

## 固結部が岩盤不連続面のせん断挙動に及ぼす影響の室内実験的研究

長崎大学工学部 学生会員 ○徐 いちはん 長崎大学大学院工学研究科 フェロー会員 蔣 宇静  
 長崎大学大学院工学研究科 正会員 杉本知史 正会員 大嶺 聖 張 元超 王 智

### 1. 研究の背景と目的

トンネルなどの岩盤構造物工事では、周辺地山において断層や節理のような不連続面が存在するのが一般的である。施工中の応力再配分または地震に起因する不連続面の再滑動は地山岩盤の不安定となる原因と考えられる。一方で、地下水流動や浸食により不連続面における固結部が形成されるので、固結部は不連続面のせん断挙動および透水係数に及ぼす影響がまだ解明されていない。本研究では、ラフネス（不連続面の粗さ）の異なる3種類の不連続面に対して、垂直荷重が一定（CNL）条件下で一面せん断試験を行い、固結部の分布性状（固結部の有無、位置、個数）が不連続面のせん断挙動に与える影響を明らかにすることを目的とする。

### 2. 模擬供試体の作成

本研究では、実際の岩石材料と似た力学的特性値を持つ模擬岩石供試体の作成法を採用する<sup>1)</sup>。また、その特性値を表-1に示す。岩盤不連続面を含める模擬供試体（上下断面部）は、石膏と水、遅延材を1:0.2:0.005の重量比で、固結部は石膏と水、遅延材を1:0.3:0.005の重量比で作成した。

表-1 模擬岩石材料の特性値<sup>1)</sup>

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比	引張強度 (MPa)	粘着力 (MPa)	摩擦角 (°)
2.066	47.4	28.7	0.23	2.5	5.3	63.3

### 3. 一面せん断試験の条件設定

#### 3.1 実験ケース

実際の岩盤内部の断層や節理は複雑な表面形状を有し、不規則的に分布することを考慮して、本研究では Barton<sup>2)</sup>が提案した JRC (Joint Roughness Coefficient、節理粗度係数) パラメータを導入し、様々な表面形状（粗度）を持つ不連続面供試体による実験を行った。図-1のように、粗度のある断面をせん断する場合、不連続面の間に圧縮による破壊モードと引張による破壊モードが現れる。なお、同じ方向でせん断する場合、緑は引張破壊固結部 (Tensile Bridge、以下はTB)、青は圧縮破壊固結部 (Compressive Bridge、以下はCB)、黄は水平の上下断面での破壊固結部 (Plane Bridge、以下はPB) を表す。また、図-1は各不連続面における固結部の分布性状を示す。ここで、CB固結部とTB固結部が一個ずつ存在する混合固結部 (Mix Bridge、以下はMB) および固結部のない不連続面 (No Bridge、以下はNB) も図-1により示す。表-2は本研究で使用した実験ケースを示す。

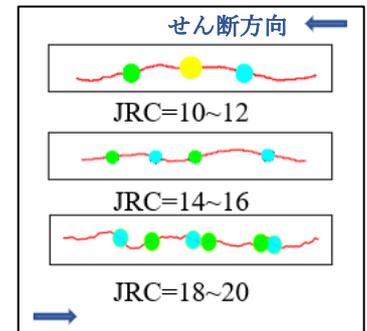


図-1 固結部の分布性状

#### 3.2 実験方法

本研究では、垂直応力が2MPaで、本研究室が開発したサーバー制御型一面せん断試験装置を使用して一面せん断試験を行った。なお、最大せん断変位は5mmで、せん断変位速度は0.3mm/minとする。

表-2 実験ケース

JRC	10~12	14~16	18~20
実験ケース	NB,1CB,1TB,1PB, MB(1CB+1TB)	NB,2CB,2TB, MB(1CB+1TB)	NB,3CB,3TB

4. 実験結果と考察

せん断応力-せん断変位曲線は実験結果に基づいて図-2 のように表現できる。ここで、き裂発生強度、ピークせん断強度、残留強度およびせん断弾性率を用いて供試体のせん断特性を評価する。

図-3 はせん断結果を示す。JRC が大きいほど、また不連続面は粗いほど、き裂発生強度とピークせん断強度は高くなる。またせん断弾性率はせん断変形のしにくさを表す指標で、JRC が大きい断面でせん断弾性率も大きくなる傾向を示す。一方、TB より CB の方が主に不連続面のせん断特性に支配的である。例えば、JRC=10~12 の 1CB と MB の場合に注目すると、MB のせん断特性値は 1CB とほぼ同じで、TB 固結部が存在しても影響していない。それに対して、ダイレーションについては、固結部の分布性状はせん断面のダイレーションに影響が少なく、JRC が大きいほどダイレーションは大きくなる傾向があり、不連続面の粗さがより顕著な影響を及ぼすことがわかる。

