

電磁流速計による乱れの測定

東北大学大学院 学生員・小暮和史
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫
東北大学工学部 学生員 伴 一彦

1 まえがき

従来、開水路において底面せん断力を求める方法としては、水深と水面勾配により求める方法、流速分布として対数則を仮定して、摩擦速度から求める方法などが考えられる。しかし実際の河川においてその他の方法によるせん断力の測定例は少ないようである。そこで著者は、盛岡市近郊の四十四田ダム貯水池において、電磁流速計を用いて乱れの測定を行ない、流速変動からレイノルズ応力すなわちせん断力を算定し、従来の理論式との比較を行ない、また乱れ特性について若干、検討したのでここに報告する。

2. 測定方法

測定地点は、水深2.3mの普通の河川と同じ取扱いができるような、いわゆる貯水池の河道部である。測定には、X-Y型電磁流速計を用い、鉛直方向に5点で主流方向流速 u 、水深方向流速 v を同時に1分前後測定し、記録紙の連続記録を時間間隔 $\Delta t (= 0.05 \text{ sec})$ で読みとり離散的な量に直して、平均速度 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ や変動速度 u' 、 v' などを計算した。

3. 結果および考察

表-1は各点の $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ その他の計算結果をまとめたものである。各点のせん断力は次式により算定することができる。

$$\tau = -\rho \overline{u'v'} \quad (1) \quad \rho: \text{流体の密度}$$

一般に対数流速分布式を次のように表わすことができる。

$$\frac{U(Z)}{U_*} = \frac{1}{K} \ln Z + C, \quad (2) \quad K: \text{カルマン定数} \\ C: \text{定数}$$

図-1は縦軸に水深 Z を対数目盛でとり、横軸に主流方向の平均速度 $\bar{u}$ を普通目盛でとったものである。水面に近いPT. 1, 2の実測値は別として、底面付近の3点、PT. 3~5はほぼ直線上のり、この付近の流速分布は対数則とあてはめることができようである。(2)式からわかるように、この3点を直線近似するとその直線の傾きから摩擦速度 U_* が求められ、さらに次式により底面せん断力 τ を求めると 11.5 dyne/cm^2 となった。

$$\tau = \rho U_*^2 \quad (3)$$

ここで求めた τ と断面平均流速 U_m を用いて次の(4),(5)によりマンニングの粗度係数 n を求めてみると $n = 0.030$ と妥当な値となった。

$$\tau = \frac{f'}{2} \rho U_m^2 \quad (4) \quad f': \text{抵抗係数}$$

$$f' = \frac{2g n^2}{H^{1/3}} \quad (5) \quad H: \text{水深}$$

図-2は(1)式により求めた τ と(3)式により求めた τ から

PT.	1	2	3	4	5
Z(m)	1.8	1.3	0.8	0.3	0.1
Z/H	0.78	0.57	0.35	0.13	0.04
$\bar{U}$	62.7	55.2	45.4	38.7	28.1
$\bar{V}$	1.2	-5.0	-2.1	-1.3	-5.4
$-\overline{U'V'}$	2.5	3.5	8.9	18.6	8.5
$\overline{U^2}$	19.4	18.4	5.8	7.2	3.3
$\overline{V^2}$	1.8	5.1	5.0	3.9	4.8

表-1

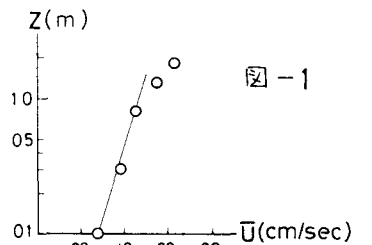


図-1

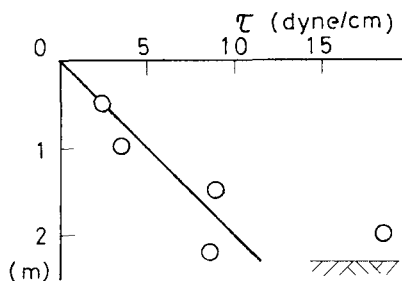


図-2

次式のように τ を直線近似し、比較したものである。

$$\tau = \tau_0 (1 - Z/H) \quad (6)$$

(1)式で求めた実測値はPT. 3, 4特にPT. 4では理論値より大きいようであるが全体的には現地での測定としてはよく合っていると思う。図-3は乱れ強さを主流方向の平均速度で無次元化した $\sqrt{u'}/\bar{u}$, $\sqrt{v'}/\bar{u}$ と相対水深 Z/H との関係を示したものである。底面のごく近くであるPT. 5の測定値は不安定になることが予想され、乱れ強さが大きくてもやむをえないとしてもPT. 3および4の乱れ強さが主流方向、水深方向共に大きいようである。

