

岩盤の変形特性についての二、三の考察

(元) 建設省土木研究所 工 藤 慎 一
 建設省土木研究所 岸 本 貞 男
 " 安 江 朝 光

1. ま え が き

現在アーチダムなどの設計に取り入れられている岩盤の力学常数の一つに岩盤の弾性係数(変形係数)があげられ、その推定は主として現地試験によつている。これらの試験では岩盤を弾性体とみなし、弾性係数を求めているが、現実の岩盤はクラックやジョイントの存在によつて、からなすしも弾性体とは言いがたく、力学的に非常に複雑な性質をもつものと考えられる。これらの性質については各方面でいろいろの調査研究が行なわれている。本文ではこれら岩盤の性質のうち、とくにその変形能に着目し、主として現地で岩盤の変形試験を行つた結果に考察を加えた。

2. 試験位置および試験方法

本試験を行つた小波ダムは天竜川水系小波川に施工中のアーチダムで、その岩盤は生田花崗岩と呼ばれる粗粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩から成つている。岩質は δ むね粗粒塊状で、節理の発達が顕著である。断層破砕帯はせいぜい巾1m内外であり、一般に巾0.5~1.0cm程度の粘土をかむ小断層が多い。全体的な弾性波試験の結果によると岩盤は3つの速度層に区分され、地表から順に第一~第三層と呼ぶことにすると、それぞれ0.3~0.5 Km/Sec、0.5~2.8 Km/Sec、2.8~4.2 Km/Secとなつている。

試験地点は右岸中腹部で表面から約20mぐらい奥に入つた点で、上の第三速度層に相当している。実施した試験項目は弾性波試験、ジャツキ試験および水室試験である。

弾性波試験では主として屈折法を利用し、補足的にボーリング孔を利用した直接波の測定も行つた。ジャツキ試験では外径80cm内径15cmのダイヤフラムを横坑内上下岩盤面上に設置し、その間に150トン、ジャツキを2機設置している。測定は荷重強度と共に、両載荷板中央の相対変位量、載荷板外の表面変位および載荷板中心軸上の歪分布を計器長10cmのカールソン型歪計で測定している。

さて岩盤の弾性係数は例えばダム基礎のようにかなり広範囲にわたる領域の代表値として必要であり、上のジャツキ法ではその載荷面積では高々0.5~1.0m²で局部的な条件に支配されるものと考えられる。弾性波法はこの意味で非常に好ましいといえるが、静弾性係数との結びつけなお研

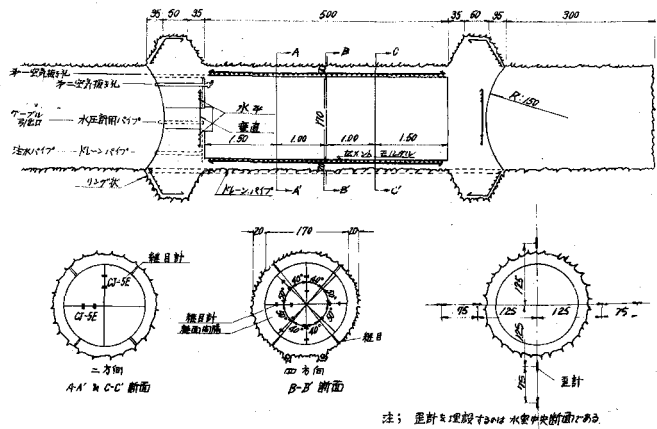


図-1 水室法略図

究されるべき点がある。

水室法は載荷面積がジャッキ法の数十倍にも達し、かなり大規模なものと言える。かが国ではその例を殆んどみず、ただ黒部川第4ダムで行なわれたのみである。本地点で実施された水室試験では図-1に示されるように半径170m、長さ500mの水室を設け、両端をプラグコンクリートで閉塞する一方、円周を厚さ200mmの鉄筋コンクリートで巻き立てた。ライニングには半径方向の拡がりを拘束しないように、4点で水室軸方向のジョイントとを設けてある。ろう水防止は、とくにジョイント部分に注意し、アイガス(I G A S)を用いて施工し、ライニング内面全体にわたって、アイガスとゴムプレートで処理した。

加圧装置には最大圧力30 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ の圧力ポンプを用いた。水室試験で水室長が水室半径の4倍以上あれば、その中央断面では、応力状態が二次元化される。すなわち、二次元無限弾性体の円形内面に等分布圧力が作用したものに相当する。

