

スラッジの添加による裏込め充填材の品質改善に関する研究

飛島建設 正会員○岩城 圭介, フェロー 請関 誠
太名嘉組 大城 博, 平良 和義

1. はじめに

トンネル覆工の背面空洞注入やトンネル内管路埋戻しには、裏込め充填が行われている。裏込め充填材としては、近年、エアモルタルや非エア系の可塑性グラウトなどの多様な材料が開発されており、用途とその要求性能に合致した材料が工事で適用されている¹⁾。施工中の湧水や施工後の復水による地下水変動の影響などを考慮すると、特にエアモルタルで課題となる水中不分離性や水密性に関し、さらなる検討が必要と考えられる。

一方、裏込め充填材の配合は、セメント・水を基本とするものの、施工性に対する要求が高いため、ベントナイト、フライアッシュ、混和剤（起泡剤、発泡剤、減水剤他）、ポリマーなどの多様な混和材料が様々な組合せで用いられている。本研究では、強度・水密性などの硬化性能と施工性を両立する目的で、裏込め充填材の材料構成の一部への碎石・砕砂製造工場で副産するスラッジの適用について検討した。なお、碎石・砕砂スラッジは、微粒子が主体であるため、裏込め充填材の材料分離抵抗性や水密性の改善効果が期待できる。

2. 使用材料・試験配合・フレッシュ性状

使用材料を表-1 に示す。碎石・砕砂スラッジとしては、乾式砕砂の石粉 SL-P と湿式砕砂の脱水ケーキ SL-C を用いた。なお、配合上の単位量は、絶乾状態で表示した。

試験配合とフレッシュ性状の試験結果を表-2 に示す。本研究では、フライアッシュとポリマー系可塑剤を用いた 2 液性の裏込め充填材を基本とし、スラッジを添加した。主材の長距離圧送性を確保するために、JSCE-F 521 による P 漏斗流下時間で 11 秒程度以下となるようにスラッジ単位量と主材・可塑材の水量を調整した。石粉 SL-P では、脱水ケーキ SL-C に比べて、多い単位量

表-1 使用材料

材料名	記号	仕 様
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm ³
フライアッシュ	FA	フライアッシュ原粉, 密度 2.34 g/cm ³
可塑剤	Ad	ポリマー系可塑剤, 密度 1.05 g/cm ³
練混ぜ水	W	上水道水
スラッジ	SL-P	乾式砕砂の石粉, 石灰石, 密度 2.71 g/cm ³
	SL-C	湿式砕砂の脱水ケーキ, 石灰石, 密度 2.70 g/cm ³

表-2 試験配合とフレッシュ性状の試験結果

配合	単位量 (kg/m ³)							フレッシュ性状	
	主材					可塑材		JHS 70-値 (mm)	ブリーディング 率 (%)
	C	FA	SL-P	SL-C	W	Ad	W		
BL	500	200	—	—	606	3.0	147	177	12.1
P400	500	200	400	—	560	1.5	147	124	5.1
P450	500	200	450	—	542	1.0	47	149	5.1
C300	500	200	—	300	596	2.0	47	154	3.3

でも主材の流動性を確保できることが明らかとなった。また、2 液混合後の可塑流動性（JHS-313 シリンダ法フロー値）を同等とするために、可塑剤 Ad の添加量を調整した。同等の可塑流動性を得るための可塑剤添加量は、スラッジの添加により低減できることが明らかとなった。さらに、各配合のブリーディング率を JSCE-F 522 ポリエチレン袋法により測定した結果、スラッジの添加によるブリーディング率の低減効果が明らかとなった。

3. 試験方法

(1) **圧縮強度・静弾性係数** JIS A 1108 に準拠して、供試体寸法 $\phi 50 \times 100$ mm, 試験材齢 7 日, 28 日, 標準養生とした。また、石粉 SL-P 配合と BL 配合では、JIS A 1149 により材齢 28 日で静弾性係数を測定した。

(2) **透水係数** P450 配合と BL 配合の簡易透水試験および三軸圧密透水試験を行った。簡易透水試験では、 $\phi 100$ mm の円筒状の密閉容器に裏込め充填材を $H=120$ mm で打込み、材齢 28 日を経過後以降、水圧 200 kPa 一定で 16 日間の透水を行い、累積排水量から透水係数の経時変化を求め、定常状態となったときの透水係数平均を算出した。さらに、材齢 49 日において透水試験後の供試体の圧縮強度試験を行った。また、より実環境下に近い裏込め充填材に拘束圧がかかる状態での透水係数を得る目的で、三軸圧密透水試験を実施した。なお、試験条件は、供試体寸法 $\phi 100 \times 50$ mm, 拘束圧 225 kPa, 水圧 200 kPa, 透水期間 4 日間とした。

キーワード：裏込め充填材, スラッジ, 石粉, 脱水ケーキ, 強度発現, 透水試験

飛島建設 技術研究所 〒270-0222 千葉県 野田市 木間ヶ瀬 5472 TEL: 04-7198-7559

4. 試験結果および考察

(1) 圧縮強度・静弾性係数 スラッジ単位量と材齢 7 日, 材齢 28 日圧縮強度の関係を図-1 に示す. 各材齢の圧縮強度は, スラッジ種類にかかわらずスラッジ単位量の増加にともない増加する傾向であり, スラッジ単位量 400 kg/m^3 以上では 10 N/mm^2 超の圧縮強度が得られ, 裏込め充填材を低強度コンクリートのレベルまで高強度化できることが示された.

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-2 に示す. スラッジの添加による圧縮強度の増加にともない, 4 倍程度に静弾性係数も増加することが示された.

