

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-11 改 04
提出年月日	2023年3月6日

原子炉建物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

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-9-3-4「原子炉建物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。

今回提出範囲：

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 1-1 基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について

別紙 1-1-1 許容限界設定の考え方について

別紙 1-1-2 コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について

別紙 1-1-3 ドライウェル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方について

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 2-1 応力解析モデルでモデル化している部材の扱いについて

別紙 3 地震荷重の入力方法

別紙 3-1 原子炉本体基礎からの反力等の影響について

別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙 5 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討

別紙 6 最大接地圧について

別紙 7 原子炉建物基礎スラブの応力解析における浮力の影響検討

別紙 8 原子炉建物基礎スラブの弾性設計用地震動  $S_d$  による検討

別紙 9 原子炉建物基礎スラブのポンプピット周辺の構造について

## 別紙 3 地震荷重の入力方法

## 目 次

- |                    |        |
|--------------------|--------|
| 1. 概要 .....        | 別紙 3-1 |
| 2. 地震荷重の入力方法 ..... | 別紙 3-2 |

別紙 3-1 原子炉本体基礎からの反力等の影響について

## 1. 概要

本資料は，原子炉建物基礎スラブに作用する地震荷重の入力方法について示すものである。

## 2. 地震荷重の入力方法

原子炉建物基礎スラブの応力解析に当たって、FEMモデルに入力する地震荷重として、水平地震力、鉛直地震力及び地震時土圧荷重を考慮する。

地震荷重の入力は、基準地震動 $S_s$ に対する地震応答解析結果を考慮し、FEMモデルに入力する水平力、曲げモーメント及び鉛直力が、各質点位置で地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、水平地震力については、地震応答解析により求まる最大応答せん断力に基づく水平力をFEMモデルに入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力については、FEMモデルにおける上部構造物脚部に対応する基礎スラブの各節点に、節点の支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねの最大水平力から、上部構造物から作用する水平力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加せん断力」という。）をFEMモデルの基礎スラブの各節点に、節点の支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。

また、地震応答解析により求まる最大応答曲げモーメントをFEMモデルに入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力は、偶力に置換して水平力を入力位置に節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねの最大曲げモーメントから、上部構造物から作用する曲げモーメントを差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加曲げモーメント」という。）をFEMモデルの基礎スラブの各節点に、節点の支配面積と中心位置からの距離に応じて偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。

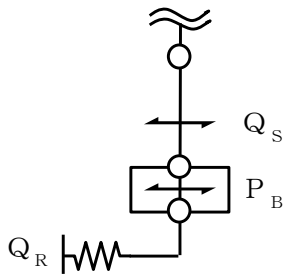
なお、水平地震力及び曲げモーメントについては、耐震壁の位置に対応する節点に入力する。また、曲げモーメントの偶力への置換については、平面保持を仮定している。

鉛直地震力については、地震応答解析により求まる基礎スラブ直上の部材の軸力から算出した軸力係数に基づく鉛直力をFEMモデルに入力する。上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力については、FEMモデルにおける上部構造物脚部位置に対応する基礎スラブの各節点の支配面積に応じて上部構造物の重量を分配した支配重量に軸力係数を乗じた節点荷重として入力する。基礎スラブモデル部分については、地震応答解析より求まる基礎スラブ底面地盤ばねの鉛直力から上部構造物から作用する鉛直力を差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加軸力」という。）を基礎スラブの質点重量で除して付加軸力係数を算出する。そして、FEMモデルの基礎スラブの各節点の支配重量に付加軸力係数を乗じた節点荷重及び面荷重として入力する。

地下外壁部に作用する地震時土圧荷重により基礎スラブに作用する荷重は、せん断力、曲げモーメント及びせん断力により発生する付加曲げモーメントを考慮し、外壁を各階スラブ位置で支持した連続はりモデルを用いて算出する。算出した外壁脚部に生じる単位長さあたりのせん断力、曲げモーメント及び付加曲げモーメントは、基礎スラブ外周の節点の支配長さに応じて分配し、節点荷重として入力する。

FEMモデルに入力する地震荷重の概念図を図2-1に示す。また、FEMモデルに入力する地震荷重を図2-2に示す。

■基礎スラブモデル部分に作用させる付加せん断力 $P_B$ の算出



$$P_B = Q_R - Q_S$$

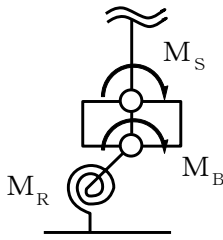
$P_B$  : FEMにする付加せん断力

$Q_R$  : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる水平力

$Q_S$  : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用するせん断力

(a) 水平地震力

■基礎スラブモデル部分に作用させる付加曲げモーメント $M_B$ の算出



$$M_B = M_R - M_S$$

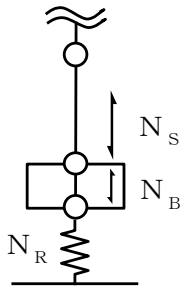
$M_B$  : FEMにする付加曲げモーメント

$M_R$  : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる曲げモーメント

$M_S$  : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用する曲げモーメント

(b) 曲げモーメント

■基礎スラブモデル部分に作用させる付加軸力 $N_B$ の算出



$$N_B = N_R - N_S$$

$N_B$  : FEMにする付加軸力

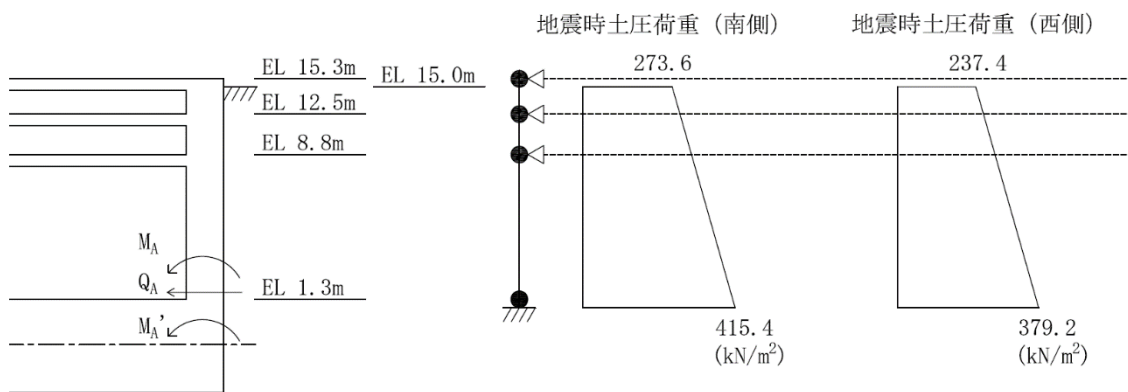
$N_R$  : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる鉛直力

$N_S$  : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎スラブに作用する鉛直力

(c) 鉛直地震力

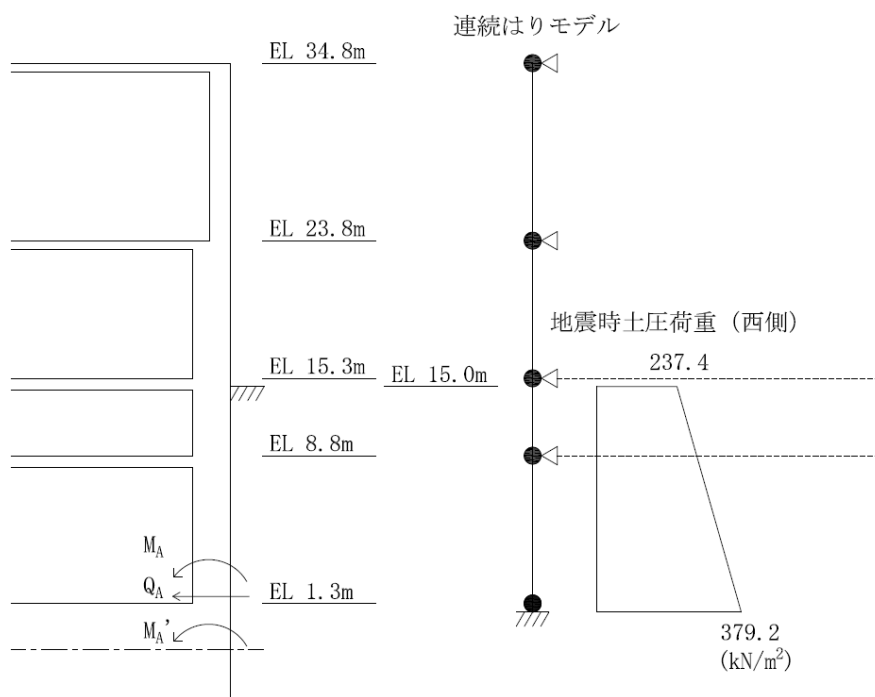
図 2-1(1) FEMモデルにする地震荷重の概念図

連続はりモデル



- $M_A$  : 基礎スラブに入力する曲げモーメント
- $Q_A$  : 基礎スラブに入力するせん断力
- $M_A'$  : せん断力により発生する付加曲げモーメント

(d) 地震時土圧荷重 ( $R1 \sim R13$  通り,  $RH \sim RI$  通り)

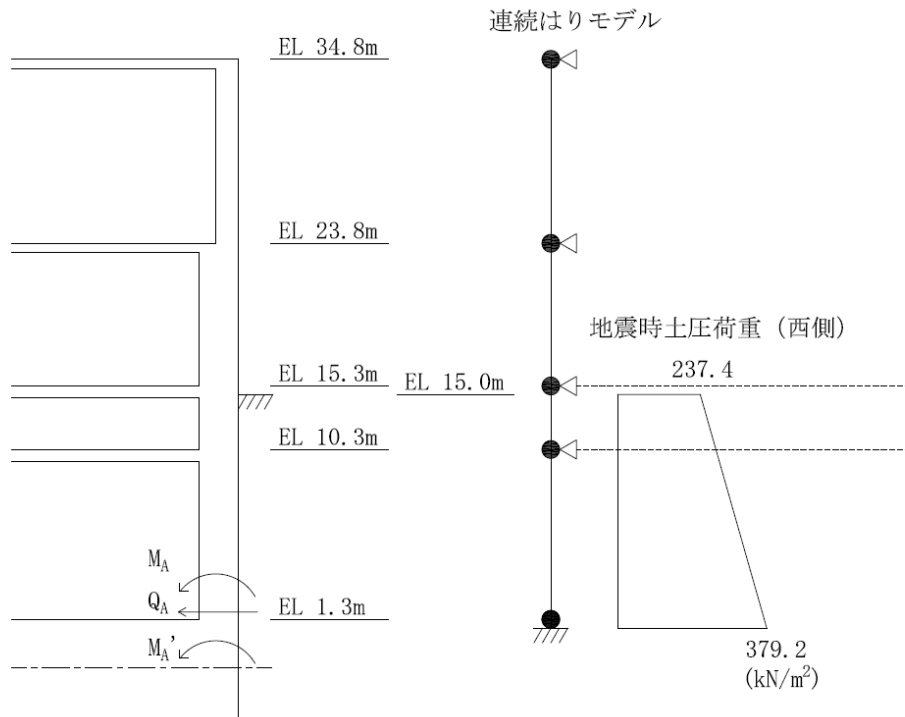


- $M_A$  : 基礎スラブに入力する曲げモーメント
- $Q_A$  : 基礎スラブに入力するせん断力
- $M_A'$  : せん断力により発生する付加曲げモーメント

(e) 地震時土圧荷重 ( $RA \sim RE$  通り)

図 2-1(2) FEMモデルに入力する地震荷重の概念図

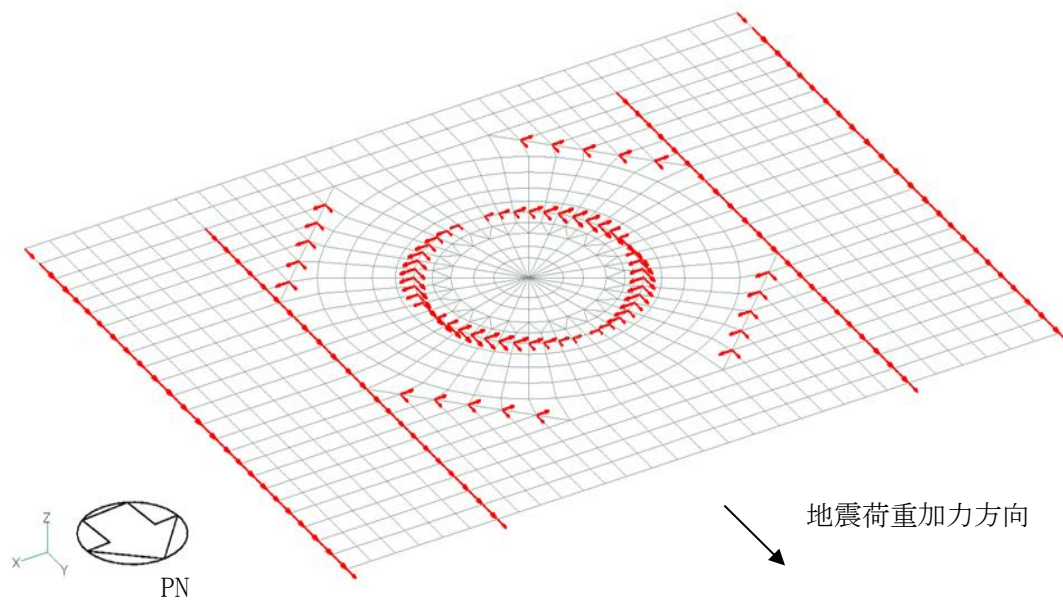




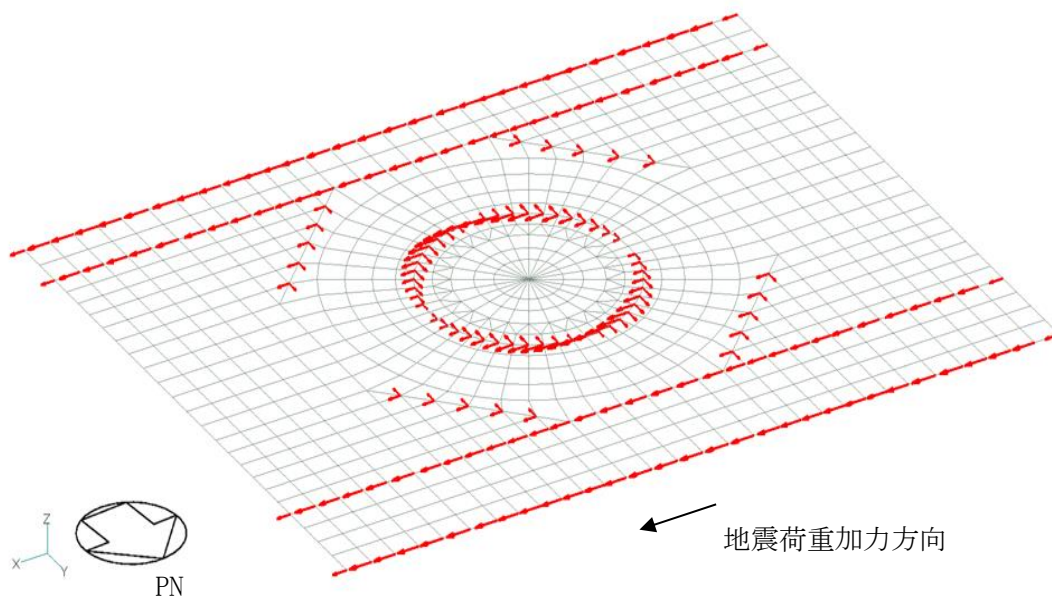
- $M_A$  : 基礎スラブに入力する曲げモーメント
- $Q_A$  : 基礎スラブに入力するせん断力
- $M_A'$  : せん断力により発生する付加曲げモーメント

(f) 地震時土圧荷重 ( $R_E \sim R_H$  通り)

図 2-1(3) FEMモデルに入力する地震荷重の概念図

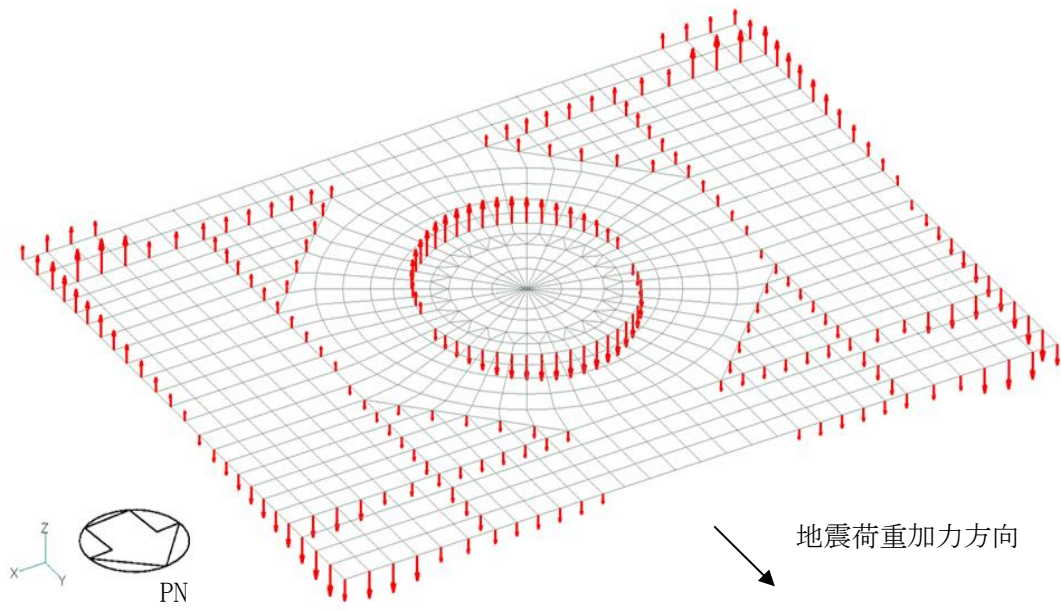


(a) 水平力 (NS方向)

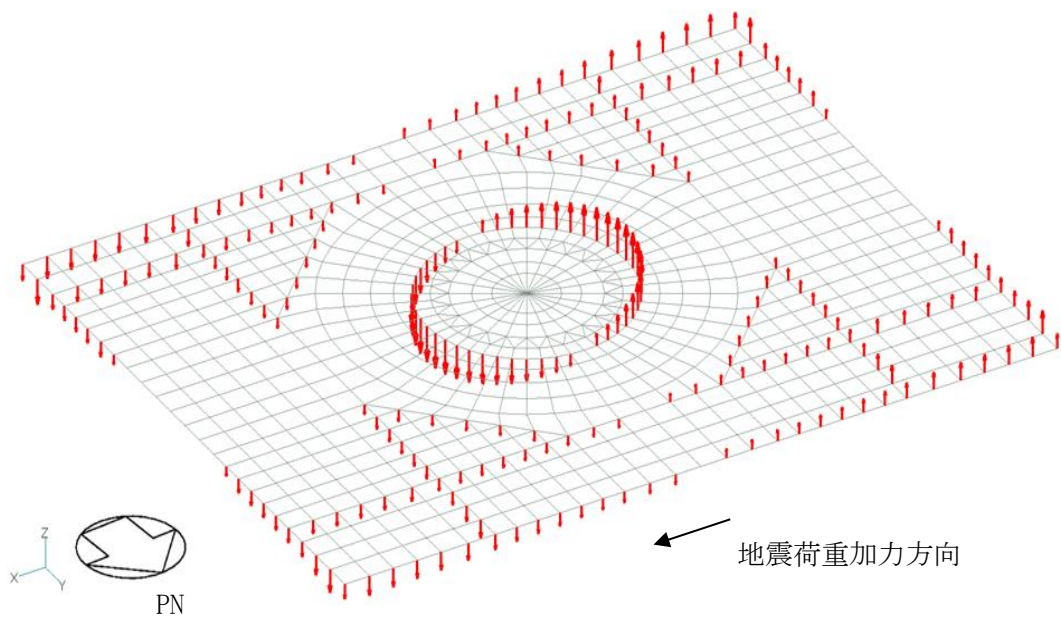


(b) 水平力 (EW方向)

図 2-2(1) FEMモデルに入力する地震荷重

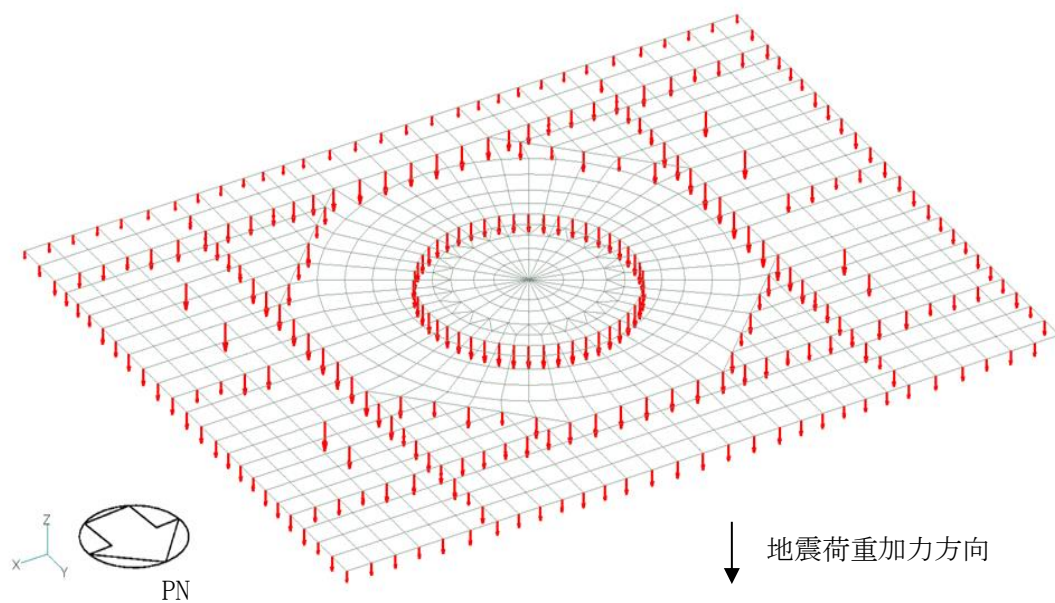


(c) 曲げモーメント (NS方向)



