

自然岩盤不連続面室内せん断実験結果の整理に対する考察

九州大学工学部 学生会員 ○ 二宮 聡 九州大学大学院 正会員 江崎哲郎
 九州大学大学院 正会員 三谷泰浩 九州大学大学院 非会員 下田 誠
 九州電力(株) 正会員 山上裕也 九州電力(株) 正会員 生貞幸治

1. はじめに

岩盤の挙動は、弱面である不連続面に支配的であるため、岩盤構造物の建設、維持管理においては不連続面の特性を把握することが重要である。しかしながら岩盤不連続面の力学的な諸特性を評価するための具体的な力学的実験方法、物性値を決定する方法について確立された手法はなく、ISRM¹⁾による指針はあるものの、状況に応じてそれぞれ独自の方法が採られているのが実状である。

本研究では室内せん断実験による自然岩盤の不連続面の力学的特性を評価するための手法を確立することを目的として、実験結果の評価および結果の整理方法について検討を行う。

2. 実験装置および実験方法

使用する実験装置は独自に開発した実験装置²⁾であり、せん断箱に設置された単一の不連続面を有する供試体を、不連続面に沿ってせん断する一面せん断実験タイプの装置を用いる。せん断実験は基本的に垂直応力一定条件下で、せん断変位一定速度(0.1 mm/min)の変位制御による実験を行う。また、同一の不連続面より採取された試料の数に限りがあることから、段階的に垂直応力を増加させる多段階実験を同時に行いデータを効率よく取得する。また、不連続面の垂直剛性を評価するため、せん断の前後において垂直応力荷重実験を行う。

3. 供試体および実験ケース

本研究では不連続面に沿ってボーリングにより現場から採取された礫岩、砂岩の試料を用いて供試体を作成する。基質部の一軸圧縮強度は礫岩で 156.0 MPa、砂岩で 22.6 MPa の強度を有する。また両者とも不連続面に挟在物が存在し、礫岩では風化、変質し比較的薄い土砂状、粘土状物質が挟在する。砂岩は礫岩と同様に粘土状の挟在物が存在するものの風化、変質が著しく礫岩よりも厚く分布している。

実験には礫岩、砂岩ともにほぼ同等と考えられる不連続面を有する試料から独自に開発した方法³⁾を用いて供試体をそれぞれ 4 つ作成する。実験ケースについては実験結果とともに Table 1 に示す。

4. 実験結果

実験結果の例としてケース C-1, S-1 のせん断応力-せん断変位曲線、垂直変位-せん断変位曲線を Fig. 1 に、Fig. 2 に C-2 と S-2 の同様の結果を示す。

礫岩はせん断応力および垂直変位は終始変動を繰り返しており、垂直変位は著しいダイレーションを示す。一方、砂岩は礫岩に比べせん断応力および垂直変位の変動は少なく安定したせん断応力を示す。また、垂直変位はせん断初期においてはわずかにダイレーションを生じるものの、せん断変位の増加とともにコントラクタンシーの挙動を示す。なお、砂岩において多段階実験を行うと 2 回目の垂直荷重荷降以降は明確な最大せん断強さは確認されないものの、単段階荷重では明確な最大せん断強さが見られ、最大せん断強さを精度よく把握するためには限られた試料数であっても多段階荷重が必ずしも有効ではないことがわかる。

岩種間におけるせん断応力・垂直変位の挙動の差異は不連続面の表面形状、挟在物の状況によるものと思われる。

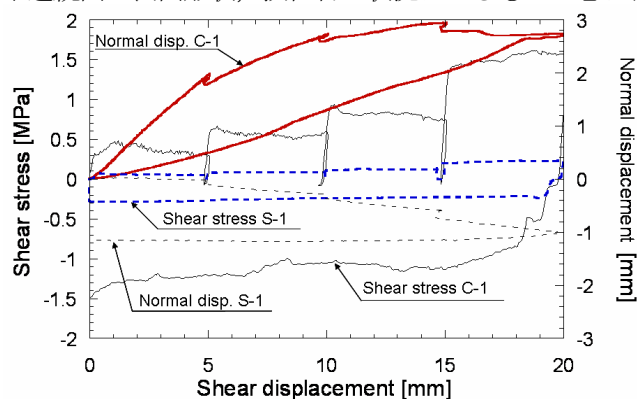


Fig. 1 Shear stress and normal displacement vs shear displacement (Case C-1 & S-1).

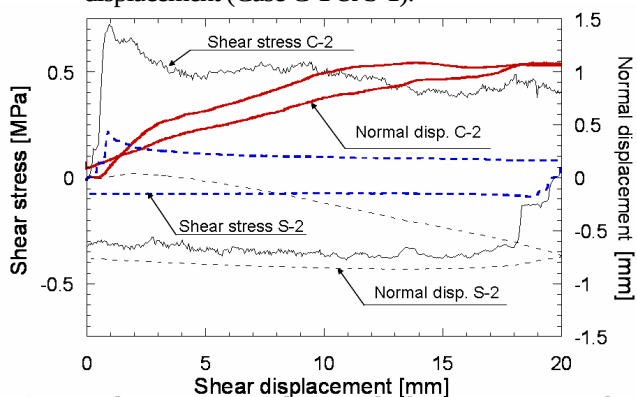


Fig. 2 Shear stress and normal displacement vs shear displacement (Case C-2 & S-2).

