

粉じん低減を目的とした 吹付けコンクリートの試験施工

TEST EXECUTION OF SHOTCRETE TO REDUCE DUST IN TUNNEL EXCAVATION

藤本 秀勝¹⁾ 坪内 正記²⁾ 中井 裕二³⁾ 藤崎 淳⁴⁾ 日向 哲朗⁵⁾

Hidekatsu FUJIMOTO Masaki TSUBOUCHI Yuji NAKAI Kiyoshi FUJISAKI Tetsuro HYUGA

The "Guideline for the measures against dust generated in tunnel construction" decided by the Ministry of Health, Labour and Welfare in December 2000 shows control measures at generation source, target level of the dust concentration as $3\text{mg}/\text{m}^3$.

To investigate effective means to reduce generating dust, dust reducing agent and slurried accelerator were applied to the tunnel under construction and some tests were carried out. In result, both means were effective to reduce the amount of generating dust.

Key Words : shotcrete, dust, accelerator

1. はじめに

平成 12 年 12 月に旧労働省が策定した『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』では、発生源の抑制措置や、粉じん濃度の目標レベルとして $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下（切羽から 50m の地点）が示されている。

吹付け作業における発生粉じんの抑制技術には、既存のものとして粉じん低減剤があるが、新たに注目されているものとして、低アルカリ型液体急結剤、粉体急結剤のスラリー化（以下、スラリー化方式とする）が挙げられる。低アルカリ型液体急結剤およびスラリー化方式は、第二東名神等の高強度吹付けコンクリート（ $\sigma_{28}=36\text{N}/\text{mm}^2$ ）などでは施工事例があるが、通常の吹付けコンクリート（ $C=360\text{kg}/\text{m}^3$ $\sigma_{28}=18\text{N}/\text{mm}^2$ ）での実績は少ない。

本稿では、粉じん低減剤・スラリー化方式について施工中の道路トンネルへ適用し、それぞれの発生粉じんの低減効果についての比較を行った結果について述べる。

2. 対象トンネルの概要

東海環状自動車道潮見トンネルは、東海環状自動車道のうち愛知県瀬戸市から岐阜県土岐市の間の日本道路公団が施工を行う区間に位置する全長約 3.3km の 2 車線道路トンネルである。潮見トンネル北工事は、笠原側（終点側）から瀬戸側に向かい上下線それぞれ約 1.9km を発破掘削方式により掘削するものである。掘削断面積は、約 80m^2 である。

1) 日本道路公団 中部支社 岐阜工事事務所

2) 日本道路公団 中部支社 岐阜工事事務所

3) 東海環状自動車道 潮見トンネル北工事 ハザマ・森組共同企業体

4) 東海環状自動車道 潮見トンネル北工事 ハザマ・森組共同企業体

5) 正会員 ハザマ土木事業本部トンネル統括部

3. 試験施工の種類

今回の試験施工に適用した吹付けの種類を表-1に、使用材料を表-2に、配合表を表-3に示す。配合A(通常配合)の単位セメント量は、通常は 360kg/m^3 であるが 380kg/m^3 としている。これは今回使用した細骨材では単位セメント量 360kg/m^3 で望ましいフレッシュ性状が得られなかったため、単位セメント量の増加により性状の改善を図ったためである。

表-1 吹付けの種類

種類	概要
配合A 通常配合	基本的には水セメント比と細骨材率の調整のみで配合を決定する。粉体急結剤を使用する。
配合B 粉じん低減剤	パッチャープラントにて粉じん低減剤を添加する。コンクリートの粘性の増加により圧送抵抗が増大する場合には、高性能減水剤を使用し目標スランプは20cm前後とする。通常の吹付けと同じ粉体急結剤を用いる。
配合C スラリー化方式	粉体急結剤に、コンクリートとの混合管の手前で水を添加してスラリー化する。ポンプ搬送式の吹付け機を使用する場合エア量は小容量となる。高性能減水剤、急結助剤を使用する。

表-2 使用材料

材料名	製造元・産地など	密度その他
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16g/cm^3
細骨材	瀬戸市針原町産 砕砂	2.61g/cm^3 F.M.=2.91
粗骨材 ($G_{\text{max}}=15\text{mm}$)	土岐郡笠原町 地内産山砂利	2.59g/cm^3 F.M.=5.95
粉じん低減剤	水溶性高分子系	1.70g/cm^3
高性能減水剤	ポリエチレン・リコール系 高分子化合物	$1.03\sim 1.06\text{g/cm}^3$
粉体急結剤	カルシウムアルミネート系	$2.4\sim 2.8\text{g/cm}^3$
スラリー化方式用 粉体急結剤	カルシウムアルミネート系	$2.4\sim 2.8\text{g/cm}^3$
スラリー化方式用 急結助剤	水溶性高分子系	$2.0\sim 2.5\text{g/cm}^3$

