J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 129, p.13 ～ 18 (2015)

津波被災農地の復旧に貢献する農業土木技術

千葉克己[1]・冠　秀昭[2]・加藤　幸[3]

Recovery of farmlands from the tsunami damage using the agricultural engineering technology

Katsumi CHIBA[1], Hideaki KANMURI[2] and Koh KATO[3]

1. はじめに

宮城県沿岸部には広大な水田地帯が広がる．宮城県を代表する米どころであるが，海抜 0 m 程度の農地が多いため，かつては水害が起こりやすかった．こうした低平地水田地帯の排水条件を改善するため，昭和 40 年代ごろから国や県は沿岸部に排水機場の建設を進めた．また，平成以降は水稲，大豆，麦類の水田輪作農業に対応するため，圃場整備による水田の汎用化を進めた．その結果，宮城県沿岸部は現在のような優良な穀倉地帯となったのである．しかし，先人たちがつくりあげてきた穀倉地帯と農業排水システムは東北地方太平洋沖地震に伴う大津波に襲われた．

大津波は青森県，岩手県，宮城県，福島県，茨城県，千葉県の沿岸部に甚大な被害をもたらした．宮城県の農業被害額，流失・冠水被害面積は全国の約 6 割を占めた．しかし，宮城県内では震災発生直後から農地・農業用施設の復旧作業が進められ，現在まで約 8 割の農地が営農再開可能となっている．そして農地・農業用施設の復旧の現場においては農業土木技術が重要な役割を果たしている．

宮城県の津波被災農地の復旧に貢献している排水機場の復旧，暗渠排水，心土破砕，地下水モニタリング，除礫，反転耕，客土などの農業土木技術を解説する．

2. 排水機場の復旧による地区排水機能の回復

宮城県の沿岸部の農地・農業用施設の復旧において最優先事項だったのが排水機場の復旧である．宮城県では沿岸部に配備されている 69 の排水機場がすべて被災し，沿岸部の地区排水機能が著しく低下したため，復旧作業，塩害対策などの実施は排水機場の復旧が前提となった．被災した排水機場では専門家によるポンプの修理が進められた（Photo 1）．宮城県において 2011 年秋から本格的な農地の復旧工事に着手し，現在まで約 8 割の農地が復旧した背景には国と県が排水機場の復旧を早期に実現し，地区排水機能を回復させたことが背景にある（菅原ら, 2012）．

3. 塩害対策と暗渠排水および心土破砕

暗渠排水は，地下に設置した導水管によって土壌中の過剰な水分を排水路に導く工法であり，水田の汎用化に必要不可欠な農業土木技術である．宮城県における標準的な暗渠排水システムは Fig. 1 のように 10 m 間隔で施工された本暗渠が土壌中の過剰な水分を吸水し，集水渠を通じて排水路に導くシステムである．集水渠の末端には水閘と呼ばれる栓があり，稲を栽培するときは湛水するために水閘を閉め，畑地利用のときは圃場の浸透性を高めるために本暗渠と交わるように心土破砕（弾丸暗渠）を施工し，水閘を開放する．弾丸暗渠は Fig. 2 のように本暗渠の疎水材と交差させることが重要である．弾丸暗渠は 1 ha 区画に本暗渠が 1 本しかない圃場においても密に施工することで圃場全体の地下排水機能を向上させることができる（千葉ら, 2006）．



Photo 1　修理中のポンプ（2011.6.10（亘理町））．

[1]School of Food, Agriculture and Enviromental Sciences, Miyagi University, 2-2-1 Hatadate, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi, Japan. Corresponding author: 千葉克己, 宮城大学食産業学部.
[2]NARO Tohoku Agricultural Research Center, 4 Akahira, Simokuriyagawa, Morioka Iwate, Japan.
[3]Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, 3 Bunkyocho, Hirosaki, Aomori, Japan.
2015 年 2 月 2 日受稿　2015 年 3 月 3 日受理

