

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-026-5 改2
提出年月日	2020年5月20日

格納容器圧力逃がし装置基礎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-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎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 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙2 地震荷重の入力方法

別紙3 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙4 杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定

別紙5 杭頭接合部の検討

別紙6 応力解析における地下水位設定の影響について

別紙 1 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

目 次

1. 概要 別紙 1-1
2. 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件 別紙 1-2

別紙 1-1 底面地盤ばねの設定方法

1. 概要

本資料は、格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の基礎スラブの応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

装置基礎の基礎スラブの応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。

杭基礎の底面地盤ばねの設定における基本的な考え方は，以下のとおり。

・水平ばね

地震応答解析モデルにおける地盤部分の 3 次元 FEM モデルを用いて無質量剛基礎による水平方向の加振解析を行い，算定した複素インピーダンスの実部から設定する。

・鉛直ばね

水平ばねと同様に算定した複素インピーダンスの実部から設定する。水平加力時の鉛直ばねについては，転倒モーメントを適切に評価するため，回転方向の加振解析により算出した回転ばねより設定する。鉛直加力時及び長期荷重時の鉛直ばねについては，ロッキング挙動が卓越しないため，鉛直方向の加振解析から算出した鉛直ばねより設定する。

有限要素法を用いた解析モデルにおける要素分割の考え方*については，以下のとおり。

・シェル要素

要素分割は，基本的には発生する応力状態によって決まり，構造形状と荷重状態より要素分割数を考慮する。要素形状の縦横比（アスペクト比）は，重要部分で 1：2 以下，その他の領域や応力変化が少ない領域では，1：3 程度までで，分割に際しては 4 角形要素を利用して格子状とするのが一般的である。また，面内曲げ・軸力及び面外のせん断や曲げを受ける部材のシェル要素の辺の長さは，シェルの広がり方向の応力分布の状態から決まり，応力変化が大きい領域は要素を小さくする必要がある。

注記*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）

表 2-1 装置基礎の基礎スラブ(1/3)

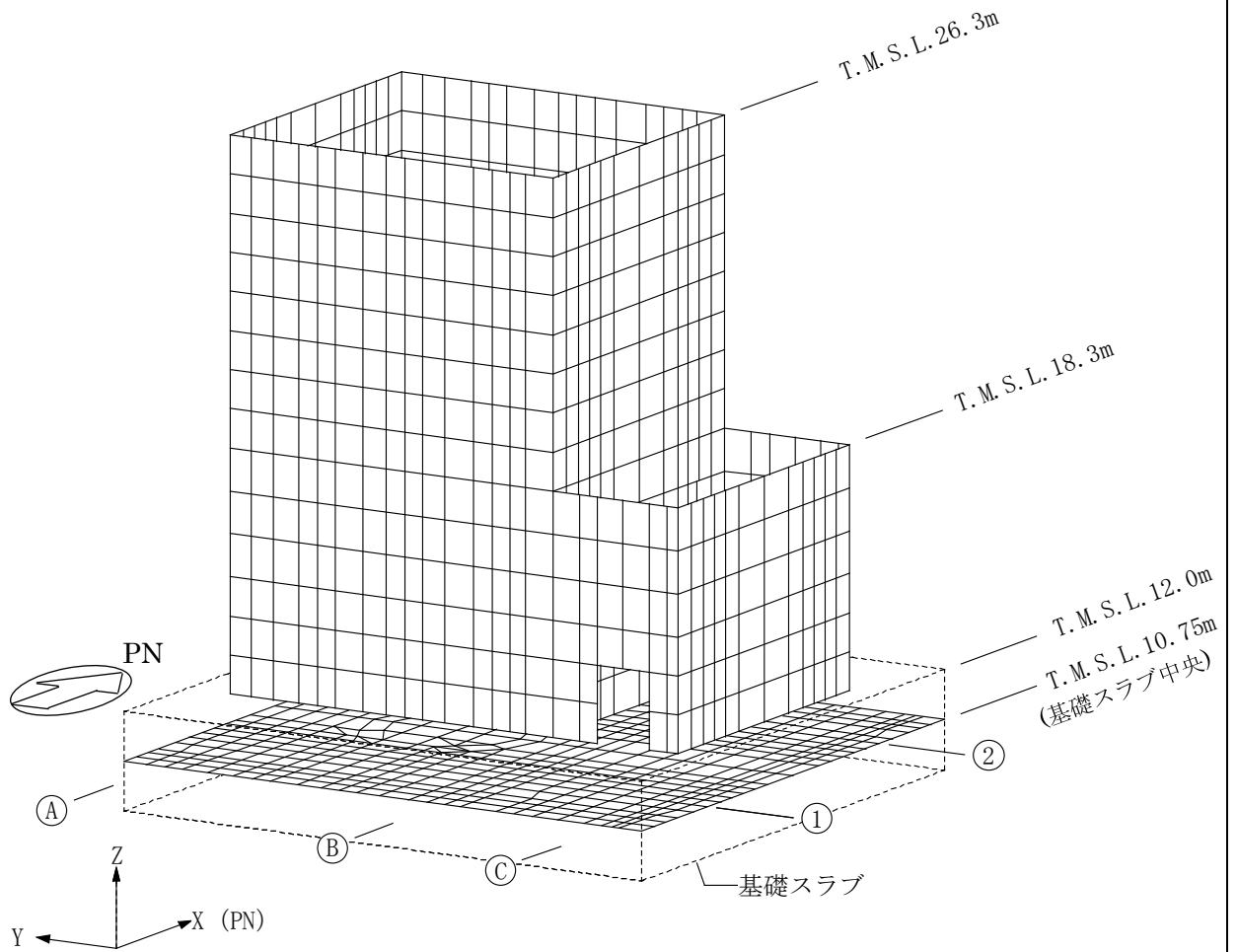
モデル概要

○モデル化範囲

- ・基礎スラブ及び遮蔽壁をモデル化する。

○使用要素

- ・基礎スラブ, 遮蔽壁: シェル要素



(単位: m)

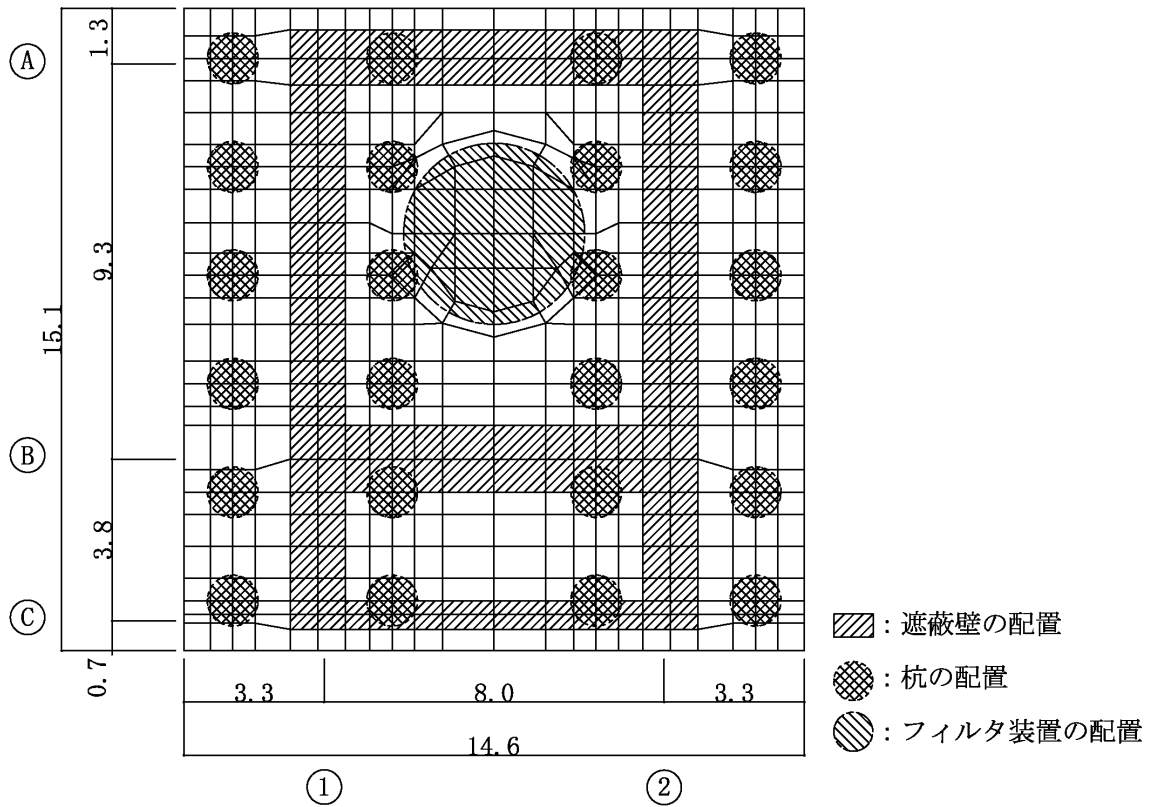
モデル概要 (全体図)

表 2-1 装置基礎の基礎スラブ(2/3)

モデル概要

○要素分割


- ・要素の一辺の長さを 1m 以下として分割する。上部構造及び杭のモデル化に加え、フィルタ装置の荷重を考慮するため、遮蔽壁、杭及びフィルタ装置の位置を考慮して分割する。



(単位 : m)

モデル概要 (基礎スラブ)

表 2-1 装置基礎の基礎スラブ(3/3)

境界条件, 拘束条件
<p>上部構造物と基礎スラブの境界</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・基礎スラブと上部構造物との境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎スラブの応力・変形状態を評価する。 ・主要な開口部については, 要素を設置しないことで考慮する。
<p>基礎スラブと地盤の境界</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・基礎スラブ底面の地盤ばね <p>設定に用いる水平ばね, 回転ばね及び鉛直ばねは, 地震応答解析モデルにおける地盤部分の 3次元 FEM モデルを用いて加振解析を行い, 算定した複素インピーダンスの実部から設定する。解析に用いる水平ばね及び鉛直ばねは以下のとおりとする。</p> <p>水平ばね: 設定した水平ばねを離散化</p> <p>鉛直ばね: 水平加力時は設定した回転ばねを離散化して鉛直ばねを算定 鉛直加力時及び長期荷重時は鉛直ばねを離散化</p> ・上記の地盤ばね (3 方向) は各杭位置周辺の 7~8 節点に離散化してモデル化する。
<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">  PN </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="274 1066 770 1574"> </div> <div data-bbox="932 1066 1477 1626"> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">●: 地盤ばね</p> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <p>(単位: m)</p> <p>○: 場所打ち鋼管コンクリート杭</p> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">基礎スラブ</p> <p style="text-align: center;">各杭位置に設置される 底面地盤ばね(3方向)</p> <p style="text-align: center;">モデル概要</p> </div>

別紙1-1 底面地盤ばねの設定方法

目 次

1. 概要 別紙 1-1-1
2. 算出方法 別紙 1-1-1
3. 算出結果 別紙 1-1-5

1. 概要

本資料は、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」における、応力解析に用いる基礎スラブ底面の地盤ばね定数の設定方法を示すものである。

2. 算出方法

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）は3次元FEMモデルを用いた地震応答解析を行っている。そのため、応力解析に用いる基礎スラブ底面の地盤ばね定数も同様の3次元FEMモデルを用いた加振解析により算出する。

解析モデルは、V-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」における3次元FEMモデルのうち、遮蔽壁及び基礎スラブの一軸多質点系モデルを除いたものとする。なお、基礎スラブー原地盤間、杭ー原地盤間及び地盤改良土ー原地盤間のジョイント要素は考慮しない。地盤定数は、地震時に地盤の非線形化が最も進行する基準地震動 S_s-1 の等価地盤物性値とする。解析モデルを図2-1に、地盤定数を表2-1に示す。

加振方法は単位加振、加振位置は基礎スラブ中央とし、加振方向はNS方向、EW方向及び鉛直方向とする。加振位置と加振方向を図2-2に示す。加振解析には、解析コード「SoilPlus」を用いる。

