

圧力条件下における土～鋼体間を対象とした摩擦力測定試験装置の開発

大成建設 技術センター 正会員 ○居上 靖弘 石井 裕泰
 大成建設 本社土木設計部 正会員 亀田 佳明
 大成建設 東京支店 正会員 日高 直俊

1. はじめに 下水道施設としての中・小規模トンネルや函体の施工で用いられる推進工法では、推進函体と地盤との間に働く摩擦力を把握した上で必要な推進力を評価し、ジャッキ等の設備計画を適切に具体化する必要がある。その中で、滑材等による推進函体と地盤との間に働く摩擦力の低減効果については、既往の工事実績などから蓄積された知見やデータに基づいた指針¹⁾において目安が提示されているが、大深度を想定した土圧・水圧や、急曲線推進時の大きな押付力が作用した場合での滑材の摩擦低減効果については、十分に検証されていない。そこで、土被り 40m を想定するような高圧力作用時における滑材の摩擦低減効果を検証できる試験装置（以降、本装置と呼ぶ）を開発した。本報では、まず、装置の概要と試験装置の妥当性を検証した結果を報告する。その上で、高圧力作用時の滑材による摩擦低減効果を確認した結果を報告する。

2. 試験装置概要 図1に本装置の全景および概要図を示す。本装置は、地盤材料を設置する試料容器、容器を回転させる回転テーブル、函体を想定した鋼体（ステンレス製、以降、载荷体と呼ぶ）で構成されている。载荷体上部より所定の垂直荷重を作用させた状態で、モーター駆動による回転でテーブル上に設置している試料容器が回転する。この際、地盤供試体と载荷体間の摩擦により、载荷体も同時に回転しようとするが、载荷体側面上部に取り付けた測定用ステーが、別途設置しているロードセルと接触することで回転トルクを受け静止する。この時の静止に必要なロードセルの荷重より、载荷体と地盤供試体表面に発生する摩擦力を測定する。载荷体上部にはスラストベアリングを設け、垂直载荷装置との間に発生する回転抵抗を軽減させている。地盤供試体は直径 160mm、载荷体は直径 140mm の各々円柱形状とし、载荷体側面に片側 10mm の隙間を設けることで、垂直载荷及び摩擦作用時の载荷体の押付に伴う滑材の押し出し流動を考慮できるようにした。地盤供試体および载荷体を円柱状としたことで、円周方向に半無限距離の摩擦作用が可能であり、長距離推進時における滑材の摩擦低減効果を検証できる。

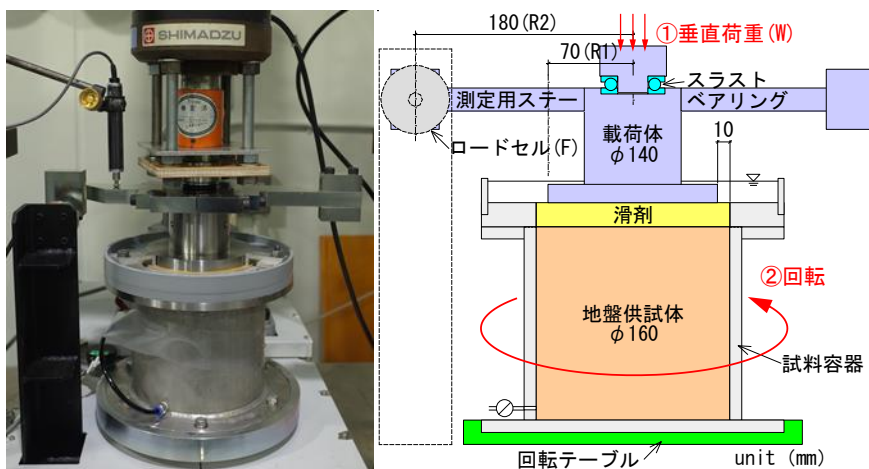


図1 摩擦測定装置

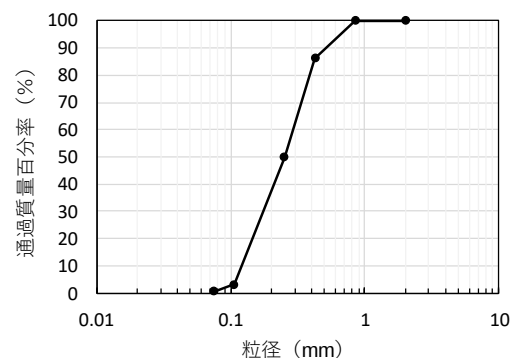


図2 地盤材料の粒径加積曲線

3. 妥当性検証試験 本装置の試験結果の妥当性検証を目的として、一面せん断試験装置による摩擦測定試験結果との比較を行った。本試験に用いた地盤材料の粒径加積曲線を図2に示す。珪砂5号、6号、7号

キーワード 摩擦特性、内部摩擦角、滑材、推進工法

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7221

を乾燥重量比 1 : 1 : 2 で混合した砂質土 ($\rho_s = 2.631 \text{ g/cm}^3$, $e_{\min} = 0.662$, $e_{\max} = 1.142$) を用い, 乾燥密度 $\rho_d = 1.542 \text{ g/cm}^3$ (相対密度 $Dr = 91\%$) で作製した。垂直荷重は $\sigma_v = 500 \text{ kPa}$ の定圧条件で, 摩擦作用時の回転速度は 1r.p.m. とし, 同条件で 3 回試験を実施した。比較対象の一面せん断試験は, 下せん断箱に地盤供試体を作製し, 上せん断箱に載荷体と同材質の鋼体を設置し, せん断速度 0.2 mm/min の条件で実施した。

