

河床波上の砂粒運動と波形の関連について

大阪大学工学部 正員 室田 明 大阪大学大学院 学生員 平田 健正
同 上 正員 多田 博登 兵庫 県 正員 森脇 康仁

1. はじめに；本研究は流れの特性と流砂量に直接関与する河床波上の砂粒運動を実験水路で高速撮影を行い、砂粒運動の特性を調べ、流砂量および河床波形との関連について若干の考察を行った。

2. 実験方法；長さ20m、幅50cm、高さ32cmのアクリライト樹脂製の可変勾配水路で、 $d_{50}=0.026\text{mm}$ のほぼ均一な砂を用いて実験した。所定の勾配と流量で通水を開始する。通水中は下流端堰を操作し等流を維持している。規定の時間で水を止め水路中央に流って河床波の中央縦断形状を判定した。流砂量はその間下流端下にある泥砂箱に泥砂したものを計測した。更に通水し、定常状態に達するまで繰返した。実験ケースは表-1に示す。砂粒運動は適当な時間にcrest背面上にスケールを置き、16mm高速カラー撮影を行った。撮影時間は約20秒間で、撮影砂面面積は約 $1\text{m} \times 1\text{m}$ である。撮影速度は毎秒100コマ又は200コマである。同時に、撮影した河床波の波長、波高、および撮影位置を図-1の様に測定した。波高分布中での着目波高の位置を図-2,3に示す。1コマ送りのできるdynamic flameで映写しEuler的砂粒移動速度 $[U]_E$ 、Lagrange的砂粒移動速度 $[U]_L$ 、および移動砂粒数 $[n]$ を求めた。撮影した河床形態は砂連と平坦河床で、表中にそれぞれ、 χ として示した。

3. 砂粒運動の特性；crest背面上の砂粒移動方向はほぼ流れ方向と一致する。砂粒の運動形態はrolling, slidingが主で河床面からかなり離れて移動する砂粒は観測できない。成長過程では砂粒は不規則な周期をもって移動するが平坦河床ではほとんど一様に移動する。

3-1. Euler的観測による砂粒移動速度；映写画面下端付近に基準線を設け、この線を通過する砂粒に着目し、画面上端から消えるまで、もしくは停止するまで追跡し移動距離と移動コマ数から $[U]_E$ を求めた。5コマ以上移動しても移動距離が 0.5mm 以下のものは除外した。 $[U]_E$ と u_* の関係は図-4に示す。成長過程では $[U]_E$ は u_* とともに増加するようだ。平坦河床

表-1 実験ケース

Run	河床形態	勾配	流量 Q cm^3/sec	時間 min	水深 cm	波長 cm	平均流速 q_B cm^3/s^2	q_B cm^3/cmsec	$[U]_E$ cm/sec	k cm^2/s^2	$[n]$ $\text{粒}/\text{cm}^2$	H_b/h
1-1				7	6.8	6.3	24.4	0.70×10^3	3.44	2.30	57	
2				13	7.1	6.7	28.2	1.00	3.74		134	0.148
3	r	1/500	0.20	25.5	7.4	7.0	27.0	1.40	3.20		190	.172
4				60	8.0	7.6	25.0	3.10	3.33		89	.175
5				120	8.8	8.4	22.7	4.30	3.96	1.80	298	.182
2-1				60	8.5	7.3	23.5		2.25			
2				70	8.5	7.3	23.5	0.20	2.21			
3	r	1/2000	0.20	230	8.7	7.5	23.0	.16	2.49			.100
4				360	9.4	8.2	21.3	.07	3.42			.112
5				610	10.1	8.9	19.8	.70	3.97			.112
3	f	1/200	0.24		4.0	3.6	60.0		25.4			
4	f	1/200	0.40		5.4	6.6	73.3		58.8			

では正確な測定はできなかったが、 $[U]_E$ は平均流速のオーダーである。 $[U]_E$ の分布を図-5に示す。 $[U]_E$ は対数正規分布に従うことがわかる。

3-2. Lagrange 的観測による砂粒移動速度；Run 1-1.5 について映画画面上に基準線を2本設け、(間隔は砂面実長で4mm)その間にある砂粒を1コマ(1/10 sec.)にわたる砂粒が移動を始めてから1コマ(1/100 sec.)にもつ移動距離より移動速度 $[U]_L$ を求めた。 $[U]_L$ の分布を図-6に示す。 $[U]_L$ は指数分布することが予想される。そこで指数分布を適用すると確率密度関数 $f(x)$ 分布関数 $F(x)$ はそれぞれ次式で与えられる

$$f(x) = \frac{1}{x} e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (1) \quad F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (2)$$