地盤ばね定数は、加振解析で算出したインピーダンスの実部の値のうち、振動数が0.2Hzの際の値とする。地盤ばね定数とインピーダンスの概念図を図2-3に示す。

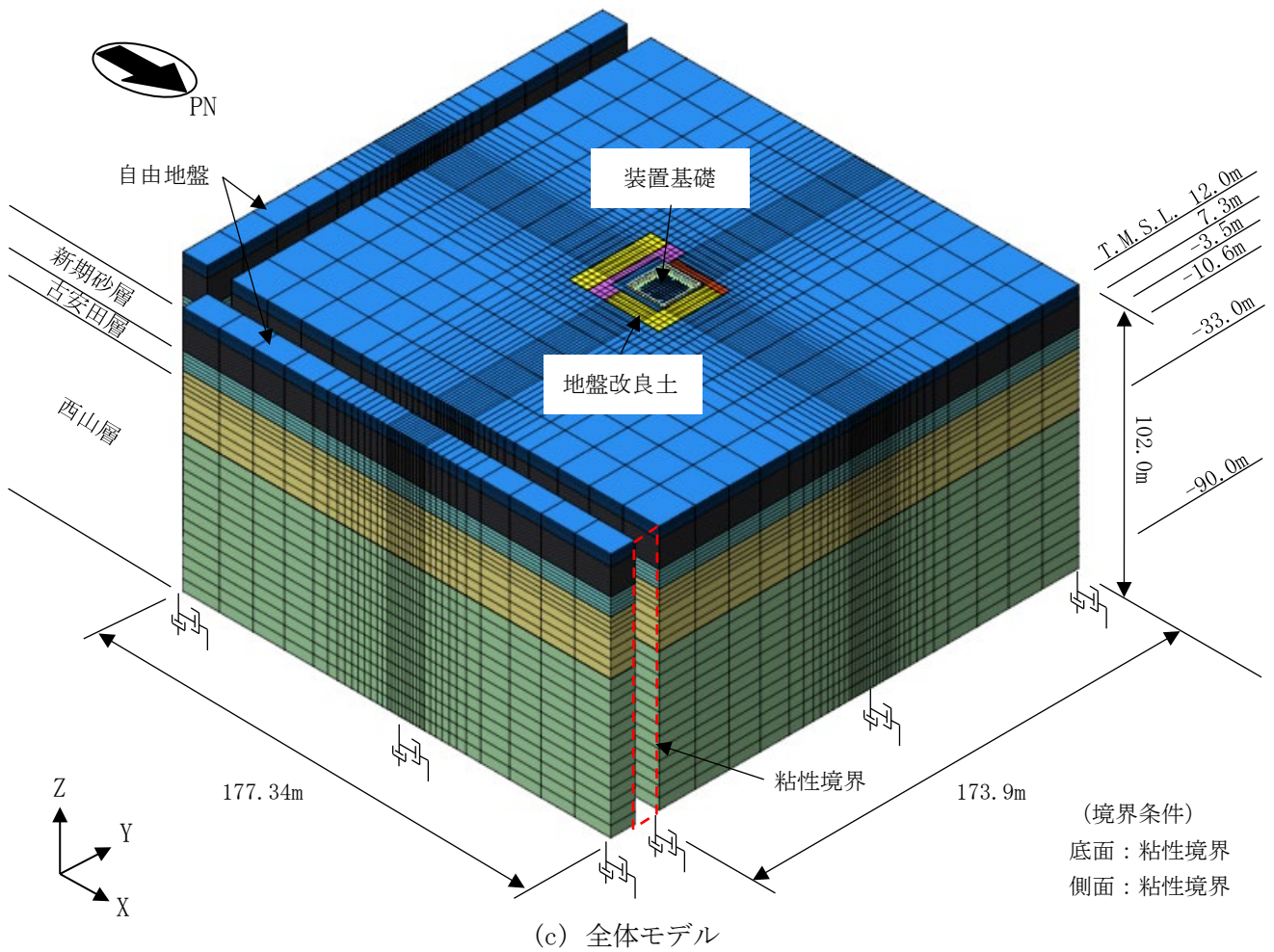
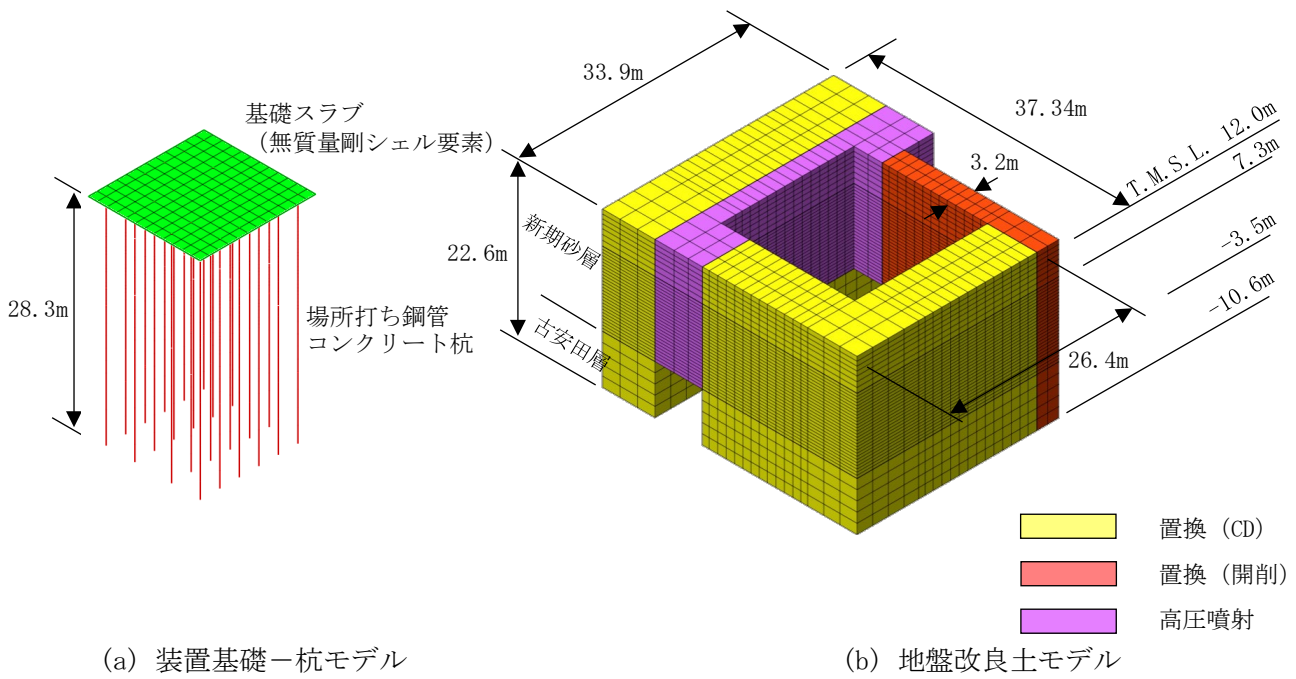


図 2-1 解析モデル

表 2-1 地盤定数

(a) 原地盤

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	15100	36900	0.41	18
+7.3		200	16.1	0.308	7220	65700	0.11	29
-3.5	古安田層	330	17.3	0.462	101000	192000	0.53	6
-10.6	西山層	490	17.0	0.451	391000	416000	0.94	3
-33.0		530	16.6	0.446	427000	475000	0.90	3
-90.0								

(b) 地盤改良土（置換（CD））

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	減衰 定数 h (%)
+12.0	地盤改良土 （置換（CD））	800	17.9	0.302	1130000	1170000	0.97	1
+7.3		800	17.9	0.302	1130000	1170000	0.97	1
-3.5 -10.6		800	18.0	0.302	1080000	1170000	0.93	1

注：T. M. S. L. -10.6m以深は原地盤の値を採用する

(c) 地盤改良土（置換（開削））

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	減衰 定数 h (%)
+12.0	地盤改良土 （置換（開削））	840	18.1	0.302	1270000	1310000	0.97	1
+7.3		840	18.1	0.302	1270000	1310000	0.97	1
-3.5 -10.6		840	18.1	0.302	1230000	1310000	0.94	1

注：T. M. S. L. -10.6m以深は原地盤の値を採用する

(d) 地盤改良土（高圧噴射）

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ (kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	減衰 定数 h (%)
+12.0	地盤改良土 （高圧噴射）	810	19.7	0.375	1280000	1320000	0.97	1
+7.3 -3.5		810	19.7	0.375	1280000	1320000	0.97	1

注：T. M. S. L. -3.5m以深は原地盤の値を採用する

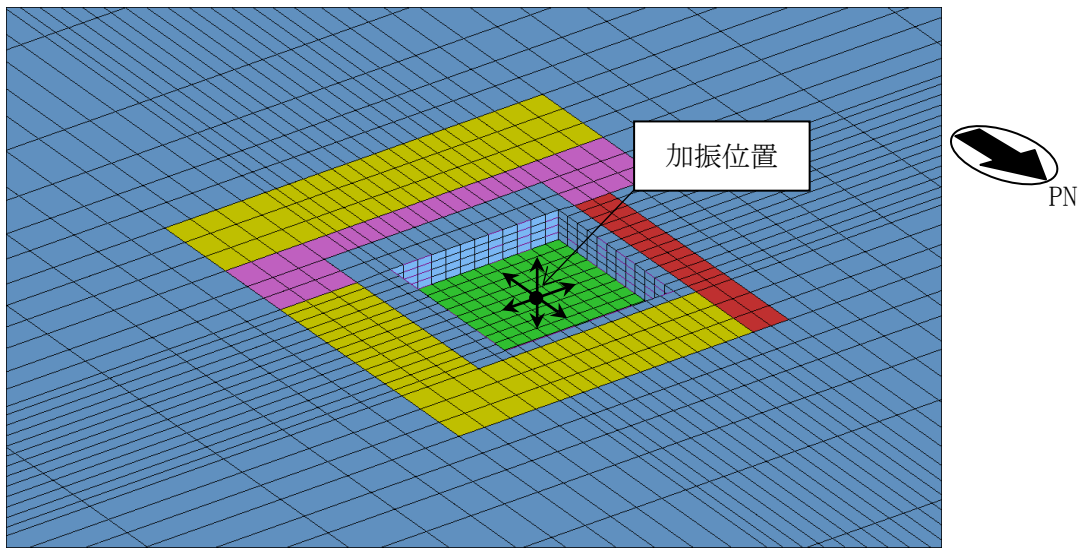


図 2-2 加振位置と加振方向

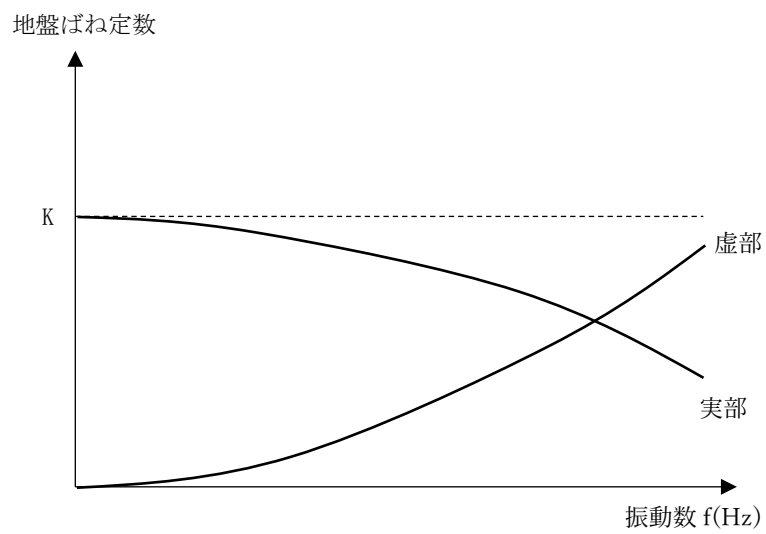
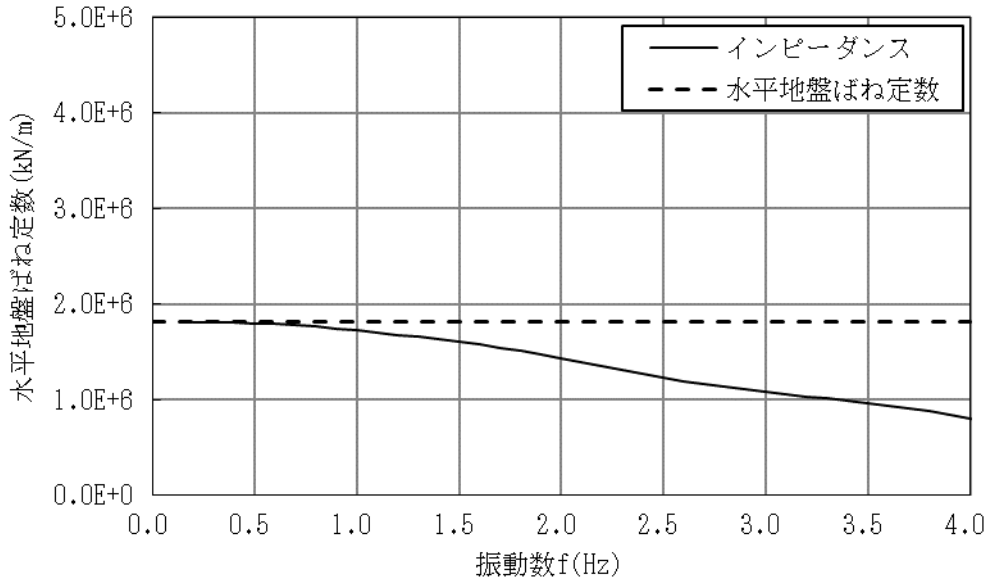


