

河床表上の砂粒運動と変形の関連について (オズ報)

大阪大学工学部

正員 室田 明

大阪府立工業高等専門学校

正員 多田 博登

大阪大学工学部

正員 平田 健正

1. はじめに、移動床流れの問題は、流量、勾配、河床材料等の水理条件が与えられた場合、適確に抵抗および流砂量を予測することである。その変換系としての移動床流れは河床変形の形成および発達を通じて直接的に河床面上の砂粒運動に規定され、砂粒運動そのものも流砂量および抵抗と密接な関係を持ち、複雑な相互干渉を呈する。従来の掃流砂公式は、この相互干渉の場をブロッカーボックスとし、簡単な物理的あるいは数学的モデルに置き換えているが、更に合理的なものとす為、本研究は実験水路にて砂粒運動を撮影し砂粒運動を通じて移動床上の複雑なメカニズムを解明すべく若干の考察を試みた。

2. 実験装置と方法、長さ20m、幅50cm、高さ32cmのアクリル樹脂製可変勾配水路で $d_{50}=0.026\text{cm}$ (A砂), 0.041cm (B砂) のほぼ均一な種類の砂を用いて実験を行った。水路を平坦にならした後、所定の流量と勾配で通水を始める。流れは水路下流端での堰操作により常に等流状態を維持している。変形については、あらかじめ定めた時間通水して水を止め、砂面計を用いて水路中央に沿って縦断形状を測定した。流砂量 Q_B は、その間水路下流端にある沈砂箱の堆積量を時間平均して用いる。砂粒運動は所定の時間に砂連変形上と遷移領域の平坦河床で16mm高速度撮影を行った。撮影砂面面積は $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 、撮影速度は砂連および遷移領域の平坦河床でそれぞれ毎秒200コマ、400コマ、撮影時間はそれぞれ20秒10秒である。撮影速度

はタイミングライトで確認している。砂連については撮影後、着目被高および変長を測定した。フィルムの解析には1コマ送りの小さなダイナミックフレームを用いた。Table-1にB砂のデータの明示している。

3. 砂粒移動速度
砂粒移動速度は、瞬時的砂粒移動速度 u と平均的砂粒移動速度 u_m と定義した。砂連から遷移領域での平坦河床への

Table-1 Hydraulic Condition

Run	Slope	Q l/cms	T min.	h cm	R cm	U cm/s	Fr	u_* cm/s	q_B gr/cms.	k cm/s.	j cm/s.	[us] cm/s	ϵ
1-1	1/2000	20	0	7.5	6.3	26.7	.31	1.76	.0003	197	104	208	.0023
2			70	7.5	6.3	26.7	.31	1.76	.00259	270	095	273	.0145
3		120		9.1	7.8	22.0	.23	1.95	.00878	282	108	340	.0396
4		240		9.5	8.4	21.1	.22	2.03	.00083	219	108	248	.0051
5		480		9.5	8.4	21.1	.22	2.03	.00054	194	119	215	.0038
2-1	1/1000	25	0	7.8	6.8	32.1	.37	2.58	.0047	249	158	392	.0184
2			60	9.0	8.1	27.8	.30	2.82	.0212	366	117	425	.0463
3		120		9.3	8.4	26.9	.28	2.87	.0053	271	116	500	.0164
4		240		9.7	8.8	25.8	.26	2.94	.0021	403	157	652	.0050
3-1	1/500	25	0	6.7	6.1	37.3	.46	3.46	.0520	447	209	111	.0717
2			60	7.4	6.8	33.8	.40	3.65	.0627	307	208	638	.1508
3		120		7.6	7.0	32.9	.38	3.70	.0662	493	141	798	.1273
4		240		7.9	7.3	31.6	.36	3.78	.0692	463	198	990	.1072
4-1	1/400	20	0	5.1	4.6	39.2	.55	3.36	.0991	632	246	151	.1007
2			60	6.1	5.7	32.8	.42	3.74	.0991	103	141	151	.1007
3		120		6.7	6.3	29.9	.37	3.93	.0991	106	130	145	.1049
5-1	1/400	25	0	5.6	5.0	44.6	.60	3.50	.1505	817	225	192	.1202
2			70	6.1	5.5	41.0	.53	3.67	.1505	792	217	183	.1264
6-1	1/250	20	0	4.1	3.8	48.8	.77	3.83	.2410	756	320	242	.1530
2			60	4.5	4.2	44.4	.67	4.04	.2890	582	348	204	.2170
3		120		4.6	4.3	43.5	.65	4.09	.3030	478	397	190	.2450
7*	1/250	25		5.1	4.7	49.0	.69	4.29	.5300	698	266	194	.5470
8-1	1/225	20	0	4.0	3.7	50.0	.80	4.00	.3200	738	250	185	.2650
2			60	4.2	3.9	47.6	.74	4.11	.4010				
3			120	4.2	3.9	47.6	.74	4.11	.4370	620	665	226	.2970
9*	1/225	25		4.6	4.2	54.4	.81	4.28	.7460	111	189	263	.4350
10*	1/200	20		3.8	3.5	52.6	.86	4.14	.7000	844	227	207	.5190
11*	1/200	25		4.2	3.8	59.5	.93	4.32	.8780	752	306	246	.5470
12*	1/100	18		2.8	2.6	65.7	1.25	5.05	.20221	987	325	355	.8726

