

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-2-040-15 改5
提出年月日	2020年 6月17日

V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書

2020年 6月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）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	14
2.4 適用規格・基準等	17
3. 地震応答解析による評価方法	18
4. 応力解析による評価方法	20
4.1 評価対象部位及び評価方針	20
4.2 荷重及び荷重の組合せ	22
4.2.1 屋根トラス	22
4.2.2 屋根スラブ	60
4.2.3 床スラブ	61
4.3 許容限界	62
4.3.1 屋根トラス	62
4.3.2 屋根スラブ及び床スラブ	64
4.4 解析モデル化方針	66
4.4.1 屋根トラス	66
4.4.2 屋根スラブ	70
4.4.3 床スラブ	70
4.5 評価方法	71
4.5.1 応力解析方法	71
4.5.2 断面の評価方法	76
5. 地震応答解析による評価結果	80
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	80
6. 応力解析による評価結果	82
6.1 屋根トラスの評価結果	82
6.1.1 固有値解析結果	82
6.1.2 断面の評価結果	86
6.2 屋根スラブの評価結果	94
6.3 床スラブの評価結果	96
7. 引用文献	98

別紙1 大物搬入建屋の耐震性についての計算書

別紙2 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の気密性に関する計算書

下線部：今回ご提示資料

別紙1 大物搬入建屋の耐震性についての計算書

- (Ⅰ) 大物搬入建屋の地震応答計算書
- (Ⅱ) 大物搬入建屋の耐震性についての計算書

(Ⅱ) 大物搬入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	14
2.4	適用規格・基準等	16
3.	地震応答解析による評価方法	17
4.	応力解析による評価方法	20
4.1	評価対象部位及び評価方針	20
4.1.1	耐震壁	21
4.1.2	杭	22
4.1.3	基礎スラブ	23
4.1.4	屋根スラブ	24
4.1.5	フレーム構造部	25
4.2	荷重及び荷重の組合せ	26
4.2.1	耐震壁	26
4.2.2	杭	27
4.2.3	基礎スラブ	28
4.2.4	屋根スラブ	30
4.2.5	フレーム構造部	31
4.3	許容限界	32
4.4	解析モデル及び諸元	37
4.4.1	耐震壁	37
4.4.2	杭	38
4.4.3	基礎スラブ	39
4.4.4	屋根スラブ	41
4.4.5	フレーム構造部	42
4.5	評価方法	44
4.5.1	応力解析方法	44
4.5.2	断面の評価方法	58
5.	地震応答解析による評価結果	61
5.1	耐震壁のせん断ひずみの評価結果	61
5.1.1	S _s 地震時	61
5.2	フレーム構造部	62

5.2.1 S s 地震時	62
5.3 保有水平耐力	63
6. 応力解析による評価結果	64
6.1 耐震壁の評価結果	64
6.2 杭の評価結果	66
6.3 基礎スラブの評価結果	67
6.4 屋根スラブの評価結果	72
6.5 フレーム構造部の評価結果	74

1. 概要

本資料は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建屋の一部を構成する大物搬入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及び応力解析による評価により行う。

大物搬入建屋のうち、原子炉建屋原子炉区域（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、大物搬入建屋を構成する壁及びスラブの一部は、二次遮蔽壁に該当し、その二次遮蔽壁は、設計基準対象施設においては「B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。

以下、大物搬入建屋のうち、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の「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並びに二次遮蔽壁の「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を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

大物搬入建屋の位置を図 2-1 に示す。

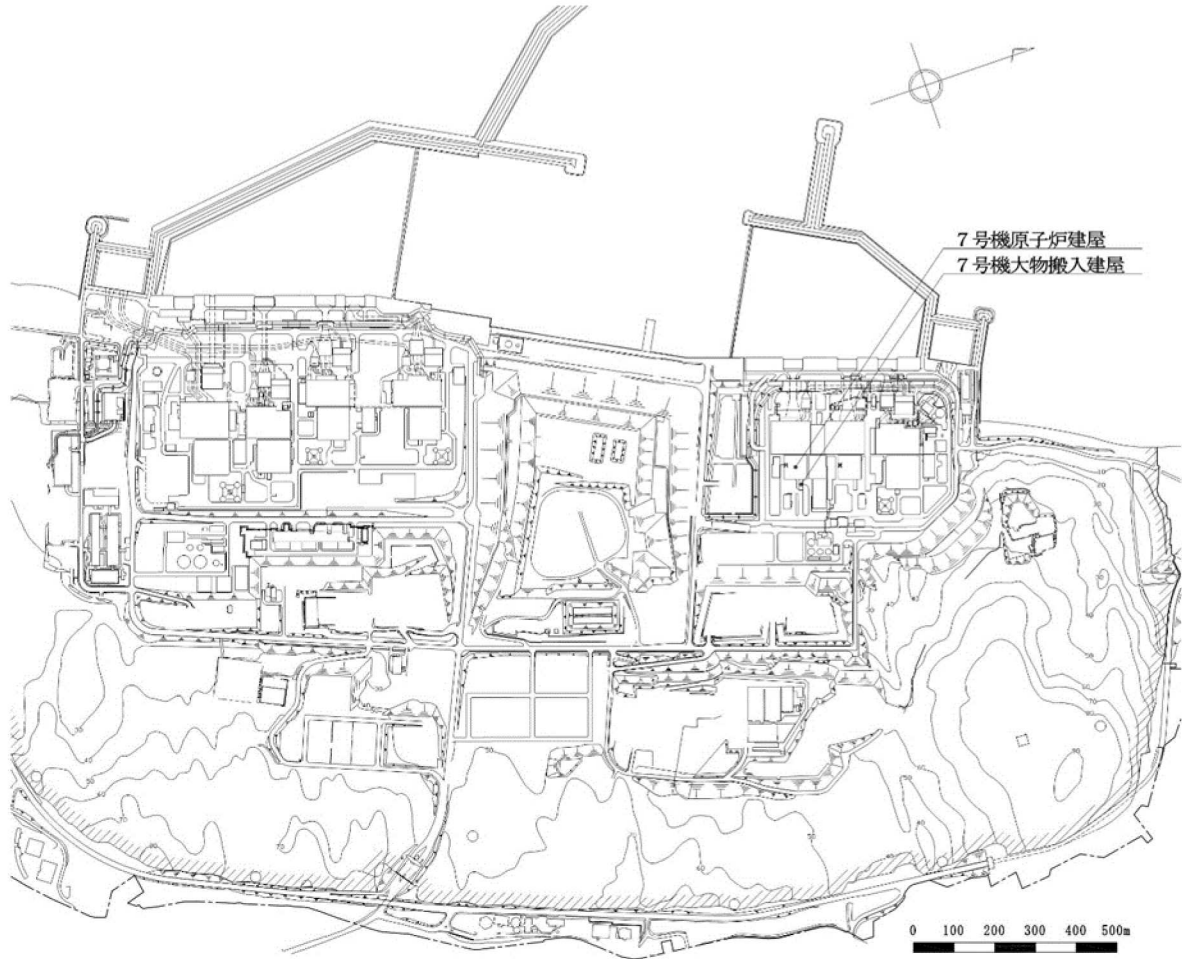
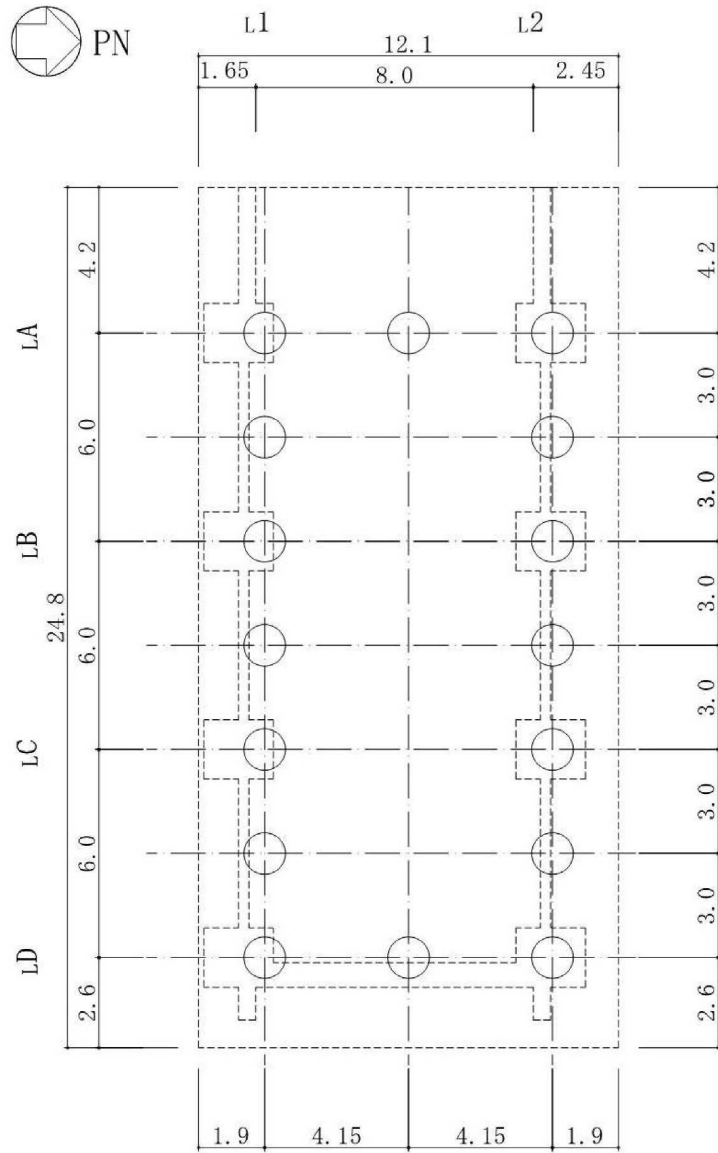


図 2-1 大物搬入建屋の設置位置

2.2 構造概要

大物搬入建屋は、地上1階建ての鉄筋コンクリート造の建物である。大物搬入建屋の杭伏図及び概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の範囲の平面図及び断面図を図2-4及び図2-5に示す。また、二次遮蔽壁の範囲の平面図及び断面図を図2-6及び図2-7に示す。

大物搬入建屋の平面は、9.0m（NS方向）×23.05m（EW方向）であり、地上高さは7.6mである。大物搬入建屋の基礎は厚さ2.5mの鉄筋コンクリートスラブであり、支持地盤である泥岩上に場所打ち鋼管コンクリート杭（外径1.2m、16本、以下「杭」という。）を介して設置している。また、液状化対策として建屋下部の支持地盤以浅の地盤はセメント系の地盤改良を実施している。なお、大物搬入建屋は隣接する原子炉建屋と構造的に分離している。

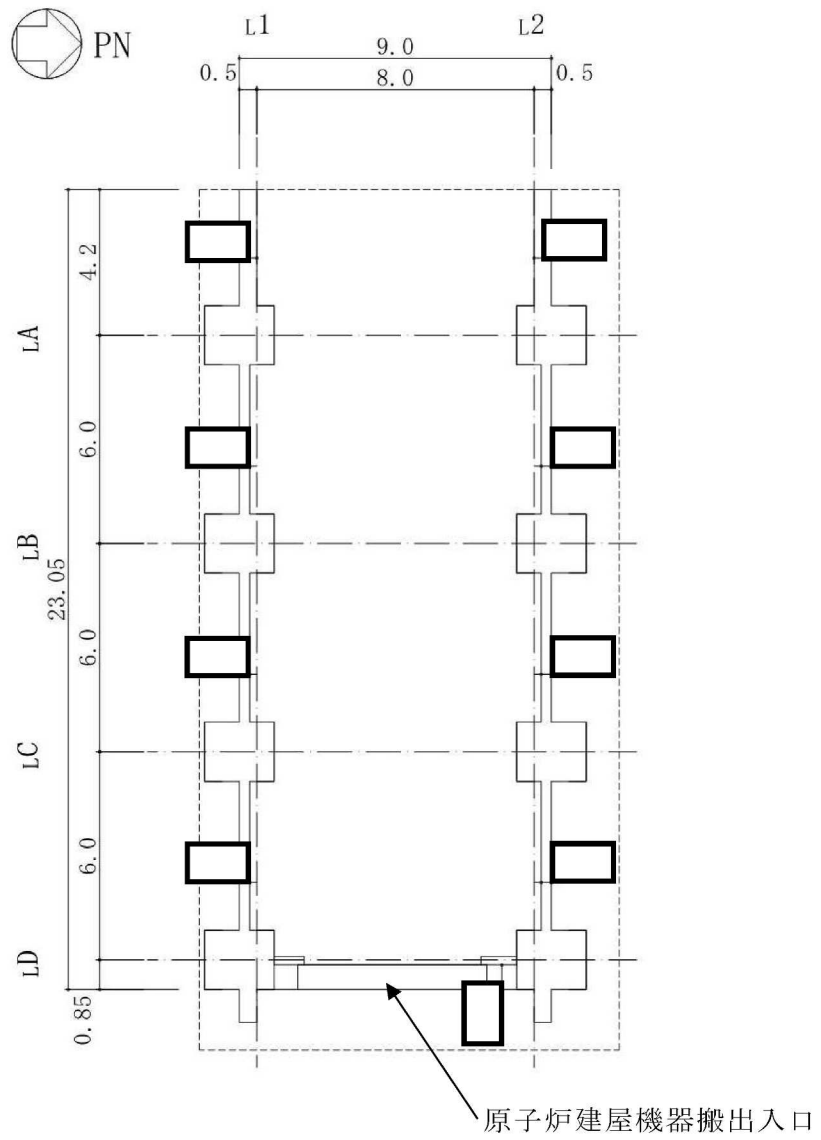


(単位：m)

注 1：○は場所打ち鋼管コンクリート杭（外径 1.2m）を示す。

注 2：破線は基礎スラブ，柱及び壁を示す。

図 2-2 大物搬入建屋の杭伏図及び概略平面図（杭伏図）（1/3）

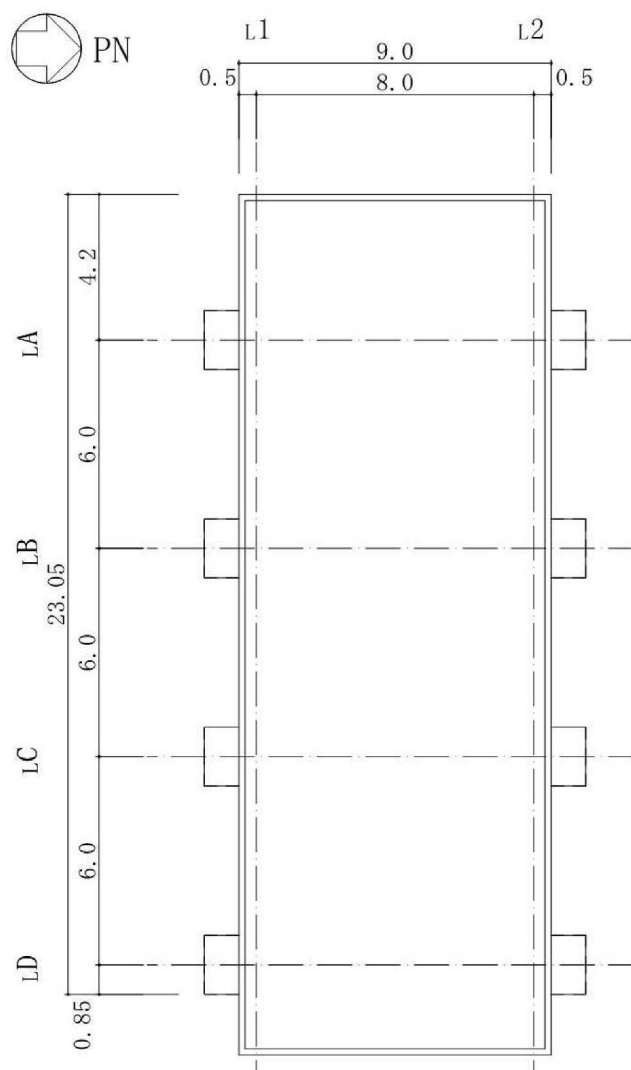


(単位：m)

注 1：破線は基礎スラブを示す。

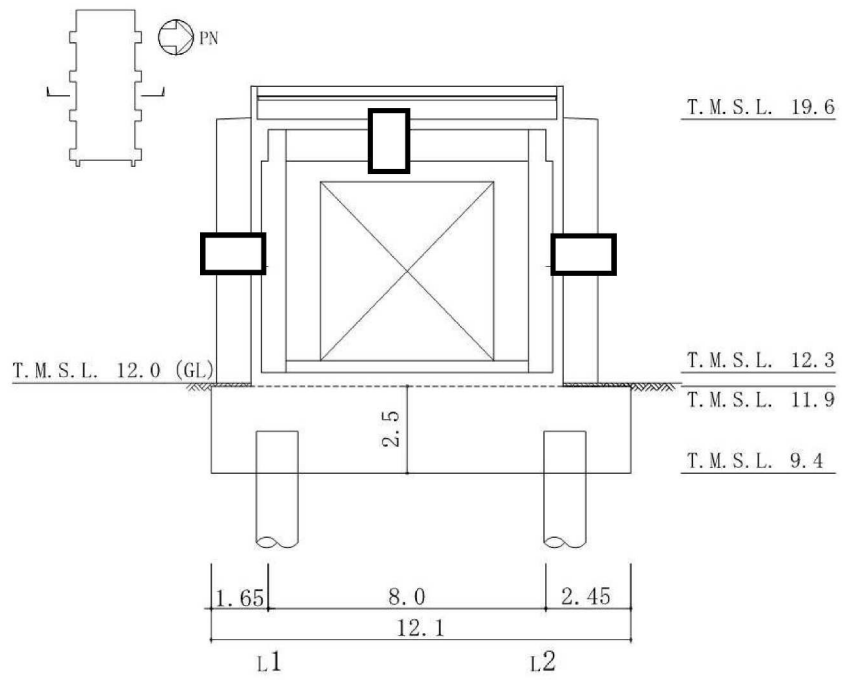
注 2：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 大物搬入建屋の杭伏図及び概略平面図（1F, T.M.S.L. 12.3m）(2/3)



