

# ロックボルトの健全性がトンネルの構造安定性に及ぼす影響について

宇都宮大学 学生会員 ○猪俣 昌哉  
 宇都宮大学大学院 学生会員 多田 海成  
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

## 1. はじめに

NATM 工法の支保に代表されるロックボルトは、トンネルの掘削に伴い発生する応力再配分、地山の挙動に対して周辺地山と一体となって作用し、地山が保有する支保機能を積極的に活用し、トンネル及び周辺地山の安定を図れるものでなければならないとされている。しかし、近年、トンネル構造物は施工後 60 年以上を経つものが増えてきており、維持管理が重要視されてきている<sup>1)</sup>。

## 2. 研究目的

近年トンネルは施工後 60 年以上を経過したものが増えてきており、維持管理が重要視されてきている。目視できる吹き付けコンクリートは維持管理がしやすいが、地山の中にあるロックボルトは目視できない分、維持管理が難しい。本研究ではトンネルの地震時の挙動を簡易モデルで再現し、安全性を確認することを目的として、有限差分法による解析ソフト FLAC3D (Itasca 社) により、ロックボルトの強度に着目して、地震時のトンネルの挙動に関する検討を行う。解析結果から維持管理手法の検討を行うのだが、本報文では、ロックボルトの強度に着目したトンネルの変位について述べる。

## 3. 解析方法

本解析で用いた解析モデルは図-1 に示すように 100 m × 200 m × 100 m の領域を与える。これは、既往の研究<sup>2)</sup>の甲南トンネルを参考にし、Mohr-Coulomb の弾完全塑性破壊規準に従うものとした。トンネル部分は幅 15 m、高さ 10 m のアーチ型構造とする。トンネル部分は、厚さ 20 cm の吹き付けコンクリートを用い、掘削方向に対し 1 m 毎の全断面掘削とした。今回の解析で用いた物性値は、表-1~3 に示す通りである。ここで、本研究は、ある程度年月が経ったトンネル(経過時間約 45 年)に対してロックボルトの健全性がトンネルに及ぼす影響を調べるため天端の最終変位を 30 mm 程度にする。そのため、それぞれの物性値<sup>2),3)</sup>を、健全な状態から 1/4 に低下させた値で解析を実施した。そして、ロックボルトの劣化を想定し、その工学的な性能を低下した結果が、トンネルの健全性に与える影響について検討する。本研究では、ロックボルトに対して、引張降伏応力とグラウトの剛性、付着力に着目する。Y 軸正方向をトンネル掘削方向とし、Y 軸における中心を Y=0 の座標とする。図-1 における緑の部分をつトンネル掘削部分とし、トンネル掘削部分の Y=0 地点の断面のロックボルトが劣化していくことを想定し、以下のように変化を与え、掘削解析を行う。ロックボルトの劣化パターンを表-4 に示す。ここで、ロックボルトの

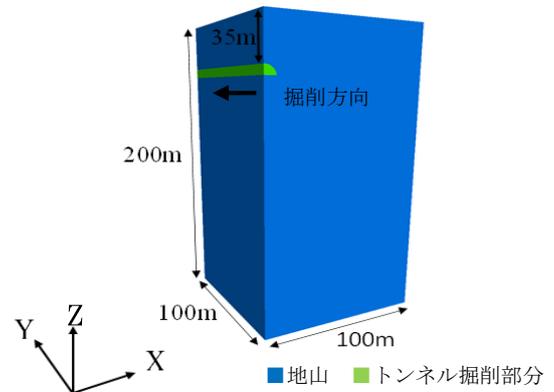


図-1 解析モデル

表-1 地山の物性値<sup>2)</sup>

体積弾性係数 $K$ (MPa)	$4 \times 10^2$
せん断弾性係数 $G$ (MPa)	$1.5 \times 10^2$
粘着力 $C$ (MPa)	$5 \times 10^{-2}$
内部摩擦角 $\phi$ (°)	20
引張強度 $\sigma_t$ (MPa)	$5 \times 10^{-3}$
ダイレーション角 $\psi$ (°)	3
密度 $\rho_t$ (kg/m <sup>3</sup> )	2200

