

漸拡・漸縮流路の流れと河床変動

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎
金沢大学工学部 学生員 ○細川 透男
金沢大学工学部 中島 俊一

1. まえがき

流路平面形状は流れ・流砂・河床変動特性に大きな影響を及ぼす。こうした影響の出現機構を明らかにする為、図1に示す様な漸拡・漸縮を繰り返す（幅が正弦波状に変化する）移動床流路（側壁固定）において、特に流砂の非平衡性・流砂の方向性・河床変動の3次元性に注目して基礎的研究を行った。また、これにもとづいた3次元河床変動予測法を、考察する事が実用上の目的である。

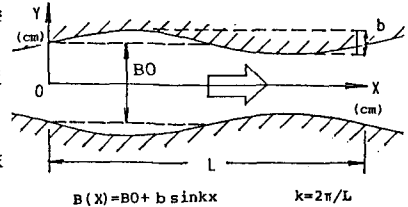


図-1

2. 水路・実験の概要

幅40cm、長さ12mの水路中に連続した漸拡・漸縮流路模型（ $B_0 = 19\text{cm}$ ・ $b = 4\text{cm}$ ・ $L = 40\text{cm}$ ）を作成し、各断面内の流速・流向特性（小型プロベラ流速計と電磁流速計を併用）・流砂特性（流砂量の場所的変化・流砂方向をビデオフィルムで観察）・水面形・河床形状の時間的变化を実験的に調べて、現象の特徴を把握するとともに、こうした現象を記述するモデルの組立と検証に利用した。

3. 流れの特性

一般的には、ここで対象とする現象は、幅と河床高が漸変する流れの水面形方程式と一次元河床変動計算との組合わせて記述される。しかしながら、流れ・流砂とも2次元・3次元特性を有しており、ここでは、平面・鉛直2次元的な流速分布の検討から、1次元解析におけるコリオリ係数の修正を試みた。

平面流解析としてはポテンシャル流理論を導入し、一方、鉛直面内流速分布は、渦動粘性係数を一定としたBoussinesq近似を用いた。

平面流解析において速度ポテンシャル ϕ は、次式で与えられる。

但し、 $U_0 = 1$ 波長内平均流速である。

$$\phi = U_0 \cdot x - U_0 \cdot b \cosh k(B_0/2 - y) \cdot \cos kx / (2 \sinh k B_0/2)$$

平面内各断面の流下方向、横断方向流速成分はそれぞれ $U = \partial \phi / \partial x$, $V = \partial \phi / \partial y$ によって与えられ、これを実測結果と比較したものを図-2に示す。ここで (U, V) は水深平均値としている。

$$g(\zeta) = (U/\bar{U}) \quad \zeta = 2y/B_0$$

$$\bar{U} = B_0 / (2B) \int_{\zeta_w}^1 U d\zeta \quad (\zeta_w = y_w / (B_0/2))$$

$$G = B_0 / (2B) \int_{\zeta_w}^1 g^3(\zeta) d\zeta = B_0 / (2B) \int_{\zeta_w}^1 (U/\bar{U})^3 d\zeta$$

一方、Boussinesq近似による鉛直方向流速分布は、

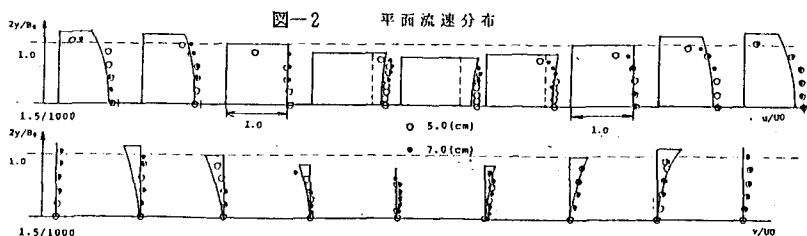
$$(u_s - u) / u_* = 3(1 - \eta)^2 / \kappa \quad \eta = y/h$$

