

研究成果報告書

研究開発課題名	赤土等流出防止対策に効果が期待できる土壌回帰材(SG-1)を利用した土壌団粒化促進技術の開発
研究総括者	琉球環境(株)技術担当取締役:北畠 満(マネージャー:田中裕之)
研究開発組合	新技術研究開発組合 ・琉球環境(株) ・(株)大寛組 ・沖縄県土地改良事業団体連合会
試験研究機関	国立大学法人琉球大学

1 事業の実施内容

1.1 事業の背景及び目的

沖縄地方において水環境の汚濁となる赤土等の発生源の 8～9 割が農地とされている。これまで、赤土等流出防止対策について、沈砂池などの土木的対策が取られてきており、一定の効果は得られているものの、シルト分の流出は防ぐことが出来ない。また、農地を作物で被覆する事が最も有効な対策であり、冬期のサトウキビの刈り取りから夏植えの間に作物を植えることが極めて重要である。しかし、沖縄地方の多くの土壌は、シルト分が多いため痩せており、多様な被覆作物の推進には限界がある。このため、農地に土壌回帰材(SG-1)を混合し団粒化を促進させることにより土壌の浸透性・保水性を高め、土壌侵食自体の発生をなくす技術の開発を行う。上記を行う事で、沖縄独自の問題である赤土等の流出を防止することにこの技術が有効であるかを検証する。現在、土地改良事業による勾配修正後に堆肥を混入しているが、土壌回帰材これに代わる資材となること、または小規模な農地においては農家の直営施工等により土壌改良を実施することを想定している。このため、混合の割合を農家の営農実態を踏まえた比率(経済性等を考慮)で行い、土地改良事業におけるコスト縮減や農家の負担を出来るだけ軽減しながら最大限の効果を出せる方法を検証する。(新たな機材等の調達を必要としない方法で作業できる内容とする)

1.2 事業の内容及び実施方法

(1) 回帰材 SG-1 を利用した土壌団粒化技術の開発

弊社はフライアッシュを主原料とする土壌回帰材 SG-1(土壌に戻る)を開発した。この土壌回帰材の特徴は、多量の水和物が生成されること及びその水と物が針状結晶になっていることである。しかし、主原料であるフライアッシュは、重金属類(六価クロム等)の溶出懸念が有る為、実際に溶出するかを確認する。試験については、先ず、環境省告示第46号に定められている基準に基づく溶出試験を実施し炭酸カルシウムを混合した SG-1(フライアッシュ未混合品)と本開発で使用する SG-1(フライアッシュ混合品)から溶出する溶出物を比較。六価クロム等が溶出していない事を確認する。次に、pHに依存し溶出するか確認を実施する為、3種類の試料①フライアッシュ単体②SG-1③SG-1混合土にてpH依存性試験(pH2～pH 13)を実施し基準内であることを確認。安全性を確認した後に SG-1の性能確認を目的とし屋内試験を実施。確認の方法は、①SG-1 未混合②SG-1 を3%混合③SG-1 を5%混合④SG-1 を7%混合した4種類の試料を調整し土塊分布試験・耐水性団粒試験を屋内試験で実施する。SG-1 を混合することにより混合土の性能がどの様に変化したかを評価。その結果を基に耐水食性畑地の開発に必要な配合設計を行い実証試験を実施する。

(2) 回帰材 SG-1 を利用した省コスト・省負担型の耐水食性畑地の開発

沖縄地方の畑地に分布する土壌は、雨滴の衝突によって容易に崩壊する性質をしており、この性質が土壌侵食に関与している。したがって、(1)で実施した土壌物理性試験の結果を基に、赤土等の流出防止に効果のあるSG-1配合割合を決定する。

(3) 実証試験

実証試験では、沖縄県石垣市新川地区に約2反の畑地を準備し沖縄県内で実施されている土地改良事業(沖縄県農林水産部:土地改良事業等における赤土等流出防止対策設計指針)の平均的な勾配3%に整備する。調整された畑地には、3つの試験区(レーン)を整備し試験を実施する。

※下記、試験圃場空撮写真および赤土等の流出防止対策実験施設計画1～4を参照

(試験レーンの整備概略は、下記①～④となる。)

- ① 表土を40cmはぎ取る。
- ② 2.8m(幅)×60m(縦)の試験レーン枠を設置。※勾配3%
- ③ 設置されたレーン枠内に①ではぎ取った表土をほぐしながら戻す。
- ④ 下流側末端には、整備されたレーンからの流出物(赤土等)が貯留できる貯留マスを設置。
余水は、排水出来る様に余水履きを設置。

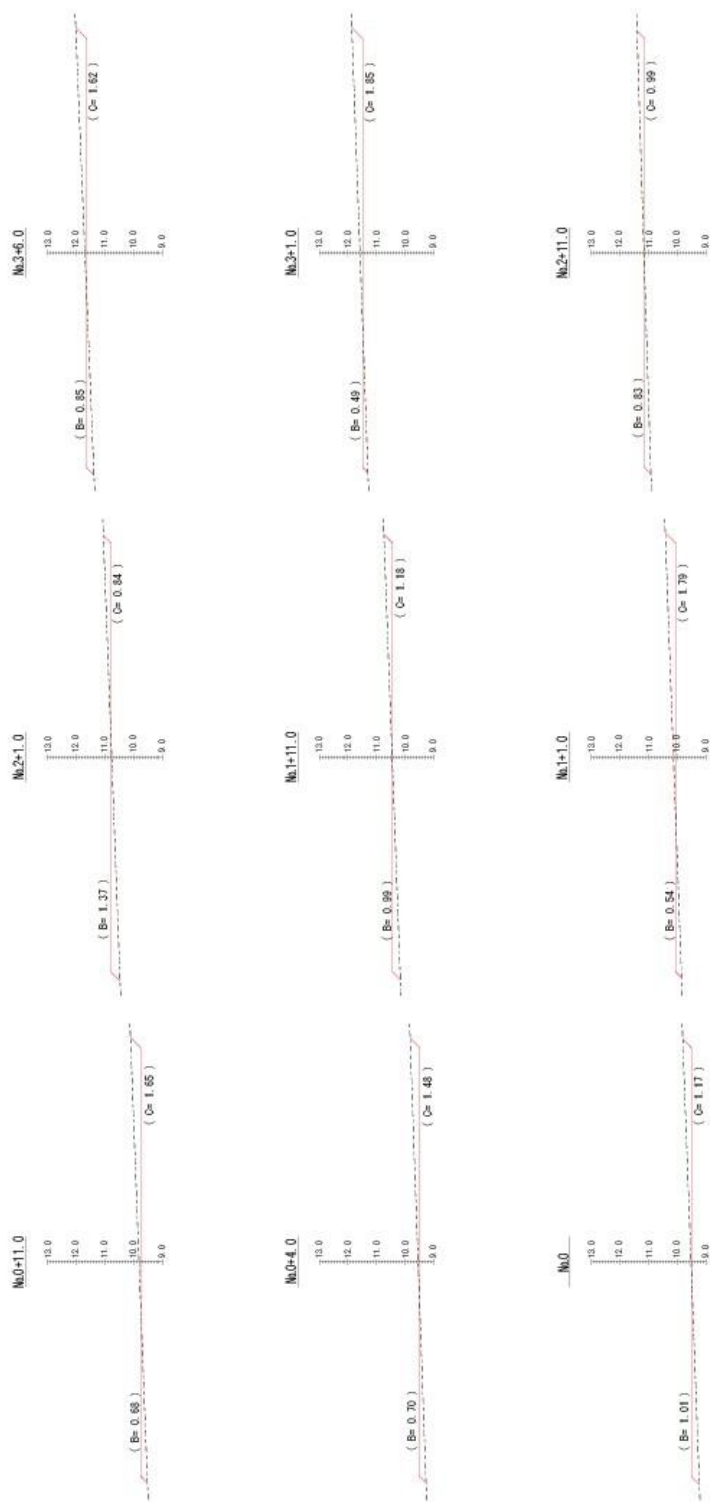


平面图



赤土等の流出防止対策実験施設計画図 2

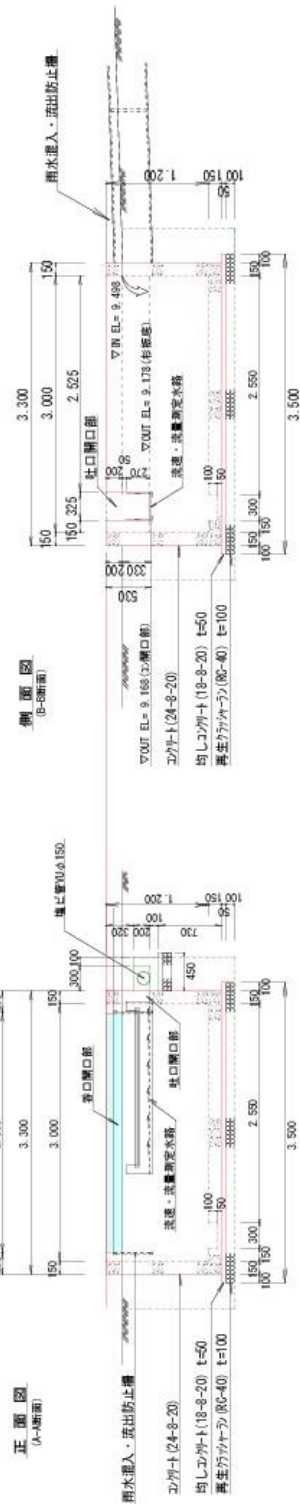
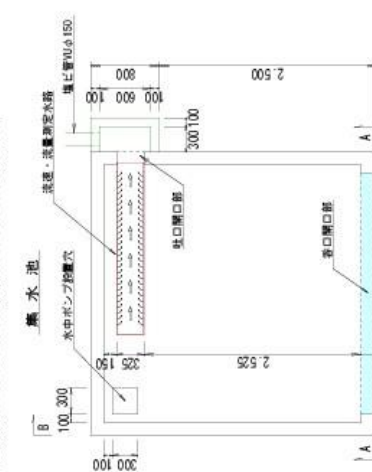
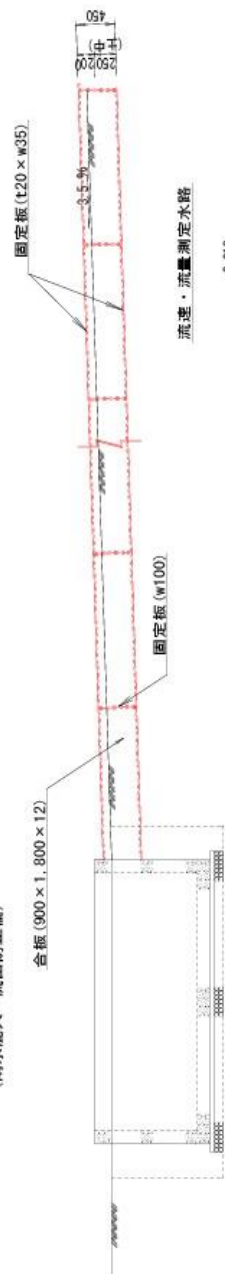
横断面図



赤土等の流出防止対策実験施設計画図 3

詳細図

供試(現場)
(雨水混入・流出防止柵)



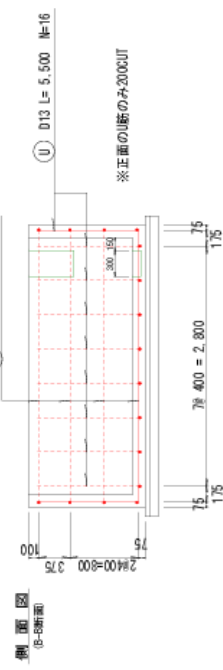
赤土等の流出防止対策実験施設計画図 4

鉄筋組立詳細図



鉄筋表 (3箇所分)

記号	径	長さ	本数 (16×3=48)	単位重量	1本当りの重量	重量	概要
I	D13	3,180	48	0.995	3.16	152	—
U	D13	5,500	48	0.995	5.47	263	□
合計						415 kg	



(試験内容)

① 土壌浸食試験

- ・傾斜圃場基盤層の実容積と土壌表面の状態変化(土壌浸食状況)
- ・流出土量(裸地),サトウキビの(春/夏)植え体系における流出土量
- ・易耕性

② 土壌物理性試験

- ・インテークレート試験
- ・貫入式土壌硬度試験
- ・土塊分布試験
- ・三相分布試験

(4) 機能監視

設備の日常点検維持管理を行う。

1.3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
① 水和物の特性 ・透水性向上を図るためには微細な土粒子及び、生成する中でも未だ微細なエトリンガイトを独立した状態のままにせず、集合体として相互に付着しながら大きく強い団粒構造を形成する必要がある。その為、水和物を顕微鏡写真等により観察し、透水性向上に至る団粒構造の大きさなどを調査する必要がある。	① 土壌物理性の確認(土壌侵食に関わる項目を網羅的に調べる) ・恩納村での先行試験よりシリンダーインテークレート試験において試験区と対照区で大きな差異が生じたことは先述(平成25年度官民連携新技術研究開発事業実施計画書2-(2))したが、これらの差異に関して、回帰材 SG-1 を混合することによって赤土等の土壌物理性(透水性・保水性・団粒化度・三相分布など)がどのように変化するかを調べ、その変化と土壌の耐水食性能との関係を考察し、本技術普及のためにもメカニズムの解明も追及する。本試験を琉球大学内において室内試験を行い、その結果を持って本項目⑤を実証試験で検証する計画とする。
②回帰材 SG-1 及びそれを混合した土壌の安全性の確認 ・平成 15 年に千葉県で使用された際の土壌とは異なる性質であり、原料となるフライアッシュの調達ルートも異なる為、農地に混合するためには細心の検証が必要と考える。	② 回帰材 SG-1 及びそれら混合土の土壌の安全性試験 ・フライアッシュを主原料としている回帰材 SG-1 を農地へ施用する以上、溶出成分などの安全性をクリアしなければならない為、環境庁告示第 46 号において指示されている溶出試験を行い土壌汚染の環境基準をクリアできているかどうかを確認する。製造過程においても主原料と成るフライアッシュを事前に成分分析し、重金属の有無を毎回確認する。更に、植生実験を行った際、作物からの抽出検査も作物の種類ごとに行い安全性をダブルチェック態勢で確認する。
③ 浅層改良により未改良部分との界面で起こる水の分散を観察する。 ・実態農業に則した手法を確立するため、混合改良に使用する機材は農機具等を想定しており、改良面は浅層となる。10cm 及び 15cm 厚での改良深度によって物理的に出現する未改良部分との境界面は、これまでの改良に比べて残層となる為、その位置での水の分散等を観察し、派生する問題点を把握する必要がある。	③水の分散等を経時変化で確認調査 経時変化が未改良面との界面にどのような変化をもたらすかについて観察を行い、水和物のより深部への浸透状況も確認する。 法面緑化等での使用に際しては、吹付けた SG-1 混合基盤材(緑化材)が地山と一体化することは確認済みであり、それが水とともに内部浸透する水和物の伸長である事が確認されれば大きな進展となる。また、浸透のみならず 10cm 及び 15cm 厚の改良は、下部未改良部分を被覆する事と同義となるので、その被覆によって赤土の流亡を阻止できるか否かを検証し、同時に最適な改良深度の割り出しも行う。最適な改良深度を求める事により、より低コストで最適な改良が行えるよう検証し、更に、コスト面に留意する為、沖縄県

	産のフライアッシュを仕入れるに当たり、沖縄県にもご協力頂き、低コストでの供給システムを構築する。
④ 配合設計 ・赤土に対する透水性を長期的に保守するためには団粒構造の耐水力を向上させる必要があるが、過去の実績では具体的なデータが不足しており、赤土に対する SG-1 の配合比率に関して、試行錯誤的に調べる必要性が有る。	④配合設計の確立 現場土壌を採取して SG-1 混合試料を配合比率別に複数作成し、経時的に水和物生成状況及び団粒化伸長状況を確認する。また更なる透水性向上のための団粒構造形成メカニズムを把握する事で、後の実証試験に際してより確立した最終形を提示できるよう試みる。
⑤ 赤土等流出調査 ・④に連動するが、赤土に対する性能評価データが不足しているため、赤土流亡を阻止する具体的な評価を数値化し検証する必要性がある。	⑤モデル畑の耐水食性能を評価する。評価項目の内容は、下記項目である。 (1)耐水性団粒の有無 (2)土壌物理性の良好性 (3)赤土等流出削減量 実証試験で使う試験地の広くし(1,000 m ² を想定)、土砂流出量を確認する (4)土壌硬度の測定 室内実験並びにフィールドでの実験において営農に支障がないように土壌硬度の観点における SG-1 の最適混合量を求める。とくに、項目(1)を重視し、耐水性団粒の形成が確認されない場合には、他の項目が適切であっても、総合評価を不合格に判定する。
⑥ 畑地造成試験・営農試験 ・本来的には農業資材とは別の物を混合するので、既に基礎研究としては確認を行っているが、赤土本現場においてもそれらの有効性を確認する必要性があり、作付け種類の多様性を検証し、沖縄土壌にあった利益生の高い品種を農産業の発展の為に追及する必要性がある。	⑥畑地造成試験・営農試験 今回の現場において改良後の土壌に対して主にサトウキビ栽培を行い、営農上のメリット・デメリットを確認するため実規模のモデル畑造成にかかるコストを調べる。また、このモデル畑で実際に営農してその維持管理に費やされる労働負担を調べる。更に作物の収穫量や糖度など、本試験土壌が作物の品質等に及ぼす影響も調査し、新しい特産物となる品種の作付け試験を行う。
⑦長期的な観察 本実験期間終了後 2 年間は、実験区での機能監視を 3 カ月に一度は行い、改良区の変化を観察する。	

1.4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

研究開発の項目	実施内容	事業実施主体 (新技術研究開発組合)		
		琉球環境	沖縄土改連	大寛組
回帰材SG-1を利用した 土壌団粒化技術の開発	1. 安全性確認試験	◎		
回帰材SG-1を利用した 省コスト・省負担型の耐 水食性畑地の開発	2. 造粒試験による土壌 物理性試験	◎	○	
土壌団粒化性能室内試験	1. 実証試験圃場の整備	○		
圃場整備	2. 土壌物理性試験	○		◎
土壌性能実証試験	及び 土壌浸食試験	○	○	○
改良区での植生試験	1. サトウキビ栽培試験 及び 野菜栽培試験	○		
機能監視	1. 設備の日常点検維持 管理。	○	◎	

(注)◎は主担当、○は担当

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

研究開発の項目	事業実施主体 (新技術研究開発組合)	試験研究機関 (琉球大学)
回帰材SG-1を利用した 土壌団粒化技術の開発	◎	
回帰材SG-1を利用した 省コスト・省負担型の耐水食性畑地 の開発	◎	○
土壌団粒化性能室内試験	○	◎
圃場整備	◎	
土壌性能実証試験		◎
改良区での植生試験		◎
機能監視	◎	○

(注)◎は主担当、○は担当

1.5 事業の年度計画と実績

研究開発の項目	平成 25 年度		平成 26 年度		平成 27 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
回帰材 SG-1 を利用した 土壌団粒化技術の開発		←→		←→		
回帰材 SG-1 を利用した 省コスト・省負担型の耐水食 性畑地の開発			←→	←→	←→	
土壌団粒化性能室内試験			←→			
圃場整備			←→			
実証試験				←→	←→	←→
改良区での植生試験				←→	←→	←→
*機能監視				←→	←→	←→

(注) ←→ 実施結果

*機能監視に関しては、平成28年3月終了後も2年間継続して行う

1.6 研究開発の概要、結果、課題等

1.6.1 回帰材 SG-1 を利用した土壌団粒化技術の開発及び回帰材 SG-1 を利用した省コスト・省負担型の耐水食性畑地の開発(土壌団粒化性能室内試験)

1.6.1.1 安全性の確認

1) 試験の目的

フライアッシュは、石炭灰である為に重金属類を含んでいる可能性が高くその中でも六価クロムは発がん性物質とされている。それら重金属類が溶出し周辺環境に影響を与えない事を確認することを目的とし環境基準の別表該当8項目(カドミウム・鉛・六価クロム・砒素・総水銀・セレン・ふっ素・ぼう素)の溶出試験を実施し確認する。また、この事業は、農地利用を目的としている為、農地にも関係する関連法令「(・環境基本法 ・水質汚濁防止法 ・土壌汚染対策法 ・農用地汚染防止法)」に基づく確認として4項目を追加(全シアン・アルキル水銀・銅・硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素)しpHに依存し溶出するかを確認する。