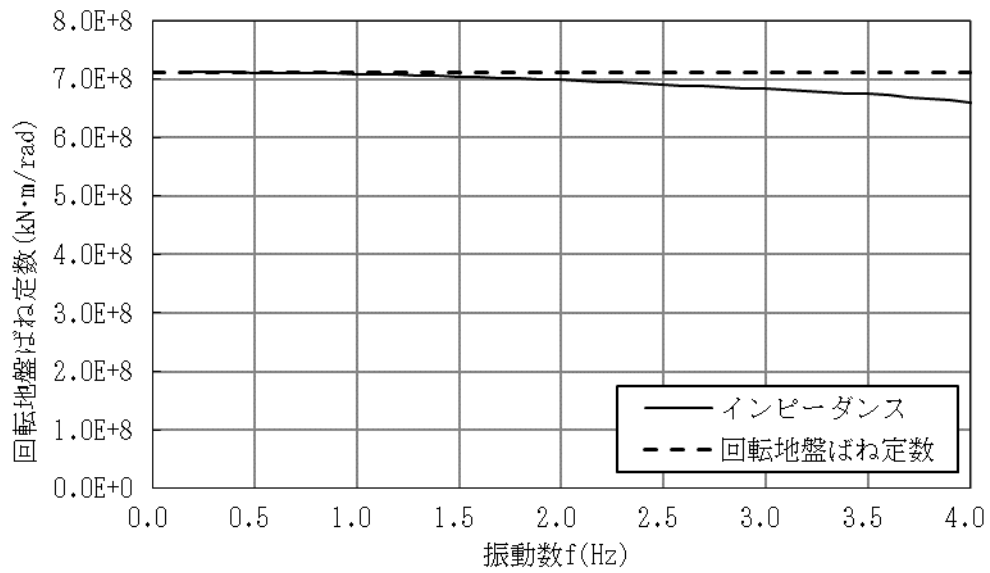
図 2-3 地盤ばね定数とインピーダンスの概念図

3. 算出結果

杭頭位置を水平，回転及び鉛直に加振した際のインピーダンスの算出結果を図 3-1～
図 3-3 に，作成した地盤ばね定数を表 3-1 に示す。

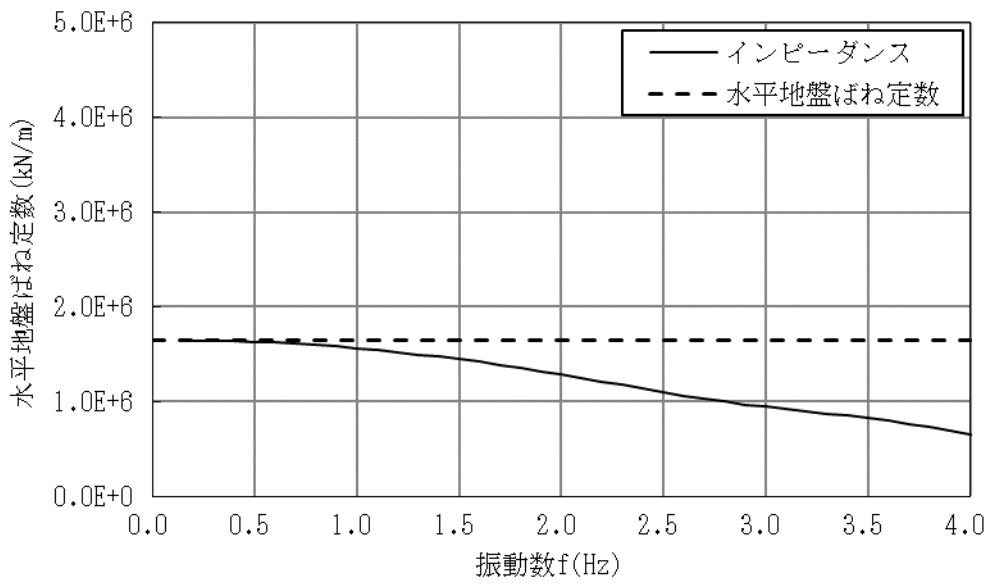


(a) 水平方向

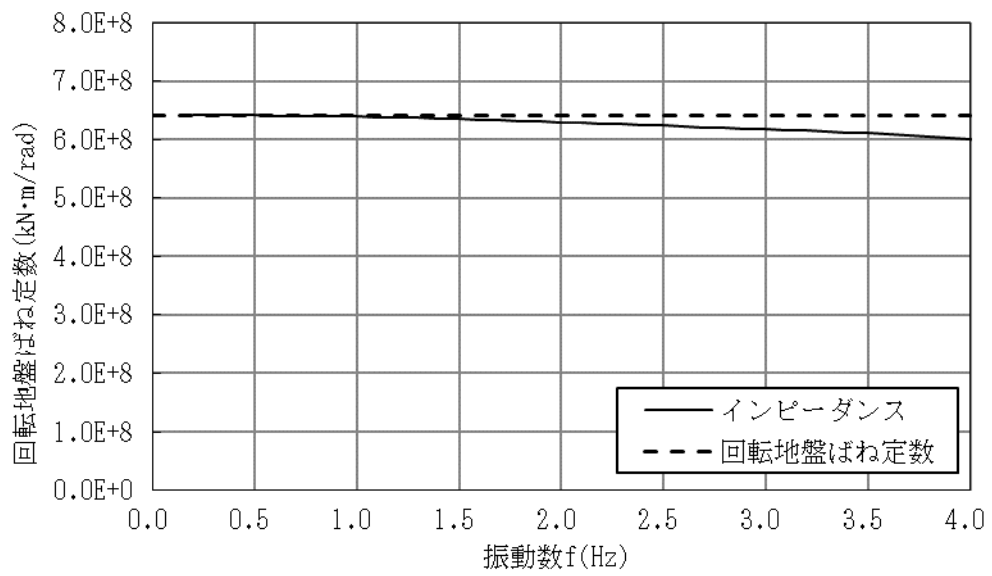


(b) 回転方向

図 3-1 杭頭インピーダンス (NS 方向)



(a) 水平方向



(b) 回転方向

図 3-2 杭頭インピーダンス (EW 方向)

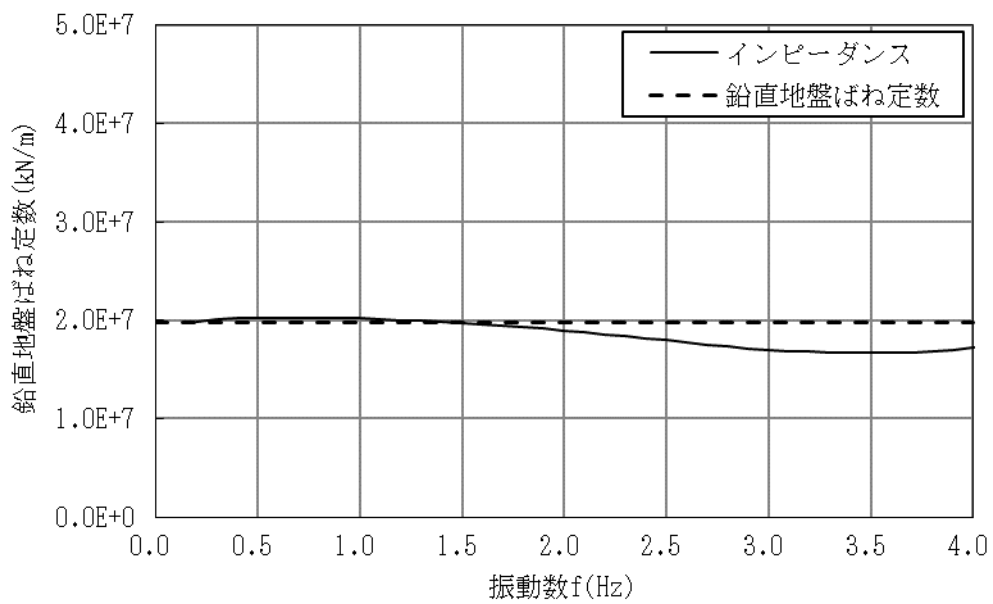


図 3-3 杭頭インピーダンス (鉛直方向)

表 3-1 地盤ばね定数

ばねの種類	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
水平地盤ばね (kN/m)	1.81×10^6	1.65×10^6	—
回転地盤ばね (kN・m/rad)	7.12×10^8	6.42×10^8	—
鉛直地盤ばね (kN/m)	—	—	1.98×10^7

別紙 2 地震荷重の入力方法

目 次

1. 概要 別紙 2-1
2. 地震荷重の入力方法 別紙 2-2

1. 概要

本資料は、格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の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

装置基礎の基礎スラブの応力解析にあたっては、FEM モデルに入力する地震荷重として、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。なお、FEM モデルについては、評価対象である基礎スラブに加え、上部構造物からの地震荷重及び拘束効果を適切に評価するため、構造物全体をモデル化している。

構造物の地震荷重の入力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を考慮し、FEM モデルの基礎スラブ底面ばね（地盤ばね反力）並びに基礎スラブ上端質点位置での最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力が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、FEM モデルに入力する水平地震力のうち、耐震壁に作用する地震荷重は、FEM モデルにおける耐震壁上端レベルの各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブに作用する地震荷重は、地震応答解析より求まる杭のせん断力から、耐震壁より作用する水平荷重を差し引いた値を、FEM モデルの基礎スラブの各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。

曲げモーメントについては、地震応答解析により求まる最大応答曲げモーメントと FEM モデルに作用した水平荷重により発生する曲げモーメントの差分（以下「付加曲げモーメント」という。）を考慮する。耐震壁に作用する付加曲げモーメントは、基礎スラブの節点のうち耐震壁直下の節点に支配面積と中心位置からの距離に応じて鉛直方向の偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブに作用する付加曲げモーメントは、地震応答解析より求まる杭の軸力を用いて算出した曲げモーメントから耐震壁より作用する曲げモーメントを差し引いた値を、FEM モデルの基礎スラブの各節点に支配面積と中心位置からの距離に応じて鉛直方向の偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。

鉛直地震力のうち、耐震壁に作用する地震荷重は、FEM モデルにおける耐震壁上端レベルの各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎スラブに作用する地震荷重は、地震応答解析より求まる杭の軸力から、耐震壁より作用する鉛直力を差し引いた値を、FEM モデルの基礎スラブの各節点に支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。

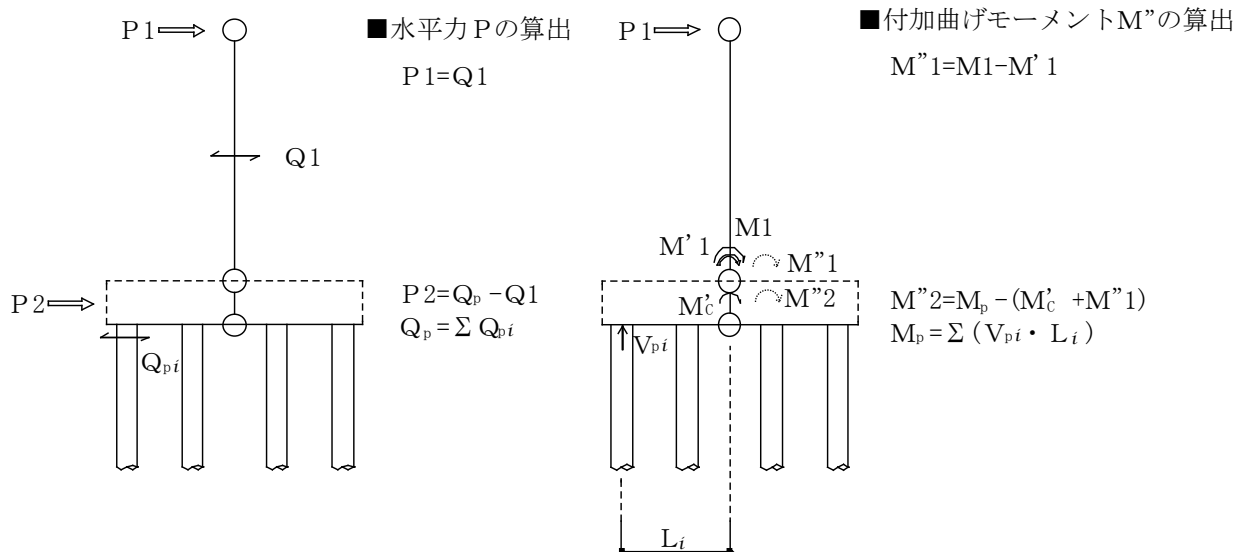
フィルタ装置の地震荷重の入力は、フィルタ装置の設計用震度に基づき設定する。

具体的には、水平地震力はフィルタ装置を支持する範囲の要素に水平方向の分布荷重として入力する。

曲げモーメントについては、フィルタ装置の水平地震力及び重心位置に基づき設定する。曲げモーメントは、基礎スラブの要素のうちフィルタ装置を支持する範囲の要素に要素の面積と中心位置からの距離に応じて鉛直方向の偶力に置換して分配し、鉛直方向の分布荷重として入力する。

鉛直地震力については、フィルタ装置を支持する範囲の要素に鉛直方向の分布荷重として入力する。

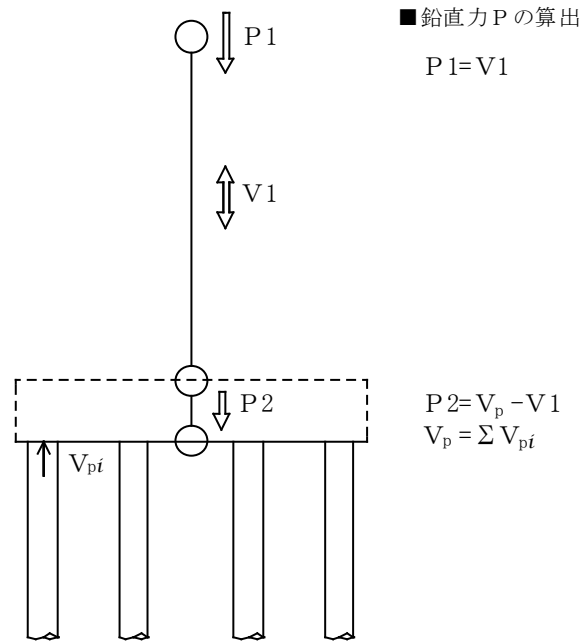
FEM モデルに入力する地震荷重の概念図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。FEM モデルに入力する水平地震力、付加曲げモーメント及び鉛直地震力の概要を図 2-3～図 2-12 に示す。



- Q_1 : 地震応答解析による最大応答せん断力
- Q_{pi} : 地震応答解析による杭の応答せん断力
- Q_p : 地震応答解析による基礎スラブ底面の最大応答せん断力
- M_1 : 地震応答解析による最大応答曲げモーメント
- V_{pi} : 地震応答解析による杭の応答軸力
- M_p : 地震応答解析による基礎スラブ底面の最大応答曲げモーメント
- P_i : FEM に入力する水平荷重
- M'_i : FEM に入力した水平荷重により発生する曲げモーメント
- M'_c : FEM に入力した水平荷重により基礎スラブ中心位置に発生する曲げモーメント
- M''_i : FEM に入力する付加曲げモーメント
(最大応答曲げモーメントと水平荷重により発生する曲げモーメントの差分)

(a) 水平地震力

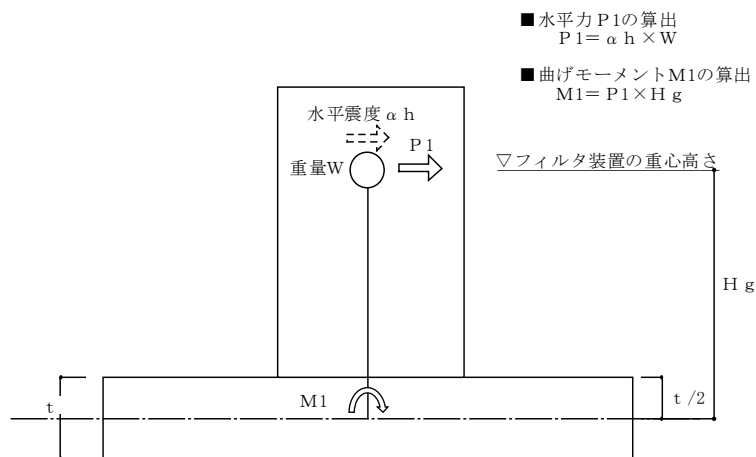
図 2-1 FEM モデルに入力する **構造物** の地震荷重の概念図 (1/2)



- V1 : 地震応答解析による最大応答軸力
- V_{pi} : 地震応答解析による杭の応答軸力
- V_p : 地震応答解析による基礎スラブ底面の最大応答軸力
- P_i : FEM に入力する鉛直力

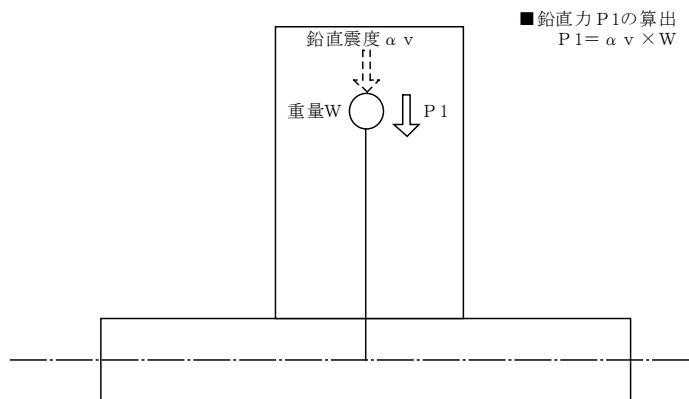
(b) 鉛直地震力

図 2-1 FEM モデルに入力する **構造物** の地震荷重の概念図 (2/2)



- αh : フィルタ装置の設計用水平震度
- W : フィルタ装置の重量
- Hg : 基礎スラブ中心からフィルタ装置重心までの高さ
- t : 基礎スラブの厚さ
- $P1$: FEM に入力する水平荷重
- $M1$: FEM に入力する曲げモーメント

