

シールド外周部の空隙充填材の開発（その1）

－充填材の開発目的と性能－

(株)大林組 正会員○上田 潤 正会員 三木 慶造
正会員 守屋 洋一 正会員 井澤 昌佳

1. はじめに

鉄道の営業線直下を小土被りでシールド施工する場合、列車運行時には施工が制限され、シールド外周部に空隙を残したまま、掘進停止を余儀なくされることがある。そのため、長時間に亘り地山が応力開放され、地盤変状を引き起こすことが懸念される。そこで、シールド外周部の空隙を速やかに充填することができ、掘進時には滑材として機能し、掘進停止時には固化して地山を確実に保持することができる充填材を開発した。本稿では、充填材開発の目的、要求性能、開発の手順、基本配合の決定について報告する。

2. 充填材開発の目的

図-1に示すように、シールドの掘進に伴い発生するテールボイドは、同時裏込注入等により速やかに充填され、早期に地山を安定化することができる。しかし、フリクションカットによるシールド外周部の空隙は、裏込材が充填されるまで、掘削土砂により充填された状態ではあるが、応力状態は不確実である。そのため、鉄道の営業線直下の施工などでは、長期間シールドが停止した場合、周辺地盤の変状を引き起こすことが懸念される。充填材は、上述した問題を解決する目的で開発したものであり、空隙を速やかに充填し、掘進停止中も地山を確実に保持することができる材料である。

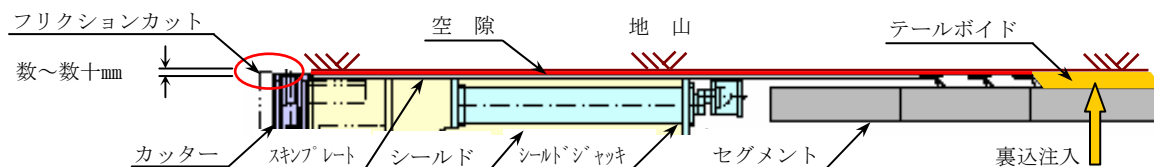


図-1 空隙発生状況図

3. 充填材の要求性能

空隙を速やかに充填するには流動性を有する必要がある。地山を確実に保持するには希釈や逸失が起こりにくい固体状態で、かつ速やかに地山と同等以上の強度を発現する必要がある。これらの性能を有する材料には、裏込注入として一般的に使用されている二液混合型の可塑性裏込材がある。しかし、裏込材を空隙に充填した場合、時間の経過と共に強度が発現し、スキンプレートとの付着により、再掘進時に過大な推力が必要になり、掘進不能になることが懸念される。一方、小土被りではシールドの推進により周辺地山を引き込み、変状を引き起こすことも懸念される。そのため、充填材の性能として、掘進時には推進工法の滑材のような摩擦低減効果が必要となる。

以上から、充填材の性能として、充填および掘進時には滑材のような摩擦低減効果が要求され、掘進停止時には裏込材のような強度を有する固化状態であることが要求される。さらに、掘進、掘進停止、再掘進といった施工サイクルに対し、繰り返しかつ自由にその性状を制御できることが要求される。

4. 充填材開発の手順

充填材の開発手順を図-2に示す。開発は、まず上述した性能を有する材料の選定から行った。材料は施工過程において、自由に性状を制御できる材料でなければならない。この要求を満たすものとして、天然油脂を原料とする有機系材料から、アルコール系の材料Aを選定した。この材料Aは、固体となっている結晶構造に熱を加えると、結晶構造が分解されて液体になり、温度を低下させると再結晶化し、再び固体になると

キーワード 営業線直下、小土被り、空隙、地盤変状、充填材、温度制御

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 1-19-22 (株)大林組 土木技術本部 技術第五部 Tel03-5769-1318

いう性質を持っている。しかし、材料Aは生分解性を有し、長期間のうちに分解・消失するため、充填材は材料Aと骨材（礫、粉碎砂およびクレイサンド）の混合材料とした。これにより、材料Aが生分解により消失した場合でも、骨材により地山を保持することができる。