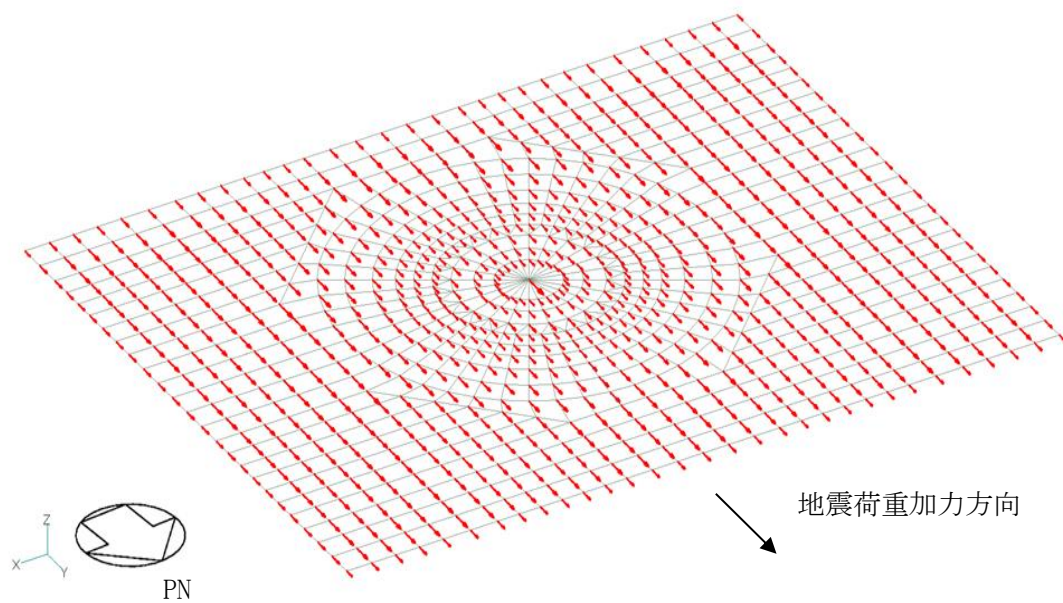
(d) 曲げモーメント (EW方向)

図 2-2(2) FEMモデルに入力する地震荷重

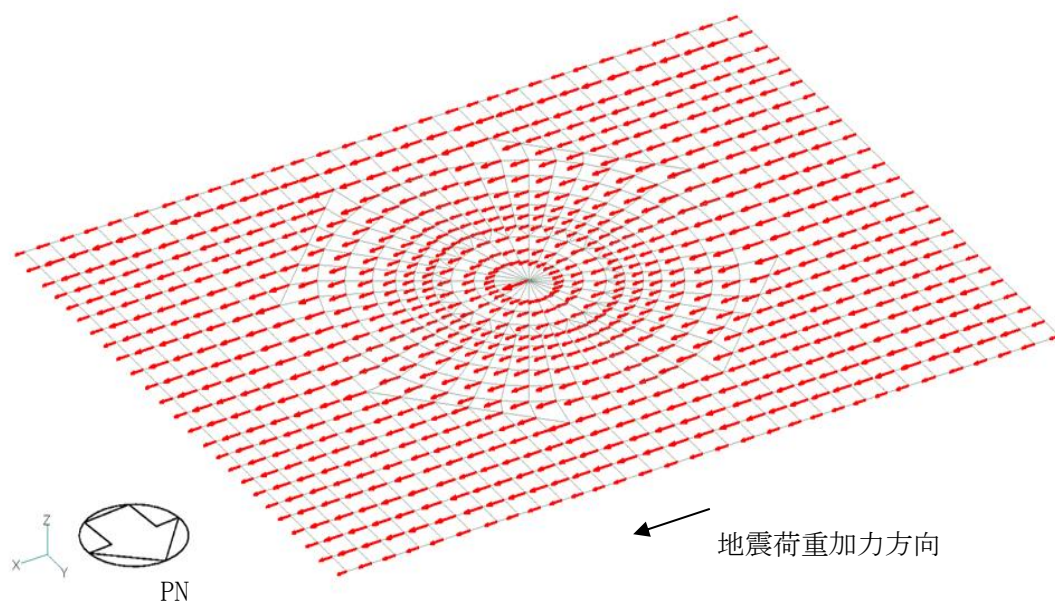


(e) 鉛直力

図 2-2(3) FEMモデルに入力する地震荷重

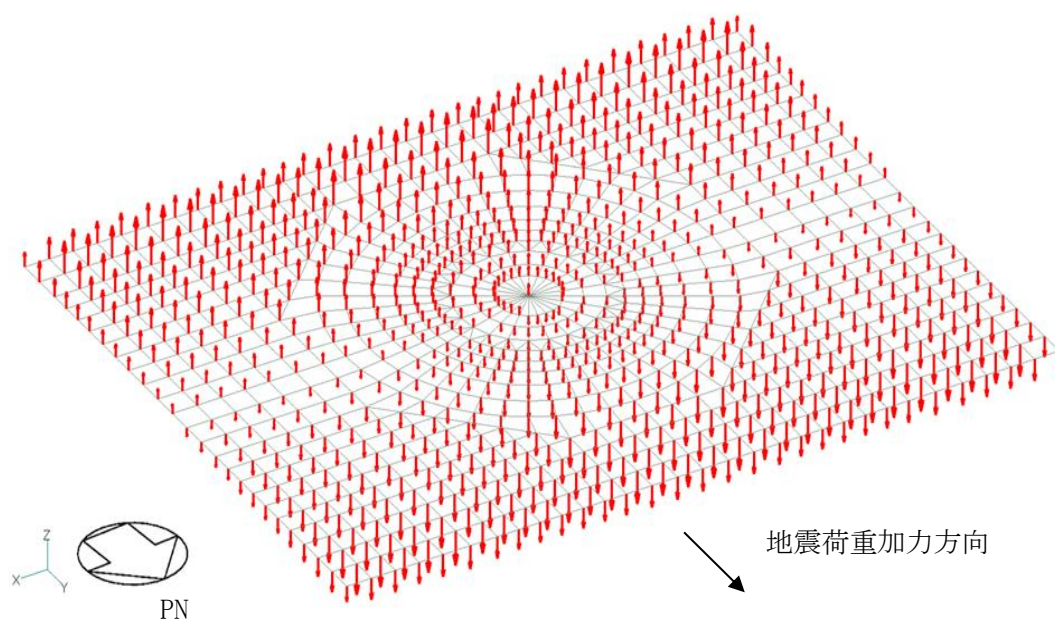


(f) 付加せん断力 (N S方向)

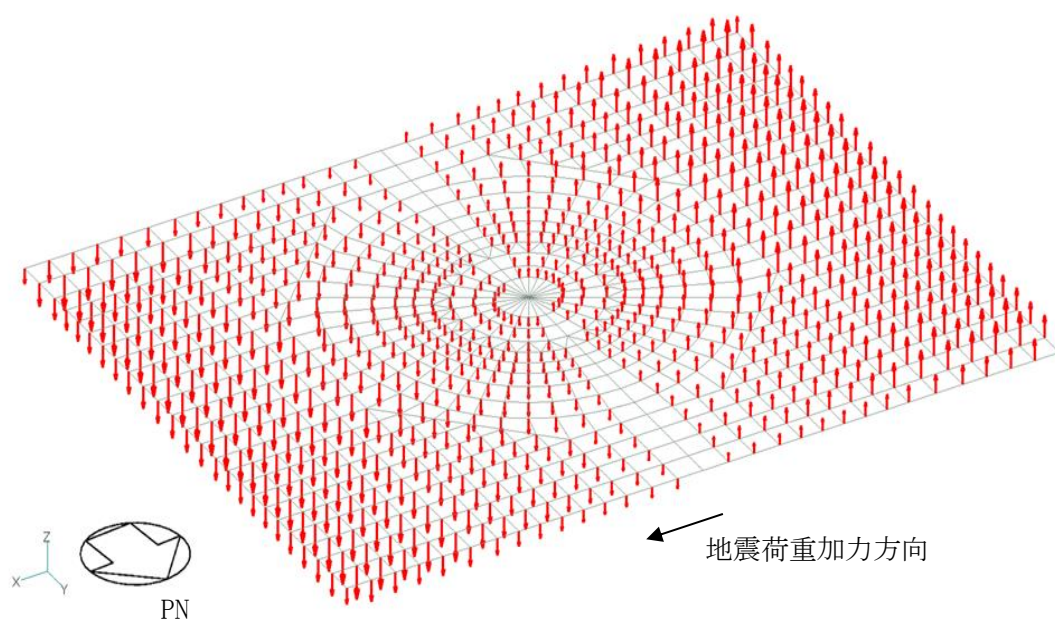


(g) 付加せん断力 (E W方向)

図 2-2(4) F E Mモデルに入力する地震荷重

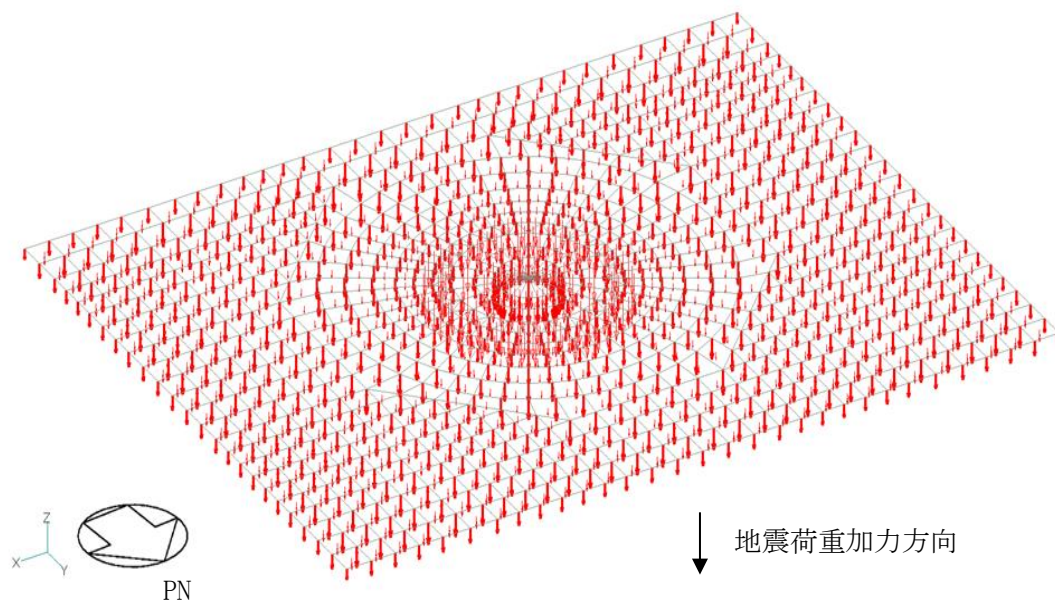


(h) 付加曲げモーメント (N S方向)



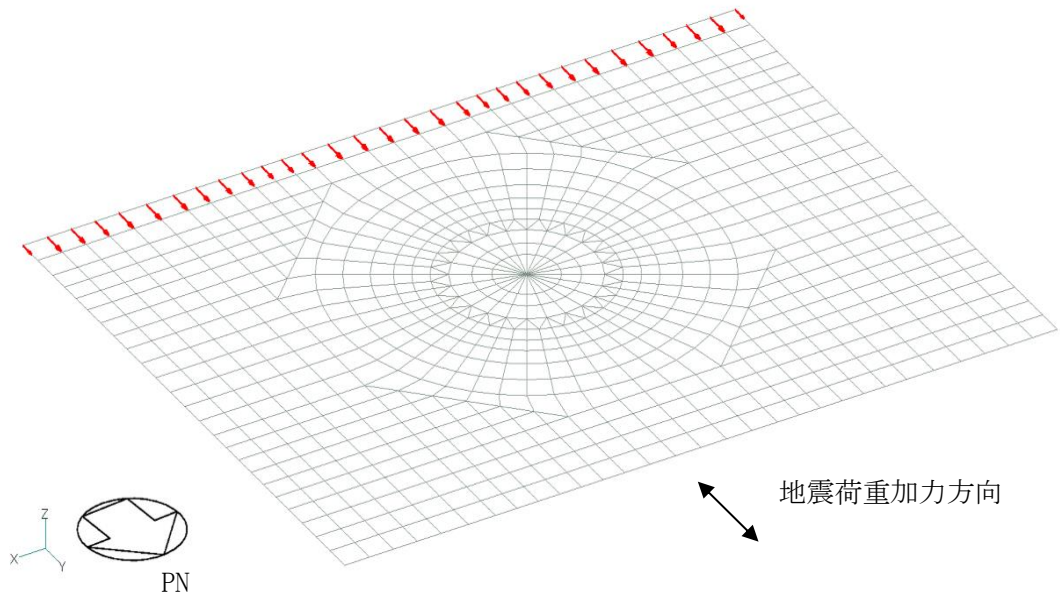
(i) 付加曲げモーメント (E W方向)

図 2-2(5) FEMモデルに入力する地震荷重

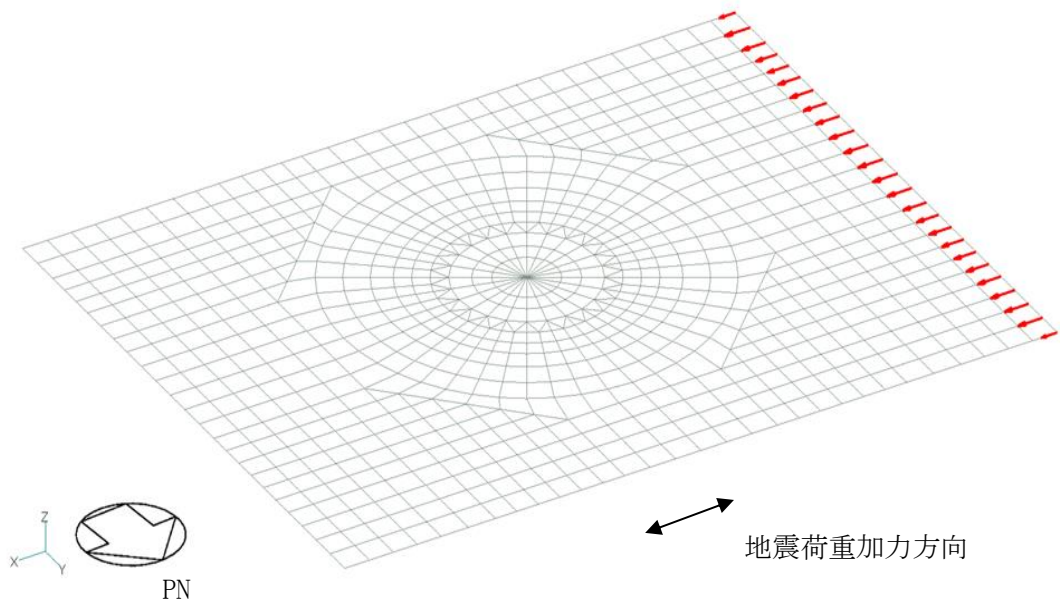


(j) 付加軸力

図 2-2(6) FEMモデルに入力する地震荷重



(k) 地震時土圧荷重（せん断力）（N S方向）

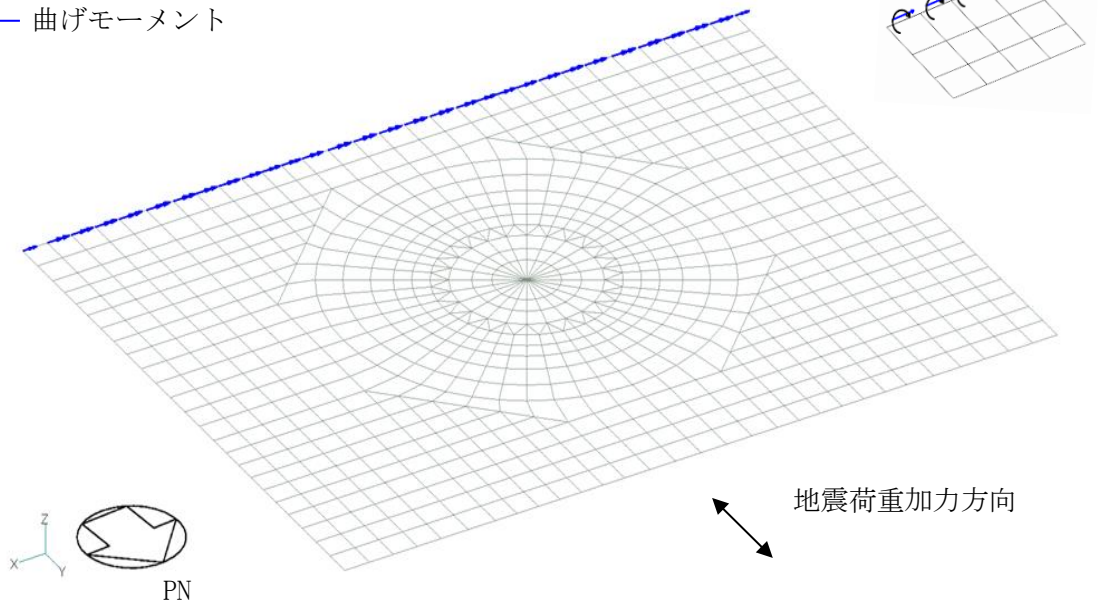


(l) 地震時土圧荷重（せん断力）（E W方向）

図 2-2(7) FEMモデルに入力する地震荷重

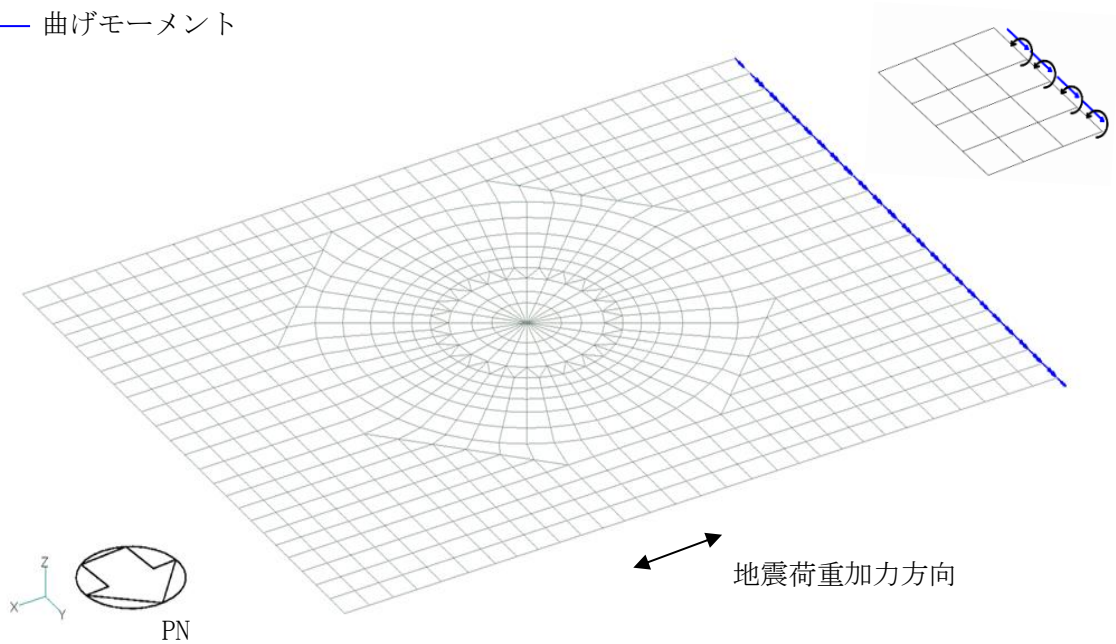


← 曲げモーメント



(m) 地震時土圧荷重（曲げモーメント）（NS方向）

← 曲げモーメント



(n) 地震時土圧荷重（曲げモーメント）（EW方向）

図 2-2(8) FEMモデルに入力する地震荷重

別紙 3-1 原子炉本体基礎からの反力等の影響について

## 目 次

1. 概要	別紙 3-1-1
2. 検討方針	別紙 3-1-5
3. 応力解析による評価方法	別紙 3-1-6
3.1 評価対象部位	別紙 3-1-6
3.2 荷重及び荷重の組合せ	別紙 3-1-6
3.3 許容限界	別紙 3-1-6
3.4 解析モデル及び諸元	別紙 3-1-6
3.5 評価方法	別紙 3-1-9
4. 評価結果	別紙 3-1-12
5. まとめ	別紙 3-1-21

