

神戸市立高専専攻科	学生員	○河野	美来
神戸市立高専	正会員	柿木	哲哉
神戸市立高専	フェロー	辻本	剛三
神戸市立高専	正会員	宇野	宏司

1. はじめに

砂浜は外力に応じて堆積と侵食を生じ、また底質の分級を伴いながら地形変化する。海浜における底質の分級作用が粒度の空間分布を生じさせることも古くから知られている。しかし、流体運動のどのような作用によって分級が進行しているのかについて、実験的にその内部機構を直接的に明らかにした例はあまりない。

そこで本研究の目的は、固液の屈折率を一致させるインデックスマッチング法を用いて粒径が 0.4 mm 程度の底面内部を可視化し、波動場の底面近傍における流動場と底質粒度の変化を観察し、流体運動と分級作用の関係を調べることである。

2. 研究内容

(1) 可視化実験 図-1 は実験装置の模式図である。実験は小型の 2 次元造波水路を作成して行い、寸法は長さ 200 cm、幅 5 cm、高さ 20 cm とした。造波方式はプランジャー式とし、造波装置の反対側に勾配 1/10 の移動床の斜面を作成した。この斜面の材料にはパイレックス 7740（比重 2.32、屈折率 1.474）を粉砕したもの（ふるい目 0.6 mm～0.2 mm に残留したもので、中央粒径は 0.4 mm）を用いた。なお、この粉砕ガラスは研磨せずに使用した。次に、斜面内部を透明化するにはパイレックスと屈折率の等しい流体を使う必要がある。また屈折率は入射光の波長により変化するため、可視化用レーザーに合わせて屈折率を調整する必要がある。使用したレーザーは Nd-YAG ダブルパルスレーザーで、波長は 532 nm、シート厚は約 2 mm、ダブルパルス間隔 1/400 s である。これと同波長のレーザーを用いている松井ら(1998)の研究を参考に、NaI 水溶液の重量濃度を 56.4 wt% として粉砕ガラスと屈折率をマッチングした。なお、NaI 水溶液の動粘性係数は $0.0165 \text{ cm}^2/\text{s}$ （ウベローデ式）、比重は 1.71 であった。ところで、斜面を全て粉砕ガラスで作成すると斜面全体が透明になり、可視化できないため、ガラスがドライの状態ドレーサーとして砂を混入し、斜面全体で粉砕ガラスと砂の存在比が均一になるようにした。用いた砂の比重は 2.62、中央粒径は 0.36 mm、混入率は重量比で 3% とした。鉛直 2 次元の可視化断面は水槽のガラス側壁から 1 cm 以上、奥に設けているため水槽側壁の影響は低減されると考える。

(2) 画像解析 画像解析は粒子解析と流動解析を行った。粒子解析の手順は、画像に Mean-shift フィルタをかけ、粒子のエッジを鮮明にし、画像を閾値 70 で 2 値化した後、粒子の位置と面積を測定した。さらに、NaI 水溶液に少量混じった細粒分（混入した砂由来、粒径 0.15 mm 以下）がドレーサーとなり、流体部分と高濃度の浮遊砂雲中の流動も観察できるため、可視化されている砂の粒子解析と同時に PIV 解析も行った。

(3) 実験ケース 実験は、(i) 堆積型、(ii) 中間型、(iii) 侵食型の地形を形成する条件で行った(図-2)。使用した波は規則波で、水平部分の静水深はすべて 9.8 cm とした。その他の条件を表-1 に示す。なお、ケース名の ST に続く数値(120, 140, 160)はカメラ設置位置を表し、撮影断面の造波装置からの距離 (cm) である。

3. 研究結果

図-3～6 は粒子解析の結果で、時刻と場所は図のラベルのとおりである。丸の大きさは粒子径に比例させて表示している。これを見ると、砂漣内部のドレーサー粒子の配置が良く分かり、砂漣表面に粒径の大きな粒子が集まっているのが分かる。また、ST120 の砂漣は水平方向に殆ど動かなかったが、ST140 は 4cm/min で岸向きに移動していた。砂漣の形状はどちらも波長 5cm、波高 1cm 程度と変わらないため、流動に違いが

あるかどうかを調べたものが図-7、図-8で、砂澱頂部を通る鉛直プロファイルである。点線が底面より上の速度分布、実線が底面より下の底質の速度分布を表し、凡例は波の位相を表している。横軸はグラフの上のものが流体の速度、下が底質の速度で、どちらも単位は(mm/s)である。これを見ると、流体側は似たような速度分布をしているが、底質の速度分布は波の峰の位相で違いが見られる。その他、詳細は講演時に述べる。

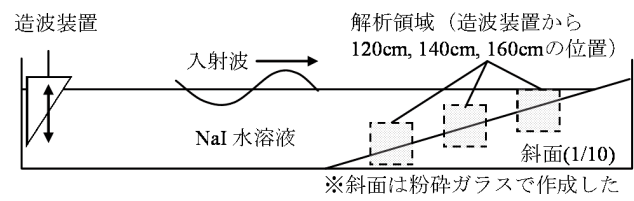


図-1 実験装置

表-1 実験ケース

ケース名	地形	沖波波高 (cm)	周期 (s)
Ac-ST + 撮影位置	堆積型	2.0	2.5
In-ST + 撮影位置	中間型	3.0	1.8
Er-ST + 撮影位置	侵食型	3.0	1.6