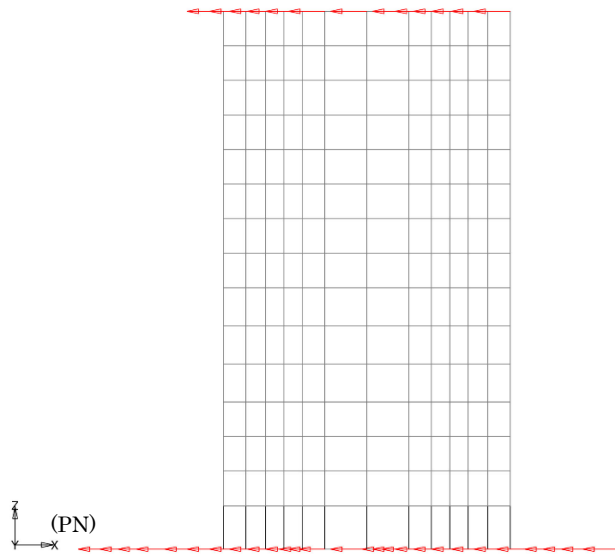
(a) 水平地震力



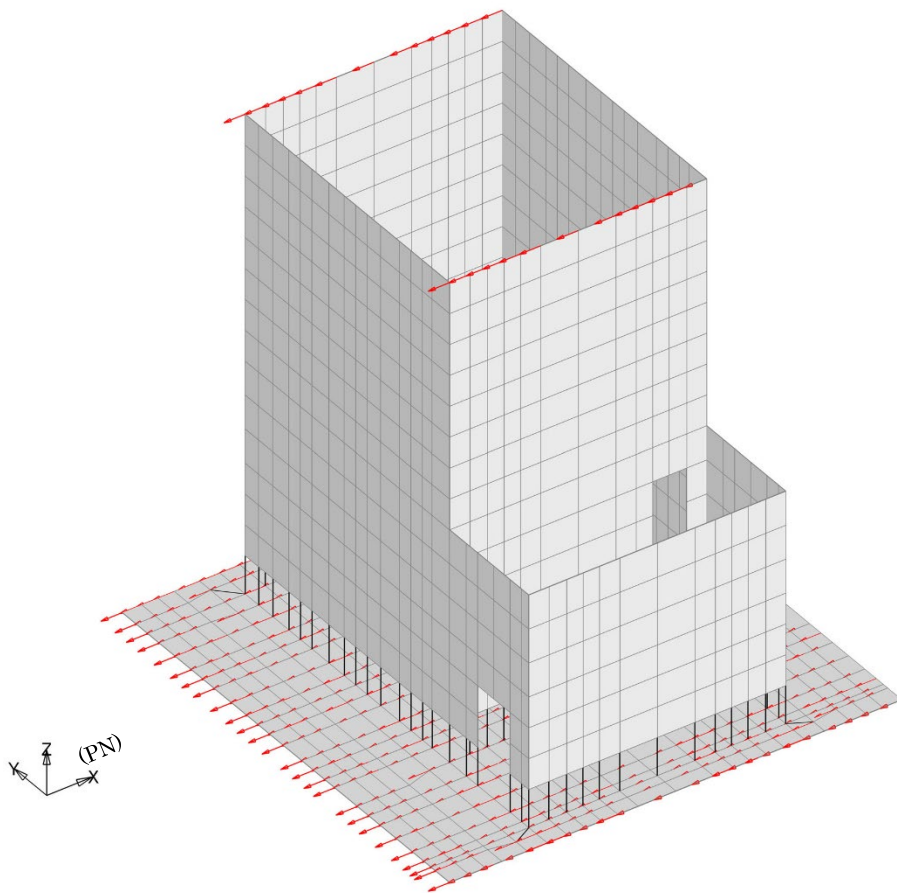
- αv : フィルタ装置の設計用鉛直震度
- W : フィルタ装置の重量
- $P1$: FEM に入力する鉛直荷重

(b) 鉛直地震力

図 2-2 FEM モデルに入力するフィルタ装置の地震荷重の概念図

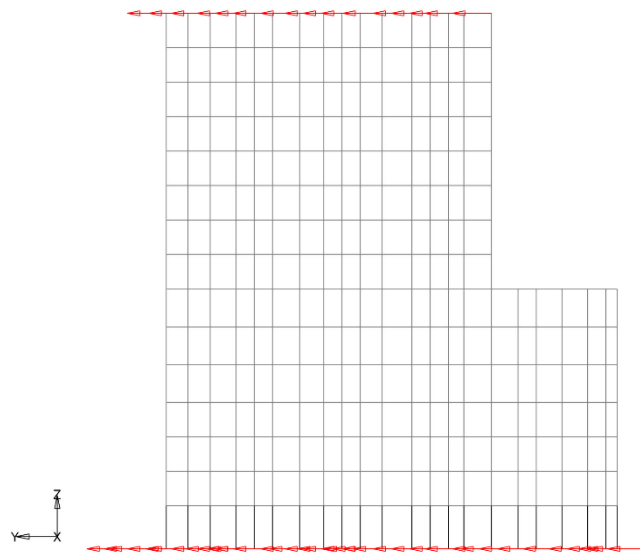


(a) 断面荷重図

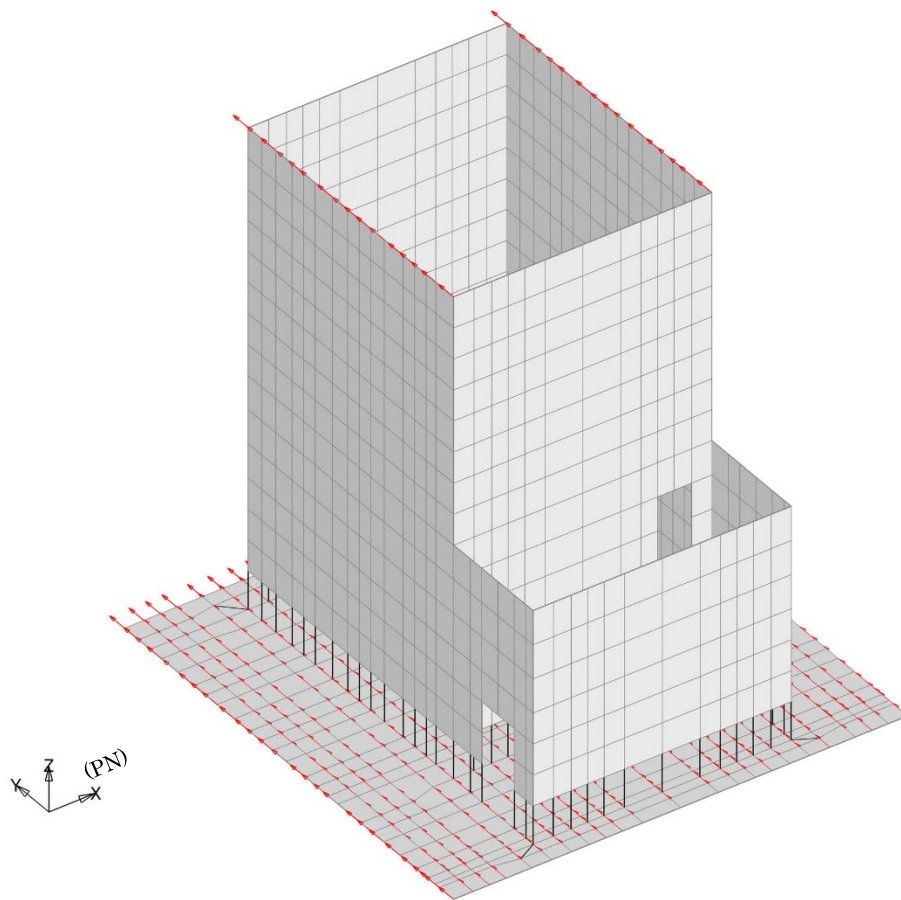


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-3 FEM モデルに入力する水平地震力 (NS 方向)

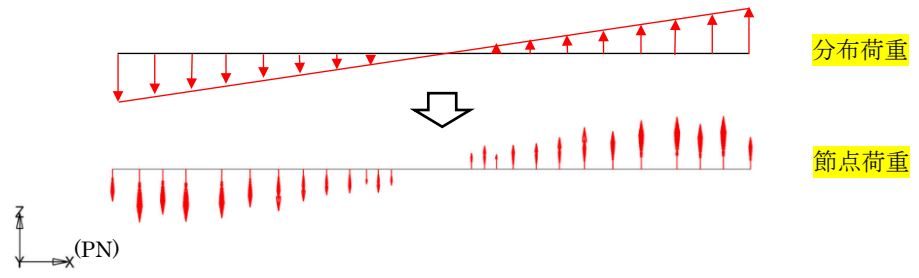


(a) 断面荷重図

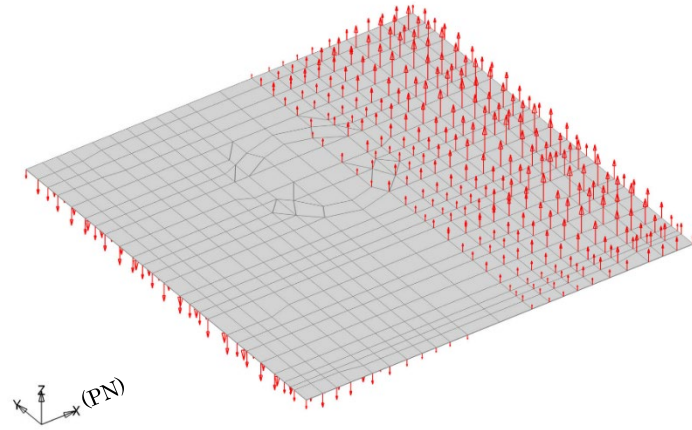


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-4 FEM モデルに入力する水平地震力 (EW 方向)

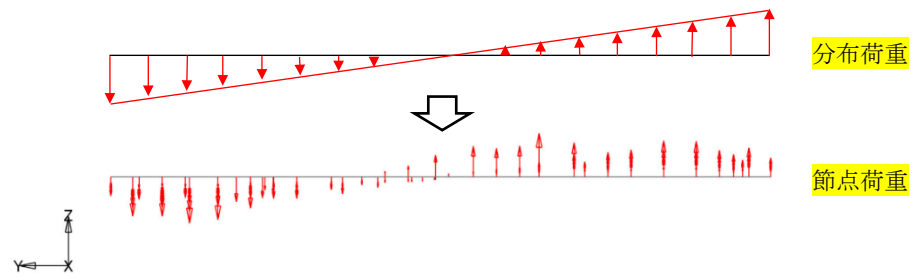


(a) 断面荷重図

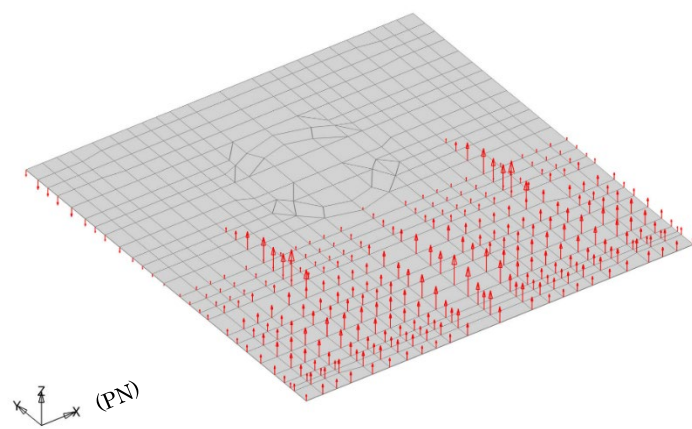


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-5 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (NS 方向)

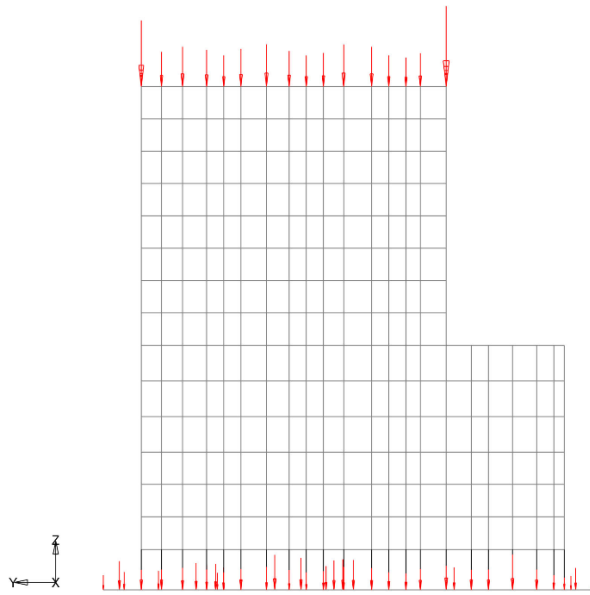


(a) 断面荷重図

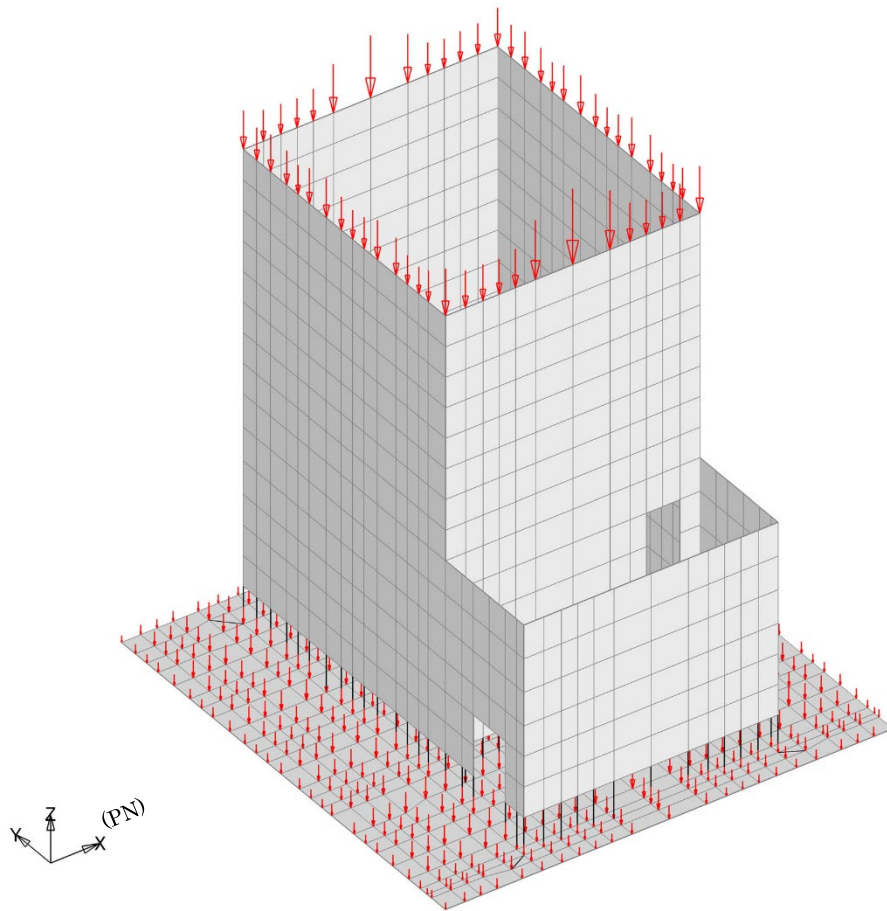


(b) 鳥瞰荷重図

図 2-6 FEM モデルに入力する付加曲げモーメント (EW 方向)



