

令和元年6月13日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06486

研究課題名(和文) 塩類化防止と農耕地保全を同時達成するキャピラリーバリア地盤の開発と最適構造の提案

研究課題名(英文) Study on salt damage prevention and plant's growth effects by capillary barrier using crushed shell particles

研究代表者

小林 薫 (KOBAYASHI, KAORU)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：80443638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：半乾燥地における地盤の塩害防止策の1つとして、礫(粗粒土)層とその上に砂(細粒土)層を重ねた地盤であるキャピラリーバリア(以下CB)が有効である。本研究では、礫代替材に扁平な破碎貝殻を用いることで、CB機能(浸透水の遮断・貯留効果)を保持したまま、乾燥砂の下部層間隙への混入も同時に防止できる貝殻型CBを見出した。破碎貝殻を用いた貝殻型CBの多機能効果の内、塩分上昇遮断効果と破碎貝殻から溶出したカルシウムが植物の発芽・生育に及ぼす影響について実験的に明らかにした。加えて、微粒子分を含む破碎貝殻層を用いたCB地盤の長期に渡る毛管上昇の遮断効果を室内実験と数値解析で明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

SDGsでも指摘されているように、地球温暖化、砂漠化など、地球規模の環境問題が重要な課題になっている中で、食料危機に関係する土地の劣化、とりわけ塩類化(塩害 植生枯死 砂漠化)の問題は世界100ヶ国以上の国で発生している。塩害防止工の1つとして、現地で入手可能で礫代替材として活用できる貝殻を用いた砂混入の無い塩害防止工及び根群域の保水性向上と共に、貝殻のカルシウムの土中移動による酸性土壌の改質効果を同時に達成させる貝殻型キャピラリーバリア地盤の開発で、農業が出来ない塩害域の拡大防止と農業生産の向上に大きく寄与でき、地盤工学の分野から世界の食料危機問題に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)： Capillary barrier is composed of a fine grained soil layer and a coarse grained soil layer can be thought as one of the effective method which can prevent salt damage on semi arid regions. Authors found shell-type capillary barrier(CB) which can prevent dry sand from mixing in gap of coarse grained soil layer and keep to block and pool percolating water. This study experimentally reveals effect of blocking salt rise, and calcium which liquates out from crushed shell particles on plant's growth.

And the shell-type CB was composed of crushed shell layer containing fine scallop shell particles has possible to decrease the function. This study elucidated the CB composing of crushed shell particles layer containing fine particles has effect of the long-term capillary from observation in the laboratory experiment and was performed numerical analysis to clarify the water behavior in the specimen.

研究分野：地盤工学

キーワード：キャピラリーバリア 地球温暖化 塩類化 砂漠化 気候変動 不飽和土 貝殻 カルシウム

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現地ですぐに入手または調達に困難な CB 材、特に礫材の代替材として、礫材の不飽和浸透特性と類似した破碎貝殻が利用できることを実験的に見出した。礫代替材として貝殻は、塩害対象国では比較的容易に調達できる可能性があると共に、貝殻の破碎は破碎機等の専用機器は不要で、簡易的な転圧破碎で問題ないことを明らかにしている。破碎貝殻を用いた CB (以下、貝殻型 CB) は、CB 機能による保水力向上と共に、上層の乾燥砂が下部の破碎貝殻層へ混入せず、層境界面を長期維持できる。加えて、主成分が炭酸カルシウムである貝殻は、古くは貝塚で実証されているように、長期間に渡って劣化することが少なく、また破碎貝殻を根群域の下部に用いることで、前述の保水力向上だけではなく、塩害防止工として機能すると共に、効き目は緩やかであるがカルシウムと水分の同時移動に伴う土壌酸度改質も図れる可能性が高い。しかし、この効率的・効果的な塩害防止と農耕地保全の同時達成に貝殻 CB を活用するためには、公表データも少なく未解明である異方性を有する破碎貝殻層の溶解物質の移動特性などについて解明する必要がある。また、最適 CB 仕様と施工・品質管理法の確立も不可欠と言える。

