

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-19-0168_改1
提出年月日	2021年9月22日

VI-2-2-18 ガスタービン発電設備軽油タンク室の
耐震性についての計算書

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	10
3.2 使用材料及び材料の物性値	13
3.3 許容限界	14
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	14
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	15
3.4 評価方法	16
3.4.1 構造部材の健全性評価	16
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

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、ガスタービン発電設備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。

ガスタービン発電設備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

ガスタービン発電設備軽油タンク室の位置を図 2-1 に示す。

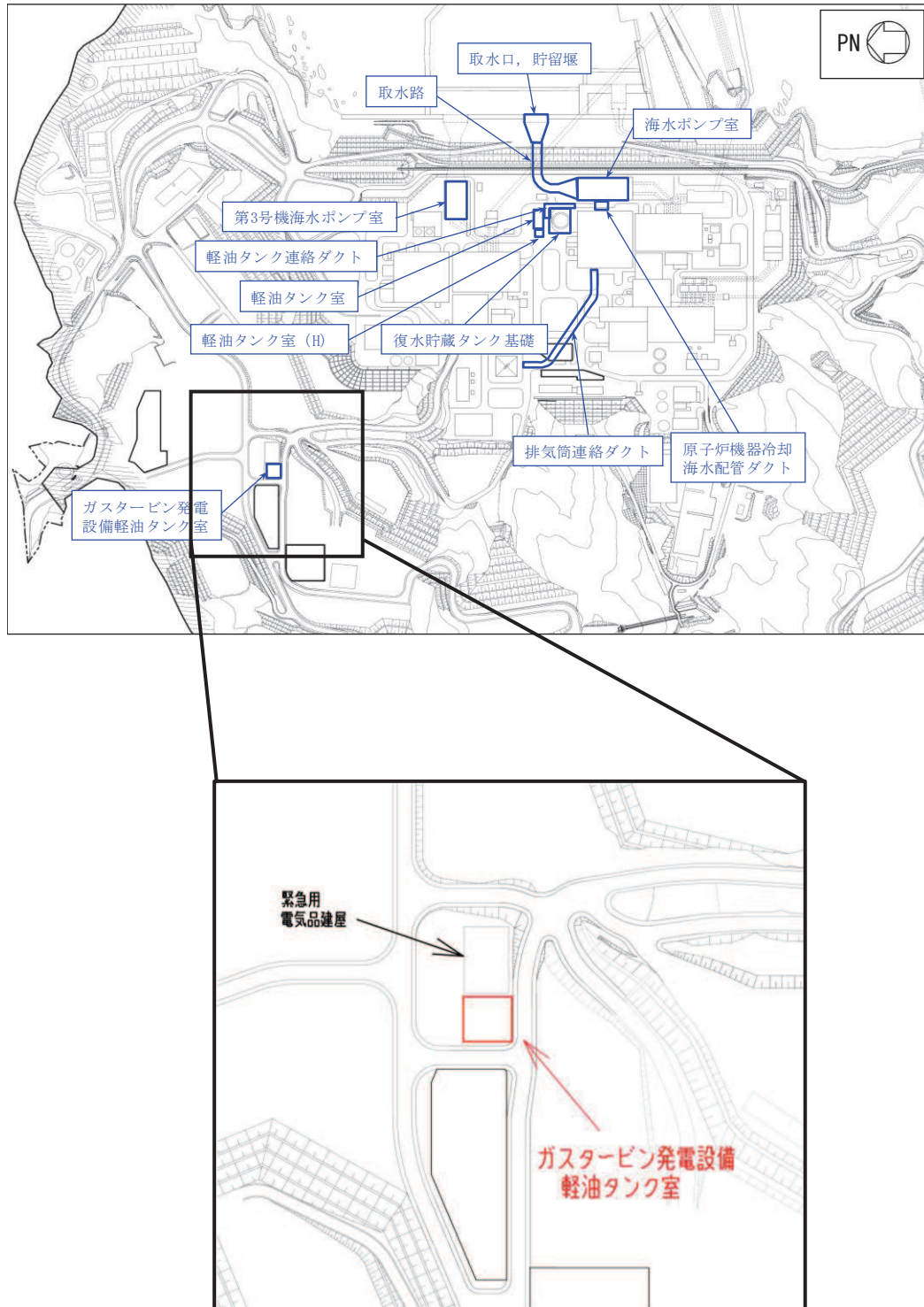


図 2-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室の位置図

2.2 構造概要

ガスタービン発電設備軽油タンク室の平面図を図 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 及び図 2-6 に示す。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、ガスタービン発電設備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。

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、幅 20.30m（東西）×22.00m（南北）、高さ 7.10m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に直接設置されている。ガスタービン発電設備軽油タンク室は、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。

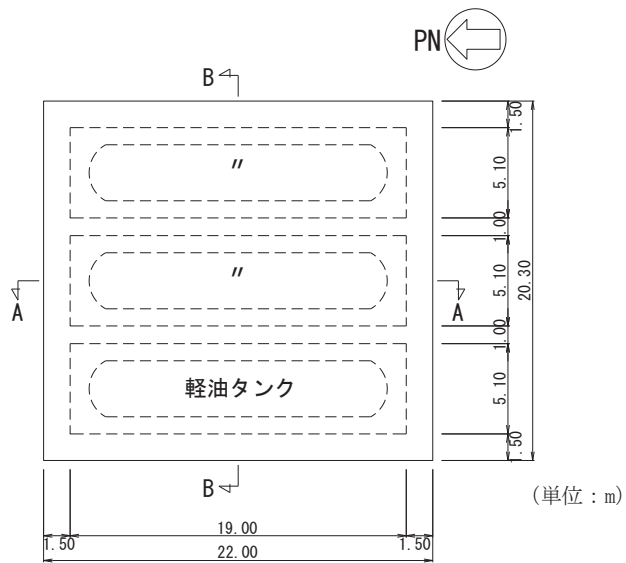


図 2-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室平面図

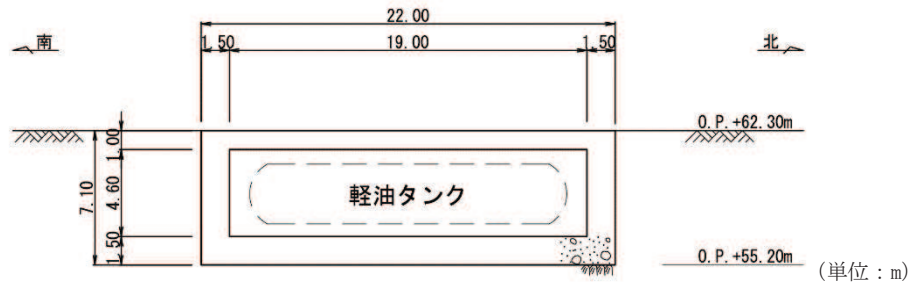


図 2-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (A-A 断面, 南北)

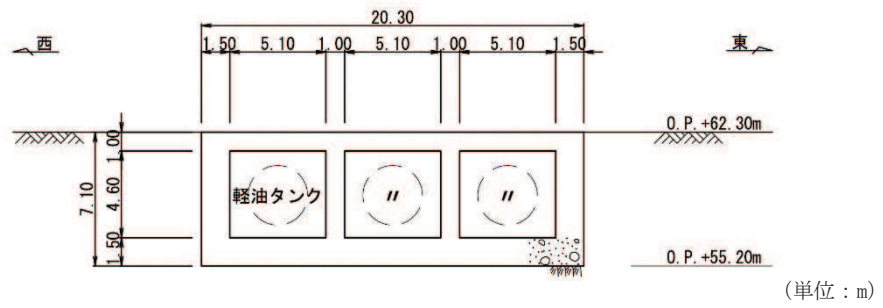


図 2-4 ガスタービン発電設備軽油タンク室断面図 (B-B 断面, 東西)

