

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	補足-370-9 改1
提出年月日	平成30年8月28日

建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料

補足-370-9【原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性評価 についての補足説明】

平成30年8月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 概要	1
2. 応力解析による評価方法	2
2.1 評価方針	2
2.2 荷重及び荷重の組合せ	3
2.3 許容限界	6
2.4 解析モデル及び諸元	8
2.5 評価方法	10
3. 応力解析による評価結果	12

1. 概要

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、Sクラス施設の一部であり、添付書類「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」にて、CCV規格に基づく荷重組合せのうち、地震時に関する荷重の組合せに対する評価を実施している。しかしながら、現在のCCV規格と建設工認を比較すると、水力学的動荷重等の扱いに差があるので、今回工認において地震荷重と組み合わせない部分について、その差分を補うこととした。

本資料では、表 1-1 に示す荷重組合せのうち、地震時に関する荷重の組合せ以外の組合せ（荷重状態Ⅱ試験時、荷重状態Ⅲ異常時、荷重状態Ⅳ異常時及びジェット力作用時）に対する評価を実施する。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするものである。

- ・添付書類「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」

表 1-1 今回工認で実施する荷重組合せ

荷重状態	荷重時	記載資料*
I	通常運転時	①
II	逃がし安全弁作動時	②
	試験時	②
III	地震時	③
	異常時	②
	(異常＋地震) 時	③
IV	地震時	③
	異常時	②
	ジェット力作用時	②
	(異常＋地震) 時	③
V	異常時	④
	(異常＋地震) 時	③

- * 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」及び添付書類「Ⅲ-4 原子炉格納施設の基礎に関する説明書」(47 公第 12076 号 昭和 48 年 4 月 9 日認可)
- ②：補足説明資料 370-9「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補足説明」(本資料)
- ③：添付書類「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」
- ④：添付書類「V-3-9-1-1-7 原子炉格納容器の強度計算書」

2. 応力解析による評価方法

2.1 評価方針

原子炉格納容器底部コンクリートマットは、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こととし、荷重状態Ⅱ～Ⅳに対して、以下の(1)及び(2)の方針に基づき断面の評価を行う。

(1) 荷重状態Ⅱ及びⅢ

荷重状態Ⅱ及び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、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。

(2) 荷重状態Ⅳ

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、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。

2.2 荷重及び荷重の組合せ

2.2.1 荷重

(1) 荷重及び運転時荷重

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及び運転時荷重は添付書類「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「4.2.1 荷重」の値と同一である。

(2) 異常時荷重

a. 事故時荷重

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 , P_D)

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、表 2-1 に示す

また、最高使用圧力は次の値とする。

$$P_D = 310 \text{ kPa}$$

表 2-1 事故時圧力

(単位：kPa)

異常発生後の 経過時間	記号	サプレッション チェンバ
直後	P_{21}	241.0
1.2 時間	P_{22}	241.0
190 時間	P_{24}	42.52

(b) 事故時温度荷重 (T_2)

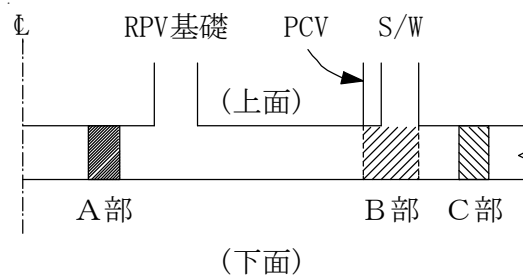
事故時において，原子炉建屋基礎盤に生じる温度変化による荷重及び原子炉建屋基礎盤の上面と下面の温度差によって生じる荷重で，上面と下面の温度を表 2-2 に示す。

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。また，荷重の発生状況を考慮して 3 ケースの温度条件を採用する。

表 2-2 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
直後	T_{21}	T_{21S}	夏	35.60	14.70	37.8	14.85	40.00	15.00
		T_{21W}	冬	35.60	14.70	22.80	14.85	10.00	15.00
1.2 時間	T_{22}	T_{22S}	夏	38.21	13.43	39.11	14.22	40.00	15.00
		T_{22W}	冬	38.21	13.43	24.11	14.22	10.00	15.00
190 時間	T_{24}	T_{24S}	夏	54.78	8.09	47.39	11.54	40.00	15.00
		T_{24W}	冬	54.78	8.09	32.39	11.54	10.00	15.00



(c) 事故時水力的動荷重 (H_1 , H_2)