(2) 透水係数 簡易透水試験による透水係数の経時変化を図-3 に示す. スラッジ無添加の BL 配合では, 試験開始から定常的であったのに対し, スラッジを添加した P450 配合では, 試験開始から 7 日で通水があり, 徐々に収束して 12 日目以降で定常状態となった. 最終的な透水係数は, BL 配合で 10^{-6} cm/sec オーダーであったのに対し, P450 配合では 10^{-10} cm/sec オーダーの値を示し, スラッジの添加により, 水密性の大幅な改善がみられた.

透水試験後の圧縮強度試験結果を同一ロットの材齢 28 日圧縮強度と比較して図-4 に示す. 透水試験後の圧縮強度は, BL 配合で透水前の材齢 28 日に比べて低下したが, P450 配合では材齢にともない増加した. 透水試験後の供試体表面は, BL 配合に比べて P450 配合で滑らかであったことから, 比較的強度の低い BL 配合では, 透水試験によりセメント成分が溶脱した可能性がある.

また, 図-5 に示すように, 三軸圧密透水試験により得られた透水係数も, BL 配合で 10^{-7} cm/sec オーダー, P450 配合で 10^{-10} cm/sec オーダーであり, スラッジの添加により 3 オーダーの改善がみられた. また, 簡易透水試験による透水係数と比較すると, P450 配合で同等であり, BL 配合で 1 オーダーの低下がみられた. BL 配合では, 拘束圧を受けることにより供試体内の空隙構造が緻密化された可能性がある.

5. まとめ

ポリマー系可塑剤を用いた裏込め充填材にスラッジを添加し, その性能について検討した. 得られた知見を以下に示す.

- 1) スラッジの添加により, 同等の可塑流動性を得るための可塑剤添加量を低減可能であり, 材料費低減の可能性が示された.
- 2) スラッジの添加による材料分離抵抗性の改善効果が示された.
- 3) スラッジの添加により, 裏込め充填材の大幅な高強度化, 高剛性化が図られることが示された. スラッジの添加は, 管路埋戻しに用いる裏込め充填材などのように, 高い剛性が求められる場合に有効な手段となり得ると考えられる.
- 4) スラッジの添加による大幅な水密性の改善効果が示された.

スラッジの添加は, 施工後の復水や地下水位の変動にともない水圧を受けた場合の裏込め充填材の耐久性を確保する上で, 有効な手段となり得ると考えられる.

【参考文献】 1) 日本道路公団: 矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工指針, 2002.

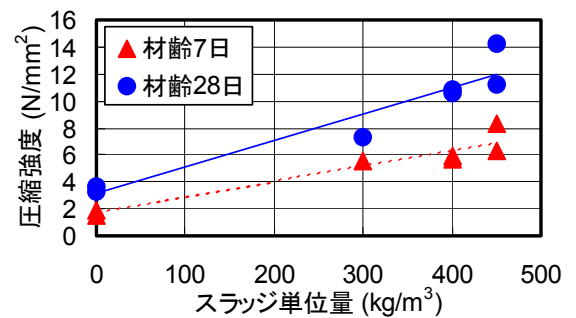


図-1 スラッジ単位量と圧縮強度の関係

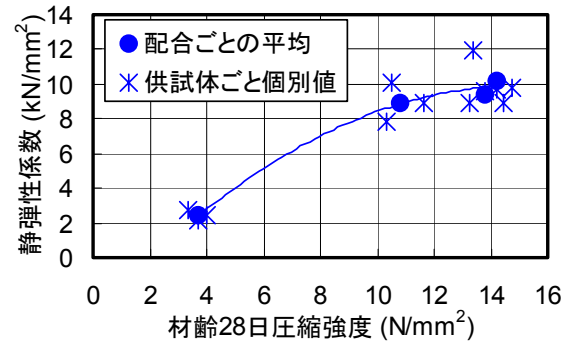


図-2 圧縮強度と静弾性係数の関係

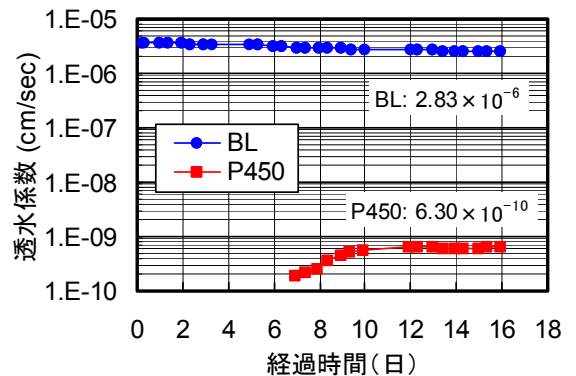


図-3 簡易透水試験結果

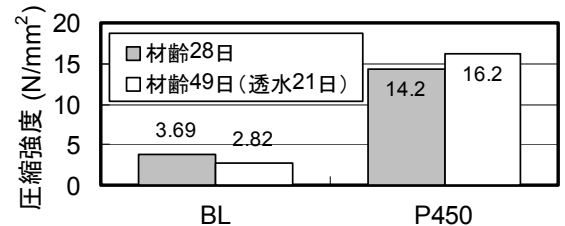


図-4 透水試験後の圧縮強度試験結果

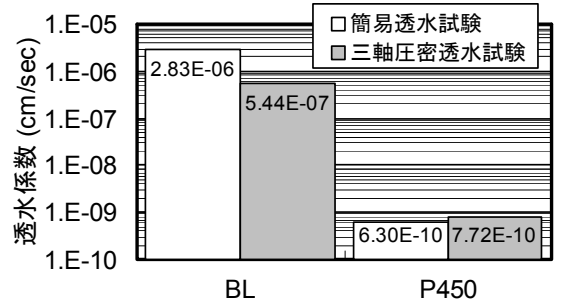


図-5 簡易透水試験結果と三軸圧密透水試験結果