

京都大学工学部 正会員 後藤仁志

京都大学工学部 正会員 酒井哲郎

丸 紅 柏村真直

京都大学工学部 学生員 ○田中博章

1. まえがき 海浜変形を予測するためには漂砂量を適切に算定することが重要であるが、波動場の構造の複雑性のために漂砂量を精度よく算定することはかなり困難な課題である。砂の移動限界に関する研究は漂砂研究の出発点ともいうべきものであり、一方向流や正弦振動流といった比較的単純な流れ場では多くのデータが収集され、理論的な面でも整備されている。一方、現実の海底床では流速波形の有限振幅性、波の伝播に伴う岸沖方向の圧力勾配、波の伝播に誘起された海底地盤内の過剰間隙水圧分布の形成などの複雑な要因が存在するため、現実の海浜における漂砂量の推定精度の向上には、これらの要因が漂砂に及ぼす効果を合理的に推定することが必要となる。そこで本研究では、漂砂量推定の基礎となる砂の移動限界を対象に海底地盤内間隙水圧分布の効果を実験的に検討し、得られた結果を地盤内間隙水圧分布に起因する付加的揚力の影響を加味した砂粒子離脱過程の数値モデルを通じて検証する。

2. 実験の概要 実験は、図-1に示す同時加減圧振動流装置を用いて行われた。この装置は、密閉型の砂層水槽の両端に閉管路を連結し、管路中に振動流発生用のプロペラと水圧制御用のシリンダーを配置したもので、水圧変動・振動流共存場における砂地盤の挙動を再現できる。水圧変動・振動流の波形に関しては、微小振幅波における進行波を想定し、同位相の正弦波とした。実験条件を表-1に示す。水圧振幅を設定し、平坦床で流速を徐々に増加させて

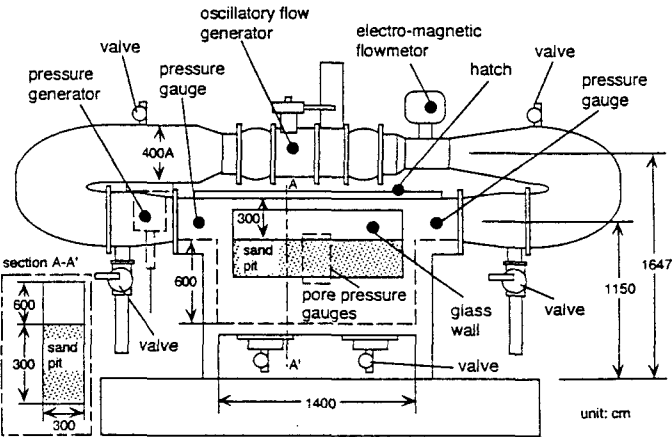


図-1 同時加減圧振動流装置

表-1 実験条件

velocity amplitude u_0 (cm/s)	3.0~35.0
total pressure amplitude P_0 (m)	0.5, 1.0, 1.5
period T (s)	6.0

3. 転動離脱モデルによる移動限界の推定 離脱過程の数値模擬には、球状粒子の転動離脱モデル¹⁾を用いたが、このモデルでは『所与の抜け出し角 θ で配置された球状粒子が下流側（底面流速の正の方向）の底質粒子に乗り上げること』を『離脱』と定義する。砂粒子の駆動力は、周囲流体の運動による抗力 F_D 、揚力 F_L および地盤内間隙水圧に起因する付加的揚力 F_p であり、抵抗力は、重力 W および底質粒子との間に

Hitoshi GOTOH, Testuo SAKAI, Manao KASHIMURA & Hiroaki TANAKA

作用する摩擦力 F_f である(図-2参照)。周囲流体の流速については速度変動を考慮して砂粒子の回転角の経時変化を数値的に追跡し、回転角が抜け出し角と一致したとき離脱完了とする。鉛直1次元圧密方程式と同型の支配方程式の解析解²⁾の定数を間隙水圧の計測結果を用いて同定し、砂粒子径にわたって水圧分布の解析解を積分することで、地盤内間隙水圧に起因する付加的揚力を算定した。この際、離脱対象となる砂粒子の周辺地盤を構成する砂粒子から伝達される力に関しても考慮に入れた。

