

鉛直1次元浸透流モデルによる前浜砂層域の浸透・滲出流解析

Analysis of In/Exfiltration in Swash Zone by Vertical 1-Dimensional Seepage Model

函館工業高等専門学校
函館工業高等専門学校

○学生会員
正会員

和田 京果 (Kyoka Wada)
宮武 誠 (Makoto Miyatake)

1. はじめに

波打ち帯の漂砂移動は、汀線付近の侵食現象に直接影響を及ぼすため、その定量的な評価は重要な課題である。既往研究によると、波打ち帯の漂砂移動には、波の遡上・流下運動に伴う前浜域での浸透・滲出流の影響が深く関与していることが指摘されている^{1), 2), 3)}。従って、波打ち帯の漂砂量を正確に把握するためには、波の遡上・流下運動に伴う前浜浸透流を正確に見積もる必要がある。

これに対し宮武ら⁴⁾は、遡上波変形と飽和・不飽和浸透流を結合させた鉛直2次元数値モデルにより、前浜域での浸透・滲出流を考慮した浮遊砂輸送モデルを提案しており、模型実験の再現計算から波打ち帯の漂砂量を概ね良好な結果で評価できることを示している。しかし、上述のモデルでは異水域間の結合にあたり、浸透流計算において繰り返し計算を要し、計算労力が問題になっている。計算効率を上げるには、より簡便で高速なモデルが必要となる。

本研究は、Dupuitの準一様流仮定に基づく、砂層内の飽和・不飽和領域を包含した鉛直1次元浸透流モデルを構築し、上述した鉛直2次元数値モデルとの比較から、構築したモデルの妥当性及再現性を検証するものである。

2. 鉛直1次元浸透流モデルの概要

砂浜斜面の浸透・滲出流速を計算するのにあたり、図-1に示すABCDで囲まれる前浜砂層内の水の収支を考える。図中の前浜砂層内のABCD領域を検査面として、鉛直境界AB及びCDを通じ流入・流出する岸沖方向の地下水フラックスをDupuitの準一様流仮定に基づいた以下の式を用いて算出する。

$$q_i = -kh \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 q_i はそれぞれ境界AB($i=1$)及びCD($i=2$)に流入・流出する岸沖方向の地下水フラックスであり、岸向きに正、沖向きに負の値を取る。 k は底質砂の飽和透水係数であり、予め行った透水試験により得られた値を与える(表-3)。 h は境界BCから地下水位までの鉛直距離を示す地下水頭である。

砂浜斜面上の境界ADは遡上波による浸透・滲出流速 w が生じる一方、底部水平床の境界BCが不透過となることに注意してABCD領域の地下水に関する質量保存則を考えると、

$$-\frac{\partial q}{\partial x} + w = \frac{\partial h}{\partial t} (S_w n_e) \quad (2)$$

が得られる。ここに、 n_e は底質砂の有効空隙率(=0.4)、

S_w は飽和度であり、以下に示すVan-Genuchtenの式により計算する。

$$S_w = \left\{ \frac{1}{1 + (\alpha |\psi|^n)} \right\}^m \quad (3)$$

ここに、 ψ は毛管水頭であり、同図中のように地下水位から砂層表面までの鉛直距離として定義する。 α, m, n は経験的に定める定数であり、予め求めた測定値を用いた(表-3)。

3. 計算条件

3.1 再現対象実験の概要

実験は、図-2に示す2次元造波水路内に海底勾配1/10の塩化ビニール製固定床斜面モデルを設置し、その上部の水平床に長さ3.5m、高さ30cm、後浜天端50cmを有する海底勾配1/10の砂浜模型を製作して行った。砂浜模型を構成する底質は、3粒径を表-1に示す割合で配合した混合粒径珪砂である。今回は粗配合と細配合の2ケースであり、それぞれ飽和・不飽和の状態と比較を行う。砂浜斜面を飽和・不飽和の状態とするため、静止水深35cmのもと模型斜面後浜側には貯水槽を設け、その水深(図中の a)を表-2に示す30cm及び5cmとし、砂浜斜面を飽和及び不飽和状態にした上で、遡上波を砂浜模型の法肩まで到達させるため、沖側から表中に示す諸元を有する孤立波を2分間隔で10波作用させた。ここで斜面上の遡上波変形及び砂層内の地下水位は、図中に示す3本の容量式波高計及び3本の水圧計によりそれぞれ計測した。

