

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-03改01
提出年月日	2023年2月27日

VI-2-2-3 原子炉建物の耐震性についての計算書

2023年2月

中国電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	11
2.4 適用規格・基準等	13
3. 地震応答解析による評価方法	14
4. 地震応答解析による評価結果	16
4.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	16
4.2 保有水平耐力の評価結果	20

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、地震応答解析による評価により行う。

原子炉建物は、建物内部に「Sクラスの施設」が収納されている。このため、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。原子炉建物のうち、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉建物を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建物の原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）に該当し、その原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）は、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、原子炉建物の「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

なお、「Sクラスの施設」及び「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価は、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）については、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて、原子炉建物機器搬出入口については、VI-2-9-3-2「原子炉建物機器搬出入口の耐震性についての計算書」にて、原子炉建物エアロックについては、VI-2-9-3-3「原子炉建物エアロックの耐震性についての計算書」にて実施する。また、原子炉建物基礎スラブの「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価は、VI-2-9-3-4「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」にて、燃料プールの「Sクラスの施設」及び「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価は、VI-2-4-2-1「燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書」にて、原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価は、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書」にて実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建物の設置位置を図 2-1 に示す。

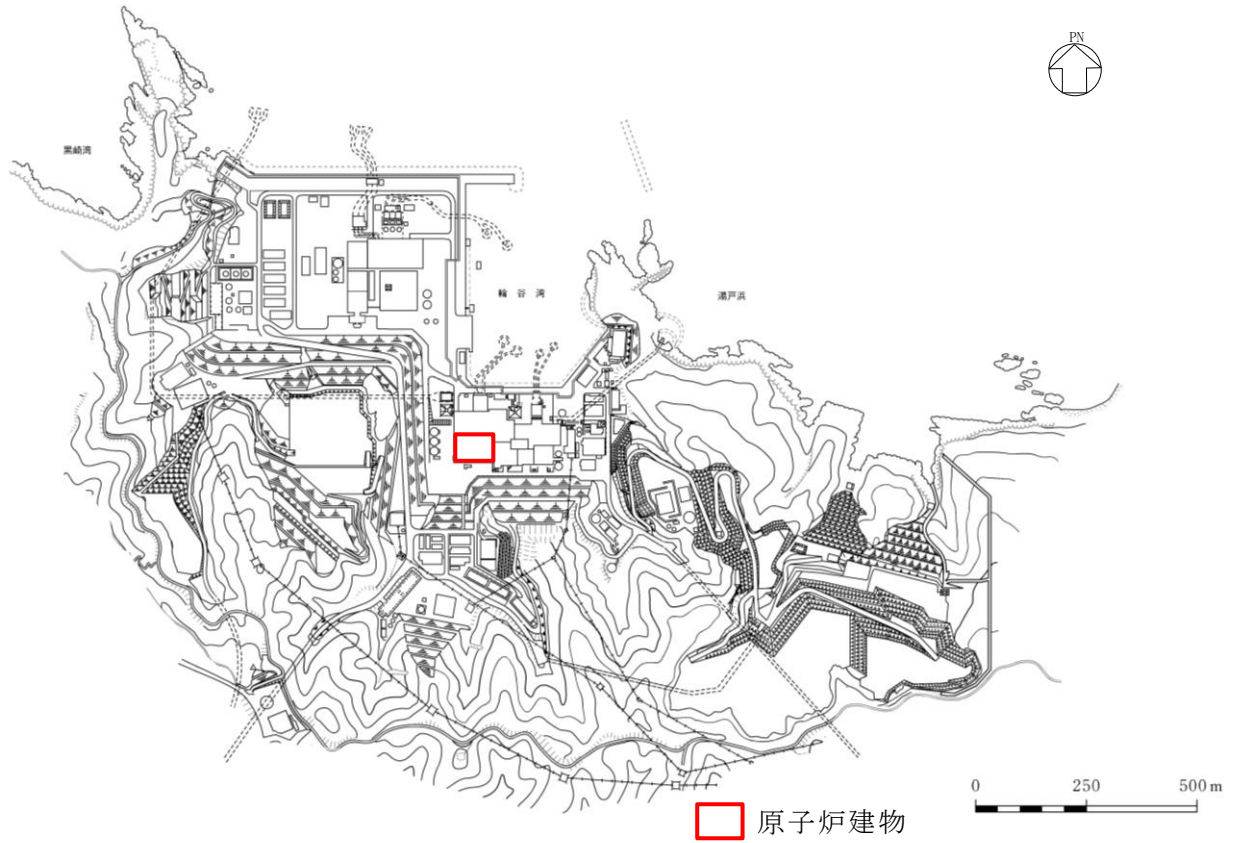


図 2-1 原子炉建物の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建物は、中央部に地上4階、地下2階建で平面寸法が53.3m* (NS) × 53.8m* (EW)の原子炉棟があり、その周囲に地上2階（一部3階）、地下2階建の原子炉建物付属棟（以下「付属棟」という。）を配置した鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

原子炉棟と付属棟は、一体構造で同一基礎スラブ上に設置され、本建物の平面寸法は、70.0m* (NS) × 89.4m* (EW)の矩形を成している。基礎スラブ底面からの高さは68.2mである。また、原子炉建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

