

農地の除塩対策実験計画

NTC コンサルタンツ開発事業部

渡邊 博・後藤秀樹（東北支社）

1. 農地の塩害に関する問題点と課題

除塩は、真水で洗い流す湛水除塩が最も簡便で一般的な方法である。しかし、仙台平野は排水機場が壊滅的被害を受けたことに加え、地盤沈下で排水機能が低下しているため、現状では多くの区域が湛水による除塩作業ができない状況におかれている。浸水被害を受けていない農地でも、排水機場の排水系統に入っている区域では、下流に排水することができないので、作付けを断念せざるを得ない農地も少なくない。

湛水除塩は、代掻き作業によって土壌中の塩分を湛水中に溶出させて洗い出す方法が一般的であるが、高塩分濃度の土壌では数回の代掻きを繰り返さなければならない。しかし、仙台平野の多くは泥炭が卓越し、代掻きによって耕盤が破壊されやすいので、一度に代掻き作業を何度も行うことは難しい。そのために、湛水除塩を前提とした場合、営農を本格的に再開できるまでに数年間かかる地域も少なくない。

塩水の農地浸水は、浸透圧によって根が水分や養分を吸収できなくなるだけでなく、土壌中の有用微生物が高塩分によって死滅し、作物の生育障害、整理障害に加え、病虫害が発生しやすい環境に晒してしまう。そのため、長期間高塩分濃度状態に置かれた農地では、良好な農地として復活させるために、多大な労力と期間を要する危険性がある。また、長期間営農が再開できない場合、農家の営農意欲も削ぎかねない。

2. 湛水除塩以外の除塩方法

排水環境が整うまでの間、除塩の促進と土壌環境の維持、回復を行う有効な方法として、以下のような対策が考えられる。もちろん天水以外の水は使わないことが前提である。

表-1 湛水除塩以外の除塩方法

方法		内容
土壌排水性の改良	弾丸暗渠	排水の縦浸透促進
	土壌改良材	土壌の排水性改良（セラミック系等）
塩分の吸着	塩分吸着材	塩分の吸着（ゼオライト系等）
	除塩作物	耐塩性作物による塩分吸収

