

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-370-4 改6
提出年月日	平成30年10月2日

建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料

補足-370-4 【地震荷重の入力方法】

平成30年10月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 概要.....	1
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋（基礎スラブ）.....	2
3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋（杭）.....	7
4. 緊急時対策所建屋.....	9
5. 主排気筒.....	18
6. 非常用ガス処理系配管支持架構.....	26
7. 格納容器圧力逃がし装置格納槽.....	28
8. 使用済燃料プール.....	36
9. 原子炉格納施設の基礎.....	42

別紙 原子炉建屋基礎盤の応力解析における荷重の入力方法について

1. 概要

本資料は、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋、主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、格納容器圧力逃がし装置格納槽、使用済燃料プール、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤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。

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-2-2-5 使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-11 緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-15 主排気筒の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」
- ・添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」
- ・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」
- ・添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」

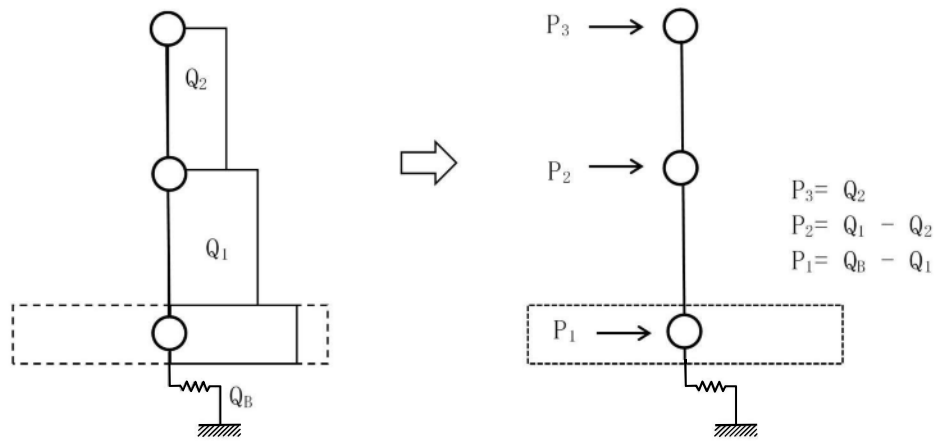
2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋（基礎スラブ）

使用済燃料乾式貯蔵建屋の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、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。また、上部構造物の基礎への地震時反力を考慮する。なお、FEMモデルについては、評価対象である基礎に加え、基礎に作用する上部構造物からの地震時反力を適切に評価するため、建屋全体をモデル化している。

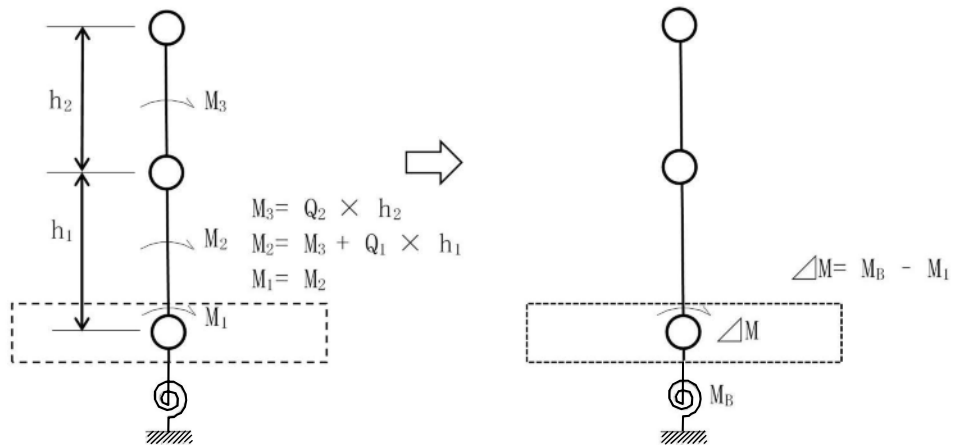
地震荷重の入力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を考慮し、FEMモデルの基礎底面ばね（地盤ばね反力+減衰力）並びに基礎質点位置でせん断力、曲げモーメント及び軸力が地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、最大応答せん断力及び最大応答軸力より算定した水平荷重及び鉛直荷重を、FEMモデルの上部構造物の各床レベルに対して、床の要素の面荷重または各節点の支配面積に応じて分配した節点荷重として入力する。このとき、水平荷重については、地震応答解析モデルの各節点に接続する上下部材に生じる最大応答せん断力及び最大応答水平地盤ばね反力（地盤ばね反力+減衰力）の差分として、鉛直荷重については、地震応答解析モデルの各節点に接続する上下部材に生じる最大応答軸力及び地盤の最大応答鉛直地盤ばね反力（地盤ばね反力+減衰力）の差分として設定する。最大応答地盤回転ばね反力（地盤ばね反力+減衰力）により設定した基礎スラブ位置の検討用曲げモーメントの不足分は、補正モーメントとして、基礎スラブのシェル要素全体に三角形分布となるよう偶力置換した面荷重として与える。地震荷重の設定方法を図2-1に示す。

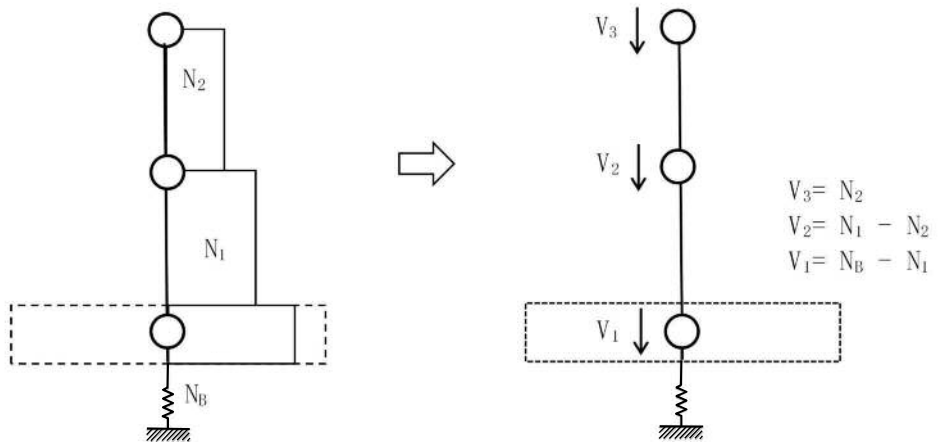
FEMモデルに作用させる水平力及び補正モーメントを図2-2及び図2-3に、FEMモデルに作用させる鉛直力を図2-4に示す。



(a) 最大応答せん断力 Q_n と水平荷重 P_n の関係

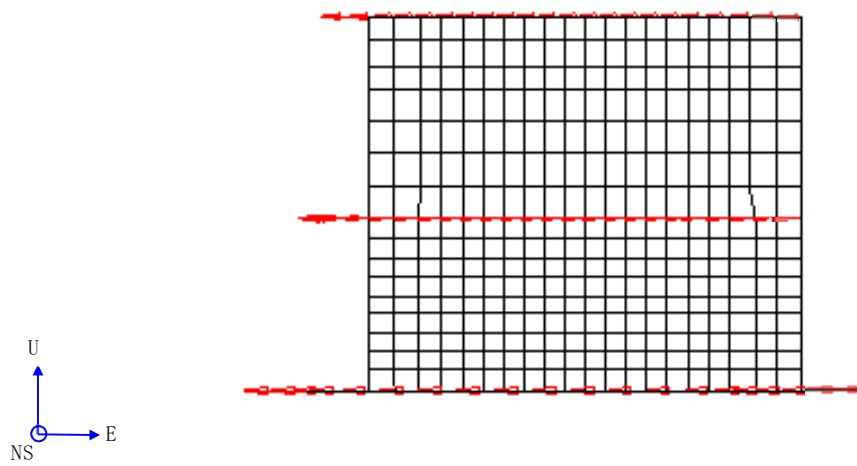


(b) 地盤の最大応答回転ばね反力 M_B と基礎スラブの補正モーメント ΔM の関係



(c) 最大応答軸力 N_n と鉛直荷重 V_n の関係

図 2-1 地震荷重の設定方法

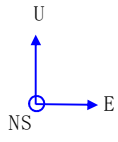


(a) 断面荷重図

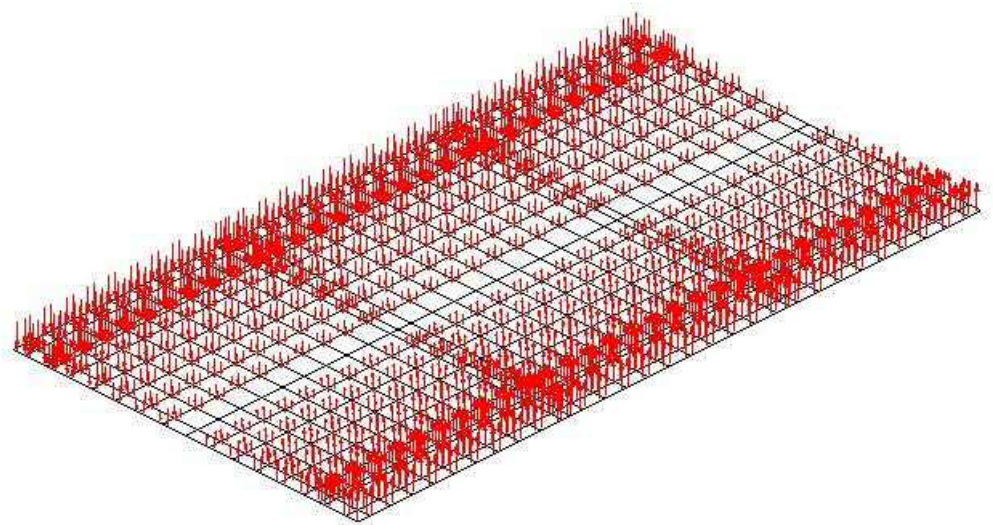
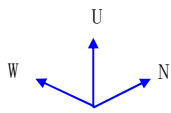


(b) 鳥瞰荷重図

図2-2 FEMモデルに作用させる水平力 (EW方向)

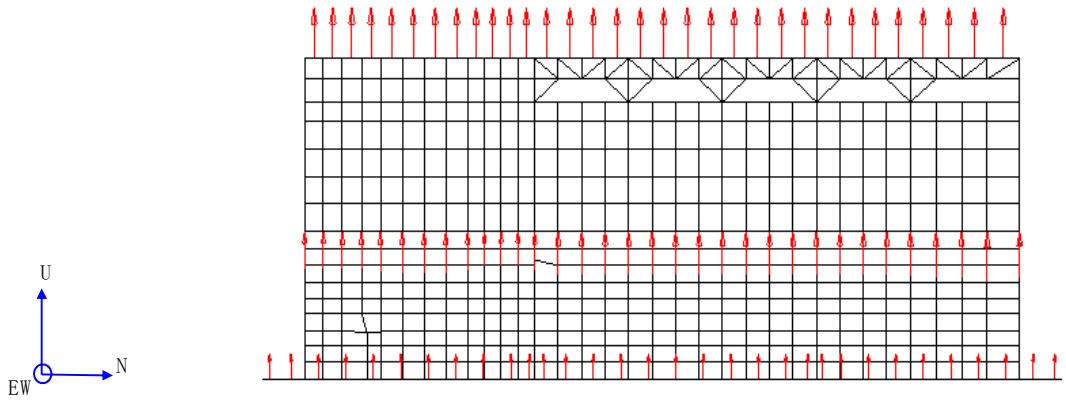


(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図2-3 FEMモデルに作用させる基礎スラブの補正モーメント (EW方向)



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図2-4 FEMモデルに作用させる鉛直力

3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋（杭）

使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭の応力解析にあたっては、梁と地盤ばねによるモデルに入力する地震荷重として、建屋慣性力と地盤変位による地盤変位を考慮する。

建屋慣性力は、基準地震動 S_s に対する水平方向の地震応答解析より得られる基礎底面の水平地盤ばね反力（地盤ばね反力+減衰力）を杭本数で除した杭1本当たりの荷重を、杭頭位置に入力する。

地盤変位は、基準地震動 S_s に対する水平方向の自由地盤応答解析より得られる杭先端位置に対する地盤の相対変位の最大値を強制変位として、水平地盤ばねの固定位置に入力する。

地震荷重の入力方法の概念図を図3-1に示す。

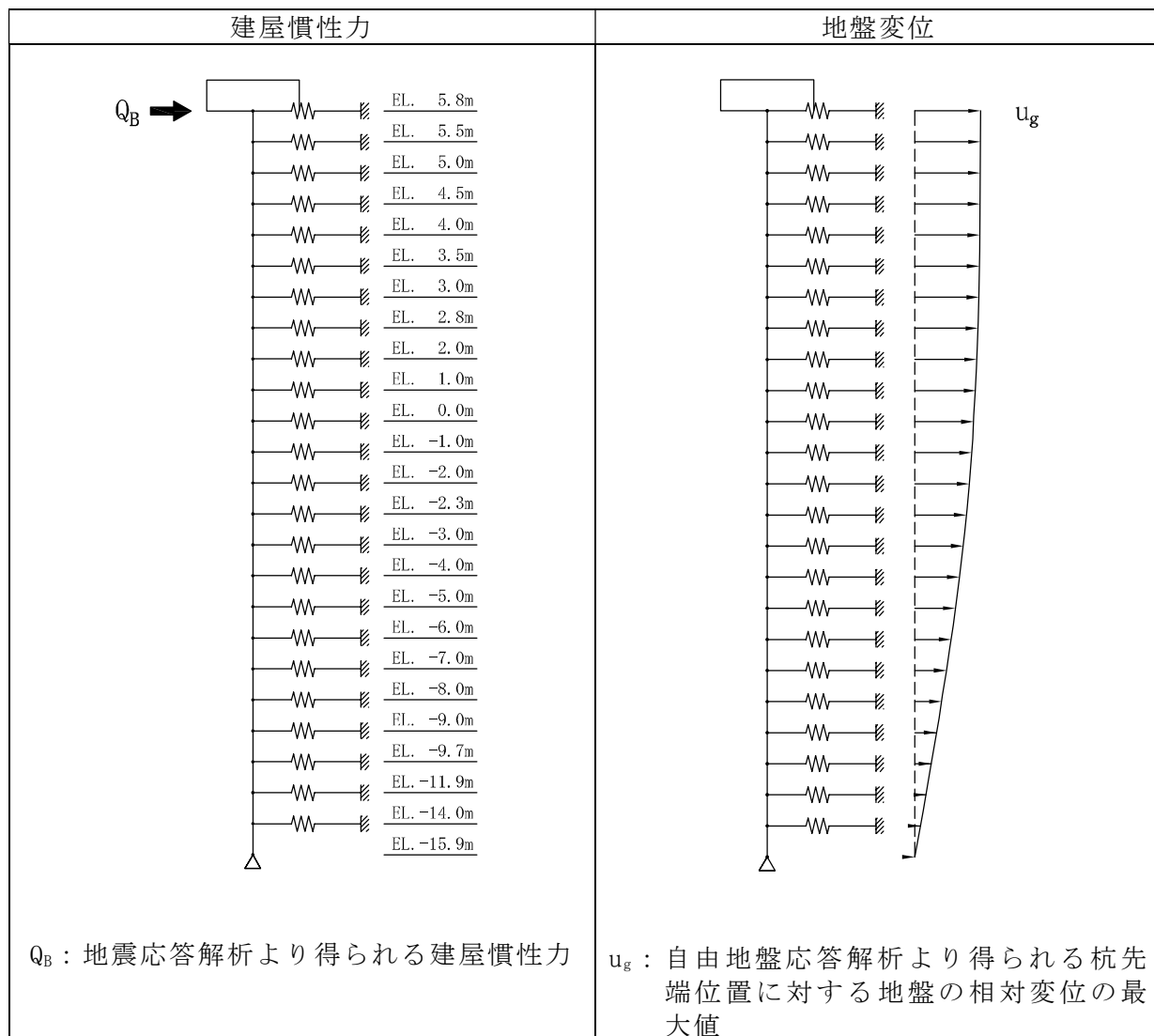


図3-1 杭の応力解析モデルに作用させる水平地震荷重（動的地震力）

4. 緊急時対策所建屋

4.1 緊急時対策所建屋（基礎スラブ）

緊急時対策所建屋の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、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。また、上部構造物の基礎への地震時反力を考慮する。

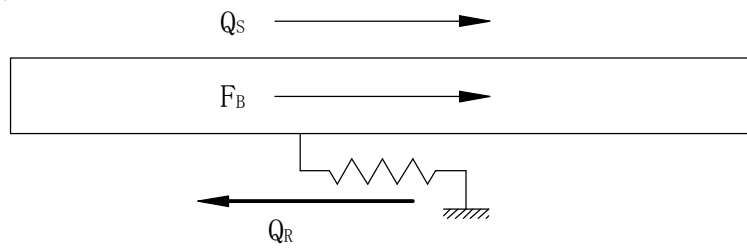
地震荷重の入力は、基準地震動 S_0 に対する地震応答解析結果を考慮し、FEMモデルの基礎底面ばね（地盤ばね反力+減衰力）並びに基礎質点位置でせん断力、曲げモーメント及び軸力が地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、水平荷重のうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、FEMモデルにおける各上部構造物脚部に対応する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。基礎については、地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねのせん断力から、上部構造物から作用する水平力を差し引いた値をFEMモデルの基礎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。

曲げモーメントのうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、偶力に置換して水平荷重の入力位置と同じ箇所に節点荷重として入力する。基礎については、地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねの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をFEMモデルの基礎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。

鉛直荷重のうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、FEMモデルにおける各上部構造物脚部に対応する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。基礎については、地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねの軸力から、上部構造物から作用する鉛直力を差し引いた値をFEMモデルの基礎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。

地震荷重の入力方法の概念図を図4-1～図4-3に示す。またFEMモデルへの入力荷重の例を図4-4～図4-6に示す。



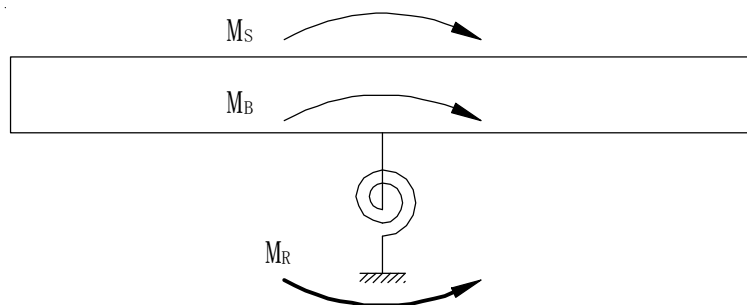
Q_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用するせん断力

F_B : 基礎に作用する水平荷重

Q_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じるせん断力

$$F_B = Q_R - Q_S$$

図 4-1 FEMモデルに作用させる水平荷重



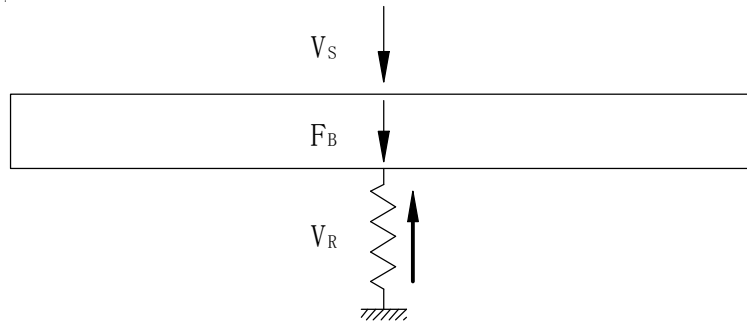
M_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用する曲げモーメント

