

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-096 改1
提出年月日	平成30年6月18日

V-2-2-2 原子炉建屋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	16
2.4 適用規格・基準等	18
3. 地震応答解析による評価方法	19
4. 地震応答解析による評価結果	21
4.1 耐震壁の評価結果	21
4.2 保有水平耐力	22

1. 概要

本資料は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋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、その評価は、地震応答解析による評価により行う。

原子炉建屋は、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及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。ただし、原子炉建屋のうち、使用済燃料プール、中央制御室遮蔽及び二次格納施設となる原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）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「常設耐震重要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。また、原子炉建屋を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建屋の一次遮蔽及び二次遮蔽に該当し、その一次遮蔽及び二次遮蔽は、重大事故等対処施設において、「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、原子炉建屋の「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及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。また、一次遮蔽について「常設重大事故緩和設備」としての耐震評価を示す。なお、「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、使用済燃料プールの評価については、資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」にて、中央制御室遮蔽の評価については、資料V-2-8-4-3「中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書」にて、原子炉棟については、資料V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」にて、二次遮蔽については、資料V-2-8-4-2「二次遮蔽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

原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

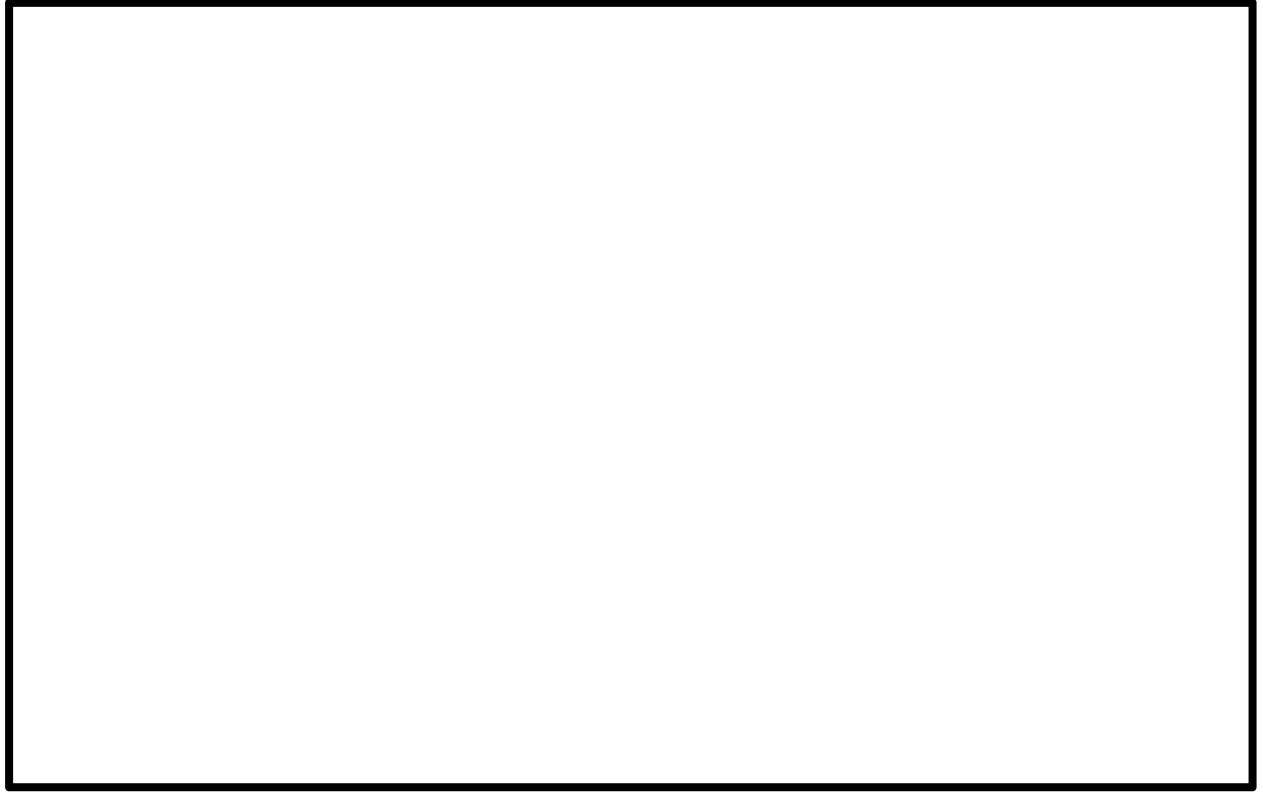


図 2-1 原子炉建屋の設置位置図

2.2 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5 m、東西方向42.5 mの原子炉棟があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は同一基礎スラブ上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部では南北方向68.5 m、東西方向68.25 mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08 mであり、地上高さは56.08 mである。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は厚さ5.0 mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

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、その周囲の壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎スラブから立ち上がっている。シェル壁の壁厚は上部で1.9 m、下部で1.8 mである。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）は基礎スラブから屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5 m、地上部分では1.5 m～0.3 mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）の壁厚は地下部分で1.5 m、地上部分では1.5 m～0.9 mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、原子炉棟の屋根スラブ及び内部ボックス壁（I/W）は二次格納施設を構成している。原子炉棟の燃料取替床（EL. 46.5 m）には使用済燃料プールが設置されており、付属棟（EL. 18.0 m）には中央制御室が設置されている。

