

不連続面のせん断一透水同時実験手法に関する研究

九州大学工学部 学生会員○竹原 大倫 九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩
九州大学大学院 学生会員 中島 祐一 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分など地下深部の開発においては、岩盤の挙動に対して支配的である不連続面の様々な特性を明らかにする必要がある。それらの特性のうち特に、力学的・水理学的特性それぞれの重要性が指摘されている。これらの特性を同時に捕らえるために、様々な実験的・解析的検討がなされているが、その手法の困難さから、いまだ確立されていない。著者らはこれまで、不連続面に対して、垂直荷重及びせん断変位を与えると同時に、不連続面の透水を行う2種類のせん断一透水同時実験装置を開発してきた。本研究ではこれらの装置を用いて、実験手法の違いによるせん断一透水挙動への影響について検討を行う。

2. せん断一透水同時実験

2.1 実験装置

第1は、放射流透水型実験装置である(Fig.1)。これは、試験体中央部にあけた $\phi 6\text{ mm}$ の穴から放射状に透水を行う装置である。また、不連続面に対して垂直な方向の载荷を、垂直ジャッキと上箱の間に球座を介して一本のジャッキで行う¹⁾。

第2は、一方向流透水型実験装置である(Fig.2)。これは、透水試験時に試験体側面を止水し、不連続面の一端から、一方向流の透水を行う装置である。また、不連続面に対して垂直な方向の载荷を、二本の垂直ジャッキで行う構造をとっているため、上箱の傾斜を制御することができる²⁾。

2.2 試験体

試験体は中国産花崗岩〔単位体積重量 2.64 g/cm^3 、一軸圧縮強度 $171.6 \pm 2.6\text{ MPa}$ 、引張強度 $6.8 \pm 0.2\text{ MPa}$ 〕に不連続面を作成したものを用いる。放射流型実験装置では(Fig.3)に示す試験体を、一方向流透水型実験装置では(Fig.4)に示す試験体を用いる。また、不連続面作成時に発生した破砕物を取り除く場合と、取り除かない場合の2種類の試験体を用意する。

2.3 実験ケース及び実験方法

実験は垂直応力を 5 MPa で一定に制御しながら、せん断変位 20 mm までせん断速度 0.5 mm/s でせん断し、せん断変位 3 mm までは 0.5 mm 毎に、それ以後は 1 mm 毎に一旦せん断を止めて、透水試験を行う。実験ケースをTable 1に示す。放射流型実験装置の場合をTypeA、一方向流型実験装置の上箱の傾斜制御を行う場合をTypeB、傾斜制御を行わない場合をTypeCと称する。

3. 実験結果及び考察

実験結果をFig.5, Fig.6に示す。Fig.5はせん断変位に応じたせん断応力と垂直変位の変化を示す。図中のfront, rearはせん断方向に対して、前後の垂直変位である。Case3, 4では、front, rearに差はなく、実験中上箱

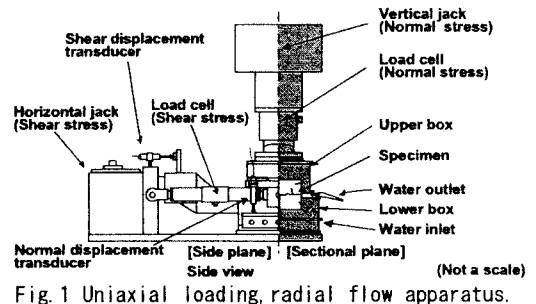


Fig.1 Uniaxial loading, radial flow apparatus.

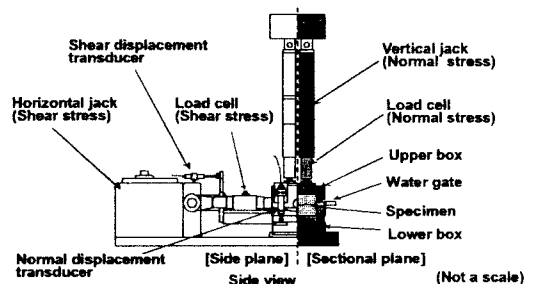


Fig.2 Biaxial loading, 1-D flow apparatus.

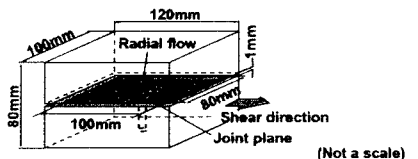


Fig.3 Specimen with an artificial joint.

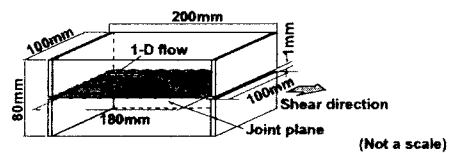


Fig.4 Specimen with an artificial joint.

Table 1 Test case.

