

岩盤不連続面のせん断挙動における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 ○千年俊介 長崎大学大学院 学生会員 李 博
 長崎大学工学部 フェロー会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静

1. はじめに

岩盤斜面や深部地下構造物の変形挙動・安定性は、岩盤内に存在する不連続面のせん断強度に強く依存する場合が多い。また、自然界における岩盤不連続面の挙動特性は、その表面ラフネスやせん断履歴、せん断速度、垂直応力など多くの要素に影響されるため、これらをすべて考慮した理論的検討や原位置試験は非常に困難である。したがって挙動特性は、様々な条件が比較的自由に設定できる室内試験を行い評価する必要がある。本研究では、せん断挙動におけるせん断速度の依存性に着目し、様々な境界条件において人工模擬不連続面の一面せん断試験を行い、せん断速度が不連続面のせん断挙動に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 一面せん断試験概要

2.1 デジタル制御型一面せん断試験装置

今回使用するデジタル制御型一面せん断試験装置を図-1に示す。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¹⁾。

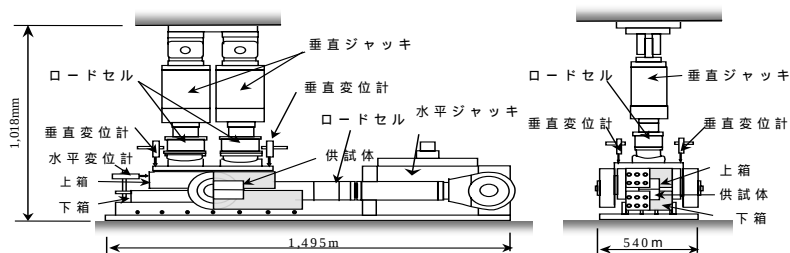


図-1 デジタル制御型一面せん断試験装置

2.2 岩盤不連続面模擬供試体の作成

模擬供試体の材料は、石膏、水、遅延剤を1:0.2:0.005の質量比で混合し21日養生させた。せん断において供試体の回転を抑制するため、形状をせん断方向長さ20cm、幅10cm、高さ5cmとした。表面形状は図-2に示すようにJRC=4~6を用いた。

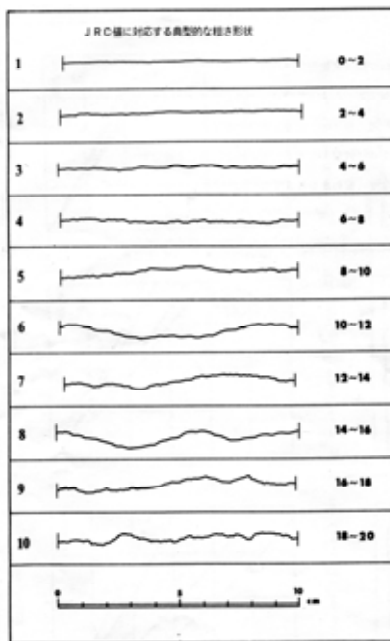


図-2 標準的な不連続面の粗さと

JRCの値²⁾

2.3 実験ケース

作成した供試体を用いて、表-1に示すように初期垂直応力 $\sigma_{n0}=2\text{MPa}$ と固定し、垂直剛性値を $k_n=0\text{GPa/m}$ 、 3GPa/m 、 7GPa/m と変化させた3つの境界条件の下で、せん断速度を0.5、5、10、20mm/minとした合計12ケースについて一面せん断試験を行う。なお、残留強度を考察するため、実験はせん断変位20mmまで継続させる。

表-1 実験ケース

せん断速度 (mm/min)	境界条件(初期垂直応力)		
	CNL($k_n=0\text{GPa/m}$) $\sigma_{n0}=2\text{MPa}$	CNS($k_n=3\text{GPa/m}$) $\sigma_{n0}=2\text{MPa}$	CNS($k_n=7\text{GPa/m}$) $\sigma_{n0}=2\text{MPa}$
0.5	○	○	○
5	○	○	○
10	○	○	○
20	○	○	○

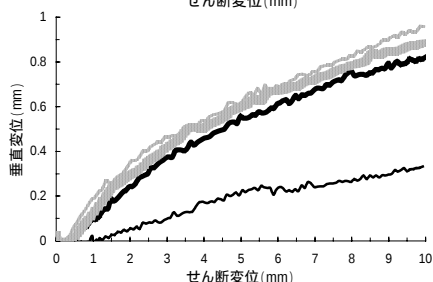
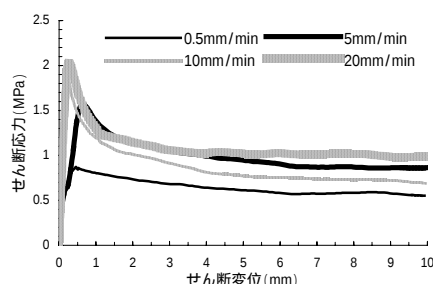
($\sigma_{n0}=2\text{MPa}$, $k_n=0\text{GPa/m}$)

図-3 CNL制御下におけるせん断挙動

3. 一面せん断試験結果と考察

CNL(垂直応力一定)制御下におけるせん断挙動を図-3に示す。せん断変位とせん断応力との関係を見ると、せん断応力ピークはせん断変位0.1~0.3mmといった小さなせん断変位で生じている。せん断速度10mm/minのケースで残留強度にばらつきが見られたが、せん断速度が大きくなるにつれて、せん断応力ピーク値・ピーク後の残留強度ともに

