

II - 273

密度層界面における安定性の検討

東京理科大学大学院

学生員 石川 賢

東京理科大学理工学部土木工学科

正会員 大西 外明

電源開発（株）

正会員 喜多村雄一

1. 研究の背景と目的

貯水池の環境問題は、密度成層が発達したことによる貯水池の流動及び生物系の挙動にかなりの影響を及ぼしている。貯水池に於ける池水の密度分布特性は、基本的に1年間のサイクルで熱伝導により決まってくるが、比較的短い期間（1日・1週間）でも、大気圧・風・流入・流出などによっても層の分布は変化する。このように貯水池のメカニズムは、短期間から長期間までさまざまなサイクルが存在している。池水の密度分布が貯水池の流動特性を支配することは、従来の研究から知られているが、これら既存の研究は、主に室内実験・数値解析などの方法によって行われ、現地データを基にした研究はほとんどないのが現状と考えられる。そこで本研究は、密度成層内の流れや、それに伴う物理量を現地データより解析し、界面の安定性に着目して検討することとした。

2. 現地データと解析方法

表 1. 現地データ概要

今回、解析に用いたデータは、成層型の K 貯水池における水深 5.0m 間隔で、1日2回（午前5時と午後2時）、1回の測定で4秒毎に30個採取した濁度・水温・流速データである。

海抜水位 (m)	濁度 (ppm)	水温 (°C)	流向 (度)	平均流速 (cm/s)	下流向流速 (cm/s)	右岸向流速 (cm/s)	鉛直流速 (cm/s)
290.69	7.5	24.6	123	4.5	-2.4	3.8	4.2
290.00	7.8	19.9	183	4.8	-4.8	-0.3	4.6
285.00	24.8	16.8	116	6.1	-2.7	5.5	4.5
280.00	31.7	16.6	108	7.0	-2.2	6.7	4.3
275.00	45.4	16.4	112	6.3	-2.4	5.8	4.3
270.00	53.2	16.2	119	7.2	-3.5	6.3	4.1
265.00	54.7	16.0	111	6.6	-2.4	6.2	4.3
260.00	54.5	15.9	103	6.7	-1.5	6.5	3.8
255.00	52.6	15.8	88	6.7	0.2	6.7	4.4
250.00	40.7	15.1	42	5.2	3.9	3.5	4.6
245.00	6.7	7.7	38	5.1	4.1	3.1	4.5
240.00	5.2	6.9	51	4.9	3.0	3.8	4.1
235.00	4.8	6.6	84	4.5	0.4	4.5	4.2
230.00	5.5	6.5	105	4.5	-1.2	4.3	4.5

また密度界面の安定を検討するため、この貯水池で比較的成層安定状態を保っている、7月上旬のデータを使用した。（表1）貯水池内の密度界面の安定を検討するため、本研究では、各水深でのレイノルズ応力・リチャードソン数・渦動粘性係数を求めている。

$$\tau = -\rho \overline{u'w'} - \overline{u'\rho'} \ell: \text{密度変化のあるレイノルズ応力} \quad R_i = -g \frac{\partial \rho}{\partial z} / \rho \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2: \text{リチャードソン数}$$

$$-\rho \overline{u'w'} = \rho \ell^2 \left| \frac{d\overline{u}}{dy} \right| \left| \frac{d\overline{\rho}}{dy} \right| \quad \epsilon = -\overline{u'w'} / \frac{d\overline{u}}{dy}: \text{渦動粘性係数}$$

R_i : リチャードソン数, τ : レイノルズ応力, ϵ : 渦動粘性係数, ρ : 密度, ℓ : 混合距離, u', w' : 速度変動, g : 重力加速度

3. 結果と考察

まず流速分布について検討する。図1は観測地点における最も取水口に近い地点で得られた主流方向の流速の鉛直分布である。海拔水深245mを境界として流れの変化が急変しているのが分かる。これはEL245mに設置されている取水口の影響により、この上層の水が引き込まれているためであると考えられる。また表1に示すように、この界面付近で濁度や

