

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 9 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580298

研究課題名（和文）

表層吸引溶脱法による節水型除塩技術の開発

研究課題名（英文）Development of technology for water-saving desalinization by surfacesuction leaching method

研究代表者

猪迫 耕二（INOSAKO KOJI）

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：60243383

研究成果の概要（和文）：本研究では、塩類が土壌表面に卓越して集積するという事実に着目し、地表面から少量の水分を供給し、集積塩を溶解させた土壌水を表層から吸引することで塩を除去する表層吸引溶脱法を新たに開発した。その性能評価実験では、供給水の 90%以上を回収でき、塩分については砂土で 80%以上、砂質壤土で 89%除去できた。自然発生した塩害農地に対する実験の除塩率は 60%程度であったが、節水的な除塩技術の基礎は確立できた。

研究成果の概要（英）：In this study, the author focused on the fact that salt accumulation occurred in a very thin soil surface layer and developed a new technology, "Surface Suction Leaching Method (SSLM)", as a water-saving desalinization method for salt-damaged field. In the method, a little water was supplied into soil surface layer to dissolve accumulated salts and it was removed by the instrument of SSLM with dissolved salts. As results of performance experiments, it could remove 80% of salt in sandy soil and 89% in sandy loam soil, respectively. Both of them, more than 90% of supplied water was collected. Although the rate of removing salts in naturally-occurring salt-damaged fields was only 60%, the basic technology for water-saving desalinization method could be established.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農業計画学

キーワード：乾燥地，塩類集積，リーチング，数値実験，溶質移動，土壌物理学

1. 研究開始当初の背景

(1) 乾燥地/半乾燥地に展開する農地にとって、過剰塩の除去は持続的な営農のため必要不可欠な技術である。しかし、既存の方法は、多量の水を利用する溶脱（リーチング）法であり、農地の排水機能が低い場合には、塩類集積を促進させる危険性もある。水資源に乏

しい地域にとってはそもそも利用しづらい方法であるため、技術的に確立されているにもかかわらず十分に活用されているとはいえない。

(2) 塩類集積は土壌表層で卓越している。この事実に着目すれば、土壌表面へ少量の水分を供給し、集積した過剰塩を溶解させ、表層

で保持する高濃度塩水を地表面で吸引除去する、従来法とは全く異なる新しい除塩法が確立できる。

(3)この着想に基づき、新しいリーチング法である「表層吸引溶脱法」を開発し、乾燥地・乾燥地に適した節水型の除塩技術を確認する必要がある。

2. 研究の目的

(1)節水的除塩法である表層吸引溶脱法の概念に基づく試作機を開発する。

(2)試作機による除塩実験実施し、本法の性能評価を行う。

(3)数値モデルによる数値実験と試作機による実証実験から本法の適用の可否・限界を明らかにし、節水型の除塩技術を確認する。

3. 研究の方法

(1)表層吸引溶脱装置の試作を行う。

(2)除塩の実証実験を行う。TDRセンサー、自記テンシオメータ、ECセンサーを挿入できる直径20cmのカラムに試験土壌を充填し、表層2cmにEC15dS/mの塩類集積土壌を別途充填し、人工的な塩類集積カラムを作成する。本カラムに表層吸引溶脱法を適用し、給水時間とそれに続く吸引時間を変化させて、所定の給水量を供給し終わるまで、給水と吸引を繰り返す。吸引終了後、土壌カラムを解体し、最終的な土壌水分、塩分の鉛直分布を明らかにし、除塩率、供給水の回収率を求める。

(3)数値モデル(HYDRUS-3D)を用いて、数値実験を行い、本法における除塩進行過程の理論的解析を行う。

(4)自然発生した塩害土壌に本法を適用し除塩率、供給水の回収率を求め、実用上の問題点を明らかにする。

4. 研究成果

(1)表層吸引溶脱装置の試作

塩類集積の初期段階において、塩は土壌の表層に集積する。この段階においては、表層の集積塩を溶解させて取り除けばよい。したがって、本法では、まず、降下浸透が顕在化しない程度の少量の水を供給し、集積塩を溶解させる。次いで、地表面から高濃度塩水を吸引し、系外へ排出する。図1に表層吸引溶脱装置全体の概要図を示す。表層吸引溶脱装置は、給水部と挿入部、排水部から成る。挿入部の一方は送水ポンプを経由し、給水タンクへ繋がっており、もう一方は排水タンクを経てバキュームポンプへと繋がっている。バキュームポンプを使って吸引された水は排

