

Ⅲ－B127

キープロック理論を用いたトンネル支保設計に関する一考察

東急建設(株) 正会員 青木俊朗

東急建設(株) 正会員 廣川隆男

東急建設(株) 正会員 藤川富夫

1. はじめに

岩盤内に掘削されるトンネルの安定性は、岩盤内に存在する断層や節理などの岩盤不連続面に大きく影響される。したがって、トンネル工事においては、岩盤不連続面の状態を調査・評価し、その結果を事前設計や施工時の支保修正に反映させるのが合理的と考えられる。このため、DEM、DDA、MBC、損傷解析など不連続体解析手法が種々提案されているが、支保設計法の確立にまでは至っていない。

このような中、不連続体解析手法の1つであるキープロック解析¹⁾を、地下発電所空洞工事の支保設計や施工管理に活用した事例²⁾が報告されている。この事例では、掘削により現れた不連続面の位置と方向を捉え、確定論的に個々のブロックに対して、支保設計が行われている。しかし、線状構造物であるトンネルにキープロック解析を活用しようとする場合、掘削工法や施工スピードの違いなどから、地下発電所で用いられた方法をそのまま適用することは困難である。

本文は、トンネルを対象としたキープロック解析を用いた支保設計の一方法を提案するものである。

2. 最大キープロックに基づく支保設計

一般に、岩盤中には、比較的規則的な方向性を持った不連続面群（卓越不連続面群）が複数存在する。このような岩盤中にトンネルを掘削する場合、理論的には図1に示すように、トンネルの天端、右肩といった場所ごとにある決まった最大寸法をもつブロックが形成され得る。このようにトンネルの幾何条件（断面形状・寸法、長軸方向）と卓越不連続面群の方向（卓越方向）から理論的に求められる最大寸法のブロックを、最大キープロックと呼ぶ。

ここで提案する支保設計法は、切羽で観察された不連続面の方向に関する情報をもとに、最大キープロックを抽出し、その最大キープロックに対して支保設計を行うものである。

設計解析のフローを図2に示す。まず、切羽観察時に不連続面の方向データ（傾斜方位、傾斜）をランダムに収集する。この時、一般的にはクリノメータによる測定が考えられるが、筆者らが開発した不連続面測定器³⁾や画像処理技術を応用した方法⁴⁾などを用いれば、施工を妨げずにより多くの方向データを高精度に収集できるものと考えられる。次に、複数の切羽で収集された方向データを用いて極密度コンター図を作成し、卓越方向を決定する。最後に、この卓越方向とトンネルの幾何条件をもとに最大キープロック解析を実施し、最大キープロックの抽出および支保設計を行う。なお、最大キープロック解析には、3つ以上の卓越方向が存在することが必要条件となる。

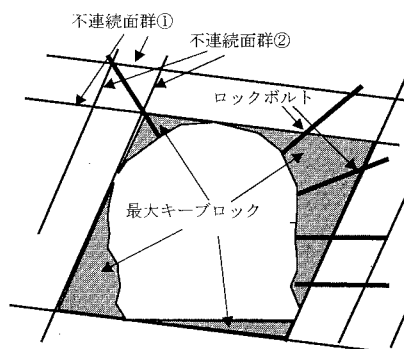


図1 最大キープロックと支保工

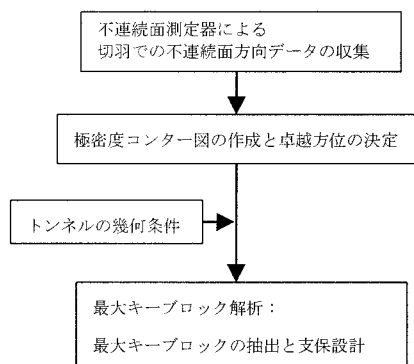


図2 設計解析のフロー

キーワード：岩盤不連続面、トンネル支保、卓越方向、最大キープロック

〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 TEL03-5466-5275 FAX03-3406-7309

