

吹付けコンクリートの粉じん対策

The measure against dust of shotcrete.

大窪克己¹⁾ 会員・片寄 学²⁾

K a t s u m i O K U B O ・ M a n a b u K A T A Y O S E

In conventional shotcrete for tunneling in Japan, powder type accelerator is usually used for reliability of rapid strength development. Using powder type accelerator, however, becomes a cause of problems such as dust dispersion and rebound in working environment. Comparison of a liquid accelerator and a slurry accelerator was performed in the actual tunnel.

Key Words : tunnel, shotcrete, accelerator, dust level, good air quality

1. はじめに

山岳トンネルの坑内作業環境が重要な課題となっている。旧労働省ガイドライン(平成12年12月)では、切羽後方50mでの粉じん濃度レベルを $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以下と定められている。

また、第二東名高速道路の静岡第三、第六トンネル工事現場は、山間部のお茶畑が広がる箇所に位置している事に鑑み、作業期間中のトンネル換気等の影響に配慮する結果として、トンネル作業粉じんの低減策を検討した。

本報文はトンネル作業の中で吹付けコンクリートについて、従来の粉体急結剤を使用している吹付けコンクリートよりも低粉じんを実現できる急結剤に着目し、液体急結剤、スラリー急結剤を使用する事で第二東名・名神要領に沿った強度発現を遵守し比較試験を行った結果を報告するものである。

なお、粉体結剤は、優れた急結作用から我が国で最も一般的に用いられているが、吹付けノズル部での不十分な混合状況では粉じんの発生源となる。また、液体急結剤は自硬性が無いため初期強度の発現に問題があることから我が国では採用がなされていないのが実状である。

2. 実証試験要項

実証試験の基準強度を表-1に、使用材料一覧表を表-2、-3に示す。

なお、試験は、平成13年8月と平成14年1月の二回実施した。

第二東名・名神高速道路仕様の吹付けコンクリートは、単位セメント量を $450\text{kg}/\text{m}^3$ 程度で表-1に示す基準強度を要求している。要求を安定的に確実に満足する急結剤はこれまで粉体急結剤が存在していた。

それに対し、今回は、初期の目的を確認するために表-5に示す配合で比較試験を行った。なお、W/Cは液体急結剤及び添加剤を添加しても50%以上にしない事とした。

確認試験項目を表-4に示す。

表-1 設計基準強度(N/mm^2)

種別	3時間強度	1日強度	28日強度
高強度吹付けコンクリート	2	10	36

表-2 使用材料一覧表(平成13年8月実施用)

材 料		細 目	密度 (g/cm ³)
普通セメント		普通ポルトランドセメント (N)	3.15
早強セメント		早強ポルトランドセメント (H)	3.13
水		現地水	1.00
細骨材		大井川水系坂部産 FM2.90	2.58
粗骨材		大井川水系坂部産 最大粒径 10mm	2.60
混 和 剤	A	A 社、C 社使用 : 高性能減水剤	1.03 ~ 1.06
	B	B 社使用 : 高性能減水剤	1.08
	C	C 社使用 : 急結助剤	2.05 ~ 2.35
急 結 剤	T-10	粉体 : カルシウム・サルフォ・アルミネート系	2.65 ~ 2.95
	A	A 社使用 : 水溶性アルミニウム塩	1.35 ~ 1.45
	B	B 社使用 : 改質アルミニウム合成物	1.43 ± 0.01
	C	C 社使用 : カルシウム・サルフォ・アルミネート系	2.65 ~ 2.95

1) 正会員 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所

2) 正会員 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所

表-3 使用材料一覧表(平成14年1月実施用)

材 料	細 目	密度(g/cm ³)
普通セメント	普通ポルトランドセメント (N)	3.15
細骨材	静岡市丸子産砕砂 FM2.71	2.65
粗骨材	静岡市丸子産碎石	2.69
混和剤	P方式：高性能減水剤	1.04
	S方式：急結助剤	2.16
急結剤	P方式：粉体	2.65～2.95
	S方式：スラリー用粉体	2.65～2.95

