

1. 緒言 貯水池内の輸送現象を定量的に把握するため、これまでに、密度成層場における温度分布、拡散係数や躍層の位置低下などの混合機構について考察を進めると同時に、実際の貯水池における温度物質の挙動について検討してきた。本論においては、これらの問題を考察するうえで最も基本的な流速分布・水温分布について、主に、表層流れの場合を対象として若干の実験的考察を行う。

2. 実験¹⁾ 実験用水路は、幅 35 cm、下流端逆樋の深さ 70 cm の長方形断面をもつ全長 23 m のもので、路床には $\frac{1}{100}$ のこう配がつけられている。表層流れに因しては、水路下流端の越流せいの高きまで冷水と温水した後、上流端から温水を流入させる方法で、8 ケースの実験がなされた。温水と冷水の水温はそれぞれ 26~29℃、16~18℃で流量は 1~4 分の範囲で行われ、流速は水素気泡法により、水温はサーミスタ温度計で計測されている。

3. 流速分布 図-1 に、下流端から 4.3 m ($X=4.3$ m) 地点で計測された流速分布と $X=5.8$ m 地点で計測された水温分布の結果が、流量の小さいものから順次示している。図において、凡例は水面から測った躍層面の位置で、右軸は鉛直下向きにとっている。水温分布は躍層面の水温 $T(h_L)$ を規準にして示されている。

まず、流速分布についてみると、地表面逆樋の安定な大気成層場が認められているような $\log$ -linear もしくは $\log$ 則がかなり広い領域で成立しているように思われる。水温分布との関連性から検討してみると、流量の小さい (a), (b) の結果は、自由表面逆樋まで水温こう配が存在し、躍層面上方の全領域にわたって上述の分布則が成立しているが、流量の大きい (c), (d) のものは水面逆樋で流速は一般化するが、逆に減少する傾向がみられる。本実験の場合、 B/h_L (B : 水路幅) が $1/9 < B/h_L < 5$ の範囲にあり、図示の全ての結果に対して側壁の影響が現われることが予想される。しかし、(a), (b) の結果にはその影響がほとんどみられず、(c), (d) のものには顕著にみられる。(したがって後者の場合、表面付近で水温こう配がほとんどないため、二次流が容易に形成され、表面逆樋でその影響が顕著に現れているものと思われる。以上のふうに考えると、 B/h_L が十分大きい (a), (b) の結果のように水温境界層が水面付近まで発達しているような場合には、上述の分布則によりかなり高い精度で分布形が表示されるものと推察される。さらに、(1) 式の $\log$ -linear 項 $\alpha \ln \frac{z}{z_0}$ は通常は程々大きくないことが予想されるので、 $\log$ 則のみによって十分表示されよう。

なお、 $\log$ -linear 則は次式で表される。

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left(\ln \frac{z}{z_0} + \alpha \frac{z}{L} \right) \quad (1)$$

ここに、 $z = h_L - z$ 、 α : 係数、 L :

安定度長、 z_0 : 粗度長、 κ : カルマン定数。

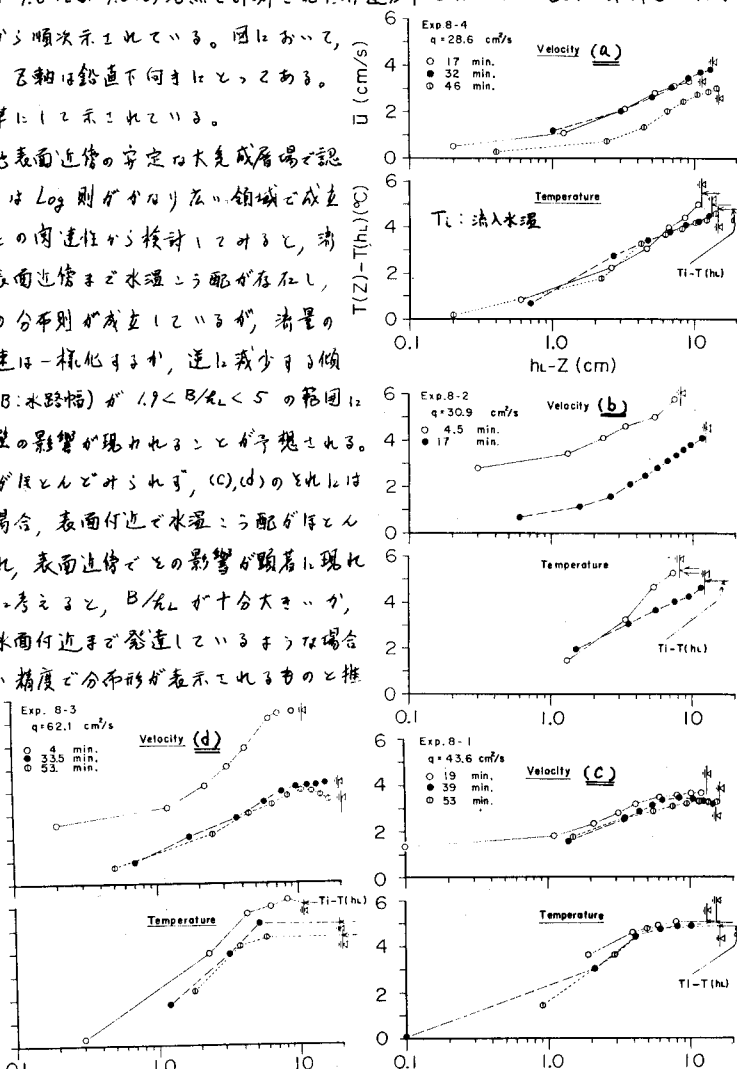


図-1. 流速分布と水温分布

つぎに、流速分布を Log 則 (4) 式で $L=\infty$ の場合 (2) 式で表した場合の相対長さ z/L について、次式で表される界面抵抗係数に関する定数の式を用いて換算してやる。

