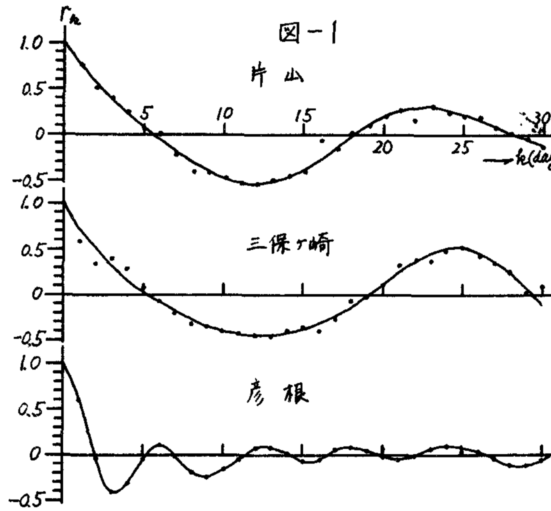
Ⅱ−4　湖や貯水池などの長周期水面振動の原因について

大阪大学工学部　正員　室田　明
同　正員　○神田　徹

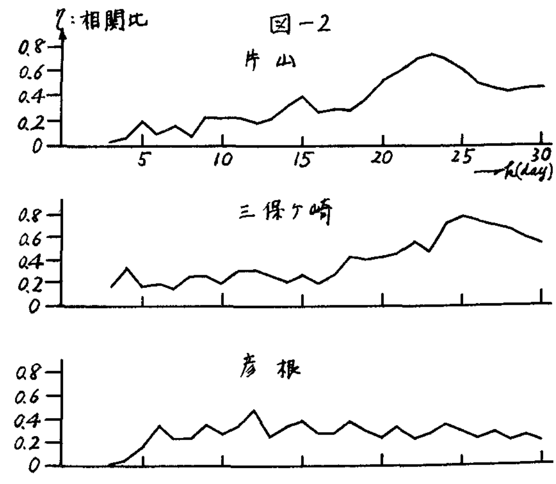
湖や貯水池などの流入量は、貯留量増分と流出量の関数で表わすことができる。この貯留量増分は水位変化として現れる。流出量に比し貯留量増分のorderが非常に大きい時には、貯留量の精度、即ち水位観測の精度が問題となってくる。従って流入量の的確な算定を行うためには観測水位から水面振動または攪乱の影響を除去し、より妥当な平均水位を求めることが必要である。本文は、びわ湖の水位変動をとり上げて検討し、次に湖や貯水池などに長周期の水面振動が起る原因について考察したものである。

1. びわ湖の水位は各観測地点によって、ある性質をもった変動を行っている。筆者等が扱ったデータによれば、適当に設定した平均湖水位を基準とする観測水位の変動量は次の標準偏差をもつ。片山—1.32cm、三保ヶ崎—1.24cm、彦根—1.29cm。次にこの変動水位について自己相関係数を求めると図−1のようになり、片山，三保ヶ崎では23〜25日という長周期の振動が見られる。彦根では前二者と性質の異るコレログラムが得られたが、相関係数の値は小さく振動周期の有意性は劣る。



図−1

次に同地点について、複数個の周期的成分を検出するため、ピリオドグラムを計算すれば図−2の通りである。これによっても片山，三保ヶ崎でそれぞれ、23日,25日という周期性を見出すことができる。



図−2

2. 一般に湖に起る振動は自由振動と強制振動に分解できるはずであるが、びわ湖の場合、解析を行うに際して境界条件としていかなる近似的立場をとるかが問題であり、水位変動の解析は困難な場合が多い。

ここでは振動が強制振動である場合を考え、この振動をひき起す原因について述べることにする。

(1) 気象擾乱が外力として働く強制振動がある。この強制外力として、風，気圧変動，局所的降雨，寒冷前線及び気圧の谷の通過等が挙げられる。高橋(海と空第18巻第

11号:昭13·7)によれば、強風時に3～10分，気圧微変動時及び局部性驟雨時に20～30分，寒冷前線通過時に80分，低気圧の谷通過時に200～260分の周期をもつ振動が起った記録がある。

