

ロックシアテストにおける破壊状況について

中部電力株式会社 比企野 昭一
神谷 将弘

1 まえがき

高根第1ダムは、木曽川水系飛騨川の最上流に築造されたアーチダムで、昭和40年5月着工し、昭和44年11月竣工した。

このダムサイトを構成する基盤の岩質は、古成代のチャートで岩石そのものは極めて強固である。全盤的に層理の発達が著しく、平均層理間隔は約6cmであった。この層理の影響により基盤が強度的にどの程度の異方性を示すかを調べるため、ダムサイトの標準的な岩質を代表する地質を選びダムサイト右岸においてロックシアテストを実施した。

本文は、このロックシアテストにおける供試体の破壊状況について報告するものである。

2 試験方法

2-1 供試体および荷重

剪断面が層理面に平行な場合（以後C-1試験と呼ぶ）と直交する場合（以後C-2試験と呼ぶ）それぞれ3個、計6個の供試体について試験を実施した。

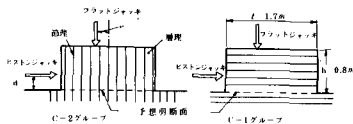


図-1 節理方向と荷重方向の関係

供試体の大きさは、荷重の大きさ、供試体成型作業、岩盤の均等性を考慮し、当初幅1.2m×長さ1.7m×高さ0.8m、剪断面積2.04㎡とした。しかしC-2試験でビストンジャッキの能力が不足したため途中より巾1.0m、剪断面積1.7㎡に変更した。供試体の整形には火薬を使用せず、すべてラインドリルによった。

荷重は、最大能力300TONのビストンジャッキ8台によって剪断力を、3枚1組のフラットジャッキによって垂直力を作用させ、合力が常に供試体ミドルサードに入るようにした。各供試体でのビストンジャッキ位置、フラットジャッキ位置、剪断面積を表-1に示す。

2-2 載荷方法

荷重は、階段状に載荷し、1ステップの剪断応力 τ の増加量をC-1試験では1.6～3.1%、C-2試験では2.6%～6.2%とした。

1ステップの一定荷重持続中は1時間毎に変位を測定し、

原則として供試体の変位がすべての点で時間当たり1/100mm以下の動きとなった時、次のステップに進むようにしたが、破壊荷重近くで変形が落ちつかない場合には、次のステップに進んだ場合もある。

荷重の増減速度は、ビストン油圧で毎分1%、剪断応力で毎分0.26%程度を標準とし、フラットジャッキ油圧も、それに応じた荷重を同時間で載荷させた。実際に載荷したC-2グループの剪断応力(τ)と、垂直応力(σ)の比は、表-2の通りである。

C-1グループでは破壊荷重が小さいと想定されたため、フラットジャッキ油圧を $\#1$ では10%、 $\#2$ は20%、 $\#3$ は30%にそれぞれ一定にし、ビストンジャッキ油圧を階段状に増圧した。

表-1 各供試体諸元値

供試体	A(m)	e(m)	d(m)
C-2	$\#3$	2.04	0.28
	$\#2$ 1回目	2.04	0.28
	$\#2$ 2回目	2.04	0.44
	$\#1$	1.7	0.44
C-1	$\#1 \sim \#3$	1.7	0.4

図-2 ビストンジャッキ載荷方式

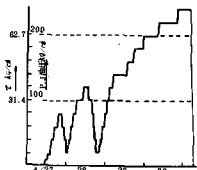
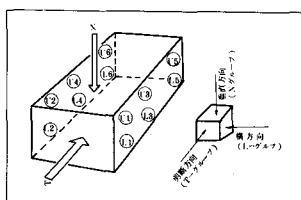


表-2

供試体	τ/σ
$\# - 3$	2.0
$\# - 2$	1回目 2.7
	2回目 5.0
$\# - 1$	4.0

図-3 測定点 見取図



2-3 測定

イ) 変位

供試体の変位は、両側面に6ヶ所ずつ計12点にそれぞれ剪断力(Tグループ)、垂直方向(Nグループ)およびそれと直交する方向の3方向について測定した。

変位の測定にはインダクテブゲージ、差動トランスを使用してポイントレコーダで自動記録した。

ロ) ひずみの測定

供試体側面のひずみを3成分ポリエステルゲージで測定した。

また供試体側面の層理の縮みをバイゲージで測定した。

ハ) 供試体岩石の破壊音

岩盤が力を受けて破壊に至るまでに発生する微小震動をとらえ破壊機構を解明する一助とするために、電力中央研究所に依頼して震動検出用のピックアップを供試体の側面と背面に取りつけた。

