

1,000m超の長距離圧送を実現した 高強度モルタル吹付 『キロ・フケール工法』

窪塚 大輔

日特建設株式会社 技術本部 技術営業グループ。



近年、我が国においては、社会資本の予防保全型の維持管理が求められている。またゲリラ豪雨に代表されるような異常気象に伴う土砂災害が頻発している。こうした法面の維持管理や復旧対策には、モルタル吹付工が多く採用されてきた。しかしながら、近年の吹付技術に求められる多様化したニーズに対して、従来の吹付技術では施工することが困難な事例が出てきた。そこで、モルタルに「チクソトロピー性」を付与し、1,000m超の長距離圧送を可能とし、さらに、品質・作業性を向上させた長距離圧送吹付技術『キロ・フケール工法』を開発した。本稿では、本工法の開発した経緯、技術概要、施工事例を紹介する。

モルタル吹付、チクソトロピー性、長距離圧送、COGMA

1. はじめに

近年、我が国の社会資本は高齢化を迎え予防保全型の維持管理による長寿命化が求められている。道路分野においては維持管理とともに災害防除事業が積極的に行われている。一方で、地球温暖化に起因するとされる気象変動によって、驚異的な集中豪雨やゲリラ豪雨が多発し、全国において水害や土砂災害が頻発している。

こうした災害に対応する維持管理技術や復旧対策技術には、モルタル吹付工が多く採用されてきた。しかしながら、近年の吹付技術に対する多様化する要求事項「より遠くに、より強固に、より迅速に」に対して、従来の吹付技術では施工することが難しくなってきた。

多様化する要求事項に対応していくために、モルタルにチクソトロピー性を付与することで、1,000m超の長距離圧送を可能とし、さらに品質と作業性を向上させた長距離吹付技術『キロ・フケール工法』（以下、本工法という）を開発した。なお、本工法は、宇都宮大学との共同研究により開発したものである。

本稿では、本工法を開発した経緯と本工法の概要、特長、施工事例を紹介する。

2. 開発経緯

(1) 従来工法の課題

一般的な吹付方式である湿式モルタル吹付工の推奨施工範囲は、吹付プラントから施工箇所までの配管延長（吹付ホース延長）が100m以内、高さが45m以内と言

われている¹⁾。

一方、近年では、一般的な吹付方式の推奨施工範囲を上回るポンプ圧送エア併用吹付方式が開発されている。この方式は、流動性の高いモルタルをコンクリートポンプを用いて吹付ノズルの手前、約40mまで圧送し、そこへ圧縮空気（エア）と流動性を低下させる添加剤を混入して、吹付箇所までエア搬送を行うものである。この方式では、プラント仮設位置から施工箇所までの水平配管距離が約500m、高さが約150mの施工が可能であり、一般的な吹付方式の推奨施工範囲を大幅に上回ることができる。しかしながら、モルタルを圧送するための配管は、鋼管（3インチ、3m/本）や、重い耐磨耗ホースを使用しているため、斜面上での配管作業に危険を伴いながら多くの労力を費やしている。

(2) 求められる吹付技術

従前から道路の災害防除事業は、着実に実施されてきているが、まだ十分な状況とはなっていない。最近の事業では、道路から高さ100mを越える高所部における斜面保護のための吹付、不安定岩塊の根固め吹付等を必要とする現場が散見される。

他方で、構造物の長寿命化が求められている中で、導水路トンネルの老朽化も顕在化している。そのため導水路トンネルの覆工増厚吹付が注目されている。しかしながら、導水路トンネルは、通常の道路トンネルに比べ断面が小さく、また延長が長いという特徴がある。現在こうした条件に対応できる吹付工法が少ない中、今後、さらに厳しい条件が求められた場合、従来工法では到底対

応ができないケースが多くであると予想された。そこで、求められる厳しい条件にも対応できるように、プラントから施工箇所までの水平距離が1,000mを越えても材料圧送ポンプの吐出圧力が低い吹付工法、さらには配管作業が簡易な吹付工法を開発する必要があると考えた。

