

# 潮位変動を受ける沿岸域不飽和砂地盤の塩と水の同時移動に関する実験

## Experiment on Simultaneous Movement of Water and Salt of Unsaturated Sandy Soil

小林 薫<sup>\*1</sup> 松元 和伸<sup>\*1</sup> 森井 俊広<sup>\*2</sup>  
Kaoru Kobayashi Kazunobu Matsumoto Toshihiro Morii  
中房 悟<sup>\*3</sup> 田口 勝夫<sup>\*4</sup> 染谷 昇<sup>\*4</sup>  
Satoru Nakafusa Katsuo Taguchi Noboru Someya

【キーワード】 不飽和地盤 塩水 塩と水の同時移動 移動速度 毛管力

### 1. はじめに

沿岸域の不飽和地盤内に保水された水分は、植生等を定着させ生態系の形成に大きく寄与している。しかし、地下水に塩分が含まれている場合には、地下水位より上部であっても毛管力による塩分上昇が生じ、地表の植栽が枯死することが報告されている<sup>1)</sup>。不圧地下水の動態と共に、不飽和地盤内の塩と水の動態に関して理解を深めることは、砂浜域の植生を定着させ多様な生態系の形成・再生に資するものと考えられる。しかし、沿岸域での塩と水の同時移動については、まだ十分に解明されていない現象が残されている。特に、不飽和領域における毛管力に伴う塩と水の同時移動に関する現象については、調査研究事例は比較的少ない<sup>2)</sup>。

本研究では、不飽和砂地盤中の塩と水の同時移動の挙動を明らかにすることを目的に、塩水を用いて土柱法<sup>3)</sup>による水分特性曲線を把握<sup>4)</sup>した上で、不飽和砂地盤内の毛管力等に伴う塩と水の同時移動の挙動を、散水装置を備えた次元円筒装置を用いて実験的に明らかにする。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試料と供試体の作製方法

試料は、豊浦砂の粒度分布に類似した硅砂6号を選択した。物理的性質などについては、表-1にとりまとめた。なお、飽和透水係数  $K_s$  は、締固め度  $D_c=90\%$  の供試体を作製した上で、定水位透水試験を行い求めた。

供試体は、図-1に示す内径20 cm、高さ73 cm（最下段のリング容器の高さは13 cmで、その上部3段は各20 cmである）の塩ビ製の次元円筒装置に、最適含水比 ( $w_{opt}=11.9\%$ ) に調整した試料を、所定の乾燥密度 ( $\rho_d=1.334\text{ g/cm}^3$ ,  $D_c=90\%$ ) になるように、手製の突固め板で締固めて作製した。

#### 2.2 実験方法

図-2に示すように鉛直次元円筒装置の下端部でビニールホースにより定水位塩水（濃度=4%）供給タンクと連結する。次に、供試体の透水係数を考慮し、 $1\times 10^{-2}\text{ cm/s}$  程度の速度で図-2に示す塩水位面を②→①までゆっくり25 cm上昇させた。水位一定の基で12時間程度静

表-1 試料の物理的性質

		単位	硅砂6号
土粒子の密度	$\rho_s$	$\text{g/cm}^3$	2.701
最大粒径	$D_{max}$	mm	0.85
10%粒径	$D_{10}$	mm	0.123
30%粒径	$D_{30}$	mm	0.157
50%粒径	$D_{50}$	mm	0.194
60%粒径	$D_{60}$	mm	0.214
均等係数	$U_c$	—	1.74
曲率係数	$U_c'$	—	0.938
工学的分類	—	—	SP
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$	$\text{g/cm}^3$	1.482
最適含水比	$w_{opt}$	%	11.9
飽和透水係数	$K_s$	$\text{cm/s}$	$1.31\times 10^{-2}$

