

大深度シールド立坑の地震時挙動と可撓継手の効果に関する基礎的研究
— 模型振動実験の数値シミュレーションによる考察 —

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
大成建設 正会員 畑 明仁
早稲田大学 学生会員 徳丸 大介
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

硬質な地層と軟質な地層にまたがって建設される大深度シールド立坑では、地層境界部付近に大きな地震時応力が発生することが予想されるが、この軽減策のひとつとして、立坑の水平断面に可撓性継手を設ける方法が考えられる。その効果は、小型模型を用いた振動台実験により、継手を設けることで立坑に発生するひずみが軽減されるなど、有効であることが確認されている¹⁾。本稿では、この実験を3次元FEMによる地震応答解析によって再現し、解析的な視点から立坑全体の基本的な地震時挙動を捉え、継手効果について検討した内容を述べる。

2. 解析の概要

振動台実験¹⁾に用いた小型模型は、硬・軟の地層境界にまたがる立坑を想定し、硬度の異なる2層のシリコン地盤中にウレタン製の立坑を埋め込んだものである。実験では、表1に示す4ケースの立坑模型が検討された。解析では、模型の地盤部分をソリッド要素、立坑および継手部分をシェル要素でそれぞれモデル化した。要素数は約8万であり、すべて線形弾性とした。物性値は、各材料の一軸圧縮試験結果と、実験により得られた各ケースの共振曲線（1次固有振動数は、いずれも6.0Hz程度）に基づき、実験結果を忠実に再現できる値とした。図1に解析モデルの一例（ケース2）を示す。

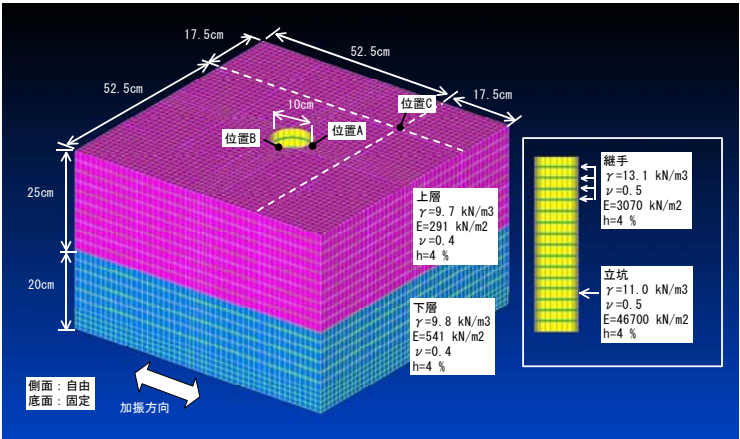


図1 解析モデル（深さ40cmの継手を有する立坑モデル）

表1 検討ケースの一覧

ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
立坑深さ40cm	立坑深さ40cm	立坑深さ25cm	立坑深さ25cm
継手なし	継手あり	継手なし	継手あり

3. 振動台実験の再現

まず、上記4ケースについて、振動数を模型の共振振動数（6.0Hz）と一致させた、振幅50Galの正弦波による加振実験を再現した。地盤の変位および加速度については、いずれのケースにおいても全計測点について実験結果を精度よく再現できた。立坑のひずみについては、ひずみゲージの接着と較正值決定に一部不備があったために、正確な計測値が得られず、解析結果が合致しない測点もあるが、概ね実験結果を再現できた。図3に、ケース2において実験と解析により得られた位置Cの地盤変位と位置Aの立坑内側の鉛直方向ひずみの最大値の深さ方向の分布の比較を示す。

実地震波で加振した場合についても、正弦波加振の場合と同様の結果が得られた。一例として、ケース2について、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台波（時間軸1/10、振幅300Galに調整）で加振した場合の応答波形の一部を図4

キーワード シールド立坑，可撓継手，地震応答解析

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設 技術センター TEL045-814-7231

および図5に示す。

4. 立坑の地震時挙動と継手の応力軽減効果

前期の解析モデルが実験結果を良好に再現できることを確認した上で、次に、立坑の挙動と継手効果を解析結果に基づき詳細に検討した。図6は上述の正弦波で加振した場合の立坑に作用する位置Aの鉛直・円周方向軸方向応力、位置Bの面内せん断応力の最大値の深さ方向の分布を示したものである。いずれの応力成分も地層境界付近において最大となり、特に鉛直方向軸応力と面内せん断応力が際立って大きく、実構造物においても設計上厳しい条件になると予想される。しかし、継手を設けることにより、地層境界をまたぐ深い立坑のケースにおいては、鉛直方向軸応力では半分程度、面内せん断応力では30%程度軽減できている。これは、継手部分が大きくせん断変形することにより、継手に挟まれた躯体のひずみを緩和するためである²⁾。また、地層境界をまたがない浅い立坑においても継手による応力軽減効果が見られるが、深い立坑の場合のほうがより効果大きいと言える。なお、面外曲げ応力成分についても継手による応力軽減効果は見られたが、今回のケースでは、軸応力に比べ、曲げ応力は小さいため、詳細は省略する。

