

1.はじめに 単列交互砂州上の流れを、斎沢¹⁾らは二次元浅水流として数値計算により求めている。河床変動計算を行う場合には、二次元流れでは表現し得ない二次流を考慮する必要があると考えられるが、本研究では、その必要性和そのモデル化の妥当性を砂州形成時の河床変動、すなわち、砂州の前進現象を利用して検討している。

2.計算について 亀井²⁾らによる砂州形成実験①及び黒木³⁾らによる砂州形成実験②の実験条件及び実験で得られた砂州前進速度を表-1に示す。流れの計算を行う単列交互砂州は前述の実験で得られた単列交互砂州を基に比較的形状

表1.実験条件

のはっきりしたもの

の(①では二個②

	水路長(m)	水路幅(cm)	河床材料粒径(cm)	流量(l/sec)	水路勾配	前進速度(cm/min)
①	7.	20.	0.090	0.65	2.0×10^{-2}	40.0
②	28.	90.	0.058	11.37	4.2×10^{-3}	3.0

では三個)を平均化して得られた。黒木らの実験で得られた単列交互砂州モデルの路床等高線を図-1に示す。

流砂量計算 計算にはMeyer-Peter-Muller 型の(1)

式を用いた。 q_{bp} 、 u_{*p} は、それぞれ主流方向の単位幅流砂量及び摩擦速度、 τ_{*c} 及び τ_{*p} 、 τ_{*p}' はそれぞれ無次元の限界せん断応力及び主流方向せん断応力とその有効成分である。 τ_{*p}' は(2)式で求まる。 u_{*c} は限界摩擦速度、 f は摩擦損失係数¹⁾、 $q_b = \sqrt{u^2 + v^2}$ は主流方向流速 (u, v は、 s, n 方向成分)、 d は路床材料平均粒径 s は路床材料水中比重、 A は定数、 g は重力加速度、 h は水深である。

二次流の考慮 二次流を考慮する場合は以下のように考えた。まず路床面流速は(3)式により求められる。

q_{bp} 、 q_{bs} はそれぞれ平均流¹⁾、二次流⁴⁾による路床面流速である。この q_b に対応する無次元せん断応力 τ_{*p} を(4)式の関係より求め、さらに、その有効成分 τ_{*p}' を(5)式の仮定の下に計算した。そして、二次流を考慮した流砂量 q_b を(1)式の τ_{*p}' にかえて τ_{*p}' を用いて求めた。

路床変動の計算 路床変動の計算には、この流砂量式と流砂の連続の式(6)の差分式が用いられた。

(6)式において、 λ は路床材料間隙率、このとき、 q_b の s, n 方向成分は、路床横断勾配の効果を黒木、岸の方法⁵⁾により考慮し、(7)、(8)式で求めた。

4.計算結果の考察 流砂量計算によって得られた河床変動量が砂州の前進による河床変動量に対して相関係数が最大、また分散が最小となるような流砂量式の係数 A の値を求め、そのときの変動量を前進に伴うものと比較している。相関係数及び分散の計算は砂州一波長分を用いた。また、砂州の前進において砂州は初期形状を保ったまま移動するものと考えた。ここでは、黒木らの実験で得られた単列交互砂州について行われた計算を検討した。図-2(a),(b)に無次元せん断応力分布図を示す。同図は、図-1の砂州を固定床として行った実験及び計算による値を示したものである。側壁付近での分布の違いは、実験では側壁部で流速0、計算では側壁は滑り有りとしているからである。図-2(a)と(b)を比較した場合、(a) $x=580\text{cm}$ 付近水路中央部

$$\frac{q_{bp}}{\sqrt{s g d^3}} = A (\tau_{*p}' - \tau_{*c})^{1.5} \quad (1)$$

$$\frac{q_b}{u_{*p}} = 7.66 \left(-\frac{h}{2d} \right)^{1/6} \left(\frac{\tau_{*p}'}{\tau_{*p}} \right)^{2/3} \quad (2)$$

[岸・黒木の式]

$$\tau_{*p} = u_{*p}^2 / s g d = \frac{f}{8} q_b^2 / s g d$$

$$\tau_{*c} = \frac{u_{*c}^2}{s g d}$$

$$u_{*c}^2 = 55.0 d$$

$$(0.1180 \geq d \geq 0.0565 \text{ cm}) \quad [\text{岩垣の式}]$$

$$q_b = \sqrt{q_{bp}^2 + q_{bs}^2} \quad (3)$$

$$\frac{\tau_{*p}}{\tau_{*p}'} = \left(\frac{q_{bp}}{q_b} \right)^2 \quad (4) \quad \frac{\tau_{*p}}{\tau_{*p}'} = \frac{\tau_{*p}'}{\tau_{*p}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Z_{tb}}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{bs}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bn}}{\partial n} \right) = 0 \quad (6)$$

$$q_{bs} = q_b \cos r \quad (7) \quad q_{bn} = q_b \sin r \quad (8)$$

$$r = \tan^{-1} \left(\frac{v_b}{u_b} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_{*s}}} + \frac{\partial Z_{tb}}{\partial n} \right)$$

