

(11) ダム基礎岩盤の岩盤分類別にみたせん断破壊特性について

建設省土木研究所 齊藤 孝三

○ 片平 博

1. はじめに

コンクリートダムの基礎岩盤の設計を行う際には、まず、調査横坑、ボーリング等の調査資料を基に基礎岩盤全域にわたって岩盤分類作業が実施される。そして、分類された各ランクごとに原位置岩盤せん断試験が実施され、この結果から各ランクの岩盤の設計強度が決定される。従って、この岩盤分類のランクとせん断強度との間には、ある相関性がなければならない。ところが、この関係については、個々のダムサイトごとには比較的良い相関性を示すが、地質の異なるダムサイト間においては、必ずしも良くないようである。これは、岩盤分類が、定性的な要素の組合せから成っているところに起因しているものと考えられる。

今回の調査は、岩盤のせん断強度に関係の深いと考えられるいくつかの要素に着目して、岩盤の種類ごとに岩盤分類とせん断強度との対応性を検討しようとするものである。また、岩盤のせん断にたいする破壊現象の解明を目的として、せん断試験を実施する岩盤内に歪ゲージを埋設し、これによって岩盤内の挙動を直接的に計測する試みが、いくつかの試験箇所で行われており、この事例を紹介すると共に、岩盤の性状のちがいによる歪挙動の特性について述べる。

2. せん断試験データの収集

原位置岩盤せん断試験のデータを、建設省所管の35ダムから収集した。試験個数は計635個である。ダムの種類としては、大半が高さ70m以上の重力ダム及びアーチダムのサイトで実施されたものである。

3. 岩盤分類とせん断強度

3.1 岩盤分類別せん断強度

収集した全データを、岩盤分類B、C_H、C_M、C_L級にそれぞれ分類し、せん断強度の分布を調査すると、C_M級の例を図-1に示すが、非常に大きなバラツキを示しており、せん断強度を、単に岩盤分類だけで整理するには問題がありそうである。

3.2 地質の成因に着目した岩盤区分とせん断強度

岩盤の工学的な取扱をより合理的に行うために、造岩鉱物及び、割れ目の発達状態とその性状などが、共通した特徴を有していると考えられる地質の成因別に岩盤を区分し、せん断強度との関係を調査した。成因別の区分としては(1)古・中生代堆積岩、(2)広域変成岩、(3)火成岩深成岩、(4)火成岩火山岩、(5)第三期以降の火山性堆積岩(グリーンタフ)、の5区分とした。各区分ごとの岩盤分類とせん断強度との関係を表-1に整理する。また、例としてC_M級のせん断強度の分布を図-2に示す。表-1から判断して、岩盤分類とせん断強度の間にはある程度の対応性がつきそうである。また、岩盤の成因区分別の特徴を述べると、比較的亀裂が少なく異方性も小さい深成岩ではせん断強度が大きく、これに対して亀裂性の岩盤である堆積岩や変成岩では比較的小さめのせん断強度を示した。火山岩のせん断強度は岩盤分類と比較的良好な対応性を示しており、これは亀裂の頻度等が岩盤分類にうまく反映されたためと考えられる。これとは逆に、バラツキが大きか

