

小断面トンネルにおける吹付けコンクリートの粉じん低減に関する提案

飛島建設技術研究所	正会員○平間昭信
日本道路公団中部支社	川北眞嗣
飛島建設名古屋支店	松原利之
飛島建設名古屋支店	山田 博
飛島建設土木本部	正会員 黒坂聡介

1. はじめに

東海北陸自動車道飛騨トンネル避難坑の NATM 区間は掘削断面が約 20m^2 と小断面であることや、レール工法を採用したことにより吹付けシステムの配置に制約を受け、ポンプ圧送方式における空気搬送距離がより長く必要であり、圧送エア量を多く要する状況であった。このような施工条件から、旧労働省の「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」における粉じん濃度目標レベル $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下を満足することが困難な状況であった。そこで、吹付け時の発生粉じん低減を目的に第二東名高速道路で適用されている粉体急結剤の連続スラリー化を特徴とする吹付けコンクリートシステム¹⁾の適用を考えた。なお、今回の適用では、これまでのスラリー用急結剤が高強度吹付けコンクリート仕様であることから、経済性を考慮して設計基準強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ の吹付けコンクリートに対応するため、急結剤の改良や配合検討を加えた汎用型の急結剤をスラリー化する吹付けコンクリートシステム（以下、S方式）を採用した。

本報は、我が国における急結剤の主流であるカルシウムアルミネート系粉体急結剤を用いた吹付けコンクリート（以下、P方式）とS方式との比較により粉じん低減効果の把握を目的とした試験施工を実施し、今後の小断面トンネルにおける低粉じん化に向けた吹付けコンクリートの方向性について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料、試験配合

使用材料を表-1に示す。急結剤 Ac-S は、S方式でスラリー化して用いる粉体急結剤（カルシウムアルミネート系）であり、我が国で最も一般的に用いられている粉体急結剤（Ac-P）を改良したものである。

試験配合を表-2に示す。S方式では、急結剤のスラリー化に要する水 W_s の追加を考慮して、ベースコンクリートの水セメント比 W/C をP方式に比べて8.1%低減し、50%に設定した。なお、水セメント比の低減に伴い、コンクリートの粘性が増加してポンプ圧送性などの施工性に影響することが事前の実施で把握されていたことから、S方式でのスランブは、18cm、15cmに設定した。

2.2 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-3に示す。

粉じん濃度の測定は、旧労働省のガイドラインに示されている切羽から坑口に向かって50m位置に加えて、切羽から10m後方のトンネル中央の計2箇所において、光散乱式粉じん測定器を用いて行った。また、坑内の風向および風速も併せて測定した。

表-1 使用材料

材 料	材 料 の 諸 元
セメント C	普通ポルトランドセメント、密度 $3.15\text{ g}/\text{cm}^3$
細骨材 S	庄川産川砂、FM 2.80、密度 $2.58\text{ g}/\text{cm}^3$
粗骨材 G	庄川産川砂利、最大寸法10mm、密度 $2.61\text{ g}/\text{cm}^3$
高性能減水剤 Sp	ポリエチレングリコール系高分子化合物、密度 $1.04\text{ g}/\text{cm}^3$
急結助剤 As	水溶性高分子化合物、密度 $2.16\text{ g}/\text{cm}^3$
急結剤 Ac-P	粉体急結剤、カルシウムアルミネート系
急結剤 Ac-S	スラリー用粉体急結剤、カルシウムアルミネート系

表-2 試験配合

配合No	目標 スランブ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)						急結剤 (kg/m^3)	
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	高性能 減水剤 Sp	急結 助剤 As	急結剤 Ac^{*1}	スラリー水 Ws
P方式	10 ± 2	58.1	63.0	209	360	1067	634	—	—	25.2	—
S方式-1	18 ± 2	50.0^{*2}		200	400	1057	628	2.00	0.20	28.0	28.0
S方式-2	15 ± 2	(57.0)		190	380	1084	644	3.04	0.19	26.6	26.6

注) *1: P方式では粉体急結剤Ac-Pを使用、S方式ではスラリー用粉体急結剤Ac-Sを使用

*2: ベースコンクリートの水セメント比、()内はスラリー水を考慮した吹付けコンクリートの水セメント比

表-3 試験方法

試験項目	試 験 方 法
粉じん濃度	旧労働省「ずい道建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」の方法に準拠。
初期強度	ブルアウト法(JSCE-G 561, JHS702)に準拠。 試験材齢3, 24時間
長期強度	吹付けコアの圧縮強度(JSCE-F 561, JIS A 1107)に準拠。 試験材齢7, 28日

キーワード: NATM, 吹付けコンクリート, スラリー急結剤, 粉じん, 強度発現

〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設技術研究所 Tel: 04-7198-7559 Fax: 04-7198-7586

3. 試験結果

3.1 粉じん特性

図-1に風向および風速の測定結果を示す。なお、換気方式は送気式であり、換気量は 900m^3 、風管位置は切羽から約 44m であった。掘削断面が約 20m^2 と小断面であり、吹付けシステムの配置が影響し、風速が最も大きい値を示したのは、吹付けシステム後方での約 2m/sec であり、吹付け作業位置近傍の 10m 位置での風速は約 0.2m/sec と空気の移動が少ない結果である。

