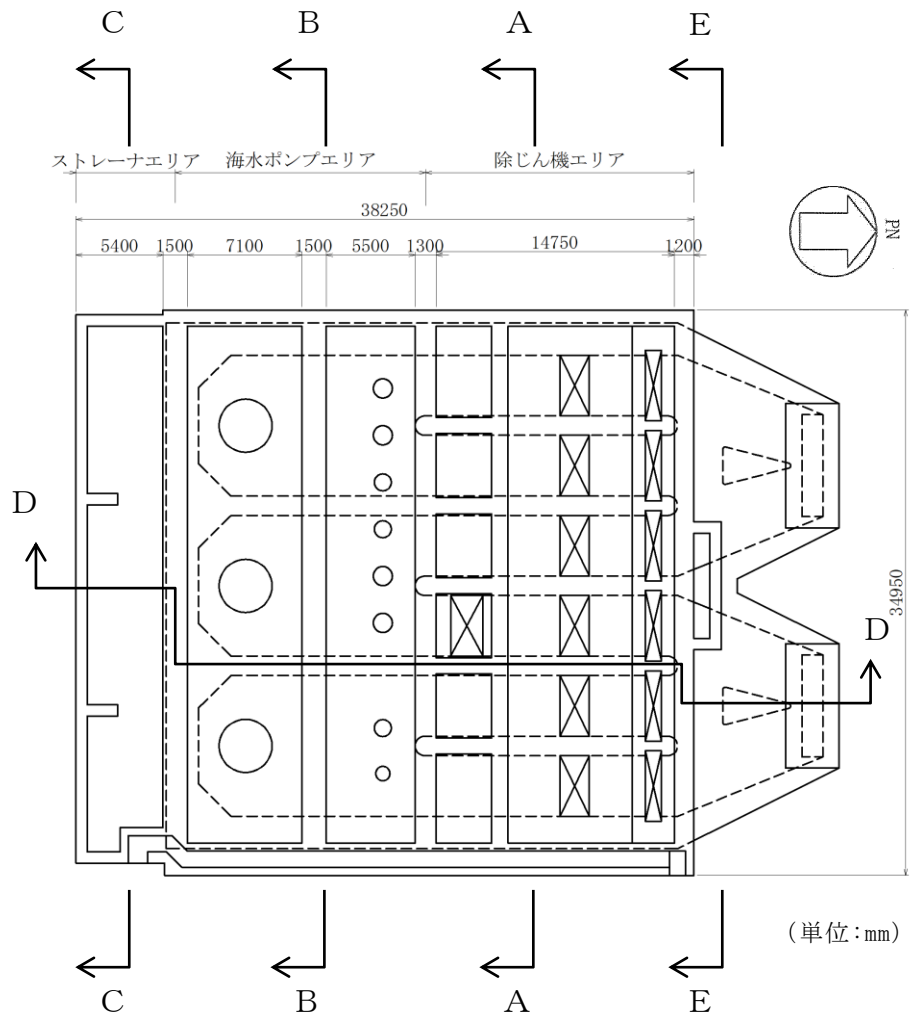


図 2-2 取水槽平面図

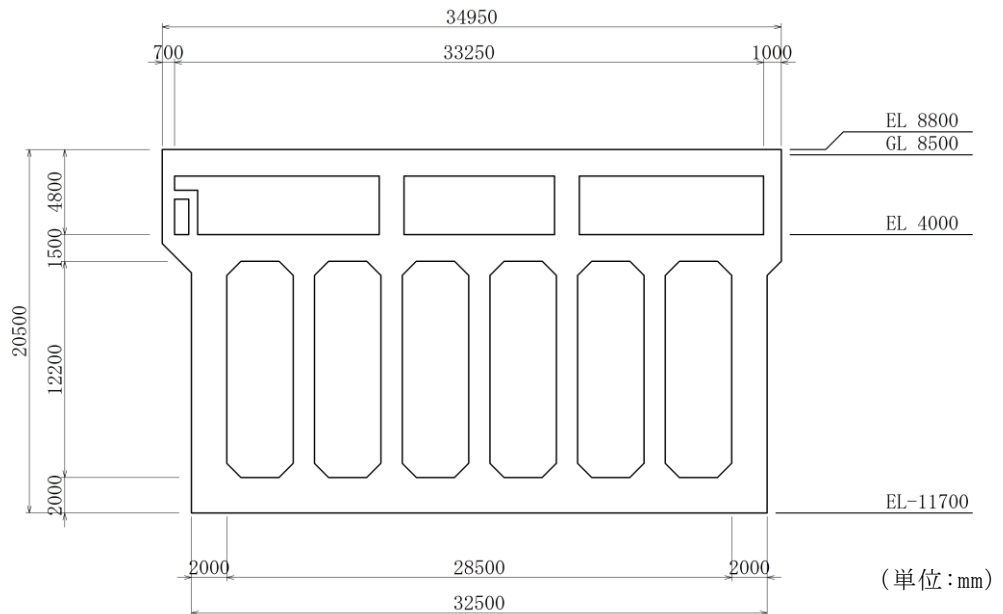


図 2-3 取水槽断面図 (A-A 断面)

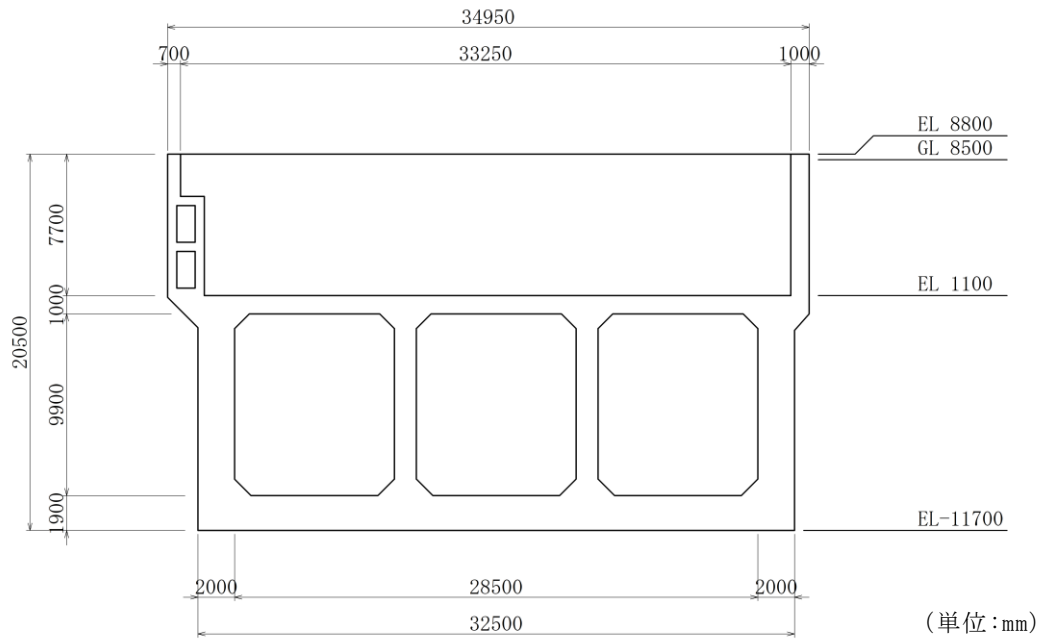


图 2-4 取水槽断面图 (B-B 断面)

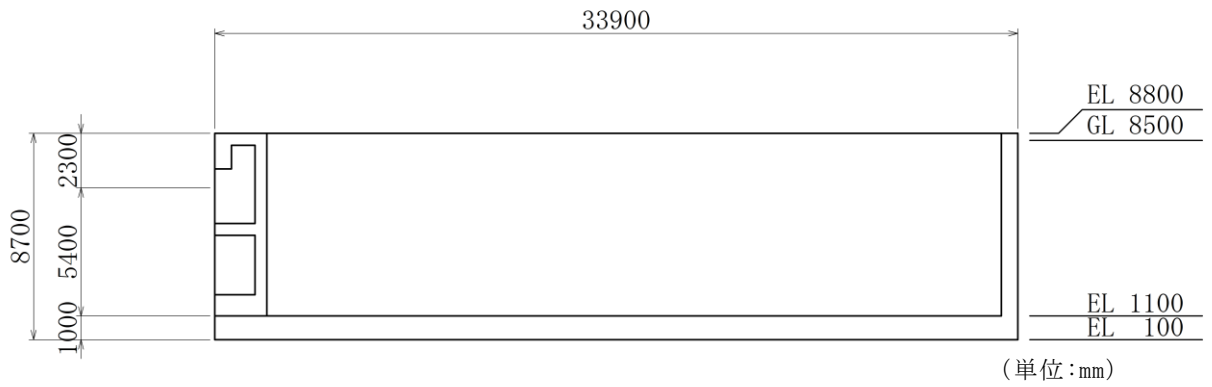


图 2-5 取水槽断面图 (C-C 断面)

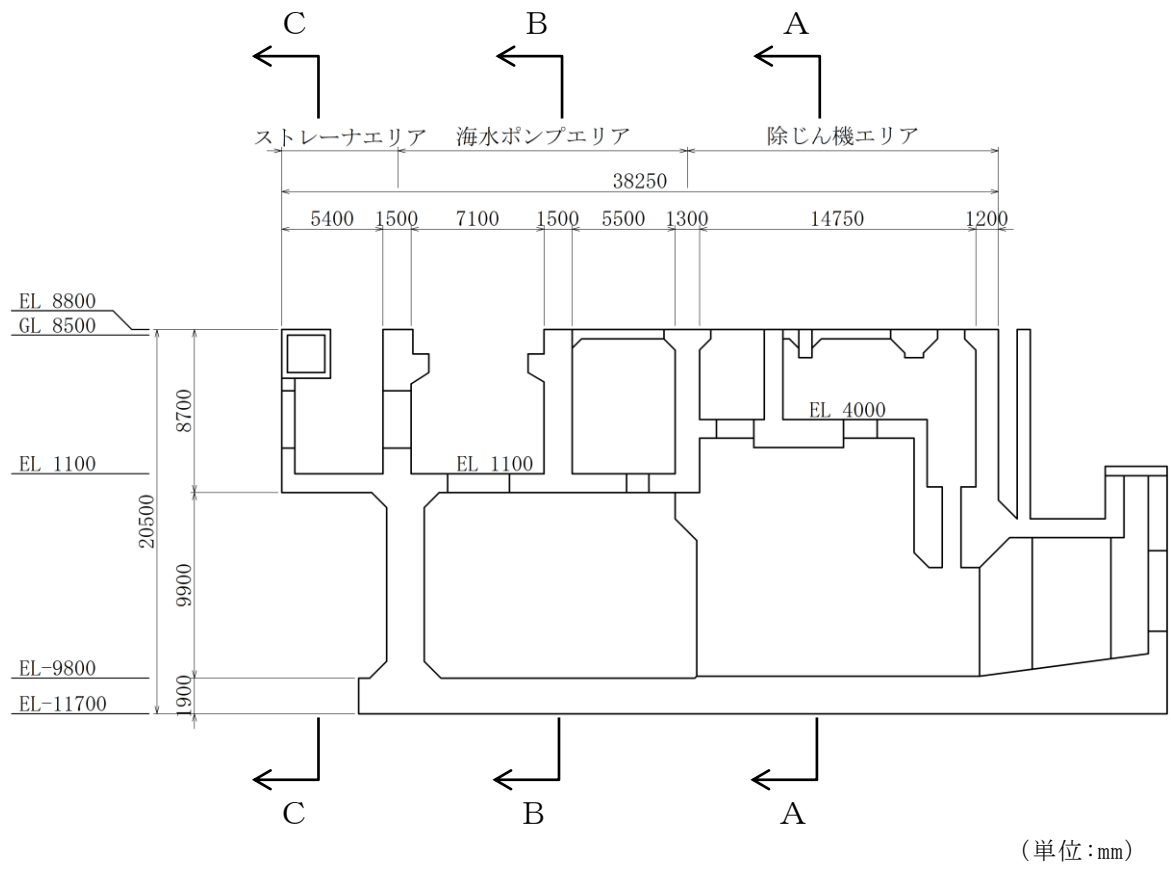


図 2-6 取水槽断面図(D-D断面)

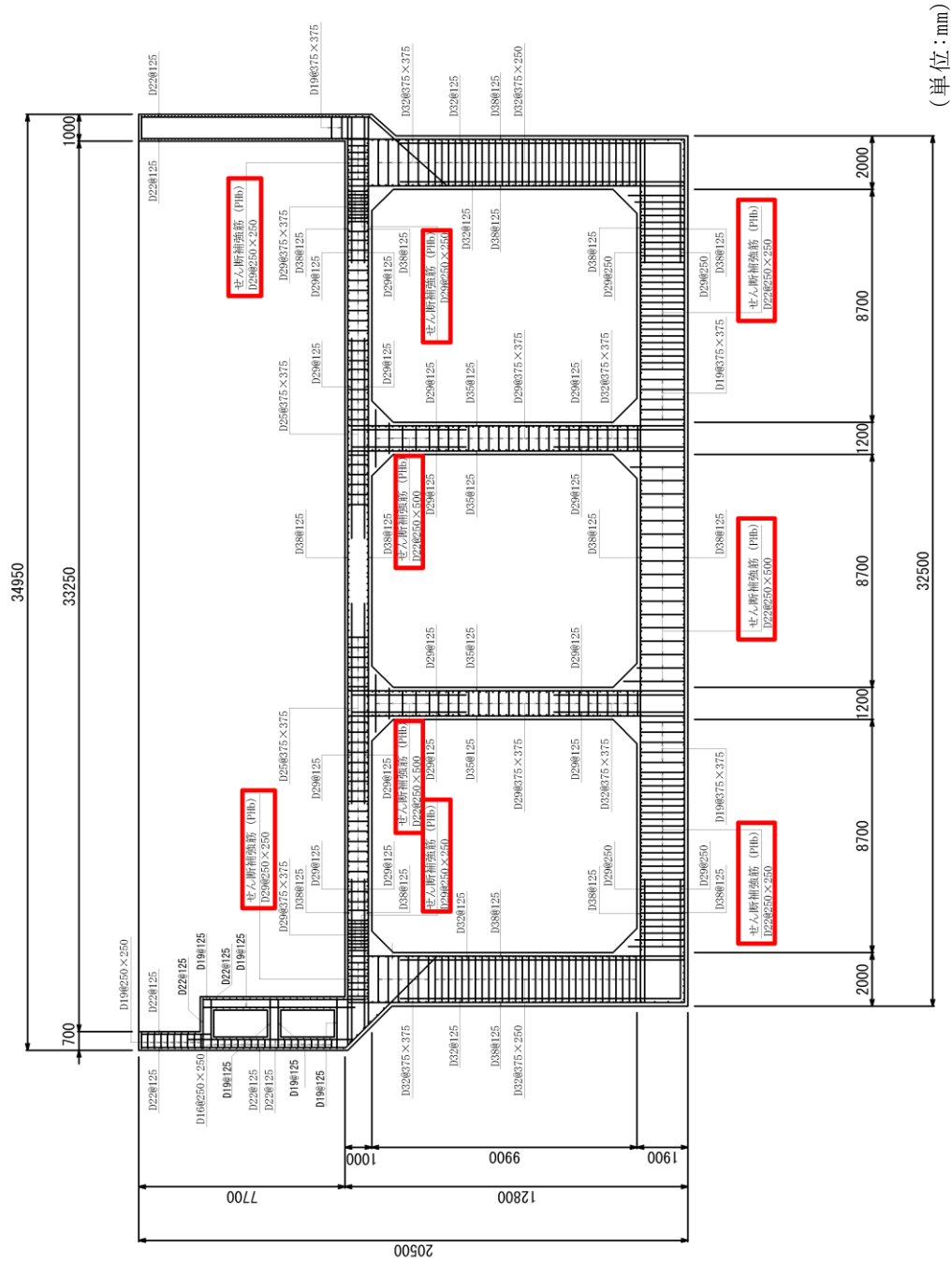
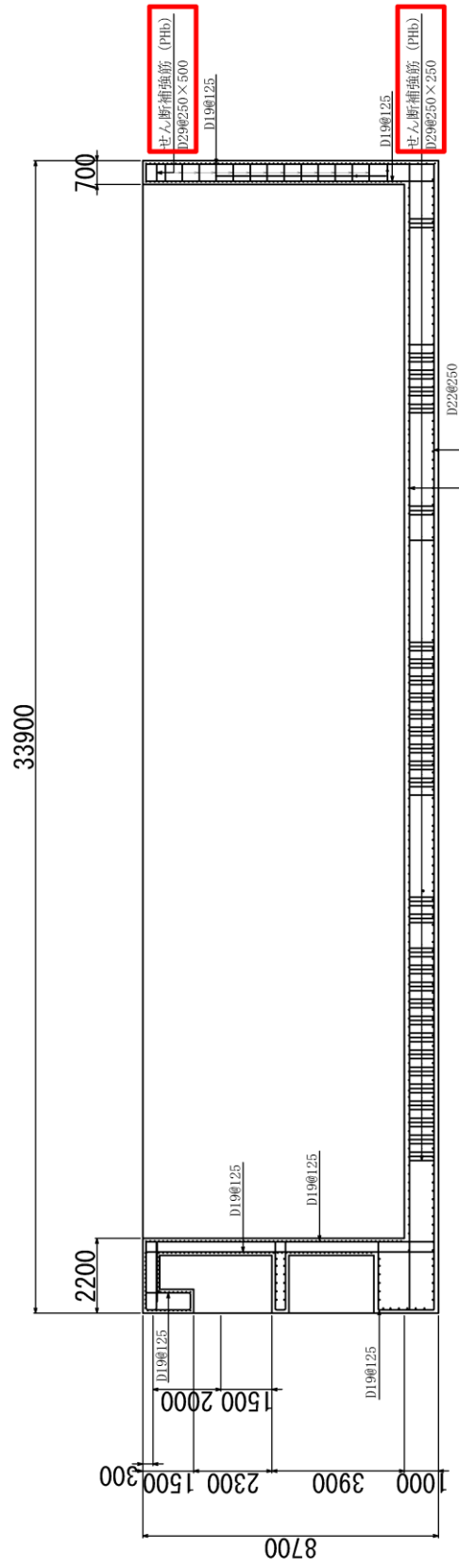


図 2-8 取水槽概略配筋図 (B-B 断面)



(単位: mm)

図 2-9 取水槽概略配筋図 (C-C 断面)

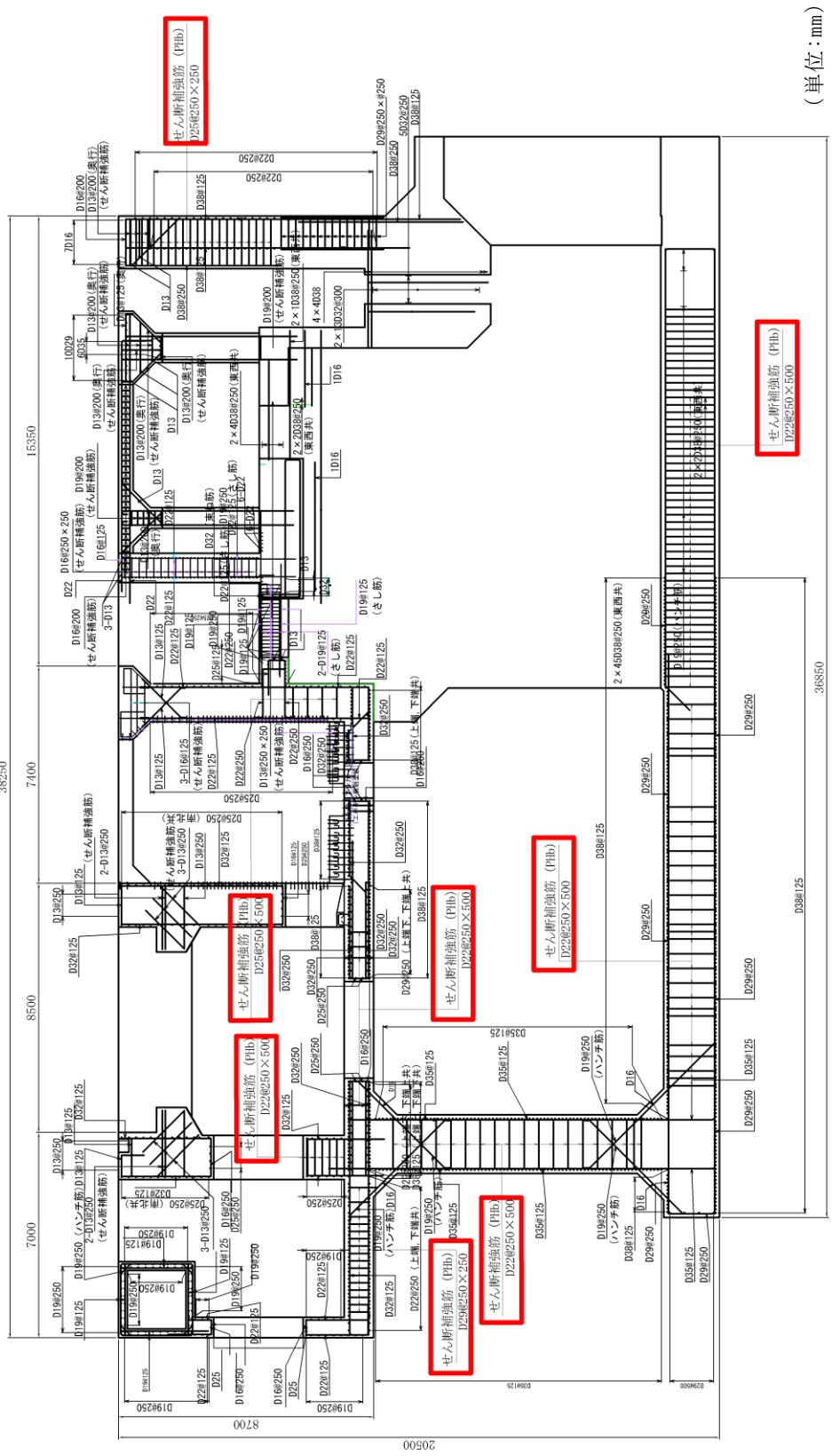
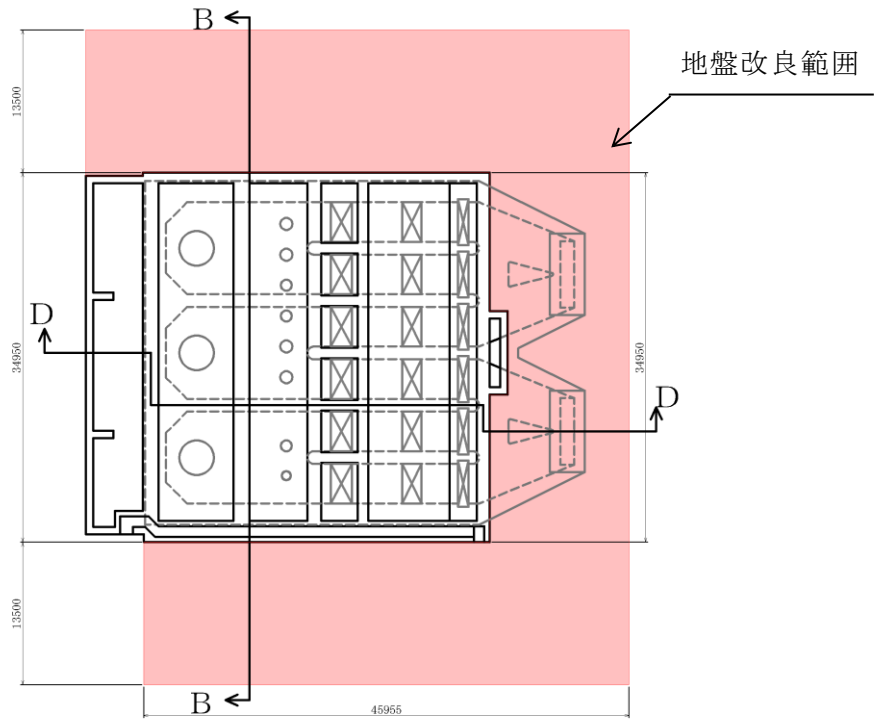
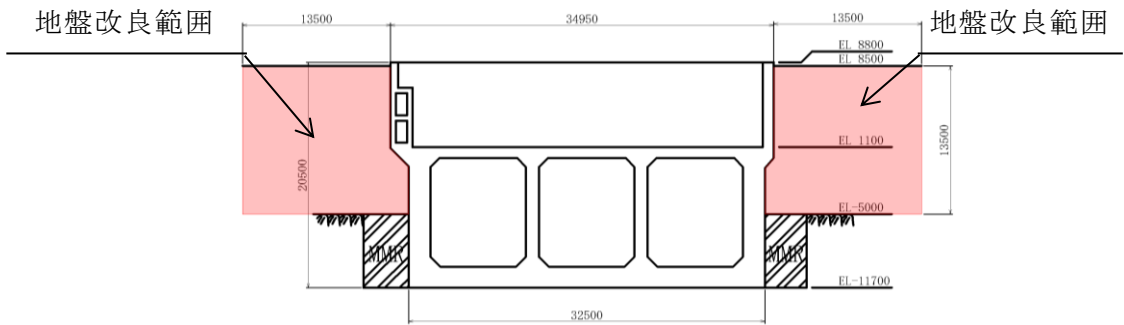


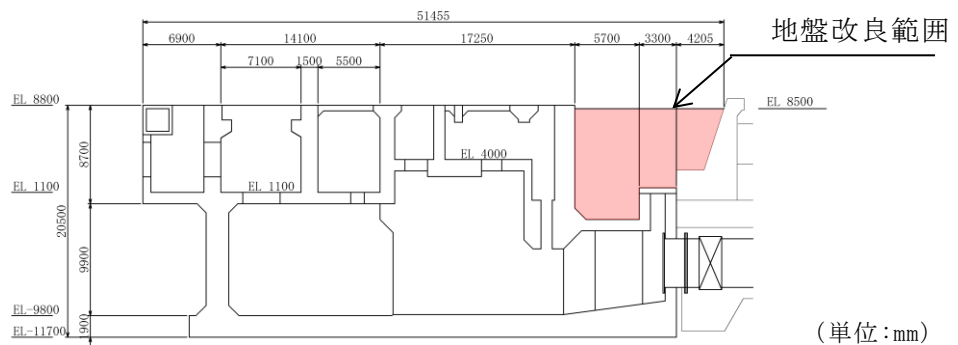
図 2-10 取水槽概略配筋図 (D-D 断面)



(平面図)



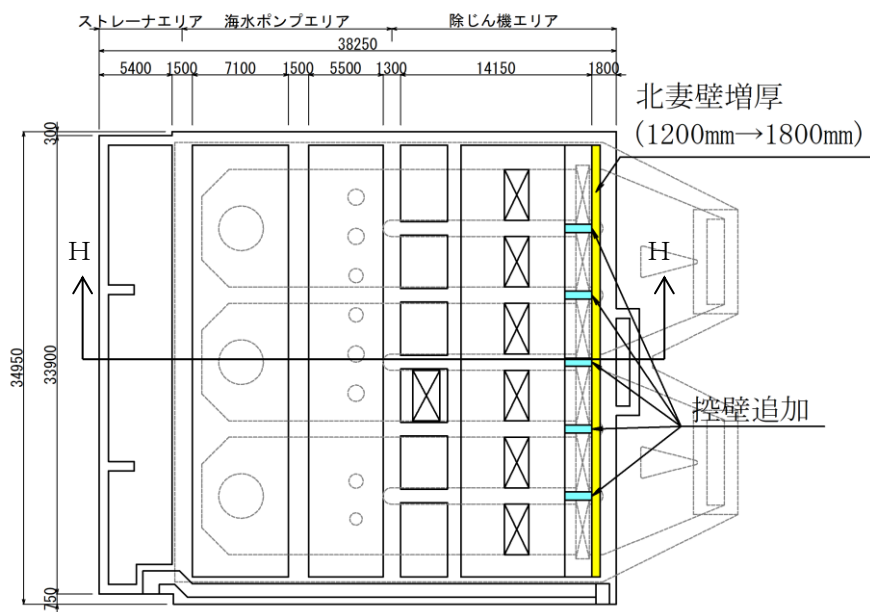
(B - B 断面)



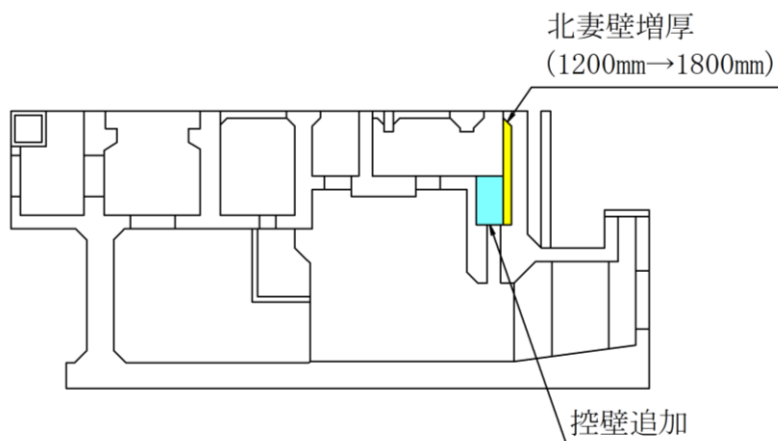
(D - D 断面)

(単位: mm)

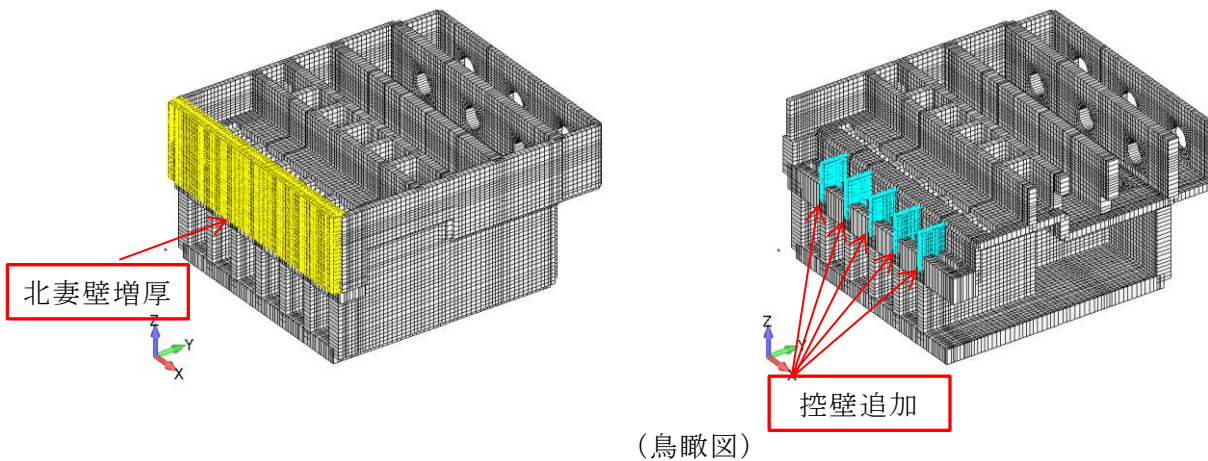
図 2-11 地盤改良概要図



(平面図)

