

現場試験と数値解析による変位制御型ロックボルトの性能評価

鹿島建設(株) 正会員 ○黒川紗季 宮石雅子 横田泰宏 伊達健介 岩野圭太 岡田侑子
ナンヤン工科大学 Zhao Zhiye Nie Wen

1. はじめに

高地圧に伴う押し出し性地山や膨張性地山への対策として、地山の変位に追従するが、ある一定の変位に達すると変位を抑制する、新しい変位制御型ロックボルトの開発に取り組んできた。これまでに、変位制御型ロックボルトの構造を考案し、ボーリング孔を模擬した鋼管を用いた室内試験を実施し、本ボルトがトリリニアな挙動を示すことを確認している。今回、変位制御型ロックボルトの原位置での引抜挙動の確認を目的として、現場引抜試験を実施した。また、変位制御型ロックボルトによるトンネル掘削時の補強効果を検証するため、トンネル掘削シミュレーションを行ったのでここに報告する。

2. 現場引抜試験

図-1に示すように、開発したボルトはネジ部、アンカー部、リング部から構成され、このうちアンカーとリングの距離を調整することで、任意の変位制御量を与えることができる(図-2)。今回の現場試験では全長3000mmに対し、変位制御量を100mmに設定した変位制御型ロックボルトを製作した(写真-1)。ボーリング孔径は $\phi 51\text{mm}$ 、削孔長は3100mmとした。また、本ボルトを有効に機能させるための強度抑制型モルタル²⁾は全て粉体でプレミックスされており、所定の強度を発現させるためフロー値管理のもと(目標: $165\text{mm} \pm 5\text{mm}$) MAIポンプで練り混ぜた。

引抜試験結果を図-3に示す。はじめにネジ部の付着強度による初期抵抗区間(図中、①区間)がみられ、付着切れとともに引抜荷重がわずかに低下し、変位制御区間(図中、②区間)に移行した。この変位制御区間では約100mmの変位が発生し、設定した変位制御量と整合する結果が得られた。その後、再度引抜荷重が上昇して最終抵抗区間(図中、③区間)への移行が確認でき、想定するトリリニアカーブを再現することができた。

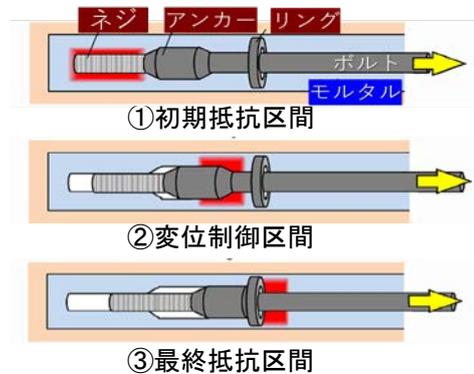


図-1 変位制御型ロックボルトの構造メカニズム

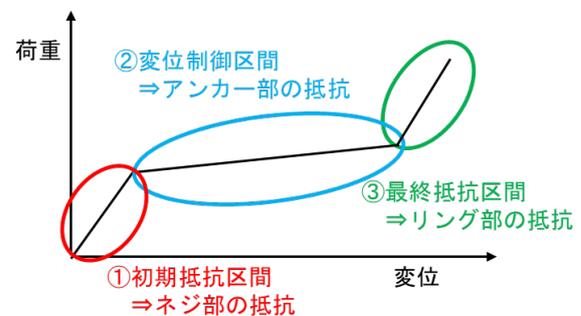


図-2 変位制御型ロックボルトの引抜挙動概念図

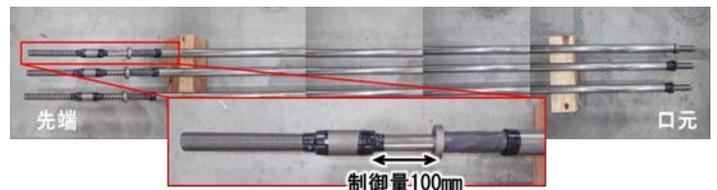


写真-1 原位置引抜試験に用いた変位制御型ロックボルト

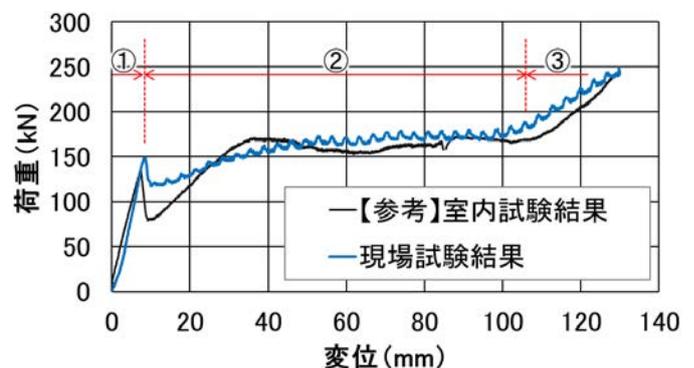


図-3 原位置引抜試験結果(荷重-変位曲線)

キーワード: ロックボルト, 原位置引抜試験, トンネル, 大変位, DDA

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2丁目19-1 鹿島建設(株)鹿島技術研究所 TEL 042-489-8253

