

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 10 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420530

研究課題名(和文)津波を受けた塩害農地復興のための縦浸透除塩モデルの構築

研究課題名(英文)Development of salt removal model for water infiltration method to recovery a salt affected soil after Tsu

研究代表者

福原 輝幸 (FUKUHARA, TERUYUKI)

広島工業大学・工学部・教授

研究者番号：10156804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で対象とする縦浸透除塩法は大量の水を使うため、円滑な水利計画の実行および除塩の効率化が同時に求められる。本研究では除塩効率の向上のためには実験的および解析的な検討をおこなった。実験では大型土層試験器を使った模擬除塩実験を行い、湛水および排水後の除塩量を算出した。また鉛直2次元水分および塩移動モデルを構築し、暗渠周りの水分および塩分移動を調べた。その結果、実験では除塩に必要な水量は同じでも除塩回数は縮小できる可能性があることが分かった。また構築したモデルにより暗渠周りの塩分動態が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study aims at developing the numerical salt removal model for water infiltration method to recovery a salt affected soil after Tsunami and finding out the effect of the depth of floodwater, H_w , on the salt removal performance. An indoor experiment draws the following two results; (i) The effect of H_w cannot be disregarded. (ii) The number of salt removal (fresh water flooding and drainage) times could be decreased even though mass of the fresh water is same. Also, proposed model can evaluate removal salt mass by water infiltration method. However, it is necessary to improve the model to reproduce salt movement surround culvert pipe with high accuracy.

研究分野：地下水理学、伝熱工学

キーワード：津波 水田 除塩 縦浸透法 除塩モデル

1. 研究開始当初の背景

当該研究の対象となる名取市小塚原では現在でも津波により、営農再開の目途が立っていない。申請者らは農業復興組合の協力を得ながら塩害の調査を実施している。除塩対策に関するアンケートからは、営農再開時期や塩害の再発、除塩効果に関する情報不足を指摘する声が多く聞かれた。また除塩工事は通常、田畑に暗渠を埋設し、淡水を掛け流すことで塩分を下方から排出させる縦浸透法が行われる。その除塩工事の評価は農地10ha当たり表層土壌1箇所の塩分濃度を測定して行われている。しかしながら空間的および時間的に塩分濃度のバラツキが大きく、これでは除塩効果を定量的に把握し難い。

さらに筆者らが2017年12月の宮城県名取市で行った農家へのヒアリングでは水利権の問題から、7年経った今も圃場整備すら着手できていない農地があることが分かった。当該地域で進められている湛水除塩には大量の水を使うため、円滑な水利計画の実行および除塩の効率化が同時に求められる。しかしながら、湛水深や湛水期間については施工者の経験に委ねられる事が多く、除塩効果に関する知見は乏しいのが現状である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、暗渠による除塩効率を最大にするための縦浸透除塩シミュレーションの開発を目的とし、そのために野外実験および室内実験を実施する。同時に、鉛直2次元塩移動モデルを構築し、実験および解析の両面から湛水および排水後の除塩効果を調べることを目的とする。

3. 研究の方法

図-1は縦浸透除塩実験で用いた実験装置の概要を示す。実験ではまずアクリル製の実験装置(内寸:幅900×奥行200×高さ900mm)を製作した。この実験装置に宮城県の水田から採取した土壌を、実際の農地に合わせて、下層から粘土(深さ $z=500\sim 550\text{mm}$)、耕盤および疎水材($z=200\sim 500\text{mm}$)、作土($z=0\sim 200\text{mm}$, 乾燥時平均充填密度: 950kg/m^3)の順に充填した。また疎水材は作土混入率40%の籾殻を用いた。排水管(勾配:1/45)は実験装置中央の $z=430\text{mm}$ に埋設した(表-1を参照)。

土壌塩濃度 $C(\%)$ および土壌内含塩量 $M_{salt}(\text{kg/m}^3)$ を調べるために土壌センサーを図-1に示すように設置した。土壌センサーにより土壌中の体積含水率 $\theta(\text{m}^3/\text{m}^3)$ および誘電率 $\varepsilon(\text{dS/m})$ がリアルタイムで計測されるが、 C および M_{salt} の計算には校正式が必要となるため、予め θ および ε と C の関係をそれぞれ求めておいた。

