

大容量吹付けを可能にする液体急結剤を用いた生産性向上への取り組み

中日本高速道路株式会社 東京支社 秦野工事事務所 大川 了 唐澤 剛
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 神藤 直樹
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 松永 厚彦

1. はじめに

トンネル掘削における吹付け作業は全体施工サイクルのうち、15%程度を占め、サイクルタイムに影響を与えやすい。したがってこの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。通常、吹付け作業はコンクリートの吐出量 10~15m³/h で実施し、それにもなうリバウンド率は概ね 20~30%程度とされている。

そこで、筆者らは生産性の向上を目的として、大容量吹付けを実現する吹付けロボットの採用と大容量でもリバウンド率が抑えられる吹付けコンクリートの配合の高規格化を検討した。また併せて、液体急結剤を採用することで、坑内環境にも配慮した吹付け技術の構築に取り組んだ。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. 大容量吹付けを実現する吹付けロボットの選定

大容量の吹付けを実現する吹付けロボットとして、フィンランドに本社を構える normet 社製の SPRAYMEC 8100VC（図-1）を採用した。

この吹付けロボットは、ダブルピストンポンプを搭載しており、最大 30m³/h（理論値）を実現する。また、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しながら吹付け作業ができる。さらにコンクリート吐出量に合わせた液体急結剤注入量の自動調整ができる点に大きな特徴を有する。

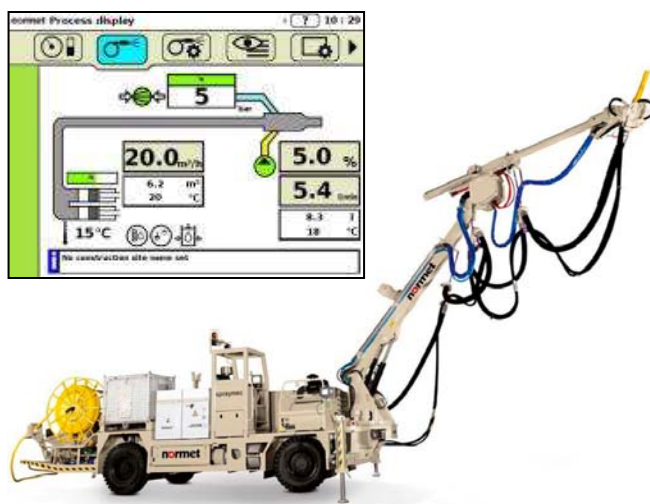


図-1 大容量吹付けロボット (normet 社製 SPRAYMEC8100VC)

3. 液体急結剤の採用とベース配合の高規格化

まず、大容量の吹付けに十分対応でき、低リバウンドを可能にする配合設計を目的に液体急結剤および高規格なベース配合を検討した。液体急結剤は、ベース配合との混合性評価を初期強度、リバウンド率、添加率で比較し、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、急結助剤（HCA Plus）を選定した。これは、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の増進を期待できる強度発現促進剤である。助剤②としては、急結助剤

（77TG）を選定した。これは、大容量で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コンクリート圧送性改善剤である。高性能減水剤は（TamCem60）を選定した。これは高減水性能を期待でき、ポリカル

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

キーワード：大容量吹付け，生産性向上

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

ボキシレート等により助剤①②に対応したスランプ保持効果が得られる。なお、これらの混和剤は全て JIS 規格・EFNARC 規格を満足するものである。これらの助剤・高性能減水剤は、全てバッチャープラントにて添加できるため、コンクリート練り混ぜ性能も従来型より向上する。また、混和剤用のタンクはプラントに増設し攪拌機・温度制御により品質の維持を行った。

4. 実証試験概要

今回の実証試験では、高強度配合の粉体急結剤と液体急結剤をトンネル内の同一支保パターンで行い、粉体急結剤施工時における吹付け機械は従来の汎用機とし、液体急結剤使用時には前述の吹付け機を使用した。このことで、粉体急結剤と液体急結剤の吹付けコンクリート施工時における、サイクルタイムやリバウンド率、圧縮強度、粉塵濃度を比較し、大容量吹付けおよび急結剤の違いによる性能・評価の差を確認する。なお、サイクルタイムの集計は二次吹付け作業時の吹付け作業時間のみとした。リバウンド率試験に使用するコンクリート量は 1.0m^3 とし、側壁、天端のリバウンド重量を各々測定した。圧縮強度は、コア供試体 σ_{28} とピン貫入試験による σ_{3h} ・ σ_{24h} で実施した。粉塵測定は、50m 後方で 10 分間における平均値の粉塵を測定した。

5. 試験結果

粉体急結剤を使用したケース①、液体急結剤を使用したケース②とし、その結果を表-2 に示す。それぞれのコンクリート吐出量は、粉体急結剤使用時に $10\sim 13\text{m}^3/\text{h}$ 、液体急結剤使用時は $18\sim 22\text{m}^3/\text{h}$ とした。サイクルタイムおよびリバウンド

率試験では、吐出量が倍増してもリバウンド率が約 47%向上する結果が得られ、それによる大幅なサイクルタイム改善（約 55%）にも寄与できた。実施の吹付け状況においてもリバウンド量の低下が肉眼で確認できる程の高い付着性を確認できた。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ケース①と②の差は少なく、要求される品質を十分に確保できる結果が得られた。また、粉塵濃度においては 65%の低減が見られ、肉眼でも違いが分かるほど坑内環境が改善している結果が得られた。

6. まとめ

コンクリート配合の高規格化や液体急結剤および SPRAYMEC 8100VC を使用したことで、大容量での高品質で安定した吹付けが可能となり、現状、経済的な利点も大いに期待できる結果となっている。本報告においては、施工初期段階（約 3 ヶ月）での報告であるため、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。



図-2 リバウンド率試験状況（天端部）

表-2 配合表

	ケース① 粉体急結材使用時 (吐出量 $10\sim 13\text{m}^3/\text{h}$)	ケース② 液体急結材使用時 (吐出量 $18\sim 22\text{m}^3/\text{h}$)	与条件等
サイクル	53(min)	24(min)	同一支保パターンにおける、1基あたりでの平均比較
リバウンド率	29.3(%)	15.0(%)	天端部
	23.0(%)	12.4(%)	側壁部
圧縮強度	$4.9(\text{N}/\text{mm}^2)$	$3.0(\text{N}/\text{mm}^2)$	σ_{3h} ($2\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)
	$21.0(\text{N}/\text{mm}^2)$	$19.6(\text{N}/\text{mm}^2)$	σ_{24h} ($10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)
	$44.8(\text{N}/\text{mm}^2)$	$42.7(\text{N}/\text{mm}^2)$	コア σ_{28} ($36\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)
粉塵濃度	$2.9(\text{mg}/\text{m}^3)$	$1.3(\text{mg}/\text{m}^3)$	吹付け開始後10分間での平均値での比較