

佐賀大学工学部 正員 ○渡辺 訓南
 “ “ 荒木 宏之

1. まえがき 最近、石川¹⁾²⁾は風洞中の直角段落ち背後の流れを二次元後流理論で説明し、その結果を河床波上の流れの解析に用いている。しかし、河床波の場合は粗度の有効間隔が小さいので物体のごく近くを対象とする必要がある。また、壁面が存在して、かつ、流下方向に上昇するなどの他に、主流が流速分布を持つなど、その直接的な適用にはお問題が残されている。本文は、二次元後流理論に若干の修正を加え、開水路における河床波上の流れへの適用を試みたものである。

2. 解析 河床波上の流れは路床近傍に粗度の影響を強く受けた、いわゆる粗度層が存在し、この領域は *crest* から発達していく後流の性質が顕著に現われる *wake type flow* となっている。従って、ここでは粗度層の性質は自由な流れの中におかれた二次元物体の後流も中心線で分割した半平面の流れと似たものとする。また、圧力勾配の影響は後流外端速度に取り込み、境界層の存在は無視する。河床波の場合は高々一波長の範囲を解析対象とするので、従来の後流解に次の様な修正を加える。

即ち、図-1に示すように物体背後の逆流渦の長さを x_0 とすると、そこで底面流速 $u_b = 0$ 、後流幅は、*crest* の位置で波高 H とする。この条件をせん断応力の表示に混合距離 l を用いた後流解に満足させると、流速分布、後流幅は次式で表わされる。

$$\frac{u}{u_0} = 1 - \frac{\sqrt{20}}{18\beta} \left\{ \xi - \xi_0 + \left(\frac{\sqrt{20}}{18\beta} \right)^2 \right\}^{-1/2} (1 - \eta^{3/2})^2$$

$$\eta = \frac{y}{C_0 H \sqrt{20\beta}} \left\{ \xi + (C_0 \sqrt{20\beta})^{-2} \right\}^{-1/2} \quad \text{---(1)}$$

$$\frac{b}{C_0 H} = \sqrt{20\beta} \left\{ \xi + (C_0 \sqrt{20\beta})^{-2} \right\}^{1/2} \quad \text{---(2)}$$

ここに、 u_0 : 後流外端速度、 $\xi = x/GH$ 、 $\xi_0 = x_0/GH$ 、 C_0 : 抵抗係数、 $\beta = l/b$ である。

また、河床波の背面に沿う境界層の外端速度 u_b は後流の流速で作られるとすると、背面の y 座標を y_b として、式(1)より

$$\frac{u_b}{u_0} = 1 - \frac{\sqrt{20}}{18\beta} \left\{ \xi - \xi_0 + \left(\frac{\sqrt{20}}{18\beta} \right)^2 \right\}^{-1/2} (1 - \eta^{3/2})^2$$

$$\eta_b = \frac{1}{\sqrt{20\beta}} \frac{1 - \frac{C_0 H}{2 \sin \theta}}{1 - \frac{C_0 H}{2 \sin \theta}} \left\{ \xi - \frac{1}{C_0 \sqrt{20\beta}} \right\}^{-1/2} \quad \text{---(3)}$$

が与えられる。

3. 実験 著者は前年³⁾ナリキ製の三角形粗度を用

い、各種の波形勾配に対して圧力抵抗や流速分布などの測定を行なっている。今回、波形勾配 $H/\lambda = 1/40$ (波高 $H = 1\text{cm}$ 、波長 $\lambda = 40\text{cm}$) について同様の実験を追加するとともに、先端を $0.2\text{mm} \times 20\text{mm}$ に加工したピトー管を用いて、底面近傍の詳細な流速分布

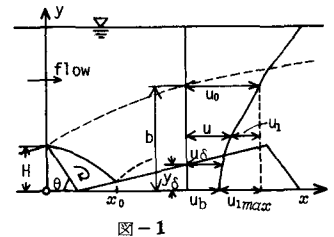


図-1

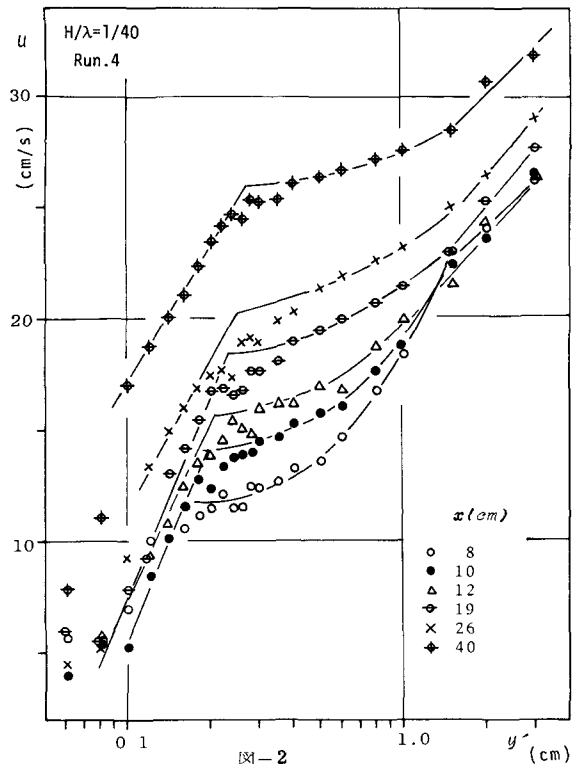


図-2

	記号	h cm	V cm/s	u_* cm/s	Fr	$Re \times 10^3$
Run 1	●	5.45	37.8	3.17	0.465	1.44
Run 2	○	6.05	35.4	3.09	0.389	1.42
Run 4	⊕	4.77	30.1	2.42	0.388	0.957