測定は水室内面の半径方向の変位は中央断面とそれから前方、後方それぞれ10mの断面で測定し、中央断面では、上下、左右など4方向、他の二つの断面では2方向の変位をジョイント・メーターで測定し、さらに岩盤内部の歪をカールソン型歪計を用いて、中央断面で上下、左右計7点測定している。

試験方法は、ジャッキ試験では、階段荷重、最大荷重、持続荷重の三種の載荷形式に従い、最大荷重を50~60 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 、載荷速度は2 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}/\text{min}$ としている。水室試験では最大荷重を30 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ とし、載荷速度は毎分 $\frac{1}{3}$ $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 、 $\frac{1}{2}$ $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ および1 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ の三種類で、それぞれ25 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ ごとに変位または歪の測定を行った。

載荷形式はジャッキ試験の場合と同じ形式である。

3. 試験結果および考察

以上述べて来た諸試験によつて得られた結果をのべ、岩盤の変形特性について考察を加える。

まず、弾性波試験の結果からは、本試験地で弾性波の速度は3.6~5.0 $\frac{\text{Km}}{\text{sec}}$ の範囲内にあることがわかり、非常に堅ろうであることがわかる。この値は動弾性係数に換算して400,000~600,000 $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ に相当する。

ジャッキ試験によつて得られる上下両載荷板中央の相対変位を図示すると図-2のとおりであり、載荷板中心鉛直下150m、500m、1000mの点に埋設した歪計の測定結果の一例が図-3である。図-2をみると、特徴的に変形曲線が2種の勾配をもっていることが認められる。緩勾配の部分は岩盤に最初の荷重が作用したときの変形曲線に相当する

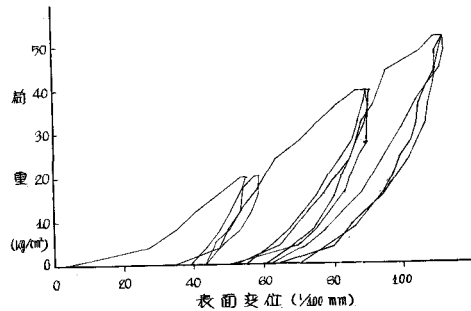


図-2 荷重-載荷板中央表面変位曲線

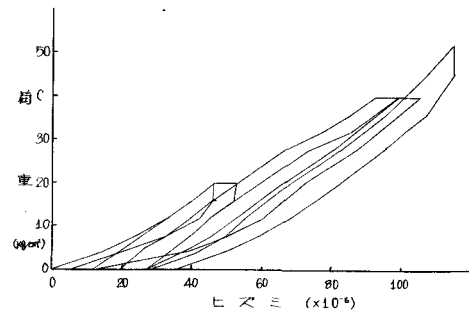


図-3 荷重-歪曲線

もので、最大荷重を3等分して、階段状に載荷した場合、第一段階の最初の荷重で緩勾配が現われ、除荷時と第2回目の載荷時は、一種のヒステレシス現象は認められるが、急勾配となつている。第二段階の荷重でも第一回目の荷重で、すでに履歴した荷重以上で第一段階に現われたと同種の変形曲線が認められ以下についても同様である。除荷時の曲線についても第一段階と同じ形式であるが変形曲線はおゝむね下に凸型である。この緩勾配の曲線を処女曲線と呼ぶことにする。残留変位については各段階第一回目の載荷によるものが多いが、その値は、順次小さくやつて行く傾向が認められる。

本地点で得られた最大荷重、持続荷重時の変形曲線は、第三段階の第2回目の載荷によるものとほとんど同一であつて、とくにクリープ現象は認められない。埋設歪計の結果を図示した図-3をみると、図-2で認められた処女曲線も、残留歪も顕著には認められないこの両図を通して考察されることは、処女曲線は主として岩盤内部に存在するクラックとかジョイントなどの地質構造的な条件によつて生ずるものであり、応力の伝播範囲が広がるに従つて新しくクラックとかジョイントがおしかためられるものと考えられる。この傾向は他の地点で得られた試験結果からも大なり小なり認められることで、このことは岩盤の変形が岩塊の変形の他にその地質構造的な原因による変形が組合さつたものであることを示している。したがつてくり返し荷重によつておしかためられた後の変形曲線から求められる弾性係数 E_r に対して、処女曲線の弾性係数を準弾性係数 E_{rv} と呼ぶことにし、その比 $\frac{E_r}{E_{rv}}$ をつきかため係数と呼ぶと、岩盤の地質構造を示す因子と考えられる。過去において、動弾性係数と静弾性係数の相関について種々の検討が試みられているが、両者が地質構造条件によつて大きな影響を受けることを考えれば、 $\frac{E_r}{E_v}$

