

二成分熱膜流速計による管路流の乱れ計測について

京都大学 工学部 正 員 中川博次

京都大学 工学部 学生員 林津家久

京都大学 工学部 学生員 上田 寛

1. まえがき

Hot-Film 流速計は開発されてからの歴史も浅く、特に二成分 Hot-Film 流速計を用いた水流中の乱れ計測はあまり行なわれていないのが現状のようである。著者らは二成分 Hot-Film 流速計を用いる上での計測上の問題点を実験を通じて考え、共に計測の一例として十分乱れの発達した一様管路中の乱れの測定を行ない乱れエネルギーの収支関係を検討してみた。

2. 検定方法と計測上の問題点

検定は標準型のピトー管を用いて行ない、流速の範囲としては $0.5 \sim 3.5 \text{ m/sec}$ を選んだ。計測の基となる検定曲線は二成分 Hot-Film 流速計では次のように表わされる。

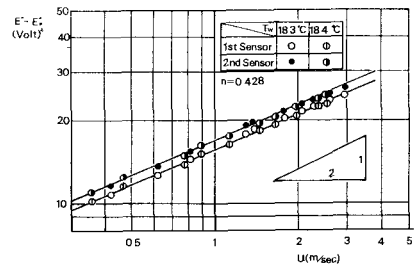
$$E_1^2 - E_{10}^2 = A_1 (U/\sqrt{2})^{n_1}$$

$$E_2^2 - E_{20}^2 = A_2 (U/\sqrt{2})^{n_2}$$

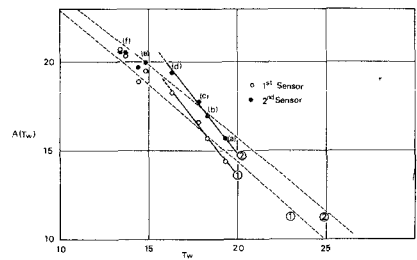
ここに E_1, E_2 はそれぞれ第1, 第2 sensor の出力電圧、特に E_{10}, E_{20} は静水中での出力電圧、 A_1, A_2, n_1, n_2 は定数である。図(1)は実験結果から得られた検定曲線の一例を示すものであるが、実験から明らかになったことは検定曲線における n の値は水温の変化に関係せずほぼ一定であって $n=0.428$ となることである。一対 A や E_0^2 は水温 T_w の影響を受けるがこれらの間の関係は図(2), (3) に示してある。なお図中に併示してある破線は $A \propto T_w, E_0^2 \propto T_w$ の比例定数を実験値から求めて決定した直線である。特に E_0^2 に関しては T_w が 13°C 前後の値で sensor 第1, 第2成分の出力が入れかわることを示してある。次に計測上注意すべき点について述べる。注意すべき点はいくつかあるが例えば計測中のノイズの影響があげられる。流速と出力電圧との関係は非線形形 $U \propto E^4$ であるから実験値からノイズの影響を試算してみると

$$\Delta U/U = (5.14 \sim 7.3) \Delta E/E$$

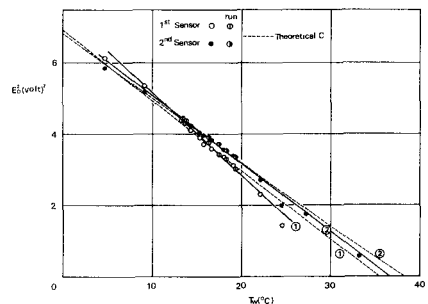
となり計測器で1%のノイズが入ったとすれば流速



図(1)



図(2)



図(3)

として6%の誤差として現われることになり、かなり大きな影響を及ぼすことがわかる。さらに注意すべき点として計測中に水温が変化した場合の影響があり、これは次式

$$\Delta U/U = -\Delta T_w / n A_1 \mu_n \cdot \{ 2.86 U^n + 0.195 \}, \quad n = 0.428$$

から $\Delta T_w = 1^\circ\text{C}$ の増加に対し14%の流速の減少が推定されることになる。従って検定曲線の定数は温度が変化すると共に温度補正をする必要がある。その他計測中 sensor に不純物が付着したり probe 内に水が入ったりした場合はミーター用の計器で感知できるからすみやかに処置することが必要である。

3. 一様管路流における乱れ計測

従来、空気流を対象とした一様管路流の乱れ計測は多く行なわれてきているが、ここでは水

流を対象とした乱れ計測の結果を示し、Reynolds 応力やエネルギー収支関係について述べてみる。二成分 Hot-Film 流速計による計測では最も重要な量は Reynolds 応力である、この量が求められるとエネルギー収支などの興味ある関係を求めることが可能になってくる。よく知られているように2次元一様管路流では各断面において Reynolds 応力は直線的に分布し

$$-P\bar{u}\bar{v} = \tau_0(1 - 2y/D), \quad \tau_0: y=0 \text{ のせん断力}$$

で示される。図(4)は $-\bar{u}\bar{v}$ の計測結果を示したものと実験的に τ_0 を求めることにより得られる直線を併示してある。次に2次元一様管路流におけるエネルギー式は

$$-P\bar{u}\bar{v} \partial u/\partial y = \frac{\partial}{\partial y} \left[P \frac{\partial^2 u^2}{\partial x^2} + P\bar{v} \right] - \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + P\epsilon$$

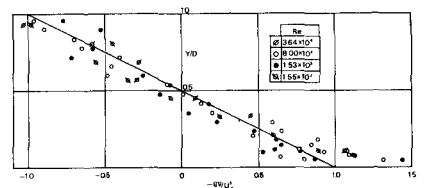
$$\text{ここに } \bar{g}^2 \equiv \bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2, \quad \epsilon \equiv \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \frac{\partial u}{\partial x}$$

上式は y 方向への乱れエネルギーの収支関係を示すもので左辺は乱れエネルギーの発生量(P)、右辺第1項は乱れエネルギーおよび圧力変動の拡散量(T)、第2項は粘性による仕事量(W)、第3項は乱れエネルギー逸散量(E)をそれぞれ表わしているが、各量の平均を比較することにより V.W. は他の量に対し無視でき

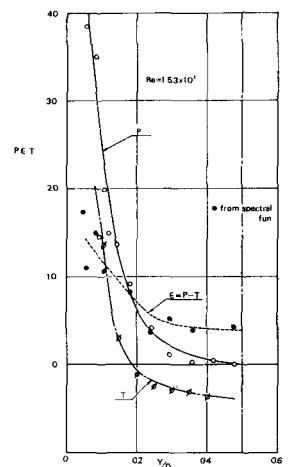
$$P = T + E$$

の関係が得られる。図(5)はこの関係を実験的に求めたものとおりが、P, T, E の値を評価するにあたっては多配は図解的に求め、T については $\bar{u}^2 \approx \bar{w}^2$ の仮定を置いている。図中の破線は P-T を表わす曲線であり黒丸印は Kolmogoroff の式から逆算して ϵ の値を求めたものかなり良く一致している

(参考文献) 例えば Laufer, J: The Structure of Turbulence in Fully Developed Pipe Flow, N.A.C.A. Report 1174, 1953



図(4)



図(5)