

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

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	KK7添-2-025 改1
提出年月日	2020年4月3日

V-2-2-15 緊急時対策所の地震応答計算書

2020年4月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-2-15 緊急時対策所の地震応答計算書

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 解析方針	16
2.4 適用規格・基準等	18
3. 解析方法	19
3.1 設計用模擬地震波	19
3.2 地震応答解析モデル	31
3.2.1 水平方向モデル	32
3.2.2 鉛直方向モデル	34
3.3 解析方法	57
3.3.1 動的解析	57
3.3.2 必要保有水平耐力	58
3.4 解析条件	59
3.4.1 建物・構築物の復元力特性	59
3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性	66
3.4.3 材料物性の不確かさ等	67
4. 解析結果	68
4.1 動的解析	68
4.1.1 固有値解析結果	68
4.1.2 応答解析結果	68
4.2 必要保有水平耐力	98

1. 概要

一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊その他の異常が発生した場合に適切な措置をとるため、緊急時対策所機能（「6,7号機共用，5号機に設置」）を備えた5号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部・高気密室）（「6,7号機共用，5号機に設置」）及び5号機原子炉建屋内緊急時対策所（待機場所）（「6,7号機共用，5号機に設置」）で構成する5号機原子炉建屋内緊急時対策所（「6,7号機共用，5号機に設置」）（以下「緊急時対策所」という。）が，中央制御室以外の場所として5号機原子炉建屋付属棟内（T.M.S.L. 27.8m）に設置されている。緊急時対策所の概略配置図を図1-1示す。

本資料は，V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」，V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」及びV-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく緊急時対策所の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により算出した各種応答値は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す建物・構築物及び機器・配管系の設計用地震力として用いる。また，必要保有水平耐力については建物・構築物の構造強度の確認に用いる。

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

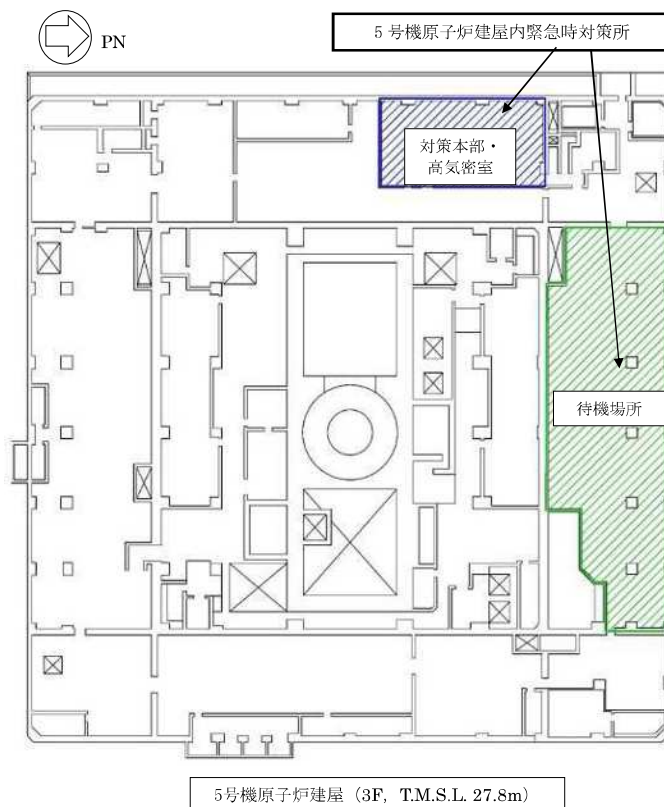
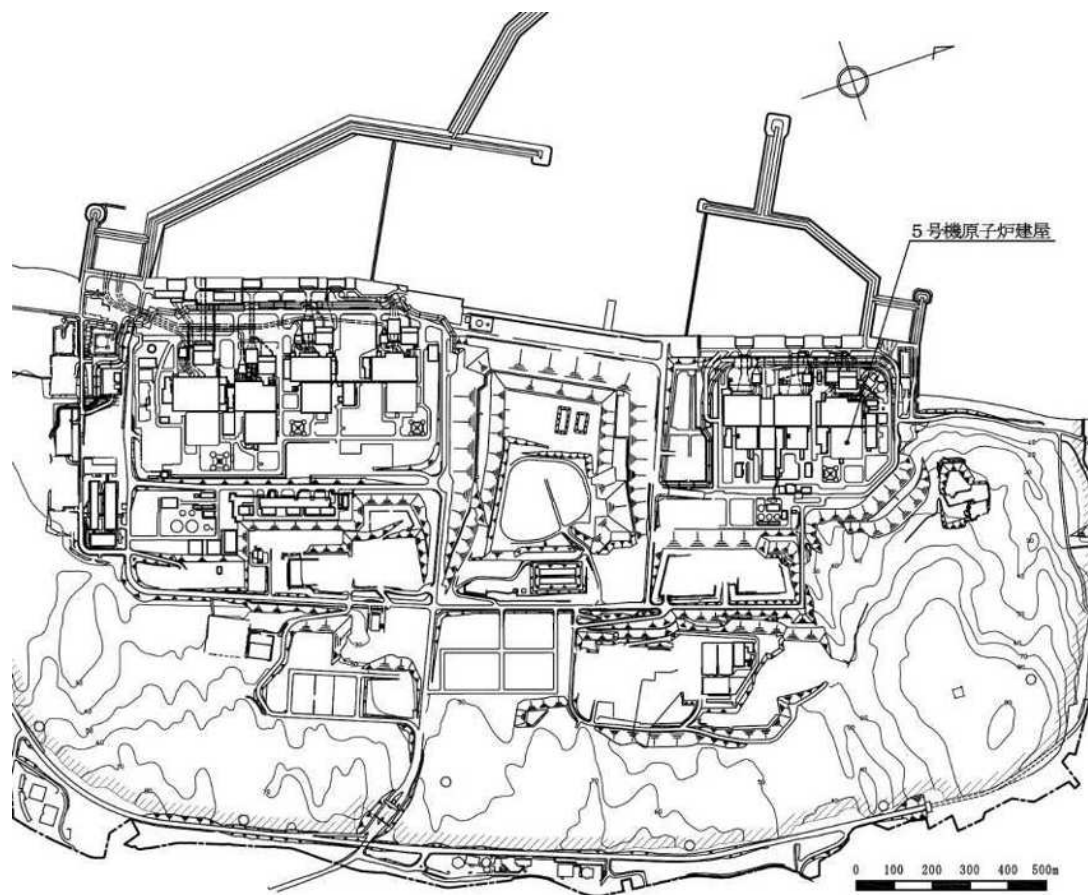


図1-1 緊急時対策所の概略配置図

2. 基本方針

2.1 位置

5号機原子炉建屋の設置位置を図2-1に示す。



K7 ① V-2-2-15 R0

図2-1 5号機原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

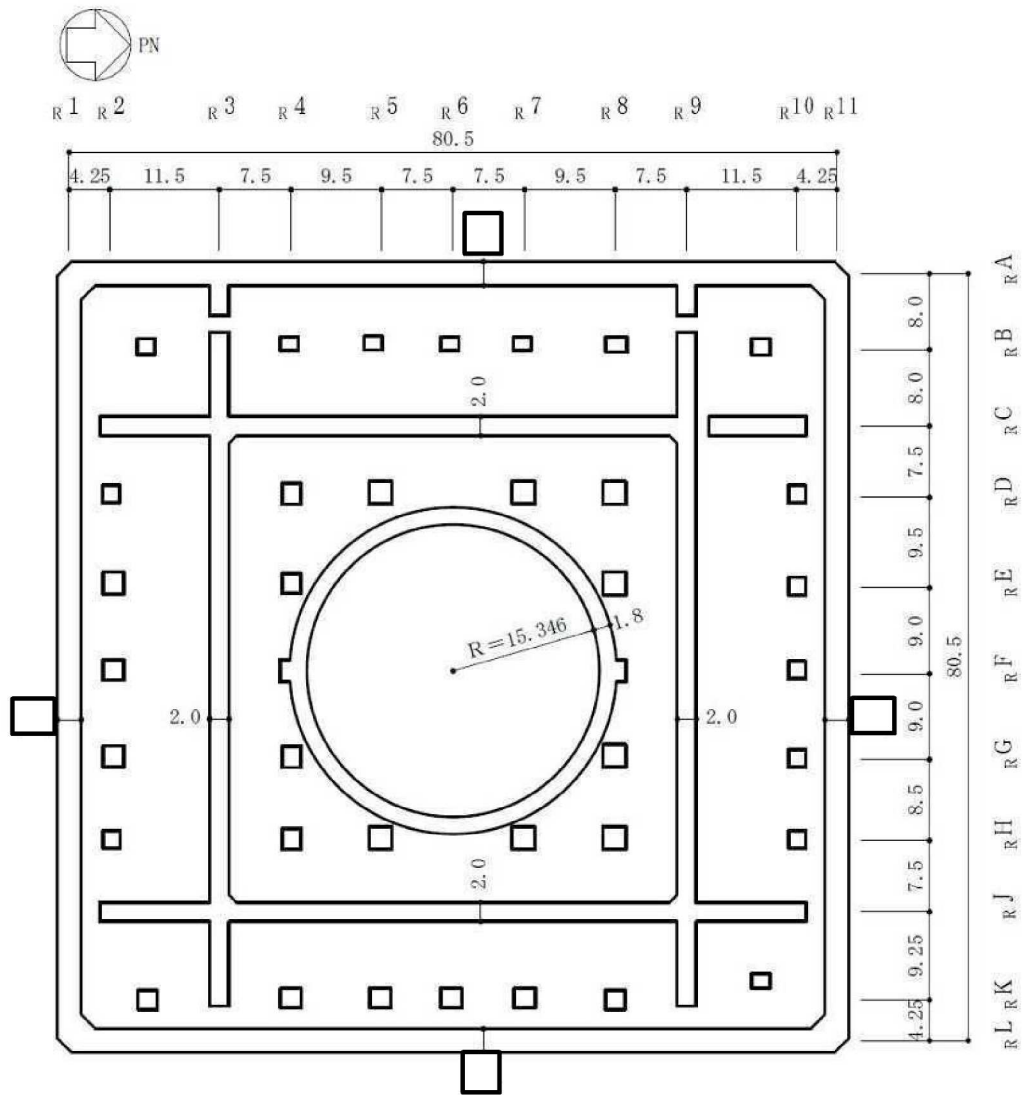
5号機原子炉建屋は主体構造が鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）で、鉄骨造陸屋根をもつ建物である。中央部には平面が51.0m（NS方向）×53.0m（EW方向）で地下4階、地上4階の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には地下4階、地上3階の原子炉建屋附属棟（以下「附属棟」という。）を配置している。

原子炉棟とその附属棟とは同一基礎スラブ上に配置した一体構造であり、5号機原子炉建屋の平面は下部で83.0m×83.0mの正方形をなしている。基礎スラブ底面からの高さは75.0mであり、地上高さは39.0mである。また、5号機原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。5号機原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

5号機原子炉建屋の基礎は厚さ6.5mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上に設置している。

5号機原子炉建屋の主な耐震要素は、原子炉格納容器の周りを囲んでいる原子炉一次遮蔽、原子炉棟の外壁及び附属棟の外壁であり、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。

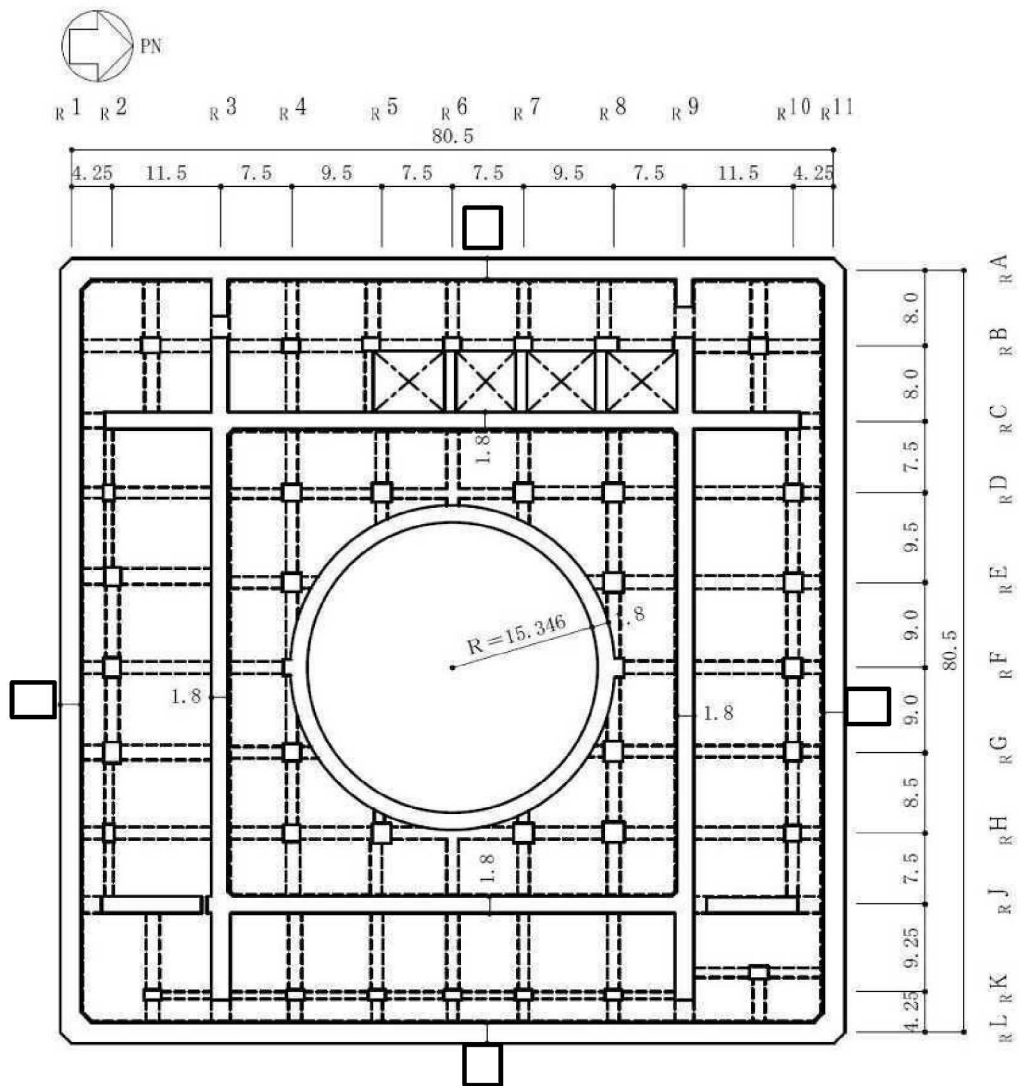
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位 : m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B4F, T.M.S.L. -17.5m) (1/10)

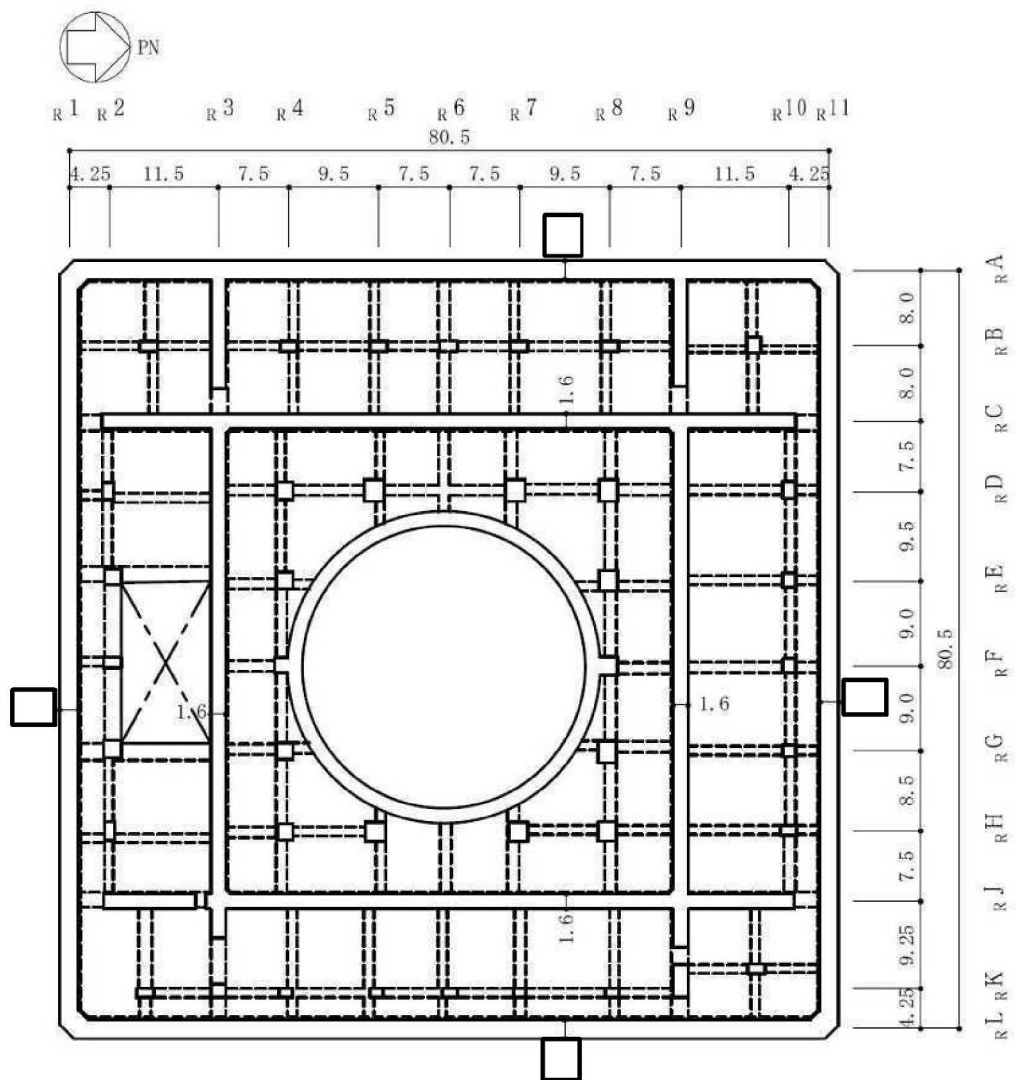
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -10.1m) (2/10)

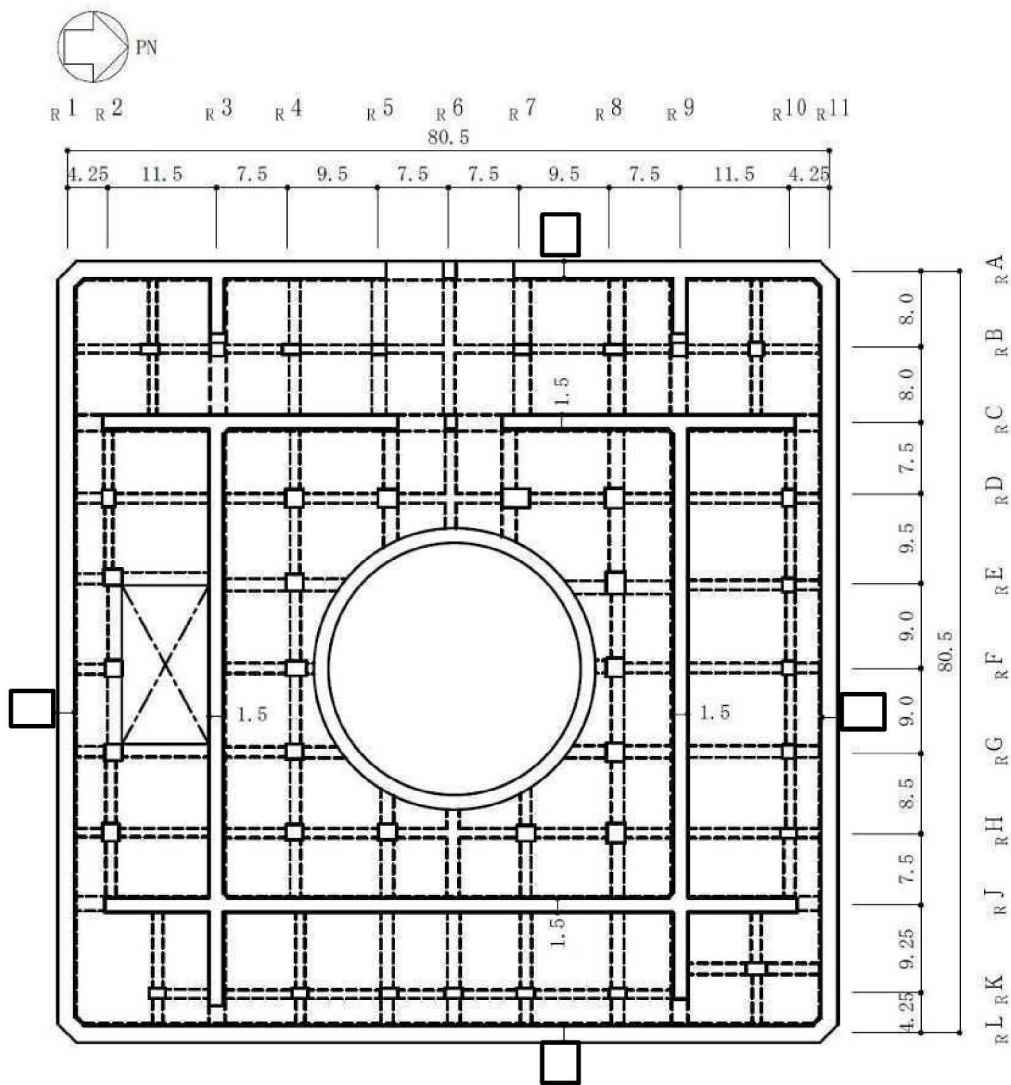
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.1m) (3/10)

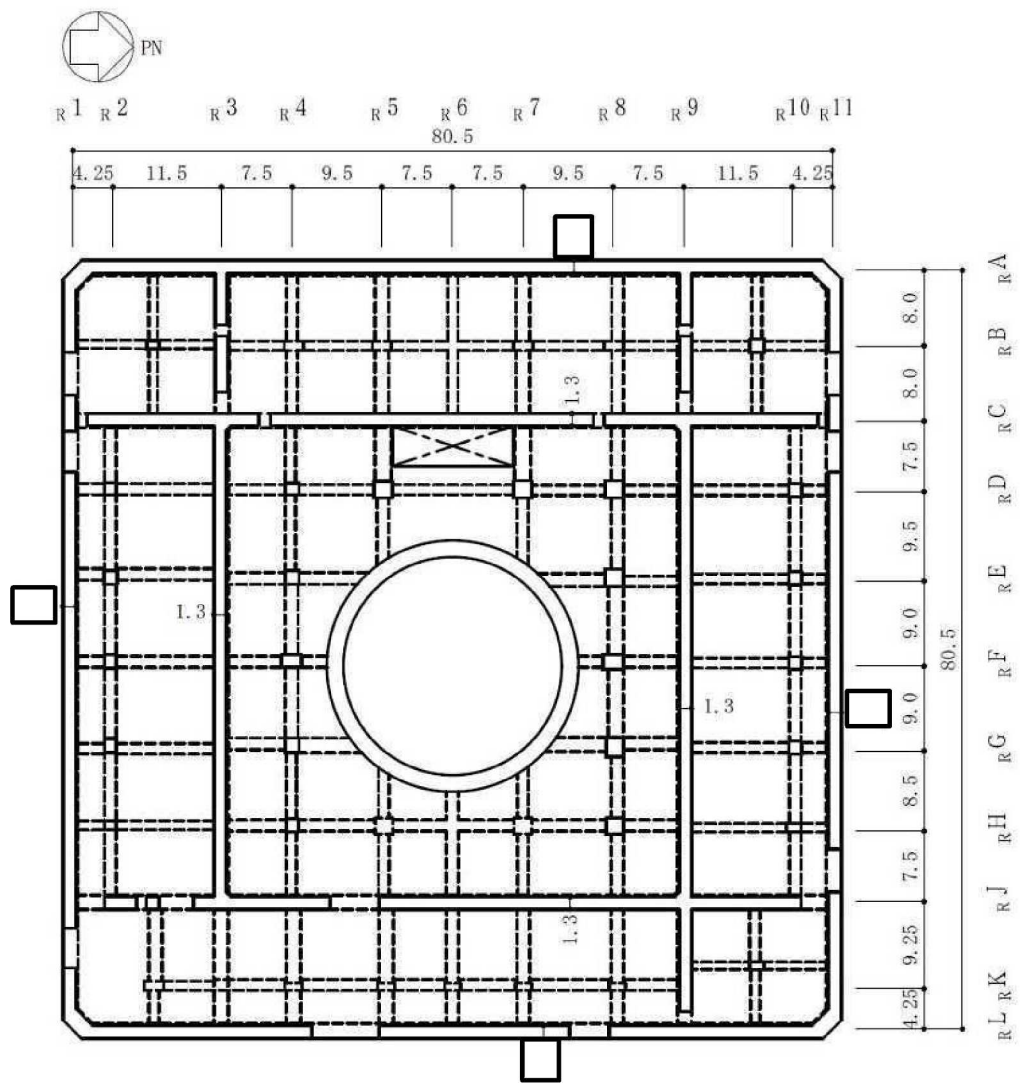
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 5.3m) (4/10)

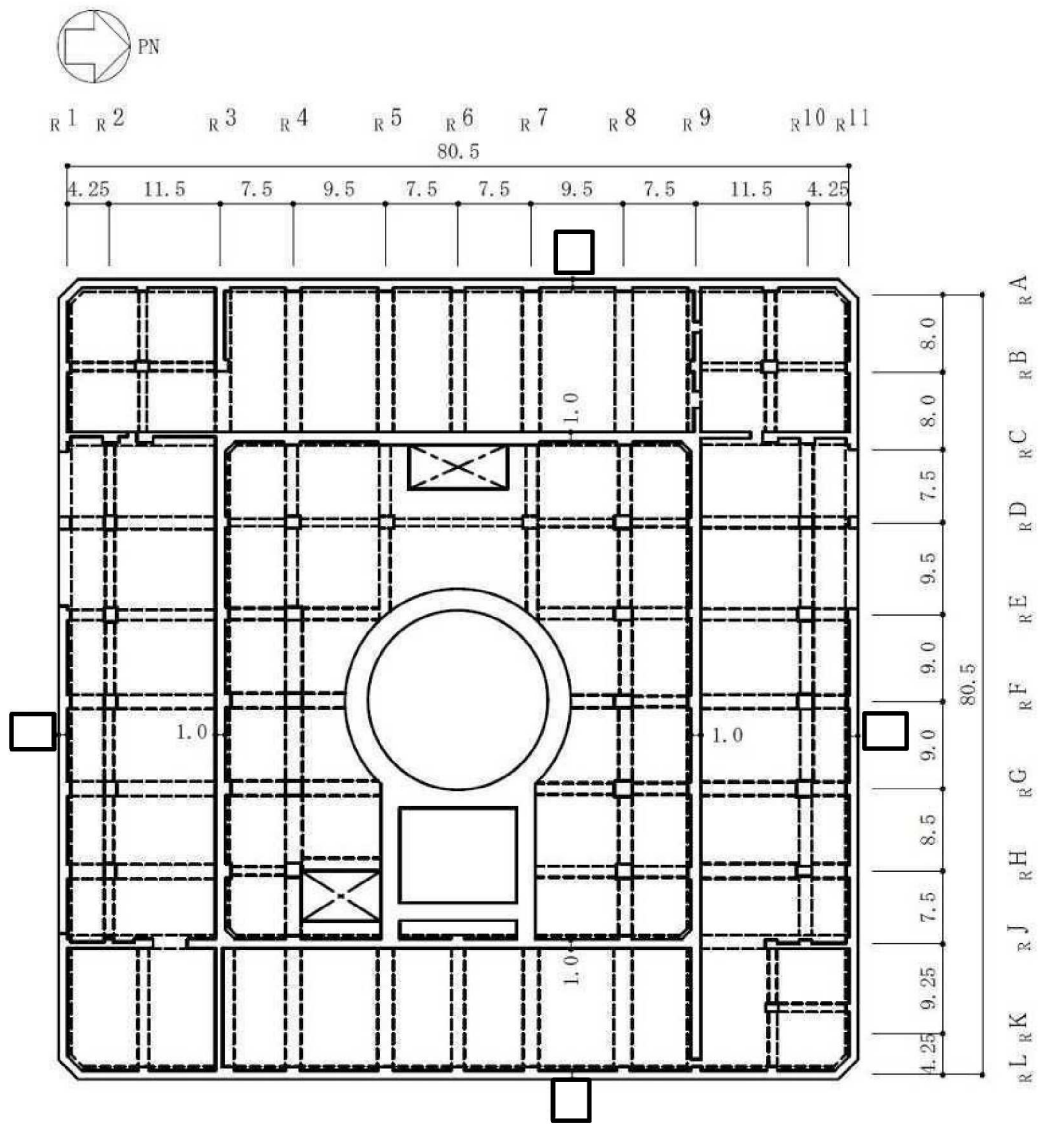
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (5/10)

