

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-19-0120_改0
提出年月日	2021年6月2日

VI-2-2-6 復水貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書

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	8
2.4 適用基準	11
3. 耐震評価	12
3.1 地震時荷重算出断面及び解析手法の選定	12
3.2 使用材料及び材料の物性値	14
3.3 許容限界	15
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	15
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	17
3.4 評価方法	18
3.4.1 構造部材の健全性評価	18
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	27
4. 構造部材の地震時応答	28
4.1 しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト	28
4.2 基礎版	41
5. 耐震評価結果	46
5.1 構造部材の健全性に対する評価結果	46
5.1.1 しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト	46
5.1.2 基礎版	51
5.2 常設耐震重要重大事故防止設備等を支持する機能に対する評価結果	53
5.2.1 しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト	53
5.2.2 基礎版	57
5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	58
5.3.1 支持地盤（狐崎部層）	58
5.3.2 MMR（既設）	59

1. 概要

本資料は、添付書類「V-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、復水貯蔵タンク基礎が基準地震動 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。

復水貯蔵タンク基礎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

復水貯蔵タンク基礎の位置を図 2-1 に示す。

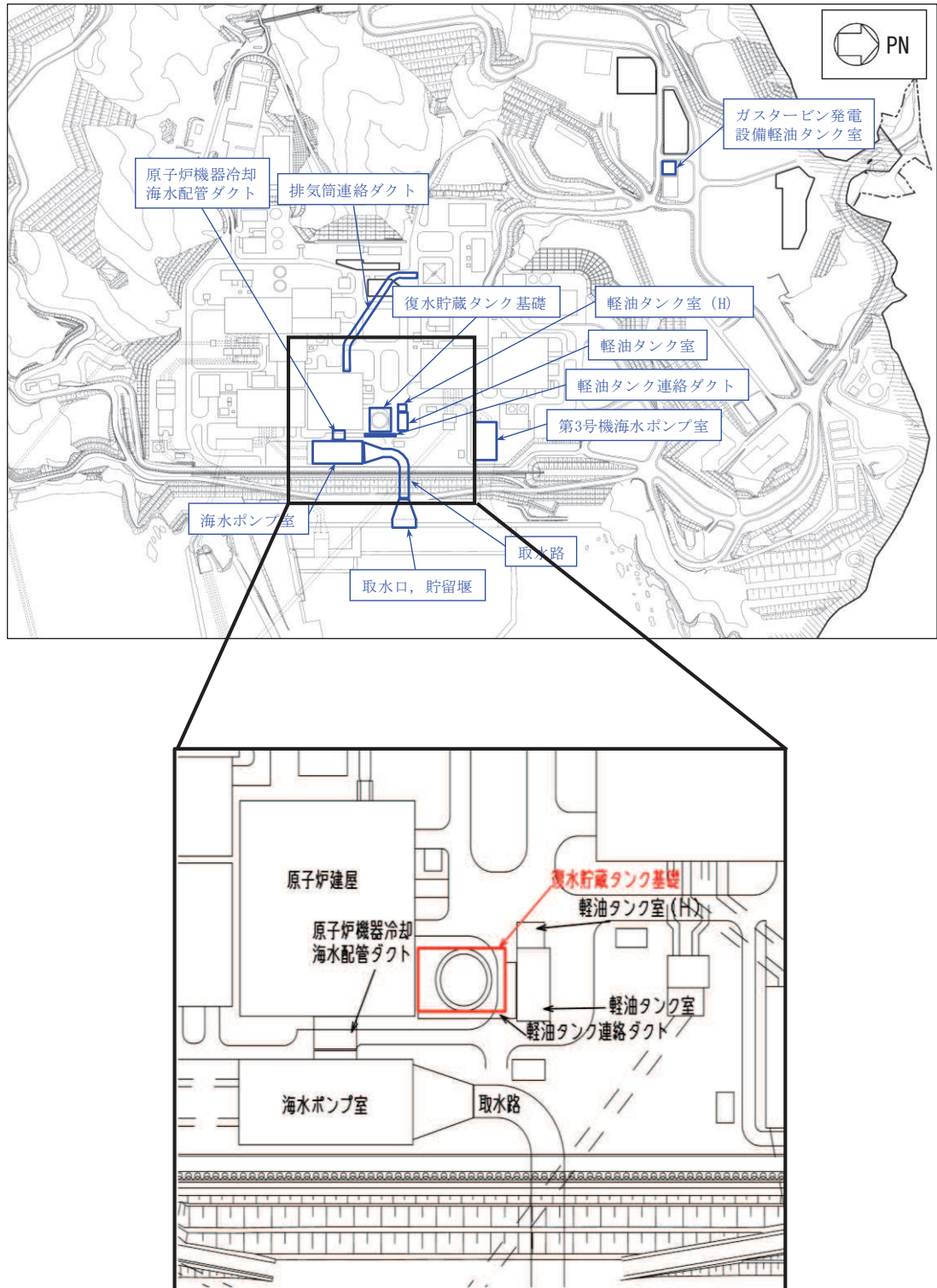


図 2-1 復水貯蔵タンク基礎の位置図

2.2 構造概要

復水貯蔵タンク基礎の平面図を図 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～図 2-11 に示す。

復水貯蔵タンク基礎は、復水貯蔵タンク及び復水移送系配管等をしゃへい壁，バルブ室，連絡ダクト及び基礎版の各部材で間接支持しており，支持機能が要求される。

復水貯蔵タンク基礎は，復水貯蔵タンク等を間接支持する基礎版と円筒形のしゃへい壁等から構成される。基礎版は幅 26.75m（東西）×32.45m（南北），厚さ 5.00m，しゃへい壁は内径 23.10m，壁厚 1.00m（地上部は 0.50m），高さ 8.60m の鉄筋コンクリート造の地中構造物で，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。

復水貯蔵タンク基礎は，面部材として加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁及びしゃへい壁を有する箱形構造物である。

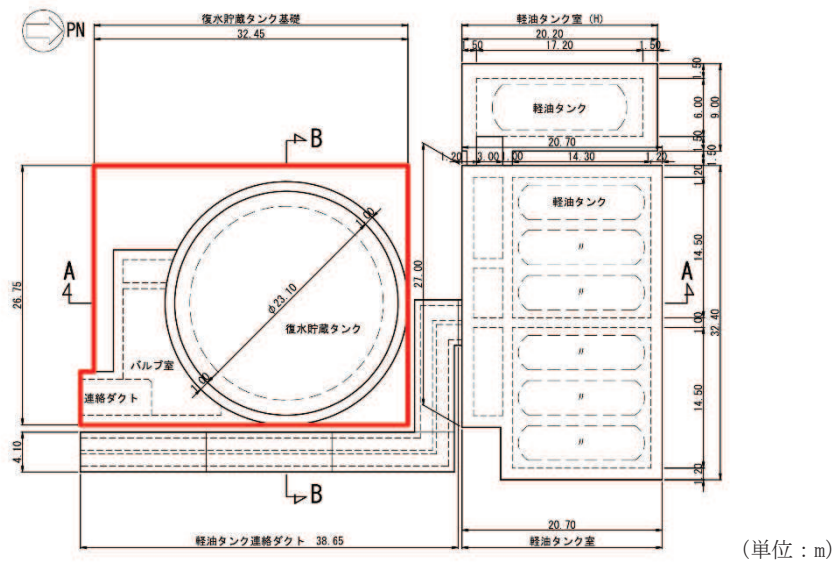


図 2-2 復水貯蔵タンク基礎平面図

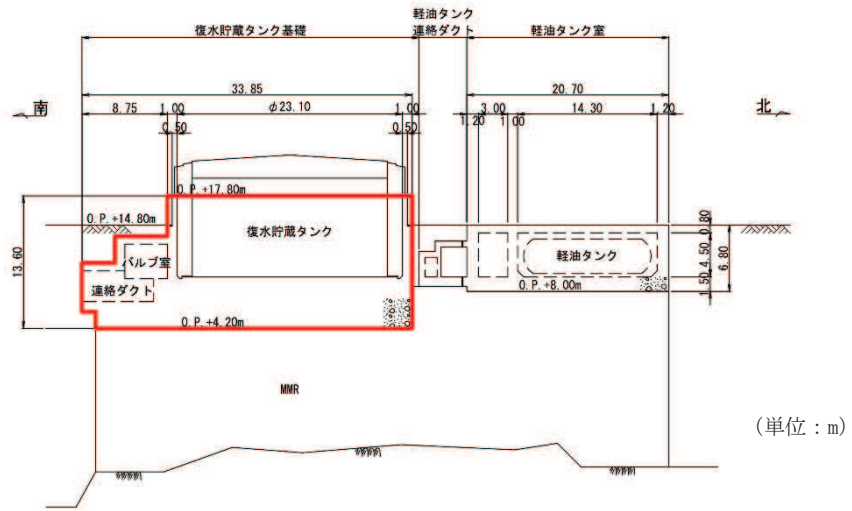


図 2-3 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A 断面, 南北)

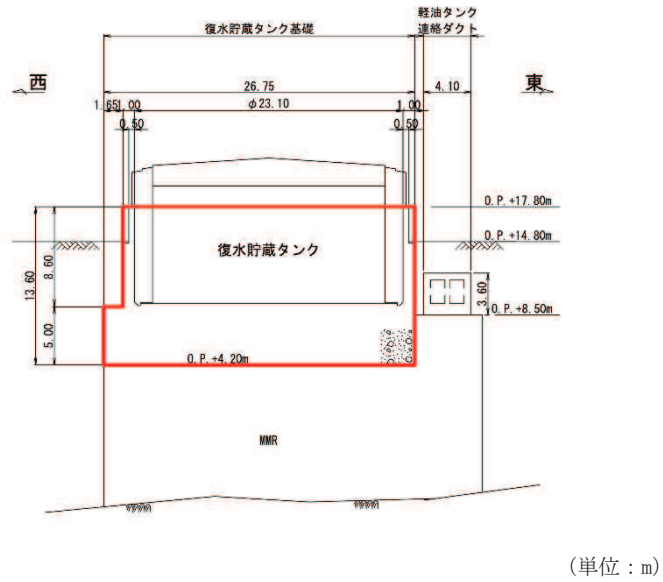


図 2-4 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B 断面, 東西)

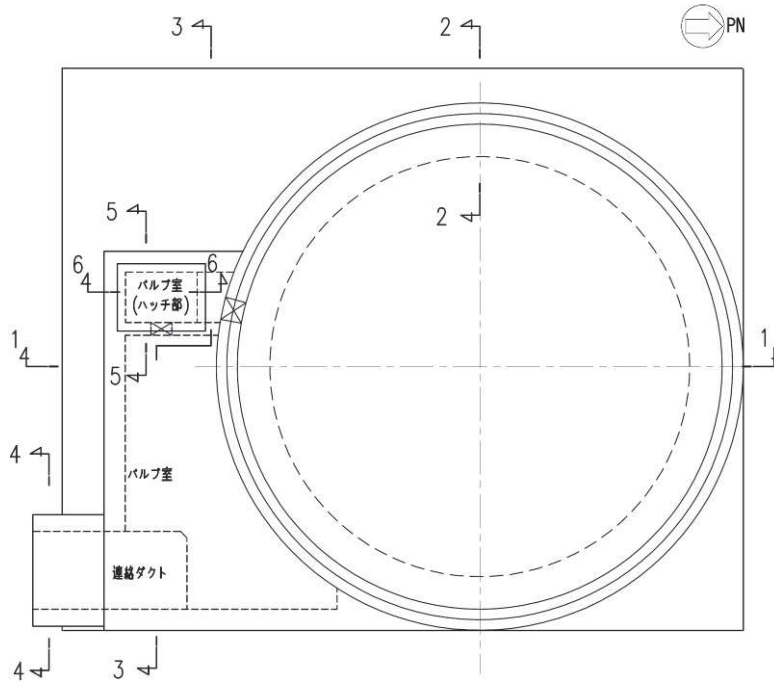


図 2-5 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図 (平面図)

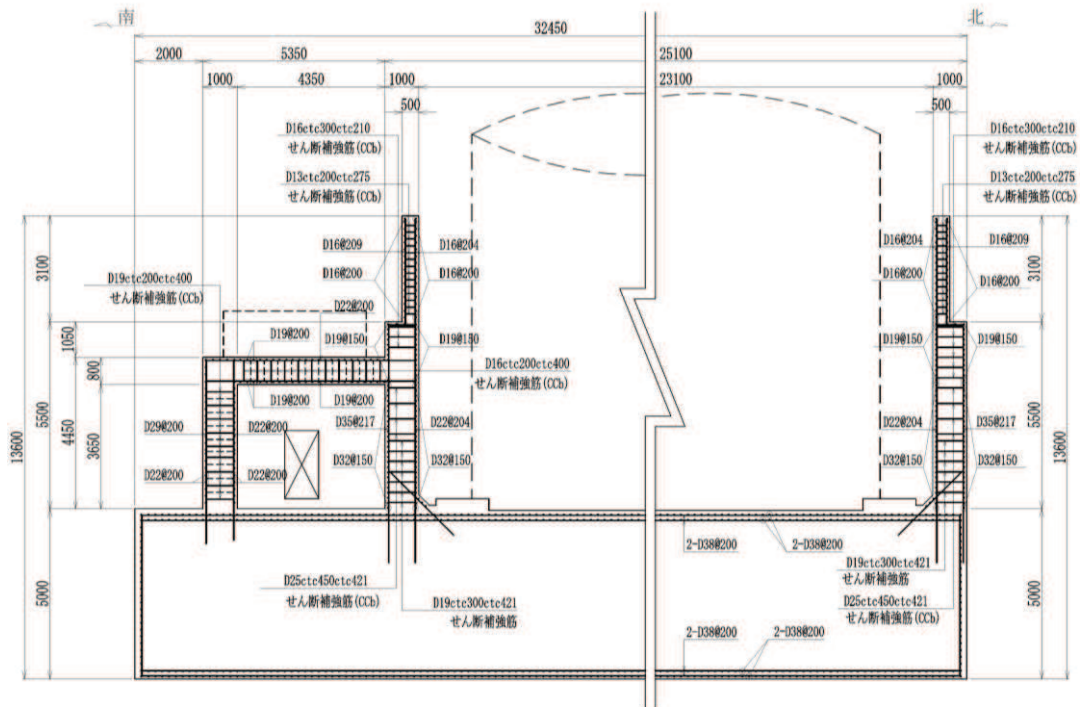


図 2-6 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図 (1-1 断面)

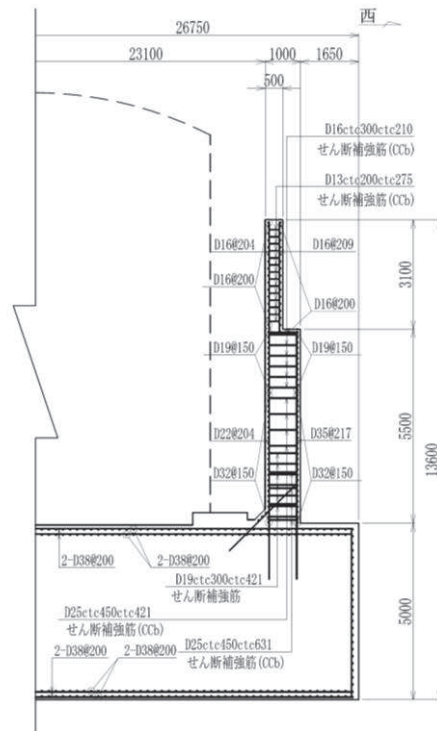


図 2-7 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図(2-2 断面)

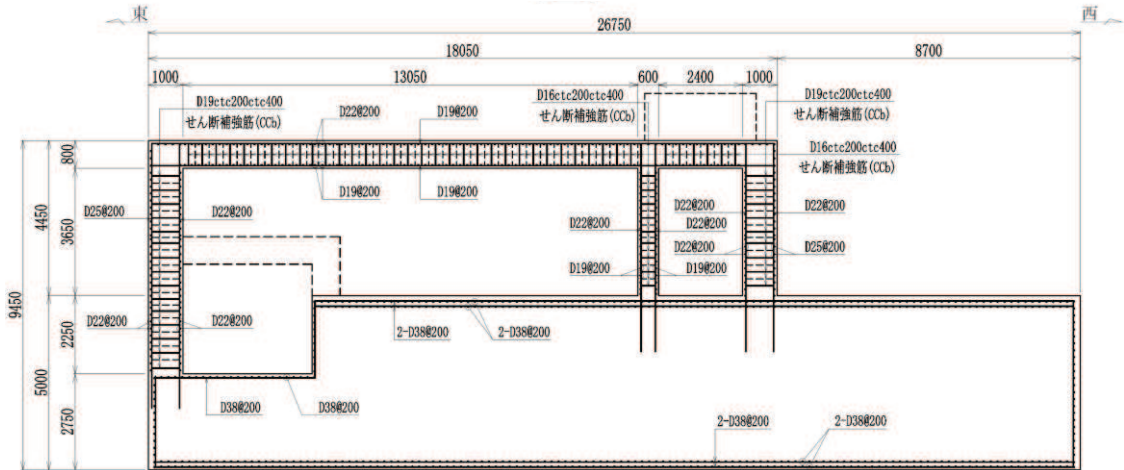


図 2-8 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図(3-3 断面)

