

京都大学大学院 正会員 大西有三
 (株) ニュージェエック 正会員 林真由
 京都大学大学院 学生会員 ○土山富広

1. はじめに

硬岩の岩盤地下空洞では、くさび状岩塊(キープロック)の滑動や抜け落ちが岩盤支保形態を支配する。ブロック理論により移動可能ブロックが特定されれば、ブロックに対し、極限平衡解析などの安定計算が行われ、支保が検討される。従来の極限平衡解析では地山の拘束圧である原位置応力効果が考慮されていない。そのため、落下ブロックが無支保であれば、安定化力として働くものはなく、必ず落下することになる。しかし、実際、無支保で自立する落下ブロックも多い。そこで、本研究では原位置応力を考慮した極限平衡解析により、より効率的な支保設計をめざす。

2. 本手法

ここでは、落下ブロックについて説明する。原位置応力の分布は簡単な弾塑性解により与える。その際、Fig.1 に示すモデルを考え、降伏は Drucker-Prager の降伏条件に従うとする²⁾。これにより得られた解が原位置応力として作用するとしてブロックの安定性を考える。

まず、ブロックを構成する不連続面に作用する原位置応力を Fig.2 に示すように、法線方向(ブロックの内側を向くように設定)、すべり方向、その 2 つに直行する方向の 3 つの成分に分ける。成分に分ける際に、不連続面を微小三角形要素に分割し、微小三角形要素内では、応力の値と方向は微小三角形要素の重心のもので一定であるとする。そして、微小三角形要素に作用する力を足しあわせ、近似的積分することにより不連続面に作用する力を求める。

次に、不連続面に作用する力からブロックに作用する力を求める。1 つの不連続面に注目して考えると、ブロックには、Fig.3 に示すように不連続面に沿った力としては、原位置応力が不連続面に及ぼす力の反作用の力とせん断抵抗力が働く。不連続面でのせん断抵抗力は最大限のものが得られるとすれば、不連続面に沿った抵抗力のすべり方向成分は内部摩擦角を ϕ 、粘着力を c とすれば、次式で表される。

$$F_i = c_i \cdot A_i + N_i \cdot \tan \phi + T_i \quad (\text{ただし, } T_i < 0)$$

これらを用いて安全率を表す。安全率をブロックの移動方向へのブロックの自重の成分と抵抗力の成分の比で表せば、

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^3 (c_i \cdot A_i + N_i \cdot \tan \phi_i + T_i)}{W}$$

となる。

3. 適用例

Fig.3 に示すように円型トンネルの天端に発生するキープロックについて安定性の比較を行う。ブロックは底面が一定で高さ

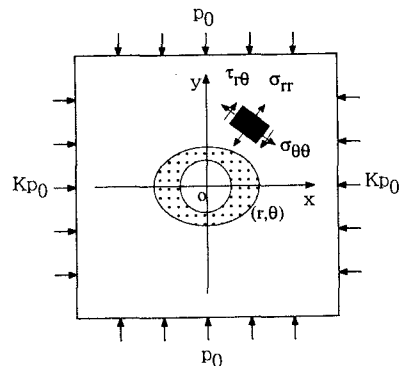


Fig.1 円孔周辺の応力場

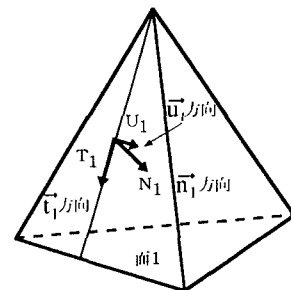


Fig.2 不連続面に作用する力

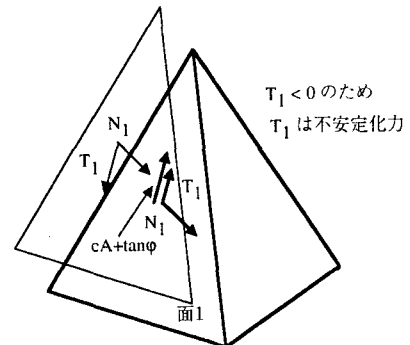


Fig.3 ブロックに作用する力 (すべり面でない場合)