シェル壁（S/W）は一次遮蔽となっており、内部ボックス壁（I/W）は二次遮蔽となっている。

原子炉建屋の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、原子炉建屋遮蔽の範囲を図2-4に示す。



図 2-2 (1/10) 原子炉建屋の概略平面図

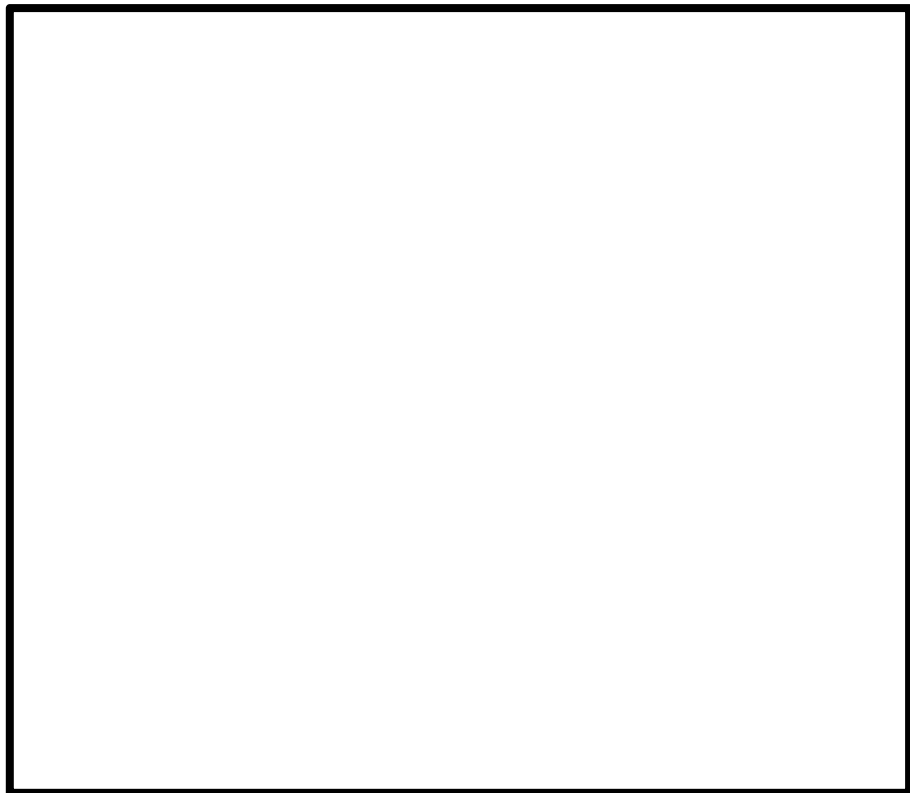


図 2-2 (2/10) 原子炉建屋の概略平面図

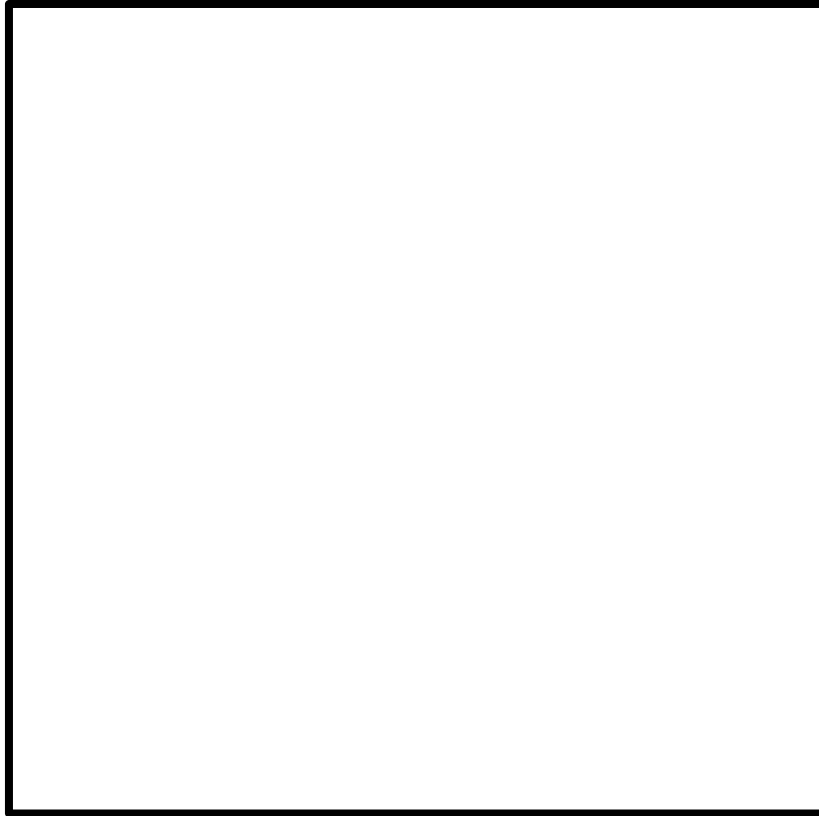


図 2-2 (3/10) 原子炉建屋の概略平面図

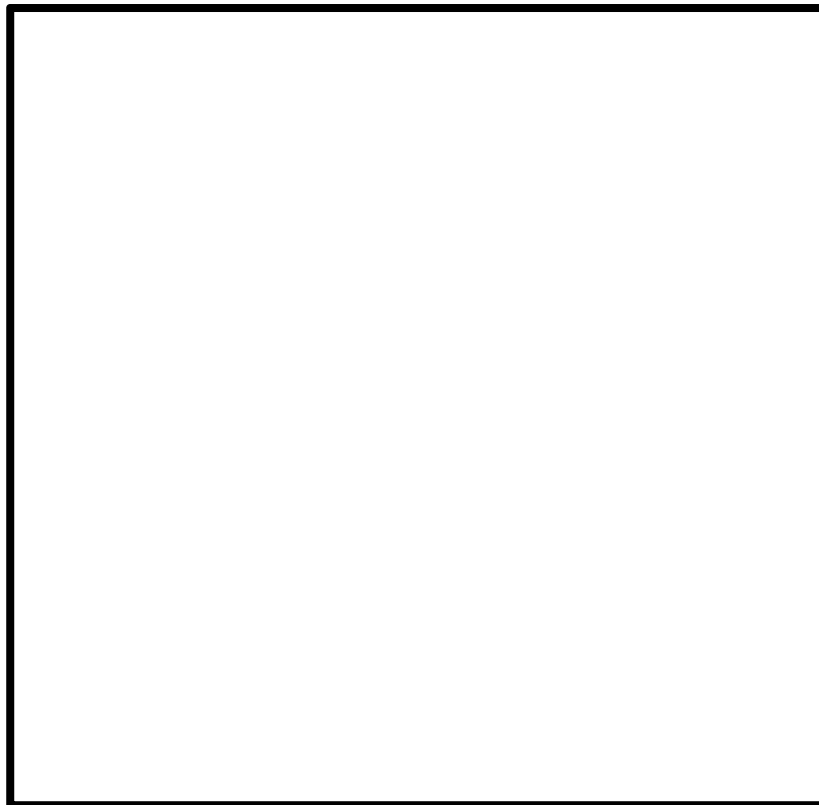