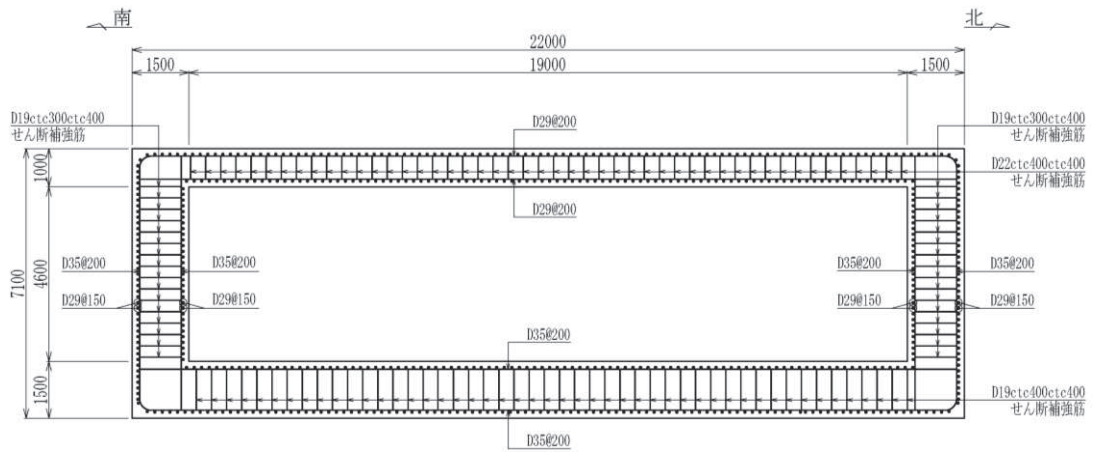


図 2-5 ガスタービン発電設備軽油タンク室概略配筋図 (A-A 断面, 南北)

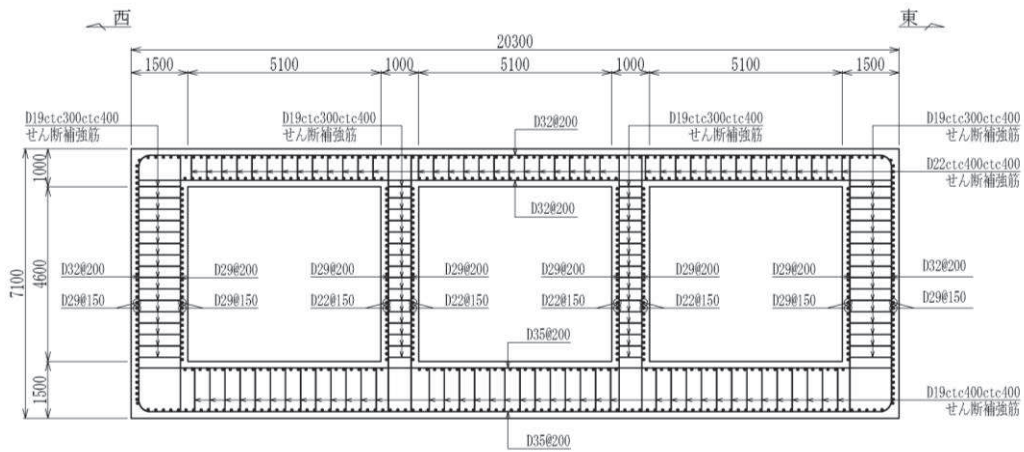


図 2-6 ガスタービン発電設備軽油タンク室概略配筋図 (B-B 断面, 東西)

2.3 評価方針

ガスタービン発電設備軽油タンク室は、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設に分類される。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震評価は、添付書類「VI-2-2-17 ガスタービン発電設備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、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。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震評価フローを図2-7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並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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-2-2-17 ガスタービン発電設備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、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-2-2-17 ガスタービン発電設備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。

表 2-1 ガスタービン発電設備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並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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	

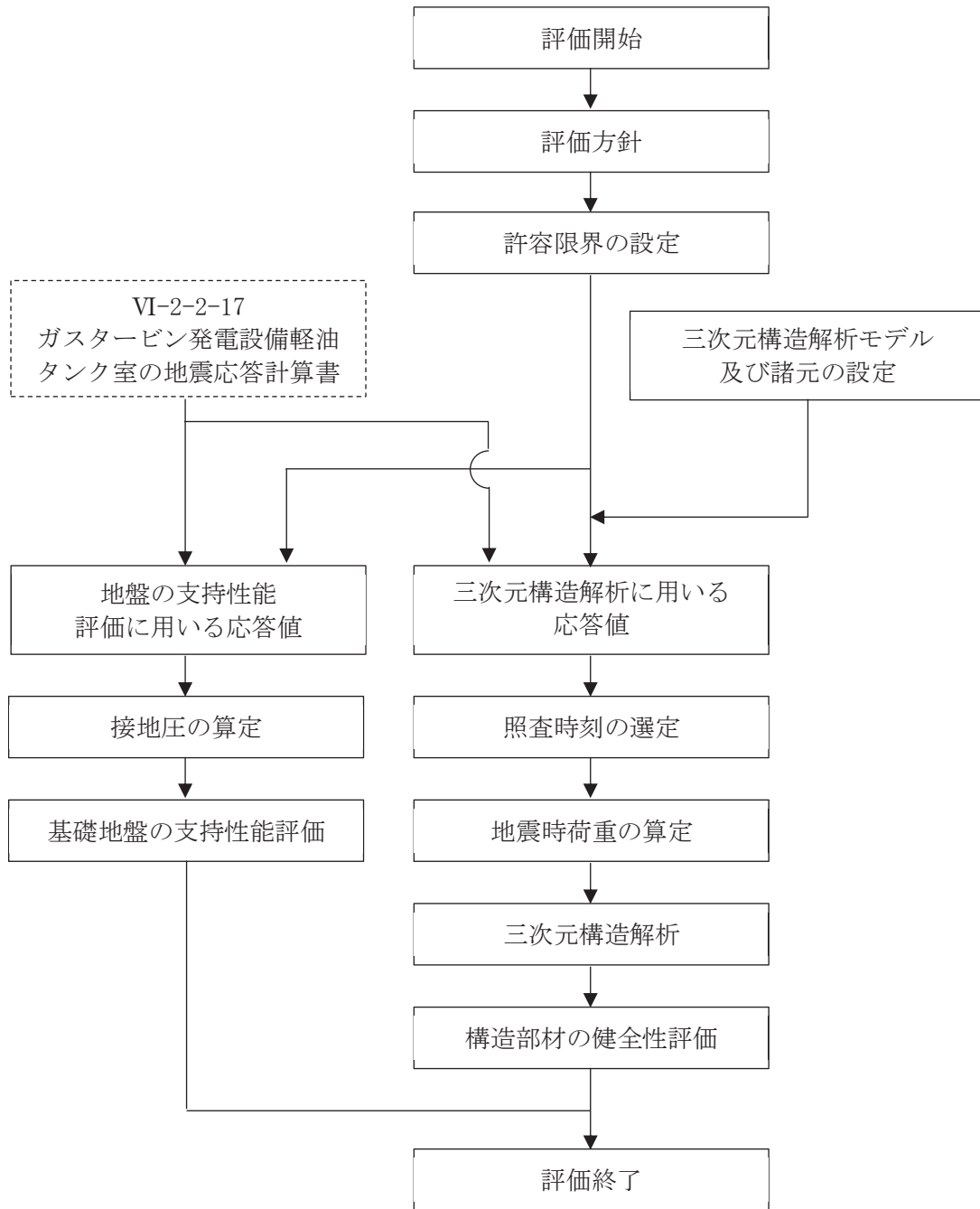


図 2-7 ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震評価フロー

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]
- ・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

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面

ガスタービン発電設備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。

地震応答解析における解析手法は、添付書類「VI-2-2-18 ガスタービン発電設備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及び有効応力解析とする。解析ケースを表 3-1 に示す。

また、ガスタービン発電設備軽油タンク室は、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、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備を支持する機能 (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。

