

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0164_改1
提出年月日	2021年9月22日

VI-2-2-14 軽油タンク室の耐震性についての計算書

○ 2 ③ VI-2-2-14 R 1

2021年9月

東北電力株式会社

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	7
2.4 適用基準	10
3. 耐震評価	11
3.1 地震時荷重算出断面	11
3.2 使用材料及び材料の物性値	15
3.3 許容限界	16
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	16
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	23
3.4 評価方法	24
3.4.1 構造部材の健全性評価	24
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	30
4. 構造部材の地震時応答	31
5. 耐震評価結果	42
5.1 構造部材の健全性に対する評価結果	42
5.2 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果	45
5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	47
5.3.1 基礎地盤（狐崎部層）	47
5.3.2 MMR（既設）	48

1. 概要

本資料は、添付書類「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、軽油タンク室が基準地震動 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。

軽油タンク室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三次元構造解析モデルに作用させて、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。

2. 基本方針

2.1 位置

軽油タンク室の位置を図 2-1 に示す。

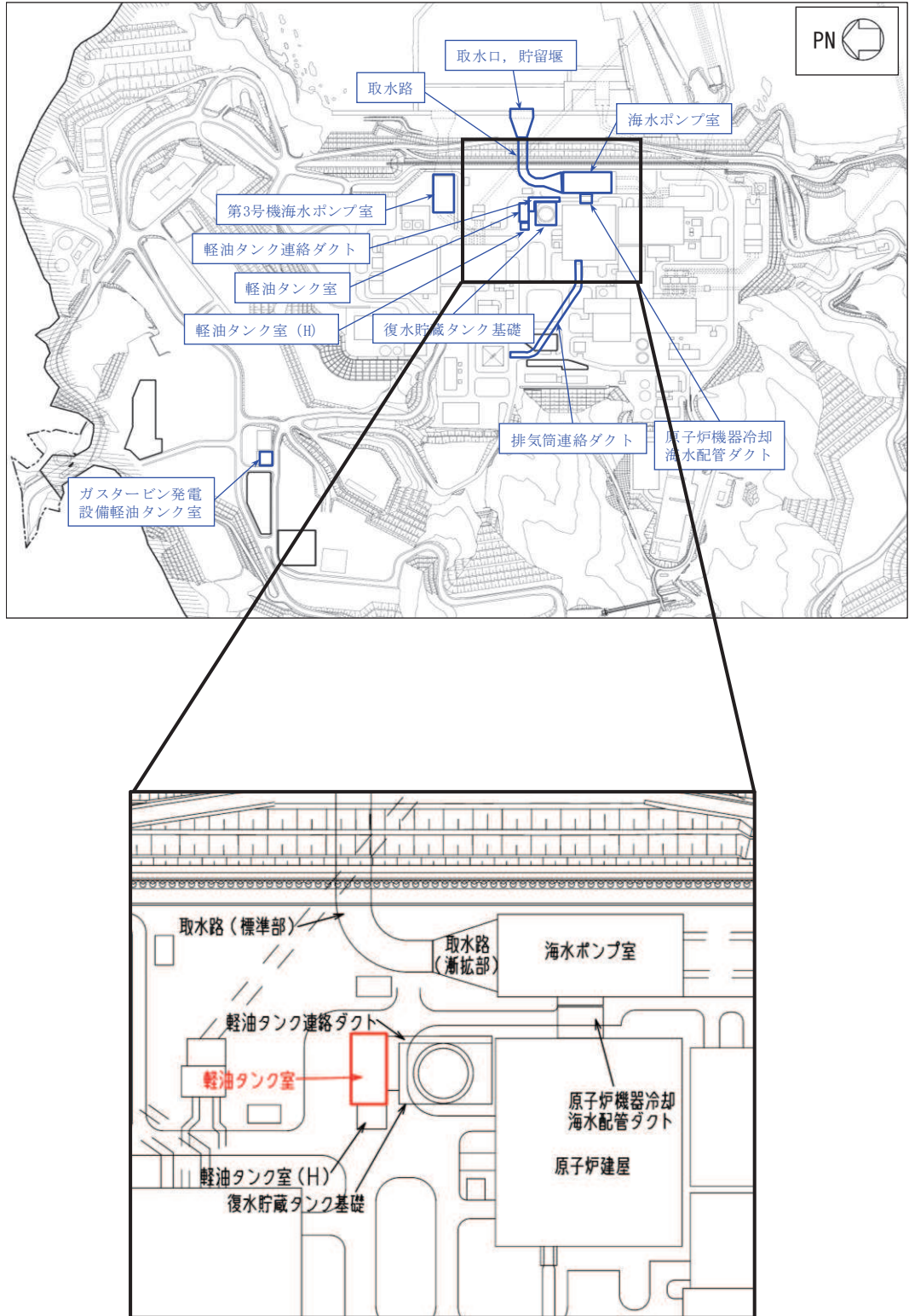


図 2-1 軽油タンク室の位置図

2.2 構造及び補強の概要

軽油タンク室の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3～図 2-5 に、補強図を図 2-6 に、概略配筋図を図 2-7～図 2-9 に示す。

軽油タンク室は、軽油タンクや燃料移送ポンプ等を頂版、底版、側壁及び隔壁で間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク室は、幅 32.40m（東西）×20.70m（南北）、高さ 6.80m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で、二連ボックスカルバート構造の 2 室のタンク室と、タンク室南側に位置し三連のボックスカルバート状の断面を有する 3 室のポンプ室にて構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

軽油タンク室は、面部材として加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を有する箱形構造物である。

軽油タンク室の耐震性を確保するために耐震補強を実施する。

縦置の軽油タンクを横置に改造するため、既設の側壁及び隔壁の上部を撤去して頂版を新設し、地下構造化した。また、地下構造化に併せて、系統分離の観点から、燃料移送ポンプ等が設置しているエリアに隔壁を設置した。さらに、せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（セラミックキャップバー工法）（以下「CCb 工法」という。）によるせん断補強を実施する。

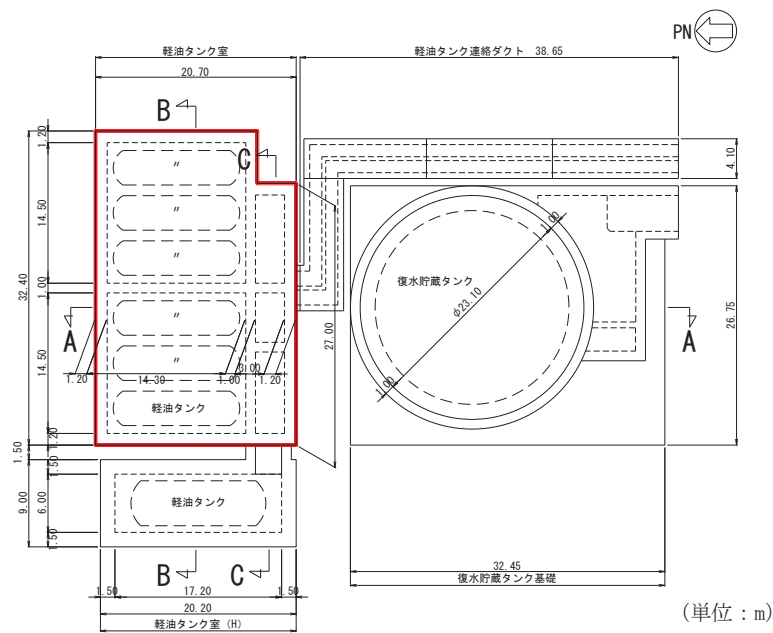


図 2-2 軽油タンク室平面図

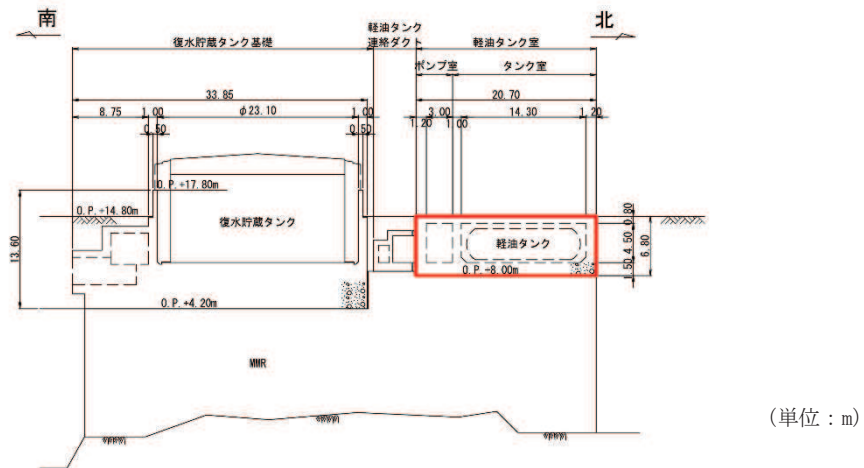


図 2-3 軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

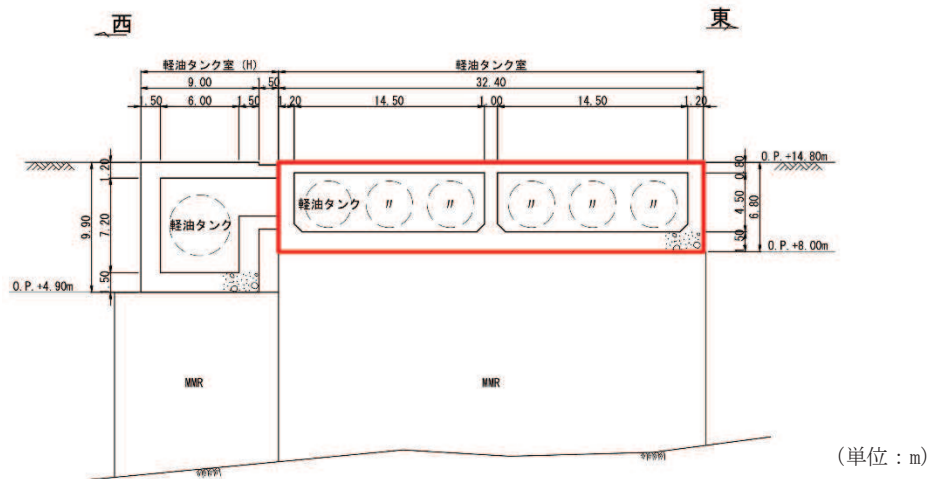


図 2-4 軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西 (タンク室))

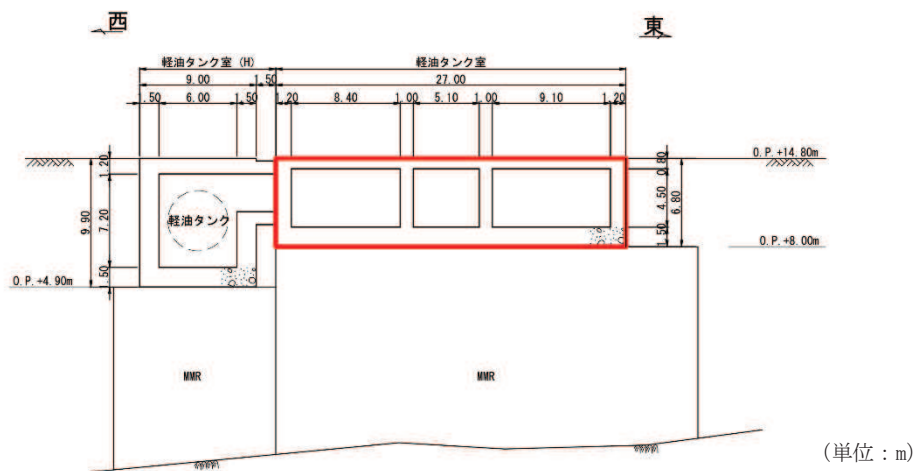


図 2-5 軽油タンク室断面図 (C-C 断面, 東西 (ポンプ室))

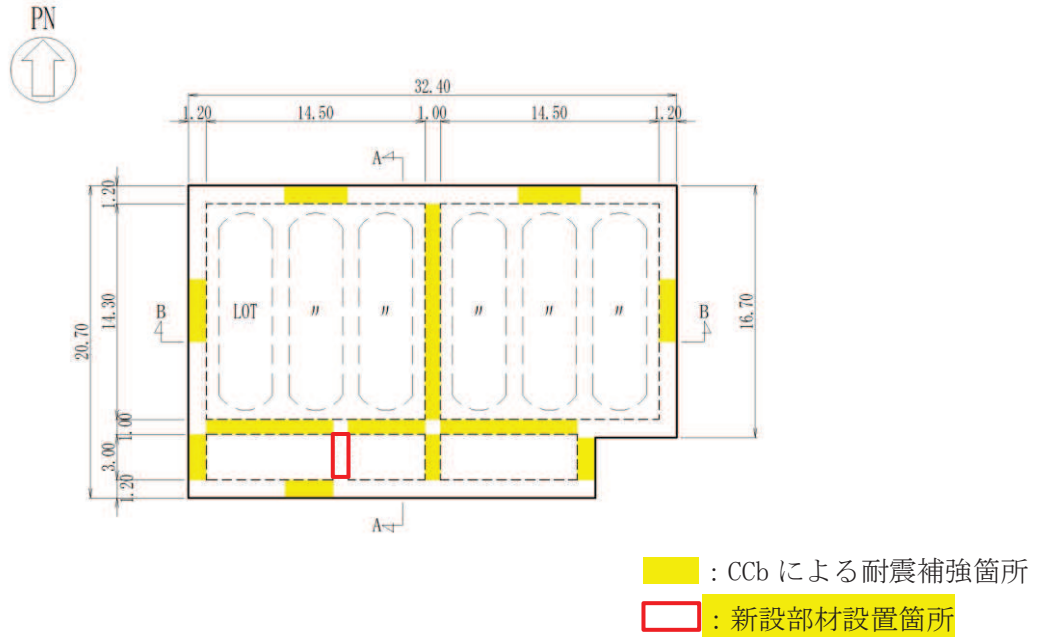


図 2-6(1) 耐震補強箇所 (平面図)