図 2-2 (4/10) 原子炉建屋の概略平面図



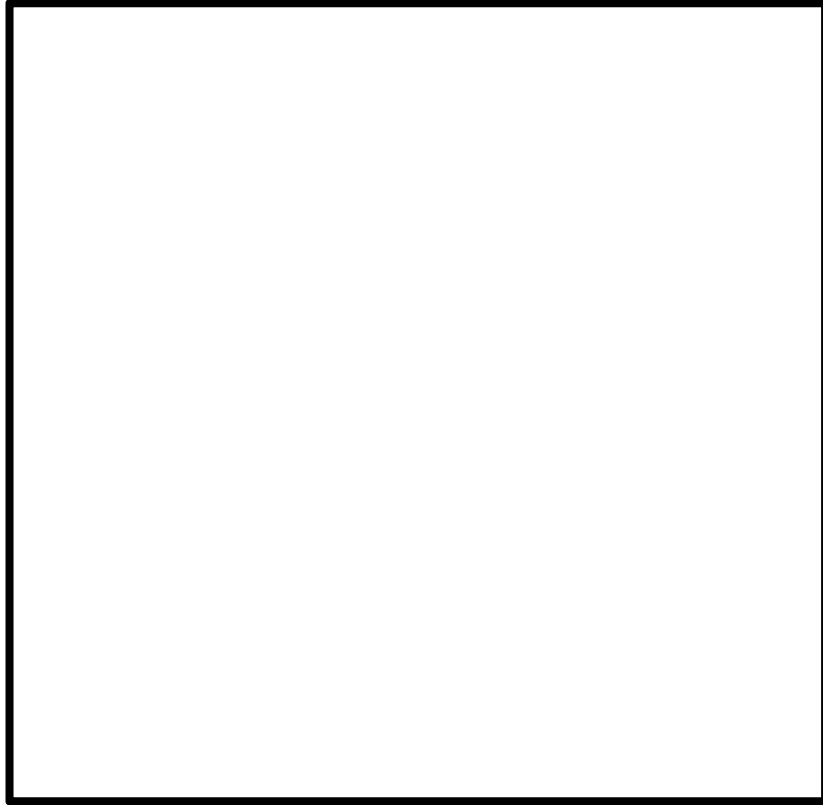


図 2-2 (5/10) 原子炉建屋の概略平面図

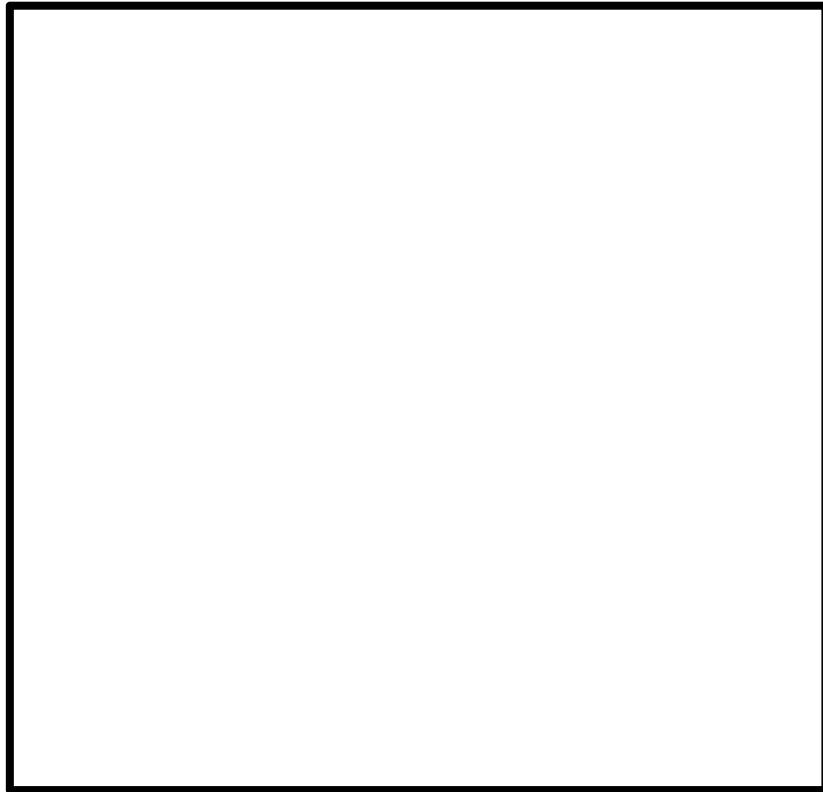


図 2-2 (6/10) 原子炉建屋の概略平面図

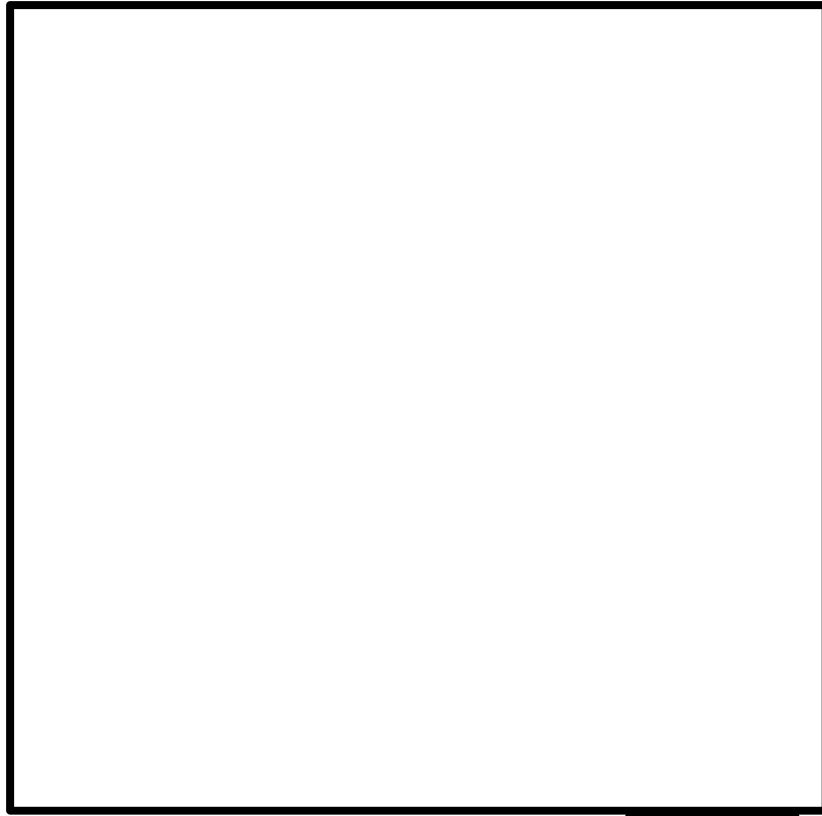


図 2-2 (7/10) 原子炉建屋の概略平面図

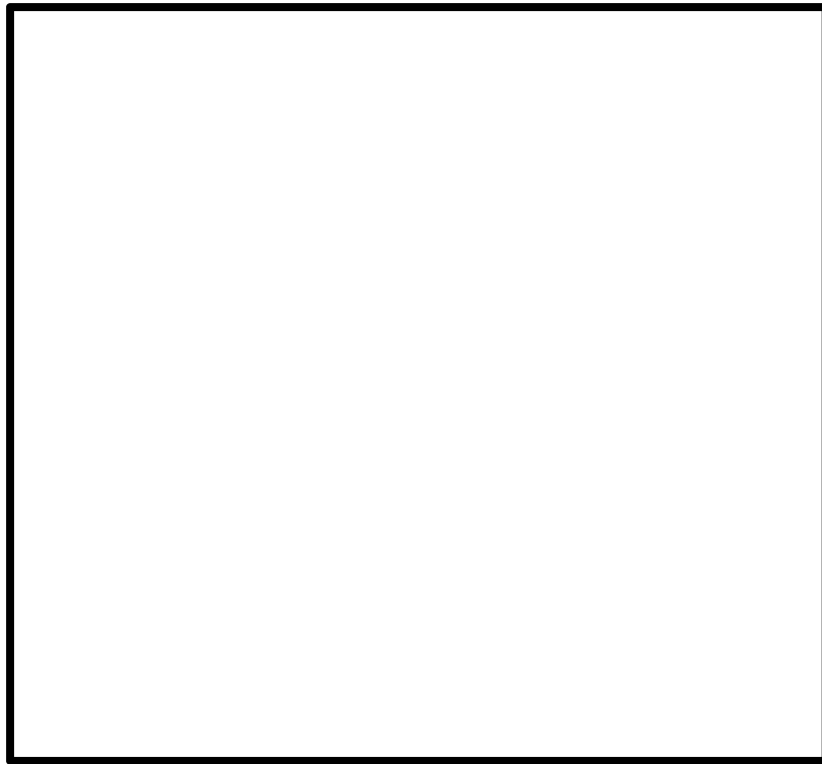


図 2-2 (8/10) 原子炉建屋の概略平面図