### 2. 研究の目的

地球温暖化、酸性雨、砂漠化など、地球規模の環境問題が重大な課題になっている中で、食料問題に直結する土地の劣化、とりわけ塩類化(塩害→植生枯死→砂漠化)の問題は世界 100ヶ国以上の国で発生し、現在も拡大し続けている。塩害防止工の 1 つとしてキャピラリーバリア (CB) が検討されているが、半乾燥地等における乾燥砂は、下部礫層間に混入しやすく層状地盤の安定性確保が困難である。本研究の目的は、現地で材料調達が可能で、礫代替材として活用できる貝殻を用いた乾燥砂の混入防止、塩類集積防止、根群域の保水力向上と共に、貝殻のカルシウム移動による土壌酸度改質を同時達成する CB 地盤の開発と展開に向けた最適な CB 構造を提案し、塩害拡大防止と農業生産性の向上で食料危機問題に貢献する。

### 3. 研究の方法

(1)室内実験による破碎貝殻の透水性・不飽和浸透特性及び溶解物質の移動特性等の解明→公表データがほとんどない異方性を有する扁平な破碎貝殻の透水性と水分特性曲線及び溶解物質の移動特性を透水試験・保水性試験及び申請者が保有する小型カラム装置により明らかにする。  
(2)塩害防止及び農耕地保全に適した破碎貝殻の粒度特性と同時達成に適した貝殻 CB 仕様の確立→円筒装置を用いて、地盤材料、破碎貝殻の粒度および層厚等をパラメータとした乾湿繰り返し実験を行い、塩害防止工及び農耕地保全対策に適した貝殻の仕様(粒度特性など)を詳細に把握した上で、同時達成に適した貝殻 CB の仕様を定量評価し確立する。また、長期的な乾湿繰り返し実験による貝殻 CB の性能(遮断・改質効果)変化と長期安定性を検証する。  
(3)貝殻 CB の(土/水/空気/溶解物質)連成挙動を精度良く再現できる解析コードの開発・高度化→円筒実験で深度毎に取得した土壌水分計、電気伝導度計および温度計による連続測定データの濃度変化等を再現できる連成解析コードを開発する。  
(4)展開時の品質管理法等の確立と実形式のフィールド実験での塩害防止と農耕地保全効果の検証→展開時の機器等を勘案した貝殻破碎と締固め法の施工管理法及び品質管理法をフィールド実験時の管理データを基に確立する。また、最適な CB 仕様でフィールド実験を行い、塩害防止と農耕地保全の効果を地盤の塩分濃度、カルシウム、水分分布及びミズナ等の植栽実験による草丈、新鮮量、根の乾物量を定量的に評価し検証する。また、貴重な測定データを用いて解析コードの妥当性も検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 貝殻型 CB による水分(塩分)上昇遮断機能の確認実験

##### ①試料

貝殻型 CB 地盤を構成する試料は、鹿島珪砂 6 号(以下、珪砂 6 号と記す)と貝殻である。貝殻は、ホタテ貝(青森産)を用い、80℃の乾燥炉で 24 時間乾燥し、その後自然大気中で 24 時間以上静置して、常温になった後に破碎した。実験に用いた破碎貝殻は、振動ローラで破碎した時の粒径加積曲線を有する貝殻試料と微粒子(ここでは、2mm ふるい目を通過)のみに粒度調整した貝殻試料の 2 種類を用いた。珪砂 6 号と破碎貝殻(2 種類)の土の粒度試験(JIS A 1204)により得られた粒径加積曲線及び土の透水試験(JIS A 1218)で求めた飽和透水係数  $K_s$  を含めた物理的性質は、図-1 及び表-1 に示す。

なお、飽和透水係数  $K_s$  は、後述する確認実験時と同様の乾燥密度になるように供試体を作製した上で求めた。また、内径 10 cm で、高さ 2.5、5.0 及び 10.0 cm の塩ビ製のリングを積み重ねた、全高 90 cm の一次元円筒装置(土柱法の装置)により、珪砂 6 号と破碎貝殻(2 種類)の土壌水分特性曲線(以下、SWCC)を排水・吸水過程共に、自然乾燥状態を初期状態として求めた(図-2 及び図-3)。なお、SWCC において、供試体から排水(または供試体に吸水)が生じる場合、この過程を排水(または吸水)過程と呼ぶ。

