

1 ま え が き

一ツ瀬ダムは1960年に着工し1963年に完成した高さ130mのアーチダムである。このダムの基礎は砂岩、粘板岩およびこれらの互層より構成されている。河床部より左岸側は粘板岩と砂岩が交互にたい積した「差し目」状の地質構造であり、右岸側は「流れ目」状の砂岩におゝわれその背後に粘板岩層があり、両者の境界面にはかなり発達した断層破砕帯がある。この基礎岩盤については現地岩盤試験をもとに種々の検討(1)を行なつてダム基礎としての安全性を確認したが、ダムの測定計画においてもダム基礎の挙動の把握、ダム貯水後の管理上の指針とする目的で基礎岩盤の測定にかなりの重点がおかれた。本文では岩盤圧縮変位計による測定結果を中心にダム基礎岩盤の変形特性について述べる。

2 基礎岩盤の測定計画

一ツ瀬ダムには表-1に示すようなカールソン型計器が埋設され1960年以来継続して測定されている。基礎岩盤に関する測定は、(1)基礎岩盤の圧縮変位、(2)岩盤のせん断変位、(3)基礎岩盤中の浸透水圧、(4)基礎岩盤の温度等からなっている。基礎岩盤の圧縮変位の測定には種々の方法が考えられるがカールソン型岩盤圧縮変位計(共和電業製)を使用し、サドル部のみギヤラリーを利用して精密水準測量を併用した。岩盤圧縮変位計は周壁を水密化したボーリング孔(φ46mm)にパイプを挿入し底部に固定しパイプの上端部に継目計を取付けたものである。継目計はあらかじめ定められた範囲(30~40mm)まで引伸した状態でその一端が金具によつて岩盤に固定されている。したがつて継目計と金具をダムコンクリートと絶縁しておけばパイプ長の範囲での相対的な岩盤の変位量が測定される。岩盤圧縮変位計は計算アーチ標高とサドル部に埋設された。測定方向は前者では基礎岩盤面に垂直方向にとり計算主応力の方向にほぼ一致させ、後者では鉛直方向にとつた。測定範囲は20mを標準とし、基礎の上流側、中央部および下流側に配置されている。

3 岩盤変位の測定結果

岩盤圧縮変位計は埋設直後から測定されているがこゝでは主としてたん水開始後の測定結果を取りあげる。測定結果の代表的なものを図4-7に示すが測定結果を全体的にみると一般につきのことがいえる。

(1) 計算アーチ標高について 計算アーチ標高5個のうち岩盤圧縮変位計はEL165m以下の

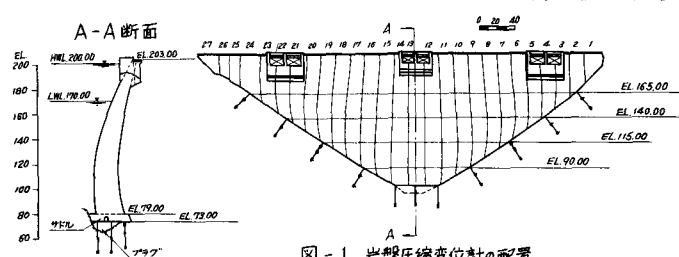


図-1 岩盤圧縮変位計の配置

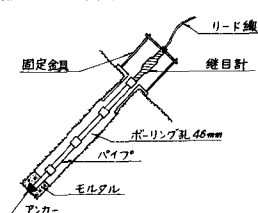


図-2 岩盤圧縮変位計埋設図

4 標高に埋設されている（図 - 1 参照）。各標高におけるたん水前のコンクリート自重による変位は表 - 2 に示す通りである。これからたん水前の変位は一般に右岸側より左岸側の方が大きい。たん水後の変位の履歴の代表的なものを図 - 4 に示した。これから分かるようにたん水による変位は載荷速度の大きい初めの 2 ケ月間（水位 EL 90 ~ EL 190 m）に以後の最大変位の 80 % 以上が生じている。この初期の変位は以後の利用水深範囲の水位変動に対しては非可逆的である。すなわち利用水深範囲の水位変動に対する変位は初期変位を下限度として変化している。また各年度の最高水位時の変位をみるとたん水初年度が最も小さく以後はほぼ一定している。

