

不連続面のせん断－透水同時計測に関する研究

九州大学工学部

学生会員

○生貞幸治

正会員

江崎哲郎

学生会員

北条裕之

1.はじめに

地下空間を利用した施設を建設する際、岩盤内の地下水の挙動を正確に把握することがきわめて重要となる。岩盤の透水性は、岩盤内に存在する不連続面の透水性に大きく依存しており、その流動機構を解明すべく種々の研究がなされてきた。しかし、それらの研究は、せん断による不連続面の物理変形を考慮にいれていないものがほとんどで、せん断－透水同時計測の場合でも、せん断変位が小さい、垂直応力が一定でないなどの問題があり、必ずしも満足できるものとはいえない。我々研究グループは、昨年、これらの問題に対応したせん断－透水同時計測実験装置を開発し、有効なデータを得ることに成功したが、不連続面作成時における開口幅のばらつき、発生するグージが透水性に及ぼす影響等の問題点が残った¹⁾。本研究では、安定した状態で不連続面を作成するための載荷装置を考案し、開口幅のばらつきを抑えるとともに、繰り返しせん断により発生したグージが透水性に及ぼす影響について実験を行った。

2.不連続面の作成方法

試験体をせん断容器内にセットした後、安定した状態で不連続面を作成することにした。そのため、水平方向に一对の油圧ジャッキが従来の実験装置に付設され、その先端に鋼製のくさびが取り付けられている。不連続面の作成は、まず、ある程度大きい垂直荷重を加えた後に水平方向から圧裂を生じる荷重以上の載荷を行う。次に、その水平荷重を一定に保ちながら垂直荷重を徐々に除荷することにより安定した状態で試験体を圧裂させた。

3.実験装置および試験体

Fig.1に実験装置の概略を示す。せん断容器は下箱移動式で、上箱は、せん断容器を挟み込む形で設置されたロードセルを組み込んだ2本のロッドによって支持されており、上下移動および回転が許される。また、上箱の4隅に変位計を取り付け、その垂直変位を計測した。下箱には給水孔が設けられており、透水した水は試験体内部を通り、せん断面より約5mm上に設けられた堰から定水位で越流され、その流量は電子天秤で計測される。載荷はせん断方向、垂直方向共に油圧サーボ方式であり、制御は、それぞれ変位制御、荷重制御によって行われる。使用した試験体は韓国南原産花崗岩で、縦120mm、横100mm、高さ80mmの直方体である。また、不連続面の作成を容易にするため、試験体側面の中央部分に深さ10mm、幅1mm、のスリットが入れている。

4.実験方法

所定の垂直応力(1,5,10,および20MPa)まで載荷し、その応力を一定に保ちながらせん断を開始する。透水量の計測は、せ

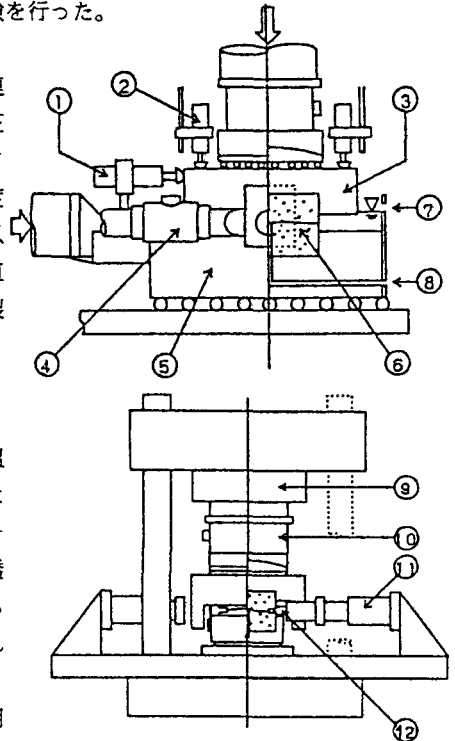


Fig.1 Shear-flow coupling test apparatus (a)side view,(b)front view: not a scale:
1.shear displacement meter,
2.normal displacement meter,
3.upper box, 4.load cell, 5.lower box, 6.specimen, 7.outlet,
8.inlet, 9.vertical jack, 10.load cell, 11.horizontal jack, 12. wedge

せん断の途中の各段階で一時的にそのせん断変位を保って行った。本実験では一つの試験体に対して10回のせん断を行い、それぞれ1, 2, 5, 10回目で以上の計測行程を行った。透水係数は差分法を用いて近似的に求めた。

