

開削トンネルの地震時相互作用に関するアルミ棒積層体地盤のせん断土槽実験 ～2方向ロードセルを用いた函体表面の垂直力・せん断力の測定～

中央大学
(株) HRC 研究所

学生会員 ○西野風雅 学生会員 伊野将矢 正会員 西岡英俊
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、主に地盤変位の影響が支配的になる。地盤変位作用時の開削トンネル躯体（以下、函体）の挙動は、函体のせん断剛性 G_s と地盤のせん断剛性 G_g の比率に大きく依存すると考えられることから、本研究グループでは、特に両者の剛性比に着目した小型模型によるアルミ棒積層体地盤のせん断土槽実験を実施してきたが、小型模型実験では、函体模型に作用する表面力が計測出来ないという課題があった。

そこで新たに大型化したせん断土槽と剛性をより自由に設定でき、かつ2方向ロードセルにより表面力が測定可能なヒンジ型函体模型を用いた実験装置を開発・製作した。本報告では、その測定結果例として、函体模型各面に作用する垂直合力 N とせん断合力 S の測定結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 模型地盤および実験装置²⁾

今回の実験に用いた模型地盤と実験装置を図-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。この土槽自体を右側壁上部に設置した载荷ジャッキで水平方向に载荷し、模型地盤に単純せん断変形を生じさせた。この模型地盤中央に幅・高さ200mmのヒンジ型函体模型を埋設し、模型地盤に単純せん断試験を生じさせることで、函体の地震時挙動を模擬した。単純せん断試験時の模型地盤のせん断応力 τ_{gf} （ジャッキ荷重と土槽上面積で除して算出）、土槽せん断ひずみ γ_{gf} （側壁の傾斜計から算出で除して算出）の関係を図-2に示す。その他の詳細な実験方法は文献²⁾を参照されたい。

(2) ヒンジ型函体模型

本研究で用いる函体模型スケールは、幅・高さ200mm、奥行き150mmであり、函体内部に設置した異なるバネにより、自由な函体剛性 G_s の設定が可能である。本研究で用いる函体剛性 G_s は、別途実施したヒンジ型函体模型単純せん断試験²⁾より算出した $G_s=142\text{kN/m}^2$ とした。

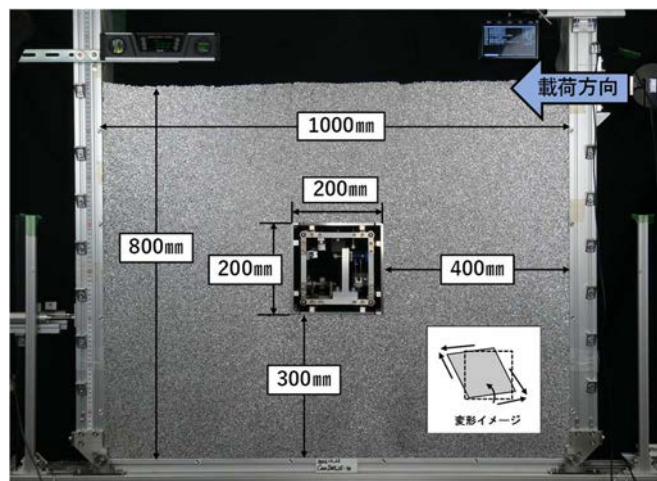


図-1 実験装置の外観

また、2方向ロードセルをヒンジ型函体模型の各面に2つつ、計8つ設置し、ヒンジ型函体模型各面に作用する垂直力とせん断力を計測した。なお、2方向ロードセルの受圧板は、全幅（200mm）一体の剛なステンレス板を用いた。

3. 実験結果

(1) 函体床版・側壁の回転角とせん断ひずみ

土槽のせん断ひずみ γ_{gf} に対する函体床版・側壁の回転角および函体せん断ひずみ γ_s の関係を図-3に示す。ここで、函体のせん断ひずみ γ_s は、函体側壁の回転角から床版の回転角を差し引いて求めた。本実験ケースでは、函体床版も側壁と同方向に回転しているが、底板の回転角は側壁回転角の概ね1/2程度となっており、ヒンジ型函体模型は回転運動しながらせん断変形を生じていることがわかる。なお、本実験では非線形のせん断応力-せん断ひずみ関係を示す模型地盤（図-2）とほぼ完全に線形のせん断応力-せん断ひずみ関係を示すヒンジ型函体模型を組み合わせた実験であるが、土槽せん断ひずみ γ_{gf} と函体せん断ひずみ γ_s の関係には明確な非線形性は現れず、ほぼ線形的な関係を示した。また、実際の函体近傍の地盤のせん断ひずみは土槽側壁から求めた γ_{gf} よりも小さい値となる可能性があるため、これらの定量的な比率については今後画像解析等を活用して精査する