3 すべり試験

供試体が破壊した後、破壊面の摩擦係数を測定するために、すべり試験を実施した。これは垂直応力を一定とし、剪断応力を増加して、供試体がすべり出す剪断応力を求めるもので、垂直応力を変えこの試験を繰返すことにより、摩擦角を求める方法とした。

4 試験結果および破壊現況

イ) 強度 --- 破壊条件がクーロン式に従うと考えた場合、粘着力C、内部摩擦角 ϕ は次のような値となり、異方性の影響が顕著に現われている。

層理面に直角な方向の剪断強度 ; $C = 50 \sim 60$ ㎏、 $\phi = 45^\circ \sim 55^\circ$

層理面に平行な剪断強度 ; $C = 5 \sim 12$ ㎏、 $\phi = 40^\circ \sim 45^\circ$

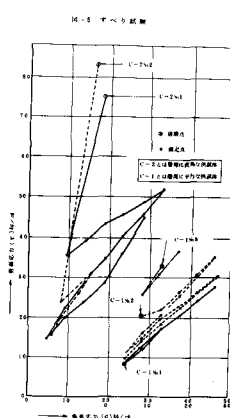
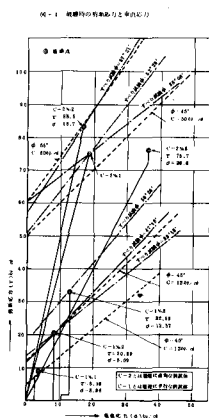


図-4に各供試体の破壊点を、図-5にすべり試験の結果を示す。

すべり試験におけるC、 ϕ は図-5の通り、往路(σ, τ共増圧)と復路においては値は違い、Cが大きければ ϕ が小さく、Cが小さければ ϕ が大きいという傾向はC-2グループ、C-1グループ共よく似ているが、その違いの程度はC-1グループの方が小さい。この原因は両グループの破断の状態が違う事に起因している。剪断面の非常になめらかなC1-61において

は往路、復路共、同じ直線上に乗っている。

ロ) 変位からみた破壊 --- 供試体が破壊にいたるまでの変位の動きの一例を図6~図8に示す。これらの変位の動きの中で、垂直変位の動きに注目すると、供試体は最初フラットジャッキの影響を受けて沈下するが、ある荷重から浮き上る。C-2グループではビストンジャッキ側は、小さい剪断力で浮き上りが開始されるのに対し、供試体背面はかなり剪断応力が増加してから浮き上る。

しかし、C-1グループでは前面、背面共浮き上りが開始されるのは、ほとんど同じ剪断応力である。この両グループの傾向は、他の供試体でも同じであった。また、供試体前面(ビストンジャッキ側)と背面の剪断方向変位、量の大きさは、荷重の小さいうちは、前面の方が大きい、荷重の増大につれ、前面

図-6 剪断応力—剪断方向変位量

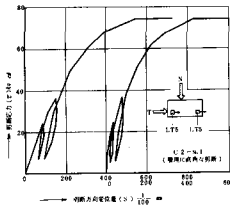


図-7 剪断応力—剪断方向変位量

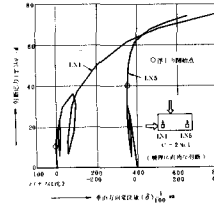
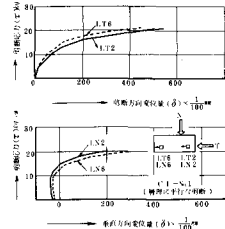
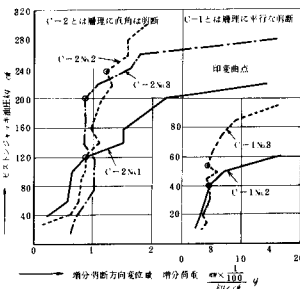


