

水資源の逼迫に伴い河口あるいは湾口を締め切り流入する河川水を貯留しようとする計画が各地で進められている。淡水化予測のためにはその過程に存在する成層状態の風による混合に関する問題をほかに成層流体の物理学的挙動を把握する必要がある。ここでは温度成層の顕著な大野池において内部静振を実測に報告する。

1. 実測

大野池は鳥取県東伯郡大山町(大山々麓北斜面)にあり、総貯水量 144.00 m^3 、満水面積 6000 m^2 、水深約 2.4 m の極く小規模の灌漑用溜池である。(図-1) この池は地表流入水は殆んどなく池底からの僅かの湧水(水温約 13°C)で涵養されており、この規模の貯水池としては珍しく夏期の水温度成層が顕著に現れる。実測は昭和56年8月7日～9日にかけて実施され、池内A, B, C点で各層の水温を自記せるとともに、C点水面上 20 cm で気温、D点水面上 1 m で風向風速を記録した。観測期間中の天候は7日の日中は曇り、夜半から8日早朝にかけて激しい風雨、8日日中は曇りながら薄日の射す穏やかな天気であった。

2. 実測結果と考察

温度計(サーミスタ、熱電対)の設置深を決めるため測定の鉛直水温分布によると成層状態は深さ 50 cm までは一様温度 21°C の表水層、それより下層は池底まで水温鉛直傾度は一定の変水層より成っていた。このため温度センサーは深さ 50 cm から 30 cm 間隔で6層に、記録層に余裕あるC点では 15 cm 間隔で12層に設置した。図-2に風向風速、気温およびA, B, C点における各水深の水温の経時変化を示す。図-2から読み取り得る事柄を列記すると次のようである。C点で8日0, 3, 8時前後の時刻には全層が表層水温に等しい。また7日18時～8日12時迄のAとC点の各層水温を比較すると総体的にC点よりA点の方がかなり高く、その時期における風向風速を考慮するとAからCに向う風速成分が大きく、表水層がC方向に吹き寄せられた結果であることが解かる。A, Cにおける 2.0 および 1.7 m 深の水温が大きく周期的(周期 $T=3$ 時間 $10 \sim 20$ 分)に変動しているに対し、池中央のB点の水温変化は相対的に変動振幅周期ともに小さく明確な周期性を認め難い。またA, Cの水温変動を比較すると、一方が上昇する時刻に他方は下降しており、両地点の長周期温度波動は互に逆位相となっている。従ってA, B, Cの池内位置と水温変動を考慮すると、池中央に節、両端に腹を有する内部静振が発生していることが窺える。更に8日20時以降のA, C点の水温変動を見るに、振動周期が非常に長く(周期 $T=6$ 時間)、かつ上層($80 \text{ cm}, 110 \text{ cm}$)と下層($170, 185, 200 \text{ cm}$)の水温変動は全く逆で、上層が上昇する時刻、下層は下降している。同時刻のA, Cのものを比較すると互いに逆転している。このことは池中央に節をもつ単節の内部静振であっても、上中下層の三層構造をもつ内部静振となっていることが解かる。

次に理論的考察を加えてみる。静振が池の長軸方向のみに起ると仮定して、 $x=0, l$ に鉛直境界をもつ、深さ h の矩形池内の二次元運動を考える。静水面に原点、鉛直下方に z -軸をとり、静水状態の鉛直方向密度傾度を一定として、

$$\rho = \rho_0 (1 + \beta z/h) \quad \dots (1)$$

で表わされるとき、微小項は省略して、体積と質量の連続式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots (2) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0 \quad \dots (3)$$

と運動方程式 $\frac{\partial u}{\partial t} = -(\beta/g) \frac{\partial p}{\partial x} \quad \dots (4)$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho g \quad \dots (5) \quad \text{を基礎式として、} x=0, l$$

で $u=0$ とする時間的周期解をとり変数分離の解が

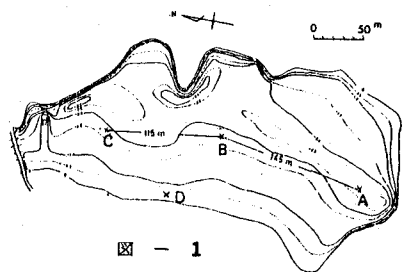


図 - 1

$u = W(z) \cdot \sin \frac{\pi}{2} x \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \cdots (6)$ の形に書けるものとして解いて、 $W(z) = C \cos \frac{2\pi}{d}(h-z)$ を得る。ただし、 C は定数、 $2\pi/d = (gT^2/4l^2h_1)^{1/2} \quad \cdots (7)$ であり、便宜上導入された係数である。 d の物理的意味は u の鉛直分布の波長に対応する。他の量も容易に求められ

$$w = \frac{d}{2l} C \cos \frac{\pi}{2} x \cdot \sin \frac{2\pi}{d}(h-z) \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \cdots (8) \quad \zeta = \frac{dT}{4\pi l} C \cos \frac{\pi}{2} x \cdot \sin \frac{2\pi}{d}(h-z) \cos \frac{2\pi}{T} t \quad \cdots (9)$$

