

II-8 流域レベルでの微細土砂対策手法とその効果評価の開発に関する研究

研究予算：一般勘定

研究期間：平12～平14

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：平12 仲野公章(室長)、山田孝
平13～14 渡正昭(上席)、桜井亘
山越隆雄

【要旨】

沖縄の赤土砂流出をケーススタディとして、微細土砂の流出に対する対策手法の検討を行った。赤土砂は、パイナップル圃場を主要な生産源とするが、農家の高齢化や経済的な理由により、十分な対策は実施されていない。そこで、本研究では、別途把握された赤土砂生産機構に基づいた効果的かつ経済的な対策手法の検討を行った。また、対策手法の効果を流域単位で評価する数値解析手法について検討を行い、検討された対策手法の効果評価を行った。

キーワード：赤土砂、過飽和層、減耕起、裁断物マルチ、藻類被覆

1 はじめに

沖縄県においては、圃場や開発工事、米軍基地等からの流出土砂が海域に流入することにより、海域の生態系や漁業、観光産業等に影響を与える赤土砂流出問題が大きな環境問題となっている。現在、公共事業による開発工事では対策工の実施が赤土等流出防止条例によって義務付けられ効果をあげているが、農家による圃場等での対策は必ずしも十分ではない¹⁾。土木研究所は、赤土砂の主要な発生源はパイナップル畑であることを明らかにしており²⁾、赤土砂流出問題の解決のためにはパイナップル畑での効果的かつ経済的な対策手法の開発が必要と考えている。そこで、ここでは、赤土砂生産特性を踏まえ、効果的かつ経済的な対策手法を考案し、流域レベルでその効果を評価した。

2 パイナップル畑における対策手法の条件

2.1 赤土砂の生産特性からみた条件

土木研究所による赤土砂流出実態の把握と生産機構の解明に関する研究により、これまで、①赤土砂の流出は、パイナップル圃場において更新・植え付け(鋤き込み後～耕耘・植え付け)後から1年目が顕著であり、植え付け後2年目以降は赤土砂の流出が少なくなること、②その要因としては、葉の成長による被覆面積の増加、畝間の藻類等による被覆や土粒子の緊縛効果が考えられること、③従って、対策の実施が重要な時期は更新・植え付け直後から1年目であること³⁾、④赤土砂が発生する主要な部分は地表面露出部(畝間)の表層であり、降雨時の含水比増加(飽和度の上昇)による地表面の強度低下層(過飽和層)の形成が

土砂流出に関係していることを明らかにした^{4) 5) 6)}。

これらのことから、パイナップル圃場においては、更新・植え付け直後から1年目までの対策が重要であり、その対策上のポイントは降雨中における圃場地表面の強度低下の軽減、又は強度が低下した過飽和層での侵食軽減であると考えられる。

2.2 対策コストから見た条件

農家が新たな対策を実施するためには、対策に伴って増加するコスト(経営費)以上に、便益(労働費の減少、収量増等)が確保出来る必要がある。パイナップル栽培の場合、出荷形態や社会条件にもよるが、調査地域周辺における標準的な純利益は9.8円/m²/年と非常に低く、栽培コストが生産額(102円/m²/年)の約90%(92.2円/m²/年)を占めている⁷⁾。

また、現在、沖縄の農家は高齢者が多く、通常の営農作業以外に大きな労力・手間がかかる対策の場合は、実施が困難であると考えられている¹⁾。従って、対策工の要件としては、コストが安いことだけでなく、導入することによって営農作業の労力を低減できるか、少なくとも通常の営農作業の範囲内で実施出来ることが必要になる。

3 既往対策の問題点

3.1 基盤整備事業等における対策施設

現在、基盤整備事業や対策事業においては、沖縄県の対策指針等に基づき、圃場の隣接地に土砂溜樹と沈砂池等が設置されている(写真-1)。しかし、本研究において実施した沖縄県東村古島川流域のパイナップル圃場での土砂溜樹の堆積に関する現地観測³⁾では、

表-1 に示すとおりシルト以下の成分については、ほとんど除去できていないことから、土砂溜柵の微細粒子の除去効果は極めて小さいものと考えられる。また、土地改良事業で設置される沈砂池は濁水中の 0.2mm 以上の粒子（限界沈降速度 0.01m/sec）を沈降除去することを設計基準としており⁸⁾、それ以下の粒径の土粒子は対象としていない。さらに、沈砂池の堆砂量観測結果から、堆砂量は日雨量が増加するに連れ増加しているが、20~25mm/日程度を境に減少していることから、大量の濁水が沈砂池に流入した場合は、沈砂池内の堆積砂が乱れによる巻き上げ等によって下流に流出していること等も考えられる。また、砂防堰堤の貯留による赤土砂流出抑制効果に関する土木研究所の研究から、貯留型施設が効果を発揮するには数百 m³/ha の容量が必要であり、大規模な貯留施設でないと流出抑制効果は十分でないため、生産源である圃場表層での対策が重要であると考えられる⁹⁾。