(1) 弾丸暗渠による排水改良

弾丸暗渠は、水分の縦浸透を促進させて塩分を排除しようというものである。湛水除塩が可能な農地でも、代掻き作業が難しい場合にも採用可能な手法である。

弾丸暗渠は、耕盤 20～30cm の深さの耕盤に亀裂を入れ、排水溝や本暗渠に土壌水を排水

するもので、牽引機（トラクター）と弾丸暗渠用の破砕機があればよく、特に資材を必要としない。

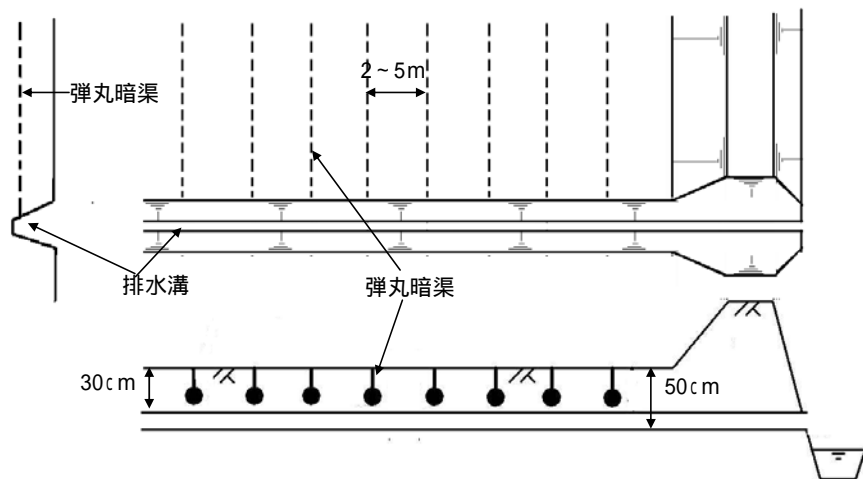


図-1 弾丸暗渠施工イメージ

(2) 土壌改良材

重粘土や泥炭のような排水性の悪い土壌を土壌改良材により団粒構造にし、排水性を高める。堆肥等の有機資材も有効であるが、即効性が劣るので、市販の土壌改良材を用いる。

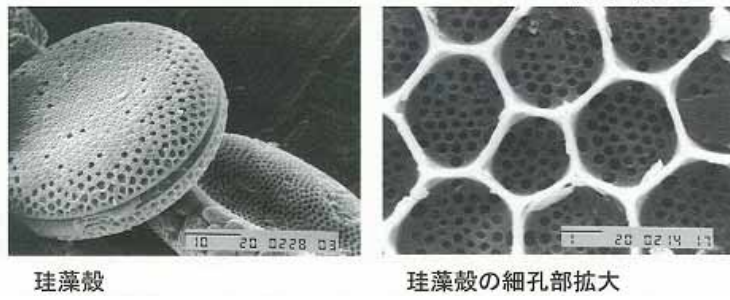
塩害に対応した様々な土壌改良材があるが、ここでは鳥取大学等の研究により開発されたけい藻土焼成粒（イソライトCG）を取り上げる。けい藻土焼成粒は、けい藻土を均一な粒状にし、1000以上の高温で焼成して製造するセラミックス化した硬質の多孔質粒子で、容積重が約0.6、孔隙率が70%以上の多孔質である。ケイ酸、アルミニウム、鉄が主要成分となっている。

けい藻土焼成粒は、土壌の排水性を高め除塩を促進すると同時に、通気性と保水性の両方を改善するので、作物生育環境も向上する。除塩作物と混用すれば除塩効果はより高くなると推察される。圃場を反転耕起（30cm程度）して比較的塩分濃度の低い土壌を表面に起こし、このとき土壌改良材として土焼成粒を混入する。これにより表層土の塩分を低下させ、中下層は土焼成粒で通気性、排水性を高めておく。ナトリウムと塩素を分離し、除塩しやすいようにするために、石灰を投入する。

けい藻土焼成粒は政令指定土壌改良材地力増進法施行令5号に指定され、イソライト工業(株)、(株)昭和技研、(株)ジャットなどから販売されている。



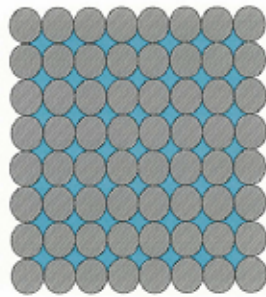
写真-1 けい藻土焼成粒



珪藻殻

珪藻殻の細孔部拡大

改良前の土壌の構造



改良後の土壌の構造

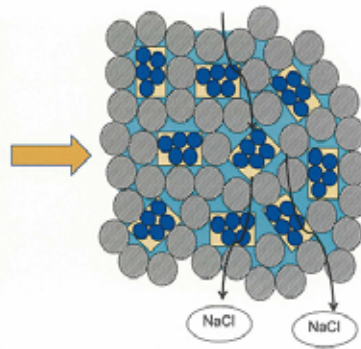
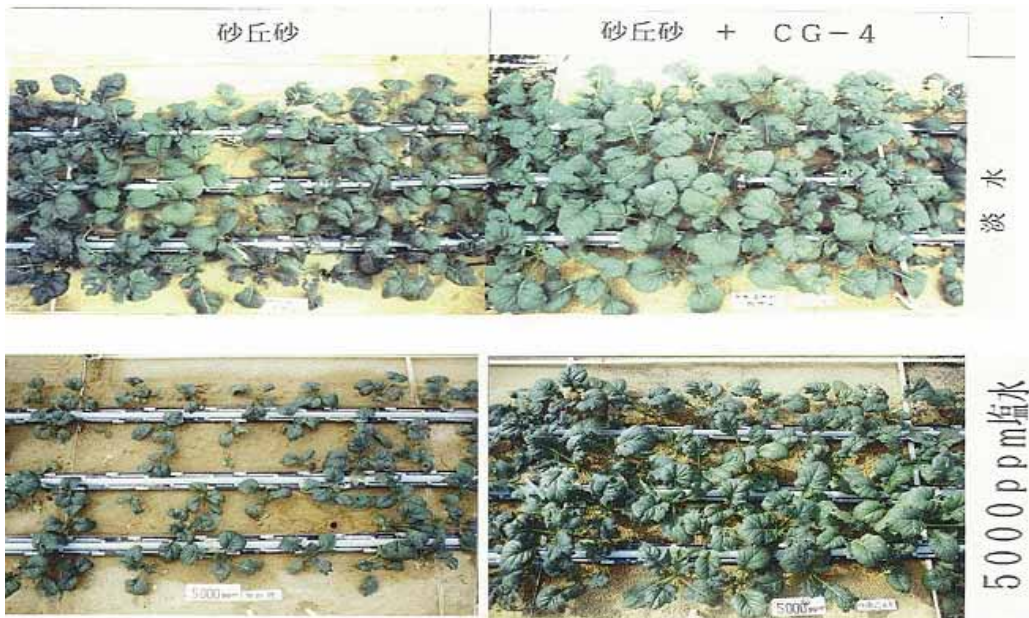


