

京都大学大学院 学生員 松井健一
 京都大学工学部 正 員 若佐義朗
 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、数値解析を行う。さらに、解析結果と実験結果とを比較することにより、k-εモデルの適用性を検討する。

2. Buoyant Surface Jet; Surface Jet において、放出される流体と周囲の流体との間に密度差があるとき、Buoyant Surface Jet と呼ばれる。概念図を Fig. 1 に示す。

従来、一次元解析法により放出口付近の噴流の特性を解析した Koh¹⁾、玉井²⁾の研究があり、変動量の計測も Chu・Vanvari³⁾、椿・小松⁴⁾ によってなされている。本研究では、k-εモデルを用いて、鉛直二次元流れとしての解析を行い、領域全体の流れの特性について検討する。

解析法を述べる前に、解析の妥当性を検証する資料として、著者らが行った実験結果について述べる。

3. 実験の概要; 本実験は、京都大学工学部土木総合館地階水理実験室で行われた。実験装置を Fig. 2 に示した。実験は内部跳水が、おこらないように十分注意した。水理諸量を Table 1 に示した。表層水温の減衰について示したのが Fig. 3 であり、内部 Froude 数が大いほど水温の減衰も大きい、流下距離が増大するにつれて、どちらも一定値に漸近している。同一の無次元距離での水温の鉛直分布を示したのが Fig. 4 である。放出口付近では水温はどちらも直線分布を示すが、内部 Froude 数 Fr_d の小さい Exp. 1 では、流下距離の増大とともに水温の成層化が見られる。

4. 解析モデル; Launder は、Reynolds 応力、熱 flux の関係式に、Reynolds Stress Closure の近似を用いて次のような結果を示している。

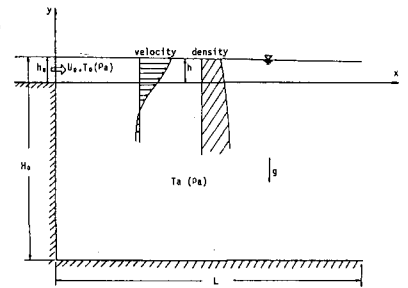


Fig. 1 概念図

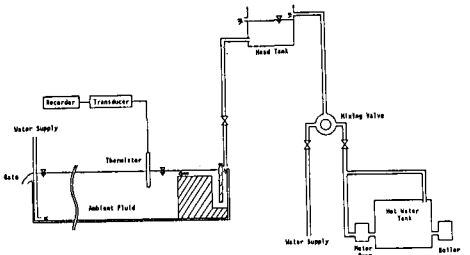


Fig. 2 実験装置

	h_e (cm)	U_e (cm/s)	T_a (deg)	T_e (deg)	$\frac{\rho_a - \rho_e}{\rho_a}$	Fr_d	Re
Exp. 1	1.07	6.46	11.7	23.6	2.16×10^{-3}	4.29	750
Exp. 2	0.74	15.36	11.8	28.3	3.39×10^{-3}	10.07	1360

Table 1

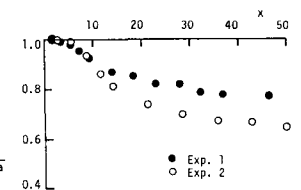


Fig. 3

$$\frac{\overline{u'^2}}{k} = 0.94 + 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f} \quad (1) \quad \frac{\overline{v'^2}}{k} = 0.53 - 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f} \quad (2)$$

$$-\overline{u'v'} = \beta \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial U}{\partial y} \quad (3) \quad -\overline{v'T'} = \gamma \frac{\overline{v'^2} k}{\epsilon} \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4)$$

$$\gamma = \phi_T \frac{1.59 - 5.22 R_f}{1.59 - 2.82 R_f} \quad (5) \quad \frac{\beta}{\gamma} = \phi_T = \frac{\phi}{\phi_T} \frac{1 + 0.8 \phi_T B - 0.5 \phi_T^2 B}{1 + \phi \phi_T B} \quad (6)$$

ここに、 u' , v' ; x , y 方向の乱れ速度, R_f ; flux Richardson 数。また、 $\frac{T - T_a}{T_e - T_a}$ B は Launder が導いたパラメータで、 R_f と次のような関係がある。

$$B = \frac{1}{\phi_T} \frac{R_f (1.59 - 2.82 R_f)}{(1.59 - 5.22 R_f)(0.53 - 0.94 R_f)} \quad (7)$$

gradient Richardson 数 Ri は R_f と $Ri = \phi_T R_f$ の関係があるので、(6) 式より、 R_f と Ri が関係づけられ図示すれば、Fig. 5 のようになる。図には、Mellor⁶⁾ の研究をもとにした Yamada⁷⁾ の関係式も示した。

