

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-132 改7
提出年月日	平成30年9月28日

V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの

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	7
2.4	適用規格・基準等	10
3.	地震応答解析による評価方法	11
4.	応力解析による評価方法	12
4.1	評価対象部位及び評価方針	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	14
4.3	許容限界	29
4.4	解析モデル及び諸元	32
4.5	評価方法	34
5.	評価結果	48
5.1	地震応答解析による評価結果	48
5.2	応力解析による評価結果	51
別紙 1	鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（原子炉格納容器底部コンクリートマット）	
別紙 2	原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討（原子炉格納容器底部コンクリートマット）	

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、原子炉格納容器底部（以下「原子炉格納容器底部コンクリートマット」という。）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基づき行う。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「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」並びに「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。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉格納容器底部コンクリートマットは，原子炉建屋の一部を構成している。原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

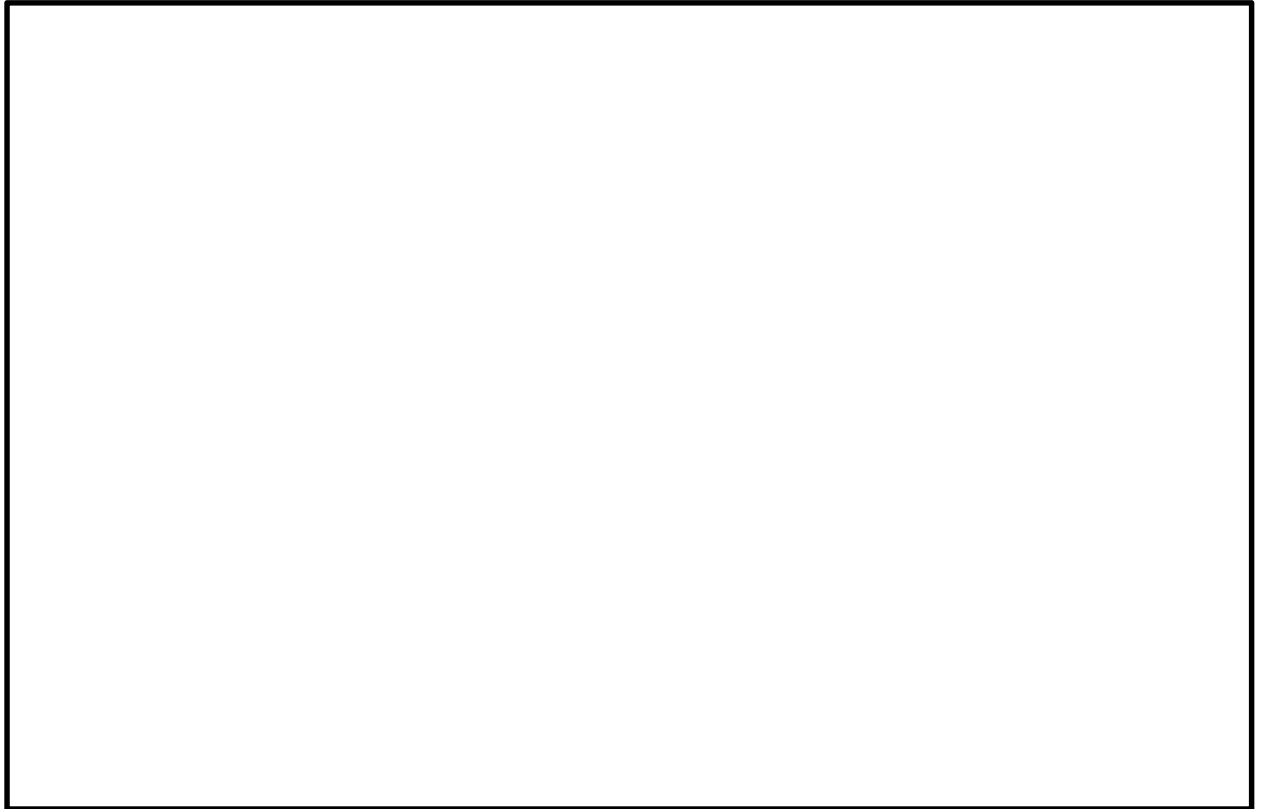


図 2-1 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤は、鉄筋コンクリート造で、底面位置における平面規模は、南北方向 68.5 m、東西方向 68.25 m、厚さ 5.0 m である。また、この基礎盤は、原子炉本体の基礎（以下「RPV 基礎」という。）、原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、その周囲の壁（以下「シェル壁 (S/W)」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁 (I/W)」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁 (O/W)」という。）を支持している。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、原子炉格納容器底部の圧力バウンダリを構成する厚さ 5.0 m の鉄筋コンクリート造の構造体であり、その上面には耐漏洩性を持たせるために鋼製ライナが設けられている。また、この底部コンクリートマットは、原子炉棟基礎及び付属棟基礎と一体となっている。

原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤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。

NT2 補② V-2-9-2-2 R0

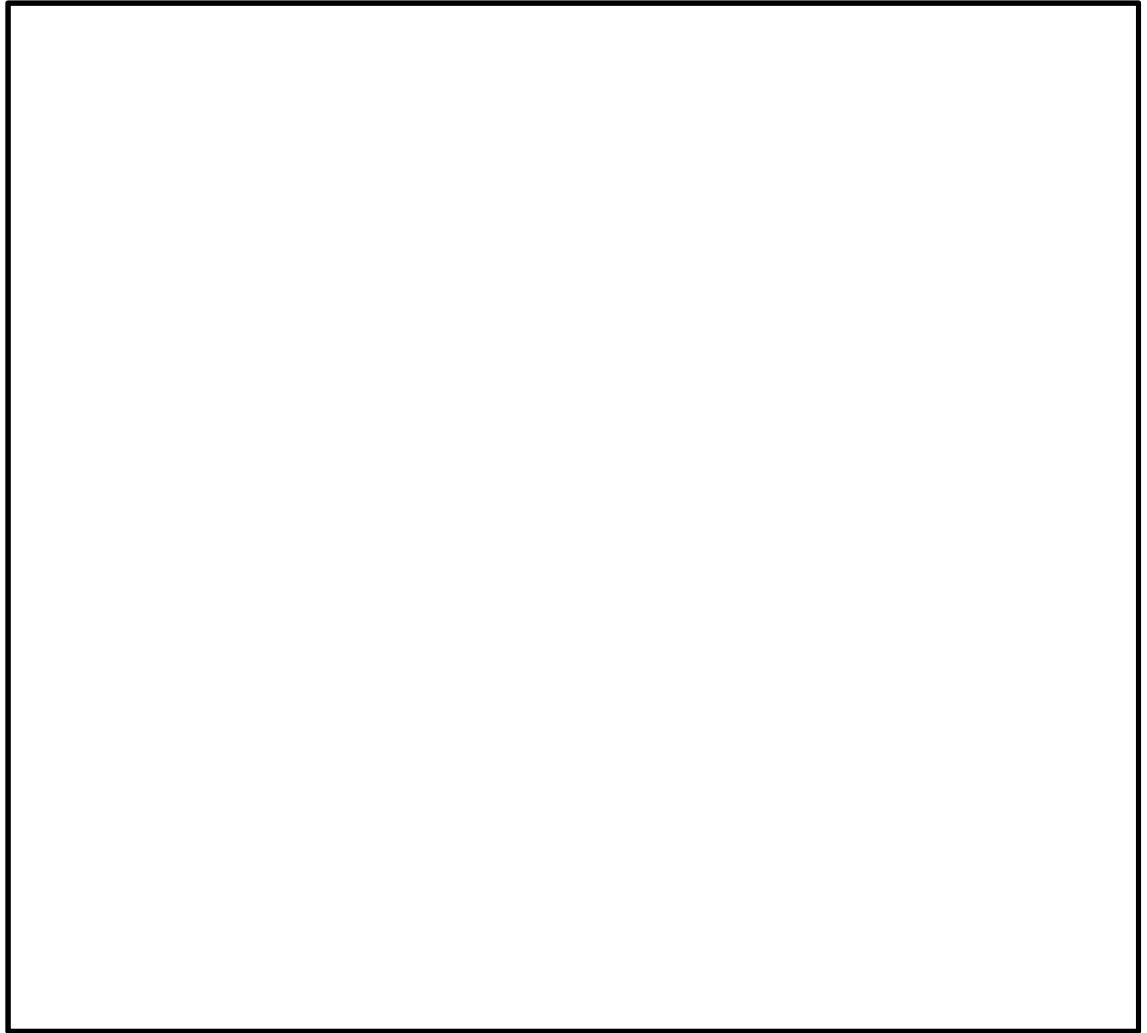


図 2-2



概略平面図 (EL. -4.0 m)

