

神戸市 正員○石原 茂
大阪府 正員 矢戸英明
神戸大学工学部 正員 篁 源亮

1) まえがき

掃流砂の運動は、流れと河床面の近傍の非常に薄い層で発生する複雑な現象であると考えられる。従来、河床面に薄い浸透層を仮定し、その内部の砂粒子の容積比に関して安定理論を適用した結果が報告されている^{1), 2)} が浸透層の境界は考慮されていなかった。そこで、本研究では浸透層の境界を考慮し安定解析を行い、実験値との適合性を調べ考察を行なった。

2) 安定解析

浸透層を仮定した開水路流れの諸量を図-1に示す。流れは等流速の状態にあると考え、また浸透層中の流れは小さいものとして無視する。断面積分した流れの運動方程式・連続方程式を次に示す。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial U}{\partial t} - gI + \frac{\tau_u}{\rho_f h} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (hU) = 0 \quad (2)$$

浸透層の密度を次のように定義する。

$$\rho_m = \epsilon_s \rho_s + \epsilon_f \rho_f \quad s: \text{砂} \quad f: \text{流体}$$

速度は次のようになる。

$$\rho_m U_m = \epsilon_s \rho_s U_s$$

断面積分した流砂の運動方程式・連続方程式を次に示す。

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_B}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_B^2}{z} \right) - \left(\frac{q_B}{z} \right)^2 \frac{\partial z}{\partial x} \\ + \frac{g}{\rho_m} \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_m \frac{z^2}{2} + \rho_f h z \right) - gIz + \frac{\tau_1 - \tau_u}{\rho_m} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

但し、 $q_B = \int U_m dy$ とする。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{q_B}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

いま流れに何らかの原因で乱れが生じ、それにより流れの平均流速、水深、浸透層厚、せん断力、流砂量は次に示すように変動したとする。

$$U = u + u', \quad h = H + h', \quad z = Z + z', \quad \tau_u = T_u + \tau_u', \quad \tau_1 = \tau_1', \quad q_B = q_B' \quad (5)$$

(5)を(1)~(4)に代入し、微小変動の2次以上の項を省略すると、 z' に関する式を得る。ここで、 z' の解を次式で与える。

$$z' = \phi \exp \{ i(kx - \omega t) \} \quad \omega = \omega_r + i\omega_i \quad (6)$$

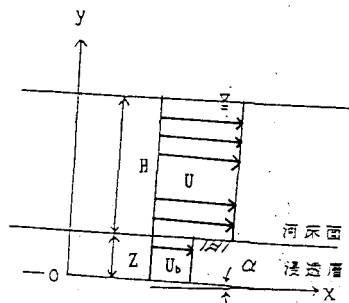


図1 定義図

ϕ は擾乱波の振幅、 k は波数、 ω_i は ϕ に掛かる増幅率である。

(6)を z' に関する式に代入し、平均水深 H 及び平均流速 U で無次元化し解くと次に示す $\tilde{\omega}_i$ の解が得られる。

$$\tilde{\omega}_i = \frac{-C_1 C_5 K^2 - C_2 C_3 - C_2 C_4 K^2 + C_2 (X^2 + Y^2)^{1/4} \cos(\theta/2) + C_1 K (X^2 + Y^2)^{1/4} \sin(\theta/2)}{2(C_1^2 K^2 + C_2^2)} \quad (7)$$

(7)の K は無次元波数、係数 $C_1 \sim C_5$ 、 X 、 Y 、 θ は Fr 数、浸透層厚 Z の関数である。

3) 実験

本研究で用いた河床材料を表-1に示す。河床波の測定には、回転抵抗器(水平抵抗)とPosition Sensing Detector(鉛直方向)とを用い、 $X-Y$ レコーダーに定時間ごとの河床波の形状を記録した。

表1 実験条件

RUN	材質	d_{50} (cm)	U_{max} (cm/sec)	U_{min} (cm/sec)	水深 (cm)
1	砂	0.018	34.20	21.37	3.5
2	砂	0.030	38.45	23.81	3.5
3	砂	0.040	39.15	24.15	3.5

4) 実験結果

図4～5に解析結果と理論との適合性を示す。

これらの図より流速が限界掃流速に近く、波数が小さくなるほど適合性が良いことがわかる。

5) あとがき

今回は流速分布を考えず浸透層の空隙率は一定と考え解析を行なったが、今後はこれらの点を考慮して解析を行なう必要があると思われる。

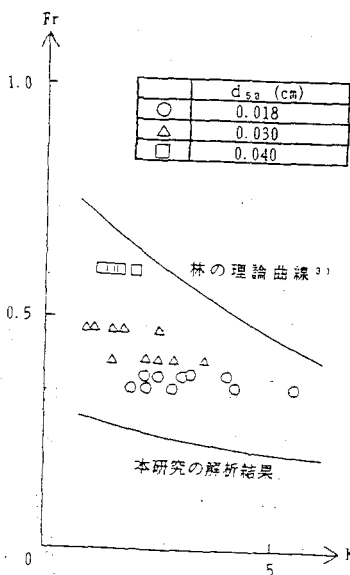


図-2 解析結果と実験値

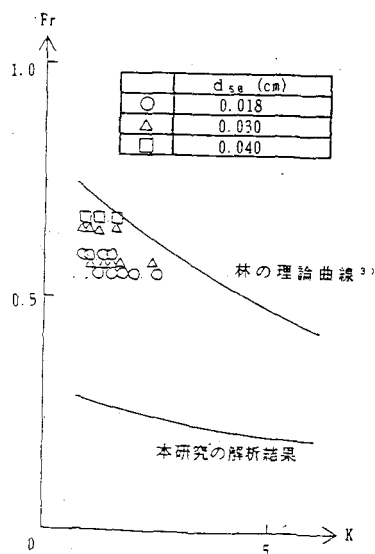


図-3 解析結果と実験値

《参考文献》1) M. Yano, T. Matsuda: BEDFORM STABILITY IN THE NONUNIFORM FLOW, IAHR, Cong, 1987

2) 岡野, 石原, 筈: 管水路における河床波の発生機構に関する実験的研究

第43回年次講演会概要集, 第2部, pp. 264-265, 1988

3) 河村三郎: 土砂水理学1, 森北出版株式会社, 1982, pp130