II−60　　河川の平均流速測定と観測時間の関係について

京大防災研　余越 正一郎

1。 河川の断面平均流速の測定法としては，最近新らしい方法が開発されつつあるが，現在一般に行なわれているのは，いずれも流断面積を適当に区分して，まずその中の平均流速をもとめるもので，低水はカレントメータ，高水は浮子を用いている。 流量を精度よく求めるためには断面区分を多くして，そこの平均流速を精度よく求めなければならない。 一区分断面での測定精度をあげるにはかなり長時間の測定が要求されるが，あまりに時間を要すると，全断面の測定を終了するまでに，求めんとする流量に変化を生じる場合も考えられる。 したがって，われわれは要求される測定精度に対する必要最小限の観測時間を知り，それにもとづき流量観測計画をたてなければならない。

河川の流れは著しい乱流状態にあり，速度変動の巾広いスペクトルが存在している。 特定の測器を用いてこのような乱流場の平均流速を測定する場合，測器の寸法や慣性によるスペクトルの高周波端切断は問題にならないが，観測時間は測定結果に著しい影響を与える。 本報告は浮子によりLagrange 的に測定する場合と， 1点に流速計を固定してEuler的に測定する場合の観測時間と平均流速の測定誤差の関係について述べるものである。

2。 流れの場は定常・一様とし，主流方向の成分のみ考える。 1つの浮子が原点を出発し，T_{**}時間後に到達する距離を$X(T_{**})$，真の平均流速をU，$\overline{X}=UT_{**}$ とすると，

$$\overline{|X(T_{**})-\overline{X}|^2}=2\overline{u_L^2}\int_0^{T_{**}}(T_{**}-\xi)R(\xi)d\xi, \qquad (1)$$

$\overline{u_L^2}$ はLagrange 流の乱れ速度，$R(\xi)$ は Lagrange 相関係数である。 一方，一点に流速計を固定して測定する場合，T_* 時間の測定からえられる平均流速を $\tilde{u}_{T_*}$ とすると，

$$\overline{|\tilde{u}_{T_*}-U|^2}=\frac{2\overline{u_E^2}}{T_*^2}\int_0^{T_*}(T_*-t)R(t)dt, \qquad (2)$$

$\overline{u_E^2}$ はEuler流の乱れ速度，$R(t)$はEuler相関係数である。

3。 流れの場はKolmogorovの理論から次のように表らわされるものと仮定する。

$$R(\xi)=\begin{cases}1-\alpha\dfrac{\xi}{\tau_0} & : \xi\le\tau_0\\ 0 & : \tau_0<\xi\end{cases}, \qquad R(t)=\begin{cases}1-\beta\left(\dfrac{t}{T_0}\right)^{2/3} & : t\le T_0\\ 0 & : T_0<t\end{cases} \qquad (3)$$

α，βは普遍定数，τ_0，T_0は最大乱子の寿命時間と通過時間である。 したがって，$T_{**}\gg\tau_0$，$T_*\gg T_0$の場合，$\alpha=\beta=1$ として (1)，(2)を計算すると，$T_L=\int_0^\infty R(\xi)d\xi$，$T_E=\int_0^\infty R(t)dt$ を用いて，

$$\overline{|X(T_{**})-\overline{X}|^2}=2\overline{u_L^2}T_LT_{**}, \qquad \overline{|\tilde{u}_{T_*}-U|^2}=\frac{2\overline{u_E^2}T_E}{T_*} \qquad (4)$$

がえられる。

4. ここで，

$$\overline{|X(T_{**})-\overline{X}|^2}/\overline{X}^2=\epsilon_{**}^2, \quad \overline{|\tilde{u}_{T_*}-U|^2}/U^2=\epsilon_*^2$$

とすると，ϵ_{**}，ϵ_*はT_{**}時間の浮子流下，あるいはT_*時間の流速計動作から求められる平均流速の相対誤差を与えるものであるから，観測時間と誤差の関係は(4)より，次となる，

$$T_{**}=2\frac{\overline{u_L^2}}{U^2}T_L\frac{1}{\epsilon_{**}^2}, \qquad T_*=2\frac{\overline{u_E^2}}{U^2}T_E\frac{1}{\epsilon_*^2}. \tag{5}$$