はその関係を論ずる一つの因子となると考えられ、二、三のタムの測定結果で検討を試みた。また、これはグラウトなどによる岩盤改良の判定に関連して意味をもつと考へている。ジャッキ試験で載荷板外の表面変位を測定し、内部歪分布と合せ弾性解と比較すると図4、5の通りである。図-4では岩盤の表面変位について比較したものであり、図-5は載荷板中心軸上の歪について比較したものである。載荷板中心の表面変位から計算される弾性係数は約 $300,000 \text{ Kg/cm}^2$ であつて、 $E = 300,000 \text{ Kg/cm}^2$ とおいた弾性解と比較すると、表面変位については実測値が弾性解より大きくなり、深部に向つて比較的一致して行く傾向が認められる。

比較的弾性的とみられるコンクリート、ギヤラリーで行つた同種の試験では、両者はかな

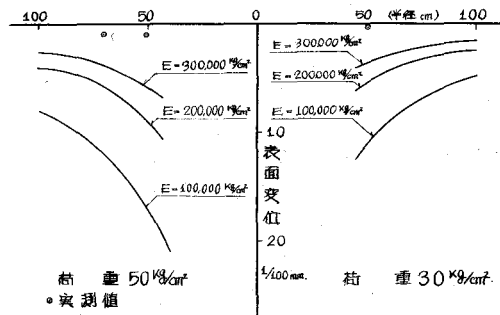


図-4 表面変位の弾性解と実測値の比較

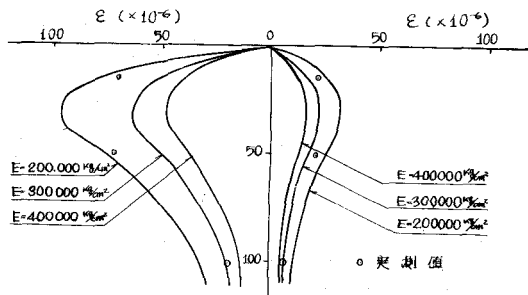


図-5 内部歪の弾性解と実測値の比較

り良く一致している。本試験地点の岩盤はかなりマツシブなものと考えられ、ジャツキ試験による応力の伝播範囲で弾性係数が大きく変えられず、この現象はむしろ応力伝達の方から眺めるべきであろう。載荷板外の表面変位は、主として、せん断応力による荷重伝達によつて生ずる。しかもに表面変位量が弾性解よりも小さいことは、このせん断応力の伝達が弾性体よりも小さいことを意味する。一方鉛直下方の歪分布については測定値が弾性解よりも大きいことは、応力のみかけよりも大きくなつてゐることを意味するとみてよいであろう。全体的応力の釣合を考えた場合にもこの点は首肯される。この傾向は岩盤表面のゆるみの程度と大きな関係をもつものと考えられる。

水室試験によつて得られた水室内面の表面変位および岩盤内の歪の一例を図示すると図-6、7のようになる。これらの図を通して考察されることは、変位曲線も歪曲線も一般にむしろ上に凸であつていずれの場合にも図-2にみられるような処女曲線も残留変位も認められないということである。しかも岩盤内部に埋設した歪計の結果と弾性解と比較した図-8では、水室内面の表面変位から計算される弾性係数を用いた弾性解とかなり良く一致している。このことはすでに述べた岩盤内部の応力の伝わり方と関連しているものと考えられる。

水室試験はすでに述べたように二次元無限弾性体の円形内面に等分布荷重が作用した場合に相当し、半径方向のせん断応力は0であり、応力は軸力を中心に伝達されることによるものとみられる。水室試験によつて得られる弾性係数は約 230000 kg/cm^2 であり、ジャツキ試験の結果とかなり異なるが、変弾性係数が応力によつて異なることを認めれば、両者はかなり接近するものとみられる。