3. 最大キープブロックの解析例

最大キープブロック解析の解析例を以下に示す。解析に用いた卓越方向とトンネルの幾何条件は図3および表1に示す通りである。

図4にトンネル周辺に形成される最大キープブロックのうち、体積の大きなもの4つを選び出し、鳥瞰図で示す。最大キープブロックのサイズは、場所により大きく異なることが分かる。また、それぞれのブロックに対して、安定解析、支保設計を行った結果を表2に示す。トンネル天端から左右の肩部にかけて現れるBLOCK1およびBLOCK2は、無支保では崩落するが、仮に所要安全率を2.0と設定するならば、前者には吹付けコンクリートとロックボルトを、後者には吹付けコンクリートのみを施せばブロックは安定すると判断することができる。また、BLOCK3およびBLOCK4においては、無支保状態でブロックは安定であり、支保工の必要はないと判断できる。したがって、厚さ5cm程度の吹付けコンクリートをトンネル全周に施し、ロックボルトはBLOCK1が現れる天端から右肩部にかけてのみ施すといった支保設計が可能と考えられる。

表1 最大キープブロック解析のインプットデータ

卓越不連続面群の 卓越方向		①	②	③
	傾斜方位	230°	13°	124°
	傾斜	60°	10°	66°
不連続面の内部摩擦角	30°			
不連続面の粘着力	0 kgf/cm ²			
岩盤の密度	2.5 g/cm ³			
トンネル長軸方向の方位	10°			
トンネル長軸方向の傾斜	3°			

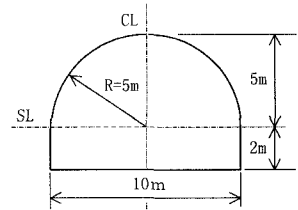


図3 トンネル形状

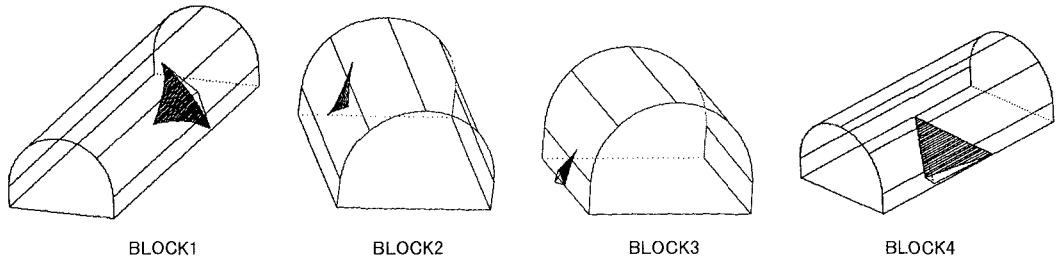


図4 岩盤内に形成される最大キープブロック

表2 最大キープブロック解析結果

			BLOCK1	BLOCK2	BLOCK3	BLOCK4
無支保時安全率			0.27	0.40	4.04	押し込み
支保時安全率			2.37	31.64	—	—
ブロックの高さ			2.47m	0.38m	0.54m	1.28m
ブロックの体積			22.10 m ³	0.36 m ³	0.51 m ³	14.41 m ³
支保条件	吹付けコンクリート	せん断強度	3.9 kgf/cm ²	3.9 kgf/cm ²	—	—
		吹付け厚	5.0cm	5.0cm	—	—
	ロックボルト	せん断強度	920 kgf/cm ²	—	—	—
		ボルト直径	25mm	—	—	—
		ボルト長	3.0m	—	—	—
		周方向ピッチ	1.5m	—	—	—
		縦断方向ピッチ	2.0m	—	—	—

4. おわりに

岩盤不連続面を考慮したトンネルの支保設計法として、最大キープブロック解析を利用した支保設計手法を提案するとともに、例題解析によりその有効性を示した。なお、本方法はすべての地山条件で適用できるものではなく、適用できる地山条件であるかを的確に判断することによってはじめて、合理的かつ経済的な支保設計が可能になると考えられる。この判断基準は実験施工を通じて明らかにしていく必要がある。

◆参考文献◆

- 1) 藤川 富夫：不連続性岩盤における掘削面の安定に関する基礎的研究，信州大学博士論文，1994. 7.
- 2) 大石富彦、大西有三、他2名：奥多々良木増設発電所地下空洞における情報化施工，第10回岩の力学国内シンポジウム，pp. 599～604，1998.
- 3) 廣川隆男、青木俊朗、藤川富夫：不連続面測定器の開発と応用，第10回岩の力学国内シンポジウム，pp. 193～198，1998.
- 4) 中尾通夫、畑 浩二、北岸秀一：3次元き裂分布可視化システムの開発，第22回土木情報システム講演集，pp41～44，1997.