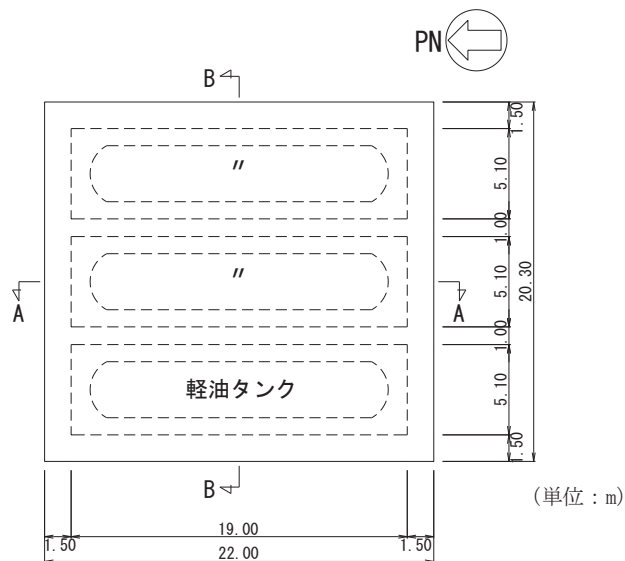


図 3-1 ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震時荷重算出断面位置図

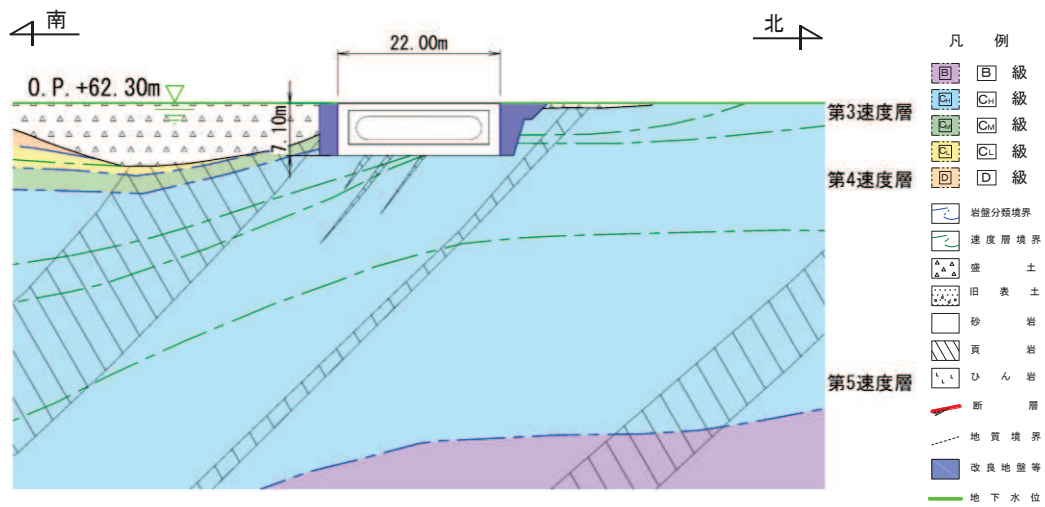


図3-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室 地震時荷重算出用地質断面図
(A-A断面, 南北)

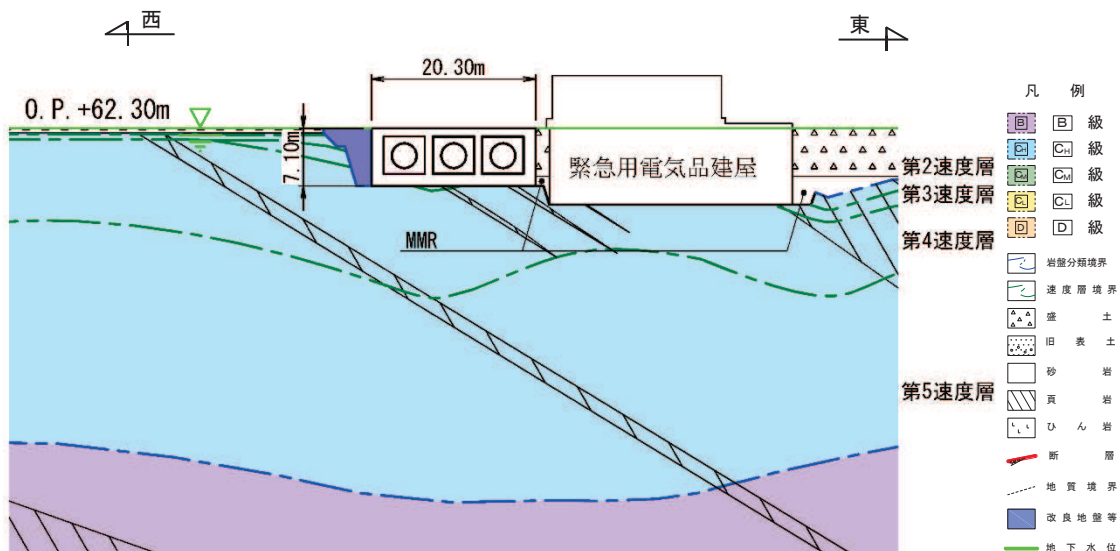


図3-3 ガスタービン発電設備軽油タンク室 地震時荷重算出用地質断面図
(B-B断面, 東西)

表 3-1 解析ケース

解析ケース*1	解析手法	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング 係数)	地盤物性	
			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)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*2	平均値	平均値

注記*1: 南北方向は全応力解析と有効応力解析を, 東西方向は全応力解析を実施する。

*2: 新設構造物のため, 推定した圧縮強度とする。

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	設計基準強度 24.0N/mm ²
鉄筋	SD345

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*	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並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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3-4及び表3-5に示す。

なお、頂版、底版及び側壁のアンカー定着部に常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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3-4 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	13.5
	許容せん断応力度 τ_{al}	0.45	0.675

注記*：「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

表3-5 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	294

注記*：「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並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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3-4及び表3-5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

基礎地盤（牧の浜部層）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（牧の浜部層）の許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 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	牧の浜部層	11.4

3.4 評価方法

3.4.1 構造部材の健全性評価

ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震評価は、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-2-2-17 ガスタービン発電設備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、ガスタービン発電設備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-2-2-17 ガスタービン発電設備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

