

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-667 改0
提出年月日	平成30年6月26日

V-3-9-1-1-6 原子炉格納容器底部コンクリートマットの

強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
3. 応力解析による評価方法	7
3.1 評価対象部位及び評価方針	7
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	8
3.2.2 荷重の組合せ	11
3.3 許容限界	12
3.4 解析モデル及び諸元	13
3.4.1 モデル化の基本方針	13
3.4.2 解析諸元	13
3.5 評価方法	17
3.5.1 応力解析方法	17
3.5.2 断面の評価方法	17
4. 評価結果	18

1. 概要

本計算書は、原子炉格納容器底部コンクリートマットの強度計算書である。

設計基準対象施設としては、昭和48年4月9日付け47公第12076号にて認可された工事計画書の添付書類「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」に評価結果があり、強度が十分であることを確認している。

以下、重大事故等クラス2容器としての強度評価を示す。

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。

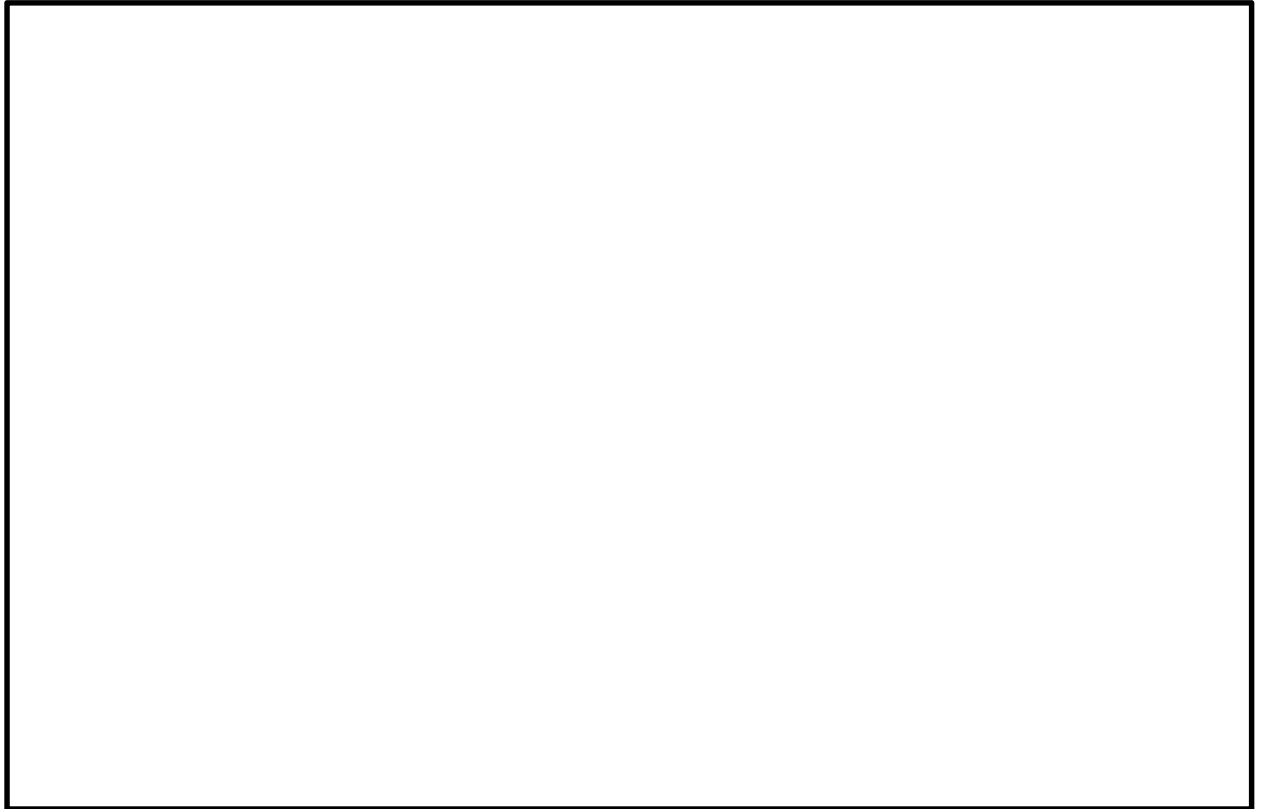


図 2-1 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋の設置位置

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 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 (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。

