

III-295

ロックボルトを含む不連続性岩盤のモデル化に関する考察

（株）大林組 土原久哉 鈴木健一郎
桑原 徹 平間 邦興

1. はじめに

不連続性岩盤において、ロックボルトの作用効果を数値解析的に考慮する方法として、これまでは連続体として近似された岩盤に対して棒要素、トラス要素、特殊結合要素などでモデル化された要素を陽に取込む方法が取られて来た。しかし、この手法では不連続面を縫い合わせるというロックボルトの効果は表現できない。従って、不連続性岩盤におけるロックボルトの作用効果を考慮するためには、ロックボルト打設後にそれを含む不連続性岩盤を等価な連続体として近似する必要がある。小田¹⁾により提案されたクラックテンソルは、岩盤内に存在する不連続面によって形成される幾何学的な特性を表現する手法であり、不連続面の力学的特性、及び岩質部分の力学的特性を考慮することにより、岩盤の巨視的な弾性係数が表現できることも示されている。不連続面の幾何学的特性を表現するパラメータの1つに大きさ（長さ）があるが、不連続面の凹凸や部分的な接線の存在により、見掛けの大きさと力学的に有効な大きさというものに差異がある。これを補正する意味でクラックテンソルには、 λ というパラメータが導入されている。ロックボルトが不連続面を貫通する場合、その部分では不連続面が接触またはそれ以上の拘束効果をもって、力学的に有効な大きさを変化させる可能性がある。ボルトによる不連続面の拘束効果を λ に導入した形でクラックテンソルを決定し、ボルト打設領域をボルトを含んだ等価な連続体で近似することにより、補強効果が十分表現できることを数値実験により示すものである。

2. 数値実験結果

図-1は岩盤の割れ目調査データに基づき数学的に取り扱える分布形として、方向を正規分布、長さを対数正規分布で近似した岩盤モデルである²⁾（120mX120m）。クラックテンソルで表示すると次式ようになる。

$$F_{ij} = \begin{bmatrix} 10.52 & 13.0 \\ & 17.46 \end{bmatrix} \dots (1)$$



図-1 モデル岩盤

表-1 入力パラメータ

弾性係数	$5.6 \times 10^8 \text{ kgf/cm}^2$
ポアソン比	0.21
クラックせん断バネ定数	$3.57 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$

また力学パラメータとして花崗岩を対象に表-1のように決定した。図-2は以上の条件から岩盤モデルを直交異方性体として置換え、等方圧を載荷し中央に円孔を掘削解析した時の変形挙動を示す。つぎにロックボルトをこの円孔壁に配置した。ボルトで貫かれた不連続面を λ で補正する際、 λ は以下のように表わせる。まず不連続面のせん断剛性は不連続面の長さを r 、せん断バネ定数 G_0 として

$$G = G_0 / r \dots (2)$$

ボルトで補強され、せん断剛性が G^* に向上するとして

$$G^* = G_0^* / r \dots (3)$$

また $G_0^* = (1 - \alpha) G_0 + \alpha G_B \dots (4)$

(G_B : ボルトのせん断バネ定数)と仮定し α は

$$\alpha = 4 a_s / (\pi r^2) \dots (5)$$

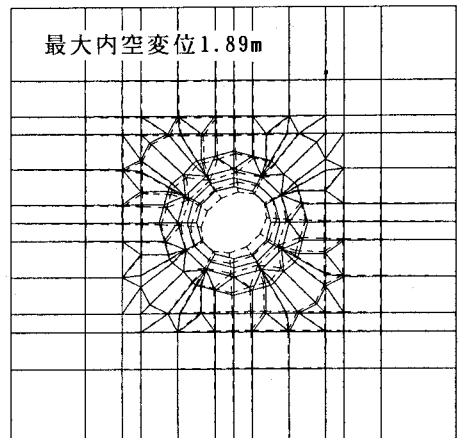


図-2 変形図（無支保）

a_s はボルトの断面積である。また、せん断剛性の向上を r が r^* に変化したと置き換えれば

$$G^* = G_0 / r^* \dots (6)$$

$$G^* / G_0 = \{ (1 - \alpha) G_0 + \alpha G_B \} / G_0 = r / r^* = 1 / \lambda \dots (7)$$