##### ②実験概要

図-4 (b)に示すような下端部に注水・排水口を有する鉛直一次元円筒装置(内径 20cm、塩ビ製)を定水位タンク内に静置する。次に、定水位状態の基で円筒装置内の試料の水分移動が完全に定常状態になるまで(本実験では、水位を上昇させた段階(実験開始)から 5 日間)、体積

含水率  $\theta$  の経時変化を土壌水分センサー (EC-5, METER 社製) で測定し、毛管上昇に伴う土中内の水分移動・遮断機能を観察した。実験は、次の 3 ケース (ケース 1~ケース 3) について実施した。すなわち、図-4 の層厚 8 cm の試料 A の部分を、ケース 1: 珪砂 6 号の土層、ケース 2: 重機転圧破碎した後にふるいを用いて 2 mm 未満の微粒子分だけに粒度調整した破碎貝殻層、およびケース 3: 振動ローラで破碎した時の粒径加積曲線を有する破碎貝殻層としたものである。

供試体は、図-4(b) に示す内径 20 cm、高さ 53 cm (最下段のリング容器高さは 13 cm、その上部 2 段は各 20 cm) の塩ビ製の一次元円筒装置で、まず最適含水比 ( $w_{opt}=12.3\%$ ) に調整した珪砂 6 号を、所定の乾燥密度 (締固め度  $D_c=90\%$ ) になるように、手製の突固め板で締固めて作製した。供試体作製時には、各砂層間の密着性向上などを考慮し、各砂層上面をへらで粗し、その上に試料を入れて締固め、順次上層を構築した。珪砂 6 号は厚さ 5 cm を基本として順次締固め作業を繰り返し、ケースごとに所定高さの供試体を完成させた。また、ケース 2, 3 の破碎貝殻層は所定の位置に厚さ 8 cm/層で締固め仕上げた。供試体完成後は、供試体内の水分の蒸発を防ぐために、一次元円筒装置上面に透明ビニールシートを被せ 3 時間静置した。その後、埋設した土壌水分センサーの値に変動がないことを確認した上で実験を開始した。

毛管上昇に伴う円筒装置内土中の水分 (体積含水率  $\theta$ ) 変化を測定するための土壌水分センサーは、供試体作製時に所定の高さに溝堀りを行い設置した。土壌水分センサー周辺の埋め戻しは、センサー周りに空隙を残さないように慎重に突き棒で締固めた。土壌水分センサー 7 台の設置位置と各センサー番号 (下部より No.1~No.7) を図-4(a) に示す。また、試料 A の設置位置は、図-4(a) に示すように 3 ケースともに、一次元円筒装置底板より 30~38 cm (層厚 8 cm) とし、設定水位面から試料 A 層の下面までは 17 cm とした。

### ③ 実験結果

図-5(a)~(c) は、ケース 1~ケース 3 の供試体作製から水分移動がなくなる定常状態 (実験開始から 5 日間) になるまでの体積含水率  $\theta$  の経時変化を示したものである。図-5(a) のケース 1 については、センサー番号 No.2 の測定値が最も早く反応しており、毛管上昇の影響をいち早く受けていると共に、体積含水率  $\theta$  の変化量が最も大きいことがわかる。

また、各センサーについては、地下水位面からの距離にしたがって反応時間が遅くなっていると共に、体積含水率  $\theta$  の変化量も小さくなっている。加えて、最上部に位置するセンサー番号 No.7 の体積含水率  $\theta$  も変化しており、毛管上昇に伴う水分移動の影響が最上部のセンサー位置まで達していることが確認できる。このことから、貝殻型 CB を設置していないケース 1 については、全ての土壌水分センサーに変化が見受けられることから、毛管上昇に伴う水分移動が円筒装置の上部土層まで確認できると共に、水分上昇を遮断するような体積含水率  $\theta$  の挙動は全く見受けられなかった。図-5(b) の破碎貝殻の微粒子分のみで貝殻型 CB 地盤を構築した場合、センサー番号の No.2~No.6 までは前記のケース 1 と同様に、体積含水率  $\theta$  に変化が見受けられ破碎貝殻層上部まで水分の移動が確認できるものの、センサー番号 No.7 の体積含水率  $\theta$  は僅かに上昇しているものの、実験開始前とほとんど変化が無かった。これは、微粒子分だけの破碎貝殻層の透水係数がケース 1 の珪砂 6 号の透水係数に比較して 2 オーダー程度小さいことから、破碎貝殻層を浸透・通過する水分量が非常にゆっくりしており、センサー番号 No.7 の体積含水率  $\theta$  が僅かしか上昇・変化していないものと推察される。

