

各種河床面上の流水の内部構造に関する実験的研究

京都大学工学部 正員 中川博次 京都大学工学部 正員 萩澤家久
 京都大学工学部 正員 富永晃宏 京都大学大学院 学生員 〇若井 健

1. まえがき 実河川と見られる河床形態には様々なものが存在するが、本研究はその一つである縦筋(sand ribbons)に注目し、そのような河床面上における流水の構造がどのようなになるかを明らかにしようとするものである。すなわち、長方形断面を有する一様な管路に、水流より乱れ計測が正確かつ容易な空気乱流を発生させ、滑面、粗面及び滑・粗面混合などの各種底面状態を作り、一成分ホトワイヤ流速計により、管路横断面内の流速分布を測定することにより、流水の内部構造一特に二次流一の解明を図り、開水路流れのシミュレーションを行おうとするものである。

2. 実験装置および方法 図-1は、本研究で用いた風洞であり、 $8\text{cm} \times 18\text{cm}$ の長方形断面の管路流である。そこで縦筋の形成される河床面上の流れについて村本¹⁾は、土砂の洗掘部(粗度の大きい部分)の方が、堆積部(粗度の小さい部分)より、主流の流速は遅くなることを示した。Miller²⁾は、開水路床に粗面と滑面を交互に設置し、流速を詳細に測定した結果、粗面上の方が滑面上より流速は遅くなること、また、粗面上では下降流が、滑面上では上昇流が現われ、このような底面状態においては、いわゆる並列流せん流が存在することを示した。以上のことに鑑み本研究では底面状態を全滑面、全粗面、粗・滑面混合(図-2)とし、順にcase 1, 2, 3, 5とよぶことにする。case 3の粗度の配置は、測定断面内に二次流が存在すれば、その幅は管路の高さの半分、つまり 4cm になるであろうとの予測のもとで決定された。case 5は、case 3の粗度の幅をさらに半分にした時にも果して明瞭な二次流が存在するかを確かめる実験である。なお、実験条件は表-1に示す通りである。

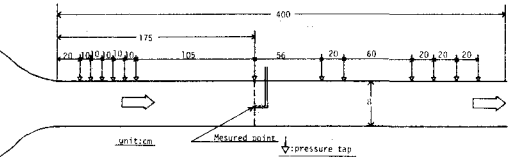


図-1. 実験装置の外観

	U (m/s)	U_{max} (m/s)	Re
CASE 1	4.528	5.192	11885
CASE 2	3.850	4.943	11535
CASE 3 (S)	4.068	5.280	12294
CASE 3 (R)	4.430	5.362	13225
CASE 5 (S)	4.470	5.585	13500
CASE 5 (R)	4.293	5.614	12965

(S): Over the smooth bed
(R): Over the rough bed

表-1 実験条件

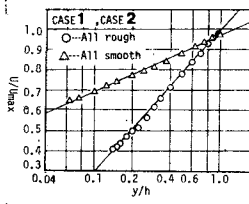


図-3. 流速分布

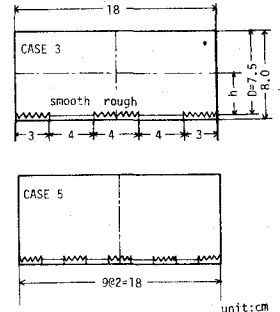


図-2 粗度の配置

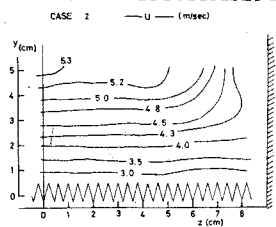


図-4. 等値線分布

3. 実験結果および考察 図-3はcase 1, 2の平均流速分布である。両者共に片対数紙上で直線分布し、対数則が成立することがわかる。図-4はcase 2の等流速線図である。また 6cm 以内の管の中央部では、平均流速の横断方向への変化はほとんど

となり。すなわち、底面状態が横断方向に一律の時は、圓洞内の流速に拘りや2次流等はほとんどないものといえる。図-5, 図-6は、それぞれ case 3, case 4 の平均流速分布である。これらの図より、次のことがわかる。

