

栗東トンネルにおけるキープロック解析を用いた情報化施工

西松建設 正会員 猪阪昇治 日本道路公団 非会員 岩橋正視
日本道路公団 非会員 西村匠史 西松建設 正会員 田中義晴

1. 概要

滋賀県南部に位置する栗東トンネルは、掘削断面積 180m^3 （現名神高速道路トンネルの約2倍）、縦横比（扁平率）65%の扁平な大断面トンネルであり、一般のトンネルと比較して天端部分の幅が広いものになっている。また、岩質が亀裂の発達した花崗岩主体のため、工事中または供用後において、岩盤中に存在する亀裂面と掘削時にできる自由面によって幾何学的に形成される岩塊の抜け落ち（キープロック）による崩落が懸念される。

工事は、直径5mのTBM（トンネルボーリングマシン）による先進導坑を施工した後、NATMによる本坑拡幅を行う工法を採用している。したがって、TBM導坑掘削時に得られた亀裂情報をもとに、トンネル全線において本坑断面に対するキープロックの位置、安定性を予測・計算及びそれに対する増強支保方法を検討する解析プログラムを開発し、その結果を用いて本坑拡幅前にTBM導坑内から予め補強を行った。これら一連の作業について報告するものである。

2. 亀裂面強度の検討

キープロックの安定計算を実施するにあたり、亀裂面の強度（粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ ）は、解析結果を左右する重要な要因であるが、これを決定することは極めて難しい問題であり、これまで様々な方法が提案されている。本解析においては亀裂面に粘土等の介在物が存在する場合と、存在しない場合では c 、 ϕ を区別すべきであると考え、表1に示す4つの方法で亀裂面の強度を検討した。検討した結果、介在物が存在する場合は、地滑り逆算法の実績を重要視して $c=2\text{tf/m}^2$ 、 $\phi=30^\circ$ とし、介在物が存在しない場合は、TBM導坑における小さなキープロックによる抜け落ちの結果を最重要視して、 $c=0\text{tf/m}^2$ 、 $\phi=37^\circ$ とした。今後、簡易せん断試験を行い、検討を深める予定である。

表1. 亀裂面強度の検討

方 法	粘土等の介在物	c (粘着力)	ϕ (内部摩擦角)
i) 地滑り逆算法の実績を採用	あり	$1.0\text{ tf/m}^2 \sim 2.0\text{ tf/m}^2$	$20^\circ \sim 30^\circ$
ii) 各機関の標準的な実績値による基準表を採用		0 tf/m^2	$30^\circ \sim 35^\circ$
iii) JRC (Bartonの方法) から求める	なし	0 tf/m^2	39.8°
iv) TBM導坑でのキープロック抜け落ち箇所の逆解析		0 tf/m^2	37°

3. キープロック解析

TBMによる先進導坑を掘削中に、亀裂の位置、走向、傾斜、亀裂面の状態（介在物の有無）の観察を行い、キープロック解析プログラムへ入力する。また、トンネルの断面形状および線形座標についても入力しておく。これらをもとに図1に示す一連の流れで、安全率 (F_s) 1.2 を境界値として極限平衡法によりキープロックの安定計算を行う。

- 1) 亀裂情報から移動可能キープロックを全て抽出する。
- 2) 無支保の状態、亀裂面の摩擦抵抗と粘着抵抗だけでキープロックが抜け落ちるかを評価する。
- 3) 抜け落ちる場合、吹き付けコンクリートの初期強度時（弱材齢時：3時間）にキープロックが安定するかを評価する。
- 4) 安定しない場合、キープロックのトンネル延長方向の長さが一発破進行長である2m以下である場合、導坑内からの補強（周面摩擦型ボルト）が必要と判定し、補強に必要なボルトの本数や長さを算定する。
- 5) 2m以上ある場合には、本坑標準支保パターンで安定するかを評価し、安定しない場合は4)と同様に、導坑内から補強を実施する。

