

開削トンネルの周面摩擦の違いに関する
アルミ棒積層体を用いた単純せん断試験

中央大学 学生会員 ○古川喬大 学生会員 西野風雅 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考慮すべき地震作用は、主に地盤変位の影響が支配的になる。地盤変位作用時に函体を変形させる相互作用力は、開削トンネル躯体(以下、函体)のせん断剛性と地盤のせん断剛性の比率(以下、せん断剛性比)に大きく依存すると考えられる。また、その相互作用力は、大きく函体周面に沿う方向のせん断力と函体周面の垂直力に分けられ、特にせん断力の評価に際しては摩擦挙動(滑動の有無)を考慮することが重要と考えられる。

これまで本研究グループでは、せん断剛性の異なる函体模型を埋設した模型地盤(アルミ棒積層体)の単純せん断試験¹⁾を実施して、相互作用力に及ぼすせん断剛性比の影響について検討しているが、函体周面の摩擦挙動については十分に検討できていなかった。そこで本研究では、函体表面の摩擦低減の有無をパラメータとした試験を実施し、函体の摩擦挙動(特に滑動の有無)について検討した。

2. 実験概要

(1) 模型地盤および実験装置

模型地盤は、長さ150mm、直径1.5mm、2mm、3mmの3種類のアルミ棒を重量比1:1:1で混合して積み上げたものである。本研究では、深さ20mmを1層としてまきだし、小型パイプレータと200mm×150mmの板を用いて締固めを繰り返し、単位体積重量21.0kN/m³の地盤を作製した。

今回の試験に用いた実験装置を図-1に示す。単純土槽は、左右の側壁の上端・下端にピンヒンジを有し、単純せん断変形が可能となっている。この土槽に構築した模型地盤の上に上蓋を設置して上載圧 w を作用させ、土槽自体をジャッキで水平方向に載荷し、模型地盤に単純せん断変形を生じさせた。上載圧 w は、函体模型上面での鉛直応力 σ_v が函体模型高さの約4.5、5.6、

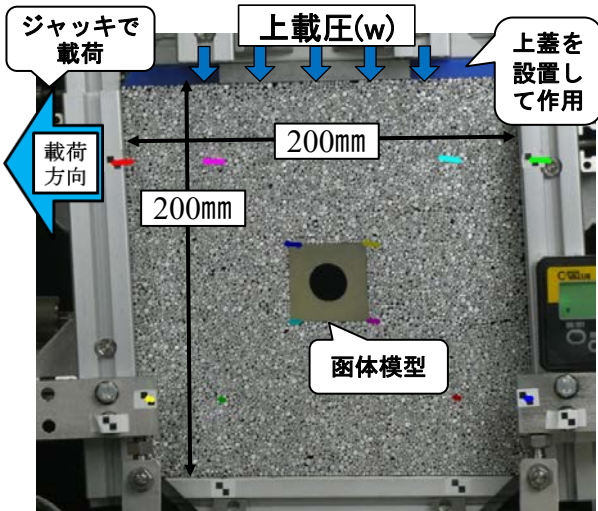


図-1 せん断変形後の実験装置の外観

表-1 実験で用いた函体模型の種類

ケース名	U30H3F0	U30H3F1	U30S3F0	U30S3F1	U90S3F0	U90S3F1
材料	穴あきウレタン樹脂(硬度ショアA30°)		ウレタン樹脂(硬度ショアA30°)		ウレタン樹脂(硬度ショアA90°)	
摩擦低減	低減有($\mu=0.18$)	低減無($\mu=0.67$)	低減有($\mu=0.18$)	低減無($\mu=0.67$)	低減有($\mu=0.20$)	低減無($\mu=1.04$)
G_s (kN/m ²)	90		199		453	

