NT2 補② V-2-9-2-2 R1

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 4
提出年月日	平成 30 年 6 月 26 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
2. 基本方針
2.1 位置
2.2 構造概要
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
5. 評価結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
5.1 地震応答解析による評価結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
5.2 応力解析による評価結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 48
別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故時等の高温による影響(原子炉格納容器底部コンクリー
トマット)

1. 概要

本資料は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉格納容器底部(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より行う。

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。

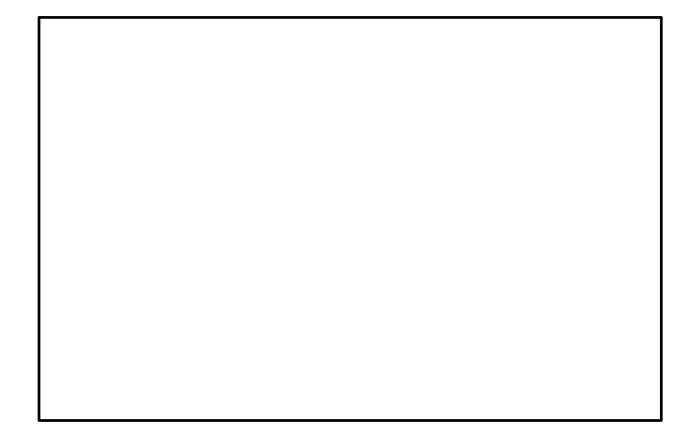


図 2-1 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置

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 $68.5\,\mathrm{m}$ 、東西方向 $68.25\,\mathrm{m}$ 、厚さ $5.0\,\mathrm{m}$ 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 1 次遮蔽壁(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(0/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。

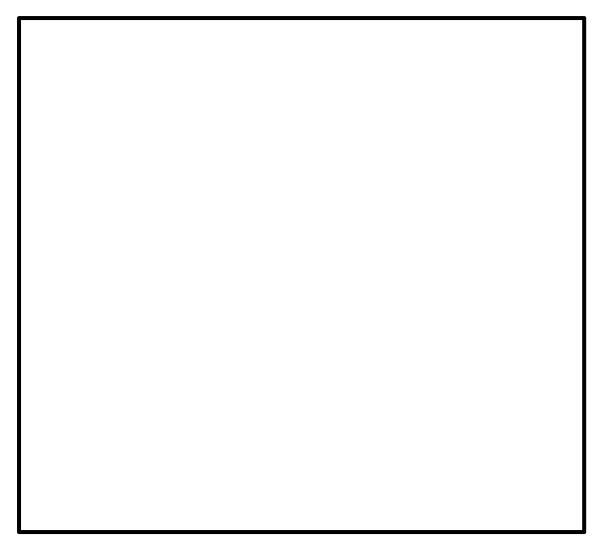


図 2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の 概略平面図

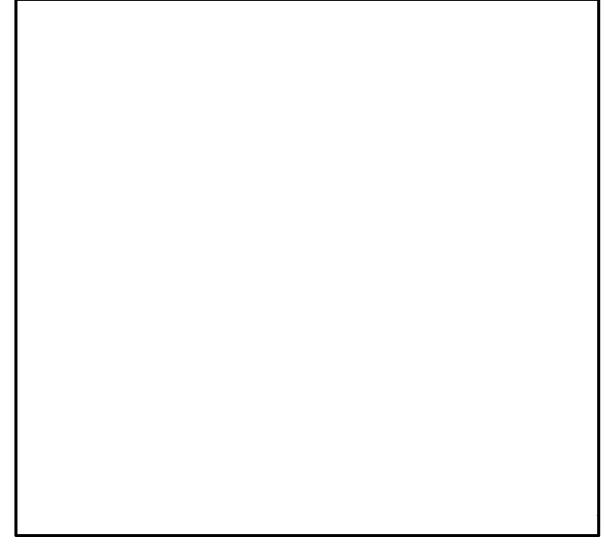


図 2-3 (1/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の 概略断面図 (A-A 断面)