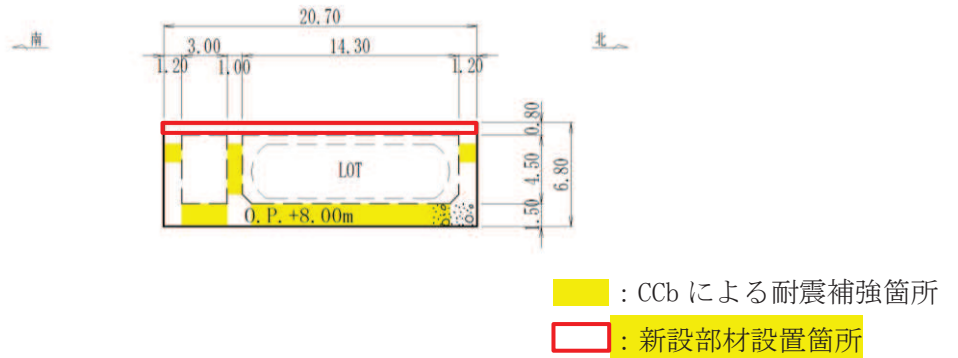


図 2-6(2) 耐震補強箇所 (A-A 断面)

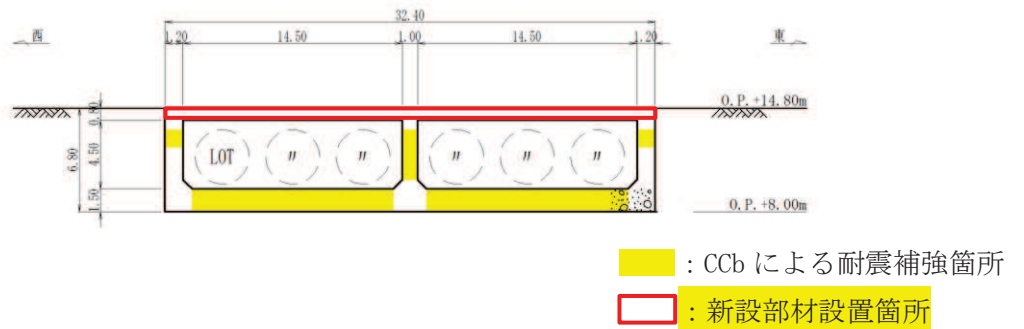
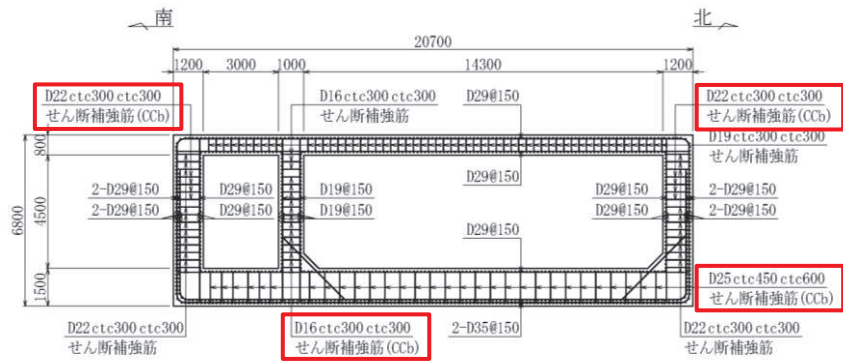
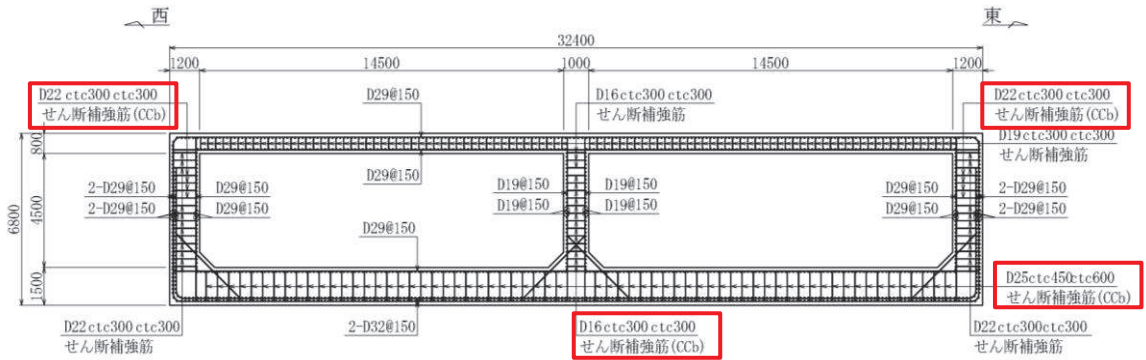


図 2-6(3) 耐震補強箇所 (B-B 断面)



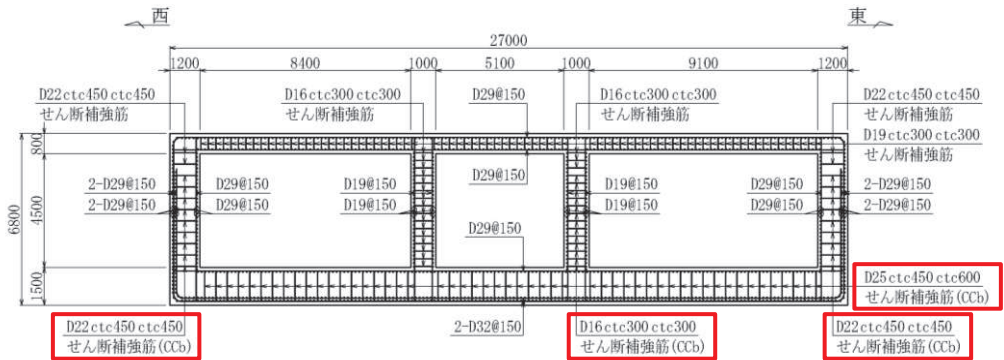
□ : CcB 工法適用箇所

図 2-7 軽油タンク室概略配筋図 (A-A 断面, 南北)



□ : CcB 工法適用箇所

図 2-8 軽油タンク室概略配筋図 (B-B 断面, 東西 (タンク室))



□ : CcB 工法適用箇所

図 2-9 軽油タンク室概略配筋図 (C-C 断面, 東西 (ポンプ室))

2.3 評価方針

軽油タンク室は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設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、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、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。

軽油タンク室の耐震評価は、添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」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。

軽油タンク室の耐震評価フローを図2-10に示す。

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及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた、非線形シェル要素による三次元静的材料非線形解析（以下「三次元構造解析」という。）により応答値を算定し、添付書類「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、せん断破壊に対しては照査用せん断力及び照査用層間変形角（面内）が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「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、軽油タンク室の運転時、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ないため、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。

表 2-1 軽油タンク室の評価項目

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層間変形角(面内)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	限界層間変形角*
	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		
MMR		MMRの支圧強度				
Sクラスの施設を支持する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, 照査用せん断力及び照査用層間変形角(面内)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	限界層間変形角*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

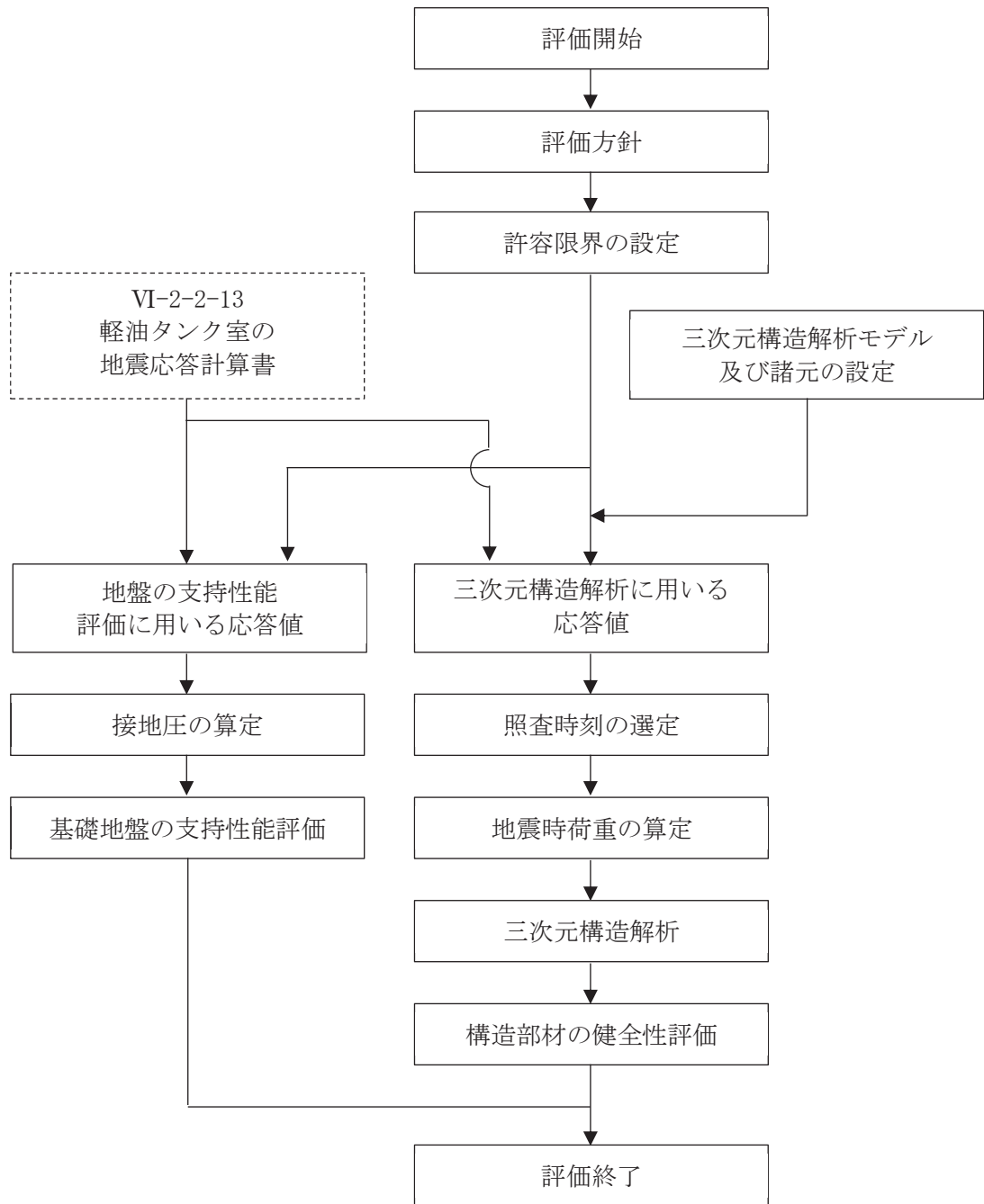


図 2-10 軽油タンク室の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- ・土木学会 2012年 コンクリート標準示方書[設計編]
- ・土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]
- ・土木学会 2005年 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
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・日本道路協会 平成14年3月 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 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- ・一般財団法人土木研究センター 建設技術審査証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー(CCb)」

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面

軽油タンク室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、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、タンク軸方向で構造物の中心を通る南北方向（A-A 断面）及びタンクの軸方向に対し直交する東西方向とし、東西方向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、タンク室を通る断面（B-B 断面、東西（タンク室））とポンプ室を通る断面（C-C 断面、東西（ポンプ室））とする。地震時荷重算出用地質断面図を図 3-2～図 3-4 に示す。

なお、加振方向に平行に配置され耐震上見込むことができる面部材の配置から、南北方向（A-A 断面）が弱軸方向となり、東西方向（B-B 断面及び C-C 断面）が強軸方向となることから、耐震評価は弱軸方向である南北方向（A-A 断面）に対して実施する。

地震応答解析における解析手法は、添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」のうち、「3.2 解析方法」に示すとおり全応力解析とする。解析ケースを表 3-1 に示す。

また、軽油タンク室は、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）が要求されることから、シェル要素を用いた三次元構造解析により耐震評価を行う。

