

平成 28 年熊本地震における液状化の発生が施設栽培土壌に及ぼした影響

古賀伸久・身次幸二郎¹⁾・富永純司^{1),2)}・中野恵子³⁾・草場敬・新美洋・井原啓貴・
山口典子⁴⁾・山根剛⁵⁾

(2018 年 3 月 8 日 受理)

要 旨

古賀伸久・身次幸二郎・富永純司・中野恵子・草場敬・新美洋・井原啓貴・山口典子・山根剛：平成 28 年熊本地震による液状化の発生が施設栽培土壌に及ぼした影響。九州沖縄農研研究資料 95：42-48, 2019.

平成 28 年熊本地震は熊本県内の広い範囲で地盤に液状化を引きおこし、一部の野菜栽培施設ではトマトなど栽培中の作物に生育停滞や収穫量減少などの被害をもたらした。このような被害が次作以降も起こりうるか、営農の再開に向け液状化が施設栽培土壌に及ぼした影響を明らかにすることは重要である。そこで、施設や作物への被害が発生した施設ほ場において液状化が土壌の化学性や物理性に及ぼした影響を調査した。施設内の液状化が発生した部分で、土壌中の砂の割合が増加する施設や透水性が低下する施設が一部で確認されたが、液状化の発生部分と地震の影響を受けなかった部分では作土の化学性、砂の重量割合、土壌透水性に作物の生育に影響するような大きな差はなかった。液状化に伴って発生する噴砂の量と質は、地震や発生地域によって異なり、将来起こりうる大規模地震に伴う液状化の発生については、噴砂を農地にそのまますき込んで良いかどうかの判断が求められることになる。そのためには噴砂の発生量や化学的、物理的性質を速やかに評価することが重要になると考えられた。

キーワード：平成28年熊本地震、液状化、噴砂、施設栽培、トマト、土壌透水性、電気伝導度

I. 緒 言

2016 年（平成 28 年）4 月、最大震度 7 を 2 度記録する大規模地震が熊本地方で発生した。「平成 28 年熊本地震」と名付けられたこの地震によって地域の農業は大きな打撃を受け（金森, 2017）、農地の損壊、畜舎の倒壊、ため池や用排水路等水利施設の損傷など農業関連被害（確定値）は、約 1353 億円

（2018 年 3 月 13 日熊本県農林水産部発表、農林水産業全体の被害額は約 1826 億円）に達した。農業生産の基盤となる農地では、法面崩壊、亀裂、液状化、不陸（地表の凹凸）などの被害が発生した。

熊本県はトマトをはじめとする施設野菜の大産地である（熊本県農林水産部, 2016）。平坦地で盛んな施設トマトの一般的な作型では、8 月中旬から 10 月頃にかけて苗の定植が行われ、翌年の 6 月頃まで

九州沖縄農業研究センター生産環境研究領域：〒 861-1192 熊本県合志市須屋 2421

- 1) 熊本県農業研究センター生産環境研究所
- 2) 現、熊本県保健環境科学研究所
- 3) 九州沖縄農業研究センター水田作研究領域
- 4) 現、中央農業研究センター土壌肥料研究領域
- 5) 現、北海道農業研究センター生産環境研究領域

収穫が続けられる。平成28年熊本地震（以下、熊本地震と略す）が発生した4月は施設トマトの収穫盛期であったが、一部のトマト栽培施設では地震発生直後、農地土壌に液状化や亀裂が発生した。また、液状化による施設の支柱の沈み込み等施設損壊の被害が発生し、農地地下部の調査が行われた（井上ら、2018）。海沿いの干拓地に立地する被災施設の一つでは、液状化による噴砂の発生に伴い土壌EC（電気伝導度）や地下水位が急激に上昇し、6月頃にはトマトの茎が細くなる、果実が太らないなどの被害が報告された。

2000年（平成12年）以降に日本国内で発生した大規模地震の発生に伴う農地の液状化については、その被害状況や復旧対策が、平成16年新潟県中越地震（稲葉ら、2005；藤森ら、2006；大嶺ら、2006；谷本ら、2006）、平成19年能登半島地震（北田ら、2008；北田、2009）や東日本大震災を引き起こした平成23年東北地方太平洋沖地震（若杉ら、2012；瑞慶村ら、2012）で報告された。また、液状化によって農地に発生した噴砂の化学組成や粒径組成などの諸性質についても、平成16年新潟県中越地震（松村・千葉、2006）、平成19年能登半島地震（北田ら、2008）や平成23年東北地方太平洋沖地震（小柳ら、2012；瑞慶村ら、2012）で報告されている。さらに、噴砂を用いて栽培した作物の生育を調査したポット栽培試験の結果が、水稻やダイズ（松村・千葉、2006）、オオムギ（小柳ら、2012）で報告されている。

