

原子炉建物及び原子炉附属建物の地震応答解析

1. 建物の地震応答解析の概要

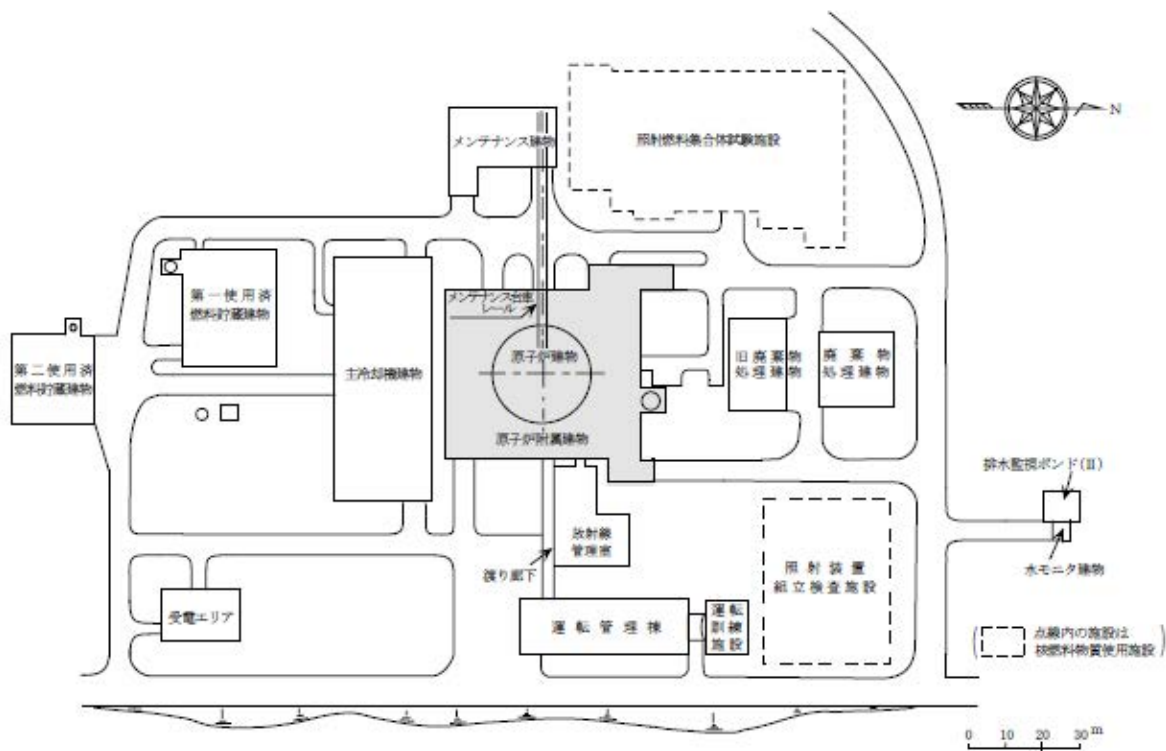
本資料は、基準地震動 S_s に対して、耐震重要度分類 S クラスに属する原子炉建物及び原子炉附属建物が終局強度に対して耐震余裕を有することを説明するものである。

基準地震動 S_s は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、敷地における解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動としてそれぞれ策定する。解放基盤表面は、S 波速度が 0.7km/s 以上である G.L. - 173.9m とする。

2. 一般事項

2.1 位置

原子炉建物及び原子炉附属建物の位置を第 2.1 図に示す。



第 2.1 図 原子炉建物及び原子炉附属建物の位置

2.2 構造概要

原子炉建物及び原子炉附属建物は、平面形状が 50.0m(EW) × 55.0m(NS) のほぼ正方形を成しており、地上高さ 13.7m(地上 2 階(一部 26.7m))、地下深さ 31.8m(地下 2 階)の鉄筋コン

