

一面せん断試験による滑剤の摩擦低減効果の性能評価

鹿島建設(株) 正会員 ○大林優也 佐藤一成 永谷英基 川野健一 串田慎二

1. はじめに

近年、シールドマシンから発生する施工振動が地表面に伝播し、住居内の家具が振動したり、固体伝播音として住居内に騒音が発生したりすることが大きな社会問題となっており(図-1)、振動緩和対策の確立が喫緊の課題である。一般的に、シールドマシン掘進時にスキンプレートと地山が擦れることで、施工振動が発生すると考えられている¹⁾。そこで、今回、推進工法で主に用いられる高分子系の滑剤をシールドマシン周辺に注入することを模擬し、一面せん断試験機(図-2)で滑剤の摩擦低減効果を定量評価した。

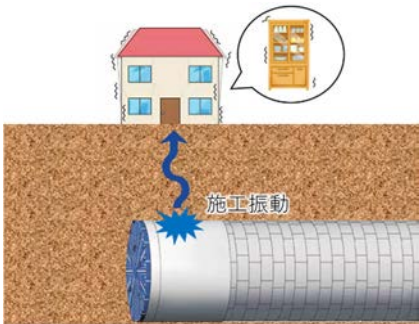


図-1 施工振動の伝播概念図

2. 一面せん断試験による摩擦低減効果の確認試験

一面せん断試験機は、図-3(a)に示すとおり、シールドマシンのスキンプレートを模擬した鉄板が下側のせん断箱にあり、図-3(b)に示すとおり、上側のせん断箱の試料投入開口から地山を想定した模擬土を投入する構造となっている。一面せん断箱に上載圧を载荷した状態で鉄板を水平方向に動かすことで、鉄板と模擬土の境界面に発生する摩擦力を定量的に評価できる。その際、鉄板と模擬土の境界面に滑剤を添加した模擬土を敷き詰め、滑剤注入の有無による静止摩擦係数の違いを比較することで、滑剤の摩擦低減効果を検討した。滑剤との比較材料として、気泡シールド工法で使用する気泡材を使用し、塑性流動化させた土も用いた。なお、実験では近年の泥土圧シールドにおける最大土被り圧を考慮し、上載圧は500 kPaとした。また、水平ジャッキで鉄板を15 mm/minの速度で移動させ、この時の垂直応力およびせん断応力を測定し、各ケースの最大静止摩擦係数を測定した。

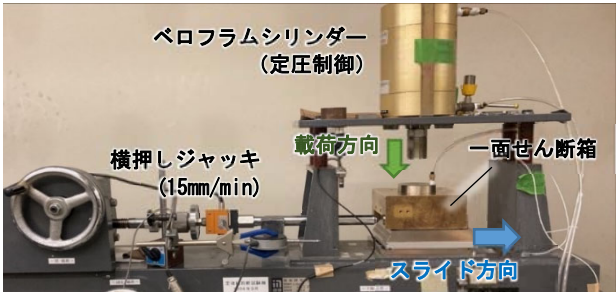
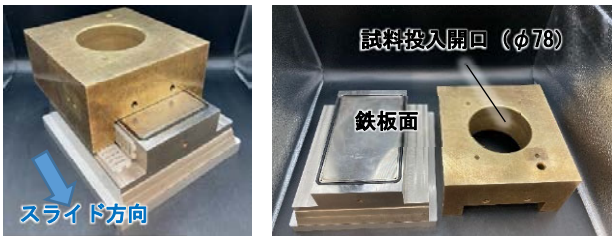


図-2 一面せん断試験装置



(a) 外観 (b) せん断箱の分解状況
図-3 一面せん断箱

表-1 ケース一覧

番号	ケース名	含水比(%)	試料条件
①	模擬土単体	10.0	模擬土のみ
②	高分子系滑剤A	22.6	ゲル分64.5% 飽和度100%で模擬土に添加
③	高分子系滑剤B		ゲル分42.6% 飽和度100%で模擬土に添加
④	高分子系滑剤C		ゲル分17.9% 飽和度100%で模擬土に添加
⑤	塑性流動化させた土(気泡)	12.7	気泡材(溶液濃度5%, 発泡倍率25倍, 気泡注入率20%)を添加し塑性流動化

試験は表-1に示す5ケースを実施した。高分子系滑剤は吸水性樹脂で構成されるゲル分の含有率が異なる三種類の製品A~Cを使用し、ゲル分による摩擦低減効果の差の有無を確認した。ケース①は実現場の砂地盤の粒度を珪砂や微粉末粘土で模擬した模擬土単体で、Fc: 細粒分含有率5.4%, Uc: 均等係数8.8である。模擬土の粒径加積曲線を図-4に示す。含水比は10.0%に調整し、乾燥密度が1.655 g/cm³となるように締め固めた。なお、ケース②~⑤も、模擬土単体と同じ乾燥密度となるように締め固めた。