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。

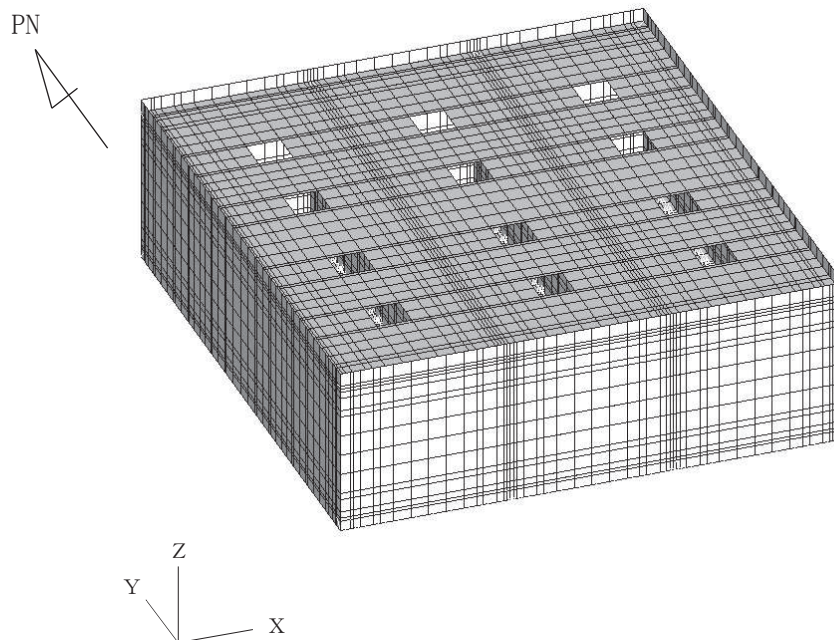


図3-4 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図）

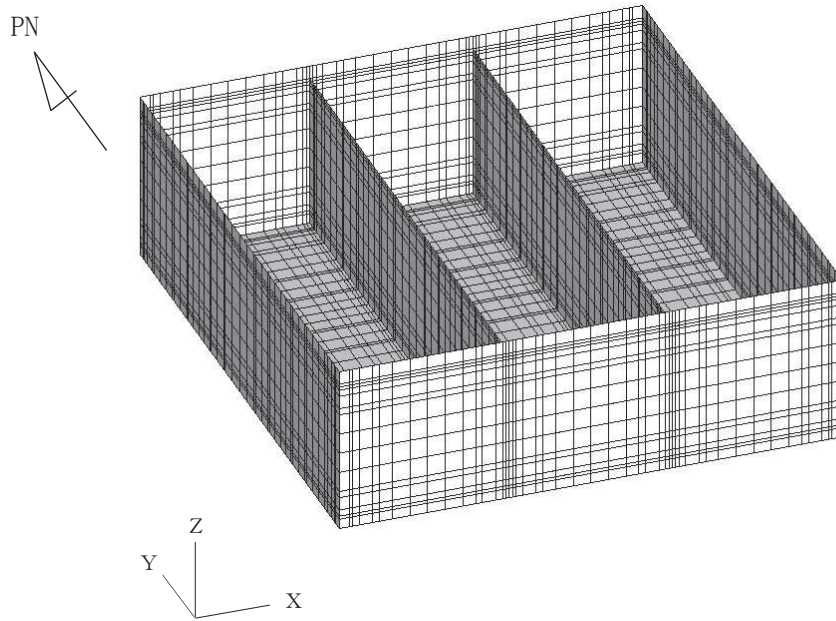


図3-5 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図（頂版非表示））

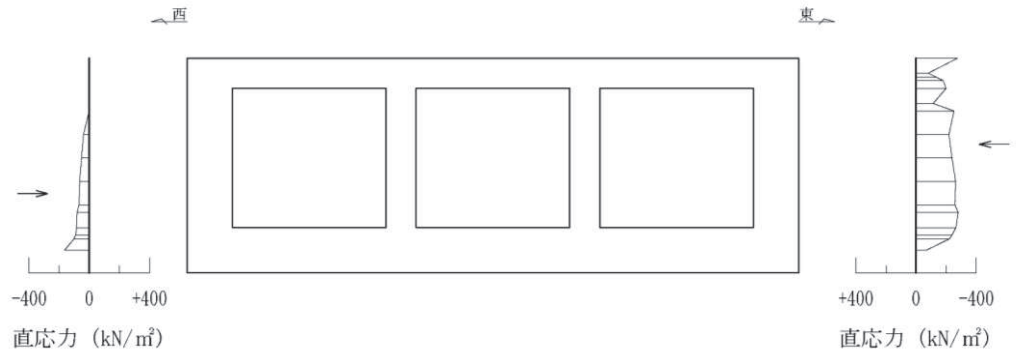
(2) 照査時刻

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。

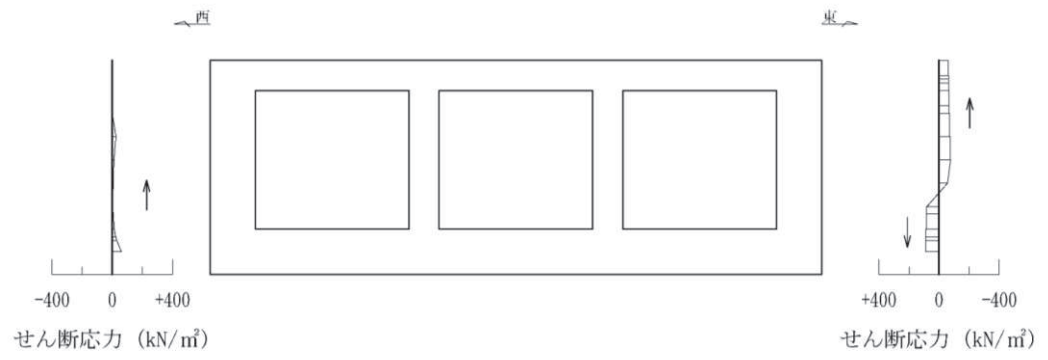
なお、三次元構造解析において照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

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)		頂底版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①, S s - F 2 (++))

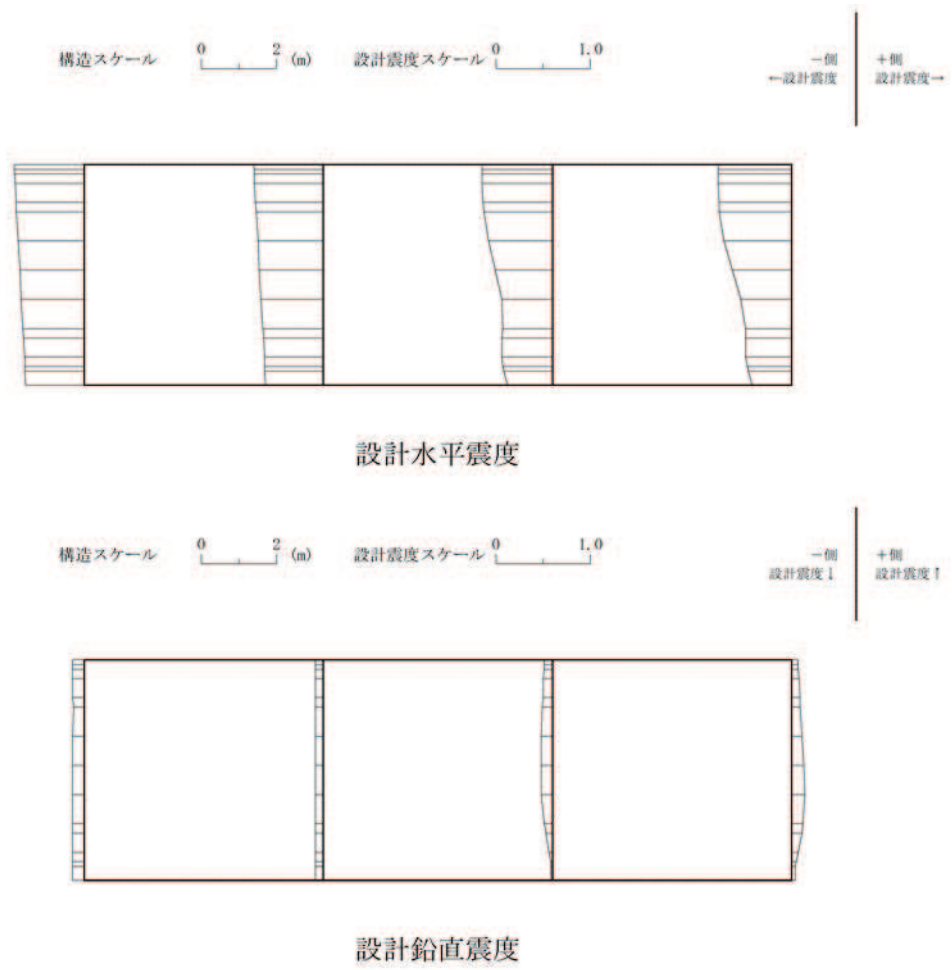


図 3-7 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース①, $S_s - F 2$ (++))

(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-2-2-17 ガスタービン発電設備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
	常時水圧	躯体側面に作用する常時水圧
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
	地震時水圧	躯体側面に作用する地震時水圧

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・軸力系の破壊に対して最大照査値となる評価時刻での断面力分布を図4-4～図4-8に、せん断破壊に対して最大照査値となる評価時刻での断面力分布を図4-9及び図4-10に示す。

