

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-19-0072_改3
提出年月日	2021年10月20日

02-工-B-19-0072_改2 (2021年10月6日提出) からの変更箇所のみ抜粋

VI-2-13-4 地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書

2021年10月

東北電力株式会社

目次

1.	概要	0
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	10
2.4	適用基準	12
3.	耐震評価	13
3.1	評価対象断面	13
3.2	解析方法	15
3.2.1	構造部材	16
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	16
3.2.3	減衰定数	16
3.2.4	解析ケースの選定	16
3.3	荷重及び荷重の組合せ	18
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	18
3.3.2	荷重	18
3.3.3	荷重の組合せ	19
3.4	入力地震動	20
3.5	解析モデル及び諸元	77
3.5.1	解析モデル	77
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	82
3.5.3	地盤の物性値	82
3.5.4	地下水位	82
3.6	許容限界	83
3.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	83
3.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	85
3.7	評価方法	86
3.7.1	構造部材の健全性に対する評価方法	86
3.7.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	99
4.	耐震評価結果	100
4.1	構造部材の健全性に対する評価結果	100
4.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	133

(別紙1) 敷地側集水ピット（北側）の耐震性について

: 変更箇所

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、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 耐震評価上考慮する状態

揚水井戸の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

揚水井戸の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、揚水井戸蓋*、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重(S_s)

地震力は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

注記*：揚水井戸蓋は揚水井戸の地震応答解析結果を用いて耐震計算を実施している。

また、揚水井戸蓋のスキンプレートの厚さは竜巻に関する強度計算を実施し設定している。

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	4
2.4	適用基準	7
3.	地震応答解析	8
3.1	解析方法	9
3.1.1	材料物性及び地盤物性のばらつき	9
3.1.2	解析ケース	9
3.2	荷重及び荷重の組合せ	11
3.2.1	耐震評価上考慮する状態	11
3.2.2	荷重	11
3.2.3	荷重の組合せ	12
3.3	解析モデル及び諸元	13
3.3.1	解析モデル	13
3.3.2	地盤の物性値	13
3.3.3	地下水位	13
3.4	地震応答解析結果	14
4.	フレーム解析	16
4.1	評価対象部位	16
4.2	解析方法	16
4.3	解析モデル	16
4.4	使用材料及び材料の物性値	17
4.5	入力荷重	17
5.	耐震評価	19
5.1	許容限界	19
5.1.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	19
5.1.2	せん断破壊に対する許容限界	19
5.1.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	19
5.2	評価方法	20
6.	耐震評価結果	21
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果	21
6.2	地盤の支持性能に対する評価結果	25

1. 概要

本資料は、敷地側集水ピット（北側）（以下「集水ピット」という。）について、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震時の構造強度について説明するものであり、その評価は応力解析により行う。

なお、集水ピットの耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 基本方針

2.1 位置

集水ピットの位置を図 2-1 に示す。

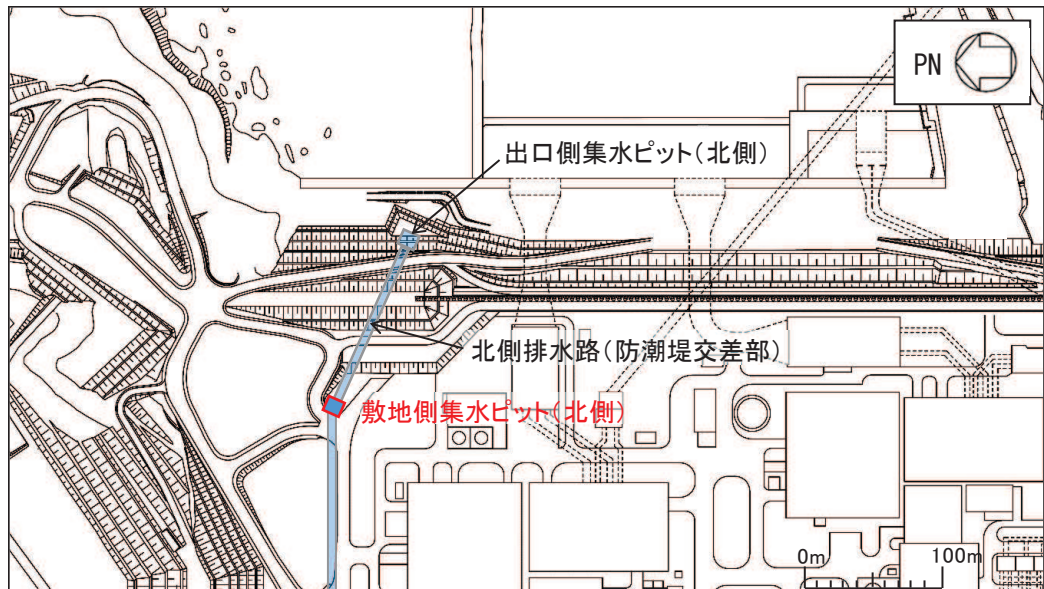


図 2-1 集水ピットの位置図

2.2 構造概要

集水ピットの構造図を図 2-2、概略配筋図を図 2-3 に示す。

集水ピットは鉄筋コンクリート造の構造物であり、地中に埋設する。上流側（山側）及び下流側（海側）には屋外排水路を接続する。集水ピット頂部には表面水の集水のためグレーチングパネルを設置する。

