津波被災による農地土壌の除塩技術に関する理化学性
The Character of Physical-Chemical on Technologies of Salt Removal for Saline-Soil in Tsunami-Affected Farmland

○杉本 英夫*　三好 悟*　南條正巳**　菅野均志**　新井大介**
Hideo Sugimoto*　Satoru Miyoshi*　Masami Nanzyo**　Hitoshi Kanno**　Daisuke Arai**

１．はじめに

2011 年 3 月 11 日，東北地方太平洋沖地震の津波被害を受けた農地は，海水や泥などで覆われたため，塩害が発生する土壌に変わった。農地の生産性を回復させるために除塩を行う場合，湛水するあるいは降水の浸透を高めるなどの対策で，海水由来の塩化ナトリウムは減少する。しかし，土に吸着している交換性ナトリウムは減少しにくいなどの課題がある。

筆者らは津波被災の農地土壌を修復する研究に取り組み[1)]，除塩促進の土壌改良技術の開発を進めている[2)]。ここでは，除塩技術に関する理化学性について述べる。

２．調査の概要

図－１に調査場所を示す。宮城県岩沼市早股地区の水田で，津波をかぶった場所である。被災から 8 カ月経った 2011 年 11 月 16 日に土壌断面調査を行い，津波で運ばれた堆積層が厚さ 5cm あることを確認した。試料は，堆積泥層 0～2cm，堆積砂層 2～5cm，作土層 5～50cm に分けて採取した。この試料で，物理性・化学性，粘土鉱物の同定，分散凝集性を調べた。

また，被災から 1 年後の 2012 年 4 月 19 日に，津波の堆積層を残した状態で除塩を行うため，ロータリー耕うんにより堆積泥層，堆積砂層，作土層を混合した土を採取して，ESP（交換性ナトリウム率）を調べた。

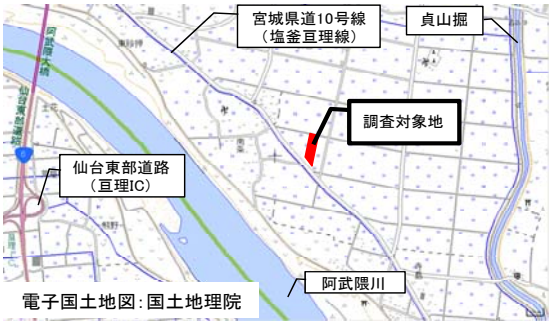
３．理化学性

(1) 物理性・化学性

表－１に物理性・化学性を示す。堆積泥層では，EC 6.9 dSm^{-1}，水溶性ナトリウム 1.0kgL^{-1}，水溶性塩化物 2.5kgL^{-1} を示した。堆積砂層では，EC 1.1dSm^{-1} で水溶性ナトリウム 0.3 kgL^{-1}，水溶性塩化物 0.6kgL^{-1}，作土層では，EC 1.9dSm^{-1}，水溶性ナトリウム 0.5 kgL^{-1}，水溶性塩化物 1.1kgL^{-1} を示した。いずれも一般の農地土壌より EC が高く，水溶性塩化物が多いため，海水の影響が残っている。ESP は，堆積泥層 27%，堆積砂層 16%，作土層 14%を示し，一般の農地土壌より高く、多くの交換性ナトリウムが土に吸着している。pH は，堆積泥層 pH6.6 の中性で，堆積砂層と作土層は pH5 以下の酸性を示した。pH 酸性の理由として，硫化物の影響が考えられる。

図－２に粒径加積曲線を示す。堆積泥層では，堆積砂層と同様に砂を含むが，粘土・シルト 50%以上を示す。作土層は粘土 50%以上を示した。

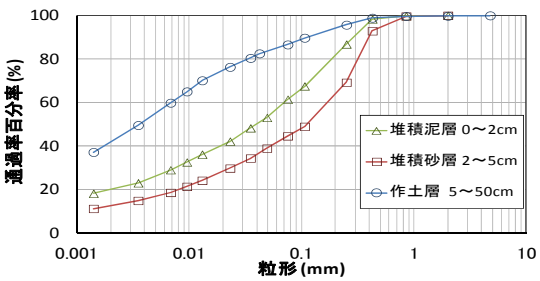
農地土壌は，海水の影響が残り，ESP も高いことに加え，微細な粘土が多いため，除塩が難しい状態である。



