

令和元年6月11日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07943

研究課題名(和文) 開発途上国への技術移転を念頭においた塩害農地修復法の確立

研究課題名(英文) Establishment of a restoration method of salt-damaged farmlands for technology transfer to developing countries

研究代表者

猪迫 耕二 (INOSAKO, Koji)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号：60243383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、本暗渠として籾殻のみを用いる安価な籾殻暗渠排水システムに着目し、本システムによる塩害発生農地の除塩過程を明らかにし、開発途上国に技術移転可能な塩害農地の修復法の確立することを目的とした。籾殻暗渠を模擬した模型実験と実圃場スケールでの3次元数値実験を行った。その結果、1) 排出口の大きさはシステムの排水能力に影響を与えない、2) 籾殻渠の幅が狭い方が排水口からの流出水量は大きくなる、3) 籾殻渠は塩水移動の迂回路として耕耘層の除塩に有効、4) 籾殻渠の勾配の大きさが排水口からの流出塩水量の増加に及ぼす効果は小さい、5) 籾殻暗渠は耕耘層の除塩にのみ明確な効果を発揮する、ことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界の灌漑農地の多くで塩害が発生している。塩害農地の修復法で最も効果的なのはリーチングであるが、その効果を適切に発揮するには農地の排水能を高める必要がある。そのためには暗渠の敷設が欠かせないが、経済的な余裕のない開発途上国では高価な暗渠資材は利用できず、十分な排水対策がとられていない。本研究では、開発途上国で利用可能な安価な籾殻暗渠システムに着目し、模型実験と数値実験から本システムの除塩過程を明らかにした。また、実スケール規模の3次元数値実験の結果からシステムパラメータが除塩効果にもたらす影響を明らかにした。このことは、開発途上国への技術移転にとって有益な設計情報を提供するものといえる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to clarify the desalinization process of a reasonable underdrainage system using only rice husk as a main drain (RHUS) in salt-affected fields and to establish the restoration method of the farmlands for technology transfer to developing countries. Small model experiments and three-dimensional numerical experiments in field scales were conducted in this study. The results were summarized as follows; 1) the size of the outlet of rice husk drains (RHD) did not affect the drainage capacity of the system, 2) the amount of water discharged from the outlet increased when the width of the RHD narrows, 3) the RHD accelerated desalinization of a tillage layer by working as bypass of salt water movement from the tillage layer to lower subsoil, 4) It is small that the effect of the gradient of the RHD on the increase of the amount of discharged saline water from the outlet, 5) The RHUS was remarkably effective only for the desalinization of tillage layers.

研究分野：水土環境保全学

キーワード：除塩 暗渠 リーチング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

塩害が発生した農地の機能回復に有効な方法の一つにリーチングがある。リーチングは農地に大量の用水を供給し、集積した表層の塩を洗い流す方法であり、通常の灌漑設備を利用できるため、開発途上国でも広く用いられている。しかし、その効果を適切に発揮するには農地が十分な排水能力を有することが前提となる。

したがって、排水能の小さい農地土壤においては暗渠の敷設等で排水能を高めねばならないが、経済的に余裕のない開発途上国では高価な資材を用いる通常の暗渠施設の導入は難しい。

アフリカ・タンザニアにおいて、この問題に直面した研究代表者は、籾殻のみを使用する安価な籾殻暗渠システム(RHUS)による塩害水田の修復を試み、一定の成果を上げた。しかし、RHUSによる除塩機構の解明は不十分であり、そのため、最適な設計法も確立されていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、本暗渠として籾殻のみを用いる安価な籾殻暗渠排水システム(RHUS)に着目し、本システムによる塩害発生農地の除塩過程を明らかにし、開発途上国に技術移転可能な塩害農地の修復法の確立することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 籾殻領域と土壤境界における水分移動現象を明らかにするために、円筒カラムによるリーチング実験を行った。

(2) 小型ライシメータによるリーチング実験と数値実験より籾殻暗渠の形状と土壤水分と塩分の移動との関係を明らかにした。

(3) 実際の圃場サイズに近いスケールで3次元数値実験を実施し、籾殻暗渠の設計諸元が除塩に及ぼす影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 籾殻領域と土壤境界での水分移動