このことから岩盤の流動的変形はたん水後 2 年間にほぼ収束しているものと考えられる。これは当ダム基礎岩盤の変形性の特徴である。この事実を説明するため水位と変位の関係を K ダムと比較して図 - 6 に示した。図 - 7 は岩盤圧縮変位計近傍のひずみ計グループから求めたアバットメントの平均主応力と変位の関係を示している。図中実線で結んである点はたん水初期の値で、0 印で表わした点は 1964 年以降の値である。この図からも流動変形の収束の早さが分かる。また応力変化と変位変化のこう配がたん水初年度とそれ以降とでは明らかに異っており、流動変形が収束してからの基礎の剛性は相当大きくなるものと推定される。

(2) サドル部について サドル部ではたん水前に 1.8 ~ 3.6 mm の変位が記録されたが、水位上昇とともに上流側の変位は減少し下流側では増大している（図 - 5 参照）。上流側の変位の減少は静水圧による応力解放によるもので、これは精密水準測量、EL 77.5 m の応力計および傾斜計による測定結果からも説明される。

4 変位の解析

(1) 仮定 一般にダムの基礎岩盤は複雑な地質構造を有するため等方等質の弾性体としての取扱いには無理な点が多く、最近ではこの難点を除いて実態に近づけるため岩盤の力学的モデルを考え、これによつて岩盤内の応力分布や変形状態等の研究が行なわれている。当ダムの基礎岩盤は初めに述べたような地質構造で多くの節理や断層シームを含むものであるが、こゝでは実測値解析の一段階として等方等質の弾性体としての取扱いをする。当ダムの岩盤圧縮変位計はパイプ長区間の相対変位を測定している。このため前記の仮定のもとで実測変位は地表面の変位とパイプ固定点の変位の差をとらえているものとする。アーチダムの基礎岩盤には台形圧縮荷重とせん断荷重が作用するがこれらの荷重による変位は川本博士により求められており⁽²⁾ 変位が載荷幅の 5 倍の点で零、ポアソン比 0.3 の場合の数値計算結果が示されている⁽³⁾。こゝではこの結果を任意の載荷幅に換算して用いる。またダム基礎に作用する荷重は図 - 3 に示したアバットメント近傍のひずみ計群から求めた主応力を用いる。

表 - 1 カールソン型計器 - 一覧表

計器名称	測定範囲	感度	埋設数量
応力計	0~100 Kg/cm ²	0.7 Kg/cm ²	60 個
ひずみ計	-800 ~ 400 × 10 ⁻⁶	3.6 × 10 ⁻⁶	299
温度計	-30 ~ 70°C	0.05°C	137
水圧計	0 ~ 0.9 Kg/cm ²	0.06 Kg/cm ²	32
縫目計	0 ~ 5 mm	0.015 mm	70
三軸変位計	軸方向 0 ~ 10 mm	0.03 mm	12
傾斜計	軸垂直方向 ± 10 mm	2 × 10 ⁻³ rad.	8
岩盤圧縮変位計	3 ~ 5 × 10 ⁻³ rad.	0.07 mm	54
岩盤せん断変位計	0 ~ 40 mm	0.35 mm	10
クラック計	± 80 mm	0.0145 mm	4
鉄筋計	-0.7 ~ 5 mm	0.0145 mm	24

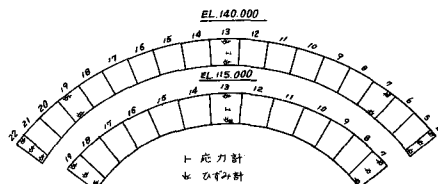


図 - 3 ひずみ計の配置

表 - 2 たん水前の変位 (単位は mm)

