

大深度地中構造物の耐震解析に用いる解析モデルに関する研究

大成建設(株) 正会員 ○渡辺 和明
大成建設(株) 正会員 澤田 茉伊

1. はじめに

地層処分施設は、鉛直方向に長大な立坑や大深度の連接坑道等、複雑な構造形式を有する地中構造物である。このような大深度地中構造物の地震時安全性は、3次元的な構造形状や地質構造を考慮した地盤～構造物の連成モデルを用いた3次元動的解析によって評価される¹⁾。しかし広範囲の岩盤内に複数の立坑や横坑が存在するため、地盤～構造物全体をFEMでモデル化する場合、大規模な解析モデルとなり、膨大な解析時間を要することが予想される。また、立坑と横坑の接続部等、応力状態が複雑に変化する箇所の詳細検討を行う場合、非線形力学特性の適用の可能性もあるため、解析時間を減少させる数値計算上の工夫が必須課題と考えられる。本研究では、仮想の処分施設モデルを用いて、大深度地中構造物の耐震計算に用いるモデルの簡略化について解析的検討を行った。

2. 大深度地中構造物のモデル化

図-1に示す地層処分施設の一部を取り出したような立坑と横坑からなる仮想モデルを検討対象とする。地盤をソリッド要素、立坑と横坑をシェル要素でモデル化した3次元地盤～構造物連成モデルによる動的線形弾性解析の結果より、地盤のせん断ひずみが急増する地層境界付近、変形モードの異なる立坑と横坑の接続部付近において、構造物の応力状態が厳しくなることが明らかになっている²⁾。ここでは立坑と横坑の接続部の応力評価に着目し、動的サブストラクチャー法の考え方³⁾に基づいて、地表面まで全体をモデル化するのではなく、横坑および接続部の影響が小さくなる高さにモデル境界を設け、解析モデルの領域を小さくする。図-2に示すように、領域を縮小した解析モデルによる動的解析においては、別途、自然地盤の1次元地震応答解析でモデル境界と同一高さでのせん断応力を算出し、これを3次元モデル上面の各節点に等価な節点力として作用させる。

3. モデル領域に関する比較解析

3次元連成モデルにおいて、横坑中心レベルからモデル境界までの高さLをパラメータとして、L=80m(Case-1;地層境界), L=46.8m(Case-2), L=13.6m(Case-3)の3ケースによる比較解析を実施した。なお解析モデルは平面的に十分な領域を確保し、境界条件として全側面の節点における鉛直方向自由度を固定、下端を底面粘性境界とした。入力地震動は、水平1方向のみで、「鉄道構造物等設計標準・同解説―耐震設計」のレベル2スペクトルI地震動のG1地盤用波とした²⁾。

構造物の影響の小さい遠方地盤での最大応答値の深さ方向の分布比較結果を図-3に示す。底面に対する最大相対変位や最大せん断応力の

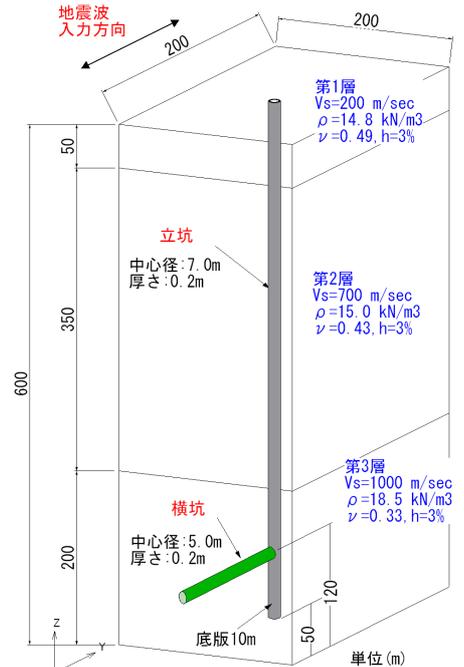


図-1 検討対象と地盤条件

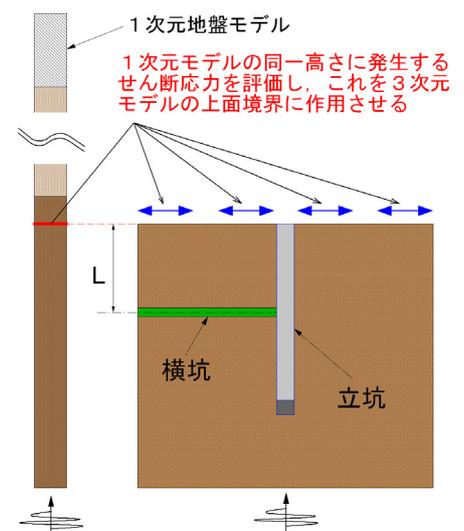


図-2 解析モデルの縮小方法

キーワード 大深度地中構造物, 大規模地中構造物, 3次元動的解析, 大規模解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 TEL: 045-814-7231

比較結果より、接続部および横坑の比較的近傍にモデル境界を設けた Case-3 においても、周辺地盤の全体的な地震時挙動を良く再現できており、今回の提案手法の妥当性が確認できた。

次に立坑および横坑の接続部近傍に発生する縁応力とせん断応力の比較結果を図-4 に示す。接続部と境界の近い Case-3 の結果では、立坑と横坑に発生するせん断応力の値は概ね評価できているが、上面のモデル境界の影響で、接続部付近で増大する縁応力の値を正確に評価できていない。これに対して、接続部からモデル境界まで十分な距離を設けた Case-1, 2 では、接続部付近の立坑および横坑に発生する縁応力およびせん断応力とも正確に評価できている。

