

液体急結剤を使用した大容量吹付機における吐出量の違いが及ぼす影響

中日本高速道路株式会社 唐澤 剛 正会員 中村 洋丈
 清水建設株式会社 新東名高速道路 川西工事 正会員 高波 太郎 ○小田 聡
 清水建設株式会社 新東名高速道路 川西工事 正会員 菊池 順 正会員 松永 厚彦

1. はじめに

トンネル掘削における吹付け作業の効率化を図ることは、トンネル施工全体の生産性を向上させるうえで非常に重要となる。筆者らはトンネル施工におけるアーチ構造の早期構成に向けたコンクリート吹付けの効率化・安全性の確保に着目し、吹付けコンクリート配合において液体急結剤と SPRAYMEC8100VC の大容量機械を使用することで、リバウンド率・坑内粉塵濃度およびサイクルタイムを大幅に改善できることを確認した。

本論文では、大容量吹付機を用いて、吐出量の違いがリバウンド率および粉塵濃度に及ぼす影響を比較し、最適な吐出量を選定し、生産性を向上させることを目的として、実証試験を行った。併せて、最適吐出量における模擬湧水環境下での付着性能を観察した。ここでは、その成果について報告する。なお、本報告は新東名高速道路川西工事 谷ヶ山トンネル（内空断面積：約 80m²，トンネル延長（東側工区）：上り線 1,207m，下り線 1,167m）にて実証試験を実施した結果に基づく。

2. 使用機材およびコンクリート配合

大容量の吹付けを実現する吹付ロボットとして、最大 30m³/h(理論値)を実現する normet 社製の SPRAYMEC 8100VC を採用した。このロボットは、コンクリート吐出量，コンクリート温度，液体急結剤添加率，気温等がリアルタイム表示できる制御モニターを搭載しており、ノズルマンはこのモニターを見ながら現在のコンディションを確認・変更しながら吹付け作業ができる点に大きな特徴を有する。

また、使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。液体急結剤はアルカリフリーの急結剤（TamShot110AF）を採用した。また、助剤①として、大容量で吹付けした場合でも液体急結剤と反応が良く初期強度増進が期待できる急結助剤（HCA Plus）を、助剤②として、大容量での吹付けによる材料分離を抑制するため、コンクリートの粘性向上と流動性を期待できる急結助剤（77TG）を、高性能減水剤は（TamCem60）を選定した。使用した混和剤は全て JIS 規格および EFNARC 規格（国際規格）を満足するものであり、中日本高速道路の仕様書に準拠した 36N/mm² の高強度配合である。

3. 実証試験概要

今回、高強度配合の液体急結剤を用いた実証試験はトンネル内の同一支保パターンで行った。設定吐出量は 15m³/h、18m³/h、24m³/h の 3 通りとし、リバウンド率および粉塵濃度を測定し、コンクリート吐出量の違いによる性能・評価の差を比較した。リバウンド率試験に使用するコンクリート量は 1.0m³ とし、側壁，天端のリバウンド重量を各々測定し、その平均値を算出した（写真-1）。液体急結剤の添

表-1 配合表

目標 SL (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	C	S	G	高性能 減水剤	助剤 ①	助剤 ②
24	41	65	184	450	1115	581	3.83	1.35	4.5



写真-1 リバウンド試験実施状況(天端部)

キーワード：液体急結剤，大容量吹付け，粉塵濃度低減，湧水下における吹付け

連絡先：〒258-0112 神奈川県足柄上郡山北町岸 3709-8 TEL 050-5306-7194

加率は天端部で9.0%、側壁部で6.5%とした。粉塵測定は、吹付け箇所から50m後方でを行い、吹付け開始後1分毎に10分間の測定し、その平均値を算出した。圧縮強度はピン貫入試験による $\sigma_{3h} \cdot \sigma_{1d}$ で初期強度の確認を実施した。

また、模擬湧水下でのコンクリートの付着状況を観察するため、単管パイプから河川水を流した木製合板にコンクリートを吹付け、目視による観察を行った。なお、吐出量は18m³/h、湧水量は200L/minおよび100L/minの2通りとした。