原子炉建物の基礎は厚さ6.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

原子炉棟の中央部には、原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、これらの周囲は鉄筋コンクリート造の原子炉一次遮蔽壁（以下「ドライウエル外側壁」という。）で囲まれている。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁」という。）は基礎スラブ上から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.9m～2.3m、地上部分では0.45m～2.3mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁」という。）の壁厚は地下部分で1.5m～1.9m、地上部分では0.9m～1.9mである。これらの壁は建物の中心に対してほぼ対称に配置されており、開口部も少なく、建物は全体として非常に剛性の高い構造となっている。建物に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁（ドライウエル外側壁、内部ボックス壁及び外部ボックス壁）に負担させている。

原子炉建物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。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

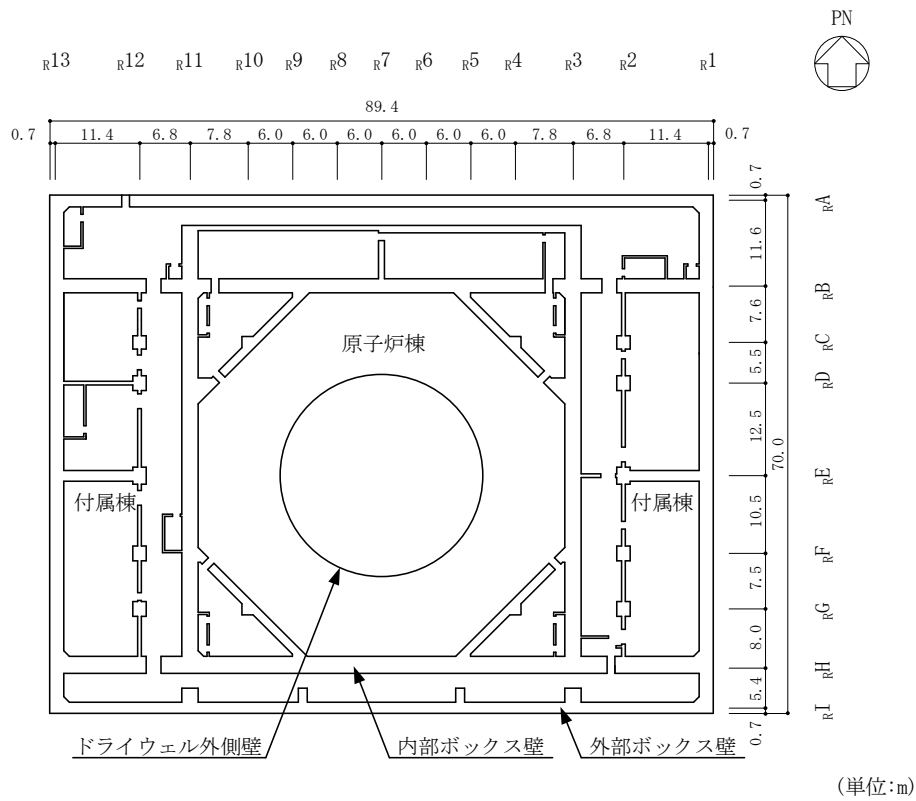


図 2-2(1) 原子炉建物の概略平面図 (EL 1.3m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

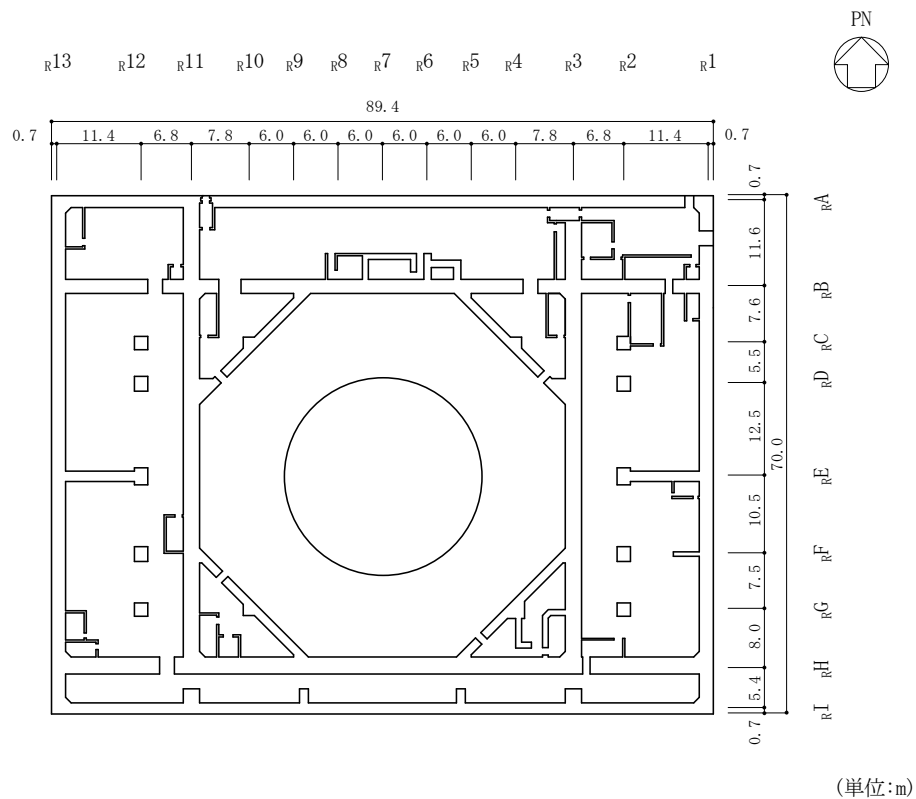


図 2-2(2) 原子炉建物の概略平面図 (EL 8.8m)