M_B : 基礎に作用する曲げモーメント

M_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じる曲げモーメント

$$M_B = M_R - M_S$$

図 4-2 FEMモデルに作用させる曲げモーメント



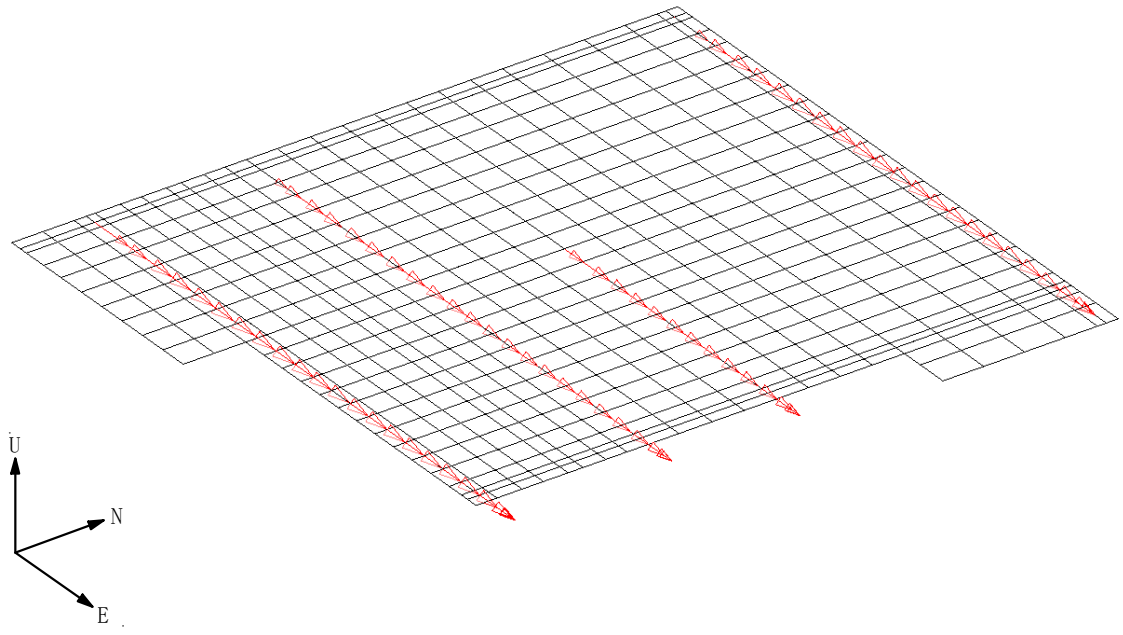
V_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用する軸力

F_B : 基礎に作用する鉛直荷重

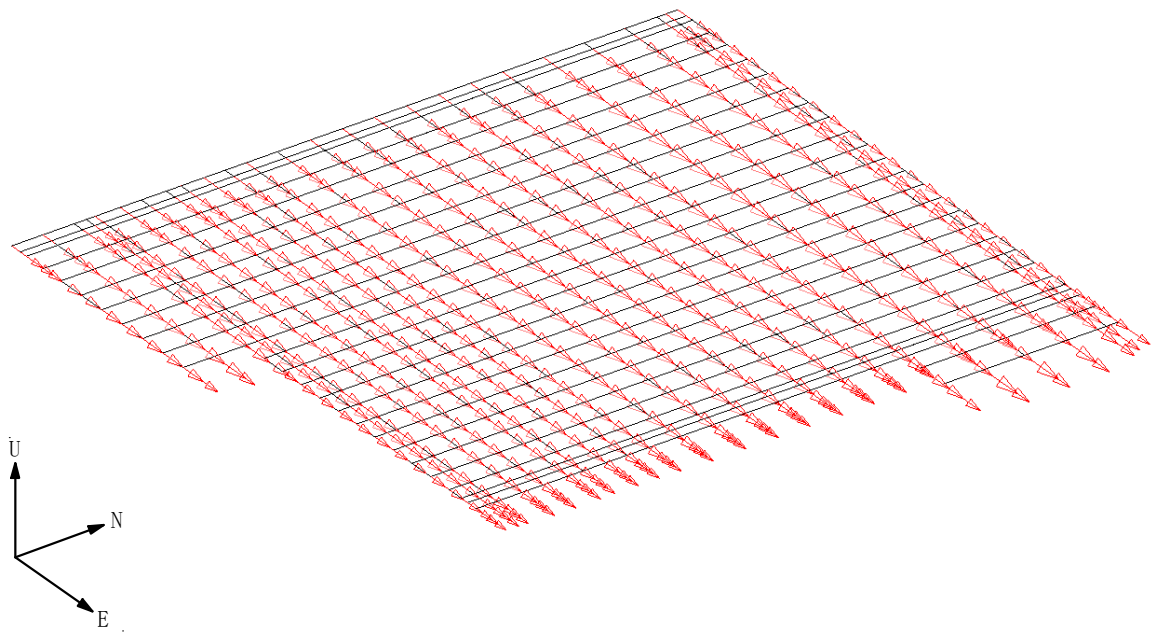
V_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じる軸力

$$F_B = V_R - V_S$$

図 4-3 FEMモデルに作用させる鉛直荷重

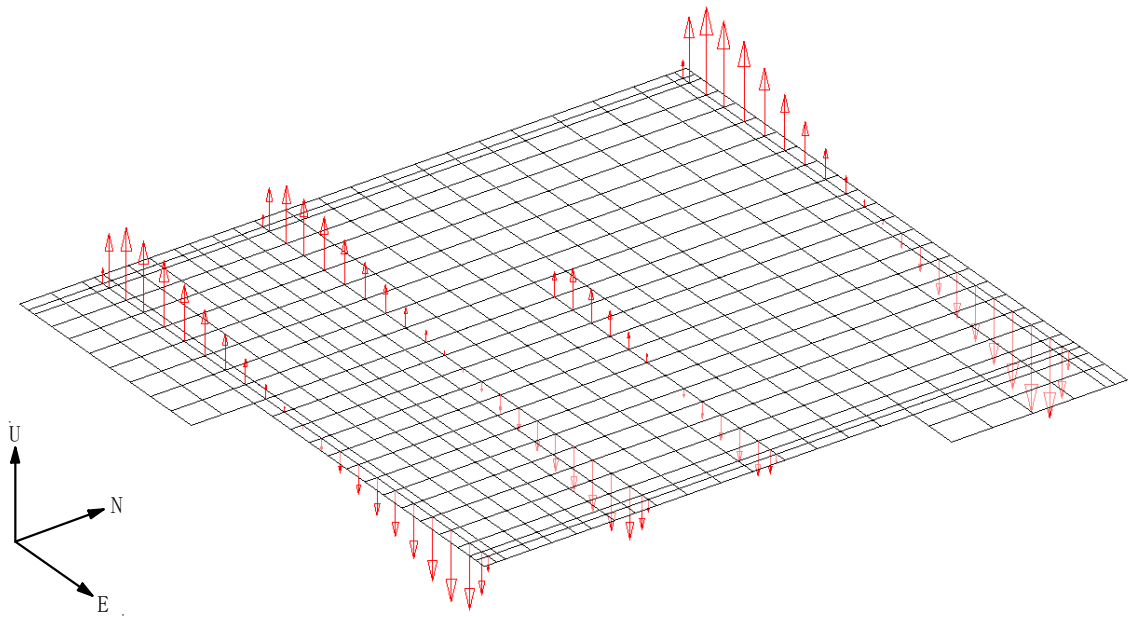


(a) 上部構造物の地震力

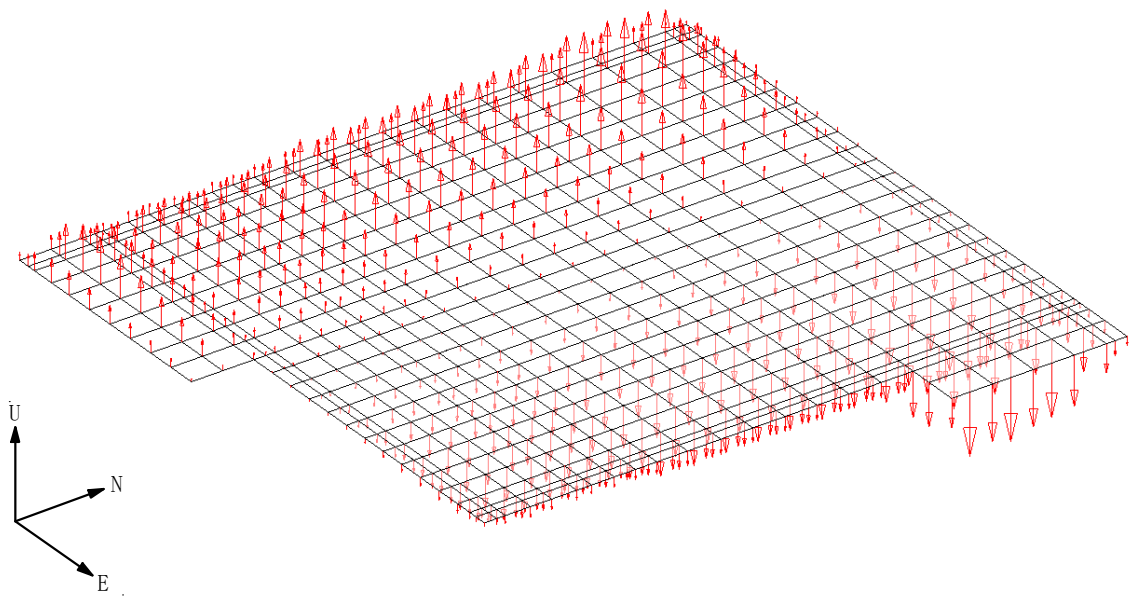


(b) 基礎スラブの地震力

図 4-4 FEMモデルに作用させる水平力 (EW 方向)

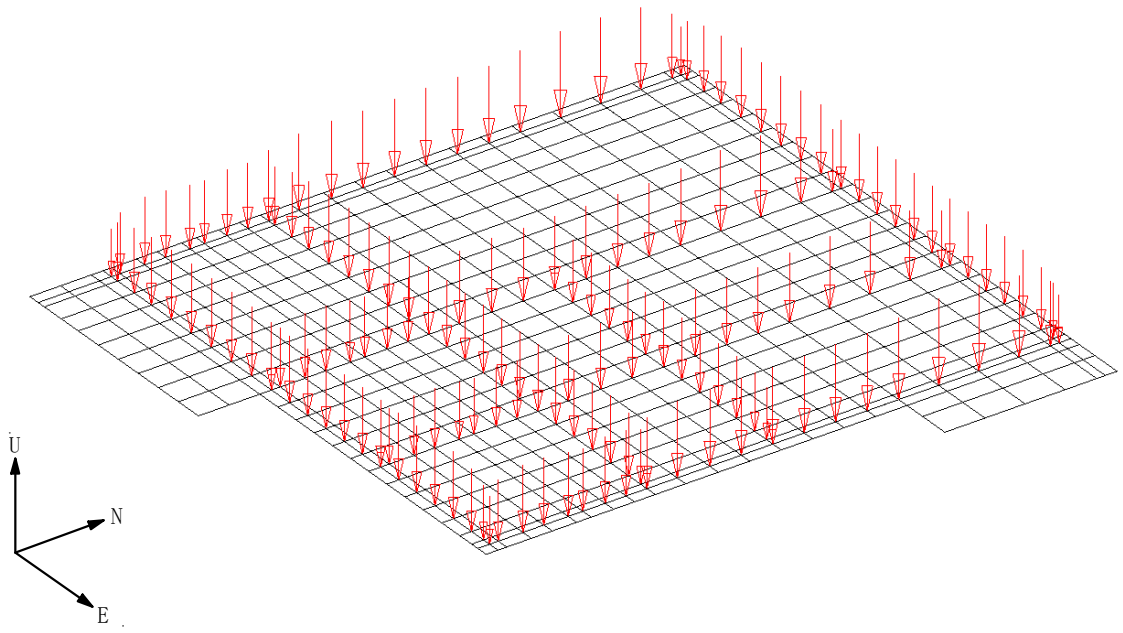


(a) 上部構造物の地震力

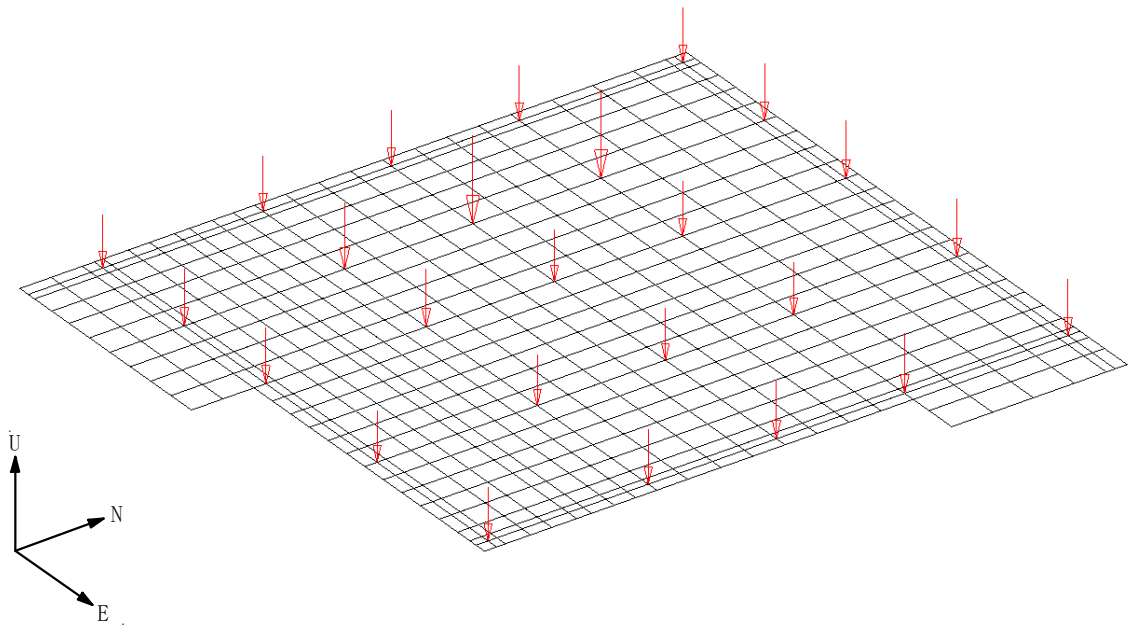


(b) 基礎スラブの地震力

図 4-5 FEMモデルに作用させる曲げモーメント (EW 方向)

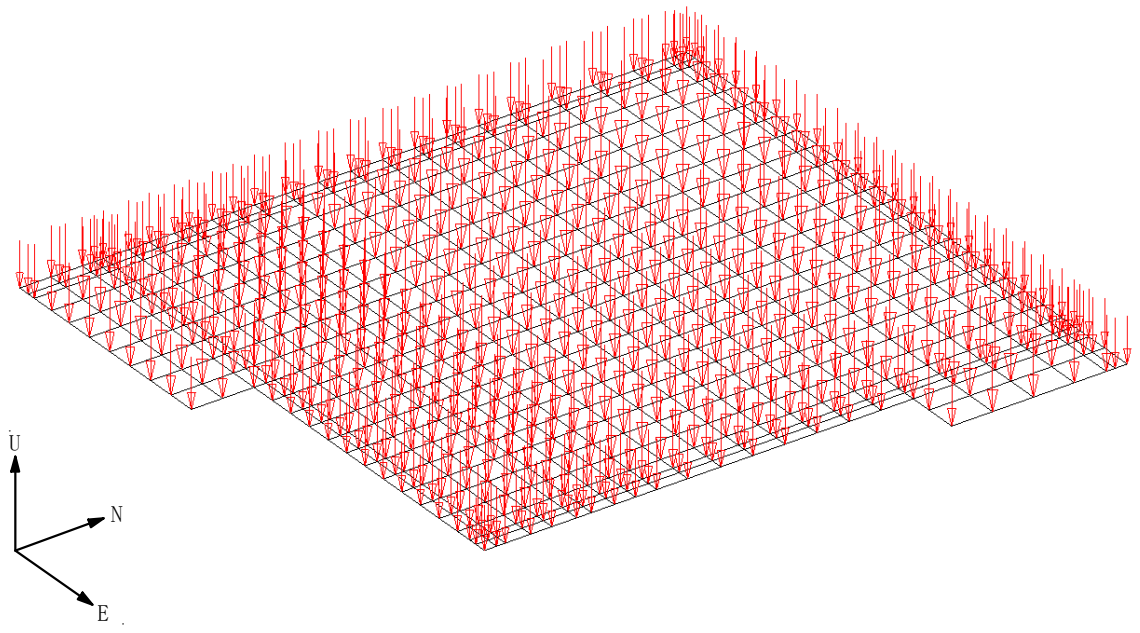


(a) 上部構造物の地震力（耐震壁）



(b) 上部構造物の地震力（柱）

図 4-6 (1/2) FEMモデルに作用させる鉛直力



(c) 基礎スラブの地震力

図 4-6 (2/2) FEMモデルに作用させる鉛直力

4.2 緊急時対策所建屋（杭）

緊急時対策所建屋の杭の応力解析にあたっては，弾性支承ばりモデルに入力する地震荷重として，建屋慣性力と地盤震動による地盤変位を考慮する。

建屋慣性力は，基準地震動 S_s に対する水平方向の地震応答解析より求まる基礎底面の水平地盤ばね反力（地盤ばね反力+減衰力）を杭本数で除した杭 1 本当たりの水平力を，杭頭位置に入力する。

地盤震動による地盤変位は，基準地震動 S_s に対する水平方向の自由地盤応答解析より求まる地盤変位を用いることとし，地盤変位としては，杭先端位置に対する地盤の相対変位の最大値を水平地盤ばねの固定位置に強制変位として入力する。

地震荷重の入力方法の概念図を図 4-7 に示す。

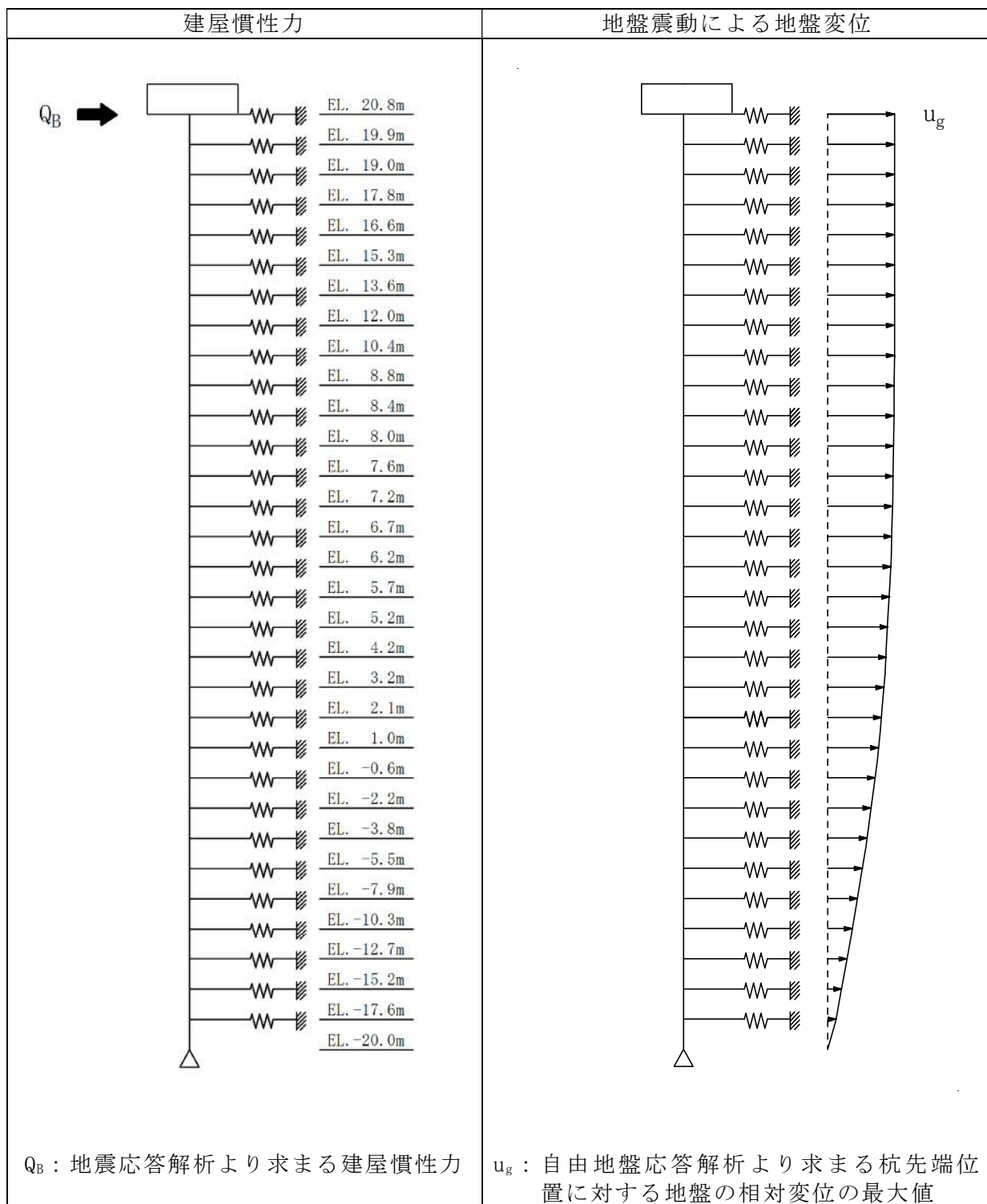


図4-7 弾性支承ばりに作用させる水平地震荷重（動的地震力）

5. 主排気筒

5.1 主排気筒（上部構造物）

主排気筒の上部構造物の応力解析に当たって、立体骨組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。また、水平方向については地震と組合せる風荷重についても考慮する。

