

異高型複断面トンネルを対象とした動的載荷実験の再現解析

東京地下鉄(株) 正会員 ○佐々木 孝太 大塚 努 小西 真治
 (株) コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史
 横浜国立大学 フェロー会員 前川 宏一

1. はじめに

著者らは、地下鉄箱型トンネルの異高型複断面部の耐震性能を把握するため、解析による検討¹⁾や静的条件における実験的検討²⁾、動的条件における実験的検討³⁾を行ってきた。今回は、地震時の動的挙動の更なる把握を目的に FEM 解析を用いて再現解析を行った。

2. 解析概要

(1) モデル化の概要

解析には、三次元有限要素非線形解析ツール「COM3⁴⁾」を用いた。解析の対象範囲は、動的実験に併せて設定した。図-1 にモデル概要図を示す。トンネル横断方向および鉛直方向は図-1 の実験土槽にあわせて設定し、トンネル縦断方向は奥行 1.0m とした。トンネル躯体は弾性要素、地盤は拘束圧依存を考慮した地盤非線形要素とし躯体と地盤の境界には剛な接合要素を配置した。また、動的試験にあわせて側面には疑似要素を配置する。疑似要素と地盤要素との間にも接合要素を定義し、地盤のせん断変形を拘束しないように、せん断剛性をゼロとする。疑似要素は土槽重量を勘案して設定し、剛なヤング率で過小なせん断剛性を付与する。さらに、両端の土槽の節点を剛なトラス要素で接続する。躯体断面の部材軸直交方向は 4 分割とし、トンネル縦断方向に 4 等分する。モデル底面を固定し、側面を鉛直ローラーとして自重を考慮した後に節点拘束を解除して、図-2 の加速度時刻歴波形を入力する。図-3、図-4 より模型トンネルひずみとせん断土槽変位から整合する挙動をしていることを確認している。

(2) 材料特性

入力した材料特性を表-1 に示す。せん断応力-せん断ひずみの骨格曲線は、式(1)に表されるような Ramberg-Osgood モデルと同様式で表現できるものとし、履歴則は Masing 則に従う。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} \left(1 + \alpha \left| \frac{\tau}{S_u} \right|^\beta \right) \quad (1)$$

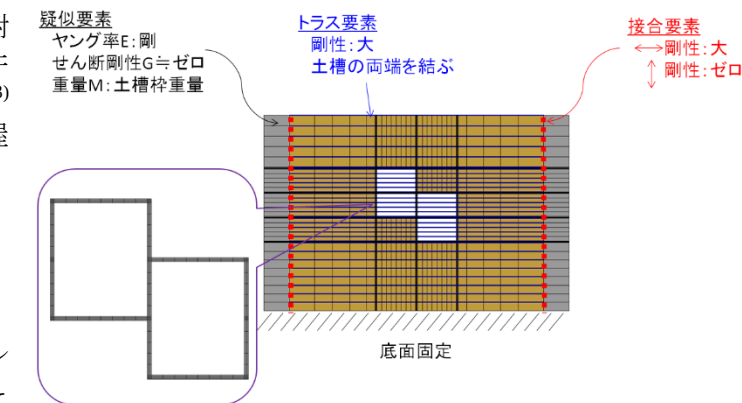


図-1 動的実験に用いた土槽

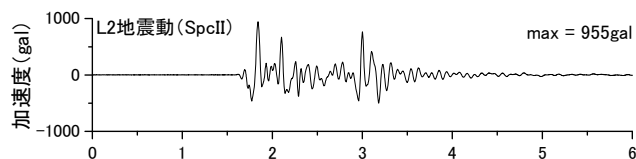


図-2 入力波形 (+950gal)

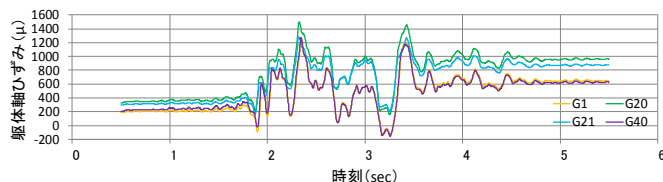


図-3 模型トンネルのひずみ (+950gal)

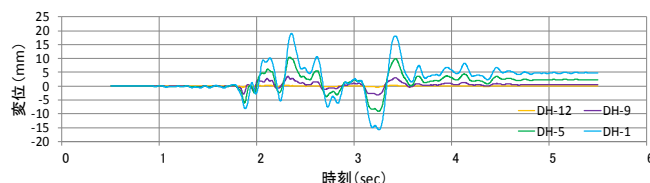


図-4 せん断土槽の変位 (+950gal)

表-1 入力物性値

躯体	$E=3443.0 \text{ MN/m}^2$, ポアソン比0.43, 単位体積重量 1.181 g/cm^3 (弾性要素)
地盤	$G_0=45.4 \text{ MN/m}^2$, ポアソン比0.3, 単位体積重量 15.7 kN/m^3

γ :せん断ひずみ τ :せん断耐力

G_0 :初期せん断剛性 S_u :せん断強度 α, β :材料パラメータ

キーワード 開削トンネル, FEM 解析

連絡先 〒110-8614 東京都台東区東上野 3 丁目 19 番 6 号 東京地下鉄株式会社 TEL:03-3837-7264

3. 動的実験との比較

図-5の異高型複断面のモーメント図およびせん断力図について見てみると動的実験と概ね同様の傾向を示している。曲げモーメント図では、載荷側の下端隅角部と載荷反対側の上端隅角部で負の曲げモーメントが大きくなる傾向が確認できる。また、中壁の曲げモーメントが大きくなる傾向が確認できる。正加振では中壁中央部の上端と下端が、負加振では中壁上部および中壁下部の上端と下端で、曲げモーメントが大きくなっており、加振方向によって異なる傾向となっている。せん断力図についても、載荷側の下端隅角部と載荷反対側の上端隅角部でせん断力が大きくなる傾向が確認できる。これに加えて、正加振では中壁中央部、負加振では中壁上部および中壁下部でせん断力が大きくなる傾向が確認でき、載荷方向によって異なる傾向が見られる。