## 1. 概要

原子炉建物の質点系モデルでは、原子炉本体他PCV内機器、PCV底部コンクリート及びPCV下部コンクリートの重量をDW軸の質点重量に集約しており、VI-2-9-3-4「原子炉建物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。）においては、質点系モデルのDW軸の最大応答に基づく水平地震力及び曲げモーメントをドライウエル外側壁位置に対応する節点に入力している。

本資料は、ドライウエル外側壁内部の構造物に生じる水平地震時慣性力が原子炉建物基礎スラブに直接作用することを考慮して、地震荷重をドライウエル外側壁及びその内側の節点に分散入力した場合の検討を行い、ドライウエル外側壁内部の構造物からの反力の影響を確認するものである。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図1-1及び図1-2に示す。

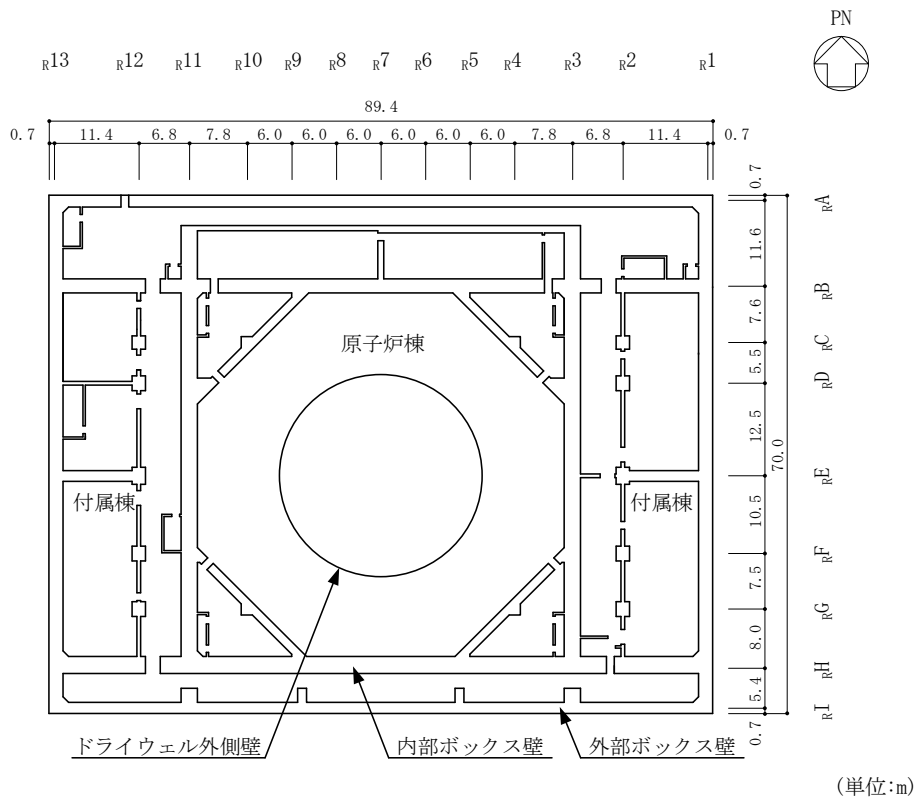


図 1-1 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

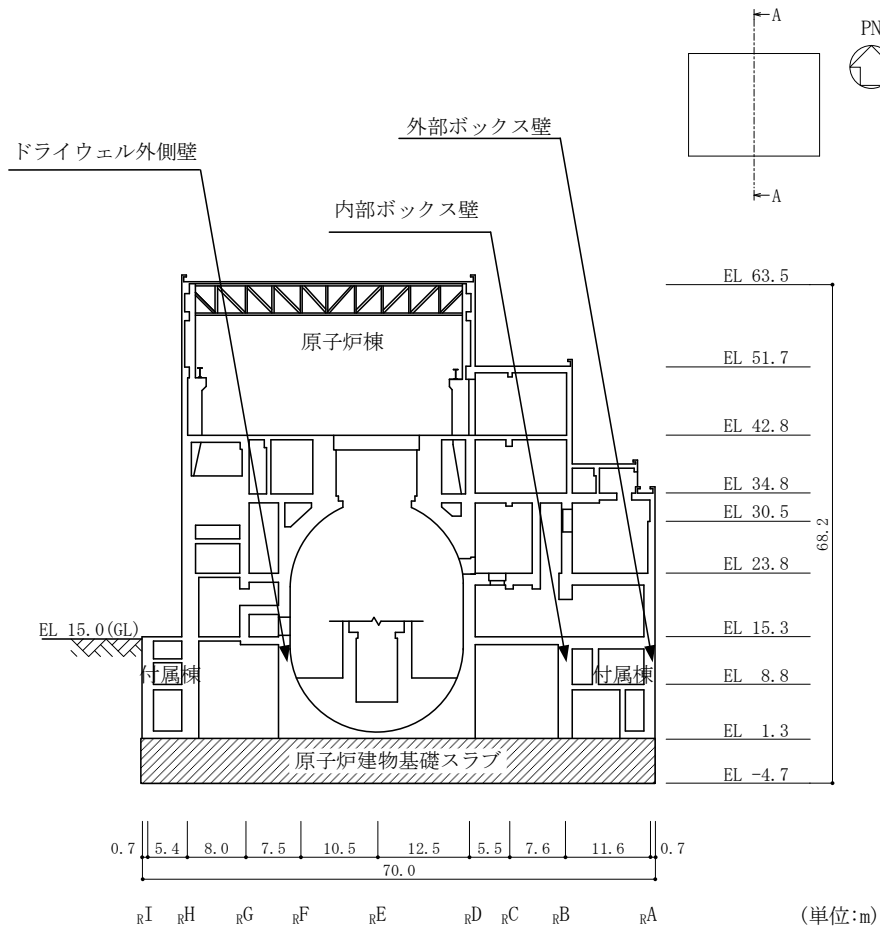


図 1-2(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (A-A断面, NS方向)

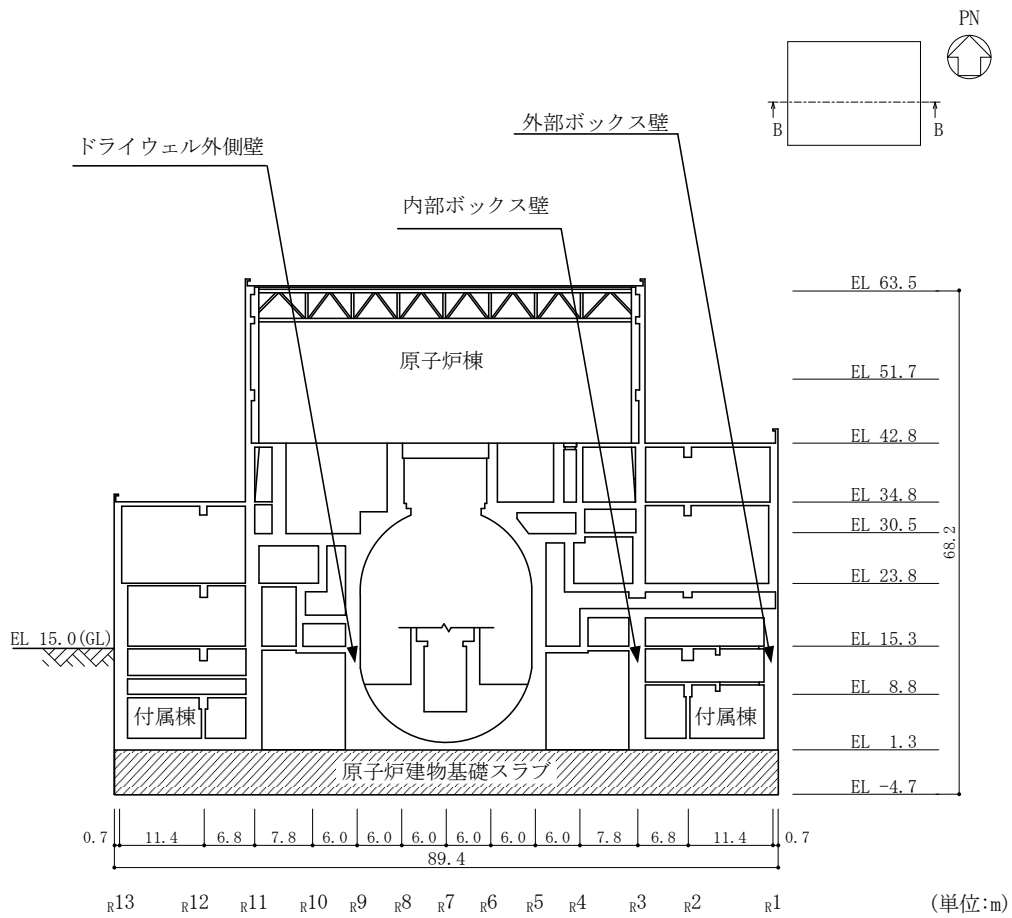


図 1-2(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (B-B断面, EW方向)

## 2. 検討方針

原子炉建物基礎スラブの応力解析において、上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力をドライウェル外側壁及びその内側に分散して入力した場合の検討を行う。

検討は、基礎スラブの耐震計算書に示す 3次元FEMモデルを用い、基準地震動 $S_s$ に対する質点系モデルのDW軸の最大応答に基づく水平地震力及び曲げモーメントをドライウェル外側壁及びその内側の節点に分散入力した場合（以下「DW荷重分散ケース」という。）の応力解析を行い、断面の評価において許容値を超えないことを確認する。



### 3. 応力解析による評価方法

#### 3.1 評価対象部位

評価対象部位は、基礎スラブの耐震計算書と同一とし、原子炉建物基礎スラブとする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

荷重の組合せを表 3-1 に示す。荷重の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.2.1 荷重」に示す固定荷重 (G)、積載荷重 (P) 及び地震荷重 (S<sub>s</sub>) と同一である。

表 3-1 荷重の組合せ (DW荷重分散ケース)

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む)

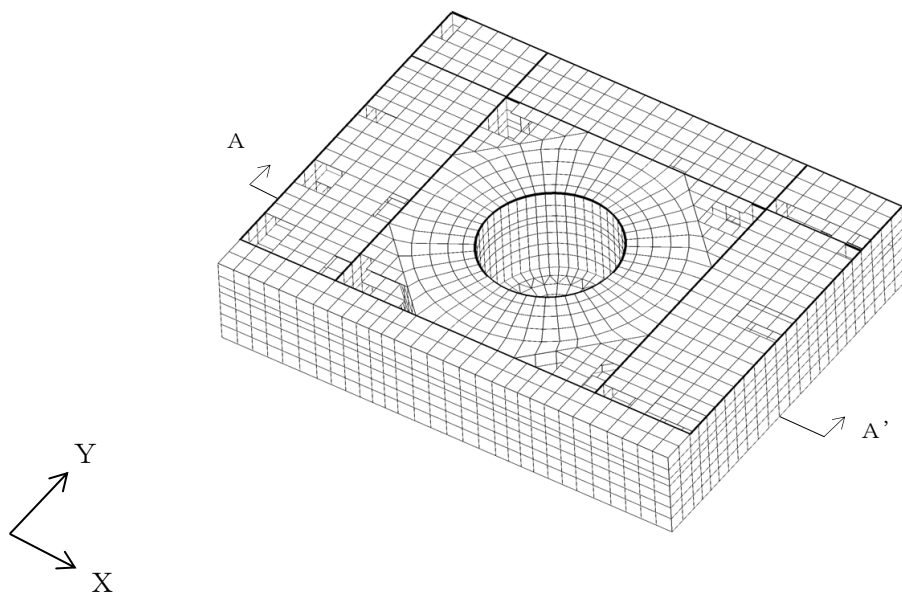
#### 3.3 許容限界

許容限界の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

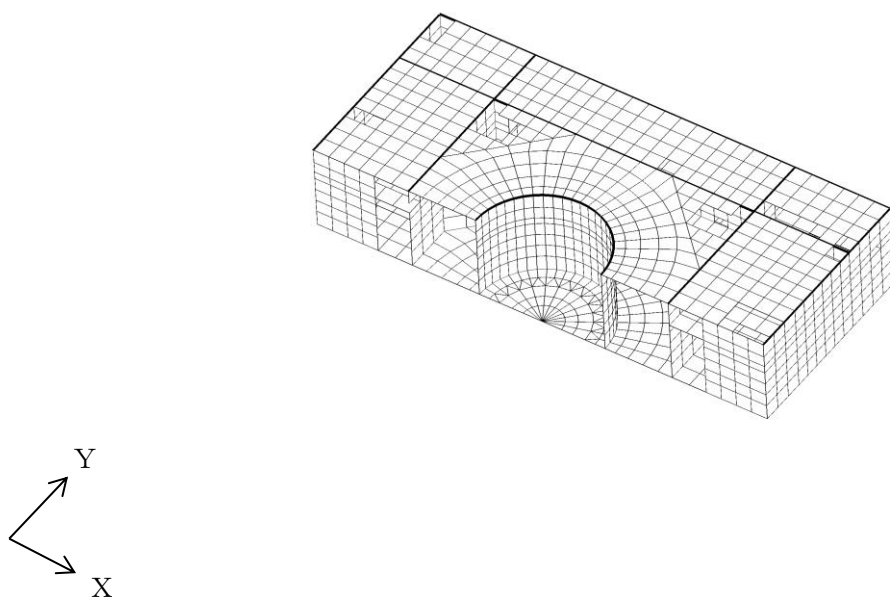
#### 3.4 解析モデル及び諸元

解析モデルを図 3-1 に示す。

解析モデル及び諸元の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

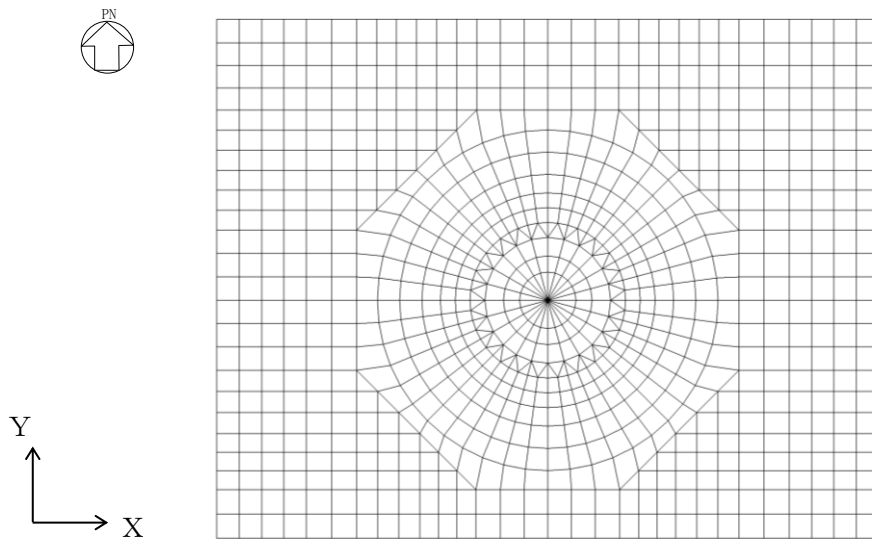


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1(1) 解析モデル



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 3-1(2) 解析モデル

### 3.5 評価方法

S<sub>s</sub>地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S <sub>SSN</sub>	: S→N方向 S <sub>s</sub> 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S <sub>SNS</sub>	: N→S方向 S <sub>s</sub> 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S <sub>SEW</sub>	: E→W方向 S <sub>s</sub> 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S <sub>SWE</sub>	: W→E方向 S <sub>s</sub> 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S <sub>SUD</sub>	: 鉛直方向 (下向き) S <sub>s</sub> 地震荷重
S <sub>SDU</sub>	: 鉛直方向 (上向き) S <sub>s</sub> 地震荷重

荷重の組合せケースを表3-2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。

検討ケースは、基礎スラブの耐震計算書において検定値が最も厳しい結果となるケース (組合せケース 1-1 NS方向 (面外せん断力)) とする。

荷重の入力方法について、ドライウェル外側壁は内部のPCV底部コンクリート及びPCV下部コンクリートと一体となって基礎スラブに地震力を伝達することから、上部構造物から作用する地震時反力のうち質点系モデルのDW軸の最大応答に基づく水平地震力及び曲げモーメントをドライウェル外側壁及びその内側に対応する節点の支配面積に応じて分散入力する。

上記以外の荷重の入力方法については、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析の方法」及び NS2-補-025-11「原子炉建物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」の別紙3「地震荷重の入力方法」に示す方法と同一である。

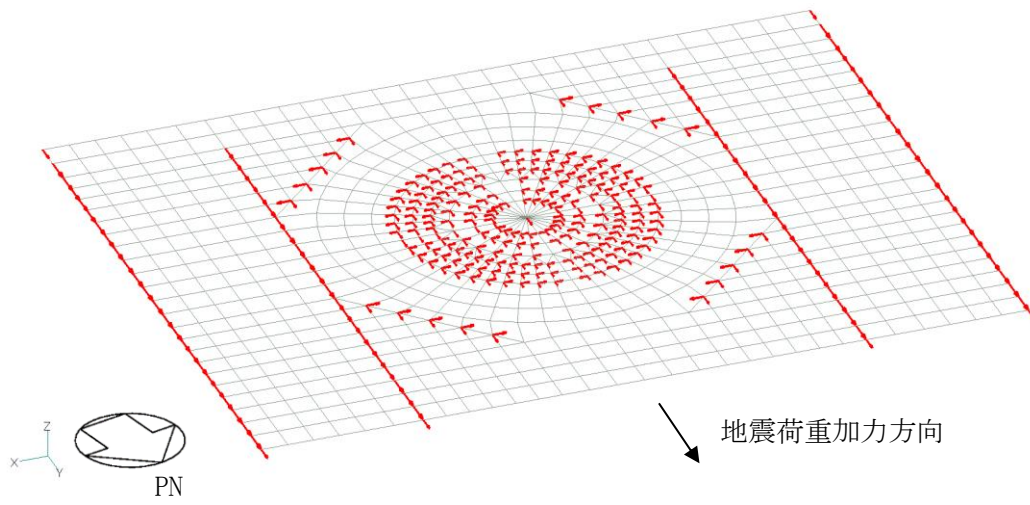
DW荷重分散ケースの地震荷重を図3-2に示す。

また、断面の評価方法の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

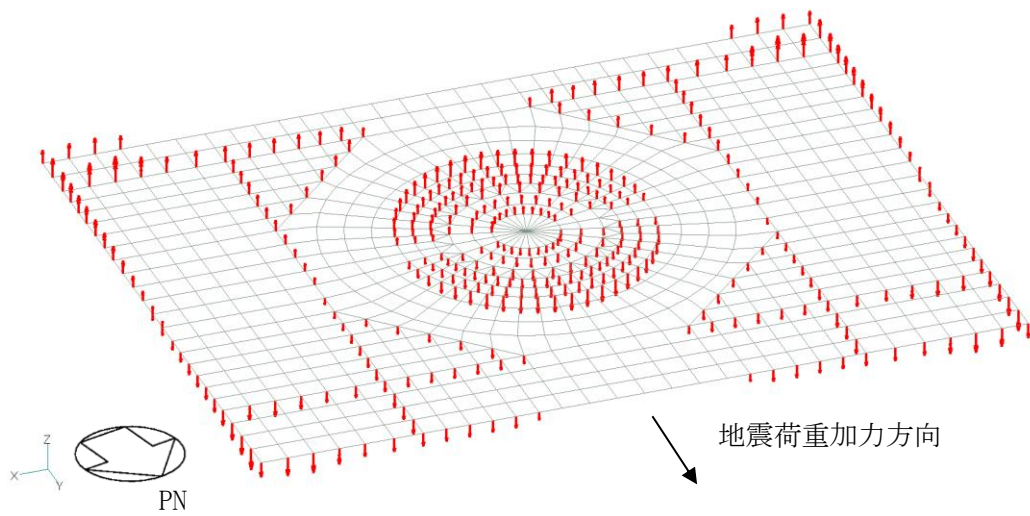
表 3-2 荷重の組合せケース (DW荷重分散ケース)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	1-1	$G + P + 1.0S_{SN} + 0.4S_{UD}$
	1-2	$G + P + 1.0S_{SN} + 0.4S_{DU}$
	1-3	$G + P + 1.0S_{NS} + 0.4S_{UD}$
	1-4	$G + P + 1.0S_{NS} + 0.4S_{DU}$
	1-5	$G + P + 1.0S_{EW} + 0.4S_{UD}$
	1-6	$G + P + 1.0S_{EW} + 0.4S_{DU}$
	1-7	$G + P + 1.0S_{WE} + 0.4S_{UD}$
	1-8	$G + P + 1.0S_{WE} + 0.4S_{DU}$
	1-9	$G + P + 0.4S_{SN} + 1.0S_{UD}$
	1-10	$G + P + 0.4S_{SN} + 1.0S_{DU}$
	1-11	$G + P + 0.4S_{NS} + 1.0S_{UD}$
	1-12	$G + P + 0.4S_{NS} + 1.0S_{DU}$
	1-13	$G + P + 0.4S_{EW} + 1.0S_{UD}$
	1-14	$G + P + 0.4S_{EW} + 1.0S_{DU}$
	1-15	$G + P + 0.4S_{WE} + 1.0S_{UD}$
	1-16	$G + P + 0.4S_{WE} + 1.0S_{DU}$

