

振動流・一方向流共存場での浮遊過程に関する実験的検討

京都大学工学部 正 員 中川 博次 京都大学大学院 学生員 後藤 仁志
 京都大学大学院 学生員 仙波 克 京都大学大学院○学生員 渡辺 幹広

1.はじめに 振動流・一方向流共存場での砂漣上の流砂過程においては、振動流に対する一方向流の強度の大小により流砂の netの移動方向が変化する現象が見られる。砂漣上の土砂輸送においては浮遊砂雲が重要な役割を果たすが、ここでは浮遊砂雲の確率的特性を可視化実験を通じて把握し、流砂の netの移動方向の変化について定性的解釈を試みる。

2.実験の概要 実験は図-1に示すU字管式振動流装置を用いて表-1の条件で行われた。実験項目は①掃流砂量・浮遊砂量の計測、②浮遊砂雲の移動軌跡の特性に関する可視化実験、③光学式濃度計による浮遊砂濃度の点計測である。実験には粒径 $d=0.075\text{cm}$ 、比重 $\sigma/\rho=2.65$ の砂粒子が用いられた。①③が移動床で、②が固定床で実施された。なお固定床砂漣の形状は移動床における予備実験を通じて決定され、渡辺ら¹⁾の波・流れ共存場における実験結果とほぼ一致することを確認している。

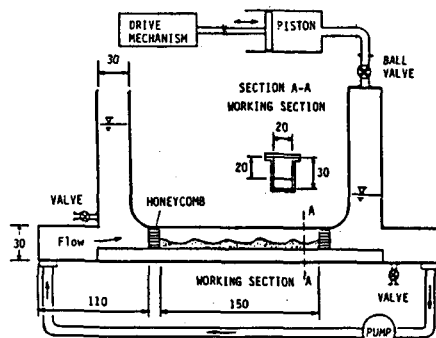


図-1 U字管式振動流装置

3. 結果および考察 ①掃流砂量・浮遊砂量の計測：移動床砂漣上・下流両端に堆砂箱を設置して捕砂した結果が表-2である。ごく小さな一方向流を加えたA1, A2の場合には、一方向流と逆方向（以下上流側と呼ぶ）に netの流砂量が生じている。このことは、次のように解釈される。砂漣形状の非対称性により、クレストより下流側の急斜面に生じた剝離渦が上流側の緩斜面に生じる剝離渦よりも大きいために、順流時に緩斜面を掃流されてきた砂粒子の大半は剝離渦内に取り込まれるが、逆流時に急斜面を掃流されてきた砂粒子の中には、剝離渦を飛び越えて進行するものもかなり含まれる。従って、剝離渦が転流時に切り放されて生じる浮遊砂雲に含まれる砂の量にも不均衡が生じ、浮遊砂雲により運ばれる砂の内、下流から上流へと運ばれる砂の量が、上流から下流へと運ばれる砂の量よりも多くなるのである。A1, A2のケースの砂漣は安定形状を保持しつつ上流方向へ約 $6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ の速度で進んでおり、netの掃流砂量が上流側に生じることと整合している。これに対し一方向流の大きいA3の場合には一方向流と同じ向き、すなわち下流側に netの流砂量が生じた。そこで、一方向流が及ぼす効果として(1)浮遊砂雲の初期含有浮遊砂量を非対称にする効果、(2)浮遊砂雲の移動軌跡を非対称にする効果の2つを考え、(2)の効果について調べるため可視化実験を行った。

表-1 実験条件

ケース名	A0	A1	A2	A3
振動間隔(sec)	2.8	2.8	2.8	2.8
流速振幅 (cm/s)	28	28	28	27
一方向流速 (cm/s)	0.0	2.0	3.3	15.5
平均波長 (cm)	10	20	20	22.5
平均波高 (cm)	3	3	3	3.5
波形勾配	0.158	0.15	0.15	0.158
対称性	対称	非対称	非対称	非対称

表-2 流砂量の計測結果

ケース名		A1	A2	A3
掃流量 (mg/T)	上流側	784	589	741
	下流側	416	497	2105
浮遊量 (mg/T)	上流側	728	785	594
	下流側	143	170	373
netの流砂量(mg/T) 下流向を正		-953	-707	1143
砂漣の移動速度 ($\times 10^{-3}\text{cm/s}$)		-8.7	-5.5	8.3

②浮遊砂雲の移動軌跡の特性に関する可視化実験：移動床における予備実験結果から得られた平均砂漣形状を有する砂漣模型を作成し、クレスト付近から染料を注入することにより可視化実験を行った。平均