図-8 剪断応力—剪断方向、垂直方向変位量



と背面の変位量の差は小さくなり、破壊近くでは、背面の変位量は前面のそれに近づく。C-2グループは荷重の初期の段階では、前面変位量と背面変位量の比が0.1～0.3位であるのに対し、C-1グループでは0.75位とかなり高く、両グループの供試体の動きの特徴が現われている。

図-9 ヒストンジャッキ油圧と剪断方向変位量 増分荷重の関係



剪断方向変位量の増加する割合を調べるため、単位増分剪断荷重当りの変位量をまとめたものを図-9に示す。(このグラフは剪断面に近い両側面の6ヶの測点の平均値)。これを見ると破壊荷重の50～80%の点に顕著なる変曲点が現われている。

更に剪断方向変位量を追加荷重によるものと、持続荷重によるものとに分けて、調べてみると破壊荷重の70～80%の点で持続荷重変位量が、追加荷重変位量を上回る。一例を図-10に示す。

なお、繰り返し荷重を与えない場合にはもっと低い剪断応力で持続荷重による変位量が追加荷重のそれを上回るようである。

前述のように、剪断試験は載荷後全ての変位が安定した後に原則として、次のステップに進むことにしたが、実際は破壊荷重の1/2位から安定時間は長くなってゆき、約80%程度の荷重においては、次第に不安定となり、一定値に収斂しなくなる。また破壊は必ずしも荷重増加時に発生するとはいえず、C-2グループの2ヶの供試体は、荷重増加終了後数時間を経た後に破壊した。

図-10 剪断応力と追加荷重、持続荷重による剪断方向変位量の関係

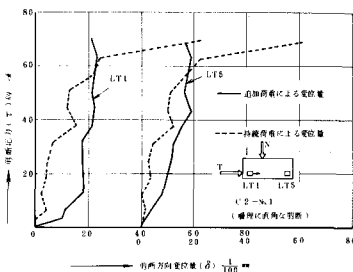


図-11は、各荷重段階時における安定時間と変位量の関係を示すものであるが、これを見る限り破壊強度は変形が一定値に収斂しなくなる時の強度と考えた方が良さそうである。

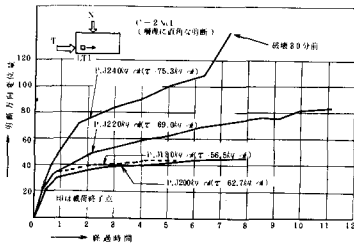
ハ) ストレインゲージからみた破壊——供試体表面の貼布したストレインゲージによると荷重と歪はある程度の荷重までは比例するが、比例関係が急にくずれる点が出てくる。

C-2グループでは、早いもので破壊荷重の50%から、C-1グループでは10～20%から表われるが、平均的には70～80%の荷重で表われ変曲点の表われる位置とほぼ一致している。一例を図-12に示す。

各荷重段階における剪断方向のストレインゲージの歪変化と貼布された位置の関係を図示したのが図-13である。これによると剪断力は、まず供試体前面で、その力を受け持ち、荷重の増大につれ、順次中央部に移り、後部は、ひずみも小さく、ほとんど抵抗せず、中央部が破壊すれば、供試体は破壊にいたる。

ニ) クラックからみた破壊——C-2グループではクラックはかなり早くから、ヒストンジャッキ側の剪断面に表われ、その後供試体3分の2くらいまで徐々に発達してくるが、必ずしも荷重の大きさに比例

図-11 荷重増大時における経過時間



して発達はしなく、ある荷重で突然増すようである。

C-2 ㍺1の供試体においては、供試体ピストンジャッキ反対側にかかり早くに縦クラックが生じた。この部分においては、 π ゲージ、ストレングージ、変位の結果も水平方向に引張りを示し、クラックの存在を証明している。これはフラットジャッキの位置と大きさが影響を及ぼしていると考えている。C

C-1グループは、C-2グループと違い、剪断面の節理に沿ってきれいな剪断面を描き、複雑なクラックは生じなかった。ただ、しゅう曲がある㍺3の剪断面は、しゅう曲に沿ったクラックが数多く発達し、剪断面は一面剪断とならなかった。

