

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-19-0166_改0
提出年月日	2021年6月2日

VI-2-2-16 軽油タンク室 (H) の耐震性についての計算書

○ 2 ③ VI-2-2-16 R 0

2021年6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 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定	10
3.2 使用材料及び材料の物性値	12
3.3 許容限界	13
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	13
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	14
3.4 評価方法	15
3.4.1 構造部材の健全性評価	15
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	20
4. 構造部材の地震時応答	21
5. 耐震評価結果	31
5.1 構造部材の健全性及び支持機能に対する評価結果	31
5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	34
5.2.1 基礎地盤（狐崎部層）	34
5.2.2 MMR（新設）	35

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（H）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（H）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 (H) の位置を図 2-1 に示す。

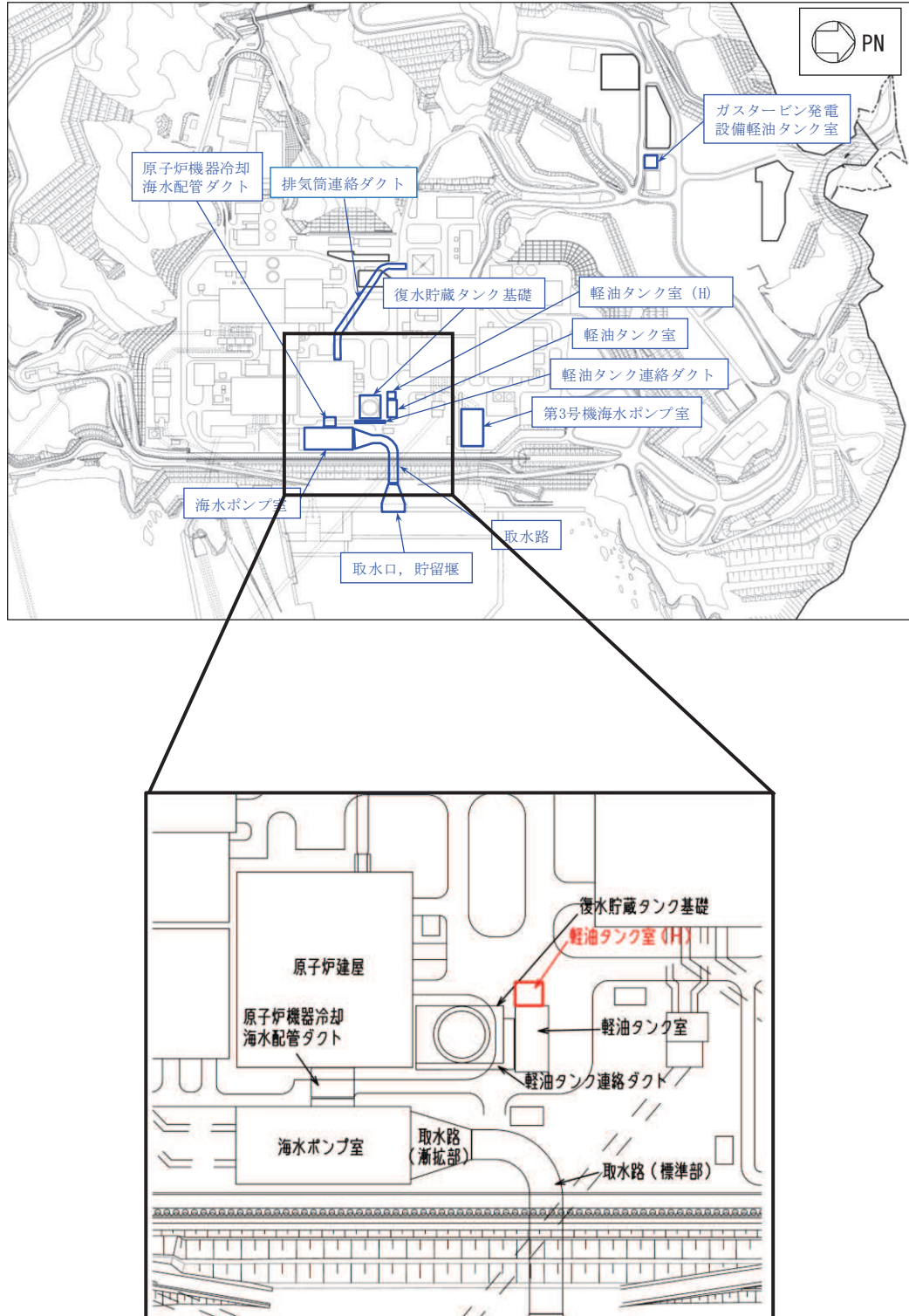


図 2-1 軽油タンク室 (H) の位置図

2.2 構造概要

軽油タンク室 (H) の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に示す。

軽油タンク室 (H) は、軽油タンク等を頂版、底版及び側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 (H) は、幅 9.00m (東西) × 20.20m (南北)、高さ 9.90m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、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 (H) は、面部材として加振方向に平行に配置される妻壁を有する箱形構造物である。

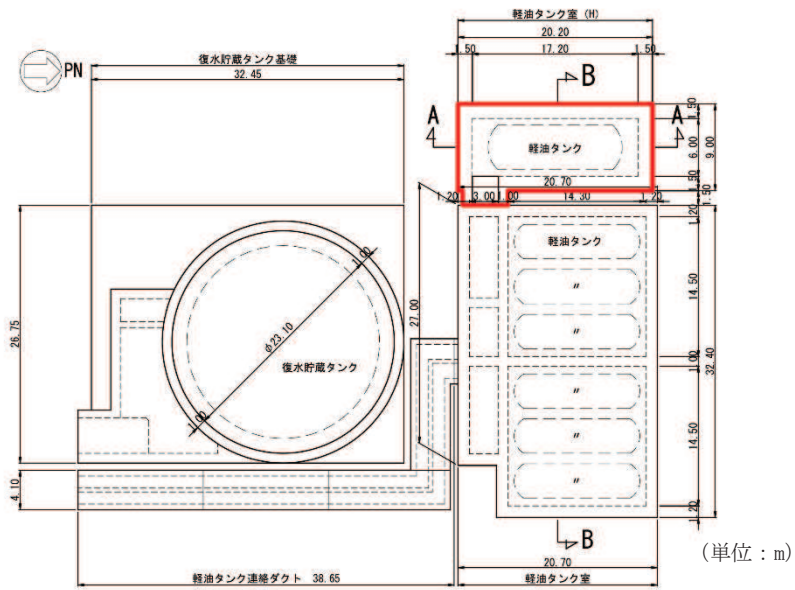


図 2-2 軽油タンク室 (H) 平面図

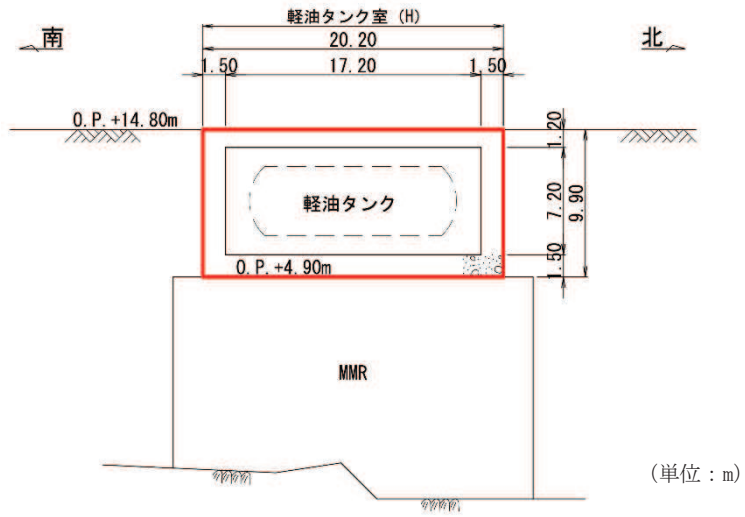


図 2-3 軽油タンク室 (H) 断面図 (A-A 断面, 南北)

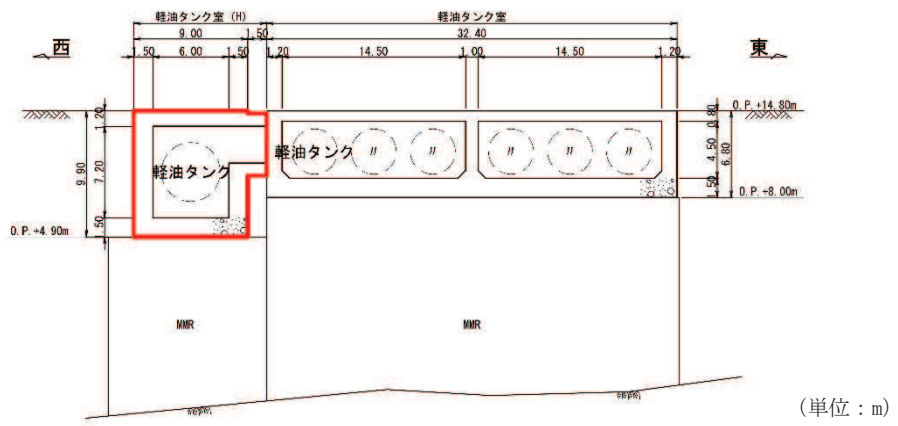


図 2-4 軽油タンク室 (H) 断面図 (B-B 断面, 東西)

