

II-191 半球粗度下流部の流速分布に関する検討

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速分布等の流れの構造を把握することは、礫床河川における粗度の流れに及ぼす影響、あるいは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。

粗度下流部の流速分布に関しては、稜粗度に対する山岡¹⁾の詳細な研究、球形粗度に対する神田ら²⁾の検討、また段落下流部に対しては石川³⁾、瀧津ら⁴⁾の報告、などがある。一方、本報で対象としている半球粗度下流部における流れは、粗度上方ならびに側方からの流れ込みによって混合、平均化が進み、その結果、2次元後流の流れに比べて流速欠損の回復が速められることが推測され、後流域に対する3次元的な取扱いが必要と思われる。本報は、半球粗度下流部の流速分布を、自由乱流の軸対称後流と対数則の成立する壁面乱流の流れの組合わせによって表現しようと試みたものである。

2. 理論的取扱い

Fig. 1 に示すように、粗度下流部における流れが、粗度の上流側の流れの特性が保存される、いわゆる壁面乱流における対数流速分布則が成り立つ領域Ⅰ、および、粗度背後の剥離域との境界付近で生成される乱れが支配的で自由乱流後流としての特性が卓越する領域Ⅱに区分されるものとする。なお、再付着域の下流側からは壁面境界層が形成されるが、本報の主として対象としている粗度高の10~15倍程度までの流れにおいては、その領域はそれほど大きくない³⁾ものと考えられ、省略された。

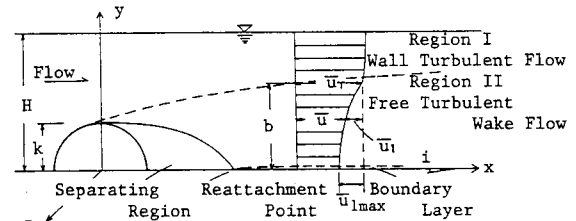


Fig.1 流れの領域区分

の主として対象としている粗度高の10~15倍程度までの流れにおいては、その領域はそれほど大きくない³⁾ものと考えられ、省略された。

(1) 領域Ⅰの流れ；領域Ⅰの流れは、次の対数流速分布式で表されるものとする。

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 5.75 \log \frac{u_* y}{\nu} + 5.5 \quad (b < y \leq H) \quad (1)$$

(2) 領域Ⅱの流れ；領域Ⅱの流れは、自由乱流中に置かれた球の後流の問題として取り扱うことができると考えられる。軸対称後流における後流の幅 b 、半値半幅 $b_{1/2}$ 、および最大欠損流速 $\bar{u}_{1\max}$ に対する相似解は、それぞれ次のように表現される⁵⁾。

$$b = \sigma_1 (k^2 X)^{1/3} \quad (2) \quad b_{1/2} = \sigma_2 (k^2 X)^{1/3} \quad (3)$$

$$\bar{u}_{1\max} = \alpha \bar{u}_T (X/k)^{-2/3} \quad (4)$$

ここに、 $\bar{u}_T$ ；領域ⅠとⅡの境界における流速、 k ；球の半径、 X ；後流の始まる点を原点とした座標で、 $X = x + a$ 、 a ；座標原点と実際の後流始点との距離、 σ_1 、 σ_2 、 α ；実験係数。

これより、領域Ⅱにおける粗度中心軸上の流速分布は次式で表される。

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \left[1 - \alpha \left(\frac{X}{k} \right)^{-2/3} \exp \left(-\frac{\xi^2}{\beta} \right) \right] \frac{\bar{u}_T}{u_*} \quad (0 < y \leq b) \quad (5)$$

ここに、 $\xi = y / (k^2 X)^{1/3}$ 。また、半値半幅の定義より、 $\beta = 1.44 \sigma_2^2$ 、運動量則より、 $\alpha = C_D / 2\beta$ 、 C_D ；抗力係数、となる。

3. 実験装置および方法

水路は長さ8m、幅 $B=25.0$ cmの亚克力製のものであり、上流端より約4.7mの水路底面中央部に粗度高 $k=1.92$ cmのプラスチック製半球が設置されている。実験は、Table 1 に示す条件のもとで行われ

た。また、乱流計測には円錐、X型センサーホットフィルム流速計が用いられた。なお、 $\bar{u}_{*b}$ は水路底面の平均摩擦速度である。

4. 実験結果および検討

(1) 後流の幅；各ケースにおける流速分布の測定値

から求められた後流の幅 b を Fig. 2 に示す。また、領域の境界が水面に接近し、境界の判定が不明確になるのを補うために、粗度下流部における平均流エネルギーに対する乱れエネルギーの割合が、接近流におけるその割合と等しくなる位置を領域の境界として求めた b の値を Δ 印で示してある。判定の不明瞭さもあり、ばらつきはあるが、式 (2) の関数形は実験値にはほぼ従っていることが認められ、その結果、 $\sigma_1 = 1.2$ および $a = 1.92 \text{ cm}$ が得られる。