ホ) 破壊音からみた破壊——載荷中は常に音を生じ、低い応力レベルのときからこの状態は認められた。荷重が増加するに従い、破壊音の発生回数の増加が認められ、破壊近くでは飛躍的に増加した。

あとがき

このシアロックテストの試験装置、結果の一部については、第3回岩盤力学シンポジウムに「高根第1ダム基礎岩盤剪断試験について」と題して、報告してあるので参照していただきたい。

図-12 剪断応力-変位関係

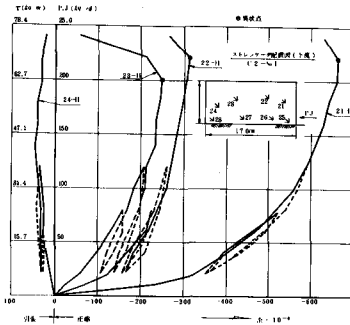
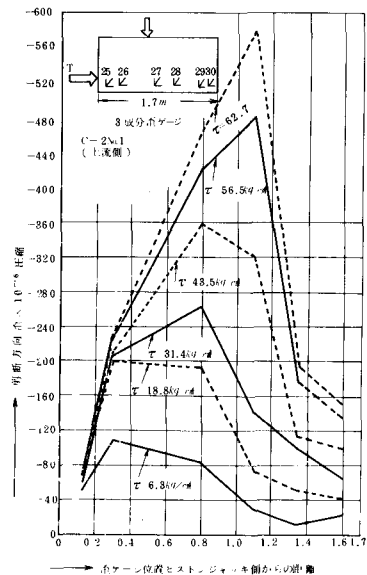


図-13 剪断応力増分に伴う剪断面方向重の変化



Process of rupture observed in rock shear test

Shoichi Hikino
Masahiro Kamiya

Takane No.1 dam is a concrete arch structure with the highest of 133 m located in the upper part of the Hida River. The construction work started in May, 1965 and was finished in Nov. 1969. Foundation rock consists of the Paleozoic chert which is very hard but has remarkable stratification with bedding planes in approximately 6 cm intervals. Therefore, it was considered necessary to investigate the effects of the possible anisotropy on the strength of foundation and rock shear test was carried out in site at dam's right abutment where typically stratified zones were found. Six specimens were provided for the test, three of them for testing shear strength parallel to the bedding planes and the other three normal to the planes.

The size of a specimen was 1.7 m in length, 1.2 m in width and 0.8 m in height, having 2.04 m² of sheared area. Shear force was given by piston jacks, vertical load being applied simultaneously with flat jacks from the top of the specimen to put a resultant force in middle third. Rock deformation under the load was measured with inductive gauges and differential transformer at six points on each side of the specimen. The measuring devices were available for inspecting horizontal, vertical and lateral directions.

Stress and propagation of rupture of the specimens were measured with three component strain gauges of wire resistances installed on both sides of the specimens. Furthermore, a pick-up apparatus was set to detect noises that might occur in the course of failure.

Following results have been obtained from the test.

1. With the analysis of the test data from Coulomb's law, cohesion C and internal friction angle ϕ were 50 - 60 kg/cm² and 45° - 55° respectively when the specimens had been sheared along the plane normal to the stratification. For C and ϕ of the specimen parallel to the bedding planes, however, were found to be 5 - 12 kg/cm² and 40° - 45°, showing a considerably strong anisotropy of the stratified chert.
2. Deformation of the specimens gradually tended to be unstable when the load exceeded more than 30% of the rupture load. Creep increased in great amount from 80% of the load with no signs of convergence. Roughly speaking as a whole, it appeared that the specimens sheared in the direction normal to the bedding planes moved upward on the side of piston jacks with comparatively weak load through opposite side rose up under ultimate load. Meanwhile, in the test of shearing parallel to the planes, upward moving was almost in the same degree on both sides of the specimens.
3. On process of failure observed with the strain gauges and cracks, initial failure began with the base on the side of piston jacks and the failure developed in the central portion of the specimens where the rock resisted almost close to the failure load. On the contrary, little strains and propagation of rupture were seen as far as the opposite side was concerned. The total rupture of the specimen, however, seemed to have occurred immediately following the rupture of central portions.