置した。その後、塩水位面を25 cm下げて（図-2の①→②）初期水位に戻して12時間程度静置した。実験では、前記の作業を3回繰り返した。その後、供試体下端部より塩水を排水させたまま48時間静置した。塩水位面の変動などに伴う供試体内の体積含水率および電気伝導度（以下、ECと記す）を測定するための、土壌水分センサーと土壌水分・ECセンサーは、供試体作製時に所定の高さに溝掘りを行い設置した（図-2左）。センサー設置時には、センサー周りに空隙を残さない様に慎重に突き棒で周辺を締固めた。土壌水分センサー4台（デカゴン社製；EC5）と土壌水分ECセンサー5台（デカゴン社製；5TE）の設置高さと各センサー番号を図-2に示す。

### 3. 実験結果および考察

塩水位面（図-2の①水位）以上に設置している不飽和領域内のセンサーによる、塩水位面の変動に伴う体積含水率とECの経時変化を図-3と図-4に示す。塩水位面上昇・降下に伴い、体積含水率およびECともに増加・減少を繰り返している。また、図-4の散水開始直後のECは、塩分を含んだ降下浸透水により上昇した。その上昇量は、下部に位置するセンサーほど大きくなっている（センサー番号；No.3→No.4→No.5の順）。その後は、浸透水が塩分を除去する程ECはゼロに近づき、散水開始から210分程度でNo.3センサーはほぼゼロの値

1. 技術研究所 2. 新潟大学 災害・復興科学研究所 3. 日本原子力発電(株) 廃止措置プロジェクト推進室 4.(有)TNS

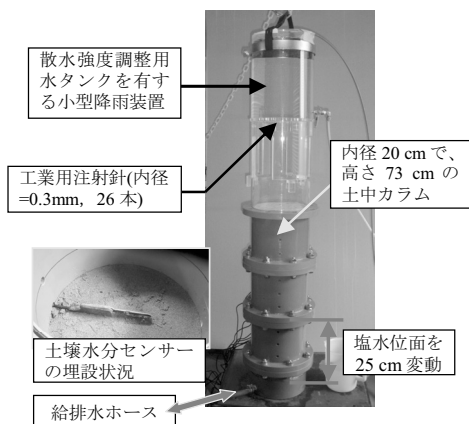


図-1 散水装置を備えた一次元円筒装置の概要

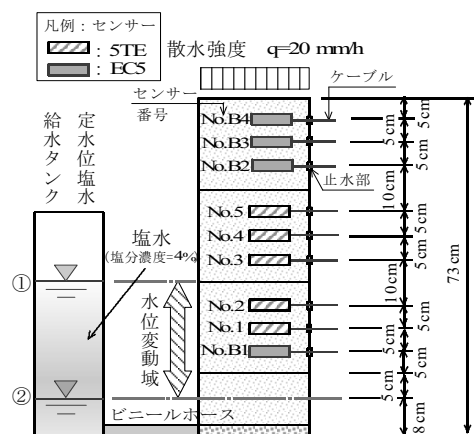


図-2 実験概要図とセンサーの設置高さ及び番号図

になり、図-2のNo.3センサーより上部の供試体内に含有していた塩分はほとんど除去されたものと考えられる。

図-5は、実験時の各センサー間の反応時間差を基に算出した不飽和砂地盤中の塩と水の移動距離と時間の関係（以下、移動速度と記す）を示す。まず、不飽和砂地盤内の塩と水の降下時移動速度は、平均  $8.3 \times 10^3 \text{ cm/s}$  でほぼ一定であると共に、飽和透水係数 ( $K_s = 1.31 \times 10^2 \text{ cm/s}$ ) の約6割である。一方、毛管力による不飽和砂地盤内の塩と水の上昇時移動速度は、1回目とそれ以降では大きく異なり、2回目以降の方が速いことが分かった。これは、不飽和砂地盤の体積含水率が1回目とそれ以降では異なるためと推察される。また、1回目の上昇時の移動速度は、塩水位面の近傍では  $2.8 \times 10^2 \text{ cm/s}$  で、土柱の高さ35 cm程度になると  $4.0 \times 10^3 \text{ cm/s}$  で約1/7まで低下した。2,3回目は、塩水位面の近傍では  $1.7 \times 10^1 \text{ cm/s}$  程度で、土柱の高さ35 cm程度になると  $1.0 \times 10^2 \text{ cm/s}$  で1/6程度まで低下した。以上より、毛管力による上昇時の移動速度は、毛管上昇高（本実験  $\approx 40 \text{ cm}$ ）に漸近する程、移動速度が低下することを実験的に確認した。

