

(88) 不連続面トレース図を用いた キーブロック探索法に関する検討

京都大学工学部

大西有三

堀田政國

京都大学大学院

池川洋二郎

鍵本広之

1. はじめに

現在、節理性岩盤において地下空洞や斜面の掘削が盛んに行われているが、節理性岩盤の岩盤面に現れたトレースの例を図-1に示す。このような節理トレースの岩盤面を眺めても各々の不連続面の三次元的な位置関係を把握することは難しく、少し複雑なトレースで構成された節理性岩盤を三次元にとらえることは非常に困難である。しかも、我々が対象とする岩盤は大きく、節理の測定は小さな割れ目を対象としている場合が多いので測定者が岩盤をブロックの集合としてとらえ、一つ一つのブロックがどのような形をしているかを把握することは無理といっても過言ではない。本研究では節理性岩盤岩盤面に現れたトレースの走向傾斜から、そのブロックが

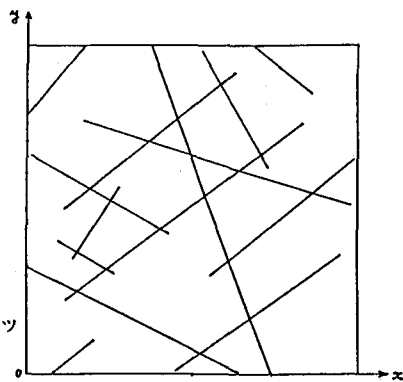


図-1 トレース図

抜け出し可能なブロックかどうかをパソコンを用いて簡単に判定することを目標としたものである。施工と平行して、岩盤ブロックの形が把握できれば節理性岩盤における経済的な支保や斜面工の設計に役立つものと思う。

不連続面の幾何学的性状がわかれば、合力の方向と不連続面の摩擦を考慮して、どのブロックが危険かを判定することができるブロック理論がある。このブロック理論は、岩盤ブロックの断面である閉領域を構成する不連続面の走向と傾斜がわかれば、そのブロックが危険かどうかを判定する方法である。しかし、この方法を適用するにあたって岩盤のモデル化すなわち岩盤面で実際に観察される不連続面トレースをどのように解析手順に取り入れるかが問題となる。以下にその具体的な方法を述べる。

2. 概要

ブロック理論によって最初に行う、ブロックが抜け出し可能な形かどうかの判断については、ブロックを構成する不連続面の走向傾斜とブロック・コードが必要である。ブロックコードとは、注目するブロックがこれを構成する不連続面の上側か下側のどちら側に位置するかを表すものである。本研究では計測によって得られた岩盤面の走向傾斜と、岩盤面に現れた不連続面の走向傾斜から注目するブロックが抜け出し可能な形かどうかの判定を行う。よって重力および応力の考慮については他にゆずる。

計算における仮定を設ける。

- ① 岩盤面に現れたトレースは両端の点を通る直線と仮定する。
- ② 1点においてトレースは3本以上交わらないものと仮定する。
- ③ 不連続面は完全に平面で、注目するブロックを構成する十分な広がりを持つ。

以下に解析の手順の概略を示す。

- ① 画像解析装置によりトレースの両端座標を読み取る。

- ② トレースの両端座標から交点を計算し、座標値をもとにトレース上の交点の順番を決める。
- ③ 閉領域の探索を行い、閉領域を構成するトレースの番号を記録する。
- ④ ブロック・コードを決定する。
- ⑤ ブロック理論により、ブロックの抜け出しの判定を行う。

以上の解析より、データの収集から解析までの一連の作業が迅速に、正確に行えるものと思う。

3. データの収集

データとして必要なものは、岩盤面上に設ける計測座標の走向と傾斜、計測座標上に現れているトレースの2端点の座標と不連続面の傾斜である。計測座標のX座標は水平面と一致させ、Y軸は斜面と同じ傾斜を持たせる。岩盤面を写真、あるいはビデオで撮影し、地質の専門家によって直接引かれたトレース図(図-1 参照)を作成する。これを画像処理装置を用いることによって、簡単にしかも速く計測座標上のトレースの両端座標を計算することができる。現在、不連続面の走向と傾斜の両方を計測しているが、岩盤面の走向と傾斜がわかれば、両方を計測しなくても傾斜を計測すれば不連続面の走向が決定できる。

