

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

千葉克己¹・冠 秀昭²・加藤 徹¹

Desalinization technique for tsunami-hit farmland by infiltration of rain and discharge from underdrain

Katsumi CHIBA¹, Hideaki KANMURI² and Toru KATO¹

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災の大津波により宮城県では約1万5千haの農地が海水の浸水による塩害を受けた。このうち約1万3千haが水田であった。

農地の除塩法には湛水除塩法と浸透水除塩法がある。いずれの方法も塩害を受けた農地に大量の真水(灌漑水)を導水し、塩類を大量の水とともに農地外に排出することが基本であり、その実施には排水経路の確保が必要不可欠である。

しかし、この震災では沿岸部に配備されている大半の排水機場が壊滅的な被害を受け、地区排水機能が著しく低下し、ガレキや土砂の流入により基幹的な排水路の多くが通水不能となった。このような状況で除塩を実施すれば大量の排水によって下流部にさらなる浸水被害をもたらすおそれがあった。この結果、津波の被害を受けたほとんどの地域において排水機場や基幹排水路が復旧するまで灌漑水の利用が極端に制限され、当面の除塩は自然の雨水に頼らざるを得ない状況に陥ったのである。

他方、わが国では土地改良事業により水田を畑地としても生産性の高い汎用農地へ改良する圃場整備が行われている。水田を汎用農地に改良するためには圃場の地下排水機能を高めることが必要であり、そのために重要な工種が暗渠排水である。暗渠排水は地下に導水管を設けることで土壤中の過剰な水分を排出する工法であり、作土の土壌水分を作物生育に適切な状態に保つとともに、地下水位を低下させ、圃場の地耐力を向上させるなどの効果がある。海面干拓地帯では除塩の促進に利用されている(全国土地改良総合整備事業制度研究会, 1989)。

本研究では、宮城県名取市および岩沼市に広がる水田地帯(以下、名取耕土という)において農地・農業施設の津波被害調査を行った。また、津波被災農地の早期復旧を目的とし、名取市内の津波被害を受けた水田において暗渠排水を利用した雨水による浸透水除塩の効果を検

討した。

2. 宮城県名取耕土の農地・農業施設の津波被害

2.1 地形および農業形態

宮城県名取市、岩沼市には名取耕土と呼ばれる約3,500haの水田が広がり、水稻、麦類、大豆を基幹とした水田輪作農業が行われている。沿岸部は標高0.3~2.0m程度の低平地水田地帯であり、自然排水が困難であるため、約2,500haの排水を国営かんがい排水事業等で整備された5つの排水機場に依存している。現在は本県を代表する優良な穀倉地帯であるが、排水機場が整備される以前は大雨等による浸水被害を受けやすい収量が低い水田地帯であった。

2.2 津波被害

名取耕土の機械排水区域、津波浸水区域をFig.1に示す。機械排水区域は沿岸部から国道4号線まで広がる約2,500haの低平地水田地帯である。この震災では機械排水区域の約9割にあたる2,200haが津波被害を受けた。

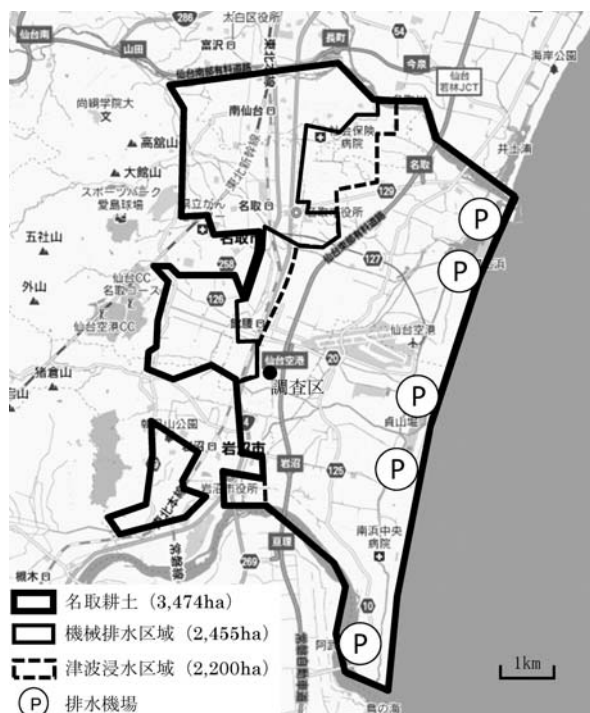


Fig. 1 名取耕土の機械排水区域と津波浸水区域 (Google Mapに加筆)。

¹ School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, 2-2-1 Hatatate, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi, 982-0215, Japan.