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 2-7 FEM モデルに入力する鉛直地震力

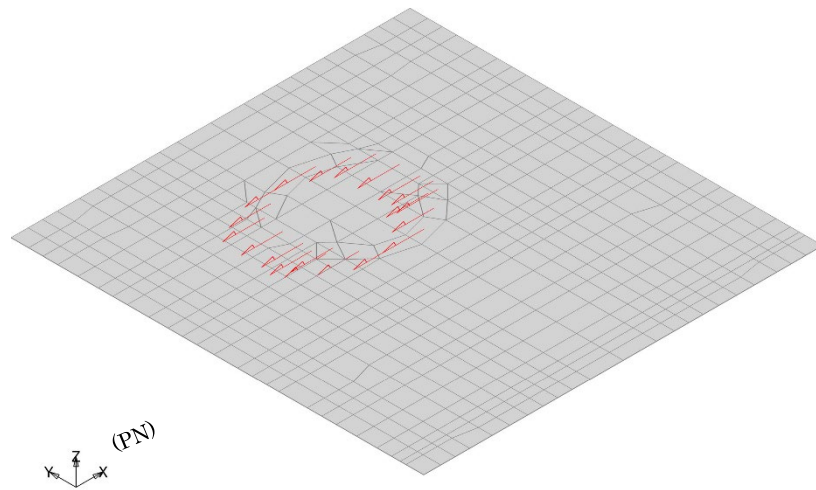
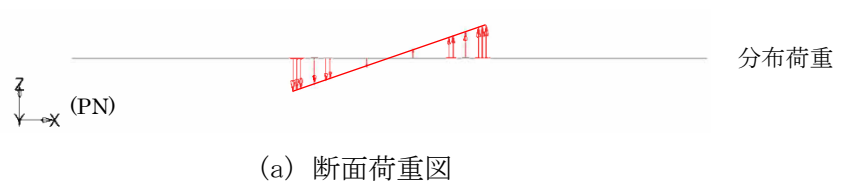
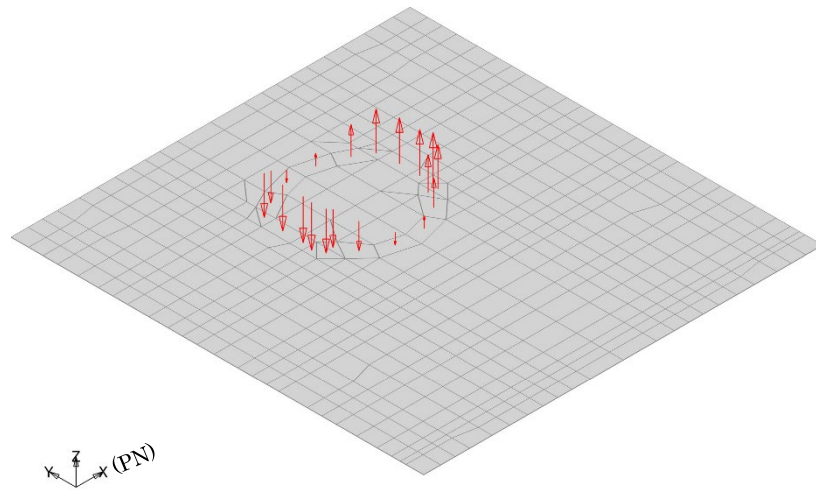


図 2-8 FEM モデルに入力するフィルタ装置の水平地震力 (NS 方向)



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 2-9 FEM モデルに入力するフィルタ装置の曲げモーメント (NS 方向)

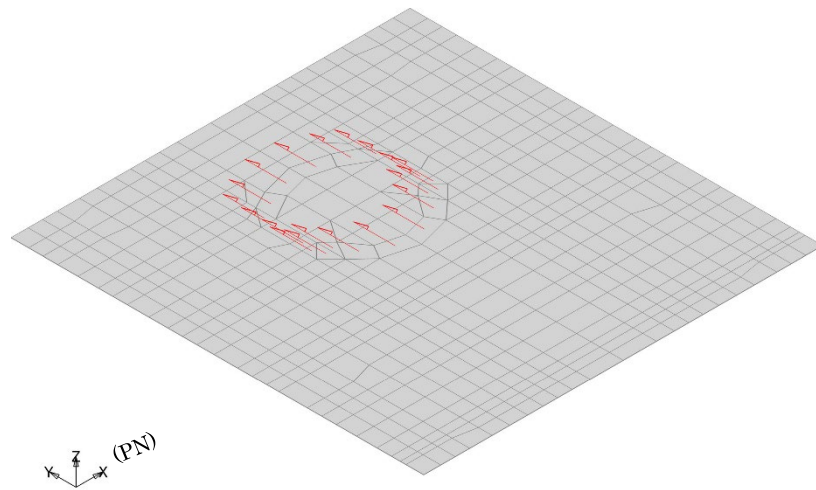
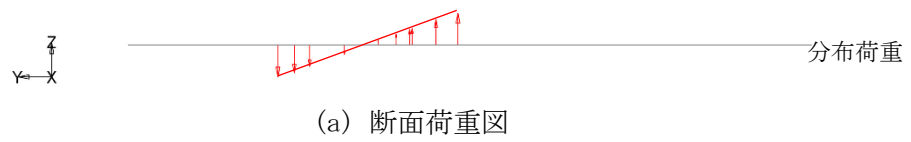
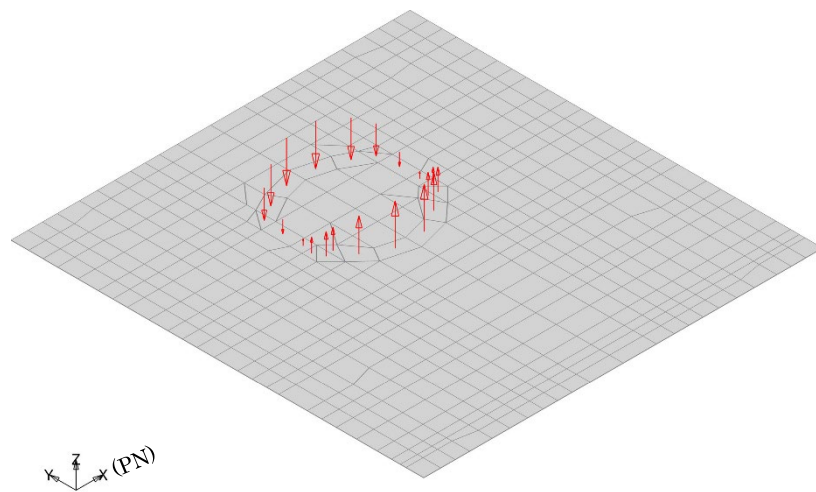


図 2-10 FEM モデルに入力するフィルタ装置の水平地震力 (EW 方向)



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 2-11 FEM モデルに入力するフィルタ装置の曲げモーメント (EW 方向)

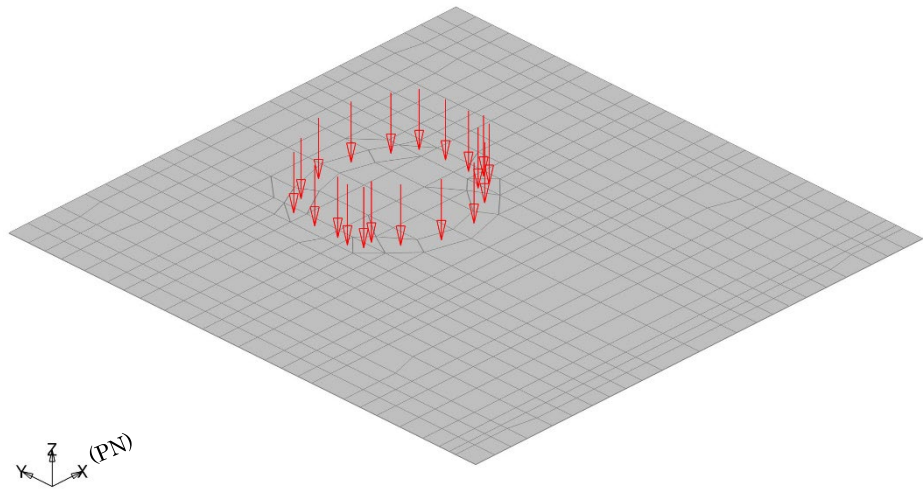


図 2-12 FEM モデルに入力するフィルタ装置の鉛直地震力

別紙 3 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 3-1
2. 断面の評価部位の選定 別紙 3-2

1. 概要

本資料は、格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の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関し、工認記載の断面の評価要素の選定結果について示すものである。

2. 断面の評価部位の選定

装置基礎の基礎スラブの荷重の組合せケースを表 2-1 に、基礎スラブの配筋一覧を表 2-2 及び表 2-3 に、せん断補強筋の配筋領域を図 2-1 に示す。

装置基礎の面外せん断力の検討においては、開口部の範囲を除く遮蔽壁直下の要素を評価対象外とする。ただし、B 通りの開口部については、基礎スラブ上端から開口下端までの高さが 3300mm あることから、当該開口部直下の基礎スラブの面外変形は十分に拘束されると判断できるため、評価対象外とする。また、装置基礎においては、基礎スラブ厚さに対して杭と遮蔽壁の間隔が狭く、せん断スパン比が 1 以下であることから、遮蔽壁からの地震力は基礎スラブ内でアーチ作用により斜めに伝わる圧縮力として杭へ流れる。そのため、遮蔽壁と杭の間の要素のうち、遮蔽壁からの距離が基礎スラブ厚の 1/2 に包絡される要素についても、面外せん断力の評価対象外とする。面外せん断力の評価対象外範囲を図 2-2 に示す。

各評価項目の検定値一覧を表 2-4 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応力コンター図を図 2-4 に示す。

表 2-1 荷重の組合せケース

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1	1.0 : 0.4	上向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{WE}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
2		下向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{WE}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
3		上向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{EW}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
4		下向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{EW}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
5		上向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{SN}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
6		下向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{SN}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
7		上向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{NS}} - 0.4 S_{s_{UD}}$
8		下向き	$G + E + P_s + 1.0 S_{s_{NS}} + 0.4 S_{s_{UD}}$
9	0.4 : 1.0	上向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{WE}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
10		下向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{WE}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
11		上向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{EW}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
12		下向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{EW}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
13		上向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{SN}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
14		下向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{SN}} + 1.0 S_{s_{UD}}$
15		上向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{NS}} - 1.0 S_{s_{UD}}$
16		下向き	$G + E + P_s + 0.4 S_{s_{NS}} + 1.0 S_{s_{UD}}$

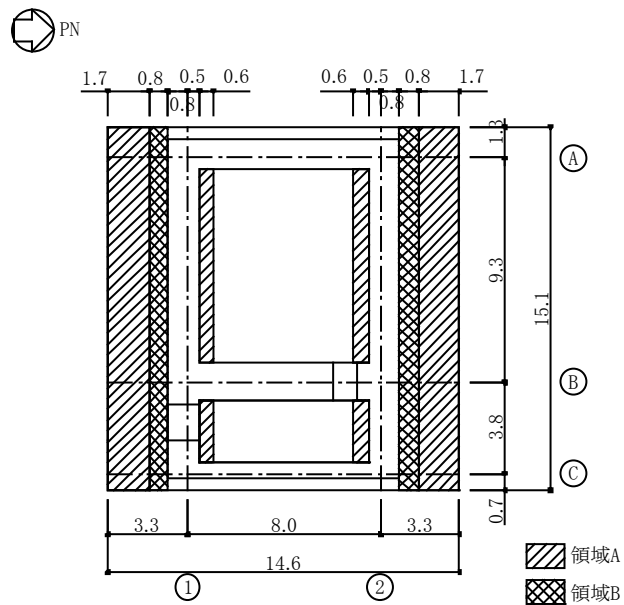
- G : 固定荷重
- E : 機器荷重
- P_s : 積雪荷重
- $S_{s_{WE}}$: 水平地震荷重 (W→E 入力, EW 方向)
- $S_{s_{EW}}$: 水平地震荷重 (E→W 入力, EW 方向)
- $S_{s_{SN}}$: 水平地震荷重 (S→N 入力, NS 方向)
- $S_{s_{NS}}$: 水平地震荷重 (N→S 入力, NS 方向)
- $S_{s_{UD}}$: 鉛直地震荷重

表 2-2 装置基礎の基礎スラブの配筋（主筋）

スラブ厚 (m)	方向	位置	設計配筋	断面積 (mm ² /m)
2.5	NS	上ば筋	2-D38@200	11400
		下ば筋	2-D38@200	11400
	EW	上ば筋	2-D38@200	11400
		下ば筋	2-D38@200	11400

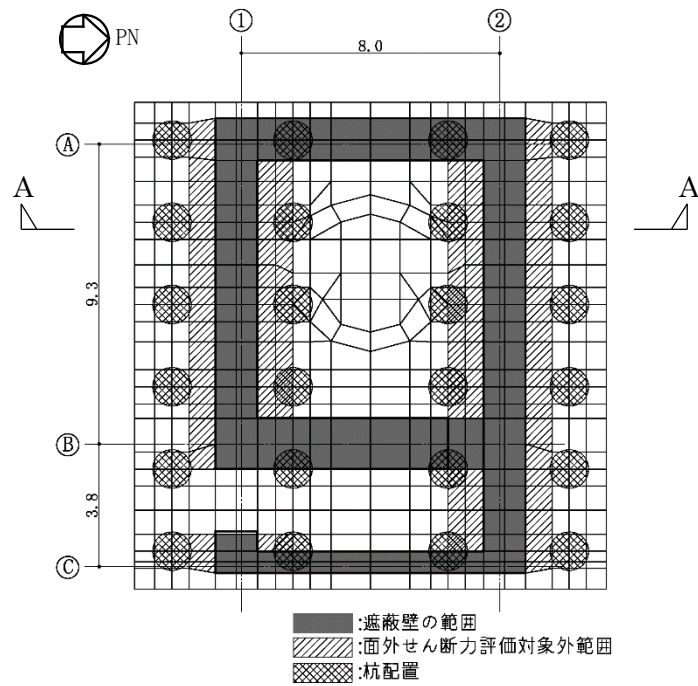
表 2-3 装置基礎の基礎スラブの配筋（せん断補強筋）

	鉄筋	ピッチ	断面積 (mm ² /m ²)
領域 A	D25	@400×@400	3169
領域 B	D25	@400×@200	6338

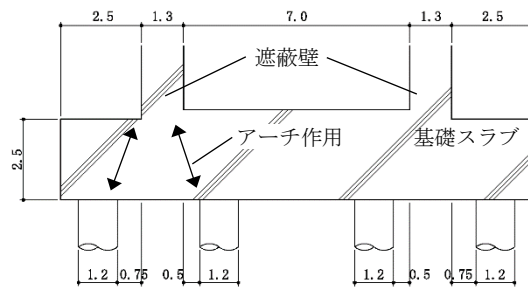


(単位：m)

