

支持層に着底した開削トンネルによるひずみ伝達率への影響評価

中央大学大学院 学生会員○伊野 将矢 学生会員 西野 風雅
中央大学 正会員 西岡 英俊
(株) HRC 研究所 正会員 島田 貴文

1. はじめに

開削トンネル等の地中構造物の耐震設計では、地震時慣性力よりも地盤変位の影響が支配的になる。また、地盤変位が函体に及ぼす影響は、函体剛性 G_s と地盤剛性 G_g の比率（以下、剛性比 G_s/G_g ）に大きく依存すると考えられる。このような剛性比に着目した既往の研究の多くは地盤を弾性と仮定した解析的手法¹⁾であり、非線形性を有する地盤材料を用いた実験的検討事例は少ない。特に函体剛性と地盤剛性の差異が大きい場合においては、既往の設計手法の妥当性の検証が不足しており、改善の余地があると考えている。

このような背景から、著者らの研究グループでは、地震時の地盤変位発生時の開削トンネル函体と周辺地盤の相互作用に剛性比が及ぼす影響に着目し、地盤の非線形性も考慮した条件での基礎的な実験として、アルミ棒積層地盤を用いて静的に地盤にせん断変形を生じさせるせん断土槽中に剛性を任意に設定可能な函体模型を埋設した模型実験を実施してきた^{2),3),4)}。

本報では、支持層に函体が着底している状態を模擬した函体着底条件でのせん断土槽実験⁴⁾を対象に、特に函体近傍の地盤のせん断ひずみの評価方法に着目した追加検討結果について報告する。なお、既報⁴⁾では、主に函体剛性の違いが函体周面に作用する表面力に及ぼす影響に着目して報告しており、函体近傍地盤のせん断ひずみは、便宜的に函体模型が未設置の条件

での函体設置位置での地盤変位から推定していた。本報では、函体設置された条件での実際に函体近傍地盤の地盤変位からせん断ひずみを算定した。

2. 実験概要

本実験に用いた実験装置の外観を図-1に示す。本報では、下床版を土槽底面に固定した3ケースを検討対象とし、各ケースの函体剛性 G_s の値を函体内に内蔵するコイル型バネのばね定数の値とともに表-1に示す。その他の実験詳細は既報⁴⁾を参照されたい。

せん断変形時の模型地盤内部での変位およびひず

表-1 実験ケース名と函体剛性 G_s

ケース名	Gs000	Gs031	Gs389
ばね定数 (N/mm)	0	16.34	255
G_s (kN/m ²)	0	31	389

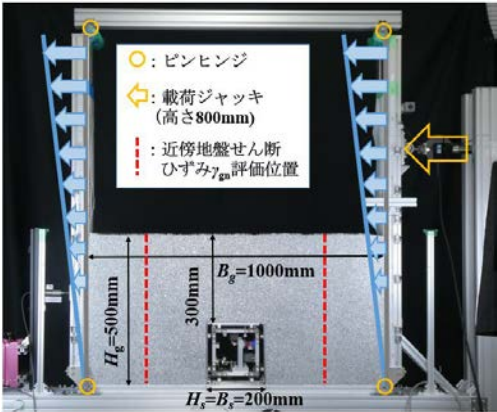


図-1 実験装置の外観

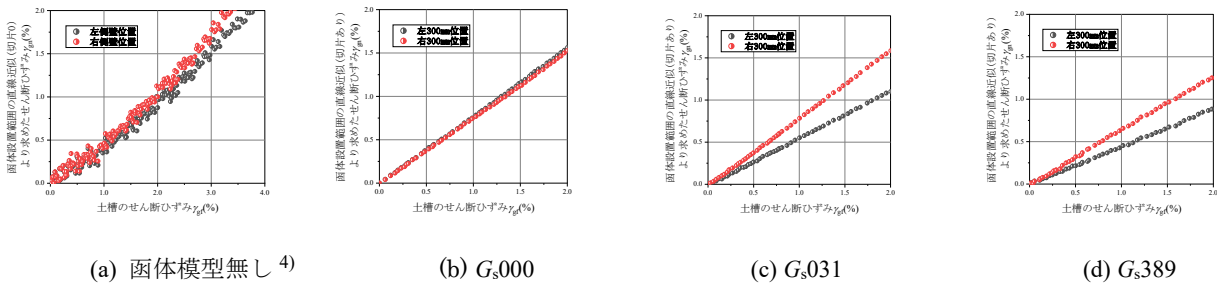


図-2 函体近傍地盤のせん断ひずみ γ_{gn} と γ_{gf} の関係

みの発生状況を確認するため、各実験ケースで土槽中心から左右に 300mm の測線（図-1 中の赤点線）での水平変位を画像解析により求めた。この地盤変位を土槽底面から高さ 200mm までの範囲（函体底面から上面までの範囲）で近似した直線（切片有）の傾きを函体近傍地盤のせん断ひずみ γ_{gn} と評価した。