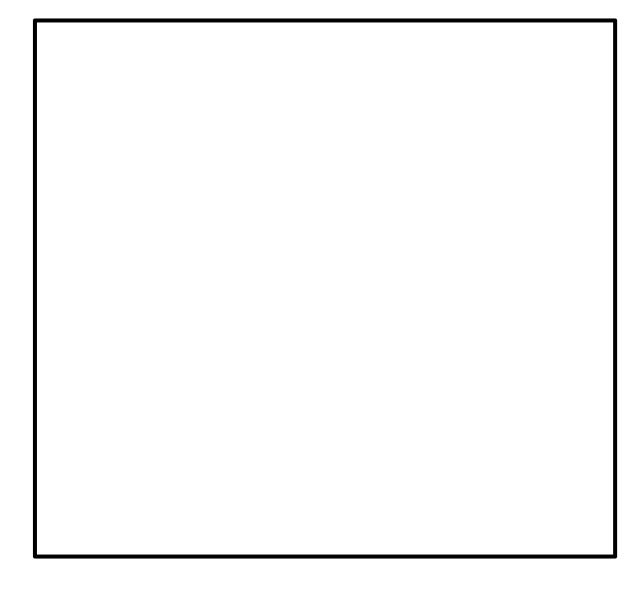


図 2-3 (2/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の 概略断面図 (B-B 断面)

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 a 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 。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、資料 V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉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

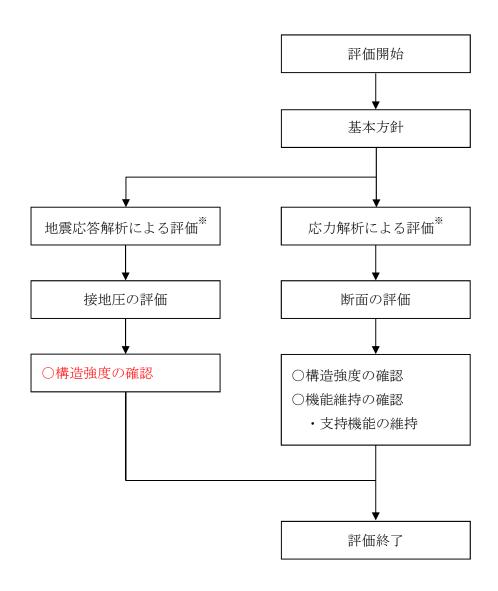
原子炉格納容器底部コンクリートマットの評価は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては接地圧の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、原子炉格納容器底部コンクリートマットの地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。なお、接地圧は、原子炉格納容器底部コンクリートマット並びに原子炉棟基礎及び付属棟基礎を一体として扱い、原子炉建屋基礎盤全体として評価する。機能維持の確認においては、支持機能を確認する。なお、気密性の確認については、ライナープレートの変形が原子炉格納容器底部コンクリートマットの変形に追従する形で制限されていることから、その構造強度を確認することで間接的に気密性を担保する。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、資料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。

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 S つの荷重状態に分類し、これらのうち荷重状態 V の地震時における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で,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及びIV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「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充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。



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

図 2-4 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。

- · 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。)
- · 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編JEAG4601・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)

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、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、地盤剛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、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、 $\frac{1}{8}$ 3-1及び $\frac{1}{8}$ 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、圧力荷重及び水圧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玄海 (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	基準地震動 S _s	基礎地盤	最大接地圧が 地盤の支持力度を 超えないことを確認	極限支持力度 5360 kN/m²
	有すること	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 地盤の支持力度を 超えないことを確認	短期許容支持力度 3570 kN/m²

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 地盤の支持力度を 超えないことを確認	極限支持力度 5360 kN/m ²

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あたっては、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。

荷重状態 \mathbb{II} ~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。

(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。

(2) 荷重状態IVに対する評価

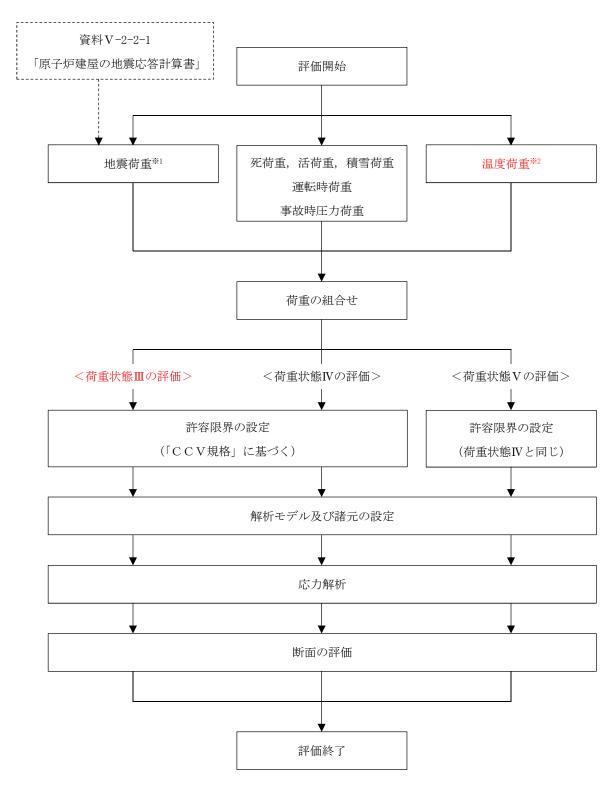
荷重状態IVに対する評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、地震力と 地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力またはひずみが、「CCV規格」に基づいて 設定した許容限界を超えないことを確認する。

