

II-55 波と流れによる混合砂の移動特性

東北大学 大学院○学生員 吉竹豊尚

東北大学 工学部 正会員 田中 仁

1. はじめに

波と流れによる岸沖漂砂量を実験的に検討する場合、通常は均一砂を対象としている。しかし実際の河川、海浜においては各種粒径の底質が混合しており、その移動特性は各砂粒子の粒径により異なるものと思われる。その基本的な移動特性については既に報告した¹⁾。今回、底質の粒径の違いにより移動方向が異なる興味深い現象が観察された。本研究では、実測波形より砂粒に作用する水理量を粒径毎に評価し、粒径別の岸沖漂砂量と外力との関係を実験的に検討する。

2. 実験方法

実験には、全長18m、幅30cm、高さ50cmの二次元水路を用いた。上流より一方向流を供給し、下流側よりピストン型造波機により波を発生させた。水路中央部2.0mを掘り下げ、この部分に平均粒径 $d_m=1.75\text{mm}$ の混合砂を敷いた。その粒度組成を図-1に示した。また固定床の表面には実験で用いた底質と同じものを貼り付けて粗度を増している。実験では掃流状態での砂移動が生じており、実験中に適時、波と流れを停止し、固定床部に移動する砂を捕集し、それを漂砂量とした。

3. 実験結果

(1). 粒径別移動方向

波と流れの条件を変え、数ケースについて15~40分間に移動床から出てくる砂を捕集した。なお、移動方向は波と流れの相対的な強弱によって変化した。条件によっては岸、沖両方向にも移動するケースが見られ、正味での砂の移動方向が、粒径により異なるものもみられた。その例を図-2に示す。図中で d_i はある粒径範囲の砂の平均粒径であり、ヒストグラムは粒径別の岸沖別の漂砂量を示している。縦軸は単位時間・単位幅当りの漂砂量を示しており、正が岸向き（波の進行方向）、負は沖向きの漂砂量を示している。また図中の斜線部分は各粒径の正味での漂砂量を示している。

図から大粒径のものは沖向きに多く移動し、細粒径は岸向きに多く移動することがわかる。この理由は以下のようなものである。波による境界層はきわめて薄いので、掃流状態で移動する砂粒に作用する流体力は粒径による違いが少ない。よって、波動成分により、いずれの粒径の砂粒もほぼ同様な外力を受け、岸向きに動こうとする。一方、定常流成分の境界層は十分発達しているので、底面近傍で砂粒が受ける流速は粒径の大小により大きく異なる。すなわち、大粒径のものはほど大きな沖向き流速を受ける。このような波と流れの境界層の特性の違いにより、粒径毎の移動方向の違いが生じるものと考えられる。なお図中の○印等は計算値であり、これについては後に述べる。

(2). 移動方向別の漂砂量

図-3は底面近傍の波の一周期間の流速変化の概略図である。岸向き流速を正とする。Tは波の周期、 T_1 (T_2)は波の一周期中に流速が正（負）である継続時間である。粒径別漂砂量について検討を行うため、次

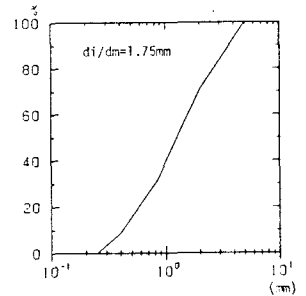


図-1 底質の粒度分布

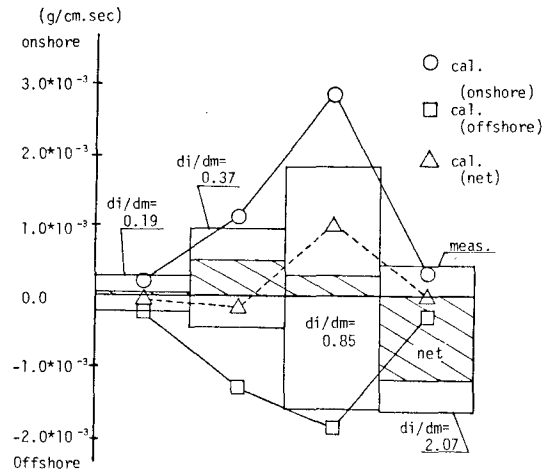


図-2 岸沖別漂砂量

式により粒径別の平均外力を算定する。式中のon(off)は岸向き(沖向き)の移動を示す。またiは各粒径を示す。

$$F_{oni} = \frac{1}{T_{1i}} \int_{t_1}^{t_2} \frac{u_i |u_i^2 - u_{onci}^2|}{(sgd_i)^3} dt \quad \dots\dots (1)$$

$$F_{offi} = \frac{1}{T_{2i}} \int_{t_3}^{t_4} \frac{u_i |u_i^2 - u_{offci}^2|}{(sgd_i)^3} dt \quad \dots\dots (2)$$

