

平均流のない乱れの時間減衰特性

九州大学大学院○学生員 杉原裕司

九州大学総理工 正 員 松永信博

九州大学工学部 正 員 小松利光

1. はじめに

振動格子乱流は、乱れエネルギーの拡散と散逸のつり合った平均流の存在しない乱れ場であり、その特性は多くの研究者達によって詳細に調べられている。^{1), 2)}

本研究は、定常状態にある振動格子乱流において、乱れエネルギーの供給源が急になくなった場合、すなわち格子振動を停止した場合に乱流特性量が時間的にどのように減衰していくかについて実験的に調べたものである。また、この研究は乱れエネルギーの散逸が卓越した現象を取り扱っており、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルの ε -方程式の散逸項のモデル定数 C_2 を評価するのにきわめて有効である。そこで、現在広く採用されている C_2 の値の妥当性についても検討した。

2. 実験方法および実験条件

実験に用いた水槽は、長さ25cm、幅25cm、深さ60cmの全透明アクリル製で、水槽底面より約20cmの位置に水平に格子を設置してある(図-1参照)。格子振動開始後、十数秒ではほぼ定常乱流場が形成されるので、振動開始後30秒で振動を停止し、水平方向の乱れ u' と鉛直方向の乱れ w' の経時変化をL.D.V.およびF.L.V.を用いて測定した。また、格子振動が停止した時刻がわかるようにデータ・レコーダの3chに停止と同時にパルスが記録されるようにした。表-1に実験条件が示されている。表中の f は格子振動の振動数、 S はストロークである。 z は格子の振動中心から鉛直上向きに取られた座標で、測定点の高さを示している。格子の停止位置は各ケースにおいて一定にしている。測定回数は各ケース50回であり、得られたデータはサンプリング・タイム $\Delta t = 4/500$ 秒、データ数 $N = 4096$ 個でAD変換された。乱れエネルギー k は次式より求められた。

$$k = \frac{1}{2} \left(2 \overline{u'^2} + \overline{w'^2} \right) \quad (1)$$

ここで、式中の $\bar{}$ は50回の測定のアンサンブル平均を意味している。

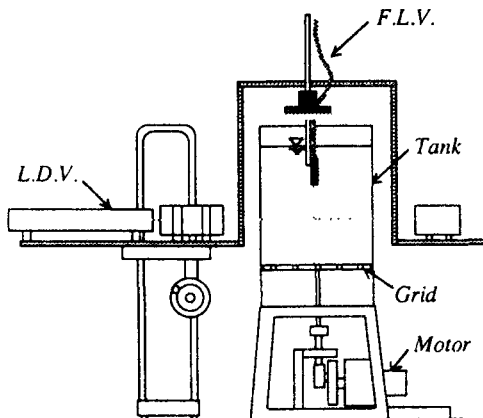


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

Run	f (Hz)	S (cm)	z (cm)
①	2.0	8.0	6.0
②	2.0	8.0	12.0

3. 実験結果及び考察

図-2に格子振動停止後の乱れエネルギー k の経時変化が示されている。格子から離れるほど減衰の開始時刻が遅れることがわかる。また、時間が十分に経過してくると乱れエネルギーは t のおよそ -1 乗で減衰する傾向がある。そして、初期時刻の乱れの大きさによらず乱れエネルギーの時間減衰経路は一本の線に漸近していくことがわかる。ここで、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルのモデル定数 C_2 の値の妥当性について考察しよう。格子振動を停止してから十分に時間が経過すると乱れエネルギーの拡散は散逸に比べて無視しえるものと仮定する。また、振動格子乱流には平均流がないことを考慮すると $k-\varepsilon$ 方程式は以下ようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} &= -\varepsilon \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} &= -C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

今、拡散が無視できるようになる時刻を t_0 とし、その時の乱れエネルギーを k_0 、エネルギー散逸率を ε_0 とすると初期条件は

$$t = t_0; k = k_0, \varepsilon = \varepsilon_0 \quad (3)$$

となる。式(2)を式(3)の条件のもとで積分すると以下のような厳密解が得られる。

$$\left. \begin{aligned} k &= k_0 \left\{ 1 - (1 - C_2)(t - t_0) \frac{\varepsilon_0}{k_0} \right\}^{\frac{1}{1 - C_2}} \\ \varepsilon &= \varepsilon_0 \left\{ 1 - (1 - C_2)(t - t_0) \frac{\varepsilon_0}{k_0} \right\}^{\frac{C_2}{1 - C_2}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

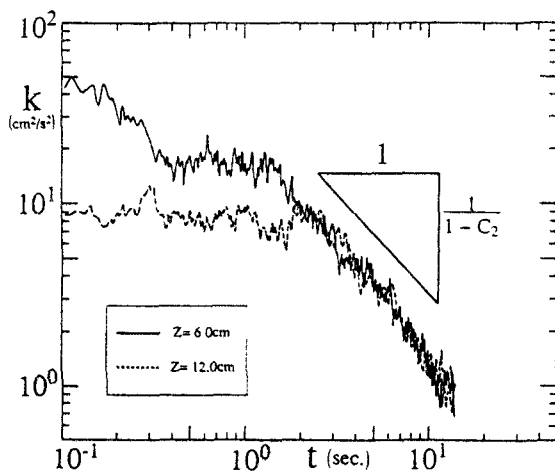


図-2 乱れエネルギーの時間減衰の実験結果

式(4)より、拡散項が無視できる領域においては時間 t が十分大きくなってくると乱れエネルギー k は $1/(1 - C_2)$ 乗に比例して減衰することがわかる。従来の $k-\varepsilon$ 乱流モデルにおいて用いられている ε -方程式の散逸項のモデル定数 C_2 の値として1.92が広く採用されている。 $C_2 = 1.92$ を $1/(1 - C_2)$ に代入すると-1.09となり、乱れエネルギーは-1.09乗の勾配で減衰することになる。その勾配が図-2に示されている。 $C_2 = 1.92$ の時の $1/(1 - C_2)$ 乗の勾配は、乱れエネルギーの測定結果の勾配とよく一致しており、このことは従来より用いられている C_2 の値の評価が妥当であることを示している。

4. むすび

平均流のない乱れの時間減衰特性を明らかにした。また、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルのモデル定数 $C_2 = 1.92$ の妥当性が従来行われたことのない乱れの時間減衰実験より検証された。

参考文献

- 1) 浦勝・小松利光・松永信博：振動格子乱流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.91-99、1984。
- 2) 松永信博・小松利光・高畑研・杉原裕司： $k-\varepsilon$ 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。