

複雑な構造を有する三次元地中構造物の地盤-構造物間の相互作用に関する考察

大成建設（株） 正会員 ○宍倉 佳浩 正会員 堀田 渉 正会員 渡辺 和明

1. はじめに

これまで、地中構造物の地震応答解析は、横断方向の地盤-構造物連成の二次元解析かつ RC 部材を部材非線形でモデル化する手法が一般的であったが、昨今、耐震性能照査指針¹⁾や島端らの検討²⁾など、地盤-構造物連成三次元材料非線形解析を適用する事例が増えている。これら先行研究では、3次元モデルと2次元モデルの応答の差異を動的解析により分析しているが、両モデルの地盤-構造物間の相互作用（以下、相互作用）の差異に着目して応答を分析した事例は少ない。

本研究では、先行研究と同じ取水ピットを対象とし、応答震度法による静的プッシュオーバー解析により、妻壁構造を有する3次元モデルと妻壁構造がない2次元モデルの応答の地震時挙動の差異を相互作用の観点から考察する。

2. 解析条件

3次元モデルと擬似的な2次元相当のモデル（以下、2次元モデル）の解析モデルを図-1に、取水ピットの構造概要を図-2に示す。3次元モデルは、耐震性能照査指針の妻壁構造を有する取水ピットを対象とし、2次元モデルは、3次元モデルの4連カルバート構造の部分を抽出したものとした。解析用物性値は、耐震性能照査指針の記載を参考に設定し、非線形構成則には、前川らのモデル³⁾を使用した。コンクリートの設計基準強度は 24N/mm^2 である。鉄筋のモデル化には、節点を共有することなくモデル化可能な埋込鉄筋を使用した。周辺地盤は、砂質土 ($V_s=300\text{m/s}^2$ 相当) の物性を有する線形要素とし、取水ピットの両側面に構造物幅の2倍以上の領域をモデル化した。

応答震度法による解析は、両モデルともに、取水ピット軸直角方向に 1G (9.80665m/s^2) の一様震度を $1/100$ 刻みで静的に作用させた。境界条件は、モデル底面を水平鉛直完全固定、モデル側面を水平ローラーとした。モデル前面/背面 (YZ 面) の境界条件は、モデル化の違いによる相互作用の比較を単純化することを目的として、X 方向（一様震度に対する直交方向）自由度を拘束し、モデルにねじれ挙動が発生しないようにした。

3. 解析結果と考察

図-3に3次元モデルと2次元モデルの頂部変位-震度関係、図-4に最大震度時の最大主ひずみコンターを示す。同図においては、両モデルの応答比較を目的とするため、同一断面（4連カルバート部）を抽出した。図-3より、3次元モデルは、2次元モデルに比べて、頂部変位が小さくなる傾向が確認され、先行研究と同様に、妻壁による応答への影響が確認された。また、両モデルの変形量の差は、震度の増加に伴って増加する傾向が見られた。図-4では、3次元モデルの部材隅角部に発生する最大主ひずみ量が2次元モデルに比べて小さくなる傾向が見られた。これは、両者の頂部変位の差に伴う部材の塑性化の違いに基づくものと考えられる。

図-5に取水ピット側面の隣接地盤の直応力とせん断応力コンター、図-6に3次元モデルの最大震度時の最大主ひずみコンターと変形図を示す。図-5より、取水ピット側面の地盤の直応力とせん断応力は、2次元モデルでは取水ピット軸方向に一様に分布しているのに対し、3次元モデルでは複雑な応力分布となり、両者の相互作用に明確な差異が見られた。3次元モデルにおいて、特に直応力分布は、海側妻壁の隅角部付近で応力の減少が見られ、山側妻壁付近では応力の増加が見られた。図-6より、海側妻壁では、開口部の隅角部で最大主ひずみが増加、局所的な部材の塑性化により、構造物側反力が低下することで直応力が減少したのと考えられる。逆に、山側妻壁では、開口部が存在しない剛な構造であるため、構造物反力の増加に伴って直応力が増加したものと推測される。一方、せん断応力分布については、海側妻壁の開口部付近は両モデルで類似した分布傾向になっているのに対し、山側妻壁付近では3次元モデルの応力が減少する傾向が確認された。これは、海側妻壁では開口部を有するため、周辺地盤に追随する2次元モデルに近い変形挙動であるのに対して、開口部が存在しない山側妻壁では、周辺地盤と構造物間で変位差が生じ、せん断応力が減少したのと考えられる。なお、図-6に示すように山側妻壁に斜めひび割れが発生しており、さらなる荷重増加による斜めひび割れの進

キーワード 地中構造物、三次元材料非線形 FEM 解析、埋込鉄筋、地盤-構造物間の相互作用、応答震度法
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設（株） 原子力本部 TEL03-5381-5196

