

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	K7 添-2-075-6 改2
提出年月日	2020年8月5日

V-2-2-別添 1-3-6 サブドレンシャフトの耐震性についての計算書

K7 ① V-2-2-別添 1-3-6 R0

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-2-別添 1-3-6 サブドレンシャフトの耐震性についての計算書

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 適用規格・基準等	8
3. 応力解析による評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	11
3.2.1 荷重	11
3.2.2 荷重の組合せ	11
3.3 許容限界	12
3.4 評価方法	13
3.4.1 応力解析方法	13
3.4.2 地震動の選定	17
3.4.3 地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動	22
3.5 応力解析による最大応答値のまとめ	33
3.5.1 管軸方向断面の最大応答値	33
3.5.2 横断方向断面の最大応答値	33
4. 評価結果	34
4.1 管軸方向断面の評価結果	34
4.2 横断方向断面の評価結果	35

1. 概要

建屋評価における前提条件を満たすために、5号機地下水排水設備は、建屋の耐震性を確保するため地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有する。

5号機地下水排水設備の評価においては、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「10. 耐震計算の基本方針 10.1 建物・構築物」に基づき、基準地震動 S_s による地震力に対して機能を維持できることを確認する。

本計算書は、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、5号機地下水排水設備のうちサブドレンシャフトが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

2. 基本方針

原子炉建屋地下水排水設備（以下「地下水排水設備」という。）は、建屋に対し耐震性を確保するため、地下水位を建屋基礎スラブ底面レベル以深に維持する機能を有し、基準地震動 S_s に対する機能維持を確認する必要があることから、地下水排水設備を構成するサブドレンシャフトについて基準地震動 S_s による地震力に対する評価を実施する。

2.1 位置

地下水排水設備の概略配置を図 2-1 に示す。

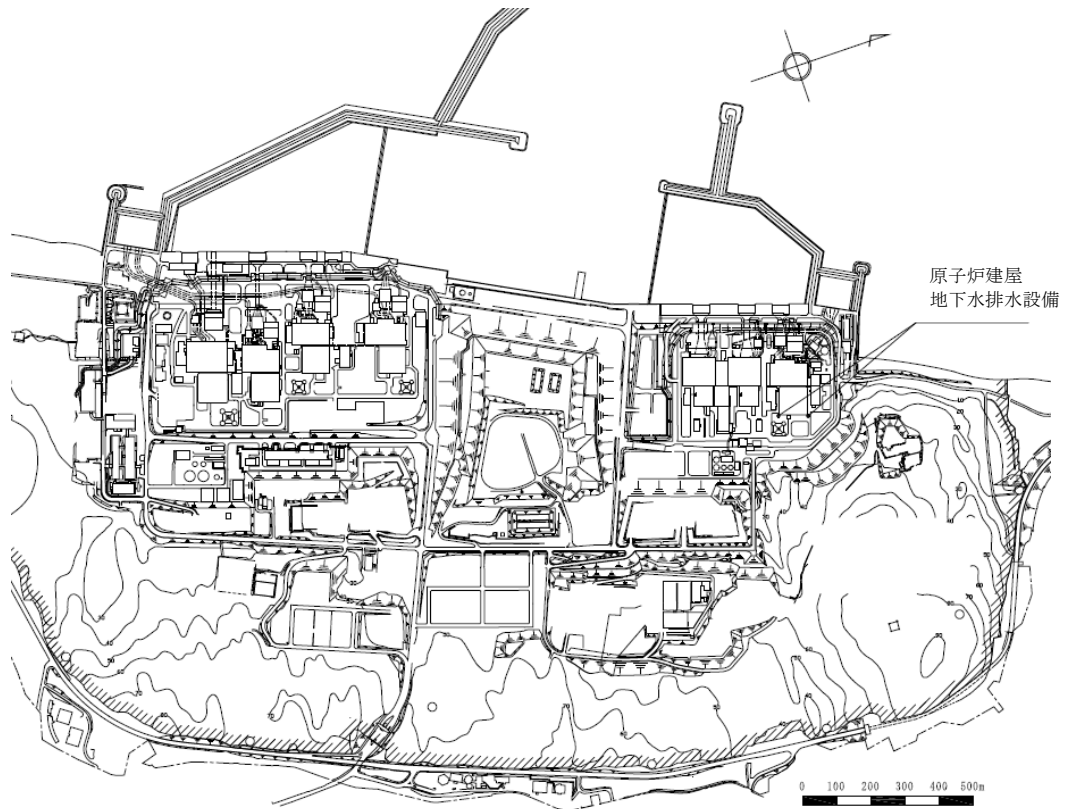


図 2-1 地下水排水設備の概略配置図

2.2 構造概要

原子炉建屋のサブドレンシャフトは、地下水排水設備の間接支持構造物となる。北側に2箇所、南側に2箇所設置し、原子炉建屋の四方隅角部付近に位置する。評価対象とするサブドレンシャフトは、外径 ϕ 1.6mの鋼管である。