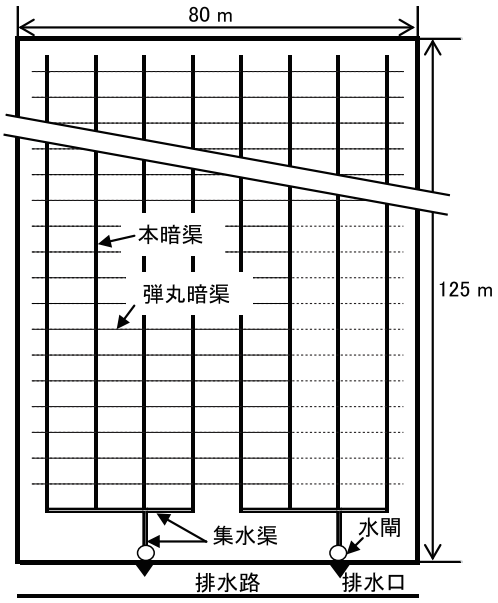


Fig. 1 暗渠排水システム.

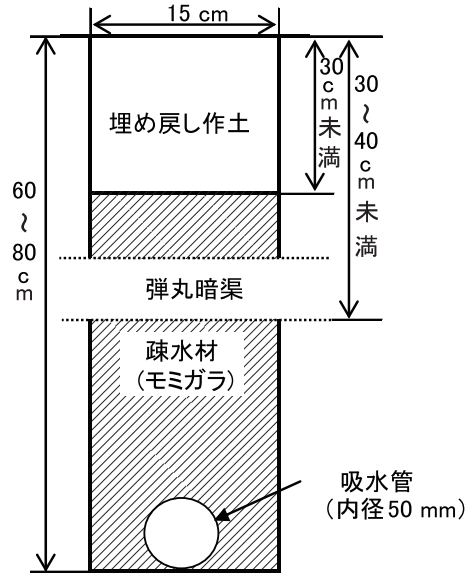


Fig. 2 本暗渠の構造と弾丸暗渠.

Table 1 除塩事業前後の土壌 EC（dS m^{-1}）.

圃場	深度 （cm）	10/11	12/2
弾丸暗渠 なし	0 ～ 10	0.3	0.1
	10 ～ 20	0.8	0.3
	20 ～ 30	2.5	1.1
	30 ～ 40	2.0	1.2
弾丸暗渠 あり	0 ～ 10	0.2	0.2
	10 ～ 20	0.7	0.5
	20 ～ 30	2.1	0.8
	30 ～ 40	1.8	0.8

塩害対策（水入れ）期間：2011.11.25 ～ 27

塩害対策には土壌中の塩分を下方に押し流す方法（縦浸透法）と塩分を湛水させた水に溶出させ落水する方法（溶出法）がある．縦浸透法は水はけの悪い圃場では効果が低いという短所があり，溶出法は除塩が可能な範囲は代かきの及ぶ 10～15 cm 程度とされ，下層の除塩が難しいという短所がある（農山漁村文化協会編, 2012）．縦浸透法の短所を改善し，津波被災農地の復旧に役立っているのが，暗渠排水と弾丸暗渠である．Fig. 3 は弾丸暗渠（深さ 40 cm，2 m 間隔）を施工した圃場と弾丸暗渠未施工の圃場において，2011 年 6 月から 7 月の降雨時に確認された本暗渠からの塩素イオン排出量である（千葉ら, 2012）．弾丸暗渠ありの圃場も弾丸暗渠なしの圃場も雨水が土壌に浸み込む過程で塩害の原因となる土壌中の塩素イオンが水に溶け，塩分濃度の高い状態となって本暗渠に達して排出されている．また，弾丸暗渠ありの圃場は弾丸暗渠なしの圃場に比べ暗渠排水量と塩素イオン排出量が大きく，除塩効果が高いことがわかる．

2011 年 11 月，これら 2 筆の圃場では県による除塩事業が行われた．その方法は，弾丸暗渠の施工（深さ 30 cm，間隔 5 m）→ 耕起 → 水入れ（湛水深 10 cm 程度）→2 日間静水 → 暗渠の水閘解放，という縦浸透法であった．この塩害対策前後の各圃場の土壌 EC（1 : 5 水抽出法）を Table 1 に示す．両圃場において深度 40 cm までの土壌 EC が低下したことが認められる．自然の雨水でも除塩は進むが，湛水後，急速に本暗渠から排水を行う方法はより除塩効果が高いといえる．また，弾丸暗渠の施工とともに，耕起にも圃場の透水性を高める効果があるため，併せて実施することが除塩に有効であると考えられる．

