

京都大学大学院 学生員 白畑 智孝
 京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 広島大学工学部 正 員 細田 尚

1. 序論; 本研究は、 k - ϵ モデルを Buoyant Surface Jet に適用し、数値解析を行なったものである。その際、水温分布の成層化過程に及ぼす境界条件の影響を考察し、温水を用いた実験結果と比較検討した。

2. 数値解析法と結果の考察; 解析モデルには、Reynolds 応力、熱Fluxの閉係式に、Launder⁽⁴⁾が導いた次のような結果を用いた。(u' , v' ; x , y 方向の乱れ速度、 R_f ; Flux Richardson 数)

$$\frac{\overline{u'^2}}{k} = 0.94 + 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f} \quad (1) \quad \frac{\overline{v'^2}}{k} = 0.53 - 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f} \quad (2) \quad -\overline{u'v'} = \beta \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial U}{\partial y} \quad (3)$$

$$-\overline{u'T'} = \phi_r (1 + 0.5 \gamma / \rho) \frac{\overline{u'v'} k}{\epsilon} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4) \quad -\overline{v'T'} = \gamma \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (5) \quad \delta = \phi_r \frac{1.59 - 5.22 R_f}{1.59 - 2.82 R_f} \quad (6)$$

$$\frac{\beta}{\gamma} = \phi_r = \frac{\phi}{\phi_r} \frac{1 + 0.8 \phi_r B - 0.5 \phi_r^2 B}{1 + \phi \phi_r B} \quad (7) \quad B = \frac{1}{\phi_r} \frac{R_f (1.59 - 2.82 R_f)}{(1.59 - 5.22 R_f) (0.53 - 0.94 R_f)} \quad (8)$$

上記の(1)~(8)式と k - ϵ 方程式を連立して、解析を行なった。基礎式は次のようになる(Boussinesq 近似を用いる)。

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9) \quad p = \rho \int_y^h \rho dy \quad (10)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (-\overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (-\overline{u'T'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\overline{v'T'}) \quad (12)$$

$$\frac{\partial k}{\partial x} + U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = -\overline{u'v'} \frac{\partial U}{\partial y} (1 - R_f) - \epsilon + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial k}{\partial y} \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial x} + U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} (-\overline{u'v'}) \frac{\partial U}{\partial y} - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) \quad (14)$$

解析法は、岩佐・松尾・俞⁽⁵⁾が貯水池の解析を用いた explicit 法を用いた。定数の値は、 $C_{\mu} = 0.09$, $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.3$ ⁽⁴⁾を用いている。ただし、 ϵ_0 , k_0 については、 $\epsilon_0 h_0 / U_0^3 = 1.33 \times 10^{-3}$, $k_0 / U_0^2 = 0.015$ とした。境界条件は、すべての場合について放出口の流量 Q_0 を一定とし、水面こう配はゼロ $\partial/\partial x|_{x=0} = 0$

とした。また下流端は水位を一定とし、Run.1では図-1(a)に示したように流速 U 、温度 T 、乱れエネルギー k 、エネルギー散逸率 ϵ のこう配を $\partial U/\partial x$, $\partial T/\partial x$, $\partial k/\partial x$, $\partial \epsilon/\partial x|_{x=L} = 0$ とした。Run.2では、図-1(b)に示したように下流端にせきがあるとして、 $\partial T/\partial x$, $\partial k/\partial x$, $\partial \epsilon/\partial x|_{x=L} = 0$ とし、流速は上層二層から上流端放出口と同じ流速を与えた。Run.3では図-1(c)に示したように、Bu

oyant Surface Jet の実験において行なわれているように連行水の補給を下流端下層二層から行なった場合を設定した。水路床ではどの場合も底面せん断力を無視した。

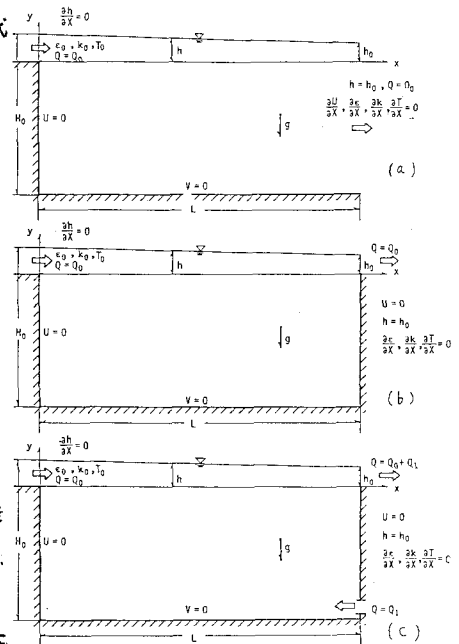


図-1 境界条件

表-1 数値解析のパラメータ

	Fr _d	$\epsilon_0 h_0 / U_0^3$	k_0 / U_0^2	H_0 / h_0	L / h_0	Q_1 / Q_0	boundary condition
Run. 1	4.29	1.33×10^{-3}	0.015	15	30		a
Run. 2	4.29	1.33×10^{-3}	0.015	15	30	0	b
Run. 3	4.29	1.33×10^{-3}	0.015	15	30	0.62	c