- (1): 滑面上、粗面上とも流速分布はほぼ同じ高さで屈曲点をもつ。すなわち、この屈曲点と境にして、底面近傍の Inner-zone と、底面から十分離れた Outer zone に領域が分けられる。(2): 滑面上では、屈曲点の前後で直線の勾配が緩から急になつてゐる。このことから、滑面上の Outer zone は全滑面の場合と比較して強いスプーをもち、乱れエネルギーも大きいと推測される。(3): 粗面上では、滑面上と全く逆の結果となる。すなわち、粗面上の Inner zone の乱れエネルギーは全粗面の場合より大きい。(4): Outer zone では、底面の影響を平均的に受けるため、直線の勾配は底面の状態にかかわらずほぼ一定である。(5): case 3 に比べて case 5 では、特に粗面上において勾配の変化が小さい。case 3 では並列3せん流が最も生じやすく、エネルギーの横断方向への輸送が著発に行われるのに対し、case 5 では、エネルギー差が小さく、並列3せん流は発生しにくいものと考えられる。

次に温度方程式により、3せん流の検討を行う。温度成分とし、 $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{z})$ とし、かつ流れは流下方向に一律とすると形成成分の温度方程式は

$$\frac{\partial \bar{z}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} = \underbrace{\frac{\partial^2}{\partial x^2} (\bar{v}^2 - \bar{w}^2)}_{P_1} + \underbrace{\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \bar{v} \bar{w}}_{P_2} \dots (1) \quad \text{となる}$$

流線方向の輸送項

P_1 の値を仮定し、実験結果 $\bar{w}^2 - \bar{v}^2 = U_*^2 f(\frac{y}{h}) \approx U_*^2 (1 - \frac{y}{h}) \dots (2)$

を用いると、 $P_1 = 2U_*^2 \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \dots (3)$ (h は最大流速点までの距離)

(3) より $\frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \approx 0 \Rightarrow P_1 \approx 0 \Rightarrow \frac{\partial \bar{z}}{\partial x} \approx 0 \dots (4)$ がわかる。

すなわち $\frac{\partial \bar{z}}{\partial x}$ が正から負へ変化すると図-8 に示すように3せん流が存在し、その部分で下降流が生じる。case 3 の場合の U_* の横断方向の分布を図-7 に示す。この図からわかるように、Inner zone では、 $\frac{\partial U_*}{\partial z}$ は粗面中央部と境に正→負へ変化しており、このため3せん流が発生し、下降流が生じているものと思われる。また図-9 は、case 3 の平均流速の等値線であり、粗面上の流れは、滑面上より速くなる。このことがわかり、このことから並列3せん流の存在が示唆される。

4. おとがぎ 今回の実験では、河床粗度を設けた場合、2次流の生起は粗度の幅のスケールに依存することがわかった。しかし、本実験での粗面頂部は滑面位置より若干高く、実河川の縦断形状と相違するから、今後、滑面位置を粗面頂部より高くおいて、同様の実験を行う必要があると思われる。

<参考文献> 1) 村松三, 廣大防災研年報 (1977) 2) Hülbe, et al. I. A. H. R (1980)

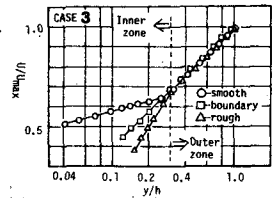


図-5 流速分布

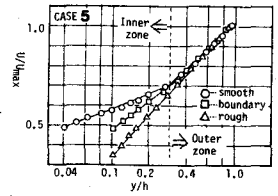


図-6 流速分布

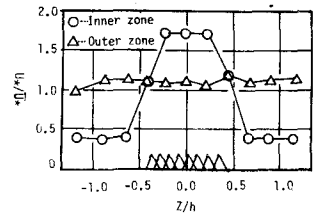


図-7 U_* の横断方向分布

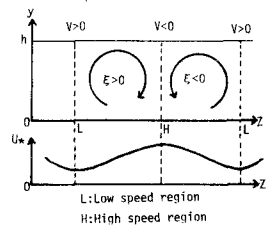


図-8, U_* と温度の関係

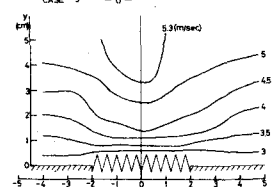


図-9 等値線分布