図 1. 主流方向流速分布

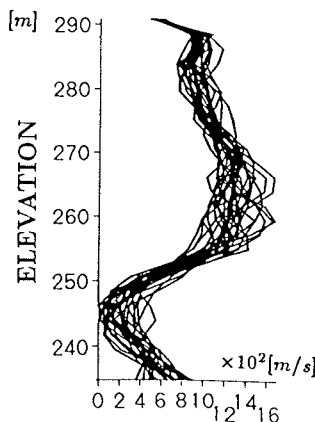


図 2. リチャードソン数

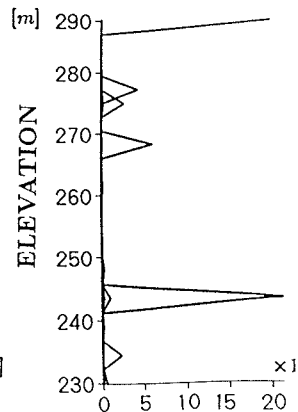


図3. 鉛直方向流速分布

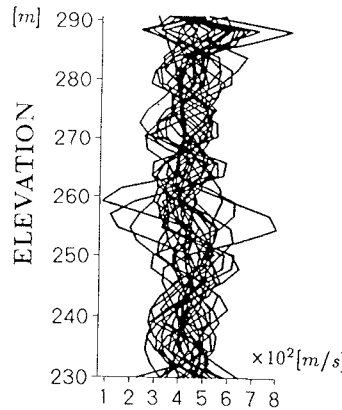
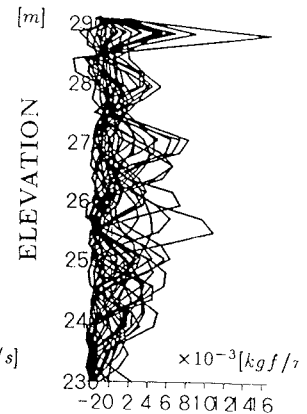


図4. レイノルズ応力



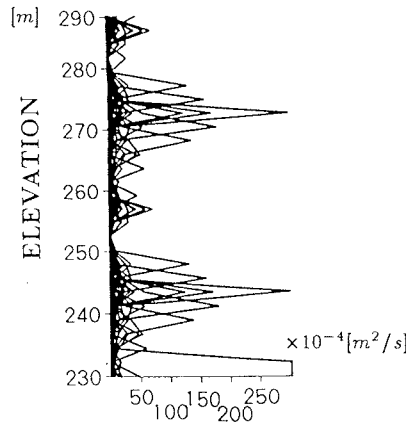
水温も急激に下がっており、上層の数値との間に顕著な相違が現われている。比較的安定した界面であると判断される。

図2は、現地データを基に求めたリチャードソン数の鉛直方向の変化を示しているが、この図から分かるように EL245m 付近で大きな値となっており、安定性が高いことを示唆している。なお、水面付近でも大きなリチャードソン数をもつ薄い層が認められるが、これは水面付近に存在する薄い密度層に起因し、これは水面での温度上昇より密度が低下した為と考えられる。

レイノルズ応力の計算については、密度変動のある乱流運動に伴うレイノルズ応力を採用した。これを用いたのは密度変動も応力を引き起こす原因となるという観点からである。しかし、今回の観測で得られた密度変動が小さすぎたため、実際は流速変動だけしか数値に影響を及ぼさなかった。これを確かめるのに流速の鉛直成分の各水深における値を求めた結果が図3と図4である。この図から水面付近での鉛直流速の変動が大きく出ているのが確認できた。また、EL240~260mの間の界面層の上下で激しい変化が見られた。これは界面上下でのレイノルズ応力に対応しているが、その値は $1.0 \times 10^{-3} (kgf/m^2)$ 程度であった。

最後に各水深の渦動粘性係数を検討した。図5は、その時の結果を示す。なお、図5に示した計測時の前後で観測したデータにも同じ様な結果が得られた。特に EL245m 付近は上述のとおり界面層上下での乱れであると言えるが、EL275m 付近の値も常にどの計測にも存在し1次の特異な現象であるとは言い難い。これは EL275m 付近の流れに上流などからの流入水や表層取水による為であると考えられる。

図5. 渦動粘性係数



4. 総括

以上より密度界面の安定性は巨大な貯水池の生態系や流動現象に大きな影響をもたらしていると考えられる。夏期での比較的安定した状態における短期間における解析は、各水深のレイノルズ応力やリチャードソン数・渦動粘性係数の値を求める事により、貯水池の流れというものが密度界面の存在に左右されている事を明らかにした。そして今回用いたデータで存在を確認できた標高水深 245m 付近の密度界面において、この上下でのレイノルズ応力が $1.0 \times 10^{-3} (kgf/m^2)$ 程度と評価でき、この値は当初予想していた値より小さいものであった。今後は、いろいろな時間スケールより各水深の界面の安定性を検討すると共に、貯水池における界面の影響力を追求していきたいと考えている。