

1. 緒 言

当研究所地盤研究班では、去る昭和36年から約3年間に亘り、関西電力株式会社の御協力を得て、庄川水系境川ダムサイトにおいて現地岩盤の諸特性に関する実験的研究を行つた。主なる結果はすでに報告されているが、本報告ではその後行つた室内実験結果と合わせ、岩石供試体の力学的な諸特性から現地岩盤の剪断強度を推定する試算に関して詳述したものである。したがつて試験方法、装置等については抄略してある。

2. 現地岩盤のせん断破壊

2-1 切り出した4つの岩盤ブロックのせん断破壊強度

本試験で用いた載荷方法は、実用的な荷重速度を用いて単純に増荷させるもので、その目的は破壊に影響する要因を単純化することにあつた。油圧ジャッキの圧力が上昇しなくなつた時の最大圧

供試体 番 号	使用ジャッキ(300t) の台数	供試体の底 面積 (㎡)	載荷角度 (水平面°)	載荷速度** (τ/分)	せん断強 度 kg/cm ²	岩石強度*** との比率
1	5 *	2.52	20°	0.38 kg/cm ² 分	8.6	4%
2	6 *	2.24	30°	0.36 "	6.7	28%
3	4 (水平) 2 (鉛直) *	2.07	{ 0° 90°	0.32 "	5.1	21%
4	3	2.22	10°	0.26 "	8	3%

* 2種のジャッキラム面積602, 669 cm²併用

** 測定時間を含めたGross Loading Velocity.

*** 岩石片供試体の強度を圧縮強度1400 kg/cm², せん断強度240 kg/cm²とす。

力から破壊荷重を算出し、

表-1 岩盤ブロックのせん断破壊試験結果

予じめ算定してあるブロック底部の断面積と合力の方向とから平均的な岩盤せん断強度を求めた。表1にその他の諸元と共に一括して示した。

2-2 破壊面の詳細な観測、および測量結果

岩盤ブロックは予じめコンクリートで被覆し、節理の多い岩盤が破壊時に分離するのを防いであつた。そのためせん断破壊面を損わずに、試験後ブロックを起して破壊面を詳細に観察すると同時に測量によつてその形を精確に把えることが出来た。図1に測量結果を示した。

I号ブロック：試験前から卓越した節理面が載荷側より荷重方向に走つていることが分つていて、恐らくこの面に沿つた滑り破壊を生ずるであろうと予想されていた。測量結果からもこれが証明されていて滑り面は明らかに予想された節理面で、観察により一枚岩であることが明らかとなつた。滑り破壊の際についたと思われる擦過跡もこの面上で観察された。なおせん断破壊面と思われる部分はごくわずかの部分であつた。このようにI号ブロックの破壊は滑り破壊が主であつたと思われる。

II号ブロック：本ブロックは前部割れ目部分を除けば相当マツシブで抵抗力大と予想されていた。破壊荷重はやはり最大で、破壊面も最も複雑であつた。すなわちジャッキ寄りにせん断破壊したと思われる部分が認められ、続いて在来節理面がそのまま残つていた。しかしI号ブロックのような単純な滑り面でなく、隣接せん断面との境界もさほど顕著でなかつた。ブロック後部に近づくに従つて、

ジャツキ寄りのせん断面と同じような状態が再び現われている。

Ⅲ号ブロック；せん断面はほぼ水平面に近い。前二者と同様荷重点近くにせん断破壊されたと見える部分があり、続いて本来節理面が姿を見せ滑り破壊を生じた事を物語っている。ただし、この部分はⅡ号ブロック同様ジョイントが錯綜していて、岩石の色、形状などの特長から本来の節理面と想像される程度の面である。また後部を特に破砕面と記したのは、いわば風化の程度が非常に激しいため岩片の分離された状態が破壊が原因か否か判然としなかつたが、ジョイントの状態から恐らく破壊前からの状態であろうと考えられたからである。

Ⅳ号ブロック；ジャツキ側近くにせん断部分が見られ、ごく小部分の破砕部を挟んで本来節理面に続いている。このブロックでの破砕部分は、Ⅲ号ブロックの場合とはやや異り、いくらか抵抗したと思われる部分である。しかし、いわゆるせん断されたような細かい破壊面ではなく比較的大きな岩塊が散在していた。また滑り面は、Ⅰ号ブロックのような一枚岩ではないが、Ⅱ、Ⅲ号ブロックのそれよりずつと判然としていた。

