

Robo-Shot（ロボショット）の試験施工報告

○ライト工業株式会社 正会員 坂下 悟
 ライト工業株式会社 非会員 田力 則実

1. はじめに

のり面吹付け工は、ノズルマンと呼ばれる熟練作業員がのり面上でホースを長時間保持し（写真－１）、材料を吹き付けるが、Robo-Shot は吹付け作業を機械化した工法（写真－２）で、通常の５倍の急速施工が可能である。しかしながら、急速に吹き付けることで跳ね返り材料の混入による品質低下と吹付け厚さの不均一性の問題点があったため、これらの問題点について検証するために試験施工を行った。その結果について報告する。

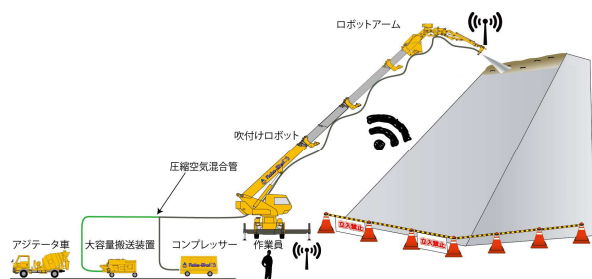


写真－１ ノズルマン 写真－２ ロボットアーム

2. Robo-Shot の概要

2－１．システム構成

Robo-Shot はベースマシン、専用の吹付ロボットアームおよびコンクリートポンプを用いた吹付けシステムで構成される（図－１）。のり面の揚程や現場用地面積などの条件に応じてベースマシンを選定し、これにロボットアームを取り付けて施工する。吹付けシステムはコンクリートポンプで圧送し、先端ノズルの約４０ｍ手前で圧縮空気と合流させ搬送する。



図－１ Robo-Shot の概要図

2－２．ロボットアーム

開発したロボットアームは４つの関節と１１の動作で人間の腕の動きを再現できるようにした（図－２）。



図－２ ロボットアームの関節位置

3. 試験施工による検証結果

3－１．試験施工の概要

２５ｔラフテレーンクレーンにロボットアームを取り付け、のり長２５ｍの採石場跡地ののり面に風化防止の目的で吹付けを行った。吹付け材料はモルタルコンクリートを使用し、１０ｃｍの厚さに仕上げた。表－１に現場条件を、表－２に現場配合を、表－３に試験施工の仕様を示す。

表－１ 試験施工の現場条件

のり長	25m
直高	14m
勾配	1:0.5
吹付け厚さ	10cm

表－２ 現場配合

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m³)			
	水	セメント	細骨材	混和剤
55	236	429	1544	4.3

表－３ 試験施工の仕様

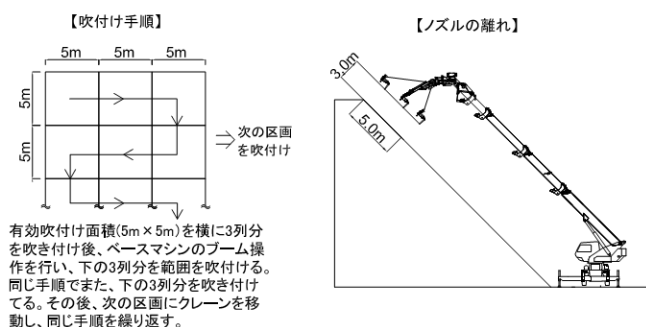
吐出量	10m³/h
空気圧力	0.7MPa
空気流量	15m³/min
ノズル距離	3.0m
ノズル角度	のり面と直角
ノズル揺動角度	±15°

3－２．施工手順と方法

ロボットアーム第二関節の旋回により５ｍ²（１ｍ×５ｍ）の面積を吹き付け、その後、第二関節の起伏で下に移動し、同様に吹き付けし、一度に２５ｍ²を施工する。その後、次の区画に移動する。図－３に施工手順と方法について示す。ノズルは第二関節の旋回・起伏に同調し、常にのり面に直角を保っている。同時に平滑に仕上げるため、ノズルは常時、上下方向に１５度揺動させながら吹き付ける。

