

波・流れ共存場における流砂機構に関する研究

(株) 奥村組 正 員 ○津田 晃宏
岡山大学環境理工学部 正 員 名合 宏之

1. はじめに

従来より行われている波と流れの共存場における流砂に関する研究は密閉型振動流水槽を用いて波動場を再現されている場合が多い。しかし、実際の海底地盤では鉛直方向に変動水圧が作用するため地盤内に過剰間隙水圧が発生し、その影響により、密閉型振動流水槽内とは異なる砂の挙動をすることが考えられる。そこで本研究では開水路を用いて流れと波の共存場を再現し、流砂量特性、さらには砂漣上での砂の移動機構について検討を行った。

2. 実験の概要

実験には、長さ 1600cm、幅 60cm、深さ 40cm、勾配 1/500 の直線水路を用いた。水路中央部には測定部となる深さ 17cm のピットがあり、その中に砂を敷き詰め、実験終了後ピット部から上流側、下流側へ移動した砂を別々に採取した。波の発生にはプランジャー式造波装置を用い、上流側、下流側どちらの方向からも作用させることができる。実験条件は表-1 に示すとおりである。なお、河床材料は粒径 0.24mm、比重 2.65 の豊浦標準砂を使用した。

3. 実験結果とその考察

1) 波の方向と流砂量 砂は上流側および下流側へ移動するが、それぞれの差として正味の流砂量を求めた。その結果を図-1 に示す。縦軸には下流向き流砂を正として正味の無次元流砂量 ϕ を、横軸には波と流れの流速比 u/U_w をとっている。 u は断面平均流速、 U_w は波による最大流速である。つまり、 u/U_w の絶対値が大きいほど流れの影響が大きくなることを示す。 u/U_w が負の値は下流側から波を作用させた場合を示し、 $u/U_w=0$ は流れがなく波だけが作用した場合を考えている。

図中には密閉型振動流水槽を用いて実験を行った渡辺ら (1989) の実験値も同時にプロットしたが、本実験とは異なる傾向を示していることがわかる。本実験では上流側から波を作用させた時はすべて下流向き流砂となり（第 1 象限）、下流側から波を作用させた時は $u/U_w=-1.1$ を境に流砂方向が逆転していることがわかる。これは開水路を用いて実験を行った佐藤ら (1983) も同様な結果を得ている。

2) 流砂量とシールズ数との関係 波だけが作用する波動場に関しては無次元漂砂量 ϕ は無次元せん断力すなわちシールズ数 ϕ で整理されるのが一般的であり、漂砂量式もいくつか提案されている。そこで本研究では、共存場での流砂量もシールズ数の取り扱い方を工夫することによって波動場と同様に流砂量を整理することができると考えた。そこで波を上流側から作用させた時、下流側から作用させた時、それぞれ共存場での平坦床における底面付近での流速変化を模式的に表わすと図-2 のようになる。そこで、図中に示すような流速によって砂が移動していると仮定し、さらに田中ら (1987) の摩擦係数 f_{cw} を採用したうえで、共存場において適用されるシールズ数 ϕ ($\phi = \tau_{\max} / (\rho_s / \rho - 1)gd$, $\tau_{\max} = f_{cw} \rho u_m^2 / 2$) を求めた。また、限界シールズ数は $u_{\max}$ に底面移動限界流速 u_{*c} ($= 0.03\sqrt{d_{50}}$) を代入して求める。

表-1 実験条件

	流量 Q (l/s)	水深 h (cm)	波高 H (cm)	周期 (sec)	波長 (cm)	平均流速 (cm/s)	波の 進行方向
Case1-1	0	25	9.8	1.09	170	—	波のみ
Case1-2	20	25	10.0	1.20	205	13.33	上流から 下流へ
Case1-3	25	25	10.0	1.03	160	16.67	
Case1-4	30	25	9.5	1.03	190	20	
Case1-5	35	25	9.8	1.00	162	23.33	
Case1-6	20	25	7.0	1.85	180	13.33	波のみ
Case2-1	0	25	9.8	1.09	170	—	
Case2-2	20	25	11.0	1.25	152	13.33	
Case2-3	25	25	11.0	1.25	138	16.67	
Case2-4	30	25	11.5	1.30	140	20	下流から 上流へ
Case2-5	35	25	9.5	1.30	142	23.33	
Case2-6	20	25	7.0	1.92	230	13.33	

