

京都大学工学部 正会員 大西有三、田中 誠
 京都大学工学部 学生員 ○朝川 誠

1. はじめに

硬岩の岩盤地下空洞では、不連続面が岩盤の破壊に関して重要な要因になる。このような地下空洞の安定解析にはキープロック理論¹⁾²⁾が用いられる。キープロックの安定を得るために必要な最小の力、いわゆる最適支保力を、掘削面の方向による支保力の角度の制約を考慮し、岩盤ブロック同士の摩擦を加えた極限平衡解析によって算定する

2. 解析手法

Table 1に示した不連続面で構成される四角すいの移動可能ブロックに関して極限平衡解析を行い、それをステレオ投影法で表現したものをFig.1に示す。ブロックに作用する力（重力、摩擦力）の合力を表す点が曲線 C_1 の外側にあるときこのブロックは安定する。ブロックに作用する力の合力の方向がFig.1の点 R_1 のように安定領域にない場合は、ブロックに支保力を加える必要がある。支保力を加えた合力を表す点が安定領域内に入ればよい。点 R_1 は支保力を加えたことによって最低限曲線 C_1 上に乗ればブロックは安定する。これを最適合力の軌跡と呼ぶ。曲線 C_2 はもとの合力 R_1 を最適合力方向に変えるのに必要な支保力の軌跡であり、Fig.2に示すように R_1 と $90^\circ + \theta$ の角をなす。これを最小支保力の軌跡と呼ぶことにする。この中で、最も小さい力で合力の向きを安定領域に持ってくるのが最適支保力であるが、実際には掘削面の角度による制約を考慮しなければならない。以下に、その手法について述べる。

掘削面の傾斜方位および傾斜角をそれぞれ 60° 、 40° とする。支保力は掘削面の法線に対して 15° 以内にしか加えることができないものとする。支保力を加えることのできる領域および最小支保力の軌跡をステレオ投影図で表すと、それぞれFig.1の円 C_2 の内部、曲線 C_1 になる。また、安定領域と危険領域との境界線を n 個の点 r_j ($j = 1, \dots, n$)に分割する。ステレオ投影図上の点 R_1 と点 r_j とのなす角を θ_j とする。

掘削面による制約があるときに最適支保力を算定するには、Fig.3のように場合分けをして考える。

1)の場合は、重力の作用によってブロックが移動する可能性はないので、考慮しない。

2)の場合は、ブロックの崩落形態は抜け落ちであり、もとの合力と反対の方向に支保力を加えるのが最適となるが、掘削面の法線の鉛直とのなす角が 15° 以下である場合、 15° を越える場合のそれぞれで、支保力の大きさは