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。



%1: ばらつきについては、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する・

※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、資料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の底部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) 死荷重および活荷重は表 4-1 の通り設定する。

表 4-1 死荷重及び活荷重

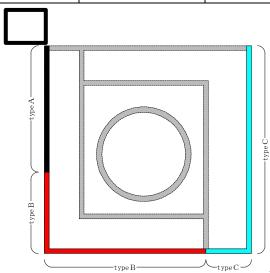
部位	通常荷重 (kN)
0/W	397800
I/W	392300
S/W	309900
PCV	8826
RPV 基礎	56490
サプレッションプール水静水圧	34700
基礎盤上	171904
基礎 <mark>盤</mark> 自重	561020

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、地下外壁から作用する荷重及び基礎盤側面に作用する荷重で、表 4-2 の通り設定する。

\$ 4 = 1 = 114 4 - 1 7					
	NS 方向		EW 方向		
	水平力 曲げモーメント		水平力	曲げモーメント	
	(kN/m)	(kN⋅m/m)	(kN/m)	(kN⋅m/m)	
type A	_	_	1104	1273	
type B	984	761	984	761	
type C	1298	2397	1298	2397	

表 4-2 常時土圧荷重



(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,次の値とする。

 $P_1 = -14 \text{ kPa}$

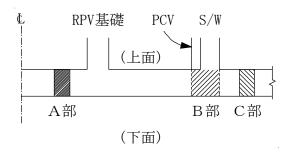
b. 運転時温度荷重 (T₁)

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、上面と下面の温度を表 4-3 に示す。

表 4-3 運転時温度荷重 (T₁)

(単位:℃)

	記号		⇒ 1 □.		新 县 李 【		A部		B部		C部	
			節	上面	下面	上面	下面	上面	下面			
運転時	т	T_{1S}	夏	32. 22	15. 00	40.00	15. 00	40.00	15. 00			
建松时	T_1	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,次の値とする。

86.3 kPa, -40.2 kPa

(3) 事故時荷重

a. 設計基準事故時の荷重 (P₂, T₂)

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。

(a) 事故時圧力 (P₂)

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、事故発生直後及び30日後を考慮し、次のとおりとする。

 $P_{21} = 241 \text{ kPa}$

 P_{25} = 34 kPa

(b) 事故時温度荷重(T₂)

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 (T₂)

(単位:℃)

事故							季	A	部	В	部	С	部
発生後の	記	号	節	1 	T-T-	1 7 '	~~ ~	. 					
経過時間			비고	上面	下面	上面	下面	上面	下面				
720 時間	т	T_{25S}	夏	52. 71	13. 07	46. 36	14. 04	40.00	15. 00				
(30 目)	I 25	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 (PSAL, HSSAL)

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。

(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で,次の値とする。

 P_{SAL} =465 kPa

(b) SA(L) 時水圧荷重(HS_{SAL})

SA(L)時において,溶融炉心冷却のための注水時におけるサ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,次の値とする。

 $H_{SAL} = 38350 \text{ kN}$

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 (PSALL, HSSALL)

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。

(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、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、溶融炉心冷却のための注水時におけるサ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、次の値とする。

 $H_{SALL} = 38350 \text{ kN}$

(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_a 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 a 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。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による地震荷重 S_s^*-1 、断層モデルに基づく地震動による地震荷重 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. 地震時增分土圧荷重(Ed, Es)

原子炉建屋基礎盤に作用する地震時増分土圧荷重は、地下外壁から作用する荷重および基礎盤側面に作用する荷重で、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

₩	せん断力 (kN)			
部位	S d	静的地震力		
0/W (東側)	111500	127600		
0/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		

<i>\$</i> ₽ / ÷	せん断力(kN)			
部位	S d	静的地震力		
0/W (東側)	120300	136100		
0/W (西側)	115700	130800		
I/W(東側)	70180	79360		
I/W (西側)	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

₩ /÷	曲げモーメント (kN·m)			
部 位	S d	静的地震力		
0/W (東側)	2164000	2255000		
0/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		