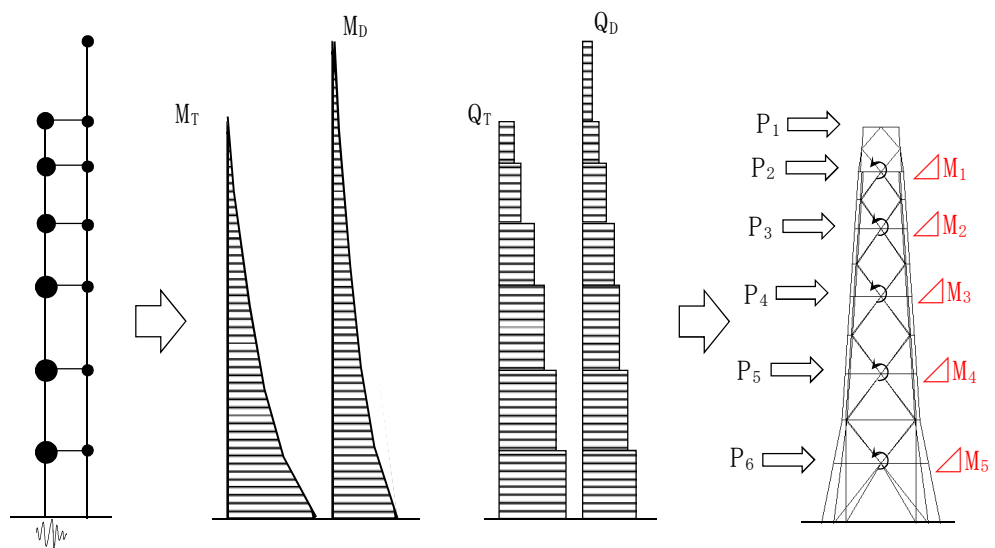
水平地震力については、鉄塔と筒身で入力方法を使い分けている。鉄塔については、基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される鉄塔の最大応答（曲げモーメント、せん断力）に対し、等価な曲げモーメント及びせん断力分布となる水平荷重及びモーメントを算出し、これを地震荷重として鉄塔部のみをモデル化した解析モデルに入力する。また、筒身については、単純構造であることから連続梁とみなせるため、基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される筒身の最大応答（曲げモーメント、せん断力）をそのまま水平地震力として評価に使用する。鉄塔に作用させる水平地震力の設定方法を図5-1に示す。

鉛直地震力については、基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される鉄塔及び筒身の最大応答（軸力）を用いることとし、鉄塔については、鉄塔部のみをモデル化した解析モデルに鉛直地震力として入力する。また筒身については、水平方向と同様に連続梁とみなして、そのまま鉛直地震力として評価に使用する。

風荷重については、鉄塔－筒身間で応力の伝達が発生する事から、鉄塔と筒身をモデル化した解析モデルの各節点に風荷重を入力する。鉄塔に作用させる風荷重の設定方法を図5-2に示す。

以上より算出した水平地震力、鉛直地震力及び風荷重によるそれぞれの応力解析の結果から得られた部材応力を足し合わせて部材の応力評価を行う。

なお、水平方向の荷重の載荷方向としては、ブレース材の発生応力が大きくなる構面直交方向（0度方向）、及び柱材の発生応力が大きくなる対角方向（45度方向）の、2方向についてそれぞれ評価を行う。主排気筒への荷重の載荷方向の違いによる発生応力の違いについて、図5-3に概念図を示す。

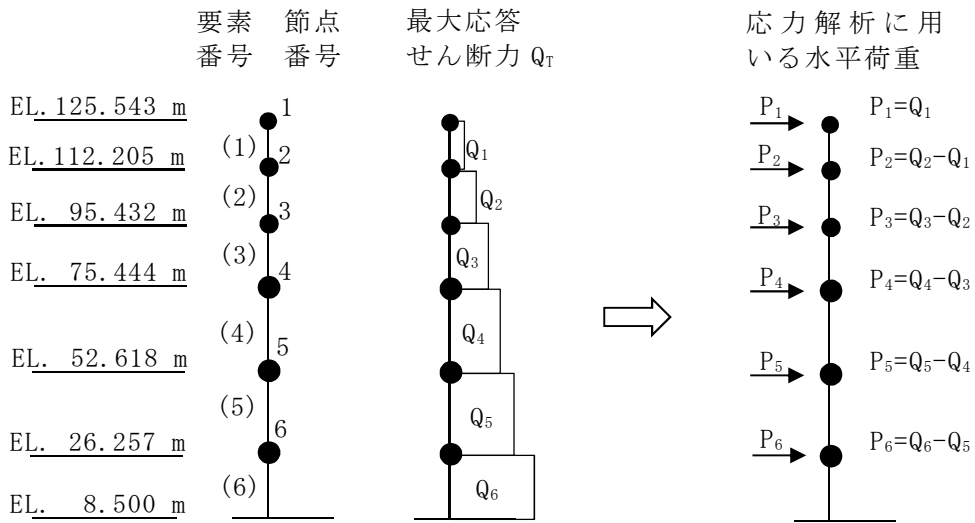


地震応答解析 曲げモーメント分布 せん断力分布 地震荷重入力

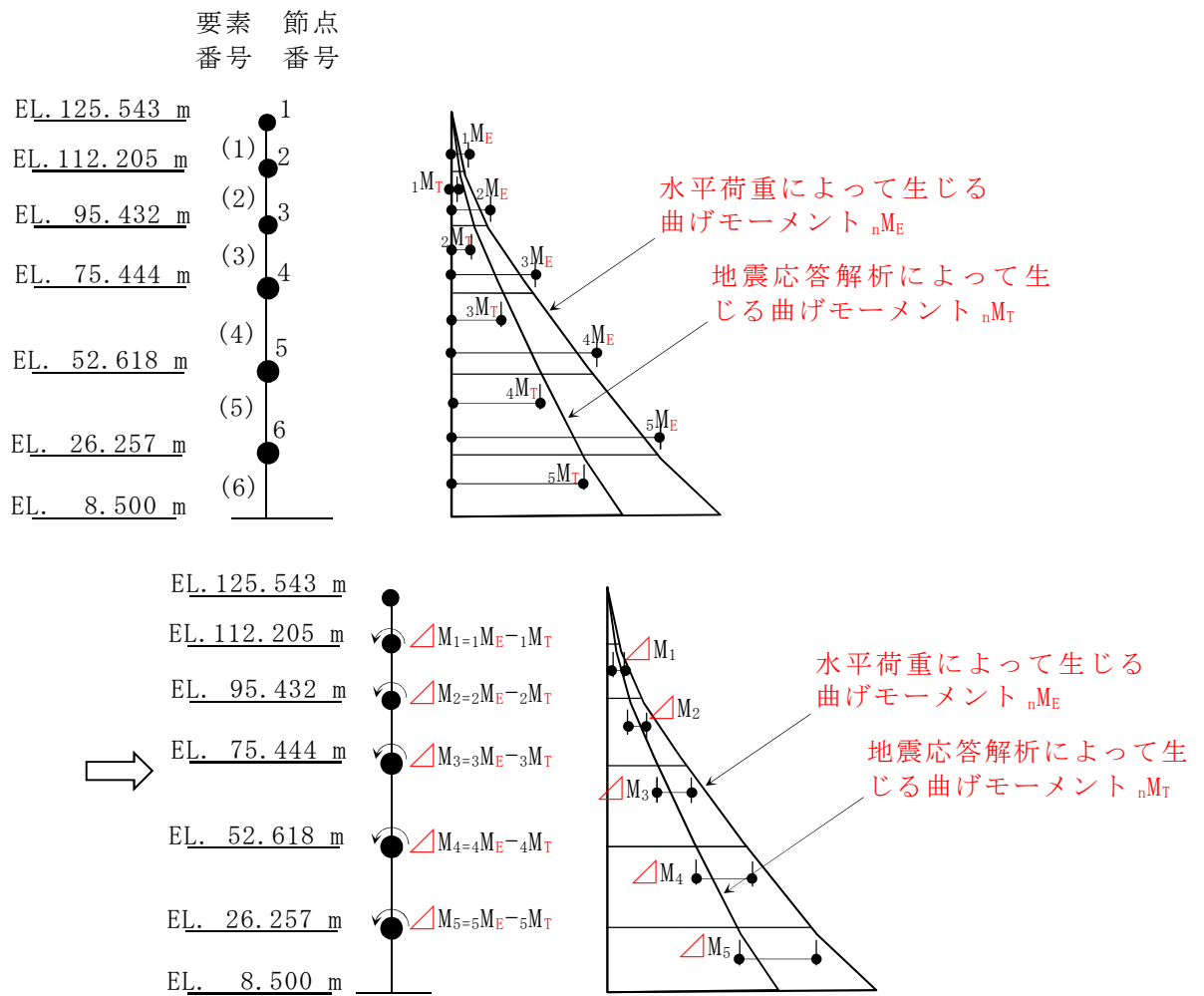
- M_T : 質点系モデルの地震応答解析から得られた鉄塔の最大曲げモーメント
- M_D : 質点系モデルの地震応答解析から得られた筒身の最大曲げモーメント
- Q_T : 質点系モデルの地震応答解析から得られた鉄塔の最大せん断力
- Q_D : 質点系モデルの地震応答解析から得られた筒身の最大せん断力
- P_n : 鉄塔の最大せん断力分布と等価なせん断力分布を生じさせる水平荷重（鉄塔支持点高さに載荷）
- $\triangle M_n$: 水平荷重 P_n から得られる転倒モーメント分布と M_T との差異を調整する偶力モーメント

注記 : M_D , Q_D は直接筒身の応力評価に用いる。

図 5-1 鉄塔に作用させる水平地震力の設定方法 (1/2)

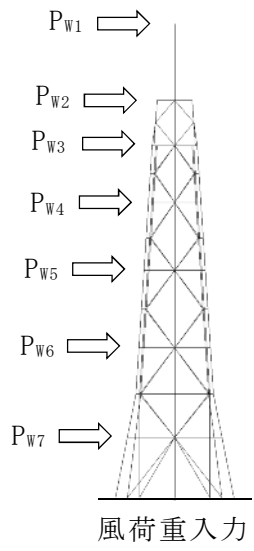


(a) 最大応答せん断力 Q_n と水平荷重 P_n の関係



(b) 最大応答曲げモーメント M_T と補正モーメント ΔM_n の関係

図 5-1 鉄塔に作用させる水平地震力の設定方法 (2/2)



P_{wn} : 排気筒に作用させる風荷重

図 5-2 排気筒に作用させる風荷重の設定方法

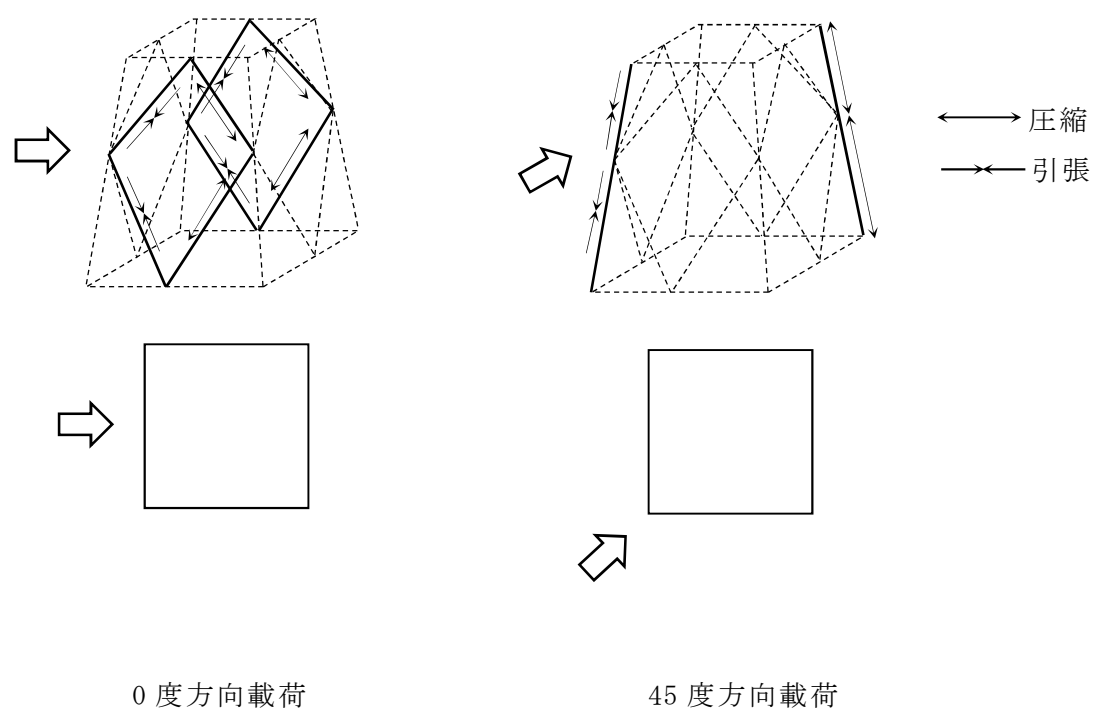


図 5-3 主排気筒への荷重の載荷方向の違いによる発生応力の違い

5.2 主排気筒（基礎）

主排気筒の基礎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、上部構造物及び杭による基礎への地震時反力を考慮する。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もとに定める。また、水平方向については地震と組合せる風荷重についても考慮する。

上部構造物からの地震外力として、筒身によるものは筒身脚部が位置する円周近傍に分散させた点荷重として、また、鉄塔のように柱脚を介するものは柱脚近傍位置に点荷重として作用させる。杭からの荷重は杭頭近傍位置に点荷重として作用させる。基礎自身に起因する荷重は、分散した節点への荷重とする。

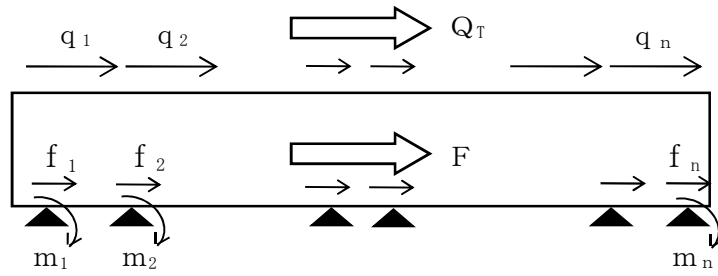
具体的には、水平方向の荷重によって上部構造物から作用する基礎上でのせん断力は、筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍の節点に分散させて水平力として加える。基礎自身が受ける慣性力は、各杭の杭頭近傍の節点に分散させて水平力として考慮する。また、基礎下には、基礎下に作用するせん断力を杭に加えた際に生じる杭頭での曲げモーメントを各杭の杭頭位置に作用させる。

水平方向の荷重によって上部構造物から作用する基礎上での曲げモーメントは、筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍の節点に偶力として分散させて鉛直力として加える。また、基礎上に作用するせん断力に基礎の厚さ分を考慮して付加曲げモーメントを評価し、杭頭近傍の節点に偶力として分散させて鉛直力として与える。

鉛直方向の荷重による上部構造物から作用する基礎上での軸力は、筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍の節点に分散させて鉛直力として与える。また、基礎自身が受ける慣性力は杭頭近傍の節点に分散させて鉛直力として与える。

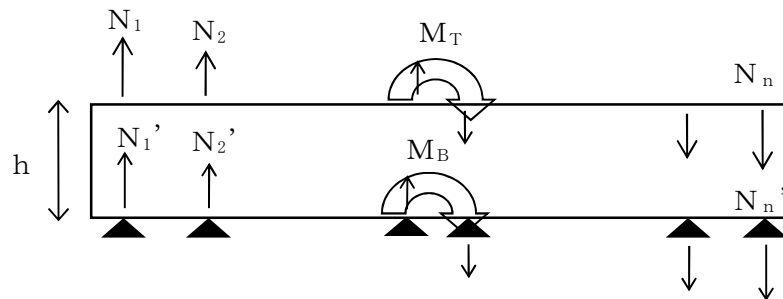
また、水平方向の風荷重により上部構造物から作用するせん断力及び曲げモーメントについては、地震荷重と同じ方法で与える。ただし、風荷重の場合、慣性力はない。

地震荷重の入力方法の概念図を図5-4～図5-6に示す。またFEMモデルへの入力荷重の例を図5-7～図5-9に示す。



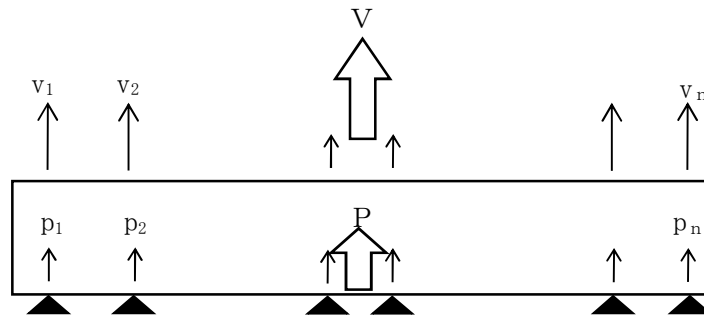
- Q_T : 水平方向の荷重によって上部構造物から作用する基礎上でのせん断力
- q_n : 上記 Q_T を筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍に分散させて加える際の水平力
- F : 基礎自身が受ける慣性力
- f_n : 上記 F を杭頭近傍に分散させて加える際の水平力
- m_n : 基礎下に作用するせん断力 ($Q + F$) を各杭で分散させてに加えた際に生じる各杭の頭部で生じる曲げモーメント

図 5-4 FEMモデルに作用させる水平荷重



- M_T : 水平方向の荷重によって上部構造物から作用する基礎上での曲げモーメント
- N_n : 上記 M_T を筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍に偶力として分散させて加える際の鉛直力
- M_B : 基礎の厚さ分の影響として考慮すべき付加曲げモーメント
- N_n' : 上記 M_B を杭頭近傍に偶力として分散させて加える際の鉛直力
- h : 基礎の厚さ

図 5-5 FEMモデルに作用させる曲げモーメント



- V : 鉛直方向の荷重による上部構造物から作用する基礎上での軸力
- v_n : 上記 V を筒身脚部と柱脚のそれぞれの近傍に分散させて加える際の鉛直力
- P : 基礎自身が受ける慣性力
- p_n : 上記 P を杭頭近傍に分散させて加える際の鉛直力

図 5-6 FEMモデルに作用させる鉛直荷重

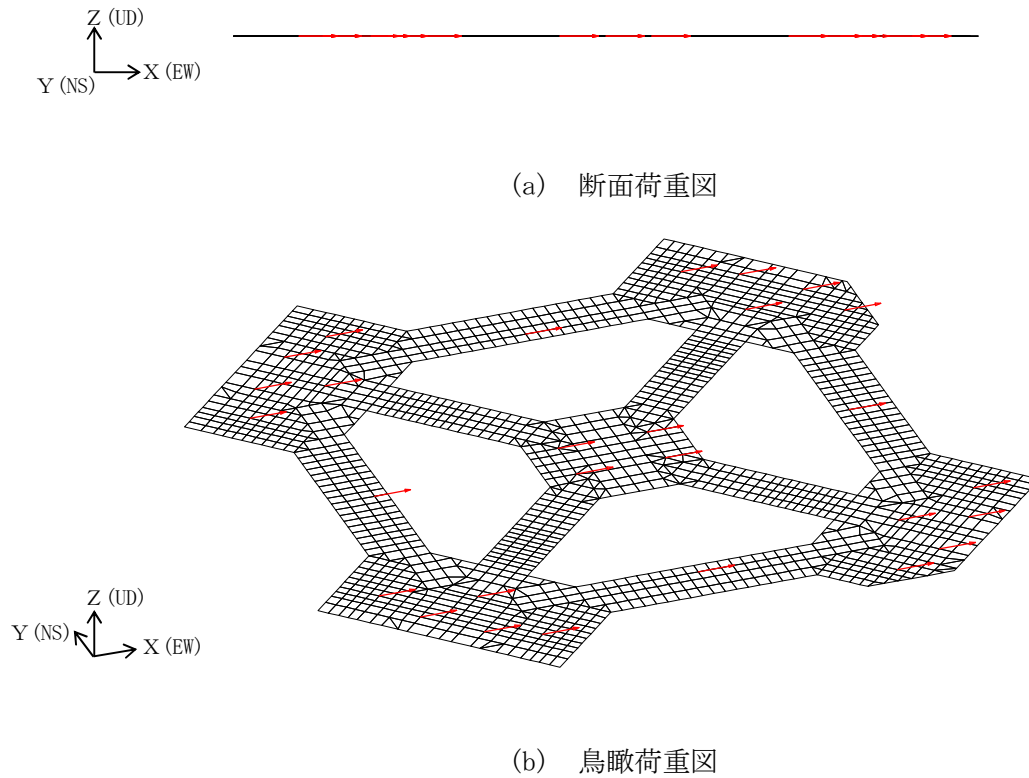
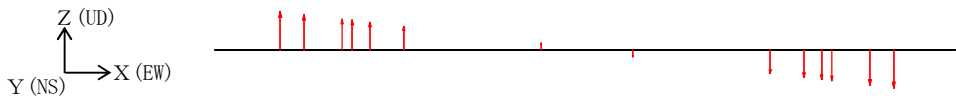
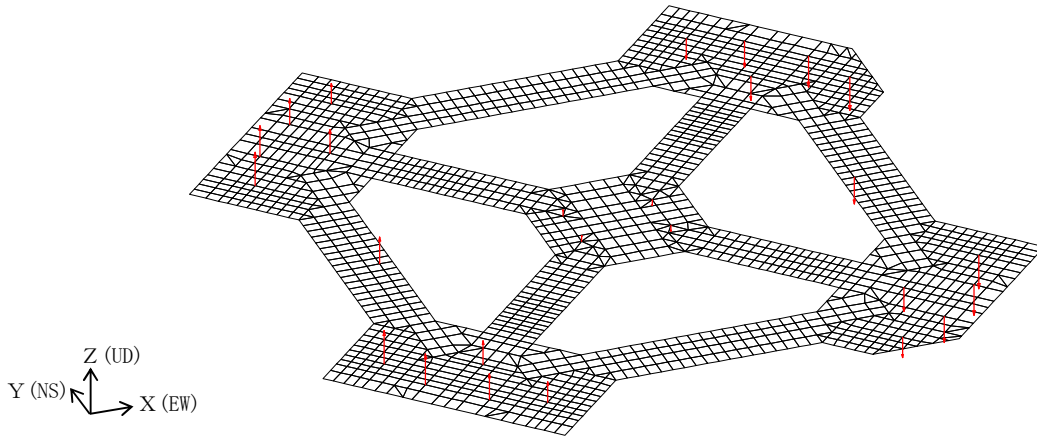


