

VI-17

重回帰分析によるアーチダムの変位挙動解析

中部電力（株）	正会員	川上 康博
中部電力（株）	正会員	藍田 正和
ハザマ	正会員	西村 毅
ハザマ	正会員	田中 正

1. はじめに

アーチダムの挙動は貯水位による水圧荷重、堤内温度の変化による温度荷重に支配される。また初期湛水時から数年間は堤体や岩盤のクリープなど経年的な変化も無視できない。これらの影響を分析する手法としては、計測データを用いた重回帰分析が一般的に用いられる。本研究では、初期湛水完了後約3年を経過したアーチダムの変位を対象として重回帰分析を実施し実測挙動を把握するとともに、今後の安全管理のための基礎資料とした。

2. ダムの概要と計測計器の配置

本研究の対象は、純揚水発電所の上部調整池を形成する堤高 107.5m、堤頂長 341.2m、堤体積約 40 万 m³ のアーチ式コンクリートダムである。利用水深は 26.5m、常時満水位（以下、H.W.L と称す）1015.0m である。平成 5 年 10 月より試験湛水を開始し平成 6 年 12 月に H.W.L に達して試験湛水を完了した。

計器配置図を図-1 に示すが、ダムクラウンの 14 ブロックに 2 段式の、また左右岸の 7,18 ブロックには 1 段式のブラムラインを設置し、毎時自動計測を行っている。また EL930m、EL960m、EL990m の左右岸および中央の 13 ブロックでは、温度計が上下流方向に密に配置してある。

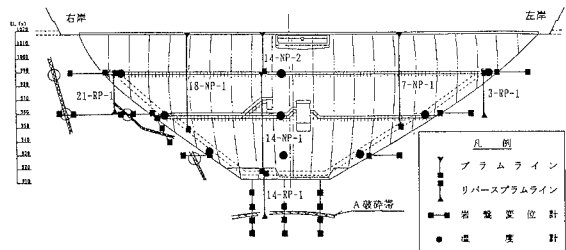


図-1 計測計器配置図（下流面図）

3. 結果および考察

3-1 変位の経時変化

図-2 に貯水位と 14 ブロック上下流方向の毎朝 9 時の変位を示す。ダムは季節的な周期変動を示しながら、貯水位に連動して下流側に変位していることが分かる。また経年的な下流側への変位が見られる。

3-2 温度解析

アーチダムの変位は、上下流の温度分布を等価に近似した直線の、平均温度、等値温度勾配に影響を受ける。14 ブロックのブラムラインに影響をおよぼす温度計として EL990m、EL960m、EL930 を選定した。このうち図-3 に EL930m の平均温度、等値温度勾配の経時変化を示すが、季節的な変動を示しながら平均温度、温度勾配ともに下降していることが分かる。

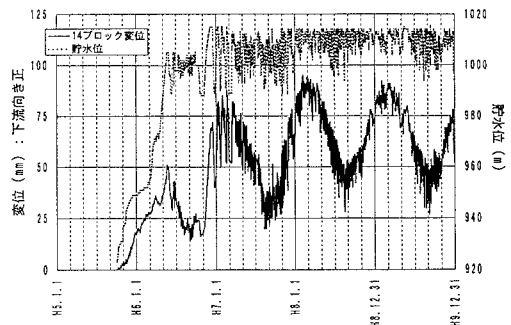


図-2 貯水位と変位の経時変化図

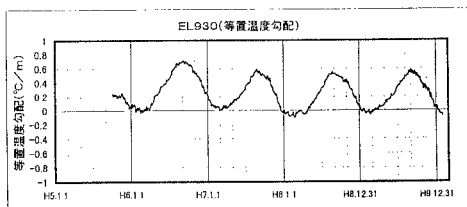
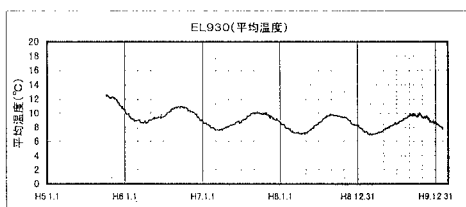