大きくなるといった結果が得られた。せん断変位と垂直変位との関係を見ると、せん断速度 0.5mm/min のケースにばらつきが見られたが、他 3 ケースで顕著なダイレーションを生じた。一方、CNS(垂直制御一定)制御下におけるせん断挙動を図 - 4 に示す。 $k_n=3\text{GPa/m}$ のケースのせん断変位とせん断応力との関係を見ると、せん断ピーク時のせん断変位は CNL 制御下とほぼ同様である。ピークせん断強度についてはせん断速度が変化しても 3 ケースはほぼ近い値を示しており、せん断速度 5mm/min のケースが例外として小さくなっている。また、ピーク後の残留強度は CNL 制御下に比べて大きくなっていることが分かる。

せん断変位と垂直変位との関係については 4 ケースともほぼ同様であり、せん断速度による影響は見られなかった。 $k_n=7\text{GPa/m}$ のケースでは、せん断ピーク時のせん断変位は他 2 ケースと同様であり、またピークせん断強度も $k_n=3\text{GPa/m}$ のケースとほぼ近い値を示しているが、残留強度は他 2 ケースに比べて大きな値を示した。せん断速度とピークせん断強度の関係を図 - 5 に示す。CNL 制御下ではせん断速度が大きくなるにつれてピークせん断強度も大きくなっているのに対し、CNS 制御下では、せん断ピーク強度にばらつきがあるが、CNL 制御下に比べて大きな変化は現れていない。

これらの結果より、不連続面の CNL 制御下におけるせん断挙動はせん断速度に依存していると考えられる。CNS 制御下については、せん断速度によるピークせん断応力の変化が顕著に現れない。これはせん断速度に関わらず、周囲からの拘束力あるいは垂直応力・垂直剛性値といった境界条件の変化が強く影響し、これらに大きく依存していることが考えられる。結果的にばらつきが見られた原因として、せん断過程開始時における境界条件の誤差や、データの収録時間間隔を大きく設定したことによるものと考えられ、さらに収録時間間隔を細かく設定する必要があると考える。

4. おわりに

本研究では、CNL 制御・CNS 制御下でのせん断挙動におけるせん断速度依存性を比較評価した結果、CNL 制御下においてはせん断速度に大きく依存していることが分かった。CNS 制御下においてはばらつきがあるため、今後はばらつきが見られたケースの一面せん断試験を追加実施し、精度を高めていく必要がある。また、CNL 制御下においては、せん断速度 0.5、10mm/min の結果が予想より小さな挙動を示したが、せん断速度が大きくなるにつれて残留強度も大きくなる。こうした結果を踏まえ、不連続面のせん断挙動におけるせん断速度の影響を、境界条件と理論的に関連させて評価していく。

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.
- 2) Barton, N.: A relationship between joint roughness and joint shear strength, Proc. Int. Symp. Rock Mechanics, Nancy, ISRM, pp.1-8, 1971.

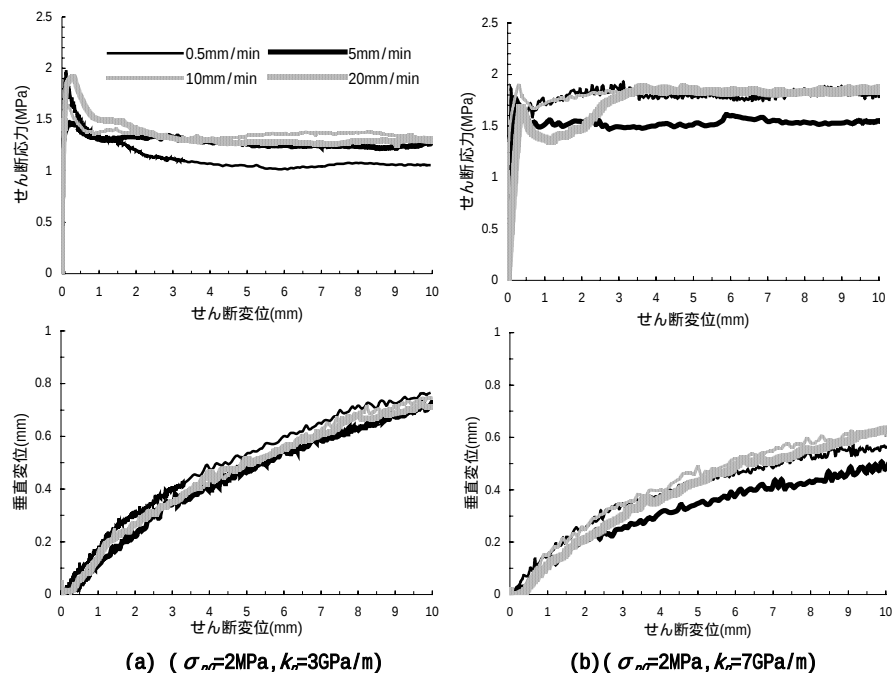


図 - 4 CNS 制御下におけるせん断挙動

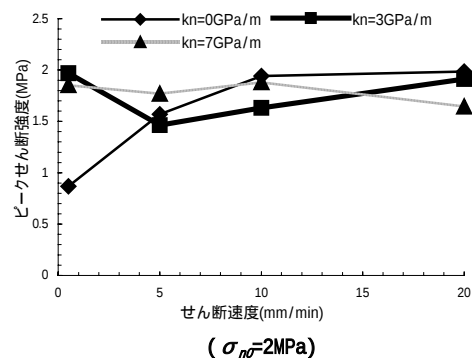


図 - 5 せん断速度とピークせん断強度の関係