表-2 吹き付けコンクリートの物性値<sup>2)</sup>

ヤング率 $E$ (MPa)	$1.6 \times 10^4$	t=200mm
ポアソン比	0.4	$\sigma_{28}=36\text{N/mm}^2$

表-3 ロックボルトの物性値<sup>2)</sup>

ヤング率 $E$ (MPa)	$2.1 \times 10^5$
グラウトの剛性 $k_g$ (N/m <sup>2</sup> )	$4.3 \times 10^8$
グラウトの粘着力 $c_g$ (N/m <sup>2</sup> )	$1.5 \times 10^5$

劣化パターンは地下水によるロックボルトの錆、グラウトの粘着力低下、ロックボルトナットのゆるみなど様々な原因が考えられる<sup>4),5)</sup>。しかし、本研究ではどの程度ロックボルトの健全性が低下するとトンネルに影響があるか分かりやすくするため、与える物性値のヤング係数、グラウトの剛性、粘着力全てを 1/2 ずつ劣化させていく。

## 4. 解析結果

掘削解析のトンネル掘削方向に対する天端最終変位を図-2 に、ケースごとのトンネル掘削方向中心部の天端最終変位を図-3 に、ケース 1 とケース 12 の地山の塑性状況を図-4 に示す。図-2 はトンネル掘削方向中心を 0 とし、掘削方向を正とする Y 軸をとる。掘削解析の解析結果より、ケース 7~ケース 12 までの天端最終変位がほぼ同じになった。

キーワード ロックボルト トンネル 構造安定性

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学陽東キャンパス 10 号館 6 階岩盤工学研究室

E-mail : t112804@cc.utsunomiya-u.ac.jp Tel : 028-689-6218

5. 考察

本研究で行った、ロックボルト自体、グラウトの剛性、粘着力全ての健全性が低下すると、その部分の天端変位が増える傾向にある。また、掘削解析でケース7~ケース12までの天端最終変位がほぼ同じだったことから、ロックボルトの健全性がケース7辺りの段階まで低下するとその部分のロックボルトが無いことと同様と言え、本解析で用いた解析モデルは、天端変位が25mmよりも大きくなるとロックボルトが支保工として効いていない状態である。地山の塑性状況を見ると、ロックボルトの健全性を低下させたトンネル掘削方向中心部のせん断降伏の塑性域が増えている。また、トンネル掘削方向中心部の天端の沈下量が増加することにより、天端に引張による塑性域が広がっている。これより、一部の断面のロックボルト自体、グラウトの剛性、粘着性が全て低下すると、その部分の天端がたわむことにより、天端沈下量と地山に作用するせん断応力による塑性域が広がり、周辺の天端は、ロックボルトが劣化した断面のたわみにより引張られ、引張による塑性域が広がることが推測される。

6. まとめと今後の課題

本研究ではトンネルロックボルトの維持管理手法の検討のために、ロックボルトの引張降伏応力とグラウトの剛性、粘着力に着目してトンネルの影響を掘削解析の結果に基づいて検討した。研究結果からロックボルトの健全性が低下するに従い、その部分のトンネルの天端変位量、地山のせん断による塑性域が拡大、ロックボルトの健全性が低下した天端周辺では引張による塑性域が広がるという傾向が見られた。しかし本研究では、ロックボルトの影響をわかりやすくするため、トンネルの閉門部、鋼製支保工を考慮していない。これらを考慮することにより本研究のモデルは更に安全となるため、これらを考慮する必要がある。

また今後の課題として、本研究で行った掘削解析の結果に対し地震応答解析を行い、ロックボルトの健全性が低下した断面、天端にどのような影響があるかの解析、軟弱地盤部分のロックボルトの健全性が低下し、そこに地震波を与えたらロックボルトの健全性が低下したトンネル断面への影響を確認するための解析を行い、解析結果をもとに維持管理手法を検討する。