ケース 2 については、礫代替材として 2 mm 未満の微粒子分だけの破碎貝殻層を設けた貝殻型 CB 地盤では、ケース 1 に比較してセンサー番号 No.6 の体積含水率  $\theta$  が反応するまで時間や体積含水率  $\theta$  の変化量も小さいものの、CB 機能は十分には発揮されておらず、ケース 1 同様に毛管上昇に伴う水分移動が貝殻型 CB 地盤の上部まで確認できることから、ケース 2 の貝殻型 CB 地盤では水分上昇を遮断するような体積含水率  $\theta$  の挙動は見受けられなかった。一方、図-5(c) のケース 3 においては、前記のケース 1 およびケース 2 に比較して決定的に異なる点は、

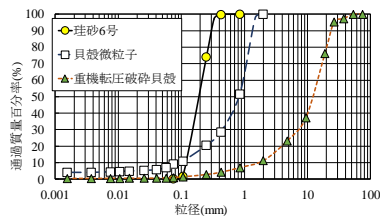


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理的性質

	単位	珪砂6号	貝殻微粒子	重機転圧破碎貝殻
土粒子密度	$\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	2.73	2.70	2.70
50%粒径	$D_{50}$ mm	0.194	0.814	12.9
均等係数	$U_c$	—	10.9	8.56
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$ g/cm <sup>3</sup>	1.540	—	—
最適含水比	$w_{opt}$ %	12.3	—	—
最大間隙比	$e_{max}$	—	1.804	1.687
最小間隙比	$e_{min}$	—	0.638	1.029
設置時乾燥密度	$\rho_d$ g/cm <sup>3</sup>	1.386	1.221	1.090
設置時含水比	$w$ %	12.3	0.2	0.2
透水係数	$K_s$ m/s	$1.62 \times 10^{-4}$	$7.13 \times 10^{-6}$	$3.27 \times 10^{-3}$

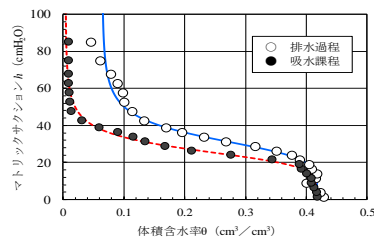


図-2 珪砂 6 号の SWCC

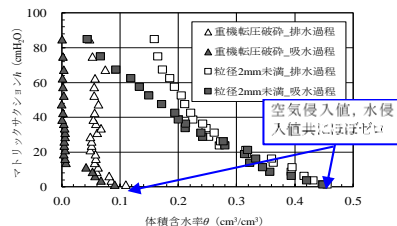
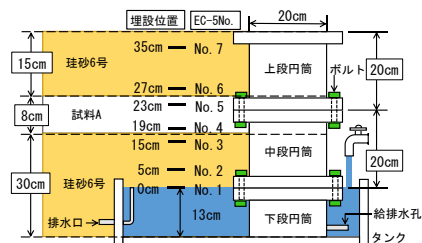


図-3 粒径の異なる破碎貝殻の SWCC



(a) センサー埋設位置と番号 (b) 円筒装置  
図-4 埋設位置, 番号と各土層の厚さ

破碎貝殻層内のセンサー番号 No.4, No.5 およびその上部に位置するセンサー番号 No.6, No.7 については、実験開始から 5 日経過後においても体積含水率  $\theta$  に反応が見受けられず、まったく変化していないことが確認できる。以上より、振動ローラで破碎した時の粒径加積曲線を有する破碎貝殻を用いた貝殻型 CB は、破碎貝殻層下端の層境界面で CB 機能を発揮し、下部から供給される毛管上昇による水分移動が遮断されていることが確認できた。これにより、ケース 3 については、2 mm 未満の微粒子分を 10 数%含んでいるものの、地下水からの供給に由来する塩類集積を防止できることを確認した。