※「平成3年8月環境省告示第46号(土壌の汚染に関する環境基準について)」に順ずる溶出試験(該当金属類等:8項目)

2) 実施内容及び手順

①比較試験

炭酸カルシウムを混合した SG-1(フライアッシュ未混合)と本研究開発で使用する SG-1(フライアッシュ(JIS A6201Ⅱ種該当品)混合品)を用い溶出物を比較し溶出物を確認する。

(溶出試験実施詳細)

項 目	詳 細
A 実証試験圃場土	基本となる数値の把握
B 実証試験圃場土+フライアッシュ系 SG-1	炭酸カルシウム系 SG-1 との溶出量の比較
C 実証試験圃場土+炭酸カルシウム系 SG-1	フライアッシュ系 SG-1 との溶出量の比較

②pH依存性試験

pHに依存し溶出するかを確認する為、・フライアッシュ単体・SG-1・SG-1 混合土の3種類の試料を用いpH(2～13)で、溶出するかを確認する。

(pH依存性試験のpHの調整概略)

・フライアッシュ単体

pH2・4・6・8・10・12・13 ※重金属類については、アルカリ側での溶出が多い為pH12・13を実施し確認

・SG-1

pH2・4・6・8・10・12 ※フライアッシュ単体で、pH13を実施し傾向を確認する為、pH12までとする。

・SG-1混合土

pH2・4・6・8・10 ※pH11以上は、通常の営農では存在しないため除外とする。

(溶出試験及びpH依存性試験実施風景)

件名: 赤土等流出防止対策に効果が期待できる
土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目: pH
溶出試験<土壌環境基準>



件名: 赤土等流出防止対策に効果が期待できる
土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目: カドミウム
溶出試験<土壌環境基準>



件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：鉛
溶出試験<土壌環境基準>



件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：六価クロム
溶出試験<土壌環境基準>



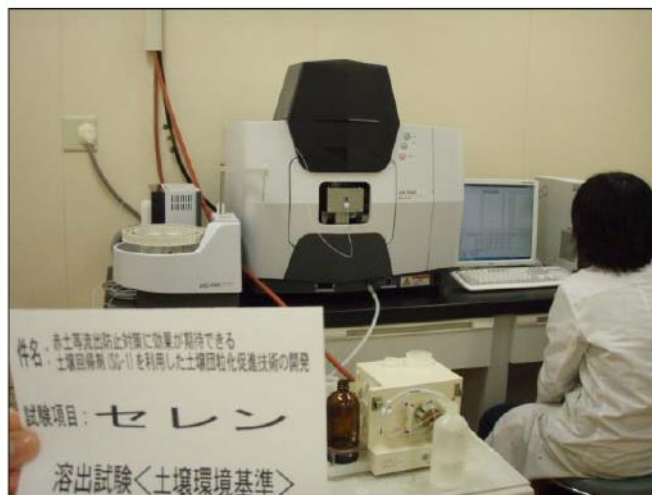
件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：総水銀
溶出試験<土壌環境基準>



件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：セレン
溶出試験<土壌環境基準>



件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：ふっ素
溶出試験<土壌環境基準>



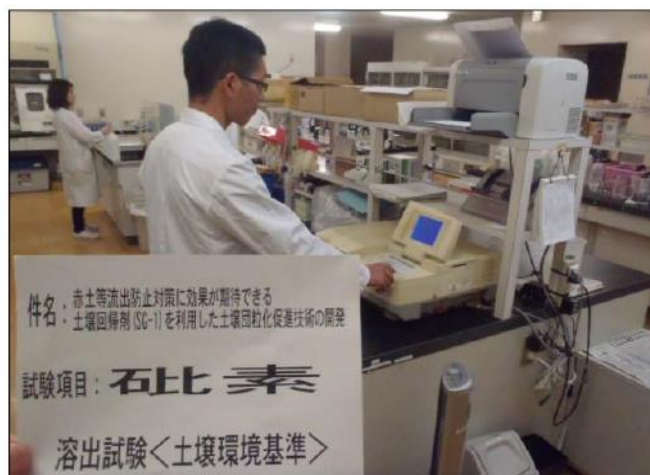
件名：赤土等流出防止対策に効果が期待
できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した
土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：ほう素
溶出試験<土壌環境基準>



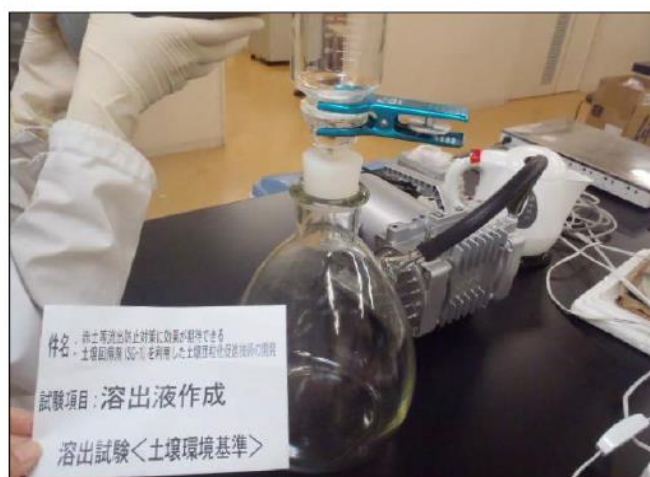
件名：赤土等流出防止対策に効果が期待できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：砒素
溶出試験<土壌環境基準>



件名：赤土等流出防止対策に効果が期待できる土壌回帰剤(SG-1)を利用した土壌団粒化促進技術の開発

試験項目：溶出液作成②
溶出試験<土壌環境基準>



1. 6. 1. 1 安全性確認試験の結果

①比較試験結果

実証試験圃場土・実証試験圃場土＋フライアッシュ系SG-1・実証試験圃場土＋炭酸カルシウム系SG-1の六価クロムの溶出量比較において各項目とも大きな差が見られなかったが、今回のテーマとしている主原料(フライアッシュ)で懸念される六価クロム等の溶出量が基準値以下ではあるが、炭酸カルシウム系SG-1と同量の溶出量となり基準値を上回ったが、鉛・砒素については、溶出量が減少する結果となった。

(考察)

今回の安全性確認試験では、懸念される六価クロムの溶出が確認されたが、基準値内であったこともあり次の試験に進みSG-1の効果確認をすることとした。※表1. 1をご参照。

(溶出試験結果)

単位:mg/L(銅のみmg/kg)

項 目	計量結果			基準値
	A	B	C	
カドミウム	<0.001	<0.001	<0.001	0.01 以下
鉛	0.016	<0.005	<0.005	0.01 以下
六価クロム	<0.01	0.02	0.02	0.05 以下
砒素	0.020	<0.005	0.006	0.01 以下
総水銀	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005 以下
セレン	<0.001	<0.001	<0.001	0.01 以下
ふっ素	0.05	0.78	0.61	0.8 以下
ほう素	0.08	0.25	0.03	1 以下

(表1. 1)

②pH依存性試験結果

フライアッシュ単体での溶出値を SG-1 の溶出値が上回る事は無かった。しかし、pHによって基準値を上回る結果となった。尚、SG-1 混合土の結果において、硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素の値が増加しているがこれらは、土壌由来と考える。※表1. 2ご参照

③今後の課題

六価クロムが検出された為、六価クロムの含有のないフライアッシュの使用を検討する。

(pH依存性試験結果)

単位:mg/L(銅のみmg/kg)

項目	フライアッシュ(pH2~13)		SG-1(pH2~12)		SG-1 混合土(pH4~10)		基準値
	基準内値	基準外値	基準内値	基準外値	基準内値	基準外値	
カドミウム	<0.001	無し	<0.001	無し	<0.001	無し	0.01 以下
全シアン	不検出	無し	不検出	無し	不検出	無し	不検出
鉛	<0.005	0.008(pH 13)	<0.005	無し	<0.005	無し	0.01 以下
六価クロム	0.01~0.05	0.13 (pH 13) 0.06(pH4,6,8,12)	0.04~0.05	0.06(pH 6)	<0.01	無し	0.05 以下
砒素	無し	1.4(pH13) 0.5(pH2)	<0.005	無し	<0.005	無し	0.01 以下
総水銀	<0.0005	無し	<0.0005	無し	<0.0005	無し	0.0005 以下
アルキル水銀	不検出	無し	不検出	無し	不検出	無し	不検出
銅	<0.5	無し	<0.5	無し	0.6~0.7	無し	125 未満
セレン	0.001~0.002	無し	0.003~0.004	無し	0.002~0.003	無し	0.01 以下
ふっ素	0.06~0.5	無し	<0.05	無し	0.24~0.26	無し	0.8 以下
ほう素	無し	4.7(pH2) 3.2(pH13)	0.01~0.03	無し	0.03	無し	1以下
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	0.01~0.6	無し	0.17~0.18	無し	0.03~0.04	無し	10 以下

(表1. 2)

1. 6. 1. 2 造粒試験による土壌物理性試験

1) 試験の目的

沖縄地方における赤土等の流出問題は、雨水の衝撃により団粒が崩壊し微粒子(シルト等)が雨水と共に海域まで流出してしまう事である。赤土流出を軽減するには、団粒化の促進や耐水性団粒の存在が有効であり流出軽減効果が期待できる。そこで、SG-1を混合することにより団粒化の促進および形成された団粒が耐水性団粒と成っているかを確認することを目的とし、土塊分布試験および耐水性団粒試験を実施する。

(1) 土塊分布試験

(試験準備手順)

土塊分布試験及び耐水性団粒試験を実施しSG-1の性能を確かめる為、①SG-1未混合実証試験地土、②SG-1を3%混合土、③SG-1を5%混合土、④SG-1を7%混合土の試験用試料を調整する。

※試験に用いる土壌の計算式と手順は下記①~③である。

①使用する圃場土の湿潤質量・含水比・乾燥質量を確認

②上記①の計算式に基づき試験用試料(3%配合・5%配合・7%配合)を作成

③上記②を使用し屋内試験を実施。

※使用する土は、圃場土を使用。

(含水比の定義)

$$W = Mw \div Ms \times 100 \quad (a)$$

W: 含水比[%]、Mw: 水分質量[kg] Ms: 土の乾燥質量[kg]

(乾燥質量との関係及び湿潤質量及び含水比の関係)

$$M = Mw + Ms \quad (b)$$

上記に M: 土の湿潤質量[kg]である式(b)より

$$M \div Ms = (Mw \div Ms) + 1 = (W \div 100) + 1 \quad (c)$$

式(c)より

$$M_s = M \div (1 + (W \div 100)) \quad (d)$$

上記、計算式を使用し試験用試料を作成する。

(試験内容概略)

SG-1を混合することにより団粒の大きさの分布が変化するかを調べ赤土等の流出に関係するシルト・粘土粒子が多く含まれるかを確認、評価した。試験方法には、乾式篩別法を採用しフルイは、JISZ8801 に定めのある中から 14 種類を用い実施。(図1. 1参照) 尚、フルイ操作の最中に団粒が粘着し合うことを避けるため、110℃で24時間の乾燥処理した試料を使用し試験を実施。最終的に 75 μmフルイ通過物の質量を計算した。



図1. 1(土塊分布試験に使用するフルイ一式)

(JIS Z8801 呼び径は、左側上から下へ 100・70・50・40・30・20・10・5 mmおよび右側上側から下へ 2 mm、850・425・250・100・75 μm 及び受け皿)



図1. 2(土塊分布試験の様子)

・乾燥試料の供試質量結果

各乾燥試料の供試質量は、表1. 3のとおりとなった。SG-1 の混合量に比例し質量は大きくなる結果となった。

表 1. 3 乾燥試料の供試質量 (単位:g)			
0% 試料	3% 試料	5% 試料	7% 試料
17054.61	17637.58	17941.38	18305.87
サンプル数: $n = 1$			

表 1. 4 呼び径 10 mm のフルイ残留物の頻度			
0% 試料	3% 試料	5% 試料	7% 試料
19.8%	22.8%	21.4%	20.8%

サンプル数: $n = 1$

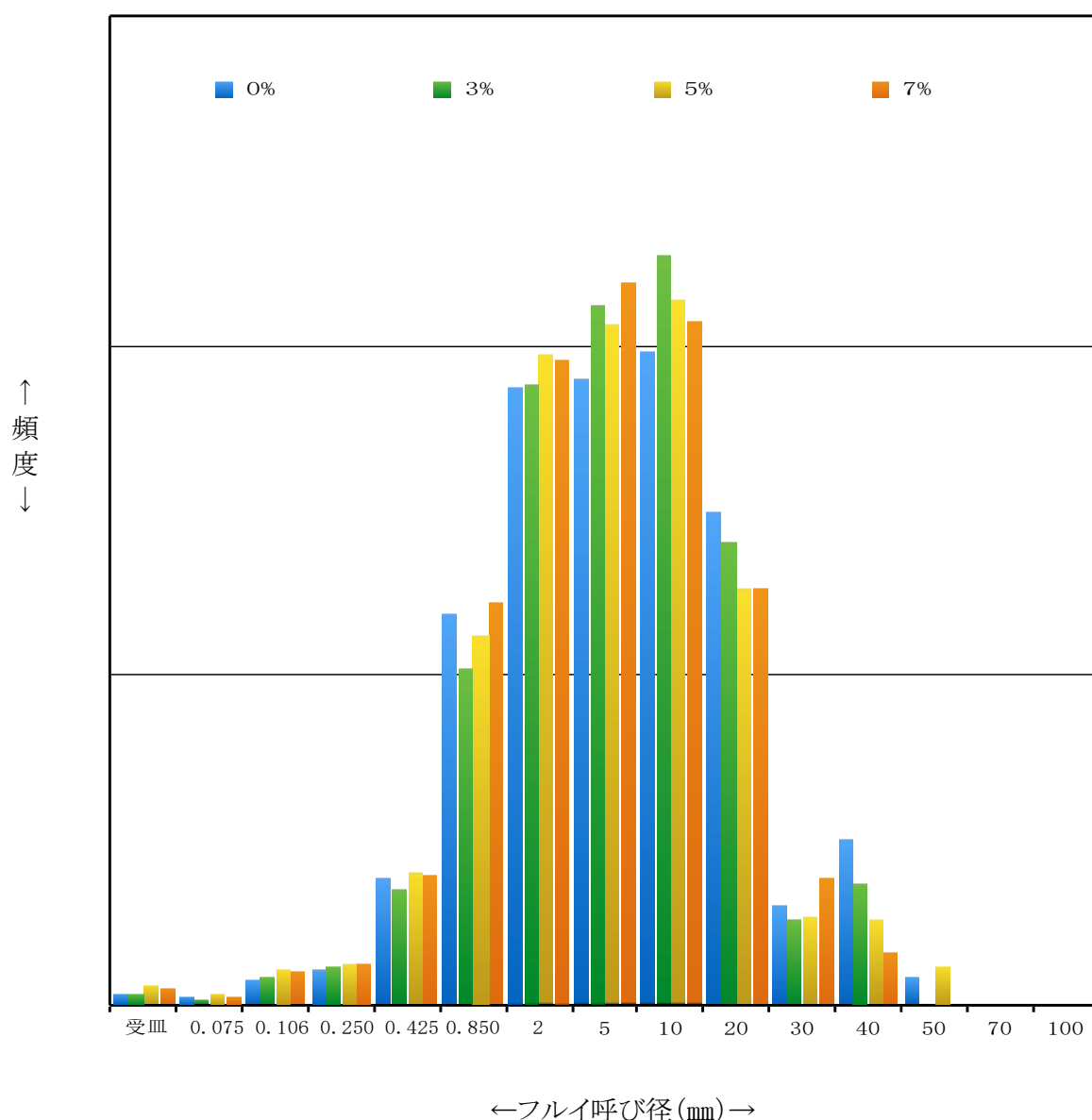


図1. 3(土塊分布 サンプル:n=1)

(土塊分布試験結果)

土塊分布試験の様子やフレイ残留物の例は、図1. 2をご参照ください。図1. 2の2段目や3段目に掲載しているフレイ残留物を見てわかるように、大きな団粒の個数は数えられる程度であった。また、4段目と5段目はSG-1を混合した試料のフレイ残留物を掲載している。4段目の一番左はSG-1未混合の試料である。中央部・一番右は、SG-1を混合した試料であり団粒の表面の色が白みがかっていることから、SG-1のコーティング作用を確認する事が出来たが、新たな団粒の形成を確認することはこの試験では、出来なかった。

土塊分布(図1. 3)から70mmより大きな土塊・団粒は含まれていないことが分かった。また、各水準の試料とも2mm以上20mm未満の範囲に約60%の土塊・団粒が含まれ、850 μ m以上30mm未満の範囲に80%以上90%未満の土塊・団粒が含まれていた。このことから、試料で用いた圃場土の主成分は礫分である結果となった。フレイの呼び径別に水準間の頻度を比較すると、数%未満の差を確認する事ができた。例えば、呼び径10mmの場合、各水準の頻度は、表1. 4に示すとおりとなり頻度の差は最大値0%~3%、試料間で3%であった。一方、各試料とも75 μ m未満の範囲での団粒は1%未満となり、この試験結果では、水環境の汚染負荷であるシルト・粘土画分の含有量が少ない結果となり試料間の差は殆どなかった。

(考察)

今回の土塊分布試験で、目視による効果確認はできたものの数値において明確な差が出なかったこと及び新たな団粒の形成の確認が出来なかったのは、残念な結果である。

(2) 耐水性団粒試験

(試験内容概略及び目的)

耐水性団粒試験では、SG-1を混合することにより耐水性団粒が形成されるかどうかを調べ、その試験結果を使用しSG-1の基本的な作用を把握する。また、SG-1の特徴は、針状結晶が形成されることである。土壌に混合したSG-1にて形成された針状結晶が効果的に作用すれば耐水性団粒の大きさの分布が変化し大きな耐水性団粒の頻度が比較的大きくなり団粒の崩壊の仕方も変化することが期待されるため試験結果を使用し検証も行う。

(材料および試験方法)

試験には、土塊分布試験で使用したフレイ残留物を用いる。ただし、SG-1混合試料はSG-1の作用がより強いと考えられる7%試料のみを用いる。また、比較のための対照試料は0%試料である。さらに、14種のフレイ残留物のうち、5mm・2mm および 850 μ m・425 μ m・250 μ mの5種類のフレイ残留物のみを用いる。なお、これらのフレイ残留物はそれぞれに対するフレイの一つ上位のフレイ通過物になっているため、その大きさ d_i は、表1.5に示す範囲に分布している。

表 1.5 フレイ残留物の大きさ d_i の範囲

5 mm フレイ残留物	5 mm < d_5 < 10 mm
2 mm フレイ残留物	2 mm < d_2 < 5 mm
850 μ m フレイ残留物	850 μ m < d_{850} < 2 mm
425 μ m フレイ残留物	425 μ m < d_{425} < 850 μ m
250 μ m フレイ残留物	250 μ m < d_{250} < 425 μ m

この試験では、配合比が2種類となるため、1要因2水準の実験計画として取り扱われる。試験方法は、『土壌環境分析法』『土壌物理測定法』『土壌物理実験法』『土の理工学実験ガイド』等で紹介されている水中篩別法にて実施する。試験装置には、既製品を使用する。(図1.4参照)この試験装置に取り付けられているフレイは JIS8801 に定めのある中から選ばれている5種類である。各フレイの呼び径は大きいほうから順に下から上に積み重ね、その合計4セットが試験装置の円筒水槽内に吊り下げられている。試験動作の仕様は、表1.6となっている。通常の試験では、霧吹きなどを使いながらゆっくり湿らせた試料を供試する。この前処理は、乾燥試料が水と接触するときの崩壊を予防するためであるが、実際の降雨開始時は、雨水との団粒の接触は急激であることにより団粒の崩壊を事実上避けられない。そこで、前処理(ゆっくり湿らせること)ことを省き、試料投入時の崩壊を許容する。このような条件下で、なお存在する耐水性団粒の諸性質を把握する。

(手順)