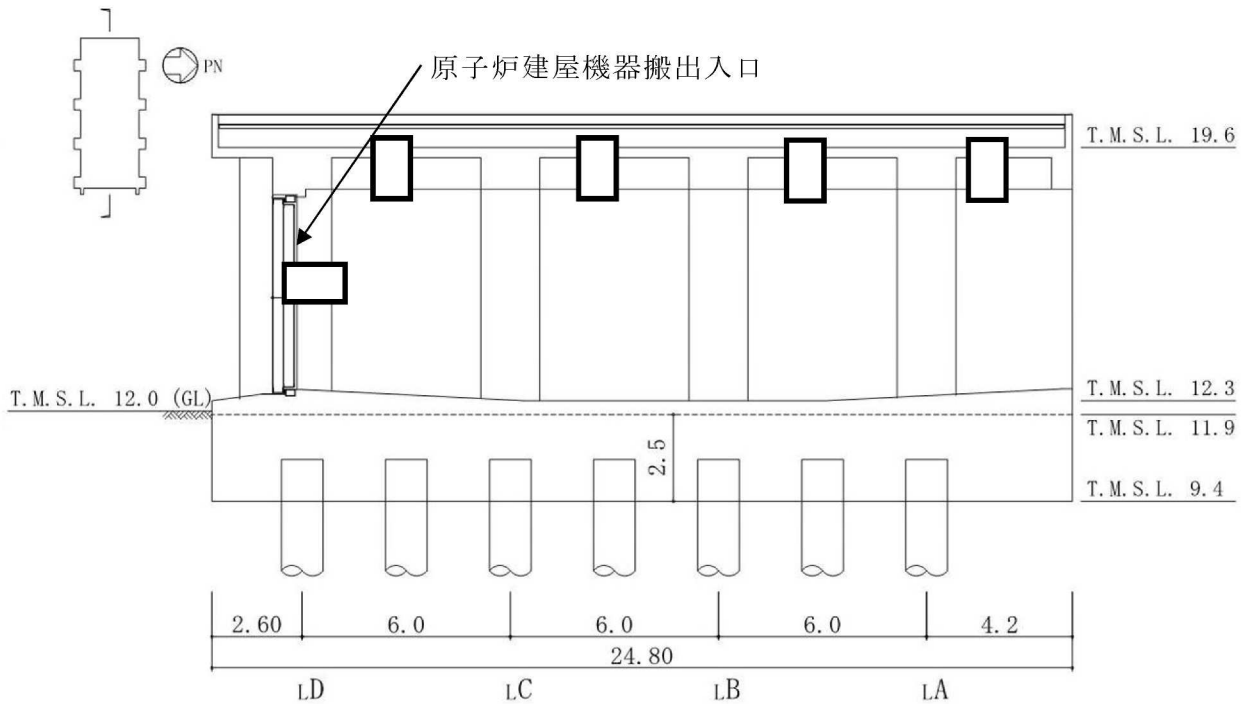
(単位 : m)

図 2-2 大物搬入建屋の杭伏図及び概略平面図 (RF, T. M. S. L. 19.6m) (3/3)



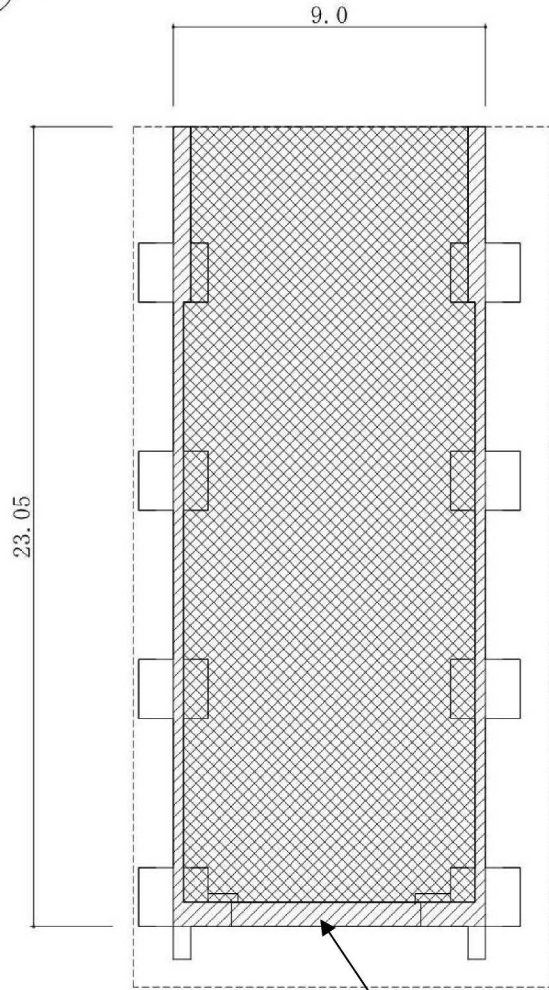
(単位 : m)

図 2-3 大物搬入建屋の概略断面図 (1/2)
(NS 方向)





(単位 : m)

図 2-3 大物搬入建屋の概略断面図 (2/2)
(EW 方向)



原子炉建屋機器搬出入口

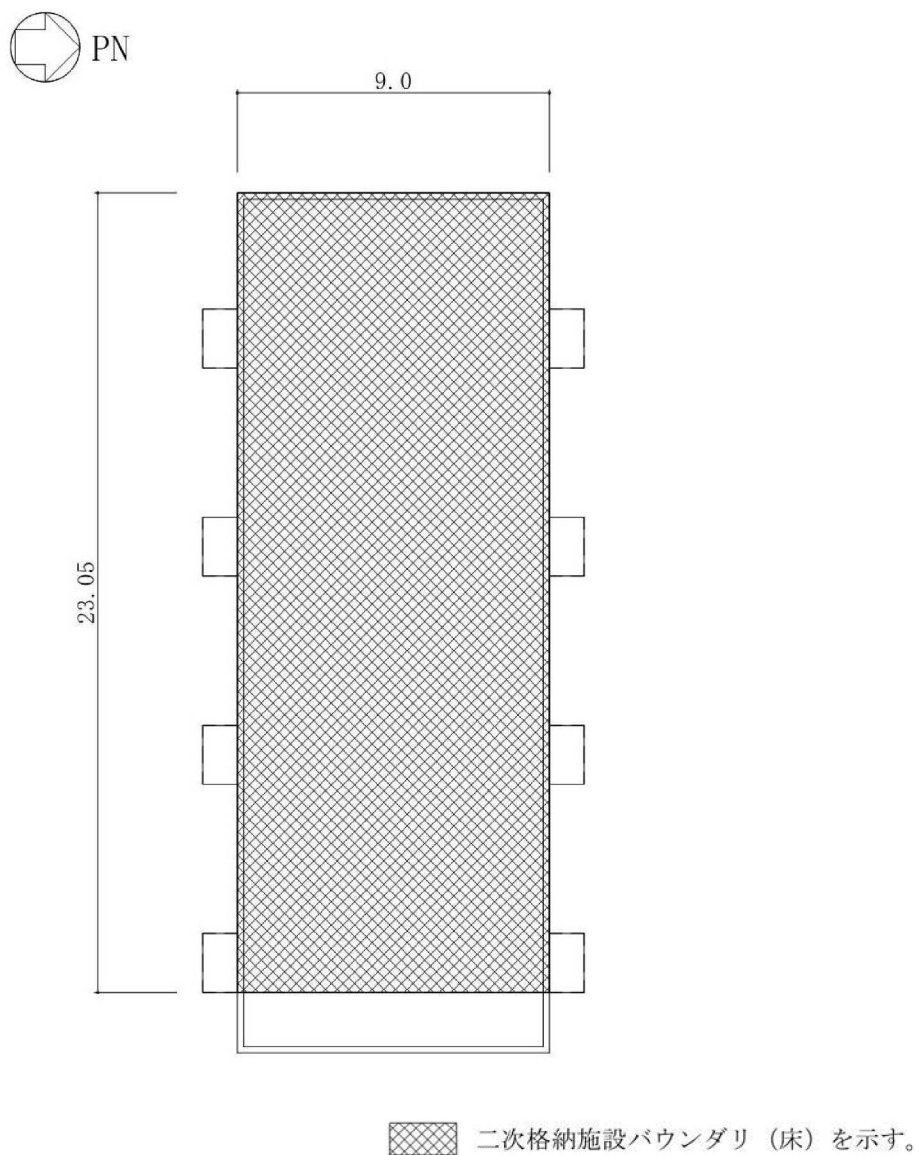
-  二次格納施設バウンダリ（壁）を示す。
-  二次格納施設バウンダリ（床）を示す。

（単位：m）

注：破線は基礎スラブを示す。

図 2-4 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の範囲の平面図

（1F, T. M. S. L. 12.3m）（1/2）



(単位 : m)

図 2-4 原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設) の範囲の平面図
(RF, T. M. S. L. 19.6m) (2/2)

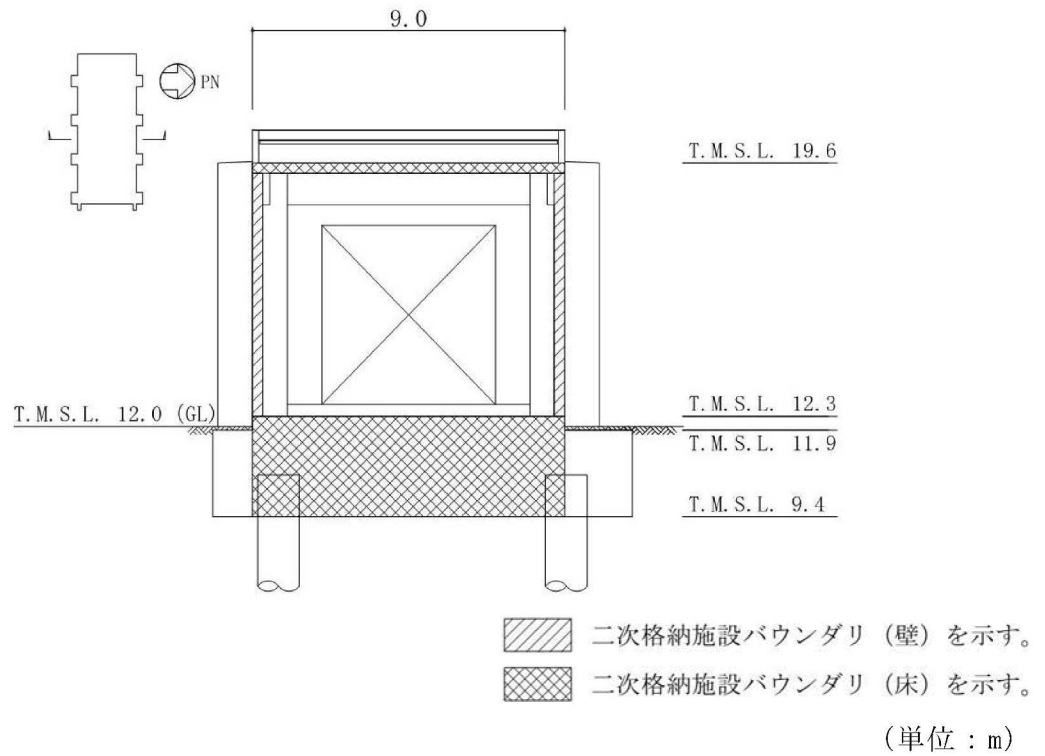


図 2-5 原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設) の範囲の断面図 (1/2)
(NS 方向)

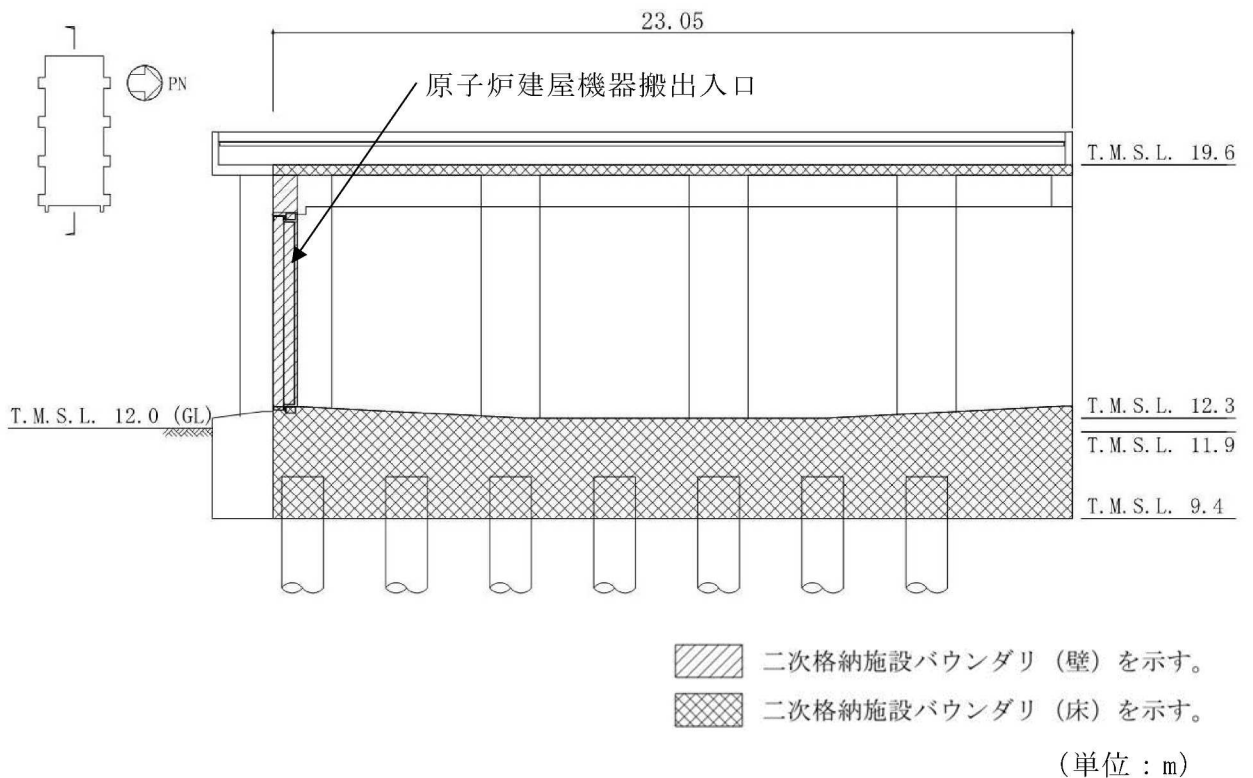
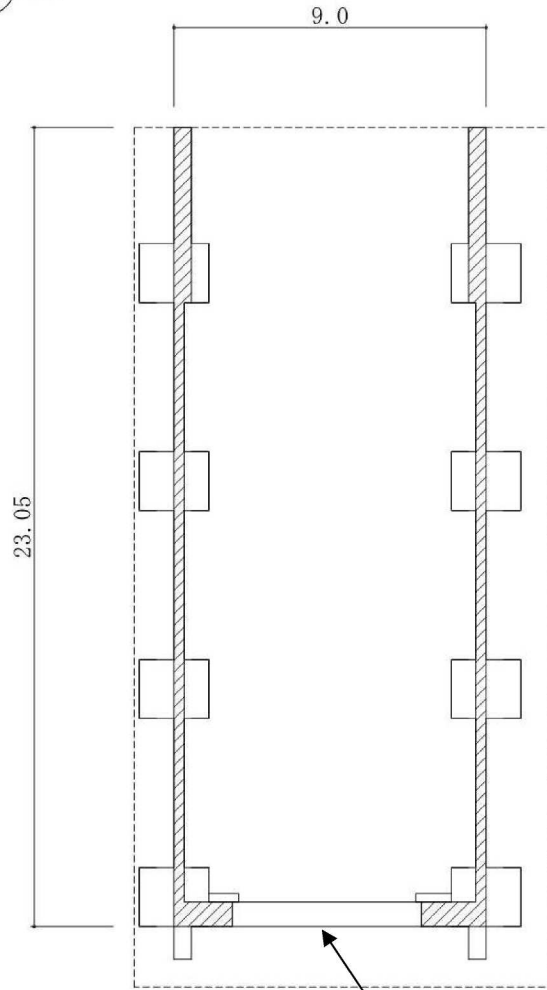



図 2-5 原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設) の範囲の断面図 (2/2)
(EW 方向)



原子炉建屋機器搬出入口

 二次遮蔽壁（壁）を示す。

（単位：m）

注：破線は基礎スラブを示す。

図 2-6 二次遮蔽壁の範囲の平面図（1F, T.M.S.L. 12.3m）（1/2）

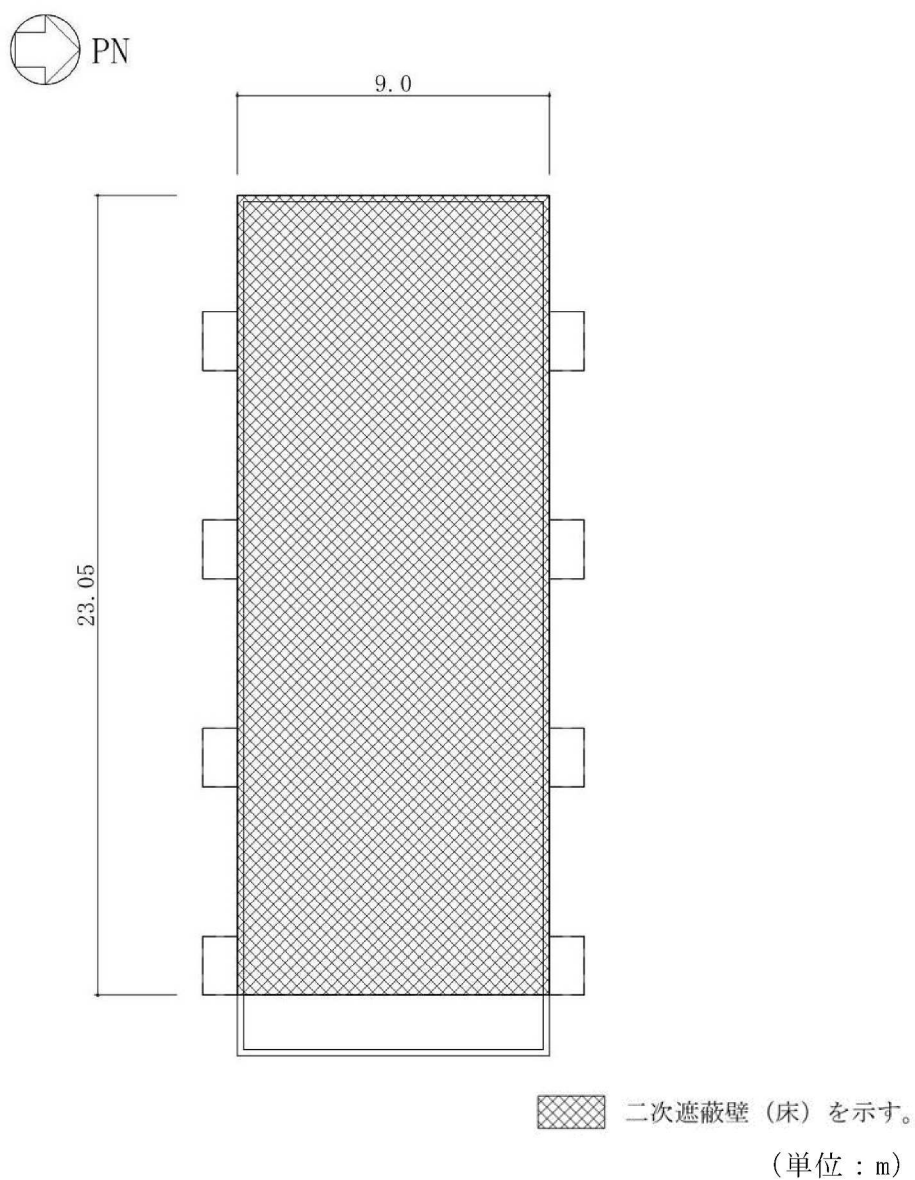
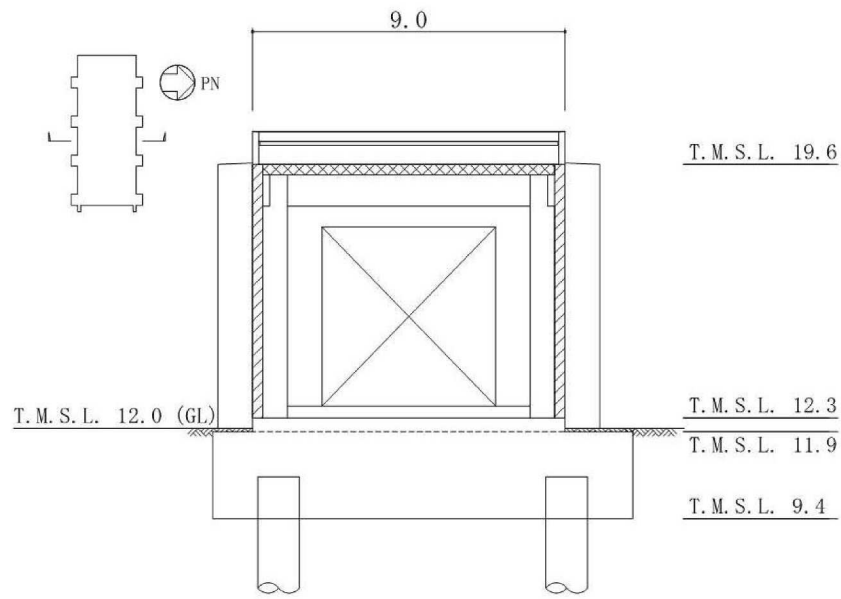
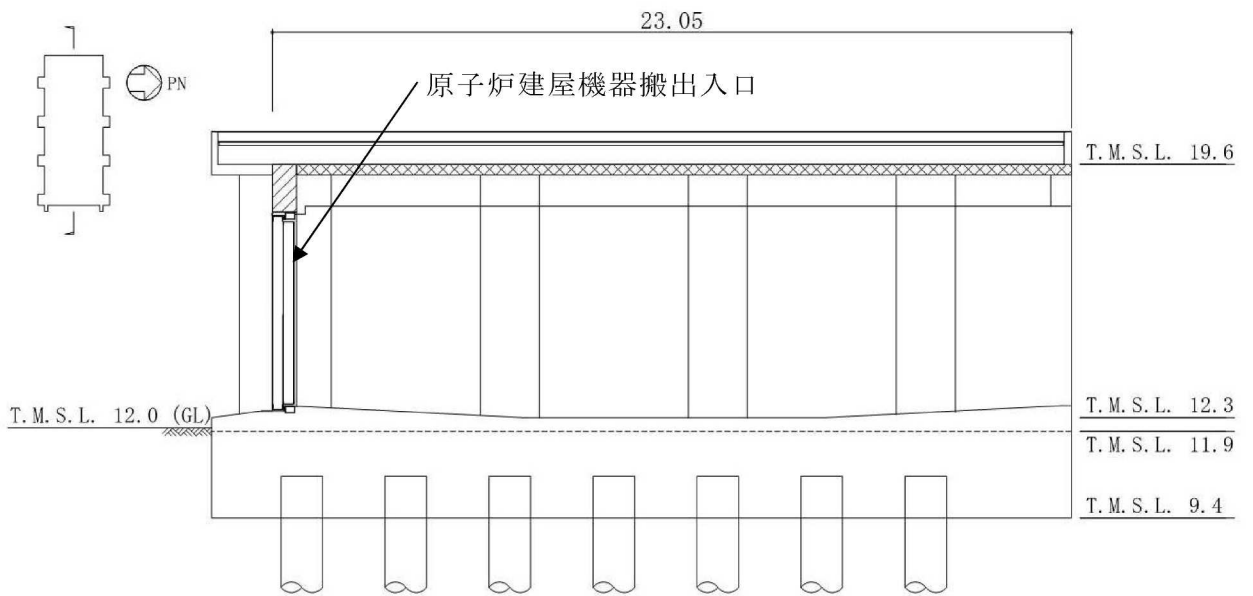