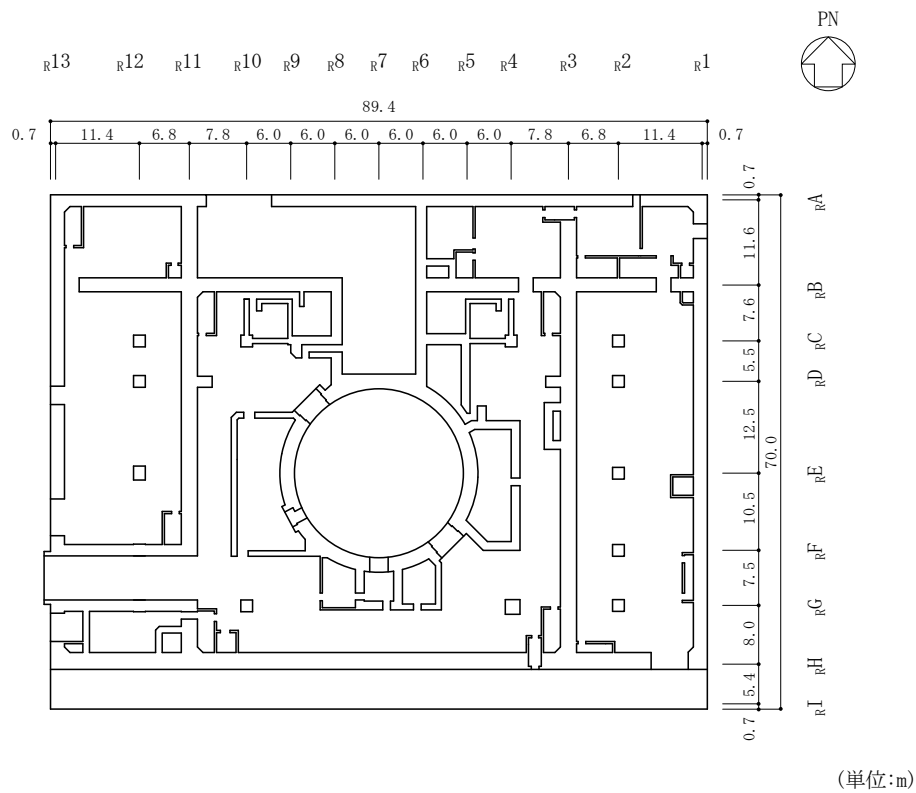


図 2-2(3) 原子炉建物の概略平面図 (EL 15.3m)