実験方法

実験資材には細粒層として埴壤土を、粗粒層として籾殻および直径3mmのガラスビーズを用いた。実験には、直径20cm、高さ50cmの透明塩ビ製円筒カラム(図1)を用いた。

本カラムの下端から高さ20cmまで粗粒層を敷き詰めその上から含水比を15%に調整した埴壤土を厚さ20cmとなるよう充填した。粗粒層には籾殻(Case M)と直径3mmのガラスビーズ(Case G)を用いた。

このカラムの土壤深さ5cm、15cm、25cm地点に水分センサーを各1本水平に挿入しそれぞれS1、S2、S3とした。また、深さ35cm地点には同じ高さの2本の土壤水分センサーを水平に挿入しS4、S5とした。センサーの測定領域を上部より細粒層上部、細粒層下部、粗粒層上部とし、深さ45cm地点に挿入したセンサーの測定領域を粗粒層下部とした。カラムの下部境界は-100cmの定圧条件とし、上部境界は人工降雨装置を用いた灌水条件とした。灌水は27mm/hの強度で15分間/時間とし、灌水間隔は1時間毎と4時間毎の2条件とした。灌水の継続時間はカラム下部から排水が確認されるまでとした。

結果と考察

Case MとGでほぼ同様の結果が得られたが、粒径が均質なガラスビーズを用いたCase Gでより明確な結果となったため、ここではCase Gの結果を示す。

図2に各層の体積含水率と積算排水量の経時変化を示した。図2(a)より灌水開始250分で表層5cmでの体積含水率の上昇が始まった。その後、470分経過後に15cm深さのS2が上昇し始めた。この時、粗粒層のS3、S4も反応しているが、S2が上昇し続けるのに対し、S3、S4は反応前の値に戻った。このことから470分のS3、S4の反応は粗粒層上部境界から部分流が一時的に侵入したものと思われる。また、S3が反応しなくなった後も境界直上のS2は上昇し続けていることから、細粒層と粗粒層の境界で水が停滞する「毛管遮断」が発生したと言える。その後、境界部が飽和状態に達した700分経過後に装置下端から排水が始まった。このことから毛管遮断効果が消失して粗粒層への

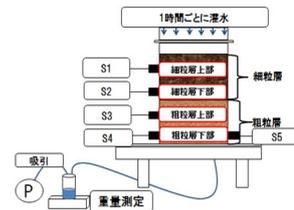


図1 実験カラムの概要

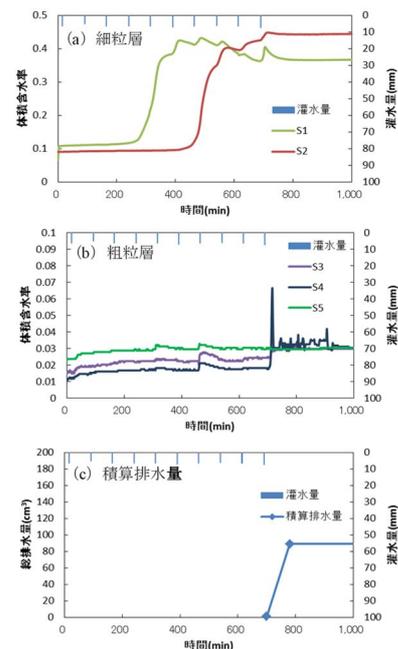


図2 各層の体積含水率の経時変化と積算排水量の経時変化

浸透が始まったことが確認できる．一方で，図 2(b)に示したように S5 のセンサーは反応していないことから粗粒層内の浸透は部分流によるものといえる．

結語

本研究では粒径の異なる成層における浸透実験を行った．その結果，ガラスビーズと粗殻のいずれの場合も 境界において浸透水の一時的な滞留現象(毛管遮断)が生じることが確認された．また，粗粒層内の浸透は部分流によることが明らかとなった．

