

振動格子乱流における密度躍層の効果

九州大学 大学院 学生員○杉原裕司

九州大学 工学部 正 員 松永信博

九州大学 工学部 正 員 小松利光

1. はじめに

密度躍層における乱流特性量は躍層の浮力効果によって抑制され、均一流体時に比べかなりの割合が減衰する。この現象は、二成層流体場の密度界面における連行則を議論する上で重要なものであるが、密度躍層における乱流特性量の減衰率に関する研究はほとんど行われていないのが現状である。

本研究の目的は、流れ場として二成層の振動格子乱流場を考え、密度躍層の位置が定常的に保たれている場合に格子振動によって生じた乱れが密度躍層においてどの程度減衰するかについて $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて検討することである。

2. 数値計算

成層した振動格子乱流場における $k-\varepsilon$ 方程式は以下のようになる。鉛直密度分布を既知量として与え、乱れエネルギー k とエネルギー散逸率 ε が計算されている。

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \frac{g}{\rho_0} \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \varepsilon, \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} (1 - C_3) \frac{g}{\rho_0} \frac{v_t}{\sigma_t} \frac{\partial \rho}{\partial z} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, \sigma_t = 0.8, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_3 = 1.0$$

初期条件

$$z = 0; \quad k = k_0, \varepsilon = \varepsilon_0, v_t = C_\mu k_0^2 / \varepsilon_0$$

$$z \neq 0; \quad k = 0, \varepsilon = 0, v_t = 0$$

境界条件

$$z = 0; \quad k = k_0, \varepsilon = \varepsilon_0, v_t = C_\mu k_0^2 / \varepsilon_0$$

$$z \rightarrow \infty; \quad k = 0, \varepsilon = 0, v_t = 0$$

上式を無次元量

$$\tilde{k} = k / k_0, \quad \tilde{\varepsilon} = \varepsilon / \varepsilon_0, \quad \tilde{\rho} = \rho / \rho_0, \quad \tilde{z} = z / (k_0^3 \varepsilon_0^2)^{1/2},$$

$$\tilde{t} = t / (k_0 \varepsilon_0^{-1}), \quad \tilde{v}_t = v_t / (k_0^2 \varepsilon_0^{-1}) = C_\mu \tilde{k}^2 / \tilde{\varepsilon}, \quad \tilde{g} = g / (\varepsilon_0 / k_0^{1/2})$$

を用いて無次元化し、計算を行った。時間微分に関しては前進差分、空間微分に関しては中央差分を用いて基礎方程式を差分化し、 $z \rightarrow \infty$ における境界条件は $z = 10$ において与えられている。

3. 計算結果及び考察

図-1は、松永ら¹⁾が振動格子乱流場において密度躍層の位置を定常的に保つことによって得られた乱れエネルギーの鉛直分布と同一の水理条件での数値計算結果を比較したものである。図中の斜線部は、躍層の範囲を示している。測定結果を無次元化するために必要な格子振動中心における乱れエネルギー k_0 と散逸率 ε_0 は松永ら²⁾によって報告されている水理条件 (f_0, S_0, ν) から k_0, ε_0 を評価する方法より求められた。図-1より実験結果と計算結果は比較的よく一致しており、乱れエネルギーは密度躍層に近づくにつれて浮力効果により急激に減衰していることがわかる。現在、 ε 方程式中の浮力項の定数 C_3 の値について 2、3 の提案がなされているが、本計算において C_3 を変化させて計算を行った結果、 C_3 の変化は計算結果にほ

とんど影響を与えないことが明かとなった。

図-2は、渦動粘性係数 ν_t の計算結果を示したものである。乱れエネルギーと同様に躍層付近で急激に減衰していることがわかる。

図-3は躍層位置における乱れエネルギー k_i と同一位置における均一流体場での乱れエネルギー k_h を用いて定義された減衰率($D_k = (k_h - k_i) / k_h$)を局所リチャードソン数($R_{it} = (\gamma g \delta) / k_i$)に対してプロットしたものである。ここで、 γ 、 g 、 δ はそれぞれ相対密度差、重力加速度、躍層厚である。 γ 、 δ 、躍層位置を機々に変化させて計算させた結果、 D_k と R_{it} との間の関係は図中の実線で表すことができ、減衰率 D_k は、 R_{it} の増加とともに単調に増大することがわかる。また、 R_{it} が約100を超えると D_k は1に漸近することにより、乱れエネルギーはほとんど減衰してしまうことがわかる。

今後はより詳細な実験を行って計算結果の妥当性を検討したい。

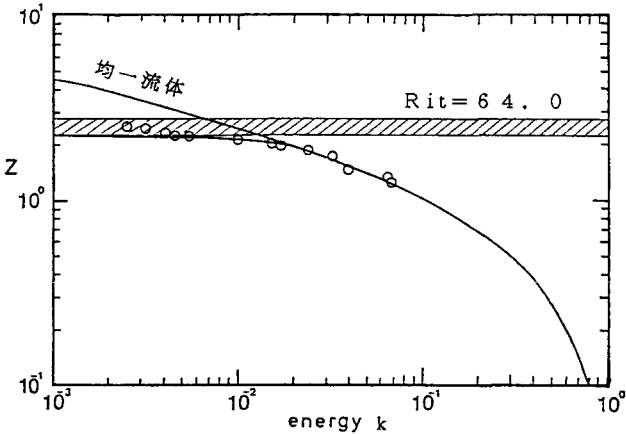


図-1 乱れエネルギーの計算結果
と実験結果の比較

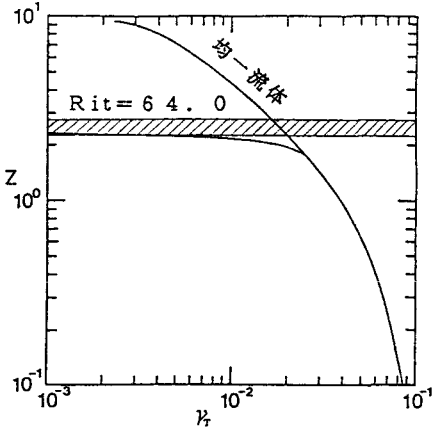


図-2 渦動粘性係数の計算結果

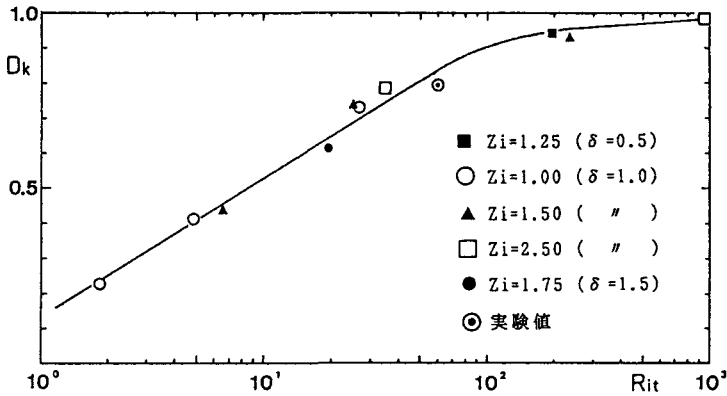


図-3 減衰率 D_k とリチャードソン数 R_{it} の関係

参考文献

- 1) 松永信博・椿東一郎・小松利光・仲敷憲和：密度躍層における乱流構造，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.290～291，1985。
- 2) 松永信博・小松利光・高畑 研・杉原裕司：k-ε乱流モデルによる振動格子乱流の数値解析，水工学論文集，第34巻，pp.635～640，1990。