$$\tau_{*s}' = \tau_{*p}' \cos \theta \quad \theta = \tan^{-1} \frac{v_b}{u_b}$$

に現れている大きなせん断力が(b)には表現され得ていない。図-1の等高線図に示した砂州形成時路床が下流側へ3.0cm($\Delta t=1\text{m}$)前進した際の河床変動状況及び計算によって求められた河床変動状況を図-3(a),(b)に示す。図-3(a)と(b)を比較した際、先に述べた理由により(b)の $x=580\text{cm}$ 付近、水路左側では洗掘は(a)よりも小さい、また全体的に(b)の堆積量はよりも小さく表現されていることが分かる。また $x=440\sim 480\text{cm}$ 付近、水路左側において図-3(a)に変動はほとんど現われていないが、図-3(b)では $x=440\sim 480\text{cm}$ 付近には洗掘が、 $x=380\sim 420\text{cm}$ 付近には堆積が現われている。この地点では実験、計算によるせん断応力はほぼ等しい値であることが分かる。計算において路床材料は平均粒径で考えられているが著者らの行った実験において上述の洗掘部に対応する地点では比較的粒径は大きく、堆積部に対応する地点では小さいという結果を得た。(詳しくは講演時に述べる)このことから、実際にはこの地点では洗掘、堆積傾向は現れないものと考えられるかもしれない。また、二次流を考慮した場合に得られる河床変動の(c)は(b)比べ実際の河床変動に近づいている事が分かるが、二次流による効果はあまりないものと考えられる。計算と実験で得られた河床変動では以上のような違いがあったものの変動状況の全体的な比較を行なった場合、路床材料平均粒径が 0.058cm であることを考慮すると移動に伴う河床変動量と計算で求められた河床変動量の間には差は無いといえる。以上の事から流れの計算の解は妥当であると考えられる。しかし、流砂量計算において先に述べた理由により流砂量計算では地点ごとに粒径を考慮する必要があると考えられる。

(参考文献)

- 1) 沓沢辰美、石井千万太郎：単列交互砂州上の流れの計算 東北支部技術研究発表会講演概要 昭和62年度
- 2) 石井千万太郎、亀井義典、田中一也：単列交互砂州河道における中小洪水時の河岸侵食機構に関する実験的研究 東北支部技術研究発表会講演概要 昭和61年度
- 3) 黒木幹男、岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究
土木学会論文報告集 第324号 1948年2月
- 4) 石井千万太郎、松浦徹、沓沢辰美：単列砂州形成水路の低水時における局所洗掘
東北支部技術研究発表会講演概要 昭和62年度

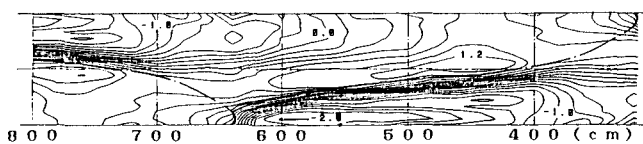


図-1 路床等高線 等高線間隔 0.2cm

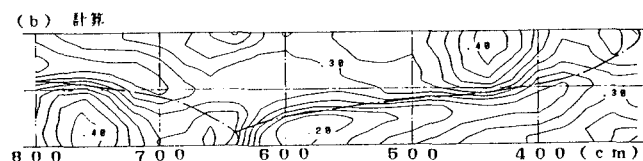
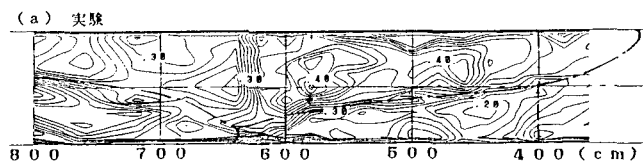


図-2 無次元せん断応力等値線 等値線間隔 0.02

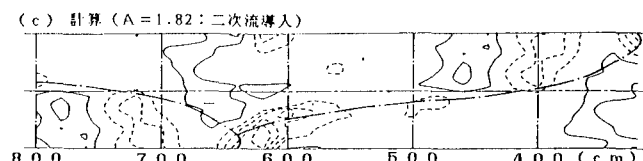
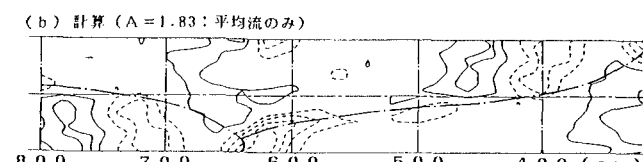
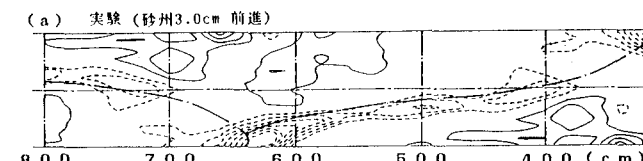


図-3 河床変動状況 0.02cm間隔

----- 堆積
----- 洗掘
----- 砂州前縁線