(2) 粗殻暗渠の形状と土壌水分と塩分の移動との関係

実験方法

深さ 65 cm，幅 50 cm，奥行き 13 cm の小型ライシメータ(図 3)を用いて実験を行った．ライシメータ下端の 5 cm は礫層とし自然排水条件とした．土壌は埴壤土を用いた．粗殻暗渠部に降下浸透水を誘導する集水域(CB 層)を設ける構造(両者をあわせて粗粒領域 CMZ と呼ぶ)とし，CB 層には粗殻または直径 5 mm のガラスビーズを使用し，1/20 の傾斜をつけた．また，土槽の上部に 15 dS/m の塩水を加え風乾した塩類土壌を厚さ 2 cm で客土した．実験は粗粒域なし (Case1)，CB 層も粗殻 (Case2)，CB 層がガラスビーズ (Case3) の 3 通りについて行った．

数値実験には，2 次元の土壌水分・塩分の移動解析モデル(HYDRUS 2D/3D，Ver.2.05)を使用した．水分移動の基礎式には次式を用いた．

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right] + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad (1)$$

ここで， θ ：体積含水率， h ：圧力水頭， $K(h)$ ：不飽和透水係数， t ：時間である．

実験資材の水理特性として，水分保持曲線には van Genuchten の式(2式)を，不飽和透水係数には Mualem の式(3式)を用いた．

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (2) \quad (h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^m \right)^{\frac{1}{m}} \right]^2 \quad (3)$$

ここで， θ_s ：飽和体積含水率， θ_r ：残留体積含水率， α ， n ， m ：実験定数，ただし $m=1-1/n$ ， l ：結合係数， K_s ：飽和透水係数である．

溶質移動の基礎式には 2 次元の移流分散方程式を用いた(式(4))．

$$\frac{\partial C}{\partial t} \left(1 + \frac{\rho_b K_d}{\theta} \right) = -u \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial z} + D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (4)$$

ここで， C ：溶質濃度， u ：平均間隙水流速， D ：分散係数， ρ_b ：乾燥密度， K_d ：分配係数である．水分・溶質移動の計算に使用するパラメータは表 1，2 のとおりである．

表 1 実験資材の水分特性パラメータ

パラメータ	埴壤土	粗殻	ガラスビーズ
θ_r	0.0688	0.0599	0.0100
θ_s	0.438	0.736	0.766
$\alpha(1/cm)$	0.0500	0.261	0.413
n	1.30	3.67	4.84
l	0.5	1	8
$K_s(cm/s)$	2.20×10^{-3}	0.110	0.139

表 2 実験資材の溶質パラメータ

パラメータ	埴壤土	粗殻	ガラスビーズ
$\rho_b(g/cm^3)$	1.10	0.13	1.73
$D_L(cm)$	3.10	0.48	0.00
$D_T(cm)$	0.31	0.048	0.00
$K_d(cm^3/g)$	0.123	0.00	0.00

D_L ：流れ縦方向の分散長， D_T ：流れ横方向の分散長

数値実験では浸透実験と毛管上昇実験を行った．浸透実験と毛管上昇実験の計算条件を図 4 にまとめた．いずれの実験も粗粒領域は全て粗殻である．浸透実験では表層 2 cm に塩類集積層を設定し，灌水強度 8 mm/h，上部境界は大気境界条件，下部境界は浸出条件とした．毛管上昇実験の場合では，高塩濃度地下水を設定し，上部境界は大気境界条件，下部境界を溶質フラックス境界条件とした．

結果と考察

【小型ライシメータ実験】図 5 に各 Case の実験の様子を示した．Case1 ではほぼ一様に流下したが，Case2，Case3 では粗粒領域内を流下する部分流が発生し，そこから下層への浸透が進ん

