

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 棚橋 由彦
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 長崎大学工学部 正会員 永家 健司

1. 目的

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適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性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、表面形状特性とせん断挙動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ー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

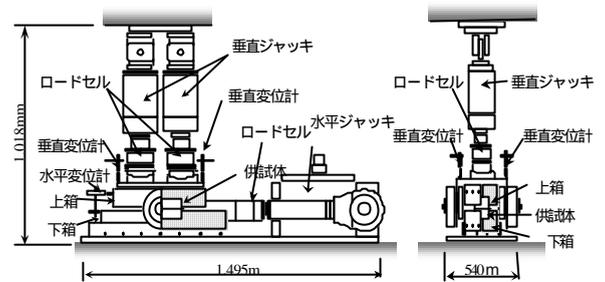


図 - 1 不連続面一面せん断試験装置の概要

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)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(J1)、8~10(J2)、12~14(J3)とした計 54 ケースの実験を実施した。

3. 試験結果と考察

図 - 2 に J3、 $\sigma_n=5$ 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ひずみ軟化をおこして残留状態になるが、CNS 制御はひずみ硬化

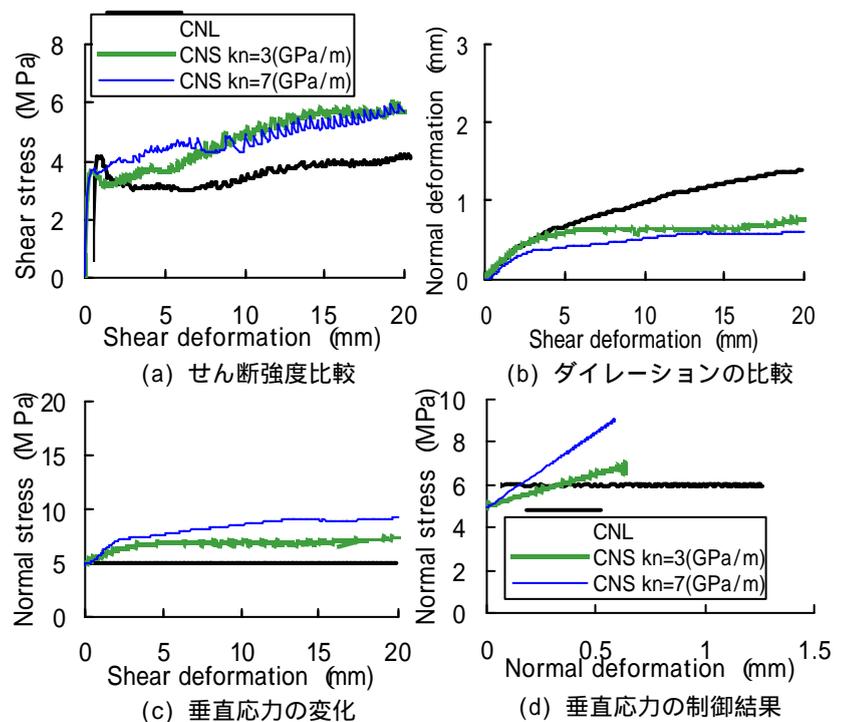


図 - 2 試験結果($\sigma_n = 5$ MPa)

キーワード 垂直剛性, せん断強度, 垂直応力, 垂直変位, ラフネス

連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科

TEL : 095-819-2611

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。

4．凹凸計測システムによる表面形状評価

4.1 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試作した(図-3参照)。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、せん断前とせん断後に、不連続面の表面形状を上下両面について計測した。測定間隔0.3mmでせん断方向のみ、一次元的に読み取った。