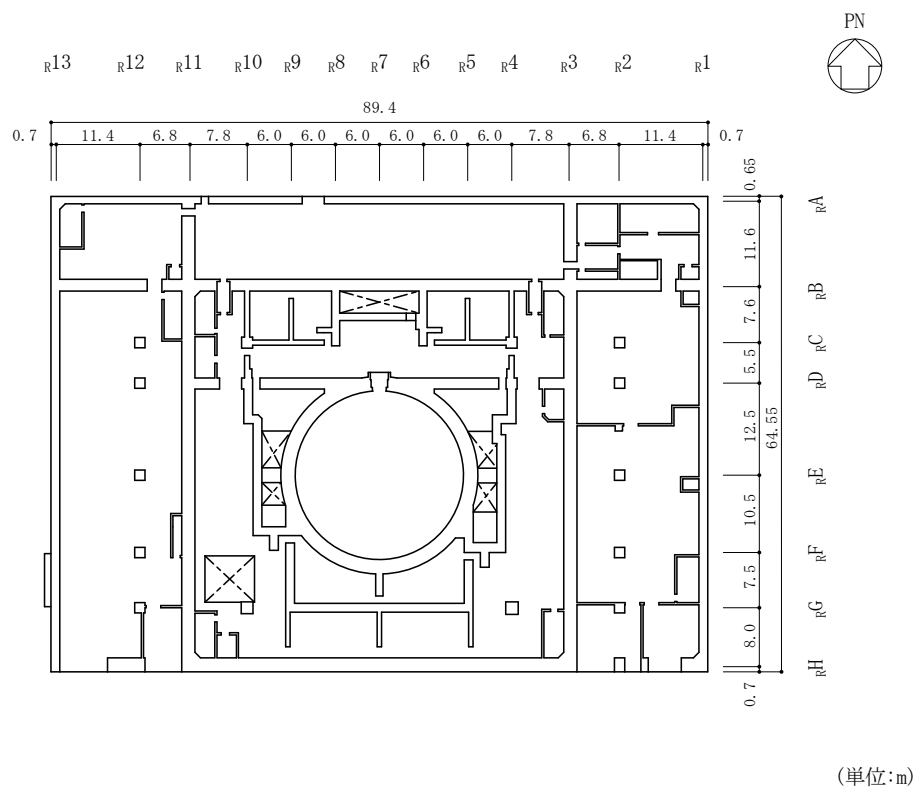
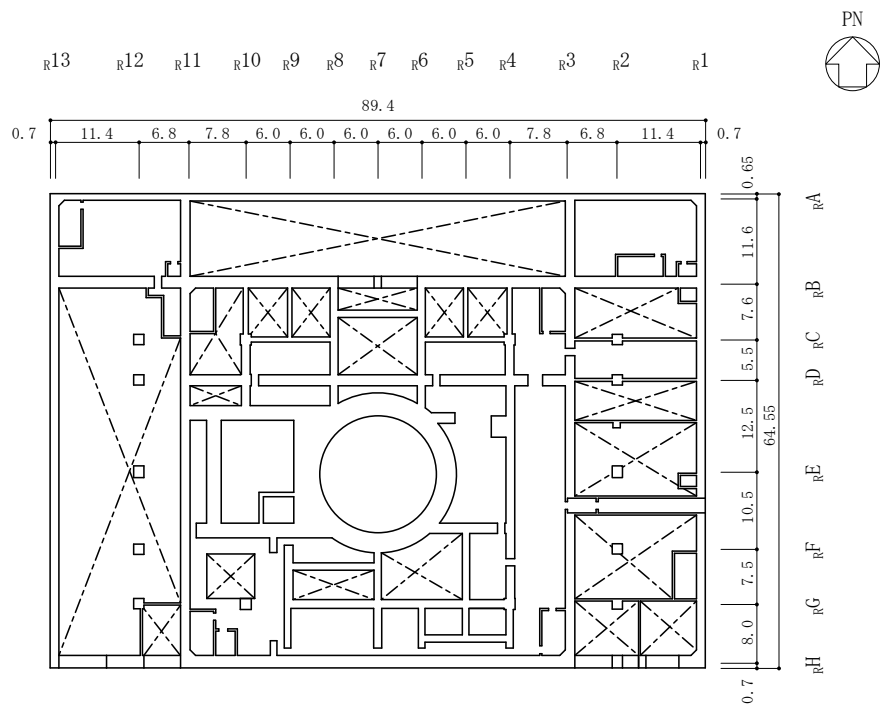
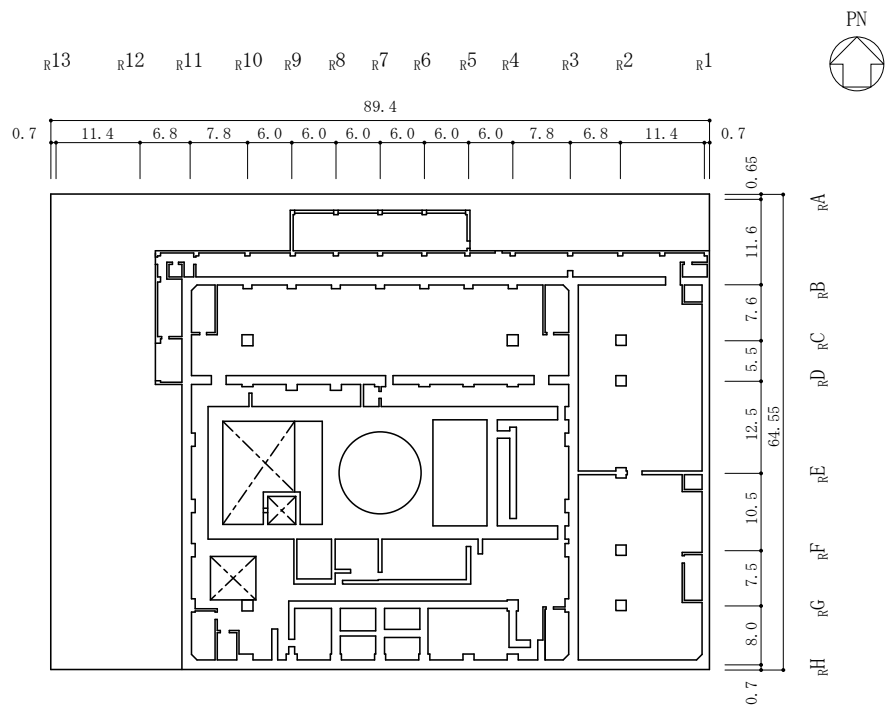


図 2-2(4) 原子炉建物の概略平面図 (EL 23.8m)



(単位:m)

図 2-2(5) 原子炉建物の概略平面図 (EL 30.5m)



(単位:m)

図 2-2(6) 原子炉建物の概略平面図 (EL 34.8m)

