

室内実験による断続的不連続面のせん断挙動の評価

長崎大学工学部 学生会員 ○WANG ZHI 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静

長崎大学大学院 正会員 杉本知史 正会員 大嶺 聖 張 元超

1. 研究の背景と目的

放射性廃棄物の地層処分においては、少なくとも 10 万年間にわたって断層活動による地層の著しい変動が生ずるおそれのない区域に処分施設を設置する必要がある。過去の地層堆積時に起きた海底地すべりの活動に起因する地すべり面の再滑動性が未固結から固結した過去の海底地すべり面のせん断強度に依存するために、その力学的安定性についての確かな評価を行う必要がある。

そこで本研究では、海底地すべり面等の弱面すべりの再滑動性を評価するために、上載荷重を一定に制御した一面せん断試験装置を用いて室内実験を行い、せん断過程における断続的不連続面の分布性状(き裂の連結性と間隔、オーバーラップ)の影響を詳細に考察することを目的とする。

2. 模擬岩石材料

実岩盤から断続的不連続面のサンプルを採取することが容易でないので、本研究では、既往研究で示した模擬岩石供試体の作成法を採用する¹⁾。断続的不連続面を含む模擬岩石供試体は、石膏と水、遅延材を 1:0.2:0.005 の重量比で混合して作成するもので、その物理的と力学的特性値を表-1 に示す。

表-1 模擬岩石材料の特性値¹⁾

密度 (g/cm ³)	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

(1) **実験ケース** 今回の実験は CNL 条件下で行った。図-1 に示すように、断続的不連続面の傾斜角度 i は 0° 、 15° 、 30° 、 60° 、 90° 、 -60° 、 -30° 、 -15° とし、個々の長さ L_j は 10mm、連結性 k_j は 0.5、垂直応力 σ_n は 3MPa である。なお、CNL(constant normal load)とは垂直応力を一定に保つことを示し、今回は 3MPa に設定した。

(2) **実験方法** 一面せん断試験は、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用いて実施した。最大垂直荷重と最大せん断荷重はいずれも 200kN である。

せん断試験の手順としては、まず供試体の上端に 0.5MPa/min の載荷速度で垂直荷重を加え続け、所定の垂直応力レベルに達したらそれを一定に保ったままでせん断を行う。なお、一面せん断過程は 0.15mm/min のせん断変位速度で制御されるので、静的載荷に準じている。

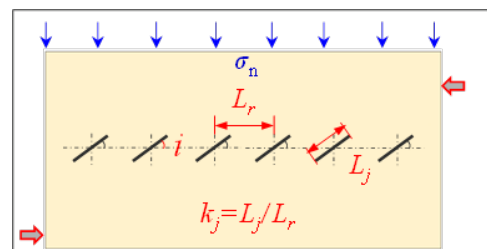


図-1 断続的不連続面の分布

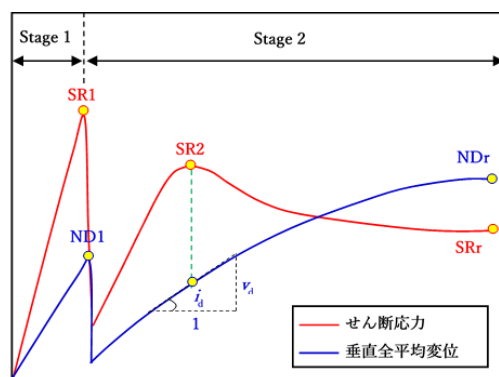


図-2 せん断過程の模式図

4. 実験結果と考察

実験結果に基づいて典型的なせん断過程は、図-2 に示すように、第 1 段階と第 2 段階に分けることができる。なお、第 1 段階はき裂進展ステージを、第 2 段階は滑りステージを表す。供試体のせん断強度は、SR1、SR2、SRr によって、また、垂直全平均変位は、ND1、ND2、Vd の 3 つのインデックスによって特徴付けられる。

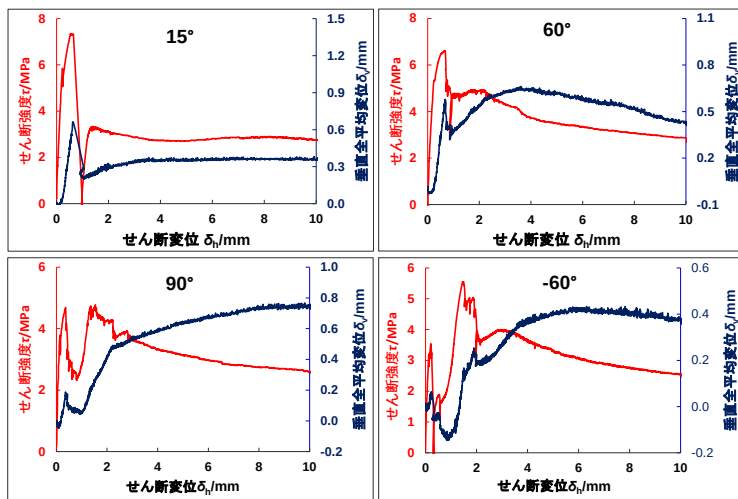


図-3 実験結果 (一部)

