

III-267

不連続性岩盤の弾性解析

—クラックの剛性に関する基礎的研究—

埼玉大学 学生会員 ○木村 健司 徳留 顕二  
正会員 小田 匡寛

1. はじめに

岩盤には、多数の不連続面が存在しており、岩盤の力学特性を理解する上でこれらの地質不連続面の力学的取扱いと、その評価が重要であることは、今更言うまでもない。ここでは、クラックテンソル<sup>1)</sup>の概念を適用して不連続性岩盤の弾性解析を考える。この場合に必要となるパラメータを挙げてみると次のような三つに分類することが出来る。

- 1) 基質部の岩盤の変形性を示すヤング率、ポアソン比
- 2) クラックの幾何学性から決定されるクラックテンソル
- 3) クラックの力学性から決定されるクラックの垂直剛性、せん断剛性

従来の解析では、3)のクラックの剛性に関しては、弾性解を用いており、垂直剛性とせん断剛性を等しいと置くものであった。本研究では、このような剛性の決定方法が異方性岩盤を評価する上で適当であるかどうかを数値実験により検討するものである。

2. 解析手法

クラックテンソルによる不連続性岩盤に対する応力～歪関係は、次式によって示される。

$$\bar{\epsilon}_{ij} = \left[ \frac{1+\nu}{E} \delta_{ik} \delta_{jl} + \frac{\nu}{E} \delta_{ij} \delta_{kl} + \left( \frac{1}{k_n E} - \frac{1}{k_s E} \right) F_{ijkl} + \frac{1}{K_s E} \left( \delta_{ik} F_{jl} + \delta_{jk} F_{il} + \delta_{il} F_{jk} + \delta_{jl} F_{ik} \right) \right] \bar{\sigma}_{kl} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\sigma}_{ij}$ 及び $\bar{\epsilon}_{ij}$ はそれぞれ平均化した巨視的な応力と歪であり、 $\delta_{ij}$ はクロネッカーのデルタ記号、 $E, \nu$ はそれぞれ基質部のヤング率とポアソン比、 $F_{ij}, F_{ijkl}$ は、クラックテンソルの二階、四階の成分であって、クラックの幾何学性を定量的に示している。また、 $k_n, k_s$ はクラックの代表寸法を $r$ 、垂直剛性とせん断剛性を $K_n, K_s$ とすると、次式で示される無次元量である。

$$K_n = k_n E / r, \quad K_s = k_s E / r \quad (2)$$

従来、 $k_n, k_s$ は、二次元楕円クラックの弾性問題としてとらえ、それと等価な剛性率として、共に $2/\pi$ に等しいとした。ところが、Bandisら<sup>2)</sup>は、クラックの垂直剛性、せん断剛性の比は図-1のようであると報告している。この図によればクラックの剛性比 $k_n/k_s$ を $R$ とすれば、 $R > 1$ となり、 $k_n$ が $k_s$ に比べてはるかに大きい。また、その比は垂直応力に大きく依存している。そこで今回は、この関係を採用し、 $k_n = 2/\pi$ とした上で、 $R$ の値を1, 5, 10, 15と変化させて解析を行うこととした。

なお、今回の有限要素解析には、図-2 (d) に示すような長いクラックIと短いクラックIIが格子状に入った岩盤モデルを用い、载荷方向とクラックIの成す角 $\alpha$ を $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ と変化させて、岩盤内の応力分布（今回は、最大せん断応力の分布）を調べた。また、ヤング率、ポアソン比は後で述べる実験に用いられた $55,000 \text{ kp/cm}^2, 0.2$ の値を使った。

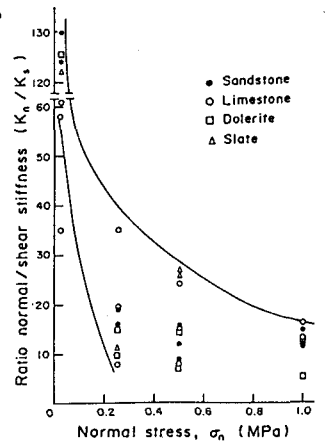


図-1 垂直応力（载荷重）とクラックの剛性比の関係

3. 結果及び考察

$R=1, 10$ の結果を図-2 に示す。 $R=1$ のときは、クラックIの方向にのみ応力分配が起こるのに対し、 $R=10$ のときには、 $\alpha=30^\circ, 60^\circ$ と言った任意の傾きを持ったクラックに対しては二つの特徴的な応力の流れが現れている。このことは、 $R=5, 15$ の場合に対しても言えることである。

図-3 は、Gazievら<sup>3)</sup>によって行われた石膏モデルを用いた実験から得られた応力分布図である。この結果は、図-2 の $R=10$ の解析結果に非常に良く似ている。