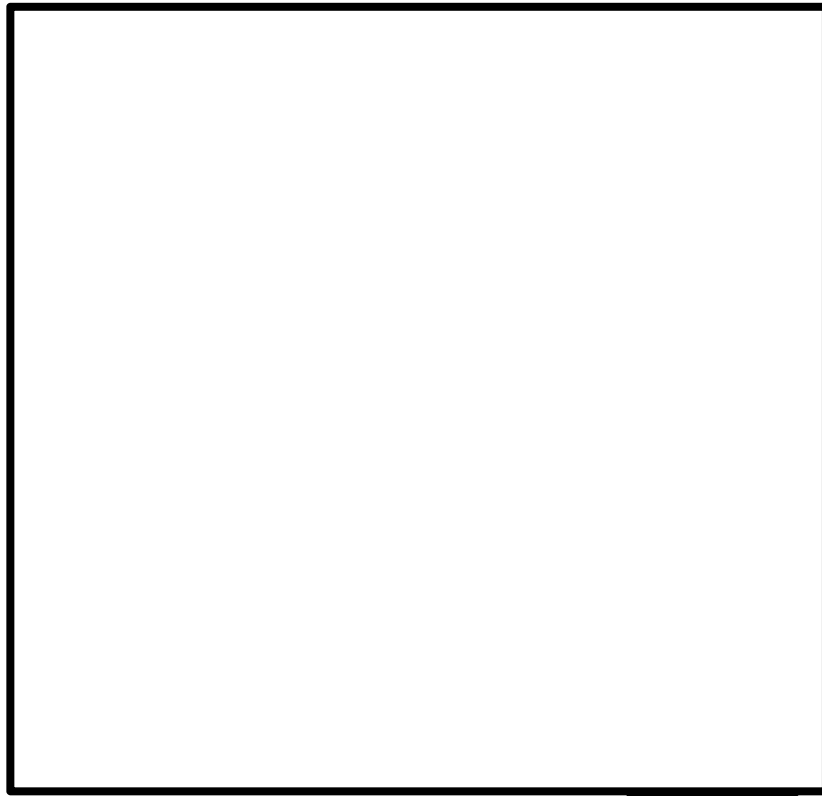


図 2-2 (9/10) 原子炉建屋の概略平面図

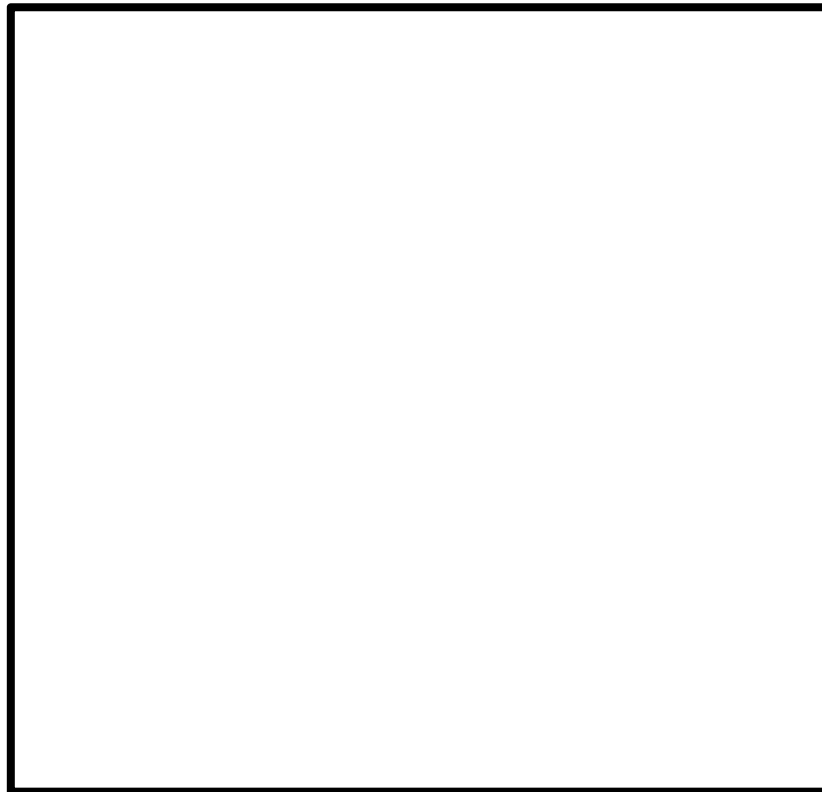


図 2-2 (10/10) 原子炉建屋の概略平面図



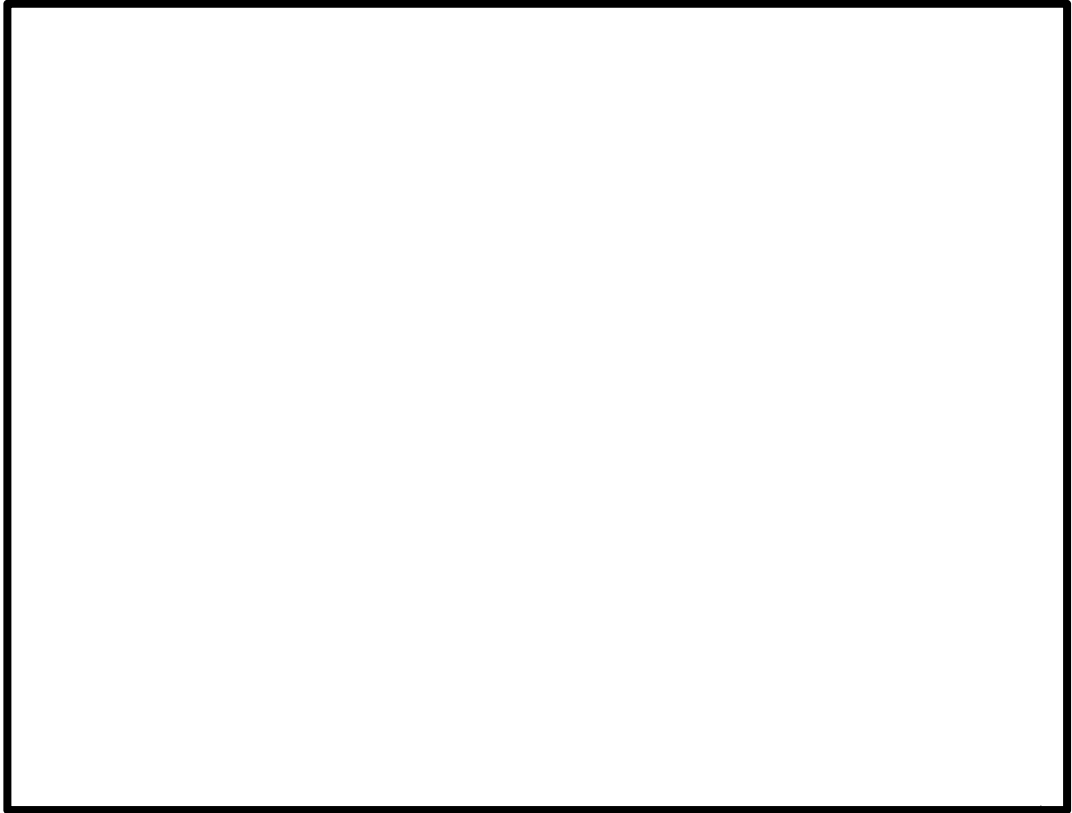


図 2-3 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

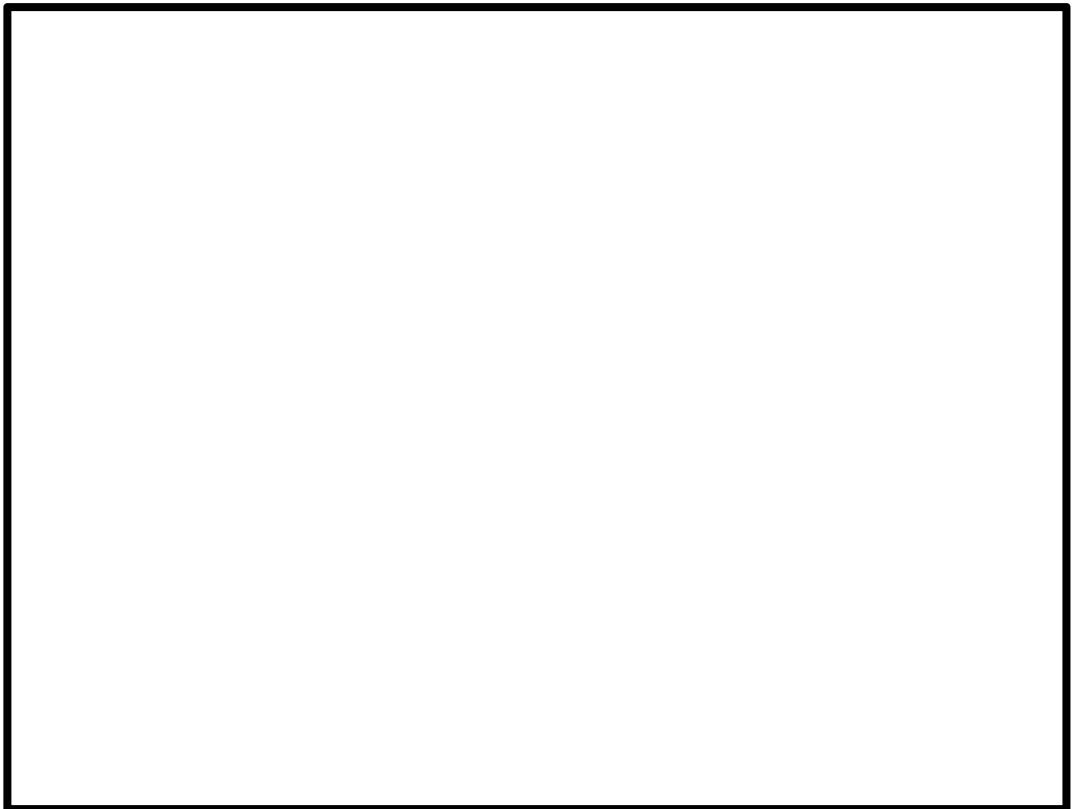


図 2-3 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)