写真-1 土砂溜柵と沈砂地の状況

表-1 土砂溜柵の堆積状況

営農中の土砂溜柵設置圃場	表面流平均粒度分布 (%)		土砂溜柵平均粒度分布 (%)	
	粘土+シルト	砂以上	粘土+シルト	砂以上
圃場B	99.8	0.2	26.2	73.8
圃場C	94.5	5.5	23.4	76.6
圃場D	95.6	4.4	37.7	62.3
平均	96.6	3.4	29.1	70.9

注1: 表面流各4回、土砂溜柵各10回のサンプリングによる平均値

注2: ここでは、実際に営農しているパイナップル畑に設置されている土砂溜柵の結果を示した。

3.2 営農時に農家を実施する対策

3.2.1 一般的な対策手法の適用性

現在、圃場での対策として汎用的に用いられているのは農家の費用負担の問題等から、更新時における古株還元方式（図-1）である¹⁰⁾。古株還元方式は、有機物の投入による地力回復の他、団粒化の促進・透水

性改善等による土砂流出防止効果が期待できる。

なお、土木研究所は、古株還元方式の場合、古株の碎断物を圃場に鋤き込むまでは圃場全体が碎断物で覆われるため、裸地と比較して赤土砂流出量が少ないことを明らかにしている³⁾。これは、古株碎断物が後述するマルチング（被覆工）の効果を発揮することを示している。従って、古株還元方式の場合、特に新たなコスト・労力をかけずに圃場更新時は全面にマルチングが実施されることになる。

その他、ススキやビニールによるマルチング及び減耕起栽培が実施されている。ビニールマルチについてはマルチがない畝間に表流水が集中し、ガリ侵食が増長するとの報告があり¹¹⁾、赤土砂流出防止の観点からは、必ずしも良いとは言えないと思われる。またススキマルチは、本研究による試験施工地の観測結果から、ススキの茎や葉が地表面から浮いた状態であり、地表面の過飽和層の上を表面流が流下したため、流出土砂量は裸地と比較して大きく減少しなかった（写真-2）。



写真-2 マルチング部分における侵食状況

このことから過飽和層の侵食軽減のためには、より地表面に広範に密着するマルチング資材のほうが効果が高くなると考えられる。また、労力等に関する現地試験の結果からも、栽培コストを約30%程度上昇させる結果となった。

減耕起栽培は苗を植え付ける部分のみ耕すことから、裸地化する面積、即ち発生源面積を減らす対策となる。しかし、試験施工後の観測結果から、造成作業に伴い畝間が転圧され裸地となったため、畝間に過飽和層が形成され侵食されたと考えられ、裸地と比較しても流出土砂量を減少させることはできなかった。一方、これまでの赤土砂生産機構の解明に関する研究から、藻類等が密着して被覆している地表面では水浸後24時間経過しても過飽和層が形成されないことを確認している⁶⁾。従って、減耕起については、単に耕起面積を減じるだけでなく、畝間の藻類等の被覆を維持

する等により、降雨時の過飽和層の侵食軽減を図らなければ、十分な効果を発揮しないと考えられる

4 実現可能性のある対策手法案

以上より、赤土砂生産特性から、地表面に密着して被覆するマルチ資材が有効であること、またコスト・労力等の観点から通常の営農作業の範囲内で実施可能であることを考慮し、古株還元方式と減耕起の組み合わせにより、古株碎断物を用いて地表面露出面積を減じる手法を考案した(図-1)。なお、古株還元方式の場合、碎断物の鋤き込み以降、積算雨量で約150mm程度までは赤土砂の流出が少ないことを確認しているが、それ以降は過飽和層が形成されるため赤土砂の流出が増加する³⁾。従って、植付け以降の対策として降雨時における地表面の過飽和層の侵食を軽減する対策が重要である。よって、コスト・労力の観点から考慮して、古株碎断物の一部を残しマルチ資材として利用する方法、及び、畝間等を被覆する藻類等の早期導入が必要である。地元農家によると、藻類等は施肥に伴って自然に繁茂するとのことであり、圃場更新時に畝間の被覆を維持すれば、労力・コストを掛けずに早期導入を実現できると考えられる。