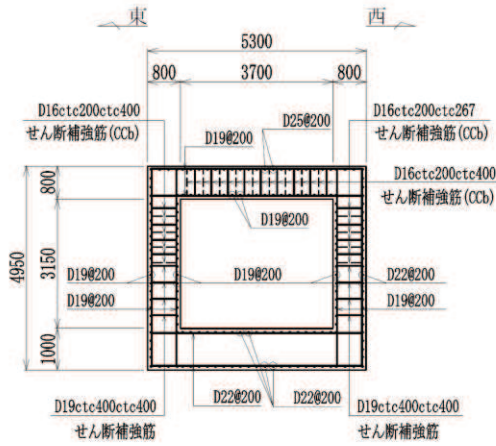


図 2-9 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図(4-4 断面)

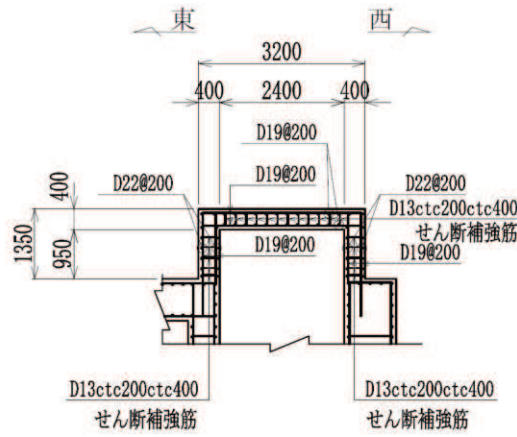


図 2-10 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図(5-5 断面)

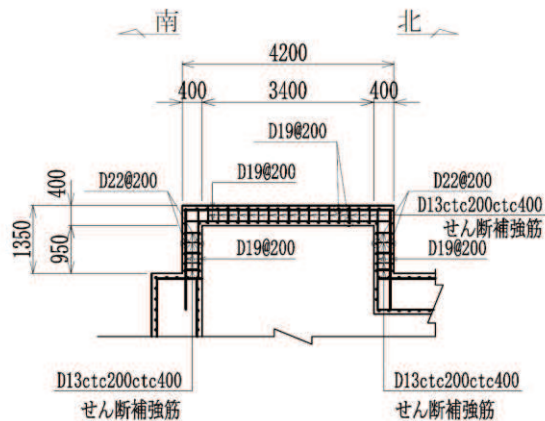


図 2-11 復水貯蔵タンク基礎 概略配筋図(6-6 断面)

2.3 評価方針

復水貯蔵タンク基礎は、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及び常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(以下「常設耐震重要重大事故防止設備等」という。)が設置される重大事故等対処施設に分類される。

復水貯蔵タンク基礎の耐震評価フローを図 2-12 に示す。

復水貯蔵タンク基礎の耐震評価は、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」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 及び表 2-2 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常設耐震重要重大事故防止設備等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-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた、三次元構造解析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・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

復水貯蔵タンク基礎は、「2.2 構造概要」に示すとおり、復水貯蔵タンクを間接支持する基礎版と円筒形のしゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクトから構成されている。基礎版の厚さは 5.0m であり、しゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクトの部材厚と比較して厚く、剛性が異なることから、それぞれ別々の解析モデルとして三次元構造解析を行う。

しゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクトの応答値は、三次元静的材料非線形解析(非線形シェル要素)により算定し、構造部材の健全性評価は、表 2-1 に示すとおり、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、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。

基礎版の応答値は、三次元静的線形解析(線形シェル要素)により算定し、構造部材の健全性評価は、表 2-2 に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対しては、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。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」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。

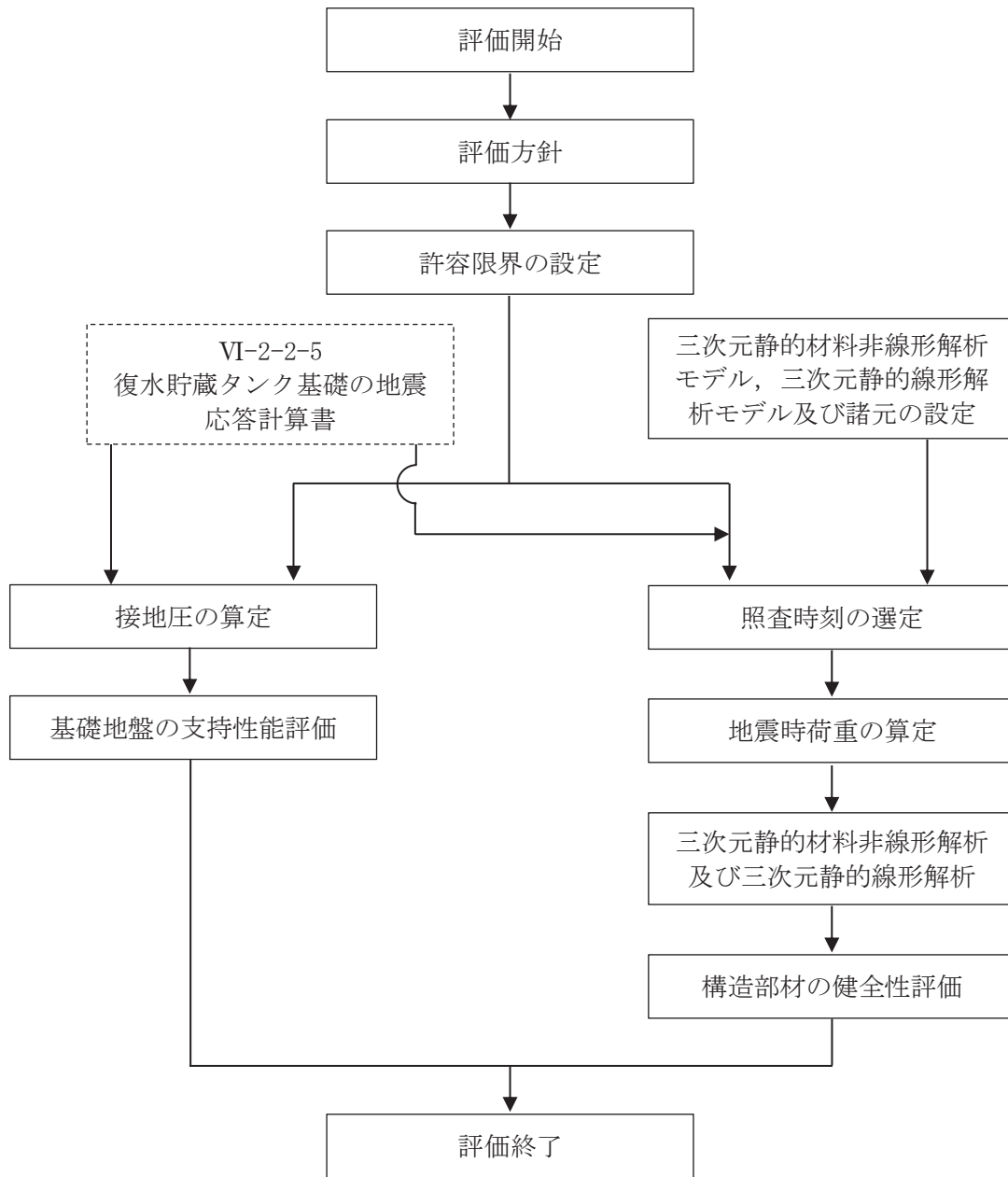


図 2-12 復水貯蔵タンク基礎の耐震評価フロー

表 2-1 復水貯蔵タンク基礎の評価項目（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界		
				せん断力	せん断耐力*	
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		
				せん断力	面外	せん断耐力*
					面内	限界層間変形角*
常設耐震重要重大事故防止設備等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		
				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。

表 2-2 復水貯蔵タンク基礎の評価項目（基礎版）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				せん断力	せん断耐力*
構造強度を有すること及び常設耐震重要重大事故防止設備等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	
	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）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2012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 原子力土木委員会，2005年6月）
- ・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

復水貯蔵タンク基礎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、しゃへい壁及び復水貯蔵タンクを中心を通る基礎長辺方向（A-A断面、南北）及び基礎短辺方向（B-B断面、東西）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、復水貯蔵タンク基礎は基礎版上に円筒形のしゃへい壁が設置された構造であり、強軸方向・弱軸方向が明確ではないことから、基礎長辺方向（A-A断面、南北）及び基礎短辺方向（B-B断面、東西）の両断面に対して耐震評価を実施する。

また、復水貯蔵タンク基礎は、加振方向に平行に配置される面部材（妻壁、隔壁及びしゃへい壁）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等を支持する機能（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モデルにより耐震評価を行う。

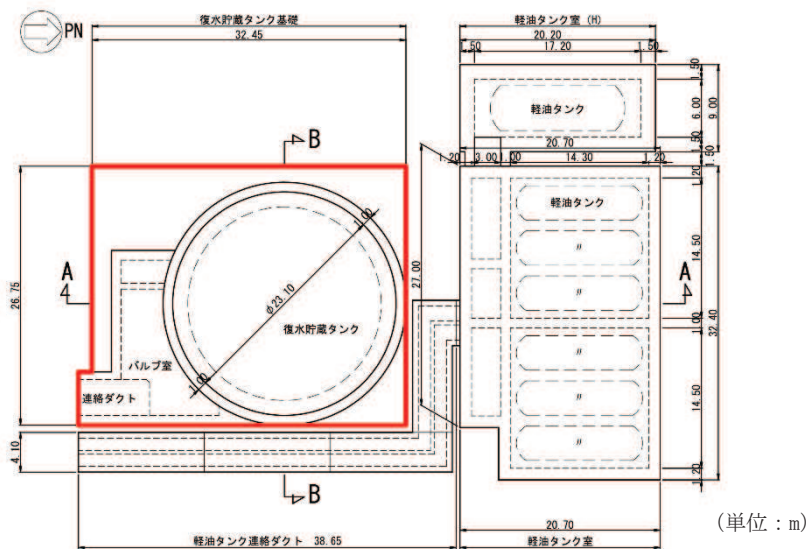


図3-1 復水貯蔵タンク基礎の地震時荷重算出断面位置図

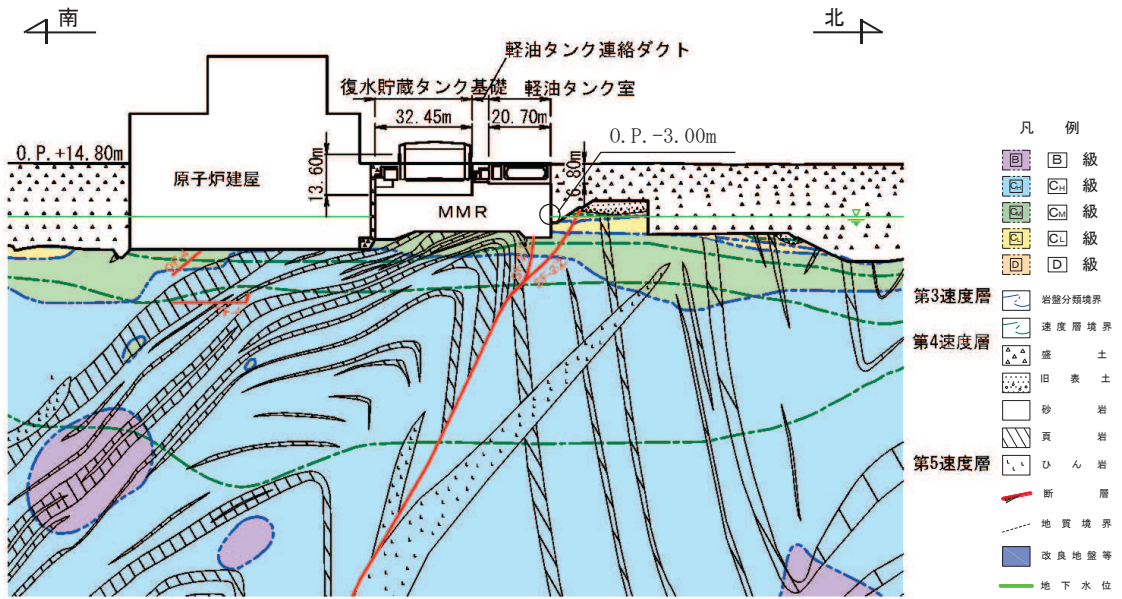


図 3-2 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出用地質断面図 (A-A 断面, 南北)

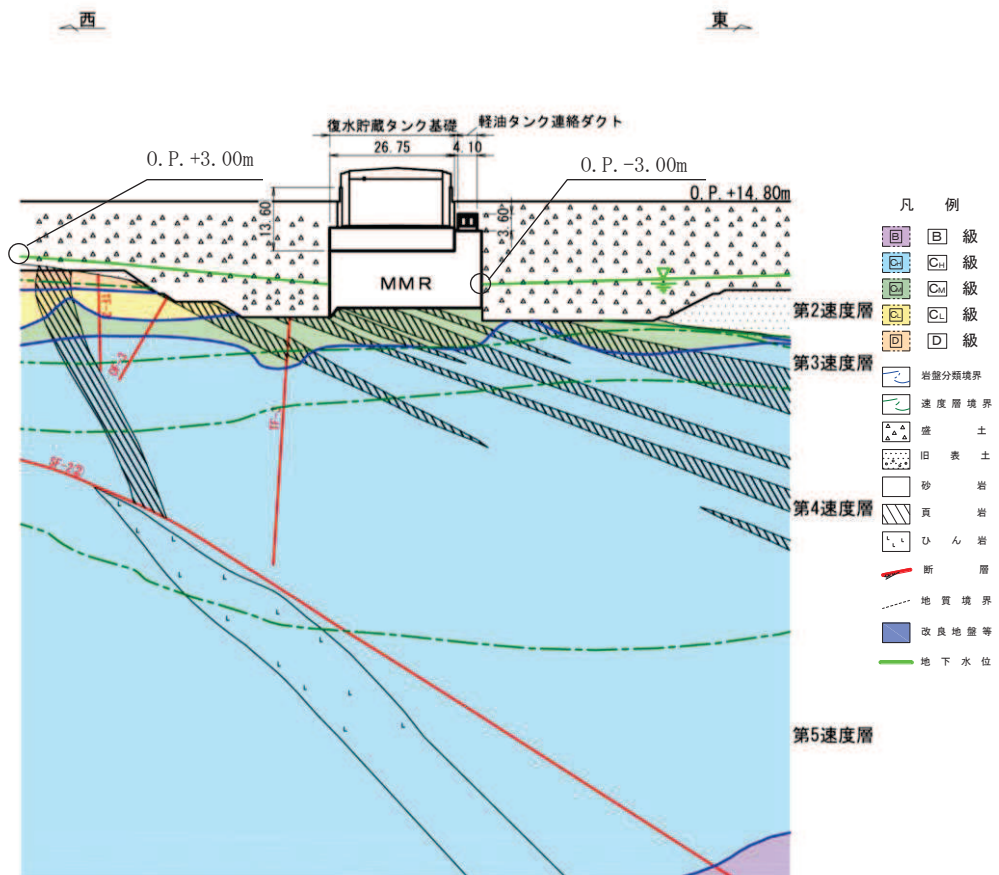


図 3-3 復水貯蔵タンク基礎 地震時荷重算出用地質断面図 (B-B 断面, 東西)

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	しゃへい壁, バルブ室, バルブ室 (ハッチ部) 側壁, 連絡ダクト, 基礎版	設計基準強度 20.5N/mm ²
	バルブ室 (ハッチ部) 頂版	設計基準強度 24.0N/mm ²
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*	3.00×10 ⁴	解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴	解析ケース①, ②, ③
	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

a. シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクト

非線形シェル要素によりモデル化を行うシャへい壁，バルブ室及び連絡ダクトの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建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，屋外重要土木建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，シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクトの各部材のアンカー定着部に要求される常設耐震重要重大事故防止設備等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3-3に示す。

表3-3 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界
(シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクト)

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)
常設耐震重要重大事故防止設備等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

b. 基礎版

線形シェル要素によりモデル化を行う基礎版の構造強度を有することの確認及び常設耐震重要重大事故防止設備等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。

表 3-4 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度（基礎版）

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} = 20.5 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' _{ca}	7.8
許容せん断応力度 τ _{a1}		0.42	0.63

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 3-5 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度（基礎版）

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

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

a. シャヘい壁，バルブ室及び連絡ダクト

非線形シェル要素によりモデル化を行うシャヘい壁，バルブ室及び連絡ダクトの構造強度を有することの確認及び常設耐震重要重大事故防止設備等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。

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）2000 μ（2/1000）とする。層間変形角（面内）2000 μ（2/1000）は、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 4000 μ（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。

b. 基礎版

線形シェル要素によりモデル化を行う基礎版の構造強度を有することの確認及び常設耐震重要重大事故防止設備等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 に示す短期許容応力度とする。

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 支持地盤（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 3-6 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	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、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（既設）の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 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

復水貯蔵タンク基礎の耐震評価は、構造部材の剛性差を考慮して、しゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクトは非線形シェル要素を用いた三次元静的材料非線形解析、基礎版は線形シェル要素を用いた三次元静的線形解析により、それぞれ構造解析を実施する。三次元静的材料非線形解析及び三次元静的線形解析には、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。

三次元構造解析の入力荷重は、添付書類「VI-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析において、復水貯蔵タンク基礎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-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」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、「3.2 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

a. しゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクト

しゃへい壁、バルブ室及び連絡ダクトは、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3-4及び図3-5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3-6及び図3-7に示す。