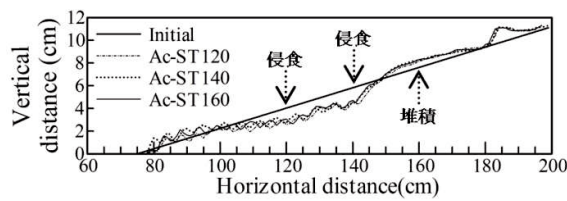


図-2 造波前後の地形の比較(堆積型)

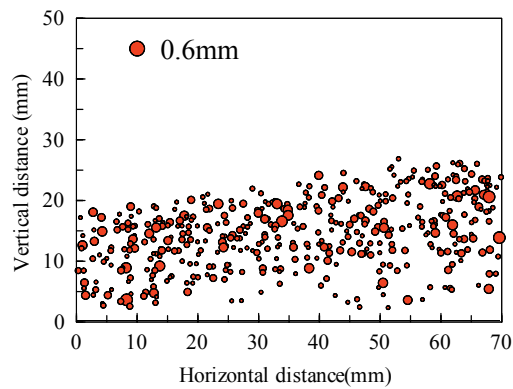


図-3 造波開始直後の粒子配置 (Ac-ST120)

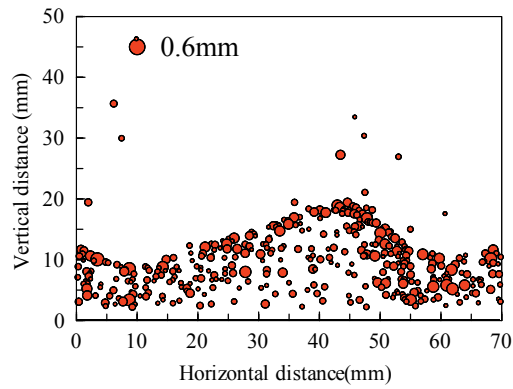


図-4 造波開始 10 分後の粒子配置 (Ac-ST120)

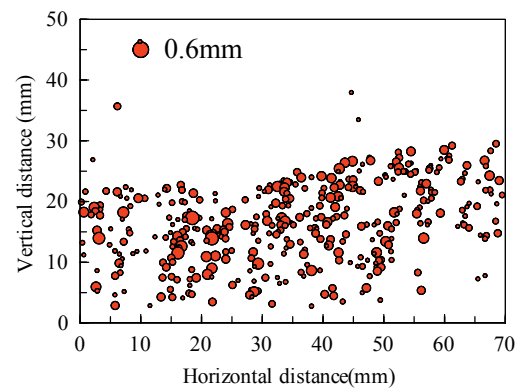


図-5 造波開始直後の粒子配置 (Ac-ST140)

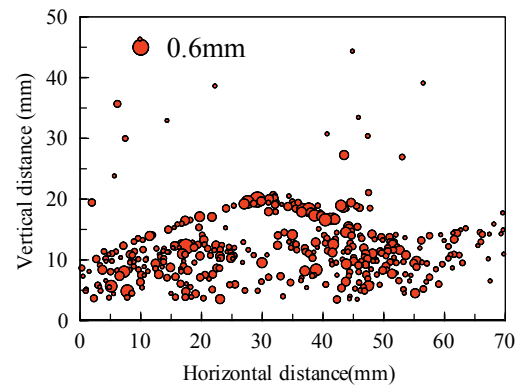


図-6 造波開始 10 分後の粒子配置 (Ac-ST140)

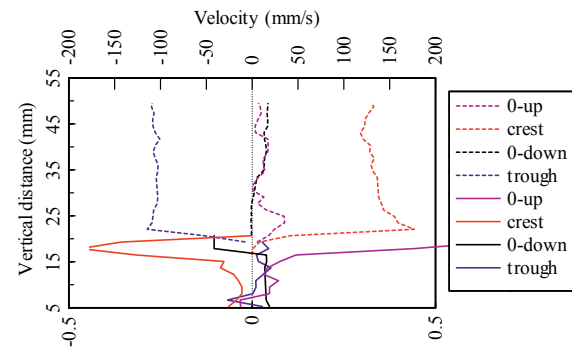


図-7 水平流速の鉛直分布 (Ac-ST120, 10 分後)

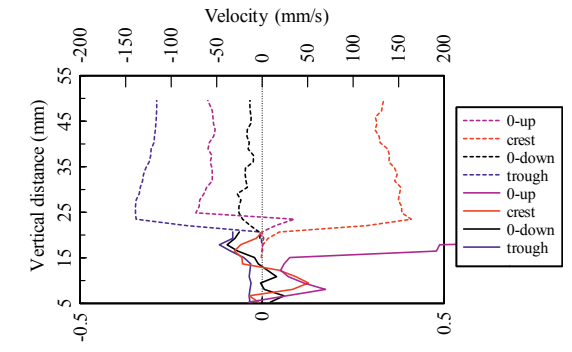


図-8 水平流速の鉛直分布 (Ac-ST140, 10 分後)