

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-026-12 改1
提出年月日	2020年5月7日

原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての
計算書に関する補足説明資料

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙 2 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 3 地震荷重の入力方法

別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙 5 原子炉格納容器コンクリート部の荷重組合せに対する影響検討

下線：今回ご提示資料

別紙 1 応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

目 次

1. 概要 別紙 1-1
2. 応力解析モデル及び手法の比較 別紙 1-2

1. 概要

本資料は、原子炉建屋基礎スラブのうち原子炉格納容器コンクリート部（以下「RCCV」という。）底部を除く周辺部基礎の既工認時及び今回工認時の応力解析モデル及び手法の比較を示すものである。

2. 応力解析モデル及び手法の比較

原子炉建屋基礎スラブのうち周辺部基礎の応力解析モデル及び手法の比較を表2-1に示す。また、今回工認時の応力解析モデルを図2-1に示す。

比較に用いる既工認時の応力解析モデル及び手法は、平成4年3月27日付け3資庁第13034号にて認可された工事計画の添付資料IV-1-4「原子炉格納施設の基礎に関する説明書」（以下「既工認」という。）のものである。

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較（原子炉建屋基礎スラブのうち周辺部基礎）（1/2）

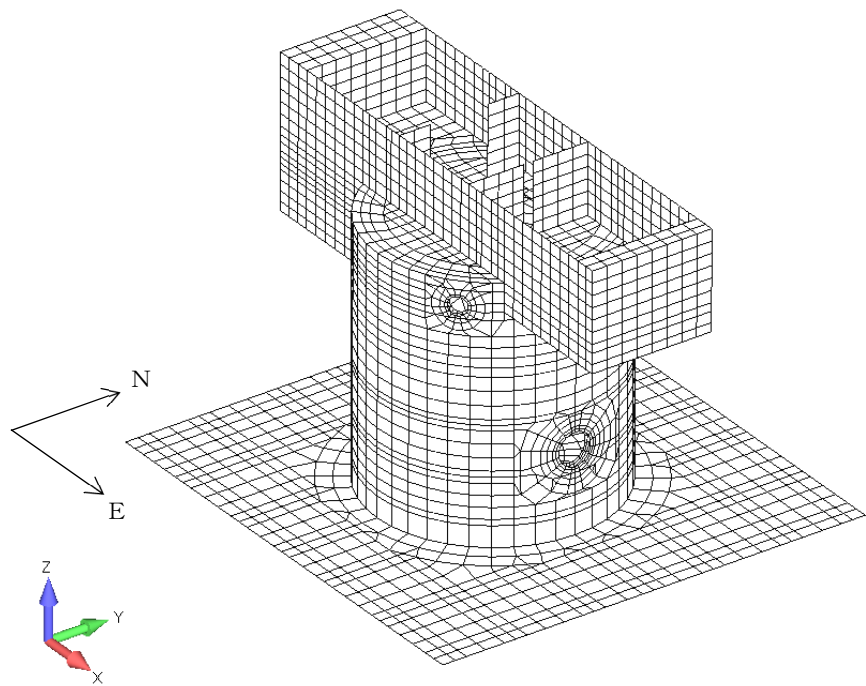
項目	内容	既工認	今回工認	備考
解析手法	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析（弾性解析）		（S d 地震時） ・ 同左 （S s 地震時） ・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析（弾塑性解析）	—
解析コード	・ N A S T R A N		（S d 地震時） ・ M S C N A S T R A N （S s 地震時） ・ A b a q u s	—
モデル	モデル化範囲	・ RCCV 底部を含む基礎スラブ	（基礎スラブモデル部分） ・ 同左 （上部構造モデル部分） ・ RCCV シェル部、トップスラブ部、使用済燃料貯蔵プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット及びダイヤフラムフロア 上記を一体でモデル化	—
	材料物性	検討時の各規準，コンクリートの設計基準強度に基づき設定 ・ コンクリートのヤング係数： $E = 2.55 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ （SI 換算） ・ コンクリートのポアソン比： $\nu = 0.167$	適用規準等の見直しによる再設定 ・ コンクリートのヤング係数 上部構造： $E = 2.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 基礎スラブ： $E = 2.79 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ・ コンクリートのポアソン比： $\nu = 0.2$ ・ 鉄筋のヤング係数： $E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ・ 鉄筋のポアソン比： $\nu = 0.3$	① ② ③
	要素種別	・ シェル要素	（S d 地震時） ・ 同左 （S s 地震時） ・ 積層シェル要素	—
	境界条件	・ 底面を弾性地盤ばねにより支持 ・ 底面の弾性地盤ばねは，浮上りを考慮 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮せず ・ 上部構造物の剛性を考慮	（基礎スラブモデル部分） ・ 底面を弾性地盤ばねにより支持 ・ 底面の弾性地盤ばねは，浮上りを考慮 ・ 側面の水平及び回転ばねを考慮 ・ 上部構造物の剛性を考慮 （上部構造モデル部分） ・ 周辺床及び外壁の剛性を考慮	—
	非線形特性	・ 考慮しない	（S d 地震時） ・ 同左 （S s 地震時） コンクリート ・ 圧縮側のコンクリート構成則：CEB-FIP Model code に基づき設定 ・ ひび割れ発生後の引張軟化曲線：出雲ほか（1987）による式 鉄筋 ・ バイリニア型	—