クリート造の建物である。基礎は、厚さ 5.0m から 9.0m のべた基礎とし、第四系更新統の東茨城層群(Is-S1)に設置されている。

2.3 評価方針

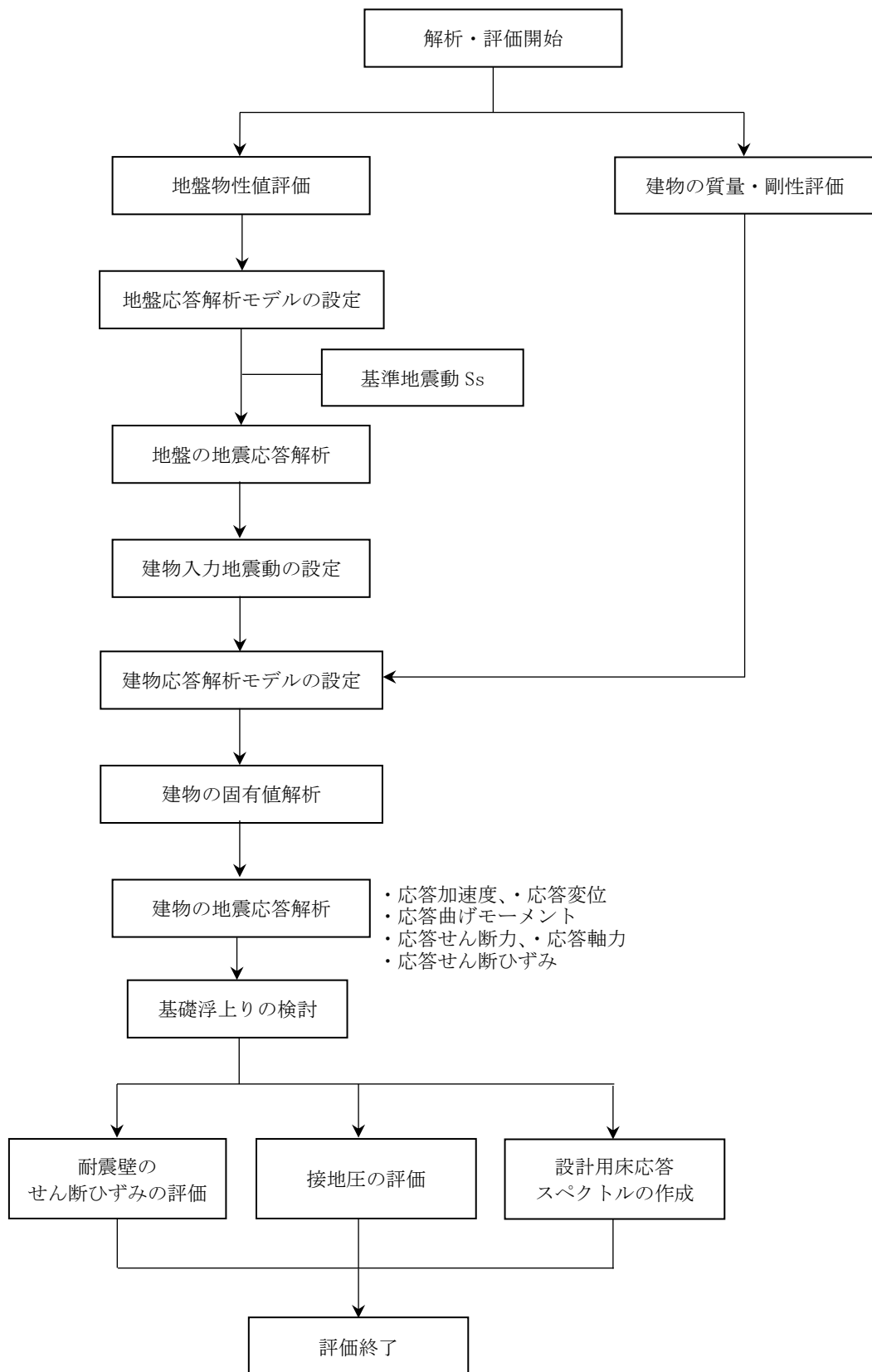
原子炉建物及び原子炉附属建物の評価は、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果に基づき実施する。地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS、EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