次に実験手順を述べる。湛水深 $H_w(\text{mm})$ が100mmとなるように海水を模した塩水(3%)を投入し、24時間静置する。その後、暗渠から排水を開始し、24時間後に排水を終了した(これを初期状態とする)。次に、真水を

$H_w=100\text{mm}$ (必要水量 31.4kg)となるように投入し、同様に24時間静置させた後、さらに24時間かけて排水させた。この真水の湛水および排水作業を除塩1回目と称して、合計3回実施した。なお、排水量 $Q_d(\text{kg/s})$ は電子天秤により、湛水中の C は塩分測定器により、それぞれ測定した。また実験終了後には土壌をサンプリングし、炉乾燥法と1:5抽出法により θ および M_{salt} の実測値を求めた。

また室内縦浸透除塩実験と並行して、鉛直2次元塩移動モデルを構築し、暗渠周りの塩分動態を調べた。なお、鉛直2次元の水分移動および塩移動理論は紙面の都合上割愛する。

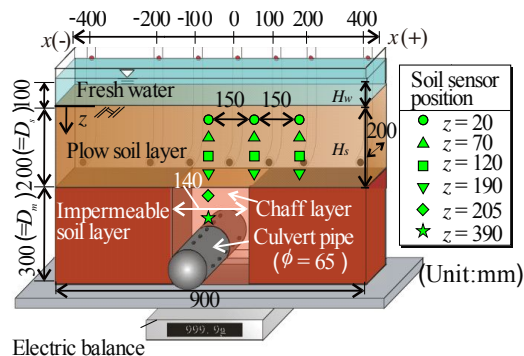


図-1 縦浸透除塩実験概要

表-1 実験条件

土壌センサー詳細	CS655 (TDR式, Campbell scientific社) C-CR1000 (Campbell scientific社)		
土壌センサー設置位置	$x=0$ ($z=20, 70, 120, 190, 205$ および 390mm) $x=150$ および 300mm ($z=20, 70, 120$ および 185mm)		
飽和透水係数	作土 K_s	$7.54 \times 10^{-2} \text{cm/s}$	
	疎水材($R=40\%$) K_m	$2.25 \times 10^{-2} \text{cm/s}$	
湛水深 H_w	(湛水)塩濃度 C	必要水量	湛水/排水時間
100mm	3.0% or 0%	31.4kg	24時間

4. 研究成果

本研究では除塩効率の向上のためにまず大型土層試験器を用いた除塩実験をおこなった。その結果の一例として、図-2に排水量 Q_d の経時変化の一例を示す。図中のは実験値を示す。 Q_d の変化は概ね(i)飽和排水期間、(ii)第一減率排水期間、(iii)第二減率排水期間に分けられ、既往の実験結果1)の再現性が見られた。また Q_d の経時変化(図中の実線)は図中の式により表される。

図-3は $x=0\text{mm}$ (中心部)の作土層の土壌内含塩量 $M_{salt}(\text{kg/m}^3)$ の経時変化を示す。排水1回目に着目すると M_{salt} は塩水の暗渠からの排水に伴い急激に減少する。排水終了時の作土深層($z=190\text{mm}$)の M_{salt} は作土表層のそれに比べて約2.3倍大きい。また、いずれの除塩(排水2回目以降)においても湛水静置期間の作土表層の M_{salt} は増加し、深層の M_{salt} は減少した。これは土壌内の塩濃度勾配による拡散に起因すると推察される。

図-4は除塩1回目における $x=0\text{mm}$ と

300mm の M_{salt} 鉛直分布の経時変化を示す．作土表層の M_{salt} は実験開始直後から減少し，特に飽和排水期間(0 ~ 4min)において顕著である．一方，同期間における作土深層部の M_{salt} の変化は小さく，これは作土上層から深層へ塩が流入したことに起因すると考えられる．また表層付近($z=20\sim70\text{mm}$)に着目すると，端部($x=300\text{mm}$)における M_{salt} の低下は中心部($x=0\text{mm}$)に比べて大きいが， $z=70\text{mm}$ 以深においては中心部の方が M_{salt} の低下は大きくなる．これより，作土表層では中心部ほど，深層では暗渠から水平方向に離れるほど M_{salt} は残留しやすい傾向があることが分かる．