宮城県において 2011 年春（震災直後）に実施された塩害対策は，水入れ → 代かき作業 → 落水 → 塩分濃度の確認，という溶出法であった．土壌 EC の目標値は 0.3 dS m^{-1} 以下とされた（石巻農業改良普及センター, 2011）．この塩害対策の実施後，稲を栽培した水田では塩害は発生せず，また湛水中には縦浸透法の効果が発現し，土壌 EC が低下した水田が多くみられた．しかし，一部の大豆転作畑では塩害が発生し，大豆が枯死した．下層に残留した塩分が作土層に上昇し，塩害を発生させたと考えられている（星 · 遊佐, 2012）．したがって，溶出法を実施した直後の畑地利用は避けるべきであり，畑作物を栽培する場合は縦浸透法を併せて実施すべきである．また溶出法の実施によって，排水路と田面に落差がある圃場整備済み水田では作土層の土壌 EC が目標値以下に低下したが，田面と水路に落差のない未整備水田（用排兼用水路の水田）では目標値に達しない水田がみられた．地表排水が進まず，除塩水が圃場外に排出されにくかったことが原因と考えられている．

これらの結果を受け，2011 年秋からの塩害対策は縦浸透法が主流となった．以後，塩害対策は着々と進んでいる．しかし，縦浸透法は本暗渠が整備された浸透性の高い水田では容易に目標値に達するものの，本暗渠の排水機能が低下している水田や暗渠排水未整備水田ではなか

なか目標値に達しないことがある．これは除塩水の浸透が進まないことが原因であり，本暗渠の排水機能が低下した圃場において新たに本暗渠と弾丸暗渠を施工し，圃場の水はけをよくすると除塩が進むとされている（冠ら，2014）．

したがって，沿岸部の農地は津波や高潮などで海水が浸水しても早期な塩害対策ができるよう暗渠排水の整備を進めておくことが重要と思われる．暗渠排水を整備し，水田の汎用化を進めることは，沿岸部の農業の復興にも大きく寄与する．

4. 塩害対策とモニタリング

塩害は津波や高潮などによる海水の浸水だけでなく海水が混入した地下水の水位上昇により発生することがある．宮城県沿岸部では，広い範囲で地盤が沈下し，地下水位が相対的に上昇したため，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農地が増加した．

このような地域における塩害対策を講じるためには地下水のモニタリングなどを行い，その動態を把握することが必要である．宮城県岩沼市と石巻市の津波被災農地において行った地下水モニタリングで明らかになったことを紹介する．

4.1 岩沼市寺島地区

調査地は津波により 20 日程度海水が浸水し，約 0.3 m 地盤が沈下し，津波土砂が 0.1 m 程度堆積した水田である．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，1996 年度からの圃場整備を契機に 0.3 m の嵩上げと深度 0.4 m に設置する浅層暗渠による塩害対策が実施された（後藤・宮内，1996）．

地下水観測井を設け田面から 0.7 m の深さに EC センサ（デカゴン社製 5TE）と圧力式水位計（メテオ電子社製デジタル水位記録計）を設置し，地下水の EC と地下水の水位変化を 1 時間間隔で観測した．

2012 年 9 月 11 日から 12 月 25 日における地下水の EC を Fig. 4 に示す．地下水の EC は 20 dS m^{-1} 以上の高い値を示しており，地下水に海水が浸入していることが認められる．Fig. 5 に地下水位の動態を示す．9 月 10 日から 10 月 16 日までの地下水位は毎日朝から夕方にかけて深さ 0.5 m 付近に低下し，夕方から早朝にかけて 0.3 m ほど上昇していることが認められる．

