

## 地震時の開削トンネルと周辺地盤の相互作用に関する実験的研究 ～函体の回転挙動に着目した検討～

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

周囲を地盤で囲まれている開削トンネル等の地中構造物の耐震設計においては、地震作用として主に地盤のせん断変形によって生じる地盤変位を考慮する必要がある。地震時の地盤変位が開削トンネル函体の変形特性に及ぼす影響は、函体自体の剛性によって変化するが、この影響に関する既往の研究の多くは解析的手法であり、特に地盤の非線形性に着目した実験的研究は少ないのが現状である。そこで本研究では、アルミ棒積層体を用いたせん断土槽実験を行った。具体的には、異なる剛性の函体模型を埋設し、せん断変形を生じさせて、函体変形挙動の違いについて検討した。

### 2. 実験概要

今回行った実験の詳細は参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい。実験ケースは、函体のせん断剛性  $G_s$  が異なる計 6 ケースとし、各実験ケースの地盤のせん断剛性  $G_g$  (土槽のせん断ひずみ  $\gamma_{gf}=0.01$  時の等価線形剛性) との比 (せん断剛性比  $G_s/G_g$ ) を表-1 に示す。

### 3. 実験結果

函体剛性  $G_s$  が最大、中間、最小の 3 ケースに「模型地盤のみ」を加えた全 4 ケースについて、画像解析により  $\gamma_{gf}=0.015$  時の函体の各頂点の変位ベクトルを求め、その変位ベクトルを 20 倍に拡大して図示した函体の変形状況を図-1 に示す。函体剛性が大きいケースでは、地盤によって右から左に押されても剛体的な回転変位が生じており、逆に函体剛性が小さいケースでは函体がひしゃげるような変形を生じていることがわかる。

函体の底面回転角  $\theta_{bs}$  と土槽のせん断ひずみ  $\gamma_{gf}$  の関係を図-2 に、函体の側壁回転角  $\theta_{ss}$  と土槽のせん断ひずみ  $\gamma_{gf}$  の関係を図-3 に示す。なお、図-2、図

-3 における「模型地盤のみ」の結果については、模型地盤単独での実験における函体模型範囲の頂点変位から算出した回転角 (左右または上下の平均) を示している。ここで回転角は地盤の載荷方向と同じ反時計回りを正としている。

函体の底面回転角  $\theta_{bs}$  (図-2) については、函体剛性が大きい方の 3 ケース ( $G_s=472\text{kN/m}^2$ ,  $249\text{kN/m}^2$ ,  $142\text{kN/m}^2$ ) では土槽のせん断ひずみの増加に伴い、反時計回りに回転角が増加する挙動となっている。図-1 の変形図を見ると、この底面回転角  $\theta_{bs}$  の増加は、主に浮き上がり方向の変位によって生じており、左端でも沈下方向への変位は生じていないことがわかる。一方、函体剛性が小さい方の 3 ケースでは、底面回転角  $\theta_{bs}$  はほとん

表-1 実験ケースと函体模型のせん断剛性比  $G_s/G_g$

ケース名	Gs000	Gs038	Gs094	Gs142	Gs249	Gs472
$G_g(\text{kN/m}^2)$	196	232	240	219	237	249
$G_s(\text{kN/m}^2)$	0	38	94	142	249	472
$G_s/G_g$	0	0.16	0.39	0.65	1.05	1.9

※ここでの  $G_g$  は  $\gamma_{gf}=0.01$  時の等価線形剛性である

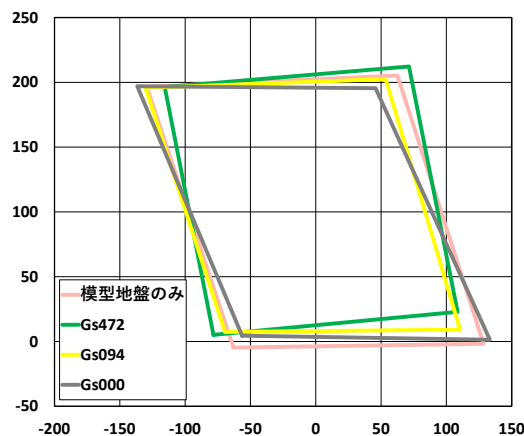


図-1 画像解析により求めた変形図  
(変位 20 倍拡大表示)

キーワード 開削トンネル, アルミ棒積層体, 非線形性, 底面回転角, せん断土槽

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造物研究室 03-3817-1804

ど生じておらず、「模型地盤のみ」とほぼ同様の傾向となっている。函体の側壁回転角  $\theta_{ss}$  (図-3) については、 $G_s=142\text{kN/m}^2$  のケースで「模型地盤のみ」とほぼ同一の値となり、これより函体剛性が大きいケースでは  $\theta_{ss}$  は地盤よりも小さくなり、逆に函体剛性が小さいと地盤よりも  $\theta_{ss}$  が大きくなる傾向が確認できる。