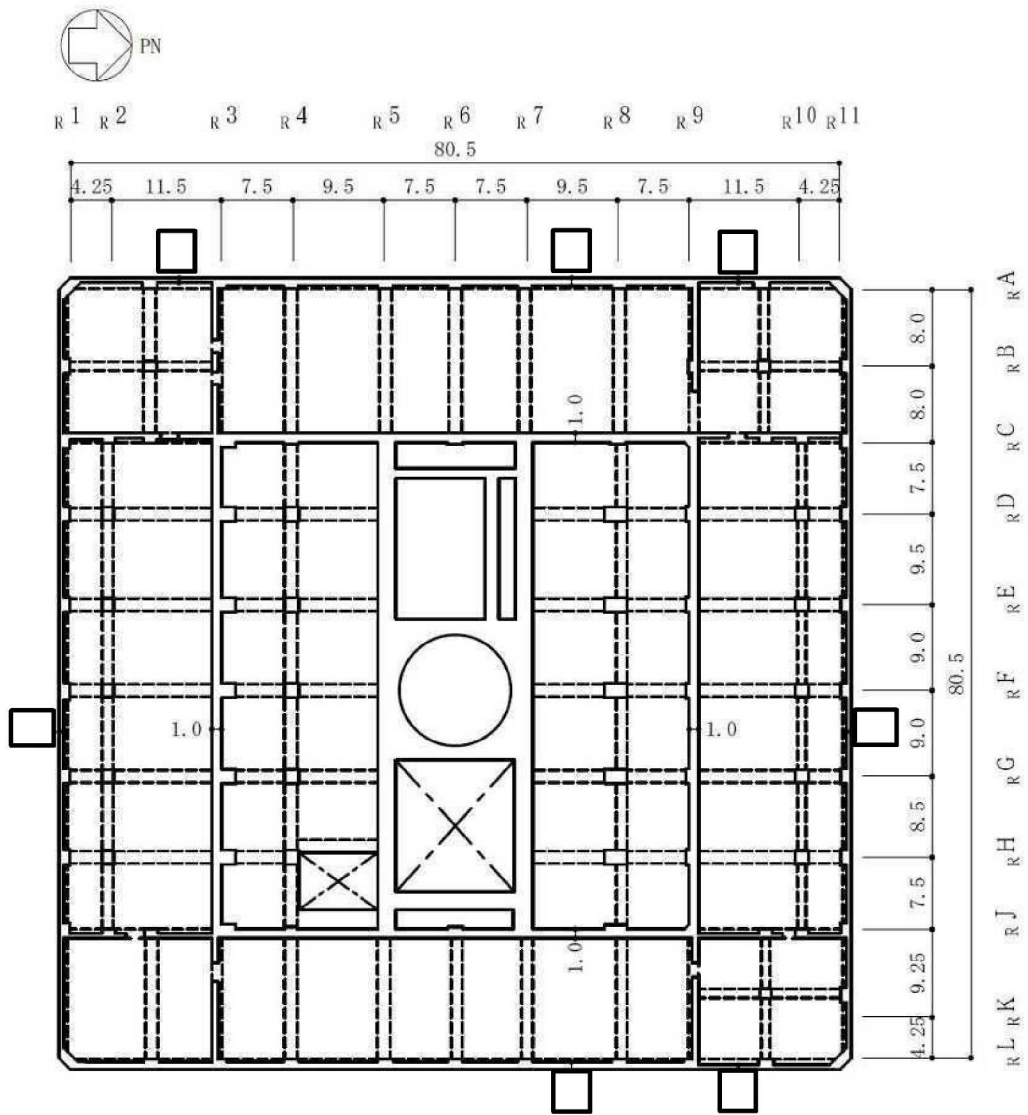
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.3m) (6/10)

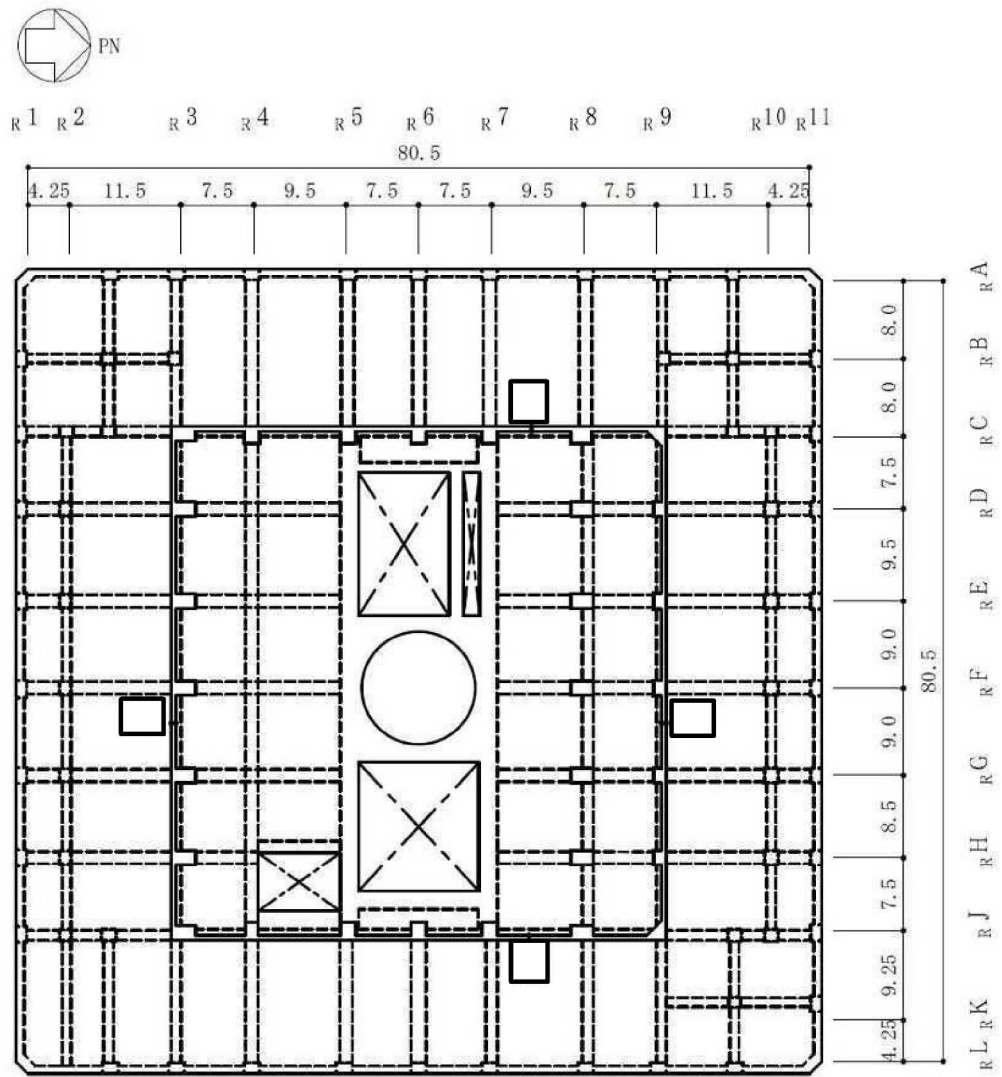
K7 ① V-2-2-15 R0



(単位：m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 27.8m) (7/10)

K7 ① V-2-2-15 R0



(単位 : m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 33.0m) (8/10)

K7 ① V-2-2-15 R0

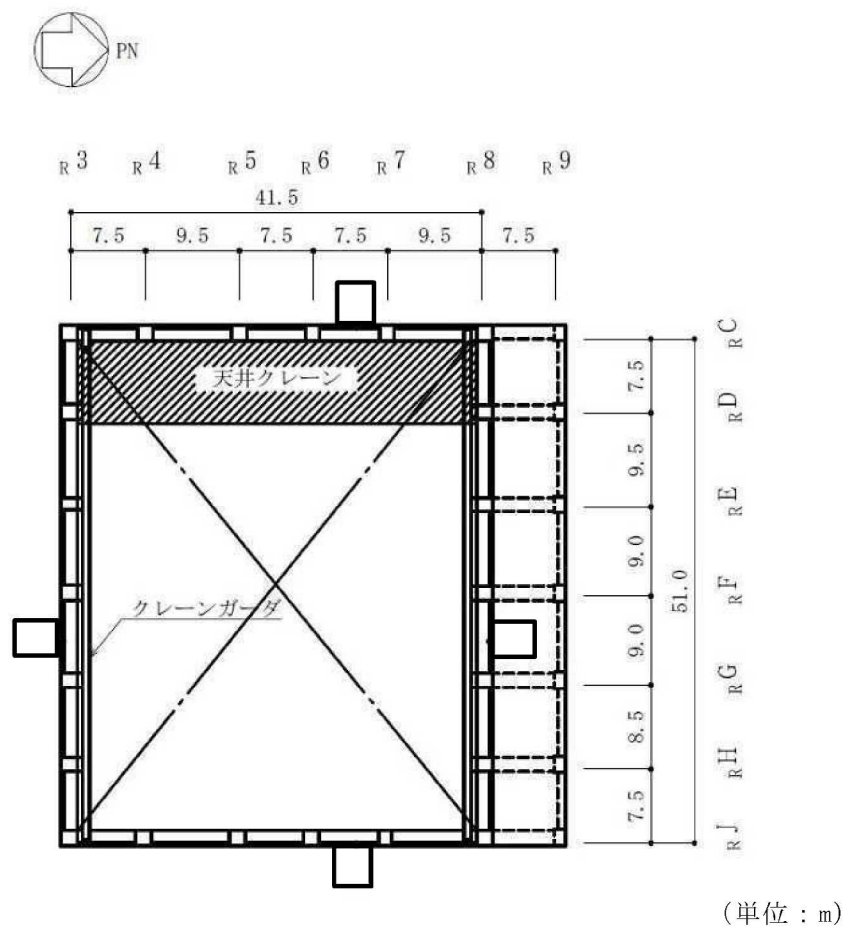
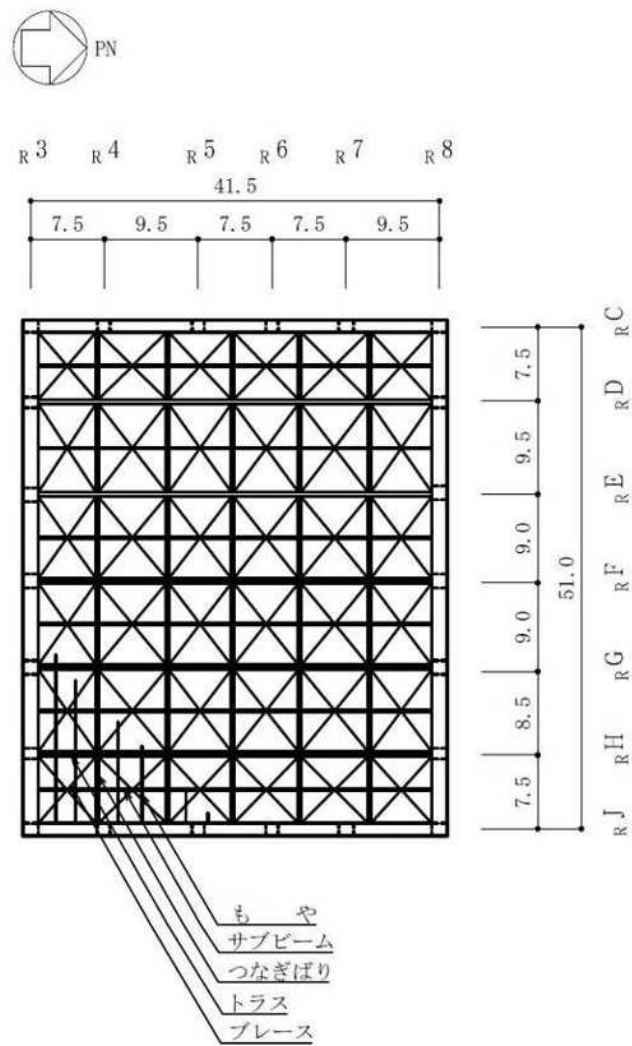


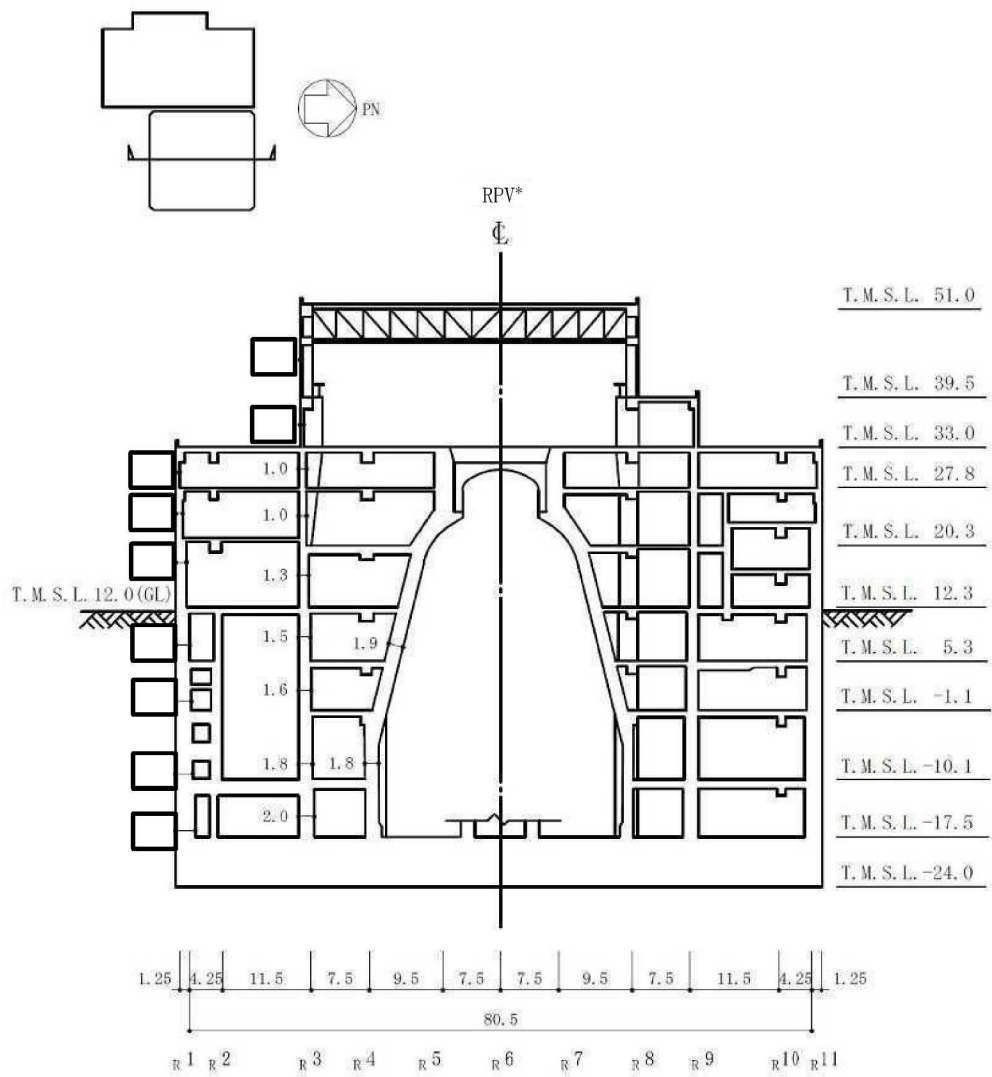
図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 39.5m) (9/10)



(単位 : m)

図 2-2 5号機原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 51.0m) (10/10)

K7 ① V-2-2-15 R0

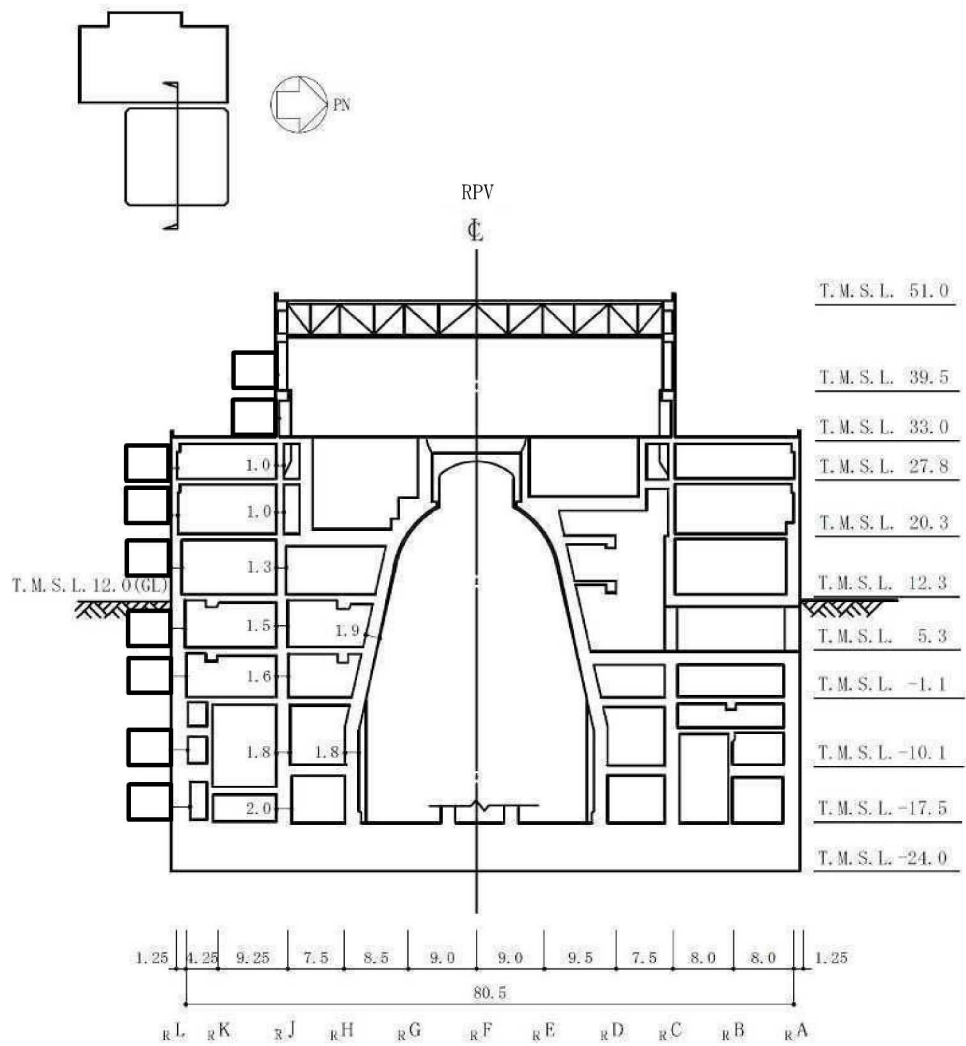


(単位：m)

注記*：原子炉压力容器（以下「RPV」という。）

図2-3 5号機原子炉建屋の概略断面図（NS方向）（1/2）

K7 ① V-2-2-15 R0



(単位 : m)

図 2-3 5号機原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

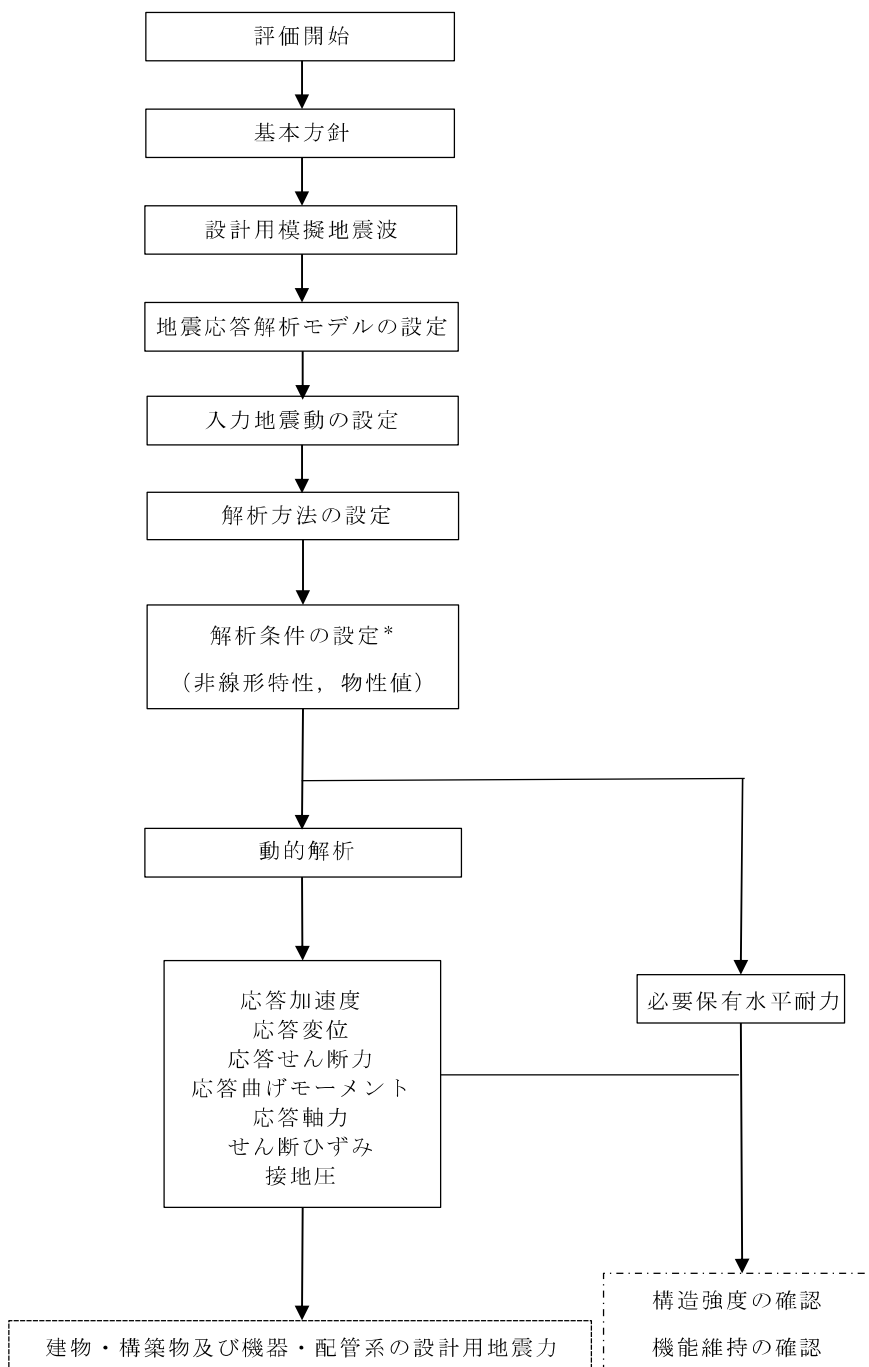
2.3 解析方針

5号機原子炉建屋の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-4に5号機原子炉建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 設計用模擬地震波」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」及び「3.4 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、材料物性の不確かさを考慮し、加速度、変位、せん断ひずみ、接地圧等を含む各種応答値を算出する。

「4.2 必要保有水平耐力」においては必要保有水平耐力を算出する。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-4 5号機原子炉建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

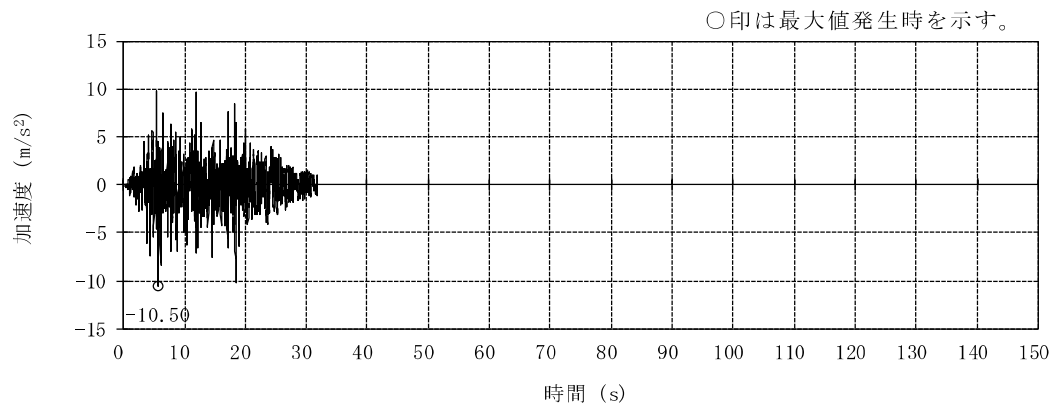
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005制定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 解析方法

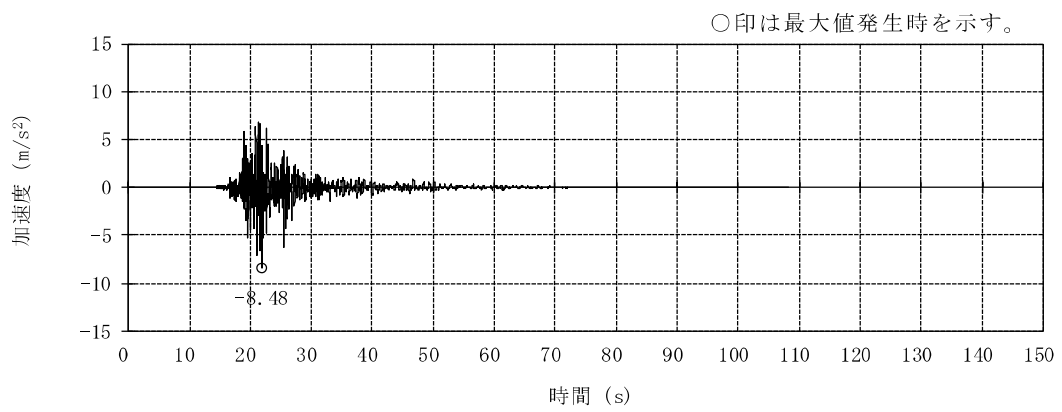
3.1 設計用模擬地震波

5号機原子炉建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋—地盤連成モデルとする。この建屋—地盤連成モデルへの入力地震動は、V-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する設計用模擬地震波の内、基準地震動 S_s を用いることとする。

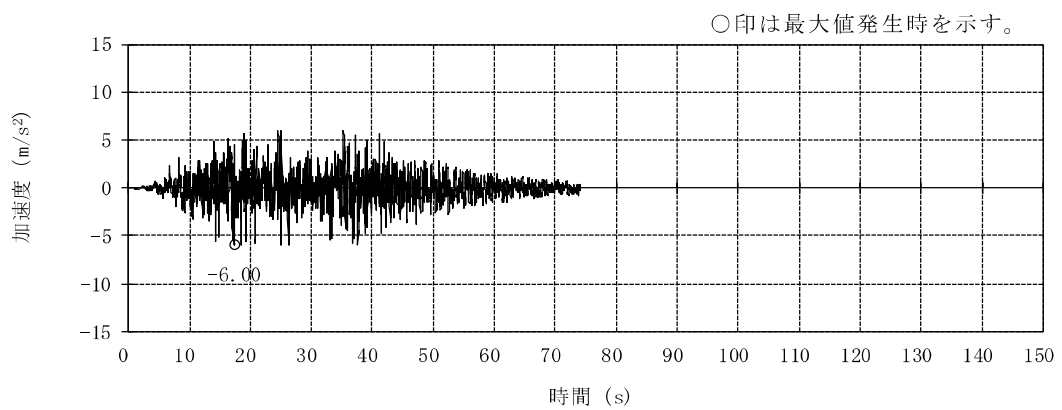
基準地震動 S_s として作成した設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図3-1～図3-4に示す。



