

II—54

表層に水平放流された温排水の三次元的流速、温度分布について

東北大学大学院 学生員 ○高 飛

東北大学工学部 正 員 山路 弘人

東北大学工学部 正 員 首藤 伸夫

1、はじめに

水面表層に放流された温排水に関する研究の中で最も基本的なものとしては、流速分布と上昇温度分布がある。これらは、積分モデルの展開の基礎であって、その表現の良否が積分モデルの予測結果に大きな影響を与える。従来からもたくさんの研究をされたが、依然として純噴流の場合に得られたガウス分布を用いて、浮力を持つ温度密度噴流の流速分布と上昇温度分布を近似することになっている。前報¹⁾には水平放流された温排水の横方向に水表面のみ温度分布がガウス曲線とよく合わなかったことを報告したが、本研究では三次元流速分布と温度分布を測定し、その結果をここに報告する。

2、実験方法

実験装置と方法については既に発表した¹⁾ものである。概略としては非接触式の赤外線サーマル・ビデル・システムにより、表面温度分布を測定し、水中温度をデジタル温度計で測った。また、流速はレーザー流速計で計測された。

3、流速、温度分布

座標系は出口中央の水表面位置を原点として、流下方向にx軸、横断方向にy軸、鉛直方向にz軸を取る。X-Y平面とX-Z平面に流下方向流速uの分布と温度との分布形状はほぼ同じであるが、温度のほうが流下に従い拡がりよりはより大きいことが分かる。

図-1では、横軸をそれぞれ温度、流速の1/e値幅、縦軸を中心線上の温度、流速で無次元にした横方向温度と流速分布である。図中の点線は、従来からこれらの分布を近似するガウス曲線である。実験データはガウス曲線と大きな差があることが分かる。しかし、図-2に示す鉛直方向の流速、温度ともガウス分布とよく一致することが分かった。これは内海ら²⁾の得られた結論と一致している。

横方向分布と鉛直方向分布とに差があり、その原因は噴流が浮力によって横方向へ強く拡がると思われる。横方向分布をさらに正確に近似するため、高ら¹⁾の提案した分布形を用いて、実験データにより、 β をまとめた。図-1に示されているように、流速と温度と共に、提案した分布（実線）はガウス曲線よりデータとよく合うことが分かる。

4、特徴幅

特徴幅を検討する際に水平方向の特徴幅 B_x の定義と同様に特徴深幅は表面流速の1/eとなる水深をもって

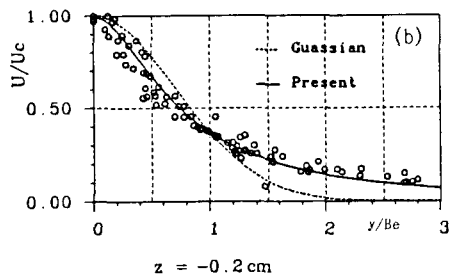
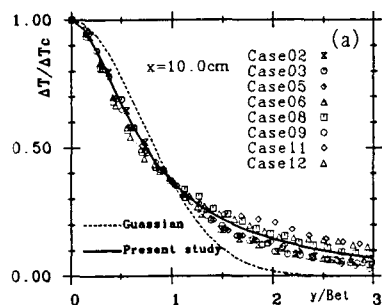


図-1 横方向温度(a)と流速(b)との分布

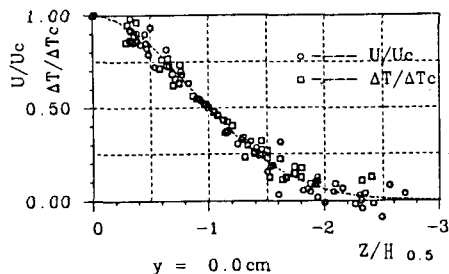
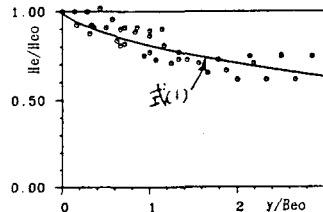


図-2 鉛直方向温度と流速との分布

特徴深幅 $H_{\pm}$ と定義する。今までの積分モデルの中では特徴幅 $B_{\pm}$ と $H_{\pm}$ は下流距離だけの関数と仮定されている。これらに関する研究がほとんど見られない。ここでは、実験結果によって特徴幅を検討して試みた。