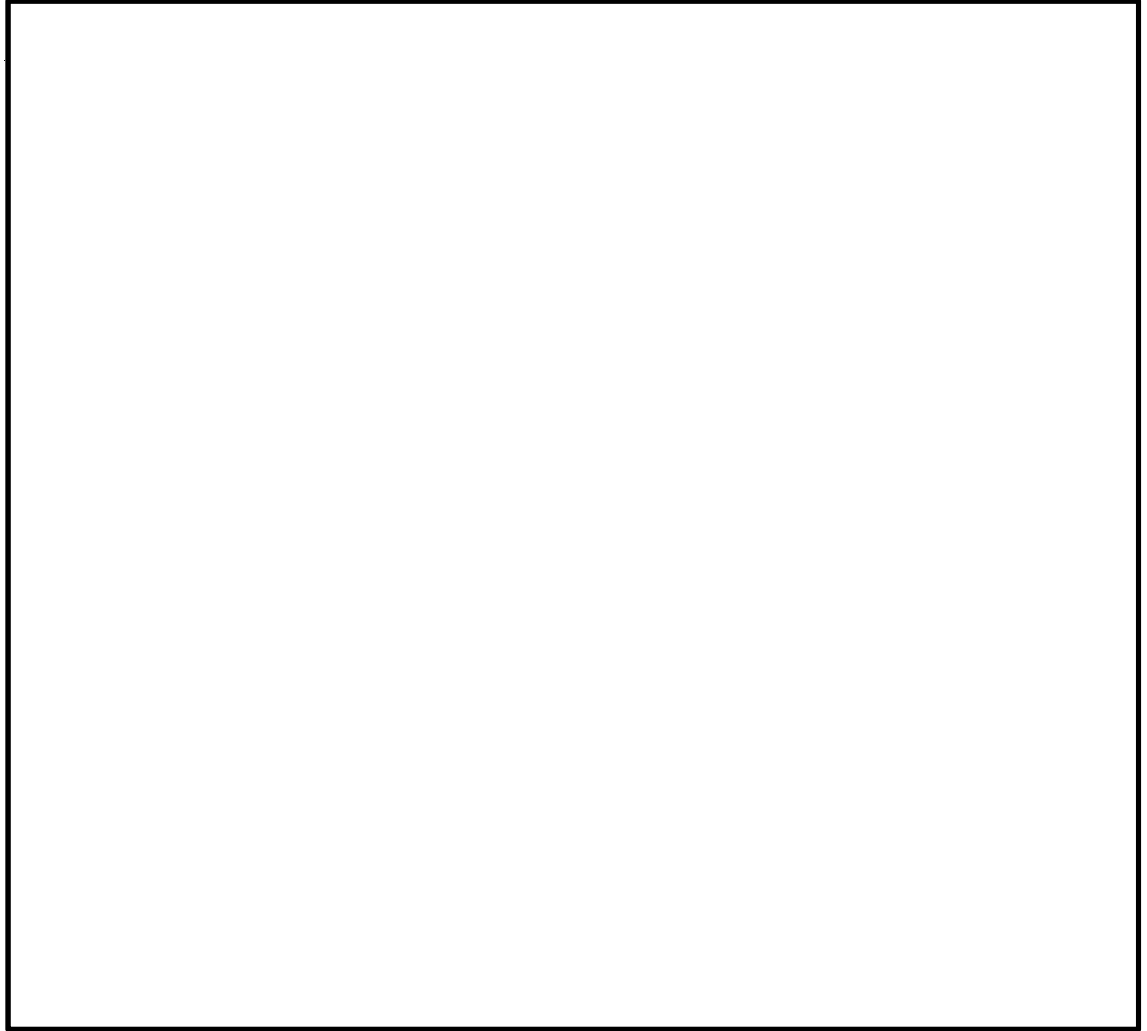



図 2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略平面図 

