

砕波下における粒子底面内からの流体の輸送に関する可視化実験

Visual experiment on Fluid Transport from Granular Bottom under Breaking Wave

北海道大学工学部 ○学生会員 長塚雄介 (Yusuke Nagatsuka)

北海道大学工学研究科 正員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

北海道大学工学研究科 正員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

浅海域での物質循環により引き起こされる水質変化を予測するなかで、海中に溶けている栄養塩等の物質量を計測しようとする、こういった物質の底面層からの溶出が及ぼす影響というのは大きい。そのため、海底面から溶出する物質量を求めるということは生態系モデルを考える上で大変重要である。海底からの溶出量を求める一般的な手法としては、実際に現地で流速や風速、測定したい物質の濃度などを計測し、その結果をもとに観測地点での平均的な溶出量を見積もるといった方法がとられている。しかしこの手法には底面での局所的な乱れや瞬間的な流速による溶出や浸透が考慮されていないため、正確な溶出量を見積もることができていない。また今までに地下の流れについて行われた研究では、流体中をナビエ・ストークス式、底面下の流れをダルシー則というように別々に計算しており、浸透性底面内の流れと底面上の流れとの関係を正しく定量化できていないため、流れ場をうまく再現できないという現状がある。

本研究では砕波下のガラスビーズ底面内からの流体の溶出過程を可視化し、溶出量の時間変化やその波浪条件との関係について考察する。本研究では砕波乱流下の粒子底面内外における質量、運動量の交換について特徴化するための基礎的研究として行うものである。

2. 測定方法

2.1 実験概要

ウラニンは密度が水とほぼ同等であるため水の動きに完全に追従する。またウラニン溶液の発光輝度はその濃度に依存しているため、輝度からウラニンの濃度を知ることができる。ウラニンのピーク蛍光波長は 590nm、ピーク励起波長は 470nm である。ウラニン溶液は点滴を用いて、底面層の粒子を移動させない程度の一定流量で流し続けることとする。

2.2 実験装置

図-1 のような 1/20 勾配の全長 8m (造波機含む)、幅 25cm の造波水路にて実験を行う。造波機から 2.5m～4.5m の間に厚さ 9.0mm の sand pit を設け、ガラスビーズを敷き詰める。本来粒径の細かい泥(1/16mm 以下)のような微細粒子のときに栄養塩の溶出が活発となるが、地下流れの可視化をし、溶出量の基本的な関係を明らかにす

るために今回は粒径約 1mm の比較的粒径の大きなガラスビーズを用いて実験を行っている。本研究の実験条件ではガラスビーズ底面におけるリップルの形成は見られなかった。ガラスビーズ底面下 10mm の点に一定流量 (0.01ml/s) で 0.003% ウラニン水溶液を注入した。ウラニン溶液はカメラ横に設置された紫外線スポットライトの光により励起発光する。波浪下における溶液の溶出、移流、拡散過程を水槽側面からレンズ表面にウラニンの蛍光波長の光を通すバンドパスフィルタを装着した高感度カメラにより撮影した。

撮影周波数は 20fps、シャッタースピード 1/30s は、画像の解像度は 696×520pixs, FOV 8cm×12cm である、また、造波機から岸側へ 300cm 地点において撮影を行った。

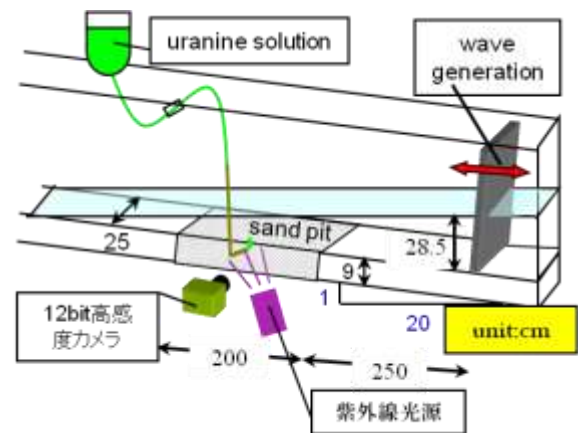


図-1 造波水路

本研究では表-1 に示す 3 つの波浪条件で実験を行った。それぞれ波のはこの岸沖分布を図-2 に示す。case1 での撮影領域は着水点から岸へ 50cm の地点、case2, case3 での撮影領域は着水点のちょうど真下の地点である。

