

開削トンネルの地震時挙動に及ぼす周面摩擦の影響に関する実験的検討

(株) HRC 研究所 (正) ○島田貴文

中央大学 (学) 古川喬大 (学) 西野風雅 (正) 西岡英俊

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 G_s と地盤のせん断剛性 G_g 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。

これまでに著者らは、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、小型バイブレータと200mm×150mmの板を用いて締固めを繰り返し、単位体積重量 21.0kN/m^3 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。せん断土槽は、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、7.0倍の土被り圧に相当する値(土槽上での上載圧とし

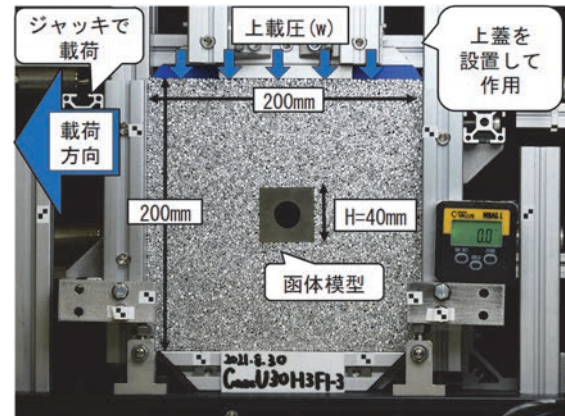
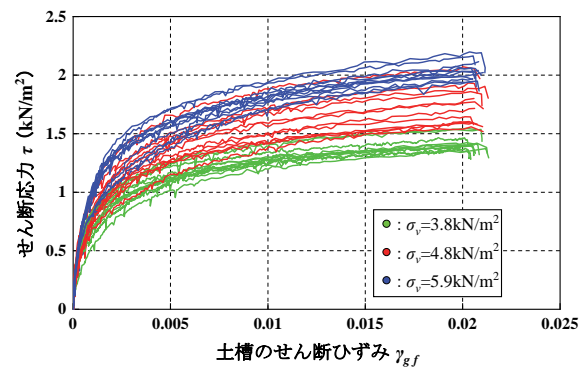


図-1 実験装置の外観

表-1 実験で用いた函体模型の G_s と μ

ケース名	Case1		Case2		Case3	
	F0	F1	F0	F1	F0	F1
G_s (kN/m^2)	90		199		453	
摩擦低減	有	無	有	無	有	無
摩擦係数 μ	0.31	0.85	0.31	0.85	0.32	1.06

図-2 せん断応力 τ -土槽のせん断ひずみ γ_{gf} 関係

ては $w=2.09, 3.07, 4.20\text{kN/m}^2$)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

函体模型は、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。函体模型の種類は、表-1に示すせん断剛性が異なる3種類の材料とし、さらに函体周面へのテフロン製テープ貼り付け有無による周面摩

キーワード 開削トンネル, 周面摩擦, せん断剛性比, せん断ひずみ, アルミ棒積層体

連絡先 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-5-4 第二亀谷ビル (株) HRC 研究所 東京事務所 TEL:03-3292-8337

擦を条件とした計 6 ケースの函体模型を用いた。なお表-1 には、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 種類の函体模型条件を用いた計 18 ケースの実験を実施した。土槽に生じるせん断応力 τ と土槽のせん断ひずみ γ_{gf} の関係（以下、 τ - γ_{gf} 関係）について図-2 に示す。 τ - γ_{gf} 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。

(2) 函体模型と周辺地盤のせん断ひずみの関係

図-3 に実験で得られた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 の関係を示す。なお、図-3 は函体のせん断剛性 G_s および鉛直応力 σ_v 別に整理している。また、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る。ここで、函体のせん断ひずみ γ_s 、周辺地盤のせん断ひずみ γ_g については、画像解析より函体模型と周辺地盤（約 120mm×120mm 範囲）の四角形領域における頂点変位を求め、それぞれの領域を定ひずみ要素と仮定して各ひずみ成分を算出した。

図-3 より、函体のせん断剛性 G_s が大きくなると、函体のひずみ γ_s が小さくなっており、文献 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) で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を発揮することがわかる。

ただし、鉛直応力 σ_v が一定の値を超えた場合は滑動が生じにくくなっている。これは、函体各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 (0.3) よりも小さいことを意味する。