図－１　調査場所
Fig.1 Investigation Site of Tsunami-Affected Farmland

表－１　物理性・化学性
Table 1 Character of Physical-Chemical

採取深度			0～2cm	2～5cm	5～50cm
分析項目／試料名			堆積泥層	堆積砂層	作土層
含水比		kg kg^{-1}	0.30	0.29	0.60
真比重		－	2.67	2.66	2.62
粒形	砂	%	39	56	13
	シルト		35	28	30
	粘土		26	17	57
50%粒径		mm	0.04	0.111	0.003
強熱減量		10^2kg kg^{-1}	6	5	8
全炭素			0.8	1.0	1.9
全窒素			0.07	0.08	0.17
全硫黄			0.06	0.05	0.13
pH		－	6.6	4.9	4.5
EC		dS m^{-1}	6.9	1.1	1.9
水溶性イオン（土：水=1：5）	Na^+	kg L^{-1}	1.0	0.3	0.5
	K^+		0.04	0.01	0.01
	Ca^{2+}		0.3	0.0	0.1
	Mg^{2+}		0.2	0.0	0.1
	Cl^-		2.5	0.6	1.1
	SO_4^{2-}		0.2	0.1	0.1
	NO_3^-		＜0.0001	0.009	0.003
交換性イオン	Ca^{2+}	$cmol_c$ kg^{-1}	8.9	3.4	6.6
	Mg^{2+}		3.4	1.8	3.2
	K^+		0.8	0.5	0.6
	Na^+		4.3	1.8	3.2
CEC			16	12	24
ESP		%	27	16	14



図－２　粒径加積曲線
Fig.2 Distribution Curve of Particle Size

（株）大林組技術研究所環境技術研究部* Obayashi Corporation Technical Research Institute Environmental Engineering Department，東北大学大学院農学研究科** Tohoku University, Graduate School Agriculture Science Facility of Agriculture，津波，塩害，理化学性

(2) 粘土鉱物の同定

図－３に堆積泥層の X 線回折図を示す。粒径 2μm 以下を用いて分析した。堆積泥層では，石英，緑泥石，長石，雲母粘土鉱物，スメクタイト，カオリナイトを確認した。定方位法の 14.10 Å ピークは，EG（エチレングリコール）処理で低角側へ移っているため，スメクタイトが確認できる。また，堆積砂層と作土層では，堆積泥層と同じ鉱物が確認された。そこで，粘土鉱物のスメクタイトを含むため，除塩を行う場合，土の分散凝集性に対応する必要がある。

(3) 分散凝集性

図－４に分散凝集性を示す。試験は，風乾土 20g を 200mL 有栓シリンダーに量り取り，全体の容量を 200mL として 1 時間水平撹拌した後，24 時間静置後の沈定容積，上水濁度，EC と pH を測定する。次に，上液 100mL を純水と置換し，容量を 200mL として撹拌と測定操作を 7 回繰り返した。

堆積泥層と堆積砂層では，水置換 3 回で濁り始め，水置換 4 回で見通せなくなった。作土層では，水置換 1 回で濁り始め，水置換 2 回から濁度が上昇して，見通せなくなった。いずれも EC 1dSm^{-1} 以下に下がった状態で，土が分散した。土が分散した状態の pH は，堆積泥層では水置換 4 回で pH7.5 に上昇し，中性を保った。堆積砂層と作土層では，pH6 以下の弱酸性を示したが，水置換を行うごとに pH が上昇した。水置換による塩濃度低下によって，土の分散による濁度と pH の上昇が起きることから，交換性ナトリウムの影響が考えられる。そこで，除塩を行う場合，交換性ナトリウムを除かないと，濁水の発生や透水性の低下が起きる可能性がある。

