

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; 移動床流れにおける底流量および河床波の形成・発達は, 直接的には河床波上の砂粒運動によって規定される。このような砂粒運動を高速度カメラを用いて実験的に観測を行ない, 前報等^(1,2) において砂粒移動速度の分布特性などについて説明を行なった。本報では平均砂粒移動速度と平均水流量とがどのように関係しているかについてさらに若干の検討を加えたものである。

2. 実験; 実験水路は長さ 20m, 幅 50cm, 高さ 32cm のアクリル樹脂製可変勾配水路で, 実験砂として $d_{50} = 0.026$ mm および 0.041 mm のほぼ均一な二種を用いた。実験範囲は, 水路勾配 $1/2000 \sim 1/100$, F_r 数 $0.22 \sim 1.25$ であり, 河床形態は砂連および遷移領域の平坦河床に含まれる。

実験はまず水路床に砂を平坦に敷きつめ所定の流量を透水する。砂連領域では透水時間とともに徐々に河床波が形成されていくが, 河床波の形成される前の平坦河床を, 遷移領域の平坦河床 (t.f.b.) と区別して初期平坦河床 (i.f.b.) とする。流床は常に等流状態を保つように水路下流端の堰を調整する。あらかじめ決められた時間において, 水路断面中央の河床面上の砂粒運動を高速度カメラにより撮影を行なった。撮影画面面積は約 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$, コマ送り速度は毎秒 200コマおよび 400コマ, 撮影時間はそれぞれ 20秒および 10秒である。河床波が形成されている場合は, クレスト上流側背面を撮影した。直後に水を上めサーボ式砂面計にて水路断面中央に於ける河床縦断形状を計測した。底流量 Q_b は水路の下流に設けた流砂水槽に堆積した量を計測して求めた。

3. 砂粒移動速度と移動砂粒数; ダイナミックフレームを用いて, 撮影されたフィルム画面上を移動している砂粒について, フィルム 1コマまたは 2コマの間に移動した距離から得られる移動速度, および画面上の砂粒 1コに着目して, その砂粒が移動を開始する画面に侵入してから, 通過または停止するまでの距離と時間から得られる移動速度を得た。両者は分布特性は異なるが, 平均値 $[U_s]$ はほぼ等しい。また移動砂粒数 $[N_s]$ (コ数または体積) は画面上に設けた流床方向に直角な線分を通過する砂粒の量から求めらるものとする局所的な底流量である。以上のような画面上から得られる砂粒運動は全て contact load である。 $d = 0.026$ mm に対応する沈降速度は $w_0 = 3.3$ cm/sec であるから, 参考限界は $U_s \approx w_0$ により実験範囲では砂連砂として流下するものも考えられる。しかし砂連領域においては, 河床波背面上では砂連砂は観測されず, 遷移領域においてもせいぜい高さ数mmという跳躍があるから, 画面上に十分とらえられていると思われる。浸透砂は contact load に比べ一時的に十分小さいものと考えられる。 $[U_s]$ は河床近傍流速の代表値として整理すると, i.f.b. と t.f.b. では異なる特性を示した⁽²⁾。以下簡単に以下の仮定を行なう。1コの砂粒に働く流体抵抗と摩擦抵抗が等しいとする。

$$(U - U_s)^2 = \frac{4}{3} d_s g (\rho_s - \rho) (\cos \theta \tan \phi' + \sin \theta) / C_D \quad (1)$$

ここに, U : 粒子に働く流体の流速の代表値, $\tan \theta$: 河床勾配, $\tan \phi'$: 動摩擦係数, およびその他は慣用の記号を用いる。流速分布は乱流であると仮定する。

$$U/U_s = 8.5 + 5.75 \log_{10} Z/k_s \quad (2)$$

ここに, $k_s = d_{50}$, $Z = \alpha d_{50}$ とし, 本実験範囲では $C_D = 10 (U d / \nu)^{-1/2}$ を用いると, 実験の $[U_s]$ と相当する α が求まる。 α は平均的な砂粒運動の高さを表わすようなパラメータであると考えられる。Fig. 1 に F_r 数と α の関係を示す。ここに F_r 数は, 本実験のような U の狭い範囲では, 河床波の発達を表わすようなパラメータであると見られるから, $[U_s]$ は α により河床波の発達とともに連続的に表わすことができる。

いま $[q_B]$ は簡単に次のように表わされるとする。

$$[q_B] = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \left(\sum_{i=1}^n u_{s_i} \right) dt \cong \varepsilon \cdot n \cdot [u_s] \quad (2)$$