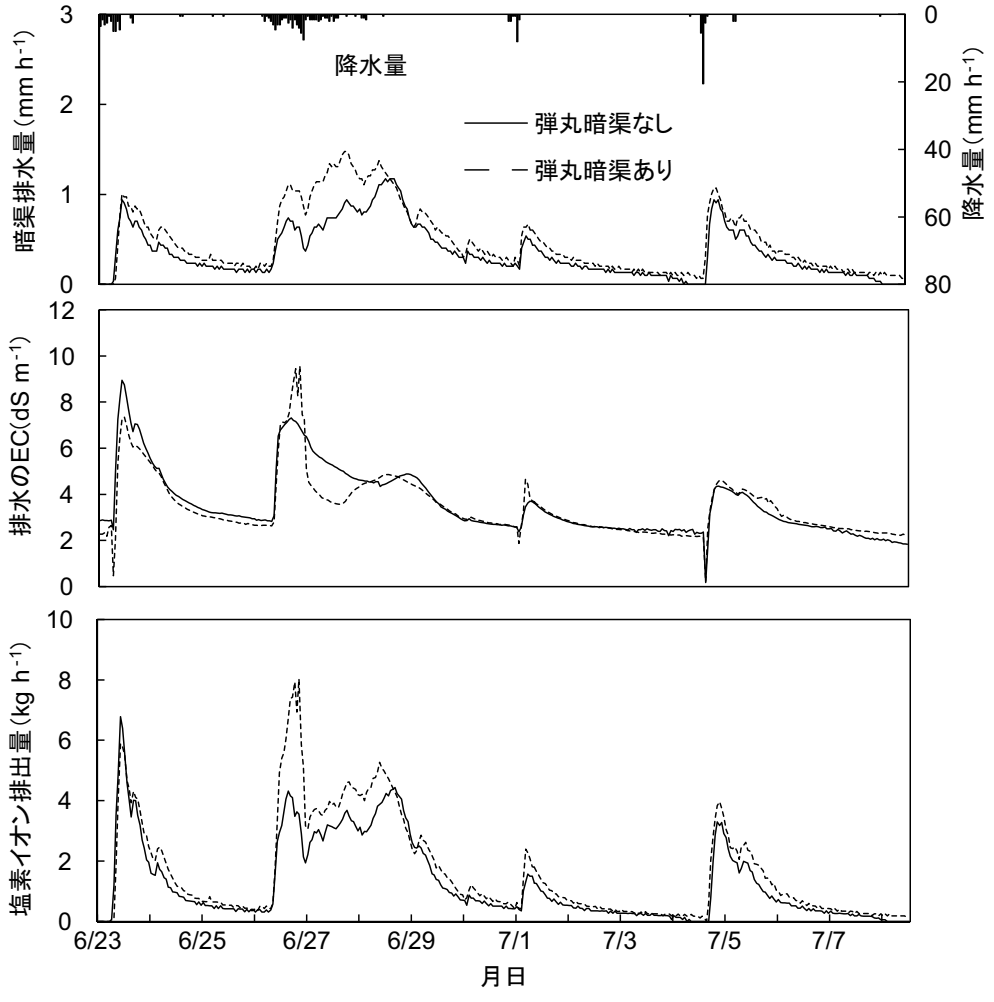


Fig. 3　圃場からの暗渠排水量と塩素イオン排出量．

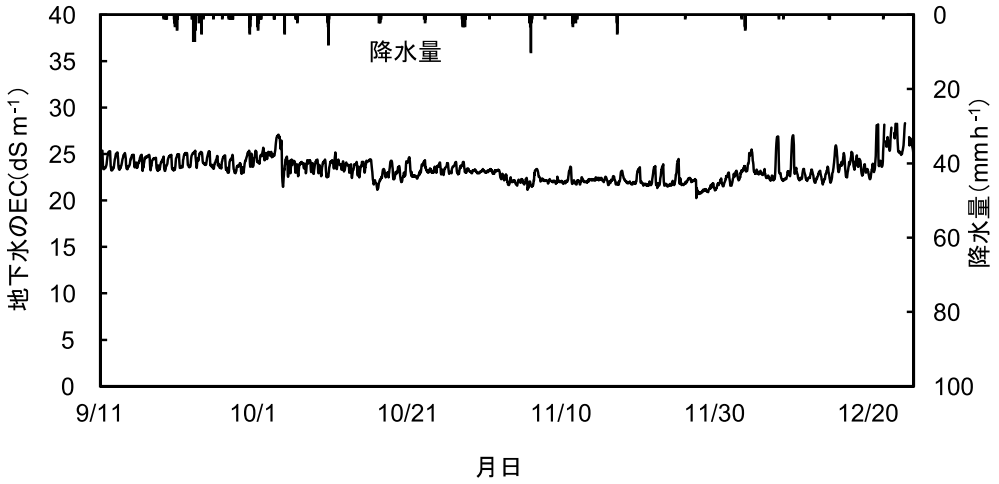


Fig. 4 地下水の EC の動態.