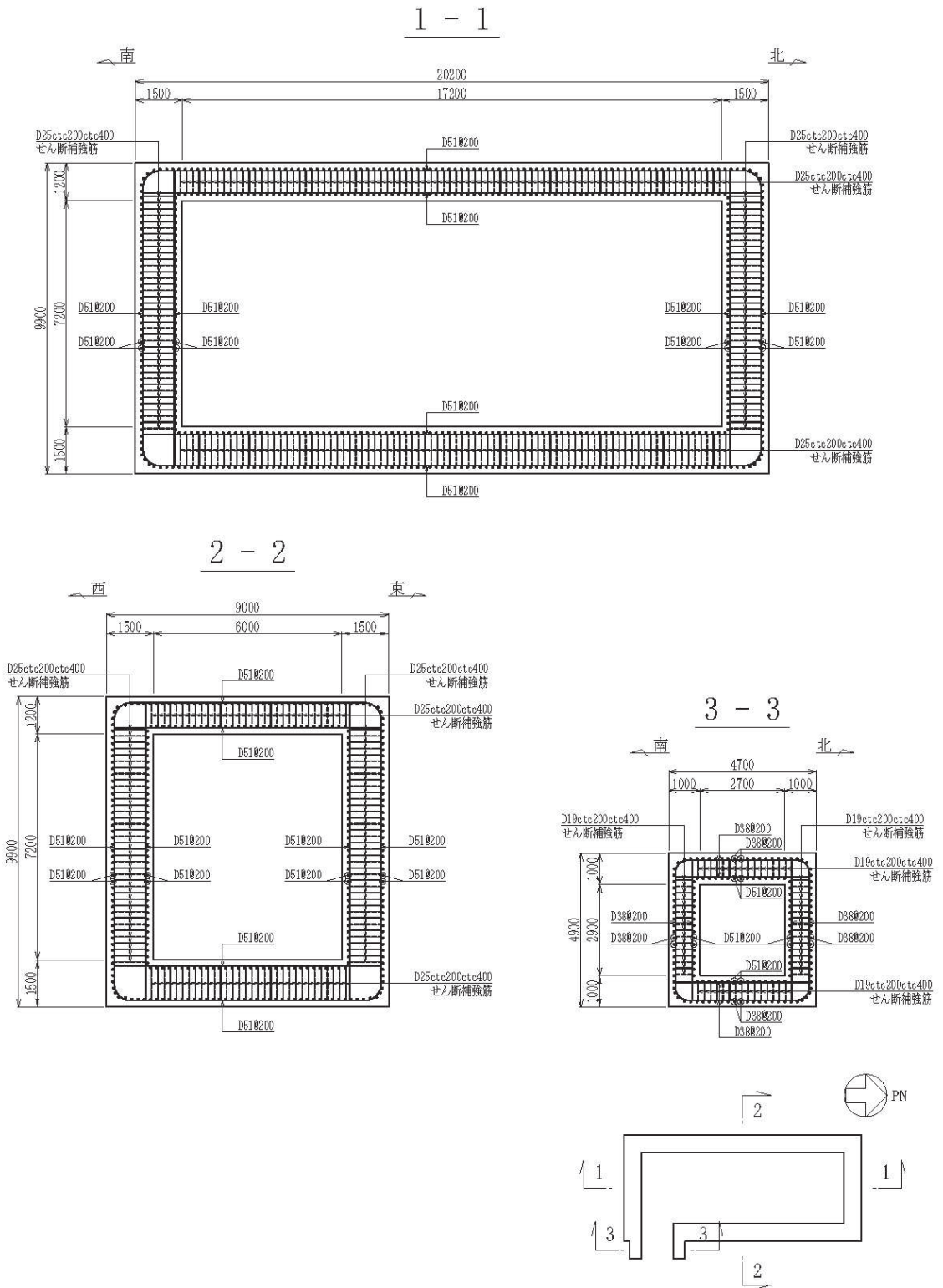


図 2-5 軽油タンク室 (H) 概略配筋図

2.3 評価方針

軽油タンク室 (H) 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 (H) の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

軽油タンク室 (H) の耐震評価は、添付書類「VI-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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、線形シェル要素による三次元静的線形解析（以下「三次元構造解析」という。）により断面力を算定し、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発生応力度が許容限界を下回ることを、せん断破壊に対しては発生せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、面内せん断力を軸力として考慮していることから、壁部材の面内せん断（層間変形角）に対しては、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において併せて確認している。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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 (H) 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。

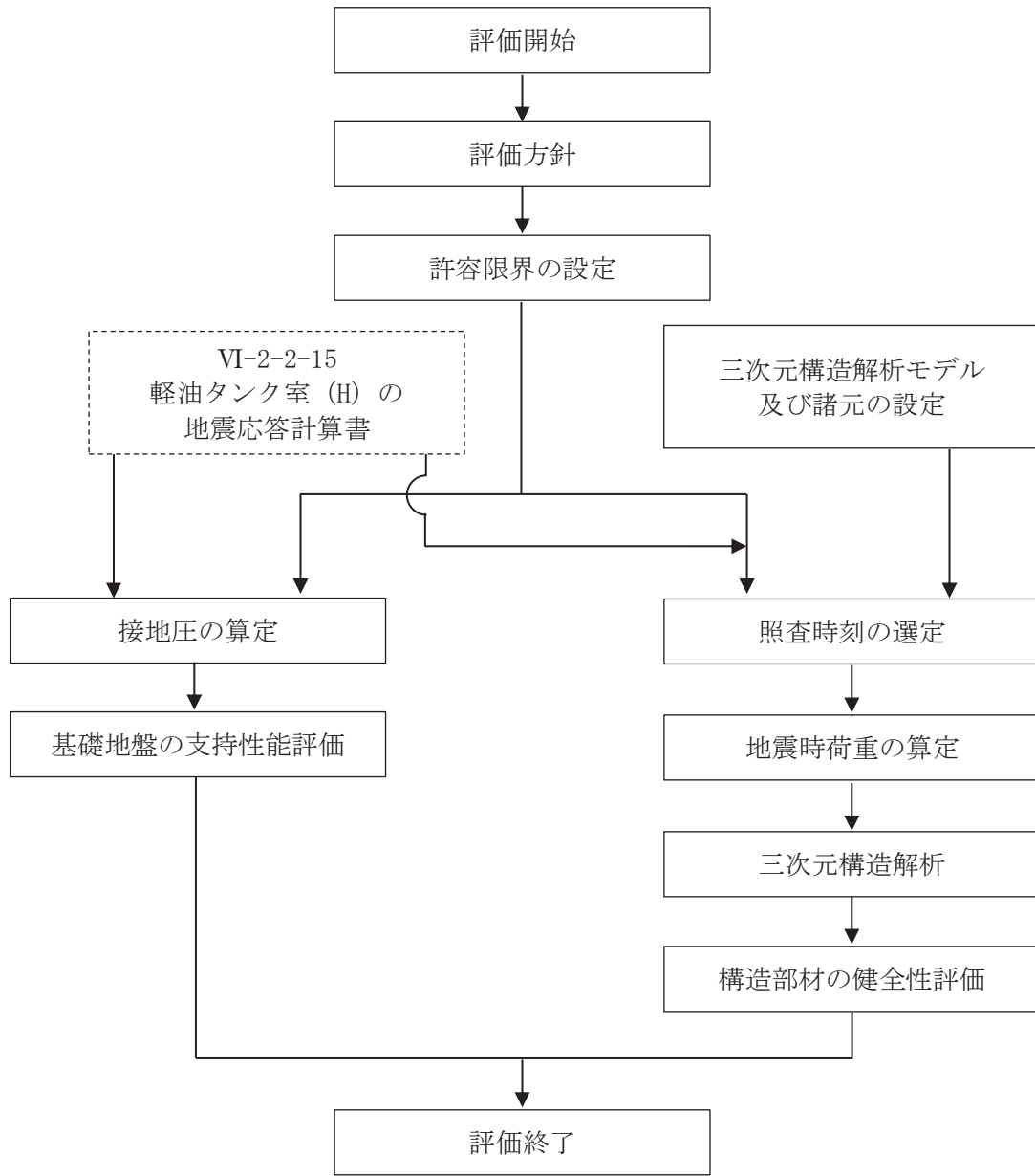


図 2-6 軽油タンク室 (H) の耐震評価フロー

表 2-1 軽油タンク室 (H) 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及び 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	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力
	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*	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用基準

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）
- 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）
- 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- 道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定

軽油タンク室 (H) 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し構造物の中心を通る東西方向 (B-B 断面) の両断面とする。地震時荷重算出用地質断面図を図 3-2 及び図 3-3 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) が強軸方向となり、東西方向 (B-B 断面) が弱軸方向となることから、耐震評価は弱軸方向である東西方向 (B-B 断面) に対して実施する。

また、軽油タンク室 (H) 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。

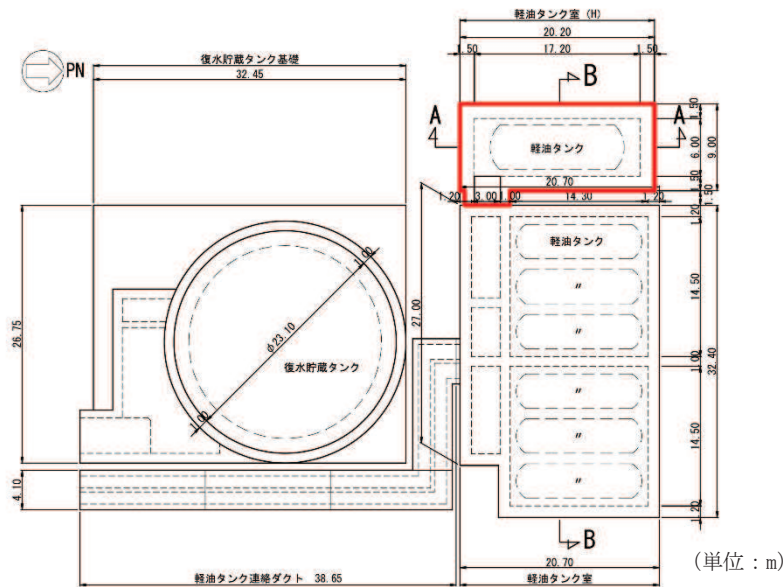


図 3-1 軽油タンク室 (H) の地震時荷重算出断面位置図

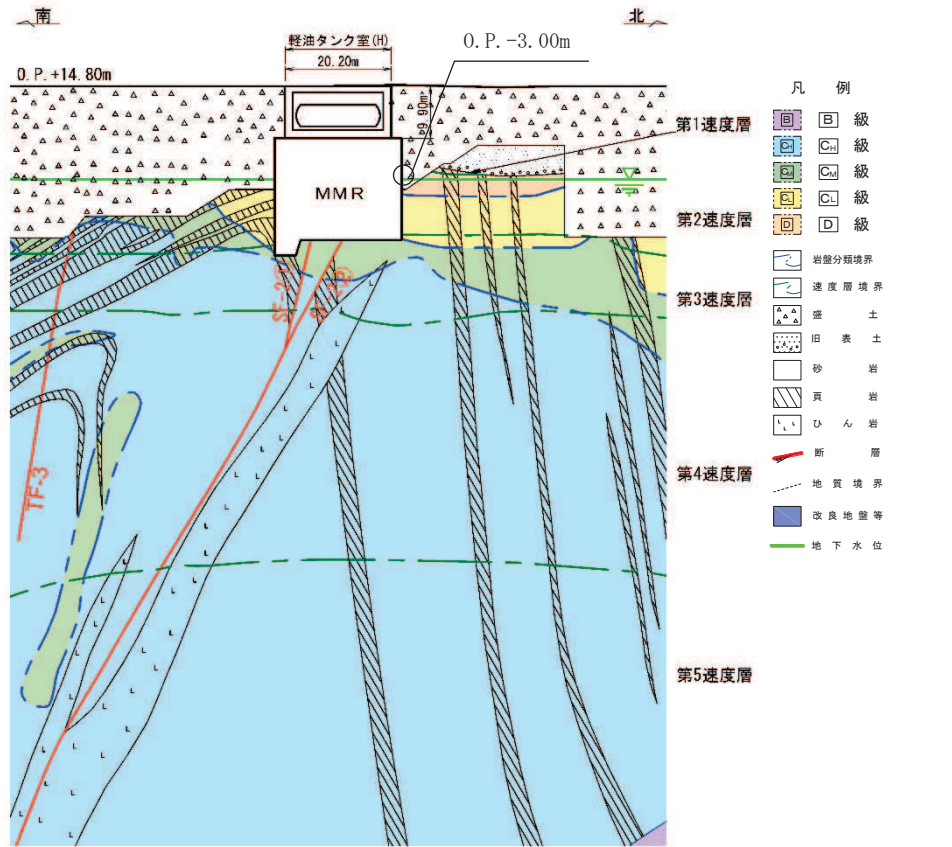


図3-2 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出用地質断面図
(A-A 断面, 南北)

