

II-125 細砂河床における多列砂州の形成と変化に関する考察

京都大学防災研究所 正員 ○ 藤田裕一郎 日本道路公団 正員 永田順宏
 京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄

1. まえがき 細砂河床における中規模河床形態の形成過程では、相対的に掃流力の低い状態で現れてくる砂漣と高い状態で生じ易い浮流砂が特徴的である。ここでは、両者の発生を対象とした多列砂州と網状流路に関する基礎実験の結果に従来の研究成果を適用し、多列砂州の形成と変化について考察を加える。

2. 実験の概要¹⁾ 実験は、幅180cm、長さ15mの鋼製可変勾配水路に平均粒径 $d_m=0.206\text{mm}$ ($u_*c=1.49\text{cm/s}$ (岩垣式), $w_0=2.25\text{cm/s}$ (Rubey式))の砂を数均して行った。実験条件は、芦田・道上の抵抗算出法に基づいて、Upper regime(Run D-1, 2, 7~10), Transitionに近いUpper regime(Run D-3~6)及びLower regime(Run D-11)に対応した3種類の勾配について表-1のように設定した。通水中に水位と下流端での採水濃度から全流砂量を、停水時に河床高を測定し、常時河床の写真を撮影した。 表-1 実験条件

表-1に測定水理量、実測全流砂量 q_T 、芦田・道上式による算定掃流砂

Run No.	Time	Q l/s	h cm	Fr	Ie x1000	U* cm/s	V/U*Re*	qT cm ² /s	qB' cm ² /s	qs' cm ² /s	qs'/qB'	
1-1	10'	8.0	0.65	2.71	30.1	4.36	15.7	7.0	—	0.559	0.0220	0.039
-2	27'	8.0	0.76	2.14	27.8	4.53	12.9	7.1	—	0.559	0.0220	0.039
2-1	10'	6.1	0.63	2.16	30.1	4.30	12.5	6.8	0.939	0.479	0.0138	0.029
7-1	08'	19.8	1.43	2.05	36.4	7.09	10.9	10.4	5.52	2.82	0.284	0.101
10-1	01' 40"	19.4	1.62	1.67	29.9	6.83	9.74	10.3	7.18	2.49	0.230	0.092
8-1	01' 30"	3.5	0.50	1.76	34.5	4.13	9.42	5.9	0.527	0.405	0.0078	0.019
-3	22'	3.8	0.60	1.45	34.5	4.52	7.79	6.0	0.635	0.405	0.0078	0.019
9-1	02'	3.4	0.49	1.76	35.5	4.12	9.36	5.7	0.457	0.407	0.0108	0.027
3-2	30'	7.8	1.05	1.29	9.85	3.17	13.0	5.7	—	0.115	0.0022	0.019
-4	1hr40'	8.1	1.02	1.40	9.81	3.11	14.2	5.5	0.205	0.115	0.0022	0.019
5-1	22'	11.0	1.70	0.88	9.42	3.92	9.2	5.9	0.391	0.282	0.0107	0.038
-4	1hr26'	11.0	1.40	1.18	9.97	3.67	11.9	5.5	0.425	0.282	0.0107	0.038
6-2	20'	19.9	1.99	1.28	7.94	3.86	14.6	6.2	—	0.382	0.0402	0.105
-4	1hr16'	19.9	1.94	1.36	9.33	4.27	13.8	6.9	0.731	0.382	0.0402	0.105
4-1	35'	5.2	1.04	0.92	9.7	3.06	9.43	4.8	0.093	0.012	—	—
-2	1hr45'	4.8	1.41	0.51	10.1	3.70	5.15	5.9	—	0.012	—	—
-5	5hr40'	5.1	1.45	0.55	10.0	3.67	5.52	5.8	0.053	0.012	—	—
11-1	22'	9.1	1.68	0.75	2.99	2.15	14.9	3.4	0.063	0.0045	—	—
-2	1hr45'	9.1	2.95	0.31	3.18	3.01	5.6	4.7	0.051	0.0045	—	—
-5	16hr00'	9.1	3.09	0.30	3.72	3.31	4.9	5.2	0.021	0.0045	—	—