3. キロ・フケール工法

(1) 工法概要

本工法は、チクソ材をモルタルに加え従来のモルタルにない性状であるチクソトロピー性を付与させることによってモルタルを低圧力で長距離圧送し、モルタル圧送先端部（吹付ノズル）で急結剤と圧縮空気を混入して吹付を行う工法である。

ここでのチクソトロピー性とは、レオロジー特性の一種で、力が作用すると見かけの粘性が減少し、静置により回復する可逆変化を示す特性である。チクソトロピー性の概念を図-1に示す。具体的には、材料圧送中は圧力を受けることでチクソ材に閉じ込められた水を適量開放し材料の粘性が低下する結果、ホース内面との摩擦抵抗を低減しスムーズな材料圧送が可能となる。また、材料圧送後は、圧力から開放されることで、チクソ材に再度水が内包され粘性が復元する。この圧力環境の違いにより、チクソ材が水を出し入れする性状を利用することで、従来は不可能であったモルタルの長距離圧送を実現したものである。

(2) 配合

本工法で使用するモルタルの1m³当りの配合を表-1に示す。急結剤は、吹付ノズル先端でエアと同時に混入さ

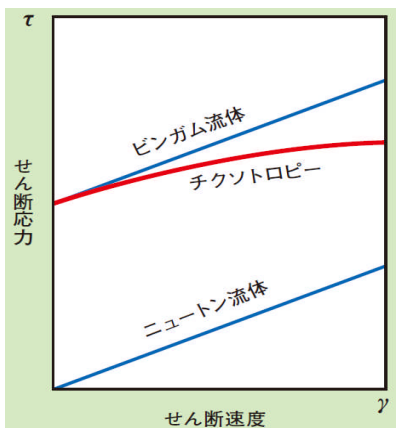


図-1 せん断速度と応力の関係

表-1 配合表 (1m³当り)

W/C (%)	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	チクソ材 (kg)	減水剤 (kg)	急結剤 (kg)
61.1	653	399	539	359	10	42

せるものである。

(3) 物性値

本工法のモルタル（フレッシュ時）の物性値および急結剤を添加後の硬化したモルタルの物性値を表-2に示す。モルタル（フレッシュ時）はテーブルフロー値が300mm程度と非常に流動性が高い。一方、1,000m圧送した後の吹付硬化後の圧縮強度および付着強度は、それぞれ通常の吹付コンクリートやモルタルに求められる要求仕様を上回る値を示す。

(4) 施工方法

本工法の施工方法は、モルタルを圧送するラインと、急結剤を圧送するライン、圧縮空気を供給するラインの3ラインから構成され、吹付ノズル先端でモルタルと急結剤を一定の配合比率で混合し圧縮空気を混入させ、吹付対象面にモルタルを吹付けるものである（図-2）。

詳細な施工手順は、以下の通りである。

- ① チクソトロピー性を有したモルタルをグラウトミキサーで製造し、材料圧送ポンプにより吹付ノズルまで圧送する。
- ② 急結剤は、急結剤ポンプにより吹付ノズルまで圧送する。
- ③ モルタルと急結剤を一定の配合比率で混合させるために、両者のポンプ吐出量を「COGMAシステム」で制御する。
- ④ コンプレッサーからの圧縮空気を吹付ノズルに混入させ、吹付を行う。

表-2 物性値

試験項目	数値	状態
フロー値	325±25mm	フレッシュ
比重	2.0±0.10	
可使時間	180分	
圧縮強度	24N/mm ² 以上	吹付硬化後
付着強度	1.5N/mm ² 以上	

