

回転ノズルを用いた吹付けの試行

大成建設株式会社 正会員 ○竹中計行 木下勇人 宮本真吾

1. はじめに

山岳トンネル切羽の崩落・肌落ち防止のために行われるコンクリート吹付け（通称「鏡吹き」）は、切羽近傍での危険作業となる他、吹付け時に発生する粉塵環境下での劣悪な長時間作業となる。「切羽作業での重大災害の撲滅」、「熟練作業員不足への対応」、「吹付け操作者の作業環境改善」などの目的から、当社では吹付けの自動化に取り組んでいる。

吹付けの自動化で取り組む課題としては、①吹付け粉塵環境下で吹付け厚さの状況を常に把握する、②吹付けノズルを制御して所定の位置に所定の厚さと幅を吹付ける、の2点が挙げられる。著者らは前報¹⁾で、①の課題に対して LiDAR 計測を活用した解決策の報告を行った。本報では、②の課題について、回転ノズルを用いて所定の厚さと幅でコンクリートを吹付ける試験を行った内容について報告する。

2. 回転ノズル

従来の吹付けは、図-1 に示すように地山面に対してノズルを断続的に首振りしながらアームを旋回して吹付けている。この方法ではノズルの振角度が大きくなるとノズルと地山までの距離が大きくなりリバウンドが増える傾向があるため、ノズルと地山までの距離が一定で管理しやすい回転ノズルを選定した。回転ノズルは海外のトンネル工事では一般的に使用されているが、国内での使用例はほとんどないので、所定の厚さと幅を吹付けるための試行を実施した。回転ノズルは、図-2 に示すようにノズルとモーターが一体化されており、回転軸を偏芯して回転することで揺動できるので吹付け幅を大きくできる。

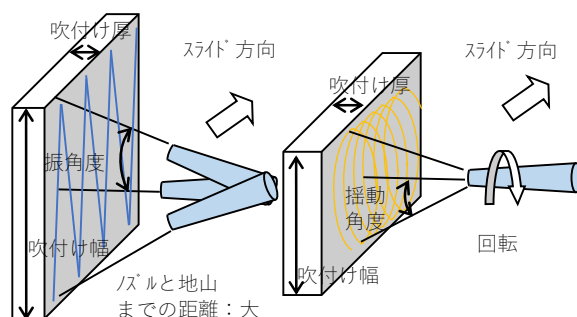


図-1 従来のノズル(左)と回転ノズル(右)

3. 現場での試行

実験で使用した回転ノズルは、図-3 に示すようにバックホウに搭載されており、鉛直方向に往復移動できるスライド機構が装備されている。現場での吹付け試行では、トンネル切羽を使用して、左側に吹付け機を、中央付近にバックホウを配置して①から⑥の方向に横移動しながら切羽に吹付けた。吹付け形状の把握については、バックホウ後方に配置した LiDAR 計測で測定した。急結剤はスラリー急結剤を使用し、コンクリート吐出量は $15.0\text{m}^3/\text{h}$ とした。ノズルスライドの上下にはレーザー距離計を設置し、ノズルと壁面までの距離を計測した。