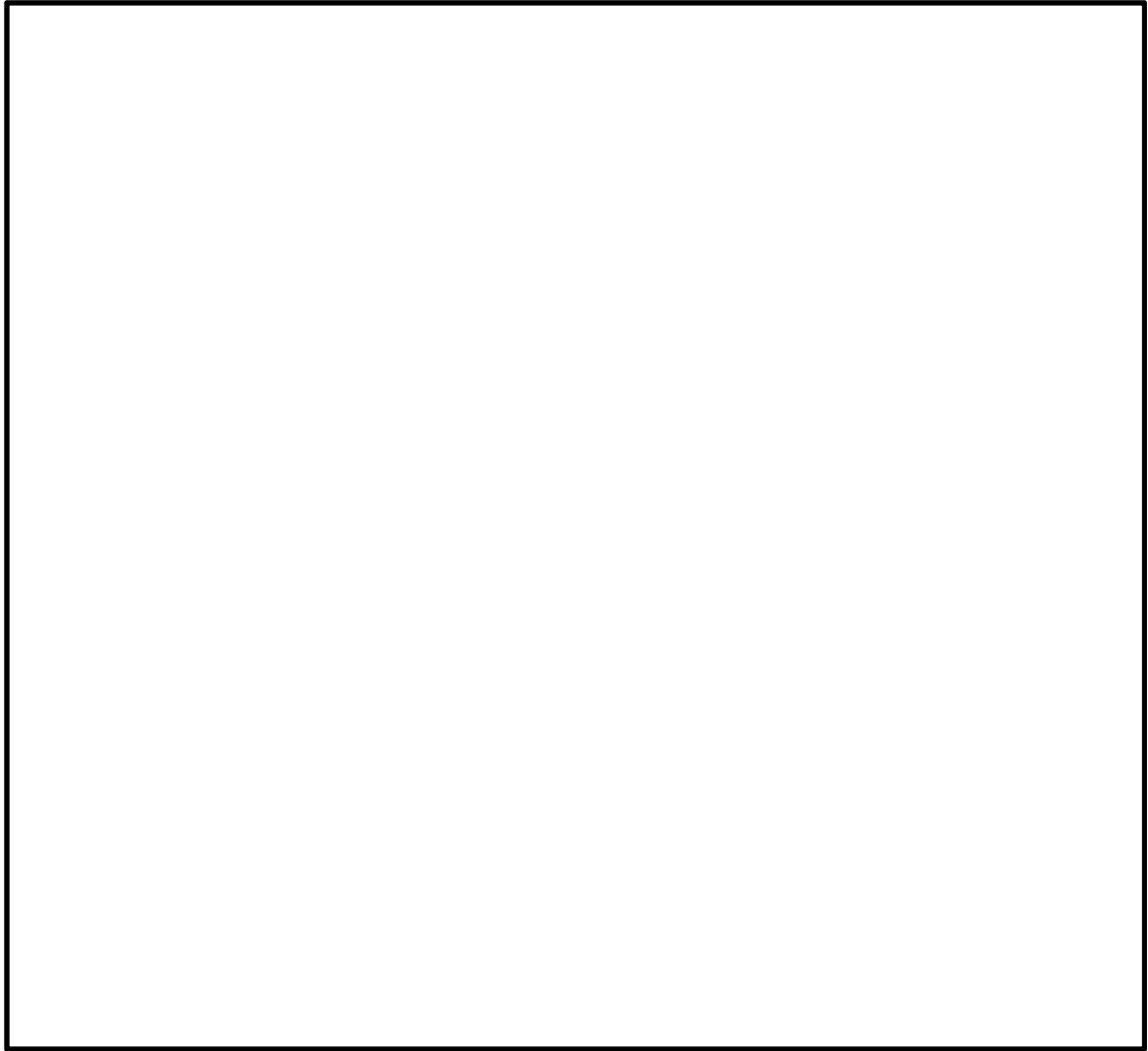


図 2-3 (1/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

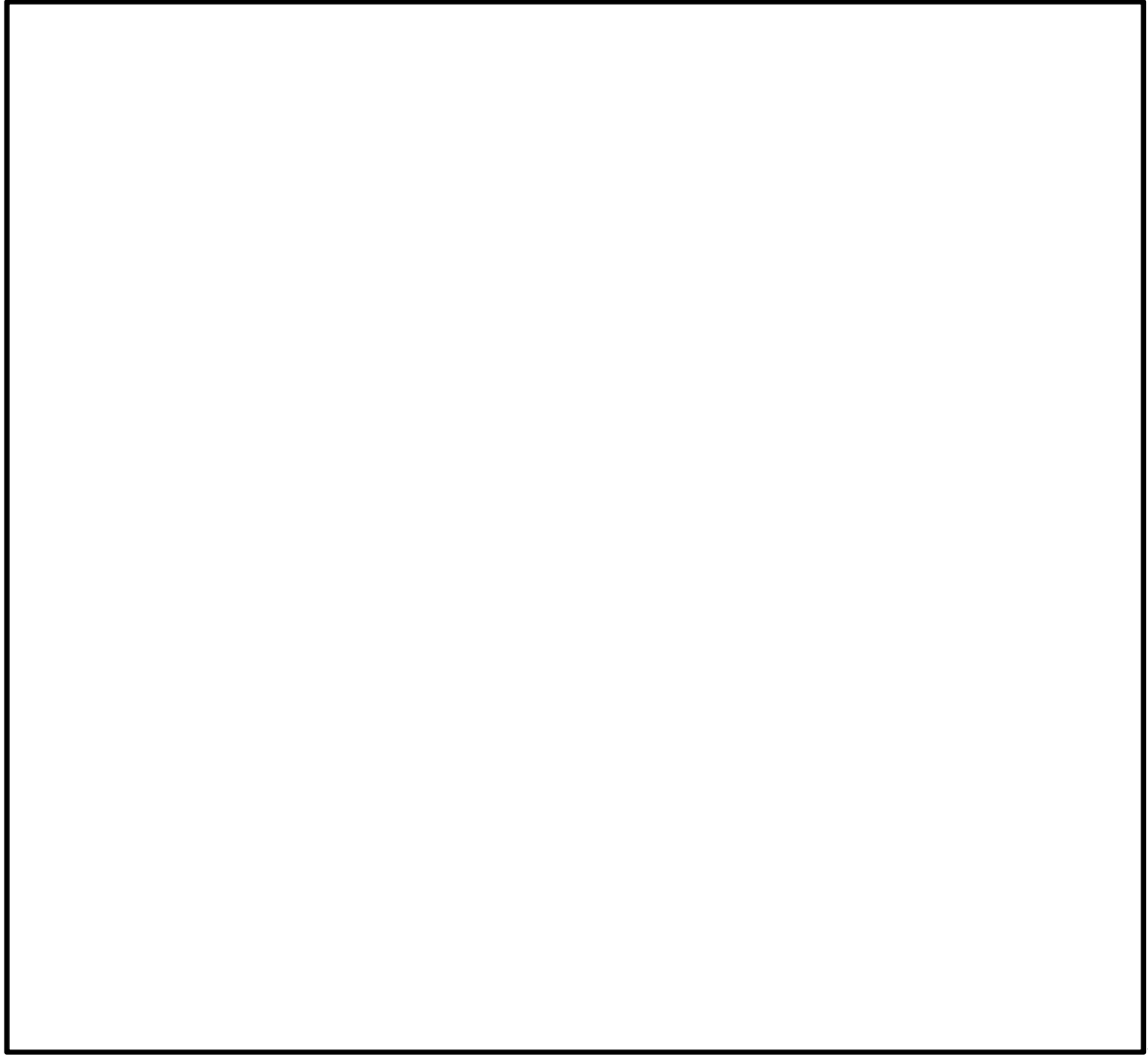


図 2-3 (2/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

2.3 評価方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」及び「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」並びに「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。

原子炉格納容器底部コンクリートマット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 による地震力また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及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、添付書類「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。原子炉格納容器底部コンクリートマットにおいて考慮すべき荷重は、通常荷重、運転時荷重、事故時荷重及び地震荷重等種類が多く、性質を異にしている。また、これらの荷重はその発生確率、他の荷重発生との同時性等が各々異なっている。

従って、以下の4つの荷重状態に分類し、これらのうち荷重状態Ⅲ及びⅣの地震時に関する荷重の組合せについて評価を行う。

- (1) 荷重状態Ⅰ：通常運転時の状態
- (2) 荷重状態Ⅱ：逃がし安全弁作動時、試験時または積雪時の状態
- (3) 荷重状態Ⅲ：荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅳ以外の状態
- (4) 荷重状態Ⅳ：格納容器の安全設計上想定される異常な状態が生じている状態

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価は、添付書類「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接地圧の評価を、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、原子炉格納容器底部コンクリートマットの地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。なお、接地圧は、原子炉格納容器底部コンクリートマット並びに原子炉棟基礎及び付属棟基礎を一体として扱い、原子炉建屋基礎盤全体として評価する。機能維持の確認においては、支持機能を確認する。評価にあたっては、 S_d 地震時及び S_s 地震時に対する評価で、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」による地盤物性のばらつきを考慮する。なお、気密性の確認については、添付書類「V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書」にて実施するが、ライナプレートの変形が原子炉格納容器底部コンクリートマットの変形に追従する形で制限されていることから、原子炉格納容器底部コンクリートマットの構造強度を確認することで間接的に気密性を担保する。

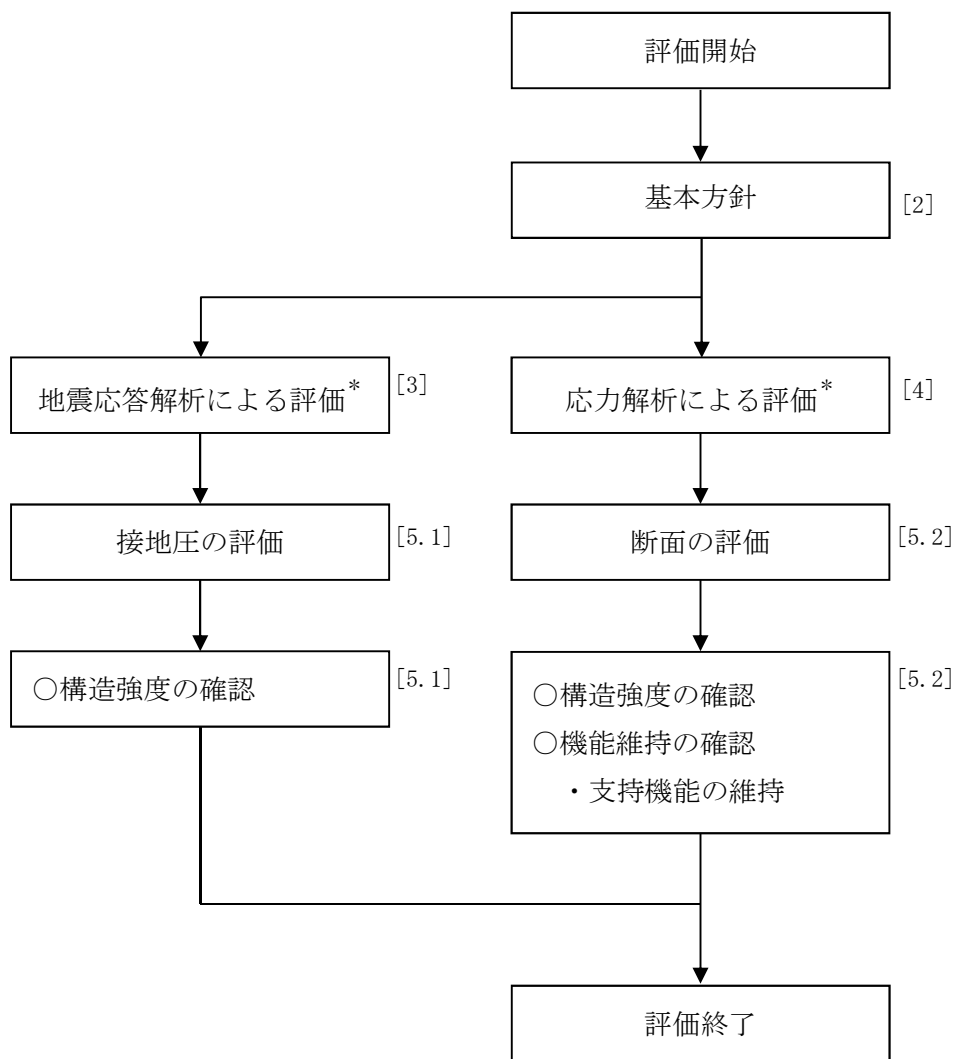
また、重大事故等対処施設としての評価においては、上記の荷重状態ⅠからⅣに以下の荷重状態Ⅴを加えた5つの荷重状態に分類し、これらのうち荷重状態Ⅲ～Ⅴにおける地震時の評価に関する荷重の組合せに対する評価を行う。