地下水排水設備の評価対象配置図及び概略構成図を図2-2～図2-3に、原子炉建屋サブドレンシャフトの概略断面図を図2-4に示す。

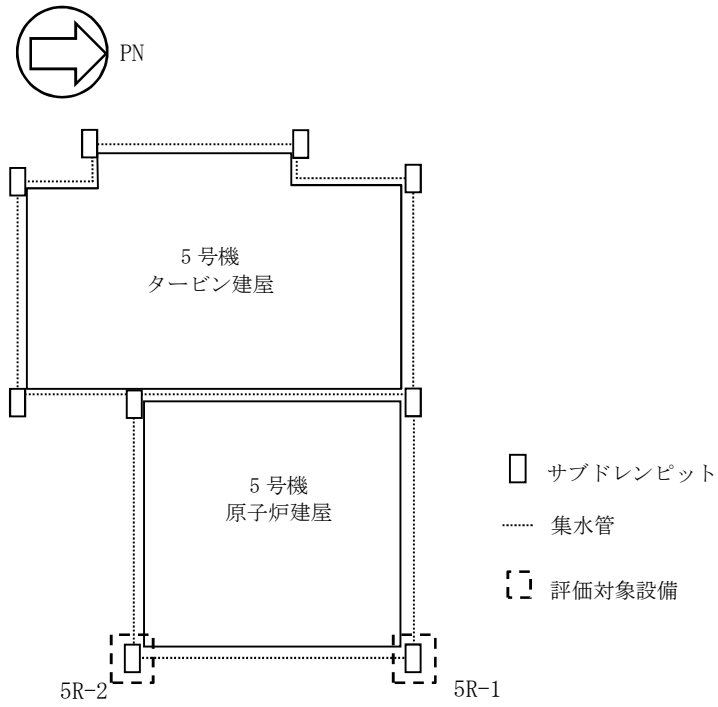


図 2-2 地下水排水設備の評価対象配置図

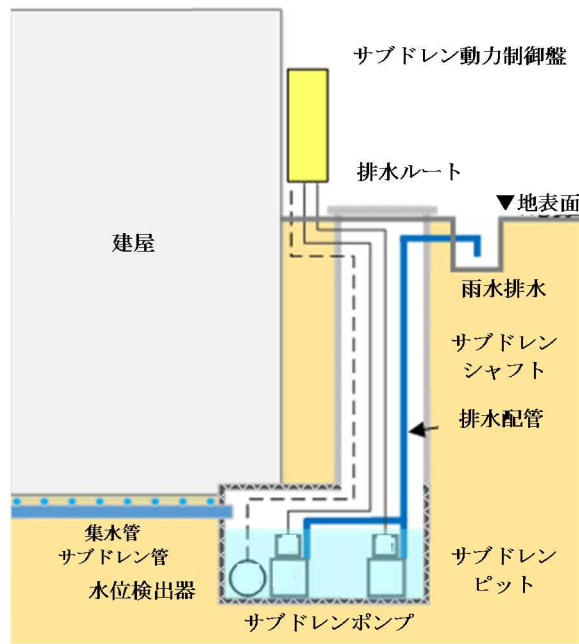
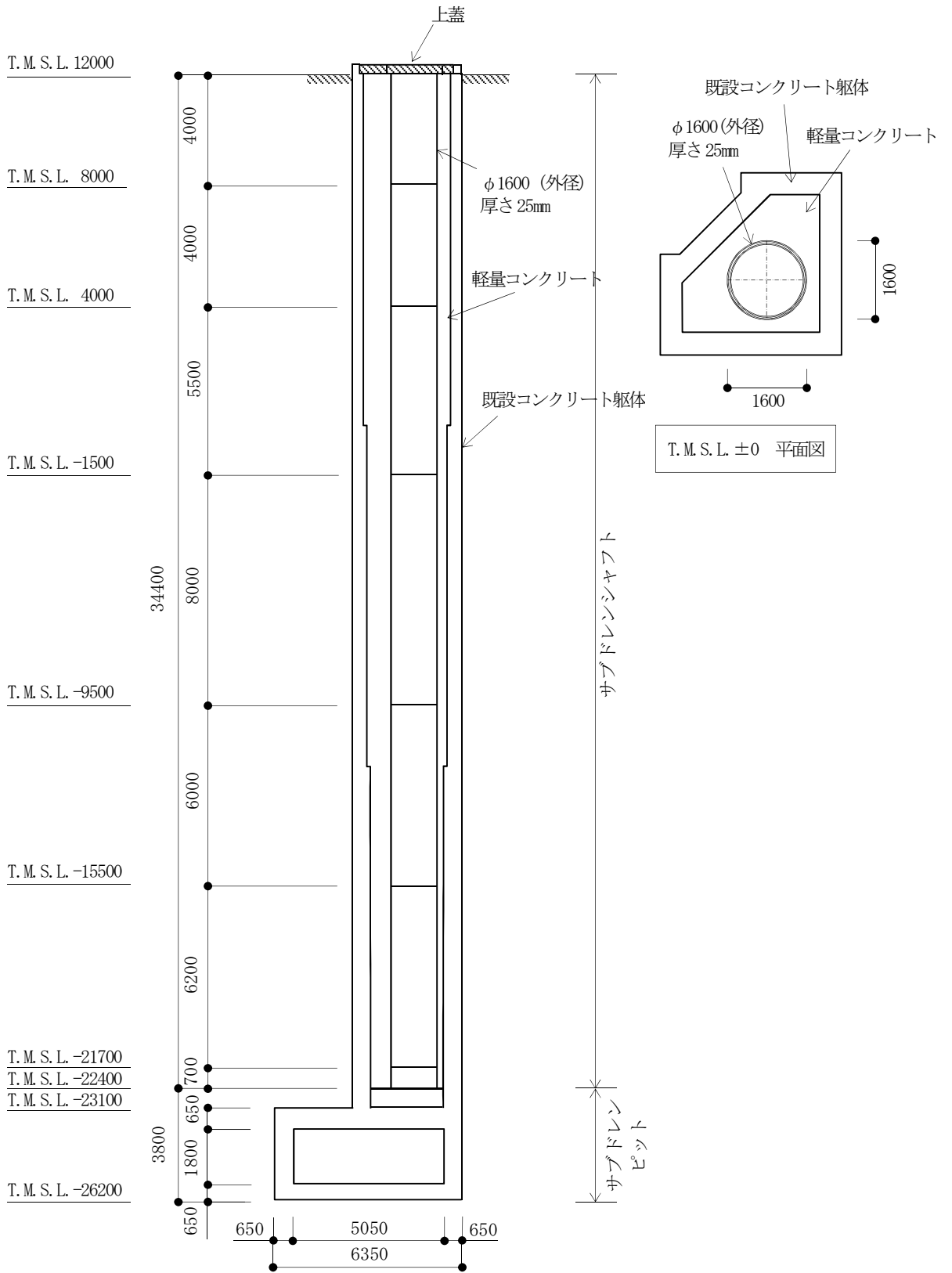


図 2-3 地下水排水設備の概略構成図



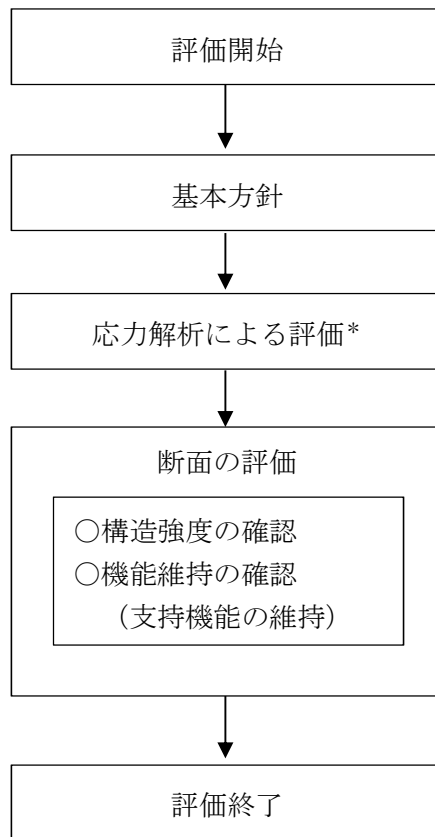
(単位 : mm)

図 2-4 原子炉建屋サブドレンシャフトの概略断面図

2.3 評価方針

サブドレンシャフトの評価は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、応力解析による断面の評価を行うことで、地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価は、V-2-2-別添 1-3-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては地盤物性の不確かさを考慮する。

サブドレンシャフトの評価フローを図 2-5 に示す。



注記* : 地盤物性の不確かさを考慮する。

図2-5 サブドレンシャフトの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

サブドレンシャフトの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1
 - ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005改定)
(以下「S規準」という。)
- ・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, 2002)
- ・建築構造用高性能590N/mm² (SA440) 設計・溶接施工指針 ((社) 日本鉄鋼連盟高性能鋼利用技術小委員会, 2004)

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

応力解析による評価対象部位はサブドレンシャフトとする。管軸方向（鉛直断面）の検討では線形はり-地盤ばねモデルによる応答変位法解析を実施し、横断方向（水平断面）の検討では線形はりモデルによる静的解析を行う。

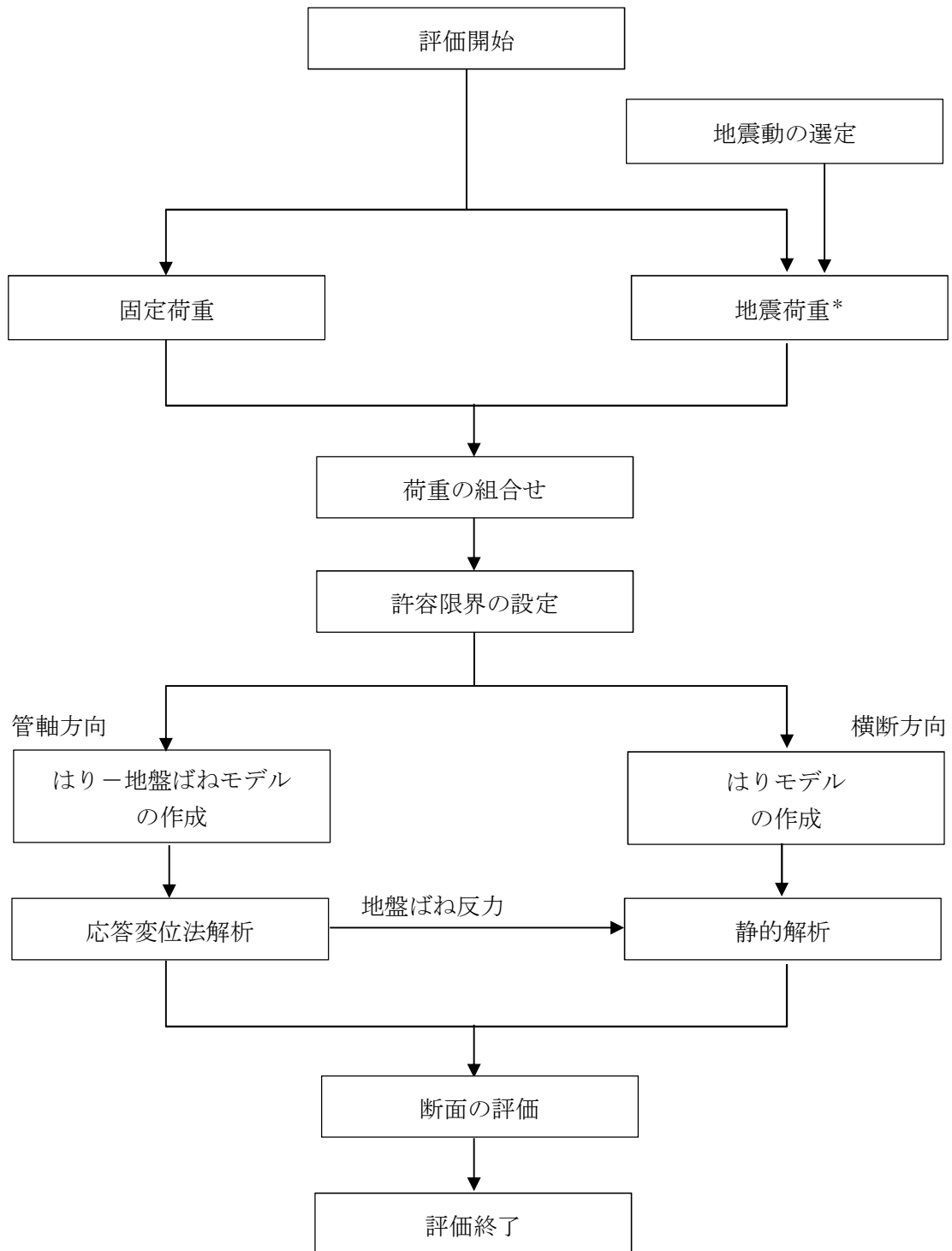
応力解析にあたっては、地盤応答解析による結果を用いて地震荷重を設定する。

地震荷重と地震荷重以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「S規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。許容応力度の評価は、鋼構造計算基準に基づいて曲げ及び圧縮応力度の組合せ及びせん断力について評価を行う。