標高	左岸	右岸
EL 90 m	+0.9 ~ +0.4	-32 ~ -24
EL 115 m	+0.6 ~ +0.2	+0.1 ~ -0.6
EL 140 m	-1.4 ~ -0.5	-2.1 ~ 0
EL 165 m	—	-0.3 ~ -0.5

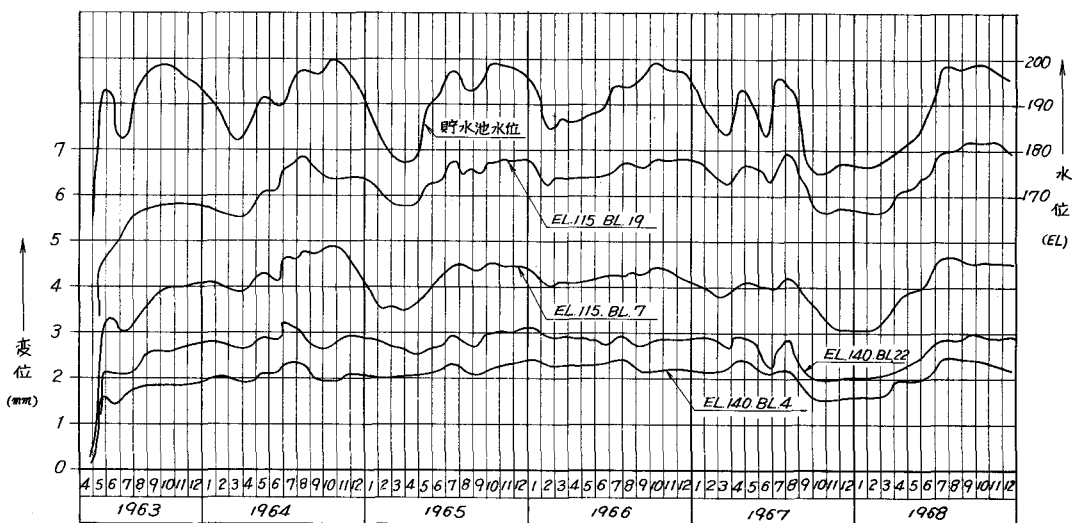


図-4 計算ア-基礎の変位例

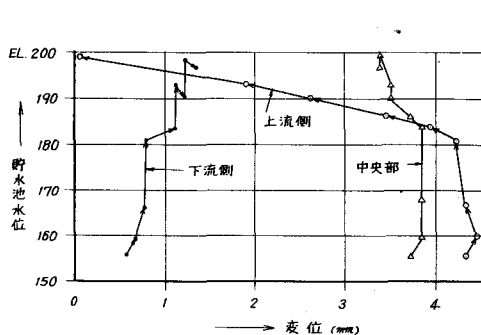


図-5 サドル部の変位

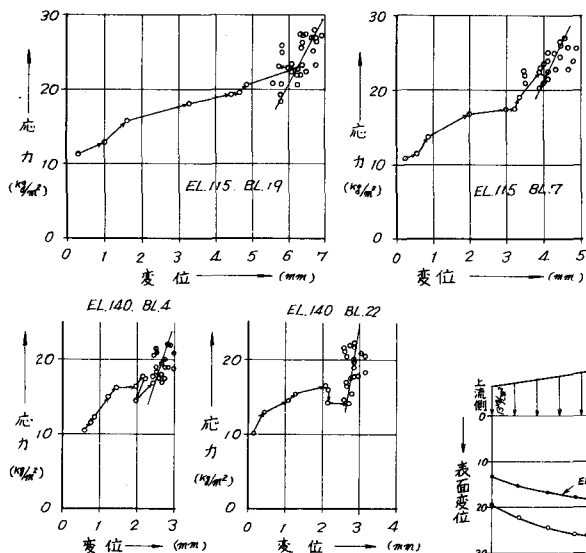
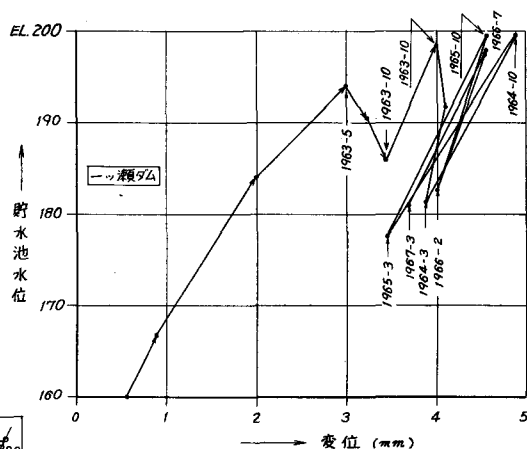


