

液体急結剤を用いた乾式コンクリート吹付け実験結果とその適応性の評価

清水建設(株) 正会員 ○林悟史 末田将大 鈴木正憲
東友エンジニアリング(株) 非会員 出口慎平

1. はじめに

現在、日本の道路トンネルなどの大断面山岳トンネルにおける吹付けコンクリートは、安定した品質のコンクリートが施工可能とされる、粉体急結剤を用いた湿式コンクリート（以下、「湿式」という）が主流である。それに対して乾式コンクリート（以下、「乾式」という）は、湿式と比べコンクリートの品質が安定せず、粉塵も多く発生すると考えられていたため、小断面トンネルでの長距離圧送などの特殊条件下での施工がほとんどであった。しかし、液体急結剤を用いた乾式吹付けの施工の場合、初期強度の発現、粉塵量の低減が可能となり、作業環境の向上や機械の消耗軽減を含めた多くのメリットがあることがわかってきた。さらに、山岳トンネルにおいて、そのメリットを活かした乾式吹付けの適用性評価は、今後の作業効率、作業環境の向上に寄与すると考えられる。そこで本論文では大断面、大容量の吹付けを、液体急結剤を用いた乾式吹付けで施工が可能か、またその挙動を確認するための実験を行い、適用性の評価を行ったので報告する。

2. 実験方法

一般的な高速道路片側 2 車線トンネル（標準断面：80m²）において、トンネル切羽への吹付け実験を行った。以下に使用機械、コンクリート配合、実験ケース、各種試験項目について記す。

1) 使用機械

コンクリート吹付け機はアリバ 285、モーター容量 110kw のコンプレッサを搭載した一体型吹付機 プツマイスターPM500PC 改を使用した（写真-1）。セメント、骨材の空練りは、従来の現場吹付けプラントの練混ぜ機を十分に乾燥させた後に行い、トラックミキサー車により坑内に運搬した。

2) コンクリート配合、試験ケース

コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートはセメント量が 400kg/m³ の普通強度配合と、450kg/m³ の高強度配合の 2 種類で行う。セメントは普通ポルトランドセメント、急結剤には液体急結剤 sika シグニット L53AF（JP-A）、粉塵低減剤には花王ビスコトップ UT を用いた。

次に試験ケースを表-2 に示す。普通強度、高強度ともに液体急結剤の添加率はセメント量×9.0%とし、粉塵低減剤の効果の確認のため、普通強度、高強度でそれぞれ粉塵低減剤を使用したケースと使用しないケースを実施した。コンクリートの強度試験実施のため、ケース①とケース③で供試体を採取した。ケース⑤では従来の吹付けとの比較のために粉体急結剤を用いた湿式の吹付けを実施した。

3) 各種試験項目

全てのケースにおいて、3D スキャナーによる三次元測量及び、デジタル測定器を用いた粉塵濃度の測定を行った。

三次元測量では吹付け前後で切羽面の計測を行い、吹付け後に切羽面に付着したコンクリート量と、実吹付け量からリバウンド率を算出した（図-1）。また、採取した供試体は、プルアウト試験、ピン貫入試験、一軸圧縮試験により、3h、1 日、7 日、28 日強度を求めた。



写真-1：一体型吹付機

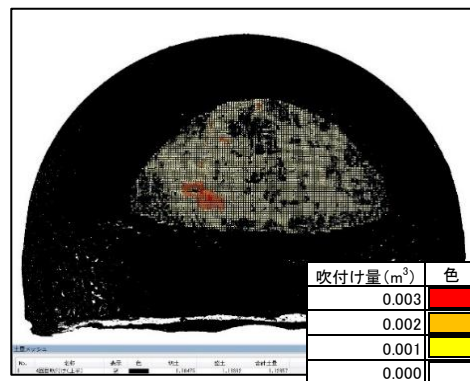


図-1：リバウンド率算出方法

キーワード 乾式吹付けコンクリート、山岳トンネル、液体急結剤

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設(株) 地下空間統括部 TEL03-3561-3891

