

III-189

透水テンソルに関する数値実験 (第二報)

埼玉大学大学院 学員 羽出山 吉裕

埼玉大学工学部 正員 小田 匡寛

1. はじめに: 岩盤内の透水性を評価することは、放射性廃棄物の地下投棄プロジェクトなどの問題と絡んで現在多くの関心が持たれている。岩盤の透水性は、節理・小断層(総称してクラックと呼ぶ)などの不連続面の形状や、その規模に大きく支配されている。従来の研究により節理性岩盤の透水テンソル K_{IJ} は(1)式で表され等価な多孔質媒体に置き換えられる事が主張されている。 P_{IJ} は(2)式で定義される二階の対称テンソルでクラックの幾何学的性質に依存する量であり、またクラックの幾何学的性質を定量的に表現した二階のクラックテンソル F_{IJ} は、(3)式で定義され、クラックの相対密度 F_0 、異方性の指標 A_f は、(4)、(5)式で定義される。 λ は、クラック相互の連結性を示す無次元量のパラメーターであり、理論上、クラックの大きさが無限大となる時 Cubic Low により $1/12$ に収束する量である事が解っているだけで、クラックテンソルからだけでは明確な解釈がなされていない。最近の研究により、節理性岩盤の水理・力学的性質を表現する為に構造最小単位²⁾という概念が提案されている。本報告では、この構造最小単位を透水問題から考察し、構造最小単位を考慮した数値実験を行い、不連続面の連結性に関して従来の研究結果と比較、検討を行なう。

2. 数値実験: 数値実験は、Willson, Long,³⁾ 大西⁴⁾によって開発されたものであり、これらの詳細については文献を参照されたい。今回、解析に用いたクラックパターンは、クラックを二系列とし、方向分布に正規分布を与え、クラックの長さ、開口幅を一様分布、正規分布、対数正規分布と様々な分布を用いて作成した。また、節理系のクラックテンソルの諸量は、 $F_0=2.91 \sim 22.1$, $A_f=0.01 \sim 0.76$ と広範な領域で行った。

3. 数値実験の結果: (1)透水問題での構造最小単位実験結果の代表的な例として、Fig.1,2,3に解析に用いたクラックパターンと、縦軸に(6)式で定義される透水テンソルの相対誤差の指標 $E^{(2)}$ 、横軸に(7)式で定義される構造単位 $L/\bar{r}$ をとったものであり、以下のように要約できる。1)クラックパターンによらず解析領域の寸法 $L(\propto L/\bar{r})$ を大きくすると誤差の指標 $E^{(2)}$ は 0 に収束する傾向を持つ。2) Fig.1,2 は異方性の程度 A_f をほぼ一定に固定して F_0 の大きさを变化させたものであり、 F_0 の大きいもの程 $E^{(2)}$ は早く 0 に収束する傾向にある。また Fig.2,3 は、クラック密度 F_0 をほぼ一定に固定し A_f を变化させたものであり、異方性、等方性の程度による顕著な差は認められない。3) 透水問題における構造最小単位は、 $E^{(2)}$ の許容誤差をいくつに設定するかに依存し、また $E^{(2)}$ はクラック密度 F_0 の値によって収束の程度が異なる事から、これら二つのパラメータを考慮する事で構造最小単位を設定することができる。(今回は $L/\bar{r}=2.0 \sim 3.5$ とした。)

(2)連結性を示す λ の考察

構造最小単位を満たした領域で行われた解析結果を用いて縦軸に連結性の指標 λ 、横軸にクラック密度 F_0 をとったのが Fig.4 であり以下の事が言える。

1) F_0 が 6未満の場合、クラックの連結性が低い為に岩盤内の透水性はクラック間の流れが支配的であるとは言

$$K_{ij} = \lambda (P_{kk} \delta_{ij} - P_{ij}) \quad (1)$$

$$P_{ij} = \int_0^{\infty} \int_{\Omega} t^3 r^2 n_i n_j E(\underline{n}, r, t) d\Omega dr dt \quad (2)$$

$$F_{ij} = \int_0^{\infty} \int_{\Omega} r^3 n_i n_j E(\underline{n}, r) d\Omega dr \quad (3)$$

$$F_0 = F_{ii} = F_{11} + F_{22} + F_{33} \quad (4)$$

$$A_f = \sqrt{3} (F_{ij} F_{ij} - \frac{1}{3} F_0^2)^{1/2} / F_0 \quad (5)$$

$$E^{(2)} = \frac{(\delta K_{ij} \delta K_{ij})^{1/2}}{(K_{ij} K_{ij})^{1/2}} \quad (6)$$

$$\delta K_{ij} = K_{ij} - K'_{ij}$$

K_{ij} : 全領域の透水テンソル

K'_{ij} : 部分領域の透水テンソル

$$\bar{r} = \left\{ \int_{\Omega} r^2 f(\underline{n}) d\Omega \right\}^{1/2} \quad (7)$$