図-7 応力と変位の関係

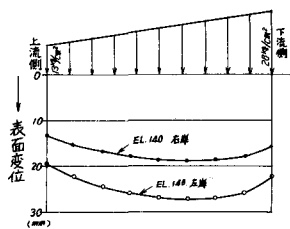


図-8 基礎の表面変位例

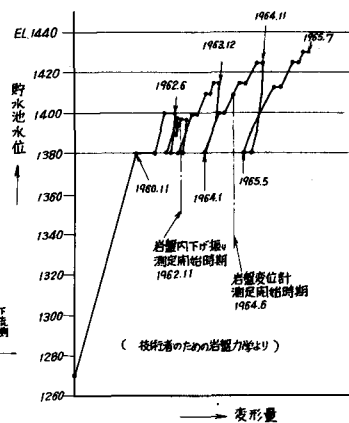


図-6 変位のパターン

(2) 実測変位による岩盤の弾性的性質 図-4に示した変位から前項の仮定により基礎岩盤の変形係数(D_R)と弾性係数(E_R)を求めた。こゝでいう D_R はたん水初期の粘弾性的変形を含む変位から求めるもので E_R は繰返し荷重による変位と応力の変化から求めたものである。 D_R は1963年末 E_R は1965年と1968年の3月と12月の変位と応力の変化から求めた(表-3参照)。表-3から分かるように D_R は平均30000%程度であるがこれが繰返し荷重領域の E_R としては平均値として両岸とも93000%程度になつている。一方設計時のジャッキ試験および弾性波による E_R は前者が53000%後者が300000%で実際のダム設計

表-3 岩盤の D_R と E_R ($\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)

標高	年	左 岸		右 岸	
		D_R	E_R	D_R	E_R
EL 115	1963	35	—	24	—
	1965	—	52	—	75
	1968	—	65	—	60
EL 140	1963	30	—	44	—
	1965	—	163	—	118
	1968	—	93	—	119

表-4 E_C/E_R の比較

	E_C	D_R or E_R	E_C/E_R
設計時	200,000	50,000	4
たん水初期	210,000	33,000	6.4
1965~1968	220,000	93,000	2.4

には $E_R = 50000\%$ が採用された($E_C/E_R = 4$)。実測変位の解析結果からみると岩盤の変形性は一定したものではなく特にたん水初期と繰返し荷重の領域とでは大きく変る点とダムの支配的応力がたん水時から発生する点からみて設計時の E_C/E_R にはある程度の幅を考慮すべきであろう。表-4によると E_C/D_R 、 E_C/E_R はそれぞれ平均6.4および2.4である。

(3) ダム応力との関係 E_C/E_R が設計時仮定のものとなれば実際の応力は計算値と異なるであろう。 E_C/E_R と応力の関係については林博士⁽⁴⁾の研究があるが当ダムでも実際のダム形状について検討されている⁽¹⁾。これによると E_C/E_R の変化はアーチアバット下流側の応力などに影響を与えている。これに温度応力を考慮すれば E_C/E_R 減少の影響は大きくなるものと考えられる。また繰返し荷重領域にはいつも E_C/E_R は一定値に収束していない。われわれは当ダムの実測応力に関する重回帰分析を行ない応力を水圧、温度等の持分に分解することを試み温度の影響がかなり大きいことを知つたが、この場合年度別に測定値を分割した解析では各因子の持分が一定しないことが多かつた。これは E_C/E_R の変化が原因の一つとも考えられ⁽⁶⁾今後の研究にまつところである。

