

大断面トンネルにおける支保効果の評価手法

大成建設（株）

正会員 ○伊藤 文雄 柴田 勝実

日本道路公団試験研究所

正会員 赤木 渉

東京大学工学部

正会員 堀井 秀之

1. はじめに

現在トンネルで用いられる標準支保パターンは、切羽観察に従って地山等級ごとに経験的かつ包括的に決定されるものであり、局所的な地山条件に起因する変状や崩落に対して必ずしも対応していない。このため設計時、設計変更時に岩塊崩落に対する安全性を確保することが必要であり、採用された支保が持つ安全性の評価手法を確立することが望まれる。そこで、著者らは、トンネルの限界状態としてブロック状の崩落を仮定し、岩塊崩落に対する支保の安全率を定量化する手法を検討している。本稿では、大断面トンネルに対する評価手法の概要について報告する。

2. 岩塊崩落の評価手法

岩塊崩落は不連続面等に起因する破壊モードで、岩盤が限界状態に達した時に生じる。これを定量的に評価する場合、岩塊崩落時の掘削解放率（破壊解放率と呼ぶ）を指標として用いることができる¹⁾。ここで掘削解放率とは、初期地圧状態の岩盤を掘削する場合に解放される応力を基準とし、実際解析で解放する応力を基準に対する百分率で表示したものである。支保の設置を行わない地山自身の限界状態を評価する場合には、破壊解放率を解析により求め、地山の岩塊崩落に対する安全率を式（1）で評価する。このとき、初期応力、不連続面の C、φ や岩塊の大きさ、トンネルに対する岩塊の位置が結果を左右するため、地山等級に応じたパラメータスタディを行い、最も低い安全率を抽出することが必要である。

ロックボルトの支保効果を評価するためには、不連続面でのロックボルトの補強効果を再現する必要がある。個別要素法解析コード UDEC (ver3.01)²⁾ のロックボルトモデルの1つである Reinforcement モデル（図2）は、ロックボルトをせん断ばねと垂直ばねで表現するもので、線要素では表現しにくい不連続面でのせん断方向の補強効果をモデル化している。このモデルを用いた地山補強は、不連続面とロックボルトの交差部のみをモデル化しているため、不連続面の付着強度を向上させたことと同義となる。従ってロックボルトで補強し、図2 ロックボルトモデル図破壊解放率から安全率を求める場合も、式（1）で評価することができる¹⁾。

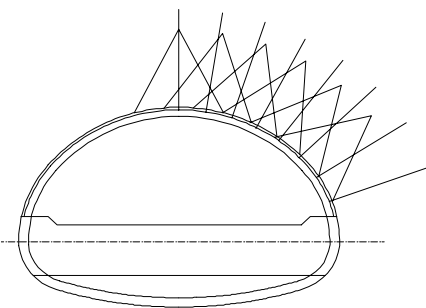


図1 大断面トンネルと岩塊のモデル化

$$\text{安全率} = \frac{\text{破壊解放率}}{\text{掘削解放率}100\%} \quad (1)$$

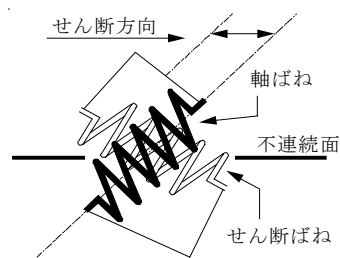


図2 ロックボルトモデル図

3. 吹付けコンクリートの評価手法

$$\text{安全率} = \frac{\text{破壊解放率}}{\text{掘削解放率}100\% - \text{支保分担率} (= \text{地山分担率})} \quad (2)$$

吹付けコンクリートの支保効果を評価するため、支保内圧に換算して評価する手法について述べる。式（2）に安全率の評価式を示す。破壊解放率とは2.に記述した、無支保、またはロックボルトを設置した場合の岩塊が崩落する掘削解放率である。この分子に対して、初期応力から吹付けコンクリートの分担する応力分担分を減じて分母としたものを安全率と定義した。この関係を図3に示す地山応答曲線を用いて説明する。地山の応力-変位関係と吹付けコンクリートの応力-変位関係の交点が地山と支保の応力分担の釣り合う点となり、支保分担率と地山分担率を決定することができる。こ

キーワード 不連続面、崩落、支保内圧、掘削解放率、UDEC

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設（株） TEL03-5381-5133 FAX03-5381-5295