応力解析によるサブドレンシャフトの評価フローを図 3-1 に示す。

地震動の選定については、地盤物性の不確かさを考慮するものとし、建屋及び基準地震動 S_s ごとの基本ケースにおける応答結果を確認したうえで、応答結果の大きい波に対して検討を実施する。

サブドレンシャフトは、鋼材の腐食対策として、外面に軽量コンクリート、内面にタールエポキシ樹脂系塗料を施すものとし、設計において腐食代は考慮しないものとする。



注記* : 地盤剛性の $\pm\sigma$ を考慮した地震荷重とする。

図 3-1 応力解析によるサブドレンシャフトの評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、サブドレンシャフトの管体の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震力は、基準地震動 S_s に対する地盤応答より算定される動的地震力に地盤物性の不確かさを考慮して設定する。

管軸方向の地震荷重は、基準地震動 S_s に対する地盤の時刻歴応答変位を地震力として設定する。また、鉛直荷重は、地表面での鉛直方向最大応答加速度より算定される鉛直震度とする。

横断方向の地震荷重は、サブドレンシャフトの周辺の地盤に発生する最大水平変位による地盤ばね反力より算定される地震時増分土圧と地震時静止土圧を加算して算定される地震時土圧を考慮する。

なお、管軸方向と横断方向の地震荷重の組合せは、各断面方向の地震荷重による断面内の最大応力発生位置が異なるため、地震荷重の組合せは行わない。各断面方向の地震荷重によるサブドレンシャフト断面内の最大応力発生位置を図3-2に示す。

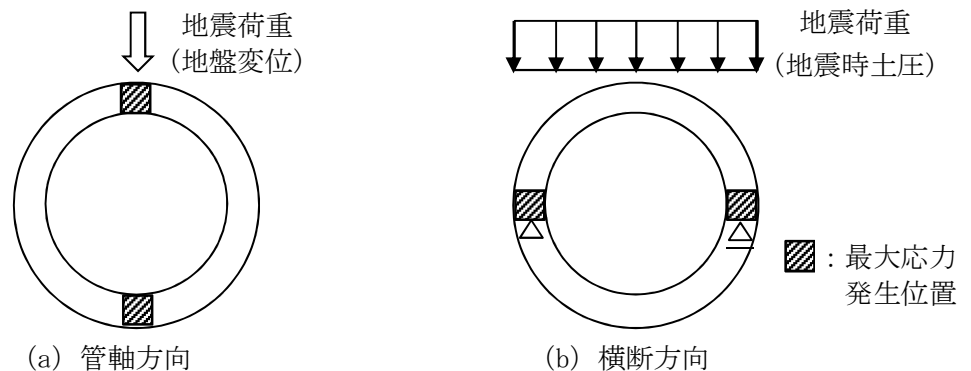


図3-2 サブドレンシャフト断面内の最大応力発生位置

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$G + S_s$

G : 固定荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価におけるサブドレンシャフトの許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の基本方針に基づき、表 3-2 のとおり設定する。また、鋼管の弾性限強度を表 3-3 に示す。

表 3-2 応力解析による評価における許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	サブドレンシャフト	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「S規準」に基づく弾性限強度
支持機能	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	サブドレンシャフト	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「S規準」に基づく弾性限強度

表 3-3 鋼管の弾性限強度

(単位：N/mm²)

材 料	板 厚	F 値	弾性限強度* ¹		
			圧縮 引張	曲げ	せん断
SA440	t ≤ 40mm	440	440	440 (507)* ²	254

注記*¹ : 短期許容応力度の1.0倍の値を示す。なお、圧縮の弾性限強度は上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

*² : () の数値は、面外に曲げを受ける場合の弾性限強度を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 応力解析方法

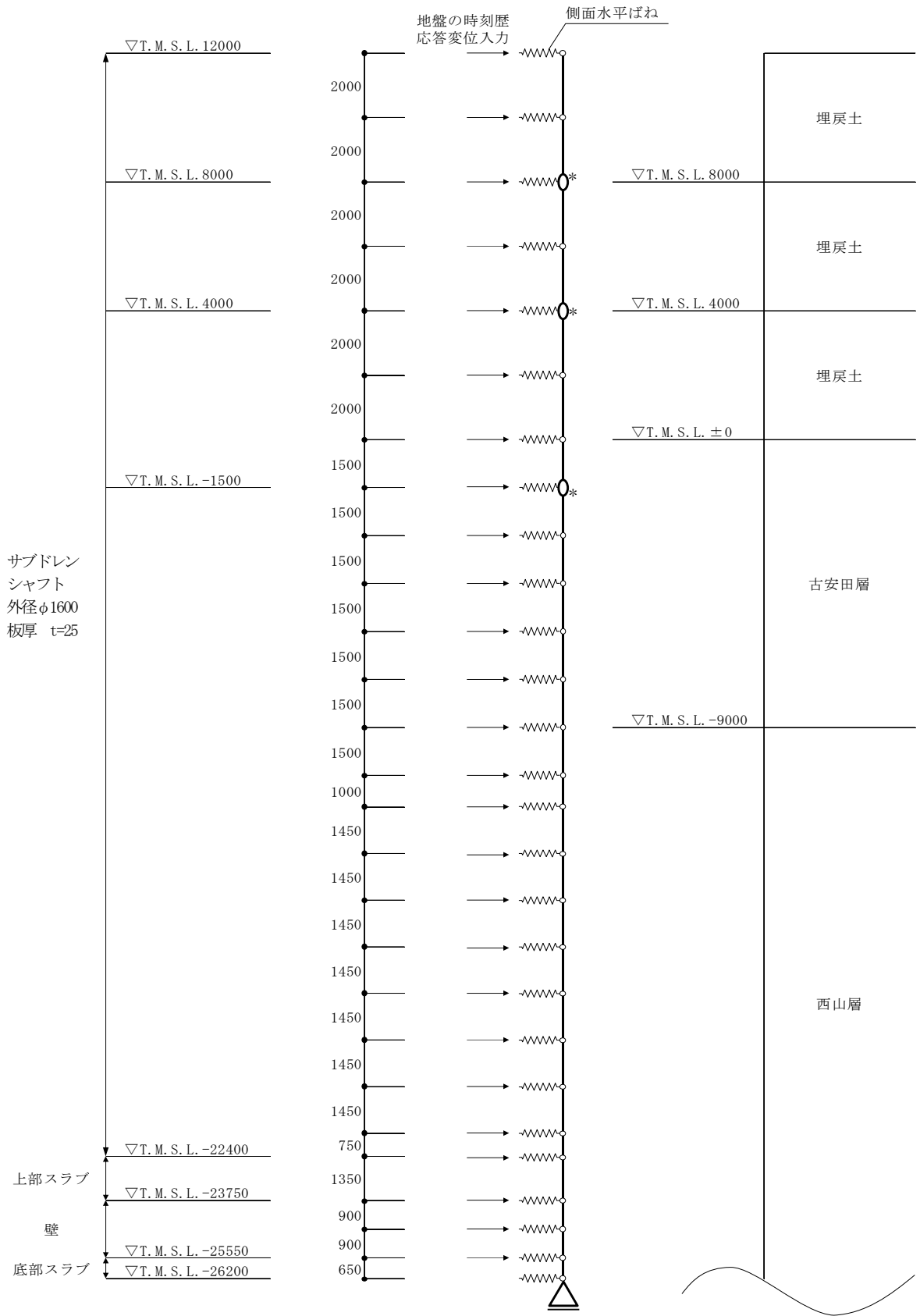
サブドレンシャフトの応力解析においては、管軸方向断面（鉛直断面）と横断方向断面（水平断面）について評価を行う。

(1) 管軸方向断面の応力解析

サブドレンシャフトの管軸方向断面（鉛直断面）の応力解析は、上述の地震応答解析で得られる地盤変位を用いた応答変位法を用いる。サブドレンシャフトは線形はり要素としてモデル化し、地盤は「道路橋示方書（I 共通編・IV下部構造編）」に基づき、地盤ばねでモデル化する。応答変位法では、水平方向の地盤ばねを介して地盤の応答変位を時々刻々作用させ、地震時応力を算出する。

