

(財)電力中央研究所 正員 水島雅文 片野尚明
同上 正員 和田 明

1. はじめに

本研究で対象とする現象は、放出口直径に対して水果が非常に大きい、高希釈を期待する鉛直重力噴流での拡散過程である。このような現象に関しては、これまでに数多くの実験的・解析的研究が紹介され、多くの有用な知見が得られている。しかし、これらの研究は比較的単純な条件下での実験ならびに解析的研究が多く、実現象で想定される複雑な流動や境界条件に対する評価手法としては不十分な点も多い。従って、実際問題に適用して流速や密度の変化を予測するためには、やはり数値モデルによる数値シミュレーション解析手法が必要となる。

本報は、先に和田¹⁾が提案した3次元数値解析手法を基に、最も単純な条件である静水中へ放出される鉛直重力噴流の流速および密度分布を数値シミュレーションし、既往の研究結果ならびに筆者らの実施した水理実験結果との比較により、この数値解析手法の本現象への適用性を検討した結果について述べるものである。

2. 数値モデルの内容

ここに、本報で用いる数値モデルの概要を説明する。本モデルの基礎式は、以下に示すとおりである。

$$(\text{運動量保存式}) \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = - \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - g \frac{\Delta \rho}{\rho_0} \delta_{ji} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad \dots (1)$$

$$(\text{連続式}) \quad \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots (2)$$

$$(\text{密度保存式}) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + u_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \right) \quad \dots (3)$$

ここで、 x_i , u_i : 直交座標軸および各方向の流速成分 ($i, j = 1, 2, 3$), g : 重力加速度, ρ_0 : 放出水密度, $\Delta \rho = \rho_0 - \rho$ (ρ_0 : 周囲水密度, ρ : 噴流内任意点の密度), A_j , K_i : 渦動粘性係数および渦動拡散係数, ϕ : 圧力と密度の比 ($= P/\rho$) を次式で表わされる。

$$\phi_0 = P/\rho_0 - g \int_z^0 (\rho_\infty/\rho) dz$$

一般に、式(1)を解いても式(2)を満足する速度場とはならないため、本モデルでは連続式を満足するように圧力場および流速分布の補正を行う。

一、渦動粘性係数 A_i は、ここではプラントルの仮説を導入し、混合長をブルームの半値幅 $b_{1/2}$ にとるものとすると次式のように表わされる。

$$A_i = 0.0256 \cdot b_{1/2} \cdot u_{\max} \quad (0 \leq r \leq b_{1/2})$$

ここで、 r : 噴流軸からの半径方向の距離, $u_{\max}$: 噴流中心速度である。

放出口付近の A_i は、今回の計算におけるこの付近の格子分割の荒さを考慮し、放出口直上およびその隣接するメッシュにおいて次のように設定した。

$$A_i = 0.0256 \cdot D/2 \cdot u_0$$

ここで、 D : 放出口直径, u_0 : 初期放出流速である。また、ブルーム領域外の A_i は、以下のように与えた。

$$A_{i1} = 0.0256 \cdot D/2 \cdot u_0 \quad (r > 2b_{1/2}), \quad A_{i2} = (A_i + A_{i1})/2 \quad (b_{1/2} < r \leq 2b_{1/2})$$

3. 計算条件

本報で取扱う計算は、水面下37m、底面上3mに位置する直径10cmのノズル先端より放出される鉛直重力噴流

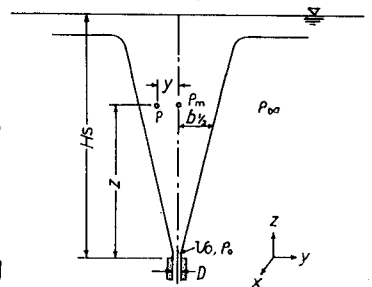


図-1 鉛直重力噴流の模式図

を対象とする。放出口の諸元は、初期放出速度 10 m/s 、周囲水と放出水の密度差 0.025 g/cm^3 、放出内部フルード数 64 である。

計算領域は、縦横各水平方向 13 m 、鉛直方向 40 m の範囲とし、これを $20 \times 20 \times 27$ の不等間隔格子に分割した。

4. 計算結果とその検討

図-2および3は、上記条件のもとで計算された流速分布および密度分布を表わしたものである。これらの図から、ノズルより出た放出水は流速を減じながら水面に到達し、その後表層を約 2 m の層厚で水平方向に拡散していく様子が見られる。また、計算結果は周囲水の連行加入の状況を明確に示しており、その流向は放出口近傍ではプルームに向かい水平方向に、水面近くになるにつれて上向きに変化する傾向が認められる。

