

ロックボルト長さがトンネルの補強効果に与える影響

鉄道総合技術研究所 正会員 ○大原 勇, 嶋本 敬介, 野城 一栄

1. はじめに

山岳トンネルは地質などの条件によっては供用後に地圧の作用により変形することがあり、補強工を施工する場合がある。対策工の一つとしてロックボルトがあり、現場で活用されているが、ロックボルトの長さおよび本数についてはボーリング調査や室内試験の結果を勘案して経験的に設計している現状がある。本研究では数値解析を用いて、ロックボルトの長さが補強効果に与える影響およびロックボルト長さの簡易的な決定法について検討した。

2. 解析手法

本研究では解析手法として、地山～トンネル系をモデル化した3次元有限差分法（FLAC3D）を用いた。トンネルには新幹線トンネルと単線トンネルを設定し、断面の巻厚、寸法等はそれぞれの断面における一般的な値とした。地圧によるトンネルの変形を想定しているため地山は軟岩とし、Mohr-Coulombの破壊基準に従う弾完全塑性体としてモデル化した。地山の物性値は一軸圧縮強度を2MPaとし、他の物性値は、軟岩における一軸圧縮強度と各種物性値の相関関係¹⁾³⁾を参考にして設定した。覆工コンクリートはMohr-Coulombの破壊基準に従う弾完全塑性体としてモデル化し、引張破壊による軟化についても考慮した。トンネル完成後の変形を表現するために、地山のせん断強さを5ステップに分けて、地山の破壊接近度に応じて、初期値の40%まで指数関数で低下させた（地山劣化法⁴⁾）。

3. 解析ケース

パラメータとして構造条件（断面/インバート有無）、地山条件（変形モード）、対策工条件（ロックボルト有無、長さL=1～8m）を設定し、これらを組み合わせて、塑性圧・新幹線で6ケース、塑性圧・単線で5ケース、盤ぶくれ・新幹線で7ケースの解析を行った。ここで、塑性圧モードでは側圧係数を1.0、盤ぶくれモードでは1.2とすることにより、変形モードの違いを表現した。紙面の都合上、本稿では主に盤ぶくれ・新幹線について扱う（特に記載がない図は盤ぶくれ・新幹線である）。図1に解析ケースの模式図を示す。

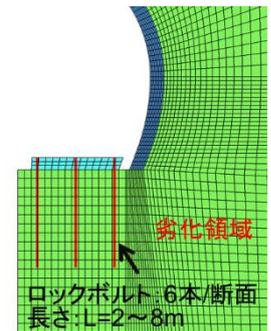


図1 解析ケースの模式図

4. 解析結果

図2に解析ステップ～変位の関係の一例を示す。地山の強度低下に伴い変形量が増加している。また、ロックボルトによる盤ぶくれの抑制効果も確認でき、ロックボルトが長いほど抑制効果が大きいことも確認できる。図3に解析ステップ～地山の塑性領域の関係を

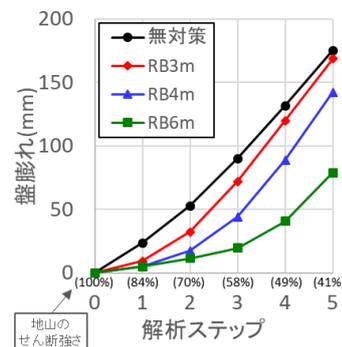


図2 解析ステップ～変位の関係

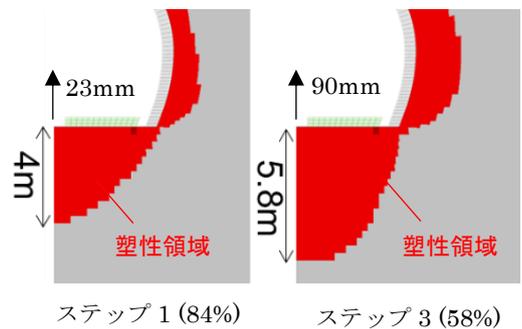


図3 解析ステップ～塑性領域の関係（無対策）

を示す。ステップの進行に伴い塑性領域が拡大していることが分かる。これにより図2のようなトンネルの変形が発生する。

ここで、対策工の効果の指標として変位速度比を定義する。変位速度比とは、対策工なしの解析ケースにおける盤ぶくれ量が25mm程度の時のステップに注目して、そのステップにおける対策工ありの盤ぶくれ量

キーワード トンネル, ロックボルト, 数値解析, 地山劣化法, 維持管理

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 トンネル研究室 TEL 042-573-7266

(図4のB)を対策工なしの盤ぶくれ量(図4のA)で除したもの(B/A)であり、変位速度比が小さいほど対策工の効果が大きいことを意味する。なお25mmとは、変状対策の必要性の検討が求められる変形量と仮定して設定している。ロックボルト長さ～変位速度比の関係を図5に示す。ロックボルトが長くなるほど変位速度比が小さくなる(ロックボルトの効果が高まる)が、ある長さを超えると頭打ちになることが分かる。