以上述べたように、本地点での岩盤ブロックの破壊は、いわゆるせん断破壊と滑り破壊との組み合わせと考えられる。

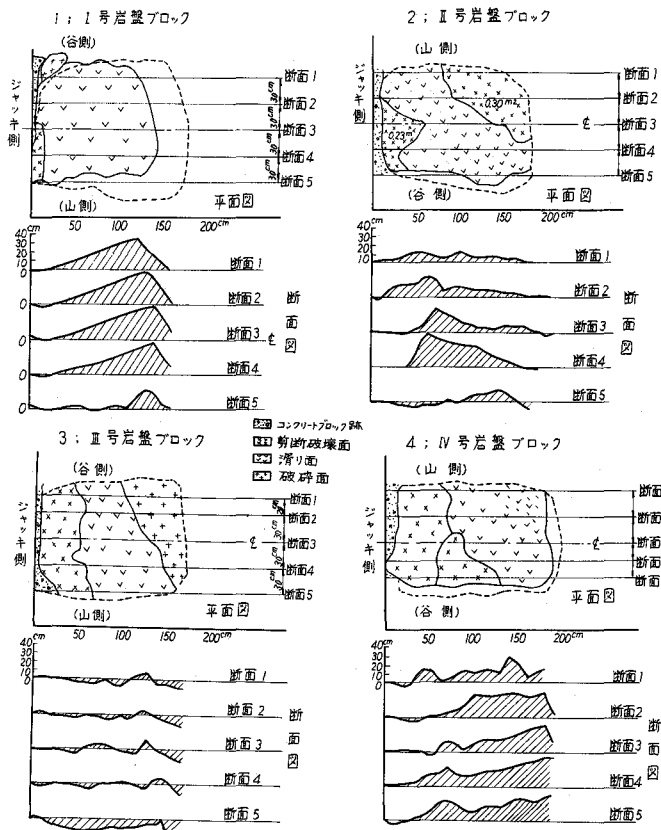


図-1 各ブロックの破壊面の測量結果

3 現地岩盤より採取した岩石供試体の諸特性と、これらによる岩盤せん断強度の試算

前節で記されたように、幸にして岩盤ブロックのせん断面がかなり精確に観察出来たので、測量を終了した後、岩盤ブロックから岩石を採取して実験室に持ち帰り、これらの材料試験結果から岩盤ブロックの抵抗力の推定を試みた。

3-1 岩石の材料試験結果

現場岩盤試験結果の解析に必要なせん断強度、内部摩擦角、静止摩擦角の三つを求めた。せん断強

度は $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ に整形した岩石の二面せん断試験により求め、この試験片の残片を用いて一軸圧縮試験を行つて、圧縮強度を得る。二つの強度から近似的に内部摩擦角を求めてせん断条件とした。上記供試体 5 個を用いた試験を行つた結果、平均値として $\tau = 240 + 1,24\sigma$ (Kg/cm^2) が得られた。

また静止摩擦角は各ブロックから採取した岩石二個をたがい水平面で接触させ、鉛直荷重を 6 段階に増加させながらバネ秤りで水平荷重を増加させ、滑動開始時の荷重を記録して求めた。その結果 I, II, III, IV 号ブロックに対し、それぞれ 0.65, 0.66, 0.69, 0.65 なる値が得られた。

なお上記のせん断条件、滑り条件は何れも湿潤条件の下で行つた結果である。というのも現場の岩盤ブロックの条件が、湿潤状態であつたためである。

3-2 岩盤せん断強度の試算

3-1 で求めた岩石の諸特性と 2 節での詳細観察結果とから、次のような仮定の下に破壊時の抵抗力試算を進めた。

- 仮定 1：試験前の想定せん断面全体にクーロンの摩擦則を適用する。
- 仮定 2：破壊後の測量によつて得られた抵抗面全体にクーロンの摩擦則を適用する。
- 仮定 3：抵抗面をせん断部分と、滑り部分とに分け、後者の滑り条件を静止摩擦係数でチェック。
- 仮定 4：実質抵抗部分としてせん断部分のみを考えてクーロンの摩擦則を適用する。
- 仮定 5：実質抵抗部以外の部分もせん断抵抗は零であるが、垂直力は分担すると考えてクーロンの摩擦則を適用する。