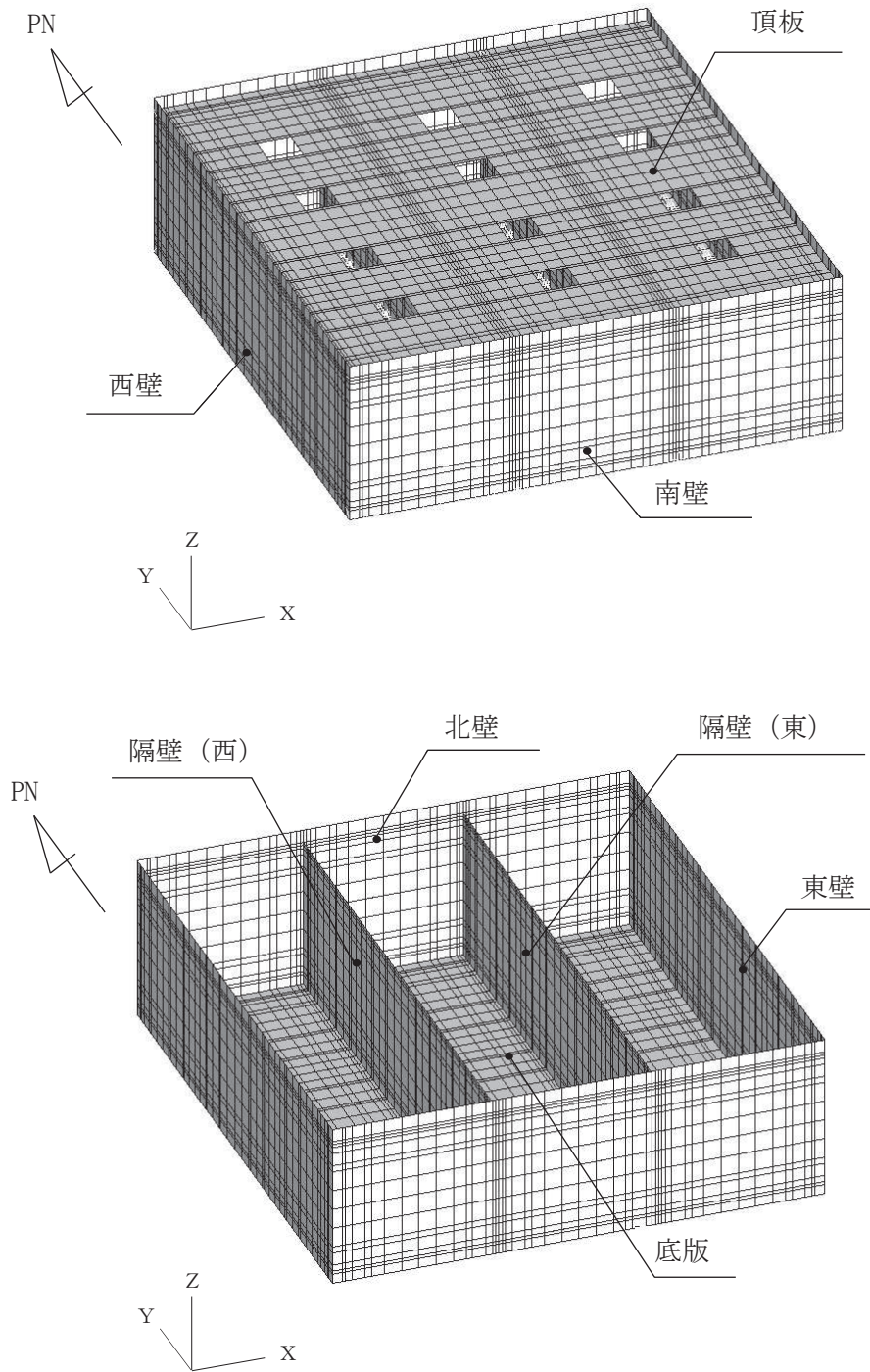
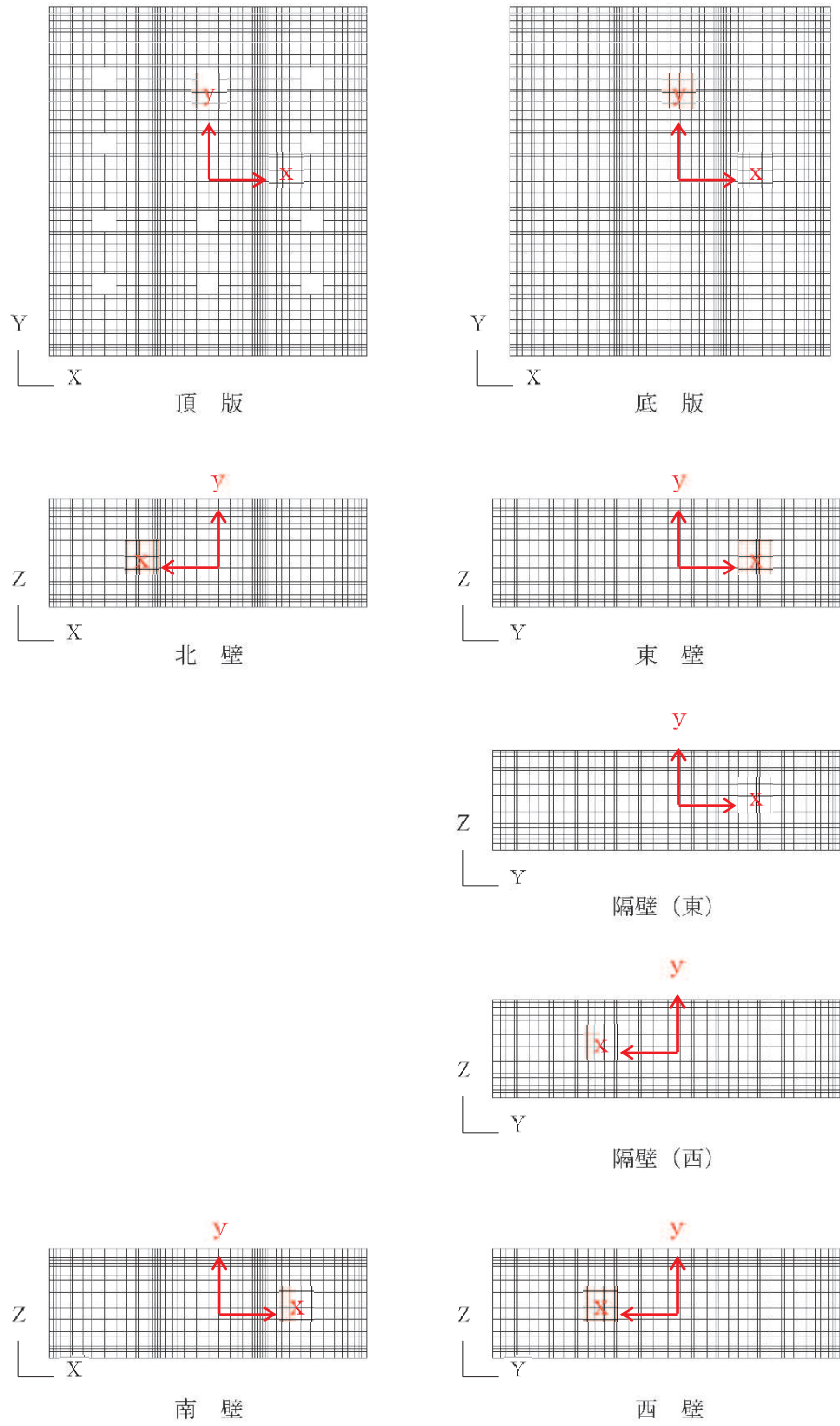
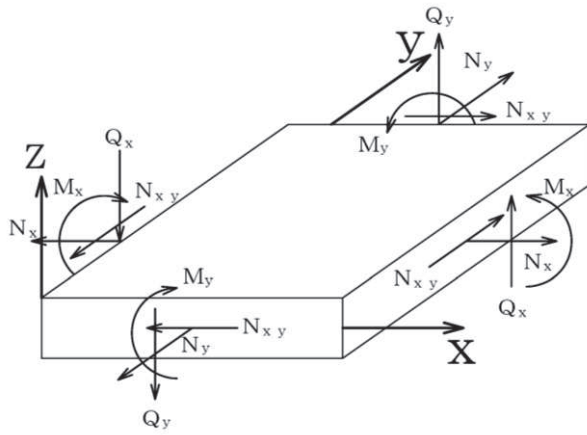


