

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580359

研究課題名(和文) 塩害農地における除塩事業完了後の塩害対策と高度な除塩技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on the measures against salt damage and advanced desalinization technic in tsunami-hit-farmland after restoration

研究代表者

千葉 克己 (Chiba, Katsumi)

宮城大学・食産業学部・准教授

研究者番号：00352518

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)：2011年に発生した東日本大震災による津波により、多くの海岸堤防が壊れ、沿岸部の農地の大部分に海水が浸水し、宮城県の水田は特に甚大な被害を受けた。宮城県では、約14,000haの農地が被災し、塩害対策が必要となった。また、沿岸部は、地盤沈下により海水を含む地下水の水位上昇による塩害が発生しやすい環境となった。津波被災農地の除塩には、暗渠排水が有効であると考えられた。このため、現地において除塩の効果を検証した。その結果、高い除塩効果があることを確認された。また、地下水位と塩分のモニタリングを行った結果、地下水による塩害を防止するためには、農地の高上げや地下水位を調整する必要があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The damage caused by the massive earthquake and resulting tsunami that struck Japan on 2011 was particularly severe in Miyagi Prefecture, where numerous coastal embankments were broken and large areas of farmland, including paddy fields, flooded with sea water. In Miyagi Prefecture, the farmland about 14,000ha was damaged by the sea water and was waiting for recovering by desalinization. The coastal areas became the salt damage prone environment by land subsidence and rise level of underground water including sea water. In order to remove salt from tsunami-hit-farmland, the underdrain technique would be effective. I tested desalination effect of underdrainage. As a result, it has found that there is a high desalinization effect. I had done the monitoring of the groundwater level and salinity. To prevent salt damage, it was considered necessary raising of tsunami-hit-farmland by soil dressing or control of the underground water level.

研究分野：地域環境工学・計画学

キーワード：東日本大震災 津波 塩害 除塩 暗渠排水 モニタリング

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災の大津波により、青森県から千葉県に至る太平洋沿岸部では約2万4千haもの農地に海水が浸水するとともに、広い範囲で地盤沈下が発生した。宮城県津波被災農地面積は約1万4千haと全国の被害面積の約6割を占め、そのほとんどが地区排水を機械排水(排水機場)に依存する低平地の水田であった。また、宮城県沿岸部には、昔から海水を含む地下水の上昇により塩害が起こりやすい地域がある。この震災では広範囲で地盤が沈下し、相対的に地下水位が上昇したため、海水の浸水による塩害対策に加え、地下水由来の塩害対策を必要とする農地が増加した。

2. 研究の目的

本研究では、津波被災農地の塩害解消および塩害対策実施後の塩害の再発の防止を目的とし、暗渠排水と弾丸暗渠を組み合わせた縦浸透除塩の効果を検証した。また、地盤沈下の影響によって海水を含む地下水の水位が上昇した沿岸部において地下水モニタリングを行い、農地の復旧に必要な塩害対策を考察した。

3. 研究の方法

(1) 高度な塩害対策技術の検証

調査地は太平洋から約4km西側に位置する名取市内の2区画の水田である。津波によって海水が5日間程度湛水したが、がれきや土砂の流入はなかった。調査圃場は暗渠排水が整備された汎用農地である。除塩効果は圃場の水はけの度合に影響されると予想されたため、A区、B区の2つとし、比較することを試みた。A区は既設の暗渠排水のみ、B区は水はけをよくするため、サブソイラという農機を用い2m間隔、深さ40cmで弾丸暗渠を施工した。

調査地では排水施設が機能不全に陥り、灌漑水が利用できなかったため、2011年5月から9月に自然の雨水による縦浸透除塩の効果を検証した。そして排水施設が仮復旧した後の同年11月から12月に灌漑水を利用した縦浸透除塩の効果を検証した。調査は暗渠の排水口に電磁流量計と水質計を取り付け、暗渠排水量と排水の電気伝導度(以下ECという)を測定し、同時に降水量と入水量を測定した。これらはすべて1時間間隔で測定した。降雨終了後に随時、調査区の土壌を採取し、土壌のECを1:5水浸出法(以下土壌EC(1:5)という)で測定した。

(2) 塩害の再発防止対策の検証

調査地は、太平洋から約2km西に位置する山元町の津波被災農地である。2013年春に弾丸暗渠の施工 耕起 水入れ 2日間静水 暗渠の水開解放 塩分濃度の確認、という行程で塩害対策が実施され、6月に大豆が作付けされたが、その後生育不良となり、ほぼ全

