

トンネル坑口周辺の亀裂調査に基づいた
キーブロックの抽出とその対策

西松建設(株)技術研究所 正会員 引間亮一、山下雅之、石山宏二、稲葉 力
西松建設(株)土木設計部 石井洋司

1. はじめに

トンネル坑口周辺の斜面は崩壊の危険性が高く、適切な対策が必要である。急傾斜地あるいは地山が脆い場合はもとより、硬質で比較的安定な地形の岩盤であっても、自由面(斜面)と岩盤中に存在する亀裂の相対位置・方向によって形成される抜け落ち可能な有限ブロック(キープロック¹⁾)の挙動によって、その安定性に大きな影響を与える可能性がある。本報告では、坑口法面に出現するキープロックを対象として行われた一連の調査・解析・対策工の概要とその手順について述べる。

2. 亀裂の調査とそのモデル化

坑口斜面の安定性を図る上で、形成が予想されるキープロックへの対策が重要であると考え、図-1に示す手順でキープロックの抽出およびその対策工について検討を進めた。

検討の対象となった坑口周辺には、中生代白亜紀の粗粒黒雲母花崗岩が広く分布している。本花崗岩は堅硬であり、数方向の亀裂系が発達している。キーブロック解析の入力パラメータとして重要な亀裂情報の調査は、工程を考慮した結果、自然斜面で行われることとなった。自然斜面は起伏に富むため、予め斜面に 1m 間隔でグリッドを用意し、それを基準に図-2 に示す亀裂マップが作成された。調査の結果、亀裂系は断層 A および亀裂 B によって大きく 3 つの領域に区分され、表-1 に示す特徴があることが分かった。

しかし、あくまで切上された坑口法面 (N62W63W) に対してキーブロックの抽出は行われるため、調査で得た亀裂情報をモデル化し、坑口法面に投影させる必要があった。モデル化において、領域 2 の高角度傾斜の節理は、坑口斜面に投影させるとその位置が大きく移動し、低角度傾斜の節理と組み合わせることが困難であったため、低角度傾斜の節理と組み合わせで閉鎖平面領域が最大になる位置に投影した。

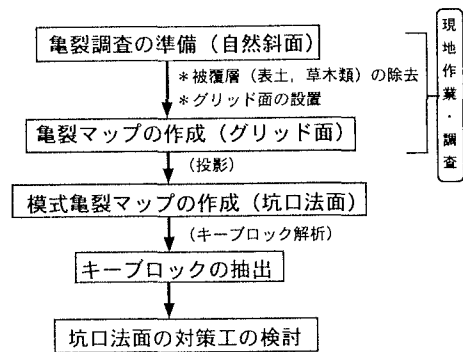


図-1 対象斜面における対策工の検討手順

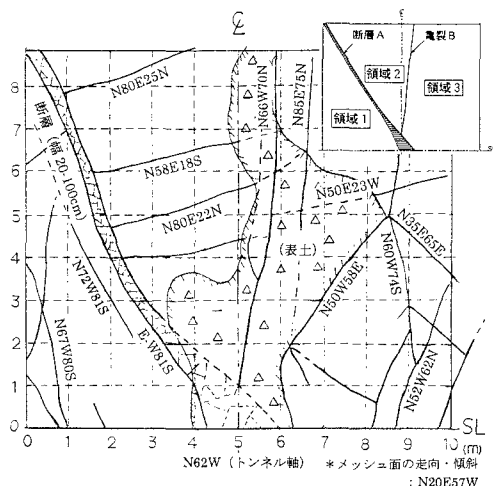


図-2 対象斜面の亀裂マップ

キーワード キーブロック、坑口斜面

〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4 TEL 0462-75-1135 FAX 0462-75-6796

〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 TEL 03-3502-7640 FAX 03-3502-0228

3. キーブロック解析とその対策工

投影された亀裂データに基づきキーブロック解析は実施された。解析では、ブロックの抽出と同時にブロック体積、すべり力も算出し、その結果を考慮に入れて坑口法面の対策工が選定される。

解析によって得られた有限ブロックは計5つあり、その位置を図-3に示す。形成された有限ブロックのうち、No.14はすべり力の作用方向から安定ブロックとなり、抜け出し可能なブロックはNo.6,7,9,12の4つであった。これらのすべりモードは、ブロック下面における1面すべりと判定された。