図 2-6 二次遮蔽壁の範囲の平面図 (RF, T. M. S. L. 19.6m) (2/2)



二次遮蔽壁（壁）を示す。
 二次遮蔽壁（床）を示す。
 （単位：m）

図 2-7 二次遮蔽壁の範囲の断面図 (1/2)
(NS 方向)



二次遮蔽壁（壁）を示す。
 二次遮蔽壁（床）を示す。
 （単位：m）

図 2-7 二次遮蔽壁の範囲の断面図 (2/2)
(EW 方向)

2.3 評価方針

大物搬入建屋のうち，原子炉建屋原子炉区域（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，大物搬入建屋を構成する壁及びスラブの一部は，二次遮蔽壁に該当し，その二次遮蔽壁は，設計基準対象施設においては「B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。

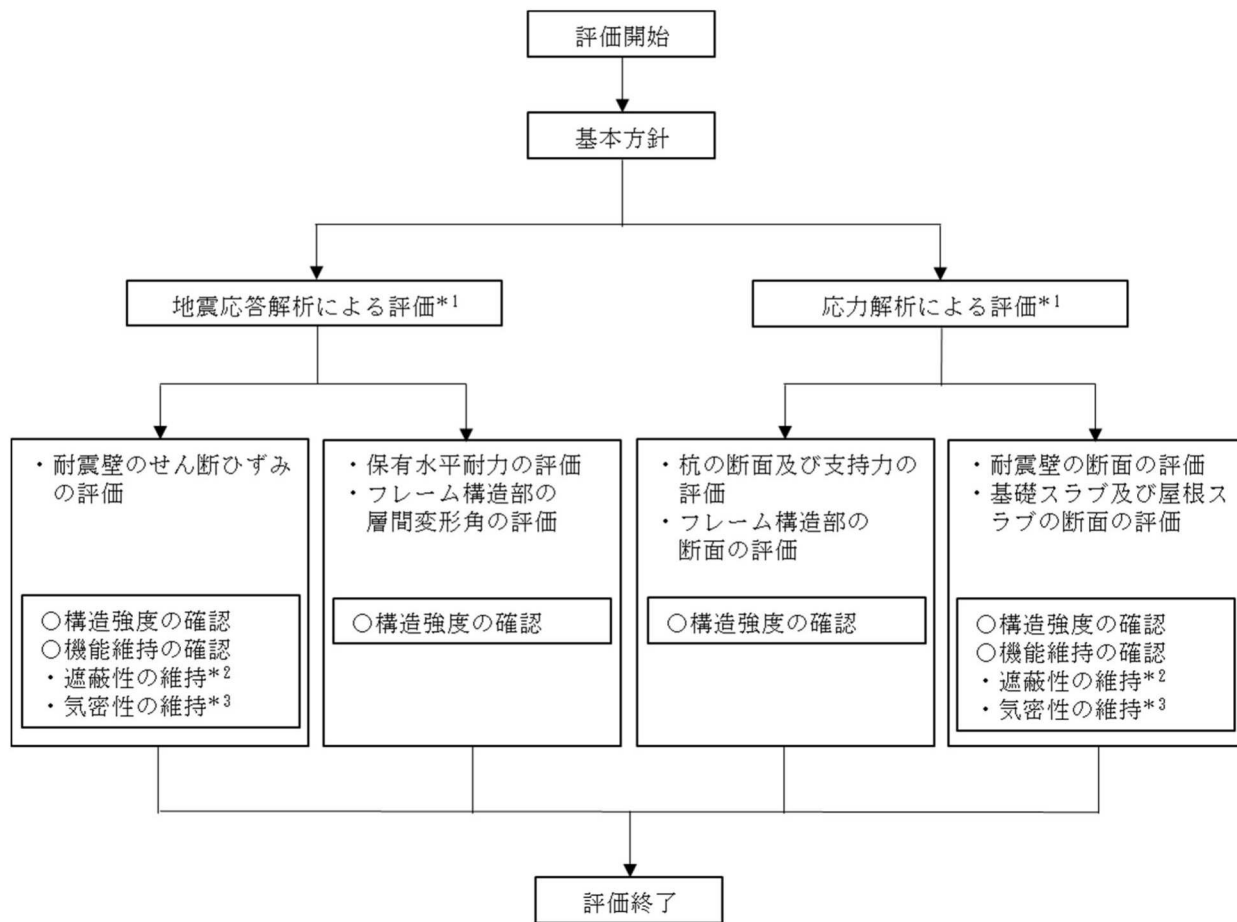
大物搬入建屋の設計基準対象施設としての評価においては，弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。），基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし，それぞれの評価はV-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。大物搬入建屋の評価は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ，フレーム構造部の層間変形角及び保有水平耐力の評価を，応力解析による評価においては断面の評価を行うことで，大物搬入建屋の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に大物搬入建屋の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，大物搬入建屋では，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，圧力，温度等の条件について有意な差異がないことから，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。

大物搬入建屋の評価フローを図 2-8 に示す。

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	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (地盤剛性 + σ)	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	
③ケース 3 (地盤剛性 - σ)	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	



注記*1: V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」

別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

*2: 二次遮蔽壁について実施する。

*3: 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）について実施する。

図 2-8 大物搬入建屋の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

大物搬入建屋の評価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)
- ・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計と保有水平耐力ー ((社) 日本建築学会, 2001 改定)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001 改定)
- ・ 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 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)
- ・ 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

大物搬入建屋の構造強度については、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみ、フレーム構造部の最大層間変形角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、遮蔽性及び気密性の維持については、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」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大物搬入建屋の許容限界は、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	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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			フレーム構造部	最大層間変形角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	層間変形角 1/120* ¹
		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
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁 (原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設))	最大せん断ひずみが気密性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 * ²

注記*1:2015年版建築物の構造関係技術基準解説書(国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)(以下「技術基準解説書」という。)により設定。

*2:事故時においては、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(以下「RCCV」という。)から漏れ出した空気を非常用ガス処理設備で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性についての計算書」別紙2「原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の気密性に関する計算書」に示す。

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	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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			フレーム構造部	最大層間変形角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	層間変形角 1/120* ¹
		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 (二次遮蔽壁)	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	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁 (原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設))	最大せん断ひずみが気密性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 * ²

注記*1:「技術基準解説書」により設定。

*2: 事故時においては、RCCV から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性についての計算書」別紙2「原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の気密性に関する計算書」に示す。

4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

大物搬入建屋の応力解析による評価対象部位は、耐震壁、杭、基礎スラブ、屋根スラブ及びフレーム構造部とし、応力解析により評価を行う。応力解析にあたっては、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」による結果を用いて、荷重の組合せを行う。

弾性設計用の水平地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析により算定される動的地震力又は層せん断係数 3.0C_i より算定される静的地震力より設定する。なお、水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとす。表 4-1 に水平地震荷重を示す。

弾性設計用地震動 S_d による地震力は静的地震力を上回るため、弾性設計用地震動 S_d による地震力により評価を行う。

表 4-1 水平地震荷重（弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	層せん断力 (×10 ² kN)	静的地震力 (×10 ² kN)	層せん断力 (×10 ² kN)	静的地震力 (×10 ² kN)
11.9～19.6	127	56.1	86.4	56.1
9.4～11.9	241	104	198	104

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

弾性設計用の鉛直地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析により算定される動的地震力又は鉛直震度 0.3 より算定される静的地震力より設定する。なお、鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとす。表 4-2 に鉛直地震荷重を示す。

弾性設計用地震動 S_d による地震力は静的地震力を上回るため、弾性設計用地震動 S_d による地震力により評価を行う。

表 4-2 鉛直地震荷重（弾性設計用地震動 S_d による地震力及び静的地震力）

T. M. S. L. (m)	鉛直震度	
	弾性設計用地震動 S _d による鉛直震度	静的地震力 による鉛直震度
19.6	0.43	0.3
11.9	0.43	0.3

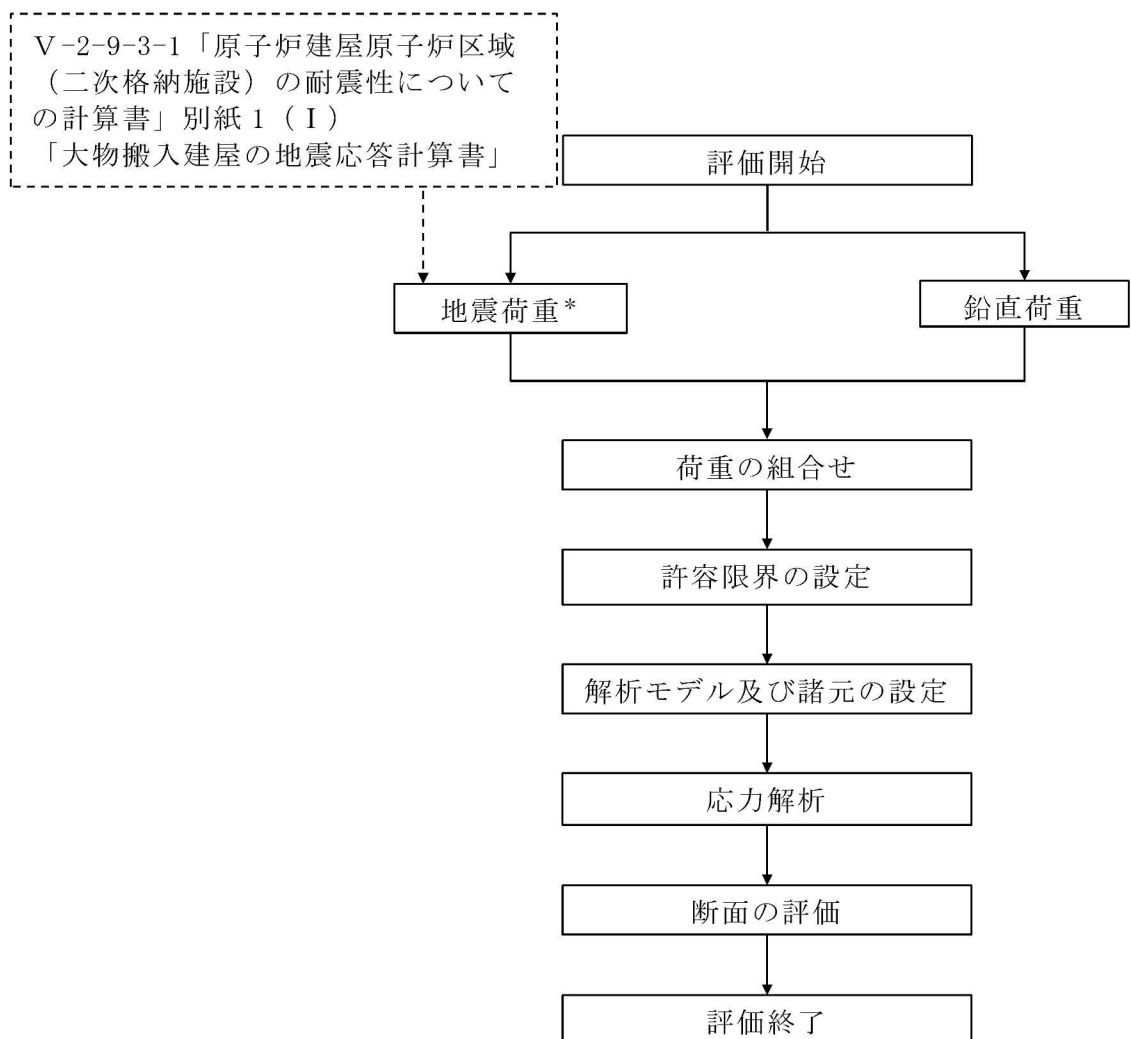
注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

4.1.1 耐震壁

(1) S d 地震時に対する評価

耐震壁の S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が、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）（以下「RC-N 規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

図 4-1 に耐震壁の応力解析による評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 耐震壁の応力解析によるフロー

4.1.2 杭

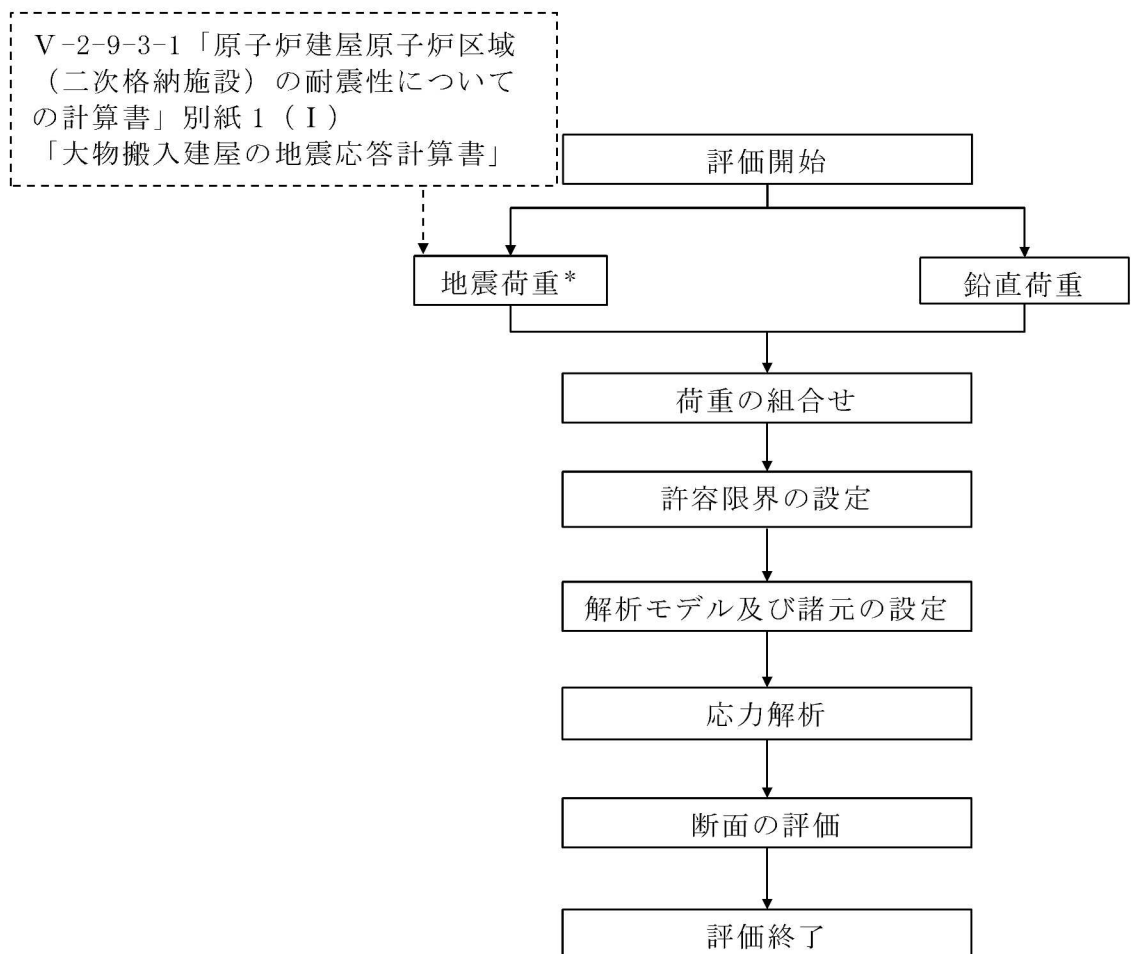
(1) S d 地震時に対する評価

杭の S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会，2001 改定）（以下「基礎指針」という。）及び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―（（社）日本建築学会，2001 改定）（以下「SRC 規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) S s 地震時に対する評価

杭の S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「基礎指針」及び「SRC 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。

図 4-2 に杭の応力解析による評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-2 杭の応力解析によるフロー