仮定 3 以降の試算に当つては、各ブロックの抵抗要素は破壊面の観察結果と、測量結果をもとに、

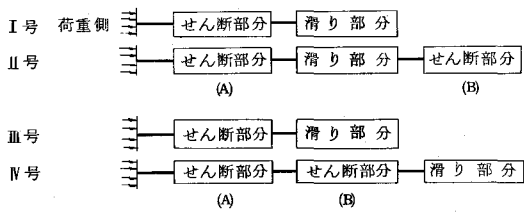


図-2 各ブロックの抵抗要素

図 3 に示したように模型化して考える。またこれら各要素の面積は測量結果から計算して、表 2 に示した。

試算の結果得られた破壊荷重を、実測された破壊荷重との比で表 3 に示した。仮定 1 では岩盤ブロック全体が一つのマツグな岩石と考え

たものであり、このような試算結果が実測値と合致しないことは明らかである。仮定 2 では、考え方は仮定 1 と全く同じである。ただし、破壊後の観察によつて、滑り面、せん断面の何れにも属しないと考えられる部分を除いたため、実質抵抗部の面積がいくらか減少しただけのことである。仮定 3 においては、図 2 に示した模型的な表示の滑り部分が、用いられた荷重の合力方向に対して滑り条件を満足しているか否かを調べたものである。この

供試体	滑り部 (比)	せん断部(A) (比)	せん断部(B) (比)	その他 (比)
I 号	155mm ² (6.15%)	0.14mm ² (6%)		32.9%
II 号	128mm ² (57.0%)	0.23mm ² (1.03%)	0.30mm ² (1.33%)	1.94%
III 号	0.97mm ² (4.68%)	0.56mm ² (2.7%)		2.62%
IV 号	1.08mm ² (4.86%)	0.63mm ² (2.78%)	0.26mm ² (1.18%)	1.18%

※ 比は破壊前測量想定せん断面積に対する百分率

表-2 抵抗要素の面積

ブロック	仮定 1	仮定 2	仮定 3	仮定 4	仮定 5
I	2.0	2.9	満足する	3.5	6.3
II	6.9	8.5	〃	A: 6.7 B: 1.00	8.4
III	1.04	1.45	〃	3.9	6.5
IV	2.6	2.9	〃	A: 6.1 B: 2.20	6.5

表-3 実測破壊荷重と試算破壊荷重の比(%)

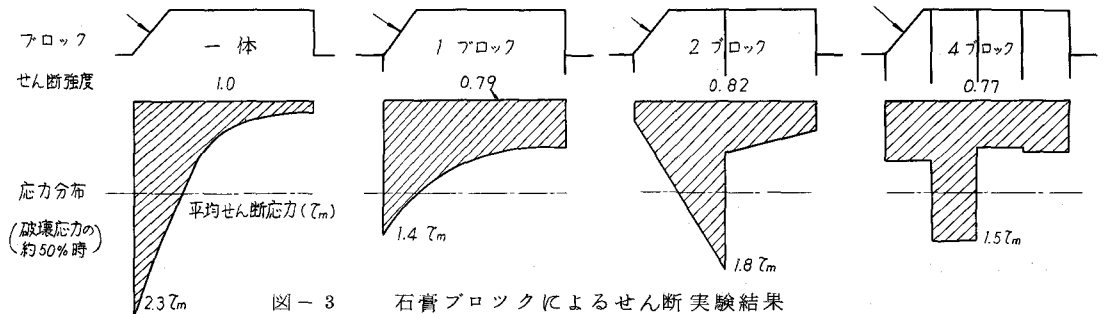
場合、在来節理面での結合係数は零と考えた。その結果4ブロックともすべてこの合力方向では、考えられた面での滑り条件が無条件に満足されていた。仮定4では滑り要素を無視し、せん断要素のみで全荷重を持つと考えたもので、Ⅱ号、Ⅳ号ブロックのように滑り要素が介在する場合には抵抗力の大きな方すなわちA部が支配的と考えられる。ただし破壊後の観察によれば、これらの要素のみが全荷重に抵抗したと考えるのはいささか無理である。そこで最後の仮定5においては荷重の鉛直成分は想定せん断面全体に分担させ、水平成分をせん断部分に分担させて試算した。考え方としては最も実際の現象に近いように思われ、結果もⅣブロックを除いて63~83%の近似値が得られた。Ⅳブロックに関しては測量結果、観察結果共に不十分であつたのではないかと考えられる。

