

II-16. 貯水池における内部静振の実測結果

長崎大学工学部 正員 〇古本 勝弘 松原 茂 武政 剛弘

I. 序

河口や内湾を遮断した人造湖を淡水化し水需要の増大に対応しようとする試みが盛んな現在、淡水化過程の状況の予測あるいは淡水化の可能性を論ずる上で、成層状態を呈する湖内の塩淡水の風による水理学動を把握することが必要となる。風による二層流の混合についてはこれまでに理論実験の両面から扱った数多くの研究があるが、現地観測例は小櫃川試験池のそれを除けば本邦には殆んど見当らぬスケールの大きな現実の現象を説明するには資料不足である。現地観測は気象条件に左右され困難を伴うが幸いにも温度成層の顕著な貯水池で風による混合過程を実測し得たので報告する。

II. 実測

実測を行った貯水池は鳥取県の大山口麓にある大野池である。この湖は地表流入水が殆んど無く湖底からの僅かな湧水(湧出量 約 $3.6 \text{ m}^3/\text{min}$, 水温 約 13°C)で涵養された水深は $\sim 2 \text{ m}$ の灌漑用貯水池であり(平面図を図-1に示す)。夏期には顕著な温度成層を出現させる。

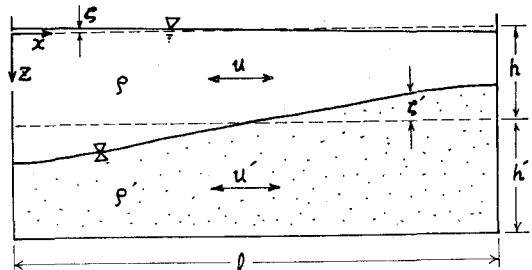
実測は昭和47年8月8日~10日にかけて行なわれ湖内A, B, C(図-1)の3点に於いて5尺(水深 20, 40, 60, 80, 100 cmの各尺)の水温を10分毎に自記させるとともに湖中央B点の水表面上20 cmで気温120 cmで風向風速を自記させた。測定は無風状態に開始され以後低気圧の接近に伴ない風速が漸増し(風速 15 m/sec 程度迄に達す)湖内が完全に混合するまで行なわれた。

III. 実測結果と考察

強風前後の鉛直方向温度分布を図-2に、風向風速、気温、A, B, C点の各尺水温の時間変化を図-3に示す。図-2, 3より、かなり明瞭に形成されていた二層流が風により乱され完全な混合に至っているその様子がよくうかがえる。風が殆んど無い8時までは各尺の水温も自立した変化を示さないが以後風速を増すに伴ない各地点ともに水温の変動が顕著となる。すなわち内部波の発生・発達を認める。

A点およびC点の水温変動に注目すると、その変動振中はB点のものよりかなり大きく、一方が上昇している時他方は下降しており変動に周期性を有していることを知る。従ってA, B, Cの湖内位置と水温変動とを合わせ考へると湖内には周期が非常に長く湖中央に節、兩岸に腹をもつ定常的内部波、いわゆる単節内部静振が現われていることを認める。この観測から躍層には周期振中の小さい内部波と周期振中の大きな内部波(静振)とが重なり合った複雑な流動が起っているものと推測できる。しかしこの実測は時間々隔(10分毎)と水深方向の測点位置間隔(20 cm毎)が大きき、周期振中が小さな内部波については言及できないので内部静振のみに限って検討を加えることにする。

密度が二成層状態にある矩形貯水池で長軸方向のみに起る内部静振に対しては運動方程式と連続の式より解かれて水表面、内部境界面の静止状態からの上昇量(ζ, ζ')および上下尺の平均流速(u, u')について(1)~(4)を得る。



$$\zeta = H \cos \frac{\pi x}{\ell} \cdot \cos \frac{2\pi t}{T} \quad \dots\dots (1)$$

$$u = \frac{1}{\beta} \frac{2\ell}{hT} H \sin \frac{\pi x}{\ell} \sin \frac{2\pi t}{T} \quad \dots\dots (3)$$

$$\zeta' = (1 - \frac{1}{\beta}) H \cos \frac{\pi x}{\ell} \cos \frac{2\pi t}{T} \quad \dots\dots (2)$$

$$u' = (1 - \frac{1}{\beta}) \frac{2\ell}{hT} H \sin \frac{\pi x}{\ell} \sin \frac{2\pi t}{T} \quad \dots\dots (4)$$

