

大変形・湧水条件下におけるロックボルトの施工方法に関する研究

大成建設株式会社 正会員 ○坂井 一雄 谷 卓也
株式会社ケーエフシー 正会員 井本 厚 岡部 正

1. はじめに

大きな土被りに起因して高い地圧が作用する山岳トンネルでは、掘削に伴って地山が大きく変形し支保の変状をきたす場合がある。アルプス周辺国では、このような大変形を伴うトンネルの支保構造の一つとして、可縮支保構造を採用するケースがある。可縮支保構造は、一定の変形抵抗性を有する部材を吹付けコンクリート中に複数介在させて、変形を適切に吸収しながら地山の変形に対し「柔」に追従しようとするものである¹⁾。可縮支保構造に使用可能なロックボルトとしては、山はねやスクイーピング地山へ対応するためのエネルギー吸収型ロックボルト (Energy-absorbing rockbolts) が、主に鉱山分野で研究開発されている (表1)²⁾。

エネルギー吸収型ロックボルトの多くは、大きなトンネル変形量に追従するために、ボルト先端に構造的な工夫を加えて、ボルトの伸び量や靱性を高めたものであり、エンドアンカーや多点アンカーとして分類される。基本的にはモルタル系やカプセル型樹脂系の定着材による先端もしくは全面定着式が用いられる。日本では、経済性や施工性の面からカプセル型樹脂系の定着材が利用されるケースが少ないため、D-Bolt などが利用できる可能性があるが、湧水条件下では定着材の流出が懸念される課題があった。そこで本研究では、可縮支保構造に対応し、かつ湧水条件下でも使う事のできる鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの施工方法を検討した。

2. 二段階注水方式の鋼管膨張型摩擦式ロックボルト

鋼管膨張型摩擦式ロックボルトは、穿孔した孔の中に先端を閉塞した鋼管を挿入した後、高水圧を注入して鋼管を膨張させることにより、瞬時に定着力を得るものである。一般的には、湧水の多い地山で定着材の流出が懸念される場合や打設後のできるだけ早い時期に支保性能を発揮したい場合に用いられている。しかし、スクイーピング地山のような大変形をきたす地山条件では、打設直後に部材耐力から決められている最大注水圧力まで加圧し鋼管を拡張すると、定着力が大きすぎて、特に掘削直後の大きな変形量に追従せず、プレートの変状や、場合によっては破断する恐れがある³⁾。そこで、掘削直後は、注水圧力を一定圧力に制御して、地山への定着力を抑制することで、トンネル壁面の挙動と共に、ある一定の引張抵抗を維持しながら、頭部のベアリングプレートを介してロックボルトを孔内でスライドさせることを考えた。切羽が進み吹付けコンクリートや鋼製支保工による支保効果と相まって変位が収束しつつある段階で再度注水加圧をして、孔壁への密着を確実化し、ロックボルト耐力まで支保効果を発揮させるものとした (図1)。この施工法を実現するために、注水装置に圧力切替機構を装備した。また、ベアリングプレートが変形すると、ナットの着脱ができない可能性があるため、ボルト頭部に貫通孔を設け

表1 エネルギー吸収型ロックボルトの既往製品

名称	製造会社	定着材	分類
Cone Bolt	Aveng Duraset	モルタル系 または カプセル型樹脂系	エンドアンカー
Durabar			
Garford Bolt	Garford UK	カプセル型樹脂系	
Roofex Bolt	Atlas Copco		
Yield-Lok Bolt	Jennmar	モルタル系 または カプセル型樹脂系	多点アンカー
D-Bolt	Normet		

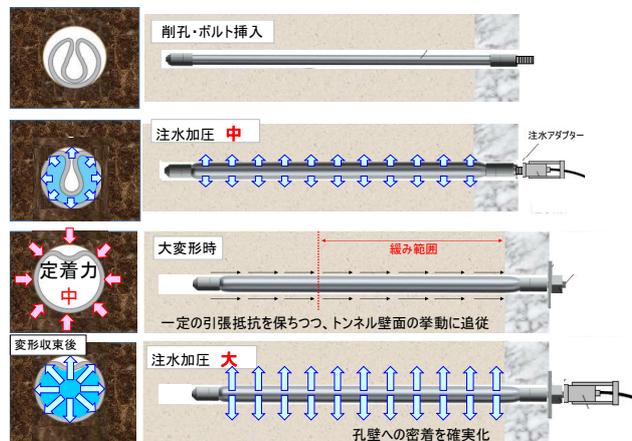


図1 二段階注水方式の鋼管膨張型摩擦式ロックボルト

キーワード 山岳トンネル 可縮支保構造 鋼管膨張型摩擦式ロックボルト

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町3-4-4 大成建設株式会社技術センター TEL: 045-814-7217

て、それらを装着したまま注水アダプターを取付けできるような改良を施した(図2)。既往のエネルギー吸収型ロックボルトは、部材の構造によって変形に対する追従量が決まっているが、本手法では現場で任意に再注水加圧のタイミングを決定できることが特徴である。また、母材は通常の鋼管膨張型摩擦式ロックボルトと同じであり、注水装置と頭部の改良に留めている事から本手法を用いて変形追従効果を持たせることによるコスト増はわずかである。

