

応力に依存した不連続面の挙動と その透水特性

九州大学 学生会員 山口甲秀

正会員 江崎哲郎

正会員 木村 強

大森一徳

1. はじめに

地下に構造物を建設する際に、岩盤内の水の圧力や流れを把握することは重要である。水の流れが構造物に影響を及ぼすのみならず、周辺の岩盤の強度にも影響を与えるからである。本研究は、岩の中の水の流れの特性の一部を実験的に把握しようとするものである。岩の透水性は一般に岩質部の透水性よりも、不連続面の透水性がかなり大きいので、基礎研究として単一不連続面の透水性を調べることにした。単一不連続面は、垂直変位のみならず、せん断変位も生じる。せん断変位が生じた岩石は、垂直応力が小さい範囲ではダイラテンシーを生じてその透水性が大きく変化することが予想される。また従来行われてきた岩の透水試験は、動水勾配が実際のそれと比べて一般に著しく大きいようである。そこで今回の透水試験に要求される条件は、(1)入力側のみならず出力側にも圧力を加える方式であること、そして周圧、入力側及び出力側圧力を任意に変化させることができること、しかも、高い入出力下で低動水勾配が可能であること、(2)広いオーダーの透水係数に対応し、かつ精度が良いことである。このような透水試験機を試作して実験を行った。

2. 供試体

使用した岩石は、韓国南源産花崗岩(比重2.61、吸水率0.37%、飽和状態での一軸圧縮強度162MPa)である。供試体は直径50mm×長さ100mmの円柱形で両端が平行になるように整形し、真空脱気を72時間施して飽水させた。供試体は圧裂によって岩石の最も顕著な目(rift plane)の方向に人工的に不連続面を作製した。またかみ合わない不連続面の影響を調べるために、6mmだけかみ合わないものも用意した。

3. 試験装置の設計

応力に依存した不連続面の透水特性を試験する目的で、透水試験恒圧装置を設置した三軸圧縮容器を設け製作した。装置の回路図及び三軸容器の概略をFig-1に示す。試験装置の仕様特徴は以下の通りである。

①広範囲の圧力、透水係数に対応するために圧力源を高圧、中圧、低圧の3段階に分け、高圧はハイドロポンプを用いて、中圧はBALLOON-WATER-TANKで圧水を供給する。低圧部は出力側にも水压をかけられる定水位容器によって透水試験を行う。周圧の最大圧力100MPa、水压の設定圧力範囲は 10^{-4} ~70MPaである。②出力側に特殊なバックプレッシャーバルブを使用することによって、出力側に圧力源なしで圧力を加えることができる。従って単一の圧力源にて、任意の圧力、動水勾配を独立して設定することができる。また流量もこのバルブを経由して出てくる水の量を計ればよいので精度良く計測できる。従来の透水試験機は、供試体の一方に圧力を加えて、その透水量を測定するのが一般的であるため、入力側の圧力を大きくすると、長さは一定なので、動水勾配は比例的に大きくなる。これだと、高い圧力の場合は、動水勾配も大きい試験しかできず、実際の状況と矛盾する。供試体の両端に圧力を加える方式でも、圧力源が2個要ることや流量計測の精度に問題があったが、本機においてはこれらが改良された。③流量を電子天秤-マイクロコンピュータのシステムで自動計測する。また測定間隔が任意に設定可能で、かつ瞬時にモニターできるので、瞬間的流量の変化も正しく計測できる。④回路の管の抵抗による圧力低下の影響を小さくするために、圧力検出器はなるべく供試体に近いところに設置した。⑤水は脱気水を用い、圧縮空気と水の接触部はゴム膜を介して行う。

4. 実験結果及び考察

Fig-2は深部岩盤を想定した、拘束圧P3を2~30MPaに変化させた(a)かみ合った(b)かみ合わない不連続面

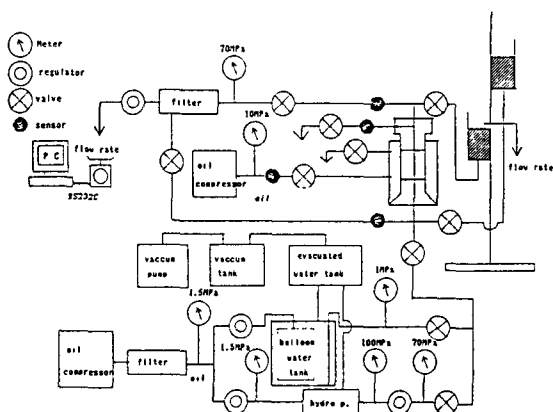


Fig-1

の透水実験の結果である。(b)の方が(a)より流れやすいこと、拘束圧が増加するにつれて流量が減少することがわかる。不連続面とくにかみ合わない場合の透水試験は非常に難しく、時間経過や応力履歴によって流れが変化し、再現性に乏しく圧