液状化による土壌環境の変化が次作に影響を及ぼす懸念がある中、熊本地震の被害を受けた生産者の多くが早いところでは8月中旬に始まる次の作付けを計画していた。このことから、本研究では営農再開後の栽培管理において参考となる情報を生産者に提供することを目的として、液状化により発生した噴砂の化学的性質を解明するとともに、熊本地震による液状化の発生が施設栽培土壌の諸特性に及ぼした影響を調査した。

液状化の影響に関する本調査の実施にあたり調査にご協力いただいた生産者の皆さま、土壌の採取、透水性測定でご支援いただいた農研機構九州沖縄農業研究センター業務第1科の青木亮氏、調査ほ場の土壌分類でご助言いただいた農研機構農業環境変動研究センターの小原洋博士にお礼申し上げます。また、

本調査は農林水産省の平成28年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業の緊急対応研究課題として実施された。本研究資料で報告する内容は、「土づくりとエコ農業」49：62～66（2017）で公表されている。

II. 材料および方法

1. 調査地および調査方法

熊本地震による液状化の被害を受け、2016年の8月中旬以降トマトまたはミニトマトの作付けを予定していた4施設ほ場（熊本市Aほ場、玉名市B、Cほ場、八代市Dほ場）において作付け前の6月に噴砂を採取し、その化学性を明らかにした。また、同年7月下旬から8月上旬に、それぞれの施設ほ場において水や砂の噴出により液状化が明らかであった部分（液状化区）と同一ほ場内で液状化区から離れ、地震の影響が表面上ほとんど確認されなかった部分（対照区）で土壌を比較することで、土壌の化学性や物理性に対する液状化の影響を評価した。調査を実施した4ほ場は、いずれも海沿いの干拓地に立地し、噴砂のほ場内での移動やほ場外への持ち出しは行われていなかった。また、採取した土壌は耕うんにより噴砂がすき込まれた後の土壌であった。写真1は、地震発生から約1ヶ月後の2016年5月に玉名市のBほ場で撮影された噴砂の様子である。ビニールシートの下に濃灰色の噴砂がびっしりと堆積していた。なお、A～Dの施設ほ場は、それぞれ楳山ら（2018）による地震発生後最初の作付けと



写真1 トマト施設ほ場内のビニールシート下にびっしりと堆積した濃灰色の噴砂（矢印）

図表中のBほ場、2016年5月撮影。写真提供：熊本県農林水産部農林技術課農業革新支援センター。

なるトマトやミニトマトの生育調査が行われた A～D の施設ほ場と対応する。

2. 噴砂および作土の化学性の測定

噴砂および作土（深さ 0～15cm, D ほ場のみ 0～20cm）中の pH (H₂O), EC, 塩素イオン濃度, 無機態窒素濃度, 有効態リン酸濃度, 交換性陽イオン濃度, 陽イオン交換容量 (CEC) の測定は, 土壤環境分析法編集委員会 (1997) に準じて実施した。有効態リン酸はトルオーグ法により, 無機態窒素濃度は, 10%塩化カリウム水溶液で抽出後, 抽出液中の硝酸態窒素, アンモニア態窒素濃度をオートアナライザー (AQ2 Discrete Analyzer, SEAL Analytical 社) で測定することにより定量した。また, 作土中の全炭素, 全窒素濃度は, 乾式燃焼法により元素分析装置 (Vario EL III, Elementar 社) を用いて測定した。対照区および液状化区からそれぞれ 3 カ所で土壌を採取し, 1 つに混合したものを分析に供した。

3. 作土中の砂の重量割合の測定

対照区および液状化区からそれぞれ 1 カ所で検土杖または試坑により土壌を採取し, 作土層について, 沈降法により砂画分 (粒径 0.02～2mm) とシルト以下の画分 (粒径 0.02mm 以下) を分離し, 砂画分の重量割合を測定した。深さ 0～15cm を含む土層における砂画分の重量割合を「作土中の砂の重量割合」として表した。

