

山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化

鹿島建設(株) 正会員 ○犬塚隆明 岩野圭太 松本修治
(株)演算工房 松村匡樹

1. はじめに

人手不足・熟練労働者不足への対応，建設生産性の向上，労働災害・事故の撲滅などの建設業界における重要な課題解決を目的として，建設機械の自動化を核とした自動化施工の開発を進めている．ここでは，トンネル掘削作業のうち，支保部材となる吹付けコンクリートの自動化についての取組みを述べる．開発では，トンネル壁面全体にわたり，所定の厚さで均一に，そして，最小限のリバウンドでコンクリートを吹付けることを自動吹付け作業の目標としている．これに対して，①ノズルワークの制御，②吹付厚さの計測，評価技術，③地山に応じた最適な吹き方の選定手法の確立の3要素を軸として進めている(図-1)．本稿では，①～③の開発のうち，①と③について紹介する．

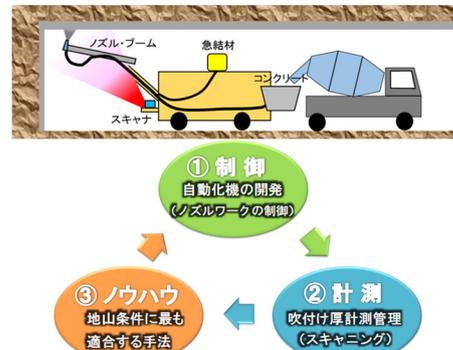


図-1 吹付け自動化の概念

2. ノズルワークの制御

ノズルワークの制御は，トンネルの設計断面の情報に基づき，トンネル形状に対して常にノズルの距離と角度を一定に保つ条件の下，任意に設定したノズルの振角などの吹付けパラメータに従って吹付けが可能なシステムを構築した．また，制御アルゴリズムは，ノズルワークの設定から決まる軌道，および吹付機に設置した各センサ(図-2)の目標値に対して，現在値との差を逐次計算しながら，各ブームの制御を行っている．

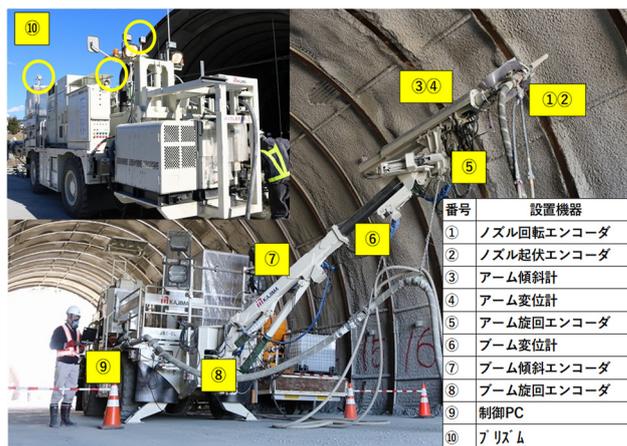


図-2 吹付機の制御

3. 地山に応じた最適な吹き方の選定方法

最適な吹き方を判断する要素やパラメータを検討するため，実験用に構築した模擬トンネルにおいて試験を行った．今回の試験では，以下に記載する配合の選定試験，およびノズルワークと付着形状の基礎データを収集した．

(1) 吹付けコンクリートの配合検討

急結材にクリアショットを採用したため，吹付けコンクリートの配合はクリアショットの標準配合を基本に，スランプを変化させると同時に細骨材率を変化させた3種類の配合①～③を準備した(表-1)．純粋な配合の差異を確認するため，ノズルを振らない単純なノズルワーク

表-1 配合の検討

■配合検討		配合①		配合②		配合③		
配合	C (kg)	400		400		400		
	Gmax (mm)	13		13		13		
	W/C (%)	50		50		50		
	s/a (%)	61		63		65		
急結材 (%)	LSA	8	USS	4	LSA	8	USS	4
		設計	現地	設計	現地	設計	現地	
性状	スランプ (cm)	16.0	16.0	20.0	20.0	24.0	22.5	
	空気量 (%)	3.0	3.2	3.0	4.1	3.0	5.0	
	気温 (°C)	-	19	-	19	-	18	
	スランプ							

で自動吹付けを行い，リバウンド率や品質(吹付けた際のダレなど)を比較した．結果を表-2に示す．スランプの大きい配合③では，一旦付着したコンクリートのダレを懸念したが，実際には見受けられなかった．結

キーワード 山岳トンネル，吹付け，自動化，ノズルワーク

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株)機械部 TEL 03-5544-2410

果として、いずれの配合も品質、リバウンド率について優位な差はなかった。以上の結果を踏まえて、後述のノズルワークと付着形状の試験では、吹付けコンクリートのスランプのバラつきに対して、降伏応力の変化が小さく、より安定した圧送性を得られる配合③で試験を進めることとした。