量 q_B' 、浮流砂量 q_s' 及びその比を示す。実験結果は、河床形態の変化過程から次の3グループ①~③(表-1)に大別できる。① Upper regimeの実験: 初期段階でモード $m=6\sim7$ の多列砂州がはっきり確認できたRun D-8, 9と通水直後の水面の波だちから $m=3\sim4$ の砂州と判断された他の場合がある。いずれも早い段階で反砂堆が生じ、水流が集中して、chute & poolが形成され、ついで浮州が現われ、浮州上に反砂堆を残した $m=2$ 程

度の網状流路となる。フルード数は約1.5~2.7であるが流速係数は複雑な河床の影響でやや小さく、浮遊砂量の算定割合も浮遊限界を十分に上回っているがかなり小さい。これは水深が非常に小さく流れが浮遊砂を含み得ないためと考えられる。② Transitionの実験: 初期の砂漣の形成と同時に $m=3\sim4$ の砂州の発達が目撃で、その発達とともに砂州上の砂漣は消滅する。砂州の低モード化につれて主流部の砂漣もflushされ、残存するのは主流路以外の水みちと、早い段階で浮州化した砂州上のみとなる。流速係数には時間的な抵抗増加が見られず、砂漣が消滅していったことと対応している。③ Lower regimeの実験: 河床全面で砂漣が発達し、砂州は砂漣の斜め連なりとして現れ、砂漣に覆われたままで発達し、発達後も砂州上の砂漣は消滅せず、浮州上にも扁平な砂漣が残存する。勾配の大きいRun D-4では m が $m=5$ から $m=1$ まで減少するとともに主流部の砂漣は消える。流速係数は発達した砂漣を反映して通水初期を除きほぼ5と小さい。

3. 河床形態の形成条件 まず、小規模河床形態の形成について芦田・道上の領域区分図で検討したが、上記①の全実験及びRun D-11は一致し、②及びRun D-4は一致しなかった。本実験は大半が $Re_*=5\sim7$ の範囲にあって、 Re_* の小さい場合、砂漣の形成領域は τ_* の大きい方に延びるようである。つぎに、モードの実測値を藤田ら²⁾ の領域区分図に示せば図-1のようになり、形成領域の範囲は一致しているが、細砂河床の特徴として、高モードの段階で網状化しうることが指摘できる。これは砂州の発達による流量集中で河床が容易に深掘れし、浮州が生じるためと思われる。同図から、Run D-11では砂州発生に関わる擾乱のパラメータ Δ と

して、粒径 d の代わりに $\Delta = Z_r/4$ (Z_r : 実測波高) を用いるとこれまでの区分線とよく合致することが判る。

初期に高モードの砂州が確認された Run D-8, 9 について、黒木³⁾の理論によって m と最大増幅率 $K C_{imax}$ の計算結果を図-2 に示す。図中の全モードの砂州について $K C_{imax} > 0$ であり、極大値は $m = 12 \sim 13$ の砂州であるが、1分30秒の停水において確認されたモードは高々6であった。一方、同図の Run D-3, 5, 6 の計算結果はそれぞれモード $m = 1 \sim 8$, $1 \sim 7$, $1 \sim 4$ の砂州の形成と $m = 3, 3, 2$ の極大値を示して、観察結果と一致している。このように比較的低モードの砂州の形成条件は予測できるようである。

平坦河床の抵抗則を用いた黒木の理論は、砂漣の発達した場合には適用できないが、砂漣の発達は、大粒径の場合と同様に単に河床の粗度が増加し、流砂量が減少するものと考え、非線形の有効掃流力の評価は必要なく、河床せん断力の摂動部分の式形は変化しないので、平坦河床と同一の式を用いることができる。そこで、平均流に Run D-11 の実測水理量を与えて計算した結果を図-3 に示す。最大増幅率は $m = 3 \sim 4$ で現れ、実験中期に生じた砂漣の連なりを前縁とする $m = 3$ の砂州と一致する。一方、実測と同じ水深に対して、原論文の抵抗則を用いた結果は、 $m = 1$ のときに極大となって一致しない。同様の結果は砂漣の発達した他の実験についても得られている。同図には砂漣が未発達の前水後20分の実測水理量による増幅率も示しているが、 $m = 2$ で生じる極大値は砂漣で覆われた場合よりも低く、砂漣の発達によって初期とは異なる砂州が生じることになる。これから、砂州と砂漣の発達速度の関係も現象の支配要素であると判る。