(a) Ss-1H

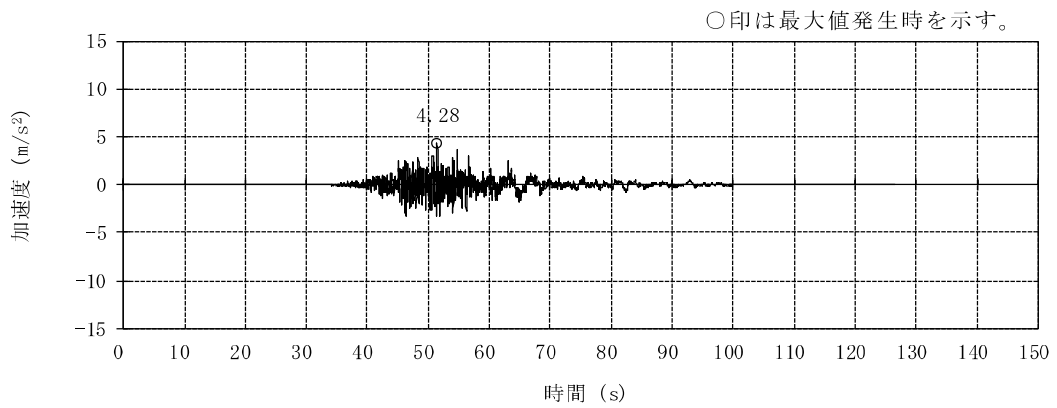


(b) Ss-2NS

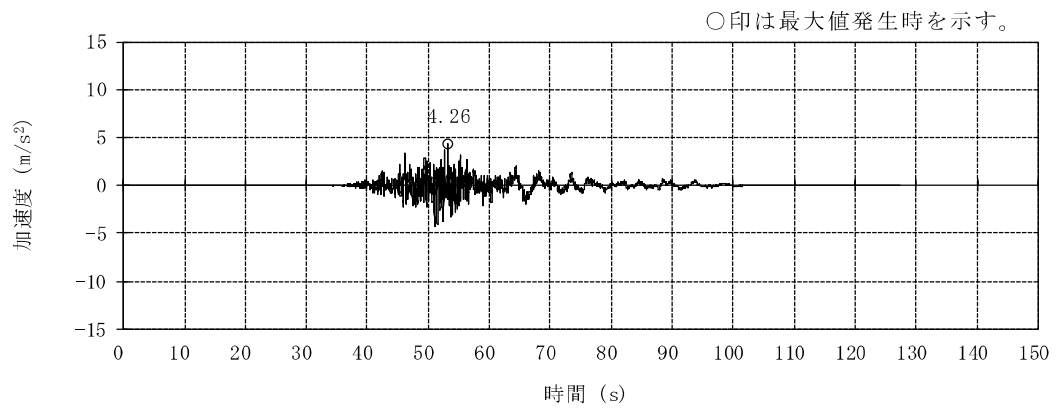


(c) Ss-3H

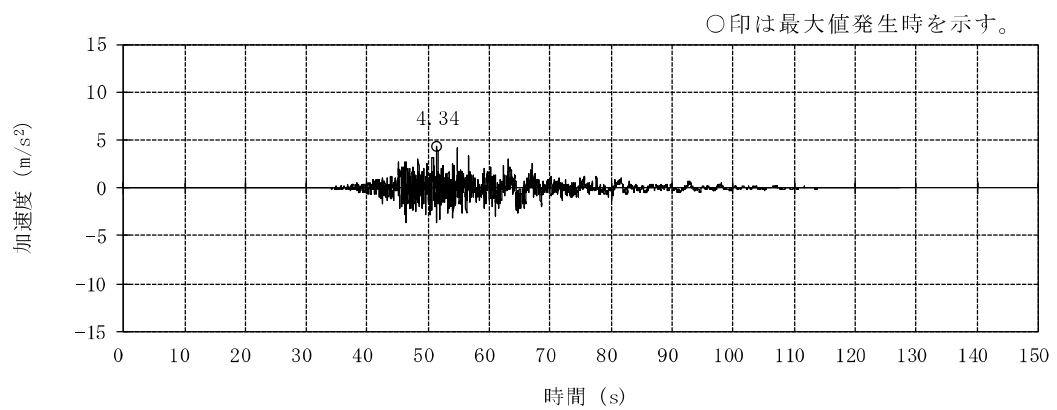
図3-1 加速度時刻歴波形（基準地震動 S_s，NS方向）（1/3）



(d) S_s-4NS

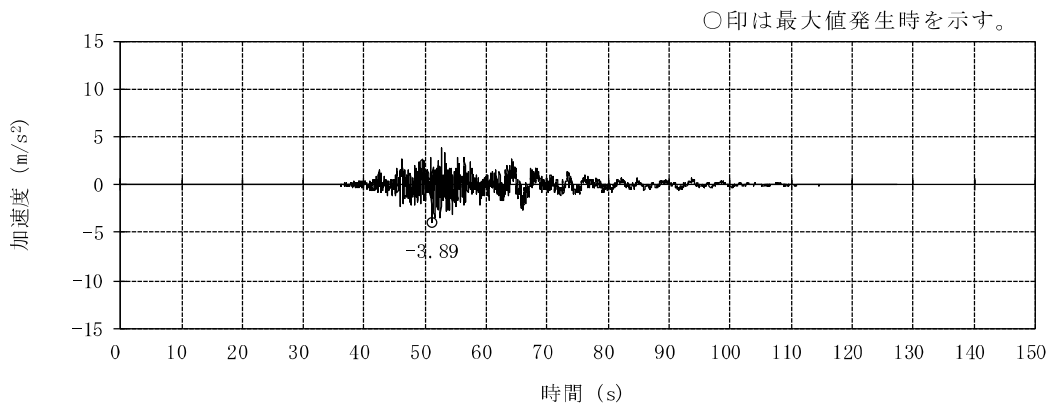


(e) S_s-5NS

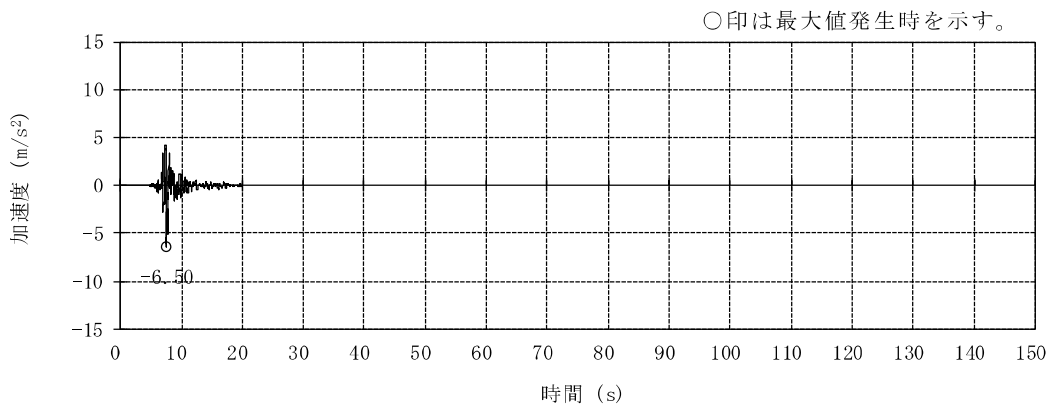


(f) S_s-6NS

図3-1 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS方向) (2/3)

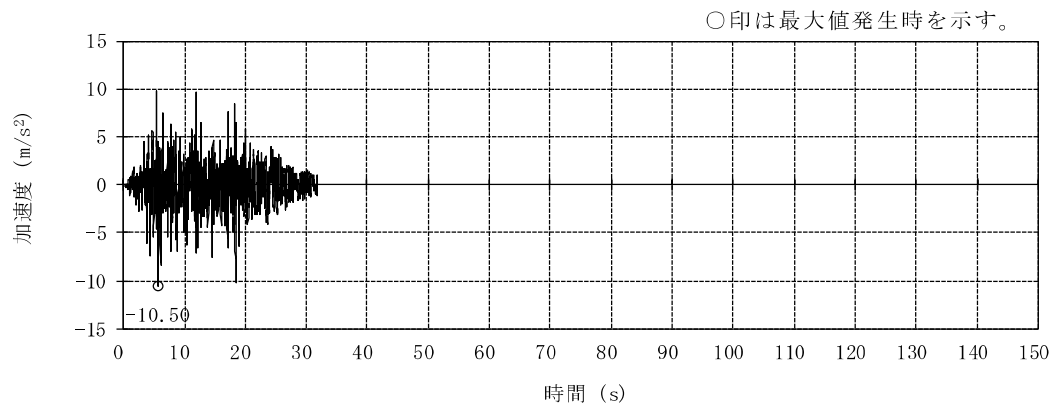


(g) S_s-7NS

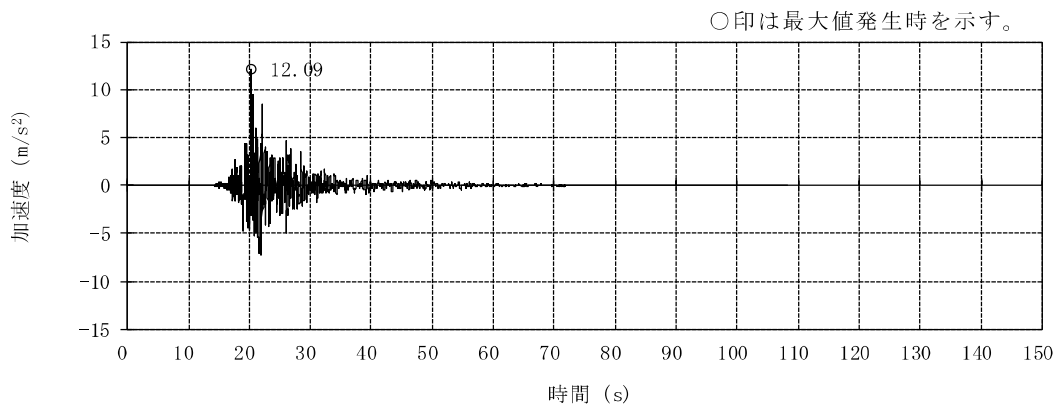


(h) S_s-8H

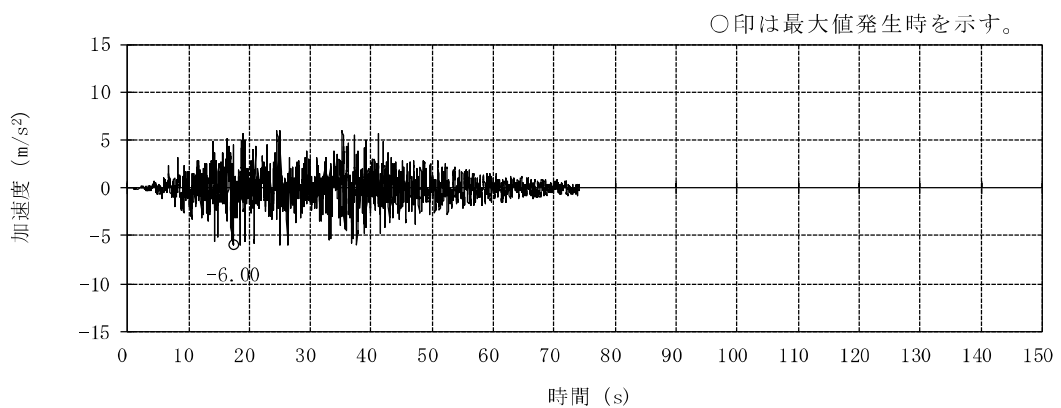
図3-1 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS方向) (3/3)



(a) Ss-1H

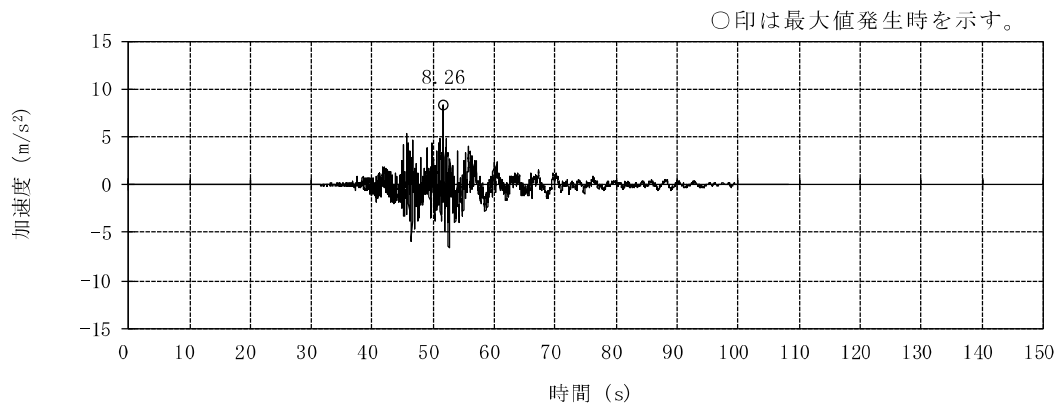


(b) Ss-2EW

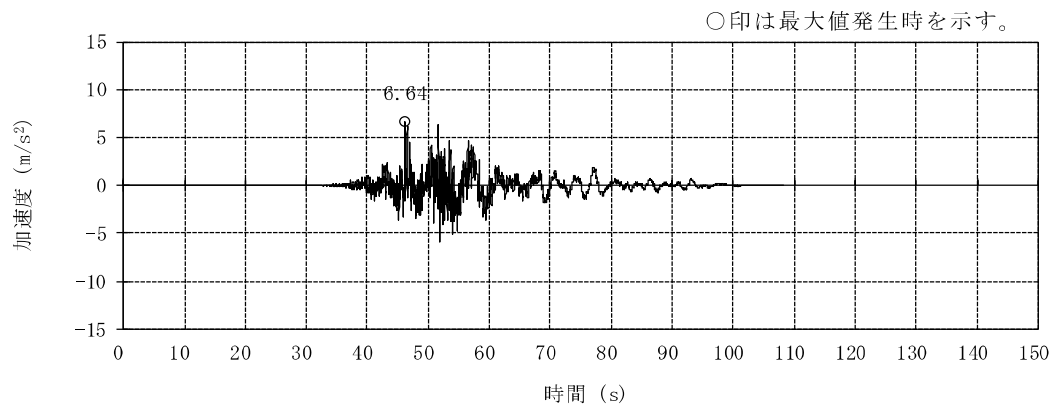


(c) Ss-3H

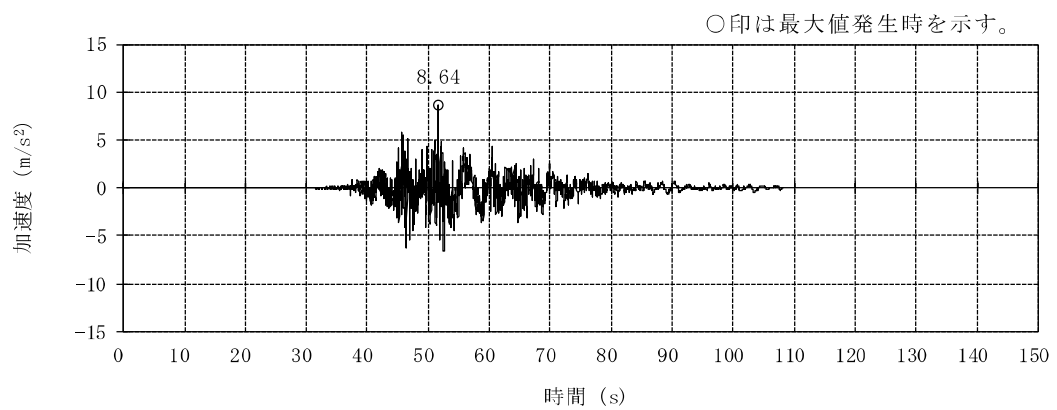
図3-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW方向) (1/3)



(d) S_s-4EW

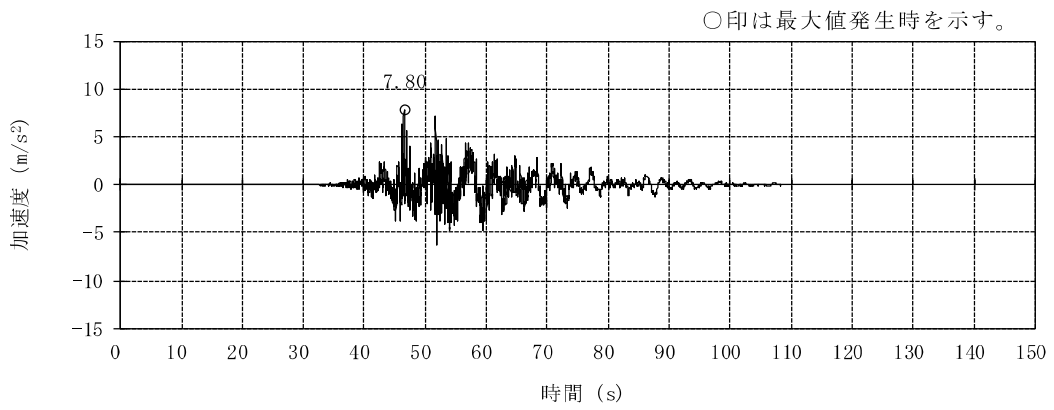


(e) S_s-5EW

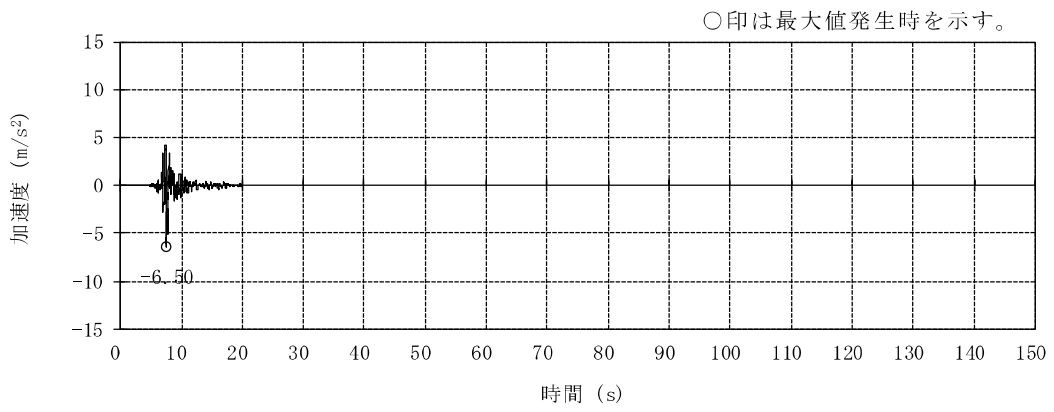


(f) S_s-6EW

図3-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW方向) (2/3)

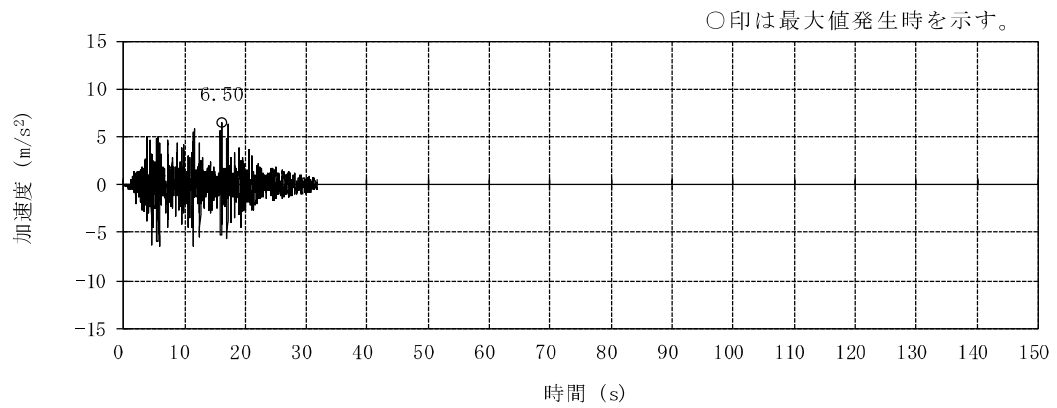


(g) Ss-7EW

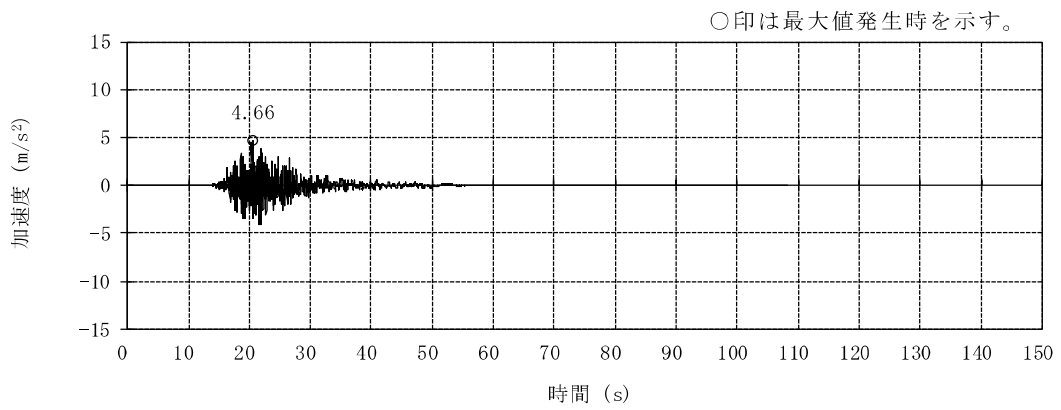


(h) Ss-8H

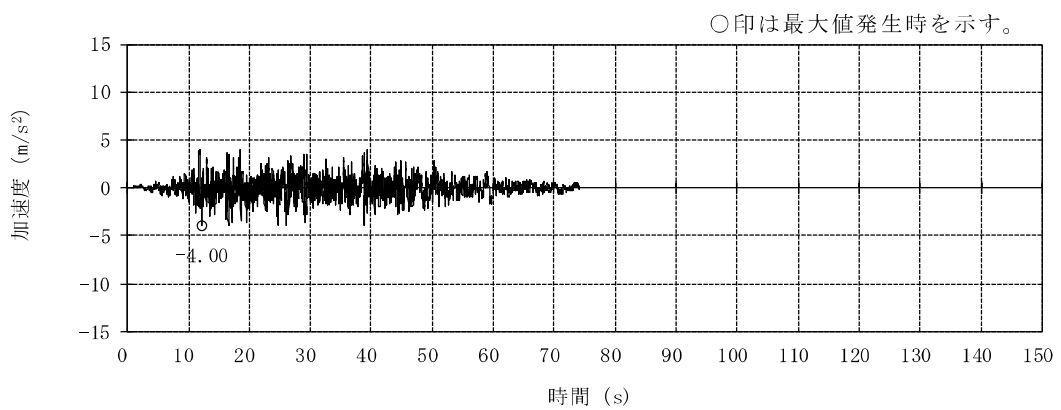
図3-2 加速度時刻歴波形（基準地震動 S s , EW方向）（3/3）



(a) S_s-1V

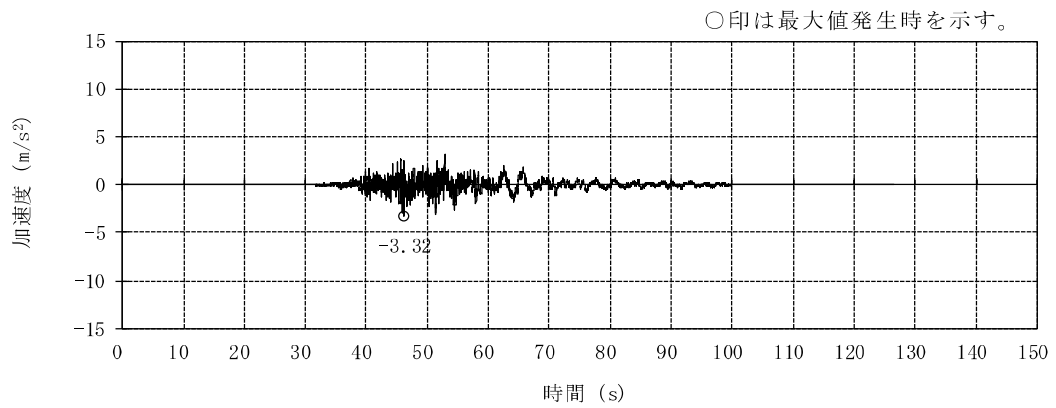


(b) S_s-2UD

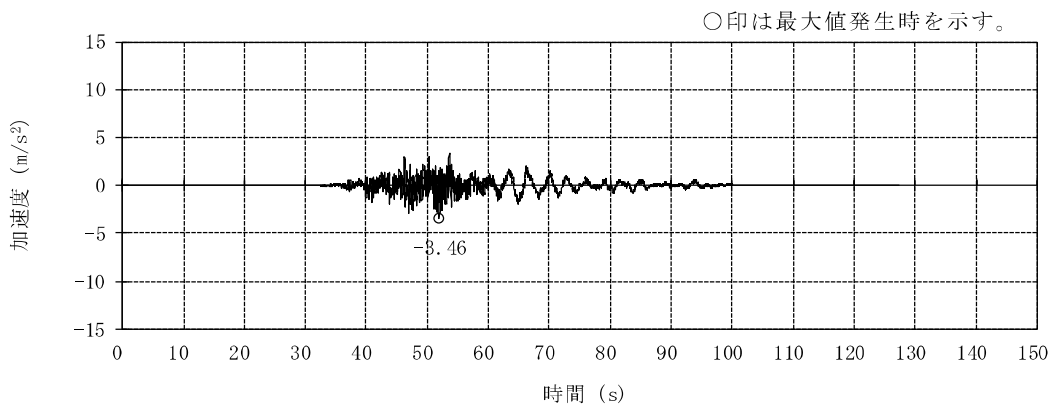


(c) S_s-3V

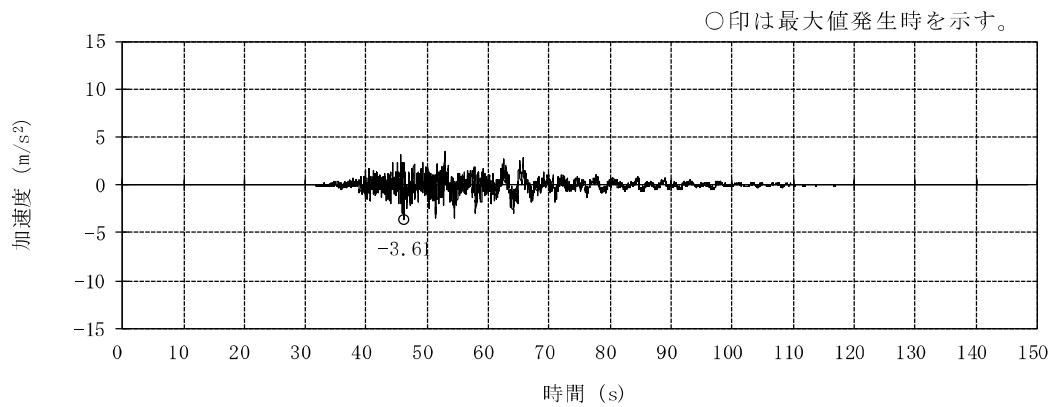
図 3-3 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S_s-4UD

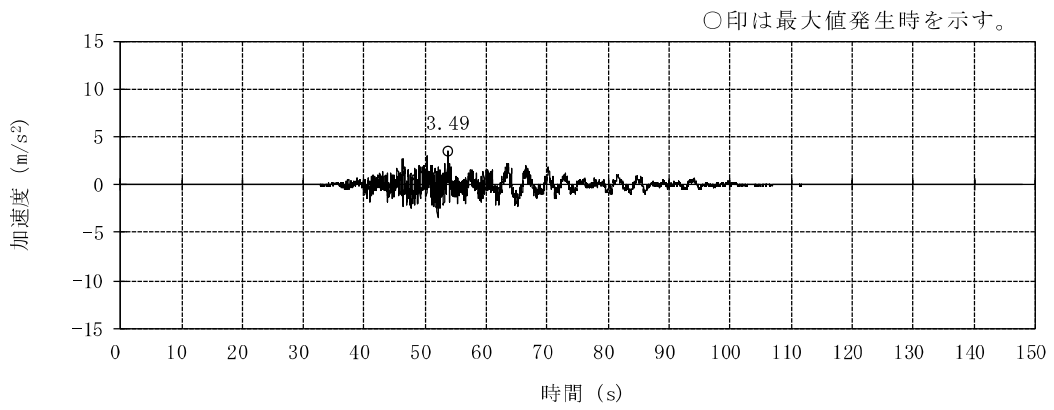


(e) S_s-5UD

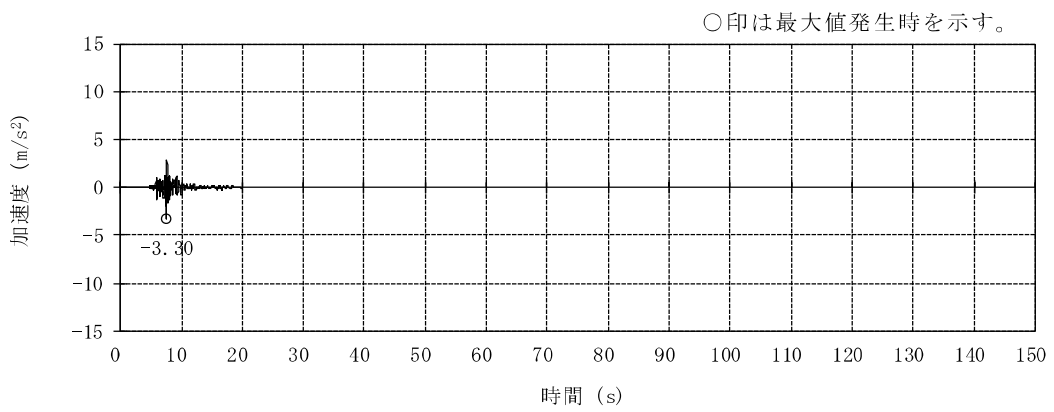


(f) S_s-6UD

図 3-3 加速度時刻歴波形（基準地震動 S_s，鉛直方向）（2/3）

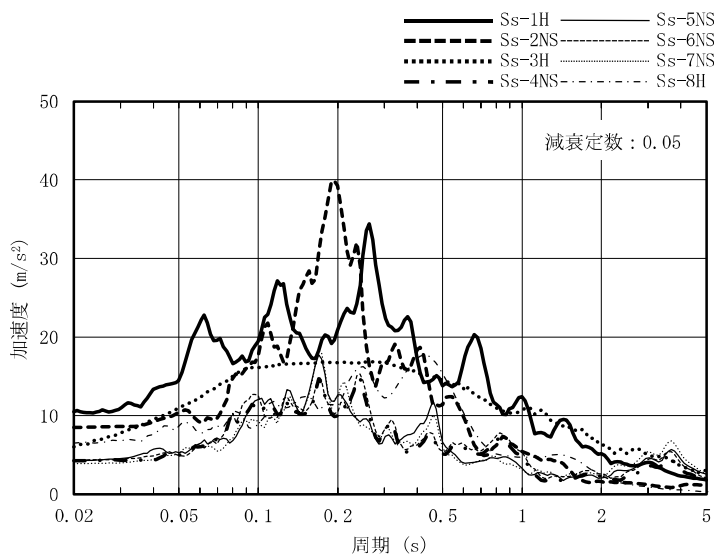


(g) S_s-7UD

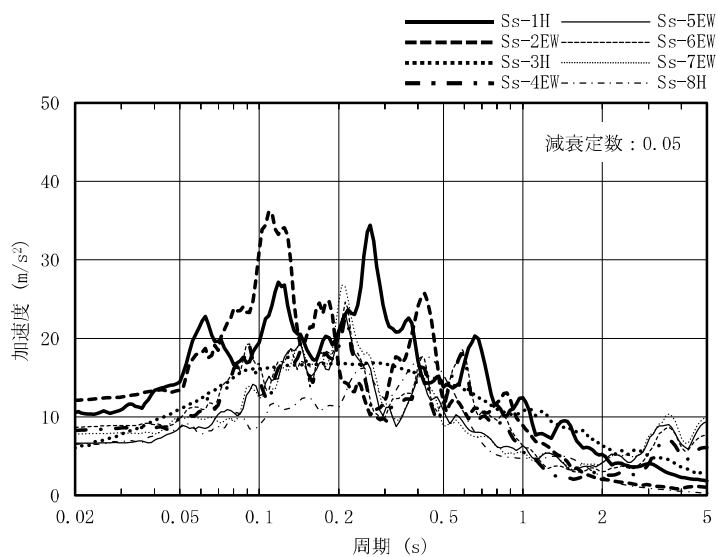


(h) S_s-8V

図 3-3 加速度時刻歴波形（基準地震動 S_s，鉛直方向）（3/3）

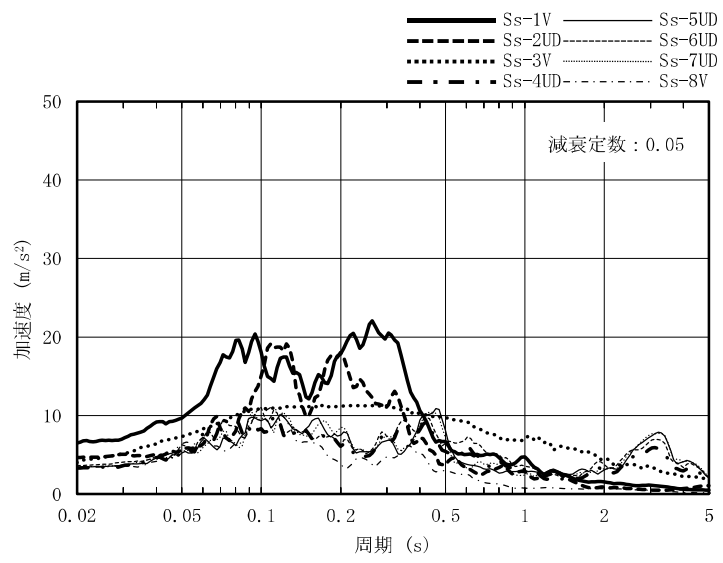


(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-4 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s) (1/2)