表 2-1 応力解析モデル及び手法の比較（原子炉建屋基礎スラブのうち周辺部基礎）（2/2）

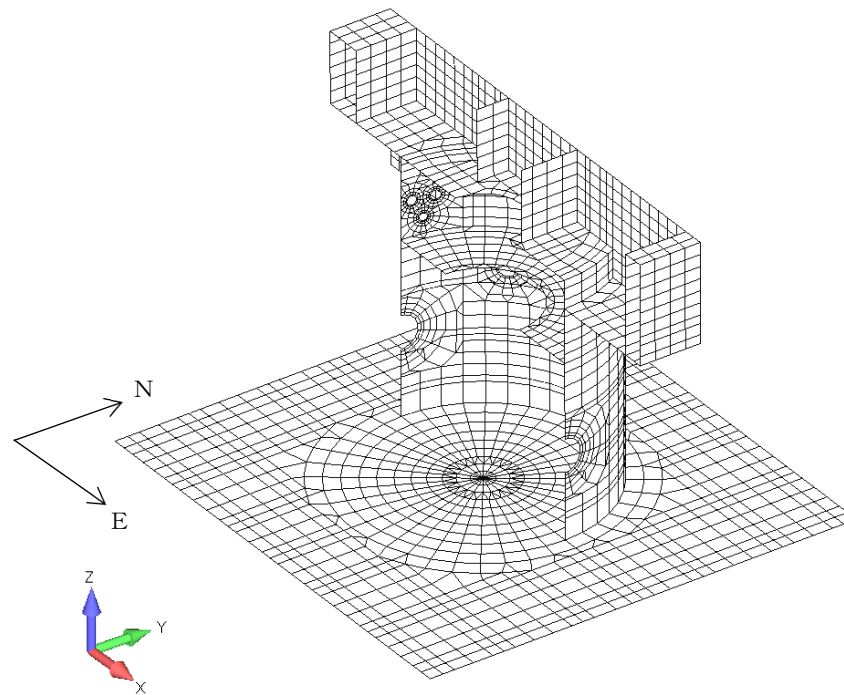
項目	内容	既工認	今回工認	備考
地震荷重との組合せ		$DL + P_1 (+T_1) + H_1 + K_1$ (S_2 地震荷重は、 S_1 地震荷重より小さく、これに包絡されるため、上記の組合せで代表。) DL : 死荷重及び活荷重（浮力を含む） P_1 : 運転時圧力 T_1 : 運転時温度荷重 H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重 K_1 : S_1 地震荷重（地震時土圧荷重を含む）	S_d 地震時 : $DL + P_1 (+T_1) + H_1 + K_d + E_d$ S_s 地震時 : $DL + P_1 + H_1 + K_s + E_s$ DL : 死荷重及び活荷重（浮力を含む） P_1 : 運転時圧力 T_1 : 運転時温度荷重 H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重 K_d : S_d 地震荷重 E_d : S_d 地震時土圧荷重 K_s : S_s 地震荷重 E_s : S_s 地震時土圧荷重	—
荷重の設定	死荷重及び活荷重	・ 躯体自重，機器配管重量，静水圧，上部構造物からの荷重及び浮力	・ 同左	—
	運転時荷重	・ 運転時圧力，運転時温度荷重及び逃がし安全弁作動時荷重	・ 同左	—
	地震荷重	・ 上部構造からの地震力（水平力，曲げモーメント，鉛直力）及び基礎部の付加地震力を入力	・ 同左	—
	地震時土圧荷重	$P_a = 10.0 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (t/m ³) h : 地表面からの深さ (m)	S_d 地震時 $P_a = 260 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ S_s 地震時 $P_a = 460 + 0.65 \cdot \gamma \cdot h$ γ : 土の単位体積重量 (kN/m ³) h : 地表面からの深さ (m) ・ 地震時土圧は，常時土圧に地震時増分土圧を加えて算出 ・ 地震時増分土圧は「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）」の地震時増分土圧算定式から加力側増分土圧及び支持側増分土圧を包絡したものと評価	—
評価方法	応力解析	・ 発生応力が許容応力度を超えないことを確認	・ S_d 地震時：同左 ・ S_s 地震時：鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が評価基準値を超えないことを確認	④

