

変形試験時における岩盤中のひずみ分布

建設省石手川ダム工事事務所 岸 本 貞 男
建設省土木研究所 安 江 朝 光
同 〇小 林 茂 敏

1 はじめに

岩盤の内部には、一般に多くの片理や節理が含まれ、その力学的特性は極めて複雑である。それはジャッキ試験時における荷重～表面変位曲線の形の複雑性を見ても明らかである。そこで岩盤内部の力の伝達機構をより具体的に把握しようとして筆者らは昭和37年から現地における岩盤の変形試験の際には岩盤内部に発生するひずみ値の測定をも行つてきた。ここでは現在までに得られた資料に基づき若干の考察を述べてみる。

2 試験地点と方法

試験地点は小沢ダム、矢作ダム(3地点)、緑川ダム、石手川ダムの各ダムサイトの横坑内下盤で、それらの岩質は緑川ダムが花崗閃緑岩、石手川ダムがホルンフェルス、他はすべて花崗岩であつた。

試験方法は、試験地点に鉛直方向に $\phi 45 \sim 56$ mmのボーリングを5本直線方向に並べて行い、図-1に示す位置に $100 \text{ mm} \times \phi 20$ mmのカールソン型ひずみ計10本を鉛直方向に埋設した後、載荷面を $1.0 \text{ m} \times \phi 80 \text{ cm}$ にわたつてコンクリートフェーシングを行い、岩盤の変形係数測定の際用いるフラットジャッキ(150t ジャッキ $\times 2$ 、ダイヤフラム外径80 cm)を用いて載荷を行つた。

荷重パターン、載荷速度等はすべて建設省の「岩盤の変形係数測定法基準」によつた。(最大荷重=載荷面で 60 kg/cm^2 載荷速度=平均 2 kg/cm^2 分) 載荷の方向はすべて鉛直方向とし、測定したひずみもすべて鉛直方向の垂直ひずみ値であつた。

3 試験結果と考察

3.1 荷重～ひずみ曲線に関して

載荷面における荷重強度と測点におけるひずみ値をすべてグラフ化したが、それらを大まかに定性的に分類すると図-2と図-3の形を示すものに分けられる。

図-2の特長は変位～荷重曲線に見られるような処女曲線、残留ひずみの現象がそれほど顕著に現れず、弾性体に近い状態で挙動していると考えられることである。又この種のは総ひずみ量もあまり大きくない。

図-3の特長は処女荷重時のひずみ増加量が著しく大きくそれによる残留ひずみも生じている。図-3の例の場合はひずみ量が著しくなるのは荷重が 20 kg/cm^2 以上になつてからであるが、測点によつては荷重が $0 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$ の時からひずみ量が著しく、中には最大荷重に達する迄にひずみ計の許容限界以上になつて断線してしまうものもあつた。図-2の形を示すデーターは矢作ダム(A)のようなクラックの少ない弾性係数の高い地点に多く、図-3の形を示すデーターは石手川ダムの

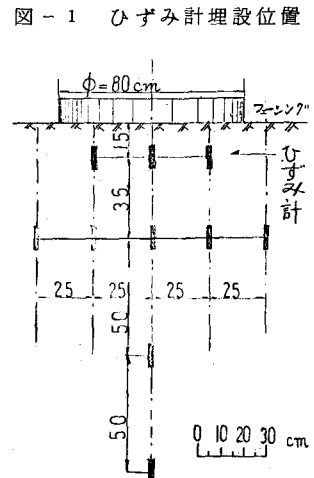


図-2 荷重～ひずみ曲線 例1

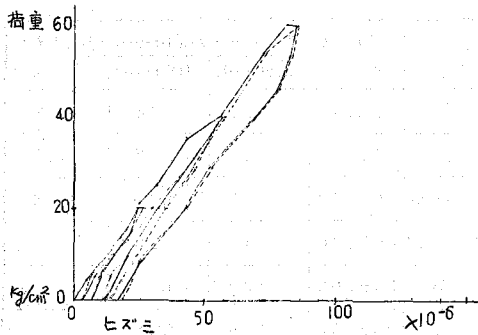
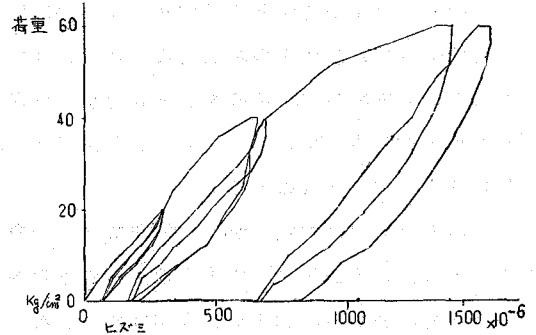