図 2-4 (1/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

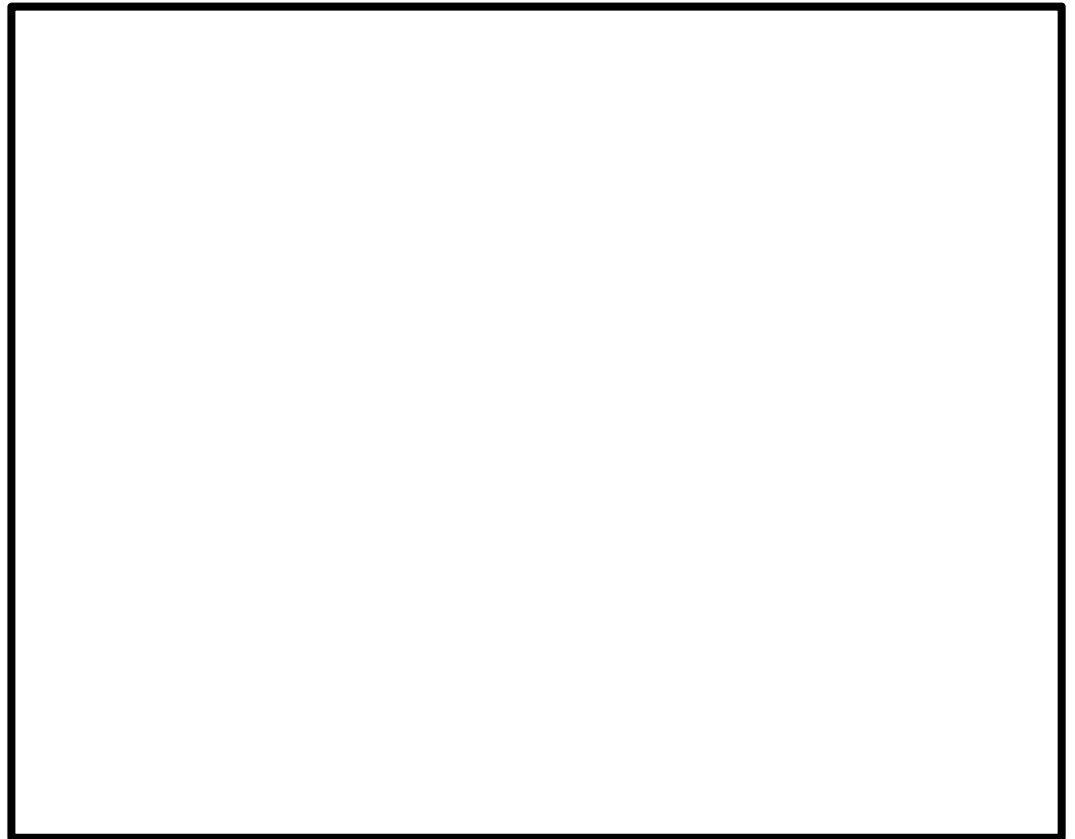


図 2-4 (2/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

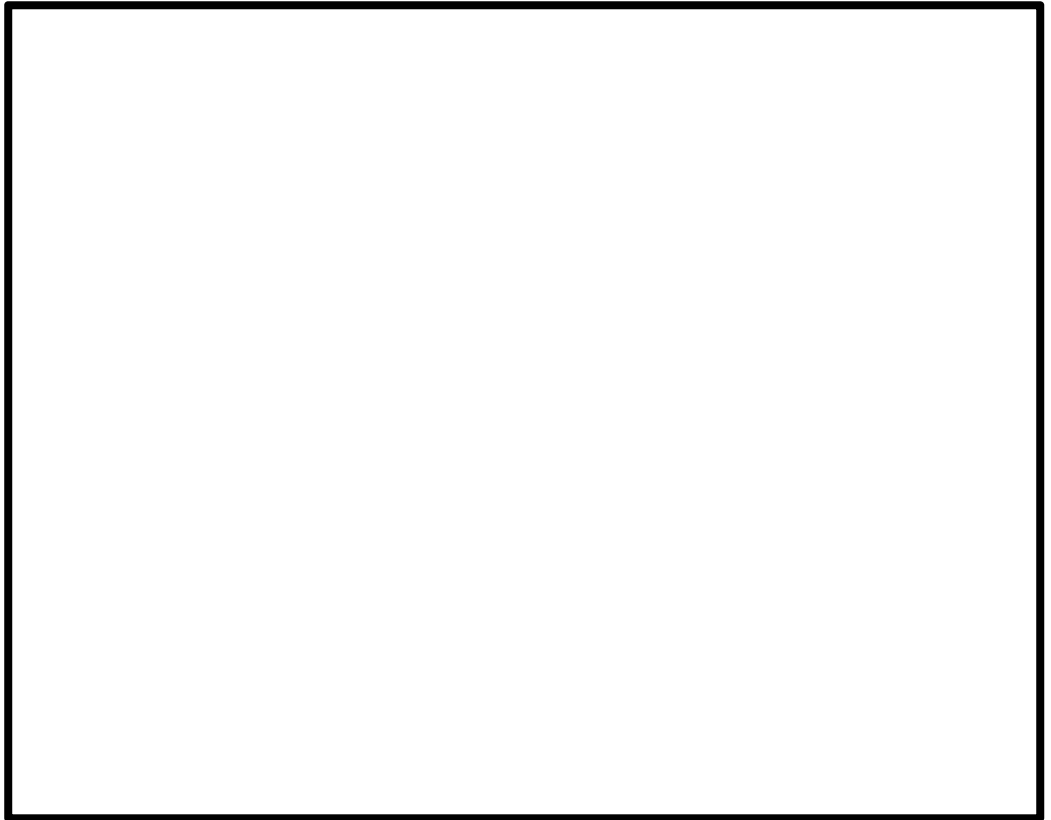


図 2-4 (3/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

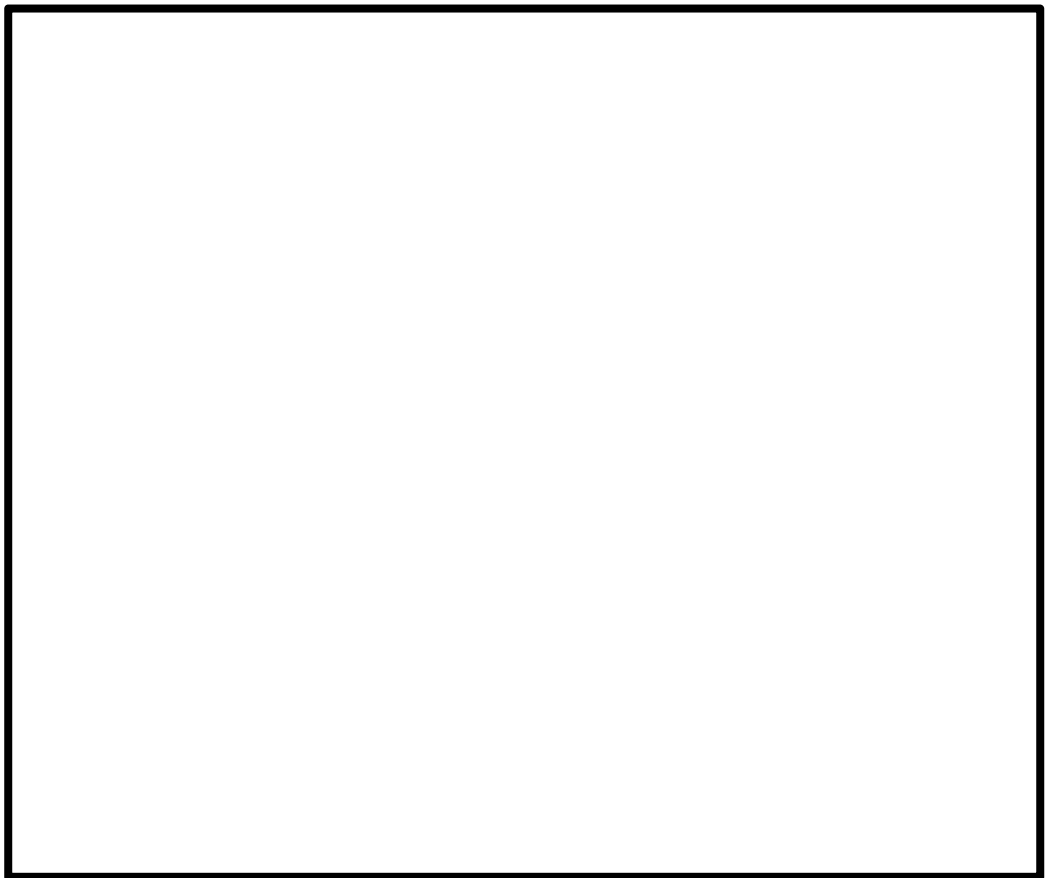


図 2-4 (4/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

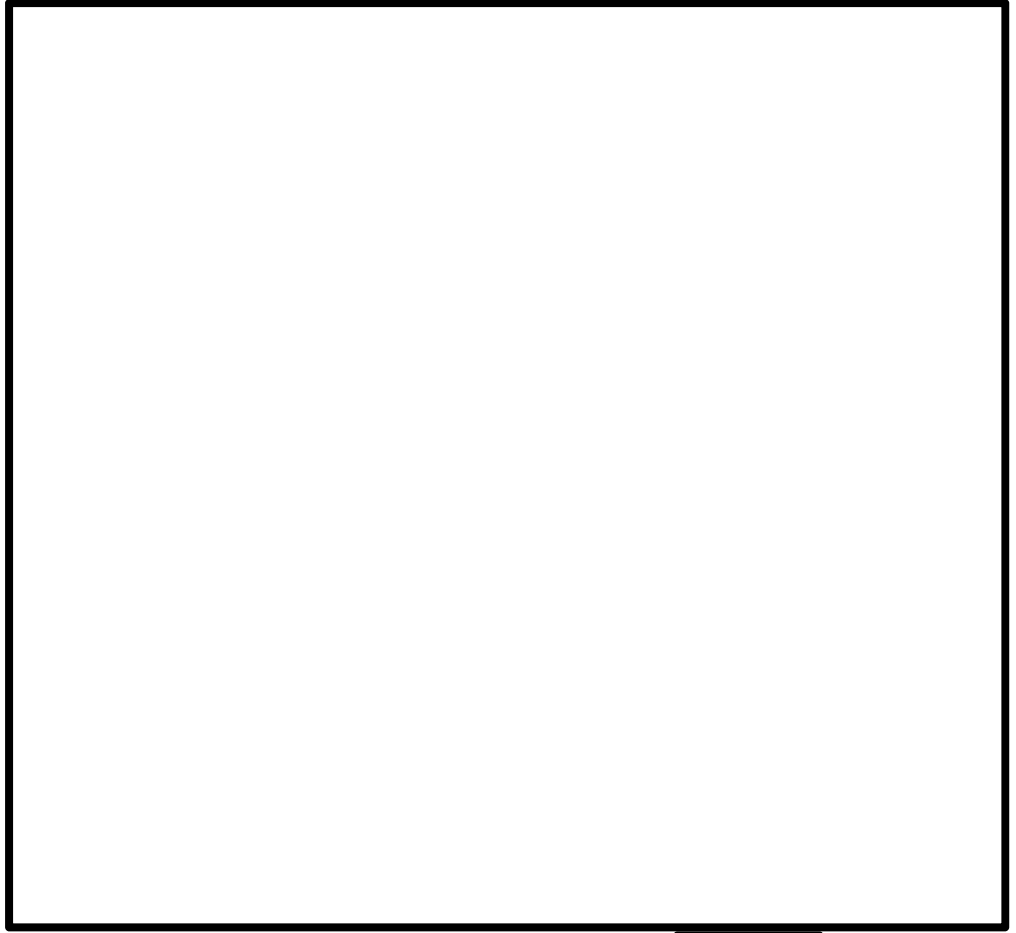


