

(D-1) アーチダムの洪水時の振動解析(二津野ダムについて)

電源開発株式会社 馬場恭平

当社が建設中の二津野ダムは、本邦のアーチダムとしては最大級の洪水量(計画洪水量 8,000 m^3/sec)を有する地質に位してあり、かつ中央越流型洪水吐を採用しているため、洪水時の振動現象について懸念をもたれたので、水理模型実験の際、これに注目して、ダム本体下流面および放水落下臭河床との動水圧を測定した。測定した動水圧は勿論非周期的なものであるが、以下に述べる2つの方法で解析を行う。解析にあたっては、ダムを2次の振動系と見做し、測定した動水圧が、外力 $F(t)$ として、この振動系に作用するものと考える。

I パワースペクトラムによるもの。

$F(t)$ の波形はいわゆる Stationary Random Wave とする。いま $F(t)$ を時間 T 内で、

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad \dots (1)$$

と表わせば $F(t)$ のパワースペクトル $\overline{F^2}$ は

$$\overline{F^2} = 4\pi \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |A(\omega)|^2 d\omega \quad \dots (2)$$

であるが $\overline{F^2}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T |A(\omega)|^2 d\omega$ と表わせば、(2)式は

$$\overline{F^2} = \int_0^{\infty} \overline{F^2}(\omega) d\omega \quad \dots (3)$$

となり、 $F(t)$ のパワースペクトラム $\overline{F^2}(\omega)$ が求まる。一方 $F(t)$ の相関函数 $R(\tau)$ を求めれば、

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T F(t) F(t+\tau) dt \quad \dots (4)$$

となり、(1)式を代入して、

$$R(\tau) = \int_0^{\infty} \overline{F^2}(\omega) \cos \omega \tau d\omega \quad \dots (5)$$

または $\overline{F^2}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad \dots (6)$

が得られるが、 $R(\tau) = R(0) e^{-N\tau^2}$ とする。 $\dots (7)$

と仮定する場合に、(6)式は、 $\overline{F^2}(\omega) = \overline{F^2}(0) e^{-(\omega^2/4N)}$ となり、 $\overline{F^2}(0) = \frac{R(0)}{N\sqrt{\pi}}$ となる。 $\dots (8)$

となる。つぎにダムを2次の振動系と見做し、運動方程式を、

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F(t) \quad \dots (9)$$

とすれば、系の伝達関数 $L(s)$ は、

$$L(s) = \frac{1}{ms^2 + rs + k} = \frac{1}{k} \frac{1}{(s^2/\omega_0^2) + 2\zeta(s/\omega_0) + 1} \quad \dots (10)$$

ここで、 $\omega_0^2 = k/m$, $\zeta = r/2m\omega_0$ であり、 ω_0 は無減衰の場合の系の固有周期とする。

ところで、系の応答のパワースペクトラム $G(\omega)$ は

$$G(\omega) = L(i\omega) L(-i\omega) \overline{F^2}(\omega)$$

であるが、(3)式より、

$$\overline{F^2} = \frac{1}{k^2} \int_0^{\infty} \frac{\overline{F^2}(\omega) d\omega}{[(\omega/\omega_0)^2 - 1]^2 + 4\zeta^2 (\omega/\omega_0)^2}$$

が得られ、 ζ は非常に小さいと見做せば、 $\omega = \omega_0$ となり、上式は、

$$\overline{F^2} = \frac{\pi}{2m\zeta} \frac{\overline{F^2}(\omega_0)}{\omega_0^2} \quad \dots (11)$$

このようにして、外力 $F(t)$ のパワースペクトラム $\bar{F}(\omega)$ を求め系の運動方程式 (8) を $\bar{X}$ の形で解くことが出来る。

II アナログ計算機によるもの

つまり、外力 $F(t)$ の記録を写真-1 に示す関数発生器に入力、(8) 式をアナログ計算機で求めた解が写真-2 に示してある。

なお、I の解析中、 $F(t)$ の相関関数を求める方法として、ここには IBM で計算を行ったが、現在 FM テープレコーダに相関器を設置して、アナログ計算機と結びつけて求める準備を進めている。

III 実験について

ダム本体にピコクアンプを埋設して、動水圧の実測を行う計画であるが、その配置は図-1 に示す通りである。動水圧計は、K.K. 土木測器センタ製のカールソン型であり、動水圧は無増幅偏位法で電磁オシログラフに記録される。また本器には、ボトトランジスタおよびパワートランジスタを利用した特殊な基準電圧修正装置 (図-2 参照) を有している。静水圧の変動分はペン書きオシログラフで別途記録される。さらに、本装置は、ダム本体以外の地に設置される地震計と連動して観測することが出来る。

本解析にあつて給仕師敬示いたたましれた東大生研岡本舜三敬授および当社中山謙治氏の深謝の意を表したい。また参考にした主な文献は次の通りである。

- 二津野アーク ダム洪水吐水理模電実験。
(電源開発 K.K. 土木試験報告水理 FTN-001)
- 岡本舜三：アークダムの構造模型実験。
(第2回 発電水力講習会テキスト)
- Tsien : Engineering Cybernetics. 1954.

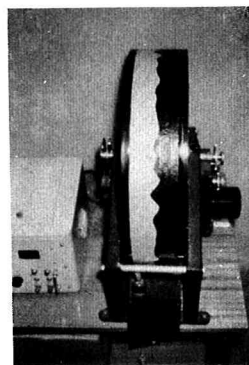


写真-1

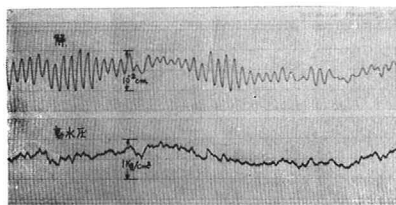


写真-2

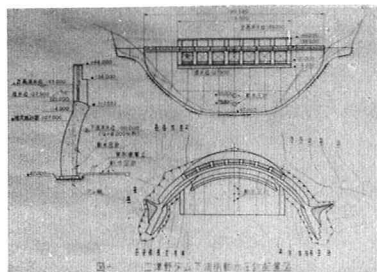


図-1

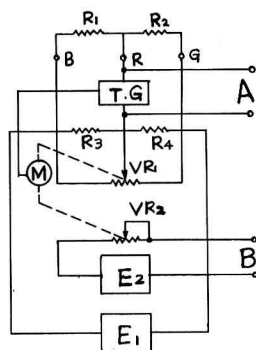


図-2