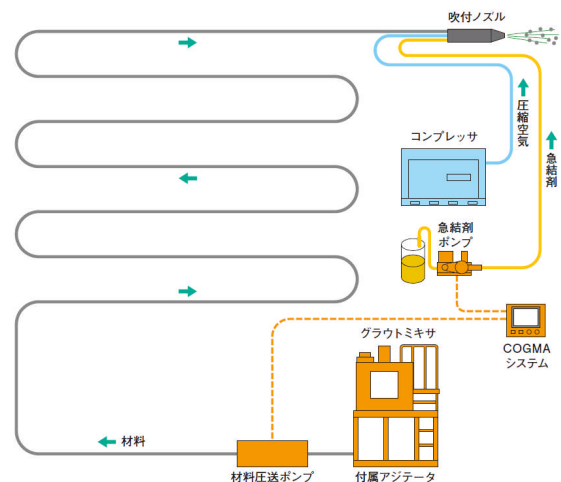


図-2 施工システム

ここでの「COGMAシステム」とは、材料圧送ポンプと急結剤ポンプの吐出量の制御や監視を行うコンピューターである。

(5) 特長

本工法の特長を、以下に整理する。

a) 長距離吹付

本工法に用いるモルタルは、チクソトロピー性を有しているため、材料圧送ポンプの吐出圧力が3MPa以下で1,000m超の長距離圧送が可能である。すなわち、施工箇所近傍にプラント機械を搬入することなく、施工が可能となった。

b) 容易な配管

低圧力でのモルタル圧送であるため、使用する配管は、鋼管ではなくゴムホースの使用が可能となり、またモルタルの材料特性から1.5インチと小さい配管径で施工が可能である。そのため配管作業が容易となり緊急性を伴う吹付工事に対して迅速に対応できる。

c) 高度な品質管理

「COGMAシステム」を用いることで、モルタルと急結剤の配合比率を自動で一定に保つことができる。すなわち、モルタルの吐出量を変動させても、自動で急結剤の吐出量の変動し、安定した品質を確保できる。

4. 施工事例

本工法の特長が有効に活用された施工事例を、以下に示す。

(1) 施工事例 - 1 (巨石根固め工)

当該事例は、道路に面する斜面上部に点在する巨石を、本工法を用いて根固め吹付したものである。施工条件の

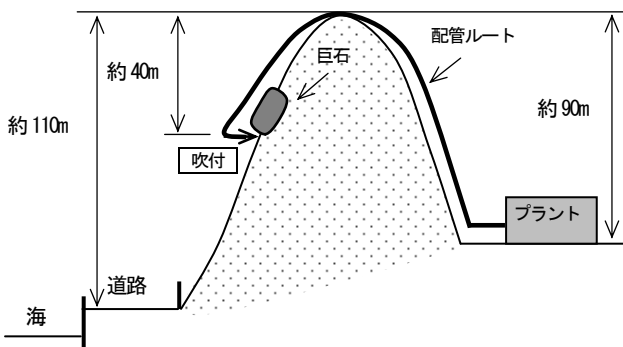


図-3 施工条件の概要



写真-1 モルタル製造プラント全景

概要を図-3に示す。

斜面下部の道路は交通量が多いため、道路の片側車線にプラントを仮設し、長期間にわたり通行規制することは困難であった。そこで施工箇所の反対側にプラントを仮設し、その地点からモルタルを圧送し吹付を行うことが求められ、本工法を適用した。

配管は、プラント仮設位置(図-3、写真-1)から標高差約90mの山頂まで上げ、そこから約40m下方にある巨石まで敷設した。山が急峻であることから、配管を斜面に対して斜め横断的に敷設したため、配管の総延長は、上り部で425m、下り部で275mの計700mに及んだ。

吹付時のポンプ吐出圧力は、3MPa以下に抑えることができ、無事に吹付を終えることができた。なお、当該現場には吹付対象の巨石が3箇所あったが、使用している配管がゴムホースであるため、現場内の取り回しもスムーズに行うことができた。施工時の巨石根固めの吹付状況を写真-2に、吹付完了後の状況を写真-3に示す。

当該事例は、大きな塊状にモルタルを吹付けるため、吹付後の硬化熱によるモルタルの品質低下が懸念された。しかしながら、吹付完了から3ヵ月後にモルタルの状態を確認したところ、大きなひび割れ等の変状は確認されなかった。

(2) 施工事例 - 2 (斜面吹付工—自由な配管)