表-1 造波機による波浪条件

case	振幅(cm)	周期(s)
case1	90	0.5
case2	90	0.4
case3	70	0.5

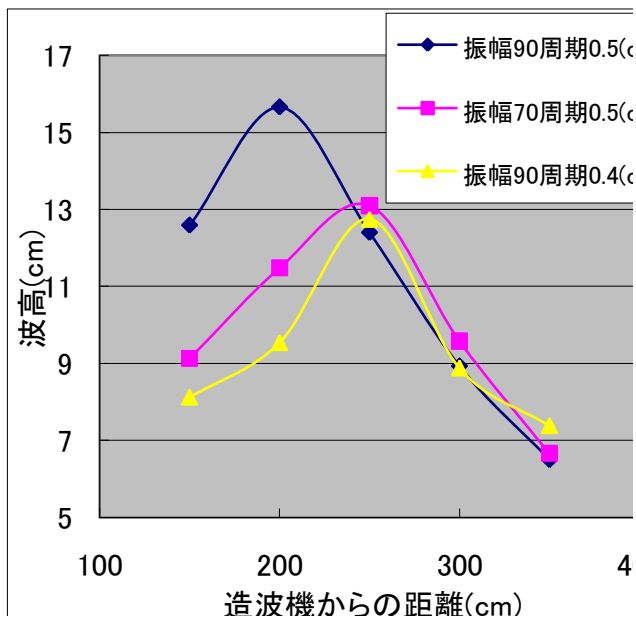


図-2 波高の岸沖分布

2.3 準備準備

濃度が既知のウラン濃度に紫外線スポットライトを照射したときの蛍光を 2.2 でのセットアップで撮影し、画像の輝度とウラン濃度との関係を求めた結果を図-2 に示す。輝度がピークとなる 0.003g/l 以下の濃度では溶液濃度に対して輝度が単純増加する。すなわち撮影時に画像輝度が最大となる 0.003g/l のウラン溶液を注入すれば、図-2 の関係からウラン溶液濃度の分布を求めることができる。

濃度の異なるウラン溶液を用いて輝度の比較を行った。そのときの変化が図-2 に記すようになった。よって輝度が最も高くなった、水 100ml に対して 0.03g の濃度の溶液を基準とすることにした。次に波の周期と造波機の振幅の変化による波高との関連性を調べた。波高は容量式波高計を用いて計測した。波の進行方向を正とし、sand pit の始まりをゼロ、そこから 50cm 間隔で計 5 箇所において 3 パターンの波に関して計測を行った。振幅はあくまで造波機自体の振幅である。その結果を図-3 に記す。これにより振幅や周期を減少させると、砕波する地点が岸側に近づき、また波高も小さくなることがわかった。またこれからの計測には砕波地点での流れの乱れが大きい、振幅 90cm 周期 0.5s で、砕波波高 16cm の波を利用することとする。