地震応答解析の応答値である転倒モーメントを用いて接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は設計用床応答スペクトルの作成に用いる。

原子炉建物及び原子炉附属建物の地震応答解析・評価フローを第 2.2 図に示す。



第 2.2 図 原子炉建物及び原子炉附属建物の地震応答解析・評価フロー

2.4 準拠規格・基準

原子炉建物の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- (3) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—(日本建築学会)
- (4) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(日本建築学会)
- (5) 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計と保有水平耐力—(日本建築学会)
- (6) 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を第 2.1 表に、鋼材の材料定数を第 2.2 表に示す。

第 2.1 表 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
原子炉建物及び 原子炉附属建物	22.1	2.21×10^4	0.20

第 2.2 表 鋼材の材料定数

対象	種類	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
原子炉格納容器	ASME SA-516 Grade60 (JIS SGV410 相当)	2.05×10^5	0.30

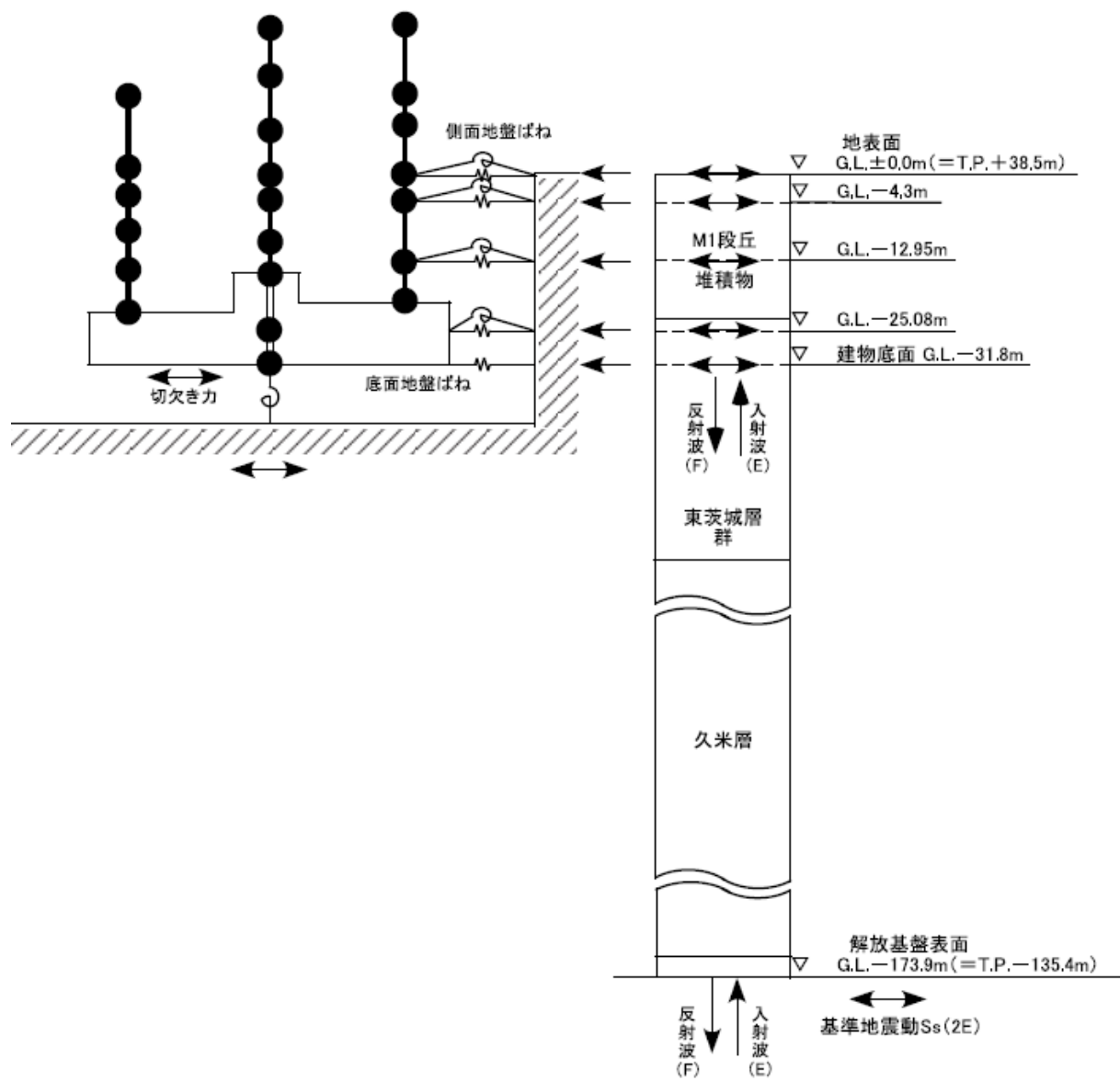
3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、基準地震動 S_s を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建物の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を第 3.1 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「SHAKE(カリフォルニア大学)」である。