4.1.3 基礎スラブ

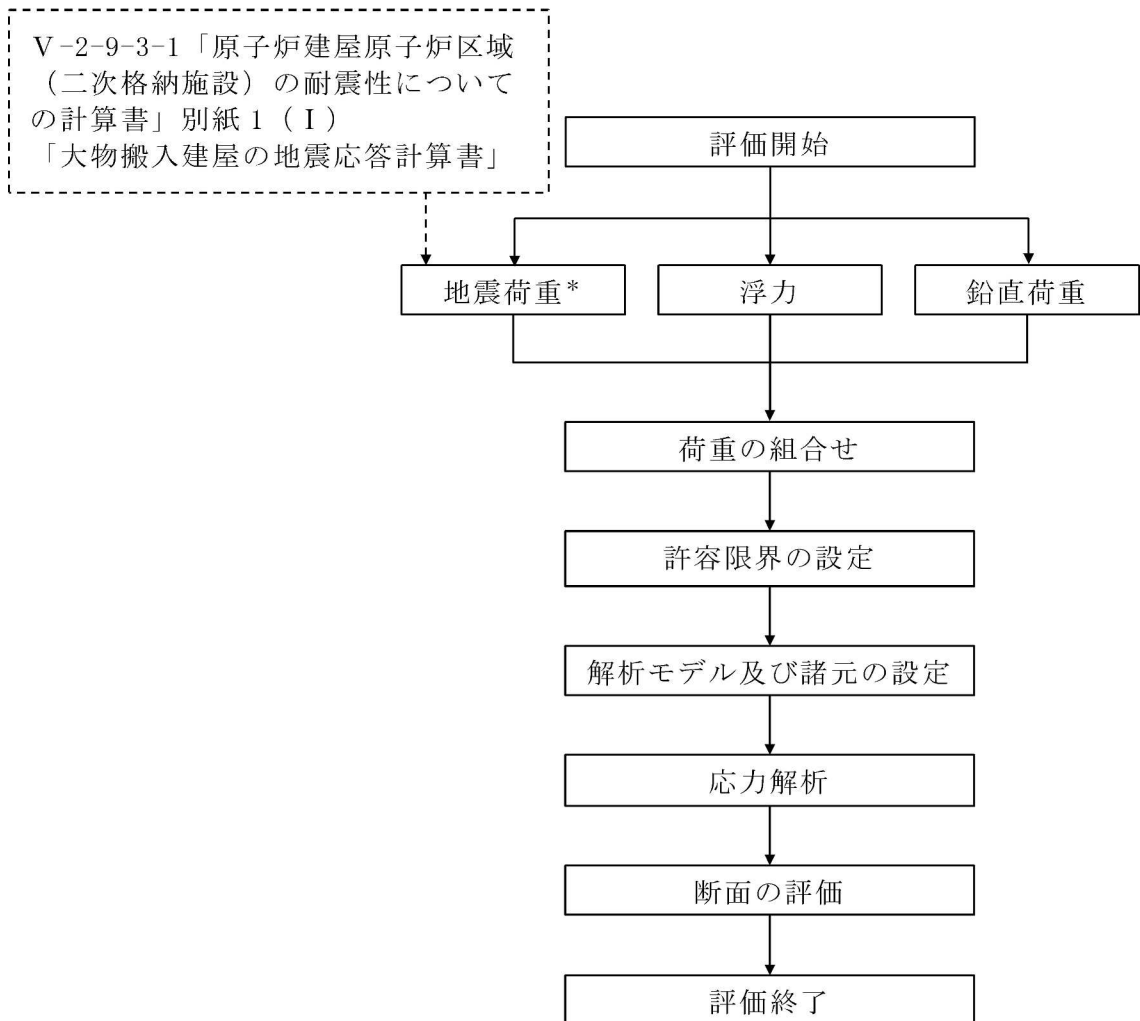
(1) S d 地震時に対する評価

基礎スラブの S d 地震時に対する評価は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析によることとし、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N 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。

(2) S s 地震時に対する評価

基礎スラブの S s 地震時に対する評価は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析によることとし、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「RC-N 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。

図 4-3 に基礎スラブの応力解析による評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-3 基礎スラブの応力解析による評価フロー

4.1.4 屋根スラブ

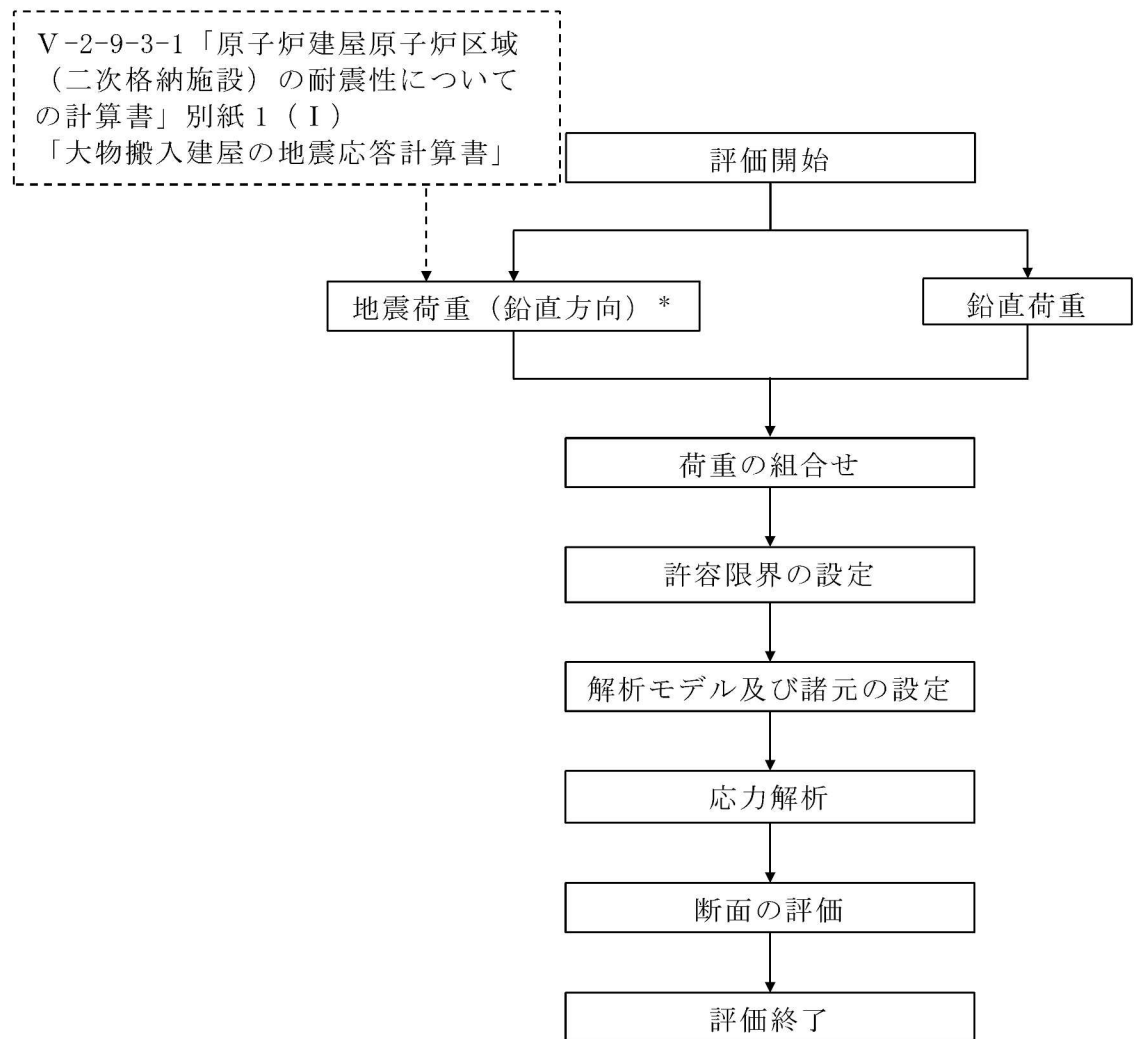
(1) S d 地震時に対する評価

屋根スラブの S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「RC-N 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。

(2) S s 地震時に対する評価

屋根スラブの S s 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「RC-N 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。

図 4-4 に屋根スラブの応力解析による評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

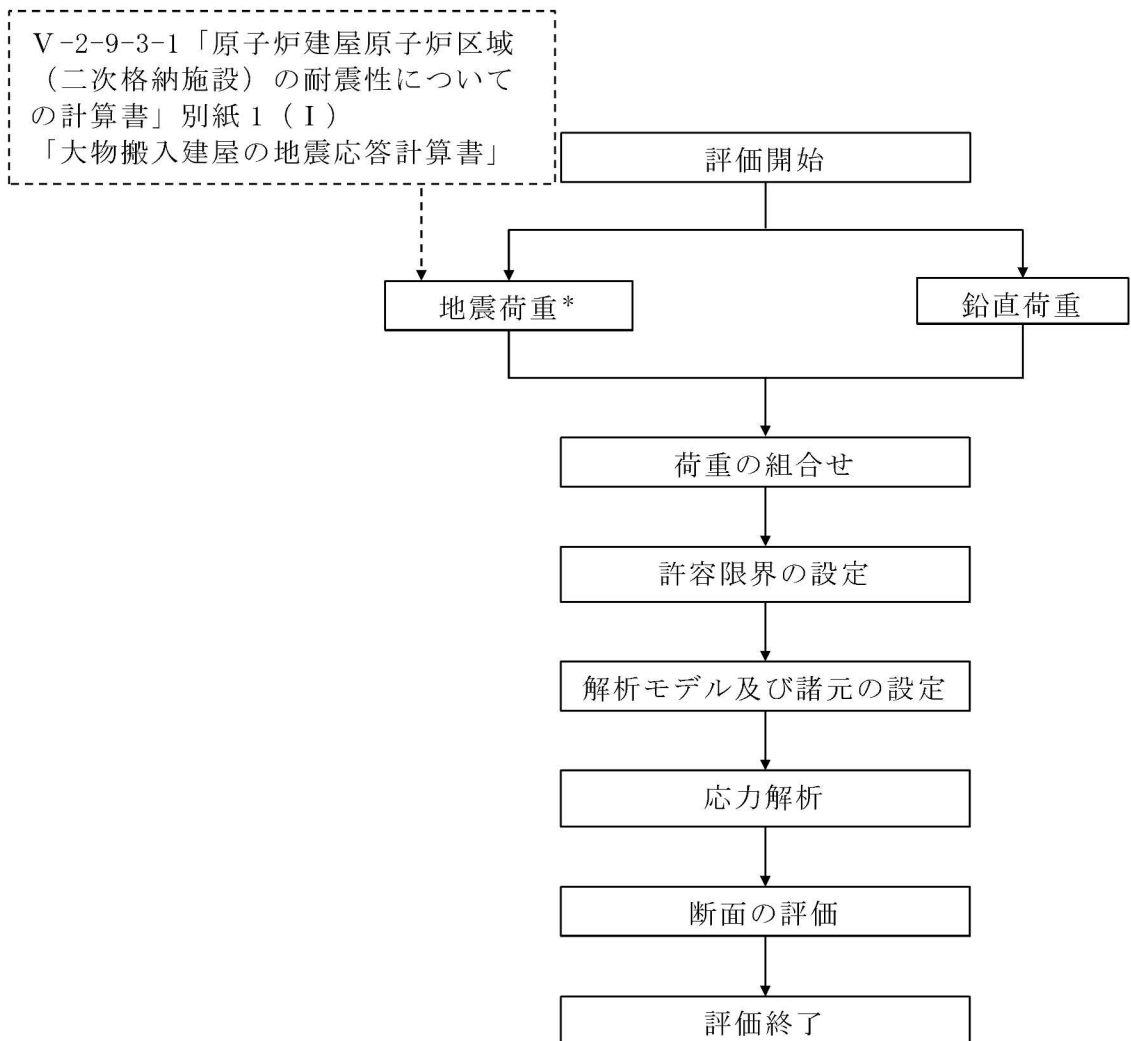
図 4-4 屋根スラブの応力解析による評価フロー

4.1.5 フレーム構造部

(1) S d 地震時に対する評価

フレーム構造部の S d 地震時に対する評価は、材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「RC-N 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。

図 4-5 にフレーム構造部の応力解析による評価フローを示す。



注記* : 材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-5 フレーム構造部の応力解析によるフロー

4.2 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。

4.2.1 耐震壁

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，積載荷重，積雪荷重とする。なお，積雪量は 280cm とし，地震荷重と組み合わせるため，その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

b. 水平地震荷重

水平地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

c. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-3 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	V L + S d

V L : 鉛直荷重

S d : S d 地震荷重 (水平・鉛直)

4.2.2 杭

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，積載荷重，積雪荷重とする。なお，積雪量は 280cm とし，地震荷重と組み合わせるため，その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

b. 水平地震荷重

水平地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

c. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_d 地震時	$V L + S_d$
S_s 地震時	$V L + S_s$

$V L$: 鉛直荷重

S_d : S_d 地震荷重 (水平・鉛直)

S_s : S_s 地震荷重 (水平・鉛直)

4.2.3 基礎スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，積載荷重，積雪荷重とする。なお，積雪量は 280cm とし，地震荷重と組み合わせるため，その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

b. 浮力

浮力は，V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，地下水位面を地表面（T.M.S.L. 12.0m）とし，基礎スラブに上向きの等分布荷重として入力する。ただし，大物搬入建屋は原子炉建屋近傍にあり，地下排水設備による地下水位低下の影響が考えられるため，浮力を無視したケースについても考慮する。

c. 水平地震荷重

水平地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，水平地震荷重は浮力考慮ケース及び浮力無視ケースともに地下水位面を地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定し，材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

d. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，鉛直地震荷重は浮力考慮ケース及び浮力無視ケースともに地下水位面を地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定し，材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _d 地震時 (浮力考慮)	V _L + S _d + B _L
S _d 地震時 (浮力無視)	V _L + S _d
S _s 地震時 (浮力考慮)	V _L + S _s + B _L
S _s 地震時 (浮力無視)	V _L + S _s

V_L : 鉛直荷重

S_d : S_d 地震荷重 (水平・鉛直)

S_s : S_s 地震荷重 (水平・鉛直)

B_L : 浮力

4.2.4 屋根スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，積載荷重，積雪荷重とする。なお，積雪量は 280cm とし，地震荷重と組み合わせるため，その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

b. 地震荷重

鉛直地震荷重は，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-6 に示す。

表 4-6 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_d 地震時	$V L + S_d$
S_s 地震時	$V L + S_s$

$V L$: 鉛直荷重

S_d : S_d 地震荷重 (鉛直)

S_s : S_s 地震荷重 (鉛直)

4.2.5 フレーム構造部

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

鉛直荷重は固定荷重，積載荷重，積雪荷重とする。なお，積雪量は 280cm とし，地震荷重と組み合わせるため，その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

b. 水平地震荷重

水平地震荷重は，弾性設計用地震動 S d による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，水平地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

c. 鉛直地震荷重

鉛直地震荷重は，弾性設計用地震動 S d による地震応答解析により算定される動的地震力より設定する。なお，鉛直地震荷重は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-7 に示す。

表 4-7 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	V L + S d

V L : 鉛直荷重

S d : S d 地震荷重 (水平・鉛直)

4.3 許容限界

応力解析による評価における大物搬入建屋の許容限界は、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 4-8 及び表 4-9 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-10 及び表 4-11 に、鋼管の許容応力度を表 4-12 に示す。杭の支持力は「基礎指針」に基づき算定する。また、杭軸力を考慮した曲げ耐力は「SRC 規準」に基づき算定する。杭の支持力に関する許容限界を表 4-13 に、杭の許容せん断力を表 4-14 に、曲げモーメントと杭軸力相関を図 4-6 に示す。

表 4-8 応力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	弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力	耐震壁	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	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度	
			基礎スラブ			
			屋根スラブ			
			フレーム構造部			
		杭	「基礎指針」及び「SRC 規準」に基づく短期許容応力度			
		基準地震動 S_s			基礎スラブ	「RC-N 規準」に基づく終局耐力*1
					屋根スラブ	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度
					杭	「基礎指針」及び「SRC 規準」に基づく終局耐力
気密性	換気性能とあいまって気密性能を有すること	弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力	屋根スラブ(原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の床)	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*2	
		基準地震動 S_s				

注記*1: 「RC-N 規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍(面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍)した耐力とする。

*2: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-9 応力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	基礎スラブ	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	「RC-N 規準」に基づく終局強度* ¹
			屋根スラブ		「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度
			杭		「基礎指針」及び「SRC 規準」に基づく終局耐力
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	屋根スラブ (二次遮蔽壁の床)	部材に生じる応力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	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度* ²
気密性	換気性能とあいまって気密性能を有すること	基準地震動 S _s	屋根スラブ (原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の床)	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度* ³

注記*1: 「RC-N 規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍(面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度 F は 1.0 倍)した耐力とする。

*2: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*3: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-10 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

部位	設計基準強度 F _c	短期	
		圧縮	せん断
基礎スラブ	30.0	20.0	1.18
屋根スラブ フレーム構造部 耐震壁	33.0	22.0	1.23

表 4-11 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	短期	
	引張及び圧縮	せん断
SD345	345	345
SD390	390	390

表 4-12 鋼管の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	短期	
	引張及び圧縮	せん断
SKK490	325	187

注：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算出する。

表 4-13 杭の支持力に関する許容限界

杭径 φ (mm)	杭の支持力 (×10 ³ kN)		
	短期許容支持力 R _a	鉛直	10.0
1200		R _a	引抜
	鉛直		15.0
	R _u	鉛直	15.0
		引抜	8.49

表 4-14 杭の許容せん断力

杭径 φ (mm)	短期許容せん断力 Q _{su} (×10 ³ kN)
1200	8.27

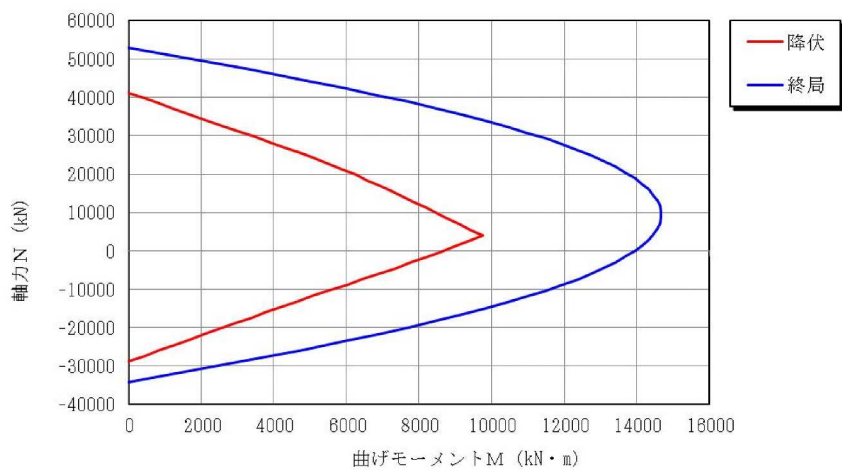


図4-6 杭の曲げモーメントー軸力相関

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 耐震壁

(1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」に基づき評価する。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-15 及び表 4-16 に示す。

表 4-15 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの設計基準強度（ 33.0N/mm^2 ）に基づく

表 4-16 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD345
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

4.4.2 杭

(1) モデル化の基本方針

杭の応力は、V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」別紙 1（I）「大物搬入建屋の地震応答計算書」に基づき評価する。

解析には、解析コード「S o i l P l u s」を用いる。解析コードの検証及び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。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-17～表 4-19 に示す。

表 4-17 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.27 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの設計基準強度（ 24.0 N/mm^2 ）に基づく

表 4-18 鋼管の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SKK490
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

表 4-19 杭の断面性能

外径 D (mm)	板厚* ¹ t (mm)	全断面積* ² A (m ²)	せん断 断面積* ² A _s (m ²)	断面二次 モーメント* ² I (m ⁴)
1200	25	1.838	1.344	0.2236