図-6 には実験期間 9 ヶ月における供試体の体積含水率  $\theta$  の経時変化を示す。下部層境界面以下のセンサー (No.1~No.3) の反応から、下部砂層は常に高い体積含水率であることが分かる。なお、上部砂層内のセンサー (No.6~No.7) で体積含水率が減少しているのは、供試体上面から水分が蒸発したためと考えられる。実験開始から 4 ヶ月目に蒸発防止用のテーピングを実施した後は体積含水率  $\theta$  の減少傾向はある程度抑えられたものの、装置やテーピングの微小な隙間から水分が蒸発している。貝殻層内のセンサー (No.4~No.5) の反応を見ると、微小に数値の変動があるが、巨視的に見ると一定の低体積含水率  $\theta$  のまま維持されていることが分かる。したがって、水分上昇による土中水の浸透はセンサー No.3 とセンサー No.4 の間、すなわち下部砂層と貝殻層の境界面にて遮断され続けていることを示す。以上の結果から、室内実験においては、重機転圧による破碎貝殻を礫代替材として用いた場合、CB 効果は継続的に発揮され続け、長期に渡って貝殻層内の微粒子分の影響は受けないことが明らかになった。

(2) 浸透流解析 (HYDRUS-2D, 米国農務省塩類研究所) による毛管上昇遮断効果の再現

①解析条件及び解析モデル

室内実験供試体の解析モデルは、図-4 に示す実験供試体の水位面以上を 2 次元でモデル化した。水位面からの境界面の高さ及び各層の層厚は 4. (1)①の室内実験で用いたデータ及び条件と同じである。周囲を不透水面境界とし、供試体内の水分の蒸発は考慮しないものとする。底面に地下水位を与え、室内実験の条件を再現した。

また、解析の目的は、室内実験における水分上昇遮断効果の再現であり、遮断面である砂層と貝殻層の下部境界面以下の体積含水率  $\theta$  は初期体積含水率の差異に関わらず巨視的に見れば同一であるため、水分遮断効果に影響はない。絶乾状態の場合、体積含水率  $\theta$  の変化が水位面からの水分供給のみに依存するため、水分遮断効果が評価しやすい。そのため、初期圧力分布は各層絶乾状態になるよう与えた。

②水分特性値

SWCC は、van-Genuchten が示した式 (1) の VG モデルを用い図-2, 図-3 の実測値に対し最小二乗法によりフィッティングを行った。

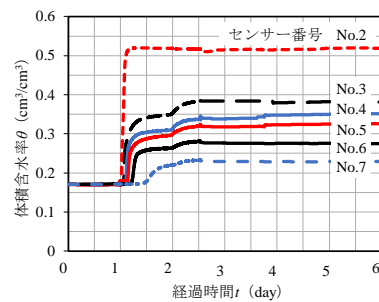
$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + |\alpha \times h|^n)^m} \quad (1)$$

ここで、 $S_e$ : 有効飽和度(%),  $\theta$ : 体積含水率 ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ),  $\theta_s$ : 飽和体積含水率,  $\theta_r$ : 残留体積含水率,  $h$ : 負の圧力水頭(cm),  $\alpha, m, n$ : フィッティングパラメータ ( $m = 1 - 1/n$ , 但し,  $n > 0$ ) である。表-2 にフィッティングにより得られた各水分特性値を示す。これらのパラメータを材料特性値として入力し数値解析を行った。