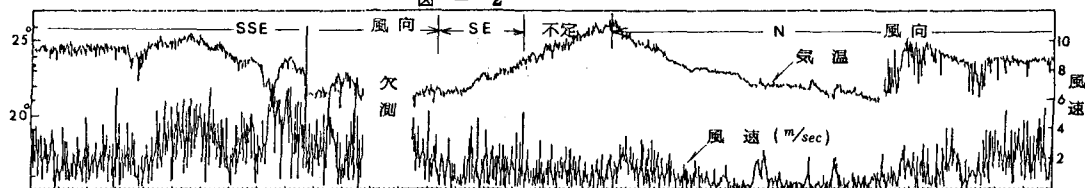
$$p = p_a + \rho_0 g \left(z + \frac{1}{2} \frac{z^2}{h_1} \right) + \frac{\rho_0 d^2 T}{8\pi^2 l^2 h_1} C \cos \frac{\pi}{2} x \cos \frac{2\pi}{d}(h-z) \cos \frac{2\pi}{T} t \quad \cdots (10)$$

ここで、 $z=0$ では $p = p_a + \rho_0 g \zeta$ 。 (ζ は静水位置よりの水粒子の高まり、 $w = -\partial \zeta / \partial t$) であるから (9)、(10) を代入すると d のとり得る条件式として次式を得る。 $\frac{2\pi h}{d} \tan \frac{2\pi h}{d} = \frac{h}{h_1} \quad \cdots (11)$

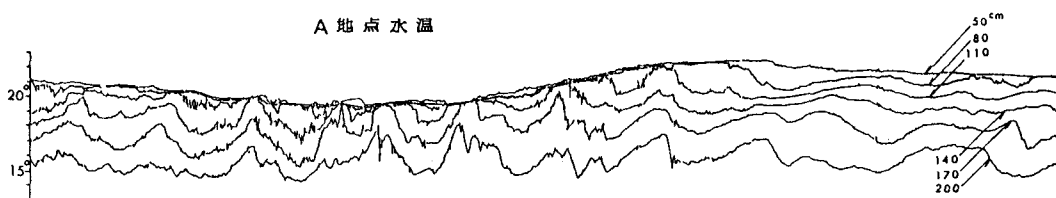
鉛直密度傾度を規定する h_1 は一般に非常に大きな値をもち、 $h/h_1 \approx 0$ である。故に (11) は d の大きな値に対して、 $(2\pi h/d)^2 = h/h_1$ と近似され、(7) から $T = 2l/\sqrt{gh} \quad \cdots (12)$ となり、池全体が一緒に振動する静振を示す。 d の有限な値に対しては $\tan(2\pi h/d) = 0$ であれば (11) を近似的に満たす。即ち、 $2h/d = 1, 2, \dots, n, \dots$ であればよい。 $d = 2h/n$ ($n=1, 2, \dots$) を (6)、(8)、(9)、(10) に代入して内部静振の解を得る。この時 (7) から内部静振の周期として次式を得る。 $T = 2n\pi \frac{l}{h} (h/g)^{1/2} \quad \cdots (13)$

次に、大野池について静振周期の概算を行おう。池水密度は線形に分布するとし $z=0.8$ m で $\rho_{\text{top}} = 0.9982336$ 、 $z=2.0$ m で $\rho_{\text{bot}} = 0.9991286$ とすると、 $h_1 = 1340$ m となる。池の長軸 $l = 380$ m、 $h = 2.4$ m とすれば (13) から、 $n=1$ で $T = 194$ min、 $n=2$ で $T = 388$ min となり、実測に現われている内部静振のものとかなりよく一致している。 [参考文献] Proudman, J. (1953): Dynamical Oceanography, Methuen

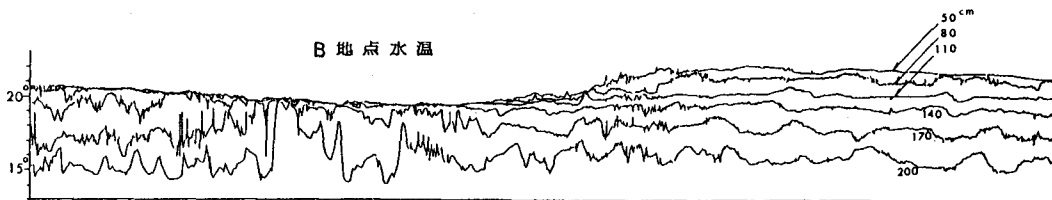
図 - 2



A 地点水温



B 地点水温



C 地点水温