(図-2)を測定した。実験の概要は表に示す通りである。

4. 実験結果と解析解との比較 流速分布における主流対数則の折点から後流幅 b 、後流外端速度 u_0 を読み取った。また、底面直下では波面より数mmの高さで対数則よりはずれ後流流速へと接続していくので、その位置より境界層の厚さ δ および外端速度 u_0 を読み取った。

1)後流幅: 図-3は b を式(2)と比較したもので、 $H/\lambda = 1/15, 1/20$ の資料も同時に点描されている。破線は従来の後流幅である。 $H/\lambda = 1/40$ の場合 δ の大きいところで折点が b より小さくなっており、後流はcrestからその波高程度まで発達すると主流の乱れのために一部その性質を失なう。式中の ϵ_0 , C_0 には前報における平均値を、 β にはSchlichtingらの実験値 $\beta = 0.18$ を用いている。

2)流速分布: 式(1)を実測値と比較した結果が図-4である。ただし、壁面近くでは乱れがおさえられるため、自由な流れに比して混合距離が小さくなることを考慮して $\beta = 0.12$ とした。図によれば、 δ が大きくなると主流の乱れと境界層の存在によって、後流の性質が保持される領域は極めて狭い範囲に限られるようである。

3)境界層外端速度および境界層厚さ: 図-5にはreattachment pointからの u_0 の変化が点描されている。実線は $\beta = 0.12$ として式(3)を計算したもので、実測値と極めて良く一致している。図-6は境界層の発達を実測値の δ で示したものである。

5. おわりに 極めて粗らい方法であるが、河床波上の路床近傍の

流れをかなりの程度説明できた。なお、 β の値や u_0 の取り扱いの他に流速分布に及ぼす圧力勾配の影響などの問題が残されており境界層の解析も含めて今後さらに検討していくつもりである。最後に本研究を進めるに際し終始熱心な御指導をいただいた九州大学の橋教授に深く感謝いたします。

参考文献 1) 石川: 断面急変に伴う剥離領域下流部の流れと底面せん断力について, 土木学会論文集, vol.257, 1977 2) 吉川・石川: 砂・礫・砂礫上の流れの抵抗について, 土木学会論文集, vol.281, 1979 3) 清田・荒木: 河床波上の流れの特性と反力抵抗, 流体力学部集報, No.7, 1979 : 河床波上の流れの特性について, 土木学会山形支部講演集, 第542

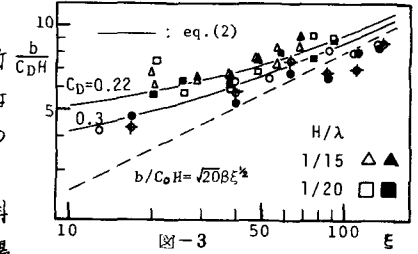


図-3

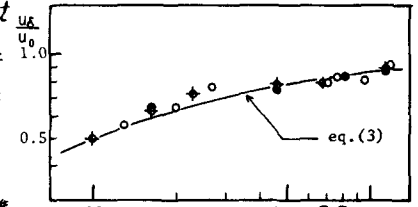


図-5

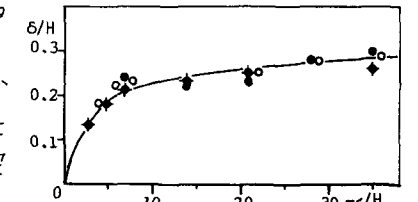


図-6

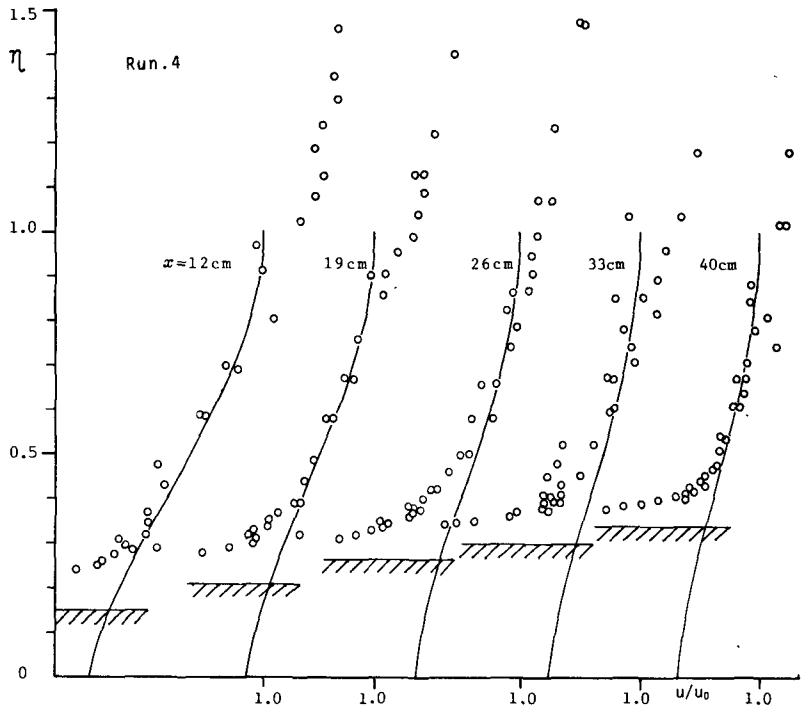


図-4