

京都大学防災研究所 正員 宇民 正, 上野鉄男

はじめに

(12)

著者の提案した開水路流れの大規模乱流構造の物理モデルによると、乱流構造は基本的に、①水路床のごく近傍にしまつめられたオ1次渦、②それらが局部的に集中させられて発生したオ2次渦(馬蹄型渦)、③馬蹄型渦により引き起こされる2次流、および④主流から成っている。したがってこれらのモデルの各構成要素の強さ、大きさおよび配置が明らかになれば、流れの流速分布特性についてもある程度解明できる筈である。本報告は、流れの可視化の手法を用いてこれらの値を実験的に評価し、それを基礎に開水路流れの流速分布特性について若干の考察を加えたものである。

実験と解析の方法

水素気記法の陰極線(長さ30cm)を水路横断方向かつ水平にはり、それに5~20Hzのパルス状の電圧をかけながら、気泡列の模様を水路上方にすえつけたカメラで水面を通して1秒間隔で20秒間撮影した。実験は表-1に示す6つの水理条件の下で行なわれ、各水理条件下では陰極線の位置を種々変えて撮影を行なった。本報告の目的は平滑水路床の上の流れの流速分布特性を検討することにあるが、実験では平滑水路床の上の流れとともに人工粗度を配置した流れについても実験を行なった。その理由は、粗度列の横断方向の間隔を水深Hの約2倍にしておくと、粗度列上に馬蹄型渦が集中して発生するので、馬蹄型渦の存在しない主流領域の流速分布特性が把握しやすいと考えたからである。⁽²⁾表-1の水理条件では流れは不等流状態となるので、まず速度を評価するにはエネルギー勾配 I_E を用いて $\sqrt{gHI_E}$ によった。

実験された各瞬間の流速の横断方向の分布は典型的なパターンは図-2(a)に示されるようである。このパターンから横断方向にはほぼ一様に分布する流速成分と横断方向に断続的に配置されている速度欠損部分とが合成されたものとして全体の流速分布が把握され、この一様分布する流速成分は主流により、また速度欠損部分は馬蹄型渦によるものと考えられる。このような流速分布を統計的に解析処理するために、これを次のようにモデルにした。すなわち、図-2(a)のパターンの基本単位は図-2(b)に示されるようなものであり、速度欠損部分の流速分布曲線は正弦関数で表され、それ以外の部分は一様分布であると便宜的に仮定した。そうすると、図で a は馬蹄型渦の強さを、 b はそのスケールを、そして l は渦とよしの間隔を示す指標となる。また平均流速 U_m は、流速の横断方向の分布を平均化することにより、 $U_m = U_0 - ab/2l$ ---- (1) で計算される。また乱れ速度も同様の考えの下に計算され次式のようになる。 $U' = \{ (U_0 - U_m)^2 l - (U_0 - U_m) ab + 3a^2 b/8 \}^{1/2} / l$ ---- (2)

実験結果

実験結果から流速の各基本単位毎に a, b, l, U_0 をよみとり、それらの各値の水路床からの各高さ z 毎の平均値を計算した。その結果を図-3~図-8に示す。ただし図で z^+ は zU_0/ν を意味する。

主流成分 U_0 ; U_0 の分布はバッファ域と対数域とでその性格を異にしているようである。また人工粗度が適

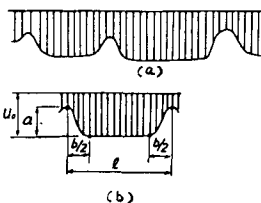


図-2 (a) 流速の横方向分布
(b) そのモデル化

TUN	流量 (l/sec)	水深 (cm)	I_E	U_* (cm/sec)	路床状態
A	1.26	3.89	2.2×10^{-3}	0.92	人工粗度($P=2.5cm$)
B	2.89	4.23	7.8×10^{-3}	1.80	" ($P=2.5cm$)
D	0.72	4.06	1.1×10^{-3}	0.66	" ($P=5cm$)
E	0.72	4.07	1.0×10^{-3}	0.63	平滑路床
F	1.25	4.12	1.5×10^{-3}	0.78	"
G	2.94	3.97	3.6×10^{-3}	1.18	"

表-1 実験条件(人工粗度路床の場合は右図参照)