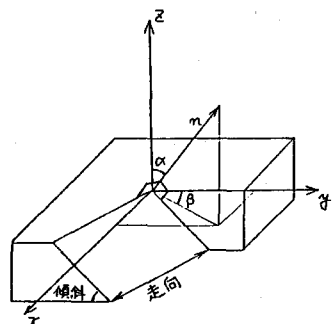


図-2 走向・傾斜と Dip angle と Dip direction の関係

平面の方程式は、

$$\sin \alpha_i \cdot \sin \beta_i \cdot x + \sin \alpha_i \cdot \cos \beta_i \cdot y + \cos \alpha_i \cdot z = 0; \quad \text{--- ①}$$

α_i : Dip angle, β_i : Dip direction (α_i, β_i は走向傾斜より計算される。図-2 参照。)

D_i : 空間座標の原点からの平面の距離 (5 節を参照)

よって、 α_i と2端点の空間座標より、 β_i が計算される。こうすれば計測は不連続面の傾斜角 α_i だけ計測すればよく、走向の計測をしなくてよいから計測作業を半分に減らしてくれる。例えば図-1のトレース図上の14本のトレースの傾斜だけ測定すればよいから、本来28個必要であったデータ14個の測定で済んでしまう。

4. 閉領域の探索

トレースには1から番号を付けていく。トレースの両端の座標をもとに直線の方程式を求め、順番にトレースとトレースの交点を順序よく計算していく。計算された交点がトレース上に存在するかどうか調べるため、図-3に示すようにトレースの両端の点位置ベクトル a, b 、交点の位置ベクトル c を考える。

$$(b - a) \cdot t = c - a$$

--- ②

t : 実数

であるから t の値が($0 \leq t \leq 1$)の間に有れば、この交点 c はトレース上に存在し、 t の値が($t < 0, 1 < t$)となればトレース上に存在しないので、この交点は削除する。他のトレースと交わらないトレースや交点を1点しか持たないトレースは閉領域を構成しないので削除する。交点は本のトレース上で、まだ順番がバラバラになっ

ているので、解析の導入に適するように交点の座標値をもとに並び替えを行う。並び替えをって整したものを表-1に示す。表-1において、左の列がトレース番号、最上段の番号が0の列は閉領域を構成するトレースの数を表し、上段が $3n-1$ (n は整数)の数値の列は左のトレース番号と交差するトレースの番号である。

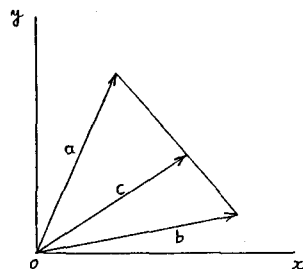


図-3 交点がトレース上に
あるかどうかの判定

他の部分は0あるいは2が入っており、0 は使用されていないトレースベクトルを表し、2 は最も端点に近い交点を示す。これにより二度同じトレースベクトルを使わないことが可能で計算時間を短縮することができる。

表- 1 閉領域探索に用いる交点表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2	2	3	0	0	6	2													
2	5	2	3	0	0	4	0	0	6	0	0	8	0	0	7	2				
3	2	2	2	0	0	1	2													
4	2	2	8	0	0	2	2													
5	2	2	6	0	0	7	2													
6	6	2	5	0	0	8	0	0	2	0	0	9	0	0	11	0	0	1	2	
7	4	2	5	0	0	2	0	0	8	0	0	9	2							
8	4	2	4	0	0	6	0	0	2	0	0	7	2							
9	3	2	6	0	0	10	0	0	7	2										
10	2	2	9	0	0	11	2													
11	2	2	6	0	0	10	2													

図- 4 はトレースがX型に交差する場合を示し、黒丸は交点、a, b, c, dはトレースベクトルである。閉

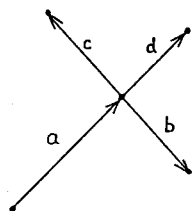


図- 4 トレースベクトル

領域の探索は時計回りに行うのでこの場合、外積が負となる方向に折れればよい。この場合であればaからbの方向に曲がればよい。図- 5 のように交差している場合は図- 4 と同じく時計方向に曲がるトレースベクトルを持ち、外積が負となるトレースベクトルを選べばよい。図- 6 に示すものは時計方向に曲がるトレースベクトルがなく、同じトレース上に直進できるトレースベクトルをもつ場合である。この場合は直進すればよい。

図- 7 に示す場合は反時計回りの方向に曲がればよい。図の 4 ~ 7 で全て交差をシュミレートできる。表- 1 を使って順序よく閉領域を探索していく。

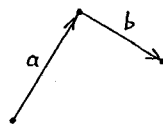
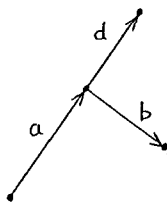
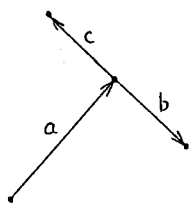


