

(116)簡易岩盤せん断試験機による軟質岩盤の調査

建設省土木研究所

正会員 永山 功、○大槻 英治、斎藤 正明

INVESTIGATION OF STRENGTH OF SOFT ROCK BY SIMPLIFIED INSITU SHEAR TEST EQUIPMENT

Isao NAGAYAMA, Eiji OTSUKI & Masaaki SAITO

Public Works Research Institute, MOC

Increased demand for flood prevention and water supply for daily life compels us to construct dams on difficult foundation, and the accurate evaluation of physical properties of rock is more required than before. The standard insitu shear test is the useful way to evaluate shear strength of rock but its procedure is complicated and time consuming. The new and simplified method of insitu shear tests for soft and relatively uniform rock was developed. The size of specimen was 20 cm by 20 cm in a shear plane. The results of the tests were found almost same as those of the standard insitu shear tests. This simplified method of insitu shear test has been proved to be well applied to soft rock.

1. はじめに

近年、治水、利水上の要請から、地質条件の厳しい地点においてもダムの建設が必要となってきた。このようなダムサイトとしては、いわゆる軟岩と呼ばれる新第三紀以降の堆積岩からなるダムサイト、比較的規模の大きい断層や変質帯が分布するダムサイト、地表からの風化が深部まで及んでいるダムサイトなどが挙げられるが、このようなダムサイトにも安全で経済的なダムを造るためには、その基礎となる岩盤のせん断強度を初めとした力学特性を精度よく調査することが必要である。

岩盤のせん断強度は、従来より、原位置においてせん断面積 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ のブロックを油圧ジャッキの荷重によってせん断することで求めている。このせん断ブロックの大きさは、せん断面に岩盤の割れ目を数多く取り込み、割れ目の存在が岩盤のせん断強度に及ぼす影響を正しく評価することを基本として設定されたものであるが、このことが岩盤の原位置せん断試験を大がかりなものとしていることもあながち否定できない。一方、上述のような岩盤では、岩盤自体が比較的均質であったり、または岩盤内の亀裂がかなり密に発達していることから、現在一般的になっているせん断面積 $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ を小さくすることも十分可能ではないかと考えられる。また、このような岩盤を基礎とするダムサイトでは、地質調査の比較的早い段階で岩盤のせん断強度の目安を得ておきたい場合が多いこと、また対象とする岩盤に対して数多くの試験を実施したいことなどの要請から、従来の岩盤せん断試験を簡略化した試験法を開発することも必要と考えられる。

このようなことから、軟質岩盤を対象とした簡易岩盤せん断試験機が既に開発¹⁾されているところであるが、ここでは、複数のダムサイトにおいてこの装置を用いて実際に簡易岩盤せん断試験を実施し、その適用性について考察を行った。本報告はその結果について述べたものである。

2. 簡易岩盤せん断試験機の概要

簡易岩盤せん断試験機¹⁾は、軟質で比較的均質な岩盤を対象に、せん断ブロックの面積を $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ （標準は $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ ）として開発された原位置岩盤のせん断試験装置である。本装置は図-1に示すような構造を有し、アンカーを用いて装置を岩盤に固定することによって垂直およびせん断荷重の反力を装置自体で支

持できる構造になっている。

なお、本装置のこのような寸法および構造から、簡易岩盤せん断試験は標準的な断面を持つ横坑内で簡単に実施することができ、また装置の設置から試験までの時間も標準の原位置岩盤試験の場合の1/3程度に短縮することが可能である¹⁾。なお、本試験装置を用いて試験する岩盤は軟質な岩盤を対象としていることから、本装置を用いた試験はロックせん断試験とすることを基本にしている。