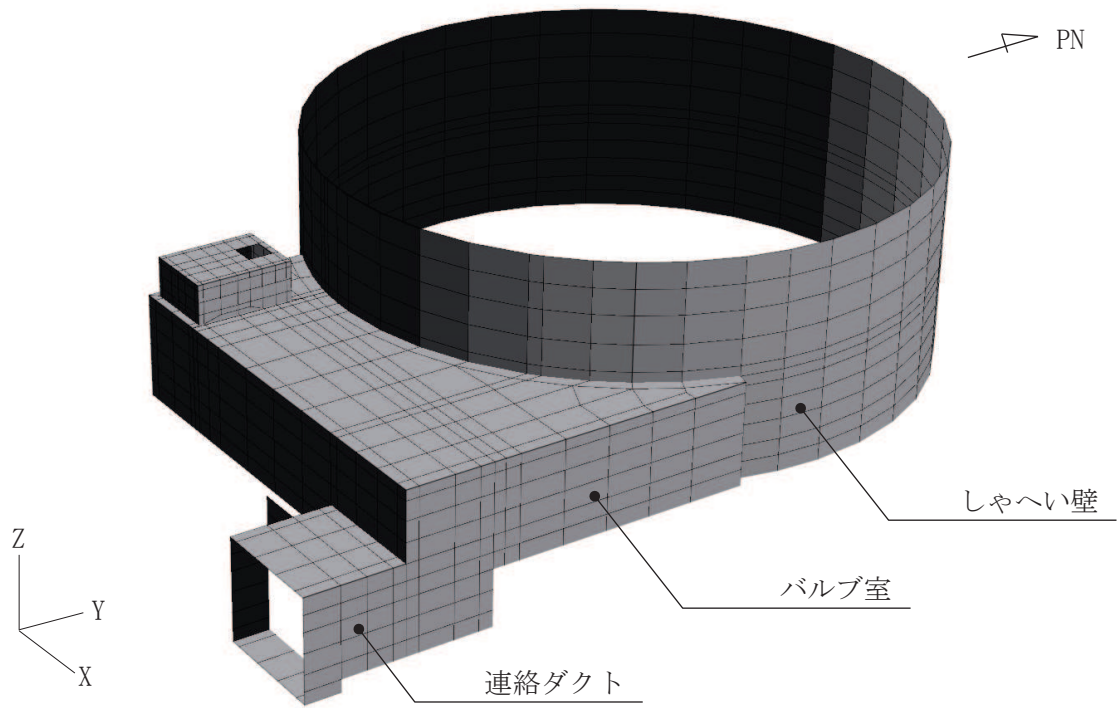


図 3-4 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図，東側から望む）

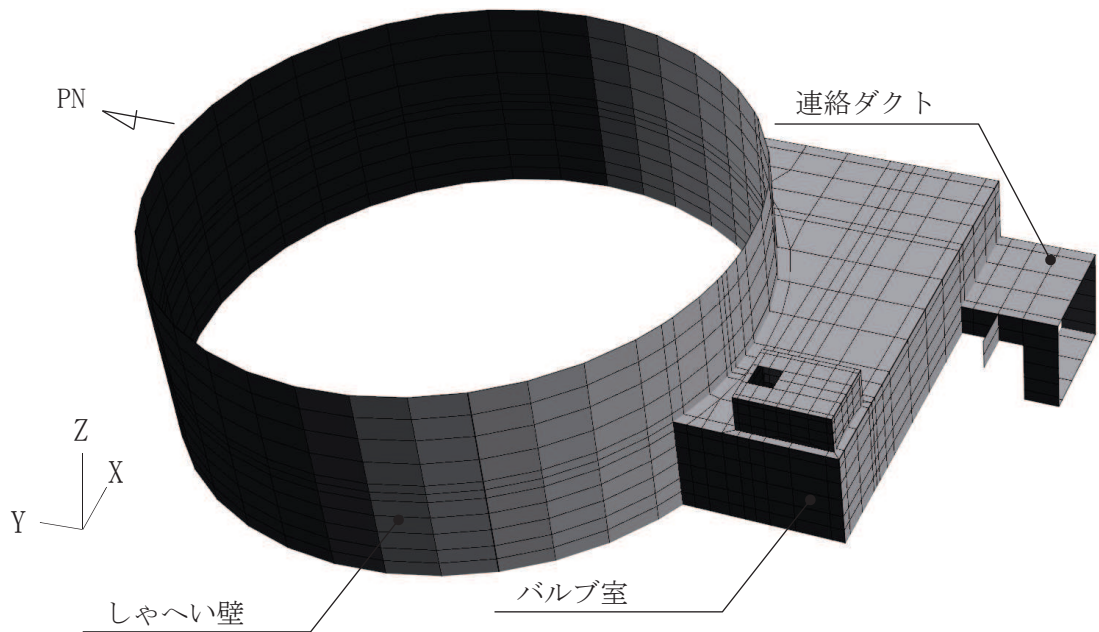


図 3-5 三次元構造解析モデル図（鳥瞰図，西側から望む）

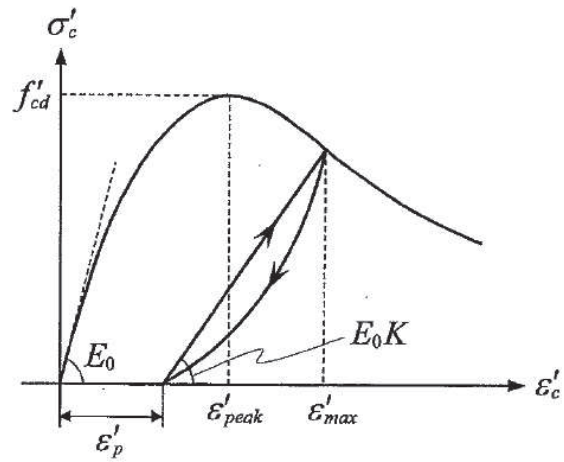


図 3-6 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2017 年制定）より引用）

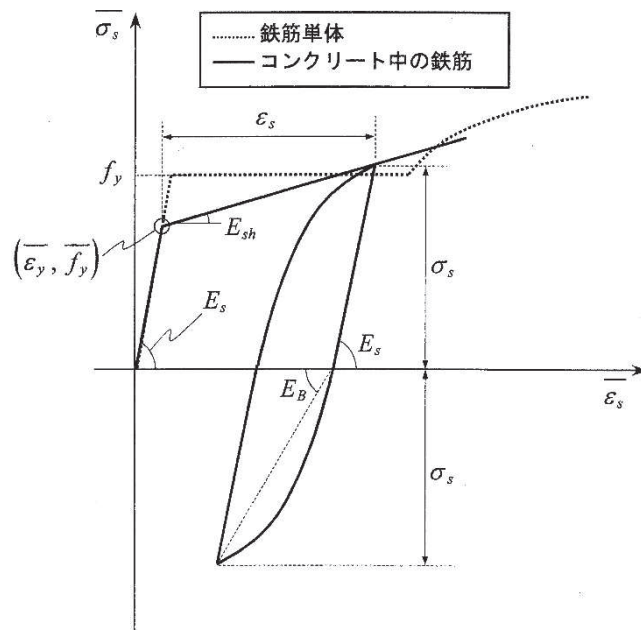


図 3-7 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012 年制定）より引用）

b. 基礎版

基礎版は，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 3-8 に示す。

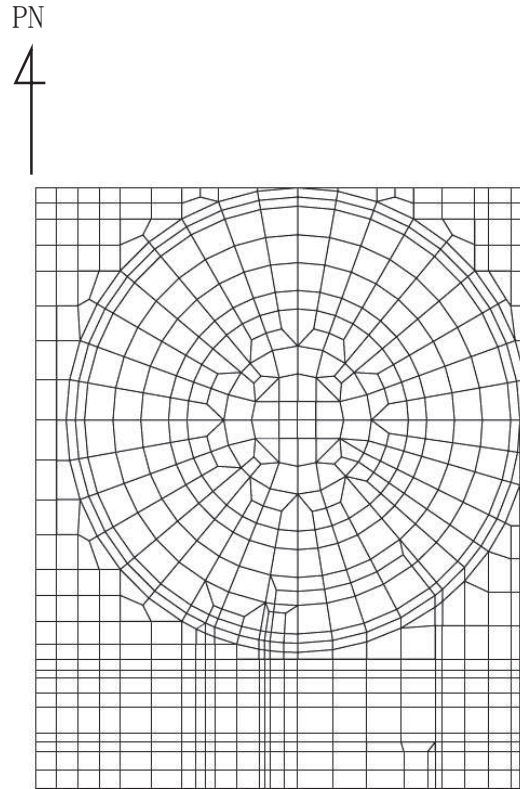


図3-8 基礎版 三次元構造解析モデル図

(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 3-8 にしゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクトの照査時刻を，表 3-9 に基礎版の照査時刻の選定の考え方を示す。

なお，復水貯蔵タンク基礎のうち，しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクトにつ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 3-9 及び図 3-10 に，基礎版につ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 に示す。

表3-8 照査時刻の考え方（しゃへい壁，バルブ室及び連絡ダクト）

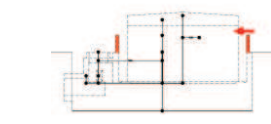
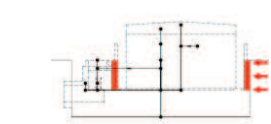
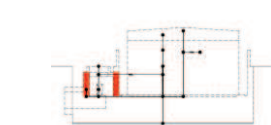
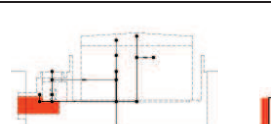
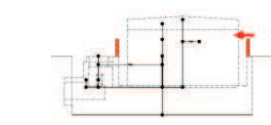
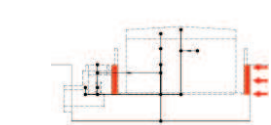
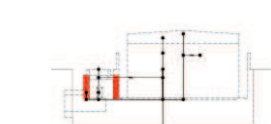
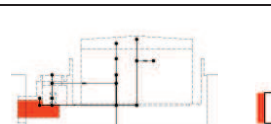
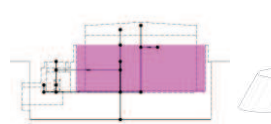
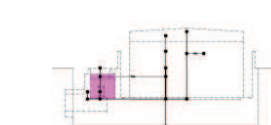
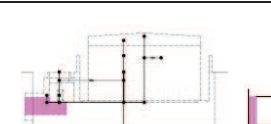
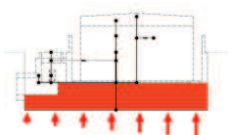
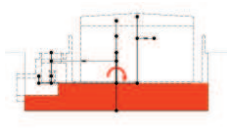
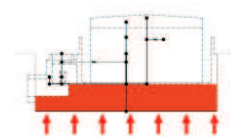
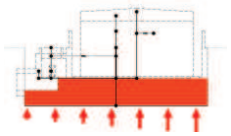
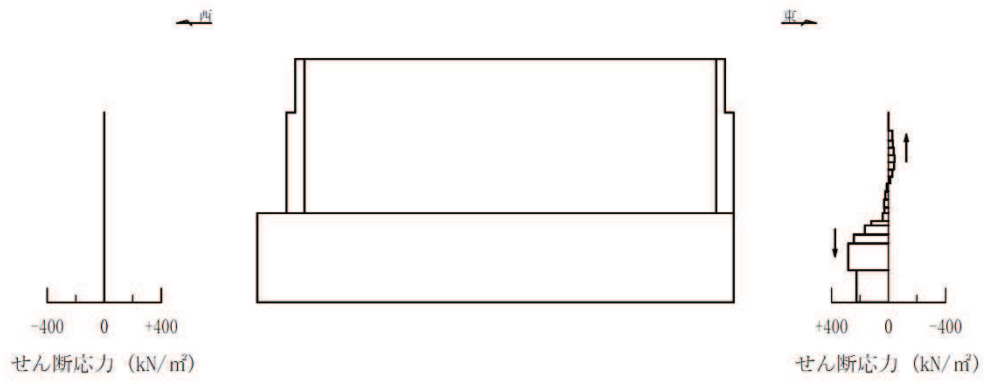
照査時刻	損傷モード	着目部位		加振方向	荷重抽出時刻
時刻 1-1	曲げ・軸力系の破壊	しゃへい壁 (地上部)		東西 南北	しゃへい壁部材（地上部）の転倒モーメントが最大となる時刻
時刻 1-2		しゃへい壁 (地中部)		東西 南北	しゃへい壁部材（地中部）の転倒モーメントが最大となる時刻
時刻 1-3		バルブ室壁		東西 南北	バルブ室頂版～基礎版間の層間変位が最大となる時刻
時刻 1-4		連絡ダクト壁		東西	連絡ダクト頂版～基礎版間の層間変位が最大となる時刻
時刻 1-5	せん断破壊 (面外)	しゃへい壁 (地上部)		東西 南北	しゃへい壁部材（地上部）の総水平荷重が最大となる時刻
時刻 1-6		しゃへい壁 (地中部)		東西 南北	しゃへい壁部材（地中部）の総水平荷重が最大となる時刻
時刻 1-7		バルブ室壁		東西 南北	総水平荷重が最大となる時刻 (バルブ室下端のせん断力が最大となる時刻)
時刻 1-8		連絡ダクト壁		東西	総水平荷重が最大となる時刻 (連絡ダクト下端のせん断力が最大となる時刻)
時刻 1-9	せん断破壊 (面内)	しゃへい壁		東西 南北	しゃへい壁部材の層間変位が最大となる時刻
時刻 1-10 (時刻 1-3)		バルブ室壁		東西 南北	バルブ室頂版～基礎版間の層間変位が最大となる時刻
時刻 1-11		連絡ダクト壁		南北	連絡ダクト頂版～基礎版間の層間変位が最大となる時刻

表3-9 照査時刻の考え方（基礎版）

照査時刻	損傷モード	着目部位		加振方向	荷重抽出時刻
時刻 2-1	曲げ・軸力 系の破壊	基礎版 (全体)		東西 南北	基礎版に作用する総転倒モーメントが最大となる時刻
時刻 2-2		基礎版 (局所的)		東西 南北	各上部構造（しゃへい壁，バルブ室，連絡ダクト，復水貯蔵タンク）の下端位置曲げモーメントが最大となる時刻
時刻 2-3	せん断破壊 (面外)	基礎版 (全体)		東西 南北	地盤反力の合計値が最大となる時刻
時刻 2-4		基礎版 (局所的)		東西 南北	最大地盤反力発生時刻



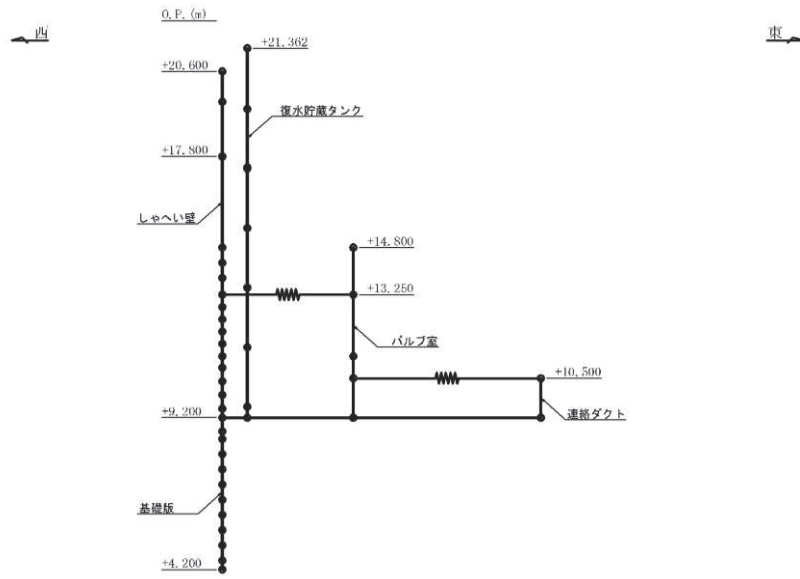
直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 3-9 作用荷重分布図 (しゃへい壁, バルブ室及び連絡ダクトの照査: 直応力及びせん断応力)
(解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)



地震応答解析 構造物モデル (水平)