本稿では、この水圧計から得られた地下水位の時系列データを用いてモデルの構築を行い考察する。

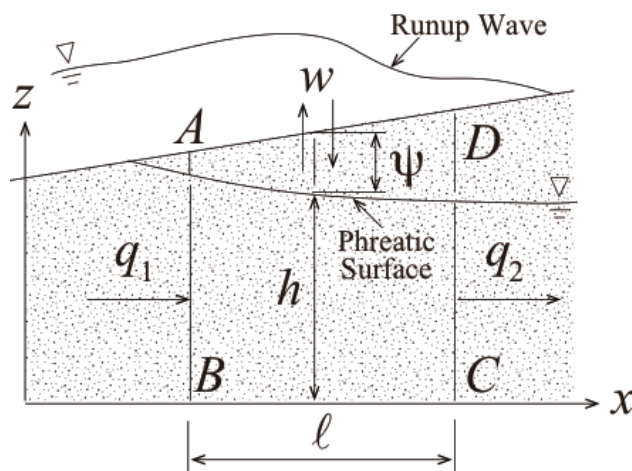


図-1 モデルの概要図

3. 2 計算方法

前出の鉛直1次元浸透流モデルならびに実験で得られた地下水位の時系列データより砂浜表面で生じる浸透・滲出流速を計算する。

はじめに st4 及び st6 を境界として横切る岸沖方向の地下水フラックス q_i ($i=1:AB$ 境界, $i=2:CD$ 境界) は, st4, 5, 6 の地下水位の時系列データを用いて

$$q_1 = -kh_4 \frac{h_5 - h_4}{\Delta x} \tag{4}$$

$$q_2 = -kh_6 \frac{h_5 - h_6}{\Delta x} \tag{5}$$

のように計算する．ここに、 h_j は各点の地下水位を示し、下添字 j は st 番号を示す．これより、砂浜斜面下で生じる浸透・滲出流速は以下の差分式

$$w = (S_w n_e) \frac{h^{t+\Delta t} - h^t}{\Delta t} + \frac{q_6 - q_4}{\ell} \tag{6}$$

を用いて推定する．ここに、 h の上添字 t は時間を示す．以上の計算結果は宮武⁵⁾らの鉛直2次元数値モデルの結果と比較し、構築したモデルの妥当性を検証する．

4. 計算結果と考察

図-3、図-4 は底質を細配合及び粗配合とし、後浜貯水槽の水深 a を 30cm 及び 5cm としてそれぞれ砂浜斜面を飽和及び不飽和とした場合における鉛直1次元浸透流モデルと鉛直2次元数値モデルの計算結果の比較を示す．この図は下向きを浸透とし、上向きは滲出を表している．

底質を細配合にした場合、飽和斜面では浸透流速の絶対値と滲出流速は等しくなる特性、一方、不飽和斜面では、飽和斜面よりも大きな浸透流速が長時間におよび滲出流速が減速する特性を鉛直1次元浸透流モデルは、鉛直2次元数値モデルと同様に再現することが可能である．しかし、浸透・滲出量で比較した場合、鉛直1次元浸透流モデルは、鉛直2次元数値モデルのそれに比べ、過剰になっている．これは、鉛直1次元浸透流モデルにおいて、岸沖方向の地下水フラックスは飽和領域のみを考慮しており、不飽和領域で生じる地下水フラックスが考慮されていない分、過大に評価したこと起因する．

一方、底質を粗配合にした場合、砂層内の透水性が上がった分、浸透・滲出流速はともに細配合の場合に比べ大きくなる鉛直2次元数値モデルの傾向を、鉛直1次元浸透流モデルは概ね再現できていると考えられる．しかし、浸透・滲出量で比較すると細配合の場合と同様に過大評価となっている．

以上のことから、砂浜内の透水性が上がったとしても、不飽和領域における岸沖方向の地下水フラックスを考慮しなければ浸透・滲出量は鉛直2次元数値モデルと一致しないことを示唆している．

