

吹付砕工省力化技術の開発

ラクデショット

川本卓人・森田晃司・窪塚大輔

のり面保護工で特に実績が多い吹付砕工の省力化を目的として新工法を開発した。高粘性、高流動のモルタルを吹付けできるシステムを開発したことで、これまでのり面上で実施してきた鉄筋・型枠組立作業を省略できる。また、汎用バックホウに所定の枠断面を構築できる自動吹付装置をアタッチメントとして取付けることで、吹付砕工の機械施工を可能とした。これらによって、のり面上における人力作業を大幅に削減できるため、安全性も向上する。本稿では今回開発した新工法について報告する。

キーワード：のり面、吹付砕工、省力化、機械化、自動化

1. はじめに

道路工事等に伴って人工斜面（のり面）が数多く造成されてきた。防災などの観点から、のり面の安定化やのり面保護が行われてきた。数あるのり面保護工のうち、吹付砕工は、特に実績が多い。この工法は、のり面上で鉄筋・型枠を組立てた後、型枠内にモルタルを吹付けて格子状の枠を構築する。すべての作業を人力で実施しており、現在に至るまで飛躍的な技術の発展には至っていない。のり面上で作業する熟練労働者の不足、のり面上での非効率な作業およびのり面からの転落・墜落災害の発生等課題が多い。また、国土交通省は、令和元年度以降、更なるICT活用による生産性向上を図るための要領、基準類を改定・発表している。その中で、ICT施工の工種が拡大され、令和元年度にはICTのり面工（吹付工）、令和2年度にはICTのり面工（吹付法砕工）が加えられた。吹付砕工が抱える課題の解決、技術の発展、ICT化を達成するべく、吹付材料や吹付技術を探索し、検討を重ねた。その結果、高強度鋼繊維補強モルタル、汎用バックホウおよび自動吹付装置を使用することで、断面200mm×200mmの吹付砕工を鉄筋不要、型枠不要で安全かつ誰でも簡単に構築できる新工法「ラクデショット」（以下「本工法」という）を開発した（写真—1）。

2. 吹付機の選定

吹付砕工の施工の中で最も人員を要するのは型枠・鉄筋の組立作業である（写真—2）。工法全体に占め



写真—1 本工法



写真—2 鉄筋・型枠組立作業

る割合は、積算上約50%である。鉄筋・型枠の組立て作業を省略できれば大幅な省力化に繋がる。しかし、鉄筋は枠の曲げ耐力を確保する上で重要な役割を担っている。そこで、モルタルを高強度化し、鉄筋の代替として鋼繊維により補強すれば、断面200mm×200mm程度の吹付砕工と同等の曲げ耐力が得られる

と考え、吹付材料に高強度鋼繊維補強モルタルを用いることとした。

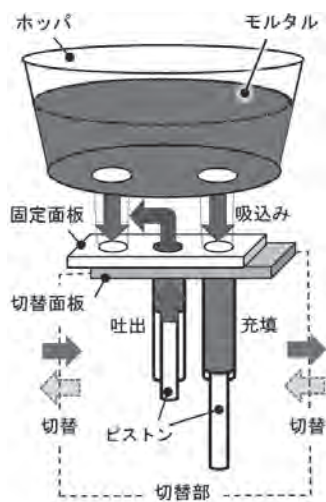
モルタルを高強度化するために多量の粉体と化学混和剤を使用することから流動性が高くなり、粘性も増大する傾向にあるため、吹付けが難しくなることが予想された。そこで、最初に一般的に使用される湿式吹付機（写真—3）による吹付実験を実施した。吹付機の吐出口とホースの直径は3inとし、ホースの延長は20mにとどめて実験した。



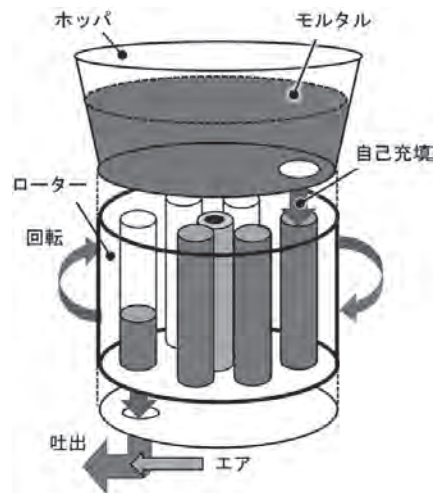
写真—3 湿式吹付機

実験の結果、断続的な吐出の後、ただちに吐出不能となった。モルタルの粘性が高く、吹付機内部およびホース内部へのモルタルの付着による閉塞が原因であった。エア量やホースの直径を変えて実験を行ったが、吹付性能を改善することはできなかった。