表-4 確認試験項目

試験項目	試験方法
粉じん濃度	「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」の方法に準拠。 (平面図を図-1に示す) 測定機器は光散乱方式のP-5L2を使用
はね返り率	1.0～2.0m ³ をアーチ部に吹付け、はね返り質量を測定
初期強度	空気圧ピン貫入法(JHS726) 試験材齢3、24hr
長期強度	吹付けコアの圧縮試験 (JSCF-F561、JIS A1107) 試験材齢7、28日

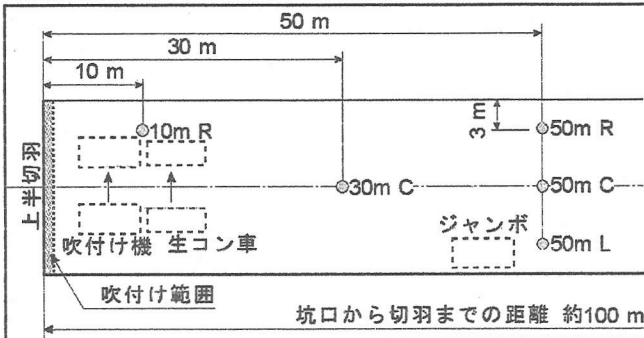


図-1 粉じん測定 平面図

表-5 試験配合一覧表

配合No.	スランプ(cm)	W/C(%)	s/a(%)	W(kg/m ³)	C(kg/m ³)	S(kg/m ³)	G(kg/m ³)	急結剤添加量	混和剤添加量	備考
1	18±2	45.0	65	202	450(N)	1,047	569	10.0	1.20	基準配合
2	18±2	42.2 (46.7)	65	190	450(N)	1,068	580	9.0	1.90	A社
3	18±2	42.2 (46.7)	65	190	450(H)	1,067	579	9.0	1.90	
4	18±2	40.0 (44.5)	65	200	500(N)	1,025	556	9.0	1.90	
5	18±2	40.0 (44.3)	65	180	450(N)	1,085	589	8.5	2.10	B社
6	20±2	37.0 (40.3)	65	185	500(N)	1,022	570	8.5	2.10	
7	18±2	42.0 (50.0)	60	189	450(N)	988	664	10.0	2.10	C社
8	20±2	40.0 (48.0)	65	200	500(N)	1,025	556	10.0	2.10	
P方式	18±2	45.0	62	203	450(N)	1,026	639	10.0	1.10	基準配合
S方式	18±2	42.0 (49.0)	59	189	450(N)	998	704	10.0	1.40	C社

※配合No.1～8は、平成13年8月実施の配合。

P、S方式は平成14年1月実施の配合。

3. 試験結果

比較試験は、2回行い1回目は、掘削断面45m²の作業坑トンネルで配合No.1～No.8の比較を行い、2回目は、本坑でP方式(従来の粉体急結剤)とS方式(粉体急結剤をスラリー化)について行った結果を各図に示す。

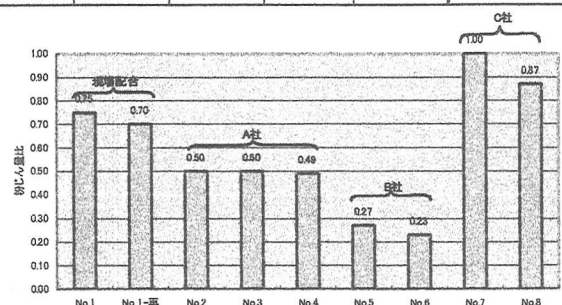


図-2 粉じん測定結果

3-1 粉じん測定結果

図-2に作業坑トンネルで行った粉じん測定結果を示す。送気量 $1200\text{m}^3/\text{min}$ を行い、測定は、切羽から 50m の位置で3点測定し平均した値を相対比較で表したものである。

次に、本坑トンネルで行ったP方式とS方式の粉じん濃度経時変化図を図-3、-4に示す。この図は送気を停止して経時変化を測定した結果を示す。

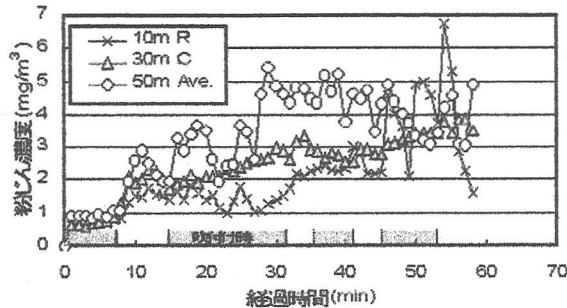


図-3 P方式の粉じん濃度経時変化(送風停止)