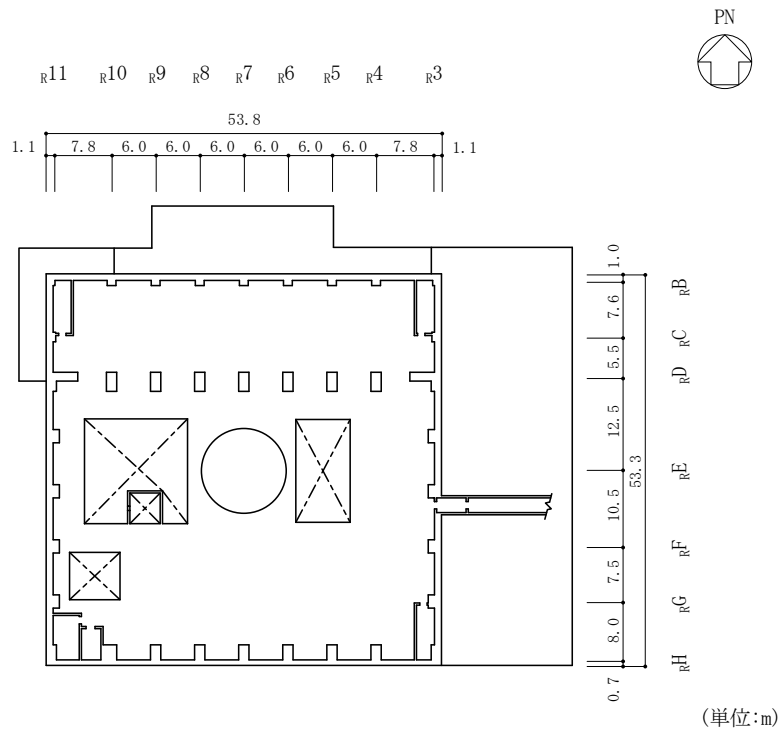


図 2-2(7) 原子炉建物の概略平面図 (EL 42.8m)

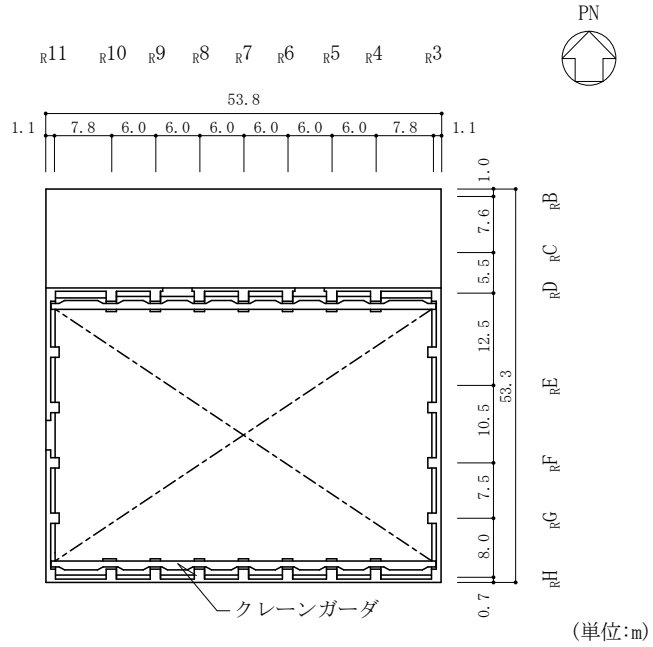


図 2-2(8) 原子炉建物の概略平面図 (EL 51.7m)

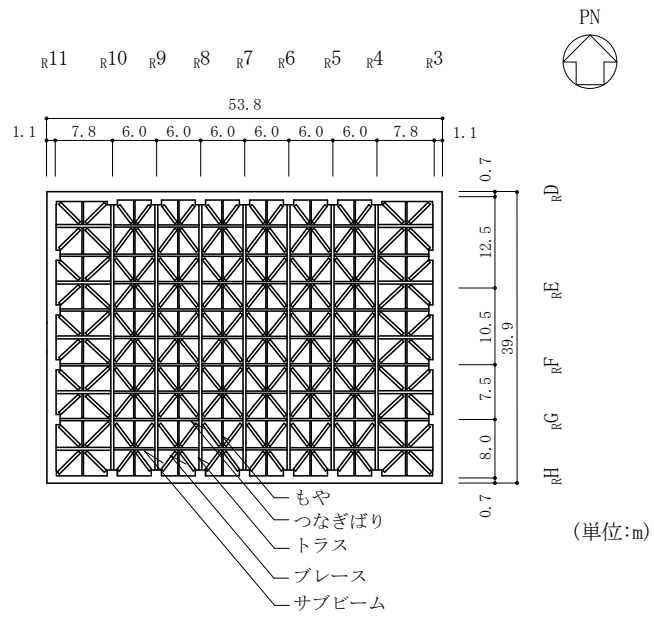


図 2-2(9) 原子炉建物の概略平面図 (EL 63.5m)

