

混濁流によって海底に形成される界面波の形成条件と形状特性

Formative conditions and morphological features of boundary waves formed on the ocean floor due to turbidity currents

北海道大学工学部環境社会工学系 ○学生員 畠山順吉 (Junkichi Hatakeyema)
北海道大学大学院公共政策学連携研究部 教授 正 員 泉 典洋 (Norihiro Izumi)

1. はじめに

地震に伴う海底の地滑りや津波等をきっかけに混濁流と呼ばれる密度流が発生する。混濁流は浮遊する土砂を含むことで周囲の水よりも密度が大きくなり、その密度差によって駆動され海底を流下していく。流下する過程で海底面上の土砂を巻き上げることでさらに密度を増加させ加速するという自己加速性を有しており、それによって侵食能を有するという特徴を持つ。地球上で輸送された土砂の大部分は混濁流によるものだとも言われており、混濁流は海底の地形を形づくる主要なプロセスとなっている。

混濁流によって形成される海底地形の一つに、海底面上に形成される界面波が挙げられる。界面波とは、2つの異なる物質の平坦な界面が不安定になる事で発生する波形の地形であり、デューンや平坦床等様々な河床形態がある事が知られている。

混濁流は流れの厚さが50mに達する事もある非常に大規模な流れであり¹⁾、間欠的に深海で発生する事から、直接その挙動を観測するのは非常に困難である。そのため混濁流の性質には未知な部分が多い。

成瀬らは射流条件下で混濁流によって形成される界面波に関する実験²⁾を行っている。しかしながら、混濁流によって形成される界面波の形成条件や形状特性に焦点をあてた実験や研究が十分になされているとは言えない。そこで本研究では成瀬らの実験とは異なる密度および粒形の粒子を使用し、混濁流を実験水路において再現する実験を行う。混濁流の密度や浮遊土砂の濃度、流量、水路勾配を変化させる事で、混濁流によって海底に形成される界面波の形成条件や形状特性の解明を試みるのが本研究の目的である。

2. 実験概要

2.1 実験の目的

本実験では、混濁流の再現およびそれによって形成される界面波の再現と観察とを目的とする。界面波(ベッドフォーム)の主たる規定要因は水深、底面勾配、流速で決まるフルード数等の水理条件であると考えられている³⁾ことから、後述する初期条件の変化が界面波の発生や形状にどのような影響を与えるかに特に注目して実験を行う。

2.2 実験装置、方法

図-1に示す実験装置を用いて実験を行った。水を満たした水槽(長さ1.98m、幅0.28m、深さ0.59m)中に勾配を変化させる事ができるアクリル製の水路(長さ

1.8m、幅0.02m、深さ0.5m)を設置する。その水槽の上流部にあるミキシングタンクにおいて水と食塩、少量の界面活性剤、8号珪砂(密度1150 kg/m³、粒径0.11mm)及び少量の食紅を攪拌した懸濁液を作り、これを混濁流と見立てて重力によって流下させる。この混濁流が水槽内の水路上を流下する過程で、水路上に砂を堆積させながら、砂面上に形成される界面波の発生過程の観察を行った。実験中は10秒間隔で水路上の様子を撮影した。ここで、界面活性剤は水と珪砂を混ざり易くするため、食紅は流下させる混濁流の挙動を視覚的に観察しやすくするために加えている。またタンク内の混合物は常にスターラーによって攪拌し、流量や濃度ができるだけ様になるようにした。

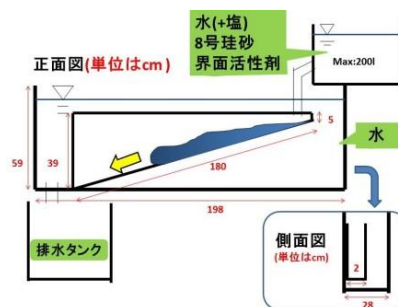


図-1 実験装置の概略図

2.3 実験の初期条件

本実験における初期条件となる各水理量は、以下のよう求める。混濁流の密度および浮遊土砂の濃度はミキシングタンク内での各物質の質量及び体積から求めた。流量はミキシングタンクから放出される混濁流の量をビーカーで測るとともに、それに要した時間をストップウォッチで測る事で流量を求めた。水中流速は一定の距離を流下するのに要した時間を目視で計測することで求めた。流れの厚さはスケールを用いて計測した。また、混濁流の濃度や流量、水路勾配等の条件は、実験中は変化させないものとする。