Corresponding author: 冠 秀昭, ¹ 宮城大学食産業学部

² National Agriculture and Food Research Organization, NARO, Tohoku Agricultural Research Center, 4 Akahira, Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0198, Japan

2012年3月8日受稿, 2012年5月22日受理
土壌の物理性 121号, 29-34 (2012)

また、沿岸部に配備された5つの排水機場が津波によりすべて機能不全に陥ったため、浸水区域では海水が引かず行方不明者の捜索活動が難航した。この事態に対応するため、国と県は全国から災害応急ポンプを集めて配置し、湛水問題の解消を図った。Photo. 1に被災した排水機場と災害応急ポンプを示す。

しかし、災害応急ポンプの排水能力は従前の排水機場の5%程度であったため、機械排水区域は灌漑水の利用が極端に制限され、直接津波の被害がなかった水田も2011年度の稲作が自粛された。灌漑水を利用すれば下流域に浸水被害をもたらす、捜索活動等に支障を来す恐れがあったのである。灌漑水の利用が極端に制限されたことはこの震災の農業被害の特徴といえる。

3. 暗渠を利用した雨による浸透水除塩

3.1 調査区

調査区は太平洋から約4 km西に位置する名取市内の2筆の水田である(Fig. 1)。海水が5日間程度湛水したが、ガレキや土砂の流入はなかった。土壌は有機物の多い黒

泥土である。弾丸暗渠の除塩効果を検討するため、弾丸暗渠未施工区(A区)、弾丸暗渠施工区(B区)を設定した。両区とも作土の透水性が高く、深度-15 cm程度に難透水性層(耕盤)が発達している(Table 1)。

A区とB区の暗渠排水システムおよび本暗渠の構造



Photo. 1 被災した排水機場と災害応急ポンプ (2011.4.26).

Table 1 調査区の土壌物理性.

調査区	深度 (cm)	乾燥密度 (Mg m^{-3})	飽和透水係数 (cm s^{-1})	間隙率 (%)
A区	-5	0.82	3.27×10^{-3}	67.4
	-15	0.96	4.00×10^{-6}	62.1
	-25	0.39	1.13×10^{-4}	79.4
	-35	0.45	3.13×10^{-4}	76.6
B区	-5	0.84	2.77×10^{-3}	66.9
	-15	0.97	6.78×10^{-5}	62.0
	-25	0.45	1.99×10^{-4}	76.6
	-35	0.43	5.30×10^{-4}	77.7

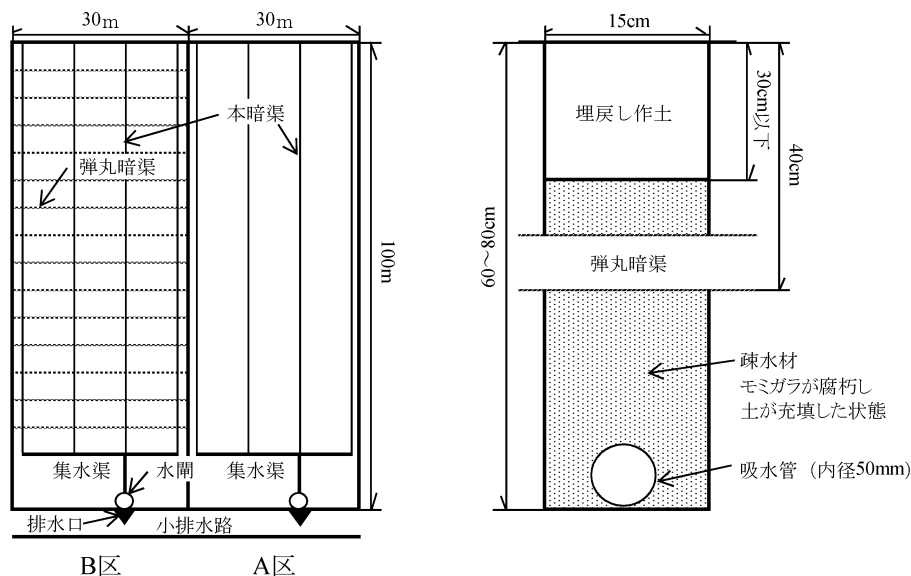


Fig. 2 調査区の暗渠排水システムと本暗渠の構造.



