

7. 低粉じん型吹付けコンクリート工法の開発

前田建設工業(株)：関 順一・中村 敏夫・*岡田 正之
三輪 俊彦

1. まえがき

NA TMは我国に導入されてから10年余りを経て、現在山岳トンネルの標準工法として定着しつつある。吹付けコンクリートは、NA TMにおける主要な支保部材のひとつであるが、トンネル内の作業であるという制約から、はね返りや発生粉じんが多いという問題を常に伴っていた。これらの改善をはかるため、筆者らは既に、従来の乾式吹付け工法において添加水に粘性を与えることにより粉じんを低減させる工法(RDR工法-Rebound and Dust Reducing system)を開発し、その有効性について報告している。¹⁾²⁾

今回、「高効率、低粉じん型吹付けコンクリート工法の開発」を研究課題とする、建設技術評価が建設省により公募された。そこで、より一層はね返りと粉じんの低減をはかり、同評価の開発目標を満足するため、従来のRDR工法を改良し、システム化された低粉じん型吹付けコンクリート工法(新RDR工法)の開発を行った。本文は、新たに開発した工法の概要と、効果確認のために実施した現場試験結果について報告するものである。

2. 工法の概要

建設技術評価の開発目標値は、以下のとおりである。

- ①粉じん濃度…… 5 mg/m^3 以下 ②はね返り率…… 25%以下 ③強度…… $\sigma_{28} > 180 \text{ kgf/cm}^2$

これらの他に、十分な初期強度を有し、従来以上の吹付け能力を有することなど、かなり厳しい条件が開発目標として設定された。これらの目標を満足するために、以下に示す改良を実施した。

- ①高分子系増粘剤の改良
- ②空練り材料と混和材料(増粘剤、急結剤)との混合方式の改善
- ③圧送空気圧・空気量の制御

図-1に示すように、本工法は乾式吹付け機、液体急結剤および増粘剤の添加装置、ダブルリン

表-1 システム構成機器一覧

機種	名称	仕様
吹付け機	アリバー260ダブルロータ	最大送り距離 300 m 空気消費量 $12 \text{ m}^3/\text{分}$ 以上
急結剤添加装置	LQポンプ	最大吐出量 2.4 L/分 最大吐出圧 30 kgf/cm ²
増粘剤添加装置	RDRポンプ	最大吐出量 1.5 L/分 最大吐出圧 15 kgf/cm ²
	水量ポンプ	最大吐出量 32 L/分 最大吐出圧 31 kgf/cm ²
ダブルリング	流量計	浮遊式流量計 測定範囲 4~20 L/分
圧送空気制御装置	Y字管付リング	
	エアフィルタ	最高使用圧力 9.9 kgf/cm ²
	レギュレータ	調圧範囲 0.2~8 kgf/cm ²
	流量計	浮遊式流量計 測定範囲 4~20 Nm ³ /分 最高使用圧力 9.9 kgf/cm ²
	スピードコントローラ	制御圧力最大 33.46 Nm ³ /分

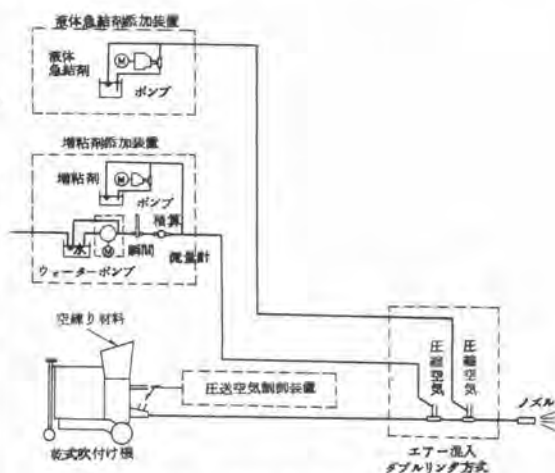
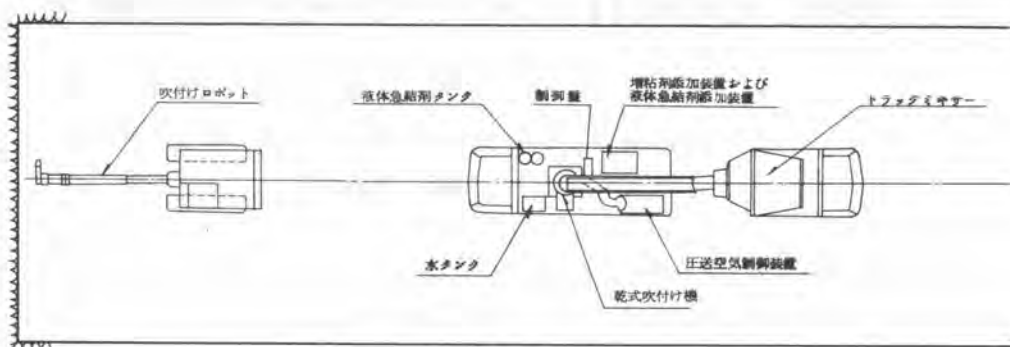


