

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25871100

研究課題名(和文) 津波塩害防止と農地復興を同時に達成するための塩水管理制御システムの開発

研究課題名(英文) Development of a saltwater management system to simultaneously prevent or mitigate tsunami damage and rehabilitate farmland

研究代表者

中矢 哲郎 (Nakaya, Tetsuo)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・その他部局等・研究員

研究者番号：60414447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災津波により被災した地域のうち、地盤沈下した塩害長期化が継続する農地において、圃場内外の地表水から地下に淡水を供給することで海側からの塩水侵入を抑制する手法を提案した。本手法により塩水領域を上昇させることなく畑地の排水が可能であることを数値解析により明らかにした。この手法を現地で運用するためのSCADAシステムを構築した。本システムは地下水ECと地表水のモニタリング値からバルブ、ポンプの自動制御により予防的に地下水に給水制御を行い、塩水領域を低減させるアルゴリズムを実装している。これらの手法は、塩水侵入抑制と農地汎用化を兼ねた塩水対策手法として津波被災農地への適用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a method to limit saltwater intrusion from the ocean by supplying fresh water below the ground surface through irrigation in areas that were greatly deal damaged by the 2011 Tohoku Pacific Ocean Tsunami. In these areas, farmland continues to sustain damage from salt water infiltration as a result of subsidence of the land. Our numerical analysis revealed that it's possible to drain a field without letting the saltwater-freshwater interface rise. To accomplish our goals, we developed a SCADA to implement our method at the site. This system is based on an algorithm for controlling groundwater levels by irrigation, thereby automatically increasing the depth to the saltwater-freshwater interface, by controlling a pump based on monitoring of EC. Our method should be an effective way to reduce saltwater damage in many of the farmland areas affected by the tsunami, particularly if it is complemented by measures to reduce or prevent saltwater intrusion and promote drainage.

研究分野：水工水理学、復興農学

キーワード：塩害 農地復旧 SCADA 東日本大震災 津波 地下水 淡塩境界 海水侵入

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災津波から一年以上経過後も農業地域の復旧面積は3割にとどまっており、宮城県仙台平野等低平地の被災地では地下塩水化の長期化が報告されている。農地の除塩に関しては塩害調査事例や圃場レベルでの塩害対策の研究はなされているが、本格的な営農開始には地区レベルの排水機能回復を含めた復旧の必要性が示唆されている。被災地は一般的な除塩の理論が適用される状況とは異なり、常時、洪水時に運転する大型の排水施設が大きく被災したことに加え、地盤沈下により標高0m以下の箇所が生じ排水不良が生じ、地下水位が上昇している点などを考慮する必要があるが、明確な被害実態把握はなされていない。排水施設や塩水侵入を含めた広域の除塩対策を行うことで、圃場レベルの排水管理も可能となり、汎用農地化や排水強化も併せて行うことで、減災と同時に農業生産性の向上が可能であるため本格的な復興につながる可能性がある。

2. 研究の目的

海水浸透、水路からの塩水遡上、排水不良による残留塩分の影響により塩害長期化が継続する津波被災地において、沿岸付近の農地、排水路におけるリアルタイムモニタリングと復旧状況の現地踏査により、海水浸透の状況と排水系施設の復旧状況の実態を把握する。

この現地モニタリング結果より、排水路や潮遊池の淡水水位変動による地下塩水侵入状況を数理シミュレーションモデルにより把握する。

この数理モデル解析を基に少ない監視箇所から水路・地下の塩水侵入を予測する手法を開発する。この予測結果を基に、広域に分散する監視・制御箇所を SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) により統合し、調整ゲート・

排水ポンプ等の制御により塩水侵入による農地塩害を除去し、かつ排水強化による農地汎用化も兼ねたシステムを開発することで、沿岸農地の早期営農開始を支援することを目的とする。

