

当ダムは、1960年に初の中間湛水を行い、以後逐次最高水位を計画的に上昇させ、1969年満水位に達した。更に、定常的な年サイクルの貯水池運用を続け現在に至っている。（図-1 参照）

測定器は堤体および基礎岩盤について、異例の規模と範囲の広さを持つて配置され、（図-2 参照）しかも、長期間にわたる測定が継続されている。特に、基礎岩盤の変形は岩盤変位計、精密三角測量、岩盤内下げ振り、ジオジメータ等によつて求められている。

ダム形式： ドーム アーチ式、中央溢流型

ダム高さ： 186 m 堤体積： 1,608,000 m³

堤頂長： 492 m 総貯水量： 199,285,000 m³

当ダムは、調査設計段階において、既にジャッキ試験、水室試験、弾性波速度試験、岩石コア強度試験、コンクリートクリープ試験がなされ、途中で大型岩盤試験も加えられた。更に、ダム三成分調整計算（以下S.A.C.A.と略称）、基礎岩盤を含むダム模型実験もなされている。従つて測定値は設計条件との対比がある程度可能である。

ここでは、基礎岩盤内部の変形を広範囲にわたつて直接測定する岩盤変位計を主にして、その記録と評価について述べる。

1. 基礎岩盤変形の概要

当ダムにおいて基礎岩盤の変形は、二通りの意味を持つて測定されている。その一つは基礎岩盤の変形がダムに及ぼす影響であり、もう一つは基礎岩盤自体の安全性をその変形経過とか変形の内容から監視しようとするものである。

岩盤変位計は、1964年に設置され作動している。当時既に、貯水位が1415mに達していて、湛水初期における変形測定の機会を逸した。左右岸二標高に設けた岩盤変位計ネットのうち、比較的残留変形量が多い例を図-3に示すとともに主な所見を次に示す。

1) 総数のうち約60%の岩盤変位計は、貯水位の変化に対し、かなり弾性的な変形状態を示しているが、他の約40%は、ある程度の残留変形が目立っている。特に、残留変形量が多い左岸の2-14、6-3などは、その荷重-変形曲線の形状からみて、測定器設置以前の初期荷重による残留変形がかなり多かつたことを示唆している。他に、4-2、7-2等 ダムアバットメントに接して設けられしかもアーチ推力方向にほぼ平行した測定器で当初から全く弾性的な変形状態を示したものもある。残留変形量の多い測定器でも満水位到達以後において残留変形量が著るしく少くなり弾性的な変形状態にあることを示している。

2) 貯水位上昇過程の記録について、荷重-変形曲線の包絡線の勾配と経験済みの荷重による勾配の比を持つて、Er1/Er2の評価を行つている。（処女荷重時および繰返し荷重時の岩盤変形係数をそれぞれEr1、Er2とした）残留変形量が多い図-3に示す岩盤変位計のEr1/Er2を次に示す。

7-3： 0.48、 4-3： 0.46、 6-3： 0.36、 2-14： 0.26、

これに対して、大型岩盤試験によれば Er1/Er2は30%～62%、平均46%程度となつている。

3) 基礎岩盤の変形状態は、左右岸別および標高別に岩盤変位計ネットとしての記録から次の如く示されている。総ひずみは、左右岸ともにダム近傍部に多いがダム遠隔部も少なくない、ダムの遠近にかかわらず広く分布している。残留ひずみは、左岸に共通して広く分布しており、標高1320mでは総ひずみ量に対

する割合が特に多い、右岸標高1370mでは一部をのぞきこの割合が小さい。弾性ひずみは、左岸に共通してダム遠隔部における収れんが速い、右岸標高1370mでは総ひずみ量に対する割合が多く、かつ他に比してダム遠隔部まで伝っている。伸びひずみは、左右岸ともにアーチ推力にほぼ直交する方向に生じた所があるけれどもその量は少なく、左岸に共通して総ひずみがほとんど残留ひずみであり、右岸に共通して地表に近い部分において総ひずみがほぼ弾性ひずみである。岩盤変位計ネットにて求めた各種ひずみを次に示す。

		右 岸		左 岸		全 平 均
		1370m	1340m	1365m	1320m	
総ひずみ	平 均	71×10^{-6}	49×10^{-6}	69×10^{-6}	68×10^{-6}	60×10^{-6}
	ダム近傍	101	79	111	104	——
	ダム遠隔	54	34	38	46	——
残留ひずみ	平 均	21	26	49	50	37
	ダム近傍	28	36	70	68	——
	ダム遠隔	17	22	34	39	——
弾性ひずみ	平 均	50	23	20	18	23
	ダム近傍	73	43	41	36	——
	ダム遠隔	37	12	4	7	——

