

◇技術紹介 Technical Report

塩害農地の対策技術 ～木材チップ塩成土壌改良方法～

杉本 英夫 Hideo Sugimoto
三好 悟 Satoru Miyoshi

Improvement Technology for Tsunami-Affected Fields: “Using Woodchip-Mixed Materials for Saline Soil”

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により津波が発生して、青森・岩手・福島・宮城・茨城・千葉の6県で浸水した農地が2万ha以上に及んでいる。農地は、海底の泥、家屋や車などのガレキが地面を覆い、加えて地割れや地盤沈下なども影響して排水不良な地盤になっている(Photo 1)。海水に由来する大量の塩分が残る農地は、塩害が発生し、農地の生産性を回復するのは容易ではないと予想される¹⁾。本報では、塩害農地の復旧に利用可能な対策技術を紹介する。

2. 塩害の特徴と現地の課題

2.1 塩害の特徴

農地で発生する塩害は、土壌溶液の塩類濃度が高くなり浸透圧の影響を受ける場合と、土壌の塩基バランスが崩れて交換性ナトリウムの増加の影響を受ける場合がある(Fig.1)。前者は、植物が吸水障害を起こして、枯れることがある(Fig.1)。後者は、透水性が悪く、養分の吸収阻害や根腐れなどで、収穫量の減少や品質低下が発生する。

塩害の研究が進んでいるアメリカ合衆国では、作物の塩類障害に基づく塩類土壌の分類がある(Table 1)。塩類土壌で、良質な灌水を与えても塩害が激しいのは、 $EC_e 4 dS \cdot m^{-1}$ 以上の場合である。ソーダ質土壌と塩性土壌は、土壌改良と水管理で収穫を高められる。

なお、塩害農地には、海水を被っただけの場所、泥土で覆われた場所、水が溜まっている場所など様々な条件がある。津波が運んだ泥土は、塩類濃度が低い砂質土もあるため、全てが塩害を発生する塩類土壌ではないと推測される。しかし、いずれの土も海水の影響を受けた塩



Photo 1 浸水した仙台平野
(2011年4月27日撮影)

Tsunami-affected paddy field in Sendai Plain

成土壌である。塩害対策は、土壌とその周辺環境を含めた総合的な「塩類及び水の適切な管理技術」が必要になるため、土壌を詳しく調べて、それぞれの条件に適した方法を選択することが大切である。

2.2 現地の課題

震災後に除塩して営農を再開できた農地は、平成23年(2011年)度に約2000haであった。これは被災した農地面積の約1割で、残り9割は利用されていない。現地を調べてわかった課題を次に示す。

(1)：地域・地形 仙台平野は平坦な地形のため、津波が海岸から内陸の5kmまで達している。また、地震の影響で広範囲に地盤沈下が起きているため、排水が進んでいない。ゼロメートル地帯の農地では、津波発生から1ヵ月以上たった2011年4月27日でも、表面に水が溜まっている状態であった(Photo 2)。

この場所は、表層約10cmに津波堆積物があり、その下層には元の農地表土があった。土壌の電気伝導度 EC_e (土：水=1：5抽出液)は $200 \sim 950 \times 10^{-2} dS \cdot m^{-1}$ 、塩化物イオン濃度は $630 \sim 3,300 mg \cdot L^{-1}$ であり、作物生育に影響がある値を示した。陽イオン交換容量に占める交換性ナトリウムは50%以上を示した(Fig.2)。元の表土を含め深さ30cmまでの土壌は、塩害を起こす状態である。これは、農地から水を抜けないため、高濃度の塩分に曝さ



Fig. 1 コマツナの生育試験例
Growth test in Saline soil

Table 1 塩類土壌の分類²⁾
Classification of Saline soil

塩類土壌の分類	EC _e	ESP	pH
塩性土壌	4以上	15未満	8.5未満
ソーダ質土壌	4未満	15以上	8.5以上
塩性ソーダ質土壌	4以上	15以上	8.5以上

EC_e: 飽和抽出液の電気伝導度 $dS \cdot m^{-1}$

ESP: 交換性ナトリウム率 %

(交換性ナトリウムを陽イオン交換容量で除し、100倍した値)

れたことが影響している。

国交省の発表によれば、海拔ゼロメートルの面積が、震災前の 3km² から震災後に 16km² へと 5 倍以上増加している。塩害の主要因は津波であるが、地盤沈下がその被害を長期化させている³⁾。

(2)：土壌・堆積物 農地は、台風による高潮や干拓地などの場合と異なり、海水に由来する塩分に加えて、“廃棄物”とされるものを含めた対応が必要になる。津波が港や民家を襲ったため、「がれき」には船舶や自動車、農機具などが含まれている。