る。礫岩の不連続面の表面形状は基質部の礫の影響を受けて凹凸があり壁面強度も大きいので、砂岩とのせん断応力の挙動の違いにつながったものと考えられる。また、砂岩の挟在物は礫岩のそれよりも厚く軟らかい粘土状の材料であったため、この違いがせん断強度の低下、せん断時の垂直変位の低下の原因と考えられる。

5. 力学的特性値の評価方法の検討

本実験で得られた結果を用いて検討した力学的物性値の評価方法について、Fig. 3 に示す実験ケース S-2 を例として説明するとともに、得られた結果を Table 1 に示す。

(1) せん断剛性 K_s ，垂直剛性 K_n

せん断応力-せん断変位曲線のせん断初期の直線部分の傾きからせん断剛性 K_s を算出する。また、垂直剛性 K_n については垂直応力依存性を示すことから、垂直載荷実験結果から得られた双曲線関数を微分することで垂直応力 σ_n の関数として表す²⁾。

(2) 最大せん断強さ τ_p ，残留せん断強さ τ_r

自然の岩盤不連続面では基質部を構成する岩の強度や変形特性、不連続面の表面形状や挟在物の状況などからせん断に伴うせん断応力、垂直変位の特性曲線は多様となる。よって、せん断応力の値から明確な最大せん断強さ、残留せん断強さを得ることは難しい。そこで、せん断に伴う垂直変位の挙動を参考にこれらの値を決定することを考える。

最大せん断強さ τ_p は垂直変位曲線の傾きの変化する垂直変位の変曲点と対応したせん断応力の中より選定する。明確な最大値が現れない場合については近傍の平均値を採用する。その結果、実験を行ったケースにおいて多段階実験の二段階目以降を除けば、Fig. 3 (a) に示すように垂直変位曲線のほぼ変曲点でせん断強度は最大値を示し、この方法の妥当性が確認される。

残留せん断強さ τ_r は垂直変位の変化がほぼ一定となる範囲の平均値を採用する。Fig. 3 (b) に示すように、せん断応力に多少の増減が見られるが、ひずみ軟化が長く続くケースでも垂直変位の変化が一定になる領域が必ず存在し、残留せん断強さを規定できる。

6. おわりに

本研究では、自然の不連続面のせん断実験結果から得られる力学的物性値の評価方法について検討を行った。その結果これまで評価方法が曖昧であった自然の岩盤不連続面のせん断剛性、垂直剛性、最大せん断強さ、残留

Table 1 Test cases and results.

Rock type	Case ID	σ_n (MPa)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)	τ_p (MPa)	τ_r (MPa)
Conglomerate	C-1	0.3	13.368	1.807	0.446	0.317
		0.6	23.740	2.396	0.623	0.545
		1.0	42.170	2.985	0.914	0.818
		2.0	111.249	4.503	1.411	1.566
	C-2	0.6	1.771	1.042	0.714	0.400
	C-3	1.0	60.553	1.768	0.910	0.598
		2.0	55.762	2.053	2.117	1.640
		3.0		5.420	2.302	2.165
		5.0		5.702	3.314	3.467
		10.0		6.967	5.742	5.482
Sandstone	S-1	0.3		0.402	0.070	0.049
		0.6		1.350	0.076	0.078
		1.0		1.794	0.110	0.116
		2.0		0.972	0.190	0.216
	S-2	0.6	8.941	0.931	0.228	0.091
	S-3	1.0	0.413	0.477	0.235	0.165
		2.0	11.659	1.199	0.308	0.265
		3.0	13.063	1.814	0.435	0.485
		5.0	16.112	2.453	0.875	0.945
		10.0	25.129	3.128	1.771	1.788

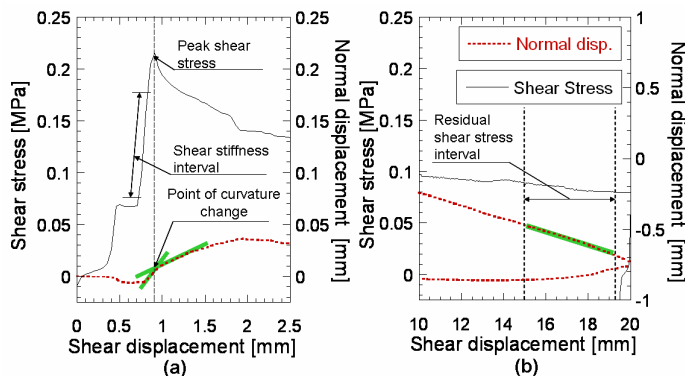


Fig. 3 Method of determination on rock shear properties(Case S-2).

せん断強さについてそのメカニズムを考慮に入れた最適な評価方法を提案できたと考える。

また、不連続面のせん断特性を評価する際には、基質部の特性だけでなく不連続面の状況の違いによって大きく異なり、それに応じた実験方法についても適切な検討が必要であることが明らかになった。

＜参考文献＞

- 1) International Society for Rock Mechanics : The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring; 1974-2006, pp171-173, 2007.
- 2) MITANI, Y. *et al.* : Development of a new advanced shear-flow coupling apparatus, Proc. of 9th Int. Congr. on Rock Mech., ISRM, pp.769-772, 1999.
- 3) 三谷 泰浩 ほか：自然岩盤不連続面の室内一面せん断一透水同時実験方法の提案，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会岩盤力学委員会，CD-ROM，2008.