図 5-7 FEMモデルに作用させる水平荷重の例

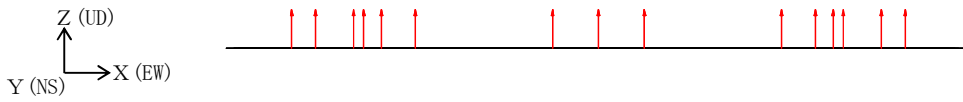


(a) 断面荷重図

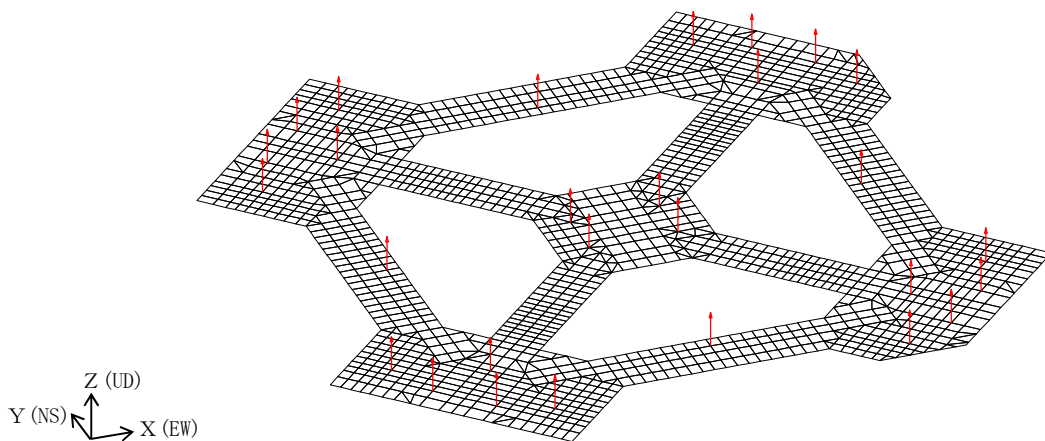


(b) 鳥瞰荷重図

図 5-8 FEMモデルに作用させる曲げモーメントの例



(a) 断面荷重図



(b) 鳥瞰荷重図

図 5-9 FEMモデルに作用させる鉛直荷重の例

6. 非常用ガス処理系配管支持架構

非常用ガス処理系配管支持架構の応力解析に当たって、立体骨組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。また、水平方向については地震と組み合わせる風荷重についても考慮する。

水平地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される最大応答を、各部の部材応力（曲げモーメント、せん断力及び軸方向力）として考慮する。

鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析により算定される最大応答加速度と、常時荷重作用時の応力分布を参照し、基礎上端から最上部までの柱、梁及びブレースの交点等の節点での荷重（曲げモーメント、せん断力および軸方向力）として考慮する。

風荷重については、基礎下端から最上部までの柱、梁及びブレースの交点等の節点での集中荷重として考慮する。

図6-1及び図6-2に、解析モデルに作用させる水平地震力、鉛直地震力の概念図を示す。

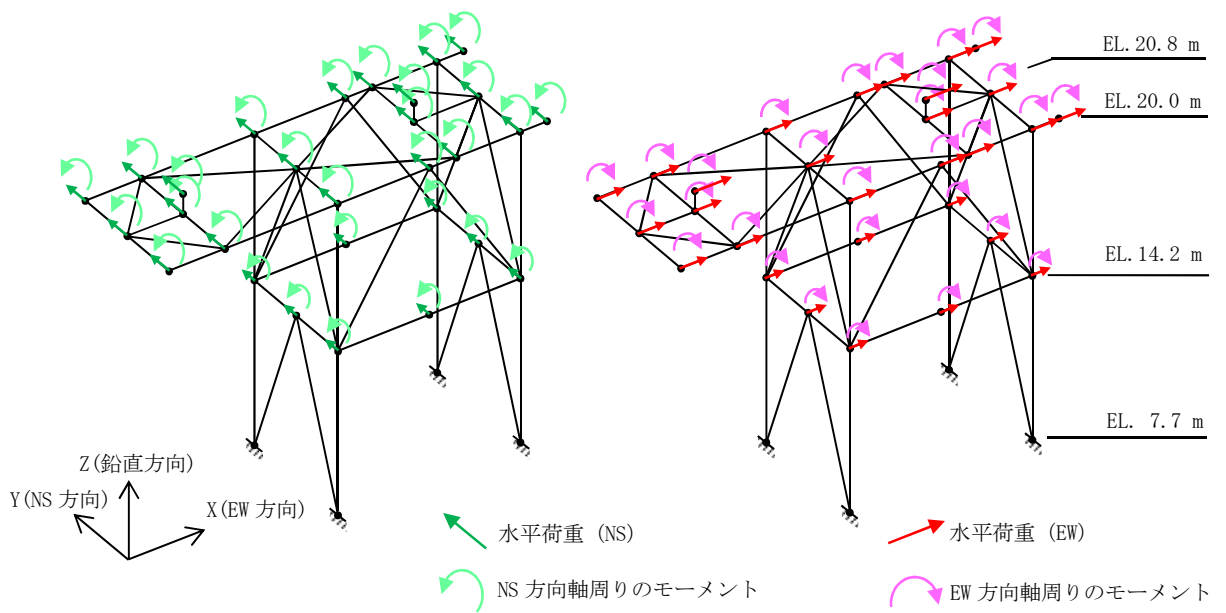


図6-1 解析モデルに作用させる水平地震力の概念図

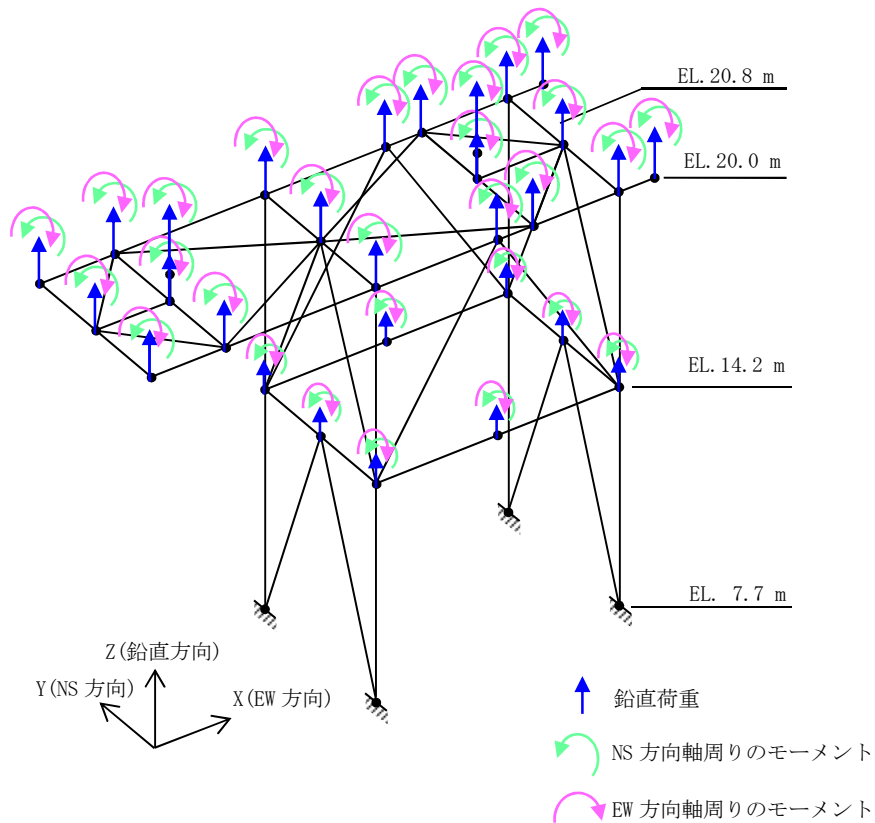


図6-2 解析モデルに作用させる鉛直地震力の概念図

7. 格納容器圧力逃がし装置格納槽

格納容器圧力逃がし装置格納槽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、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。また、地震時の側方地盤からの土圧についても考慮する。なお、FEMモデルについては、評価対象である基礎スラブ、耐震壁（地下外壁）及び上版に加え、内部耐震壁もモデル化し、上部構造物からの地震荷重等を適切に評価する。

地震荷重のうち水平地震力の入力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を考慮し、各質点の地震応答解析結果と、FEMモデルの対応する高さにおける節点でのせん断力及び曲げモーメントが等価になるように設定する。

具体的には、最大応答せん断力より得られた水平荷重を、FEMモデルの耐震壁の節点のうち地震応答解析の質点レベルに対応する節点に、各節点の支配面積に応じて分配した荷重として入力する。このとき、水平荷重は地震応答解析モデルの各質点の上下部材に生じる最大応答せん断力の差分とする。基礎スラブ部に生じるせん断力は、基礎スラブの各節点の支配面積に応じて分配した水平荷重に置換し、算出した水平荷重を基礎スラブに入力する。

上部構造物の最大応答曲げモーメントについては、質点の回転慣性重量及び地下外壁と地盤との摩擦による影響で、地震応答解析の質点上下で差がある。その差を調整する補正モーメントを、耐震壁の節点のうち、地震応答解析の質点レベルに対応する節点に、鉛直荷重に置換して入力する。

基礎スラブ部に生じる曲げモーメントについては、FEMモデルの地盤ばねの反力による回転モーメントと、基礎スラブ下端に発生する曲げモーメント(${}_0M_b'$)が同じ値となるように算出した付加曲げモーメント(ΔM_s)を、基礎スラブのシェル要素全体に三角形分布となるよう偶力置換した面荷重として与える。

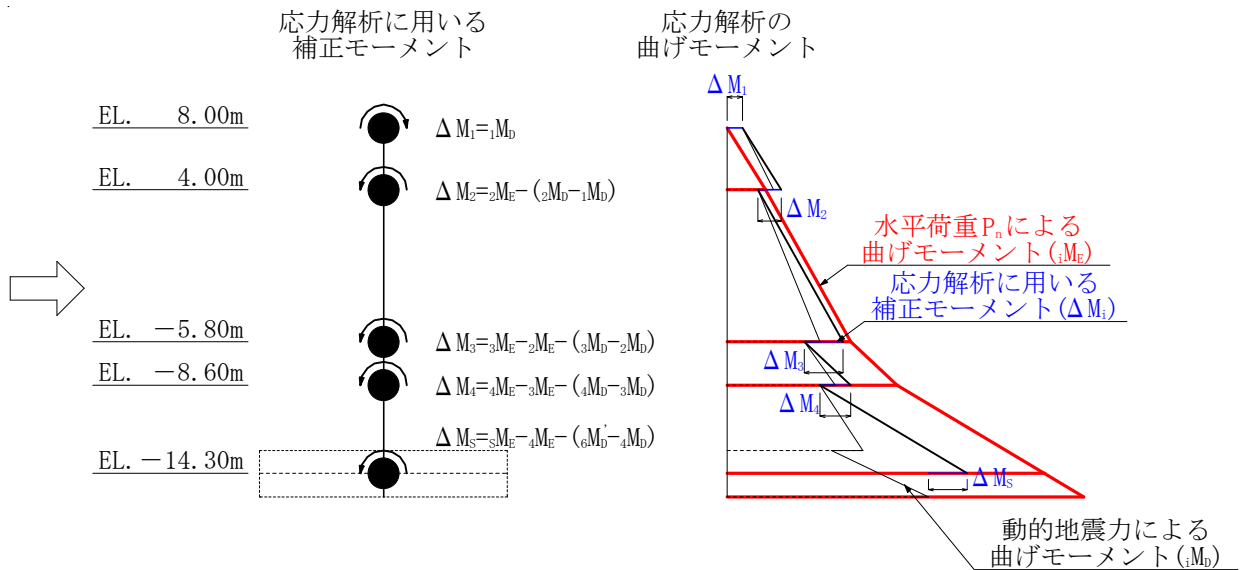
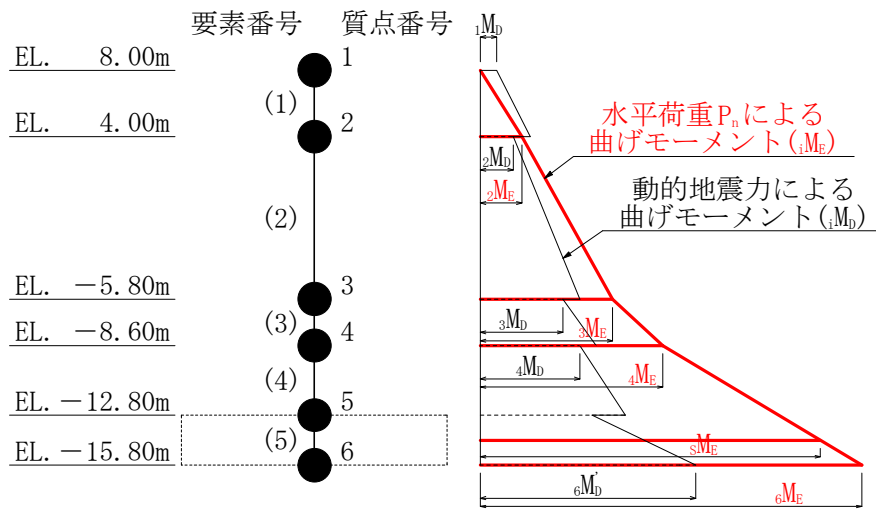
地震荷重のうち鉛直荷重については、地震応答解析より算出した鉛直方向の応答加速度のうち最大の値を震度換算し、全ての常時荷重に作用する鉛直震度として入力する。この鉛直荷重の入力方法は「2. 使用済燃料乾式貯蔵建屋（基礎スラブ）」の鉛直荷重の入力方法と異なる。格納槽では応力解析結果により耐震壁を評価するため構造物を三次元連続体として評価しており、最大鉛直震度を考慮した係数を自重に乘じ、鉛直力として入力することで、軸力が連続的に評価できるようにしている。

地震荷重の設定方法を図7-1に示す。

FEMモデルに作用させる水平力及び補正モーメントを図7-2に、FEMモデルに作用させる鉛直力を図7-3に示す。

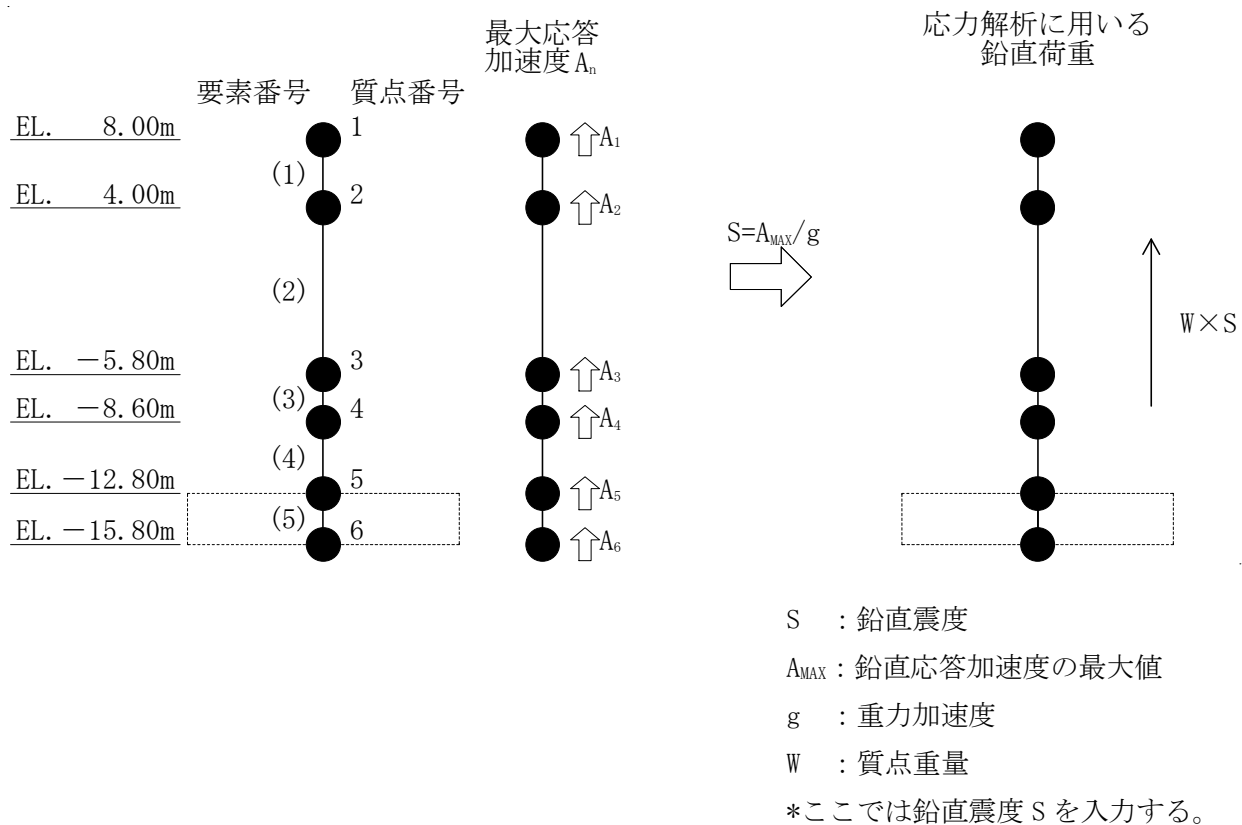
地震荷重のうち地震時土圧荷重については、添付書類V-2-2-19「格納容器圧力逃がし装置格納槽の耐震性についての計算書」に基づき常時土圧と地震時増分土圧を設定する。FEMモデルに作用させる荷重を図7-4～図7-6に示す。