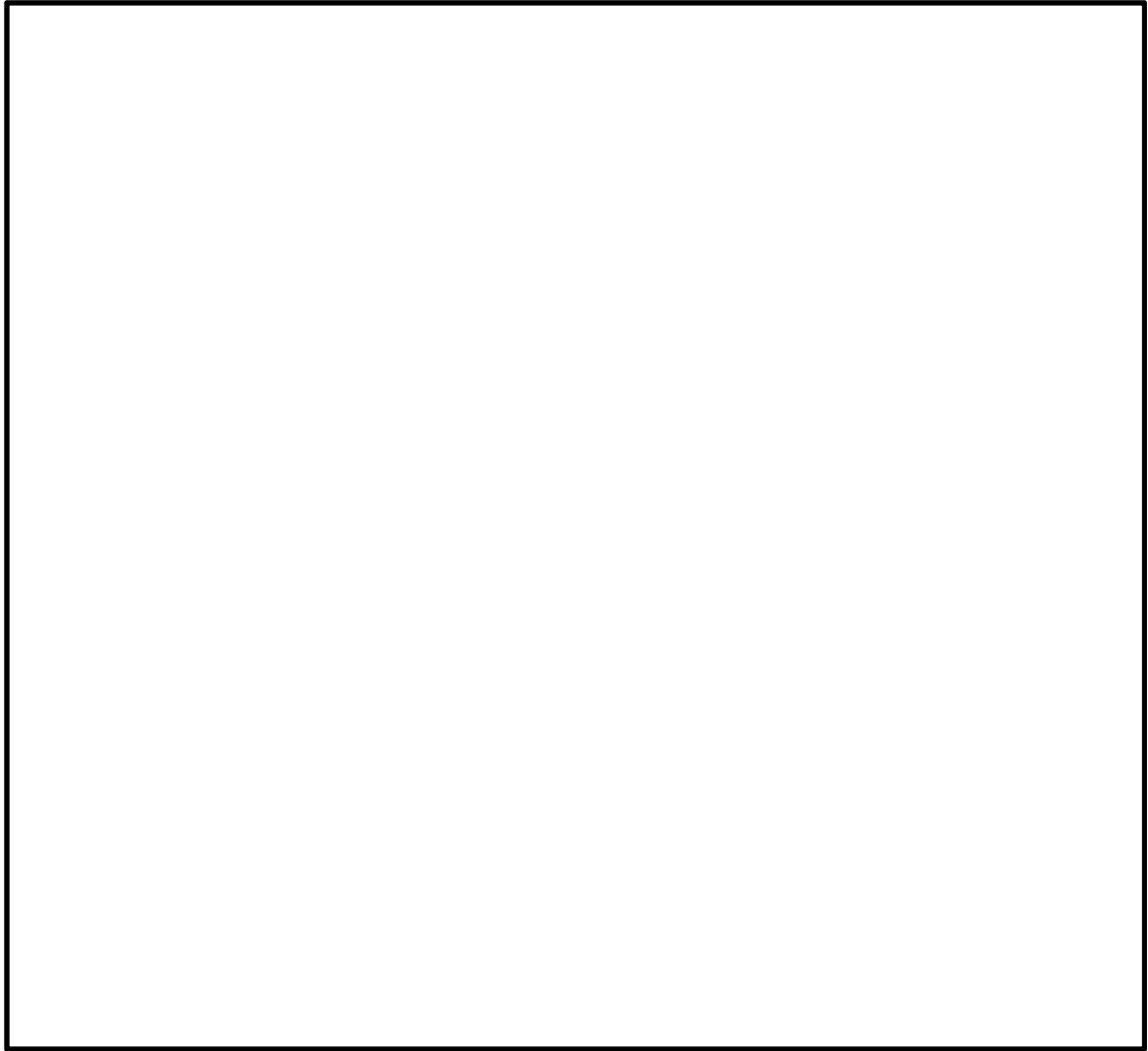


図 2-3 (1/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面)