(c) 鉛直方向

図 3-4 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s) (2/2)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表3-1に示す。

ここで、コンクリート剛性については、実現象に近い応答を模擬するという観点から、建設時コンクリートの28日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。

表3-1 建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部 基礎スラブ	コンクリート* $\sigma_c = 31.3$ (N/mm ²) ($\sigma_c = 320$ (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	2.48×10^4	1.03×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨SS41 (SS400相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨SM41A (SM400A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨SM50A (SM490A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記*：実強度に基づくコンクリート強度。

3.2.1 水平方向モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。

建屋のモデル化はNS方向、EW方向それぞれについて行っている。また、設計時には考慮していなかった補助壁を、実現象に近い応答を模擬するという観点から、耐震要素と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込む。地震応答解析モデルを図3-5に、地震応答解析モデルの諸元を表3-2及び表3-3に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、「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)」(以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。)により、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「S T - C R O S S」を用いる。

また、埋込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、Novak の方法に基づき求めた水平ばねを、基礎底面地盤ばねと同様に、近似法により定数化して用いる。なお、地盤表層部(埋戻土)については、基準地震動 S_s による地盤応答レベルを踏まえ、表層部では建屋-地盤相互作用が見込めないと判断し、この部分の地盤ばねは考慮しない。建屋側面の水平ばねの評価には、解析コード「N O V A K」を用いる。

水平方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価する。また、基礎底面レベルにおけるせん断力(以下「切欠き力」という。)を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図3-6に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「T D A S」を用いる。

基準地震動 S_s に対する地盤定数を表3-4～表3-11に示す。なお、地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置(T.M.S.L.-24.0m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-7に示す。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表3-12～表3-19に示す。

復元力特性は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づいて設定する。

なお、水平方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要につい

ては、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.2 鉛直方向モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。水平方向モデルと同様に、補助壁を地震応答解析モデルに取り込む。鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-8 に、地震応答解析モデルの諸元を表 3-20 に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めた鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「S T - C R O S S」を用いる。

鉛直方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力する。

図 3-9 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「S H A K E」を用いる。

設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置 (T. M. S. L. -24.0m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。なお、地盤定数は表 3-4～表 3-11 に示すとおりである。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表 3-21～表 3-28 に示す。

なお、鉛直方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

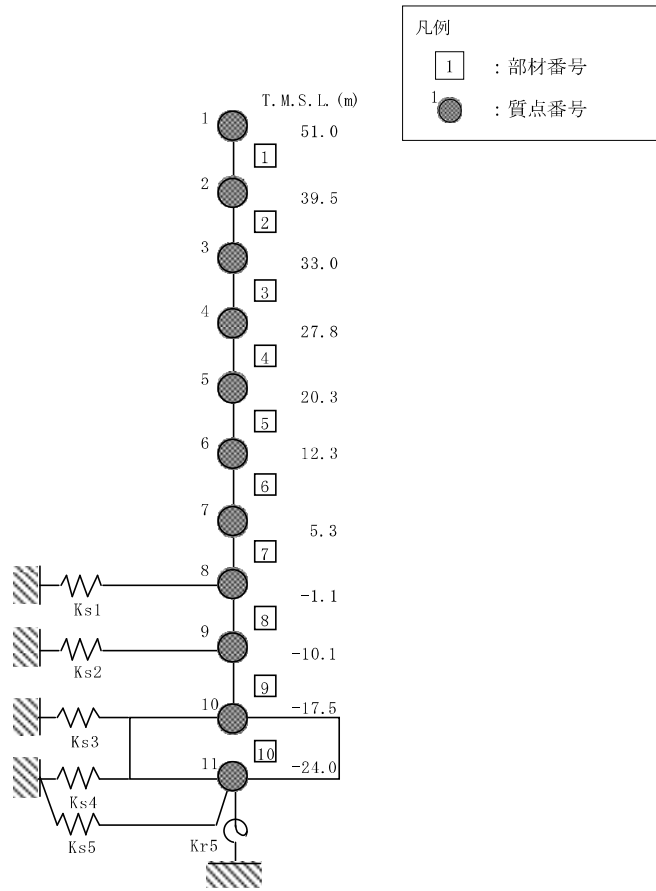


図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向)

表3-2 地震応答解析モデル諸元 (NS方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2)$	部材番号	せん断 断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次 モーメント I (m^4)
①	39440	10.5			
			1	42.6	29000
②	50840	20.4	2	61.0	53000
③	249590	146.1	3	336.1	260100
④	341850	187.1	4	411.7	331700
⑤	477550	262.7	5	562.4	470700
⑥	471970	300.9	6	700.7	599000
⑦	454390	299.4	7	834.9	656800
⑧	608920	373.9	8	919.7	730500
⑨	637660	436.1	9	1079.7	801400
⑩	815450	472.1	10	6889.0	3955000
⑪	526750	304.0			
合計	4674410				

①建屋部

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

基礎形状 83.0 (NS方向) × 83.0m (EW方向)

表3-3 地震応答解析モデル諸元 (EW方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2)$	部材番号	せん断 断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次 モーメント I (m^4)
①	39440	14.3			
			1	54.5	38000
②	50840	18.0	2	67.6	55500
③	249590	153.1	3	396.5	263600
④	341850	192.5	4	429.9	338300
⑤	477550	268.4	5	519.8	474400
⑥	471970	293.0	6	765.7	602200
⑦	454390	285.8	7	813.2	667000
⑧	608920	365.3	8	951.2	741800
⑨	637660	432.1	9	1033.9	813800
⑩	815450	476.9	10	6889.0	3955000
⑪	526750	304.0			
合計	4674410				

①建屋部

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

基礎形状 83.0 (NS方向) × 83.0m (EW方向)

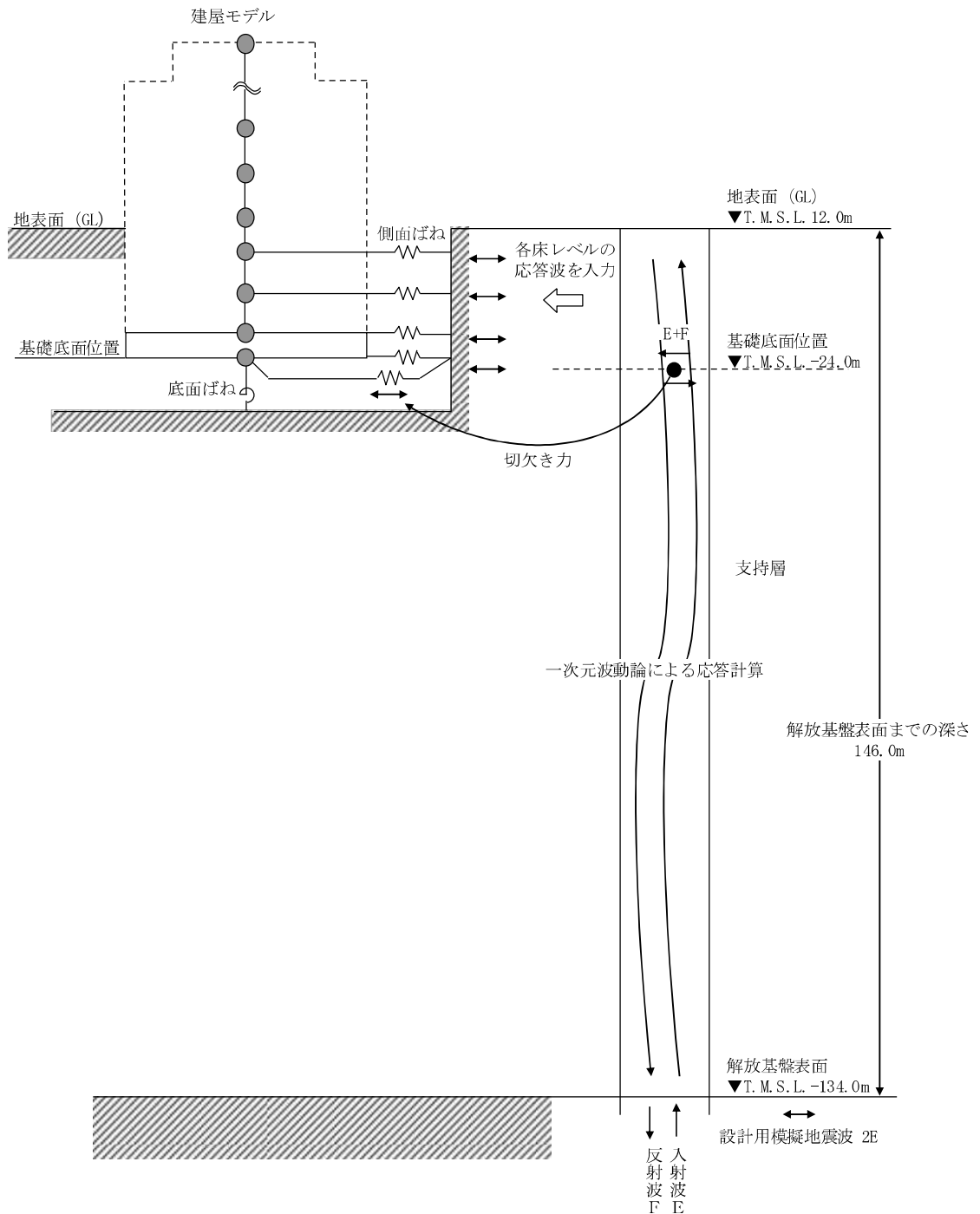


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

表 3-4 地盤定数 (Ss-1)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.213	0.592	0.36	13
+8.0		230	17.6	0.415	0.123	0.949	0.13	18
+4.0		256	17.6	0.415	0.129	1.18	0.11	19
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.23	1.71	0.72	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.35	4.09	0.82	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.45	5.50	0.81	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.32	6.83	0.78	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

表 3-5 地盤定数 (Ss-2)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.236	0.592	0.40	11
+8.0		230	17.6	0.415	0.132	0.949	0.14	15
+4.0		256	17.6	0.415	0.106	1.18	0.09	17
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.24	1.71	0.73	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.35	4.09	0.82	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.67	5.50	0.85	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.87	6.83	0.86	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

表 3-6 地盤定数 (Ss-3)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.266	0.592	0.45	10
+8.0		230	17.6	0.415	0.170	0.949	0.18	17
+4.0		256	17.6	0.415	0.129	1.18	0.11	19
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.21	1.71	0.71	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.19	4.09	0.78	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.12	5.50	0.75	4
-100.0		610	18.0	0.43	5.19	6.83	0.76	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

表 3-7 地盤定数 (Ss-4)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.242	0.592	0.41	8
+8.0		230	17.6	0.415	0.170	0.949	0.18	13
+4.0		256	17.6	0.415	0.177	1.18	0.15	14
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.31	1.71	0.77	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.55	4.09	0.87	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.78	5.50	0.87	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.94	6.83	0.87	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

表 3-8 地盤定数 (Ss-5)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.242	0.592	0.41	7
+8.0		230	17.6	0.415	0.161	0.949	0.17	11
+4.0		256	17.6	0.415	0.188	1.18	0.16	14
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.33	1.71	0.78	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.51	4.09	0.86	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.56	5.50	0.83	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.60	6.83	0.82	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

表 3-9 地盤定数 (Ss-6)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.230	0.592	0.39	9
+8.0		230	17.6	0.415	0.161	0.949	0.17	14
+4.0		256	17.6	0.415	0.153	1.18	0.13	15
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.29	1.71	0.76	3
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.51	4.09	0.86	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.62	5.50	0.84	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.66	6.83	0.83	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

K7 ① V-2-2-15 R0

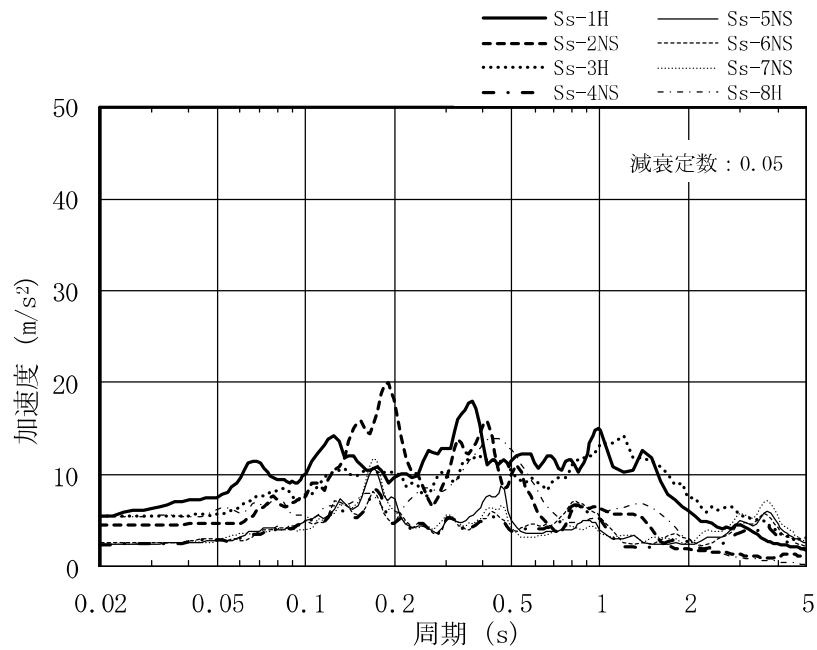
表 3-10 地盤定数 (Ss-7)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.230	0.592	0.39	8
+8.0		230	17.6	0.415	0.170	0.949	0.18	11
+4.0		256	17.6	0.415	0.224	1.18	0.19	12
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.35	1.71	0.79	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.47	4.09	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.45	5.50	0.81	3
-100.0		610	18.0	0.43	5.46	6.83	0.80	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

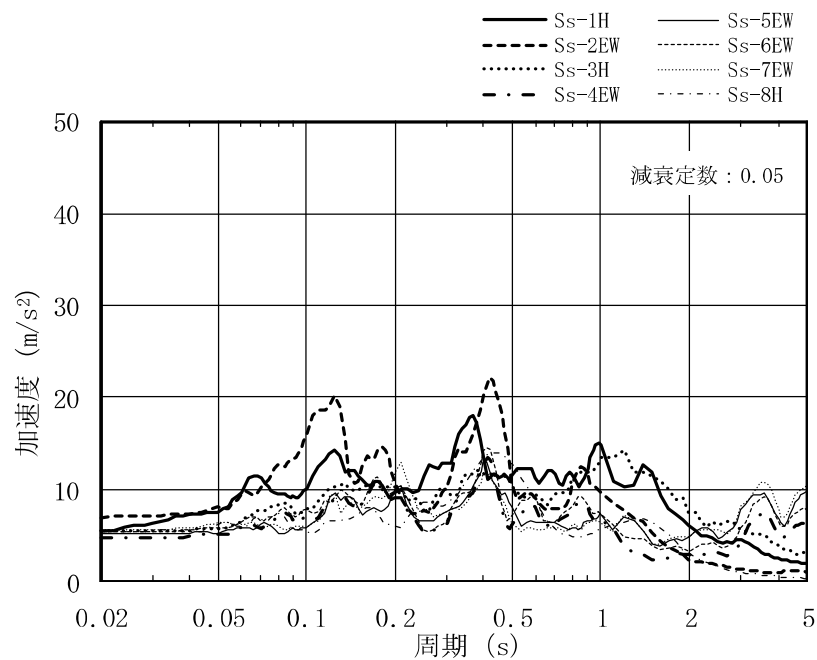
表 3-11 地盤定数 (Ss-8)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.272	0.592	0.46	10
+8.0		230	17.6	0.415	0.161	0.949	0.17	17
+4.0		256	17.6	0.415	0.118	1.18	0.10	19
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.31	1.71	0.77	4
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	3.47	4.09	0.85	3
-60.0		560	17.2	0.44	4.56	5.50	0.83	3
-100.0		610	18.0	0.43	6.01	6.83	0.88	3
-134.0 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	10.2	1.00	-

K7 ① V-2-2-15 R0



(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-7 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , T.M.S.L. -24.0m)

表 3-12 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-1)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.01×10^6	1.65×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.56×10^6	2.99×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.68×10^6	1.34×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.77×10^7	5.61×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.06×10^{11}	3.31×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.01×10^6	1.65×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.56×10^6	2.99×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.68×10^6	1.34×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.77×10^7	5.61×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.06×10^{11}	3.31×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-13 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-2)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.04×10^6	1.66×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.57×10^6	2.99×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.68×10^6	1.35×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.93×10^7	5.66×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.10×10^{11}	3.33×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.04×10^6	1.66×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.57×10^6	2.99×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.00×10^7	2.88×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.68×10^6	1.35×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.93×10^7	5.66×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.10×10^{11}	3.33×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-14 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-3)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	2.97×10^6	1.63×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.20×10^6	2.93×10^6
Ks3	10	側面・並進	9.51×10^6	2.80×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.45×10^6	1.31×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.29×10^7	5.47×10^6
Kr5	11	底面・回転	1.95×10^{11}	3.23×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	2.97×10^6	1.63×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.20×10^6	2.93×10^6
Ks3	10	側面・並進	9.51×10^6	2.80×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.45×10^6	1.31×10^6
Ks5	11	底面・並進	9.29×10^7	5.47×10^6
Kr5	11	底面・回転	1.95×10^{11}	3.23×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-15 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-4)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.20×10^6	1.70×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.07×10^6	3.07×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.06×10^7	2.96×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.96×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.04×10^8	5.78×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.20×10^{11}	3.40×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.20×10^6	1.70×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.07×10^6	3.07×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.06×10^7	2.96×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.96×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.04×10^8	5.78×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.20×10^{11}	3.40×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-16 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-5)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.27×10^6	1.71×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.03×10^6	3.07×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.02×10^8	5.72×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.14×10^{11}	3.36×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.27×10^6	1.71×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.03×10^6	3.07×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.02×10^8	5.72×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.14×10^{11}	3.36×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-17 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-6)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.15×10^6	1.68×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.95×10^6	3.05×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.02×10^8	5.73×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.16×10^{11}	3.37×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.15×10^6	1.69×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.95×10^6	3.05×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.05×10^7	2.94×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.89×10^6	1.38×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.02×10^8	5.74×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.16×10^{11}	3.38×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-18 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-7)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.32×10^6	1.72×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.00×10^6	3.06×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.04×10^7	2.93×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.85×10^6	1.37×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.01×10^8	5.69×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.11×10^{11}	3.35×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.32×10^6	1.72×10^6
Ks2	9	側面・並進	9.00×10^6	3.06×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.04×10^7	2.93×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.85×10^6	1.37×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.01×10^8	5.69×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.11×10^{11}	3.35×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

表 3-19 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-8)

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.20×10^6	1.69×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.92×10^6	3.05×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.04×10^7	2.93×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.85×10^6	1.37×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.01×10^8	5.71×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.14×10^{11}	3.36×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	8	側面・並進	3.20×10^6	1.69×10^6
Ks2	9	側面・並進	8.92×10^6	3.05×10^6
Ks3	10	側面・並進	1.04×10^7	2.93×10^6
Ks4	11	側面・並進	4.85×10^6	1.37×10^6
Ks5	11	底面・並進	1.01×10^8	5.71×10^6
Kr5	11	底面・回転	2.14×10^{11}	3.36×10^9

注記*1: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN/m Kr5はkN・m/rad

*2: Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5はkN・s/m Kr5はkN・m・s/rad

K7 ① V-2-2-15 R0

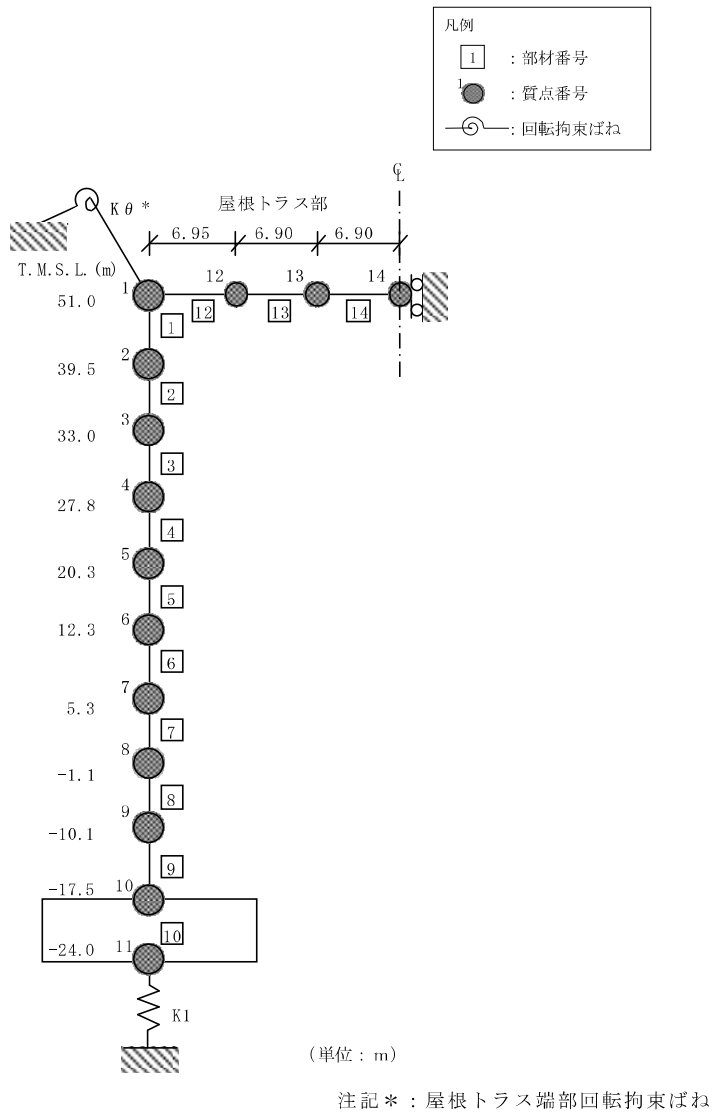


図 3-8 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表 3-20 地震応答解析モデルの諸元 (鉛直方向)

質点番号	①	②	③	④
質点重量 W (kN)	-	3680	3670	1830
部材番号		12	13	14
せん断断面積 $A_s (\times 10^{-2} m^2)$		20.70	12.40	8.50
断面二次 モーメント $I_B (m^4)$		2.88	2.88	2.88
質点 番号	質点重量 W (kN)	部材 番号	軸断面積 A (m ²)	
①	30260			
②	50840	1	99.5	
③	249590	2	173.2	
④	341850	3	869.8	
⑤	443140	4	862.4	
⑥	471970	5	1076.5	
⑦	454390	6	1419.5	
⑧	547990	7	1598.2	
⑨	637660	8	1829.8	
⑩	910790	9	2025.1	
⑪	526750	10	6889.0	
合計	4674410			

① 建屋部

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

屋根トラス端部回転拘束ばね K_0

5.37×10^7 (kN・m/rad)

② 基礎スラブ

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

③ 鉄骨部

ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.30
 減衰 h 2%

基礎形状 83.0 (NS方向) × 83.0m (EW方向)

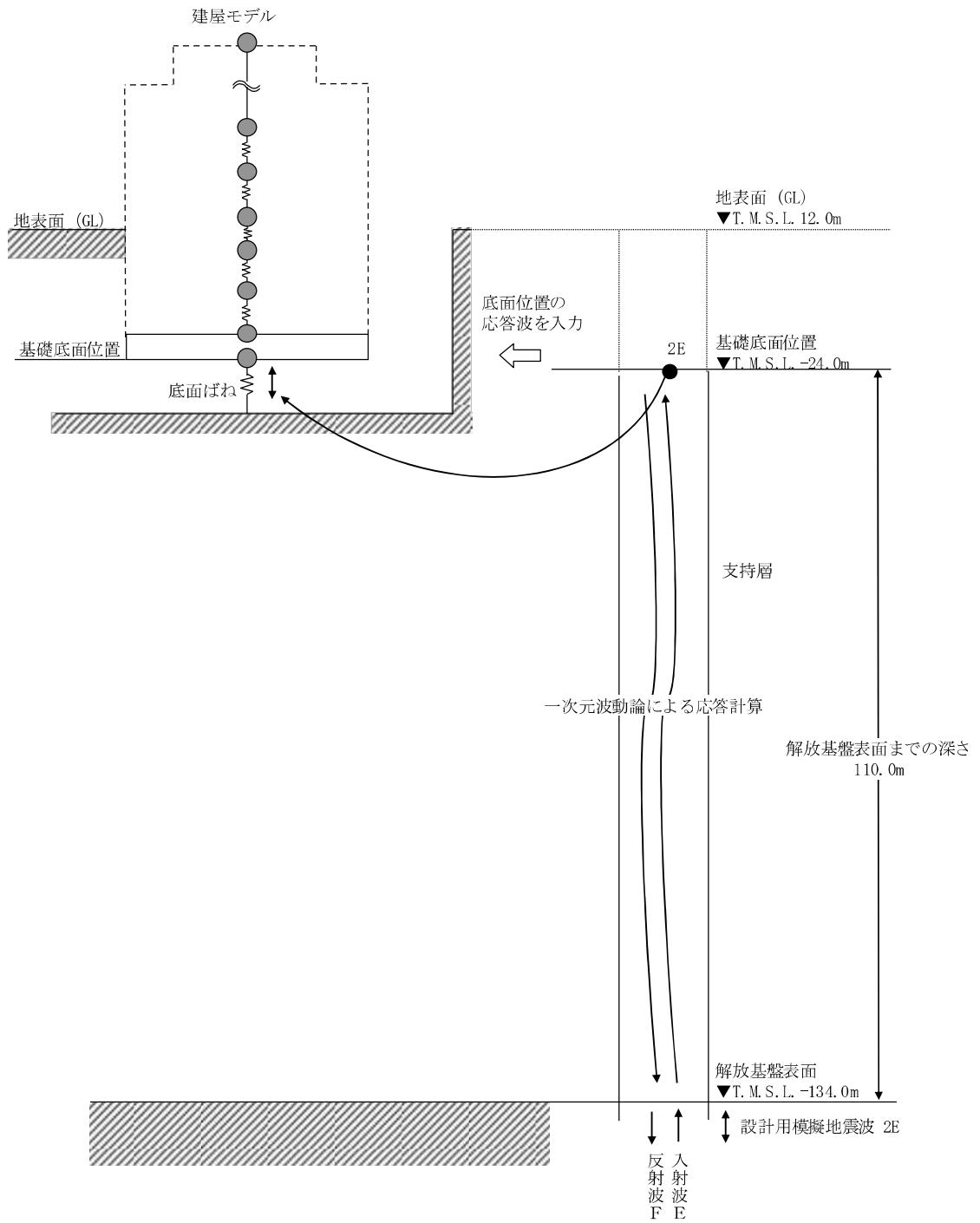


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）

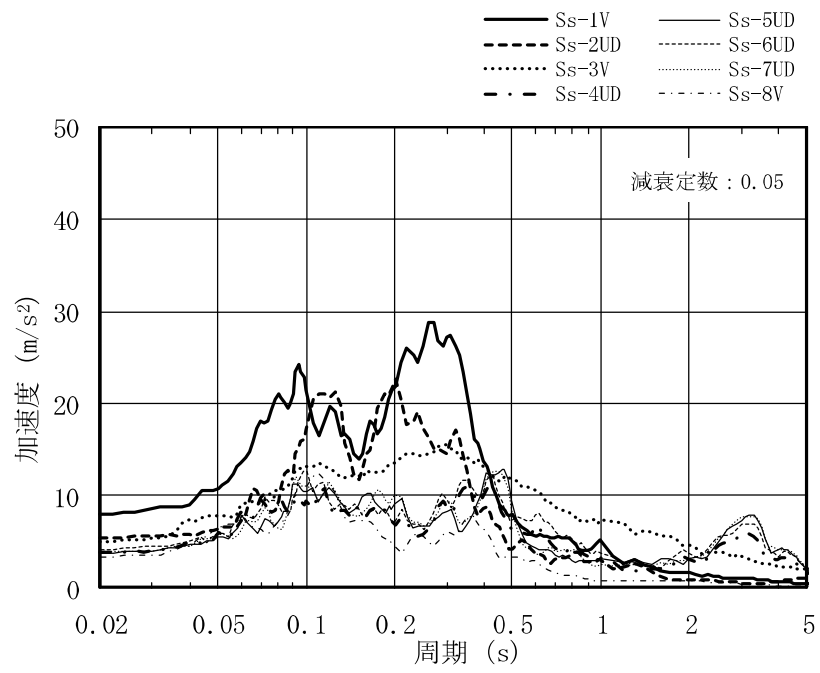


図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S s , 鉛直方向, T.M.S.L.-24.0m)

