

汀線近傍における波浪下の地下水流れ計測

Measurements of the wave-induced seepage flows in the sandy bed nearby the shoreline

北海道大学大学院工学院
北海道大学工学研究院

○学生会員 長塚雄介 (Yusuke Nagatsuka)
正員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)

1. 序章

比較的粒径の小さい粒子で構成される浸透性底面では、上部を流れている流体の運動の影響を多く受ける. その中でも浅海域における、砕波帯近傍から汀線までの領域では透水層内の間隙水の運動に大きく影響を与えている. こういった透水層内の間隙水の移動によって引き起こされる物質の輸送は、生態系モデルを用いた物質循環に着目した浅海域の水質変化を再現しようとする際に重要となる. 長塚ら(2010)は蛍光塗料をトレーサーとして水槽壁面近傍の地下水流れを可視化計測したが、壁面の影響によりどれ程地下水流れが変化しているのかは不明である.

本研究では砕波帯近傍から汀線までの透水層中を流れる水の動きを解明するための基礎的研究として、透水層に塩化ナトリウム溶液をトレーサーとして注入し、その電気伝導率の変化から、間隙水の移動速度や浸透量を観測し、間隙水の移動の特性を調べることを目的として行う. また計測は数種類の周期をもつ波浪条件下で行い、波浪による違いを計測するのと並行して底層の形状変化をともに観測する.

2. 実験方法

2.1 実験装置と波浪条件

実験は図-1のような幅 25cm、勾配 1/20 の造波水路にて行う. 造波板前水深を 24cm とし、造波機から 2.5m 離れた地点から厚さ 9.5cm の sand pit を設け、中央粒径 0.2mm の砂を敷き詰めた. 砂は使用する前に洗浄し、巻き上がり時に水を濁らすような粒径が極めて小さいもののみを取り除いている. また、sand pit の途中、造波機から 3.15m 地点から初期の砂層底面の勾配を 1/15 に変化させた. 造波時の汀線は常に砂層上に存在しており、静水時の汀線を原点として水平方向波向きに x 軸を、造波開始からの経過時間を t と定義した. $x=0$ は造波板から 360cm の地点に対応し、 $t=0 \sim 60\text{min}$ の間

の地下水流れを測定する.

本実験の波浪条件は表-1 に示している. 全条件において造波板前波高を 5.5cm とし、周期のみを変化とさせた.

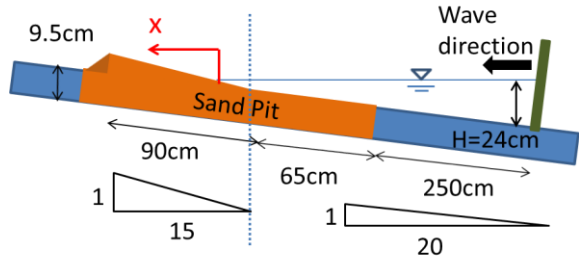


図-1 造波水槽と初期底面形状

表-1 波浪条件

Case	1	2	3	4
周期(T)	4.76	2.5	2	1.42
砕波点(x cm)	なし	-82	-85	-92
砕波形態	非砕波	巻き波	巻き波	巻き波

2.2 壁面近傍地下水流れの画像計測

波浪下における地下水流れの大まかな流れを把握するために、蛍光塗料ウラニンを水槽壁面にグリッド状に注入し(図 2)、染料の軌跡を追うことにより壁面近傍の流れ場を測定した. ウラニンのピーク励起波長は 460nm、ピーク蛍光波長は 590nm であり、本実験で使用したウラニン溶液は水と密度が同程度であるため、水の動きを完全に追従すると考えられる. またウラニンにより砂が染色されることはなかった. このウラニン溶液を砂層の初期状態での勾配の上部から水深 3cm ごと、10cm おきにウラニンを 0.08ml ずつ、注射器で注入した. ウラニンを励起させるため、ハロゲン投光

器(500W)に青色のフィルターを装着させたものを光源として使用した。このときのウラニンが移動の様子を2台のデジタルカメラで撮影した。カメラ1の撮影範囲は $x=-110 \sim -10\text{cm}$ 、カメラ2は $x=-10 \sim 45\text{cm}$ であり、撮影解像度はそれぞれ $3072\text{pixel} \times 2304\text{pixel}$ 、 $2816\text{pixel} \times 2112\text{pixel}$ である。この条件で10分おきに1時間撮影を行った。

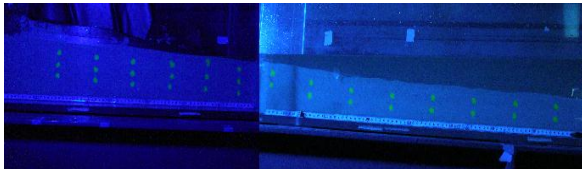


図-2 砂層勾配内壁面近傍でのウラニン分布
(左:カメラ2、右:カメラ1)