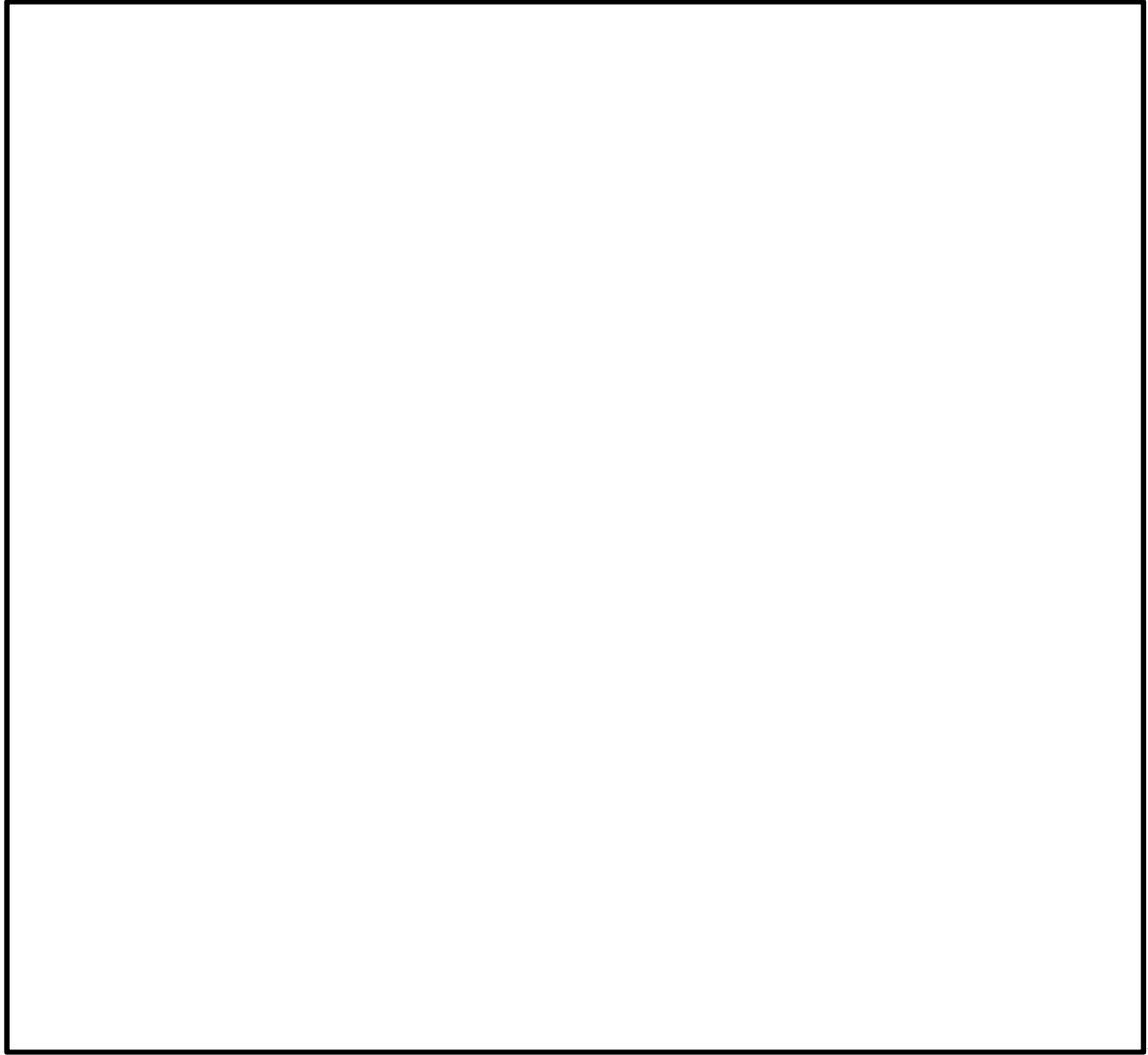


図 2-3 (2/2) 原子炉格納容器底部コンクリートマットを含む原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (B-B 断面)

3. 応力解析による評価方法

3.1 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を行い、以下の方針に基づき断面の評価を行う。

設計基準である最高使用温度及び最高使用圧力を超える 200℃、2Pd の環境下で原子炉格納容器底部コンクリートマットの健全性を確認するものであるため、200℃、2Pd の条件下における評価は、原子炉格納容器底部コンクリートマットについて、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荷重状態IVの許容値を超えないことを確認する。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