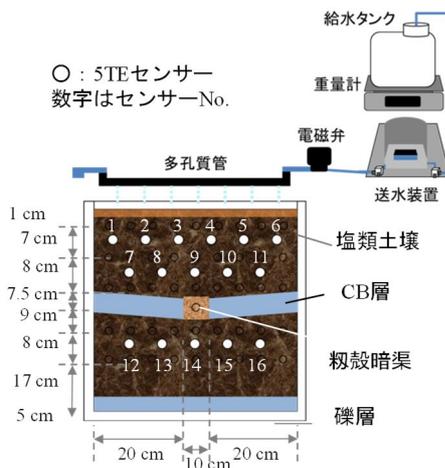


図 3 小型ライシメータによる浸透実験

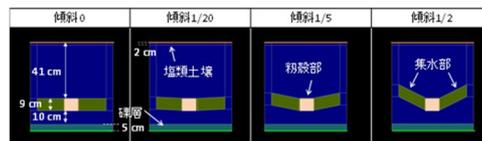


図 4 計算領域

だ．この流れは境界面が傾斜した成層土壌において，毛管遮断により滞留した水が上流から下流へ境界面に沿って流下して集積し，毛管遮断の限界を超えて湿潤になった地点で粗粒領域へ浸潤したものである．部分流の発生は水分や溶質の移動を早めることから，リーチング効果を高めるために重要と言える．

【数値実験】

1) 降下浸透時

粗粒層の上端と下端において体積含水率が上昇し始めた時間の差 T1 は，傾斜 0, 1/20 では 7 時間，傾斜 1/5, 1/2 では 6 時間となった．塩濃度が上昇し始めた時間の差 T2 は，傾斜 0, 1/20, 1/5 で 12 時間，13 時間，11 時間となり，傾斜 1/2 では最も早い 9 時間となった．傾斜 1/2 が水分・溶質の浸透を最も促進させ，水分の移動は 1 時間，溶質の移動は 2~4 時間程度他の条件よりも早くなった．これは，傾斜が大きいほど集水域の上部が表層に近くなることによる．浸透水は集水域へ早く到達することで速やかに粗粒暗渠部に輸送されて下層へ浸透する．集水域の傾斜は早いタイミングでの浸透水の捕集に有効なパラメータといえる．

2) 毛管上昇時

図 6 に勾配 1/2，厚さ 18 cm の時の毛管上昇時の土壌水分と塩分，流速ベクトルの分布を示した．14 時間後まで CMZ 下部において毛管上昇とともに発生していた上向きの流速ベクトルは，その後実験終了時まで消失していた．その間，体積含水率と塩濃度は低下していない．すなわち，毛管上昇水は粗粒に吸水されて CMZ 内で滞留しており，上方への毛管移動は遮断されていたと考えられる．実験終了までに水分の侵入は CMZ 内の下部 4 cm，溶質の侵入は左右垂直境界端 1.5 cm，上端 2 cm，下端 1.5 cm に留まり，CMZ の毛管移動遮断に必要な最低限の厚さが存在することが示された．また，水分移動に比較して，塩分の粗粒領域上部への迂回浸入には時間を要することが明らかとなった．

結語

本研究の結果から，粗粒領域集水域の傾斜が大きいほど降下浸透における粗粒部への水分・塩分輸送は速やかとなる．毛管上昇においては粗粒領域への水分・塩分の浸入は限定的であり，粗粒領域上部土壌への迂回浸入には時間を要することが明らかとなった．

(3) 3次元数値実験による粗粒暗渠の設計諸元が除塩に及ぼす影響の評価．

本研究で対象としている粗粒暗渠システムを設計する場合，粗粒渠の幅や勾配，排水口の口径といったパラメータと除塩効果との関係を明らかにする必要がある．しかし，本システムについては大規模な実証実験の実施が難しい．そこで，圃場スケールに準じる規模での数値実験を行い，リーチング過程における本システム内の諸パラメータと除塩効果との関係について検討した．

実験方法

本研究で対象とした粗粒暗渠排水システムの概要を図 7 に示した．

本システムでは吸水渠の代わりに土中に作成した溝に粗粒を充填した粗粒部を，排除する水と塩の輸送領域として利用する．ここではこれを粗粒渠 (RHD) と呼ぶ．

数値実験には HYDRUS 2D/3D を使用した．ここでは 3次元解析を行うため水分移動の支配方程式である Richards の式は次式となる．

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot [K \cdot (\nabla h + 1)] \quad (5) \quad S_e = w_1(1 + |\alpha_1 h|^{n_1})^{-m_1} + w_2(1 + |\alpha_2 h|^{n_2})^{-m_2} \quad (6)$$