図 3-3 に解析モデルを示す。サブドレンシャフトは、**曲げ及びせん断剛性を考慮した線形はり要素とする。サブドレンシャフトを構成する鋼管の断面性能を表 3-4 に示し、サブドレンピットの断面性能を表 3-5 に示す。また、サブドレンシャフト及びピットの物性値を表 3-6 に示す。**

解析には解析コード「NUPP4」を用いる。



注記* : 縦方向ルーズホールによるピン接合を示す。
(単位: mm)

図 3-3 管軸方向断面の応力解析モデル

表 3-4 原子炉建屋サブドレンシャフトの断面性能

標高 T. M. S. L. (m)	呼び径 (mm)	内径 (mm)	厚さ (mm)	断面 2 次 モーメント (m ⁴)	せん断断面積 (m ²)
12.0 ~ -22.4	1600	1550	25	0.0384	0.0620

表 3-5 原子炉建屋サブドレンピットの断面性能

部位	標高 T. M. S. L. (m)	断面 2 次 モーメント (m ⁴)		せん断断面積 (m ²)	
		NS	EW	NS	EW
上部スラブ	-22.40 ~ -23.75	42.0	14.3	14.3	14.3
壁	-23.75 ~ -25.55	43.4	11.6	7.54	3.74
底部スラブ	-25.55 ~ -26.20	42.0	14.3	14.3	14.3

表 3-6 サブドレンシャフト及びピットの物性値

部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
シャフト	鋼管 : SA440	2.05×10 ⁵	0.3
ピット	コンクリート : F _c = 23.5 (N/mm ²) [F _c = 240kgf/cm ²]*	2.25×10 ⁴	0.2

注記* : []内は従来標記を示す。

(2) 横断方向断面の応力解析

サブドレンシャフトの横断方向断面（水平断面）の応力解析は、管軸方向断面の応力解析において、はり要素の節点位置に取付けた地盤ばね要素の反力を、地盤ばね要素の支配面積で除した地震時増分土圧に、地震時静止土圧を加算して算定される地震時土圧を設定した静的解析とする。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）」のケーソン基礎の設計における地震時の荷重状態に倣って地震時土圧を静的に載荷して、地震時の最大曲げモーメントを算出する。

図 3-4 に解析モデルを示す。

解析には解析コード「KANSAS 2」を用いる。

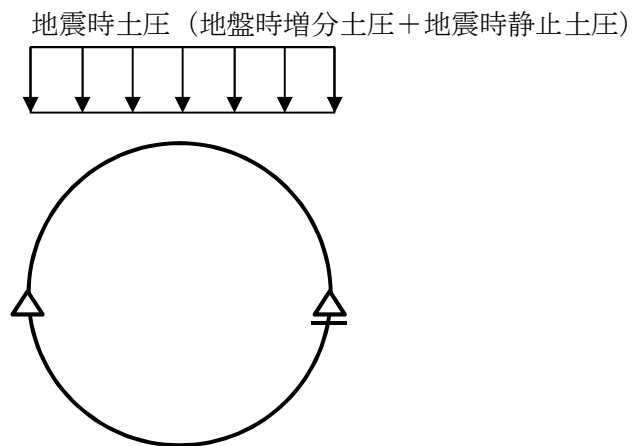


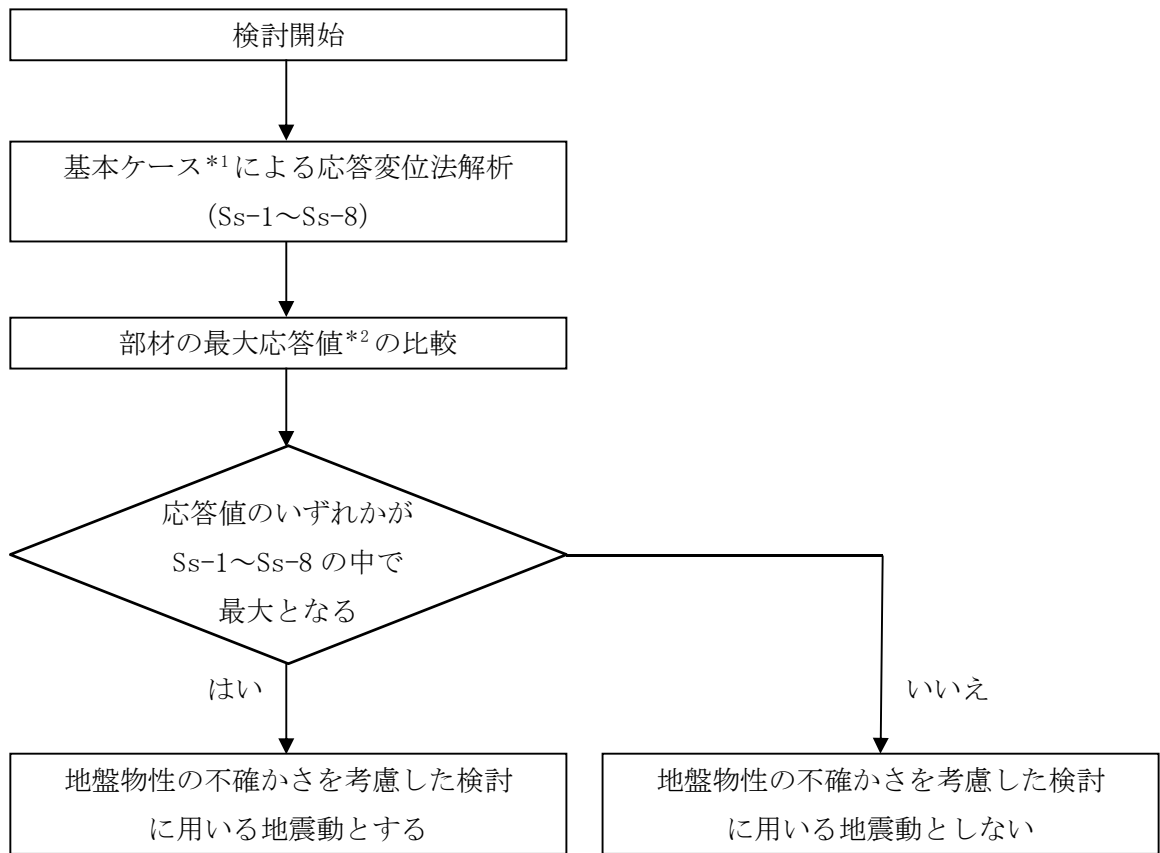
図 3-4 横断方向断面の応力解析モデル

3.4.2 地震動の選定

地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定方法について、基本ケースでの応答変位法解析結果より、最大応答値の比較を行う。ここで用いる応答値は、曲げモーメント、せん断力、せん断ひずみとする。応答値のいずれかが最大となる波を、地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動とする。