3. 研究の方法

東日本大震災津波を受けた沿岸農地において、塩害の実態と排水系施設の運転状況や、地下・水路の塩水侵入状況の実態を長期塩分濃度モニタリングと現地踏査から把握する。農地の塩水侵入状況の把握には、電磁探査法を利用した土壌電気伝導度測定器である「EM38-MK2」(Geonics 社製)を用いる(以下 EM38 と略す)。調査結果を基に、陸上での排水路や潮遊池が地下塩水侵入に及ぼす影響を、鉛直二次元の浸透流解析により予測する手法を開発する。広域に分散する監視制御箇所を SCADA により統合して、塩水進入の予測結果に基づくゲート、ポンプ、排水路水位の遠隔操作による農地塩害の抑制が可能な遠隔監視制御システムのプロトタイプを作成する。シ

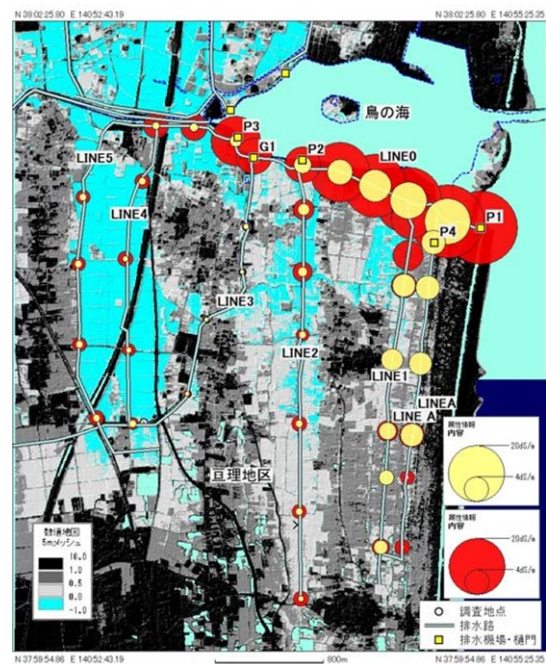


図1 津波被災地の排水路における塩分濃度の変化(非灌漑期(赤丸)より灌漑期(黄丸)の塩分濃度が低下している)

システムの有効性は、現地を想定した模型実験により、システムの安定運用性、データ収集機能、可視化機能、塩水制御機能を検証する。

#### 4. 研究成果

地盤沈下にもなる海水浸透や排水機場復旧の遅れが生じている東日本大震災津波被災農地において、地下水観測孔を設置し、灌漑期、および非灌漑期を通じた地下水塩分濃度、および排水路塩分濃度の変化を、連続モニタリングおよび、定期的な現地計測により把握した。その結果、排水路は海側からの塩水遡上の影響を受けているが、水田灌漑の期間は水路内の塩分濃度が下がる効果を確認した(図1)。図2の宮城県石



写真1 EM38による地下塩分濃度の調査

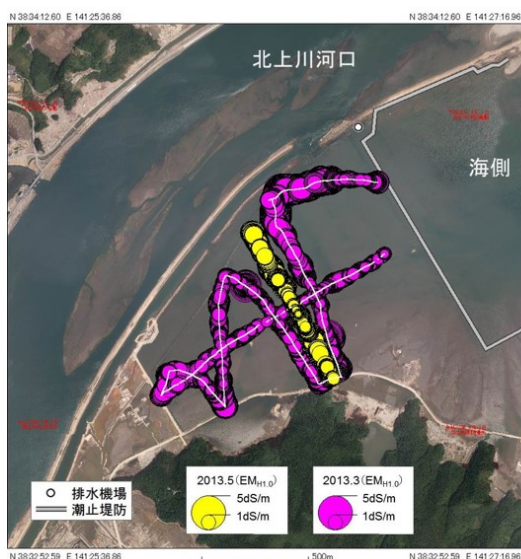


図2 EM38による土壌塩分の調査結果(長面地区)

