

II-540

砂灘上における砂粒子の浮遊過程について

神戸市立工業高等専門学校 土木工学科 辻本剛三
パシフィックコンサルタンツ 株式会社 市山 誠

1. はじめに

波動場における漂砂量の算定には、その取扱いの容易さからパワーモデルがよく用いられる。しかし近年個々の砂粒子の挙動に着目して漂砂量を扱う検討がなされている（河田、泉宮、後藤）。波動場の砂灘上における漂砂量を検討する際に掃流漂砂が浮遊漂砂に遷移するとされ、砂灘上で見られる渦による巻き上げ量については考慮されていない。そこで本研究では砂灘上の浮遊漂砂がどのような過程を経て形成されるかを実験し、その形成機構を簡単な数値計算で検討したものである。

2. 実験方法・装置

任意の位相で砂粒子を移動させるために、底面で砂粒子を制御する方法を用いた。2次元造波水路の底部に設置した模型砂灘の内部に電磁石を埋め込み、中立浮子に鉄粉をまぶした模擬粒子（粒径約1mm）を模型砂灘の底面に設置し、電流を切る事により模擬粒子が移動できるようにした。電流を切った時の信号を波高計からの水面波形の信号と同時にビジュグラフに記録した。撮影はビデオカメラで行い、画像信号をパソコンに取り込んで処理をした。波高20cm、水深50cm、周期1.66s、波長350cm、砂灘波高1.5cm、波長10cmの条件で実験をした。粒子の配置条件を図-1に示す。①は岸向き流れで岸側斜面②岸向き流れで沖側斜面③沖向き流れで岸側斜面に砂粒子を配置し、①は渦により砂粒子が巻き上げられる機構②、③は掃流砂が浮遊砂に遷移する機構について各々焦点を当てて検討した。

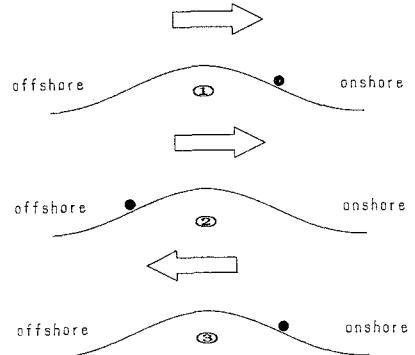


図-1 砂粒子の配置
(●：砂粒子 ⇒：流れの方向)

3. 実験結果

図-2は底面から浮遊する場合の実験結果の一例である。これらの実験結果をまとめると図-3のようなパターンの移動機構があり、またこれらの移動パターンの中できわめて出現頻度の高いパターンを図-4(①②③④)に示す。なお沖向き流れで沖側斜面には砂粒子を配置した実験は行っていないが、著者が行った砂灘上の流速測定や浮遊砂の可視化実験から、沖側斜面においても流線の剥離に伴う渦の形成が見られたので、それらの結果を考慮して図-4(④)に推測した結果を示す。①での特徴としては、岸向きに流れが反転したのちに渦により巻き上げられて浮遊し、そのまま沖に運ばれる場合と最大流速前後に掃流形式あるいは saltation形式で沖に運ばれる場合があり、結局流れは岸向きではあるが、岸向きに移動する砂粒子がないということである。②、③は掃流砂として流れと同じ方向に移動し、渦に取り込まれて流れと反対方向に移動して行く。最大流速前後では流れの方向とは反対の方向に砂粒子が掃流砂として移動して行く。これらの実験より次の点が明かとなった。

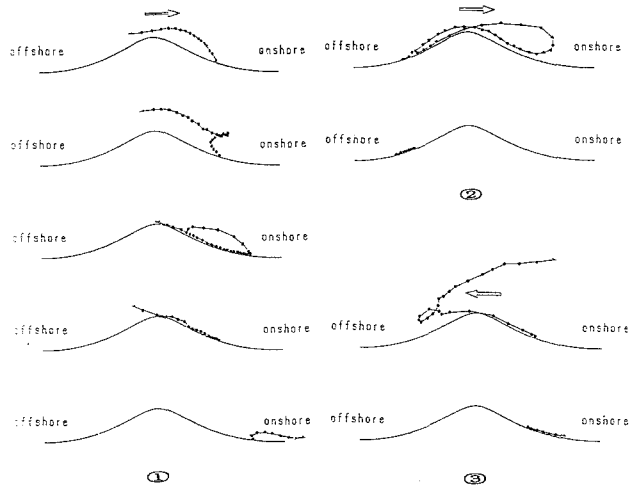


図-2 砂粒子の移動軌跡
(●：砂粒子 ⇒：流れの方向)

①砂粒子の移動方向は当初の上方の流れの方向とは逆方向に移動する場合が多い

- ②掃流砂がクレスト上で浮遊砂になる
- ③浮遊砂は剥離領域内で移動方向が逆になる
- ④剥離に伴う渦の巻き上げによる浮遊砂がある
- ⑤砂漣背後に形成される剥離領域や渦が砂粒子の浮遊にき