基本配合は、骨材量をパラメーターとして、充填材の要素試験結果から決定した。基本配合決定後は実際の施工を想定した性能確認試験を行い、実証施工を行う考えである。

5. 基本配合の決定

5.1 使用材料と配合

材料Aは、地下水の温度が 15～18℃程度であることから、注入後速やかに固化するよう、23.5～26.5℃の融点の材料を使用した。添加量はそれぞれの骨材に対して外割重量比で 15%とした。骨材は礫(4.76～9.5 mm)、粉碎砂(0.06 mm～4.75 mm)、クレイサンド(0.0014～2 mm)とした。骨材量は一般的な地山構成を参考にし、地山の空隙（空気・水）に相当する体積分を材料A、土粒子に相当する体積分を骨材とした。試験を実施した配合および空隙率を表-1 に示す。

5.2 試験方法

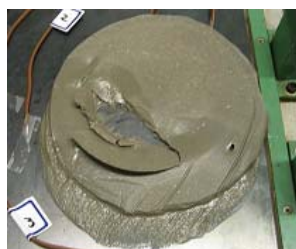
要素試験項目および試験方法を表-2 に示す。

5.3 試験結果

要素試験結果を表-3 に示す。流動性については材料の粒度組成の違いにより差が認められ、①の配合は適用が難しいと判断した。一軸圧縮強度については、②～④のどの配合においても地山相当の強度を十分満足した。摩擦低減効果については、配合にかかわらず、図-3 および写真-1 に示すように加熱によって材料が融解し、せん断応力度の低減が認められた。これらの結果と、ポンプの圧送性や空隙への充填性を考慮し、粉碎砂とクレイサンド（80:20）と外割重量比 15%の材料Aからなる②を標準配合とした。なお、②の配合において、乾燥密度は 1.97g/cm³、空隙率 32.7%であり、一般的な地山相当と考えられる。



固化した状態（約 17℃）



融解した状態（約 23℃）

写真-1 すべり抵抗性試験

6. まとめ

温度を変化させることで性状を制御できる材料を採用することで、空隙を速やかに充填でき、掘進時には滑材として機能し、掘進停止時には固化状態で確実に地山を安定化させることが可能となった。今後は、実際の施工を想定した性能確認試験を経て、実証施工を行う予定である。

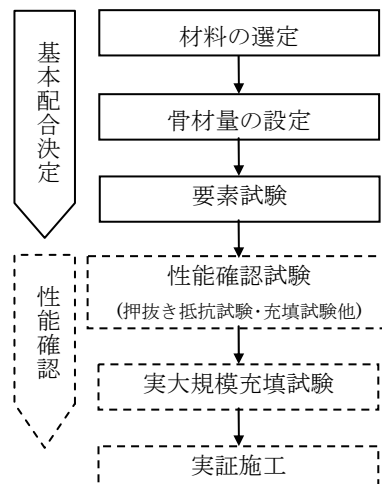


図-2 開発手順

表-1 配合表

配合	礫:粉碎砂:クレイサンド	空隙率(%)
①	0:65:35	32.5
②	0:80:20	32.7
③	10:58.5:31.5	32.6
④	10:72:18	32.8

表-2 要素試験項目

項目	試験方法	基準他
流動性	モルタルフロー試験	モルタルフロー180 mm以上、試験材料温度 35℃
強度	一軸圧縮強度試験	供試体が固化している状態で地山相当の強度(0.5N/mm ² 以上)が得られること
摩擦低減効果	すべり抵抗性試験	所定の上載荷重で、加熱によりせん断応力度が低減することを確認する

表-3 要素試験結果

配合	流動性(mm)	強度(N/mm ²)
①	162	—
②	189	1.10
③	183	0.67
④	199	0.72

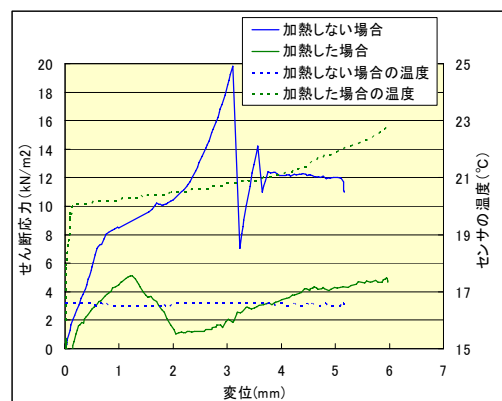


図-3 すべり抵抗性試験結果