地震時水平荷重



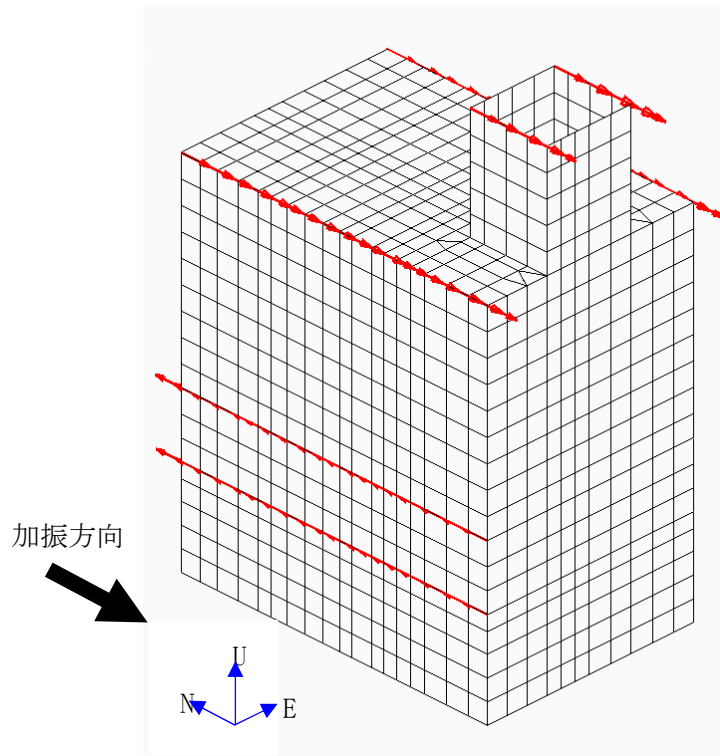
(a) 最大応答曲げモーメント iM_D と補正モーメント ΔM_i の関係

図 7-1 地震荷重の設定方法 (1/2)

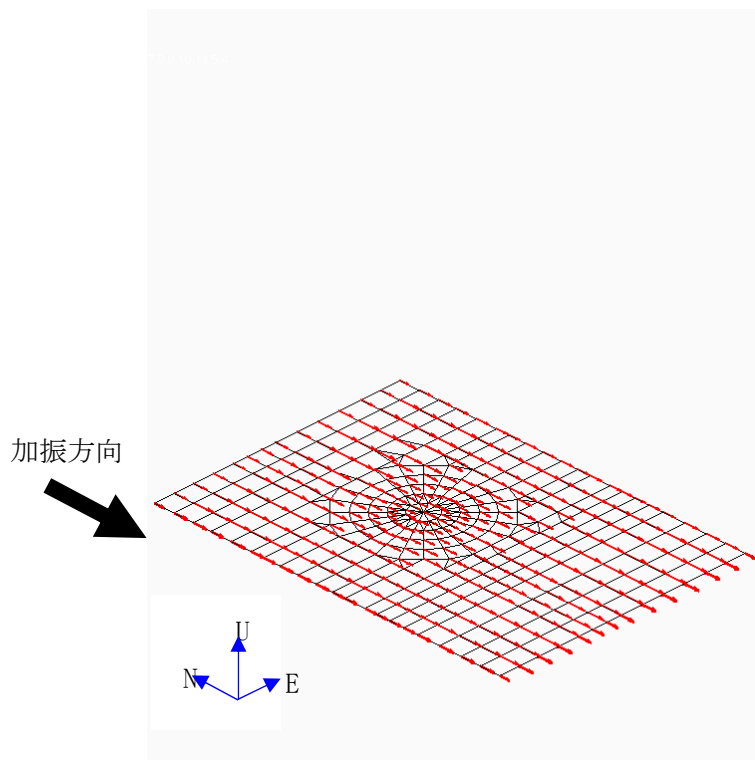


(b) 最大応答加速度 A_n と鉛直荷重 $W \times S$ の関係

図 7-1 地震荷重の設定方法 (2/2)

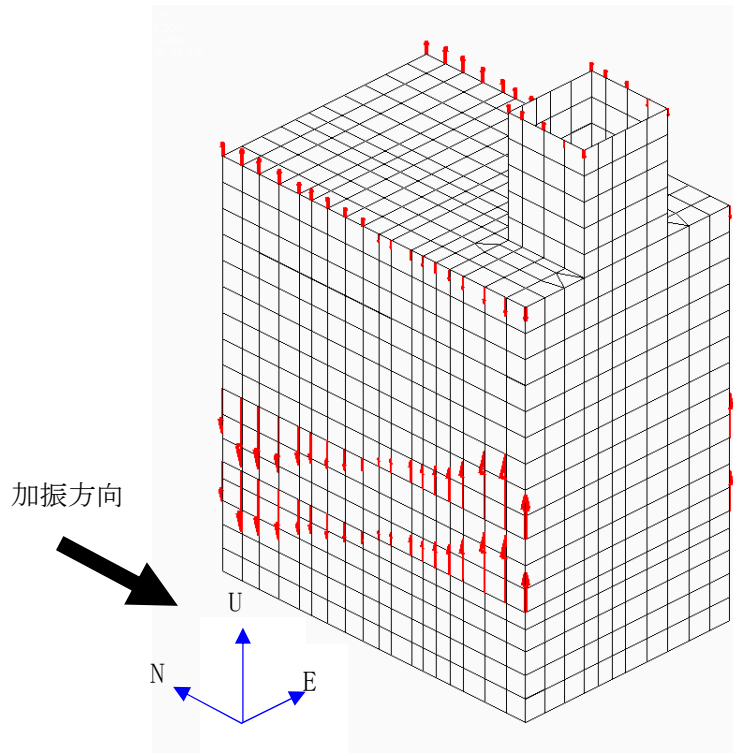


(a) 上部構造物の地震力（水平荷重）

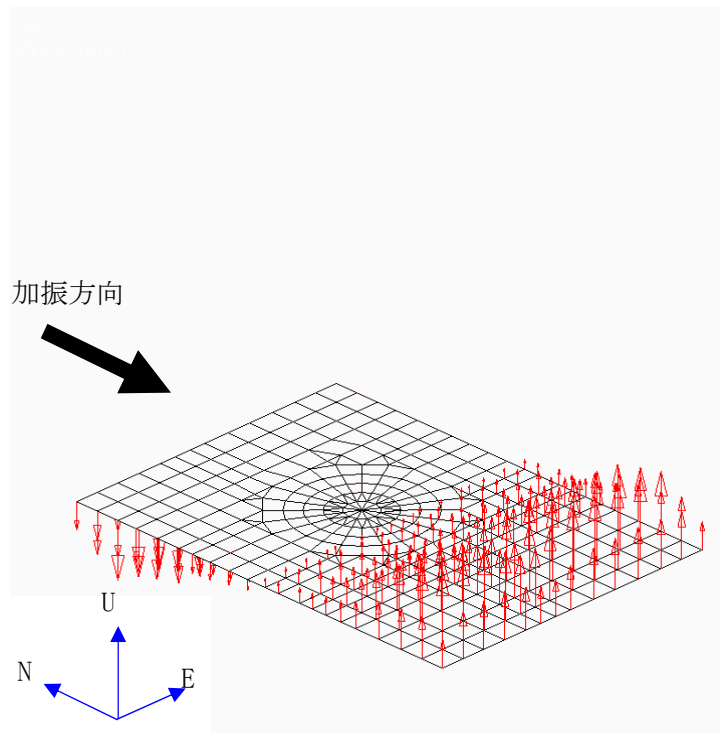


(b) 基礎スラブの地震力（水平荷重）

図7-2 FEMモデルに作用させる水平力（NS方向）（1/2）



(c) 上部構造物の地震力 (補正モーメント)



(d) 基礎スラブの地震力 (補正モーメント)

図7-2 FEMモデルに作用させる水平力 (NS方向) (2/2)

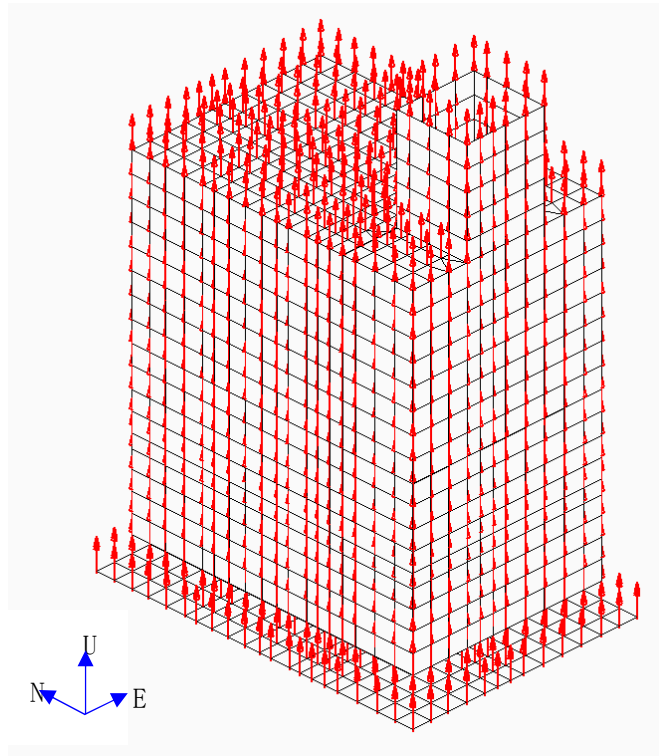
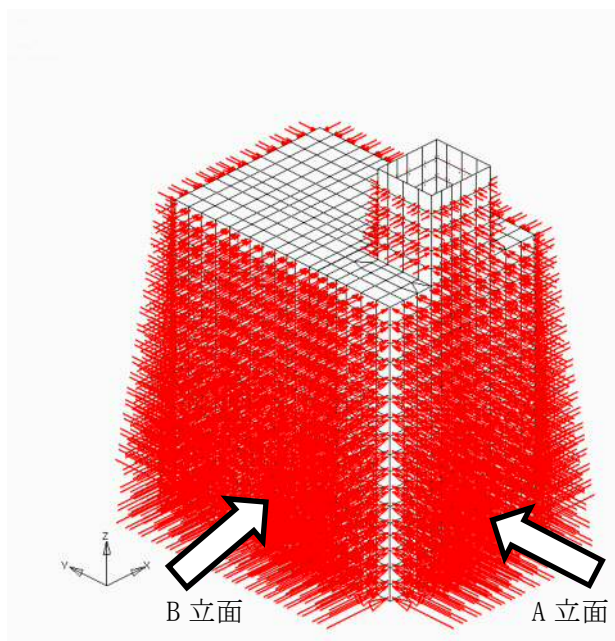
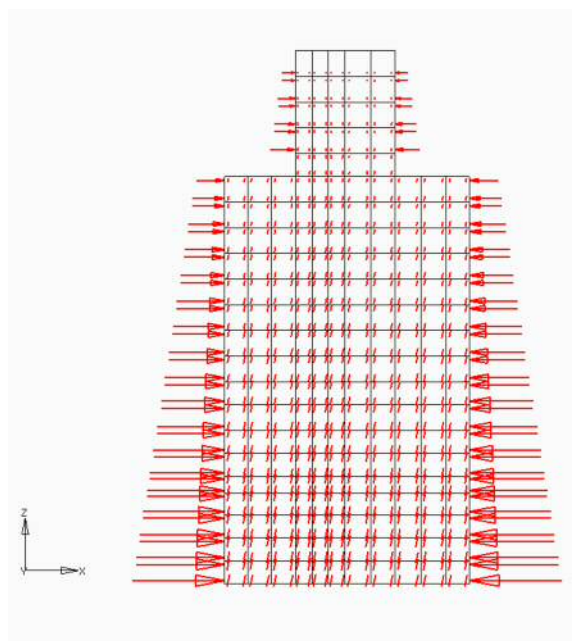


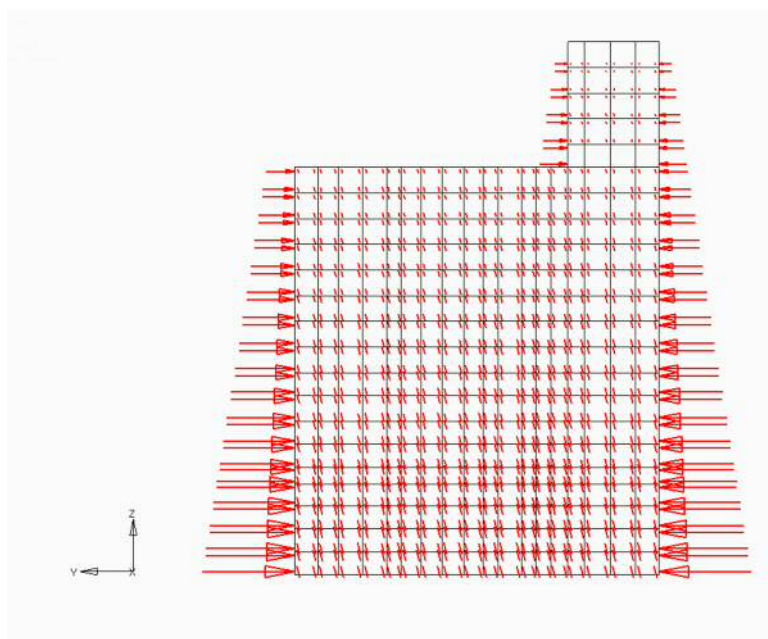
図7-3 FEMモデルに作用させる鉛直力



(a) 鳥瞰図

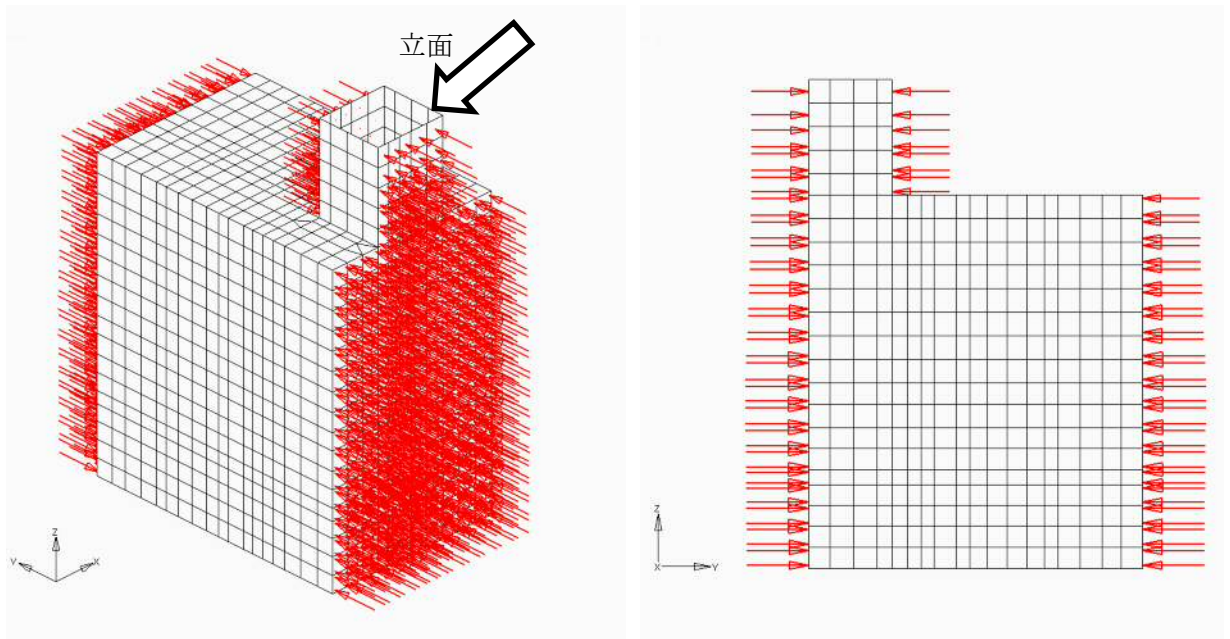


(b) A立面図



(c) B立面図

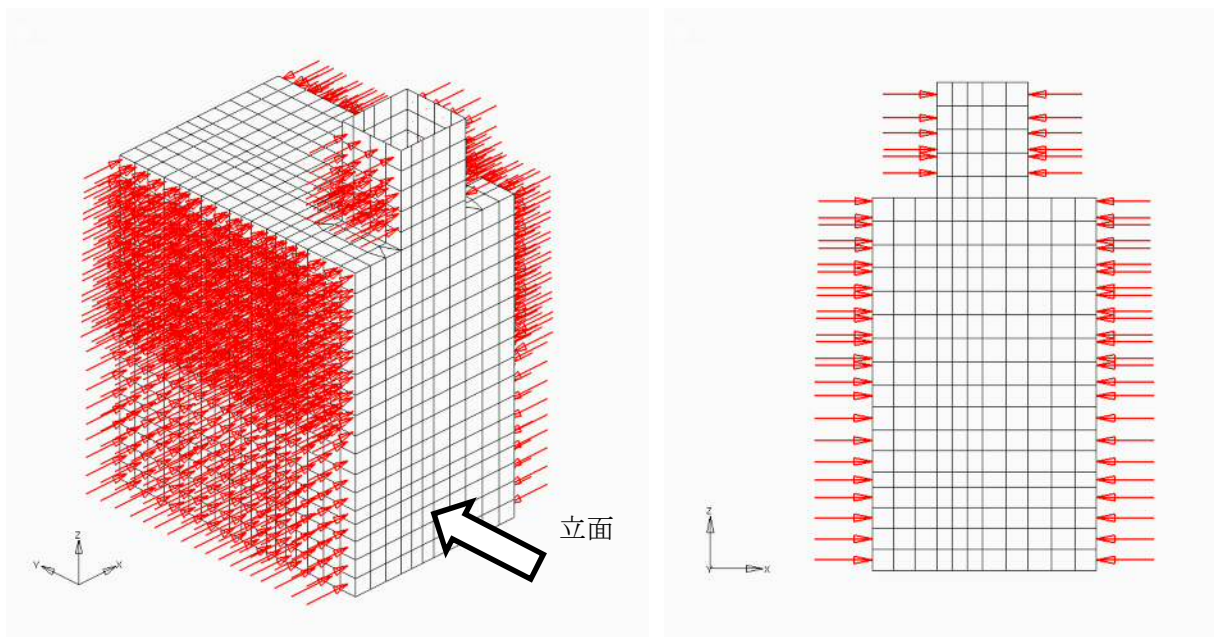
図7-4 FEMモデルに作用させる土圧（常時土圧）



(a) 鳥瞰図

(b) 立面図

図7-5 FEMモデルに作用させる土圧（地震時増分土圧_NS方向）



(a) 鳥瞰図

(b) 立面図

図7-6 FEMモデルに作用させる土圧（地震時増分土圧_EW方向）

8. 使用済燃料プール

使用済燃料プールは、原子炉ウェルをはさんで反対側に燃料交換時に蒸気乾燥器と気水分離器を仮置きする蒸気乾燥器・気水分離器ピットがあり、これらは同一のFEMモデルで応力解析を実施している。

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、水平地震力及び鉛直地震力に加えて動水圧荷重を考慮する。また、水平方向については周辺構造物である内部ボックス壁 (I/W) の地震時反力を考慮する。

地震荷重の入力は、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する地震応答解析結果を考慮し、FEMモデルの原子炉ウェルの節点のうち地震応答解析の質点レベルに対応する節点で、せん断力及び曲げモーメント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、地震応答解析の質点系の最大応答せん断力より求まる層せん断力を、FEMモデルの対応する各節点に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。

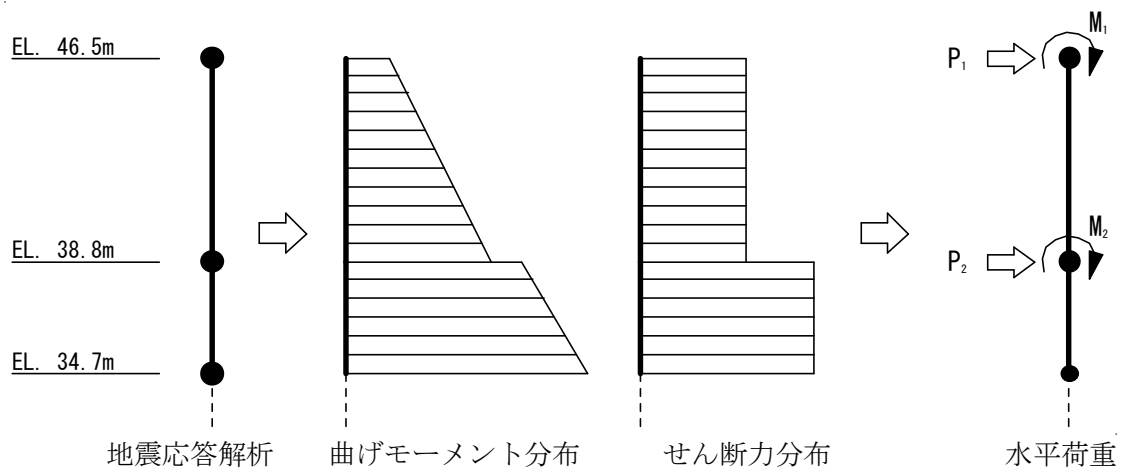
曲げモーメントは、偶力に置換して水平荷重の入力位置に節点荷重として入力する。地震応答解析の質点系より求まる各層の付加曲げモーメントを、対応する各節点に節点の支配長さを中心位置からの距離に応じて偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。

また、NS方向の水平荷重のうち、プール側壁に生じるせん断力は、プールガーダー端部のI/Wと交わる節点に鉛直方向の線荷重として入力する。EW方向の水平荷重のうち、I/Wと原子炉ウェルの回転角の差分は、プールガーダー端部のI/Wと交わる節点に強制変位として入力する。