図4-1 各部材位置



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

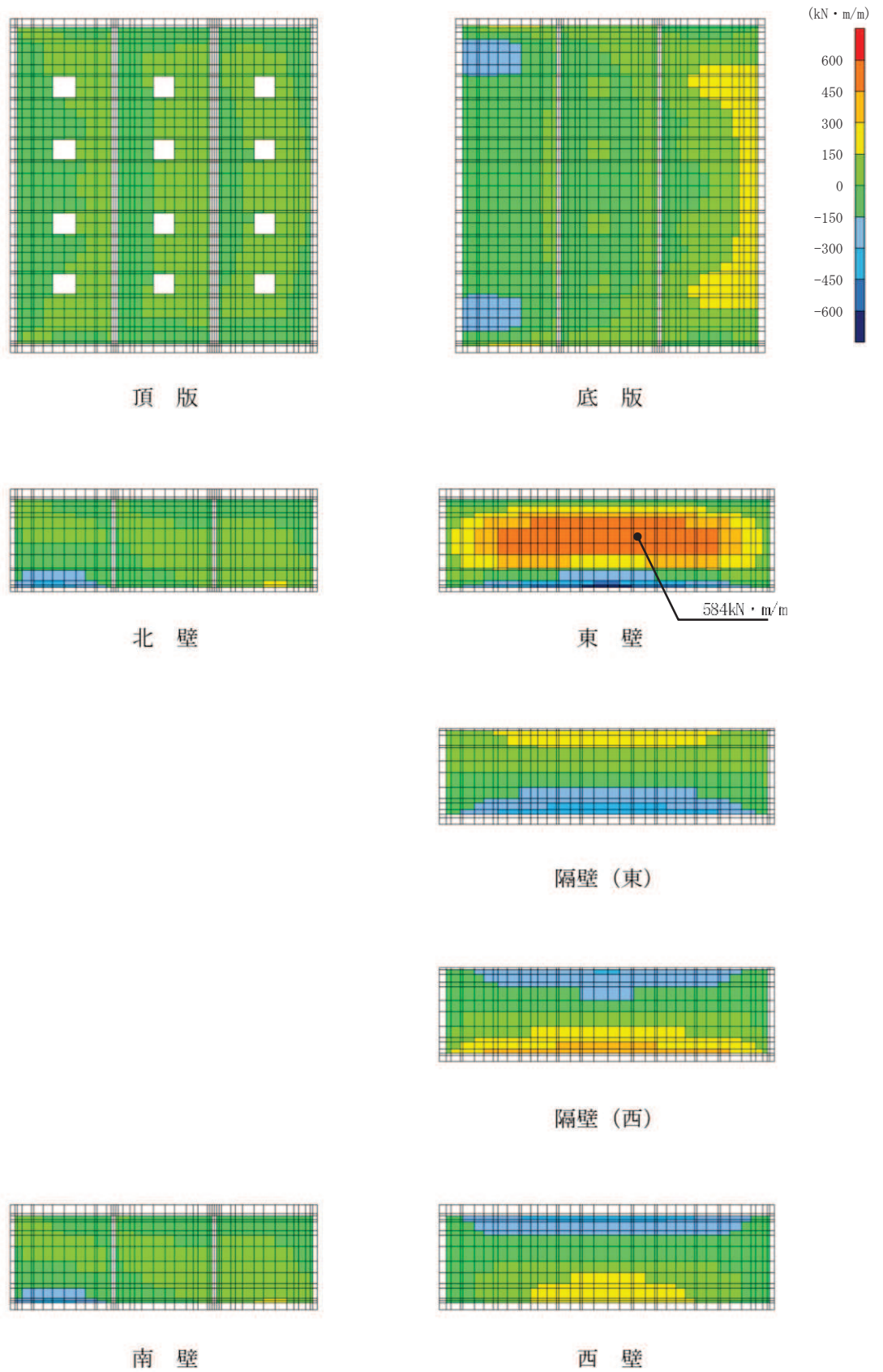


図 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : M_y)
 (東壁, 解析ケース①, $S_s - F_2$ (++)

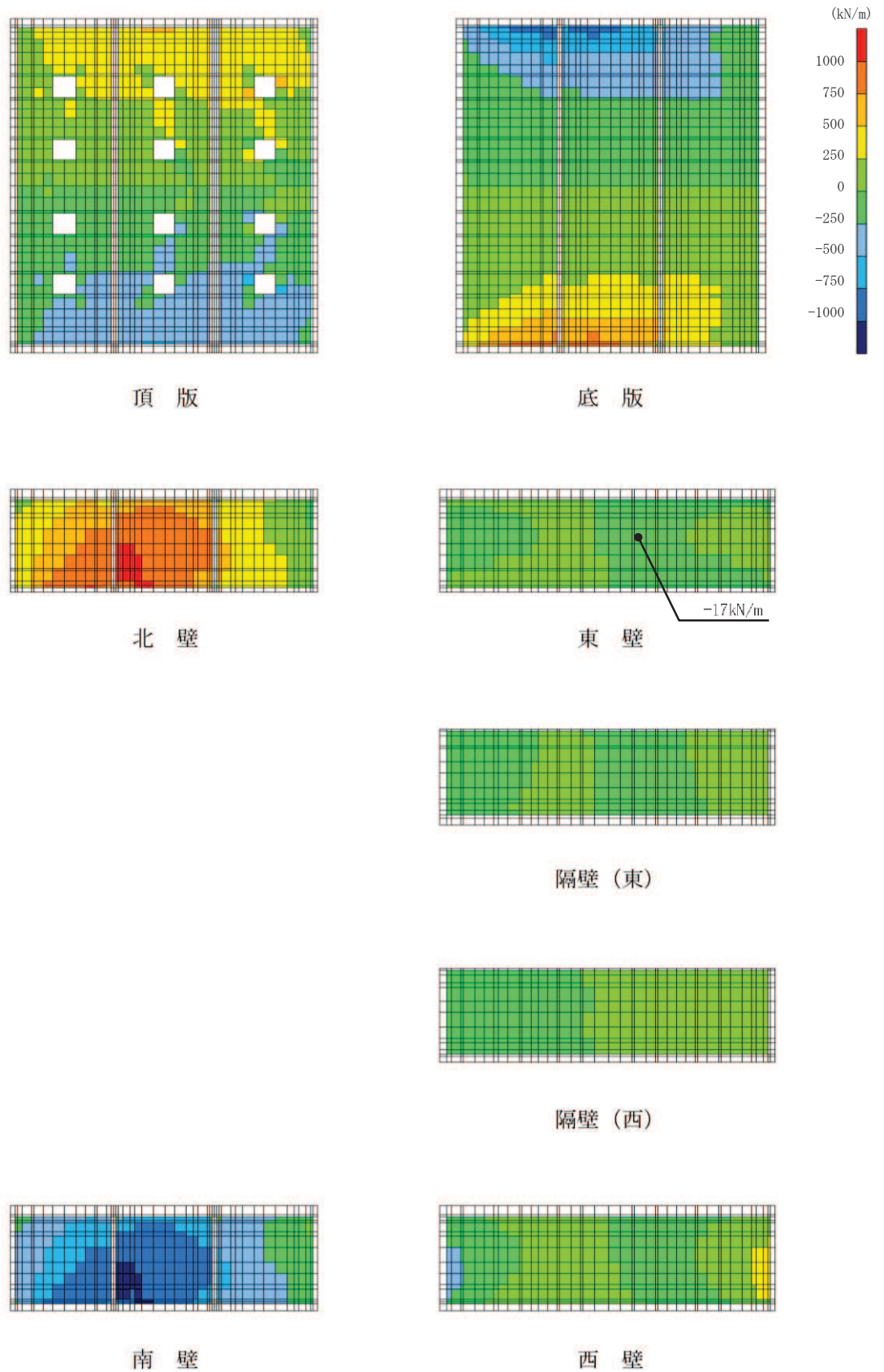


図 4-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})
 (東壁, 解析ケース①, $S_s - F_2$ (++)