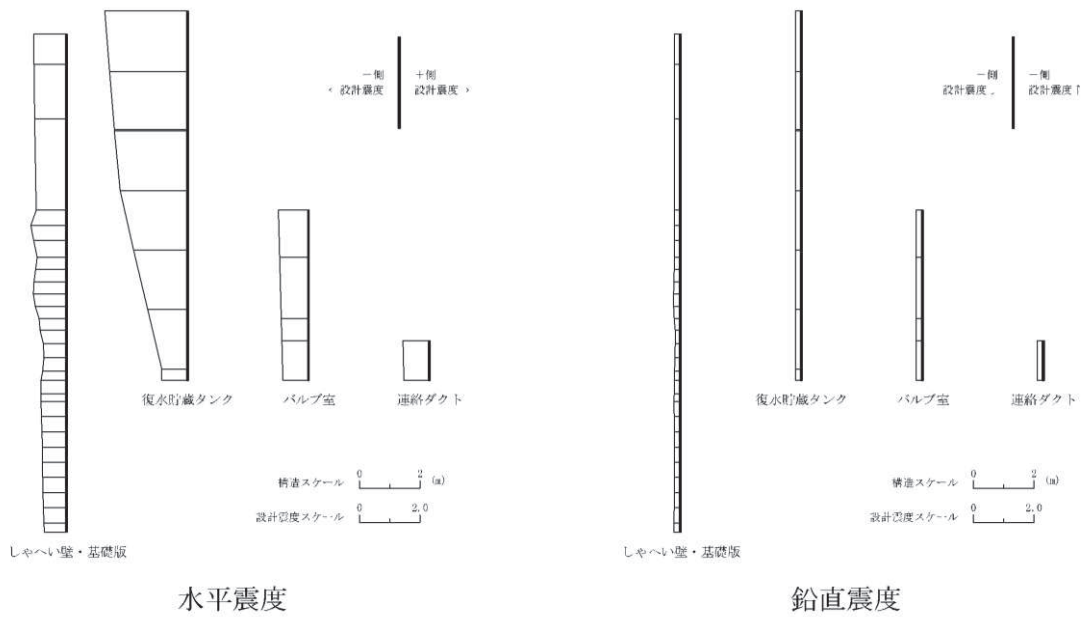
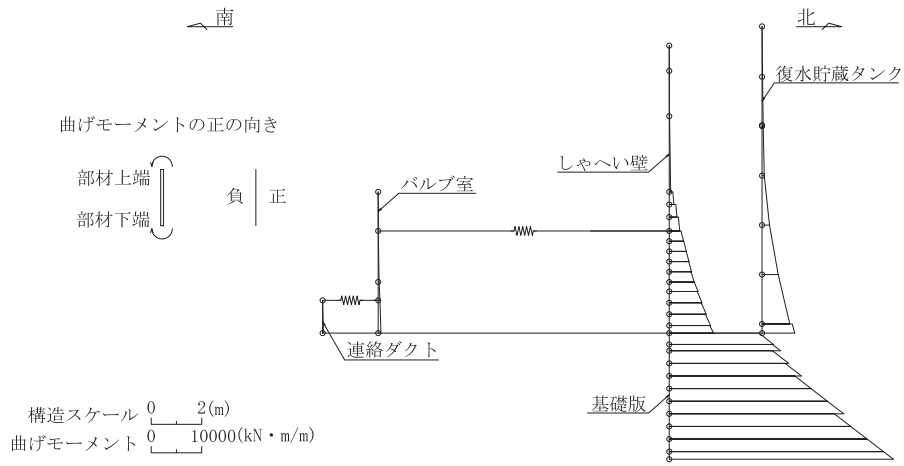
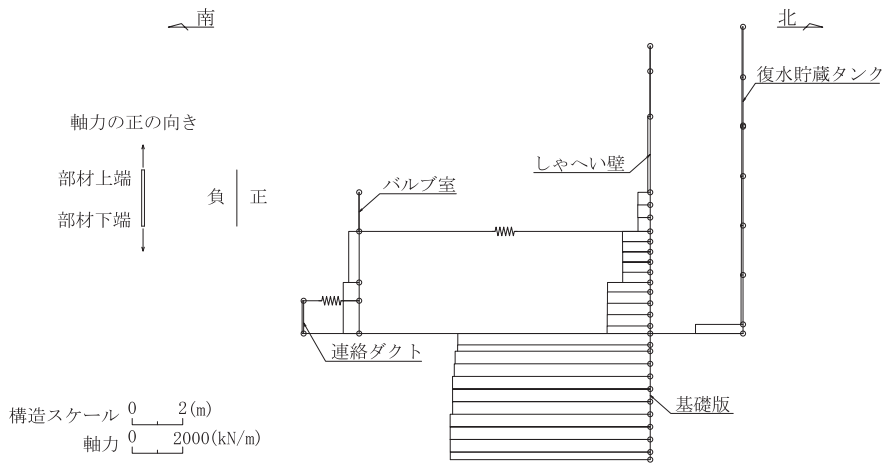


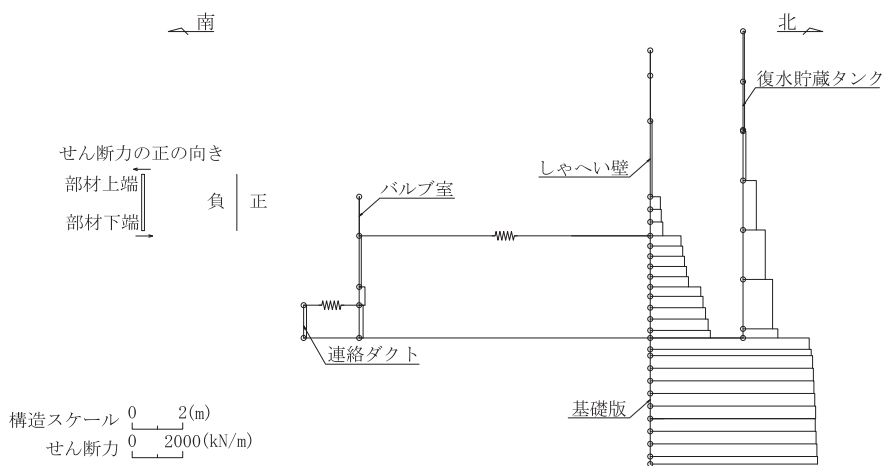
図 3-10 作用荷重分布図 (しゃへい壁, バルブ室及び連絡ダクトの照査: 設計震度分布)
(解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力



(c) せん断力

図 3-11 作用荷重分布図 (基礎版の照査)
(解析ケース②, 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-2-2-5 復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書」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 3-10 に示す。

表 3-10 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

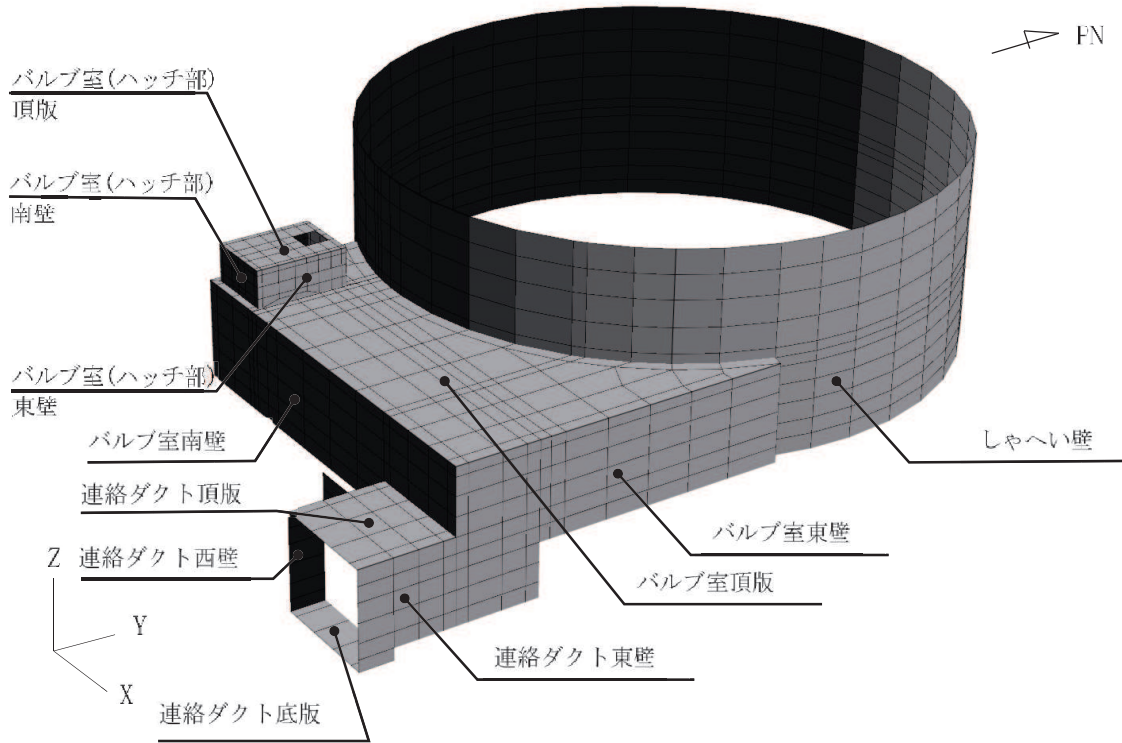
基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎岩盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

4. 構造部材の地震時応答

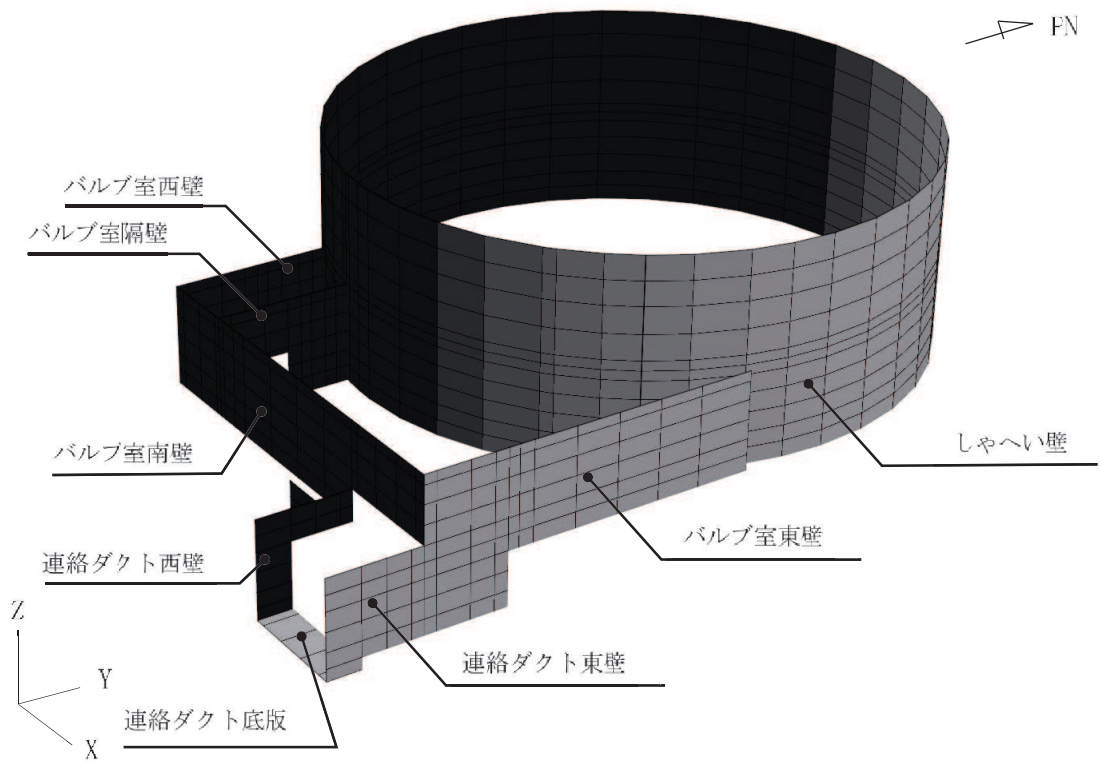
4.1 シャヘい壁，バルブ室及び連絡ダクト

三次元静的材料非線形解析に基づく，シャヘい壁，バルブ室及び連絡ダクトの地震時応答結果を示す。各部材位置を図4-1及び図4-2に，各部材の要素座標系を図4-3に，シェル要素における各要素の断面力の方向を図4-4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4-5及び図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。

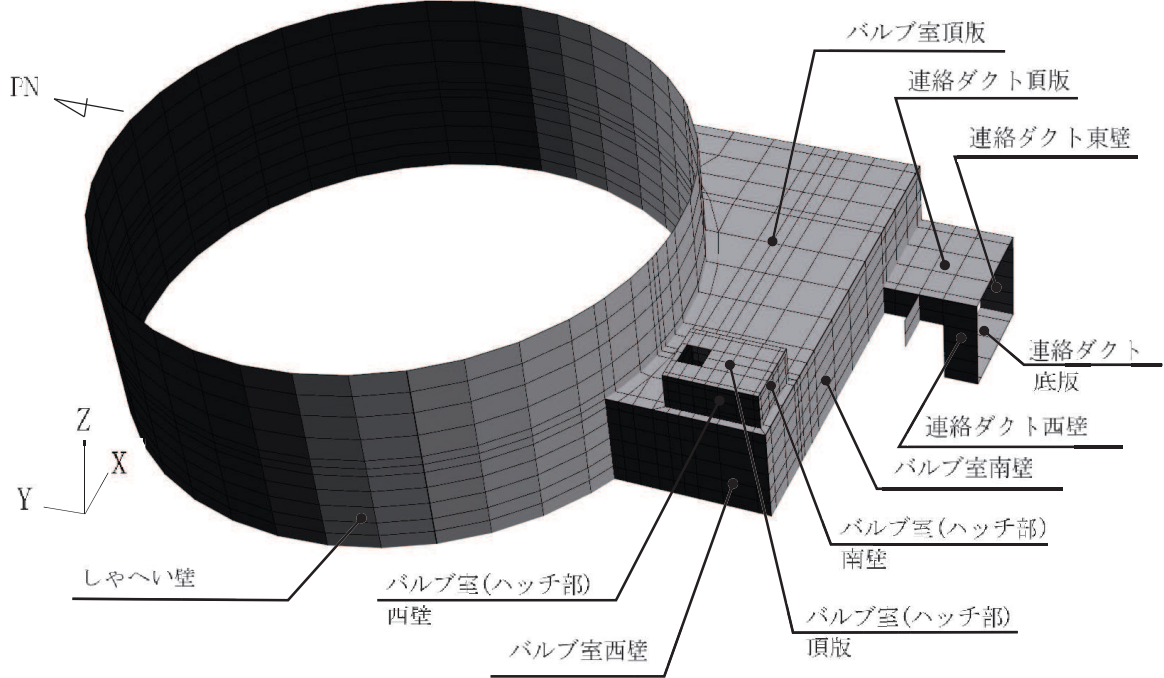


(a) バルブ室及び連絡ダクト頂版表示

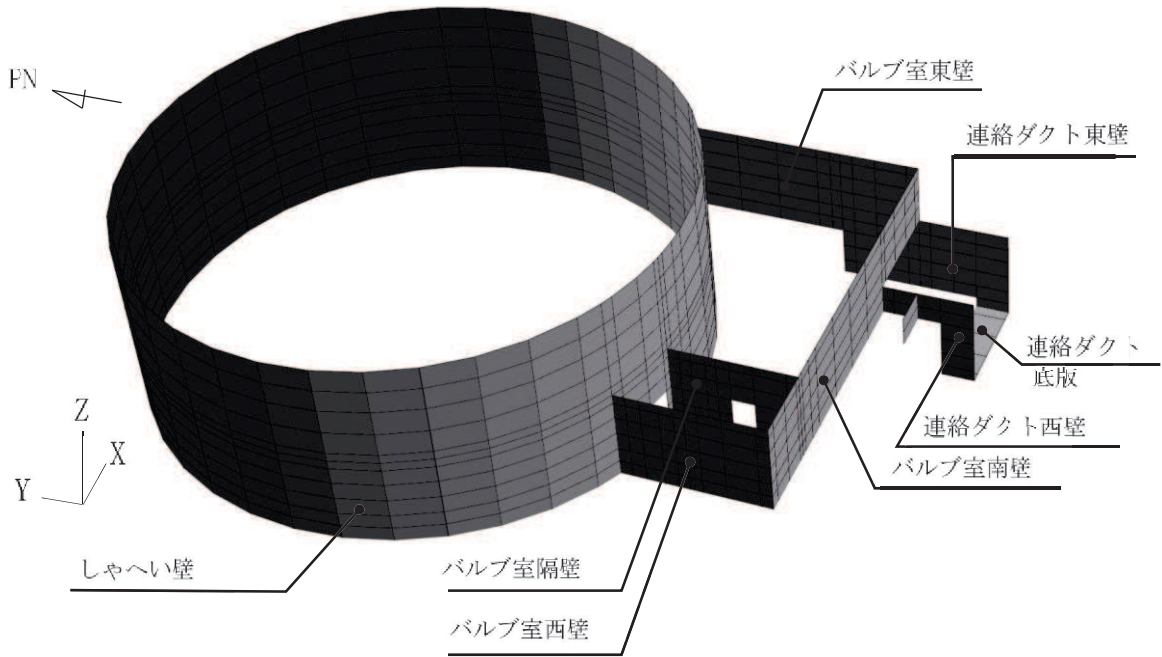


(b) バルブ室及び連絡ダクト頂版非表示

図 4-1 各部材位置 (東側から望む)