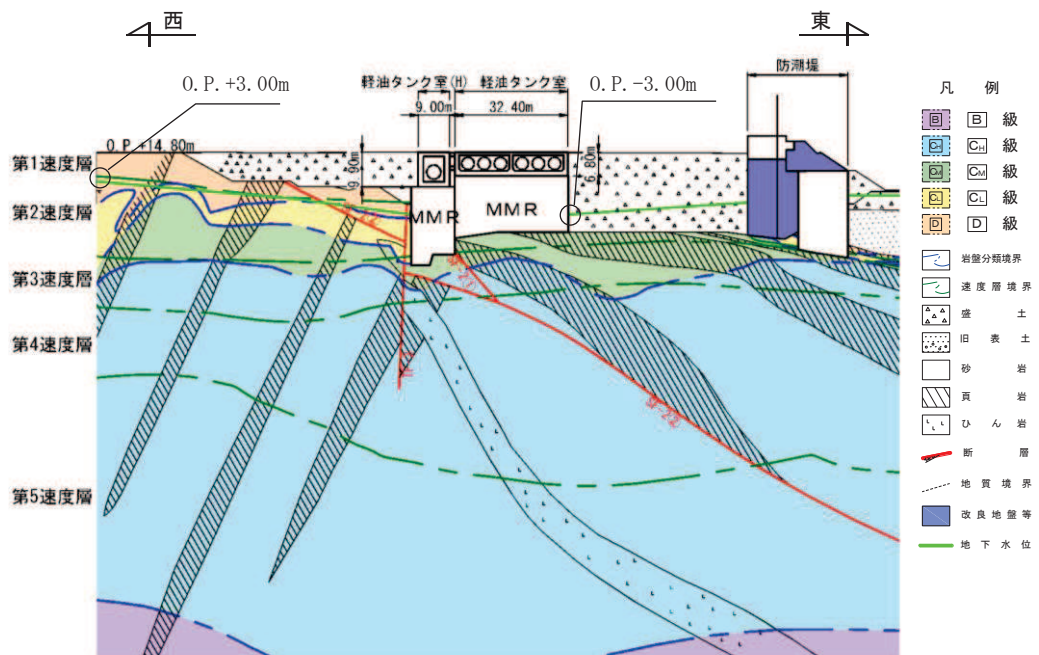


図3-3 軽油タンク室 (H) 地震時荷重算出用地質断面図
(B-B 断面, 東西)

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, 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	設計基準強度 24.0N/mm ²
鉄筋 (主鉄筋)	SD390
鉄筋 (せん断補強鉄筋)	SD345

表 3-2 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*	2.98×10 ⁴ 解析ケース④
		設計基準強度	2.50×10 ⁴ 解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	

注記* : 新設構造物のため, 推定した圧縮強度とする。

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）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表3-3及び表3-4に示す。

なお、頂版、底版及び側壁のアンカー定着部にSクラスの施設を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表3-3 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f'ck=24.0(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{al}		0.45	0.675

注記*：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）により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

表3-4 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	196
SD390	206		309

注記*：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）により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

(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、表3-3及び表3-4に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。

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（新設）

MMR（新設）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[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（新設）の許容限界を表3-6に示す。

表3-6 MMR（新設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（新設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=21.0\text{N/mm}^2$)	$f'_a=26.5$

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 (H) の耐震評価は、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-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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 (H) 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-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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

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 3-4 及び図 3-5 に示す。

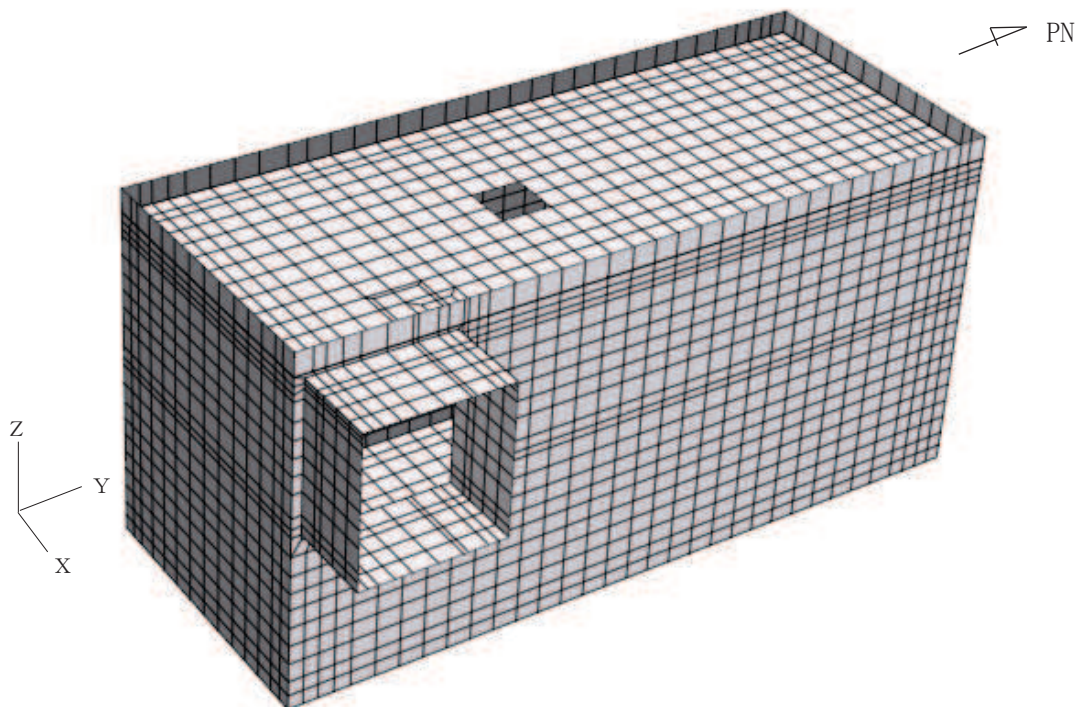


図3-4 三次元構造解析モデル図 (鳥瞰図)