事故時において，サプレッションプール部に考慮する水力的動荷重は，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。

- ・逃がし安全弁作動時荷重 (H_1) 86.3 kPa ， -40.2 kPa
- ・蒸気凝縮振動荷重 (H_{21}) 21.9 kPa ， -19.4 kPa
- ・チャギング荷重 (H_{22}) 85.2 kPa ， -62.2 kPa

b. ジェット力作用時荷重

事故発生後，短時間に収束する状態における荷重で，次のものとする。

サプレッションプール部に考慮する水力的動荷重 (H_3) は，次の値とする。

226 kPa

2.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 2-3 に示す。

表 2-3 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
Ⅱ	逃がし安全弁作動時	$D+L+E_0+P_1+H_1$	$D+L+E_0+P_1+H_1+T_1$
	試験時	$D+L+E_0+1.1 \cdot P_D$	—
Ⅲ	異常時 (1)	$D+L+E_0+P_{21}+H_{21}$	$D+L+E_0+P_{21}+H_{21}+T_{21}$
	異常時 (2)	$D+L+E_0+P_{22}+H_{22}$	$D+L+E_0+P_{22}+H_{22}+T_{22}$
	異常時 (3)	$D+L+E_0+P_{24}$	$D+L+E_0+P_{24}+T_{24}$
Ⅳ	異常時 (4)	$D+L+E_0+1.5 \cdot P_D$	—
	ジェット力作用時	$D+L+E_0+P_3+H_3$	—

*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
 T_1 : 運転時温度荷重
 T_{21} : 事故時温度荷重 (直後)
 T_{22} : 事故時温度荷重 (1.2 時間後)
 T_{24} : 事故時温度荷重 (190 時間後)
 P_1 : 運転時圧力
 P_{21} : 事故時圧力 (直後)
 P_{22} : 事故時圧力 (1.2 時間後)
 P_{25} : 事故時圧力 (190 時間後)
 P_3 : ジェット力作用時圧力
 P_D : 最高使用圧力
 H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重
 H_{21} : 蒸気凝縮振動荷重
 H_{22} : チャギング荷重
 H_3 : ジェット力作用時荷重

2.3 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 2-4 の通り設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 2-5 及び表 2-6 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 2-7 に示す。

表 2-4 応力解析による評価における許容限界

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
		荷重状態Ⅱ	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Ⅱ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 2-5 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)
II	22.1	7.36	0.711	9.94	0.711
III	22.1	14.7	1.06	16.5	1.06
IV	22.1	—	1.06	—	—

表 2-6 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※	SD345※
II	195	195
III	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 2-7 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

2.4 解析モデル及び諸元

解析モデルを図 2-1 に、使用材料の物性値を表 2-8 に示す。なお、解析モデル及び諸元は、添付書類「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」で用いたものと同一である。