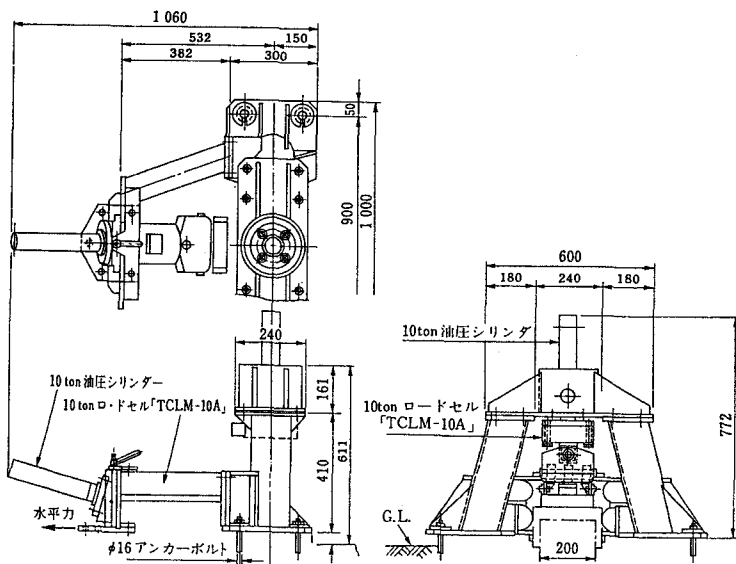


図-1 簡易原位置岩盤せん断試験装置

3. 簡易岩盤せん断試験の結果

3. 1 新第三紀のシルト岩に対するせん断試験とその結果

ここでは、まず、新第三紀中新世のシルト岩に対して簡易岩盤せん断試験を実施した。試験地点の岩盤は亀裂の少ない軟質な岩盤で、土研式岩盤分類はB1aである。試験位置は、本サイトの岩盤を代表する地点で6点を選定した。また、試験面を出すための盤下げは岩盤を傷めないようにコールピックによる人力掘削とし、ブロックの切り出しはロックソーによって行った。簡易せん断試験時の載荷方法は標準サイズ(60cm×60cm)のせん断試験と同様な仕様を考え、初期垂直荷重は2.0、5.5kgf/cm²の2種類とした。また、予備載荷として、載荷速度0.5kgf/cm²/secで5.5kgf/cm²まで3段階に分けた繰り返し載荷を行い、岩盤の変形係数を測定するものとした。一方、せん断荷重は、載荷速度0.5kgf/cm²/secで4分間増圧した後1分間保持するものとした。

また、簡易岩盤せん断試験の妥当性を検討するため、これに併せて、標準サイズ(60cm×60cm)のロックせん断試験、ボーリングコアを用いた一面せん断試験(直径120mm)および三軸圧縮試験(直径50mm、CU試験)を実施した。また、ボーリングコアを用いた一軸圧縮試験(直径120mm)も実施した。

以上の試験結果をとりまとめて表-1に示す。さらに、簡易岩盤せん断試験の結果を標準サイズのロックせん断試験の結果と比較して図-2に、また簡易岩盤試験の結果と一面せん断試験の結果を比較して図-3に示す(せん断面がモルタルブロック内に発生した1供試体は他と同一に評価できないため削除)。図-2によれば、簡易岩盤せん断試験の結果は標準サイズのロックせん断試験結果よりもやや小さな値を示しているが、実用的な見地からは簡易岩盤せん断試験はこのような亀裂の少ない軟岩に対して十分適用可能な試験法といえる。また、図-3においては、最小自乗法で計算した両者の内部摩擦角はかなり異なっているが、図を見る限り、その差は試験値のばらつきに起因したものと考えられ、両者のせん断強度に有意な差があるとはいえない。なお、本サイトの岩盤は、湿度の変化で容易にスレーキングを生じ、また含水比の変化で強度が大きく変化すると考えられるから、ボーリングコアを用いた試験室での試験では供試体の含水比について十分丁寧な管理が必要であり、湿度や含水率の変化を受けない原位置試験はこの面で有利な試験法といえる。一方、一面せん断試験の供試体と同一の直径120mmを有する供試体を用いた一軸圧縮強度は43kgf/cm²で、これに対するモールの応力円は図-3に示すようにせん断強度を表す線と交差する結果となり、せん

断試験の結果が岩盤の亀裂によってある程度影響を受けているものと考えられる。このことは、簡易せん断試験のせん断断面の一部に鏡肌が認められることによって裏付けられる。

一方、直径50mmのボーリングコアを用いた三軸試験から得られるせん断強度は $30\text{kgf/cm}^2 + \sigma \tan 36^\circ$ で、上記の結果と大きくかけ離れている。したがって、このような径の小さなボーリングコアから得られるせん断強度は亀裂を含まない岩石の強度であって、岩盤のせん断強度を求める方法としては適切でない。