$$S_j = F \cdot W \quad (1)$$

$$S_j = F \cdot W \cdot \sec \delta_j \quad (1')$$

で与えることができる。

3)の場合は、最小支保力の方向が実際に支保力を加えることのできる領域より下側にあり、支保力の大きさはFig.2に示したように

$$S_j = W \cdot \sin \theta_j \cdot \sec \eta_j \quad (2)$$

で与えることができる。

Table 1 不連続面データ

	傾斜角	傾斜方向
1	71	163
2	68	243
3	48	280
4	13	343
自由面	40	60

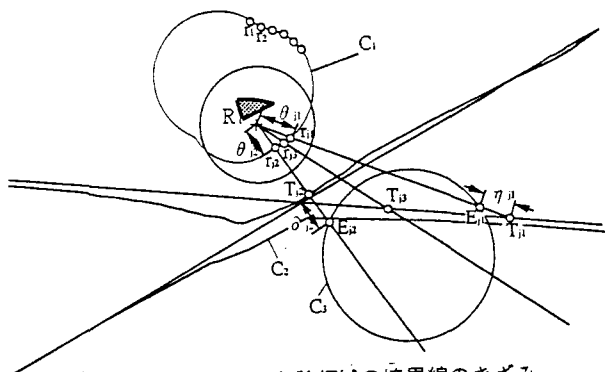


Fig.1 安定領域と危険領域の境界線のきざみ

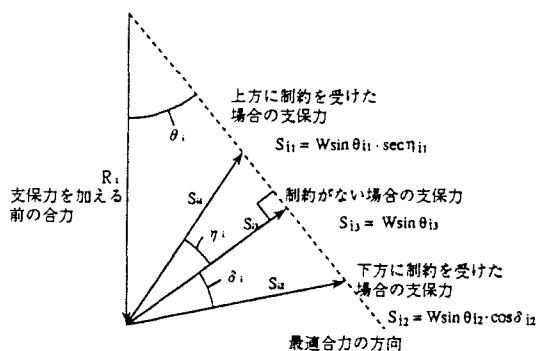


Fig.2 制約をうけた支保力の算定

4)の場合は、(3)の場合と同様にして

$$S_j = W \cdot \sin \theta_j \cdot \sec \delta_j \quad (3)$$

で与えることができる。

5)の場合は、掘削面による制約がないときと同様で

$$S_j = R_1 \cdot \sin \theta_j \quad (4)$$

で与えることができる。

以上、式によって各方向の支保力を求めた。さらに最適支保力 S_{OPT} はこの中の最小値をとる。よって最適支保力は

$$S_{OPT} = \min_j S_j \quad (5)$$

で与えることができる。

3. 解析例題

ある仮定の側壁について安定解析を行う。まず、掘削面をよく観察し、不連続面のデータを集め、有限ブロックを抽出する。各有限ブロックの破壊モード、すべり面の面積、体積を算定したものをTable 2に示す。必要なブロックの移動に対する安全率を1.5とし、支保力を加えることのできる領域を掘削面の法線より15°以内の円錐領域であるとする。これらの値に掘削面の傾斜方位、Table 2のデータおよび岩盤の物性値を入力して解析を行うと最適支保力を算定することができる。その結果をTable 3に示す。抜け落ち破壊の場合は、ブロック重量の1.5倍の力で支えなければならないが、それ以外の破壊形式の場合ではブロック重量に比べて小さい力で安定を保つことができる。

4. おわりに

本研究では、硬岩の岩盤地下空洞の安定を得るために必要な支保力の最小値、いわゆる最適支保力の算定手法を示した。この研究で示された手法では、キーブロックを抽出し極限平衡解析により算定される支保力を局所的に加えるだけで、岩盤空洞の安定を保つことができるので、不連続面に関する諸情報が得られれば連続体解析で求められる支保力よりも実際の破壊モードに対応した合理的で経済的な設計を行うことができる。

参考文献

- 1) Goodman, R. E. and Shi, G.-H., 吉中・大西訳：ブロック理論と岩盤工学への応用、土木工学社、1992.
- 2) 大西ら：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、pp. 209-218, 1985.

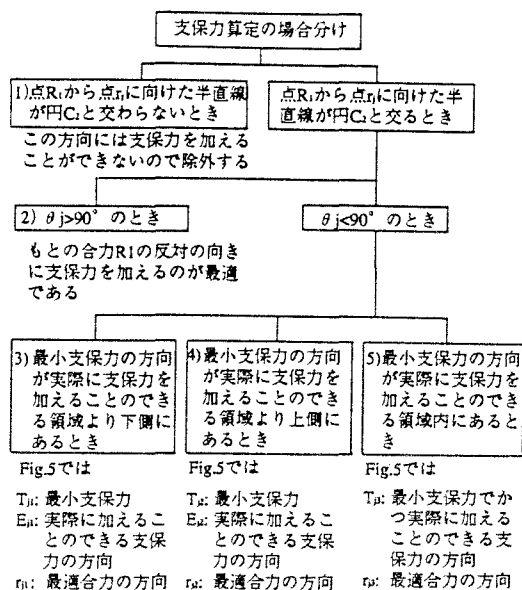


Fig.3 支保力算定の場合分け

Table 2 ブロックデータ

	破壊モード	すべり面の面積 (m ²)	体積 (m ³)
ブロックA	2面すべり	1.96	4.62

Table 3 解析結果

	傾斜方向 (°)	傾斜 (°)	支保力 (tf)	ブロック重量 (tf)
ブロックA	188.35	1.5	9.10	12.0