表 3-21 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-1）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.79×10^8	1.36×10^7

表 3-22 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-2）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.84×10^8	1.38×10^7

表 3-23 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-3）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.71×10^8	1.33×10^7

表 3-24 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-4）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.89×10^8	1.40×10^7

表 3-25 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-5）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.85×10^8	1.38×10^7

表 3-26 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-6）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.85×10^8	1.39×10^7

表 3-27 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-7）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.82×10^8	1.37×10^7

表 3-28 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-8）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	11	底面・鉛直	1.85×10^8	1.39×10^7

3.3 解析方法

5号機原子炉建屋の地震応答解析には、解析コード「T D A S」を用いる。なお、解析に用いる解析コードの検証、妥当性の確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

3.3.2 必要保有水平耐力

各層の必要保有水平耐力 Q_{un} は、次式により算定する。

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{cs} \cdot Q_{ud}$$

ここで、

D_s : 各層の構造特性係数

F_{cs} : 各層の形状特性係数

地震力によって各層に生じる水平力 Q_{ud} は、次式により算定する。

$$Q_{ud} = n \cdot C_i \cdot W_i$$

ここで、

n : 施設の重要度分類に応じた係数 (1.0)

C_i : 第 i 層の地震層せん断力係数

W_i : 第 i 層が支える重量

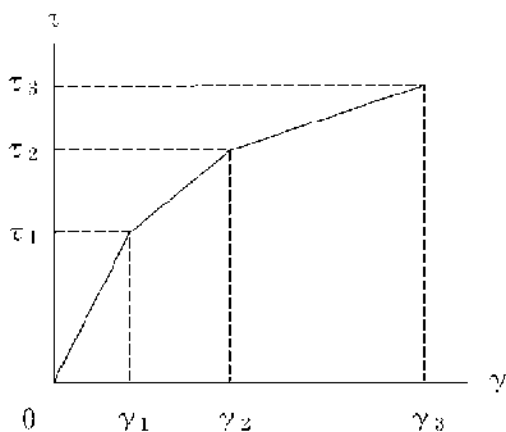
各層の必要保有水平耐力 Q_{un} は、昭和58年8月22日付け58資庁第9522号にて認可された工事計画の添付資料「IV-3-6 原子炉建屋の強度計算書」にて算出した値を用いる。

3.4 解析条件

3.4.1 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-11 に示す。

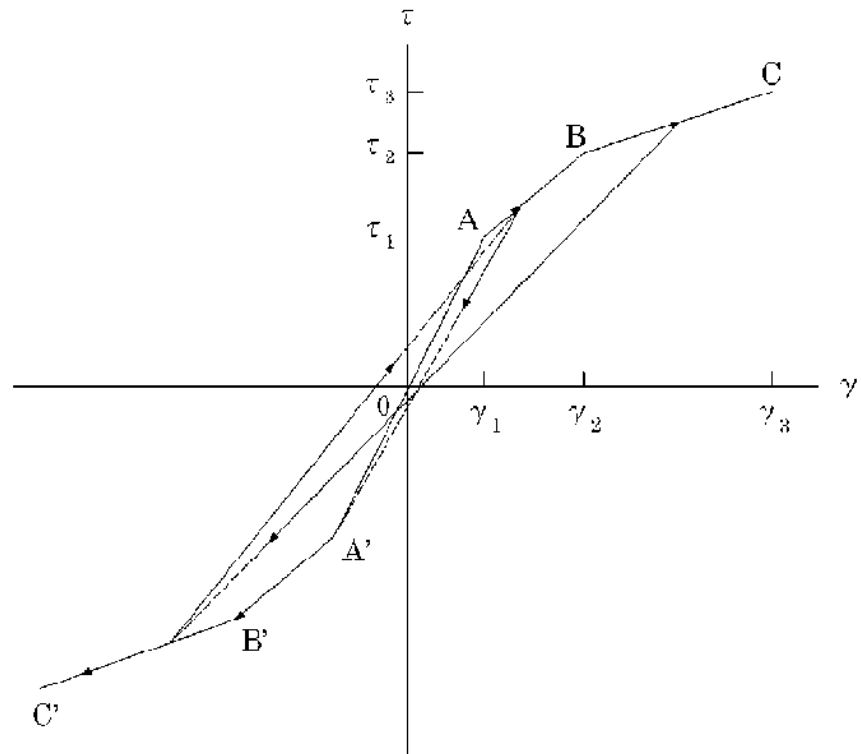


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-11 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-12 に示す。

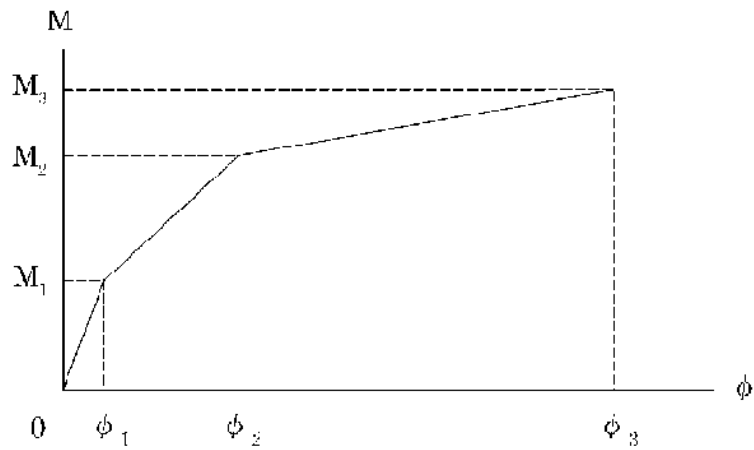


- a. 0-A 間 : 弾性範囲。
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第 1 折点を超えていなければ、負側第 1 折点に向う。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-12 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-13 に示す。



M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント

M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント

M_3 : 終局点の曲げモーメント

ϕ_1 : 第 1 折点の曲率

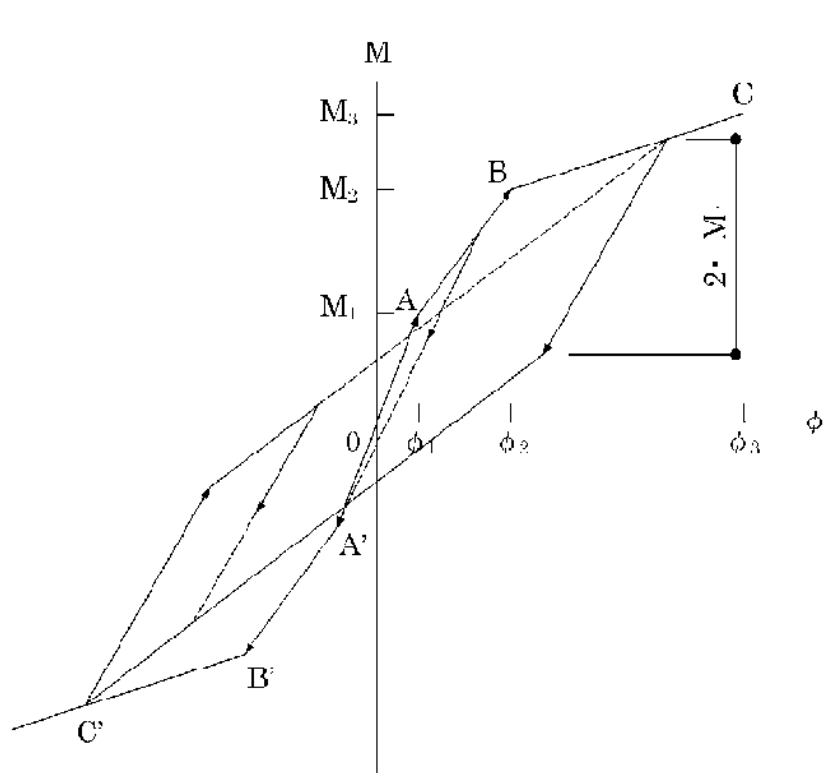
ϕ_2 : 第 2 折点の曲率

ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-13 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-14 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向う。ただし、負側最大点が第 1 折点を越えていなければ、負側第 1 折点に向う。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第 2 折点を越えていなければ、負側第 2 折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-14 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

5号機原子炉建屋の耐震壁について算定したせん断力及び曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値を表3-29～表3-32に示す。

表3-29 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.94	0.189	2.62	0.564	5.62	4.00
2	2.03	0.197	2.74	0.588	5.86	4.00
3	2.04	0.198	2.68	0.539	5.64	4.00
4	2.18	0.212	2.82	0.580	5.49	4.00
5	2.17	0.211	2.83	0.605	5.42	4.00
6	2.20	0.213	2.84	0.617	5.31	4.00
7	2.24	0.217	2.88	0.636	5.17	4.00
8	2.31	0.224	2.98	0.654	5.50	4.00
9	2.35	0.228	3.00	0.676	5.39	4.00

表3-30 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.94	0.188	2.62	0.564	5.71	4.00
2	2.02	0.197	2.73	0.588	5.88	4.00
3	1.88	0.182	2.37	0.539	4.76	4.00
4	2.02	0.197	2.60	0.580	4.96	4.00
5	2.17	0.211	2.86	0.605	5.54	4.00
6	2.19	0.213	2.81	0.617	5.14	4.00
7	2.25	0.218	2.91	0.636	5.33	4.00
8	2.31	0.224	2.97	0.654	5.57	4.00
9	2.37	0.230	3.05	0.676	5.61	4.00

表3-31 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ関係) (NS方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
1	3.79	5.27	5.13	47.5	5.45	951
2	6.14	4.67	9.49	41.6	10.2	833
3	22.7	3.52	36.1	26.1	44.0	521
4	30.8	3.74	52.5	26.8	62.8	535
5	46.5	3.98	83.7	27.3	101	547
6	61.6	4.14	114	27.7	138	554
7	72.5	4.45	137	28.2	166	563
8	86.8	4.79	183	29.0	223	580
9	101	5.06	213	29.5	261	590

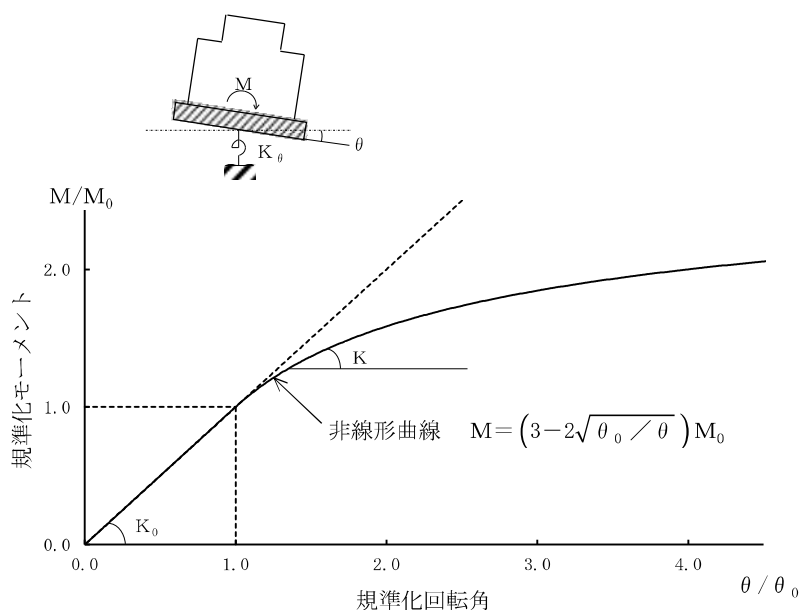
表3-32 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ関係) (EW方向)

部材 番号	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
1	4.10	4.35	5.94	39.6	6.64	792
2	6.07	4.41	9.65	40.3	10.6	807
3	23.6	3.61	36.9	25.8	45.3	516
4	32.0	3.81	53.5	26.5	62.6	529
5	48.0	4.08	85.0	27.2	102	544
6	61.5	4.12	115	27.8	139	555
7	73.5	4.45	139	28.2	169	564
8	87.4	4.75	185	29.1	230	582
9	102	5.05	216	29.5	264	590

3.4.2 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメント－回転角の関係は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。回転ばねの曲げモーメント－回転角の関係を図 3-15 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は、図 3-15 の曲線で表され、減衰係数は、回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



- M : 転倒モーメント
- M_0 : 浮上り限界転倒モーメント
- θ : 回転角
- θ_0 : 浮上り限界回転角
- K_0 : 底面回転ばねのばね定数 (浮上り前)
- K : 底面回転ばねのばね定数 (浮上り後)

図 3-15 回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係

3.4.3 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.2 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建屋応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動（Ss-1～Ss-3, Ss-8）に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、建屋剛性については、建設時コンクリートの28日強度の平均値程度の 31.3N/mm^2 を基本とし、28日強度の $\pm 1\sigma$ を考慮する。更にマイナス側については、28日強度の値として95%信頼区間の下限值に相当する値を考慮し、プラス側については、実機の経年後のコア強度の平均値を考慮する。

地盤剛性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤剛性の不確かさ検討にあたっては、標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。

材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを表3-33に示す。

表3-33 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤剛性	備考
①ケース1 (工認モデル)	実強度 (31.3N/mm^2)	標準地盤	基本ケース
②ケース2 (建屋剛性 $+\sigma$, 地盤剛性 $+\sigma$)	実強度 $+\sigma$ (34.3N/mm^2)	標準地盤 $+\sigma$ (初期せん断弾性係数:埋戻土+54% せん断波速度: 古安田層+11%,西山層+11%)	
③ケース3 (建屋剛性 $-\sigma$, 地盤剛性 $-\sigma$)	実強度 $-\sigma$ (28.4N/mm^2)	標準地盤 $-\sigma$ (初期せん断弾性係数:埋戻土-35% せん断波速度: 古安田層-11%,西山層-11%)	
④ケース4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (49.0N/mm^2)	標準地盤	
⑤ケース5 (建屋剛性 -2σ)	実強度 -2σ (25.4N/mm^2)	標準地盤	

4. 解析結果

4.1 動的解析

本資料においては、代表として基準地震動 S_s の基本ケースの地震応答解析結果を示す。

4.1.1 固有値解析結果

基準地震動 S_s の基本ケースの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を表 4-1～表 4-8 に示す。刺激関数図を S_s-1 の結果を代表として図 4-1 に示す。

なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

4.1.2 応答解析結果

基準地震動 S_s の基本ケースの地震応答解析結果を図 4-2～図 4-14 及び表 4-9 に示す。

表 4-1 固有値解析結果 (Ss-1)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.514	1.95	1.568	建屋-地盤連成1次
2	0.251	3.98	-0.609	
3	0.101	9.89	-0.102	
4	0.087	11.55	0.233	
5	0.069	14.58	-0.094	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.514	1.95	1.559	建屋-地盤連成1次
2	0.251	3.99	-0.595	
3	0.100	10.03	-0.087	
4	0.084	11.94	0.204	
5	0.066	15.19	-0.085	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.332	3.01	5.010	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.057	
3	0.081	12.29	0.091	
4	0.059	17.01	0.316	
5	0.057	17.42	0.324	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-2 固有値解析結果 (Ss-2)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.511	1.96	1.569	建屋-地盤連成1次
2	0.249	4.01	-0.612	
3	0.101	9.90	-0.103	
4	0.087	11.56	0.237	
5	0.069	14.58	-0.096	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.510	1.96	1.560	建屋-地盤連成1次
2	0.249	4.02	-0.598	
3	0.100	10.04	-0.088	
4	0.084	11.95	0.208	
5	0.066	15.20	-0.086	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.328	3.05	5.440	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.488	
3	0.081	12.29	0.093	
4	0.059	17.01	0.322	
5	0.057	17.43	0.329	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-3 固有値解析結果 (Ss-3)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.525	1.90	1.562	建屋-地盤連成1次
2	0.257	3.89	-0.600	
3	0.101	9.86	-0.098	
4	0.087	11.55	0.221	
5	0.069	14.57	-0.089	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.525	1.90	1.554	建屋-地盤連成1次
2	0.257	3.90	-0.588	
3	0.100	10.00	-0.084	
4	0.084	11.93	0.194	
5	0.066	15.18	-0.080	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.340	2.94	4.432	建屋-地盤連成1次
2	0.287	3.49	-3.476	
3	0.081	12.29	0.087	
4	0.059	17.01	0.307	
5	0.057	17.41	0.314	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-4 固有値解析結果 (Ss-4)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.500	2.00	1.574	建屋-地盤連成1次
2	0.244	4.10	-0.620	
3	0.101	9.92	-0.107	
4	0.086	11.56	0.249	
5	0.069	14.60	-0.101	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.500	2.00	1.565	建屋-地盤連成1次
2	0.244	4.10	-0.606	
3	0.099	10.07	-0.092	
4	0.084	11.96	0.218	
5	0.066	15.21	-0.091	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.324	3.09	5.935	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.985	
3	0.081	12.29	0.096	
4	0.059	17.01	0.327	
5	0.057	17.44	0.335	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-5 固有値解析結果 (Ss-5)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.504	1.98	1.573	建屋-地盤連成1次
2	0.246	4.06	-0.617	
3	0.101	9.91	-0.106	
4	0.086	11.56	0.244	
5	0.069	14.59	-0.099	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.504	1.98	1.564	建屋-地盤連成1次
2	0.246	4.06	-0.602	
3	0.099	10.05	-0.091	
4	0.084	11.95	0.214	
5	0.066	15.20	-0.089	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.327	3.06	5.533	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.581	
3	0.081	12.29	0.094	
4	0.059	17.01	0.323	
5	0.057	17.43	0.330	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-6 固有値解析結果 (Ss-6)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.504	1.98	1.572	建屋-地盤連成1次
2	0.246	4.06	-0.617	
3	0.101	9.91	-0.106	
4	0.086	11.56	0.244	
5	0.069	14.59	-0.099	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.504	1.99	1.563	建屋-地盤連成1次
2	0.246	4.07	-0.603	
3	0.099	10.06	-0.090	
4	0.084	11.95	0.214	
5	0.066	15.20	-0.089	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.327	3.06	5.533	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.581	
3	0.081	12.29	0.094	
4	0.059	17.01	0.323	
5	0.057	17.43	0.330	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-7 固有値解析結果 (Ss-7)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.507	1.97	1.572	建屋-地盤連成1次
2	0.248	4.04	-0.615	
3	0.101	9.90	-0.106	
4	0.087	11.56	0.242	
5	0.069	14.59	-0.097	

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.506	1.97	1.563	建屋-地盤連成1次
2	0.247	4.04	-0.601	
3	0.100	10.04	-0.090	
4	0.084	11.95	0.212	
5	0.066	15.20	-0.088	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.330	3.03	5.260	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.308	
3	0.081	12.29	0.092	
4	0.059	17.01	0.320	
5	0.057	17.43	0.327	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

表 4-8 固有値解析結果 (Ss-8)

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.506	1.98	1.572	建屋-地盤連成1次
2	0.247	4.05	-0.615	
3	0.101	9.91	-0.105	
4	0.087	11.56	0.242	
5	0.069	14.59	-0.098	

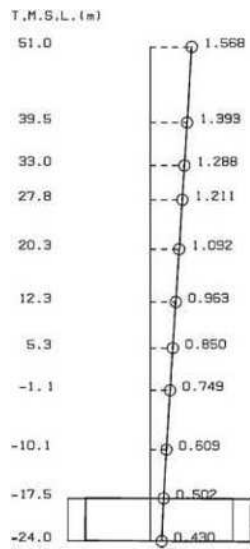
(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.505	1.98	1.562	建屋-地盤連成1次
2	0.247	4.05	-0.601	
3	0.099	10.05	-0.090	
4	0.084	11.95	0.212	
5	0.066	15.20	-0.088	

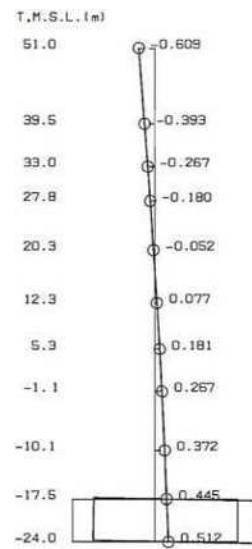
(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.327	3.06	5.533	建屋-地盤連成1次
2	0.286	3.49	-4.581	
3	0.081	12.29	0.094	
4	0.059	17.01	0.323	
5	0.057	17.43	0.330	

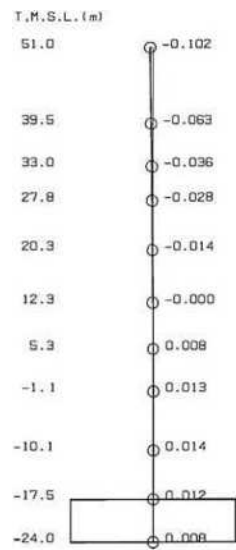
注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。



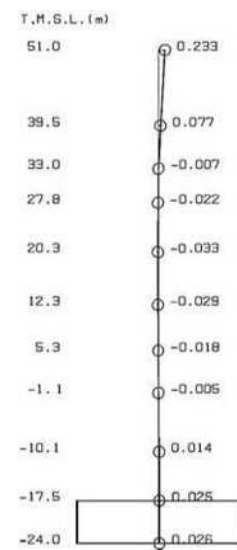
1 次



2 次

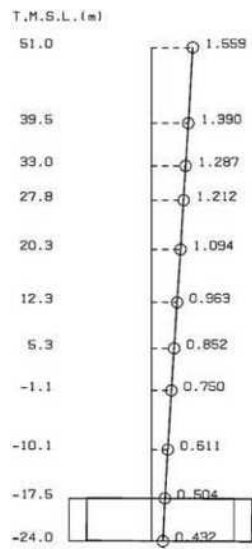


3 次

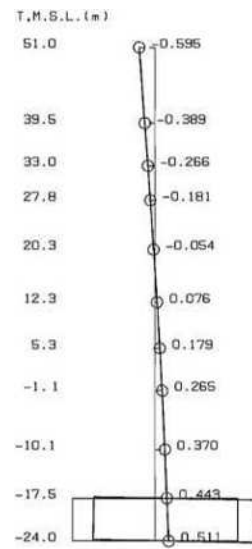


4 次

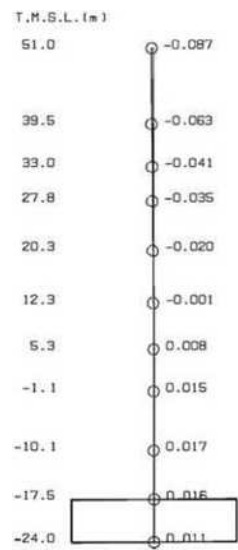
図4-1 刺激関数図 (Ss-1, NS方向) (1/3)



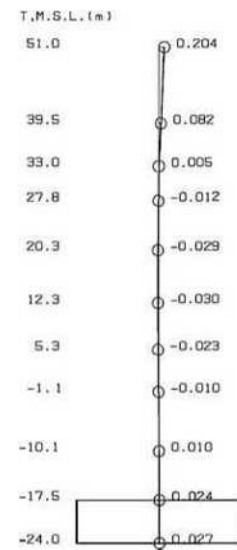
1 次



2 次

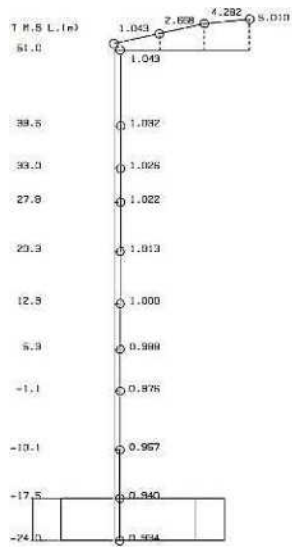


3 次

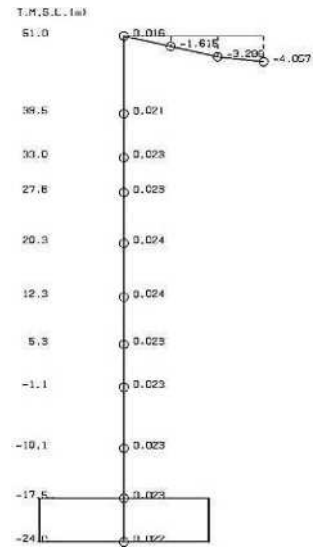


4 次

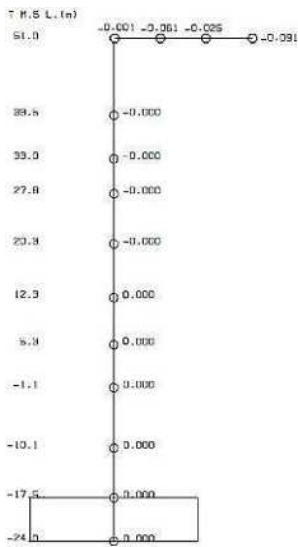
図4-1 刺激関数図 (Ss-1, EW方向) (2/3)



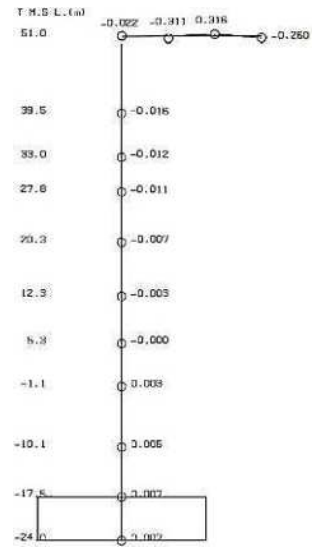
1 次



2 次



3 次



4 次

図 4-1 刺激関数図 (Ss-1, UD 方向) (3/3)