を変化させる。地山の物性と初期応力状態は Fig.4 に示す通りである。結果は各初期応力状態における安全率 F_s について Fig.5 に示す。図は r - θ 座標系で r は安全率 $F_s=0, 1, 2$ を満たすブロックの高さ、 θ は初期応力の角度に対応する。例えば、 $K=1.0$ の時、 $\theta=0^\circ$ で $F_s=2$ となるのは、ブロックの高さが半径の約 1.2 倍であるという意味である。

原位置応力の効果により、底面が一定であればブロックが高くなるほど、ブロックの安定性は高くなる。 $F_s > 1$ の領域では原位置応力の影響によりブロックは無支保で自立し、 $F_s < 0$ の領域では原位置応力はブロックを落下させる力として働くことになる。また、ブロックの安定性は初期応力の影響を受けることも分かる。

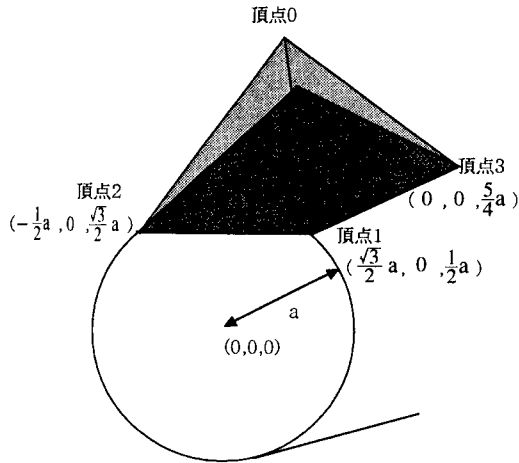


Fig.4 ブロック形状

粘着力 c	$1.8 \text{ (tf/m}^2\text{)}$
内部摩擦角 ϕ	32.4°
単位体積重量 γ	$2.56 \text{ (tf/m}^3\text{)}$
ポアソン比 ν	0.25
トンネル内径 a	12.5m
初期応力 p_0	$-10 \text{ (tf/m}^2\text{)}$

Fig.5 物性値

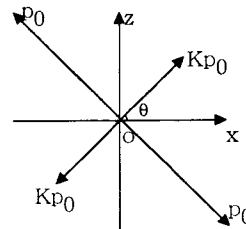


Fig.6 初期応力状態

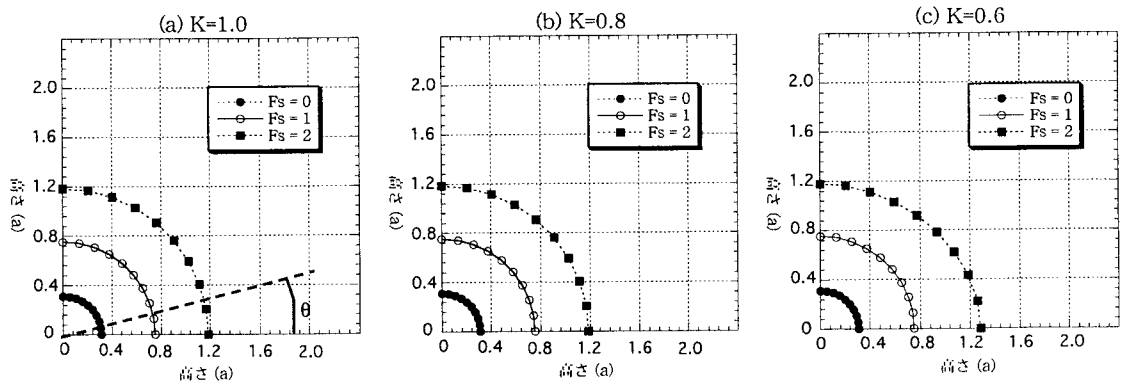


Fig.7 ブロックの安全率に対する高さ

4. 結論

原位置応力を考慮することにより、ブロックの安定性はその影響を大きく受け、落下ブロックでも無支保で自立する場合も多いことが分かった。原位置応力の分布については、有限要素法などを用い、地山の緩みのブロック自体への影響を検討する必要がある。

参考文献

- 1) Goodmann, R.E. and Shi, G.-H., 吉中龍之介・大西有三: ブロック理論と岩盤工学への応用. 土木工学社, 1992.
- 2) 福島啓一: わかりやすいトンネルの力学(7~9), トンネルと地下, 1992.2~4.