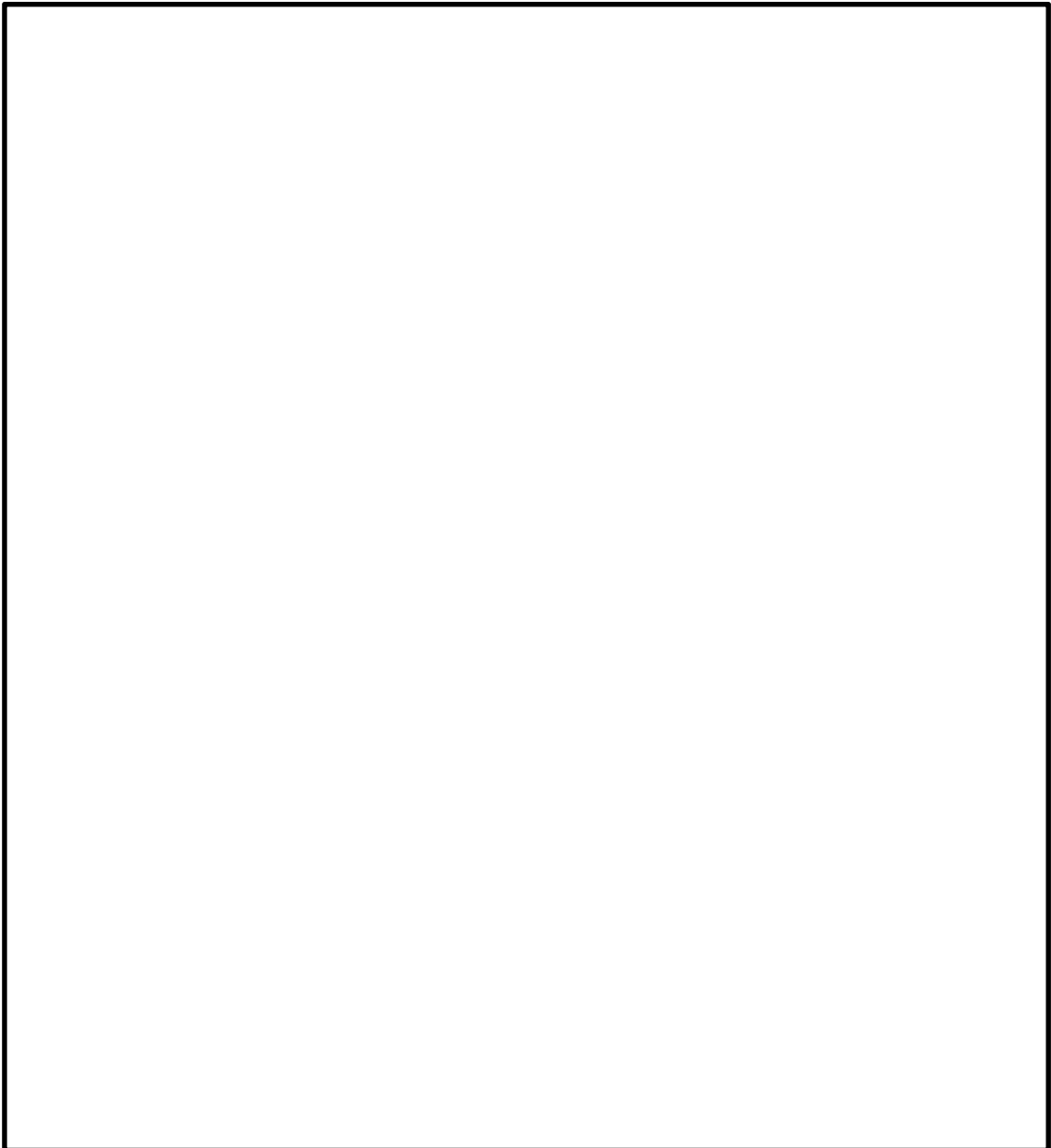


図 2-1 解析モデル

表 2-8 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
基礎版	22.1	2.21×10^4	0.2

2.5 評価方法

2.5.1 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ⅡからⅣ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
T ₁	: 運転時温度荷重
T ₂₁	: 事故時温度荷重（直後）
T ₂₂	: 事故時温度荷重（1.2 時間後）
T ₂₄	: 事故時温度荷重（190 時間後）
P ₁	: 運転時圧力
P ₂₁	: 事故時圧力（直後）
P ₂₂	: 事故時圧力（1.2 時間後）
P ₂₄	: 事故時圧力（190 時間後）
P ₃	: ジェット力作用時圧力
P _D	: 最高使用圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
H ₂₁	: 蒸気凝縮振動荷重
H ₂₂	: チャギング荷重
H ₃	: ジェット力作用時荷重

(2) 荷重の入力方法

荷重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。

2.5.2 断面の評価方法

断面の評価方法は、添付書類「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」に記載の評価方法に準ずるものとする。なお、荷重状態Ⅱについては、荷重状態Ⅲの評価方法と同様である。

3. 応力解析による評価結果

断面の評価結果を以下に示す。

(1) 荷重状態Ⅱ及びⅢ

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。

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度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をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図 3-1～図 3-5 に，評価結果を表 3-1～表 3-5 に示す。

荷重状態Ⅱ及びⅢにおいて，軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び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

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応力度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をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図 3-6 及び図 3-7 に，評価結果を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