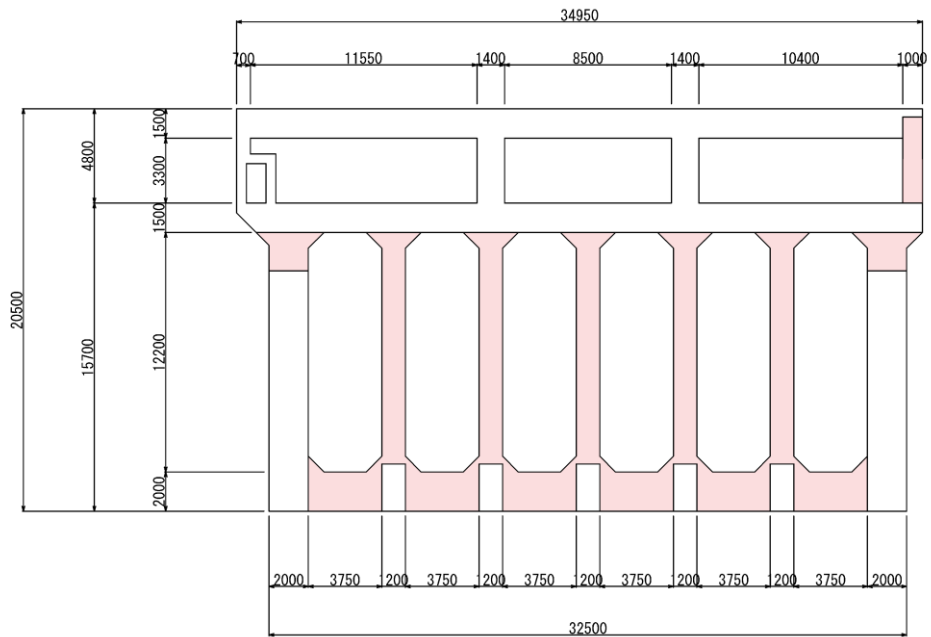


(H-H断面)



(鳥瞰図)

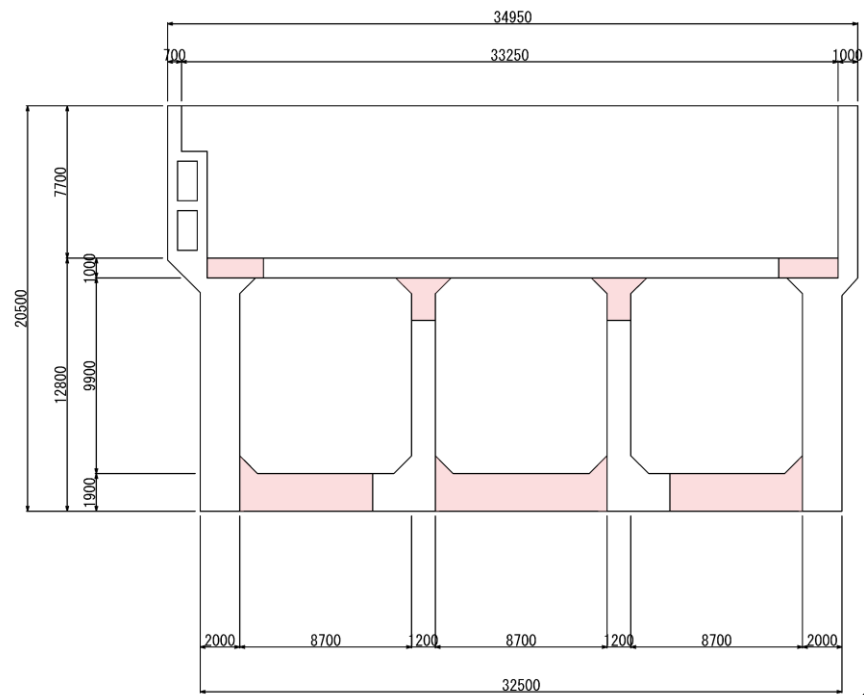
図 2-12 取水槽妻壁補強概要図



(単位:mm)

■ : PHb 工法適用箇所

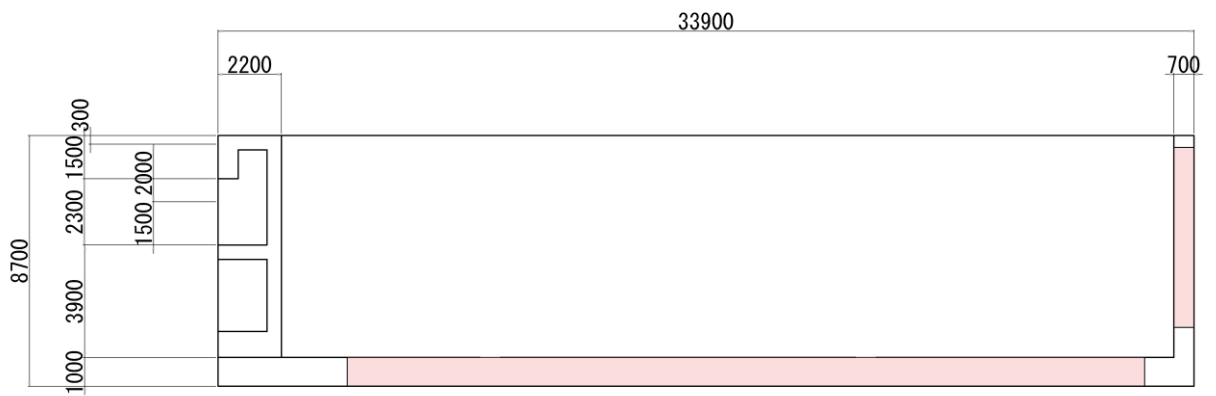
図 2-13 せん断補強計画図 (A-A断面)



(単位:mm)

■ : PHb 工法適用箇所

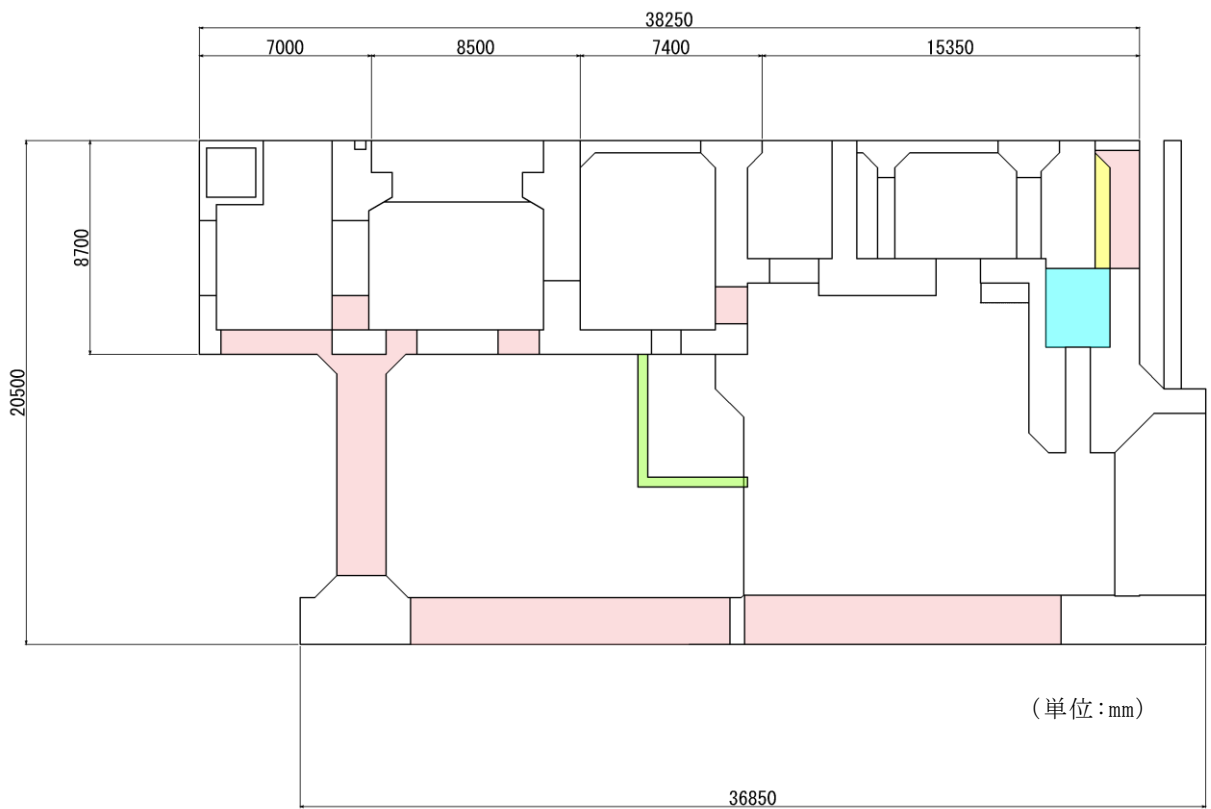
図 2-14 せん断補強計画図 (B-B断面)



(単位:mm)

■ : PHb 工法適用箇所

図 2-15 せん断補強計画図 (C-C断面)



(単位:mm)

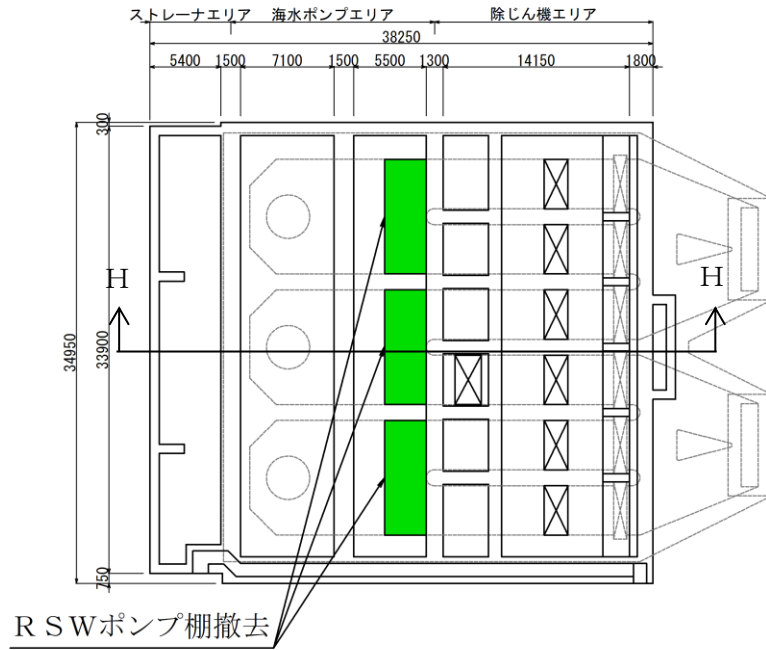
■ : PHb 工法適用箇所

■ : RSW ポンプ棚撤去箇所

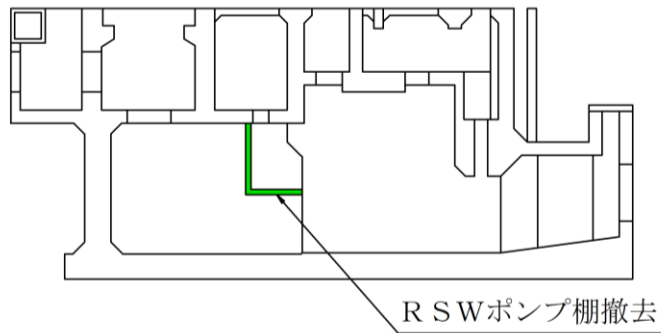
■ : 部材追加箇所 (控壁)

■ : PHb 工法適用及び部材追加箇所 (北妻壁)

図 2-16 せん断補強計画図 (D-D断面)



(平面図)



(H-H断面)

図 2-17 RSW ポンプ棚撤去概要図

2.3 評価方針

取水槽は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備及びSクラス施設等の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設重大事故緩和設備及び常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類される。また、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設に分類される。

取水槽の耐震評価フローを図2-18に示す。

取水槽の耐震評価は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認し、これにより通水機能及びSクラス施設等を支持する機能（支持機能）を維持することができる。また、取水槽の一部は止水機能を損なわないことが要求されるため、構造部材の止水機能に対する評価を併せて実施する。

構造部材の健全性評価については、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」より得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用い、非線形シェル要素による3次元静的材料非線形解析（以下「3次元構造解析」という。）により応答値を算定し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の照査用ひずみが許容限界を下回ることを確認し、せん断破壊に対しては照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対する補強としてPHb工法を用いる場合には、構造部材に対してPHb工法の適用条件を満たしていることを確認し、PHb工法を採用する。

基礎地盤の支持性能評価においては、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」より得られた基礎地盤の接地圧が、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、取水槽の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらず、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

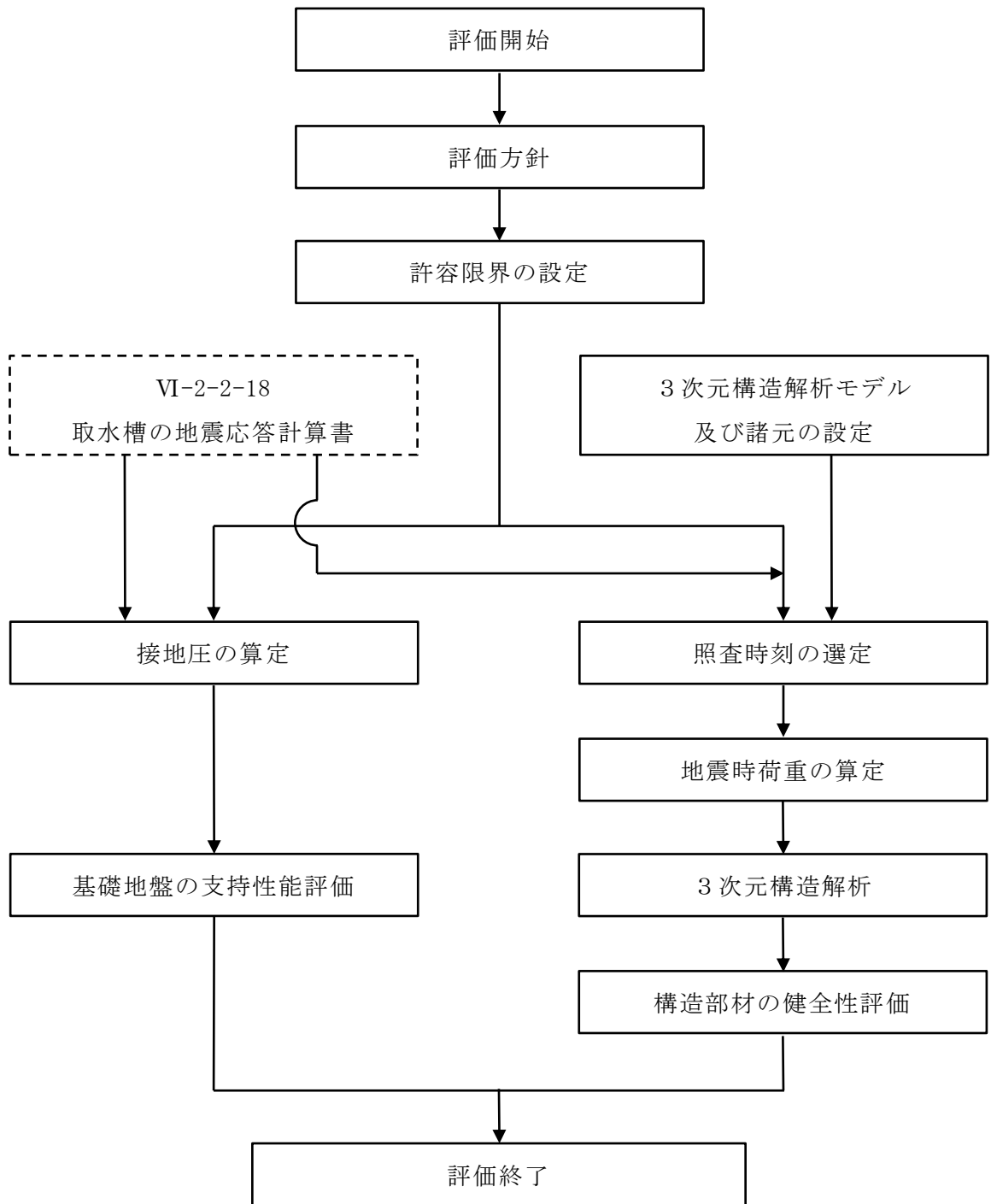


図 2-18 取水槽の耐震評価フロー

表 2-1 取水槽の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界		
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ，照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力		限界ひずみ*
				せん断力	面外	せん断耐力*
					面内	限界せん断ひずみ*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力度*		
MMR		MMRの支圧強度				
止水機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力		限界ひずみ*
				せん断力	面外	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・道路橋示方書・同解説 [I 共通編・IV 下部構造編]（日本道路協会，2002年）
- ・道路橋示方書・同解説 [V 耐震設計編]（日本道路協会，2002年）
- ・建設技術審査証明報告書 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」
（一般財団法人土木研究センター）

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面

取水槽の地震時荷重算出断面位置を図 3-1 に示す。地震時荷重算出断面は、東西方向では妻壁や隔壁の配置が異なることによる剛性差を考慮して、除じん機エリア（A-A断面）、海水ポンプエリア（B-B断面）及びストレーナエリア（C-C断面）を通る断面とし、南北方向ではD-D断面とする。地震時荷重算出用 **地質** 断面図を図 3-2～図 3-5 に示す。

なお、加振方向に平行に配置された耐震上見込むことができる面部材の配置から、南北方向（D-D断面）が強軸方向となり、東西方向（A-A断面、B-B断面及びC-C断面）が弱軸方向となることから、東西方向に対して3次元構造解析による耐震評価を実施する。

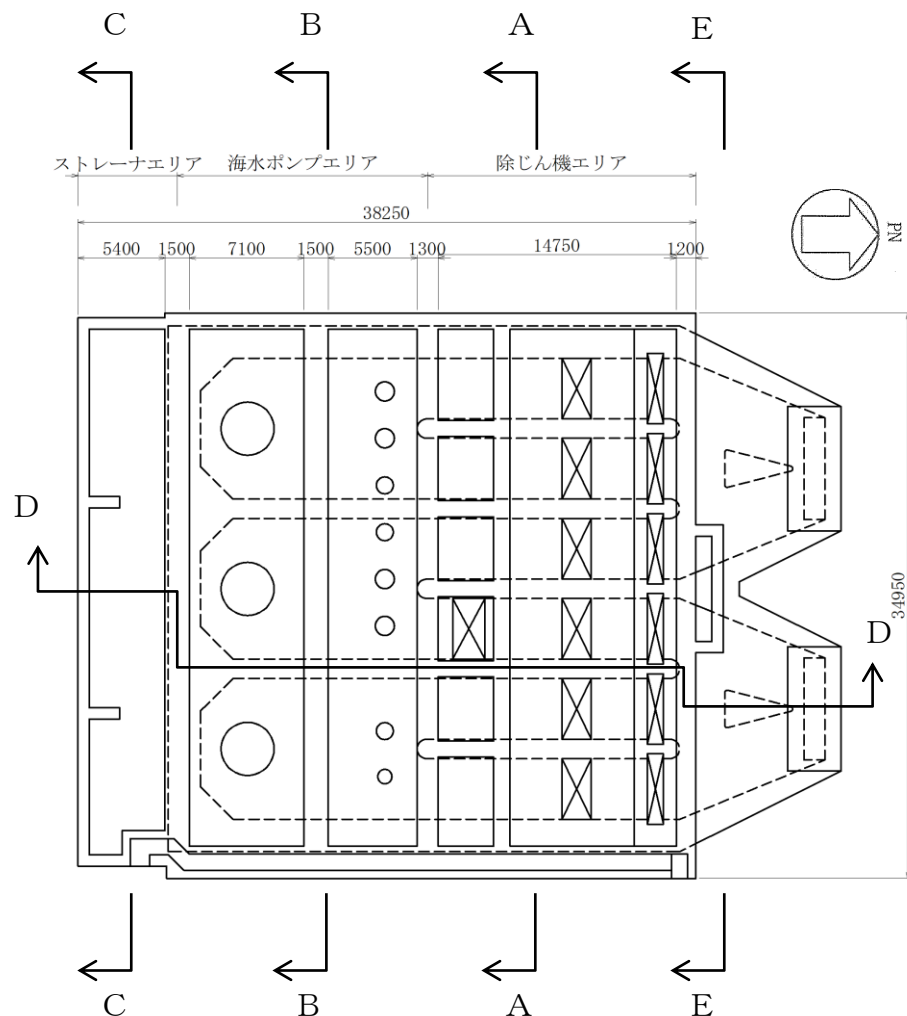


図 3-1 取水槽の地震時荷重算出断面位置図

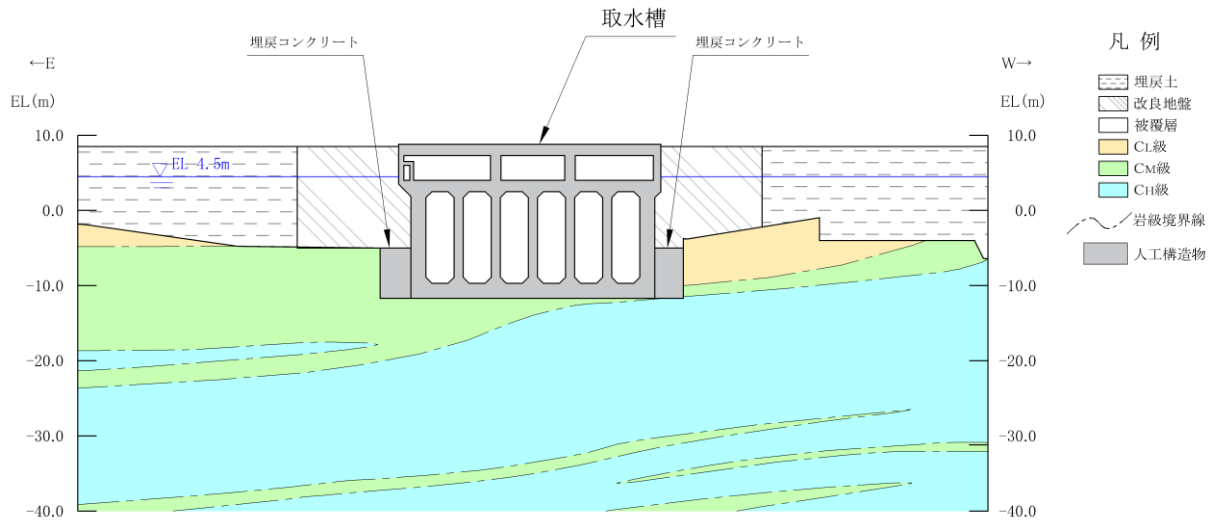


図 3-2 取水槽 地震時荷重算出用地質断面図 (A-A 断面位置)

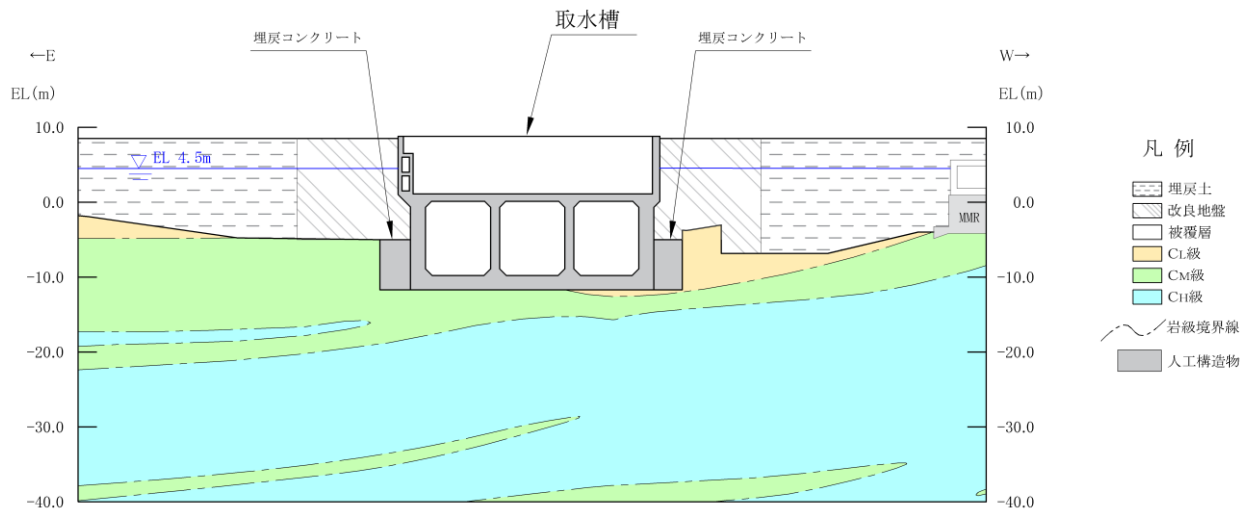


図 3-3 取水槽 地震時荷重算出用地質断面図 (B-B 断面位置)

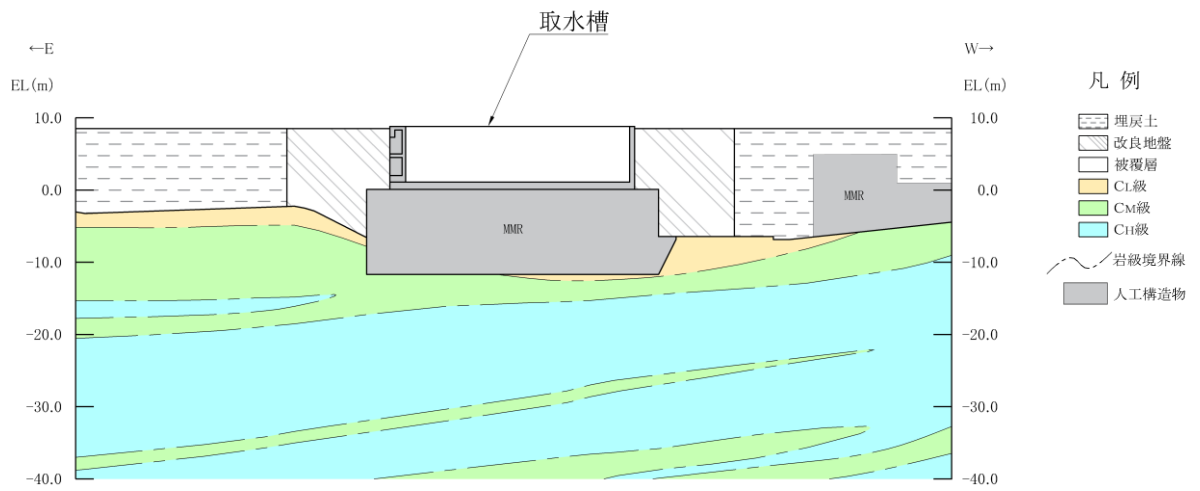


図 3-4 取水槽 地震時荷重算出用地質断面図 (C-C断面位置)

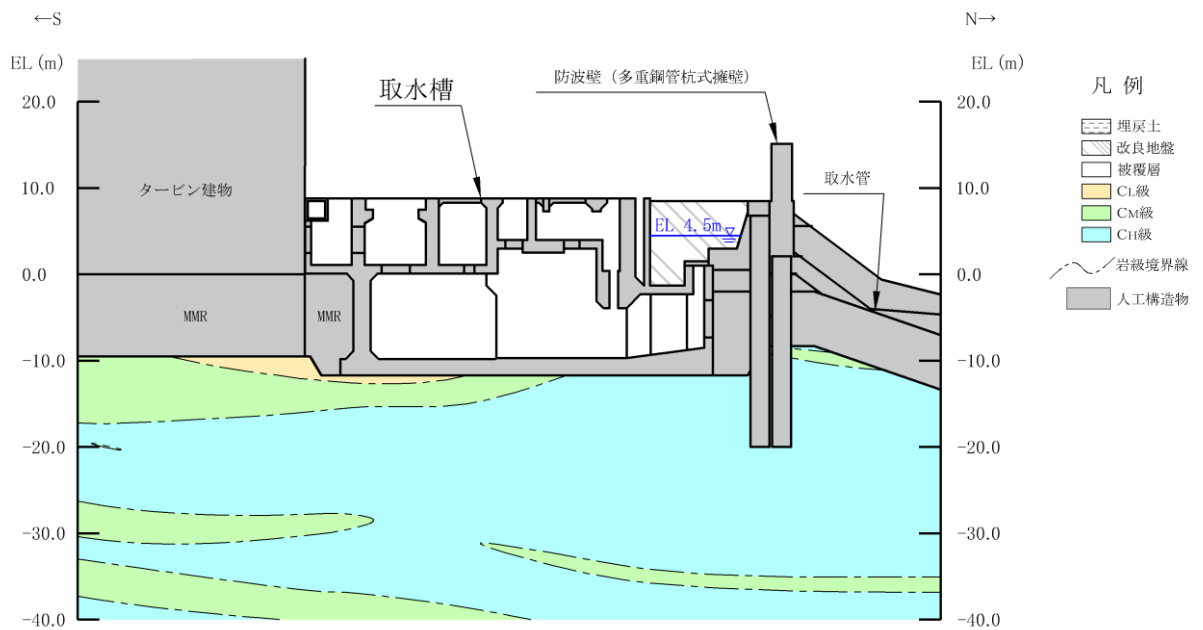


図 3-5 取水槽 地震時荷重算出用地質断面図 (D-D断面位置)

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1 に、材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料		仕様
コンクリート	底版, 側壁, 隔壁, 妻壁*, 導流壁, 中床版*	設計基準強度 23.5 N/mm ²
	分離壁, 控壁	設計基準強度 24.0 N/mm ²
鉄筋		SD345

注記* : 妻壁及び中床版の一部の部材は、設計基準強度 24.0N/mm²である。

表 3-2 材料の物性値

材料	設計基準強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5	2.475×10 ⁴	24.0	0.2
	24.0	2.500×10 ⁴	24.0	