4. 土壤透水性の測定

対照区および液状化区の土壤透水性を評価するた

め, シリンダー法による定常浸入速度を測定した (土壤環境分析法編集委員会, 1997)。いずれのほ場でも, 耕うんされた土層を除去した上で定常浸入速度を測定した。対照区および液状化区それぞれにおいて 3 カ所で測定を実施した。

III. 結 果

1. 噴砂の化学的性質

調査を実施した 4 施設ほ場で採取した噴砂の化学的性質について, pH は 3 ほ場でアルカリ性 (pH 7.1～7.7) を示したのに対し, 八代市の D ほ場では酸性を示した (第 1 表)。噴砂の EC は, 噴砂を採取した周囲の作土のそれと同等かやや高い程度を示した。噴砂の pH や EC が高かった玉名市の B, C ほ場では, 塩素イオン濃度も高かった。噴砂中の無機態窒素濃度は総じて低く (0.1～5.5 mg/100g), そのほとんどが硝酸態窒素として存在した。有効態リン酸濃度および交換性陽イオン濃度は, 熊本市の A ほ場や八代市の D ほ場で低く, 玉名市の B, C ほ場で高い傾向がみられた。噴砂の有効態リン酸や CEC は作土のそれよりも小さかった。D ほ場の交換性カルシウムを除き, 交換性陽イオンについては, 噴砂と作土に顕著な差はみられなかった。

2. 作土の化学性に対する液状化の影響

対照区と液状化区の比較により, 液状化が作土の化学性に及ぼした影響を評価した (第 2 表)。対照区の数値から, もともと pH が低いほ場や, EC や

第 1 表 液状化発生ほ場で採取された噴砂の化学的性質

調査ほ場	ほ場内位置	作土、噴砂の別	pH (H ₂ O)	EC (1:5) dS/m	塩素イオン mg/100g	無機態窒素 mg/100g	NO ₃ -N mg/100g	有効態リン酸 mg/100g	交換性陽イオン			CEC me/100g
									CaO	MgO	K ₂ O	
Aほ場		噴砂	7.1	0.19	4.6	1.4	1.3	12	74	64	86	8
Bほ場	地点 1	作土	7.3	0.44	15.0	1.5	1.5	275	656	132	42	25
		噴砂	7.7	0.83	33.0	0.1	0.0	22	549	89	53	8
	地点 2	作土	7.6	0.83	17.0	2.2	2.2	282	616	136	70	28
		噴砂	7.7	1.20	82.0	1.3	1.3	41	894	145	85	13
Cほ場		作土	5.4	0.37	5.0	3.5	3.1	159	427	97	93	28
		噴砂	7.5	0.77	46.0	5.5	4.9	36	676	111	90	14
Dほ場		作土	5.6	0.77	15.0	17	16.7	16	322	55	26	15
		噴砂	4.5	0.79	6.0	1.4	0.9	4	82	75	14	4

作土は, 噴砂を採取した地点の付近で畦上から 0～15 cm の深さの土壌を採取したもの。B ほ場ではほ場内 2 地点で噴砂を採取し, A ほ場では作土の採取はなし。

第2表 液状化が作土の化学性に及ぼした影響

調査ほ場	試験区	pH (H ₂ O)	EC (1:5) dS/m	塩素 イオン mg/100g	無機態 窒素 mg/100g	NO ₃ -N mg/100g	有効態 リン酸 mg/100g	交換性陽イオン			CEC me/100g	全窒素 %	全炭素 %
								CaO	MgO	K ₂ O			
Aほ場	対照区	6.2	0.64	4.5	6.3	4.2	333	453	116	205	25	0.28	1.87
	液状化区	6.3	0.56	5.7	3.9	3.5	327	463	127	166	24	0.30	1.61
Bほ場	対照区	7.4	0.48	23.2	1.1	1.0	252	697	129	55	25	0.19	1.67
	液状化区	7.1	0.54	36.7	1.6	1.5	284	575	164	92	27	0.21	1.91
Cほ場	対照区	5.9	0.18	1.3	4.0	2.7	240	681	94	132	34	0.23	2.09
	液状化区	4.8	0.22	2.1	7.5	5.4	130	290	80	99	29	0.24	2.38
Dほ場	対照区	5.7	0.44	10.5	0.7	0.6	19	242	36	27	12	0.16	1.71
	液状化区	6.1	0.64	31.4	1.3	1.1	17	329	49	36	15	0.20	1.77