図-5 は除塩回数 n と積算除塩量(積算排出塩量) ΣM_{dsalt} (kg/m^3) の関係を示す．同図より， $n-\Sigma M_{dsalt}$ 関係は図中の式で表され， n が増すにつれて除塩量の増加率は減少する．

各回での除塩量 M_{dsalt} を初期土壤総塩量で除した値を除塩率 R_{salt} (%) と定義し， n との関係を表したのが図-6 である．1 回目に 50% 以上の塩分が排出され，除塩回数が増えるにつれ R_{salt} は減少することが知れる．この結果より暗渠周りの土壤中の塩量は 2 回の除塩作業で 80% 近く排出されることが期待される．これより，実験では除塩に必要な水量と除塩回数の関係について更に調べる必要がある．

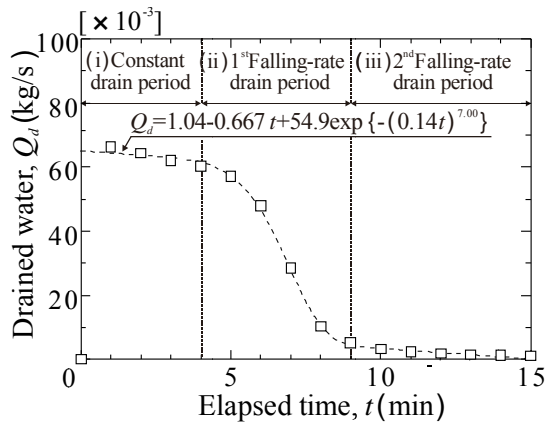


図-2 排水量 Q_d の経時変化

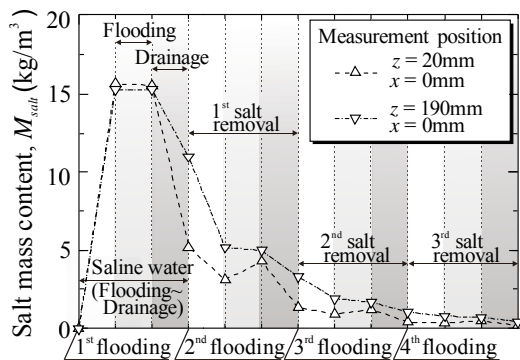


図-3 土壤内含塩量 M_{salt} の経時変化

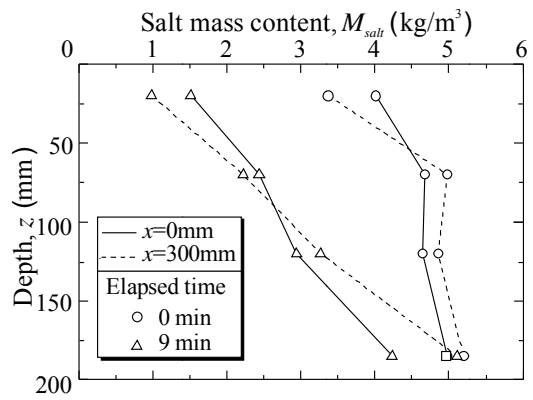


図-4 排水中の土壤含塩量鉛直分布の経時変化

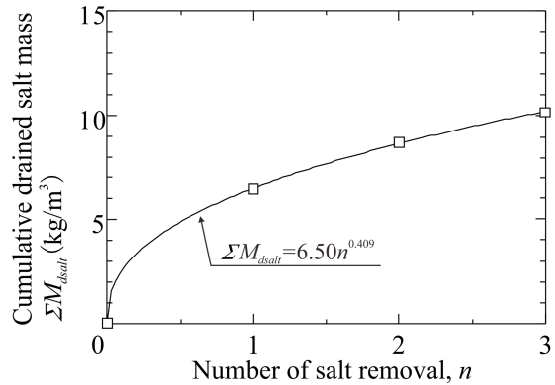


図-5 土壤含塩量 M_{salt} の経時変化

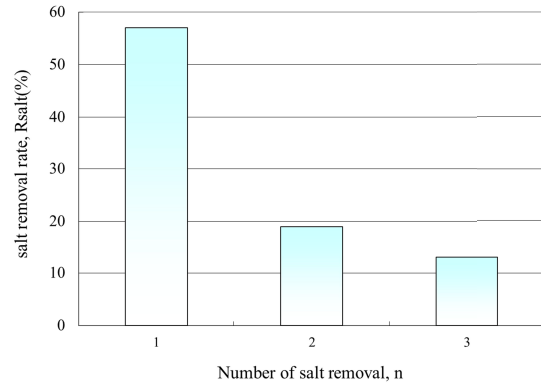


図-6 除塩回数と除塩率の関係

次に，鉛直 2 次元水分および塩移動モデルの構築し，暗渠周りの水分および塩分移動を調べた．図-7 は本研究で構築した塩移動モデルによる塩濃度鉛直面内分布の計算結果の一例を示す．この結果から，水平方向では暗渠から離れるに従って，また鉛直方向では暗渠周りに残塩し易い範囲を推定できることが分かった．なお，さらに精度良く塩濃度分布を予測し除塩の効率化を図るためには，モデルの改良と実験データの蓄積に努め，効率的な除塩方法を実験・解析の両面から検討する必要がある．

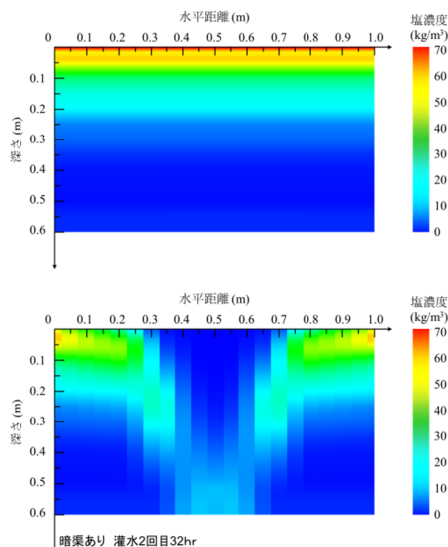


図-7 土壤塩濃度の経時変化の計算例

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6件)

QIHAN QIU, HIROAKI TERASAKI, TERUYUKI FUKUHARA, XIMAN LIU, proceedings of 21st IAHR-APD Congress 2018, Yogyakarta, Indonesia(掲載決定). 査読有

寺崎 寛章, 吉田 淳平, 福原 輝幸: 海水浸水後の水田土壌における縦浸透法の除塩特性, 土木学会第 73 回年次学術講演会講演概要集, 2018(掲載決定). 査読無

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 福原 輝幸: 既存の塩移動数理モデルと湛水塩収支式を利用した水田からの溶出塩量評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, -173, pp.345-346, 2017. 査読無