図-3 平均温度、等値温度勾配の経時変化図

キーワード：アーチダム、ブラムライン、重回帰分析、温度変化、経年変化

連絡先：〒461-8680 名古屋市東区東新町1番地 Tel(052)951-8211 Fax(052)973-3173

この傾向を把握するために、平成7年1月1日から2年間、3年間でそれぞれ年周期成分、経年変化成分を説明変数にして以下の式で重回帰分析を行った。

$$T_m, \alpha_m = a_m \sin(\omega t + b_m) + c_m \log(t+1) + d_m \cdots (1)$$

ここに、T：平均温度、 α ：等値温度勾配、 ω ： $2\pi/365$ 、t：平成7年1月1日を0とした日数

a, c, d：回帰係数、b：位相差（日）、添字 m：1～3（それぞれ EL930m, EL960m, EL990m）

重回帰係数は全て 0.93 以上と高い相関を示している。また経年変化量の比較を表-1 に示すが、2年間で回帰したものは全て負の値になっているが、3年間になると EL960m の平均温度、温度勾配は正になっており、EL930m、EL990m についても3年間の経年変化量が小さくなっている。これは、後述する変位の経年変化のうち堤内温度降下による影響が小さくなっていることを示唆している。

表-1 経年変化量の比較

項目	標高	2年間の 経年変化	3年間の 経年変化
平均温度 T(°C)	EL930m	-0.919	-0.712
	EL960m	-0.048	0.219
	EL990m	-0.737	-0.116
等値温度 勾配 α	EL930m	-0.119	-0.043
	EL960m	-0.039	0.055
	EL990m	-0.177	-0.035

3-3 変位の重回帰分析

(1) 堤内温度計のデータを用いた分析

上記の検討を元に説明変数を貯水位、堤内温度、経年変化として次に示す式で重回帰分析を実施した。貯水位については、1週間の運用水位による影響によるパラメータスタディを実施し、水位の1乗項、2乗項の和で表現することとした。経年変化については、堤体や岩盤のクリープ、また堤内温度の降下によるものが考えられるが、本研究ではそれらをまとめて対数で表現した。データは平成7年1月1日～平成9年12月31日の毎朝9時のものを使用した。

$$\delta = aH^2 + bH + cT_1 + d\alpha_1 + eT_2 + f\alpha_2 + gT_3 + h\alpha_3 + i\log(t+1) + j \cdots (2)$$

ここに、 δ ：ダム変位(mm)、H：河床（EL910m）を0mとした貯水位

T：平均温度(°C)、 α ：等値温度勾配、添字 1,2,3 はそれぞれ EL930m, EL960m, EL990m

t：湛水開始日（平成5年10月1日）を0とした経過日数、a～j：回帰係数

この結果を表-2 に示すが重相関係数は 0.997 と、非常に高い相関を示している。経年変化については、3年間で 10.2mm の変位が見られる。このうち堤内温度が降下する過程で生じる経年変化の影響は、前述したように小さくなっていると思われる。

表-2 回帰結果（堤内温度）

回 帰 係 数									重相関 係数
a(H ²)	b(H)	c(T1)	d(α 1)	e(T2)	f(α 2)	g(T3)	h(log)	i(定数)	
0.020	-2.347	0.119	-10.971	-2.888	-27.828	-1.429	-1.340	95.309	0.997

(2) 年周期成分を用いた分析

堤体の平均温度や等値温度勾配は年周期的な挙動を示しており、これらは全て気温の年周期的な挙動に支配されている。そこで温度を表す説明変数として、正弦波を仮定して、以下の式で重回帰分析を実施した。分析期間および用いたデータの時刻は堤内温度と同様である。

表-3 回帰結果（年周期）

$$\delta = aH^2 + bH + c \sin(\omega t + d) + e \log(t'+1) + f \cdots (3)$$

ここに、 ω ： $2\pi/365$ 、t：平成7年1月1日を0とした日数

t'：湛水開始日（平成5年10月1日）を0とした経過日数

a～c, e, f：回帰係数、d：位相差（日）

この結果を表-3 に示すが、重相関係数は 0.990 で、堤内温度計を用いたものより解析精度が若干落ちるものの、高い精度の結果が得られた。経年変化は3年間で 8.6mm と、堤内温度で回帰したものとはほぼ同じ結果となっている。従って、堤内温度計を用いないこの容易な手法がダムの安全管理を行っていく上で有効である。

4. まとめ

本研究で得られた成果は以下の通りである。

(1) 3年間で経年変化は 8.6～10.2mm あるが、このうち堤内温度の降下による影響は小さくなりつつある。

(2) 貯水位+年周期挙動+経年変化といった比較的容易な手法で有効な安全管理が行える。

今後はより精度の高い結果を得るよう、計測を継続的に行っていきたい。