インアップル圃場において試験施工を実施し、平成13年6~10月にかけて、赤土砂流出状況について現地観測を実施した。観測を行う試験圃場は、沖縄県東村古島川流域のインアップル圃場を選定し、①減耕起+古株碎断マルチを実施した圃場(圃場H)及び②畝間に藻類等が繁茂した状態の圃場(圃場I)を設置して降雨時の表面流及び赤土砂の流出状況について観測を実施した。なお、対照区として③圃場更新・植え付け直後の裸地状態の圃場(圃場A)、についても同様に観測を行った(表-2)。

減耕起+古株碎断マルチの試験圃場(圃場H)については、裁断物を約1ヶ月間放置した圃場面の内、苗を植え付ける畝部のみ耕起し、その後畝間に残った碎断物の残りをマルチ材として竹箒で畝部に掃出し試験圃場とした。

なお、畝間に藻類等が繁茂した状態の圃場は、藻類の早期導入が出来た場合の効果を測るため、既に藻類による被覆がなされている営農中の圃場の畝間のみを区切るにより試験圃場とした(写真-3)。

表-2 試験圃場諸元

圃場名称	長さ(m)	幅(m)	面積(m ²)	勾配(%)	備考
圃場A(裸地)	36.0	5.0	180	3.0	
圃場H(減耕起+碎断物マルチ)	32.0	7.5	240	2.6	畝2本(2×32m)
圃場I(藻類被覆)	26.3	0.8	21	2.6	営農中の圃場の畝間

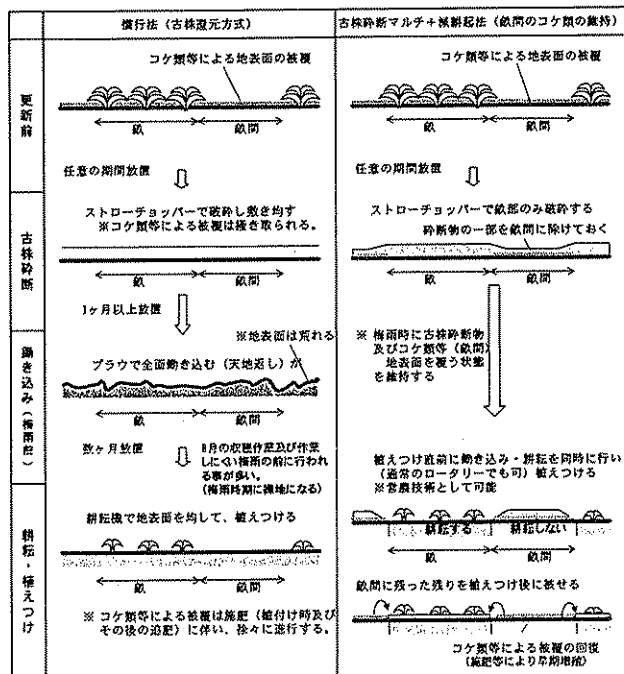


図-1 インアップル圃場における対策手法案



写真-3 試験圃場の状況

5 試験圃場における対策効果観測

5.1 観測方法

4.で考案した対策手法案の効果を検証するため、パ

観測項目は、雨量、圃場からの流出水量、流出水の濁度(SS濃度に換算)とし、圃場流出部に自記雨量

計、自記流量計（超音波水位計+フリューム）及び自記濁度計（散乱光式：観測範囲 0~10000ppm）を設置して、5分間隔で連続測定を行った。

5.2 試験施工地における効果量の観測結果

観測は平成13年6月25日~10月31日に実施した。観測期間中の降雨は、24時間の無降雨状態を一雨の区切りとした。その結果、観測期間中計31回の降雨が確認され、その内で赤土砂の流出が確認できた16降雨（対象降雨）について赤土砂流出状況を整理した。その結果は、表-3及び図-2に示すとおりである。

表-3 対象降雨と単位面積当たり流出土砂量

合計雨量 (mm)	合計流出高 (mm)			単位面積当たり流出土砂量 (g/m ²)		
	裸地 (圃場A)	減耕起+碎断物マルチ (圃場H)	藻類被覆 (圃場I)	裸地 (圃場A)	減耕起+碎断物マルチ (圃場H)	藻類被覆 (圃場I)
622.8	240.8	181.0	114.2	812.0	168.4	5.8
	(0.39)	(0.29)	(0.18)	(1.00)	(0.21)	(0.01)

注1: 流出高欄の下段()内は、流出率(合計流出高÷合計雨量)