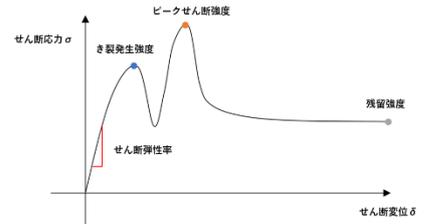


図-2 せん断応力-せん断変位曲線

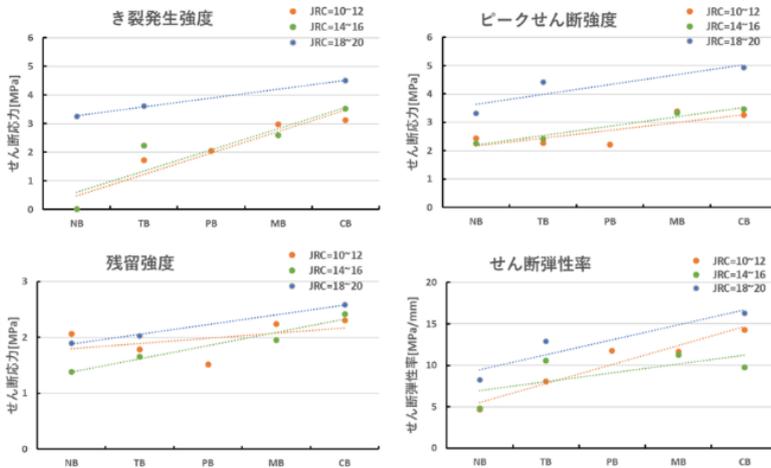


図-3 実験結果 (せん断特性値) の一部

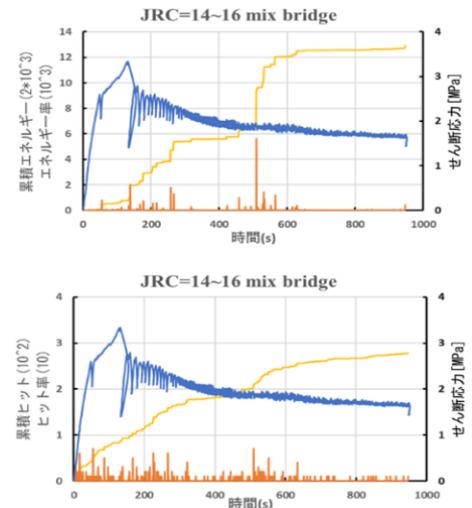


図-4 実験結果 (AE 特徴) の一部

図-4 は JRC=14~16 の実験結果-AE 特徴の曲線を示す。せん断強度が高いほど、せん断破壊が発生したときにより大量のエネルギーが放出される。不連続面の破壊面積が大きいほど、AE のヒット率が高くなる。そのため、単位時間当たりに放出されたエネルギー率は主にせん断強度が強い CB 固結部により影響され、ヒット率は主に破壊面積が大きい TB 固結部により影響される。ここで、CB と TB が両方存在する MB の場合にはせん断強度が低い TB 固結部が先に破壊されてから CB 固結部が破壊されるので、TB 固結部が破壊した時にヒット率が高くなるが、CB 固結部が破壊した時にエネルギー率が高くなった。また、固結部が破壊されるたびに、AE イベントの激しい活動に伴って、せん断応力も急激に減少した。

5. まとめ

本研究では、不連続面内における固結部がせん断挙動に及ぼす影響を実験的に明らかにした。実験結果として、不連続面のせん断強度に対し圧縮固結部が引張固結部より大きく影響すること、ダイレーションは固結部の分布性状により影響されないことがわかった。AE 特性については、圧縮固結部はエネルギー率に大きく影響するが、引張固結部はヒット率に影響することが明らかになった。

参考文献

- 1) Jiang Y, Xiao J, Tanabashi Y, Mizokami T : Development of an automated servo-controlled direct shear apparatus applying a constant normal stiffness condition, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 41, No.2, pp.275-286, 2004.
- 2) Barton, N. R: A model study of rock joint deformation, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Min Sci., Vol. 9, pp.579-602, 1972.