水タンクに貯留される。

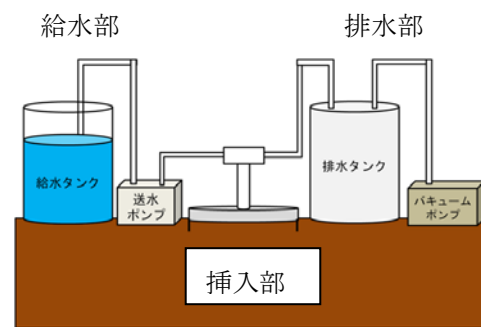


図1 表層吸引溶脱装置の概要図

図2に挿入部の概要と試作機を示した。挿入部の下部には土壌深さ1cmまで挿入できるようにステンレス製のガイドが取り付けられている。下端には透水係数 $6.7 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ のガラスフィルターがはめ込まれており、ガラスフィルターと土壌の間には透水係数 $4.52 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$ のパーサポアフィルター(厚さ0.1mm, 孔径 $3.0 \mu\text{m}$)を敷いている。給水と吸引ならびにそれらの継続時間の切り替えは、装置上部の2方コックを用いて、任意に手動で行う。挿入部には2方コックが付いており、任意に給水と吸引を切り替えられるようになっている。

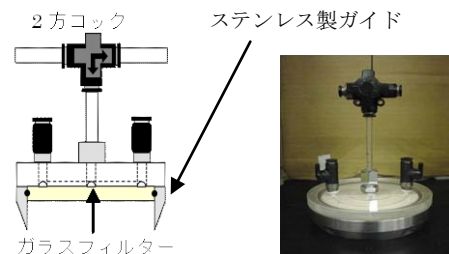


図2 土壌挿入部の概要図と実物写真

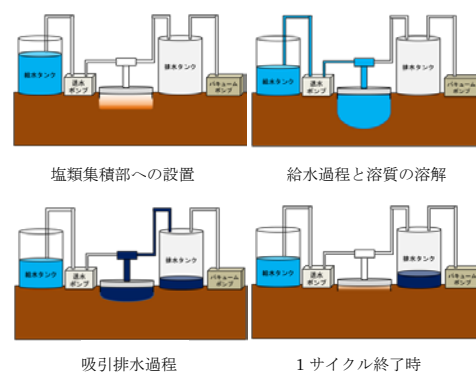


図3 表層吸引溶脱装置の運転手順

本装置の運転手順を図3に示す。まず、①塩類集積部直上に表層吸引溶脱装置を設置

する。②そこへ給水タンクから灌漑水を送水ポンプで送りこみ、土壌中の溶質を溶解させる。③次いで、バキュームポンプで土壌中の高濃度塩水を吸引する。④これを高濃度塩水が吸引できなくなるまで行う。②～④を1サイクルとして、最終的に土壌水が周囲の塩濃度と同程度になるまで除塩作業を繰り返す。

(2) 実証実験

①実験装置

本法の除塩機能の評価のために土壌カラムを用いて実証実験を行った。挿入部と土壌カラムの図を図4に示す。

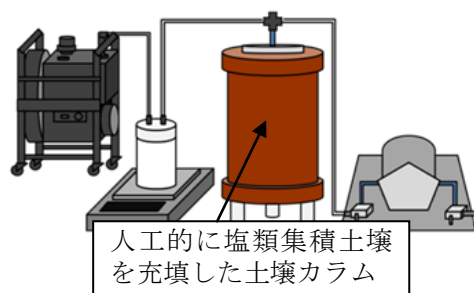


図4 実証実験装置

土壌カラムは直径 15 cm、高さ 50 cmで底部には透水係数 $2.99 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ のガラスフィルターを敷いている。深さ 5, 15, 25, 35, 45 cmにTDRセンサー (MiniTDR-R-L6, CSI), ペン型 4 極センサー (サンケイ理化製), マイクロテンシオメータ (サンケイ理化製) を挿入してデータロガー (CR1000, CSI) で体積含水率, 電気伝導度, マトリックポテンシャルを測定している。TDRセンサーはTDR100 (CSI) を介してデータロガーに接続している。カラム下端には排水のため 27 cm のサクションをかけている。

