

変形制御型ロックボルトの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○岩野圭太 岡田侑子 伊達健介 横田泰宏
(株)ケー・エフ・シー 正会員 井本 厚 岡部 正 田中祐介

1. はじめに

我が国では、大土被りによる高地圧や膨張性地山など大変形地山への対策として多重支保工の適用される場合が多い¹⁾。一方、海外のトンネルや鉱山では、地山変形に追従する考え方が導入され、変形追従型の支保工の適用事例も見られている²⁾。そこで、支保耐力超過、過剰変形等による再施工、工程遅延リスクに鑑み、変形追従型の支保工の適用性について検討を行っている。図-1に示すように変形追従はある程度の地山変形を許すことで高地圧下でも支保工にかかる作用圧を軽減する考え方であるが、バイリニアな支保変形挙動では、変形を助長するのみとなる。したがって同図に示すように、ある程度の変形を許しながらも全体変形量を制御できる変形制御型の支保工が必要であると考えており、このような性能を持つロックボルトを開発し、その性能評価を行った。

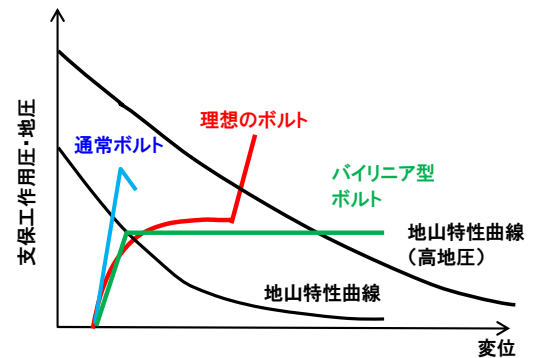


図-1 変形追従と地山特性曲線の概念

2. 変形制御型ロックボルトのコンセプト

これまでに実施した海外製ロックボルトの引抜き試験³⁾などから、ロックボルトの引抜き挙動のメカニズムを把握し、その知見に基づき新しい変形制御型ロックボルトを開発した(特許出願中)。変形に“追従”するだけではなく、変形を“制御”するロックボルトは、複雑な構造によるコスト高や煩雑な施工手順とならないように特殊な部材を使わずできる限りシンプルな構造とし、ネジ部とスリーブおよびリングで構成される。この変形制御型ロックボルトの荷重変位曲線は、図-2に示すように①初期載荷部、②変形追従部、③最終載荷部に分かれ、それぞれの挙動は①ネジ部のモルタル付着抵抗、②スリーブのモルタル内移動に伴う抵抗、③スリーブがリングに当たった後のリングの抵抗が担う(図-3)。また、変形追従部の荷重レベルはモルタルの強度で調整することができる。したがって、荷重—変位曲線は、ネジ部の長さ(=初期載荷部の最大荷重)、スリーブとリングの間の距離(=変形追従部の変位区間長)、モルタル強度(=変形追従部の荷重レベル)によりその変形特性を任意に調整することができる。

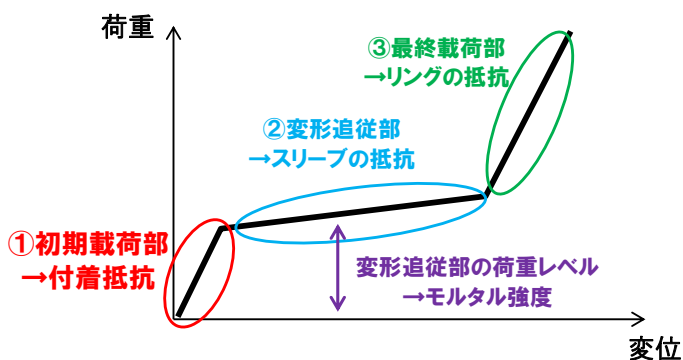


図-2 変形制御型ロックボルトの荷重—変位曲線概念図

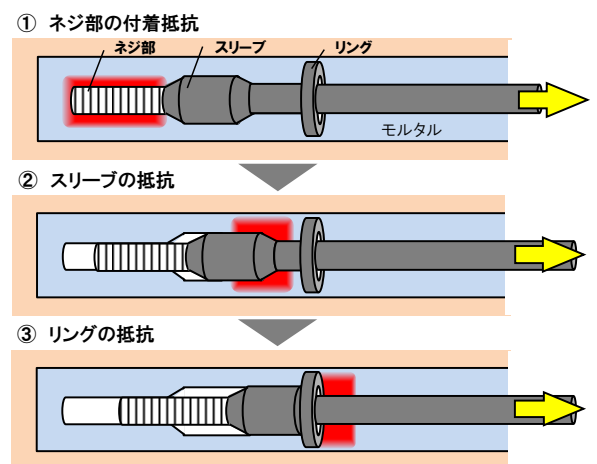


図-3 各ステップのロックボルトの作用荷重

キーワード 山岳トンネル、大変形、ロックボルト、引抜き試験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6593