5. 実験結果

せん断応力-せん断変位曲線を Fig.2、繰り返しせん断を行った場合の垂直変

位-せん断変位曲線を Fig.3 に示す。1回目のせん断では、せん断開始直後の垂直変位はほぼ一定の値を示すが、その後ダイレタンシーが生じ、せん断強度がピークに達するときダイレタンシーの勾配は最大となる。これは、せん断開始直後に不連続面の凹凸が噛み合い、その後凹凸の乗り上げが生じ、隙間幅が増大したためと考えられる。低い垂直応力下では、2回目以降のせん断も1回目と同様のダイレタンシーの傾向を示すが、高い垂直応力下では、凹凸の乗り上げと同時にその破壊が行われるので、せん断を繰り返すほどダイレタンシーは減少する。また、繰り返しせん断を行った場合のせん断変位と透水係数の関係を Fig.4 に示す。1回目のせん断では、透水係数は、せん断強度がピークに達するまでの区間で一定もしくは一時的に減少し、ピークを過ぎた後、1~2オーダー急激に増加し一定の値に達する。これは、ダイレタンシー曲線の挙動とほぼ一致している。2回目以降のせん断では、透水係数の急激な増加はみられず、せん断を繰り返すほど透水係数の値は低下する。この傾向は垂直応力が高いほど顕著になり、特に20MPa のケースでは、5, 10回目のせん断開始直後の透水係数が1回目より約1オーダー小さくなっている。これは、垂直応力が高いほど凹凸の破壊が激しく行われ、せん断による割れ目の隙間幅の変化がなくなり、それと同時に凹凸の破壊によって生じたグー지가透水経路を塞いだためと考えられる。

6. まとめ

- ・試験体をせん断容器にセットした後、不連続面を作成することにより、開口幅のばらつきを最小限に抑えることが可能となった。
- ・せん断を繰り返すとダイレタンシーは減少し、透水係数の増加は見られなくなる。この傾向は垂直応力が高いほど顕著で、発生したグー지가透水経路を塞ぎ透水係数を低下させる。

参考文献

1) 江崎哲郎 1990. 第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 pp346-350.

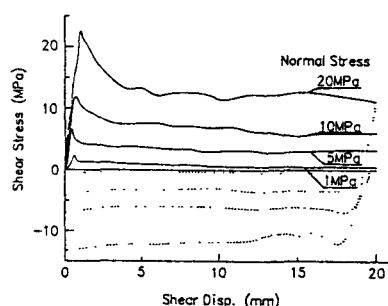


Fig.2 Shear stress-displacement curves obtained from the shear flow coupling tests

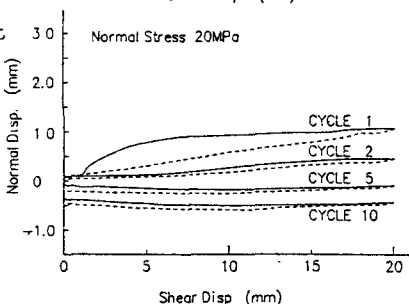
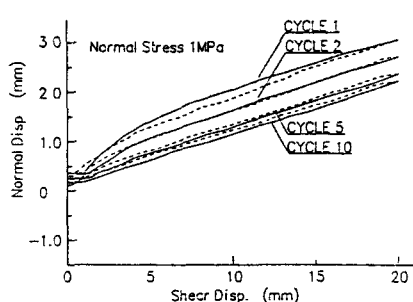


Fig.3 Normal-shear displacement curves obtained from the repetitive shear flow coupling tests

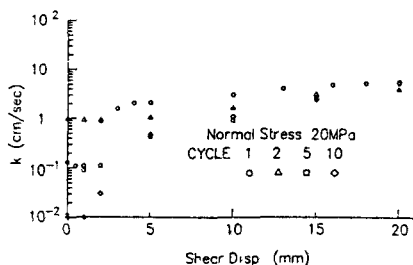
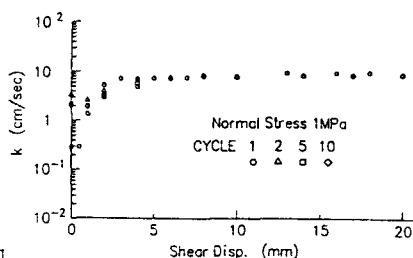


Fig.4 Hydraulic conductivity-shear displacement diagram for different constant normal stresses