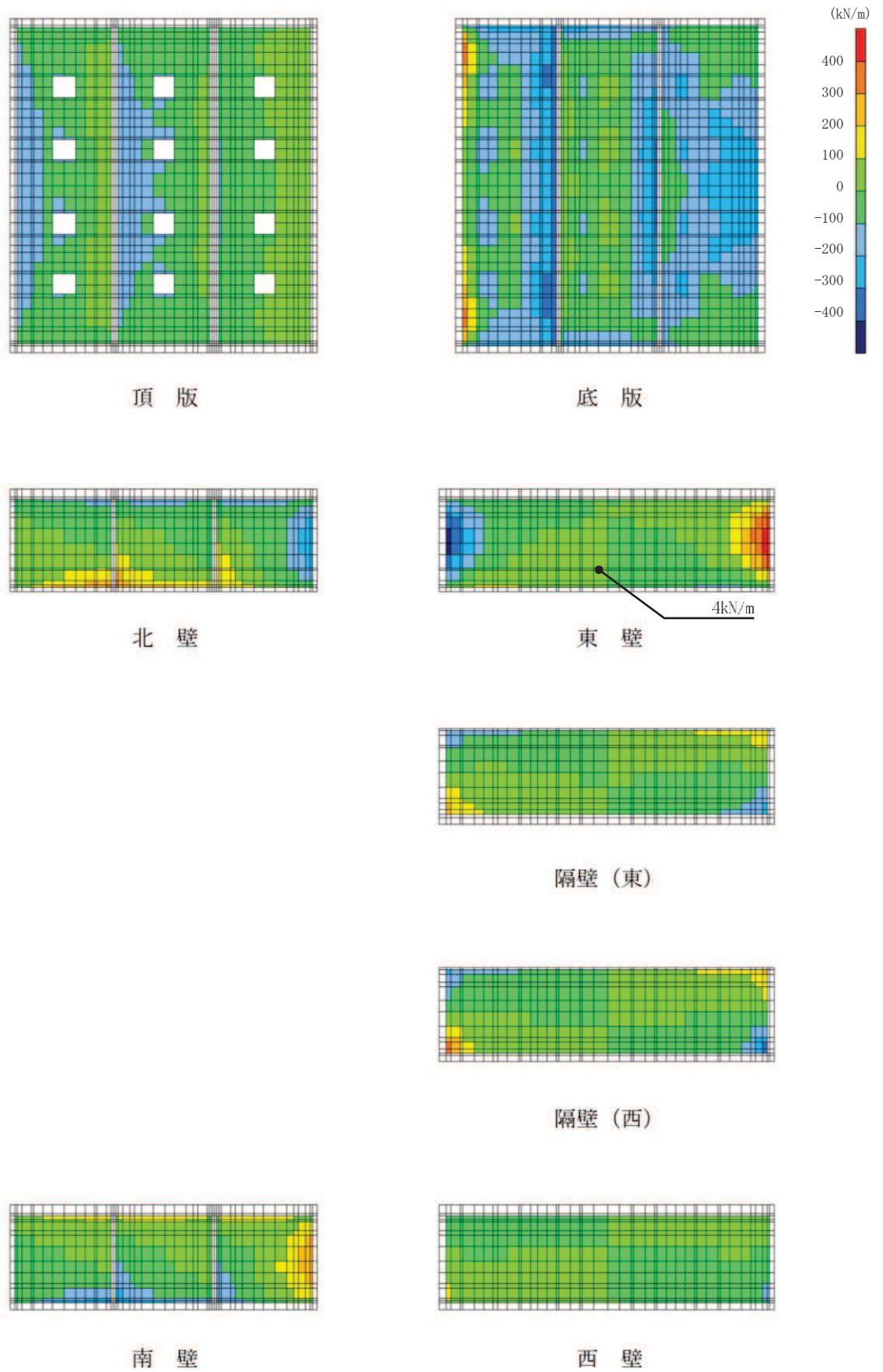


図 4-9 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (東壁, 解析ケース①, $S_s - F_2$ (++))

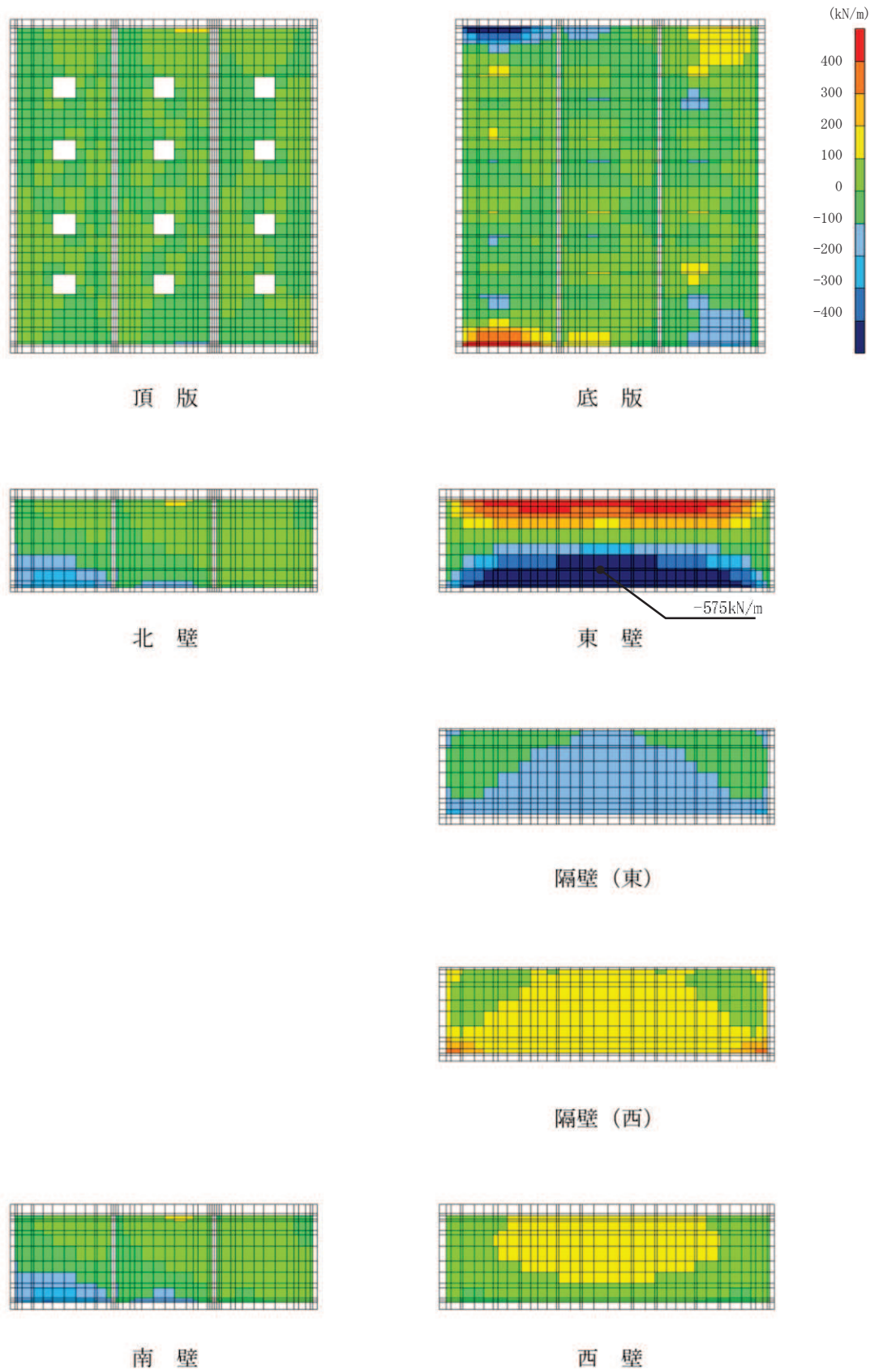


図 4-10 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (東壁, 解析ケース①, $S_s - F_2$ (++)