3.2.1 荷重

(1) 通常荷重（死荷重 (D)、活荷重 (L)、常時土圧荷重 (E_0)）

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 3-1 の通り設定する。

表 3-1 死荷重及び活荷重

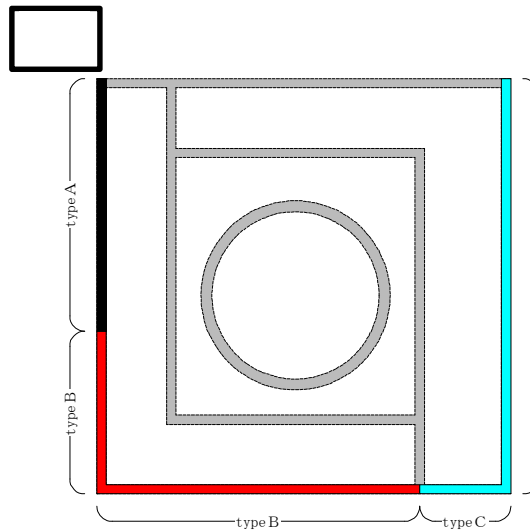
部位	通常荷重 (kN)
O/W	397800
I/W	392300
S/W	309900
PCV	8826
RPV 基礎	56490
サプレッションプール水静水圧	34700
基礎盤上	171904
基礎盤自重	561020

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 3-2 の通り設定する。

表 3-2 常時土圧荷重

	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)
type A	—	—	1104	1273
type B	984	761	984	761
type C	1298	2397	1298	2397



(2) 重大事故等対処施設としての評価圧力及び評価温度

a. 評価圧力

重大事故等対処施設の評価に用いる圧力として、次の値を考慮する。

$$P_{SA}=620 \text{ kPa}$$

b. 評価温度

重大事故等対処施設の評価に用いる温度 (T_{SA}) は、格納容器内の温度を 200°C とし、その他の部位については表 3-3 に示す値を考慮する。

表 3-3 評価温度 (T_{SA})

部 位	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
S/W 内部(格納容器内)	200
S/W 脚部	150
S/W-I/W 間(原子炉棟)	100
I/W 脚部	70
I/W-O/W 間(附属棟)	40
地盤に接する部位	15

c. 水圧荷重

重大事故等対処施設の評価に用いる格納容器内の水圧荷重は、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。

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

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

荷重状態	荷重時	荷重の組合せ
V	異常時	$D+L+E_0+P_{SA}+T_{SA}+H_{SA}$

D : 死荷重

L : 活荷重

E_0 : 常時土圧荷重

P_{SA} : 評価圧力

T_{SA} : 評価温度

HAS : 評価水圧荷重

3.3 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、発生す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ついて「CCV規格」に基づく荷重状態IVの許容値とする。

また、コンクリートの許容応力度を表3-5に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表3-6に示す。

表3-5 コンクリートの許容応力度

荷重状態	F_c (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
V	22.1	—	1.06

表3-6 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

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 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。

基礎スラブについては、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3-1に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎盤については厚さ方向に5層に等分割した積層シェル要素とする。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FEMモデルの基礎底面に、振動アドミッタンス理論に基づく静的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。

3.4.2 解析諸元

コンクリートの物性値を表3-7に示す。コンクリートのヤング係数は、表3-3に示した重大事故等対処施設としての評価に用いる温度を考慮した定常伝熱解析により得られた基礎スラブの温度分布による要素ごとの平均温度に基づいて低減し与える。コンクリート剛性の低減率については「構造材料の耐火性ガイドブック2017（日本建築学会）」（以下、「耐火ガイド2017」という）に基づき、表3-8のとおり設定する。