注：コンクリートは $F_c = 24.0 \text{ N/mm}^2$ とする。

注記*1：上記の板厚に対して腐食代 1mm を考慮する。

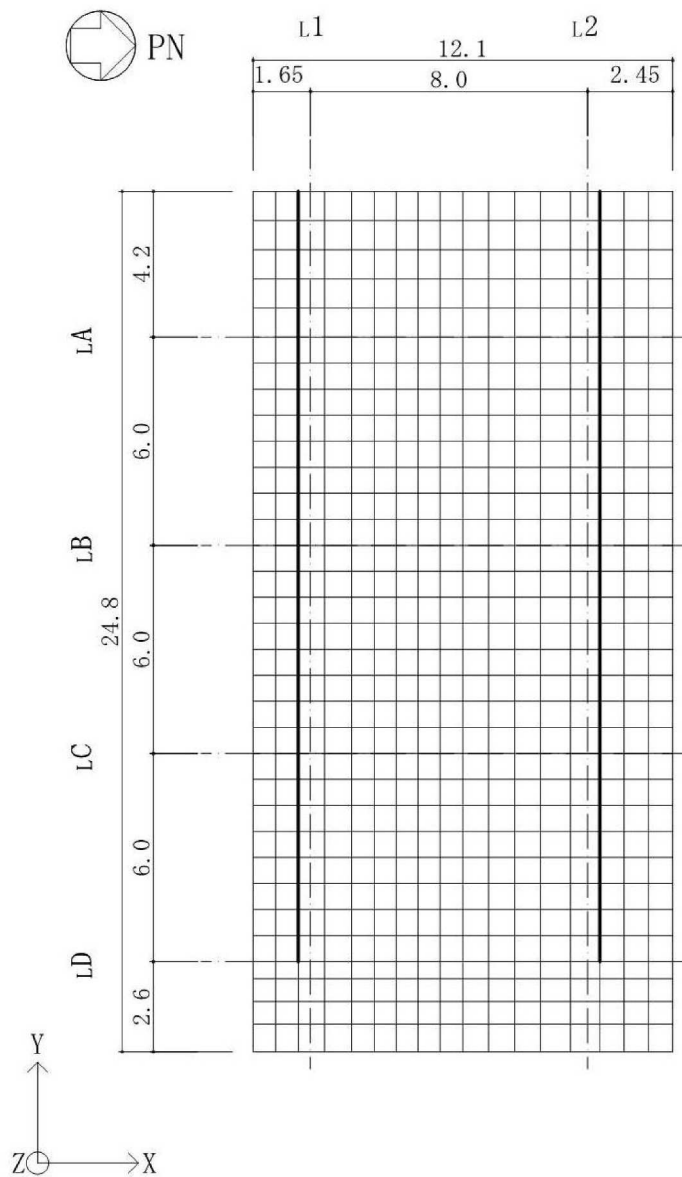
*2：表中の断面諸元はコンクリート換算した値である。

4.4.3 基礎スラブ

(1) モデル化の基本方針

応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び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。

基礎スラブのモデル図を図 4-7 に示す。



注：太線は壁の位置を示す。

(単位：m)

図 4-7 基礎スラブの解析モデル図（平面図）（1/2）

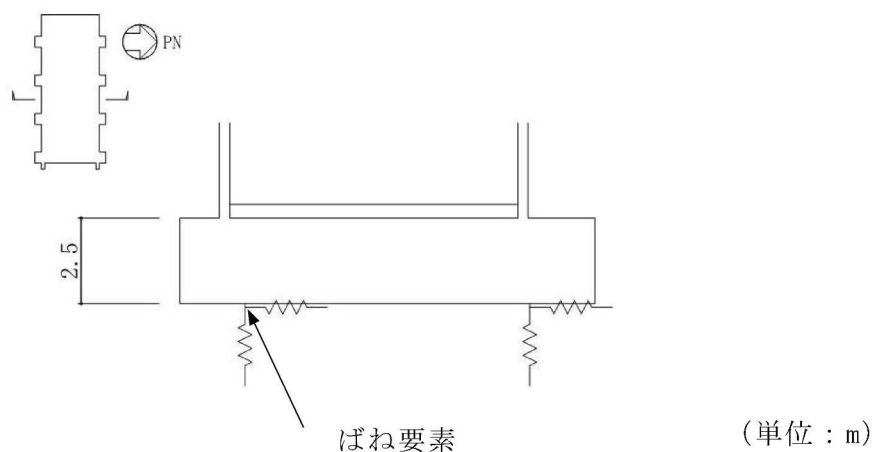


図 4-7 基礎スラブの解析モデル図（断面図）（2/2）

(2) 使用要素

解析モデルに使用する FEM 要素は、基礎スラブについてはシェル要素とする。また、基礎スラブより立ち上がっている耐震壁については、はり要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は 612、要素数は 561 である。

(3) 境界条件

解析モデルの基礎底面には、水平方向及び鉛直方向及びの地盤ばねを設ける。地盤ばねは地震応答解析モデルにおける地盤部分の擬似 3 次元 FEM モデルを用いて加振解析を行い、算定した複素インピーダンスの実部から設定し、各節点に分散化する。

なお、水平方向は NS 方向及び EW 方向各々の水平ばね定数、鉛直方向は水平方向地震荷重については NS 方向及び EW 方向各々の回転ばね定数、そのほかの荷重については鉛直ばね定数に基づきばね剛性を設定する。

(4) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-20 及び表 4-21 に示す。

表 4-20 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.44 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの設計基準強度（ 30.0N/mm^2 ）に基づく

表 4-21 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD345
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

4.4.4 屋根スラブ

(1) モデル化の基本方針

屋根スラブの応力は、1 方向スラブとしてモデル化し、両端固定ばりとして評価する。

4.4.5 フレーム構造部

(1) モデル化の基本方針

フレーム構造部の応力は、柱及びはりを線材、耐震壁を壁エレメント置換し、柱及びはりの交差部に柱、はり及び壁の取り付けを考慮した剛域を設けた3次元フレームモデルを用いて評価する。また、柱及びはりの曲げ剛性には垂壁及び袖壁による剛度増大率を考慮する。

解析には、解析コード「Super Build/SS7」を用いる。解析コードの検証及び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。

フレーム構造部のモデル図を図4-8に示す。

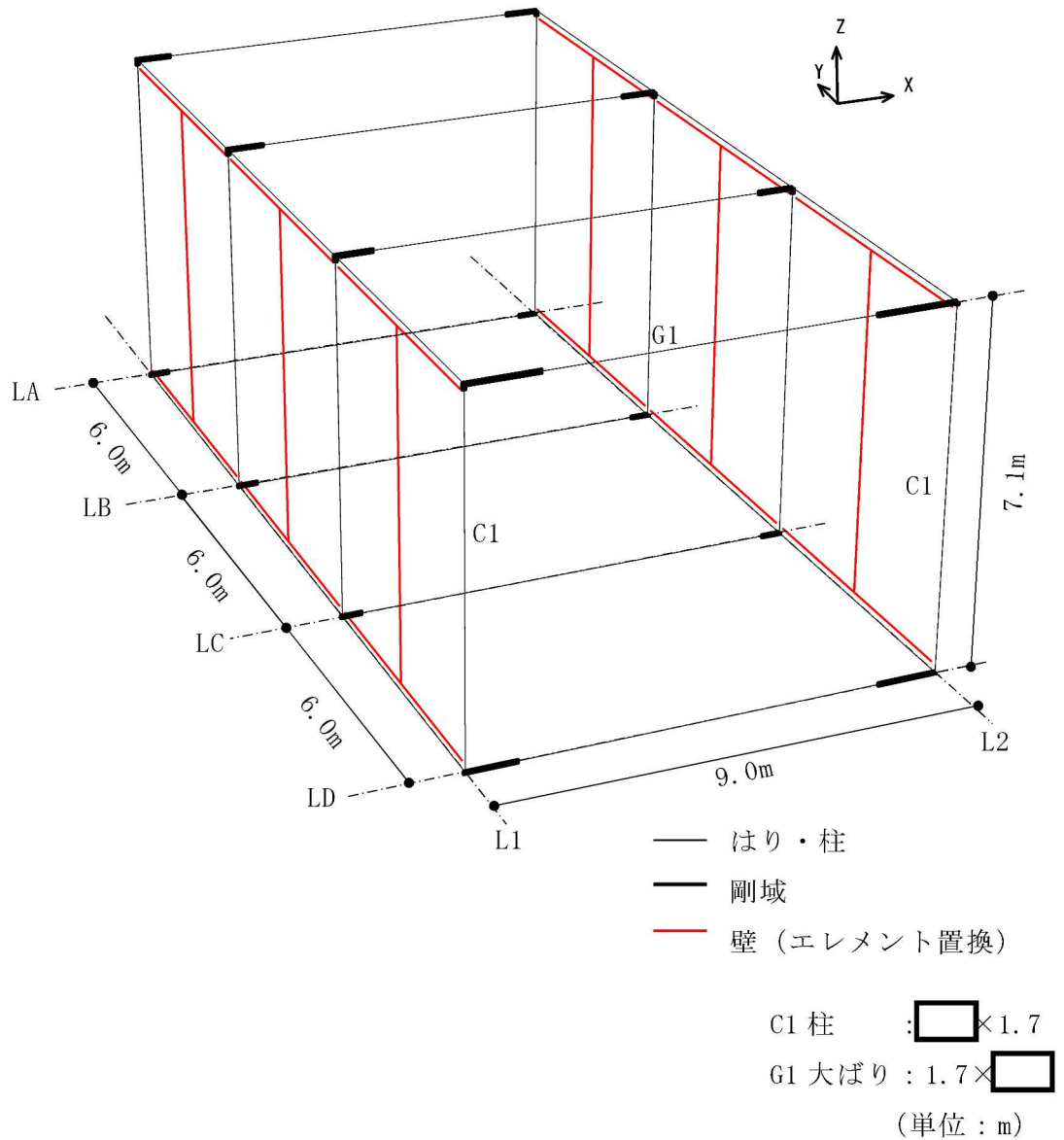


図 4-8 フレーム構造部の解析モデル図

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-22 及び表 4-23 に示す。

表 4-22 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数	$2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.2

注：剛性はコンクリートの設計基準強度 (33.0 N/mm^2) に基づく

表 4-23 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD345 SD390
ヤング係数	$2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

(1) 耐震壁

a. 荷重ケース

S d 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

V L : 鉛直荷重

S d_{EW} : S d 地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)

S d_{WE} : S d 地震荷重 (W→E 入力, EW 方向)

K v_d : 鉛直震度 (S d 地震時)

表 4-24 及び表 4-25 に S d 地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表 4-24 水平地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	方向	層せん断力 (×10 ² kN)
11.9~19.6	EW	86.4

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す

表 4-25 鉛直地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.43

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-26 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1-2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-26 荷重の組合せケース (S d 地震時)

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd}) VL + S d_{EW}$
1-2		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd}) VL + S d_{EW}$
1-3		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd}) VL + S d_{WE}$
1-4		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd}) VL + S d_{WE}$

(2) 杭

大物搬入建屋杭について、 S_d 地震時及び S_s 地震時に対して地震応答解析モデルを用いた弾塑性応力解析を実施し、杭に生じる応力に対して評価する。

a. 荷重ケース

S_d 地震時及び S_s 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- V_L : 鉛直荷重
- $S_{d_{SN}}$: S_d 地震荷重 (S→N入力, NS方向)
- $S_{d_{NS}}$: S_d 地震荷重 (N→S入力, NS方向)
- $S_{d_{EW}}$: S_d 地震荷重 (E→W入力, EW方向)
- $S_{d_{WE}}$: S_d 地震荷重 (W→E入力, EW方向)
- $S_{s_{SN}}$: S_s 地震荷重 (S→N入力, NS方向)
- $S_{s_{NS}}$: S_s 地震荷重 (N→S入力, NS方向)
- $S_{s_{EW}}$: S_s 地震荷重 (E→W入力, EW方向)
- $S_{s_{WE}}$: S_s 地震荷重 (W→E入力, EW方向)
- K_{v_d} : 鉛直震度 (S_d 地震時)
- K_{v_s} : 鉛直震度 (S_s 地震時)

表 4-27～表 4-30 に S_d 地震時及び S_s 地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表 4-27 水平地震荷重 (S_d 地震時)

T. M. S. L. (m)	NS 方向 層せん断力 ($\times 10^2$ kN)	EW 方向 層せん断力 ($\times 10^2$ kN)
11.9～19.6	127	86.4

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-28 水平地震荷重 (S_s 地震時)

T. M. S. L. (m)	NS 方向 層せん断力 ($\times 10^2$ kN)	EW 方向 層せん断力 ($\times 10^2$ kN)
11.9～19.6	322	170

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-29 鉛直地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.43

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-30 鉛直地震荷重 (S s 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.89

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-31 及び表 4-32 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1-2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-31 荷重の組合せケース (S_d 地震時)

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_d})VL + S d_{sN}$
1-2		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_d})VL + S d_{sN}$
1-3		下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_d})VL + S d_{nS}$
1-4		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_d})VL + S d_{nS}$
1-5	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_d})VL + 0.4S d_{sN}$
1-6		上向き	$(1.0 - K_{v_d})VL + 0.4S d_{sN}$
1-7		下向き	$(1.0 + K_{v_d})VL + 0.4S d_{nS}$
1-8		上向き	$(1.0 - K_{v_d})VL + 0.4S d_{nS}$

表 4-32 荷重の組合せケース (S_s 地震時)

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
2-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_s})VL + S s_{sN}$
2-2		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_s})VL + S s_{sN}$
2-3		下向き	$(1.0 + 0.4K_{v_s})VL + S s_{nS}$
2-4		上向き	$(1.0 - 0.4K_{v_s})VL + S s_{nS}$
2-5	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_s})VL + 0.4S s_{sN}$
2-6		上向き	$(1.0 - K_{v_s})VL + 0.4S s_{sN}$
2-7		下向き	$(1.0 + K_{v_s})VL + 0.4S s_{nS}$
2-8		上向き	$(1.0 - K_{v_s})VL + 0.4S s_{nS}$

(3) 基礎スラブ

大物搬入建屋基礎スラブについて、S_d地震時及びS_s地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

a. 荷重ケース

S_d地震時及びS_s地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- VL : 鉛直荷重
- S_d_{SN} : S_d地震荷重 (S→N入力, NS方向)
- S_d_{NS} : S_d地震荷重 (N→S入力, NS方向)
- S_d_{EW} : S_d地震荷重 (E→W入力, EW方向)
- S_d_{WE} : S_d地震荷重 (W→E入力, EW方向)
- S_s_{SN} : S_s地震荷重 (S→N入力, NS方向)
- S_s_{NS} : S_s地震荷重 (N→S入力, NS方向)
- S_s_{EW} : S_s地震荷重 (E→W入力, EW方向)
- S_s_{WE} : S_s地震荷重 (W→E入力, EW方向)
- K_v_d : 鉛直震度 (S_d地震時)
- K_v_s : 鉛直震度 (S_s地震時)
- BL : 浮力

表4-33～表4-36にS_d地震時及びS_s地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表4-33 水平地震荷重 (S_d地震時)

T. M. S. L. (m)	NS方向層せん断力 (×10 ² kN)	EW方向層せん断力 (×10 ² kN)
11.9～19.6	133	91
9.4～11.9	253	208

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表4-34 水平地震荷重 (S_s地震時)

T. M. S. L. (m)	NS方向層せん断力 (×10 ² kN)	EW方向層せん断力 (×10 ² kN)
11.9～19.6	338	179
9.4～11.9	516	416

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-35 鉛直地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
11.9	0.43

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-36 鉛直地震荷重 (S s 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
11.9	0.88

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-37 及び表 4-38 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1-2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-37 荷重の組合せケース (S d 地震時)

ケース No.	水平 : 鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{SN} + BL$
1-2		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{SN} + BL$
1-3		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{NS} + BL$
1-4		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{NS} + BL$
1-5		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{EW} + BL$
1-6		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{EW} + BL$
1-7		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{WE} + BL$
1-8		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{WE} + BL$
1-9	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{SN} + BL$
1-10		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{SN} + BL$
1-11		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{NS} + BL$
1-12		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{NS} + BL$
1-13		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{EW} + BL$
1-14		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{EW} + BL$
1-15		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{WE} + BL$
1-16		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{WE} + BL$
1-17	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{SN}$
1-18		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{SN}$
1-19		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{NS}$
1-20		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{NS}$
1-21		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{EW}$
1-22		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{EW}$
1-23		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{WE}$
1-24		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{WE}$
1-25	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{SN}$
1-26		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{SN}$
1-27		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{NS}$
1-28		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{NS}$
1-29		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{EW}$
1-30		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{EW}$
1-31		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{WE}$
1-32		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{WE}$

表 4-38 荷重の組合せケース (S_s地震時)

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
2-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{SN} + B L$
2-2		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{SN} + B L$
2-3		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{NS} + B L$
2-4		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{NS} + B L$
2-5		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{EW} + B L$
2-6		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{EW} + B L$
2-7		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{WE} + B L$
2-8		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{WE} + B L$
2-9	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{SN} + B L$
2-10		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{SN} + B L$
2-11		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{NS} + B L$
2-12		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{NS} + B L$
2-13		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{EW} + B L$
2-14		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{EW} + B L$
2-15		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{WE} + B L$
2-16		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{WE} + B L$
2-17	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{SN}$
2-18		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{SN}$
2-19		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{NS}$
2-20		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{NS}$
2-21		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{EW}$
2-22		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{EW}$
2-23		下向き	$(1.0+0.4K v_s) V L + S s_{WE}$
2-24		上向き	$(1.0-0.4K v_s) V L + S s_{WE}$
2-25	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{SN}$
2-26		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{SN}$
2-27		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{NS}$
2-28		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{NS}$
2-29		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{EW}$
2-30		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{EW}$
2-31		下向き	$(1.0+K v_s) V L + 0.4 S s_{WE}$
2-32		上向き	$(1.0-K v_s) V L + 0.4 S s_{WE}$

c. 荷重の入力方法

(a) 地震荷重

地震荷重は，上部構造物の基礎スラブへの地震時反力を考慮する。基礎スラブ底面に生じる反力が，弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果と等価になるように設定する。基礎スラブ内に作用する荷重は， S_d 地震時及び S_s 地震時の上部構造による入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差を FEM モデルの各要素の大きさに応じて分配し，節点荷重として入力する。

(b) 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については，FEM モデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

(4) 屋根スラブ

a. 荷重ケース

S_d地震時及びS_s地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。S_d地震時及びS_s地震時の鉛直地震荷重を表4-39及び表4-40示す。

V_L : 鉛直荷重

K_{v_d} : 鉛直震度 (S_d地震時)

K_{v_s} : 鉛直震度 (S_s地震時)

表4-39 鉛直地震荷重 (S_d地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.43

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表4-40 鉛直地震荷重 (S_s地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.89

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表4-41及び表4-42に示す。

表4-41 荷重の組合せケース (S_d地震時)

ケース No.	鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_d}) V_L$
1-2		上向き	$(1.0 - K_{v_d}) V_L$

表4-42 荷重の組合せケース (S_s地震時)

ケース No.	鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
2-1	1.0	下向き	$(1.0 + K_{v_s}) V_L$
2-2		上向き	$(1.0 - K_{v_s}) V_L$

c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばりの曲げモーメント及びせん断力は下式より求める。

(端部曲げモーメント)

$$M = \frac{1}{12} w \cdot \ell^2$$

ここで,

w : 等分布荷重(N/m)