図 2-1 装置基礎の基礎スラブの配筋領域（せん断補強筋）



(a) 平面図



(単位：m)

(b) A-A 断面図

図 2-2 面外せん断力評価対象外範囲

表 2-4 各評価項目の検定値一覧

項目	方向	要素番号	荷重 ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	NS	1319	8	0.544
	EW	3120	2	0.522
面外せん断力	NS	1604	8	0.752
	EW	3120	4	0.701

注：■は、検定値が最大となる要素を示す。

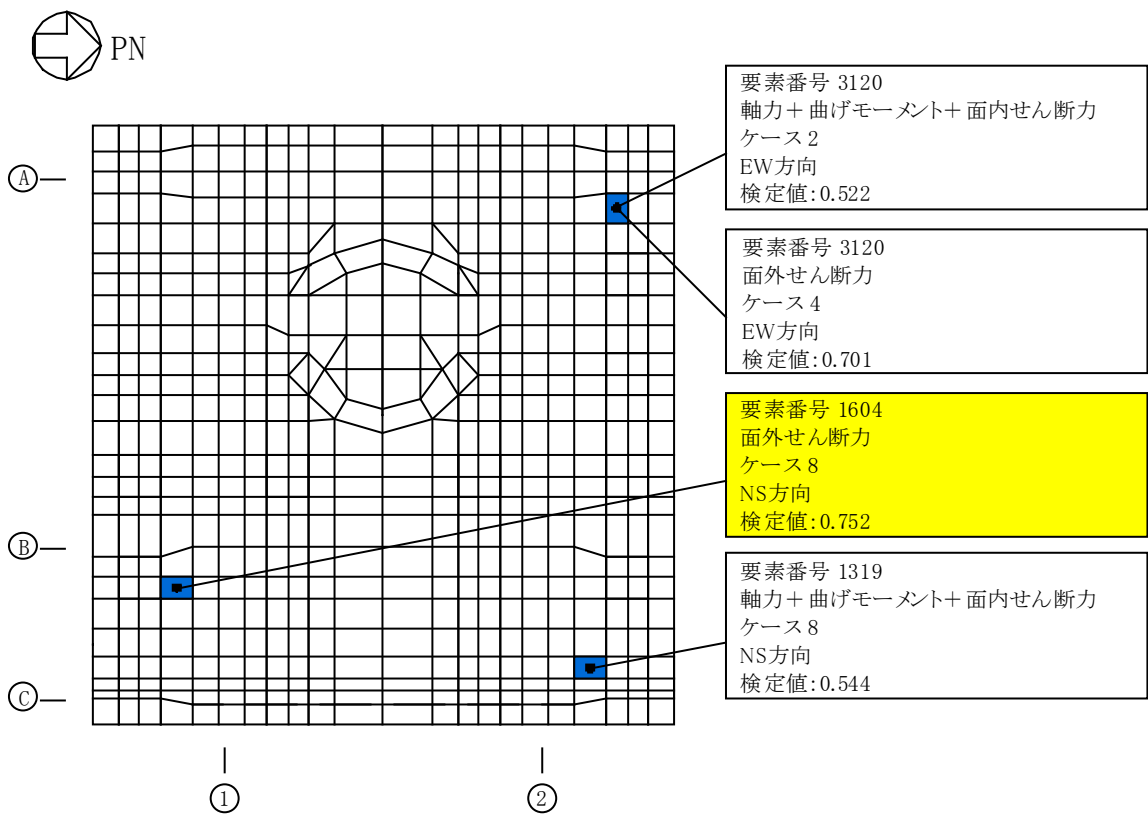
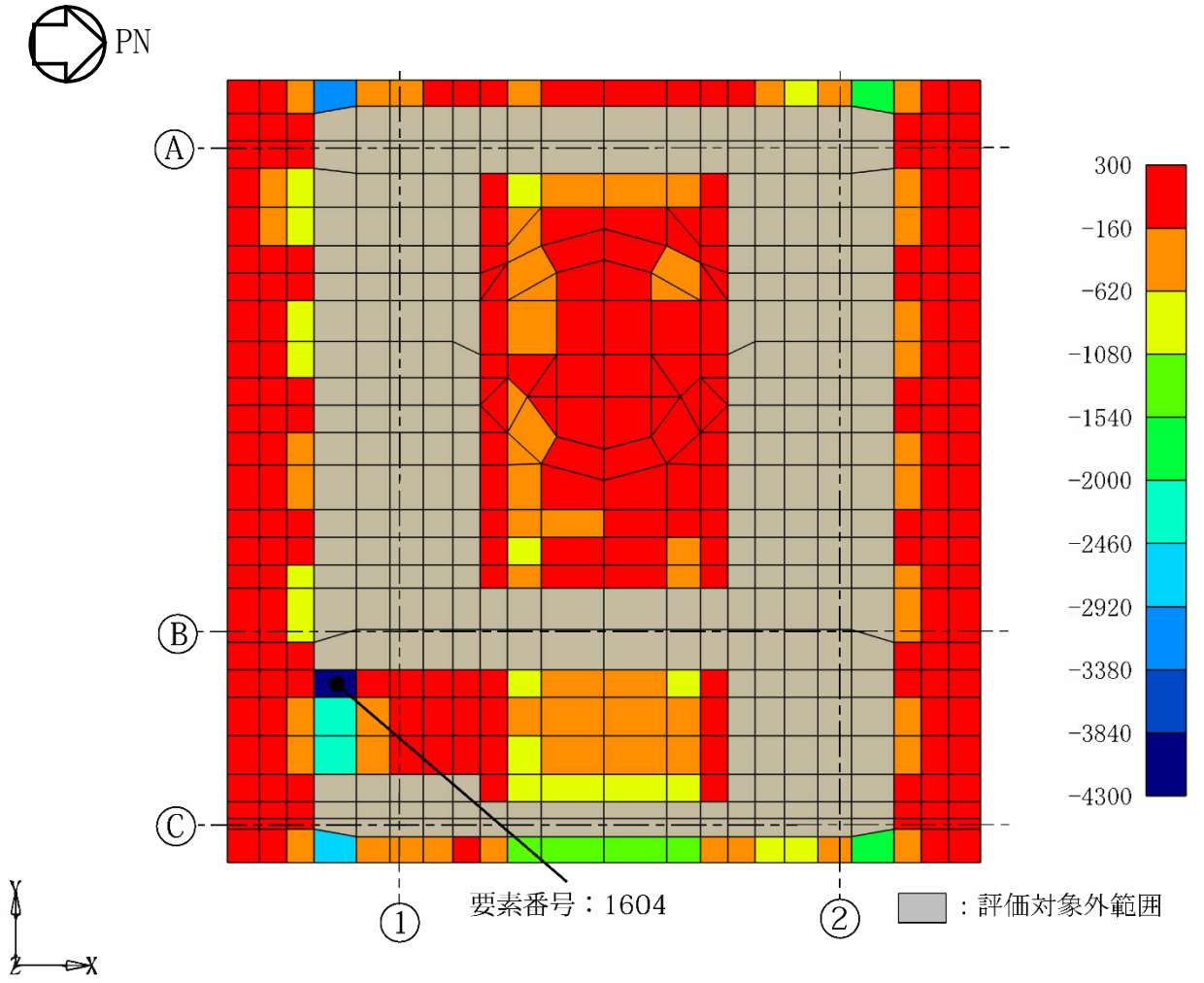


図 2-3 断面力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果



(単位: kN/m)

面外せん断力 (NS 方向, ケース 8)

図 2-4 断面算定部位の選定に関する荷重組合せケースの応力コンター図

別紙4 杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定

目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 杭の極限支持力の設定	別紙 4-1
2.1 地盤から決まる極限支持力	別紙 4-1
2.2 杭体から決まる極限支持力	別紙 4-4
2.3 杭の極限支持力	別紙 4-4
3. 杭の極限引抜き抵抗力の設定	別紙 4-5
3.1 地盤から決まる極限引抜き抵抗力	別紙 4-5
3.2 杭体から決まる極限引抜き抵抗力	別紙 4-7
3.3 杭の極限引抜き抵抗力	別紙 4-7

1. 概要

本資料は、V-2-2-14「格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性についての計算書」において用いる杭の極限支持力及び極限引抜き抵抗力の設定方法を示すものである。

2. 杭の極限支持力の設定

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）において、杭の極限支持力は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）に基づき，以下①及び②から設定する。

①地盤から決まる極限支持力

②杭体から決まる極限支持力

2.1 地盤から決まる極限支持力

地盤から決まる極限支持力の評価式を以下に，極限支持力の算定に用いる諸元と算定結果を表2-1に示す。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

ここで，

R_u ：地盤から決まる杭の極限支持力（kN）

q_d ：杭先端における単位面積あたりの極限鉛直支持力度（kN/m²）

A ：杭先端面積（m²）

U ：杭の周長（m）

L_i ：周面摩擦力を考慮する層の層厚（m）

f_i ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度であり，杭の施工方法及び地盤種別により，標準貫入試験の N 値及び地盤の粘着力を用いて定められる。装置基礎に用いる場所打ち鋼管コンクリート杭では，施工時に鋼管の外周面にグラウトを充填することから，地盤との摩擦面は場所打ち杭と同等である。このため， f_i は場所打ち杭工法の値を参考に，砂質土の場合は $5N$ （ ≤ 200 ）（kN/m²），粘性土の場合は c 又は $10N$ （ ≤ 150 ）（kN/m²）とする（ N は標準貫入試験の N 値， c は地盤の粘着力）。ここで， N 値は装置基礎直下地盤の地盤調査結果に基づき，各層の平均 N 値とする。場所打ち鋼管コンクリート杭の施工手順を図2-1に示す。

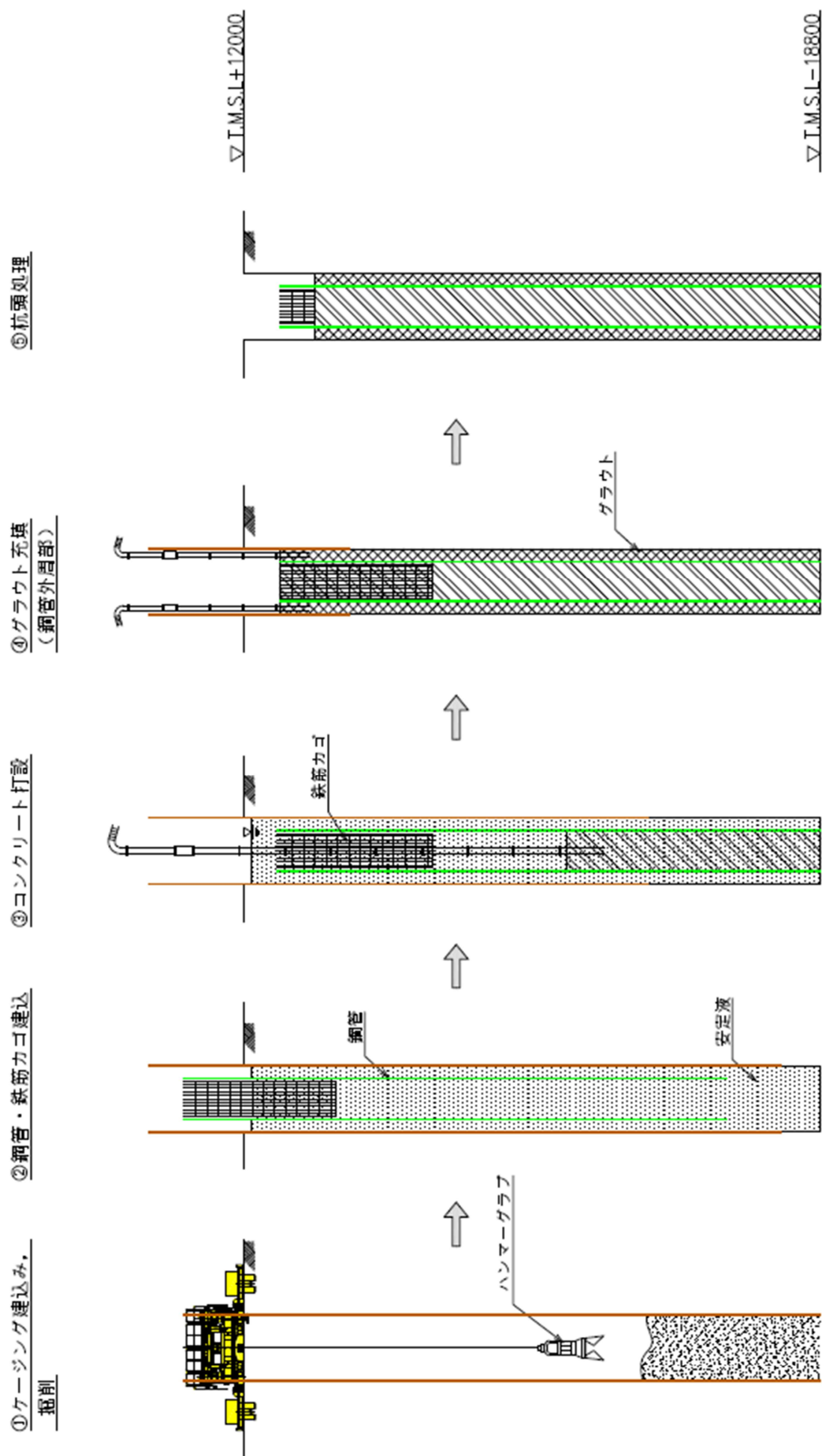


図2-1 場所打ち鋼管コンクリート杭の施工手順

表 2-1 地盤から決まる極限支持力の算定に用いる諸元と算定結果

項目		算定結果
地盤から決まる極限支持力 R_u (kN)		24360
杭先端における単位面積あたりの極限鉛直支持力度 q_d (kN/m ²)		6178
杭先端面積 A (m ²)		1.131
杭の周長 U (m)		3.770
周面摩擦力を考慮する層の 最大周面摩擦力度 f_i (kN/m ²)	新期砂層(1) (T. M. S. L. 9.5m ~ T. M. S. L. 7.3m)	95
	新期砂層(2) (T. M. S. L. 7.3m ~ T. M. S. L. -3.5m)	195
	古安田層 (T. M. S. L. -3.5m ~ T. M. S. L. -10.6m)	150
	西山層 (T. M. S. L. -10.6m ~ T. M. S. L. -18.8m)	150

