

京都大学工学部 正員 工博 石原藤次郎

京都大学大学院 正員 工修 今井博健

京都大学大学院 学生員 ○山本弥四郎

一般に乱れの計測において、乱れそのものを測定の対象とすることは實際上不可能である。ゆえに、測っているのは乱れと関連をもつ何らかの現象であるといえよう。したがって、たとえ回転式流速計によって乱れ計測を行なう場合、乱れに対する流速計の追随性が問題となり、また、データの処理にあたっては測定時間スケールの影響について吟味することが必要である。本報告は、前報^(1,2)に引き続き、測定時間スケールについて理論的に考察するとともに、回転式流速計と差圧式流速計を併用することによって、回転式流速計の乱れに対する追随性を明らかにしようとするものである。

1. 測定時間スケールの影響について

流速変動が周期的な場合を取り上げ、流速 $u(t)$ がつぎのように表わされるとしよう。

$$u(t) = \bar{u} + u'(t) = \bar{u} + u_0 \sin 2\pi t/t_0 \quad (1)$$

ここに、 $\bar{u}$ は平均流速、 u_0 は流速変動の振幅、 t_0 は流速変動の周期である。いま、測定開始時間を t_s 、測定時間スケールを t_e 、総測定時間を $T = n t_e$ とすると、 i 番目の乱れの測定値 $u'(t_i)_{mes}$ は、 $t_s + (i-1)t_e$ から $t_s + i t_e$ までの $u'(t)$ の時間的平均であるから、

$$u'(t_i)_{mes} = \frac{1}{t_e} \int_{t_s + (i-1)t_e}^{t_s + i t_e} u'(t) dt = \frac{1}{t_e} \int_{t_s + (i-1)t_e}^{t_s + i t_e} u_0 \sin 2\pi \frac{t}{t_0} dt = \frac{u_0 t_0}{\pi t_e} \sin \frac{\pi t_e}{t_0} \sin \frac{\pi \{2t_s + (2i-1)t_e\}}{t_0} \quad (2)$$

となる。したがって、 $\bar{u}'$ の測定値 $\bar{u}'_{mes}$ は、

$$\bar{u}'_{mes} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u'(t_i)_{mes} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{u_0 t_0}{\pi t_e} \sin \frac{\pi t_e}{t_0} \cdot \sin \frac{\pi \{2t_s + (2i-1)t_e\}}{t_0} \right] \quad (3)$$

一方、 $\bar{u}'^2$ は、

$$\bar{u}'^2 = \frac{1}{t_e} \int_0^{t_e} u'^2(t) dt = \frac{1}{t_e} \int_0^{t_e} \left\{ u_0 \sin 2\pi \frac{t}{t_0} \right\}^2 dt = \frac{u_0^2}{2} \quad (4)$$

であるから、 $\bar{u}'_{mes}/\bar{u}'^2$ はつぎのように表わされることになる。

$$\frac{\bar{u}'_{mes}}{\bar{u}'^2} = 2 \left(\frac{t_e}{\pi t_0} \right)^2 \sin \frac{\pi t_e}{t_0} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin^2 \frac{\pi \{2t_s + (2i-1)t_e\}}{t_0} \quad (5)$$

(5)式から $\bar{u}'_{mes}/\bar{u}'^2$ についてつぎのことが結論される。

(i) 総測定時間 T は、 t_0 が未知の場合には大きい方がよいが、 t_0 が既知の場合には、 $t_0/t_e \times n$ が $\frac{1}{2}$ の整数倍となるように n をとると、 n を十分大きくとったときと同等になる。

(ii) 測定開始時間 t_s の影響を明らかにするため、 $t_0/t_e = 0.1, 0.3, 0.5$ の3ケースについて t_s を変化させたときの $\bar{u}'_{mes}/\bar{u}'^2$ の値が図1に示されているが、 $t_0/t_e < 1/2$ の場合、 t_s の影響は無視しうほど小さくなる。

(iii) n を(i)のようにとり、 $t_s = 0$ としたとき、各種の t_0/t_e と $\bar{u}'_{mes}/\bar{u}'^2$ との関係を図2に