図- 5 右折れの例

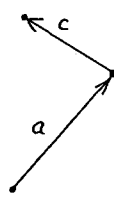
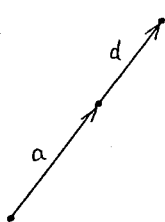
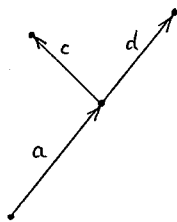


図- 6 直進の例

図- 7 左折れの例

5. ブロック・コードの決定

これまでの作業は計測座標上において計算が行われてきたが、ブロック・コードを決定するには、注目するブロックを構成する不連続面の上あるいは下のどちら側に位置するか決定しなければならない。このため、計測座標の走向傾斜を用いて原点を共有するX軸を東、Y軸を北、Z軸を上を持つ3次元座標への変換を考える。計測座標の走向傾斜から Dip angle, Dip direction を計算し、 α, β とする。

図- 9 のようにX軸を軸にY軸からZ軸へ α 度の回転を表す行列は、

$$T_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad \text{--- ③}$$

Z軸を軸にY軸からX軸へ β 度の回転を表す行列は、

$$T_z = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{--- ④}$$

で表せるから計測座標上の座標を $(x', y', 0)$ とすると、空間座標上の座標 (x, y, z) は次のように表せる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = T_x \cdot T_z \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} \quad \text{--- ⑤}$$

上で求められた交点座標と閉領域探索において最初に用いたトレスベクトルの中点を時計回りに回転した閉領域内部点の座標を式⑤を用いて空間座標に変換する。

不連続面の単位法線ベクトルは、

$$n_i = (\sin \alpha_i \cdot \sin \beta_i, \sin \alpha_i \cdot \cos \beta_i, \cos \alpha_i) \quad \text{--- ⑥}$$

空間座標における原点からの不連続面の距離 D_i は、

$$D_i = (x, y, z) \cdot n_i$$

(x, y, z) : 不連続面上の座標

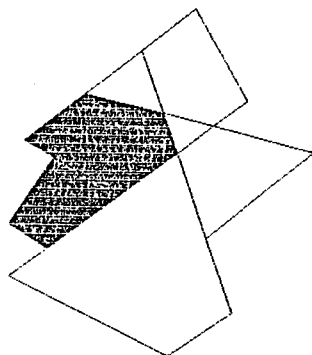
閉領域内部点の距離を E_i とすると、ブロックコードは、

$$D_i < E_i \quad \text{のとき} \quad 0$$

$$D_i \geq E_i \quad \text{のとき} \quad 1$$

とし、ブロック・コードを決定する。

パソコンと画像解析装置を用いてブロック理論の第一段階であるブロックの形状の決定が可能であり、現場施工レベルでの適用に供するものと思われる。以上による計算結果の画面ハードコピー(図-8)で黒くなった部分が抜け出し可能な形状のブロックの位置である。



6. おわりに

図-8 抜け出し可能形状ブロックの位置

岩盤の種類によって節理の非常に複雑なものがあり、本解析に適応しうる不連続面の定量的な決定を解析にともない解決して行きたい。さらに応力、重力、摩擦などの考慮について考えていきたい。

参考文献

- 1) 大西有三・長野恵一・藤川富夫:ブロック理論による不連続性岩盤掘削時の安定性評価について,土木学会論文集,第364号/Ⅲ-4, 1985.
- 2) Chan, Lap-Yan and Goodman, R.E.: Prediction of Support Requirements for Hard Rock Excavation Using Keyblock Theory and Joint Statistics. Proc. of 24th U.S. Symp. on Rock Mech, pp.557~576, June, 1983

(88) A METHOD OF KEY BLOCK SEARCH BY ROCK JOINT TRACE MAP

Yuzo Ohnishi, Masakuni Horita: Kyoto University
Yojiro Ikegawa, Hiroyuki Kagimoto: Graduate Student

Block theory is thought as one of the very useful methods of stability analysis that has been applied to hard rock mass which has many discontinuities. It seems for us that Block theory is recognizable because of that easiness to deal with three dimensional problems.

This paper first describes the introduction of Block theory. The assumptions used in the theory are explained. Following the descriptions of the theory, the paper introduces the way to find the most critical block among the many potential rock blocks appears in the rock joint trace map.

Trace map drawn at excavation sites is processed by a computer pattern recognition technique automatically. Closed areas which may consist key blocks are picked up to test the possibility of sliding. The block theory is applied to recognize the pieces of key blocks hidden in the trace map.