(4) ESP（交換性ナトリウム率）

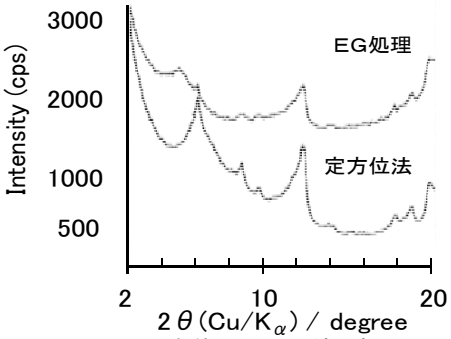
試験は，フルイ径 2mm 通過の風乾土を用い，ショウレンベルガー法に準拠して水溶性イオンを抽出後，酢酸アンモニウム液で交換性イオンを抽出し，CEC（陽イオン交換容量）を定量した。pH と EC は，土：水比＝1：5 の水溶液で測定した。表－２に堆積層と作土層の混合土の化学性を示す。

混合土は， pH5.1 の酸性，EC0.3dSm^{-1}，水溶性ナトリウム 1.2cmol$_c$kg^{-1}，交換性ナトリウム 0.7cmol$_c$kg^{-1} を示した。水溶性ナトリウムは一般の農地土壌よりやや高いが，交換性ナトリウムは多肥土壌と同じ程度あった。ESP は，水溶性と交換性ナトリウムを合計しても 9%で，土壌の物理性が悪化しない目安とされる 15%以下を示した。そこで，農地を耕うんして，堆積層と作土層を混合すれば，塩類濃度が物理的に希釈されることが確認された。しかし，交換性ナトリウムを吸着している土粒子が含まれているため，塩類濃度が下がると発生する土の分散などに注意する必要がある。

なお，交換性ナトリウムの測定に際し，津波をかぶった農地土壌では，一般土壌に比べ水溶性イオンが多いため，試験では事前の水洗処理が有効であることを確認した。

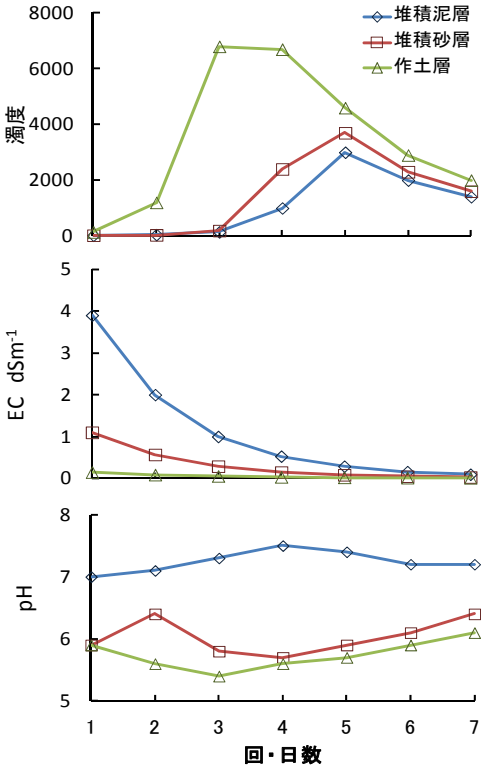
４． まとめ

津波をかぶった農地土壌は，被災から半年以上たっても海水の影響が残っている。土の塩類濃度が低下すると分散状態になるため，除塩を行う場合には，濁水の発生や透水性の低下への対策が必要である。今後も継続して研究開発を進め，その成果を被災地の復興に役立てていきたい。



図－３ 堆積泥層の X 線回折図

Fig.3 X-Ray Pattern of a Mud Layer in Tsunami-Affected Farmland



図－４ 分散凝集性

Fig. 4 Character of Dispersion-Flocculation

表－２ 堆積層と作土層の混合土の化学性

Table 2 Chemical Character of a Mixed Soil in the Sedimentary Layers, a Cultivated Layer

pH		−	5.1
EC		dS m^{-1}	0.3
水溶性イオン	Ca^{2+}	cmol$_c$ kg^{-1}	0.2
	Mg^{2+}		0.1
	K^{+}		0.1
	Na^{+}		1.2
交換性イオン	Ca^{2+}		7.0
	Mg^{2+}		3.2
	K^{+}		0.7
	Na^{+}		0.7
CEC			20.4
塩基飽和度		%	57
ESP(交換性)			3
ESP(水溶性・交換性)			9

＜参考文献＞

1) 南條，新井，他：農地土壌の津波被災とその修復および岩沼市における試験事例，沙漠研究（投稿中），2013
2) 杉本，三好：塩害農地の対策技術～木材チップ塩成土壌改良方法，大林組技術研究所報 No.76，2012