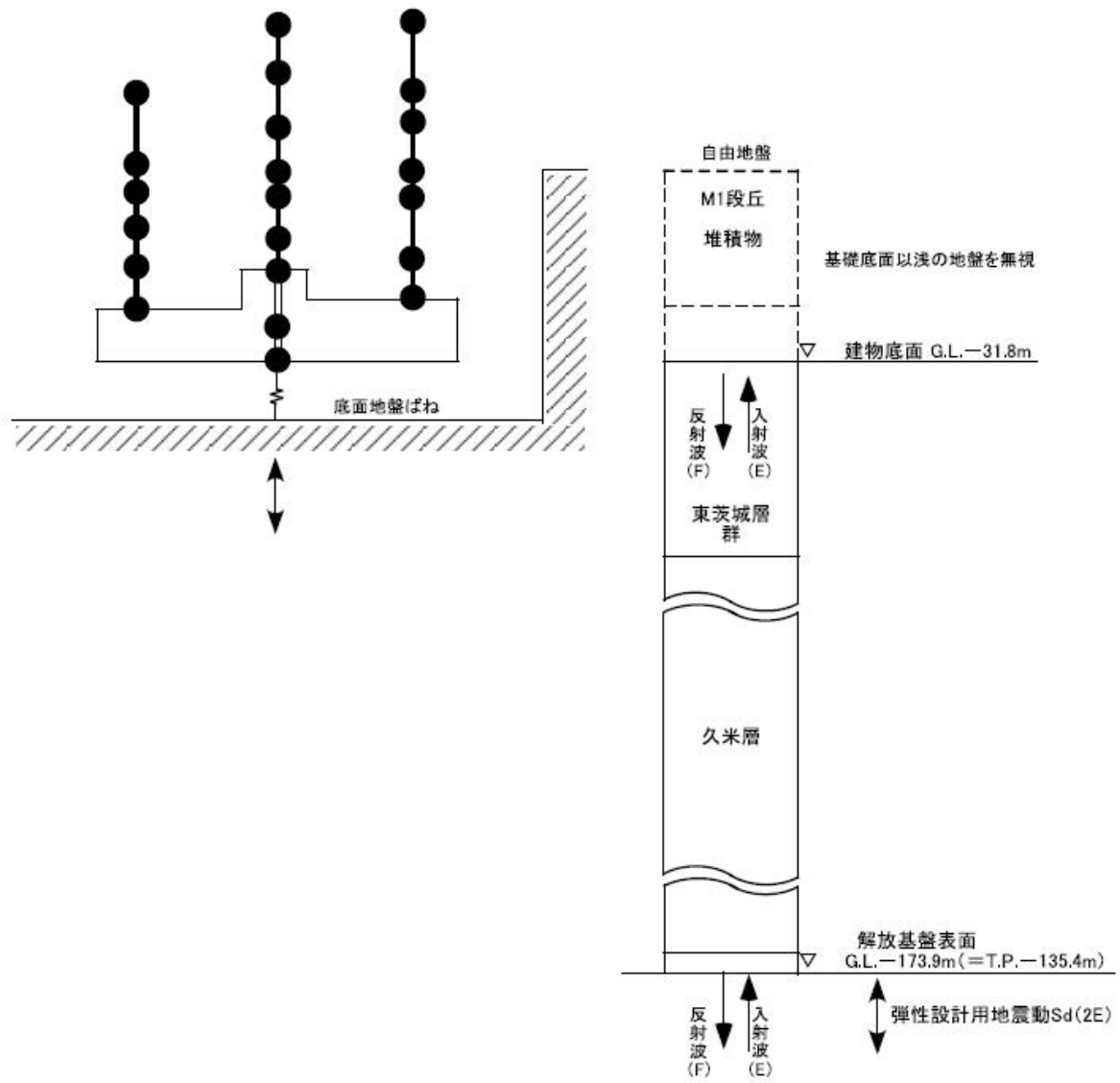
第 3.1 図 入力地震動算定の概要（水平方向）

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、基準地震動 S_s を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建物の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を第 3.2 図に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「SHAKE(カリフォルニア大学)」である。



