

II-147 乱れエネルギーフラックスの評価(2)

九州大学工学部 学生員 ○細山田 得三  
九州大学工学部 正員 小松 利光  
九州大学工学部 正員 松永 信博  
電力中央研究所 正員 仲敷 憲和

1. 緒言

前報では、乱れエネルギーフラックスをフィック型、つまり乱れエネルギーの勾配と渦動粘性係数の積の形で表示したとき、その係数を作業流体として水を用いた場合における振動格子乱流の実験結果から決定した。本報では、作業流体としてグリセリン水溶液を用い、動粘性係数を種々変化させることにより得られた、ストークス数の広範囲にわたる実験結果も考慮して、定数が決定されている。

2. 実験装置および実験方法

実験は、長さ1.0m、深さ0.4m、幅0.27mのアクリル製水槽を用いて行われた。水槽底面より、8.0cmの位置にメッシュ幅5.0cmの角柱正方格子が、水平にセットされており、格子を鉛直方向に振動させることにより、乱れを発生させた。なお、実験装置等についての詳記は、文献<sup>1)</sup>を参照されたい。作業流体として水、あるいは、グリセリン水溶液を用い、その動粘性係数( $\nu$ )を0.01~0.172 cm<sup>2</sup>/sの間で変化させた。乱れの測定では、一定速度で走行する台車に、2方向ホットフィルム流速計を取り付け、水平方向と鉛直方向の流速変動を測定した。格子振動の振動数 $f_0$ を2.0~6.0 Hzの範囲で変化させ、結局、Stokes数、 $St = S_0^2 f_0 / \nu$ は、200から12800まで変えられた。

3. 実験結果及び考察

振動格子乱流においては、主流は、存在せず、水平方向に関して乱れは一様であり、粘性による乱れエネルギーの拡散は、十分小さく、全エネルギーに対する圧力重み揺の寄与も、十分小さいと考えられる。従って、乱れエネルギー保存式は、

$$0 = -\frac{d}{dz} \left\{ \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \overline{w'} \right\} - \epsilon$$

$$= -\frac{d}{dz} \left\{ \frac{1}{2} (2 \overline{u'^2} \overline{w'} + \overline{w'^3}) \right\} - \epsilon$$

となり、乱れエネルギーの輸送と散逸率が、釣り合った式で表わされる。ここで、 $z$ は、格子振動中心から鉛直上向きに取った座標軸である。乱れエネルギーフラックス  $\frac{1}{2} \overline{u'^2} \overline{w'}$ 、 $\frac{1}{2} \overline{w'^3}$  と、全エネルギーフラックスをそれぞれ次式で表わし、定数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  を定義する。

$$\frac{1}{2} (\overline{u'^2} \overline{w'}) = -\alpha_1 u \ell \frac{d}{dz} \left( \frac{1}{2} \overline{u'^2} \right), \quad \frac{1}{2} \overline{w'^3} = -\alpha_2 u \ell \frac{d}{dz} \left( \frac{1}{2} \overline{w'^2} \right)$$

$$\frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \overline{w'} = -\alpha_3 \sqrt{c} \ell \frac{dk}{dz}$$

$$k \equiv \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$$

$$c \equiv \frac{1}{3} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$$

ここで、 $u'$ と $w'$ は、それぞれ台車走行方向と、鉛直方向の流速変動、 $v'$ は、 $u'$ と $w'$ に垂直方向の流速変動である。 $\ell$ は、 $u'$ から求めた積分長さスケールで、 $u$ は、 $u'$ のrms値である。今回の実験においても、積分長さ $\ell$ は、 $z$ に比例して増加するという従来の関係が得られた。比例係数は、 $St$ にほとんど依存せず、平均的に積分長さは、

$$\ell = 0.16 z$$

で表わされた。しかしながら、後述する  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  の算定においては、各実験における比例定数が用いられている。図-1(a),(b)は、高粘性流体が用いられた場合の全エネルギーと全エネルギー