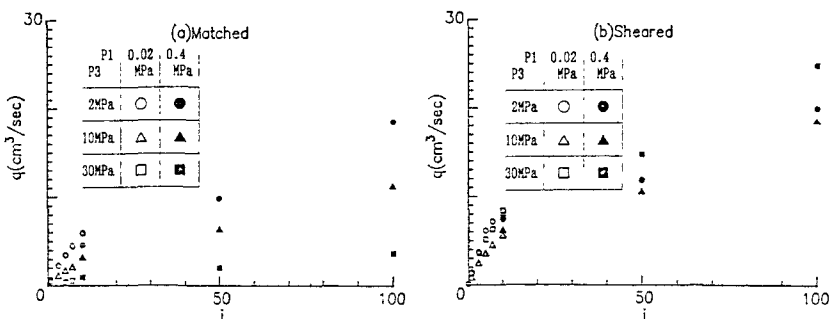


Fig-2

力の変化に必ずしも規則性がない。しかしながら実験の経過過程の中ではおよそ規則的な透水性が把握できる。2者とも動水勾配 i がかなり小さいところ ($i=10$ くらいまで) は流量は i に比例しているが、 i が大きいたところでは流量 q の増加が少なくなる。これは層流から乱流への移行によるものと考えられる。そこで、レイノルズ数 Re と抵抗係数 f の関係を求めてみた (Fig-3)。 i が10以下の場合 $f=96/Re$ に近似し、 i が50以上の場合それから離れる。つまり i の値により層流領域と乱流領域が存在することを示唆している。また拘束圧が大きくなると層流から乱流への移行が早くなる。次に、動水勾配 i が1~10の場合と10~200の場合 (Fig-3、Fig-4)を比較すると i が大きい方が直線 $f=96/Re$ より離れてくる。 i が小さいとほぼ直線上に示される。これは動水勾配を大きくすると同じレイノルズ数の場合でも隙間を通過するときに速度が大きくなり、乱流に移行しやすいためと考えられる。

5. まとめ

単一不連続面において(1)動水勾配が増加すると流量も増加するがその増加率は小さくなる、(2)拘束圧を大きくすると層流から乱流への移行が早くなる、という透水特性が分かった。しかしながらこれは巨視的結果であり、正確には微視的な割れ目の中での水の挙動を把握する必要がある。このための割れ目の凹凸の計測及びモデルの検討を行うつもりである。

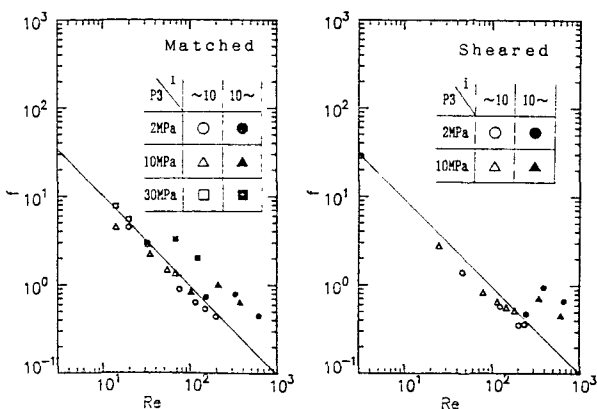


Fig-3

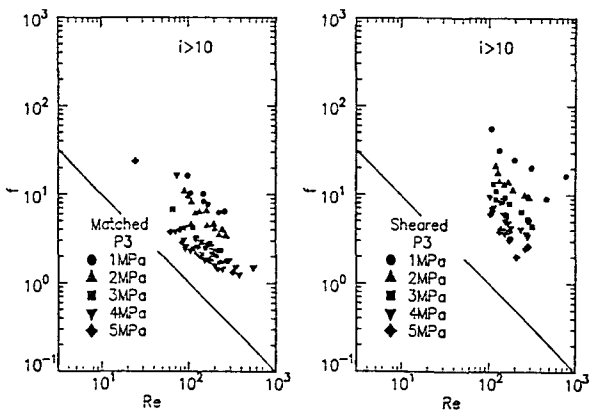


Fig-4

参考文献

- 江崎哲郎ほか；第19回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、141-145(1987)
大西有三；実務家のための岩盤工学セミナー、109-131(1985)