4. 石膏ブロック模型による鉛直ひび割れのせん断強度に対する影響

前節の試算では、岩盤の実質抵抗部分の強度として岩石そのものの値が用いられている。しかし実際の岩盤は複雑にジョイントが交錯していて、実質抵抗部と云えどもその例に漏れるものではない。また想定せん断面の応力分布も決して一様でなかろう。すなわち試算の精度を上げるためには、これらの未知の要素を或程度数値化して取り入れねばならない。

成層体、ひび割れ性材料の強度に対する実験的研究として林氏のすぐれた報告⁽²⁾がある。しかし、岩盤の破壊理論として一般化された理論はない。そこで本地点の岩盤せん断試験の荷重方法に類似させて石膏材料を用いたせん断実験を行つて、鉛直ひび割れによる強度の低下、応力分布等を調査した。

実験は完全一体な石膏ブロック、せん断実質部のみ一体のブロック、実質部分を2ブロック、4ブロックに分けた場合について行ない、せん断強度、応力分布を求め図3に示した。せん断強度は一体



の場合を1として示した。これらの結果により、ひび割れのある材料のせん断強度、応力分布等が示唆される。すなわち3節の試算のように岩石の強度をそのまま用い、平均的な応力分布を仮定した試算では、抵抗荷重は過大評価される。よつて前章の近似度は実際にはより大きいものと想像される。

5. むすび

現場岩盤のせん断強度を、破壊面を詳細に観察することによつて、岩石供試体の諸特性から求めると63~83%程度の近似値が得られた。ひび割れによる強度低下、想定せん断面での非一様な応力分布等を考慮すれば、より一層実際に近い近似解が得られるであろう。

参 考 文 献

1. 君島博次：岩盤の破壊特性に関する現地試験について，岩の力学国内シンポジウム 1964年
2. 林 正夫：不連続な節理面の強度（極値分布理論の導入），第2回岩盤力学シンポジウム 1963年

Estimation of Shearing Strength of Rock in Situ

from the Mechanical Properties of Small Rock Specimen

Yoshihiro Kitahara

The working group for rock mechanics in the Technical Laboratory of C.R.I.E.P.I. had studied on the shearing strength of foundation rock in situ under a three years' program at Sakaigawa Dam site.

A series of rock shearing tests in situ was conducted by four cut-out blocks of rock mass which had been carefully shaped up into a cuboidal shape having base areas of 2.07 to 2.52 square meters. Each block was loaded monotonously up to the rupture with certain numbers of oil jacks, the direction of which were determined to minimize tensile stresses at any point of the base. The average shearing strength of four blocks were 8.6, 67, 51 and 8 kilogramme per square centimetre.

After these four blocks were ruptured, careful observation and precise surveying on the ruptured surface were carried out. From these surveying, the rupture of these blocks was supposed to be due to both shearing and sliding of rock elements. Then the area of blocks was divided into two areas by observation, one of which was slid area and the other was sheared area.

On the other hand the mechanical properties of rock specimens which were sampled in the neighborhood of ruptured block, were determined from the laboratory tests. The Coulomb's formula: $\tau = 240 + 1.24\sigma$ and the coefficient of friction: 0.65 were adopted.

Assuming that the normal load was born uniformly by the total base area of the blocks and horizontal one by the sheared area alone, the ratio of actual ultimate load to the estimated one from the above informations turned to be approximately 63 to 85 percent.

A series of model test on plaster which included several vertical joints showed that the strength of jointed rock is approximately 70 percent of that of the monolithic. If cohesion of the Coulomb's formula 240 is modified by the above reduction, the preceding estimation turns to be approximately 90 to 120 percent.