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、「土木学会マニュアル」ではコンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性等が確保できるとして設定されたものである。

各要求機能について、通水機能を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認においては、部材が終局状態に至らないことを目標性能とすることから、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。止水機能を損なわないことの確認においては、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）（以下「コンクリート標準示方書2002」という。）に基づき、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ 2000μ ，主筋ひずみ 1725μ ）とする。

取水槽の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表3-3に示す。

表3-3 取水槽の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

要求機能	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000μ)
通水機能を有すること		圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000μ)
止水機能を損なわないこと		圧縮ひずみ： 2000μ 主筋ひずみ： 1725μ
Sクラスの施設を支持する 機能を損なわないこと		圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000μ)

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する許容限界は、「土木学会マニュアル」に基づくせん断耐力とする。

せん断耐力は、「土木学会マニュアル」に基づき「a. 棒部材式」を適用することとし、ディープビームとなる部材についても、「a. 棒部材式」を用いることで安全側の評価とする。

PHb 工法を用いる構造部材については「b. PHb によりせん断補強された部材のせん断耐力式」を用いる。

各要求機能について、せん断破壊に対しては、通水機能、止水機能、支持機能のいずれも終局状態に至らないことを目標性能とすることから、せん断耐力を許容限界とする。

a. 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで, V_{yd} : せん断耐力

V_{cd} : コンクリートが負担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d \gamma_{bc}$$

$f_{vcd} = 0.20^3 \sqrt{f'_{cd}}$ ただし $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²), となる場合は $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm²)

$\beta_d = \sqrt[4]{l/d}$ (d[m]) ただし, $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$ ただし, $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud}$ ($N'_d \geq 0$) ただし, $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

$= 1 + 4M_0 / M_{ud}$ ($N'_d < 0$) ただし, $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$\beta_a = 1$

ここで,

f'_{cd} : コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm²) で設計基準強度 f'_{ck} を材料係数 γ_{mc} で除したもの

p_v : 引張鉄筋比 $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_{ud} : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

M_0 : M_d に対する引張縁において, 軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント) $M_0 = N'_d \cdot D/6$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \{A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \} \cdot z / \gamma_{bs}$$

ここで、

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度の材料係数 γ_{ms} で除したもので、 $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f_{ck} が $60\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の時は、 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 以下としてよい。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、 $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

b. PHb によりせん断補強された部材のせん断耐力式

取水槽において後施工せん断補強（ポストヘッドバー（PHb））を配置した構造部材のせん断耐力については、建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」（一般財団法人土木研究センター）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{phb}$$

$$V_{phb} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} = \beta_{aw} \cdot \{A_{aw} \cdot f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}\} \cdot z / \gamma_b$$

$$\beta_{aw} = 1 - I_y / \{2 \cdot (d - d')\} \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここで、

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない RC 部材の単位長さあたりのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{phb} : PHb により受け持たれる RC 部材の単位長さあたりのせん断耐力

V_{awd} : PHb を通常のスターラップと見なして求められる単位長さあたりのせん断耐力

β_{aw} : PHb のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

A_{aw} : 単位長さ当たりの区間 S_{aw} における PHb の総断面積

f_{awyd} : PHb の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

α_{aw} : PHb が部材軸となす角度

S_{aw} : PHb の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

I_y : PHb の埋込側に必要な定着長

$d-d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔（ $d-d' \geq I_y$ ）

PHb が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $3.5D \sim 5.5D$ であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下する。PHb が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 3-6 に有効率算定における概念図を示す。

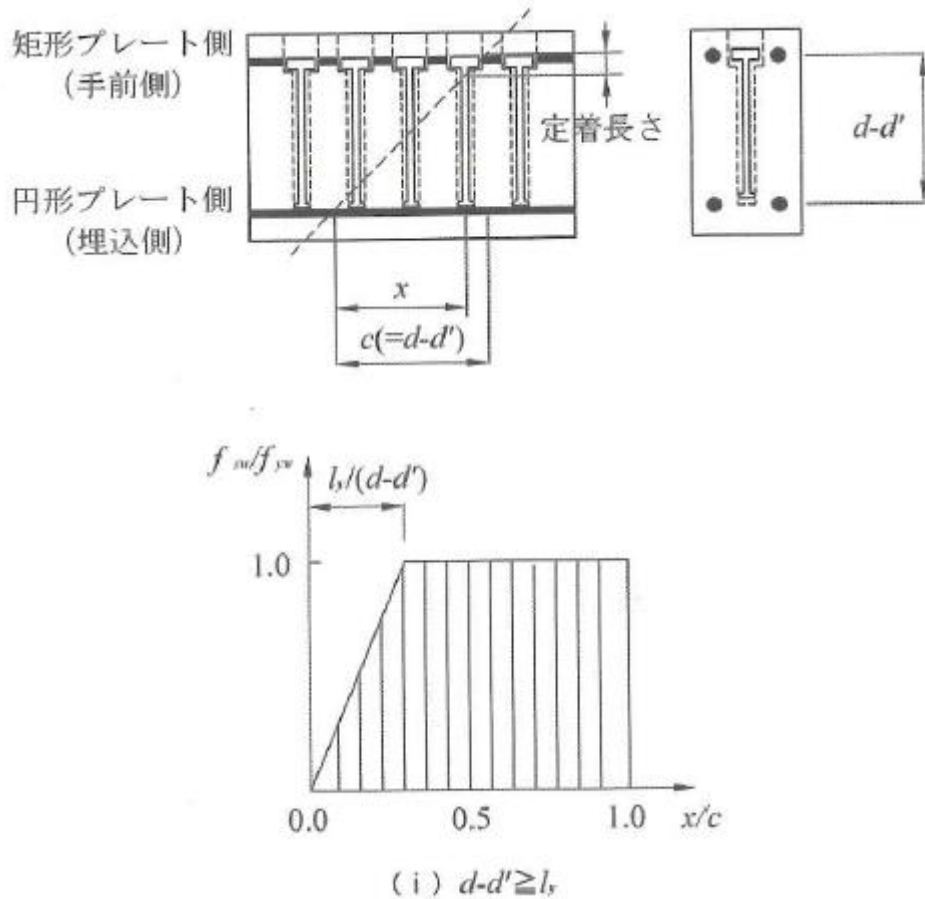


図 3-6 ポストヘッドバー (PHb) の有効率算定の概念図

(3) 壁部材の面内せん断に対する許容限界

壁部材の面内せん断に対する許容限界は、面内せん断ひずみ 2000μ (2/1000) を許容限界とする。原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会) において、限界せん断ひずみ 2000μ (2/1000) は、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4000μ (4/1000) に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤の一部にC_L級岩盤が分布することから、C_L級岩盤の極限支持力度とする。基礎地盤の許容限界を表3-4に示す。

表3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _L 級岩盤	3.9

(2) MMR

マンメイドロック（以下「MMR」という。）に発生する接地圧に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書2002」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。MMRの接地圧に対する許容限界を表3-5に示す。

表3-5 MMRの支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=18.0$ (N/mm ²))	$f'_{ck}=18.0$

3.4 評価方法

3.4.1 構造部材の健全性評価

取水槽は、加振方向に平行に配置される面部材（妻壁や隔壁）を有する箱形構造物であり、Sクラスの施設を支持する機能（支持機能）及び止水機能が要求されることから、非線形シェル要素を用いた3次元構造解析により実施する。3次元構造解析には、解析コード「FINAS/STAR」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析への入力荷重は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づく地震応答解析において、取水槽の耐震評価に支配的な荷重が最大となる時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。

VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した地震時荷重（地震時増分土圧及び慣性力）を用いて、3次元構造解析により算定した照査用応答値が、「3.3 許容限界」において設定した許容限界を下回ることを確認する。

(1) 解析モデル

材料の非線形特性を考慮した非線形シェル要素でモデル化する。3次元構造解析モデルを図3-7及び図3-8に示す。

非線形シェル要素は、部材高さ方向に平面要素を重ね合わせて構成する。図3-9に非線形シェル要素の概念図を示す。主筋の位置が層の中心となるよう上側、下側に鉄筋コンクリートの層を設定し、鉄筋コンクリート層を除く範囲は、無筋コンクリート層としてモデル化する。鉄筋コンクリート層の厚さは、「土木学会マニュアル」に示される一般的な分割方法に従い、かぶり厚さの2倍とする。各要素の鉄筋部分は、鉄筋の軸方向剛性のみを有する鉄筋層としてモデル化する。構造部材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を図3-10及び図3-11に示す。

部材接合部の隅角部には剛域を設ける。剛域設定範囲の考え方を図3-12に示す。剛域は、「コンクリート標準示方書2002」に基づき、底版等部材厚が厚い部材に剛域を設定することとし、本解析モデルでは1.9m以上の部材を対象とする。

周辺地盤と接する構造物の境界には、地盤ばねを設定する。常時解析において、支持地盤に設定する地盤ばねは基礎地盤に対する静的な載荷状態を想定して定義されている道路橋示方書・同解説[I 共通編・IV 下部構造編]（日本道路協会，2002年）に基づき設定する。地震時解析において、支持地盤及び側方地盤に設定する地盤ばねは地盤と構造物間の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、道路橋示方書・同解説[V 耐震設計編]（日本道路協会，2002年）に基づき設定する。1方向載荷時には、載荷方向と平行な壁に地盤ばねを設定する。

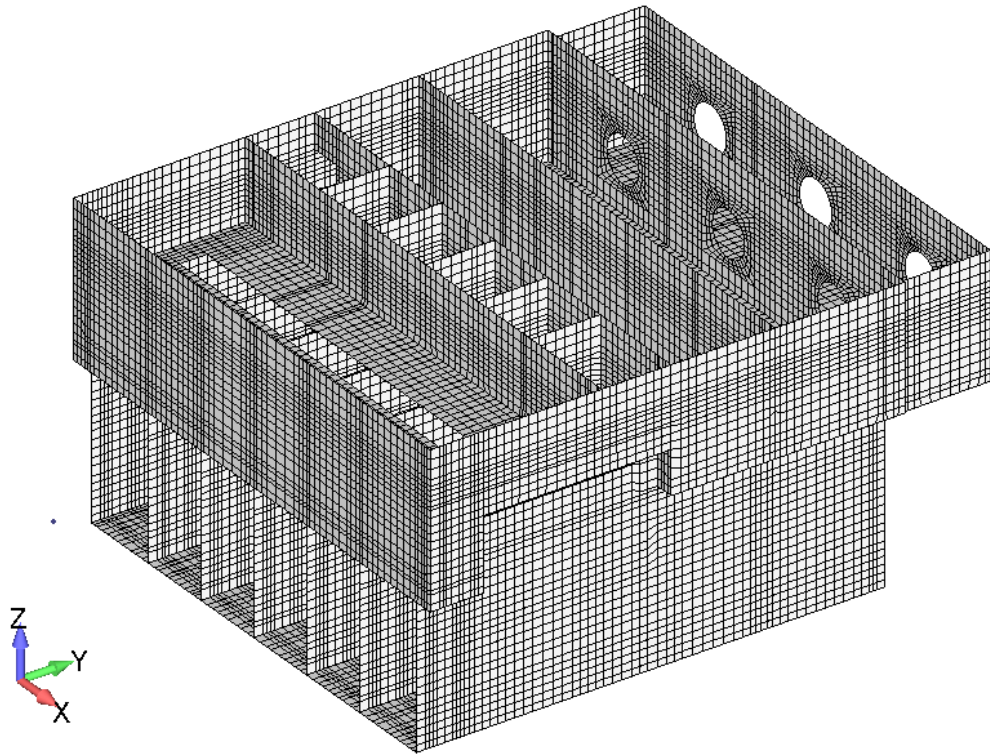


図 3-7 3次元構造解析モデル（鳥瞰図）

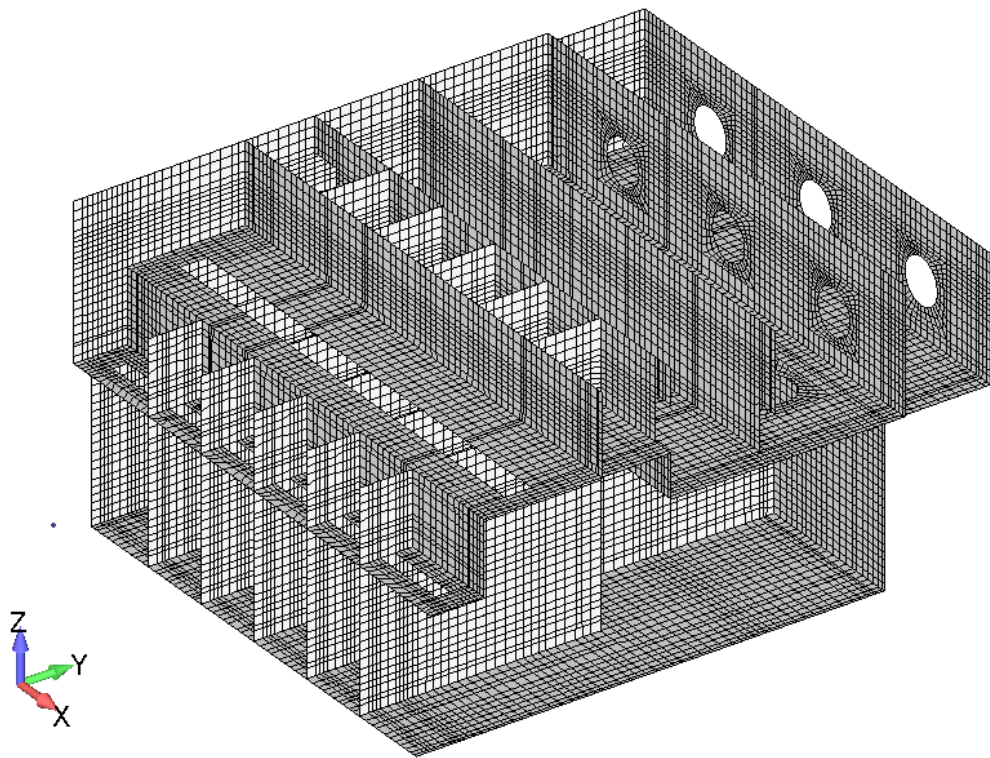


図 3-8 3次元構造解析モデル（鳥瞰図，西側壁なし）

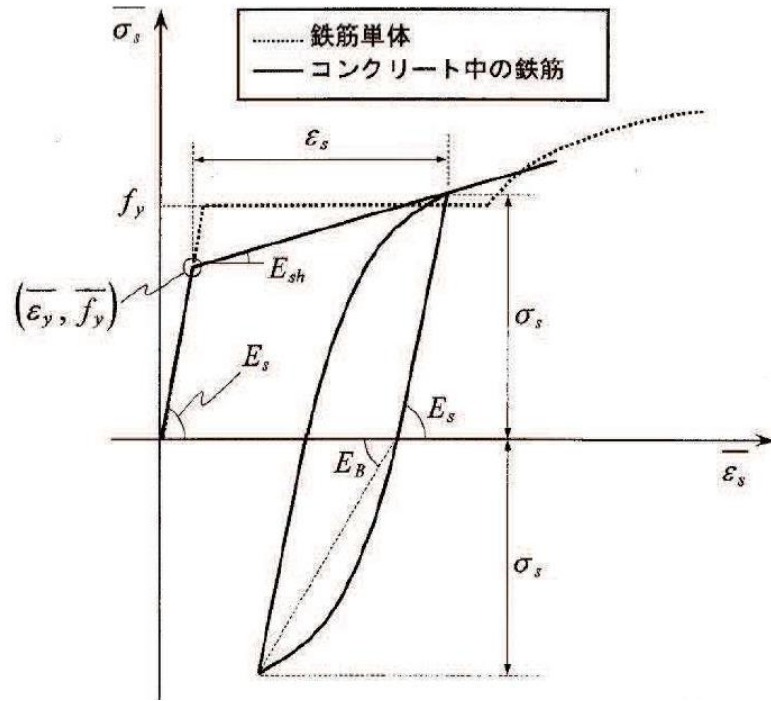


図 3-11 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （「コンクリート標準示方書 2002」より引用）

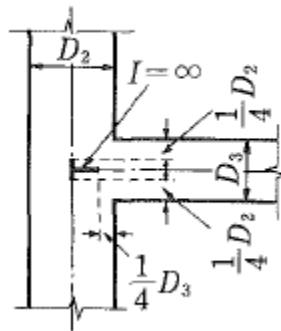


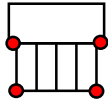
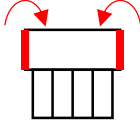
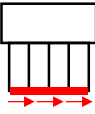
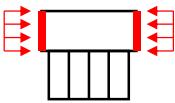
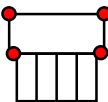
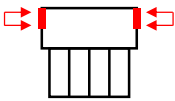
図 3-12 剛域の設定
 （「コンクリート標準示方書 2002」より引用）

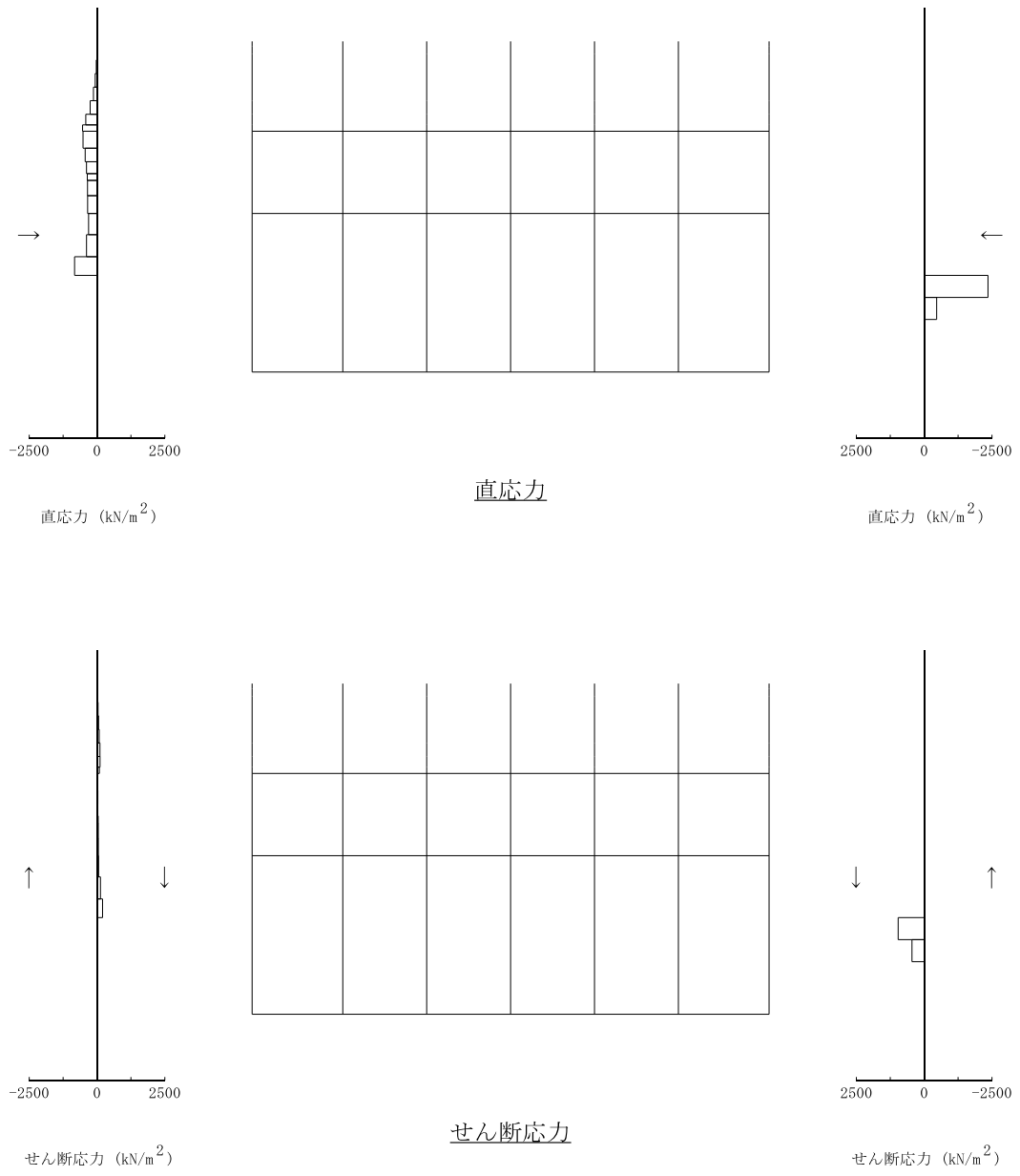
(2) 照査時刻

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。照査時刻の選定の考え方を表 3-6 に示す。

なお、せん断破壊に対する照査値最大時の作用荷重分布図を図 3-13～図 3-18 に示す。

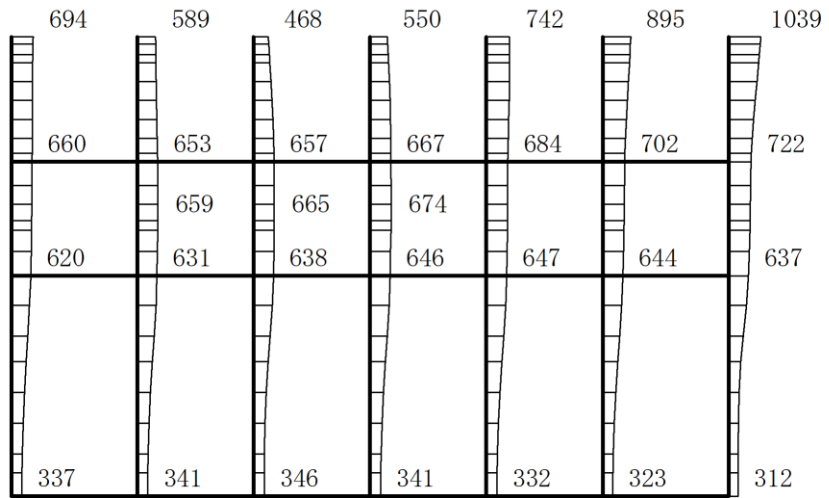
表 3-6 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻	抽出する応答値
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		下部構造における頂底版間の層間変位が最大となる時刻	中部 2 節点, 下部 2 節点の応答変位を用いて回転成分を除去した層間変位
時刻 2	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		上部構造における各側壁の転倒曲げモーメントが最大となる時刻	(上部構造に隣接する側面地盤水平土圧+上部構造側壁の慣性力)×上部構造のアーム長の積算値
時刻 3					
時刻 4	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻	底面地盤せん断応力の積算値
時刻 5	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の水平荷重が最大となる時刻	上部構造に隣接する側面地盤水平土圧と上部構造側壁の慣性力の積算値
時刻 6					
時刻 7	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻	上部 2 節点, 中部 2 節点の応答変位を用いて回転成分を除去した層間変位
時刻 8	曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の上部荷重が最大となる時刻	上部構造に隣接する側面地盤の上半分の水平土圧と側壁の慣性力の積算値
時刻 9					

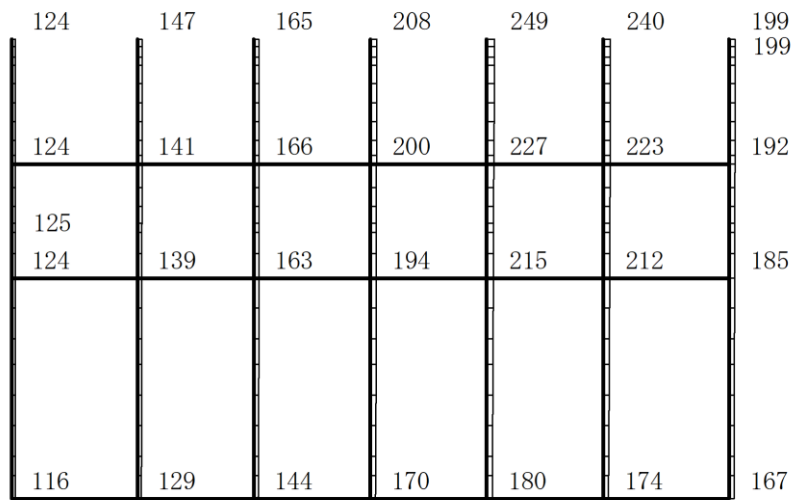


図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-13 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (解析ケース④, S s - D (-+), A - A 断面)



(水平)



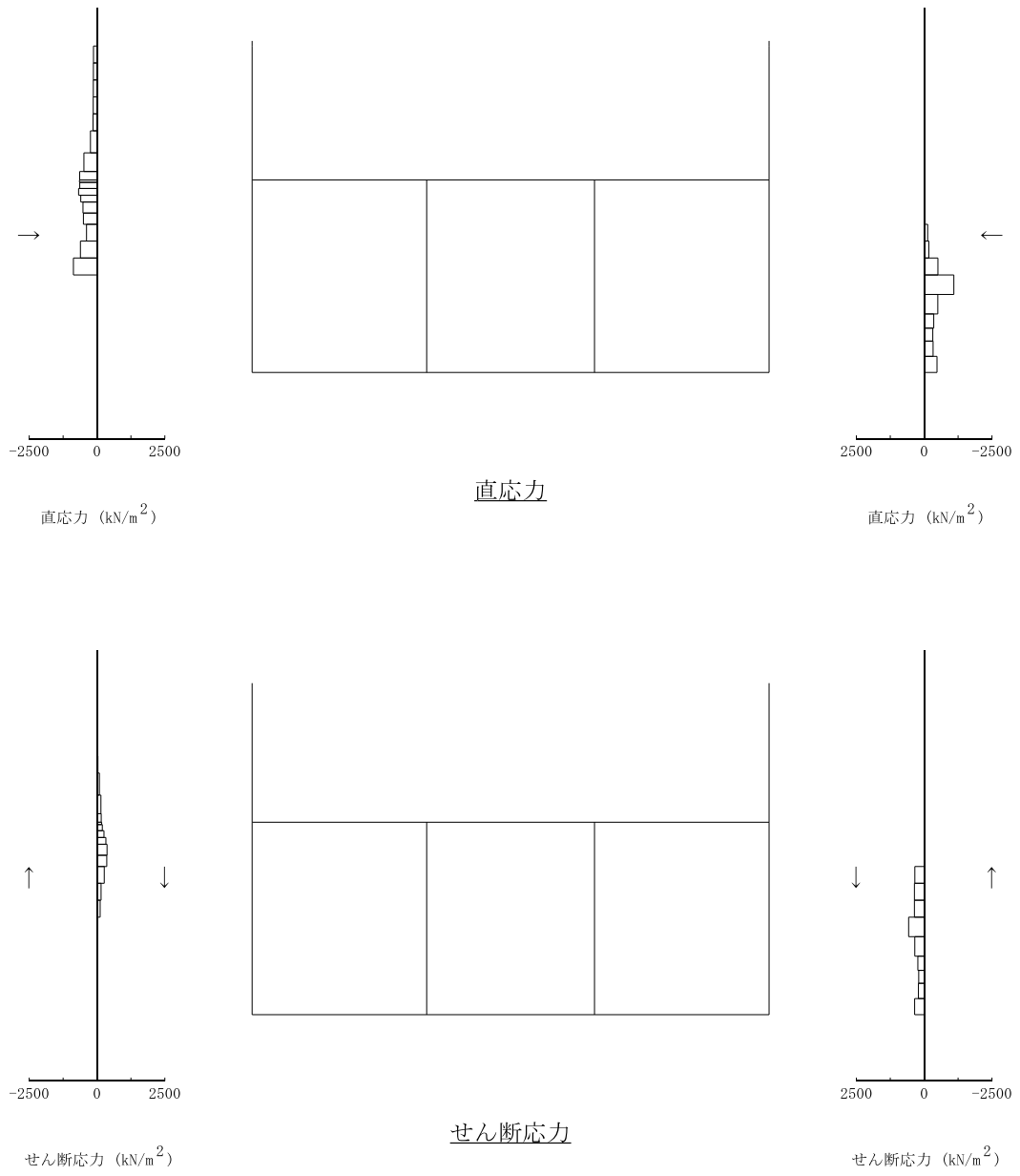
(鉛直)

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

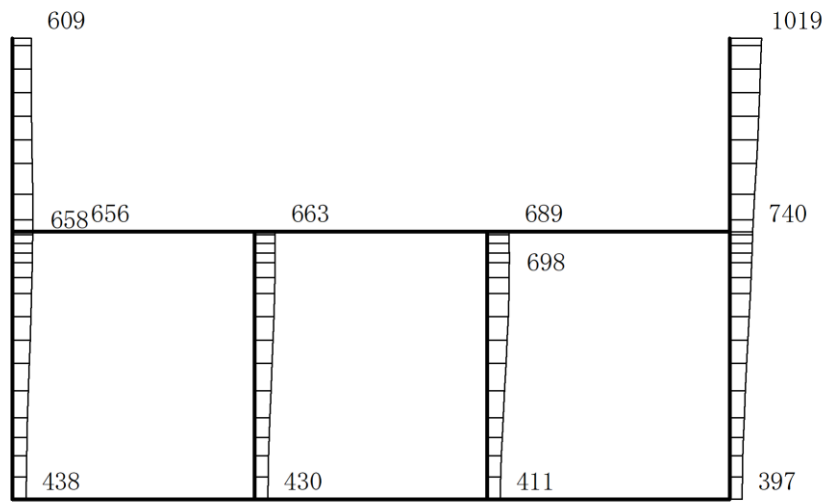
図 3-14 作用荷重分布図 (加速度)

(解析ケース④, S s - D (-+), A - A 断面)

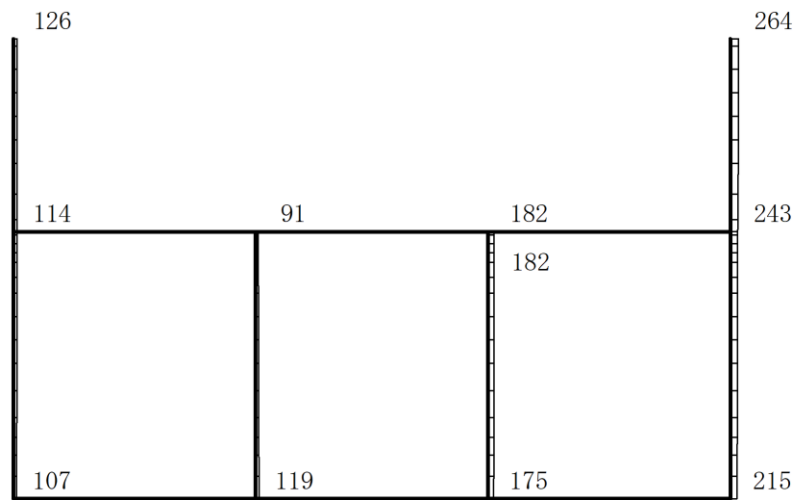


図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-15 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース④, S s - D (-+), B - B 断面)