滅した。現地調査の結果、暗渠排水の機能が著しく低下しており、土壌EC(1:5)も高く、湿害と塩害を受けたために生育不良となったことがわかった。このため、2013年11月に暗渠排水を再整備し、弾丸暗渠を施工した。その後、2014年5月に縦浸透除塩を実施し、再び大豆を作付けして、除塩の効果を検証した。

(3) 地下水の塩分モニタリング

排水機場の仮復旧により地区排水機能が回復し、暗渠排水を利用して除塩水を確実に圃場外に排水できる農地では縦浸透除塩による塩害対策が着実に進んでいる。しかし、地盤が沈下し、海水を含む地下水が相対的に上昇した農地においては、縦浸透法や溶出法の塩害対策に加えて地下水由来の塩害対策が必要となる。このため、宮城県岩沼市、東松島市、石巻市の津波被災農地において地下水の塩分モニタリングを実施した。

4. 研究成果

(1) 高度な塩害対策技術の検証結果

A区における暗渠からの排水は降雨開始から数時間後に始まり、降雨終了後数日から10日程度で終了していた。排水量は降雨量が大きいときに大きい傾向がみられた。一方、排水量が大きすぎるために排水路の水位が田面近くまで上昇し、暗渠排水が一時停止することがあった。2011年5月から9月における総降水量は741mm、総暗渠排水量は320mmであった。暗渠から排水された水のECは、降雨が始まり排水量が増加すると上昇し、降雨が止み、排水量が小さくなると低下していた。また、ECのピーク値が降雨ごとに低下しており、降雨が土中に浸透して暗渠から排水される過程で除塩が進んでいることが示唆された。期間中の総塩素イオン排出量は1217kg、最大時間排出量は11.0kg/hrであった。2011年5月29日から6月8日における暗渠排水量と塩素イオン排出量の決定係数は0.942であり、高い相関関係が認められた。一方、暗渠排水のECと塩素イオン排出量の決定係数は0.303であり、暗渠排水量と塩素イオン排出量ほど高い相関関係は認められなかった。深度ごとの土壌EC(1:5)は、降雨に伴い暗渠から塩素イオンが排出されるごとに低下していることが認められた。これより、暗渠排水を利用することで津波被災農地から大量の塩分が除去できることがわかった。また、大量の塩分を暗渠から除去するためには暗渠排水量を大きくする必要があったことがわかった。さらに、暗渠排水を利用した縦浸透除塩を効果的に行うためには、暗渠排水が停止しないように排水路や排水機場が機能していることが必要であることがわかった。

B区において弾丸暗渠を施工した後、2011年6月23日から7月5日にかけて総降水量161mm、最大時間雨量20.5mmの降雨があり、A区、B区とも6月23日から7月8日に暗渠

から排水が確認された。A 区、B 区の総暗渠排水量はそれぞれ 133mm、180mm、最大 24 時間排水量はそれぞれ 24mm、31mm と B 区が大きく、弾丸暗渠による排水性の向上効果が表れていた。期間中の塩素イオン排出量は A 区 473kg、B 区 609kg であり、B 区が A 区を大きく上回った（図 1）。また、B 区における深度ごとの土壤 EC (1:5) は A 区と比べ 10cm 以深で EC が早期に低下していることが認められた（表 1）。

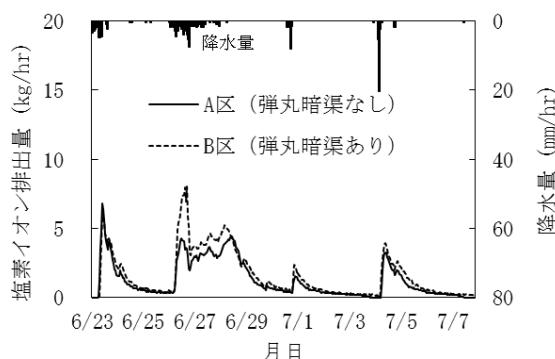


図 1 試験区の塩素イオン排出量

表 1 調査区の土壤 EC (1:5) の変化

調査圃場 (深度)	6月14日	7月9日	
A区	0-10cm	1.5	0.5
	10-20cm	1.1	0.9
B区	0-10cm	0.9	0.3
	10-20cm	1.3	0.6