鉛直荷重は、地震応答解析より算定されるプール部において包絡した最大応答加速度から換算した鉛直震度を、固定荷重及び機器荷重、配管荷重及び積載荷重に乗じて入力する。

水平荷重の設定方法を図8-1に、入力方法の概念図を図8-2に示す。

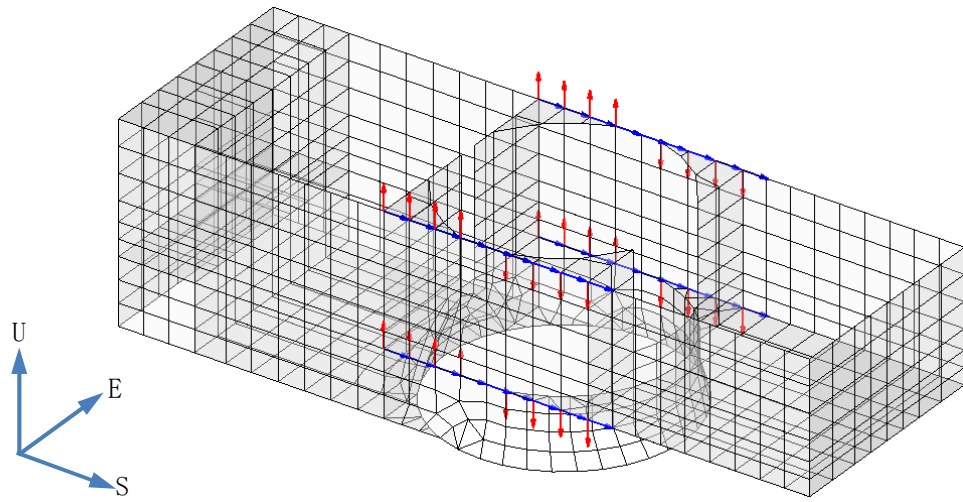
動水圧荷重の入力方法の概念図を図8-3に示す。また、参考に静水圧荷重の入力方法の概念図についても図8-4に示す。



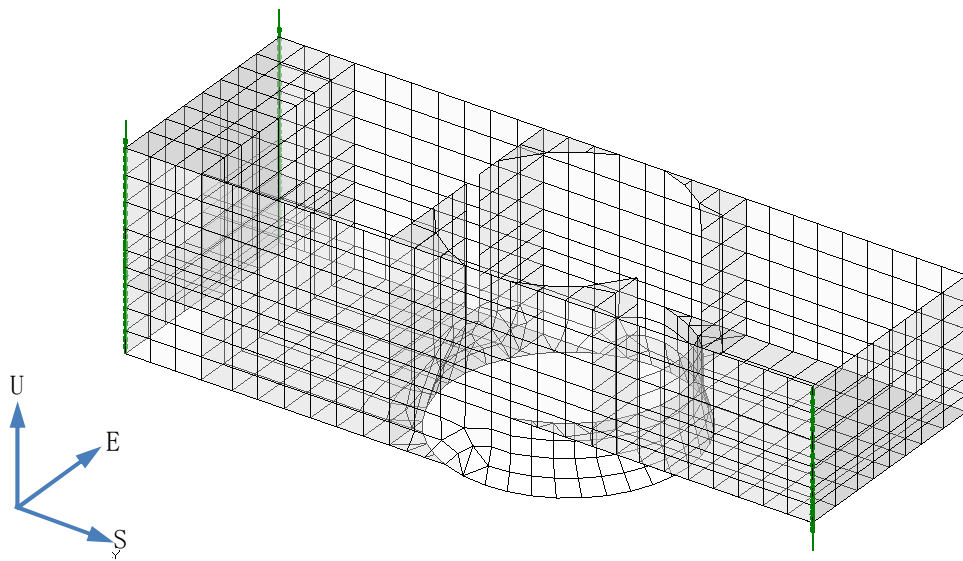
P_n : 最大せん断力分布と等価なせん断力分布を生じさせる水平荷重

M_n : 水平荷重 P_n から得られる転倒モーメント分布と曲げモーメント分布との差異を調整する付加曲げモーメント

図 8-1 作用させる水平地震力の設定方法

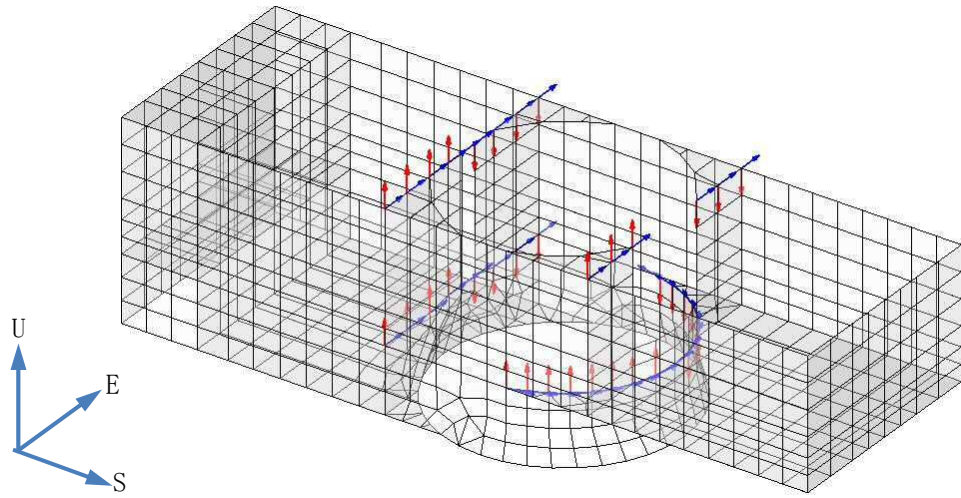


(a) せん断力及び曲げモーメント N→S

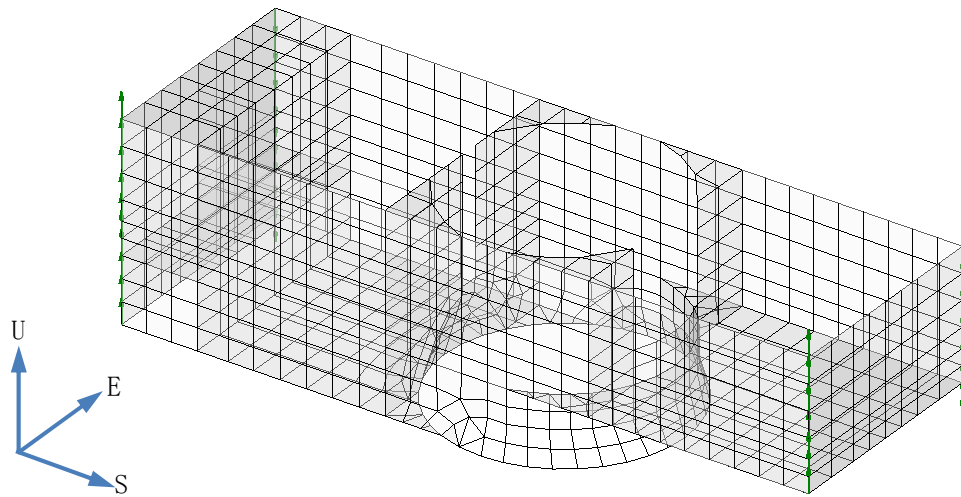


(b) プール部の壁が負担するせん断力 N→S

図 8-2 (1/2) FEMモデルに作用させる水平地震力

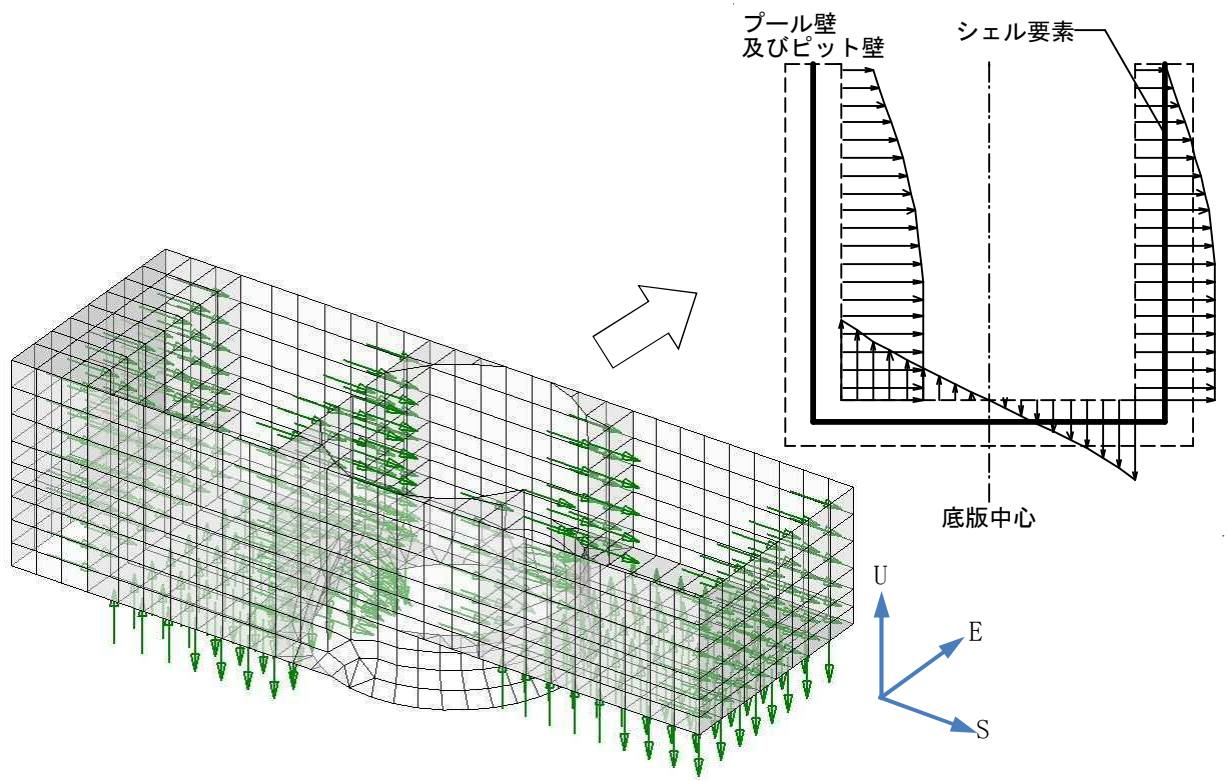


(a) せん断力及び曲げモーメント W→E

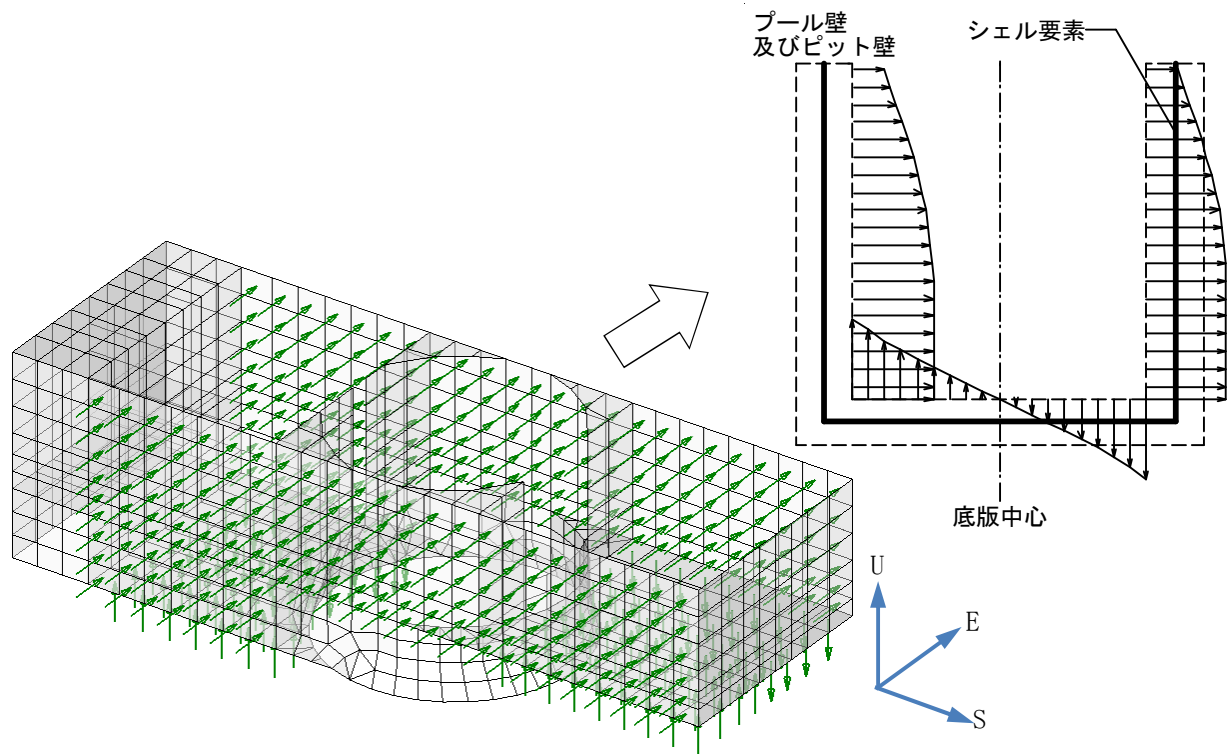


(b) 内部ボックス壁の回転変形 W→E

図 8-2 (2/2) FEMモデルに作用させる水平地震力



(a) 動水圧 N→S



(b) 動水圧 W→E

図 8-3 FEMモデルに作用させる動水圧荷重

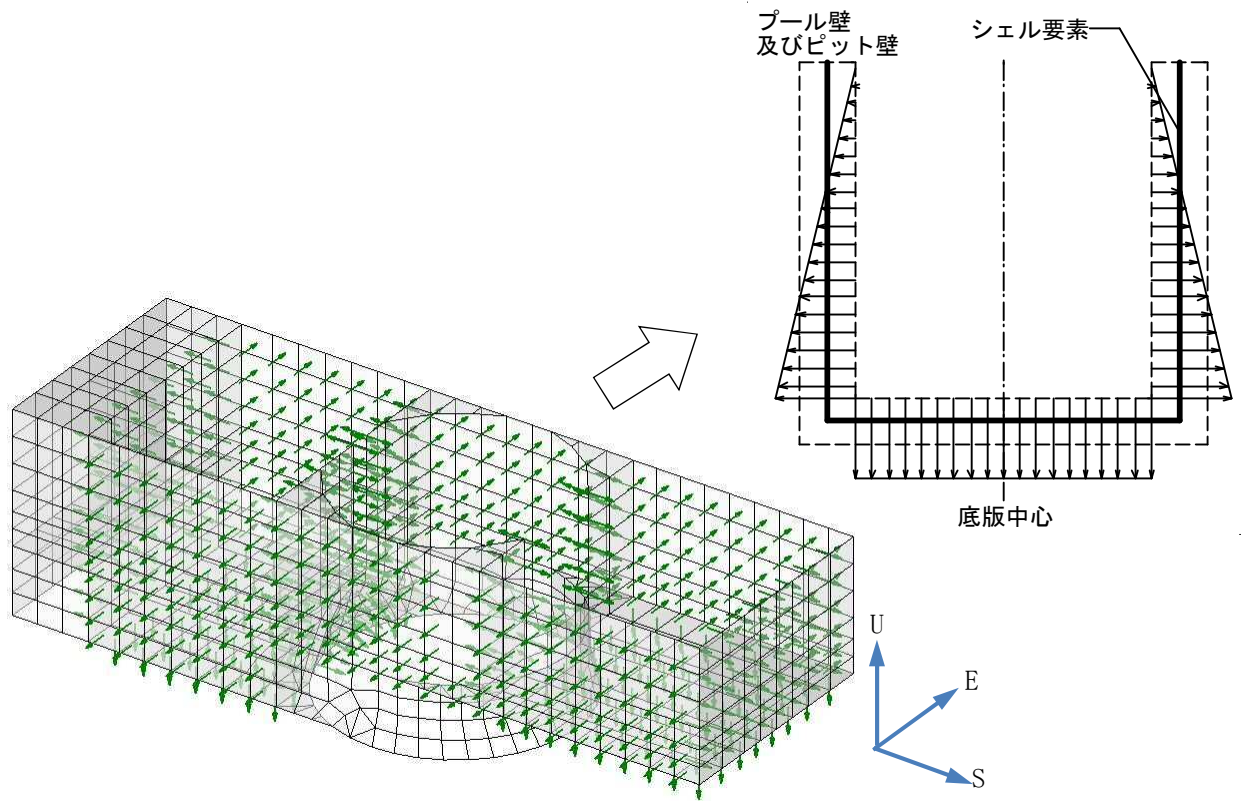


図 8-4 FEMモデルに作用させる静水压荷重 (参考)

9. 原子炉格納施設の基礎

原子炉格納施設の基礎は、原子炉格納容器底部に当たる部分（原子炉格納容器底部コンクリートマット）とその周辺部の原子炉建屋の基礎で構成され、これらは同一のFEMモデルで応力解析を実施している。

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、水平地震力及び鉛直地震力を考慮する。また、上部構造物である外部ボックス壁 (O/W)、内部ボックス壁 (I/W)、シェル壁 (S/W)、PCV 及び RPV 基礎の基礎への地震時反力を考慮する。

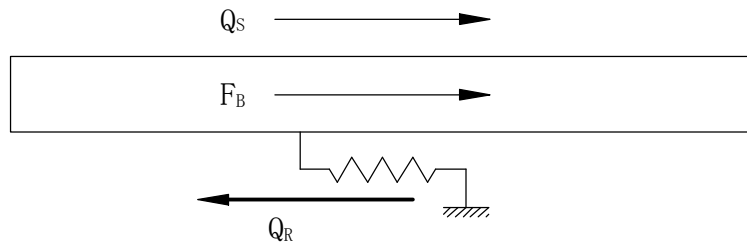
地震荷重の入力は、基準地震動 S_s 、弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力に対する地震応答解析結果を考慮し、FEMモデルの基礎底面ばね（地盤ばね反力+減衰力）並びに上部構造物及び基礎質点位置でせん断力、曲げモーメント及び軸力が地震応答解析結果と等価になるように設定する。

具体的には、水平荷重のうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、FEMモデルにおける各上部構造物脚部に対応する各節点に、支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎については、地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねのせん断力から、上部構造物から作用する水平力を差し引いた値を、FEMモデルの基礎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。

曲げモーメントのうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、偶力に置換して水平荷重の入力位置に節点荷重として入力する。地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねの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を、FEMモデルの基礎の各節点に、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。

鉛直荷重のうち、各上部構造物から作用する基礎への地震時反力は、FEMモデルにおける各上部構造物脚部に対応する各節点に、支配面積に応じて分配し、節点荷重として入力する。基礎については、地震応答解析より求まる基礎底面地盤ばねの軸力から、上部構造物から作用する鉛直力を差し引いた値を、FEMモデルの基礎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。

地震荷重の入力方法の概念図を図 9-1～図 9-3 に示す。またFEMモデルへの入力荷重の例を図 9-4～図 9-6 に示す。



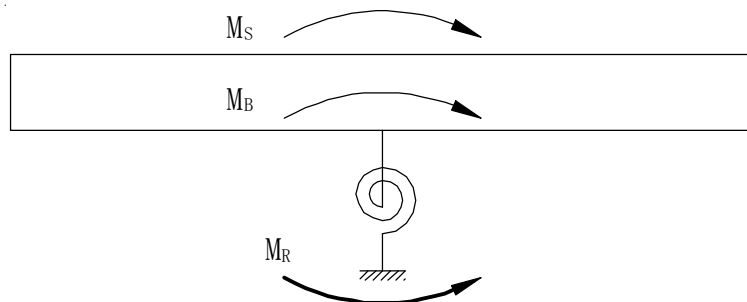
Q_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用するせん断力

F_B : 基礎に作用する水平荷重

Q_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じるせん断力

$$F_B = Q_R - Q_S$$

図 9-1 FEMモデルに作用させる水平荷重



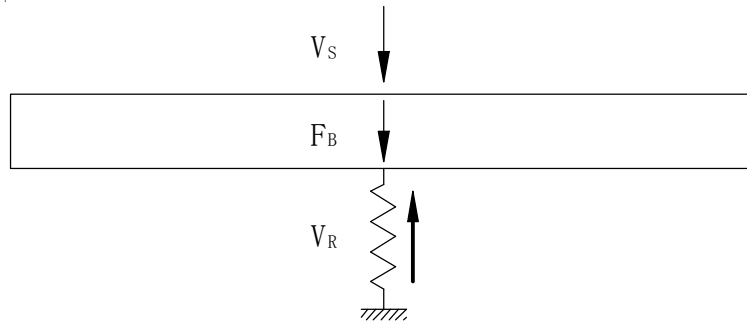
M_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用する曲げモーメント