3.2 破碎と変質を受けた花崗岩に対するせん断試験とその結果

次に、破碎と変質を受けた花崗岩に対して簡易岩盤せん断試験を実施した。試

験地点の岩盤は変質の程度によって2種類の岩盤に分けられる。花崗岩①は、カタクラシックな岩盤で、原岩の組織は残存しているものの白色化が進み、緑色ないし白色の粘土脈が網目状に発達している。土研式岩盤分類はDⅢc、シュミットハンマーの反発度も12程度である。一方、花崗岩②は、破碎はほとんど見られず、変質の程度も中程度であるが、潜在的な亀裂が細かく発達し、これに沿って割れやすい岩盤である。土研式岩盤分類はCⅢcで、シュミットハンマーの反発度は21程度である。

試験位置は、花崗岩①で4点、花崗岩②で7点を選定した。花崗岩②の試験点数を多いのは、試験結果にばらつきが生じたため、試験点数を途中で追加したためである。なお、試験面を出すための盤下げや、ブロックの切り出しに際しては、試験面への影響を最小限に抑えるよう留意した。簡易せん断試験時の載荷方法は標準サイズのせん断試験と同様な仕様を考え、初期垂直荷重は、変質の進んだ花崗岩①では1.0、4.0kgf/cm²の2種類、相対的に良好な花崗岩②では2.0、5.5kgf/cm²の2種類とした。また、予備載荷として、載荷速度0.5kgf/cm²/secで初期垂直荷重まで2～3回の繰り返し載荷を行い、岩盤の変形係数を測定するものとした。一方、せん断荷重は、載荷速度0.5kgf/cm²/secで4分間増圧した後1分間保持するものとした。また、簡易岩盤せん断試験の妥当性を検討するため、簡易岩盤せん断試験に併せて、標準サイズ(60cm×60cm)のブロックせん断試験を実施した。さらに、ボーリングコアを利用した一軸圧縮試験(直径50mm)も実施した。以上の試験結果をとりまとめて表-2に示す。また、花崗岩①の試験結果を図-4に、また花崗岩②の試験結果を標準サイズ(60cm×60cm)のブロックせん断試験結果と併せて図-5に示す(花崗岩②の試験結果のうち、せん断荷重をジャッキの最高容量まで上げてせん断できなかった1供試体は同一の評価がで

表-1 新第三紀のシルト岩の試験結果

	供試体寸法	変形係数 D(kgf/cm ²)	純せん断強度 τ_0 (kgf/cm ²)	せん断摩擦角 ϕ (deg)	備考
簡易せん断	20cm×20cm	3.1~11×10 ⁴	4.1~7.5	34	一軸圧縮強度 ($\phi=120\text{mm}$) 43kgf/cm ²
ロックせん断	60cm×60cm	—	6.9~10.5	35	
一面せん断	$\phi=120\text{mm}$	—	3.4~8.9	45	
三軸圧縮(CU)	$\phi=50\text{mm}$	—	30.0	36	

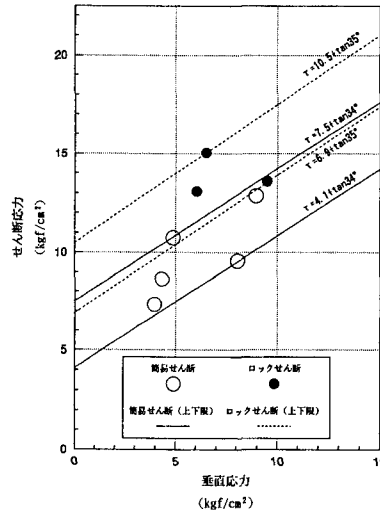


図-2 シルト岩の試験結果
(簡易せん断試験とロックせん断試験)

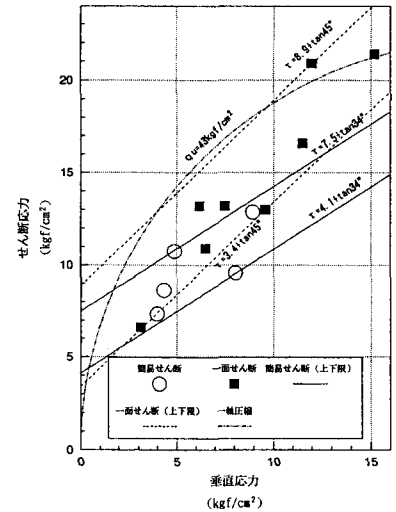


図-3 シルト岩の試験結果
(簡易せん断試験と一面せん断試験)