- (5) 荷重状態Ⅴ：発電用原子炉施設が重大事故に至るおそれがある事故、または重大事故の状態、重大事故等対処施設の機能が必要とされる状態

ここで、原子炉格納容器底部コンクリートマットにおける荷重状態Ⅲ～Ⅴ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、温度の条件が異なる。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（別紙1「鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（原子炉格納容器底部コンクリートマット）」参照）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」では部材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こと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同一となる。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価フローを図 2-4 に示す。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記 * : 添付書類「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 2-4 原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価において、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
- ・ 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) (以下「CCV規格」という。)
- ・ 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— ((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。)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001) (以下「基礎指針」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、原子炉格納容器底部コンクリートマットの構造強度については、添付書類「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最大接地圧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格納容器底部コンクリートマットの許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

なお、地震応答解析による評価においては、温度荷重、圧力荷重及び水压荷重による影響が軽微であることから、 S_s 地震時（荷重状態Ⅳ・地震時）及び S_d 地震時（荷重状態Ⅲ・地震時）の評価を実施することとする。

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	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回することを確認	極限支持力度*1 2480 kN/m ²
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	基礎地盤	最大接地圧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	短期許容支持力度*2 1650 kN/m ²

注記 *1 : 極限支持力度は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「基礎指針」より設定する。

*2 : 短期許容支持力度は、「基礎指針」及び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) より、表 3-1 に示す極限支持力度の 2/3 以下として設定する。

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	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回することを確認	極限支持力度 2480 kN/m ²

注 : 極限支持力度は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「基礎指針」より設定する。

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

原子炉格納容器底部コンクリートマットの応力解析による評価対象部位は底部*とし、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析に当たっては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」及び既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」より荷重の組合せを行う。

荷重状態Ⅲ～Ⅴに対しては、以下の(1)～(3)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図4-1に示す。

注記 * 「CCV規格」CEV-1220（部位に関する用語）より、「底部」とは、鉄筋コンクリート製の平板で構成されている原子炉格納容器の下部をいう。

(1) 荷重状態Ⅲに対する評価

荷重状態Ⅲに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、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、「CCV規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。

(2) 荷重状態Ⅳに対する評価

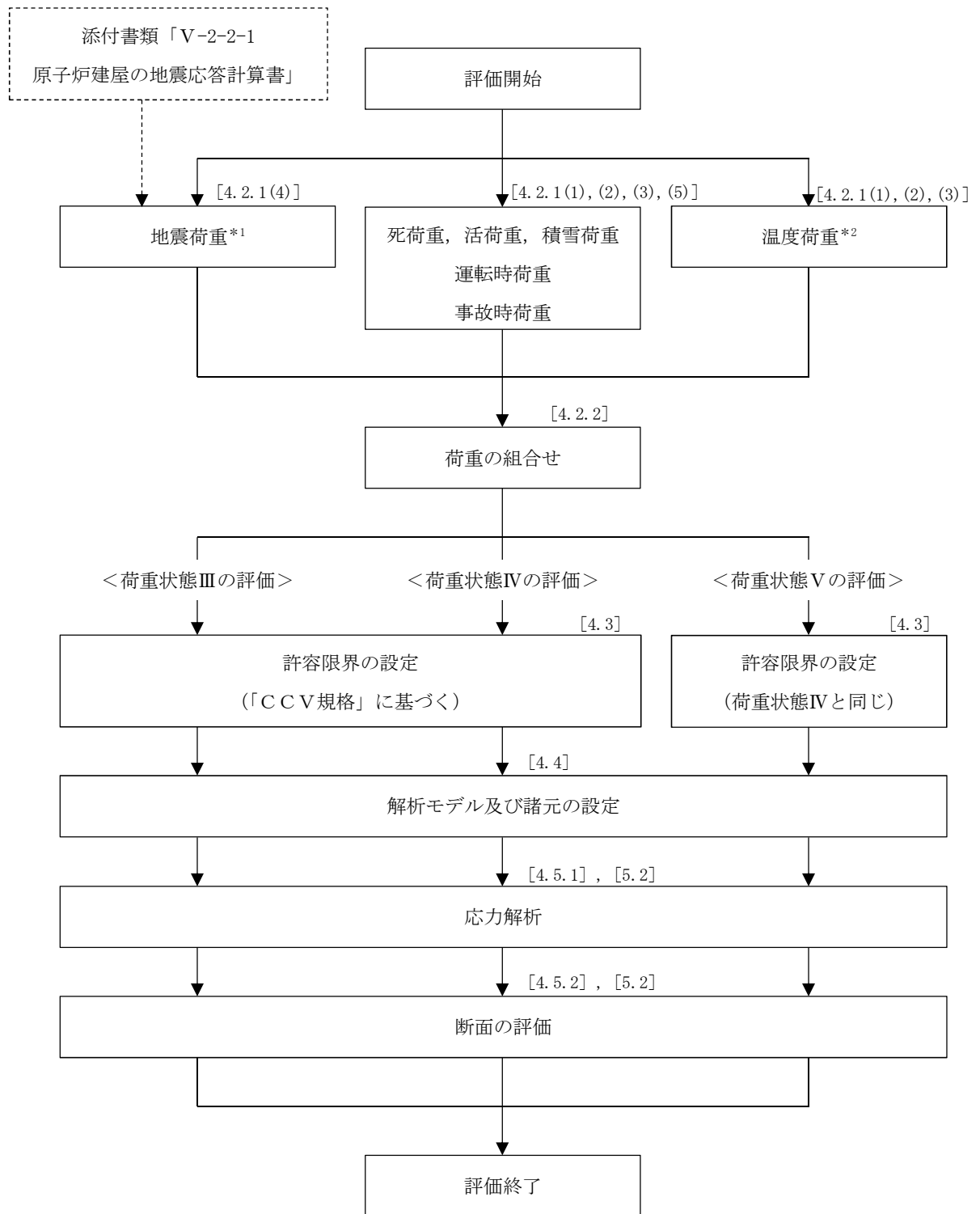
荷重状態Ⅳに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、「CCV規格」に基づいて設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。

(3) 荷重状態Ⅴに対する評価

荷重状態Ⅴに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、荷重状態Ⅳと同じものとして設定した許容限界を超えないことを確認する。

また、断面の評価については、地盤物性のばらつきを考慮した断面力に対して行うこととする。



注 : []内は、本資料における章番号を示す。

注記 *1 : ばらつきについては、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。

*2 : 温度荷重については、荷重状態Ⅲの地震荷重と組み合わせる。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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 荷重

(1) 通常荷重（死荷重（D）、活荷重（L）、常時土圧荷重（E₀））

原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する通常荷重として次のものを考慮する。

a. 死荷重（D）、活荷重（L）

死荷重及び活荷重は、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき表4-1のとおり設定する。

表 4-1 死荷重及び活荷重（D, L）

部位	通常荷重 (kN)
O/W	397800* ¹
I/W	392300* ¹
S/W	309900* ¹
PCV	□
RPV 基礎	□
サプレッションプール水静水圧	□
基礎盤上	171904* ³
基礎盤自重	561020* ⁴

注記 *1：既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき設定。

*2：添付書類「V-2-9-2-11 サプレッション・チェンバ底部ライナ部の耐震性についての計算書」の最高水位より設定。

*3：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」の地震応答解析モデルに基づき設定。

*4：単位体積重量 $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ として設定。

b. 常時土圧荷重 (E₀)

原子炉建屋基礎盤に作用する常時土圧荷重は、J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、下式を用いて算出した常時土圧により、地下外壁を介して作用する荷重及び基礎盤側面に直接作用する荷重である。地下外壁を介して作用する荷重は、各階床で支持された連続梁モデルとして評価する。

表 4-2 (1/2) に常時土圧を、表 4-2 (2/2) に常時土圧荷重 (E₀) を示す。

$$p_0 = K_0 \gamma z$$

ここで、

p₀ : 深さ z(m)における単位面積当たりの静止土圧 (kN/m²)

K₀ : 静止土圧係数 (0.5)

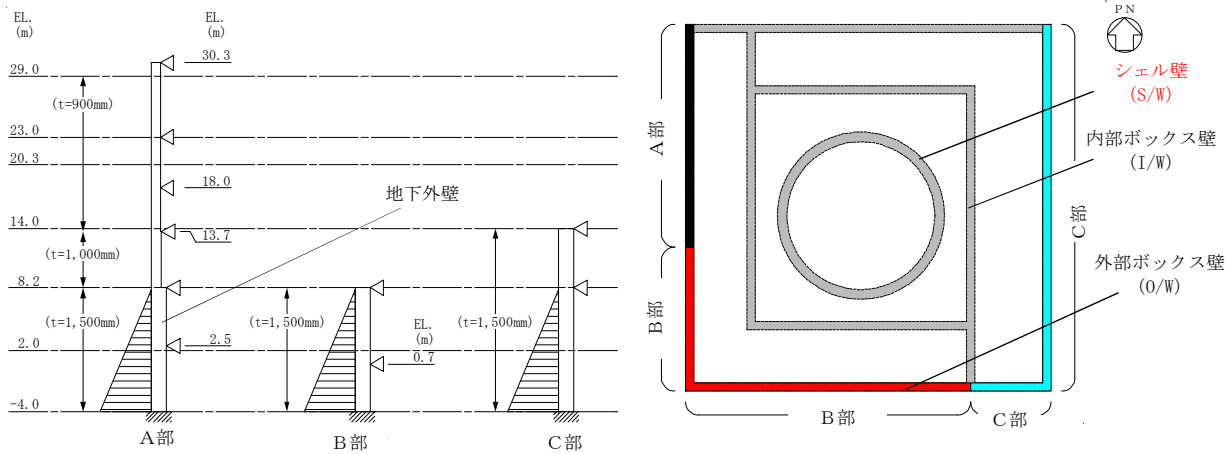
γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