数値解析の水理諸量を表-1に示す。またRun 2では、各水理諸量の時間的変化が十分小さく、なところ擬似定常状態とみなした。定常、擬似定常状態での水温分布を図-2に示す。Run 1では、放出口付近から下流まで直線的に変化するが、Run 2では下流にいくにつれて、きりと水温が成層化するようになる。Run 3では、Run 2より弱い成層化がみられる。Run 1、Run 2の流速分布を図-3に示す。Run 1では水温分布と同様に直線的に変化し、下層で弱い逆流が生じている。Run 2では温度こう配が急な部分で逆流が生じている。図-2で示した水温の成層化は、この温水の逆流によって生じていると考える。以上の結果より、境界条件の違いにより計算結果に大きな違いが現われることがわかる。

3. 実験とその結果; 実験は、全長4.0 m、深さ30 cm、幅10 cmの一様長方形断面水槽を用いて行なわれた⁽⁴⁾。また従来の実験的研究にならう、本実験においても連行水の補給を下流端下層から行なった。記録には、データレコーダーを用い、後にAD変換により水温変動を求めた。実験の水理諸量を表-2に示す。実験の結果得られた水温分布、水温変動分布図を図-4に示す。水温分布は放出口付近では、直線的な分布を示しているが、下流にいくにつれてはきりと成層化するようになる。また水温変動強さは、いずれの断面についても、水温変化のこう配が大きいところで顕著なピークをもつ。

4. 実験と数値解析との比較; 2節で述べた数値解析モデルの妥当性を検討するため、水理諸量を実験に合せて数値解析を行なったRun 4では、2節のRun 1と同様に下流端の水理諸量のこう配をゼロとした。Run 5ではRun 3と同様にし、実際の実験で補給した水量を下流端下層から放出させた。結果を図-5に示す。Run 4では実験でみられる水温の成層化が再現されていない。Run 5では、放出口付近では下層まで水温が高くなっており、成層厚についても実験結果との差が認められる。しかし、自由表面下で水温が直線的に変化する領域から水温の明瞭な成層化が確認される

領域への移行は、おおむね実験を再現していると言える。

最後に、本研究にあたって、適切な御助言をくださった松井健一氏に謝意を表します。

参考文献 1)Lauder, J.F.M., J.A.S., Vol.32 2)岩佐・松尾・翁, 京大防災年報22B-2 3)Kollmann; Hemisphere Pub. Coop., 1979 4)松井・岩佐・細田 年講 1984

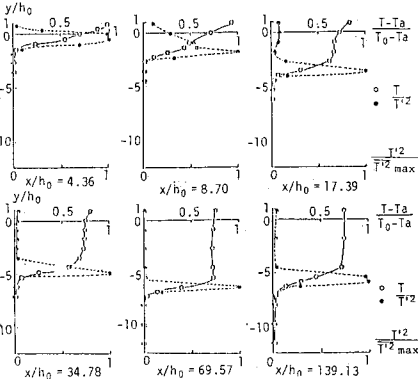


図-4 水温、温度変動強さの分布

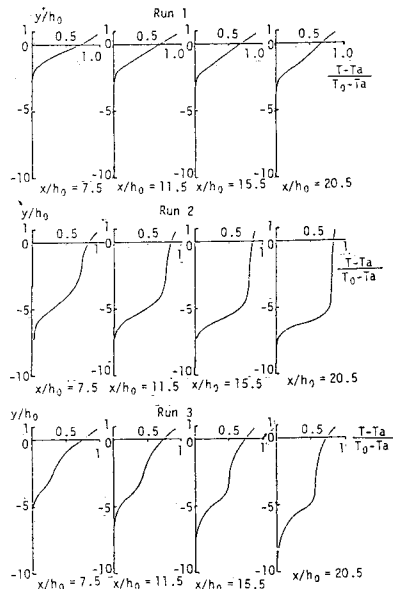


図-2 水温分布

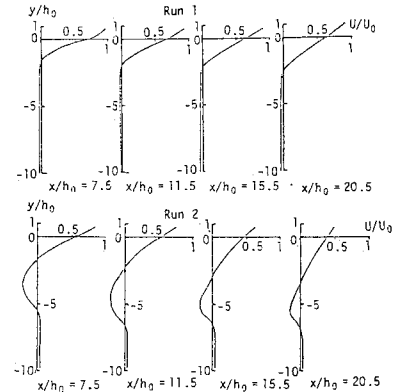


図-3 流速分布

表-2 水理諸量

	h_0 (cm)	U_0 (cm/s)	T_a (deg)	T_0 (deg)	$\frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_a}$	Fr _d	Re
Exp. 1	1.15	10.59	13.3	34.3	5.12×10^{-3}	4.41	1650

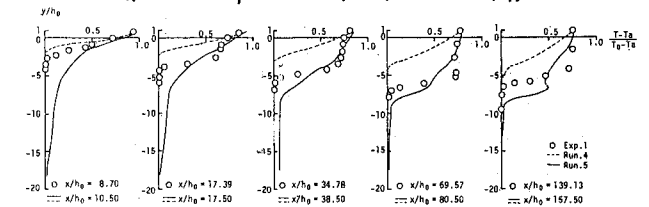


図-5 実験と数値解析の比較