地震動の選定フローを図3-4に示す。

応答変位法解析結果より確認した最大応答値を表3-7～表3-12に示す。



注記*1 : 地盤のせん断波速度：標準地盤

*2 : 応答値は、曲げモーメント、せん断力及びせん断ひずみとする。

図3-4 地震動の選定フロー

表 3-7 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (標準地盤, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント ($\times 10^2$ kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	36.2	30.3	36.4	17.9	16.2	18.7	12.6	41.8	41.8
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	43.3	37.8	53.4	25.5	23.4	27.1	19.4	57.0	57.0
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	9.11	9.49	10.5	5.03	3.43	5.17	3.44	10.7	10.7
	0.0	38.0	33.0	42.8	20.9	18.6	21.7	15.2	47.1	47.1
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	63.5	53.3	70.8	33.2	31.1	35.2	25.3	74.9	74.9
	-4.5	61.9	51.7	68.4	31.5	29.3	33.6	23.9	70.7	70.7
	-6.0	42.7	35.0	47.3	21.4	20.0	23.1	16.4	47.5	47.5
	-7.5	26.7	19.9	30.3	13.7	13.4	15.2	11.1	29.2	30.3
	-9.0	22.3	14.3	21.8	10.2	10.4	11.5	9.60	18.9	22.3
	-10.5	11.5	7.68	10.6	4.86	5.08	5.50	4.87	8.07	11.5
	-11.5	5.92	4.20	5.26	2.35	2.52	2.68	2.44	3.61	5.92
	-12.95	2.05	1.74	1.62	0.799	0.973	0.832	0.932	1.16	2.05
	-14.4	2.43	1.66	2.25	0.953	1.01	1.03	0.924	1.74	2.43
	-15.85	2.58	1.85	2.59	1.09	1.05	1.18	0.980	2.02	2.59
	-17.3	2.65	1.89	2.51	1.05	1.06	1.14	0.994	2.07	2.65
	-18.75	2.66	1.94	2.51	1.06	1.08	1.15	1.01	2.09	2.66
-20.2	2.92	2.16	2.77	1.14	1.19	1.24	1.10	2.40	2.92	
-21.65	3.38	2.55	3.26	1.35	1.39	1.47	1.33	2.89	3.38	
-22.4	3.56	2.72	3.47	1.46	1.48	1.58	1.44	3.12	3.56	
ビット	-23.75	3.17	2.51	3.18	1.37	1.37	1.49	1.37	2.92	3.18
	-24.65	2.05	1.67	2.10	0.909	0.913	0.984	0.909	1.94	2.10
	-25.55	0.619	0.516	0.644	0.282	0.285	0.305	0.283	0.603	0.644
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-8 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (標準地盤, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 ($\times 10^2$ kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0									
	10.0	18.1	15.2	18.2	8.95	8.08	9.33	6.29	20.9	20.9
	8.0	18.1	15.2	18.2	8.95	8.08	9.33	6.29	20.9	20.9
	6.0	21.7	18.9	26.7	12.8	11.7	13.6	9.68	28.5	28.5
	4.0	21.7	18.9	26.7	12.8	11.7	13.6	9.68	28.5	28.5
	2.0	4.56	4.75	5.25	2.52	1.72	2.59	1.72	5.33	5.33
	0.0	15.2	12.3	16.5	8.02	8.36	8.83	6.98	18.2	18.2
	-1.5	25.3	22.0	28.5	14.0	12.4	14.5	10.1	31.4	31.4
	-3.0	42.4	35.5	47.2	22.1	20.7	23.5	16.9	50.0	50.0
	-4.5	1.79	1.12	2.04	1.18	1.21	1.20	1.10	2.83	2.83
	-6.0	12.9	11.2	14.3	6.80	6.18	7.00	5.01	15.5	15.5
	-7.5	11.7	10.5	12.0	5.61	4.56	5.68	3.99	12.3	12.3
	-9.0	9.51	7.28	7.17	3.36	2.73	3.78	2.66	7.51	9.51
	-10.5	7.25	4.63	7.61	3.58	3.59	4.01	3.16	7.23	7.61
	-11.5	5.51	3.48	5.33	2.53	2.57	2.82	2.46	4.48	5.51
	-12.95	3.16	2.05	3.11	1.39	1.41	1.52	1.42	2.15	3.16
	-14.4	1.30	0.774	1.17	0.504	0.505	0.542	0.524	0.680	1.30
	-15.85	0.430	0.184	0.289	0.123	0.109	0.124	0.108	0.259	0.430
	-17.3	0.208	0.145	0.159	0.0723	0.0653	0.0730	0.0613	0.114	0.208
	-18.75	0.261	0.190	0.174	0.0927	0.0864	0.0996	0.0895	0.115	0.261
-20.2	0.295	0.248	0.244	0.123	0.115	0.125	0.129	0.216	0.295	
-21.65	0.385	0.340	0.347	0.162	0.176	0.174	0.181	0.354	0.385	
-22.4	0.341	0.295	0.296	0.150	0.159	0.160	0.157	0.317	0.341	
ビット	-23.75	0.335	0.180	0.252	0.0972	0.106	0.106	0.0983	0.200	0.335
	-24.65	1.25	0.949	1.21	0.511	0.519	0.554	0.507	1.10	1.25
	-25.55	1.59	1.28	1.61	0.698	0.698	0.755	0.696	1.49	1.61
	-26.2	0.952	0.794	0.990	0.434	0.438	0.469	0.435	0.928	0.990

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-9 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (標準地盤, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
ビット 壁	-23.75~ -25.55	0.00225	0.00181	0.00228	0.000986	0.000987	0.00107	0.000984	0.00210	0.00228

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-10 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (標準地盤, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント ($\times 10^2$ kN・m)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	36.2	45.4	36.4	28.6	28.8	31.1	24.4	41.8	45.4
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	43.3	59.1	53.4	42.4	38.8	46.2	34.4	57.0	59.1
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	9.11	11.6	10.5	6.94	6.72	7.73	7.34	10.7	11.6
	0.0	38.0	49.8	42.8	33.9	32.4	36.9	28.8	47.1	49.8
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	63.5	81.9	70.8	55.1	52.3	60.1	45.5	74.9	81.9
	-4.5	61.9	79.1	68.4	52.6	49.6	57.6	43.3	70.7	79.1
	-6.0	42.7	53.8	47.3	35.8	33.6	39.4	29.3	47.5	53.8
	-7.5	26.7	31.5	30.3	22.1	20.6	24.3	17.6	29.2	31.5
	-9.0	22.3	21.4	21.8	16.4	14.4	18.1	12.7	18.9	22.3
	-10.5	11.5	11.3	10.6	8.38	7.33	8.68	6.18	8.07	11.5
	-11.5	5.92	6.06	5.26	4.64	3.73	4.68	3.14	3.61	6.06
	-12.95	2.05	2.34	1.62	1.53	1.28	1.54	1.49	1.16	2.34
	-14.4	2.43	2.99	2.25	1.47	1.57	1.73	1.85	1.74	2.99
	-15.85	2.58	3.20	2.59	1.57	1.76	1.84	2.03	2.01	3.20
	-17.3	2.65	3.20	2.50	1.64	1.81	1.90	2.07	2.07	3.20
	-18.75	2.65	3.27	2.49	1.76	1.94	2.03	2.18	2.08	3.27
-20.2	2.92	3.56	2.77	2.04	2.26	2.36	2.51	2.39	3.56	
-21.65	3.45	4.20	3.33	2.56	2.83	2.94	3.13	2.95	4.20	
-22.4	3.72	4.58	3.65	2.85	3.14	3.27	3.48	3.26	4.58	
ビット	-23.75	3.58	4.54	3.62	2.93	3.22	3.33	3.55	3.31	4.54
	-24.65	2.40	3.09	2.47	2.03	2.24	2.30	2.46	2.29	3.09
	-25.55	0.752	0.986	0.791	0.656	0.724	0.742	0.796	0.739	0.986
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-11 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (標準地盤, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 ($\times 10^2$ kN)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0									
	10.0	18.1	22.7	18.2	14.3	14.4	15.6	12.2	20.9	22.7
	8.0	18.1	22.7	18.2	14.3	14.4	15.6	12.2	20.9	22.7
	6.0	21.7	29.6	26.7	21.2	19.4	23.1	17.2	28.5	29.6
	4.0	21.7	29.6	26.7	21.2	19.4	23.1	17.2	28.5	29.6
	2.0	4.56	5.78	5.25	3.47	3.36	3.87	3.67	5.33	5.78
	0.0	15.2	19.2	16.5	13.7	13.0	14.9	11.3	18.2	19.2
	-1.5	25.3	33.2	28.5	22.6	21.6	24.6	19.2	31.4	33.2
	-3.0	42.4	54.6	47.2	36.8	34.9	40.1	30.3	50.0	54.6
	-4.5	1.79	1.91	2.04	1.94	1.82	1.93	1.59	2.83	2.83
	-6.0	12.9	16.9	14.3	11.2	10.8	12.2	9.33	15.5	16.9
	-7.5	11.7	14.9	12.0	9.14	8.73	10.5	7.84	12.3	14.9
	-9.0	9.51	9.65	7.17	5.45	5.12	6.69	4.86	7.51	9.65
	-10.5	7.25	7.28	7.61	5.66	5.06	6.24	4.30	7.23	7.61
	-11.5	5.51	5.20	5.33	4.24	3.60	4.52	3.31	4.48	5.51
	-12.95	3.16	2.98	3.11	2.40	2.14	2.52	1.92	2.15	3.16
	-14.4	1.30	1.14	1.17	0.898	0.838	0.929	0.791	0.680	1.30
	-15.85	0.428	0.352	0.287	0.206	0.199	0.211	0.193	0.257	0.428
	-17.3	0.206	0.201	0.157	0.122	0.0975	0.141	0.107	0.110	0.206
	-18.75	0.261	0.255	0.172	0.151	0.152	0.164	0.152	0.112	0.261
-20.2	0.303	0.335	0.251	0.218	0.236	0.243	0.271	0.223	0.335	
-21.65	0.430	0.492	0.397	0.359	0.403	0.413	0.449	0.400	0.492	
-22.4	0.463	0.523	0.418	0.390	0.436	0.445	0.482	0.434	0.523	
ビット	-23.75	0.281	0.195	0.155	0.129	0.128	0.128	0.127	0.0952	0.281
	-24.65	1.31	1.61	1.28	1.00	1.11	1.15	1.23	1.15	1.61
	-25.55	1.83	2.34	1.87	1.52	1.68	1.73	1.85	1.72	2.34
	-26.2	1.16	1.52	1.22	1.01	1.12	1.15	1.23	1.14	1.52

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-12 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (標準地盤, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)								
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
ビット 壁	-23.75~ -25.55	0.00520	0.00666	0.00531	0.00434	0.00478	0.00493	0.00525	0.00490	0.00666