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 福原 輝幸: 水田土壌における湛水土壌表面からの塩溶出実験, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, -037, pp.73-74, 2016. 査読無

寺崎寛章, 吉兼一晟, 福原輝幸: 暗渠排水量に及ぼす疎水材の透水性の影響, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, -041, pp.81-82, 2016. 査読無

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 竹崎 寛之, 赤尾 拓哉, 福原 輝幸: 津波後の水田土壌の降雨除塩特性, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, -099, pp.197-198, 2015. 査読無

[学会発表](計6件)

QIHAN QIU, HIROAKI TERASAKI, TERUYUKI FUKUHARA, XIMAN LIU, 21st IAHR-APD Congress 2018, Yogyakarta, Indonesia(2018年9月発表予定).

寺崎 寛章, 吉田 淳平, 福原 輝幸: 海水浸水後の水田土壌における縦浸透法の除塩特性, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018(2018年8月発表予定).

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 福原 輝幸: 既存の塩移動数理モデルと湛水塩収支式を利用した水田からの溶出塩量評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 福原 輝幸: 水田土壌における湛水土壌表面からの塩溶出実験, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016.

寺崎寛章, 吉兼一晟, 福原輝幸: 暗渠排水量に及ぼす疎水材の透水性の影響, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016.

仇 啓涵, 寺崎 寛章, 竹崎 寛之, 赤尾 拓哉, 福原 輝幸: 津波後の水田土壌の降雨除塩特性, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等
特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

福原 輝幸 (FUKUHARA TERUYUKI)

広島工業大学・工学部・教授

研究者番号: 10156804

(2)研究分担者

寺崎 寛章 (TERASAKI HIROAKI)

福井大学・学術研究院工学系部門・助教

研究者番号: 40608113

(4)研究協力者

仇 啓涵 (QIU QIHAN)

住化分析技術(上海)有限公司