

スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの実施工報告

APPLICATION OF A SHOTCRETE SYSTEM USING SLURRY TYPE ACCELERATOR TO A TUNNEL CONSTRUCTION

大窪克己¹⁾・片寄 学²⁾・根木隆敏³⁾・杉山建次⁴⁾・藤本克郎⁴⁾

Katumi OHKUBO, Manabu KATAYOSE, takatosi NEGI, Kenji SUGIYAMA, Katsuro FUJIMOTO

A new shotcrete system using slurry type accelerator has been proposed as a solution of dust problem in tunneling. The slurry type accelerator is prepared by adding water continuously to a powder type accelerator through a pipeline-equipment. This process could be effective to reduce the direct powder jet from the shooting nozzle. The new shotcrete system was applied to the 6th Shizuoka Tunnel, a part of the New Tomei Highway. The effects of the new system were verified through field tests and practical application. It is concluded that the system is effective not only for dust reduction but also for stable strength development not affected by seasonal variation.

Key Words: shotcrete, slurry type accelerator, dust, rebound, strength development

1. はじめに

NATMにおける吹付けコンクリートは、鋼製支保工、ロックボルトとともに重要な支保部材である。吹付けコンクリートは、圧搾空気を用いることから、粉じんによる労働環境の悪化やね返りによる材料ロスなどの普遍的な課題を有している。

旧労働省より平成12年12月に通達された「ずい道等建設工事における粉塵対策に関するガイドライン」では、切羽から50m後方における粉じん濃度の目標レベルを $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下と定め、これを超える場合には、設備、作業工程又は作業方法の点検を行い、換気装置の風量の増加、作業工程又は作業方法の改善等必要な措置を講じることが示されている。

また、第二東名・名神高速道路の大断面トンネルにおいては、トンネルを安全かつ経済的に建設するための一次支保部材として、設計基準強度 $36\text{N}/\text{mm}^2$ の高強度吹付けコンクリートが採用されている。この設計基準強度を満足するための手法として、ほとんどの第二東名・名神高速道路建設工事においては、水セメント比の低減($W/C=45\%$ 程度)に加えて、長期強度の発現を阻害しないカルシウムサルフォアルミネート系の高強度用粉体急結剤を用いた吹付けコンクリートが採用されている。しかし、粉体急結剤を用いる場合、コンクリートとの不十分な混合などが原因となり、粉体急結剤がノズルから直接噴射され、主な粉じん発生源になり得るといわれている。特に、大断面トンネルにおいては、1回の作業サイクルにおける吹付けコンクリートの使用量が多いことから、発生粉じんの抑制が重要な課題のひとつに挙げられる。これらを背景に、第

-
- 1)正会員 日本道路公団 技術部 道路技術課 課長代理
 - 2)正会員 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所
 - 3) 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所
 - 4)飛島建設株式会社 名古屋支店 道公静岡トンネル作業所

二東名高速道路静岡第六トンネル工事では、吹付けコンクリートの粉じん低減対策として、低粉じん型吹付けシステムを採用した。

2. 低粉じん型吹付けシステム

本工事で採用した低粉じん型吹付けシステムは、スラリー急結剤を用いることを特徴とする。スラリー急結剤とは、特殊なノズル装置により、粉体急結剤に連続的に水を添加し、粉体急結剤をスラリー化することで得られ、スラリー化直後にコンクリートに添加される。本工事では、日本道路公団高強度吹付けコンクリートの基準強度に対応するために、カルシウムサルフォアルミネート系粉体急結剤をスラリー化して用いた。なお、スラリー化する粉体急結剤は、水と接触した際の自硬性に対して改良が加えられている。粉体急結剤のスラリー化は、一般的なか吹付けシステムの欠点であるノズルからの直接噴射される粉体急結剤の低減を可能とし、粉じん低減に効果的と考えられる。

3. 性能評価試験

スラリー急結剤を用いる吹付けシステムに関しては、試行的な試験施工などにおいて一定の効果が得られているが、本格的な実施工への適用は本工事が初めてであった。よって、本工事では、この新しい吹付けシステムの粉じん低減効果、強度発現特性といった性能を検証する目的で、高強度用粉体急結剤を用いた従来の高強度吹付けコンクリートとの比較による実施工でのデータ採取を行った。

