

III-517 室内実験結果に基づく不連続性岩盤内の浸透挙動に関する考察

大成建設（株）技術研究所 （正）下茂道人 （正）飯星 茂

1. はじめに

近年、大深度地下空間利用の多様化が進む中で、岩盤内地下水流動の定量的な評価技術の確立が望まれている。岩盤内の地下水流れには、大小の不連続面が重要な役割を果たすことが知られているが、不連続性を考慮した解析手法の開発・確証には、信頼性の高いデータの蓄積が不可欠である。そこで、著者等は、亀裂を含む岩盤試料内の水の流れを詳細に調べるための室内実験法を開発した。

本論文では、自然亀裂を有するブロック試料を用いた実験結果をもとに、不連続性岩盤内の浸透挙動について考察する。

2. 実験方法

注水実験は、著者らが開発したブロック試料を用いた室内透水実験法により行った。この実験法では、図-1に示すように、止水エレメントとアクリル板を取り付けたブロック試料を圧力セル内に入れて加圧することにより、表面の格子状の窓（パネル）を互いに止水し、これらのうち任意のパネルから注・排水が行える。この実験法は、試料寸法に制限があるものの、境界条件を3次元的にコントロールしながら注水実験が行える利点を有している。今回の実験には、30cm角のチャート試料を用いた。試料表面の展開図を図-2に示す。図中には、主要な開口性亀裂の位置を直線で示した。向い合う2面ごとに、A、A'、B、B'、C、C'と名前を付け、各面とも図-2の左上から右下に向かってパネル番号をつけた。開口亀裂は、C-C'面と平行な方向に多いが、これと高角度で交差するものも存在する。亀裂の連続性は必ずしも高くない。ブロック各面を25個ずつ合計150個のパネル（5cm角、シール幅5mm）に分割し、図-3に示すように、向い合う2面間（対面注水と呼ぶ）および対角方向（対角注水と呼ぶ）で注水を行った。注水圧、排水圧はそれぞれ、0.2MPaおよび0.1MPaである。排水側では、各パネル毎の流量をスタンドパイプにより測定し、総注水量の測定には流量計を用いた。各ケースとも、注・排水量がほぼ等しくなるまで、2時間～数時間を要した。

3. 実験結果

図-4 a, b, cに、全14ケースのうち、6ケースについてパネル毎の流量を示す。対角注水では、例えば、A'BC'→AB'Cとあるのは、A', B, C'3面の角（27パネル）から、A, B, C3面の角に向かう注水試験であることを示す。総排水量は、対面注水（A-A', B-B', C-C'）の場合、60.3、13.8、20.0cc/h、対角注水（A'BC'-AB'C、A'B'C-ABC、A'BC'-AB'C、A'B'C'-ABC）の場合、35.2、12.6、117.2、41.8cc/hであった。

