

函体推進工法によるアンダーパストンネル建設における 摩擦低減材の開発

埼玉大学 正会員 ○平沢梨帆
 埼玉大学 正会員 富樫陽太
 植村技研工業株式会社 正会員 中村智哉
 植村技研工業株式会社 非会員 井口翔太
 埼玉大学 非会員 柏井皓登

1. 背景と目的

鉄道は都市圏での生活に必要な不可欠な存在であるが、踏切道による事故や渋滞、市街地の分断等の弊害が社会問題化している。この問題の解決方法として鉄道を横断する立体交差事業が全国的に行われている¹⁾。

単独立体交差事業で使用される施工法の一つとして函体推進工法があげられる。函体推進工法は、軌道上の列車を運行した状態で非開削施工する施工法のため、鉄道の運行を妨げずにアンダーパストンネルを建造できる。

しかし近年では交通容量の増加に伴い、トンネル断面の幅が非常に大きい施工が増えている（例えば、京成菅野の外環交差部（二層四径間、幅約 50m））。この場合、函体と地山の境界に作用する摩擦力が大きくなるため、必要なジャッキ推力が激増してコストがかさみ、工期が延長されるなどの問題が生じる懸念がある。

本研究では函体推進工法において列車荷重を支持でき、かつ函体推進時に摩擦が低減できる新しい摩擦低減材を開発する。

2. 新しい摩擦低減材の提案

新しい摩擦低減材として、以下の特徴を持つ摩擦低減材を提案する。この摩擦低減材を用い施工コストや施工時間の削減を目指す。

- ・摩擦低減材は剛球と母材（セメント改良土）から構成される。（図-1.a）
- ・函体推進前、鋼管と地山の間に設置した際に母材強度によって列車荷重を支持できる。（図-1.b）
- ・推進変位 u により、母材であるセメント改良土をせん断破壊させ、破片が剛球の周りに散らばる。この上を剛球が剛体回転することで函体と地山の摩擦力を適度に低減する。なお、推進時には函体で地山を支持する。（図-1.c）
- ・摩擦低減材は鋼管の推進時に敷設し、函体推進後に回収、または地山に一体化させる。（図-1.d）

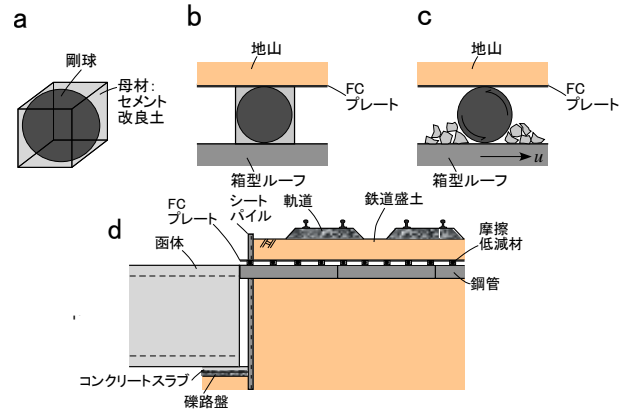


図-1 新しい摩擦低減材の提案

3. 母材の強度試験

走行している列車荷重を支持可能な母材（セメント改良土）の強度、材質の検討をするため、母材であるセメント改良土の一軸圧縮試験を行う。

(1) 実験方法

重量比を変えず（砂…49.6%，セメント…34.7%，水…15.7%）²⁾、異なる粒径の砂を用いてセメント改良土を作成する。セメント改良土は内径 50mm、高さ 100mm のモールドを用い、砂は珪砂 3,4,5,8 号を用いて試験を行う。供試体は作成後一週間程度養生し、一軸圧縮試験を行い応力と圧縮ひずみを計測する。

(2) 実験結果・考察

表-2 に示す応力ひずみ関係のとおり、珪砂 3 号が最も一軸圧縮強さが大きくなる。これは、粒径が大きいとセメント改良土の中に間隙が相対的に大きくなり、セメントの水和反応を促進させているためである。

表-2 応力ひずみ関係

	一軸圧縮強さ q_u (MPa)	圧縮ひずみ ϵ (%) (最大応力時)
3号	19.97	12.9
4号	14.53	13.0
5号	7.73	14.0
8号	4.41	10.0

キーワード トンネル、アンダーパス、R&C 工法

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255, TEL:048-858-3571

4. 施工の状況を模した単純せん断試験

本研究では施工の状況を模擬できる全く新しい単純せん断試験装置を開発した(特願 2022-2046)³⁾。これは放射状に設置した角柱供試体をねじりせん断する試験であり、函体推進工法の施工時における境界条件を模擬できる(図-3)。この装置を用い、提案する摩擦低減材の寸法・鋼球の大きさに応じた荷重変位関係を施工の状況を加味して取得する。