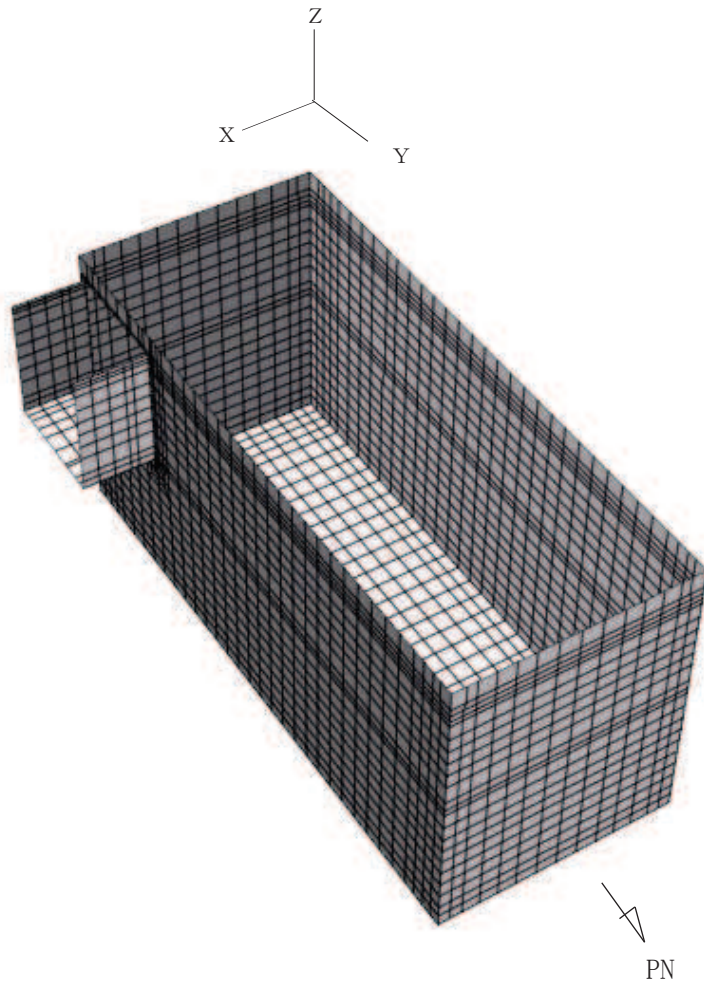



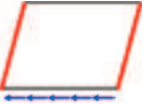

図3-5 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図（頂版非表示））

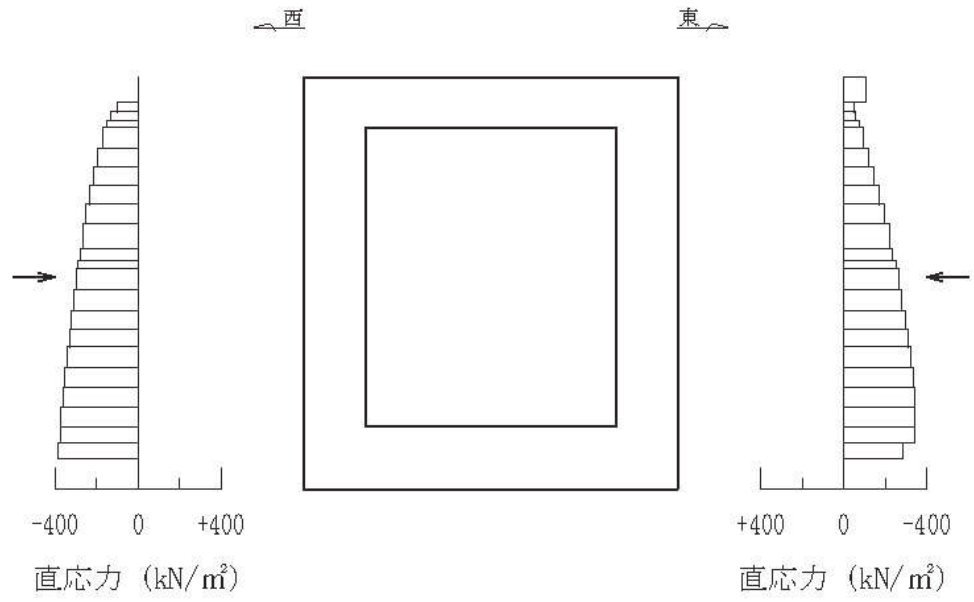
(2) 照査時刻

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。

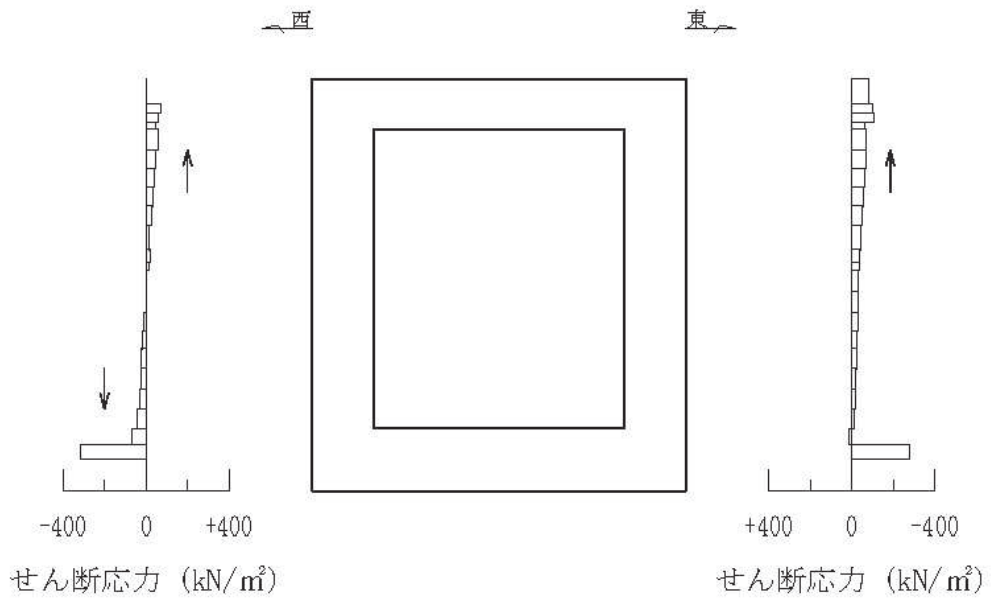
なお、照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

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



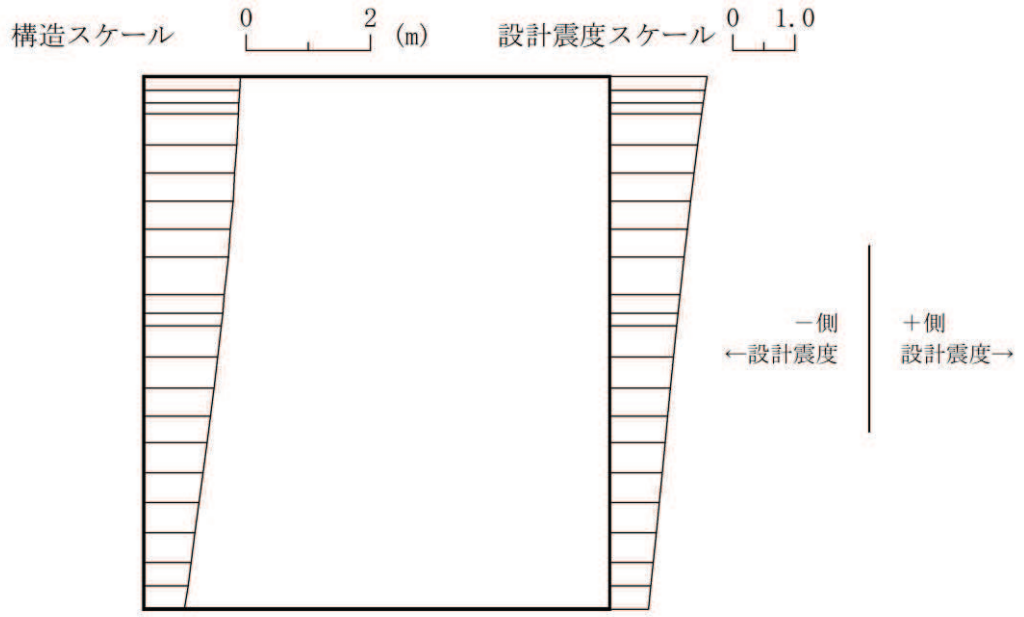
直応力



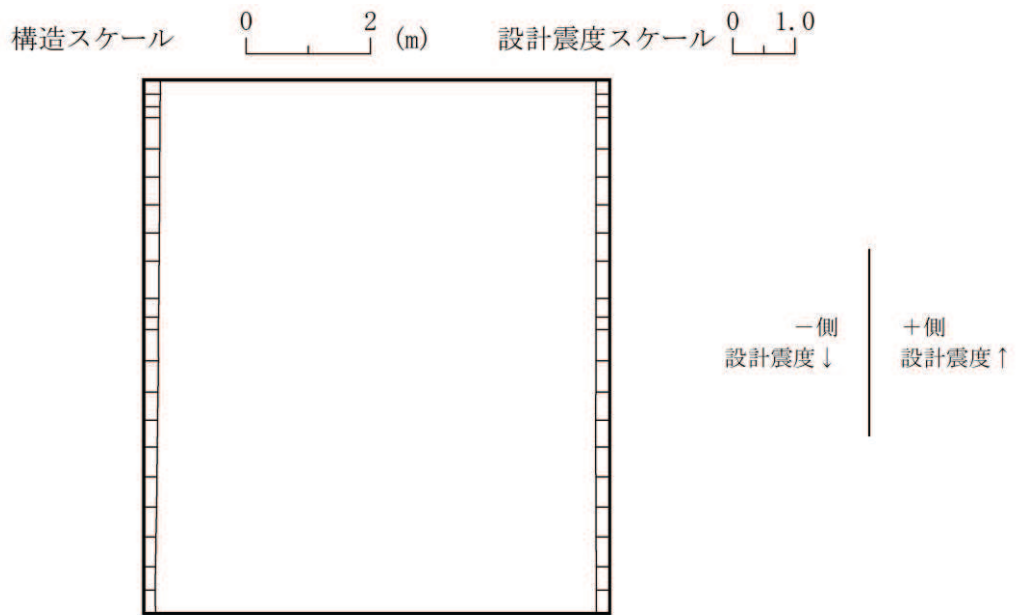
せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-6 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 (++) , 東西)



設計水平震度



設計鉛直震度

図 3-7 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース③, $S_s - D2$ (++) , 東西)

(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-2-2-15 軽油タンク室 (H) 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岩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最大照査値の評価時刻での断面力分布を図4-4～図4-8に、せん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力分布を図4-9及び図4-10に示す。