表 4-2 (1/2) 常時土圧

EL. (m)	γ (kN/m ³)	設計用常時土圧 (kN/m ²)
8.0	20.6	0.0
-4.0	20.6	123.6
-9.0	20.6	175.0

表 4-2 (2/2) 常時土圧荷重 (E₀)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
A部	—	—	1104	1273
B部	984	761	984	761
C部	1298	2397	1298	2397



◁: 床スラブ位置 (支持点)

の配置概念図]

(2) 運転時荷重 (P₁, T₁, H₁)

原子炉格納容器底部コンクリートマットにおいて、運転時の状態で作用する荷重として次のものを考慮する。

a. 運転時圧力 (P₁)

運転時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重で、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$$P_1 = -14 \text{ kPa}$$

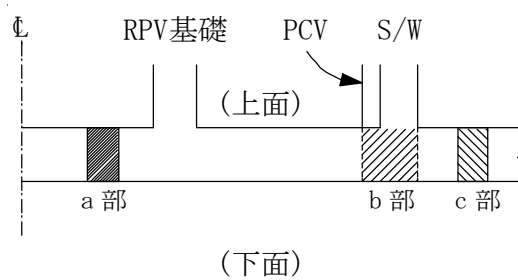
b. 運転時温度荷重 (T₁)

運転時において、原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面との温度差によって生じる荷重で、既工事計画認可申請書 第1回申請添付書類「III-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき上面と下面の温度を表4-3のとおり設定する。

表 4-3 運転時温度荷重 (T₁)

(単位: °C)

	記号		季節	a部		b部		c部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
運転時	T ₁	T _{1S}	夏	32.22	15.00	40.00	15.00	40.00	15.00
		T _{1W}	冬	32.22	15.00	10.00	15.00	10.00	15.00



c. 逃がし安全弁作動時荷重 (H₁)

逃がし安全弁作動時において、原子炉格納容器内に考慮する水力学的動荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$$H_1 = \boxed{}$$

(3) 事故時荷重

a. 設計基準事故時の荷重 (P_2 , T_2)

事故発生後、長時間継続する状態における荷重で、次のものとする。事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3.事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果(平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」)により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) 事故時圧力 (P_2)

事故時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面との圧力差によって生じる荷重で、荷重の発生状況を考慮し、事故発生直後及び 30 日後を考慮し、次のとおりとする。

- ・事故発生直後： $P_{21} =$
- ・事故発生 30 日後： $P_{25} =$

(b) 事故時温度荷重 (T_2)

事故時において、原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面との温度差によって生じる荷重で、事故発生 30 日後を考慮し、上面と下面の温度を表 4-4 に示す。

なお、断面内の温度分布は等価な応力を与える直線分布に換算して扱う。

表 4-4 事故時温度荷重 (T_2)

(単位：℃)

事故発生後の経過時間	記号		季節	a 部		b 部		c 部	
				上面	下面	上面	下面	上面	下面
720 時間 (30 日)	T_{25}	T_{25S}	夏	52.71	13.07	46.36	14.04	40.00	15.00
		T_{25W}	冬	52.71	13.07	31.36	14.04	10.00	15.00

注：a 部、b 部及び c 部の位置は、表 4-3 の説明図を参照のこと。

b. 重大事故時の荷重で長期的に作用する荷重 (P_{SAL} , HS_{SAL} , H_{SA})

重大事故時の状態で長期的（以下「SA (L) 時」という。）に作用する荷重として次のものを考慮する。

なお、重大事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3. 事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果（平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」）により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) SA (L) 時圧力 (P_{SAL})

SA (L) 時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

- ・チャギング荷重と組み合わせる場合 : $P_{SAL}=310$ kPa*
- ・チャギング荷重と組み合わせない場合 : $P_{SAL}=465$ kPa

注記 * : 原子炉冷却材喪失事故時荷重と組み合わせる場合には、事象に応じた内圧を設定。

(b) SA (L) 時水圧荷重 (HS_{SAL})

SA (L) 時において、熔融炉心冷却のための注水時におけるサブプレッションプール水の静水圧で、死荷重として考慮している静水圧との差分として考慮し、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」の冠水水位により、次の値とする。

$$HS_{SAL} = \boxed{}$$

(c) チャギング荷重 (SA 時) (H_{SA})

SA (L) 時において、原子炉格納容器内に考慮するチャギング荷重は、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、設計基準対象施設としての原子炉冷却材喪失事故時荷重 $\boxed{}$ に対して、SA 時の水位上昇を考慮し、保守的に次の値とする。

$$H_{SA} = \boxed{}$$

c. 重大事故時の荷重で SA (L) 時より更に長期的に作用する荷重 (P_{SALL} , HS_{SALL})

重大事故時の状態で SA (L) 時よりも更に長期的（以下「SA (LL) 時」という。）に作用する荷重として次のものを考慮する。

なお、重大事故時の圧力及び温度設定については、東海第二発電所原子炉設置変更許可 添付書類十 3. 事故解析 3.5.1 原子炉冷却材喪失における評価結果（平成 25 年 12 月 26 日付け「総室第 99 号」）により、事故時の圧力及び温度変化に基づき、保守的に事故時荷重を設定する。

(a) SA (LL) 時圧力 (P_{SALL})

SA (LL) 時において、原子炉格納容器底部コンクリートマットの上面と下面の圧力差によって生じる荷重で、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」より、次の値とする。

$$P_{SALL} = 200 \text{ kPa}$$

(b) SA (LL) 時水圧荷重 (HS_{SALL})

SA (LL) 時において、熔融炉心冷却のための注水時におけるサブプレッションプール水の静水圧で、死荷重として考慮している静水圧との差分として考慮し、添付書類「V-2-9-1 原子炉格納容器本体の耐震性についての計算書」の冠水水位により、次の値とする。

$$HS_{SALL} = \boxed{}$$

(4) 地震荷重 (K_d , K_s , E_d , E_s)a. S_d 地震荷重 (K_d)

水平地震力は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び静的地震力より設定し、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき、各部位に分配する。

鉛直地震力は、当該部分が支える重量に係数を乗じて算定する。鉛直地震力の算定に用いる係数は、軸力を当該部分が支える重量で除して求めた係数（以下「層軸力係数」という。）を考慮する。層軸力係数は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的な層軸力係数及び震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮した高さ方向に一定の鉛直震度より算定される静的な層軸力係数より設定する。

水平方向の S_d 地震荷重を表 4-5 及び表 4-6 に、鉛直方向の S_d 地震荷重を表 4-7 に示す。

b. S_s 地震荷重 (K_s)

水平地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力より設定し、既工事計画認可申請書 第1回申請 添付書類「Ⅲ-3-3-14 原子炉格納容器底部コンクリートマット強度計算書」に基づき、各部位に分配する。

鉛直地震力は、当該部分が支える重量に、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的な層軸力係数を乗じて設定する。

なお、 S_s 地震荷重は、応答スペクトルに基づく地震動 (S_{s-D1}) による地震荷重「 $S_{s^*} - 1$ 」、断層モデルに基づく地震動 (S_{s-21} , S_{s-22}) による地震荷重「 $S_{s^*} - 2$ 」及び震源を特定せず策定する地震動 (S_{s-31}) による地震荷重「 $S_{s^*} - 3$ 」の3つの地震力を設定する。

水平方向の S_s 地震荷重を表 4-8 及び表 4-9 に、鉛直方向の S_s 地震荷重を表 4-10 に示す。

c. 地震時増分土圧荷重 (E_d , E_s)

原子炉建屋基礎盤に作用する地震時増分土圧荷重は、地震時増分土圧により地下外壁を介して作用する荷重および基礎盤側面に直接作用する荷重で、表 4-11 のとおり設定する。

表 4-5 地震荷重 (K_d) (せん断力)

(a) NS 方向

部 位	せん断力 (kN)	
	S _d	静的地震力
O/W (東側)	111500	127600
O/W (西側)	109500	125300
I/W (東側)	70200	80300
I/W (西側)	69650	79660
S/W	79280	90690
PCV	22200	22400
RPV 基礎	18600	19000
基礎盤	71070	97050

(b) EW 方向

部 位	せん断力 (kN)	
	S _d	静的地震力
O/W (北側)	120300	136100
O/W (南側)	115700	130800
I/W (北側)	70180	79360
I/W (南側)	66900	75660
S/W	81520	92190
PCV	23200	23200
RPV 基礎	19300	19600
基礎盤	56900	85090

表 4-6 地震荷重 (K_d) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)	
	S_d	静的地震力
O/W (東側)	2164000	2255000
O/W (西側)	2589000	2711000
I/W (東側)	3578000	3734000
I/W (西側)	3613000	3775000
S/W	2732000	2848000
PCV	416000	395000
RPV 基礎	308000	315000
基礎盤	2200000	1767000

(b) EW 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)	
	S_d	静的地震力
O/W (北側)	3259000	3366000
O/W (南側)	1441000	1484000
I/W (北側)	3560000	3677000
I/W (南側)	3742000	3878000
S/W	2953000	3048000
PCV	436000	411000
RPV 基礎	317000	320000
基礎盤	1992000	1616000

表 4-7 地震荷重 (K_d) (軸力)

部 位	軸力 (kN)	
	S _d	静的地震力
O/W	127296	95472
I/W	125536	94152
S/W	99168	74376
PCV	5830	2120
RPV 基礎	33100	13600
基礎盤	147070	184186

表 4-8 地震荷重 (K_s) (せん断力)

(a) NS 方向

部 位	せん断力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (東側)	167500	163700	219400
O/W (西側)	164500	160800	215500
I/W (東側)	105500	103100	138200
I/W (西側)	104700	102300	137100
S/W	119100	116400	156100
PCV	32900	28400	38300
RPV 基礎	26600	26100	32400
基礎盤	217200	149200	143000

(b) EW 方向

部 位	せん断力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (北側)	178700	134400	230300
O/W (南側)	171800	129200	221400
I/W (北側)	104300	78410	134400
I/W (南側)	99360	74750	128100
S/W	121100	91080	156100
PCV	34000	22400	39800
RPV 基礎	27400	19100	33300
基礎盤	200340	144660	126600

表 4-9 地震荷重 (K_s) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (東側)	3245000	3381000	3812000
O/W (西側)	3877000	4037000	4561000
I/W (東側)	5362000	5586000	6303000
I/W (西側)	5415000	5643000	6362000
S/W	4095000	4267000	4811000
PCV	593000	569000	813000
RPV 基礎	432000	403000	561000
基礎盤	3581000	2614000	5077000