注：ハッチングは本資料における検討ケースを示す。



(a) 水平力 (NS方向)



(b) 曲げモーメント (NS方向)

注：今回工認ケースと入力方法が異なる地震荷重を示す。

図 3-2 DW荷重分散ケースの地震荷重

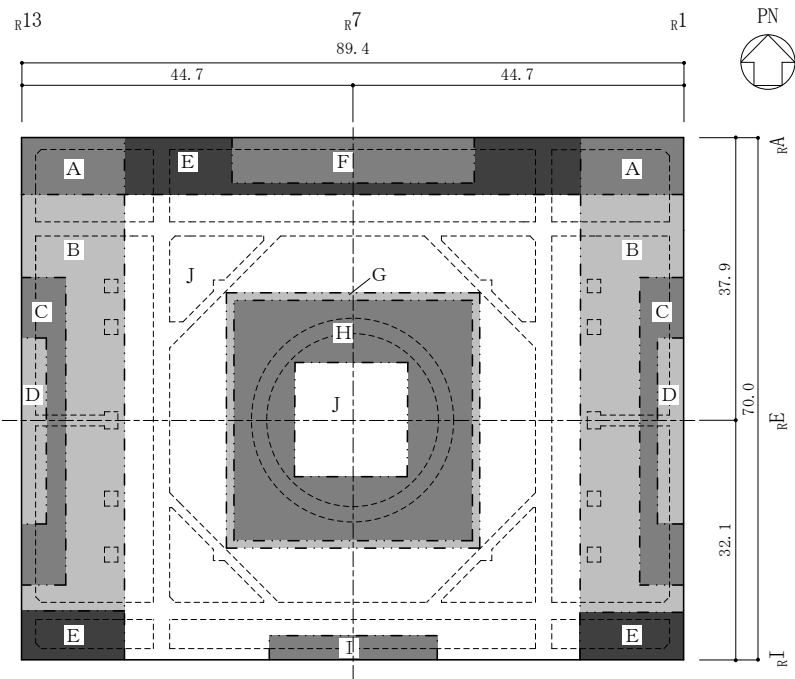
#### 4. 評価結果

3次元FEMモデルの配筋領域図を図4-1に、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。

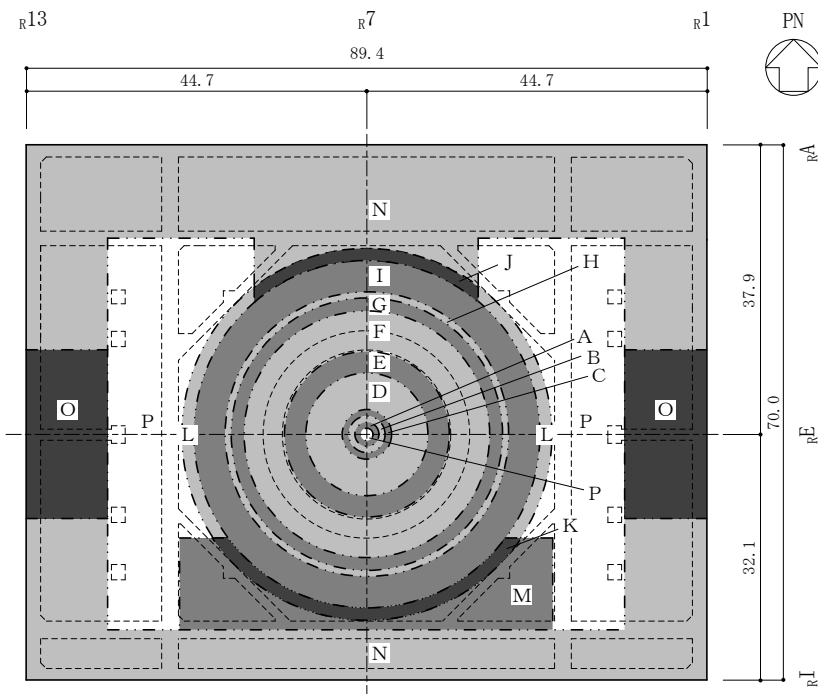
DW荷重分散ケース及び今回工認ケースにおける選定した要素の位置を図4-2に、評価結果を表4-2に示す。

DW荷重分散ケースは、選定した要素が今回工認ケースと異なる評価項目もあるが、地震荷重をドライウェル外側壁位置に入力している今回工認ケースよりも発生値が減少する傾向にあり、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が、各許容値を超えないことを確認した。



(単位:m)

(a) 主筋 (下ば筋)

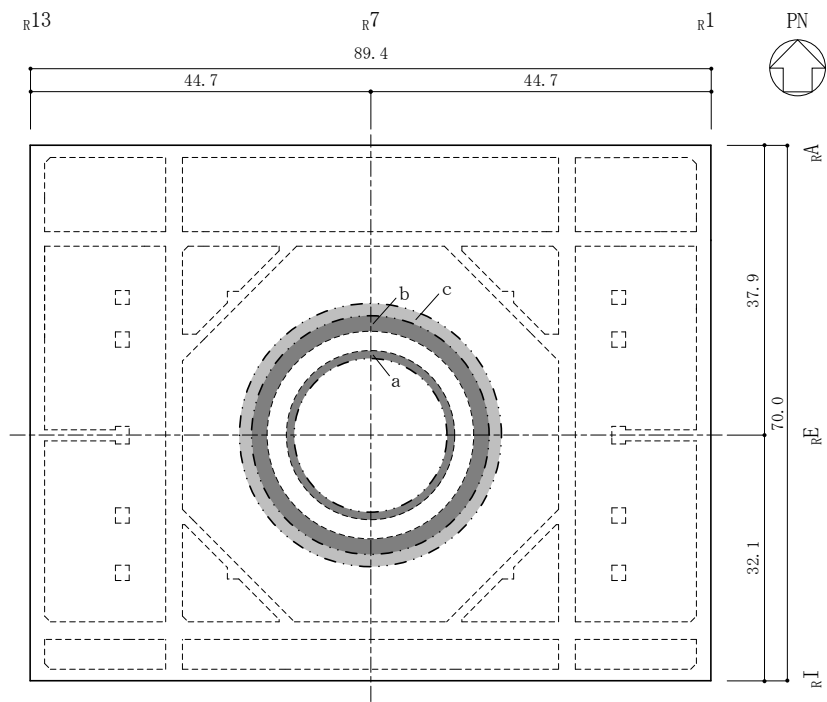


(単位:m)

(b) 主筋 (上ば筋)

図 4-1(1) 配筋領域図





(単位:m)

(c) せん断補強筋

図 4-1(2) 配筋領域図

表 4-1(1) 配筋一覧

(a) 主筋 (下ば筋)

領域	方向	配筋
A	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400
B	N S	2-D38@200
	E W	D38@200 + D38@400
C	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + D32@400
D	N S	3-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + 2-D32@400
E	N S	D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200
F	N S	D38@200 + D38@400 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
G	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
H	N S	3-D38@200 + D32@400
	E W	3-D38@200 + D32@400
I	N S	2-D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
J	N S	2-D38@200
	E W	2-D38@200

表 4-1(2) 配筋一覽  
(b) 主筋 (上ば筋) (1/2)

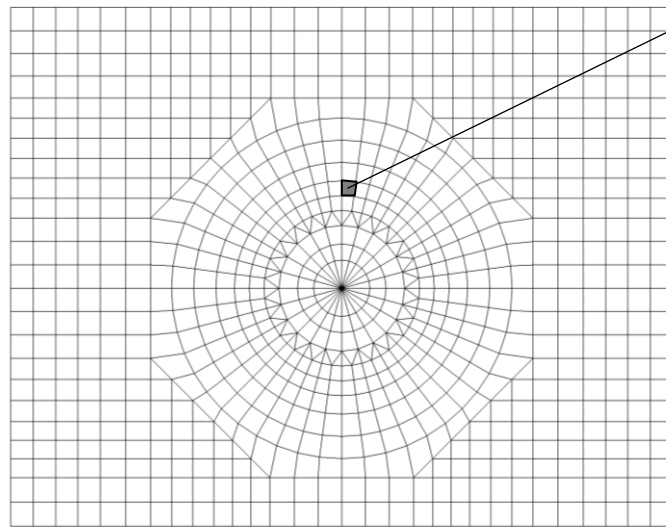
領域	方向	配筋
A	放射	48-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
B	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
C	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
D	放射	192-D38 + 96-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
E	放射	384-D38 + 192-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
F	放射	384-D38 + 2 × 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
G	放射	384-D38 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
H	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
I	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
J	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400

表 4-1(3) 配筋一覧  
(c) 主筋 (上ば筋) (2/2)

領域	方向	配筋
K	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35/周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
L	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35/周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200
	E W	D38@200
M	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
N	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400
O	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D32@400
P	N S	D38@200
	E W	D38@200

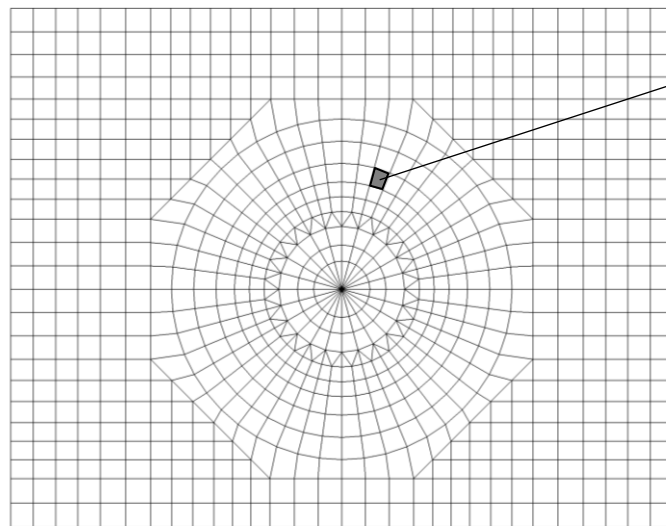
(d) せん断補強筋

領域	配筋
a	D29@400 × 96/周
b	D35@200 × 192/周
c	D29@400 × 192/周



要素番号：492  
NS方向  
放射方向

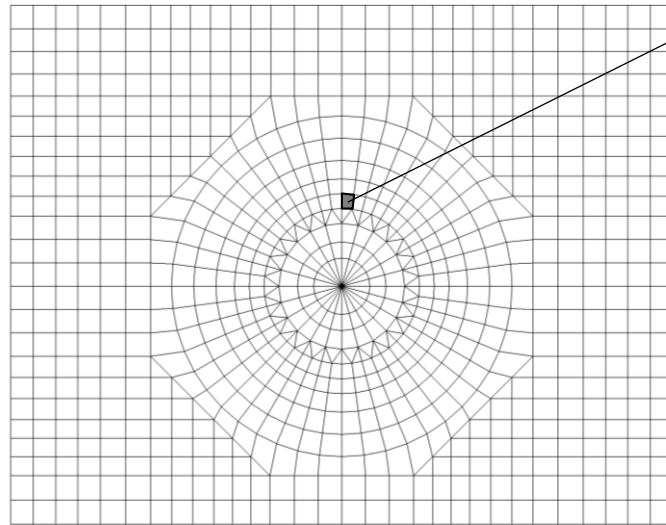
(a) 軸力+曲げモーメント



要素番号：575  
NS方向

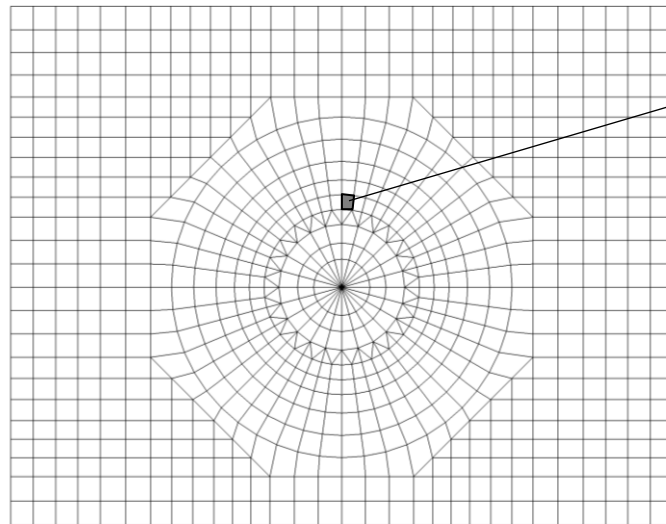
(b) 面外せん断力

図 4-2(1) 選定した要素の位置 (DW荷重分散ケース)



要素番号：491  
NS方向  
放射方向

(c) 軸力+曲げモーメント



要素番号：491  
NS方向

(d) 面外せん断力

図 4-2(2) 選定した要素の位置 (今回工認ケース)

表 4-2 評価結果

(a) DW荷重分散ケース

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 ( $\times 10^{-3}$ )	N S	492	1-1	0.137	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	492	1-1	0.115	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3$ kN/m)	N S	575	1-1	5.78	10.8

(b) 今回工認ケース

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 ( $\times 10^{-3}$ )	N S	491	1-1	0.181	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	491	1-1	0.146	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3$ kN/m)	N S	491	1-1	7.79	10.4

## 5. まとめ

原子炉建物基礎スラブの応力解析において、上部構造物から作用する基礎スラブへの地震時反力をドライウエル外側壁及びその内側に分散して入力した場合の検討を行った。

検討の結果、基準地震動  $S_s$  による地震荷重をドライウエル外側壁及びその内側に分散することで、発生値が今回工認ケースよりも減少する傾向にあることを確認した。

以上のことから、ドライウエル外側壁内部の構造物からの反力が原子炉建物基礎スラブの耐震性に及ぼす影響はないことを確認した。



## 別紙 4 応力解析における断面の評価部位の選定

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 4-1
2. 断面の評価部位の選定 .....	別紙 4-2

## 1. 概要

本資料は、原子炉建物基礎スラブの応力解析における断面の評価部位の選定について示すものである。

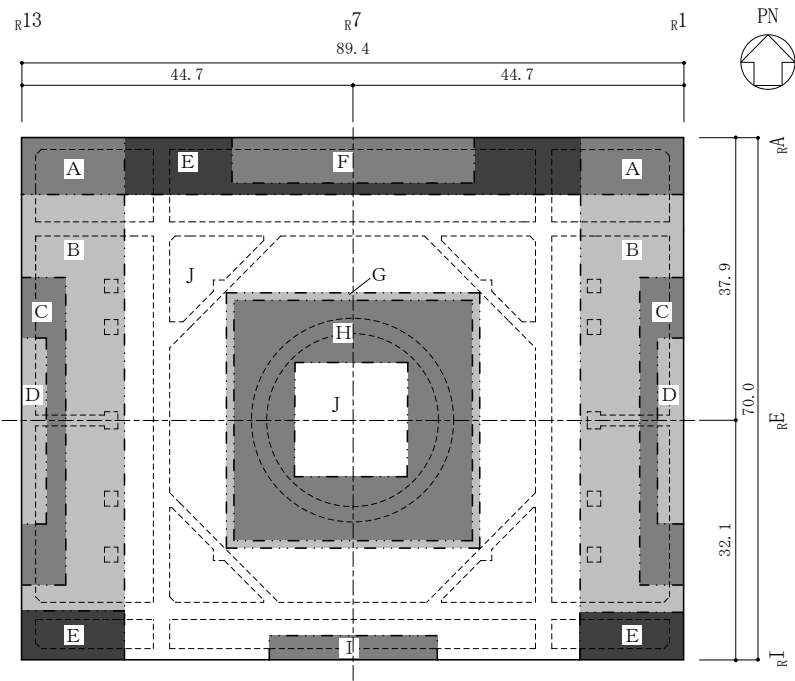
## 2. 断面の評価部位の選定

原子炉建物基礎スラブの荷重の組合せケースを表 2-1 に、配筋領域図を図 2-1 に、配筋一覧を表 2-2 に、配筋図を図 2-2 に示す。

各評価項目の検定値一覧を表 2-3 に、断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を図 2-3 に、断面の評価部位の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図を図 2-4 に示す。

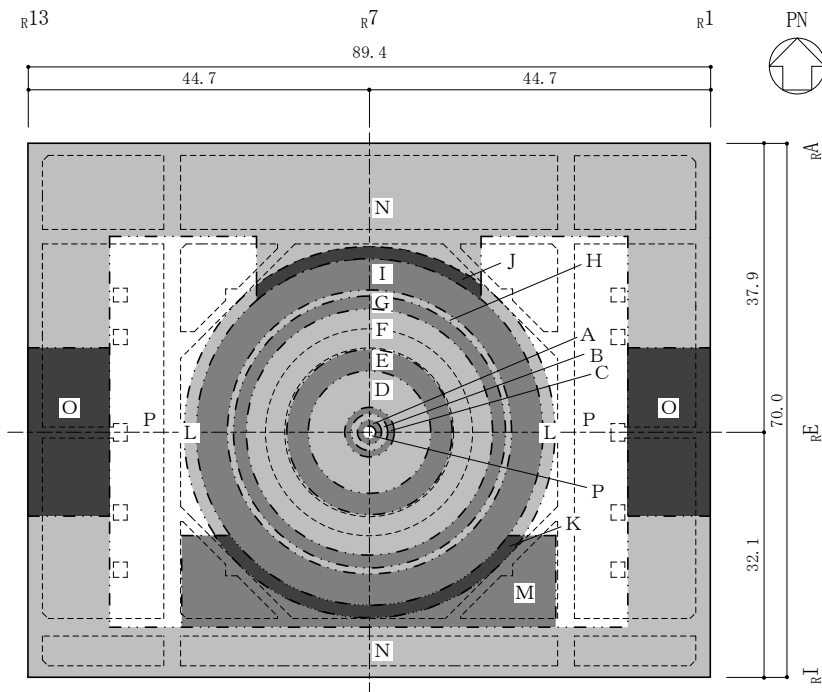
表 2-1 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	1-1	$G + P + 1.0S_{SN} + 0.4S_{UD}$
	1-2	$G + P + 1.0S_{SN} + 0.4S_{DU}$
	1-3	$G + P + 1.0S_{NS} + 0.4S_{UD}$
	1-4	$G + P + 1.0S_{NS} + 0.4S_{DU}$
	1-5	$G + P + 1.0S_{EW} + 0.4S_{UD}$
	1-6	$G + P + 1.0S_{EW} + 0.4S_{DU}$
	1-7	$G + P + 1.0S_{WE} + 0.4S_{UD}$
	1-8	$G + P + 1.0S_{WE} + 0.4S_{DU}$
	1-9	$G + P + 0.4S_{SN} + 1.0S_{UD}$
	1-10	$G + P + 0.4S_{SN} + 1.0S_{DU}$
	1-11	$G + P + 0.4S_{NS} + 1.0S_{UD}$
	1-12	$G + P + 0.4S_{NS} + 1.0S_{DU}$
	1-13	$G + P + 0.4S_{EW} + 1.0S_{UD}$
	1-14	$G + P + 0.4S_{EW} + 1.0S_{DU}$
	1-15	$G + P + 0.4S_{WE} + 1.0S_{UD}$
	1-16	$G + P + 0.4S_{WE} + 1.0S_{DU}$



(単位:m)

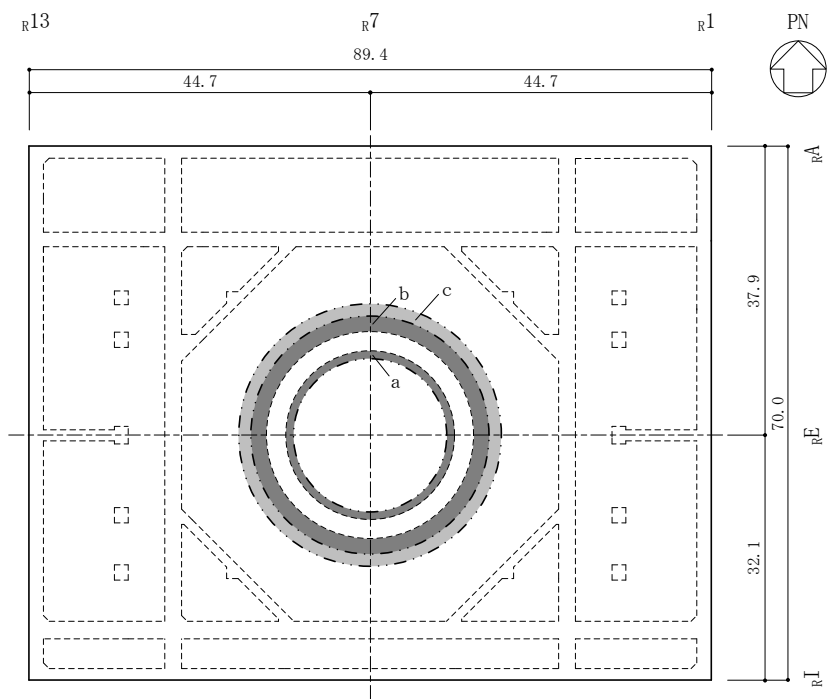
(a) 主筋 (下ば筋)



(単位:m)

(b) 主筋 (上ば筋)

図 2-1(1) 配筋領域図



(単位:m)