キーワード：のり面、吹付け、機械化、Robo-Shot、ロボットアーム

連絡先：〒102-8236 東京都千代田区九段北４－２－３５

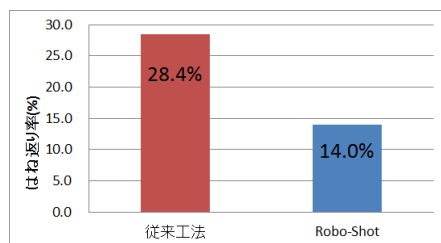


図－３ 施工手順と方法

3－3．品質の検証

吹付け時に生じる材料の跳ね返り率を従来吹付けと Robo-Shot で測定を行った¹⁾。跳ね返り率の結果を図－4に示す。また、Robo-Shot は従来吹付けと比較して50%以上の跳ね返りを低減できた。この要因の一つとして軟練り材料を使用しているため、吹付け後の材料の飛散が低減している点が挙げられ、この確認を行った結果を表－4に示す。これは材料1kgを球状にして1mの高さから落下させた時の飛散距離を測定している。

跳ね返りの低減のもう一つの要因としてはのり面と吹付け距離を一定に保ちながら、吹付け角度（ノズルの角度）を常にのり面に対して直角に制御できるロボットアーム動作の効果が考えられる。



図－４ 跳ね返り率の比較

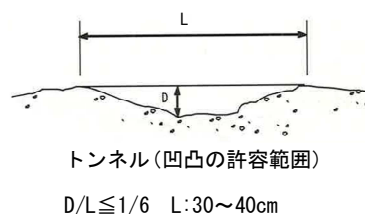
表－４ モルタルコンクリートの飛散距離

	従来吹付け	Robo-Shot
セメント細骨材比	1:4	1:3.6
水セメント比	55%	55%
落下高さ	1.0m	1.0m
広がり長さ	縦: 75cm 横: 80cm	縦: 40cm 横: 38cm

硬化後、のり面からコア供試体採取し²⁾、強度試験を行った。従来吹付けは設計基準強度が 15 N/mm^2 以上で、変動係数が25%程度であるが、Robo-Shotでは、平均圧縮強度が 31.5 N/mm^2 で、変動係数が11.8%以下となり、従来と同等以上となった。これは、配合が従来よりも富配合であることおよび跳ね返り材料の混入が従来よりも少ないためと考えられ、Robo-Shotで施工した場合でも品質の安定した構造物が構築できることが確認できた。

3－4．出来形の検証

試験施工後に吹付け厚さの測定を 25 m^3 当たり1箇所行った。吹付け厚さの規格値は厚さ50mm以上の場合、 -20 mm 以上で平均厚さが設計値以上である。また、Robo-Shot施工が目標吹付け厚さ(10cm)に対してのどの程度の増減で吹付けが可能か調べるために、トンネル吹付けで用いられている仕上げ面の平滑度についても測定を実施した。なお、平滑度測定を適正に行うためにのり面は平滑に整形して吹付けを行った。平滑度の確認方法を図－5に示す³⁾。目標吹付け厚さ10cmに対して、すべての測定箇所において測定値が設計値以上となり、平均で 10.5 cm であった。平滑度は30cmの距離(L)で最大の深さ(D)が 1.5 cm となり(写真－3)、 D/L は $1/20$ となった(写真－4)。これは、トンネル吹付けの平滑度の規格値($D/L \leq 1/6$)を満足している。平滑度の結果から、Robo-Shotの吹付け厚さの増減は目標吹付け厚さ10cmに対して $\pm 1.5\text{ cm}$ 以内でとなった。これは、ロボットアームののり面と吹付け距離を一定に保つ機構、吹付け角度を常にのり面に対して直角に制御できる機構、広範囲に均等に吹き付けられるノズルの自動揺動機能の効果と考えられる。



図－５ 平滑度の確認方法 写真－３ 平滑度の測定

4．まとめ

Robo-Shotによる急速施工で懸念された跳ね返り材料の混入による品質の低下ならびに出来形(吹付け厚さ)の確保については従来と同等以上の結果が得られた。今後は、目標としている危険な応急復旧作業への適用に向けた無人化および全自動化施工システムおよび施工管理システム構築が必要となる。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2010年制定 コンクリート標準示方書 規準編，2010.11，pp269-271
- 2) 土木学会：2010年制定 コンクリート標準示方書 規準編，2010.11，pp265-268
- 3) 土木学会：吹付けコンクリート指針(案)[トンネル編]，2005.7，pp66