高耐力鏡ボルトの支保効果に関する解析的検討

(株) 大林組 トンネル技術部 正会員 〇高橋 佳孝 木梨 秀雄

1. はじめに

未固結の土砂地山や大土かぶりの押出し性地山でトンネ ルを施工する際には、鏡面の押出しや切羽崩落など切羽の 不安定化が問題となる。このようなケースでは長尺鏡ボルトが 適用されており、心材には主に φ76~81mm・L=12m 程度の GFRP 管や鋼管が用いられている。これらの材料特性を表-1 に示す。引張り耐力に着目すると、素材部に比べて継手部耐 力が弱点となることがわかる。また、鋼管の定着耐力は、表面 が平滑なものでは GFRP 管に比べて劣るという特徴がある。

膨張性泥岩における GFRP 管長尺鏡ボルト(巻付け成形 品)の施工実績では、掘削に伴って 200mm を超える鏡の押 出しにより、継手部耐力の300kNを超える軸力がGFRP管に 発生し、継手部が破断した。

これらの課題を背景に新たに図-1の概要に示す高耐力で 高定着力の長尺鋼管鏡ボルト(以下、本工法)を開発した(図 -2)¹⁾。以下では、本工法の鏡面補強効果の優位性について 解析的に検証した結果を述べる。

	材質	引抜き成形品	STK400 (スリット付)	STK400 (スリット・窪み付)				
	継手部	本体にネジ加エ	本体にネジ加エ	接続部を補強				
	外径	ϕ 76m	ϕ 76. 3mm	φ 76. 3mm				
	管厚	t=8mm	t=4.2∼5.2mm	t=4.2mm				
	引張り耐力 (素材部)	800kN	235kN~ (スリット含む)	300kN (スリット含む)				
	引張り耐力 (継手部)	200kN	230kN~	300kN (継手部拡径)				
	定着耐力 [※]	130kN/m (表面溝加工)	50kN/m~	120kN/m				
	※定着耐力	は、定着材(プレミ	ックスモルタル)材	齢24hrでの値				
_	鋼管表面 /	面突起 切断部 (@1m ネジ継手@3m	∲ 76 t5.2 鋼管				
Ċ								
•		3m	3	m				
	350	図-1 新しい長		の概要 ★ <i>工法</i>				
	(¹ / _N) 200		<u>従来鋼管</u> (補強タイプ) RP管	385kN, 300kN/m				
	福150 乗100 50 0	⁻ - <u>従来</u> 		300kN, 				
	0	100	200	300 400				
凶−2 長尺鏡ホルト工法の材料特性比較								

表-1 既往の鏡ボルトの材料特性の比較

细管

GFRP管

2. 解析概要

長尺鏡ボルトの材料特性の違いや有無による補強効果の 影響を確認するため、図-3に示すモデルで有限差分解析プ ログラムFLAC3Dによる数値解析を3ケース実施した(表-2)。 なお、結果を明瞭にするためトンネルを円形とし、鏡ボルトを 全面に 1m ピッチで打設するものと設定した。



図-3 三次元解析モデル

解析に用いた物性値を表-3 に示す。地山およびトンネル 支保は DⅡ 級相当を想定し、ケース2の鏡ボルトは、採用実 績の多い GFRP(引抜き成形品)管製とした。本解析では、管 およびネジ継ぎ手部の引張り耐力と、引き抜き試験結果に基 づいた付着耐力を考慮した。軸力が増大し引張り耐力を超 えた場合は、その箇所の要素を削除して残る管が分断する よう模擬した。また、地山と管の付着は、せん断ばね Ks と付 着耐力 Sbond により弾・完全塑性型で模擬した。

解析ステップは、鏡ボルト(L=18m)打設後 1m の逐次掘削、 掘削直後に吹付けコンクリートおよび鋼製支保工設置、9m 掘進後鏡ボルト(L=18m)を再打設するステップとしている。