図6に塑性領域図・軸力図の一例を示す。これより、軸力は主に地山の塑性領域で生じることが分かる。また、塑性領域より深くロックボルトを打ってもあまり効果が大きくなることが予想される。これが、図5で見られたロックボルト長さの頭打ち現象の原因であると考えられる。

図7に塑性領域の厚さ、ロックボルトの長さ、ロックボルトが十分な長さであるかどうかの関係をまとめる。なお、十分かどうかは、変位速度比が頭打ちしているかによって判定した(図5)。塑性領域の厚さは図3の塑性領域図から判読した。図7より、ロックボルトが保有する全ての能力を発揮するにあたっては、塑性領域よりロックボルトの長さが長い必要があることが分かる。

ここで、劣化後の地山の塑性領域の大きさはロックボルト補強工の有無にあまり影響を受けなため、無補強の場合の塑性領域により決定すればよい。図2、図3で示した塑性領域の大きさとトンネル変形量との関係に図7を組み合わせると、トンネルの変形量～必要な最小ロックボルト長さの目安の関係(図8)が分かる。図8より、これまでに生じた概略のトンネルの変形量から必要なロックボルト長さを求めることができる。

5. おわりに

地山～トンネル系をモデル化した3次元有限差分法により、ロックボルト長さが補強効果に与える影響について検討した。その結果、ロックボルトの補強効果を最大化するためには塑性領域よりロックボルト長さが長い必要があることを明らかにした。また、変形量～塑性領域の関係を明らかにし、変形量からロックボルト必要長を算定できる簡易図を作成した。

参考文献

- 1) アイダンオメール他：スクィーピング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について，土木学会論文集，No.448/III-19，pp.73-82，1992。
- 2) 赤木知之他：スクィーピング地山におけるトンネル壁面変位の予測と支保の設計，第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.719-724，1994。
- 3) 蔣宇静他：地山特性曲線に影響を及ぼす要因の定量的分析，第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.767-772，1994。
- 4) 嶋本敬介他：建設時の影響を考慮した山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.69，No.2，pp.105-120，2013。

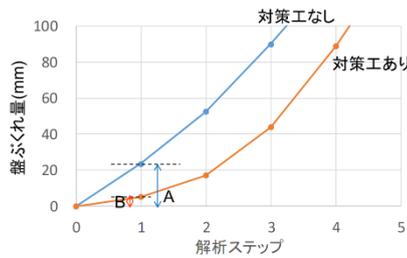


図4 変位速度比の定義

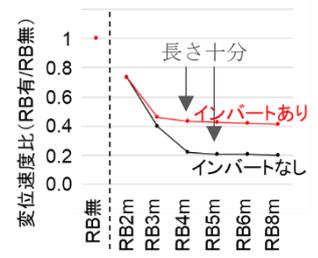


図5 変位速度比の比較

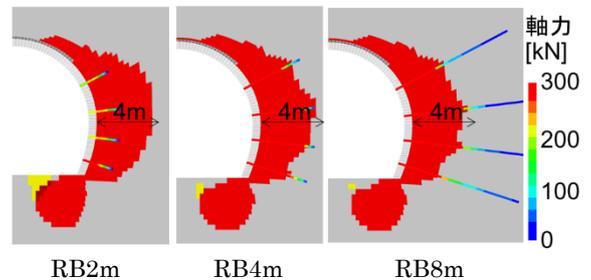


図6 塑性領域図・軸力図の例

(塑性圧・新幹線，解析ステップ5)

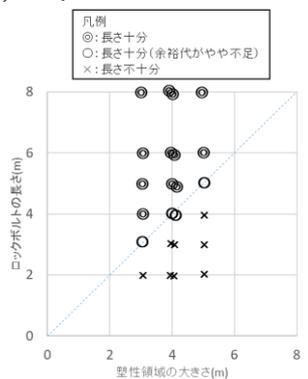


図7 ロックボルト長さの評価

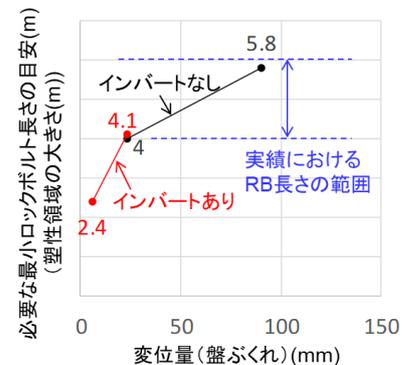


図8 変形量～必要な最小RB長の目安