吸引された水は2方コックと吸引ポンプとの間の排水タンクに貯蔵される。なお、排水タンクは電子天秤に乗せて排水量を適宜計測している。

② 実験方法

初期条件としてあらかじめ自然排水させた土壌 (N層) の上に風乾した塩集積層 (S層) を 2 cm厚となるように充填した。塩には NaCl を使用した。この層の飽和抽出法による電気伝導度 (ECe) を 15 dS m^{-1} に調節した。

試料土壌には鳥取砂丘砂 (砂土), まさ土 (砂質壤土) を用いた。灌漑水には EC 0.09 dS m^{-1} の水道水を使用し, その供給量は 400 g とした。カラム内の土壌の体積含水率 (θ), 土壌溶液の真の電気伝導度 (ECw), 圧力水頭 (cm) は 30 秒間隔で測定し, 排水量は 10 秒間隔で計測した。実験終了後, 排出した水の EC と採取したカラム内の土壌の ECe を測定

した。実験は各土壌に対し 3 通りの条件 (表 1) で行ったが, ここでは S2 と M2 の結果を示す。

表 1 運転条件

		給水フラックス (cm s^{-1})	給水時間 (s)	吸引時間 (s)
鳥取砂丘砂	S1	8.8×10^{-2}	5	115
	S2	5.1×10^{-2}	10	110
	S3	1.3×10^{-2}	10	110
まさ土	M1	5.1×10^{-2}	5	115
	M2	1.3×10^{-2}	10	110
	M3	6.3×10^{-3}	10	110

③ 実験結果

図5に鳥取砂丘砂における結果を示す。実験後の土壌中のECeは深さ 1 cm地点で 0.88 dS m^{-1} , 深さ 2 cm地点で 2.97 dS m^{-1} であった。その低減率は深さ 1 cmで 94%, 深さ 2 cmで 80%であった。吸引した排水量は 370 g であり使用した水は 400 g であることから回収率は 93%であった。回収した水のECは 0.91 dS m^{-1} であった。

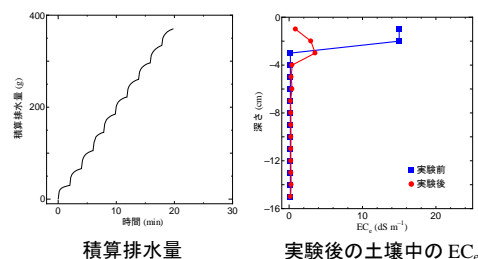


図5 鳥取砂丘砂に対する除塩実験結果

図6にまさ土の結果を示す。実験後の土壌中のECeは深さ 1 cmで 1.67 dS m^{-1} となり低減率は 89%となった。深さ 2 cm地点のECeは 14.9 dS m^{-1} であり, ほとんど変化が認められなかった。深さ 3 cm以降でのECeの上昇も認められないことから, 供給した水が深さ 2 cm地点まで到達しなかったと考えられる。吸引した排水量は 356 g で回収率は 89%で, ECは 0.15 dS m^{-1} であった。

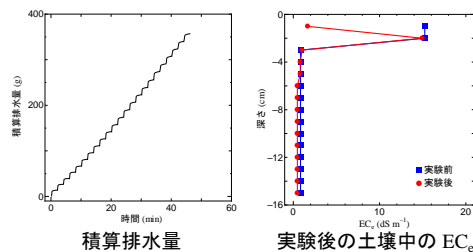


図6 鳥取砂丘砂に対する除塩実験結果

④ 実証実験のまとめ

実証実験の結果から, 表層溶脱吸引装置は, 塩分を下層土壌に流下させることなく系外

へ排出できることが明らかとなった。鳥取砂丘砂では、400gの水を供給することで、表層から深さ2 cmまでの塩分を80%以上除去できた。また、供給水の93%を回収できた。同じく、まさ土の場合では表層から深さ1 cmの塩分を89%除去でき、供給水の回収率も89%であった。

以上の結果から、表層吸引溶脱法を用いることで少量の水で確実に土壌から塩を除去できることが示された。

(3) 数値実験による解析

本法の除塩過程を解析するために、数理モデルHYDRUS2D/3Dコードを用いた数値実験を行った。

① 計算条件

計算領域を実証実験で用いたカラムを想定して直径20 cm、高さ50 cmの円筒形とした(図7)。

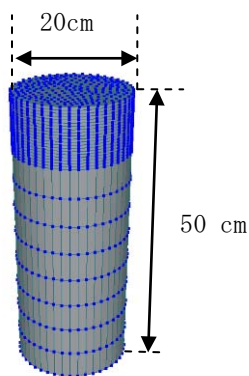


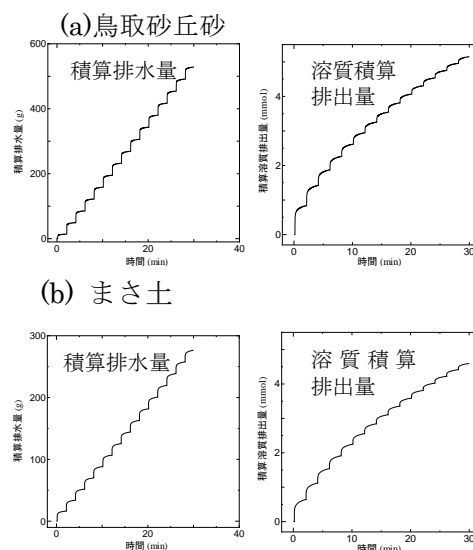
図7 数値実験の計算領域

初期条件は鳥取砂丘砂の場合、上端から深さ2 cmまでの土壌水分ポテンシャルを-500 cmとし、深さ2 cm以降に-55 cmから-27 cmまでの線形分布を与えた。まさ土の場合、上端から深さ2 cmまでを-500 cmとし、深さ2 cm以降には-85 cmから-27 cmまでの線形分布を与えた。塩濃度はいずれの試料の場合でも、上端から深さ2 cmまでを $0.16 \text{ mmol cm}^{-3}$ 、それ以降深さ50 cmまでを 0 mmol cm^{-3} とした。上部境界条件はいずれの場合でも、カラム上端で給水を10秒、吸引を110秒とし、鳥取砂丘砂の場合、給水時のポテンシャルを-20 cm、吸引時で-1000 cm、まさ土の場合、給水時のポテンシャルを0 cm、吸引時で-1000 cmとした。

② 数値実験の結果

鳥取砂丘砂とまさ土の計算結果を図8に示す。鳥取砂丘砂は給水約600 gに対し528 g吸引し、回収率は88%という結果になった。積算溶質排出量は 5.1 mmol であり、 0.83 dS m^{-1} の塩水を排出した計算になる。まさ土は

約300 g給水されて276 g吸引し、回収率は92%という結果になった。積算溶質排出量は約 4.5 mmol で、 1.5 dS m^{-1} の塩水を排出した計算になる。これは実証実験に比べ過大評価であった。



第8図 排水水量と溶質排出量の変化

速度ベクトルの結果(図9)より鳥取砂丘砂では表層から深さ2 cmまでは上向きとなっているが、2 cmを境界に下向きとなっている。これより2 cmまで吸引の影響が及んでいることが確認できる。一方、まさ土では深さ1 cmにまでしかベクトルの値がなく、吸引の影響が深さ1 cmまでしか及んでいないと言える。この結果は実証実験のまさ土において1 cmまでしか吸引できていなかった結果をよく再現しており、適用する土壌の水利特性によって本法の適用限界が推定できることを示している。

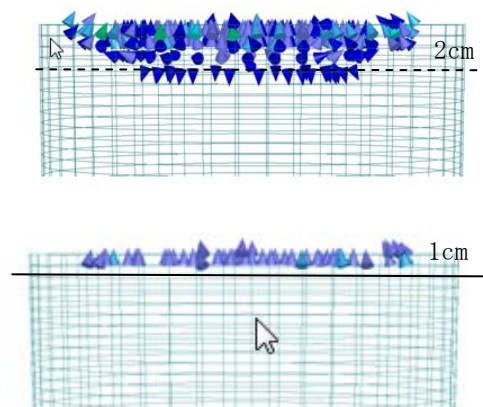


図9 土壌水の水速度ベクトル

③ 数値実験のまとめ

土壌水と溶質の移動現象の数理モデルを用いることで実証実験における水と塩の移動現象が非常に良く再現でき、本法による表層集積塩の除去が可能であることが理論的にも明らかとなった。

(4) 自然発生した塩害土壌への適用

東日本大震災での津波被害によって発生した宮城県 I 市の塩害農地の不攪乱土壌を自然発生塩害土壌とし、これに本法を適用して除塩の可能性を評価した。

① 実験方法

内径 15.0cm, 高さ 31.3cmの塩ビ製カラムを用い、不攪乱状態で土壌をサンプリングした。このカラムに対して、表層吸引溶脱装置をセットし、表 2 の条件で除塩実験を行った。除塩用水には EC 0.086 dS m⁻¹ の水道水を使用した。

