

II-80

底面粗度配置の流速分布および抵抗則に及ぼす影響

名古屋工業大学 正員 富永晃宏
間 組 谷 吉浩

1. まえがき 底面粗度が平面的に変化する場合、これに応じて流れは3次元的に複雑に変化する。このような流れの内部構造を把握することは河川の疎通能力や流砂輸送の評価に関して重要である。一般に粗面と滑面の境界部では大きな流速差が生じ、強い横断方向せん断応力が働き、また二次流が発生する¹⁾。ここでは、さらに横断方向に主流が移動するような流れの基本的な場合として、横断方向だけでなく流下方向にも粗度を変化させた場合について、流速分布およびせん断応力を検討したものである。

2. 実験装置および方法 実験水路は、長さ8m、幅30cmで、底面に図-1に示すような3種類の粗度配置パターンで粗面を設置した。ケースAは片側粗面、ケースB、Cはそれぞれ30cm及び60cm間隔で粗滑面を交代させたものである。粗度としては毛先の短い人工芝を用いた。それぞれについて水深を2通り変化させ、ケースAでは1断面で、ケースB、Cでは粗度配置の1周期間で5断面計測した。実験条件を表-1に示す。流速計はピトー管を用い、差圧変換器を通して100Hz、41秒の計測を行った。

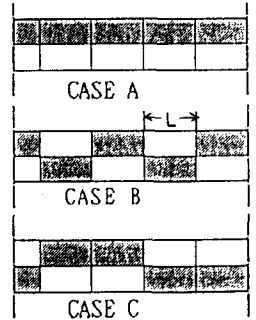


表-1 実験条件 図-1 粗度配置パターン

	h (cm)	U _m (cm/s)	Re (4RU _m /ν)	Fr	le (cm)	n	L (cm)
A-1	2.16	35.4	2.4×10^4	0.93	4.34×10^{-3}	0.0132	∞
A-2	3.98	33.8	3.8×10^4	0.56	1.73×10^{-3}	0.0123	∞
B-1	2.06	31.3	2.0×10^4	0.68	3.42×10^{-3}	0.0132	30
B-2	3.99	36.1	4.0×10^4	0.57	2.36×10^{-3}	0.0136	30
C-1	2.11	34.3	2.3×10^4	0.73	4.59×10^{-3}	0.0140	60
C-2	4.06	41.5	4.7×10^4	0.65	3.37×10^{-3}	0.0143	60

3. 実験結果とその考察 図-2にケースAの等流速線、図-3にケースBのx=2cm、7cm、25cmの位置における等流速線を示す。片側一様粗面の場合には当然滑面上が速く、粗面上が遅くなり、境界部にせん断層が形成される。一方、粗面と滑面を交代させた場合は、底面近傍は底面の粗度に応答し、左岸側では粗面から滑面へ、右岸側では滑面から粗面への遷移過程を示しているが²⁾、上層部は粗面上と滑面上で大きく変化していない。

注目すべき点はいずれの位置においても水路中央部で下に凸となることである。この水深平均された流速分布を図-4に示す。水路中央が常に高速で突出した最大値をとり、横断方向にはせいぜい1cm/sから2cm/s程度の差しかなくほぼ対称で流下方向変化も小さい。また、水深が4cmの場合ではやはり水路中央にピークを持つが、さらにもう一組の対称なピークが現れ波状の分布を呈し、水路中央で下降しその両側で上昇する一対の縦渦の存在を示唆しているものと考えられる。次に、底面近傍に対数則を適用して摩擦速度 U_x を評価した。ケースA-1及びB-1の摩擦速度の横断分布を図-5に示す。片側一様粗面のh=2cmでは粗滑境界部近傍の粗面上で増大し、滑面上が減少する特徴的な分布となり、境界部近傍以外では滑面上も粗面上もほぼ同じ値をとる。これは境界部付近のせん断領域に働く横断面せん断応力 τ_{xz} の勾配による効果であり、二次流を無視すると、

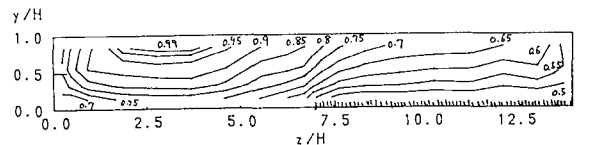


図-2 等流速線 (ケース A)

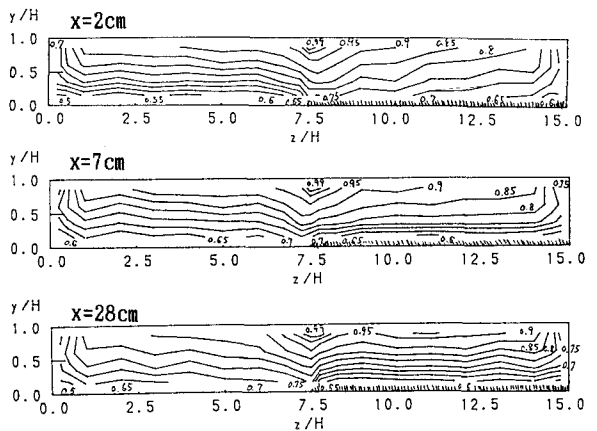


図-3 等流速線 (ケース B-1)