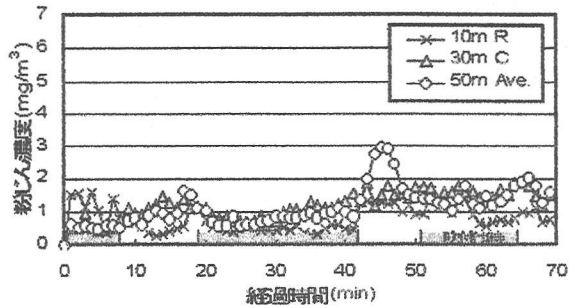


図-4 S方式の粉じん濃度経時変化(送風停止)

2回の計測結果の評価については、①骨材状況が異なる。②1回目・2回目に使用した吹付け機械の能力に差が有る。③作業断面が異なる。④1回目が夏場と2回目が冬場で外気温の差が著しい。等で一概に評価を下せないものの、液体急結剤、スラリーについては粉じん量が従来の粉体急結剤より減少している。

また、図-3、-4に示すとおり、吹付けコンクリート作業時の粉じん濃度が低いということは粉体急結剤をスラリー化することで粉じんの発生を低減できる事が確認された。

3-2 リバウンド測定結果

図-5に示すリバウンド測定は、切羽アーチ部 120° 範囲に 1.0m^3 を吹付け、シートを敷設しそれに貯まった量との率で表している。

液体急結剤を使用している No.5、6 はスランプロスが著しく、吹付ける前に既に凝結が開始されている結果を表している。

なお、1回だけの試験であったこと、この年は猛暑に見舞われコンクリート温度と液体急結剤・混和剤の関係で理想的な結果を実現できなかった。しかし、各社のご理解のもとに、B社について再度実施した結果、A社の液体急結剤と同程度のリバウンド率を示した。

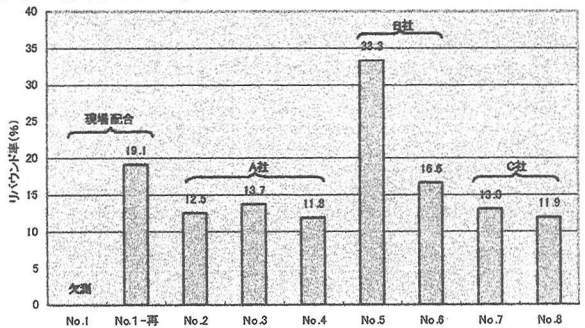


図-5 リバウンド測定結果

3-3 強度試験結果

図-6～8に強度試験結果を示す。材令3時間強度の $2\text{N}/\text{mm}^2$ は、粉体急結剤、スラリーとも基準強度を上回ったが、液体急結剤については No.5 配合以外は基準を満足できない結果を示した。

次に、材令24時間強度 ($10\text{N}/\text{mm}^2$) では、No.2及び No.4 の液体急結剤と普通ポルトランドセメントを使用している試験体では基準強度を満足で

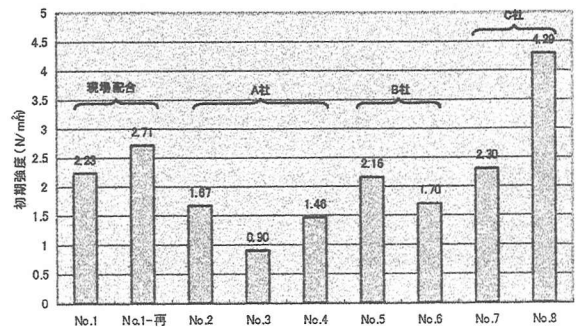


図-6 3時間強度測定結果

きない結果となり、No.3 の早強ポルトランドセメントを使用した場合には満足出来る結果を得た。

ただし、初期強度の発現については、No.2 ～ 4 の試験時に、液体急結剤の添加率を 9.0 % に設定していた物を、吹付け時の付着状況に合わせて添加率を No.2 で 7.0 ～ 7.5 %。No.3 で 5.6 ～ 7.0 %。No.4 で 7.1 ～ 7.5 % と調整した結果基準を満足できなかった要因である。