部位	曲げモーメント (kN·m)			
前3 1火	S _d	静的地震力		
0/W (東側)	3613000	3687000		
0/W (西側)	1441000	1484000		
I/W (東側)	3959000	4000000		
I/W (西側)	3742000	3878000		
S/W	2953000	3048000		
PCV	436000	411000		
RPV 基礎	317000	320000		
基礎盤	1239000	972000		

表 4-7 地震荷重 (K_d) (軸力)

	- 12/24/14 <u>- 1</u>		
₩	軸力(kN)		
部 位	S d	静的地震力	
0/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

	せん断力 (kN)			
部位	S s*-1	S s*-2	S _s *-3	
0/W (東側)	167500	163700	219400	
0/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	

*** /-	せん断力 (kN)			
部位	S s*-1	S s*-2	S _s *-3	
0/W (東側)	178700	134400	230300	
0/W (西側)	171800	129200	221400	
I/W (東側)	104300	78400	134400	
I/W (西側)	99400	74800	128100	
S/W	121100	91100	156100	
PCV	34000	22400	39800	
RPV 基礎	27400	19100	33300	
基礎盤	200300	144600	126600	

表 4-9 地震荷重 (K_s) (曲げモーメント) (a) NS 方向

-t-r /-t-	曲げモーメント (kN·m)			
部位	S s*-1	S s*-2	S _s *-3	
0/W (東側)	3245000	3381000	3812000	
0/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	

	曲げモーメント (kN·m)			
部位	S s*-1	S s*-2	S _s *-3	
0/W (東側)	5075000	4297000	5840000	
0/W (西側)	2151000	1771000	2511000	
I/W (東側)	5491000	4659000	6258000	
I/W (西側)	5578000	4586000	6531000	
S/W	4405000	3623000	5150000	
PCV	615000	443000	849000	
RPV 基礎	432000	318000	570000	
基礎盤	3053000	1703000	4591000	

表 4-10 地震荷重 (K_s) (軸力)

÷n /4-	軸力(kN)				
部 位	S s*-1	S s*-2	S _s *-3		
0/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 地震時增分土圧荷重

(a) S_d地震時(E_d)

	NS 2	方向	EW 方向	
	水平力	曲げモーメント	水平力	曲げモーメント
	(kN/m)	(kN·m/m)	(kN/m)	(kN⋅m/m)
type A	_	_	1063	1497
type B	825	522	825	522
type C	1508	4060	1508	4060

注:typeA, typeB及びtypeCの位置は、 $\frac{1}{8}$ 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 曲げモーメント		水平力	曲げモーメント	
	(kN/m)	(kN⋅m/m)	(kN/m)	(kN⋅m/m)	
type A	_	_	1772	2495	
type B	1427	1037	1375	870	
type C	2634	7290	2513	6767	

注:typeA, typeB及びtypeC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,資料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資料V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉棟の耐震性についての計算書」に基づき表 4 -12 のように設定する。なお,本資料において「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 _{地震時})	$210~\mathrm{N/m^2}$

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	共壬吐	荷重の組合せ		
状態	荷重時	応力状態 1 ^{※1}	応力状態 2 ^{※2}	
Ш	地 震 時 (1)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d$	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_d+E_d+T_1$	
Ш	(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)	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_s+E_s$	_	
1V	(異常+地震) 時 (2)	$D+L+E_0+P_{21}+K_d+E_d$	_	
V	(異常+地震) 時 (3)	$D+L+E_0+P_{SAL}+HS_{SAL}+K_d+E_d$	_	
V	(異常+地震) 時 (4)	D+L+E ₀ +P _{SALL} +HS _{SALL} +K _s +E _s	_	

※1:応力状態1 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

※2: 応力状態2 各荷重状態において温度荷重による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)

E₀ : 常時土圧荷重

Ed, Es : 地震時增分土圧荷重

K_d, K_s : 地震荷重

T₁ : 運転時温度荷重

T₂₅ : 事故時温度荷重(30日後)

P1 : 運転時圧力

P₂₁ : 事故時圧力(直後)P₂₅ : 事故時圧力(30日後)

P_{SAL} : SA (L) 時圧力 P_{SALL} : SA (LL) 時圧力

H₁:逃がし安全弁作動時荷重

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、資料V -2-1-9 「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 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

※:「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)

	(里八争以寺刈だ旭武としての計画)					
要求	機能設計上の	荷重状態	部 位	機能維持のための	許容限界	
機能	性能目標	何里伙您	<u>小</u> ,	考え方	(評価基準値)	
	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}		
_	構造強度を 有すること	荷重状態IV 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	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		
機器・配管系などの設備を	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}		
機能 ※1	機能 支持する機能	荷重状態IV 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	