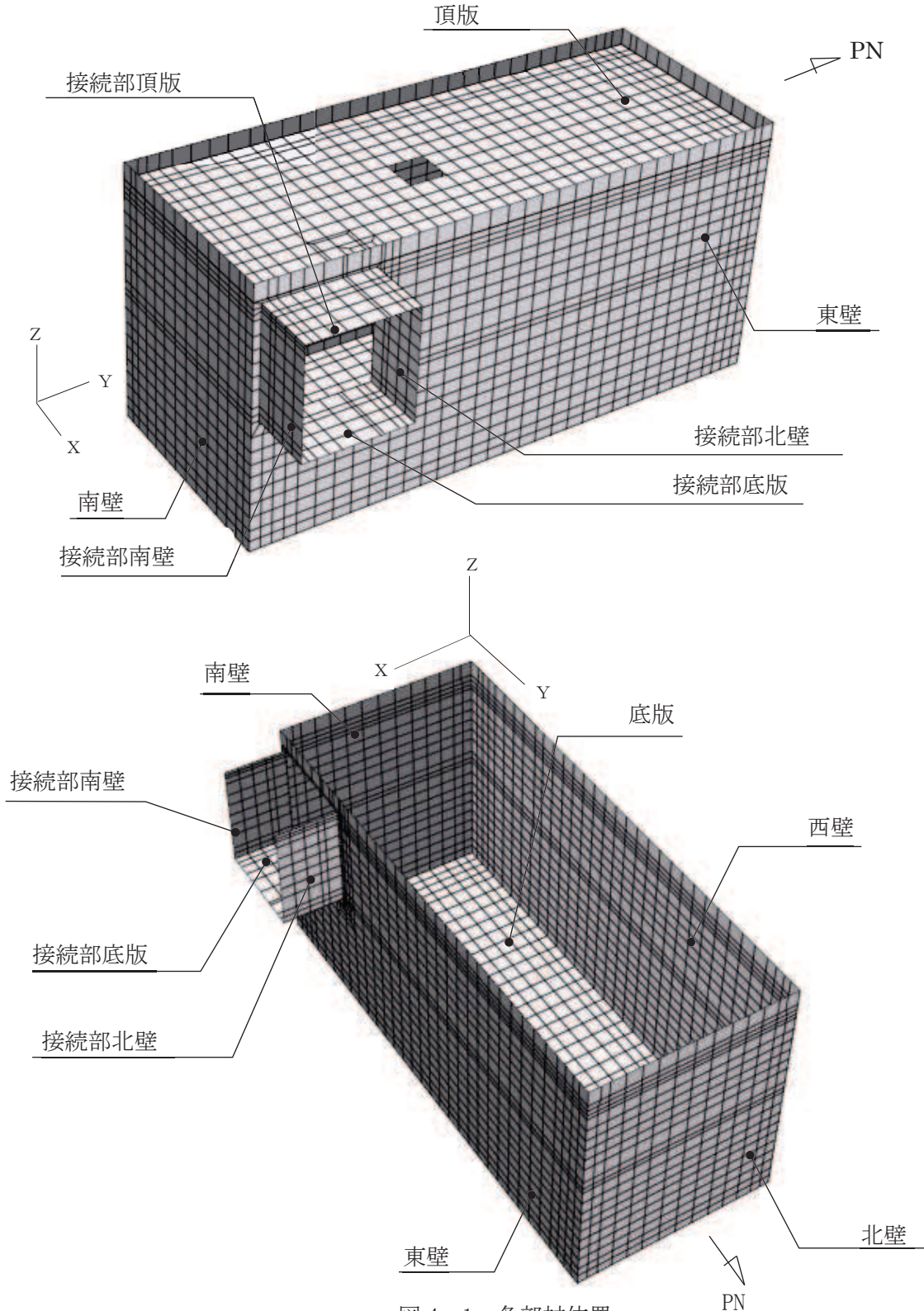
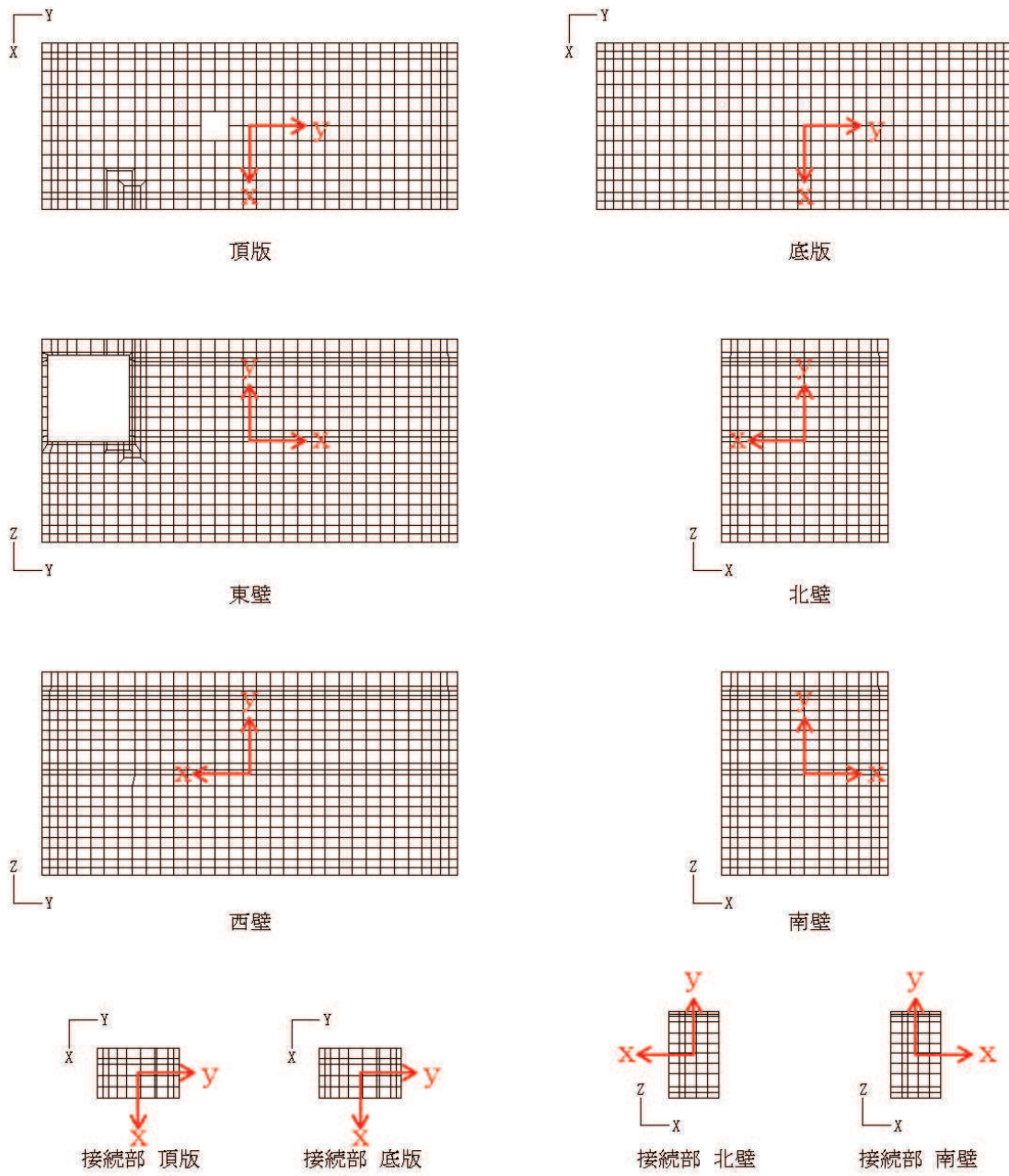
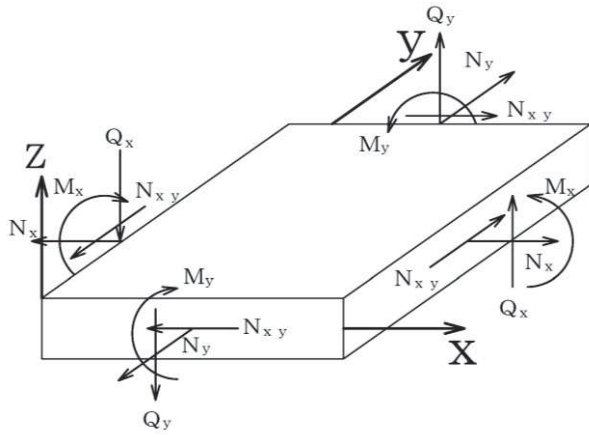


図4-1 各部材位置



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

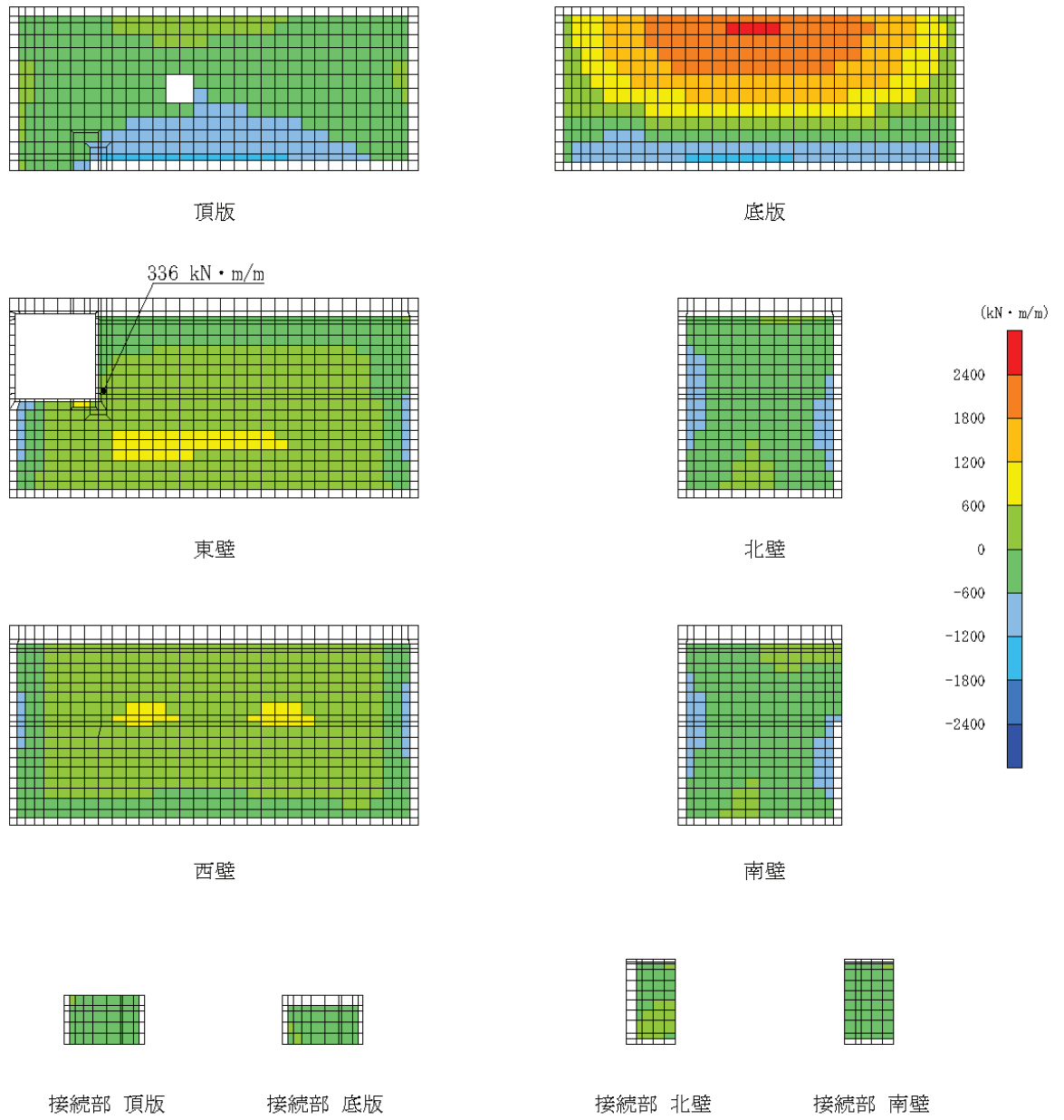


図 4-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (東壁, 解析ケース③, S_s-D2 (++))