注：網掛け部分は最大値を示す。

3.4.3 地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

サブドレンシャフトの地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の算定結果を表 3-13 に示し、算定した地震動での応力解析値一覧を表 3-14～表 3-25、応力解析値の分布図を図 3-5～図 3-7 に示す。

表 3-13 地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動

建屋名	地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動
	基準地震動 S_s
原子炉建屋 サブドレンシャフト	S_{s-1} , S_{s-2} , S_{s-3} , S_{s-8}

表 3-14 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (地盤剛性+σ, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (×10 ² kN・m)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	28.6	25.2	21.3	32.5	32.5
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	48.7	38.7	41.0	57.8	57.8
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	9.67	10.2	9.71	11.4	11.4
	0.0	38.5	31.9	32.7	45.4	45.4
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	56.7	46.9	45.5	66.1	66.1
	-4.5	51.9	43.1	41.2	60.2	60.2
	-6.0	34.4	28.3	27.0	39.9	39.9
	-7.5	21.6	17.7	17.8	26.9	26.9
	-9.0	17.7	15.8	15.6	22.2	22.2
	-10.5	8.88	8.31	8.01	10.6	10.6
	-11.5	4.47	4.48	4.33	5.17	5.17
	-12.95	1.97	1.41	1.45	1.25	1.97
	-14.4	2.04	1.39	1.76	0.993	2.04
	-15.85	2.16	1.45	1.96	1.15	2.16
	-17.3	2.10	1.39	1.95	1.16	2.10
	-18.75	2.15	1.37	1.98	1.17	2.15
-20.2	2.35	1.55	2.23	1.27	2.35	
-21.65	2.83	1.97	2.75	1.54	2.83	
-22.4	3.12	2.19	3.02	1.69	3.12	
ピット	-23.75	3.07	2.19	2.98	1.66	3.07
	-24.65	2.08	1.50	2.02	1.14	2.08
	-25.55	0.650	0.472	0.635	0.358	0.650
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-15 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (地盤剛性+σ, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 (×10 ² kN)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0					
	10.0	14.3	12.6	10.7	16.3	16.3
	8.0	14.3	12.6	10.7	16.3	16.3
	6.0	24.4	19.4	20.5	28.9	28.9
	4.0	24.4	19.4	20.5	28.9	28.9
	2.0	4.84	5.10	4.86	5.67	5.67
	0.0	15.3	12.2	11.9	17.1	17.1
	-1.5	25.7	21.3	21.8	30.3	30.3
	-3.0	37.8	31.3	30.3	44.1	44.1
	-4.5	3.51	2.89	3.10	4.03	4.03
	-6.0	11.8	9.85	9.45	13.5	13.5
	-7.5	8.91	8.00	6.72	8.87	8.91
	-9.0	5.65	5.59	3.25	4.77	5.65
	-10.5	5.99	4.95	5.02	7.71	7.71
	-11.5	4.41	3.88	3.78	5.45	5.45
	-12.95	2.45	2.18	2.16	2.86	2.86
	-14.4	0.887	0.752	0.794	0.985	0.985
	-15.85	0.271	0.119	0.189	0.205	0.271
	-17.3	0.152	0.102	0.120	0.0825	0.152
	-18.75	0.195	0.146	0.146	0.101	0.195
-20.2	0.251	0.179	0.200	0.118	0.251	
-21.65	0.410	0.297	0.361	0.211	0.410	
-22.4	0.412	0.300	0.367	0.221	0.412	
ピット	-23.75	0.190	0.122	0.121	0.0644	0.190
	-24.65	1.11	0.775	1.07	0.596	1.11
	-25.55	1.59	1.14	1.54	0.860	1.59
	-26.2	1.00	0.725	0.977	0.551	1.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-16 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (地盤剛性+σ, NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ (×10 ⁻³)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
ピット 壁	-23.75～ -25.55	0.00224	0.00161	0.00217	0.00122	0.00224

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-17 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (地盤剛性+σ, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント (×10 ² kN・m)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	28.6	43.1	21.3	32.5	43.1
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	48.7	66.3	41.0	57.8	66.3
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	9.67	14.3	9.71	11.4	14.3
	0.0	38.5	54.7	32.7	45.4	54.7
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	56.7	79.6	45.5	66.1	79.6
	-4.5	51.9	72.7	41.2	60.2	72.7
	-6.0	34.4	47.6	27.0	39.9	47.6
	-7.5	21.6	29.3	17.8	26.9	29.3
	-9.0	17.7	21.0	15.6	22.2	22.2
	-10.5	8.88	10.5	8.01	10.6	10.6
	-11.5	4.47	5.35	4.33	5.17	5.35
	-12.95	1.97	1.56	1.45	1.25	1.97
	-14.4	2.04	2.11	1.76	0.993	2.11
	-15.85	2.16	2.27	1.96	1.15	2.27
	-17.3	2.09	2.27	1.94	1.16	2.27
	-18.75	2.13	2.34	1.97	1.17	2.34
-20.2	2.34	2.63	2.22	1.26	2.63	
-21.65	2.87	3.24	2.79	1.56	3.24	
-22.4	3.25	3.63	3.14	1.75	3.63	
ピット	-23.75	3.47	3.82	3.36	1.88	3.82
	-24.65	2.43	2.67	2.37	1.33	2.67
	-25.55	0.796	0.871	0.778	0.439	0.871
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-18 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (地盤剛性+σ, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 (×10 ² kN)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0					
	10.0	14.3	21.6	10.7	16.3	21.6
	8.0	14.3	21.6	10.7	16.3	21.6
	6.0	24.4	33.2	20.5	28.9	33.2
	4.0	24.4	33.2	20.5	28.9	33.2
	2.0	4.84	7.11	4.86	5.67	7.11
	0.0	15.3	20.5	11.9	17.1	20.5
	-1.5	25.7	36.5	21.8	30.3	36.5
	-3.0	37.8	53.1	30.3	44.1	53.1
	-4.5	3.51	4.64	3.10	4.03	4.64
	-6.0	11.8	16.9	9.45	13.5	16.9
	-7.5	8.91	12.4	6.72	8.87	12.4
	-9.0	5.65	6.29	3.25	4.77	6.29
	-10.5	5.99	7.51	5.02	7.71	7.71
	-11.5	4.41	5.15	3.78	5.45	5.45
	-12.95	2.45	2.81	2.16	2.86	2.86
	-14.4	0.887	0.979	0.794	0.984	0.984
	-15.85	0.270	0.222	0.188	0.205	0.270
	-17.3	0.152	0.131	0.119	0.0820	0.152
	-18.75	0.194	0.169	0.145	0.101	0.194
-20.2	0.253	0.253	0.202	0.119	0.253	
-21.65	0.445	0.437	0.394	0.230	0.445	
-22.4	0.519	0.521	0.473	0.279	0.521	
ピット	-23.75	0.223	0.219	0.190	0.119	0.223
	-24.65	1.15	1.28	1.11	0.618	1.28
	-25.55	1.82	2.00	1.77	0.988	2.00
	-26.2	1.23	1.34	1.20	0.674	1.34

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-19 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (地盤剛性+σ, EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ (×10 ⁻³)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
ピット 壁	-23.75～ -25.55	0.00518	0.00569	0.00503	0.00282	0.00569

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-20 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (地盤剛性 σ , NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント ($\times 10^2$ kN \cdot m)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	57.0	20.4	106	35.9	106
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	49.7	23.3	101	41.8	101
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	75.8	4.85	37.0	6.69	75.8
	0.0	85.1	19.7	98.0	35.6	98.0
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	157	38.4	165	64.2	165
	-4.5	158	39.2	168	64.1	168
	-6.0	111	28.3	119	45.4	119
	-7.5	64.1	18.2	68.8	27.8	68.8
	-9.0	30.6	13.3	33.4	15.9	33.4
	-10.5	11.3	8.15	11.7	6.75	11.7
	-11.5	5.08	4.81	4.93	3.14	5.08
	-12.95	3.06	2.31	2.16	1.39	3.06
	-14.4	3.55	2.25	2.77	2.60	3.55
	-15.85	3.56	2.35	2.76	3.10	3.56
	-17.3	3.55	2.55	2.73	3.28	3.55
	-18.75	3.57	2.82	2.94	3.44	3.57
-20.2	3.82	3.24	3.29	3.71	3.82	
-21.65	4.31	3.83	3.80	4.12	4.31	
-22.4	4.46	4.04	3.99	4.28	4.46	
ピット	-23.75	3.96	3.56	3.52	3.70	3.96
	-24.65	2.57	2.30	2.28	2.36	2.57
	-25.55	0.781	0.698	0.693	0.710	0.781
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-21 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (地盤剛性- σ , NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 ($\times 10^2$ kN)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0					
	10.0	28.5	10.2	52.6	18.0	52.6
	8.0	28.5	10.2	52.6	18.0	52.6
	6.0	24.9	11.7	50.3	20.9	50.3
	4.0	24.9	11.7	50.3	20.9	50.3
	2.0	37.9	2.43	18.5	3.35	37.9
	0.0	75.2	8.91	30.6	14.6	75.2
	-1.5	56.8	13.1	65.3	23.7	65.3
	-3.0	105	25.6	110	42.8	110
	-4.5	1.44	1.15	2.06	0.813	2.06
	-6.0	31.2	7.33	32.8	12.5	32.8
	-7.5	31.0	7.96	34.3	11.9	34.3
	-9.0	22.6	6.47	26.2	8.46	26.2
	-10.5	14.3	4.22	14.9	6.17	14.9
	-11.5	7.30	3.35	7.54	3.65	7.54
	-12.95	3.34	2.33	3.39	1.80	3.39
	-14.4	1.32	1.05	1.18	0.982	1.32
	-15.85	0.645	0.277	0.586	0.426	0.645
	-17.3	0.489	0.225	0.428	0.174	0.489
	-18.75	0.392	0.323	0.338	0.159	0.392
-20.2	0.415	0.398	0.330	0.236	0.415	
-21.65	0.481	0.431	0.408	0.338	0.481	
-22.4	0.340	0.341	0.283	0.209	0.341	
ピット	-23.75	0.501	0.374	0.374	0.471	0.501
	-24.65	1.55	1.40	1.38	1.48	1.55
	-25.55	1.99	1.79	1.76	1.84	1.99
	-26.2	1.21	1.08	1.07	1.10	1.21