荷重状態Ⅳ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。

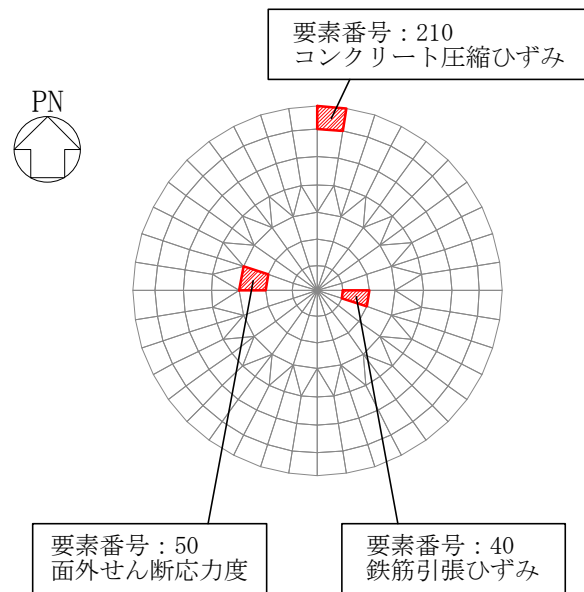


図 3-1 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅱ・逃がし安全弁作動時

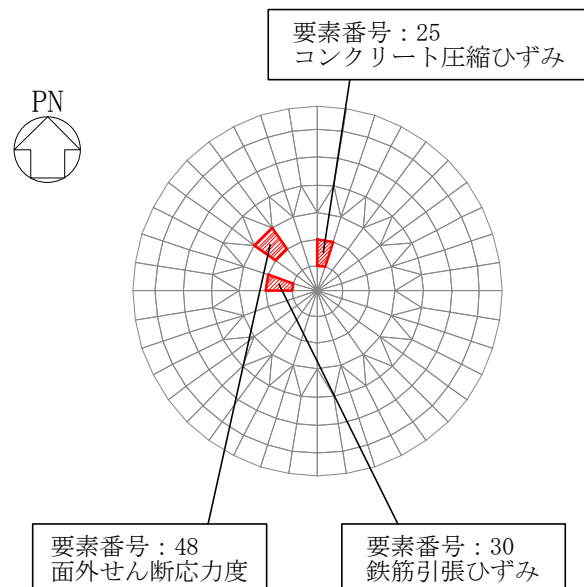


図 3-2 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅱ・試験時

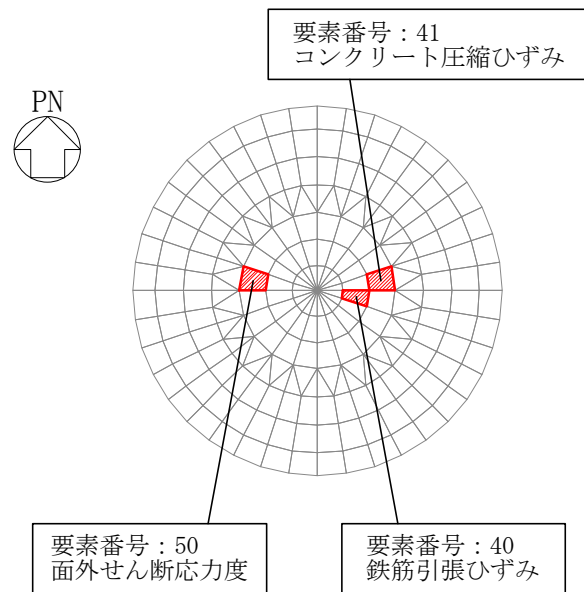


図 3-3 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・異常時 (1)

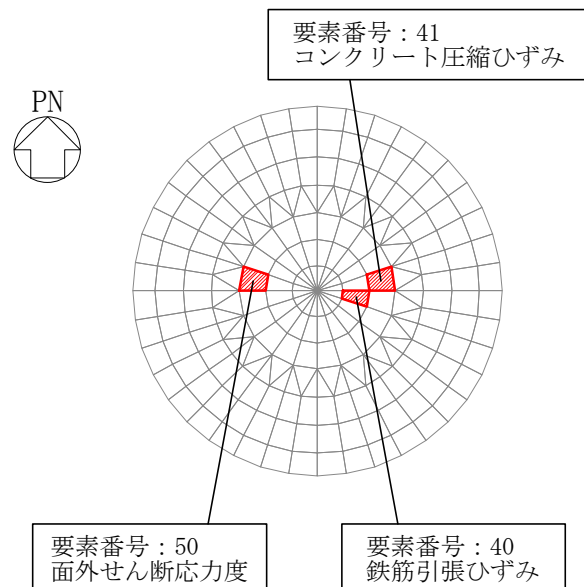


図 3-4 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・異常時 (2)