次に同一誤差（$\epsilon_{**}=\epsilon_*$）の場合のT_{**}とT_*の関係についてみると，$\overline{u_L^2}=\overline{u_E^2}=\overline{u^2}$ および，$T_L/T_E=A/(\sqrt{\overline{u^2}}/U)$，（Aは定数）とすると，$T_{**}/T_*=A/(\sqrt{\overline{u^2}}/U)$ がえられる。河川の水面に近い領域では，$\sqrt{\overline{u^2}}/U\approx 1/20$[(1)]，また $A\approx 2/5$[(2)] とすると $T_{**}/T_*\approx 8$ となる。すなわち，同一精度で平均流速を求める場合，浮子で測定する場合にはカメントメータで測定する場合の約8倍程度の時間に相当する流下距離で観測をしなければならない

5. 河巾が充分広い場合に，(5)のT_{**}を計算してみる。$\overline{u_L^2}T_L$は拡散係数に相当するものであるから，水面近くを考えると $\overline{u_L^2}T_L=A'u_*H$ とおける（u_*：河床マサツ速度，H：水深）。さらに$u_*=\sqrt{gHi}$，$U=C\sqrt{Hi}$ （i：勾配，C：Chezyの係数）を用いると，T_{**}とϵ_{**}の関係が平均的水理量を用いて表示できる。もし，$A'=6.3$とすると（Elder），

$$T_{**}\approx\frac{40}{C^2}\sqrt{\frac{H}{i}}\frac{1}{\epsilon^2} \qquad (\text{単位：m, sec}) \tag{6}$$

実際の流速測定では，種々の都合から同一点での測定を数回くり返して，その平均から平均流速を求めるようであるが，その場合 $\overline{\left|\frac{1}{n}\sum^n X(T_{**})-\overline{X}\right|^2}=\frac{1}{n}\overline{|X(T_{**})-\overline{X}|^2}$ であるから，繰返しの総計の時間が，$T_{**}\gg\tau_0$の条件の下で(6)を満足するようにすればよいであろう。

6. 水深Hにくらべて河巾Bが著しく大きい河川においては，河巾を特徴的スケールとするような大規模な水平乱れの影響も考慮しなければならないであろう。この場合の相関係数としては，(3)のかわりに次のようなものを用いてはどうかと考えている。

$$R(\xi)=\begin{cases}1-\alpha\frac{\xi}{\tau_0} & : 0\leq\xi\leq\tau_0\\ 1-\alpha & : \tau_0\leq\xi\leq\tau_M\\ 1-\alpha\frac{\xi}{\tau_{00}} & : \tau_M\leq\xi\leq\tau_{00}\end{cases}, \qquad R(t)=\begin{cases}1-\beta\left(\frac{t}{T_0}\right)^{2/3} & : 0\leq t\leq T_0\\ 1-\beta & : T_0\leq t\leq T_M\\ 1-\beta\left(\frac{t}{T_{00}}\right)^{2/3} & : T_M\leq t\leq T_{00}\end{cases} \tag{7}$$

τ_{00}，T_{00}は河巾を特徴的スケールとする2次元的な大規模水平乱流場の最大乱子の寿命時間と通過時間である。領域 $\tau_0\leq\xi\leq\tau_M$，$T_0\leq t\leq T_M$ は鉛直乱流場の構造函数の飽和領域，あるいは気象学でいうところのメソスケールのスペクトルのギャップに相当するものである。鉛直乱流場と水平乱流場のエネルギーカスケードのフラックスをε_V，ε_Hとすると，$(\tau_M/\tau_0)\sim(T_M/T_0)\sim(\varepsilon_V/\varepsilon_H)\sim$ $\sim(u_V/u_H)^3(B/H)$ である。ここにu_V，u_Hは鉛直乱流場と水平乱流場の最大乱子の速度である。

(1) 余越：京大防災研年報，11B，（昭43.3）

(2) 余越：土木学会年次学術講演会，II-93（昭43.10）