2.2 杭体から決まる極限支持力

杭体から決まる極限支持力の評価式を以下に、極限支持力の算定に用いる諸元と算定結果を表 2-2 に示す。

$$R_{PU} = 0.85\sigma_{ck}A_c + \sigma_y A_s$$

ここで、

R_{PU} : 杭体から決まる極限支持力 (kN)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (kN/m²)

A_c : コンクリートの断面積 (m²)

σ_y : 鋼材の降伏点 (kN/m²)

A_s : 鋼材の断面積 (m²)

表 2-2 杭体から決まる極限支持力の算定に用いる諸元と算定結果

項目	算定結果
杭体から決まる極限支持力 R_{PU} (kN)	49960
コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} (kN/m ²)	24000
コンクリートの断面積 A_c (m ²)	1.039
鋼材の降伏点 σ_y (kN/m ²)	325000
鋼材の断面積 A_s (m ²) *	0.08852

注記* : 鋼管の腐食代 1mm を考慮した値

2.3 杭の極限支持力

杭の極限支持力を表 2-3 に示す。

表 2-3 杭の極限支持力

(単位 : $\times 10^3$ kN)

地盤から決まる極限支持力	杭体から決まる極限支持力	杭の極限支持力
24.4	50.0	24.0

3. 杭の極限引抜き抵抗力の設定

装置基礎において、杭の極限引抜き抵抗力は「道路橋示方書」に基づき、以下①及び②から設定する。

①地盤から決まる極限引抜き抵抗力

②杭体から決まる極限引抜き抵抗力

3.1 地盤から決まる極限引抜き抵抗力

地盤から決まる極限引抜き抵抗力の評価式を以下に、極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果を表 3-1 に示す。

$$P_u = P_U + W$$

$$P_U = U \sum L_i f_i$$

ここで、

P_u : 杭の有効重量を考慮した地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)

W : 杭の有効重量 (kN)

P_U : 地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力 (kN)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度であり、杭の施工方法及び地盤種別により、標準貫入試験の N 値及び地盤の粘着力を用いて定められる。装置基礎に用いる場所打ち鋼管コンクリート杭では、施工時に鋼管の外周面にグラウトを充填することから、地盤との摩擦面は場所打ち杭と同等である。このため、 f_i は場所打ち杭工法の値を参考に、砂質土の場合は $5N$ (≤ 200) (kN/m²)、粘性土の場合は c 又は $10N$ (≤ 150) (kN/m²) とする (N は標準貫入試験の N 値、 c は地盤の粘着力)。ここで、 N 値は装置基礎直下地盤の地盤調査結果に基づき、各層の平均 N 値とする。場所打ち鋼管コンクリート杭の施工手順については図 2-1 に示した通りである。

表 3-1 地盤から決まる極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果

項目		算定結果
杭の有効重量を考慮した地盤から決まる極限引抜き抵抗力 P_u (kN)		17830
地盤から決まる極限引抜き抵抗力 P_u (kN)		17380
杭の有効重量 W (kN)		454
杭の周長 U (m)		3.770
周面摩擦力を考慮する層の 最大周面摩擦力度 f_i (kN/m ²)	新期砂層(1) (T. M. S. L. 9.5m ~ T. M. S. L. 7.3m)	95
	新期砂層(2) (T. M. S. L. 7.3m ~ T. M. S. L. -3.5m)	195
	古安田層 (T. M. S. L. -3.5m ~ T. M. S. L. -10.6m)	150
	西山層 (T. M. S. L. -10.6m ~ T. M. S. L. -18.8m)	150

3.2 杭体から決まる極限引抜き抵抗力

杭体から決まる極限引抜き抵抗力の評価式を以下に、極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果を表 3-2 に示す。

$$P_{PU} = \sigma_y A_s$$

ここで、

P_{PU} : 杭体から決まる極限引抜き抵抗力 (kN)

σ_y : 鋼材の降伏点 (kN/m²)

A_s : 鋼材の断面積 (m²)

表 3-2 杭体から決まる極限引抜き抵抗力の算定に用いる諸元と算定結果

項目	算定結果
杭体から決まる極限引抜き抵抗力 R_{PU} (kN)	28760
鋼材の降伏点 σ_y (kN/m ²)	325000
鋼材の断面積 A_s (m ²) *	0.08852

注記* : 鋼管の腐食代 1mm を考慮した値

3.3 杭の極限引抜き抵抗力

杭の極限引抜き抵抗力を表 3-3 に示す。

表 3-3 杭の極限引抜き抵抗力

(単位 : $\times 10^3$ kN)

地盤から決まる 極限引抜き抵抗力	杭体から決まる 極限引抜き抵抗力	杭の極限引抜き抵抗力
17.8	28.8	17.0

別紙5 杭頭接合部の検討

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 杭の鉛直力に対する検討	別紙 5-2
2.1 鉛直押抜きせん断の検討	別紙 5-2
2.2 鉛直支圧の検討	別紙 5-4
3. 杭の引抜きに対する検討	別紙 5-5
4. 杭の水平力に対する検討	別紙 5-7
4.1 水平押抜きせん断の検討	別紙 5-7
4.2 水平支圧の検討	別紙 5-9
4.3 曲げモーメントの検討	別紙 5-10

1. 概要

柏崎刈羽原子力発電所の格納容器圧力逃がし装置基礎は、24本の場所打ち鋼管コンクリート杭で支持されている。杭頭部は、杭を基礎スラブに杭径分（1200mm）の長さを埋め込むことで基礎スラブへの定着を行っている。本資料は、地震応答解析で得られた杭頭軸力、杭頭せん断力及び杭頭曲げモーメントに対する定着部の検討結果を説明するものである。

杭頭接合部の検討は「建築基礎構造設計指針」（（社）日本建築学会，2001改定）及び「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（（社）日本建築学会，1999改定）に基づき実施する。

2. 杭の鉛直力に対する検討

2.1 鉛直押抜きせん断の検討

基礎スラブの鉛直押抜きせん断応力度 τ の検討は下式により行う。考慮する破壊面は、鉛直押抜き力が一番大きく、せん断抵抗の小さい基礎スラブ隅角部とする。概略図を図2-1に、検討結果を表2-1に示す。

$$\tau = P / \{ \pi (D + h) h \cdot (\theta / 360) \} \leq \tau_u$$

ここで、

P : 杭の鉛直押抜き力 (N)

D : 杭径 (mm)

h : 杭頭から基礎スラブ上面までの距離 (mm)

θ : せん断抵抗として考慮できる角度 ($^{\circ}$)

τ_u : せん断強度 (N/mm^2)

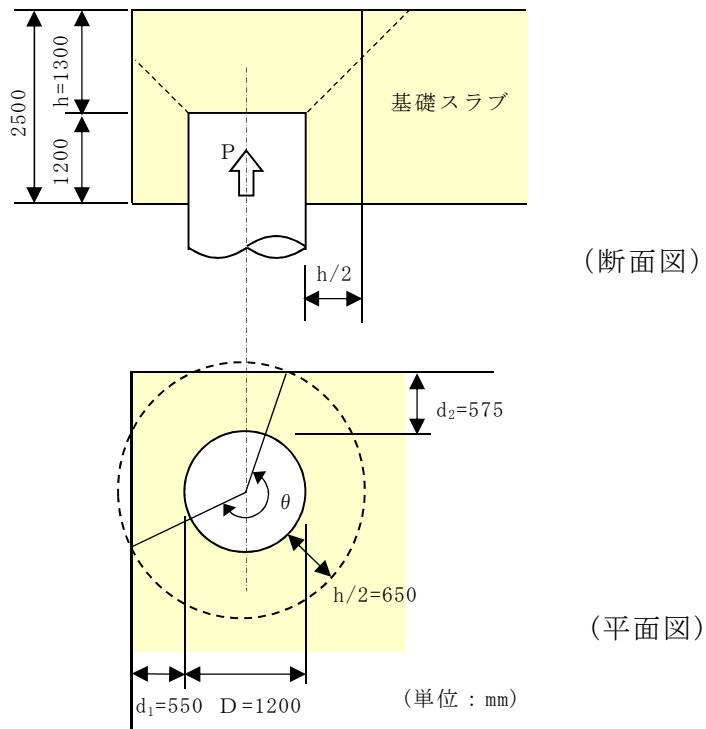
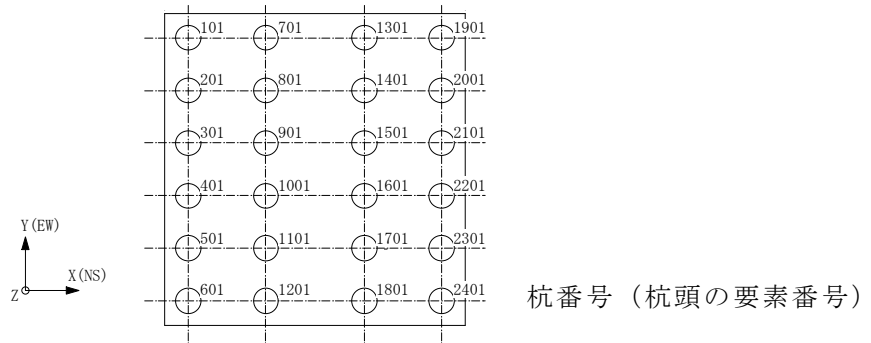


図2-1 杭の押抜きせん断の概要

表 2-1 鉛直押抜きせん断応力度に対する検討

杭番号	鉛直 押抜き力 P ($\times 10^3\text{N}$)	杭径 D (mm)	h (mm)	θ ($^\circ$)	せん断応力度 τ (N/mm^2)	せん断強度 τ_u^* (N/mm^2)	τ / τ_u
2401	10400	1200	1300	227	1.62	2.19	0.740

注記*：平成 12 年建設省告示第 1450 号に基づく。



2.2 鉛直支圧の検討

杭頭における基礎スラブの鉛直支圧応力度 σ_n の検討は下式により行う。考慮する支圧面は、図2-1と同様に鉛直押抜き力が一番大きくなる基礎スラブ隅角部を対象とする。検討結果を表2-2に示す。

$$\sigma_n = P / (\pi D^2 / 4) \leq \sigma_u$$

ここで、

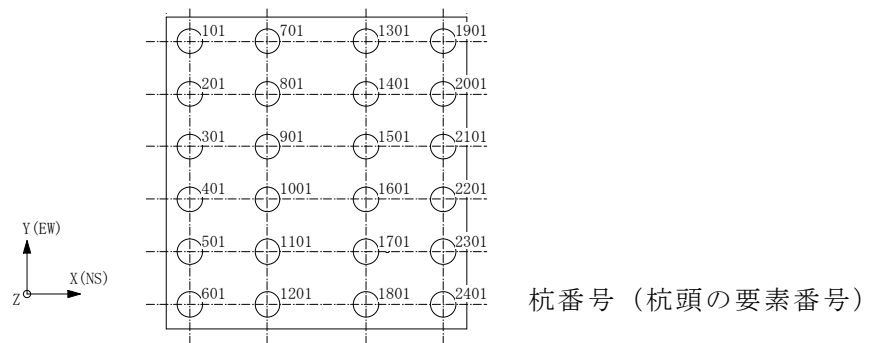
P : 鉛直支圧力 (N) (杭の鉛直押抜き力と同じ値)

D : 杭径 (mm)

σ_u : 支圧強度 (N/mm²)

表 2-2 鉛直支圧応力度に対する検討

杭番号	鉛直支圧力 P ($\times 10^3$ N)	杭径 D (mm)	支圧応力度 σ_n (N/mm ²)	支圧強度 σ_u (N/mm ²)	σ_n / σ_u
2401	10400	1200	9.20	24.0	0.384



3. 杭の引抜きに対する検討

基礎スラブの引抜きせん断応力度 τ の検討は下式により行う。考慮する破壊面は、引抜き力が一番大きい基礎スラブ隅角部とする。概略図を図3-1に、検討結果を表3-1に示す。

$$\tau = P_u / \{ \pi (D + h') h' \} \leq \tau_u$$

ここで、

P_u : 杭の引抜き力 (N)

D : 杭径 (mm)

h' : リングプレート中段下端から基礎スラブ底面までの距離 (mm)

τ_u : せん断強度 (N/mm²)

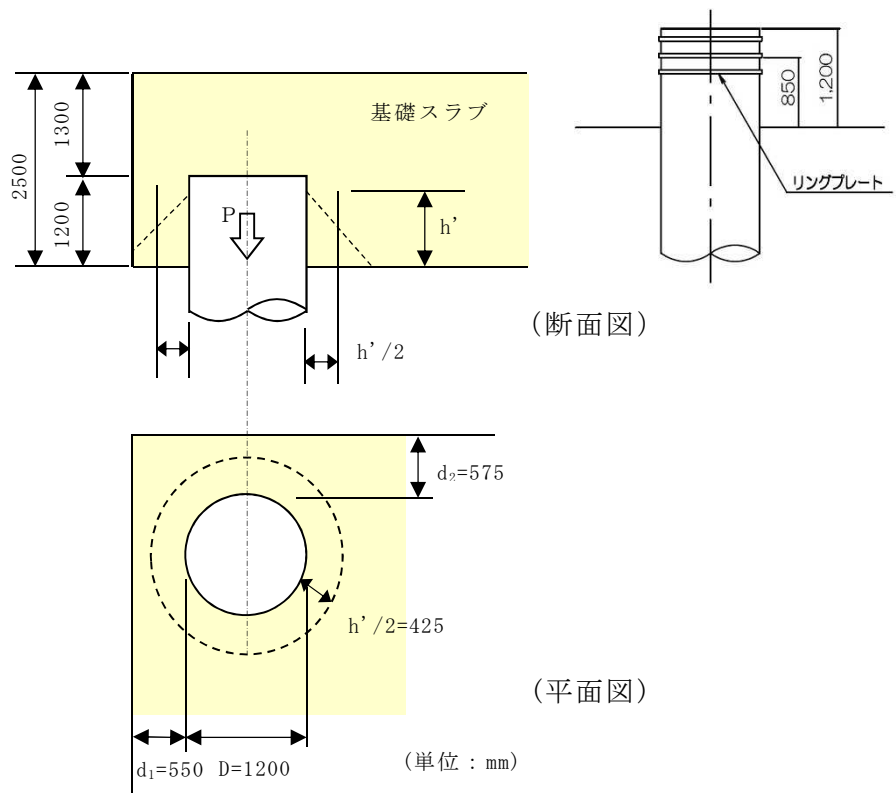
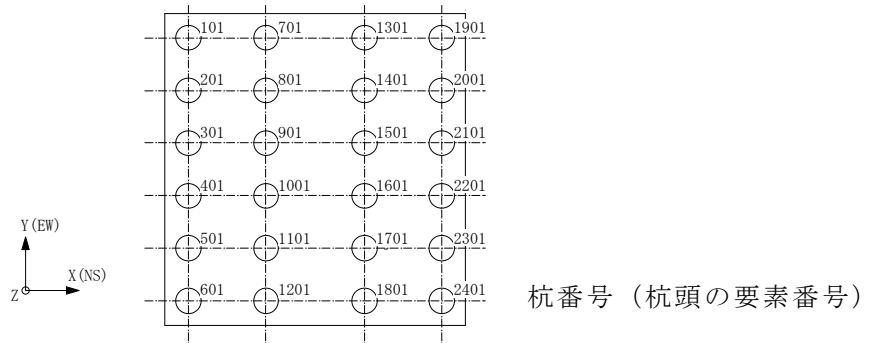