配合B-1、B-2は配合Aに対し、粉じん低減剤を単位セメント量の0.15%、0.10%添加した配合である。粉じん低減剤を使用することによる強度低下を補償するため、W/Cを3%下げて高性能減水剤によりスランプを調整した。配合Cはスラリー化方式の配合である。スラリー化水として添加される水量を考慮して単位セメント量を 420kg/m^3 まで増加させた。通常の吹付けとスラリー化方式の吹付けシステムの違いを図-1、2に示す。

表-3 配合表

配合 種類	目標 スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						急結剤 添加率
				W	C	S	G	高性能 減水剤 C×%	粉じん低減剤 または急結助剤 C×%	
A	8 ± 2	58	60	220	380	1033	683			C×7%
B-1	21 ± 2	55	60	209	380	1050	695	0.9	粉じん低減剤 0.15%	C×7%
B-2	21 ± 2	55	60	209	380	1050	695	0.9	粉じん低減剤 0.10%	C×7%
C	20 ± 2	50	60	210	420	1029	681	1.0	急結助剤 0.05%	C×7%

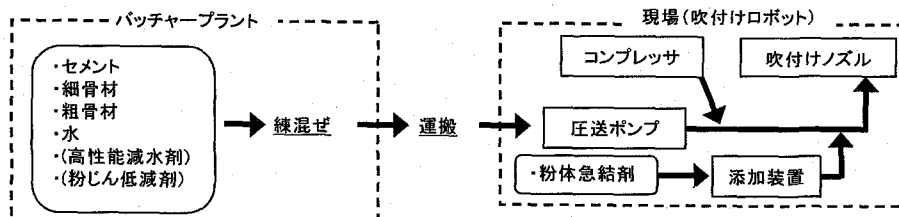


図-1 通常・粉じん低減剤の吹付けシステム

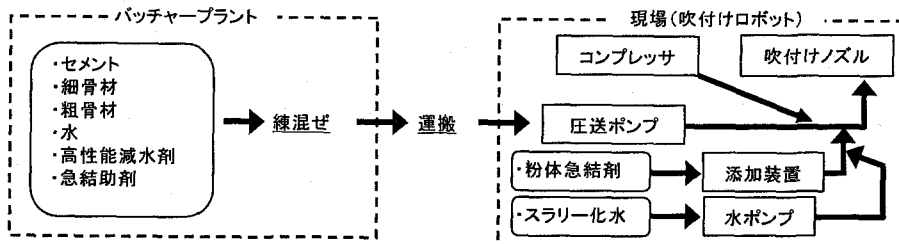


図-2 スラリー化方式の吹付けシステム

4. 試験条件および測定項目

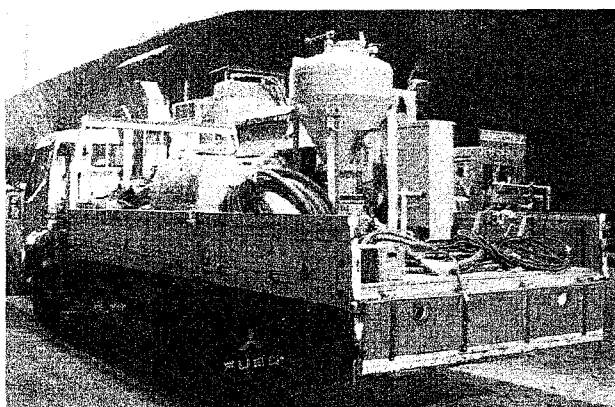
試験項目の一覧を表－４に示す。試験施工はトンネルの掘削が坑口より約 1km 程度進んだ時期に行っている。

試験施工は昼方の作業時に行い、1 サイクルに 1 回として、各配合について 3～8 回の試験を行った。スラリー化方式については、図－２に示すように吹付けロボットに制御盤・水ポンプ等の専用設備を設置する必要があるが、今回の試験施工では夜方の作業時に通常吹付けの設備に戻す都合から 4t ユニック車にこれらの設備を搭載し、吹付けロボットの横に配置、配管して施工を行った。(写真－１、２、３)

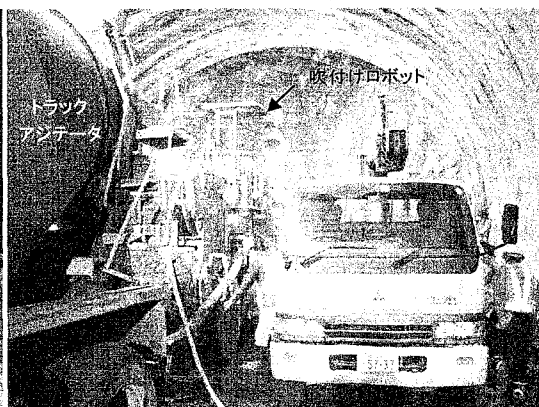
粉じん濃度測定については、測定時間を 10 分として行った。(図－３)

