

完全ワンオペレーターによるロックボルト自動打設の試験施工

戸田建設(株) 正会員 ○西村 風希
戸田建設(株) 非会員 堅田 篤史

1. はじめに

トンネル工事におけるロックボルト施工は削孔、定着材の充填、ボルト挿入に分けられ、削孔作業を除き人力作業が一般的である。一連の作業が切羽直近で行われるため、切羽からの肌落ちや高所作業時の墜落、支保工との挟まれ等により被災するリスクが高く、機械化施工による省人化、無人化が求められている。

当社は、国内で初めてとなるオペレーター1名によるロックボルトの機械化施工を目指し、SF レジンボルト工法TMによるケミカルレジンカートリッジ定着材（以下カートリッジ）を使用したセミオートロックボルト自動打設機（写真-1）による試験施工を実施した。本稿では、試験施工で得られた結果および課題について報告する。



写真-1 セミオートロックボルト自動打設機

2. カートリッジ・自動打設機概要

ロックボルトの標準的な定着材であるモルタルに変えて、国内では数十年来実績のないカートリッジを用いた試験を行った（写真-2）。カートリッジは、ヨーロッパでは標準品だが、現在国内製造はなく、コスト面も考慮し海外製品の中から、国内への輸入・使用のための諸条件と国内法規を満足する製品を、各種国内法に適合させて使用した。



写真-2 ケミカルレジンカートリッジ定着材（例）

カートリッジを使用するメリットは、硬化時間がモルタルに比べ早く、早期にロックボルトの定着効果を発現すること、カプセル型なのでモルタルに比べ取扱いが容易で、空袋等の産業廃棄物の削減効果も期待できる点が挙げられる。さらに、セミオートロックボルト自動打設機の使用により、削孔、カートリッジのエア圧送による自動装填、カートリッジ装填直後のロックボルト挿入、ロックボルトによる攪拌混合および定着材硬化までのロックボルト保持、の一連の作業を完全に機械化することにより、国内初の完全なワンオペレーターによる施工を実現した。なお、カートリッジは硬化時間や直径、長さについて各種オーダー可能なため、施工条件に合わせた選定が可能である。カートリッジ射出装置、ボルト打設装置の系統図を図-1に示す。