1. 乾燥試料の供試質量を測定する。すべての試験ケースで、供試質量 30g を目安にする。
2. 試験装置の5段積みフレイの最上段に配置してある呼び径2mmフレイのメッシュ上に乾燥試料を静かに投入し、10 分間浸漬させる。
3. 試験装置を動作させ、振幅約 38 mm・周期2s の動作仕様で試験する。試験時間は 40 分間とする。
4. 試験装置を停止させ、5段積みフレイを円筒水槽から静かに取り出す。
5. 各フレイの残留物の絶乾質量を測定する。
6. コニカルビーカーに残留物を移し、約6%の過酸化水素水溶液を適量注ぐ。
→電気コンロを使用して約1時間煮沸する。※1

- ※1 煮沸操作は、耐水性団粒を単粒に分散させることを目的とし行う。
7. コニカルビーカーの内容物を元のフルイに再び戻し、通過物を捨てる。
 8. 各フルイの残留物の絶乾質量を測定する。
 9. 耐水性試験の結果を整理する。



図 1. 4 耐水性団粒試験に使用する試験装置（大起理科工業株式会社，土壤団粒分析器 DIK-2001，フルイ（JIS Z 8801）は 5 段組で，各フルイの呼び径は上から順に 2・1 mm と 500・250・106 μm）

（試験結果）

①土塊・団粒の崩壊比較結果

下記の図1. 5は、耐水性団粒試験中における円筒水槽の貯留水の懸濁状況である。右上の円筒水槽では7%試料が試験されており、これ以外の3つの円筒水槽では0%試料が試験されている。0%試料の円筒水槽の貯留水は濁っているが、7%試料の円筒水槽の貯留水は殆ど濁らない結果となった。このことから、団粒崩壊の速度に差があることがわかった。崩壊速度については、0%試料は、浸漬後すぐに崩壊（図1. 6(a)左）し、7%試料は、SG-1 のコーティングがひび割れるように徐々に崩壊（図1. 6(b)左）していく結果であった。

（考察）

土塊・団粒の崩壊比較試験では、SG-1 を7%混合した試料の崩壊速度が遅く水槽の濁りもあまり濁っていない結果となったことから効果を期待できる現象の把握ができた。



図1. 5 耐水性団粒試験中の円筒水槽内の貯水の濁り
(右上の円筒水槽は 7%試料, それ以外の円筒水槽は 0% 試料)



(a) 0% 試料 (左:浸漬開始直後, 右:試験終了直後)



(b) 7% 試料 (左:浸漬開始直後, 中:浸漬 10 分後, 右:試験終了直後)

図 1.6 団粒の形態変化

②耐水性団粒分布の結果

耐水性団粒分布が図1. 7～図1. 11である。図1. 7の各水準のサンプル数は、 $n=2$ 、それ以外の各水準のサンプル数は、 $n=1$ である。分布図の結果をみると、全てのケースにおいて7%試料の分布曲線が0%試料の分布曲線の下方にある。この結果より SG-1 を混合することにより団粒の崩壊生成物は、小さくなり過ぎないことがわかった。

※これらの結果に使われるデータの整理では、各フルイに残留した単粒の砂・礫粒子や耐水性団粒に含まれている砂・礫粒子を除外していない。

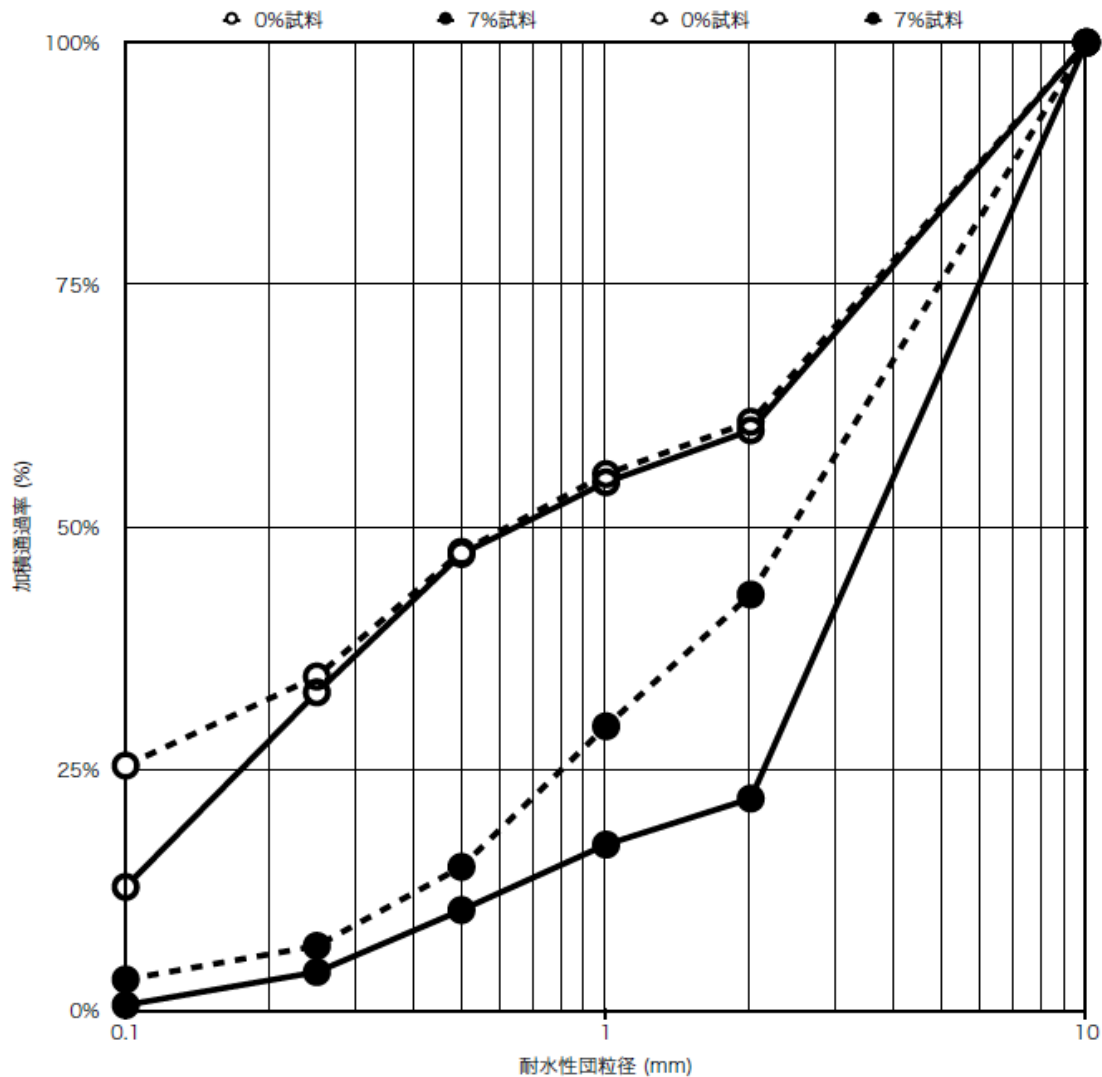


図1. 7 耐水性団粒分布 (砂礫を含めた場合、供試試料:5mm フルイ残留物、サンプル数: $n=2$)

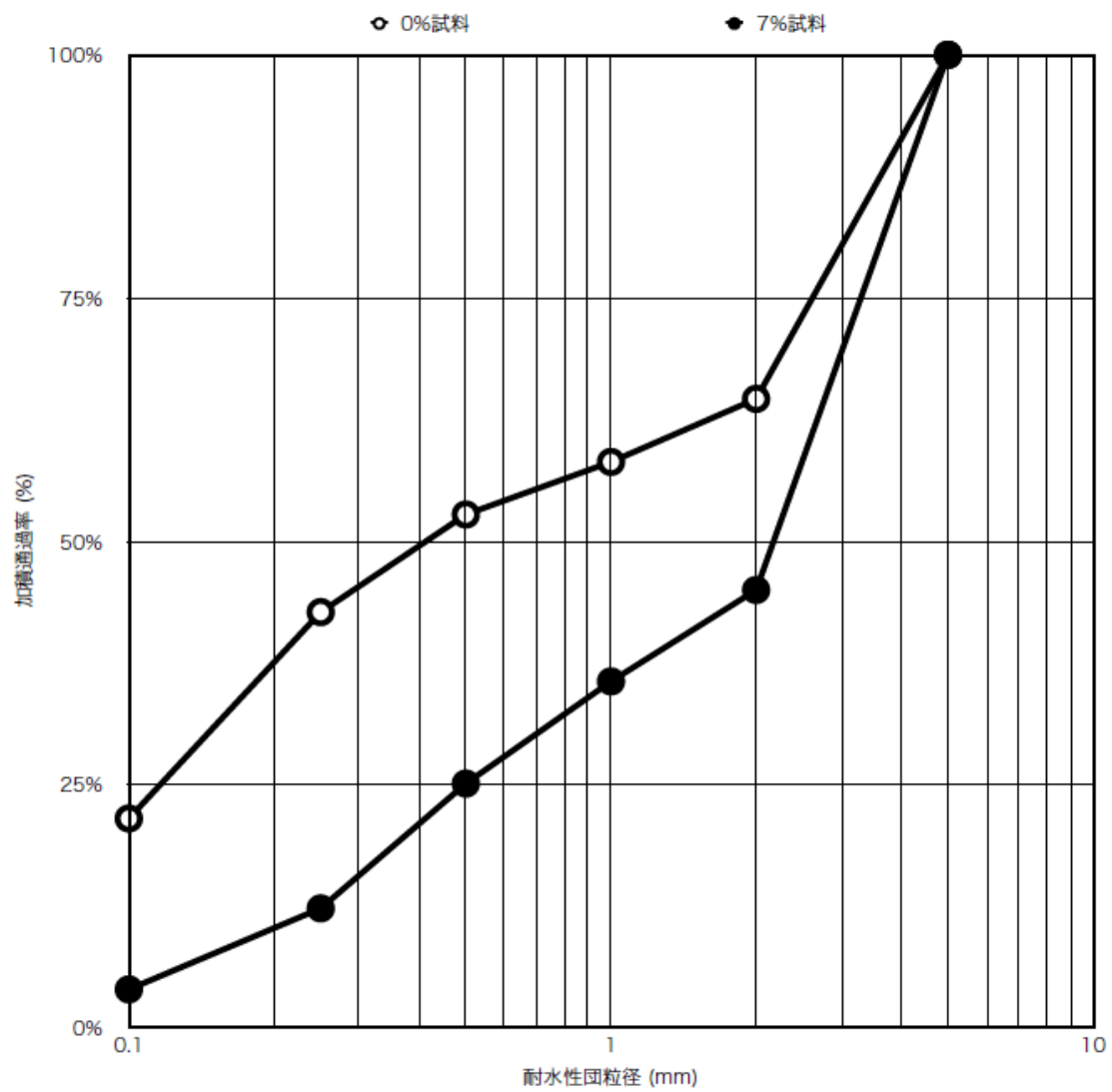


図1.8 耐水性団粒分布 (砂礫を含めた場合, 供試試料: 2mm フルイ残留物, サンプル数: $n=1$)

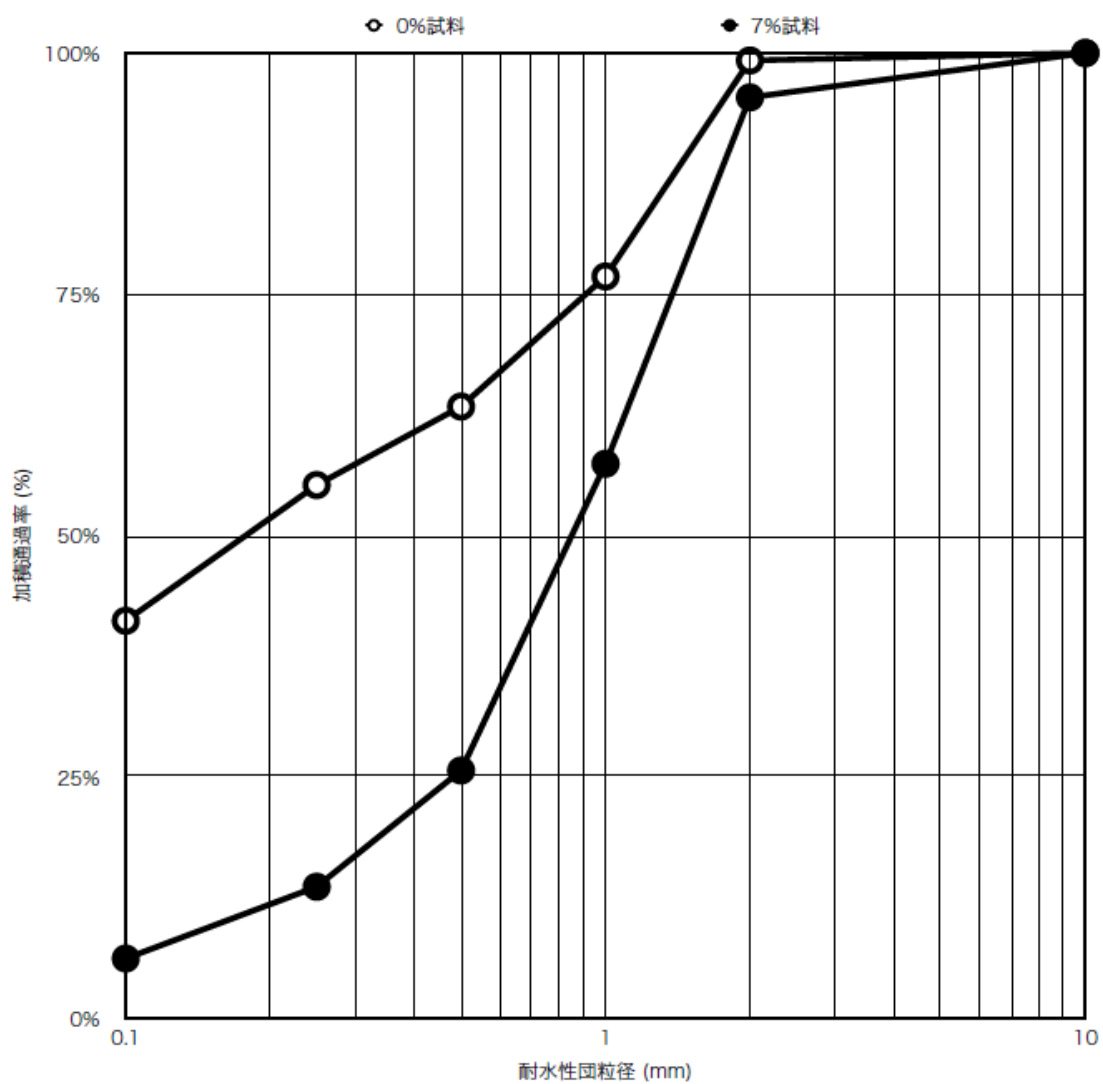


図1.9 耐水性団粒分布 (砂礫を含めた場合, 供試試料:850 μm フルイ残留物, サンプル数: $n=1$)

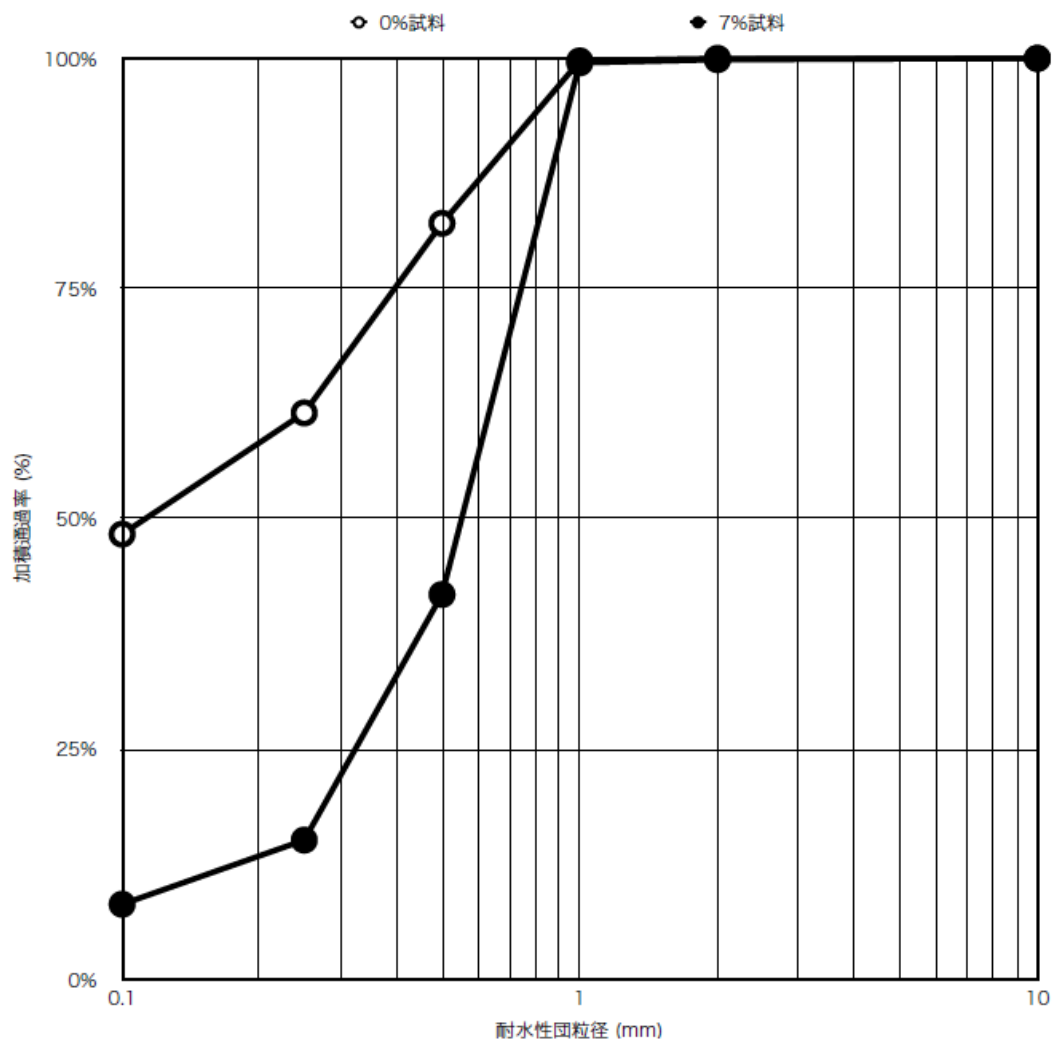


図1.10 耐水性団粒分布 (砂礫を含めた場合, 供試試料: 425 μ m フレイ残留物, サンプル数: $n=1$)