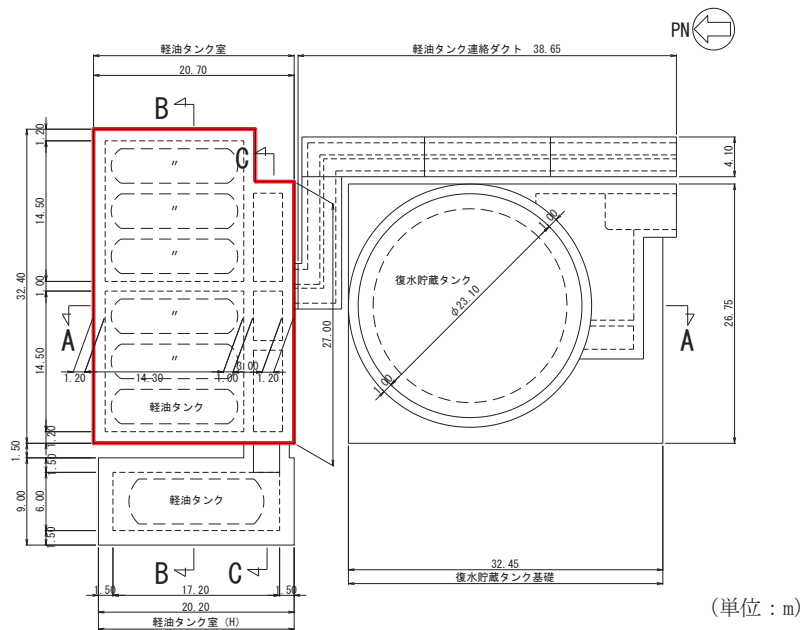


図 3-1 軽油タンク室の地震時荷重算出断面位置図

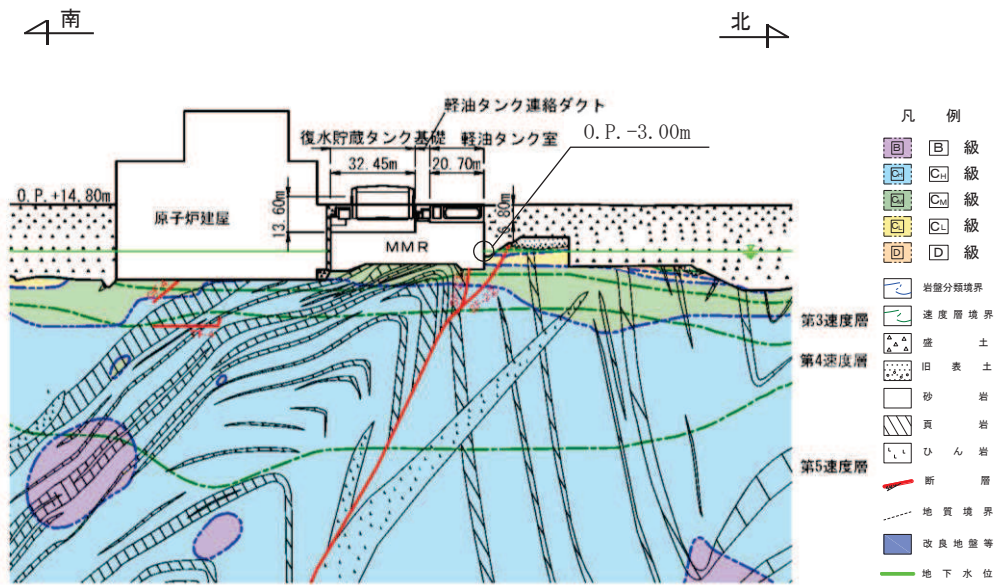


図 3-2 軽油タンク室 地震時荷重算出用地質断面図
(A-A 断面, 南北)

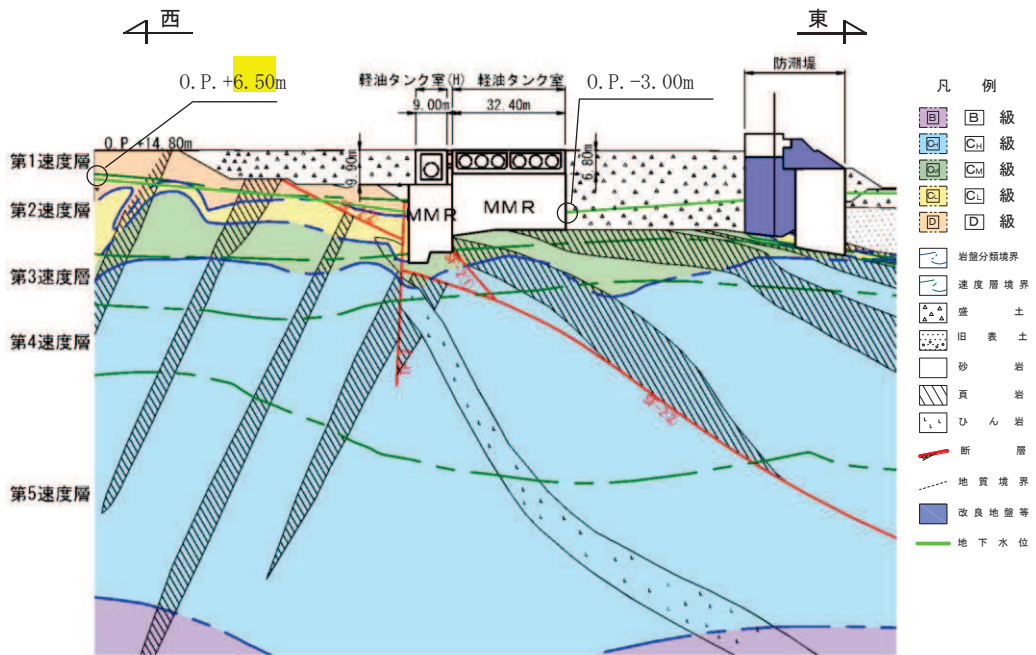


図 3-3 軽油タンク室 地震時荷重算出用地質断面図
(B-B 断面, 東西 (タンク室))

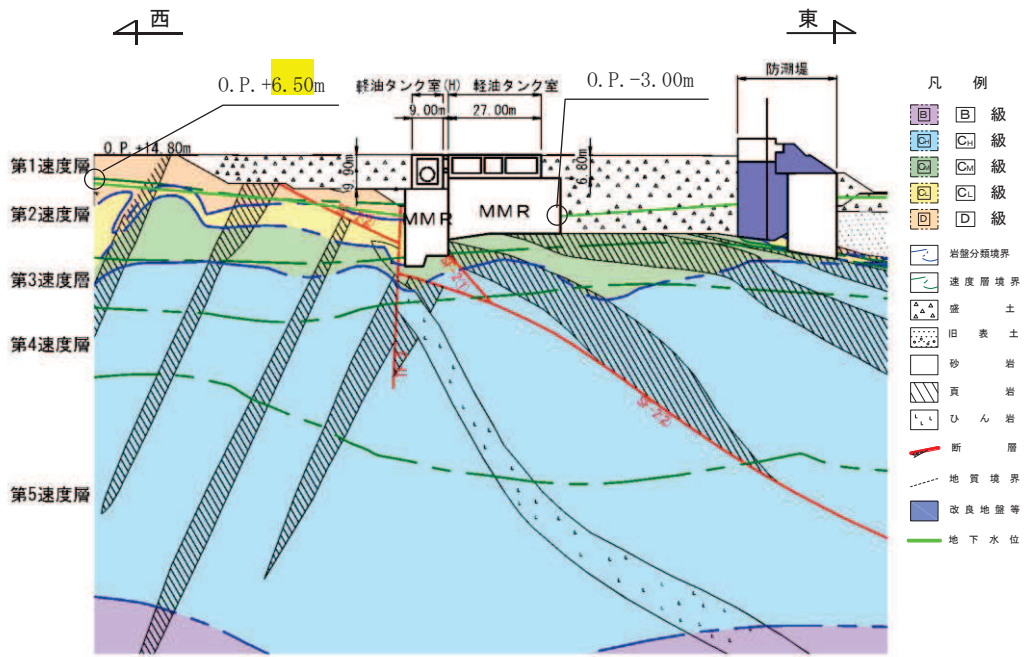


図 3-4 軽油タンク室 地震時荷重算出用地質断面図
(C-C 断面, 東西 (ポンプ室))

表 3-1 耐震評価における解析ケース

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 (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
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-2, 材料の物性値を表 3-3 に示す。

表 3-2 使用材料

材料		仕様	
コンクリート	既設部材	底版, 側壁, 隔壁	設計基準強度 20.5N/mm ²
	新設部材*	頂版, 隔壁	設計基準強度 24.0N/mm ²
鉄筋		SD345	

注記* : 新設部材は, 図 2-6 参照。

表 3-3 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目		材料諸元	備考	
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0		
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*		3.32×10 ⁴	解析ケース④
		設計基準強度	20.5N/mm ²	2.33×10 ⁴	解析ケース①, ②, ③
			24.0N/mm ²	2.50×10 ⁴	
	ポアソン比		0.2		

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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、「土木学会 2005 年 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」（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。

また、頂版、底版、側壁及び隔壁のアンカー定着部に要求される 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、主鉄筋のひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、おおむね弾性範囲に相当するひずみ（主鉄筋：1725 μ ，コンクリート：2000 μ ）とする。

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を表 3-4 に示す。

表 3-4 軽油タンク室の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	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% (10000 μ)
S クラスの施設を支持する機能を損なわないこと		主鉄筋(SD345)：1725 μ コンクリート：2000 μ

(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ける構造部材（鉄筋コンクリート）の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。

CCb 工法を用いる構造部材については「b. CCb によりせん断補強された部材のせん断耐力式」を用いる。せん断破壊に対する耐力評価フローを図 3-5 に示す。

壁部材の面内せん断に対する許容限界は、層間変形角（面内） 2000μ （2/1000）とする。層間変形角（面内） 2000μ （2/1000）は、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」において、耐震壁の終局耐力に相当する層間変形角 4000μ （4/1000）に余裕を見込んだ許容限界かつ耐震壁の支持機能に対する許容限界として規定されている。

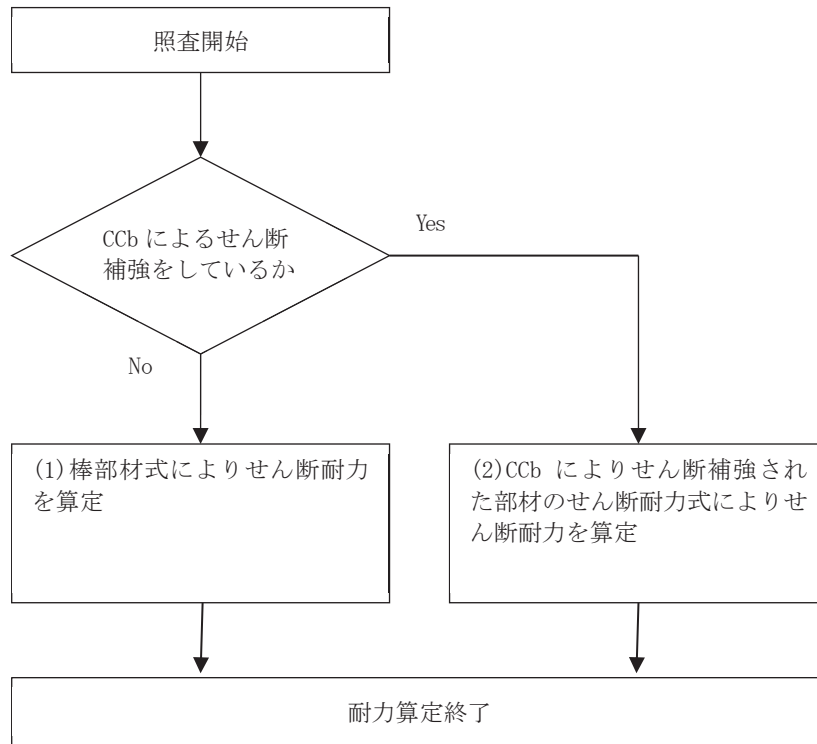


図 3-5 せん断破壊に対する耐力評価フロー

a. 棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし、} f_{v c d} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{) となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

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

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2 M_0 / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 1$$

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度 $f'_{c k}$ を
材料係数 $\gamma_{m c}$ で除したもの

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

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_d : 設計曲げモーメント

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

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

- 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,
400N/mm²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60N/mm²以上の時は, 800N/mm²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. Ccbによりせん断補強された部材のせん断耐力式 (棒部材式)

軽油タンク室において後施工せん断補強 (セラミックキャップバー (CCb)) を配置した構造部材のせん断耐力については, 「一般財団法人土木研究センター 建設技術審査 証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー (CCb)」」に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd}$$

$$= \beta \cdot \left\{ A_{aw} \cdot f_{awy d} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw} \right\} z / \gamma_b \quad \dots \text{式(2)}$$

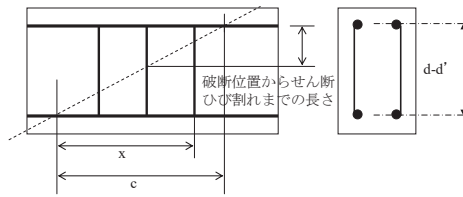
$$\beta_{aw} = \eta = 1 - \frac{\ell_y}{2S_{rb}} \quad \dots \text{式(3)}$$

ただし, $\ell_y - d \leq 0$ となる場合は $\ell_y - d = 0$ とする。

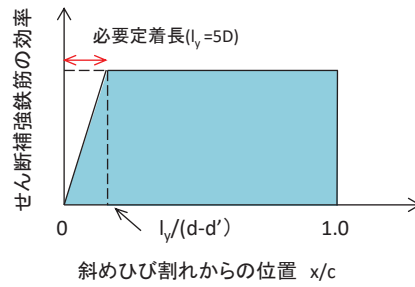
- ここに, V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅あたりのせん断耐力
- V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力
- V_{CCbd} : セラミックキャップバー (CCb) により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

- V_{awd} : セラミックキャップバー (CCb) を通常のスターラップと見なして求められる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力
- β_{aw} : セラミックキャップバー (CCb) 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} におけるセラミックキャップバー (CCb) の総断面積
- $f_{awy d}$: セラミックキャップバー (CCb) の設計降伏強度で 400N/mm^2 以下とする。
- α_{aw} : セラミックキャップバー (CCb) が部材軸となす角度
- S_{aw} : セラミックキャップバー (CCb) 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)
- ℓ_y : セラミックキャップバー (CCb) の先端型定着体の定着長 ($5D$ としてよい)
- D : CCb の鉄筋径
- S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔
- d : 補強対象部材の有効高さ
- d' : 差し込み側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $5D$ 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ことから、セラミックキャップバー (CCb) 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。



