

河口部における掃流砂の流出に伴う地形変動過程

東北大学大学院 学生員 ○伊達 政直
 東北大学工学部 正 員 泉 典洋
 東北大学工学部 正 員 田中 仁

3.理論

噴流を軸方向に二つの領域に分けて考える。
 第一の領域は河口部近傍の流れの展開領域（以下ZOFEと呼ぶ）で、ここではPotential Coreが発達し u_c は変化しない。第二の完全発達領域（以下ZOEFと呼ぶ）ではPotential Coreは存在せず、相似な分布形を持つと仮定される。

3.1 ZOEFにおける流速分布

流体運動の基礎方程式としては浅水流方程式に境界層近似を施した以下の式を採用する。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - C_f \frac{u^2}{h} \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots(2)$$

(ε : 渦動粘性係数、 C_f : 抵抗係数、 h : 水深)

x は流下方向、 y は水深方向の座標であり、

u, v は各方向の水深平均流速である。 C_f の値は

0.013を用いた。 $h = h(x)$ とし横断方向には変化しないものとする。また中央流速 $u_c(x)$ 、半幅

$B(x)$ に関して以下の仮定を行った。

$$v|_{\infty} = -\alpha u_c, v|_{-\infty} = \alpha u_c \quad \dots\dots(3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} u dy = \beta_1 u_c B \quad \dots\dots(4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} u^2 dy = \beta_2 u_c^2 B \quad \dots\dots(5)$$

α は連行係数、 β_1, β_2 sは流速分布形の仮定により決定される。(1),(2)を横断方向に積分して

まとめると次に示すような u_c, B に関する常微分方程式が得られる。

$$\frac{d}{dx}(\beta_2 u_c^2 B) = -\frac{C_f}{h}(\beta_2 u_c^2 B) \quad \dots\dots(6)$$

$$\frac{d}{dx}(\beta_1 u_c B h) + \alpha u_c h = 0 \quad \dots\dots(7)$$

3.2より求められる $x = x_s$ における値を境界条件として上式を解くと u_c, B の分布が求まる。

流速分布形を次式のように仮定すると

$$\frac{u}{u_c} = \exp[-0.693\eta^2] = f(\eta), \quad \eta = y/B \quad \dots\dots(8)$$

β_1 及び β_2 の値はそれぞれ2.13, 1.51となる。 α の値は0.15を用いた。(8)を用いて(2)を水深方向に積分すれば $v(x, y)$ が以下の形で得られる。

$$v = -\frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x}(u_c h) \int_c^y f(\eta) dy + \frac{u_c}{B^2} \frac{\partial B}{\partial x} \int_0^y y \frac{\partial f}{\partial \eta} dy \quad \dots\dots(9)$$

1.はじめに

河口部や貯水池などの広い流域に土砂が流出する場合しばしば河口三角州が発達するが、その過程では土砂の分級堆積、流路網の形成・変動などきわめて複雑かつ興味ある現象が現れる。本研究では河口三角州の形成メカニズム解明のための第一歩として、河口部における掃流砂の流出に伴う地形変動過程を明らかにする。簡便な理論を用いて流速分布と掃流砂の初期堆積形状を解析的に求め、実験結果との比較、検討を行う。

2.実験装置および方法

固定床及び移動床の実験を行い流速分布及び初期堆積形状を計測した。

実験に用いた水路は、図-1に示すように、幅0.06m、長さ1.75mの直線水路部と幅0.80m、長さ3.00mの長方形水槽部を接続したものであり、下流端には堰を設け横断方向に水位が一樣となるように越流させている。水槽内に1/10勾配の海浜部を1.00m設け、それより沖側は平坦床とした。固定床実験では、河口水位・流量の異なる4ケースについて電磁流速計を用いて流速分布の測定を行った。また移動床実験では、直線水路部に砂を敷きつめ、上流タンクから一定流量の給水を行うと同時に水路部上端に設置した給砂機を用いて一定量の給砂を行った。

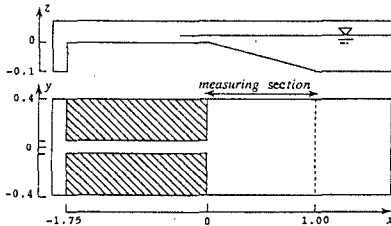


図-1 実験装置

表-1 実験条件

	U_0 (m)	bo (m)	Ho (m)
Case1	0.135	0.027	0.05
Case2	0.23	0.025	0.03
Case3	0.053	0.024	0.05
Case4	0.072	0.023	0.03
移動床: Case2, 給砂量=5.41 (g/min.)			