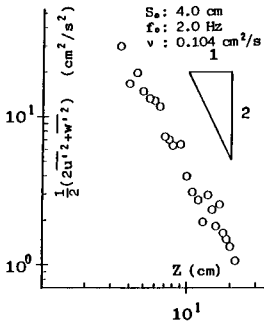


図1(a) 乱れエネルギーの鉛直分布

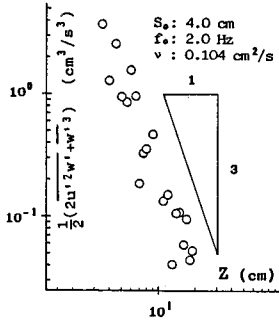


図1(b) エネルギーフラックスの鉛直分布

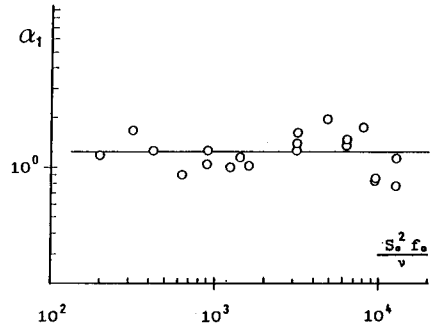


図2(a)  $\alpha_1$  の  $S_0$  に対する依存性

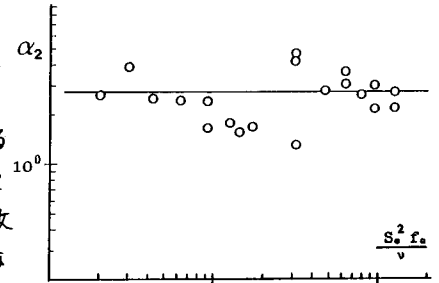


図2(b)  $\alpha_2$  の  $S_0$  に対する依存性

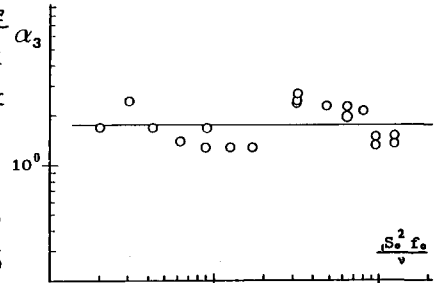


図2(c)  $\alpha_3$  の  $S_0$  に対する依存性

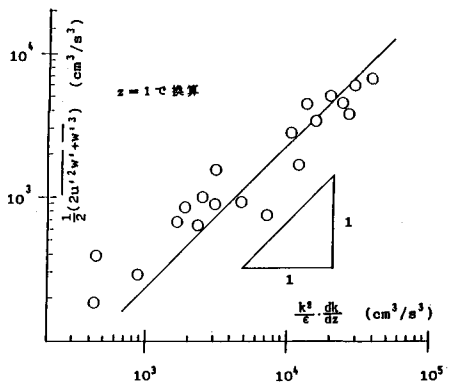


図3 乱れエネルギーフラックスと  $-\frac{k^2 dk}{\epsilon dZ}$  との関係

フラックスの鉛直分布の一例を示したものである。全エネルギーは、 $Z^{-2}$  に比例して減衰しており、フラックスは  $Z^{-3}$  に比例して減衰している。各成分のエネルギー、及び、エネルギーフラックスにおいても同じ関係が成立しており、 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  が定数として定義できることがわかる。図-2(a)(b)(c)は、各実験において得られたそれぞれの諸量の関数形を実験的に決定し、(1)式から求めた定数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  を求め、 $S_0$  に対してプロットしたものである。わずかなばらつきは認められるものの、広範囲の  $S_0$  に対して

$$\alpha_1 = 1.25 \quad \alpha_2 = 2.79 \quad \alpha_3 = 1.76$$

の値をとる。このように、定数が、広範囲の  $S_0$  に対して普遍的に決定されることにより、乱れエネルギーフラックスを(1)式で表示することの妥当性が認められる。また、前報と同様、振動方向とそれに垂直な方向の乱れ強度の鉛直分布は、ほぼ等しく、明瞭な方向性を持たなかったが、振動方向成分のエネルギーの拡散方向フラックス(例えば、 $\frac{1}{2} w'^3$ )は、振動方向に垂直な方向成分のエネルギーフラックス(例えば、 $\frac{1}{2} u'^2 w'$ )に比べて約2倍程、大きな値をとることは、興味深い。

近年、有用な乱流モデルの1つとして  $K-\epsilon$  モデルが用いられているが、そのモデルにおいて、乱れエネルギーフラックスは、 $C_K \frac{k^2 dk}{\epsilon dZ}$  で評価されている。その評価の妥当性を検討したものが、図-3である。図より、

$$\frac{1}{2} (2\overline{u'^2 w'} + \overline{w'^3}) \propto -\frac{k^2 dk}{\epsilon dZ}$$

なる関係が、近似的に成立し、その評価の妥当性が認められるが、比例定数は、従来、経験的に用いられている、 $C_K = 0.09$  とは異なる値をとるようである。今後は、種々のタイプの乱流場に対しても、(1)式の表示について検討を行い、普遍定数をもとと精度よく決定していきたいと考えている。

参考文献

1) 浦勝、小松利光、松永信博 (1984) 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 345号 pp. 91-99