当該事例は、寺院の本堂背面にある風化斜面を、本工法を用いて表面保護吹付したものである。当該寺院は、一年を通じて多数の参拝者が訪れる観光名所である。そのため施設管理者から、施工に必要なプラントや配管は、参拝者の目に入らないように対処して欲しいとの要望があった。



写真-2 巨石根固め吹付状況



写真-3 巨石根固め吹付完了後

現場条件は、プラントから施工箇所までの配管延長が300m、高低差が40mであり、ポンプ圧送エア併用方式の吹付工法でも対応できる範囲であった。しかし、ポンプ圧送エア併用方式の吹付工法で使用する配管は鋼管であり、配管を多箇所で曲げるためには、曲がり管を多用することになる。曲がり管を多用することは、配管内の摩擦抵抗を上げ、圧送ポンプの吐出圧力が上昇する。そのためポンプ圧送エア併用方式による施工は、不可能であると判断した。

そこで配管に自由度がある本工法を適用した。配管は可能な限り参拝者の目に入らぬように境内内を縫うように敷設した。モルタル圧送中にホースが閉塞することなく施工することができた。施工の際の境内における配管の状況を写真-4、また吹付状況を写真-5に示す。

(3) 施工事例 - 3 (導水路内吹付工)

当該現場は、導水路トンネルの裸坑区間の小崩壊・落石を防止するために、本工法を用いてトンネル覆工吹付を行ったものである。施工条件の概要を図-4に示す。

当該現場の吹付条件は、吹付箇所はトンネル坑口から約800mに位置し、施工延長は25m、吹付厚さは5cmである。当該現場のトンネル断面は、幅が2.1m、高さが2.3mと小さいため坑内に吹付プラントを仮設し吹付けることは不可能であった。

またトンネル覆工吹付であるため上向きに吹付を行うため、側壁部と天井部でモルタルの吐出量を調整する必要があった。それに伴い、側壁部と天井部で異なるモルタルの吐出量に応じて急結剤の添加量を適正に調整する必要があった。急結剤は施工の取り扱いが難しく、適正な使用量を添加しないと、モルタル自体の品質の低下

を招くためである。そこで、モルタルの長距離圧送が可能で、急結剤とモルタルの配合比率をCOGMAシステムで一定に保つことができる、本工法を採用した。

プラントは導水路トンネル外の地上に仮設し、配管の総延長は900mに及んだ。トンネルの側壁部と天井部においてモルタルの吐出量を調整するため、COGMAシステムを坑内に配置し、吹付部位毎に応じたモルタルの吐出量の調整を行った(写真-6)。

当該現場においてもモルタル圧送中のポンプ吐出圧力は、3MPaを上回ることはなく施工できた。また吹付けられたモルタルの品質についても十分に確保できた。

5. まとめ

チクソトロピー性を付与したモルタルを長距離圧送し、ノズル先端で急結剤を添加し吹付を行う工法『キロ・フケール工法』を開発した。本工法は、社会資本の予防保全型の維持管理および災害防除事業に資するものと考えている。

本工法は、紹介した施工事例のように、1.5インチのゴムホースによる長距離圧送吹付が可能であるため、迅速な対応が要求される土砂災害の法面応急復旧工事などにも適応可能と考えている。

今後、本工法を様々な現場に適用することにより、課題を抽出し、それらに対して改良・改善を図り、さらに多様化すると考えられる吹付工事の要求に対応していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人全国特定法面保護協会：のり砕工の設計・施工指針(改訂版)平成18年11月 pp.65



写真-4 境内内の配管状況

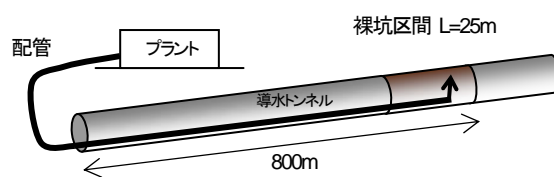


図-4 施工条件の概要



写真-5 斜面対策吹付状況



写真-6 COGMAシステム配置状況