

Total head tube 型の変動流速計をもちいて、開水路乱流の測定を行い、Digital Computer (TAC; IBM 650) により、諸種の統計量を求めた。

まず、流速変動を電磁オシログラフにより記録 (13 sec) し、 $1/100$ sec 毎の変動値を読みとり、自己相関係数 $R(\tau)$

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u(t)u(t+\tau)}{u^2(t)} dt$$

および、平均の渦の大きさ

$$L_x = U \int_0^\infty R(\tau) d\tau$$

を計算した。

また、エネルギーの消散に關係する最小の渦の大きさ λ は、自己相関係数に $\tau=0$ で接する放物線が τ 軸を切る点から

$$\frac{1}{\lambda^2} = -\frac{1}{2U^2} R''(0)$$

として求めるのが普通であるが、Total head tube は、一つの機械振動系であり、高周波数のレスポンス特性の信頼度が低いこと、およびオシロの読み取り間隔を極めて小さくしなければならぬことから、次の zero-counting 法によって求めた。乱流記録が単位時間あたり π 中心軸を切る回数を N_0 、その点の平均流速を U とすれば、最小の渦の大きさ λ は、

$$\lambda = \frac{U}{\pi N_0}$$

である。(この方法で求めた λ は、約 1 cm となり、断面全体でのエネルギーの平衡を考えれば、やや大きい。しかし、ここに求めた値は一応 λ に比例するものと考えることが出来る。)

自己相関係数の Fourier 変換 (Filton の数値積分法) により、エネルギー・スペクトル

$$F(f) = 4 \int_0^\infty R(\tau) \cos 2\pi f \tau d\tau$$

を求めた。

これらの測定結果から、次の諸関係が確かめられた。

- ① 乱流の強さ $\sqrt{u^2}/U_x$ は、水路底面の粗滑、流体の差異、Reynolds 数に無関係に、壁面からの相対距離 y/δ によって定まる。
- ② 乱流の諸統計量の内には、等方性乱流の場合と同様にほぼ次の関係が成り立つ。

$$\frac{\lambda^2 \sqrt{u^2}}{\nu L_x} = \text{const.}$$

③ 上の2つの関係とエネルギー・バランス ($0 < y/h < 1/2$ ではエネルギー・プロダクションとエネルギーの消散は、ほぼ等しく; $0.8 < y/h \leq 1$ の範囲では、エネルギーの消散はエネルギーの拡散とほぼ平衡している — J. Laufer: NACA R 1174 1954) を考慮すれば、平均の渦の大きさ L_x は

$$\frac{L_x}{h} = \begin{cases} A \frac{\frac{y}{h}}{1 - \frac{y}{h}} \left(\frac{\sqrt{u_*^2}}{u_*} \right)^3 & (0 < y/h < 0.5) \\ B \left(\frac{\sqrt{u_*^2}}{u_*} \right)^3 & (0.8 < y/h \leq 1) \end{cases}$$

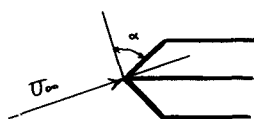
となり、壁からの距離 y/h への関係することが証明される。上の関係は実験結果とかなり良い一致を示す。

④ エネルギー・スペクトルは (Reynolds 数が、30,000 ~ 50,000 の閉水路流において) 周波数 10 cps 以上では、ほぼ y/h に無関係である。

なお、乱れの U, W 成分測定用の total head tube を試作した。これのピトー管部は、2本の細い内管を軸に45°の角度で切り取って、この面が互に90°をなすようにしたものである。

試作したピトー管の特性は、 H を圧力水頭の変化、 α を図に示す角度として

$$H = \frac{U_\infty^2}{2g} (C_1 - C_2 \alpha^2)$$



で示される。この関係は、 α が $45^\circ \pm 25^\circ$ の範囲で成り立っている。従って、2つのピトー管の乱れによる圧力水頭の変化は

$$H = \left\{ \left[\frac{C_1}{9} - \frac{C_2 \pi^2}{163} \right] u \pm \frac{C_2 \pi}{49} v \right\} U$$

である。この total head tube を用いて、一回測定を行ったが、乱れの強さは、Laufer の測定に比べて2倍程大きな値となった。おそらく、キャリブレーションの誤りであらうと思われる。他日を期した。

以上の結果を応用して、閉水路表面の拡散係数は

$$D_z = \text{const } C_f^{3/8} \left(1 - \frac{1}{K} \sqrt{\frac{C_f}{2}} \right)^{1/8} E^{1/8} L_a^{4/3}$$

で与えられることが示された。(ここで C_f は摩擦係数、 E は単位体積あたりのエネルギー損失、 L_a は Lagrange の平均の渦の大きさである。) Orlob (Proc ASCE HY 9 1959) は、 $D_z = \text{const } E^{1/8} L_a^{4/3}$ が成り立つことを実験的に証明しているが、この const は、更に粗度や Reynolds 数に依存するわけである。

また、空気混入流の一つの必要条件として

$$1 + K_1 \frac{\rho \sqrt{g} \cos \theta}{T} \sqrt{\frac{h}{I}} + K_2 \frac{\rho \sqrt{g} g^{1/4}}{T} h^{3/4} I^{1/2} < K_3 \frac{\rho \sqrt{g} g^{1/4}}{T} h^{3/4} I^{3/4}$$

を提案する。こゝに K_1 は水深の形に依存し、 K_2 は空気混入流の状態の定義に依存する定数である。