

裏込め兼用高機能滑材の開発

安藤ハザマ 正会員 ○野口真未, 粥川幸司
株式会社タック 正会員 瀧川信二, 吉田智哉, 吉田修康, 森田駿矢

1. はじめに

近年、地下構造物が輻輳する狭隘な箇所での地下空間構築技術として、推進工法が活用される場面が増えており、施工に際しては厳密な地盤変位抑制が求められている。推進工法では、推進管と地山間の摩擦抵抗を減少させるため、滑材を注入し、さらに、地山の緩み防止を目的として裏込め注入を行う。従来の滑材は、強度発現がほとんどないため、大深度・高水圧下といった条件では、圧密脱水等による滑材効果の欠如や、テールボイド欠如による裏込め注入材の置換不能が懸念される。そこで、大深度・高水圧下でも滑材効果と裏込め注入効果が得られる高機能滑材を開発した。本稿では、要求性能、基本配合、性能試験について報告する。

2. 高機能滑材の要求性能

テールボイドへの注入には流動性を有する一方で、地山への浸透を防ぐために速やかにゲル化する必要がある。そして、推進管の敷設進行中には、滑材として摩擦低減に寄与するとともに、徐々に粘性が増加しながら硬化し、地山相当の強度が発現することで、地山や滑材自身の変状を長期間防ぐことが重要となる。さらに、この摩擦低減効果と強度発現は相反する関係であることから、強度発現のタイミングの調整が可能であることも要求される。

3. 基本配合の決定

大深度・高水圧下での地山相当の強度を得るために、2液型混合の硬化型の滑材とした(写真 1)。滑材の3ケースの基本配合を表 1 に示す。今回は、強度発現のタイミングを A 液:B 液比によって調整することとした。ケース②を基本配合とし、B 液の量を調整したケース①、③も試験対象として、B 液変化による性能の変化についても分析を行った。全ケースについて、ゲルタイム測定を行い、15 秒以内の混合比を選定した。

表 1 裏込め兼用高機能滑材の基本配合

材料 (比重)	A 液 $\rho_A=1.01$						B 液	ゲル タイム
	硬化剤 (3.15)	助材 (2.6)	起泡材 (0.98)	安定剤 (1.25)	水 (1.0)	空気量 (-)	塑強 調整剤 (1.37)	
ケース①	150 kg	80 kg	0.3 kg	2.0 kg	727 L	143 L	33 L	12 秒
ケース②							50 L	9.9 秒
ケース③							75 L	11.2 秒



写真 1 高機能滑材（ゲル化後）

4. 試験内容

表 2 に試験内容と目標とする基準を示す。強度については、28 日で 400 kN/m² 以上を目標とした。これは、N 値 30 を超える“大変硬い”粘性土¹⁾に相当する。

すべり抵抗に関しては、引張荷重による簡易的な測定(図 1)を一般滑材とともに全3ケース、長期間行うとともに、付着せん断強度試験²⁾による摩擦力の測定を強度発現が最も大きいケース③と一般滑材で、材齢 1 時間と 1 日にて測定した。この試験では、より実施工に近づけるため、すべり面をコンクリート板と鉄板とし、接触面には一般的に推進函体に塗布されるマニキュア材を使用した場合と使用しない場合の 4 種類、また、一般滑材によるマニキュア材不使用でのコンクリート板による測定の計 5 種類で試験を行った。なお、鉛直載荷圧は、50, 150, 350 kPa の 3 段階とした。

圧密載荷変位測定では、上部に模擬土砂 25 mm、下部に滑材 25 mmの試料を用意し、350 kPa、1~48 時間加圧した。

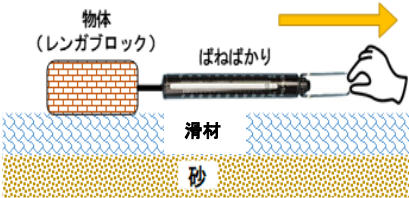


図 1 引張荷重測定概要図

表 2 試験内容と目標の要求性能基準

試験項目	試験対象	実験期間	使用機器	要求性能基準
一軸圧縮強度試験	ケース①~③	1 日~91 日	圧縮試験機	$q_u=400\text{kN/m}^2$ 以上
すべり抵抗性試験	ケース③(マニキュア材有無), 一般滑材	1 時間, 1 日 ※一般滑材は 1 時間のみ	付着せん断強度試験 (鉄板,コンクリート板)	一般滑材の 2 倍程度
引張荷重測定	ケース①~③, 一般滑材	6 時間~28 日	ばねばかり	一般滑材の 2 倍程度
圧密載荷変位測定	ケース①~③, 一般滑材	1~48 時間	圧密試験機	一般滑材の 1/2 以下

キーワード：推進工法，滑材，大深度地下，高水圧，裏込め注入，マニキュア材

連絡先 〒105-7360 東京都港区東新橋 1-9-1 (株)安藤・間 建設本部 TEL03-3575-6127

5. 試験結果

(1) 一軸圧縮強度試験

一軸圧縮強度試験の結果を表 3 に示す. ケース②,③において, 28 日強度が 400 kN/m² 以上となった. ケース①についても 28 日以降で強度増加し, 400 kN/m² に達した.

(2) すべり抵抗性試験

付着せん断強度試験で得られた変位量に対する推力の変化の一例を図 2 に示す.

滑り出す前に推力のピークが得られ, 一度減少した後, 再び上昇する傾向が見られた. この減少時の推力を用いて算出した摩擦係数を表 4 に示す. 材齢 1 時間の測定結果では, ケース③の摩擦係数はマニキュア材により半分程度まで抑えられた. また, 対象物に対して大きな差は見られなかった.

