

振動格子乱流の時間的減衰について

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

九州大学 大学院 学生員 杉原裕司

1. 緒言：静止流体中で水平に取り付けられた格子を鉛直方向に振動させた時、乱れの諸量は水平面において一様で鉛直方向にのみ変化する平均流の存在しない乱流場が形成される¹⁾。このような乱流場は、乱れエネルギー方程式において拡散項と散逸項とがつり合った場として記述され、基本的な興味深い乱流の一つである。前回の報告^{2), 3)}で著者らは振動格子乱流の諸特性を $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いてシミュレートし、それらの定量的評価を行った。

本研究の目的は、定常状態に達した振動格子乱流に対して、乱れエネルギー源が急になくなった場合、つまり格子振動を停止した場合、乱れの特性量が時間的にどのように変化するかを $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて明らかにすることである。

2. 数値計算：平均流がなく、乱れの諸量が水平方向に一様で鉛直方向にのみ変化するとすれば、 $k-\varepsilon$ 方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) - \varepsilon, \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_2 = 1.92$$

ここで、 k 、 ε 、 ν_t はそれぞれ乱れエネルギー、エネルギー散逸率および渦動粘性係数であり、 z は鉛直上向きに取られた座標である。計算にあたっては $z=0$ において格子振動によって定常的に加えられる乱れエネルギーを k_0 、散逸率を ε_0 として、あらかじめ k と ε の定常解を求めておき、それを初期条件として、エネルギー源がなくなった場合のシミュレーションを行う。従って、境界条件は、

$$z=0; \quad \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0, \quad z \rightarrow \infty; \quad k = \varepsilon = 0$$

で与えられる。無次元量を

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

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

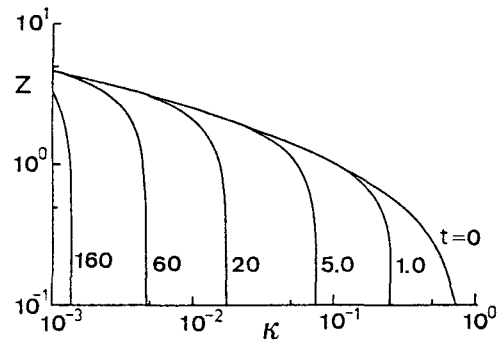
で定義し、基礎方程式、初期条件および境界条件を無次元表示する。無次元化された式には $\sim$ が付くのみで変わらないのでここでは改めて示さない。また、以下の議論では無次元量を意味する $\sim$ は便宜上省略されている。計算において $z \rightarrow \infty$ の境界条件は $z=10$ で与えられた。

3. 計算結果および考察：図-1と2は乱れの拡散と散逸がつり合った乱流場において、定常的に加えられていた乱れのエネルギー源が除去された場合の乱れエネルギーと散逸率の経時変化を示したものである。 k 、 ε とともに z 方向に一様化しながら時間の経過に従って急激に減衰することがわかる。 k と ε を用いて定義された渦動粘性係数もまた同様な傾向を示す。図-3は、乱れの無次元代表長さスケール $\mathcal{Q} (= k^{3/2} \varepsilon^{-1})$ の時間変化を示したものである。乱れの拡散と散逸がつり合った定常な乱流場において、 $\mathcal{Q}$ は z に比例して増大することがわかる。浦ら¹⁾は振動格子の積分長さスケールが格子振動からの距離に比例して増大することを実験に基づいて示しており、解析結果はこの定性的特性をうまく表現していることがわかる。乱れエネルギーの減衰とともに $\mathcal{Q}$ は一様化しながら大きくなることわかる。

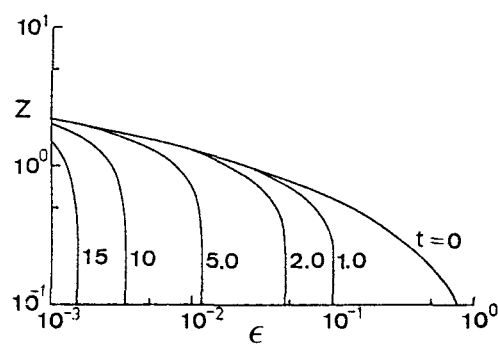
図-4は解析結果に基づいて $z=0$ における乱れの特性量の経時変化を示したものである。無次元時間 t が

10以上において特性量は t のべき乗に比例することがわかる。 k 、 ϵ 、 ν_t は t の -1.2 、 -2.1 、 -0.27 乗に比例して減衰し、 Q は 0.34 乗に比例して増大することがグラフから読み取れる。

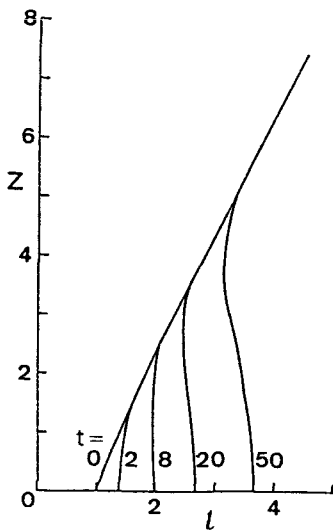
本研究において、乱れエネルギー方程式の拡散項と散逸項がつり合った乱流場に $k-\epsilon$ 乱流モデルを適用することにより、乱れエネルギー、散逸率、渦動粘性係数、代表長さスケールの時間減衰の様子が明らかとなった。



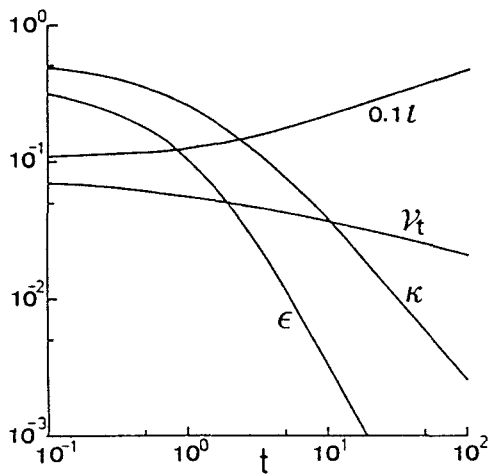
図－1 乱れエネルギーの時間的減衰



図－2 エネルギー散逸率の時間的減衰



図－3 代表長さスケールの時間的変化



図－4 $z=0$ における乱れ特性量の時間的変化

参考文献

- 1) 浦 勝・小松利光・松永信博：振動格子の乱れによる密度界面の変動特性と連行現象，土木学会論文集，第345号／Ⅱ-1，pp.91～98，1984.
- 2) 杉原裕司・松永信博・小松利光・高畑研： $k-\epsilon$ 乱流モデルによる拡散と散逸がつり合った乱流場の数値シミュレーション，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.142～143，1990.
- 3) 高畑研・松永信博・小松利光・杉原裕司：振動格子乱流の諸特性について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.144～145，1990.