Test of radial flow apparatus(TypeA)		
Constant normal stress	Case name	Remove gouges
5 MPa	Case 1	○
5 MPa	Case 2	—
Test of 1-D flow apparatus controlling inclination of upper box(TypeB)		
5 MPa	Case 3	○
5 MPa	Case 4	—
Test of 1-D flow apparatus not controlling inclination of upper box(TypeC)		
5 MPa	Case 5	○
5 MPa	Case 6	—

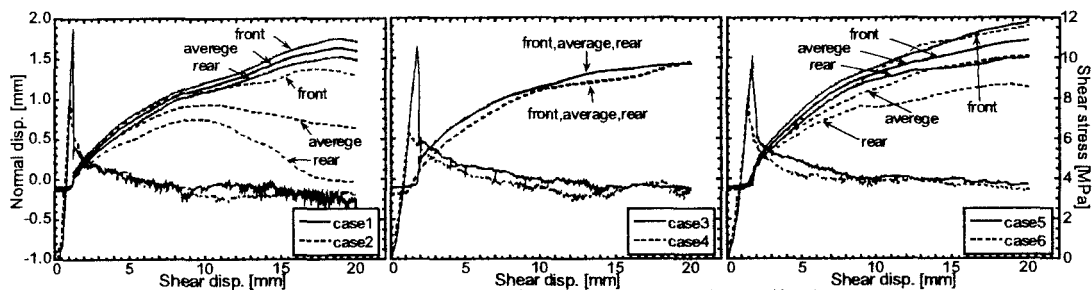


Fig. 5 Normal displacement and shear stress vs. shear displacement.

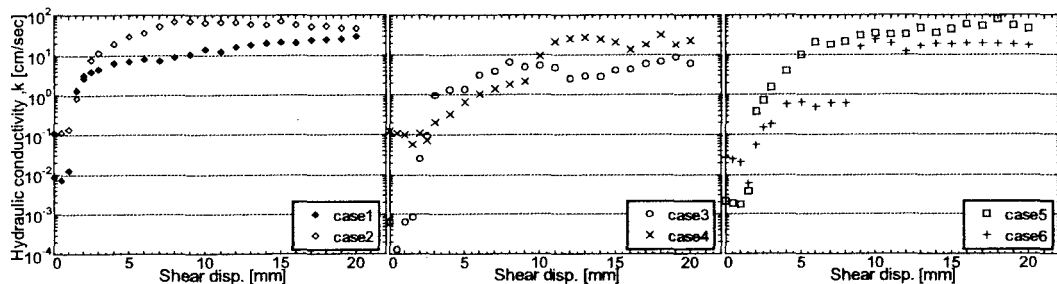


Fig. 6 Hydraulic conductivity vs. shear displacement.

の傾斜がほとんど生じていない事がわかる。Fig. 6はせん断変位に応じた透水係数の変化を示す。それぞれのCaseにおいて、せん断とともに透水係数は一旦減少するものの、ピークせん断応力を示すせん断変位以降、急激に増加する。その後、残留せん断応力を示すせん断変位では、透水係数の変化は比較的小さい。

3.1 垂直荷重の載荷方法による影響

ピークせん断応力を比較すると、TypeB, CはTypeAの約90%の値を示す。また、TypeB, CはTypeAの約50%のせん断剛性を示す。そして、ひずみ軟化域において、TypeB, Cでは不連続面作成時の破砕物の有無によるせん断応力の差が生じているが、TypeAではその差は生じていない。残留せん断応力は各Type間の違いはほとんど現れていない。TypeAとTypeB, Cとの相違については、載荷方法だけでなく試験体の大きさの違いもあるため、その影響を特定することは困難である。次に、TypeBとTypeCを比較すると、両者の間に違いはほとんど認められず、上箱の傾斜を制御することによる、せん断応力への影響は小さいと考えられる。

初期の透水係数を見ると、TypeB, CはTypeAより約1オーダー透水係数が小さい。また、残留域における透水係数を比較するとTypeA, TypeC, そしてTypeBの順に値が大きくなる。しかし、TypeB, CとTypeAでは、垂直荷重の載荷方法だけでなく透水方法、試験体の大きさも異なるため、その影響を特定することは困難である。

3.2 透水方法の違いによる影響

一般に、不連続面をある間隙幅を持つ平行平板と仮定すると、透水量は間隙幅の3乗に比例するとされている。放射流では、透水係数の変化は間隙幅の変化に比較的一致しているが、一方向流では一致しない。特にTypeBでは顕著である。一方向流ではせん断方向の透水経路が塞がれると透水係数は減少するが、放射流ではある透水

経路が塞がれても、別の透水経路が塞がれていない可能性がある。そのため、このような違いが生じると考えられる。

3.3 不連続面作成時の破砕物による影響

すべてのTypeにおいて、不連続面作成時に発生した破砕物を取り除かなかったものは、破砕物を取り除いた場合に比べて約70%しかピークせん断応力を示さない。また、ピークせん断応力を超えた直後の垂直変位量は破砕物を取り除いた場合の方が急激に大きくなる。そのため、透水係数の増加割合も、破砕物を取り除いた方が大きい。一方、破砕物の有無によらず、残留せん断応力はほぼ同じ値を示す。

透水性については、どのTypeにおいても、破砕物を取り除かなかった場合のほうが、せん断初期の透水性が約1オーダー大きくなっている。残留域の透水係数は、破砕物の有無による違いをほとんど生じない。

以上のように、不連続面内に挟在する破砕物によるせん断及び透水特性に及ぼす影響は大きい。

4. まとめ

本研究では、これまで開発してきた2種類のせん断一透水同時実験装置を用いて比較実験を行った。その結果次のことが明らかとなった。

- ① 透水方法や不連続面作成時の破砕物の有無により、初期の透水係数に約1オーダーの違いが生じる。
- ② 一方向流型の透水では、間隙幅の変化に透水係数の変化が一致しない。

参考文献

- 1) 例えば、江崎哲郎 他：岩盤不連続面のせん断一透水同時実験装置の開発：資源と素材, vol.112, pp213-218, 1996.
- 2) 三谷泰浩 他：一方向流型せん断一透水同時実験装置の開発と間隙幅分布の変化が透水特性に及ぼす影響に関する研究：亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, pp179-816, 2001.