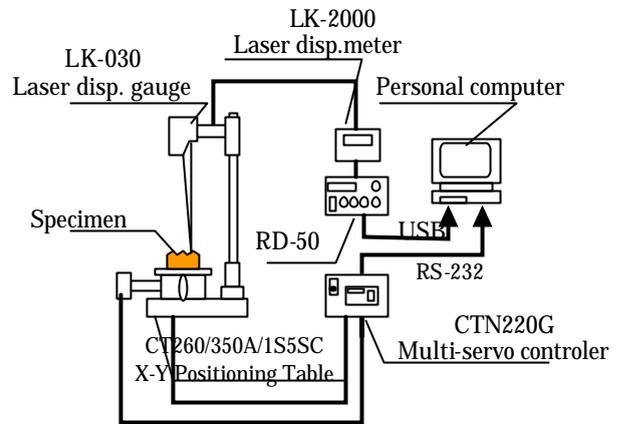


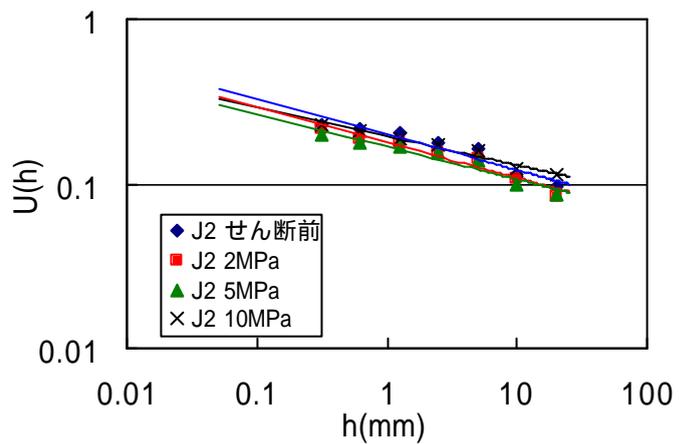
図-3 レーザー計測システム構成図

4.2 表面形状変化の評価

フラクタルモデルを用いたフラクタル次元分析結果を図-4に示す。岩盤不連続面の平均ラフネス角 $U(h)$ と測定間隔 h の関係は次式で表される。

$$U(h) = \left\{ \frac{1}{(N-j)} \sum_{i=1}^{N-j} \left[\frac{Z(x_i+h) - Z(x_i)}{h} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここに、 N :計測点数、 $Z(x)$: x 点に対応するラフネスの高さである。水平間隔 h が大きくなるにつれて $U(h)$ の値が小さくなっている。ここで、フラクタル次元 D は、 $U(h)$ と h の対数座標系において、 $U(h)$ と h との双対数曲線の直線部分の傾きによって求められる。フラクタル次元 D で比較すると、せん断前に比べせん断後の次元が低くなっていることがわかる。さらに、垂直応力 σ_n が高いほど次元が低くなっており、 $\sigma_n=10\text{MPa}$ の時が著しく次元が低くなっている。これは角度の大きいアスペリティから削れはじめ、垂直応力が高いほど、せん断が進むにつれて、角度の小さいアスペリティに削れが移行していき、表面の形状が滑らかになっていくことを示している。



せん断前	$U(h)=0.1993h^{0.2164}$
せん断後 2MPa	$U(h)=0.1769h^{0.2124}$
5MPa	$U(h)=0.1677h^{0.1982}$
10MPa	$U(h)=0.1937h^{0.1735}$

図-4 フラクタル次元解析結果(J2, Kn=3GPa/m)

5．結論と課題

岩盤不連続面の垂直剛性一定制御試験を実施し、せん断挙動とあわせて表面損傷の評価を試みた。せん断試験においてせん断強度が一旦ピークを示した後、せん断変形の進行に伴って強度が一時低下するが、これは、表面形状が大きく変化するためせん断強度を低下させるものであることが得られた。

今後は、さらに表面凹凸計測のデータを蓄積し、せん断試験と表面凹凸計測の結果に基づいて、表面形状特性の変化とせん断強度との関連性を解明し、岩盤不連続面せん断挙動の定量的評価につなげていく。

【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.