M_B : 基礎に作用する曲げモーメント

M_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じる曲げモーメント

$$M_B = M_R - M_S$$

図 9-2 FEMモデルに作用させる曲げモーメント



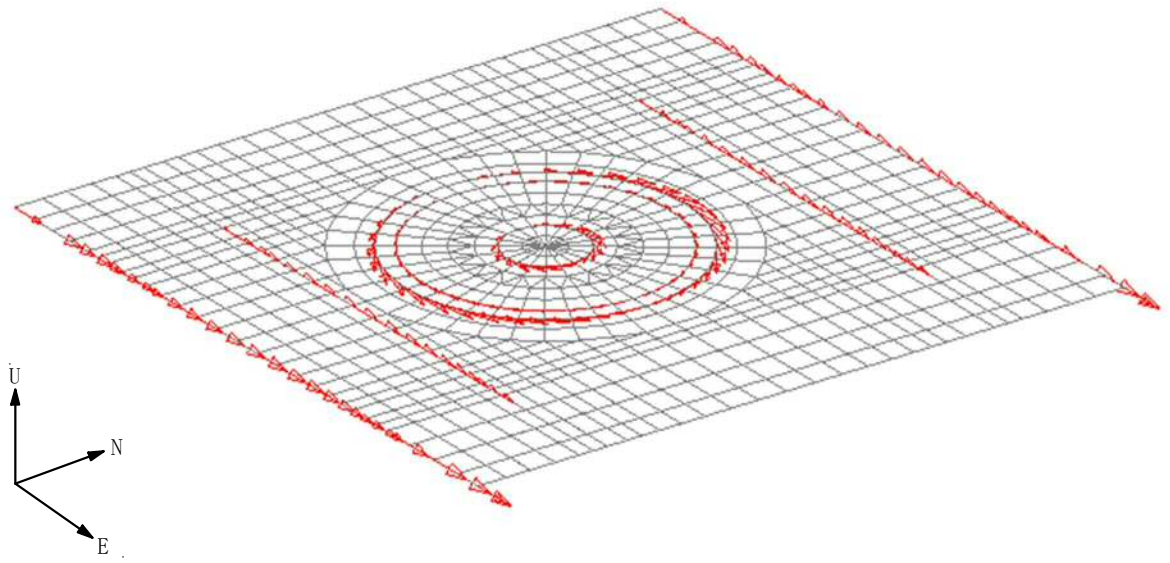
V_S : 地震応答解析より設定した上部構造物から基礎へ作用する軸力

F_B : 基礎に作用する鉛直荷重

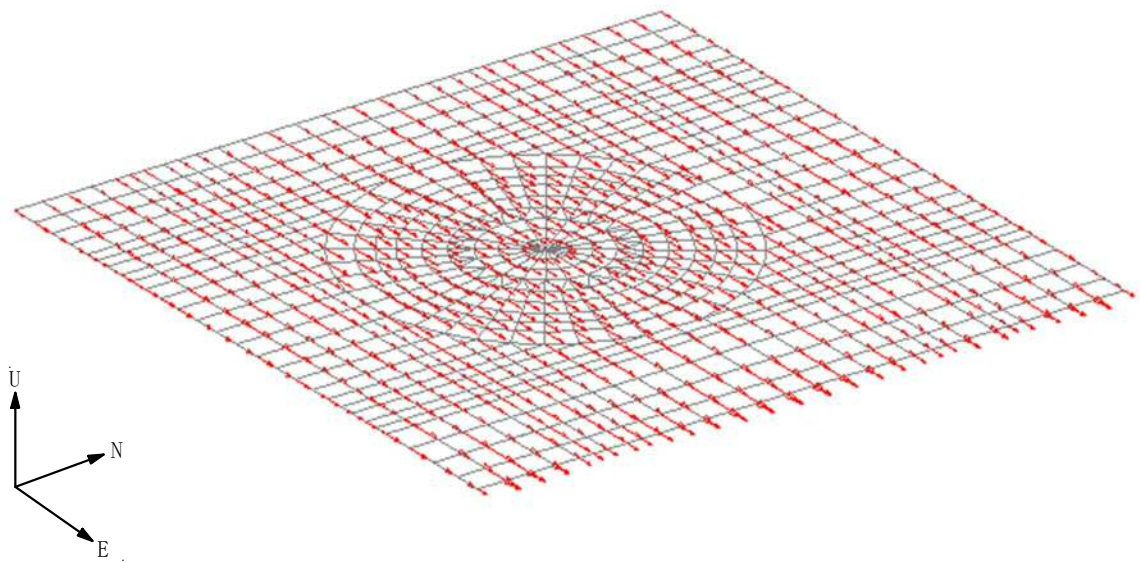
V_R : 地震応答解析より設定した基礎底面に生じる軸力

$$F_B = V_R - V_S$$

図 9-3 FEMモデルに作用させる鉛直荷重

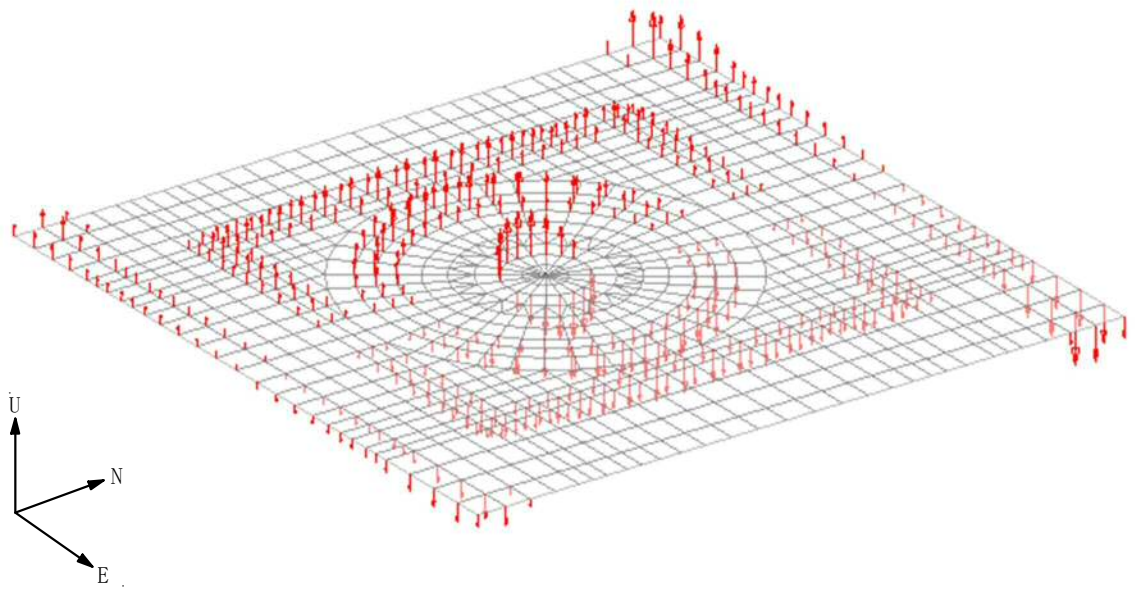


(a) 上部構造物の地震力

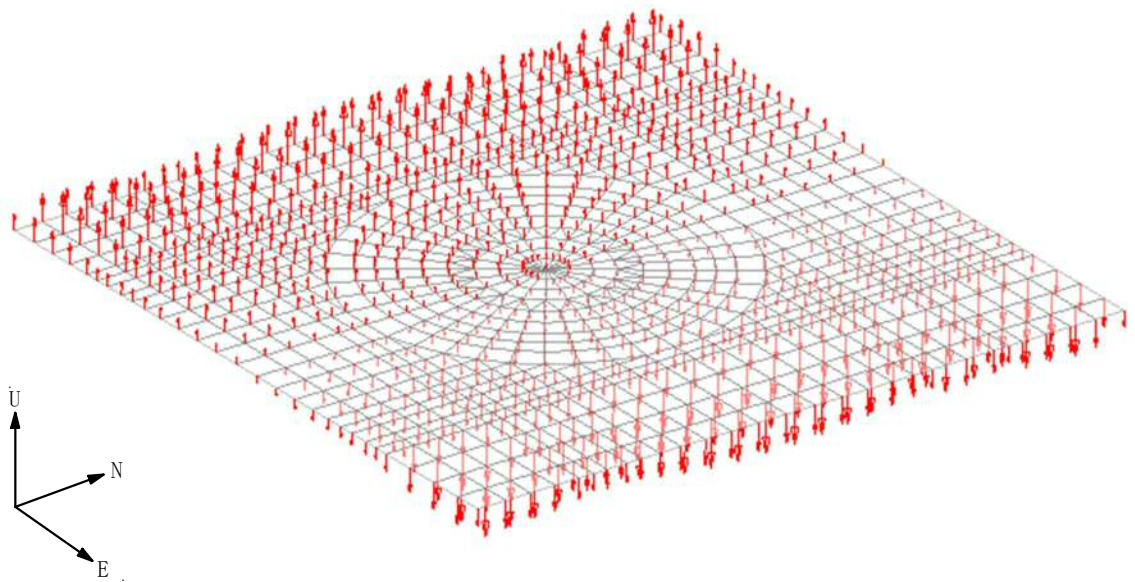


(b) 基礎スラブの地震力

図9-4 FEMモデルに作用させる水平力 (EW方向)

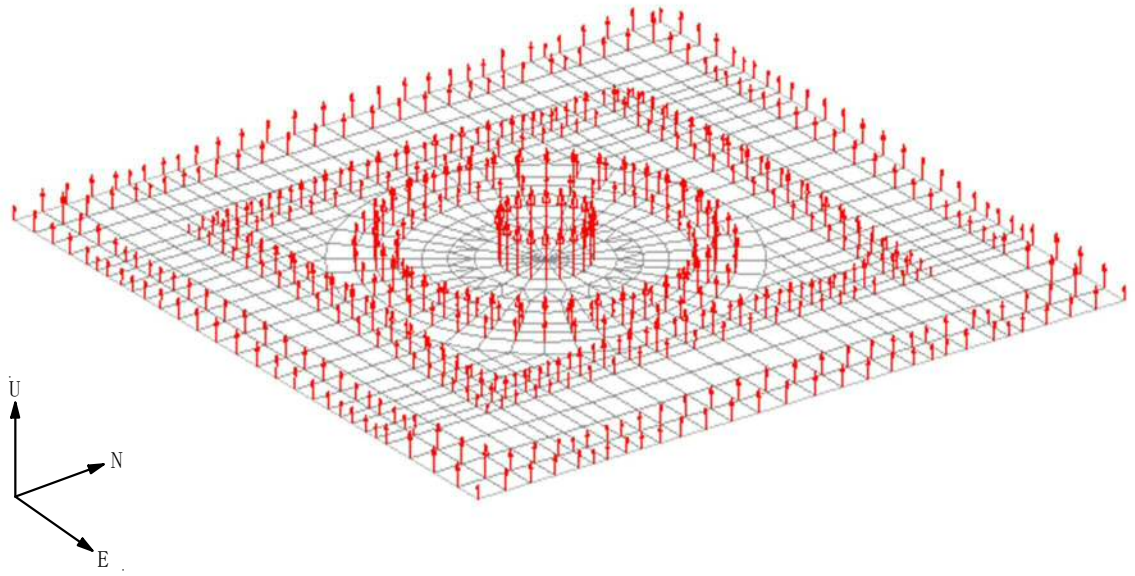


(a) 上部構造物の地震力

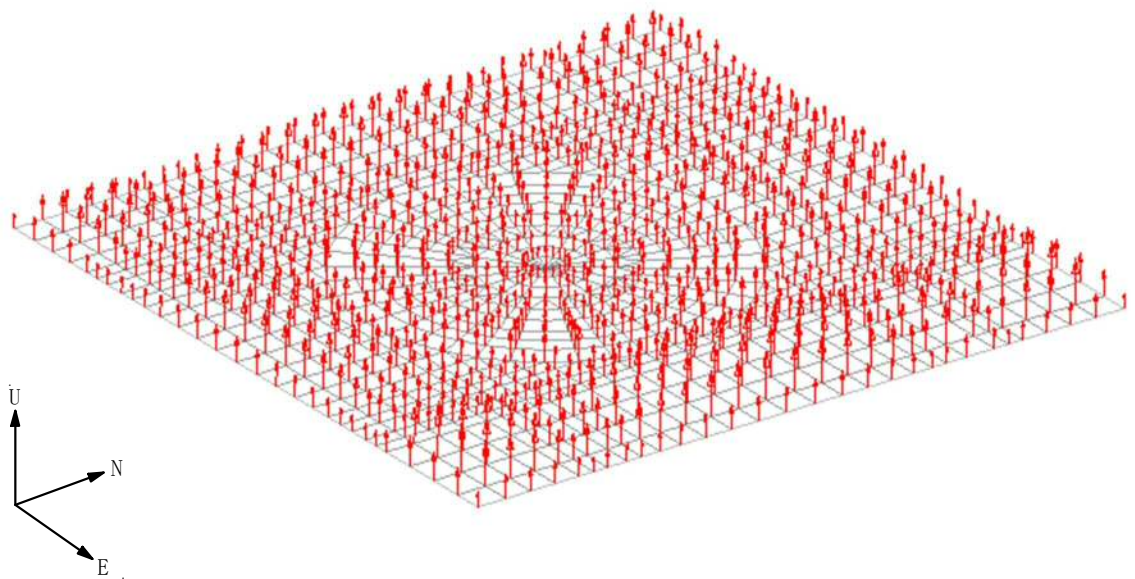


(b) 基礎スラブの地震力

図9-5 FEMモデルに作用させる曲げモーメント (EW方向)



(a) 上部構造物の地震力



(b) 基礎スラブの地震力

図 9-6 FEMモデルに作用させる鉛直力

別紙 原子炉建屋基礎盤の応力解析における荷重の入力方法について

目次

1. 荷重の入力位置.....	1
2. 荷重の入力方法.....	7

1. 荷重の入力位置

各荷重について、考慮する位置を以下に示す。

(a) 耐震壁（外部ボックス壁：O/W，内部ボックス壁：I/W およびシェル壁：S/W）

耐震壁は壁芯位置に荷重を作用させる。なお、鉛直荷重については、壁面から 45 度方向に荷重が分配されると仮定し、壁芯の節点から基礎版厚さの半分（2.5 m）までの範囲に存在する節点に分配する。耐震壁から作用する荷重の入力位置を図 1 に示す。

(b) 原子炉格納容器（PCV）および原子炉本体の基礎（RPV 基礎）

PCV および RPV ペDESTAL から作用する荷重は、各位置に対応する節点の支配長さに応じて節点荷重に変換して作用させる。PCV および RPV ペDESTAL から作用する荷重の入力位置を図 2 に示す。

(c) クエンチャサポートおよびコラムサポート

クエンチャサポートおよびコラムサポートは、円周上に配置されており、図 3 に示すように、設置位置近傍の節点に等分割で作用させる。

(d) サプレッションプール水

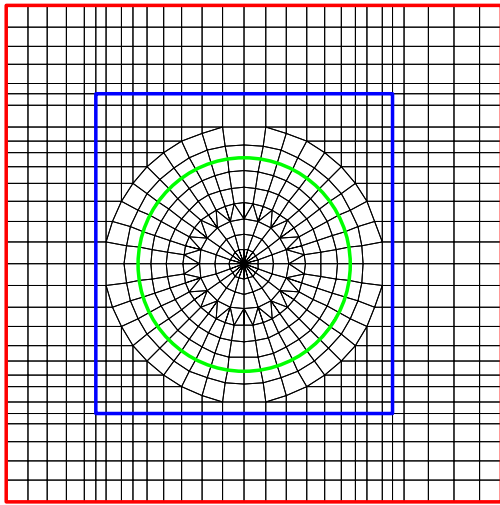
サプレッションプール水から作用する静水圧は、PCV 内部に等分布面荷重として作用させる。PCV および RPV ペDESTAL から作用する荷重の入力位置を図 4 に示す。

(e) 基礎盤自重

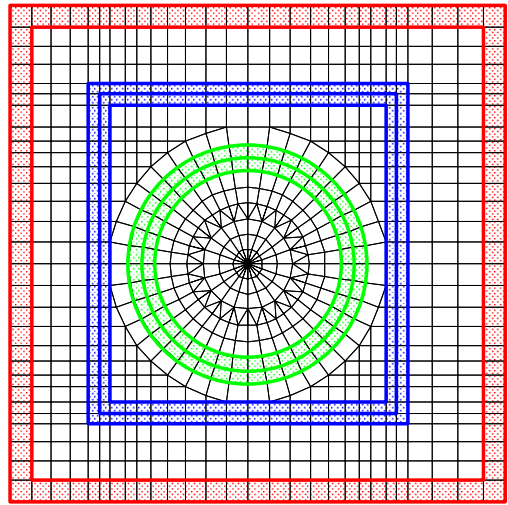
基礎盤の自重は、単位体積重量 24 kN/m³ として考慮する。また、荷重の合計値を質点系モデルと整合させるために基礎盤全体に作用させている荷重については、基礎盤上の節点の支配面積に応じて節点荷重として考慮する。

(f) 土圧荷重

土圧荷重は、基礎版そのものに作用する土圧および地下外壁から基礎上端に作用する荷重を考慮する。地下外壁から作用する土圧荷重は、図 5 に示すように、外壁を梁として切り出したモデルの脚部固定端反力が基礎上端位置に作用するものとし、基礎版中央におけるせん断力による付加曲げモーメントおよび基礎版側面に作用する付加水平力を考慮し、節点の支配長さに応じて節点水平力および節点モーメントとして考慮する。

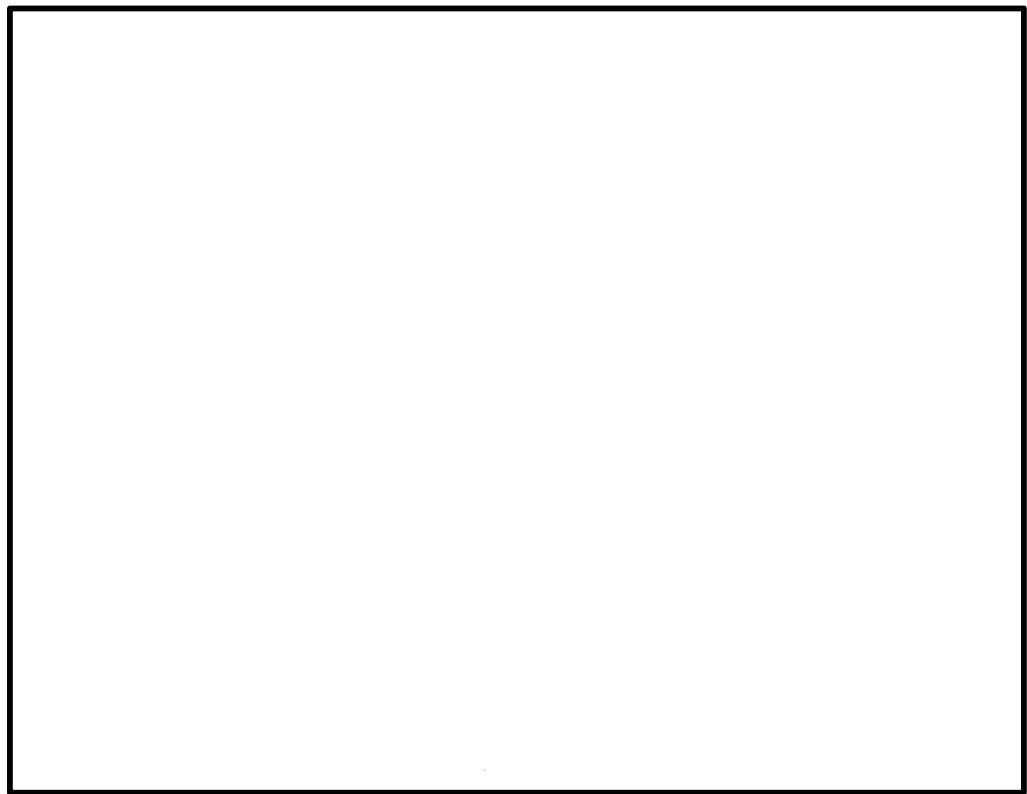


(a) 水平荷重



(b) 鉛直荷重

— 0/W — I/W — S/W



概略平面図 (EL. -4.0 m)

図1 荷重の入力位置 (耐震壁)