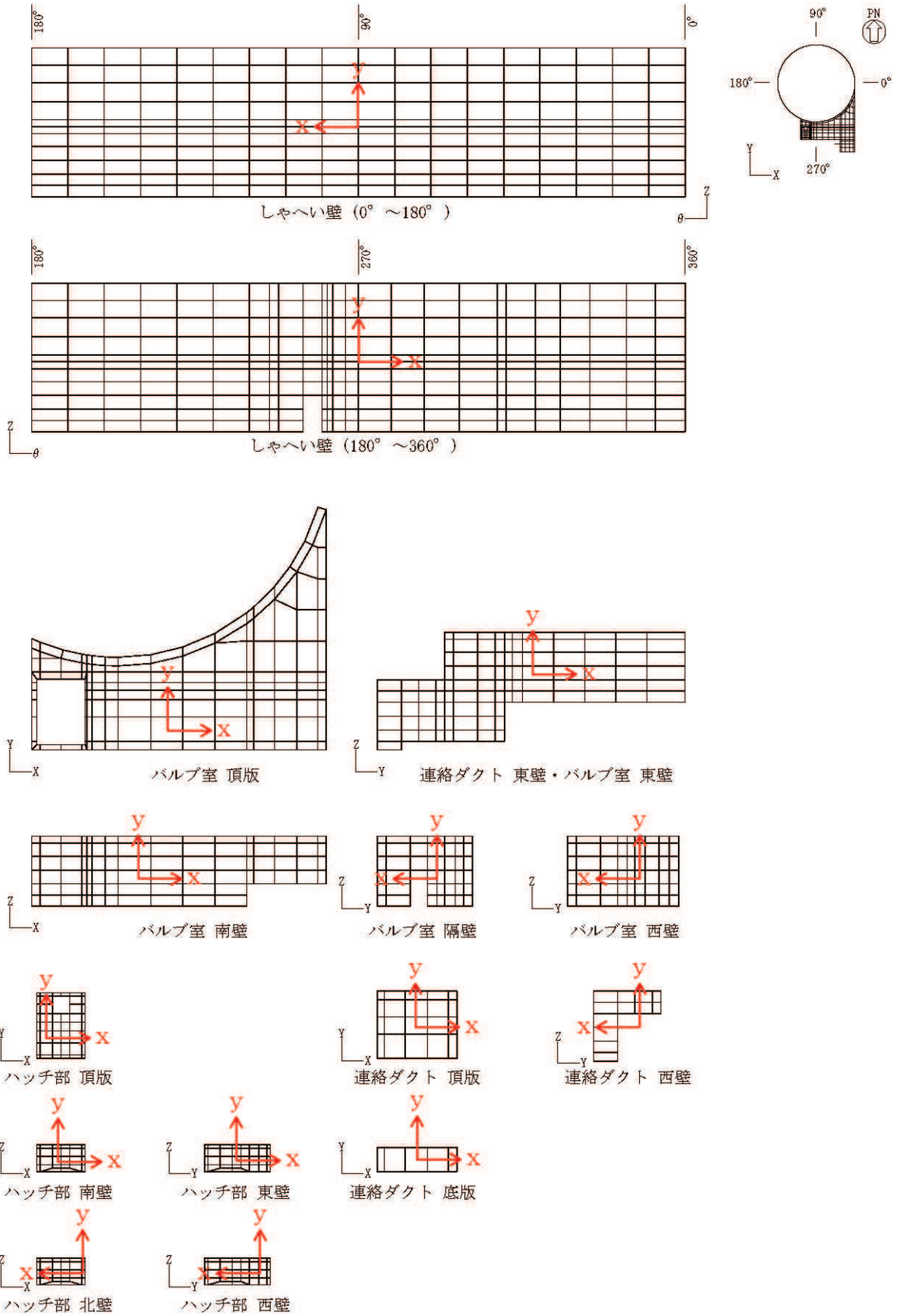


(a) バルブ室及び連絡ダクト頂版表示



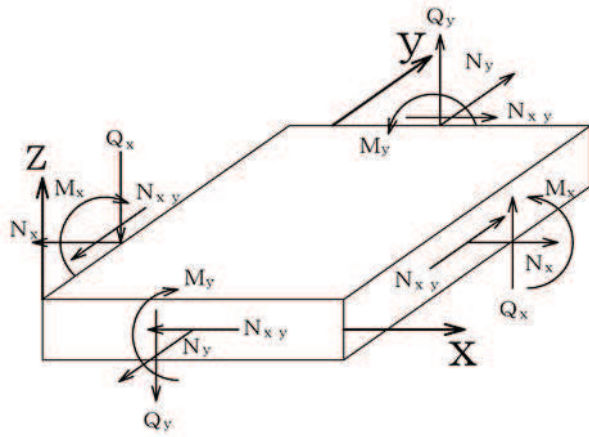
(b) バルブ室及び連絡ダクト頂版非表示

図 4-2 各部材位置 (西側から望む)



黒：全体座標系を示す
 赤：要素座標系を示す

図 4-3 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 4-4 シェル要素における断面力の方向

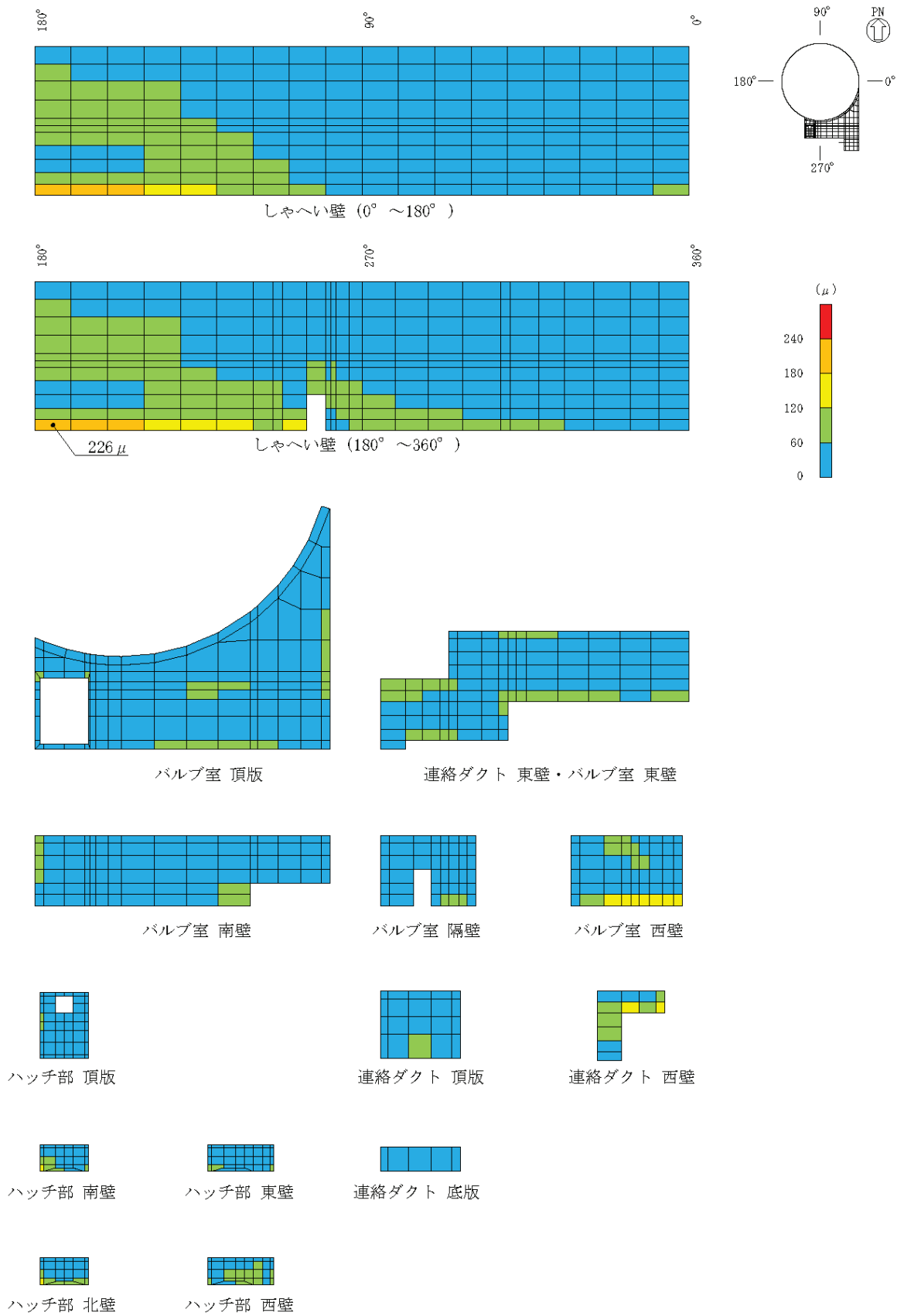


図 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (コンクリート)
 (しやへい壁 (地中部), 解析ケース①, S s - D 2 (-+), 東西)

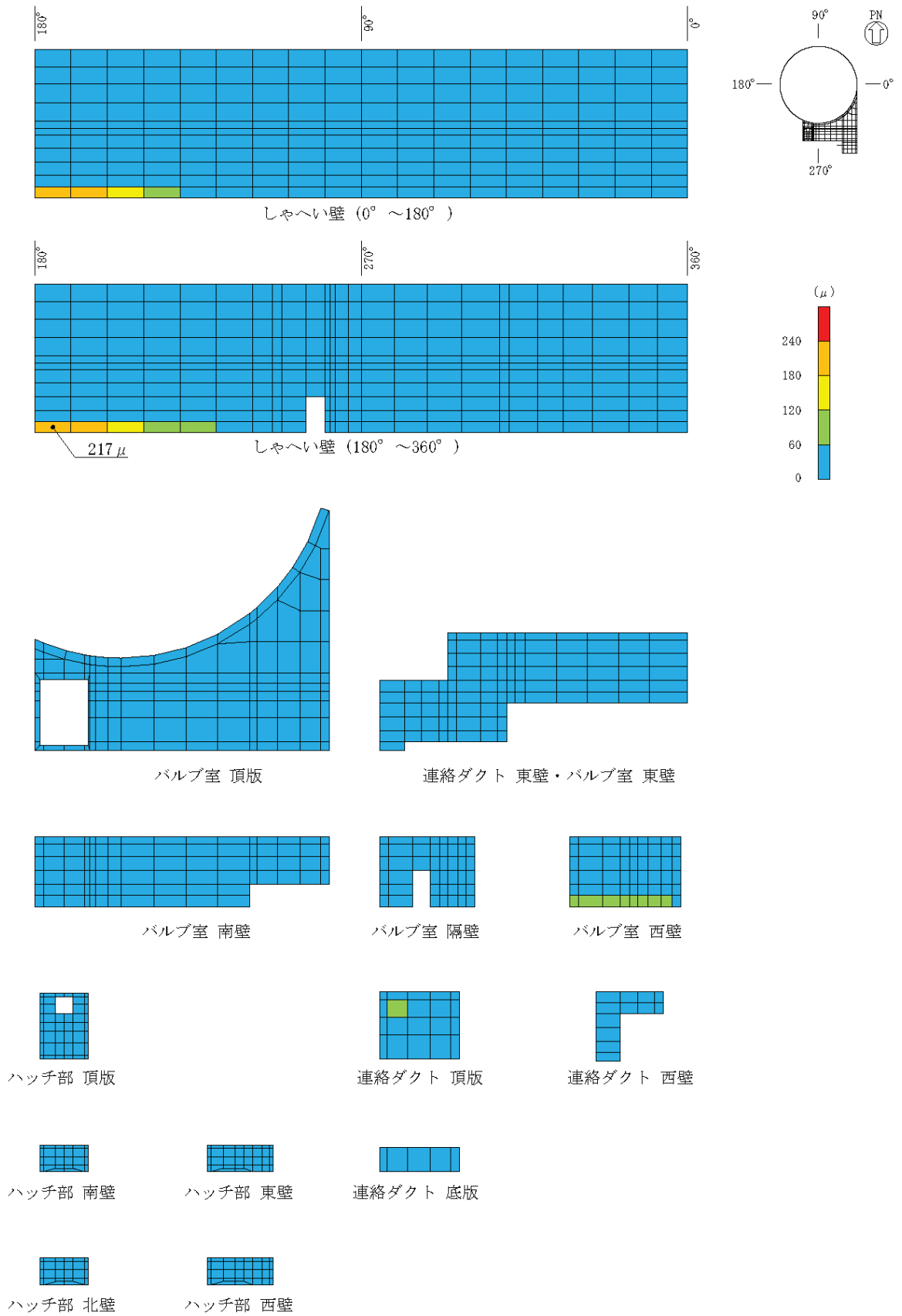


図 4-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図 (鉄筋)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース①, S s - D 2 (-+), 東西)

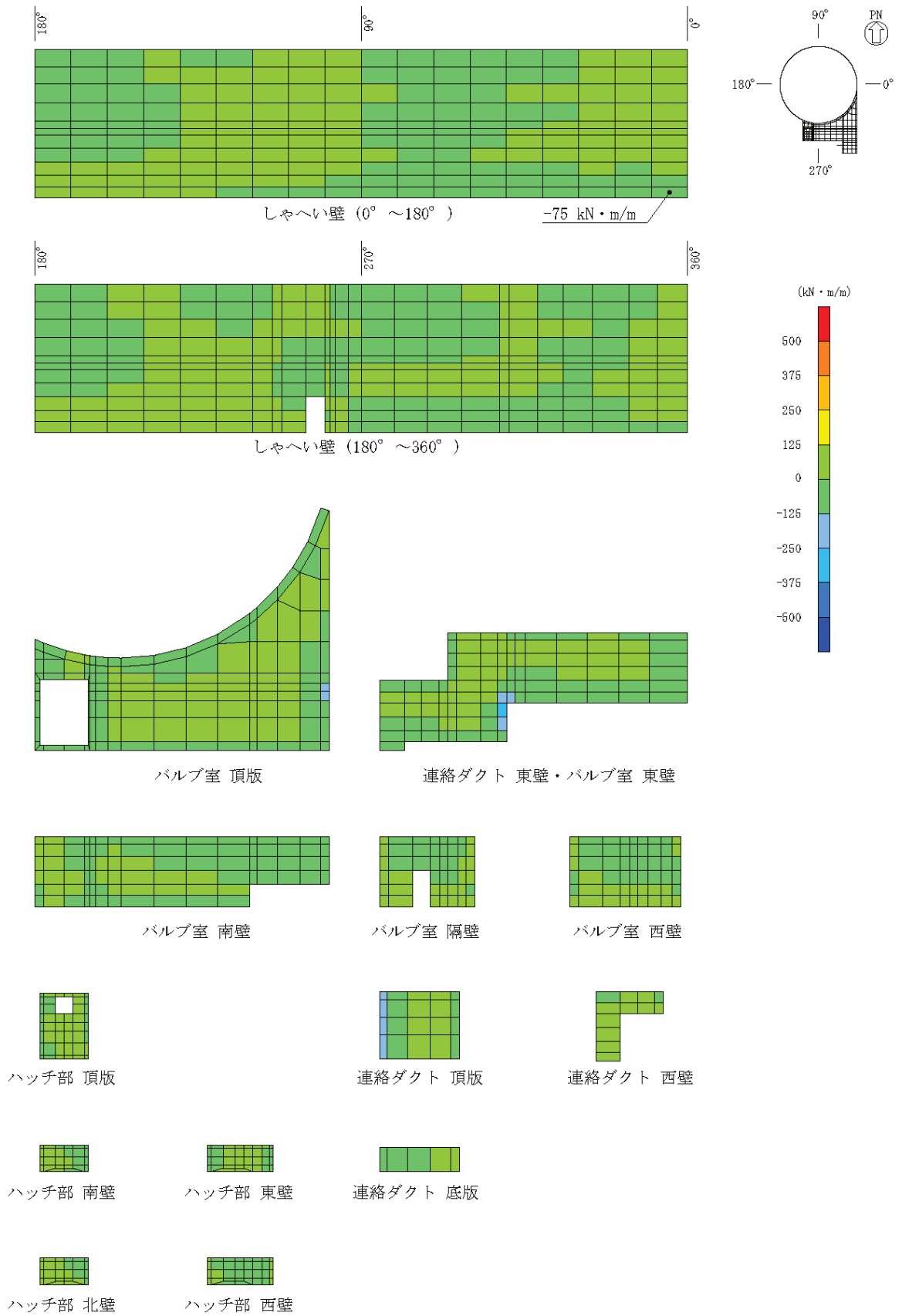


図 4-7 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

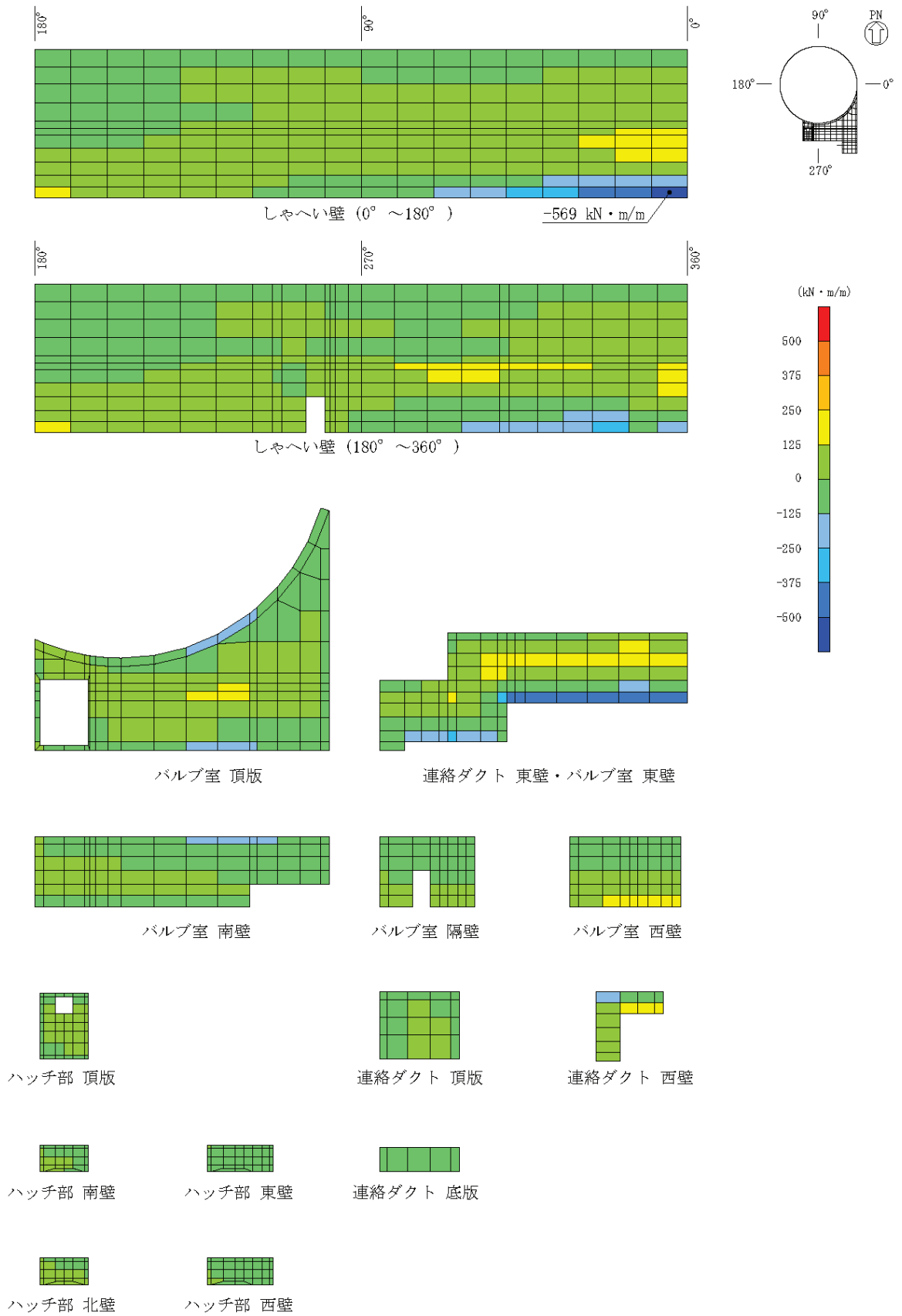


図 4-8 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : M_y)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