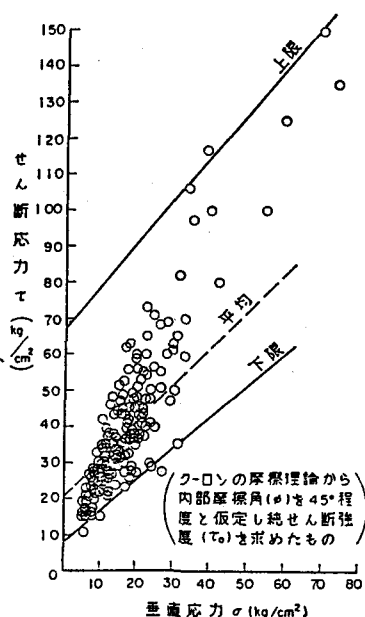
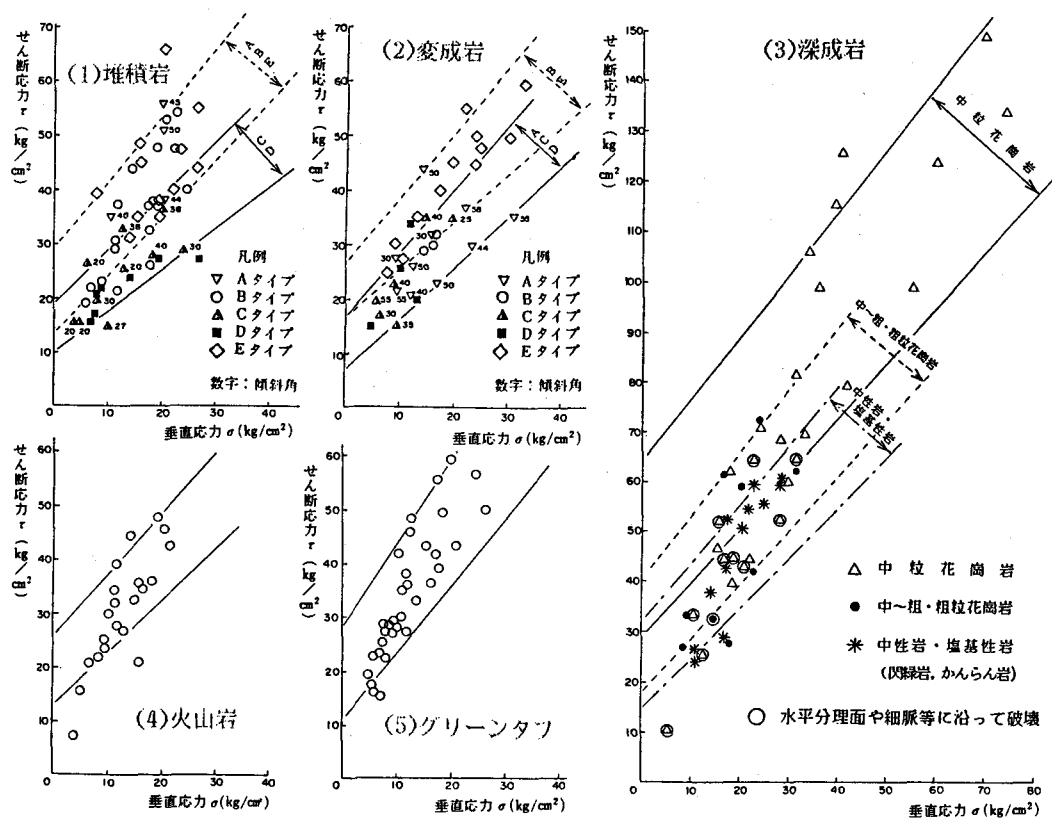


図-1 C_M級の全データ



図一 2 地質の成因別のせん断強度の比較 (C_n級の例)

ったのは深成岩と堆積岩であった。グリーンタフについては、岩盤分類とある程度の対応性を示しているが、この岩種については、岩盤の基質の固結度といった岩盤分類において定量的に判定し難い要素を含んでいるため、ある程度のデータのバラツキはやむを得ないものと思われる。

3. 3 地質分離面の方向性とせん断強度 (堆積岩、変成岩)

上記の検討結果から解るように、岩盤内の割れ目 (分離面) がせん断強度に大きな影響を与える要素であることは明確である。このうち、割れ目の間隔と割れ目の状態については、岩盤分類の評価基準となっているが、この他に、せん断強度に影響を与える要素として、割れ目の方向性が考えられる。とりわけ、卓越した方向に層理面や片理面が存在する堆積岩や変成岩については、この地質分離面の方向性が強度に与える影響が大きいと考えられる。このことから、岩盤のタイプを図一 3 に示すような 5 つのタイプに区分し、せん断強度の比較を行った。この結果を表一 2 に示す。また、C_n級のせん断強度の分布の比較は図一 2 に示している。これらの結果から、地質分離面の方向が下流に抜けやすいタイプ C、D ではせん断強度が小さく、これに対して分離面の方向がせん断方向と一致しないタイプ B、E ではせん

表一 1 地質成因別のせん断強度

(τ_0 : kg/cm²)