であり、ここで加速・減速の効果を (dB/dx) で代表させ、これによって決まるはずの底面での速度欠損則を Δ とすると次のようになる。

$$u/u_s = 1 - 3(1 - \eta)^2 \cdot (1 + \Delta) / \kappa A_s \quad (u_s/u_* = A_s)$$

$$f(\eta) = u/\bar{u} = (u/u_*) / (\bar{u}/u_*) \quad (\bar{u}/u_* = \int_0^1 (u/u_*) d\eta)$$

$$F = \int_0^1 f^3(\eta) d\eta = \int_0^1 (u/\bar{u})^3 d\eta$$



但し、 Δ と dB/dx の関係は実験的に決めざるを得ない。

コリオリ係数の定義式にこれらを代入すると、各断面の α が理論的に求められることになる

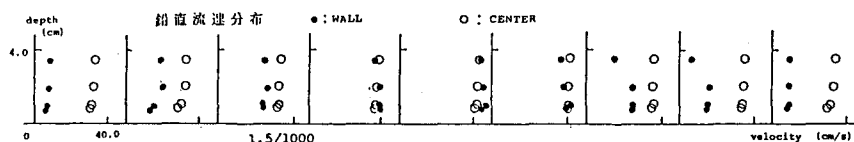
$$\alpha = (1/\Lambda) \int ((U/\bar{U})^3 + (u/\bar{u})^3) dA = F + G$$

以上の2つの式の組み合わせによりコリオリ係数を求める。

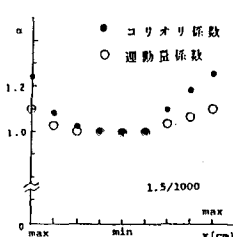
図—3には流速分布の一例を示すが、流路幅変化と流速分布への加速流の効果の出現の間には位相遅れがあるようである。

図—4は一波長内で各断面毎に詳細に測定された流速分布より定義式に基づいて計算された α の縦断方向分布で、 B が大きい程、また dB/dx が大きい程 α は大きくなっている。

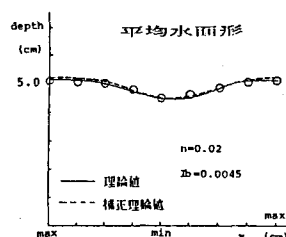
図—5は水面平均の縦断形状の実測値と一次元解析計算結果を比較したもので、この例では α を一定値としたものと、断面毎に補正したものとで殆ど差は現れていない。



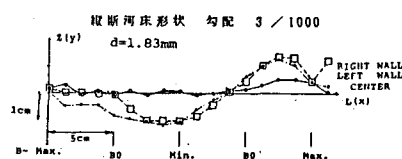
図—3



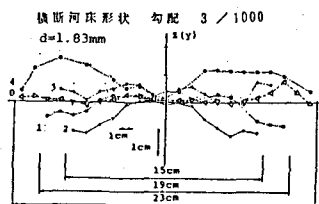
図—4



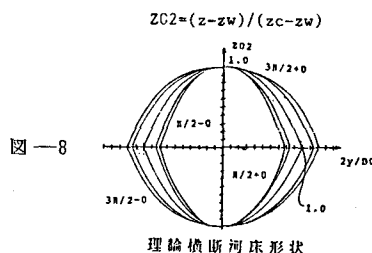
図—5



図—6



図—7



図—8

4. 河床形状

平面的な流速分布を見る限りにおいて、流砂は収縮部で中央に集められ拡幅部で外側に運ばれることにより、河床低下の予測される収縮部では側岸の近くで平均河床よりも大きく洗掘が進み、その予測が工学的に重要となるなど、こうした例では横断方向の河床形状の議論が重要である。横断勾配・流れの偏りのある場での流砂運動の基礎式より流砂の運動方向角 (ϕ) と流れの偏角・河床横断勾配の関係式を誘導し、動的平衡時 ($\phi = 0$) を対象とした河床横断形状を誘導すると、次のように表される。

$$z(\eta) = \sqrt{T_*} (B_0/2) \cdot z_0(\eta) + z_w \quad \dots\dots (*) \quad z_0(\eta) = \int_{\Gamma w}^{\eta} (S_2 \sinh(B_* (1-\eta)) / (\sinh B_* + S_1 \cosh(B_* (1-\eta)))) d\eta$$

$$\text{但し、} T_* = \tau_* / \tau_* c, \quad \eta = 2y/B_0, \quad B_* = k B_0/2$$

$S_1 = (kb/2) \cdot \sin kx$, $S_2 = (kb/2) \cdot \cos kx$, $\eta w = B(x)/B_0$, z_w = 側岸での河床高
この計算例を図—8に示す。

1次元解析によって平均河床縦断 $z(x)$ を求め、次に平均河床がこれに一致する様に各断面の横断形状を式(*)によって求める事により、3次元河床変動予測が可能となるものと思われる。そこで実験で各断面の横断形状を調べると、図—7のようになり、平均河床を一致させて、図—8の理論横断形状を重ねると、側岸部の深掘れや堆積がかなりうまく説明できることがわかる。

6. あとがき

本報では、基本的な考え方と実験の一例を示すにとどまったが、現在、系統的な実験を実施しており本モデルの改良と適用性の拡充に努めたい。