図-2 土壌改良材（土焼成粒）



砂丘砂 塩分濃度5000ppm

砂丘砂+CG 塩分濃度5000ppm

写真-2 土壌改良材土焼成粒を使用した場合としない場合の作物生育状況

(3)塩分吸着材

塩分を吸着する資材としてゼオライト系や活性炭系の土壌改良材がある。これらは非常に小さい細孔を有し、正イオンに帯電しているため、他の分子との吸着性が非常に高いという性質を持っている。

このような性質を活かし、脱臭剤、水質浄化材、吸湿材などのほか、窒素、リン、カリを吸着し土壌の保肥力を高めるので、土壌改良材としても使われている。他の土壌改良材に対して特長的なことは、重金属や塩分、放射性物質も吸着する性質があり、除塩材として使用できる可能性がある。

本検討では、(独)農業環境技術研究所、東京シンコール(株)等の共同研究により開発された活性炭ペレットとゼオライト(人工ゼオライト50%、硬質天然ゼオライト25%、軟質天然ゼオライト25%)の資材を用いて検討する。

他資材との比較

	イソライトCG	黒曜石パーライト	真珠岩パーライト	ゼオライト
主な用途	・通気性改善 ・透水性改善 ・保水性改善	・透水性改善	・保水性改善	・保肥性改善
粒径	1~2mm	5~10mm	1mm以下	0.5~1.3mm
外観・性状	顆粒粒 円筒形 水に沈降	大粒状 軽い・水に浮く	粉末状 軽い・水に浮く	粉碎顆粒粒 水に沈降
透水係数 (cm/sec)	8.2×10^{-1}	7.5×10^{-1}	1.7×10^{-2}	3.2×10^{-1}
有効水分 (PF1.8~42)	26%	19%	24%	6%
粉化率	2.8%	57.3%	39.4%	—
陽イオン交換 容量	7meq/100g	—	—	130~180meq/100g

(4)除塩作物

除塩作物は、過湿に強く、耐塩性があり、資材費がかからないことを満たす必要がある。また、当地区では排水の問題があるので、天水のみで栽培可能な作物であることが求められる。

耐塩性作物栽培は、作物の塩分吸収機能による除塩を主目的とする場合と、商品作物として営農の早期再開を実現することを主目的とする場合が考えられる。除塩のみを目的とする場合は、収穫をする必要がないので、農作業の簡便性から成果物を土壤に鋤きこんでしまうのもひとつの手段かもしれない。一方、商品作物として栽培する場合は、品質と収量が重要になるので、ある程度手間がかかるのは避けられない。

耐塩性作物としては、トウモロコシ、ソルガム（イネ科モロコシ属）、キャベツ（アブラナ科）、ビート（アカザ科）が代表的である。また、湿害、塩分には弱いが高畦にして砂丘等でマクワウリ、露地メロンなどのウリ科の野菜が栽培されている事例がある。

比較的労力がかからない作物では、除塩効果はトウモロコシが最も高いとされている。例えば、火山灰土壤でトウモロコシを夏季に55日程度栽培し、土壤のECは2.5mS/cmから約1mS/cmまで低下したという例がある（小野、1994）。デントコーンおよびソルゴーはカリの吸収量が多く、一作で10a当たり、30kg以上である（中嶋、1986）。スマトラ地震のときはラッキョウ栽培の実績がある。

ウリ科の野菜は塩分に弱いので、塩害を起こしている農地での栽培は敬遠されているが、佐賀県の干拓地では高畦（約50cm）にして栽培している実績がある。高畦にすることで湿害を避けることができるが、佐賀県の試験では下層からの塩分補給はほとんど見られず、問題なかったとしている。