Hiroji NAKAGAWA, Hitoshi GOTOH, Masaru SENBA, Mikihiro WATANABE

的な移動軌跡を図-2に示した。一方向流と振動流の方向が一致する順方向に移動する浮遊砂雲については、一方向流の効果の大小により移動軌跡にさほど大きな変化はみられない。一方、逆方向については両者は全く異なった挙動を示すことが図から理解できる。一方向流が浮遊砂輸送に及ぼす影響を模式的に表したのが図-3である。まず、一方向流の強度の小さいA1の場合、浮遊砂雲は上流側にかかなりの距離移動し、その間に放出された砂粒子は1波長上流側の砂漣の背面に堆積する。このようにして下流側に形成された剥離渦内に取り込まれた上流側からの掃流砂が、浮遊砂雲により再び上流側へ送り返され、netの流砂量を上流側に生じさせるのに貢献しているのである。一方、一方向流の流速が大きいA3の場合について考えてみると、上流側へ放出された浮遊砂雲の上流側への移動距離は小さく、この間に浮遊砂雲から放出された砂粒子の多くが移流拡散により再びクレストを越えて下流側へ輸送されることとなる。従って、一方向流の小さい場にみられたような上流側への輸送を担うことができず、結果としてnetの流砂量は下流側に生じるのである。なお、本実験における水平方向移動距離と最大浮上高さについては、波動場における佐藤ら²⁾の実験結果とほぼ一致していることを確認している。

③光学式濃度計による浮遊砂濃度の点計測：点計測の結果を図-4に示す。濃度計は高濃度浮遊砂雲の通過位置にあることが可視化実験から確認されており、浮遊砂雲による濃度輸送を捉えているものと思われる。図-4によると、A0の場合、明確に2つのピークが現れていることが分かる。若干の差はあるものの上・下流へほとんど同じ量の砂が運ばれていることが理解される。次に、A3の場合を見てみると、ピークは1つしかなく、明らかに上流方向へ浮遊する砂の量が卓越していることがわかる。この結果は、先の定性的考察から得られる結果と一致し、点計測の面からも浮遊砂雲の土砂輸送に果たす役割の大きさが示された。

4. おわりに 本実験で確認された振動流・一方向流共存

場における流砂の移動方向の逆転現象は、netの流速場（定常流速場）での移流を考えるだけでは説明がつかない現象である。本研究では、この現象を理解するため、浮遊過程に重要な役割を果たす浮遊砂雲の挙動についての可視化実験を行い、その移動軌跡に関する統計特性を把握し、浮遊過程の定性モデルを提案した。今後は、浮遊砂雲の移動特性を水理量について普遍表示し、浮遊砂雲の作用による掃流砂から浮遊砂への遷移を考慮したシミュレーションモデルの構築を行い、現象の普遍的理解を目指したい。

参考文献 1) 渡辺・先瀬・磯部：海岸工学論文集第36巻，1989。

2) 佐藤・伊藤・渡辺：第32回海岸工学講演会論文集，1985。

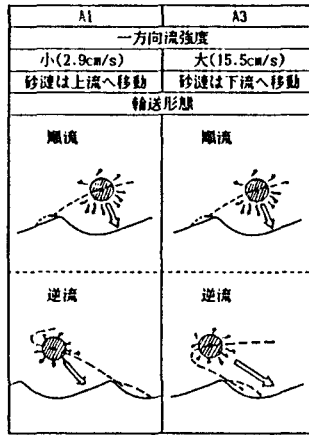


図-3 模式図

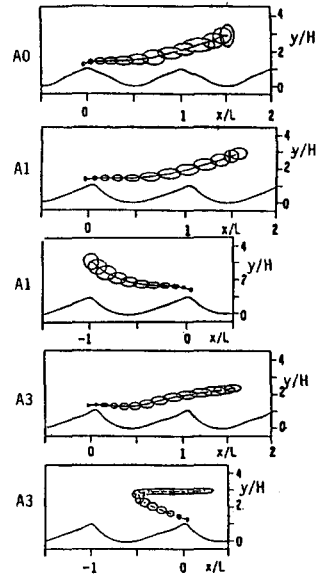


図-2 移動軌跡

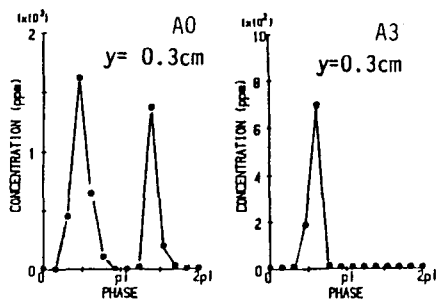


図-4 浮遊砂濃度時系列