

付着耐力を向上させた縞付き鋼管切羽補強工法の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○横田 泰宏 伊達 健介 山本 拓治
(株) ケー・エフ・シー 正会員 辻 孝志 岡部 正

1. はじめに

近年、山岳トンネル工法で脆弱な地山を掘削する場合、長尺鋼管フォアパイリングに加え、鏡ボルトを切羽に打設して前方地山を安定させる切羽補強工が採用されることが多い。従来は切羽補強工の補強材としてGFRP(グラスファイバー)ボルトが広く普及してきたが、粉塵や廃棄物の問題から鋼管ボルトを採用するケースが増加している。しかしながら、鋼管ボルトは表面が滑らかであるため、鋼管周囲の付着耐力が確保できず、GFRPボルトでは安定させられた地山が不安定となる恐れが懸念されている。これらを背景に、筆者らは地山に確実に定着して切羽を安定化し、さらに補強材の回収も可能な切羽補強工を開発した。今回は、その補強効果を定量的に把握することを目的に実施した現場引抜試験結果について報告する。

2. 開発工法概要

切羽補強工に使用する補強材は、地山の挙動に伴って発生する解放応力に抵抗することが必要で、定着材との付着力が重要な要素となる。本工法は、従来の鋼管切羽補強工の弱点とされてきた付着耐力の問題を、写真-1に示すようにボルトの表面形状を縞鋼板とすることにより解決した。鋼管径は76.3mm、厚さは4.5mmであり、従来の補強鋼管に比べて薄肉であるにも関わらず接続部の引張剛性が高く、また軽量であるため施工性・経済性の向上にも寄与できる。さらに、鋼管には横方向にスリットを設けてあるため、鋼管切羽補強工法の利点である分別回収を従来よりもさらに容易に行える工法である。

3. 現場引抜試験概要

現場引抜試験は、鋼管表面の付着性能を確認し、鏡ボルトの補強効果を定量的に評価することを目的とし、鏡ボルトの付着耐力(摩擦力)と付着剛性を求める試験である。表-1は、実施した引抜試験ケースの一覧である。本試験では開発した縞付き鋼管の通常鋼管に対する優位性を確認するため、同条件で両者の引抜試験を実施した。定着材には早期強度発現型モルタル(材齢24時間:圧縮強度=12N/mm²)、超早期強度発現型モルタル(材齢3時間:圧縮強度=8N/mm²)、及びシリカレジン(3倍発泡時:圧縮強度=4N/mm²)を用いた。引抜試験は頁岩地山と強風化凝灰岩を対象に2現場で行った。試験手順を以下に述べる。まず始めに坑内側壁に長さ0.5~2.0mの削孔を行い、定着長さ500~1,300mmの供試体(補強材)を挿入した。次に、地山と供試体の間隙に定着材を注入し、所定の養生時間後に油圧ジャッキやラムチェア等の専用ジグを利用して供試体を引張り、最低限ピーク強度が確認できるまで引抜きを行った(写真-2)。

4. 現場引抜試験結果

写真-3は引抜試験後の供試体状況である。本試験では実施した全てのケースについて、補強材と注入材間で付着切れが発生したことを確認している。図-1はボルト頭部の変位量と引抜荷重の関係を示したグラフで



写真-1 縞付き鋼管の
表面形状

表-1 現場引抜試験ケース一覧

ケース	鋼管の種類	鋼管径(mm)	定着長(mm)	付着面積(mm ²)	定着材	対象地質
1	通常	76.3	1,000	287,500	①早期強度発現型モルタル	頁岩
2					②超早期強度発現型モルタル	
3			1,300	311,615	③シリカレジン	強風化凝灰角礫岩
4	縞付き	76.3	500	287,500	①早期強度発現型モルタル	頁岩
5					②超早期強度発現型モルタル	
6			1,300	311,615	③シリカレジン	強風化凝灰角礫岩

キーワード 切羽補強工、鏡ボルト、付着耐力、引抜試験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2丁目19-1 鹿島技術研究所 TEL042-489-7088