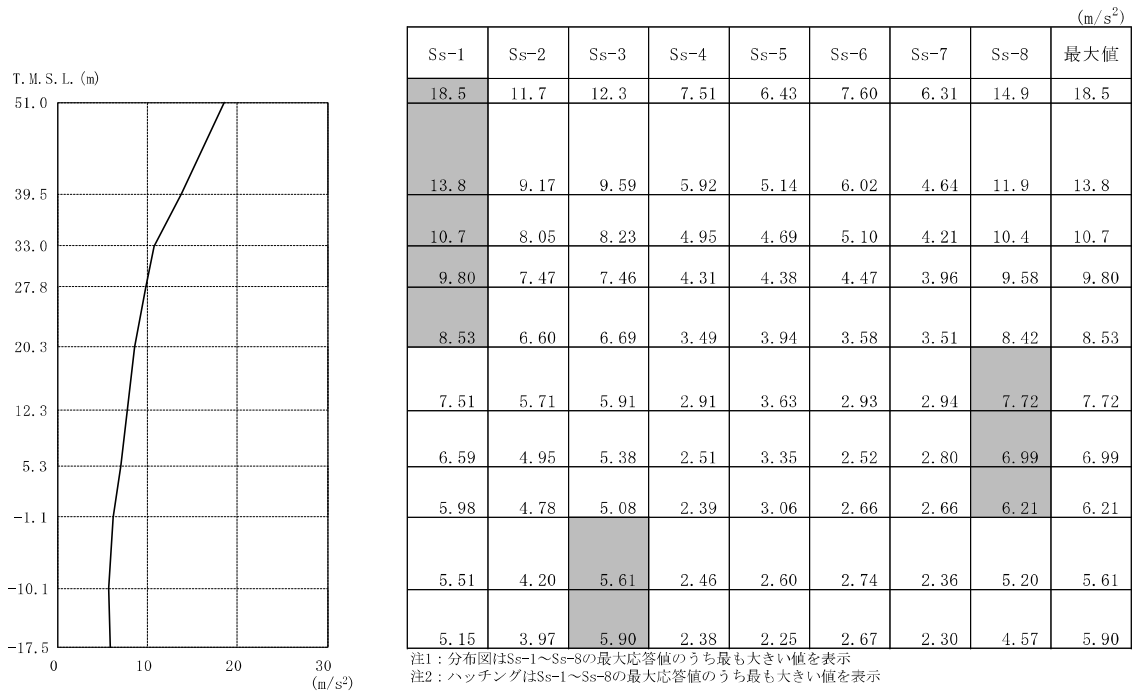


図4-2 最大応答加速度（基準地震動 S_s，NS方向）

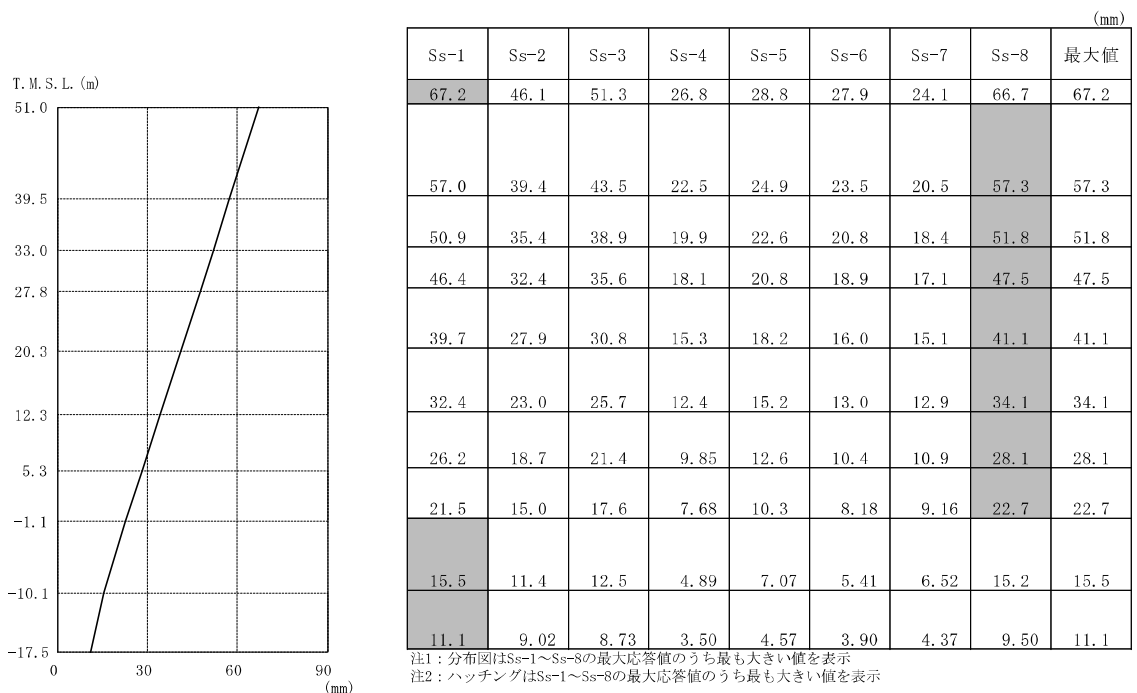


図4-3 最大応答変位（基準地震動 S_s，NS方向）

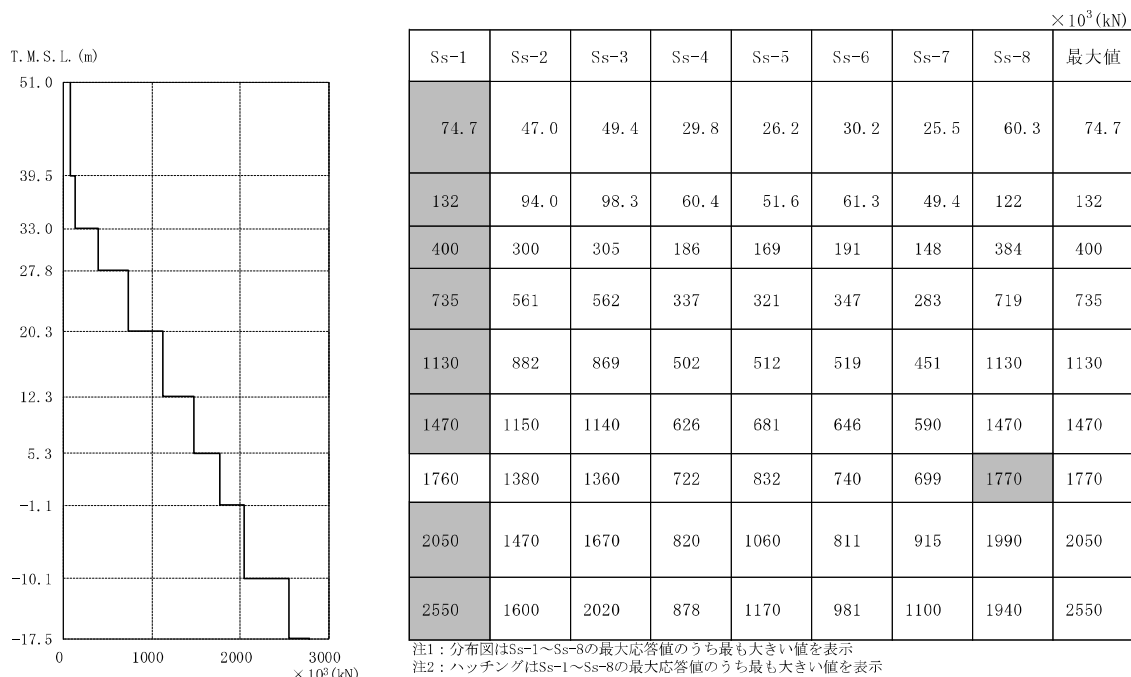


図4-4 最大応答せん断力 (基準地震動 S s , NS方向)

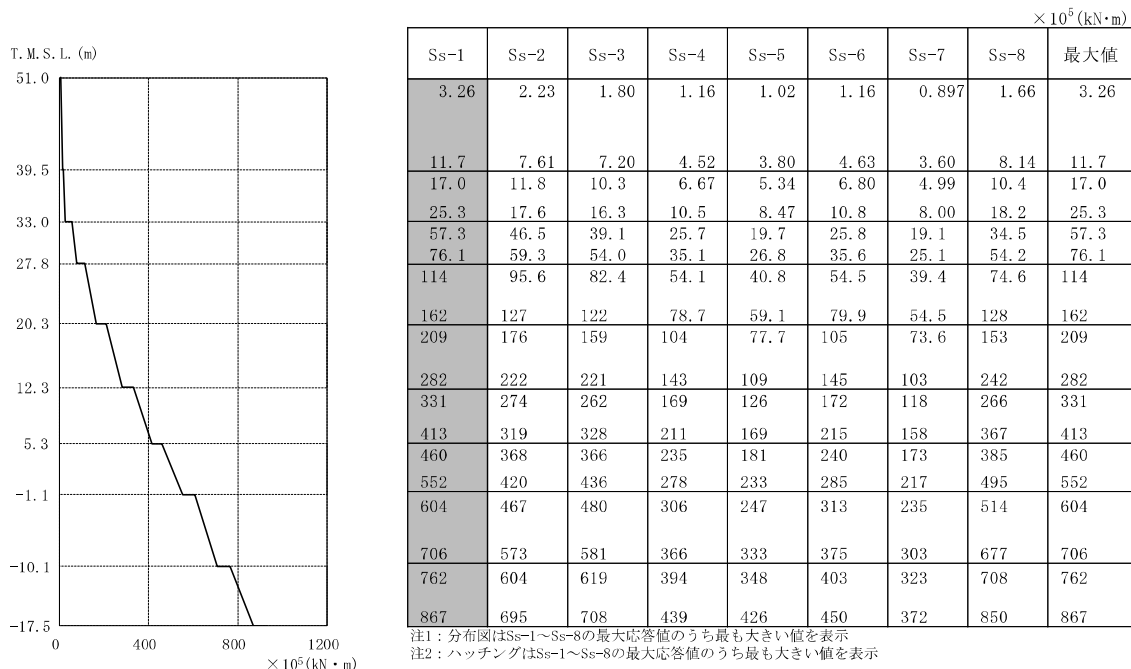


図4-5 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s , NS方向)

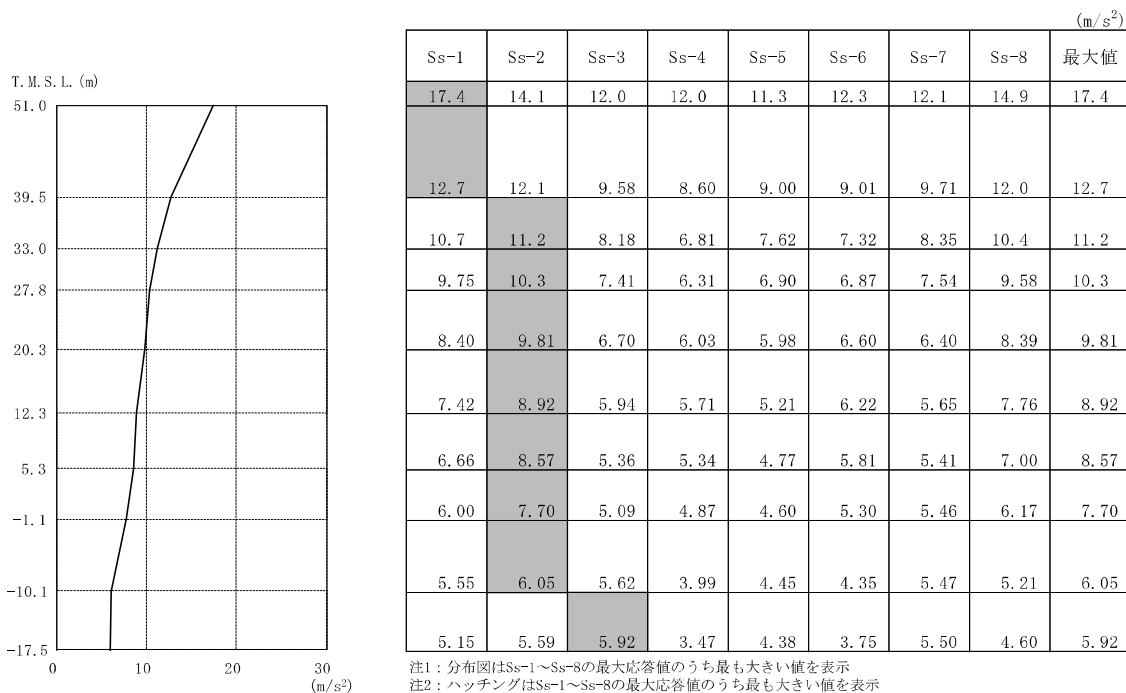


図4-6 最大応答加速度 (基準地震動 S_s, EW方向)

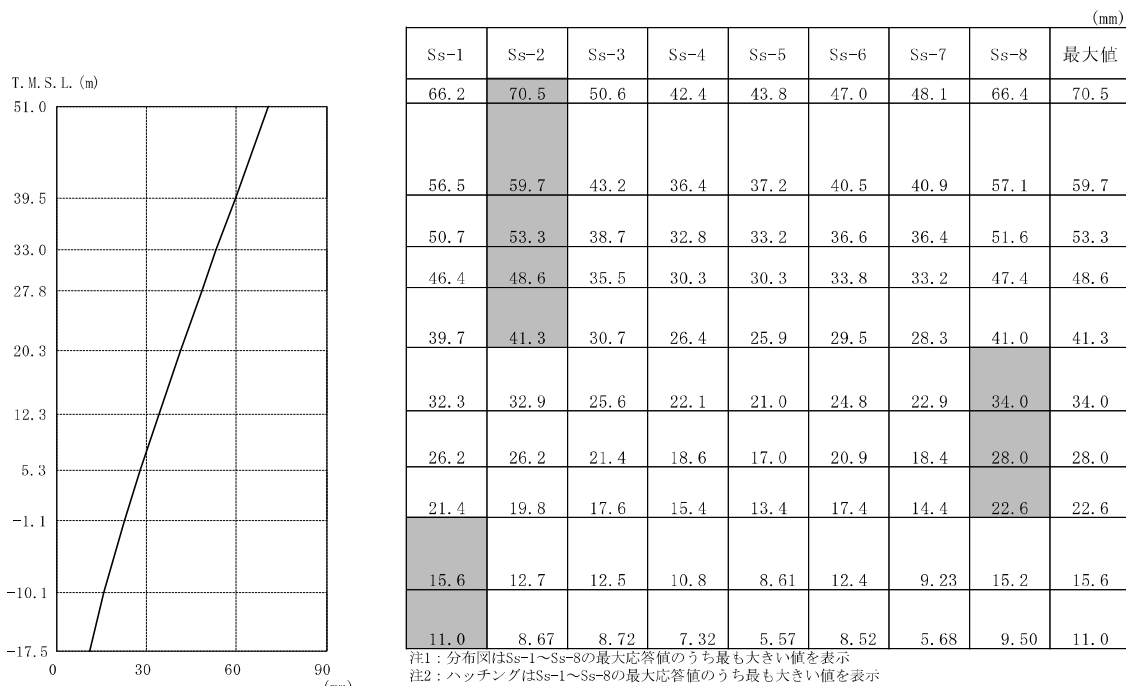


図4-7 最大応答変位 (基準地震動 S_s, EW方向)

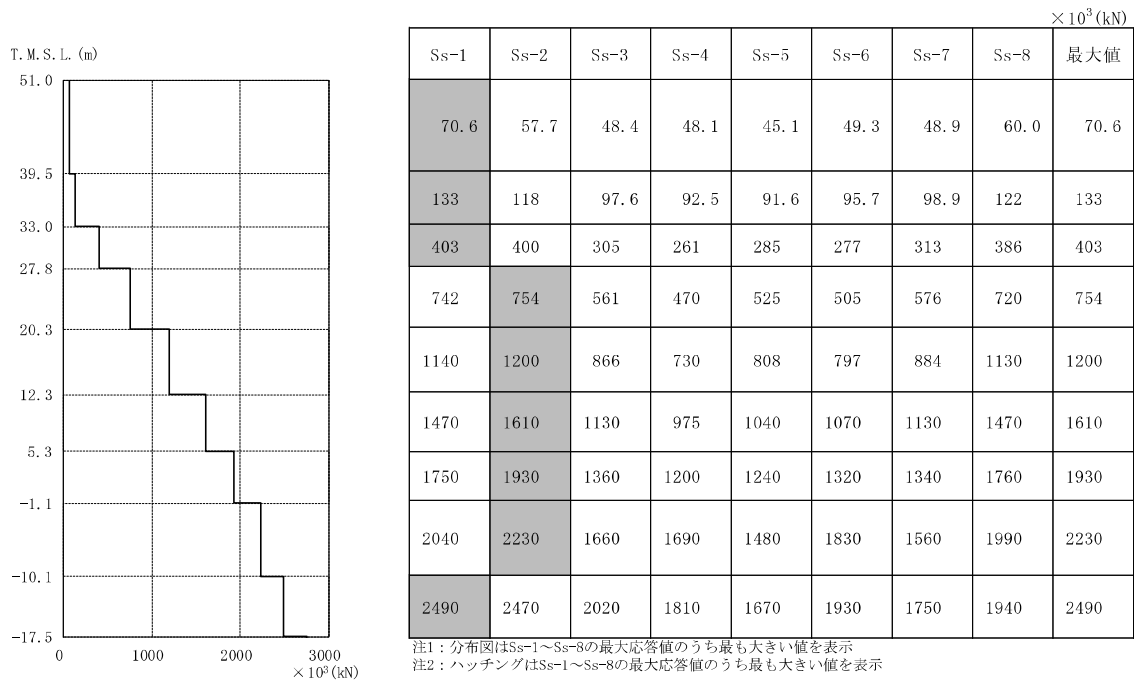


図4-8 最大応答せん断力 (基準地震動 S_s, EW方向)

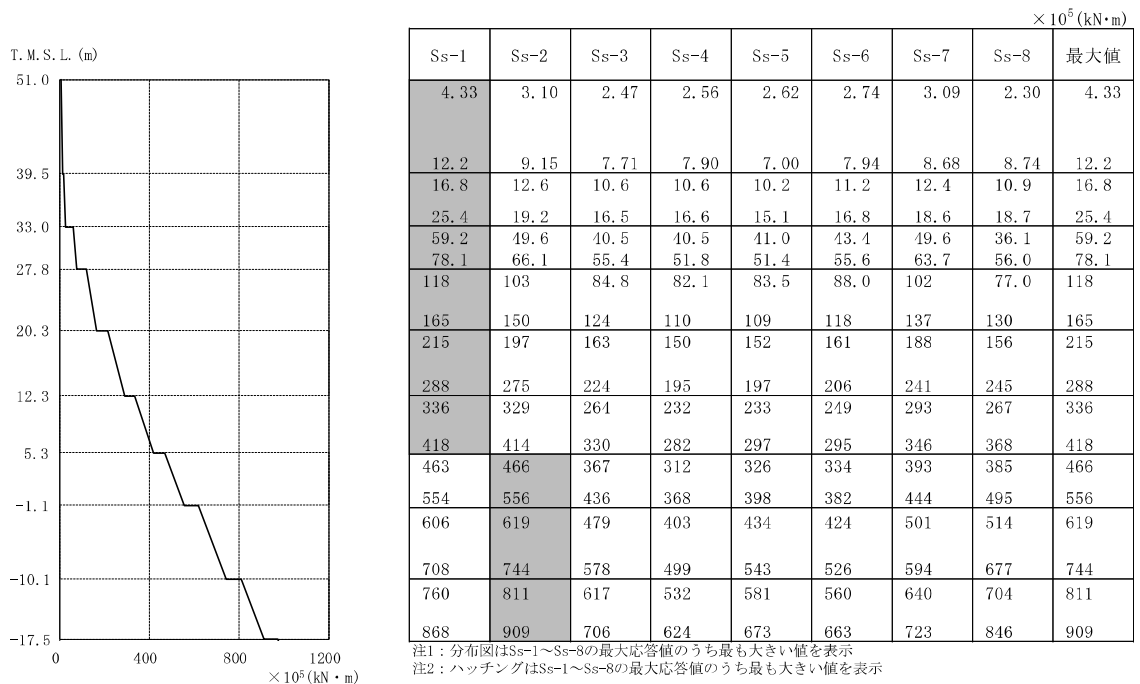
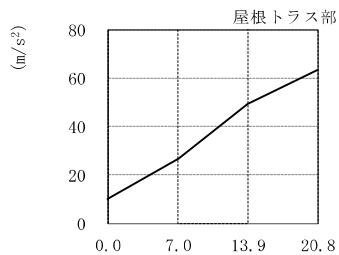


図4-9 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S_s, EW方向)



(m)
屋根トラス部
(m/s²)

Ss-1	9.90	26.8	49.5	63.3
Ss-2	6.08	16.7	27.8	36.0
Ss-3	7.59	15.9	27.2	33.7
Ss-4	5.91	11.5	20.4	22.4
Ss-5	4.75	11.8	14.8	22.3
Ss-6	5.70	12.1	22.5	23.8
Ss-7	4.87	11.8	17.6	24.7
Ss-8	4.50	6.48	9.58	13.0
最大値	9.90	26.8	49.5	63.3

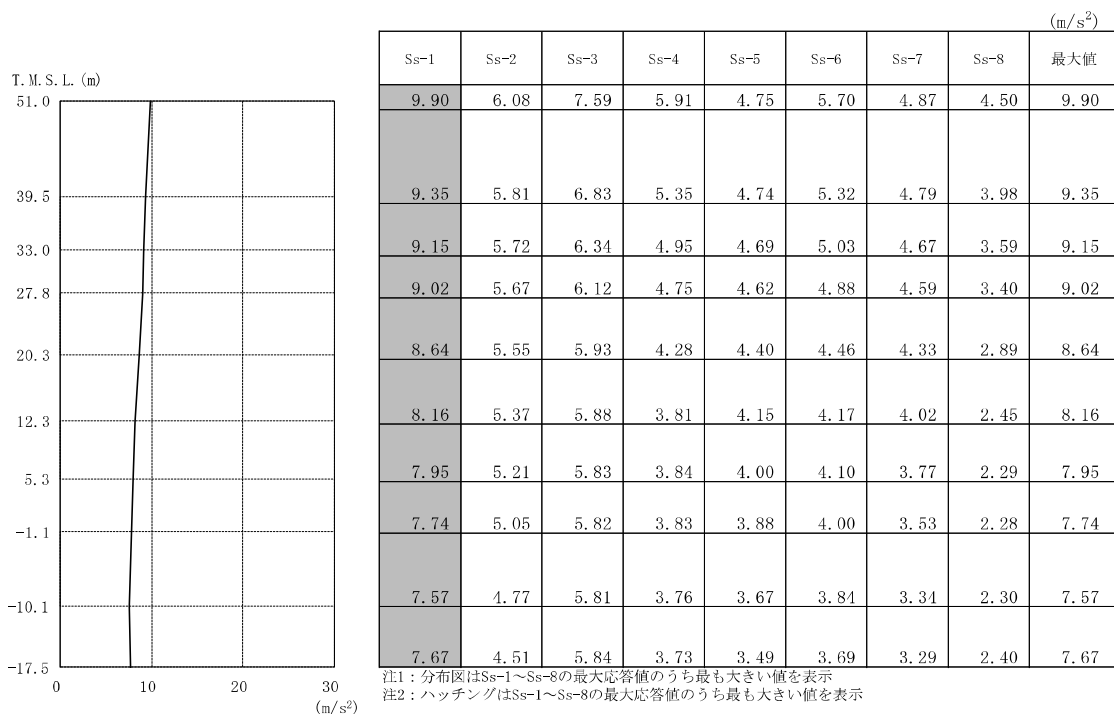
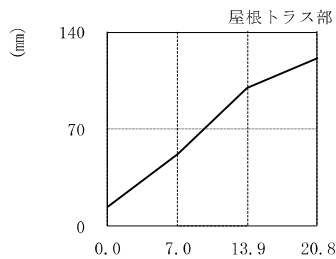
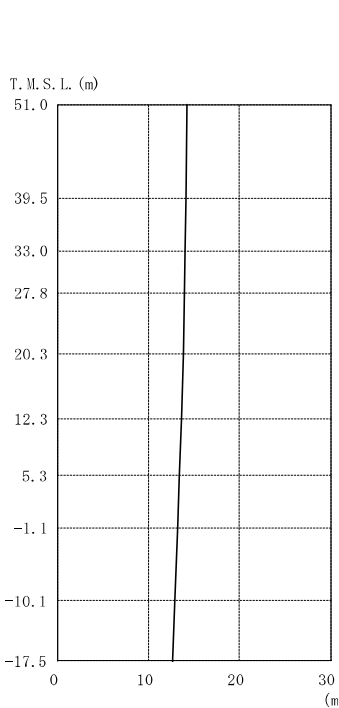


図 4-10 最大応答加速度（基準地震動 S_s，鉛直方向）



(m)
屋根トラス部
(mm)

Ss-1	14.2	52.5	100	121
Ss-2	7.56	30.5	58.0	70.9
Ss-3	13.5	32.9	58.4	71.5
Ss-4	6.24	22.9	42.6	51.1
Ss-5	7.22	20.4	35.2	42.1
Ss-6	7.43	25.1	46.8	56.0
Ss-7	6.86	23.4	41.8	50.4
Ss-8	3.83	13.4	23.8	28.7
最大値	14.2	52.5	100	121



Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	最大値
14.2	7.56	13.5	6.24	7.22	7.43	6.86	3.83	14.2
14.1	7.44	13.4	6.17	7.17	7.35	6.82	3.78	14.1
14.0	7.38	13.3	6.12	7.12	7.30	6.78	3.74	14.0
13.9	7.35	13.3	6.10	7.10	7.27	6.75	3.73	13.9
13.8	7.27	13.1	6.02	7.02	7.19	6.68	3.68	13.8
13.6	7.16	13.0	5.91	6.91	7.07	6.58	3.62	13.6
13.4	7.06	12.8	5.81	6.82	6.96	6.48	3.57	13.4
13.2	6.96	12.6	5.70	6.72	6.87	6.38	3.51	13.2
12.9	6.81	12.4	5.57	6.57	6.74	6.25	3.43	12.9
12.6	6.68	12.2	5.47	6.44	6.61	6.14	3.35	12.6

注1：分布図はSs-1～Ss-8の最大応答値のうち最も大きい値を表示
 注2：ハッチングはSs-1～Ss-8の最大応答値のうち最も大きい値を表示

図 4-11 最大応答変位 (基準地震動 S_s, 鉛直方向)

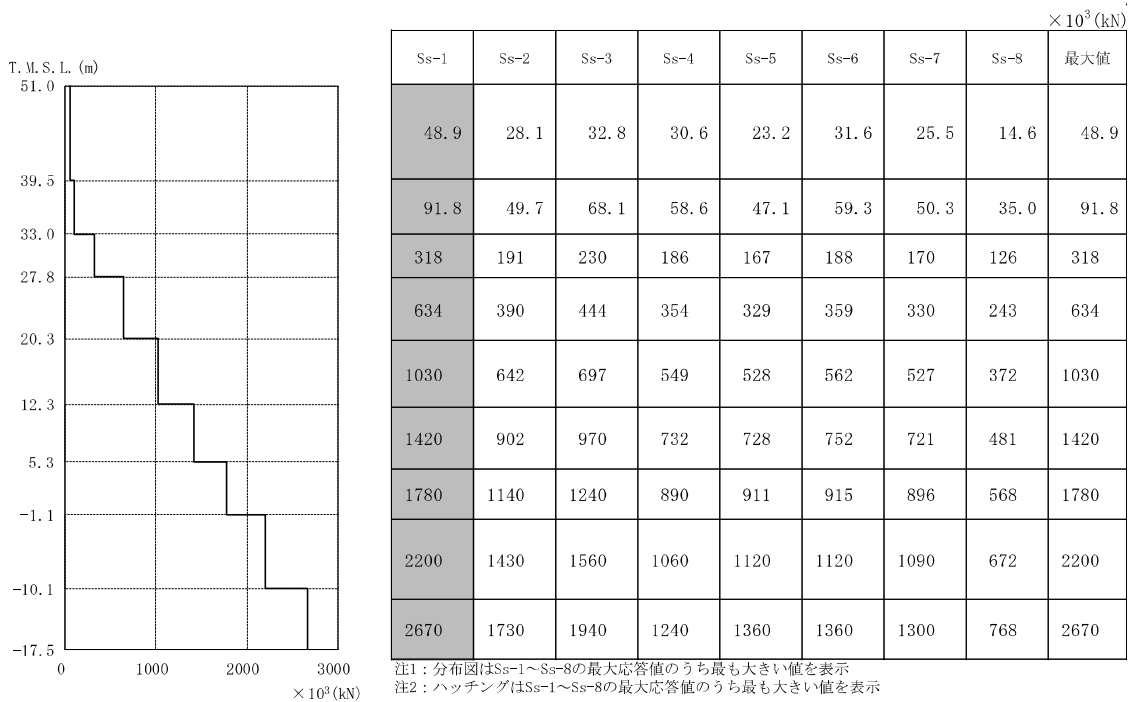


図 4-12 最大応答軸力 (基準地震動 S s , 鉛直方向)

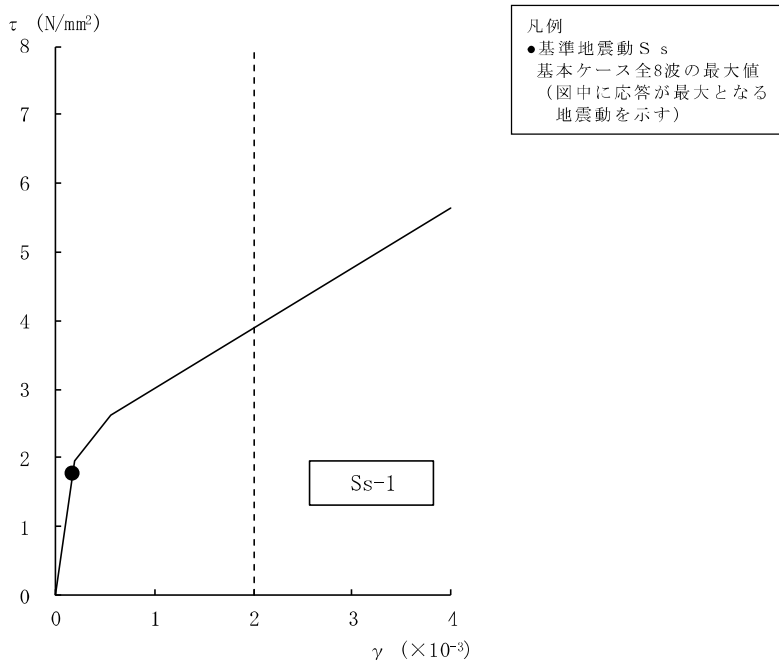


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向, CRF) (1/9)

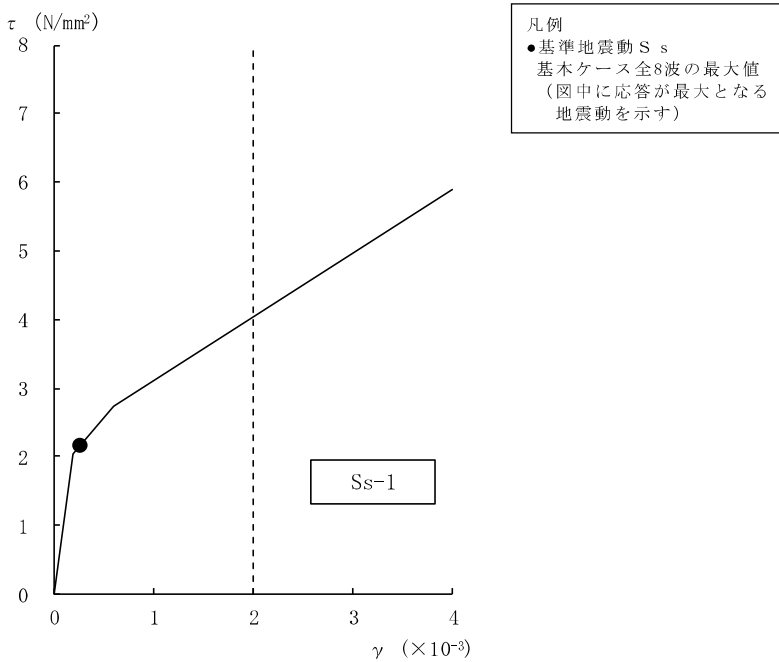


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向, 4F) (2/9)