ℓ : スパン(m)

(端部せん断力)

$$Q = \frac{1}{2} w \cdot \ell$$

ここで,

w : 等分布荷重(N/m)

ℓ : スパン(m)

(5) フレーム構造部

a. 荷重ケース

S d 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。単独荷重の記号を以下に示す。

- V L : 鉛直荷重
- S d_{SN} : S d 地震荷重 (S→N 入力, NS 方向)
- S d_{NS} : S d 地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)
- K v_d : 鉛直震度 (S d 地震時)

表 4-43 及び表 4-44 に S d 地震時の水平地震荷重及び鉛直地震荷重を示す。

表 4-43 水平地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	NS 方向 層せん断力 (×10 ² kN)
11.9~19.6	127

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表 4-44 鉛直地震荷重 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
19.6	0.43

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-45 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1-2008 ((社) 日本電気協会) 」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-45 荷重の組合せケース (S d 地震時)

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1-1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{SN}$
1-2		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{SN}$
1-3		下向き	$(1.0 + 0.4K_{vd})VL + S d_{NS}$
1-4		上向き	$(1.0 - 0.4K_{vd})VL + S d_{NS}$
1-5	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{SN}$
1-6		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{SN}$
1-7		下向き	$(1.0 + K_{vd})VL + 0.4S d_{NS}$
1-8		上向き	$(1.0 - K_{vd})VL + 0.4S d_{NS}$

4.5.2 断面の評価方法

(1) 耐震壁

S_d地震時について、せん断力による応力は全て鉄筋で負担し、また、曲げモーメントにより生じる引張応力についても、鉄筋で負担することとし、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えていないことを確認する。

(2) 杭

S_d地震時及びS_s地震時の軸力（鉛直支持力及び引抜き力）、曲げモーメント及びせん断力が許容限界を超えないことを確認する。

(3) 基礎スラブ

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力については、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量(A)は、「RC-N規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の軸力及び曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量(A_t)を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量(A_s)により、下式によって算定する。なお、S_s地震時に対しては、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$A = A_t + A_s / 2$$

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w \cdot f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表4-10に示す値 (N/mm²)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸力が

2N/mm²を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-11 に示す値 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

(4) 屋根スラブ

屋根スラブの評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-11 に示す値 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

(5) フレーム構造部

フレーム構造部の評価は以下の方法で行う。

フレーム構造部については、S d 地震時について、発生応力に対する必要鉄筋量が設計配筋量を超えていないことを確認する。

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

5.1.1 S s 地震時

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時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。

材料物性の不確かさを考慮した S s 地震時の最大せん断ひずみは、 0.0438×10^{-3} (部材番号 1, EW 方向, Ss-1, ケース 3) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。耐震壁の最大せん断ひずみをせん断スケルトン曲線にプロットした図を図 5-1 に示す。

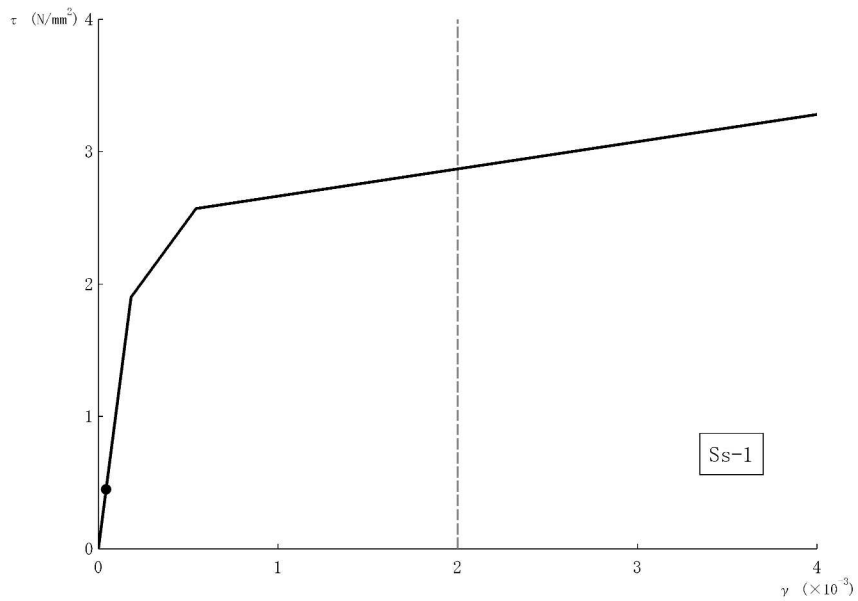


図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大せん断ひずみ
(EW 方向, Ss-1, ケース 3)

5.2 フレーム構造部

5.2.1 S s 地震時

フレーム構造部について、S s 地震時の最大層間変形角が許容限界(1/120)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 S s 地震時の最大層間変形角は、1/146 (NS 方向, Ss-1, ケース 3) であり、許容限界 (1/120) を超えないことを確認した。

5.3 保有水平耐力

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5-1及び表5-2に示す。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7.84である。

表 5-1 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)

T. M. S. L. (m)	Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u / Q_{un}
11.9~19.6	4.79	37.6	7.84

表 5-2 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)

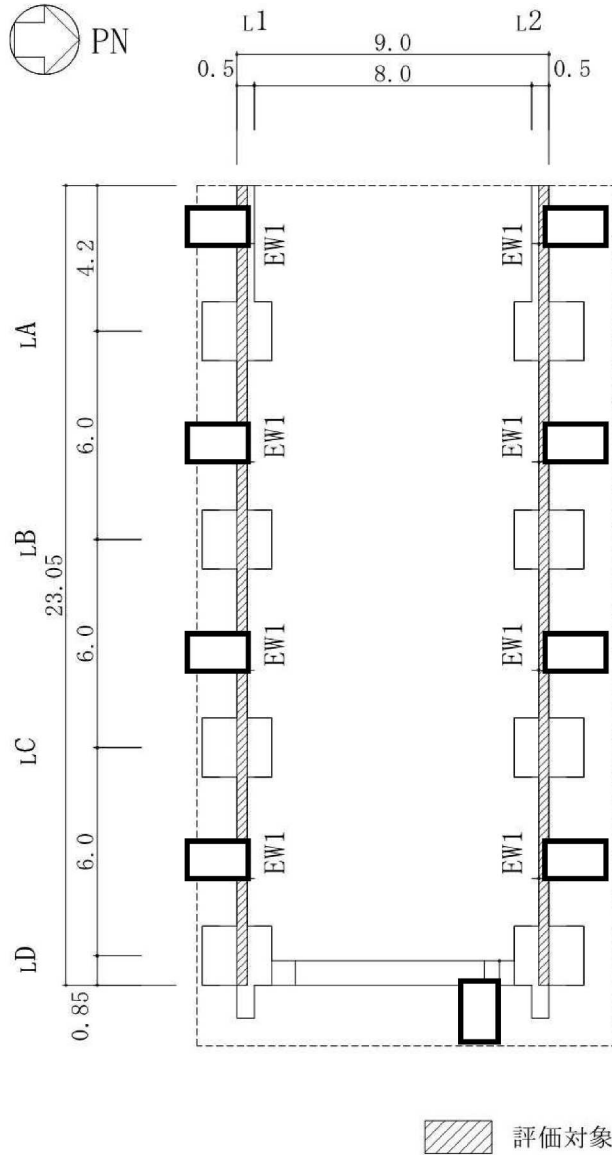
T. M. S. L. (m)	Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u / Q_{un}
11.9~19.6	5.14	65.2	12.6

6. 応力解析による評価結果

6.1 耐震壁の評価結果

評価対象とする耐震壁を示したものを図 6-1 に示す。また、「4.5.2 断面評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 6-1 に示す。

S d 地震時において、必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。



(単位 : m)

図 6-1 評価対象とする耐震壁 (1F, T. M. S. L. 12.3m)

表 6-1 耐震壁の評価結果 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)		11.9~19.6	
壁位置 (通り)		l1	l2
壁記号		EW1	EW1
断面積(m ²)		6.915	6.915
壁厚(mm)		<input type="text"/>	<input type="text"/>
配筋	縦筋配筋	D19@200 ダブル	D19@200 ダブル
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.96	0.96
	横筋配筋	D19@200 ダブル	D19@200 ダブル
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.96	0.96
せん断に対する検討	せん断力 Q (×10 ³ kN)	4.32	4.32
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	0.62	0.62
	必要鉄筋比 P _Q (%)	0.18	0.18
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (×10 ⁵ kN・m)	0.41	0.41
	軸力 N (×10 ³ kN)	2.52	2.52
		3.57	3.57
	必要鉄筋比 P _M (%)	0.04	0.04
(P _Q +P _M)/P _g		0.23	0.23

6.2 杭の評価結果

杭について、S_d地震時及びS_s地震時の軸力（鉛直支持力及び引抜き力）、曲げモーメント及びせん断力が許容限界を超えないことを確認する。

S_d地震時及びS_s地震時に発生する最大杭応力に対する評価結果を表6-2及び表6-3に示す。なお、押し込み力及び引抜き力については、S_d地震時及びS_s地震時に杭頭に発生する最大応答軸力を用いる。

S_d地震時及びS_s地震時において、発生する応力値が許容限界を超えないことを確認した。

表6-2 最大杭応力に対する評価結果（S_d地震時）

		最大応力	許容限界	検定値
鉛直支持力 ($\times 10^3$ kN)	押し込み力	4.66	10.0	0.47
	引抜き力	1.24	5.66	0.22
曲げモーメント ($\times 10^3$ kN・m)		1.25	8.32	0.16
せん断力 ($\times 10^3$ kN)		2.16	8.27	0.27

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

表6-3 最大杭応力に対する評価結果（S_s地震時）

		最大応力	許容限界	検定値
鉛直支持力 ($\times 10^3$ kN)	押し込み力	8.09	15.0	0.54
	引抜き力	4.94	8.49	0.59
曲げモーメント ($\times 10^3$ kN・m)		2.59	13.4	0.20
せん断力 ($\times 10^3$ kN)		4.39	8.27	0.54

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した包絡値を示す。

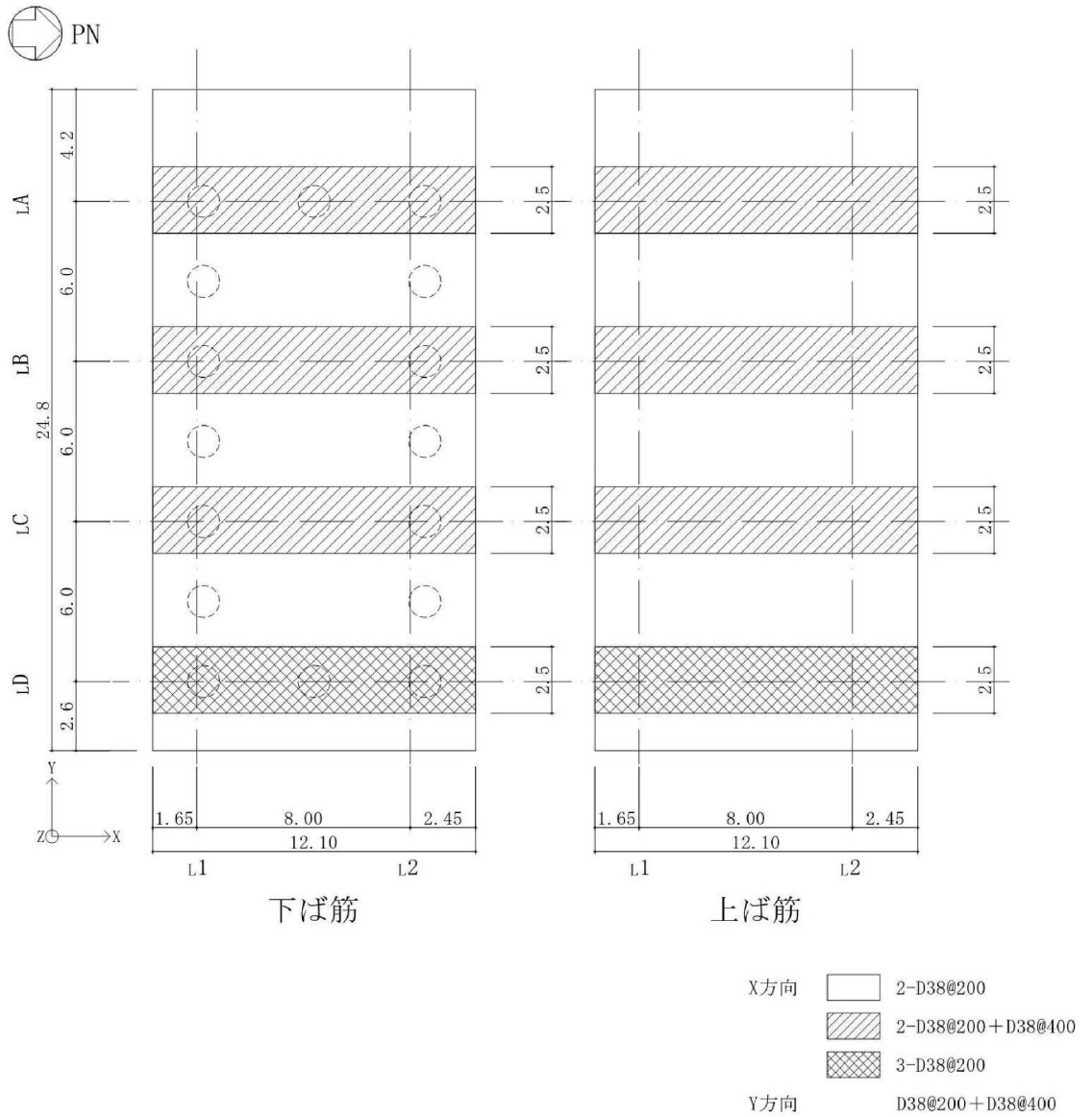
6.3 基礎スラブの評価結果

大物搬入建屋の基礎スラブの配筋図を図 6-2 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下のとおり選定する。

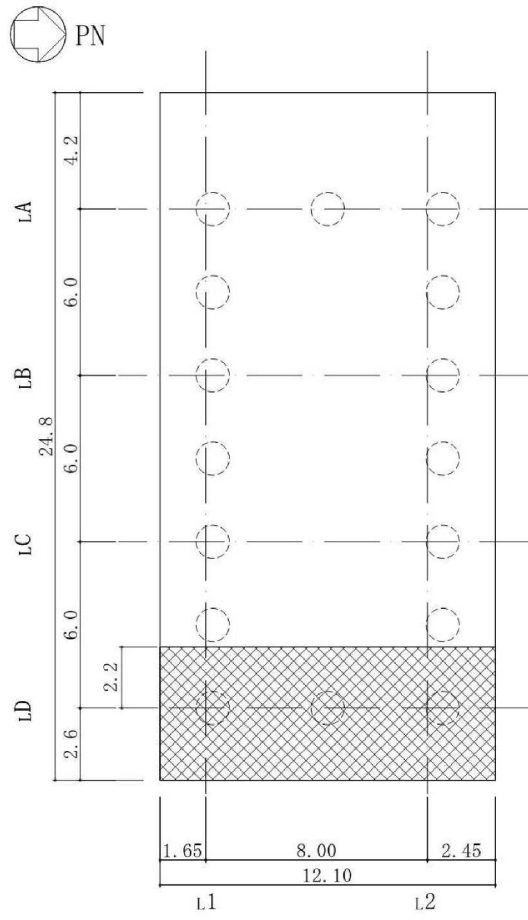
軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、必要鉄筋量が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、面外せん断力に対する短期許容せん断力の割合が最少となる要素を選定する。最大値発生位置を図 6-3 に、評価結果を表 6-4 及び表 6-5 に示す。

S_d地震時及びS_s地震時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。



(単位 : m)

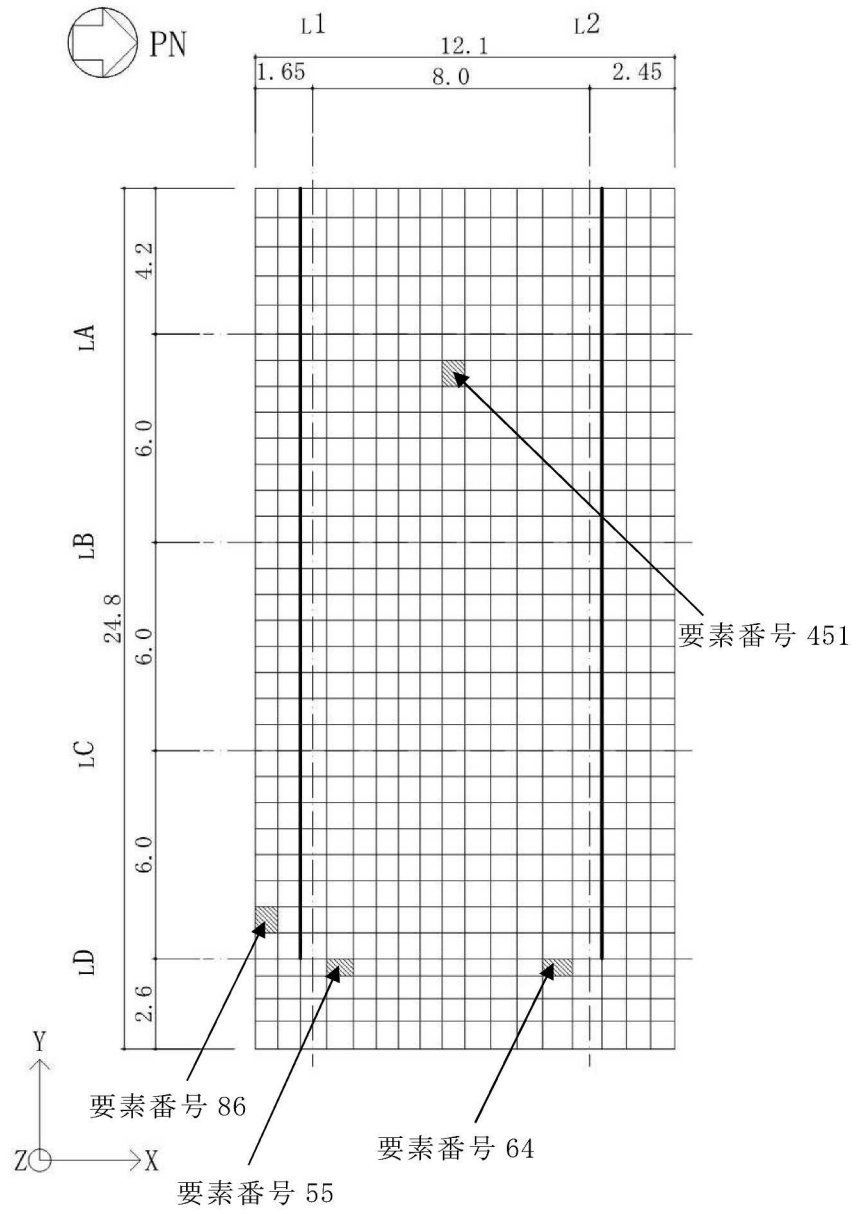
図 6-2 基礎スラブ配筋図 (1/2)