次に、コンクリートピストンポンプ（以下、ピストン式と略す）およびローター式吹付機（以下、ローター式と略す）の2種類による吹付実験を実施した。ピストン式はピストンの切替え時にスライドする切替え面板と固定面板との間に鋼繊維が挟まり安定的に吐出でき



図—1 ピストン式



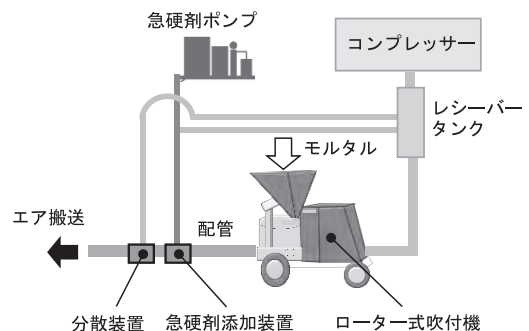
図—2 ローター式

なかった（図—1）。一方、ローター式は、ローター内へ重力により自己充填されたモルタルが順次エアで押し出されるシンプルな構造であるため、断続的ではあるが安定的に吐出させることが可能であった（図—2）。

3. 吹付システムの開発

ローター式によって安定した吐出ができたとしても、モルタルの流動性が高いため、のり面へ吹付けた際にダレが生じる。また、粘性の高い材料を連続して圧送するとホース内にモルタルが付着し、早期にホースの閉塞へ繋がる。そこで、吹付けた際に杵形状を保持するための自立性の付与と圧送に適した品質の確保を目的として急硬剤を適用することとした。施工実験により、モルタルの圧送性、吹付け後の自立性および急硬剤の添加方法について検討を行った。

ローター式で吹付けする際、吐出口の近傍で急硬剤を添加する装置（急硬剤添加装置）を考案した。急硬剤の使用によって、のり面にモルタルを吹付けた際のダレがなくなり、自立性が向上した。こうして、ローター式、急硬剤添加装置を組み合わせた吹付システムを構築した（図—3）。

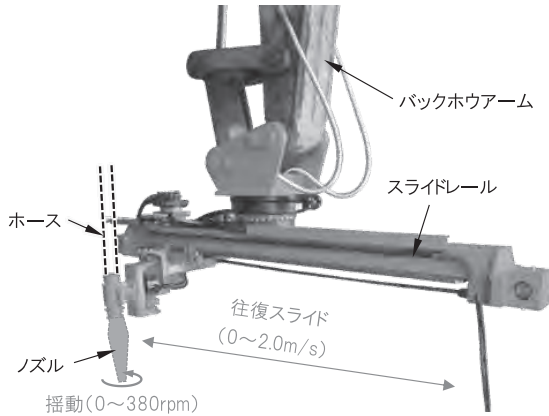


図—3 吹付システムの概要

4. 自動吹付装置の開発

(1) 装置の機能

自動吹付装置の概要を図一4に示す。所定の幅と厚さを有する平滑な枠を自動で構築するために①ノズルの往復スライド、②ノズルの揺動回転、③吹付厚の計測管理の3つの機能を備えた装置を考案した。



図一4 自動吹付装置の概要

(2) スライド速度と平滑度の関係

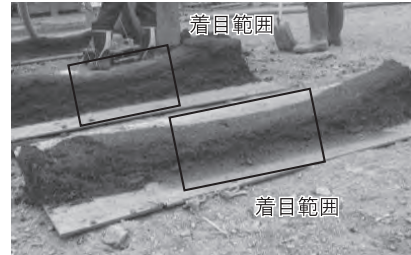
土木学会の吹付けコンクリート指針(案)¹⁾(以下、指針と略す)では、吹付面の凹凸を平滑度と呼んでいる。本工法では、吹付材料の改良および吹付システムの開発によってモルタルの吐出の安定性は改善されたが、断続的な吹付けとなっている。断続的にモルタルが吐出される状況下でノズルのスライド速度が遅い場合、一様な厚さで吹き重ねることが難しい。そのため、吹付面に凹凸が生じやすく平滑度が低下する。そこで、平滑度が低下しないスライド速度の下限値を実験により求めた。モルタルの吐出量を3.5 m³/hrで一定とし、スライド速度を0.1 m/s, 0.5 m/s, 1.0 m/sの3段階に変化させて、水平地盤上に枠を構築した。図一5に吹付けた枠とその平滑度を示す。スライド速度を0.5 m/s以上とすることで凹凸を小さくできた。平滑度が低下しないスライド速度の下限値を0.5 m/sと設定した。