対照区と液状化区から深さ0～15cmの土壌を採取した(Dほ場のみ深さ0～20cmの土壌を採取)。土壌は各区から3カ所で採取し、一つに混合して分析に供した。

塩素イオン濃度が高いほ場があったが、液状化区との間に大きな差はなかった。無機態窒素濃度、有効態リン酸濃度、交換性陽イオン濃度、CEC、全窒素および全炭素濃度についても、対照区と液状化区の間には大きな差はみられず、作土の化学性に対する液状化の影響は小さいと考えられた。

3. 土壌の物理性に対する液状化の影響

砂の重量割合は、A、Bほ場では、対照区と液状化区の間には差はみられなかった(第3表)。一方、C、Dほ場では砂の重量割合がそれぞれ31から39%、61から70%に増加していた。

シリンダー法により求めた定常浸入速度は、Bほ場において液状化区で小さくなったが、その他のほ場では対照区と液状化区の間には差はみられなかった。Cほ場の液状化区で測定した3カ所のうち1カ

第3表 液状化が作土中の砂の重量割合に及ぼした影響

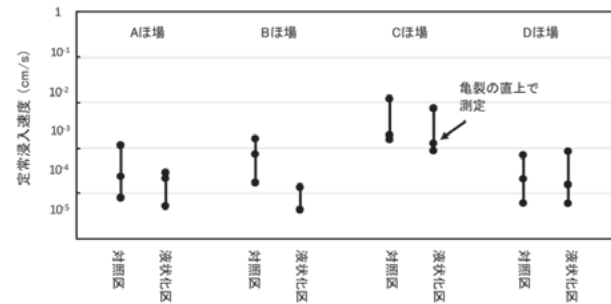
調査ほ場	試験区	砂の重量割合 (%)
Aほ場	対照区	66
	液状化区	67
Bほ場	対照区	55
	液状化区	55
Cほ場	対照区	31
	液状化区	39
Dほ場	対照区	61
	液状化区	70

所(第1図中のCほ場の矢印で示した点)の測定

値は、明瞭な噴砂発生経路となった亀裂の直上で測定された値であるが、定常浸入速度に極端な変化は生じていなかった。

IV. 考 察

1. 平成28年熊本地震により発生した噴砂の特徴



第1図 液状化が土壌の透水性に及ぼした影響
1区につき3カ所で測定

玉名市のB、Cほ場の噴砂は、熊本市のAほ場や八代市のDほ場の噴砂よりも、pH、EC、塩素イオン濃度、有効態リン酸濃度、交換性陽イオン濃度に高い傾向がみられた。日本国内で発生した大規模地震において液状化によって農地に発生した噴砂の化学性については、平成16年新潟県中越地震(松村・千葉, 2006)、平成19年能登半島地震(北田ら, 2008)や東日本大震災を引き起こした平成23年東北地方太平洋沖地震(小柳ら, 2012)で報告がある。これらの過去の地震で発生した噴砂では、pHはいずれも弱い酸性を示し、熊本地震ではアルカリ性を示す噴砂が調査された4ほ場のうち3ほ場で確認さ

れたこと（第1表）とは対照的であった。また、熊本地震で発生した噴砂においては、前述の3地震で発生した噴砂と比べてECが高く、この結果は今回調査を実施した施設ほ場が海沿いの干拓地に立地していたことと関係していると考えられた。玉名市のB,Cほ場の噴砂は、平成19年能登半島地震（北田ら、2008）や平成23年東北地方太平洋沖地震（小柳ら、2012）で発生した噴砂と比べてECが高いことが特徴であり、これは前述した噴砂のpHが高いこととも関係していると考えられた。