$$L/\bar{r}$$

L : 解析領域に内接する正方形の一辺の長さ

えず。透水性は基質部とクラック中の流れの相互作用として判断しなければならない。

2) F_0 が 6以上15未満の場合、 F_0 が増加するに従って λ はほぼ線形的に増加し等方的なものほど早く収束する傾向がある。

3) F_0 が15 以上の場合、 λ はある幅を持ちながら0.055～0.065 に収束していく。これは、従来の結果、また理論値の1/12とは異なる結果である。これは、クラック長さが有限であるために、不連続面相互の連結が十分に満たされるが、解析領域内の死水域や、解析領域を設定することによる打ち切り誤差と考えられる。

4. おわりに：透水問題に対して構造最小単位を定義し、クラック相互の連結性を表すパラメーター λ に対して構造最小単位概念を用いる事で明確な解釈を与える事ができた。今後はこれらの概念を用いた三次元モデルの開発、解析をすすめていく方針である。

謝辞：本報告の作成にあたって数値解析においては、御指導していただいた京都大学工学部 大西有三助教授に深く感謝いたします。また、解析作業では、埼玉大学大学院 原 夏生氏の協力を得た。

参考文献

- 1) 小田, 羽出山, 前浜 " 透水テンソルに関する数値実験 " 1985 第40回年次講演会
- 2) 小田, 羽出山, 高野 (1986) " 不連続性岩盤の水理・力学的性質を評価するために必要な最小供試体寸法について " 第18回岩盤力学に関するシンポジウム。
- 3) Long, J.C.S., et al. (1982): Porous media equivalents for networked of fractures, Water Resources Research, Vol.18(3)
- 4) 大西有三・西野賢治 (1984): 岩盤割れ目情報を利用した岩盤浸透解析第16回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集. pp.76-80.

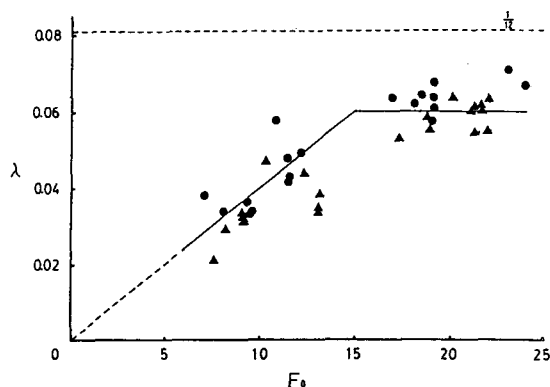


Fig.4 Relation between λ and F_0

●:isotropic, ▲:anisotropic

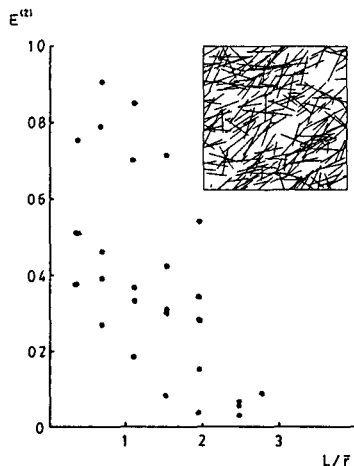


Fig.1 Crack pattern ($F_0=8.10, A_f=0.08$) and decrease of error $E^{(2)}$ with increase of size.

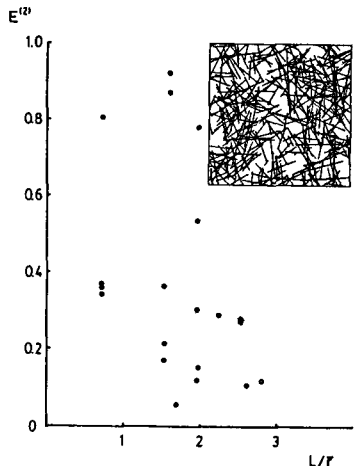


Fig.2 Crack pattern ($F_0=12.13, A_f=0.08$) and decrease of error $E^{(2)}$ with increase of size.

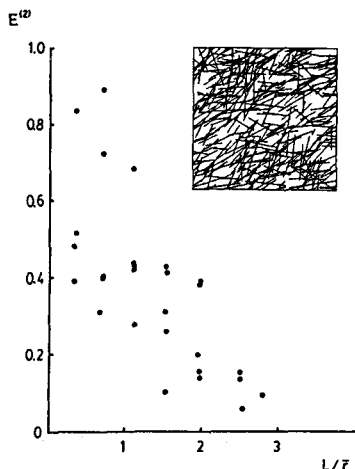


Fig.3 Crack pattern ($F_0=12.30, A_f=0.53$) and decrease of error $E^{(2)}$ with increase of size.