4) 大型岩盤試験の結果によれば、破壊荷重に比べてかなり低い同一荷重の繰返しに対しても、その変形量が収れんするためには数百回の載荷を要することが知られているが、満水位到達以後数年間の記録において、岩盤変位計ごとに差はあるが年間 $1 \times 10^{-6} - 3 \times 10^{-6}$ の残留変形量の増分が微少ではあるが認められる。

2. 荷重履歴に応じたダム応力解析について

ダムの基本設計に用いた基礎岩盤の弾性係数は、標高別にはほぼ E_{r1} に相当する値であるが、その後、測定値を通じて基礎岩盤の挙動を評価するために、荷重履歴に応じて、二種類の弾性係数 E_{r1} 、 E_{r2} を考慮する必要が生じ、大型岩盤試験を始めとする各種試験の結果をも参考にして図-4に示すような弾性係数を定め、計画的な貯水運用に伴う水位変化をもたらす静水圧荷重について S, A, C, A によるダム応力解析を行っている。図-5に E_{r1}/E_{r2} を考慮し水圧荷重について S, A, C, A からえたダムのたわみとダム中央片持梁の下げ振りによる測定値から温度影響分を減じた結果を対比して示す。水位上昇期間において、測定値の荷重-たわみ曲線の勾配と一致しているが、残留変形量の経年的増加は測定値のほうが大きい、なお満水位到達以後において測定値が示す残留変形量は著るしく少なくなっている。

3. ダムおよび基礎岩盤の変形、応力の有限要素法二次元解析について

図-3に右岸二標高の岩盤変位計の測定変形量と有限要素法によりえた変形量を併せて示す。大型岩盤試験からえた値等を参考にして全体の岩盤変位計が計算値と最も良く一致する基礎岩盤の変形係数を試行錯誤で求め、標高1370mで 70000 Kg/cm^2 、標高1360mで 100000 Kg/cm^2 をえている。これらの値は大型岩盤試験でえた値(標高1390mで $30000 \text{ Kg/cm}^2 \sim 40000 \text{ Kg/cm}^2$ 、標高1360mで $50000 \text{ Kg/cm}^2 \sim 60000 \text{ Kg/cm}^2$)の二倍近くになっている。図-6によればアーチアバットメントの変形状態は基礎岩盤の変形係数による差を除けば全体として測定値と有限要素法による計算値が比較的良好一致を示している。

基礎岩盤変形について、堤体は E_0/E_R の大きさよりも基盤の非回復性変形による堤体弦長の異常伸び変位がもたらす過大な堤体内応力発生に、また、基盤自体は種々の破壊発生の危険性に、注意する必要がある。当ダムは、岩盤変位計の他に堤体内応力特にアーチクラウン応力、基盤下げ振傾斜計の変位、基盤内水位漏水量等について、貯水位上昇期間および満水位到達後において異常が認められていない。