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-22 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (地盤剛性- σ , NS 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
ピット 壁	-23.75～ -25.55	0.00281	0.00252	0.00249	0.00260	0.00281

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-23 原子炉建屋 最大応答曲げモーメント一覧表 (地盤剛性 σ , EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答曲げモーメント ($\times 10^2$ kN \cdot m)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10.0	57.0	31.6	106	35.9	106
	8.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6.0	49.7	33.0	101	41.8	101
	4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	75.8	5.50	37.0	6.69	75.8
	0.0	85.1	29.2	98.0	35.6	98.0
	-1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	-3.0	157	55.3	165	64.2	165
	-4.5	158	56.4	168	64.1	168
	-6.0	111	40.9	119	45.4	119
	-7.5	64.1	26.3	68.8	27.8	68.8
	-9.0	30.6	19.0	33.4	15.9	33.4
	-10.5	11.3	9.84	11.7	6.75	11.7
	-11.5	5.08	5.96	4.93	3.14	5.96
	-12.95	3.06	3.35	2.16	1.38	3.35
	-14.4	3.55	3.84	2.77	2.60	3.84
	-15.85	3.55	4.03	2.75	3.10	4.03
	-17.3	3.53	4.01	2.71	3.26	4.01
	-18.75	3.55	3.94	2.92	3.42	3.94
-20.2	3.83	3.98	3.30	3.73	3.98	
-21.65	4.44	4.27	3.92	4.25	4.44	
-22.4	4.73	4.47	4.23	4.53	4.73	
ピット	-23.75	4.53	4.10	4.02	4.20	4.53
	-24.65	3.05	2.70	2.70	2.79	3.05
	-25.55	0.960	0.839	0.851	0.867	0.960
	-26.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-24 原子炉建屋 最大応答せん断力一覧表 (地盤剛性- σ , EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断力 ($\times 10^2$ kN)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
シャフト 板厚25mm	12.0					
	10.0	28.5	15.8	52.6	18.0	52.6
	8.0	28.5	15.8	52.6	18.0	52.6
	6.0	24.9	16.5	50.3	20.9	50.3
	4.0	24.9	16.5	50.3	20.9	50.3
	2.0	37.9	2.75	18.5	3.35	37.9
	0.0	75.2	12.3	30.6	14.6	75.2
	-1.5	56.8	19.5	65.3	23.7	65.3
	-3.0	105	36.9	110	42.8	110
	-4.5	1.44	1.45	2.06	0.813	2.06
	-6.0	31.2	10.6	32.8	12.5	32.8
	-7.5	31.0	11.4	34.3	11.9	34.3
	-9.0	22.6	9.33	26.2	8.46	26.2
	-10.5	14.3	6.36	14.9	6.17	14.9
	-11.5	7.30	4.55	7.54	3.65	7.54
	-12.95	3.34	3.05	3.39	1.79	3.39
	-14.4	1.32	1.48	1.17	0.980	1.48
	-15.85	0.643	0.497	0.585	0.422	0.643
	-17.3	0.488	0.309	0.425	0.169	0.488
	-18.75	0.391	0.344	0.337	0.159	0.391
-20.2	0.419	0.409	0.344	0.256	0.419	
-21.65	0.567	0.483	0.482	0.416	0.567	
-22.4	0.517	0.436	0.442	0.376	0.517	
ピット	-23.75	0.416	0.434	0.262	0.292	0.434
	-24.65	1.65	1.56	1.48	1.58	1.65
	-25.55	2.32	2.07	2.05	2.13	2.32
	-26.2	1.48	1.29	1.31	1.34	1.48

注：網掛け部分は最大値を示す。

表 3-25 原子炉建屋 最大応答せん断ひずみ一覧表 (地盤剛性- σ , EW 方向)

部位	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)				
		Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-8	最大値
ピット 壁	-23.75～ -25.55	0.00660	0.00590	0.00585	0.00607	0.00660

注：網掛け部分は最大値を示す。

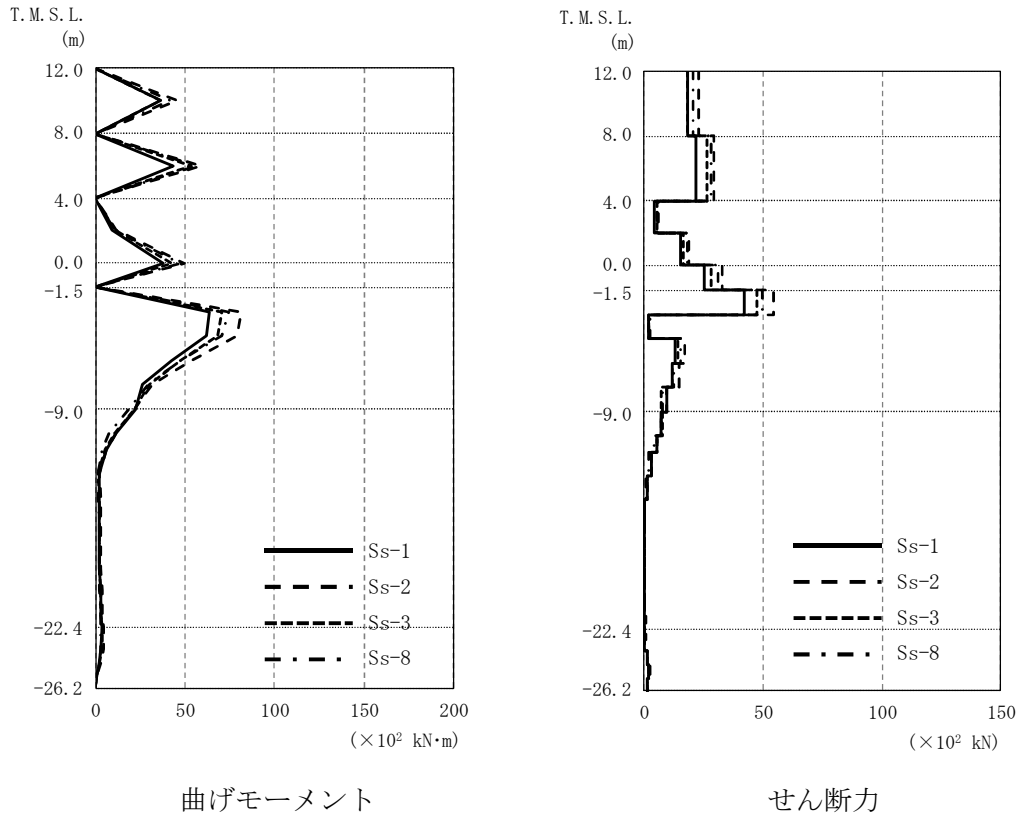


図 3-5 地盤物性の不確かさを考慮した検討による応力解析結果 (標準地盤)