海底の泥は、有害成分を含まなければ、除塩した後に作土に利用できる。そこで、ゼロメートル地帯の農地の津波堆積物を対象にして、油分を調査した。その結果、油臭・油膜は検出されなかったが、粘性土には定量下限に近い低濃度の油分が検出された。

油分は、軽油や A 重油の特徴があるため、その起源は農業機械や小型船舶の燃料と推測される(Fig.3)。検出量は、一般に工場跡地などで問題となる油分含有量(数千～数 mg・kg⁻¹)と比べて相当低い値であったため、汚染土壌の対策は不用のレベルであった。

もし、汚染土壌レベルの油分が発見された場合には、その処理策が必要である。軽油や A 重油の場合、低コストで大量の土を処理する方法は、バイオレメディエーションが適当である。理由は、土壌微生物の活性化によって、油分が原位置で分解されるためである。

(3)：水路・施設 仙台平野は低地で起伏が少ないため、水路から灌がい水を供給し、余剰の水を除くための排水を行っていた。農地に隣接する末端の水路も傷み、農業施設がほとんど破壊されているため、除塩を行なった排水を適切に管理できない(Photo 3)。

また、被害は広大な面積のため、塩分などを含む堆積物の処分場所の確保も難しい状態である。現地は、主要な排水路の仮設ポンプが作動して排水が行われているが、ゼロメートル地帯では水がたまる状態である。対策では、除塩用水や堆積物の扱いに配慮した方法が求められる。

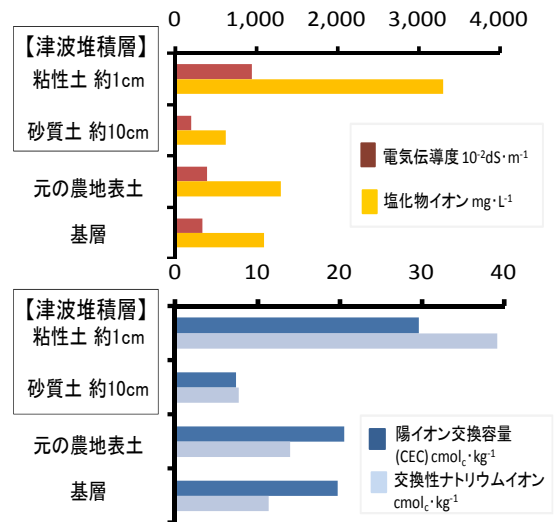


Fig. 2 塩害農地の土壌の理化学性
Physico-chemical characteristics of Tsunami-affected soil



Photo 3 被害を受けた水路・施設
Tsunami-affected a waterway, drainage pump station

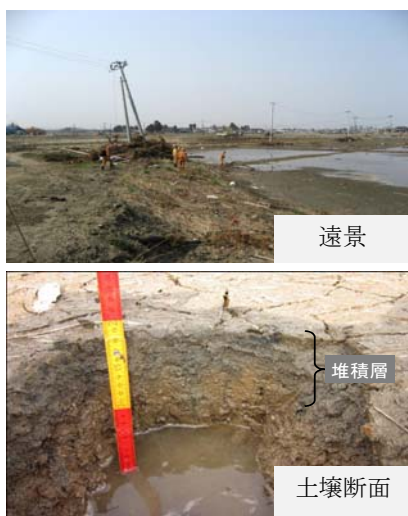


Photo 2 ゼロメートル地帯の農地
Tsunami-affected paddy field in a below-sea-level area

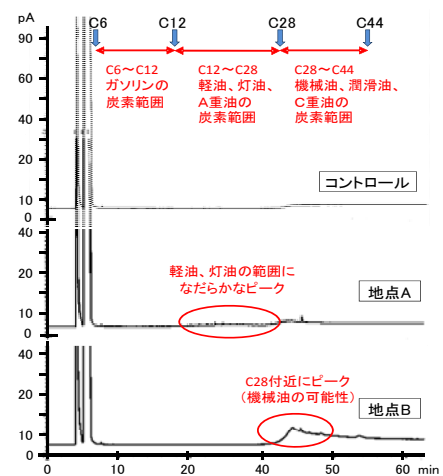


Fig. 3 ガスクロマトグラフ (FID, Flame ionization detector) による粘性土の炭素数の分布状態
Gas Chromatography chart of Tsunami-affected soil

3. 木材チップによる塩成土壌改良方法

3.1 技術の概要

塩害農地の除塩は、土壌から塩分を溶出する作業を伴うため、水が必要となる。農地の灌がい施設が機能しない場合、排水機能の回復が重要である。特に、蒸発量を上回る降水が期待できる地域では、土壌に水を浸透させることで、表土からの除塩が可能である。幸い、日本は季節風の影響で多量に雨が降る地域のため、除塩に必要な水量が期待できる。雨水で除塩を進める方法を使えば、農地の早期復旧に役立つと考える。