(水平)



(鉛直)

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 3-16 作用荷重分布図 (加速度)

(解析ケース④, S_s-D (-+), B-B 断面)



直応力



せん断応力

図 3-17 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
 (解析ケース④, S s - D (-+), C - C 断面)



(水平)



(鉛直)

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 1500 (cm/s²)

図 3-18 作用荷重分布図 (加速度)

(解析ケース④, S s - D (-+), C - C 断面)

(3) 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、設計値及びVI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析に基づく「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。地震時荷重は地震応答解析から抽出した荷重を各エリア奥行方向に一様に載荷する。入力荷重の一覧を表3-7に示す。

表3-7 3次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重，機器・配管系荷重，浸水防止設備荷重及び防護対策設備荷重
	積載荷重	躯体に作用する積載荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧（内水）	躯体に作用する常時水圧
	常時水圧（外水）	躯体に作用する常時水圧
地震時荷重	慣性力	躯体，機器・配管，浸水防護施設及び竜巻防護対策設備に作用する慣性力
	地震時増分土圧	躯体側面に作用する地震時増分土圧
	地震時水圧増分（内水）	躯体に作用する地震時水圧増分
	地震時水圧増分（外水）	躯体に作用する地震時水圧増分

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

4. 構造部材の地震時応答

3次元構造解析に基づく各構造部材の地震時応答結果を示す。各部材位置を図4-1に、各部材の要素座標系を図4-2に、シェル要素における各要素の断面力の方向を図4-3に示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査のうち、各部材のコンクリートの圧縮縁ひずみ、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみに対して最大照査値となる評価時刻でのひずみ分布を図4-4～図4-6に、せん断破壊に対して最大照査値となる評価時刻での断面力分布を図4-7～図4-12に示す。

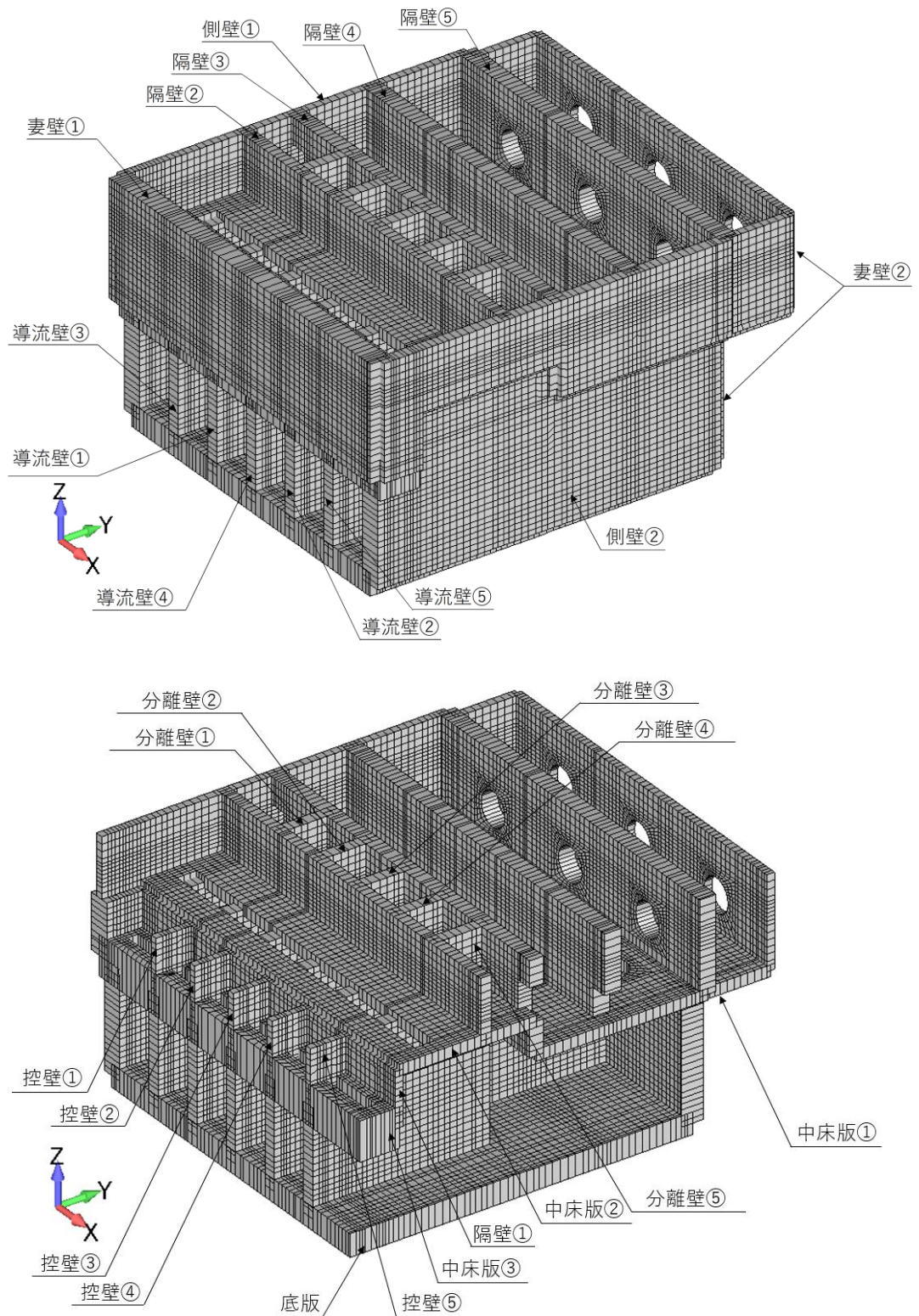
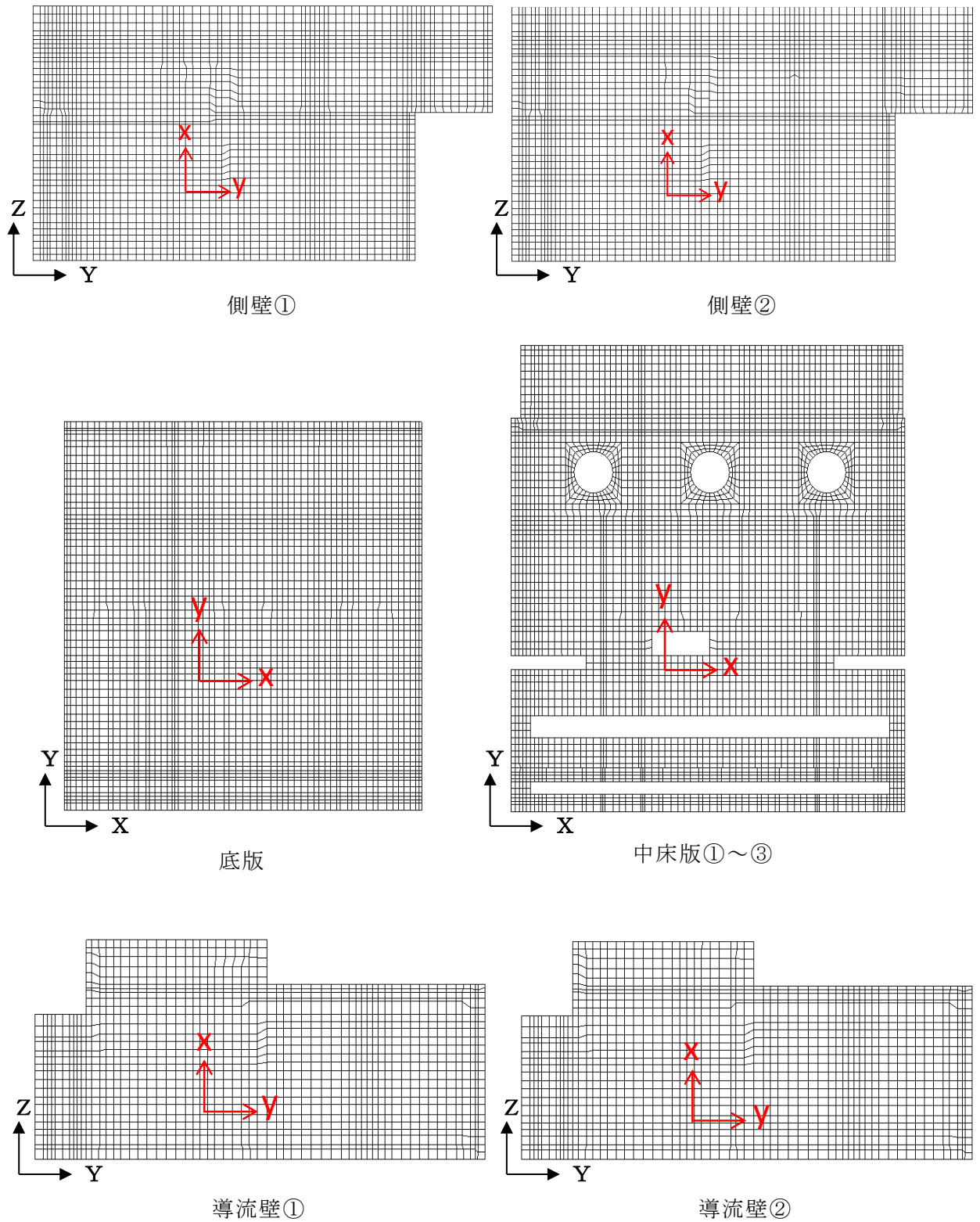


図 4-1 評価部位の位置*

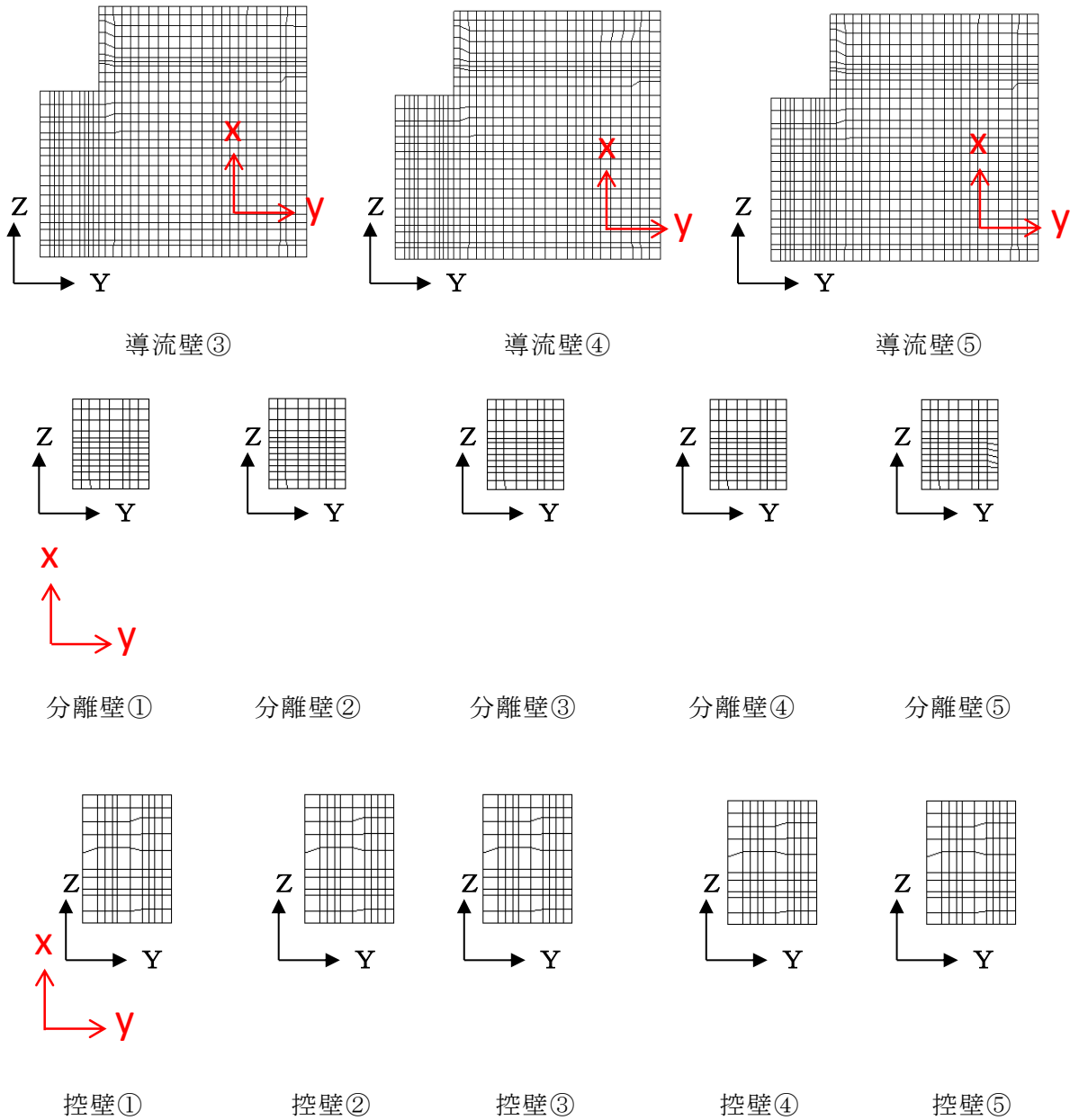
注記*：部材位置を説明するための図であり，解析モデルとは異なる。



黒 (X, Y, Z) : 全体座標系を示す

赤 (x, y) : 要素座標系を示す

図 4-2 (1) 各部材の要素座標系



黒 (Y, Z) : 全体座標系を示す
 赤 (x, y) : 要素座標系を示す

図 4-2 (2) 各部材の要素座標系

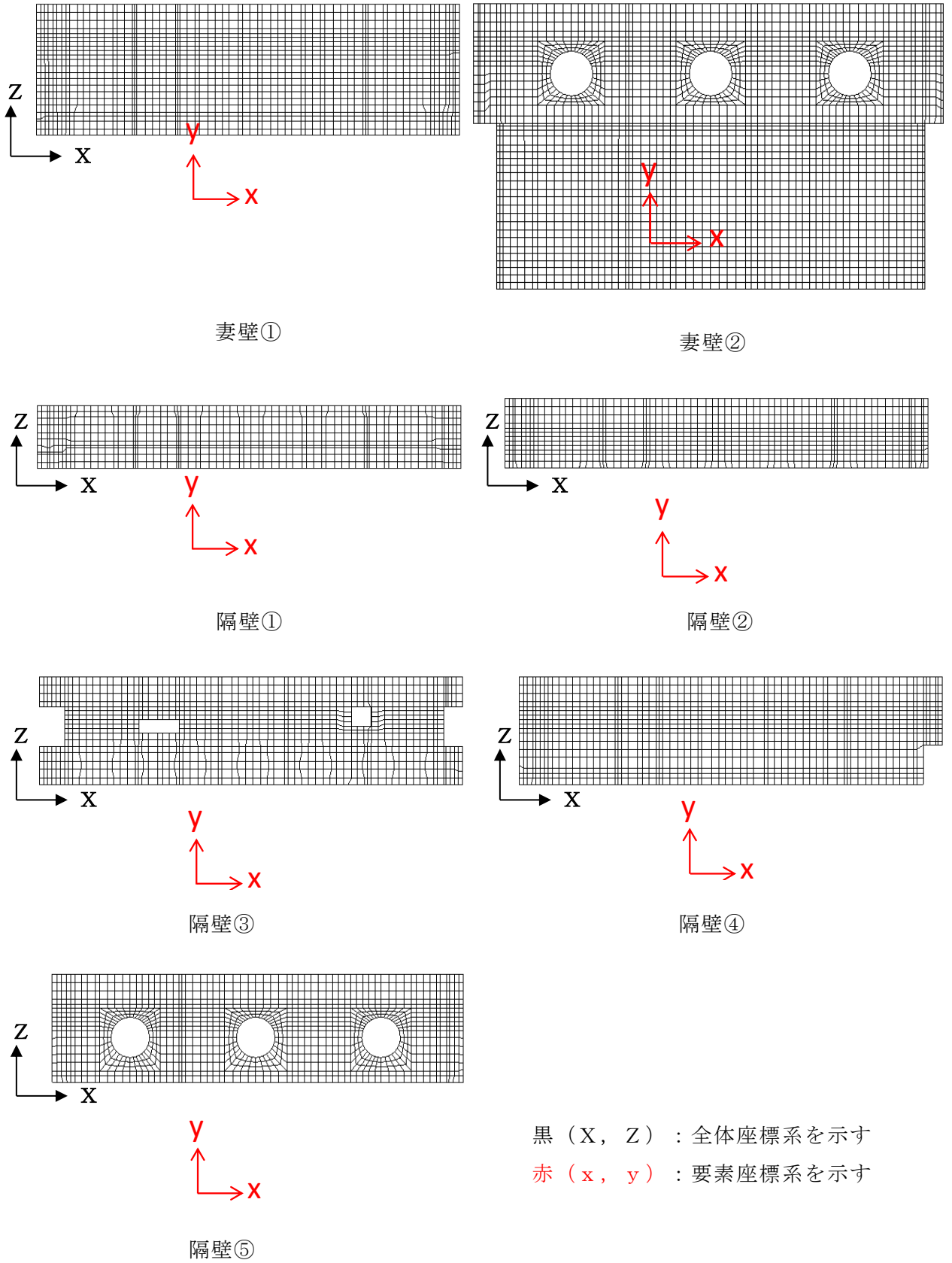
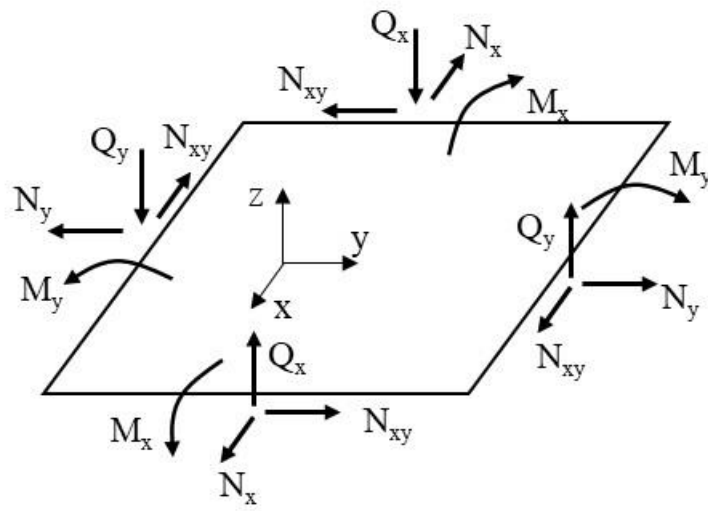


図 4-2 (3) 各部材の要素座標系



M_x, M_y : 曲げモーメント
 Q_x, Q_y : せん断力
 N_x, N_y : 軸力
 N_{xy} : 面内せん断力

図 4-3 シェル要素における断面力の方向

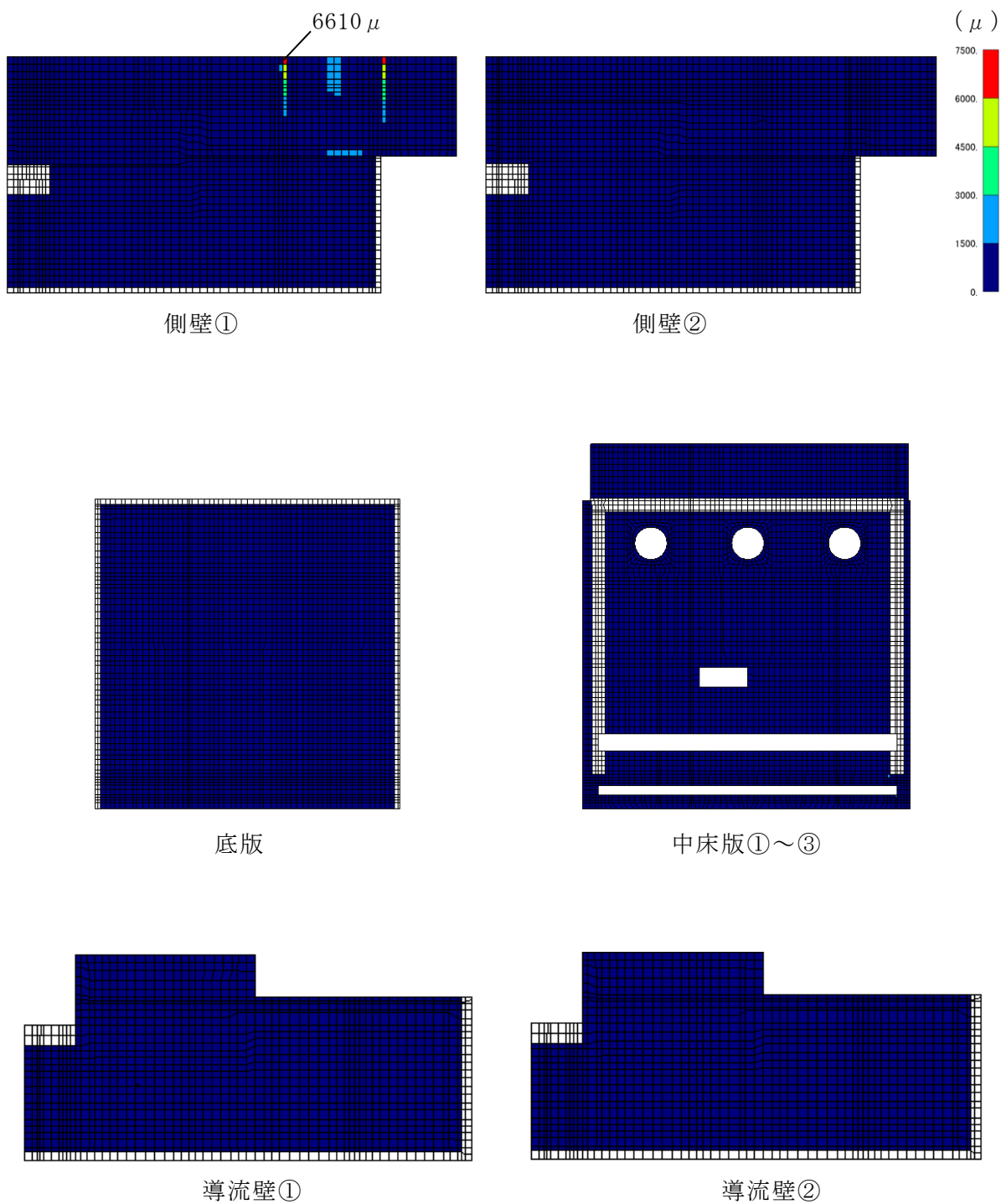


図 4-4 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮縁ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, $S_s - D (-+)$)

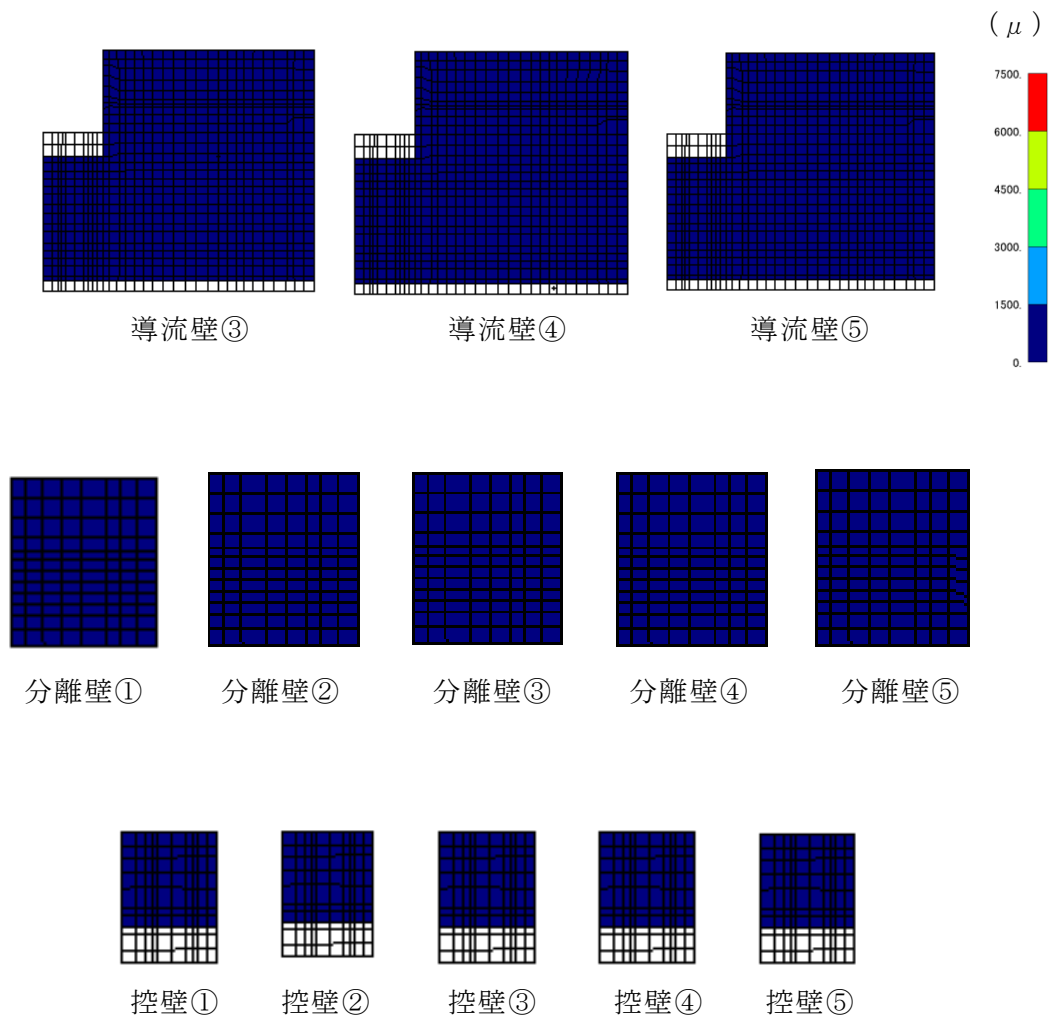


図 4-4 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮縁ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, S_s-D (-+))

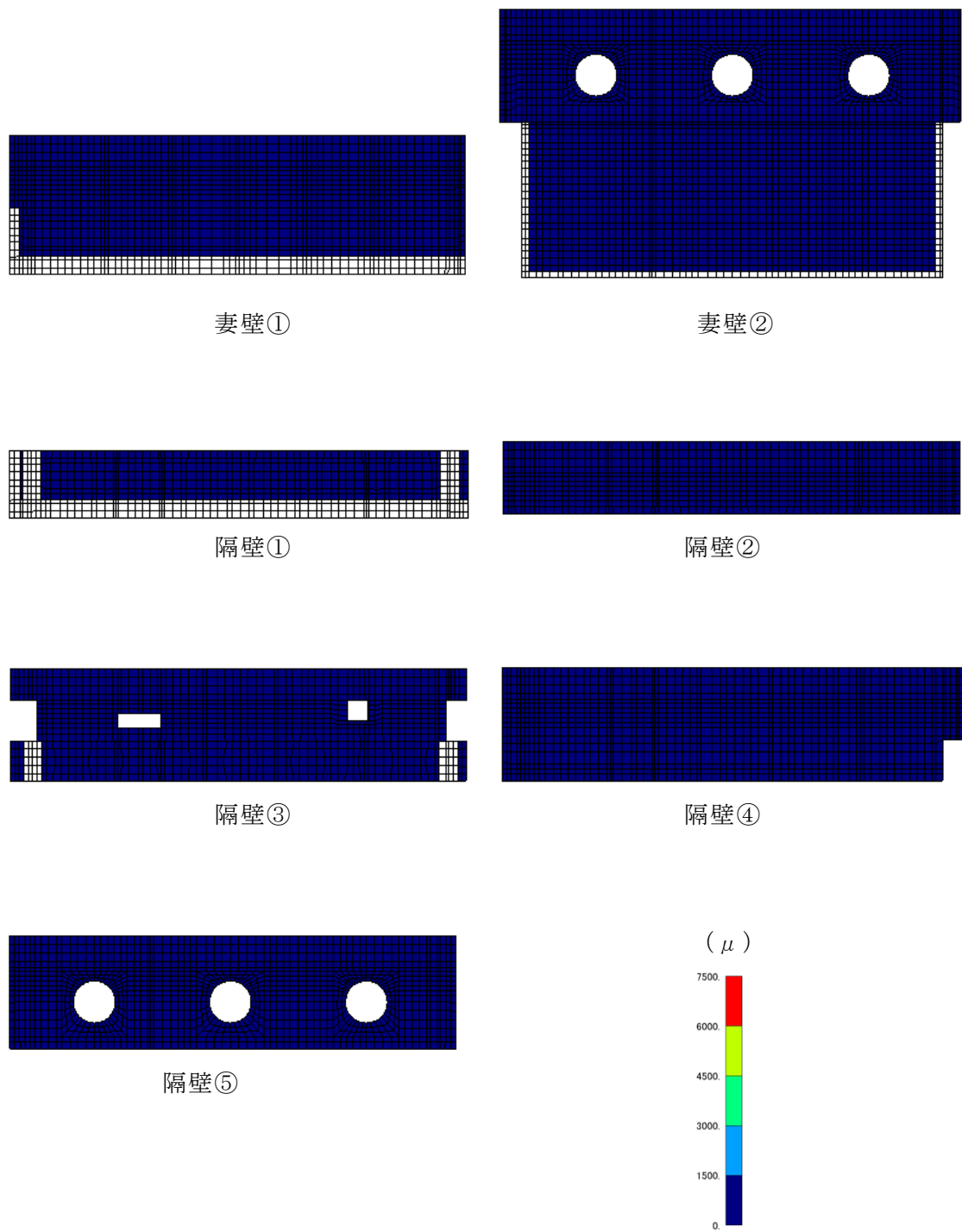


図 4-4 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮縁ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, $S_s - D (-+)$)

