

## 岩盤不連続面のせん断挙動に及ぼす表面形状の影響

長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静  
九州電力（株） 正会員 山下裕司 長崎大学工学部 学生員○山下秀一

### 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变形・強度特性に支配されるため、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。また、不連続面の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。

本研究の目的は、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ことにある。

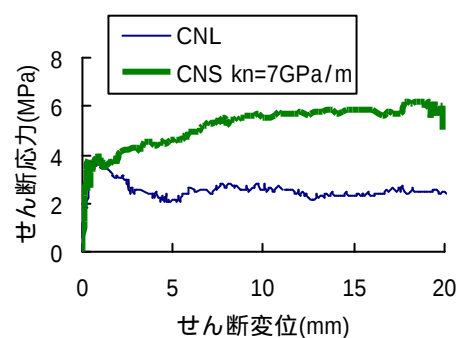
### 2. 垂直剛性一定せん断試験

深部地下では、不連続面の表面ラフネス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、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、自動的に垂直剛性制御ができる試験装置を用いて、垂直剛性一定制御(CNS)のせん断試験を行う。

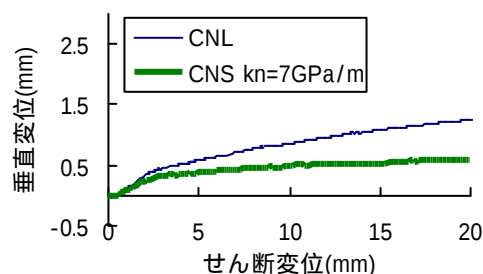
本研究では、不連続面に作用する初期垂直応力( $\sigma_n$ )を2、5MPaとし、不連続面の表面形状 JRC 値を4～6(J1)、8～10(J2)と12～14(J3)として、垂直応力が一定な CNL 制御で6ケース、CNS 制御では周辺地山の垂直剛性を  $k_n=7\text{GPa/m}$  として6ケース、計12ケースのせん断試験と考察を行った。

### 3. 試験結果と考察

図-1 は、供試体 J3 に初期垂直応力  $\sigma_n=5\text{MPa}$  で20mm せん断の試験結果である。せん断変位 - せん断応力関係を見ると、せん断が始まり供試体の上下面の凹凸の噛み合いが外れる時にピークせん断応力が生じるが、そこまではほぼ同じ傾向である。しかし、CNL 制御と CNS 制御のピークせん断応力後の残留強度に大きな差が生じている。また、せん断変位 - 垂直変位関係でも垂直変位に大きな差が見られる。ここでせん断変位 - 垂直変位関係から残留強度の差について考えると、CNL 制御は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 制御で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。また、CNS 制御は CNL 制御よりも供試体表面のラフネスが削れていると考えられ、垂直変位は CNS 制御の方が小さくなったと言える。つまり、CNS 制御では供試体表面のラフネスの噛み合いが CNL 制御よりも強いため、CNS 制御ではピークせん断応力後にせん断に伴いせん断応力が増加していくと考えられる。



(a)せん断挙動の比較



(b)ダイレーションの比較

図-1 試験結果(J3,  $\sigma_n=5\text{MPa}$ )

(キーワード) 岩盤不連続面、垂直剛性、CNL 制御、CNS 制御、フラクタル次元

(連絡先) 長崎大学工学部社会開発工学科 〒852-8521 長崎市文教町1番14号 095-819-2626

4．表面凹凸計測システムによる表面計測と考察

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て、せん断試験後の供試体の表面形状を測定した。その際、供試体に 5 本の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、一次元的に読み取った。

図-2 に供試体 J3(CNS 制御)における表面の損傷形状とフラクタル次元の解析結果を示す。図の上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。そこで、フラクタル次元 D を式(1)と(2)から求めることにする。