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。

ガスタービン発電設備軽油タンク室の発生応力度及び発生せん断力が、構造部材の健全性並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備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 (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c/σ'_{ca}
底版	13	③	S _s -F2(++)	908	-905	4.0	13.5	0.30
頂版	21	③	S _s -F2(++)	-268	-135	2.9	13.5	0.22
南北壁	31	③	S _s -F2(++)	-378	-1803	2.0	13.5	0.15
東西壁	50	①	S _s -D2(++)	-729	-390	3.5	13.5	0.26
隔壁	80	③	S _s -F2(++)	-395	-329	4.5	13.5	0.34

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 (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 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}
底版	12	③	S _s -F2(++)	109	773	102	294	0.35
頂版	21	③	S _s -F2(++)	-14	679	113	294	0.39
南北壁	42	③	S _s -F2(++)	-92	937	116	294	0.40
東西壁	60	①	S _s -F2(++)	584	35	159	294	0.55
隔壁	80	③	S _s -F2(++)	-298	30	135	294	0.46

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	11	①	S _s -D2(++)	416	969	0.43
頂版	22	③	S _s -F2(++)	185	729	0.26
南北壁	33	③	S _s -F2(++)	180	1175	0.16
東西壁	60	①	S _s -F2(++)	575	1175	0.49
隔壁	70	③	S _s -F2(++)	249	723	0.35

注記*：評価位置は図 5-1 に示す。

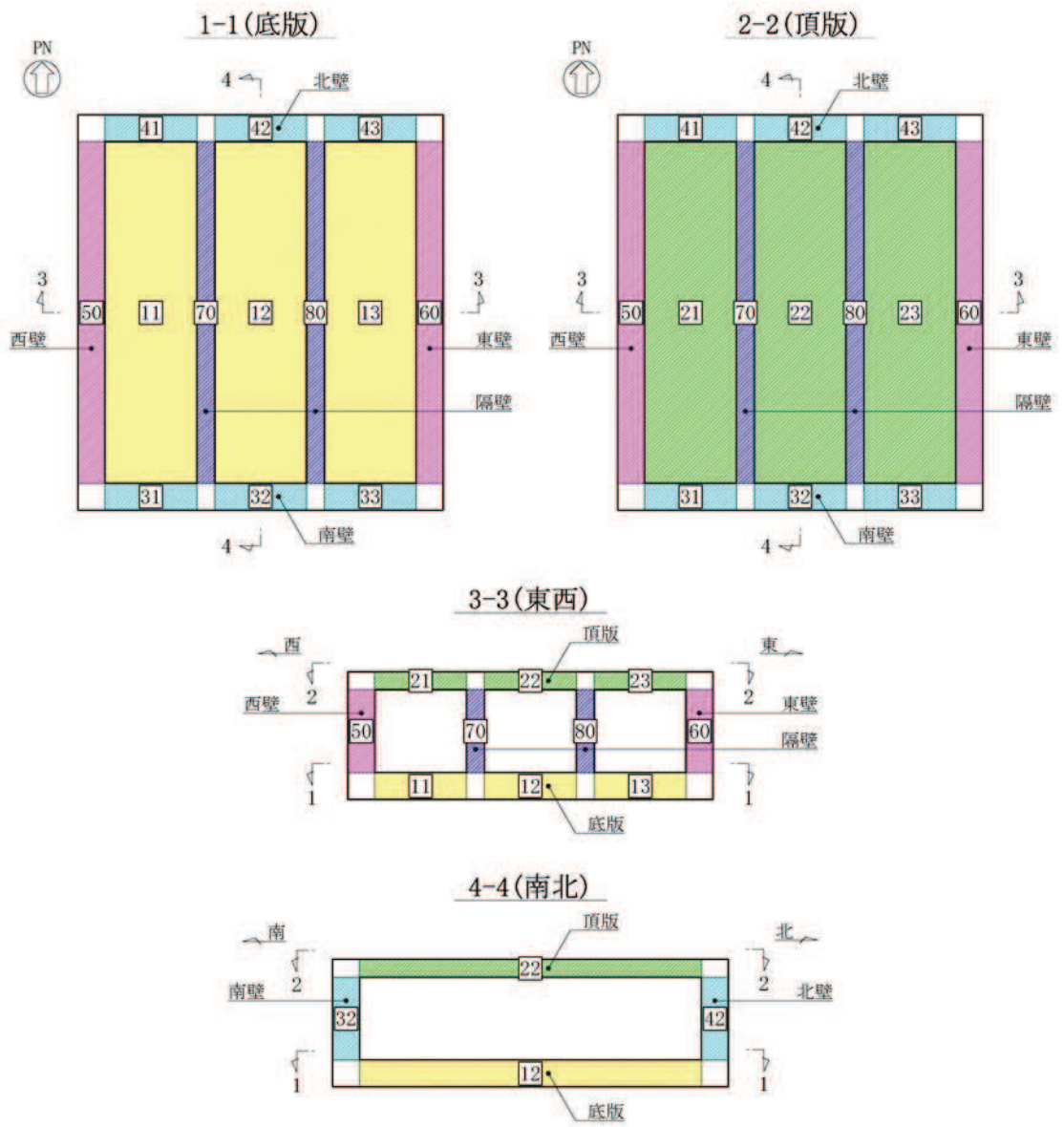


图 5-1 評価位置図

5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

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。

ガスタービン発電設備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 5-4 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 -F3 (++)	0.9	11.4	0.08

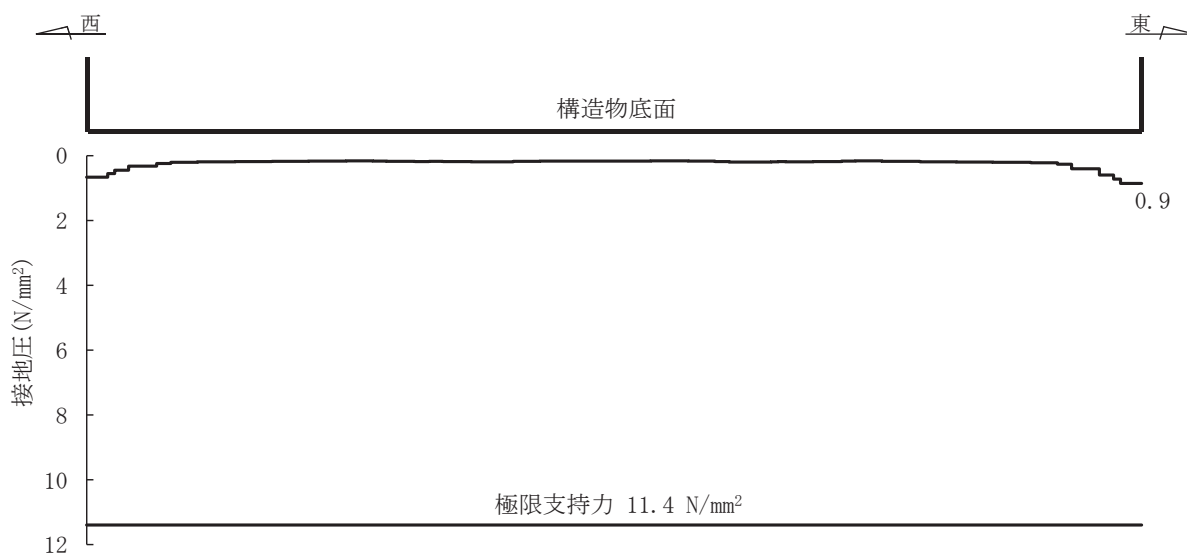


図 5-2 ガスタービン発電設備軽油タンク室の基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S_s-F3 (++))