注2: 単位面積当たり流出土砂量欄の下段()内は、裸地に対する比率

表-3を見ると、対象降雨における単位面積当りの赤土砂の流出量は、減耕起+碎断物マルチ（圃場 H）は圃場 A（裸地）の21%、藻類被覆（圃場 I）は1%となっている。また、圃場 H は、植え付け1年目以降については、藻類の被覆により、畝間からの流出量が徐々に圃場 I の観測結果（流出比0.01）に近づくものと考え、畝と畝間の面積比（57:43）による荷重平均値として、裸地における流出土砂量の12%程度の流出土砂量となる効果が期待できる。耕作期間が異なる圃場で実施した流出土砂量の観測結果でも、藻類等が繁茂した2年目の圃場の赤土砂流出量は、裸地の12%であったことから、この効果量は、妥当な値であると考えられる。

また、図-2を見ると、減耕起+碎断物マルチの場合は、裸地と比較して特に一雨60mm程度以下の赤土砂の流出量が少なくなっている。藻類被覆については、一雨110mm程度であってもほとんど赤土砂が流出していない。

以上から、著者らが提案する対策手法案（減耕起+碎断物マルチ及び畝間の藻類の維持による圃場更新）は、対策として十分な効果を発揮すると考える。

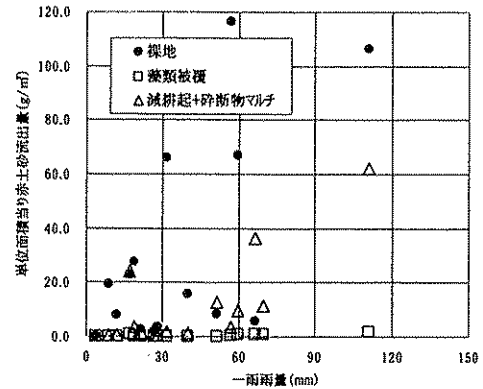


図-2 一雨雨量と単位面積当りの赤土砂流出量

6 流域レベルでの対策効果の検討

6.1 流域レベルでの対策工の評価手法

これまで提案した対策工が、流域レベルでどの程度効果が得られるのか評価を行った。評価に当たっては、流出土砂量はパインアップルの耕作段階により変化するため、流域内でのパインアップル圃場の空間分布や各圃場の耕作段階、また耕作段階による赤土砂流出実態の違い等を表現できる手法が必要である。そのため、別課題である「山腹斜面における受食性、地被状態の変化を考慮した微細土砂生産モデルと数値解析手法」により作成した赤土砂生産予測手法を流域全体へ適用することとした。

この手法は、二次元河床変動計算を用いて圃場での流出土砂量を求めるもので、メッシュ間の流水の移動を浅水流の運動方程式により追跡し、赤土砂の流出形態を浮遊砂として捉え、流水に伴う土砂移動を浮遊砂量式により計算するものである。流出土砂量は、侵食可能面積の違いとして、現地観測で求めたパインアップル葉の被覆率の変化（図-3）に伴い、耕作期間により変化するものとする。

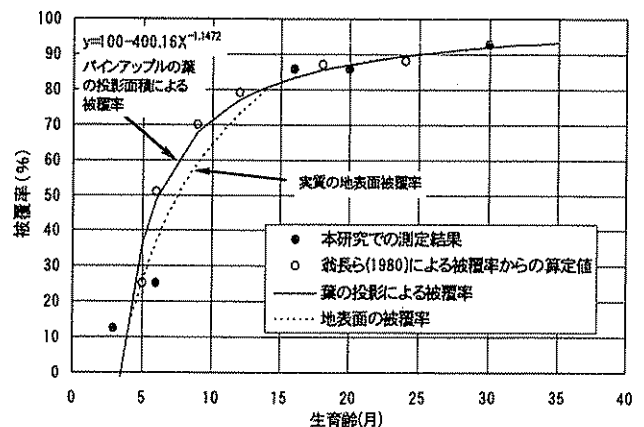


図-3 耕作開始からの経過時間と圃場地表面の被覆率

なお、図-3の実線は、パインアップル葉の投影面積から求めた被覆率であり、破線は、実際に枯葉が地表面を密着している被覆率である。

また、交換層の厚さは、実験により求めた過飽和層の厚さである1cmとした。なお、モデルの詳細は、「山腹斜面における受食性、地被状態の変化を考慮した微細土砂生産モデルと数値解析手法」終了報告書で述べることにし、ここでは流域への適用について説明する。

6.2 流域への適用

6.1で説明した手法が流域全体へ適用できるか確認するため、この手法を用いて既往の流量、流出土砂量に関する観測結果の再現性を検討した。

対象とする出水は、沖縄県東村のサーン川流域（流域面積約0.2km²）で観測された流量と濁度の観測結果から、流出土砂量データの欠測が少なく、データ異常のない表-4に示す2出水を再現対象とした。