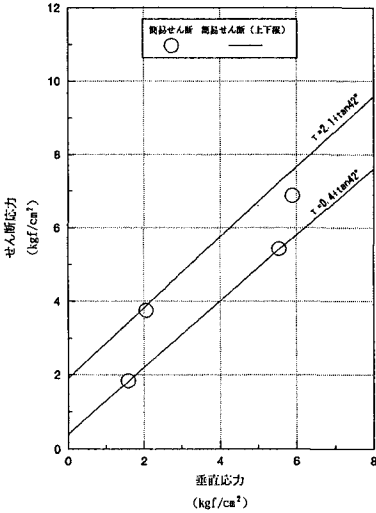
きないため削除)。せん断面は、いずれの供試体も網目状に発達した粘土脈または潜在的な亀裂面に沿って発生しており、また最大8cmの深さまで岩盤がえぐられて破壊している例も見られた。このこ

表－2 破碎と変質を受けた花崗岩の試験結果

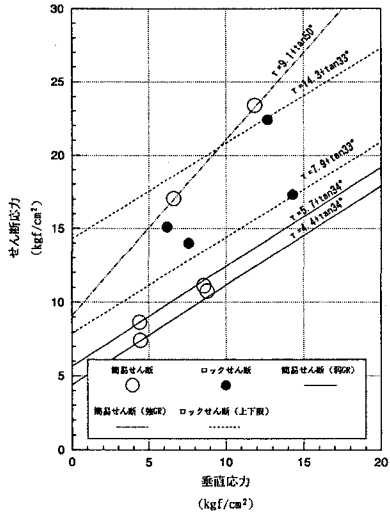
		供試体寸法	変形係数 D(kgf/cm ²)	純せん断強度 τ ₀ (kgf/cm ²)	せん断摩擦角 φ(deg)	備 考
①	簡易せん断	20cm×20cm	1.6～4.2×10 ²	0.4～2.1	42	一軸圧縮強度 (φ=50mm) 39kgf/cm ²
②	簡易せん断	20cm×20cm	強* 1.2～2.9×10 ⁴	9.1	50	一軸圧縮強度 (φ=50mm) 91kgf/cm ²
			弱** 1.3～4.1×10 ⁴	4.4～5.7	34	
	ロックせん断	60cm×60cm	——	7.9～14.3	33	

*)せん断強度の高いグループ、**)低い強度の小さいグループ

とは、岩盤内の弱面の存在がせん断強度に大きく影響していることを示している。なお、ボーリングコアによる一軸圧縮強度は花崗岩①で39kgf/cm²、花崗岩②で91kgf/cm²で、せん断強度と一軸圧縮強度の比は 1/100～1/10となっており、このことから弱面の存在がせん断強度に大きな影響を与えていることが裏付けられる。なお、簡易岩盤せん断試験による花崗岩②のせん断強度は図－5のようにせん断強度の高いグループとせん断強度の低いグループ



図－4 花崗岩①の試験結果
(簡易せん断試験)



図－5 花崗岩②の試験結果
(簡易せん断試験とロックせん断試験)

の2つのグループに分けられそうであるが、せん断面の観察においても、強度の高いグループの岩盤は変質の程度が小さく、岩石自体も比較的堅硬なものであった。一方、標準サイズのプロックせん断試験の結果は、これら2つのグループの試験結果の中間に位置しており、簡易岩盤せん断試験はこのような亀裂の細かく発達した岩盤に対しても十分適用可能な試験法といえる。

3. 3 新第三紀から第四紀にかけての砂岩、泥岩に対するせん断試験とその結果

次に、新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけての半固結状の砂岩、泥岩に対して簡易岩盤せん断試験を実施した。試験地点の岩盤は、固結度が低いため亀裂もほとんど見られない均質な岩盤である。土研式岩盤分類はD I aである。