Key words: キープロック・亀裂性岩盤・トンネルボーリングマシン (TBM)・大断面トンネル・安定解析

連絡先: 〒529-1802 滋賀県甲賀郡信楽町大字黄瀬字角チ 2322-1 Tel: 0748-83-1567 Fax: 0748-83-1570

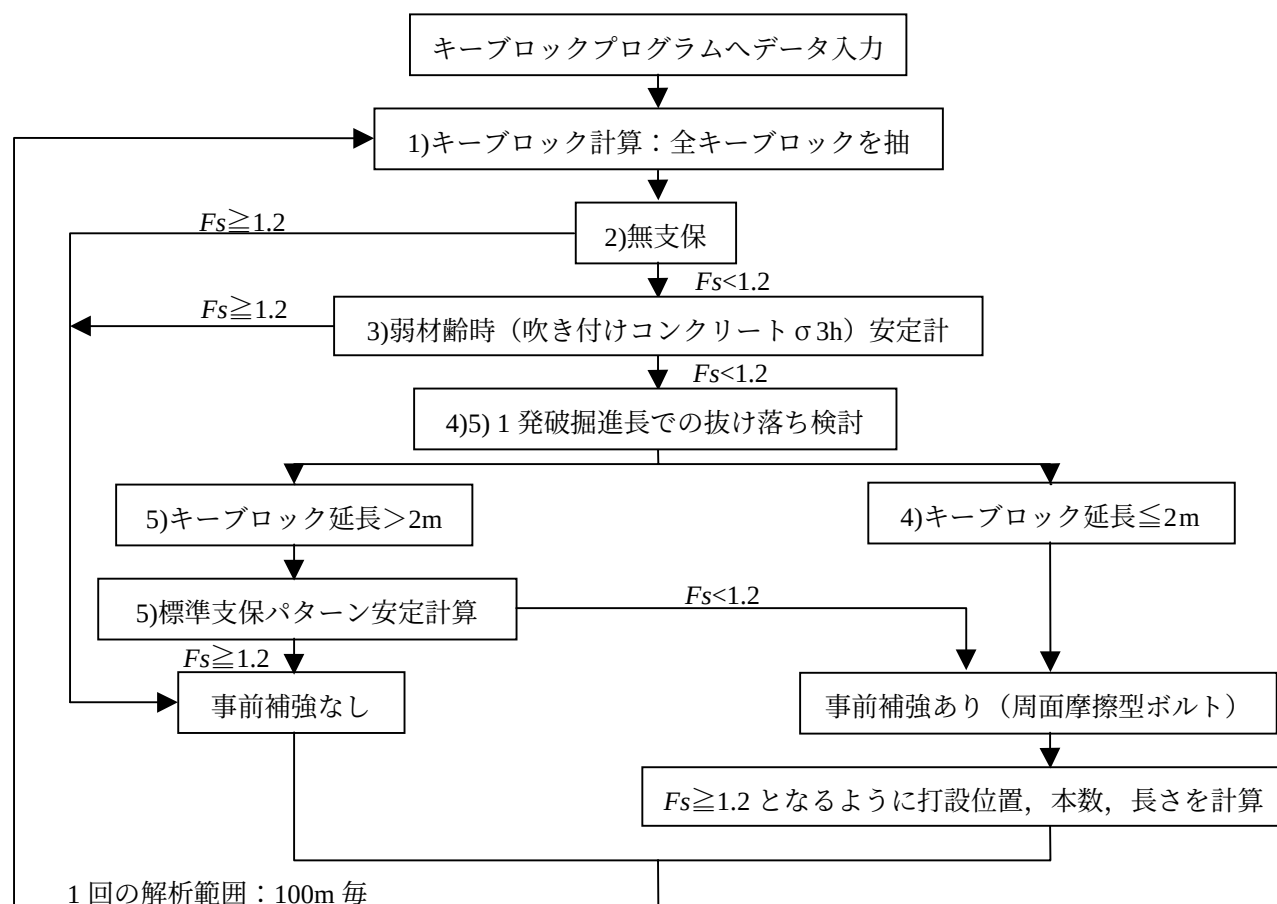


図 1. キーブロック解析のフロー

4. キーブロック解析結果

TBM 導坑掘削時に得られた亀裂情報をもとにキーブロック解析を実施した結果、トンネル全線で 38 箇所のキーブロックが判定された。そのうち 7 箇所のキーブロックにおいて、補強が必要と推定された。補強が必要と推定された 7 箇所のキーブロックにおいては、本坑拡幅掘削前に TBM 導坑内から周面摩擦型ボルトによる補強を行った。一例を図 2 に示す。このキーブロックは標準支保パターンでは安全率が 1.2 を満たさないと判定されたため、その不足分だけ TBM 導坑から周面摩擦型ボルト（ $L=8.0\text{m}$ ）を 4 本、図 2 に示す位置に打設したものである。なお、打設位置、方向については、最小本数で補強できるように最適な位置、方向を決定したものである。現在本坑拡幅掘削中であるが、推定されたキーブロックは想定位置に存在し、補強工によりキーブロックは抜け落ちることなく安全に施工が実施されている。

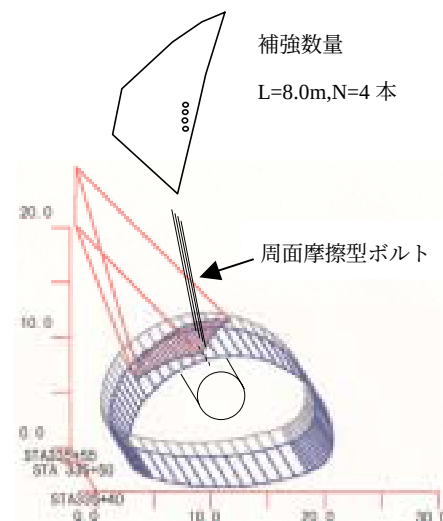


図 2. キーブロック解析結果の一例

5. おわりに

これまで、トンネル軸方向が一定で比較的全長が短い地下発電所などでキーブロック解析を適用した実績はあるが、不良な岩盤を含み、軸方向に長いトンネル工事で適用することは初の試みである。本システムでは、TBM 導坑掘削時に得られた亀裂情報をもとに、キーブロックの抽出のみならず標準支保構造での安定度の計算、事前補強の有無までを診断できる。さらに、本坑掘削時に新たに抽出された亀裂をもとに、もう一度解析を行うことで、追加補強の有無の必要性を確認しながら掘削する事が可能である。トンネルの設計・施工では、施工中のみならず、供用後も安全性を確保することが重要な課題である。本システムはこの両者を満足する手法であり、適切な補強工を合理的に設計・施工することで、安全性に優れた施工方法である。