2.4 実験結果の評価について

実験によって観察された界面波と密度フルード数の関係を定量的に評価する。密度フルード数とは1を境に常流と射流とを区別する無次元量である。開水路の場合、フルード数が用いられるが、密度流である混濁流では周囲との密度差を考慮したフルード数である密度フルード数を用いる。

密度フルード数は以下のように定義される。

$$\frac{U}{\sqrt{Rcgh}}$$

U は流速, $R ((\rho_s - \rho)/\rho = 1.65)$ は水中比重, ρ_s は浮遊土砂の密度, ρ は水の密度, C は浮遊土砂の濃度, g は重力加速度, H は混濁流の流れの厚さである. なお, 密度フルード数の値が 1 より大きい場合は射流, 1 より小さい場合は常流である. なお, 密度フルード数の値が 1 より

大きい場合は射流, 1 より小さい場合は常流である.

各初期条件は, 初期濃度 4.461~5.767(vol%), 実験時間 2200~3070(s), 水路勾配 18.67~22.58(%), 流量 13.80~54.80(cm³/s) の範囲で設定し, Run 1 から Run 3 の 3 つの実験を行った.

表-1 実験条件と実験結果

	初期濃度 (%)	実験時間 (s)	水路勾配	流量 (cm ³ /s)	流れの厚さ (cm)	密度フルード数	形状
Run1	4.461	2220	0.1867	47.60	1.700	1.0980	下流進行アンチデューン
Run2	1.740	1800	0.1867	13.80	2.100	0.7212	ステップ無し
Run3	5.767	3070	0.2258	54.80	3.867	0.4172	デューン

3. 実験結果と考察

各実験(Run 1~Run 3)の実験条件と密度フルード数, 発生が確認された界面波の形状を表-1 にまとめた.

3.1 各実験結果の考察

(1) Run 1

Run 1 では, 図-2(b)にあるように 4 つのステップを有する界面波の形成が確認できた. 各ステップは上流側と下流側で左右対称な形状をしている.

$t = 150s$ で 1 つ目のステップが形成され始め, その後それが下流側へと伝播するようにして合計 4 つのステップが形成された. 時間の経過と共に各ステップは下流側へと移動しながら, 浮遊土砂の堆積によって波高を成長させた. 実験終了後に計測した各ステップの平均波長は 4.9 cm, 平均波高は 1.2 cm であった.

計測された種々の水理量から密度フルードを算出すると, $Fr_d = 1.098$ となり射流であることがわかる. また既に述べたように各ステップは上流側と下流側で左右対称である. 以上のことから Run 1 で形成された界面波は下流進行のアンチデューンであると考えられる.

