

（株）大林組技術研究所 正 平間 邦興
同 上 正 丸山 誠
同 上 正 木村 薫

1. まえがき

地下空洞や岩盤斜面の安定を考えると基礎資料の一つになるのが岩石や岩盤のせん断破壊特性である。これらを通常の室内試験から求めるには、圧縮と引張試験結果から計算したり、あるいは直接せん断試験や三軸圧縮試験結果から破壊基準に適合したせん断強度や内部摩擦角を推定する方法などの使われることが多い。これまでにも、数多くのせん断試験法の規準化の検討および破壊基準に関する研究報告が行なわれている。筆者らも、岩石の工学的試験結果の適用性に関する一連の基礎研究を行なってきたが、ここでは岩石のせん断試験結果について、各種試験方法による比較を試み、若干の検討を試みた。

以下にその試験結果の一部について示す。

2. 試験試料と試験方法

試験に使用した岩石試料と基本性状の一覧表を表-1に示す。軟岩では、泥岩と凝灰岩を2種類ずつの4試料、硬岩では砂岩、石灰岩および閃緑岩の3試料で合計7試料である。軟岩のうち、凝灰岩は浮石質、砂質、レキ質などを多様に含んでおり、泥岩と比較して不均質な試料である。いずれも現地より採取した岩塊から岩石コア採取機で円柱試料（直径50mm）を採取し、試験供試体を成形した。

岩石試験は通常の一軸圧縮および圧裂引張試験の他に、超高圧三軸圧縮試験と簡易一面せん断試験を実施し、それぞれ求められるせん断特性について比較、検討を試みた。三軸試験機は最大100tまでの軸荷重が載荷できる剛性を有し、側圧は油圧によって600(Kgf/cm^2)まで負荷できる。また、側ひずみおよび間隙水圧の測定機構を付加することによって、広範囲の三軸試験が可能となる。供試体寸法は $\phi 50 \times h100(mm)$ で、載荷速度は大略0.05%/minを原則とした。

簡易一面せん断試験は、図-1に示すような簡便にせん断強度を求めることのできる試験装置である。供試体寸法は $\phi 50 \times h50(mm)$ で、載荷軸に対してせん断角 α を $\alpha=0 \sim 45^\circ$ まで任意に変化させることができる。載荷重をPとすると、せん断面に働くせん断応力 τ と垂直応力 σ は次のように表わすことができる。

$$\tau = P/A \cos \alpha \quad \sigma = P/A \sin \alpha$$

ここで、Aは強制せん断面の断面積で、各段階ごとの破壊時のせん断応力 τ_n と垂直応力 σ_n の関係より、いわゆる破壊限界線を求めることができる。今回せん断角としては、試験操作上 $\alpha=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ の中より適宜選択して、試験を実施した。

3. 試験結果と2.3の検討

3.1 三軸圧縮試験結果の検討

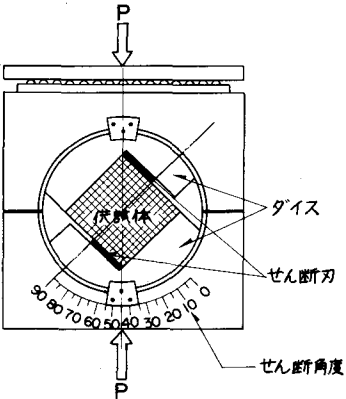
三軸圧縮試験結果の一部として、代表的な硬岩および軟岩の破壊応力円を図-2に示す。側圧は、硬岩で50~500(Kgf/cm^2)、軟岩では、20~150(Kgf/cm^2)の範囲である。

すべての岩種について特徴ある変形、破壊特性を示すことがわかる。図-1 簡易一面せん断試験装置

岩石名	産地	基本物性値		一軸圧縮試験				圧裂引張試験			
		含水比 W (%)	単位体積重量 γ (g/cm^3)	圧縮強度 σ_c (kg/cm^2)	弾性的係数 E (kg/cm^2)	弾性速度 Vp (km/sec)	変動係数 v	圧裂強度 σ_t (kg/cm^2)	変動係数 v	せん断強度 $B = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$	
泥岩	神奈川県鎌倉市	35.95	1799	2803	5200	1.81	17.3	4.30	19.7	6.5	
	神奈川県鎌倉市	27.68	1940	37.37	6200	1.89	9.7	4.16	16.6	9.0	
	栃木県宇都宮市	38.69	1470	4520	7700	1.63	26.5	6.98	22.1	6.5	
	埼玉県熊谷市	26.76	1843	61.75	9900	2.13	31.9	5.71	57.9	10.8	
閃緑岩	埼玉県熊谷市	0.19	2851	1181.9	151000	5.39	22.0	141.10	16.2	8.4	
	栃木県阿蘇町	0.03	2695	851.7	143000	6.27	31.4	56.42	19.4	15.1	
	長崎県諫早市	1.32	2416	386.8	58000	2.61	—	—	—	—	