$r \sim \lambda$ 関係を示したのが図-3である。ボルトに交わる不連続面の長さ r を $r^* (= \lambda r)$ と補正する。不連続面のせん断バネ定数が大きいと λ は1に近くボルトの効果はあまりない。ボルトを打設した領域のクラックテンソルは

$$F^*_{ij} = \begin{bmatrix} 1.02 & 0.83 \\ & 0.76 \end{bmatrix} \dots (6)$$

となる。図-4は上記のデータを入力し掘削解析したときの変形挙動である。図-5は比較のためにトラス要素を使って補強効果を解析した時の変形挙動である。これを見ると不連続面を入れて補正した形でボルトを取込んだほうが拘束効果が反映され変位を小さいものに止めている。

3. 考察およびまとめ

ロックボルトを含んだ不連続性岩盤は不連続面の長さをパラメータ λ で補正させることにより補強効果を表示できることが確認できた。これと従来のモデルとして用いられるトラス要素と比較してみると変形は拘束され、 λ はクラックテンソルに対し補強効果をよく反映している。トラス要素による支保は不連続面を考慮してないことからあまり効果を示さない。ロックボルトは不連続面の動きを拘束することが岩盤を安定させる大きな要因と評価し、不連続面の特性を表わすパラメータであるクラックテンソルのなかにボルトの効果を含んで取込むことが有効である。ボルトを打設した後の状態で岩盤を等価な連続体に置き換えることがボルトを忠実にモデル化していると考えられる。今回のシミュレーション解析ではボルトによって補強されるクラックが既知として解析したが実岩盤では不可能であり、クラックの分布状態からボルトによって補強されるクラックを何らかの方法で推定し、さらに3次元での補強効果を検討してみる必要がある。最後にロックボルトの作用効果については神戸大学櫻井教授、クラックテンソルについては埼玉大学小田教授のご指導を得たことに、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) Oda, M., K. Suzuki & T. Maeshibu: Elastic Compliance for Rock-Like Materials with Random Cracks, Soil & Found., Vol. 24, No. 4, 1984, pp. 27-40

2) Long, J.C.S., Remer, J.S., Wilson, C.R. and Witherspoon, P.A.: Porous Media Equivalents for Networks of Discontinuous Fractures", Water Resources Research, Vol. 18, No. 3, 1982

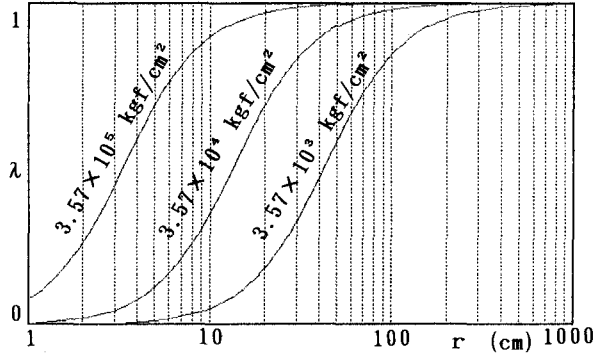


図-3 r ~ λ 関係

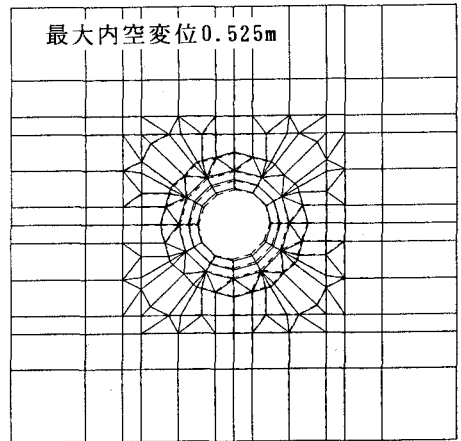


図-4 変形図(支保)

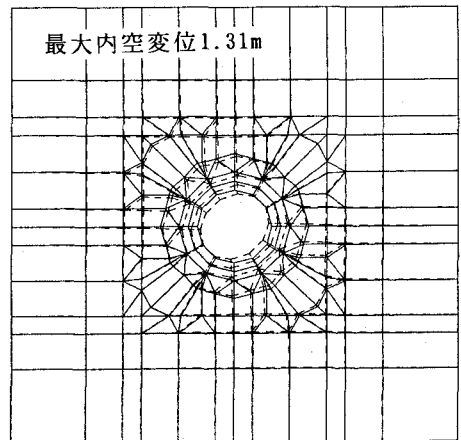


図-5 変形図(トラス要素, 支保)