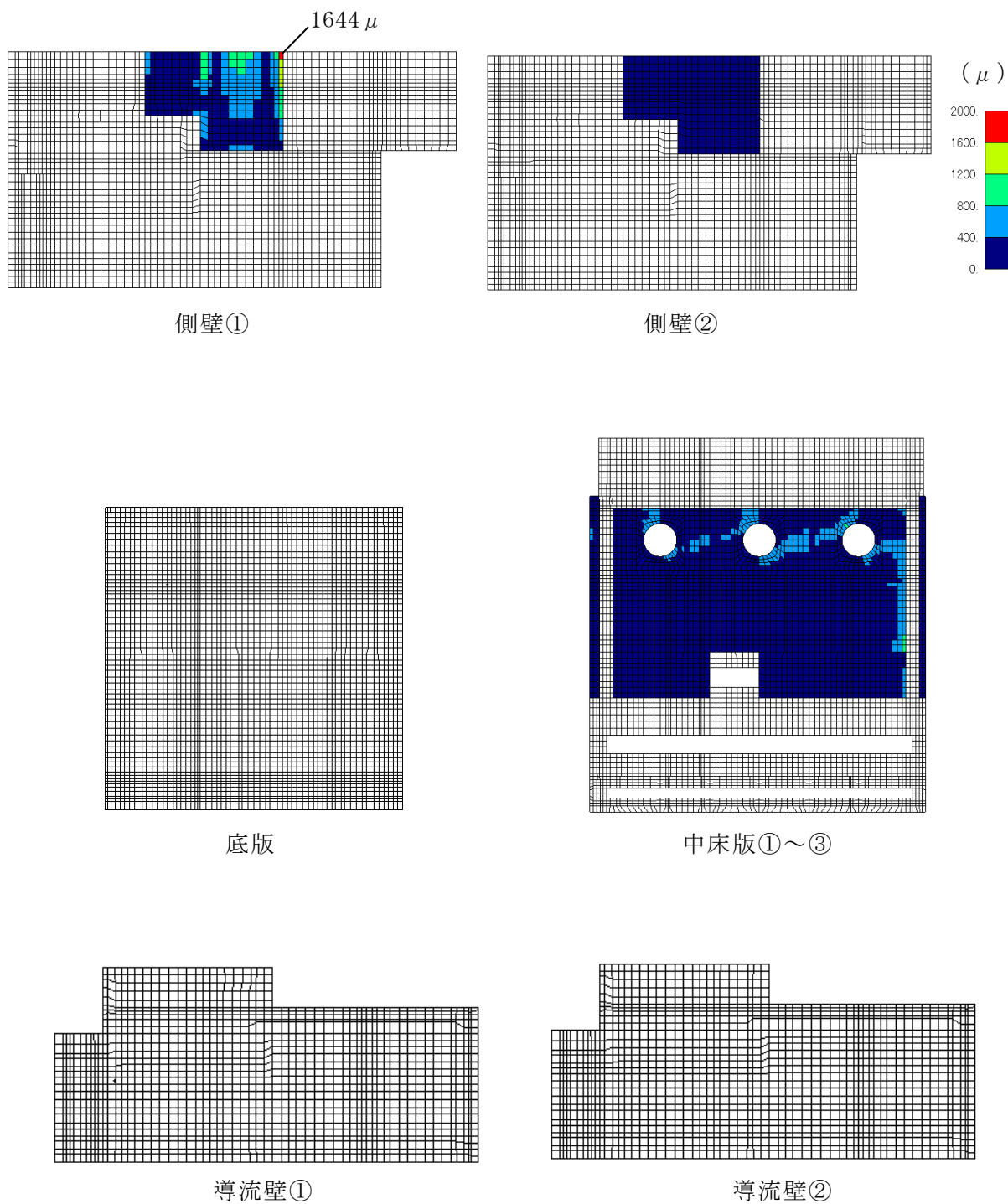


図 4-5 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, $S_s - D (-+)$)

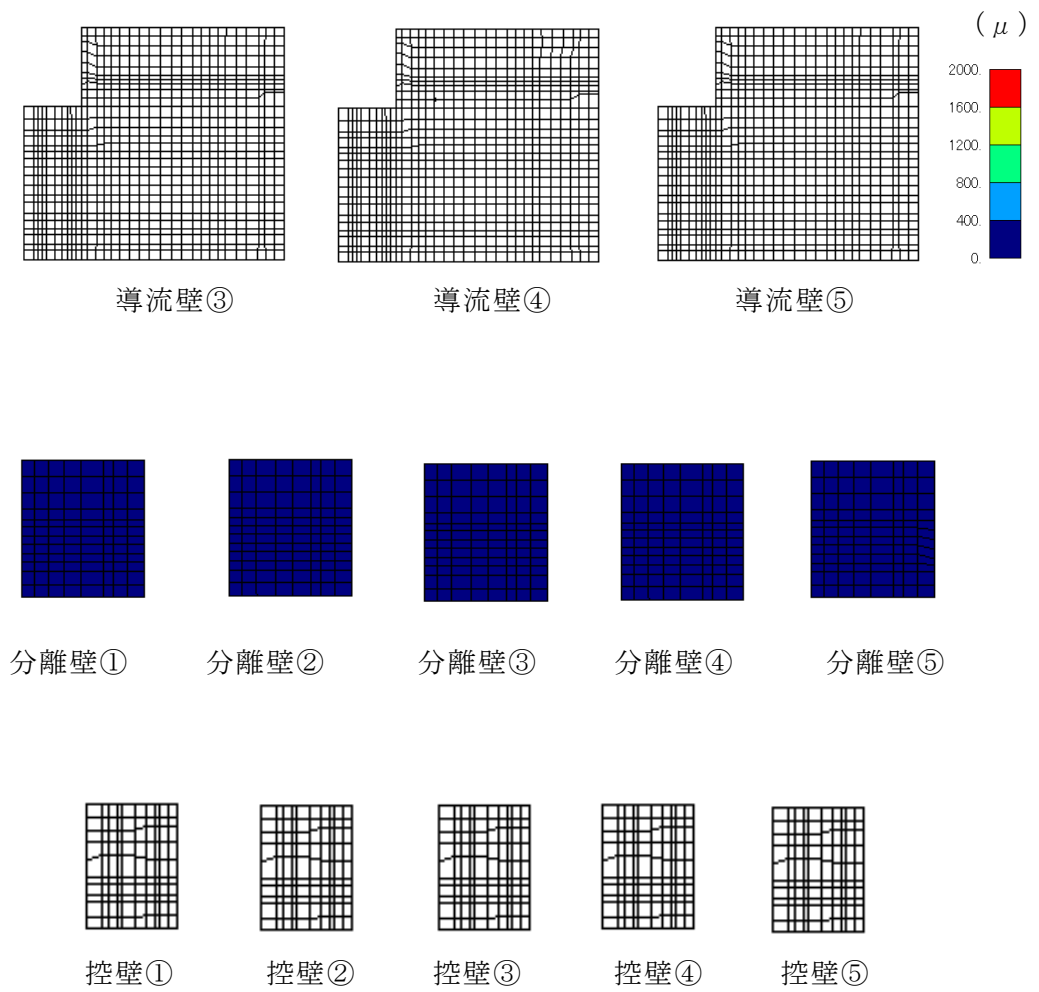


図 4-5 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, S_s-D (-+))

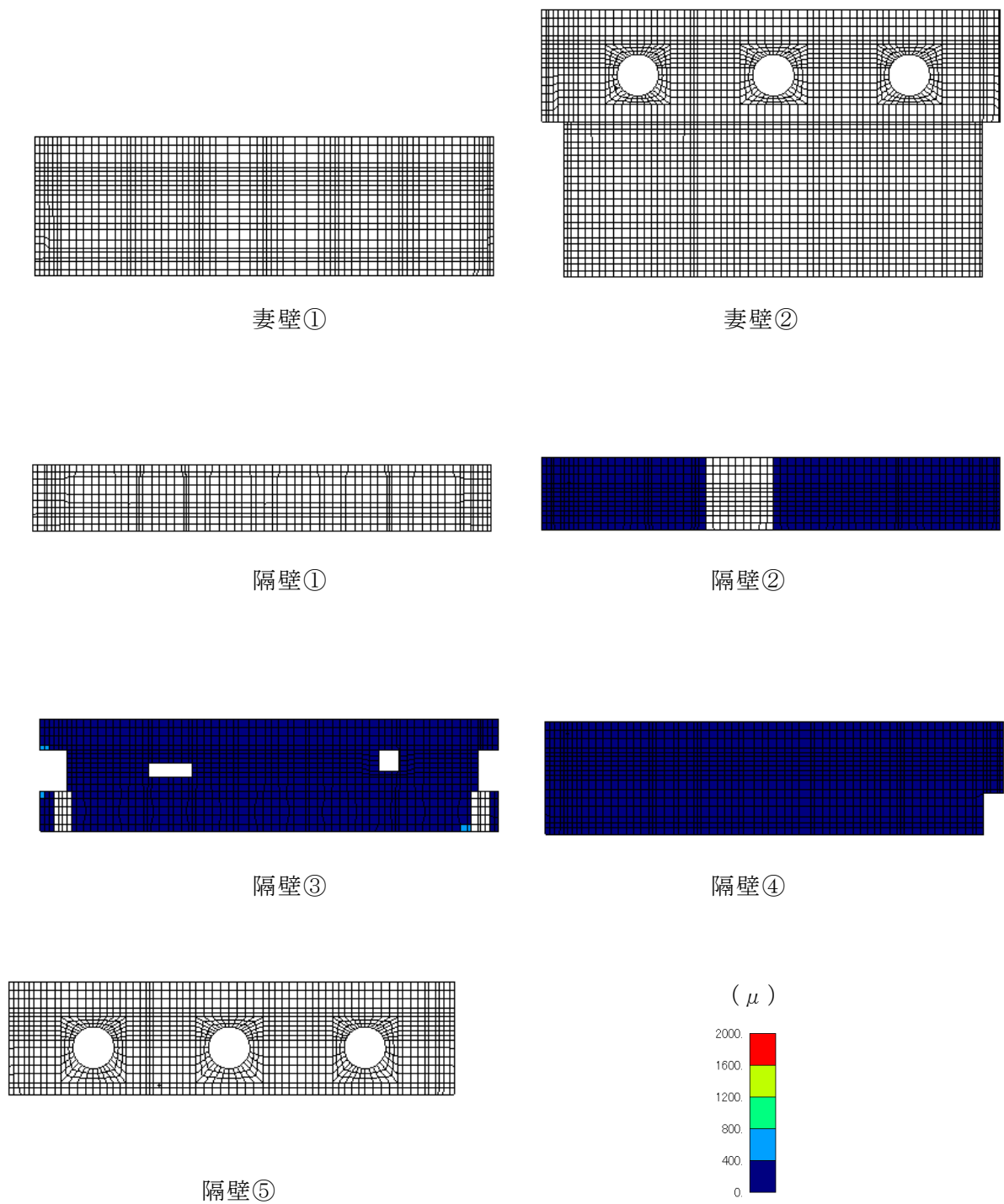


図 4-5 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (コンクリートの圧縮ひずみ)
 (側壁, 解析ケース④, $S_s - D (-+)$)

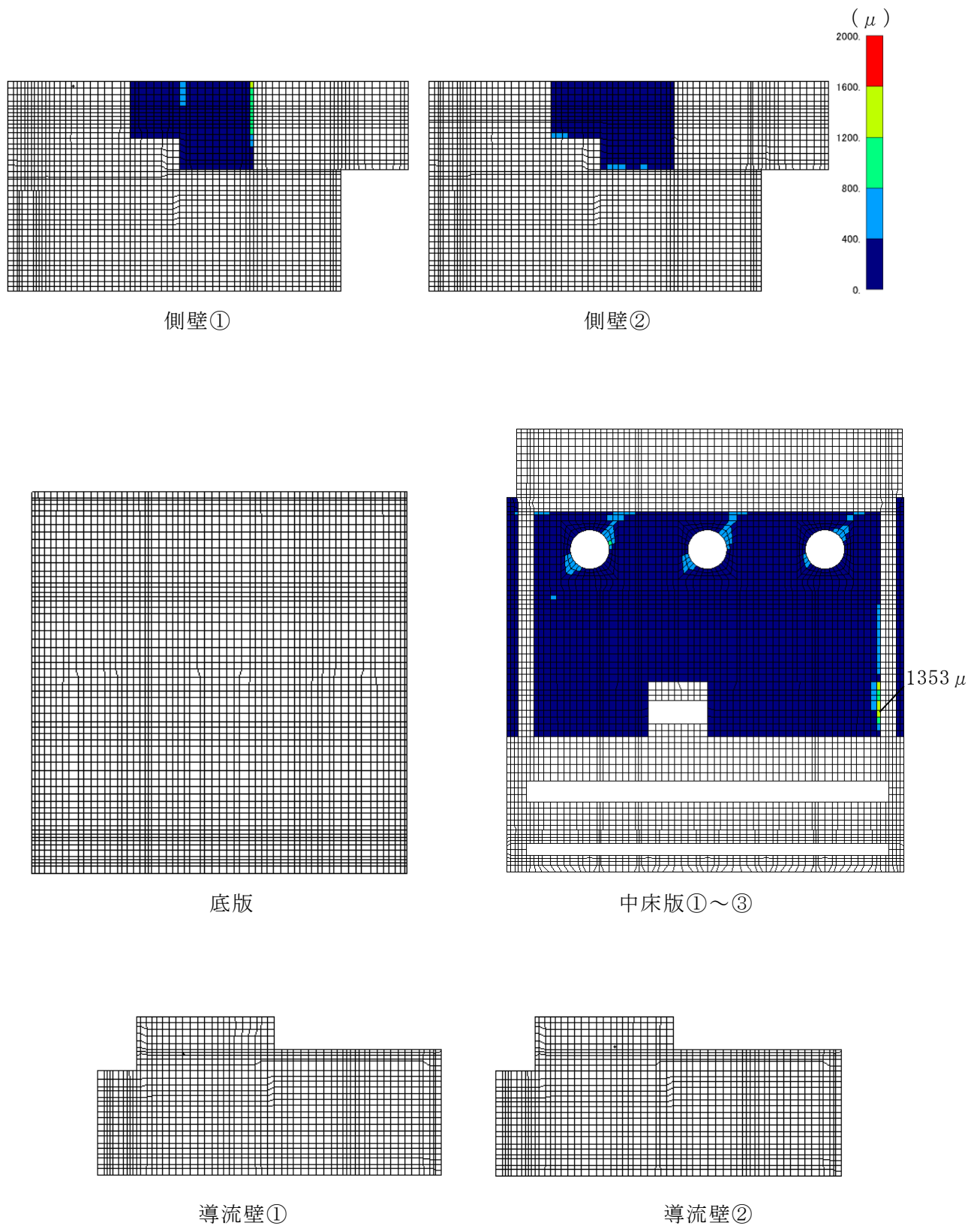


図 4-6 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (主筋ひずみ)
 (中床版, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

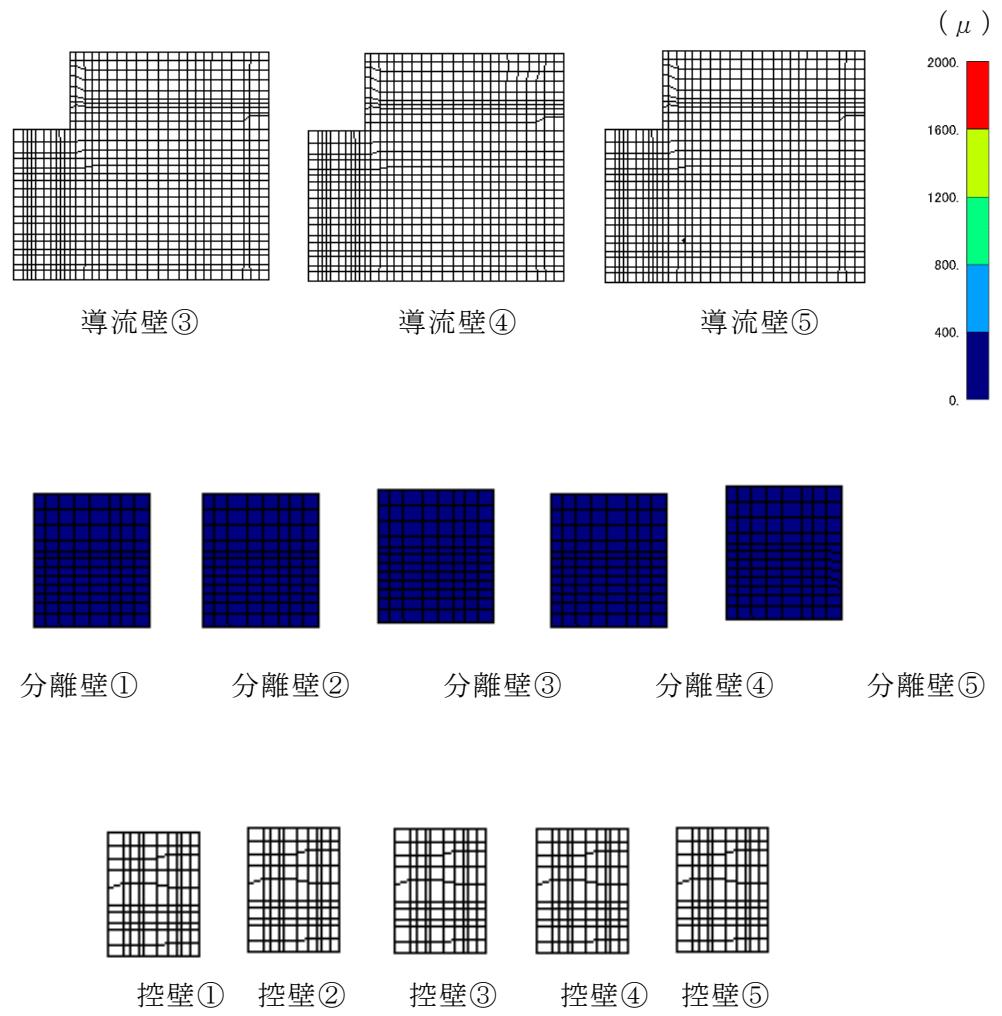


図 4-6 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (主筋ひずみ)
(中床版, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

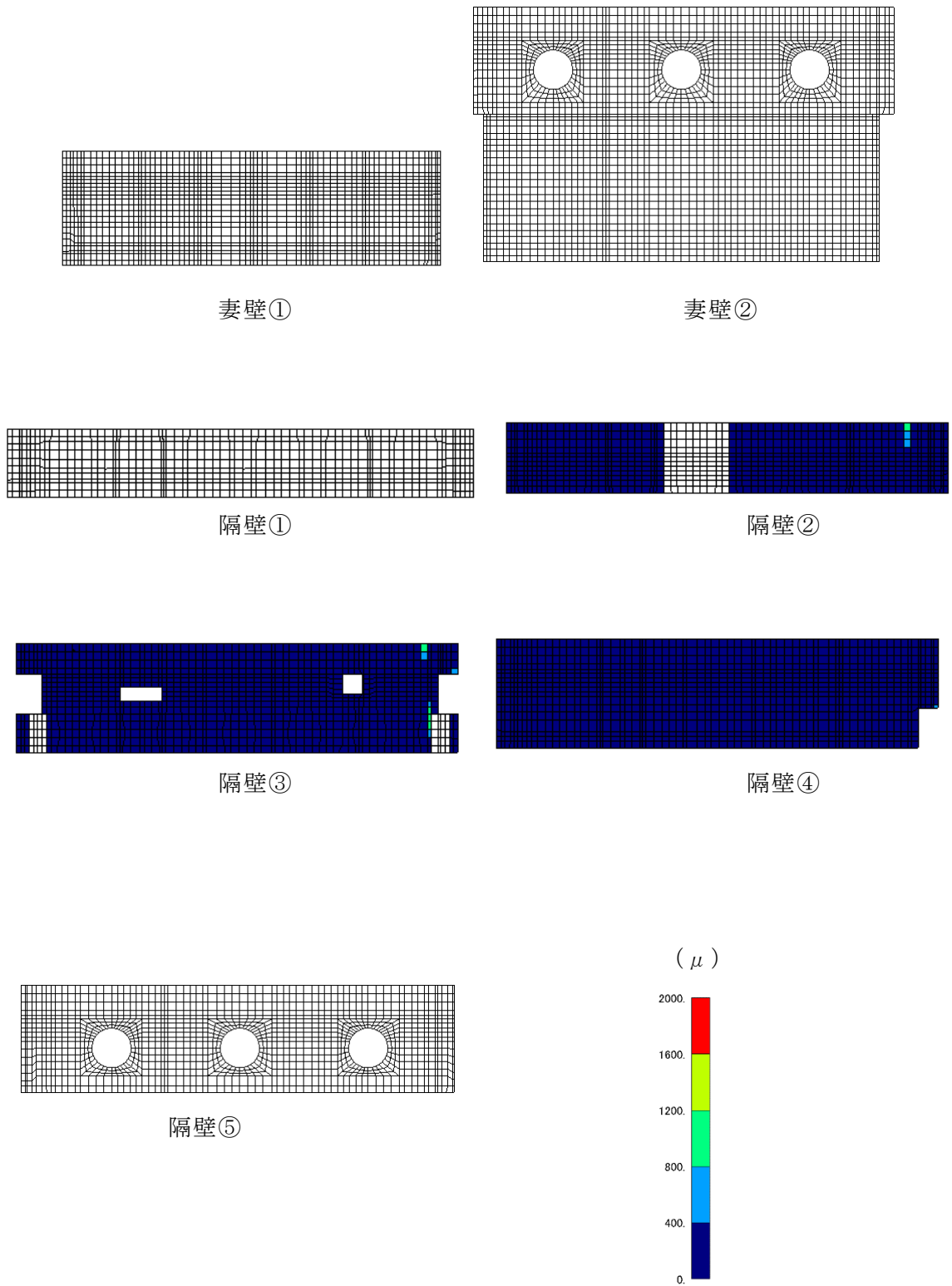


図 4-6 (3) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (主筋ひずみ)
 (中床版, 解析ケース②, S_s-D (-+))

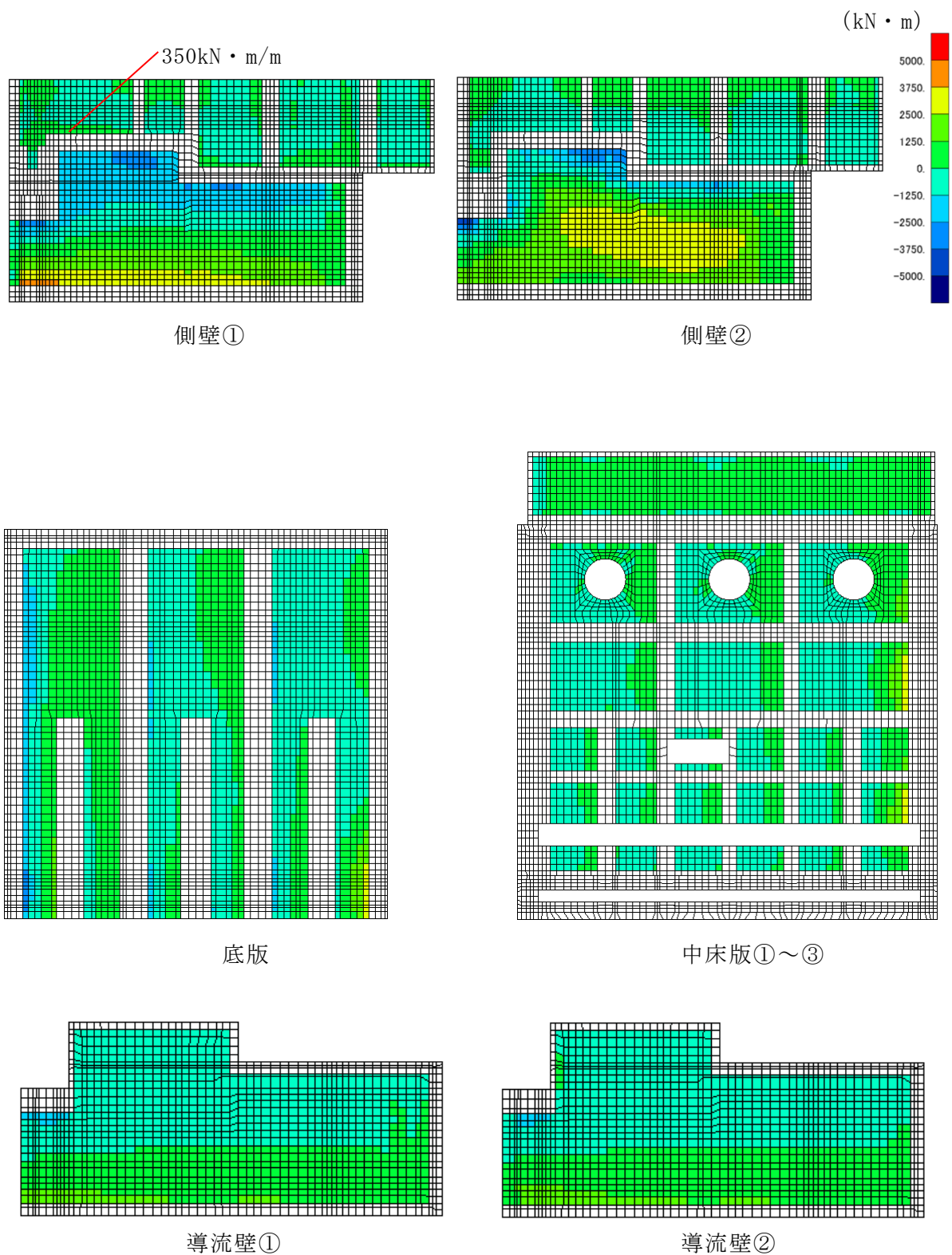


図 4-7 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN · m) : M_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

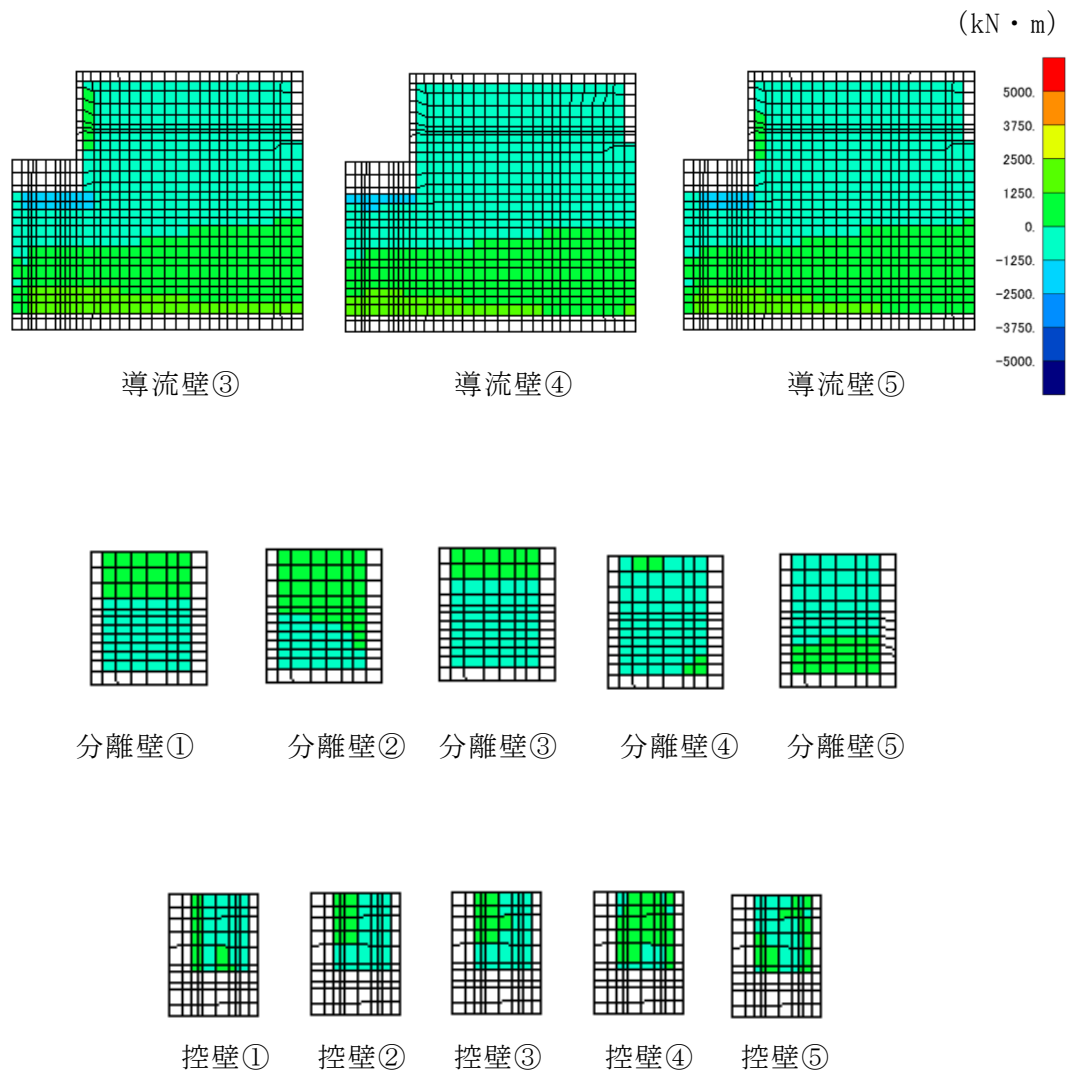


図 4-7 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m) : M_x)
 (側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