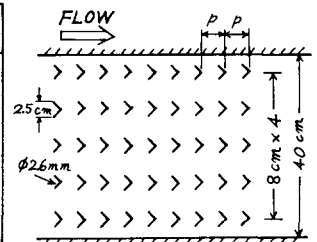


図-1

当に配置されると、2次流が組織的に発達することが指摘されているが、図によるとその場合には u_0 の分布が対数域で一様となっており注目される。

最大欠損流速度 Q ；図から Q の分布は片対数紙上での2本の直線から成立っており、それぞれの直線はバッファー域と対数域とに対応していることがわかる。

速度欠損域の大きさと間隔 l ；両者ともに Z^+ の増加とともに増加する傾向が認められる。

実験結果に関する考察

以上の実験結果と著者の乱流構造モデルとを対比すると、粘性底層は水路床のごく近傍にきまつめられたオリ次渦の領域に相当し、バッファー域は馬蹄型渦が発生・発達している領域に相当すると考えられる。また対数域は、組織化された馬蹄型渦あるいはそれによって引き起こされた2次流が発達している領域と考えられる。ここでは馬蹄型渦は組織化されるとともに減衰すると考えられる。 Q の値がバッファー域では Z^+ の増加とともに増加し、対数域では減少している事実も上の考察を裏づけている。

次に、以上の考察に基づいて各パラメーターの変化の状況を下表のように概念的にモデル化してみた。これらのモデル化された各パラメーターの数式表示と(1)式とから床水路流れの平均流速分布式として次式がえられる。

$$Z > \delta_B ; \quad u_m / u_* = (U_0 - A_0 B_1) + k_1 B_1 \log (Z / \delta_B) \quad \cdots (3)$$

$$Z < \delta_B ; \quad u_m / u_* = \left(\frac{Z}{\delta_B} U_0 - A_0 B_2 \right) - k_2 B_2 \log (Z / \delta_B) \quad \cdots (4) \quad \delta_B: \text{バッファー域厚}$$

参考文献

- 1) 宇民・上野；京大防災研年報，才19号，1976， 2) 宇民・上野，同在，才20号，1977。

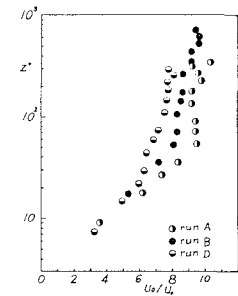


図-3

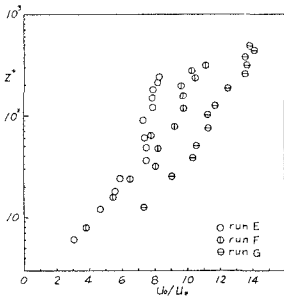


図-4

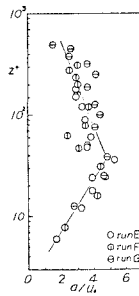


図-5

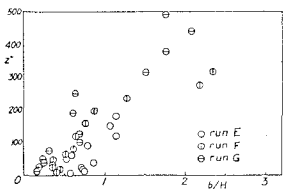


図-6

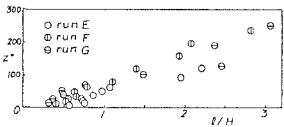


図-7

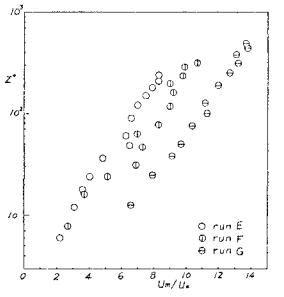


図-8

諸要素		u_0	a	b/l
モデル化				
数式表示	対数域	$\frac{u_0}{u_*} = U_0 \text{ (const.)}$	$\frac{a}{u_*} = A_0 - k_1 \log \frac{Z}{\delta_B}$	$\frac{b}{2l} = B_1 \text{ (const.)}$
	Buffer域	$\frac{u_0}{u_*} = \frac{Z}{\delta_B} U_0$	$\frac{a}{u_*} = A_0 + k_2 \log \frac{Z}{\delta_B}$	$\frac{b}{2l} = B_2 \text{ (const.)}$

表-2 各パラメーターのモデル化