

III-7 各種流速計による流速測定について (第1報)

—— 回転式流速計による乱れ特性の測定について ——

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 村 本 嘉 雄

京都大学大学院 学生員 O 今 本 博 健

1. 緒 言

乱流現象を解明することは水理学上極めて重要な課題であるが、測定への困難さのため、現在では乱れの實體を確実に把握するまでには至っていない。開水路流れにおける乱れを測定する方法には、(1)油滴あるいは色素を流し、その拡散状態から乱れを算定する方法、(2)総圧式流速計による方法、(3)熱線流速計による方法、(4)熱膜流速計による方法、(5)電磁誘導式流速計による方法などがあるが、現在の段階ではまだ完全な方法はないといつても過言ではなからう。

流水中の乱れの測定は特に困難の原因は、主として、乱れが極めて不規則に変動し、しかも数百サイクルに達するものであること、および大多数の流速計は圧力の変動を測定しているのであって、流速の変動を直接に測定しているのではないということにあると考えられる。このような困難さも、将来の流速計の進歩により改良されていくことが期待されるが、本研究では、従来主として平均流速の測定に用いられてきた回転式流速計に着目し、回転数の変動を詳細に測定することにより、乱れを算定しようとするものである。

2. 回転式流速計による乱れの算定

一般に流速があまり小さい場合には、流速 u [cm/sec] と、単位時間当りの回転数 n [1/sec] の間には、下記の関係が成立する。

$$u = an + b \quad (\text{ただし, } a, b: \text{const}) \quad (1)$$

いま、プロペラが一回転するに要する時間 t [sec] を測定できるようにしてあくと、この回転に対する単位時間当りの回転数 n は、 $n = \frac{1}{t}$ であるから、プロペラの回転に対して t を連続的に測定することにより、下記のようにな乱れを算定できるはずである。すなわち連続した N 回転の記録をとり、測定を始めてから i 回転目に対する時間を t_i とし、流速 u_i および時間 t_i を N 回転間の平均値と変動分とに分けて考えると、(1)式により、

$$u_i = \bar{u} + u'_i = a \frac{1}{\bar{t} + t'_i} + b$$

となる。ここで、 $\bar{t} \gg t'_i$ と考え、右辺を級数に展開すると、下記のようにな表わされる。

$$u_i = \bar{u} + u'_i = \frac{a}{\bar{t}} \left[1 - \left(\frac{t'_i}{\bar{t}} \right) + \left(\frac{t'_i}{\bar{t}} \right)^2 - \left(\frac{t'_i}{\bar{t}} \right)^3 + \dots \right] + b \quad (2)$$

従来の取り扱いは、

$$\bar{u} \approx \frac{a}{\bar{t}}, \quad u'_i \approx -\frac{a}{\bar{t}} \left(\frac{t'_i}{\bar{t}} \right) \quad (3)$$

と近似して計算しているが、実験値により検討すると、かなりの誤差を生じる。そのため本研究では、 t_i に対応する回転数 n_i をもととし、 n_i の変動により乱れを算定した。平均値あるいは分散を計算するとき、各回転に対する時間的加重みを考慮すると、結局下記のようになる。

$$\bar{u} = \overline{(an_i + b)} = a\bar{n} + b \quad (4)$$

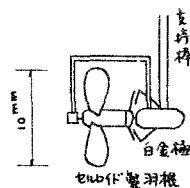
$$u_i' = u_i - \bar{u} = a(n_i - \bar{n}) = an_i' \quad (5)$$

$$\overline{u'^2} = \overline{(u_i - \bar{u})^2} = a^2 \overline{n_i'^2} \quad (6)$$

いす、 $\sum_{i=1}^N t_i = T$ とおくと、 $\bar{n}$ および $\overline{n^2}$ は、

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T}\right) n_i = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N (t_i \cdot \frac{1}{t_i}) = \frac{N}{T} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \overline{n^2} &= \overline{n^2} - \bar{n}^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{t_i}{T}\right) n_i^2 - \bar{n}^2 \\ &= \bar{n} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i - \bar{n} \right] \end{aligned} \quad (8)$$



図・1

3. 実験装置および実験方法

本研究に用いた回転式流速計は、栗谷氏²⁾の試作によるものと同型式で、その構造および大きさは、図・1に示されるとおりである。これに垂み計およびペン書きオッシロに接続することにより、1回転するごとの時間を測定できるようにした。この回転式流速計は、長さ10m、巾25cm、深さ35cm、路床勾配 $1/700$ のビニル樹脂製滑面の直線水路に設定し、平均流速一定にしてピトー管により平均流速を測定し、ペン書きオッシロの記録より平均回転数を算定して、 $\bar{u}$ と $\bar{n}$ の関係を求めた。つぎに回転式流速計を水路の中央に設置して、水深方向に0.5cmずつ移動させ、(4)~(8)式を用いて各点の乱れを計算した。

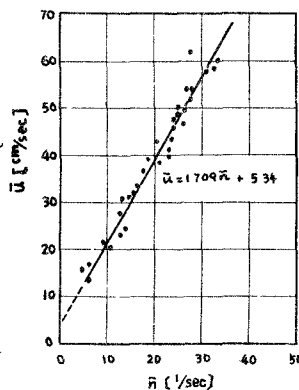
4. 実験結果から得られる吟味

ピトー管によって測定した平均流速 $\bar{u}$ と平均回転数 $\bar{n}$ の関係を示したのが、図・2である。図・2から、最小二乗法によって(4)式の a, b を決定すると、(4)式は、

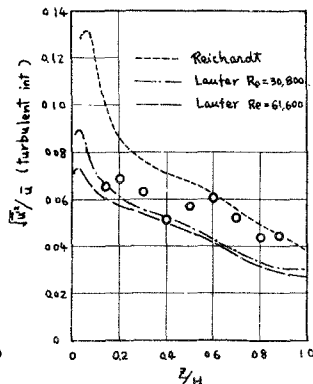
$$\bar{u} = 1.709\bar{n} + 5.34 \quad (9)$$

となる。

各測定点において、連続した100回転の記録から、(6)式によって乱れを計算し、乱れの強さ $\sqrt{\overline{u'^2}}/\bar{u}$ と相対深さ z/H の関係を図示すると、図・3のようになる。



図・2



図・3

回転式流速計により乱れを測定する場合、連続的に流速変動をある時間平均化される連続記録をとらえるため、平均化時間の影響を考慮する必要があるので、本実験条件では、図・3にみられるように、大体従来の実験値³⁾と一致する傾向がみられる。今後さらに要所とした実験条件のもとで、乱れ特性に関する詳細な検討を加えたいと考えている。

参考文献： 1) JOZEF PROCHÁZKA, "The effect of turbulence on current meter", IAHR-9th CONVENTION, 1961.

2) 栗谷陽一, "水槽実験用標準型流速計に就いて", 九州大学応用力学研究所報, 第12号, 8833.

栗谷陽一, "円管型流速計の特性について", 九州大学応用力学研究所報, 第16号, 8836

3) JOHN LAUFER, "The structure of turbulence in fully developed pipe flow", NACA Rep No.1174, 1953