(b) EW 方向

部 位	曲げモーメント (kN・m)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W (北側)	4856000	3989000	5692000
O/W (南側)	2151000	1771000	2511000
I/W (北側)	5314000	4378000	6207000
I/W (南側)	5578000	4586000	6531000
S/W	4405000	3623000	5150000
PCV	615000	443000	849000
RPV 基礎	432000	318000	570000
基礎盤	3449000	2292000	4790000

表 4-10 地震荷重 (K_s) (軸力)

部 位	軸力 (kN)		
	S_s^*-1	S_s^*-2	S_s^*-3
O/W	196911	242260	90698
I/W	194189	238911	89444
S/W	153401	188729	70657
PCV	7650	10400	2950
RPV 基礎	56100	62900	20200
基礎盤	258750	306800	100050

表 4-11 地震時増分土圧荷重

(a) S_a 地震時 (E_a)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
A 部	—	—	1063	1497
B 部	825	522	825	522
C 部	1508	4060	1508	4060

注 : A 部, B 部及びC部の位置は, 表 4-2 の説明図を参照のこと。

(b) S_s 地震時 (E_s)

	NS 方向		EW 方向	
	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)	水平力 (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)
A 部	—	—	1772	2495
B 部	1427	1037	1375	870
C 部	2634	7290	2513	6767

注 : A 部, B 部及びC部の位置は, 表 4-2 の説明図を参照のこと。

(5) 積雪荷重 (S)

積雪荷重 (S) は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の地震力と積雪荷重の組合せ及び添付書類「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」に基づき表 4-12 のように設定する。

なお、本資料における「4.3 許容限界」以降で積雪荷重は、活荷重に含めて評価する。

表 4-12 積雪荷重 (S)

荷重及び外力について想定する状態	積雪荷重
地震時荷重 ($S_{\text{地震時}}$)	210 N/m ²

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-13 に示す。

表 4-13 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時	荷重の組合せ	
		応力状態 1*1	応力状態 2*2
III	地震時 (1)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d$	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d+T_1$
	(異常+地震)時 (1)	$D+L+E_0+P_{25}+K_d+E_d$	$D+L+E_0+P_{25}+K_d+E_d+T_{25}$
IV	地震時 (2)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_s+E_s$	—
	(異常+地震)時 (2)	$D+L+E_0+P_{21}+K_d+E_d$	—
V	(異常+地震)時 (3)	$D+L+E_0+P_{SAL}+HS_{SAL}+K_d+E_d$	—
	(異常+地震)時 (4)	$D+L+E_0+P_{SAL}+HS_{SAL}+H_{SA}+K_d+E_d$	—
	(異常+地震)時 (5)	$D+L+E_0+P_{SALL}+HS_{SALL}+K_s+E_s$	—

注記 *1：応力状態 1 は、「CCV規格」CVE-3210（用語の定義）より、各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

*2：応力状態 2 は、「CCV規格」CVE-3210（用語の定義）より、各荷重状態において応力が生じている状態をいう。

- D : 死荷重
- L : 活荷重（地震時の積雪荷重 $S_{地震時}$ を含む）
- E_0 : 常時土圧荷重
- E_d, E_s : 地震時増分土圧荷重
- K_d, K_s : 地震荷重
- T_1 : 運転時温度荷重
- T_{25} : 事故時温度荷重（30 日後）
- P_1 : 運転時圧力
- P_{21} : 事故時圧力（直後）
- P_{25} : 事故時圧力（30 日後）
- P_{SAL} : SA（L）時圧力
- P_{SALL} : SA（LL）時圧力
- H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重
- H_{SA} : チャギング荷重（SA 時）
- HS_{SAL} : SA（L）時水圧荷重
- HS_{SALL} : SA（LL）時水圧荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉格納容器底部コンクリートマットの許容限界は、添付書類「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 4-14 及び表 4-15 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 4-16 及び表 4-17 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-18 に示す。

表 4-14 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	荷重状態	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	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及び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	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		荷重状態Ⅲ	底部	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	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅲの許容値
支持機能*	機器・配管系などの設備を支持する機能を損なわないこと	荷重状態Ⅳ	底部	部材に生じる応力及び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	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

注記 * : 「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 4-15 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	荷重状態	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	荷重状態 V	底部	部材に生じる応力及び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	荷重状態 V の許容値*2
		荷重状態 IV (異常+地震) 時	底部	部材に生じる応力及び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	「CCV規格」に基づく荷重状態 IV の許容値
		荷重状態 III (異常+地震) 時	底部	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	「CCV規格」に基づく荷重状態 III の許容値
支持機能 *1	機器・配管系などの設備を支持する機能を損なわないこと	荷重状態 V	底部	部材に生じる応力及び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	荷重状態 V の許容値*2
		荷重状態 IV (異常+地震) 時	底部	部材に生じる応力及び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	「CCV規格」に基づく荷重状態 IV の許容値

注記 *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: 荷重状態 V の許容値として、荷重状態 IV の許容値と同じ許容値を適用する。

表 4-16 コンクリートの許容応力度

荷重 状態	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	応力状態 1		応力状態 2	
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
Ⅲ	22.1	14.7	1.06	16.5	1.06
Ⅳ	22.1	—	1.06	—	—
Ⅴ	22.1	—	1.06	—	—

表 4-17 鉄筋の許容応力度

荷重 状態	引張及び圧縮 (N/mm^2)	面外せん断補強 (N/mm^2)
		SD345*
Ⅲ	345	345

注記 * : 既工事計画の鉄筋の種類は SD35 であるが, 現在の規格 (SD345) に読み替えた許容応力度を示す。

表 4-18 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

荷重 状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
Ⅳ	0.003	0.005
Ⅴ	0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 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を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN ver. 2016.1.1」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

基礎盤については、EL. -9.0 m～EL. -4.0 mをモデル化する。上部構造については、EL. -4.0 m～EL. 14.0 mをモデル化し、剛性を考慮する。解析モデルを図4-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎盤についてはシェル要素とする。また、基礎盤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1948、要素数は2180である。

(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎盤底面に、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮き上がりを考慮する。

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表4-19に示す。

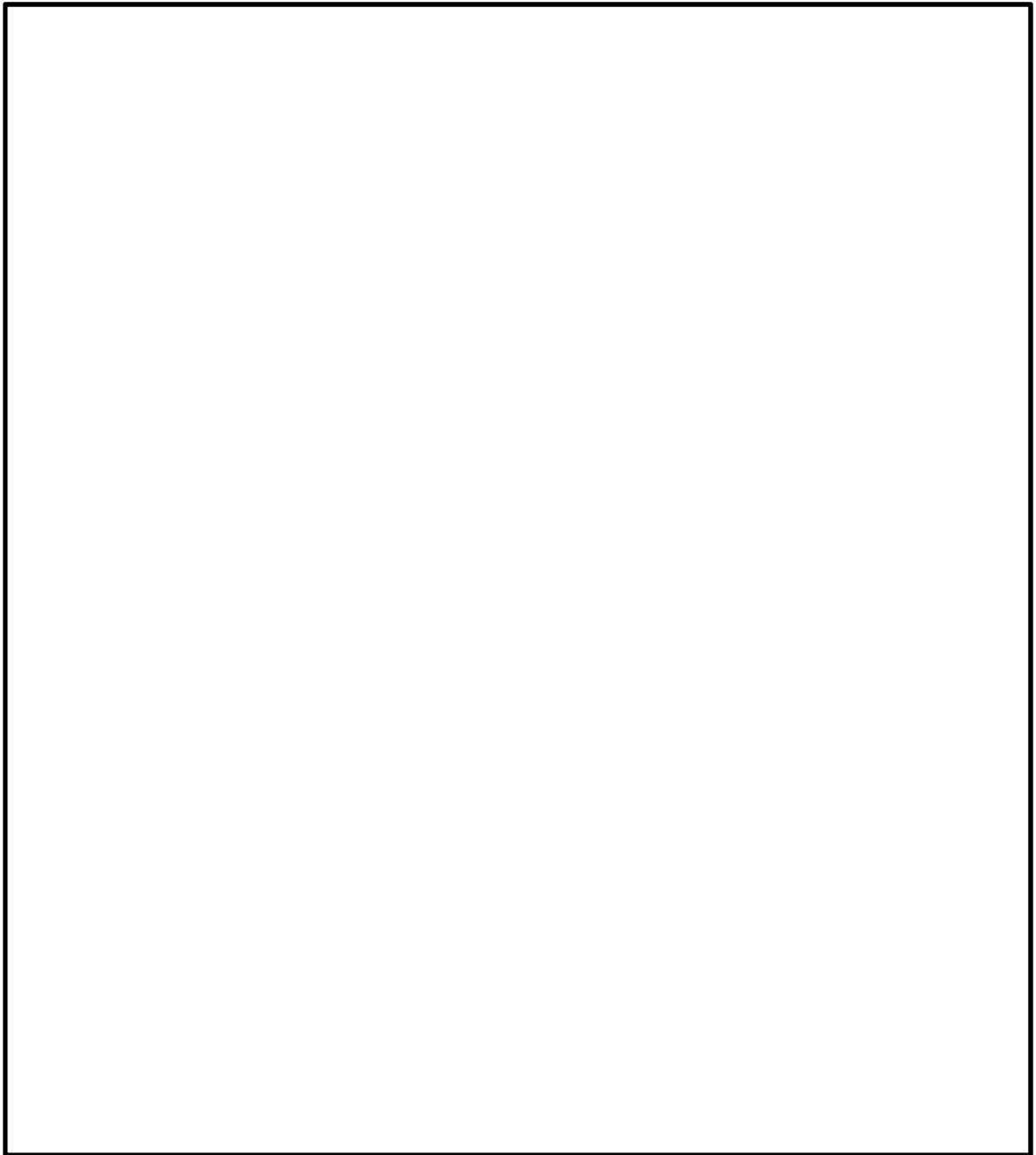


図 4-2 解析モデル

表 4-19 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 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
基礎盤	22.1	2.21×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、荷重状態ⅢからⅤ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。

(1) 荷重ケース

各荷重状態で考慮する S_d 地震時、(異常+ S_d 地震)時、 S_s 地震時及び(異常+ 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。