キーワード : 開削トンネル, せん断剛性比, せん断土槽, アルミ棒積層体, 2方向ロードセル

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

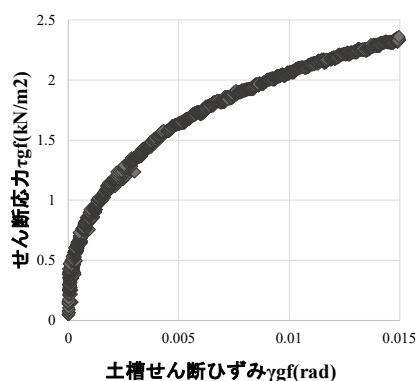


図-2 せん断応力せん断土槽ひずみ関係

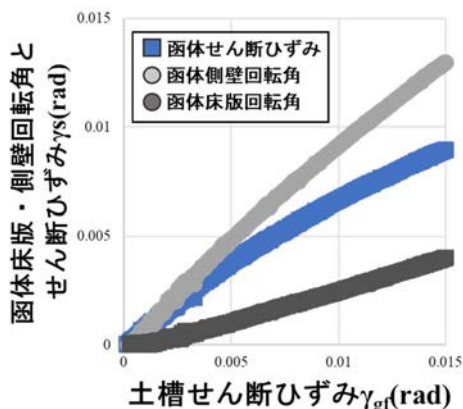


図-3 せん断ひずみ比の関係

必要があると考える。

(2) せん断土槽ひずみと各面に作用する合力の関係

土槽せん断ひずみ γ_g とヒンジ型函体模型各面に作用する垂直合力 N とせん断合力 S の関係図を図-4 に示す。なお、各合力は、模型地盤構築完了時の値（すなわち、常時の値）を初期値として表示している。

まず、垂直合力 N に着目すると、上下床板に作用する垂直合力（鉛直力） N は地盤のせん断が生じてほとんど変化しないが、左右両側壁に作用する垂直合力（水平力）は、地盤のせん断に伴って増加傾向を示している。また、右側壁の方が若干大きい値を示しており、地盤に押されている影響が大きく表れている。次にせん断合力 S に着目すると、全ての面において、函体に純せん断を生じさせる方向に作用していることが確認できる。また、変形の初期段階で値が上昇し、土槽せん断ひずみ $\gamma_g=0.005$ 程度までには概ね一定の値に落ち着いている。下床板のせん断力は他の面より大きい値となっているが、これが左右側壁の垂直力の差と釣り合っている。

図-4 には、各面に作用する合力比 S/N の最大値も示しているが、この値は下床板で最も大きい $S/N=0.41$ となっている。これはアルミ棒積層体と平滑な鋼材との摩擦係数の推

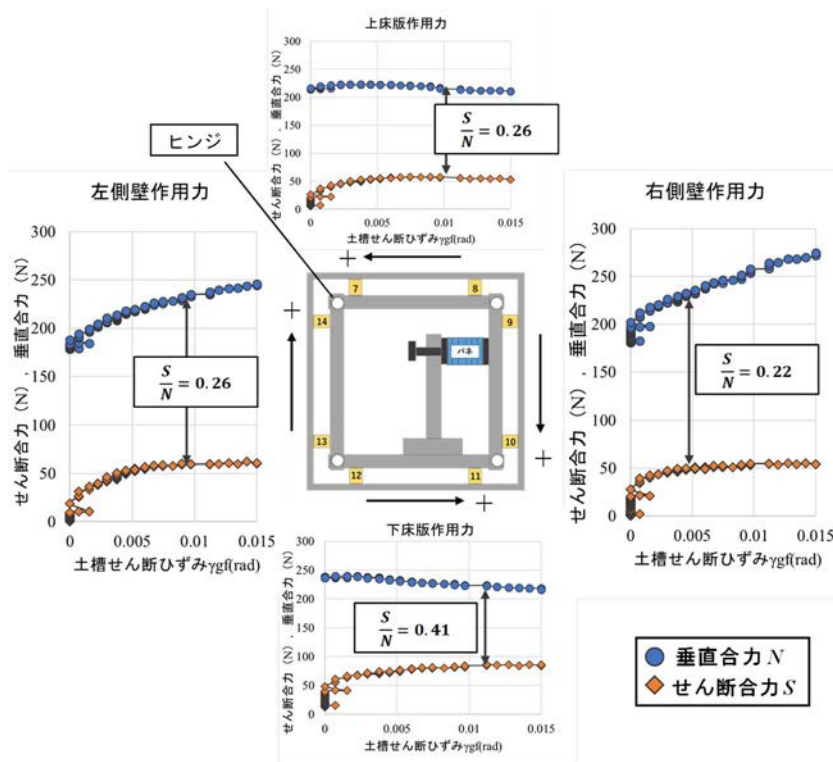


図-4 ヒンジ型函体模型の外観と各面に作用する力の関係図

定値 $\mu=\tan\delta=0.42$ 、（ここで δ は壁面摩擦角でアルミ棒積層体の安息角 $\varphi=34.4^\circ$ から $\delta=2/3\varphi$ と推定）と同程度の値となっており、下床板に限っては表面での滑りが生じている可能性がある。一方で、その他の面に作用する合力比 S/N は下床板の値の 6 割程度であり、滑りは生じていないと考えられる。今後、函体模型の受圧板と地盤との摩擦係数測定を実施して精査していく必要があると考えている。

4. まとめ

本研究では、2 方向ロードセルを埋め込んだ函体模型を埋設したせん断土槽で単純せん断実験を行い、函体に作用する合力および滑りの影響を確認した。その結果、下床板以外では滑りは生じていないと考えられる。今後、各面に作用するモーメントの関係についても分析を行っていく予定である。

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, B15-2359, 2021.
- 2) 伊野将大, 西野風雅, 西岡英俊, 島田貴文: 地震時開削トンネルと周辺地盤の相互作用に関するアルミ棒積層試験体による大型せん断土槽実験, 土木学会第 49 回関東支部技術研究発表会, 2022 (投稿中)