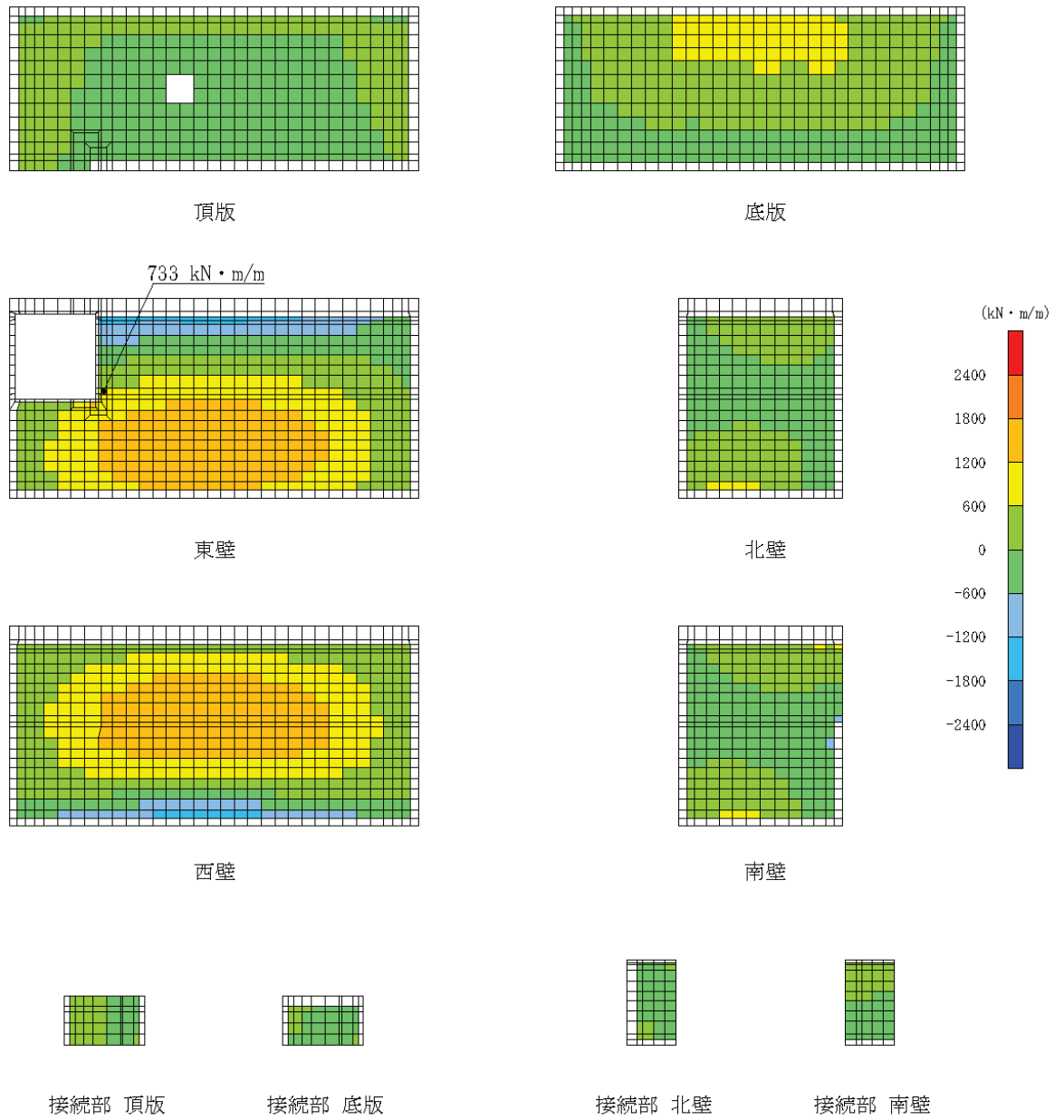


図 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : M_y)
 (東壁, 解析ケース③, S_s-D2 (++))