DL	: 死荷重+活荷重
E_0	: 常時土圧荷重
E_{dNS}	: NS 方向 S_d 地震時増分土圧荷重
E_{dEW}	: EW 方向 S_d 地震時増分土圧荷重
E_{sNS}	: NS 方向 S_s 地震時増分土圧
E_{sEW}	: EW 方向 S_s 地震時増分土圧
K_{d1SN}^*	: S→N 方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d1WE}^*	: W→E 方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d1DU}^*	: 鉛直方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)
K_{d2SN}^*	: S→N 方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{d2WE}^*	: W→E 方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{d2DU}^*	: 鉛直方向 S_d 地震荷重 (静的地震力)
K_{sSN}^*	: S→N 方向 S_s 地震荷重
K_{sWE}^*	: W→E 方向 S_s 地震荷重
K_{sDU}^*	: 鉛直方向 S_s 地震荷重
T_1	: 運転時温度荷重
T_{25}	: 事故時温度荷重 (30日後)
P_1	: 運転時圧力
P_{21}	: 事故時圧力 (直後)
P_{25}	: 事故時圧力 (30日後)
P_{SAL}	: SA (L) 時圧力
P_{SALL}	: SA (LL) 時圧力
H_1	: 逃がし安全弁作動時荷重
H_{SA}	: チャギング荷重 (SA 時)
HS_{SAL}	: SA (L) 時水圧荷重
HS_{SALL}	: SA (LL) 時水圧荷重

注記 * : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している。

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-20 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「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, 2008)」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 4-20 (1/7) 荷重の組合せケース

荷重状態	荷重時名称	ケース No.	荷重の組合せ
Ⅲ	地震時 (1)	1-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_1]$
		1-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_1]$
		1-17	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-18	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-19	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-20	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-21	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-22	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$
		1-23	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_1]$
		1-24	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_1]$

注記 * : []は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 4-20 (2/7) 荷重の組合せケース

荷重状態	荷重時名称	ケース No.	荷重の組合せ
Ⅲ	(異常+地震) 時 (1)	2-1	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-2	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-3	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-4	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-5	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-6	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-7	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-8	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-9	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-10	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-11	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-12	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-13	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-14	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-15	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-16	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-17	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-18	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-19	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-20	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-21	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-22	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$
		2-23	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-24	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW} + [T_{25}]$

注記 * : []は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 4-20 (3/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
IV	地震時 (2)	3-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		3-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		3-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		3-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		3-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

表 4-20 (4/7) 荷重の組合せケース

荷重状態	荷重時名称	ケース No.	荷重の組合せ
IV	(異常+地震) 時 (2)	4-1	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-2	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-3	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-4	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-5	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-6	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-7	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-8	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-9	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-10	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-11	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-12	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-13	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-14	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-15	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-16	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		4-17	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-18	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-19	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-20	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-21	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-22	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$
		4-23	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-24	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dEW}$

表 4-20 (5/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケー ス No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (3)	5-1	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-2	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-3	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-4	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-5	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-6	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-7	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		5-8	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		5-9	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-10	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-11	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-12	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-13	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-14	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		5-15	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		5-16	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$

NT2 補② V-2-9-2-2 R1

表 4-20 (6/7) 荷重の組合せケース

荷重 状態	荷重時 名 称	ケース No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (4)	6-1	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-2	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-3	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-4	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-5	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-6	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-7	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		6-8	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dEW}$
		6-9	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-10	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-11	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-12	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-13	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-14	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$
		6-15	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		6-16	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dEW}$

NT2 補② V-2-9-2-2 R1

表 4-20 (7/7) 荷重の組合せケース

荷重状態	荷重時名称	ケース No.	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (5)	7-1	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-2	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-3	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-4	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-5	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-6	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-7	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
		7-8	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
		7-9	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-10	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-11	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-12	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-13	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-14	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
		7-15	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
		7-16	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

NT2 補② V-2-9-2-2 R1

(3) 荷重の入力方法

a. 通常荷重，運転時荷重及び事故時荷重

解析モデルの各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

b. 地震荷重

上部構造物である RPV 基礎，PCV 及び各耐震壁からの地震時反力を考慮する。

水平地震力は，上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントとし，せん断力は水平力に置換し，解析モデルの各節点における支配面積に応じた節点力として入力し，曲げモーメントは鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

鉛直地震力は，上部構造物からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

また，基礎盤内に作用する荷重については，地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎盤底面に発生する荷重の差を FEMモデルの各要素の面積に応じて分配し，節点力として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

(1) 荷重状態Ⅲ

原子炉格納容器底部コンクリートマットの底部について、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に基づき設定した各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

荷重状態Ⅲにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度を算定する際は、「CCV規格」のCVE-3521.1に基づき、表4-16及び表4-17に示す許容応力度を超えないことを確認する。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3522に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、CVE-3522-1 又は CVE-3522-2 より算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot f_s \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3522-1)}$$

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 4-16 に示す荷重状態Ⅲの値 (N/mm²)

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s \cdot 0.5 \cdot p_w \cdot f_t (p_w - 0.002) \} \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3522-2)}$$

ここで、

- p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計算した値 (0.002 以上とする)
- $p_w = a_w / (b \cdot x)$
- a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)
- x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)
- f_t : 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり、表 4-17 に示す荷重状態Ⅲの値 (N/mm²)
- α : 割増し係数であり、次の計算式により計算した値 (2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする)

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

- 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)

(2) 荷重状態IV及びV

原子炉格納容器底部コンクリートマットの底部について、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に基づき設定した各許容値を超えないことを確認する。

a. 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

荷重状態IV及びVにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみを算定する際は、「CCV規格」のCVE-3521.2に基づき、表4-18に示す許容ひずみを超えないことを確認する。ここで、鉄筋のひずみ算定において、発生応力度が鉄筋の降伏応力度を超える場合は、エネルギー一定則に基づきひずみを算定する。

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみを算定する際のコンクリート及び鉄筋の応力度-ひずみ関係図を図4-3に示す。

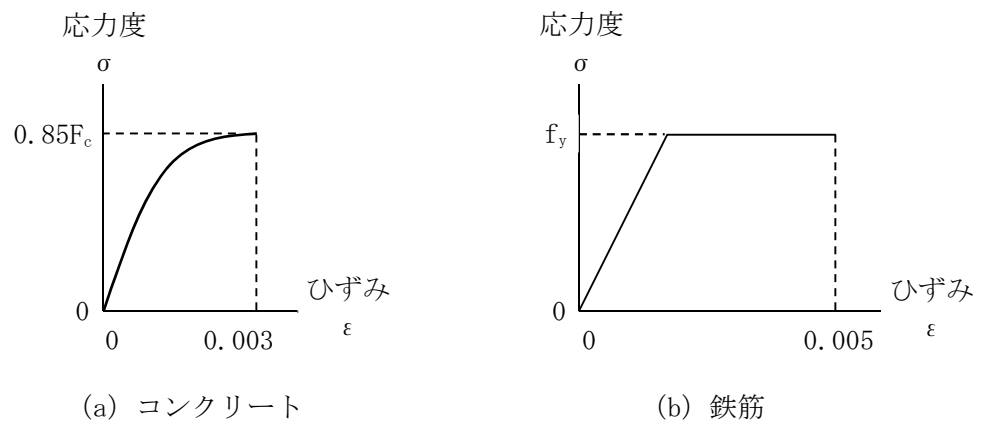


図4-3 コンクリート及び鉄筋の応力度-ひずみ関係図

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3522に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、**CVE-3522-1** 又は **CVE-3522-2** より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot f_s \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3522-1)}$$

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 4-16 に示す荷重状態Ⅲの値 (N/mm²)

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s \cdot 0.5 \cdot p_w \cdot f_t (p_w - 0.002) \} \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3522-2)}$$

ここで、

- p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計算した値 (0.002以上とする)
- $p_w = a_w / (b \cdot x)$
- a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)
- x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)
- f_t : 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり、表 4-17 に示す荷重状態Ⅲの値 (N/mm²)
- α : 割増し係数であり、次の計算式により計算した値 (2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする)

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

- 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)

3次元FEMモデルを用いた応力の算定において、FEM要素に応力集中等が見られる場合については、「RC-N規準」に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。

5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

(1) S_s 地震時の確認結果

地盤物性のばらつきを考慮した地震時の最大接地圧が 1087 kN/m^2 ($S_s - 31$, EW 方向) 以下であることから、地盤の極限支持力度 (2480 kN/m^2) を超えないことを確認した。

S_s 地震時の最大接地圧を表 5-1～表 5-3 に示す。

(2) S_d 地震時の確認結果

地盤物性のばらつきを考慮した地震時の最大接地圧が 764 kN/m^2 ($S_d - 31$, EW 方向) 以下であることから、地盤の短期許容支持力度 (1650 kN/m^2) を超えないことを確認した。

S_d 地震時の最大接地圧を表 5-4～表 5-6 に示す。

表 5-1 S_s地震時の最大接地圧（基本ケース）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	944	951
S _s -1 1	634	669
S _s -1 2	672	688
S _s -1 3	675	694
S _s -1 4	628	628
S _s -2 1	932	714
S _s -2 2	930	845
S _s -3 1	1034	1039

表 5-2 S_s地震時の最大接地圧（地盤物性+σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	987	993
S _s -2 1	964	744
S _s -2 2	1000	906
S _s -3 1	1059	1065

表 5-3 S_s地震時の最大接地圧（地盤物性-σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _s -D 1	910	915
S _s -2 1	879	685
S _s -2 2	867	788
S _s -3 1	1083	1087

表 5-4 S_d地震時の最大接地圧（基本ケース）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	714	717
S _d -1 1	525	544
S _d -1 2	553	560
S _d -1 3	553	563
S _d -1 4	523	527
S _d -2 1	682	573
S _d -2 2	692	644
S _d -3 1	745	748

表 5-5 S_d地震時の最大接地圧（地盤物性+σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	734	737
S _d -2 1	705	586
S _d -2 2	724	669
S _d -3 1	761	764

表 5-6 S_d地震時の最大接地圧（地盤物性-σ考慮モデル）

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	
	NS 方向	EW 方向
S _d -D 1	690	693
S _d -2 1	665	561
S _d -2 2	666	623
S _d -3 1	728	731

5.2 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの要素図及び配筋領域図を図5-1及び図5-2に、原子炉格納容器底部コンクリートマットの配筋一覧を表5-7に示す。

(1) 荷重状態Ⅲ

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-3及び図5-4に、評価結果を表5-8及び表5-9に示す。

荷重状態Ⅲにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及びコンクリートの圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、各許容値を超えないことを確認した。

(2) 荷重状態Ⅳ及びⅤ

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図5-5～図5-9に、評価結果を表5-10～表5-14に示す。

荷重状態Ⅳ及びⅤにおいて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、各許容値を超えないことを確認した。