ここで， K : 透水係数テンソル， t : 時間である．また，耕耘が作土層の水利特性に及ぼす影響は粗孔隙の増加に現れると仮定して水利特性モデルには(6)，(7)式を用いた．

$$K(S_e) = K_s(w_1 S_{e1} + w_2 S_{e2})^l \times \frac{[\sum_{i=1}^2 [w_i \alpha_i \{1 - (1 - S_{ei}^{1/m_i})^{-m_i}\}]]^2}{(w_1 \alpha_1 + w_2 \alpha_2)^2} \quad (7)$$

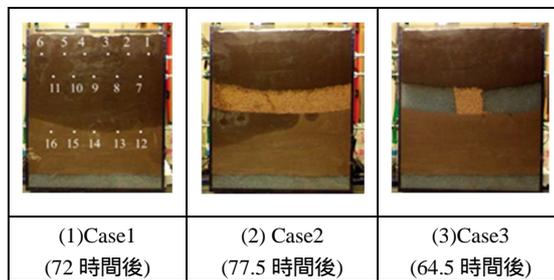


図 5 浸透の様子

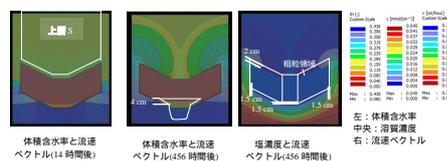


図 6 傾斜 1/2 厚さ 18cm の粗粒領域における毛管上昇時の体積含水率と塩分と流速ベクトルの分布

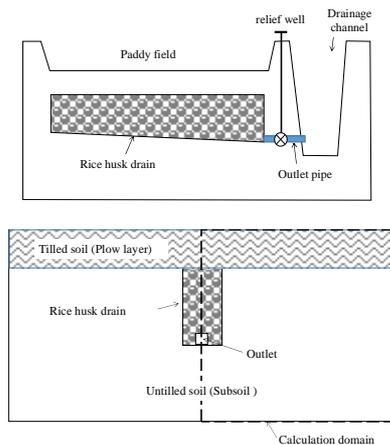


図 7 粗粒暗渠排水システムの概要

ここで、 α_i, n_i, m_i : 実験定数, w_i : 重み付け係数 ($w_1+w_2=1$) である。
溶質移動は次の移流分散方程式で表される。

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \nabla \cdot [\theta D \cdot \nabla C - qC] \quad (8)$$

ここで、 q : フラックス, D : 分散係数テンソルである。
なお、ここでは分子拡散係数は水理学的分散係数に比して小さいため無視できるとした。

図 8 に数値実験の計算領域を示した。上部境界は大気条件とし、下部境界は自由排水とした。側面境界はすべてフラックス無しとし、排水口のみ浸出条件とした。数値実験では、まず、RHD 存在下で全領域の圧力水頭を -10 cm, 土壌溶液濃度を 0.017 g/cm^3 で均一とし、 4 mm/d の蒸発強度が 5 日間継続するものとして蒸発実験を行って初期の水分と塩分の分布を求めた。

次いで、この結果を初期条件としてリーチング実験を実施した。リーチング実験では、 168 mm (間隙体積の 1.4 倍) が作土層に与えられるものとし、リーチング開始前の作土層の含水量を差し引いた 96 mm を総リーチング水量として供給するものとした。計算では強度 48 mm/d で 2 日間リーチングした後に 3 日間再分布期間を設けた。

数値実験で想定した土壌は軽埴土である。計算に使用したパラメータを表 3 にまとめた。

表 3 計算に用いたパラメータ

Parameter	Rice husk	Untilled light clay soil	Tilled light clay soil
θ_s	0.736	0.552	0.597
θ_r	0.067	0.032	0.078
α_1 (1/cm)	0.137	0.0161	0.0916
α_2 (1/cm)	0.117	0.0069	0.020
n_1	1.94	2.57	6.17
n_2	1.94	1.20	1.11
w_1	0.568	0.016	0.271
w_2	0.432	0.984	0.729
K_s (cm/h)	396	0.0972	31.8
l	0.5	0.5	0.5
ρ_b	0.120	1.20	1.20
D_L (cm)	1.0	10.0	10.0
D_T (cm)	0.1	1.0	1.0