性能評価試験を実施した場所は、上り線本坑の坑口から 104m 地点の DIII パターンであり、上半施工でデータ採取を行った。使用材料を表-1 に、試験配合を表-2 に示す。表中の S 方式はスラリーショットシステムを採用したものであり、P 方式は、従来の粉体急結剤を用いた吹付システムである。両配合とも、第二東名・名神高速道路トンネル工事の高強度吹付けコンクリートの基準（材齢 3 時間 2 N/mm²，材齢 1 日 10 N/mm²，材齢 28 日 36 N/mm² の圧縮強度）を満足するように設定した。なお、S 方式では、急結剤のスラリー化に要する水 Ws の追加を考慮し、追加した後の水セメント比が 50%を下回るように、ベース

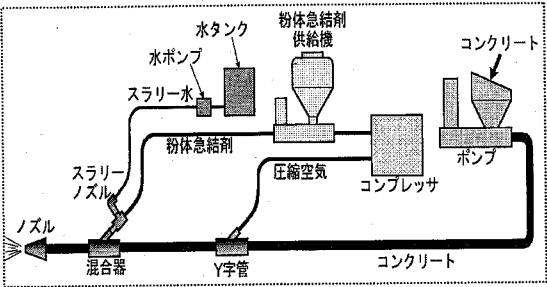


図-1 スラリーショットシステムの一例

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 g/cm ³
細骨材 S	静岡市丸子産砕砂，FM 2.71，密度 2.65 g/cm ³
粗骨材 G	静岡市丸子産砕石，密度 2.69 g/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
急結助剤 As	水溶性高分子化合物
急結剤 Ac-P	高強度用粉体急結剤，カルシウムサルフォアルミネート系
急結剤 Ac-S	スラリー用粉体急結剤，カルシウムサルフォアルミネート系

表-2 試験配合

区分	水セメント比 W/C (%)	実水セメント比 W'/C (%) *1	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 *2	スラリー水 Ws
P 方式	45.0	45.0	62.0	203	450	1026	639	4.95	—	45	—
S 方式	42.0	49.0	59.0	189	450	998	704	6.30	0.09	45	31.5

*1: W' = W + Ws, *2: P 配合 急結剤 Ac-P を使用，S 配合 急結剤 Ac-S を使用

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（送風停止，測定点：図-1 参照）
初期強度	空気圧ピン貫入法（JHS 726）による。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），試験材齢 7，28 日

コンクリートの水セメント比を P 方式に比べて 3% 低減した。

試験項目及び試験方法を表-3 に示す。粉じん濃度の測定は、実際の作業条件と異なり、坑内換気装置の送風を停止した状態で行った。測定点を図-2 に示す。また、粉じん濃度以外の試験項目は、各方式で 2 回の試験を行った。なお、吹付け条件は、コンクリート吐出量で $14 \sim 17 \text{ m}^3/\text{hr}$ であり、各方式ともほぼ一定の条件下の試験であった。

(1) 粉じん濃度

P 方式、S 方式の吹付け時における粉じん濃度の経時変化を図-3、図-4 に示す。図中には、吹付け時間帯を示した。また、測点 50 m R, C, L の測定結果については、平均して 50m Ave. と表示した。なお、粉じん測定時の風向、風速は、送風停止の状態で各測定位置とも、切羽方向、風速 0.5 m/sec 以下であった。

P 方式では、各測定位置とも、吹付け開始から粉じん濃度の増加が認められ、旧労働省ガイドラインの目標レベル 3 mg/m^3 を容易に超過し、50 m 位置では、吹付け開始から約 30 分で 5 mg/m^3 程度の定常状態となった。

一方、S 方式の粉じん濃度は、各測定位置とも、吹付け開始からの明確な増加傾向は見受けられず、 $0.5 \sim 2.0 \text{ mg/m}^3$ 程度の範囲で定常的であり、P 方式と比較して大幅に低減された。これは、粉体急結剤のスラリー化による発生粉じんの低減効果を裏付けるものと考えられる。なお、S 方式における経過時間 45 分前後の 50 m 位置での粉じん濃度の上昇は、生コン車移動によるものである。また、測定位置の差違に関しては、P 方式で、吹付け位置から離れるほど粉じん濃度が高い傾向を示した。これに対して、S 方式では、各測定位置の粉じん濃度に差違が認められなかった。このことから、S 方式による粉じりは、浮遊しにくい性状であると思われる。

(2) 吹付けコンクリートの初期強度

初期強度試験結果を図-5 に示す。

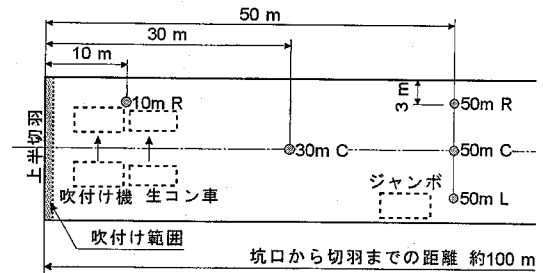


図-2 粉じん測定位置平面図 (10m R, 30m C, 50m R, C, L)