Photo. 2 測定装置.



Photo. 3 暗渠排水停止時の排水路 (2011.5.30).

を Fig.2 に示す。B 区は暗渠排水機能を高めるため、2011 年 6 月 14 日に鉄製の弾丸が付いた土土破砕機で間隔 2 m、深さ 40 cm で弾丸暗渠を施工した。両区とも本暗渠は整備後約 15 年経過しており、疎水材のモミガラはすべて腐朽し、土が充填された状態であった。

3.2 調査法

暗渠の排水口に電磁流量計と水質計を取り付け、暗渠排水量とその電気伝導度（以下、EC という）を測定した（Photo.2）。また、降水量を測定した。これらはすべて 1 時間間隔で測定した。さらに、降雨終了後に随時、土壌を深度ごとに採取し、土壌の EC を 1:5 水浸出法で測定した。

3.3 結果と考察

3.3.1 本暗渠のみの浸透水除塩の効果

2011 年 5 月 28 日から 30 日に総降水量 147 mm、最大時間雨量 33 mm の強い降雨があった。Fig.3 に A、B 区における降雨開始から暗渠排水が停止するまでの暗渠排水量、暗渠排水の EC、塩素イオン排出量を示す。塩素イオン排出量は希釈した海水の EC と塩素イオン濃度 (ppm) の関係式 (1) (兼子ら, 2002) を利用し、1 時間ごとの暗渠排水量と EC の観測値から換算した。

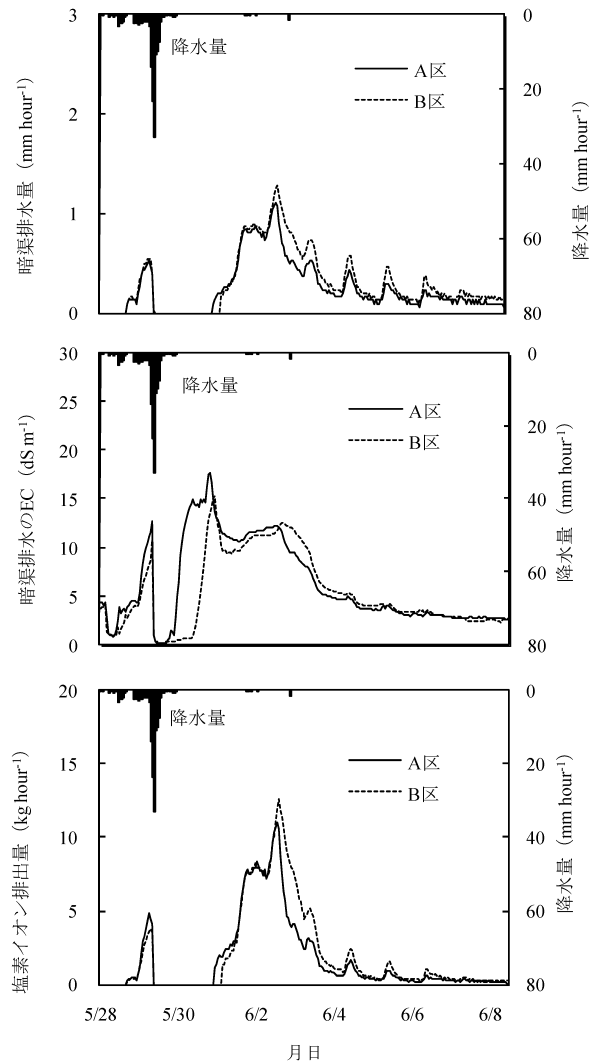


Fig. 3 暗渠排水量, 暗渠排水の電気伝導度, 塩素イオン排出量の推移 (2011.5.28 - 6.8).

