

岩盤不連続面の表面形状がせん断特性に及ぼす影響に関する研究

長崎大学工学部 学生会員 ○田作祐輔

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

長崎大学大学院 学生会員 李 博

1. はじめに

大深度地下空洞や自然または掘削岩盤斜面の変形挙動及び安定性は、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場合が多い。本研究は、垂直応力一定 (CNL) のみならず、垂直応力の変化をコンピュータで制御し、垂直剛性一定 (CNS) でのせん断試験を行い、せん断強度とダイレーション挙動の比較を行うことにより、岩盤不連続面の力学的特性の境界条件依存性を明らかにすると同時に、せん断過程における力学的挙動と表面形状変化との関係を解明することを目的とする。

2. 試験概要

2.1 一面せん断試験装置の特徴

使用する一面せん断試験機は、CNLだけでなく、CNSも自動制御でき、周囲岩盤の変形係数に応じて、垂直剛性 k_n の設定、変更が容易である。

2.2 岩盤不連続面模擬供試体の作成

模擬材料は、石膏、水、遅延剤を 1:0.2:0.005 の重量比で混合させ、14 日間養生させた。不連続面の表面形状について、既往研究で用いられているJRC値を基準にした表面形状ではなく、自然の表面形状で作成した。表面の凹凸はランダムに分布しており、せん断時に供試体同士は点状に接触していることが観察された。前述した供試体を用い、初期垂直応力 σ_{n0} を 1MPa、2MPa、5MPa、垂直剛性値 k_n が 3GPa/m、7GPa/mとCNLの 3 パターンの組み合わせ 9 ケースを 2 つの表面形状について合計 18 ケースを設定した。

2.3 表面形状の計測

非接触型表面形状計測システムは、精密 X-Y 位置決めテーブル、非接触型レーザー変位計及び制御収録用のコンピュータから構成される。せん断前後の不連続面の表面形状を $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ という細かいメッシュに分割するように自動計測し、表面形状の三次元評価を行う。

3. 試験結果と考察

図-1 に垂直剛性制御下におけるせん断挙動を示す。せん断変位とせん断応力の関係から、CNL 制御では、ピークせん断応力は $0.1\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ という非常に小さなせん断変位で生じている。また、CNS 制御では、せん断初期に CNL 制御とほぼ同様の傾向を示すものの、その後は垂直剛性値が大きくなるにつれてひずみ硬化を示すようになり、残留強度に差が生じている。この結果から、不連続面におけるせん断挙動は、初期垂直応力、垂直剛性といった境界条件に大きく依存していることが分かる。

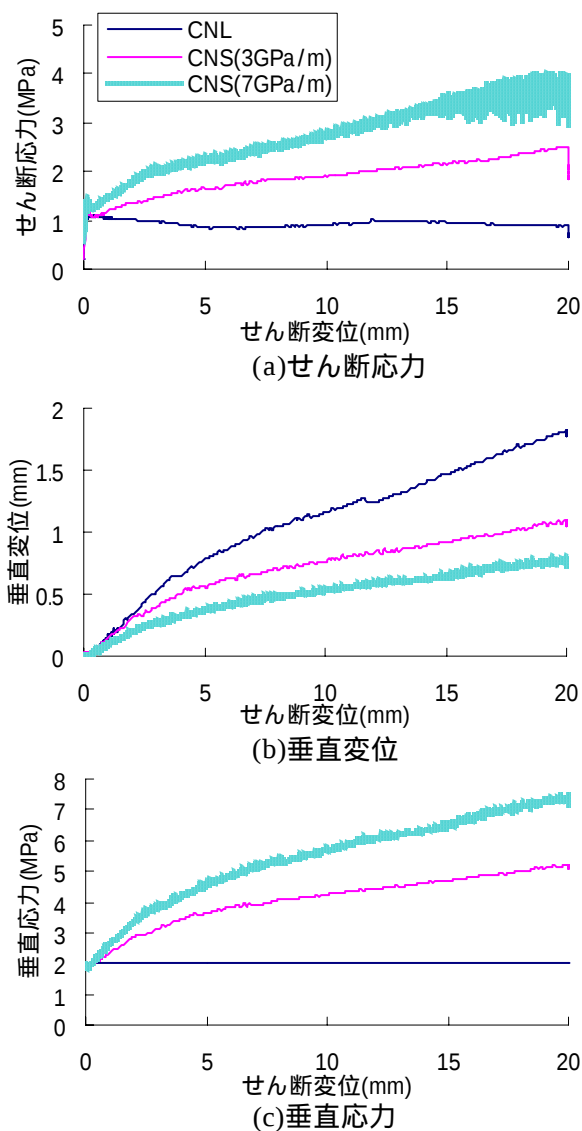


図-1 垂直剛性一定制御下におけるせん断挙動(初期垂直応力 $\sigma_{n0}=2\text{MPa}$)

4. 表面形状の評価

既往研究では、二次元の統計パラメータ Z_2 やSFあるいは二次元のフラクタル次元 D などを利用して表面形状の評価が行われていた。それらのパラメータは不連続面の表面凹凸の異方性を考慮せず、部分的な断面の測定により不連続面の表面形状を評価しているため、結果は断面の計測方向、計測間隔などに強く影響され、さらにフラクタル次元が2~3である自然の岩盤不連続面は空間的に分布しているため、上記の方法での評価は難しい。このような問題を解決するために、本研究では、投影被覆法¹⁾により岩盤不連続面の三次元的な評価を行った。