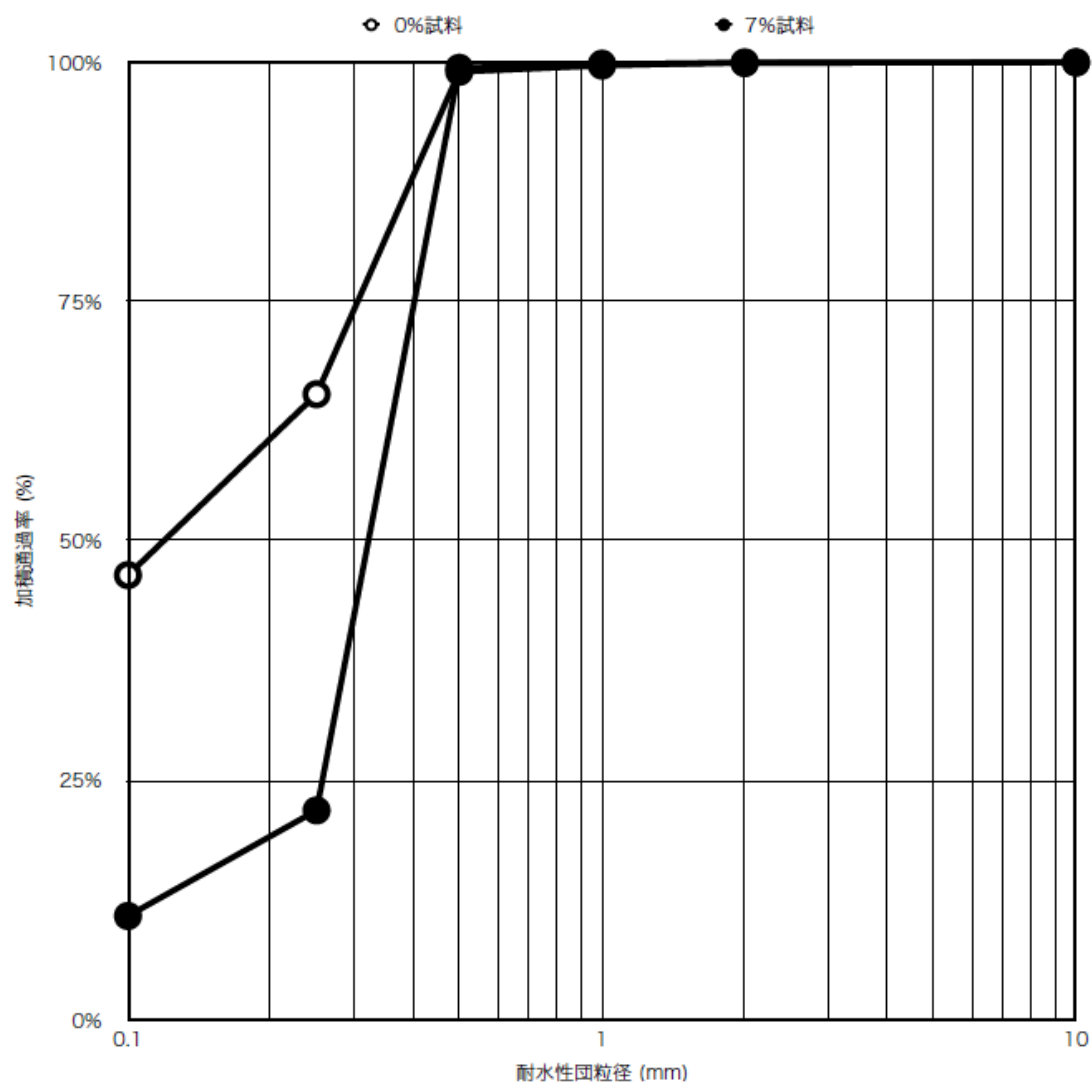


図1.11 耐水性団粒分布 (砂礫を含めた場合, 供試試料: 250 μ m フレイ残留物, サンプル数: $n=1$)

③耐水性団粒化結果

SG-1を混合することによる耐水性団粒化の程度の指標として団粒百分率と集合度を一覧にしたのが表1. 6である。表1. 6は、図1. 7～図1. 11に用いたデータから単粒の砂・礫粒子や耐水性団粒に含まれている砂・礫粒子を除外し計算している。団粒百分率は、各フルイに残留している耐水性団粒の質量の試料の供試質量に対する割合と成っている。例えば、5mm残留試料を供試している場合の試験結果については、100 μ mフルイに残留する耐水性団粒の割合は0%試料で4%、7%試料で2%である。集合度は、各フルイの百分率の合計値と成っている。0%試料の集合度は、9～28%の範囲に分布し、7%試料の集合度は、39～53%の範囲に分布している。結果、7%試料の集合度は、0%試料の集合度より大きいと言える。このことから、7%試料の団粒の崩壊生成物には耐水性団粒が多く含まれていることがわかる。7%試料の団粒に耐水性団粒が多く含まれるのは、SG-1の混合が耐水性団粒の形成に関与しているためと推測している。したがって、破壊前の団粒表面に付着しているSG-1の作用が団粒内部に働いていることが推測できる。また、0%試料は、呼び径が小さいフルイの百分率が大きくなる傾向を示したのに対し7%試料は、呼び径が大きいフルイの百分率が大きくなる傾向を示した。この傾向は、7%試料の団粒は水と接触して崩壊はするものの、その崩壊生成物は細くなり過ぎることはないことを示す結果となった。

表1. 6 団粒百分率と集合度（単位:%, 砂礫を除外したデータ整理による）

フルイの呼び径	供試試料の種別								サンプル数:n=1	
	5 mm 残留		2 mm 残留		850 μ m 残留		425 μ m 残留		250 μ m 残留	
	0%	7%	0%	7%	0%	7%	0%	7%	0%	7%
100 μ m	4	2	15	6	6	5	4	5	4	7
250 μ m	8	6	5	10	2	9	3	11	4	32
500 μ m	3	11	2	8	2	17	2	25	1	0
1 mm	1	10	1	6	1	18	0	0	0	0
2 mm	1	18	5	23	0	3	0	0	0	0
集合度	17	49	28	53	11	53	9	42	10	39

表1. 7 106 μ m フルイ通過百分率（単位:%）

	5 mm 残留	2 mm 残留	850 μ m 残留	425 μ m 残留	250 μ m 残留
0% 試料	25	22	41	48	46
7% 試料	3	4	6	8	11

上記、表1. 6と表1. 7の結果よりSG-1の特色である針状結晶の形成による影響をモデル化してみる。団粒構造のモデルは、図1. 12・図1. 13である。一般的には、団粒構造の土壌には団粒間隙と団粒内間隙があると考える。このような団粒構造の土壌にSG-1を混合すると図1. 14のような針状結晶が形成され団粒内の間隙に伸長し接着効果をもたらす。この結果、耐水性団粒化に寄与し崩壊するものの細くなり過ぎないという効果をもたらしていると推測する。

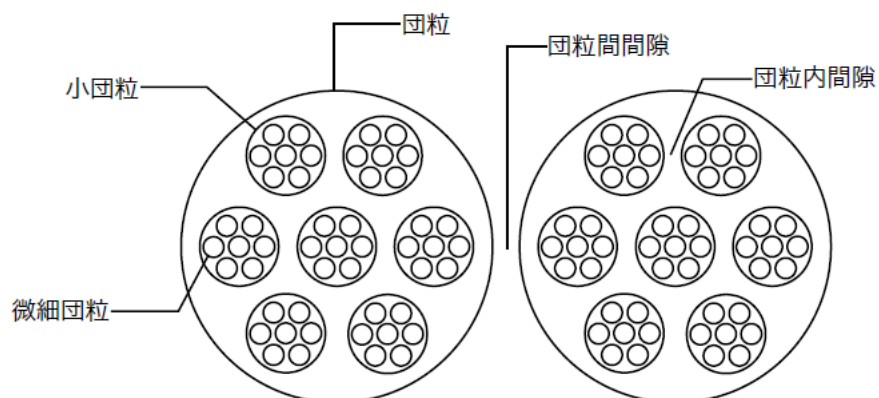


図1.12 団粒構造のモデル

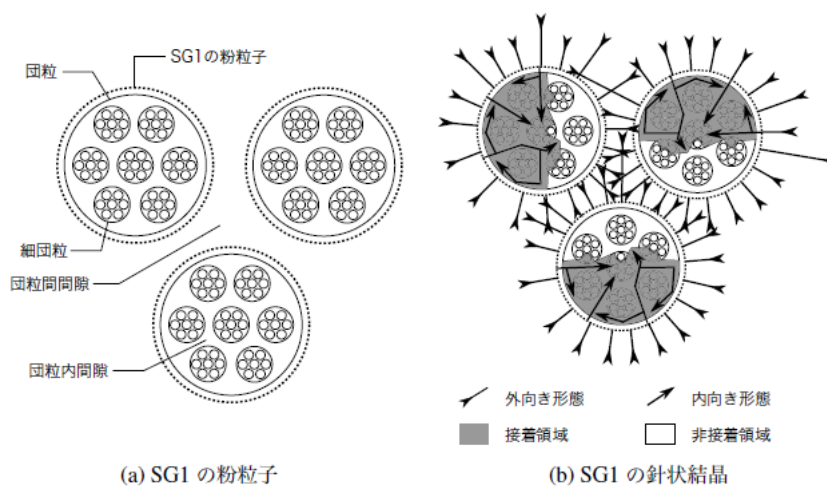


図1.13 団粒構造中での SG1 の粉粒子と針状結晶の分布形態の予想図

(考察)

耐水性団粒化試験では、SG-1 を混合することにより団粒が崩壊しづらくなることが分かった。この現象については、SG-1 の特徴でもある針状結晶が団粒間に伸長し接着効果をもたらしていると推測し今後の試験に期待を持てる結果を得られた。

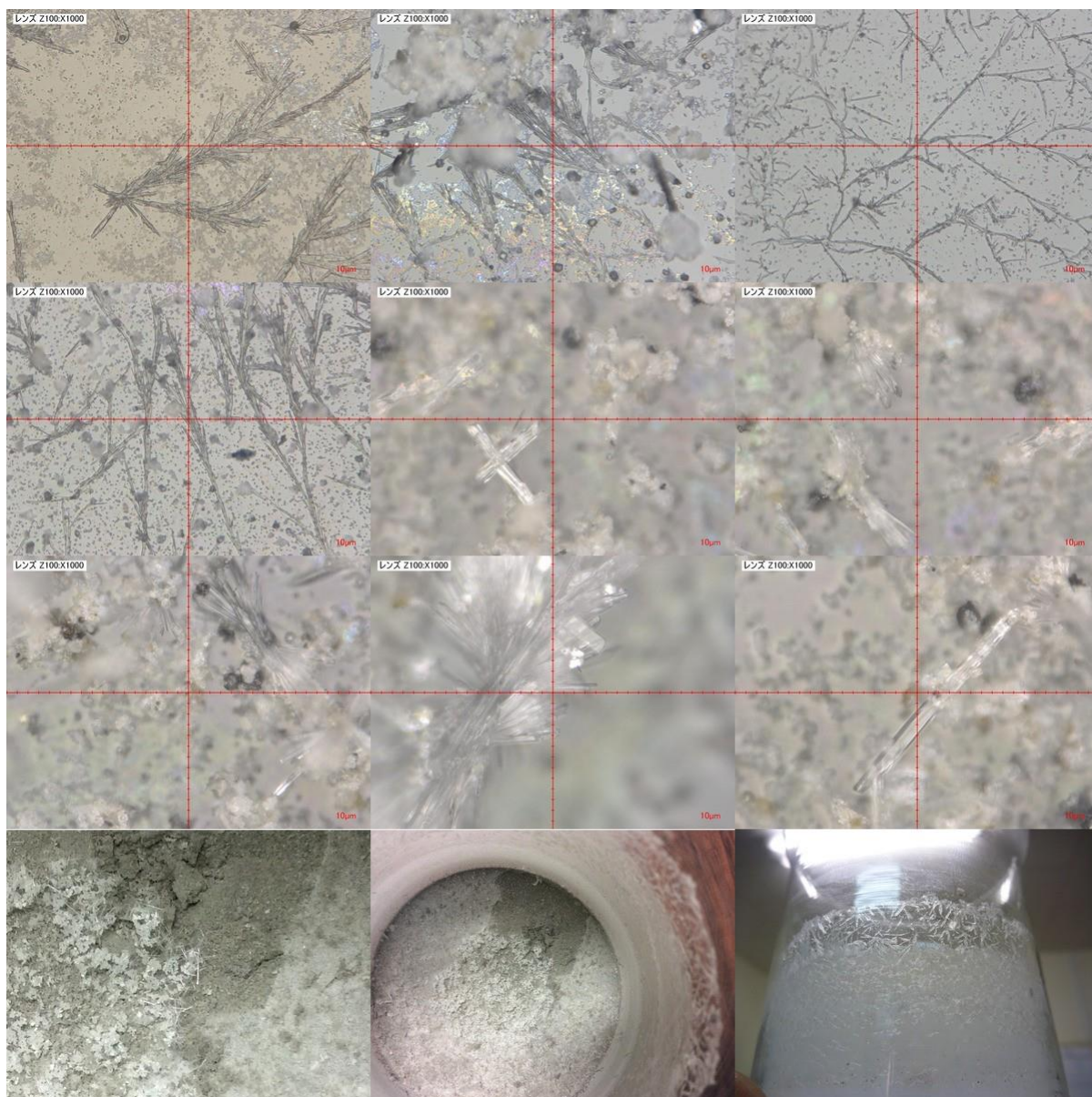


図1. 14 針状結晶の形態

(3) 土粒子密度試験

(試験の目的)

SG-1 は、セメントを使用している事からセメントの特徴を一部持っている。国頭マージの平均的な土粒子密度が $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 程度、また、一例としてポルトランドセメントの密度が $3.1\text{g}/\text{cm}^3$ 程度であることを考慮すると、SG-1 を土壌に混合すると土粒子密度が大きくなると予想される。その結果、団粒の質量が大きくなり流出しにくくなる事が期待できるため土粒子密度の変化の有無を確かめるべく試験を実施した。

(試験方法)

SG-1 未混合土(0%)と SG-1 を7%混合した混合土を用い試験方法は、JIS A 1202 に遵守し実施した。

(試験結果)

試験結果を解析して得られた土粒子密度を表1. 8にまとめた。土粒子密度平均値は、0%試料で $2.672\text{g}/\text{cm}^3$ 、7%混合試料で $2.643\text{g}/\text{cm}^3$ であり、SG-1 混合土と SG-1 非混合土の土粒子密度には差が認められなかった。

(考察)

この試験では、効果を確認できる結果とはならなかった。

表1. 8 土粒子密度試験の結果一覧(単位: g/cm^3)

	0% 試料	7% 試料
	2.686	2.574
	2.591	2.635
	2.672	2.618
	2.670	2.683
	2.685	2.686
	2.682	2.679
	2.694	2.660
	2.701	2.609
平均値	2.672	2.643

(4) 飽和透水性試験

(試験の目的)

SG-1 混合土は、SG-1 非混合土と比較して団粒が崩壊しにくいことや耐水性団粒が多く含んでいることが分かっている。左記のことから SG-1 混合土では、その団粒構造が壊れにくい為に飽和透水係数は変化しにくいと考えられる。一方、SG-1 非混合土の団粒は崩壊し易く、団粒構造が崩れて土壌間隙が詰まってしまう為に飽和透水による水移動が起こりにくくなると考えられる。したがって、両者の透水性に差があるならば、団粒崩壊の有無に応じた土壌構造の変化にその原因を

認めることができる。

(試験方法)

SG-1 混合土(7%)とSG-1 非混合土の飽和透水係数を比較する。試験方法は、JIS A1218 に準拠した定水位法を用いた。図1. 15は、飽和透水試験の前処理の実施状況である。図1. 16は、飽和透水試験の実施状況である。(下部透水によって毛管飽和させた試料を供試する。)一つの試料につき5回測定した。

図1. 15 試料の前処理



図1. 16 飽和透水試験の実施状況



(飽和透水性試験結果)

試験結果を分析し得られた結果15℃に対する飽和透水係数 K_{15} (以下、略して飽和透水係数) を表1. 9にまとめている。透水係数の平均値は、SG-1を未混合(0%)試料で $2.4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ と $4.5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, SG-1を7%混合した試料で $1.4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ と 1.3×10^{-2} であり SG-1を7%混合試料の透水係数は、未混合(0%)試料より1オーダー大きい。このことは、0%試料では、7%混合試料よりも飽和透水による水移動が起こりにくく成っている事をしめしている。飽和透水による水移動に主に寄与するのは、粗間隙であることからすると、透水係数の違いは、0%試料と7%試料の粗間隙の状態に差が有る事を示している。耐水性団粒試験より SG-1 非混合土の団粒は、水と接触して崩壊しやすい結果を得ている。そのため、SG-1 非混合土の崩壊生成物で土壌間隙が詰まり易く飽和透水による水の移動が起こりにくく成っていると考ええる。表1. 9において、0%試料の透水係数が測定を繰り返す事に小さく成っておりこの変化には土壌間隙が次第に詰まって行く状況が表れていると考ええる。一方、SG-1 混合土の団粒は崩壊しにくく、また、その一部が耐水性に変化している。SG-1 混合土では、その団粒構造が壊れにくく、土壌間隙が詰まりにくいいため、飽和透水による水の変化が小さいと言える。したがって SG-1 を混合すると団粒崩壊によると透水性低下を抑える事が出来ると言える。

(考察)

飽和透水性試験でも SG-1 を混合することにより団粒の崩壊速度が遅くなる傾向の結果を得ることができた。

表1. 9 15℃に対する飽和透水係数 K_{15} (単位: cm/s)

回数	0%		7%	
	A 試料	B 試料	A 試料	B 試料
1	2.7×10^{-3}	4.9×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}
2	2.4×10^{-3}	4.7×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}
3	2.3×10^{-3}	4.5×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}
4	2.2×10^{-3}	4.3×10^{-3}	1.3×10^{-2}	1.3×10^{-2}
5	2.1×10^{-3}	4.2×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}
平均値	2.4×10^{-3}	4.5×10^{-3}	1.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}

(5) 保水性試験

(試験の目的)

保水性試験には土壌の特色が表れやすい。したがって、保水性の指標は土壌の構造の特徴を予想することに役立つ。そこで、SG-1 混合土と SG-1 非混合土の保水性を比較し SG-1 の影響を調べる。

(試験方法)

試料には、飽和透水性試験で供試した後の試料を引き続き保水性試験に供試した。なお、飽和透水試験終了後の試料は毛管飽和よりも水分量が大いため、余分な水分(主に重力水)を排除することを目的として、一旦、図1. 15(前処理)に示す操作を行う。一晚放置後ただちに質量を測定し、このデータを解析して得られた体積含水率を毛管飽和体積含水率とした。脱水過程における測定には、遠心法を用いる。図1. 17は、保水性試験(遠心法)に用いている遠心機の取扱いの状況である。また、測定するpF値とローター回転数の対応を表に示す。

図1. 17 保水性試験(遠心法)の実施状況



表1. 10 pF値とローター回転数の対応表

pF 値	回転数 (rpm)
1.5	300
2.0	700
2.5	1200
3.0	2200
3.5	3900
4.0	6900

(保水性試験結果)

水分特性曲線が図 2.5 である。また、正常生育有効水分と重力水の計算結果が表 2.4 である。なお、毛管飽和をpF 0.0 とみなしている。図1. 18よりpF 0.0-3.0 の範囲において、SG-1 を7%混合した試料の体積は SG-1 非混合試料(0%試料)より小さいことが解かった。

図1. 18 水分特性曲線

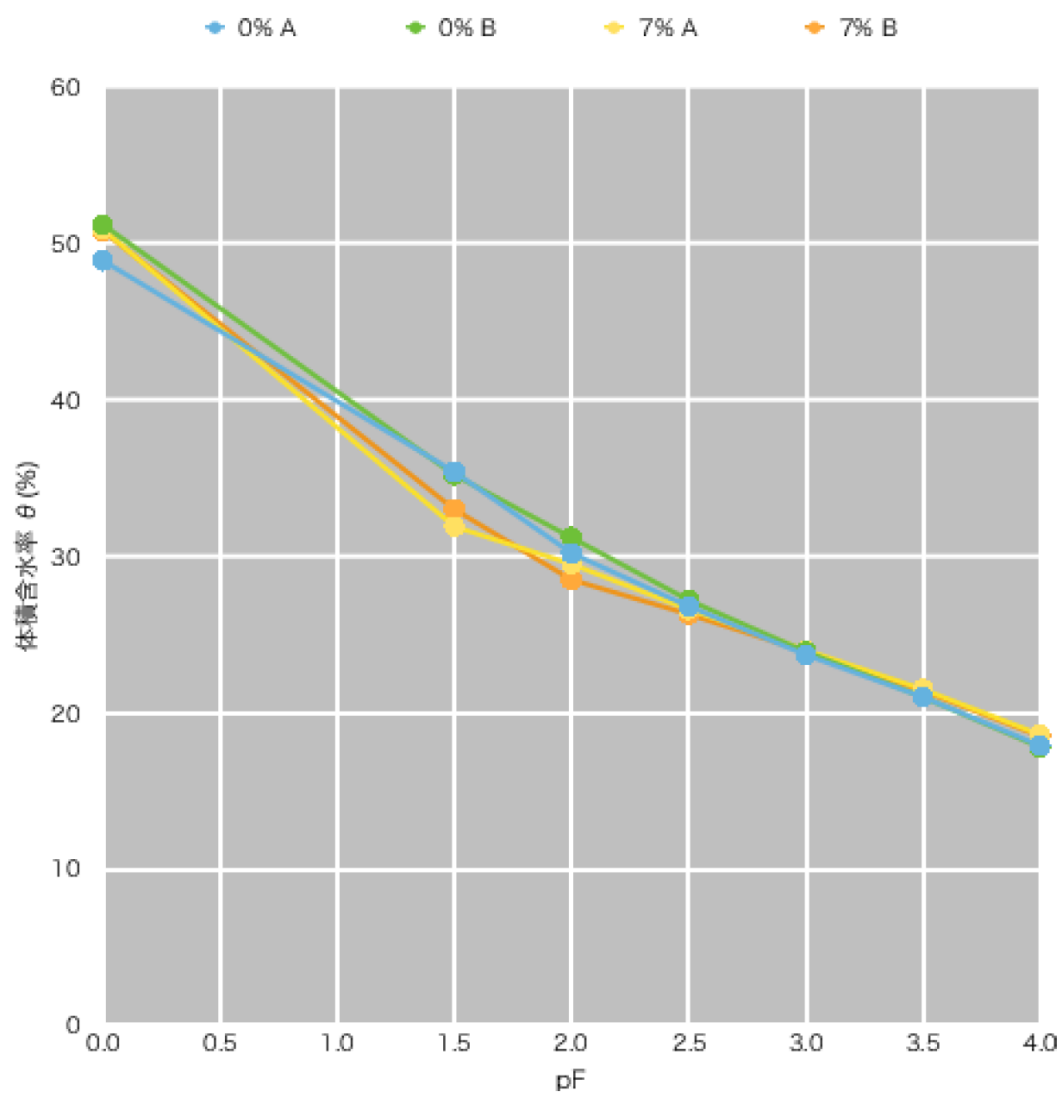


表1. 10 正常生育有効水分と重力水(単位: %)

pF	0%		7%	
	A 試料	B 試料	A 試料	B 試料
毛管飽和	48.9	51.2	50.9	50.8
1.5	35.4	35.2	31.9	33.0
2.0	30.2	31.2	29.5	28.5
2.5	26.8	27.2	26.6	26.3
3.0	23.7	23.9	24.0	23.9
3.5	21.0	21.0	21.5	21.4
4.0	17.9	17.8	18.6	18.5
正常生育有効水分	11.7	11.3	7.9	9.1
重力水	13.5	16.0	19.0	17.8