3. トンネル掘削シミュレーションによる変位制御型ロックボルトの優位性検証

原位置引抜試験により変位制御型ロックボルトの支保要素単体としての性能が確認できたことから、大変形が生じるトンネル掘削時における従来型ロックボルトに対する優位性を検証するため、二次元 DDA トンネル掘削シミュレーションを行った(表-1, 図-4)。なお、これまでに二次元 DDA 掘削シミュレーション向けに変位制御型ロックボルト要素を開発し、引抜試験結果を再現できるボルト要素であることを確認している³⁾。図-5は、掘削シミュレーションにより得られたトンネル周辺の主応力分布図、ロックボルトのせん断力分布図および軸力分布図である。変位制御型ロックボルトに生じたせん断力は、アンカー位置の先端部のみで抵抗しており、その結果、軸力分布はボルト全体に渡って一定値を示している。これは、先端抵抗型ロックボルトの典型的な挙動であり、妥当な結果であると考えられる。また、掘削で生じた大変形により、全面定着型の従来ロックボルトが3本破断したことにに対し、変位制御型ロックボルトは同じ地山条件にも関わらず、掘削後も破断せず支保荷重を負担していることが確認された。ロックボルトの破断を防止できたことにより、最終的な変位量は従来ロックボルトを用いたケースと比べて最大9%程度低減した。この変位量の低減効果は、地盤条件やロックボルト以外の支保条件によって増減することが予想されるが、大変形が生じるトンネルを対象とした本シミュレーションで、新しい変位制御型ロックボルトの従来ロックボルトに対する優位性を示すことができた。

4. おわりに

これまでに開発を進めてきた変位制御型ロックボルトの支保要素単体での性能を原位置引抜試験により確認することができた。また、大変形が生じるトンネル掘削シミュレーションにより、変位制御型ロックボルトの従来ロックボルトに対する優位性を示すことも確認できた。今後は異なる条件下での原位置引抜試験や試験施工を重ね検証を進めるとともに、安全かつ効率的な掘削を実現するために、大土被りトンネルや膨張性地山での実施工に活用されていくことが期待される。

表-1 トンネル掘削シミュレーションに用いた地盤物性値

項目	物性	値	項目	物性	値	項目	物性	値
岩盤	比重	2.6	亀裂	内部摩擦角(°)	30	亀裂	粘着力(MPa)	2
	ポアソン比	0.2	ジョイントセット1	傾斜角(°)	60	ジョイントセット2	傾斜角(°)	-30
	弾性係数(GPa)	50		亀裂間隔(m)	8		亀裂間隔(m)	4

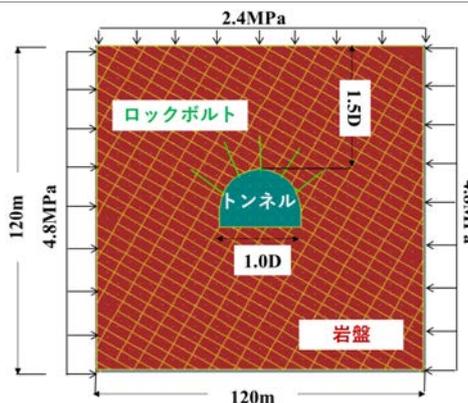


図-4 二次元トンネル掘削モデル

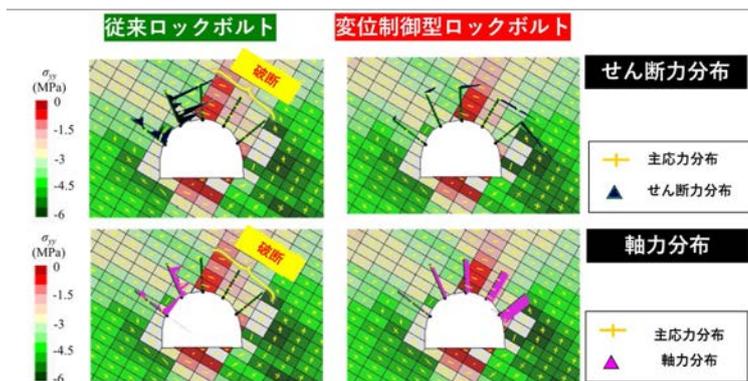


図-5 掘削解析結果：主応力分布，せん断力分布，軸力分布

参考文献

- 1) 横田泰宏, 伊達健介, 岩野圭太, 岡田侑子, 黒川紗季, 宮石雅子, Zhao Zhiye, Nie Wen: 不連続体解析による変位制御型ロックボルトの補強メカニズム, 土木学会第76回年次学術講演集, 2021.
- 2) 黒川紗季, 小泉悠, 岡田侑子, 松本修治, 田中祐介, 古城誠: 変形制御型ロックボルトに適した強度抑制型モルタルの開発, 第29回トンネル工学研究発表会, 29巻, I-43, 2019.
- 3) Yokota et al.; Development of a new deformation-controlled rock bolt: numerical modelling and laboratory verification. Tunnelling and Underground Space Technology 98, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103305>.