図-2 に表面形状の計測結果(一例)を示す。せん断後はせん断前に比べて、高い凹凸が破壊され、より平坦になっている。また、(b)と(c)を比べると、高い凹凸の破壊が激しくなり、損傷個所も多くなったことが見られる。これは、図-1 に示しているように、垂直剛性が高いほど、垂直応力やせん断応力が高くなっており、表面の凹凸がより多く破壊されたと考えられる。

図-3 に投影被覆法により求めたせん断前後のフラクタル次元 D_s の推移を示す。図-3 を見ると、せん断前に比べてせん断後はフラクタル次元が減少しており、垂直剛性が高くなるにつれてよりフラクタル次元は減少している。これらの結果から、 D_s を用いてせん断における表面の平滑化を表現することができるといえる。

図-4 にせん断変位 15mmにおけるせん断応力とせん断後の表面凹凸のフラクタル次元 D_s との関係を示す。図-1 より分かるように、垂直剛性が高いほど、せん断変位 15mmにおけるせん断応力が高いため、図-3 と同様の傾向となっており、せん断応力が大きく生じるためフラクタル次元が減少している。

5. おわりに

本研究では、CNL 制御と CNS 制御の試験結果を比べると、垂直剛性が高いほど周囲からの拘束力が高くなり、残留強度が大きくなることがわかった。また、供試体表面形状を三次元的に解析することで、垂直応力の増加によるせん断応力の増加が、表面形状の凹凸の変形に大きく影響していることを明らかにした。

6. 参考文献

1) 加藤竜士, 李 博, 棚橋由彦, 蔣 宇静: 岩盤不連続面のせん断強度と表面形状との関係の評価, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 福岡, -81, pp.529-530(2005.3)

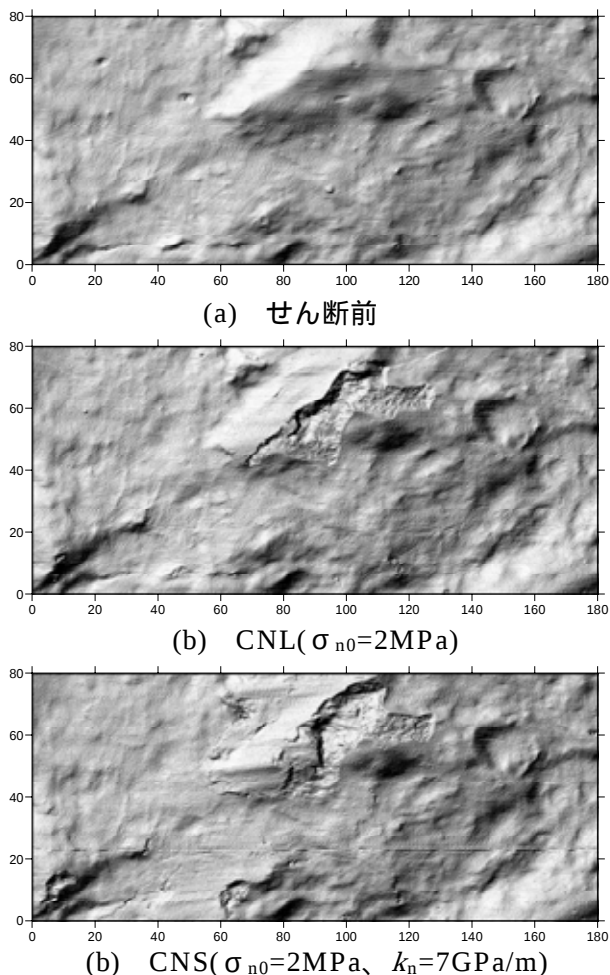


図-2 せん断前後の表面形状

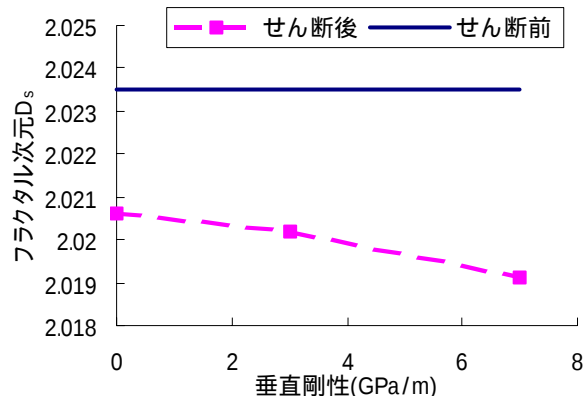


図-3 せん断前後のフラクタル次元 D_s の推移($\sigma_{n0}=2\text{MPa}$)

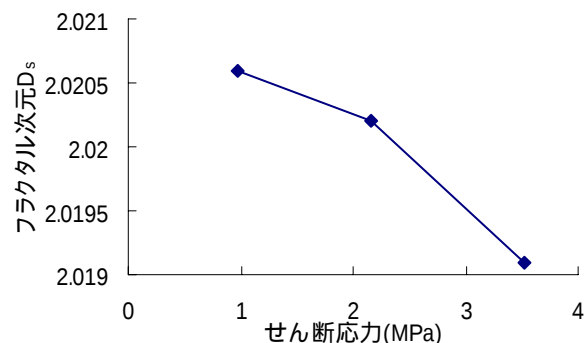


図-4 せん断変位 15mm におけるせん断応力とフラクタル次元 D_s との関係