$$\text{塩素イオン濃度 (ppm)} = 270.86 \times \text{EC (dS m}^{-1}\text{)} \dots (1)$$

5 月 28 日に始まった降雨は 29 日の深夜まで弱い状態が続いたが、5 月 30 日の早朝に時間雨量 33 mm の豪雨となり、30 日の夜に停止した。暗渠排水は A、B 区とも降雨開始から 18 時間後に始まり、その後急速に増加し、降水量がピークに達したところいったん停止した。ここで排水が停止したのは排水路の水位が田面以上まで上昇したためであり（Photo.3）、排水機場の損壊によって地区排水機能が著しく低下していたために起こった現象といえる。その後排水は水路の水位が低下した 5 月 31 日深夜から再開して急速に増加し、緩やかに減少して 6 月 8 日に停止した。この間の A、B 区の総暗渠排水量はそれぞれ 65 mm、79 mm であり、最大 24 時間排水量はそれぞれ 21 mm、23 mm であった。

暗渠排水の EC は、降雨開始時は A、B 区とも 4 dS m⁻¹ 程度であった。EC は排水路の水位が上昇し、暗渠内に逆流したことで一時低下したが、排水が始まり排水量が増加すると急激に上昇した。その後、排水路の水位が田面付近まで上昇し、暗渠排水が止まると急速に低下して

Table 2 降雨前後の土壌 EC (1:5) (dS m^{-1}).

調査区	深度 (cm)	5月10日	6月6日
A区	0 - 10	2.9	1.1
	10 - 20	1.3	1.2
B区	0 - 10	3.5	0.9
	10 - 20	1.2	1.0

降雨期間 2011.5.28 - 30

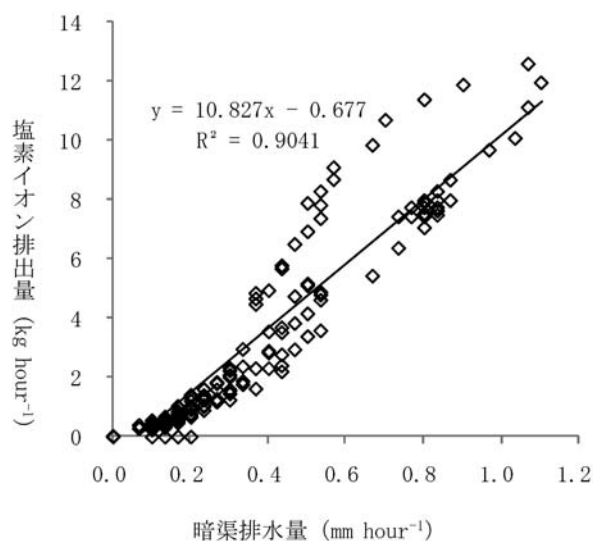


Fig. 4 塩素イオン排出量と暗渠排水量の関係 (A区).

低い状態が続いたが、降雨が停止し、暗渠排水が再開するまでの間に急速に上昇した。暗渠排水が再開する前に EC が上昇したのは、暗渠内にたまっていた塩分濃度の高い水が流出していたが、それは電磁流量計では観測できないわずかな量だったと考えられる。その後、暗渠排水が再開すると約2日間にわたって 10 dS m^{-1} 程度の塩分濃度の高い水が排水された。EC は暗渠排水量の減少とともに低下し、排水が停止したときは 3 dS m^{-1} 以下となった。

この降雨によって暗渠から排出された塩素イオン量は A 区で 441 kg 、B 区で 524 kg であり、最大 24 時間排出量はそれぞれ 201 kg 、 219 kg であった。

以上より、降雨が土中に浸透し、暗渠から排水される過程で大量の塩類が排出されることが確認された。また、A 区と B 区の 0 - 10 cm の土壌 EC (1:5 浸出法) が大きく低下したことが認められた (Table 2)。

暗渠排水量と塩素イオン排水量には Fig. 4 に示すように強い相関関係があることが認められた。したがって浸透水除塩の効果を高めるためには暗渠排水量を大きくすることが有効である。