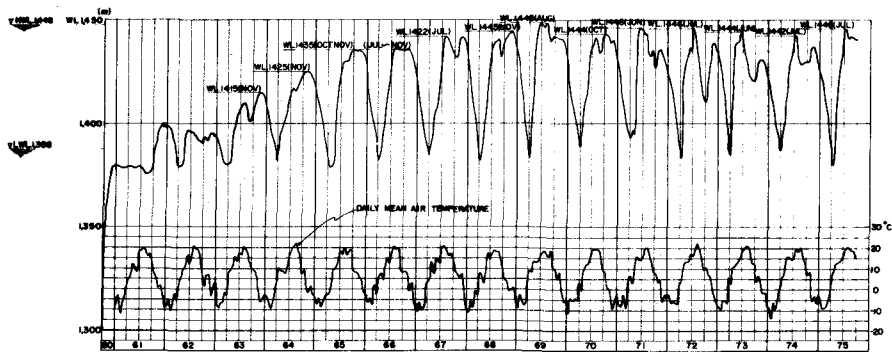


図 - 1 貯水・気温履歴

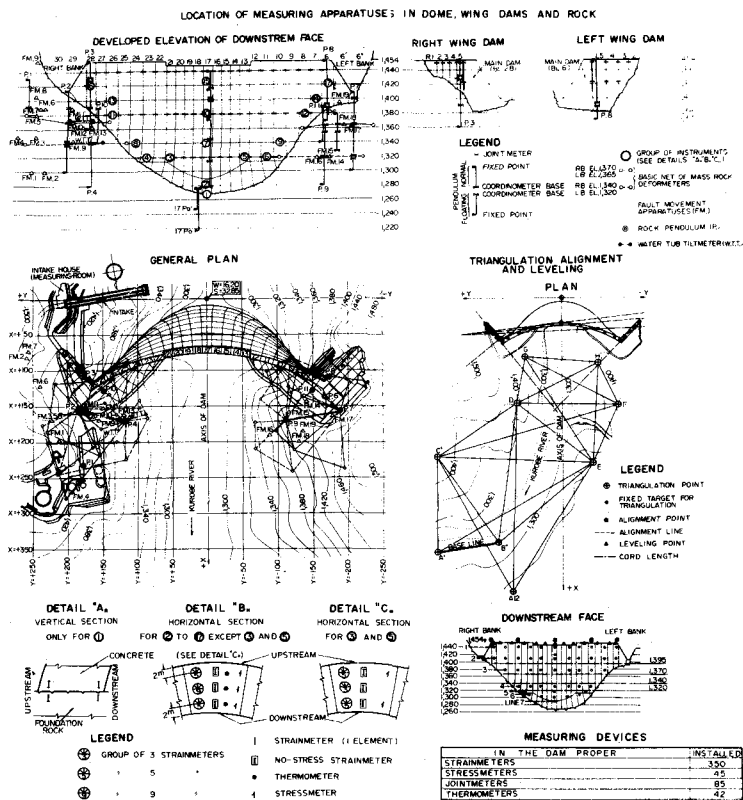


図 - 2 黒部ダム測定器配置

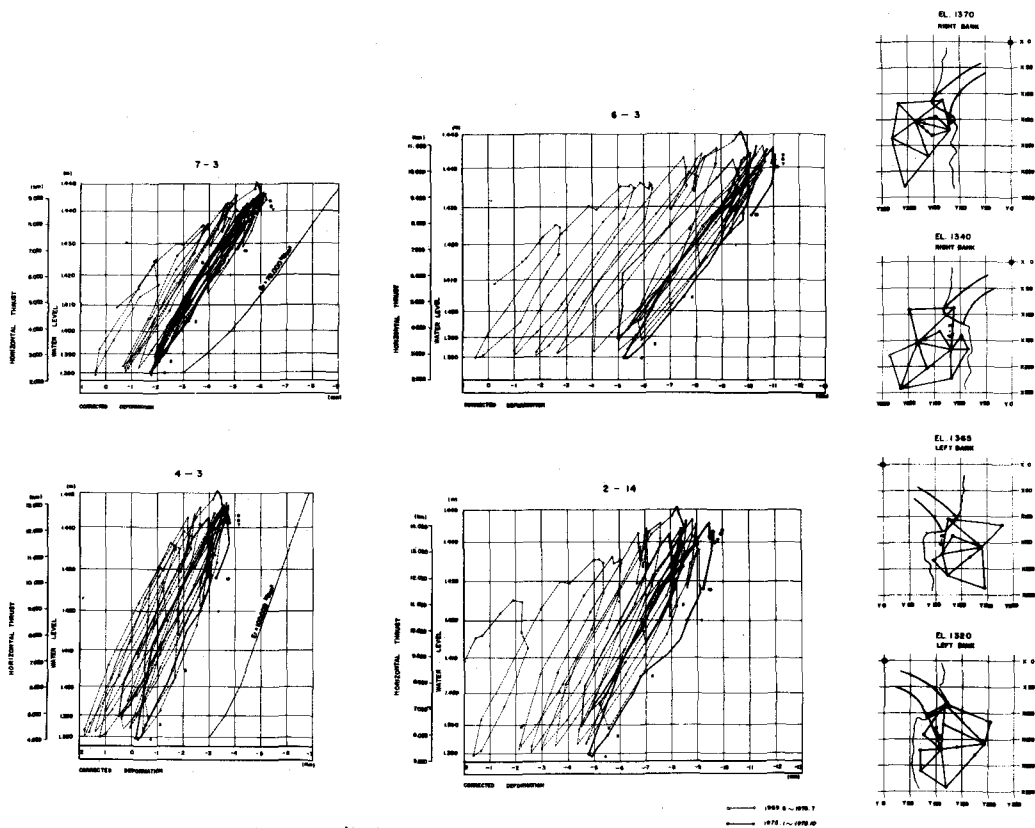


図-3 岩盤変位計記録

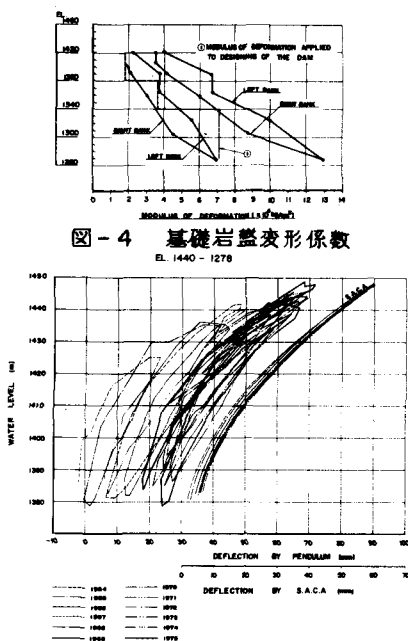


図-4 基礎岩盤変形係数
EL. 1440 - 1278

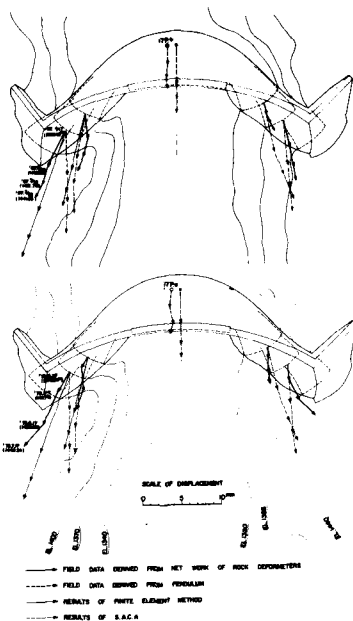


図-6 アーチアバットメントの変位

図-5 ダム中央頂部上下流方向変位

STRUCTURAL BEHAVIOUR OF THE KUROBE DAM
ESPECIALLY, THE DEFORMATION OF THE FOUNDATION ROCK

The Kansai Electric Power Co., Inc.
Takehiko NIWA

The Kurobe dam was completed in 1963. The reservoir level was raised up in 1960 to intermediate elevation as the first filling up, and continuing successive filling up to maximum water level in 1969 with careful reservoir operation.

The structural behaviour of the dam and the foundation rock under gradually increasing load is being observed with measuring apparatus which are arranged extraordinary wide scale in the dam and the foundation rock.

Type:	Archdam, center over-flow
Structural Height:	186 m
Crest Length:	492 m
Volume of Dam:	1,608,000 m ³
Reservoir Capacity:	199,285,000 m ³

Horizontal deformation of the foundation rock is measured by rock deformeters forming network in two horizontal planes of both banks. There exists compressive deformation and no sign of extension by loosening of the rock. The rock deformeters show rather elastic deformation, but residual deformation is recognized to some extent.