図-1 システム構成図



平面図



側面図

図-2 システム配置例

グ、圧送空気制御装置により構成される。表-1にその構成機器を示す。また図-2にシステム全体の配置例を示す。

(1) 高分子系増粘剤の改良

高分子系増粘剤は、添加水の粘性を高めるとともに、固有の連続性、曳糸性、分子の収縮効果等の特徴を有している。これにより吹付け材料の微小粒子を捕捉して粉じんを抑制するとともに、はね返りを低減することができる。増粘剤の性状を表-2に示す。

(2) 空練りコンクリートと混和材料との混合の改善

添加装置は、図-1で示したとおり液体急結剤および増粘剤添加装置、ダブルリングで構成される。水、混和材料(増粘剤、急結剤)の添加は、吐出量を一定に保てる定量ポンプを採用し

表-2 高分子系増粘剤の性状

外 観	乳白色高粘性液体
粘 度	180 cp (25℃)
P H	6.2
比 重	1.02 (25℃)
成 分 組 成	多価アルコールエチレンオキサイド付加物，多価アルコール，総合リン酸塩
マウス急性毒性試験	経口 LD ₅₀ 値 > 61,200 mg/kg
成 分 試 験	フェノール類，カドミウム，シアン，有機リン等の有害物質を含んでいない。

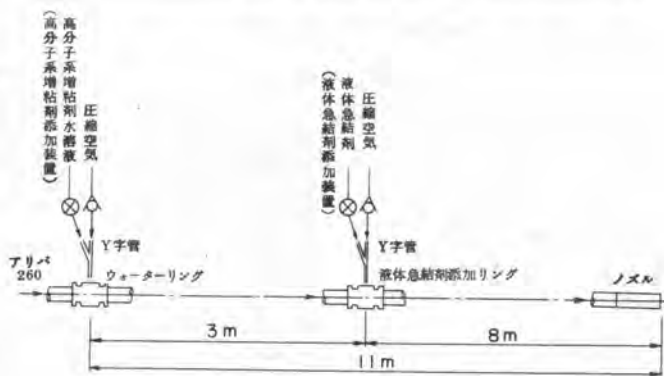


図-3 気流混合方式によるダブルリング

添加量を制御して供給できるものとした。また、流量計を取付け、水の添加状態を監視できるものとした。

増粘剤（水を含む）と急結剤とは各々別系統で添加するダブルリング方式とした。また吹付け材料との混合を良くするため、リング内へ圧縮空気を混入して霧状に噴出させる、気流混合方式を採用した。図-3にダブルリングを示す。

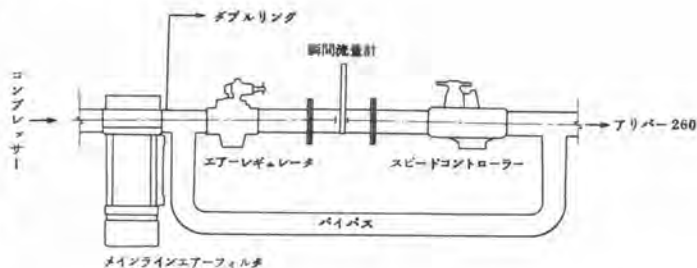


図-4 圧送空気制御装置の概要

(3) 圧送空気圧・空気量の制御

吹付けコンクリートのはね返り・粉じんは、圧送空気圧が高く、空気量が多いほど増加する傾向にある。そこで、吹付け機への供給空気の圧力を微調整できるようにエアレギュレータを、流量を微調整できるようにスピードコントローラを取付けて、所定の空気圧・空気量に調整可能とした。また瞬間流量計によって圧縮空気の供給状態を監視できるものとした。以上の機能を有する圧送空気制御装置を図-4に示す。

3. 現場試験の概要

本工法の効果を確認するために、現場試験を実施した。試験は、2車線道路トンネルの上半断面において、換気設備と集じん機をすべて停止した状態で行った。

吹付けコンクリートの配合は、予備試験結果から最適配合を決定した(表-3)。ただし、増粘剤の添加量については、粉じん量やはね返り率との関係を明らかにするために、数ケースに対して試験を行った。