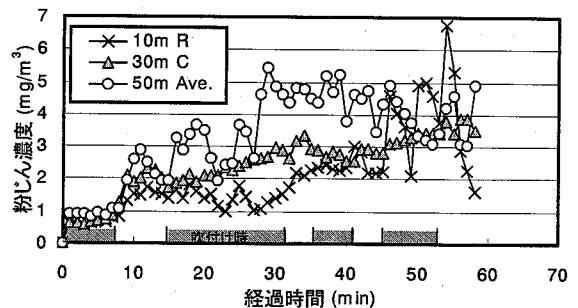


図-3 P方式の粉じん濃度経時変化 (送風停止)

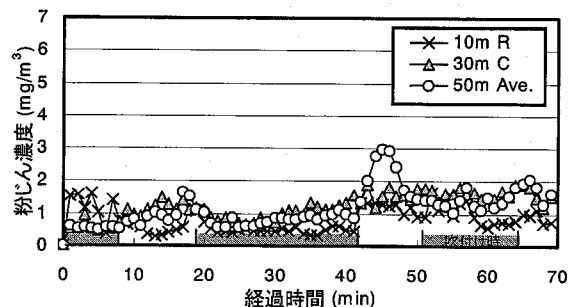


図-4 S方式の粉じん濃度経時変化 (送風停止)

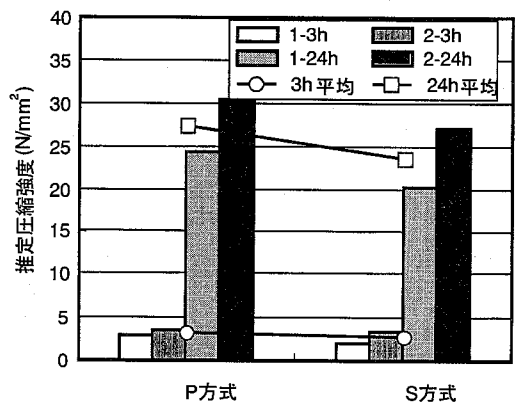


図-5 初期強度試験結果

各ケースの初期強度は、高強度吹付けコンクリートの基準である材齢 3 時間で 2 N/mm^2 、材齢 24 時間で 10 N/mm^2 を満足する結果であった。また、各材齢とも S 方式に比べて P 方式の強度が若干高い傾向であった。スラリー急結剤を用いる S 方式では、粉体急結剤のスラリー化に要する水がコンクリートの水セメント比を大きくすることとなり、これが初期強度に影響したものと考えられる。

(3) 吹付けコンクリートおよびベースコンクリートの長期強度

ベースコンクリートおよび吹付けコンクリートの材齢 91 日までの長期強度試験結果を図-6 および図-7 に示す。

ベースコンクリートの圧縮強度は、P 方式に比べて S 方式の強度が高い結果であった。これは、S 方式において急結剤のスラリー化にともなう水量の増加を保証するために、ベースコンクリートの単位水量を低減したことによるものである。

吹付けコンクリートの圧縮強度では、P 方式に比べて S 方式の強度が若干低い結果であった。S 方式においてスラリー急結剤から供給される水量を考慮すると、補正水セメント比は 49% となる。これに対して、吹付け条件の測定で得られたスラリー水量は、 $35 \sim 40 \text{ kg/m}^3$ 程度であり、実測に基づく補正水セメント比は 50% 程度となる。このような補正水セメント比の影響により、S 方式の吹付けコンクリートの圧縮強度が P 方式に比べて低くなったと考えられる。しかし、その差は少なく、両ケースとも高強度吹付けコンクリートの基準強度である 36 N/mm^2 を十分満足する結果であった。

吹付けコンクリート及びベースコンクリートの圧縮強度増進より、急結剤が長期強度の増進に影響を及ぼさないことが確認された。

4. 実施工

平成 13 年 9 月より掘削を行い、平成 15 年 2 月に下り線が貫通するまでの約 18 ヶ月間、スラリーショットシステムを用いて、吹付けコンクリートの施工を実施した。その施工期間におけるプラント管理および吹付け条件と、粉じん濃度測定および吹付けコンクリートの日常管理試験について報告する。