$$f_i = 0.2 \varphi^{-0.5}, (\varphi = F_i^2 Re, F_i: \text{内部フルド数}, Re: \text{レイノルズ数}) \dots (2)$$

(1), (2) 式により、相対水深に相当する量 z/L の φ の関数として、

$$z/L = \exp [\sqrt{0.8 \varphi} + 1] \dots (3)$$

のようにならされる。この関係について、たゞパラメータとして示すと図 2 のようである。図中には図 1 から求められる結果も同時に示してあるが、実験値も (3) 式とほぼ同様の傾向を示し、たゞ定まると、 z/L は φ のみによって規定される。

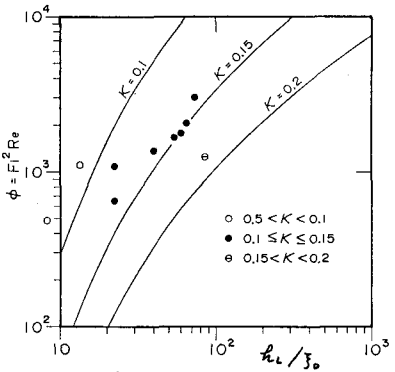


図-2. z/L と φ の関係

4. 水温境界層と水温分布 著者がこれまでに行った実験においては、全この場合について水温境界層の発達が顕著にみられた。図 3 にその一例として、上・下断面 ($X=14, 5.8$ m) で測定された水温分布を示すと共に、境界層の発達状態をみるため、同水温を示す位置を線で結んで示している。図示のよう、明らかに境界層の発達が見られる。任意断面における水温分布については、上述の水温境界層の発達段階を考慮した考察が必要である。このような水温境界層の発達過程は、レイノルズ数および乱流強度にによって規定されるが、図 1 (c) (d) の結果のように側壁の影響が顕著な場合には、これによる効果も考慮する必要がある。このようなことも念頭に置き、図 1 の結果を検討してみると、水温境界層が十分発達した領域における水温分布については、流速分布と同様、Log 則が Log-linear 則によって表示される可能性のあることが推察される。

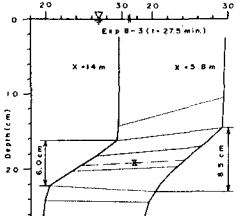


図-3. 水温境界層

5. 中層清水の流速分布 図 4 に、水温一定の条件下で Line Sink により放水した場合の流速分布と水温分布に関する実験結果の一例が示されている。同図において縦軸は取水口の位置 (Z_s) で無次元化しており、流速は取水口軸の延長線上の流速で無次元化されている。また、図中には $\sigma=0.5 Z_s$ のガウス分布曲線も示されている。流速分布形は、初期の段階において水温分布の初期条件に強く影響された形状になり、時間の経過に伴い、表層と主躍層の位置に変化される形状になる。分布形の分散は中間層の水温こう配より、むしろ中間層の厚さに規定される。最大流速点の位置は、下流端のごく近傍を除くと、 Z_s の位置に出現せず、中間層 (主流動層) の中間点付近に集まるようである。

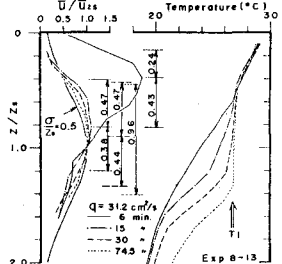


図-4. 中層清水の流速分布の一例 ($X=4.3$ m 断面)

6. 結語 以上、表層清水について主な考察したが、運動量および熱量フラックスが一定の条件を満たしていなければならぬ大気成層流場における分布則が、この種の流れにも適用される可能性の高いことが示された。しかしながら、Log 則によって流速・水温分布を表示できるとしても、カルマン定数や buoyancy flux および heat flux とどのように関連するかの問題がある。これについては今後検討しなければならない。水温境界層の問題は、前述したような重要性があるばかりでなく、躍層の厚さなどを議論するうえで極めて重要であるように思われ、現在、その発達過程について考察中であるので、結果については講演時に述べるつもりである。

最後に、本研究は一部文部省科学研究費 (代表 足立昭平 名大教授) の補助を受け、ここに記して感謝の意を表すると共に、実験などでお世話になった京都大学防災研究所 吉田要則教授 ならびに京都大学大学院学生 古谷俊君 に対して感謝する。

参考文献 1) 若田・江頭: 密度躍層のある場における渦水の挙動に関する研究 (3) - 清水と混合機構 -, 防災研年報, 昭 62. 4. 2) 土木学会編: 水理公式集, 昭 46 年改訂版, オークブック.