

東京工業大学工学部 正 員 日野 幹雄
(財)電力中央研究所 シ 〇宮永 洋一

1. 概 要

著者はこれまで流れを層流とする河床波の発生機構の解析を行なってきた。¹⁾²⁾その結果河床波の発生の一因を河床形状と河床せん断応力向の位相差による移動床面の不安定現象として説明できることを示した。ここでは層流理論の拡張を目的とする波型上の乱流の解析および実験の結果について述べる。

2. 波型境界面をもつ二次元管路の乱流の解析

図1に示すような境界を有する二次元管路内の定常流を考える。

基礎方程式は二次元の Navier-Stokes 方程式および連続式であるが、いま速度成分の平均値に関する流関数を次のように導入する。

$$\bar{u} = -\psi_y, \quad \bar{v} = -\psi_x \quad (1)$$

さらに乱れの二次モーメントを Boussinesq の渦動粘性係数であらわし、これに混合距離の仮定を用いると基礎方程式は次のように変形される。

$$(-\psi_y \frac{\partial}{\partial x} + \psi_x \frac{\partial}{\partial y}) \nabla^2 \psi = \nabla^2 (K \nabla^2 \psi) \quad (2)$$

$$K = \alpha^2 (\eta - y)^2 |\psi_{yy}|, \quad \text{渦動粘性係数} \quad (3)$$

ただし変数はすべて無次元化されている。境界条件は、流量が一定、壁面での速度がゼロ、および粘性底層内で速度分布が直線的であると仮定することにより次のようにあらわされる。

$$y=0 : \psi=0, \quad \psi_x=0 \quad (4)$$

$$y=y^* : \psi = -\frac{1}{2}, \quad -\psi_y = Re U_*^2 (\eta - y^*)$$

ここに y^* は粘性底層の外縁の y 座標である。 ψ に関する非線形方程式 (2) を解くため ψ を δ のべき級数に展開して (2) 式に代入し、 δ の各次数ごとに得られる方程式を連立させて δ^n の展開係数 ψ_n を得る。

$$\psi_0 = \frac{z}{2} + \frac{\alpha_0}{2} z \ln z$$

$$\psi_1 = -\frac{\epsilon_0}{8\pi^2} \left\{ \alpha_0 z^2 \ln^2 z + (2-3\alpha_0) z^2 \ln z + \alpha_1 z \ln z + \left(3-\frac{7}{2}\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2}\right) z(1-z) \right\} \quad (5)$$

$$\psi_2 = \epsilon_0^2 G(z) + \epsilon_0^2 \eta H(z)$$

ここに $z=1-y/\eta$ 。 G, H は $z, \ln z$ のべき乗を含む多項式である。 α_0, α_1 などはレイノルズ数によって決まる定数である。

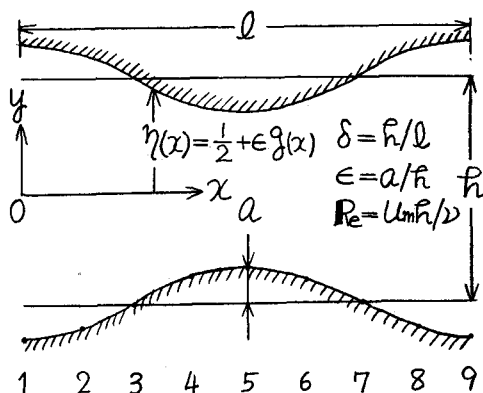


図-1 境界形状

3. 実験

上述の解析結果を検証する目的で図2に示すような矩形管路に波型を挿入し、一波長にあつて速度分布を測定した。測定方法は水素気泡法によつた(写真)。実験条件は表に示す通りである。