これらの他に、耐久塩性が高く、商品価値のある作物としてアイスプラント、菜の花、塩トマトなどが注目されている。アイスプラントは、塩分だけでなく、土壤中のミネラル分も大量に吸収するので、土壤管理には十分注意を払う必要があるが、水耕栽培で海水と同程度の塩分濃度でも生育するといわれるほど耐塩性は非常に高い。栽培開始時期が春先であるため、今回の試験では見送ったが、今後検討されても良い作物であると考えられる。

塩トマトは、熊本県八代地域など土壤塩分濃度が高い干拓地などで栽培される特別栽培のトマトで、果物並みに甘い。収穫時期は11～5月頃、3月がピークである。栽培地域が限定されるので、希少価値があり超高級品として贈答用などにも使われる。宮城県では岩沼で導入の計画がある。

菜の花も除塩降下が高いといわれ、油を抽出できることから商品価値も高い。東北大学のチームが中心となり、仙台市などで栽培計画がある。

表-2 野菜目別の土壌および用水中の限界塩素(Cl)濃度の目安

耐塩性	作物名	土壌中 Clmg/100g	用水中 Clppm
弱	メロン イチゴ インゲン ニンジン レタス	40～50mgを目安 (NaCl 70～80) メロン 50mgCl 内が安全 104、160mg 不可 白石分場 Na 1me 健全	200ppm 以内を目安 (NaCl 350 以内) EC0.6～0.7ms 以内を目安 イチゴ 400ppm 以内 NaCl メロン 400ppm 以内 NaCl イチゴ活着後一時 2000NaCl 一般河川 3～15 Clが多い
中	タマネギ コショウ サツマイモ ソラマメ パレイショ ショウガ ゴボウ エンドウ ナス	50～60mgを目安 (NaCl 80～100) ナス品質 50～60Cl 安全 収量 70～80Cl 安全 タマネギ 167NaCl 健全	250ppm 以内を目安 (NaCl 450 以内) EC 0.8～0.9ms 以内を目安 ナス 500ppm 以内 NaCl アオジソ 170ppmNa で障害 (Cl で 280ppm 程度)
強	ハウレンソウ キャベツ スイカ カボチャ サトイモ トウモロコシ トマト ブロッコリー アスパラガス ダイコン ネギ ハクサイ	60～70mgを目安 (NaCl 100～120) トマト 60～70Cl 以下 EC 0.6～0.7ms 以下がよい	300ppm 以内を目安 (NaCl 500ppm 以内) EC 1.0～1.1ms 以内を目安 ミニトマト 133ppm Na 健全 (Cl で 210ppm 程度) トマト、スイカ、ピーマンは NaCl が 20me/l で障害 (NaCl で 1170ppm 程度) (Cl で 700ppm 程度)
極強	ササゲ ダイズ アズキ インゲン ラッキョウ ソルゴー トウモロコシ デントコーン	80～90mgを目安 (NaCl 130～150)	350ppm 以内を目安 (NaCl 600ppm 以内) EC 1.2～1.3ms 以内を目安 多くの作物が 10me/l の NaCl で 障害を受けた (NaCl で 580ppm 程度) (Cl で 23ppm 程度)