(c) せん断補強筋

図 2-1(2) 配筋領域図

表 2-2(1) 配筋一覽

(a) 主筋 (下ば筋)

領域	方向	配筋
A	N S	D38@200+D38@400
	E W	D38@200+D38@400
B	N S	2-D38@200
	E W	D38@200+D38@400
C	N S	2-D38@200+D38@400
	E W	D38@200+D38@400+D32@400
D	N S	3-D38@200+D38@400
	E W	D38@200+D38@400+2-D32@400
E	N S	D38@200+D38@400
	E W	2-D38@200
F	N S	D38@200+D38@400+D32@400
	E W	2-D38@200+D38@400
G	N S	2-D38@200+D38@400
	E W	2-D38@200+D38@400
H	N S	3-D38@200+D32@400
	E W	3-D38@200+D32@400
I	N S	2-D38@200+D32@400
	E W	2-D38@200+D38@400
J	N S	2-D38@200
	E W	2-D38@200



表 2-2(2) 配筋一覧  
(b) 主筋 (上ば筋) (1/2)

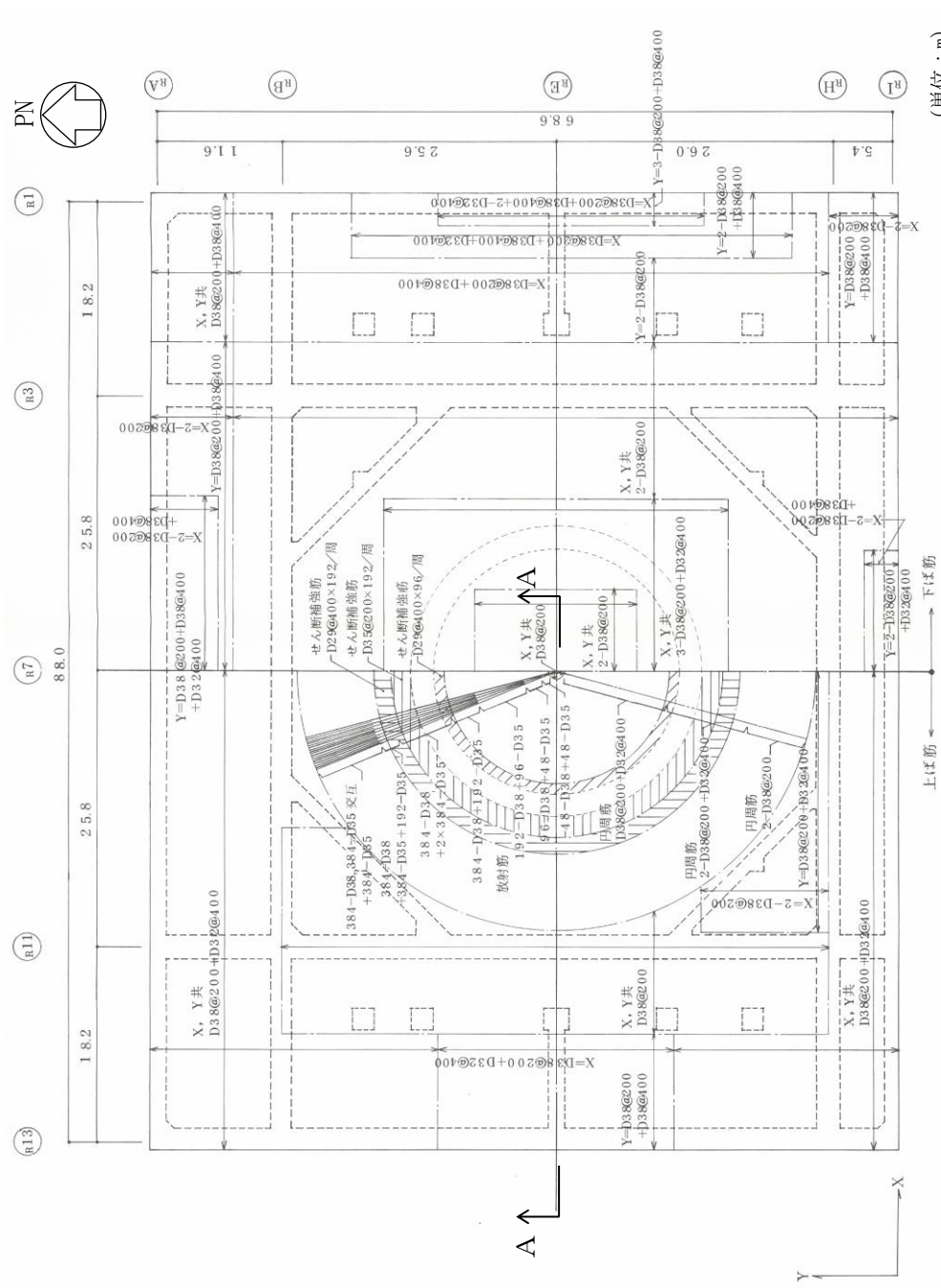
領域	方向	配筋
A	放射	48-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
B	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
C	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
D	放射	192-D38 + 96-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
E	放射	384-D38 + 192-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
F	放射	384-D38 + 2 × 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
G	放射	384-D38 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
H	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
I	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
J	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400

表 2-2(3) 配筋一覧  
(c) 主筋 (上ば筋) (2/2)

領域	方向	配筋
K	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
L	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200
	E W	D38@200
M	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
N	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400
O	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D32@400
P	N S	D38@200
	E W	D38@200

(d) せん断補強筋

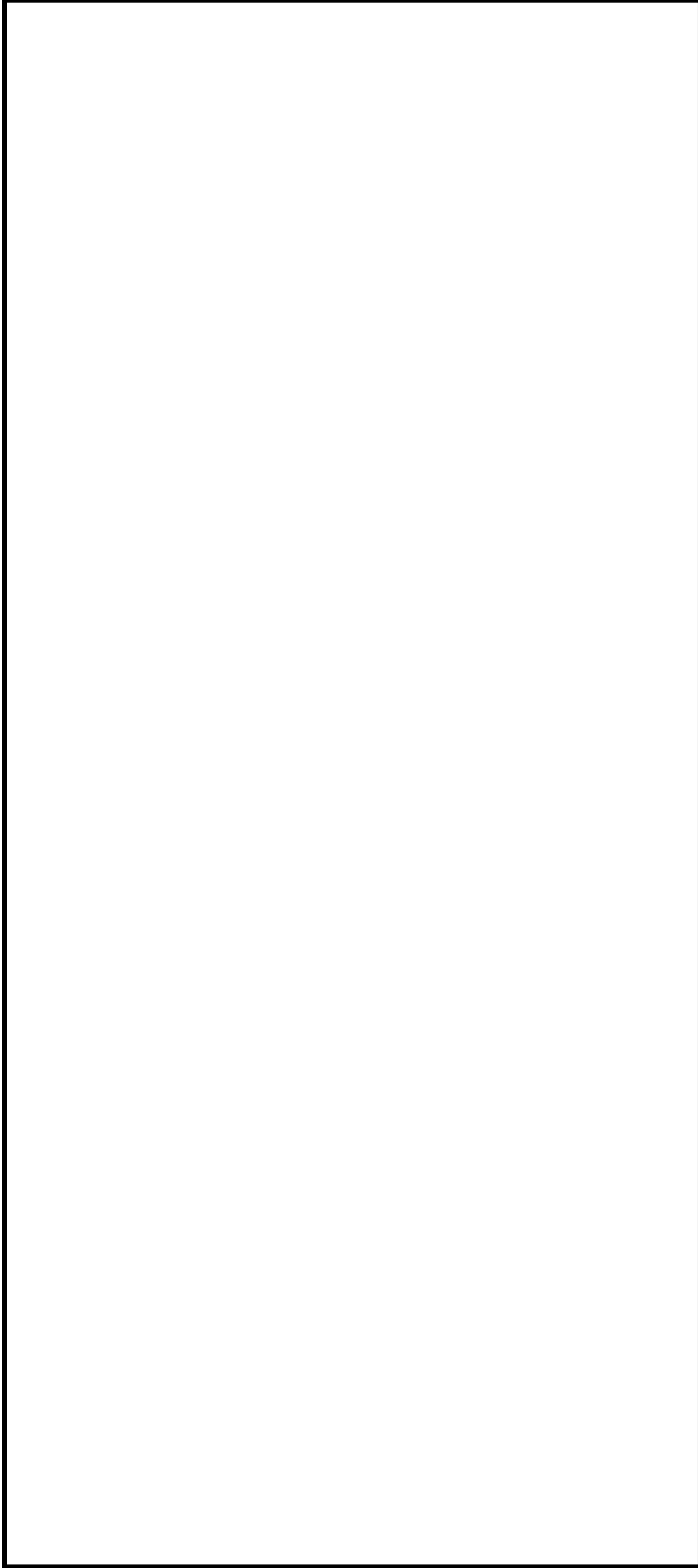
領域	配筋
a	D29@400 × 96 / 周
b	D35@200 × 192 / 周
c	D29@400 × 192 / 周



(单位：m)

(a) 平面图

图 2-2(1) 配筋图



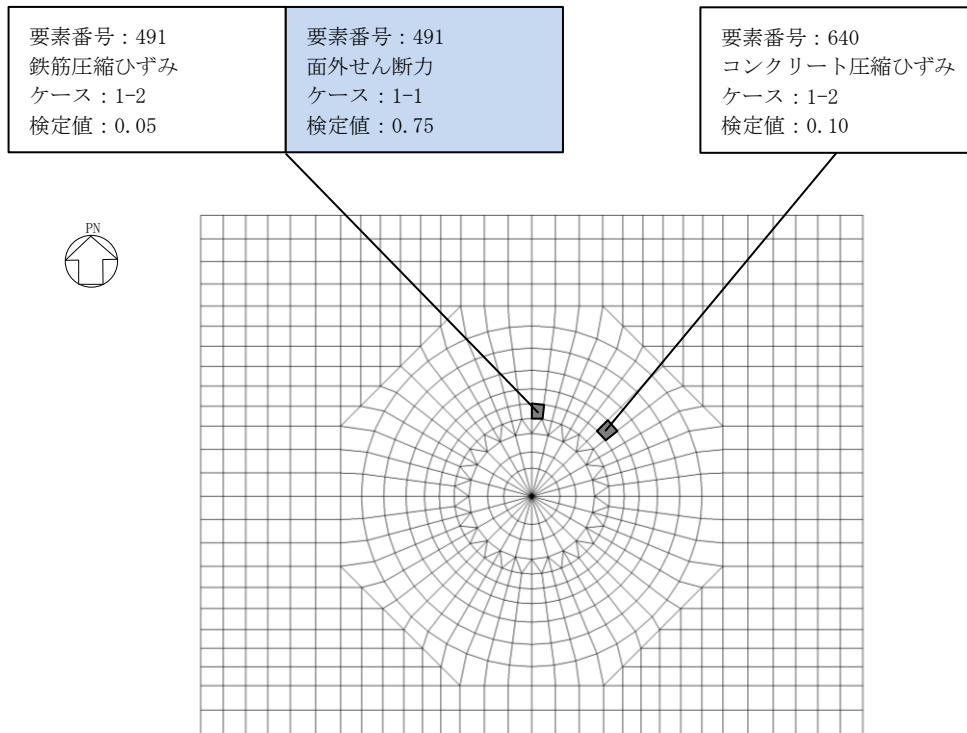
(b) 断面図 (A-A断面, EW方向)

図 2-2(2) 配筋図

表 2-3 各評価項目の検定値一覧

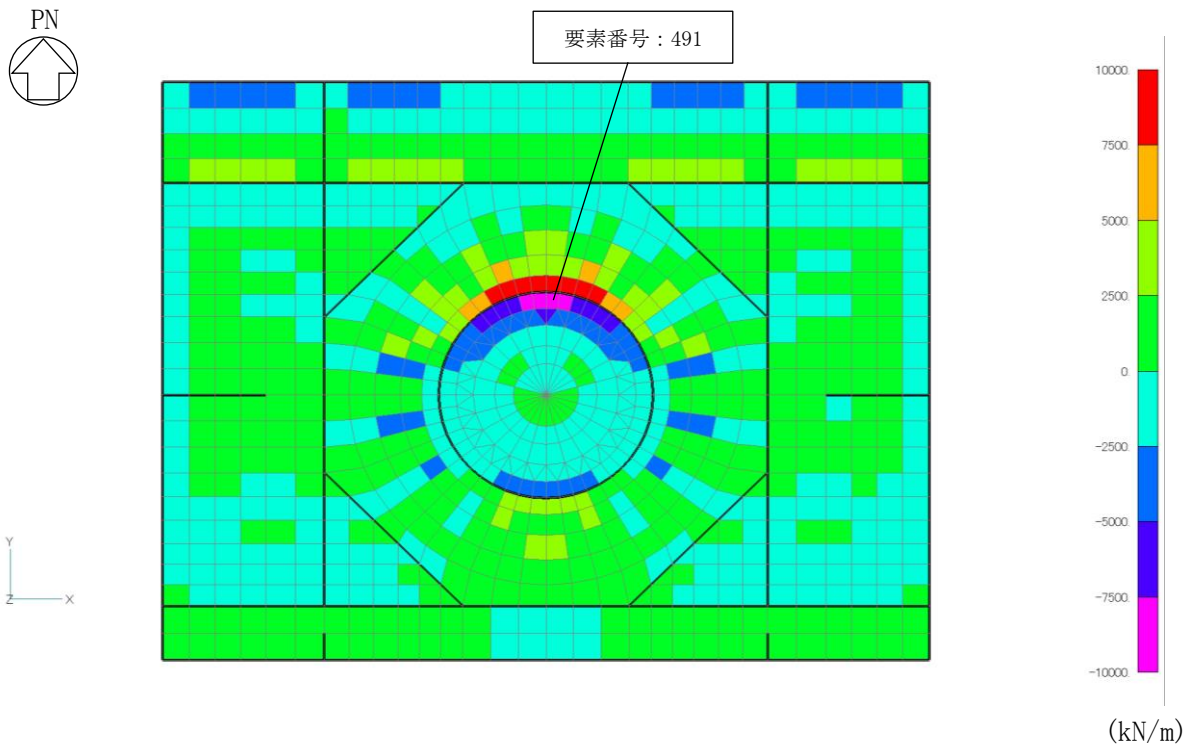
評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ	NS	640	1-2	0.10
	鉄筋圧縮ひずみ	放射	491	1-2	0.05
面外せん断力	面外せん断力	NS	491	1-1	0.75

注：□ は、検定値が最大となる要素を示す。



注：□ は、検定値が最大となる要素を示す。

図 2-3 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果



面外せん断力 (NS方向, ケース 1-1)

図 2-4 断面の評価部分の選定に関する荷重組合せケースの断面力コンター図

## 別紙 5 地震応答解析による壁の塑性化に対する影響検討



## 目 次

1. 概要 .....	別紙 5-1
2. 壁の塑性化に対する影響検討 .....	別紙 5-2
2.1 検討方針 .....	別紙 5-2
2.2 検討方法 .....	別紙 5-2
2.3 解析モデル .....	別紙 5-4
2.4 検討結果 .....	別紙 5-7
3. まとめ .....	別紙 5-9

## 1. 概要

VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示すように、原子炉建物は基準地震動 $S_s$ について弾塑性時刻歴応答解析を実施しており、せん断スケルトン曲線上の最大応答値が第1折点を超え、塑性化する結果となっている。

一方、原子炉建物基礎スラブの応力解析では、VI-2-9-3-4「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」における「4.4 解析モデル及び諸元」に示すように、基礎スラブの積層シェル要素では材料物性の塑性化を考慮しているが、基礎スラブへの拘束効果を考慮するためにモデル化した壁については、弾性部材<sup>\*</sup>としており、塑性化を考慮していない。

本資料は、原子炉建物基礎スラブの応力解析において、地震時の壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討するものである。

注記\*：原子炉建物基礎スラブの弾塑性応力解析に用いる解析コード「ABAQUS」の検証及び妥当性確認には積層シェル要素が用いられていることから、弾性部材を積層シェル要素でモデル化している。

## 2. 壁の塑性化に対する影響検討

### 2.1 検討方針

原子炉建物基礎スラブの応力解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）における壁に対して、地震応答解析に基づく壁の塑性化を考慮したモデル（以下「検討モデル」という。）を用いたS s地震荷重による応力解析を行い、今回工認モデルのS s地震荷重による応力解析結果との比較を行うことで、壁の塑性化に対する影響を検討する。

検討項目は、基礎スラブにおける発生値に対する許容値の比が最も小さくなる面外せん断力とする。

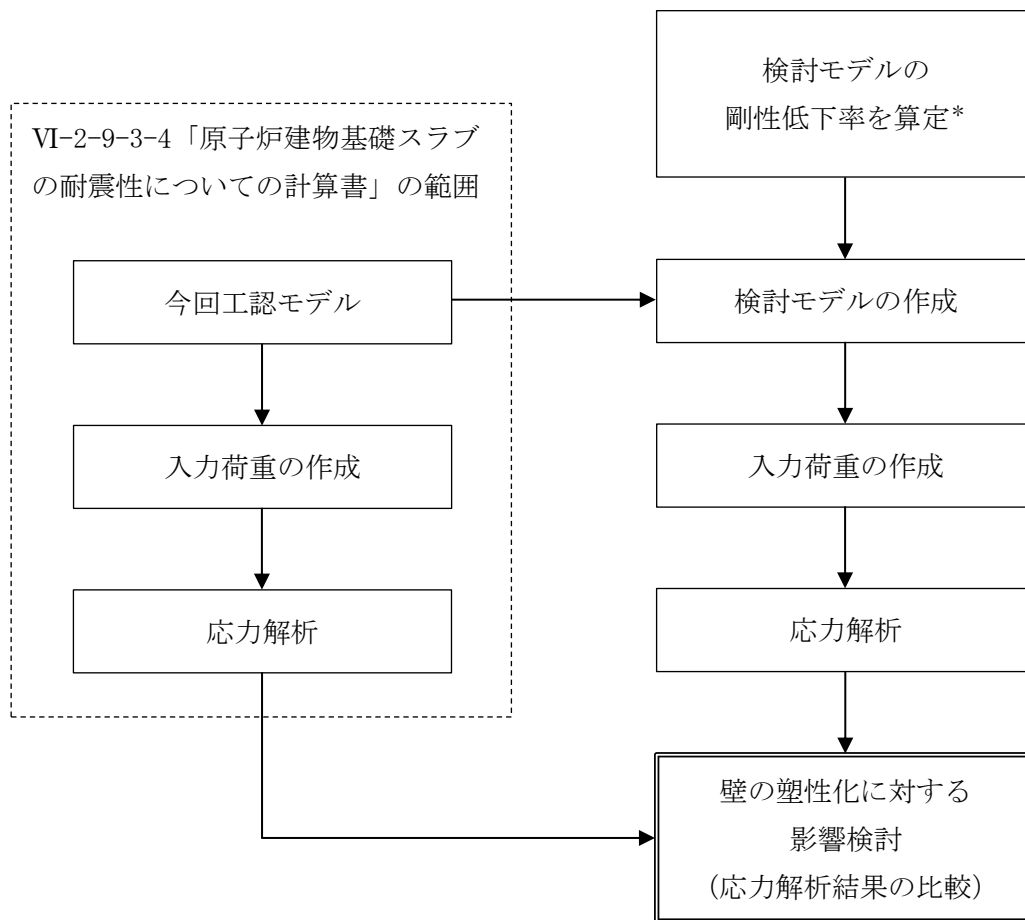
### 2.2 検討方法

図2-1に壁の塑性化に対する影響検討フローを示す。

まず、検討モデルの剛性低下率を算定する。

次に、今回工認モデルにおける各壁の剛性に対して、検討モデルの剛性低下率を乗じることによって、検討モデルを作成する。入力地震荷重は、今回工認モデルの検討に用いたものと同じとし、解析ケースは、今回工認モデルで検定値が最も厳しい結果となるケース（組合せケース1-1 NS方向（面外せん断力））を対象とする。