図-3 荷重～ひずみ曲線 例2



ようなクラックの多い弾性係数の低い地点に多かつた事から、各々は試験地点の弾性係数の高低による特性とも言えるが、矢作ダム(C)地点のように一地点で図-2の特長を示す測点と図-3の特長を示す測点が混合している例もあることから、次のように考えると説明がすつきりする。

○岩盤は弾性に近い性質を有する岩片と非弾性的な性質を有する不連続面に構成されている。

○岩片が大きければ岩片は弾性的に挙動するが、岩片が小さければ不連続面の影響が大きく、岩片も非弾性的な挙動をする。

○したがって節理等の不連続面の少ない岩盤は不連続面に近い測点以外は弾性的なひずみ曲線が得られ、不連続面の多い岩盤は大部分の測点について非弾性的なひずみ曲線が得られる。不連続面の密着が不充分なときは不連続面でのひずみは測定不能である。

3.2 ひずみ分布

図-3に属する曲線の第2の特長は荷重が大きくなるにつれて曲線の勾配が大きくなっていくこと、換言すれば応力の値が荷重に比例するものと仮定すると、あたかも押し固められて固くなつたような現象を示すことである(これを仮りに'押し固まり'と呼ぶ)。

その程度は測点によつて異なるので明確にするため地点別に各測点についてプロットした例を図-4～6に示す。

図-4 矢作ダム(A)

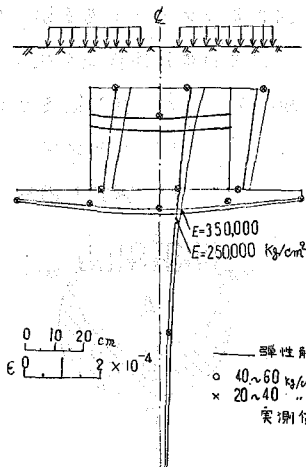


図-5 矢作ダム(B)

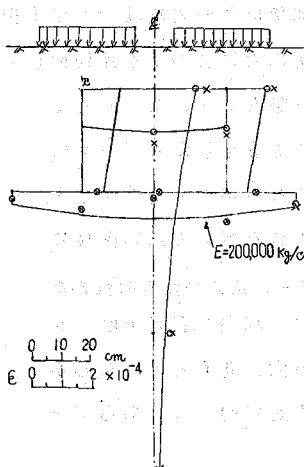
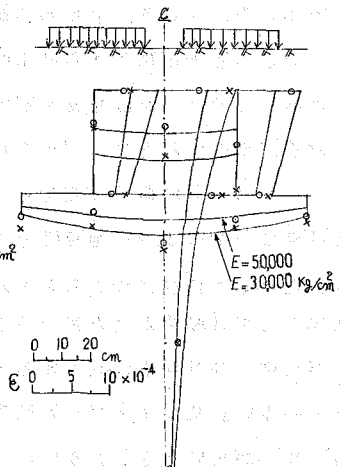


図-6 緑川ダム



統一を期すため処女荷重の次の荷重が $20 \text{ kg/cm}^2 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ に増す場合(×)と $40 \text{ kg/cm}^2 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$ に増す場合(○)に得られたひずみの増加量についてプロットしてある。実線はひずみ値の大小を判定する目安とするため 3 次元半無限体の弾性解によるひずみの増加量の分布を書いたものである。

このグラフでは測定値がある弾性解上に一樣にのっているかどうかによつてその地点の岩盤の均一性がある程度わかる。例えば矢作(A)はかなり均質な岩盤であると言える。一方、○と×の差の有無は「押し固まり」をしているかどうかを示している。例えば矢作(A)地点は荷重の増加が 20 kg/cm^2 から 60 kg/cm^2 に至るまでに測点全部がほぼ弾性的な挙動をしてい

たことを示す。こゝでは非弾性領域がどのように広がっていくか興味が持たれたので少々言及してみる。○と×の差が大きい部分は図-5では深さ 15 cm までであるのに対して図-6では 50 cm の深さまで達している。他の例では矢作(B)では 50 cm 、石手川では深さ 1 m の測点でも押しかたまりの現象が生じている。又試験地点別に押し固まり程度の平均を求めてみると、表-1に示すようになり岩盤の表面変位から得た弾性係数が小さいものほど、その程度が高くなつたことも興味ある現象であつた。

又この押し固まりの現象は石手川、緑川等の弾性係数の小さかつた地点では荷重量が $0 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ に増加する時にもかなり顕著に認められる。このような押し固まりを顕著に生ずる測点は処女荷重の際にかなりひずみ量が増加するので非弾性的挙動に伴つて生ずる現象とも言える。