SR1 はき裂貫通強度、SR2 はピーク摩擦強度、SRr は残留摩擦強度、ND1 はせん断によるダイレーション、Vd は摩擦ダイレーション率、Ndr は残留ダイレーションである。図-3 は、実験結果 (一部) を示す。SR1 が傾斜角の変化に伴い sin 関数曲線のような変化傾向を示す。最小値は約-30°で、最大値は 15°から 30°の間に現れる。SR2 が傾斜角の変化に伴いほぼ対称的な変化傾向であり、傾斜角が負の場合 (つまり、せん断方向に傾く場合) は、傾斜角が正の場合 (つまり、せん断と反対方向に傾く場合) よりも僅かに大きくなる。一方、傾斜角が SRr に与える影響はあまり大きくない。傾斜角が正の場合は SR2/SR1 が 1 より小さいものの、負の場合は SR2/SR1 が 1 より大きくなる。つまり、負の傾斜角では SR2 が SR1 より大きく、正の傾斜角では SR2 が SR1 より小さくなる事が分かる。

破壊モードは図-4 と図-5 に示すように、正の傾斜角では明らかなように斜めのき裂が進展した。そのため、ND1 が負の傾斜角の場合より正の場合が大きくなり、30°付近で最大値になる。Ndr は傾斜角によって不規則に変化する。ダイレーション角 i はせん断応力が SR2 になった時の垂直全平均変位曲線の傾きで、負の傾斜角より正の場合はダイレーション角が大きくなる。

一方、せん断応力が SR2 に達したとき、正の傾斜角の断面内では平行四辺形の破片が形成され、二本の平行き裂の間で二本の弧形を示す類四辺形の破片が形成された (図-5)。類四辺形の破片はせん断過程で回転摩擦を起こしやすいのに対し、平行四辺形の破片はせん断過程において回転しにくく、主にすべり摩擦が現れる。回転摩擦より滑り摩擦のほうが大きいために、負の傾斜角の場合の摩擦角より正の場合の方が大きくなる。

5. まとめ

本研究では、海底地すべり面等の弱面すべりの再滑動性を評価するために、上載荷重を一定に制御した一面せん断試験を行い、せん断過程における断続的不連続面の力学的挙動 (せん断強度、せん断によるダイレーションなど) と断続的不連続面の間に生じるき裂の進展パターンについて詳しく考察した。今後は、異なる境界条件 (垂直剛性一定 CNS) における一面せん断試験も実施し、さらなる比較と考察を行っていく。

参考文献

- 1) Jiang Y, Xiao J, Tanabashi Y, Mizokami T(2004) : Development of an automated servo-controlled direct shear apparatus applying a constant normal stiffness condition, *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(2):275-286.

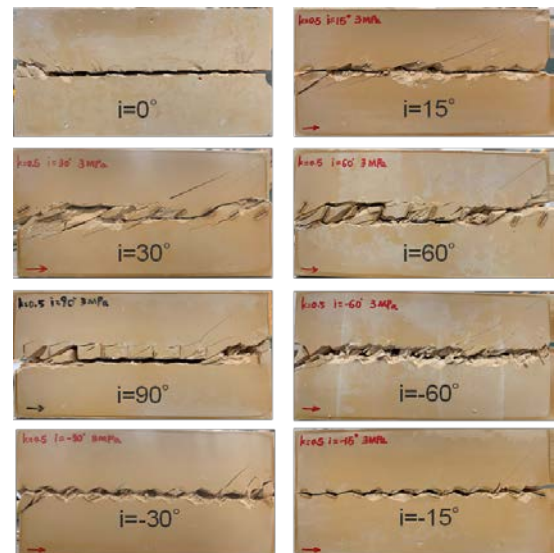


図-4 断続不連続面のせん断破壊進展例

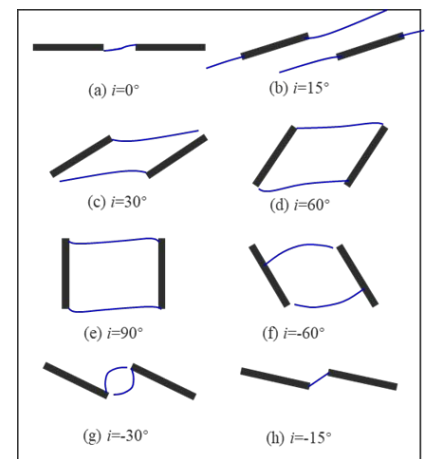


図-5 断続的不連続面の進展パターン