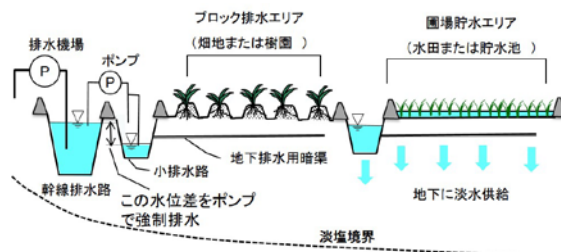


図3 提案した圃場貯水-ブロック排水システム

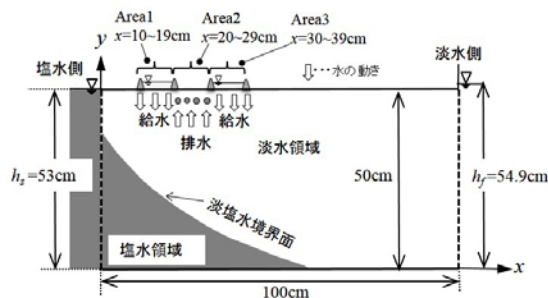


図4 解析モデル(室内実験スケール)

巻市北上川河口域の地盤沈下した農地の干陸中の農地において、EM38により90haエリア内の塩水侵入状況の把握を行った(写真1)。調査は2013年3月、5月に行った。その結果、EM38により測定した干陸中の農地内ECは、表層の0.38m深さまでは作物成長限界の基準上限である4dS/mをわずかに下回っているが、0.75m深さにおいては4dS/mを超えていた。このことは深部の方により高濃度の塩分が存在しており海水浸透の影響があることがわかった。期間の経過とともに、表層、および深層ともに4dS/mを超えたことから現地で行っている矢板による塩水侵入対策が十分でなく、地下からの海水侵入が継続していることが予想された。

現地への塩水侵入の対策手段の一つとして、潮遊池や矢板の代わりに水田や貯水池を圃場内外に配置し、地下に淡水を供給することで塩水侵入を抑制したうえで、畑エリアのみ強制的に暗渠を通じてポンプで排水するブロック排水を組み合わせる、塩水浸入抑制と農地生産性を兼ねた圃場貯水-ブロック排水手法を提案した(図3)。本シ



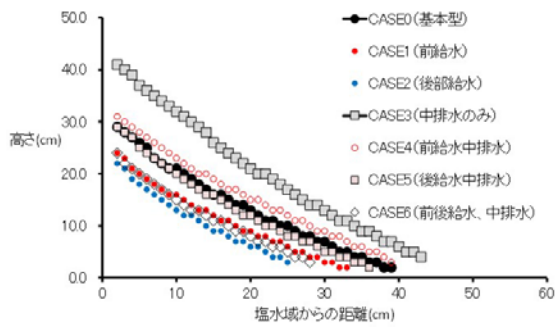


図5 解析結果一覧

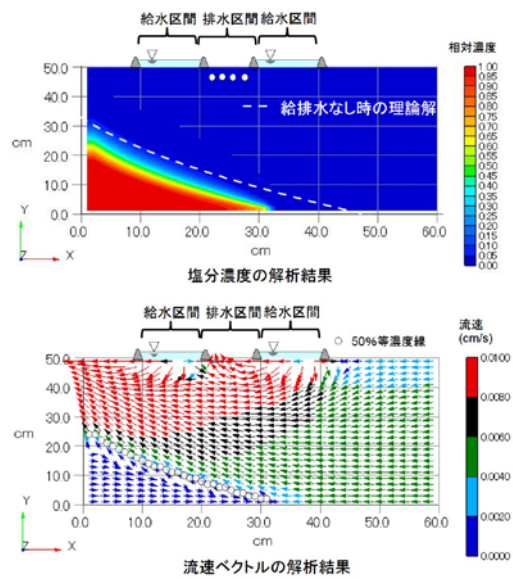


図6 圃場貯水とブロック排水の解析結果 (CASE6)