3. 試験概要

実際にこの変形制御型ロックボルトを製作し、室内試験（引抜き試験）を行った。表-1に試験ケースを示す。試験は、リングなし、円形リング、切欠きリングの3本について実施した。切欠きリングは実施工におけるボルトの後挿入時のリング周辺のモルタル充填性を考慮したものである。载荷装置等の都合からボルト長は定着長で50 cmとし、モルタル強度は18時間養生で一軸圧縮強度10MPaとなるように調整した。また、スリーブとリングの間を3 cm（＝スリーブ移動量）とし、事前の全ネジボルトの引抜き試験からネジ部の長さを15 cmに設定した。試験は载荷荷重が180kNまたは変位が80mmに到達するいずれかの早い条件で試験を終了した。図-4に変形制御型ロックボルト、図-5に室内引抜き試験の状況を示す。

表-1 試験ケース

供試体	ボルト長	スリーブ	リング	ねじ切り長	モルタル強度
1本目	全長75cm (定着長50cm)	あり	なし	スリーブ 後方15cm	10MPa
2本目			円形リング（スリーブ手前3cm）		
3本目			切欠きリング（スリーブ手前3cm）		

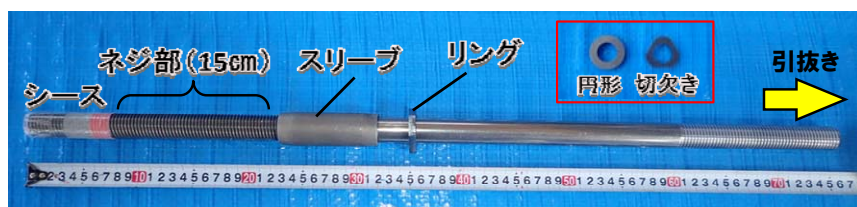


図-4 変形制御型ロックボルト



図-5 引抜き試験状況

4. 試験結果

引抜き試験の結果（荷重—変位曲線）を図-6に示す。いずれのケースも初期荷重として70～80kN程度を示した後、変形追従部に移行している。その後1本目（リングなし）は少しずつ荷重が上昇しつつ変位追従部が継続していくが、2、3本目は変位30 mm付近から最終変位部に移行していることが分かる。また、切欠きリング（3本目）は、やや最終変位部の移行が遅いものの、ほぼ円形リング（2本目）と同等の挙動を示すことが分かった。試験終了後、地山を模擬した半割れ鋼管を外し解体した供試体（2本目）を図-7に示す。初期荷重部におけるネジ部の付着切れ後、ネジ部は想定どおり抵抗となっていないこと、その後スリーブがモルタルを押し潰しながら移動し、同部分のモルタルが圧密で水分が絞り出され、最終的にリングに当たっている状況が確認できた。

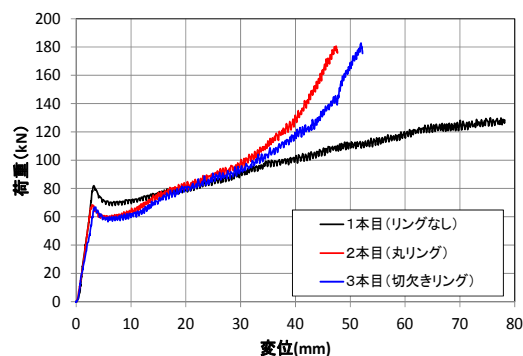


図-6 荷重—変位曲線



図-7 試験後の供試体状況

5. まとめ

荷重—変位曲線の形を任意に調整可能な“変形制御型”ロックボルトを開発し、室内引抜き試験にて変形挙動を確認した。このロックボルトはその特性から、トンネルのパターンボルトだけでなく、フェイスボルトやインバート対策等、適用範囲拡張も可能であると考えられる。今後は現場試験にて施工性を確認し、実適用につなげていく予定である。

参考文献

- 1) Kovari, Design Methods with Yielding Support in Squeezing and Swelling Rocks, World Tunnel Congress(2009)
- 2) 北川修三, 多重支保工法は有力な膨張性地山対策, トンネルと地下, 第34巻, 2号, pp55-65 (2003)
- 3) 岩野圭太, 変形追従型ロックボルトの引抜きメカニズムに関する検討, 第71回土木学会年次講演会, pp893-894(2016)