

複列砂州から単列砂州へ移行する場合の砂州形成過程に関する実験的研究

独立行政法人北海道開発土木研究所 正会員 渡邊康玄
独立行政法人北海道開発土木研究所 正会員 桑村貴志

1. はじめに

砂州の形成過程において、初期に多モードの砂州が形成される条件では、時間の経過に伴ってモードが減少することが指摘されている¹⁾。本研究では、渡邊らが行った定常流による実験結果²⁾を用いて、複列砂州から単列砂州への移行を伴う条件での砂州波高の変化に着目し、砂州の形成過程について検討を行った結果を報告するものである。

2. 定常流場の砂州形成実験の概要²⁾

砂州形成実験は、長さ 50m 幅 90cm の直線水路に粒径 $\tilde{d}_s$ が 0.76mm の珪砂を敷きつめて、表-1 に示す水理量を用いて行われた。ここで、 $\tilde{Q}$ は流量、 $\tilde{D}$ は水深、 $\tilde{T}$ は通水時間、 I_b は通水後河床勾配、 I_w は通水中の水面勾配である。

3. 定常流場の砂州の発達速度

藤田ら³⁾は、実験結果をもとに定常流場における砂州の発達時間 $\tilde{T}_e$ を式(1)で表している。

$$\tilde{T}_{e-cal} = \frac{6\tilde{B}\tilde{Z}_{be}}{\tilde{q}_B} \quad (1)$$

ここで、 $\tilde{B}$ ；半川幅、 $\tilde{Z}_{be}$ ；平衡砂州波高、 $\tilde{q}_B$ ；単位幅当たりの掃流砂量である。 $\tilde{Z}_{be}$ 、 $\tilde{q}_B$ を算定することにより、式(1)から砂州発達時間が算定できる。図-1 は、実験により得られた無次元流砂量 q_{B-obs} と式(2)で表される Meyer-Peter Müller による無次元流砂量 q_{B-cal} との比較を行ったものである。

$$q_{B-cal} = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

ここで、 τ_* および τ_{*c} はそれぞれ無次元掃流力および限界掃流力である。図-1 より式(3)なる関係があることより、ここでは、流砂量として式(4)を検討に用いることとする。

$$q_{B-obs} = 0.75q_{B-cal} \quad (3)$$

$$q_B = 6(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

一方、平衡砂州波高は、池田ら⁴⁾によると式(5)で表すことが可能である。

$$\tilde{Z}_{b-cal} = 9.34\tilde{D}\left(\frac{2\tilde{B}}{\tilde{d}_s}\right)^{-0.45} \exp\left(2.53\text{erf}\frac{\log_{10} 2\tilde{B}/\tilde{D}-1.22}{0.594}\right) \quad (5)$$

図-2 は、実験結果 $\tilde{Z}_{b-obs}$ と式(5)による値との比較を示した

表-1 定常流実験の水理諸元

Case	$\tilde{Q}$ cm ³ /s	$\tilde{D}$ cm	$\tilde{T}$ min.	I_b	I_w
S-10	1660	0.6	960	1/83	1/80
S-20	3250	0.9	840	1/81	1/82
S-30	5270	1.2	600	1/76	1/85
S-40	7600	1.5	330	1/83	1/83
S-50	10350	1.8	240	1/82	1/79