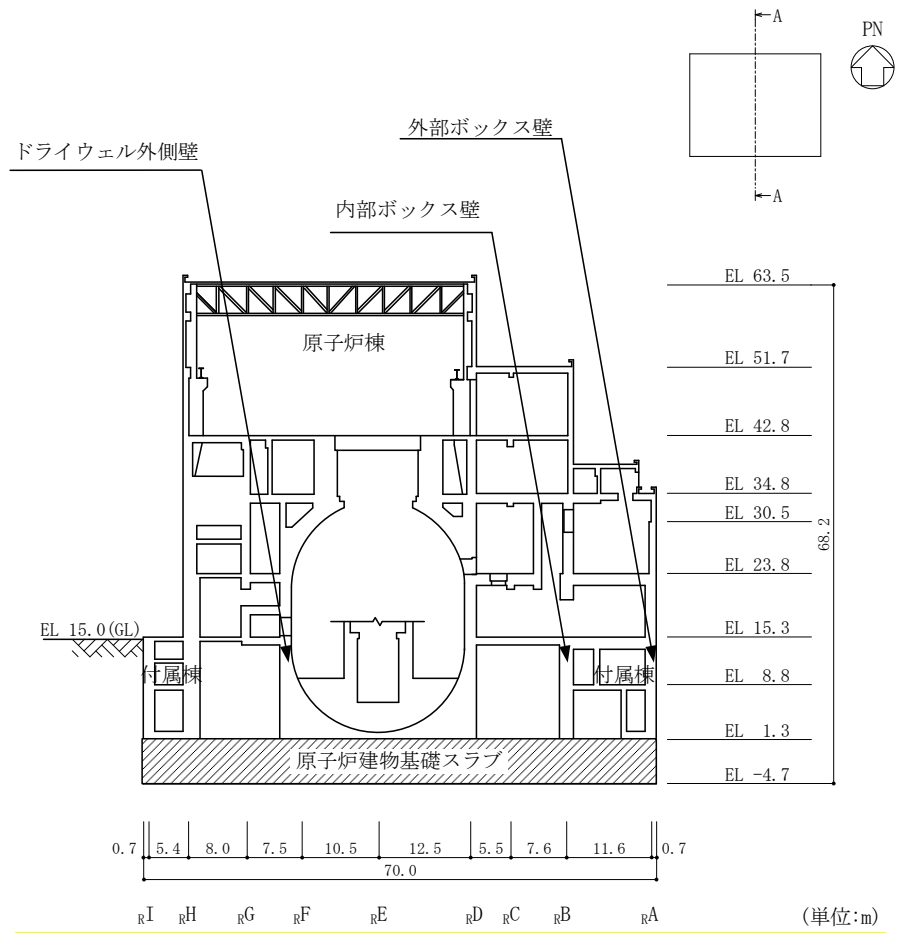
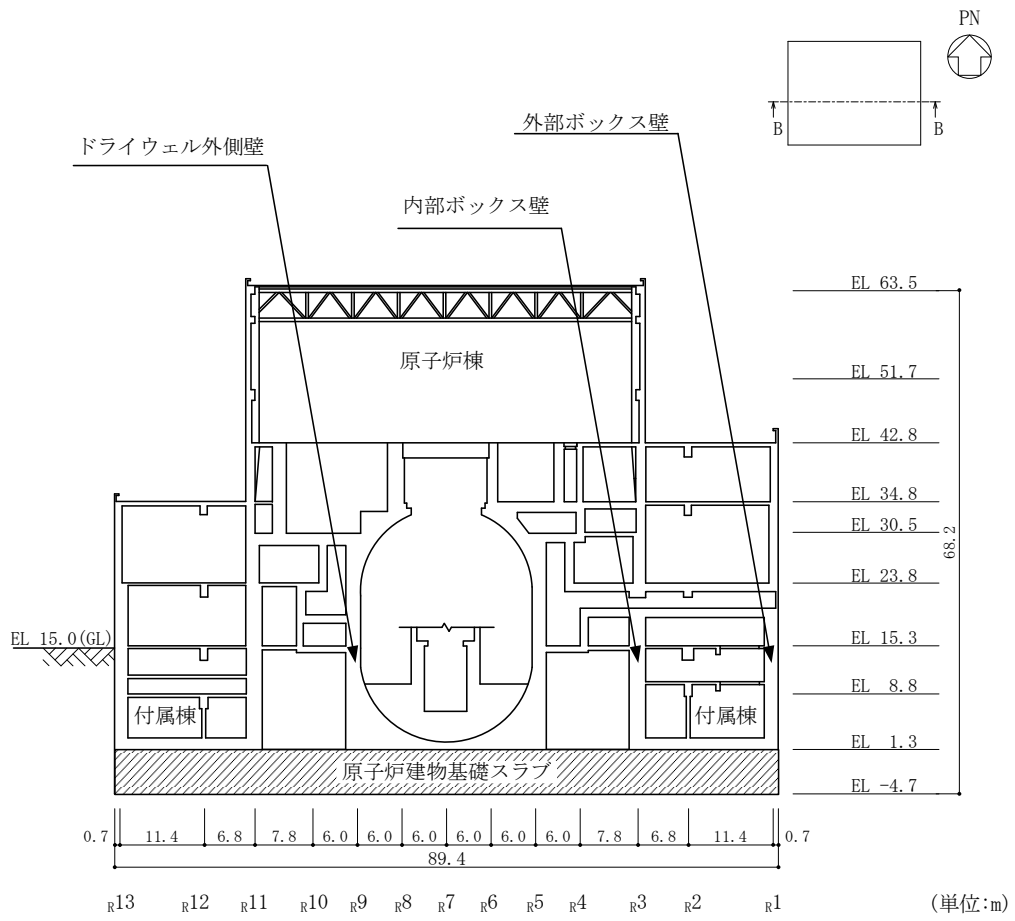


図 2-3(1) 原子炉建物の概略断面図 (A-A 断面, NS 方向)



2.3 評価方針

原子炉建物は、建物内部に「Sクラスの施設」が収納されている。このため、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。

原子炉建物の設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉建物の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、耐震壁のせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価を行うことで、原子炉建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、原子炉建物は燃料プールにおいて、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態で、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるが、その影響は小さいと考えられること、また、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」では要素内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり、十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないとされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