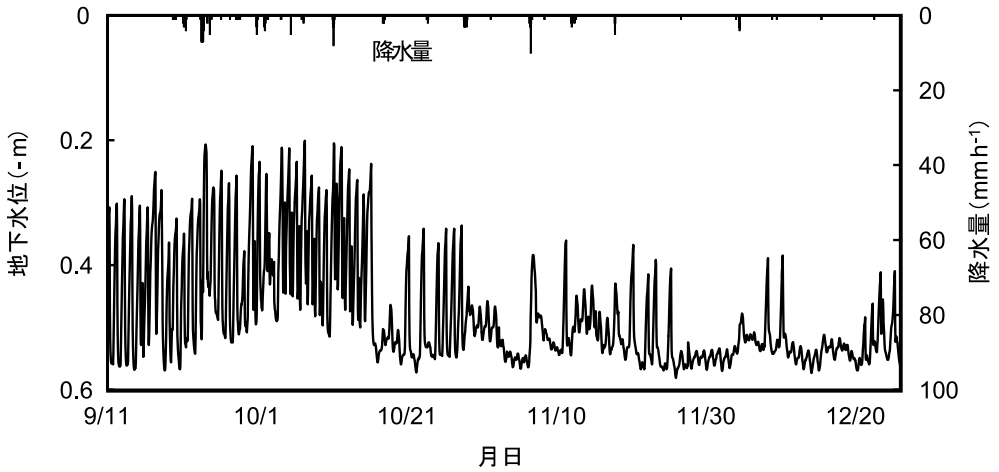


Fig. 5 地下水位の動態.

土地改良区への聞き取り調査の結果，この水位変化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，排水機場の稼働時間を延長したところ，地下水位は深さ 0.5 m 程度に維持できることがわかった．地下水位が高い場合，縦浸透法による除塩の効果は低くなる．したがって当地区において縦浸透法による塩害対策を行う場合は，事前に排水機場を稼働させ，地下水位を低下させておく必要がある．また，当地区は復旧後も EC の高い地下水の水位上昇によって塩害が発生する懸念があるため，その動態をモニタリングし，EC の高い地下水の水位が上昇した場合は，排水機場を稼働させ，水位を低下させるなどの対策が必要である．

当地区は，2014 年春までに農地復旧と除塩対策が完了し，稲作が再開された．嵩上げは実施しなかったが，稲に塩害は発生せず，生育は良好であった．

4.2 石巻市長面地区

調査地は北上川の右岸に広がる石巻市長面地内の水田である．0.9 m 程度地盤が沈下し，津波土砂が 0.8 m 程度堆積した．堆積土砂は砂であった．地区排水を担う長面排水機場が津波によって損壊し，仮復旧後の 2012 年 8 月に排水が開始されるまで 1 年以上海水が浸水していた地区である．2014 年度に復旧作業が開始されてから仮排水路が整備されたが，調査期間中，排水路はすべて津波土砂に埋まり機能していない状態であった．

地下水観測井を設け，田面下約 0.6 m の位置に水深・EC センサ（デカゴン社製 CTD センサ）を設置し，地下水位と EC を 1 時間間隔で観測した．

2013 年 7 月 2 日から 10 月 21 日の地下水の EC（田面から深さ 0.6 m）と地下水位の動態を Fig. 6，Fig. 7 に示す．EC は約 25 dS m^{-1} で推移しており，田面に上昇すれば塩害の発生が懸念される．地下水位はまとまった降雨があると田面以上に上昇し，降雨終了後深さ 0.2 m 程度まで急速に低下し，その後緩やかに深さ 0.4 m 程度まで低下した．当地区は寺島地区と比べ，EC 値の高い地下水が田面以上に上昇する頻度が高いため，塩害対策には地盤の嵩上げなどが必要と考えられる．また，津波土砂が厚く堆積しているため，復旧には良質な土を客土することが必要である．