(3) 揺動回転数と平滑度の関係

本工法では、曲げ耐力確保の観点から従来工法と同様に200 mm以上の吹付幅を確保する。吹付幅は、自動吹付装置の揺動回転機能によって調整する。揺動回転によってノズルのスライド方向と逆方向の慣性力が断続的に作用するため、平滑度に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、吹付幅200 mm以上の平滑な枠の構築が可能であるか前述の実験に揺動回転を加えて

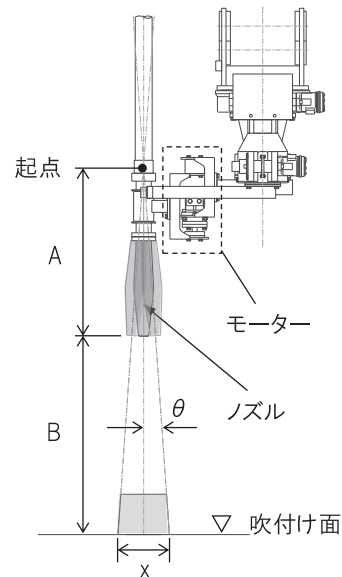


<スライド速度: 0.1m/s>



<0.5m/s(左上), 1.0m/s(右下)>

図一5 平滑度の比較

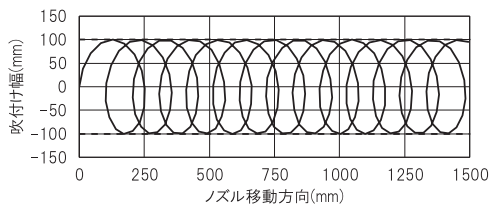
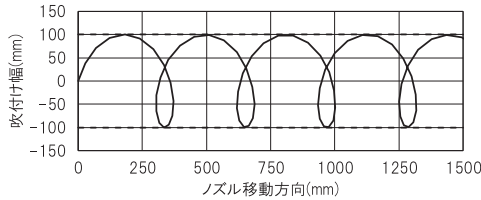


図一6 装置の断面図

実験した。図一6に装置の断面図を示す。ノズルに所定の角度を与え、モーターで回転させることで揺動動作を付加した。回転の起点からノズル先端までの距離をA(850 mm)、ノズル先端から吹付面までの距離をB(指針で、1000 mm程度がよいとされている)、吹付面でのノズル軌跡x(吹付幅200 mm)とし、揺動回転角を $\theta = \tan^{-1}\{x/2(A+B)\}$ と定義し、 $\theta = 3.0^\circ$ に設定した。スライド速度(0.5 m/s以上)をパラメータとし、ノズルの揺動回転数は使用したモーター最大能力の380 rpmに設定した。実験結果一覧を表一1に示す。また、吹付ノズル中心の軌跡と枠の形状を図一7に示す。スライド速度0.7 m/sのとき、吹付幅200 mm以上で平滑度が最良であった。スライド速度が遅く、ノズル中心が描く軌跡(円)が重複するほど