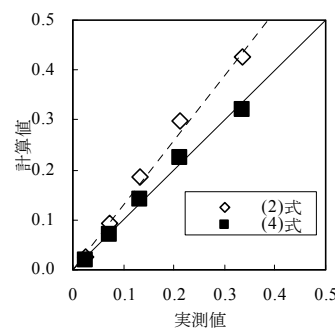


図-1 流砂量の比較

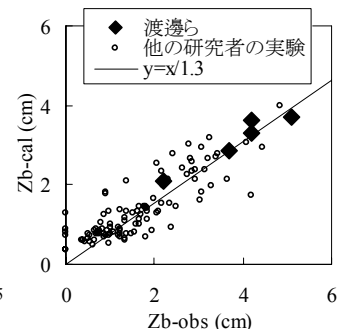


図-2 砂州波高の比較

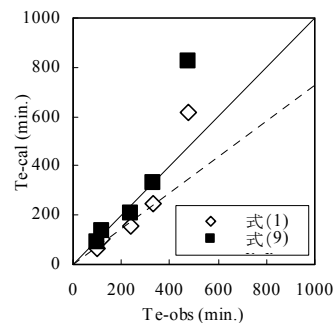


図-3 砂州の発達時間

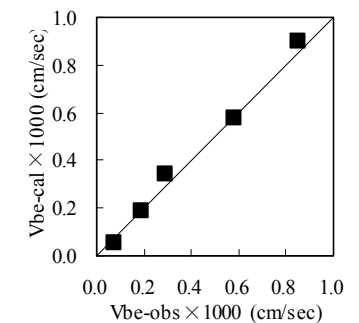


図-4 砂州の発達速度

ものであり、式(6)なる関係が認められる。なお、定常流実験では、水深の浅い実験では、複列砂州から単列砂州への移行が認められているが、ここでの平衡砂州波高は、移行後の単列砂州波高を用いている。なお、図には他の研究者らが行った実験⁵⁾についても記している。

$$\tilde{Z}_{b-obs} = 1.3\tilde{Z}_{b-cal} \quad (6)$$

ここでは、式(7)を平衡砂州波高 $\tilde{Z}_{be}$ として検討を行う。

$$\tilde{Z}_{be} = 12.1\tilde{D}\left(\frac{2\tilde{B}}{\tilde{d}_s}\right)^{-0.45} \exp\left(2.53\text{erf}\frac{\log_{10} 2\tilde{B}/\tilde{D}-1.22}{0.594}\right) \quad (7)$$

図-3 は、砂州の発達時間について、実験結果 $\tilde{T}_{e-obs}$ と水理量から式(4)、式(7)を用いて式(1)から求めた $\tilde{T}_{e-cal}$ とを比較したものである。ここで、 $\tilde{T}_{e-obs}$ と式(1)との関係には式(8)

キーワード：中規模河床形態、発達過程、砂州波高、モード変化、複列砂州、交互砂州

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3、TEL 011-841-1114 FAX 011-820-4246 e-mail y-watanb@ceri.go.jp

なる関係が存在している。以上より砂州の平衡発達時間は、実験条件の水理量を用いて式(9)から算定可能であることがわかる。なお、発達時間のもっとも長いケース S-10 は水深が 6mm であり、通水 300 分後に浮州が生じたケースであることから、図には記載しているが、式(8)の関係を求める際には除外した。

$$\tilde{T}_{e-cal} = 0.76 \tilde{T}_{e-obs} \quad (8)$$

$$\tilde{T}_e = \frac{8\tilde{B}\tilde{Z}_{be}}{\tilde{q}_B} \quad (9)$$

この関係を用いると、定常流場の平坦河床からの砂州形成過程における平均的な波高の発達速度 $\tilde{V}_{be}$ は、式(10)となる。なお、発達速度は、通水開始直後が最も大きく次第に小さくなって、砂州の平衡状態へと推移するが、ここでは便宜的に平衡状態までの平均的な速度を考えることとした。

$$\tilde{V}_{be} = \frac{\tilde{Z}_{be}}{\tilde{T}_e} = \frac{\tilde{q}_B}{8\tilde{B}} \quad (10)$$

図-4 は、砂州の発達速度について実験結果と式(10)より求めた値とを比較したものである。複列砂州から単列砂州への移行を伴う場合の定常流場の砂州形成においても平衡状態への平均的な砂州発達速度を式(10)で算定できることがわかる。

4. モード移行時の砂州の発達速度

図-5 は、定常流場における平坦河床からの砂州波高の時間変化を示したものである。実験は水深を変化させて 5 ケース実施されている。 $\tilde{D}=1.8\text{cm}$ および $\tilde{D}=1.5\text{cm}$ のケースは通水開始から単列砂州のままで平衡状態に達している。 $\tilde{D}=1.2\text{cm}$ および $\tilde{D}=0.9\text{cm}$ のケースは、それぞれ通水開始から 60 分および 80 分で複列砂州から単列砂州へ移行している。また、 $\tilde{D}=0.6\text{cm}$ のケースは単列砂州のままで経過し通水開始から 300 分を経過して自己形成流路へと移行している。砂州波高のみに着目すると、複列砂州が形成されるケースは一旦複列砂州としての平衡に達し、その後単列砂州に移行して再び発達を開始する。この砂州形態の移行に伴い、砂州波高の上昇の停滞期が存在している。図-6 は、各ケースの砂州波長の時間変化を示したものであるが、砂州波高発達の停滞期と砂州波長が伸びる時期が一致している。このことから、砂州波高発達の停滞は、複列砂州から単列砂州へ移行する際に波長が伸びるために要する時間とも考えられる。また、モードの減少が終了すると再び発達速度を増して平衡状態に達しているようである。