(1) プラント管理

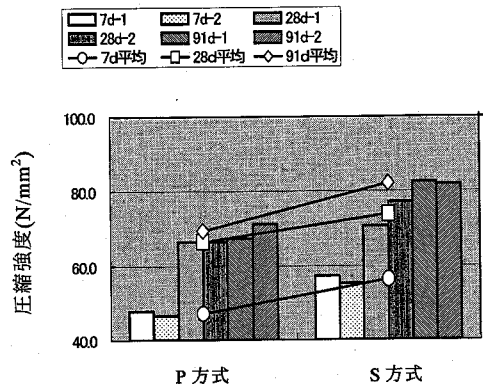


図-6 ベースの圧縮強度試験結果

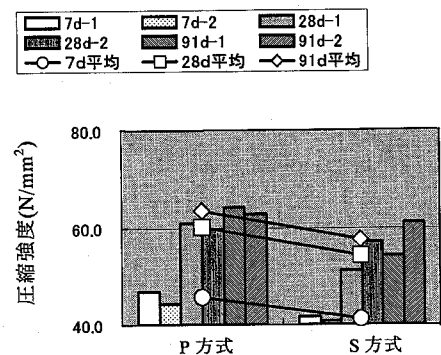


図-7 吹付けの圧縮強度試験結果

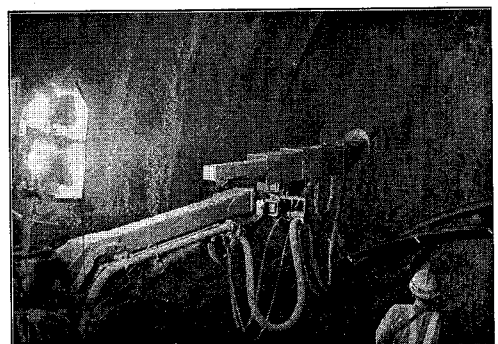


写真-1 吹付け状況

細骨材の表面水率は測定結果は、実施工期間中を通して 5.2～8.2%の範囲であり、ミキサ負荷電流及びコンクリートの状態の目視評価より表面水率補正值の調整を行い、安定したコンクリートの製造が行えた。

(2) 吹付け条件

当初実吐出量は、16 m³/hr 前後で実施していたが、ノズルマンの慣れにより最終的には、25 m³/hr 前後で吹付け作業が可能となった。また、吹付けエア量においては、粉じんの発生を更に抑制する為に 8.0 m³/hr 程度から 5.5 m³/hr 程度まで抑制し、その代わりにノズルを吹付け面に近づける (0.5m～1.0m) ことで密実な吹付けコンクリートが得られるような施工を実施した。

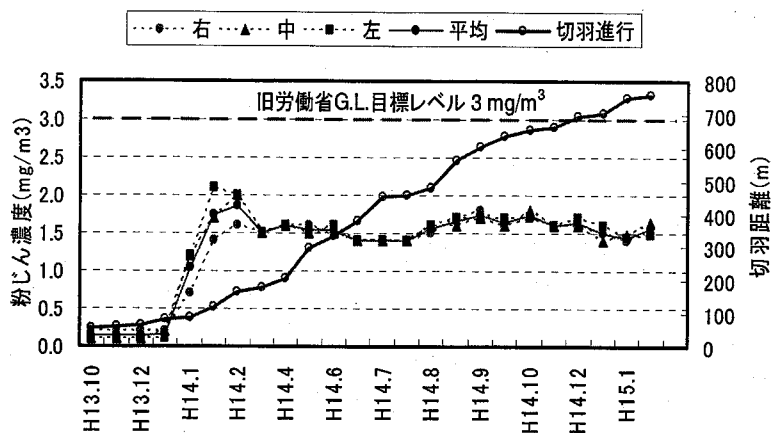


図-8 粉じん濃度月別測定結果

(3) 粉じん濃度

粉じん濃度の月別測定結果を図-8に示す。図に示すように、粉じん濃度は平成14年2月以降ほぼ 1.5mg/m³ と定常な値を示し、大きな変動は見られなかった。平成14年2月までは坑口から切羽までの距離が 120m 程度の進行であったため、外気の影響を受けたことにより、粉じん濃度は低かったと考えられる。

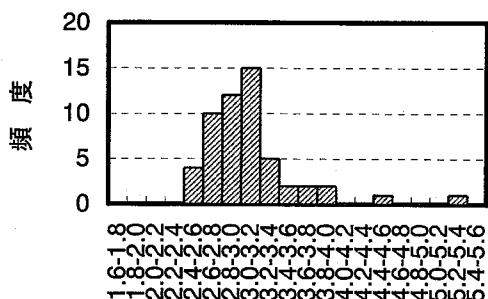
(4) 初期及び長期強度

コンクリート強度に関する日常管理試験の結果を図-9～図-11に示す。図に示すように、初期強度は、日本道路公団の高強度吹付コンクリートの基準である材齢3時間で 2 N/mm²、材齢24時間で 10 N/mm² をすべて満足する結果であった。