※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N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	F_{c}	応力状態 1		応力状態 2	
状態	$(\mathrm{N/mm}^2)$	圧縮	せん断	圧縮	せん断
		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
Ш	22. 1	14. 7	1.06	16. 5	1.06
IV	22. 1	1	1.06	1	1
V	22. 1	1	1.06	1	1

表 4-17 鉄筋の許容応力度

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

※: 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	コンクリート	鉄筋	
状態	(圧縮ひずみ)	(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などの概要については、資料V-5-1「計算機プログラム(解析コード)の概要・MSC NASTRAN」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、梁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2186である。

(3) 境界条件

3 次元F EMモデルの基礎底面に、資料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F EM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。

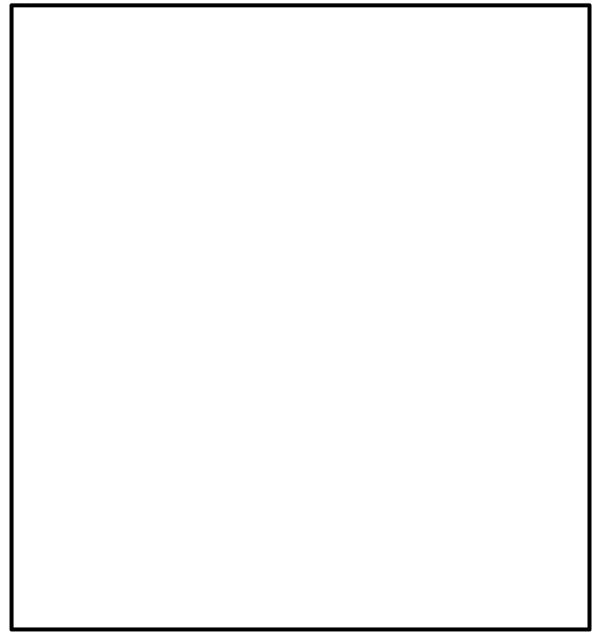


図 4-2 解析モデル

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/mm²)	ヤング係数 E (N/mm²)	ポアソン比 v
基礎版	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F EM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_a 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。

DL : 死荷重+活荷重

E₀ : 常時土圧荷重

EdNS 方向 Sd 地震時増分土圧荷重

Edew : 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_{diWE} : W \rightarrow E 方向 S_d 地震荷重 (動的地震力)

: 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)

: 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

T₁ :運転時温度荷重

T₂₅ : 事故時温度荷重 (30 日後)

P₁ : 運転時圧力

P₂₁: 事故時圧力(直後)

P₂₅ : 事故時圧力 (30 日後)

P_{SAL} : SA (L) 時圧力

P_{SALL} : SA (LL) 時圧力

H₁: 逃がし安全弁作動時荷重

HS_{SAL} : SA (L) 時水圧荷重

HS_{SALL} : SA (LL) 時水圧荷重

(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年)」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 (1/6) 荷重の組合せケース

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

※[]は応力状態2に対する荷重を表す。

表 4-20 (2/6) 荷重の組合せケース

荷重	荷重時	ケース	110-50
状態	名 称	No.	荷重の組合せ
Ш	(異常+地震) 時(1) 2-1 DL+E ₀ +P ₂₅ +		$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-2	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-3	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-4	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-5	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-6	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-7	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-8	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-9	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-10	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-11	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-12	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-13	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-14	$DL + E_0 + P_{25} + 0.4 K_{d1WE} - 1.0 K_{d1DU} + 0.4 E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-15	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-16	$DL + E_0 + P_{25} - 0.4 K_{d1WE} - 1.0 K_{d1DU} + 0.4 E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-17	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-18	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-19	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-20	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-21	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-22	$DL + E_0 + P_{25} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN} + [T_{25}]$
		2-23	$DL + E_0 + P_{25} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS} + [T_{25}]$
		2-24	$DL+E_0+P_{25}-1.0K_{d2WE}-1.0K_{d2DU}+1.0E_{dSN}+[T_{25}]$

※[]は応力状態2に対する荷重を表す。

表 4-20 (3/6) 荷重の組合せケース

荷重	荷重時	ケース	## 5 0 /11 / 12	
状態	名 称	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	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$	
		3-3	$DL+E_0+P_1+H_1-1.0K_{sSN}+0.4K_{sDU}+1.0E_{sNS}$	
		3-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$	
		3-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$	
		3-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$	
		3-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sN}$	
		3-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$	
		3-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$	
		3-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$	
		3-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{SSN} + 1.0K_{SDU} + 0.4E_{SNS}$	
		3-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$	
		3-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU} + 0.4E_{SNS}$	
		3-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$	
		3-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU} + 0.4E_{SNS}$	
		3-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$	