表-4 ロックボルトの劣化パターン

	ヤング率E (Pa)	グラウトの剛性 $k_g$ (N/m <sup>2</sup> )	グラウトの粘着力 $c_g$ (N/m <sup>2</sup> )
ケース1	$21 \times 10^{10}$	$43 \times 10^7$	$15 \times 10^4$
ケース2	$10.5 \times 10^{10}$	$21.5 \times 10^7$	$7.5 \times 10^4$
ケース3	$52.5 \times 10^9$	$10.8 \times 10^7$	$3.75 \times 10^4$
ケース4	$26.3 \times 10^9$	$5.38 \times 10^7$	$1.88 \times 10^4$
ケース5	$13.1 \times 10^9$	$2.69 \times 10^7$	$9.38 \times 10^3$
ケース6	$65.6 \times 10^8$	$1.34 \times 10^7$	$4.69 \times 10^3$
ケース7	$32.8 \times 10^8$	$6.72 \times 10^6$	$2.34 \times 10^3$
ケース8	$16.4 \times 10^8$	$3.36 \times 10^6$	$1.17 \times 10^3$
ケース9	$8.2 \times 10^8$	$1.68 \times 10^6$	$5.86 \times 10^2$
ケース10	$4.1 \times 10^8$	$8.4 \times 10^5$	$2.93 \times 10^2$
ケース11	$2.05 \times 10^8$	$4.2 \times 10^5$	$1.46 \times 10^2$
ケース12	0	0	0

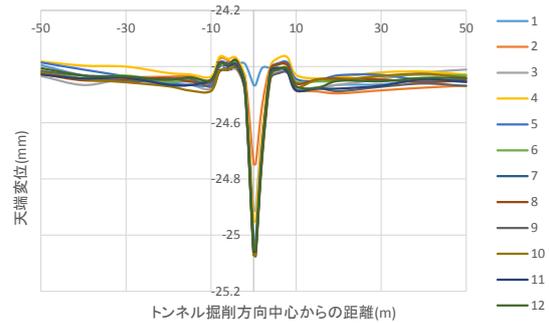


図-2 トンネル掘削方向に対する天端最終変位

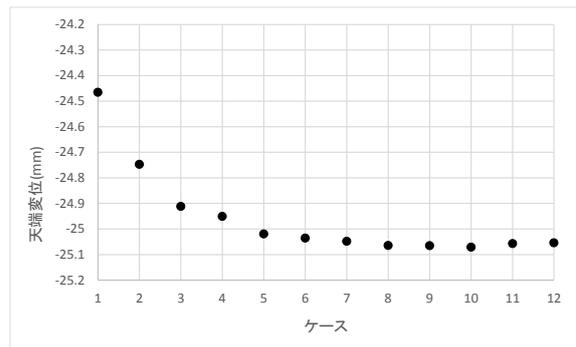


図-3 ケースごとトンネル掘削方向中心部天端最終変位

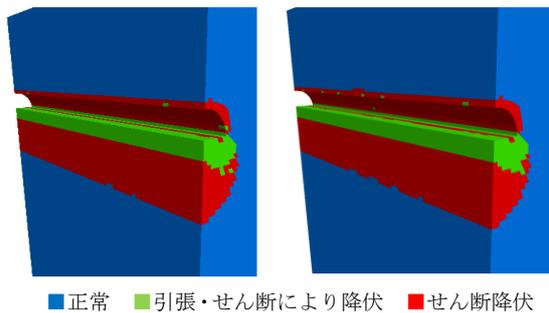


図-4 トンネル構造の塑性状況

参考文献

1. 藤原紀夫, 山下幸夫: 有限要素法による岩盤用粘弾塑性解析, 大林技術研究所報, No.26 1983年出版.
2. 谷卓也, 青木智幸, 上田孝行, 内田 渉, 梁川 俊晃: 大断面トンネル施工時の切羽安定対策の検討, 大成建設技術センター報, 第37号, P28-1~28-8, 2004.
3. トンネルの変状メカニズム: 土木学会岩盤力学委員会トンネル変状メカニズム研究小委員会編, 土木学会, 2003.
4. アイダゲンオメル, 金原俊也, 上原史洋, 川本眺万: ロックボルト・ロックアンカーの維持管理及び劣化に対する非破壊試験法の解析的検討 第35回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 (社)土木学会 2006年1月 論文番号68
5. 株式会社 斜面对策研究所.  
URL: <http://www.shamen-taisaku.com/> 2015年1月 確認