図-4は、計算された各水深毎の水平密度分布形状である。図中の実線はガウス分布を表わす。計算結果は、各層共大略ガウス分布と相似な形状となると認められるものの、水表面近くの水平流動層内では、プルーム外縁部においてガウス分布より裾を引く分布となる。

図-5は、プルーム中心軸に沿う密度の低減変化について、Abraham の半理論解、Hirst からのプルームモデルの解および筆者らの行った実験結果と今回の計算結果との比較を示す。この図より、本計算結果は水面付近での密度低減率の鈍化傾向など実験値を最も良く再現していることが判断される。

5. 結論

以上の結果より、今回用いた3次元数値解析手法により、水面衝突前後の過程も含めた鉛直重力噴流現象およびその周囲の流況を良く再現し得ることが明らかとなった。

今後は、本現象に対する乱流モデルを含めたさらに詳細な数値計算手法の検討を行うと共に、密度成層の形成された場や水平方向の流れの中へ放出される場合における鉛直重力噴流の挙動についても検討していく予定である。

〈参考文献〉

- 1) 和田・後藤・片野, 第22回水理講演会論文集, 1978

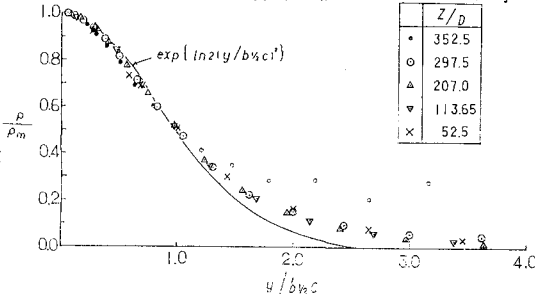


図-4 鉛直重力噴流の水平密度分布

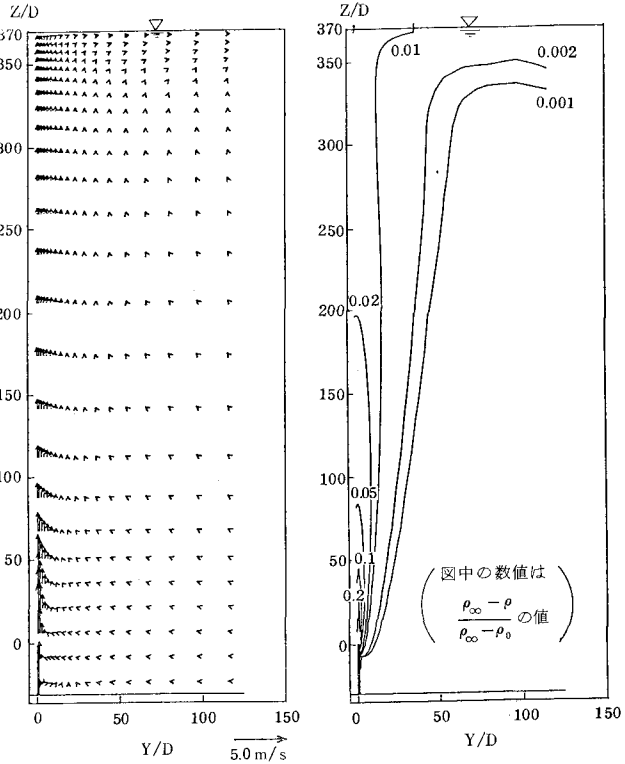


図-3 密度分布図

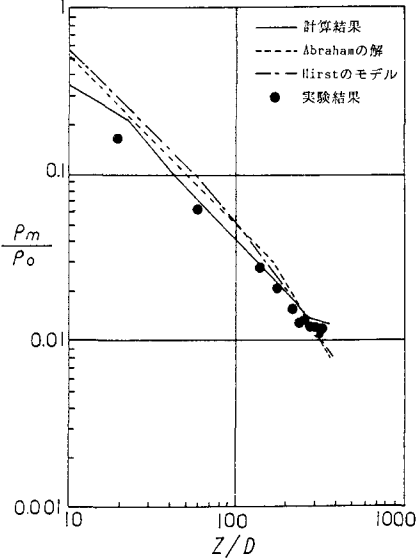


図-5 プルーム中心軸に沿う密度低減変化の比較