なお今回の全体モデルによる動的解析では、地盤と構造物の全要素数が約 12 万で、40.96 秒の継続地盤の入力地震動に対して約 12 時間の解析時間を要している。接続部の応力状態を正確に評価できる Case-2 では、要素数が全体モデルに対して約 1/3 に縮小でき、これに伴って解析時間を約 1/6 に低減できている。

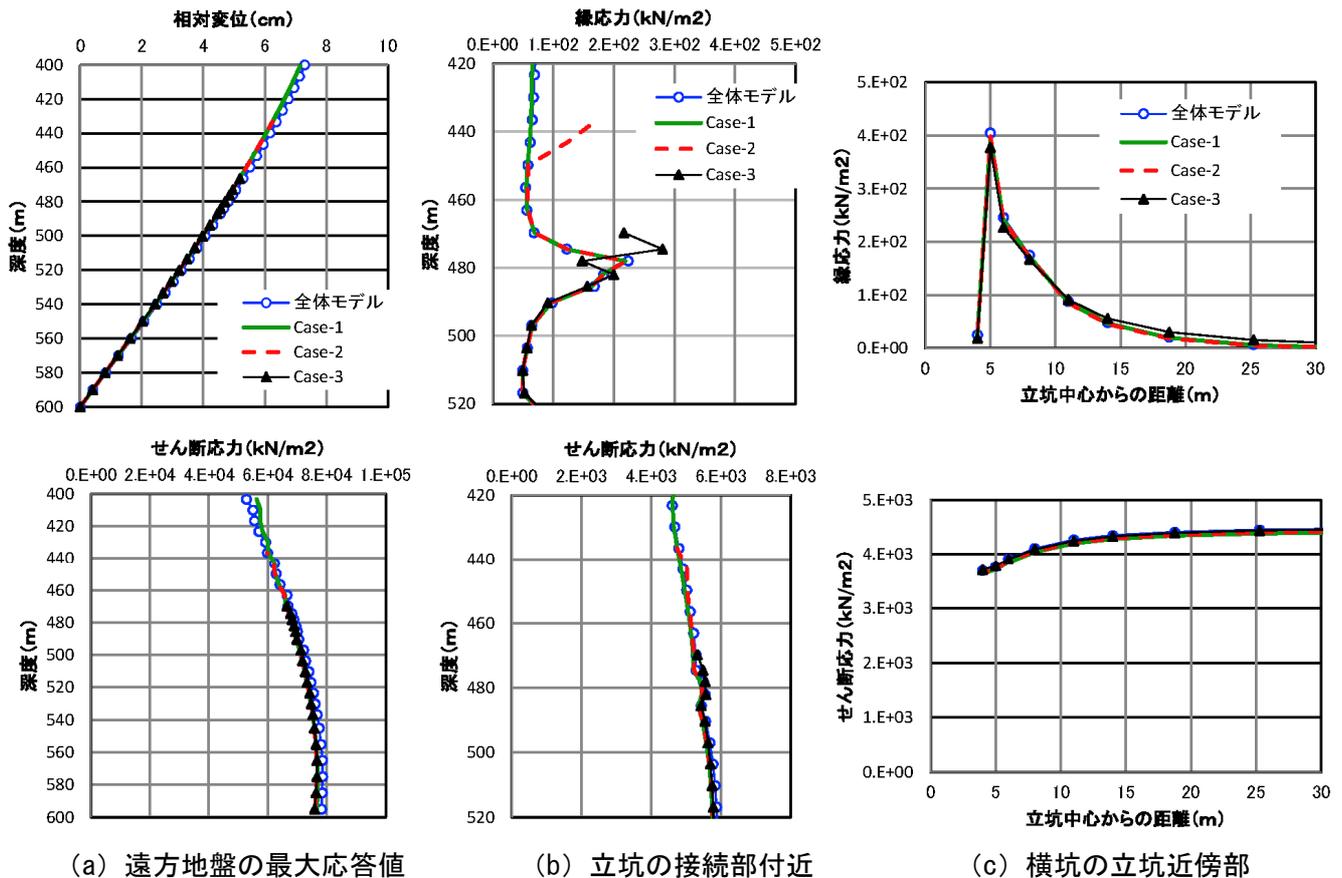


図-3 地盤および構造物の応答値の比較結果

4. まとめ

大深度地中構造物の耐震上の重要な検討部位の一つである長大立坑と横坑の接続部の評価においては、地盤～構造物連成モデルを作成する際に、地表面まで全体をモデル化せず、接続部等の影響が小さくなる高さまでモデル化することで、接続部の応力状態を精緻に評価できる。今回の限られた検討ケースではあるが、解析モデル上面に境界を設け、解析に用いる要素数を減らすことで、解析時間を約 1/6 まで低減できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：地層処分研究開発第2次取りまとめ一分冊2 地層処分の工学技術，1999年
- 2) 渡辺和明，澤田菜伊，志波由紀夫：地層処分施設における大深度地中構造物の耐震性評価に関する基礎的研究，第66回年次学術講演会，2011年
- 3) 立石章：静的FEMを用いた地中構造物横断面方向の耐震計算法における地震荷重の作用方法の研究，土木学会論文集，No. 519/I-32，pp. 139-148，1995年