設定した要素ごとの剛性を図3-2に示す。

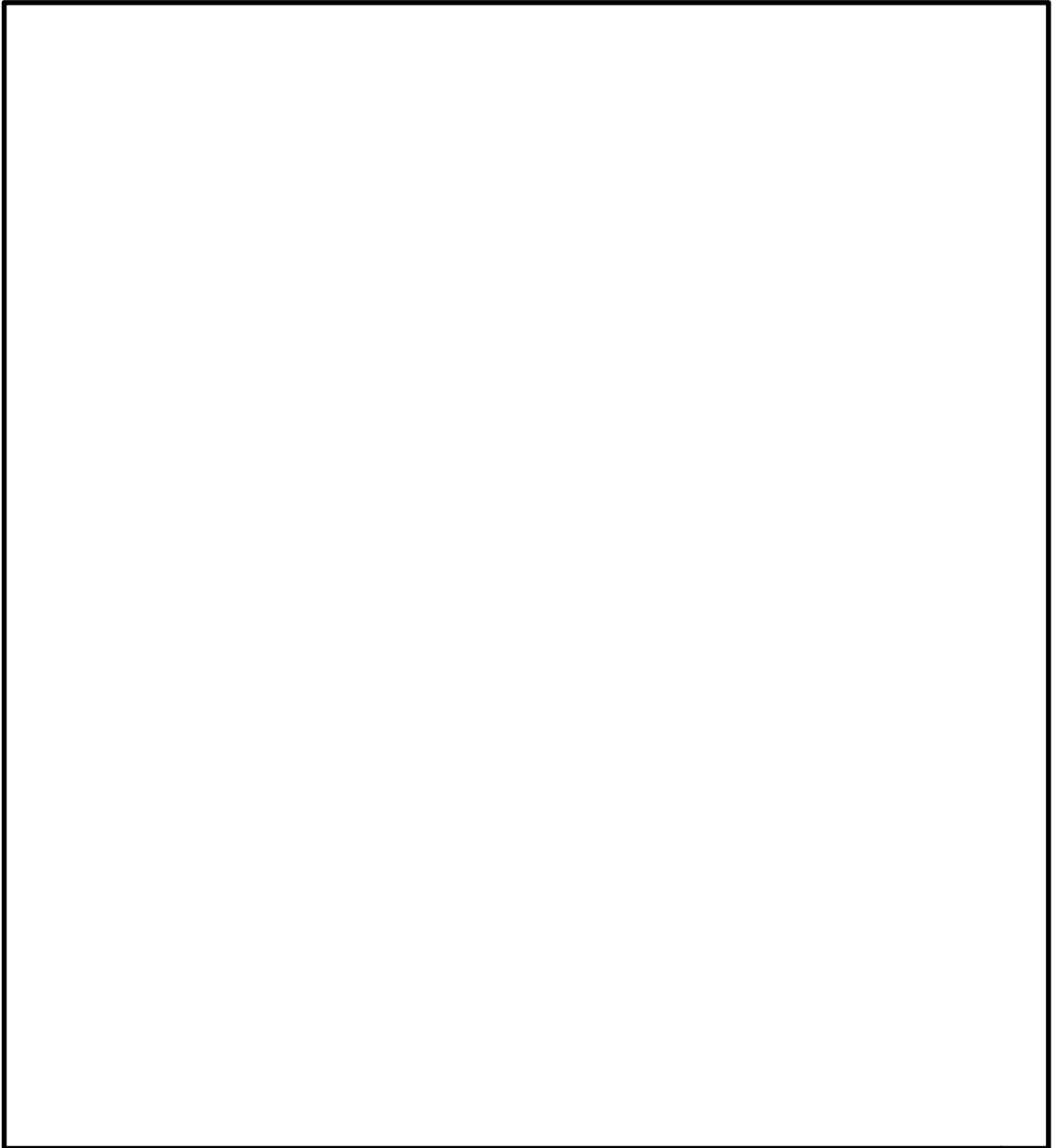


図 3-1 解析モデル

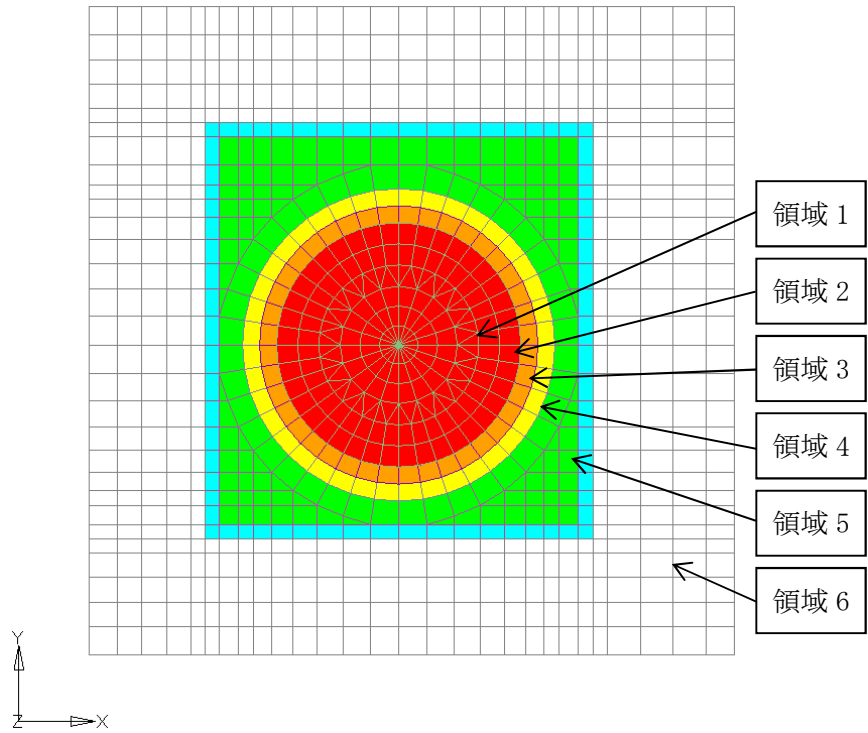
表 3-7 コンクリートの物性値

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
基礎版	22.1	2.21×10 ⁴	0.2

表 3-8 剛性低減率の設定

要素の平均温度	参照温度 (°C)	剛性残存比	コンクリートのヤング係数 (N/mm ²)
65°C以下	65	1.0 ^{※1}	22100
65°C～100°C	100	0.80 ^{※2}	17700
100°C～125°C	125	0.77 ^{※3}	17000
125°C～150°C	150	0.74 ^{※3}	16400
150°C～175°C	175	0.71 ^{※3}	15700
175°C～200°C	200	0.68 ^{※2}	15000

- ※1：RC-N 規準の温度制限値
- ※2：耐火ガイド 2017 記載値
- ※3：線形補間による値



層厚 (m)		コンクリートのヤング係数 (N/mm ²)					
		領域 1	領域 2	領域 3	領域 4	領域 5	領域 6
(上端)	1.0	15000	15700	17000	17700	17700	22100
	1.0	16400	17000	17700		22100	
	1.0	17000	17700	22100	22100		
	1.0	17700	22100	22100	22100		
	1.0	22100	22100	22100	22100		
(下端)							

図 3-2 積層シェル要素の剛性の設定

3.5 評価方法

3.5.1 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、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

荷重の入力は、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。

3.5.2 断面の評価方法

断面の評価方法は、資料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」の「4.5.2 断面の評価方法」に示す荷重状態IV及びVと同一である。

4. 評価結果

「3.5.2 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4-1及び図4-2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4-1に示す。