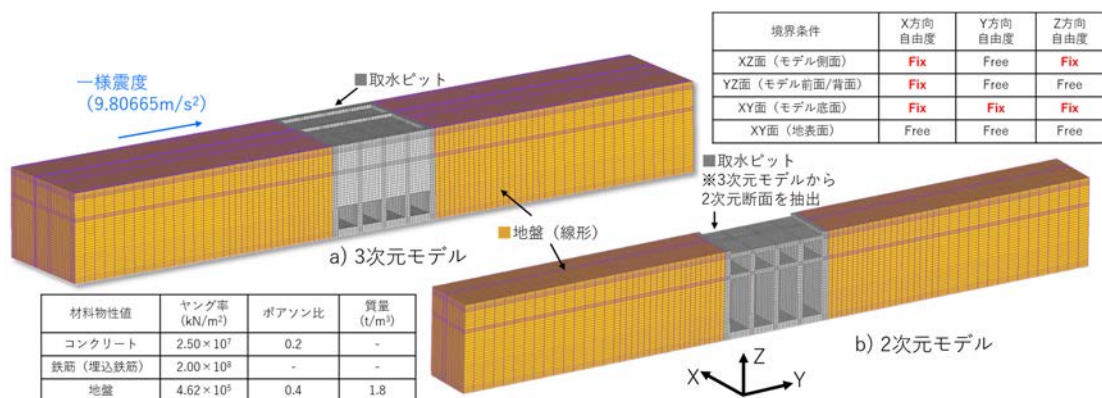


図-1 解析モデル

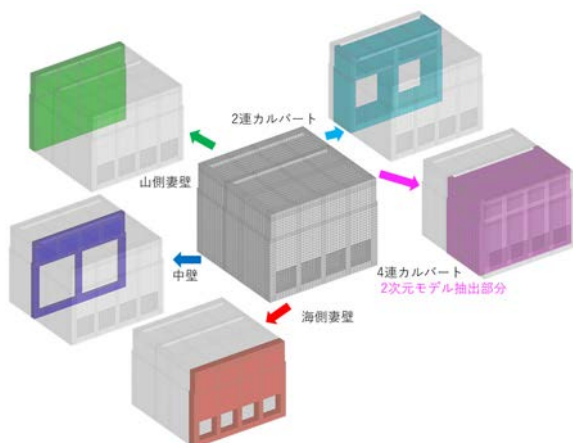


図-2 取水ピットの構造概要

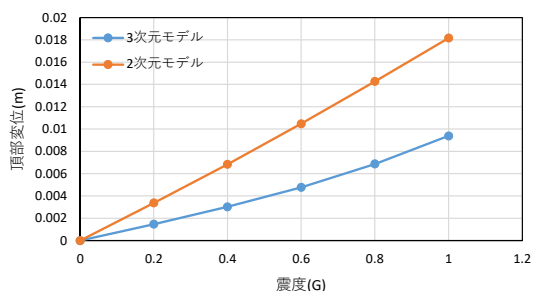


図-3 頂部変位-震度関係

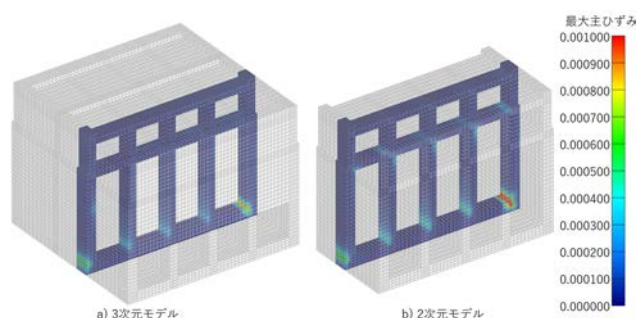


図-4 最大震度時の最大主ひずみコンターの比較図

展、妻壁の塑性化に伴う相互作用の変動が予想される。

4. まとめ

本研究では、複雑な三次元構造を有する地中構造物を対象とした応答震度法による静的プッシュオーバー解析により、3次元モデルと2次元モデルの応答を比較し、三次元構造特有の地震時挙動を地盤-構造物間の相互作用に着目して分析した。今後は、地盤への材料非線

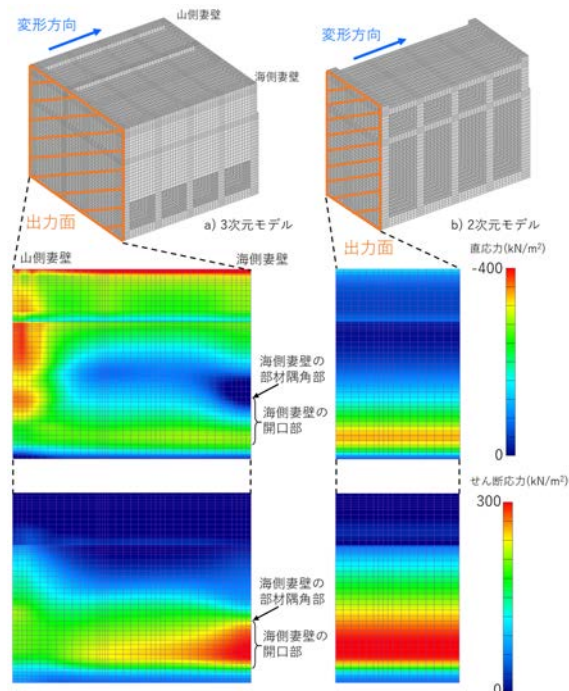


図-5 最大震度時の土圧コンター
(上段：直応力，下段：せん断応力)

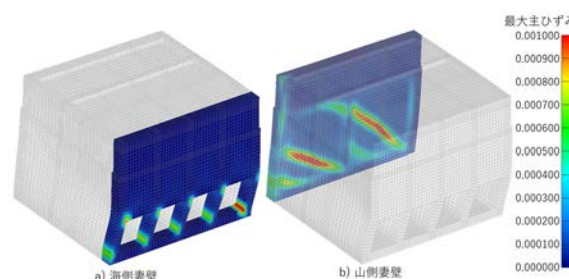


図-6 3次元モデルの最大主ひずみコンターと変形図

形構成則の適用、地盤-構造物間の接触面の局所非線形挙動等について、動的解析で分析を行う予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針，2021。
- 2) 島端嗣浩・松尾豊史・両角浩典・島村真介：三次元材料非線形解析を用いた鉄筋コンクリート製地中構造物を対象とした地震時挙動評価，構造工学論文集，Vol. 66A，pp.231-241，2020。
- 3) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, Taylor & Francis, 2003。