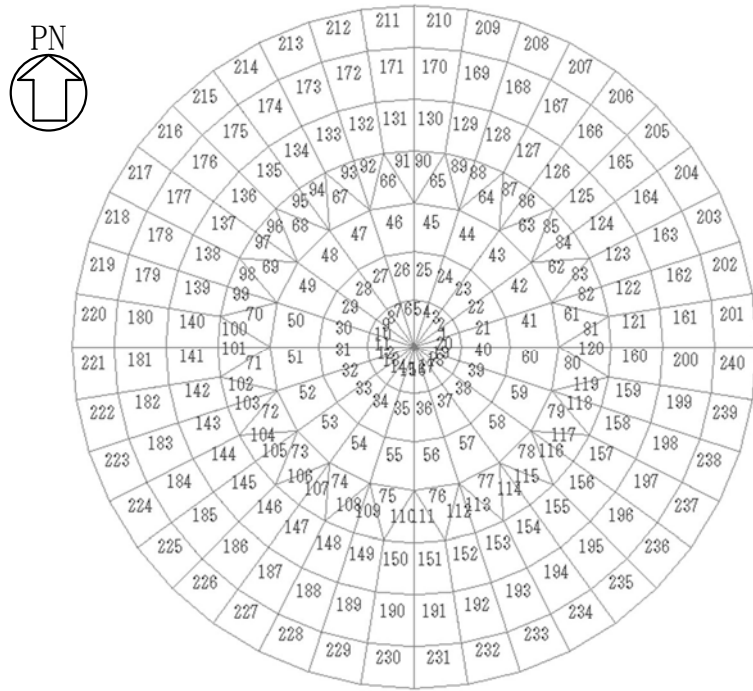
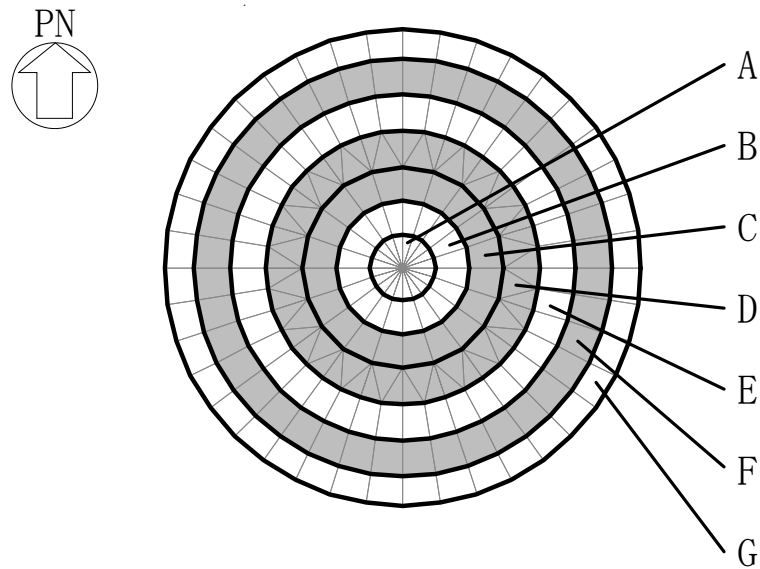


図 5-1 要素図



注 : ■ はせん断補強筋を考慮する領域を示す。

図 5-2 配筋領域図

表 5-7 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋	せん断補強筋
A	EW	3-D38@128	3-D38@128	—
	NS	3-D38@128	3-D38@128	—

(b) $r - \theta$ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋	せん断補強筋
B	半径	17-D38/45° (3 段)	17-D38/45° (3 段)	—
	円周	3-D38@200	3-D38@200	—
C	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)	D22@400
	円周	3-D38@200	3-D38@200	D22@400
D	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)	D22@400
	円周	3-D38@180	3-D38@180	D22@400
E	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)	—
	円周	3-D38@175	3-D38@175	—
F	半径	68-D38/45° (3 段)	68-D38/45° (3 段)	D22@400
	円周	3-D38@200	3-D38@200	D22@400
G	半径	68-D38/45° (4 段)	68-D38/45° (4 段)	—
	円周	4-D38@200	4-D38@200	—

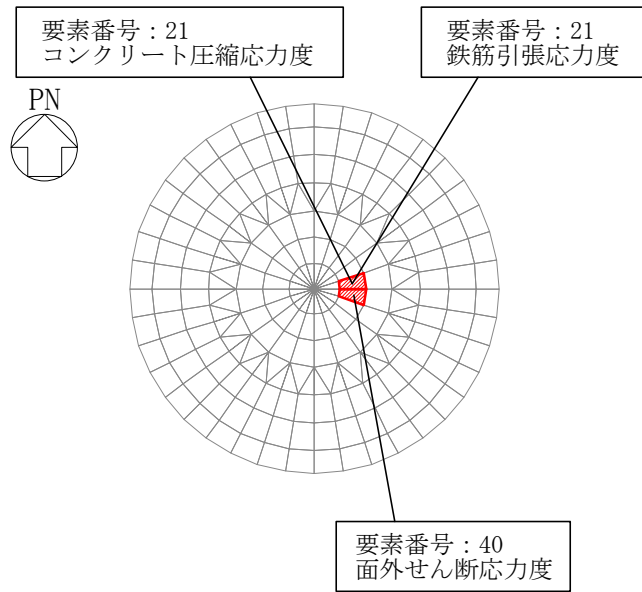


図 5-3 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

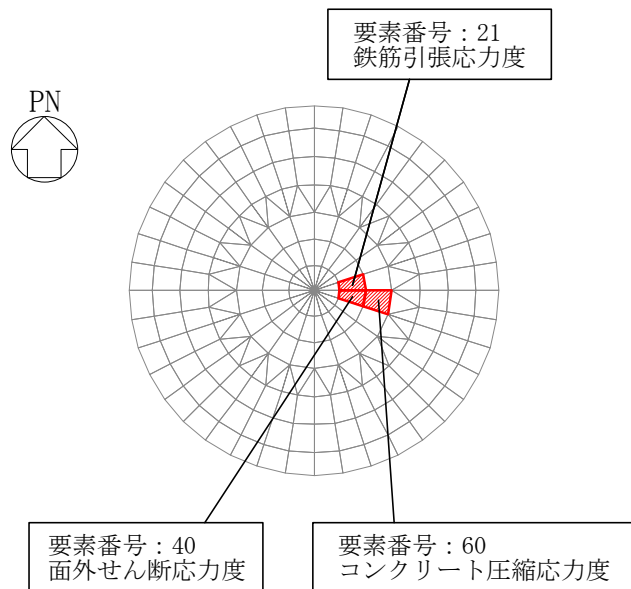


図 5-4 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・(異常+地震) 時 (1)

表 5-8 評価結果 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	21	1-22	3.59	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	1-22	137	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	40	1-22	0.754	1.06

表 5-9 評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	60	2-22	4.71	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	2-22	200	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	40	2-22	0.721	1.06

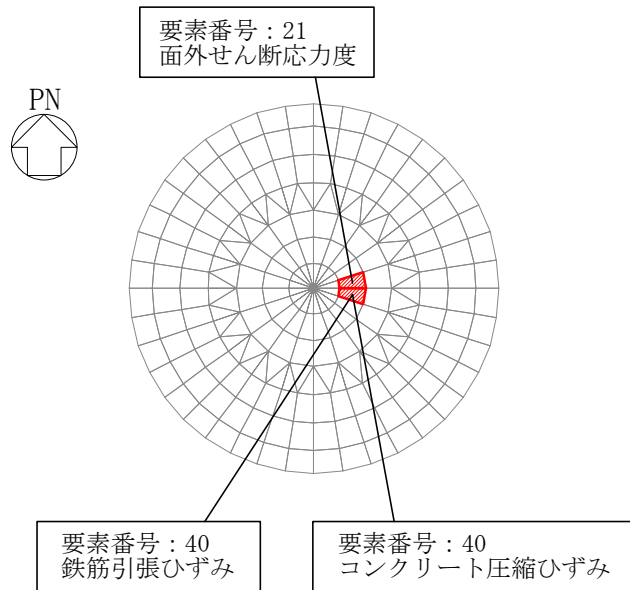


図 5-5 結果を記載する要素の位置 荷重状態IV・地震時 (2)

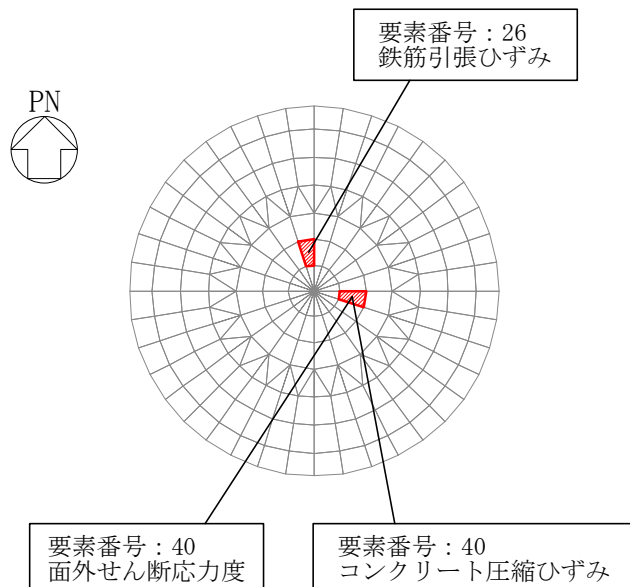


図 5-6 結果を記載する要素の位置 荷重状態IV・(異常+地震) 時 (2)

