

III-87

亀裂の破壊パターンと単一亀裂内の飽和・不飽和流

CRC総合研究所 正会員 中屋 眞司

1 はじめに

岩盤浸透の最近の話題に、亀裂面の凹凸とフローチャネルリングの発生の問題がある。従来よりこの問題の研究は、飽和領域に関するものが多く、不飽和流についてはあまり研究が進んでいない。しかし、地表に近い領域にこそ、開口した亀裂の発達が著しく、そのような領域では、不飽和浸透が主な水の流動形態であると考えられる。そこで、不飽和域を含む単一亀裂内の地下水流動を解析するため、不均質な開口幅分布を持つ二次元単一開口亀裂内の浸透モデルを開発した。

従来より、亀裂内の開口幅分布を数値的に発生させる場合、観察事実に基づいていくつかの確率統計的な方法が考えられている。本研究では、岩石の破壊現象を単純にモデル化して、亀裂面の生成と関係づけた開口幅分布の発生を試みた。その後、作成した不均質な開口幅分布を持つ乾燥した単一開口亀裂内の水の流動を単一亀裂浸透モデルを用いてシミュレートした。

2 浸透モデル

浸透モデルの支配方程式は、質量保存則とダルシー則より単一亀裂面内の二次元浸透として次式のように表わされる。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \cdot (h-b) \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) + q = S_n \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (i, j=1, 2) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

$$k = \frac{g}{12\nu} t^2 \dots\dots\dots S_w = 1 \text{ のとき、} \quad k = \frac{g}{3\nu} (h-b)^2 \dots\dots\dots 0 < S_w < 1 \text{ のとき}$$

g : 重力加速度、 ν : 動粘性係数、 h : 全水頭、 b : 亀裂底面の高さ、 S_w : 飽和度
 $S_n = 0 \dots\dots\dots S_w = 1 \text{ のとき、} \quad S_n = 1 \dots\dots\dots 0 < S_w < 1 \text{ のとき}$

亀裂は正方格子に分割され、全要素間の水の移動が式(1)を満足するよう積分差分法により定式化した¹⁾。時間項の取扱は時間刻み、 Δt 毎の後退差分を用いている。図-1に要素の断面を示す。要素は、一定の開口幅、 t を持ち、要素毎に t は可変である。水頭の変化にともなって要素内に自由水面が現われる場合と飽和され、被圧される場合が式(1)で考慮されている。各要素は、水が移動し、浸潤フロントが要素に到達したときに活性化され、式(1)の解析の領域に付加されるという方法をとった。

3 破壊パターンと開口幅分布の発生モデル

亀裂面には、破壊前に、初生構造として微小クラックや弱面が存在し、そのような微小な領域の強度は他と比べて小さいと考えられる。したがって、破壊前には空間的に強度に不均質な分布があり、引っ張りなどの応力が作用した場合、破壊強度の小さい領域から次々に破壊が伝播し、巨視的破壊面が出現すると考えてもおかしくない。破壊すると応力再配分が起こり、破壊した部分の応力を周りの未破壊部分が受け持つことになり、それが新たな破壊を誘発すると考えた。また、破壊が生じると亀裂のオープニングが生じる。

格子に区分された亀裂面に、正規乱数を用いて破壊強度分布(4~6)を発生し、4.1の引っ張り応力を作用させた時の破壊の進行を図-2に示す。番号は、破壊の順番を表わしている。破壊した領域は一定の大きさで開口するものとし、他の亀裂と連結するとき更に開口が進むとする。図-3に破壊モデルにより生成される不均質な開口幅分布を持つ30cmx30cm(900要素)の二次元単一亀裂モデルを示す。

4 単一亀裂内の水の流動

図-3に示した水平な亀裂モデルについてシミュレーションした結果の一部を図-4に示す。亀裂分布に左右され、浸潤フロントの移動が均一に生じていないがわかる。図-5は、図-3の開口幅を20倍にした場合の結果で、チャンネリングの発生が見られる。

参 考 文 献

- 1) 西垣・二見・河野:積分差分法による異方性帯水層の浸透解析,土質工学論文集, 26, pp. 169-179. 1986.

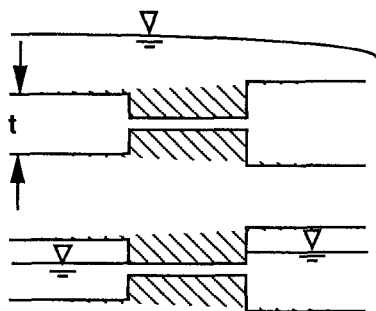


Fig.1 Fracture and head profile

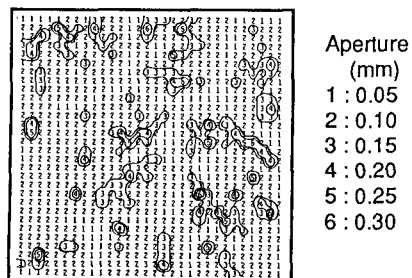


Fig.3 Variable aperture model (30cmx30cm,900 elements)

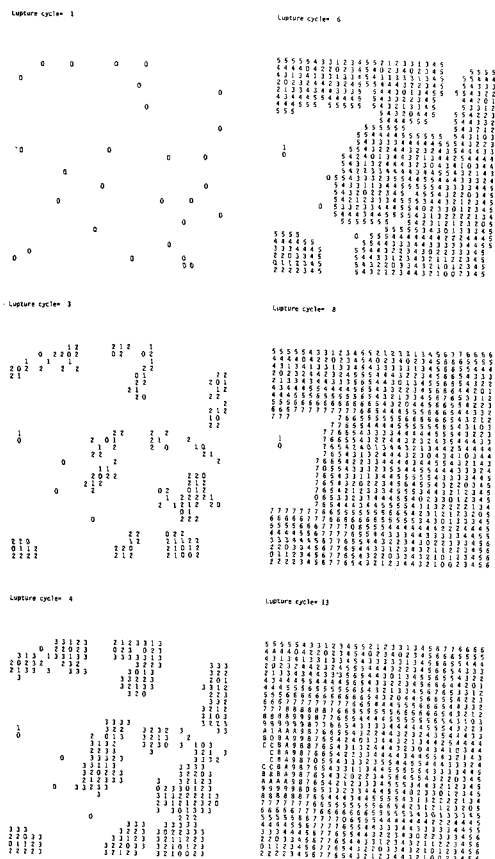


Fig.2 Fracture percolation

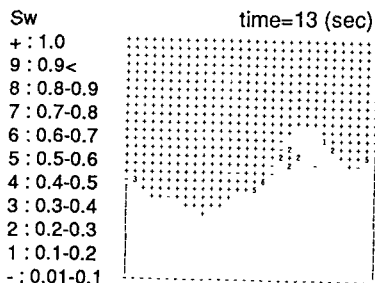


Fig.4 Water infiltration in variable aperture fracture

Lattice = 30 x 30

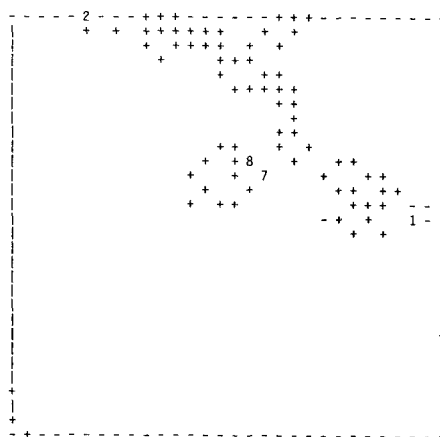


Fig.5 Water infiltration in variable aperture fracture