雨水利用時の対策ポイントは、①土の透水性を高める土壌改良材を利用すること、②雨水を効率的に土壌に浸透させること、③表面に塩類集積が発生しないように下流方向の一次元の流れを保つこと、の3点である。その対応技術として、「木材チップ塩成土壌改良方法」を提案する^{4) 5)}。木材チップ(補助材含む)を津波堆積物と混合し、土壌中に間隙をつくることで透水性を高める。これにより、微量な水分(雨水)で土壌中の塩分を洗浄できる。時間の経過と共に、塩分などが減少し、微生物が活性化して、木材チップが腐熟し土壌に還元され、土壌が肥沃化する(Fig.4)。

被災地では、海岸林が津波でなぎ倒されて多量の流木があること、基幹の排水路の応急処置が進んでいるため、この方法が適用できると考え、圃場試験を進めている。

3.2 特長

特長は、①経済性に優れ、②方法は簡易で、③環境負荷の軽減である。①については、雨水を利用するために

灌漑水が不要であり、木材チップには被災した流木などを利用できるため、除塩資材のコストダウンが図れる。

②については、トラクターなどの一般的な農耕機械を使用するため、農家が自ら作業できる。③については、リサイクル材を使用でき、さらに灌がい施設の復旧を待たずに早期着手が可能である。除塩作業で濁水などの発生はなく、流域への環境負荷も小さくできる。

3.3 作業手順

作業は、木材チップを堆積物の上に散布した後、トラクターなどの農業機械を利用して十分に混合する。そして、定期的な耕耘・攪拌を行ない、土に空気と水が浸透しやすい状態を保つ。微生物の活性が高まり、土の間隙構造が発達する。降水があると表層の土壌に含まれる塩分が土壌水に溶け、下層の地盤に浸透することで除塩が進む(Fig.5)。

STEP1の工程で、事前に土壌調査を行ない、木材チップだけでは改良が難しいと判断した場合、補助法として暗渠排水の設置、灌がい水の散布、化学肥料の散布なども行なう。その条件は、粘性土の層厚が厚く、膨潤性の粘土鉱物が含まれる場合を想定している。

STEP2の工程で、攪拌・混合の作業時には、トラクターで地表面に凹凸を設け、土の密度が異なる状態を作る。理由は、乾燥地農業で使われるウォーターハーベットの要領で、雨水を効率よく地盤に浸透させるためである。

なお、海水に浸かった木材をチップ化して利用する場合は、樹皮を除き、幹の部分を使い、塩分を減らす対策を行なう。また、木材がフェノールなどを多量に含む種類の場合は、除塩中に、堆肥化促進材の利用も検討する。

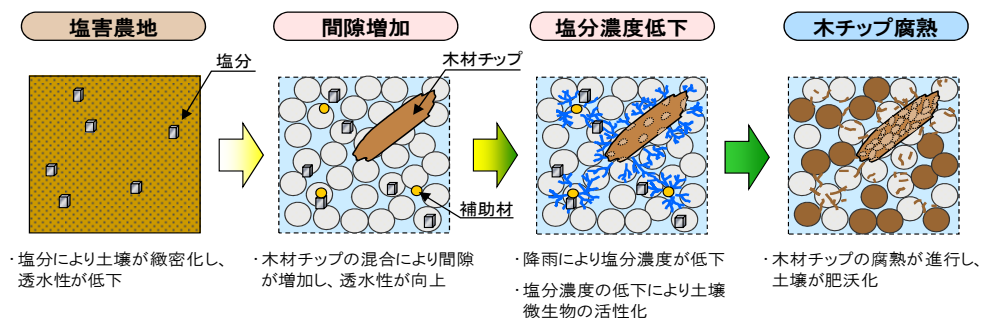


Fig. 4 木材チップ塩成土壌改良の仕組み⁵⁾
Improvement method of saline soil by the woodchip-mixed materials