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋



(b) 標準型

図3-6 セラミックキャップバー (CCb) 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、「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)」に基づき、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)」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（狐崎部層）

基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、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、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表3-5に示す。

表3-5 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	狐崎部層	13.7

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧に対する許容限界は、「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表3-6に示す。

表3-6 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$)	$f'_a = 15.6$

3.4 評価方法

3.4.1 構造部材の健全性評価

軽油タンク室の耐震評価は、非線形シェル要素を用いた三次元構造解析により実施する。三次元構造解析には、解析コード「SLAP Ver. 6.64」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、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。

三次元構造解析への入力荷重は、添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」に基づく地震応答解析において、軽油タンク室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。

添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した地震時荷重（地震時土圧及び慣性力）を用いて、三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。三次元構造解析モデルを図 3-7 及び図 3-8 に示す。

また、構造部材（鉄筋コンクリート）の非線形特性を図 3-9 及び図 3-10 に示す。

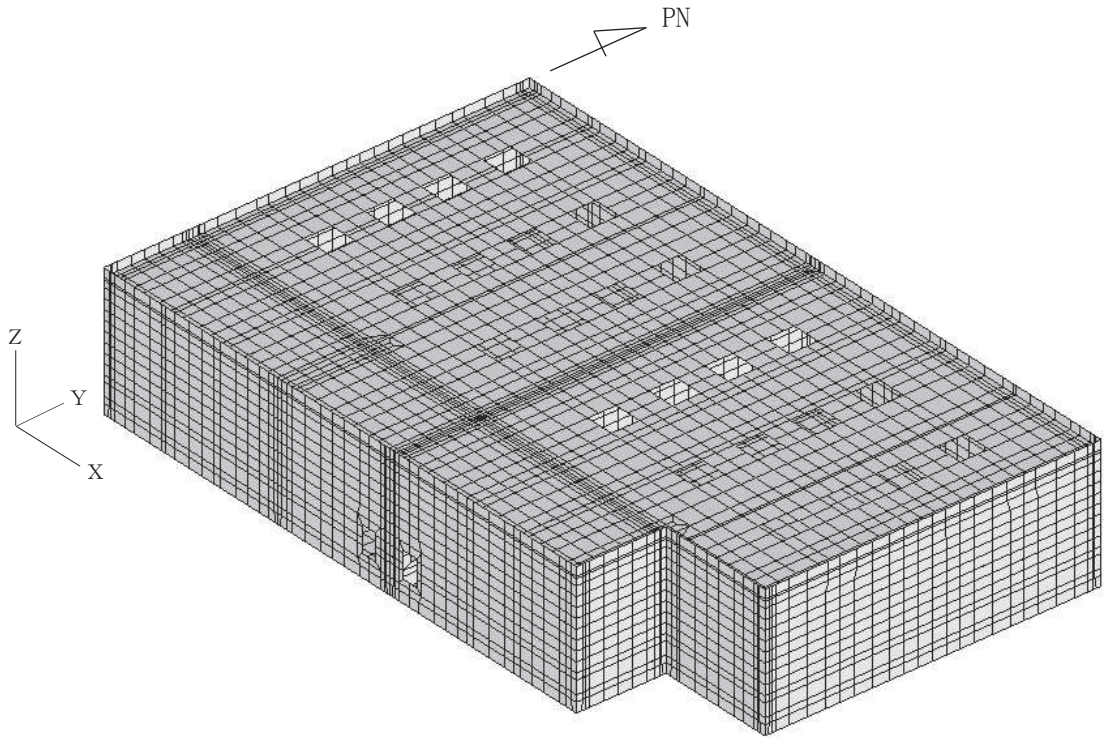


図3-7 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図）

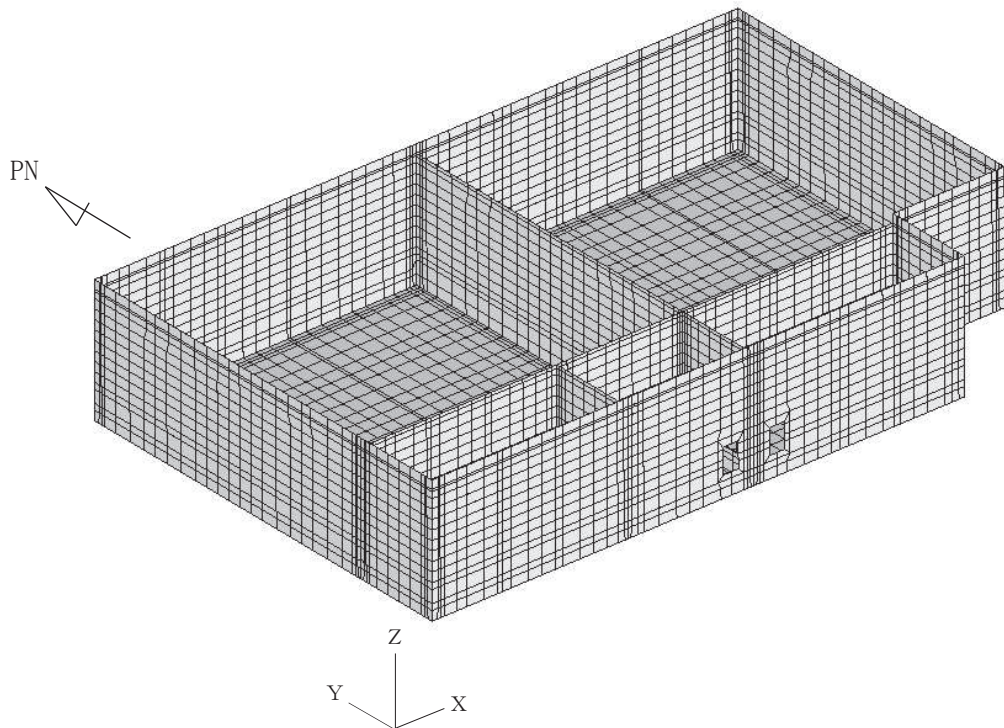


図3-8 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図（頂版非表示））

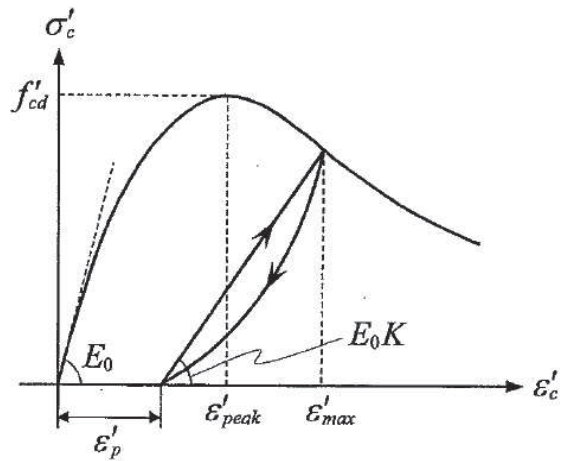


図3-9 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （「土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]」より引用）

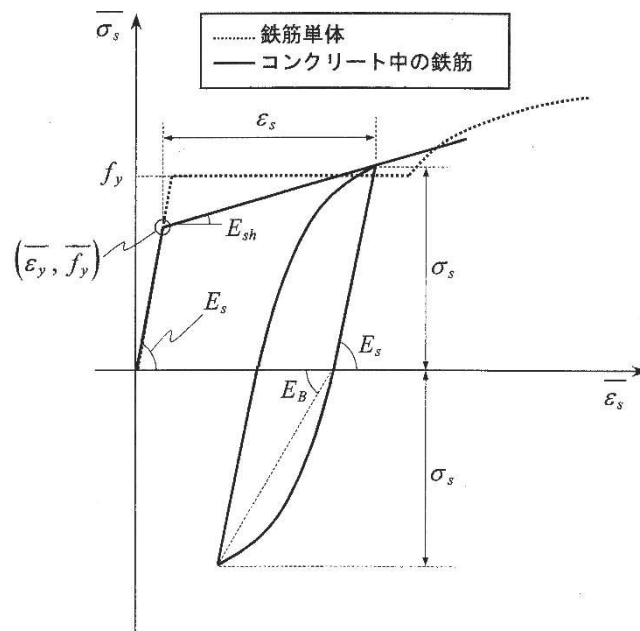



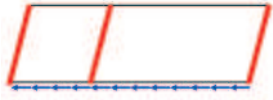
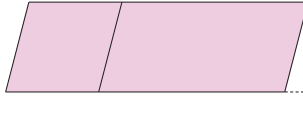
図3-10 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （「土木学会 2012年 コンクリート標準示方書[設計編]」より引用）

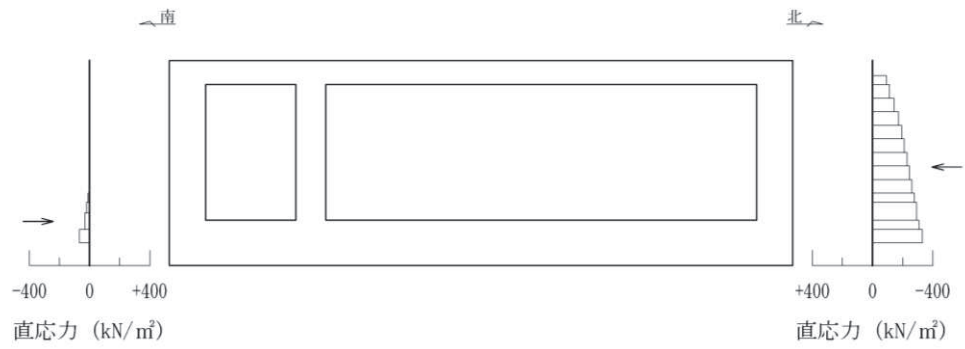
(2) 照査時刻

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。表 3-7 に照査時刻の選定の考え方を示す。

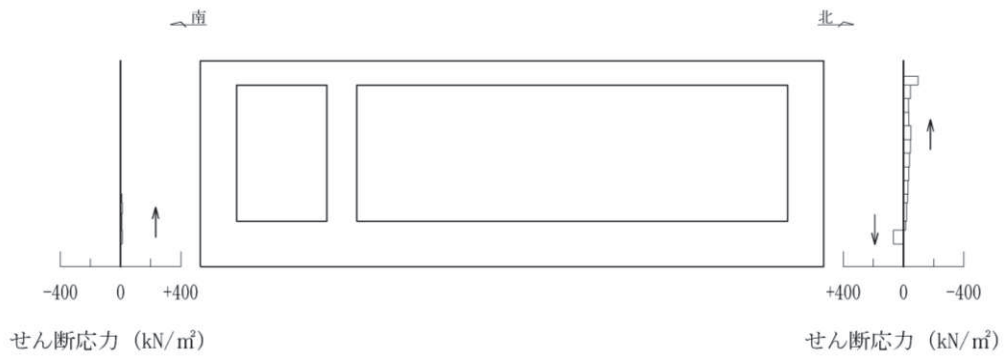
なお、三次元構造解析の結果において照査値が最大となるせん断破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 3-11 及び図 3-12 に示す。

表 3-7 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
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		頂底板間の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	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



直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-11 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース③, S s -D 2 (++) , 南北)

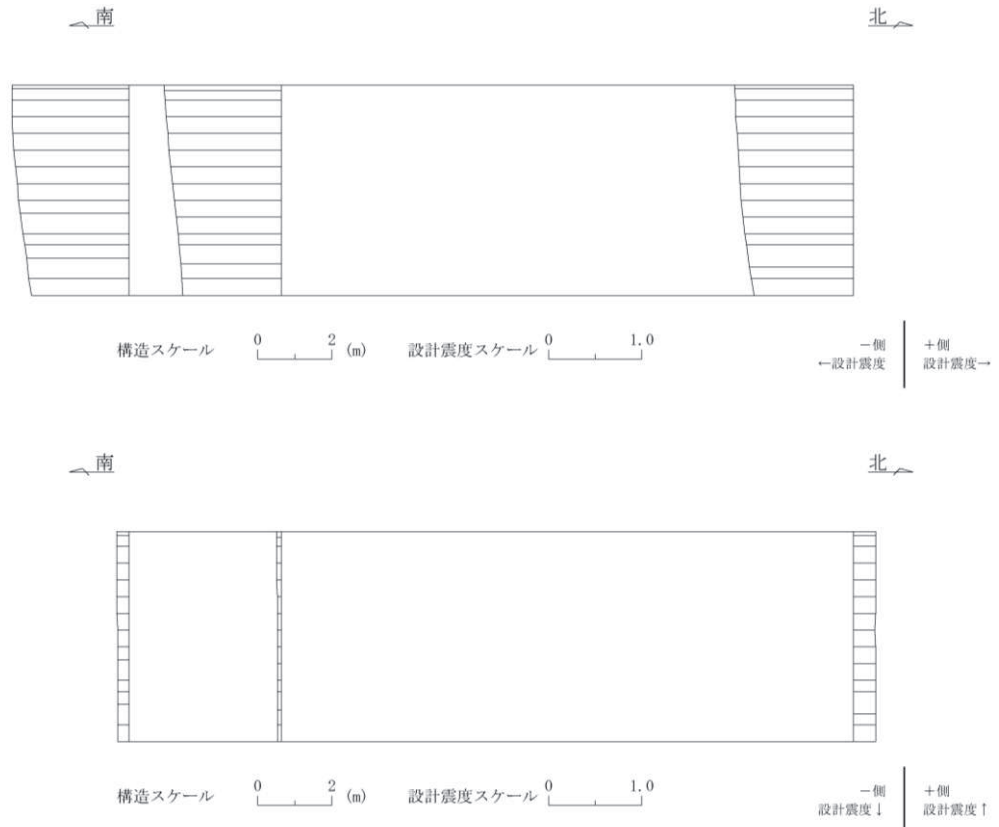


図 3-12 作用荷重分布図（設計震度分布）
 （解析ケース③， $S_s - D 2$ （++），南北）

(3) 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は、設計値及び添付書類「VI-2-2-13 軽油タンク室の地震応答計算書」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。入力荷重の一覧を表 3-8 に示す。