第 3.2 図 入力地震動算定の概要（鉛直方向）

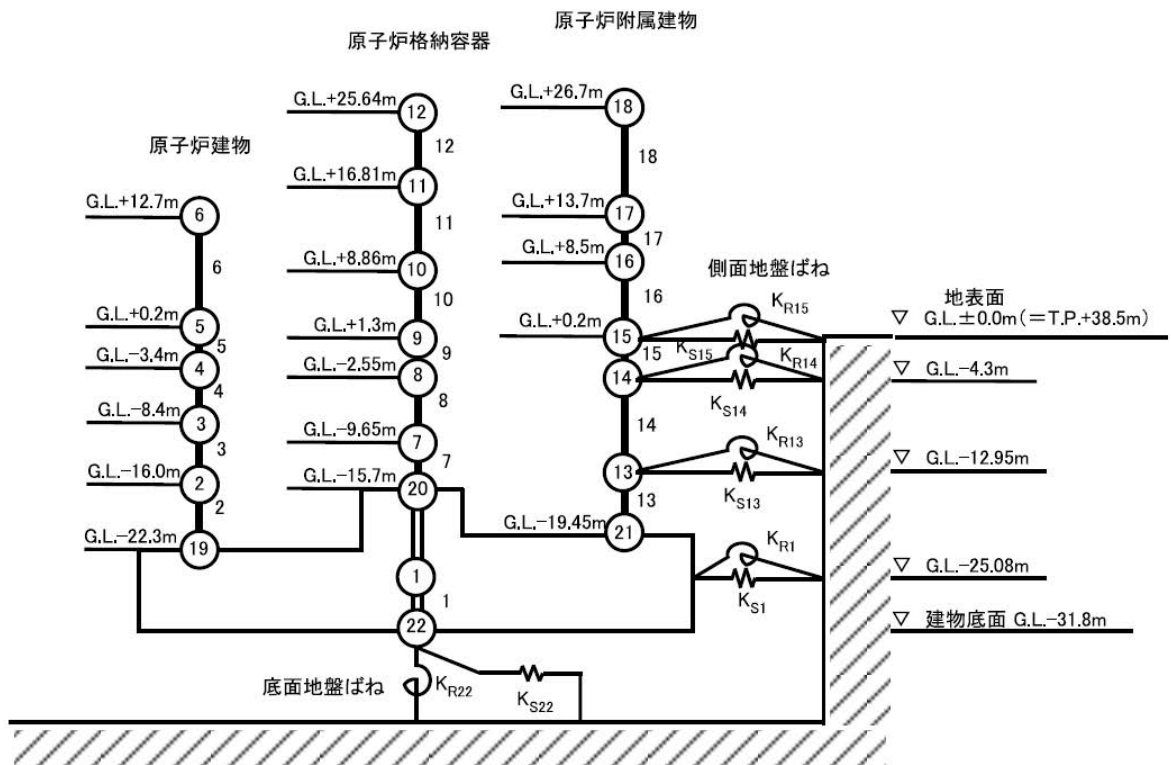
4. 地震応答解析モデル

4.1 水平方向の地震応答解析モデル

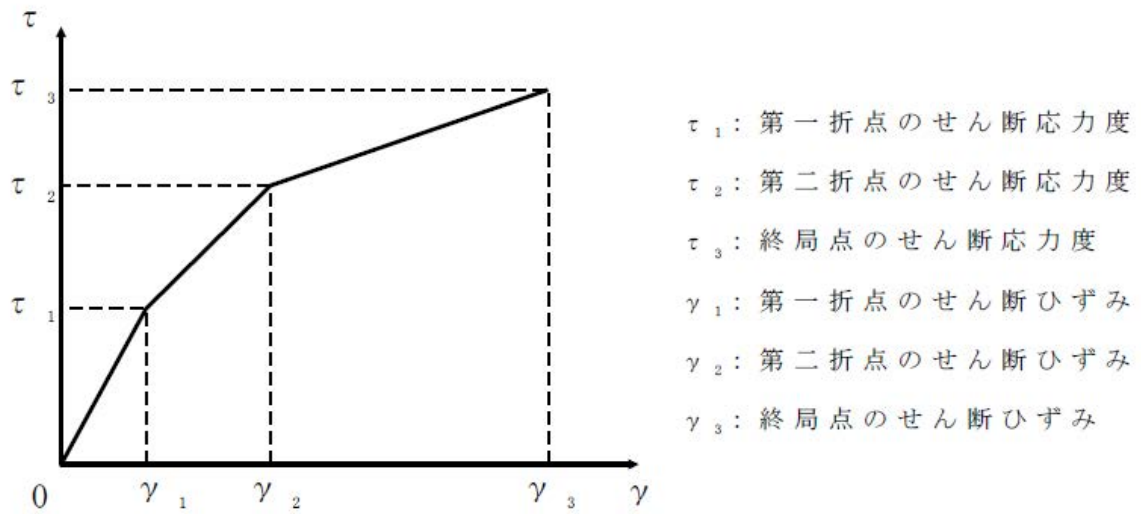
水平方向の地震応答解析モデルは、建物と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多軸多質点系モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデルを第 4.1 図に示す。

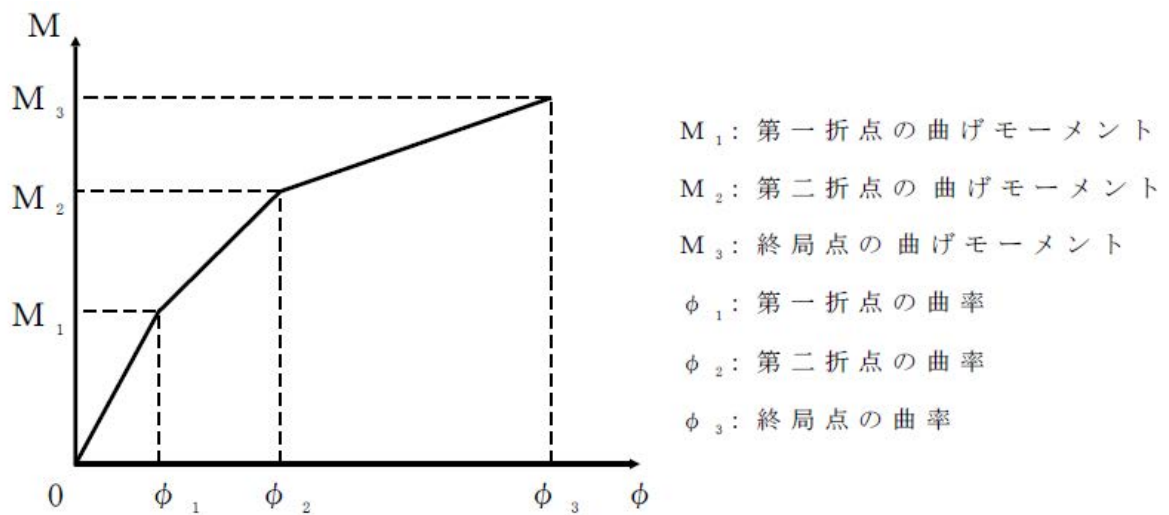
耐震壁のせん断の復元力特性は、第 4.2 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、第 4.3 図に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。