Some examples of the rock deformeters are shown here. It can be observed that residual deformation in both banks is not small one. Ratio of E_{r1} and E_{r2} (E_{r1} : modulus of rock deformation during virgin loading, E_{r2} : modulus of rock deformation during repeated loading) thus obtained is 0.26 - 0.48. The value of E_{r1}/E_{r2} obtained by rock test in situ is in the range of 0.32 - 0.62. Average strain obtained by whole rock deformer network is 49×10^{-6} - 71×10^{-6} .

For the purpose of examining the results of observation on the present state of the dam and the foundation rock, additional analytical studies have been executed. The method of the analysis is not different from stress analysis of complete adjustment, but two kinds of moduli of deformation obtained by field tests are taken into account as loaded. Annual progress of residual deformation at the lowest water level can be analytically obtained. One of the examples for the evaluation on radial deflection at the crest of the dam crown is shown here.

Two dimensional stress analysis by Finite Element Method for the horizontal slices of abutment was also executed, taking into account the real topographic surface, which is referred to the interpretation of the results by rock deformeters. The result of rock deformer can be explained well by this analysis. The method of analysis may be considered fairly useful and reliable.

The rock deformation up to the present date has to be paid much more precaution from following two points of view; influences on the deformation or the stress of the dam and risk of various types of failure in the foundation rock. It is recognized that the result of measurement of the dam and the foundation rock during and after filling up the reservoir is generally normal condition of their situations.