

原位置試験を模擬した室内模型実験による不連続性岩盤のせん断挙動特性に関する研究

九州大学工学部 学生員○椎野 修 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎
九州電力(株) 正会員 溝上 建 九州電力(株) 正会員 生貞 幸治

1. はじめに

ダムや地下発電所などの大規模岩盤構造物の設計に際しては、岩盤の力学的特性の評価を目的とした原位置せん断試験が行われる。不連続性岩盤を対象とした原位置せん断試験の結果は、層理面や節理などの不連続面の諸特性、特にその傾斜角に大きく支配されることが分かっている¹⁾が、そのメカニズムは十分に解明されていない。

本研究では、不連続面の傾斜角の違いが岩盤のせん断挙動特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、原位置せん断試験(ブロックせん断試験)を模擬した室内模型実験を行う。

2. 実験装置および模擬地盤

(1)実験装置

実験装置の概念図をFig.1に示す。本装置では、標準的な原位置せん断試験(せん断面の寸法 600mm × 600mm)を 1/3 のスケールで 2 次元化した模型実験を行うことができる。模擬地盤の寸法は、幅 900mm × 高さ 300mm × 奥行き 100mm、せん断ブロックの寸法は幅 200mm × 高さ 100mm × 奥行き 100mm である。載荷装置としては、せん断荷重用(容量 50kN)、垂直荷重用(容量 20kN)、側方拘束荷重用(容量 50kN)のジャッキを用いた。せん断荷重の水平面となす角度は、原位置せん断試験で通常採用されている 15° とし、垂直荷重、せん断荷重がそれぞれせん断面の中央に働くように鋼製フレームにジャッキを取り付けた。せん断応力

は、せん断荷重の水平成分をせん断面の面積で除した値とした。側方拘束荷重用ジャッキは、模擬地盤に初期応力を与えるために模擬地盤の左側方中央に設置した。模擬地盤の側面と下面の境界の摩擦はテフロンシートにより低減させた。せん断ブロックの垂直変位はせん断ブロック上面に設けた載荷板上の 4 点で計測し、その平均で結果を整理した。せん断ブロックのせん断変位は、せん断ブロック背面の中央の 2 ヶ所で計測した水平変位の平均と、せん断ブロック背面から背後 30cm の模擬地盤上面において計測した水平変位の相対変位とした。荷重および変位に関するデータはデータロガーを通して自動記録される。

(2)模擬地盤

模擬地盤は、不連続面を多く含む堆積性の中硬岩を想定したもので、岩石の模擬材料として一般に用いられることの多い石膏系材料を採用した。模型材料の配合比および物性値をそれぞれ Table 1, Table 2 に示す。1 つの模擬地盤ブロックの寸法は縦 60mm × 横 20mm × 奥行き 100mm であり、これをかみ合い比 1/2 の千鳥状に配列して、高角度で連続性を有する不連続面群

Table 1 Composition of model material.

Materials	Gypsum	Slaked lime	Sand	Water	Retarder
Ratio*	1	1	5	1.6	0.01

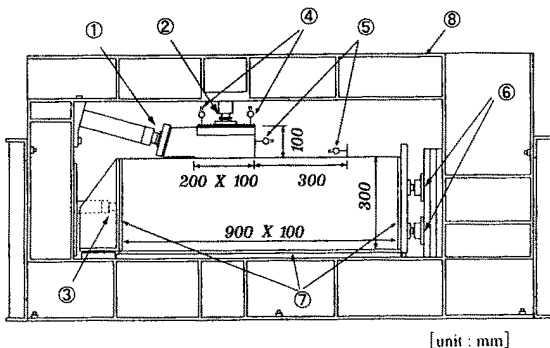
* (Material / Gypsum) by weight

Table 2 Mechanical properties of model material.

E (GPa)	ν	ρ (g/cm ³)	q_u (MPa)	σ_t (MPa)
5.81	0.18	1.68	4.41	0.454

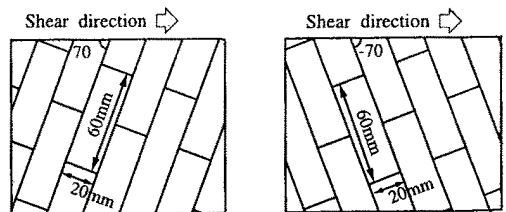
E: Young's modulus; ν : Poisson's ratio; ρ : Density

q_u : Unconfined compressive strength; σ_t : Tensile strength



- ① Shear load jack ② Normal load jack ③ Lateral restraint jack
④ Normal displacement meter ⑤ Shear displacement meter
⑥ Lateral load cell ⑦ Teflon sheet ⑧ Metal frame

Fig.1 Apparatus for in-situ model test.



(a) Counter-dip arrangement

(b) Dip arrangement

Fig.2 Geometry of discontinuities in model.