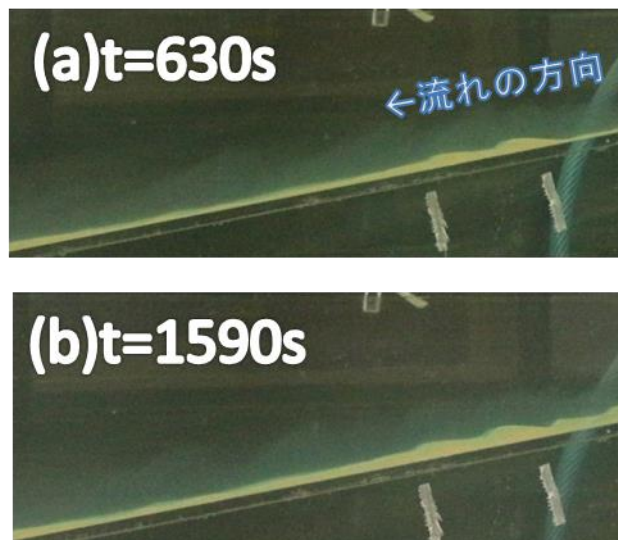


図-2 Run 1 の実験結果 (a) $t = 630s$ の底面形状, (b) $t = 1590s$ の底面形状

(2) Run 2

Run 2 ではステップは確認できず, 底面には平坦なまま浮遊砂の堆積が見られた. 初期濃度, 流量が共に小さかったことが原因であると考えられる

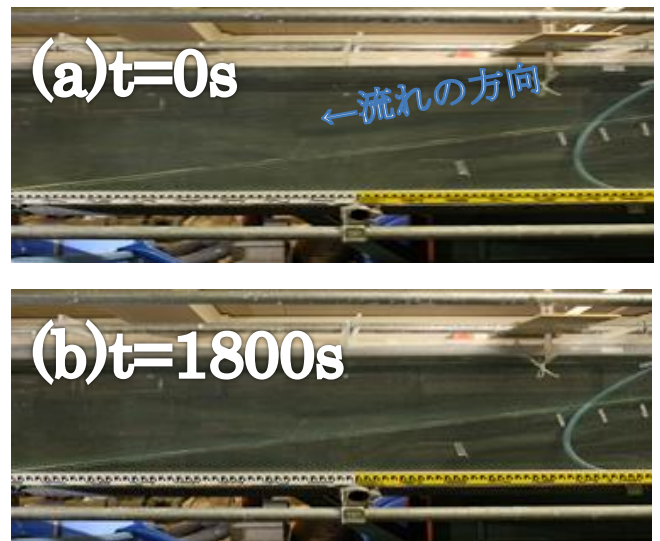


図-3 Run 2 の実験結果 (a) $t = 0s$ の底面形状, (b) $t = 1800s$ の底面形状

(3) Run 3 について

Run 3 では, 合計 5 つのステップを有する界面波の形成が確認できた. 各ステップは上流側が緩傾斜, 下流側が急傾斜で Run 1 とは違い上流側と下流側で左右非対称な形状であった.

$t = 190s$ で 1 つ目のステップが形成され始め, その後下流側へと伝播する形で合計 5 つのステップが形成された. 時間の経過と共に各ステップは下流へ進行しながら成長した.

条件から密度フルード数を算出すると, $Fr_d = 0.412$ となり常流であるとわかる. また前述の通り各ステップは上流側と下流側で左右非対称の形状である. 以上のことから Run 3 で形成された界面波はデューンであると考えられる.

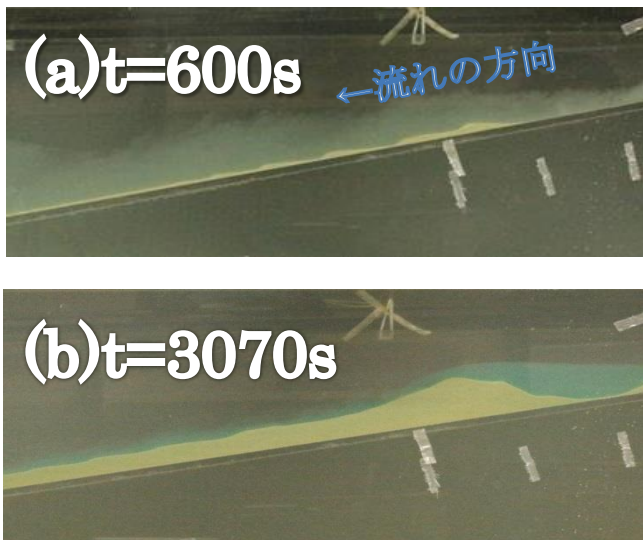


図-4 Run 3 の実験結果 (a) $t = 600\text{s}$ の底面形状,
(b) $t = 3070\text{s}$ の底面形状

4. まとめ

今回の研究では混濁流を実験によって再現し、混濁流によって底面上に形成される界面波の形状特性や形成条件を調べた。実験の条件を変化させることで、実条件によって異なる河床形態を観察することができた。浮遊土砂の濃度や流速、流量、水路勾配等の影響を受けることが判る。

今後は引き続き実験を行い、サイクリックステップや上流進行アンチデューンが形成される条件を明らかにすると共に、混濁流によって形成される界面波の形成条件や形状特性について定量的な解明を試みる予定である。

参考文献

- 1) Naruse Hajime, Norihiro Izumi Norihiro, Miwa Yokokawa, and Tetsuji Muto, Bedforms formed by experimental supercritical density flow, 2014.
- 2) 成瀬元、混濁流の発生と成長～深海での堆積物の動き～、2013.
- 3) 宮田雄一郎、田中凡子、高領域ベッドフォームに対する流砂濃度の影響、2011.