Symbol, Q; discharge, h; depth, R; radius, U; mean velocity.
Suffix of Run No., *, means t.f.b..

発達に伴う u_s の指数分布から正規分布への変化は指数分布のたたみ込みである(1)式で表現できる。

$$g_j(x) = \frac{1}{k} \frac{(u_s/k)^{k-1}}{(j-1)!} \cdot e^{-\frac{x}{k}} \quad \text{----- (1)}$$

k は速度の次元を持ち、各段階での砂粒の代表的移動速度、 j はその発生頻度と考えられる。 u_s は砂速、および遷移領域での平坦河床でそれぞれ対数正規および正規分布に従う

4. 移動砂粒数、河床面上の移動砂粒数 N は 6~9 秒にわたり砂速の領域について測定した。205 秒単位の移動砂粒数、およびその自己相関係数をそれぞれ Fig. 1, 2 に示す。移動砂粒数を見るかぎり、不規則な周期で砂粒は移動しているようにしたが、自己相関係数には小さな振動はあるが 0.4~0.5 秒の卓越周期が存在する。泥砂量 q_B からの移動砂粒数 $[en] = q_B / u_s$ と実測値 N / u_s を Fig. 3 に比較している。 $[u_s]$ は u_s の期待値、 n は単位面積、 d_{50} 深さに存在する砂粒数、 $[E]$ は移動確率である。 $[E] > 10$ では満足すべき一致を示している。

5. 移動確率 $[E]$ 、 $[E]$ とノルド数 Fr の関係は Fig. 4 に示す。波高は河床波の成長過程を記録は定常状態を結んだものである。河床波の成長過程では河床波の成長に伴い $[E]$ は増加し定常状態に至るが、その後は $[E]$ は減少している。遷移領域に入ると $[E]$ は急激に大きくなるが反砂堆領域でも $[E]$ は 10 を越えない。移動層厚という観点に立って、河床波の位相の伝播による影響層厚は当然河床波の波高の程度であるが、河床面上の砂粒の移動層厚は本実験の場合 $[E]$ 物と考えられるから、 $[E] < 10$ より平均的にはせいぜい d_{50} の一層程度である。

波高分布の特性を符号義波高 H' で代表させ、着目波高 H との比 H/H' を N/q_B に対して Fig. 5 にプロットした。

H/H' の増加に伴い N/q_B は減少の傾向を示すが、現段階では着目波高の波高分布中の位置では表現は難しい。波形の効果については現在検討中である。

参考文献

- 1) 室田, 乃田, 平田: 河床波上の砂粒運動特性について; 第27回耳講
- 2) 室田, 乃田, 平田: 河床波上の砂粒運動と流砂量に関する実験的研究; 第19回水理講演会論文集