の考え方は、吹付けコンクリートとの合成梁として取扱うことにより鋼アーチ支保工にも適用できる。

4. 支保評価例

日本道路公団の三車線トンネルの標準支保パターンについて評価した例を示す。図4に各支保の断面、支保、また岩塊の配置について示す。地山は弾性体とし、弾性係数はB, CI, CII, Dでそれぞれ5000, 2000, 1000, 500MPaとした。土被りは58m, 側圧係数は0.5とした。不連続面は弾塑性モデルを採用し, B, CI, CII, については $C=0\text{MPa}$, $\phi=20$ および 30° のケースについて, Dについては $\phi=10^\circ$ の場合も加えて検討を行った。岩塊は三角形で、底辺と高さの比を1:1とし、その高さはB地山で8m, C地山で5m, D地山で2mとした。これは、C地山での崩落事例が5m程度であったことに基づき、地山等級毎の亀裂間隔の実績から決定したものである。図5にC地山について支保分担率を求めた例を示す。吹付けコンクリートを $E=20\text{GPa}$ （高耐力鋼アーチ支保工 $E=210\text{GPa}$ ）として計算した。地山の関係と支保の関係を示した2直線の交点より、支保分担率は10.5%, 地山分担率は89.5%となった。表1に計算結果を示す。支保分担率は図5に準じて求めたものであり、初期地圧状態である100%から支保分担率を減じたものが地山分担率 (X_1) となる。また破壊解放率は、ロックボルトを設置して、岩塊位置を変化させ、内部摩擦角ごとに計算を行い最も低い値を示したものである。岩塊崩落に対する安全率は破壊解放率を地山分担率で除したもの (X_2/X_1) である。ほぼ全ての場合で安全率1.0を上回り、支保の安全性は確保されている。B支保の $\phi=20^\circ$ の場合で若干1.0を下回っているが、これは、岩塊の大きさの設定に問題がある可能性もあり、検討の余地があるものとする。

5. まとめ

以上、岩塊崩落を定義し、支保の安全率を評価する方法を示した。これにより、岩塊崩落に対する安全率を定量的に表現することが可能となり、支保のマルチ化の一指標になるものとする。今回示した評価方法に加えて、岩塊崩落に伴う吹付けコンクリートのせん断破壊を取り込んだより精緻なモデルを構築することにより、岩塊崩落に対する評価手法を確立していく所存である。

6. 参考文献

- 1) 伊藤文雄, 中原史晴, 堀井秀之, 土宏之, 小野文彦：大深度トンネルにおけるブロックモデルによる支保設計手法の適用性, 土木学会第55回年次学術講演会, 共通セッション, pp.326-327, 2000
- 2) ITASCA：Universal Distinct Element Code(UDEC), ver.3.01, 2000

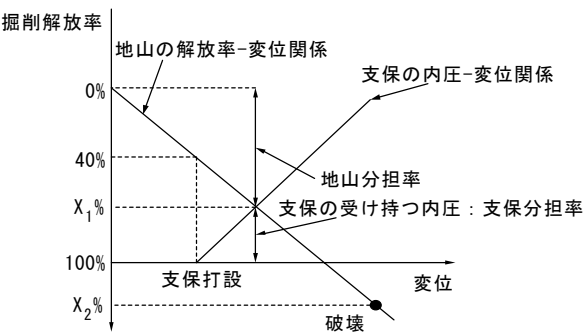


図3 地山応答曲線

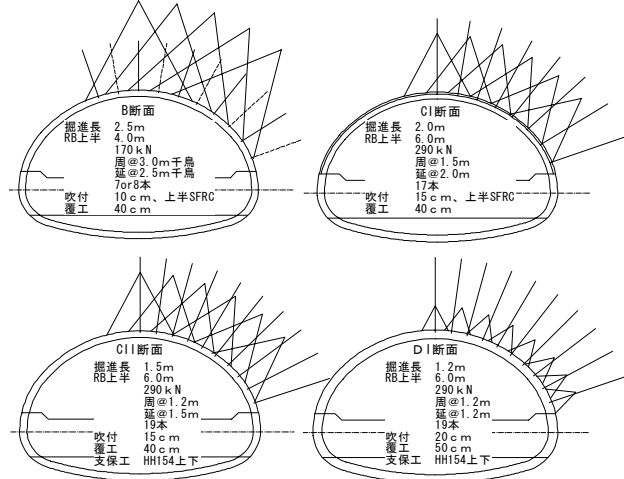


図4 各支保の断面図

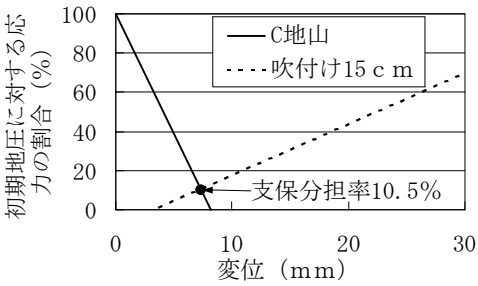


図5 CIの地山応答曲線

表1 安全率の計算結果

	支保 分担率	地山 分担率 (X_1)	破壊解放率 (X_2)			岩塊崩落に対する安全率		
			内部摩擦角 ($^\circ$)			内部摩擦角 ($^\circ$)		
			10	20	30	10	20	30
B	3.1	96.9	-	94	99	-	0.97	1.02
CI	10.5	89.5	-	101	104	-	1.13	1.16
CII	20.5	79.5	-	105	107	-	1.32	1.35
D	35.0	65.0	99	104	105	1.52	1.60	1.62