また、図-11より、長期強度においても、すべて日本道路公団の高強度吹付コンクリートの基準である 36 N/mm² をすべて満足する結果であった。

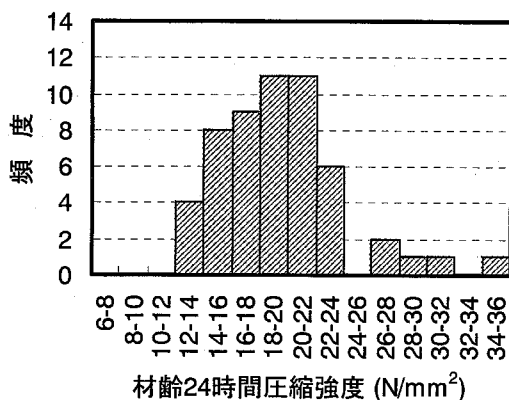
次に、他工事の従来の粉体急結剤を用いた吹付システムでのコンクリート強度に関する日常管理試験の実績より平均値と変動係数を各々比較した結果を表-4に示す。

表に示すように、材齢24時間および材齢28日強度



材齢3時間圧縮強度 (N/mm²)

図-9 初期強度(3時間)日常管理試験結果



材齢24時間圧縮強度 (N/mm²)

図-10 初期強度(24時間)日常管理試験結果

は、従来の粉体急結剤を用いた吹付けシステムと比べても、変動係数に大きな差はなく、変動が少なく安定した強度発現が得られたと考えられる。また、材齢 3 時間においては、スラリーショットシステムを用いたほうが変動が少なくなっており、これは急結剤の混合性がすぐれているものと考えられる。

5. まとめ

スラリー急結剤を用いた吹付けシステムの性能評価を目的に実施した試験施工の結果、及び約 18 ヶ月に渡る実施工の日常管理試験および粉じん濃度の測定結果より、以下の知見を得た。

- (1) 本吹付けシステムの適用により、大幅な粉じん低減が可能であることが示された。この要因としては、粉体急結剤のスラリー化による発生粉じん量の低減に加え、浮遊しにくい粉じん性状の影響が示唆された。
- (2) 本吹付けシステムの強度発現は、高強度用粉体急結剤を用いた吹付けシステムと比較して遜色のないものであった。
- (3) 今回の実施工により、本吹付けシステムの強度は、従来の粉体急結剤を用いた吹付けシステムと比べても、変動が少なく安定した強度発現が得られこと及び急結剤の混合性に優れていることが示唆された。

3. おわりに

当現場は、自然環境を考え、粉じんの発生を発生源から少なくすることを目的に、吹付けコンクリートの急結剤をスラリー化することで、現有機械の大幅な改良を行わずに、初期の目的を達成できた。これからは、はね返りに対し検討することで、さらに高品質な吹付けコンクリートを目指したいと考えている。

最後に、電気化学工業㈱、稲村工務店㈱など本工事に多大なるご協力を賜り、初期の目的を達成し無事貫通を迎えることができたことに対して、ここに記して感謝致します。

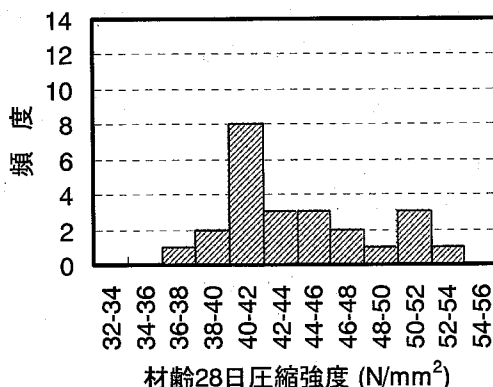


図-11 28日強度日常管理試験結果

表-4 日常管理試験比較表

日常管理試験	項目	スラリーショットシステム	従来の粉体急結剤を用いた吹付けシステム
		静岡第六トンネル	他工事のトンネル
3時間強度	平均(N/mm ²)	3.1	3.8
	変動係数(%)	15.5	54.5
24時間強度	平均(N/mm ²)	19.5	22.7
	変動係数(%)	22.2	20.5
28日強度	平均(N/mm ²)	43.9	50.9
	変動係数(%)	9.9	9.3