

II-176 半球粗度下流部の流れの構造に関する2, 3の検討

日本大学工学部 正員 高橋 迪夫
日本大学工学部 正員 木村 喜代治

1. ま え が き

水路床上に存在する半球粗度下流部の流れの構造を把握することは、礫床河川における粗礫の流れに及ぼす影響、あるいは3次元的な形状を有する河川構造物周辺の流れの特性を明らかにしていく上で重要であろう。本報は、前報¹⁾に引き続き、半球粗度下流部の粗度に近い領域における流れの構造が、フルード数および相対水深の相違によってどのように変化するかを乱れの特性の面から実験的に検討したものである。

2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は、長さ8m、幅B=25.0cmの亚克力ト製のものであり、上流端より約4.7mの水路底面中央部に粗度要素として粗度高 $k=1.92\text{cm}$ のプラスチック製半球が設置されている。乱流計測には、円錐およびX型プローブをセンサーとしたホットフィルム流速計が用いられた。実験条件がTable 1に、主な使用記号がFig. 1に示されている。ただし、表中の $\bar{u}_{*b}$ は水路底面の平均摩擦速度である。

Table. 1 実験条件

Case	i	Q (cm^3/s)	H (cm)	$U_m(\text{cm/s})$ (Q/BH)	$\bar{u}_{*b}$ (cm/s)	F_r ($U_m/\bar{u}_{*b}$)	R_g ($(U_m R/\nu)$)
F-1	1/1000	4600	5.52	33.3	1.98	0.54	1.12×10^4
F-2	1/563	6750	5.60	48.2	2.65	0.78	1.68
F-3	1/246	11330	5.56	81.5	3.99	1.33	2.75
R-1	1/1020	1860	2.88	25.8	1.53	0.54	0.55
R-3	1/1200	7090	7.74	36.6	2.00	0.54	1.64

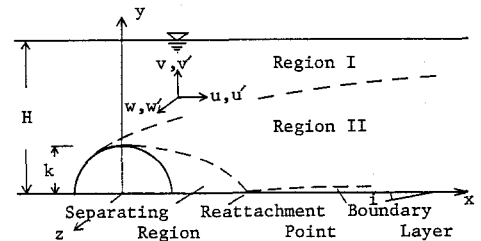


Fig. 1 記号

3. 実験結果および考察

Fig. 2は、粗度下流部の流況を把握するために、粗度下流中心軸上($z/k=0$)における流下方向の時間平均流速 $\bar{u}$ および乱れ速度 $\bar{u}'$ の分布の一例を示したものである。この図より、粗度を越えた流れの平均流速の欠損が流下に伴って回復していく過程ならびに乱れ速度が減衰、平均化していく過程が概観される。

Case F-1とF-3を比較すると、常流に比べ射流の方が流速欠損の回復ならびに乱れ速度の減衰の過程が幾分速まることが認められるが、全体的にはほぼ類似の傾向を示すことがうかがわれる。一方、Case R-1の流況は、 $x/k \approx 2 \sim 6$ においてF-1とは幾分異なっていることが認められる。これは、相対水深 H/k が1.5~2程度の流れにおいては粗度下流部にかなり大きな水面の変動が生じ、また再付着域下流側には路床面に沿う流れが存在することに起因するものと推測される。

Fig. 3は、F-1における平均

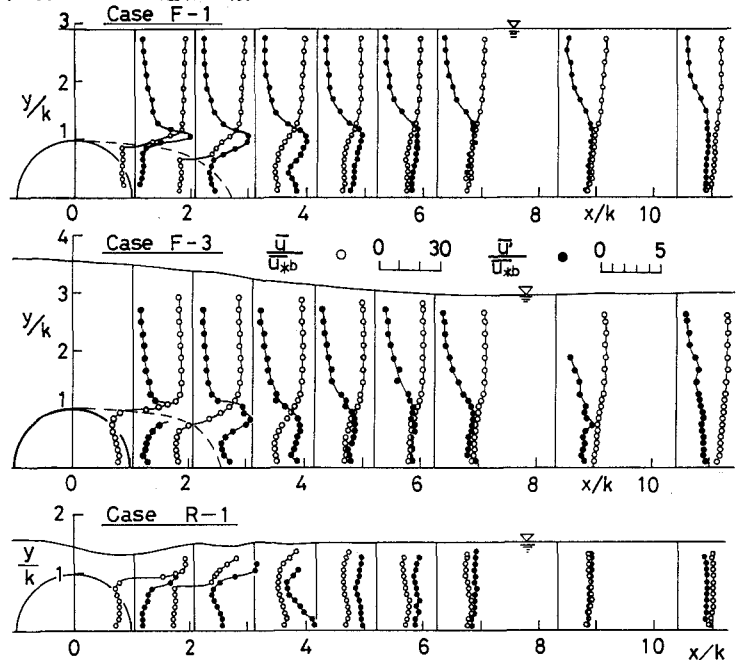


Fig. 2 粗度下流部の平均流速および乱れ速度の分布

流エネルギー U_m^2 で無次元化された乱れエネルギー $\overline{q'}^2/U_m^2$ の流下方向の変化を示したものである。ただし、 $\overline{q'}^2 = \overline{u'}^2 + \overline{v'}^2 + \overline{w'}^2$ 。この図より、粗度下流部の剥離域と後流混合域とのせん断層において生成された乱れエネルギーは、再付着域の上流側では、せん断層に沿って鋭い1つのピークを有し、いわゆる自由後流としての特性が卓越していることがうかがえる。一方、乱れエネルギーは流下に伴って減衰していくと共に路床面および水面方向に輸送、拡散され平均化されていくが、後述するレイノルズ応力の分布と対比すると、とくに路床面側の乱れエネルギーはその大部分が上流あるいはせん断層から輸送、拡散されたものであると推測される。

