

京都大学大学院 正会員 大西有三・田中 誠

関西電力(株) 正会員 朝川 誠

京都大学大学院 学生会員 ○林 真由

1. まえがき

中硬岩、硬岩ではくさび型岩塊（キープロック）の抜け出し、すべりが岩盤破壊の重要な要素を占める¹⁾。そこで、こういった危険な岩塊を見つける手段としてブロック理論が発案され、すべり力はブロックの表面摩擦、粘着力から算出されている。本研究では原位置応力を考慮したキープロックの安定解析をして、効率的な支保設計をめざす。本研究では、地下空洞掘削により生じる原位置応力のアーチ作用を安定解析に導入し、線形計画法を用いて移動可能ブロックの最大キープロックの大きさを算出する。

2. 原位置応力の導入

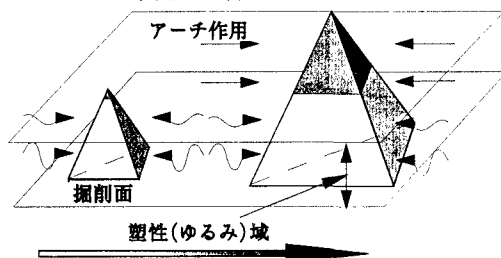
原位置応力を考慮すると、移動可能ブロックの大きさによる傾向として「小さいブロックほど、塑性域に含まれる部分の割合が大きく不安定になる (Fig. 1).」ということがいえる。よって、ブロックの安定性を考慮するとき、考えるべきキープロックの大きさの上限（最大キープロック）ができる。また、従来のブロック理論によると、ある亀裂面の組み合わせでできる岩盤ブロックの最大移動可能領域¹⁾は、掘削面の広がりによって決まるものであった (Fig. 2(a)). Fig. 2のように、最大移動可能領域よりも最大キープロックの大きさが小さくなる時 (Fig. 2(b)), 考えるべきキープロックの大きさが小さくなる²⁾。

3. 本手法

まず、Fig. 3のように各亀裂面を挟んで、原位置応力の作用成分を垂直応力 N_i 、せん断応力 S_i として、またブロック内力として法線方向 M_i 、すべり方向 T_i (変数)を設定し、その重力方向の合力を P とする。落下破壊モードのブロックは、任意の亀裂面で剥離もしくはせん断が生じれば落下して破壊する。よってブロックが破壊するときの P の最小値($P_{\min}$)を求めるために、力の釣り合い式も考慮し次のように定式化して線形計画法を適用する。

亀裂面 J で剥離が生じてブロックが破壊するとき、

$$P = \sum (M_i \times \cos \theta_{m_i}) + \sum (T_i \times \cos \theta_{t_i}) \Rightarrow \min$$



大きいブロックほど安定性が高い

Fig. 1 岩盤ブロックの安定性の傾向

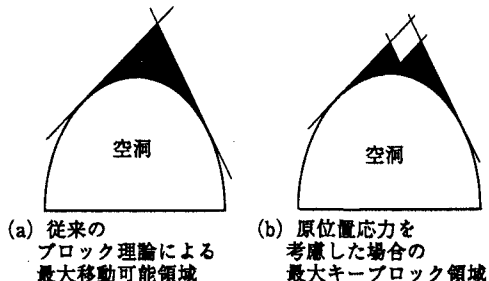


Fig. 2 キープロックの領域

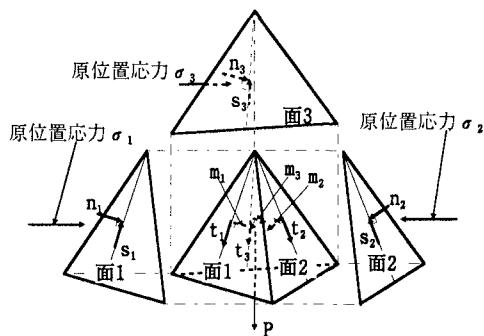


Fig. 3 ブロックに作用する外力(原位置応力)と内力(不安定化力)

$$\begin{aligned}\Sigma(M_i \times \cos\theta_{mix}) + \Sigma(T_i \times \cos\theta_{tix}) &= 0 \\ \Sigma(M_i \times \cos\theta_{miy}) + \Sigma(T_i \times \cos\theta_{tiy}) &= 0 \\ M_i < N_i \quad (i \neq j) \\ M_j &= N_j \\ \tan\phi_i \times M_i + T_i &< N_i \times \tan\phi_i - S_i \quad \dots (1)\end{aligned}$$