図 3 に本装置による 3 回の試験で摩擦係数(a)~(c)と摩擦作用距離の関係を示す。同図には, 前述の土~鋼体の一面せん断試験で得られた摩擦係数(d)と, 通常の土の一面せん断試験で得られた内部摩擦角 $\phi = 38.5^\circ$ から, 既往の指針¹⁾で示されている式より算出した摩擦係数(e)も示す。本装置で実施した試験(a)~(c)に関しては, 摩擦作用開始時に, 摩擦係数が大きくなる傾向が確認されたが, 0.1 m を超えた以降は, 3 ケースともに摩擦係数(d)および(e)と概ね同値であり, 試験装置としての妥当性を確認することができた。

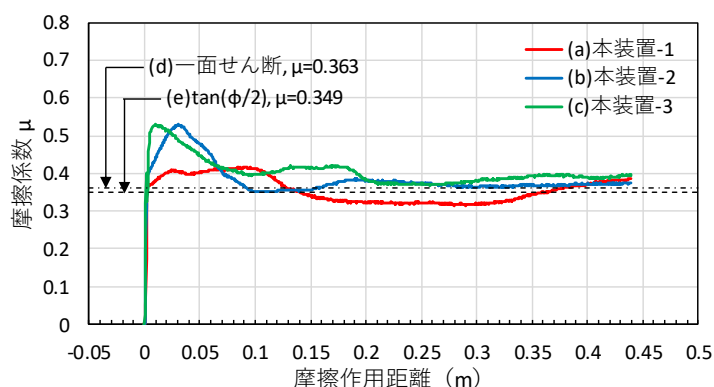


図 3 摩擦係数と摩擦作用距離の関係 (検証試験)

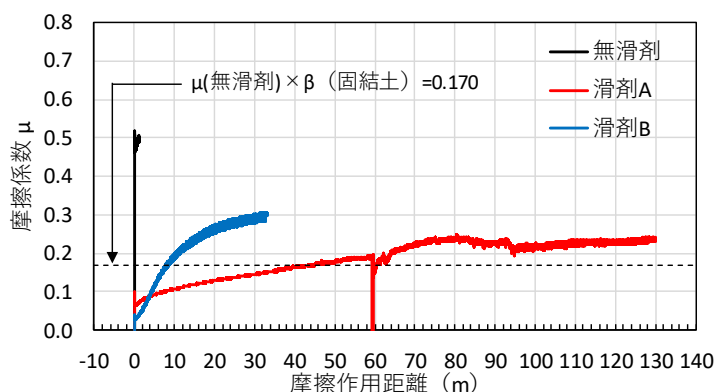


図 4 摩擦係数と摩擦作用距離の関係 (滑材の影響)

4. 滑材の摩擦低減効果確認試験 前章の通り本装置の妥当性を確認した上で, 地盤供試体と載荷体との間に滑材 (初期厚さ 20 mm) を設置し, 載荷体の押付に伴う滑材の押し出し流動を考慮した条件での摩擦低減効果の確認試験を実施した。地盤供試体は, 前章と同じく乾燥密度 $\rho_d = 1.542 \text{ g/cm}^3$ で作製した後, 浸透性注入材を注入したサンドゲル供試体とした。滑材には, ベントナイトを主剤とした懸濁系の滑材 A と高分子系の滑材 B の 2 種類を用いた。滑材 B は, 地盤間隙への目詰め効果が期待されるベントナイトに添加物を混合した一次材と, 低粘性の高吸水性樹脂の二次材を重ねたものである。垂直荷重 $\sigma_v = 200 \text{ kPa}$ (載荷速度 10 kPa/min) とし, 摩擦作用時の回転速度は 1r.p.m. で試験を実施した。また, 比較のために滑材を用いないケースも実施した。

図 4 に試験で得られた摩擦係数と摩擦作用距離の関係を示す。同図には, 無滑材のケースで得られた摩擦係数 $\mu = 0.485$ に対して, 固結土地盤における直線推進時の推進力低減係数 $\beta = 0.35$ ¹⁾ を乗じた値 ($\mu = 0.170$) もプロットしている。摩擦作用初期では, 滑材 B の方が滑材 A よりも摩擦係数が小さく低減効果を発揮したが, 直後で摩擦係数が増加し, 概ね 8 m で低減係数 β を乗じた値程度にまで上昇した。滑材 B を用いる場合, 一次材により推進時に発生する余掘りの安定性を確保した上で二次材が圧入される。その時に一次材が地盤表面を覆うことで, 二次材の地盤への逸散や地下水による希釈が抑制され, 本来の摩擦低減効果を発揮するが, 今回の試験条件では一次材が載荷体の押付により側方に流動したため, 摩擦低減効果は十分に発揮されなかったと考える。一方, 滑材 A に関しては, 摩擦係数増加の勾配が比較的小さく, 45 m 程度まで摩擦低減効果を発揮した。両滑材に含有されるベントナイト含有量に着目すると, 滑材 A は 26%, 滑材 B (一次材) は 6% と滑材 A の方が多い。ベントナイトの吸水による膨潤とそれに伴うせん断強度の低下²⁾が摩擦低減効果持続に寄与していると考えられる。

5. まとめ 本論文では, 高圧力下における滑材の摩擦低減効果検証のための試験装置を製作し, 一面せん断試験等の結果と比較することで妥当性を確認した結果を示した。また, 滑材の摩擦低減効果確認試験では, 滑材に含まれるベントナイト量を多くすることで, 摩擦低減効果が持続する可能性が示された。今後も本装置を用い, 急曲線推進時において摩擦低減効果を十分に発揮する滑材の選定および開発を行う。

参考文献 1) 公社日本下水道協会: 下水道推進工法の指針と解説—2010 年度—, 2010.. 2) 小高ら: 不飽和および飽和条件下での圧縮ベントナイトのせん断破壊特性, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.1, pp.59~69. 2008.