

垂直剛性自動制御せん断試験に基づく岩盤不連続面の挙動特性の評価

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 正会員 棚橋由彦 正会員 肖 俊
九州電力(株) 正会員 安藤一郎 正会員 山下裕司
長崎大学工学部 学生員 佐久間敦之 ○学生員 永家健司

1. はじめに

近年、放射性廃棄物の地層処分やエネルギーの地下貯蔵など深部地下空間の開発・利用が注目されている。地下空間の安定性は、岩盤内に存在する不連続面のせん断強度に強く支配されるため、岩盤不連続面の力学的特性を正確に判断することが必要であるが、理論的検討や原位置試験は非常に困難であり、様々な条件が比較的自由に設定できる室内試験によって判断すべきものであると思われる。また、せん断強度は不連続面の表面形状特徴に大きく支配されるが、この両者の関係はまだ明らかにされていないのが現状である。

本研究では、不連続面がかみ合った状態から大きなせん断変形(残留域)までせん断試験を実施し、せん断過程における力学的挙動を調べるとともに、せん断前後の表面形状の変化を把握することにより、表面形状とせん断強度との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 垂直剛性せん断試験

既往研究では、垂直応力一定(CNL)でのせん断試験が一般的に行われているが、この試験方法では、深部地下やロックボルト等によって補強される亀裂性岩盤の場合、不連続面の表面ラフネスの変形や損傷に伴うダイレイションの発生により周辺岩盤からの拘束が変わるため、不連続面に作用する垂直応力が一定になることはあり得ない。そこで、周辺岩盤からの拘束効果を考慮した岩盤不連続面の力学的特性を適切に求めるためには、自動的に剛性制御ができる試験装置¹⁾(図-1参照)を用いて、垂直剛性一定(CNS)でのせん断試験を行う。表面形状は、ISRM 指針²⁾に示した JRC 値(節理の粗さ係数)のプロファイルに基づいて作成した。初期垂直応力(σ_n)を2.5、10MPaとし、CNS制御では垂直剛性を $K_n=3$ 、7GPa/m、JRC 値を4~6、8~10、12~14とした計54ケースの実験を実施した。

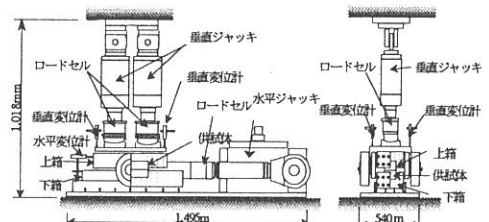
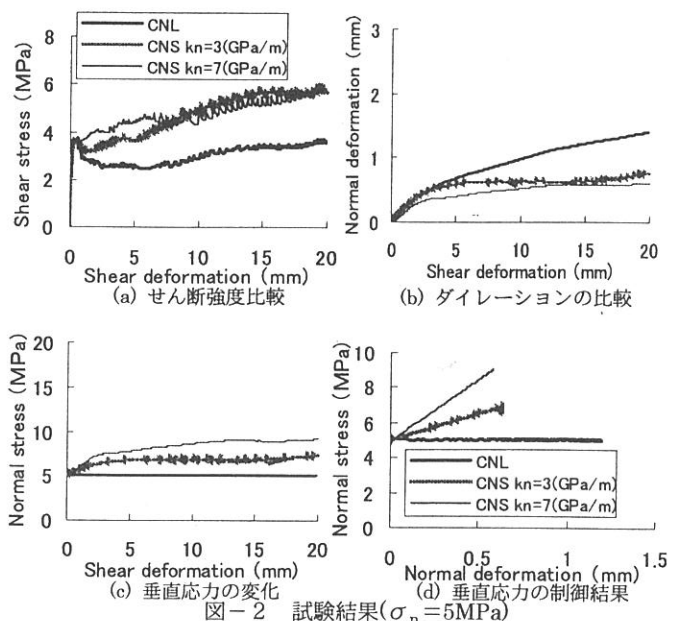


図-1 不連続面一面せん断試験装置の概要

3. 試験結果と考察

図-2に $\sigma_n=5$ MPaで20mmせん断に伴うせん断応力、垂直変位、垂直応力の変化を示す。せん断応力-せん断変位の関係を見ると、CNL制御はピークせん断強度後に必ずみ軟化をおこして残留状態になるが、CNS制御は必ずみ硬化をおこして残留状態になり、残留強度に大きな差が生じている。このせん断強度の違いはせん断に伴う垂直変位と垂直応力の変化から理解できる。