表 3-8 三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
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力
	地震時土圧	躯体側面に作用する地震時土圧

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

三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ひずみ及び主鉄筋の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及び図4-5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4-6～図4-11に示す。

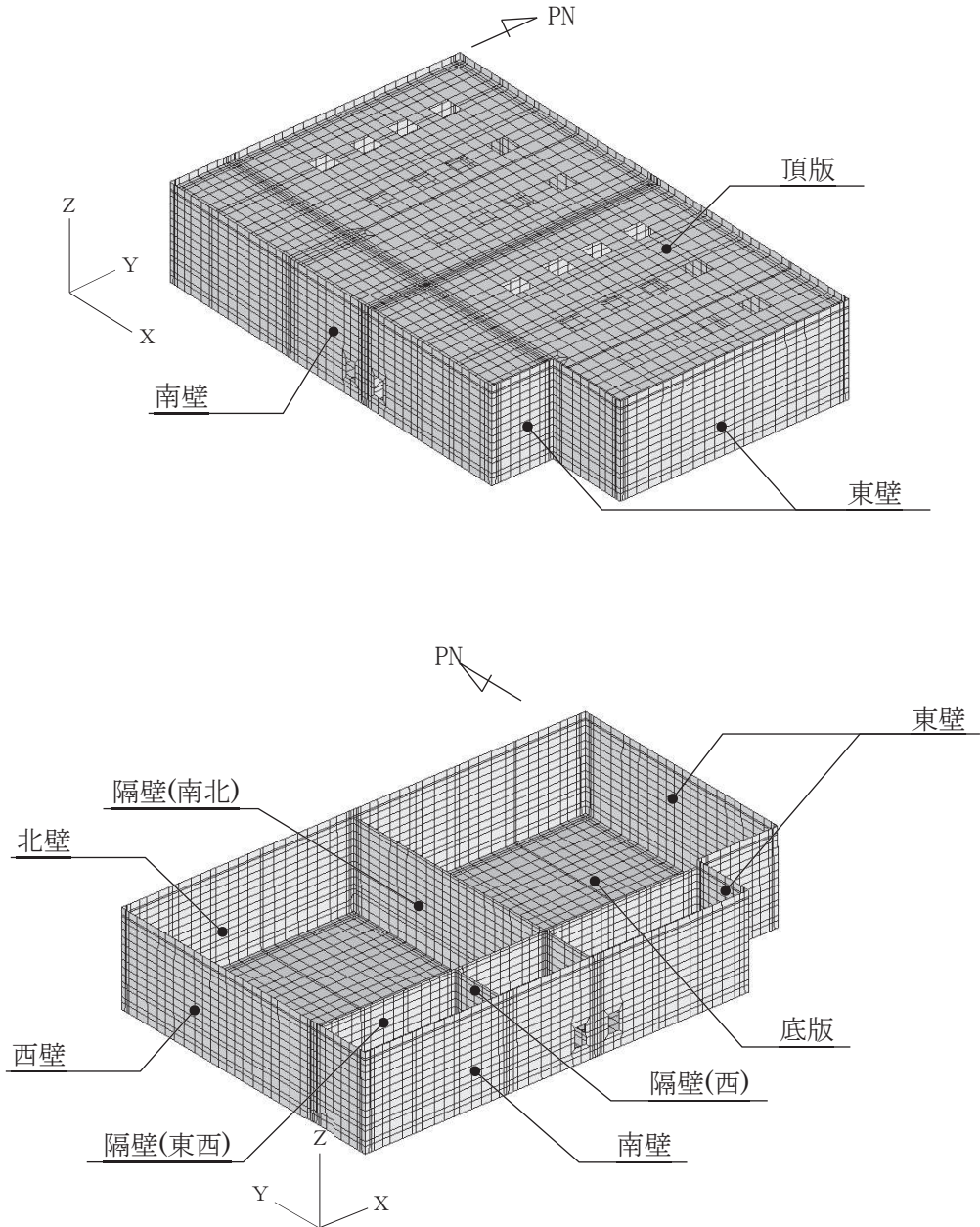
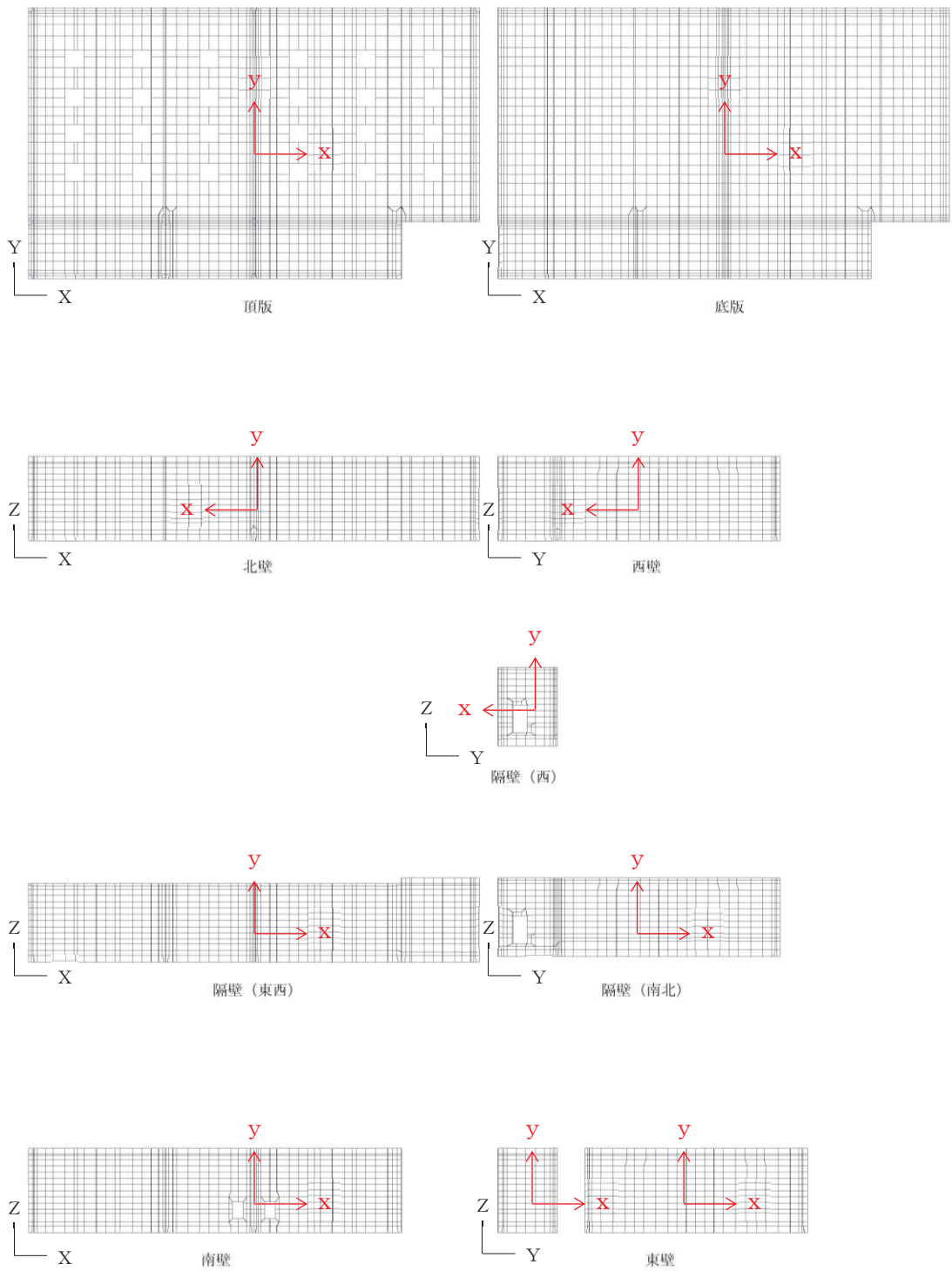
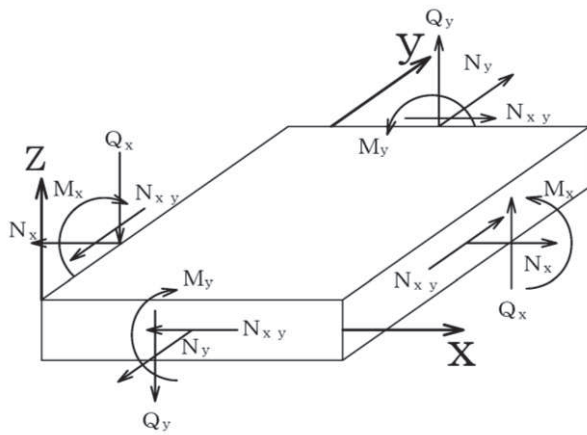


図4-1 各部材位置



黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 4-2 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

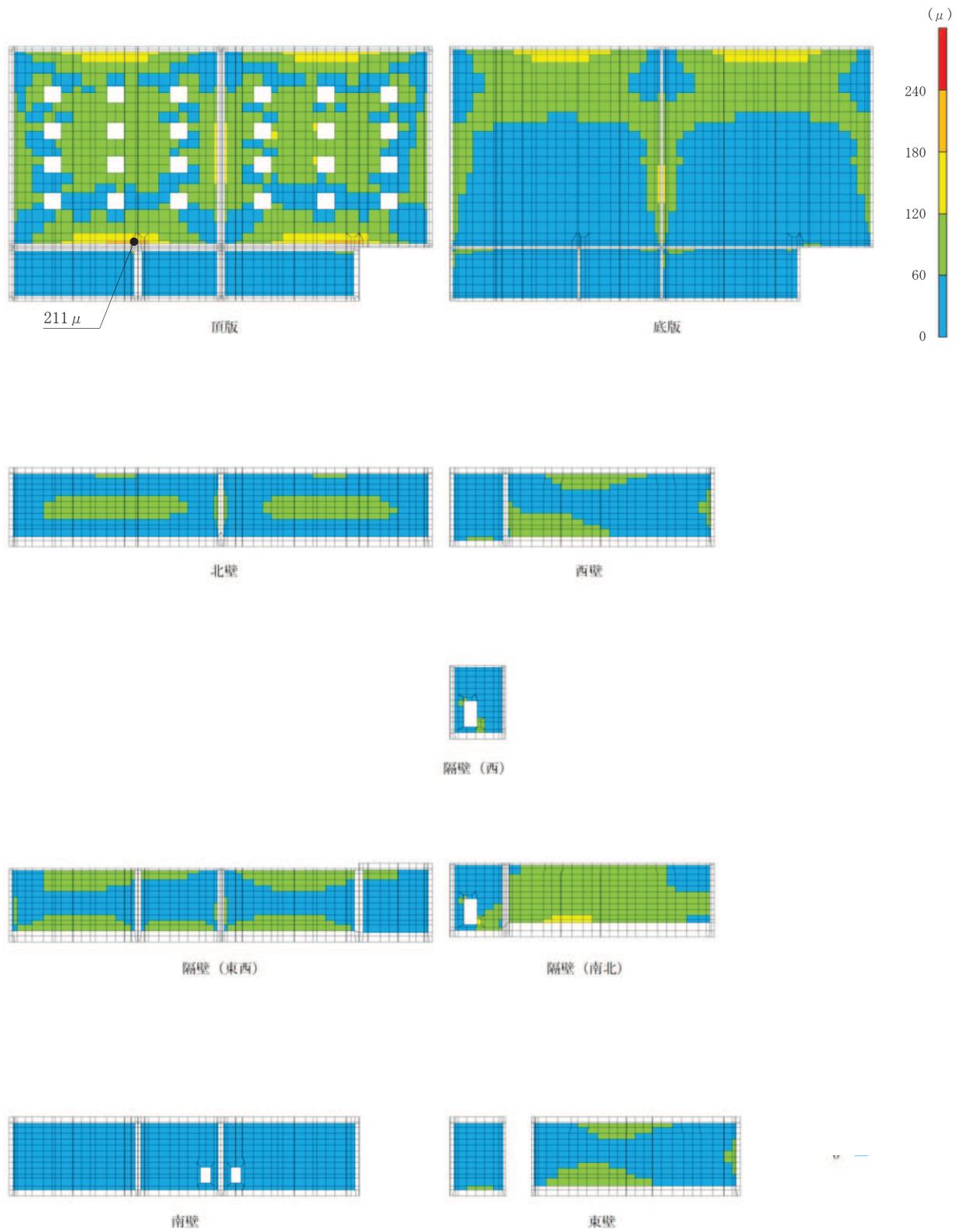


図 4-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (コンクリート)
(頂版, 解析ケース①, $S_s - D 1 (+ +)$)