亀裂面Jでせん断が生じてブロックが破壊するとき、

$$\begin{aligned}P &= \Sigma(M_i \times \cos\theta_{mi}) + \Sigma(T_i \times \cos\theta_{ti}) \Rightarrow \min \\ \Sigma(M_i \times \cos\theta_{mix}) + \Sigma(T_i \times \cos\theta_{tix}) &= 0 \\ \Sigma(M_i \times \cos\theta_{miy}) + \Sigma(T_i \times \cos\theta_{tiy}) &= 0 \\ M_i < N_i \\ \tan\phi_i \times M_i + T_i &< N_i \times \tan\phi_i - S_i \quad (i \neq j) \\ \tan\phi_j \times M_j + T_j &= N_j \times \tan\phi_j - S_j \quad \dots (2)\end{aligned}$$

となる。ただし各 θ は M_i 、 T_i と P (z方向)、x方向、y方向のなす角度、 ϕ は摩擦角、 i は各亀裂面についてを表す。こうして求まった数個の $P_{\min}$ のうち最小の $P_{\min}$ を採用する。

求まった $P_{\min}$ はブロック重量の内、原位置応力によって負担される大きさとなる。

よって、ブロックの重量を W とすると $P_{\min} > W$ のときこのブロックは無支保で安定することになる。そして、 $P_{\min} = W$ となる大きさのブロックが最大キープブロックとなる。

以上落下破壊モードブロックについて述べた。すべり破壊モードブロックについては、すべり面でのせん断条件により定式化して同様に行う。

4. 適用例

Table 1に示す亀裂面の組み合わせでできるFig.4のような岩盤ブロックについて、最大キープブロックの大きさを求めた。ただし、岩盤密度を2.56tf/m³、摩擦角を32.4°、原位置応力を988tf/m²として、塑性域では原位置応力を小さくし掘削壁面で0とした。結果をTable 2に示す。

5. 結論

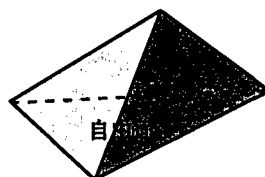
原位置応力を考慮することによって最大キープブロックの大きさは掘削面の広がりに関係なく決まった。これは、最大移動可能ブロックが大きくなる大規模地下掘削では有利な条件となる。上記の例では原位置応力が大きいこともあって最大キープブロックの大きさはかなり小さくなった。よって支保力も小さくなる。また $P_{\min}$ はブロック重量 W の内、原位置応力が負担し得る大きさなので、支保設計に用いるブロック重量を $W - P_{\min}$ と置換えることができる。

参考文献

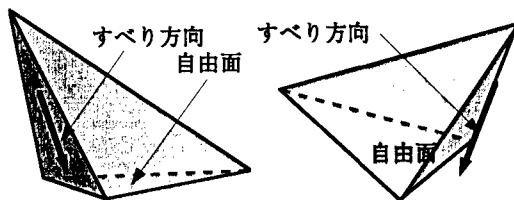
- 1) Goodman, R. E. and Shi, G.-H., 吉中龍之進・大西有三訳：ブロック理論と岩盤工学への応用，土木工学社，1992.
- 2) Mauldon, M. and Zhao, M.: Stability of Keyblocks under Self-weight, Proc. 35th. US. Symp. on Rock Mechanics, pp.113-118, 1995.

Table 1 ブロックの諸元

		ブロックA		ブロックB		ブロックC	
亀裂面 自由面	傾斜方位(°)	50	240	84	30	70	265
	傾斜角(°)	83	305	60	142	90	40
		86	112	80	6	85	290
		0	0	0	0	0	0



(a) ブロックA
(落下ブロック)



(b) ブロックB
(一面すべりブロック)

Fig.4 ブロックの形状

Table 2 最大キープブロックの大きさ

	ブロックA	ブロックB	ブロックC
高さ(m) 底面から 頂点の長さ	1.07	1.70	1.07
重量 W (tf) ($P_{\min}=W$)	0.396	0.280	0.146