(2) 筆者等が問題とする水面振動は、流入量算定の際に問題となるものである。ところで流入量算定は、1.に述べたように変動水位の標準偏差が1 cm/day(≒7×10^{6} m³/day)のorderである限り、(同期間内の日平均流入量：約3.7 cm/day)日流入量の算定は到底無理であり、また1.で示したような長周期振動の存在を考慮すると、月流入量という大きなscaleを採用する必要がある。単位時間としてこのようなscaleを採用すれば、(1)で述べた、気象擾乱による高々4時間を周期とする振動は影響を及ぼさない。

そこで、1.で指摘した振動はいかなる原因により生起するかを検討してみよう。
湖や貯水池に於ては、流入，流出のphase lagによって水位差が生じ、従って湖の主軸方向に水面勾配が形成される。この水面勾配が振動系に対し強制外力として働き、湖水の振動を励起することが考えられる。たとえば湖の流出口に於て、数日またはそれ以上にわたる長周期のゲート操作を行う時、湖面の水面勾配はその一連のゲート操作に追随するような変化をし、このような水面勾配$\frac{\partial \zeta}{\partial x}$で規定される重力加速度$g\frac{\partial \zeta}{\partial x}$が強制外力加速度として振動系に作用するものと考える。

今x軸方向に細長い等深の矩形湖を考え、水平変位をξ,波高をζ,水深をH,湖の長さをL,外力加速度をXで表わし、微少振幅を仮定すれば、振動の方程式として次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}=c^2\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}+X \qquad \text{ただし}\quad c^2=gH \tag{1}$$

流入，流出のphase lagによって水面勾配に周期的変動がある場合を考え、
水面勾配 $f=\frac{\partial \zeta}{\partial x}\fallingdotseq\frac{\zeta_0}{L}$: const (ζ_0: 両端の水位差)とすれば、$X(t)=gf\cos(\sigma_1 t+\varepsilon_1)$
式(1)を境界条件：$\xi=0$ (at $x=0,\ x=L$),の下に解き、$\zeta=-H\frac{\partial \xi}{\partial x}$ に代入すれば

$$\zeta=-\frac{A\sigma_0 H}{c}\cos\frac{\sigma_0 x}{c}\cos(\sigma_0 t+\varepsilon_0)+\frac{fc}{\sigma_1\cos\left(\frac{\sigma_1 L}{2c}\right)}\sin\frac{\sigma_1\left(x-\frac{L}{2}\right)}{c}\cos(\sigma_1 t+\varepsilon_1) \tag{2}$$

式(2)より、外力加速度gfが大きい時には第2項のみとなり、さらに振動周期 $T=\frac{2\pi}{\sigma_1}$ が十分大きい時は

$$\zeta\fallingdotseq f\left(x-\frac{L}{2}\right)\cos(\sigma_1 t+\varepsilon_1)$$

となり、波高の周期は外力周期と一致し、両端で最大振幅fLが現れる。

一般に、式(1)を次の条件の下に解くと

初期条件： $\xi(x,0)=\frac{\partial \xi}{\partial t}(x,0)=0$ ，境界条件： $\xi(0,t)=\xi(L,t)=0$

$$\xi(x,t)=\frac{2L}{\pi^2 c}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}\{1-(-1)^n\}\sin\frac{n\pi x}{L}\int_0^t X(\tau)\sin\frac{n\pi c(t-\tau)}{L}d\tau \tag{3}$$

$$\zeta(x,t)=\frac{-2H}{\pi c}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\{1-(-1)^n\}\cos\frac{n\pi x}{L}\int_0^t X(\tau)\sin\frac{n\pi c(t-\tau)}{L}d\tau \tag{4}$$

式(4)より、任意の$X(t)$に対するζの値が得られる。

以上の検討から、湖や貯水池などに長周期水面振動を生起する原因の一つとして、流入河川の中間流出，基底流出による時間的に緩慢な流入量変化とゲート操作による流出量の変動によって生ずる水面勾配が強制外力となるような場合も考えられよう。