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- ① コンクリートのヤング係数及びせん断弾性係数については、「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 改定）に基づき再計算
- ② 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」（(社) 日本建築学会，2005 改定）に基づき設定
- ③ コンクリートのヤング係数を算出するための圧縮強度は実強度，断面の評価のための圧縮強度は設計基準強度を採用
- ④ 「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），「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（(社) 日本建築学会，2005 制定）に基づき評価



(a) 全体図



(b) 北側半分図化

図 2-1 応力解析モデル図

別紙5 原子炉格納容器コンクリート部の荷重組合せに対する影響検討

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 周辺部基礎の影響検討	別紙 5-2
2.1 検討方針	別紙 5-2
2.2 荷重の組合せケース	別紙 5-4
2.3 断面の評価方法	別紙 5-7
2.4 検討結果	別紙 5-7

1. 概要

原子炉建屋基礎スラブは、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「RCCV 底部」という。）及び原子炉建屋のうち RCCV 底部以外の基礎（以下「周辺部基礎」という。）で構成される。

RCCV 底部については、V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」（以下「RCCV の耐震計算書」という。）にて、荷重状態Ⅲ～Ⅴの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。

一方で、周辺部基礎については、V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）にて、S_d地震時及びS_s地震時の耐震性評価を実施している。

本資料では、周辺部基礎が RCCV 底部に接続し、一体として原子炉建屋基礎スラブを構成していることを踏まえ、周辺部基礎について、RCCV 底部で考慮している重大事故等時の状態である荷重状態Ⅴにおける荷重の組合せに対する影響検討を実施する。

2. 周辺部基礎の影響検討

2.1 検討方針

周辺部基礎の影響検討は、3次元 FEM モデルを用いた応力解析によることとし、荷重状態 V に対して、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが許容限界を超えないことを確認する。RCCV の耐震計算書における荷重状態 V の荷重の組合せを表 2-1 に示す。

なお、RCCV の耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示すとおり、RCCV の応力解析において周辺部基礎を含めたモデルを用いているため、本検討には、RCCV の耐震計算書の「4. 応力解析による評価方法」にて得られた周辺部基礎の応力を用いるものとする。

表 2-1 RCCV の耐震計算書における荷重状態 V の荷重の組合せ

荷重状態	荷重時	荷重番号	荷重の組合せ
V	(異常+地震) 時 (3)	5	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + K_d + R_d + E_d$
	(異常+地震) 時 (4)	6	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + K_s + R_s + E_s$

- DL : 死荷重及び活荷重
 P_{SAL} : SA (L) 時圧力
 HS_{SAL} : SA (L) 時水圧荷重
 H_{SA} : チャギング荷重 (SA 時)
 P_{SALL} : SA (LL) 時圧力
 HS_{SALL} : SA (LL) 時水圧荷重
 K_d, K_s : 地震荷重
 R_d, R_s : 地震時配管荷重
 E_d, E_s : 地震時土圧荷重

2.2 荷重の組合せケース

荷重状態V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	: 死荷重及び活荷重
P_{SAL}	: SA (L) 時圧力
$H_{S_{SAL}}$: SA (L) 時水圧荷重
H_{SA}	: チャギング荷重 (SA 時)
P_{SALL}	: SA (LL) 時圧力
$H_{S_{SALL}}$: SA (LL) 時水圧荷重
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_{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
R_d	: S_d 地震時配管荷重
R_s	: S_s 地震時配管荷重
E_{dNS}	: NS 方向 S_d 地震時土圧荷重
E_{dEW}	: EW 方向 S_d 地震時土圧荷重
E_{sNS}	: NS 方向 S_s 地震時土圧荷重
E_{sEW}	: EW 方向 S_s 地震時土圧荷重

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。

荷重の組合せケースを表 2-2 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)」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 2-2 荷重の組合せケース (1/2)