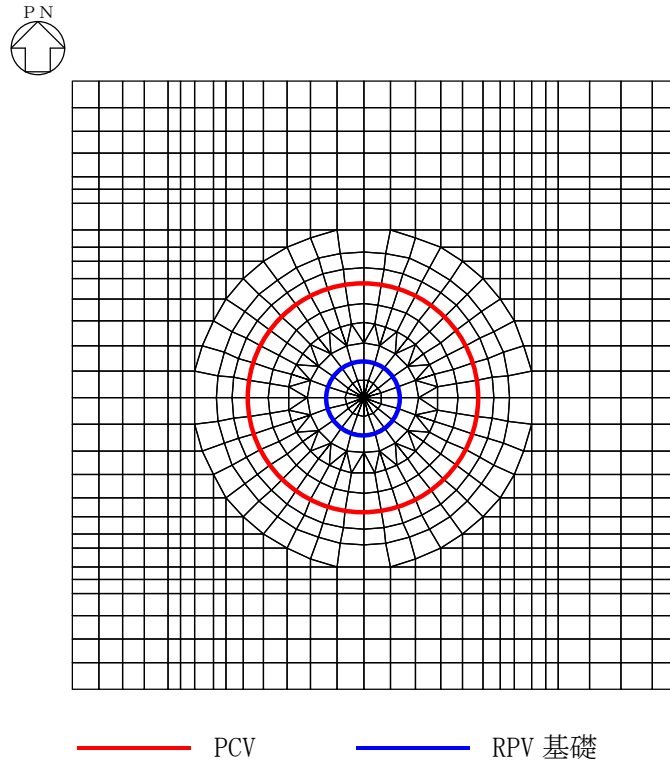


図2 荷重の入力位置 (PCV および RPV 基礎)

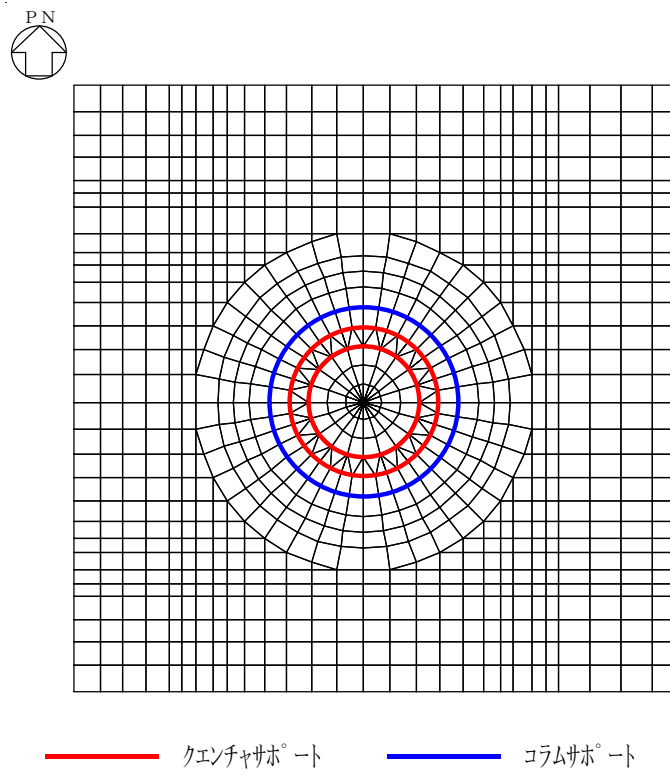


図3 (1/2) 荷重の入力位置 (クエンチャサポートおよびコラムサポート)



図 3 (1/2) 荷重の入力位置 (クエンチャサポートおよびコラムサポート位置 平面図)

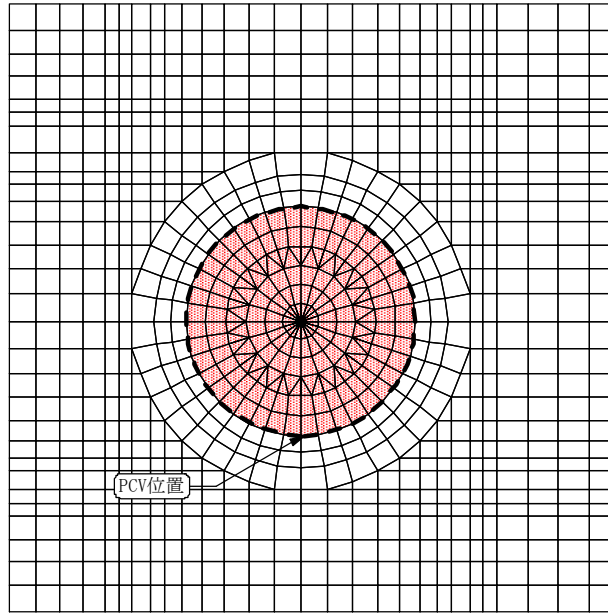


図 4 (1/2) 荷重の入力位置 (サプレッションプール水)

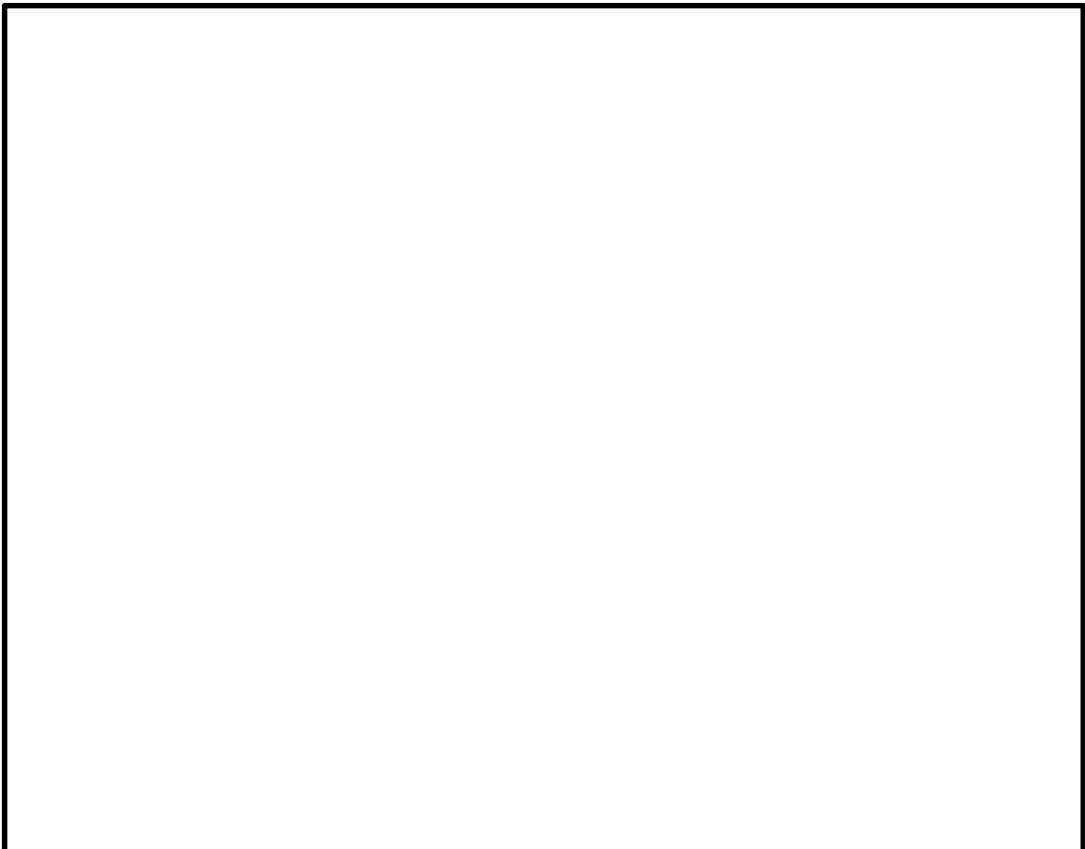


図 4 (1/2) 荷重の入力位置 (原子炉格納容器内 サプレッションプール 断面図)

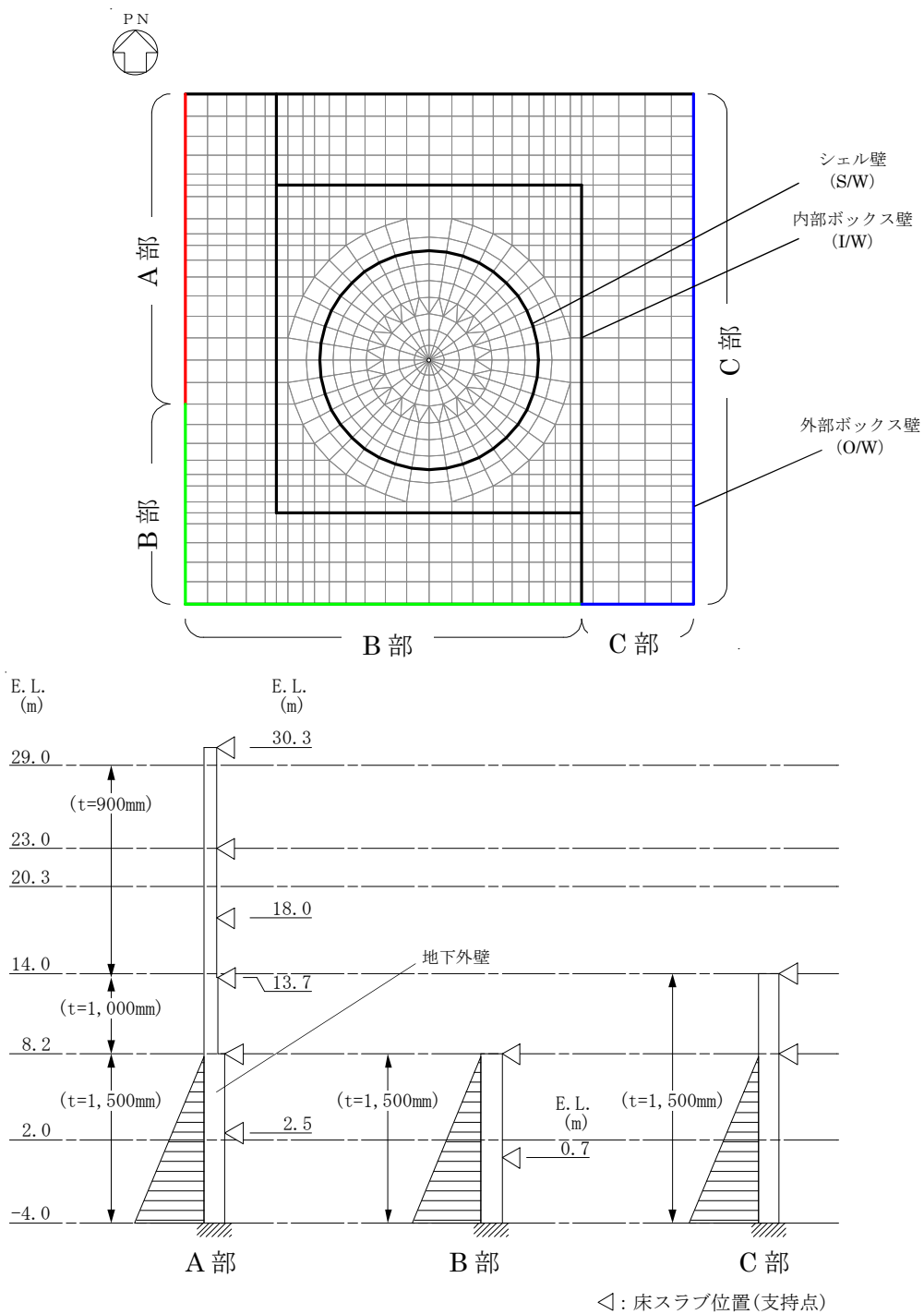


図5 土圧荷重算定の解析モデル

2. 荷重の入力方法

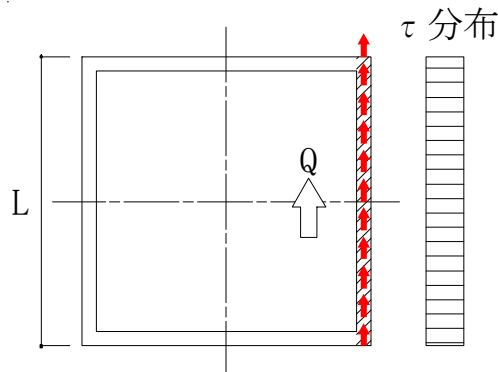
(a) せん断力

- ・ 矩形部 (O/W および I/W)

ウェブ部に等分布する線荷重として考慮し、各節点の支配長さ ΔL に応じて節点荷重 ΔQ として入力する。

$$\Delta Q = \frac{Q}{L} \Delta L$$

ここで、 Q : 対象部の負担せん断力
 L : 対象部の長さ



【地震時の荷重入力】

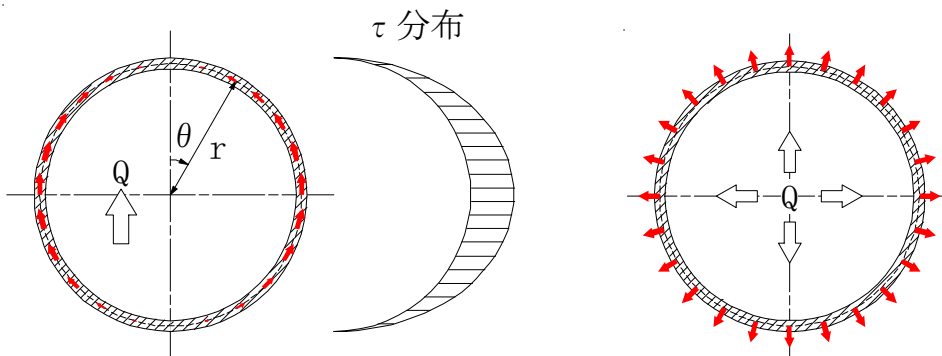
- ・ 円筒部 (S/W, PCV および RPV ペDESTAL)

X方向もしくはY方向に作用するせん断力は、円周方向に \sin 分布する線荷重として考慮し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて円周方向の節点荷重 ΔQ として入力する。

半径方向に作用するせん断力は、半径方向の等分布荷重として考慮し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点荷重 ΔQ として入力する。

$$\Delta Q = -\frac{Q}{\pi} \sin \theta \Delta\theta \quad (\text{X方向 or Y方向}) \quad \Delta Q = \frac{Q}{2\pi} \Delta\theta \quad (\text{半径方向})$$

ここで、 Q : 対象部の負担せん断力
 θ : 載荷方向軸からの対象節点の角度



(a) X方向 or Y方向

(b) 半径方向

【地震時の荷重入力】

【圧力、水力学的動荷重による入力】

・円筒部（クエンチャサポートおよびコラムサポート）

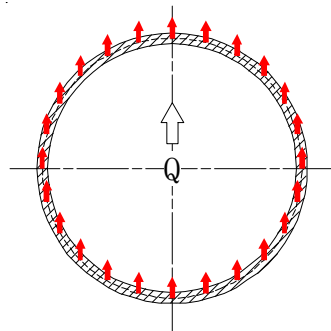
X方向もしくはY方向に作用するせん断力は、考慮する台数分の合計せん断力を円周上の等分布荷重として各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点荷重 ΔQ として入力する。

半径方向に作用するせん断力は、考慮する台数分の合計せん断力を半径方向の等分布荷重として考慮し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点荷重 ΔQ として入力する。

$$\Delta Q = \frac{Q}{2\pi} \Delta\theta$$

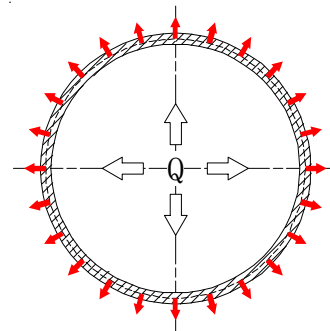
ここで、 Q : 対象部に考慮する台数分の合計せん断力

θ : 载荷方向軸からの対象節点の角度



(a) X方向 or Y方向

【地震時の荷重入力】



(b) 半径方向

【圧力、水力学的動荷重による入力】

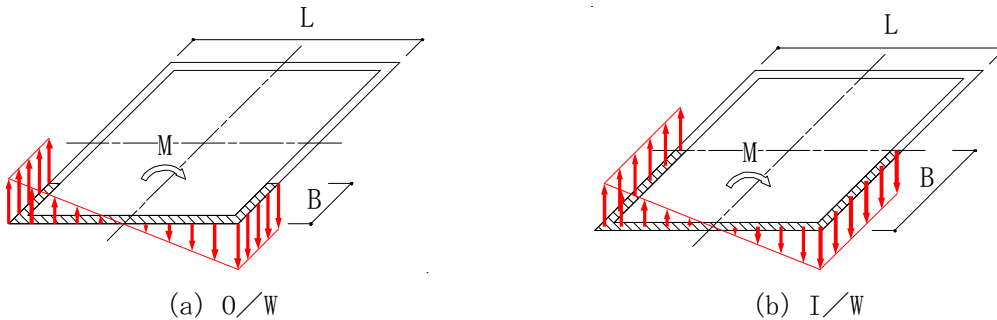
(b) 曲げモーメント

- ・矩形部 (O/W および I/W)

鉛直方向の等変分布する面荷重として考慮し、節点の支配面積 ΔA に応じて節点荷重 ΔP として入力する。なお、フランジ幅 B は、O/Wについては、壁外面から5.0 mの範囲、I/Wについては、全幅とする。

$$\Delta P = \frac{M}{I} y \Delta A$$

- ここで、 M : 対象部の負担モーメント
 I : 対象部の断面2次モーメント
 y : 対象部の図心からの対象節点の距離



【地震時の荷重入力】

- ・円筒部 (S/W, PCV 及び RPV ペDESTAL)

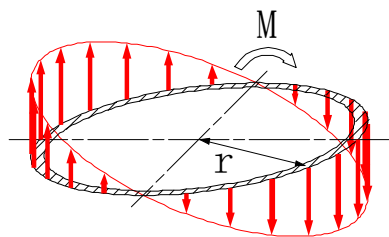
X方向もしくはY方向に作用する曲げモーメントは鉛直方向の等変分布する線荷重もしくは面荷重として考慮*し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点荷重 ΔP として入力する。

半径方向に作用する曲げモーメントは、半径方向の等分布の曲げモーメントとして考慮し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点曲げモーメント ΔM として入力する。

$$\Delta P = \frac{M}{I} y \Delta A \quad (X \text{ 方向 or } Y \text{ 方向}) \quad \Delta M = \frac{M}{2\pi} \Delta\theta \quad (\text{半径方向})$$

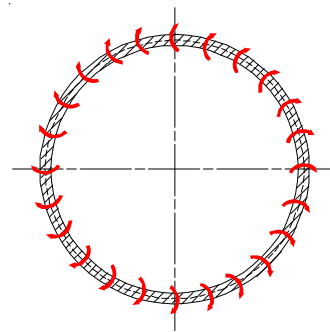
- ここで、 M : 対象部の負担モーメント
 I : 対象部の断面2次モーメント
 r : 対象部の半径
 y : 対象部の図心からの対象節点の距離

注記 * : S/Wは図1より面荷重とし、PCV 及び RPV は図2より線荷重として与える。



(a) X方向 or Y方向

【地震時の荷重入力】



(b) 半径方向

【圧力、水力的動的荷重による入力】

・円筒部（クエンチャサポートおよびコラムサポート）

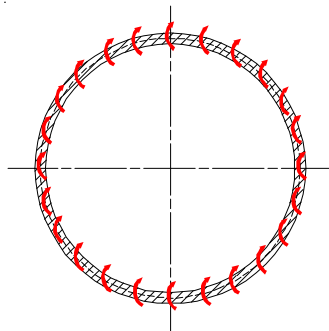
X方向もしくはY方向に作用する曲げモーメントは、考慮する台数分の合計曲げモーメントを円周上の各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点曲げモーメント ΔM として入力する。

半径方向に作用する曲げモーメントは、半径方向の等分布の曲げモーメントとして考慮し、各節点の支配角度 $\Delta\theta$ に応じて節点曲げモーメント ΔM として入力する。

$$\Delta M = \frac{M}{2\pi} \Delta\theta$$

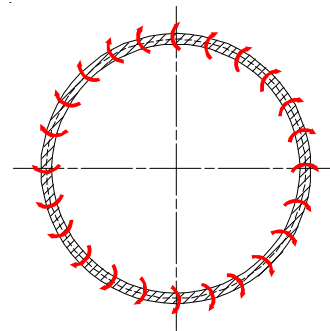
ここで、 M : 対象部の負担モーメント

θ : 載荷方向軸からの対象節点の角度



(a) X方向 or Y方向

【地震時の荷重入力】



(b) 半径方向

【圧力、水力学的動荷による入力】