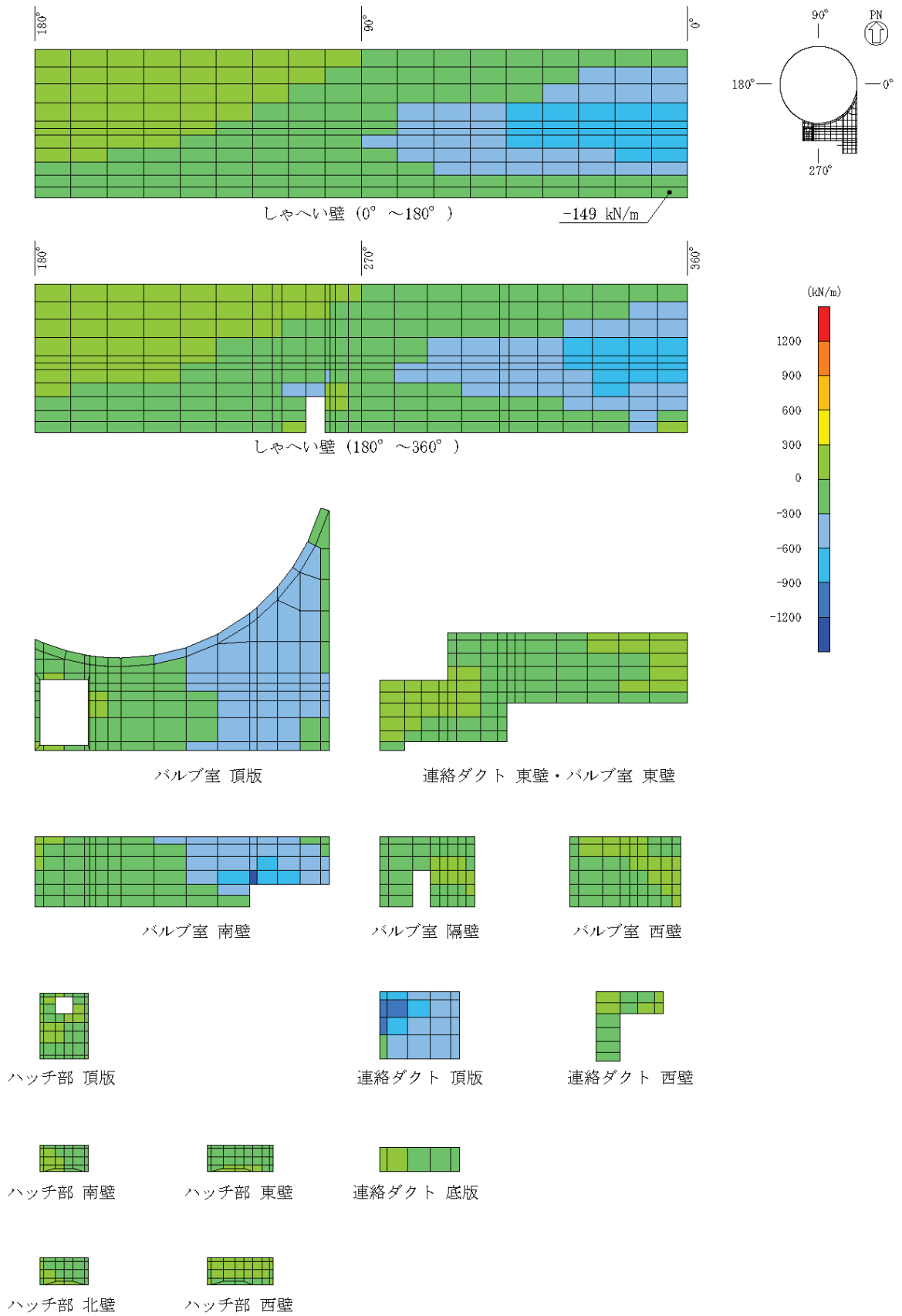


図 4-9 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

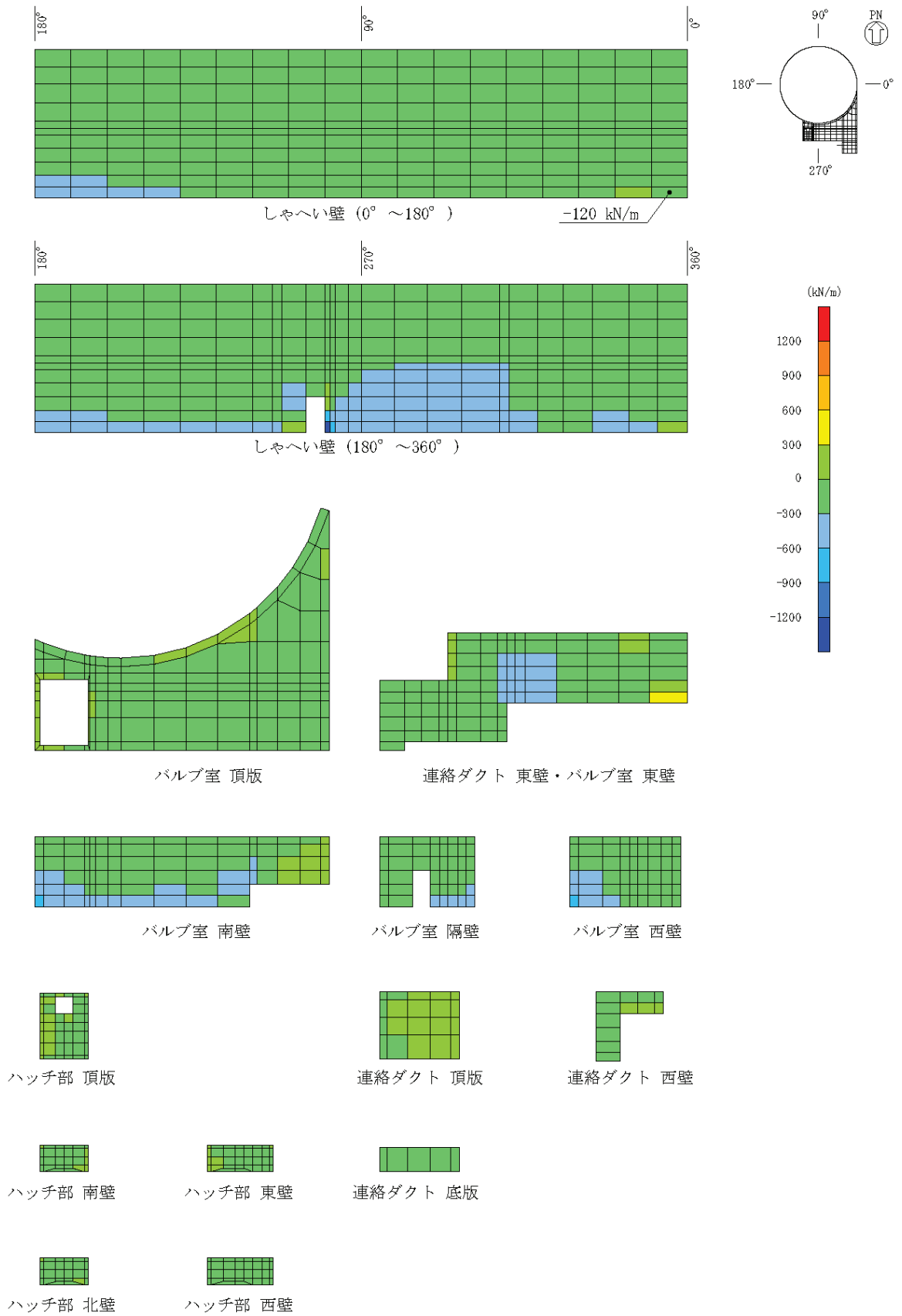


図 4-10 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

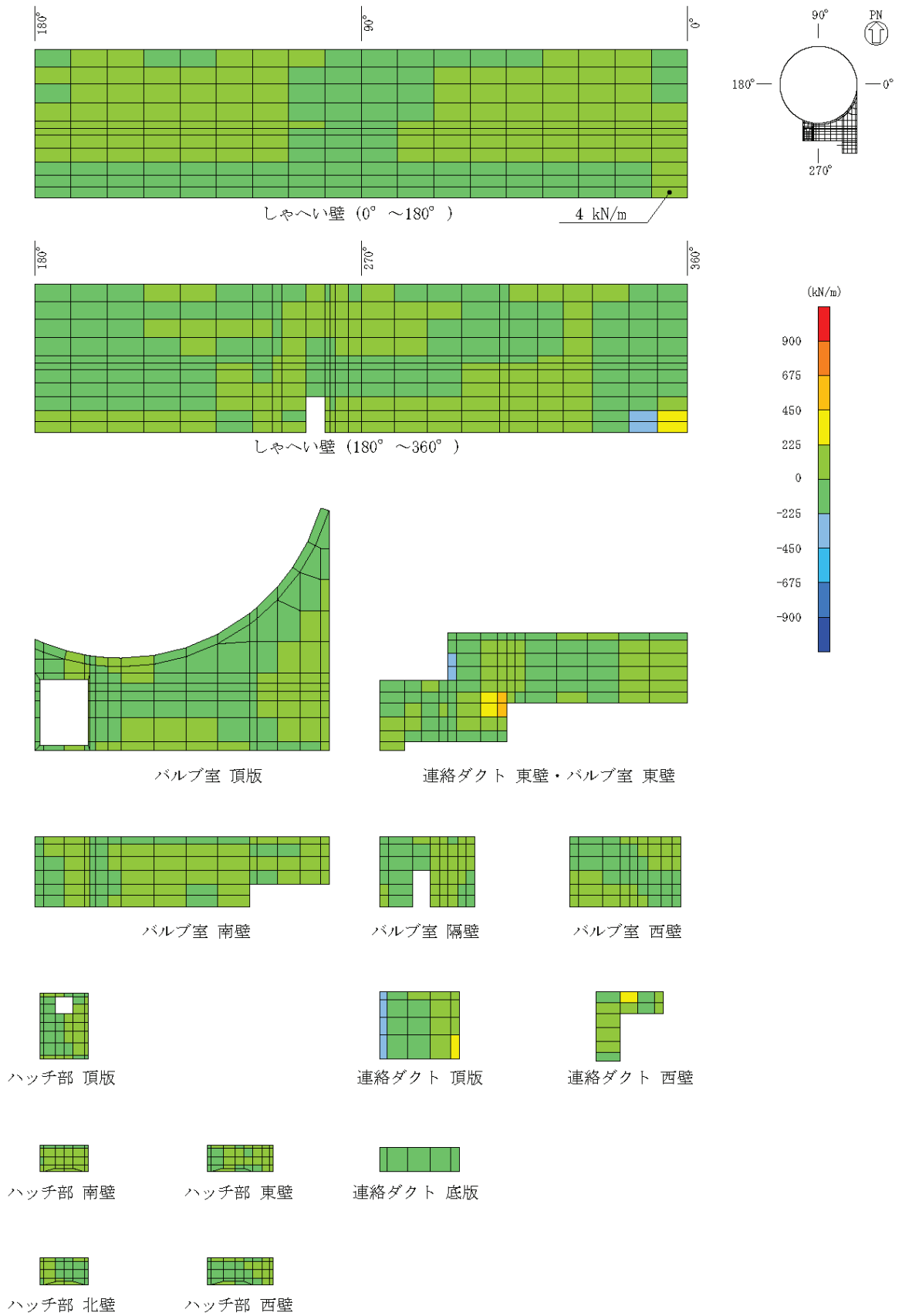


図 4-11 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (しやへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

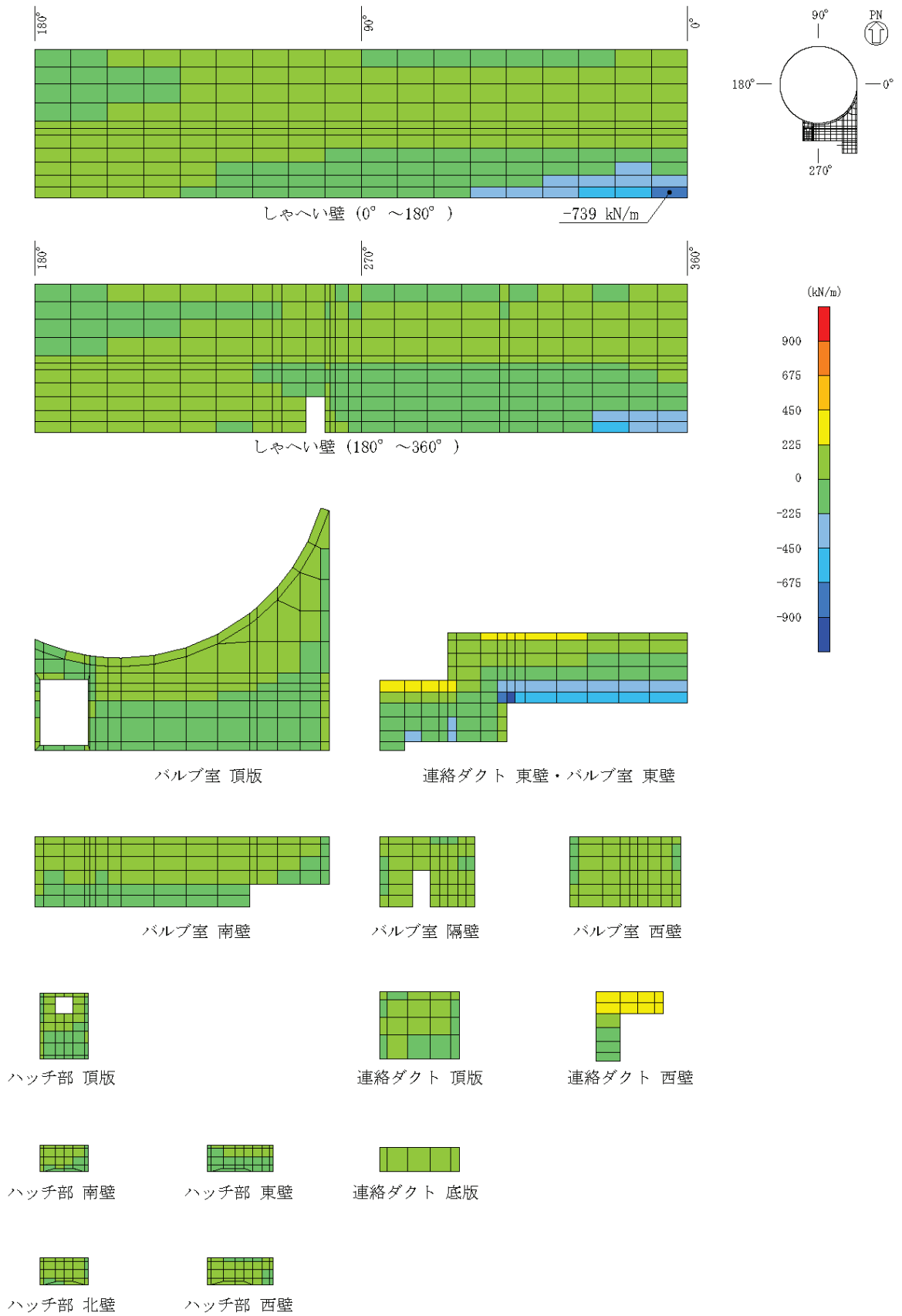


図 4-12 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (しゃへい壁 (地中部), 解析ケース②, S s - D 2 (++) , 東西)