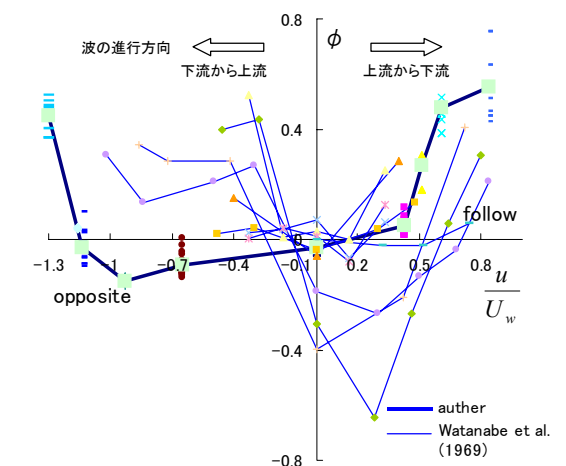
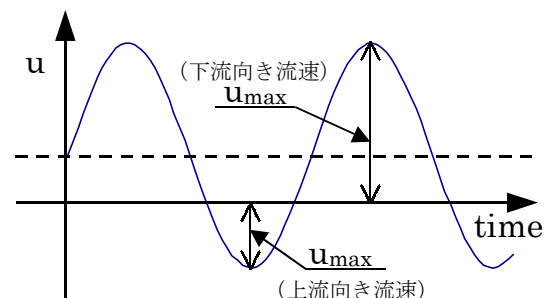
図-1 流砂量 ϕ と流れと波の流速比 u/U_w との関係

図-2 底面流速の変化

以上のようなシールズ数を用い、流砂量を整理したものが図-3、図-4である。図中には本実験で得られた実験値と従来より提案されている波だけが作用した場合の漂砂量式を示している。上流側から波を作用させた場合（図-3）は、すべての実験ケースにおいて流砂は上流方向には発生せず、下流方向のみに発生した。つまり、図中のプロットされた実験値が下流方向に発生した流砂量でかつ正味の流砂量を示すことになる。この場合のシールズ数の算出にあたっては、上流向き流速が殆どないため $u_{\max}$ として下流向き最大流速を採用している。この図より、同じシールズ数に対して共存場での流砂量は波だけを作用させた時の漂砂量を上回ることがわかる。また、下流側から波を作用させた場合（図-4）は、流

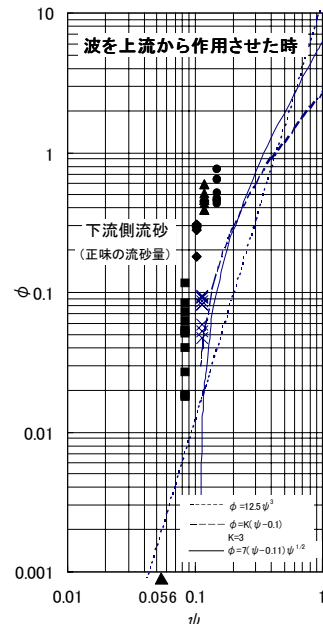


図-3 流砂量 (Case1-2～Case1-6)

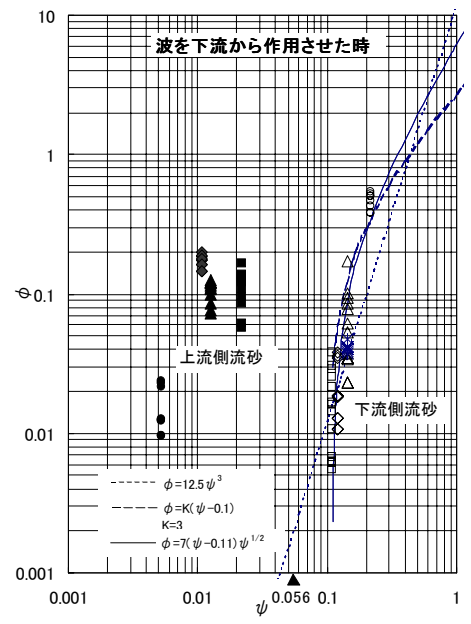


図-4 移動方向別流砂量 (Case2-2～Case2-6)

