

長岡技術科学大学大学院 学正会員 塚本 敬人
 長岡技術科学大学環境建設系 正会員 早川 典生
 長岡技術科学大学大学院 楊 宏選

1. はじめに

密度噴流とは周囲流体と異なる密度を有する流体が、運動量を有して排出される時の流れであり、密度差の無い場合は噴流 (jet) と呼ばれ、運動量を有せず密度差のみを有する流体が排出される場合はプルーム (plume) と呼ばれる。この両方を兼ね備えている場合を密度噴流 (buoyant jet 又は forced plume) と呼ぶ。その主な解析手法は噴流との類似性を利用し、流速分布や密度分布に相似性を仮定して基礎微分方程式を積分し、代表流速や代表密度に関する常微分方程式として解く積分法が用いられている⁽¹⁾。また、近頃は基礎微分方程式を差分法などを使って計算する数値解析法がある。

本研究では、積分法を用いて水中噴流の解析における問題を、明らかにしていくことを目的とする。

2. 密度噴流における諸問題

密度噴流では、その解析にあたっていくつかの問題が残っている。そこで2次元水中噴流における問題について述べる。

周囲流体が静止している場合に、重力(浮力)に逆らって噴流を排出する時、周囲流体より重い噴流を上に向けて排出すると、図1のように動くが、現在の解析法ではその挙動を最後まで追うことができるか不明である。これは、周囲流体より軽い噴流を下向きに排出した時にもいえる。

次に、周囲流体に流れが生じている場合では、その流れに逆らって周囲流体より軽い噴流を排出すると、図2のように流れに押し流されながら上がるが、この場合は押し流されて向きが変わる点までしか、その挙動を追うことができないと言われている。

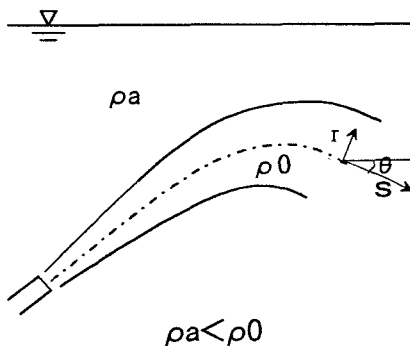


図1 重力(浮力)に逆らう噴流

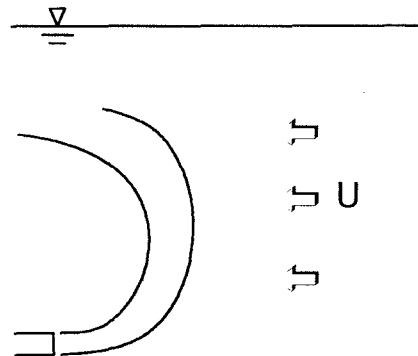


図2 流れに逆らう噴流

3. 解析方法

噴流の解析には、積分解析と数値解析の2通りがあるが、本研究では積分解析を行う。ここで、積分解析は流速分布・密度分布を仮定することにより基礎微分方程式を常微分方程式として簡単に解くことができるが、仮定する分布が正確ではないため信頼性に欠けると言うことを念頭に置いておく。

キーワード 密度噴流、水中噴流

連絡先 〒940-2137 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学環境・建設系 tel 0258-46-6000

周囲流体に流れがある場合の基礎理論式を以下に示す。これらの式は、連続式と運動方程式に周囲流体の密度一定などの条件を入れ、(x, y, z)の空間座標系から(s, r, ϕ)の自然座標系に変換し、連続式・中心軸方向運動方程式・鉛直方向運動方程式・密度の保存式を、密度差と流速差に軸対称分布を仮定し、中心軸周りの角度と中心軸からの距離とで積分して以下のような方程式を得る。

$$\frac{d}{ds} \left(a^2 U \cos \theta + \Delta u \frac{a^2}{2} \right) = \alpha_e a \Delta u$$

$$\frac{d}{ds} \left(a^2 U^2 \cos^2 \theta + a^2 U \cos \theta \Delta u + \Delta u^2 \frac{a^2}{4} \right) = R \frac{n^2 a^2}{2} g \sin \theta + \sqrt{2} a \frac{\tau_{\sigma}}{\rho_a}$$