わめて重要である

4. 数値計算

4.1 基礎式

砂漣上の砂粒子は渦により巻き上げられる可能性があることが実験より明かとなり、その要因として①乱れ②粒子間の衝突③揚力が考えられる。ここでは③の揚力による作用を考える。運動方程式は水平方向を x 、鉛直方向を y として(1)式で与える。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} - R(s) \left(U_r - \frac{dx}{dt} \right) / S = 0$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + mg + R(s) \left(V_r - \frac{dy}{dt} \right) / S - F_L = 0$$

ここで m ：砂粒子の質量、 t ：時間、 R ：抗力、 U_r 、 V_r ：水平流速、鉛直流速、 F_L ：揚力、 g ：重力、 S ：砂粒子と流体の相対速度で(2)式で与える。抗力にはストークスの抵抗則を用いた。揚力は揚力係数 C_L を用いて(3)式で与える。

$$S = \left[\left(U_r - \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left(V_r - \frac{dy}{dt} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho u_s^2 - \frac{\pi}{4} d_s^2 \quad (3)$$

ここで、 u_s ：砂粒子に作用する流速、 d_s ：砂粒子の粒径である。揚力係数の算定には(4)式の力積方程式を用いて実験結果より算出した。

$$\sigma \frac{\pi}{6} d_s^3 v_0 = \left\{ F_L - \frac{\pi}{6} d_s^3 (\sigma - \rho) g \right\} \Delta t \quad (4)$$

ここで、 σ 、 ρ ：砂粒子、水の密度、 v_0 ：砂粒子の飛び出し速度、 Δt ：揚力の作用時間である。その結果揚力係数は、ほぼ2.5前後の一定値となった。

4.2 計算結果

計算は(1)式をRunge-Kutta法でとき、底面に到達した砂粒子は再び浮上しないとした。流速の乱れは底面近くでは著しいことは、従来の研究より明かであるが、今回観測された砂粒子の軌跡を見る限りにおいては、砂粒子の移動に影響を及ぼすような有意な乱れは少ないと考え考慮しなかった。図-5は砂粒子が底面から浮遊砂する時の実験と計算の比較である。揚力の作用で底面より砂粒子が浮遊砂する機構が実験結果と似ているが、上昇後の軌跡が実験結果と比較して大きい。ポテンシャル理論を用いているので、底面近くの流速が過大に評価されていると考えられる。また計算では底面に到達した後は砂粒子が移動しないとしているために、底面到達後の軌跡は再現されない。しかしながら正確な流速値を与えて運動方程式に揚力を考慮した考え方で底面からの砂粒子の浮遊砂機構を表現できると思われる。

5. まとめ

砂漣上において浮遊砂が形成される機構として、掃流漂砂が砂漣クレストから放出され渦への取り込まれ場合と渦による巻き上げによる場合が考えられる。後者の砂漣上の漂砂量に占める割合については本研究では明かにされなかったが、今後は実験結果の蓄積を行いたい。

参考文献①河田恵昭：掃流・浮遊漂砂の接続法と全漂砂量の算定、海岸工学論文集vol.38②泉宮尊司：Fokker-Planck方程式を用いた波及び乱れによる砂粒子運動の理論的解析、海岸工学論文集vol.38③後藤仁志：振動流・一方向流共存場における砂漣上の浮遊過程のモデル化、第46年講④辻本剛三：砂漣を有する海底面上の乱流構造に関する研究、土木学会論文集vol.423

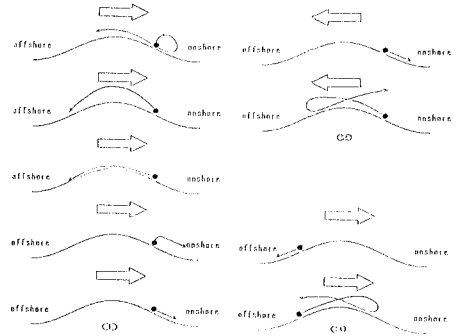


図-3 移動パターン

(1) (●：砂粒子 ⇒：流れの方向)

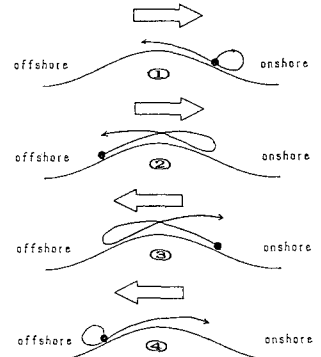


図-4 卓越した移動パターン

(●：砂粒子 ⇒：流れの方向)

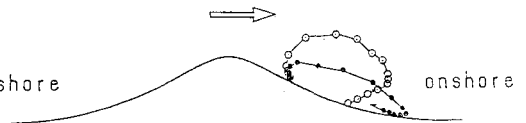


図-5 実験結果と計算結果の比較

(●：実験結果 ○：計算結果)