成因別岩種区分		岩盤分類					
		C _H		C _M		C _L	
		τ_0	f	τ_0	f	τ_0	f
古・中生代堆積岩	平均	20	1.2	19	1.0	7	1.0
	上限	31	1.5	29	1.3	13	1.2
	下限	12	1.0	10	0.8	5	0.7
広域変成岩	平均	24	1.2	14	1.0	6	1.0
	上限	39	1.4	25	1.3	7.5	1.2
	下限	14	1.2	8	0.9	4	0.8
火成岩深成岩	平均	44	1.2	30	1.1	22	1.0
	上限	82	1.3	68	1.2	40	1.0
	下限	20	1.2	14	1.0	8	1.0
火成岩火山岩	平均	27	1.2	19	1.0	7	0.8
	上限	35	1.3	26	1.2	11	1.0
	下限	22	1.2	13	1.0	3	0.7
火山性堆積岩 (第三紀以降)	平均	35	1.2	19	1.2		
	上限	48	1.5	28	1.4		
	下限	22	1.2	11	1.2		

断強度が大きいことが解る。変成岩についてはタイプAのせん断強度も小さく出ているが、この原因としては、片理面沿いに剝離しやすい変成岩の特性によるものと考えられる。以上のことから判断して、地質分離面が卓越する岩盤については、その方向性に着目することにより、より明確な強度の分類が可能であると考えられる。

3. 4 深成岩類のせん断強度

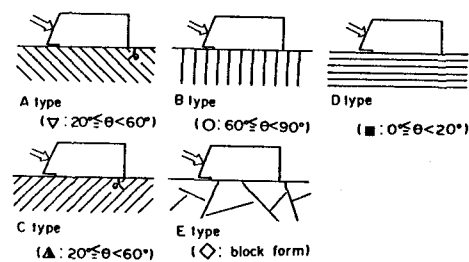
地質の成因別岩盤区分のなかで、最も高いせん断強度を示しているが、データのバラツキも大きな深成岩については、そのデータの大部分が花崗岩であり、この花崗岩のデータが、深成岩の平均せん断強度を高めている。しかし、花崗岩のデータだけを取り出してみても、データのバラツキは大きなものであった。この花崗岩については、亀裂が少なく、異方性も小さいが、造岩鉱物のなかに黒雲母等の風化しやすい鉱物を含み、地域的に深層風化（マサ化）が見られることがある。この岩石の風化の度合については、岩盤分類の分類要素に含まれているが、評価作業において定量的な評定は困難なものである。しかし、粗粒の花崗岩と細粒の花崗岩とでは、粗粒のほうが風化が進行しやすい傾向があるため、花崗岩のデータを粗粒花崗岩と中粒花崗岩とに分類（今回のデータの中には細粒花崗岩はなかった）し、強度の比較を行ってみた。この結果を表一三に示す。また、Cn級の比較については図一二に示している。これらの結果から判るように、中粒花崗岩は粗粒花崗岩に比較して高い強度を示しており、花崗岩については構成粒子の大きさと風化の度合に着目することにより、より明確な強度の分類が可能であると考えられる。

4. せん断破壊時の岩盤内の歪挙動特性

4. 1 せん断試験時における岩盤内の歪挙動計測法

これまで岩盤のせん断強度について述べてきたが、岩盤の破壊現象はたいへん複雑であり、現在においても未解明の部分が多い。そこで、原位置岩盤せん断試験を実施する岩盤内に歪ゲージを埋設することにより、破壊に至るまでの岩盤内の歪挙動を直接的に測定している。

現在、土木研究所において計測を行っている方法を図一三に示すが、まず、埋設ゲージ（ボアホールゲージ）は主応力が求められるように1測点につき0°、45°、90°方向の3成分の歪ゲージで構成されており、これを高さ方向に3測点配置したものを1組とし、これを岩盤内に3本埋設し、試験時の歪挙動を測定している。この歪ゲージをコートしている樹脂は任意にその弾性係数を設定することが可能であり、試験の対象とする岩盤に近い弾性係数で制作される。歪ゲージの埋



図一三 層理面の方向による分類

表一二 層理面の方向別せん断強度

(r_s : kg/cm²)

