

波・流れ共存場における砂移動に関する実験的研究

岡山大学大学院
(株) 奥村組
岡山大学環境理工学部

学生員 〇三原 範久
正会員 津田 晃宏
正会員 名合 宏之

1.はじめに

本研究は、洪水時の水面変動と海岸域での波浪がもたらす強度の乱流が及ぼす影響を砂層面に作用する変動水圧の影響としてとらえ、変動水圧作用下における砂移動について定量的に取り扱うことを目的とする。そのため、可変勾配水路を用い、流量、波高、波の方向を変えた場合において、砂層内の有効応力変動及び流速が砂移動に及ぼす影響について実験的な検討を行った。

2.実験概要

実験には、側面ガラス張りで、幅 0.6m、深さ 0.4m、長さ 16m、勾配 1/500 の可変勾配水路を用いた。水路中央測定部には、図-1 に示すように水路底を基準として 17cm の深さのピットを設け、そこに砂層を形成した。造波装置を圧力測定断面から上流側と下流側へ 4m の地点に設置し、流れの向きに対して同方向の波と、流れの向きと反対方向の波を発生させた。砂層内の間隙水圧及び水圧測定点は図-1 に示すように、初期砂層表面下 1cm、2cm、4cm、8cm、14cm の 5 ケ所と初期砂層表面上 3cm の水圧測定点 1 ヲ所の合計 6 点であり、それぞれ水路側壁において測定している。また、流砂量測定のためピット下流端から 1.5m の水路床に捕砂器を設置した。河床材料としては中央粒径 0.24mm の豊浦標準砂を使用した。実験条件を表-1 に示す。なお、表中の Case1-1 と Case2-1 は同じ条件である。また、U は平均流速であり、Uc は移動限界流速を示している。

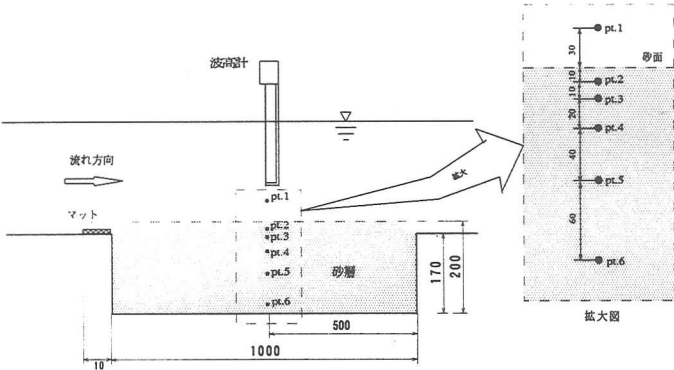


図-1 測定部詳細図（単位 mm）

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)	Uc (cm/s)	U/Uc	波の 進行方向
Case1-1	0	25	9.8	1.09	170	—	—	—	上流から 下流へ
Case1-2	20	25	10.0	1.20	205	13.33	31.78	0.419	
Case1-3	25	25	10.0	1.03	160	16.67	31.78	0.525	
Case1-4	30	25	9.5	1.03	190	20.0	31.78	0.629	
Case1-5	35	25	9.8	1.00	162	23.33	31.78	0.734	
Case1-6	20	25	7.0	1.85	180	13.33	31.78	0.419	
Case2-1	0	25	9.8	1.09	170	—	—	—	下流から 上流へ
Case2-2	20	25	11.0	1.25	152	13.33	31.78	0.419	
Case2-3	25	25	11.0	1.25	138	16.67	31.78	0.525	
Case2-4	30	25	11.5	1.30	140	20.0	31.78	0.629	
Case2-5	35	25	9.5	1.30	142	23.33	31.78	0.734	
Case2-6	20	25	7.0	1.92	230	13.33	31.78	0.419	

3.実験結果及び考察

図-2 は、各ケース間における pt.2 での砂層の状態を比較するために、それぞれ各ケースでの pt.2 の無次元有効応力の変化を示したものである。 σ_y は有効応力を示し、 z は砂層面より下向きの距離であり、 $(\rho_s - \rho)gz(1 - \lambda)$ はその点でのみかけの上載荷重である。図-2 からわかるように、流量が最大である Case1-5 では、有効応力の変動が大きくなっており、つまり σ_y がほぼ 0 に近い値をとることから波の谷付近では砂層が液状化状態に近くなっていることがわかる。さらに、各ケースにおける有効応力の変動幅の違いをよりわかりやすくするため $\sigma_y / (\rho_s - \rho)gz(1 - \lambda) = 1$ を基準に標準偏差 σ を求めた。ここでは標準偏差が大きいということは有効応力の変動幅が大きい、つまり砂

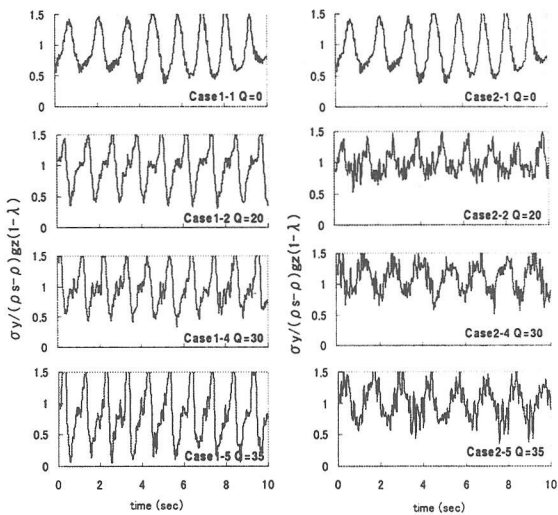


図-2 pt.2 における無次元有効応力

層の支持力が低下するというを示すと考えた。表-2は σ の計算結果である。波を上流から作用させた Case1-1 ~Case1-5 の場合には流量がある一定値を超えると σ は急激に大きくなっているが、波を下流から作用させた Case2-1 ~Case2-5 の場合には、それほど顕著な差は認められない。この場合には、波の周期の影響も考慮する必要があるようである。