4. 試験結果

実証試験結果を表-2に、コンクリートの吐出量とリバウンド率および粉塵濃度の関係を図-1に示す。リバウンド率試験では、ケース①で最大値の16.7%、ケース②で最小値の5.8%、ケース③ではケース②と比べて緩やかな増加傾向が見られ、吐出量の違いによってリバウンド率に大きな差が生じることを確認した。今回使用したコンクリートおよび機材では、吐出量の増加によってコンクリートの圧着性が増し、リバウンド率を低減でき、18m³/h付近が最も少なくなるが、それ以上の過剰な吐出量増はリバウンド率をかえって増加させてしまうことが考えられる。粉塵濃度も同様にケース①で最大値1.3mg/m³、ケース②で最小値1.0mg/m³、ケース③でケース②と比べて緩やかな増加傾向を示しているが、大きな差はなく、液体急結剤の使用では吐出量の違いに関わらず、大容量吹付においても規定値を大きく下回る十分な粉塵濃度の低下効果があることが確認できた。

また、一般的な液体急結剤で課題に上がる圧縮強度においても吐出量による差異やばらつきは、ほとんどなく、要求される初期強度を十分に確保できる結果が得られた。

さらに、模擬湧水下における付着状況は、湧水量200L/minで付着力の低下が見られ、自重による剥離が生じたが、100L/minでは、湧水がない地山と同等の付着性能が見られ、剥離等も確認されなかった(写真-2)。液体急結剤を用いた大容量吹付コンクリートは、一定の湧水量であれば問題なく施工が可能であると言える。今後、実際に湧水が発生している地山で試験を行い、付着状況の観察やリバウンド率の測定を行っていく。

5. まとめ

今回の実証試験では、配合条件および急結剤の添加量は一定とし、コンクリートの吐出量の違いが及ぼす影響を比較した。結果として、吐出量の違いによりリバウンド率は大きな差が生じるが、粉塵濃度およびコンクリートの初期強度においてはほとんど差が生じなかった。液体急結剤を使用した大容量吹付において、最適な吐出量を選定することで、リバウンド率は大きく低減ができ、大容量で安定した吹付けが可能となり、現状、サイクル改善も大いに期待できる結果となっている。また、本実験で最適だと考えられた吐出量で行った模擬湧水下における付着状況の観察では湧水量が100L/minでの付着状況は良好であり、一定の湧水量であれば湧水がない地山と同様に施工が可能であることが確認できた。本報告においては、実証試験を行った吐出量は3通り、湧水量は2通りであったため、今後さらにデータを収集してさらなる生産性向上を目指す所存である。

表-2 実証試験結果

設定吐出量(m ³ /h)	ケース① 15m ³ /h	ケース② 18m ³ /h	ケース③ 24m ³ /h	
リバウンド率(%)	天端	18.0	7.0	8.6
	側壁	15.4	4.5	7.8
	平均値	16.7	5.8	8.2
粉塵濃度(mg/m ³)	平均値	1.3	1.0	1.1
圧縮強度(N/mm ²) 規定値: $\sigma_{3h}=2N/mm^2$ 以上 $\sigma_{1d}=10N/mm^2$ 以上	σ_{3h}	2.6	2.5	2.6
	σ_{1d}	18.0	17.6	17.6
湧水下での付着状況 (L/min) 目視による	200		剥離あり	
	100		良好	

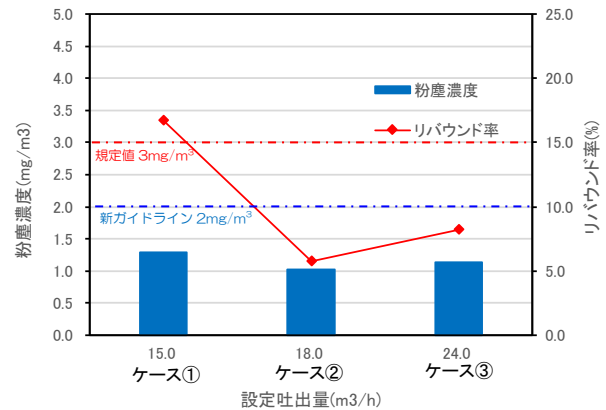


図-1 設定吐出量と粉塵濃度・リバウンド率の関係



写真-2 模擬湧水下での付着状況(100L/min)