図3-1 杭の引抜きせん断の概要

表 3-1 引抜きせん断応力度に対する検討

杭番号	杭の 引抜き力 P_u ($\times 10^3\text{N}$)	杭径 D (mm)	h' (mm)	せん断応力度 τ (N/mm^2)	せん断強度 τ_u^* (N/mm^2)	τ / τ_u
601	9910	1200	850	1.81	2.19	0.827

注記*：平成12年建設省告示第1450号に基づく。



4. 杭の水平力に対する検討

4.1 水平押抜きせん断の検討

基礎スラブの水平押抜きせん断応力度 τ_h の検討は下式により行う。考慮する破壊面は、水平押抜き力が一番大きくなる基礎スラブ隅角部を対象とする。概略図を図4-1に、検討結果を表4-1に示す。

$$\tau_h = Q / \{d_1(2 \cdot L + D + 2 \cdot d_1)\} \leq \tau_u$$

ここで、

Q : 水平押抜き力 (N)

D : 杭径 (mm)

L : 杭の基礎スラブへの定着長 (mm)

d_1 : 杭縁から基礎スラブ縁までの最小距離 (mm)

τ_u : せん断強度 (N/mm²)

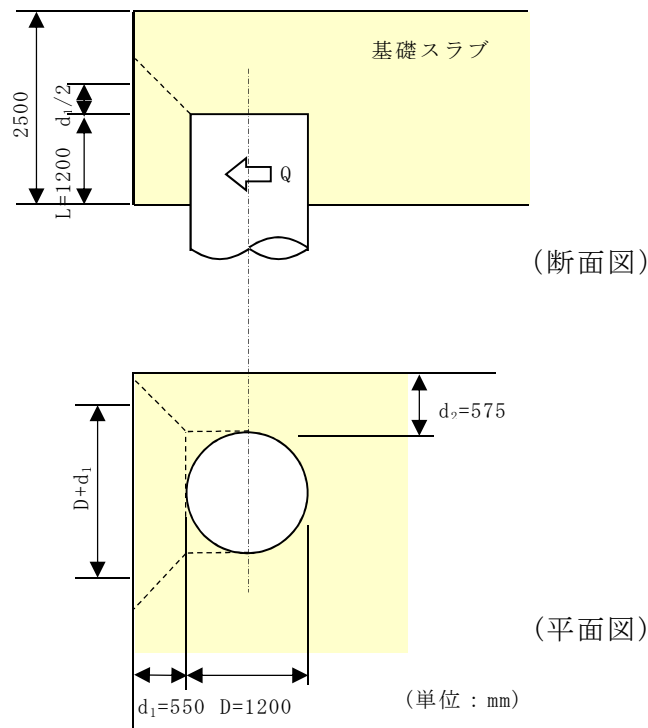
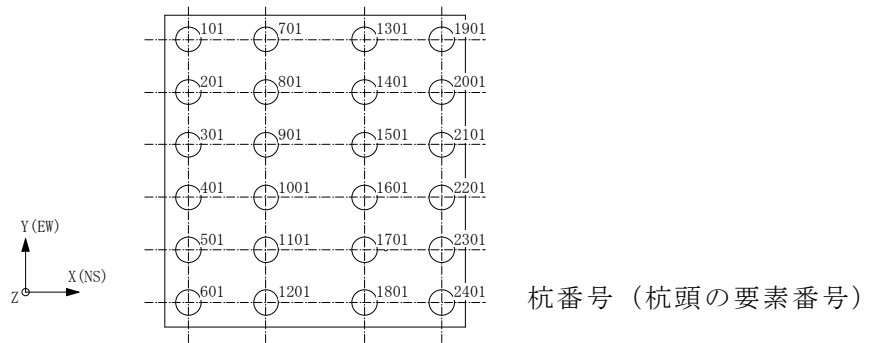


図4-1 杭の水平押抜きせん断の概要

表 4-1 水平押抜きせん断応力度に対する検討

杭番号	水平押抜き力 Q ($\times 10^3\text{N}$)	d_1 (mm)	杭径 D (mm)	杭定着長 L (mm)	せん断応力度 τ_h (N/mm^2)	せん断強度 τ_u^* (N/mm^2)	τ_h / τ_u
1901	5070	550	1200	1200	1.96	2.19	0.895

注記*：平成12年建設省告示第1450号に基づく。



4.2 水平支圧の検討

杭頭における基礎スラブの水平支圧応力度 σ_n の検討は下式により行う。考慮する支圧面は、図2-1と同様に水平押抜き力が一番大きくなる基礎スラブ隅角部を対象とする。検討結果を表4-2に示す。

$$\sigma_n = Q / (D \cdot L) \leq \sigma_u$$

ここで、

Q : 水平支圧力 (N) (水平押抜き力と同じ値)

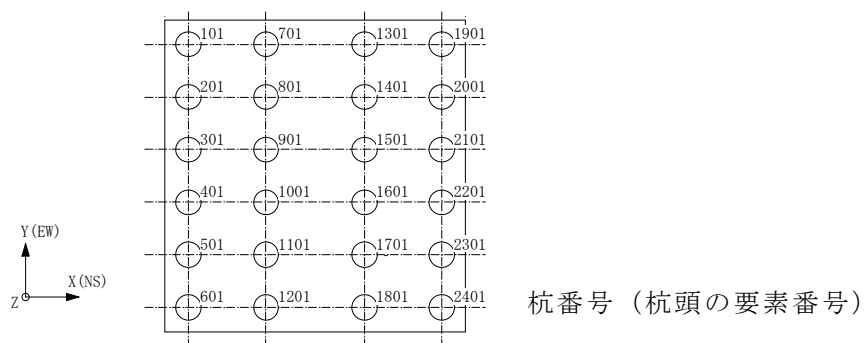
D : 杭径 (mm)

L : 杭の基礎スラブへの定着長 (mm)

σ_u : 支圧強度 (N/mm²)

表 4-2 水平支圧応力度に対する検討

杭番号	水平支圧力 Q ($\times 10^3$ N)	杭径 D (mm)	杭定着長 L (mm)	支圧応力度 σ_n (N/mm ²)	支圧強度 σ_u (N/mm ²)	σ_n / σ_u
1901	5070	1200	1200	3.52	24.0	0.147



4.3 曲げモーメントの検討

基礎スラブの曲げモーメントMの検討は下式により行う。杭頭の曲げモーメントが一番大きくなる基礎スラブ隅角部を対象に、図4-2に示す方法で曲げモーメントを検討する。検討結果を表4-3に示す。

$$M \leq M_p = {}_sM_p + {}_tM_p$$

$${}_sM_p = \sigma_u (D \cdot L^2 / 4) + \tau_u (\pi \cdot D \cdot L / 4) \cdot d'$$

$${}_tM_p = \sin^3 \theta \cdot (D^3 \cdot \sigma_u) / 12$$

ここで、

M_p : 杭全体の終局抵抗モーメント (N・mm)

${}_sM_p$: 杭側面におけるコンクリートの終局抵抗モーメント (N・mm)

${}_tM_p$: 杭上面におけるコンクリートの終局抵抗モーメント (N・mm)

D : 杭径 (mm)

L : 杭の基礎スラブへの定着長 (mm)

θ : MとNから決まる圧縮コンクリートの範囲を示す回転角 (°)

σ_u : 支圧強度 (N/mm²)

τ_u : せん断強度 (N/mm²)

d' : 円弧重心距離で、 $4D / (3\pi)$ (mm)

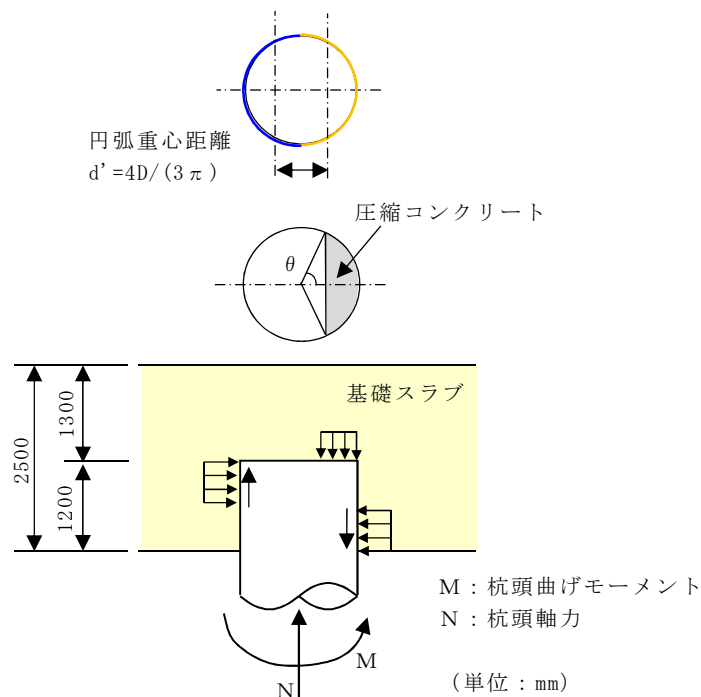
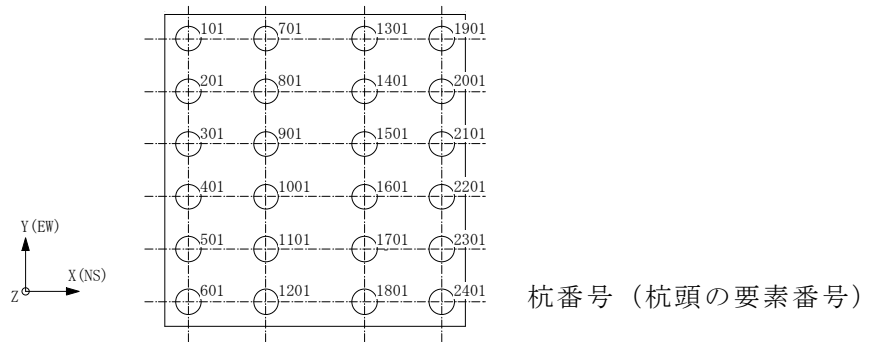


図 4-2 曲げモーメントの概要

表 4-3 曲げモーメントに対する検討

杭番号	杭頭軸力 N ($\times 10^3\text{N}$)	杭頭曲げ モーメント M ($\times 10^6\text{N}\cdot\text{mm}$)	回転角 θ ($^\circ$)	側面抵抗 モーメント ${}_sM_p$ ($\times 10^6\text{N}\cdot\text{mm}$)	上面抵抗 モーメント ${}_tM_p$ ($\times 10^6\text{N}\cdot\text{mm}$)	終局抵抗 モーメント M_p ($\times 10^6\text{N}\cdot\text{mm}$)	検定比 M/M_p
1901	6660	13100	65.7	11600	2620	14220	0.922



別紙6 応力解析における地下水位設定の影響について

目 次

1. 概要	別紙 6-1
2. 検討方法	別紙 6-2
3. 検討結果	別紙 6-3

1. 概要

格納容器圧力逃がし装置基礎（以下「装置基礎」という。）の耐震評価における地下水位は、地震応答解析における保守的な設定として地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定している。また、基礎スラブの応力解析においても同様に、地下水位を地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定し、基礎スラブ底面に地下水による浮力を考慮している。一方、装置基礎近傍の地下水位の実測値は、年間平均で T.M.S.L. 8.56m*で、基礎スラブの厚さが 2.5m であるため、年間平均の実測値に基づく地下水位を考慮した場合、基礎スラブ底面に浮力は作用しない。

そこで本資料では、応力解析における設計条件としての地下水位設定（T.M.S.L. 12.0m）と、年間平均の実測値に基づく地下水位設定（T.M.S.L. 8.56m）に基づく浮力の違いが応力解析に与える影響について確認する。

注記*：V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」の補足説明資料「地盤の支持性能について」を参照。

2. 検討方法

装置基礎の基礎スラブの応力解析においては、浮力を基礎スラブの固定荷重として考慮しているため、本資料では基礎スラブの固定荷重から浮力を無視して検討する。なお、応力解析における地震荷重は、浮力の違いが応力解析に与える影響を確認する観点から、両ケースともに地下水位を地表面（T.M.S.L. 12.0m）に設定した地震応答解析から算定する。荷重の組合せを比較して表 2-1 に示す。

表 2-1 荷重の組合せ

	荷重の組合せ
浮力考慮ケース	$G + E + P_s + S_s$
浮力無視ケース	$G' + E + P_s + S_s$

- G : 固定荷重（浮力考慮）
- G' : 固定荷重（浮力無視）
- E : 機器荷重
- P_s : 積雪荷重
- S_s : 地震荷重

3. 検討結果

浮力の有無を考慮した解析結果の比較を表 3-1 に示す。

解析結果より、浮力無視ケースの検定値は、浮力考慮ケースの検定値を若干上回るものの、許容限界に対して十分余裕があることを確認した。

表 3-1 解析結果の比較

項目	方向	要素番号	荷重 ケース	検定値	
				浮力考慮 ケース	浮力無視 ケース
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	NS	1319	8	0.544	0.549
	EW	3120	2	0.522	0.522
面外せん断力	NS	1604	8	0.752	0.759
	EW	3120	4	0.701	0.706