図 2-4 (5/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

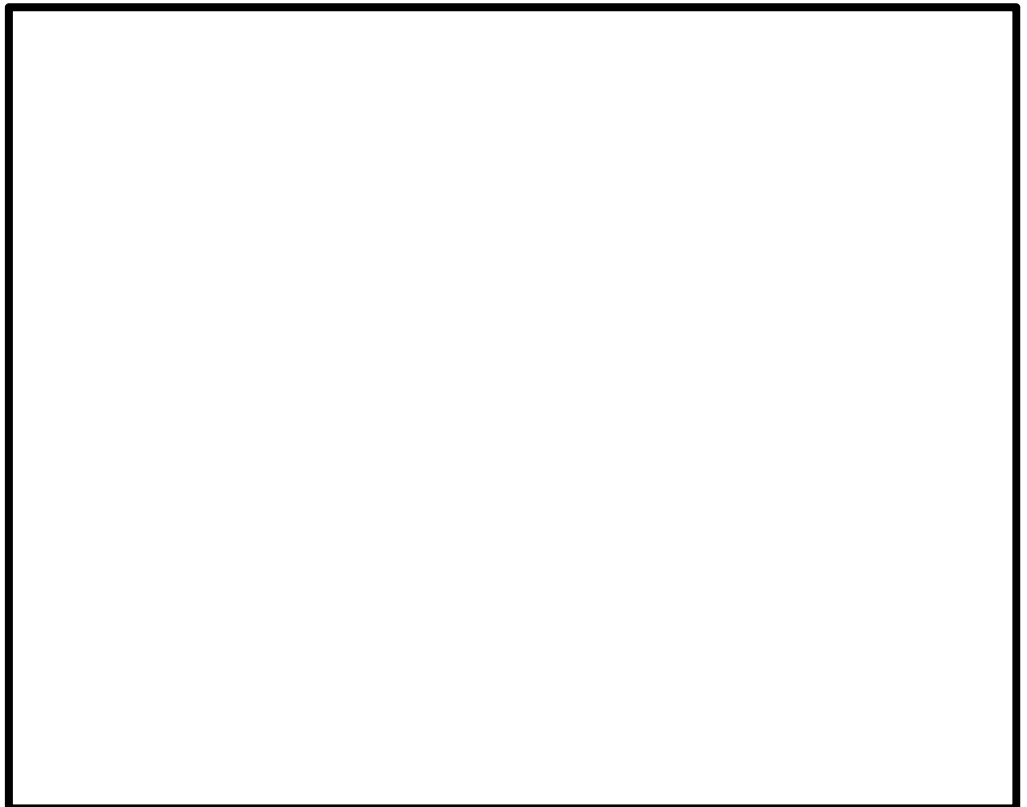


図 2-4 (6/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)



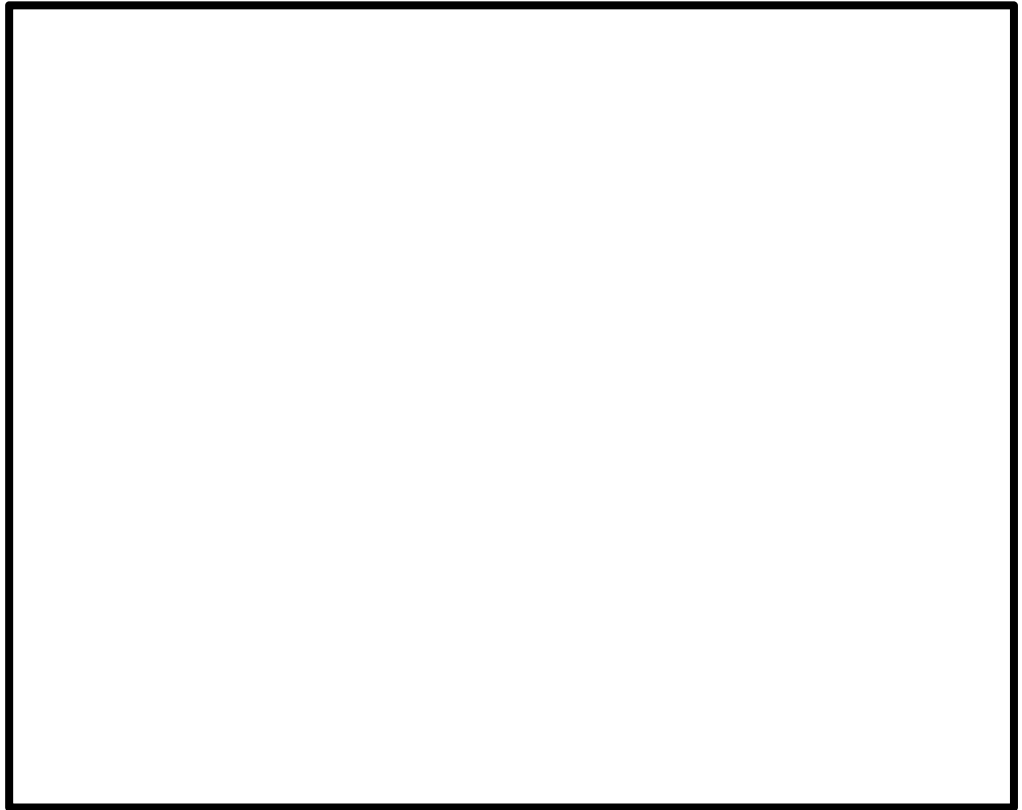


図 2-4 (7/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図) 

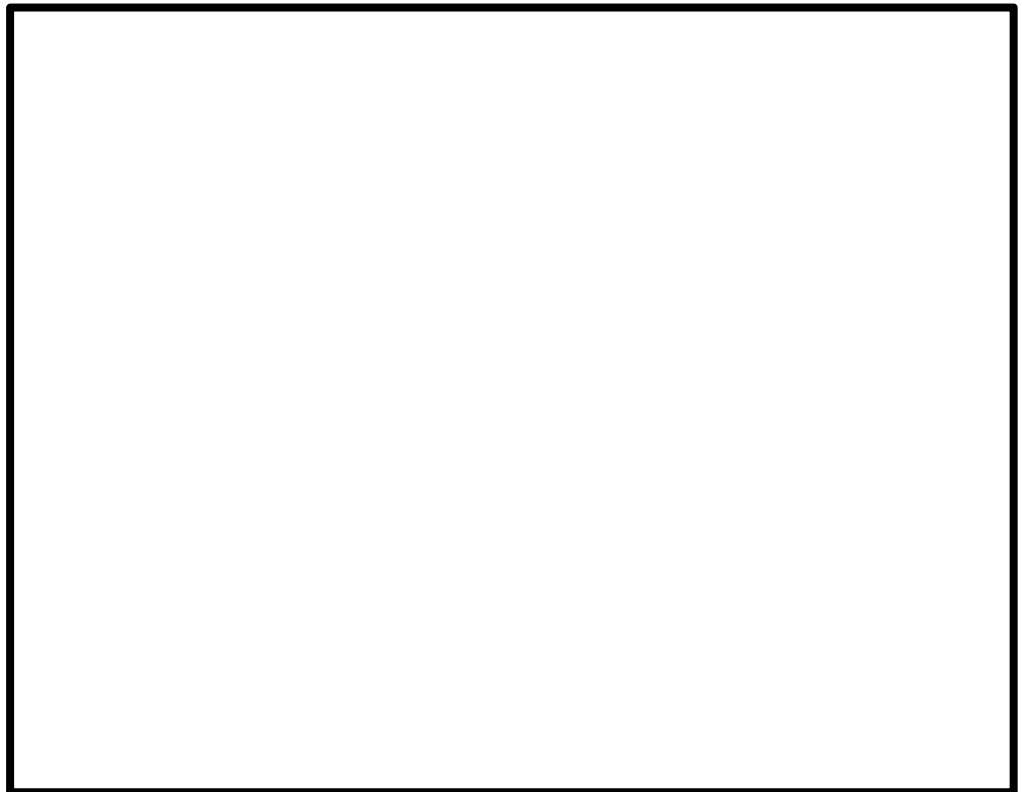


図 2-4 (8/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図) 