3. 室内引張試験

本施工法による変形追従性能を確認するために、鋼管を模擬ボーリング孔と見立てた室内ロックボルト引張試験を実施した。用いたロックボルトは長さ3mの引張耐力180kN(普通RPE)および長さ2mの引張耐力290kN(高耐力RPE)のロックボルトである。試験条件および試験概要図を表2と図3に示す。図4に試験結果として、一次注水圧条件と二次注水圧条件における引抜変位量と引抜荷重の関係を示す。一次注水圧条件では、両ボルト共に引張耐力以下でピーク荷重に到達する。その後、ある程度の荷重低下は見られるが、ロックボルトの頭部の変位に追従して概ね一定の引張抵抗を保ったままスライドしている事が確認された。引き続き実施した二次注水圧条件下では、一次注水圧条件よりも荷重勾配が大きく、引抜耐力まで荷重が到達した。このことから、孔壁への定着が確実化されていると考えられる。本引張試験により、注水圧を制御することで、降伏・破断せず変位に追従し、二段階で注水しても、引抜耐力までの支保効果を期待できることが確認された。

4. まとめと今後の課題

湧水条件下でも使用可能で、かつ大変形に追従することができる鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの施工方法を考案し、室内引張試験により性能を検証することができた。一方で、実際の地山におけるロックボルト孔は鋼管とは摩擦条件や直線性が異なるため、一次注水圧力は地山の剛性や強度に応じて、その都度設定する必要がある。今後、現場実証試験によって変位追従性能を検証するとともに、一次注水圧のキャリブレーション方法について検討したい。

参考文献

- 1) Moritz, B. et al. Yielding elements – requirements, overview and comparison, Geomechanics and Tunnelling, Vol.4, No.3 2004.
- 2) Li, C. C. et al. :A review on the performance of conventional and energy-absorbing rockbolts, Journal of Rock Mech. and Geotech. Eng., Vol.6, 2004.
- 3) 三浦豊 他：膨張性地山区間のトンネル掘削に伴い発生した変状とその対策，第62回施工体験発表会，2008

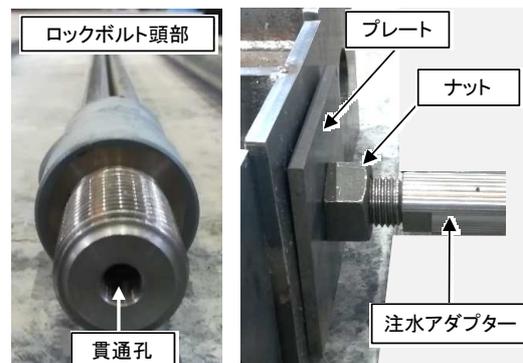


図2 ロックボルト頭部の改良点

表2 試験条件

使用材料	普通RPE	高耐力RPE
ボーリング孔模擬鋼管 内径	50.5mm	60mm
引抜耐力	180kN	290kN
長さ	3m	2m
一次注水圧	20MPa	27MPa
二次注水圧	25MPa	32MPa
引張速度	5mm/min	

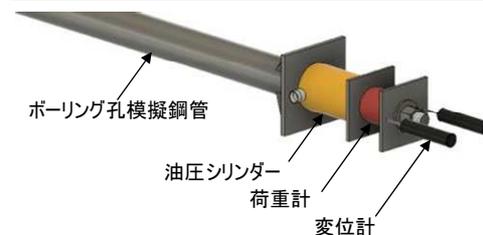


図3 試験概要図

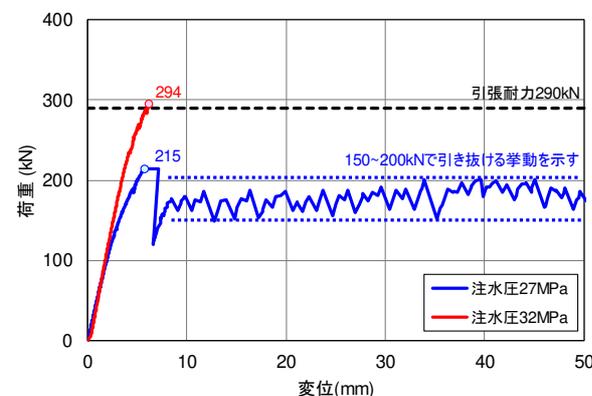
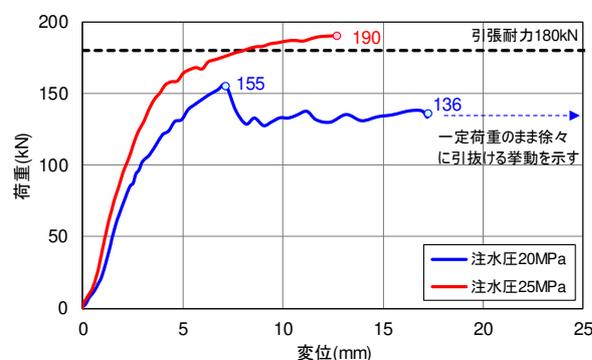


図4 引張試験結果(上:普通RPE、下:高耐力RPE)