層理面の傾斜角による分類 (タイプ別)		岩盤分類						
		CH		CM		CL		
		r_e	f	r_e	f	r_e	f	
堆積岩	Bタイプ(鉛直)	平均	22	1.3	21	1.1	12	0.9
	Eタイプ(塊状)	上限	31	1.5	29	1.3	14	1.2
		下限	14	1.2	12	1.1	10	0.7
	Cタイプ(流れ目)	平均	19	1.0	14	0.8	8	0.7
	Dタイプ(水平)	上限	26	1.0	20	0.9	10	0.75
		下限	12	1.0	10	0.8	5	0.7
変成岩	Bタイプ(鉛直)	平均	36	1.3	20	1.2		
	Eタイプ(塊状)	上限	39	1.4	25	1.3		
		下限	26	1.2	17	0.9		
	Aタイプ(さし目)	平均	20	1.2	13	1.0	6	1.0
	Cタイプ(流れ目)	上限	30	1.3	17	1.2	7.5	1.2
	Dタイプ(水平)	下限	14	1.2	8	0.9	4	0.8

表一三 深成岩のせん断強度

(r_s : kg/cm²)

岩 種 名		岩盤分類					
		CH		CM		CL	
		r_s	f	r_s	f	r_s	f
中粒花崗岩	平均	58	1.3	43	1.2		
	上限	80	1.3	67	1.2	34	1.2
	下限	32	1.3	20	1.2	7	1.2
粗粒花崗岩	平均	37	1.2	28	1.2	17	1.2
	上限	44	1.2	41	1.2	27	1.2
	下限	28	1.2	18	1.2	10	1.2
閃緑岩、 かんらん岩	平均	39	1.2	27	1.1		
	上限	50	1.3	34	1.2	31	1.0
	下限	25	1.2	16	1.0	9	1.0

設は、ボーリングした孔内に歪ゲージをセットした後に石膏で穴の空けきを充填する。石膏の弾性係数も岩盤に近い値で設定される。

4. 2 岩盤の性質の違いによる歪挙動の特徴について

試験結果から得られるせん断荷重と岩盤内歪挙動との関係について、比較的亀裂が少なく良好な岩盤の例（溶結凝灰岩C_H級）と破砕風化の進んだ岩盤の例（粘板岩C_L級）を図-4に示す。ここに示す歪の値は図-3に示すところの上段の3つの歪ゲージの値である。

このうち、まず良好な岩盤の歪挙動については、載荷開始から破壊に至るまで比較的弾力的な挙動を示しているようであり、これに対して破砕風化岩盤の場合は、荷重の低い段階において伸びと縮みの方向が逆転した値を示すものがあり、岩盤の割れ目のゆるみや風化の度合によって歪挙動の傾向がかなり異なることが判る。この現象は破砕風化岩盤の例では多かれ少なかれほとんどの岩盤で測定されており、割れ目や軟弱部等を含む岩盤特有の性質として、大変興味深いものであり、詳細について解析中である。