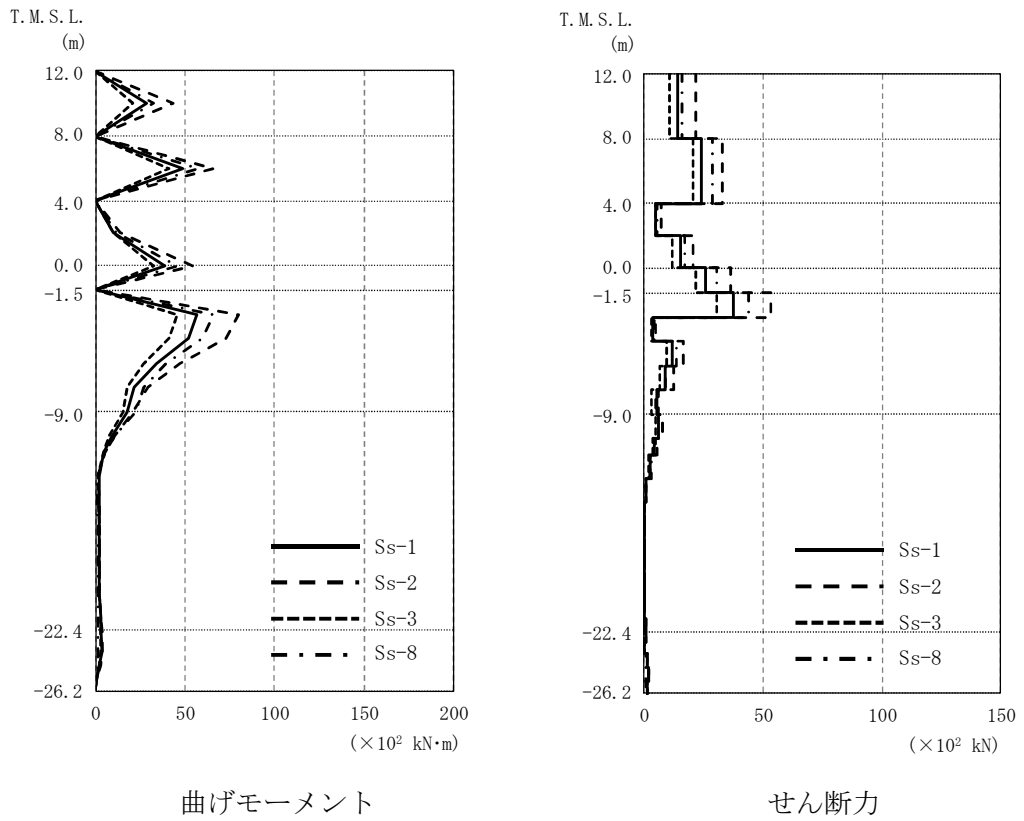


図 3-6 地盤物性の不確かさを考慮した検討による応力解析結果 (地盤剛性 + σ)

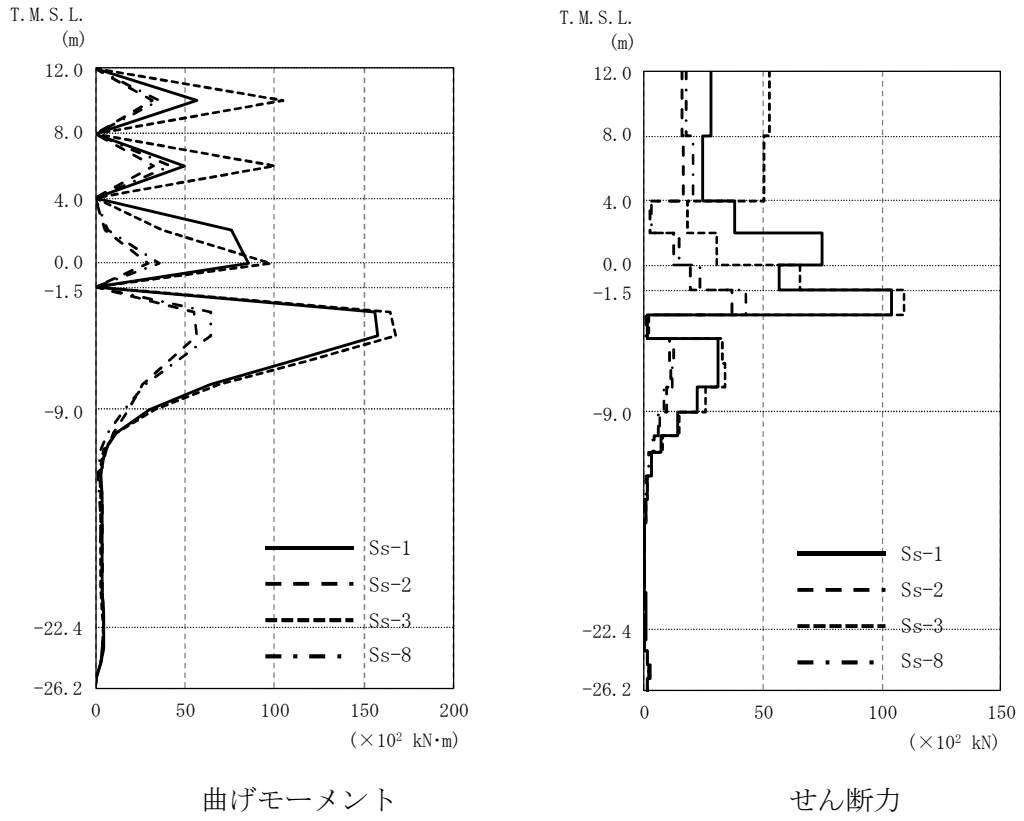


図 3-7 地盤物性の不確かさを考慮した検討による応力解析結果 (地盤剛性 - σ)

3.5 応力解析による最大応答値のまとめ

3.5.1 管軸方向断面の最大応答値

地盤物性の不確かさを考慮した検討による管軸方向断面での検定値が最大となる曲げモーメント，せん断力，軸力の最大応答値を表 3-26～表 3-28 に示す。

表 3-26 地盤物性の不確かさを考慮した曲げモーメントの最大応答値 (kN・m)

建屋	標準地盤	地盤剛性 + σ	地盤剛性 - σ
原子炉建屋	8190 (S _S -2)	7960 (S _S -2)	16800 (S _S -3)

表 3-27 地盤物性の不確かさを考慮したせん断力の最大応答値 (kN)

建屋	標準地盤	地盤剛性 + σ	地盤剛性 - σ
原子炉建屋	5460 (S _S -2)	5310 (S _S -2)	11000 (S _S -3)

表 3-28 地盤物性の不確かさを考慮した軸力の最大応答値 (kN)

建屋	標準地盤	地盤剛性 + σ	地盤剛性 - σ
原子炉建屋	312 (S _S -3)	307 (S _S -3)	314 (S _S -3)

3.5.2 横断方向断面の最大応答値

地盤物性の不確かさを考慮した検討による横断方向断面での検定値が最大となる曲げモーメント，せん断力の最大応答値を表 3-29～表 3-30 に示す。

表 3-29 地盤物性の不確かさを考慮した曲げモーメントの最大応答値 (kN・m)

建屋	標準地盤	地盤剛性 + σ	地盤剛性 - σ
原子炉建屋	23.4 (S _S -2)	22.8 (S _S -2)	47.5 (S _S -3)

表 3-30 地盤物性の不確かさを考慮したせん断力の最大応答値 (kN)

建屋	標準地盤	地盤剛性 + σ	地盤剛性 - σ
原子炉建屋	267 (S _S -2)	273 (S _S -2)	507 (S _S -3)

4. 評価結果

4.1 管軸方向断面の評価結果

サブドレンシャフトの管軸方向断面の応答変位法による応力解析で得られた検定値が最大となる曲げモーメント及びせん断力について、鋼管断面の評価結果を表 4-1 に示す。

発生応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-1 原子炉建屋サブドレンシャフトの管軸方向断面の評価結果

構造諸元	呼び径	1600
	内径 (mm) × 鋼板厚 (mm)	1550 × 25
発生断面力	曲げモーメント M (kN・m)	16800
	軸力 N (kN)	314
	せん断力 S (kN)	11000
発生応力度	曲げ応力度 σ_b (N/mm ²)	351
	圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)	2.54
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	178
許容限界	曲げ応力に関する弾性限強度 f_b (N/mm ²)	440
	圧縮応力に関する弾性限強度 f_c (N/mm ²)	429
	せん断応力に関する弾性限強度 f_s (N/mm ²)	254
検定値	$\sigma_b / f_b + \sigma_c / f_c$	0.81
	τ / f_s	0.71
判定		可

4.2 横断方向断面の評価結果

サブドレンシャフトの横断方向断面の応力解析で得られた検定値が最大となる曲げモーメントについて、鋼管断面の評価結果を表 4-2 に示す。

発生応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-2 原子炉建屋サブドレンシャフトの横断方向断面の評価結果

構造諸元	呼び径	1600
	内径 (mm) × 鋼板厚 (mm)	1550 × 25
発生断面力	曲げモーメント M (kN・m)	47.5
	せん断力 S (kN)	507
発生応力度	曲げ応力度 σ_b (N/mm ²)	456
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	24.4
許容限界	曲げ応力に関する弾性限強度 f_b (N/mm ²)	507
	せん断応力に関する弾性限強度 f_s (N/mm ²)	254
検定値	σ_b / f_b	0.90
	τ / f_s	0.10
判定		可