また、No.5 では、単位水量を極力下げた結果、基準強度を得ることが出来たがリバウンド量を見るに現地採用するには大きな問題となる。

4. 液体急結剤の採用にあたって

1 回だけの、粉体・液体急結剤の比較試験を実施した結果、吹付けコンクリート時の粉じん発生を吹付け作業時点で低減できるのは、スラリーと液体急結剤が測定結果からも優位となる。強度については、スラリー化している急結剤は特に問題は無いが、粗骨材寸法が大きくなると、液体急結剤よりリバウンド量が多くなる結果を得ている。

これらの結果から粉じん発生を押さえる目的だけではスラリー化の粉体急結剤となるが、急結剤の吹付け機械への投入作業環境、ファイバーを混入した場合のリバウンド及び、静岡第三トンネルは約 540 m の作業坑から 200 m²の本坑掘削を行うため粉じん発生を極力少ない吹付けコンクリートの採用が大きな目標であった。

よって、今回の比較試験で得た結果を検討することで、表－6 に示す配合を確立することで、これまでの 43 供試体の 3 時間強度で全てが 2 N/mm² を上回り平均で 2.3N/mm² を得ている。なお、作業坑と本坑交差部の S F R C を採用した結果においても良好な結果を得ることが出来た。

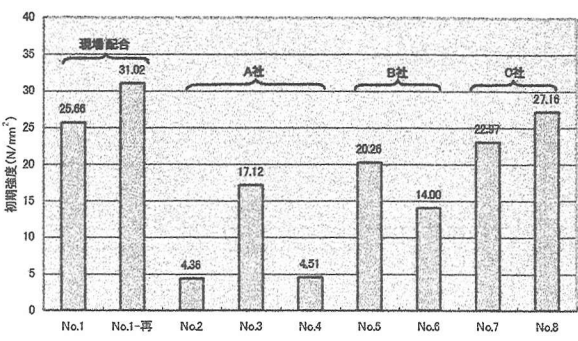
表－6 高強度吹付けコンクリート配合表

配合 No.	スランプ (cm)	W/C (%)	s / a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	急結剤 添加量	混和剤 添加量	備考
1	18 ± 2	37.5 (42.0)	60	180	480 (N)	987	663	9.0	1.30	基準配合

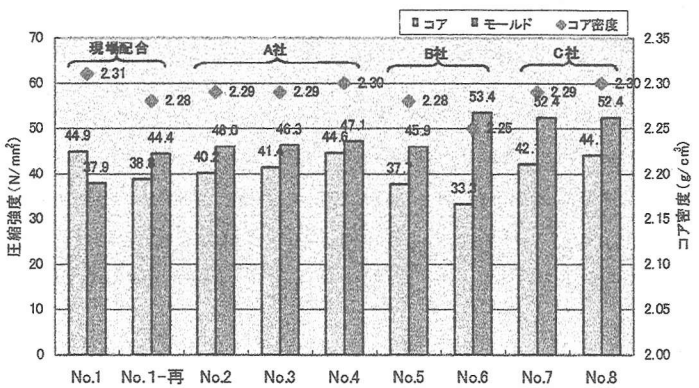
5. まとめ

実証試験結果は、作業坑 (45 m²) で猛暑の中の 1 回と本坑での 1 回のデータであるため、今回記述している結果が本来の性能結果ではないと思われるが、吹付け作業時の粉じん発生は、明らかにスラリー化と液体急結剤の結果が良好であった。また、リバウンド量も併せて、良好であった。

液体急結剤については、現在、+ 30kg / m³ の増量で初期強度を確保しているが、混和剤、ノズルでの混合状況を改良することで、単位セメント量を 450kg / m³ で 3 時間 2 N/mm² は確保できる頻度が多くなっていく状況にある。後は、吹付け機械とノズルマンの改善で目標を達成できると確信している。



図－7 24時間強度測定結果



図－8 28日強度測定結果