5. まとめ

振動台実験の再現解析により、可撓性継手を設けた立坑では、継手部分が大きくせん断変形することにより、躯体部分に発生する地震時応力を緩和できることがわかった。中でも、応力レベルの高い鉛直方向軸応力と面内せん断応力については、今回の検討ケースでは、それぞれ半分程度、30%程度的大幅な軽減が見られ、特に効果的であると考えられる。

参考文献

- 1) 大深度シールド立坑の地震時挙動と可撓継手の効果に関する基礎的研究—地盤・立坑モデルの振動台実験による挙動把握—：安藤恒平，藤原康史，志波由紀夫，畑明仁，澤田茉伊，小泉淳，第66回年次学術講演会概要集，2011
- 2) 大深度シールド立坑の地震時応力を軽減するための可撓性継手の効果に関する解析的検討：澤田茉伊，志波由紀夫，畑明仁，徳丸大介，小泉淳，第46回地盤工学研究発表会発表講演集，2011（投稿中）

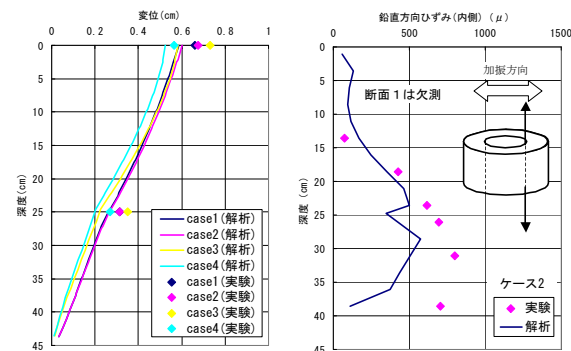


図3 最大応答値分布の比較（正弦波加振時）

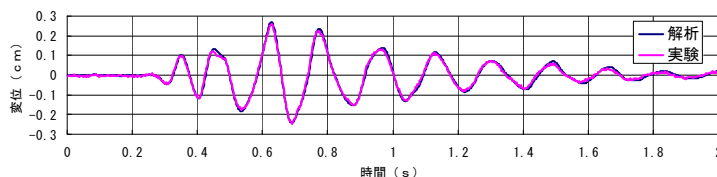


図4 地表面における応答変位（ケース2）

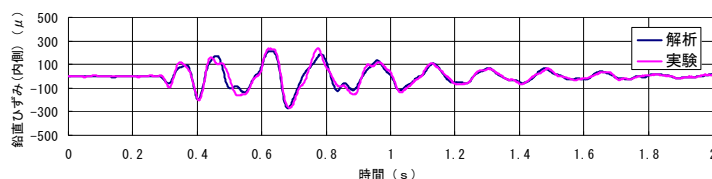


図5 地層境界付近での立坑内側の鉛直方向ひずみ（ケース2）

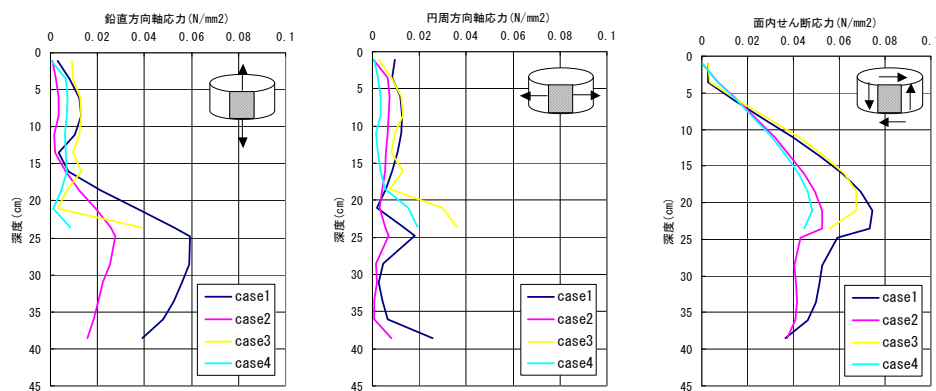


図6 立坑の最大応力の分布（解析値）