表一 実験結果一覧

スライド速度 (m/s)	吹付幅 (mm)	平滑度
2.0	150	×
1.5	190	×
1.0	220	△
0.7	225	○

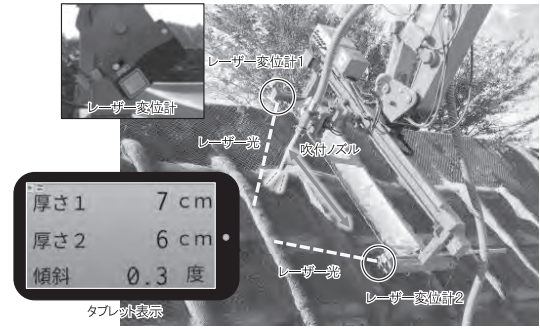


図一七 ノズル中心の軌跡と枠の形状

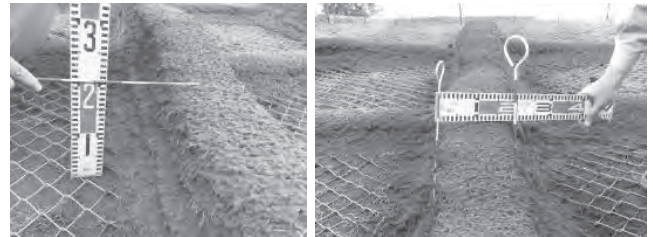
平滑度が高まることを確認した。

(4) 吹付厚管理

図一八に吹付厚の管理の概要を示す。自動吹付装置に傾斜計とレーザー変位計を設置した。計測値をバックホウキャビン内に設置したタブレット端末に表示し、運転手にリアルタイムで伝える。傾斜計の計測値からのり面と自動吹付装置が平行（ノズルと吹付面が直交）した理想的な状態であることを確認できる。また、レーザー変位計の計測値から吹付面との離隔と吹付厚が確認できる。この管理手法を用いて4.(3)節までの吹付けに最適な条件で、実際にのり面上へ枠を構築した。その出来形を図一九に示す。国土交通省の出来形管理基準の規格値を満たした。



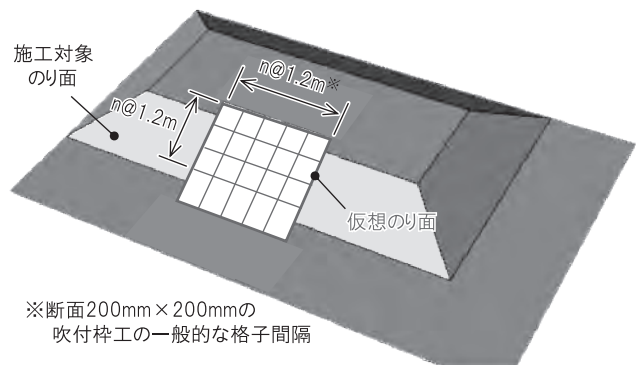
図一八 吹付厚管理の概要



厚さ 設計:200mm
実測:190~240mm(合格)
規格値:-30mm以上

幅 設計:200mm
実測:190~210mm(合格)
規格値:-30mm以上

図一九 枠の出来形



※断面200mm×200mmの吹付枠工の一般的な格子間隔

図一十 MCBH入力用3Dデータ

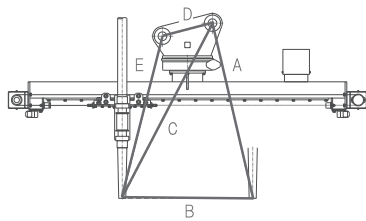
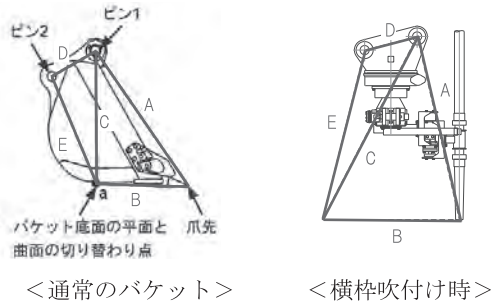
5. 施工方法の考案

(1) 起工測量および3Dデータ作成

本工法では、ベースマシンとして汎用の3Dマシンコントロールバックホウ（以下、MCBH）を用いる。まず、ドローン空撮により施工対象のり面の点群データを取得し、点群データからMCBH入力用3Dデータを作成する。3Dデータは、のり面から1.0mオフセットした位置に吹付枠工の格子中心線（グリッド）を記した面データ（図一十）を作成し、MCBHにインプットする。

(2) MCBHの設定と活用方法

MCBHでは、使用するバケットによって個別に寸法を設定できる。本工法では、自動吹付装置をバケッ



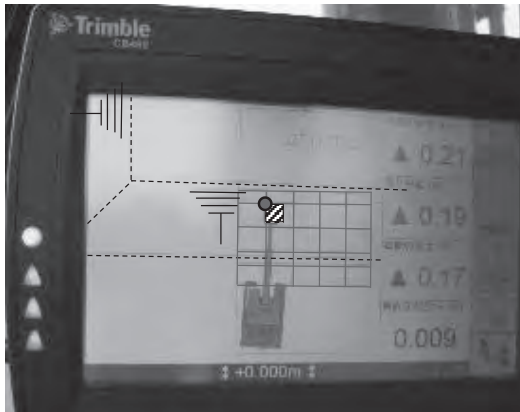
図一 11 バケット寸法の設定

表一 2 自動吹付装置の設定

項目	設定値	備考
スライド速度	0.65 m/s	
スライド幅	0.8 m	横枠吹付け時
	1.0 m	縦枠吹付け時
揺動幅	60 mm	
揺動速度	380 rpm	