示したが、この図から、測定時間スケールを変動周期の1/10程度にとれば、 $\overline{u_{mes}^2}$ はおよそ $\overline{u^2}$ に等しくなることがわかる。

流速変動が不規則な変動をする場合に於ける測定時間スケールの影響は、つぎのようにして求められる。

前と同じ記号を用いると、

$$u'(t_i)_{mes} = \frac{1}{t_*} \int_{t_* + (i-1)t_*}^{t_* + it_*} u(t) dt = \frac{1}{t_*} \int_0^{t_*} u'(t_* + (i-1)t_* + t) dt$$

図・1

図・2

であるから、

$$\begin{aligned} \overline{u_{mes}^2} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u'^2(t_i)_{mes} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{t_*} \int_0^{t_*} u'(t_* + (i-1)t_* + t_1) dt_1 \right\} \left\{ \frac{1}{t_*} \int_0^{t_*} u'(t_* + (i-1)t_* + t_2) dt_2 \right\} \\ &= \frac{1}{t_*^2} \int_0^{t_*} dt_1 \int_0^{t_*} dt_2 \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u'(t_* + (i-1)t_* + t_1) \cdot u'(t_* + (i-1)t_* + t_2) \right\} \\ &= \frac{1}{t_*^2} \int_0^{t_*} dt_1 \int_0^{t_*} dt_2 \overline{u'(t_* + t_1) \cdot u'(t_* + t_2)} = \frac{2}{t_*^2} \int_0^{t_*} dt_1 \int_0^{t_1} dt_2 \overline{u'(t_* + t_1) \cdot u'(t_* + t_2)} \end{aligned}$$

となる。ここで、 $t_2 - t_1 = \xi$ 、 $t_1 = t$ とおき、 u' に於ける Lagrange 相関関数 $R(\xi) = \frac{u'(t_1)u'(t_1+\xi)}{\overline{u'^2}}$ を用いると、上式はつぎのようになる。

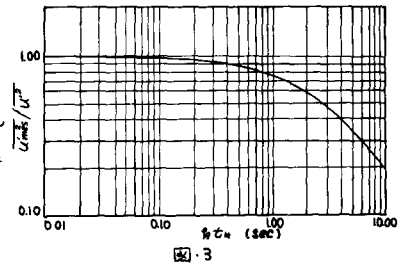
$$\overline{u_{mes}^2} = \frac{2\overline{u^2}}{t_*^2} \int_0^{t_*} dt \int_0^t d\xi R(\xi)$$

(7)

相関関数 $R(\xi)$ として、 $R(\xi) = e^{-\xi/t_*}$ を用いた場合における $\overline{u_{mes}^2}/\overline{u^2}$ と t/t_* との関係は図・3に示される通りである。

2. 回転式流速計の乱れに対する追従性

回転式流速計の乱れに対する追従性を調べるために、長方形断面の開水路流れの中に、回転式流速計と差圧式流速計とを相互間の干渉がない程度に近づけて設置し、同時に乱れを測定した結果を図・4に示す。図・4に見られるように、本研究で用いた回転式流速計の乱れに対する追従性はせめて良好であるといえよう。



図・3

以上の結果、開水路流れの乱れ計測用として回転式流速計を利用する方法は、種々の限界性を有するにもかかわらず、実用上においてかなりの有用性があるといえる。

参考文献

- 1) 石原, 村本, 今本: (第1報), 土木学会昭和37年度関西支部年次学術講演会講演概要, 昭37.11.
- 2) 石原, 今本: (第2報), 土木学会第18回年次学術講演会講演概要, 昭38.5.

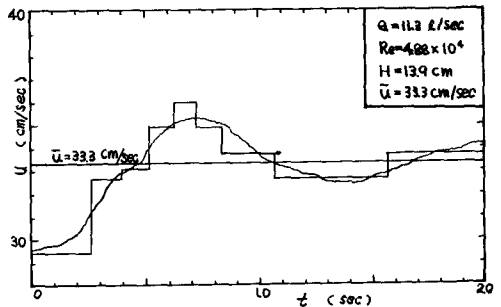


図 4