3. 2. 2 弾丸暗渠の施工による除塩効果の向上

B 区で弾丸暗渠を施工 (6月14日施工) した後、6月23日から7月5日にかけて総降水量 161 mm 、最大時間

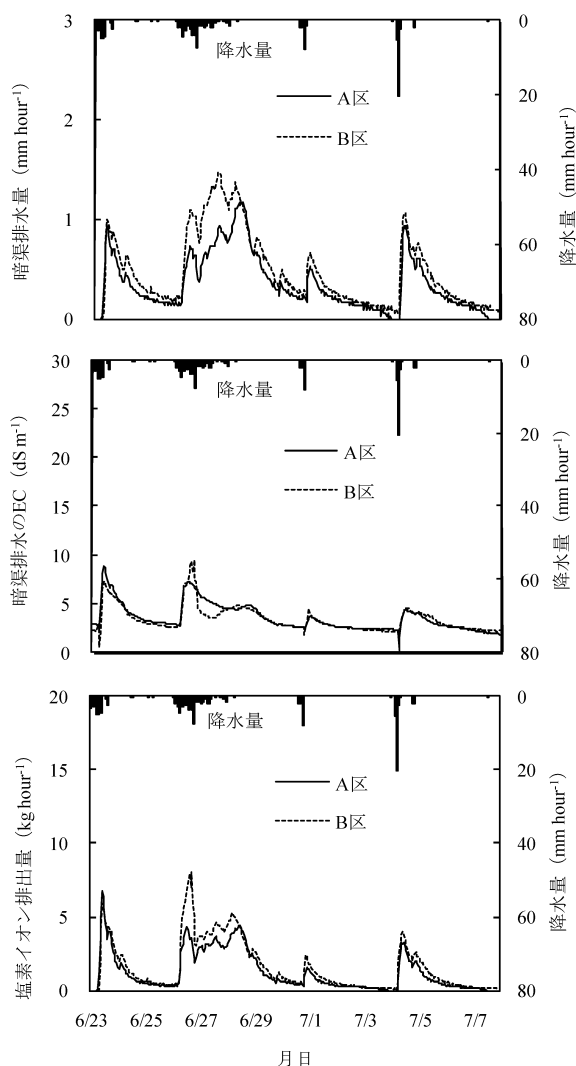


Fig. 5 A 区と B 区における暗渠排水量、暗渠排水の電気伝導度、塩素イオン排出量 (2011.6.23 - 7.8)。

雨量 20.5 mm の長雨があった。この長雨により A 区、B 区とも 6月23日から7月8日に暗渠排水が確認された。Fig. 5 に A 区と B 区における降雨開始から排水が停止するまでの暗渠排水量、暗渠排水の EC、塩素イオン排出量を示す。

暗渠排水は A 区、B 区とも降雨開始から 4 時間後に始まり、降雨が強くなると排水量が増加し、降雨が弱くなると減少することが認められた。6月23日から7月8日までの総暗渠排水量は A 区 133 mm 、B 区 180 mm であり、最大 24 時間排水量はそれぞれ 24 mm 、 31 mm であった。B 区においては最大 24 時間排水量が弾丸暗渠施工前と施工後で 23 mm から 31 mm に増加しており、弾丸暗渠の効果が示唆される。

EC は Fig. 3 と同様に暗渠排水が始まり、排水量が増加するのに伴い急激に上昇することが認められた。また、降雨イベントごとに EC のピーク値が低下していることが認められ、除塩が進んでいることが示唆される。

6月23日から7月8日までの総塩素イオン排出量は A 区 473 kg 、B 区 609 kg であった。また、排水量に大

Table 3 降雨前後の土壌 EC (1:5) (dS m^{-1}).

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

降雨期間 2011.6.23 - 7.5

きな差があった6月26日から28日の塩素イオン排出量はA区202 kg, B区で275 kgであった。

この長雨でA区とB区の0 - 10 cm層の土壌 EC (1:5 浸出法) が大きく低下した (Table 3). 特にB区の0 - 10 cm層は, 稲作が可能な水準である 0.3 dS m^{-1} 以下となり, 10 - 20 cm層では 1.3 dS m^{-1} から 0.6 dS m^{-1} に低下した. 弾丸暗渠の施工により, 圃場の地下排水機能が向上したため, 作土下層の除塩も進んだと考えられる。

Fig. 6に弾丸暗渠施工後の6月15日から10月10日のA区とB区の塩素イオン排出量を示す. B区の排出量が大きく, 降雨のたびにその差が大きくなったことが認められる. 総降水量は642.5 mmであり, A区とB区の総塩素イオン排出量はそれぞれ886 kg, 1,202 kgであった。