抜け出し可能な4つのブロックは、いずれも法面からの奥行きがほとんどなく、体積も 0.4m^3 以下と推定された。そこで、1ブロックに対してロックボルト（長さ3m、耐力12tf）を1本打設することを仮定し、ブロック下面（すべり面）における極限平衡法を用いた安定計算がなされた。ただし、すべり面摩擦力の影響等は不明であるため、安全側の立場からこれを無視した。安定計算の結果を表-2に示す。対策後のキーブロックの安全率は全て $F_s > 1.20$ となり、ロックボルトのみで計画安全率が満足された。しかし、本坑口の使用期間は長く坑口法面の風化が懸念されること、また切土法面では卓越した高角度傾斜の亀裂が確認されており、今回の安定計算では考慮されていないトップリング崩壊も懸念された。したがって、切土法面全体の崩壊に対する防護工として、図-4に示すように厚さ10cmの吹付けコンクリートとキーブロックの対策工である5本を加えた計23本のロックボルトが施工された。

4. おわりに

硬質岩盤中に施工されるトンネル坑口部において行った詳細な亀裂調査より、キーブロックの位置およびその挙動を把握し、それに対して適切な対策を施すことができた。今回行ったような一連の手法は、硬質岩盤斜面の安定性を評価する上で非常に有効であると考えられる。

参考文献

1) Goodman, R.E. and Shi, G.H., 吉中龍之進・大西有三訳：ブロック理論と岩盤工学への応用，土木工学社，1992。

表-1 各領域の亀裂系の特徴

領域	亀裂卓越方向	亀裂間隔
1	N70W80S	2~30cm
2	N58~80E15~22N	50cm
	N-S78E	30~100cm
3	—（注）	—

（注）領域3に卓越した亀裂は特にないが、上部領域にはN-S78Eの亀裂が見られ、下部領域にはランダムに亀裂が発達していた。

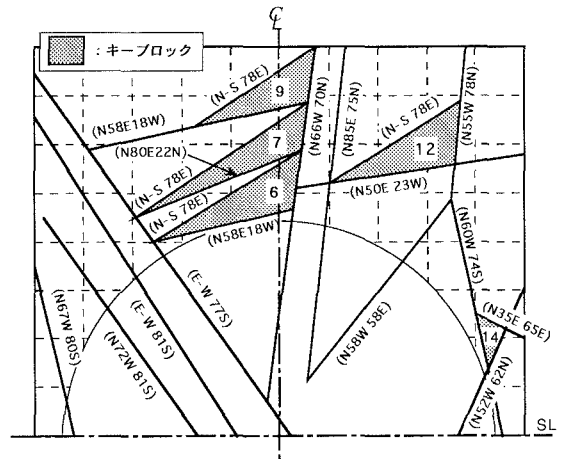


図-3 抽出された有限ブロック

表-2 有限ブロックの緒元

ブロック番号	6	7	9	12
ブロック体積 (m^3)	0.367	0.211	0.219	0.322
ブロック面積 (m^2)	1.732	1.331	1.229	1.628
ブロック奥行き (m)	0.636	0.435	0.535	0.592
ブロック重量 (tf)	0.918	0.528	0.548	0.805
すべり面の走向傾斜	N58E18W	N80E22N	N58E18W	N50E23W
すべり力 (tf)	0.283	0.198	0.169	0.315
すべり抵抗力 (tf)	1.05	0.473	0.848	0.967
安全率	3.71	2.39	5.02	3.07

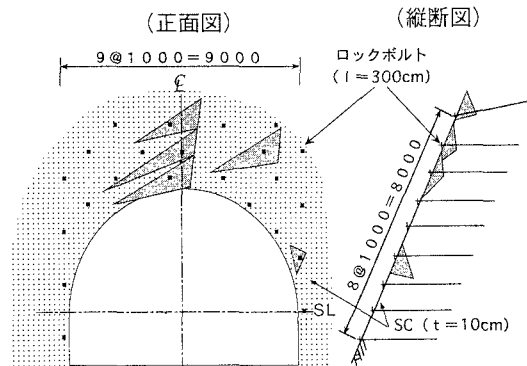


図-4 キーブロックを考慮した坑口斜面の対策工