試験位置は、砂岩で7点、泥岩で6点を選定した。簡易せん断試験の荷重方法は標準サイズのせん断試験と同様な仕様を考え、初期垂直荷重は、固結度がかなり低い砂岩では1.0、3.0kgf/cm²の2種類、比較的固結した泥岩では2.0、5.5kgf/cm²の2種類とした。また、予備荷重として、荷重速度0.5kgf/cm²/secで初期垂直荷重まで2～3回の繰り返し荷重を行い、岩盤の変形係数を測定するものとした。一方、せん断荷重は、荷重速度0.5kgf/cm²/secで4分間増圧した後1分間保持するものとした。また、簡易岩盤せん断試験の妥当性を検討するため、簡易岩盤せん断試験に併せて、ボーリングコアを利用した三軸圧縮試験(直径50mm、C U試験)を実施した。

以上の試験結果をとりまとめて表－3に示す。また、砂岩の試験結果を三軸圧縮試験の結果と併せて図－

6に、また泥岩の試験

結果を三軸圧縮試験結果と併せて図-7に示す(泥岩の試験結果のうち、2供試体は互層の境界面でせん断されている2供試体は同一に評価できないため削除)。図によれば、簡易岩

盤せん断試験の結果は三軸試験の結果とほぼ同一の値を示している。したがって、このように亀裂の発達がほとんど見られない均質な岩盤では、原位置せん断試験の結果と室内試験の結果はよく一致することがわかる。

4. まとめ

今回行った試験結果から、簡易岩盤せん断試験機を用いた原位置岩盤せん断試験は、比較的均質な軟岩や潜在的な亀裂の細かく発達した岩盤に対して十分適用可

能な試験であることがわかった。もちろん、岩盤の正確なせん断強度を把握するためにはなるべく大きな供試体を用いて試験することが必要であり、簡易岩盤せん断試験は標準的なせん断試験にとって代わるものではないが、簡単に岩盤のせん断強度を把握するためには極めて有効な試験方法であるといえる。特に、スレーキングなどの影響を受けやすい岩盤については、原位置の乱されない岩盤に対して直接試験を実施できる簡易岩盤せん断試験の役割は非常に大きいものと考えられる。

参考文献

1)青沼英明：簡易岩盤せん断試験機について－目的及び開発経緯－。ダム技術、No.52、1991

表-3 新第三紀以降の砂岩・粘板岩の試験結果

	供試体寸法	変形係数 $D(\text{kgf/cm}^2)$	純せん断強度 $\tau_0(\text{kgf/cm}^2)$	せん断摩擦角 $\phi(\text{deg})$	備考
砂岩	簡易せん断	20cm×20cm	0.4~1.2×10 ³	0.5~1.2	一軸圧縮強度 ($\phi=50\text{mm}$) 31kgf/cm ²
	三軸圧縮(CU)	$\phi=50\text{mm}$	—	1.3	
泥岩	簡易せん断	20cm×20cm	0.2~11×10 ³	3.7~4.5	一軸圧縮強度 ($\phi=50\text{mm}$) 654kgf/cm ²
	三軸圧縮(CU)	$\phi=50\text{mm}$	—	4.5	

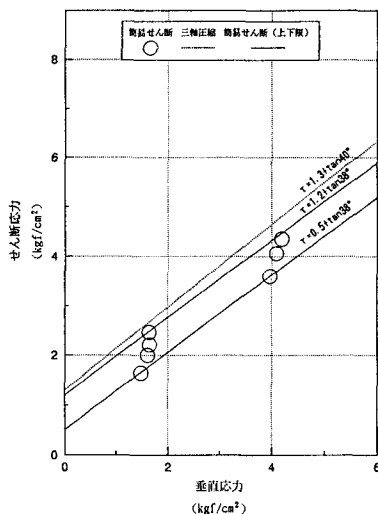


図-6 砂岩の試験結果
(簡易せん断試験と三軸圧縮試験)

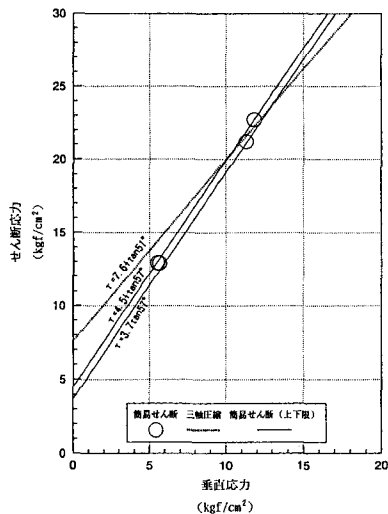


図-7 粘板岩の試験結果
(簡易せん断試験とロックせん断試験)