第 4.1 図 水平方向の地震応答解析モデル



第 4.2 図 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)



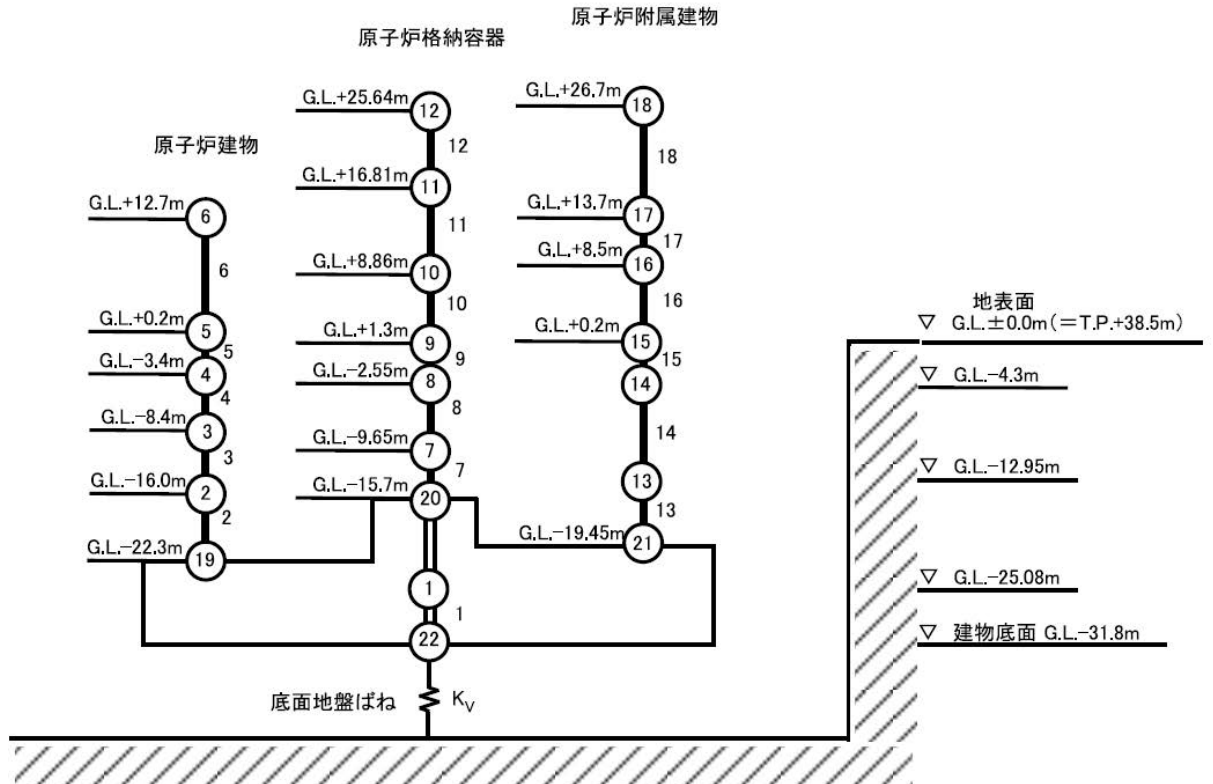
第 4.3 図 曲げのスケルトンカーブ (M - ϕ 関係)

4.2 鉛直方向の地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、建物と地盤の相互作用を考慮した多軸多質点系モデルとする。建物部分は質点を鉛直方向のばねで連結する。