4. おわりに

東日本大震災の津波により5日間程度海水が浸水し, 土壌の塩分濃度が高くなった水田において雨水が土壌に浸み込み, 暗渠から排出される過程の塩分除去量を検討した. その結果, 雨水が浸透し暗渠から排水される過程で大量の塩分が除去できることが認められた. また, 暗渠排水量が大きいほど除塩量が大きくなることが認められた. 弾丸暗渠を施工した圃場と未施工の圃場の除塩量を比較した結果, 弾丸暗渠の施工した圃場で除塩量が大きかったことが認められた. したがって, 津波被災農地において急速な除塩を行うためには, 暗渠を利用することが有効であり, 圃場の地下排水機能を高め, 暗渠排水

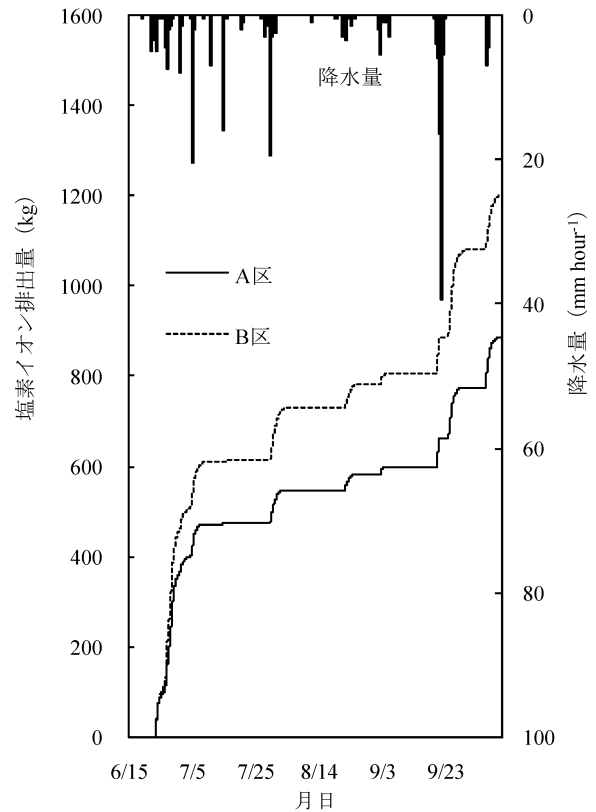


Fig. 6 塩素イオン排出量 (2011.6.15 - 10.10).

量を大きくするのはたつきがある弾丸暗渠を施工することが重要である。

本研究では, 弾丸暗渠施工後に耕起は行わなかったが, 耕起をすると作土層の透水性が高くなるため, 弾丸暗渠の効果がより高まることが期待できる. 今後は弾丸暗渠施工後に圃場全体を耕起することによる除塩効果を検討したい。

引用文献

- 全国土地改良総合整備事業制度研究会 (1989): 暗渠排水 Q&A・施工事例, pp. 387 - 389, 社団法人畑地農業振興会, 東京.
- 兼子健男, 村川雅巳, 小財伸, 身次幸二郎 (2002): 塩類が集積した水田の暗渠排水を利用した急速除塩技術. 農業土木学会誌, 70 (7): 611 - 614.

要 旨

東日本大震災の大津波によって、宮城県では約 1 万 5 千 ha の農地が海水の浸水による塩害を受けた。農地の除塩は大量の真水（灌漑水）を導水し、塩類を大量の水とともに農地外に排出することが基本であり、その実施には排水経路の確保が必要である。しかし、この震災では基幹的な排水施設が壊滅的な被害を受けたため、ほとんどの農地で排水経路が確保できず、灌漑水を利用した除塩ができない状況に陥った。そこで筆者らは宮城県名取市内の津波被災農地において暗渠を利用した自然の雨水による浸透水除塩の効果を検討した。その結果、降雨により暗渠から大量の塩類が圃場外に排出されること、また弾丸暗渠を施工し、地下排水機能を高めることで除塩効果が高まることがわかった。したがって、塩害を受けた農地の復旧には暗渠排水の整備と利用が重要である。

キーワード：津波被災農地，除塩，雨水，暗渠，弾丸暗渠