5 む す び

(1) ツツ瀬ダムの長期測定結果から基礎岩盤の変形パターンを示した。これによるとたん水初期では粘弾性的な変形を示すが収束は早く以後の変形は弾性的である。(2) 等方等質の弾性体の理論を適用し初期の D_R 、繰返し荷重領域での E_R を求め設計時と築造後の E_C/E_R の関係を求めた。(3) 異方性ならびに不連続面を有する基礎岩盤を完全弾性体としたことには問題があり今後ひび割れを考慮した岩としての現実に即した方向での検討を要する。(4) 従来ダムの実測応力と基礎の変位との相関を求めた例は少ないが本例ではかなりの精度で応力~基礎変位の実態をつかむことができた。(5) ダムの実測応力の要因を重回帰法により分析し水圧のほか温度の影響が大きいことを確かめたが今後経時的に変化する岩盤変形の影響について研究を要する。なお本文は九州電力KKの依頼で行なつたツツ瀬ダムの実測値解析の結果から基礎岩盤に関する部分を整理したもので本文発表について土木部浅田次長をはじめダム保安係副島技師の御協力を得た。こゝに記して深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 青木 謙 三：ツツ瀬アーチダム基礎に関する諸測定 発電水力 No 56~No 57
ツツ瀬アーチダム基礎に関する諸解析並びに安全性 発電水力 No 58
ツツ瀬アーチダム基礎に関する諸測定並びにその安全性 発電水力 No 59~No 60
- (2) 川 本 眺 万：基礎岩盤の変位状態およびその地山の異方性の影響について 土木学会論文集 126号
- (3) 日本材料学会：岩石力学とその応用 P148~P149
- (4) 林 正 夫：基礎の変形がアーチダムの応力に及ぼす影響について 土木学会論文集 69号別冊3の1
- (5) 西日本技術開発：ツツ瀬ダム実測値の解析調査報告書 昭和44年9月 株式会社 ツツ瀬アーチダムの応力に関する重回帰分析 昭和44年9月
- (6) 三 池 亮 次：主成分分析法によるアーチダムの恒載度検定について 土木学会論文集 149号
- (7) 林 正 夫：ひびわれ性基礎の応力伝播の機構に関する考察 電研研究所報告 土木 65007 (1965)

Long-term deformation characteristics of
foundation rock about a high arch dam

Kenzo Aoki and Jyoichiro Tano

In the 130 meter high Hitotsuse Dam, the special rock deformer was used in order to take a measurement of rock deformation.

A long pipe, inserted in the bore which is perforated at a right angle to the plane of rock-bed as deep as maximum of 20 meters, on the top of which is a type of Carlson deformer to determine deformation within the range of the length of pipe.

The deformation covering a period of six years since the start of filling of water in 1963, was observed. On the basis of measurement value of dam stress intensity on the particular part of rock where Carlson type deformer and stress strain meters were placed in the dam, the deformation of rock-bed was also obtained, through the stress of the dam.

The laid instrument relating to the deformation are as follows :

Name of instruments	Range of measurement	Sensibility	Number laid
Rock deformer	0 - 30 mm	0. 07 mm	54
	0 - 40 mm	0. 09 mm	
Shearing deformer	40 mm	0. 35 mm	10
	80 mm	0. 80 mm	
Dam stress meter	0 - 100 kg/cm ²	0. 7 kg/cm ²	60
Dam strain meter	-800 - 400 x 10 ⁻⁶	3. 6 x 10 ⁻⁶	299
Dam thermometer	- 30. - 70 °C	0. 05 °C	137

As a result of the above measurements, the following findings were obtained.

- a. A deformation pattern of rock foundation.
- b. Examination of correlation between the values obtained by actual measurement of dam stress and rock-bed deformation.
- c. Comparison of deformation measured by jack test in a drift prior to the dam construction with that of rock masses.
- d. Dependability and durability of instruments used.
- e. Correlation between the stresses of the dam as a whole and the rock deformation.