最後に、検討モデルによる応力解析を実施し、今回工認モデルの応力解析結果との比較を行い、壁の塑性化に対する影響を検討する。



注記\*：ケース1～ケース4の地震応答解析結果に基づき算定。

図2-1 壁の塑性化に対する影響検討フロー

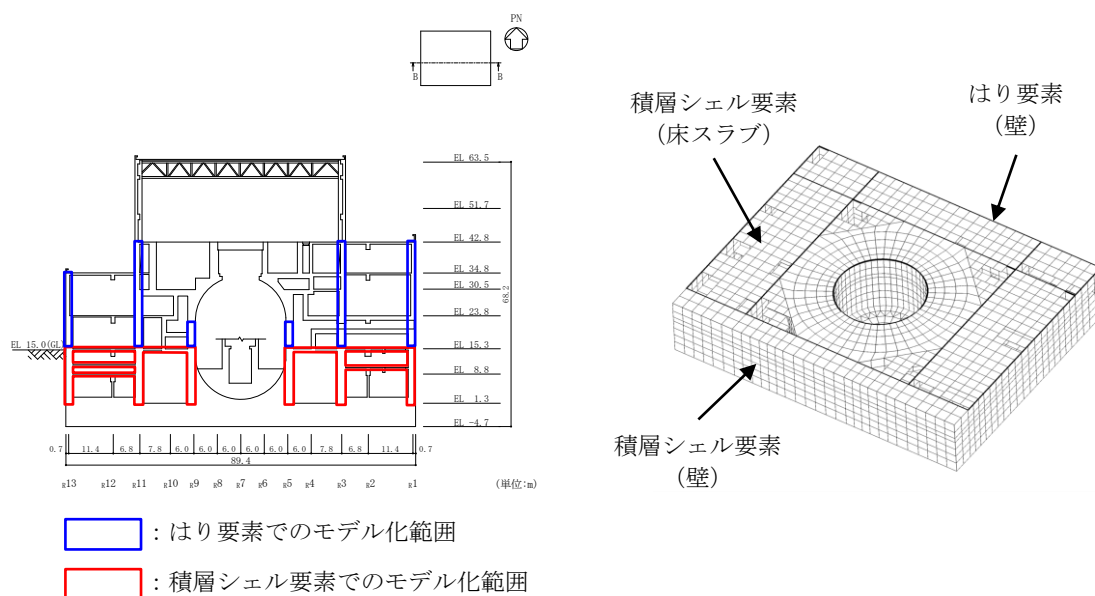
### 2.3 解析モデル

解析に用いる検討モデルは、図 2-2 に示す今回工認モデルにおける壁の積層シェル要素及びはり要素のヤング係数に対して、検討モデルの剛性低下率を乗じたものとする。

具体的には、検討モデルの剛性低下率を各フロアで統一し、原子炉建物の基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析の基本ケース（ケース 1）及び材料物性の不確かさを考慮したケース（ケース 2～ケース 4）における応答値\*に基づき算定した各壁部材の剛性低下率のフロアごとの最小値とする。ただし、壁をはり要素でモデル化している EL 15.3m～EL 42.8m については、当該範囲の各壁部材の剛性低下率の最小値とする。

表 2-1 に原子炉建物の地震応答解析結果に基づく各壁部材の剛性低下率を、表 2-2 に設定した検討モデルの剛性低下率を示す。

注記\*：NS2-補-024-01「原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 3-3「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。



注：右図の黒太線は、はり要素を示す。

図 2-2 今回工認モデルの概念図

表 2-1(1) 原子炉建物の地震応答解析結果に基づく各壁部材の剛性低下率

(a) N S 方向

部位	EL (m)	剛性低下率
OW-13	34.8~30.5	0.648
	30.5~23.8	0.583
	23.8~15.3	0.577
	15.3~8.8	0.550
	8.8~1.3	0.490
IW-11	42.8~34.8	0.649
	34.8~30.5	0.669
	30.5~23.8	0.697
	23.8~15.3	0.633
	15.3~8.8	0.597
	8.8~1.3	0.536
DW	23.8~15.3	—
	15.3~10.1	0.455
	10.1~1.3	—
IW-3	42.8~34.8	0.642
	34.8~30.5	0.692
	30.5~23.8	0.697
	23.8~15.3	0.643
	15.3~8.8	0.602
	8.8~1.3	0.533
OW-1	42.8~34.8	0.601
	34.8~30.5	0.730
	30.5~23.8	0.639
	23.8~15.3	0.618
	15.3~8.8	0.570
	8.8~1.3	0.497

注1:「—」は、塑性化していないことを示す。

注2: EL 8.8m~EL 15.3mは各フロアの最小値（N S方向及びE W方向包絡）を、EL 15.3m~EL 42.8mは当該範囲の最小値（N S方向及びE W方向包絡）をハッチングで示す。なお、EL 10.1mはEL 8.8mと同一レベルとして扱う。

表 2-1(2) 原子炉建物の地震応答解析結果に基づく各壁部材の剛性低下率

(b) E W方向

部位	EL (m)	剛性低下率
OW-I	15.3~8.8	0.610
	8.8~1.3	0.832
IW-H	42.8~34.8	0.995
	34.8~30.5	—
	30.5~23.8	0.601
	23.8~15.3	0.521
	15.3~8.8	0.739
	8.8~1.3	0.993
DW	23.8~15.3	0.733
	15.3~10.1	0.922
	10.1~1.3	—
IW-B	42.8~34.8	0.916
	34.8~30.5	0.760
	30.5~23.8	0.627
	23.8~15.3	0.517
	15.3~8.8	0.968
	8.8~1.3	0.782
OW-A	34.8~30.5	0.617
	30.5~23.8	0.629
	23.8~15.3	0.484
	15.3~8.8	0.909
	8.8~1.3	0.744

注1:「—」は、塑性化していないことを示す。

注2: EL 8.8m~EL 15.3mは各フロアの最小値（N S方向及びE W方向包絡）を、EL 15.3m~EL 42.8mは当該範囲の最小値（N S方向及びE W方向包絡）をハッチングで示す。なお、EL 10.1mはEL 8.8mと同一レベルとして扱う。

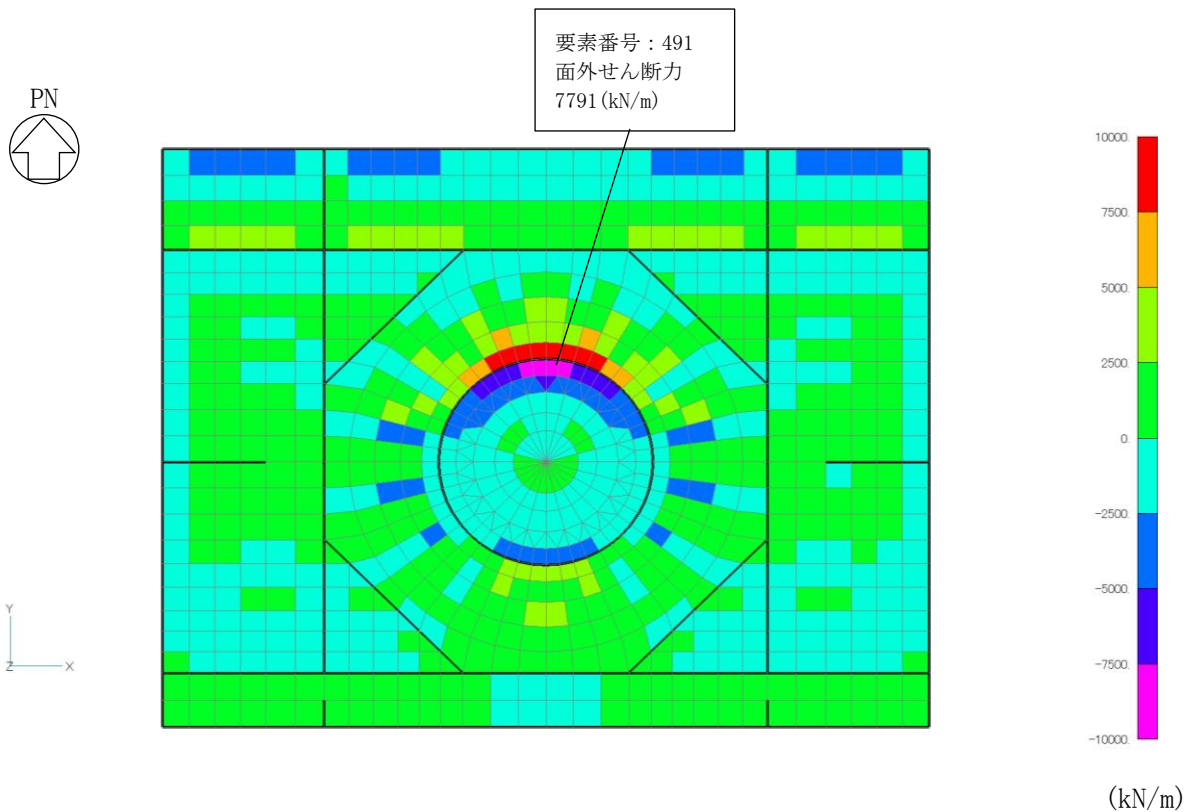
表 2-2 検討モデルの剛性低下率

EL (m)	剛性低下率
42.8~15.3	0.484
15.3~8.8	0.455
8.8~1.3	0.490

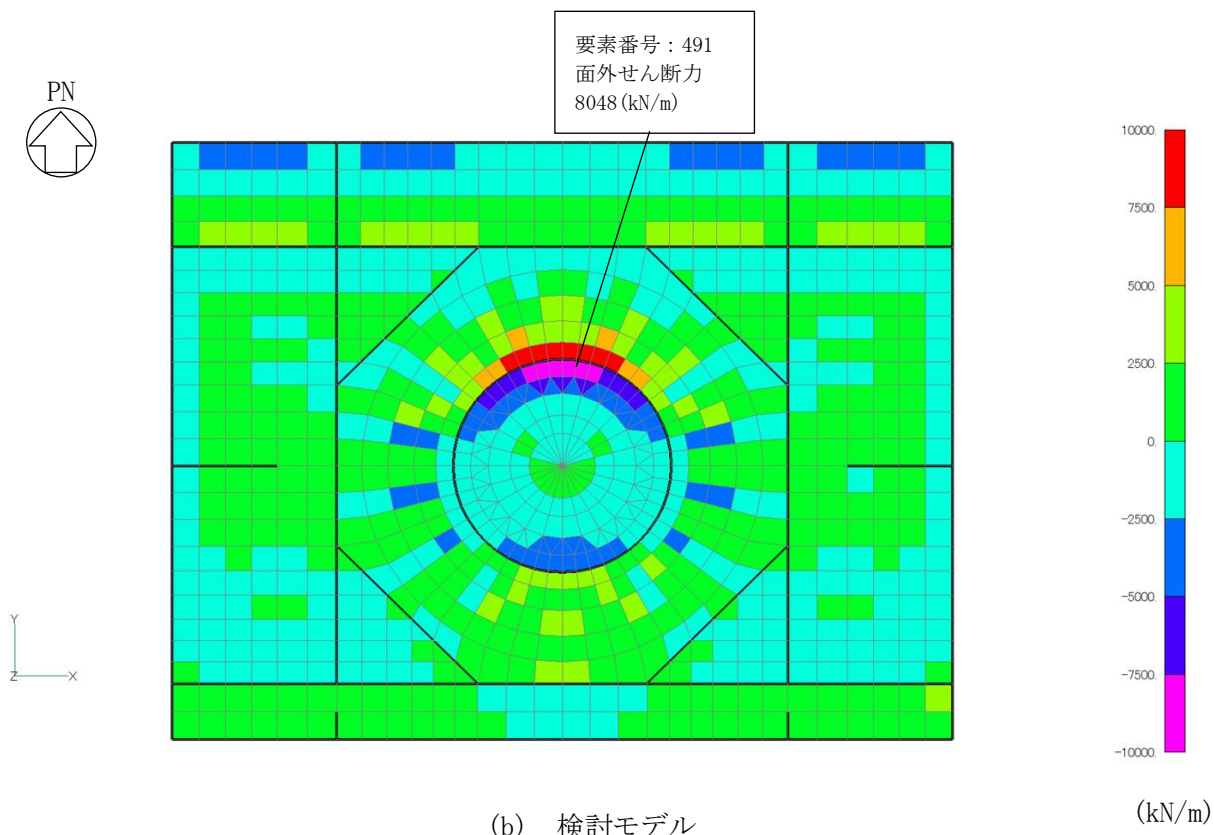
#### 2.4 検討結果

基礎スラブの面外せん断力のコンター図について、検討モデルの解析結果を、今回工認モデルの解析結果と比較して図 2-3 に示す。基礎スラブの最大面外せん断力は、今回工認モデルよりも検討モデルの方が大きくなるが、許容面外せん断力 ( $10.4 \times 10^3 \text{kN/m}$ ) を下回っている。このことから、壁の塑性化による基礎スラブの耐震性への影響がないことを確認した。





(a) 今回工認モデル



(b) 検討モデル

図 2-3 基礎スラブの面外せん断力のコンター図 (NS方向, ケース 1-1)

### 3. まとめ

原子炉建物基礎スラブの応力解析において、地震時の壁の塑性化が基礎スラブの応力に及ぼす影響を検討した。その結果、原子炉建物基礎スラブは、最も壁が塑性化した状態での応力に対して、耐震性を有していることを確認した。

別紙 8 原子炉建物基礎スラブの弾性設計用地震動  $S_d$   
による検討

## 目 次

1. 概要	別紙 8-1
2. 基本方針	別紙 8-5
3. 地震応答解析による評価方法	別紙 8-6
4. 応力解析による評価方法	別紙 8-7
4.1 評価方針	別紙 8-7
4.2 荷重及び荷重の組合せ	別紙 8-8
4.2.1 荷重	別紙 8-8
4.2.2 荷重の組合せ	別紙 8-12
4.3 許容限界	別紙 8-13
4.4 解析モデル及び諸元	別紙 8-14
4.4.1 モデル化の基本方針	別紙 8-14
4.4.2 解析諸元	別紙 8-17
4.5 評価方法	別紙 8-18
4.5.1 応力解析方法	別紙 8-18
4.5.2 断面の評価方法	別紙 8-20
5. 地震応答解析による評価結果	別紙 8-21
6. 応力解析による評価結果	別紙 8-22

## 1. 概要

VI-2-9-3-4「原子炉建物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。）において、原子炉建物基礎スラブの評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設としての分類を踏まえて基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価を行っている。

一方、昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画の添付資料IV-1-3「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。）において、基準地震動 $S_1$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 $S_1$ 地震時」という。）及び基準地震動 $S_2$ による地震力に対する評価を行っている。

本資料は、既工認で $S_1$ 地震時の評価を行っていることを踏まえ、弾性設計用地震動 $S_d$ による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 $S_d$ 地震時」という。）に対する原子炉建物基礎スラブの評価を行うものである。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図1-1及び図1-2に示す。

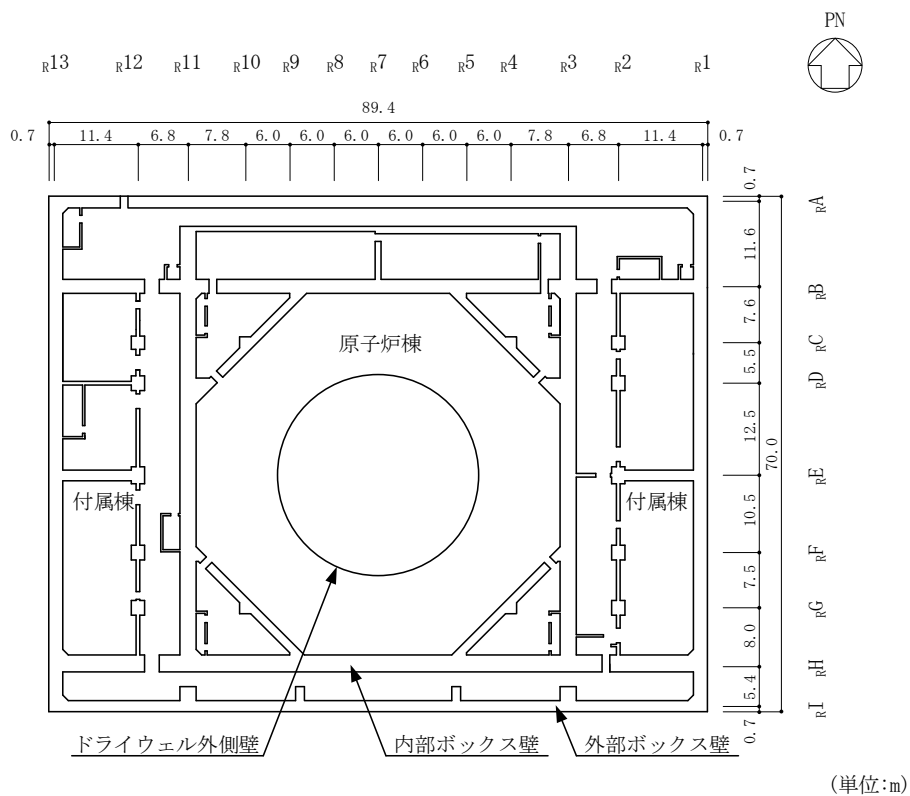


図 1-1 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

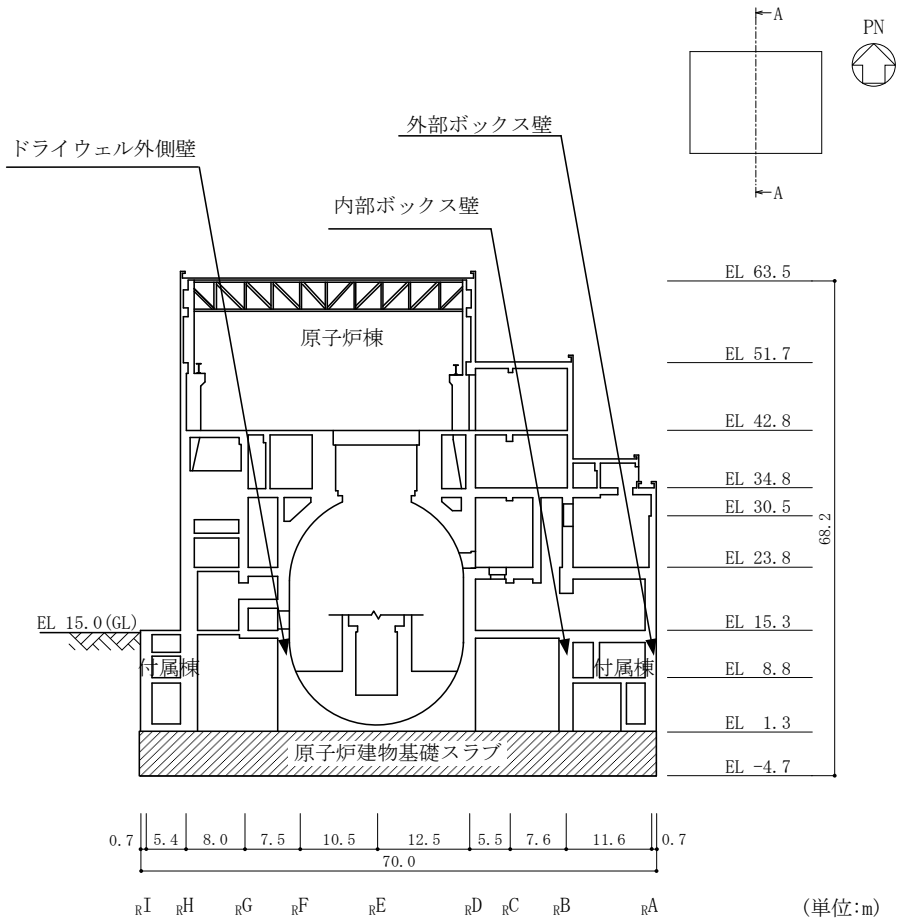


図 1-2(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (A-A断面, NS方向)

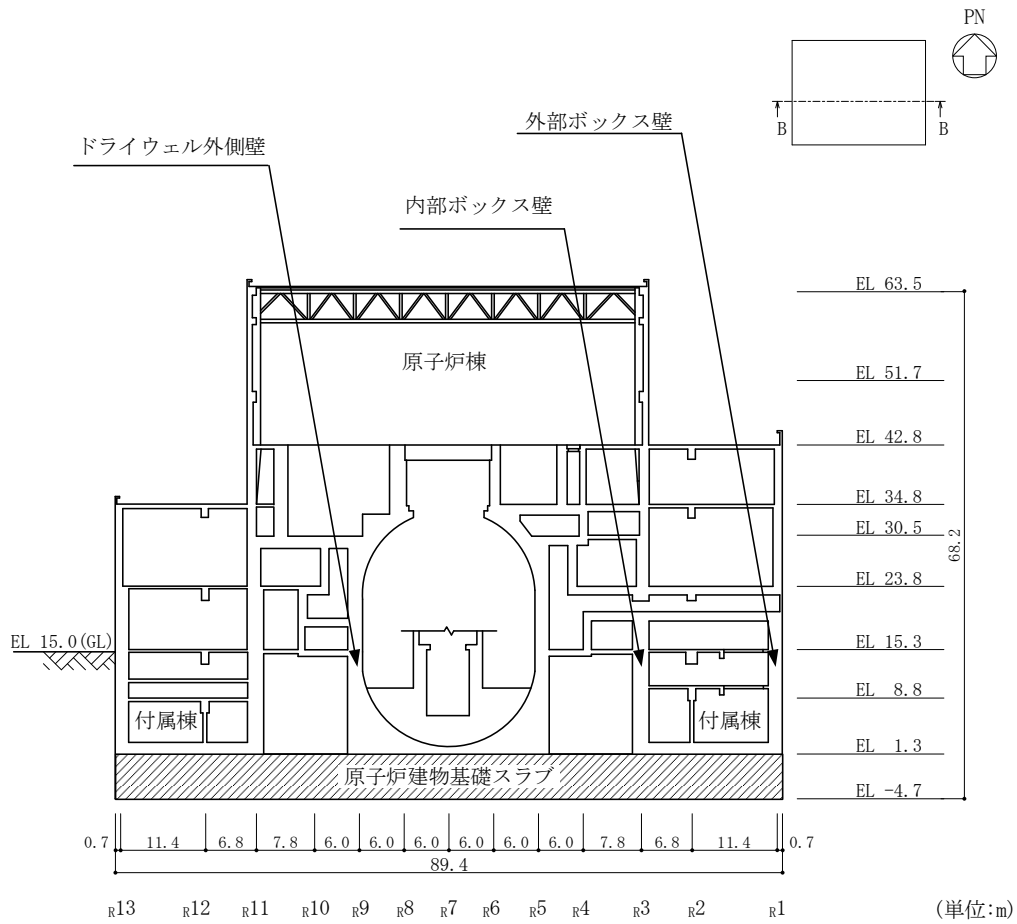


図 1-2(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (B-B断面, EW方向)