これは図-2においてPT. 3および4の実測値が理論値より大きいことと対応していると思う。ここで実際にPT. 3および4の乱れ強さが大きいと推定するよりも、河床の原形によりPT. 3および4の測定値の変動が大きくなり計算上、乱れ強さが大きくなり、それに伴い、せん断力の値も大きくなり理論値と合わなくなったと考える方が無理がないと思う。

次に主流方向流速の乱れ特性として、変動速度の自己相関関数を次式により求めてみた。図-4はその一例である。

$$R(\tau) = \frac{\overline{u'(t)u'(t+\tau)}}{\bar{u}^2} \quad (7)$$

一般に乱流は種々のスケールの渦の集合であるとみなすことができ、平均的な大きさとして平均渦径 Λ 、エネルギー消散に関連する小さな渦径の代表値として最小渦径 λ などが考えられる。ここでは自己相関関数を用いて次のように Λ , λ を求め表-2に計算結果をまとめてみた。

$$\tau_\Lambda = \int_0^\infty R(\tau) d\tau \quad (8)$$

$$\Lambda = \bar{u} \cdot \tau_\Lambda \quad (9)$$

最小渦径 λ は図-5に示すように、自己相関関数の頂点($\tau=0$)でこれに接する放物線が横軸を切る点の座標を τ_λ とし、次式により求めた。

$$\lambda = \bar{u} \cdot \tau_\lambda \quad (10)$$

渦径の計算結果が実際の乱れのスケールを表わしているかを論ずることは難しいが、平均渦径、最小渦径共にオーダー的には表わしたと思う。

4. 結 語

今回の研究により、貯水池河道部において底面付近の流速分布として対数則を仮定し、摩擦速度から底面せん断力を求める方法の妥当性が証明された。そこで、もし河道部以外の地点、たとえば河道部から貯水池への遷移部などにおいても、底面付近の流速分布が対数則にのっとしたなら、今回のように河道部と同じようにして底面せん断力を求めることができ、堆積物質の洗掘など問題に非常に有効である。今後はこの点について検討してゆきたいと思う。

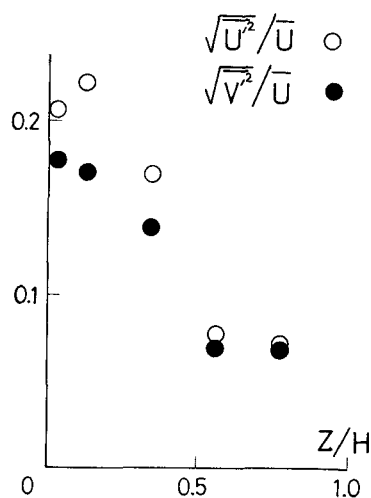


図-3

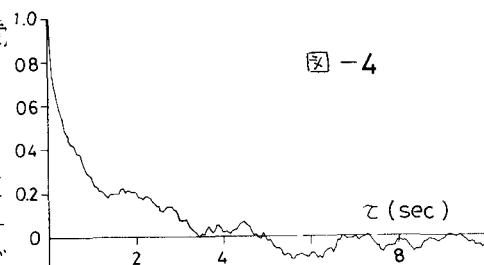


図-4

P.T.	1	2	3	4	5
Z (cm)	180	130	80	30	10
τ (sec)	1.0	0.9	0.9	2.6	3.1
τ_Λ (sec)	0.10	0.12	0.08	0.10	0.13
Λ (cm)	61	48	40	100	86
λ (cm)	6.3	6.8	3.6	3.9	3.6

表-2

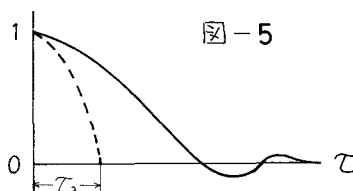


図-5