

岐阜大学工学部 正員 河村 三郎

大同工業大学 正員 久保田 稔

岐阜大学大学院 学生員 〇光岡 昭彦

1) はじめに 実際河川の河床に働く剪断応力は、河床土砂の運動を決定する上で、大きな要因となっている。したがって、河床土砂の挙動を知る上で、河床剪断応力がどのような特性を持っているかを考察することは重要であると思われる。このような考えから、我々はフラッシュセンサーにより河床剪断応力を測定し、その特性を調べることとした。

2) 実験方法 実験は水路幅40cm、長さ15.5mの循環式水路内に、幅15cm、長さ8mの合成樹脂製水路を取り付けを行った。測定は水路上流端から6mの位置で、水路床にフラッシュセンサーを取り付け熱線流速計により行った。また、水路下流端で流量を測定した。水路床に取り付けたセンサーの出力電圧 E と剪断応力 τ との関係は以下のようにして求められる。

定常層流に対する熱方程式は、

$$ak^2w(\Delta T_0/Qw) - (b/2)(dp/dx) \cdot R(\Delta T_0/Qw)^2 = -\mu^2 L / \rho k r \quad (1)$$

であり、もし圧力勾配が無視できるとすれば、

$$\tau_w^{\frac{1}{2}} = (\mu^2 / \rho a L)^{\frac{1}{2}} (-QwL / kaT_0) \quad (2)$$

である。上式にKingの法則を適用すると、

$$\tau_w^{\frac{1}{2}} = A(bR/\Delta T_0) + B' \quad (3)$$

となる。ここで、 τ は電流、 R は抵抗、 ΔT_0 は温度差、 A' 、 B' はともに定数である。したがって、有効剪断応力 τ_e と出力電圧 E との関係は、

$$E^2 / R(R - R_0) = A + B\tau_e^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

となる。ここで、 R_0 は流体温度でのセンサーの抵抗、 R は測定時での抵抗である。一般に K を過熱比とすると、 R と流速零の時の抵抗 R_0 の関係

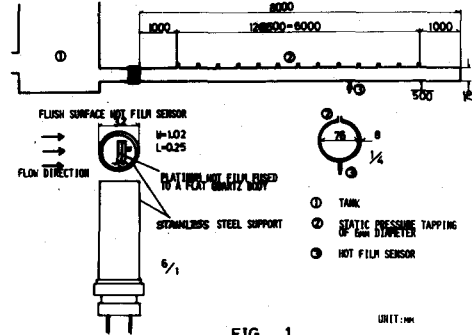


FIG. 1

は $R = K \cdot R_0$ であり、今回の実験では $K = 1.05$ とした。

3) キャリブレーション曲線の決定 定数 A 、 B を決定するために、図1に示すような長さ8m、管内径7.6cmの塩化ビニール管にセンサーを取り付けて実験を行った。実験では、圧力勾配を測定して平均剪断応力 τ を求め、その時の平均出力電圧 E を計算して、

最小自乗法によ

り A 、 B を求め

た。その結果

図2のようなキ

ャリブレーション

曲線を得た。

4) 実験結果と考察

表1には、それぞれの実験についてReynolds数、Froude数ごとに実験条件を示した。表の各欄の上段は実験番号、中段は水深(cm)、下段は流量(cm^3/sec)である。なお、このついている実験は、思わしくない結果が出ていると考えられるので、これ以後の考察は行わなかった。

