

## 自然岩盤不連続面の室内一面せん断試験の実験手法の検討

九州大学工学部 学生会員  
九州大学大学院 正会員

○深江俊之  
三谷泰浩

九州大学大学院 正会員  
九州大学大学院

江崎哲郎  
下田誠

### 1. はじめに

岩盤の挙動は、弱面である不連続面に支配的であるため、岩盤構造物の建設・維持管理においては自然の弱面自身の力学的特性を把握することが重要である。しかしながら、原位置での試料採取から室内試験を実際に行うには、ISRMの指針<sup>1)</sup>などで概略の方法は示されているものの、現状では具体的な試料採取の方法、実験方法、結果の整理などは、それぞれの試験者に委ねられている。そこで、本研究では、原位置から採取した岩盤不連続面に対して信頼性の高い力学的特性を得るための具体的な室内せん断試験方法について検討を行い、その特性値を求める。

### 2. 自然の不連続面の採取

自然の不連続面を含む試料をできるだけ乱さない状態で採取する方法として、ボーリングによりコア試料として採取する。コア試料を採取する方法は、削孔方向と不連続面との位置関係から幾つかの方法が考えられるが、今回は試験坑内に露頭している不連続面に対して、試験時の载荷方向も考慮するため、不連続面に沿ってボーリングを行い、試料を採取する。その際、岩盤内部での不連続面の走向・傾斜は、露頭における走向・傾斜と一致するとは限らないため、確実に不連続面を取得するために、コアの外径を 125 mm とし採取した。

### 3. 実験方式

岩盤不連続面の力学的強度特性を評価するための室内試験として、一面せん断試験を採用する。その理由は、装置が比較的単純であり、せん断面およびせん断方向を規定しやすく、大きなせん断変位まで、せん断応力、垂直応力、せん断変位、垂直変位を容易に制御・計測できる、という特徴を有しているからである。

### 4. 供試体の作成

供試体の具体的な作成方法を以下に述べる。

- ① コアチューブの中の、供試体として取り出す部分を選定し、試料端部を除去する。この際、不連続面の位置が初期状態からずれないようにしっかりと固定する。
- ② ①の試料をせん断箱(200mm×100mm×120mm)に収まるように整形する。その際、試料の破損や不連続面のずれを防ぐため、試料全体をモルタルに埋め込み、固定し、そのままの状態です定の寸法に整形する。整形後はモルタルを取り除く。

③ 次に、整形された試料を型枠に埋め込む(Fig.1)。その際、不連続面をせん断面と一致させるために型枠底面に 4 本のネジをとりつけ、これにより不連続面の位置がせん断面と一致するように調節する(Fig. 1 (a))。固結材料は、一般にはモルタルなどが用いられるが、岩石との付着性、強度、強度発現までの養生期間、取り扱いやすさなどを考慮し、2液型エポキシ樹脂系モルタル用結合材(ショーボンド #303A, ショーボンド社製)と 4 号ケイ砂と 7 号ケイ砂を 2:3:3 の重量比で配合したものを使用する。

④ 埋め込みは、最初に不連続面より下半分を行い(Fig. 1 (b))、その後、上半分を同様の方法で埋め込み(Fig. 1 (c))、供試体を作成する(Fig. 1 (d))。

### 5. 実験装置

実験装置は、上下に二分されたせん断箱の下部を移動させてせん断力を与える構造である。垂直载荷は 2 本の垂直载荷ジャッキを用いる。その载荷比率は任意に調節できるため、形状が不定形な不連続面にも均等に垂直応力を与えることができ、上箱の傾斜も制御できる。制御方式はせん断方向には変位制御、垂直方向には荷重制御で行う<sup>2)</sup>。

### 6. 実験方法

#### 6.1 垂直载荷試験(せん断前)

不連続面の垂直剛性を算出することを主目的として行い、装置のあそびなどを取り除くことも目的とする。実験は不連続面の凹凸を破壊しない程度の垂直応力(3 MPa)まで载荷し、载荷曲線が一致するまで载荷-除荷を繰り返す。

#### 6.2 せん断試験

不連続面のせん断強度特性、および変形特性を把握することを目的として行う。せん断は所定の垂直応力を与えた後、

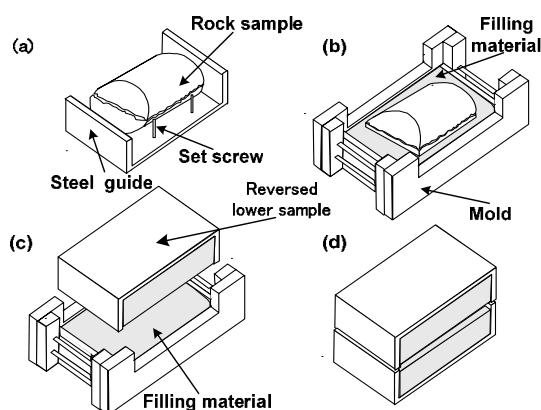


Fig. 1 Process of making specimen with a natural joint.