4.2 基礎版

三次元静的線形解析に基づく、基礎版の地震時応答結果を示す。基礎版の要素座標系を図 4-13 に、シェル要素における各要素の断面力の方向を図 4-4 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 4-14～図 4-18 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 4-19 及び図 4-20 に示す。

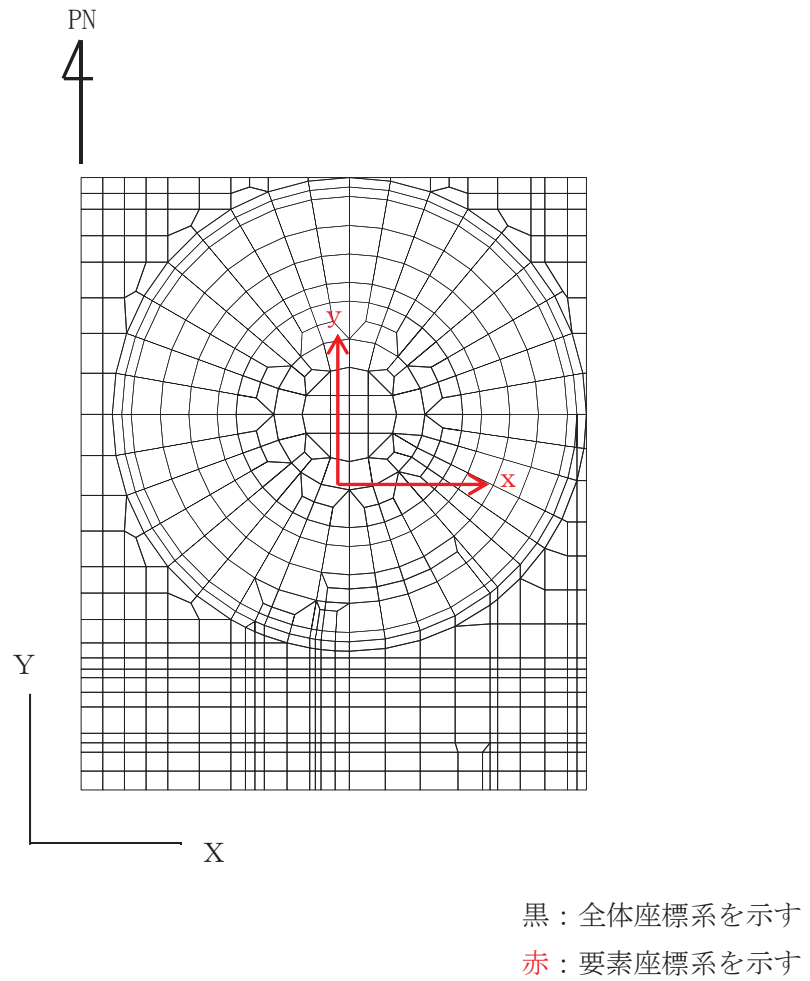


図 4-13 基礎版の要素座標系

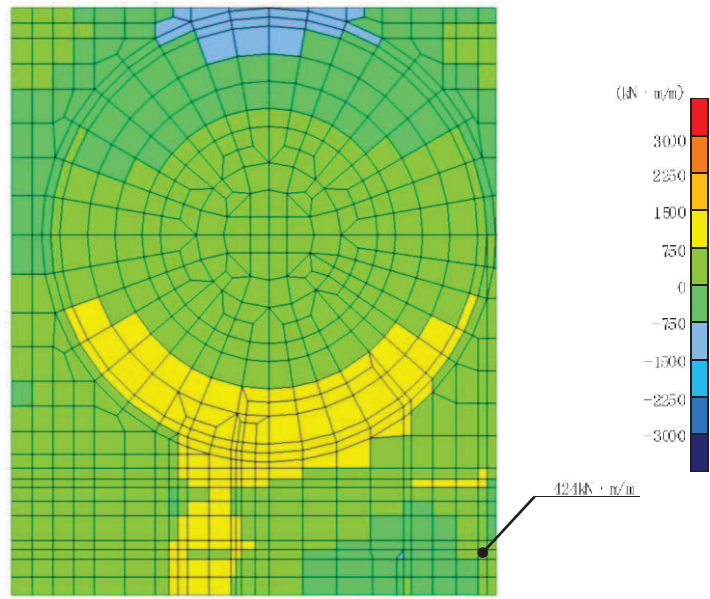


図 4-14 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (解析ケース②, S s - D 2 (++) , 南北)

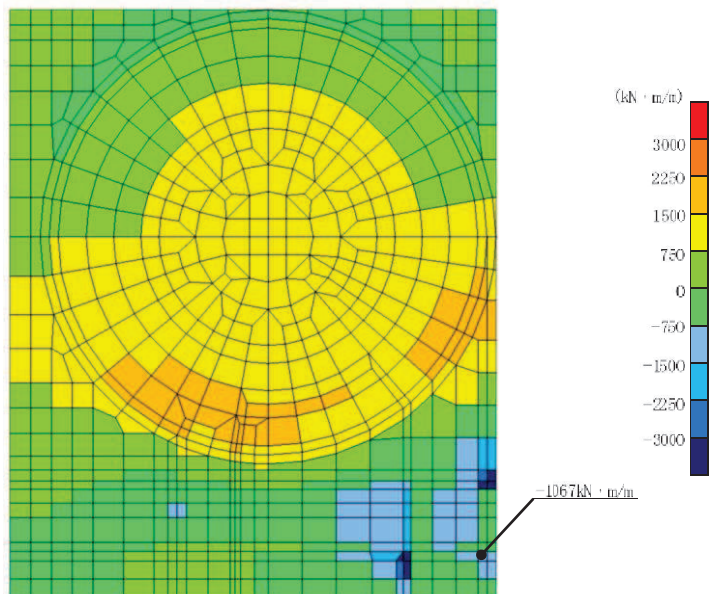


図 4-15 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)
 (解析ケース②, S s - D 2 (++) , 南北)

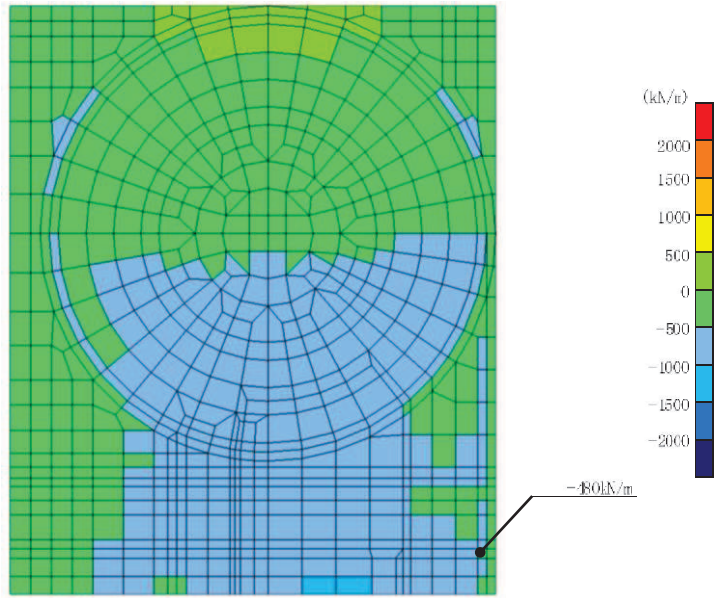


図 4-16 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (解析ケース②, $S_s - D 2$ (++) , 南北)

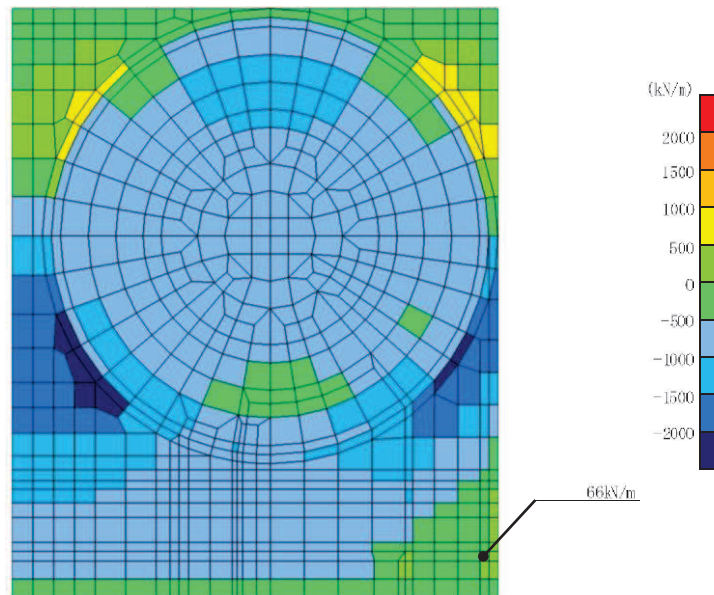


図 4-17 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (解析ケース②, $S_s - D 2$ (++) , 南北)

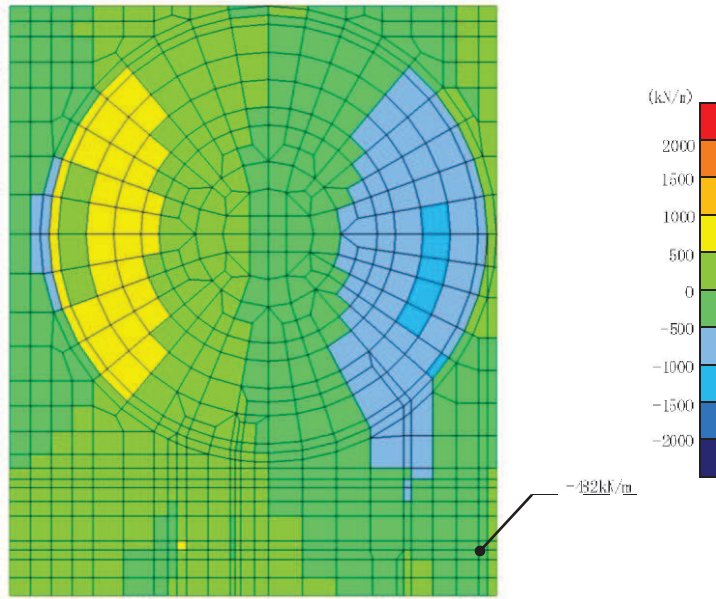


図 4-18 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})
 (解析ケース②, S s - D 2 (++) , 南北)

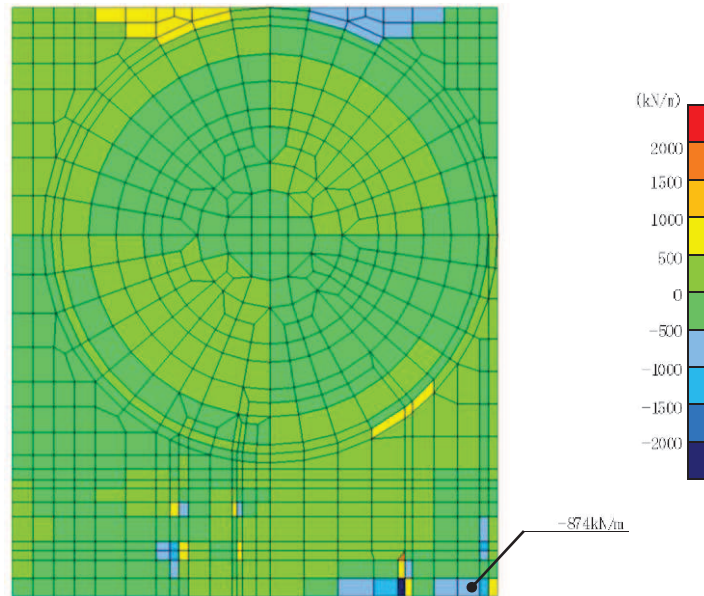


図 4-19 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (解析ケース②, S s - D 2 (++) , 南北)

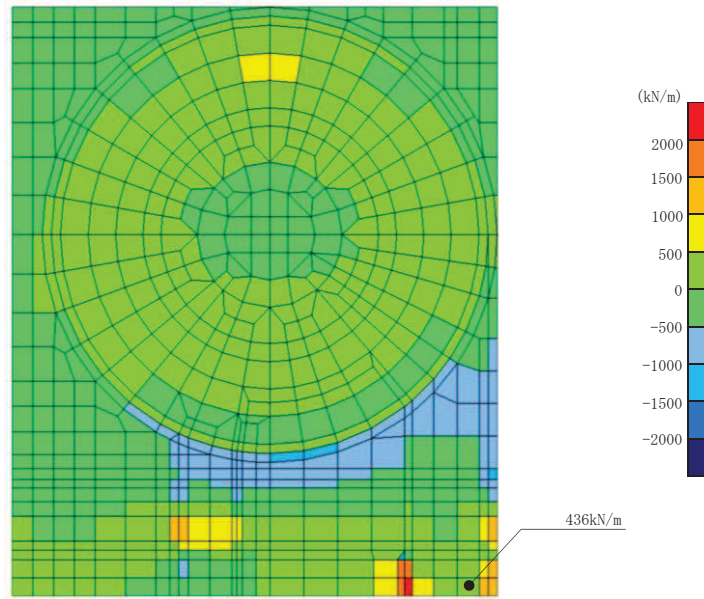


図 4-20 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
(せん断力 (kN/m) : Q_y)
(解析ケース②, S s - D 2 (++) , 南北)

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

5.1.1 シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクト

シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクトの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。

シャへい壁，バルブ室及び連絡ダクトの照査用ひずみ（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照査用層間変形角（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	加振方向	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R	
シャへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	100 μ	10000 μ	0.01	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	271 μ	10000 μ	0.03	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	156 μ	10000 μ	0.02	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	250 μ	10000 μ	0.03	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	205 μ	10000 μ	0.03	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	146 μ	10000 μ	0.02	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向	88 μ	10000 μ	0.01
		南北壁	130	①	S s - F 2 (++)	東西方向	172 μ	10000 μ	0.02
		東西壁	140	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	162 μ	10000 μ	0.02
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	44 μ	10000 μ	0.01	
	頂版	80	③	S s - D 2 (++)	東西方向	220 μ	10000 μ	0.03	
	東西壁	90	①	S s - F 3 (++)	東西方向	169 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	加振方向	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 V_{yd} (kN/m)	照査値 V_d/V_{yd}	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	81	323	0.26	
	地中部	18	②	S s - D 2 (++)	東西方向	776	825	0.95	
バルブ室	頂版	22	①	S s - F 1 (++)	南北方向	140	419	0.34	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	769	1086	0.71	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	949	1129	0.85	
	隔壁	60	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	85	476	0.18	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 1 (++)	東西方向	20	120	0.17
		南北壁	120	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	83	269	0.31
		東西壁	140	①	S s - F 2 (++)	東西方向	99	274	0.37
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	81	249	0.33	
	頂版	80	④	S s - D 2 (++)	東西方向	225	763	0.30	
	東西壁	90	④	S s - D 2 (++)	東西方向	443	805	0.56	

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

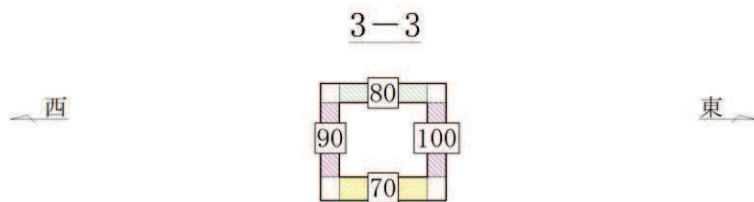
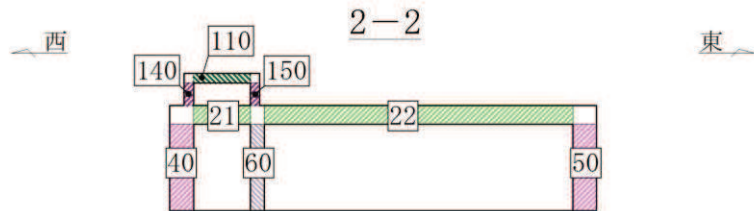
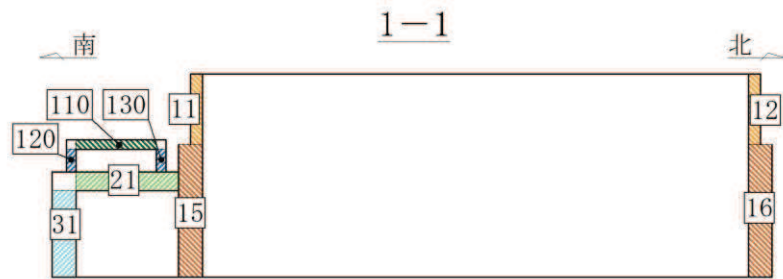
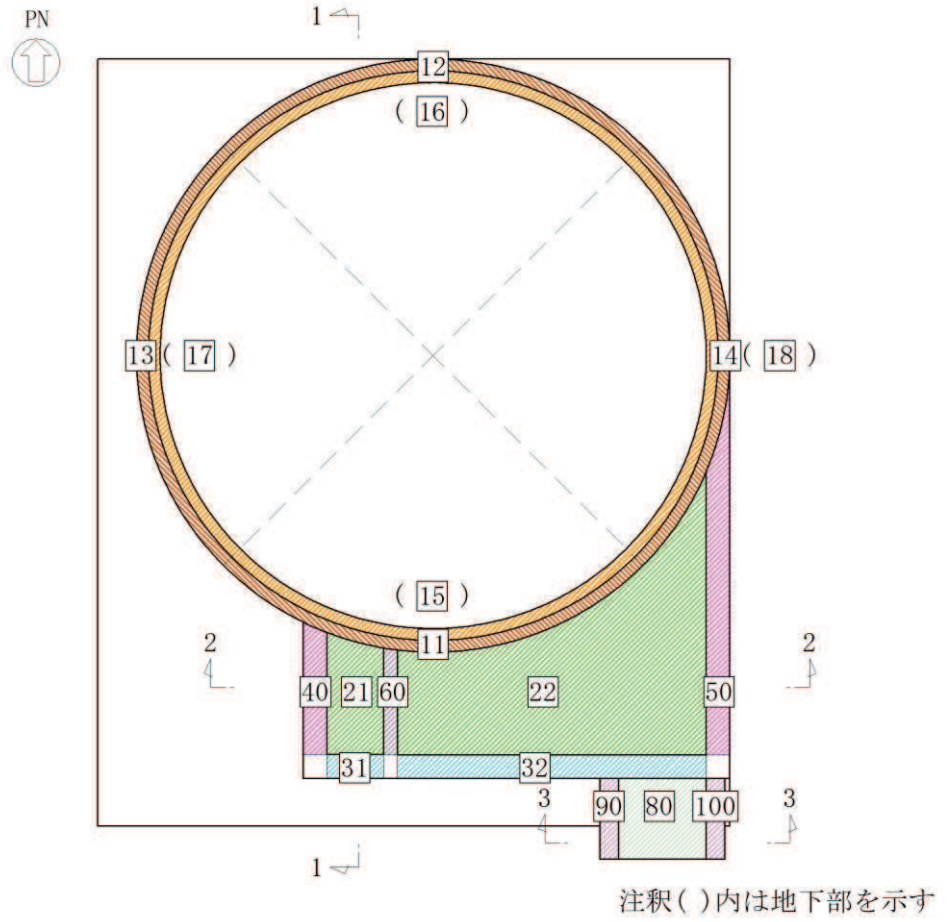