表 4-20 (4/6) 荷重の組合せケース

荷重	荷重時	ケース	### 0 /11 / 12
状態	名 称	No.	荷重の組合せ
IV	(異常+地震) 時(2) 4-		$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-2	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-3	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-4	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-5	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-6	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-7	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-8	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-9	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-10	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN}$
		4-11	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-12	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4 K_{d1WE} + 1.0 K_{d1DU} + 0.4 E_{dSN}$
		4-13	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-14	$DL + E_0 + P_{21} + 0.4 K_{d1WE} - 1.0 K_{d1DU} + 0.4 E_{dSN}$
		4-15	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$
		4-16	$DL + E_0 + P_{21} - 0.4 K_{d1WE} - 1.0 K_{d1DU} + 0.4 E_{dSN}$
		4-17	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-18	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-19	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-20	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-21	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-22	$DL + E_0 + P_{21} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN}$
		4-23	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dNS}$
		4-24	$DL + E_0 + P_{21} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + 1.0E_{dSN}$

表 4-20 (5/6) 荷重の組合せケース

本 垂	本 垂吐	ケース				
荷重	荷重時		荷重の組合せ			
状態	名 称	No.				
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	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$			
		5-3	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$			
		5-4	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$			
		5-5	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$			
		5-6	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$			
	5-7		$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dNS}$			
	5-				5-8	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + 1.0E_{dSN}$
		5-9	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$			
		5-10	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN}$			
		5-11	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$			
		5-12	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN}$			
		5-13	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$			
		5-14	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN}$			
		5-15	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dNS}$			
		5-16	$DL + E_0 + P_{SAL} + HS_{SAL} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + 0.4E_{dSN}$			

表 4-20 (6/6) 荷重の組合せケース

#	#	20 (0/	の 間重の配合とケーバ			
荷重	荷重時	ケース	荷重の組合せ			
状態	名 称	No.	N E V Just C			
V	(異常+地震) 時(4)	6-1	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$			
		6-2	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$			
		6-3	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$			
		6-4	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$			
		6-5	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$			
		6-6	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$			
	6-7		$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sN}$			
	6-8		ı		6-8	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sSN}$
		6-9	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$			
		6-10	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$			
		6-11	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$			
		6-12	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$			
		6-13	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$			
		6-14	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$			
		6-15	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$			
		6-16	$DL + E_0 + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sSN}$			

(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 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。

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、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、基礎スラブ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 に示す許容ひずみ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、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。

 $Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$ $\subset \subset C$,

Q₄: 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 : 許容せん断力の割り増し係数

(2を超える場合は2,1未満の場合は1とする。)

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

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_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-16 に示す値 (N/mm^2)

(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の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、発生応力が鉄筋の降伏応力度を超える場合は、エネルギー一定側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と鉄筋の応力度及びひずみ関係図を図 4-3 に示す。

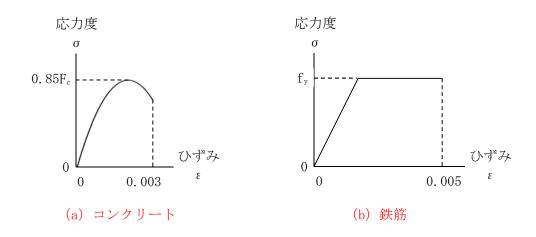


図 4-3 コンクリートと鉄筋の応力度及びひずみ関係図

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、次式をもとに計算した許容面外せん力を超えないことを確認する。

 $Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$ $\subset \subset C$,

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 : 許容せん断力の割り増し係数

(2を超える場合は2,1未満の場合は1とする。)

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

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_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-16 に示す値 (N/mm^2)

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、地盤の許容支持力度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 $1087~\mathrm{kN/m^2}$ ($\mathrm{S_s-3.1}$, EW 方向) 以下であることから、地盤の極限支持力度($5380~\mathrm{kN/m^2}$)を超えないことを確認した。 $\mathrm{S_s}$ 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 $764~\rm{kN/m^2}$ ($S_s-3~1$, EW 方向) 以下であることから、地盤の短期許容支持力度($3570~\rm{kN/m^2}$)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 $5-6~\rm{km}$ に示す。

表 5-1 S。地震時の最大接地圧(基本ケース)