表 1 試験試料と力学性状一覽

表-1 試験試料と力学性状一覧



硬岩の場合、拘束圧依存性が強く、破壊包絡線も放物線状を示す傾向がある。拘束圧が高くなるにつれて、圧縮強度が漸増するとともに変形係数もわずかに増大し、ぜい性的な破壊変形特性がしだいに漸移的なものに移行している。軟岩では比較的拘束圧による影響は少なく、拘束圧が高くなってもほぼ一定の強度定数を示し、破壊包絡線も比較的直線性を示す傾向が認められる。しかし、これらの結果はいずれも排水条件を加味しておらず、特に軟岩では圧密排水下での変形性状を検討する必要がある。以上のように、破壊包絡線は一般的には直線とはならず、放物線や双曲線などに近似される。

三軸圧縮試験について軸ひずみと側ひずみ関係の一例を示したのが図-3である。図中の黒印が最大荷重付近を表わしている。各側圧段階において、ほぼ同様の傾向を示しており、これらよりポアソン比は $\nu = 0.09 \sim 0.17$ の範囲で変動していることがわかった。

3.2 各種せん断試験結果の比較

三軸圧縮試験にあわせて実施した一面せん断試験結果について、硬岩と軟岩についての例を示したのが図-4、5である。図中には、三軸試験における破壊応力円と、一面せん断試験における破壊限界線、および圧裂引張強度より求めるGriffith 曲線などを図示してある。

三軸試験結果と一面せん断試験結果とは、低い拘束圧領域では比較的一致する傾向が認められ、両者とも曲線形状を示していることがわかる。また、Griffith 曲線と一面せん断試験とは、軟岩の一部で一致するようである。今後は、引張領域での三軸圧縮試験の適用や、一面せん断試験の高側圧部での破壊特性などを考慮に入れる必要がある。

4. あとがき

岩石のせん断特性に関して実施した2、3の試験結果を比較、検討した。未だ十分な解析が出来ておらず、せん断試験についても試験データを蓄積するとともに、試験方法の適用性を検討中である。今後、破壊基準線の詳細な解析と、現状に合致した破壊理論を求めることを課題としている。なお、報文作成にあたって、日産基礎工業(株)長田尚氏の尽力に対して深く謝意を表します。

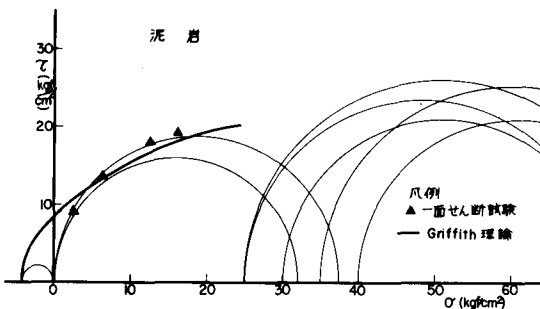


図-4 せん断試験結果の比較(軟岩)

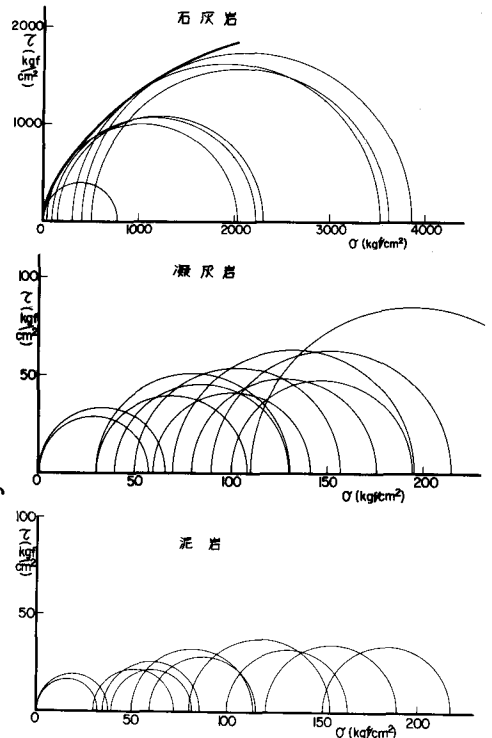


図-2 三軸圧縮試験における破壊応力円

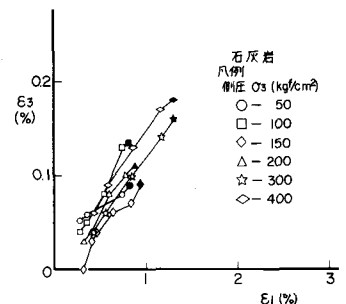


図-3 側ひずみの変化

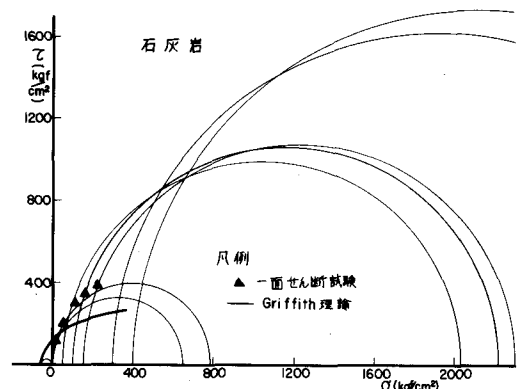


図-5 せん断試験結果の比較(硬岩)