(4) 横枠の吹付手順

横枠の吹付手順は、同じ段に位置する横枠を吹付け、その後、段を変えて吹付けを行う。吹付方法は、自動吹付装置を水平にセットし、表一 2 の仕様で吹付けを行う。1 枠分の横枠の吹付けを終えたら、吹付けを中断することなくバックホウを隣の枠へ走行移動させ連続して吹付けを行う (写真一 4)。



図一 12 ノズル先端のセット



写真一 4 横枠吹付け状況

ト形状に見立て、MCBH に寸法を設定する。設定する寸法を図一 11 に示す。通常のバケットと同様に A ~ E の寸法を設定するだけでよい。横枠吹付け時と縦枠吹付け時は、自動吹付装置を 90° 回転させるが、簡単のためにバケット形状は、同一としている。

MCBH 運転席のモニターには、枠の中心線であるグリッドとバケット形状に変換された自動吹付装置が表示される (図一 12)。これを利用し、モニター上に表示されるバケットの隅角をグリッドの交点に合わせることで、自動吹付装置の吹付ノズル先端を所定の位置にセットすることができる。

(3) 自動吹付装置の設定

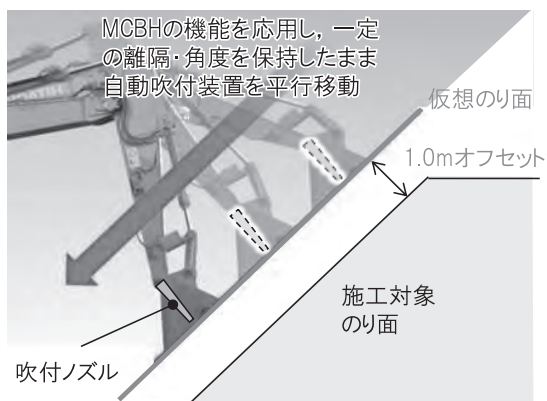
吹付枠工における所定の出来形、出来栄を確保するには、自動吹付装置の設定が重要である。4 章の結果を踏まえて施工時における吹付ノズル自動吹付装置の標準選定を表一 2 に示す。

(5) 縦枠の吹付手順

縦枠の吹付けは、のり肩からのり尻に向かって行う (写真一 5)。吹付方法は、自動吹付装置が縦枠と平行となるようにセットし、吹付けを開始する。厚さが概ね 10 cm 程度になれば、装置をのり尻方向へ平行移



写真一 5 縦枠吹付け状況



図一13 バケット角度保持機能



写真一6 格子柵吹付け完了

動かせる。MCBHのバケット角度保持機能により、ノズルがのり面と直交した状態かつ一定の離隔(1.0m)を保持された状態で吹付ける(図一13)。のり長が長い場合は、バックホウを一旦後退させ、同様の手順でのり尻まで吹付ける。厚さ10cm程度の縦柵をのり尻まで構築した後、のり尻からのり肩に向かって10cm程度の仕上げ吹きを行い、厚さ20cmの縦柵を構築する。こうして格子状の柵を構築する(写真一6)。

6. おわりに

高強度鋼繊維補強モルタルを採用し、その圧送と急結を可能とする吹付システムを開発した。また、自動吹付装置を取り付けた汎用バックホウを使用することで、吹付作業を機械化した。これらによって従来の断面200mm×200mm程度の吹付柵工を鉄筋・型柵不要で誰でも簡単に構築できる本工法ラクデショットを開発することができた。のり面上での人力作業が大幅に削減されることで安全性も高まる。今後は、試験施工を通じて品質管理手法を確立し、現場への展開を図っていく予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 土木学会, 吹付けコンクリート指針(案)[のり面編], pp.27, 2005

【筆者紹介】



川本 卓人(かわもと たくと)
 ㈱大林組
 土木本部 生産技術本部
 技術第二部 技術第四課
 副課長



森田 晃司(もりた こうじ)
 ㈱大林組
 土木本部 生産技術本部
 技術第二部
 担当部長



窪塚 大輔(くぼづか だいすけ)
 日特建設㈱
 技術開発本部 ICT開発部
 次長