5. 結論

本稿において、鉛直1次元浸透流モデルを構築し得られた結果、細配合では、飽和・不飽和における浸透・滲

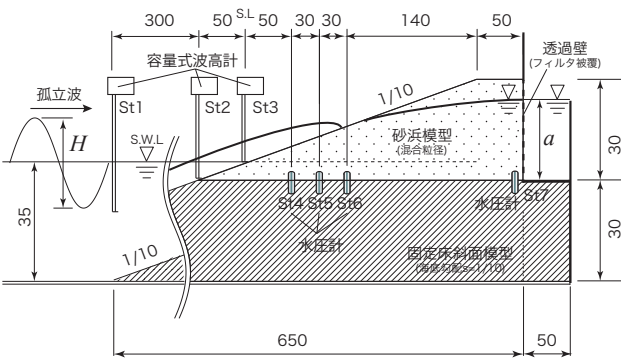


図-2 実験概要図 (単位: cm)

表-1 底質条件

粒 径 d (mm)	蛍光砂 (色)	混合粒径の配合割合 (%)	
		細配合	粗配合
0.12	緑 (G)	53.4	13.3
0.28	青 (B)	33.3	33.3
0.42	赤 (R)	13.3	53.4

表-2 実験ケース

ケース	波 高 H_0 (cm)	周 期 T_0 (s)	貯水槽の 水深 a (cm)	遡上斜面の 保湿状態	底質砂の 配合
Run1	8.0	4.50	30.0	飽 和	細配合
Run2	8.0	4.50	5.0	不飽和	
Run3	8.0	4.50	30.0	飽 和	粗配合
Run4	8.0	4.50	5.0	不飽和	

表-3 土壌パラメータ

	細配合		粗配合	
	吸水過程	排水過程	吸水過程	排水過程
n	4.5397	3.9500	3.7493	2.9440
α	0.0480	0.0385	0.0697	0.0692
m	0.7800	0.7295	0.7265	0.6370
k_s	2.12×10^{-2} (cm/s)		3.12×10^{-2} (cm/s)	

出流速のそれぞれの特性を鉛直1次元浸透流モデルは鉛直2次元数値モデルと同様に再現できることが確認された．しかし、浸透・滲出量で比較をした場合、鉛直1次元浸透流モデルにおいて、岸沖方向の地下水フラックスは飽和領域のみを考慮しており、不飽和領域で生じる地下水フラックスが考慮されていない分、過大に評価することを示した．

一方、粗配合の場合、砂層内の透水性が上がる分、浸透・滲出流速は細配合に比べ大きくなる鉛直2次元数値モデルの傾向を鉛直1次元浸透流モデルは十分な精度で再現できる．しかし、細配合の場合と同様に浸透・滲出量で比較した場合、過大評価になり、透水性の高い砂浜斜面においても、不飽和領域における岸沖方向の地下水フラックスは重要な役割を果たすことが確認された．た

だし、浸透・滲出流速の最大値のみを一致させる精度を担保する数値モデルとして考えれば、本研究で提案した鉛直1次元浸透流モデルは、十分であるものと考えられる。

今後は、鉛直2次元数値モデルに本研究で構築した鉛直1次元浸透流モデルを組み込み、波打ち帯の漂砂移動に及ぼす影響を検討する所存である。

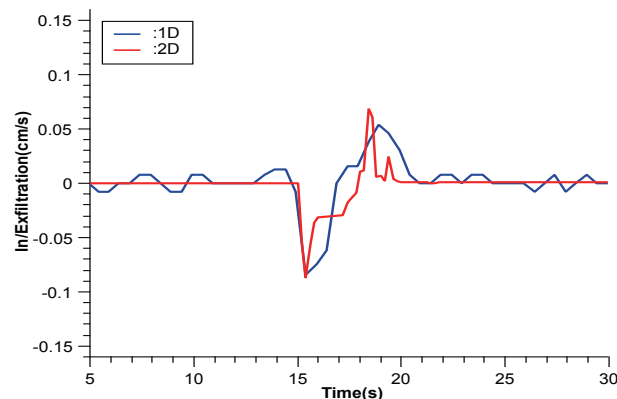
謝辞: 本研究は学術研究助成基金助成金 基盤研究(c) (課題番号 16K06521) の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