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4-3に、評価結果を表4-2に示す。

200°C、2Pdの状態において、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。

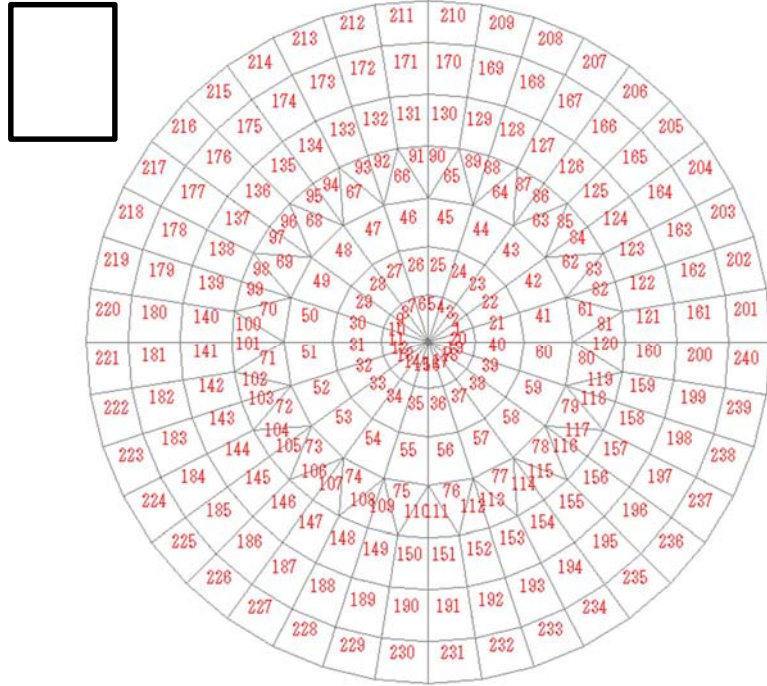


图 4-1 要素图

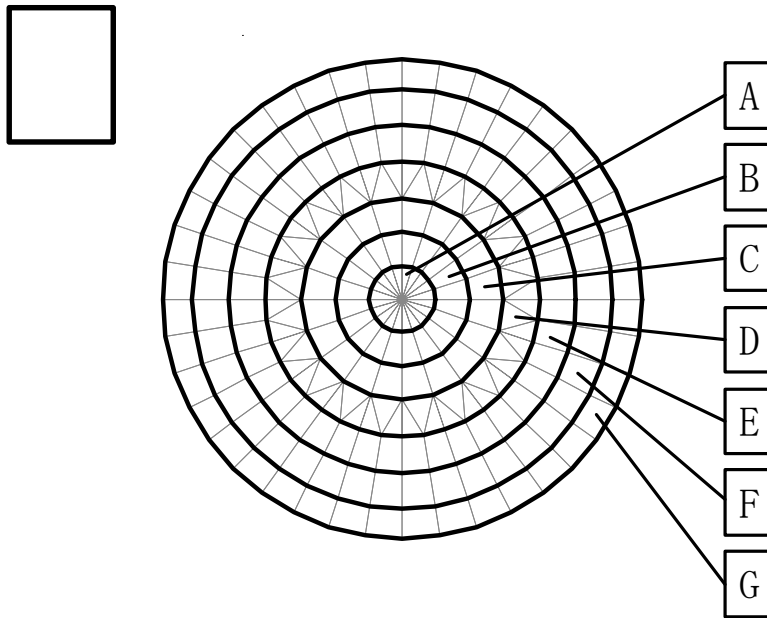


图 4-2 配筋領域图

表 4-1 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
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
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)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
D	半径	34-D38/45° (3 段)	34-D38/45° (3 段)
	円周	3-D38@180	3-D38@180
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)
	円周	3-D38@200	3-D38@200
G	半径	68-D38/45° (4 段)	68-D38/45° (4 段)
	円周	4-D38@200	4-D38@200

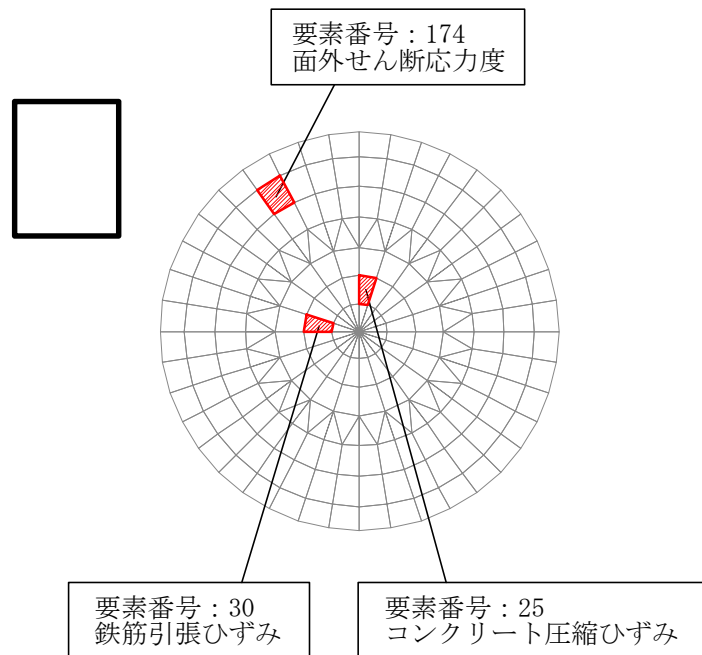


図 4-3 結果を記載する要素の位置

表 4-2 評価結果

検討項目		方向	要素番号	解析結果	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	25	0.327	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	30	0.894	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	174	0.979	2.12