

粉じん低減を目的に実施した実大模擬トンネルの吹付け試験(その11) 遠心力吹付け機械の現場実務への適用に関する検証

(株) 三井住友建設 長野 祐司
(独) 土木研究所 正会員 大下 武志
(独) 土木研究所 F 会員 波田 光敬
(株) 三井住友建設 丸山信一郎
(株) 三井住友建設 正会員 ○山地 宏志

1. はじめに

コンクリート吹付け作業¹時の粉じん対策は発生対策と軽減対策の二つに分類される。このうち発生対策はコンクリートの増粘化や液体急結剤の使用などのように、主として材料の改良に主眼が置かれてきた。しかし、コンクリート吹付け作業で粉じんを発生させる最大の原因は吹付けに圧縮空気を利用することにある。したがって、圧縮空気によらない吹付け作業が可能になるならば、粉じんの発生を大幅に軽減することができるものと考えられる。このような考えから筆者らは、遠心力を利用したコンクリート吹付け機械（遠心力トンネル吹付け機）を開発するとともに、これをいくつかのトンネル施工現場へ導入し、明らかな粉じん発生低減効果を確認してきた¹⁾。

今後、当該機械が広くトンネル施工現場に普及するためには、既存の吹付け機械と同等の作業・操作性を確保すると同時に、現場毎に異なるコンクリート性状や使用急結剤に対し、低粉じん環境を維持した上で、安定したコンクリート品質を確保することが求められる。本報告は、平成14年度～16年度にかけて独立行政法人土木研究所「ずい道建設における吹付け作業時の発生粉じん量の低減技術および局所集じんシステムの開発に関する共同研究」の一環として、コンクリートの性状や急結剤を変化させた条件の下で、遠心力吹付け機による吹付け試験を実施し、その粉じん濃度と仕上がりコンクリート品質に関する検証結果を報告するものである。

2. 試験概要

(1)吹付けシステム：試験に使用した吹付けシステムは、ベースコンクリートをブーム先端の遠心力吹付け装置まで配管内をコンクリートポンプのピストン圧のみで圧送供給し、吹付け装置内部の混合攪拌部にてコンクリートと別経路より添加された急結剤とを攪拌翼で強制混合攪拌して、その混合された吹付けコンクリートをエンドレスベルトで周囲を覆われたインペラの高速回転する回転力により遠心力を与え、開口部である吐出口より一定方向に投射・吹付けを行う吹付け機械である。**写真-1**に遠心力回転部の外観を示す。



写真-1 遠心力吹付け機回転部外観

(2)使用材料および試験方法：試験では、まず**表-1**に示す推奨配合を用いての吹付け試験を実施し、その間の粉じん発生状況ならびに吹付けられたコンクリートの品質を確認した。この粉じん

表-1 遠心力吹付け機の推奨コンクリート配合

水セメント比 W/C %	細骨材率 S/a%	スランプ cm	単位重量 kg					急結剤添加率 (粉体急結剤) C×%
			水 W	セメント C	陸砂 S1	砕砂 S2	粗骨材	
58	60	12-18	210	360	714	306	684	7.0

濃度を規準として、骨材の粒度特性やスランプ変動等による粉じん濃度への影響等を調べるため、コンクリートの細骨材を砕砂のみとした場合と汎用的な混合砂とした場合の比較を行うこととした。また、汎用的な粉体急結剤、低粉じん仕様の粉体急結剤、さらに液体急結剤の3種を用いて吹付け試験を実施し、急結剤による粉じん濃度への影響を確認した。**表-2**に試験ケースの一覧とその配合を示す。

(3)試験結果：**表-3**に推奨配合による吹付け試験結果の一覧を示す。表に示されるように、当該試験は異なる急結剤

キーワード：遠心力吹付け機械、山岳トンネル、吹付けコンクリート、粉じん濃度

連絡先：〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1 TEL.04-7140-5201 FAX.04-7140-5216

を用いて 2 回の試験を行った。各試験では 20 分以上の吹付けを 3 回行い、粉じん濃度測定、コンクリート強度試験を実施した。さらに、1m³のコンクリートを用いてはね返り率の測定を行った。なお、表中の粉じん濃度はロウボリューム・サンプラーを用いて測定した値である。

粉じん濃度を見ると汎用的な粉体急結剤を用いた場合でも 50m 後方で 1.09～1.74m³、10m 後方で 1.13～2.50m³ と非常に粉じん濃度が小さく、低粉じん型急結剤を用いた場合には 50m 後方で 0.70～1.24m³、

10m 後方で 0.7～1.18m³ にまで低下する。10m 後方と 50m 後方で粉じん濃度にほとんど差が生じていないのは、発生する粉じん量が絶対的に少ないため、換気による希釈効果や集じんの効果が顕著に現れないためと考えられる。