2.3 電気伝導度による地下水流測定

2.2の実験より得られた流れ場は壁面による影響が大きい為実際の地下水流場とは異なると考えられる。そこであらかじめ砂層内に注入させておいた NaCl 水溶液の輸送過程を測定することにより水槽中央における地下水流場を測定した。実験条件として、図-3のように、一定濃度の NaCl 水溶液を砂層内に仕切られたある領域にのみ注入しておき、造波開始と共に仕切りを解放することによりその後の溶液の輸送過程を調べた。

濃度測定には塩分濃度計を使用した。これは電気伝導度を元に塩分の濃度を測定するもので、測定可能濃度の範囲は $0 \sim 5.0\%$ 、測定分解能 0.1% 、測定精度は常温において $\pm 0.1\%$ である。塩分濃度計のプロブ先端が砂や壁面に接触していると正しく測定ができないため、側面に穴をあけた内径 3cm の円筒を砂層内に貫入させ、円筒内に入ってきた地下水の濃度を測定する。測定地点は NaCl 水溶液を注入した領域内、領域より岸側、沖側にそれぞれ設置している。

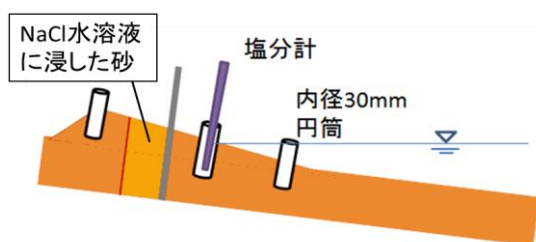


図-3 塩分計での観測方法

3. 結果

3.1 壁面近傍地下水流の概要

本実験により得られた図-4は典型的な撮影画像を10分ごとに示したものである。図は撮影した画像の緑成分のみを抽出し、[5 5]のメッシュでメディアンフィルターをかけ、グレースケールへと変化したものである。図5はCase2におけるカメラ1での計測結果の0秒と1時間後での比較である。

時間の経過とともにウラニンが移動しており、また砂層の形状も変化していることがわかる。カメラ2で撮影された領域ではCase3ではbarが形成され、波浪に影響を与えていた。浸透の流れの大きかったカメラ2の画像においてウラニンの重心を各画像で抽出してプロットしたものが図-6となっており、汀線からの距離により浸透速度や方向が異なっていることがわかる。本実験ではいずれの条件においても $x=25 \sim 45\text{cm}$ 付近の汀線の極近傍から水の地下への流入があり、 $x=-20 \sim 0\text{cm}$ 近辺において地下から水中へと地下水がわきだしていることを確認した。

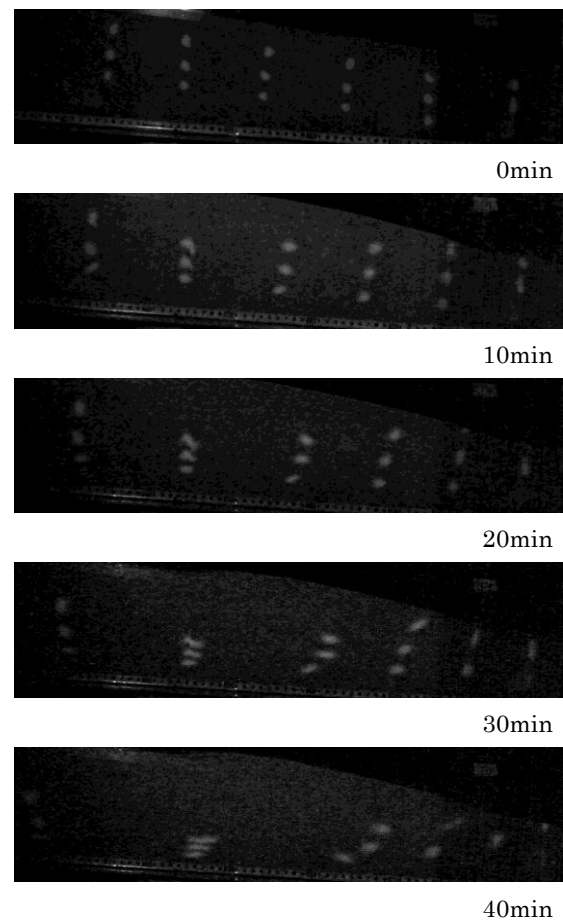


図-4 岸側での10分間隔でウラニンの移動(Case3)