表 2 表層吸引溶脱装置の運転条件

土壌	給水フラックス (cm s ⁻¹)	給水時間 (s)	1サイクルの給水量 (g)	吸引時間 (s)	サイクル数
B1	1.27 × 10 ⁻²	20	20	100	10
B2	0.64 × 10 ⁻³	30	15	90	70

② 結果と考察

土壌に供給した除塩水量に対する回収水量の割合は、B1, B2 でそれぞれ 91.4, 98.9% となった。回収水の EC は 1.31 dS m⁻¹, 0.88 dS m⁻¹ であり、塩濃度は除塩用水の 10 倍以上となった。

図 10 に実験前後の表層 10 cm の EC_{1:5} の変化を示した。10 サイクルでの低減率は 24.9% にとどまったが、70 サイクルまで回数を増やすと 61.0% まで増加した。表層の土壌塩濃度は最終的には 1.22 dS m⁻¹ まで低下した。除塩レベルは不十分なものであったが、サイクル数を増やすことで表層の塩濃度を低下させることが確認できた。

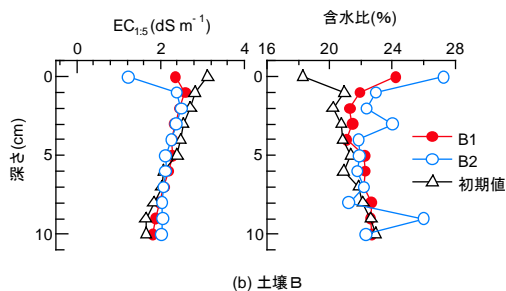


図 10 自然発生した塩害土壌の除塩前後における EC と含水比の分布

③ まとめ

自然発生した塩害土壌に対しては、人工的に作成した塩類集積土壌ほど高い除塩率が得られなかった。しかし、除塩サイクル数を増加させることで除塩率を向上できたことから、実際の土壌に対しては供給水と集積塩との接触時間を確保するなどの改善が必要であることが明らかとなった。

(6) 得られた成果の位置づけと今後の展望

本研究で開発された表層吸引溶脱法は従来法とは異なり、除塩用水のほとんどを回収できるため極めて節水的な方法といえる。手法としては工学的な方法であることから、面的に広大な領域の除塩には適していない。しかし、塩類集積発生初期の段階では、ピンポイントでの除塩が可能になることから、塩類集積に対する早期の処理方法が新たに示された意味は大きい。

一方で、現地土壌への適用においては十分な除塩能力が未だ確保されておらず、実用化のためには、安定的な除塩効率の確保と装置のスケールアップを計る必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Inosako, K., K. Yasunaga, N. Takeshita, T. Saito and M. Inoue, Desalinization of a Salt-affected Field Using a Rice Husk Underdrainage System, *Journal of Arid Land Studies*, 22(1), 2012(6) (in press)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 猪迫耕二, 古市龍一, 齊藤忠臣 表層吸引溶脱法における回収水中の塩濃度変化, 日本砂丘学会第 57 回全国大会講演会, 2011 年 7 月 23 日, 宮崎観光ホテル (宮崎市)
- ② 猪迫耕二, 竹下尚志, 齊藤忠臣 節水的な除塩のための表層吸引溶脱法の開発, 農業農村工学会中国四国支部学会, 2010 年 10 月 27 日, 山口県教育会館 (山口市)
- ③ 猪迫耕二, 竹下尚志, 齊藤忠臣 土壌カラム実験による表層吸引溶脱法の除塩性能の評価, 土壤物理学会, 2010 年 10 月 23 日, 鳥取大学
- ④ 竹下尚志, 猪迫耕二, 齊藤忠臣 数値実験による表層吸引溶脱法の除塩性能の評価, 土壤物理学会, 2010 年 10 月 23 日, 鳥取大学

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 表層吸引溶脱装置用カバー、表層吸引溶脱装置および表層吸引溶脱方法

発明者: 猪迫耕二, 竹下尚志, 齊藤忠臣

権利者: 鳥取大学

種類: 特許

番号: 特許第 4813617 号

取得年月日: 2011 年 9 月 2 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪迫 耕二 (INOSAKO KOJI)

鳥取大学・農学部・准教授

研究者番号：60243383