図 8 計算領域

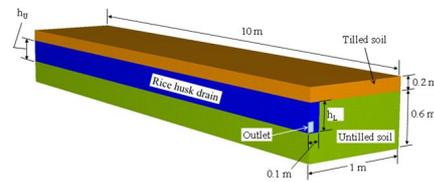


表 4 実験条件

Run No.	Gradient of RHD	Width of RHD (cm)	Area of outlet (cm ²)
Run 1	0	10	25
Run 2	0	10	50
Run 3	0	10	75
Run 4	0	10	100
Run 5	0	20	25
Run 6	0	20	50
Run 7	0	20	100
Run 8	0	20	200
Run 9	1/400	10	50
Run 10	1/400	10	100
Run 11	1/200	10	50
Run 12	1/200	10	100

設計諸元として、RHD の勾配, 幅, 排水口の面積に着目し、RHD の勾配を 0, 1/400, 1/200 の 3 段階, 幅は 10, 20cm の 2 段階, 排水口の面積は 25, 50, 75, 100cm² と 4 段階に変化させて、除塩に及ぼす影響を検討した (表 4)。

結果と考察

Run1 ~ 8 の排水フラックスの時間変化を図 9 に示した。図より、排水口の面積は排水フラックスに影響を与えない。

次に、RHD の幅が積算溶質フラックスに及ぼす影響をみる。図 10 に示したように幅 10 cm の RHD では、幅 20cm の RHD よりも多くの溶質が除去された。しかし、Run2 と Run6 におけるリーチング前後の耕耘層の土壌水分と塩分の量を比較すると、Run6 の耕耘層は Run2 よりもリーチング開始前には土壌水分と塩分を多く保持していたにもかかわらず、48 時間後の Run6 における耕耘層中の残留水分・塩分量は Run2 よりも少なくなっていた (表 5 参照)。すなわち、Run6 は、Run2 よりも耕耘層からより多くの土壌水分・塩分を集めたといえる。

浸出開始から 25 時間後の土壌水分フラックスの速度ベクトルを図 11 に示す。RHD と耕耘層および RHD 側方土層との境界で RHD に向かう流れが発生した。また、RHD の下端では下層に流下する流れも発生しており、排水口からの流出と下層土への流出が発生しているといえる。すなわち、RHD は耕耘層から下層土へ流下する土壌水分・

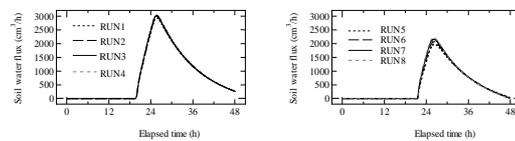


図 9 排水溶質フラックスと排水口の面積との関係

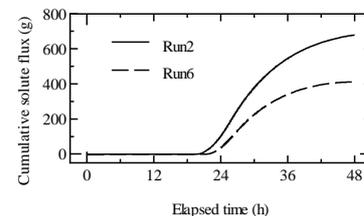


図 10 系外に排出された積算溶質フラックス

塩分の迂回路として機能したといえる。

最後に、RHD の勾配の影響を検討する。例として図 12 には Run2, 9, 11 での溶質の放出フラックスの時間変化を示している。勾配が大きい方がピーク排水速度は大きくなった。1/400 と 1/200 の勾配における溶質フラックスはそれぞれ勾配 0 の 1.17, 1.29 倍であった。このことから、RHD の勾配が大きくなることは、土壌からの塩分除去を増加させることを意味している。しかし、この相違は非常に小さく、開発途上国でのシステムの建設における作業効率を考慮すると、RHD の勾配を増加させることは塩害水田の除塩にとって効果的な手段とは言い難い。

結語

ここでは、RHUS の設計諸元に関する情報を得るために数値実験を行い、排水口の面積、籾殻渠の幅と勾配が土壌水分・塩分の除去に及ぼす影響を評価した。その結果、1) 排出口の大きさはシステムの排水能力に影響を与えなかった。2) 幅の狭い RHD は同量の浸出水を含む幅の広い RHD よりも高い排出能力を示した。3) RHD は耕耘層から下層土への塩水移動の迂回路として働くため、耕耘層から除去される塩水の量は幅の広い RHD の方が幅の狭い RHD よりも大きかった。4) 勾配の大きい RHD は排水口から流出される塩水量を増加させるのに有利であるが、その効果は小さく、実用上配慮する必要はないことが明らかとなった。