表−3 解析の入力値								
	単位重量 kN/m2		弾性係数 Mpa		ポアソン比			
地山	21.5		150		0.35			
	サイズ mm		弾性係数 kN/m ²		ポアソン比			
鋼製支保工	150 × 150		210×10^{6}		I			
吹付けコンクリート	t=200		4.0×10^{6}		0.2			
ボルト種別	サイズ mm	弹性係数 kN/m ²	断面積 m ²	引張り耐力 kN	付着耐力 kN/m			
本工法 鋼管	φ 76.3 t=5.2	210 × 10 ⁶	1.162×10^{-3}	385	300			
従来工法 GFRP	φ 76 t=8	250×10^{5}	1.708×10^{-3}	200	130			

キーワード 高耐力長尺鋼管鏡ボルト工法、継手部、支保効果、三次元数値解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟 ㈱大林組本社生産技術本部トンネレ技術部 TEL03-5769-1319

3. 解析結果

(1)押し出し変位量

9m 掘進時における解析ケースごとの鏡面押し出し変位量 を図-4 に示す。図はトンネルセンター縦断面での変位分布 を示している。ボルト無しの場合、最大 56.5mm の押し出しが 発生するのに対して、GFRP で最大 45.7mm(ボルト無し比 81%)、本工法で最大 35.5mm(ボルト無し比 63%)と押し出し 変位を効果的に抑制する結果となった。掘進に伴う断面中 心部の押し出し方向変位量の推移を図-5 に示す。切羽位置 が-8m 付近(変位量 13mm 程度)で鏡ボルト有無による押し 出し抑制効果が表れ、-2m 付近(変位量 30mm 程度)で鏡ボ ルトの種類による抑制効果が現れている。



(2)地山の限界せん断ひずみに対する安全率と局所安全率

9m 掘進時における解析ケースごとの地山の限界ひずみに 対する安全率および地山局所安全率を図-6 に示す。図はト ンネルセンター縦断面の分布を示している。限界せん断ひ



図-6 地山の限界せん断ひずみに対する安全率および局所安全率

ずみに対する安全率に着目すると、鏡ボルトが無い場合、3 以下の領域が切羽前方約3m、2以下で約1m分布するが、 鏡ボルトを打設することにより、切羽前方地山の安全率が向 上していることがわかる。また、地山の局所安全率では、鏡ボ ルトが無い場合、1以下の不安定領域が切羽前方約2m分 布するが、鏡ボルト打設により局所安全率が向上しているこ とがわかる。特に、本工法による鏡補強により、局所安全率 は1以上を確保できる結果となった。以上の結果より、本工 法による鏡補強を行うことによって、従来のGFRPに比べてさ らに切羽の安定性が向上することを確認した。

分布する結果となり、鏡ボルト継手部を高耐力化することにより、切羽の安定性がさらに向上していることがわかる。

(3)鏡ボルトの軸力

掘進に伴う断面中心部の鏡ボルト軸力分布の変化を図-7 に示す。GFRPに比べて鋼管の弾性係数が8.4倍と大きいた め、本工法のボルト発生軸力は大きくなっている。GFRPは 4m掘進時に最初の継手部破断が発生し、7m掘進時には2 箇所目の破断が発生している。それに対し、本工法では8m 掘進時に最初の継手部破断が発生するという結果となった。 破断後の鏡ボルト軸力に着目すると、破断した継手前後の 素管部で軸力は残っているが、破断箇所では、破断前に比 べて軸力が小さくなっていることがわかる。これらの結果から、 本工法ではボルト破断に伴う軸力低下を抑制することで、鏡 面押し出しに対する抑制効果が向上していると推察できる。



図-7 掘進に伴う鏡ボルトの軸カ分布

4. おわりに

本研究では、長尺鏡ボルトの有無、長尺鏡ボルトの材料特 性の違いによる支保効果について解析により検証した。その 結果、鏡ボルト打設によって切羽前方地山の安定性が向上 し、切羽面の押し出し変位を抑制する効果があることを確認 した。さらに、鏡ボルト継手部の高耐力化によりその効果はさ らに向上することが解析的に示された。今後は、鏡ボルト配 置パターンやさらに脆弱な地山条件の設定などケースを増 やして鏡ボルトの補強効果について検討する予定である。 参考文献

1) 高橋佳孝、木梨秀雄、西野俊諭、畑浩二、中岡健一:高耐力・高 定着力の長尺鏡ボルトの開発、トンネル工学報告集、第 20 巻、 pp.123~128、2010