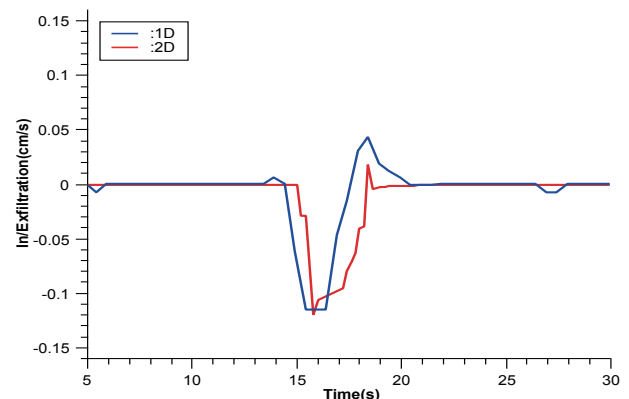
- 1) 柳嶋慎一・加藤一正・村上裕幸 (1990): パームに関する現地調査, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 359-363.
- 2) 浅野敏之・Md. Azharul Hoque (2003): 境界層の変化を考

慮した透水性斜面上の漂砂の解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 501-505.

- 3) 宮武誠・藤間聡 (2004): 波打ち帯の侵食・堆積過程に及ぼす前浜地下水の流動特性, 土木学会論文集, No. 754, pp. 51-61.
- 4) 宮武 誠, 石橋 さくら, 木村 克俊, 越智 聖志, 佐々真志, 白水 元: 前浜浸透・滲出流を考慮した波打ち帯の飽和・不飽和斜面の漂砂輸送解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 74 (2018) No. 2 p. I_715-I_720, 2018.
- 5) 宮武 誠, 成田 郁史, 木村 克俊, 越智 聖志, 佐々真志, 白水 元: 混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 73 (2017) No. 2 p. I_541-I_546, 2017.

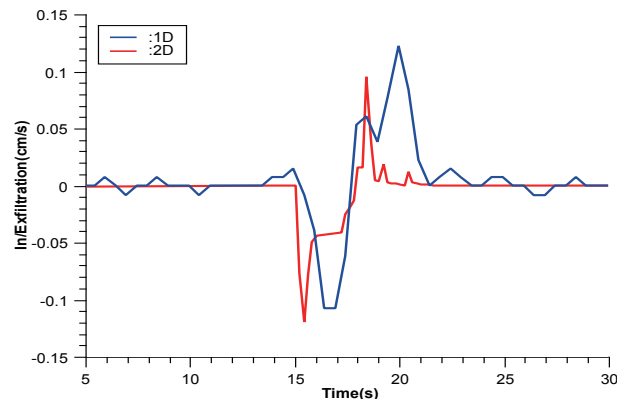


(a) 飽和斜面

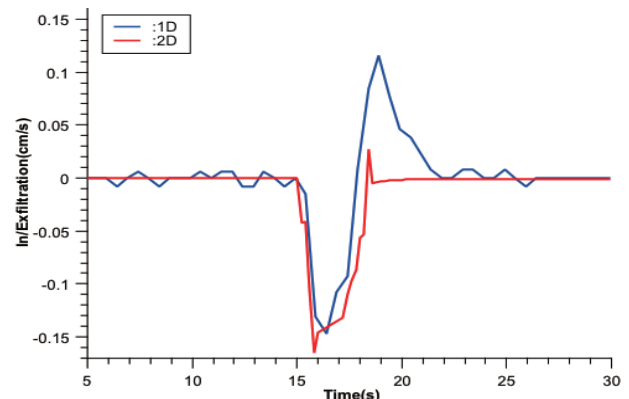


(b) 不飽和斜面

図-3 鉛直1次元浸透流モデル及び鉛直2次元数値モデル比較図(細配合)



(a) 飽和斜面



(b) 不飽和斜面

図-4 鉛直1次元浸透流モデル及び鉛直2次元数値モデル比較図(粗配合)