表－４ 試験項目

試験項目	試験方法
スラブ試験	JISA 1101 に準拠
コンクリート温度測定	棒状温度計にて測定
空気量試験	JISA 1128 に準拠
強度試験	ブリアウト($\sigma 1$)、コア強度($\sigma 7$ 、28)
粉じん濃度測定	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 吹付け位置から 5m (左右 2 箇所・換気停止) 切羽から 50m (3 箇所)
はねかえり試験	日本鉄道建設公団「NATM 設計施工指針」で提案されている方法に準拠し、天端周辺への吹付けの際に測定



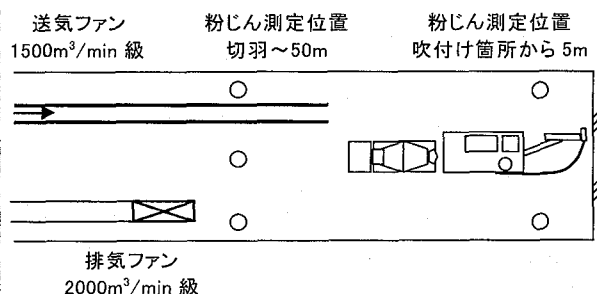
写真－１ 急結剤台車 (スラリー化方式)



写真－２ 台車設置状況 (スラリー化方式)



写真－３ スラリー化方式吹付け状況



図－３ 粉じん濃度測定位置

5. 試験結果

強度試験結果を表－4に示す。粉じん低減剤、スラリー化方式いずれも、 $\sigma 1=5\text{N/mm}^2$ 以上、 $\sigma 28=18\text{N/mm}^2$ 以上となった。

吐出状況としては、配合 B-1(低減剤 0.15%)では、配合 Aと比較するとコンクリートの吐出が断続的になり、マテリアルホースの脈動が目立った。また、コンクリートポンプの面圧についても、配合 Aより上昇した。その結果、配合 Aと比較すると吐出効率が低下した。これに対し、粘性を下げた配合 B-2(低減剤 0.10%)については、配合 Aと同等のスムーズな吐出が得られた。

配合 Cについては、配合 A、Bと比較すると吹付けシステム上コンクリートの圧送距離が若干長くなっているものの、配合 B-1 程の面圧の上昇は見られなかった。

吹付け箇所から 5m 地点における粉じん濃度測定結果を図－4に示す。図中にプロットしたデータは、数回の測定結果の平均値である。左の測点に近い位置にて吹付け作業を行う際に換気を停止して測定を行ったため、左の測点の方が粉じん濃度が大きくなっている。左右の平均で比較すると、配合 A が 8.7mg/m^3 であるのに対し、配合 B-2、B-1、C では $2.5\sim 2.9\text{mg/m}^3$ 程度の値となった。

なお、今回の試験施工では、はね返り試験結果については配合の違いによる明確な差は確認できなかった。

6. まとめ

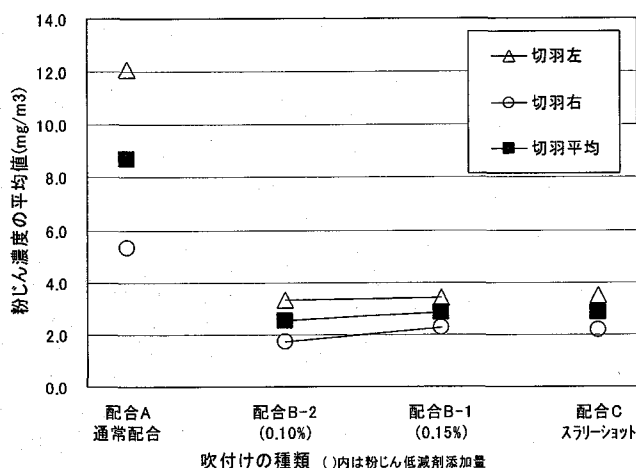
試験施工の結果、以下の結論が得られた。

- ・ 粉じん低減剤、スラリー化方式とも、吹付け箇所から 5m 地点（換気停止）での粉じん濃度は通常の半分以下の値となっており、粉じん低減効果があることが確認できた。
- ・ スラリー化方式は通常の吹付けコンクリート（ $\sigma 28=18\text{N/mm}^2$ ）でも、圧縮強度、施工性に問題はなく、また吹付け直後の剥離なども生じないことから、実施工への適用が可能である。

なお、今回の試験では、比較対象となる通常の吹付けにおいて当初から単位セメント量を 360kg/m^3 から 380kg/m^3 に上げていたことにより、発生粉じんがある程度抑えられていたと考えられる。 360kg/m^3 の配合との比較の場合、粉じん低減剤およびスラリー化方式の粉じん低減効果はさらに顕著に現れていたと思われる。

表－4 強度試験結果

	ﾌﾞﾙｱｳﾄ (N/mm ²)	ｺｱ強度 (N/mm ²)	
		1 日	7 日
粉じん 低減剤 B-1	12.3	14.7	20.3
	11.2	18.8	20.6
スラリー化 方式	12.3	13.7	19.2
	11.2	17.8	25.1



図－4 粉じん濃度測定結果(吹付け箇所から 5m)