図1. 19 保水性試験供試試料の形態変化

(上段から順に、pF 1.5 終了時、pF 2.5 終了時、pF 3.0 終了時、pF 3.5 終了時、pF 4.0 終了時)



この結果は、両試料の土壌構造の変化が異なっていること示している。pF 0.0-3.0 の範囲はpF

0.0-1.5(重力水の保持範囲)と、pF 1.5-3.0(正常生育有効水分の保持範囲)に大別されるので、これらのpF範囲ごとの土壌構造の変化にともなう保水状態の変化を考察する。

図1. 19は、保水性試験の進行に伴う供試試料の形態変化を示している。0%試料は、最初の測定点となるpF 1.5 終了時において既に縮んでおり、pF 4.0 に至るまで縮み続けている。それに対し7%試料は、pF 1.5 終了時には縮んでいない。また、撮影を失念しているが、pF 2.0 終了時にも縮みを確認できていない。7%試料は、pF 2.5 終了時においてはじめて縮みを確認出来ている。この観察結果から、0%試料の土壌構造・土壌間隙構造はpF 0.0 からpF 4.0 まで変化し続けていると考える。また、7%試料の土壌構造・土壌間隙構造は、pF 0.0 からpF 2.5 に至るまで殆ど変化せず、pF 2.5 以降に変化していると考え。土壌構造・土壌間隙構造の変化が起こり始めるpFレベルの違いは土壌水分の再配分に影響を及ぼしていると考え。7%試料の場合、pF 2.5 に至るまで土壌構造・土壌間隙構造が殆ど変化していないため理論的には重力水はpFレベルがpF 2.5 に至るまでの間に完全に排除される。一方、0%試料の場合、pF 0.0-1.5 の範囲で供試試料が縮むとき、土壌間隙の収縮はその土壌間隙自体のpFレベルを低下させるため、重力水の一部は毛管水に移り変わって排除されない。つまり、供試試料の縮みによって形成された新しい土壌構造・土壌間隙構造の中に元々の重力水の一部は毛管水として再配分されて行くと考えられる。pF 0.0(毛管飽和)における両試料の体積含水率がほぼ同じであることから、保水性試験供試前の重力水の量もほぼ同じであると考え。一方、図1. 18や表1. 10においてpF 1.5 での体積含水率を比較してみると7%試料の体積含水率は0%試料より小さい。つまり、表1. 10の重力水の欄に掲載しているとおり、pF 1.5 に至るまでに排除された水分量は7%試料の方が大きい。以上より、7%試料の重力水は理論的には完全に排除されているが、0%試料の重力水の一部は土壌構造・土壌間隙構造の変化によって毛管水として再配分されて試料内に保持されていると言える。

(考察)

フィールド試験における目視確認では、SG-1 を混合することによる保水性向上と思える現象を確認できたこともあり、作物にとって有益な保水効果の試験結果を期待したが、今回の保水性試験の結果では、SG-1 混合により作物にとって有益な効果を得ることが出来なかったのは、残念である。

(6)分散率試験

(試験の目的)

分散率は、土壌の受食性を測るための基本的な指標であり、団粒を水と接触させたときの崩壊の程度を表している。そこで、SG-1 混合土(7%混合試料)と SG-1 非混合土(0%試料)を比較してその影響を調べる。

(試験方法)

土壌環境分析法及び土壌物理測定法に従って実施した。ただし、分散率のオリジナルの定義では、団粒の崩壊生成物に含まれる粒径 50mm 未満の土壌粒子を対象としているが、この試験では、より小さい粒径 20 mm未満の土壌粒子を対象とした。

(試験結果)

図1. 20に試験の実施状況を掲載している。7%試料の試験溶液は0%試料よりも澄んでおり、7%試料の団粒が崩壊しにくいことを肉眼観察でも確認した。試験結果を分析して得られた分散率 $Dr(1/50)$ を表1. 11にまとめている。分散率 $Dr(1/50)$ の平均値は0%試料で 10.3%、7%試

料で 2.2%であり7%試料の分散率 $Dr(1/50)$ は0%試料より小さい。このことは、7%試料では0%試料よりも団粒が崩壊しにくいことを示しており、団粒が水と接触して崩壊する際にシルト・粘土粒子の放出量が小さく成っている。耐水性団粒試験においてもSG-1混合の団粒は、水と接触して崩壊するものの細くなり過ぎない結果を得ているため、この分散率試験でも同様の結果を得た。

図1. 20 分散率試験の実施状況(左上:半転振とう攪拌、右上:採水、左下:吸引ろ過による固液分離、右下:0%試料と7%試料の比較)



表1. 11 分散率 $Dr(1/50)$ (単位:%)

試料	測定値						平均値
0% 試料	9.6	8.7	8.3	10.8	11.6	12.5	10.3
7% 試料	2.5	1.9	2.0	2.0	2.3	2.4	2.2

SG-1を混合することにより団粒は崩壊しづらくなり耐食性が向上する結果を得た。

(考察)

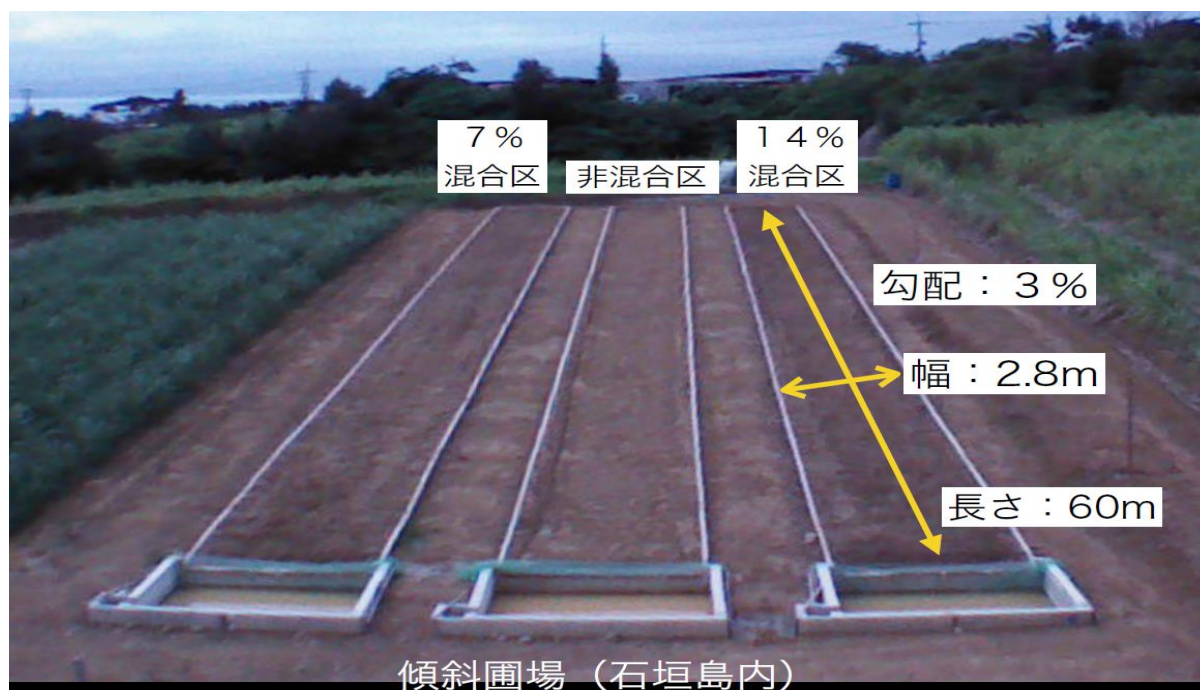
分散率試験でも SG-1 を混合することにより団粒が崩壊しづらくなる結果となり各種の屋内試験で、SG-1 を混合することにより団粒が崩壊しづらくなる傾向の試験結果を得たと感じております。沖縄地方の土壌は、崩壊しやすい構造であることから流出しやすくなる傾向であるが、SG-1 を混合すると崩壊しづらくなる結果を得たことは、赤土流出防止に貢献できる可能性がある結果となり実証試験での効果確認に期待が持てる結果となりました。

1. 7. 1 実証試験

(現場適用の概要)

計画時は、セメント処理区・株出し不耕起栽培区を設定し比較することとしていたが、室内試験の結果を踏まえSG-1の性能評価に重点を置く事としSG-1 の配合割合を2水準(7%・14%)設定しSG-1 未混合試験区との流出土量比較試験を実施する事とした。また、改良する深さも10cmと15cmを想定していたが、沖縄地方の営農にそくし混合可能な深さ20cmに統一し1水準での実証試験を実施する事とした。

図2. 1 石垣島実証試験圃場



(試験の目的)

実際の営農に近い状態での実証試験を行い検証することを目的し実施する。

(1) 土壌浸食試験

(試験の目的)

傾斜圃場基盤層の実容積と土壌表面の状態変化(土壌侵食状況)を把握することを目的とし実施する。

①実容積の測定

(試験方法)

表土を傾斜圃場の境界線枠内に戻す前に基盤層に向けた採土用 100ml 円筒でサンプリング。サンプリング位置は、下流端(貯留マス入口)から上流端に向けて5m・25m・45mの距離にある3地点で採土。コアの実容積をデジタル実容積計(大起理科工業㈱, DIK-1150)で測定した。

図2. 2 実容積の測定(大起理科工業株式会社, デジタル実容積計 DIK-1150)



(試験結果)

・基盤層の実容積結果

実容積の試験の結果は、SG-1 を14%混合した試験区(14%混合区)の実容積が平均値で69.6となり一番小さい結果と成ったがSG-1を7%混合した試験区(7%混合区)とSG-1非混合区(対照区)との差はほとんどなかった。その為、14%混合した区の基盤層の透水性が対照区と7%混合区と比較し良いことが示唆されたため、今後の試験において考慮する必要性がある結果となった。※表2. 1を参照

表2. 1 基盤層の実容積の結果一覧(単位:%)

位置	対照区	7% 区	14% 区
5 m	71.8	88.0	73.0
25 m	81.8	72.4	64.7
45 m	84.0	77.8	71.1
平均値	79.2	79.4	69.6

・表土の実容積結果

表土の実容積には、ほとんど差が無かった。その為、実際の降雨時の流出土量等への影響については、この試験からは、判断が難しい結果と成った。※表2. 2を参照

表 2. 2 表土の実容積の結果一覧 (単位:%)

採土深 (cm)	対照区	7% 区	14% 区
10-15	73.6	82.9	79.4
	78.5	72.6	72.7
20-25	81.8	87.0	83.2
	83.1	85.1	81.5
平均値	79.2	81.9	79.2

②流出土量(裸地),サトウキビ(春/夏)植え体系における流出土量 (試験目的及び試験方法)

この試験では、石垣島に整備した実証試験区で一定の期間において実際の降雨により流出する赤土等の流出土量を把握し SG-1 を混合することによる効果を検証するために比較を行った。
(流出土量(裸地)の結果)

平成26年9月5日～平成27年1月31日の期間、裸地の状態を保ち自然降雨により流出する流出土量を調べた結果は、表2. 3の結果となりSG-1を7%混合した試験区では SG-1 未混合(対象区)の流出土量に対し約65%減少し、SG-1を14%混合した区では、流出土量が約85%減少する結果と成った。図2. 3は、貯留マスに堆積した流出土の回収状況。

表2. 3 試験期間中の流出土量(砂礫の質量を含む, 単位:kg)

対照区	7% 区	14% 区
300	103	45

図2. 3 流出土の回収状況



③易耕性

(目的及び実施方法)

沖縄地方の畑地の土は、乾燥すると石の様に硬くなる特徴を持っており、営農者は非常に苦慮している実態があるため未改良(SG-1 非混合)の土壌とSG-1にて改良した土壌の作業のし易さを比較した。比較方法は、熟練した営農者の感覚により実施。

(試験結果)

熟練した営農者の感覚によれば、SG-1混合区は、SG-1非混合区より耕し易いとの回答を得た。この結果は、SG-1が団粒表面をコーティングすることにより団粒表面の粘着性が低下し、沖縄地方の土の特徴でもある耕耘器具にまとわりつく性質が低下したためである。また、実際に手で

触ってみてもサラサラとした感触を得た。耕起時においても大きな土塊がごろごろすること無く耕起面が非常にきれいに成った。

④作土層の飽和透水試験

(試験目的及び試験方法)

作土層の透水性を調べた。この試験では、原位置混合土の不攪乱試料を供試する飽和透水試験を実施した。試験方法は、JIS A1218 に準拠した定水位法であり、試験装置には市販品(大起理工業㈱土壤透水性測定器4点式 DIK-4012)を用いた。

(試験結果)

試験結果を解析して得られた試験時水温 $T^{\circ}\text{C}$ に対する飽和透水係数を表2. 4にまとめている。

表2. 4 $T^{\circ}\text{C}$ に対する飽和透水係数 K_T (単位:cm/s)

試料 No.	0% 区	7% 区	14% 区
1	6.0×10^{-2}	3.4×10^{-2}	5.2×10^{-3}
2	3.9×10^{-2}	1.5×10^{-2}	5.4×10^{-3}
3	2.0×10^{-2}	2.5×10^{-3}	2.2×10^{-2}
4	1.1×10^{-1}	9.2×10^{-3}	1.7×10^{-2}
5	1.2×10^{-2}		4.7×10^{-2}
6	1.5×10^{-2}		1.7×10^{-2}
7	1.5×10^{-2}		1.3×10^{-2}
8	1.5×10^{-2}		2.5×10^{-2}
平均値	3.8×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.9×10^{-2}

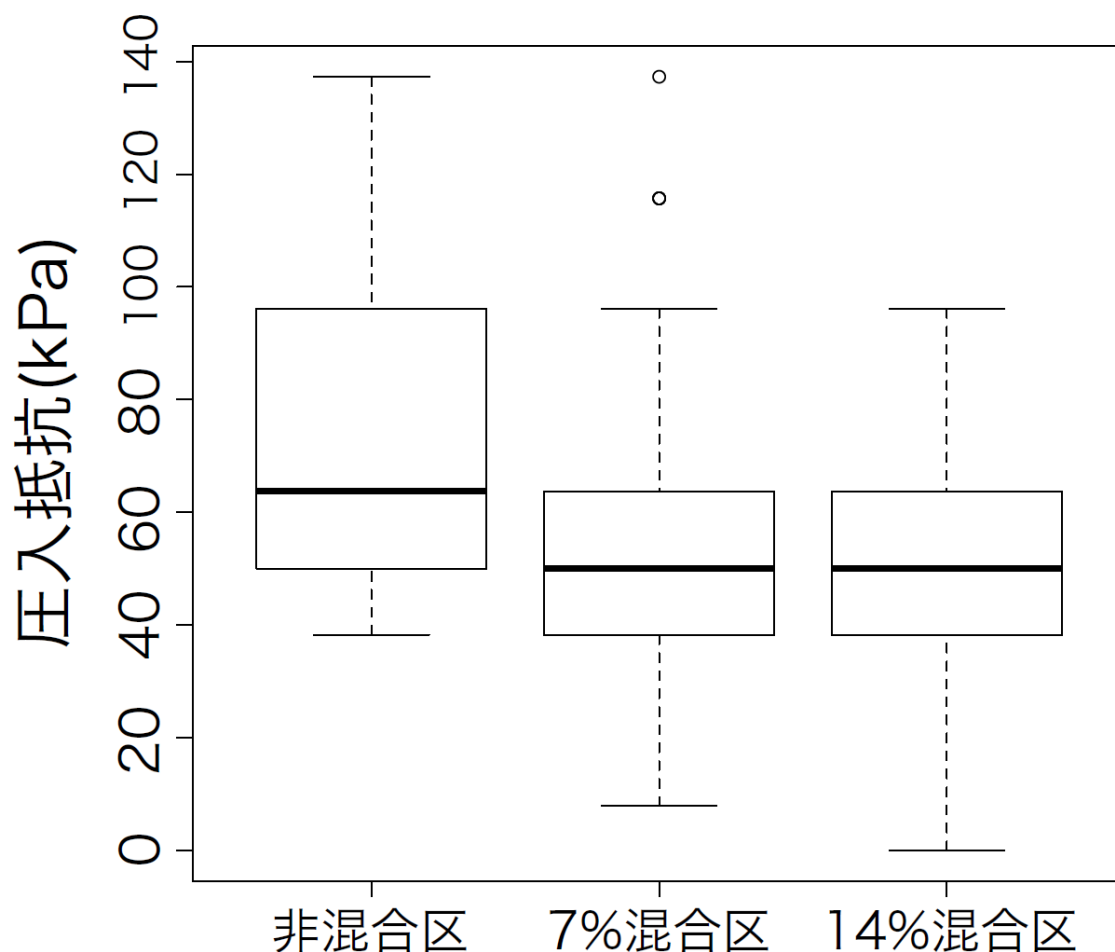
透水係数の平均値は0%区で $3.8 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ 、7%区で $1.5 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ 及び 14%区で $1.9 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ である。供試試料が実圃場の原位置混合土であることを考慮すると、数値のオーダーのみに着目すればよい。各区とも 10^{-2} で有る事から各区の透水係数には、差が認められなかった。屋内混合土の0%試料と7%試料の透水係数には差が認められていることからすると、原位置混合土の場合にも差が認められても良いはずであるが差を検証する事は出来なかった。

⑤土壌表層の土壌硬度試験及び結果

土壌表層の土壌硬度を山中式土壌硬度計で測定した結果は、図2. 4である。SG-1 混合区の

土壌硬度は非混合区より小さい。この結果は、SG-1 混合区における比較的大きな粒子からなる緩詰め状の表面クラスト形成を示唆している結果を得た。

図2. 4 土壌表層の土壌硬度



⑥表面クラストの飽和透水試験

SG-1 混合区と SG-1 非混合区の土壌表層の土壌硬度には、土壌表層の土壌硬度試験⑤の結果の通り差が認められており、その原因としては表層クラストの土壌構造が違っているためであると予想している。この予想が正しいならば、表層クラストの透水性も変化していると考ええる。そこで、試験項目を追加し、原位置混合土の表層クラストの不攪乱試料を供試する飽和透水試験を実施した。供試試料は、現地傾斜圃場でサンプリングした表層クラスト試料である。図2. 5は、表層クラスト試料の前処理の様子である。サンプリングの際、表層クラストにクラックができるためエポキシ接着剤を注入して補修した。表層クラスト試料を毛管飽和させると、表層クラストの軟弱化が感じられた。

図2. 5 表層クラスト試料の前処理 (上段:前処理前、中段:クラックと辺縁部の隙間にエポキシ接着剤を注入、下段:毛管飽和後)