図 5-1 評価位置図 (しゃへい壁, バルブ室及び連絡ダクト)

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	加振方向	照査用層間 変形角*2 γ_d	許容限界 γ_R	照査値 γ_d / γ_R	
しゃへい壁		①	S s - D 2 (-+)	東西方向	49 μ	2000 μ	0.03	
バルブ室	南壁	③	S s - D 2 (-+)	東西方向	81 μ	2000 μ	0.05	
	東西壁	④	S s - D 1 (-+)	南北方向	112 μ	2000 μ	0.06	
	隔壁	⑥	S s - D 1 (-+)	南北方向	192 μ	2000 μ	0.10	
	ハッチ部	南北壁	⑫	S s - F 1 (++)	東西方向	57 μ	2000 μ	0.03
		東西壁	⑭	S s - F 3 (++)	南北方向	42 μ	2000 μ	0.03
連絡ダクト	東西壁	⑨	S s - D 2 (-+)	南北方向	129 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

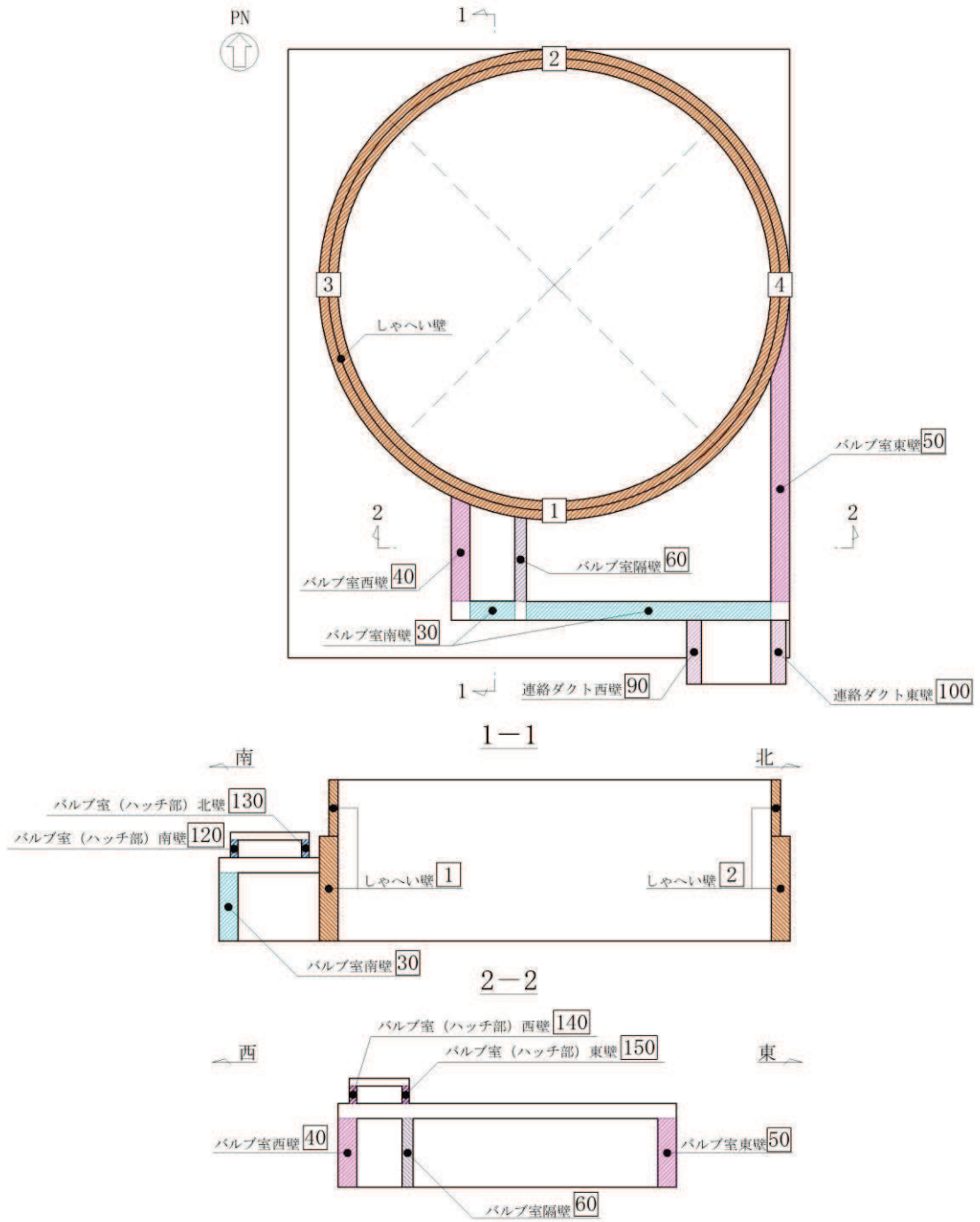


図 5-2 評価位置図 (各壁部材)

5.1.2 基礎版

基礎版の鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表5-4及び表5-5に、せん断破壊に対する照査値を表5-6に示す。

基礎版の発生応力度が、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5-4 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	加振方向	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}
212	①	S _s -D2 (-+)	東西方向	2323	-4558	1.4	11.7	0.12

注記*：評価位置は図5-3に示す。

表5-5 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	加振方向	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}
213	②	S _s -D2 (++)	南北方向	-1067	548	123	294	0.42

注記*：評価位置は図5-3に示す。

表5-6 せん断破壊に対する照査

評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	発生せん断力 (kN/m)	発生応力度 τ_d (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_d / τ_{a1}
213	②	S _s -D2 (++)	南北方向	874	0.40	0.63	0.64

注記*：評価位置は図5-3に示す。

5.2 常設耐震重要重大事故防止設備等を支持する機能に対する評価結果

5.2.1 シャへい壁、バルブ室及び連絡ダクト

シャへい壁、バルブ室及び連絡ダクトの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5-7及び表5-8に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-9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5-10に示す。

シャへい壁、バルブ室及び連絡ダクトの照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ、主筋ひずみ）、照査用せん断力及び壁部材の照査用層間変形角（面内せん断）が、常設耐震重要重大事故防止設備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。

表5-7 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	加振方向	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R	
シャへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	100 μ	2000 μ	0.05	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	271 μ	2000 μ	0.14	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	156 μ	2000 μ	0.08	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	250 μ	2000 μ	0.13	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	205 μ	2000 μ	0.11	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	146 μ	2000 μ	0.08	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向	88 μ	2000 μ	0.05
		南北壁	130	①	S s - F 2 (++)	東西方向	172 μ	2000 μ	0.09
		東西壁	140	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	162 μ	2000 μ	0.09
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	44 μ	2000 μ	0.03	
	頂版	80	③	S s - D 2 (++)	東西方向	220 μ	2000 μ	0.11	
	東西壁	90	①	S s - F 3 (++)	東西方向	169 μ	2000 μ	0.09	

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 5-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（主鉄筋ひずみ）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	加振方向	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	66 μ	1725 μ	0.04	
	地中部	17	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	261 μ	1725 μ	0.16	
バルブ室	頂版	22	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	90 μ	1725 μ	0.06	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	172 μ	1725 μ	0.10	
	東西壁	50	①	S s - F 2 (-+)	東西方向	172 μ	1725 μ	0.10	
	隔壁	60	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	97 μ	1725 μ	0.06	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 2 (++)	東西方向	25 μ	1725 μ	0.02
		南北壁	130	①	S s - D 2 (++)	南北方向	32 μ	1725 μ	0.02
		東西壁	140	①	S s - F 2 (++)	東西方向	49 μ	1725 μ	0.03
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	17 μ	1725 μ	0.01	
	頂版	80	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	186 μ	1725 μ	0.11	
	東西壁	90	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	98 μ	1725 μ	0.06	

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 5-9 せん断破壊に対する照査（再掲）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	加振方向	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 V_{yd} (kN/m)	照査値 V_d/V_{yd}	
しゃへい壁	地上部	13	①	S s - F 2 (++)	東西方向	81	323	0.26	
	地中部	18	②	S s - D 2 (++)	東西方向	776	825	0.95	
バルブ室	頂版	22	①	S s - F 1 (++)	南北方向	140	419	0.34	
	南壁	32	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	769	1086	0.71	
	東西壁	50	②	S s - D 2 (++)	東西方向	949	1129	0.85	
	隔壁	60	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	85	476	0.18	
	ハッチ部	頂版	110	①	S s - F 1 (++)	東西方向	20	120	0.17
		南北壁	120	①	S s - D 1 (-+)	南北方向	83	269	0.31
		東西壁	140	①	S s - F 2 (++)	東西方向	99	274	0.37
連絡ダクト	底版	70	①	S s - D 2 (++)	南北方向	81	249	0.33	
	頂版	80	④	S s - D 2 (++)	東西方向	225	763	0.30	
	東西壁	90	④	S s - D 2 (++)	東西方向	443	805	0.56	

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 5-10 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	加振方向	照査用層間 変形角*2 γ_d	許容限界 γ_R	照査値 γ_d / γ_R	
しゃへい壁		①	S s - D 2 (-+)	東西方向	49 μ	2000 μ	0.03	
バルブ室	南壁	③	S s - D 2 (-+)	東西方向	81 μ	2000 μ	0.05	
	東西壁	④	S s - D 1 (-+)	南北方向	112 μ	2000 μ	0.06	
	隔壁	⑥	S s - D 1 (-+)	南北方向	192 μ	2000 μ	0.10	
	ハッチ部	南北壁	⑫	S s - F 1 (++)	東西方向	57 μ	2000 μ	0.03
		東西壁	⑭	S s - F 3 (++)	南北方向	42 μ	2000 μ	0.03
連絡ダクト	東西壁	⑨	S s - D 2 (-+)	南北方向	129 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＝層間変形角×構造解析係数 γ_a

5.2.2 基礎版

基礎版の鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表5-11及び表5-12に、せん断破壊に対する照査値を表5-13に示す。

基礎版の発生応力度が、常設耐震重要重大事故防止設備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。

表5-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）（再掲）

評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	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}
212	①	S s - D 2 (-+)	東西方向	2323	-4558	1.4	11.7	0.12

注記*：評価位置は図5-3に示す。

表5-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）（再掲）

評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	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}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	-1067	548	123	294	0.42

注記*：評価位置は図5-3に示す。

表5-13 せん断破壊に対する照査（再掲）

評価位置*	解析ケース	地震動	加振方向	発生せん断力 (kN/m)	発生応力度 τ_d (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_d/τ_{a1}
213	②	S s - D 2 (++)	南北方向	874	0.40	0.63	0.64

注記*：評価位置は図5-3に示す。

5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

5.3.1 支持地盤（狐崎部層）

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-14に示す。また、最大接地圧分布図を図5-4に示す。

復水貯蔵タンク基礎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5-14 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	加振方向	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 - D 1 (++)	東西方向	6.6	13.7	0.49

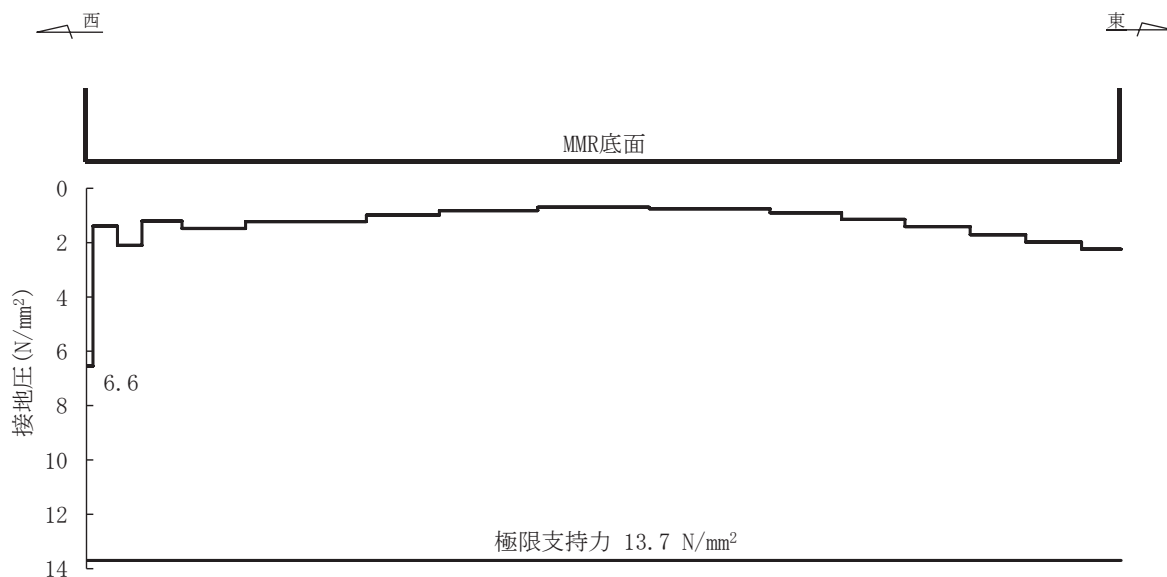


図5-4 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S s - D 1 (++) , 東西)

5.3.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表5-15に示す。また、最大接地圧分布図を図5-5に示す。

復水貯蔵タンク基礎の 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 5-15 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析 ケース	地震動	加振 方向	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
①	S s - D 1 (++)	東西方向	0.7	15.6	0.05

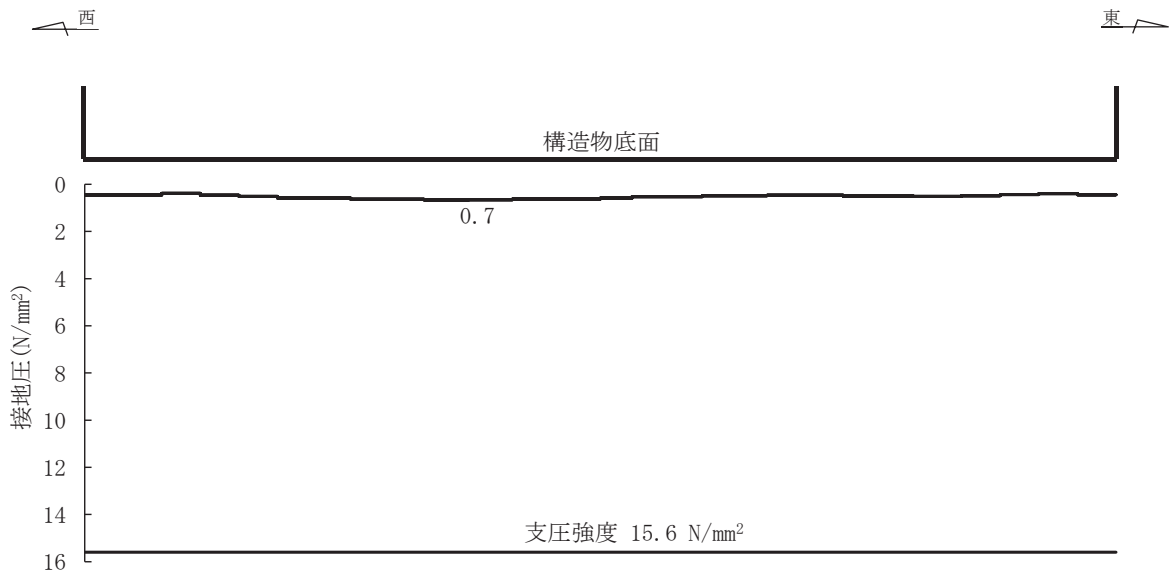


図 5-5 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S s - D 1 (++) , 東西)