1mg / 100g = 10ppm

3. 除塩実験計画

農業用水を使わない除塩方法の効果を確認するために、実際に津波が浸水した農地を使って実験を行うこととした。

(1) 実験圃場位置



写真-3 実験ほ場位置図

(2) 実験圃場区割

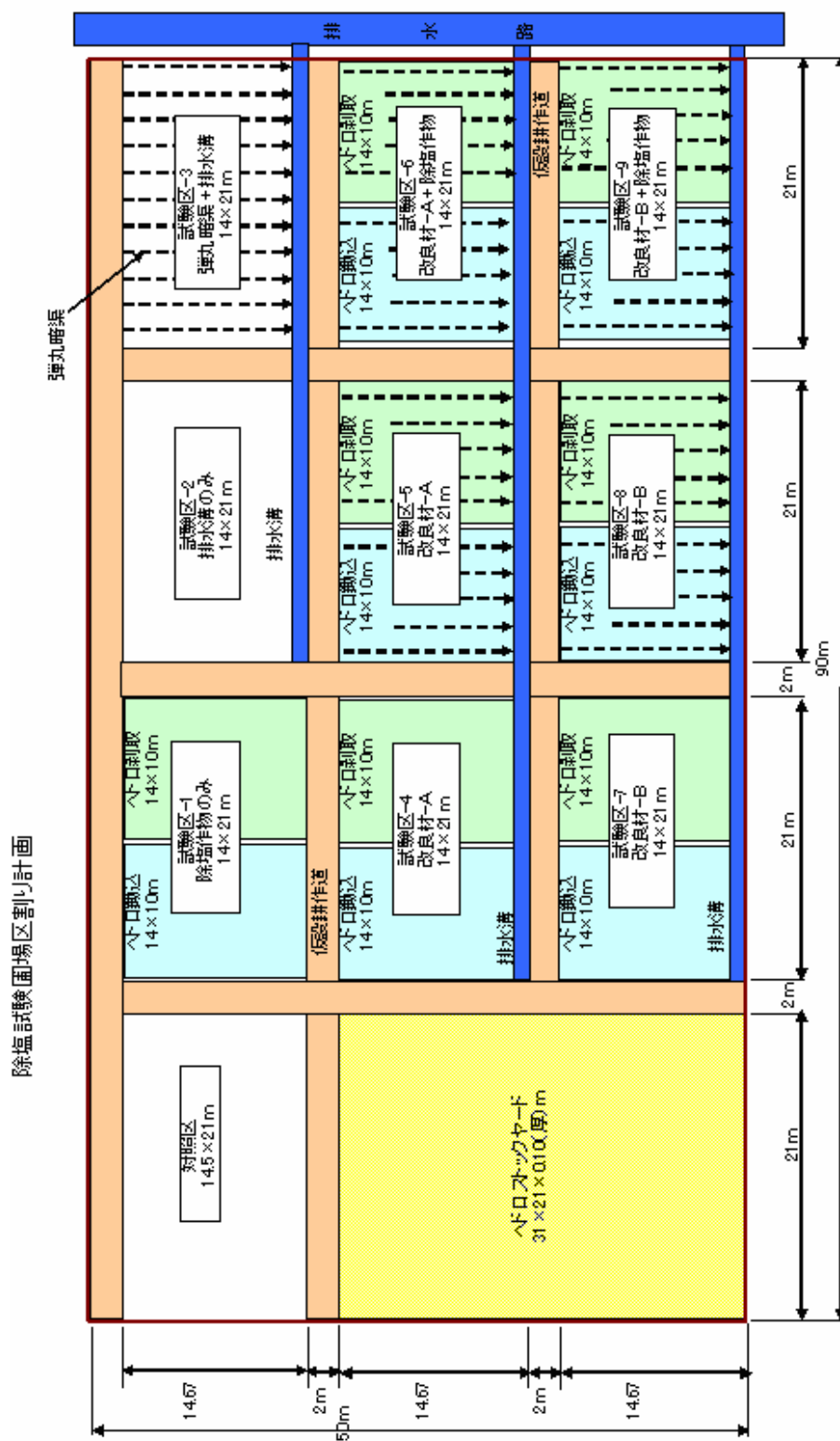


図-3 実験圃場区画面図

(3) 試験区

各試験区の条件は下表に示すとおりである。除塩作物は、栽培管理が比較的簡単で、栽培時期が試験期間と一致する耐塩性の高い緑肥用ソルゴー（スタックス）を採用した。

ヘドロは原則として除去するよう指導されているが、除去作業やヘドロの搬出場所の確保の問題があり、重金属や硫化化合物等の有害物質が含まれていない場合は農地に鋤き込んだ方が効率は良い。当該ほ場の堆積ヘドロには有害物質が含まれていなかったことから、ヘドロを農地に鋤き込んだ場合の影響を検証するために、本実験ではヘドロを圃場に鋤き込むブロックと、除去するブロックを設け、その比較を行うこととした。