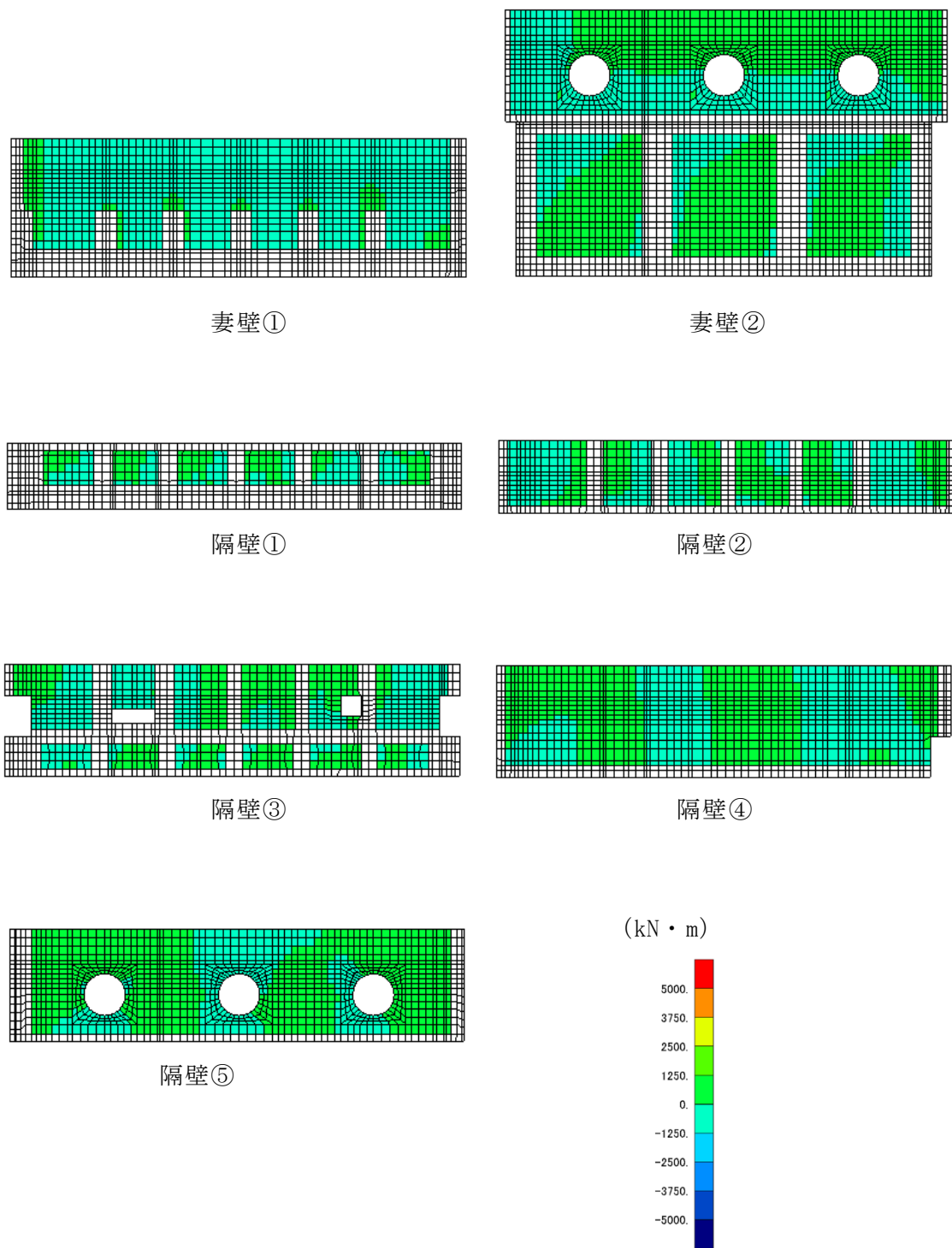


図 4-7 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m) : M_x)
 (側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

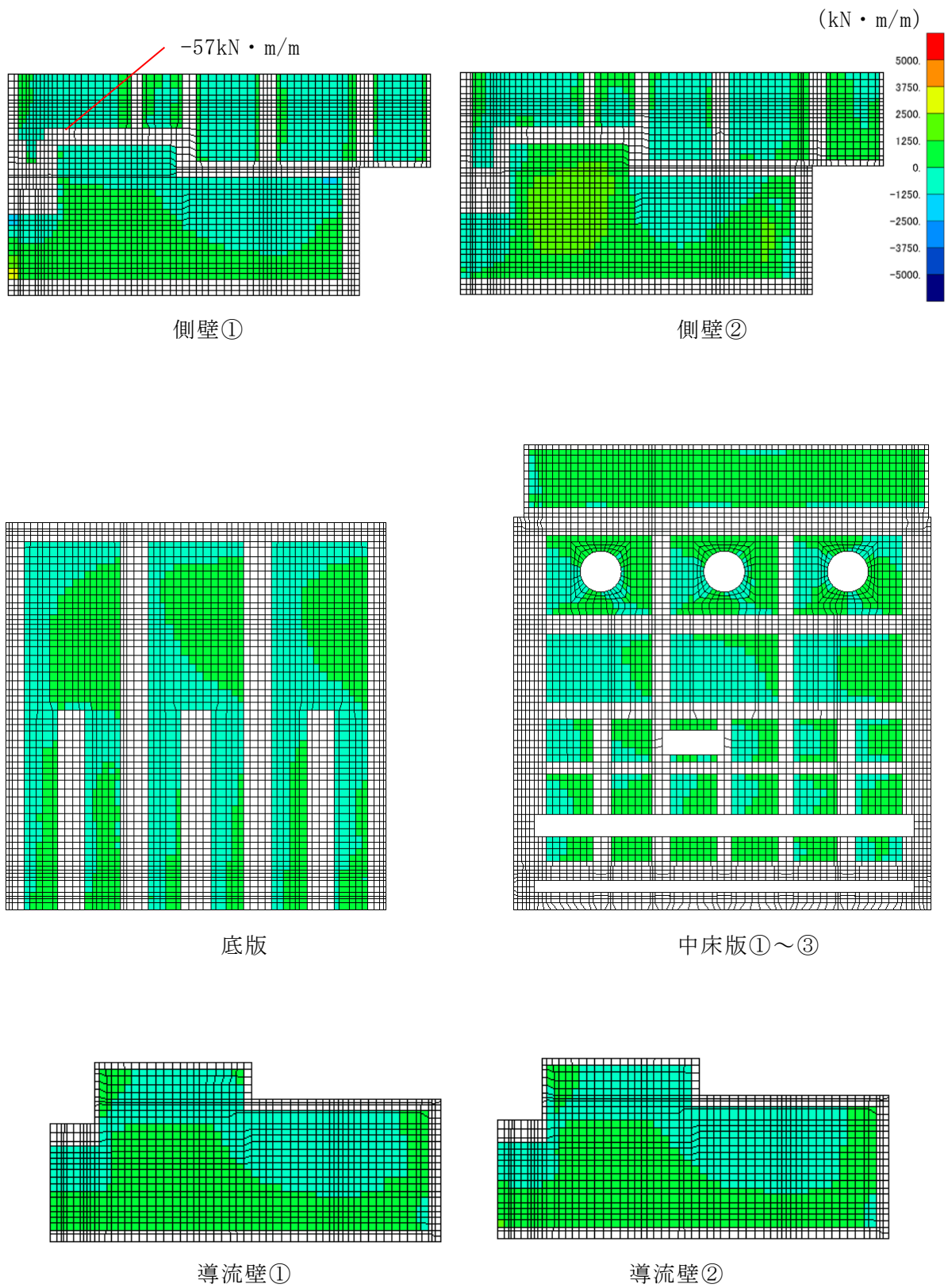


図 4-8 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN · m) : M_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

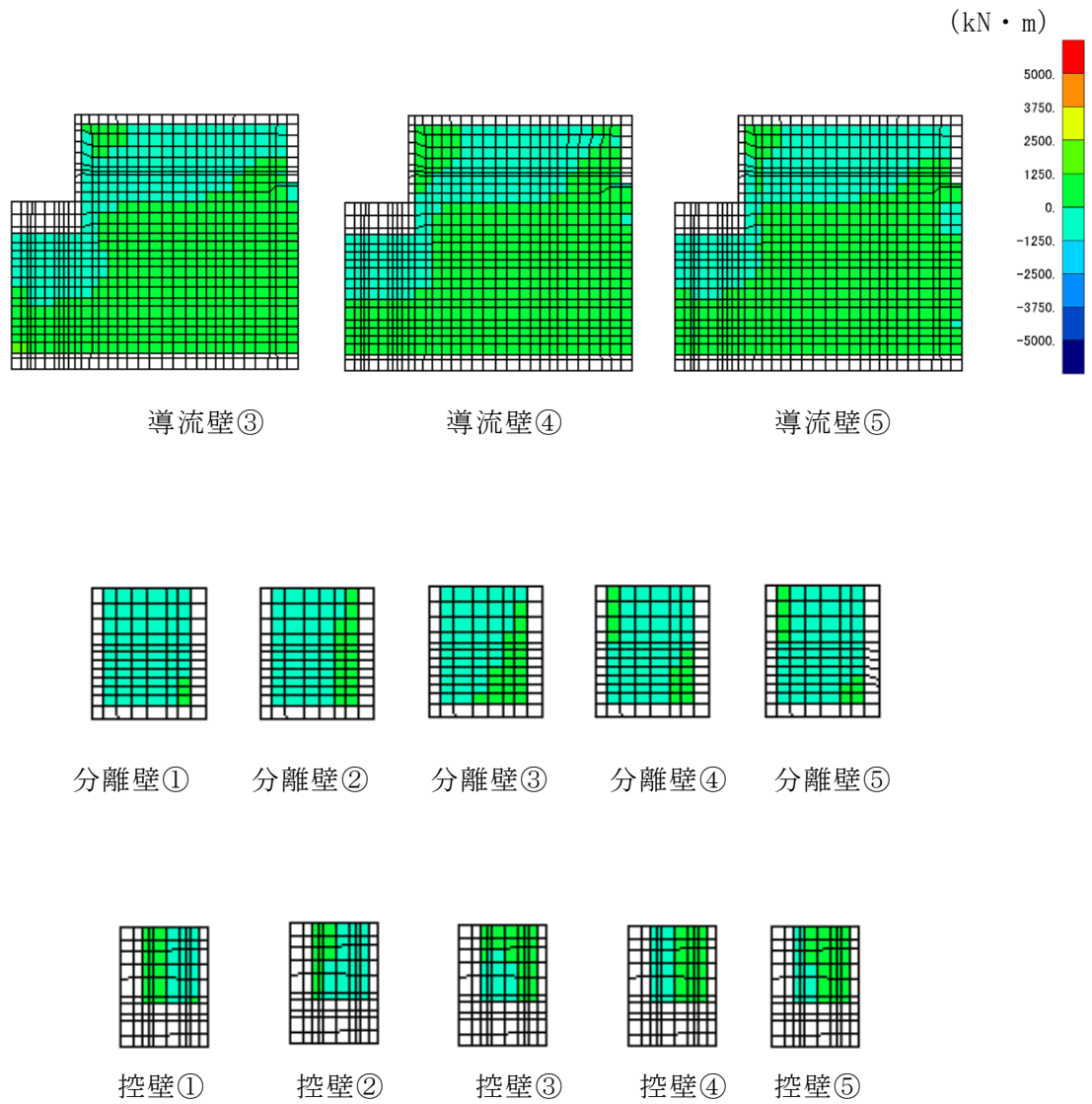


図 4-8 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m) : M_y)
 (側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

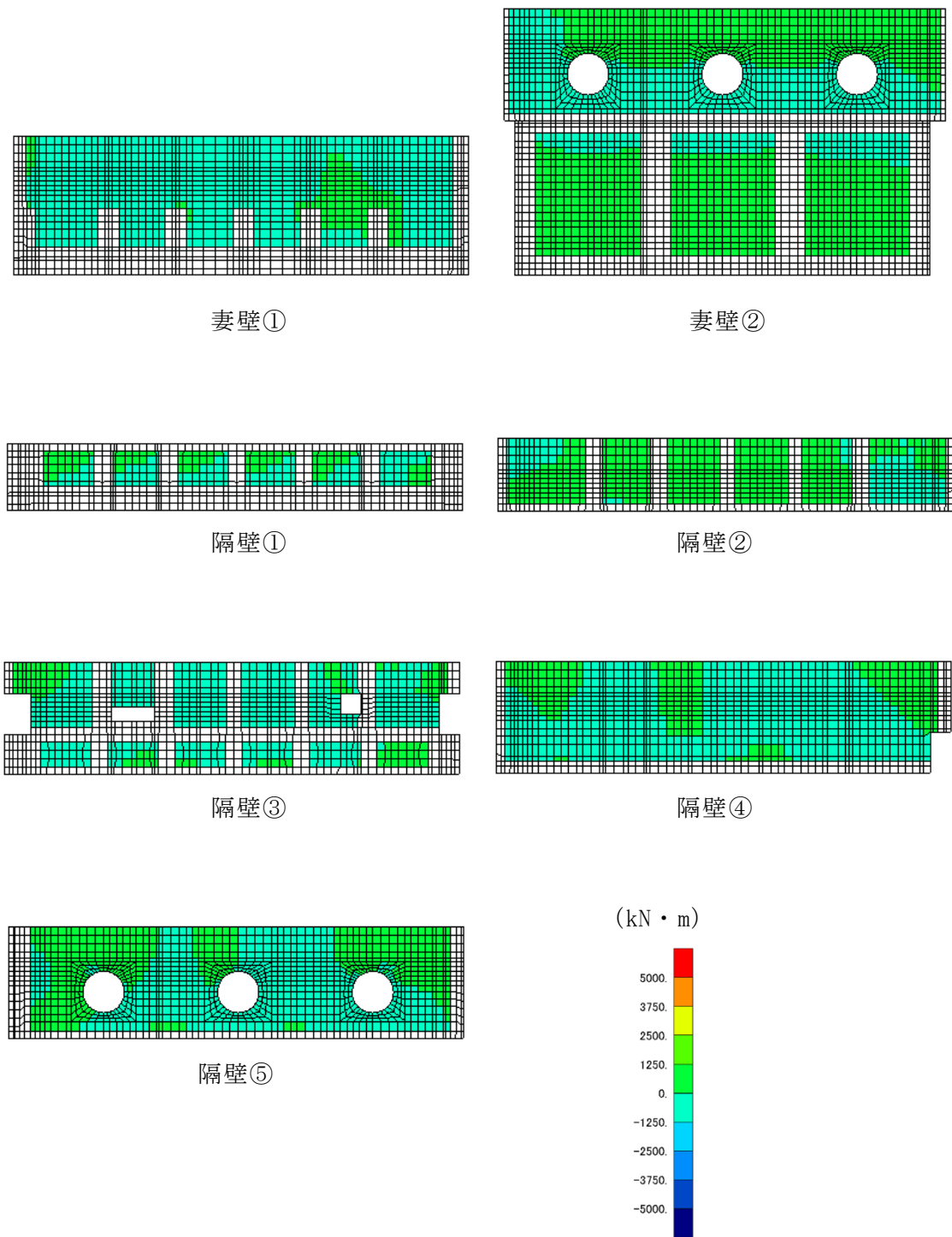


図 4-8 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN · m) : M_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