Tip est th	最大接地圧(kN/m²)			
地震動	NS 方向	EW 方向		
$S_s - D1$	944	951		
S _s -11	634	669		
$S_{s} - 12$	672	688		
S _s -13	675	694		
S s - 1 4	628	628		
$S_{s} - 21$	932	714		
$S_{s} - 22$	930	845		
$S_{s} - 31$	1034	1039		

表 5-2 S_s 地震時の最大接地圧(地盤物性 $+\sigma$ 考慮モデル)

地震動	最大接地圧(kN/m²)			
地 展期	NS 方向	EW 方向		
S _s - D 1	987	993		
$S_{s} - 21$	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)

小雪科	最大接地圧(kN/m²)			
地震動	NS 方向	EW 方向		
$S_s - D1$	910	915		
$S_{s} - 21$	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)

小小包含	最大接地圧(kN/m²)			
地震動	NS 方向	EW 方向		
$S_d - D1$	714	717		
$S_{d} - 11$	525	544		
$S_{d} - 12$	553	560		
$S_{d} - 13$	553	563		
$S_{d} - 14$	523	527		
$S_{d} - 21$	682	573		
$S_{d} - 22$	692	644		
$S_{d} - 31$	745	748		

表 5-5 S α 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/m²)			
地展 期	NS 方向	EW 方向		
$S_d - D1$	734	737		
$S_{d} - 21$	705	586		
S _d -22	724	669		
S _d -31	761	764		

表 5-6 S α 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/m²)			
地展 期	NS 方向	EW 方向		
$S_d - D1$	690	693		
$S_{d} - 21$	665	561		
S _d -22	666	623		
S _d -31	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 F E M 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5-8に、評価結果を表5-10~表5-13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。

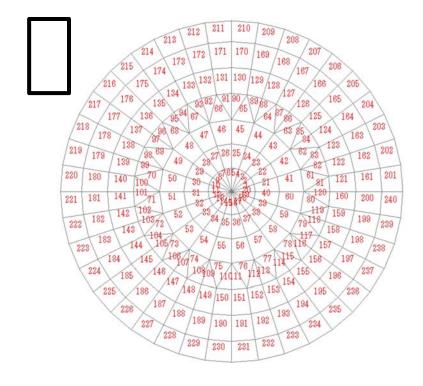


図 5-1 要素図

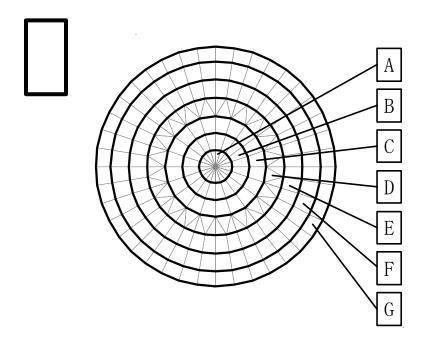


図 5-2 配筋領域図

表 5-7 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
Λ	EW	3-D38@128	3-D38@128
A	NS	3-D38@128	3-D38@128

(b) $r - \theta$ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
D	半径	17-D38/45° (3 段)	17-D38/45° (3 段)
В	円周	3-D38@200	3-D38@200
C	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
D	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
D	円周	3-D38@180	3-D38@180
Е	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
E	円周	3-D38@175	3-D38@175
F	半径	68-D38/45° (3 段)	68-D38/45° (3 段)
Г	円周	3-D38@200	3-D38@200
G	半径	68-D38/45° (4 段)	68-D38/45° (4 段)
Մ	円周	4-D38@200	4-D38@200

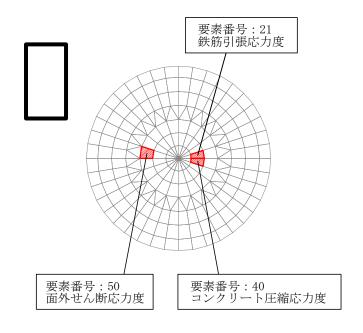


図 5-3 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・地震時(1)

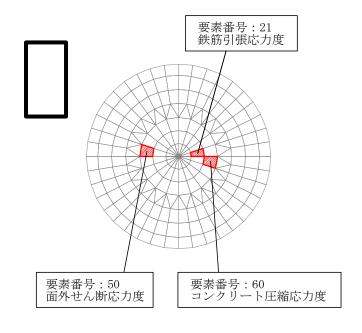


図 5-4 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・(異常+地震) 時(1)

表 5-8 評価結果 荷重状態Ⅲ·地震時 (1)