ここで、sは水中比重、gは重力加速度、 u_i は底面より d_i の高さでの流速、 u_{onci} 、 u_{offci} は粒径 d_i の砂粒子の岸沖別の移動限界流速であり、他の記号の意味は図-3に示した。砂粒子の移動限界流速 u_{onci} 、 u_{offci} は式(3)で表される力のつりあいの式より求める。

$$\frac{\pi}{8} \rho C_D d_i^2 |u_i| u_i + \frac{\pi}{6} \rho (1.0 + C_M) d_i \frac{\partial u_i}{\partial t} = \pm \frac{\pi}{6} (\rho_s - \rho) g d^3 \tan \theta \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 ρ_s は砂の密度、 ρ は水の密度で、計算では抗力係数 $C_D=1.0$ 、付加質量係数 $C_M=0.5$ 、砂の水中安息角 $\theta=30^\circ$ としている。代表流速、加速度の算定には著者の一人²⁾によって提案されている波・流れ共存時の流れ関数(粗面乱流)を用いた。これにより、波形の非対称性、境界層の存在を考慮した流速場の評価を行うことができる。 F_{oni} 、 F_{offi} と実測の漂砂量との関係を求めたものを図-4に示す。左図は岸向きの、右図は沖向きの関係である。図の縦軸はそれぞれ粒径別無次元漂砂量 $q^*_{Bon}=i_B q_{Bon}/(i_B \sqrt{sgd_i^3})$ 、 $q^*_{Boff}=i_B q_{Boff}/(i_B \sqrt{sgd_i^3})$ であり、 q_{Bon} 、 q_{Boff} はそれぞれ T_{1i} 、 T_{2i} の間での単位時間漂砂量、 i_B および i_b はそれぞれある粒径範囲の砂粒が漂砂中および海底底質中に占める割合、横軸は式(1)(2)で定義された F_{oni} 、 F_{offi} である。これらの関係は比較的良いまとまりを示している。これらの関係を最小自乗法で求めると次式の岸沖別漂砂量式が求まる。

$$\text{岸向き: } q_{Bon}^* = 1.95 \times 10^{-4} F_{oni}^{1.86} \quad \dots\dots (4), \quad \text{沖向き: } q_{Boff}^* = 8.46 \times 10^{-9} F_{offi}^{2.58} \quad \dots\dots (5)$$

ここで F_{oni} の値が F_{offi} に比べ小さいときでも、より多くの漂砂量があるのは、式(1)、(2)で加速度の効果

を u_{onci} 、 u_{offci} でしか考慮していないためと考えられる。波の山位相での加速度は谷位相のそれに比べ大きく、このため岸向きの砂移動量は沖向きに比べ大きいと考えられる。

式(4)、(5)より求められる漂砂量と実測値とを比較した例が図-2中の印である。

式(4)、(5)より求めた

漂砂量は実測値とよく一致することがわかる。

謝辞: 最後に、本研究を行うに際し、有益な御助言を頂いた東北大学・首藤教授に謝意を表する。また、本研究に対し、文部省科学研究費・奨励研究(A)の補助を受けたことを付記する。

【参考文献】

- 1) 吉竹・田中・首藤: 波と流れの共存場における混合砂の粒度分布の効果, 第44回年講概要集, 1989.
- 2) 田中: 任意波形を有する波動下での水粒子速度と底面せん断力の算定手法の関する研究, 土木学会論文集,

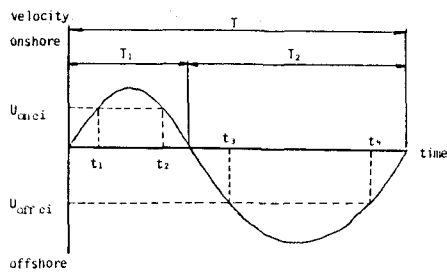


図-3 底面近傍の流速の時間変化の概念図

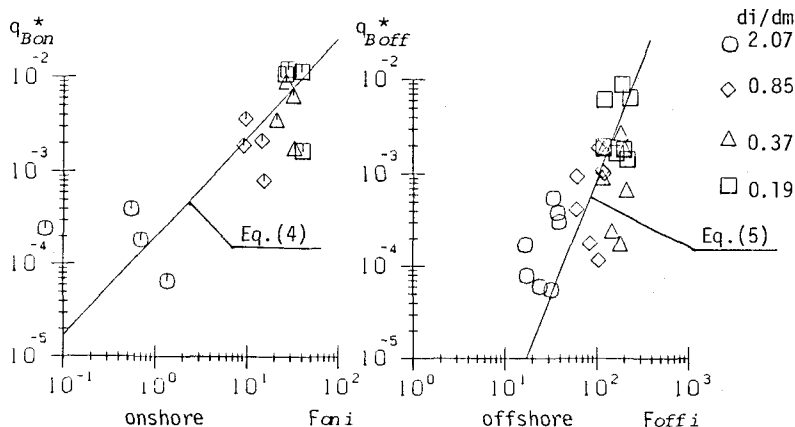


図-4 岸沖別漂砂量