2. 液状化が土壤および次の作付けに及ぼした影響

一般に、液状化による噴砂の発生が噴砂すき込み後の土壤特性さらに作物の生育に及ぼす影響は、作土にすき込まれる噴砂の質と量に依存すると考えられる。今回調査を実施した4ほ場の中には、作土中の砂の重量割合が増加するほ場があったが（第3表）、土壤の化学性に対照区と液状化区で作物の生育に影響するような極端な差はなかった（第2表）。また、水や砂を噴出した亀裂の発生等に見られるような作土下の土壤構造は耕うんの影響を受けることなく次作以降に残りうるが（本調査では、耕うんされた土層を除去した上で土壤透水性を測定）、土壤透水性に対照区と液状化区で明らかな差はみられなかった（第1図）。また、今回調査を実施した4ほ場では、2016年8月中旬以降、地震発生後最初の作付けとなるトマトやミニトマトの定植が行われ、定植2週間後からその年の12月まで対照区と液状化区における草丈、葉色等の調査が実施されている（楯山ら、2018）。草丈、葉色などは、ほ場や時期によって対照区と液状化区の間有意な差がみられたが、収量に直接影響する開花果房数や着果（花）数では、いずれのほ場、時期においても有意な差はなかったことが報告されている。土壤の化学性、物理性に極端な変化がなかったとする本調査の結果が、営農再開後のトマト栽培に対して大きな影響がなかったことの裏付けになったと考えられた。

今回調査を実施したほ場において液状化による土壤や作物に及ぼす影響が小さかった理由として、発生した噴砂の量が小さかったことが考えられる。その一方で、熊本地震においてもほ場全面を覆うような大量の噴砂が発生した野菜栽培施設があり、このような施設では生産者自身の判断で農機や重機を使って噴砂を搬出したとする事例がある（私信）。

小柳ら（2012）は、平成23年東北地方太平洋沖地震で発生した酸性の噴砂を土壤の酸度矯正なしに栽培するとオオムギの生育が著しく劣ることをポット試験で明らかにしている。また、松村・千葉（2006）は、平成16年新潟県中越地震で発生した噴砂で水稻を栽培すると、対照となる当該ほ場の作土で栽培した時と比べ施肥を行った場合では有意な差はなかったが、無施肥条件では水稻の草丈が有意に劣ったことを報告している。このように作土中の噴砂の割合が高くなると、適切な対策を行わなければ作物の生育に悪影響が生じる可能性がある。また、噴砂は作土と比べてCECが小さい（第1表、北田ら、2008）。噴砂が大量に混和された作土では、施用した肥料の成分が土壤に保持されず、作物による肥料の利用効率を低下させてしまいかねない。その結果、コストや環境の面で長期的な問題を招く可能性がある。さらに、砂は一般に地耐力が小さく、大量の噴砂を作土に混入させてしまうと、トマトなどの作目では培土等の作業面で問題が生じる可能性がある。一度混和してしまった噴砂を作土から除去するのは現実的に難しく、熊本地震での大量の噴砂を自らの判断で搬出した生産者の対応は、再開後の営農に大いに有効だったと考えられる。

3. 将来の大規模地震で発生する液状化への対応

若松ら（2016）は、熊本地震において、最大震度が5強以上になると液状化の発生率が急激に高まったことを報告している。国内では、北海道から九州までの全国各地において、2000年以降も最大震度6弱以上を記録する大規模地震が高い頻度で発生しており（気象庁、2017）、今後も液状化の被害は全国各地でも発生する可能性がある。ひとたび液状化による噴砂が発生すると、生産者や営農指導者は噴砂をそのまますき込むのか、搬出するのか判断を迫られることになる。噴砂の質と量は地震や発生地域で異なり、土壤の専門家は速やかに噴砂の量と質を評価し、その判断根拠となるデータを提供することが求められる。

