

繰返せん断における岩盤不連続面挙動のせん断速度依存性の実験的評価

長崎大学工学部 学生会員 ○小原 草平 正会員 李 博
 長崎大学大学院 フェロー会員 棚橋 由彦 正会員 蔣 宇静

1. 研究背景と目的

日本は世界でも有数の地震国である。近年では阪神・淡路大震災や新潟中越沖地震といった大型の地震が発生しており、各地に被害をもたらしている。また、この数十年のうちに関東で首都直下型の地震が起こるといふ予測もされている。したがって、岩盤上に建設された原子力発電所などの重要な構造物の安全性を確保することは急務である。本研究では、地震時における岩盤不連続面の挙動を解明するため、様々なせん断速度における繰返しせん断試験を行い、これまでほとんど考察されていない岩盤不連続面の動的定数を提示することを目的とする。

2. 実験方法

2.1 デジタル制御型一面せん断試験装置

今回の実験で使用するのはデジタル制御型一面せん断試験装置である¹⁾。試験装置の特徴として、コンピュータにより各境界条件を自動制御できること、せん断速度の設定・変更も容易であることが挙げられる。

2.2 岩盤不連続面模擬供試体の作成

供試体の配合比は、石膏：水：遅延剤＝1：0.2：0.005で、供試体の回転を生じにくくするために、せん断方向の長さ 20cm、幅 10cm の直方体を作成する。なお、養生条件は気中に 21 日とする。

2.3 実験ケース

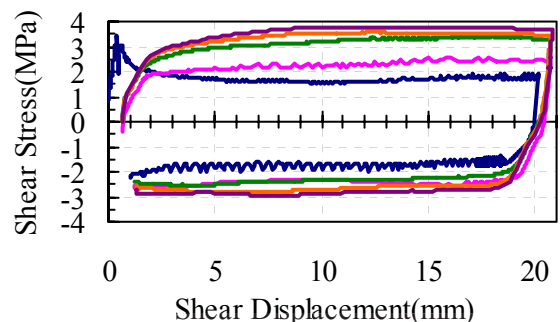
作成した供試体を用いて、表-1 に示すように垂直応力一定 (CNL) 条件において不連続面に作用する初期垂直応力を $\sigma_{no}=1\text{MPa}$ 、 2MPa 、 4MPa と変化させ、せん断速度は、表-1 に示す 0.5、5、10、20、50 (mm/min) で設定し、合計 12 ケースについて一面せん断試験を行う。今回、せん断変位 20mm までせん断し、そのまません断を継続してせん断変位 0mm まで戻す。この方法でせん断速度を変化させ、繰返し試験を実施する。

3. 試験結果・考察

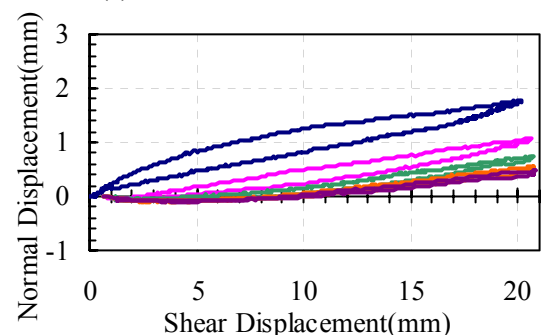
図-1 に代表的なケースとして、垂直応力 4MPa、せん断速度 0.5、5、10、20、50mm/min での繰返せん断試験結果を示す。図-1 (a) に示すせん断応力-せん断変位の関係を見ると、ピークせん断応力は 0.2～0.7mm の小さなせん断変位で生じる。これは、初期のかみ合った不連続面の強度が早期に発揮されたものと考えられる。ピークせん断応力後、ひずみ軟化を起こしてせん断変位 5mm 以降で残留状態に入る。二回目以降のせん断では顕著なピーク応力を示さず、

表-1 実験ケース

せん断速度 (mm/min)	垂直応力 σ_{no} (MPa)		
	1	2	4
0.5→5→10→20→50	○	○	○
5→10→20→50	○	○	○
10→20→50	○	○	○
20→50	○	○	○



(a)せん断応力とせん断変位の関係



(b)垂直変位とせん断変位の関係

図-1 繰返せん断試験結果

せん断応力の増加にしたがって残留応力が増大することがわかる。また、図-1 (b)に示すように、繰返せん断を続けると、亀裂表面の凹凸が徐々に削られ、垂直変位が小さくなっていく。

図-2はせん断速度 0.5、5、10、20、50mm/min のケースにおけるせん断変位 10mm での残留応力(a)と垂直変位(b)である。一度ピーク応力に達すると、その後残留強度に入るため、地震により不連続性岩盤において変形が発生した場合に、残留強度を正しく評価することが不可欠である。