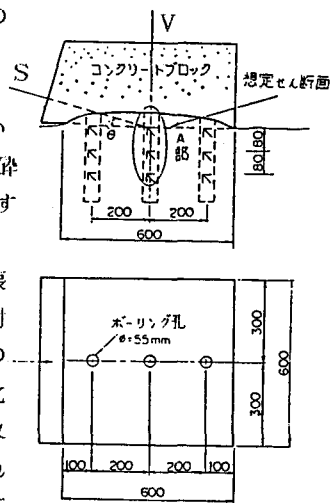


図-4 岩盤内歪計測

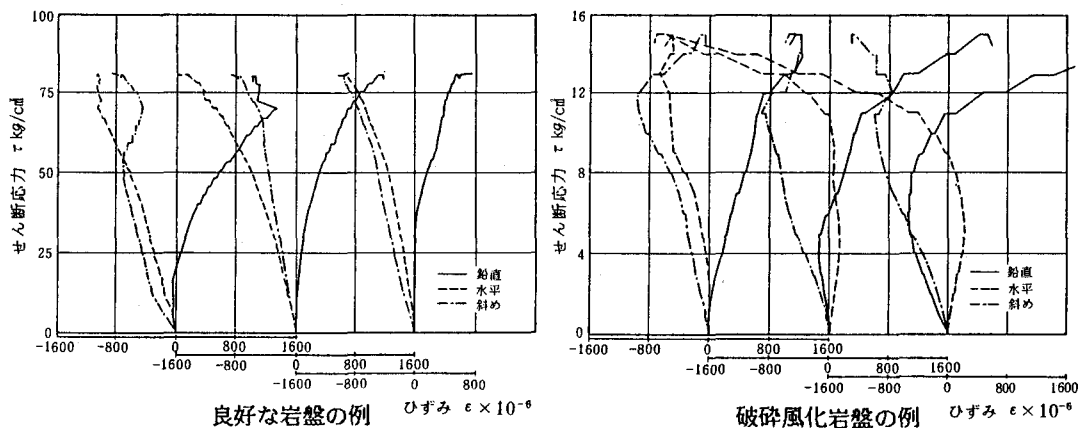


図-5 応力-歪曲線

5. おわりに

今回の検討の結果、地質の成因別に着目した区分を行うことにより、岩盤分類とせん断強度との間にはある程度の相関性が得られることが判明した。このうち堆積岩や変成岩のように層理や片理面がある方向に卓越するような岩盤については、その方向性に着目することにより、また、花崗岩については岩石の風化の度合の関係から岩の構成粒子の大きさに着目することにより、岩盤分類とせん断強度との対応関係をより明確化できるものと考えられる。ただし、今回収集したデータを上記のように再区分していくと、どうしても地質の種類によってはデータ数が不足する嫌いがあり、今後ともデータの収集に努め、調査結果の信頼性を高めていく必要があると考えている。

また、岩盤内の歪計測結果については、今回はその事例を紹介し、岩盤特有の歪挙動の傾向について述べたにとどめるが、今後は、岩盤のせん断強度および浮き上がり点との関連、または岩種ごとの特性等について検討を行うことにより、岩盤の破壊現象の解明にあたりたいと考えている。

参考文献

- 1) 斉藤孝三、片平博：「ダム基礎岩盤の原位置試験に関する諸検討と考察」土木研究所資料1899号
- 2) 斉藤孝三、白江健造：「原位置岩盤せん断試験時における岩盤内ひずみ測定」土木技術資料23-1

(11) Shear Failure Characteristics
by Class of Dam Bed Rock

Kouzou Saito and
Hiroshi Katahira

Dam Structure Division,
Dam Department,
Public Works Research Institute,
Ministry of Construction

In the foundation investigations for concrete dams, firstly the foundation rock is evaluated and classified, secondly in-situ shear tests are carried out for each rank of the classified base rock, and finally the design strength of each rank of rock is determined by the shear tests results. Therefore, there must be certain correlations between the ranks in base rock classification and the shear strength of base rocks. Relatively good correlations are generally found within individual dam site, but the correlations are not always good between dam sites with a different geology. This seems to occur because the base rock classification consists of a combination of sensuous elements.

Therefore, the aim of this survey is to clarify the correspondence between base rock classification and the shear strength for each class by paying attention to the several elements considered to be related to correlations between base rock classification and shear strength and also by re-dividing the base rock types based on these elements.

The data used in the analysis were obtained as the results of in-situ shear tests on base rock in a total 635 places, conducted on 35 dam sites being managed by the Ministry of Construction.

With respect to the shear strength of base rock, the authors first paid attention to the geological origins with which the physical properties of rock-forming minerals were considered to be common to each other. The kinds of base rocks were then classified into 5 types: (1) sedimentary rocks of the Palaeozoic era and Mesozoic era, (2) regional metamorphic rocks, (3) plutonic rocks, (4) volcanic rocks and (5) volcanic sedimentary rocks after the Tertiary period. Moreover, the classification was made by paying attention to the directivity of fissures, joints and schistosity as elements not included in the evaluation criteria for base rock classification. The relations between the base rock classification and shear strength were then surveyed and, as a result, relatively good correlations were obtained.

In addition, in order to reveal the break phenomena of base rock due to shearing force, strain gauges were embedded in the test rock, and the behavior inside the base rock was directly measured on several test sites. The results of the strain measurement are also presented, and several reviews are made concerning the characteristics of strain behavior due to the difference in properties of base rock.