2011 年 6 月 15 日～9 月 30 日までの A 区、B 区の積算塩素イオン排出量はそれぞれ 776mm、1040mm であり、B 区が大きく上回った。したがって、弾丸暗渠を施工し、暗渠排水量の増大を図ることで土層全体の除塩効果が高まることが明らかとなった（千葉ら、2012）。

調査区では 2011 年 11 月下旬に県による灌漑水を利用する除塩対策が実施された。除塩対策は弾丸暗渠の施工（深さ 30cm、間隔 5m）

耕起 水入れ（湛水深 10cm 程度）暗渠の水閘解放の工程で実施された。A 区、B 区において除塩のために入水された水量はそれぞれ 116mm、129mm であり、代かき用水量とほぼ同じであった。暗渠排水は A、B 区とも水閘を開放した直後に始まり、12 月 2 日までの排水量はそれぞれ 88mm、106mm であった。A 区における最大 24 時間排水量は 55mm であり、除塩対策前の最大値 29mm と比べ大きく増加していた。弾丸暗渠に加え、圃場全体を耕起したことで暗渠排水量が増大したと考えられる。両区の土壤 EC (1:5) はこの対策実施後に 20cm 以深の層で大きく低下したことが認められた。したがって、縦浸透法の効果を高めるためには弾丸暗渠の施工に加え、耕起を実施することが有効と考えられる。また、灌漑水を利用した塩害対策は自然の雨水よりも暗渠排水量を大きくすることが可能

でより高度な除塩を実施できる。

A 区、B 区では、2012 年度から稲作が再開された。両区とも復旧の塩害の再発はなく、その後の生育は順調である。

(2) 塩害の再発防止対策の検証結果

暗渠排水の再整備 弾丸暗渠の施工 縦浸透除塩の実施後の大豆の生育は良好であり、土壤 EC (1:5) も低下していることが認められた（冠ら、2015）。したがって、暗渠排水が劣化している圃場や未整備の圃場において塩害対策を確実に進めるためには、新たに暗渠排水を整備し、弾丸暗渠を施工し、その後に縦浸透除塩を実施することが有効であることがわかった。

(3) 地下水の塩分モニタリング結果

岩沼市寺島地区

調査地は大津波により 20 日程度海水が浸水し、約 0.3m 地盤が沈下し、津波土砂が 0.1m 程度堆積した。昔からしばしば塩分濃度の高い地下水による塩害が発生しており、平成 8 年度からの圃場整備を契機に 0.3m の盤上客土と深度 0.4m に設置する浅層暗渠による塩害対策が実施された（後藤ら、1998）。

2012 年 9 月 10 日から 12 月 25 日における地下水の EC は 20dS/m 以上の高い値を示し、地下水の塩分濃度が高いことが認められた。また、地下水位は毎日朝から夕方にかけて -0.5m 付近に低下するが、夕方から早朝にかけて田面下 -0.2m 付近に上昇していることが認められた。土地改良区への聞き取り調査の結果、この水位変化の原因は排水機場の稼働時間（昼運転、夜停止）によることがわかった。そこで 10 月 17 日以降、排水機場を 24 時間体制で稼働させたところ、地下水位を -0.5m 程度に維持できることがわかった（図 2）。

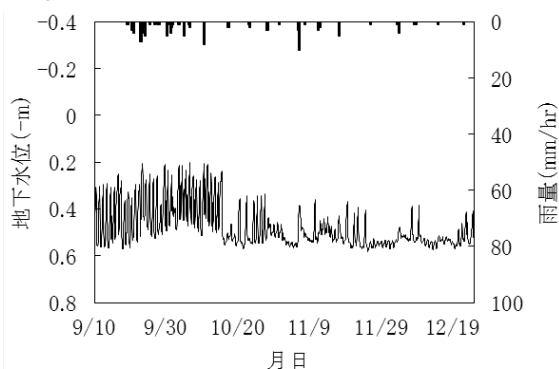


図 2 地下水位の動向

したがって、当地区において縦浸透法による除塩を確実に実施し、農地復旧後に塩害の発生を防止するためには、塩害が発生しないように排水機場の稼働時間を検討し、地下水位を調整することが有効である。当地区は、2014 年春に農地復旧と塩害対策が完了し、稲作が再開された。嵩上げは実施しなかったが、稲の生育は順調であった。なお、塩害対策の