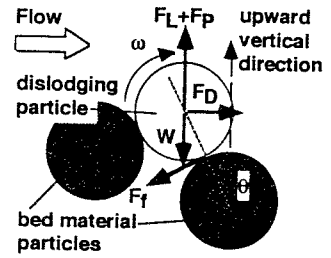


図-2 砂粒子の転動離脱モデル

4. 計算結果の検討 図-3は、数値シミュレーションにより推定された移動限界Shields数(τ_{*c})と水圧変動振幅 $P_0(m)$ の関係を、目視により判定した実験結果と比較して示したものである。ただし、水圧変動がないときの移動限界Shields数を $\tau_{*c,0}$ とし、水圧変動振幅 $P_0(m)$ の符号については、平均水位における水圧よりも加圧時を正、減圧時を負とした。間隙水圧分布による付加的揚力は、減圧時($P_0 < 0$)には地盤を上方に押し上げる方向に作用し、加圧時($P_0 > 0$)には地盤を下方に押し込む方向に作用する。実験結果は、減圧時($P_0 < 0$)には急な勾配を示しているが、 $P_0 = 0$ を過ぎて加圧時($P_0 > 0$)になると緩やかな勾配へと推移する。この傾向は、本モデルによっても良好に模擬されており、漂砂における地盤内間隙水圧分布の効果を評価する上で本モデルの妥当性が示された。

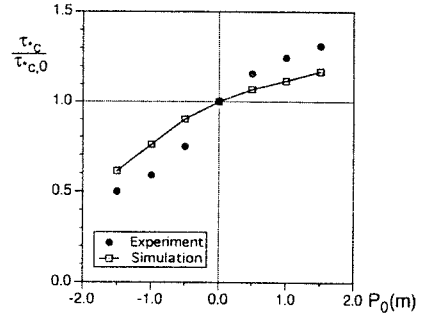


図-3 水圧変動振幅と $\tau_{*c}/\tau_{*c,0}$ の関係

図-4は、砂の転動離脱過程に関する数値シミュレーションより求めたpick-up rateの底面せん断力に対する変化を示したものである。この図からも分かるように砂層中の間隙水圧分布に起因する付加的揚力による移動限界の差が認められる。また図-4より、i)底面せん断力に加えて地盤内間隙水圧分布による付加的揚力が移動限界を決定する支配要因となっていること、ii)加わる水圧変動振幅が大きいほど付加的揚力の効果が顕著になること、iii)底面せん断力が増加するにつれて水圧変動の効果が減衰し、pick-up rateは底面せん断力に依存するようになることが認められるが、移動限界判定実験と並行して行った漂砂量測定実験にも同様の傾向が認められた。

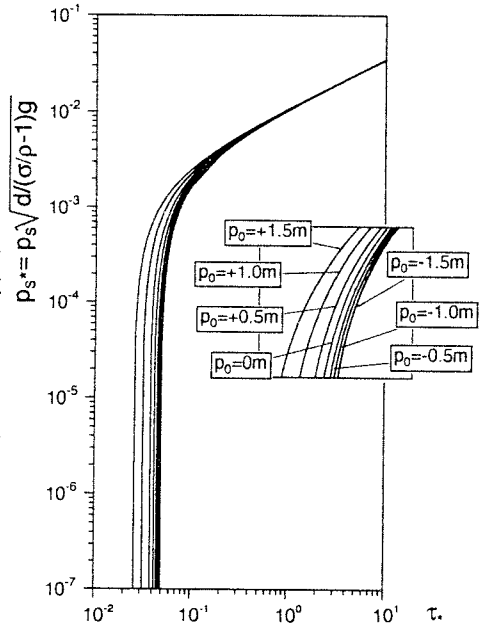


図-4 シミュレーション結果

5. あとがき 本研究により波の水圧変動が漂砂現象、特に漂砂の移動限界に深く関与していることが明らかとなったが、種々の地盤条件における間隙水圧の計測が進み、その特性が明らかにされれば、本研究のフレームワークにより系統的な検討が可能となる。

参考文献：1) 辻本・後藤・中川：時間軸上に展開された非平衡流砂過程のモデル化，土木学会論文集，第443号/II-18，pp.37-46，1992 2) 酒井・間瀬・山本：水圧変動による地盤表面付近の間隙水圧変動，第40回海岸工学講演会論文集，pp.586-590，1993