砂はピットのの上流側、下流側方向のどちらにも発生した。そこで、上流側、下流側へ移動した流砂量を別々に考えた。この場合のシールズ数の算出には図-2のような方向別の $u_{\max}$ を採用した。その結果、下流側への流砂はこの仮定したシールズ数を用いることによって、既往の漂砂量式より流砂量を推定することができると考えてよいであろう。しかし、上流側への流砂量は既往の漂砂量式からはかけ離れ限界シールズ数 (=0.056) を下回っているのにもかかわらずかなりの砂が移動していることがわかる。つまり、上流向き流砂は平坦床におけるせん断力では説明できない要因によって移動していることになる。

3) 砂粒子の移動機構 波を下流側から作用させた場合に砂が上流側へ移動する機構を調べるため、共存場での砂漣近傍での砂粒子の動きをVTRに撮影し、水深ごとに粒子の軌跡を追った。図-5はCase2-2における砂粒子の1周期分の軌跡を示したものである。砂漣下流側斜面には渦が発生し、砂層面から3~4cmの範囲内に存在する砂粒子はその影響を大きく受けていることがわかる。さらに、移動機構を詳細に知るために河床から鉛直方向に5mm間隔で流速を測定した。その結果が、図-6であり、この図から砂漣近傍では上流向きの流速（負）のほうが大きくなる流速逆転層が存在することがわかる。これは砂漣下流側斜面で発生する渦の影響によるものであり、砂を上流側へ移動させる要因の一つであると考えられる。さらに、断面平均流速が大きくなるにつれて渦の影響は小さくなり、流速逆転層の範囲が小さくなることが確認された。

4. まとめ

上流側から波を作用させたときの流砂量は、同じシールズ数に対して、波だけが作用する場合の漂砂量を上回ることがわかった。また、下流側から波を作用させたときには上流側への砂移動が認められるが、この場合には底面付近で流速の逆転層が確認され、それが砂粒子を上流側へ運ぶ要因となっているようである。

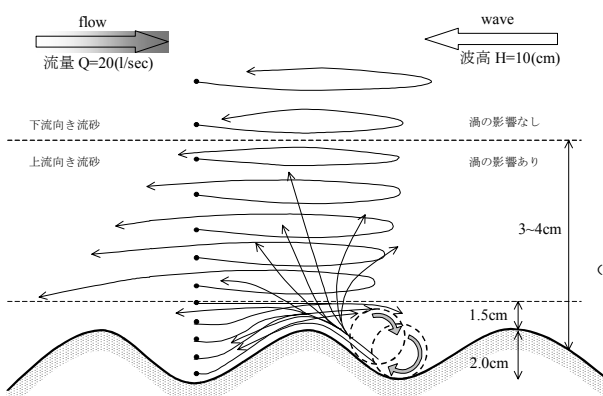


図-5 1周期内の砂粒子の軌跡 (Case2-2)

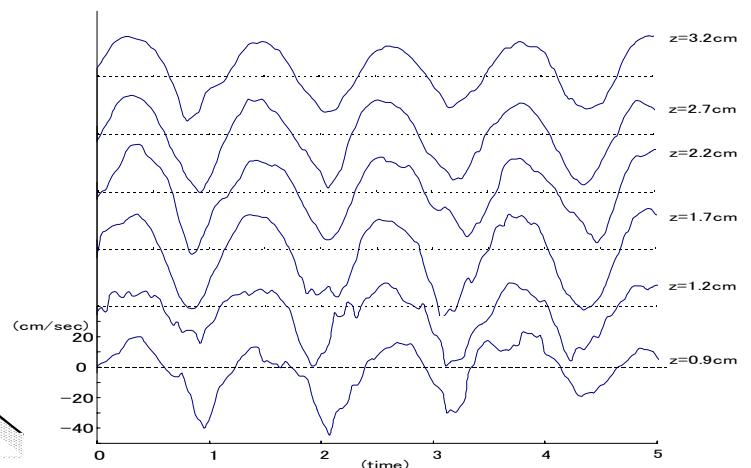


図-6 砂漣上での流速波形 (Case2-2)