(4) 結論

本研究では、本暗渠として籾殻のみを用いる安価な籾殻暗渠排水システムに着目し、本システムによる除塩過程を明らかにし、開発途上国に技術移転可能な塩害農地修復法の確立を目的とした。

得られた結果は次の様に要約できる。1) 1次元場における粗粒層と土壌層の境界では浸透水の一時的な滞留現象(毛管遮断)が発生し、粗粒層内の浸透では部分流が発生する。2) 粗粒領域が存在する 2次元場における土壌水分と塩分の移動では、粗粒領域集水部の傾斜が大きいほど降下浸透における籾殻部への水分・塩分輸送は速やかとなる。毛管上昇においては粗粒領域への水分・塩分の浸入は限定的であり、粗粒領域上部土壌への浸入には時間を要する。3) 実際の圃場サイズに近いスケールでの 3次元数値実験の結果から、排出口の大きさはシステムの排水能力に影響を与えない、幅の狭い RHD は同量の浸出水を含む幅の広い RHD よりも高い排出能力を示した。RHD は耕耘層から下層土への塩水移動の迂回路として働くため、耕耘層から除去される塩水の量は幅の広い RHD の方が大きい。RHD の勾配は実用上有意なほどに除塩に影響しない。

これらのことから、籾殻暗渠システムの導入に当たっては、農地の全層的な除塩ではなく、耕耘層の除塩を主眼とし、系外への排出と下層土への迂回路として籾殻渠を活用すべきであることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Inosako koji, Saito Tadaomi, and Omachi Kana, Analysis by numerical experiments of desalinization of a salt-affected paddy field using a rice husk underdrainage system, Paddy and Water Environment, 査読有, 17(2), doi : 10.1007/s10333-019-00713-6, 2018

[学会発表](計 4 件)

Inosako K., T. Saito, and K. Omachi, Analysis by numerical experiments of desalinization of a salt-affected paddy field using rice husks underdrainage system, PAWEES, Nara, Japan, 2018.11

猪迫耕二・齊藤忠臣, リーチング過程における籾殻暗渠排水システム内の水分と塩分の挙動, 第 73 回農業農村工学会中国四国支部講演要旨集, 43 - 45, 島根県松江市, 2018 年(10 月)

池内令香・猪迫耕二・齊藤忠臣: 土壌中の粗粒領域の形状が土壌水分・塩分の移動に及ぼす影響, 平成 30 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 356-357, 京都府京都市京都大学, 2018(9 月)

池内令香, 猪迫耕二, 齊藤忠臣, 低透水性土壌の迅速排水法における細粒 - 粗粒境界での水分移動特性について, 第 71 回農業農村工学会中国四国支部講演要旨集, 164 - 166, 愛媛県松山市, 2016 年(10 月)

表 5 リーチング前後における耕耘層が保持する水分と塩分量の変化

Elapsed time (h)	Run 2		Run6	
	Soil water (m ³)	Salt (kg)	Soil water (m ³)	Salt (kg)
0	0.699	15.5	0.705	15.6
48	0.786	9.25	0.779	9.05

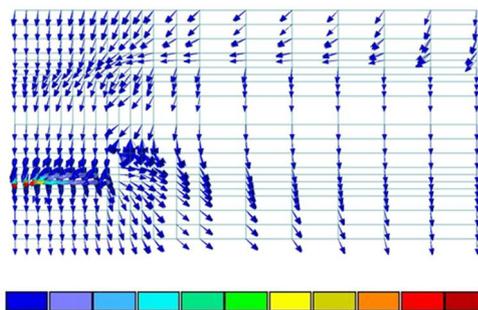


図 11 リーチング開始 25 時間後の土壌水分フラックス(cm/h)のベクトル (Run6)

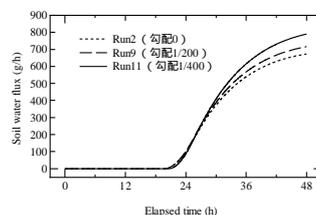


図 12 RHD の勾配と水分・溶質フラックスの経時変化の関係