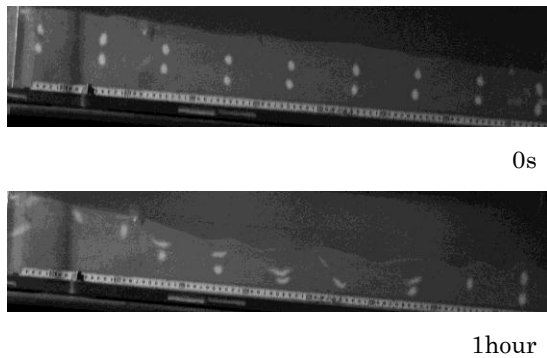


図-5 沖側での砂層形状変化(Case2)

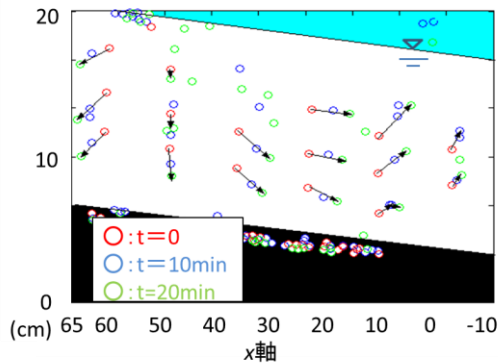


図-6 壁面での地下水浸透の方向

3.2 電気伝導度

溶液分布の初期条件は 3.1 の実験を元に決定した。Case3 の周期 $T=2.0s$ においては、底面から地下への水が流入する $x=35-45cm$ 領域内の砂層を NaCl 溶液で満たし、時刻 $t=0$ に領域の仕切りを解放した。また Case1 の周期が $T=4.76s$ で、碎波がしないときの Case1 では、地下への流入地点より $x=25-35cm$ 領域内に NaCl 溶液を満たし、計測した。Case1、2 でのそれぞれの濃度時間変化が以下の図-4 となっている。なお縦軸の濃度は砂層に注入した初期 NaCl 溶液の濃度で無次元化している。

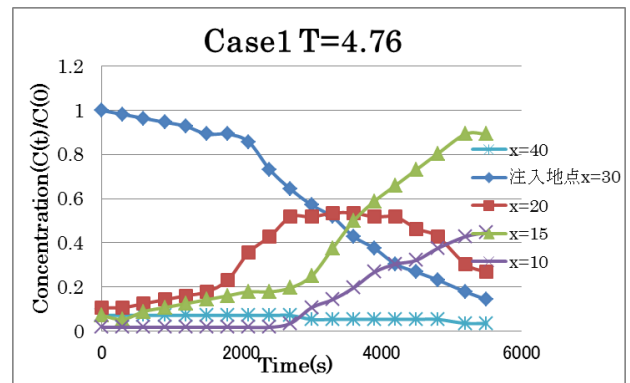
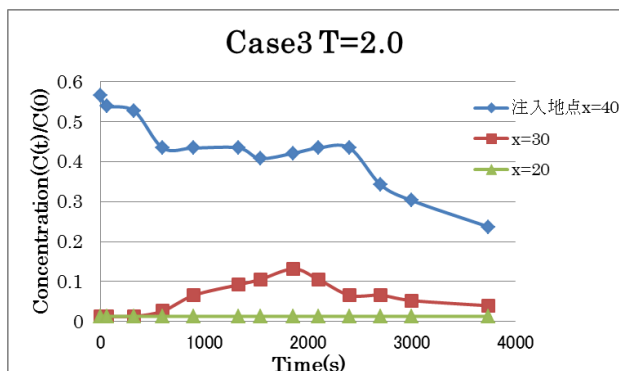


図-7 各地点における塩分濃度の時間変化

どちらの Case でも注入地点では次第に値が減っていき、沖側の砂層内を浸透していくことがわかる。またウランの移動とは異なり、固定点での値を時系列で求められるため、浸透した溶液が減っていく過程の時間を計測することができた。

4. 結論

浸透性底面をもつ浅海域での砂層内の浸透を塩分計も用いて計測した。浸透は、最も遡上した時の汀線位置近くで砂層内に上部流体を取り込み、地下に浸透しながら静水面のあった初期汀線方向へと溶出していた。また波浪、特に碎波により砂層の形状が変化し、初期の波とは異なったものとなっており、Case1 と Case3 の違いからも浸透に影響を大きく与えているであろうことがわかった。

参考文献

- 1) Makoto Higashino, Pore water flow due to near-bed turbulence and associated solute transfer in a stream or lake sediment bed, *Water Resources Research*, 2008
- 2) 柿沼太郎, 透水性海浜における碎波帯の浸透流, 土木学会論文集, No.1/Vol.B2-65, p126-130, 2009
- 3) Nobuhisa Kobayashi, Irregular Wave Seepage and Overtopping of Permeable Slopes, 2007