

大深度シールド工事用立坑の地震時応力の発生メカニズムに関する考察

大成建設 正会員 ○澤田 茉伊
 大成建設 フェロー会員 志波 由紀夫
 早稲田大学 学生会員 安藤 恒平
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

硬軟の地層境界をまたぐ大深度シールド立坑では、地層境界を中心に大きな地震時応力が生じるため、効果的な軽減策が求められている¹⁾。これを検討する上で、軽減の対象とする地震時応力成分が周辺地盤との動的相互作用を受けて、どのように生じるかを詳細に把握することが重要である。本稿では、模型振動台実験の数値解析の結果に基づき、応力の発生メカニズムについて考察する。

2. 模型振動台実験の数値シミュレーション

振動台実験¹⁾では、硬軟の地層境界をまたぐ深さ 80m、直径 20m の立坑を想定した 1/200 の小型模型を用いた。これを図 1 に示すように、地盤部分をソリッド要素、立坑部分をシェル要素でモデル化し、線形動的解析により再現した。

エルセントロ波（最大加速度 500Gal、時間軸 1/10）で加振したとき、実験と解析で得られた地盤と立坑の応答を比較した。代表例として、地盤変位と立坑のせん断ひずみについて、波形と深さ方向の最大値分布の比較を図 2 に示す。ここでのせん断ひずみは、実際には三軸ひずみゲージの 45 度軸からの出力値であるが、本実験では、軸方向のひずみが比較的小さいため、これをせん断ひずみとほぼ同等とみなすことができる。地盤の応答は、実験と解析でよく整合した。また、立坑のひずみについても、測点によっては、応答値の大きさに差が生じる場合があったが、概ね立坑の挙動を再現できていると考えられる。

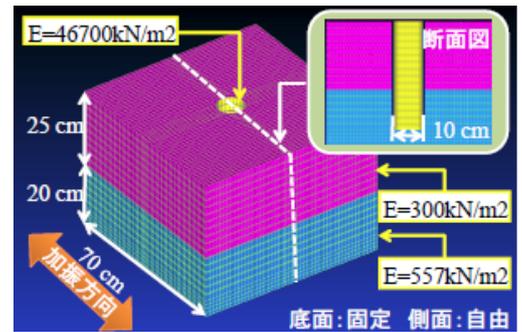


図 1 解析モデルの概要

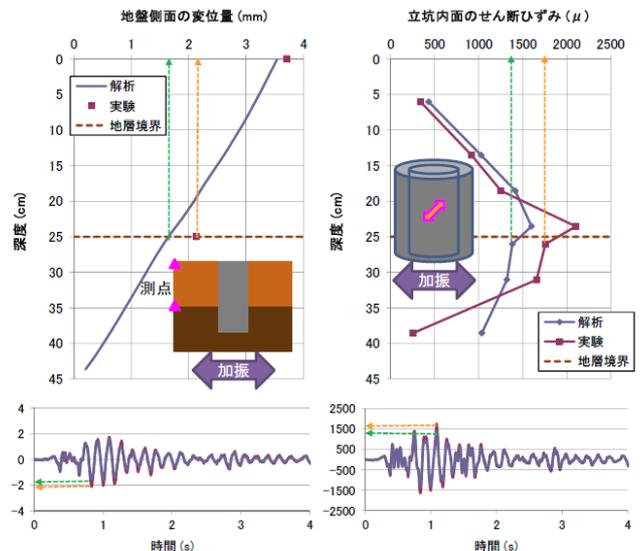


図 2 実験と解析の結果の比較

3. 立坑に生じる応力

まず立坑に生じる応力について、解析結果に基づいて考察する。以下では、地表面変位が最大となる時刻に着目する。図 3(a) にこの時刻における地盤変位の深さ方向の分布を示す。応力成分のうち、主要な面内せん断応力(τ)と鉛直方向の軸応力(σ)の地層境界部の立坑水平断面内での分布を図 4(a) に模式的に示す。いずれも応力の大きさは、YZ 平面に対して対称で、図中に示す矢印の向きに生じている。 τ は、円周方向に沿って、位置 1 から位置 2 に向かって増加し、 σ は、位置 2 から位置 1 に向かって増加する分布となっている。

位置 2 の τ と位置 1 の σ の深さ方向の分布を図 3(b) に示す。 σ の正負はそれぞれ、引張、圧縮を表し、深さ 15cm 付近を境に上部で圧縮、下部で引張状態にあることがわかる。一方、 τ は深さによらず一方向に生じている。

4. 立坑が周辺地盤から受ける応力

キーワード 振動台実験, 動的地震応答解析, シールド立坑, 地盤相互作用

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 3 4 4 - 1 大成建設技術センター土木技術研究所 TEL 045-814-7231

次に、立坑側面が地盤から受ける応力を加振方向成分(σ_{gx})、加振直交方向成分(σ_{gy})および鉛直方向成分(τ_{gz})に分けて考える。地層境界部の立坑側面におけるこれらの分布を図4(b)に模式的に示す。ただし、分析の結果、 σ_{gy} については、他の二つの成分に比べて、微小であったため図示していない。 σ_{gx} と τ_{gz} の大きさはいずれも、YZ平面に対して対称で、図中に示す矢印の向きに生じている。 σ_{gx} は、位置3付近の面で卓越し、 τ_{gz} は、位置4から位置3に向かって増加する分布となっている。