表-3 試験区の条件

試験区	弾丸暗渠	排水溝	ヘドロ処理	改良材	除塩作物
対照区	×	×	×	×	×
試験区-1	×	×	鋤き込み	×	
	×	×	剥ぎ取り	×	
試験区-2	×		×	×	×
試験区-3	×		×	×	×
試験区-4	×		鋤き込み	珪藻土	×
	×		剥ぎ取り	珪藻土	×
試験区-5			鋤き込み	珪藻土	×
			剥ぎ取り	珪藻土	×
試験区-6			鋤き込み	珪藻土	
			剥ぎ取り	珪藻土	
試験区-7	×		鋤き込み	ゼオライト	×
	×		剥ぎ取り	ゼオライト	×
試験区-8			鋤き込み	ゼオライト	×
			剥ぎ取り	ゼオライト	×
試験区-9			鋤き込み	ゼオライト	
			剥ぎ取り	ゼオライト	

写真-4 実験圃場

<p>実験圃場</p>	<p>実験圃場</p>
	
<p>耕起作業</p>	<p>石灰投入</p>
	
<p>活性炭、ゼオライト散布</p>	<p>珪藻土混入</p>
	

4. 土壌分析結果

(1) 巨理・山元町の電気伝導度

実験ほ場の試験開始前の詳細の土壌分析は現在実施中であり、ここでは簡易の電気伝導度、pH測定結果を報告しておく。

表-4 電気伝導度測定結果(4月23日調査)

町名	特徴	電気伝導度
巨理町	東部道路より内陸側の漂着物の少ない水田	7mS/cm
	東部道路より海岸側の漂着物の多い水田	5mS/cm
	漂着物は少ない水田	0.05mS/cm
	漂着物が見られ、一部塩の結晶が観測された水田	6.1mS/cm
	漂着物が少ない水田脇の水路	4.1mS/cm
	漂着物が見られ、一部塩の結晶が観測された水田脇の水路	1.2mS/cm
山元町	浸水痕跡のある水田	9mS/cm
	浸水痕跡のある水田	6mS/cm
	試料-1 浸水痕跡のある水田	9mS/cm
	浸水痕跡のある水田	2mS/cm
	資料-2 浸水痕跡のない水田	0.2mS/cm
	排水路	0.6mS/cm

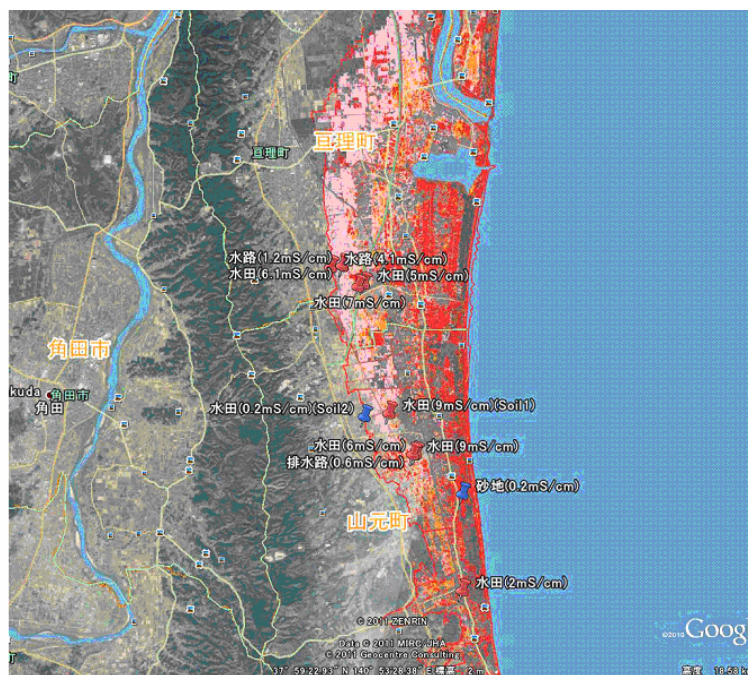


図-4 電気伝導度測定位置

なお、現地測定結果の制度を確認するために、室内試験で電気伝導度を検証したが、下表に示すように現地測定結果と大きな差は見られず、簡易測定結果は信頼できるものと判断される。

表-5 実験ほ場付近の土壌サンプル室内測定結果(山元)

項目	試料-1 (浸水痕跡のある水田)		試料-2 (浸水痕跡のない水田)	
電気伝導度	9.26	平均 8.54mS/cm	0.18	平均 0.17mS/cm
	5.78		0.22	
	6.22	現地測定 値 9.0mS/cm	0.14	現地測定値 0.2mS/cm
	11.07		0.17	
	10.39		0.16	
温度	22.2		22.2	