図-2 (a)に示す残留強度－垂直応力の関係から、内部摩擦角 ϕ と粘着力 c を求めた。せん断速度 0.5mm/min のケースでは、 $\phi = 19^\circ$ 、 $c = 0.22(\text{MPa})$ となった。せん断速度を上げていくと、内部摩擦角 ϕ は上昇していき、粘着力 c はほぼ 0 となった。また、図-2 (b)に示す垂直変位－垂直応力の関係から、垂直応力と繰返回数の増加に伴い、ダイレーションが抑制されていくことがわかる。これは、垂直応力が小さい場合、せん断時に凹凸の乗り上げによってダイレーションを生じるが、垂直応力が大きくなるにつれ、凹凸の破壊が激しくなり、ダイレーションを生じにくくなるためであると推測される。

図-3は図-2 (a)から求めた内部摩擦角とせん断速度の関係である。内部摩擦角はせん断速度 10mm/min までは上昇し、その後、ほぼ一定となることがわかる。

図-4に垂直応力が 1、2、4MPa における一回目せん断時のピークせん断応力を示す。ピークせん断応力は、せん断速度を上げるにことにつれ、一度小さくなり、それから徐々に大きくなっていくことがわかる。ただし、垂直応力 2MPa のケースについては異なる挙動を示した。これは実験によるばらつきであると考えられる。

4. 結論

実験の結果、せん断速度が大きくなるにつれ、ピークせん断応力と残留応力は大きくなることがわかり、せん断履歴についても、せん断速度に大きく依存していることが解明された。また、せん断履歴を有する亀裂の残留強度において、粘着力はほぼゼロとなり、内部摩擦角はせん断速度の増加とともに上昇し、5mm/min 以降はほぼ一定になることがわかった。

【参考文献】

- 1) 溝上建, 蔣宇静, 祐徳泰郎: 高性能不連続面せん断試験装置の開発, 第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.92 - 96, 2001.

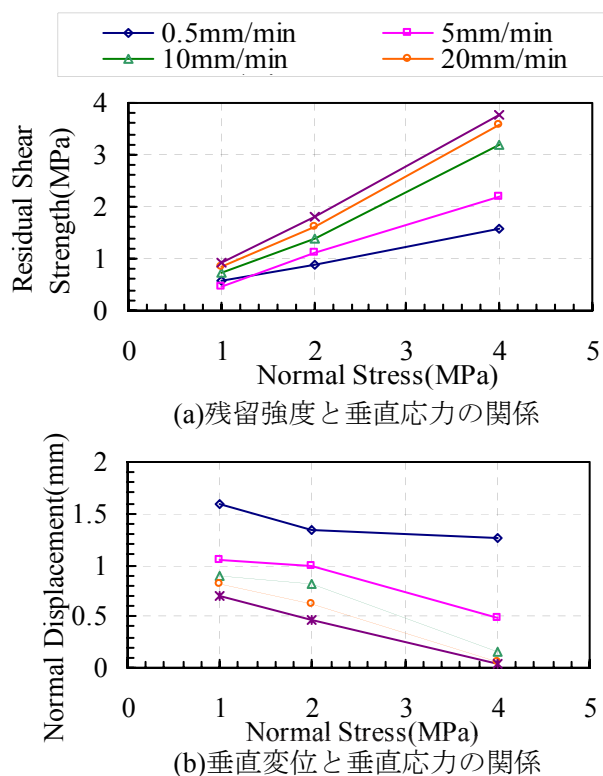


図-2 セン断変位 10mm における挙動特性

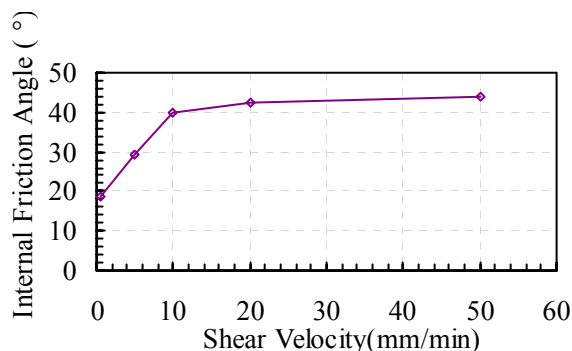


図-3 内部摩擦角とせん断速度の関係

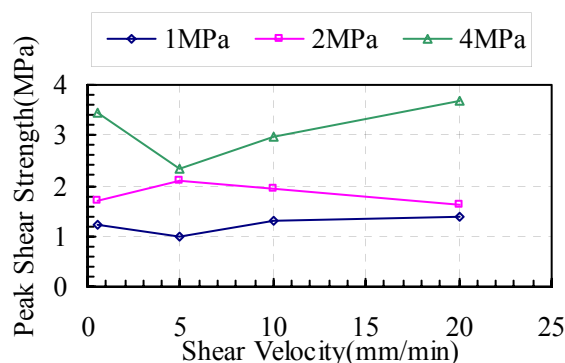


図-4 ピークせん断強度の比較