5. おわりに

複列砂州から単列砂州への移行時には砂州波高の発達

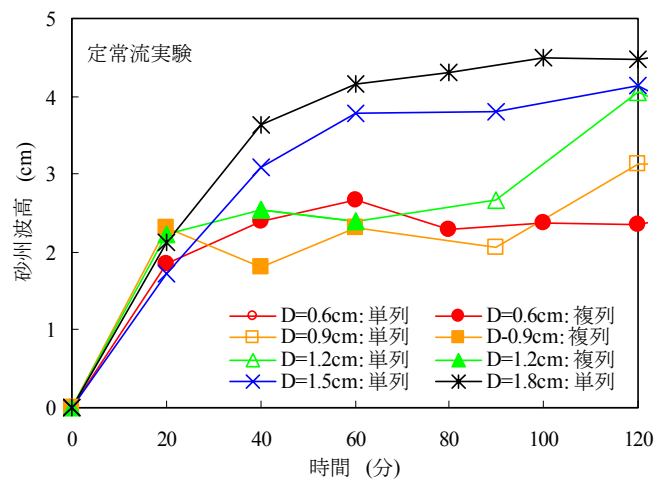


図-5 定常流実験の砂州波高の時間変化

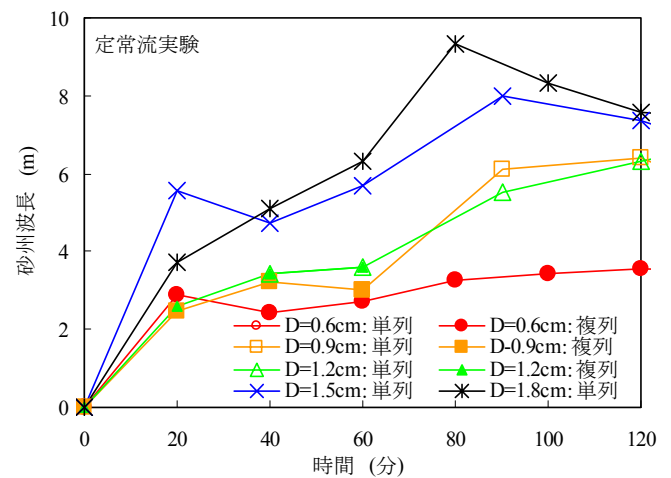


図-6 定常流実験の砂州波長の時間変化

が一時停滞することが判明した。この原因としては波長の増大とも考えられるが今後の課題である。また、砂州形成過程において、複列砂州から単列砂州へ移行する場合においても、単列砂州のみの発達過程から得られた平衡状態までの発達時間の予測式に適合する結果を得た。砂州形態の移行に伴う砂州の発達の停滞が生じても、発達時間がこの予測式に適合する原因としては、停滞期後の発達速度が大きく、平衡状態までの時間としては変わらないためであると考えられる。

参考文献

- 1) 藤田裕一郎ら；網状流路の形成過程，第 31 回水理講演会論文集，pp695-700, 1987.
- 2) Watanabe, Y. et al; Experimental Study on Characteristic of Double-Row Bars under Unsteady Flow, 3rd IAHR Symposium on RCEM, 2003.(投稿中)
- 3) 藤田裕一郎ら；交互砂州の発達過程に関する研究，京大防災研年報第 24 号 B-2, 1981.
- 4) 池田駿介ら；砂床蛇行河川の三次元流れと河床形状，土木学会論文集第 369 号, pp99-108, 1986.
- 5) 土木学会水理委員会；洪水流の三次元流況と流路形態に関する研究，1982.