(以降 set1 と称す) と、それに直交する断続的な不連続面群 (以降 set2 と称す) からなる模擬地盤を作成した。ここでは、Fig.2 に示すように、水平面と set1 のなす角を反時計回りを正として 70° 、 -70° (それぞれ流れ目、差し目と称する) の 2 ケースを設定して実験を行った。また、比較のために、不連続面を含まない均質模擬地盤 (以降インタクトと称す) の実験も行った。なお、せん断ブロックは、模擬地盤に対して十分な強度と剛性を有する必要があるため、速効性の石膏で材齢 1 日強度が 29.4MPa のものを使用した。

3. 実験方法

荷重の載荷方法は原位置せん断試験と同じく荷重制御方式とした。まず、模擬地盤に初期応力を与え、試験装置全体との馴染みを良くするために側方拘束荷重を載荷した。側方拘束荷重を所定の値 (0.08MPa) まで載荷した後、せん断ブロックをエポキシ樹脂系の接着剤で模擬地盤に接着した。その後、垂直荷重による予備載荷を行い、所定の初期垂直荷重 (0.49MPa) まで載荷した状態でせん断荷重を破壊に至るまで段階的に増加させた。各載荷ステップの荷重保持時間 (3 分) のせん断変位の増加が $1/100\text{mm}$ 以下ならば順次荷重を増加させ、 $1/100\text{mm}$ 以上の場合は荷重保持をさらに 3 分間継続した。なお、せん断荷重の載荷ステップの増分は原則として 0.98kN とし、載荷速度を 0.49MPa/min とした。

4. 実験結果および考察

Fig.3 にせん断応力とせん断変位の関係を示す。破壊時の最大せん断応力は、インタクト、流れ目、差し目の順に低下し、差し目の最大せん断応力は流れ目の約 $1/3$ の値を示す。また、流れ目および差し目の破壊時のせん断変位は、インタクトの約 4 倍の値を示す。Fig.4 に垂直変位とせん断変位の関係を示す。流れ目ではせん断変位の増加に伴って、コントラクタンシーが生じた後、ダイレイタンシーに転じるが、差し目ではコントラクタンシーがほとんど生じていない。実験後に観察した流れ目と差し目の破壊形態を Fig.5 示す。流れ目では、せん断ブロックの背面の隅角部付近で破壊が発生し、そこから set2 に沿って約 20° 下方に破壊が進行して、最終的にせん断ブロックの直下で破壊した。一方差し目では、せん断ブロックの背面の隅角部付近で破壊が生じた後、せん断ブロック前面の層理面の開口に伴って、set2 に沿った破壊がくさび状に進行したが、最終的にはせん断ブロックの直下で破壊した。このような破壊形態の違いが、両者のせん断挙動特性の違いとして現れたものと考えられる。

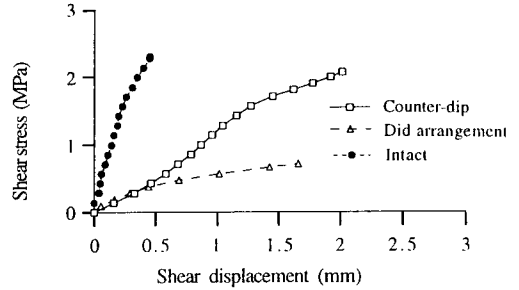


Fig.3 Shear stress vs. shear displacement curves.

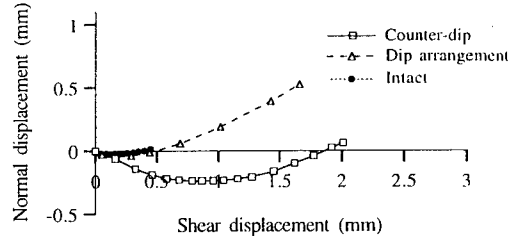


Fig.4 Normal displacement vs. shear displacement curves.

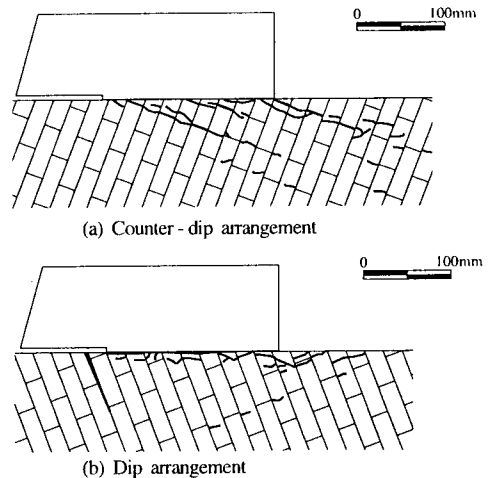


Fig.5 Failure pattern observed after shear testing.

5. 結論

本研究では、原位置せん断試験を模擬した室内模型実験を行い、高角度で連続性を有する set1 と、それに直交する断続的な set2 の二系列の不連続面群からなる岩盤のせん断挙動特性を明らかにした。その結果、載荷する方向によって岩盤の破壊形態が異なるため、最大せん断強度は流れ目よりも差し目の方が小さくなる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 斉藤孝三, 片平 博: ダム基礎岩盤の原位置せん断試験値と地質岩盤分類別特性に関する考察, 土木技術資料, Vol.26, No.12, pp3-9, 1984