(2)実験ほ場の電気伝導度とpH

実験ほ場の電気伝導度とpHの水位は以下の通りである。5/13と6・9の測定結果では、表層の電気伝導は低下傾向を示し、逆に下層の電気伝導度は上昇傾向が見られる。これは雨水によって塩分が縦浸透していることを示していると思われ、縦浸透を促進させれば、天水だけでもかなり除塩を進めることができることを示唆しているものと思われる。なお、7/13の測定結果では(このときは表層しか測定しない)6月に比べて大きな変化は見られず、泥炭のような難透水性土壌では、天水のみでは十分な除塩促進は限界があり、弾丸暗渠や土壌改良による排水性促進や除塩作物による塩分の吸収等が必要であることをうかがわせる。

表-6 非浸水農地と浸水農地の電気伝導度とpH(宮城県山元町)

層	2011/5/3 実験ほ場付近		2011/6/9 実験ほ場		2011/7/13 実験ほ 場10区の平均値		農地の 許容値	最適pH	全降雨量 (有効降雨量)
	pH	EC(mS/cm)	pH	EC(mS/cm)	pH	EC(mS/cm)	EC(mS/cm)	pH	
5cm	4.7	4.14	4.9	2.79	6.5	2.73	0.30	水稻 5.5~6.0	5/9~6/8 173.5(130.4)
25cm	4.6	1.28	5.9	1.73	-	-		イチゴ5.0~6.0	
50cm	6.1	0.50	6.3	1.71	-	-		大豆 6.0~6.5	

【参考】湛水除塩方法

除塩用水

200-250ppm 以下の水が 10a 当り 100m³ 以上必要である（塩分濃度により最終確認する）

排水性の確保

圃場では縦浸透性の確保が重要で、粘性土では心土破碎や暗渠排水の施工が望ましい。砂質土の場合は特に必要ない。排水路や排水機場が機能していない場合は、これらの復旧が前提となる。

ナトリウムで土壌が粘土化している場合は 150~200 kg / 10a の石灰資材を投入し、耕起して土壌を混和する。ただし、砂地や縦浸透性の高い土壌では施用しない方がよい。石灰資材としては、弱酸性やアルカリ性（pH6 以上）土壌では硫酸カルシウム（石膏系）を用いると効果が高い。強酸性土壌では炭酸カルシウムが望ましいが、水溶性が低いので、土壌排水を高める他の土壌改良材を併用すると良い。ハウス土壌では硫酸根（硫酸イオン SO_4^{2-} ）の影響が懸念されるので、石灰資材は投入せず、暗渠排水などで排水機能を強化し、湛水除塩するのがよい。

ヘドロの堆積

水田に流入した土砂や泥のうち、黒っぽい泥が堆積している場合は、硫黄化合物である硫化鉄（FeS）を含んだ海底堆積土の可能性があるので、その除去が必要である。

粘土質土壌の乾燥

粘土質の場合、湿潤状態では除塩効果が劣るので、耕起後に十分に乾燥してから湛水除塩するのが望ましい。

湛水

塩分含量にもよるが、目安として 100mm/回程度の湛水を行う。水田の場合、目安として田面残留水電気伝導度 EC 2.2mS/cm 以下、土壌 EC 0.3mS/cm 以下になるまで湛水除塩を繰り返す。湛水の目的はあくまで除塩なので、縦浸透が機能するように代かきは行わない方が効果が高い場合もある。必要に応じて弾丸暗渠を組み合わせるのも良い。

除塩作物の作付け

除塩効果が高い作物として、大麦、エン麦等（年内刈り取り）、イタリアンライグラス（来年春刈り）等がある。根の伸長により、圃場の排水機能が高くなる効果も期待できる。

施肥等

塩害により土壌の団粒構造が不安定になっている可能性があるため、有機資材の施用が望ましい。また、除塩により硝酸態窒素などの肥料分も流失してしまう可能性があるため、適宜肥料を施用することに心がける。電気伝導度や pH だけで土壌塩分を推定すると、硝酸態窒素の含有と塩素含有の違いがわからないので、施肥後の EC 再上昇が塩素含有なのか硝酸態窒素含有なのかを精査することが必要である。