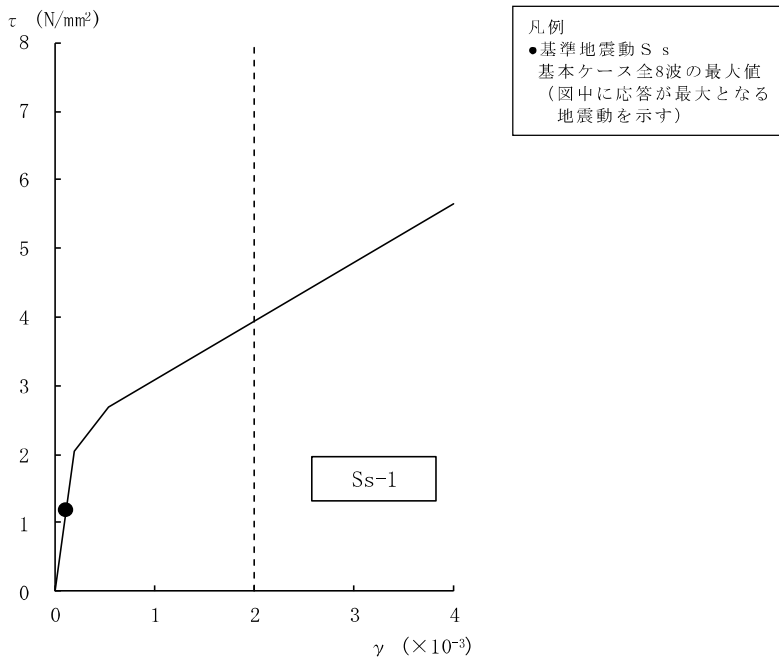


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s , NS方向, 3F) (3/9)

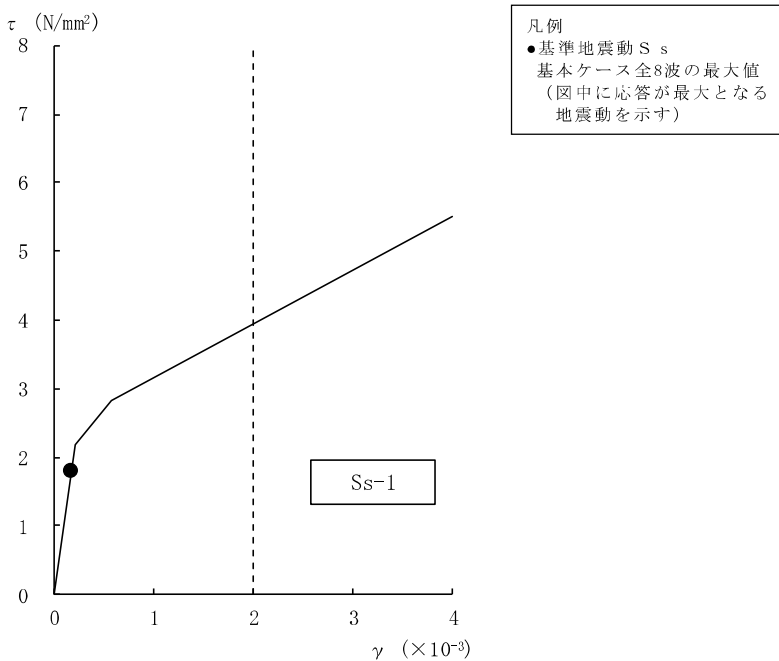


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s , NS方向, 2F) (4/9)

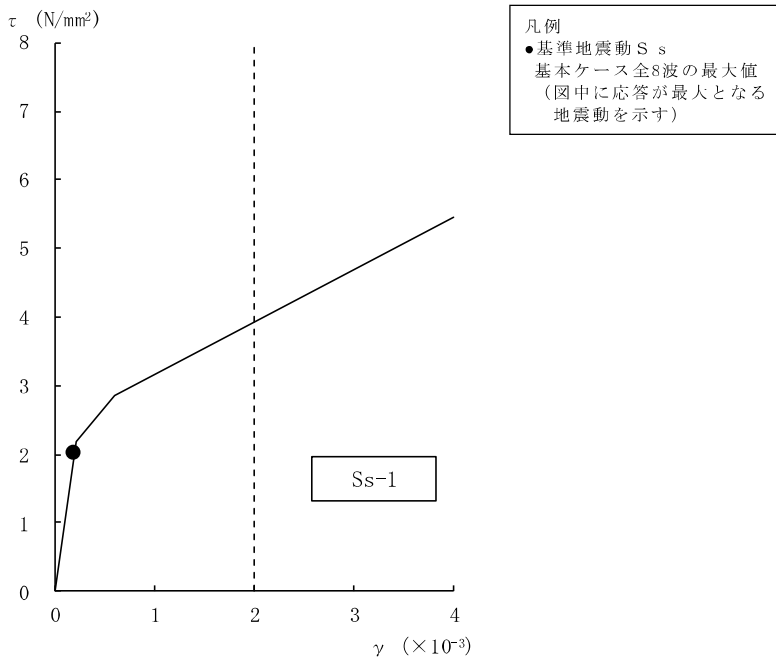


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s，NS方向，1F）（5/9）

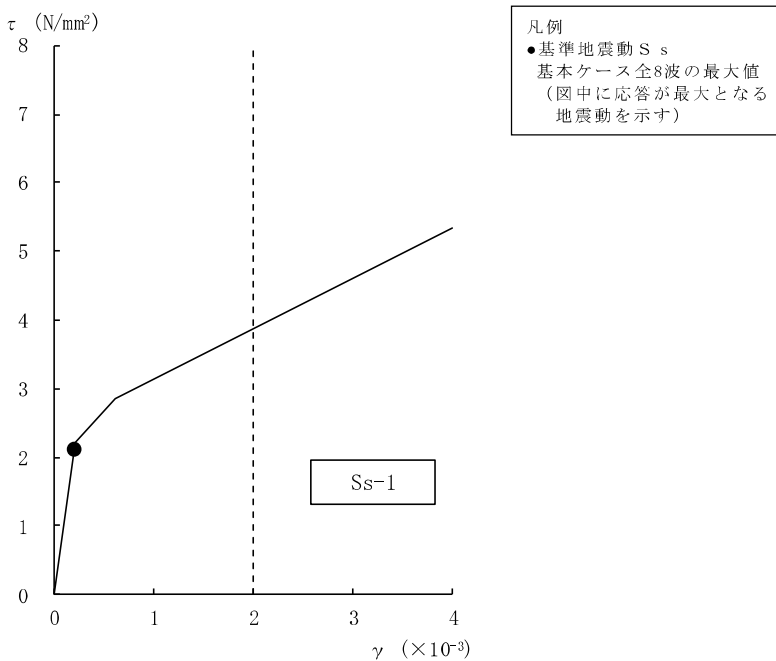


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（基準地震動 S_s，NS方向，B1F）（6/9）

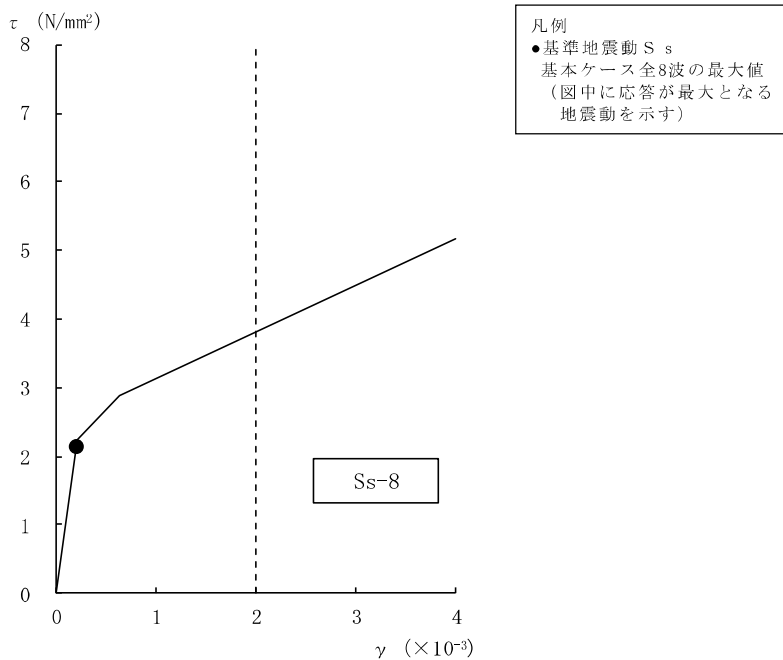


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向, B2F) (7/9)

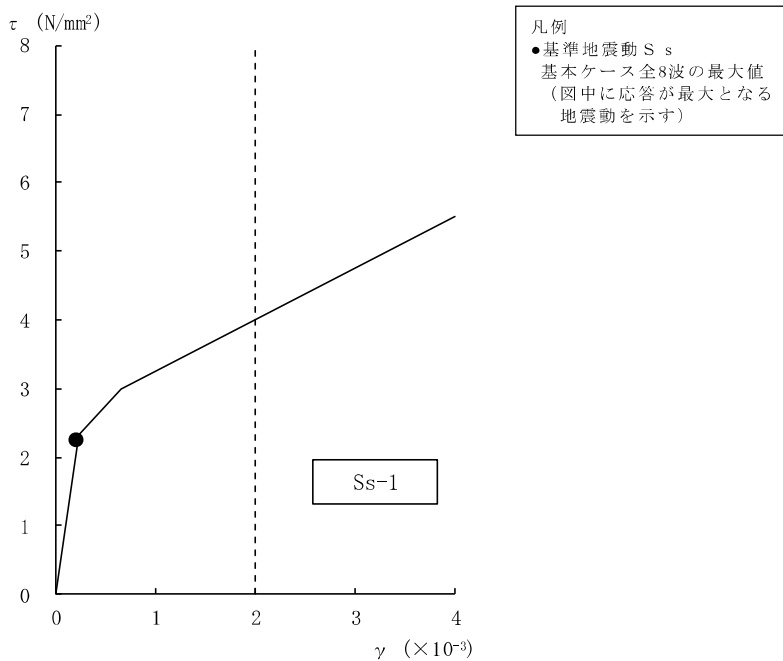


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向, B3F) (8/9)

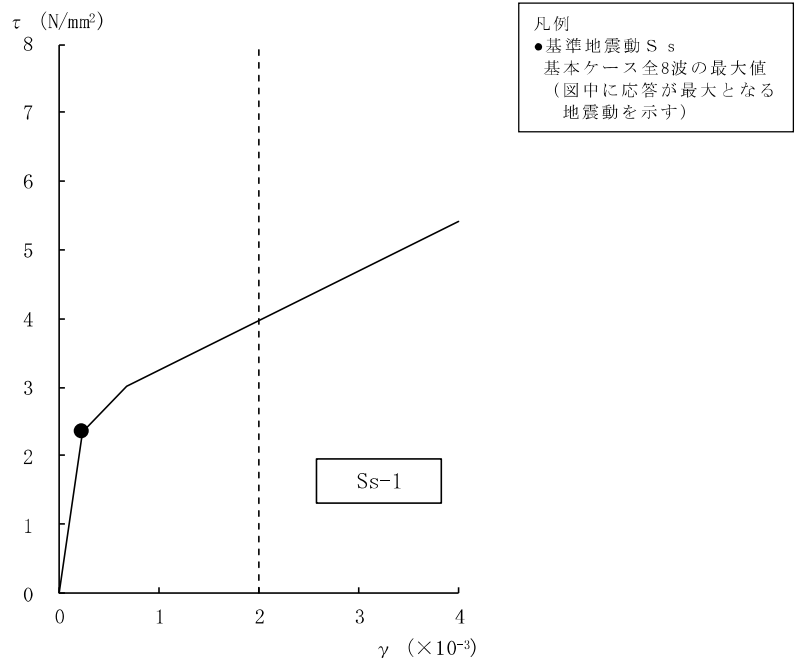


図4-13 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, NS方向, B4F) (9/9)

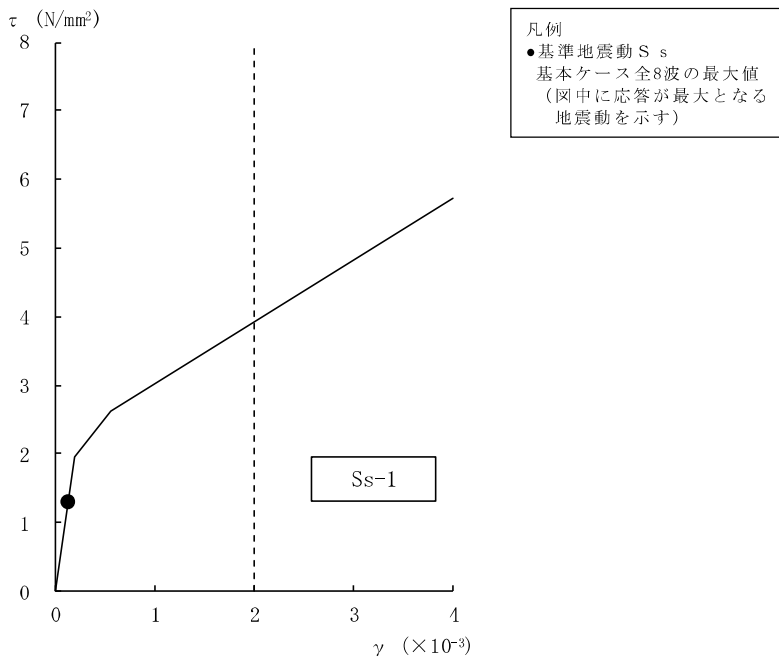


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, CRF) (1/9)

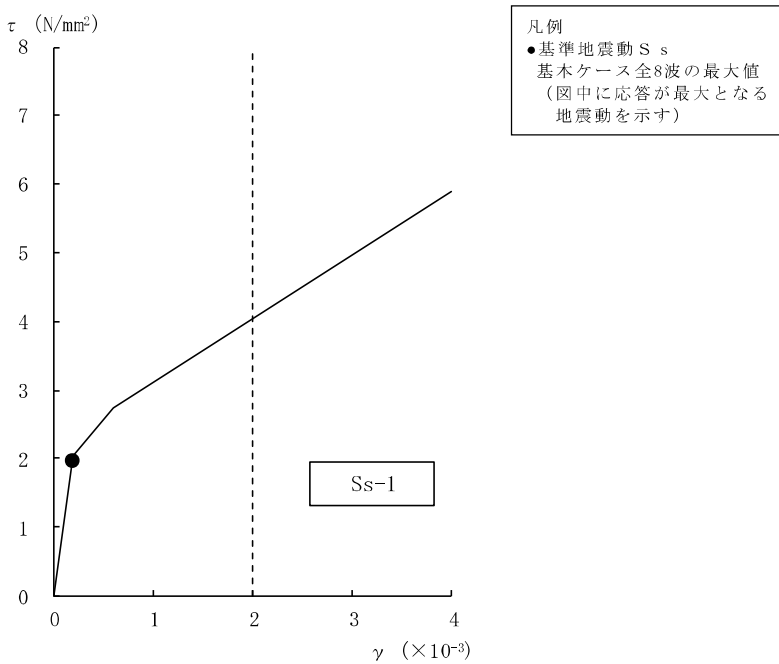


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, 4F) (2/9)

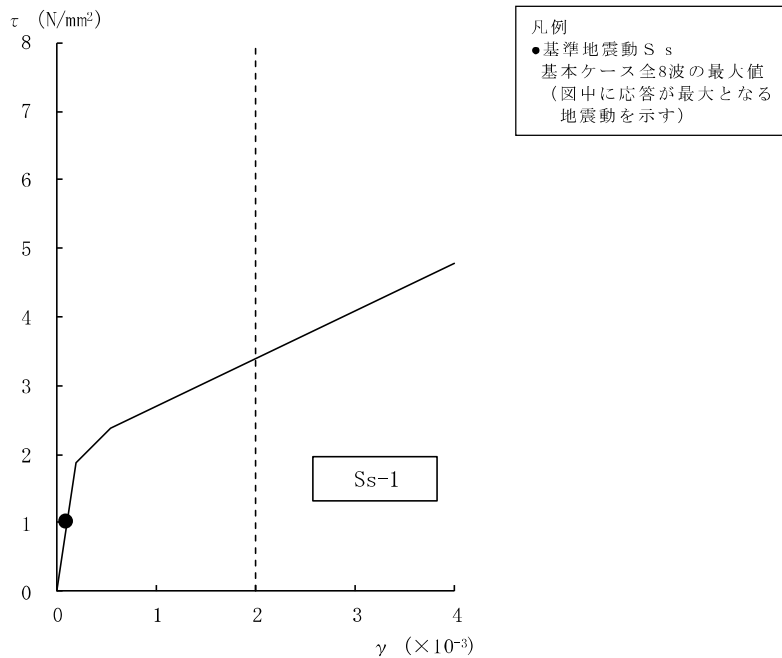


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S s , EW方向, 3F) (3/9)

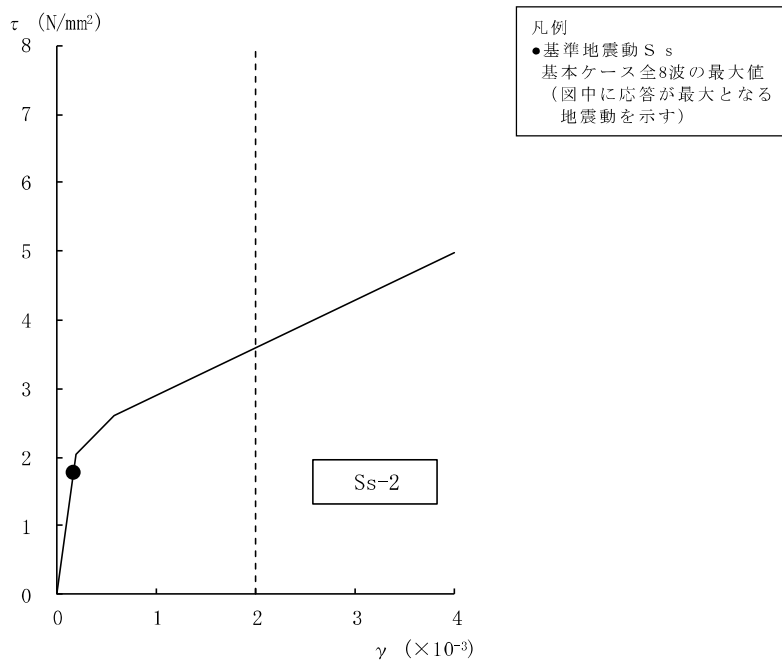


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S s , EW方向, 2F) (4/9)

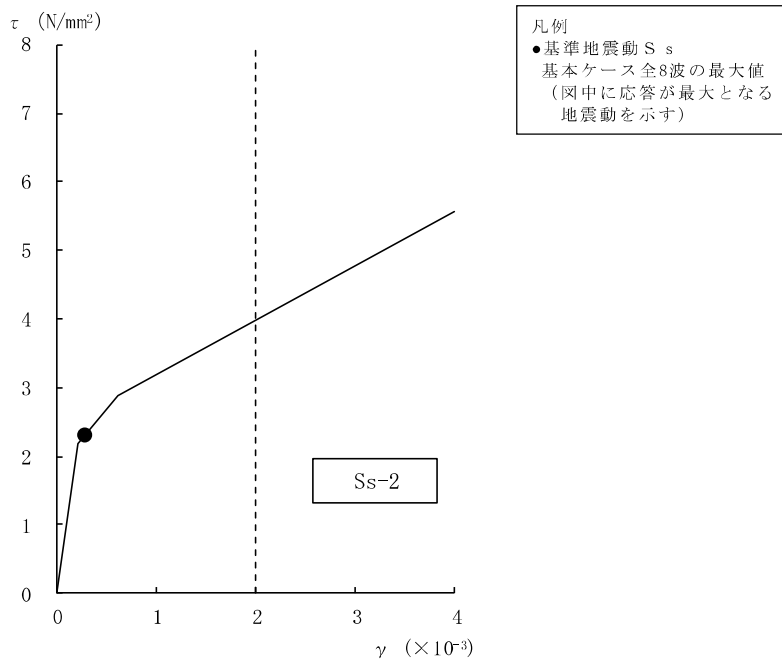


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, 1F) (5/9)

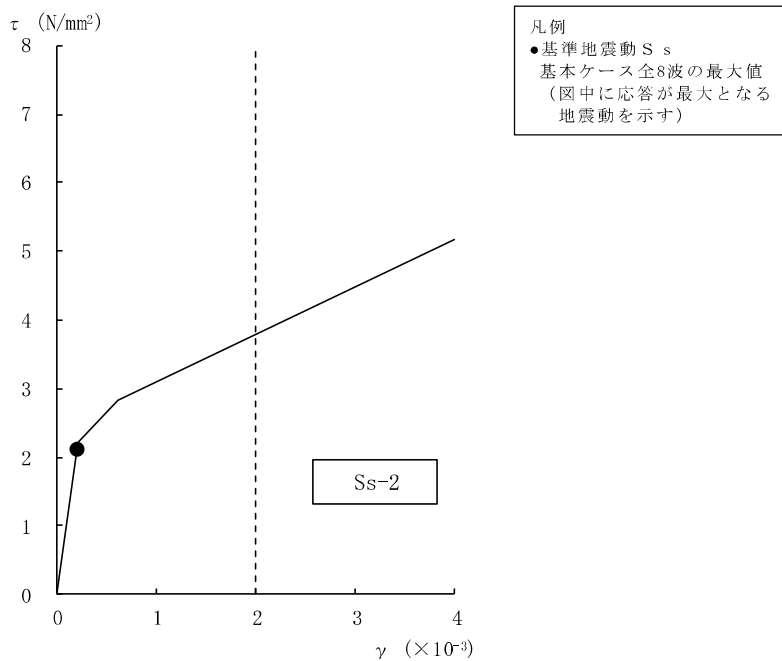


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, B1F) (6/9)

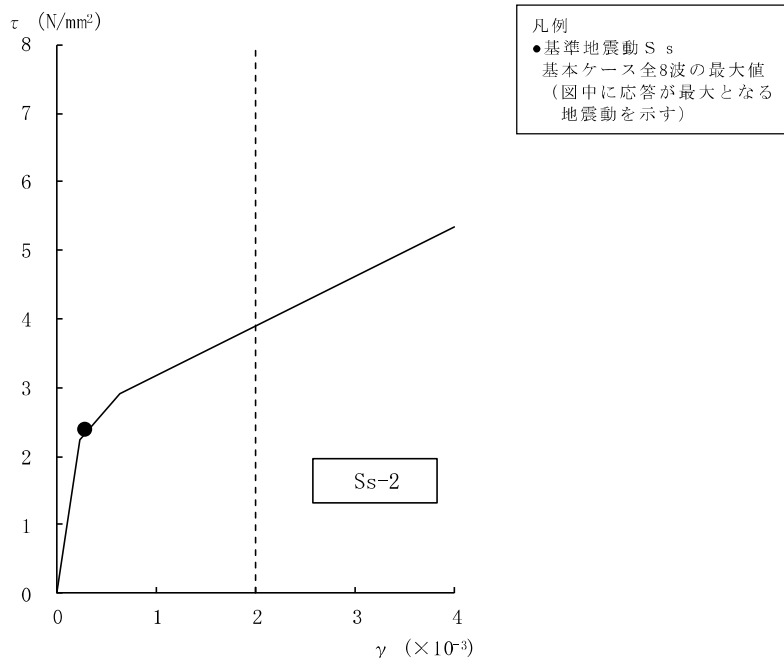


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, B2F) (7/9)

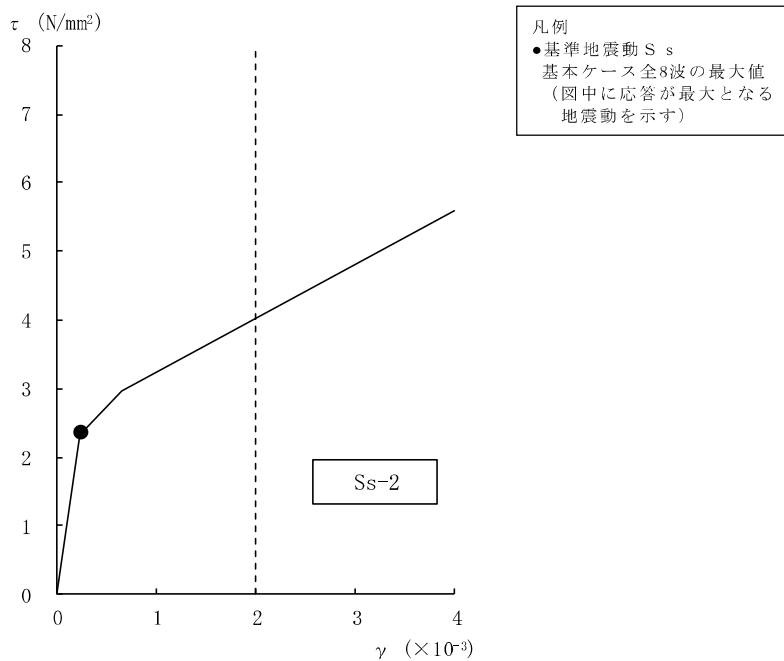


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S_s, EW方向, B3F) (8/9)

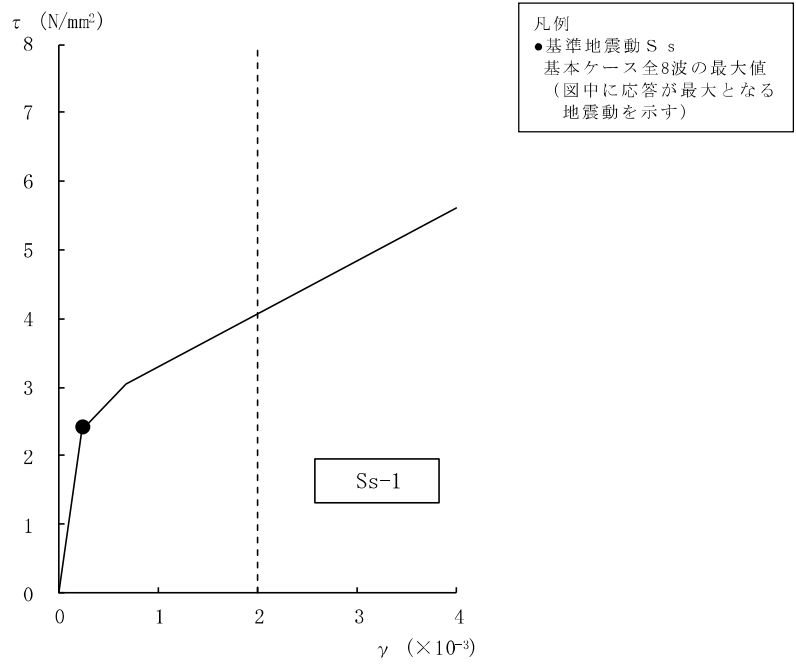


図4-14 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (基準地震動 S s, EW方向, B4F) (9/9)

表 4-9 基準地震動 S s による地震応答解析結果に基づく接地率

(a) NS方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m ²)	最大転倒モーメント (× 10 ⁶ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-1	2200	104.0	69.5
Ss-2	1720	81.3	87.1
Ss-3	1780	83.6	85.3
Ss-4	1330	50.7	100.0
Ss-5	1350	52.0	100.0
Ss-6	1350	52.0	100.0
Ss-7	1250	43.5	100.0
Ss-8	2030	104.0	69.6

(b) EW方向

基準地震動 S s	最大接地圧 (kN/m ²)	最大転倒モーメント (× 10 ⁶ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-1	2200	104.0	69.5
Ss-2	2220	108.0	66.3
Ss-3	1780	83.5	85.4
Ss-4	1590	74.3	92.5
Ss-5	1680	80.3	87.9
Ss-6	1670	79.4	88.5
Ss-7	1750	85.6	83.7
Ss-8	2030	104.0	69.7

4.2 必要保有水平耐力

必要保有水平耐力については、「3.3 解析方法」に示すとおり，昭和58年8月22日付け58資庁第9522号にて認可された工事計画の添付資料「IV-3-6 原子炉建屋の強度計算書」にて算出した値を用いる。必要保有水平耐力 Q_{un} を図4-15及び図4-16に示す。

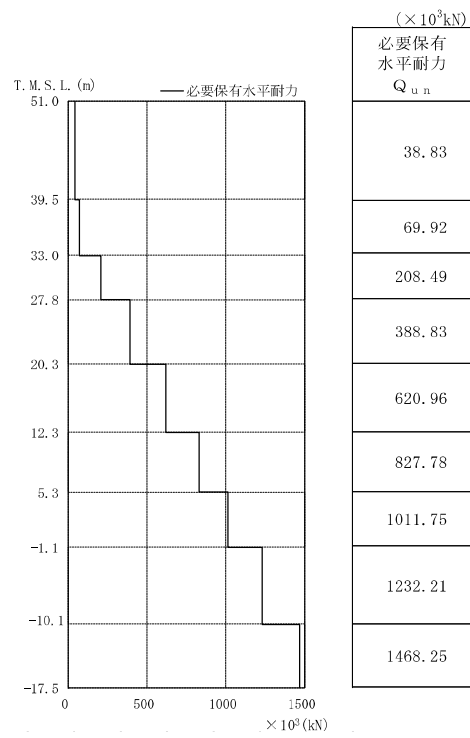


图4-15 必要保有水平耐力 Q_{un} (NS方向)

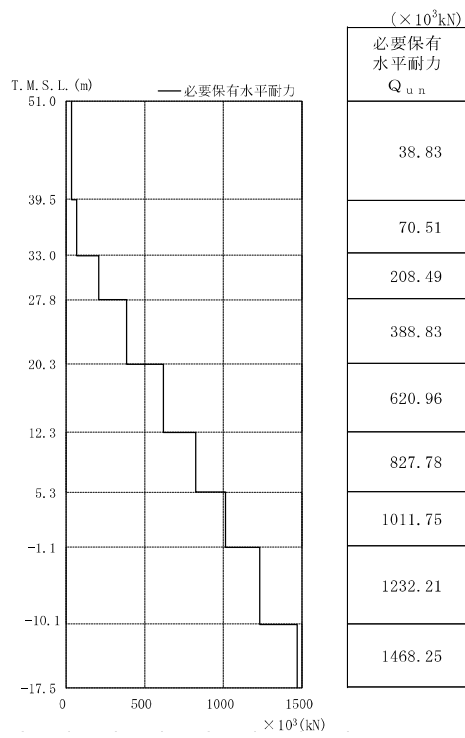


图4-16 必要保有水平耐力 Q_{un} (EW方向)

別紙9 NOVAK

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1979年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	<p>本解析コードは、Novakの論文*に基づき、水平、上下、回転成分の単位深さあたりの地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。地震応答解析における水平方向の地震応答解析モデルの建屋埋め込み部分の基礎側面地盤の評価に使用する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、側面地盤ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

注記* : Novak, M, et al. : “Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case”, The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978, pp.953-959.