このように求めた函体近傍地盤のせん断ひずみ γ_{gn} と土槽フレームのせん断ひずみ γ_{gf} との関係を図-2 に示す。なお、図-2(a)には、比較のため函体模型を設置しない地盤単独実験での γ_{gn} と γ_{gf} の関係⁴⁾も示した（ただし γ_{gn} は土槽中心から 100mm 測線で評価）。函体側面から函体幅（200mm）離れた位置でも地盤変位分布は異なっており、また、左右での差異も大きくなるなど、函体近傍の地盤変位分布形状には函体模型の存在が影響していることがわかる。既報⁴⁾では、函体近傍地盤のせん断ひずみ γ_{gn} を図-2(a)の地盤単独実験での結果から $\gamma_{gn} = 0.5\gamma_{gf}$ の関係で推定していたが、本報では図-2(b)～(d)の関係を2次関数で近似し、それを左右平均した以下の式(1)～式(3)で算定することとした。

$$G_s000: \quad \gamma_{gn} = 1.26 \gamma_{gf}^2 + 0.743 \gamma_{gf} \quad (1)$$

$$G_s031: \quad \gamma_{gn} = 1.85 \gamma_{gf}^2 + 0.640 \gamma_{gf} \quad (2)$$

$$G_s389: \quad \gamma_{gn} = 0.295 \gamma_{gf}^2 + 0.534 \gamma_{gf} \quad (3)$$

3. 実験結果および考察

式(1)～式(3)で推定した函体近傍地盤のせん断ひずみ γ_{gn} に対する函体のせん断ひずみ γ_s （側壁の傾斜角から算出）の関係を、地盤単独実験での結果から γ_{gn} を推定している結果⁴⁾と共に図-3 に示す。

図-3 の $\gamma_{gn}-\gamma_s$ 関係より、函体剛性が小さいほど函体のせん断変形が大きくなるという定性的傾向は γ_{gn} 推定法を変更しても同様であることが確認できる。また、函体剛性が最も大きい G_s389 の $\gamma_{gn}-\gamma_s$ 関係は、 γ_{gn} 推定法を変更しても定量的にもほぼ同等であることがわかる。

γ_{gn} 推定法を変更したことによる差異は、函体剛性の低い G_s031 および G_s000 のケースの勾配、すなわちひずみ伝達率 γ_s/γ_{gn} の値である。既報ではひずみ伝達率 γ_s/γ_{gn} は 1.5～2.0 程度と 1.0 を大きく上回っている。一方、本報の式(1)、式(2)により求めたひずみ伝達率

γ_s/γ_{gn} は、 G_s031 のケースではほぼ 1.0、 G_s000 のケースでも 1.2 程度となっている。

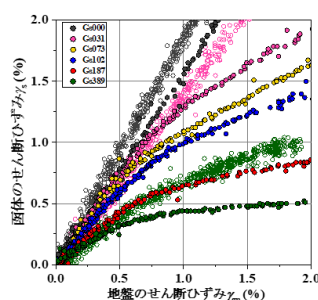
なお、別途実施している弾性 FEM による本実験の再現解析⁵⁾では、函体着底条件の G_s000 のケースでのひずみ伝達率は 1.2 程度であり、既報⁴⁾よりも本報での評価結果の方が解析結果と近い結果となった。

4. おわりに

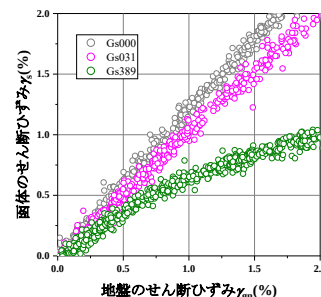
本報では、支持層に函体が着底している状態を模擬した函体着底条件でのせん断土槽実験を対象に、画像解析で求めた函体近傍の地盤変位分布から地盤のせん断ひずみを算定することで、ひずみ伝達率を定量的に評価した。その結果、弾性 FEM 解析と整合する結果が得られた。今後、弾塑性 FEM 解析や応答変位法との比較を行い、特に函体剛性と地盤剛性の差が大きい条件に着目して、既往の設計手法の妥当性の検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 西岡勉，運上茂樹：ひずみ伝達特性を用いた地中構造物のせん断変形量の推定，土木学会論文集 No.710, I60, 273-282, 2002.7
- 2) 島田貴文，西野風雅，西岡英俊：地盤の非線形性が開削トンネルの地震時ひずみ伝達率に及ぼす影響に関する実験的検討，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol.78, No.4, I 613-I 623, 2022.
- 3) 伊野将矢，西野風雅，西岡英俊，島田貴文：開削トンネルと地盤の剛性比に着目した地震時の函体変形特性に関する実験的研究，土木学会第 32 回トンネル工学報告集，2022.
- 4) 西野風雅，伊野将矢，西岡英俊，島田貴文：せん断土槽実験に基づく開削トンネルの地震時表面力に及ぼす函体・地盤剛性比の影響評価，土木学会論文集，Vol.79, No.13 (特集号：地震工学)，2023 (登載決定)。
- 5) 七里蒼，西野風雅，島田貴文，西岡英俊：弾性 FEM 解析による開削トンネルの地震時挙動におけるせん断変形に関するひずみ伝達率近似式の適用性の検討，第 50 回土木学会関東支部技術研究発表会，I-38, 2023.



(a) γ_{gn} を地盤単独実験から推定した場合⁴⁾



(b) γ_{gn} を式(1)～(3)で評価した場合

図-3 地盤のせん断ひずみ γ_{gn} —函体のせん断ひずみ γ_s 関係