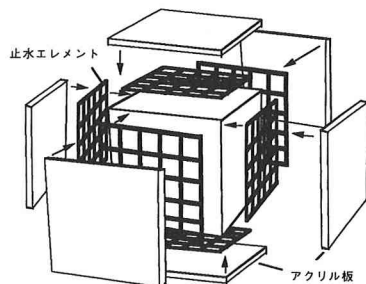


図-1 試料への止水エレメントの装着

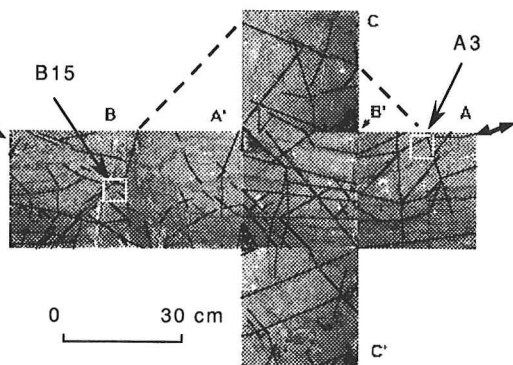


図-2 試料表面の展開図

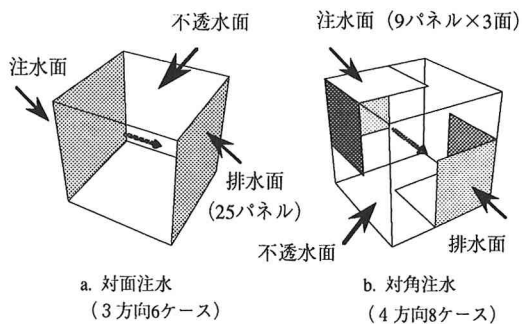


図-3 実験条件

4. 考察

対面および対角注水実験の総排水量から、各方向の等価な透水係数を計算すると、図-4（平方根で表示）のように、異方性連続体的な（すなわち、回転楕円体に近い）形状が得られた。しかし、各パネルの流量は、図-5に示すように数オーダーにわたってばらついており、試料内部では非常に不均質かつ不連続な流れが生じていることが伺える。特に、図-5cのA'BC'-AB'C'の結果では、A3とB15（図-1参照）の2つのパネル間で、総流量の35%~65%程度が流れている。A3とB15は、図-1に破線および両矢印線で示す方向に存在する2枚の亀裂面の交差線の両端にあたることから、両亀裂の交差線に沿ってみずみちが形成されている可能性が非常に高い。図-5cより、交差線に沿ったみずみちの透水性は、亀裂面のそれに比べて、数倍~10倍近く大きいことが分かる。図-6は、流量と亀裂量との関係を示したものである（対面注水A'-A'の例）。図の縦軸は、単位面積当たり流量、横軸は、パラメータ $LD = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n L_{jk}}{\sum_{j=1}^m A_j}$ (m: 計算するパネルの数、n: 各パネル内の亀裂の数) である。LDは、単位面積当たりの亀裂長さであり、これを亀裂量の指標とした。流量およびLDの値は、スケールの影響を見るために、m=1（各パネル毎）、2×2（隣接する4つのパネル）、5×5について計算した。図より、亀裂量と流量には明かに正の相関があり、mの値が増大すると共に相関性が向上することが分かる。この結果は、スケールの増大と共に、亀裂量に対応した透水係数が存在する可能性を示唆している。

5. おわりに

新たに開発した室内注水実験法により、天然の複数亀裂を有する岩盤ブロック内の浸透挙動を調べた。その結果、①マクロな透水係数の形状は連続体的であっても、ブロック内では非常に不均質かつ不連続な流れが生じている。②亀裂の交差線に沿って特に透水性の高い領域が存在する。③亀裂の量と透水性の相関性は、対象とするスケールの増加と共に向上する、といったことを裏付けるデータが得られた。この結果は、不連続性岩盤中の地下水流れの解析において、不連続面の分布および局所的な高透水ゾーンのモデル化が重要であることを示している。今後は、実験データの蓄積に努めるとともに、数値解析結果との比較を行い、種々の岩盤内浸透解析モデルの妥当性について検討を進める予定である。

参考文献

下茂、飯星：複数亀裂を有する岩盤ブロック内の浸透挙動に関する室内実験、第25回岩盤力学に関するシンポジウム、PP.491-495、1993。

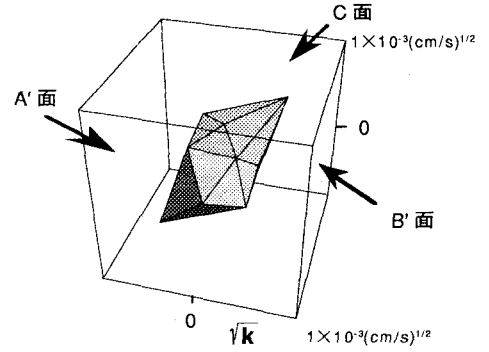


図-4 各方向の等価な透水係数

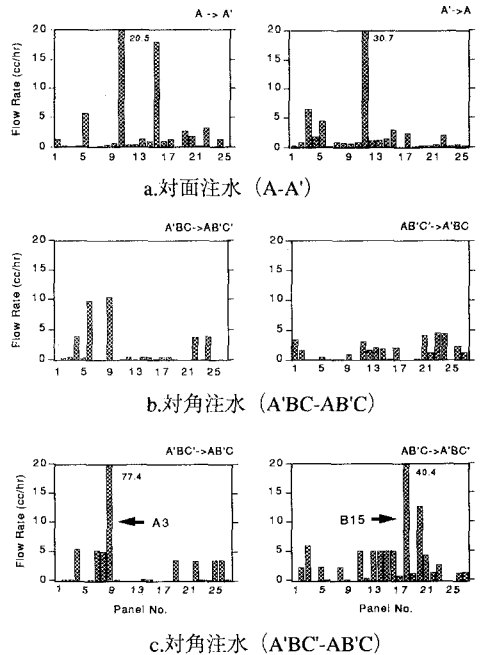


図-5 各パネルの流量分布

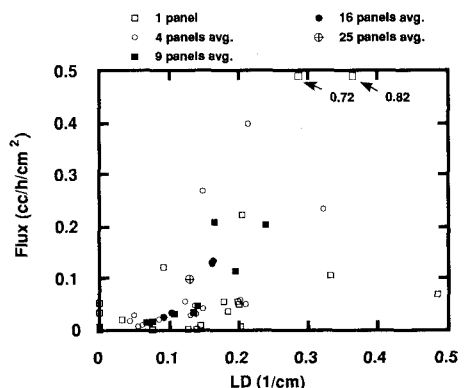


図-6 亀裂量と流量の関係 (対面注水A'-A'の例)