図-6のコンター図からも、地盤及び躯体のひずみが載荷方向によって異なることが確認できる。

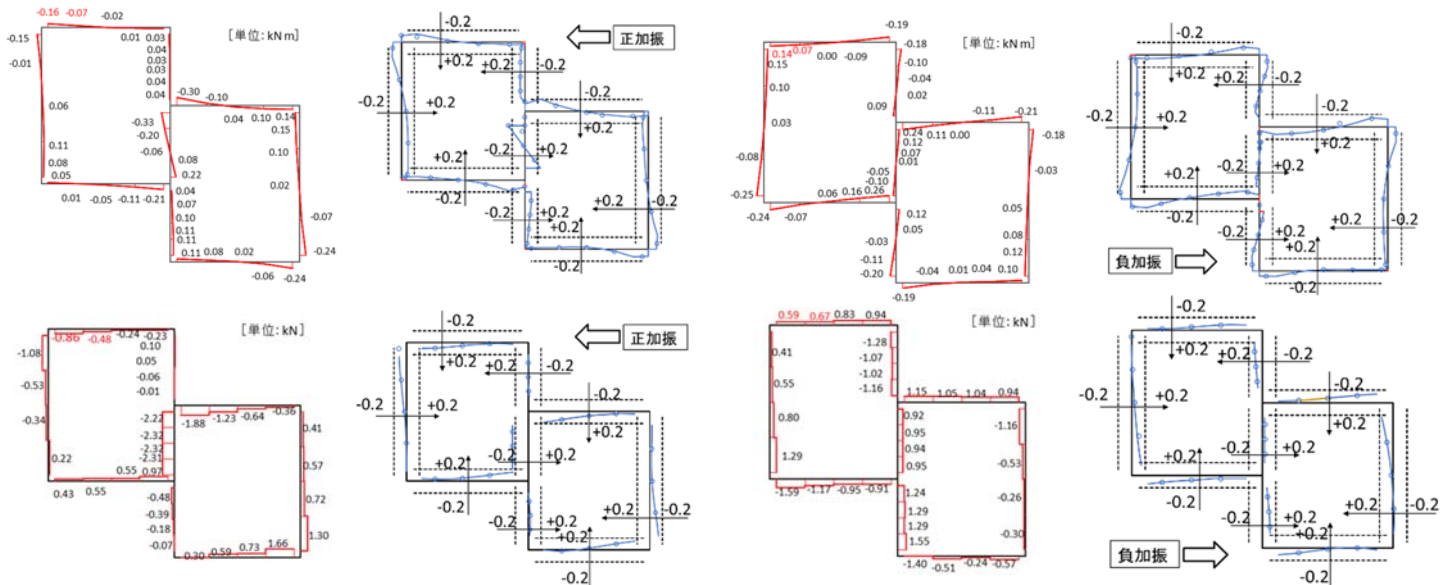


図-5 実験解析比較

(左：動的実験, 右：動的解析) (上：曲げモーメント図, 下：せん断力図)

4. おわりに

三次元非線形有限要素法を用いて、異高型複断面トンネルを対象とした動的載荷実験の再現解析を行った。結果は、動的載荷実験と概ね同様の傾向を示すことが確認できたため、今後は静的挙動と比較することにより異高型トンネルの構造特性に関する考察を深め、既設構造物に対して照査を実施していきたい。

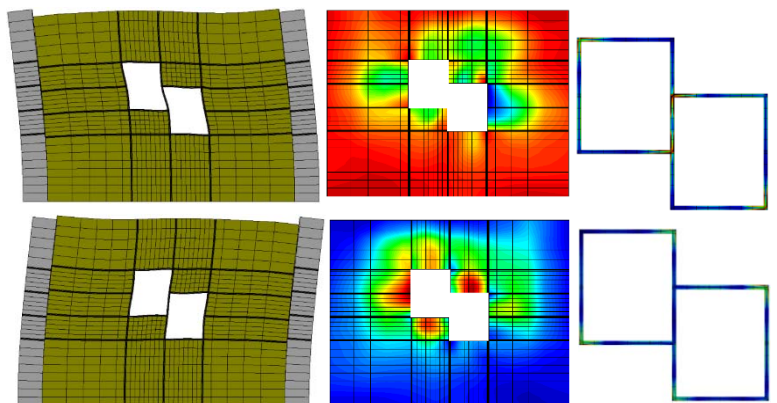


図-6 コンター図

(左：変形図, 中央：地盤ひずみ, 右：躯体ひずみ)

参考文献

- 1) 佐々木孝太, 小西真治, 今村俊毅, 土屋智史, 前川宏一, 西垣祐弥: 三次元非線形有限要素法を用いた複断面トンネルにおける耐震性能の検討, 第51回地盤工学研究発表会講演集, pp.1485-1486, 2016
- 2) 津野究, 鎌田和孝, 佐名川太亮, 小西真治, 大塚努, 今村俊毅, 前川宏一: 異高型複断面トンネルの横断方向地震時挙動に関する実験的検討, 土木学会論文集F1, Vol.72, No.3, p.I_150-I_158, 2017
- 3) 佐々木孝太, 大塚努, 小西真治, 津野究, 鎌田和孝, 佐名川太亮, 前川宏一: 異高型複断面トンネルを対象とした動的載荷実験, 第71回土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ, 3-379, 2017.9
- 4) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON Press, 2003