上記の様な前処理を施した後、飽和透水試験に供試した。図2. 6には供試後に試料を観察した際に見付かる表層クラストの破損を示している。供試中に作用する何らかの外力によりクラストは破損してしまい試験は成功しなかった。

図2. 6 供試による表層クラストの破損状況



⑦心土層の透水性試験

(試験の目的及び方法)

心土層の透水性は傾斜圃場の全体的な透水性を決定する重要な性質である。傾斜圃場の範囲内で心土層の透水性がばらついている様な場合には、土壌浸食にも影響が及ぶ。心土層の透水性をコントロールすることは出来ないため、傾斜圃場の性質として正しく理解しておかなくてはならない。この試験には、長谷川式簡易現場透水試験器を用いた。現位置に掘削した穴に注水し、その水面の水位の低下量を経時的に測定し、そのデータを解析して得られる「減水能」を名付けられた指標で透水性を評価した。

表2. 5 心土層の減水能(単位:mm/S)

測点位置	0% 区	7% 区	14% 区
10 m	6.0	12.0	69.0
50 m	—	6.0	36.0

(試験結果)

図2. 7が試験状況である。作土層を掘削して露出させた心土層に直径 20 cm深さ 20 cmで試験孔をつくる。その試験孔に水位計を取り付けた後に水を注水し、その水面の水位を経時的に測定する。その結果を解析して得られた減水能を表2. 5にまとめている。表2. 5より、14%区の減水能が

比較的大きいことがわかった。

図2. 7 長谷川式簡易現場透水試験器を用いた心土層の原位置透水試験の実施状況(上段:心土層の掘削、中段:水位計の設置、下段:測定値の読み取り)



⑧作土層の透水性試験(負圧侵入計を使用)

(試験の目的及び試験方法)

作土層の透水性を原位置透水性試験で調べた。作土層の不攪乱試料を供試する室内透水試験では各区の透水性の違いが認められなかった。そこで、実証試験圃場での試験は異なる測定方

法により原位置透水性試験を実施し調べることにし、原位置透水試験を実施。試験には、図2. 8に掲載している負圧侵入計を用いた。

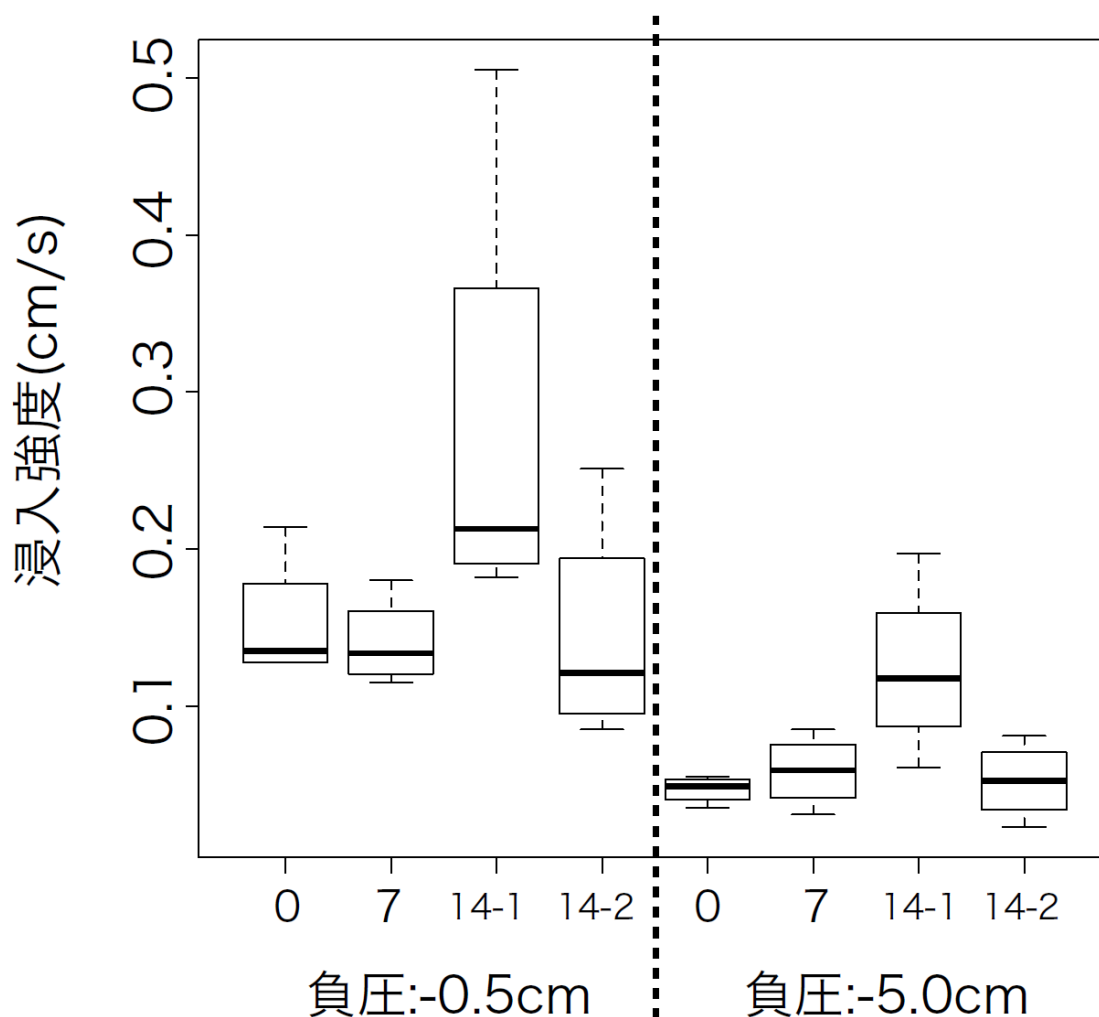
図2. 8 負圧侵入計を用いた作土層の原位置透水性試験の実施状況(上段:負圧侵入計、中段:測定中、下段:測定値読み取り)



(試験結果)

図 2.8 が試験の実施状況である。測定データを解析して得られた負圧侵入強度では、各における透水性の違いが明確に検出できなかった。(図2. 9)

図2. 9 負圧侵入強度



⑨保水性試験(実証試験圃場)

(試験の目的)

保水性には、土壌の特徴が表れる。したがって、保水性の指標は土壌構造の特徴を予想する事に役立つ。そこで、SG-1 混合土と SG-1 非混合土の保水性を比較して SG-1 の影響を調べる。

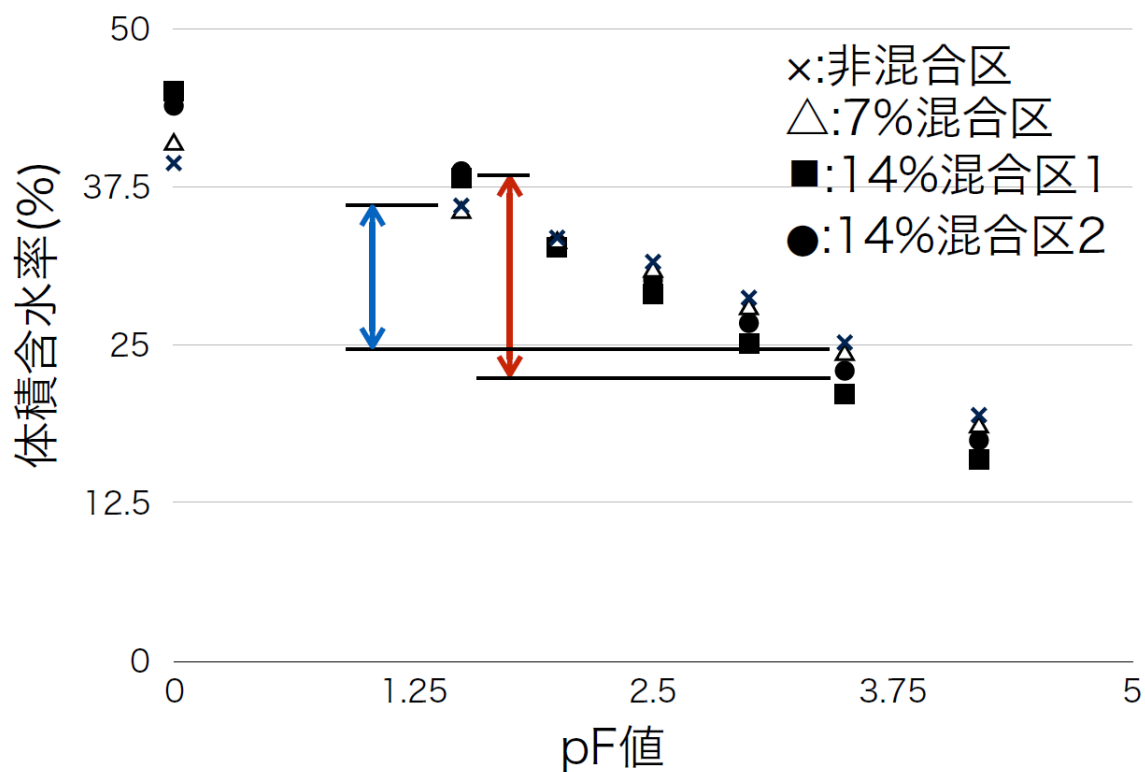
(材料及び試験方法)

飽和透水性試験⑥に供試した後の試料を引き続き保水性試験に供試した。試料の前処理、試験方法及び試験状況は、1. 6. 1. 2(5)の保水性試験と同様に行った。

(保水性試験結果(実証試験圃場))

水分特性曲線を図2. 10となった。尚、毛管飽和をpF 0.0 とみなしている。図2. 10より、SG-1 混合区の正常生育有効水分量は非混合区より大きく SG-1 混合区の保水性が比較的良いことが解かった。このような保水性の違いには土壌構造が影響していると考えられ、この結果は、SG-1 を混合することにより団粒構造の発達を示唆する結果である。

図2. 10 水分特性曲線



⑩分散率試験

(試験の目的)

分散率は、土壌の受食性を測るための基本的な指標であり、団粒を水と接触させたときの崩壊の程度を示している。そこで、SG-1 混合土と SG-1 非混合土の分散率を比較して SG-1 の影響を調べた。

(材料及び試験方法)

原位置混合土の粒径調整試料を用いた。比較のための対照試料は0%試料である。試験方法は(土壌環境分析法編集委員会「土壌環境分析法」博友社,1,997・土壌物理性測定委員会「土壌物理性測定法」養賢堂,1972・土の理工学性実験ガイド編集委員会「土の理工学性実験ガイド」農業土木学会,1983)に概ね従って実施。ただし、分散率のオリジナルな定義では、団粒の崩壊生成物に含まれる粒径50mm 未満の土壌粒子を対象にしているが、ここでは、より小さな粒径20mm未満の土壌粒子を対象にした。

(分散率試験結果)

試験結果を分析して得られた分散率 $Dr(1/50)$ を表 2.6 にまとめている。分散率 $Dr(1/50)$ の平均値は0%試料で9.9%、7%試料で4.9%及び14%試料で3.9%であり、7%試料と14%試料の分散率 $Dr(1/50)$ は0%試料より小さい。このことは、7%試料と14%試料では0%試料よりも団粒が崩壊しにくいことをしめしており、団粒が水と接触して崩壊する際のシルト・粘土粒子の放出量は小さく成っている。ただし、SG-1 混合土の分散率はゼロではないため、SG-1 混合土の団粒の崩壊生成物にはシルト・粘土画分が含まれている。耐水性団粒試験の結果から、SG-1 混合土の

団粒は水と接触して崩壊するものの、細かくなり過ぎていないこと既に報告しているが(平成26年度成果報告書)、この分散率試験の結果でも同様に検証出来ている。このように、SG-1 を混合すると団粒が崩壊しにくくなり、団粒の耐食性は向上すると考えられる結果を得た。左記の結果より、団粒の崩壊を出来る限り抑える事ができるように改良することが課題であることが明確と成った。

表2. 6 分散率 Dr(1/50)(単位: %)

試料	測定値						平均値
0% 試料	8.1	8.6	9.0	11.0	11.8	11.2	9.9
7% 試料	4.0	3.7	3.8	5.9	5.7	6.0	4.9
14% 試料	3.1	3.0	3.3	4.7	4.7	4.7	3.9

⑪耐水性団粒試験の目的及び試験結果

耐水性団粒試験の方法および試験状況については、1. 6. 1. 2(2)と同様に実施。試料には、原位置混合土を使用。結果は、耐水性団粒分布を図2. 11・図2. 12・図2. 13・図2. 14・図2. 15の結果となったが、いずれのケースについても耐水性団粒の形成が認められた。