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

$$U(h)=B\times h^{1-D} \tag{2}$$

ここで、 $U(h)$ は表面ラフネス特性（平均ラフネス角）、 $B$ は振幅、 $h$ は水平計測間隔を表わしている。

そこで(1)式を用いて図-2 のグラフを示し、グラフから式(2)を求めると、せん断前は  $U(h)=0.227h^{-0.167}$ 、初期垂直応力 2MPa でせん断後は  $U(h)=0.247h^{-0.151}$ 、初期垂直応力 5MPa でせん断後は  $U(h)=0.249h^{-0.139}$  となった。また、以上の式からそれぞれのフラクタル次元 D を表-1 に示す。

図-2 から表面の破壊の違いは見た目ではわかりにくいですが、解析結果からは、水平間隔  $h$  が大きくなるにつれて  $U(h)$  が小さくなるのがわかる。また表-1 からは、せん断前よりせん断後のフラクタル次元が低くなり、初期垂直応力が大きいほうがフラクタル次元が低くなっており、それとともに基本傾斜角(水平間隔 0.3mm で表面凹凸の傾斜角を求め、それを累計し平均したもの)も小さくなっているのがわかる。つまり、表面の凹凸の大きいものから削れ始め、垂直応力が大きいほど、せん断が進むにつれ表面の凹凸が削れ、表面が滑らかになることが定量的に示されている。

5．おわりに

岩盤不連続面のせん断挙動は、不連続面に加えた垂直応力、不連続面の表面ラフネスの形状、岩盤の強度に大きく影響されることが判明した。今後は、供試体の作製、養生段階で強度に差が生じないようにし、正確な試験データをさらに蓄積して、せん断強度と表面形状との関係を定量的に明らかにし、岩盤構造物の設計・計画に適用していく。

[参考文献]

1) 溝上建, 蒋宇静, 祐徳泰郎: 高性能不連続面せん断試験装置の開発, 岩盤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

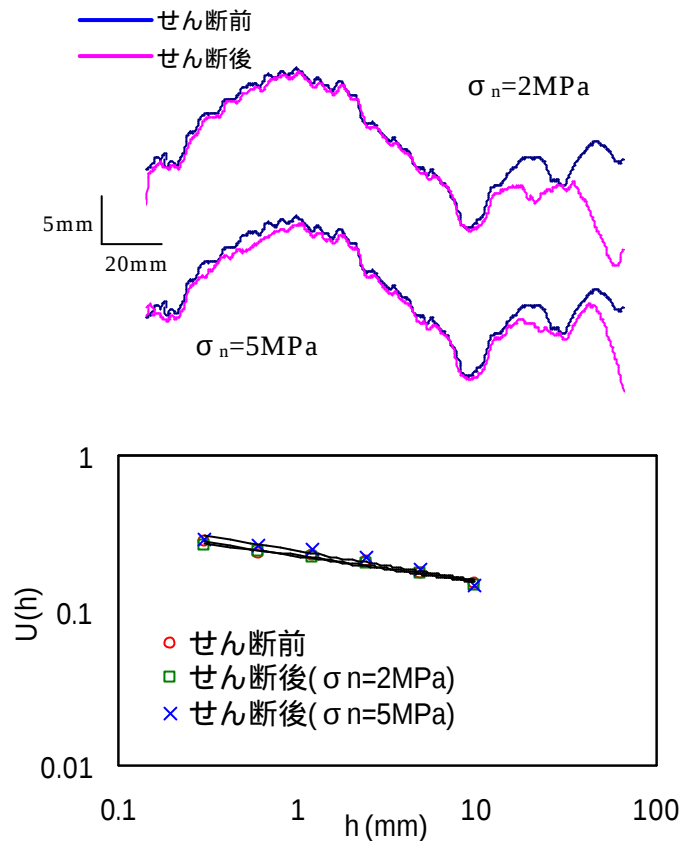


図-2 表面形状と解析結果(表面形状 J3,CNS 制御)

表-1 フラクタル次元Dと基本傾斜角

| ケース                        | フラクタル次元D | 基本傾斜角(°) |
|----------------------------|----------|----------|
|                            | J3       |          |
| せん断前                       | 1.167    | 12.184   |
| せん断後(σ <sub>n</sub> =2MPa) | 1.151    | 11.993   |
| せん断後(σ <sub>n</sub> =5MPa) | 1.139    | 11.675   |