粉じん濃度の測定結果を図-2、図-3に示す。吹付け作業位置近傍の 10m の結果では、P方式が定常状態で 40mg/m^3 に対して、S-1が 20mg/m^3 とほぼ半減、S-2が 30mg/m^3 といずれも粉じん低減効果が認められた。 50m 位置においても、P方式が目標値 3mg/m^3 程度であったのに対して、S方式では $1\sim 1.5\text{mg/m}^3$ と粉じん濃度は大きく低減している。 50m での粉じん低減の事由としては、発生粉じんの低減とともに、藤本らが示唆している“S方式による粉じんは浮遊しにくい性状”¹⁾も考えられ、粉じんの分布状況などについて、今後把握する予定である。

3.2 強度発現性

図-4に示すようにP方式、S方式とも、順調な強度発現を示し、日本道路公団における吹付けコンクリートの基準（材齢1日 5N/mm^2 、材齢28日 18N/mm^2 の圧縮強度）を満足する結果であった。今回の結果より、S方式ではスラリー水 W_s を考慮して実水セメント比 W/C をP方式の W/C と同等とすることにより、P方式と同等の強度発現が得られることが確認された。

4. まとめ

今回の結果から、小断面トンネルにおけるスラリーショットシステムの粉じん低減効果を確認することができた。しかし、スラリー水を考慮して水セメント比を小さくする必要があり、高性能減水剤使用量の低減なども含め、コスト低減に向けた検討を進めていく予定である。また、吹付けコンクリート工のみではなく、工事全体の換気設備に関する規模や配置のデータなど、総合的に判断できるデータを蓄積し、それらと併せた小断面トンネルにおける粉体の連続スラリー化を特徴とする吹付けコンクリートシステムの適用による坑内環境改善や経済性などに関して総合的な検討が必要である。

【謝辞】試験施工に際しては、電気化学工業㈱、他関係各位のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】1)藤本，白畑，平間，岩城，大窪：スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの粉じん低減効果の評価，土木学会第57回年次学術講演会概要集第VI-206，pp.411-412，2002。

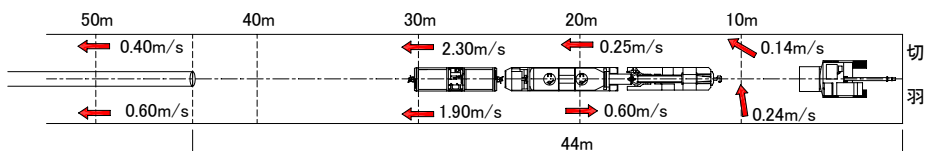


図-1 風向および風速の測定結果

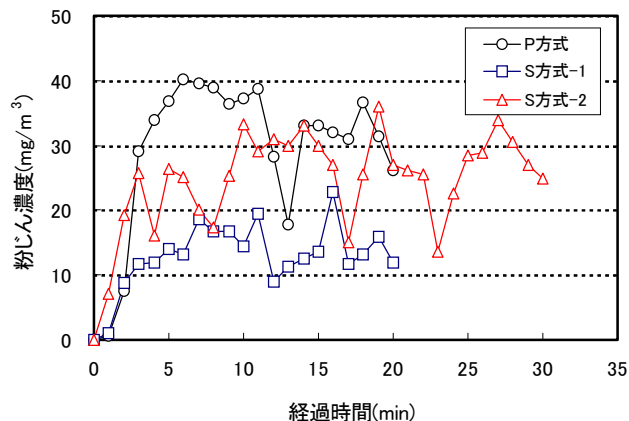


図-2 10m位置における粉じん濃度経時変化

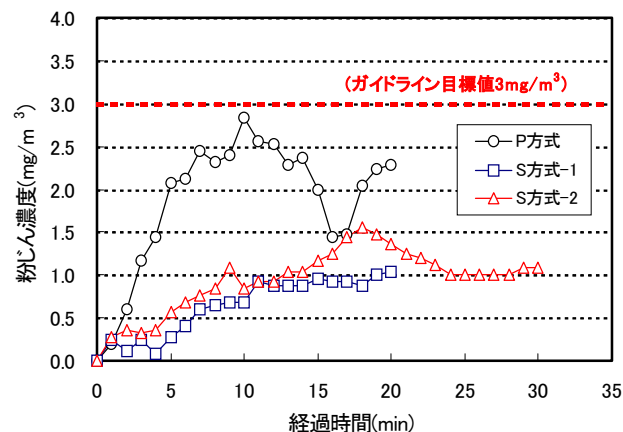


図-3 50m位置における粉じん濃度経時変化

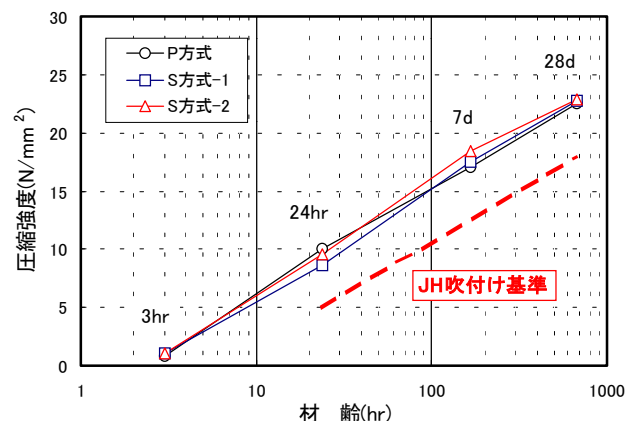


図-4 強度発現性状