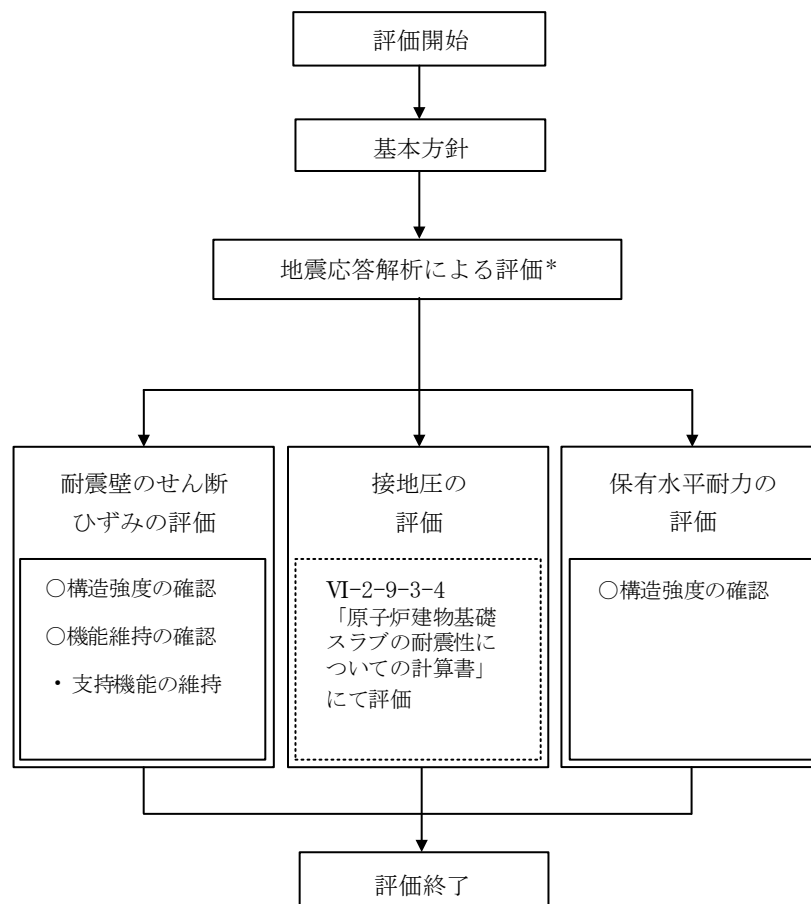
図 2-4 に原子炉建物の評価フローを示す。

表 2-1 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	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%) *	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%) *	
ケース 4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

注記* : VI-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤の S 波速度 V_s 及び P 波速度 V_p の不確かさを設定する。

S2 補 VI-2-2-3 R0



注記* : VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 原子炉建物の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本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)
- ・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)
- ・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)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)

3. 地震応答解析による評価方法

原子炉建物の構造強度については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないこと及び保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉建物の許容限界は、VI-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方針に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能*2	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	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}

注記*1: 建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

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(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能*2	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	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1: 建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

4. 地震応答解析による評価結果

4.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 S_s 地震時の各層の最大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。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.77×10^{-3} (NS方向, $S_s - N1$, ケース3, 要素番号18) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。各要素の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表4-1に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図4-1に示す。

表 4-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (N S 方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
OW-13	34.8~30.5	1	0.30	2.0
	30.5~23.8	2	0.37	
	23.8~15.3	3	0.38	
	15.3~8.8	4	0.43	
	8.8~1.3	5	0.52	
IW-11	63.5~51.7	6	0.39	
	51.7~42.8	7	0.41	
	42.8~34.8	8	0.35	
	34.8~30.5	9	0.33	
	30.5~23.8	10	0.33	
	23.8~15.3	11	0.38	
	15.3~8.8	12	0.43	
	8.8~1.3	13	0.52	
DW	42.8~34.8	14	0.12	
	34.8~30.5	15	0.16	
	30.5~23.8	16	0.16	
	23.8~15.3	17	0.24	
	15.3~10.1	18	0.77	
	10.1~1.3	19	0.22	
IW-3	63.5~51.7	20	0.33	
	51.7~42.8	21	0.48	
	42.8~34.8	22	0.35	
	34.8~30.5	23	0.33	
	30.5~23.8	24	0.33	
	23.8~15.3	25	0.38	
	15.3~8.8	26	0.42	
	8.8~1.3	27	0.53	
OW-1	42.8~34.8	28	0.35	
	34.8~30.5	29	0.28	
	30.5~23.8	30	0.35	
	23.8~15.3	31	0.37	
	15.3~8.8	32	0.42	
	8.8~1.3	33	0.52	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

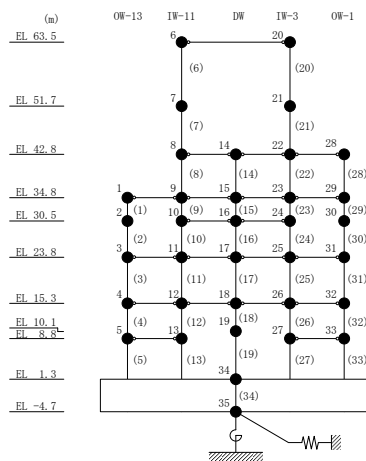
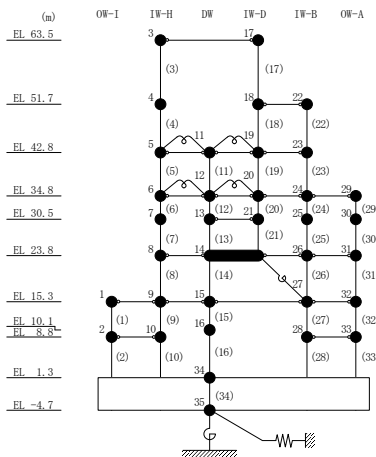