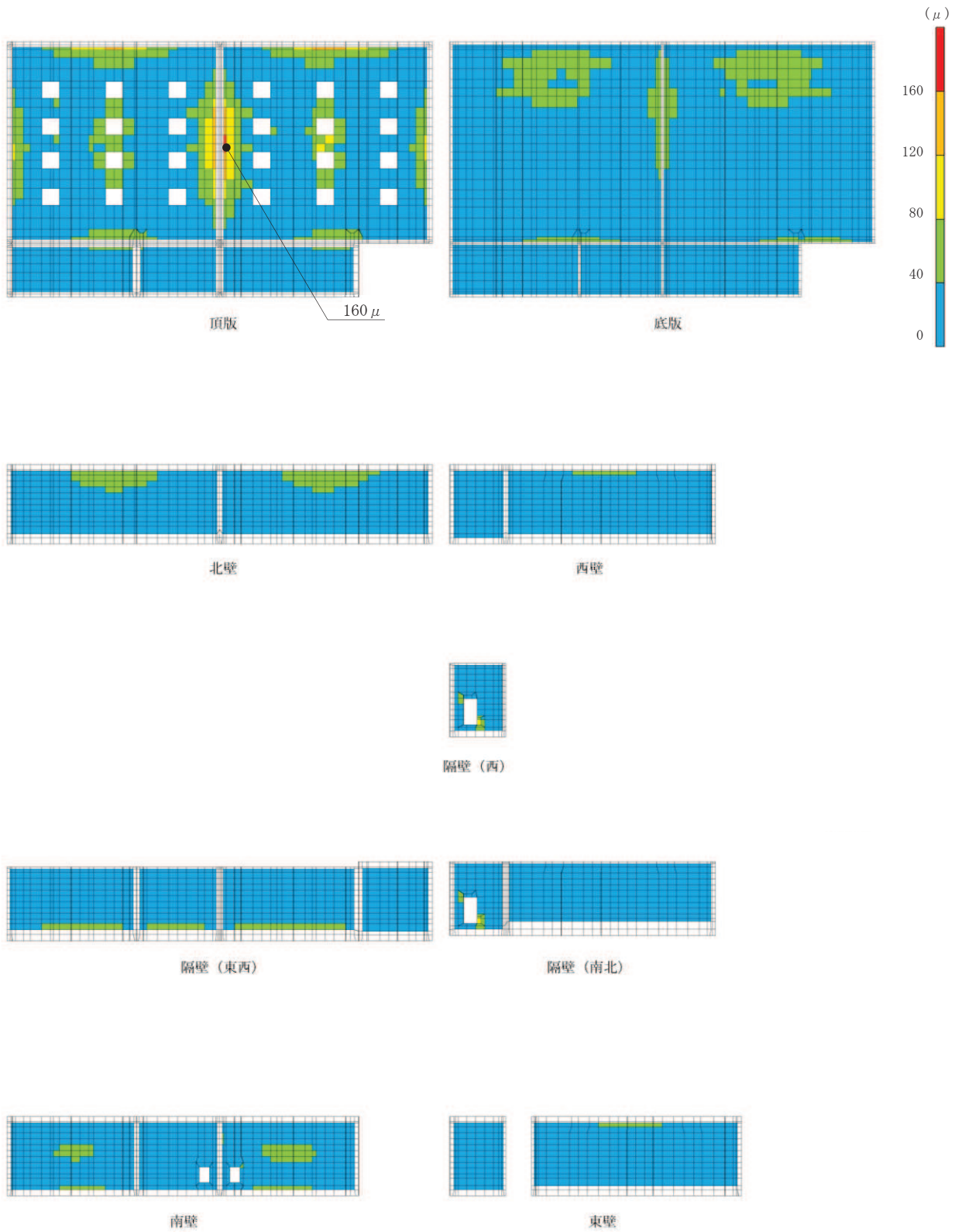


図 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (鉄筋)
(頂版, 解析ケース①, S_s-D2 (-+))

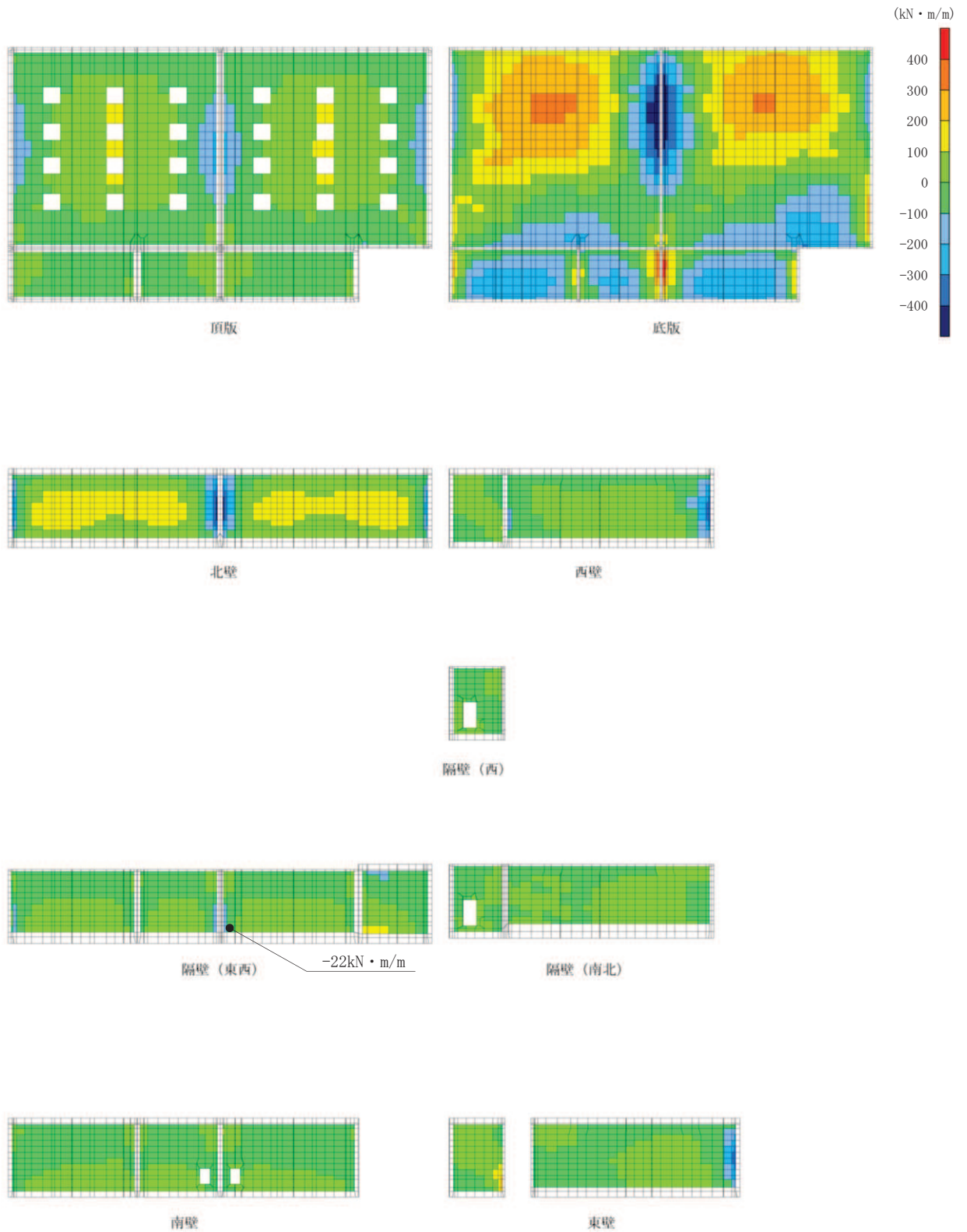


図 4-6 セン断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (隔壁(東西), 解析ケース③, $S_s - D 2 (+ +)$)

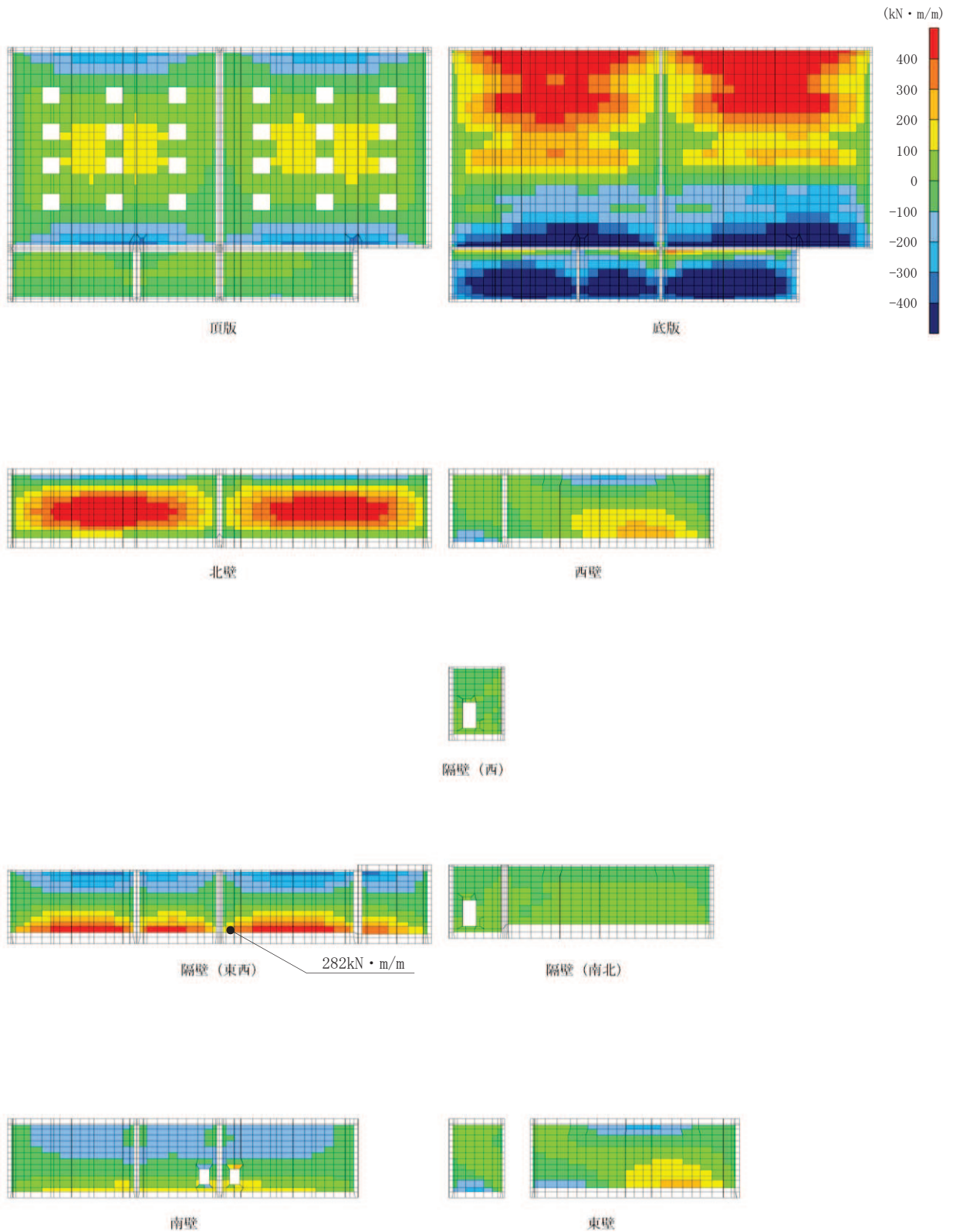


図 4-7 セン断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)
 (隔壁(東西), 解析ケース③, $S_s - D2$ (++))

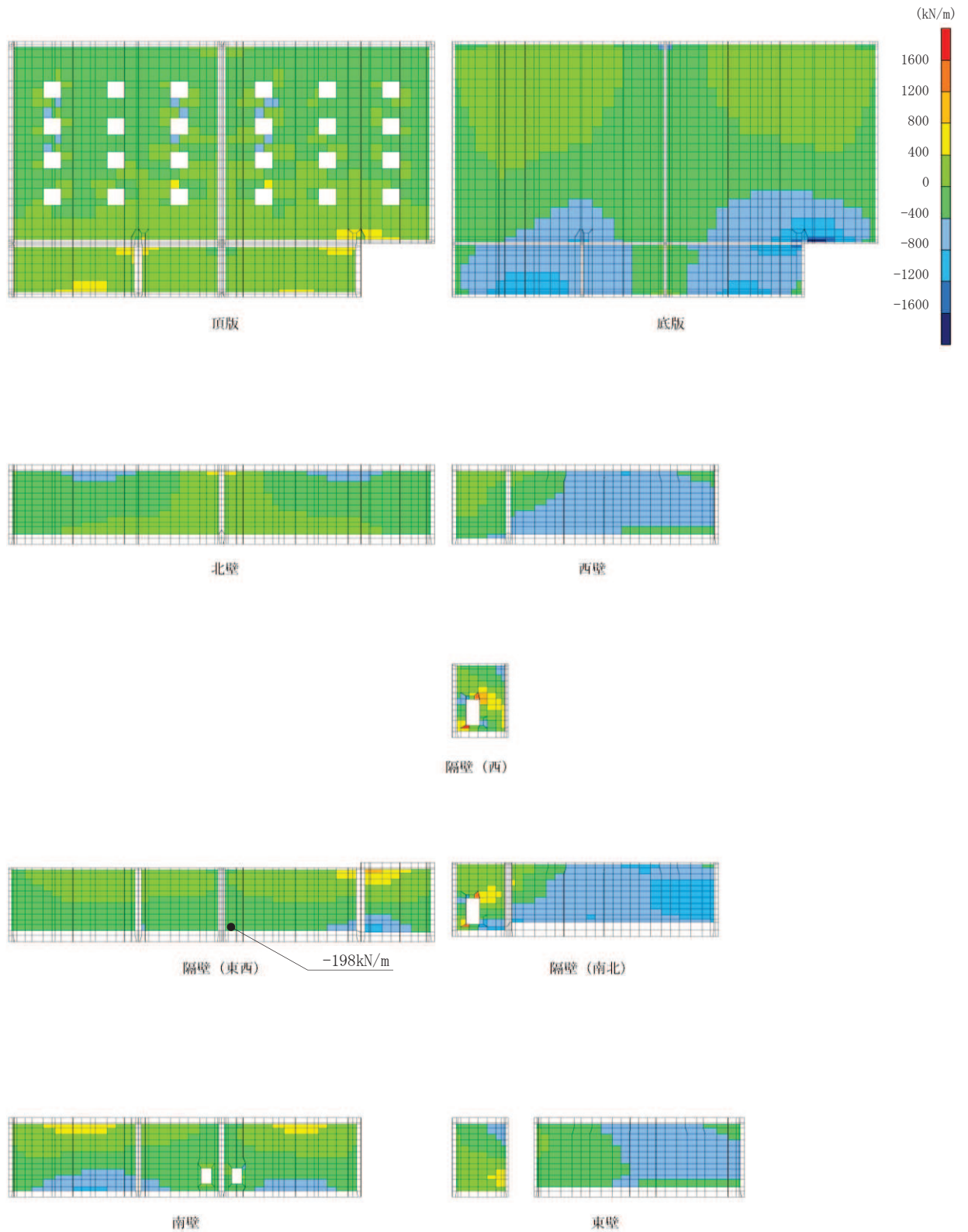


図 4-8 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (隔壁 (東西), 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