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{R n^2 a^2}{q} g \cos \theta$$

$$\frac{d}{ds} \left(R U \cos \theta \frac{n^2 a^2}{2} + \frac{n^2}{n^2 + 1} \frac{a^2}{2} R \Delta u \right) = 0$$

$$\frac{dx}{ds} = \cos \theta$$

$$\frac{dy}{ds} = \sin \theta$$

流速分布

$$u(s, r) = U \cos \theta + \Delta u \exp \left(-\frac{r^2}{a^2} \right)$$

密度分布

$$\frac{\rho_a(s, r) - \rho(s, r)}{\rho_o} = R(s) \exp \left(-\frac{r^2}{n^2 a^2} \right)$$

これらの方程式は、連立常微分方程式でありルンゲクッタ法により積分する。ここで、 Δu は中心流速、 R は密度差、 α は連行係数、 a は噴流幅である。

4. 結果

上記の式を使い解析した結果を図3（流れなし）、図4（流れあり）に示す。解析は周囲流体より重い密度を持つ噴流を、流れなしでは45°、流れありでは水平方向に噴出させた。図3、4それぞれの中心軸の軌跡を見ると、2.で述べた問題が確認できる。流れなしの場合では、密度差・中心速度・噴流幅のいずれかが解析をストップさせる原因となることがわかる。流れありの場合では、噴流角度が90度になったため、 $d\theta/ds$ がゼロになり、 θ がそれ以上増えなくなったため解析がストップしたことがわかる。今後の課題として、室内実験を行いさらに検討を重ねる必要がある。

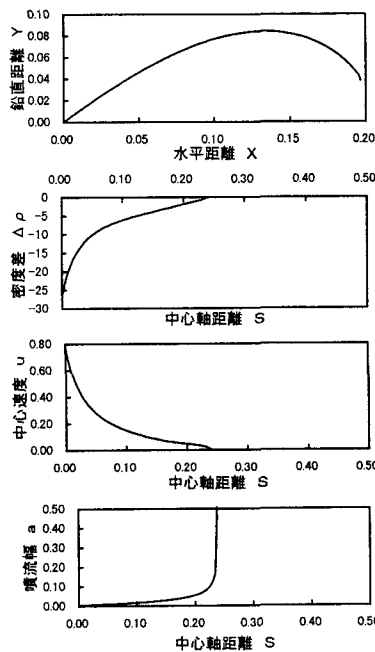


図3 流れが無い場合

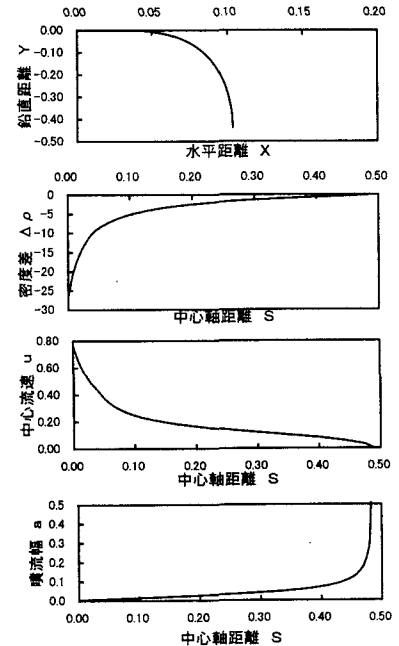


図4 流れがある場合

参考文献

- (1) Róbert C.Y.Koh and Norman H.Brooks : FLUID MECHANICS OF WASTE-WATER DISPOSAL IN THE OCEAN