検討項目		方向	要素番号	組合せ ケース	解析結果	許容値
軸力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm²)	半径	40	1-6	3. 67	16. 5
曲げモーメント	鉄筋引張応力度 (N/mm²)	円周	21	1-6	142	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	1-8	0. 971	2. 12

表 5-9 評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常+地震) 時(1)

検討項目			要素	組合せ	解析結果	許容値	
	DAR-1 2111	方向	番号	ケース	741 017100714	1	
軸力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm²)	半径	60	2-6	4. 62	16. 5	
+	· · · ·						
曲げモーメント	鉄筋引張応力度 (N/mm²)	円周	21	2-6	190	345	
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm²)	半径	50	2-8	1. 14	2. 12	

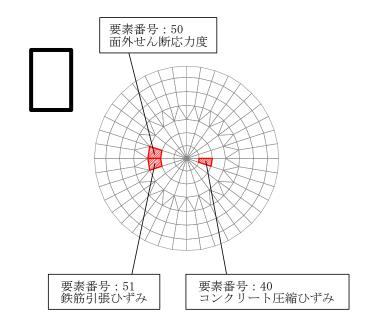


図 5-5 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅳ・地震時(2)

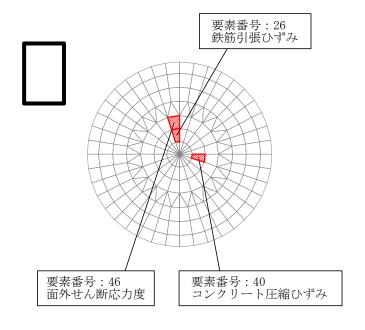


図 5-6 結果を記載する要素の位置 荷重状態IV・(異常+地震) 時(2)

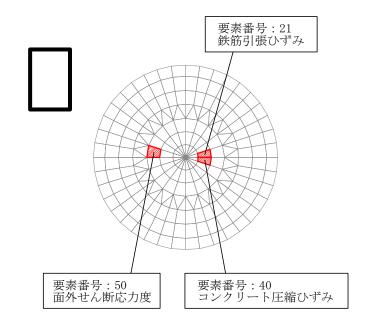


図 5-7 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時(3)

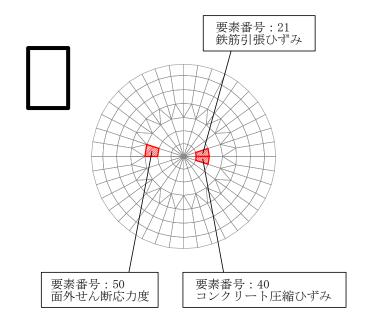


図 5-8 結果を記載する要素の位置 荷重状態 V・(異常+地震) 時(4)

表 5-10 評価結果 荷重状態IV・地震時 (2)

検討項目		方向	要素番号	組合せ ケース	解析結果	許容値
軸力	コンクリート圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	半径	40	3-6	0. 339	3.00
曲げモーメント	鉄筋引張ひずみ (×10 ⁻³)	円周	51	3-2	0. 687	5. 00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	3-8	1. 44	2. 12

表 5-11 評価結果 荷重状態IV·(異常+地震) 時(2)

検討項目		方向	要素番号	組合せ ケース	解析結果	許容値
軸力	コンクリート圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	半径	40	4-6	0. 286	3. 00
曲げモーメント	鉄筋引張ひずみ (×10 ⁻³)	半径	26	4-5	0. 582	5. 00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	46	4-5	1. 20	2. 12

表 5-12 評価結果 荷重状態 V · (異常+地震) 時 (3)

検討項目		方向	要素番号	組合せ ケース	解析結果	許容値
軸力	コンクリート圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	半径	40	5-6	0. 373	3. 00
曲げモーメント	鉄筋引張ひずみ (×10 ⁻³)	円周	21	5-6	0.888	5. 00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	5-8	1. 39	2. 12

表 5-13 評価結果 荷重状態 V・(異常+地震) 時(4)

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	解析結果	許容値	
			留万	クーへ			
軸力	コンクリート圧縮ひずみ	半径	40	6-6	0. 427	3. 00	
+	(×10 ⁻³)	十庄	10	0 0	0.421	3.00	
 曲げモーメント	鉄筋引張ひずみ	円周	21	6-6	0.815	5. 00	
画り こ クマト	$(\times 10^{-3})$	1)11	21	0 0	0.013	5.00	
面外せん断力	面外せん断応力度	半径	50	6-8	1. 65	2. 12	
	(N/mm^2)	十任	50	0-8	1.00	2. 12	