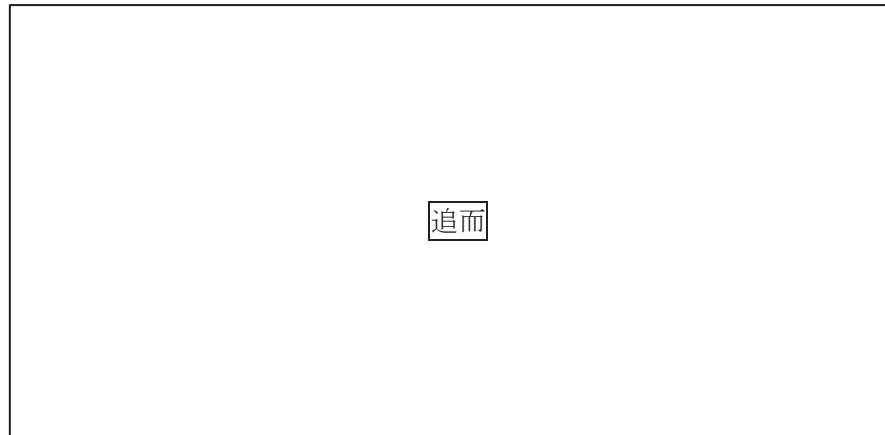


図 2-2 集水ピット構造図（単位：mm）

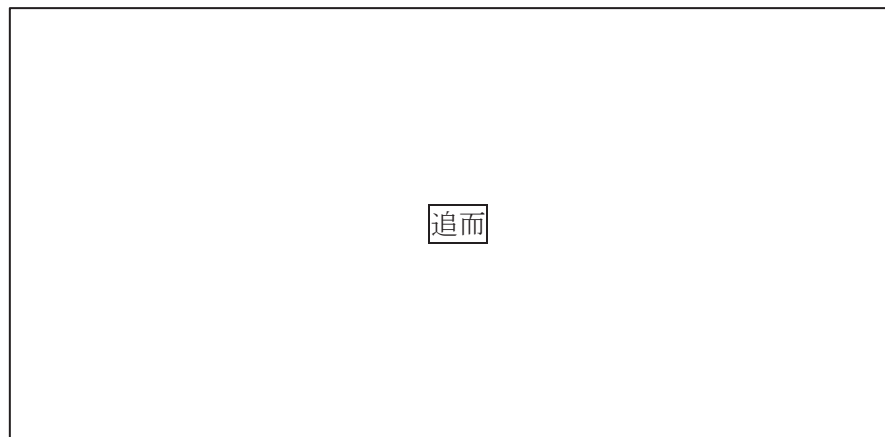


図 2-3 集水ピットの概略配筋図（単位：mm）

2.3 評価方針

地震後も地下水低下設備により汲み上げた地下水を確実に海へと排出する必要があるため、集水ピットの耐震性について確認する。なお、排水路の構成部位である集水ピットよりも下流側の北側排水路（防潮堤交差部）及び出口側集水ピット（北側）については、「VI-2-11-2-19 北側排水路の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-2-6-1-2 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書」において、基準地震動 S_s に対して健全性を有することを確認している。各施設の位置関係を図2-4に、No.3揚水井戸の断面に集水ピット位置を投影したものを図2-5に示す。

集水ピットの耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、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においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき応力解析による評価を行うことで、地震時の構造強度の確認を行う。

基準地震動 S_s を対象とした地震応答解析により集水ピット位置での加速度、せん断応力及び変位を抽出するとともに、フレーム解析に用いる地盤ばね設定のため等価剛性を算出する。次に、集水ピットを線形はり要素にてモデル化し、応答変位法によるフレーム解析を実施する。応答変位法により求めた地震時増分荷重による断面力と常時応力解析による断面力の足し合わせによる断面力に基づき発生応力を算出し、許容限界以下であることを確認する。

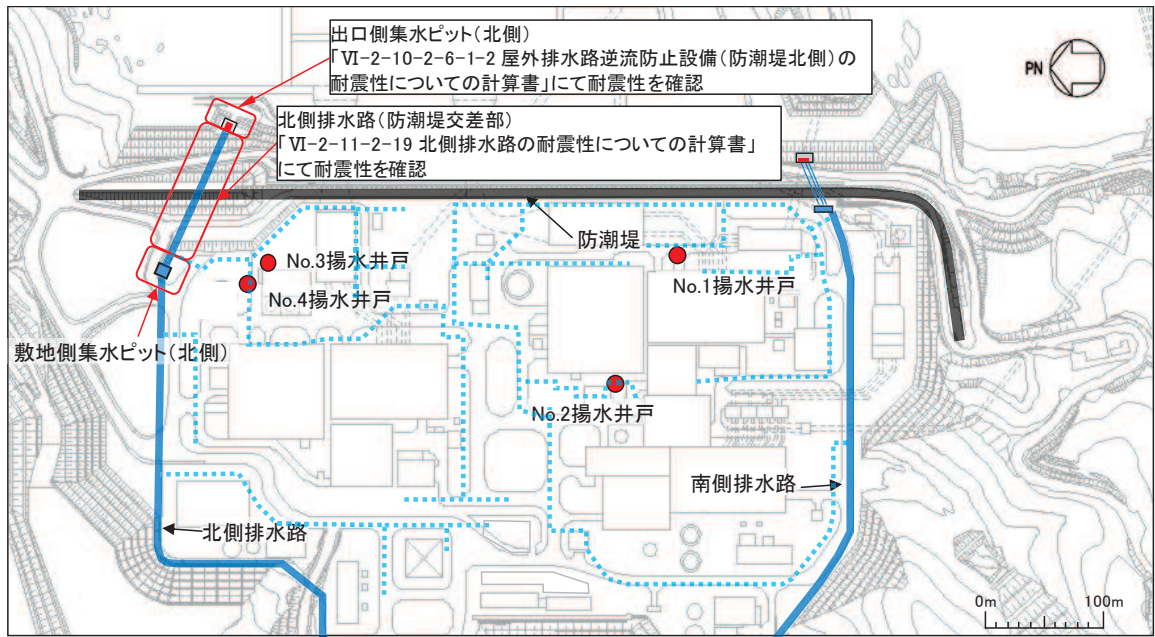
基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