別紙 10 S H A K E

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	S H A K E
使用目的	入力地震動算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1999 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>本解析コードの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。</p> <p>①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</p> <p>②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。</p> <p>③鉛直動は、S波速度V_s をP波速度V_p として定義することで対応が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動S_s 及び弾性設計用地震動S_d に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において、日本原燃株式会社の「ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設に係る設計及び工事」で、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施設 (MOX燃料加工施設) のうち燃料加工建屋に対する地震応答解析に本解析コードが使用された実績が

	<p>ある。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 検証の内容のとおり，入力地震動算定について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
--	--

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、重複反射理論に基づく地震応答解析を行うプログラムである。本解析コードは1次元地震応答解析(入力地震動算定)に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・1次元重複反射理論に基づく解析を行う。
- ・地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮する。
- ・鉛直動は、S波速度を V_s 、P波速度を V_p として定義することで対応できる。

3.3 解析手法

図3-1に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性系は、均質、等方性であり、厚さが h 、密度が ρ 、せん断弾性係数が G 、臨界減衰比が β で定義されているとする。せん断波の伝ばは水平変位 $u = u(x, t)$ のみによる。これは、次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (3.1)$$

波動方程式(3.1)式の解は、振動数 ω に対し、次式で与えられる。

$$u(x, t) = E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)} \quad (3.2)$$

ここに、

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i\omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \quad (3.3)$$

である。(3.2)の第1項は、 X のマイナス方向(上向き)に伝わる入射波を示し、第2項は X のプラス方向(下向き)に伝わる反射波を示している。また、水平面におけるせん断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(x, t) = G \frac{\partial u}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.4)$$

(3.4)式に(3.2)式を代入すると、

$$\tau(x, t) = ikG^* (E \cdot e^{ikx} - F \cdot e^{-ikx}) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

となる。

(3.1)式は図3-1の各層にて成り立つ。各層の局所座標系 X で表される第 m 層の最上部 $x = 0$ 及び最下部 $x = h_m$ における変位は、第 m 層における厚さを h_m 、密度を ρ_m 、せん断弾性係数を G_m 、臨界減衰比を β_m で定義すると、それぞれ次のように表せる。

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m)e^{i\omega t} \quad (3.6)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m \cdot e^{ik_m h_m} + F_m \cdot e^{-ik_m h_m})e^{i\omega t} \quad (3.7)$$

ここで、任意の m 層と $m+1$ 層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2}E_m(1 + \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2}F_m(1 - \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.8)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2}E_m(1 - \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2}F_m(1 + \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.9)$$

ここに、 α_m は複素インピーダンス比と呼ばれる定数で、次式で定義されている。

$$\alpha_m = \frac{k_m G_m^*}{k_{m+1} G_{m+1}^*} = \left(\frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

この複素インピーダンス比 α_m は、周期に対して独立である。自由面におけるせん断応力度 $\tau=0$ と (3.7) 式より $E_1 = F_1$ が得られる。循環公式 (3.8) 式、(3.9) 式を繰り返して用いて、次のような m 層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$E_m = e_m(\omega)E_1 \quad (3.11)$$

$$F_m = f_m(\omega)F_1 \quad (3.12)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、単なる $E_1 = F_1 = 1$ に対する倍率であり、 $E_1 = F_1 = 1$ を上式に代入して解けば求まる。

他の伝達関数は e_m 、 f_m から簡単に得られる。 n 層及び m 層表面での変位を関係づける伝達関数 $A_{n,m}$ を次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} \quad (3.13)$$

(3.13) 式に (3.4) 式、(3.11) 式及び (3.12) 式を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \quad (3.14)$$

これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる2つの層の間においても定められる。

故に、任意の層の動変位が判れば、他の層の動変位も計算できる。(3.2) 式より、加速度 $\ddot{u}(x, t)$ 、ひずみ $\gamma(x, t)$ は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x, t) = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 (E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)}) \quad (3.15)$$

$$\gamma(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = ik (E e^{i(kx + \omega t)} - F e^{-i(kx - \omega t)}) \quad (3.16)$$

振幅 E 及び F は、系全体の層において求めることができるので、加速度及びひずみ

も求めることができる。

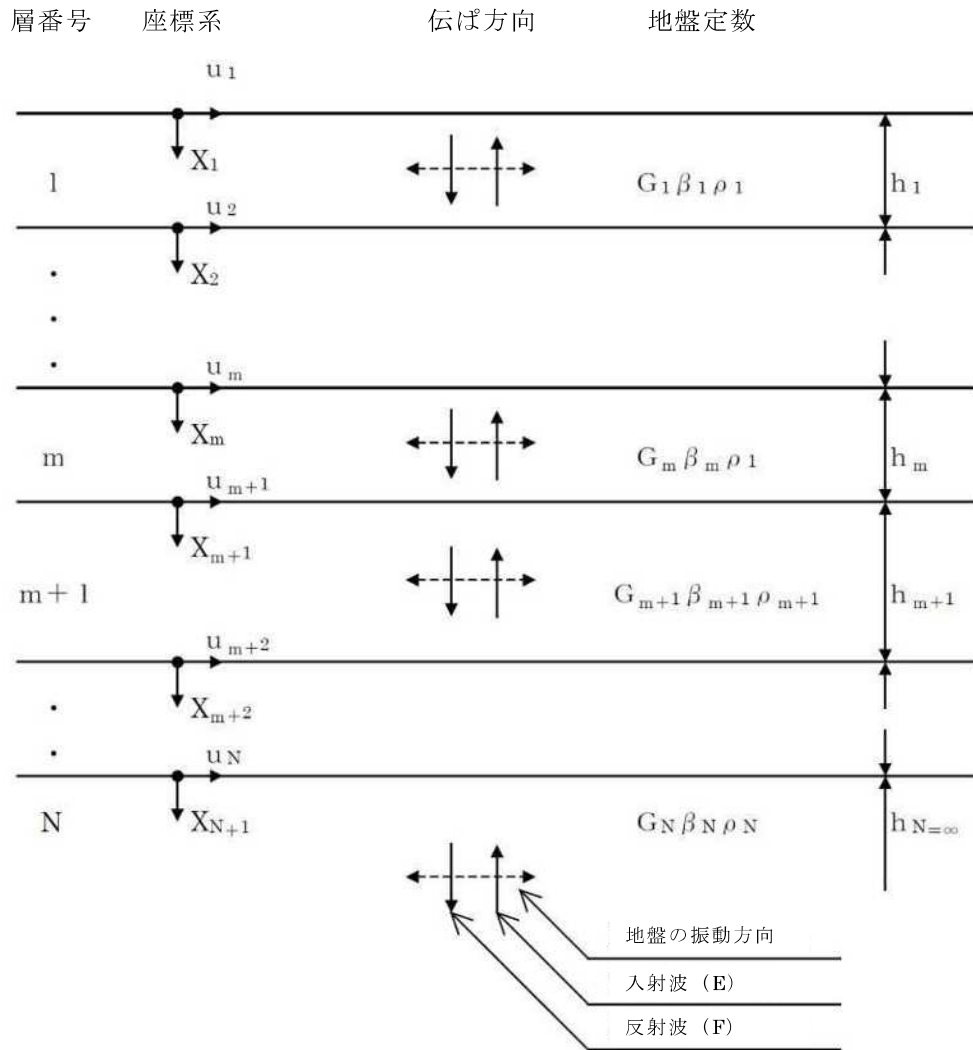
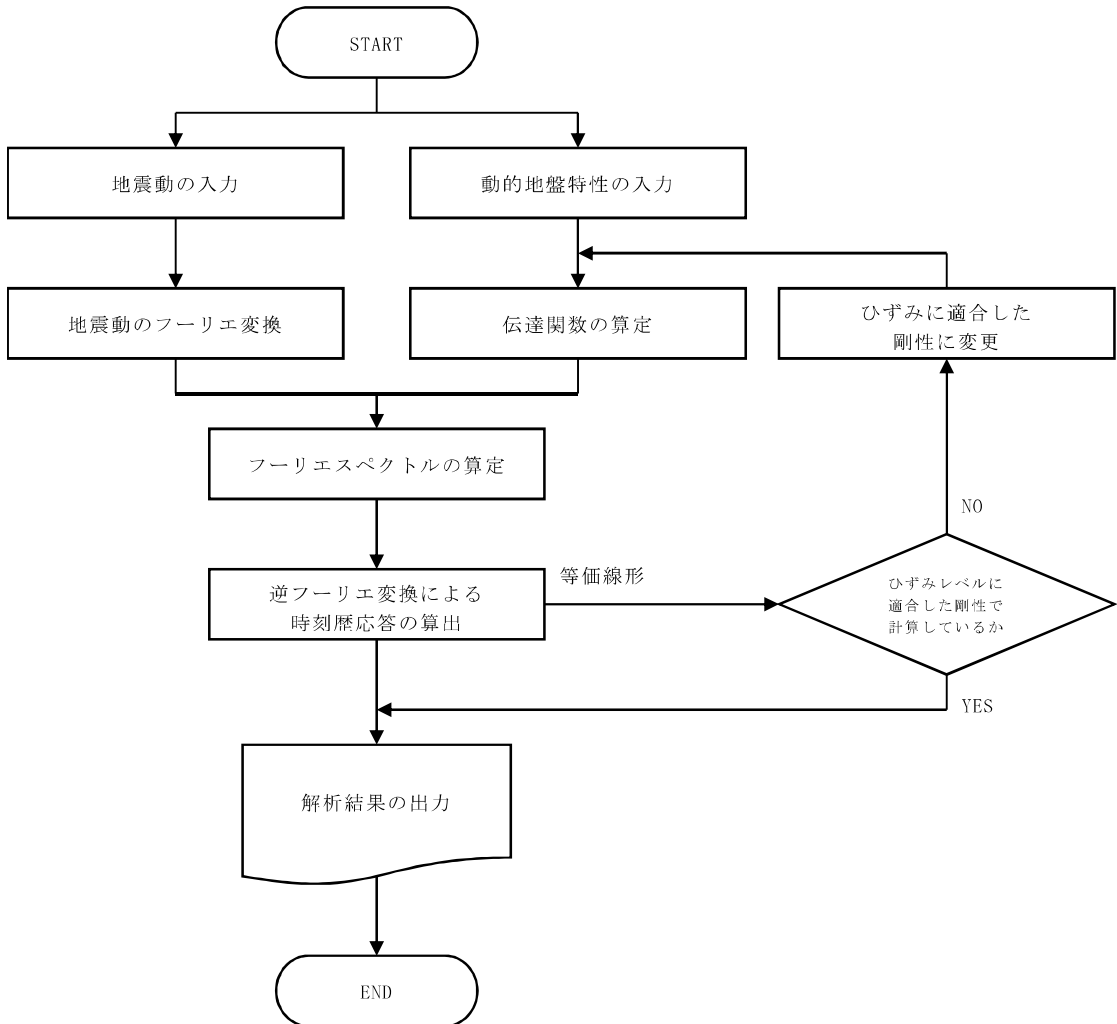


図 3-1 1次元地盤モデル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-2 に示す。



K7 ① V-2 別紙 R0

図 3-2 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

3.5.1 理論解との比較による検証

2層のモデル地盤において、1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行った。

(1) 検証モデル及び検討条件

図 3-3 に地盤モデル諸元を示す。

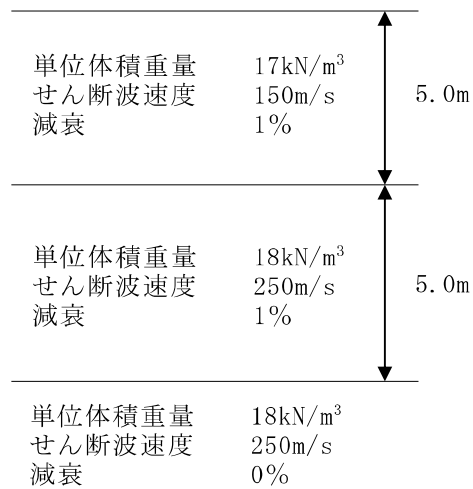


図 3-3 地盤モデル諸元

<検討条件>

- ・重力加速度は 9.80665m/s^2 とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 50\text{Hz}$ までとする。

(2) 比較結果

理論解との伝達関数の比較結果を図 3-4 に示すが、本解析コードと理論解の結果は一致していることが確認できる。

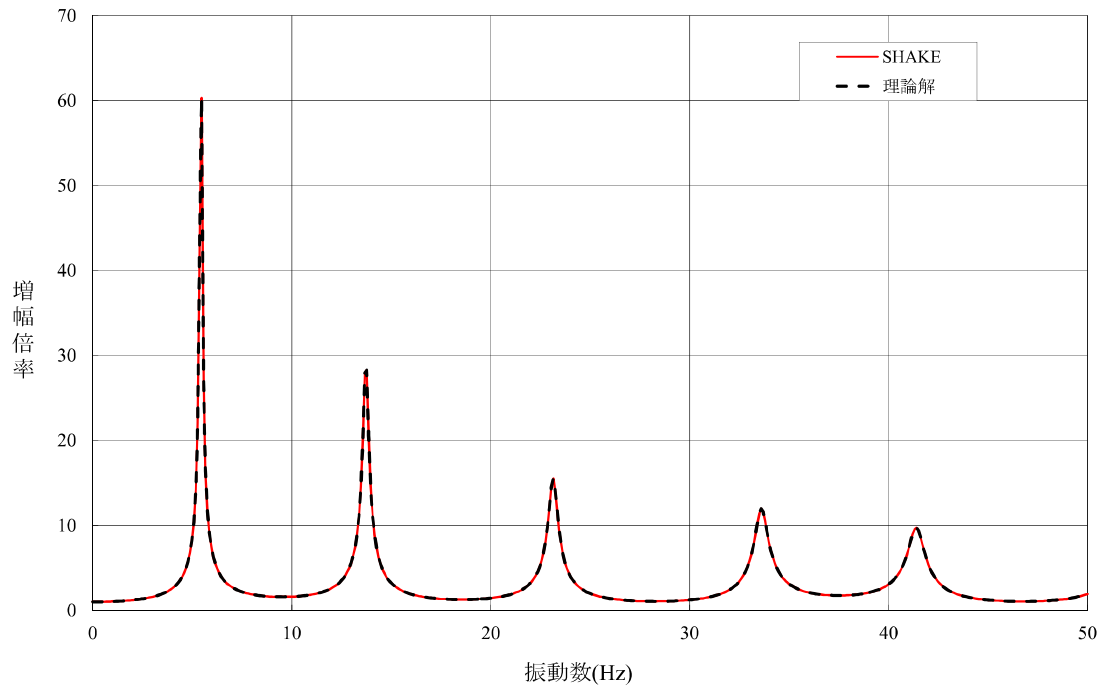


図 3-4 理論解との伝達関数の比較結果

3.5.2 他コードとの比較による検証

市販されている 1 次元地盤の等価線形解析プログラム L i Q S M A R T との比較を実施した。

(1) 検証モデル

表 3-1 に地盤モデル諸元を示し、図 3-5 及び図 3-6 にひずみ依存特性を示す。

表 3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	震度 (m)	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	減衰定数	
第1層	4.00	1.00	1.00	17	110	20,976	0.03	
		1.00	2.00	17	110	20,976	0.03	
		1.00	3.00	17	110	20,976	0.03	
		1.00	4.00	17	110	20,976	0.03	
	10.80	1.20	5.20	16	124	25,087	0.02	
		1.20	6.40	16	124	25,087	0.02	
		1.20	7.60	16	124	25,087	0.02	
		1.20	8.80	16	124	25,087	0.02	
		1.20	10.00	16	124	25,087	0.02	
		1.20	11.20	16	124	25,087	0.02	
		1.20	12.40	16	124	25,087	0.02	
		1.20	13.60	16	124	25,087	0.02	
		1.20	14.80	16	124	25,087	0.02	
		第2層	9.60	1.60	16.40	16	162	42,818
1.60	18.00			16	162	42,818	0.02	
1.60	19.60			16	162	42,818	0.02	
1.60	21.20			16	162	42,818	0.02	
1.60	22.80			16	162	42,818	0.02	
1.60	24.40			16	162	42,818	0.02	
8.00	1.20		1.20	25.60	20	286	166,817	0.02
	2.00		27.60	20	252	129,512	0.02	
	2.00		29.60	20	252	129,512	0.02	
	2.00		31.60	20	252	129,512	0.02	
	2.00		33.60	20	252	129,512	0.02	
	2.00		2.00	35.60	20	375	286,795	0.01
			2.00	2.00	35.60	20	375	286,795
	基盤					20	442	398,432

せん断有効ひずみ (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

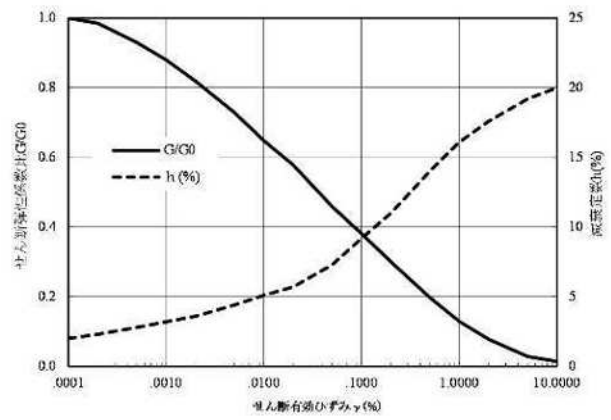


図 3-5 ひずみ依存特性(第 1 層)

せん断有効ひずみ (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.991	0.28
0.0005	0.980	0.59
0.001	0.962	1.13
0.002	0.933	2.02
0.003	0.910	2.70
0.005	0.873	3.81
0.01	0.797	6.09
0.02	0.699	9.04
0.03	0.616	11.51
0.05	0.512	14.65
0.1	0.367	18.99
0.2	0.237	22.90
0.3	0.177	24.69
0.5	0.113	26.62
1	0.061	28.18

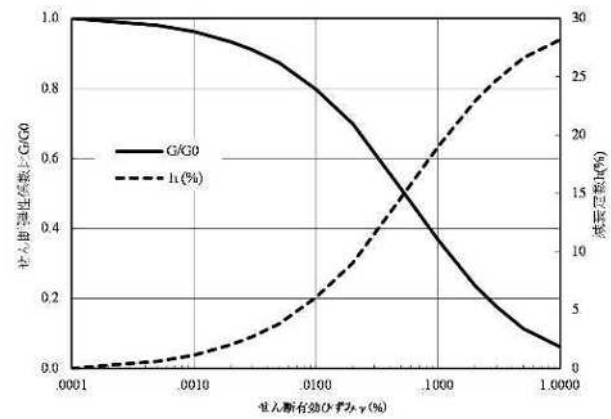


図 3-6 ひずみ依存特性(第 2 層)

(2) 検討条件

以下に，検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/s^2 とする。
- ・等価線形解析とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 25\text{Hz}$ までとする。

(3) 入力地震動

入力波水平一方向に入力する。図 3-7 に入力地震動(2E 波)の加速度時刻歴を示す。

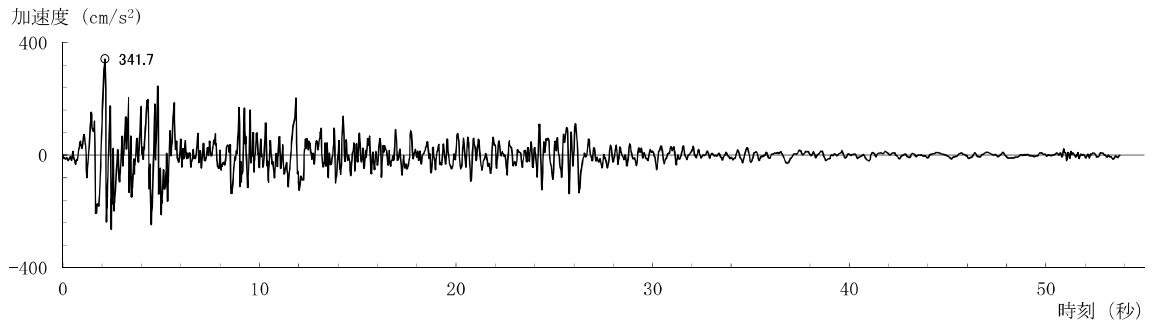


図 3-7 入力地震動加速度時刻歴

(4) 比較結果

伝達関数及び加速度の解析解の比較を図 3-8～図 3-11 に示す。各図より、伝達関数及び加速度の解析解は、一致していることが確認できる。

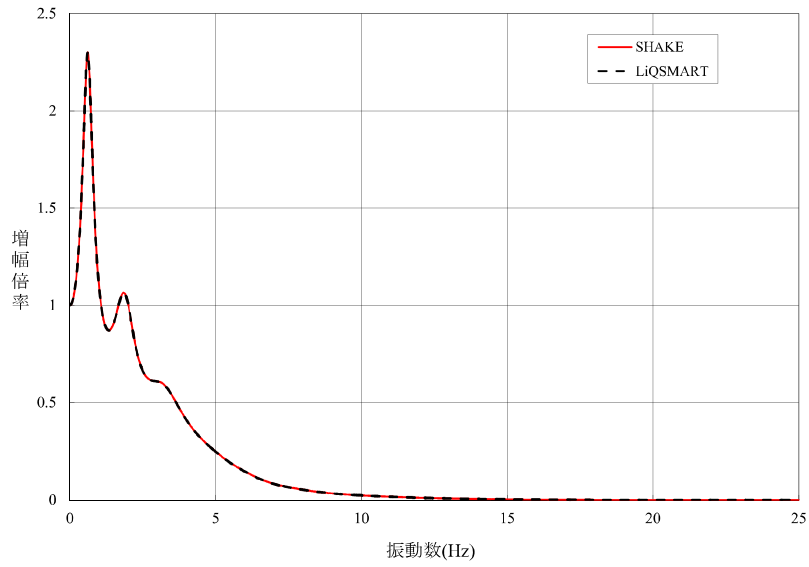


図 3-8 地表面伝達関数比較

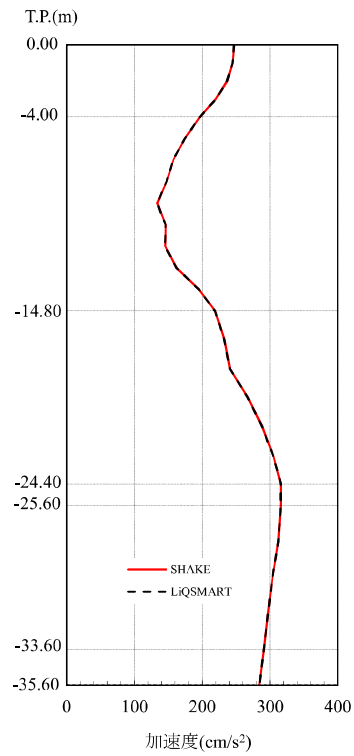


図 3-9 加速度最大分布比較

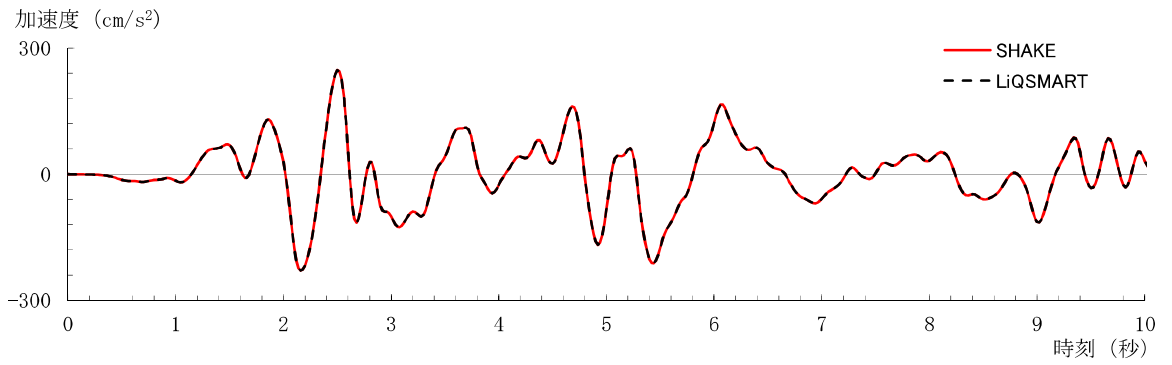


図 3-10 地表面加速度時刻歴比較

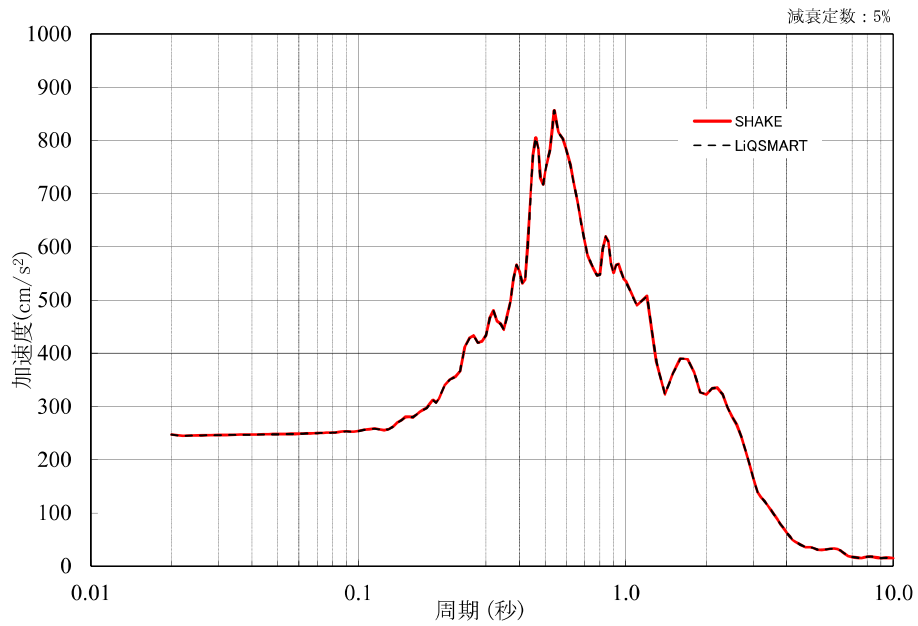


図 3-11 地表面加速度応答スペクトル比較

3.5.3 使用内容に対する妥当性

本解析コードの解析結果と理論解を比較し、理論解と解析解が一致していることを確認した。また、類似解析コードであるL i Q S M A R Tと比較し解析解が一致していることを確認した。したがって、本解析にS H A K Eを使用することは妥当である。

別紙 11 S T - C R O S S

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	S T - C R O S S
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1977 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、はり要素とばね要素からなる多質点系モデルを用いた時刻歴応答解析において、地盤ばね（底面ばね）を算定するプログラムである。半無限均質地盤の地表面点加振解（グリーン関数）を用いて、指定した矩形基礎形状に応じたインピーダンスマトリックスを求める。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解との比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、矩形基礎形状に応じた地盤インピーダンスについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

別紙 12 T D A S

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 20121030
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver. 20121030
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 20121030

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	T D A S
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 20121030
コードの概要	<p>本解析コードは、曲げせん断要素及びばね要素で構成される質点系モデルの地震応答解析等を行うことができる。本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げる事ができる。</p> <p>①固有値解析と建屋の基礎浮上りを考慮した非線形地震応答解析ができる。</p> <p>②1次元重複反射理論による地盤の振動解析に基づき、埋め込みを伴う側面地盤ばね位置に入力する地盤応答を算定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における入力地震動の策定において、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地盤の応答を評価するため並びに基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する建屋の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、弾塑性を考慮した多質点系の地震応答について検証していること、また、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。