せん断速度 0.1 mm / min でせん断変位 20 mm まで行う。その後、垂直応力を維持した状態で、同様の速度でせん断変位 0 mm まで戻す。これは、せん断応力の初期値のずれを補正するために行う。

せん断試験は、以下の 2 種類の試験を行う。実験ケースを Table 1 に示す。

(1) 垂直応力一定試験 (以下、一定試験と称す。)

垂直応力一定で、所定のせん断変位までせん断を行う。

(2) 垂直応力多段階载荷試験 (以下、多段階試験と称す。)

せん断応力が残留域に達する毎に垂直応力を段階的に増加させながらせん断を行う。

自然の不連続面の場合、同一の不連続面を有する試料は基本的に 1 つであること、また、試料数が限られることなどから、多段階試験を試験ケースに加えた。

### 6. 3 垂直载荷試験(せん断後)

せん断後に実施する垂直载荷試験は、実験装置および、インタクト部の垂直剛性値を求め、不連続面自体の垂直剛性値を求めるために行う。そのため、垂直応力は不連続面が完全に閉塞する程度(10 MPa)まで与える。

## 7. 実験結果の整理

実験前に、不連続面形状をトレースし、せん断面積を求め、またレーザー変位計を用いて表面形状を計測し、不連続面の傾斜角を算出する。これを基にせん断応力、垂直応力を補正する。実験結果として、せん断に伴うせん断応力、垂直変位の変化を Fig. 1, Fig. 2 に示す。図に示すように垂直応力が 5 MPa 以下では、いずれの試験でも明確なピークせん断応力を示さずに残留せん断応力を示す。垂直応力が 5 MPa では不連続面表面に付着したカルサイトを破壊したことでピークせん断応力が生じ、それ以降コンラクタンスを生じた。また、一定試験と多段階試験を比較すると、同じ垂直応力では残留せん断応力は、ほぼ等しくなった。

垂直剛性は、せん断後の垂直载荷試験において得られる、装置と供試体のインタクト部の垂直剛性を考慮し、不連続面自体の垂直剛性を各応力レベルに応じて算出する。せん断剛性は、弾性領域の初期勾配から求める。ピークせん断応力は、垂直変位が急激に変化するせん断変位におけるせん断応力を、残留せん断応力は垂直変位の変化量が一定になっている部分のせん断応力の平均値として、求める。得られた結果から作成したモール・クーロンの破壊基準線を Fig. 3 に示す。異なる垂直応力下で複数の実験を行ったが、ピークおよび残留せん断応力ともほぼ一致する結果が得られた。

## 8. 結論

本研究では、原位置での試料の採取から室内試験に至るまで

の一連の手順に関して検討を行った。その中で、供試体作成、および実験準備段階において、独自の器具・手法を開発した。これにより、形状が不定形で、かつ、数量の限られる自然岩盤不連続面に対応し、適切な実験を行うことができた。また、実験方法は垂直応力一定試験だけでなく、多段階载荷試験を同時に行った。その結果、両試験においてピークせん断応力値と残留せん断応力値はほぼ等しくなり、両者と垂直応力の間には強い相関性がみられた。

### <参考文献>

- 1) 岩の力学連合会：ISRM 指針 vol.2, pp.21-30, 1983.
- 2) MITANI, Y. et al. : Development of a new advanced shear-flow coupling apparatus, Proc. of 9<sup>th</sup> Int. Congr. on Rock Mech., ISRM, pp.769-772, 1999.

Table 1 Test cases.

| Case ID | Normal stress [MPa] |
|---------|---------------------|
| A-1     | 0.6                 |
| A-2     | 1.0                 |
| A-3     | 2.0                 |
| B-1     | 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 |

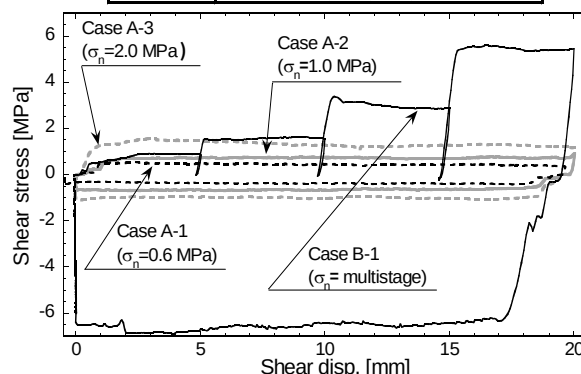


Fig. 2 Shear stress vs. shear displacement.

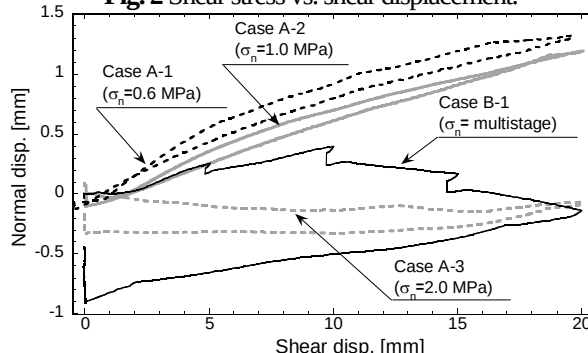


Fig. 3 Normal disp. vs. shear displacement.

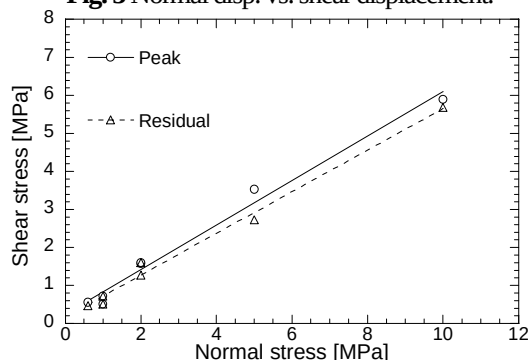


Fig. 4 Shear stress vs. normal stress.