#### 4. まとめ

本研究では、潮位変動に伴う不飽和砂地盤内の毛管力による塩と水の同時移動の挙動を把握するために室内実

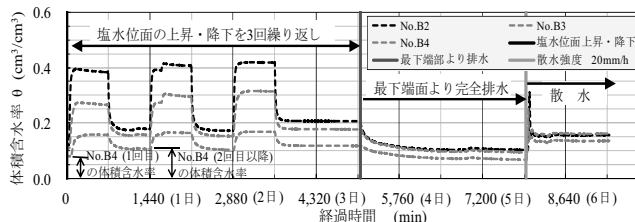


図-3 不飽和領域の体積含水率の経時変化

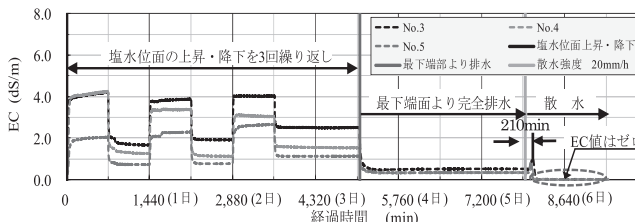


図-4 不飽和領域のECの経時変化

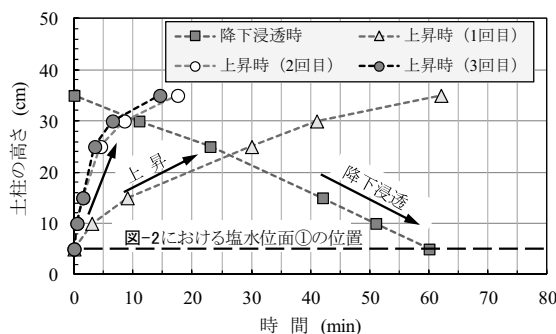


図-5 不飽和砂地盤中の塩と水の上昇・降下時の移動速度

験を行った。主な結果は以下の通りである。

散水・浸透流による不飽和砂地盤内の塩と水の降下時の浸透速度はほぼ一定値を示す。一方、上昇時の移動速度は、初回（1回目）とそれ以降（2回目以降）では大きく異なる挙動を示した。上昇時の移動速度は、毛管上昇高（本実験  $\approx 40 \text{ cm}$ ）に漸近するほど低下した。

今後は、沿岸砂浜域の飽和不飽和浸透及び海底地下水湧出を含む地下水流動について解明していく所存である。

謝辞：本研究は、科研費基盤研究C（研究代表者；小林薫）の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

#### 【参考文献】

- 1) 森井俊広, 井上光弘, 小林 薫, 竹下祐二：キャピラリー・バリアを利用した浅いベイドスゾーンにおける浸潤水と塩分移動の制御, 2012年春季講演会講演要旨, 日本地下水学会, pp.228-233, 2012.
- 2) 井上光弘：塩水を含んだ砂に対する誘電率水分計の測定精度の評価, 水文・水資源学会誌, Vol.11, No.6, pp.555-564, 1998
- 3) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説—二分冊の1—, 第3編第7章 土の保水性試験, p.173, 2009.
- 4) 小林 薫, 松元和伸, 森井俊広, 中房 悟：潮位変動に伴う不飽和砂地盤内の塩と水の同時移動に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, 2012. (掲載決定)