3.2 ZOFEにおける流速分布

$r(x)$ を導入して、流速分布を以下のように仮定する。 $r(x)$ はCoreの半幅を表す。

$$\frac{u}{u_c} = \begin{cases} \exp\left[-0.693\left(\frac{|y|-r}{B-r}\right)^2\right], & r \leq |y| \\ 1, & 0 \leq |y| \leq r \end{cases}$$

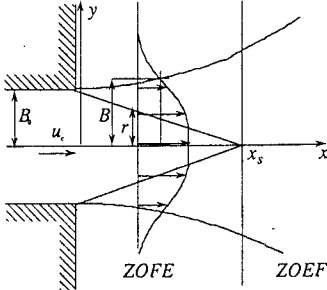


図-2 ZOFEとZOEFの概念図

(1),(2)および(6)(7)式はZOEFでもまた成り立つが、3.1と異なり u_c が一定となること、 β_1 及び β_2 が $r(x)$ の関数となることに注意すると、 $r(x)$ 及び $B(x)$ に関する次の微分方程式が得られる。

$$\frac{d}{dx}[\beta_2(r)B] = -\frac{C_F}{h}[\beta_2(r)B] \quad \dots\dots(10)$$

$$\frac{d}{dx}[\beta_1(r)Bh] + \alpha h = 0 \quad \dots\dots(11)$$

α の値は一般的にZOEFより若干小さくなることが知られており、ZOFEでは0.10を用いた。上式を $x=0$ での境界条件 $B=B_0$, $r=r_0$ を用いて解くとZOEFの解が得られる。また $r=0$ の点 $x=x_s$ がZOEFとZOFEの境界となる。

3.3 掃流砂の初期堆積形状

掃流砂ベクトルは掃流砂量 q を用いて次のように表す。

$$(q_x, q_y) = q(u^2 + v^2)^{-1/2}(u, v) \quad \dots\dots(12)$$

掃流砂量としてはMeyer Peter & Müller 式を用いて次のように表す。

$$q = 8(\tau^* - \tau_{cr}^*)^{3/2} (\rho R_s g D_s)^{1/2} D_s \quad \dots\dots(13)$$

ここで τ^* はShields stress($=\tau/(\rho R_s g D_s)$)である。

3.1及び3.2で求められた流速分布から底面剪断力及び掃流砂量を求め、さらに次のExner方程式を用いれば、地形変化を無視し得る堆積の初期段階における堆積量が求められる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{1}{1-\lambda_p} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \quad \dots\dots(14)$$

4. 実験値との比較および考察

Case2について、実験より得られた流速分布

より各断面での u_c, B を読みとり、理論値と比較した。その結果を図-3に示す。

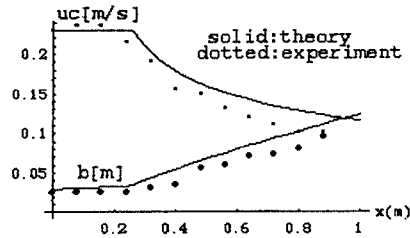


図-3 u_c, B の比較

次に u, v の分布を求め、最終的に(14)より得られる $\partial \eta / \partial t$ を計算した。これを図-4に示す。比較材料として、移動床実験における開始二時間後の堆積状況(写真)を図-5に示す。

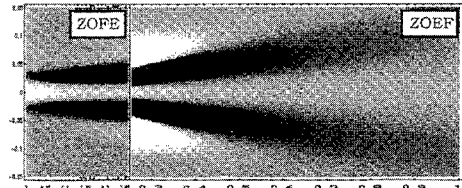


図-4 計算結果

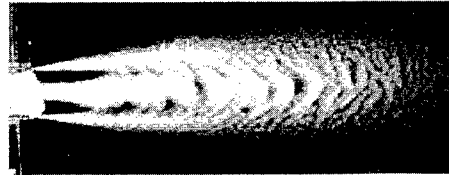


図-5 二時間後の堆積状況

全般的に、初期堆積傾向はよく再現されている。計算の方がより遠方で堆積しているが、これは図-3において u_c を過大に評価しているためである。 u, B をより精度よく再現できれば、より実現象に近くなるものと思われる。

5. おわりに

今後は、掃流砂に加えて浮遊砂の影響を加えていく予定である。

謝辞：本研究に対し、科研費の補助があった。

参考文献

- Ozsoy, E., "Flow and Mass Transport in the Vicinity of Tidal Inlets," Technical Report No. TR-036.
- Prakash B. Joshi, "HYDROMECHANICS OF TIDAL JETS" J. Hydr. Eng., ASCE, Vol. 108, 1982.