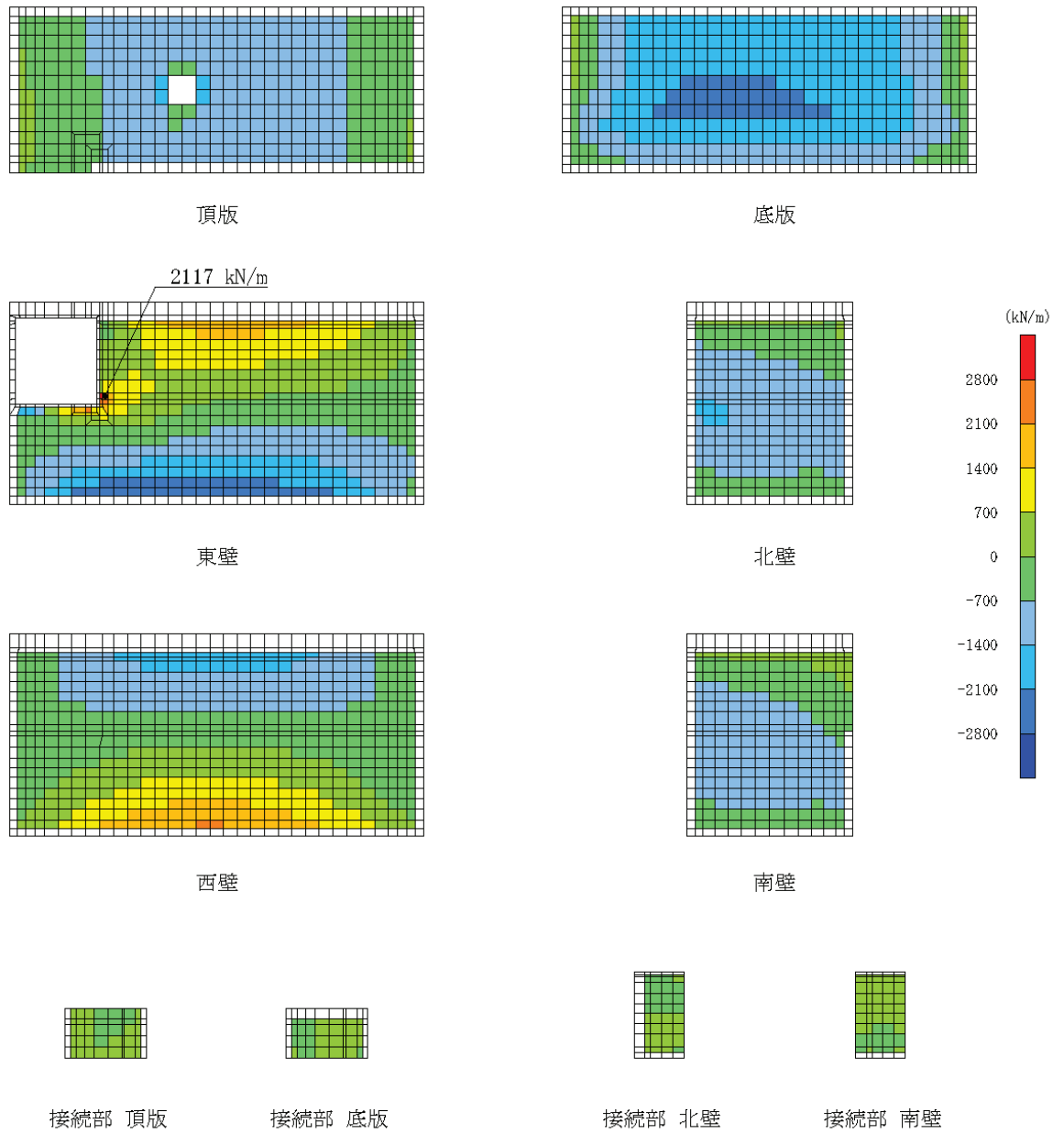


図 4-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

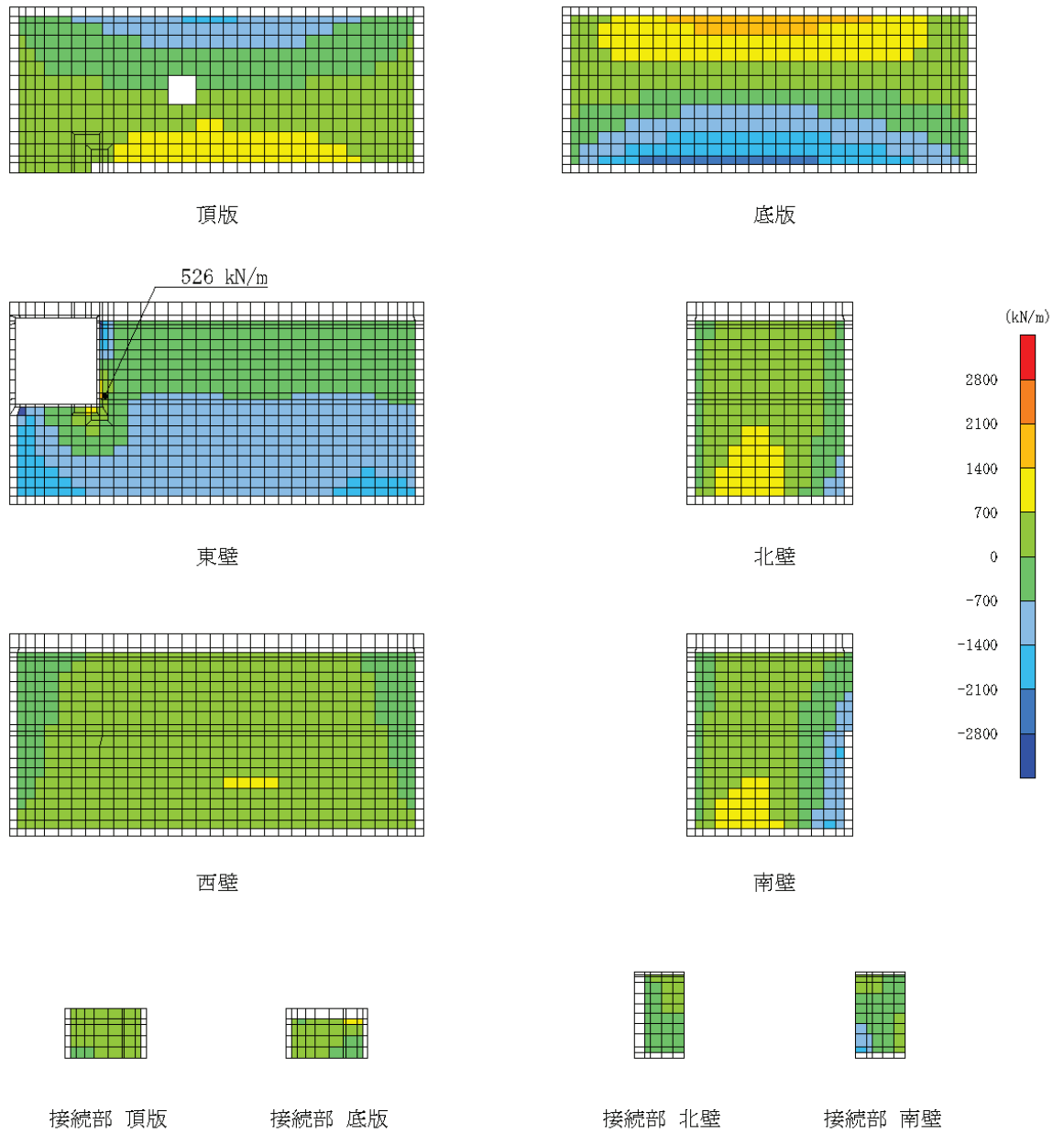


図 4-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

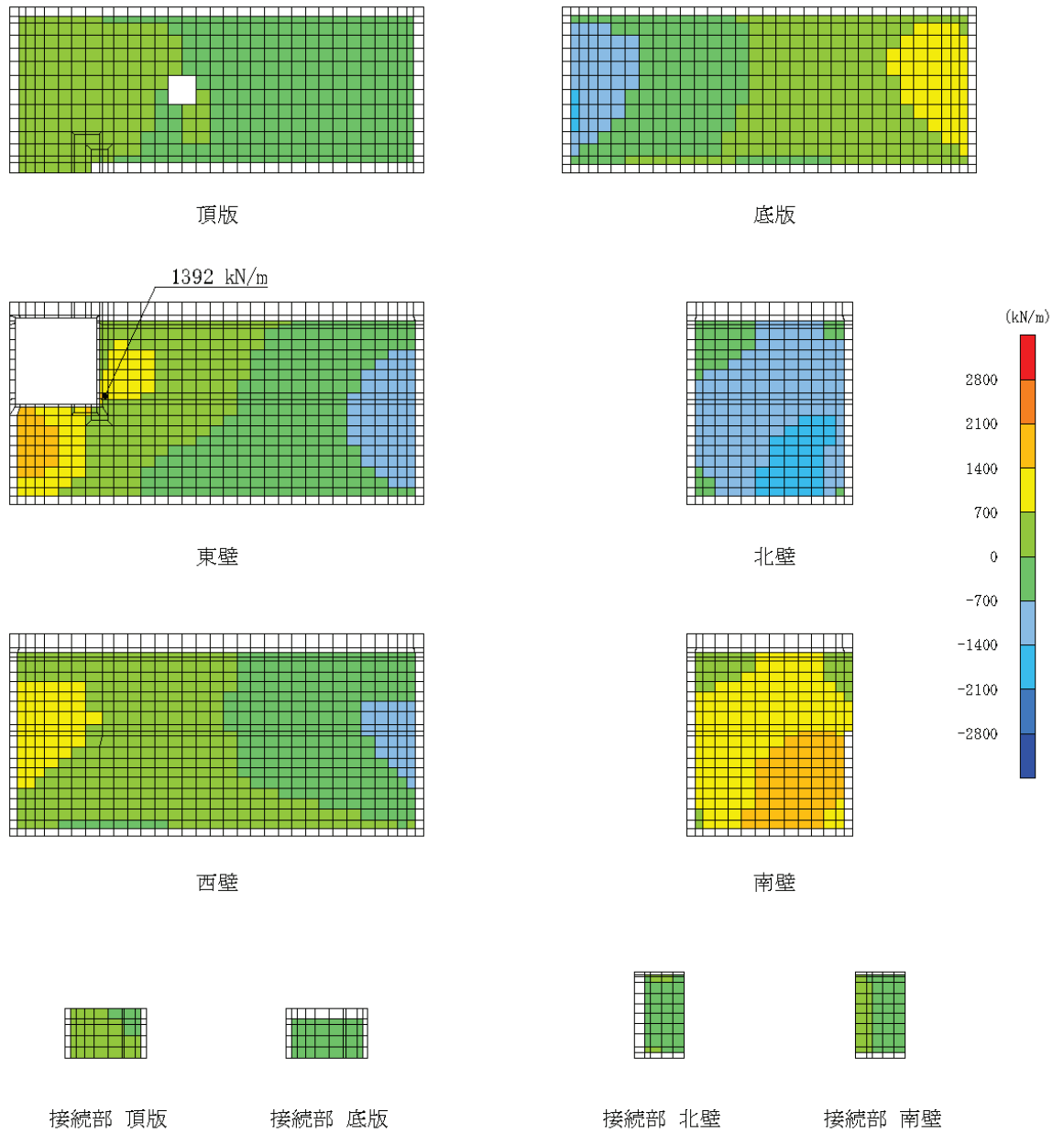


図 4-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

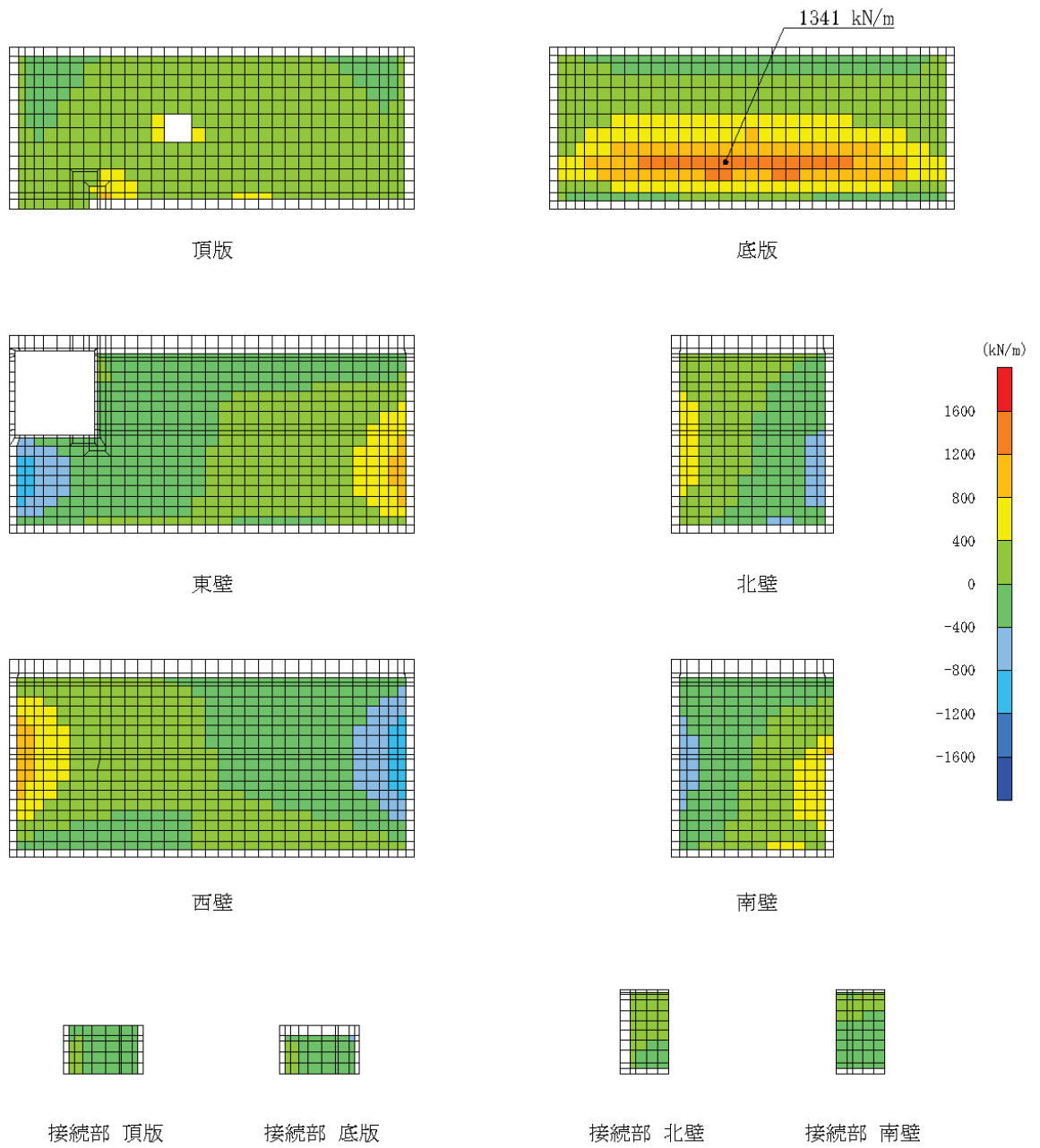


図 4-9 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (底板, 解析ケース③, $S_s - D 2 (+ +)$)

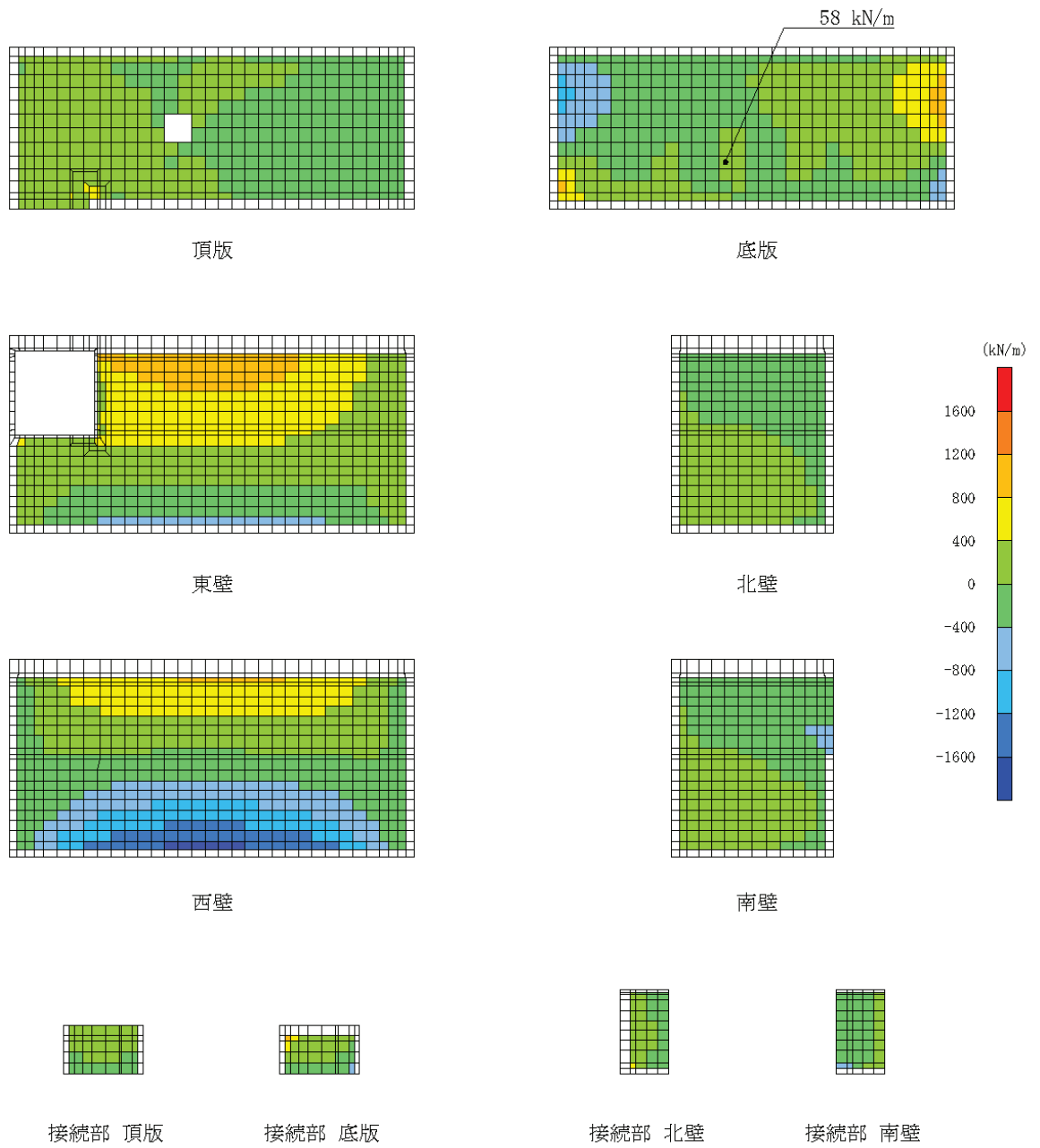


図 4-10 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (底板, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++))