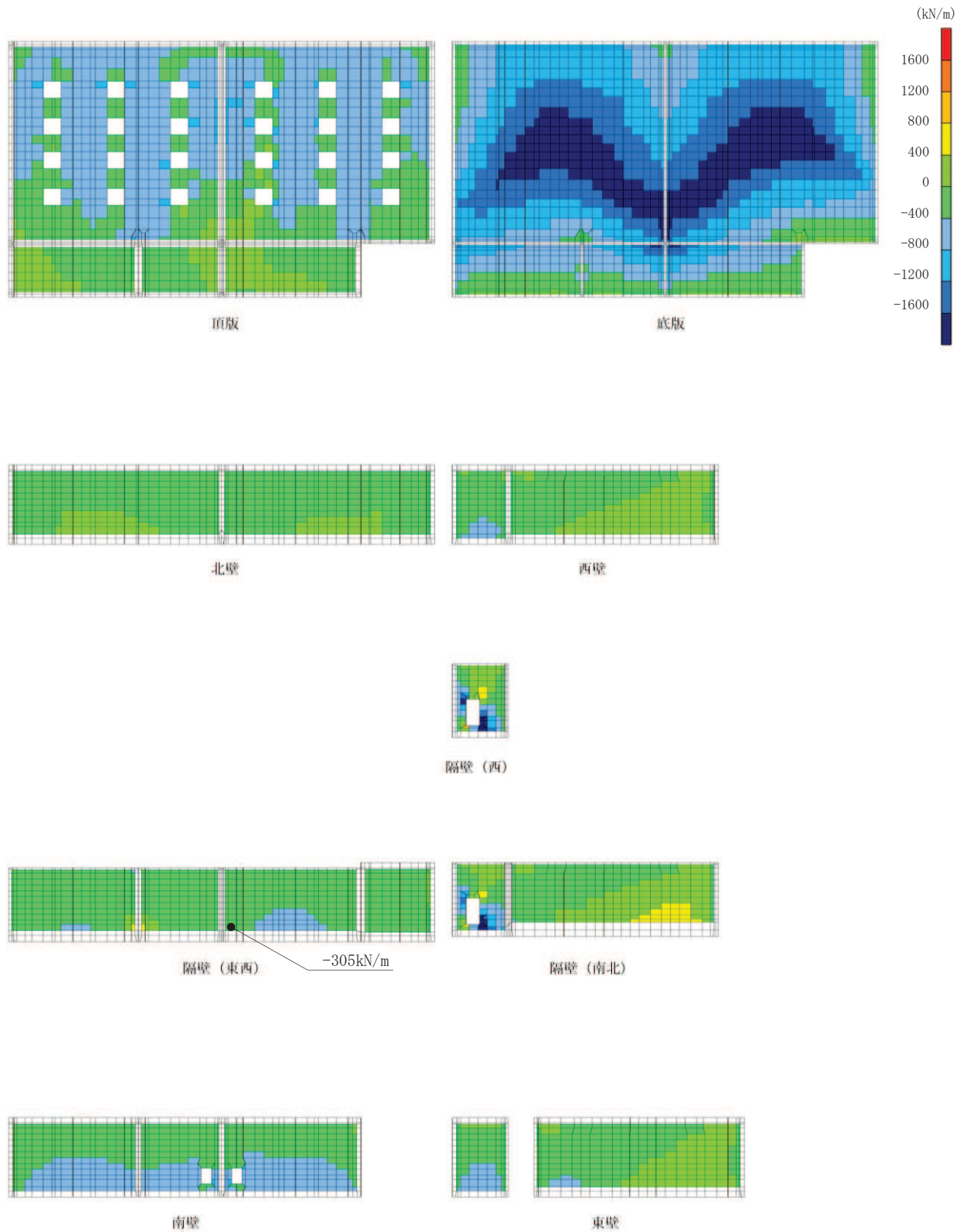


図 4-9 セン断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (隔壁 (東西), 解析ケース③, $S_s - D 2 (+ +)$)

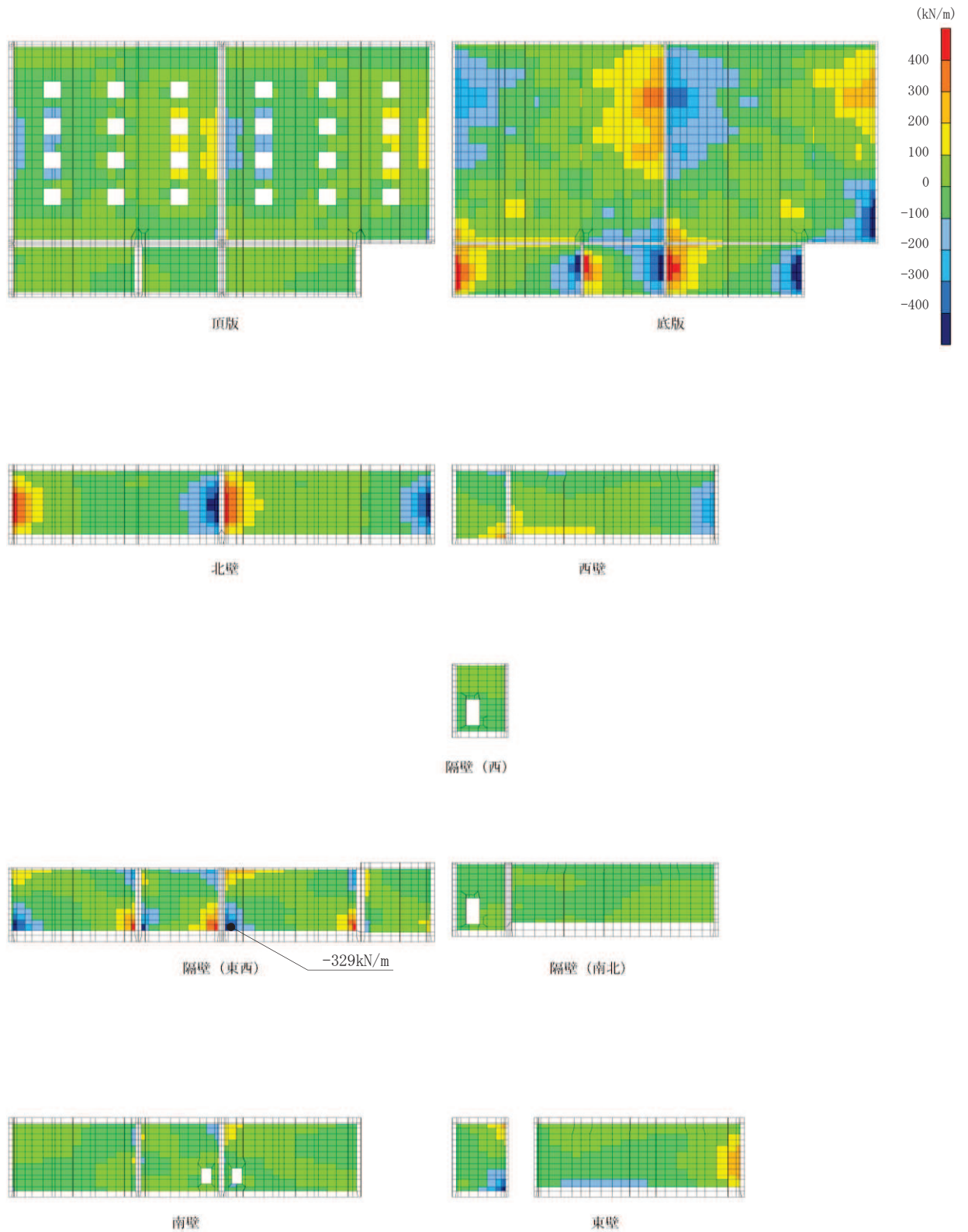


図 4-10 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (隔壁 (東西), 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

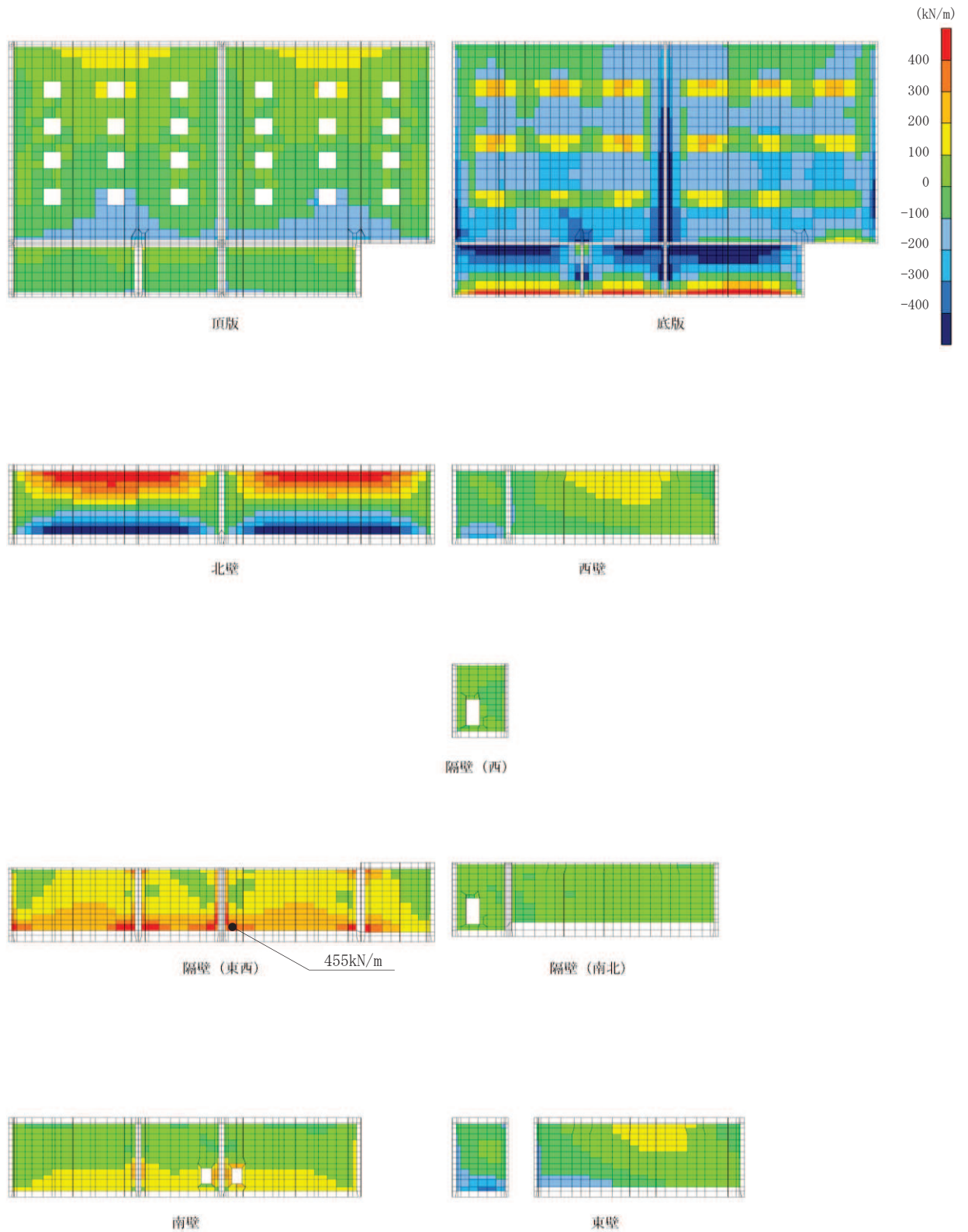


図 4-11 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (隔壁 (東西), 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

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各評価位置での最大照査値を表 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（層間変形角）に対する照査値を表 5-3 に示す。

軽油タンク室の照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ）、照査用せん断力及び壁部材の層間変形角（面内せん断）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	12	①	S s - D 2 (- +)	219 μ	10000 μ	0.03
頂版	21	①	S s - D 1 (++)	253 μ	10000 μ	0.03
南北壁	41	①	S s - F 2 (++)	137 μ	10000 μ	0.02
隔壁(東西)	51	③	S s - D 2 (++)	199 μ	10000 μ	0.02
東西壁	61	①	S s - D 2 (- +)	147 μ	10000 μ	0.02
隔壁(南北)	82	③	S s - D 2 (++)	219 μ	10000 μ	0.03
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	195 μ	10000 μ	0.02