ハウス土壌管理

ハウスやマルチでは表層に塩類集積が進みやすいので、元肥は少なめにし、追肥で補い、灌水は少なめにするなどの対応が必要である。

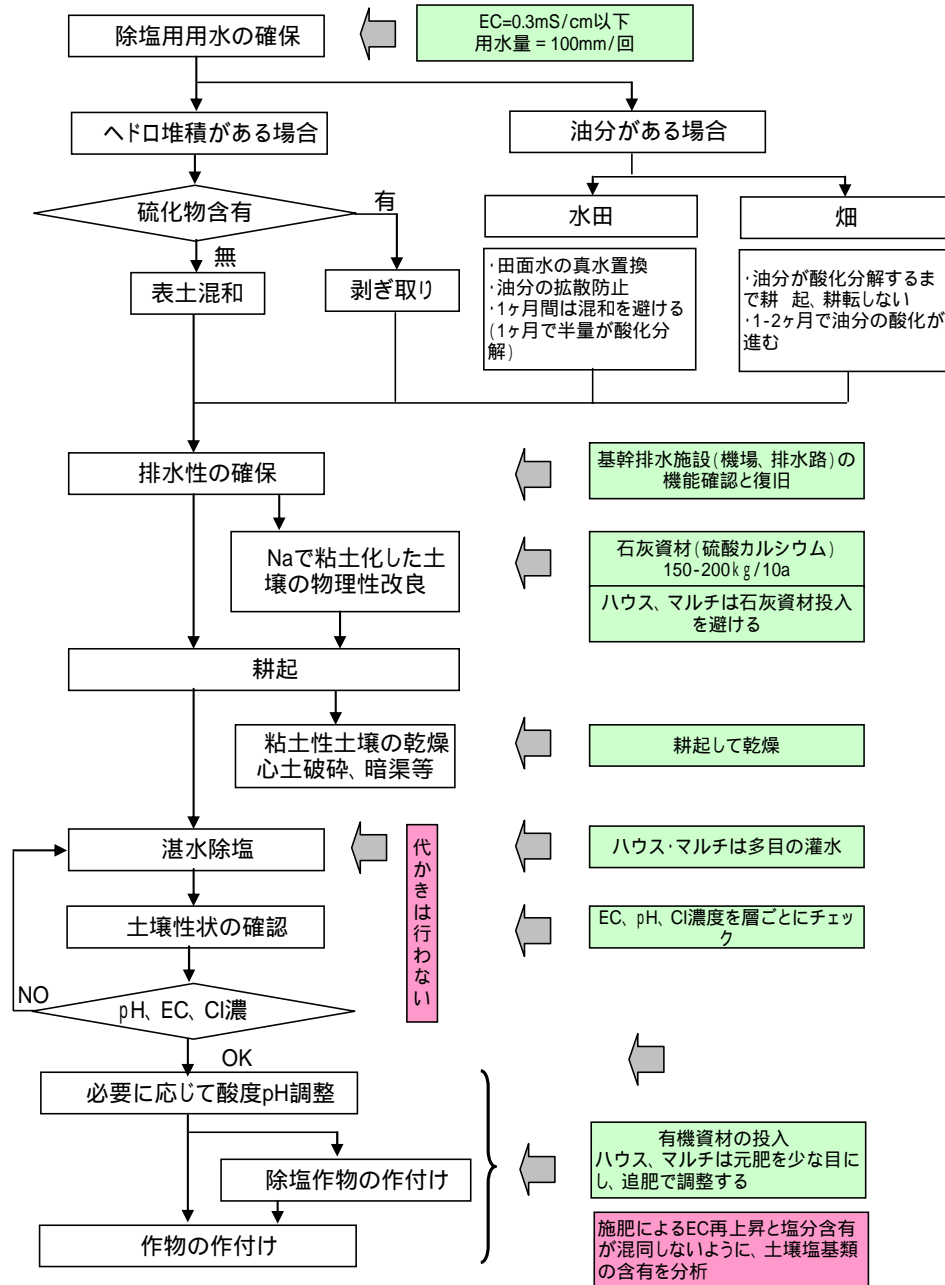


図-5 津波による塩害の湛水除塩対策フロー