集水ピットの評価フローを図2-6に示す。

表2-1 集水ピットの評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				曲げ軸力	短期許容応力度
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	発生する応力が許容限界以下であることを確認	せん断力	短期許容せん断力
				極限支持力*	
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。



(注) 支線排水路(青点線)は2019年10月段階の配置を記載(今後の安全対策工事等によって変更可能性有)。
 なお、支線排水路は各揚水井戸から北側・南側排水路へ排水可能な配置とする。

図 2-4 集水ピット、北側排水路(防潮堤交差部)及び出口側集水ピット(北側)の位置関係

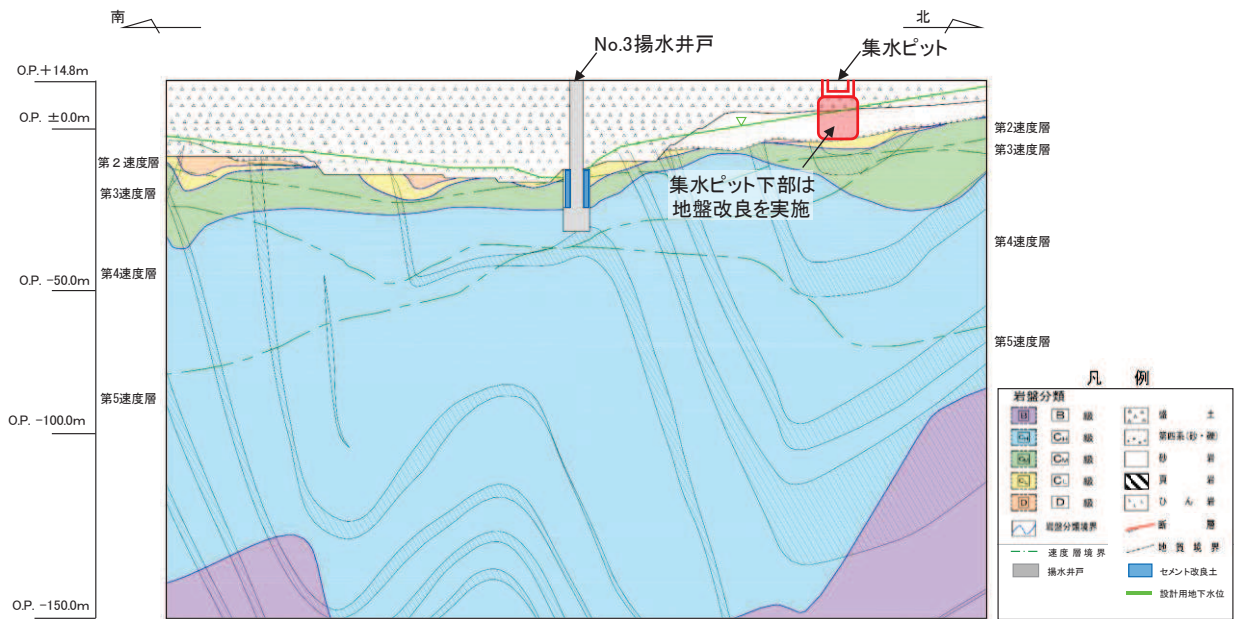


図 2-5 No.3 揚水井戸と集水ピットの位置関係(投影)

(本図の標高は平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地盤沈下は考慮せずに記載)