表-3 吹付けコンクリートの配合

粗骨材の最大寸法(㎜)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)				急結剤 V _s .C(%)	増粘剤 V _s .C(%)
			水	モメント	細骨材	粗骨材		
13	55	59	198	360	1045	737	8	0~2.4

4. 試験結果

(1) 粉じん濃度

吹付け作業終了直前における吸入性粉じん(7 μm以下)濃度と増粘剤の添加量との関係を図-5に示す。粉じん濃度は、増粘剤を添加することにより大幅に減少し、両者はほぼ線形の相関を示した。この結果、増粘剤添加量が、2.4%以上の場合において、粉じん濃度の開発目標値5 mg/m³以下を満足することが認められた。

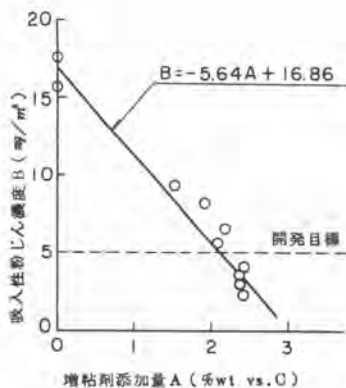


図-5 粉じん濃度と増粘剤添加量の関係

② はね返り

図-6に、はね返り率と増粘剤添加量との関係を示す。これは、湧水がほとんどない1次吹付け終了後の上半アーチ部における試験結果である。はね返り率に対しても、増粘剤添加量の増加に伴い減少する傾向が見られた。粉じん濃度が開発目標を満足する添加量(2.4%)の場合、はね返り率の平均値は、23%となり、目標値の25%以下を満足した。

③ 強度および耐久性

はりの折片およびパネルコアによる圧縮強度試験を実施し、圧縮強度と材令との関係を求めた(図-7)。開発目標の対象となる材令28日強度については、側壁部、クラウン部とも200 kgf/cm²以上の強度を発現し、十分目標を満足するものであった。また初期強度に対する増粘剤の影響は少なく、はく落も全く生じなかった。一般に増粘剤には凝結遅延効果があり初期強度の発現を遅らせる傾向を示すが、今回開発した増粘剤は、添加量や急結剤の種類によっては、むしろ凝結効果が大きくなる特性を示した。

また、凍結融解試験、中性化促進試験、乾燥収縮試験などを実施した結果、増粘剤の有無による差異はほとんど認められず、本工法で用いた増粘剤は、コンクリートの耐久性に対して何ら悪影響を与えないことが確認できた。

④ 施工性および耐久性

吹付け能力については、5 m³/hr程度は十分可能であり、従来の乾式工法と同程度の施工能力が得られた。また、経済性については、従来工法よりも材料費が割高になるが、はね返りの減少や吹付け時間の短縮によって、全体工費はおおむね同程度になることが分った。

5. あとがき

建設技術評価の厳しい開発目標を満足するため、低粉じん型吹付けコンクリート工法の開発を試みた。開発に際しては、機械・材料を含めたシステム化を図り、現場試験によって、その効果の確認を行った。その結果、本工法は十分開発目標を満足し、実施工における有効性をも確認できた。

参考文献

- 1) 関他：吹付けコンクリートの粉じん抑制に関する研究，土木学会第39回年次学術講演会，1984
- 2) 関他：吹付けコンクリートの粉じん抑制剤に関する研究，前田技術研究所報，Vol. 24，1983

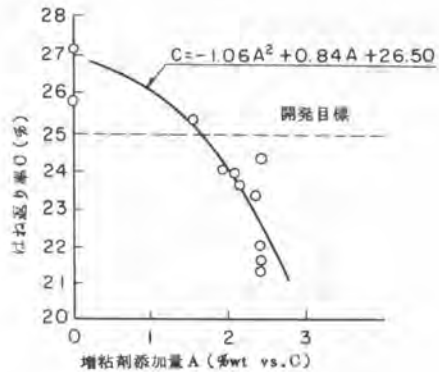


図-6 はね返り率と増粘剤添加量の関係

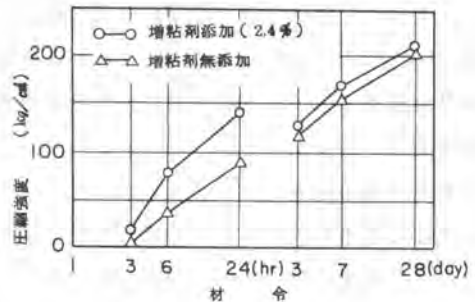


図-7 材令と圧縮強度の関係