また、表にあるように吹付け時のスランプが、若干、高いため、急結剤を多めに使用したが、はね返り率は 25.7%と 32.3%と若干大きなものとなった。しかし、これは吹付け方式によるものではなく、コンクリートの粘性に起因するものであると考えられる。一方、プルアウト試験結果をみると 24 時間でいずれも 10N/mm²以上の強度を発現している。**表-4**に一軸圧縮強度試験結果を示す。表に示すように、一軸圧縮強度は 28 日でプレーン供試体が 36N/mm²以上を、コア供試体が 22N/mm²以上を発現し、コア供試体の 7 日強度でも 17.3N/mm²と 28 日設計基準強度に近い値を発現しており、十分所要の性能を満たすものと判断できる。

次に、**表-5**に細骨材条件と急結剤条件の違いによる粉じん濃度の変化を示す。なお、ケース M-1 の結果は、**表-3**に示すものである。混合砂を使用したケースで比較すると 50m 後方ではあまり有意な差は見られないが、10m 後方では低粉じん型粉体急結剤や液体急結剤を用いることで明らかに粉じん濃度が低下しており、発生する粉じんそのものが少なくなっていることが分かる。また、砕砂のみの場合では、粉体急結剤間ではほとんど有意な差は見られないように思われるが、液体急結剤を用いると明確な差異が生じているようである。

表-2 粉じん環境への影響評価試験ケースの一覧

ケース名		M-1	M-2	M-3	G-1	G-2	G-3		
							G-31	G-32	G-33
細骨材の種類		混合砂			砕砂のみ				
急結剤の種類		汎用 粉体急結剤	低粉じん型 粉体急結剤	液体急結剤	汎用 粉体急結剤	低粉じん型 粉体急結剤	液体急結剤		
水セメント比 W/C		58.3%		50%	60%		50%		
細骨材率 S/a		60							
目標スランプ		10-12cm		12-20cm	10-12cm		12-20cm		
単位量 kg	水 W	210		180	216		180	190	200
	セメント C	360		360	360		360	380	400
	細骨材 S ₁	736		747	0		0		
	細骨材 S ₂	308		320	1041		1,084	1,057	1,031
	粗骨材 G	685		716	689		716	700	681
	混和剤 C×%	—		1.2%	—		1.1%	0.8%	0.5%
	助剤	—		0.01	—		0.01		
急結剤添加率		7		10	7		10		

表-3 推奨配合による吹付け試験結果一覧

試験日時		2004 年 6 月 18 日				2004 年 6 月 19 日			
番 号		1	2	3	4	1	2	3	4
出荷時スランプ	cm	22.0	22.5	22.5	22.0	22.5	21.5	21.0	22.0
吹付け時スランプ	cm	15.5	15.0	13.0	—	18.0	12.5	18.0	20.0
坑内換気量	m ³	1,000				1,000			
坑内集じん量	m ³	1,200				1,200			
急結剤種類		汎用粉体急結剤				低粉じん粉体急結剤			
急結剤添加率	%	9.3	9.3	8.5	8.3	7.7	9.0	7.6	7.9
はね返り率	%	—	—	—	25.7	—	—	—	32.3
粉じん濃度	mg/m ³								
	10m 後方	1.13	1.43	2.50	—	0.70	1.20	1.18	—
プルアウト試験	50m 後方	1.09	1.14	1.74	—	0.70	1.00	1.24	—
	3 時間	2.04	1.88	2.06	—	2.76	2.31	2.50	—
	24 時間	14.8	12.8	14.8	—	17.2	15.8	16.8	—

表-4 一軸圧縮試験結果

	7 日強度 N/mm ²		28 日強度 N/mm ²	
	プレーン供試体	コア供試体	プレーン供試体	コア供試体
2004 年 6 月 18 日	27.2	17.3	36.4	22.9
2004 年 6 月 19 日	27.4	17.3	36.6	22.2

表-5 細骨材条件と急結剤による吹付け粉じん濃度の変化

ケース名	M-2				M-3	G-1	G-2			G-31	G-32				G-33
試験回数	①	②	③	④	①	①	①	②	③	①	①	②	③	④	①
急結剤添加率 %	4.5	6.7	5.3	8.6	12.1	7.0	8.3	8.3	6.9	11.2	10.4	14.4	10.6	10.5	10.1
10m 粉じん濃度 mg/m ³	0.75	0.75	—	1.67	—	2.09	2.49	3.29	3.72	1.62	1.30	2.40	1.50	1.77	2.09
50m 粉じん濃度 mg/m ³	0.44	0.47	1.54	1.23	1.59	1.50	1.61	2.37	2.54	1.30	1.22	1.87	1.38	1.34	1.47

【謝辞】本稿は、(独)土木研究所共同研究の成果の一部であり、関係各位に深謝いたします。

参考文献：H.Yamachi et. al. : Development of a Centrifugal Sprayed System for Shotcrete Application, Shotcrete MAGAZINE, Vol.5, No.1, 2003.