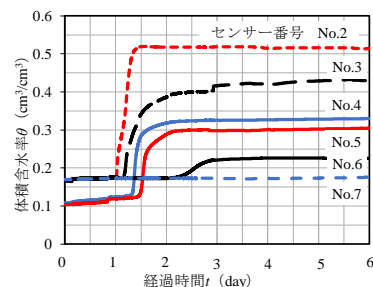
③解析結果

図-7 に解析結果による供試体の体積含水率の経時変化を示す。解析モデル内に、室内実験の各センサーと同様の位置になるよう観測点を配置し、体積含水率の経時変化を再現した。今回の解析モデルは蒸発散を考慮していないのに対し、室内実験は蒸発防止対策をしていたものの装置の微小な隙間から水分の蒸発が発生してしまっている。そのため、センサー No.6, No.7 の数値の変化に差異が生じている。

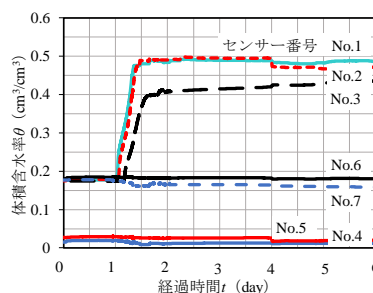
しかし、本解析及び室内実験の目的は CB の水分上昇遮断効果の評価であるため、上部の砂



(a)ケース 1: 珪砂 6号 t=8 cm



(b)ケース 2: 貝殻微粒子 t=8 cm



(c)ケース 3: 重機転圧破碎 t=8 cm

図-5 体積含水率  $\theta$  の経時変化

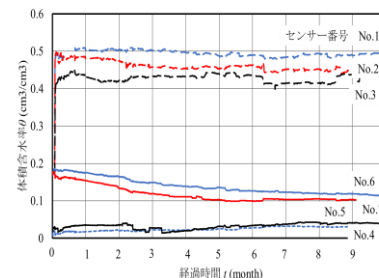


図-6 体積含水率の長期測定結果

表-2 VG モデルのフィッティングパラメータ

	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$
珪砂6号	0.064	0.43	0.044	7.12
重機転圧破碎貝殻	0.00367	0.15	1.21	2.11

層内の体積含水率の差異は特に問題ない。図-6及び図-7のセンサーNo.1～No.5の数値を比較するとほぼ同様の値を示している。このことから数値解析上でも下部砂層と貝殻層の下部境界面で水分上昇遮断効果が継続的に発揮され続けており、本解析モデルは実現象を再現できていることが分かった。したがって、本解析で用いたパラメータ及び境界条件は、今後の実施工のフィールドを再現した長期的な水分上昇遮断シミュレーションを行う際に有効であると評価できる。

(3) 塩分上昇遮断効果とカルシウムがミズナの生育に及ぼす影響

#### ①実験概要

新潟大学農学部の圃場内に建てたビニールハウス内で、砂地盤（圃場砂）を30cm掘削した後、内寸L610mm×W410mm×H310mmのコンテナボックス3個を直列に設置し（写真-1）、各コンテナボックスをビニールホースで直列に繋いだ。その上で、定水位の塩水（濃度調整したNaCl水）タンクにビニールホースで繋いだ。コンテナボックスには、砂の土壌水分特性曲線における吸水過程の水侵入値（ $h_w \approx 8$  cm）を考慮して、地下水位面から10cmの高さ（底面から厚さ15.0cm）まで砂を埋め、次いで、礫または破碎貝殻層は、2.5cm以上の厚さであれば、塩水遮断効果が実験で確認されていることから、図-8に示す厚さ5.0cmの礫または破碎貝殻（青森産）を敷設し、残り厚さ10.0cmには再び砂を埋め戻した。砂のみの場合には、底部から厚さ15.0cmになった後も、引き続き同じ砂を投入し埋め戻した。

また、塩水タンクの水位は、一律コンテナボックス底面から高さ5.0cmになるように設定した。礫層及び破碎貝殻層による塩分遮断機能等をモニターするため、礫層等の底面より1.0cm直下の下部砂層内、礫層等底面より2.5cm直上の礫層及び破碎貝殻層内、ならびに礫層等上面より1.0cm直上の上部砂層内の3か所（図-8①、②及び③）に、電気伝導度（EC）・土壌水分・温度センサーの5TE（Decagon社製）を埋設した。砂のみの地盤においても、比較検討するために同深さ位置に同センサーを埋設した。その後、8月4日に貝殻型CBと礫型CBには、上部砂層に成長したミズナを移植し生育させた後、8月27日から塩水供給を開始した。その後、9月15日まで塩水を供給し続けた後に、ミズナを収穫した。収穫後、ミズナの草丈、新鮮重量及び乾燥重量を各々測定した。ミズナ移植後の8月4日以降については、収穫する9月15日までの間、各コンテナボックスには、半乾燥地を想定して、ビニールハウス内での平均蒸発量4.7mm/dに相当する水量の半分を毎日地表灌水した。