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	11	④	S s - D 2 (++)	361	585	0.62
頂版	22	①	S s - D 2 (- +)	336	564	0.60
南北壁	42	③	S s - D 2 (++)	584	1173	0.50
隔壁(東西)	53	③	S s - D 2 (++)	478	715	0.67
東西壁	72	③	S s - D 2 (++)	285	443	0.65
隔壁(南北)	81	②	S s - D 2 (++)	22	470	0.05
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	50	511	0.10

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

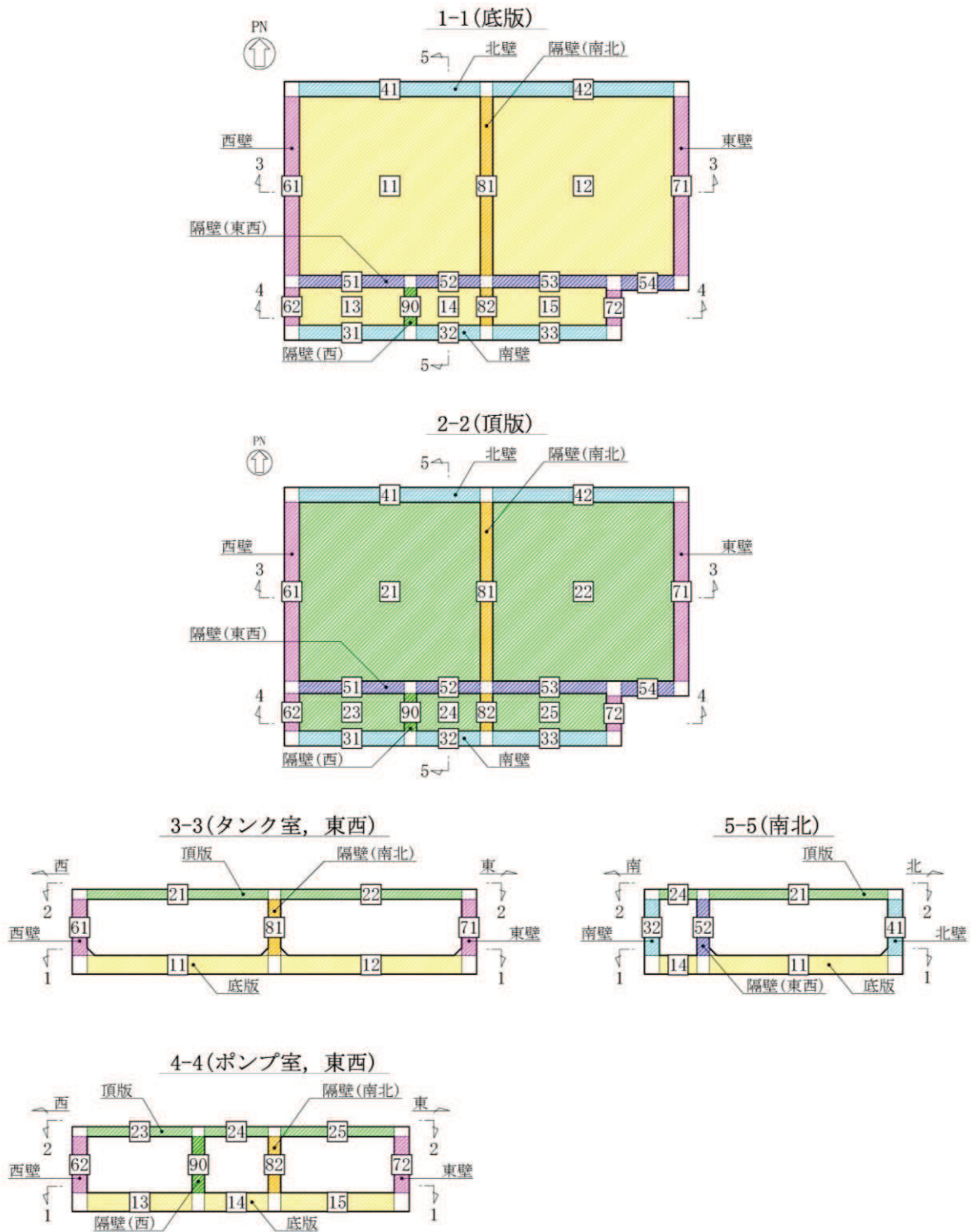


図 5-1 評価位置図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)

表 5-3 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用層間 変形角*2 γ_d	許容限界 γ_R	照査値 γ_d / γ_R
南北壁	30	①	S _s -F 3 (-+)	14 μ	2000 μ	0.01
隔壁(東西)	50	③	S _s -D 2 (++)	31 μ	2000 μ	0.02
東西壁	72	③	S _s -D 2 (++)	79 μ	2000 μ	0.04
隔壁(南北)	80	③	S _s -D 2 (++)	168 μ	2000 μ	0.09
隔壁(西)	90	③	S _s -D 2 (++)	124 μ	2000 μ	0.07

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

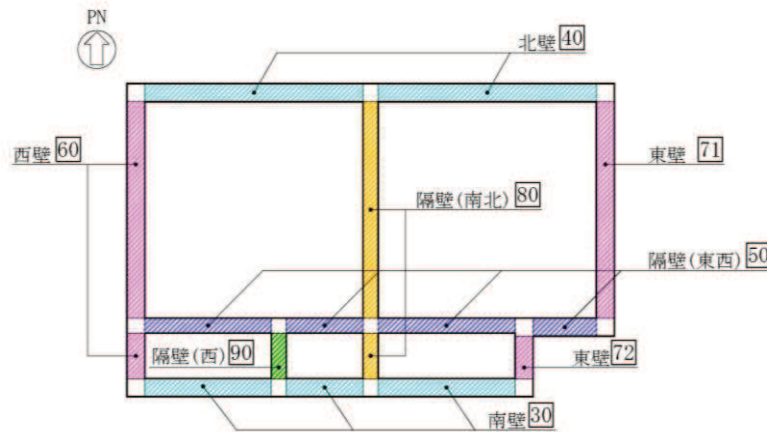


図 5-2 評価位置図（壁部材の面内せん断（層間変形角））

5.2 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

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、各壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査値を表5-7に示す。

軽油タンク室の照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみ）、照査用せん断力及び壁部材の層間変形角（面内せん断）が、Sクラスの施設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。

表5-4 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（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	12	①	S s - D 2 (-+)	219 μ	2000 μ	0.11
頂版	21	①	S s - D 1 (++)	253 μ	2000 μ	0.13
南北壁	41	①	S s - F 2 (++)	137 μ	2000 μ	0.07
隔壁(東西)	51	③	S s - D 2 (++)	199 μ	2000 μ	0.10
東西壁	61	①	S s - D 2 (-+)	147 μ	2000 μ	0.08
隔壁(南北)	82	③	S s - D 2 (++)	219 μ	2000 μ	0.11
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	195 μ	2000 μ	0.10

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5-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（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	11	③	S s - D 2 (++)	115 μ	1725 μ	0.07
頂版	22	①	S s - D 2 (-+)	193 μ	1725 μ	0.12
南北壁	41	①	S s - F 2 (++)	107 μ	1725 μ	0.07
隔壁(東西)	51	③	S s - D 2 (++)	139 μ	1725 μ	0.09
東西壁	72	③	S s - D 2 (++)	72 μ	1725 μ	0.05
隔壁(南北)	82	①	S s - D 2 (-+)	113 μ	1725 μ	0.07
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	164 μ	1725 μ	0.10

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 5-6 せん断破壊に対する最大照査値（再掲）

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	11	④	S s - D 2 (++)	361	585	0.62
頂版	22	①	S s - D 2 (-+)	336	564	0.60
南北壁	42	③	S s - D 2 (++)	584	1173	0.50
隔壁(東西)	53	③	S s - D 2 (++)	478	715	0.67
東西壁	72	③	S s - D 2 (++)	285	443	0.65
隔壁(南北)	81	②	S s - D 2 (++)	22	470	0.05
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	50	511	0.10

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

表 5-7 壁部材の面内せん断（層間変形角）に対する照査（再掲）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用層間 変形角*2 γ_d	許容限界 γ_R	照査値 γ_d / γ_R
南北壁	30	①	S s - F 3 (-+)	14 μ	2000 μ	0.01
隔壁(東西)	50	③	S s - D 2 (++)	31 μ	2000 μ	0.02
東西壁	72	③	S s - D 2 (++)	79 μ	2000 μ	0.04
隔壁(南北)	80	③	S s - D 2 (++)	168 μ	2000 μ	0.09
隔壁(西)	90	③	S s - D 2 (++)	124 μ	2000 μ	0.07

注記*1：評価位置は図 5-2 に示す。

*2：照査用層間変形角＝発生する層間変形角×構造解析係数 γ_a

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（狐崎部層）

基礎地盤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 5-3 に示す。

軽油タンク室の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表 5-8 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
②	S s - D 2 (++)	2.5	13.7	0.19

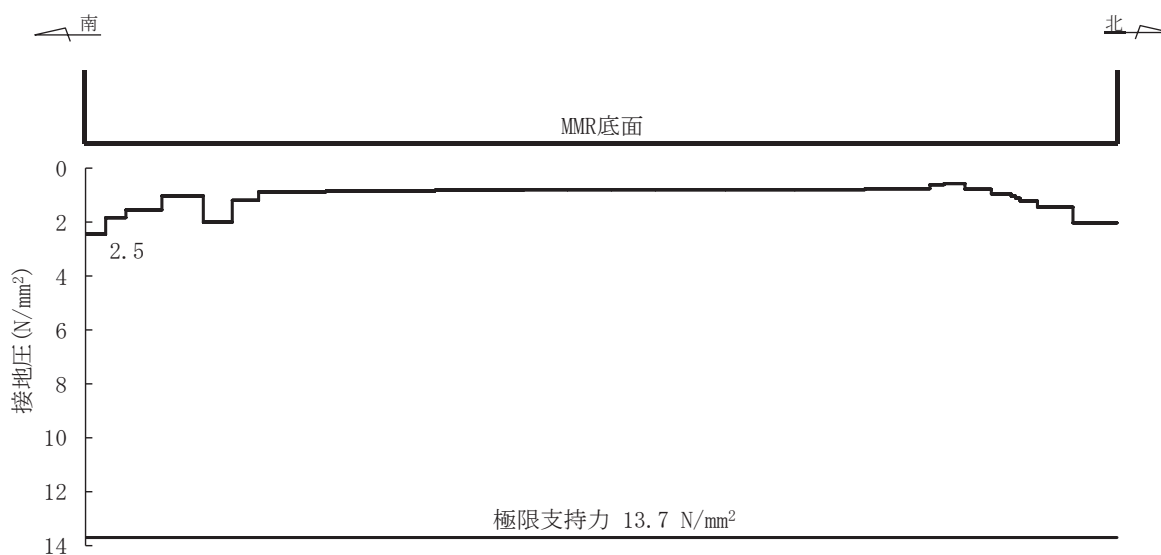


図 5-3 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース②, S s - D 2 (++))

5.3.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表5-9に示す。また、最大接地圧分布図を図5-4に示す。

軽油タンク室の MMR（既設）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 5-9 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
③	S _s -D2 (++)	1.3	15.6	0.09

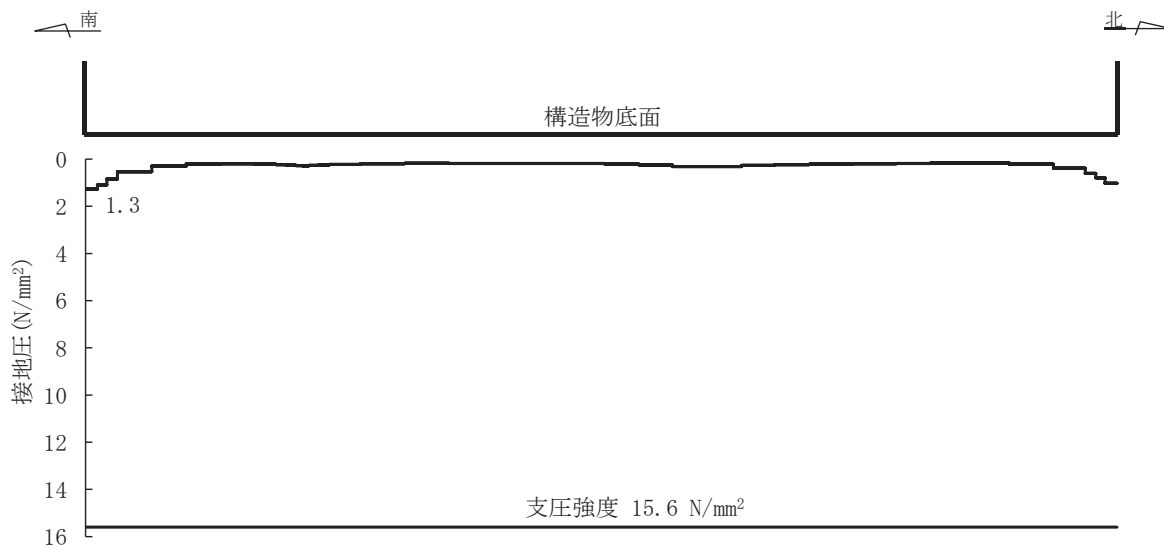


図 5-4 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S_s-D2 (++))