二に、 n ：単位面積より d_{50} 深さに存在する砂粒数、 ε ： n よりうろ移動している砂粒数の割合である。Fig. 2に $\varepsilon = ([q_B]/[u_s])/n$ と $[u_s]$ の関係を示している。シンボルの、○および△はそれぞれ、i.f.b., 砂連波形およびt.f.b.の値を表わす。図から、i.f.b.では比較的小く線の上に乗り、ている。また各 $[u_s]$ の値における ε の範囲の最小値の位置にある。列床波の形成されて行く成長過程では、 $[u_s]$ はあまり変化しないから、 ε は常にi.f.b.の値より大であり、1オーダー以上の増加もみられる。これは波形による流れの乱れが連行砂粒数の増加を伴うものがあること、また波形の存在のため、底砂量の観測値が大きくなるつきを正す可能性を予想させるものである。成長に伴う ε と $[u_s]$ の関係の変化は、水路全体の河床波の成長初期または成熟期等には些関係があることから、個々の観測した特定波形のみ関係するものがあると考えられる。t.f.b.では、 q_B を用いてプロットしているが、i.f.b.の線分の上にはばらついていて1を越えることはない。以上から $[u_s]$ と ε は本実験範囲では互いに独立なものと考えられるが、i.f.b.の値と結合線分を下限として約10倍の幅をもつ範囲に含まれていることは興味深い。砂粒が河床面を移動すると、表面だけだけでなく下層も移動すると思われるが、これに対応するような移動厚を考慮する必要があるが、反砂堆積域では $\varepsilon < 1.0$ となるため、移動厚として d_{50} を採用することは妥当であろう。

4. 底砂量と移動砂粒数；河床上の局所的な $[q_B]$ と、平均的な q_B は当然異なる値を持つ。この比 $\beta = [q_B]/q_B$ は河床波の底砂量に対する効果を表わすものである。ここに、特定波高 h 、波高分布における1/3有義波高の比 H/H'' の関係をFig. 3aに示す。波高のみの効果は見られない。また波高勾配の分布は、同一砂の砂連領域では全し等しいことから、特定波形の波高勾配をプロットしたもののFig. 3bである。ばらつきはあるが H/H'' の増加により β は減少する傾向を示している。また分布形の平均値1/10付近では $\beta = 1$ となるのは興味深い。通常 $\beta > 1$ になるかばならないように思われるが、波形の3次元性などにより $\beta < 1$ の場合も起り得る。さらに波形の効果について検討を加える予定である。

最後に本研究は文部省科学研究所補助金の援助を受けて行なつたものであり、記して謝意を表す。

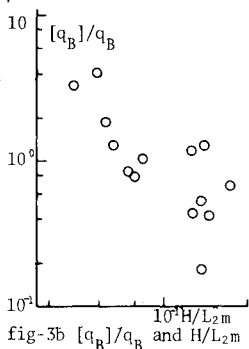


fig-3b $[q_B]/q_B$ and H/L_{2m}

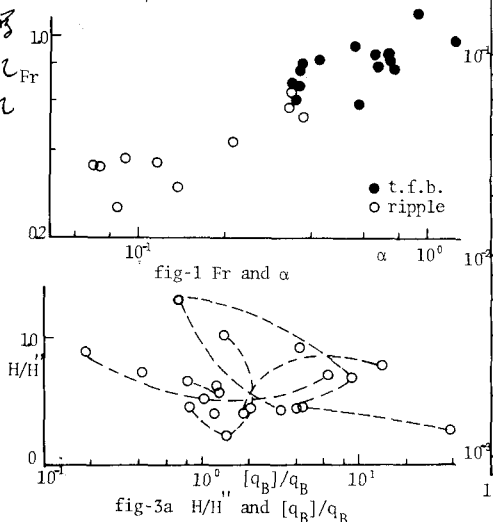


fig-3a H/H'' and $[q_B]/q_B$

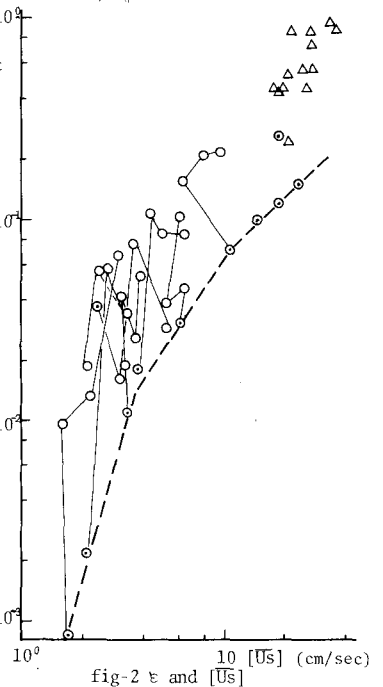


fig-2 ε and $[U_s]$

- 1) 室田、多田、平田「河床波上の砂粒運動の特性について」第29回年報、S.49.10.
- 2) 室田、多田、平田「河床波上の砂粒運動と底砂量に関する実験的研究」第19回水誌、S.50.2.
- 3) 室田、多田、平田「河床波上の砂粒運動と波形の関連について(第2報)」S.50年度内海年報、S.50.4.