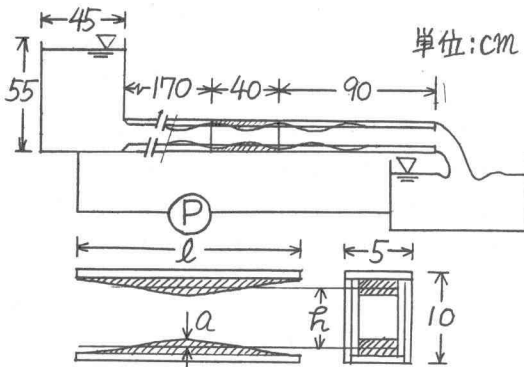
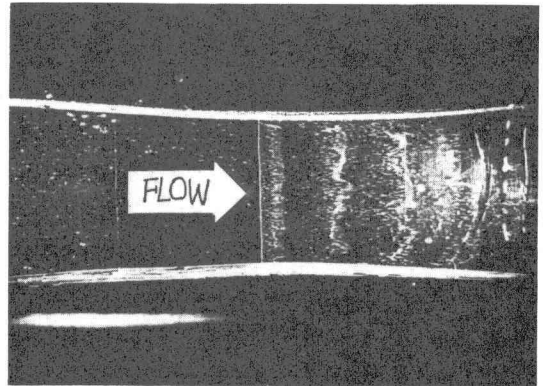


図-2 実験装置



写真：水素気泡法による速度分布測定例

4. 考察

図3a, bは単位時間あたりの気泡線間隔 U_b の理論値と実験値を両対数紙にあらわしたものである。実験値が理論値、点が実験値として記入されている。断面の番号は図1にしたがう。

各断面において実験値と理論値は良く一致した。分布形は指数分布にしたがうものと思ふことができるが、こ

径 深 R (cm)	平均管径 $\bar{R}$ (cm)	波 長 λ (cm)	振 幅 a (cm)	平均流速 U_m (cm/sec)		L/H 数 $Re = \frac{2U_m R}{\nu}$	
				RUN1	RUN2	RUN1	RUN2
0.974	644	40	0.456	25.6	37.3	4.89×10^3	7.27×10^3

表：実験条件

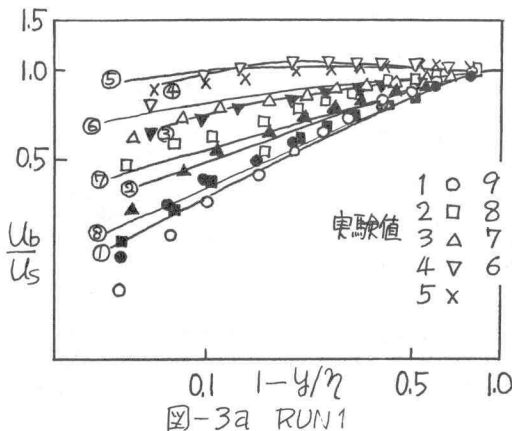


図-3a RUN 1

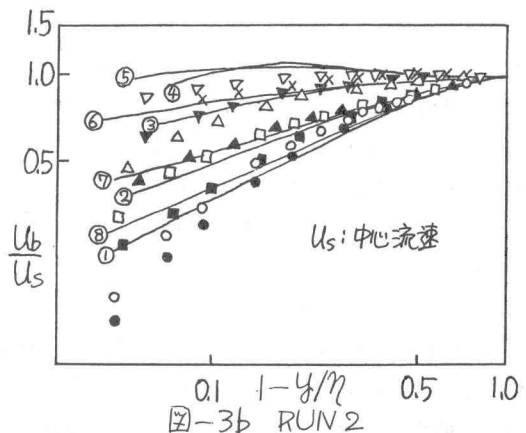


図-3b RUN 2

これは Kennedy ら³⁾が波型円管内の空気流について行なった実験の結果とも一致する。ただし指数の変化は Kennedy らによれば crest の前後で対称だが本研究では上流側の指数が大きくなる傾向が見られる。これはセン断応力のピークが crest より上流側にあるという位相差の効果か速度分布にもあらわれたものと考えられる。

河床波の発生機構を検討する上でここに示した波型上の流れの解析解は妥当なものと思う。発生機構を含む詳細な報告は別途に行なうつもりである。

(参考文献)

- 1) 日野・宮永; 第30回年講, 1975 2) 日野・宮永; 第20回水講, 1976 3) Hsu & Kennedy; J.F.M., 1971