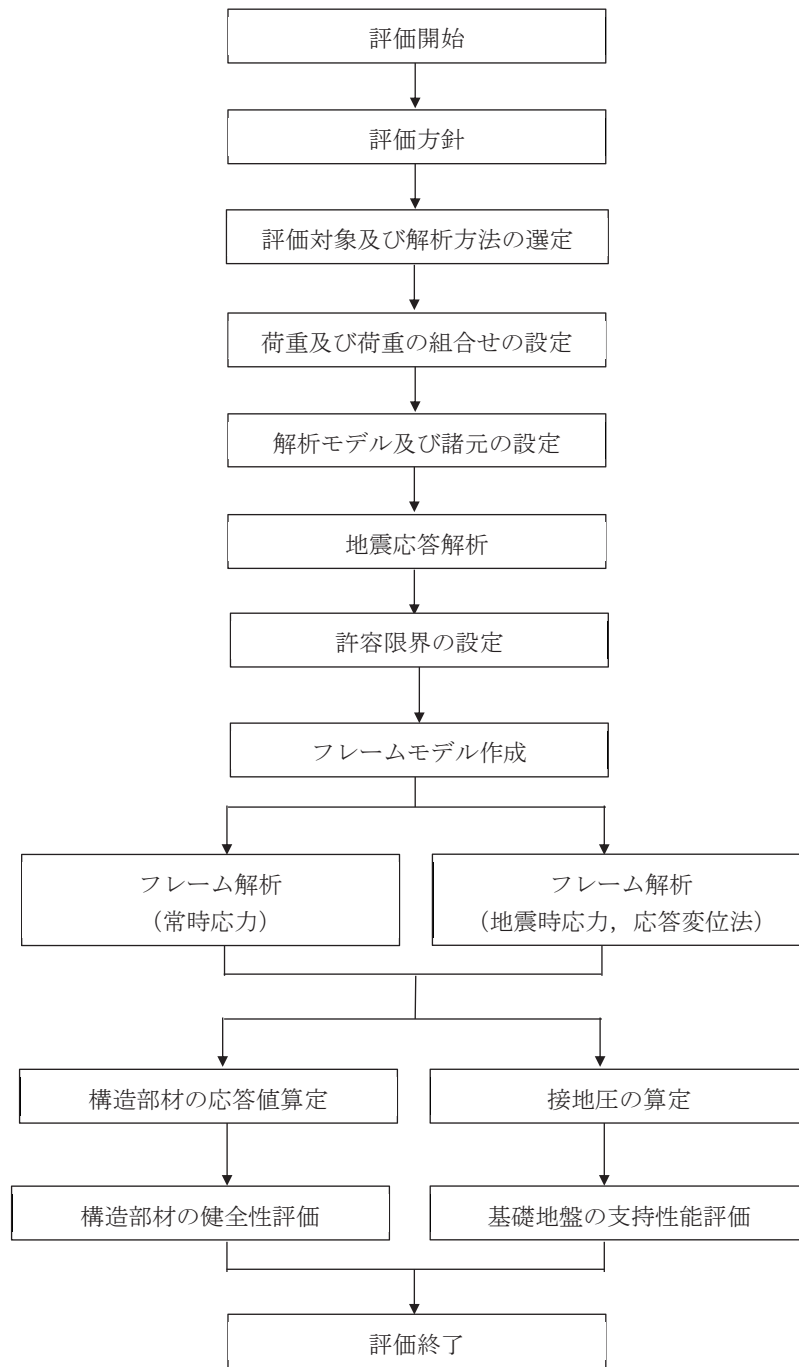


図 2-6 集水ピットの耐震評価フロー

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]
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・ 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
- ・ 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
- ・ 日本港湾協会 2007年 港湾の施設の技術上の基準・同解説

3. 地震応答解析

地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」を踏まえて実施する。

解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論による引戻し解析により地震応答解析モデル底面位置で評価し、集水ピット位置まで引上げ、地震応答を求める。なお、引戻し解析に用いる地下構造モデルには、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いることとし、地震応答解析モデルは集水ピット周辺の地質構造を踏まえて設定する。図 3-1 に地震応答解析の概念図を示す。

解析には解析コード「SHAKE Ver1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、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。

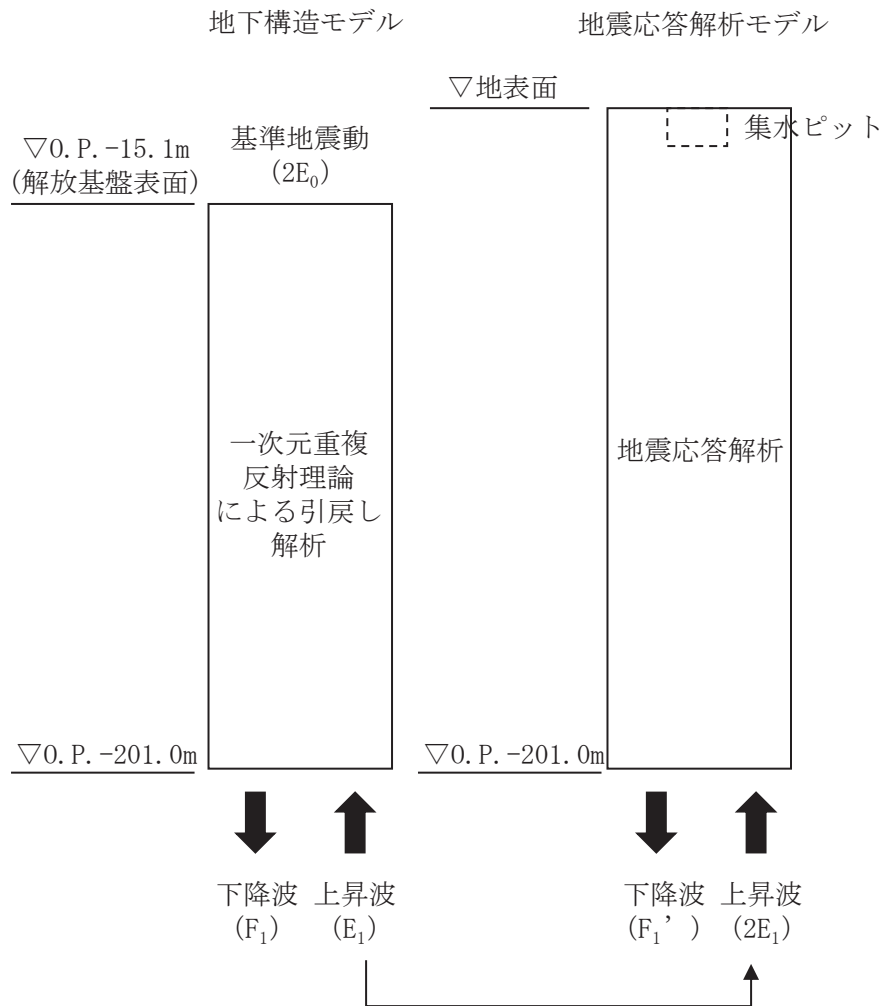


図 3-1 地震応答解析の概念図

3.1 解析方法

地震応答解析は、一次元重複反射理論により実施する。

3.1.1 材料物性及び地盤物性のばらつき

集水ピット周辺には動的変形特性にひずみ依存性がある盛土が分布しており、これらの地盤が地震時応答に影響を与えると考えられることから、これらの地盤物性（せん断弾性係数）のばらつきの影響を確認する。解析における物性値を表 3-1 に示す。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース①～③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