(2) ノズルワークの知見

また、作業員による手動吹きも実施した。手動吹きのリバウンド率は17%程度であり(表-2最下段)、自動吹きに比べて手動吹きのリバウンド率が10%程度高い結果となった。すなわち、このリバウンド率の差は、ノズルの振角やノズルと壁面距離といったノズルワークの違いによるものである。このことから、リバウンドは材料の特性よりもノズルワークが支配的であると分かった(図-3)。

(3) ノズルワークと付着形状の関係

本試験では、ノズルワークのパラメータを過去の研究事例²⁾から表-3のように定め、各パラメータの変更による吹付けの付着形状、および厚さと幅の変化を観測した。付着形状は、測量データをもとに近似式をフィッティングし、整理した(図-4)。結果の一例を図-5に示す。例えば、ノズルと壁面の距離をパラメータとした場合、付着形状の厚さと幅の変化を一次線形で表すことができると分かった。このように、ノズルワークと付着形状の関係式が得られると、必要な吹付け厚さや幅を条件として、吹き方(ノズルワークの組合せ)について検討できると考えられる。

4. おわりに

本試験によって、リバウンドに大きく影響するのはノズルワークであることが分かった。また、各ノズルワークと付着形状の関係を整理し、吹き方を検討する判断材料を得ることができた。今後は、更にノズルワークのパラメータ試験を重ね、リバウンドを最小限とするノズルワークの組合せを検討していく所存である。

参考文献

- 1) 村田:まだ固まらないコンクリートのレオロジーに関する基礎的研究, コンクリート工学, 1977, 15巻, 1号
- 2) 例えば, 魚本ほか:吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究(13), 生産研究, 1999, 51巻, 12号

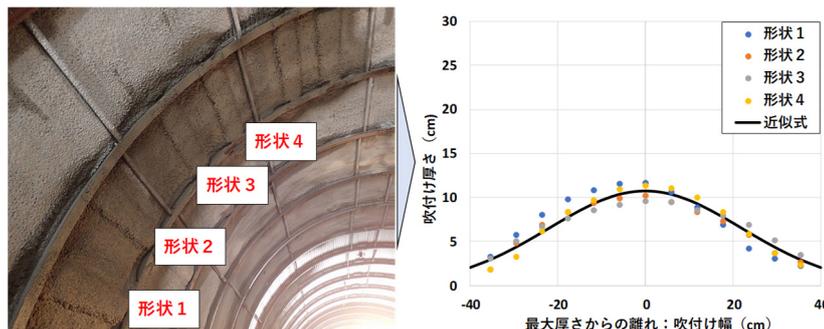


図-4 試験状況と近似式のフィッティング

表-2 試験結果の比較

自動吹き	配合①	配合②	配合③
吹付け状況			
リバウンド率	9%	7%	7%
品質	○ (ダレ無し)	○ (ダレ無し)	○ (ダレ無し)
リバウンド率 (手動吹き)	16%	18%	15%

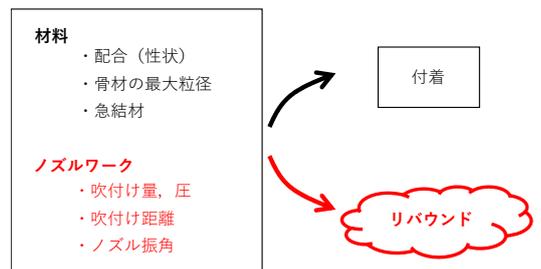


図-3 リバウンドの発生要因

表-3 吹付けパラメータ

試験パラメータ		
①吹付け量	吐出量	
	ノズル操作速度	
	ノズル往復回数	
②ノズル-壁面距離	d	
③ノズル振角	振角度	
	角速度	

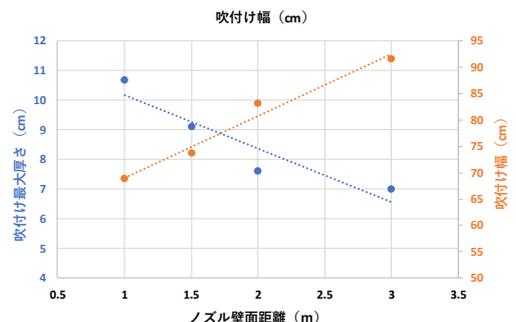
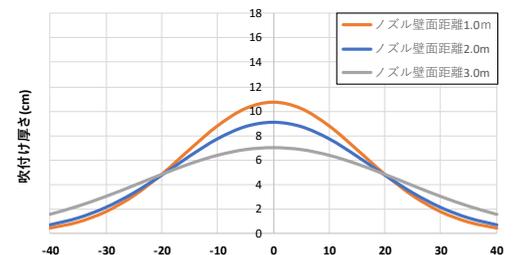


図-5 分析結果の一例