引用文献

- 1) 土壤環境分析法編集委員会（1997）土壤環境分析法．博友社，東京．
- 2) 稲葉一成・中野俊郎・田中聡（2005）中越地震

- による農地の液状化被害. 新大農研報 57:139-144.
- 3) 井上敬資・若杉晃介・脇山恭行・野見山綾介・古賀伸久・新美洋・井原啓貴・山口典子・山根剛・中野恵子・田中誠司 (2019) 平成 28 年熊本地震が農地の地下部に及ぼした影響. 九州沖縄農研研究資料 95:18-29.
- 4) 藤森新作・若杉晃介・谷本岳 (2006) 平成 16 年 (2004 年) 新潟県中越地震による水田の被害. 農工研技報 205:17-24.
- 5) 金森伸彦 (2017) 平成 28 年熊本地震における農業被害と普及組織の取り組み. 日作九支報 83:57-60.
- 6) 気象庁 (2017) 日本付近で発生した主な被害地震 (平成 8 年以降).
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html#higai1996>
- 7) 北田敬宇・源裕・高瀬裕章 (2008) 能登半島地震による被害水田の復旧対策. 石川県農業総合研究センター研究報告 28:7-17.
- 8) 北田敬宇 (2009) 能登半島地震の農業被害とその復旧. 日本土壤肥料学雑誌 80:545-548.
- 9) 熊本県農林水産部 (2016) くまもとの農業 2016.
https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_16641.html
- 10) 松村修・千葉雅大 (2006) 液状化現象による噴砂の作物生育への影響解明と栽培管理指針の策定. 中央農業総合研究センター研究資料 6:26-29.
- 11) 大嶺政朗・細川寿・帖佐直・足立一日出・谷本岳 (2006) 水田の液状化などによる被害の特徴—は場凹凸の実態—. 中央農業総合研究センター研究資料 6:14-17.
- 12) 小柳敦史・川口健太郎・村上敏文 (2012) 東北地方太平洋沖地震により茨城県稲敷市の水田で発生したオオムギの噴砂被害と湿害. 日作紀 81:212-218.
- 13) 榎山幹司・木場達美・三原順一・根角博久 (2019) 平成 28 年熊本地震による液状化が次作トマト類の生育に及ぼした影響. 九州沖縄農研研究資料 95:86-92.
- 14) 谷本岳・足立一日出・大嶺政朗・細川寿・帖佐直 (2006) 水田の液状化などによる被害の特徴—亀裂・噴砂の実態と暗渠の被害—. 中央農業総合研究センター研究資料 6:8-13.
- 15) 若松加寿江・先名重樹・小澤京子 (2016) 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震液状化調査報告 (第 3 報).
<http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~wakamatu/wakamatsu/jishin.html>
- 16) 若杉晃介・瑞慶村知佳・北川巖・原口暢朗 (2012) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による水田面の起伏 (不陸), 亀裂, 液状化に関する復旧対策技術. 農工研技報 213:53-62.
- 17) 瑞慶村知佳・北川巖・若杉晃介・原口暢朗 (2012) 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による利根川沿いにおける液状化を起因とする塩害が営農にもたらした影響. 農工研技報 213:63-71.

Liquefaction Impacts on Soil Properties in Greenhouse Farming Areas Affected by the 2016 Kumamoto Earthquake

Nobuhisa Koga, Kojiro Mitsugi¹⁾, Junji Tominaga^{1),2)}, Keiko Nakano³⁾, Takashi Kusaba, Hiroshi Niimi, Hirotaka Ihara, Noriko Yamaguchi⁴⁾, and Tsuyoshi Yamane⁵⁾

Summary

The 2016 Kumamoto earthquake seriously damaged crops, agricultural lands, and agricultural facilities. The earthquake caused liquefaction across large areas in Kumamoto prefecture, including those in coastal polders used for greenhouse farming. Despite the serious damage suffered by the farms, producers in the region planned to resume tomato production that year. Because the liquefaction might have altered the soil properties, we investigated the effects of liquefaction on the chemical and physical characteristics of the soils in four greenhouses. Although the sand content increased and the water permeability slightly decreased in the soils where liquefaction occurred in some greenhouses, the changes in the soil chemical and physical properties were often minimal and were not expected to seriously reduce the plant growth. The survey on tomato growth conducted after resumption of cultivation revealed that tomato production was not influenced by the liquefaction. The results of our soil survey and the unaltered growth of the tomato plants after the resumption of agriculture indicated that liquefaction in the polders did not sufficiently affect the soils to cause reduction in tomato production in the four investigated greenhouses.

Keywords: 2016 Kumamoto earthquake, Liquefaction, Sand fraction, Greenhouse farming, Tomato, Water permeability, Electrical conductivity

Division of Agro–Environment Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO, 2421 Suya, Koshi, Kumamoto 861–1192, Japan

1) Kumamoto Prefectural Agricultural Research Center

2) Currently, Kumamoto Prefectural Institute of Public–Health and Environmental Science

3) Division of Lowland Farming Research, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO

4) Present address: Central region Agricultural Research Center, NARO

5) Present address: Hokkaido Agricultural Research Center, NARO