表 3-1 解析における物性値（集水ピット）

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, セメント改良土, 改良地盤 (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

3.1.2 解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて表 3-2 に示す解析ケース②～③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度
地震動	S _s -D1	○	<p>基準地震動S_s(7波)により照査を行ったケース①(基本ケース)の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において、最も厳しい地震動を用いてケース②~③を実施する。</p>	
	S _s -D2	○		
	S _s -D3	○		
	S _s -F1	○		
	S _s -F2	○		
	S _s -F3	○		
	S _s -N1	○		

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、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。

3.2.1 耐震評価上考慮する状態

集水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。風の影響については、埋設構造物であるため考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.2.2 荷重

集水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 積載荷重(P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(3) 地震荷重(S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.2.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$P + S_s$

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2)

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.3 解析モデル及び諸元

3.3.1 解析モデル

地震応答解析モデルは、集水ピット周辺の地質構造を考慮して設定する。解析モデルを図3-2に示す。

なお、図2-5で示したように集水ピットの直下は地盤改良を行っているが、地震応答解析においては地盤改良前の地質条件に基づきモデル化を行う。

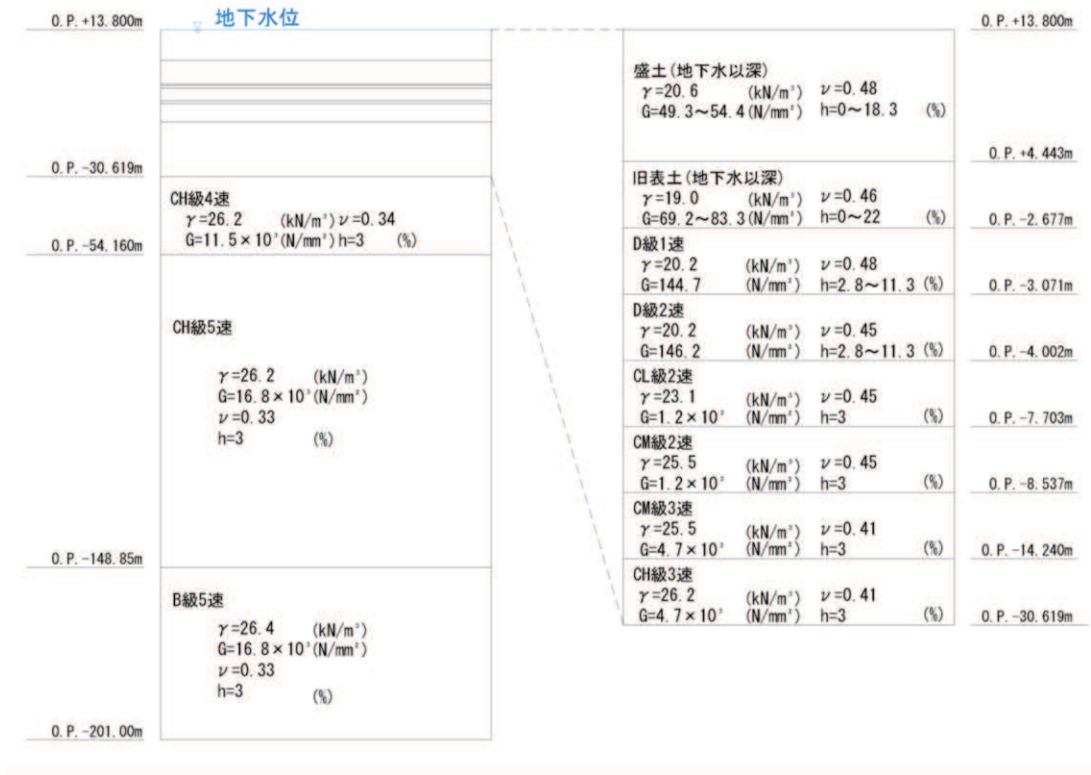


図3-2 地震応答解析モデル

3.3.2 地盤の物性値

改良地盤を含む地盤の物性値は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.3.3 地下水位

集水ピット周辺の地下水位は保守的に地表面とする。

3.4 地震応答解析結果

地震応答解析結果より得られた、各解析ケースにおける最大加速度分布、最大変位分布、せん断応力分布及び等価剛性を図3-3～6に示す。

なお、「4. フレーム解析」に用いる地震時荷重については、地震応答解析で得られた最大変位に保守性を考慮して設定する。

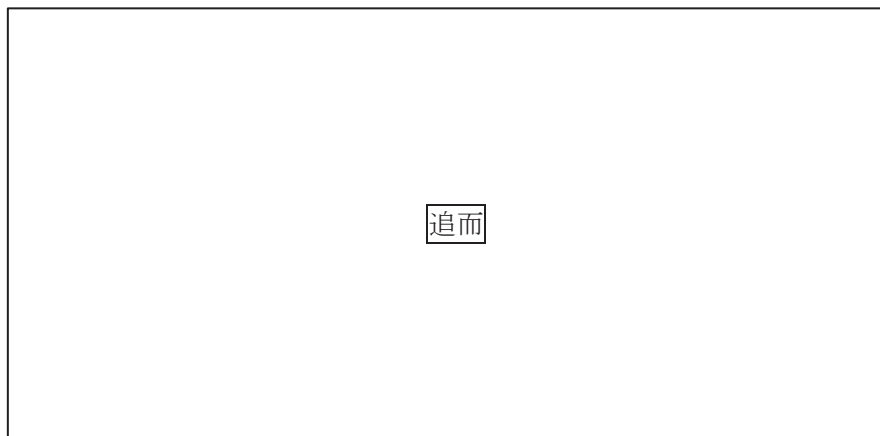


図3-3 最大加速度分布



図3-4 最大変位分布

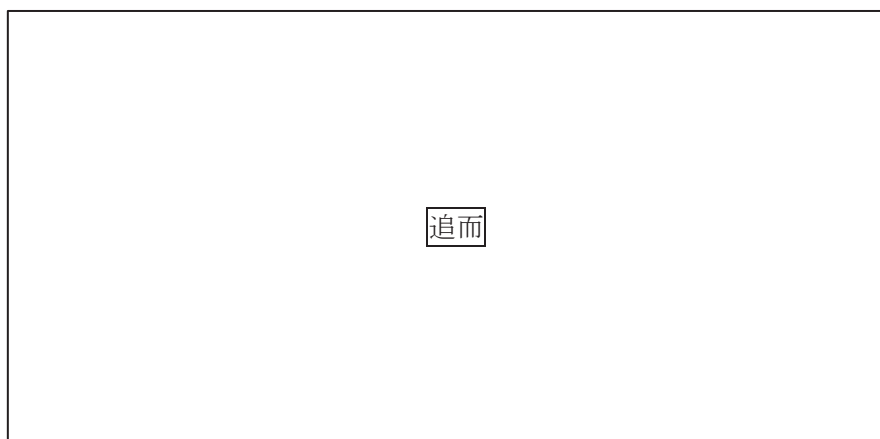


図3-5 最大せん断応力度分布

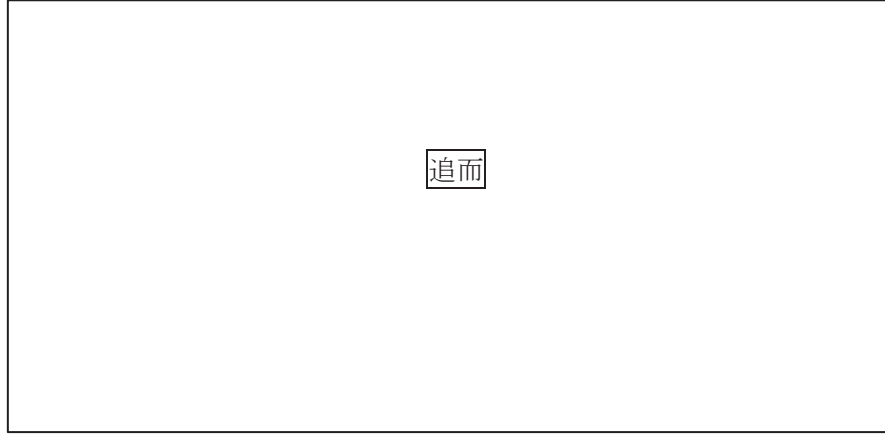


图 3-6 等価剛性

4. フレーム解析

4.1 評価対象部位

集水ピットは地中に埋設することから、地震時には土圧が主たる荷重として作用すると考えられる。構造上、弱軸方向（南北方向）が明確であることから、評価対象部位は集水ピットの頂版、側壁（南北面）及び底版とする。評価対象部位を図 4-1 に示す。

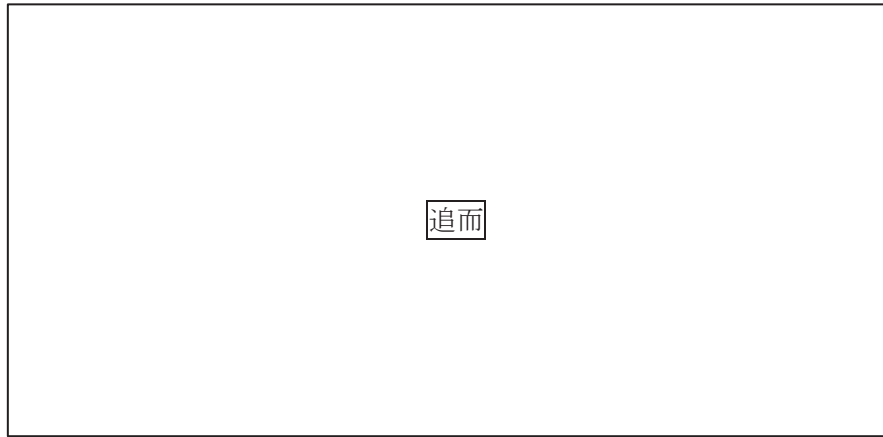


図 4-1 評価対象部位

4.2 解析方法

頂版、側壁及び底版を線形はり要素でモデル化し、地震応答解析を踏まえて設定した荷重を載荷し、フレーム解析を実施する。

フレーム解析に用いる地盤ばねは地震応答解析結果から算出した等価剛性を踏まえて設定し、モデルに作用させる荷重のうち、地震時増分応力については、応答変位法により算出する。

解析には解析コード「SLAP Ver6.65」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、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。

4.3 解析モデル

解析に用いるフレームモデルは、集水ピットの頂版、側壁及び底版を線形はり要素にて模擬し、地盤応答解析から算出した等価剛性よりばね定数を設定した地盤ばねを側部及び底部に配置する。フレームモデルを図 4-2 に示す。