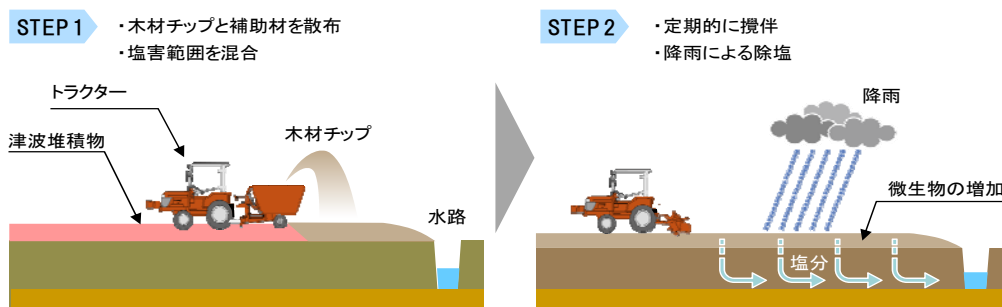


Fig. 5 木材チップ塩成土壌改良方法の作業イメージ⁵⁾
Image of Improvement works in Tsunami-affected paddy field

Table 2 圃場試験の概要
Outline of examination in Tsunami-affected paddy field

試験名称：津波塩害農地の除塩および土壌修復技術に関する研究
 試験場所：宮城県岩沼市
 試験面積：2,500 m²
 試験期間：2012年4月～2013年5月
 連携研究：東北大学菜の花プロジェクト
 (食・農・村の復興支援プロジェクトの一つ)
 連携機関：宮城県林業技術総合センター, 宮城県森林組合連合会
 圃場管理：株式会社環境科学コーポレーション
 協力団体：岩沼洋菜生産組合
 実施者：国立大学法人東北大学大学院農学研究科
 株式会社大林組



Photo 4 試験前の状況
Field condition after eight months, Tsunami

4. 圃場試験

4.1 試験概要

試験場所は、阿武隈川河口近くの被災農地で、宮城県道10号塩釜亘理線に隣接している。国の「農業・農村の復興マスタープラン」によると2013年以降の農地復旧の計画範囲にあり、岩沼市の除塩事業が予定されている。

試験期間は、2012年4月～2013年5月まで実施する。土壌調査は、東北大学農学部と共同で進める(Table 2)。

4.2 試験状況

試験着手前の2011年11月に土壌調査を行った時には、津波堆積物が、農地表面に厚さ約10cmあり、地表面には白色系の結晶が見られた(Photo.4)。

表層から50cmの範囲の土壌を分析した結果、電気伝導度ECは110～690 ×10⁻²・dS・m⁻¹、塩化物イオン濃度は590～2,500 mg・L⁻¹であり、作物に塩害が生じる状態であった。土粒子には、膨潤性の粘土鉱物が含まれるため、土壌の塩濃度低下に伴う物理性の悪化が懸念された。そこで、土壌改良の試験区は、木材チップの混合と補助材の特殊肥料の併用も比較する。

作業は、2012年4月19日～21日に土壌改良資材の散布と混合を終え、同4月25～26日に土壌水分やECなどの計測機器を設置して、試験を開始した(Photo.5)。

その後、2012年7月12日時点で、積算降水量が500mmに達し、20mm/日以上降雨は8回あった。その結果、土壌改良の試験区は、塩害障害が発生しない状態になった。無対策の農地では、排水性が悪く、除塩が進まないが、土壌改良で排水性が高まると除塩が進みやすくなることを確認した(Photo 6)。今後も、継続的に調査を進めて、土壌改良の効果を評価する予定である。



Photo 5 木材チップおよび補助材の散布・混合
Improvement works to using woodchip-mixed materials



Photo 6 試験開始3カ月後
View of examination site after eight months
Left: Control, Light: Examination site

5. まとめ

東北地方太平洋沖地震で発生した塩害農地の課題に対応するため、木材チップ塩成土壌改良方法を提案し、その効果を検証するための圃場試験について紹介した。

ハリケーン・カトリーナによる高潮やスマトラ沖地震による津波により、デルタ地帯の農地で塩害が広範囲に発生した。地球温暖化などの影響で自然災害のリスクは高まっているため、今回提案した技術は、農業施設の機能が不十分な状態で使用を想定しているため、海外で発生する塩害農地の早期復旧にも役立つと考える。

参考文献

- 1) 松本聰：東日本大震災による津波・塩害で罹災した農地の修復と課題—宮城県仙台市若林地区における被害の実態を例として、(財)日本土壌協会、土づくりとエコ農業8・9月号, pp.67-72, (2011)
- 2) G.H.ボルト, 他：土壌の化学, 学会出版センター, (1980)
- 3) 国交省:仙台平野における地震に伴う地盤沈下について(報道発表資料2011年4月28日), <http://www.mlit.go.jp/common/000143299.pdf>, (2012.5確認)
- 4) (社)土木学会 東日本大震災特別委員会：復興施工技術特定テーマ委員会 第1回報告, http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/1004_22_fukkotokutei.pdf, (2012.5確認)
- 5) 杉本英夫：塩害農地のレメディエーション, 日本沙漠学会乾燥地農学分科会, 平成23年度講演会要旨, (2011)