一般滑材との比較では, 50 kPa ではケース③の摩擦係数は大きい, マニキュア材の塗布により同等レベルになった. 150 kPa 以降では一般滑材の摩擦係数は増加したが, 高機能滑材ではマニキュア材不使用の場合で 2 倍程度, 塗布した場合でも一般滑材以下の摩擦係数となった.

材齢 1 日では, 材齢 1 時間の 2 倍以上の摩擦係数となった. また, マニキュア材による摩擦低減効果も見られなかった.

併せて, 引張荷重測定での結果(表 5)では, 材齢 1 日以降は摩擦係数に大きな変化がないこと, 引張荷重測定の材齢 1 日の結果と付着せん断強度試験の材齢 1 日の結果が近似していることが判った. この結果から, 長期に及ぶ高機能滑材の摩擦係数は, 一般滑材の 2 倍程度であると言えた.

(3) 圧密荷重変位測定

高機能滑材と一般滑材の圧密沈下量の経時変化を図 3 に示す. また, ケース②の圧密前後の状態を写真 2 に示す. 全体として, 6 時間以降は大きな変位は見られなかった. 初期試料高さ(25 mm)から各沈下量を減算し, さらに初期試料高さで除した値を滑材残存率とすると, 一般滑材の 48 時間後のそれが 50 %であったのに対し, 高機能滑材は 90 %以上であった, さらに, ケース②, ③については, 1 時間後から 98 %でほとんど変化がなく, 長時間の圧密に対しても高機能滑材の変状はほとんどないことが判った.

6. まとめ

本稿では, 裏込め兼用高機能滑材の基本配合の検討から性能試験の結果について述べ, いずれの要求性能も満足する結果を得ることができた. 今後は, 推進機での作業性や長距離での摩擦を受けた場合の性状等, 実規模レベルでの高機能滑材の性能を確認, 適用性を検討する予定である.

参考文献

- 1)理工図書:新ボーリング図を読む, 平成 17 年 7 月
- 2)日本鉄道建設公団:併進工法設計施工指針(案)山岳トンネル編, 平成 6 年 5 月, pp.235~237

表 3 一軸圧縮強度試験結果

ケース	一軸圧縮強度経時変化(kN/m ²)							
	1日	3日	7日	14日	28日	56日	91日	
ケース①	94	153	208	256	322	405	409	
ケース②	197	248	315	366	511	594	578	
ケース③	283	346	433	507	826	806	834	

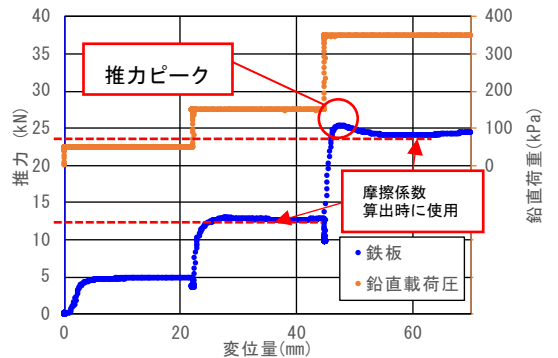


図 2 付着せん断強度試験結果

(材齢 1 日 鉄板マニキュア材無し)

表 4 付着せん断強度試験による摩擦係数一覧

試料	対象物	一般滑材					高機能滑材(ケース③)		
		コンクリート	コンクリート	コンクリート(マニキュア材)	鉄	鉄(マニキュア材)	コンクリート	コンクリート(マニキュア材)	鉄
50kPa	1時間		0.04	0.21	0.04	0.15			0.06
	1日			0.55	0.55	0.47			0.58
150kPa	1時間		0.14	0.19	0.05	0.23			0.11
	1日			0.50	0.57	0.50			0.50
350kPa	1時間		0.13	0.17	0.08	0.22			0.12
	1日			0.39	0.39	0.41			0.39

表 5 引張荷重測定結果

ケース	摩擦係数経時変化						
	6時間	1日	3日	7日	14日	21日	28日
ケース①	0.42	0.55	0.58	0.56	0.56	0.56	0.54
ケース②	0.40	0.54	0.54	0.55	0.55	0.57	0.55
ケース③	0.49	0.53	0.52	0.54	0.54	0.55	0.54
一般滑材	0.26	0.26	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27

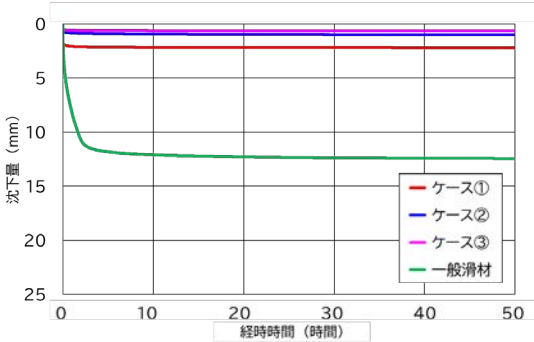


図 3 圧密荷重変位測定結果

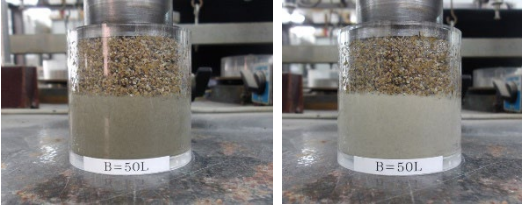


写真 2 圧密荷重試料 (左: 試験前、右: 試験後)