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	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$
		5-2	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$
		5-3	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$
		5-4	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$
		5-5	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$
		5-6	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$
		5-7	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dNS}$
		5-8	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0E_{dEW}$
		5-9	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$
		5-10	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$
		5-11	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$
		5-12	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$
		5-13	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$
		5-14	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$
		5-15	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dNS}$
		5-16	$DL + P_{SAL} + HS_{SAL} + H_{SA} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4E_{dEW}$

表 2-2 荷重の組合せケース (2/2)

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	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$
		6-2	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$
		6-3	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$
		6-4	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$
		6-5	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$
		6-6	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$
		6-7	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sNS}$
		6-8	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0E_{sEW}$
		6-9	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$
		6-10	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$
		6-11	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$
		6-12	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$
		6-13	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$
		6-14	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$
		6-15	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sNS}$
		6-16	$DL + P_{SALL} + HS_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4E_{sEW}$

2.3 断面の評価方法

断面の評価方法は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に記載のS s地震時に対する評価方法に準ずるものとする。

2.4 検討結果

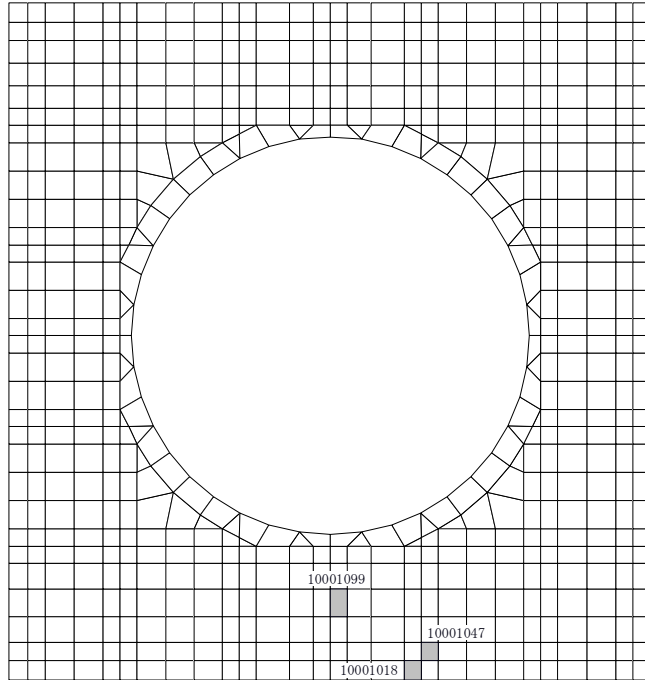
「2.3 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。

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。

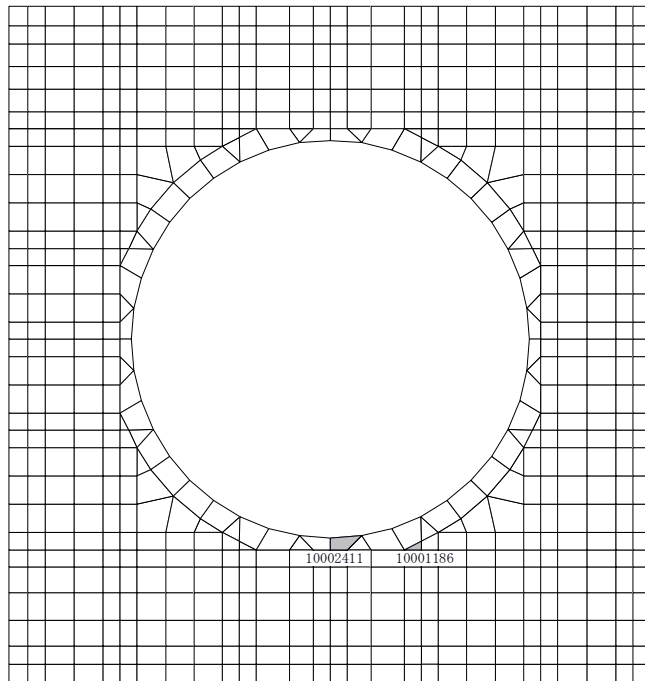
軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図2-1に、検討結果を表2-3に示す。

荷重状態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応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (3)



(b) 荷重状態 V ・ (異常 + 地震) 時 (4)

図 2-1 選定した要素の位置

表 2-3 検討結果

(a) 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 ($\times 10^{-3}$)	EW	10001018	5-8	0.108	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	10001099	5-6	0.0894	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	10001047	5-6	1.19	2.34

(b) 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 ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	6-1	0.240	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	6-1	0.207	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	10002411	6-2	2.25	3.01