システムの現地への導入に向けて、非定常地下水解析モデルを作成し、陸域での貯水域、排水域の配置が地下塩水侵入状況に及ぼす影響を検証した。解析条件は図4に示すような室内実験スケールを想定した。海を想定した塩水側からArea1、2、3を設定し、給水、排水位置を変化させ、淡塩境界の侵入域の長さ、厚さの変化を検証した。淡塩境界の解析結果の一覧を図5に示す。強制的に排水を行うことで淡塩境界は上昇するが(CASE3)、この淡塩境界の上昇は、Area1、Area3での給水により給排水なし時の淡塩境界深さ以下に抑制することができることがわかった(図6)。この圃場貯水・ブロック排水手法をSCADA(監視制御データ収集)システムにより再現するための



写真2 作成した圃場貯水・ブロック排水小型模型 (自動通信制御が可能)



写真3 開発したSCADAソフトウェア

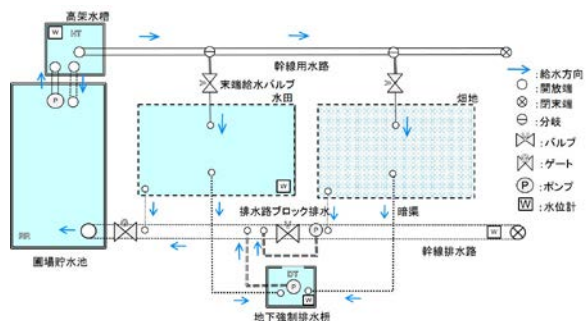


図7 圃場-貯水ブロック排水システムの概要  
プロトタイプ小型模型およびソフトウェアを作成した(写真2、3)。

作成したシステムの設計概要を図7に示す。システムは沿岸低平地の水田灌漑地区を対象としており、まず高架水槽の水位が低下したら一定水位になるまで圃場貯水池からポンプアップし、水田内水位をモニタリングしながら自動給水する。畑地は、地下水位が一定水位より下がった場合に自動給水を行う。また汎用農地化するために、地下水は地下排水升から暗渠を通じポンプによ