なお、建物の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデルを第 4.4 図に示す。



第 4.4 図 鉛直方向の地震応答解析モデル

5. 基礎浮き上がりの検討

基準地震動 Ss による地震応答解析における建物の接地率について、地盤の回転ばねに浮き上がり非線形を考慮した非線形地震応答解析に適用できる接地率 65% 以上であることを確認する。

基準地震動 Ss による地震応答解析結果に基づく接地率を第 5.1 表及び第 5.2 表に示す。接地率は、いずれも 100% であり、65% 以上であることを確認した。

第 5.1 表 基準地震動 Ss による地震応答解析結果に基づく接地率 (NS 方向)

基準地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント $\times 10^6$ (kN・m)	最大転倒モーメント $\times 10^6$ (kN・m)	接地率 (%)
Ss-1	15.143	13.190	100.0
Ss-2		12.428	100.0
Ss-3		14.325	100.0
Ss-4		13.758	100.0
Ss-5		12.301	100.0
Ss-6		11.352	100.0
Ss-D		12.301	100.0

第 5.2 表 基準地震動 Ss による地震応答解析結果に基づく接地率 (EW 方向)

基準地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント $\times 10^6$ (kN・m)	最大転倒モーメント $\times 10^6$ (kN・m)	接地率 (%)
Ss-1	13.766	11.343	100.0
Ss-2		7.492	100.0
Ss-3		12.308	100.0
Ss-4		9.218	100.0
Ss-5		7.402	100.0
Ss-6		10.545	100.0
Ss-D		11.350	100.0

6. 地震応答解析による評価結果

6.1 耐震壁のせん断ひずみの評価

基準地震動 S_s による地震応答解析における鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみについて、各層の応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく最大せん断ひずみを第 6.1 表及び第 6.2 表に示す。

最大せん断ひずみは、要素番号 13 の B2F の NS 方向で 0.157×10^{-3} であり、 2.00×10^{-3} を下回っていることを確認した。

第 6.1 表 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく最大せん断ひずみ (NS 方向)

建物	階	要素番号	評価基準値 $\times 10^{-3}$	最大せん断ひずみ $\times 10^{-3}$
原子炉建物	1F	6	2.000	0.091
	BM1F	5		0.057
	B1F	4		0.066
	BM2F	3		0.107
	B2F	2		0.151
原子炉附属建物	RF	18		0.040
	2F	17		0.054
	1F	16		0.128
	BM1F	15		0.074
	BM2F	14		0.145
	B2F	13		0.157

第 6.2 表 基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく最大せん断ひずみ (EW 方向)

建物	階	要素番号	評価基準値 $\times 10^{-3}$	最大せん断ひずみ $\times 10^{-3}$
原子炉建物	1F	6	2.000	0.082
	BM1F	5		0.042
	B1F	4		0.058
	BM2F	3		0.088
	B2F	2		0.111
原子炉附属建物	RF	18		0.037
	2F	17		0.043
	1F	16		0.079
	BM1F	15		0.067
	BM2F	14		0.142
	B2F	13		0.147

6.2 接地圧の評価

基準地震動 Ss による地震応答解析における地盤の接地圧について、支持地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。支持地盤の許容支持力度は、平板載荷試験から得られた極限支持力度 $2,648\text{kN/m}^2$ とする。

基準地震動 Ss による地震応答解析結果に基づく地盤の接地圧を第 6.3 表に示す。

最大接地圧は、基準地震動 Ss-3 の NS 方向で $1,254.7\text{kN/m}^2$ であり、許容支持力度 $2,648\text{kN/m}^2$ を下回っていることを確認した。

第 6.3 表 基準地震動 Ss による地震応答解析結果に基づく最大接地圧

基準地震動	許容支持力度 (kN/m^2)	接地圧 (kN/m^2)	
		NS 方向	EW 方向
Ss-1	2,648	1,195.1	1,166.8
Ss-2		1,152.6	986.5
Ss-3		1,254.7	1,223.6
Ss-4		1,237.1	1,093.6
Ss-5		1,158.2	993.2
Ss-6		1,127.1	1,136.9
Ss-D		1,177.5	1,184.8