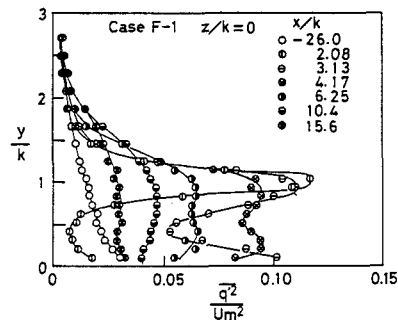


Fig. 3 乱れエネルギーの流下方向の変化

Fig. 4 は、フルード数および相対水深の相違によって相対乱れエネルギーの分布がどのように変化するかをみたものである。この図より、射流の F-3 の相対乱れエネルギーの大きさは、 $x/k=2.08$ の路床面側を除

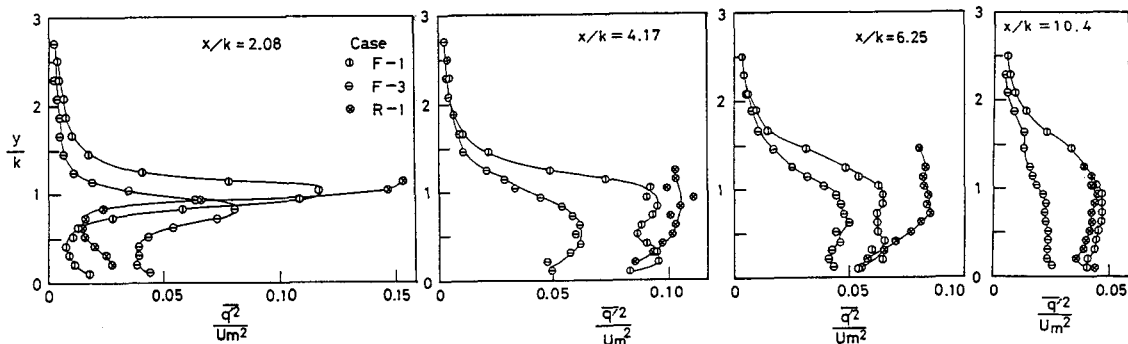


Fig. 4 フルード数および相対水深の相違による乱れエネルギーの変化

いて、常流に比べて全体的に小さくなっており、また流下に伴う減衰もより速やかとなり、 $x/k=10$ 程度で接近流にはほぼ一致した分布をとることが認められる。一方、相対水深の小さい R-1 においては、 $x/k=6$ 程度までは減衰はより緩やかとなり、また水面変動の影響によって水面近傍においてもかなり大きな乱れエネルギーを有することが認められる。しかしながら、流下が進み水面変動がほとんど認められなくなる $x/k=10$ 程度になると、F-1 とほぼ類似の分布形をとることが見られる。

Fig. 5 は、レイノルズ応力分布の流下方向の変化を示したものである。図中の曲線は次式で示される軸対称の自由後流に対するレイノルズ応力の分布式を示している。

$$\frac{-\overline{u'v'}}{\overline{u}^2} = \frac{C_D}{6\beta} \left(\frac{X}{k}\right)^{-4/3} \xi \exp\left(-\frac{\xi^2}{\beta}\right) \quad (1)$$

ここに、 $\overline{u}$: 領域 I と II の境界の流速、 X : 後流の始点を原点とした座標、 β : 半値半幅に関する実験係数、 C_D : 抗力係数、 $\xi = y/(k^2 X)^{1/3}$ 。

一部適合性の良くない部分はあるが、 H/k が 3 程度の流れに対しては、式 (1) によってほぼ分布の概形は表現されるように思われる。

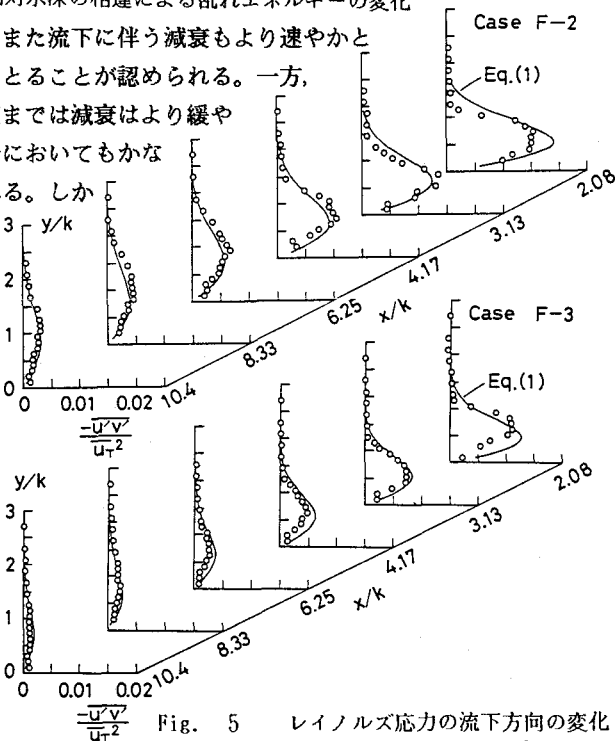


Fig. 5 レイノルズ応力の流下方向の変化

1) 高橋・木村: 土木学会第42回年次講演会概要集, 1987.