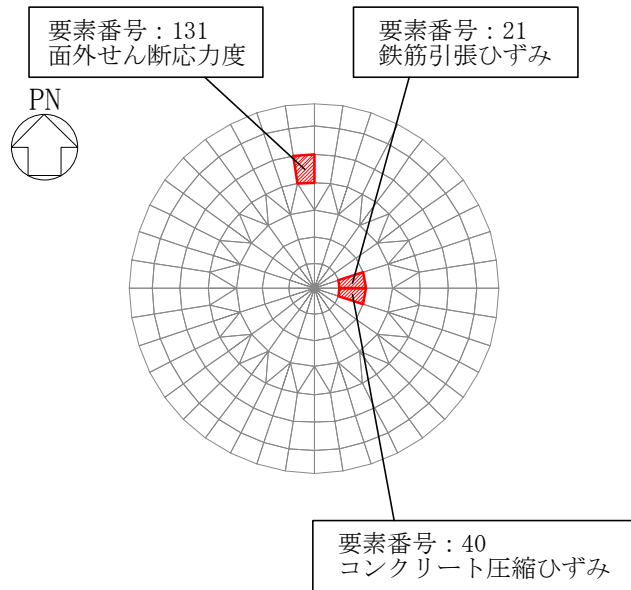


図 5-7 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

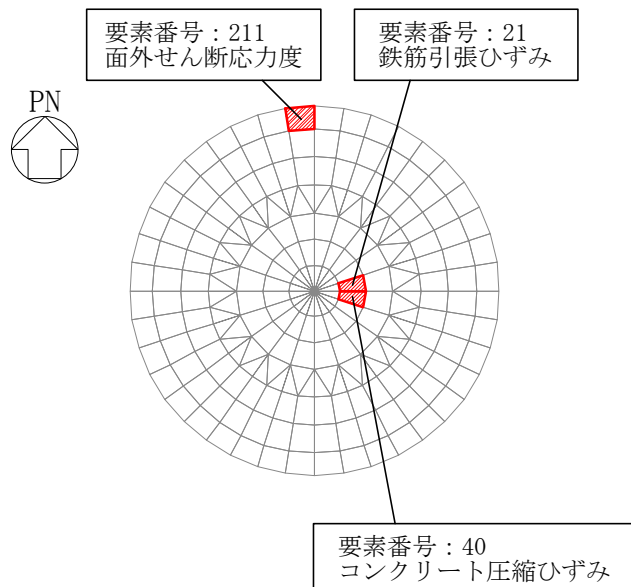


図 5-8 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (4)

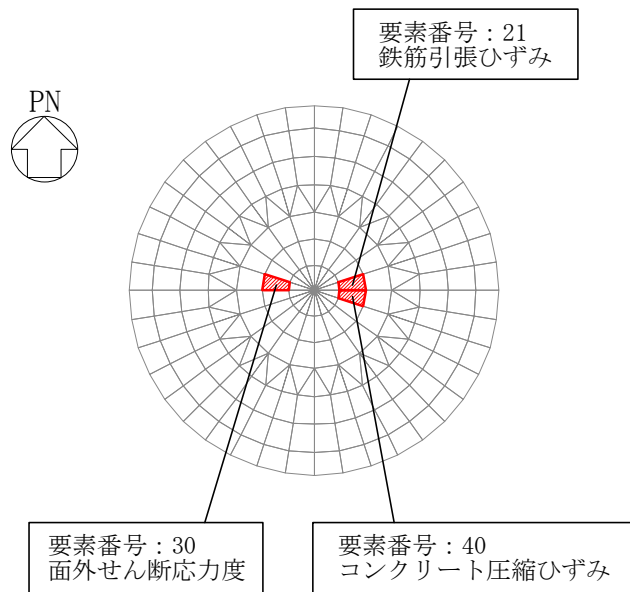


図 5-9 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (5)

表 5-10 評価結果 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	3-6	0.333	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	40	3-4	0.642	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	21	3-6	1.04*	1.06

注記 * : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

表 5-11 評価結果 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	4-6	0.288	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	26	4-5	0.589	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	40	4-6	0.672	1.06

表 5-12 評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (3)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	5-6	0.375	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	5-6	0.895	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	131	5-5	0.781	1.06

表 5-13 評価結果 荷重状態V・(異常+地震)時 (4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	6-6	0.341	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	6-6	0.840	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	211	6-5	0.723	1.06

表 5-14 評価結果 荷重状態V・(異常+地震)時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	7-6	0.426	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	7-6	0.814	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	30	7-6	1.03*	1.06

注記 * : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

別紙1 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響

(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

目次

1. 概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1
2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査・・・・・・・・ 別紙 1-1
 - 2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性・・・・・・・・ 別紙 1-1
 - 2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性・・・・・・・・ 別紙 1-2
3. 施設を構成する部材の構造特性・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-4
4. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-4

1. 概要

原子炉格納施設は、炉心が損傷するような重大事故等時において、設計圧力、設計温度を超えることが想定される。原子炉格納施設のうち原子炉格納容器内の温度は、重大事故等時には高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が190℃付近では結晶水が解放され始め、さらに高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、強度及び剛性は、概ね200℃から300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、内表面が構成ライナで覆われていること、重大事故等時には、冷却水による水蒸気で満たされていることから、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175 °C のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、概ね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10 % 以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められない。

また、文献 No. 3～No. 7 は、加熱温度 110 °C のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 は加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められないとされている。また、No. 3 は加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 は加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175 °C において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110 °C では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175 °C 程度までの高温環境によるコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者	試験条件		
			温度	加熱期間	水分
1	高温 (175°C) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリート No. 449, July 1984)	川口 徹, 高橋久雄	175°C	1~91 日	シール アンシール
2	高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第 457 号, 1994 年 3 月)	長尾覚博, 中根 淳	40~175, 300, 600°C	1~91 日 (~175°C) 7 日 (300, 600°C)	シール アンシール
3	熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究 (第 48 回セメント技術大会講演集, 1994)	長尾覚博, 鈴木智巳, 田淵正昭	①65, 90, 110°Cの一定加熱 ②20~110°Cのサイクル熱	1 日~3.5 年間	シール アンシール
4	長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010 年 9 月)	木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立	①20°Cの一定加熱 ②110°Cのサイクル加熱	①50 日 ②1~50 サイクル (1 サイクル: 1 日) (注) 110°Cの期間: 9h	シール アンシール
5	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	藺田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武	①20, 110, 180, 325°Cの一 定加熱 ②~110°C, ~180°C ~325°Cのサイクル加熱	①1 日~24 か月	シール アンシール
6	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 藺田 敏, 大池 武		②1~180 サイクル (1 サイクル: 72 時間) (注) 高温保持時間: 24	
7	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的研究 (その 3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 藺田 敏, 守屋正裕		時間	

3. 施設を構成する部材の構造特性

「発電用原子炉設備規格 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，部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は，自己拘束的な応力であることから，十分な塑性変形能力がある場合，終局耐力に影響しないこととされている。

また，原子炉格納容器底部コンクリートマットについて，コンクリート内表面が高温となっても，十分な厚さのコンクリートがあり，その底面の地中温度は不易層の温度（15℃）であるため，全体が高温になることはない。原子炉格納容器底部コンクリートマットの内表面が高温となると，その下端には水平方向に引張が発生するが，地盤による拘束もあるため，その応力レベルは部材剛性に影響を与えるものではない。

更に，基礎地盤の支持性能について，重大事故等時の状態と設計基準状態とで，材料特性の相違は小さく，地震応答解析による接地圧への影響は大きくないと考えられ，かつ設計基準の状態における基準地震動 S_0 に対する最大接地圧は，許容限界に対して十分な余裕を有していることから，構造特性についても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート建造物の高温時の健全性について，既往の文献・規格基準に基づき評価を行い，原子炉格納容器の重大事故等時における高温状態に対しても，鉄筋コンクリート建造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。

別紙2 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討
(原子炉格納容器底部コンクリートマット)

目次

1. 概要…………… 別紙 2-1
2. 検討方針…………… 別紙 2-1
3. 検討結果…………… 別紙 2-3
4. まとめ…………… 別紙 2-7

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響についての検討を行う。

添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて、原子炉格納容器底部コンクリートマットの応力解析による評価結果への影響を検討する。

2. 検討方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットを対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量が増加を考慮した応答比率と応力評価結果より影響検討を行う。

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、原子炉格納容器の周囲の壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）からの基礎への地震時せん断力及び軸力を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10), EL. -4.0 m～EL. 2.0 m）の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

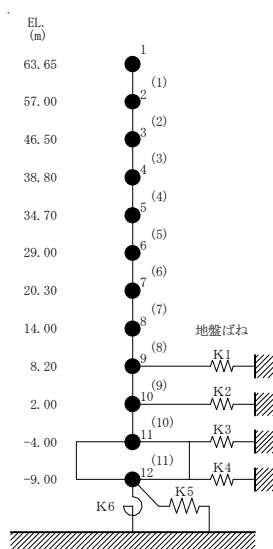
表 2-1 に要素番号(10)の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率及び割増係数を示す。

表 2-1 重量増加を考慮した割増係数：原子炉格納容器底部コンクリートマット

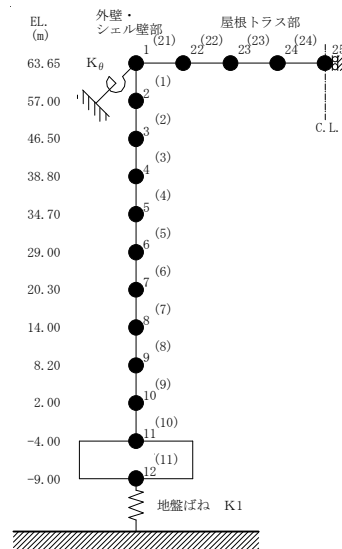
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号(10)	1.02* ¹	1.02* ¹	1.02* ¹
割増係数	1.02* ²		

注記 *1：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」に示す要素番号(10)の最大応答せん断力及び軸力の応答比率

*2：各方向の応答比率の最大値



NS 方向及び EW 方向



UD 方向

3. 検討結果

各荷重状態における評価結果を表 3-1～表 3-7 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

表 3-1 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅲ・地震時（1）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	21	1-22	3.59	1.02	3.67	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	1-22	137	1.02	140	345
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	40	1-22	0.754	1.02	0.770	1.06

表 3-2 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅲ・（異常+地震）時（1）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	60	2-22	4.71	1.02	4.81	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	21	2-22	200	1.02	204	345
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	40	2-22	0.721	1.02	0.736	1.06

表 3-3 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅳ・地震時（2）

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	3-6	0.333	1.02	0.340	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	40	3-4	0.642	1.02	0.655	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	21	3-6	1.04* ¹	1.02	1.06* ²	1.06

注記 *1：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

*2：有効数字3桁表示としているが、有効数字4桁では1.058となる。

表 3-4 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	4-6	0.288	1.02	0.294	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	26	4-5	0.589	1.02	0.601	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	40	4-6	0.672	1.02	0.686	1.06

表 3-5 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (3)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	5-6	0.375	1.02	0.383	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	5-6	0.895	1.02	0.913	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	131	5-5	0.781	1.02	0.797	1.06

表 3-6 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	6-6	0.341	1.02	0.348	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	6-6	0.840	1.02	0.857	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	211	6-5	0.723	1.02	0.738	2.12

表 3-7 重量増加を考慮した評価結果：荷重状態 V・(異常+地震)時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増 係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げ モーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	半径	40	7-6	0.426	1.02	0.435	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	21	7-6	0.814	1.02	0.831	5.00
面外 せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	30	7-6	1.03*	1.02	1.05	2.12

注記 * : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

4. まとめ

原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。