#### 4. 考察

今回得られた函体の変形特性を既往知見と比較するため、参考文献<sup>2)</sup>に示される函体のせん断変形、回転変位と剛性比  $G_s/G_g$  の関係を図-4 に示す。なお、参考文献<sup>2)</sup>では地盤を弾性体と仮定した解析的検討を行い図-4 の関係を明らかにしている。よって、本研究とこれらの既往知見との差異が生じるとすれば、それは主に地盤の非線形性のモデル化の影響に起因するものと考えられる。

図-1、図-4 の比較より、今回は底面回転角  $\theta_{bs}$  の違いに着目する。函体剛性が小さい条件 ( $G_s/G_g < 1$ ) においては、既往知見 (図-4) では浮き上がりながら時計回りの方向 (図-2 では負の方向) に変形すると考えられているのに対して、実験では底面回転角はほとんど生じていないという差異が生じている。一方、函体剛性が大きい条件 ( $G_s/G_g > 1$ ) においては、反時計回り方向の回転を生じるという傾向は同様であるものの、その際に既往知見 (図-4) では沈下しながら回転しているのに対して、実験では浮き上がりながら回転しているという差異が生じている。

すなわち、非線形性を有するアルミ棒積層体を用いた本実験においては、底版直下地盤が押し込み側では高い支持力を有し、応力が解放される浮き上がり側の方が回転しやすいという線形弾性体の解析では模擬できない状態を再現しており、本実験の方がより実現象に近い挙動であると考えている。

#### 5. おわりに

地盤の非線形性を再現できるアルミ棒積層体を用いた本実験では、既往知見での函体の底面回転角  $\theta_{bs}$  とは異なる挙動になることがわかった。既往知見は地盤を線形弾性体と仮定した解析的検討により妥当性が検証され、それに基づいたものであるため、地震時の函体の変形特性を精度よく評価するためには、地盤自体の非線形性の影響や函体底版の回転に伴う鉛直方向の押し込み・浮き上がり挙動の影響も考慮する必要があることが示唆される。

#### 参考文献

- 1) 伊野将矢, 西野風雅, 島田貴文, 西岡英俊: 地震時の開削トンネルと周辺地盤の相互作用に関する実験的研究〜ひずみ伝達率に着目した検討〜, 第57回地盤工学研究発表会, 2022. (投稿中)
- 2) 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

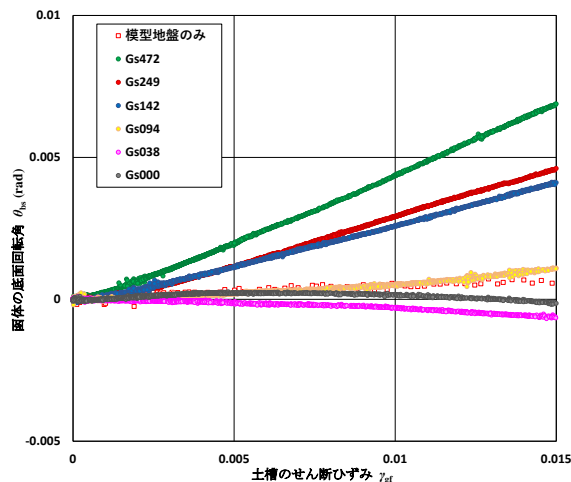


図-2 函体の底面回転角  $\theta_{bs}$ —土槽のせん断ひずみ  $\gamma_{gf}$  関係

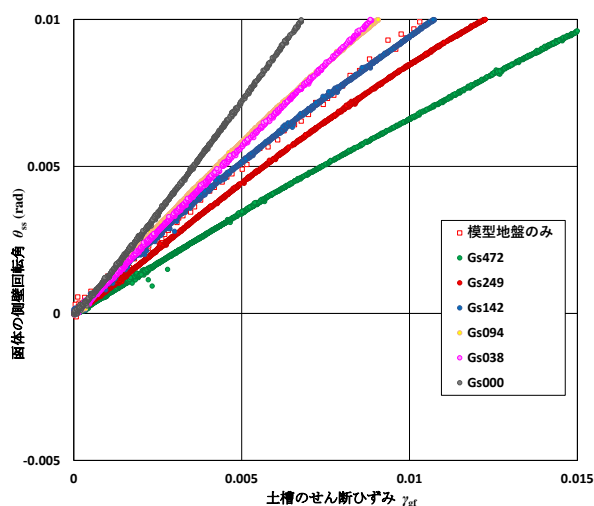


図-3 函体の側壁回転角  $\theta_{ss}$ —土槽のせん断ひずみ  $\gamma_{gf}$  関係

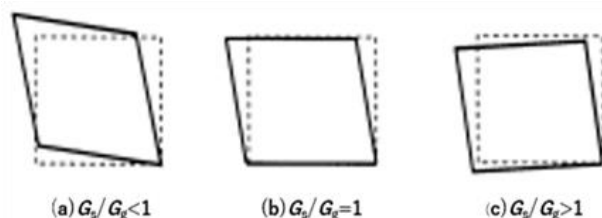


図-4 構造物のせん断変形、回転変位と地盤と構造物のせん断剛性比  $G_s/G_g$  の関係<sup>2)</sup>に加筆