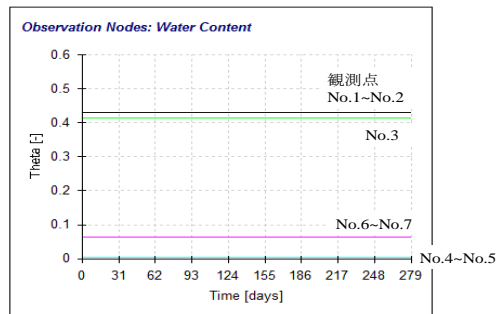
#### ②実験結果（CBによる塩分上昇遮断効果）

図-9は、代表的な上部砂層内のEC値の経時変化を示す。GL-9.0cm（上部砂層内）に設置した5TEセンサーのEC値は、砂のみのケースについては反応・変動しているが、貝殻型CBと礫型CBのEC値は、8月27日に塩水を供給し始めてから、ミズナを収穫する9月15日まで全く反応・変動していないことがわかる。このことから、貝殻型CBと礫型CBともに、CB機能により下部砂層内を上昇してきた塩水は、礫層及び破碎貝殻層の下面で上昇が遮断され、それ以上の上層部に塩水が上昇していないことが確認できた。

#### ③実験結果（溶出したカルシウムがミズナの生育に及ぼす影響）

写真-2 a), b)は、収穫直前のミズナの生育状況である。両コンテナボックスともに、コンテナボックスの両サイドのミズナの生育は、中央部の4株のミズナの生育より小さいことが分かる。これは、礫型CBと貝殻型CBによる相異ではなく、コンテナボックス端の影響を受けて、ミズナの根の生育や養分の吸収等が中央部より悪かったためであると推察される。

また、写真-2のa)とb)を比較した場合、ミズナの葉の緑色に顕著な差があることが確認できる。貝殻型CBでミズナを生育した場合、破碎貝殻から溶出したカルシウムをミズナの根から水と共に吸収したことで、礫型CBで生育したミズナより葉緑体の生成が活発になり、葉の緑色が濃くなったと考えられる。これは、カルシウムは、植物が生育するために必要な養分であ

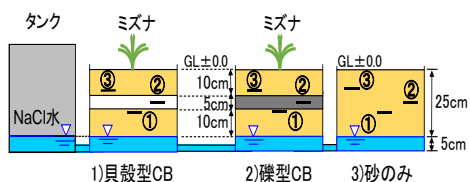


(各観測点は実験時のセンサーの設置位置に対応)

図-7 HYDRUS-2Dによる体積含水率  $q$  の解析値



写真-1 圃場内に建てたビニールハウス内状況



センサー設置深度 ③GL-9.0cm ②GL-12.5cm ①GL-16.0cm

図-8 塩分上昇遮断及び溶出したカルシウムの根群域への供給に伴うミズナ生育検証実験の概要図

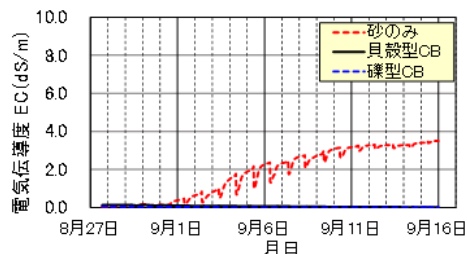


図-9 GL-9.0cm(上部砂層内)のECの経時変化

ると共に、葉緑体を生成する効果があることからも整合している。

次に、表-3 は代表的な新鮮重量に関する測定データから求めた平均値、分散及び標準偏差を示す。貝殻型 CBの方が礫型 CB より重量が重い傾向を示している。

以上より、一般にカルシウムは、酸性土壌を中和させ植物の細胞組織を強化する効果をもたらす。貝殻型 CBは、溶出したカルシウムがミズナの根群域に移動し、根からカルシウムを含んだ水を吸収してミズナの細胞組織が強化されたことで、新鮮重量に有意な差が生じた可能性があるものと考えられる。よって、破碎貝殻から土中水に溶出したカルシウムは、ミズナの生育に好影響を及ぼしている可能性があることを実験的に明らかにした。



a) 礫型 CB



b) 貝殻型 CB

写真-2 移植後 40 日目のミズナの生育状況

表-3 平均値、分散及び標準偏差 (g)