上記の結果は、流速、水温のほかに、 k 、 ϵ を含み、Gibson-Lauder⁸⁾が行っているように、 k - ϵ モデルを連立して解析を行うことができる。
5. 解析法と結果の考察；基礎式は次のようになる。

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (8) \quad p = g \int_y^R \rho \, dy \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_e} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (D_{mx} \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{my} \frac{\partial U}{\partial y}) \quad (10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_{Tx} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_{Ty} \frac{\partial T}{\partial y}) \quad (11)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = D_{my} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 (1 - R_f) - \epsilon + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{D_{my}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = C_{e1} \epsilon D_{my} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - C_{e2} \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{D_{my}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right) \quad (13)$$

$$D_{my} = \beta \frac{k^2}{\epsilon} (0.53 - 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f}), \quad D_{Ty} = r \frac{k^2}{\epsilon} (0.53 - 0.41 \frac{R_f}{1 - R_f})$$

解析法は、岩佐・松尾・俞が貯水池の解析に用いたexplicit法を用い、境界条件は、出口での流量を一定で、水深のこう配が $\partial \eta / \partial x = 0$ とし、下流端では、水位が一定で、水理量のこう配を、 $\partial U / \partial x, \partial T / \partial x, \partial k / \partial x, \partial \epsilon / \partial x = 0$ とした。数値解析の水理諸量は、Exp.1と同一とした。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、その他の定数は、Surface Jet⁹⁾の場合と同一とした。

表層水温の定常化過程をFig.6に示した。若干の振動を示しながら定常状態に漸近しているのがわかる。次に定常状態での表層水温の減衰過程をFig.7に示した。実験値と計算値はよく適合しているのがわかる。水温の鉛直分布の比較を

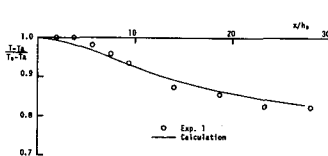
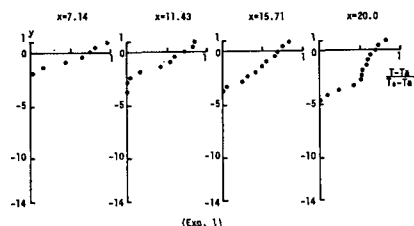


Fig.7 表層水温の減衰

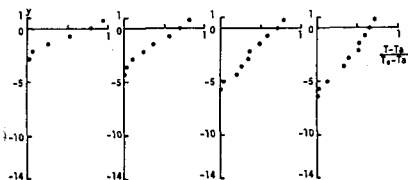
Fig.8に示した。 x/h_0 が小さい領域では計算値と実験値はよく適合しているが、放出口から離れるにつれて、計算では実験にみられるような水温の成層化過程が表わされていない。

Fig.9に、流速、乱れエネルギー、エネルギー散逸率の鉛直分布の例を示した。流速分布には弱い逆流が生じている。また、 k 、 ϵ ともに、表層より少し下がったところで極大値を示すような分布形を示している。

参考文献 1) Koh; ASCE, HY, Vol. 97, 2) 玉井; 第13回水理講演会, 3) Chu-Vanvari; ASCE, HY, Vol. 102, 4) 橋, 小松; 土木学会論文報告集第273号, 5) Launder; J.F.M., Vol. 67, 6) Mellor; J.A.S. Vol. 30, 7) Yamada; J.A.S., Vol. 32, 8) Gibson, Launder; J.H.T., ASME, 98C 9) 白畑, 岩佐, 細田; 土木学会第39回年次講演会



(Exp. 1)



(Exp. 2)

Fig.4 水温分布

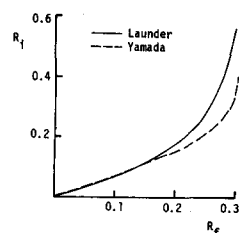


Fig.5 R_i と R_f の関係

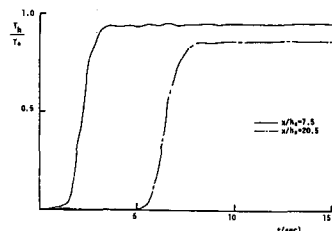


Fig.6 定常化過程

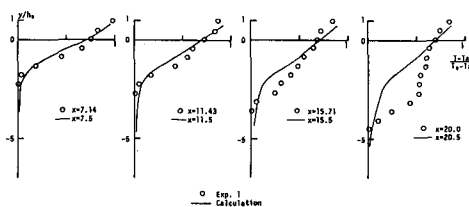


Fig.8 水温の鉛直分布

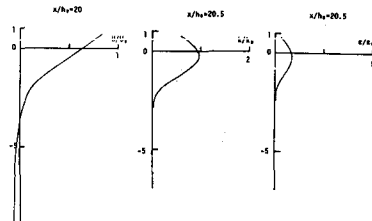


Fig.9 水理量の鉛直分布