実施および稲作再開後に地下水の EC が低下し、2.0dS/m 程度まで低下したことが認められた。

東松島市大曲地区

調査地は東松島市大曲地内の水田地帯である。0.6m 程度地盤が沈下し、津波堆積土砂が 0.3~0.5cm 堆積している。小排水路は土砂で埋まり機能しておらず、暗渠排水は未整備である。

2013 年 7 月 17 日に土壌 EC (1:5) を測定した。地下水位と EC を 1 時間間隔で観測した。土壌 EC (1:5) は 0-10cm 層で 9.4dS/m、10~40cm で 4.0dS/m 程度と高い値であった。内陸部の津波被災農地では自然の雨水によって除塩が進んでいることが認められているが、当地区ではほとんど除塩が進んでいないことが認められた。2013 年 7 月 17 日から 9 月 30 日の地下水の EC は 35~40dS/m と高く、地下水位は田面より高く上昇することが認められた(図 3)。したがって、塩害対策を確実に行うためには、縦浸透除塩を確実に実施するための暗渠排水の整備と地盤の嵩上げなどが必要であると考えられる。

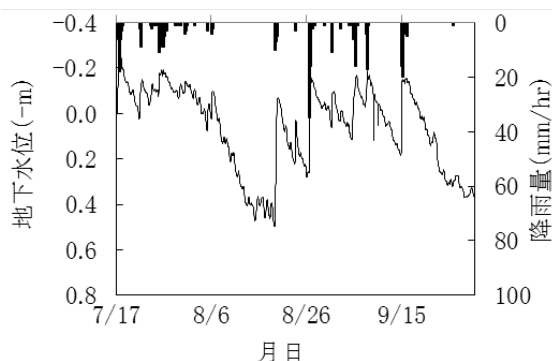


図 3 地下水位の動向

(3) 石巻市長面地区

調査地は 0.9m 程度地盤が沈下し、津波堆積土砂が 0.8m 程度堆積している。堆積土砂は砂である。2011 年 11 月に仮海岸堤防建設に着手し、2012 年 8 月に海水の排水が開始されるまで長期間海水が浸水していた。小排水路は土砂で埋まり機能しておらず、暗渠排水は未整備である。地区排水を担う長面排水機場は震災後しばらく水没し、機能不全状態が続いていたが、2011 年秋に仮復旧している。2013 年 7 月 1 日に土壌を採取し土壌 EC (1:5) を測定した。地下水位と EC を 1 時間間隔で観測した。土壌 EC (1:5) は 0-30cm 層で 0.1dS/m、30-40cm で 0.4dS/m 程度であった。砂であり、雨水が速やかに浸透するため、EC が低下したと考えられるが、作土としてそのまま利用することは困難な土質である。2013 年 7 月 2 日から 9 月 30 日の地下水の EC は約 25 dS/m で推移していた。地下水位はまとまった降雨があると田面以上に上昇し、降雨終了後 -0.2m 程度まで急速に低下し、その後緩

やかに -0.4m 程度まで低下する。当地区も大曲地区と同様に地下水の塩害対策のために地盤の嵩上げなどが必要と考えられた。

<引用文献>

縦浸透除塩の有効性と宮城県津波被災農地の除塩対策、農業農村工学会誌、80 巻 7 号、2012、527-530

冠秀昭、関矢博幸、平直人、千葉克己、大谷隆二、復旧した津波被災水田の畑利用時における土壌塩分の変動、土壌の物理性、査読有、129 号、2015、23-29

後藤徳男、宮内敏郎、塩害対策を考慮したほ場整備の取り組み、第 43 回農業土木学会東北支部要旨集、1998、107-110

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 7 件)

千葉克己、冠秀昭、加藤幸、津波被災農地の復旧に貢献する農業土木技術、土壌の物理性、査読有、129 号、2015、5-12

冠秀昭、関矢博幸、平直人、千葉克己、大谷隆二、復旧後の津波被災農地の畑利用時における土壌塩分の変動と塩害、土壌の物理性、査読有、129 号、2015、23-29

郷古雅春、千葉克己、富樫千之、林貴峰、菅野将央、加藤徹、東日本大震災で津波被害を受けた農地・農業用施設の復旧・復興の現状と課題、査読有、水利科学、2015、342 号、57-81