なお岩盤の表面変位の測定によつても、荷重が増すと変位の増加率が下がり弾性係数が大きくなる現象は認められるが、ひずみによつて得られるものほど顕著でない。

3.3 押し固まりゾーンの推定

3.2で述べた現象を考えると載荷面下の岩盤の内部には図-7に示すような領域が存在しているのではないかと推定される。すなわち載荷以前の岩盤はすべて未押し固まりのゾーンであるが、荷重が大きくなると岩盤内部に生ずるせん断応力によつて不連続面がスリップ等の非弾性現象を生ずるBゾーンとなる。このゾーンは非常に不安定なゾーンであるが、さらに荷重が増加すると押し固められて安定したAゾーンになる。A、Bゾーンは荷重の増加と共に広がっていくが、その程度は弾性係数の小さい地点ほど小さな荷重で広い区域に広がる。ただしこの様に考えるとAゾーンに入つたものは再び弾性体として挙動することになるが、現在の資料ではBゾーンに移行後、弾性係数が高くなる方向に向かうという事しか得られていない。従つてAゾーンは安定に向いつつあるゾーンと言つた方が良いかもしれない。

表-1 弾性係数と増加程度

地点名	kg/cm^2 E	$\frac{\partial E(40 \sim 60)}{\partial E(20 \sim 40)}$	$\frac{\epsilon E(40 \sim 60)}{\epsilon E(20 \sim 40)}$	$\frac{\epsilon E(20 \sim 40)}{\epsilon E(0 \sim 20)}$
石手川	23,000	1.27	1.63	1.39
緑川	34,000	1.17	1.55	1.22
矢作(B)	68,000	1.27	1.38	0.98
矢作(C)	195,000	1.17	1.19	
小渋	340,000	1.36	1.11	
矢作(A)	352,000	0.92	0.92	

E 表面変位から求めた弾性係数

∂E 表面変位から求めた弾性係数

ϵE ひずみ値から求めた弾性係数

図-7 A 押し固まりゾーン
B スリップゾーン
C 未押し固めゾーン

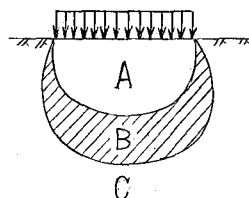


図-4の例は岩盤の中に割れ目がほとんど存在せず、最初から充分押し固まつた状態であつたためB、Aゾーンへの進展がなく、終始弾性的に挙動した場合と考えられるが、それ以外の図はいずれも各測点がCゾーンにあるか、A又はBのいずれかのゾーンにあるかは割合にはつきりわかる。

なお図-7の各ゾーンの分布の形状等についてはまだ確実な資料を得ているわけではない。それらを正確に裏付けるためには、荷重の横方向への伝達状況等をも調べる必要があるので、ひずみ計の配置方法等をも再検討の上で、今後とも試験を続ける必要がある。

4 む す び

以上の結果を要約すると

- (1) 岩盤中のひずみは岩片におけるものと片理、節理におけるものとに分けて考える必要がある。
- (2) 不連続面を有する岩盤は荷重が増加すると載荷面に近い所から非弾性的な現象が深い方に広がってゆく。
- (3) 載荷面下の岩盤中には押し固まりゾーン、スリップ中のゾーン、未押しかためのゾーンが一定の形をもつて分布していると考えられるが、スリップゾーンの位置の確認等についてはまだ調査が必要である。

岩盤の力学的特性の解明には、この様な現地試験に平行して、岩盤をある程度モデル化し、種々な特性を個々に取り出した室内実験や計算が行われる事が必要と考えられる。例えば、飯田は岩盤を岩片に相当する弾性体のブロックと不連続部分に相当する、非弾性的性質を有する物質の組合わせとしてモデル化をし、有限要素法による計算を試みている。

最後に試験に際して御協力下さいました各ダム工事々務所の皆様に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

1. ダム構造研究室、地質研究室「岩盤の変形係数測定法基準案」土木技術資料3-10
2. 小渋ダム工事々務所、ダム構造研究室、地質研究室「小渋ダムサイトにおける岩盤の変形試験」土木技術資料6-7
3. 飯田隆一「直交異方性理論の岩盤への適用」土木研究所資料401

Strain-distribution in a Bedrock under the Jack loading test

Sadao Kishimoto

Tomomitu Yasue

Shigetoshi Kobayashi

Ministry of Construction

The mechanical characteristics of a bedrock are very complicated. For the purpose to clarify the characteristics more, the authors observed strains in the bedrock under the in-situ jack loading tests with Carlson-type strain meters which were laid at 10 points in the bedrock.

By the tests, the authors could have next results.

In the bedrocks which have few seams and cracks, many of the observed Load-Strain graphs showed elastic characteristics, but in the bedrocks which had seams and cracks, most of the Load-Strain graphs showed remarkable virgin curves and strain remains.

And some graphs showed the phenomena that the rock was pressed and hardened and such phenomena occurred in a limited zone near the loading surface.

Then the authors conclude that there are three zones in a bedrock under the loading surface, namely, pressed and hardened zone, unhardened zone, and between them there is an unstable zone so to speak shipping zone. But they seem to vary with the strength of the load and the characteristics of the bedrock then for clarifying the exact shapes of each zone more tests are needed.