但し、 ℓ :湖長、 T :周期、 ρ, ρ' :上下層の密度、 h, h' :静止時の上下層厚、 $\beta = 4\ell^2/g h T^2$

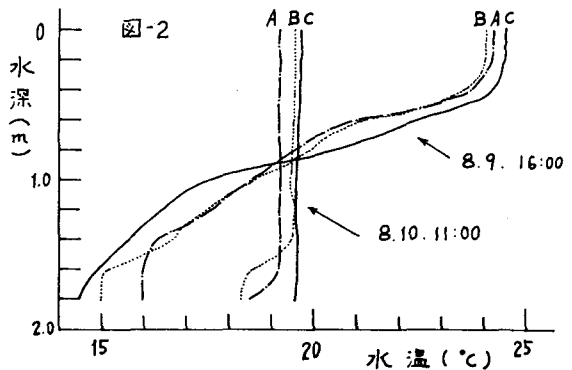
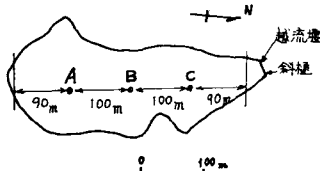
H :湖岸における水表面振巾、 x, z 軸は図の様に与る。

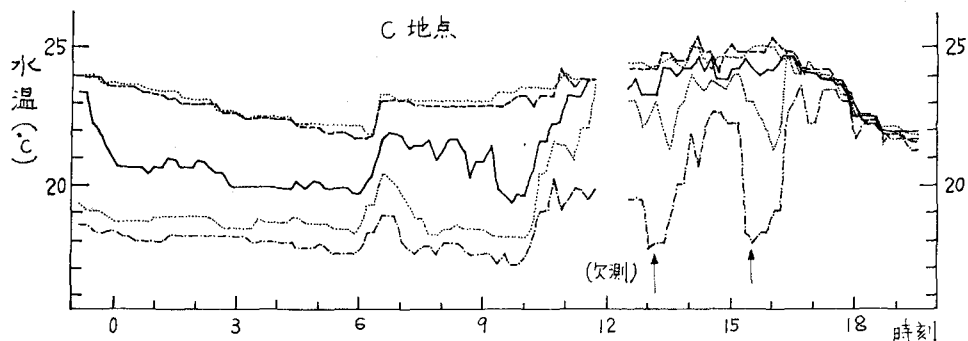
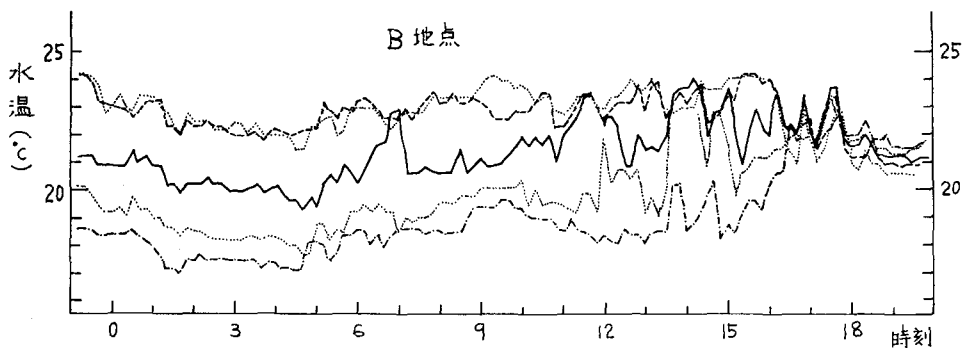
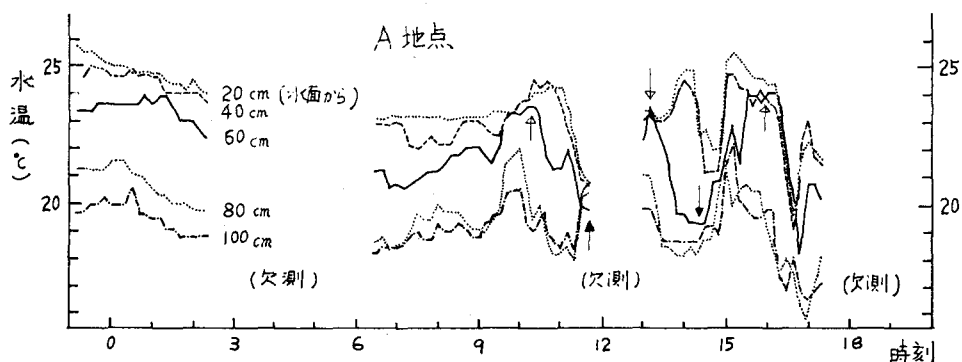
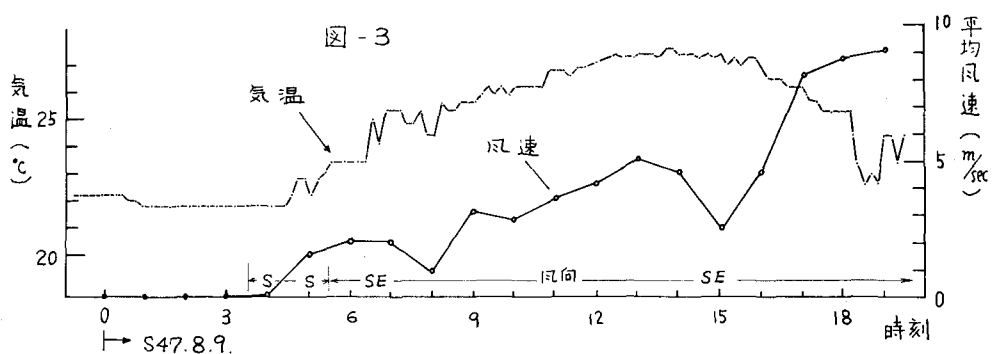
$$\text{近似計算から } T \div 2\ell \left\{ \frac{\rho'}{\rho - \rho'} \cdot \frac{1}{g} \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{h'} \right) \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{\zeta'}{\zeta} \div -\frac{\rho - \rho'}{\rho' - \rho} \left(1 + \frac{h}{h'} \right), \quad \frac{u'}{u} \div -\frac{h}{h'} \quad \dots\dots (5)$$