図-2 試験結果($\sigma_n=5$ MPa)

CNL 制御はダイレーションの増加に伴う周囲からの拘束効果による影響を受けずに垂直変位は増加するが、CNS 制御は周囲からの拘束効果により、垂直変位が著しく抑制される。その結果、垂直応力が垂直変位に比例して増大する。試験結果の一部として軟岩、JRC 値 12~14、垂直剛性値 $K_n=3\text{GPa/m}$ の場合を図-3 に示す。垂直応力を 2,5,10MPa と変化させた場合もひずみ硬化が生じ、10~15mm を越えると残留状態となっている。これは、残留段階で不連続面の表面形状の主な凹凸は壊れ滑らかになったためであると思われる。

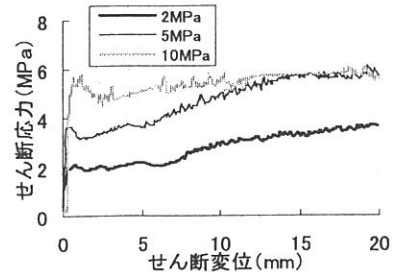


図-3 せん断強度に対する σ_n の影響

4. 表面凹凸計測システムによる表面計測

(1) 計測の概要

不連続面のせん断挙動と併せて表面形状の変化を定量的に評価し、表面損傷が力学的特性に及ぼす影響を評価するために、レーザー変位計を用いた非接触型表面形状計測システムを設計した(図-4)。

凹凸面を破壊せずに高精度の計測を必要とするために、非接触型のレーザー変位計(測定範囲±5mm)を使用する。せん断による凹凸の変化状況を調べるため不連続面作成後および各ケースでせん断試験を行った後に、不連続面両面の表面形状を上下両面について計測した。凹凸計測を行う際、測線を上下面の同じ位置に設け、測定間隔 0.3mm でせん断方向のみ、一次的に読み取った。

(2) 計測結果

図-5 に計測結果の例として JRC 値 4~6 の形状における、凹凸の破壊状況を示す。(a)ではせん断前と比べせん断により凹凸が破壊されている状況、(b)では垂直応力の違いによる表面損傷の比較を示す。この表面凹凸計測の結果を用いれば、フラクタル次元解析により、不連続面のせん断強度と表面損傷との相関性を見出せると考えられる。

5. おわりに

せん断試験結果より不連続面のせん断挙動が境界拘束条件の影響を大きく受けることを明らかにすることができた。今後は、せん断試験と表面計測の結果に基づいて、せん断過程における表面形状の変化とせん断特性との関係性を解明し、岩盤構造物の設計に適用していく。

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, 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.92-96, 2001.2) 岩の力学連合会: 岩盤不連続面の定量的記載法(ISRM 指針日本語訳), Vol.3, pp.49, 1985.

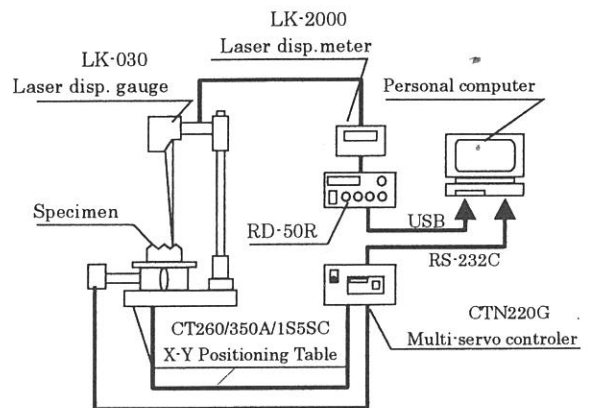


図-4 レーザー計測システム構成図

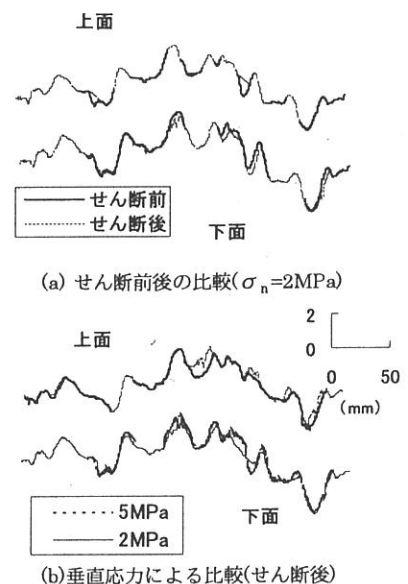


図-5 表面破壊の比較