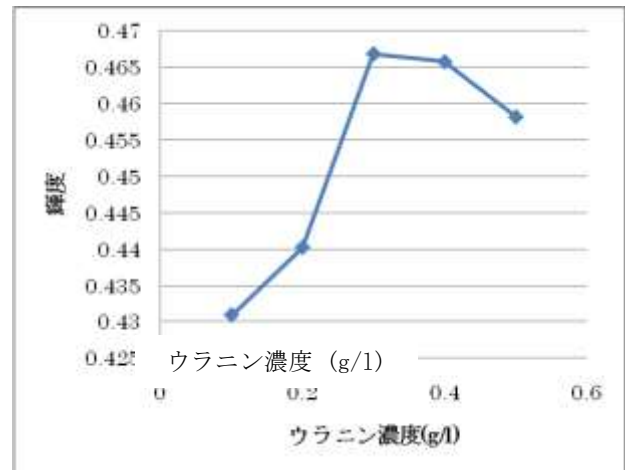
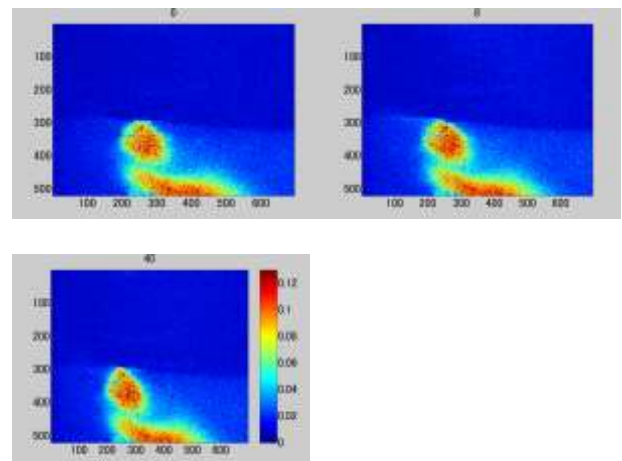


図-2 ウラン溶液濃度と輝度との比較

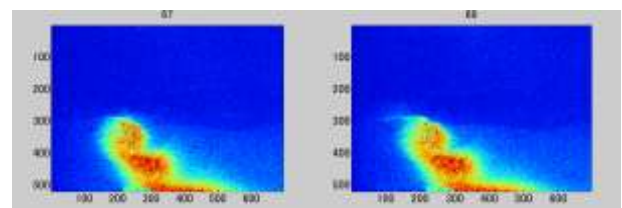
3. 結果

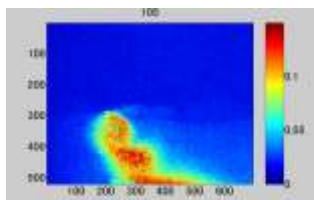
砕波地点から 50cm 岸側でのウランの遷移を計測したものが図-4 になる。これらは光源として青色 LED(ピーク励起波長 470nm)を用いて撮影している。カメラには 560nm の光学フィルターを取り付けているため、青色 LED による光は観測されず、ウランの蛍光波長のみを通過する。カメラ、波のセットアップは以下の表 1、表 2 に記す。

初期状態、波が上を通過しているとき、通過した後で次の波がやってくる時の 3 点でのそれぞれのグラフを載せた。

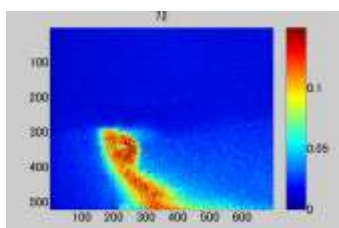
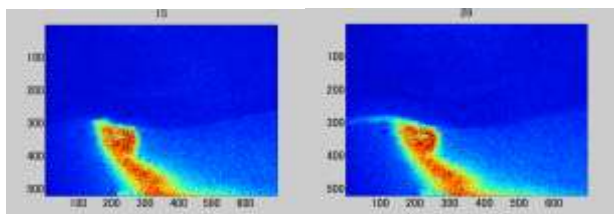


振幅 90cm 周期 0.5s 着水点から岸に 50cm 地点





振幅 70cm 周期 0.5s 着水地点と同地点



振幅 90cm 周期 0.4s 着水地点と同地点

図-4 砕波点から 50cm 岸側でのウラニンの溶出

表-1 カメラのセットアップ

フレームレート	30 fps
シャッタースピード	1/60 s
ISO 感度	1600
解像度	2112 × 2816
	72 dpi
FOV	7.3 × 9.1 cm

表-2 波のセットアップ

砕波形態	巻き波
周波数	0.5 Hz
砕波波高	16.0 cm
砕波水深	16.0 cm

波がちょうど観測地点を通過するときに岸方向への溶出が大きくなっており、また波が通り過ぎて、また波が近づいてくるときには逆に海側に溶出しているが、その量はあまり大きくないことがわかった。