図2. 11 耐水性団粒分布①

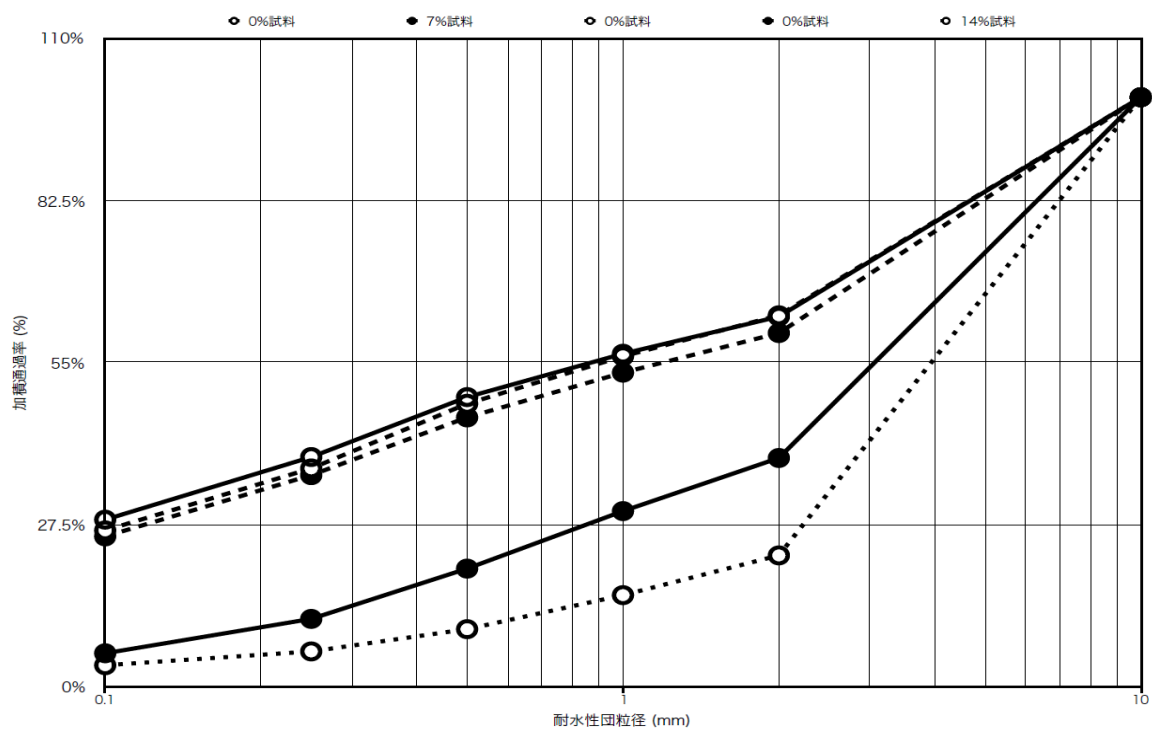


図2. 12 耐水性団粒分布②

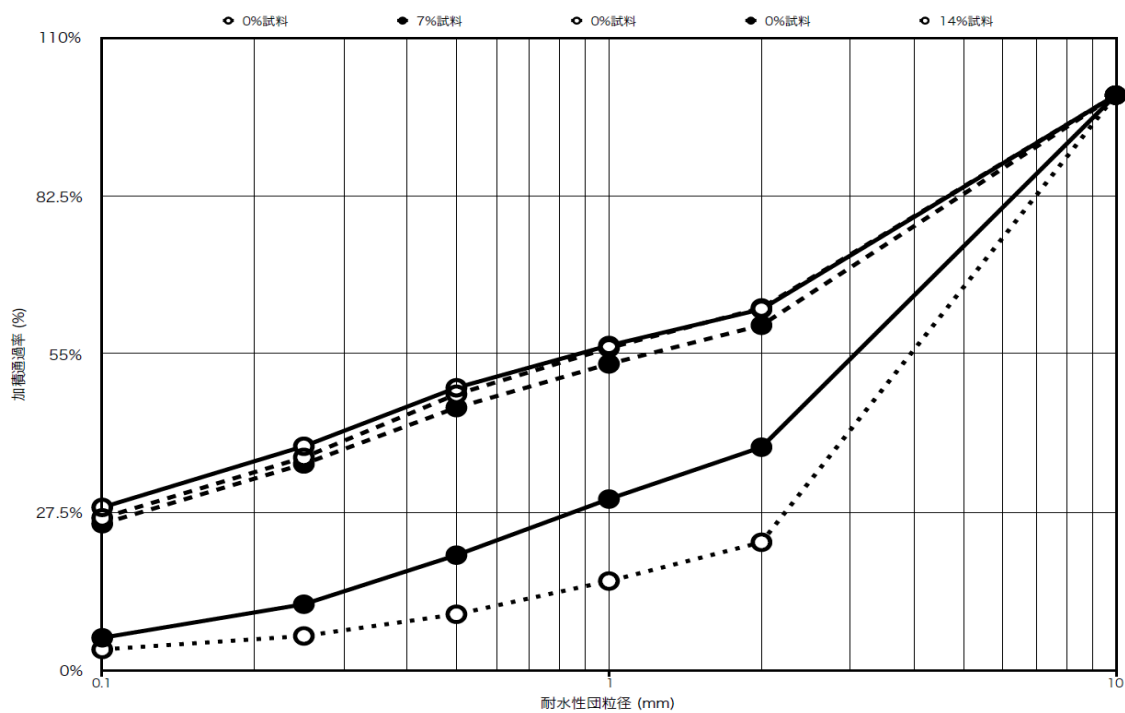


図2. 13 耐水性団粒分布③

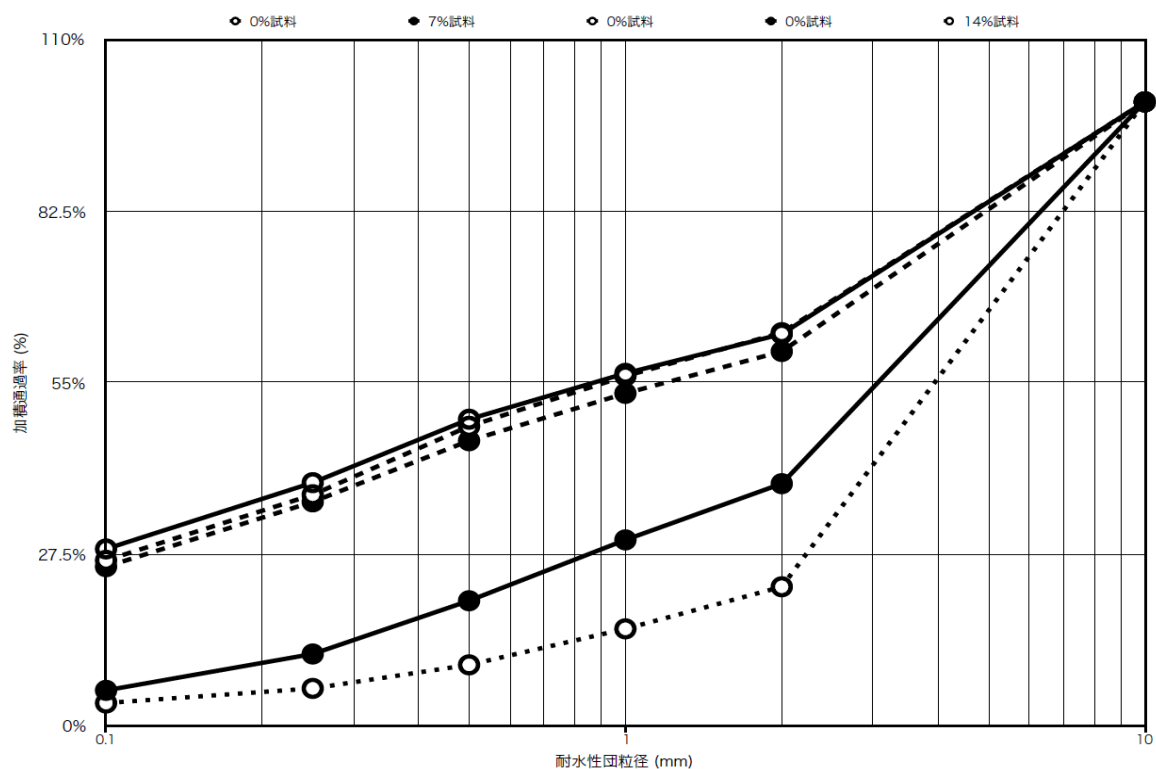
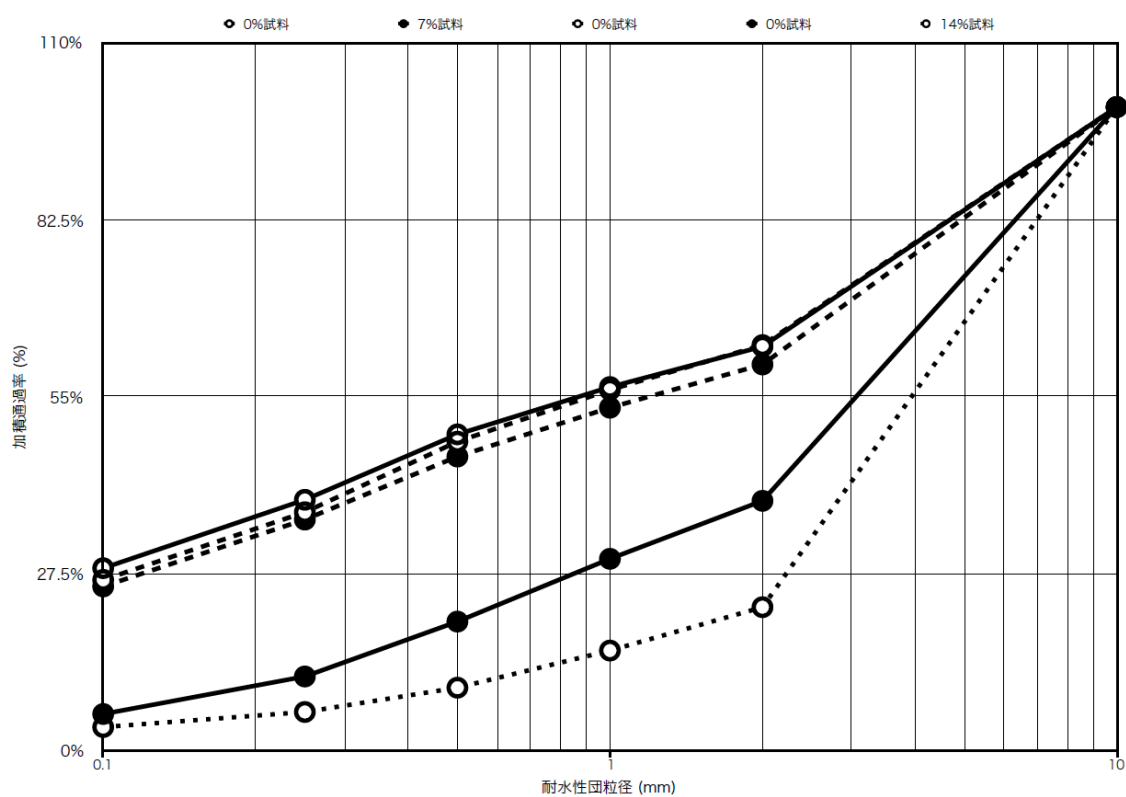


図2. 14 耐水性団粒分布④



⑫三相分布試験の方法及び試験結果

土壌表面下 10-15 cmと 15-25 cmの深さのところの土壌を採土用 100 mm L 円筒でサンプリングし

た。採取時の水分状態における実容積をデジタル実容積計(大起理工業㈱,DIK-1150)で測定した。さらに乾燥質量を測定している。試験結果を分析して得られた三相分布は表2. 7となった。

表2. 7より、7%区と14%区の液相は0%より大きい。液相は常に変動する相であるため断定することはできないが、SG-1 が固化する際に形成される針状結晶が水分を保持している可能性がある結果と成った。保水性試験での結果からも SG-1 混合区では正常生育有効水分が大きく成っているため針状結晶による水分保持の関与が示唆された。また、14%区の固相は他より小さく、団粒構造の影響を示唆している結果を得た。

表2. 7 作土層の三相分布(単位:%)

区	気相	液相	固相
0% 区	26.5	26.2	47.4
	18.2	29.3	52.5
	21.5	29.5	49.0
	16.9	31.5	51.6
7% 区	17.1	31.5	51.4
	13.0	34.9	52.1
	27.4	27.8	44.8
	14.9	35.0	50.1
14% 区	20.6	34.0	45.4
	16.8	34.2	49.0
	27.3	30.4	42.3
	18.5	31.9	49.7

(考察)

実証試験では、屋内試験で得た結果の傾向通り団粒が崩壊しづらくなることによる効果として流出土壌が SG-1 未混合の試験区に対し SG-1 を7%混合した場合で約65%の減少となり14%混合では約85%の減少と流出土量が減少する結果を得た。また、易耕性においても熟練の営農者に確認してもらい SG-1 混合により作業がし易くなる結果を得た。保水性試験でも屋内試験と異なる結果となり SG-1 を混合することによる保水性が向上し良い結果を得たが、その他の試験では、試験方法に苦慮し、いくつかの試験方法を試したが有効な試験方法を見つけることが出来なかった実情もあるため、今後の課題となった。

1. 7 改良区での栽培試験

(試験の目的)

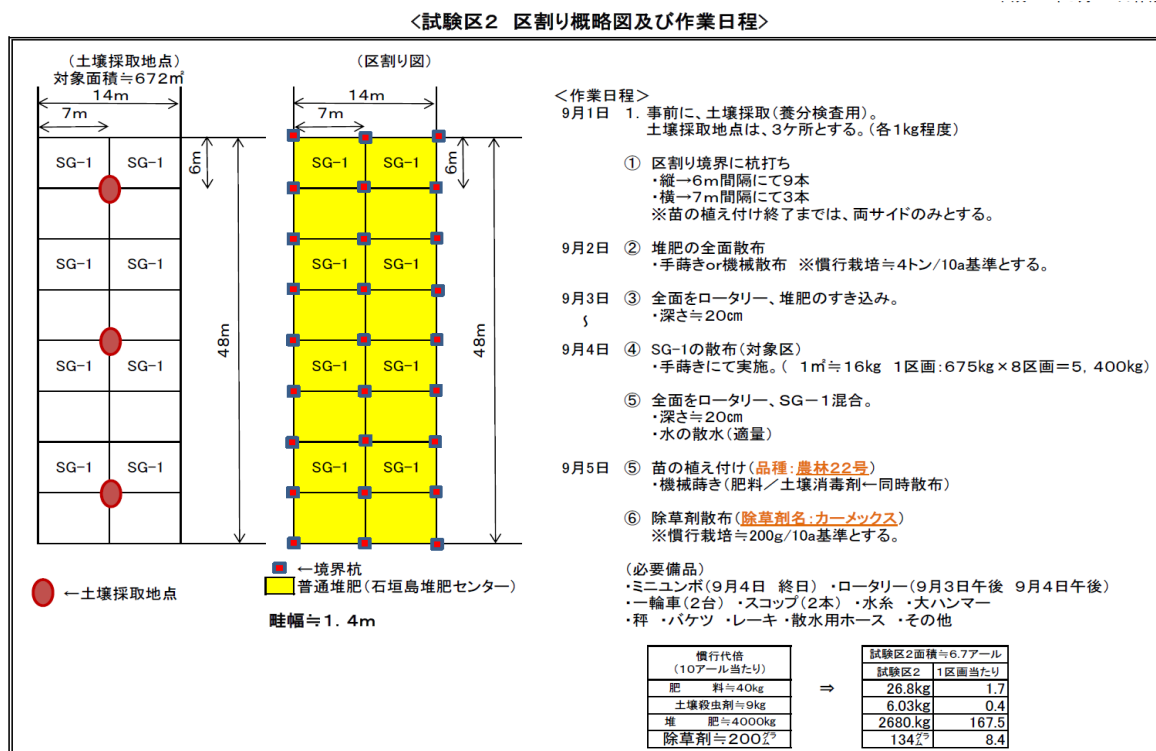
石垣では、サトウキビ栽培圃場から赤土の流出が問題となっている。そこで、夏植えしたサトウキ

ビの生育への影響を調べることを目的とする。

(試験方法)

供試品種は、石垣島で主流品種となっている Ni22 (*Saccharum officinarum* L.) を 2 節苗を 140cm、株間 40cm で圃場に植え付けることとした。堆肥 4t/10a 施与し施肥には、硫安・過リン酸石灰・塩化カリを用いた。栽培時の測定項目は、仮茎長・主茎の葉数・分げつ数・SPAD 値・土壌水分含量・収量・搾汁液糖度 (Brix) とした。搾汁液は濃硝酸-過塩素酸で有機物分解し、メンブレンフィルターでろ過し重金属を分析。(分析機器: ICP-AES を使用)

※試験区2区割り概略図及び作業日程を参照



(栽培試験結果)

仮茎長は、2015年3月までの調査では対照区に比べ SG-1 区で低く推移していたが、2015年7月時点では、差が殆どなくなった(図Ⅰ)。葉数は、各区とも同様な結果を示した(図Ⅱ)。分げつ数は、高培土を行うまでは対照区が最も高い値を示していたが、平成27年7月時点では差が殆どなくなった(図Ⅲ)。葉緑素含量の指標となる SPAD 値は、対象区と SG-1 区の差は認められなかった(図Ⅳ)。土壌水分含水量は、SG-1 区でわずかなら高く推移する傾向が見られた(図Ⅴ)。収量は、SG-1 区で高い値を示した。(図Ⅵ)。Brix は、対象区に比べ SG-1 区で若干高い傾向となったが、ほとんど差はなかった(図Ⅶ)。サトウキビのミネラルおよび重金属は、Al, As, Ca, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Na, P, Pb, Zn が検出された。Cr 以外のいずれの元素も SG-1 添加区と無添加区の間には有意差は認められなかった。Cr の吸収量は SG-1 区が対象区より高い結果となった。

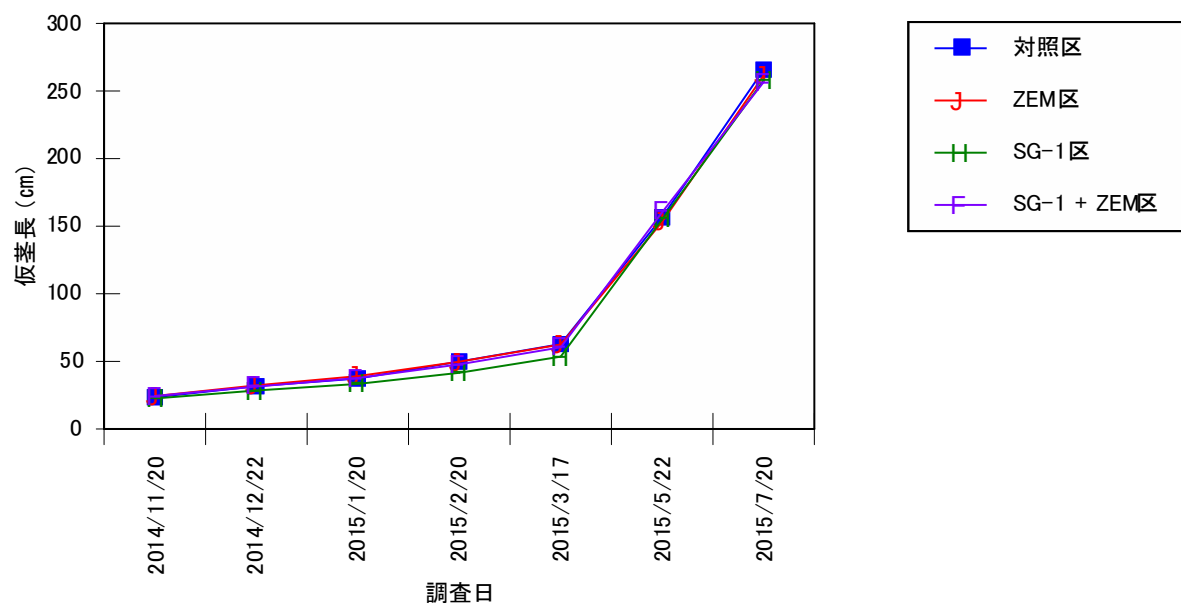


図 I . SG-1およびZEM酵素がサトウキビの假茎長に及ぼす影響。

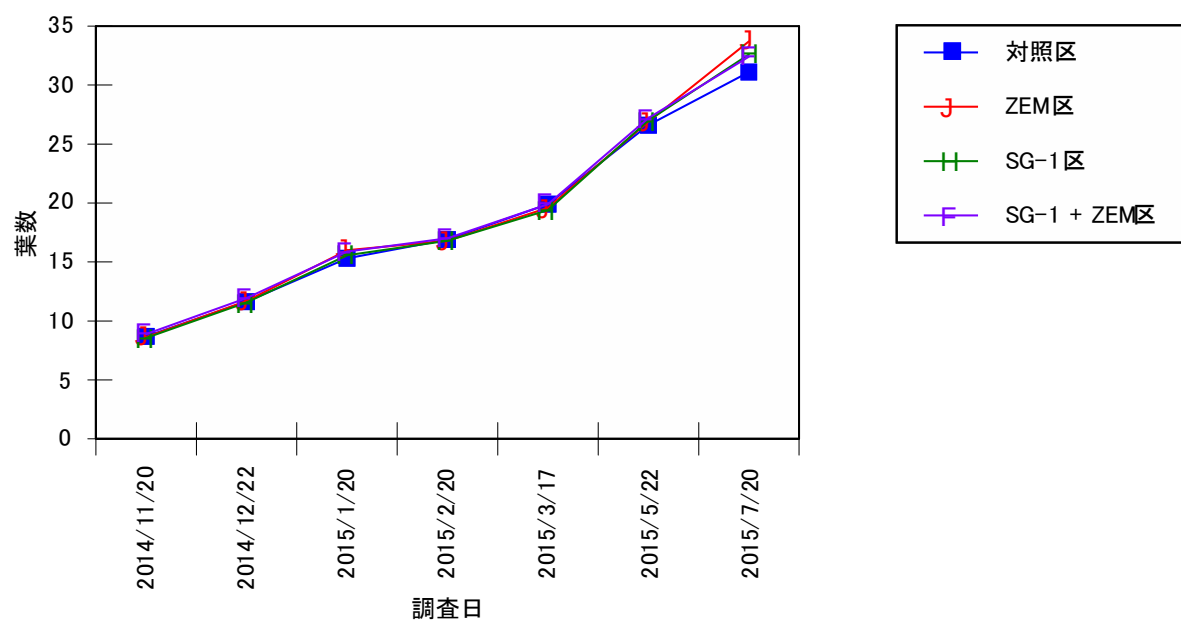
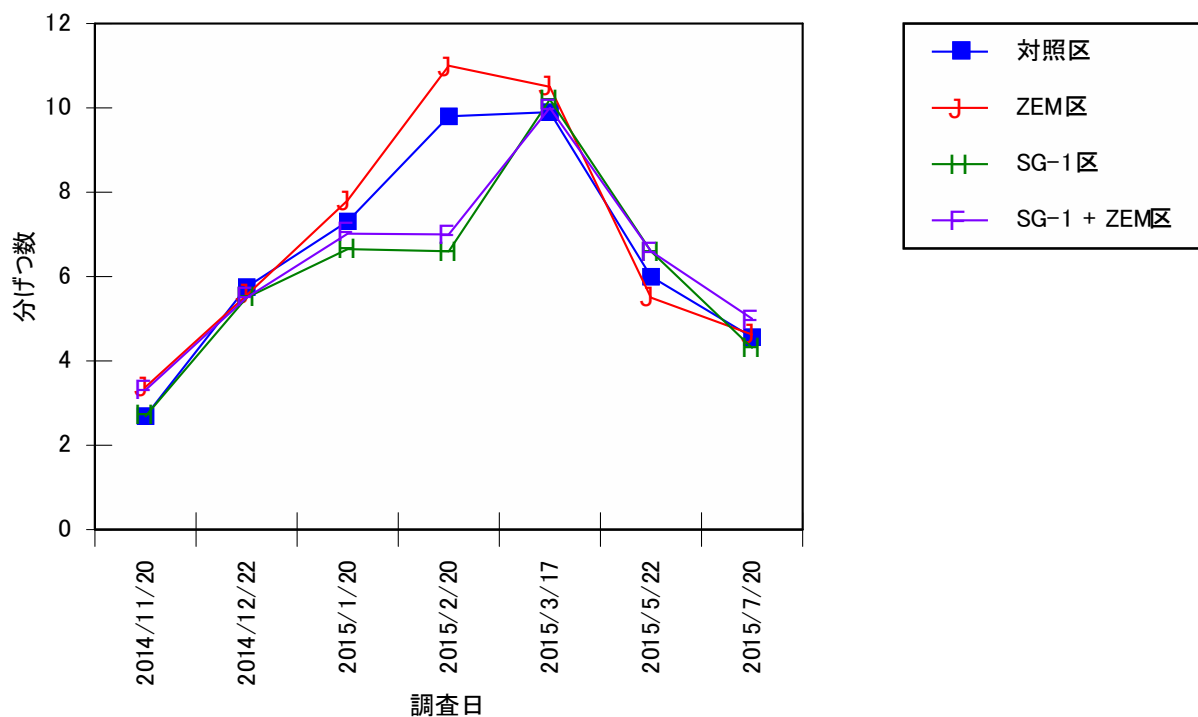
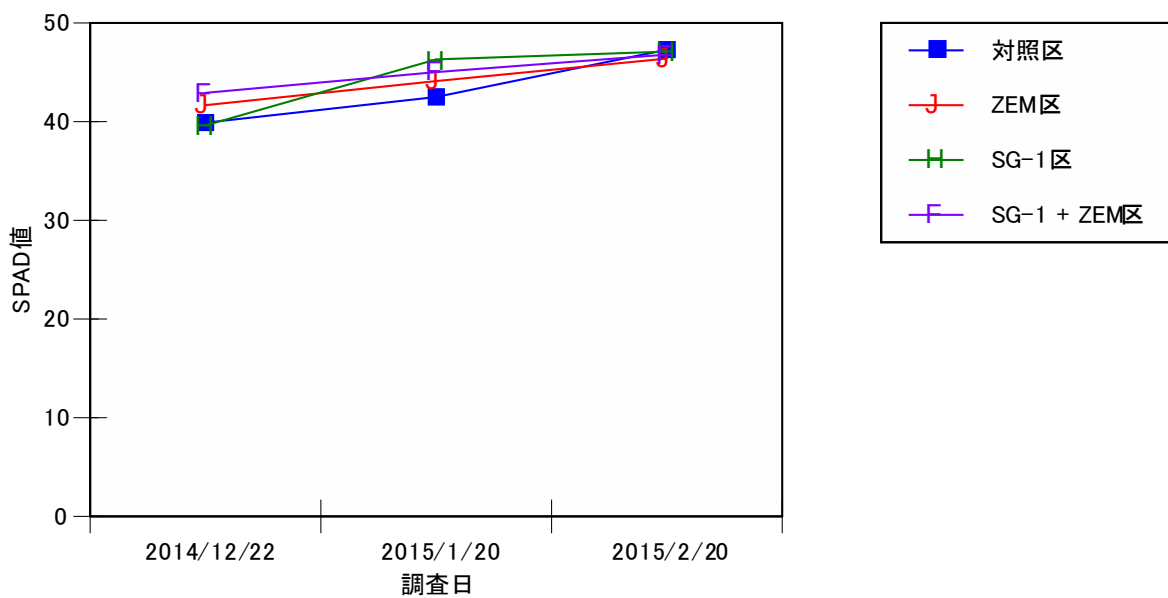


図 II . SG-1およびZEM酵素がサトウキビの出葉数に及ぼす影響。



図Ⅲ. SG-1およびZEMがサトウキビの分げつ数に及ぼす影響.



図Ⅳ. SG-1およびZEMがサトウキビのSPAD値に及ぼす影響.