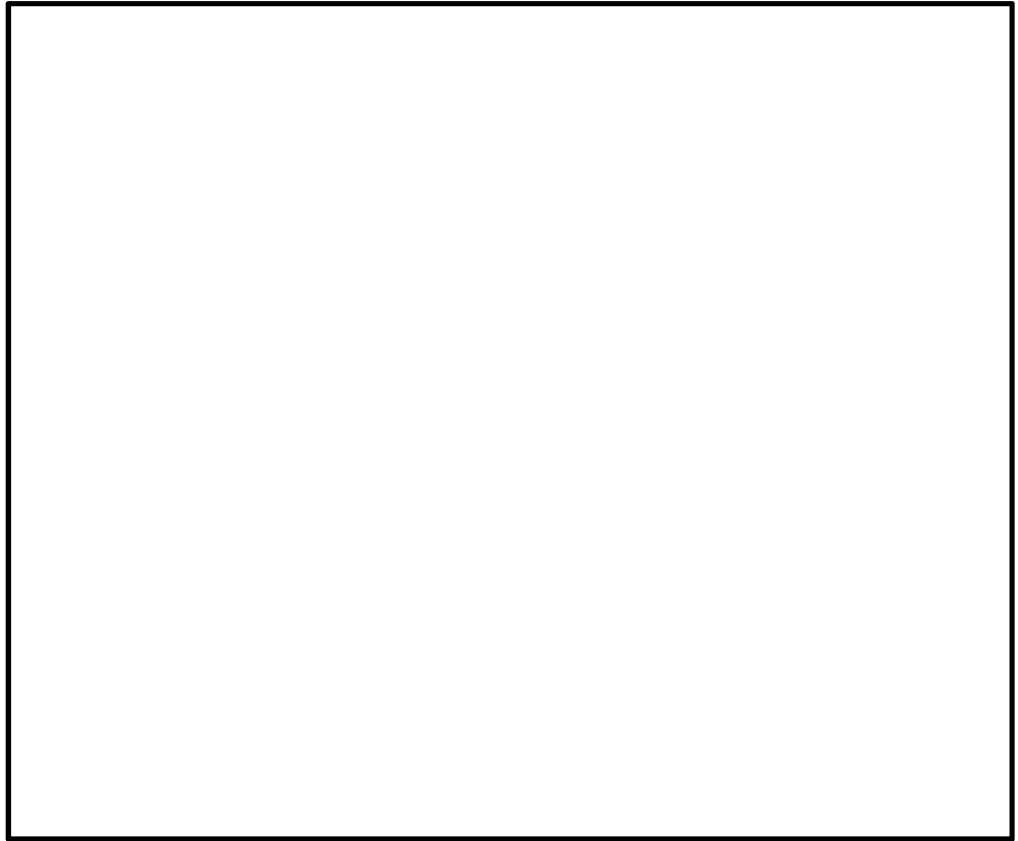


図 2-4 (9/10) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

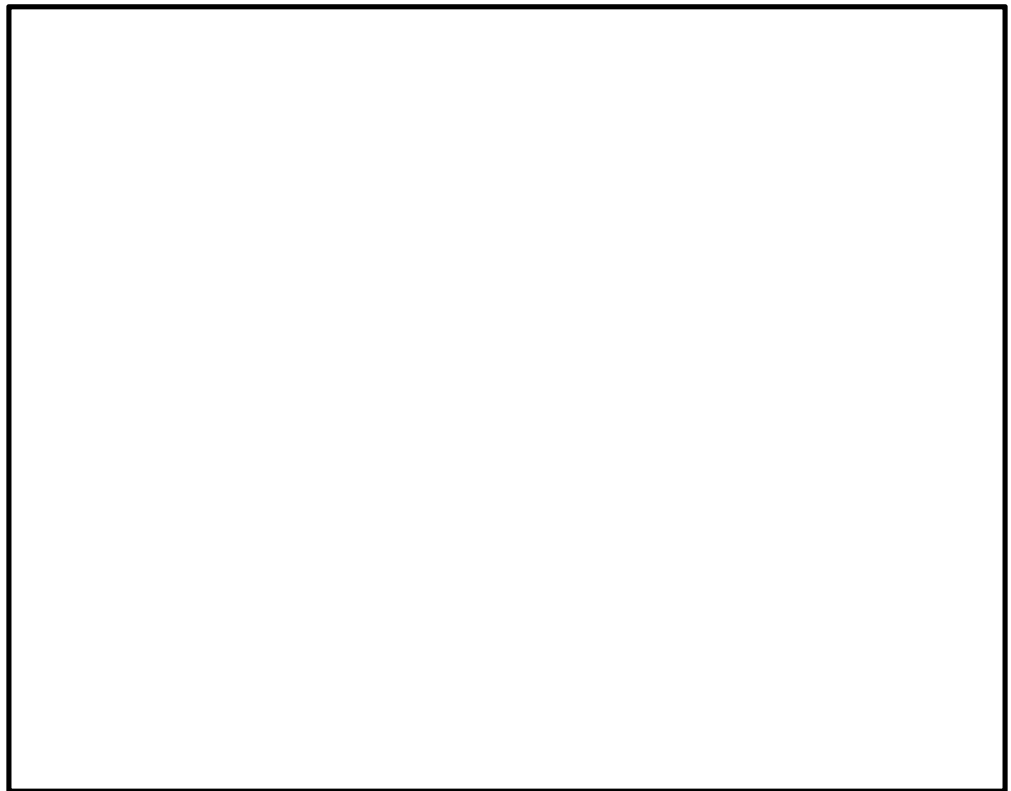


図 2-4 (10/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (平面図)

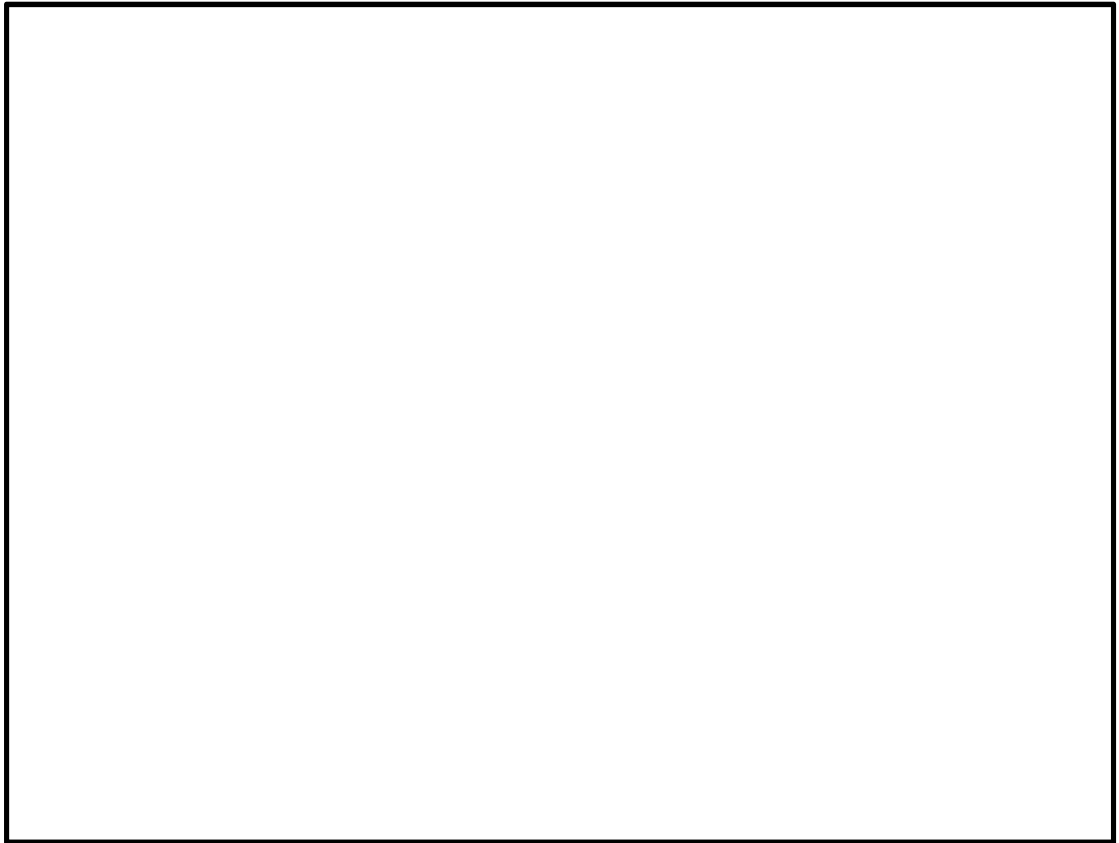


図 2-4 (11/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (EW 方向 A-A 断面)



図 2-4 (12/12) 原子炉建屋の遮蔽範囲 (NS 方向 B-B 断面)