(2) 後流の半値半幅および最大欠損流速；領域Ⅱにおける欠損流速 $\bar{u}_1$ の測定値を対数・自乗グラフ上にプロットした一例が、Fig. 3 である。図より、路床面近傍を除く欠損流速はほぼ直線的に分布しており、領域Ⅱは自由後流としての特性が支配的であることが理解される。なお、路床面近傍における直線からのずれは、路床面に到達して反射する流れによって路床面近傍の流速の欠損の回復が速められたためと推測される。これより、 $y = 0$ における $\bar{u}_1$ の値から最大欠損流速 $\bar{u}_{1\max}$ が得られ、さらに、 $\bar{u}_{1\max}/2$ における y の値から半値半幅が求まる。このようにして求められた $b_{1/2}$ の値が Fig. 3 に示されている。後流の幅は、判定の不明瞭さもあるが本実験の範囲内では、いずれのケースにおいても系統的な差異は認められないが、 $b_{1/2}$ はケース F-3 において幾分か小さい値を示しており、射流においては流速欠損の回復がより速められることが推測される。しかしながら、実験が1ケースのみであり、さらに詳細な検討が必要であろう。本実験の範囲内では、常流においてはほぼ $\sigma_2 = 0.44$ 、 $\beta = 0.28$ 、射流においては、ほぼ $\sigma_2 = 0.38$ 、 $\beta = 0.20$ によって近似される。

(3) 流速分布；以上の検討により求められた粗度下流部中心軸上

の流速分布式 (1) および (5) と測定値とを比較した一例が Fig. 4 である。なお、式 (5) に含まれる C_D の値は実験結果をもとに、F-1 で 0.67、F-3 で 0.32 とした。この図より、粗度に近い部分では底面側の適合度はあまり良好でないが、全体的には式 (1)、(5) によって粗度下流部の流速分布をある程度表現し得るものと思われる。

<参考文献>

- 1) 山岡勲；北海道開発局土木試験所報告第27号，1962.
- 2) 神田徹，他；第23回水理講演会論文集，1979.
- 3) 石川忠晴；土木学会論文報告集，第257号，1977.
- 4) 瀧津家久；第31回水理講演会論文集，1987.
- 5) Schlichting, H. ; Boundary-Layer Theory, 7th ed., 1979.

Table.1 実験条件

Case	i	Q (cm ³ /s)	H (cm)	U _m (cm/s) (Q/BH)	$\bar{u}_{*b}$ (cm/s)	F _r (U _m /gR)	R _e (U _m R/ ν)
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-3	1/1200	7090	7.74	36.6	2.00	0.54	1.64

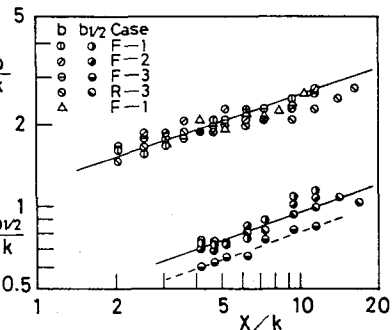


Fig.2 b, $b_{1/2}$ の流下方向変化

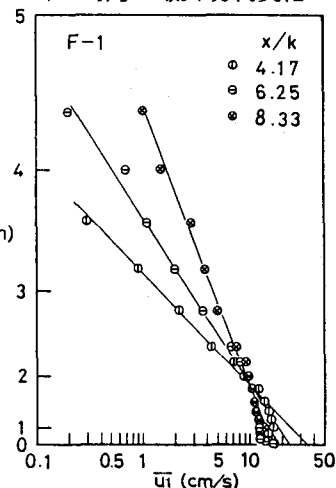


Fig.3 欠損流速分布

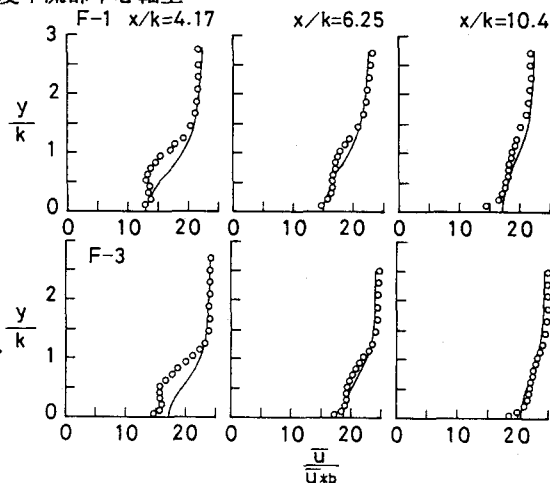


Fig.4 流速分布の実験値と計算値の比較