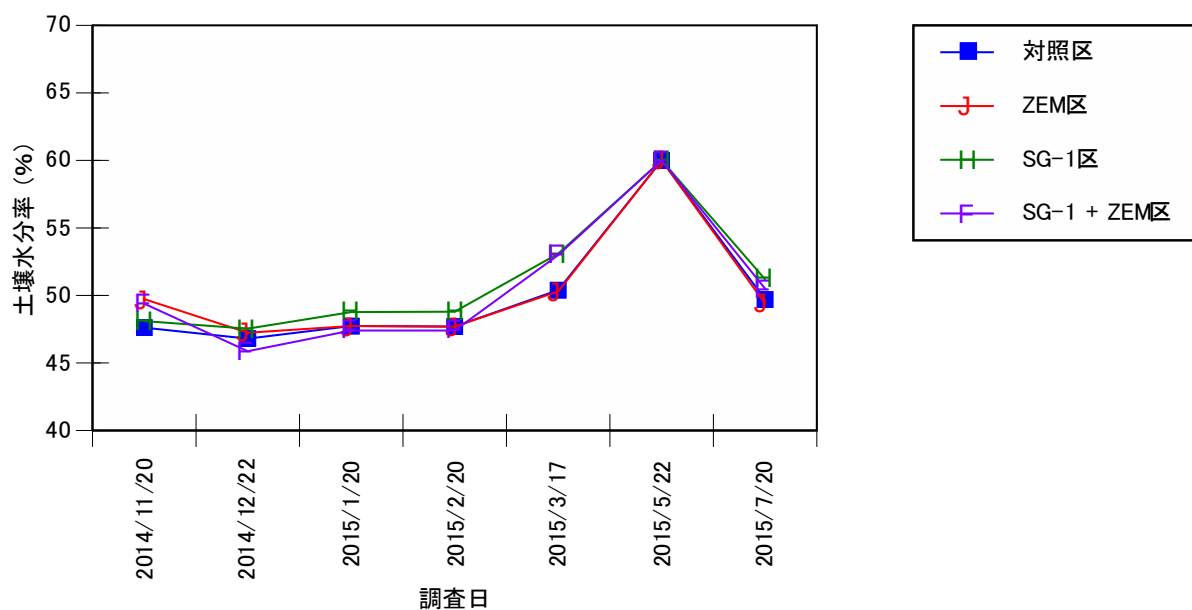


図 V. SG-1およびZEMが土壌水分含量に及ぼす影響.

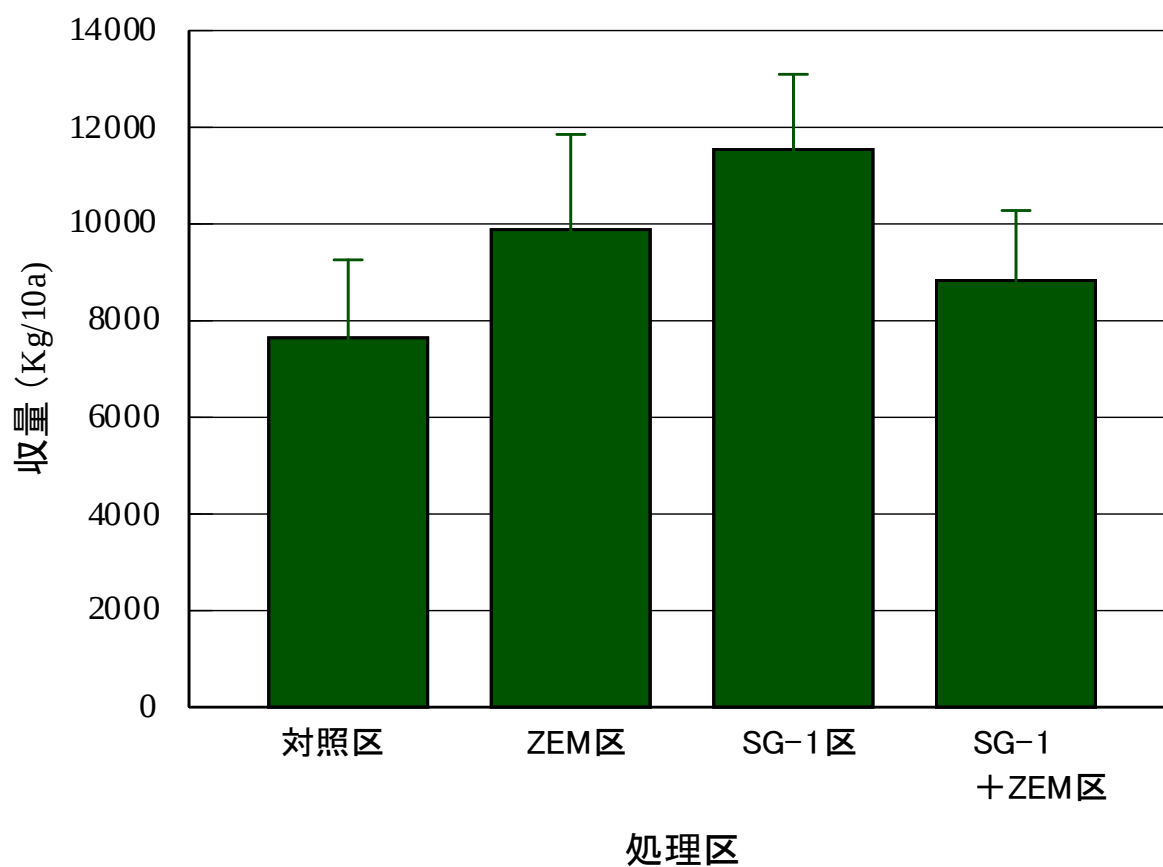


図 VI. SG-1およびZEMがサトウキビの収量に及ぼす影響

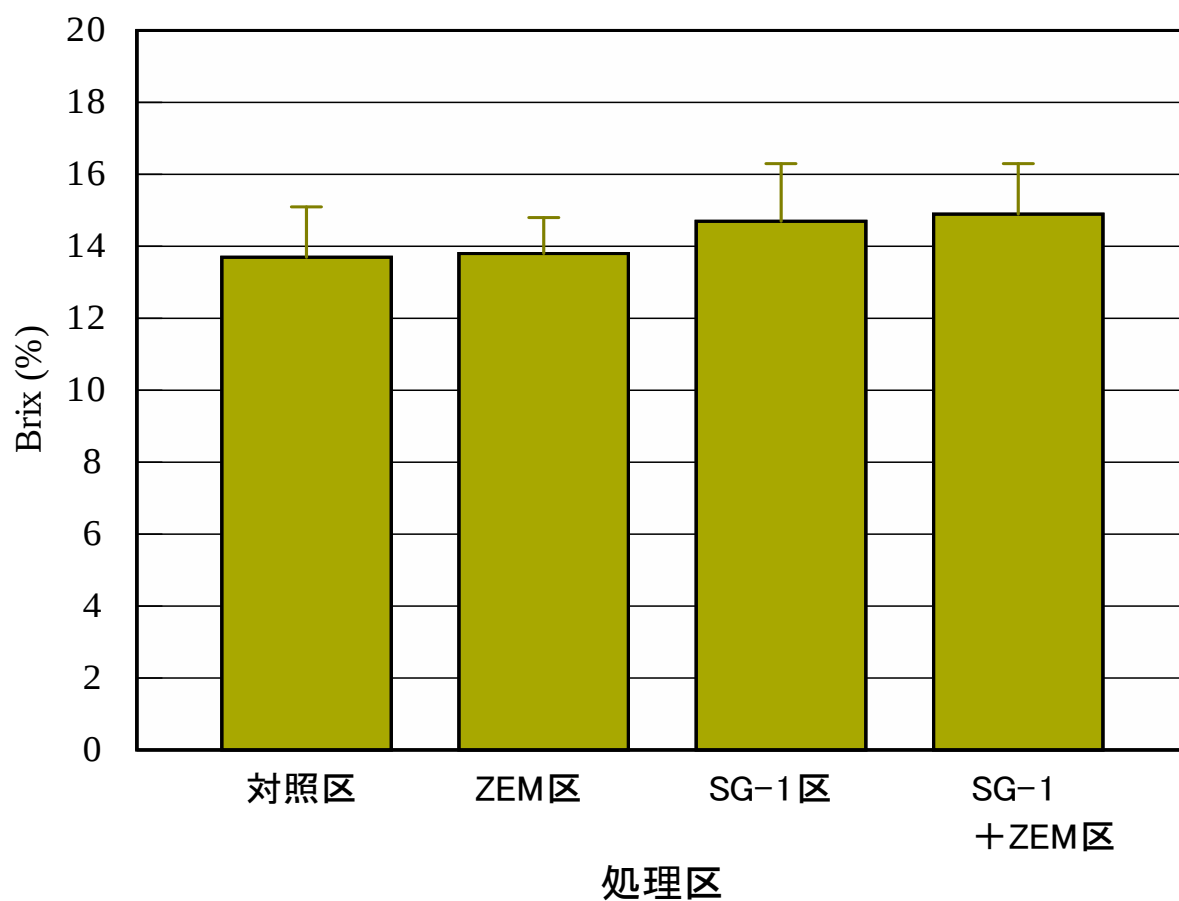
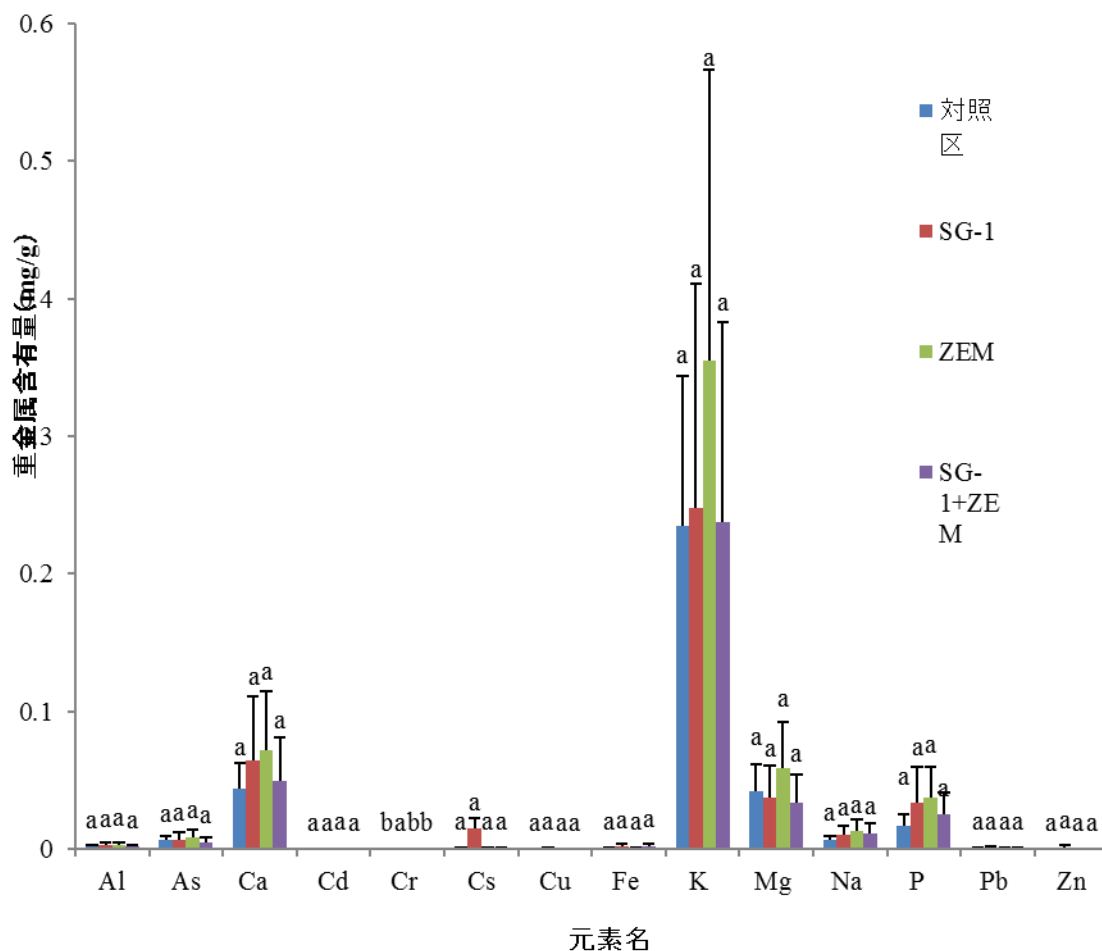


図 VII. SG-1およびZEMがBrixに及ぼす影響.

栽培中のサトウキビ(2017 年6月 25 日)





図VIII. SG-1がサトウキビの搾汁液の重金属含量に与える影響.

図中のバーは標準誤差を表す. 異なる英文字はFisherの最小有意差法により有意差あり.

(考察)

サトウキビの栽培試験では、初期成育に大差はなかったが収穫後の結果としてSG-1を混合することにより約1.5倍の収量をえることが出来た。また、糖度の指標に繋がる Brix でも SG-1 混合区が未混合区を上回る結果となった。しかし、安全性(収穫作物の重金属含有量)確認では、微量ではあるがクロム(Cr)の検出も確認されたため引き続き確認および検証が必要であると考察します。

1. 8 機能監視の概要、結果、課題等

(機能監視の概要と結果)

降雨時に起こる土壌表面の浸食状況を現地にて確認し各種計測機器から得たデータと照合する。左記は、照合に際し現地にておこる現象(侵食がおこる過程)と傾向の情報が必出でありそれらを総合的に把握する事が重要であることから、降雨時と降雨終了後に実証試験圃場にて写真撮影及び目視確認を継続的に実施し情報収集を行った。目視観察の結果、降雨時の貯留マスへ流れ込む雨水の濁は対照区が一番濁っており14%混合区が一番濁り方が薄い結果と成った。(濁りの度合い:対照区>7%混合区>14%混合区)

《平成26年 11 月 27日の貯留マスの状況》

(対照区)



(7%混合区)



(14%混合区)



2 事業の成果

2. 1 成果の内容

赤土等の流出を防止(半減)できる土壌回帰材の配合割合モデルの一助となるデータを得ることができた。左記の結果は、沖縄県で平成27年3月に策定された沖縄県赤土等流出防止対策行動計画の削減目標数値に貢献出来る(農地からの流出削減)結果でもある。また、SG-1で改良することにより沖縄地方の現地土に比べ営農時の耕起作業等がし易くなることも営農の観点で効果があると考えている。また、サトウキビ栽培においても収量が増加・糖度も向上と良い結果を得ることができた。しかし、土壌物理性等のメカニズムについては、今回の事業内では、屋内試験と実証試験で異なる結果となる試験もあり、また、各種試験方法を試みたが有効な試験方法を特定できない試験項目もあるなど課題も残った。左記のことは、今回の事業を取り組み土壌という環境を把握することが如何に難しいかを実感し今後の取り組みにおいては、さまざまな角度から計画を策定し試験することと時間を要することの教訓となった。安全性確認においても、懸念点である六価クロムにおいて安全性を担保できる結果を得ることが出来なかったため、引き続き検証が必要でありSG-1の改良等、今後の課題が明確となり目標にも変わった。

2. 2 目標の達成度

(1)成果から得られる効果

SG-1にて畑地の土壌改良を実施する事により沖縄県赤土等流出防止基本計画の中で策定されている流出削減目標を一定量クリアすることが出来るが、六価クロム等の安全性が担保できないこともあり農地利用には、更なる検証と改良が必要である。

(2)従来技術との比較

1)比較する従来技術

勾配修正等の土地改良事業

2) 従来技術に対する優位性

① 経済性

- ・沈砂池等に貯留される流出土の浚渫費用の軽減
- ・浚渫した流出土の仮置き場への運搬費用の軽減
- ・仮置き場の維持管理費の軽減
- ・流出した畑地への赤土補填費用及び運搬費用の軽減

② 工程

- ・工事規模の縮小

③ 品質

- ・重金属等(六価クロム)の影響確認が必要である。

④ 安全性

- ・重金属等(六価クロム)の影響確認が必要である。

⑤ 施工性

- ・工事規模の縮小

⑥ 周辺環境への影響

- ・周辺海域への赤土流出が軽減され環境保全につながるが、重金属等の影響の確認が必要である。

2.3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

① 畑地の土地改良

② グリーンベルトの土地改良

③ 軟弱地盤の改良

④ 建設汚泥の固化材

(留意点)

SG-1は、弱アルカリ性である。沖縄地方の土は酸性土が大部分を占めるため赤土流出防止効果を兼備えた土壌中和剤としての利用方法もあるが混合しすぎると弱アルカリ性の土壌と成ってしまう為、混合量には留意が必要である。また、現状の資材では、安全性の確認が担保できないこともあり重金属類の影響確認が必要である。

3 普及活動計画

3.1 想定される利用者

- ① 自治体(市町村)
- ② 土地改良施工業者
- ③ 農協
- ④ 営農者

3.2 利用者への普及啓発等の方法

パンフレットを作成し試験実績を含め紹介する。また、どの様な材料かを確認できる様にサンプルの配布を前提としているが、まず、安全性の確認等の検証が必要であり今後も改良を実施する。

3.3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

施行方法及び管理方法を記載した簡易マニュアルの配布 及び 現地指導。

3.4 特許・実用新案等の申請予定

(1) 申請者予定者

・申請予定無し

(2) 申請予定時期

・申請予定無し

4 研究総括者による自己評価

項 目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	B	・沖縄地方における現状を含めもう少し把握的を絞り計画立案し取り組む必要があったと感じている為。
目標の達成度	B	目標である赤土等の流出防止に一定効果がある結果を得る事が出来た事に関しては達成した。しかし、手軽に使用できる様に改良が必要であると感じている為。
研究成果の普及可能性	B	経済性において、どの程度効果が持続するかを経過監視にて把握し、更に営農実態を踏まえた配合割合を把握し示すことにより普及する可能性は向上すると考えております。
総合コメント 事業の目的である沖縄地方での問題、赤土等の流出防止に一定の効果がある結果を得られた事は、成果と考えています。しかし、流出土量が多いとされるサトウキビ栽培を営む営農者が抱える問題は、自身の畑地の土が毎年流出し土地がやせていく(10a当たり≒1.7t 平成26年実施の実証試験データより)事が解かっているにもかかわらずサトウキビ栽培で得られる収入では、対策に投じる費用を捻出することが出来ないとの事(石垣市役所農政経済課担当課長および営農者より)。という実態がある事も今回の取組みで、解りました。それらの事から、より多くの営農者に利用して頂くには土壌の流出防止だけではなく畑地に施した肥料等の保持効果も併わせもつ対策資材に仕上げていく、また、安全性を担保できる資材とする必要性があると再認識しました。総合対策資材に仕上げる事は、簡単なことではありませんが環境保全や営農者の収益向上に貢献できるように、継続性を持って今後も取り組みたいと思います。		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

5 今後の課題及び改善方針

(今後の課題)

1. 沖縄地方の土壌は、シルト・粘土を含め水と接触すると崩壊し易い特徴があり、今回の試験では、それらのメカニズムを完全に把握し検証することが出来なかった為、引き続きメカニズムを把握する為に琉球大学と共同で取り組む。
2. SG-1 を混合することにより団粒が崩壊しにくくなり耐食性が向上することは、解かったが、費用対効果の観点から団粒の崩壊を出来る限り抑える事が重要であると考えられるため、SG-1 の作用が強力になるように技術改良に取り組む。
3. 現状のSG-1は粉黛である為に大規模な改良を実施する場合、改良事業者に委託し実施する必要があるため、取扱いのし易い製品に改良する必要がある。沖縄地方の土壌の大半は、酸性であるため、弱アルカリのSG-1を土壌流出防止効果を持つ中和剤とし利活用することもできるが、営農の観点では、中性の方が利用しやすいと考えるため、pHを調整する必要がある。
4. 安全性において、安心して営農者に使用してもらえることが重要であることから懸念材料である六価クロムの含有のないフライアッシュを使用すること等を検討。安心安全な土壌回帰材に改良出来るように取り組む必要がある。

(改善方針)

安全性が担保出来る様に六価クロムの含有のないフライアッシュを使用すること等を検討する。また、営農等で利用を前提とした場合、作業性が重要となるため、弱酸性～中性のスラリータイプに改良し液肥・除草剤・殺虫剤等と一緒に散布できるタイプに改良を検討する

以上