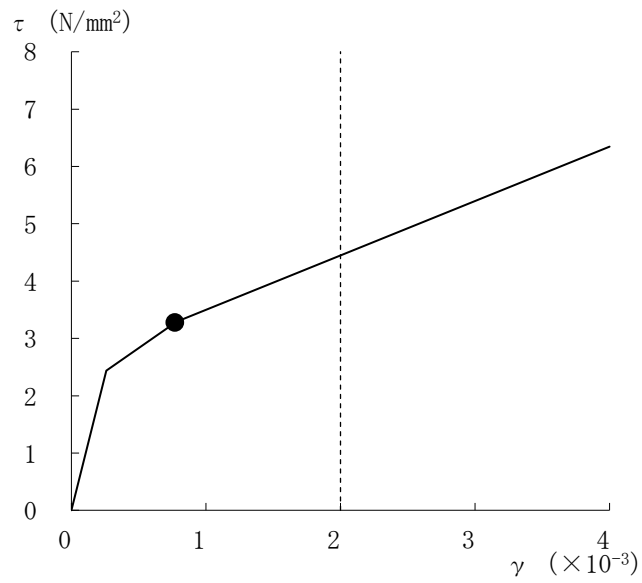
表 4-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (EW方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
OW-I	15.3~8.8	1	0.32	2.0
	8.8~1.3	2	0.23	
IW-H	63.5~51.7	3	0.31	
	51.7~42.8	4	0.37	
	42.8~34.8	5	0.19	
	34.8~30.5	6	0.18	
	30.5~23.8	7	0.40	
	23.8~15.3	8	0.50	
	15.3~8.8	9	0.31	
	8.8~1.3	10	0.22	
	DW	42.8~34.8	11	
34.8~30.5		12	0.07	
30.5~23.8		13	0.27	
23.8~15.3		14	0.37	
15.3~10.1		15	0.29	
10.1~1.3		16	0.16	
IW-D	63.5~51.7	17	0.24	
	42.8~34.8	19	0.17	
	34.8~30.5	20	0.18	
	30.5~23.8	21	0.40	
IW-B	51.7~42.8	22	0.48	
	42.8~34.8	23	0.21	
	34.8~30.5	24	0.26	
	30.5~23.8	25	0.37	
	23.8~15.3	26	0.50	
	15.3~8.8	27	0.22	
	8.8~1.3	28	0.30	
OW-A	34.8~30.5	29	0.32	
	30.5~23.8	30	0.33	
	23.8~15.3	31	0.50	
	15.3~8.8	32	0.22	
	8.8~1.3	33	0.30	

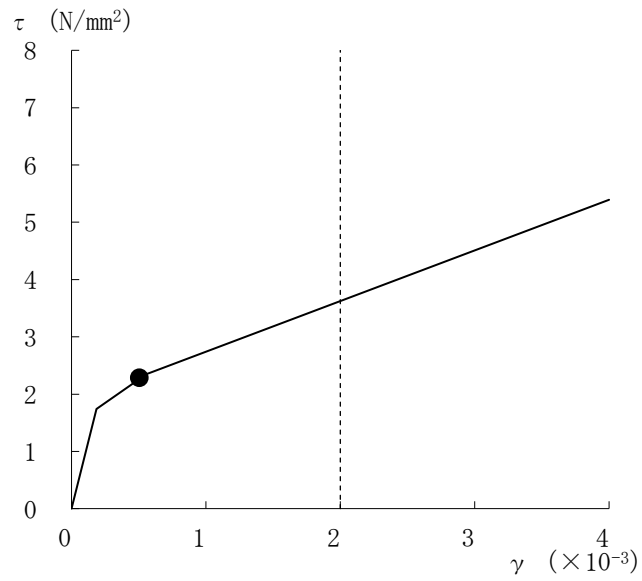
注1: ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

注2: 要素番号18は線形部材。





(a) NS方向 (S_s-N1, ケース3, 要素番号18)



(b) EW方向 (S_s-D, ケース2, 要素番号31)

図4-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

4.2 保有水平耐力の評価結果

各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。なお、各層の保有水平耐力 Q_u は昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画の添付資料IV-2-4-2「原子炉建物の耐震性についての計算書」によるものとする。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表4-2に示す。各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で2.78である。

表 4-2 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果

(a) NS 方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
63.5~51.7	78.19	222.02	2.83
51.7~42.8	141.22	431.20	3.05
42.8~34.8	280.46	946.93	3.37
34.8~30.5	447.90	1320.37	2.94
30.5~23.8	579.16	1665.86	2.87
23.8~15.3	722.69	2200.81	3.04
15.3~8.8	829.57	2458.23	2.96
8.8~1.3	904.99	2852.56	3.15

(b) EW 方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
63.5~51.7	74.98	249.78	3.33
51.7~42.8	139.35	387.75	2.78
42.8~34.8	268.31	1157.18	4.31
34.8~30.5	438.60	1682.72	3.83
30.5~23.8	594.51	1884.35	3.16
23.8~15.3	724.78	2120.59	2.92
15.3~8.8	828.65	2711.05	3.27
8.8~1.3	904.99	3262.97	3.60