5. 耐震評価結果

5.1 構造部材の健全性及び支持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 5-1 及び表 5-2 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-3 に示す。

軽油タンク室 (H) の発生応力度及び発生せん断力が、構造部材の健全性及び 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 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (コンクリート)

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)	
底版	10	③	S s - D 2 (++)	2418	-2080	8.4	13.5	0.63
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	-1335	-1154	7.3	13.5	0.55
南北壁	30	③	S s - D 2 (++)	-1170	-3031	4.3	13.5	0.32
東西壁	60	③	S s - D 2 (++)	-1783	-2476	6.2	13.5	0.46
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	415	56	4.0	13.5	0.30
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	-301	270	3.0	13.5	0.23
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	-436	-2291	4.4	13.5	0.33

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査 (鉄筋)

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	
底版	10	③	S s - D 2 (++)	636	1978	161	309	0.53
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	-1254	-721	120	309	0.39
南北壁	40	③	S s - D 2 (++)	753	2538	200	309	0.65
東西壁	60	③	S s - D 2 (++)	336	3509	207	309	0.67
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	-376	864	181	309	0.59
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	287	901	169	309	0.55
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	235	636	128	309	0.42

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

表 5-3 せん断破壊に対する照査

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	10	③	S s - D 2 (++)	1341	2390	0.57
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	641	1817	0.36
南北壁	30	③	S s - D 2 (++)	634	2390	0.27
東西壁	50	③	S s - D 2 (++)	1238	2390	0.52
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	374	943	0.40
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	278	906	0.31
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	376	906	0.42

注記* : 評価位置は図 5-1 に示す。

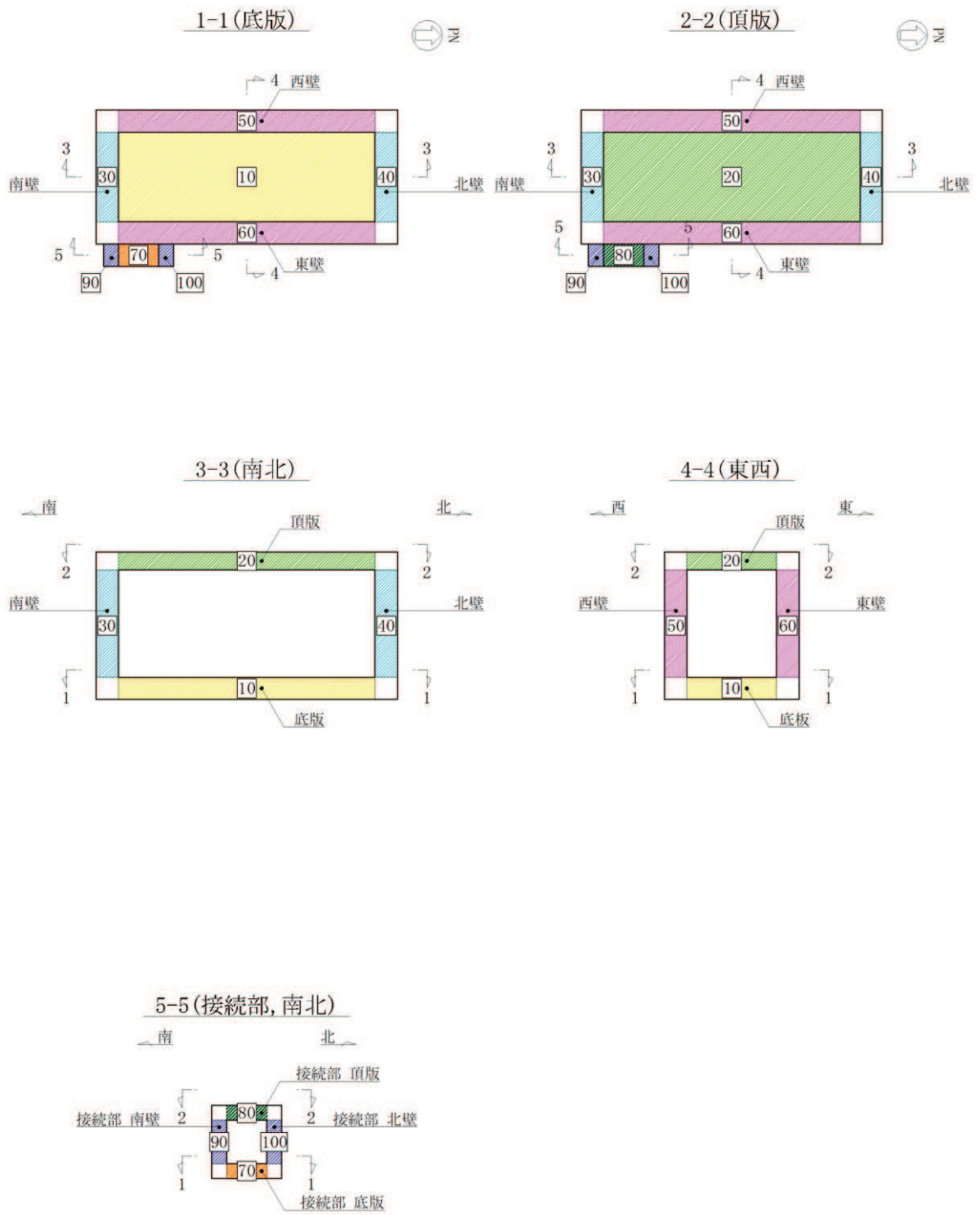


图 5-1 評価位置図

5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

5.2.1 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5-4に示す。また、最大接地圧分布図を図5-2に示す。

軽油タンク室（H）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5-4 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
①	S _s -D1 (++)	2.0	13.7	0.15

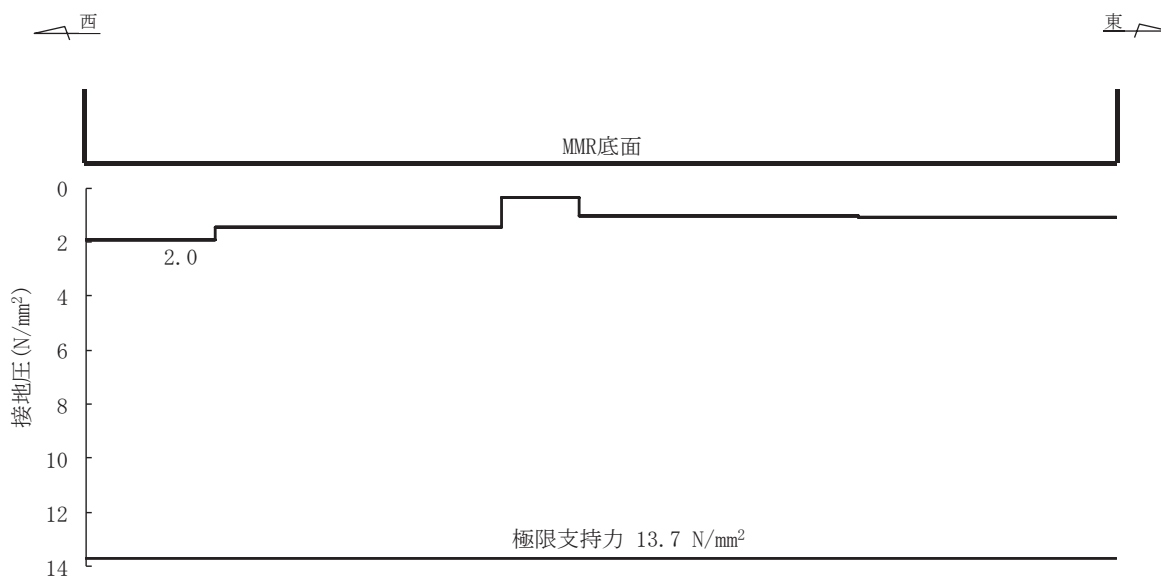


図5-2 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S_s-D1 (++))

5.2.2 MMR（新設）

MMR（新設）の支持性能に対する照査結果を表5-5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（H）のMMR（新設）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5-5 MMR（新設）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 (++)	3.9	26.5	0.15

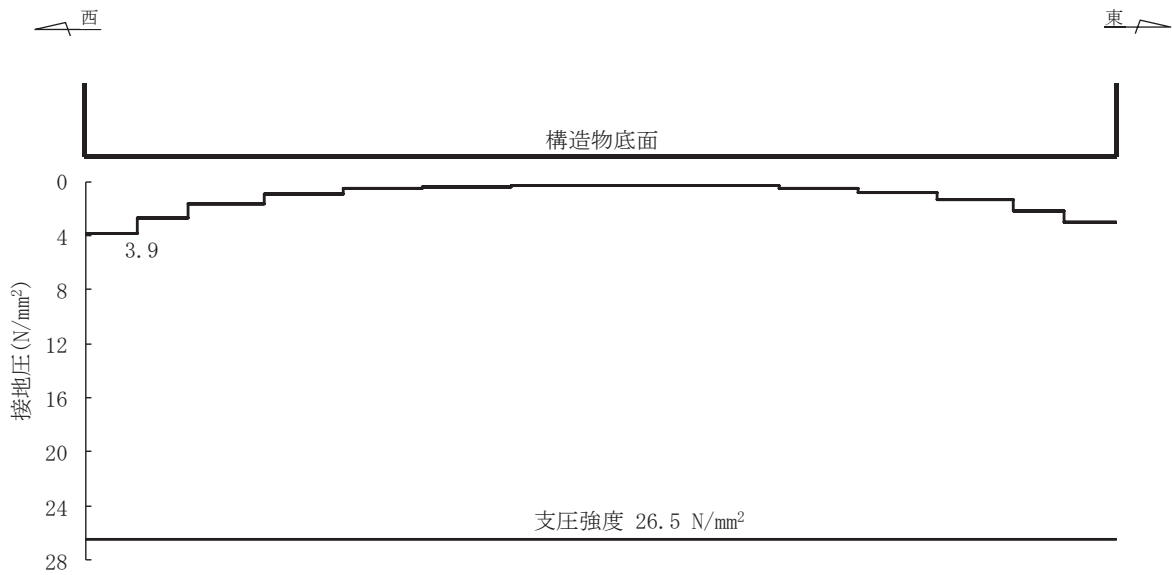


図5-3 MMR（新設）の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S_s-D2 (++))