位置3における σ_{gx} と τ_{gz} の深さ方向の分布を図3(c)に示す。 τ_{gz} は、深さ方向のどの位置でも下向きに作用しているが、 σ_{gx} は、地層境界よりやや上部を境に変化している。上部では、立坑が地盤の変位を妨げ、逆に下部では、上部に引っ張られて変位しようとする立坑を地盤が引き止めていることが読み取れる。

5. 立坑に生じる応力と地盤との相互作用力の関係

立坑に生じる応力とこれを生起させる地盤との相互作用力の関係について考察する。図4より、水平方向の力の釣合は、上下面に生じる τ の差と側面に作用する σ_{gx} により保たれ、またY軸周りのモーメントは、主に水平断面に生じる τ と側面に作用する τ_{gz} によりバランスしていることがわかる。このことから、 τ と σ は互いに独立ではなく、ともに σ_{gx} と τ_{gz} の両方が生起に関わっていると考えられる。さらに、立坑の底面に近い位置では、これらに加えて、底面に作用する地盤の反力の影響も考慮する必要がある。

そこで、 τ と σ のそれぞれについて、 σ_{gx} と τ_{gz} のいずれが生起に大きく影響しているかを調べるため、これら4つの

波形の形状を比較した。図5に代表点における結果を示す。なお、形状を比較しやすいよう縦軸は、最大値で正規化している。 τ_{gz} は、 τ と比較的よく合致しており、 τ の生起に関わる主要な要因と推測できる。一方、 σ は位相が σ_{gx} と比較的合致するものの、形状については、前者ほどの合致度はみられなかった。

6. まとめ

地層境界をまたぐ立坑に生じる応力の生起に、周辺地盤との相互作用力の複数の成分が関わっていることがわかった。したがって、応力の軽減策を検討する際は、これらの相互作用力を考慮した適切な構造解析モデルを組立て、その中で、生起に主体的に関わる成分に着目することが重要と考えられる。

参考文献

1) 藤原康史, 澤田茉伊, 志波由紀夫, 安藤恒平, 小泉淳: 大深度シールド立坑の地震時挙動と可撓性継手の効果に関する実験および解析的検討, 第6回日中シールド技術交流会講演集, pp. 53-59, 2011.

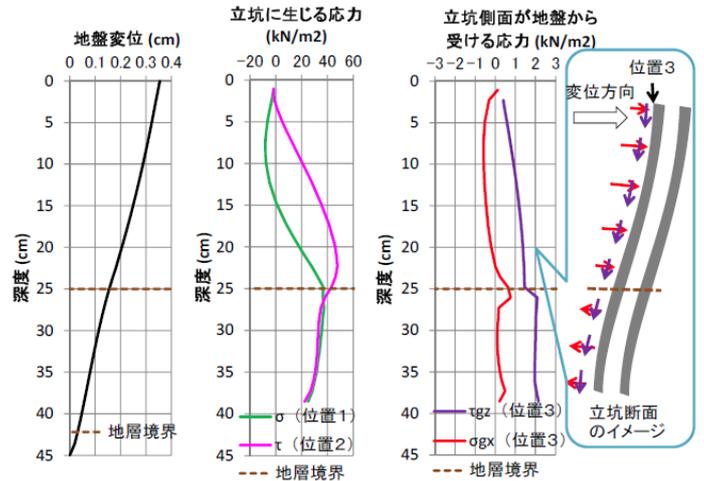


図3 (a) 地表面変位最大時の地盤変位の分布 (左)
(b) 立坑水平断面に生じる応力の分布 (中)
(c) 立坑側面が地盤から受ける応力の分布 (右)

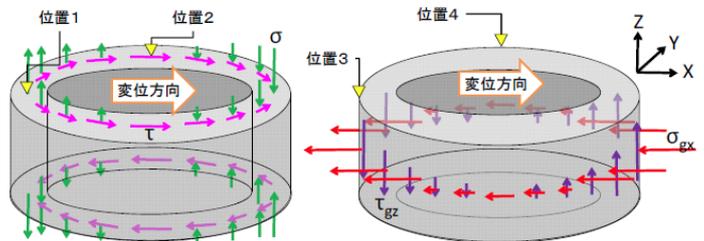


図4 (a) 地層境界部の立坑水平断面に生じる応力 (左)
(b) 地層境界部の立坑側面が地盤から受ける応力 (右)

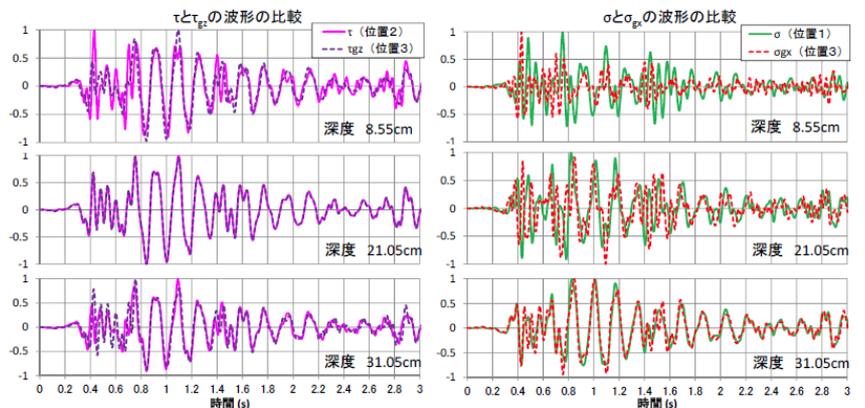


図5 立坑に生じる応力と地盤との相互作用力の波形の比較