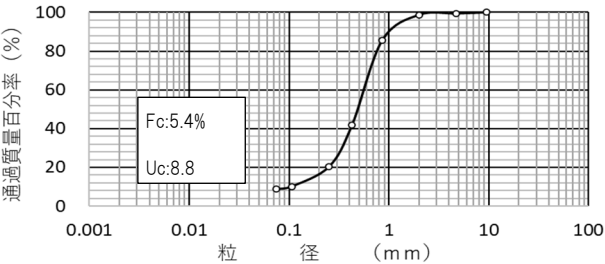


図-4 粒径加積曲線

キーワード シールド, 砂地盤, 静止摩擦係数, 高分子系滑剤, 塑性流動

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111



図-5 高分子系滑剤の状況写真

ケース②～④は模擬土に高分子系滑剤 A, B, C の 3 種 (図-5) を添加したもので、乾燥密度 1.655 g/cm^3 において模擬土の飽和度が 100%となるように滑剤を練り混ぜた。これらの試験ケースは、シールドマシン外周部と地下水で飽和された地山との境界に、滑剤を注入した状況を模擬している。ケース⑤は模擬土に気泡材を添加して塑性流動化させた土とした。気泡材の仕様は、既往の配合試験実績から、溶液濃度 5%, 発泡倍率 25 倍、気泡注入率 20%とした。この試験ケースは、気泡シールド工法で塑性流動化した土が、シールドマシンのチャンバーからシールドマシン外周に回り込んでいる状況を想定している。

3. 試験結果

各試験ケースにおけるせん断応力とせん断変位のグラフを図-6 に示す。試験は各ケース 3 回実施した。図-6(a)に示すとおり、①模擬土単体では $196.8 \sim 208.1 \text{ kPa}$ で最大せん断応力を示し、その後はせん断応力の増減を繰り返しながらほぼ横ばいで推移する結果となった。

図-6(b)に示すとおり、②～④の高分子系滑剤 A, B, C を添加したケースでは、 $167.5 \sim 181.5 \text{ kPa}$ の間で最大せん断応力を示し、その後 $10 \sim 20 \text{ kPa}$ 程度低下してからは、ほぼ一定のせん断応力で推移した。高分子系滑剤の種類の違いによるせん断応力低減効果の差はあまりないが、どの滑剤でも①模擬土単体の場合に比べてせん断応力が低下した。

図-6(c)に示すとおり、⑤塑性流動化させた土では $96.1 \sim 103.1 \text{ kPa}$ で最大せん断応力を示し、その後 $20 \sim 40 \text{ kPa}$ 低下して、ほぼ一定のせん断応力で推移した。全ケース中で最も小さいせん断応力であった。

図-7 に各試験ケースの最大静止摩擦係数を示す。最大静止摩擦係数 μ は、 τ_{max} : 最大せん断応力 (3 回の平均値) と P : 上載圧 500 kPa を用い、 $\mu = \tau/P$ により求めた。最大静止摩擦係数は、模擬土単体で $\mu=0.41$ 、高分子系滑剤を添加すると $\mu=0.35$ であり、滑剤を添加すると摩擦係数が 15～17%低減した。また、気泡材で塑性流動化させた土は $\mu=0.20$ であり、模擬土単体の時と比べて摩擦係数が 51%と大幅に低下することが分かった。

4. おわりに

本報では滑剤によるシールドマシンと地山との摩擦低減効果について評価した。その結果、滑剤でも摩擦力を低減できたが、塑性流動化させた土による摩擦低減効果はさらに大きいことが分かった。一方で、振動と摩擦の相関関係についてはまだ評価できていないことから、今後は加速度計による振動計測も追加してさらに検討を進める予定である。

参考文献

- 1) シールドトンネル施工技術検討会：シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン，2021

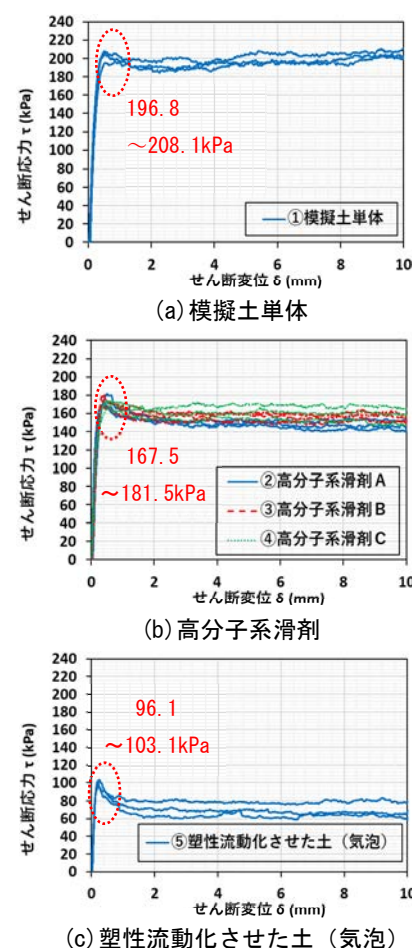


図-6 せん断 変位-応力関係

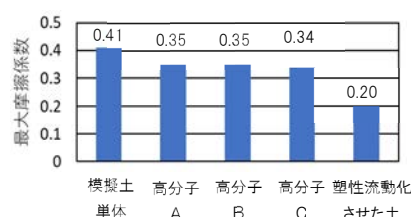


図-7 最大摩擦係数