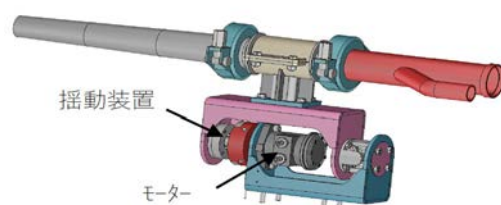


図-2 回転ノズル

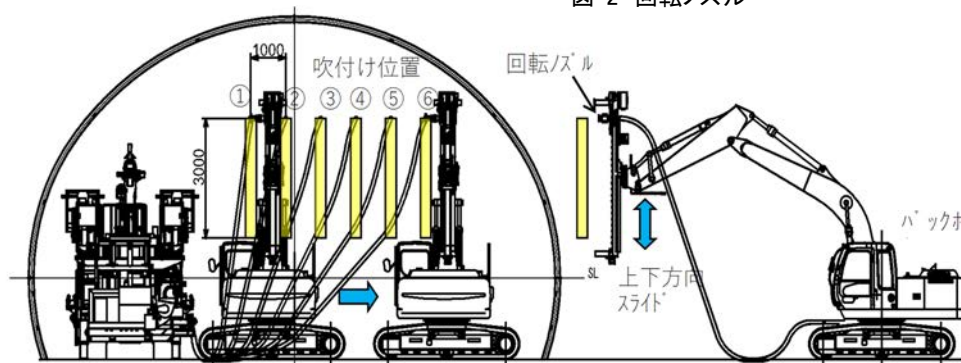


図-3 現場での吹付け試行状況

キーワード 自動吹付け、回転ノズル、吹付け厚さ、吹付け幅

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター 生産技術開発部 TEL045-814-7221

3.1 吹付けパラメータ

吹付けの厚さと幅を決める条件パラメータについては、ノズルと地山面までの距離、ノズル回転数、スライド速度、揺動角とした。ノズルと壁面までの距離はリバウンド量に関係することから、一般的なノズル距離(L)の1.5mと、より吹付け面に近い1.0mで実施した。ノズル回転数については、低速回転では吹付け面の平滑性が悪くなることから、250～400回転の高速回転とした。スライド速度は吹付け厚さ50mmを目標とし150～500mm/sに、揺動角は吹付け幅400mmを目標とし0～2°に設定した。吹付け順序は、写真-1に示すように左下から上側にノズルスライドし、最上部でバックホウを右へ横移動させた後、下側にノズルスライドすることを繰り返して6回、1回当たり3mの長さで吹付けた。

3.2 吹付け幅

吹付け幅についてはLiDAR計測による計測値を使用し、図-4に示すように安定して吹付けされている中央付近の1m区間において、厚さ20mm以上吹付けている箇所の吹付け幅を、上下方向に20点取得して平均化した値を実測値とした。吹付け幅の計算値と実測値の比較を図-5に示す。吹付け幅は、ノズルと壁面までの距離が大きくなるほど、揺動角が大きくなるほど、増える傾向が見られた。また、バラつきが見られるものの、揺動角1°、ノズル距離1.5mの条件で、吹付け幅400mmが確保できることが分かった。

3.3 吹付け厚さ

吹付け厚さの計算値と実測値の比較を図-6に示す。吹付け厚さの実測値も、吹付け幅と同様に中央付近の1m区間における吹付け厚さを上下方向に20点取得して平均化した値とした。吹付け厚さはノズルのスライド速度が遅くなるほど厚くなり、スライド速度150mm/s、ノズル距離1.5mの条件で、厚さ50mmを確保できることが分かった。リバウンド量は10%として計算値を算出したが、計算値と実測値の比較ではノズル距離が1.5mと1.0mで差は見られず、このノズル距離の範囲であれば、概ね計算通りの厚さを狙えると推察される。

4. まとめ

吹付けの自動化を目指して、回転ノズルを用いた吹付けを試行し、概ね計算通りの幅と厚さで吹付け可能であることを確認した。今後は、回転ノズルを実機に搭載しノズル位置や移動速度を制御するシステムの構築を行うとともに、追加の吹付け実験でデータの蓄積を行い、精度の向上をはかりたい。

参考文献

- 1) 木下勇人ら: 山岳トンネルのコンクリート吹付け厚リアルタイム面的計測システムの開発, 土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI部門, 2023.



写真-1 吹き付け状況

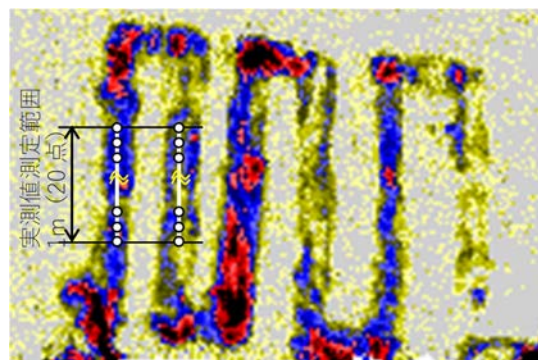


図-4 LiDAR 計測結果

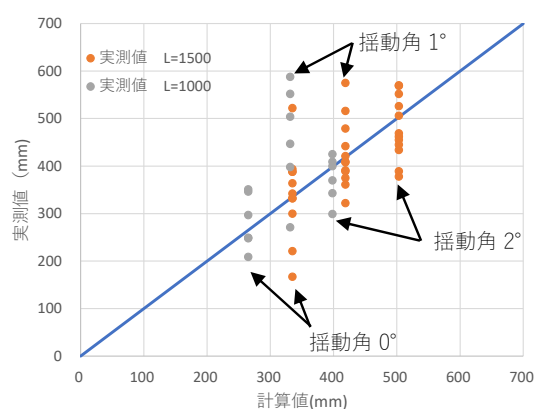


図-5 吹付け幅の計算値と実測値の比較

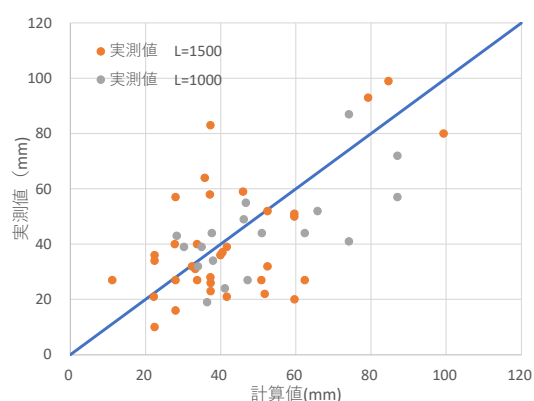


図-6 吹付け厚さの計算値と実測値の比較