ここで λ は速度の次元をもつ。超過確率より λ を求め、この λ を用いた確率密度関数 $f(x)$ を図中に併記した。実測の分布と良く一致している

3-3. 移動砂粒数；映画画面にある間隔をおいて2本の基準線を設け、1コマにそれぞれの基準線を通過する砂粒数を900コマにわたり Run-1 について測定した。表中には2本の基準線を通過する砂粒の平均値を示す。同時に不規則な周期を観測した。この不規則な周期は河床近傍の流速分布の乱れによるものであろう。移動砂粒数 $[n]$ は河床波の成長に伴い one order の増加がある。20コマ単位の移動砂粒数を図-7に示す。

4. 波形の効果；本実験の範囲では砂流速は着目波高に関係しないようだ。 H/H_{50} と $[n]/[n]_0$ の関係を図-8に示す。 H_{50} は分布図で超過確率50%の波高、 $[n]$ は移動砂粒体積、 $[n]_0$ は流砂量である。 $[n]/[n]_0$ は着目波高の分布中の位置で表現でき、 H/H_{50} と伴に増加する。 H/H_{50} と $\varepsilon = [n]/n_0 [U]_E$ を図-9に示す。 n_0 は単位面積、 d_{50} の深さに存在する砂粒数で、 ε は其中で運動しているものの割合である。本実験の範囲では ε は着目波高で整理できるものでないことがわかった。今後、更に実験を追加するつもりである。

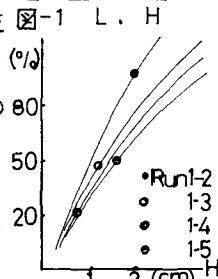
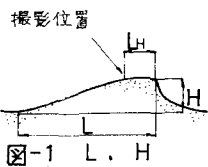


図-2 着目波高の位置

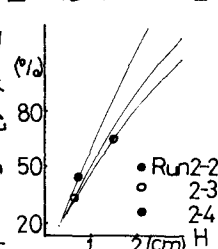


図-3 着目波高の位置

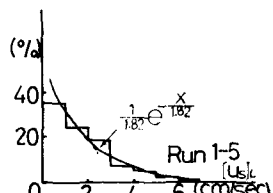


図-4 $[U]_L$ の分布

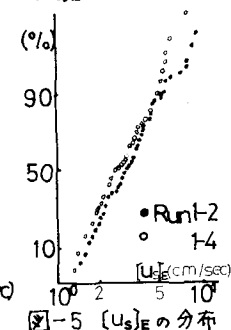


図-5 $[U]_E$ の分布

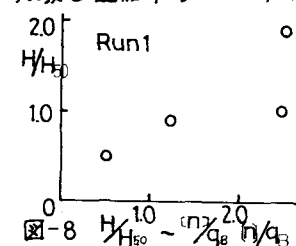


図-6 $H/H_{50} \sim [n]/[n]_0$

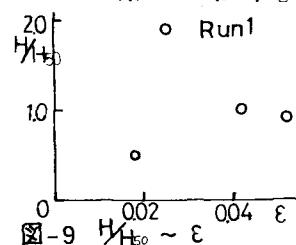


図-7 $H/H_{50} \sim \varepsilon$

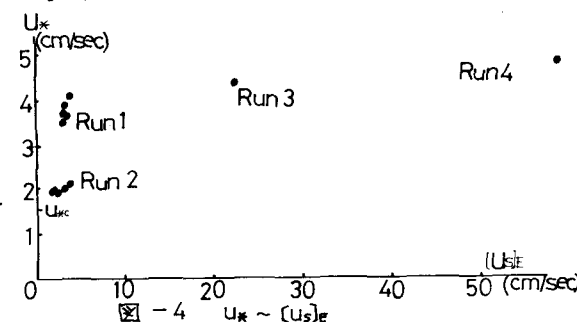


図-8 $U_* \sim [U]_E$

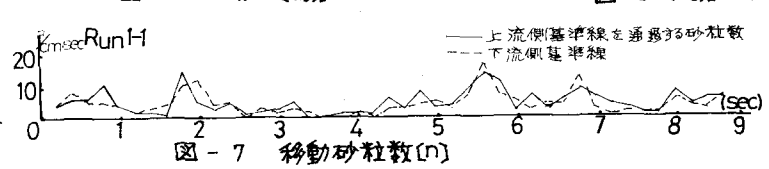


図-9 移動砂粒数 $[n]$