ある。表-2、及び表-3は図-1の結果を基に付着耐力を算出した表である。

これらの結果を見ると、定着材にモルタルを用いた場合、縞付き鋼管の付着耐力は、482.2kN/m（早期強度発現型モルタル：材齢24時間）、及び407.8kN/m（超早期強度発現型モルタル：材齢3時間）であった。一方、通常鋼管の付着耐力は48.5kN/m（早期強度発現型モルタル：材齢24時間）、及び42.4kN/m（超早期強度発現型モルタル：材齢3時間）であった。これより、縞付き鋼管の付着耐力は、定着材に早期強度発現型モルタルと超早期強度発現型モルタルのどちらを用いた場合においても、通常鋼管に比べて約9～10倍の付着耐力が得られることが分かる。また、参考値で示すように従来用いられてきたGFRP管の室内試験から得られた付着耐力は150kN/mであることも考慮すると、縞付き鋼管から得られた付着耐力は他の補強材を用いた場合に比べて顕著に大きく、従来と同等以上の補強効果も期待できると言える。さらに、縞付き鋼管は超早期強度発現型モルタルと組み合わせることで、注入後3時間で補強に十分な付着抵抗が得られることも分かった。

次に、定着材にシリカレジンを用いた場合、縞付き鋼管の付着耐力は175kN/m程度であった。この値は3倍発泡のシリカレジンで周囲に充填させたGFRP管の室内試験結果(75kN/m)の約2.3倍の値を示しており、縞付き鋼管の付着耐力の大きさが実証されたと言える。さらに、この値は、早期強度発現型モルタルを用いたGFRP管の室内試験結果(150kN/m)とほぼ同等な値を示しており、シリカレジンによる付着耐力低下の問題を解決することにも貢献している。一方、通常鋼管の付着耐力は36kN/m程度である。これは3倍発泡のシリカレジンで周囲に充填した室内試験結果(25kN/m)よりもやや大きな値を示すが、同等な値と考えられる。これより、定着材にシリカレジンを用いた場合、縞付き鋼管の付着耐力は通常鋼管の約5倍となることが分かる。

5. まとめ

従来は鋼管を切羽補強工に用いる際、その補強効果が懸念されてきたが、今回開発した縞付き鋼管を用いることで付着抵抗の問題を解決できる。一方、今回の結果を見ると通常鋼管を用いた場合でもモルタルと組み合わせることで、ある程度の付着耐力が望めることも分かった。しかしながら、充填材が湧水で流されてしまうような現場ではシリカレジンを用いる必要があり、そのような場合は定着力が確保できるとは言えないため、原位置で引抜試験を実施し、事前の必要定着力の検討が重要となる。

参考文献

- ・長尺切羽補強工技術資料第一回改訂版、GFRP切羽補強研究会、2009年4月p71.



写真-2 現場引抜試験状況



写真-3 試験後の供試体

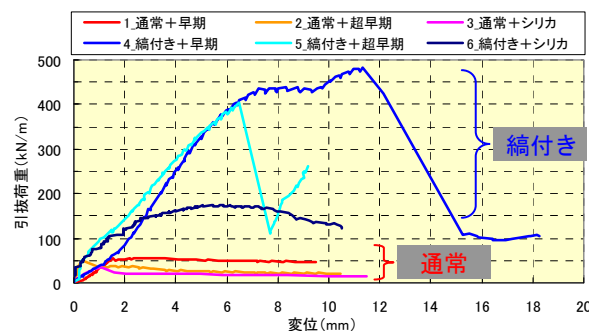


図-1 引抜試験結果

表-2 定着材にモルタルを用いた場合（頁岩地山）

	原位置試験 (kN/m)		室内試験 (kN/m)
	早期強度発現型 モルタル	超早期強度発現型 モルタル	
(参考)FITチューブ※	-	-	150
通常鋼管	48.5	46.5	50
縞付き鋼管	482.2	407.8	500以上
定着材			
圧縮強度(N/mm ²)	19.6(24時間)	12.4(3時間)	12(24時間)

表-3 定着材にシリカレジンを用いた場合
(強風化凝灰角礫岩)

	原位置試験 (kN/m)	室内試験 (kN/m)
(参考)FITチューブ※	-	75
通常鋼管	36	25
縞付き鋼管	175	130
定着材		4
圧縮強度(N/mm ²)	-	(発泡倍率 3倍)