図-3 は波を上流及び下流から作用させた共存場における流砂量変化である。波を上流から作用させた Case1-2~Case1-5 においては、下流向きの流砂のみが存在し、ほぼ時間に比例して流砂量は増加していることがわかる。さらに、流量が多くなるにつれ、流砂量も多くなるという傾向が表れている。さらに、波を下流から作用させた Case2-2~Case2-4 において正味の流砂量を考えた場合、移動方向は明らかに上流向きである。これは、流砂に対して流れの影響よりも波による影響が卓越していると考えられる。そして、流量が 35(l/sec)である Case2-5 になるとこれらの傾向は一転し、上流側流砂量は激減し、下流側流砂量が時間に比例して増加するようになり、結果的にかなりの量の砂が下流側に移動した。つまり、下流側から波を作用させた場合は、ある流量を境に、流砂方向が逆転することが確かめられた。共存場における流速の測定結果より、底面の流速変化の変動幅は、波を作用させる方向や流量つまり断面平均流速には影響されず不変であることがわかり、底面付近での水粒子軌道長径は変わらないと考えられる。このことを考慮し、Case1-1の条件におけるシールズ数 $\psi=0.11$ をすべてのケースに対して適用し、正味の流砂量を整理したものが図-4 である。ここに、シールズ数は次式によって計算している。

$$\psi = \frac{\tau_{bm}}{(\rho_s/\rho - 1)gd} \quad \left(\begin{array}{l} \tau_{bm} = \frac{1}{2} f_w \rho u_m \quad f_w = 0.022 \\ u_m: \text{波による流速変動の振幅} \end{array} \right)$$

このグラフより、実験データにはばらつきが見られるものの流量が増えるにしたがって、流砂量も増えるという関係があることがわかる。さらに、いずれのケースにおいても波だけを作用させた場合の漂砂量を上回ることが確かめられた。

4.まとめ

本研究では波と流れの共存場における砂移動現象について実験的に検討した。その結果以下のようなことが明らかにされた。

- 1) 波を上流から発生させた場合には、砂は下流方向のみ移動する。一方、下流側から波を発生させた場合には、砂は上下流双方向に移動するが、その移動方向及び移動量の大小は流れの流速と波による流速の相対的な関係に依存する。
- 2) 共存場における下流方向への正味の流砂量は、波のみによる流砂量より大きく、流量の増加とともに増大する。

表-2 無次元有効応力の標準偏差

	流量(l/s)	波高(cm)	周期(sec)	σ
Case1-1	0	9.8	1.09	0.346
Case1-2	20	10.0	1.20	0.339
Case1-4	30	9.5	1.03	0.341
Case1-5	35	9.8	1.00	0.477

	流量(l/s)	波高(cm)	周期(sec)	σ
Case2-1	0	9.8	1.09	0.346
Case2-2	20	11.0	1.25	0.235
Case2-4	30	10.5	1.30	0.268
Case2-5	35	9.5	1.30	0.300

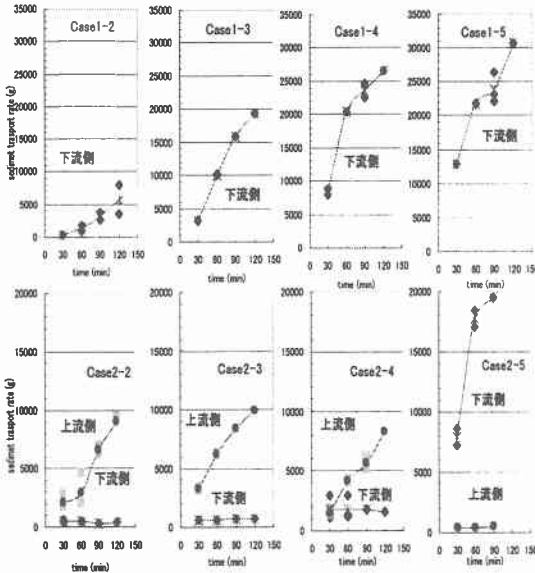


図-3 流砂量変化

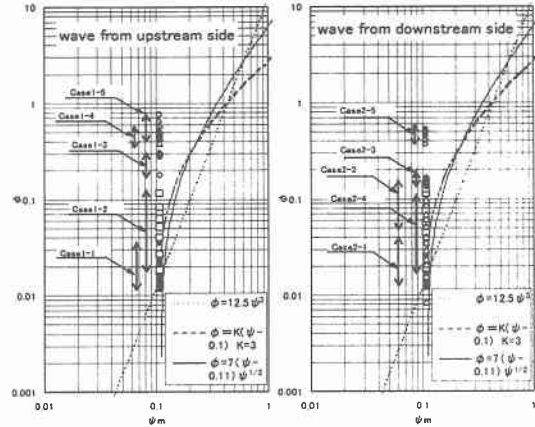


図-4 無次元漂砂量とシールズ数の関係