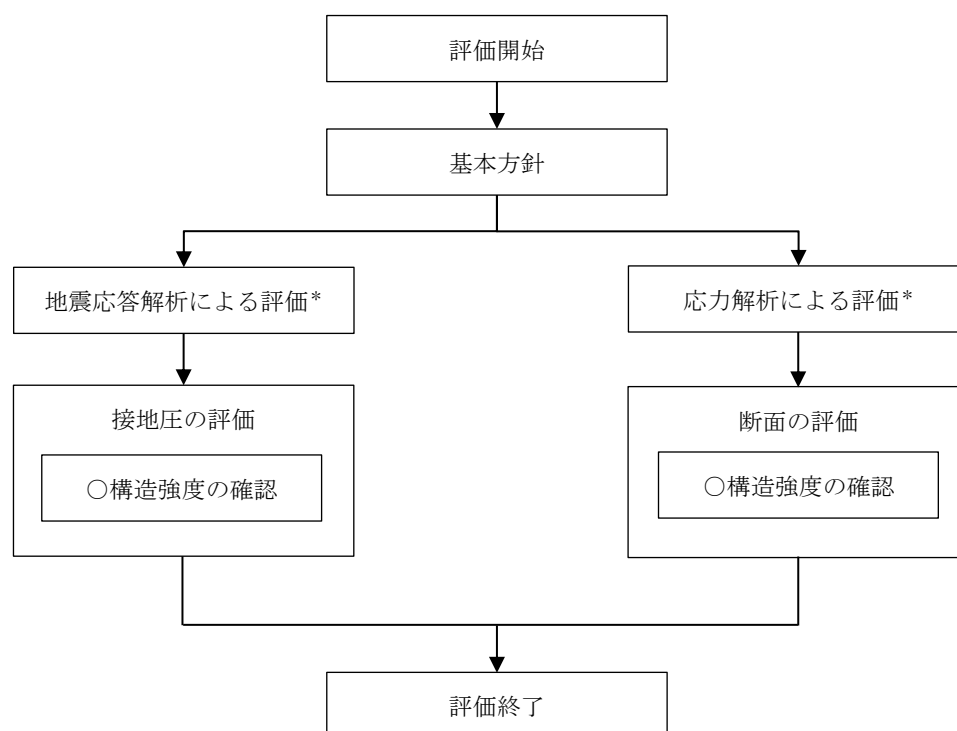
## 2. 基本方針

原子炉建物基礎スラブのS d地震時の評価においては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。

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、原子炉建物基礎スラブのS d地震時の構造強度の確認を行う。

評価にあたっては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。

原子炉建物基礎スラブのS d地震時の評価フローを図2-1に示す。



注記\*：VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図2-1 原子炉建物基礎スラブのS d地震時の評価フロー

### 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、原子炉建物基礎スラブの構造強度については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮したS d地震時の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建物基礎スラブのS d地震時の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-1のとおり設定する。

表3-1 地震応答解析による評価における許容限界 S d地震時

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	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* ( $6.4 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ )

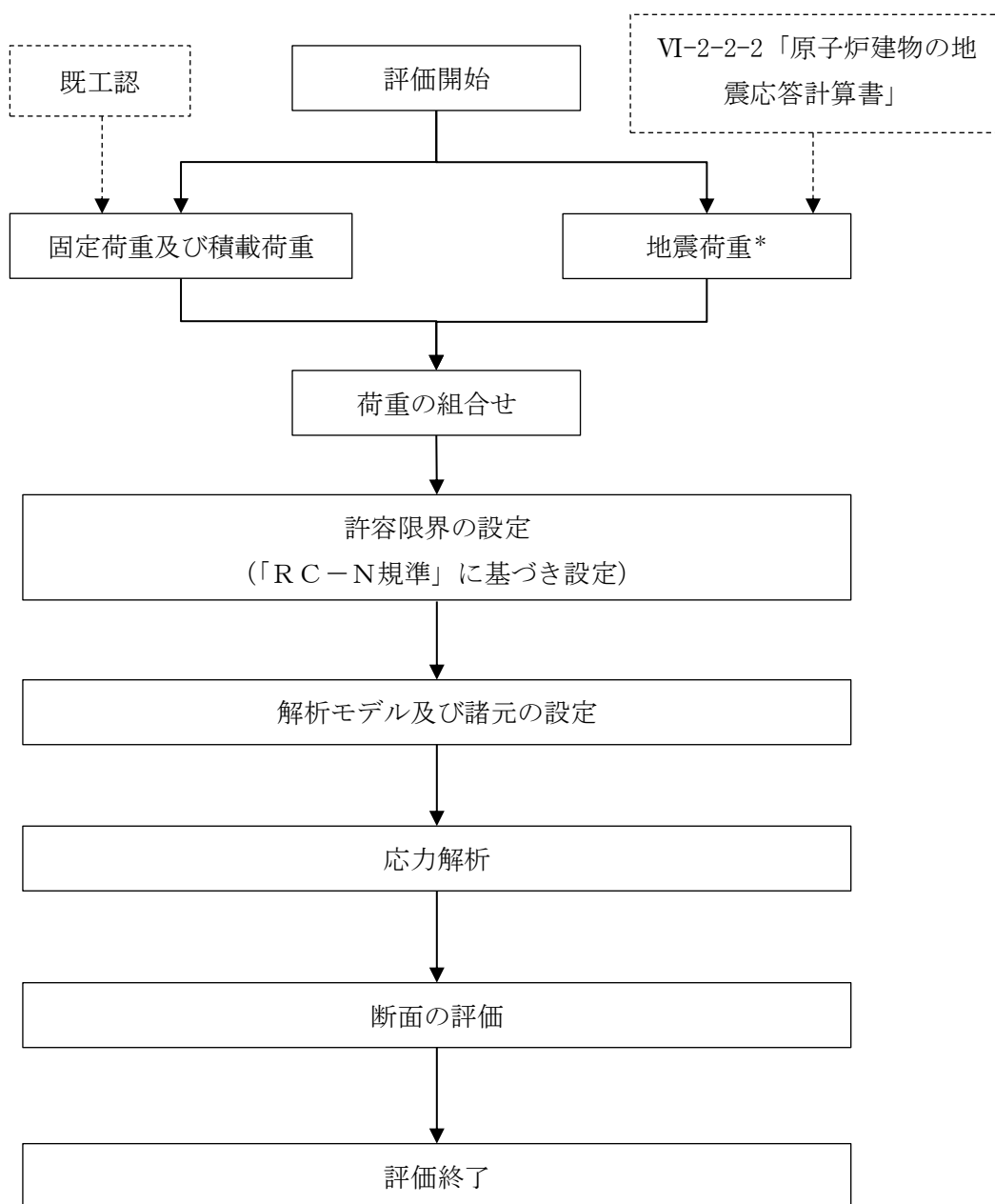
注記\*：支持地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の短期許容支持力度とする。

#### 4. 応力解析による評価方法

##### 4.1 評価方針

S d地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、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「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）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

応力解析によるS d地震時の評価フローを図4-1に示す。



注記\*：材料物性の不確かさを考慮する。

図4-1 応力解析によるS d地震時の評価フロー

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-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) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.2.1 荷重」に示す内容と同一である。

#### (2) 地震荷重

##### a. S d 地震荷重

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地震層せん断力係数  $3.0 \cdot C_i$  より算定される静的地震力より設定する。

鉛直地震力は、鉛直震度として設定する。鉛直震度は、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鉛直震度及び静的震度を基準とし、静的震度は、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より設定する。

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は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

S d 地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 S d 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ( $\times 10^3\text{kN}$ )	
	S d	静的地震力
外部ボックス壁 ( $R1$ 通り)	258	190
外部ボックス壁 ( $R13$ 通り)	253	191
内部ボックス壁 ( $R3$ 通り)	330	235
内部ボックス壁 ( $R11$ 通り)	330	235
ドライウエル外側壁	186	136

(b) E W 方向

部 位	せん断力 ( $\times 10^3\text{kN}$ )	
	S d	静的地震力
外部ボックス壁 ( $R_A$ 通り)	232	172
外部ボックス壁 ( $R_I$ 通り)	208	156
内部ボックス壁 ( $R_B$ 通り)	311	231
内部ボックス壁 ( $R_H$ 通り)	421	316
ドライウエル外側壁	153	113

表 4-2 S d地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S方向

部 位	曲げモーメント (×10 <sup>4</sup> kN・m)	
	S d	静的地震力
外部ボックス壁 (R1 通り)	758	577
外部ボックス壁 (R13 通り)	644	511
内部ボックス壁 (R3 通り)	1140	868
内部ボックス壁 (R11 通り)	1120	853
ドライウエル外側壁	434	309

(b) E W方向

部 位	曲げモーメント (×10 <sup>4</sup> kN・m)	
	S d	静的地震力
外部ボックス壁 (RA 通り)	682	527
外部ボックス壁 (RI 通り)	296	228
内部ボックス壁 (RB 通り)	1390	1050
内部ボックス壁 (RH 通り)	1390	1050
ドライウエル外側壁	339	252

表 4-3 S d地震荷重 (鉛直震度)

部 位		鉛直震度	
		S d	静的地震力
上部 構造物	外部ボックス壁	0.52	0.24
	内部ボックス壁	0.44	0.24
	ドライウエル外側壁	0.50	0.24
基礎スラブ		0.04	0.24

b. S d地震時土圧荷重

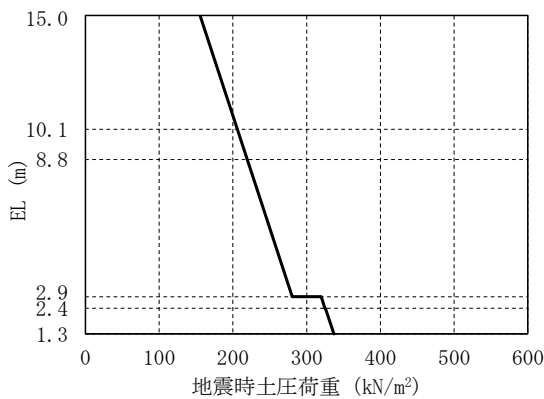
地震時土圧荷重は、地震時土圧により地下外壁を介して作用する荷重として、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。S d地震時土圧荷重を表 4-4 に、S d地震時土圧による荷重分布を図 4-2 に示す。なお、北側及び東側は基礎スラブの耐震計算書と同様に地震時土圧荷重を考慮しない。

表 4-4 S d地震時土圧荷重

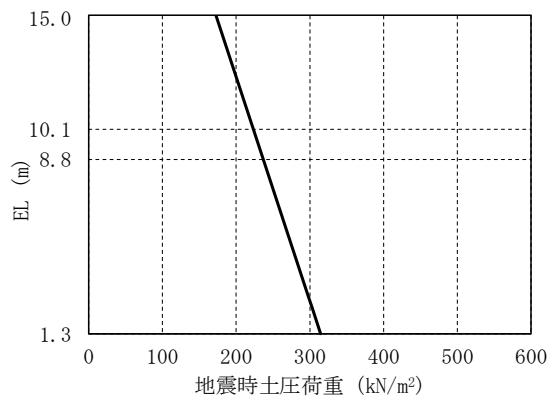
EL (m)	S d地震時土圧荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	
	南側	西側
15.0~2.9	$155.2 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$	$172.7 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$
2.9~2.4	$194.5 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$	
2.4~1.3	$195.1 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$	

$\gamma$  : 土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

h : 地表面からの深さ(m)



(a) 南側



(b) 西側

図 4-2 S d地震時土圧による荷重分布

#### 4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	G + P + S d

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S d : S d 地震荷重 (S d 地震時土圧荷重を含む)



#### 4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉建物基礎スラブのS d地震時の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-6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4-7及び表4-8に示す。

表4-6 応力解析による評価における許容限界 S d地震時

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	弾性設計用地震動S d及び静的地震力	原子炉建物基礎スラブ	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	弾性限強度*

注記\*：曲げモーメントに対する評価については、「平12建告第2464号」に基づき、鉄筋の基準強度を1.1倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

表4-7 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度F <sub>c</sub>	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表4-8 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345相当)	345*	345

注記\*：設計に用いる材料強度は「平12建告第2464号」に基づき、短期許容応力度を1.1倍して算定する。

#### 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とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析モデルを図4-3に示す。

###### (2) 使用要素

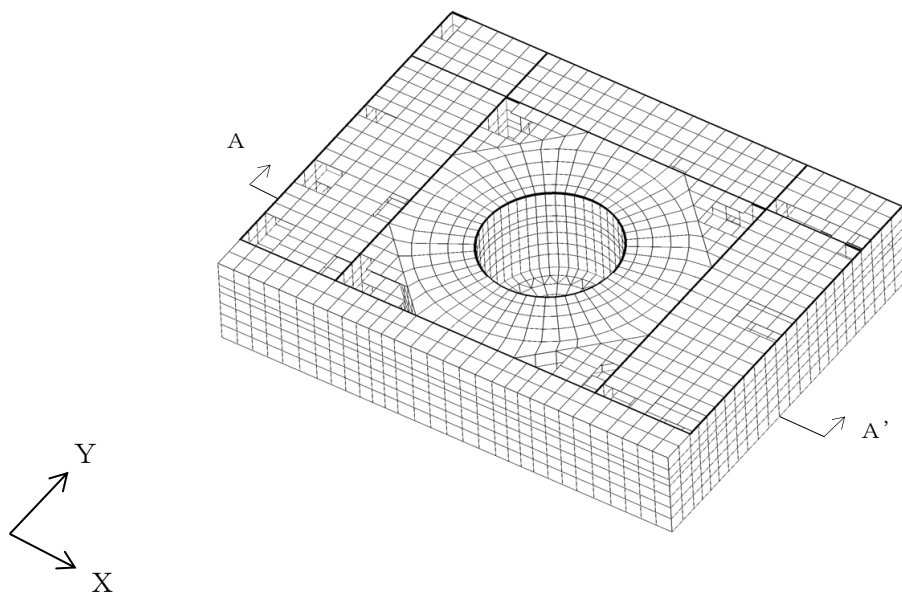
解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについてはシェル要素とする。基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 1.3m～EL 15.3mをシェル要素、EL 15.3m～EL 42.8mをはり要素として剛性を考慮する。また、EL 8.8m, EL 10.3m, EL 12.5m及びEL 15.3mの床スラブについては、シェル要素として剛性を考慮する。

各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

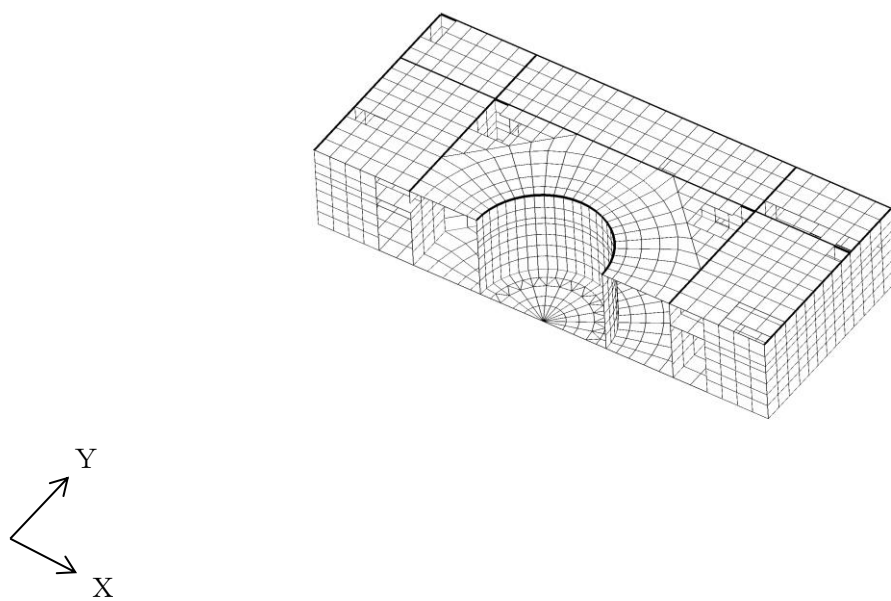
モデル化範囲については、基礎スラブの耐震計算書の「4.4.1 モデル化の基本方針」に示す内容と同一である。

###### (3) 境界条件

境界条件の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4.1 モデル化の基本方針」に示す内容と同一である。

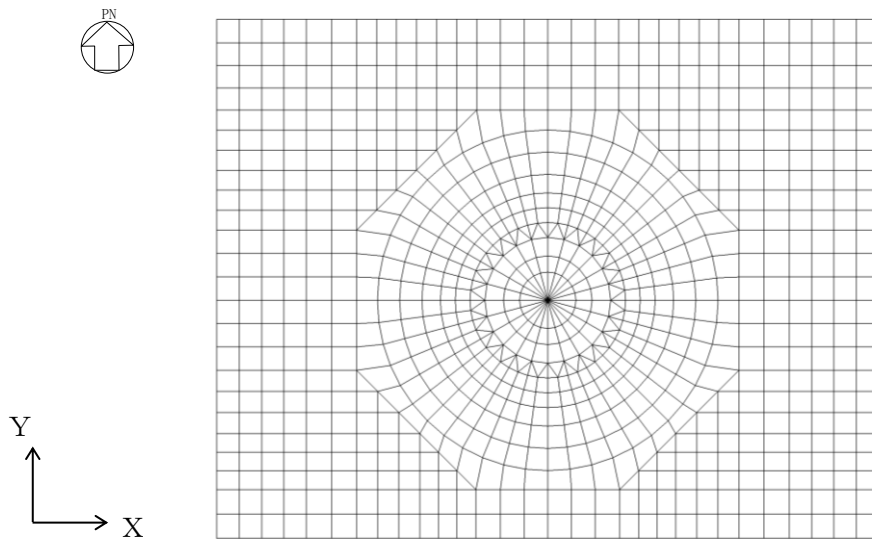


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 4-3(1) 解析モデル



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 4-3(2) 解析モデル

#### 4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4.2 解析諸元」に示す内容と同一である。

#### 4.5 評価方法

##### 4.5.1 応力解析方法

原子炉建物基礎スラブについて、S d地震時に対して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

S d地震時の応力は、次の荷重を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S d <sub>SN</sub>	: S→N方向 S d地震荷重 (S d地震時土圧を含む)
S d <sub>NS</sub>	: N→S方向 S d地震荷重 (S d地震時土圧を含む)
S d <sub>EW</sub>	: E→W方向 S d地震荷重 (S d地震時土圧を含む)
S d <sub>WE</sub>	: W→E方向 S d地震荷重 (S d地震時土圧を含む)
S d <sub>UD</sub>	: 鉛直方向 (下向き) S d地震荷重
S d <sub>DU</sub>	: 鉛直方向 (上向き) S d地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-9 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 4-9 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S d 地震時	2-1	$G + P + 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{UD}$
	2-2	$G + P + 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{DU}$
	2-3	$G + P + 1.0 S d_{NS} + 0.4 S d_{UD}$
	2-4	$G + P + 1.0 S d_{NS} + 0.4 S d_{DU}$
	2-5	$G + P + 1.0 S d_{EW} + 0.4 S d_{UD}$
	2-6	$G + P + 1.0 S d_{EW} + 0.4 S d_{DU}$
	2-7	$G + P + 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{UD}$
	2-8	$G + P + 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{DU}$
	2-9	$G + P + 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{UD}$
	2-10	$G + P + 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{DU}$
	2-11	$G + P + 0.4 S d_{NS} + 1.0 S d_{UD}$
	2-12	$G + P + 0.4 S d_{NS} + 1.0 S d_{DU}$
	2-13	$G + P + 0.4 S d_{EW} + 1.0 S d_{UD}$
	2-14	$G + P + 0.4 S d_{EW} + 1.0 S d_{DU}$
	2-15	$G + P + 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{UD}$
	2-16	$G + P + 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{DU}$

(3) 荷重の入力方法

荷重の入力方法の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す内容と同一である。

#### 4.5.2 断面の評価方法

##### (1) 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。

軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

##### (2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価方法の詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す評価方法と同一である。



5. 地震応答解析による評価結果

S d 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。

材料物性の不確かさを考慮した S d 地震時の最大接地圧が  $1.33 \times 10^3 \text{kN/m}^2$  (S d -1, N S 方向, ケース 2) であることから、岩盤の短期許容支持力度 ( $6.4 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ ) 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 5-1 に示す。

表 5-1 S d 地震時の最大接地圧

検討ケース	NS 方向	EW 方向
	S d -1, ケース 2	S d -1, ケース 4
鉛直力 N ( $\times 10^5 \text{kN}$ )	10.8	10.2
転倒モーメント M ( $\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	52.6	53.4
最大接地圧 ( $\times 10^3 \text{kN/m}^2$ )	1.33	1.16