$$\rho U_x^2 = \rho g h l e + d \tau_{xz} / dz \quad (1)$$

と表される。境界部では τ_{xz} は負のピークを取るから滑面側では減少、粗面側で増大し、せん断領域以外では τ_{xz} はゼロ近くなり滑面上も粗面上も重力項とつりあい、同じ値となることからわかる。一方粗滑交代の場合には、粗滑遷移直後は上流のせん断応力分布が残っているが、10cm程度下流で底面粗度に応じた値、すなわち滑面上で小さく粗面上で大きな値となる。ここで流れは等流状態であるため、粗面上と滑面上で水深及び勾配はほぼ一定であり、また境界線上では主流速はピークとなり横断勾配を持たず、せん断応力は動かないことになる。そこで図-6に示す滑面及び粗面のコントロールボリュームにおいて運動量式を考える。滑面上では、

$$\rho U_{SD}^2 B' h - \rho U_{SU}^2 B' h - \rho U W h L = \rho g B' h l e - \tau_{bs} B' L - \tau_{ws} h L - \tau_{xz} h L \quad (2)$$

ここで、境界面から流入する流量は連続の関係から、

$$W h L = (U_{SD} - U_{SU}) B' h \quad (3)$$

となり、滑面の底面せん断応力は次のようになる。

$$\tau_{bs} = \rho g h l e - \tau_{xz} (h/B') - \tau_{ws} (h/B') + \rho (h/L) (U_{SU} - U_{SD}) (U_{SU} + U_{SD} - U) \quad (4)$$

先述のように右辺第2項は小さく、右辺第4項の運動量輸送項の寄与が大きいものと考えられる。粗面の出口流速は滑面の出口流速より若干小さく、 $U_{SU}^2 < U_{SD}^2$ となると考えられるから滑面では第4項は負となり重力項より小さくなるからわかる。粗面上ではこの項が逆に動く。実際、上流側と下流側の断面平均流速の差が1cm/sから2cm/s程度でせん断応力の差が説明できた。また、表-1のマニングの粗度係数 n をみるといずれも粗度の潤辺に占める割合が同じであるが、ケースAとBはほぼ同じで、ケースCのみ若干大きくなった。

4. あとがき このような粗度配置は極めて特殊な例であるが、平面的な運動量輸送を伴う流れの基礎的な知見を得るものとして意義があると思われる。実験的検討を行った。流れは3次元的で内層と外層で異なる特性を示し、また二次流が発生し境界部が高速になるという興味ある結果を得た。したがって平面流的な解析ではこのような流れを計算できない。今後、二次流及びレイノルズ応力の検討を行うつもりである。

<参考文献> 1) 角田、富永、藤井：第46回年講、1991、2) 楠津ら：水工学論文集34、1990

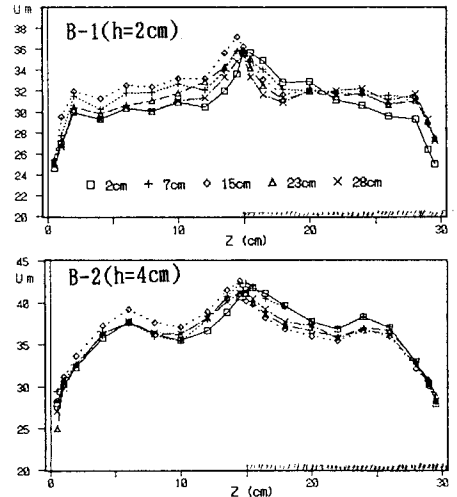


図-4 水深平均流速分布(ケースB)

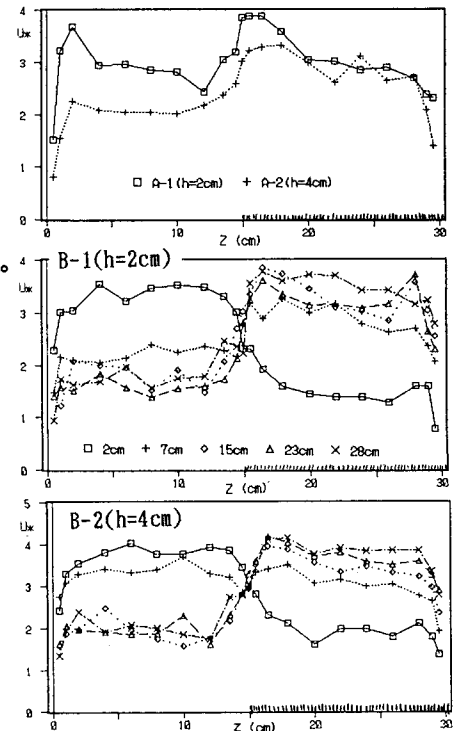


図-5 摩擦速度分布

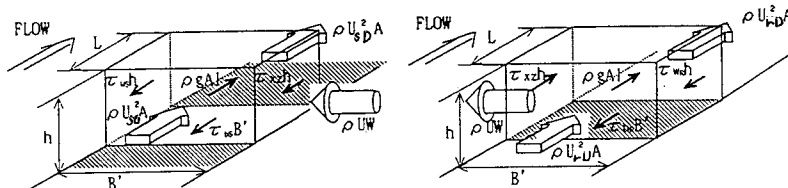


図-6 力と運動量輸送