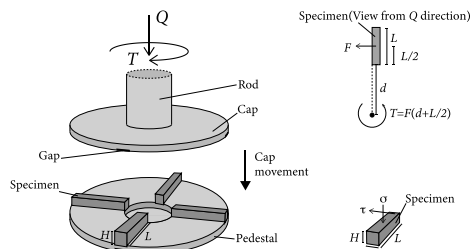


図-3 全く新しい単純せん断試験概要図

(1) 実験方法

母材強度の試験をもとに 20×20×70mm のモールドを用いてセメント改良土を段階的に締固めた供試体を作成し、単純せん断試験を行う。母材の強度試験同様、珪砂は 3,4,5,8 号を用いる。供試体は、直径 10mm の剛球 3 つを等間隔に入れた供試体と、剛球なしの供試体の 2 種類を用意する。試験は図-3 のように、供試体 4 本を放射状に設置し、直荷重 5kN をかけたまません断を行う。本実験は函体推進工法において摩擦低減材の設置状況を模式的に行うことができる。

本試験では試験機の上部に荷重計とトルク計を設置し、直荷重 Q とトルク T を測定する。(図-4)



図-4 開発した載荷装置



図-5 破壊後の供試体断面図

これによって、供試体にかかる直応力 σ 、せん断応力 τ を以下の式を用いて算定できる。

$$\sigma = \frac{Q}{nLW} \quad (n \text{ は供試体の本数}) \quad (1a)$$

$$\tau = \frac{F}{nLW} = \frac{T}{(nLW)(d + \frac{L}{2})} \quad \therefore T = F \left(d + \frac{L}{2} \right) \quad (2a)$$

(2) 実験結果・考察

図-6 にはせん断応力とせん断ひずみの関係を示す。粒径が大きい供試体ほどせん断応力が大きくなる。この結

果は一軸圧縮試験と調和的である。

供試体内の剛球の有無によるピーク応力の比較では、どの粒径の珪砂においても剛球ありの供試体は約 0.1MPa 以上ピーク応力が低減された(剛球なし→剛球あり 3 号: 0.86~1.00→0.75MPa, 4 号: 0.75~0.80→0.65MPa, 5 号: 0.46~0.69→0.25MPa, 8 号: 0.60→0.15MPa)。中でも珪砂 5, 8 号は剛球を入れることでピーク応力が 0.21~0.45MPa 低減され、現場でのせん断応力の低減が期待される。

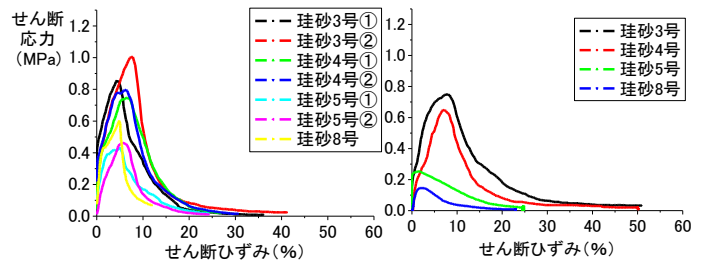


図-6 せん断応力—せん断ひずみ関係(左) 剛球なし(右) 剛球あり

5. まとめ

本研究では、摩擦低減材の母材の強度試験と、施工の状況を模擬できる単純せん断試験装置を用いた、供試体内の剛球の有無による比較試験を行った。

2 つの試験から、母材のセメント改良土はセメントの水和反応により、粒径が大きいほど強度が増すことが分かった。また、我々が開発した、施工状況を模した全く新しい単純せん断試験では、供試体内に剛球を入れることでピーク応力が低減された。以上のことから、実際の現場においても、提案した摩擦低減材において剛球を入れることでせん断応力が低減されることが見込まれる。

今後は供試体内部の剛球の有無以外の条件(剛球の個数、大きさ、供試体の本数)を変え、より最適な摩擦低減材の開発を目指す。

6. 参考文献

- 1) 中村智哉. (2017). 函体推進・けん引工法における軌道・地盤変位に関する研究. 千葉工業大学博士論文
- 2) K.A. Tariq, T. Maki. (2014). Mechanical behaviour of cement-treated sand. *Construction and Building Materials*, 58, 54-63
- 3) 富樫陽太, 中村智哉, 井口翔太, 橋本精一郎, 平沢梨帆. (2022). 地下構造物の施工に使用する摩擦低減材の材料試験と方法. 特願 2022-2046

キーワード トンネル, アンダーパス, R&C 工法

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255, TEL:048-858-3571