4. まとめ

以下の2点を結論としてまとめておく。

- 1)  $R=1$ 、つまりクラックのせん断剛性が、垂直剛性に等しくなることは、比較的希なケースであると考えられる。
- 2) クラックテンソルを用いた解析において、 $R>1$ とすることでGazievらの実験結果にみられる二つの特徴的な応力の流れを再現することが出来た。この事からクラックの剛性比 $R$ が、岩盤内の応力分布に非常に重要な影響を与えることが判った。

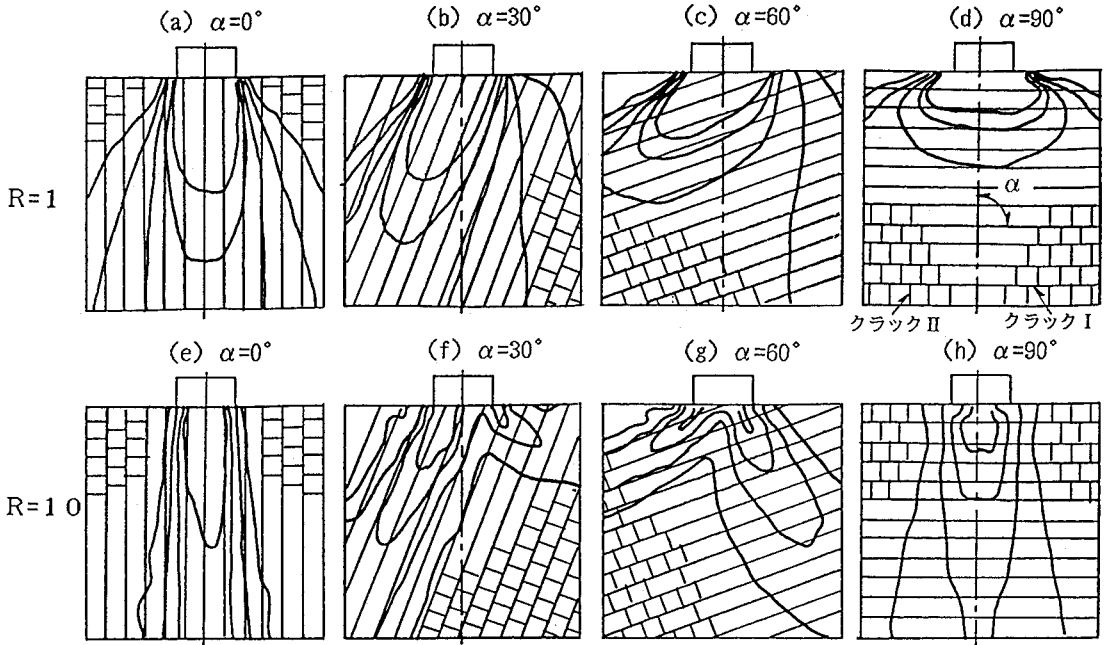


図-2 数値解析より得られた応力図 (上段;  $R=1$ , 下段;  $R=10$ )

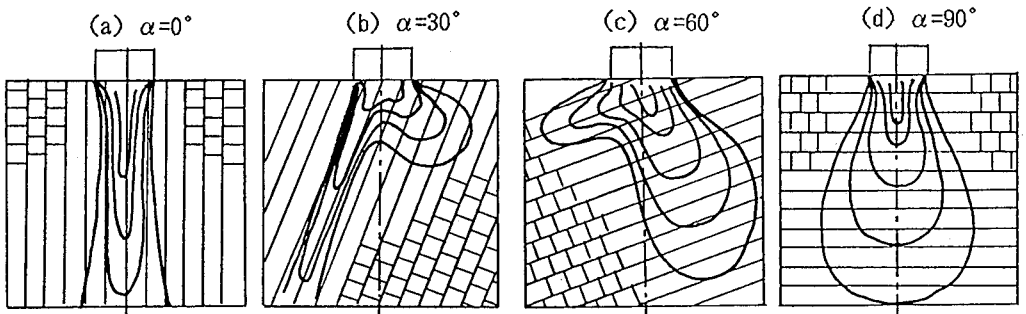


図-3 石膏モデル実験より得られた応力図

- [参考文献] 1) M. Oda; An experimental study of the elasticity of mylonite rock with random cracks; Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 25 (2), 1988.  
 2) Bandis, S. C., Lumsden, A. C. & Barton, N. R.; Fundamentals of Rock Joint Deformation; Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 20 (6), 1983.  
 3) E. G. Gaziev & S. A. Erlikhman; Stresses and strains in anisotropic rock foundation (model studies); Symposium Soc. Internat. Mécanique des Roches, Nancy 1971.