以上ジャツキ試験、水室試験を通して主として岩盤の変形特性に考察を加えて来たが、数少ない資料のため、討議されるべき点が多々あると考えている。

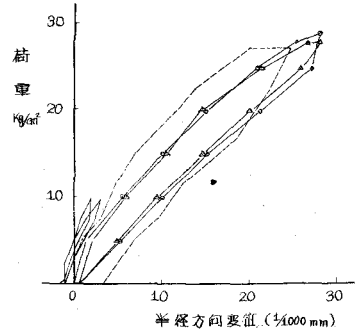


図-6 荷重-水室内半径方向変位曲線

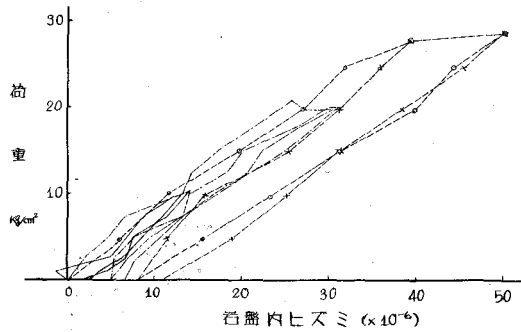


図-7 荷重-歪曲線

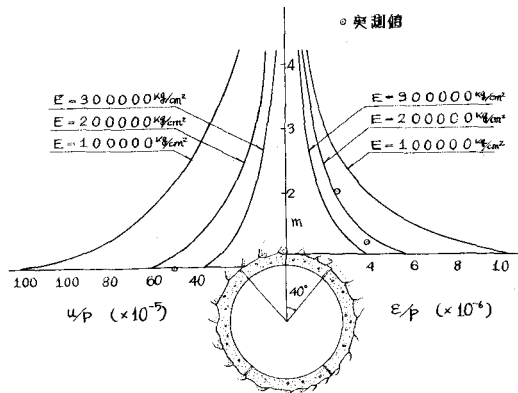


図-8 水室法による変位および歪分布図

A few considerations on the deformation properties of the bedrock

by S.Kudo
S.Kishimoto
and T.Yasue

Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Summary

Generally speaking, discontinuous planes such as joints, cracks and so on can be found in the bedrock, by which deformation phenomena are very complicated. Then, a series of rock tests in situ were performed in order to clarify these complicated deformation characteristics. These rock tests, the seismic wave velocity test, the loading test with jacks and the loading test with a water chamber, were carried out at Koshiu Dam site.

The loading test with a water chamber, with 1.7 m in diameter and 5.0 m in length (Fig. 1), is rarely employed in Japan and has a purpose to discuss the differences from the other deformation tests of the bedrock in relation to dimensions of the loading area.

Two curves having different gradients were recognized in diagrams of the load and the deformation (surface displacement) obtained in jack test (Fig. 2). One is called a virgin curve which is seemed to be largely affected by these discontinuous planes existing in the bedrock, the other corresponds to the deformation curve which is obtained by the repeated loading, that is to say, the deformation curve obtained in the compacted bedrock.

We called the elastic modulus calculated from the virgin curve as a quasi-elastic modulus, and the ratio of this modulus and so-called elastic modulus obtained by the repeated loading was defined as the coefficient of tightening. This factor may be significantly used to research the relation between the static modulus and the dynamic modulus of the bedrock and to estimate the effect of grouting.

Comparing the observed values with the theoretical solutions of elasticity in relation to the surface displacement and the strain distributions on the central axis of the loading area (Fig. 4 and 5), it will be seen that the observed values of the surface displacement are considerably smaller than the theoretical values and the observed values in strain are greater than the theoretical values to some depth, but both seem to coincide with each other in 1.0m depth. These facts mean that the shearing stress in the bedrock seems to be difficult to be transmitted by slipping in rock blocks. Considering the shearing stress distribution in the bedrock, surface displacements are mainly caused by means of the load transmission by the shearing stress, therefore, displacements outside the loading surface are difficult to occur. On the other hand, the stress is transmitted downward more than in the case of an elastic body and the strain is apparently increased.

In the water chamber test, radial displacements in its inner surface and radial strains in the bedrock are measured (Fig. 6 and 7). According to this results, we could not recognize such a virgin curve and residual displacements as in jack test, and displacement curves are convex upward in the loading process and convex downward in the unloading process in most case. Stress distribution in the water chamber test corresponds to the condition in which uniformly distributed pressure is acting on the inner surface of a two-dimensional infinite elastic body, therefore, the shearing stress is not produced on the surface of the radial direction in the bedrock and the stress is mainly transmitted by compressive or tensile stresses.

Considering these facts, the above mentioned phenomena can be explained to some extent.