瞬間剪断応力 τ の変動成分でのR.M.S.値 τ_r を平均剪断応力 τ で無次元化した値が図3に示してあ

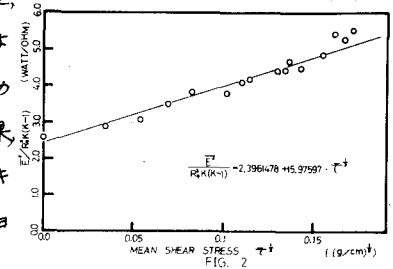


FIG. 2

TABLE 1

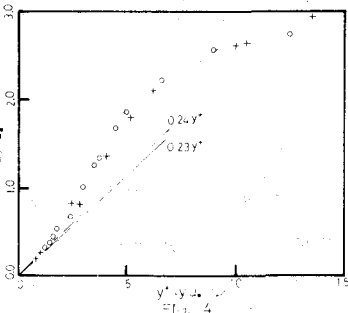
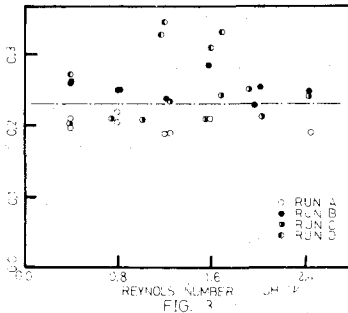
Re	Fr	1.60 --- 2.1	1.0 --- 0.92	0.70 --- 0.49	0.22 --- 0.10			
2.5	A-1-1	A-2-1	B-1-1	B-2-1	C-1-1	C-2-1	D-1-1	D-2-1
	3.44	3.44	4.66	4.34	5.98	5.95	12.38	12.36
2.3	4525.0	4756.8	4752.1	4545.6	4550.9	4509.4	4550.6	4252.3
2.1	A-1-2	A-2-2	B-1-2	B-2-2	C-1-2	C-2-2	D-1-2	D-2-2
	2.95	3.01	3.92	3.95	5.25	5.11	11.71	11.92
1.9	2884.5	3769.5	3778.4	3854.4	3731.1	3789.4	3663.0	3725.3
1.7	A-1-3	A-2-3	B-1-3	B-2-3	C-1-3	C-2-3	D-1-3	D-2-3
	2.61	2.61	3.49	3.27	4.62	4.45	10.59	10.67
1.6	3078.3	3072.9	3165.3	3011.5	3007.1	3069.1	2979.9	2966.3
1.2	A-1-4	A-2-4	B-1-4	B-2-4	C-1-4	C-2-4	D-1-4	D-2-4
	2.27	2.17	2.89	2.78	3.96	3.81	8.87	8.93
	2414.6	2369.0	2407.4	2274.8	2269.1	2288.6	2224.5	2234.0
0.8	A-1-5	A-2-5	B-1-5	B-2-5	C-1-5	C-2-5	D-1-5	D-2-5
	1.70	1.68	2.30	2.13	3.21	3.05	6.72	6.88
	1573.7	1578.9	1595.9	1507.8	1479.2	1542.7	1561.3	1507.5
0.4	A-1-6	A-2-6	B-1-6	B-2-6	C-1-6	C-2-6	D-1-6	D-2-6
	1.13	1.11	1.48	1.45	2.18	2.02	3.82	4.22
	783.0	803.0	791.4	757.1	744.8	747.6	758.0	760.1

る。この図から、 τ/τ_0 の値は多少ばらついてはいるが Reynolds 数には関係がなく一定であるように思われる。そこで我々は τ/τ_0 は定数であると考え、ばらつきを考慮して平均値 0.23 をその値とした。これまでに壁面剪断応力を測定した例には Grass や Blinco らのものがあるが、Grass は水素気泡法による実験で壁面近傍の速度勾配より剪断応力を求めており、彼の結果

からは τ/τ_0 は一定で、その値は 0.4 であると考えられる。

一方 Blinco らは水路床に埋め込んだフラッシュセンサーによる測定を行い、 τ/τ_0 は Reynolds 数により変化すると述べている。

Eckelmann は粘性底層内において、速度変動成分 u'/u^* と u^*y/ν の関係を $u'/u^* = a u^*y/\nu$ と表わし、 $a = 0.24$ であると述べている。剪断応力は $\tau = \tau_0 + \tau'$ であるので、粘性底層内では、 $\tau'/\tau_0 = \tau'/\tau_0 = (\mu du/dy)/(\mu d\bar{u}/dy)$
 $(a u^*y/\nu)/(u^*y/\nu) = a$

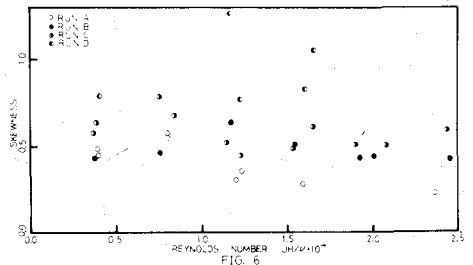


である。前述したように $\tau/\tau_0 = 0.23$ という結果を得ており、これは Eckelmann の結果とよく一致していると思われる。なお図 4 には Eckelmann の実験曲線と我々の結果が示してある。

次に、瞬間剪断応力を $\tau_i = (\tau_0 - \tau')/\tau_0$ と無次元化して、11000 個のデータより頻度分布を求めた。図 5 には代表的な頻度分布が示してある。

図 6 には、それぞれの分布の Skewness の値が Reynolds 数に対してプロットしてある。RUN 1-D の実験では

大きくばらついてはいるが Skewness の値は 0.4 ~ 0.8 ぐらいである。他の研究者の実験結果から壁面上での Skewness の値を推定すると、それは約 0.6 ~ 0.7 のようであり我々の実験も同様の結果を示しているものと思われる。また、図 6 から、Reynolds 数が増すにしたがって Skewness は最初増加し、ある点でピークを示した後減少し、それ以後は一定になるようである。つまり Skewness はある Reynolds 数以上の領域では一定であり、それより低い Reynolds 数の領域では変化していると思われる。したがって、ある Reynolds 数より高い Reynolds 数では分布形は一定であり、それ以下の Reynolds 数では分布形は変化しているものと考えられる。



5) 参考文献

Eckelmann, H. "The structure of the viscous sublayer and the adjacent wall region in a turbulent channel flow" 1974, Vol. 65