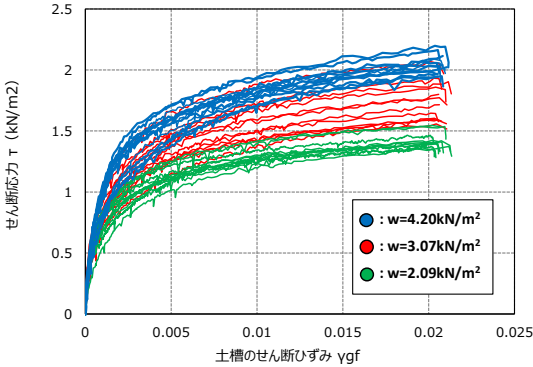


図-2 せん断応力 τ とせん断ひずみ γ_{gf} の関係

7.0 倍の土被り圧に相当する値(土槽上での上載圧としては $w=2.09, 3.07, 4.20$ kN/m²)を用いた。その他の実験方法の詳細は文献1)と同様である。

(2) 函体模型

函体は、幅40mm、高さ40mm、奥行30mmの直方体を奥行き方向に等間隔で3つ並べて模型地盤中に埋設することで模擬した。また、函体の種類は表-1に示す

キーワード 開削トンネル、単純せん断試験、せん断変形、せん断剛性比、摩擦

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・地下構造研究室 TEL: 03-3817-1804

ん断剛性が異なる 3 種類の材料と、函体周面へのテフロン製テープ貼り付け有無の周面摩擦条件とした計 6 ケースの函体模型とした。なお、表-1 中には別途実施した摩擦係数 μ の測定結果も示している。

3. 実験結果

(1) 模型地盤の特性

本研究では、3 種類の上載圧と 6 種類の函体を用いた計 18 ケースの実験を 2 回または 3 回ずつ実施した。土槽に生じるせん断応力と土槽のせん断ひずみの関係について、まとめて図-2 に示す。土槽全体の応力ひずみ関係は函体模型の有無の影響を受けずほぼ同等で、かつ非線形性および拘束圧依存性を有することが確認できる。なお、模型地盤のばらつきに起因する誤差を軽減するため、 τ - γ_{gf} 関係及び後述の画像解析で求めた函体の体積ひずみと γ_{gf} の関係が大きく外れたケースは棄却してある。

(2) 函体模型と周辺地盤のせん断ひずみの関係

画像解析により、函体の隅角部とその周囲の約 120mm × 120mm の範囲の模型地盤の隅角部の標点変位を求め、定ひずみ要素と仮定して各ひずみ成分を算出した¹⁾。図-3 に全ケースの函体のせん断ひずみと周辺地盤のせん断ひずみの関係を函体剛性 G_s および上載圧 w 別に示す。各グラフの赤プロットが摩擦低減無で青プロットが摩擦低減有であり、両者が同一であれば摩擦低減有でも表面での滑動は生じていないと解釈することができる。

図-3 より、函体のせん断剛性が高くなると、函体のひずみが小さくなっており、既発表¹⁾と同様の傾向が確認できる。また、いずれのグラフも $\gamma_g=0.005$ まで摩擦低減の有無による違いは生じていないが、(a), (b), (d), (e) はそれ以降乖離している。これより、表面での滑動が生じると函体のひずみが小さくなり、摩擦低減が耐震性を向上させる効果^{例えば 2)}を発揮すること

がわかる。ただし、上載圧 w が一定の値を超えた場合や、函体のせん断剛性が大きくなると滑動は生じにくくなっている。このことは、函体表面に作用する垂直力が大きくなって垂直力に対するせん断力の比が摩擦低減後の摩擦係数 (0.18~0.2) よりも小さいことを意味する。

4. おわりに

本研究により、摩擦低減工法による被害低減効果が期待できる条件は、函体のせん断剛性 G_s が小さく、かつ、上載圧 w が小さい場合であることが分かった。

今後は、函体に作用する垂直力とせん断力を直接計測できる大型せん断土槽を用いて、摩擦低減の有無により、函体に作用している垂直力とせん断力のバランスがどの程度変化するかを検討していきたい。