表-1：コンクリート配合表

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
普通強度配合	47.5	60.0	190	400	1043	673
高強度配合	42.2	58.9	190	450	1000	676
湿式配合	42.0	60.0	189	450	957	713

表-2：実験ケース

実験ケース	配合	急結剤(添加率)	粉塵低減剤(添加率)	練混ぜ量(m ³)	供試体採取
① 乾式	普通強度	液体(C×9.0%)	有り(C×0.1%)	1.5	○
② 乾式	普通強度	液体(C×9.0%)	無し	1.5	
③ 乾式	高強度	液体(C×9.0%)	有り(C×0.1%)	2.1	○
④ 乾式	高強度	液体(C×9.0%)	無し	1.5	
⑤ 湿式	湿式	粉体(C×10.0%)	無し	1.5	

3. 実験結果及び考察

粉塵量、リバウンド率などの実験結果を表-3 に示す。粉塵低減剤を使用しないケース②④において、粉塵量は基準値の 3.0mg/m³ を大幅に上回り、使用したケース①③においては、湿式のケース⑤よりも粉塵量は小さい値を示した。液体急結剤と、粉塵低減剤により、粉体急結剤を用いた湿式よりも粉塵が低減されることが分かった。リバウンド率はデータが取得できたケース①④⑤の3 ケースの比較をすると、湿式のケース⑤が最も低い値を示したが、乾式の値も大きく変わりはない。ケース③④の高強度配合での乾式吹付けは、吐出量 12.0m³/h の場合、ノズル手前で閉塞が発生したため、配管閉塞の原因究明とその対策が課題であると考えられる。

コンクリート強度試験結果を表-4 に示す。普通強度のケース①において、国土交通省の基準 (=18N/mm²) を満たす強度が発現されており、セメント量低減が可能である。高強度のケース③においても基準強度 (=36N/mm²) 以上の強度が発現されており、乾式による強度発現は概ね問題ないことが分かった。

表-3：実験結果

実験ケース	粉塵量 (mg/m ³)	吹付け量 (m ³)	3Dスキャナ		吐出量 (m ³ /h)	水量 (ℓ/min)	急結剤添加 C×9.0% (ℓ/min)	備考
			吹付け量 (m ³)	リバウンド率 (%) ※				
① 乾式	1.78	1.744	1.204	31.0	8.4	15.3	3.1	
② 乾式	5.55	-	-	-	12.0	22.0	4.4	リバウンド量測定不可
③ 乾式	2.25	-	-	-	8.4	15.6	3.5	吐出量12.0m ³ /hで、ノズル手前で閉塞 リバウンド量測定不可
④ 乾式	7.81	1.660	1.133	31.7	8.4	15.6	3.5	
⑤ 湿式	2.98	1.521	1.082	28.9	15.0	-	-	粉体急結剤を使用。添加率C×10.0%

※リバウンド率は赤枠の値を採用

表-4：コンクリート強度試験結果

試験ケース	セメント (kg)	ブルアウト(N/mm ²)		ピン貫入(N/mm ²)		コア強度(N/mm ²)	
		3h	24h	3h	24h	7日	28日
ケース①	400	2.7	9.4	3.7	18.3	22.7	32.6
ケース③	450	3.0	11.3	4.6	21.3	28.7	39.4

4. 適用性の評価と今後の課題

実験結果より、一軸圧縮強度、リバウンド率、粉塵量において、乾式吹付けは、湿式とほぼ同様かそれ以上の値を示した。その他、ホッパーや配管内の清掃が容易で、洗浄水が不要なため濁水処理量が低減され、吹付け後の残コンが発生しないなどのコストメリットもある。特定条件下での配管閉塞等の課題はあるものの、液体急結剤を用いた乾式吹付けは大断面、大容量の吹付けでも十分に適用性があると評価できた。

今後はコンクリート配合や、吐出量、急結剤の添加率を変化させた実験を実施することにより、大断面、大容量における最適な施工条件を決定することが課題となる。