このように地下水のモニタリングを行い，地下水の動

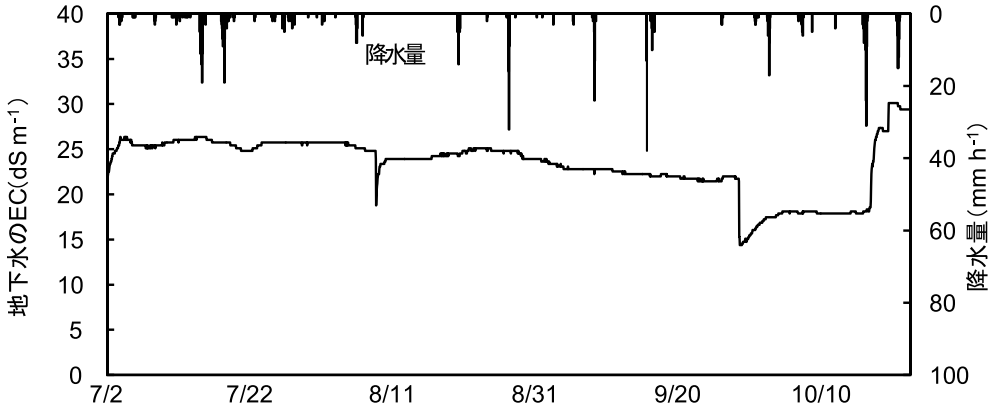


Fig. 6　地下水の EC の動態.

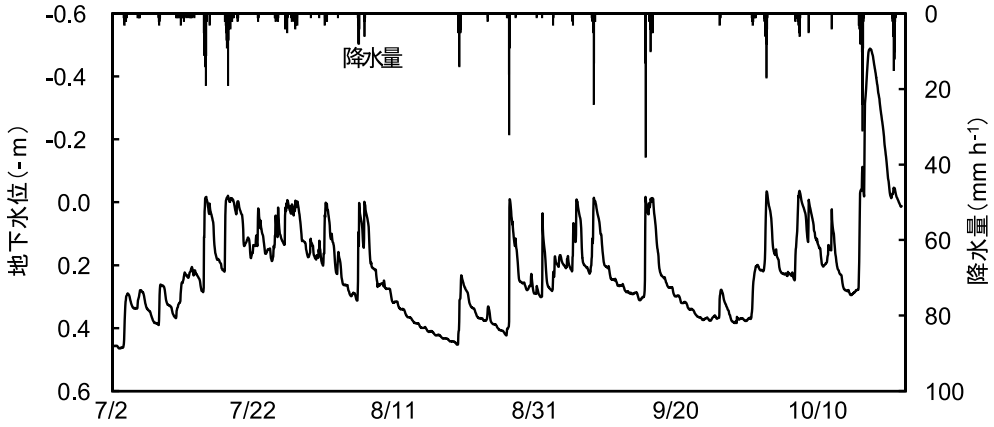


Fig. 7　地下水位の動態.

態とその EC を把握することにより，今後の塩害対策を講じるうえで嵩上げの必要性の有無などを判断することができる．

5. 除礫，反転耕および客土

津波被災農地には大量のがれきと土砂が堆積した．農地の上に堆積したがれきは震災廃棄物処理事業によって 2013 年度までに撤去されたが，震災直後の行方不明者の捜索活動やがれき撤去作業の際にガラスの破片などの小さいがれきが土壌中に混入した．土壌中のガラスの破片などは営農再開後の作業の支障になるため，この処理が問題となっている．この問題の解決に活かされている農業土木技術が除礫である．津波被災農地の復旧現場では自走式石礫選別機などを利用した小がれき処理が実施され，復旧に貢献している（Photo 2）．

堆積した津波土砂の処理も大きな問題である．これには反転耕などの農業土木技術が活かされている．津波土砂に有害な重金属類が少なく堆積厚が薄い場合は，反転耕を実施し，堆積した津波土砂とその下の作土を入れ替える対応がなされている．

大津波により津波土砂が大量に堆積した農地がある一方，作土が流失した農地も多い．こうした津波被災農地においては適正な作土深を確保するために客土が実施されている．高台移転先の旧農地などから良質な土が確保できた地区では復旧後の作物生育は良好であるが，良質な土の確保ができず山砂などが搬入された地区では復旧後に生育不良が発生している．このため，堆肥の搬入などによる土づくりが必要である．



Photo 2　自走式石礫選別機による小がれきの除去作業（2012.12.14（石巻市））.