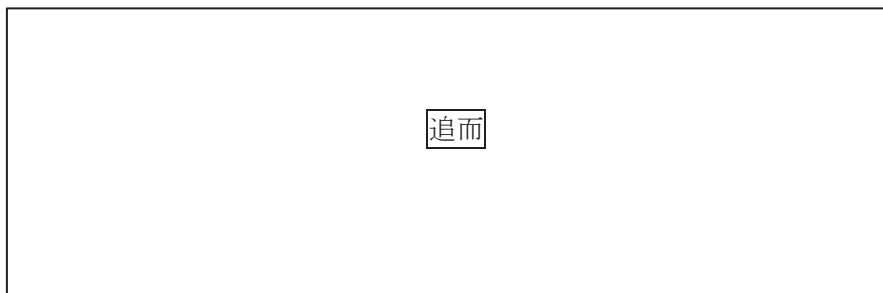


図 4-2 フレームモデル

4.4 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 4-1 に、材料の物性値を表 4-2 に示す。

表 4-1 使用材料

諸元		
集水ピット	鉄筋（主筋）	追而
	コンクリート	追而

表 4-2 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0	追而	0.2

4.5 入力荷重

フレーム解析の入力荷重を表 4-3、図 4-3 に示す。

表4-3 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	積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m ²
	常時土圧	躯体側面に作用する常時土圧
	常時水圧	躯体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	躯体に作用する地震時水圧

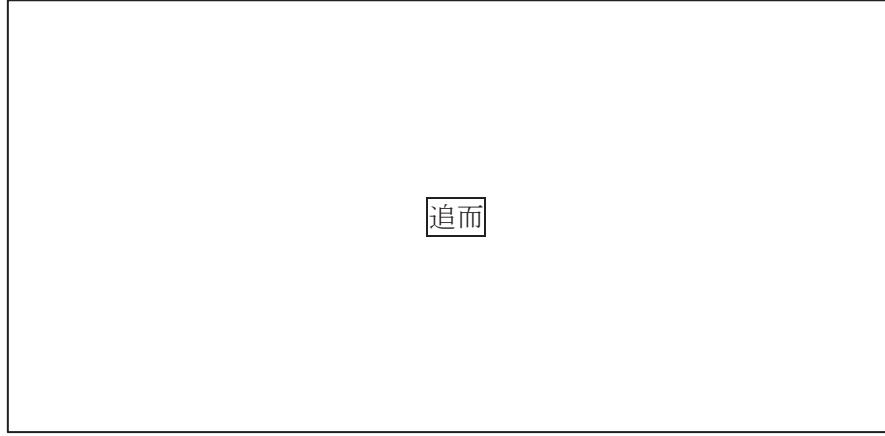


図 4-3(1) 常時荷重

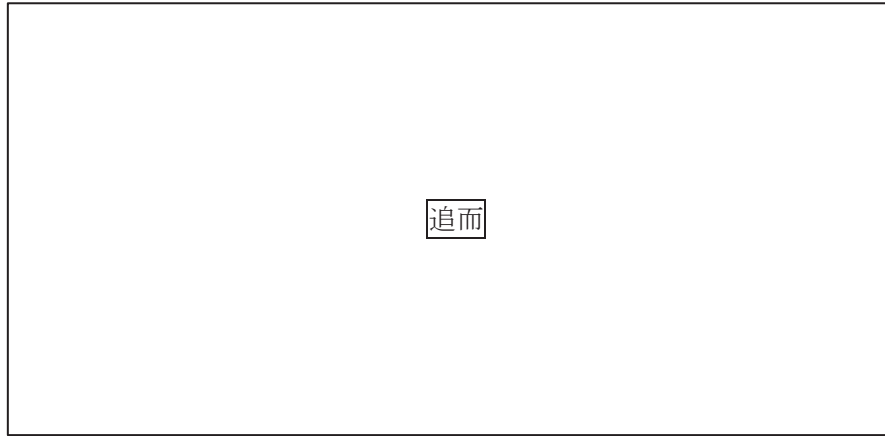


図 4-3(2) 地震時荷重

5. 耐震評価

5.1 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。

5.1.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・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 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 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)
	$f'_{ck} = \boxed{\text{追而}}$	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	$\boxed{\text{追而}}$
許容せん断応力度 τ_{a1}		$\boxed{\text{追而}}$	$\boxed{\text{追而}}$

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 5-2 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)
	$\boxed{\text{追而}}$	許容引張応力度 σ_{sa}	$\boxed{\text{追而}}$

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。

5.1.2 せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、表 5-1 及び表 5-2 に示すコンクリート及び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。

5.1.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤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、改良地盤の極限支持力とする。

改良地盤の許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	改良地盤	4.4

5.2 評価方法

集水ピットの耐震評価は、地震応答解析により得られた加速度、せん断力及び変位を用いて、応答変位法によりフレーム解析を実施し、照査用応答値を算定する。

構造部材の健全性評価については、フレーム解析により算定した照査用応答値が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能については、フレーム解析から算定した最大接地圧が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋及びコンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 6-1 及び表 6-2 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 6-3 に示す。また、集水ピットの評価位置を図 6-1 に示す。

また、最大照査値となる断面力分布を図 6-2 及び図 6-3 に示す。

以上より、集水ピットの発生応力度及びせん断力が、構造部材の許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析 ケース	発生断面力		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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
頂版	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
側壁	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
底版	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而

表 6-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析 ケース	発生断面力		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}
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
頂版	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
側壁	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而
底版	追而	追而	追而	追而	追而	追而	追而

表 6-3 せん断破壊に対する照査における最大照査値

評価位置	地震動	解析 ケース	発生せん断力 V (kN)	短期許容 せん断力 V _a (kN)	照査値 V/V _a
頂版	追而	追而	追而	追而	追而
側壁	追而	追而	追而	追而	追而
底版	追而	追而	追而	追而	追而