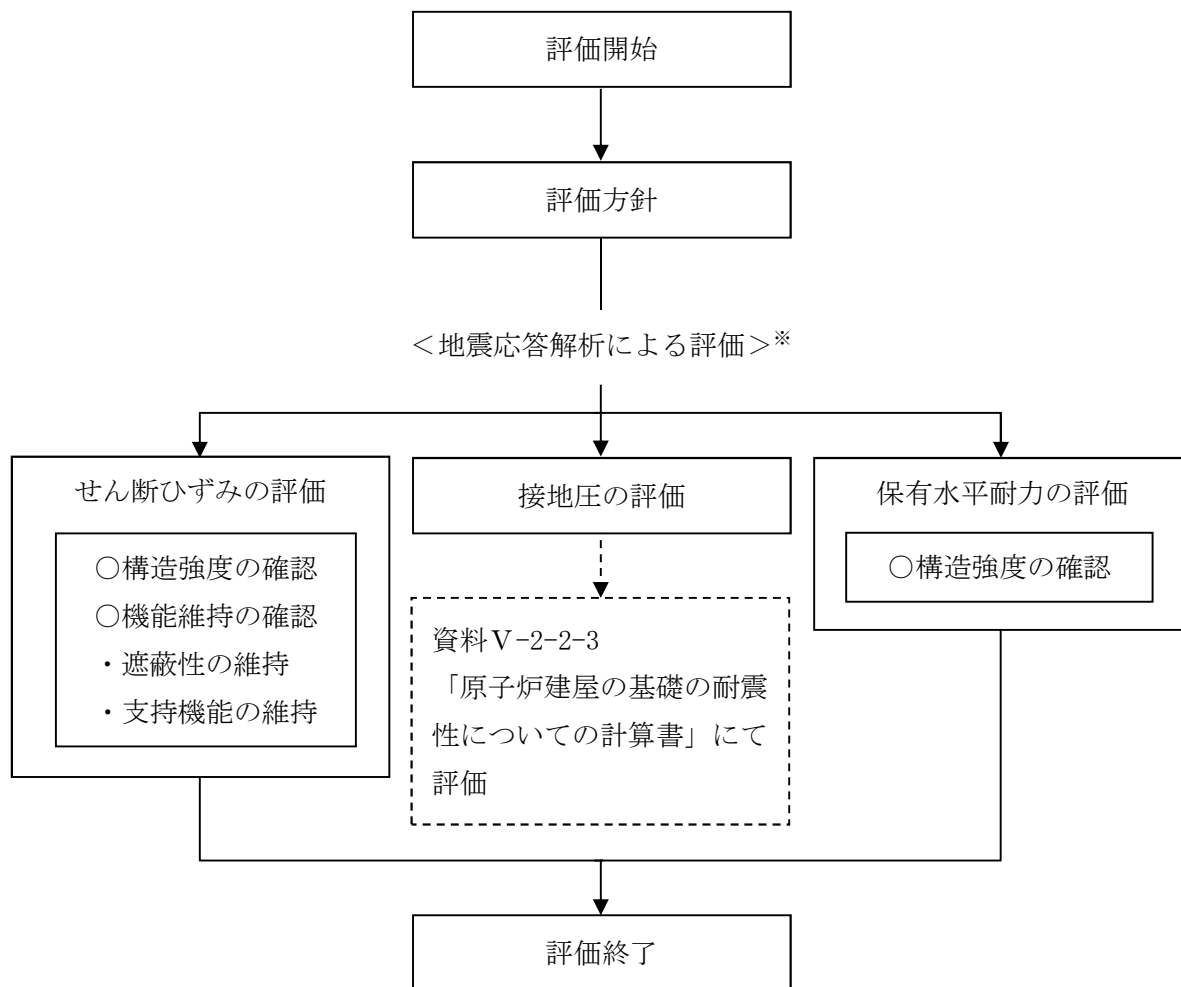
2.3 評価方針

原子炉建屋は、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及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。ただし、原子炉建屋のうち、使用済燃料プール、中央制御室遮蔽及び二次格納施設となる原子炉棟は、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「常設耐震重要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。また、原子炉建屋を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建屋の一次遮蔽及び二次遮蔽に該当し、その一次遮蔽及び二次遮蔽は、重大事故等対処施設において、「常設重大事故緩和設備」に分類される。

原子炉建屋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_0 による地震力に対する評価（以下「 S_0 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、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉建屋の評価は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価において、せん断ひずみ及び保有水平耐力の評価を行うことで、原子炉建屋の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_0 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、原子炉建屋は1次遮蔽壁（S/W）及び使用済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において、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」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。

原子炉建屋の評価フローを図2-5に示す。



※：資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 原子炉建屋の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉建屋の評価において、適用する規格、基準などを以下に示す。

- ・ 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・許容応力度編 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)
- ・ 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) (以下「RC-N規準」という。)

3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、原子炉建屋の構造強度については、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した耐震壁の最大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。

支持機能の維持については、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した耐震壁の最大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屋の許容限界は、資料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 ^{※2}	最大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	最大せん断ひずみ 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 ^{※1}	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 ^{※2}	最大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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}

※1：「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。

※2：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、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面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの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。

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 ^{※2}	最大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	最大せん断ひずみ 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
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁 ^{※2}	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
支持機能 ^{※1}	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 ^{※2}	最大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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}

※1：「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。

※2：建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、梁、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従することと、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面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの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。

4. 地震応答解析による評価結果

4.1 耐震壁の評価結果

耐震壁について、 S_s 地震時の各層の最大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。

地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (要素番号 (5), NS 方向) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。地盤物性のばらつきを考慮した各方向の $Q-\gamma$ 関係と最大応答値を図 4-1 に示す。

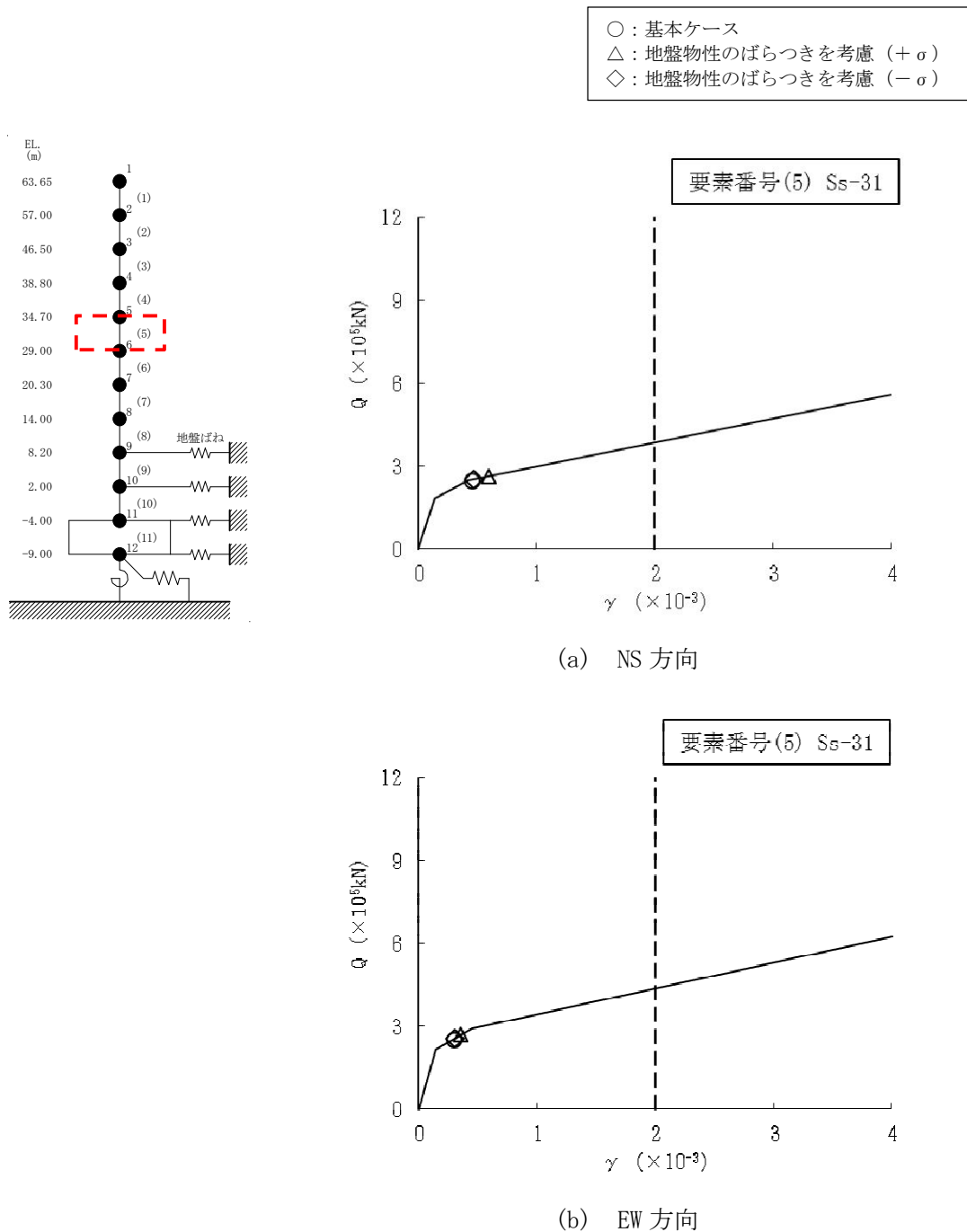


図 4-1 Q-γ 関係と最大応答値

4.2 保有水平耐力

各要素において、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することを確認する。なお、各要素の保有水平耐力 Q_u は、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答解析」に示すせん断力のスケルトン曲線のうち、RC部については Q_3 に基づき算出する。

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4-1に示す。各要素において、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することを確認した。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2.85である。

表 4-1 (1/2) 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果 (NS 方向)

要素 番号	EL. (m)	Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	63.65 ~ 57.00	15.3	124	8.10
(2)	57.00 ~ 46.50	29.0	126	4.34
(3)	46.50 ~ 38.80	73.7	929	12.6
(4)	38.80 ~ 34.70	130	555	4.26
(5)	34.70 ~ 29.00	173	559	3.23
(6)	29.00 ~ 20.30	250	929	3.71
(7)	20.30 ~ 14.00	337	1180	3.50
(8)	14.00 ~ 8.20	422	1680	3.98
(9)	8.20 ~ 2.00	407	2330	5.72
(10)	2.00 ~ -4.00	459	2710	5.90

表 4-1 (2/2) 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果 (EW 方向)

要素 番号	EL. (m)	Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
(1)	63.65 ~ 57.00	15.7	116	7.38
(2)	57.00 ~ 46.50	29.7	118	3.97
(3)	46.50 ~ 38.80	74.8	677	9.05
(4)	38.80 ~ 34.70	131	620	4.73
(5)	34.70 ~ 29.00	173	626	3.61
(6)	29.00 ~ 20.30	309	882	2.85
(7)	20.30 ~ 14.00	284	1020	3.59
(8)	14.00 ~ 8.20	454	1560	3.43
(9)	8.20 ~ 2.00	407	2280	5.60
(10)	2.00 ~ -4.00	459	2620	5.70