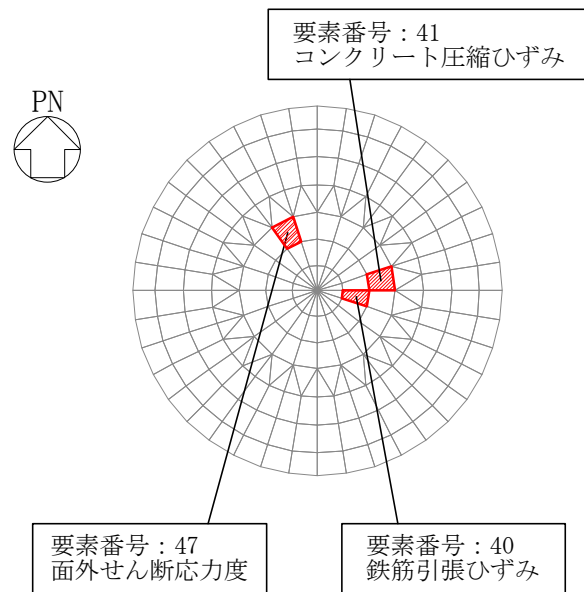


図 3-5 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅲ・異常時 (3)

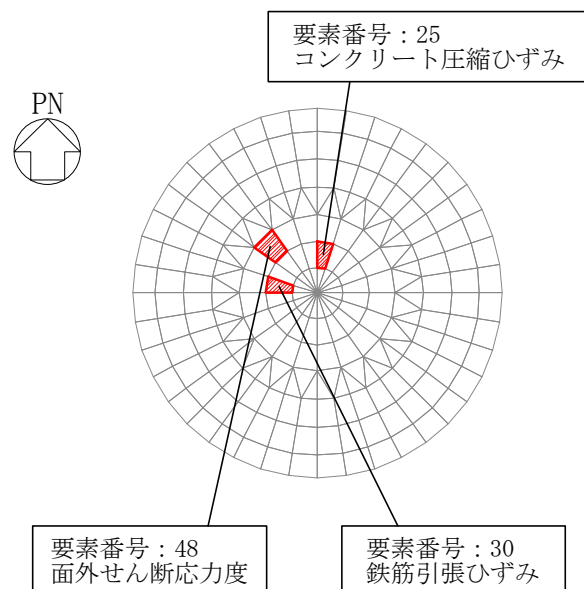


図 3-6 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅳ・異常時 (4)

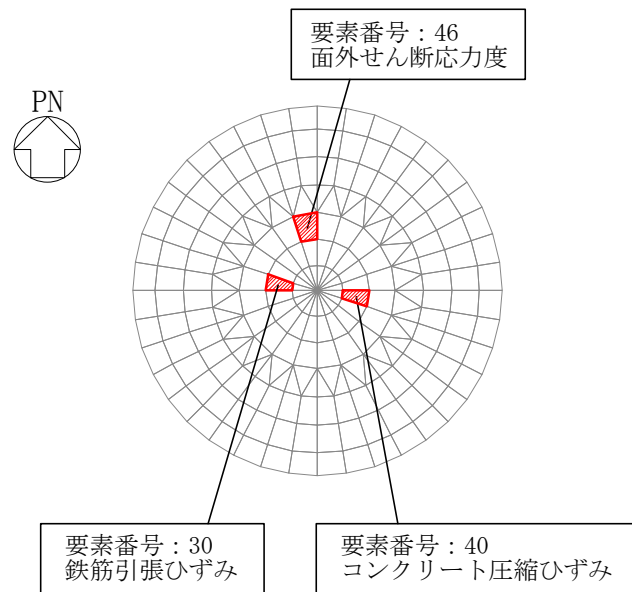


図 3-7 結果を記載する要素の位置 荷重状態Ⅳ・ジェット力作用時

表 3-1 評価結果 荷重状態Ⅱ・逃がし安全弁作動時

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	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	円周	210	2.57	9.94
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	40	137	195
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	0.339	1.38

表 3-2 評価結果 荷重状態Ⅱ・試験時

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	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	円周	25	2.49	7.36
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	30	96.6	195
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	48	0.586	1.47

表 3-3 評価結果 荷重状態Ⅲ・異常時 (1)

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	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	41	2.89	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	40	198	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	0.585	2.12

表 3-4 評価結果 荷重状態Ⅲ・異常時 (2)

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	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	41	3.06	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	40	212	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	50	0.614	2.12

表 3-5 評価結果 荷重状態Ⅲ・異常時 (3)

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	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	半径	41	2.24	16.5
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	40	150	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	47	0.485	2.12

表 3-6 評価結果 荷重状態Ⅳ・異常時 (4)

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	0.246	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	30	0.651	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	48	0.737	2.12

表 3-7 評価結果 荷重状態Ⅳ・ジェット力作用時

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 ($\times 10^{-3}$)	半径	40	0.108	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	30	0.327	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	半径	46	0.484	2.12