参考文献

- 1) 島田貴文, 西野風雅, 西岡英俊: 開削トンネルの地震時せん断変形挙動に及ぼす周辺地盤との相互作用に関する基礎的検討, 第 41 回地震工学研究発表会講演論文集, B15-2359, 2021.
- 2) 佐藤博, 大嶋義隆, 大川尚哉: 開削トンネル上床版の地震時周面せん断力低減による側壁直土圧への影響と免震効果に関する研究, 土木学会論文集 F1, Vol. 71, No. 1, 14-28, 2015.

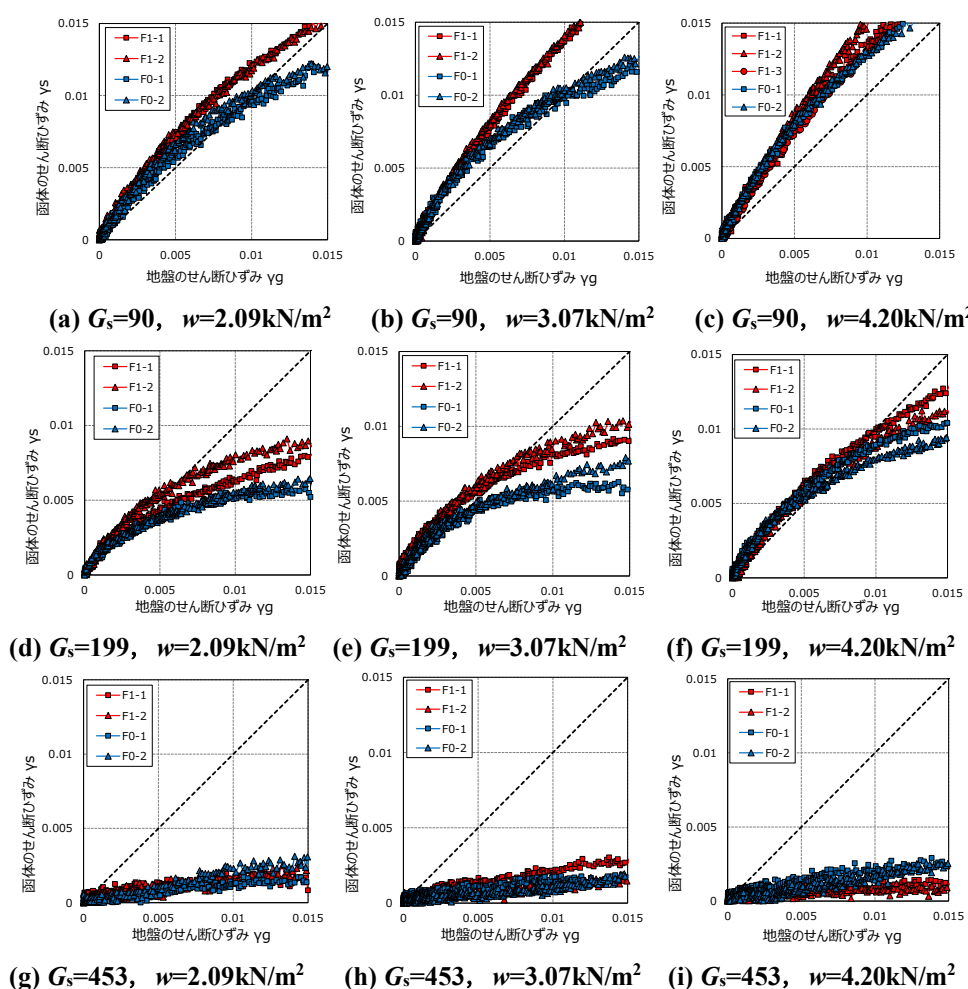


図-3 函体のせん断ひずみ γ_s と周辺地盤のせん断ひずみ γ_g の関係