せん断補強筋  D25@400×400

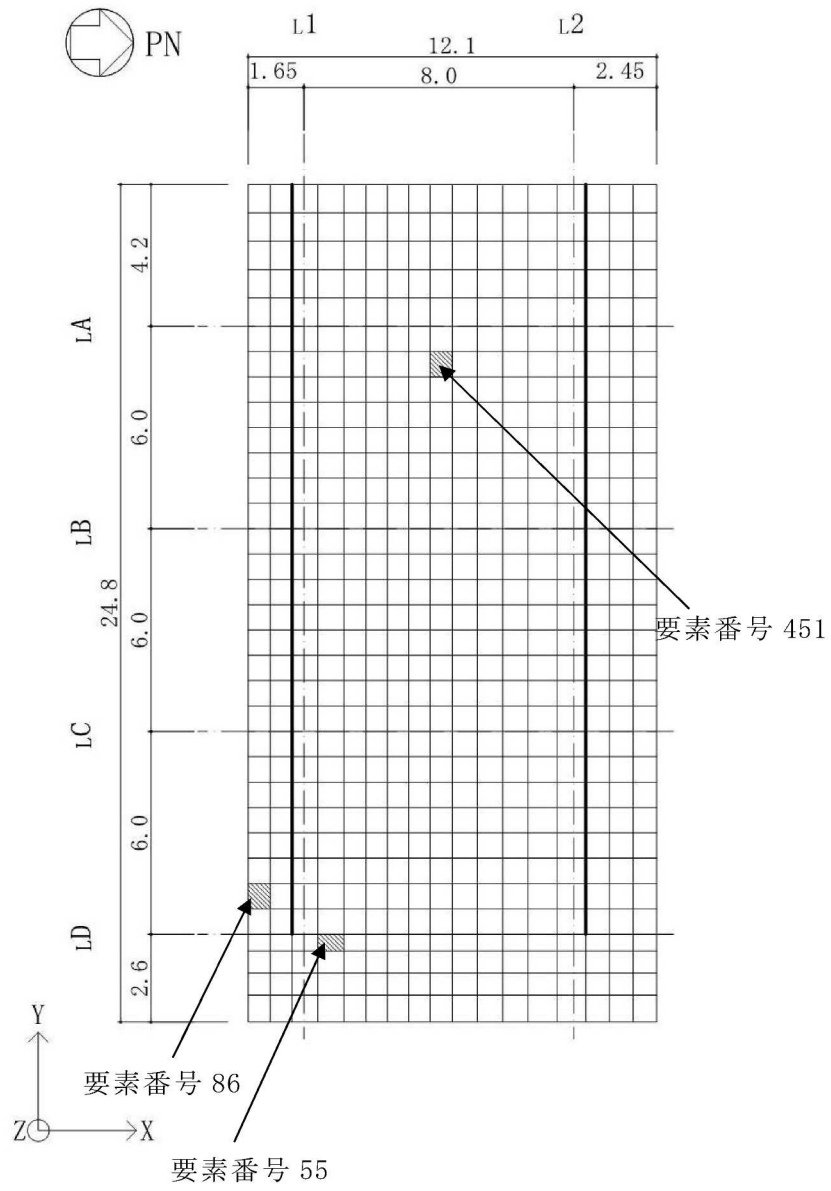
(単位：m)

図 6-2 基礎スラブ配筋図 (2/2)



(单位 : m)

図 6-3 最大値発生位置 (S d 地震時) (1/2)



(单位 : m)

図 6-3 最大値発生位置 (S s 地震時) (2/2)

表 6-4 基礎スラブの評価結果 (S d 地震時)

	方向	評価項目	要素番号	荷重ケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	NS	必要鉄筋量/ 設計配筋量	64	1-1	0.38	1.0	
	EW	必要鉄筋量/ 設計配筋量	451	1-21	0.20	1.0	
面外せん断力	NS	面外せん断力 ×10 ³ (kN/m)	55	1-19	2.25	5.27	せん断* 補強筋
	EW	面外せん断力 ×10 ³ (kN/m)	86	1-19	1.95	5.27	せん断* 補強筋

注記* : 評価対象要素にせん断補強筋が配筋されていることを示す。

表 6-5 基礎スラブの評価結果 (S s 地震時)

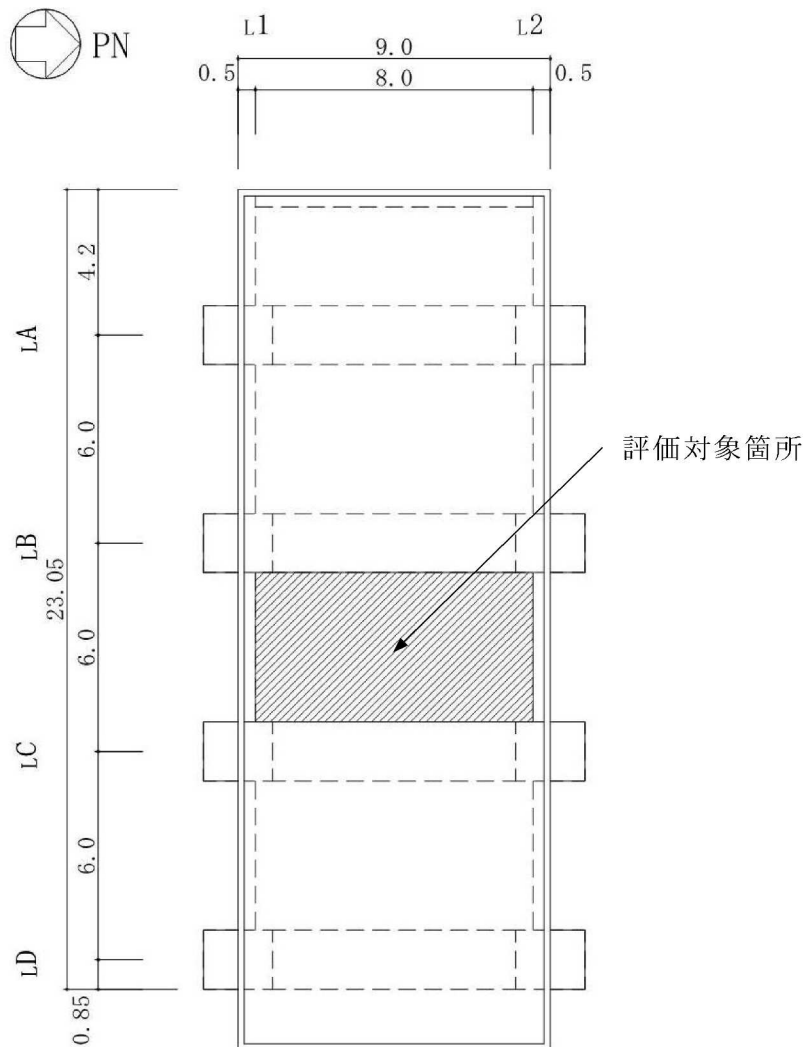
	方向	評価項目	要素番号	荷重ケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	NS	必要鉄筋量/ 設計配筋量	55	2-3	0.85	1.0	
	EW	必要鉄筋量/ 設計配筋量	451	2-21	0.32	1.0	
面外せん断力	NS	面外せん断力 ×10 ³ (kN/m)	55	2-19	4.71	5.27	せん断* 補強筋
	EW	面外せん断力 ×10 ³ (kN/m)	86	2-19	4.18	5.27	せん断* 補強筋

注記* : 評価対象要素にせん断補強筋が配筋されていることを示す。

6.4 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 6-4 に示す。また、「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を表 6-6 に示す。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。

S_d地震時及びS_s地震時において、曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。なお、基準地震動S_sによる地震力は弾性設計用地震動S_dによる地震力を上回るため、基準地震動S_sによる地震力により屋根スラブの評価を行う。



(単位：m)

図 6-4 屋根スラブの評価対象箇所

(RF, T. M. S. L. 19.6m)

表 6-6 屋根スラブの評価結果 (S s 地震時)

T. M. S. L. (m)		19.6
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		212.5
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D22@200 (1935mm ² /m)
	下ば筋	D22@200 (1935mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	49.2
	鉄筋応力度 σ_t (N/m ²)	345
	許容限界 M _A (N/m ²)	124.1
	検定値 M/M _A	0.40
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	68.6
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00
	許容限界 Q _A (kN/m)	228.7
	検定値 Q/Q _A	0.30
判定		可

6.5 フレーム構造部の評価結果

フレーム構造部の評価対象箇所は、フレームに垂壁及び袖壁があり、柱及びはりの各断面の検定値が最も大きくなる LD 通りとし、図 6-5 に示す。また評価結果を表 6-7 及び表 6-8 に示す。

フレーム構造部については、S d 地震時において、柱及びはりの必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。

柱及びはりの各断面の検定に用いる記号の説明

- b : 断面の幅 (mm)
- D : 断面のせい (mm)
- d : 断面の有効せい (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- N : 軸力 (N)
- Q : せん断力 (N)
- p_t : 引張鉄筋比 (%)
- a_t : 引張鉄筋の断面積 (mm²)
- p_w : 必要あばら筋比又は帯筋比 (%)
- f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)
- f_s : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm²)
- α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

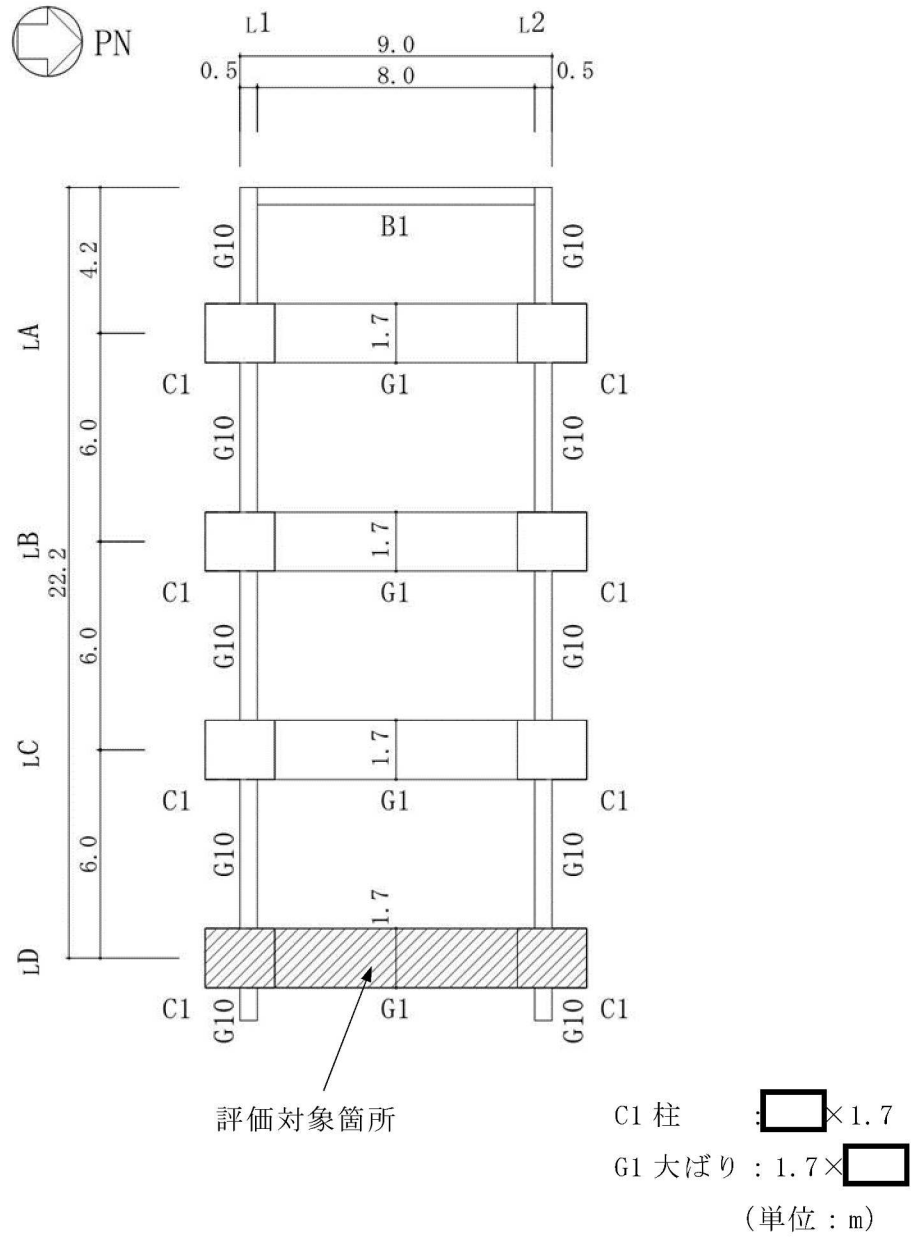
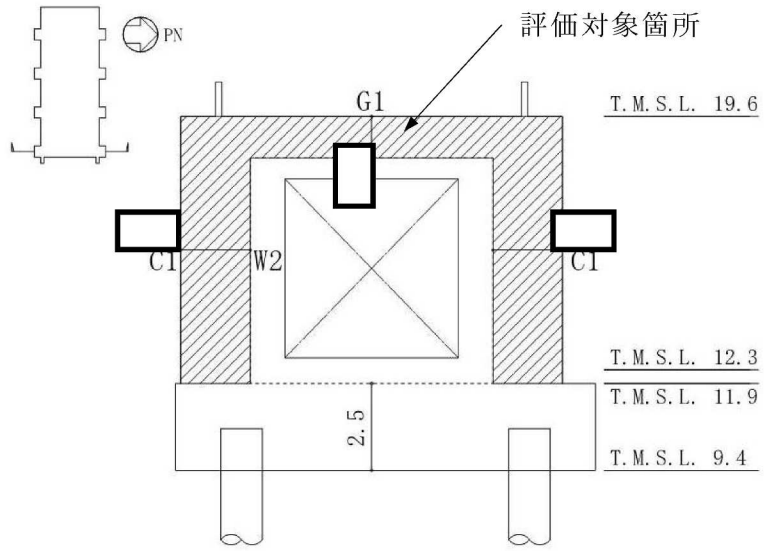


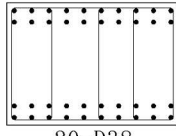
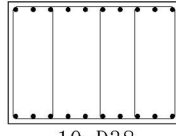
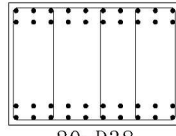
図 6-5 フレーム構造部の評価対象箇所 (はり伏図) (1/2)



C1 柱 : $\square \times 1.7$
 G1 大ばり : $1.7 \times \square$
 (単位 : m)

図 6-5 フレーム構造部の評価対象箇所 (LD 通り軸組図) (2/2)

表 6-7 はりの評価結果 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)		19.6			
通り記号		LD			
はり記号		G1			
位置		L1 端	中央	L2 端	
断面形	b × D (mm)	1700 × 			
	d (mm)	1000	1100	1000	
	j (mm)	875	962	875	
設計応力	長期	M (kN・m)	911	564	909
		Q (kN)	540	349	545
		荷重ケース	1-3	1-7	1-1
	短期	M (kN・m)	4504	764	4514
		Q (kN)	2305	2099	2311
		荷重ケース	1-3	1-3	1-1
長期	$M / (b \cdot d^2)$ (N/mm ²)	0.54	0.27	0.53	
	p_t^{*1} (%)	0.15	0.07	0.14	
短期	$M / (b \cdot d^2)$ (N/mm ²)	2.65	0.35	2.66	
	p_t^{*1} (%)	0.76	0.10	0.76	
必要鉄筋量 a_t^{*1} (mm ²)		12920	1870	12920	
設計配筋	上ば筋	20-D38	10-D38	20-D38	
	下ば筋	20-D38	10-D38	20-D38	
	断面積*2 (mm ²)	22800	11400	22800	
せん断力に 対する検 討	α	1.35			
	許容せん断力 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ (kN)	2470	2716	2470	
	p_w^{*1} (%)	0.20	0.20	0.20	
	あばら筋	5-D19@200			
	あばら筋比*2 (%)	0.42			
配筋図		L1 端	中央	L2 端	
		<div style="text-align: center;"> <p>20-D38</p>  <p>20-D38</p> </div>	<div style="text-align: center;"> <p>10-D38</p>  <p>10-D38</p> </div>	<div style="text-align: center;"> <p>20-D38</p>  <p>20-D38</p> </div>	

注記*1: 応力から決められる必要鉄筋断面積, 必要鉄筋比

*2: 設計配筋の鉄筋断面積, 鉄筋比

表 6-8 柱の評価結果 (S d 地震時)

T. M. S. L. (m)		11.9~19.6		
通り記号		LD		
柱記号		C1		
位置		柱脚	柱頭	
断面形	b × D (mm)	1700 × 		
	d (mm)	1850		
	j (mm)	1618		
設計応力	長期	N (kN)	1402	1402
		M (kN・m)	1403	909
		Q (kN)	326	326
	短期	N (kN)	3118	3118
		M (kN・m)	11205	6171
		荷重ケース	1-1	1-1
		Q (kN)	3511	3511
		荷重ケース	1-1	1-1
長期	$N / (b \cdot D)$ (N/mm ²)	0.41	0.41	
	$M / (b \cdot D^2)$ (N/mm ²)	0.21	0.13	
	p_t^{*1} (%)	0.00	0.00	
短期	$N / (b \cdot D)$ (N/mm ²)	0.92	0.92	
	$M / (b \cdot D^2)$ (N/mm ²)	1.65	0.91	
	p_t^{*1} (%)	0.41	0.16	
必要鉄筋量 a_t^{*1} (mm ²)		13940	5440	
設計配筋	引張側鉄筋	22-D38	22-D38	
	断面積*2 (mm ²)	25080	25080	
せん断力検討に	α	1.00	1.00	
	許容せん断力 $\alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$ (kN)	3383	3383	
	p_w^{*1} (%)	0.23	0.23	
	帯筋	6-D16@100		
	帯筋比*2 (%)	0.70		
配筋図		<div style="text-align: center;">  <p>22-D38</p> <p>22-D38</p> </div>		

注記*1 : 応力から決められる必要鉄筋断面積, 必要鉄筋比

*2 : 設計配筋の鉄筋断面積, 鉄筋比

別紙2 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の気密性に関する計算書

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 既往の知見等の整理	別紙 2-1
3. 原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響検討	別紙 2-3
3.1 検討方針	別紙 2-3
3.2 空気漏えい量の算定結果	別紙 2-9
3.2.1 壁面からの漏えい量	別紙 2-9
3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較	別紙 2-10
3.4 検討結果	別紙 2-10
4. まとめ	別紙 2-10

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（昭和 53 年 9 月制定）における A クラスの施設の気密性について、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，以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）では，S 1 地震動に対し弾性範囲であることを確認することで，機能が維持されるとしている。

資料 V-2-1-9「機能維持の検討方針」の機能維持の設計方針では，耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本としたうえで，おおむね弾性状態を超える場合は，地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が，設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計としている。その場合，気密性を要求される施設に対し，基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

二次格納施設の気密バウンダリを構成する原子炉建屋原子炉区域の地震応答解析による評価において，耐震壁の許容限界として設定した最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために，耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに，原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

（財）原子力発電技術機構は，「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書*¹」において，J E A G 4 6 0 1 -1987 による許容限界の目安値（S 2 地震時に対してせん断変形角 $2/1000\text{rad}$ ，静的地震力に対して $\tau = \tau_u/1.5$ ）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し，気圧差維持のためのファン容量と比較することで，空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は，ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また，（財）原子力発電技術機構は，「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書*²」において，耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が，十分に実機への適用性があることを確認している。更に，開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており，「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって，二次格納施設の気密バウンダリとなる原子炉建屋原子炉区域の壁が鉄筋コンクリート造であり，壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから，同文献にて提案されている各評価式を用い，原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$$Q = C \gamma^{2.57} \Delta P / T \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10⁶, 95%非超過値は 1.18×10⁷, 5%非超過値は 4.21×10⁵)