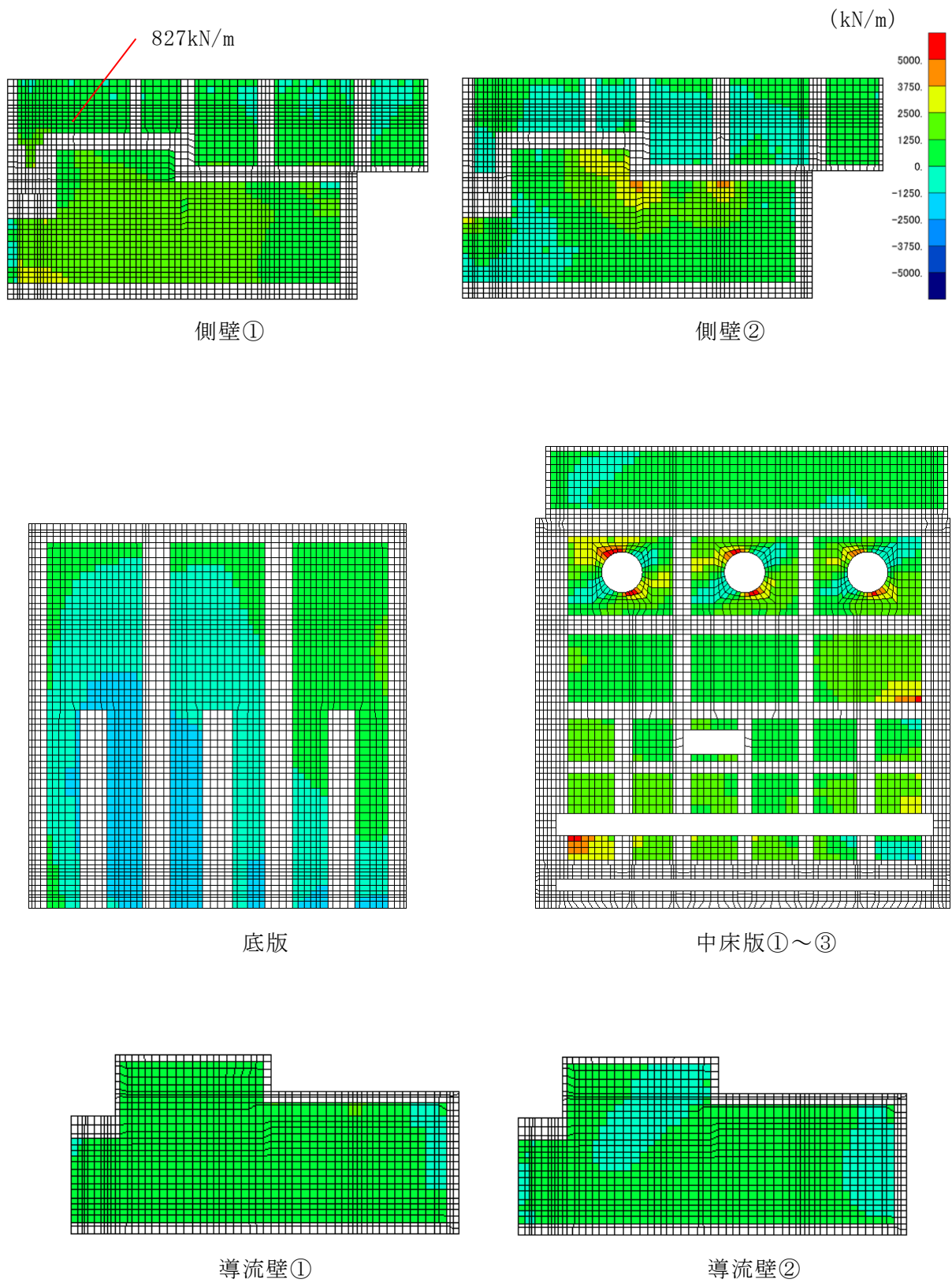


図 4-9 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

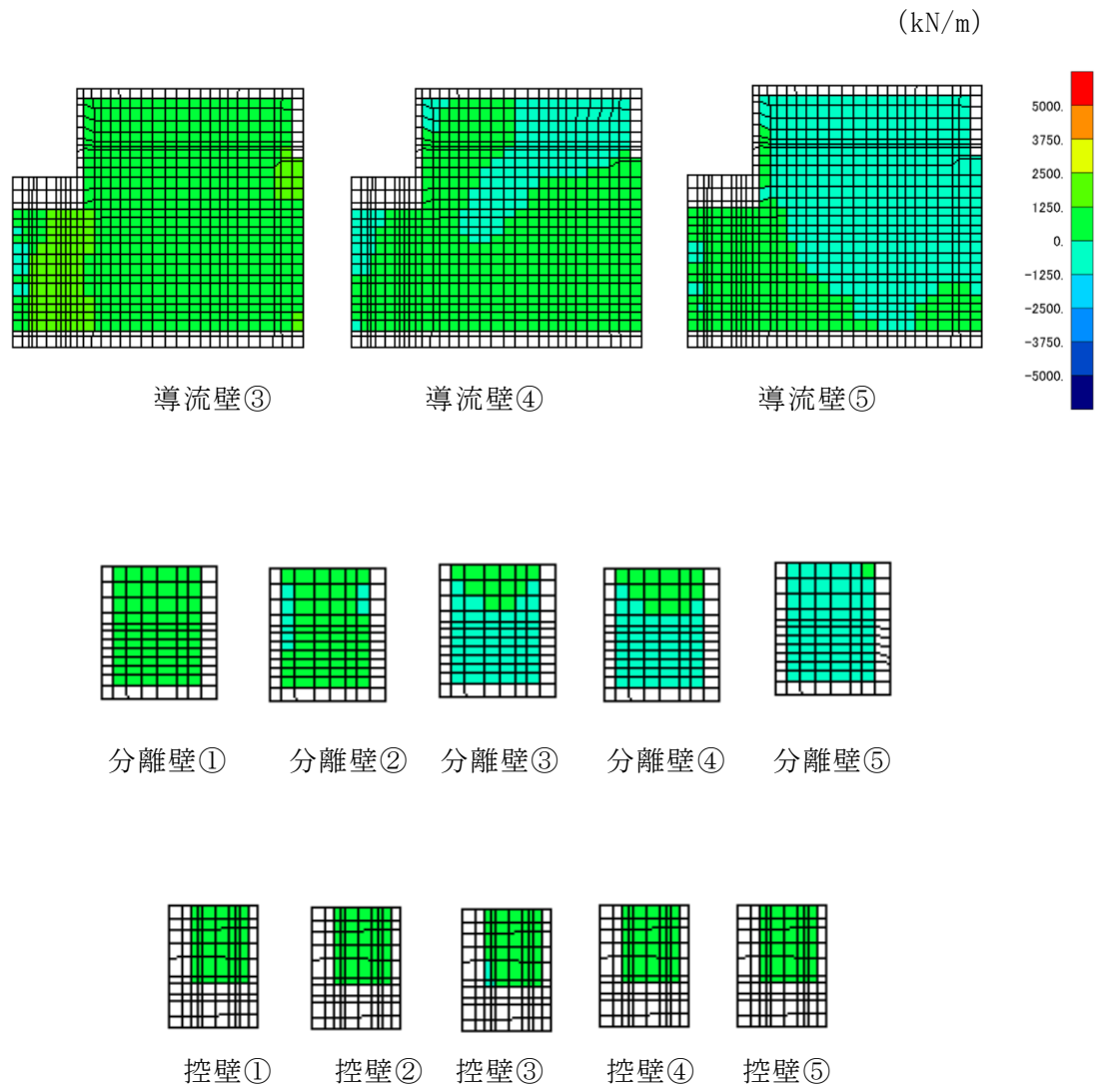


図 4-9 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

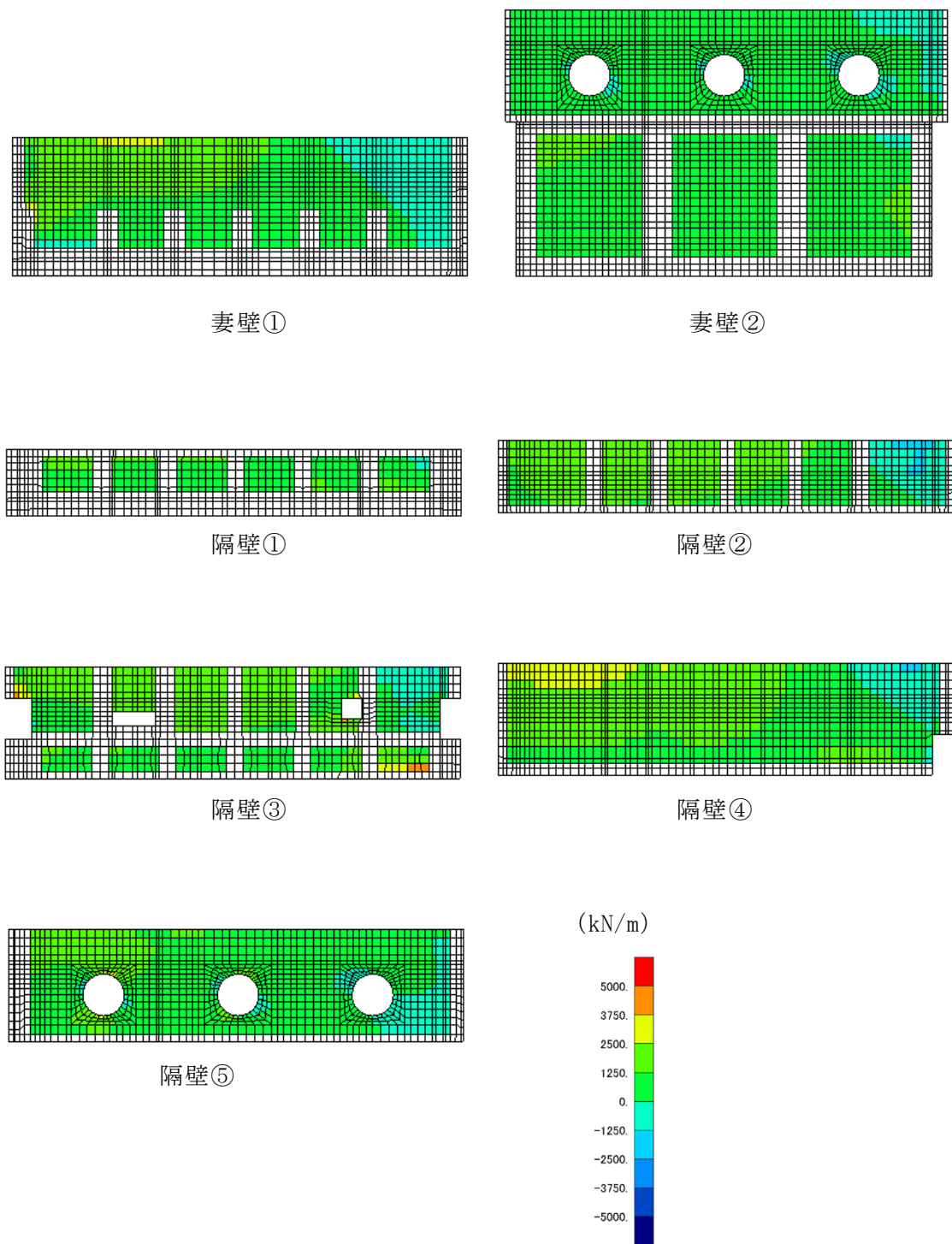


図 4-9 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

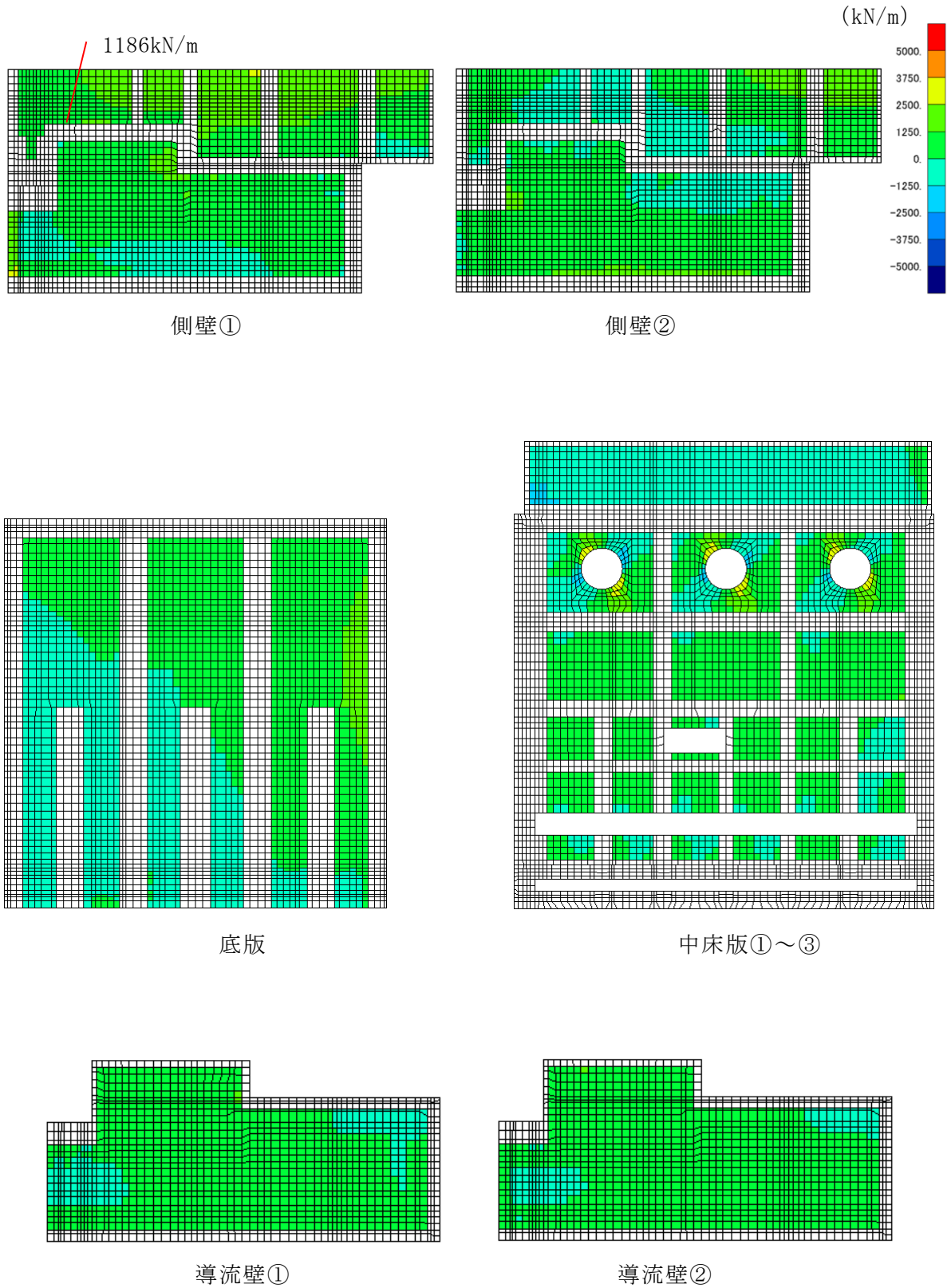


図 4-10 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

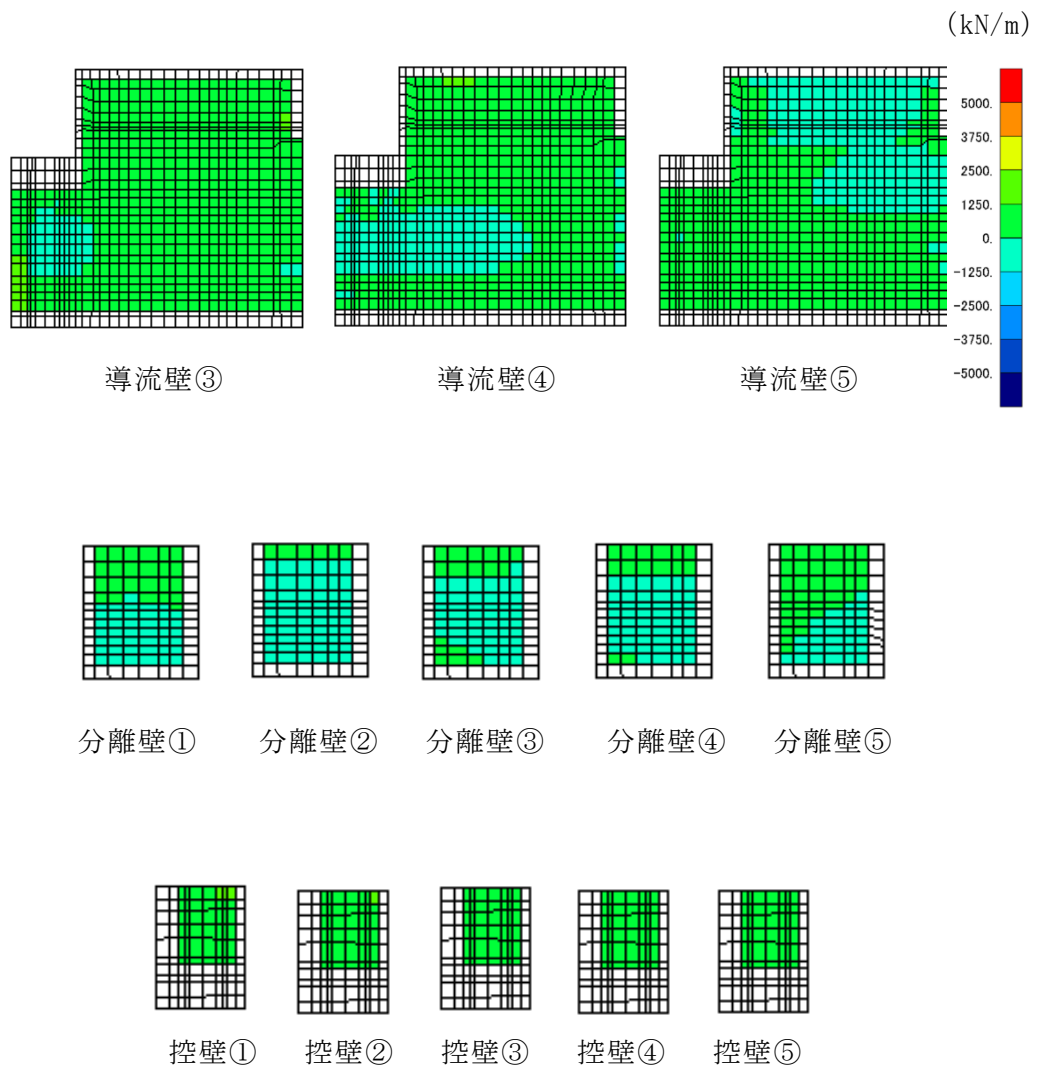


図 4-10 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

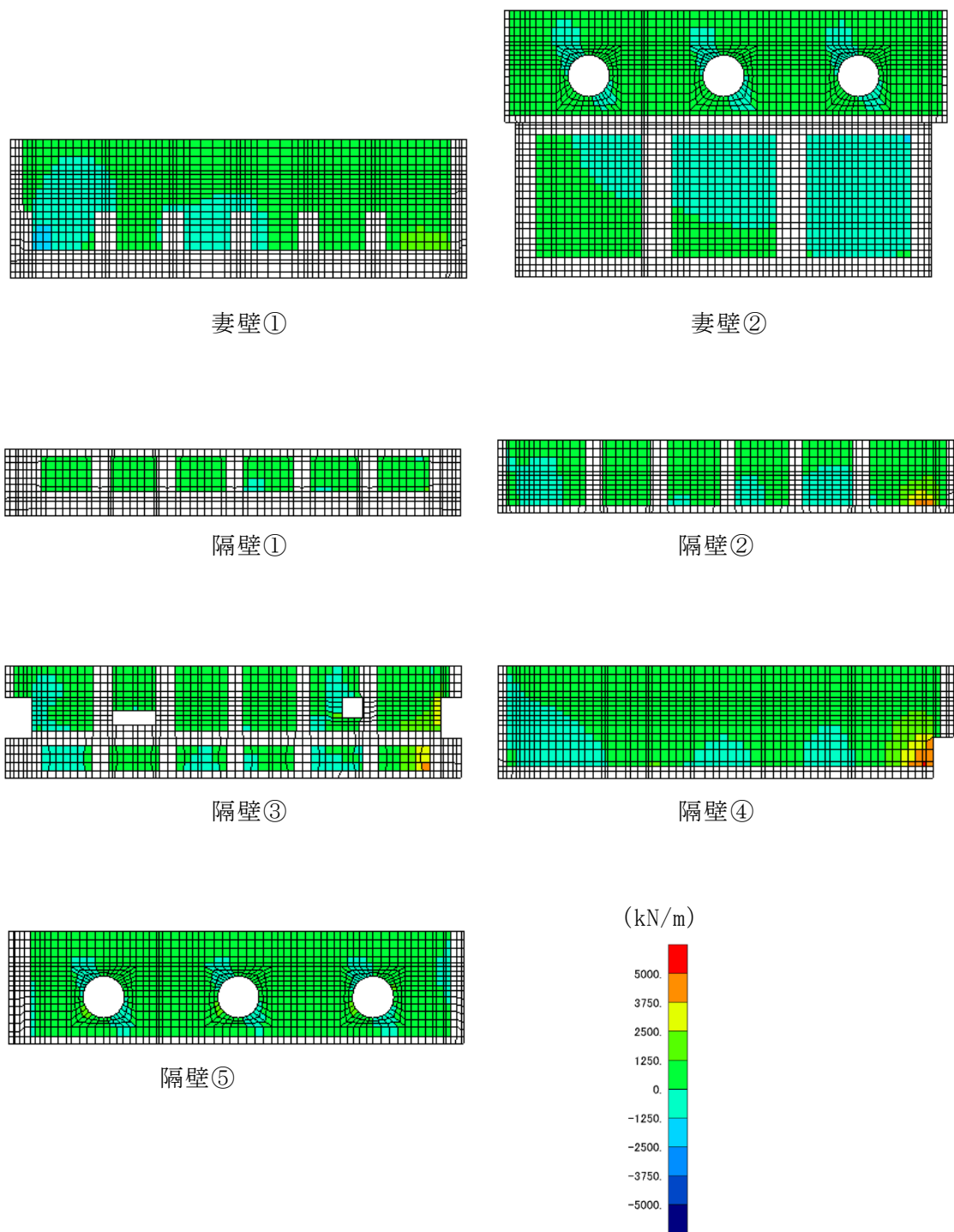


図 4-10 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

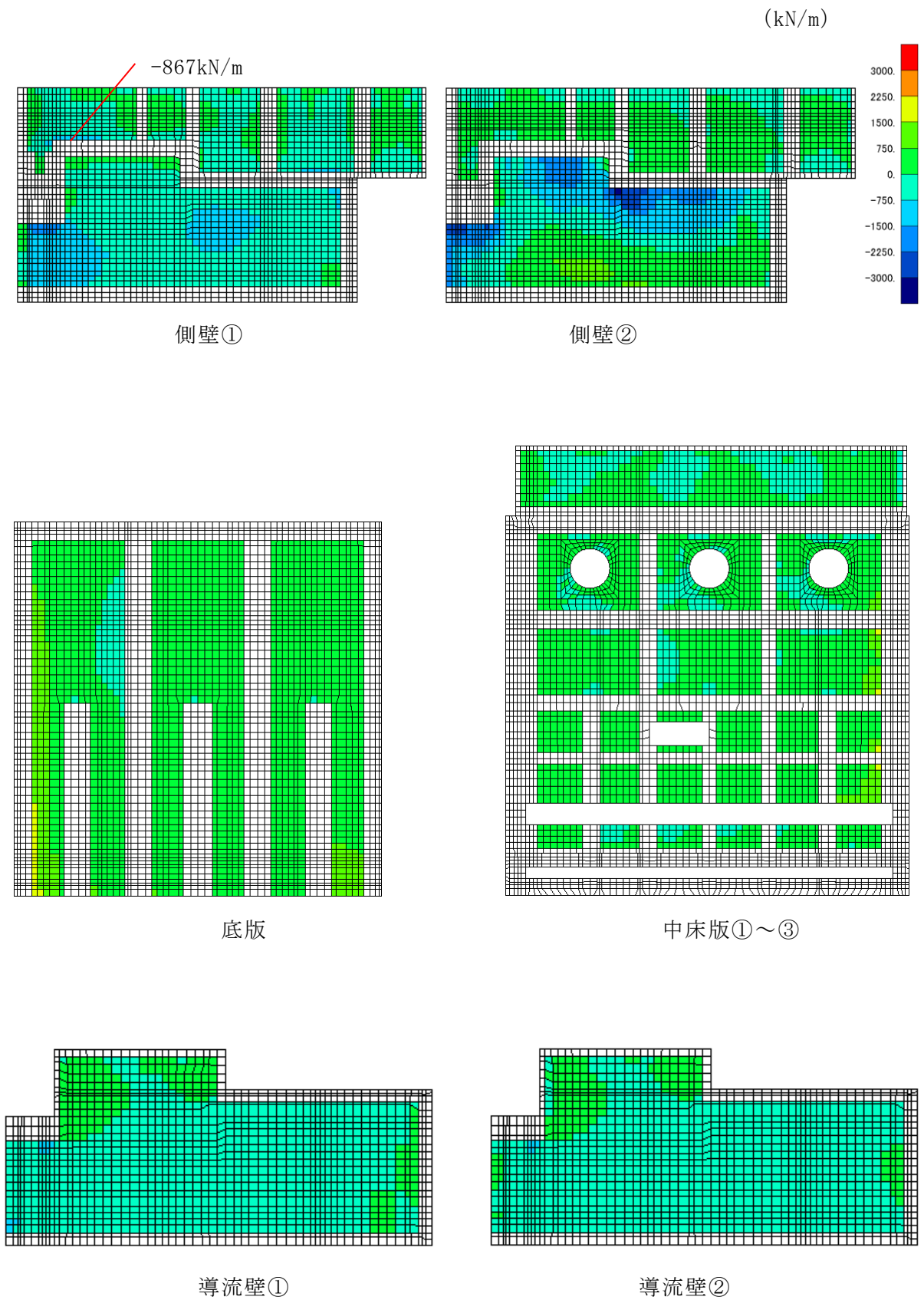


図 4-11 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

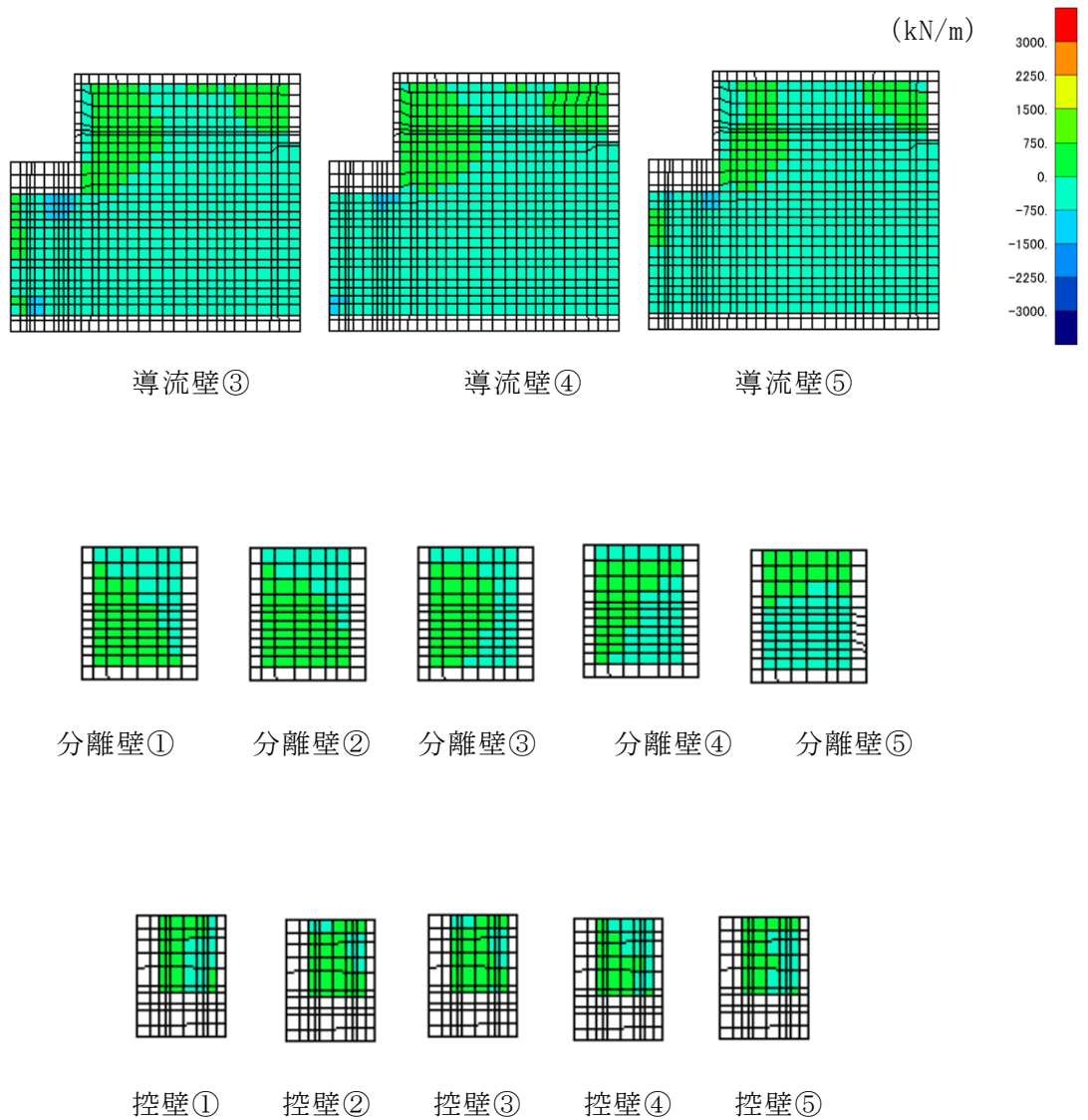


図 4-11 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

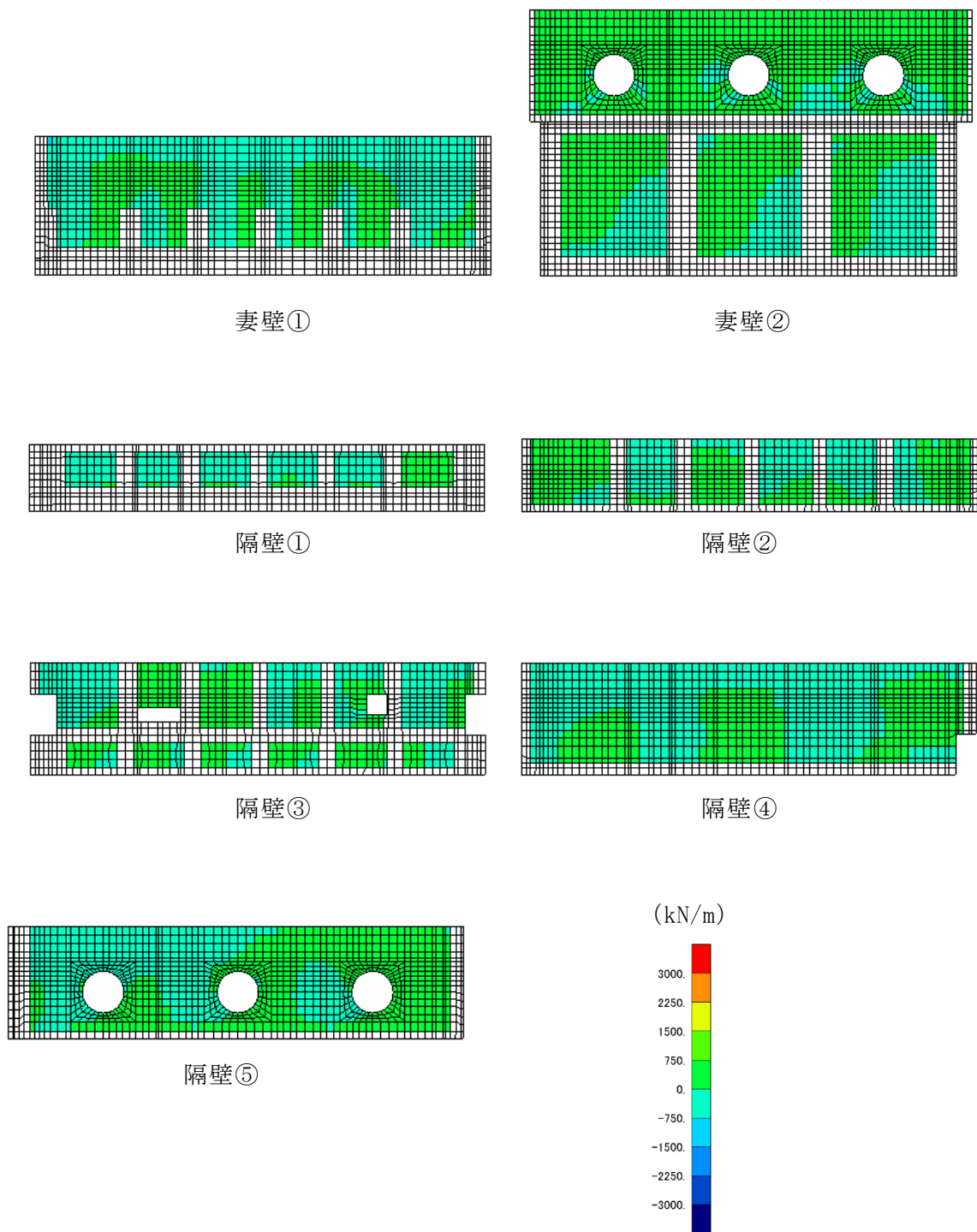


図 4-11 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

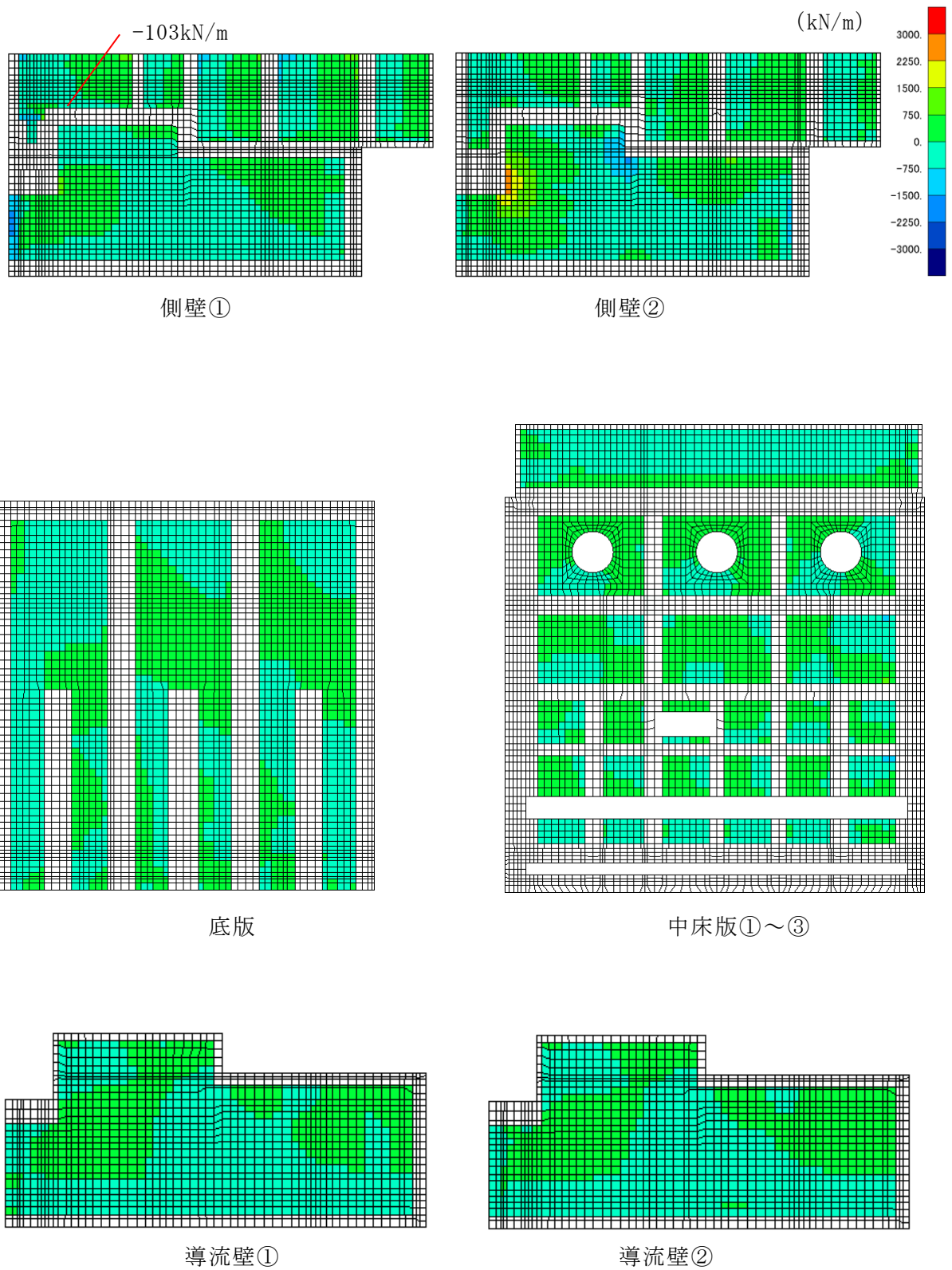


図 4-12 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

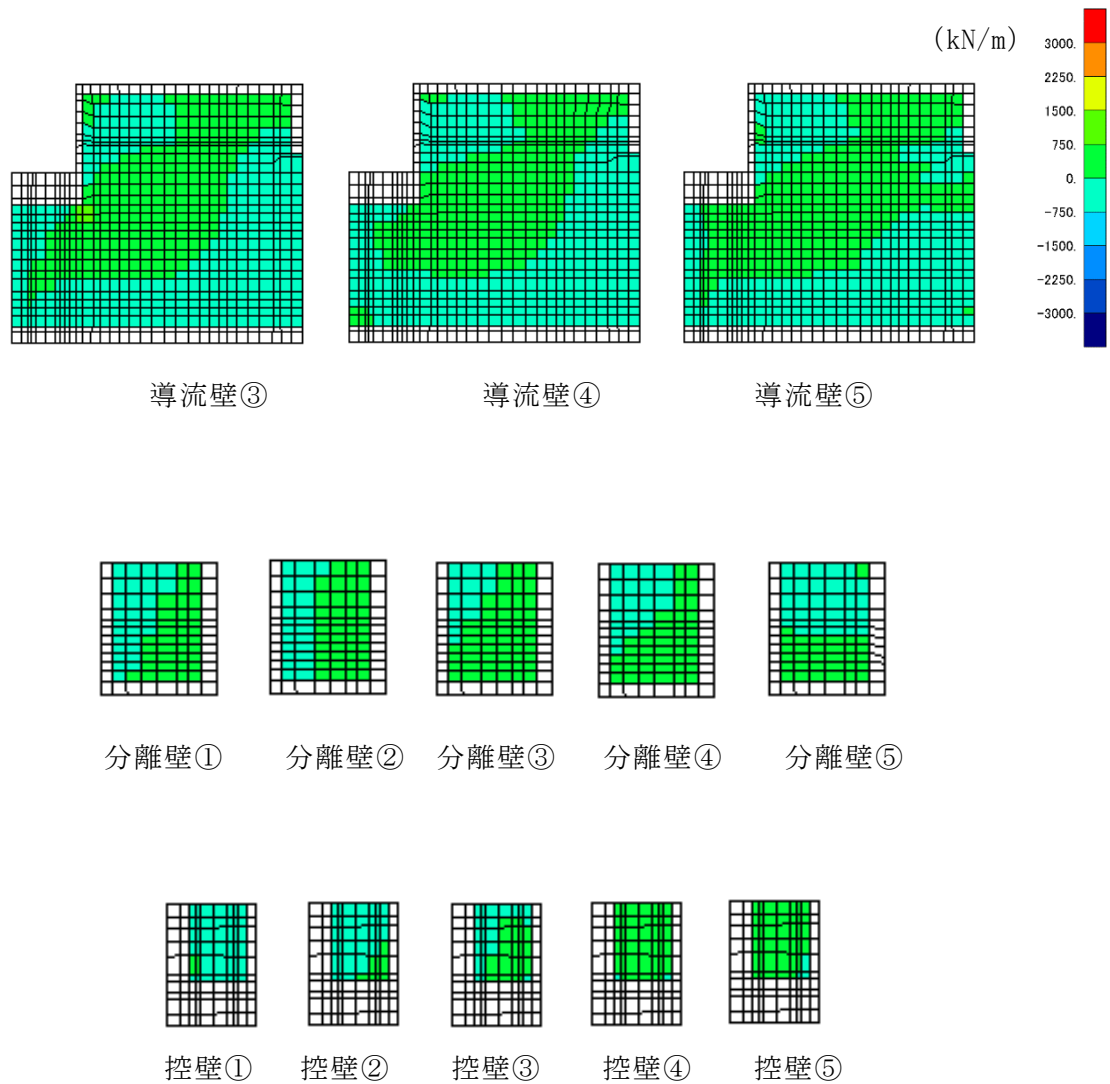


図 4-12 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

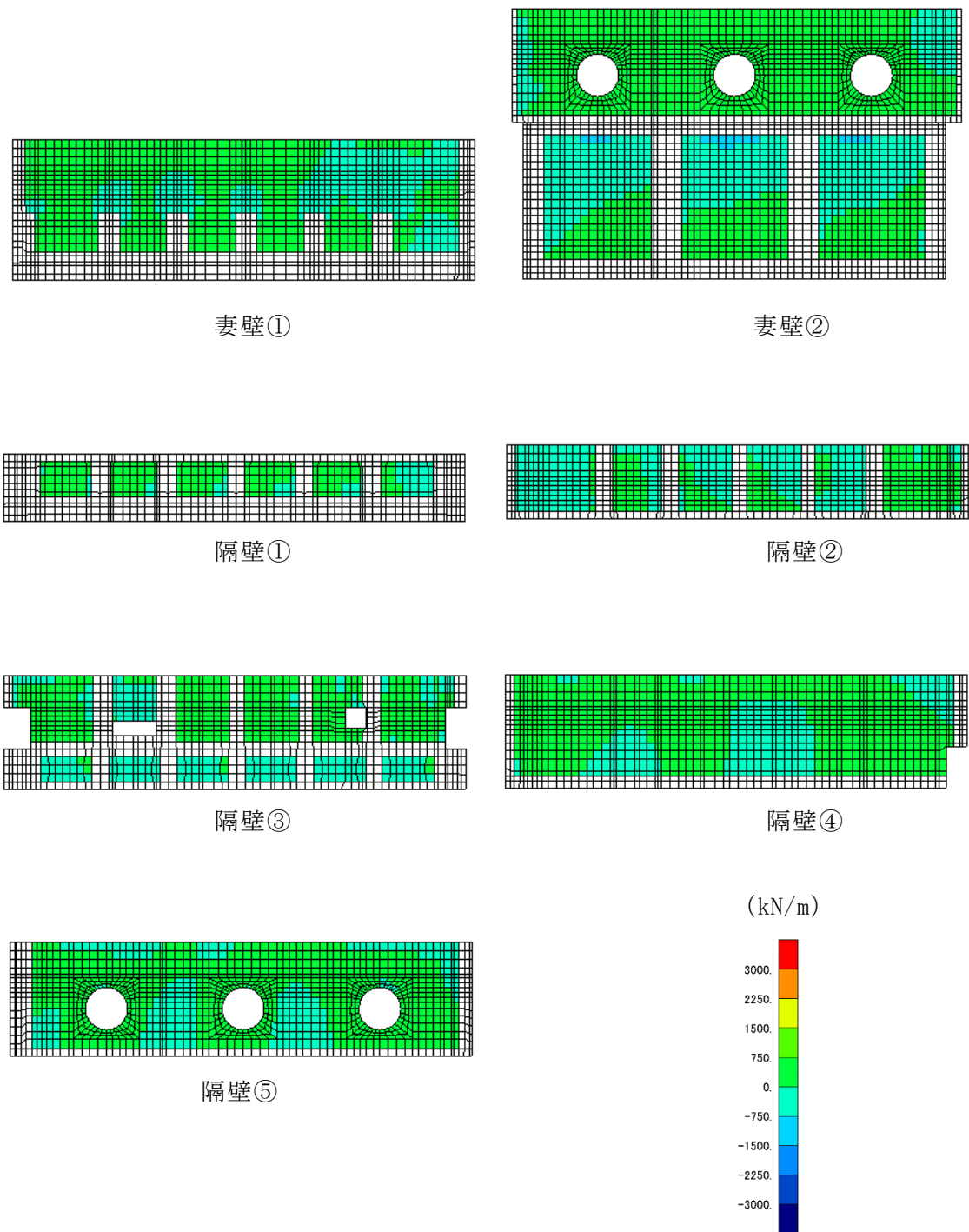


図 4-12 (3) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(側壁, 解析ケース②, $S_s - D (-+)$)

5. 耐震評価結果

5.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-2 に、各壁部材の面内せん断に対する照査値を表 5-3 に示す。

取水槽の照査用ひずみ（コンクリートの圧縮縁ひずみ）、照査用せん断力及び壁部材の照査用面内せん断ひずみが、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮縁ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	1	④	S s - D (-+)	968 μ	10000 μ	0.10
中床版	16	④	S s - D (-+)	3117 μ	10000 μ	0.32
側壁	44	④	S s - D (-+)	7932 μ	10000 μ	0.80
隔壁	136	②	S s - D (-+)	1132 μ	10000 μ	0.12
導流壁	62	④	S s - D (-+)	2129 μ	10000 μ	0.22
妻壁	91	④	S s - D (++)	1091 μ	10000 μ	0.11
分離壁	67	④	S s - D (++)	183 μ	10000 μ	0.02
控壁	71	④	S s - D (-+)	420 μ	10000 μ	0.05

注記*1：評価位置は図 5-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 5-2 せん断破壊に対する照査

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y,d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y,d}$
底版	1	④	S s - D (-+)	1244	1828	0.69
中床版	34	④	S s - D (-+)	1486	1520	0.98*3
側壁	41	②	S s - D (-+)	-	-	0.83*4
隔壁	141	⑤	S s - D (-+)	344	366	0.94
導流壁	64	⑤	S s - D (-+)	1003	1211	0.83
妻壁	92	④	S s - D (++)	985	2145	0.46
分離壁	68	⑤	S s - D (++)	317	1033	0.31
控壁	75	②	S s - D (-+)	302	689	0.44

注記*1：評価位置は図 5-1 に示す。

*2：照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a (=1.05)