データ数	礫型CB		貝殻型CB	
	8	4	8	4
平均値	20.640	28.235	27.820	35.375
分散	84.319	49.798	88.295	17.438
標準偏差	9.183	7.057	9.397	4.176

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

- ① 松浦慶弥, 小林 薫, 森井俊広: 碎貝殻を用いたキャピラリーバリア地盤の長期毛管上昇遮断効果に関する研究, 土木学会論文集(B3)海洋開発, 2019. 査読有, (掲載決定)
- ② 小林 薫, 鈴木明日香, 松元和伸, 森井俊広: キャピラリーバリア地盤の限界長に着目した細粒な土の選定に関する研究, 地盤工学ジャーナル, 査読有, Vol.14, No.1, pp.43-56, 2019.3, DOI:10.3208/jgs.14.43
- ③ 小林 薫, 松浦慶弥, 松元和伸, 森井俊広: キャピラリーバリア地盤の塩分上昇遮断機能に及ぼす破碎貝殻微粒子の影響, 土木学会論文集(B3)海洋開発, 査読有, Vol.74, No.2, pp.I\_276-I\_281, 2018.9, DOI:10.2208/jscejoe.74.I\_276
- ④ 松元和伸, 井上光弘, 小林 薫, 森井俊広: キャピラリーバリア地盤設計のための数値シミュレーションによる限界長の評価, 地盤工学ジャーナル, 査読有, Vol.13, No.3, pp.193-204, 2018.9, DOI:10.3208/jgs.13.193
- ⑤ 森井俊広, 藤巻晴行, 小林 薫, 松元和伸, 竹下祐二: キャピラリーバリア機能を利用した小規模雨水ハーベスティングシステムの開発, 地盤工学会誌, 査読有, Vol.66, No.4, pp.20-23, 2018.4
- ⑥ 小林 薫, 石沢彩夏, 相馬嵐史, 森井俊広: 貝殻を用いたキャピラリーバリアの塩分上昇遮断とカルシウムが植物生育に及ぼす影響, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 査読有, Vol.73, No.2, pp.I\_899-I\_904, 2017.8, DOI: 10.2208/jscejoe.73.I\_899

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 松浦慶弥, 小林 薫, 森井俊広: 破碎貝殻の微粒子がキャピラリーバリア地盤の塩分上昇遮断効果に及ぼす影響検討, 第 53 回地盤工学研究発表会講演集, pp.985-986.2018.
- ② Toshihiro Morii, Tatsuya Ishikawa, Kaoru Kobayashi, Yoshinori Hanada and Kenta Muto: Water diversion in shallow land waste repository constructed using capillary barrier of soil, Proceedings of the 7th China-Japan Geotechnical Symposium, pp.220-226, 2018.3
- ③ 小林 薫, 相馬嵐史, 松浦慶弥, 森井俊広, 七夕百合子: 半乾燥地における塩類集積防止と同時に植物生育に適したキャピラリーバリア地盤に関する基礎的研究, 日本地下水学会 2017 年秋季講演会講演要旨, pp. 96-101, 2017.10
- ④ 石沢彩夏, 小林 薫, 相馬嵐史, 進藤里歩: 貝殻を用いたキャピラリーバリアによる農業生産性向上に関する基礎的研究, 第 13 回地盤工学会関東支部発表会, pp380-381, 2016.10

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 森井 俊広

ローマ字氏名: (MORII, toshihiro)

所属研究機関名: 新潟大学

部局名: 自然科学系

職名: フェロー

研究者番号 (8 桁): 30231640