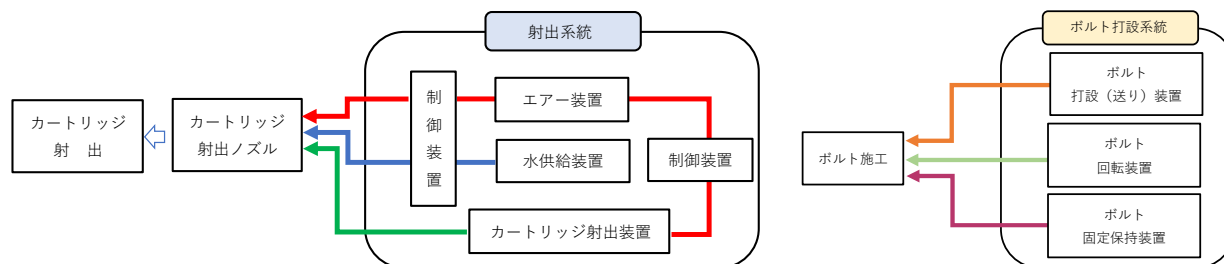


図-1 装置系統図

キーワード 自動打設, 定着材, ワンオペ

連絡先 〒461-0001 愛知県名古屋市中区泉 1-22-22 戸田建設(株)名古屋支店土木工事部工事室

3. 試験施工概要

試験施工は、比較的硬質な花崗岩主体の岩盤で、湧水のほとんど無い地山箇所を実施した。試験施工箇所を図-2に示す。

打設後の定着効果確認のため、ロックボルト引抜き試験を実施した。材齢はσ1hで行い、鋼材の降伏点耐力と同等程度の荷重を与え、荷重-変位曲線を求めて評価した。

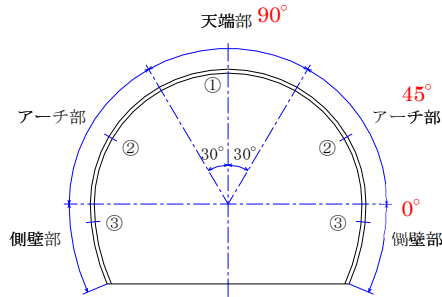


図-2 試験施工箇所

4. 試験結果

硬化時間の異なる2種類のカートリッジを3パターンの削孔角度によりロックボルト挿入まで試験施工した結果を表-3に示す。

硬化時間の比較的小さいカートリッジを使用した場合、0°、45°、90°ともにカートリッジを射出後、攪拌するためにロックボルトを回転させながら挿入した際に、想定より早い段階で硬化反応が生じたためロックボルトが途中で挿入できなくなる事象が確認された。また、90°においては、射出したカートリッジが落下する事象が散見された。

そのため、硬化時間の比較的小さいカートリッジを使用した結果、0°、45°、90°ともにカートリッジ射出後、攪拌のためにロックボルトを回転させながら挿入しても、完全に硬化する前にロックボルトを所定の挿入長まで挿入することができた。しかし、90°においては硬化時間の小さいカートリッジを使用した場合と同様に射出したカプセルの

落下する事象が散見された。その対策として、若干射出圧をあげて試験した結果、カートリッジが落下する事象を抑えることができた。

施工性については、ナビゲーション機能によってマーキング作業もなく、また機械的に吹付面にロックボルトを押しつけた状態のまま定着材硬化までロックボルト保持を行うため、ロックボルト打設箇所近傍に作業員が近づくことなく、ワンオペレーターによる運転席からの操作のみでロックボルト施工が完了でき、安全性、生産性の向上を確認した。また、早期定着効果を確認する引抜き試験の結果(表-4)、降伏点耐力と同等程度の荷重を与えても引抜けるような変位傾向は確認されず、所定の引抜き耐力を有しており、同条件で施工したモルタル定着材と比較しても、カートリッジの方が早期強度発現性において有利であることが確認できた。

5. まとめ

本試験結果より、ロックボルト打設時のカートリッジ硬化時間の違いがロックボルト挿入の可否に影響を与えること、打設角度によってはカートリッジ挿入時に不具合が生じることがわかり、削孔長、施工条件により、適切な硬化時間と射出圧設定が重要であると判明した。また、モルタルより定着材強度発現が早く、より早期に支保能力が発揮され、同時にカートリッジ定着材としての品質にも問題のないことを証明できた。

本試験は実用化に向けた試験の位置づけで実施したが、結果として現時点においてもワンオペレーターによるロックボルトの自動打設が実用可能であることが確認された。安全・品質・生産性を含め、さらなる向上が期待されるツールであるため、今後も改良を続けていく。

表-3 ロックボルト打設結果

	0° (水平)	45°	90°
① φ25×400mm(硬化時間：短)	△	△	▲
② φ25×400mm(硬化時間：長)	○	○	▲
③ ②の射出圧を調整	○	○	○

○：良好、△：硬化によりロックボルトが挿入不可、▲：カートリッジ落下

表-4 引抜き試験結果

ケミカルレジンカートリッジ (材齢：σ1h)			ドライモルタル (材齢：σ3)		
ポンプ圧 (N)	引抜き荷重 (kN)	変位の読み (mm)	ポンプ圧 (N)	引抜き荷重 (kN)	変位の読み (mm)
1	10	0.07	1	10	0.2
2	20	0.15	2	20	0.33
3	30	0.25	3	30	0.48
4	40	0.32	4	40	0.61
5	50	0.36	5	50	0.73
6	60	0.43	6	60	0.81
7	70	0.47	7	70	0.95
8	80	0.55	8	80	1.08
9	90	0.66	9	90	1.22
10	100	0.73	10	100	1.36