γ : 最大せん断ひずみ

ΔP : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (cm)

$$\Delta_q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \beta + 1 \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、

Δ_q : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲 (=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積

注記*1: 財団法人 原子力発電技術機構「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋総合評価 建屋基礎地盤系評価に関する報告書(その2) 平成8年度」

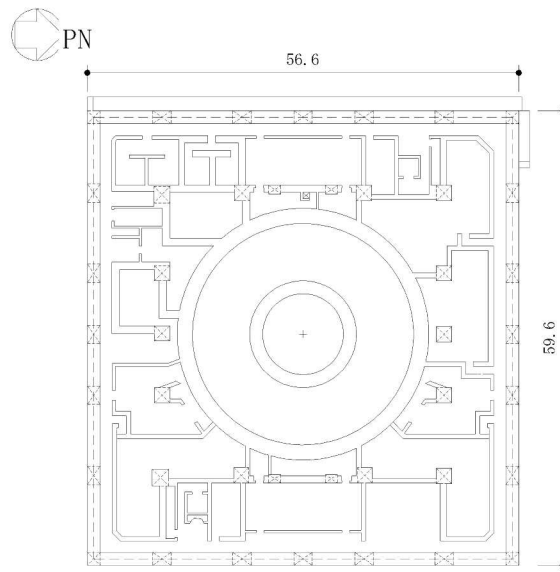
*2: 財団法人 原子力発電技術機構「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 原子炉建屋原子炉区域における空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

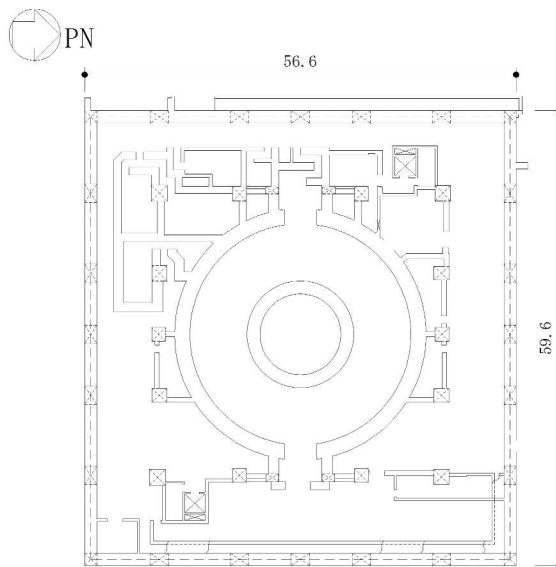
「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式(2.1)及び式(2.2)により気密バウンダリを構成する壁の最大せん断ひずみが許容限界(2.0×10^{-3})に達したときの空気漏えい量を算定し、非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認する。

原子炉建屋原子炉区域の概略図を図3-1に示す。原子炉建屋原子炉区域(T.M.S.L. -8.2m~T.M.S.L. 49.7m)を構成する壁の壁厚は約□cmから約□cmである。



----- : 気密バウンダリ

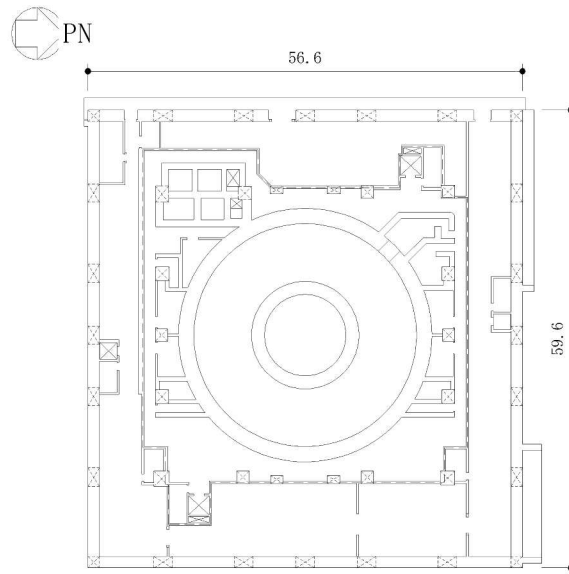
(a) 平面図 (T.M.S.L. -8.2m) (単位 : m)



----- : 気密バウンダリ

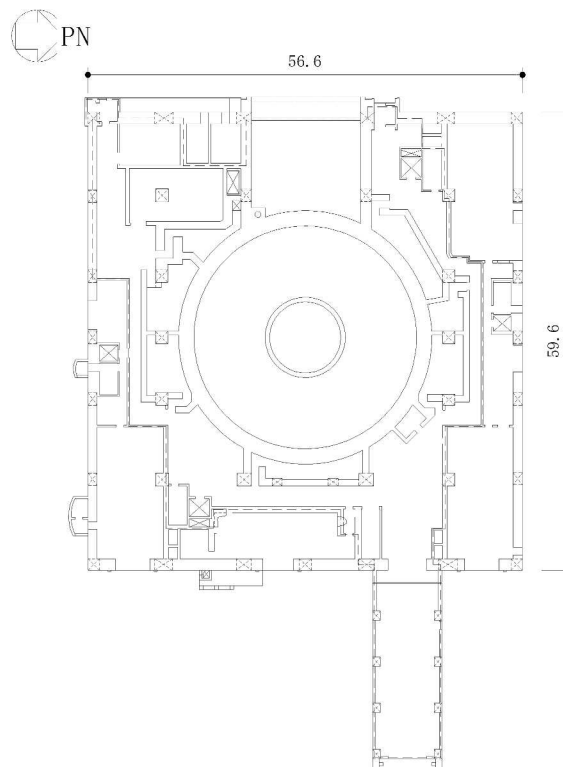
(b) 平面図 (T.M.S.L. -1.7m) (単位 : m)

図 3-2 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (1/5)



----- : 気密バウンダリ

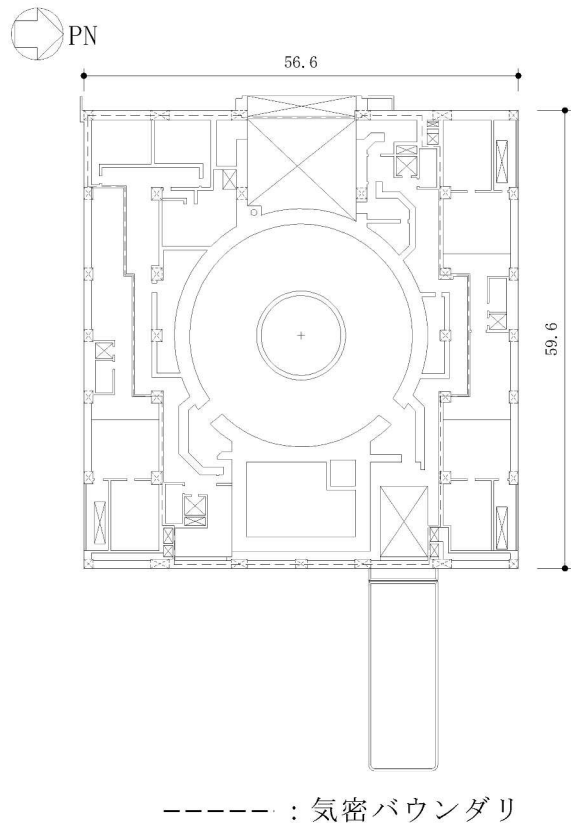
(c) 平面図 (T. M. S. L. 4. 8m) (単位 : m)



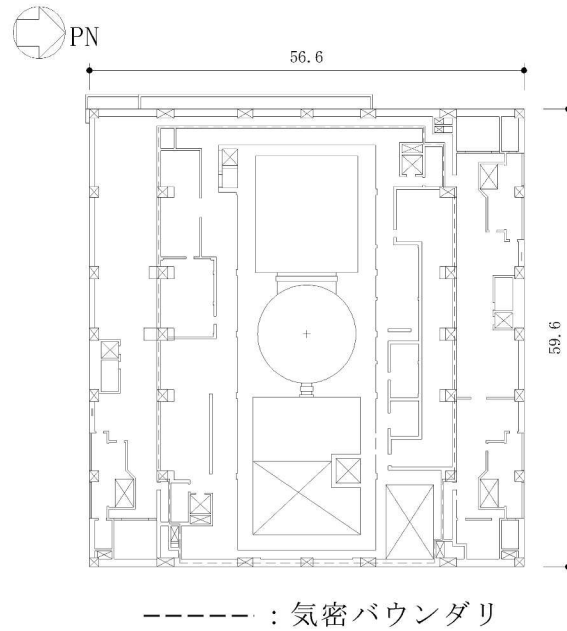
----- : 気密バウンダリ

(d) 平面図 (T. M. S. L. 12. 3m) (単位 : m)

図 3-3 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (2/5)

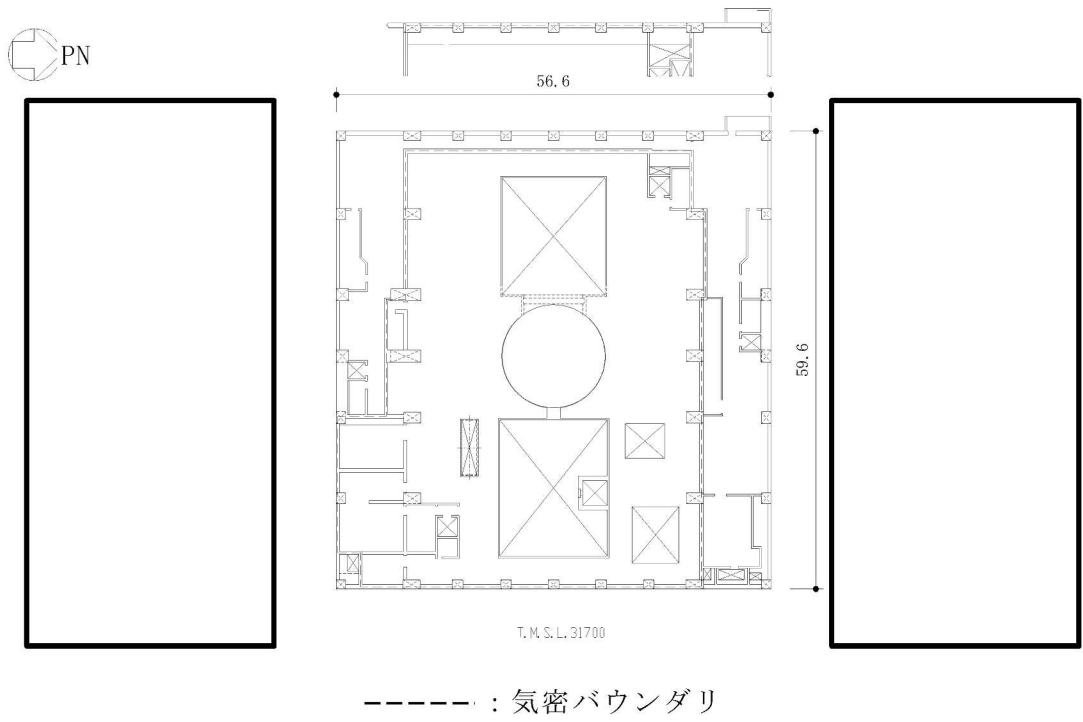


(e) 平面図 (T.M.S.L. 18.1m) (単位 : m)



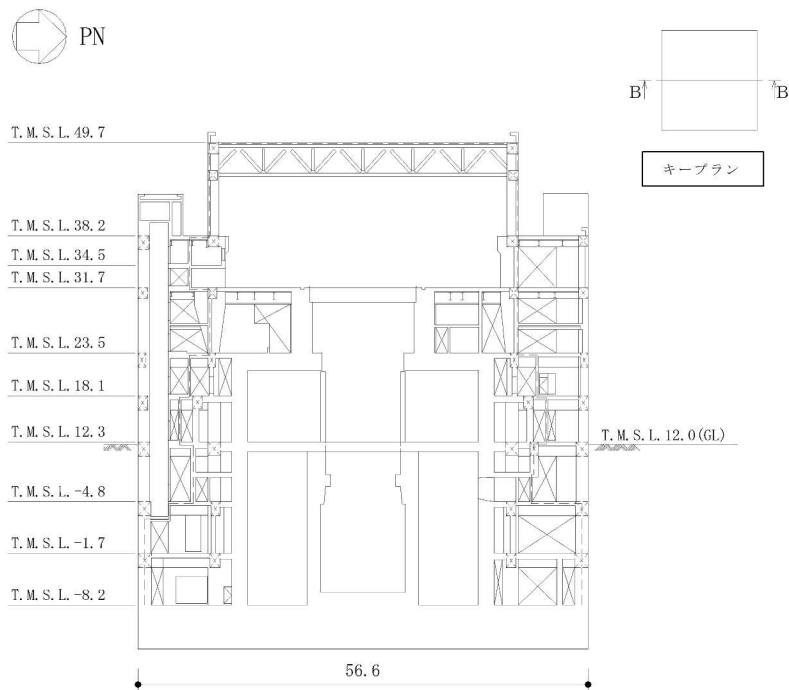
(f) 平面図 (T.M.S.L. 23.5m) (単位 : m)

図 3-4 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (3/5)



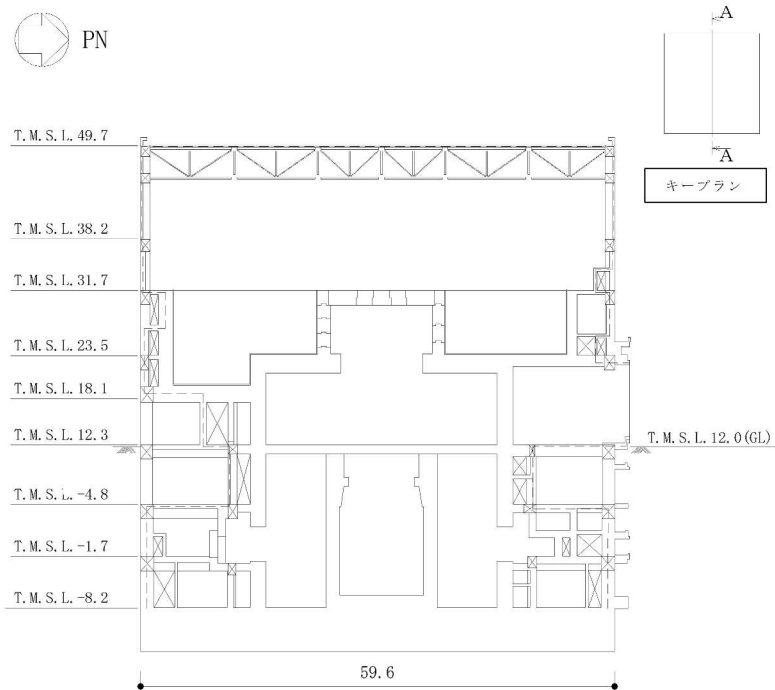
(g) 平面図 (T.M.S.L. 31.7m) (単位 : m)

図 3-5 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (4/5)



----- : 気密バウンダリ

(h) 断面図 (B-B 断面) (単位 : m)



----- : 気密バウンダリ

(i) 断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

図 3-6 原子炉建屋原子炉区域の概略図 (5/5)

3.2 空気漏えい量の算定結果

3.2.1 壁面からの漏えい量

原子炉建屋原子炉区域の壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析のせん断ひずみの許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 算定結果（原子炉建屋原子炉区域）

T. M. S. L. (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大 せん断 ひずみ γ ($\times 10^{-3}$)	*2 差圧 ΔP (mmAq)	*3 壁の 面積 A (m^2)	漏えい量 Q ($\ell/min/m^2$)	壁の見付 面積に対する 開口総面積 β	通気量 割増率 ΔQ	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (ℓ/min)
		C ($\times 10^7$)	Q'/Q_0							
49.7	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	897	0.30	0.011	1.56	420
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	1371	0.30	0.000	1.00	412
31.7	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	200	0.30	0.059	3.97	239
		1.18	7.41	2.00	6.4	134	0.25	0.090	5.53	186
		1.18	7.41	2.00	6.4	273	0.22	0.000	1.00	61
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	18	0.15	0.000	1.00	3
		1.18	7.41	2.00	6.4	197	0.30	0.090	5.53	327
		1.18	7.41	2.00	6.4	184	0.22	0.000	1.00	41
23.5	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	381	0.18	0.068	4.42	304
		1.18	7.41	2.00	6.4	640	0.30	0.040	3.02	580
		1.18	7.41	2.00	6.4	721	0.30	0.040	3.02	654
18.1	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	232	0.18	0.010	1.51	64
		1.18	7.41	2.00	6.4	353	0.30	0.128	7.44	788
		1.18	7.41	2.00	6.4	115	0.07	0.000	1.00	9
12.3	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	644	0.30	0.128	7.44	1437
		1.18	7.41	2.00	6.4	193	0.35	0.150	8.55	579
		1.18	7.41	2.00	6.4	198	0.30	0.050	3.52	210
		1.18	7.41	2.00	6.4	68	0.22	0.284	15.28	228
		1.18	7.41	2.00	6.4	59	0.11	0.007	1.36	9
	EW	1.18	7.41	8.33*4	6.4	67	13.70	0.009	1.46	1332
		1.18	7.41	2.00	6.4	180	0.35	0.150	8.55	539
		1.18	7.41	2.00	6.4	543	0.30	0.050	3.52	574
		1.18	7.41	2.00	6.4	73	0.11	0.007	1.36	11
		1.18	7.41	2.00	6.4	40	0.07	0.000	1.00	3
4.8	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	358	0.30	0.006	1.31	141
		1.18	7.41	2.00	6.4	652	0.30	0.062	4.12	806
		1.18	7.41	2.00	6.4	7	0.13	0.125	7.29	7
		1.18	7.41	2.00	6.4	639	0.30	0.062	4.12	791
		1.18	7.41	2.00	6.4	240	0.13	0.125	7.29	228
-1.7	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	108	0.07	0.000	1.00	8
		1.18	7.41	2.00	6.4	736	0.06	0.003	1.16	52
-8.2	NS	1.18	7.41	2.00	6.4	775	0.06	0.003	1.16	54
		1.18	7.41	2.00	6.4	736	0.06	0.001	1.06	47
	EW	1.18	7.41	2.00	6.4	775	0.06	0.001	1.06	50
									合計	11194

注記*1：保守的に各壁の最大せん断ひずみが同時に許容限界となることを想定し、評価する。

*2：設計気密度の差圧条件とする。

*3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

*4：当該壁はフレーム構造部のため、フレーム構造部の許容限界である最大層間変形角 $1/120$ ($=8.33 \times 10^{-3}$) を用いて評価する。

3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較

原子炉建屋原子炉区域の総漏えい量と空気流入率を表 3-2 に示す。

表 3-2 総漏えい量と空気流入率の比較

総漏えい量 (m ³ /min)	非常用ガス処理設備放出流量 (m ³ /min)
12	33.3*

注記*：非常用ガス処理設備容量とする。

3.4 検討結果

原子炉建屋原子炉区域について総漏えい量は非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認した。

よって、原子炉建屋原子炉区域は、耐震壁の許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

原子炉建屋原子炉区域は、耐震壁の許容限界として最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、原子炉格納容器から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できる気密性を有していることを確認した。

以上より、原子炉建屋の地震応答解析による評価において、換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。