少々大胆ではあるが大野池を矩形と見なし、 $\ell = 380 \text{ m}$ 、 $h = 0.6 \text{ m}$ 、 $h' = 1.4 \text{ m}$ 、 $\rho = 0.99733 (24^\circ\text{C})$ 、 $\rho' = 0.99897 (16^\circ\text{C})$ を(5)式に代入すると、 $T \div 2 \text{ 時間 } 35 \text{ 分}$ 、 $\zeta'/\zeta = -870$ 、 $u'/u = -0.43$ を得る。実際に周期(T)はA.C点の記録から(図-3中の4印と4印間の時間间隔を平均)2時間37分と計算され(5)式による値とよく一致する。

θ を時刻 t 、水深 z の水温、 w を水深 z における水粒子の z -方向速度とし、短時間を考えて熱拡散係数を無視すると熱量保存の方程式より $w = -(\frac{\partial \theta}{\partial x}) / (\frac{\partial \theta}{\partial z}) \quad \dots\dots (6)$ が得られる。従って水粒子の z -方向移動距離は近似的に $L = \int_t w \, dt \quad \dots\dots (7)$ で与えられる。(6)、(7)式を用いてA点の水粒子 z -方向移動巾を求めるに、 $L_{x=90\text{m}} = 47.4 \text{ cm}$ を得る。但し図-3中に記した4~4印間で計算した平均値である。この値はA点での密度不連続面の昇降量と見られ、湖岸に換算すると $L_{x=0} = 64.4 \text{ cm}$ を得る。この値を(2)式に用いると ζ の振巾 $(1 - \frac{1}{\beta})H = 32.2 \text{ cm}$ 、これから $H = 0.037 \text{ cm}$ 、湖中央B点における上下層の x -方向最大平均流速は $u_{\max} = \pm 4.41 \text{ cm/sec}$ 、 $u'_{\max} = \mp 1.89 \text{ cm/sec}$ を得る。次に内部静振による躍層面の安定性を検討してみる。Kenelagan は下層が静止している二層流の境界面の安定性を論じて、いわゆる Kenelagan 数 $\Theta = Re^{-\frac{1}{2}} \cdot Fi^{-\frac{2}{3}}$ (こゝに $Re = u_1 h_1 / \nu$ 、 $Fi^2 = u_1^2 / g \frac{\Delta \rho}{\rho} h_1$ 、添字 1, 2 で上下層の値を表示、 ν :動粘性係数、 $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$ である)を提案し $\Theta \leq 0.178$ で不安定、すなわち混合が起るとした。また Rouse は $Re \cdot Fi^{\frac{1}{2}} \geq 440$ で不安定とした。内部静振では上下層が互に逆方向に流動しているが、 u_1 として上下層の相対速度を採れば同じ指標を用い得る。従って u_1 に湖中央B点における上下層最大速度差 $u - u' = 6.3 \text{ cm/sec}$ を与えると $\Theta = 0.0414$ 、 $Re \cdot Fi^{\frac{1}{2}} = 2350$ となり、いつも不安定領域に入っていることを示している。内部静振では節となるB点にかなりの水温変動が見られるのは、この上下層の水平流動により誘起される内部波が一原因を与えているものと考えられる。内部波を起すもう一つの原因は上層厚がかなり薄いため表面波の乱れが躍層面まで達することによると思われる。風速が大となる17時以降は表面波の乱れが主原因で湖内を完全混合に至らめたと考えられる。

図-1 大野池平面図
B.C:測定地点





これまでは密度、流速ともに上下層で一様として内部静振を考察してきたが境界面の安定性を考える場合は Richardson 数が問題となるので今後の課題として密度、流速の連続的变化を考慮すべきである。