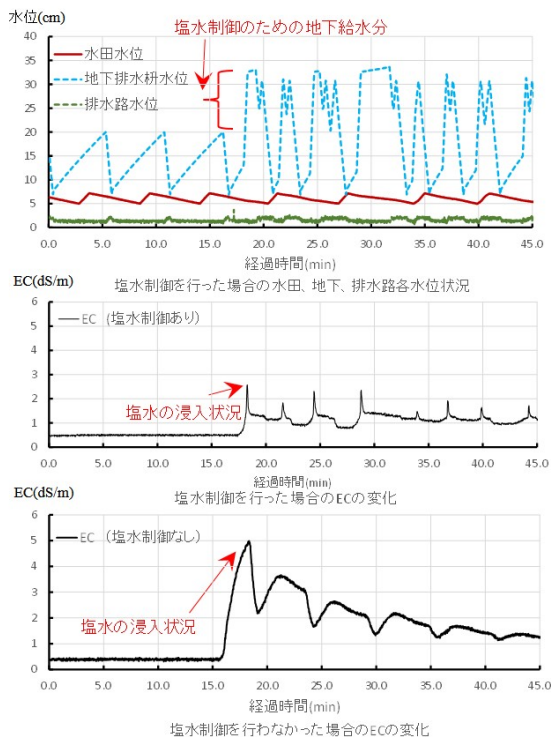


図8 塩水制御の状況

り強制排水を行う。また圃場レベルでの排水のコントロールができるように排水路にもゲートを設け、地下だけでなく地表水のブロック排水も行えるようにした。この排水ゲートとして小電力での遠隔操作が可能ないように樹脂軽量型のラジアルゲートを開発した。これら開発した機能を実装した SCADA システム小型模型の試運転により、データ収集機能、灌漑・排水の制御機能、HMI 画面での制御状況の可視化機能が正常に行われることを確認した。さらに、地下排水柵において海水浸透の状況を EC 値からモニタリングし、閾値を超えたら地下排水柵に給水を行い、圃場周辺の地下水位を上昇させ、畑地の排水位を低下させつつ、塩水進入を抑制するアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムを実装した実験模型の運転により塩水制御効果を検証した結果、図8に示すように、制御を行わない場合は作物に塩害が生じる EC 値である 4dS/m を大きく上回ったが (図8最下図)、塩水制御を行うことで 2dS/m 付近に制御でき、塩害防止機能を確認した (図8

中図)。

これらの、地表水、地下水を含めた除塩のための水管理手法は、沿岸域の地盤沈下地域の塩水浸透を抑制できると同時に、津波被災後に上昇した排水位のうち畑地帯を部分的に下げることによって汎用農地化を行える手法として今後の本格的な復旧復興対策の参考になる。また東日本大震災における圃場レベルでの津波塩害に関する調査、除塩の研究は多数なされているが、今回のような排水施設や塩水侵入を含めた被害実態は解明されておらずまだ事例収集が足りない状況であるため、今後の津波被災後の調査項目として検討されるべきである。こうした、除塩による津波減災と排水強化による圃場レベルの汎用農地化を同時に行う手法は、今後日本のみならず世界的に生ずる可能性のある津波被災後の農業生産性も考慮した復旧復興対策として利用されることが期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計8件)

- ①中矢哲郎, 桐 博英, 安瀬地一作: レベル2津波における沿岸域排水機場の減災対策の検討, ARIC 情報、査読なし、No. 120, 2016. 1、28-33
- ②中矢哲郎: 末端灌漑における拡張性のある水管理制御システムの考案、農村振興 792 号、査読なし、2015. 12、26-27
- ③中矢哲郎, 樽屋啓之: SCADA システムを用いた圃場一支線連携水管理システム開発の展望、JACEM、査読なし、61、2015、15-24
- ④中矢哲郎、携帯型電磁探査機器による地盤沈下した津波被災農地の海水侵入状況調査、農村振興、査読なし、790 号、2015. 10、28-29
- ⑤中矢哲郎、桐 博英、安瀬地一作、津波被災した低平農地の海水侵入状況と用排水管理モデル、ARIC 情報、査読なし、118、2015. 7、12-19
- ⑥中矢哲郎, 桐 博英, 友正達美, 瑞慶村知佳、成岡道男、地盤沈下した津波被災農地の海水侵入状況の調査とその対策、「水と土」技術情報、査読なし、第 173 号、2014、56-60
- ⑦中矢哲郎、桐 博英、安瀬地一作 SCADA (監視制御・データ収集システム) による用排水管理の高機能化、ARIC 情報、査読なし、114 号、2014、26-33
- ⑧中矢哲郎、丹治肇、桐 博英、友正達美、

瑞慶村知佳、地盤沈下した津波被災農地の海水侵入対策の検討、土木学会論文集 B1(水工学)、査読あり、58(4)、2014、I\_1159～I\_1164

〔学会発表〕(計3件)

①中矢哲郎、SCADAによる灌漑排水自動管理システムの開発、応用水理研究部会、2015.12、農林水産技術会議事務局筑波事務所(茨城県・つくば市)

②中矢哲郎、SCADAによる圃場と水源の連携を考慮した水管理手法の研究、平成27年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、2015.8、岡山大学(岡山県・岡山市)

③中矢哲郎、小型SCADAによるポンプ灌漑・排水の高機能化の研究、平成25年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、2013.9、東京農業大学(東京都・世田谷区)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中矢 哲郎 (NAKAYA, Tetsuo)

国立研究開発法人・農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・水利工学研究領域・上級研究員

研究者番号：60414447