6. おわりに

宮城県では，震災直後から農業土木の技術を駆使した復旧作業が行われ，現在まで約 8 割の津波被災農地が復旧している．しかし，農林水産省の「被災 3 県における農業経営体の被災・経営再開状況」によると，宮城県において津波被害を受けた経営体は 6,060 であり，うち営農を再開した経営体は 65% の 3,910 にとどまる（農林水産省, 2014）．まだ営農を再開していない経営体が 2,150 もあり，そのほとんどが再開できない理由として「耕地や施設が利用できない」と回答している．今なお，一刻も早い津波被災農地の復旧が求められているといえる．なお，岩手県と福島県において営農が再開できていない被災農家の割合はそれぞれ 46 % と 76 % であり，状況はより深刻である．

また震災後，宮城県内では経営面積が 100 ha を超える経営体が誕生するなど，構造改善が今までにない早さで進行している．こうした状況を受け，県は 2013 年度から復旧作業と並行して，津波被災農地を対象に復興交付金による圃場整備を進めている．この圃場整備は経営体のより一層の収益性の向上と省力化を図るために，標準区画を従来の 1 ha から 2 ha に拡大するとともに，用水路と排水路を管路化している．

このように宮城県では，農業土木の技術が津波被災農地の復旧のみならず今後の沿岸部の農業の復興にも重要な役割を果たしている．

本研究の一部は科学研究費補助金（研究課題番号 24580359）によった．また，本研究を遂行するにあたり，宮城県農林水産部に多大な協力をいただいた．記して感謝申し上げます．

引用文献

千葉克己, 冠 秀昭, 岩佐郁夫, 古賀 潔 (2006): 営農排水技術の高度化による本暗渠工低コスト化の可能性. 農業土木学会誌, 73(7): 573–576.

千葉克己, 加藤 徹, 富樫千之, 冠 秀昭 (2012): 縦浸透除塩の有効性と宮城県の津波被災農地の除塩対策. 農業農村工学会誌, 80(7): 527–530.

後藤徳男, 宮内敏郎 (1998): 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: 107–110.

星 信幸, 遊佐隆洋 (2012): 宮城県における津波による水田への影響と除塩. 日本海水学会誌, 66 (2): 74–78.

石巻農業改良普及センター (2011): 稲作情報 vol.1. http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/73039.pdf. (2015.2.20)

冠 秀昭, 関矢博幸, 大谷隆二, 平 直人, 千葉克己 (2014): 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 年度土壌物理学会要旨集: 87–88.

農林水産省 (2014): 被災 3 県における農業経営体の被災・経営再開状況. http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2010/pdf/n_gaiyo_140305.pdf（2015.3.7）

農山漁村文化協会編 (2012): 最新農業技術土壌施肥 vol.4. pp.30–32, 農山漁村文化協会, 東京.

菅原喜久男, 杉澤靖夫, 狩野吉浩 (2012): 東日本大震災で早期復旧した排水機場の早期復旧. 農業農村工学会誌, 80(11): 893–896.

要　　旨

宮城県沿岸部の優良な穀倉地帯は東日本大震災の大津波によって甚大な被害を受けた．農地・農業用施設の復旧においては，排水機場の損壊による地区排水機能の著しい低下，塩害，地盤沈下による塩分濃度の高い地下水の水位上昇，がれきや津波土砂の堆積，作土の流失など，困難な課題が多いが，発災直後から農業土木技術者による復旧作業が進められ，現在まで約 8 割の農地が営農再開可能となっている．

津波被災農地の復旧・塩害対策に着手するためには，排水機場の回復が必要であり，その修復にはポンプの専門家の対応が不可欠だった．塩害対策においては，暗渠排水と心土破砕（弾丸暗渠）による縦浸透法の実施が大きく貢献している．地盤が沈下した沿岸部では塩分濃度の高い地下水の水位上昇による塩害の発生が懸念されているため，地下水モニタリングで把握された地下水の水位および塩分濃度の動態から排水機場の稼働による地下水位の調整や嵩上げなどの対策が講じられている．土壌中に混入したガラス片などの小がれきの除去には除礫の技術が導入され，堆積した津波土砂の対策には反転耕が用いられている．作土が流失した津波被災農地の復旧には客土の実施が不可欠である。宮城県沿岸部では，復興交付金による圃場整備も進められており，津波被災農地の復旧だけでなく，農業の復興にも農業土木技術が大きく貢献している．

キーワード：津波被災農地，塩害対策，暗渠排水，弾丸暗渠，地下水モニタリング