千葉克己、郷古雅春、冠秀昭、加藤幸、加藤徹、津波被災農地における縦浸透除塩の効果検証および地下水モニタリング、査読有、水利科学誌、2014、120-142

千葉克己、雨水の浸透と暗渠排水システムによる津波被災農地の除塩、水循環 貯留と浸透学会、査読無、91 巻、2014、27-31

千葉克己、冠秀昭、加藤徹、津波被災農地における暗渠を利用した雨による浸透水除塩、土壌の物理性、査読有、121 号、2012、29-34

千葉克己、加藤徹、富樫千之、冠秀昭、縦浸透除塩の有効性と宮城県津波被災農地の除塩対策、農業農村工学会誌、査読有、80 巻 7 号、2012、527-530

[学会発表](計 14 件)

千葉克己、津波被災農地の復旧と農業土木、平成 26 年度地盤工学会東北支部地盤工学講座、2014 年 12 月 20 日、東北学院大学工学部(宮城県・多賀城市)

千葉克己、農業土木分野における問題と対応、2014 年度土壌物理学会シンポジウム、2014 年 10 月 25 日、宮城大学太白キャンパス(宮城県・仙台市)

冠秀昭、関矢博幸、大谷隆二、平直人、千葉克己、海水浸水塩害農地における簡易暗渠

施工に伴う土壌塩分の変動、2014 年度土壌物理学会、2014 年 10 月 25 日、宮城大学太白キャンパス（宮城県・仙台市）

永野一輝、徳本家康、千葉克己、長裕幸、TDT センサーによる高水分・塩測定の評価 - 津波被災農地への適用と課題 -、2014 年度土壌物理学会、2014 年 10 月 25 日、宮城大学太白キャンパス（宮城県・仙台市）

千葉克己、津波被災農地における塩害対策、日本海水学会若手会シンポジウム、2014 年 9 月 29 日、一関文化センター（岩手県・一関市）

千葉克己、加藤徹、加藤幸、冠秀昭、富樫千之、宮城県沿岸平野部の津波被災農地における地下水モニタリング、平成 26 年度農業農村工学会大会講演会、2014 年 8 月 27 日、朱鷺メッセ（新潟県・新潟市）

千葉克己、津波被災農地の復旧の現状と対策、農業農村工学会土壌物理研究部会、2013 年 10 月 25 日、コラッセ福島（福島県・福島市）

千葉克己、加藤徹、富樫千之、加藤幸、冠秀昭、東松島市の津波被災農地における地下水モニタリング、農業農村工学会東北支部、2013 年 10 月 24 日、ラ・プラス青い森（青森県青森市）

千葉克己、加藤徹、加藤幸、冠秀昭、富樫千之、津波被災農地における地下水および塩分モニタリング、平成 25 年度農業農村工学会、2013 年 9 月 3 日、東京農業大学世田谷キャンパス（東京都）

千葉克己、津波被災農地の塩害対策および津波堆積土砂とガレキ対策、農業農村工学会農地保全研究部会、2012 年 11 月 20 日、仙台市管工事会館（宮城県・仙台市）

千葉克己、加藤徹、富樫千之、津波被災農地における地下水の塩分モニタリング、2012 年度土壌物理学会大会、2012 年 11 月 2 日、帯広市とかちプラザ（北海道帯広市）

千葉克己、加藤徹、富樫千之、冠秀昭、津波被災農地における暗渠排水による浸透水除塩、平成 24 年度農業農村工学会大会講演会、2012 年 9 月 19 日、北海道大学（北海道・札幌市）

富樫千之、桜井惇、嶺岸英輝、佐藤香織、千葉克己、加藤徹、宮城県山元町の津波被災畑地における除塩実態、平成 24 年度農業機械学会東北支部研究発表会、2012 年 8 月 30 日、宮城大学太白キャンパス（宮城県・仙台市）

Masaru Mizoguchi, Katsumi Chiba, Yoshiko Muto, UBIQUITOUS MONITORING OF SOIL WATER AND SALT CONTENT IN PADDY FIELDS DAMAGED BY TSUNAMI IN JAPAN、農業工学国際学会、2012 年 7 月 8 日、バレンシア市（スペイン）

〔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

http://myudb.myu.ac.jp/html/142_ja.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 克己 (CHIBA, Katsumi)

宮城大学・食産業学部・准教授

研究者番号：00352518

(2) 研究分担者

なし