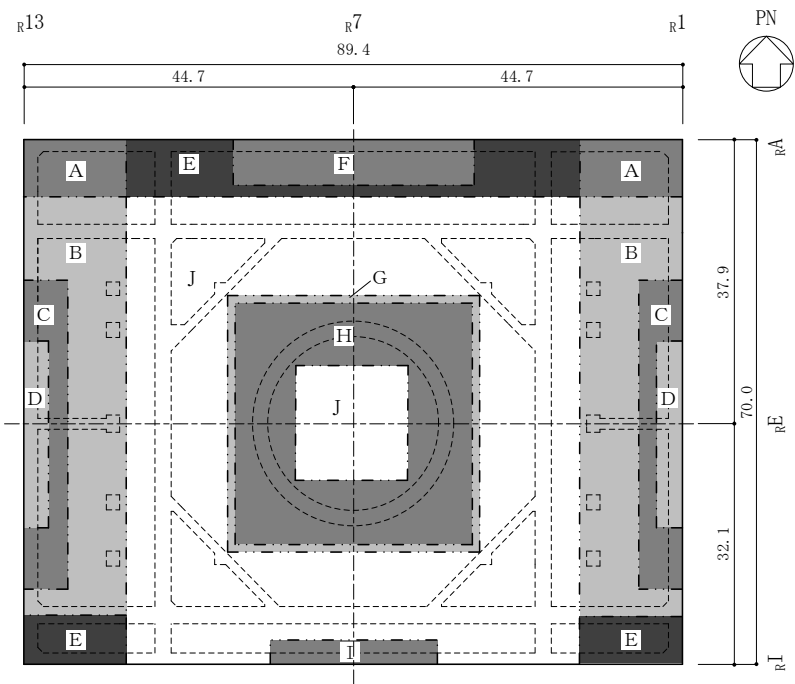
## 6. 応力解析による評価結果

「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モデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1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対する評価については、設計鉄筋比に対する軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比の割合が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、短期許容せん断力に対する面外せん断力の割合が最大となる要素をそれぞれ選定する。

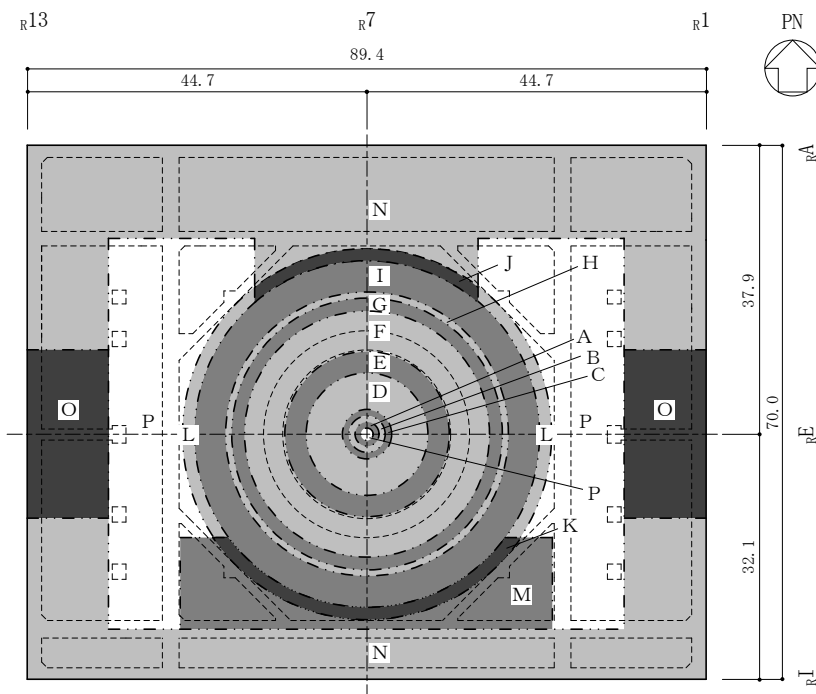
選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

Sd地震時において、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。



(単位:m)

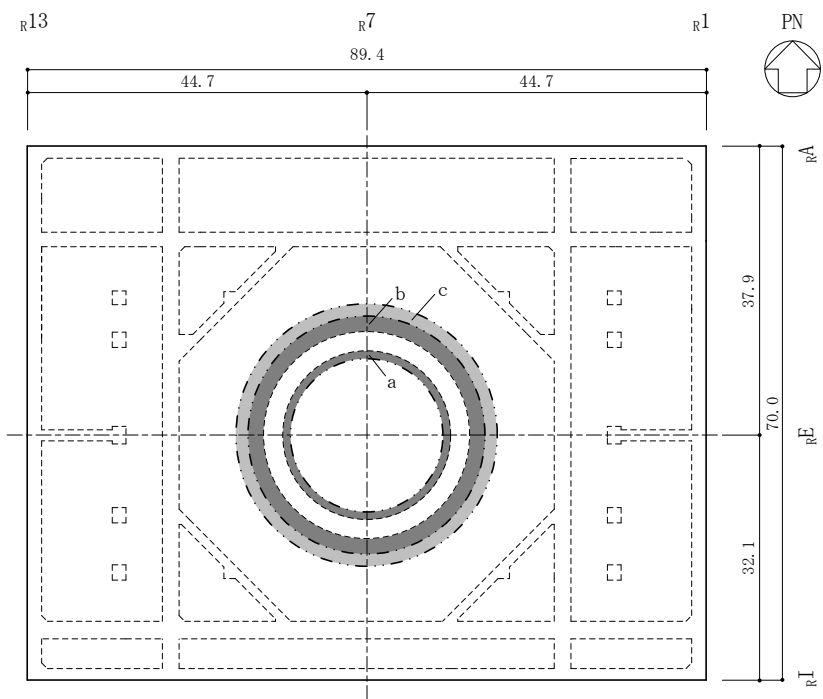
(a) 主筋 (下ば筋)



(単位:m)

(b) 主筋 (上ば筋)

図 6-1(1) 配筋領域図



(単位:m)

(c) せん断補強筋

図 6-1(2) 配筋領域図

表 6-1(1) 配筋一覧

(a) 主筋 (下ば筋)

領域	方向	配筋
A	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400
B	N S	2-D38@200
	E W	D38@200 + D38@400
C	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + D32@400
D	N S	3-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + 2-D32@400
E	N S	D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200
F	N S	D38@200 + D38@400 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
G	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
H	N S	3-D38@200 + D32@400
	E W	3-D38@200 + D32@400
I	N S	2-D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
J	N S	2-D38@200
	E W	2-D38@200

表 6-1(2) 配筋一覽  
(b) 主筋 (上ば筋) (1/2)

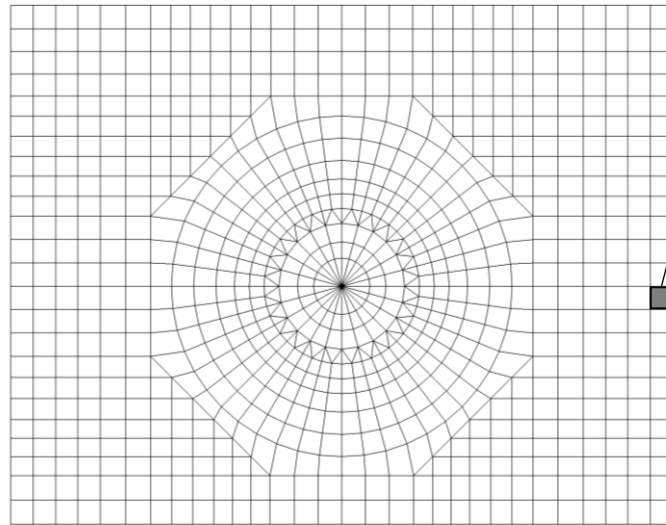
領域	方向	配筋
A	放射	48-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
B	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
C	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
D	放射	192-D38 + 96-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
E	放射	384-D38 + 192-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
F	放射	384-D38 + 2 × 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
G	放射	384-D38 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
H	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
I	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
J	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400

表 6-1(3) 配筋一覧  
(c) 主筋 (上ば筋) (2/2)

領域	方向	配筋
K	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35/周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
L	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35/周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200
	E W	D38@200
M	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
N	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400
O	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D32@400
P	N S	D38@200
	E W	D38@200

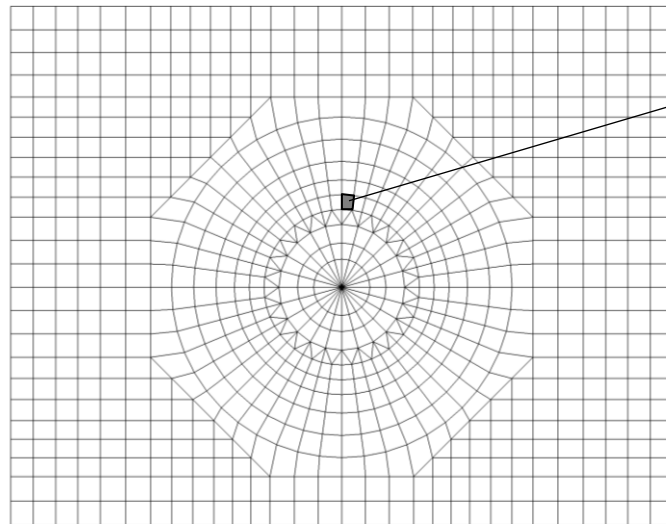
(d) せん断補強筋

領域	配筋
a	D29@400 × 96/周
b	D35@200 × 192/周
c	D29@400 × 192/周



要素番号 : 899  
NS方向

(a) 軸力+曲げモーメント



要素番号 : 491  
NS方向

(b) 面外せん断力

図6-2 選定した要素の位置 S d地震時



表 6-2 評価結果 S d 地震時

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	必要鉄筋比 (%)	N S	899	2-6	0.137	0.143
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	N S	491	2-1	5.96	10.4

別紙 9 原子炉建物基礎スラブのポンプピット周辺の  
構造について

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 9-1
2. ポンプピットの検討 .....	別紙 9-2
2.1 検討対象 .....	別紙 9-2
2.2 検討方法 .....	別紙 9-4
2.2.1 応力算定方法 .....	別紙 9-5
2.2.2 曲げモーメントに対する断面の評価方法 .....	別紙 9-5
2.2.3 面外せん断力に対する断面の評価方法 .....	別紙 9-6
2.3 検討結果 .....	別紙 9-7
3. まとめ .....	別紙 9-9

## 1. 概要

原子炉建物基礎スラブには高圧炉心スプレイ系（HPCS）、低圧炉心スプレイ系（LPCS）及び残留熱除去系（RHR）のポンプを設置するために円形のピットがある。

本資料は、原子炉建物基礎スラブにあるポンプピットについて、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価を実施し、ポンプピットの要求機能である支持機能を維持することを確認するものである。

## 2. ポンプピットの検討

### 2.1 検討対象

ポンプピットの配置図を図2-1に示す。

検討対象とするポンプピットは、深さが最も深い高圧炉心スプレイ系（HPCS）ポンプピットとし、検討対象部位は躯体厚が薄いピット底部とする。

検討対象ピットの断面図を図2-2に示す。

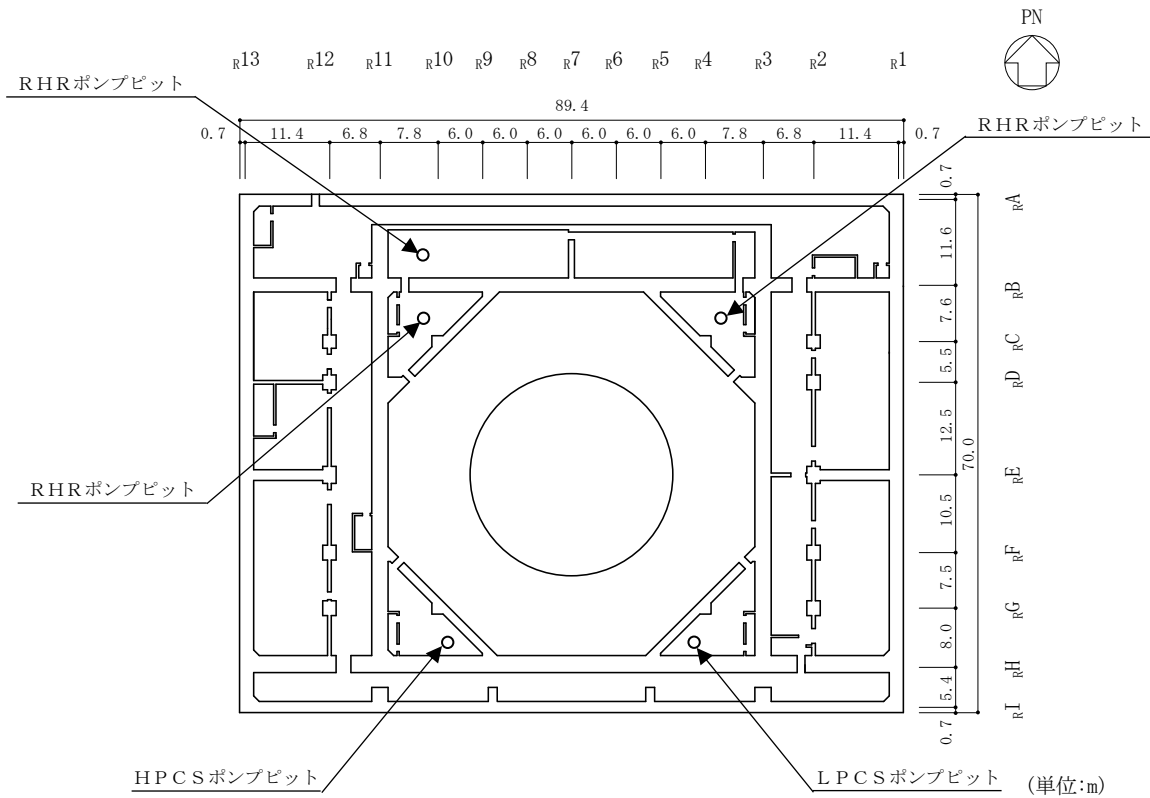


図2-1 ポンプピットの配置図 (EL 1.3m\*)

注記\* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

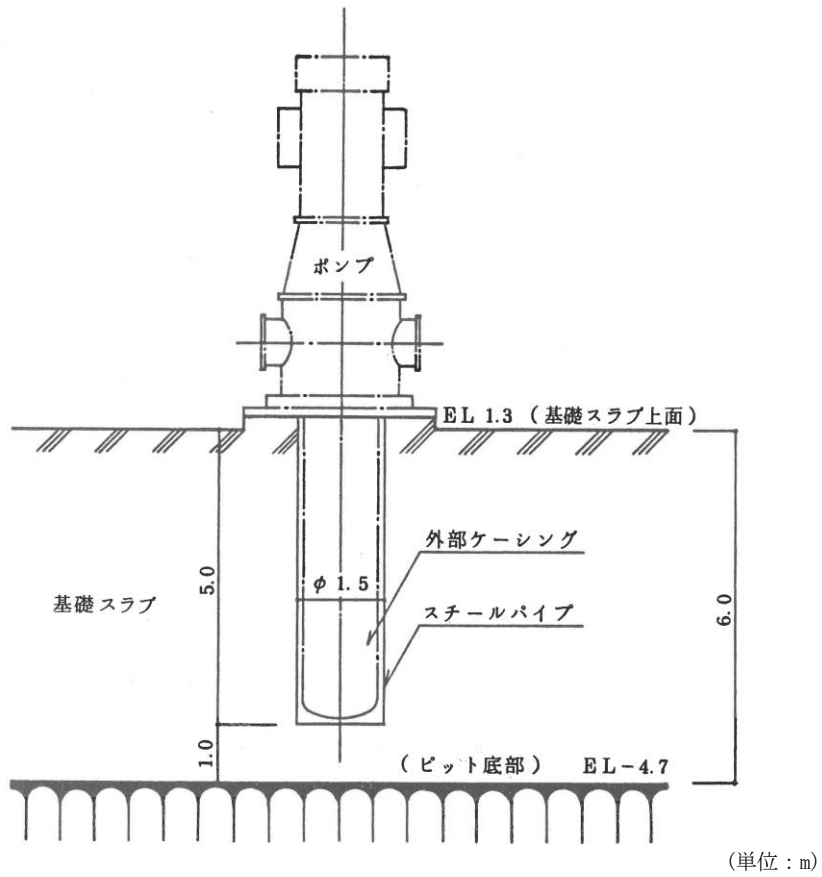


図 2-2 検討対象ピットの断面図

## 2.2 検討方法

ピット底部を等分布荷重を受ける周辺をピン支持とした円版とし、S s 地震時の最大接地圧及び浮力による応力に対する断面の評価を行う。

コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 $F_c$	せん断
23.5	1.08

表 2-2 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

### 2.2.1 応力算定方法

等分布荷重  $w$  を受ける周辺をピン支持とした円版の曲げモーメント及び面外せん断力は下式により求める。

曲げモーメント

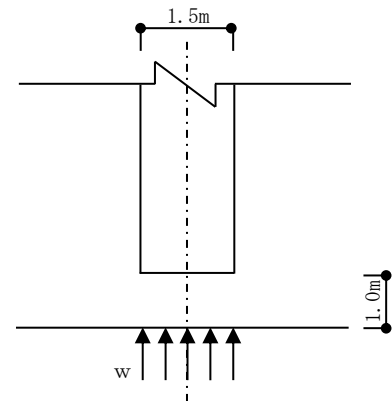
$$M = \frac{(3 + \nu)}{16} \cdot w \cdot r^2$$

面外せん断力

$$Q = w \cdot r^2 \cdot \pi$$

ここで、

- $\nu$  : ポアソン比 (0.2)
- $w$  :  $w_R + w_W$  ( $2.02 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ )
- $w_R$  :  $S_s$  地震時の最大接地圧 ( $2.01 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ )
- $w_W$  : 浮力 ( $7.8 \text{kN/m}^2$ )
- $r$  : ピット底部の半径 (0.75m)



### 2.2.2 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「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）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

- $\sigma_t$  : 鉄筋の引張応力度 ( $\text{N/mm}^2$ )
- $M$  : 曲げモーメント ( $\text{N}\cdot\text{mm}$ )
- $a_t$  : 引張鉄筋断面積 ( $\text{mm}^2$ )
- $j$  : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの  $7/8$  倍の値 ( $\text{mm}$ )



### 2.2.3 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」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。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

- $Q_A$  : 許容面外せん断力 (N)  
 $b$  : 断面の幅\*1 (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)  
 $\alpha$  : 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。)

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

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)  
 $Q$  : せん断力 (N)  
 $d$  : 断面の有効せい (mm)  
 $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $w f_t$  : せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $p_w$  : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。\*2)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- $a_w$  : せん断補強筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $x$  : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記\*1: ピット底部においては、円版の円周とする。

\*2: せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

(なお、ピット底部には、面外せん断補強筋は入っていない。)

### 2.3 検討結果

ポンプピットの構造図を図2-3に、ピット底部の評価結果を表2-3に示す。

表2-3より、S<sub>s</sub>地震時において、曲げモーメントに対する鉄筋応力度及び面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

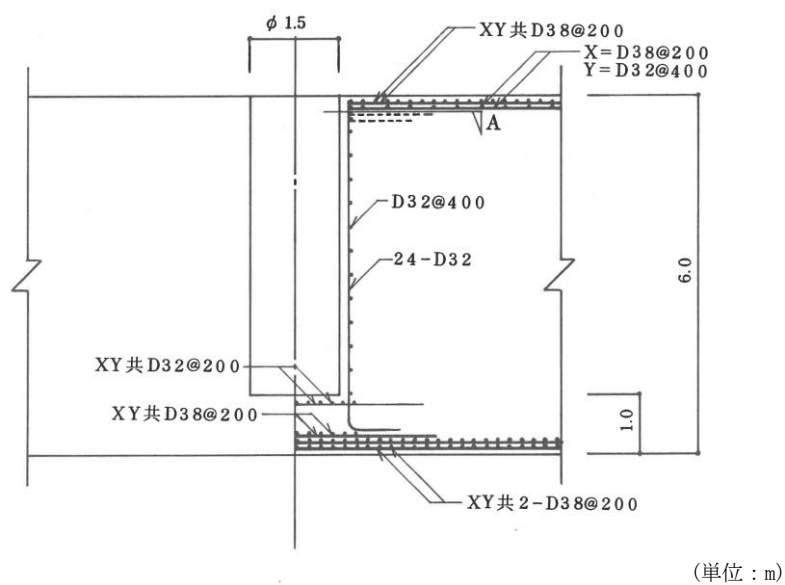


図2-3 ポンプピットの構造図

表 2-3 ピット底部の評価結果

半径 r (mm)		750
厚さ t (mm)		1000
有効せい d (mm)		850
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D32@200 (3970mm <sup>2</sup> /m)
	下ば筋	3-D38@200 (17100mm <sup>2</sup> /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	227.0
	鉄筋応力度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	76.9
	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )	345
	検定値	0.23
面外せん断力	発生せん断力 Q ( $\times 10^3$ kN)	3.57
	せん断スパン比による 割増し係数 $\alpha$	2.00
	許容限界 ( $\times 10^3$ kN)	7.57
	検定値	0.48
判定		可

### 3. まとめ

原子炉建物基礎スラブにあるポンプピットの底部について、S s 地震時の応力に対する断面の評価を実施し、S s 地震時にポンプピットが支持機能を維持することを確認した。