なお、函体のせん断剛性 G_s が

大きい (g), (h), (i) も滑動が生じていないように見受けられるが、函体のせん断剛性 G_s が大きい場合は、函体と地盤の体積膨張の差異によって函体各面の垂直力が大幅に減少し、滑りが生じることが考えられるため、本実験でも、せん断ひずみが小さい初期の段階から滑りが生じている可能性がある。

4. おわりに

摩擦低減の有無をパラメータとした実験を行い、函体のせん断剛性 G_s が小さく、函体模型上面での鉛直応力 σ_v が小さい条件において函体表面に滑動が生じる結果となった。また、鉛直応力 σ_v が大きい条件では滑動が生じにくいことも確認できた。今後は、大型化した函体模型と模型地盤を用いて、函体に作用している垂直力とせん断力をロードセルで計測し、周面摩擦が函体変形に与える影響度合いを分析することを考えている。

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, pp.2359-1-9, 2021.

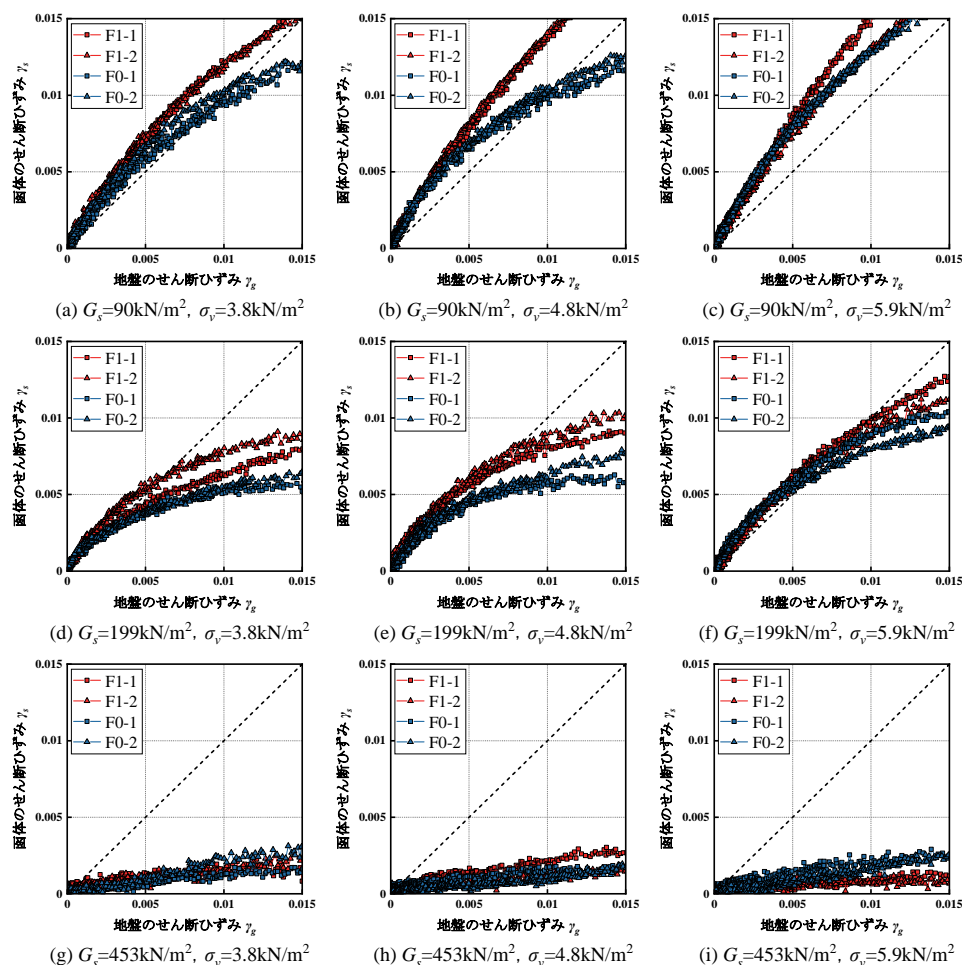


図-3 函体のせん断ひずみ γ_s - 地盤のせん断ひずみ γ_g 関係