*3：断面厚さの 1.0 倍で平均化した場合，照査値 0.88 となる。

*4：線形被害則による照査結果を示す。

【底版，中床版】

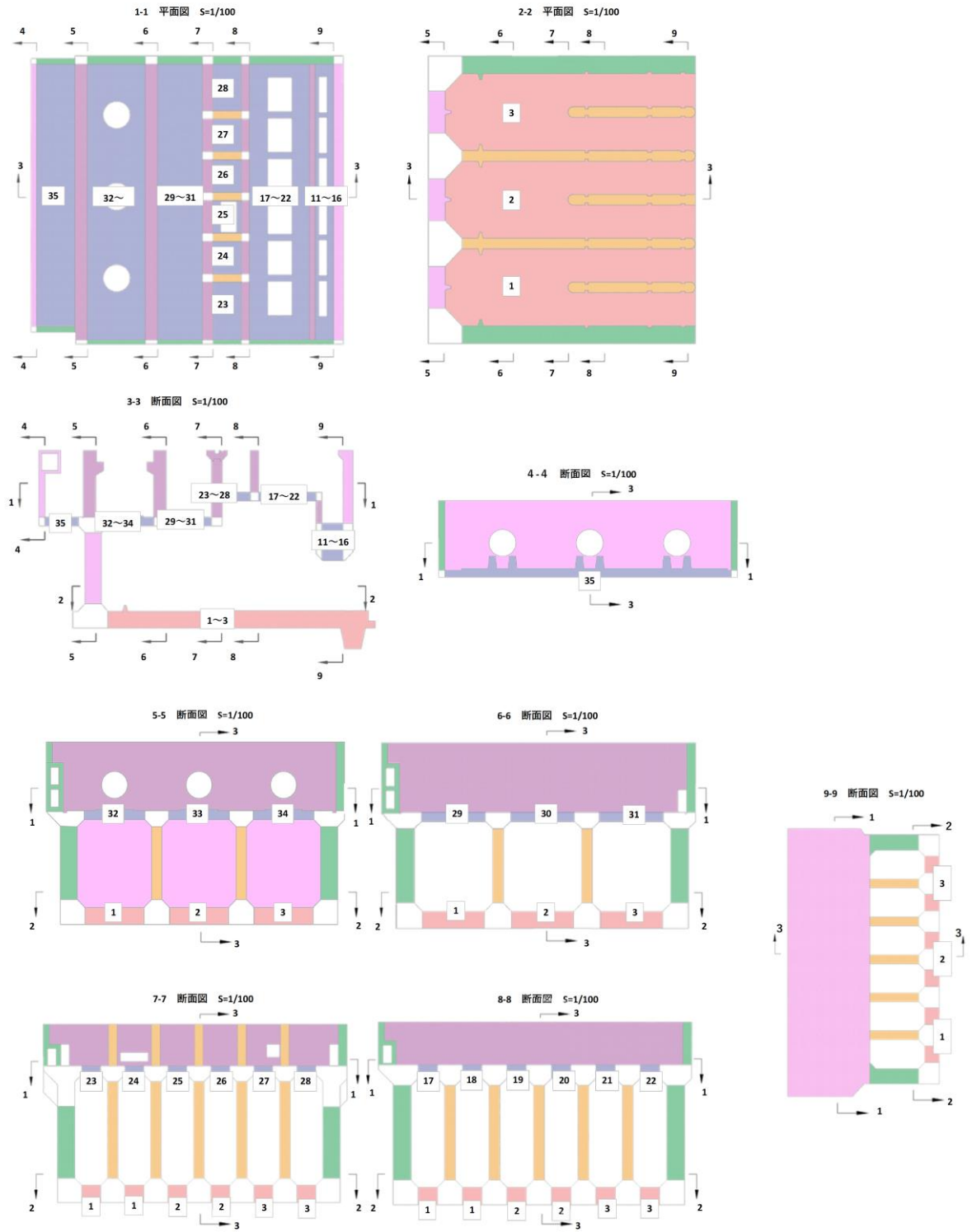


図 5-1 (1) 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【側壁，導流壁，分離壁，控壁】

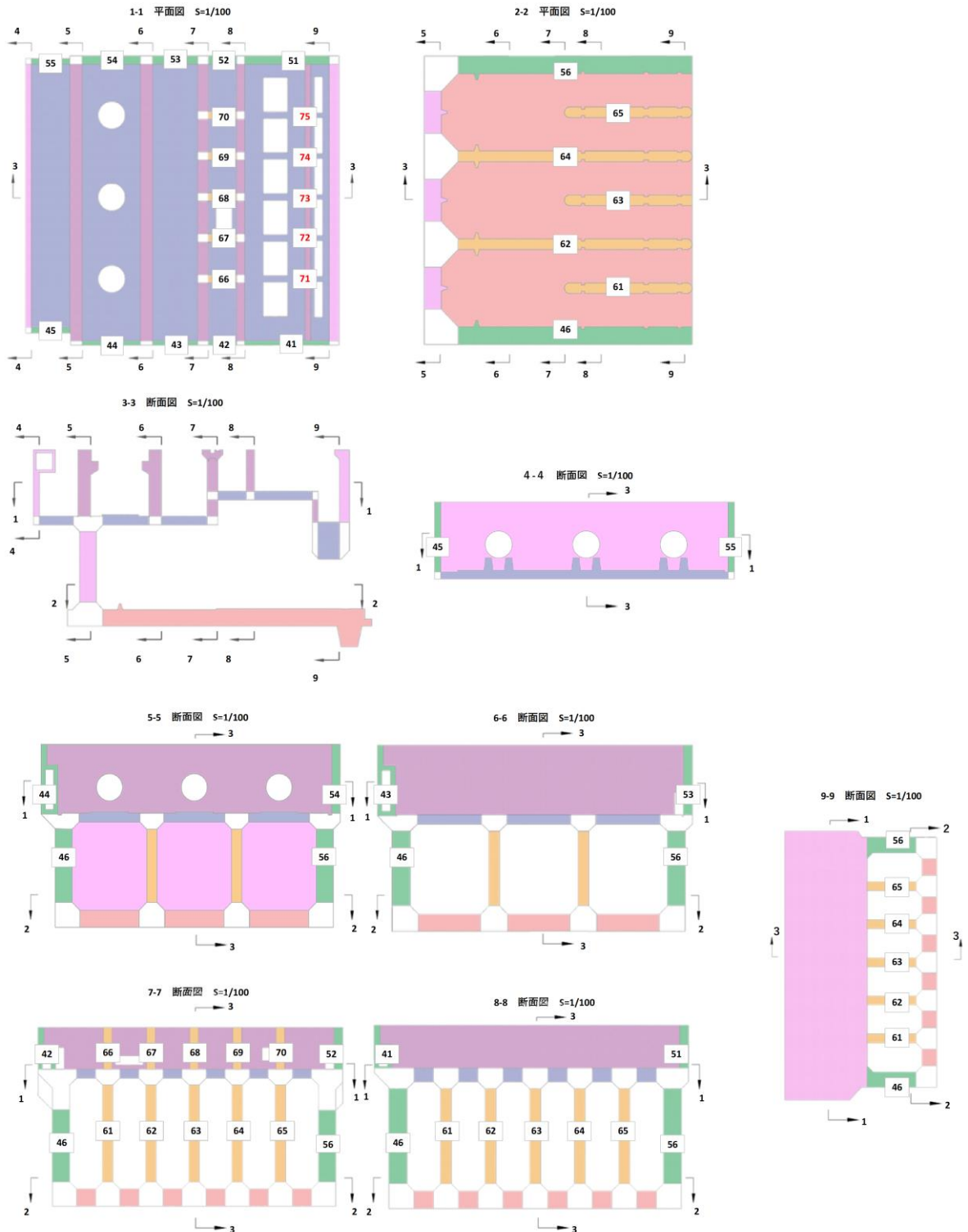


図 5-1 (2) 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

【隔壁，妻壁】

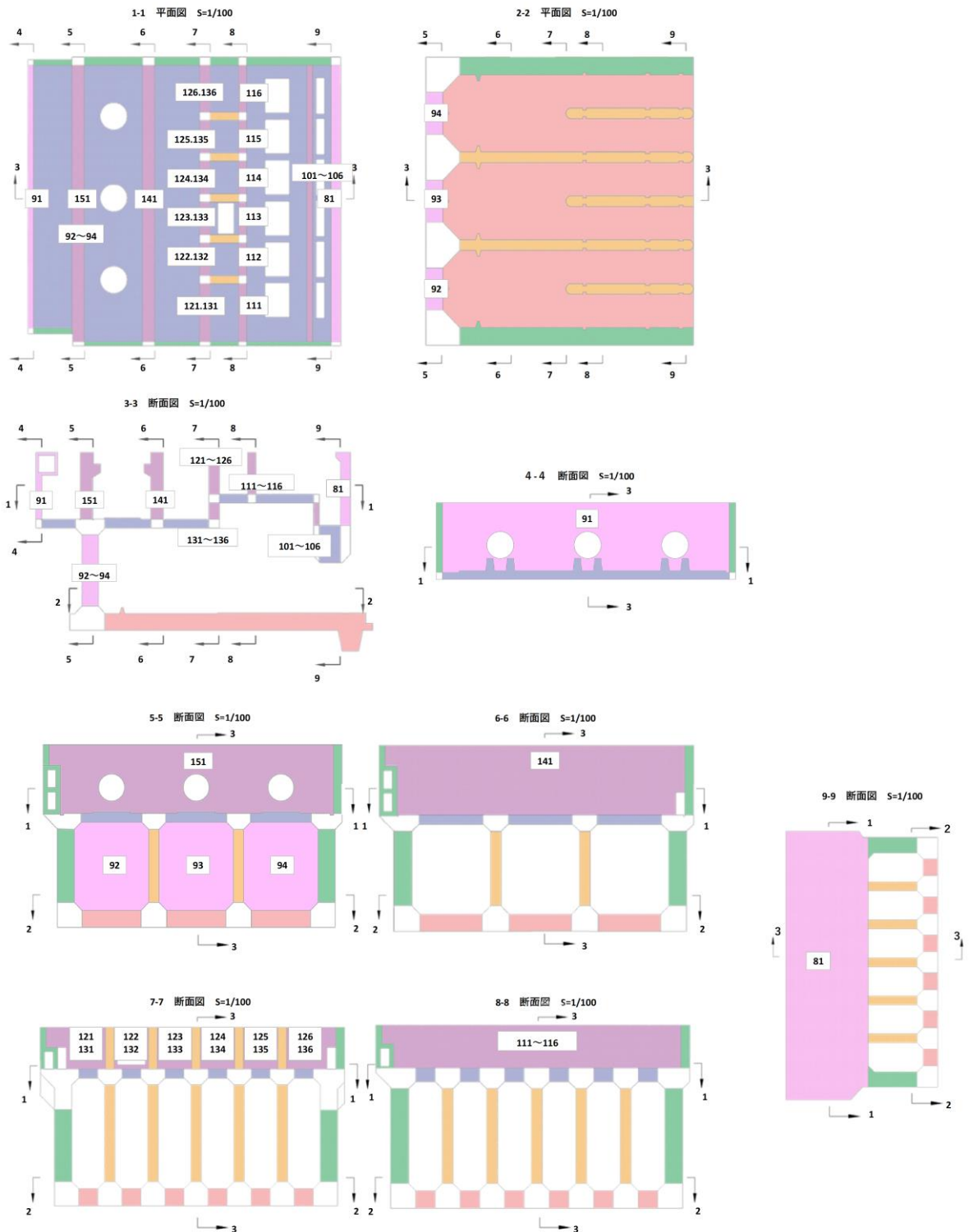


図 5-1 (3) 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表 5-3 壁部材の面内せん断に対する照査

評価位置 ^{*1}		解析 ケース	地震動	照査用 面内せん断 ひずみ ^{*2} ϵ_d	限界せん断 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	—	—	—	—	—	—
中床版	—	—	—	—	—	—
側壁	—	—	—	—	—	—
隔壁	106	①	S _s -D (++)	1500 μ	2000 μ	0.75
導流壁	—	—	—	—	—	—
妻壁	81	④	S _s -D (-+)	1782 μ	2000 μ	0.90
分離壁	—	—	—	—	—	—
控壁	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用面内せん断ひずみ = 発生する面内せん断ひずみ × 構造解析係数 γ_a

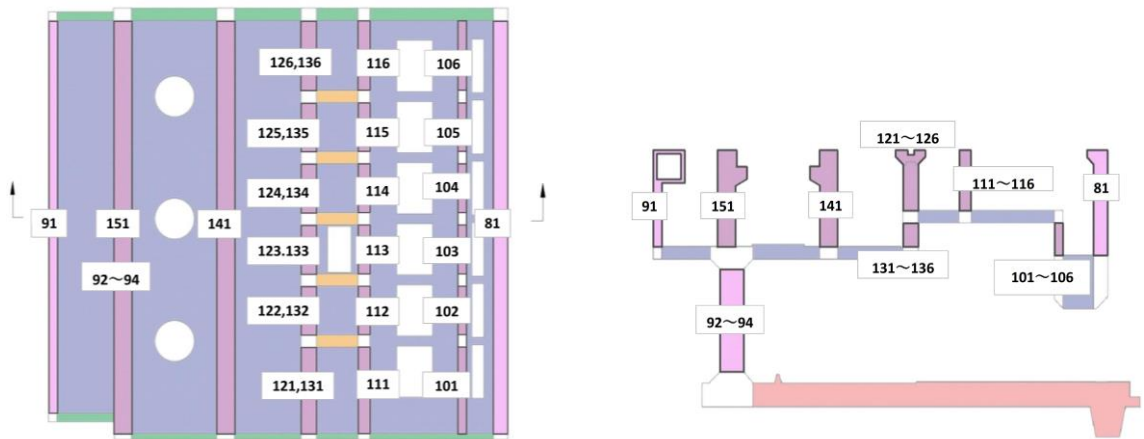


図 5-2 評価位置図 (壁部材の面内せん断)

(左：平面図, 右：断面図)

5.2 各要求機能に対する評価結果

5.2.1 通水機能及びSクラスの施設等を支持する機能

「5.1 構造部材の健全性に対する評価結果」において、取水槽の照査用ひずみ（コンクリートの圧縮縁ひずみ）、照査用せん断力及び壁部材の照査用面内せん断ひずみが、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認することにより、通水機能及びSクラスの施設等を支持する機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

5.2.2 止水機能

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-4及び表5-5に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-6に示す。

取水槽の照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみ）が、止水機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表5-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	—	—	—	—	—	—
中床版	31	②	S s - D (-+)	1613 μ	2000 μ	0.81
側壁	43	④	S s - D (-+)	1973 μ	2000 μ	0.99*3
隔壁	136	②	S s - D (-+)	1132 μ	2000 μ	0.57
導流壁	—	—	—	—	—	—
妻壁	—	—	—	—	—	—
分離壁	67	④	S s - D (++)	183 μ	2000 μ	0.10
控壁	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図5-1に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

*3：断面厚さは1.0倍で平均化した場合、照査値0.76となる。

表 5-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査(主筋ひずみ)

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
底版	—	—	—	—	—	—
中床版	28	②	S s - D (- +)	1624 μ	1725 μ	0.95
側壁*3	53	④	S s - D (+ +)	1302 μ	1725 μ	0.76
隔壁	126	④	S s - D (- +)	1556 μ	1725 μ	0.91
導流壁	—	—	—	—	—	—
妻壁	—	—	—	—	—	—
分離壁	68	④	S s - D (+ +)	264 μ	1725 μ	0.16
控壁	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図 5-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

*3：限界ひずみを超える一部の要素について、当該要素が含まれる部材を取り出した部材モデルを作成し、プッシュオーバー解析を実施することにより、当該部材・要素がおおむね弾性範囲にあることを確認した（図 5-3）

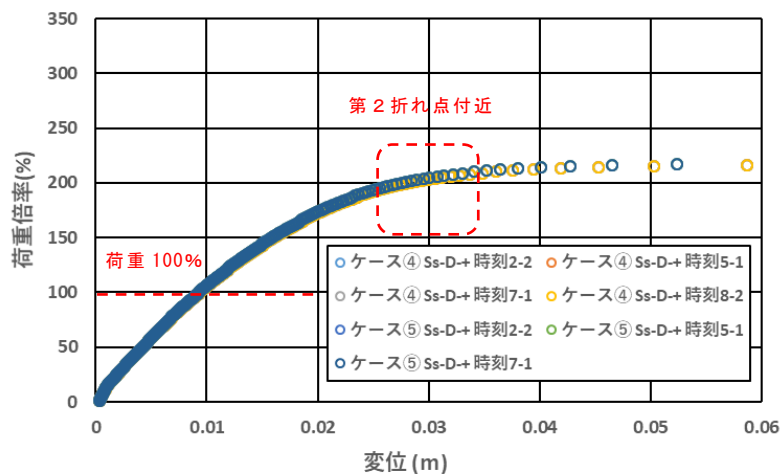


図 5-3 側壁①（海水ポンプエリア）に働く荷重倍率と相対変位の関係

表 5-6 せん断破壊に対する照査

評価位置 ^{*1, *2}		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力 ^{*3} V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
底版	—	—	—	—	—	—
中床版	34	④	S _s -D (-+)	1486	1520	0.98 ^{*4, *5}
側壁	53	④	S _s -D (++)	685	876	0.79
隔壁	141	⑤	S _s -D (-+)	344	366	0.94
導流壁	—	—	—	—	—	—
妻壁	—	—	—	—	—	—
分離壁	68	⑤	S _s -D (++)	317	1033	0.31
控壁	—	—	—	—	—	—

注記*1：評価位置は図 5-1 に示す。

*2：止水機能が要求される部材の範囲は図 5-4 に示す。

*3：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*4：要素単位で断面厚さの 1.0 倍以下となるような範囲で平均化を実施した結果のうち最大の照査値を示す

*5：断面厚さの 1.0 倍で平均化した場合、照査値 0.88 となる。

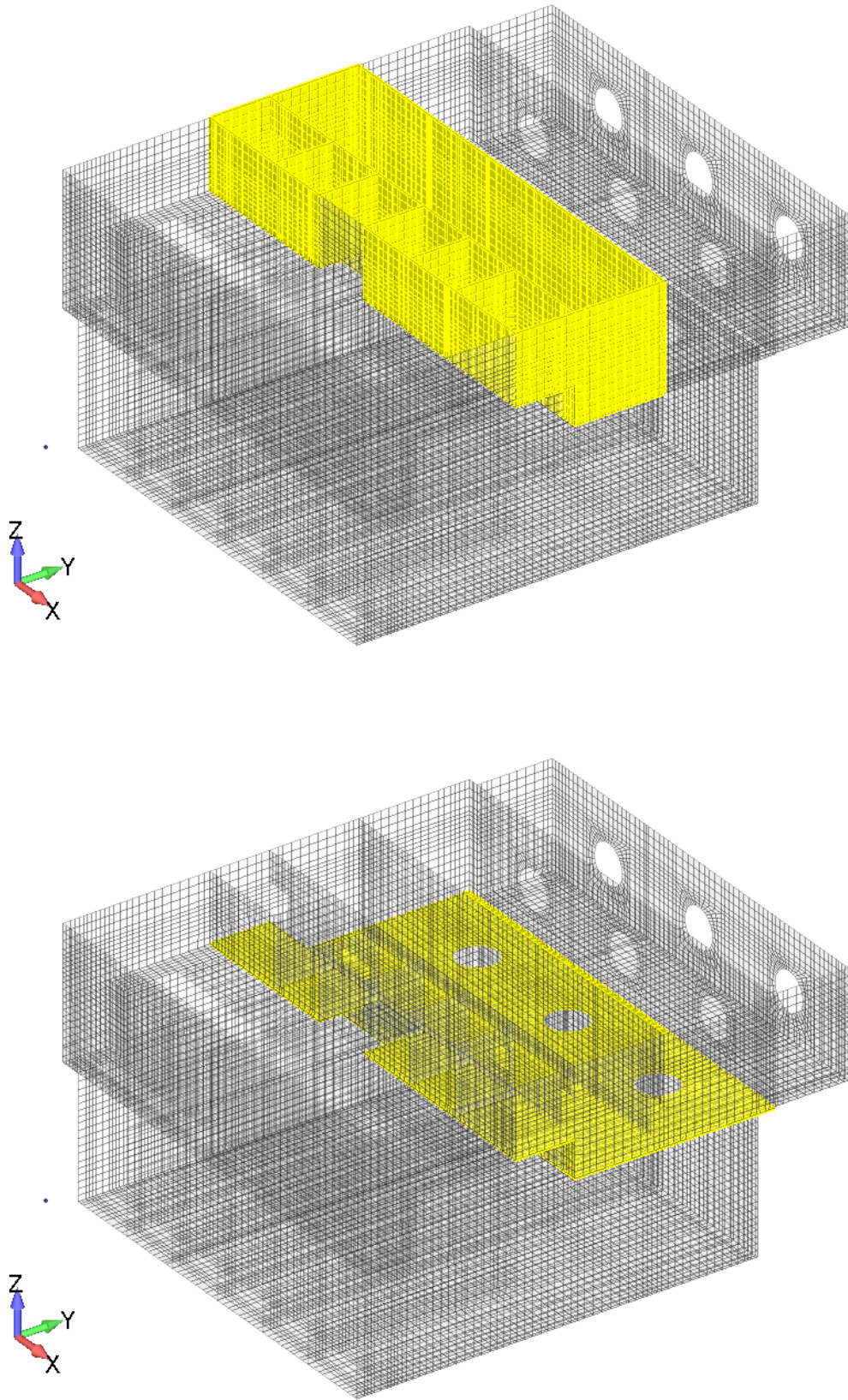


図 5-4 止水機能が要求される部材の範囲(上:壁部, 下:床部)

5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

5.3.1 基礎地盤

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-7 に示す。また、最大接地圧分布図を図 5-5～図 5-7 に示す。

取水槽の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表 5-7 基礎地盤の支持性能照査結果

断面	解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
除じん機エリア (A-A断面)	①	S s - F 1 (++)	0.96	3.9	0.25
海水ポンプエリア (B-B断面)	④	S s - D (++)	0.95	3.9	0.25
ストレーナエリア (C-C断面)	⑤	S s - D (++)	0.59	3.9	0.16

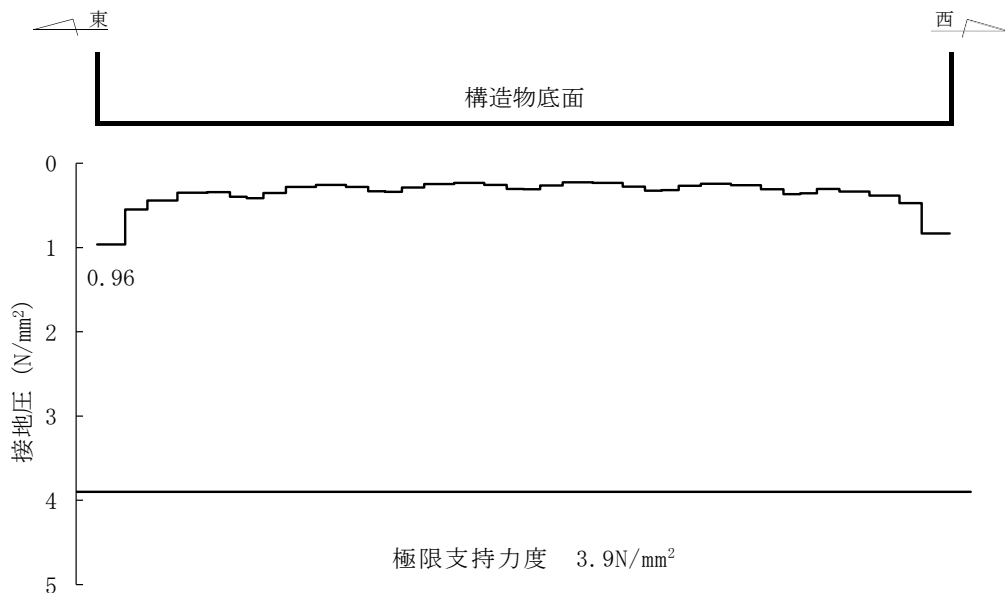


図 5-5 基礎地盤の最大接地圧分布図

(A-A断面, 解析ケース①, S s - F 1 (++))

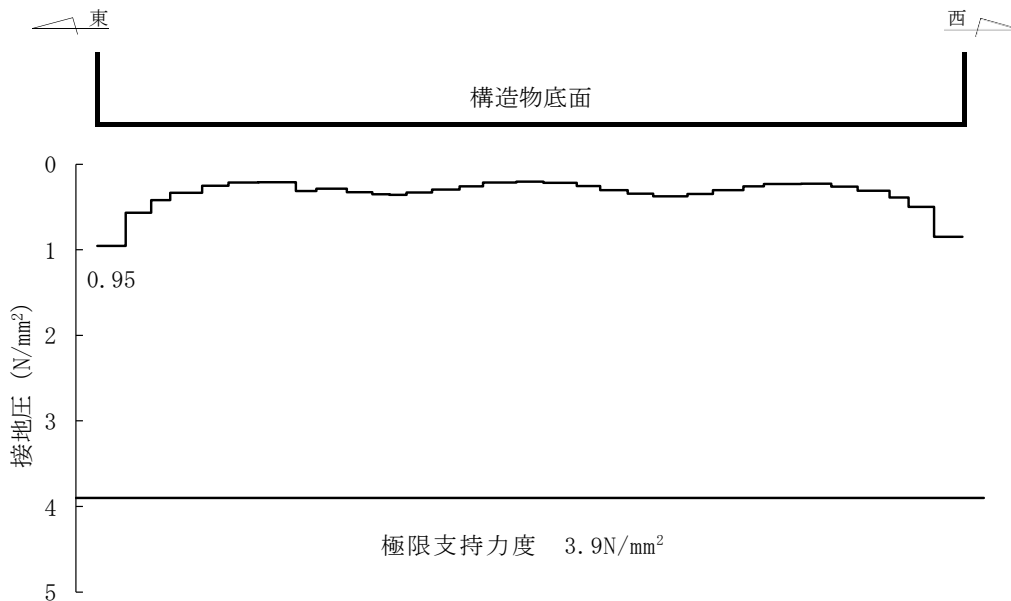


図 5-6 基礎地盤の最大接地圧分布図
 (B-B 断面, 解析ケース④, S s - D (++))

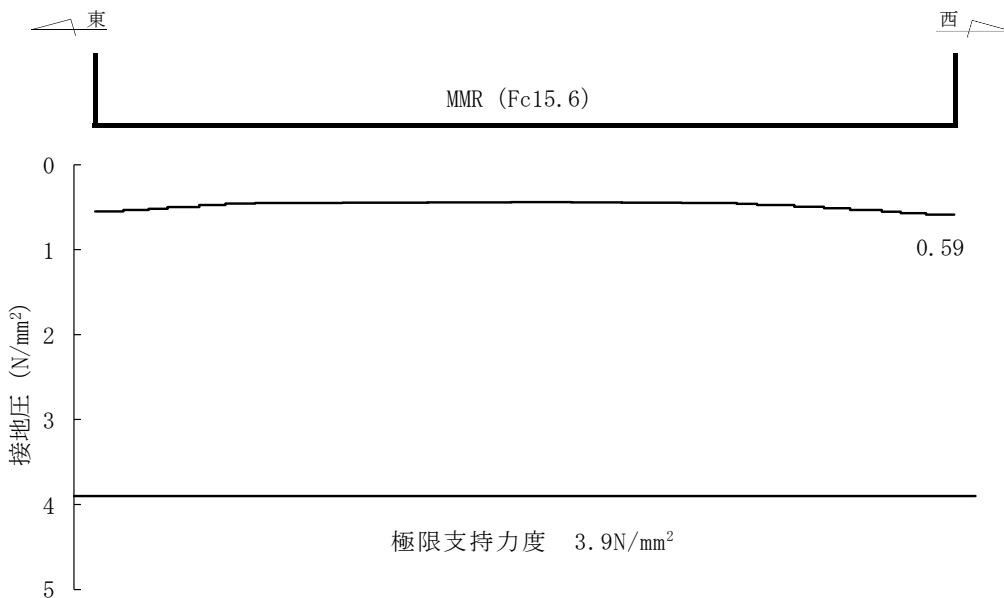


図 5-7 基礎地盤の最大接地圧分布図
 (C-C 断面, 解析ケース⑤, S s - D (++))

5.3.2 MMR

MMRの支持性能に対する照査結果を表5-8に示す。また、最大接地圧分布図を図5-8に示す。

取水槽のMMRに発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表5-8 MMRの支持性能照査結果

断面	解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_{ck} (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_{ck}
ストレーナエリア (C-C断面)	⑤	S _s -D (-+)	0.96	15.6	0.07

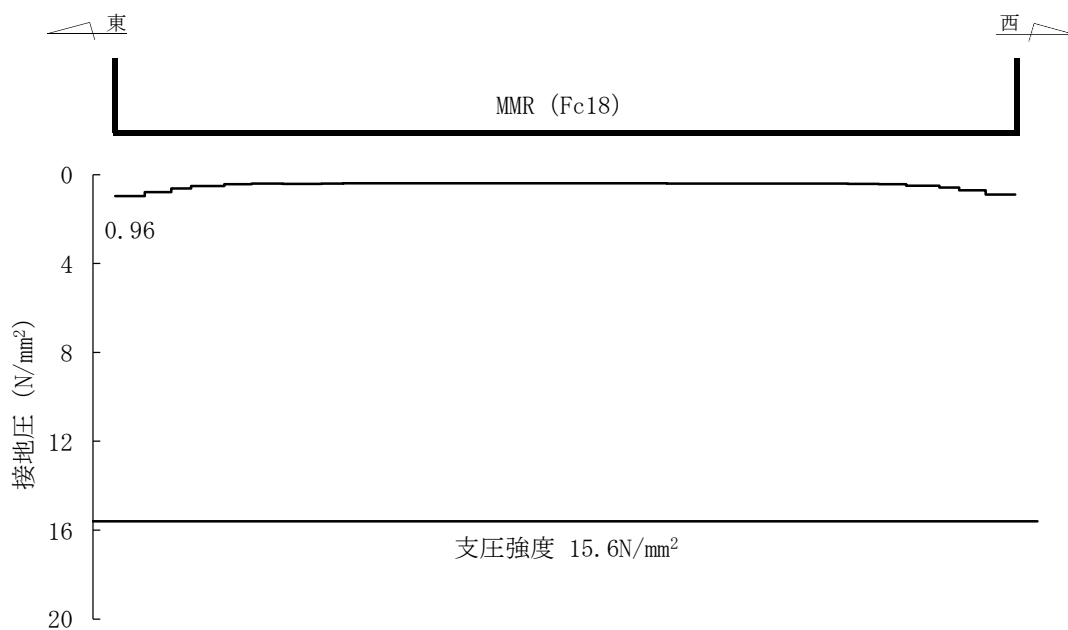


図5-8 MMRの最大接地圧分布図

(解析ケース⑤, S_s-D (-+), C-C断面)