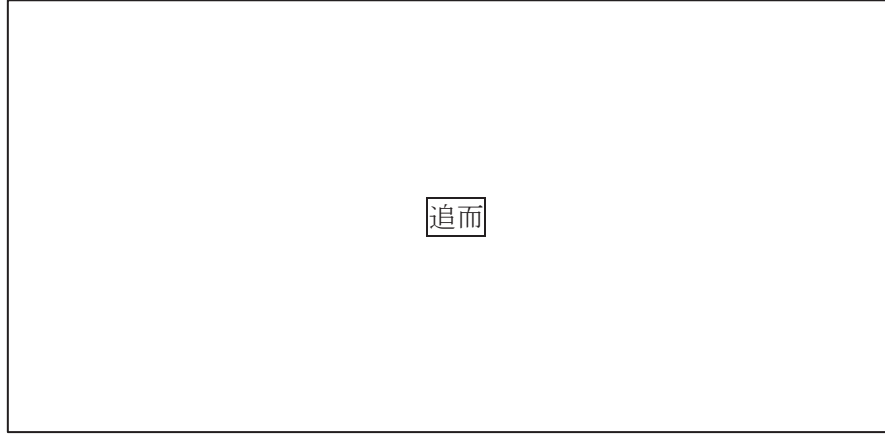


図 6-1 評価位置図

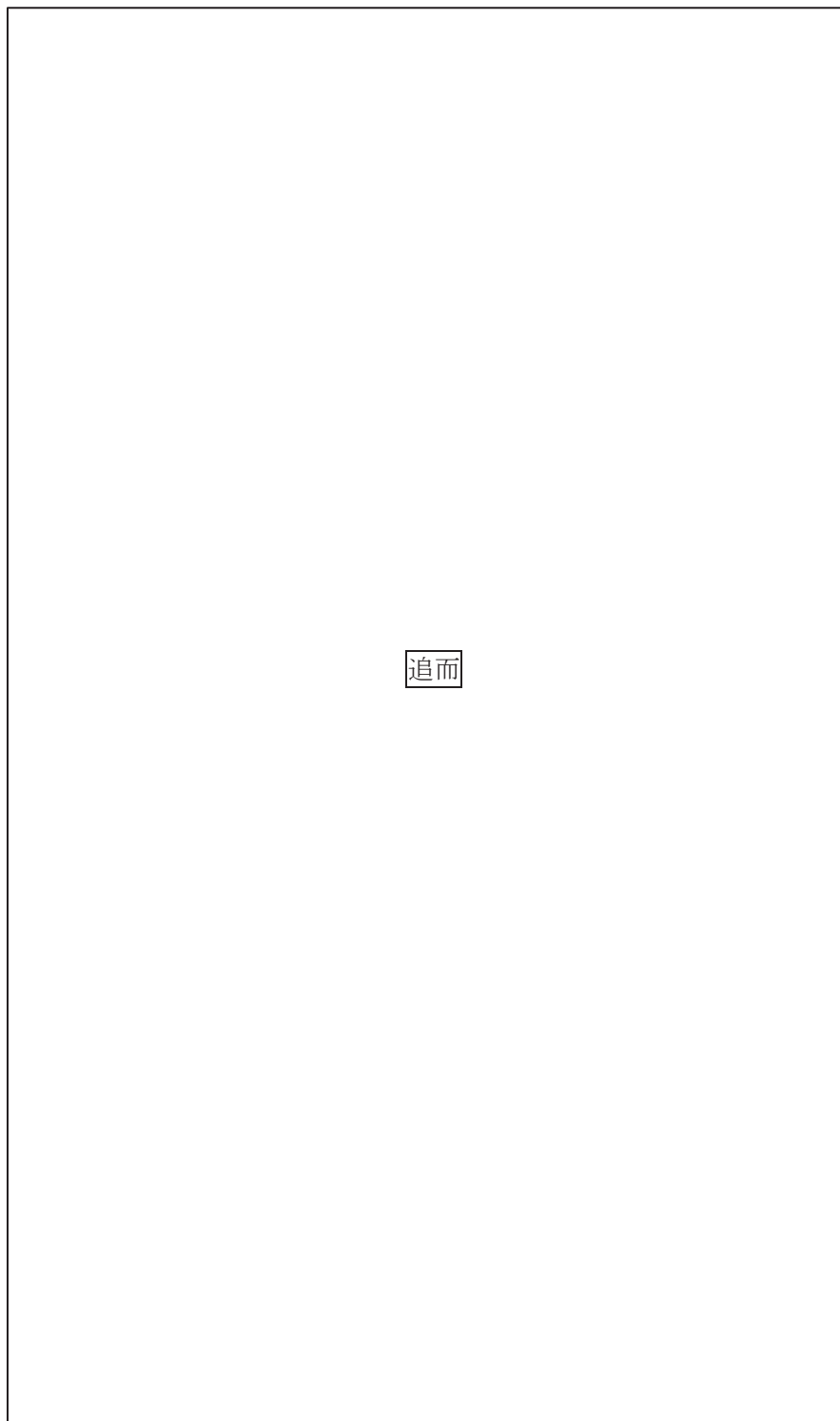


図6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値の断面力



図 6-3 せん断破壊に対する最大照査値の断面力

6.2 地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能評価照査における最大照査値を表 6-4、照査における最大照査値の評価時刻での最大接地圧分布図を図 6-4 に示す。

基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-4 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析 ケース	最大接地圧 R_a (N/mm ²)	許容限界 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_a/R_{ua}
追而	追而	追而	4.4	追而



図 6-4 基礎地盤の支持力照査における最大照査値の接地圧分布