4. 多列砂州の変化過程 砂州モードの減少過程を予測するには、各モードの発達速度を適確に見積らねばならない。平衡波高の予測値²⁾ Z_{Be} まで、初期振幅 η_0 を $\eta_0 = d m$ とした擾乱が線形解に従って増幅すると仮定するとその発達時 $T_{e'}$ は $T_{e'} = H_0 \ln(Z_B/2dm)/(U_0 K C_{imax})$ となる。ここに、 H_0 : 平均水深、 U_0 : 平均流速、擾乱の振幅 η は砂州の波高 Z_B と $\eta = Z_B/2$ の関係にある。同一の波高に到達する時刻は極大増幅率の砂州が早い、そのモードが高い場合 Z_{Be} は小さいので、低モードの砂州は発達し、ある時点でその波高に達する。この時点は砂州モードの変化点の指標と考えられる。表-2 は Run D-5 についてのその計算結果であって、 $m = 3$ の砂州の発達時間が $T_{e'} = 23.6$ 分と最も短い、その平衡波高 $Z_{Be} = 2.23$ cm に $m = 2$ の砂州が到達するのは $T_{e'} = 26.5$ 分であるので、速やかに $m = 2$ の砂州へ移行すると予測される。

5. あとがき 実測資料の乏しかった細砂河床における網状流路に関して基礎実験を行い、その形成過程に考察を加えた。予測法は線形理論の適用限界が不明確のため不十分であるが、今後こうした定量的な考察を進めていくことは必要であろう。

【参考文献】 1) 村本・藤田・永田: 平成元年度関西支部年講, 1989. 2) 藤田・赤松・村本: 第31回水講, 1987. 3) 黒木: 北海道大学位論文, 1988.

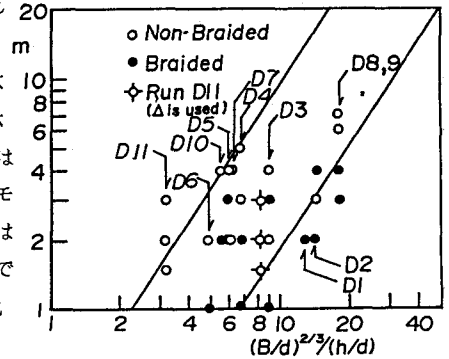


図-1 多列砂州の形成に関する検討

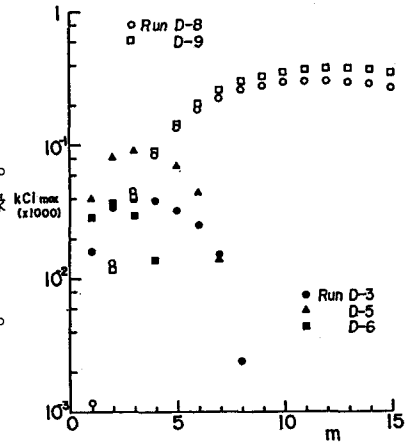


図-2 各モードの砂州の増幅率

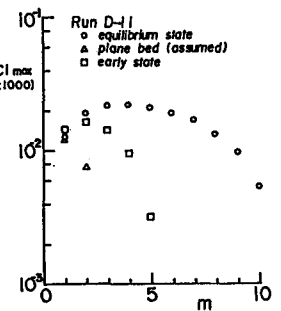


図-3 砂州の増幅率 (Lower R)

表-2 多列砂州の変化時点の検討

mode	1	2	3	4
$K C_{imax}$ (x10000)	0.403	0.830	0.935	0.872
Z_{Be} (cm)	13.93	4.39	2.23	1.38
$T_{e'}$ (min)	88.2	34.3	26.0	24.6
$T_{e''}$ (min)	70.7	29.3	26.0	—

$H_0 = 1.49$ cm, $U_0 = 46.7$ cm