純噴流の場合と違うのは特徴深幅 $H_{\pm}$ が流下距離 x の関数だけではなく、横距離 y とも関数している。実験データによって、表面流速に対して特徴深幅 $H_{\pm}$ は図-3に示されるように次式で表せる：

$$\frac{H_{\pm}}{H_{\pm 0}} = \text{Exp} \{-0.21(\frac{y}{B_{\pm 0}})^{0.7}\} \quad \dots (1)$$



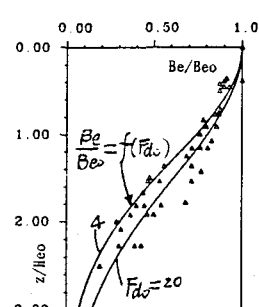
ここに、 $H_{\pm 0}$ は中心縦断面 $y=0$ の特徴深幅、 $B_{\pm 0}$ は水表面の横方向拡がり特徴幅である。

浮力を持つ密度噴流の場合には、下層より軽い上層の水が相対的に大きな速度で横方向へ拡がるので、純噴流の場合と比べると運動量は薄い表層に相対的に集中し、中心線から離れる同じ距離 y の処にの $U(x, y, 0)/U(x, 0, 0)$ も純噴流の場合のより大きいである。従って、 x を一定にすると中心断面上の流速度に対して y 方向へ拡がり特徴幅は下から表面まで同じではなく、だんだん増えるしく(図-4に示されるように)、表面で最大値を取る。同様な理由で表面の流速度に対して鉛直方向へ拡がり特徴深幅は y 方向に沿って少々減少する。

5、噴流横断面の形状

以上の結果を用いて、流速の分布は次式で流速を表せることが認められる。

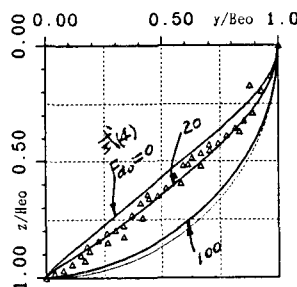
$$\frac{U(x, y, z)}{U(x, 0, 0)} = \text{Exp} \{-|\frac{y}{B_{\pm 0}}|^{\beta}\} \text{Exp} \{-|\frac{z}{H_{\pm}}|^2\} \quad \dots (2)$$



$$\beta = 2 \text{Exp} \{-\frac{0.5}{1+0.001 F_{\pm 0}^2} Y^{1/2}\} ; \quad Y = y/B_{\pm 0} \quad \dots (3)$$

実験データによると、温排水中に $U(x, y, z)/U(x, 0, 0) \geq 1/e$ の面積は下流に行くほど増加し、しかもその形状も偏平に変化することが分かった。式(2)により $U(x, y, z)/U(x, 0, 0) \geq 1/e$ の面積の囲む曲線は式(2)により次の式を満たす：

$$\frac{z}{H_{\pm}} = -\{1 - |Y|^{\beta}\}^{1/2} \quad \dots (4)$$



この式の表現は図-5に示されている。図の中で、三角印は x 別の横軸 $B_{\pm 0}$ で縦軸 $H_{\pm 0}$ で無次元にした実験値($F_{\pm 0}=20$)である。点線は無浮力の場合の密度フルード数 $F_{\pm 0}$ が無限大 $\beta=2$ の純噴流のものであり、実線はそれぞれ $F_{\pm 0}$ が100、20、0を取るものである。この図によると、式(2)が流速分布を近似できることと、浮力を持つ密度噴流の特徴横断面が楕円ではないことが分かる。従来のこれを楕円に仮定するのは不適当である。

6、結論

- (1) 横方向の流速、温度分布の分布形は鉛直ほうこうと同じではない。それらの鉛直分布はガウス分布で近似できるが、横に浮力が働くためガウス分布で近似できないことが分かった。
- (2) 浮力を持つ噴流の場合には、拡がり特徴幅と深幅を流下方向距離の関数だけでなく、それぞれ z と y との関数で表される。また、噴流の特徴横断面形状は楕円ではない。

参考文献：

1)高 飛、山路弘人、首藤伸夫：水工学論文集 第35巻、pp.359-364. 1991
2)内海 博、首藤伸夫：第30回水理講演会論文集 pp.721-726. 1986