表-4 検証出水

出水名	ピーク流量 (m ³ /s)	総雨量 (mm)	総流出量 (m ³)	総流出土砂量 (m ³)	備考
H10.2.1	0.55	28	1,212	1.17	1山出水
H5.7.29	0.70	61	3,756	2.46	2山出水

流域は、10m×10mのメッシュに分割し、各メッシュに標高を与えた。また、航空写真や現地調査に基づき土地利用区分を行い、土地利用区分毎に実施した粒度試験の結果から、粒度分布を表-5に示すように設定した。

表-5 土地利用区分毎の粒度分布

粒径(mm)	0.01	0.1	1	10
圃場	30%	30%	30%	10%
河川	5%	15%	40%	40%
休耕地	15%	15%	30%	40%
その他	20%	20%	20%	40%

粗度係数は、圃場については、圃場から採取した試料を用いて実施した水路実験から求めた値(0.06)を、圃場以外は、一般的な値(河川;0.04、その他0.03)を与えた。耕作期間により異なる被覆率の違いについては、メッシュ毎に与えるのは非常に煩雑となるため、表-6に示す耕作期間毎の圃場面積割合より、流域全体の平均的な地表面被覆率を算定し、H10.2.1出水では65%、H5.7.29出水では50%を用いることとした。

図-4に、流域の現状の土地利用状況による流量、流出土砂量の観測結果とシミュレーション結果を示す。

表-6 検証出水の耕作期毎の圃場面積割合

出水名	植え付け直後 ~3ヶ月	植え付け直後 3ヶ月	植え付け 後1年 以降	畝込み 直後の 裸地期	開拓前	耕作状 況不明
H10.2.1	0%	21%	78%	1%	0%	0%
H5.7.29	8%	6%	64%	21%	15%	0%

流量については、H5出水、H10出水とも、ほぼ観測で得られた流出波形を再現しているが、流出土砂量については、全体的に計算値が観測値を下回る傾向にある。しかし、流域全体における対策工効果の評価には適用できると考えられる。観測値より少な目になる理由としては、10mメッシュでは圃場の細かな土砂移動を再現できないこと、実際は圃場毎に、葉の被覆状況や枯葉の密着状況、侵食可能な畝間の面積等が、作付け状況により異なっていたことなどが考えられる。

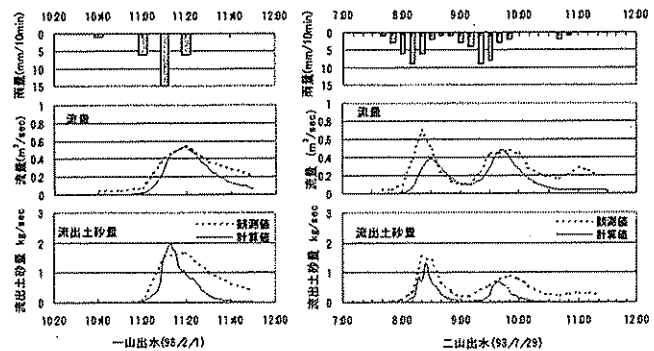


図-4 土砂流出シミュレーション結果

6.3 対策工の評価

6.1、6.2で示した手法を用いて、提案された対策工を実施した場合の効果の評価した。これは、流域内の全ての圃場が土砂流出の最も多い畝込み後1年以内の状態(裸地)とした場合の流出土砂量と、全ての圃場に対策工を実施した場合の流出土砂量を比較して行う。対策を実施した場合の流出土砂量は、観測結果から、流出土砂量が、裸地と比較して、0.17倍になると想定した(0.12倍~0.21倍の中間値)。

結果を図-5、表-7に示す。本研究で提案した対策工により、H5出水では、総流出土砂量が無対策時の8割程度、ピーク時の流出土砂量が7割程度となるほか、H10出水では、裸地の場合と比べると総流出土砂量、ピーク時の流出土砂量とも9割程度となる効果が得られた。このように試験施工後に実施した圃場における現地観測結果と比較して流域全体での効果量が大きく表現されないのは、計算の場合は河床や他の土地利用の斜面部からの土砂生産も加算されたためと思

われる。実際は、粒度分布の調査結果や、土地利用が異なる流域毎に実施した流出土砂量の観測結果から、赤土砂の生産源はほとんどパインアップル圃場と思われるが、河床の土砂生産量は具体的には把握できないため、計算上では、河床などからの土砂生産には特に制限を与えていない。試験施工の観測結果から、実際は圃場での対策を実施すると、赤土砂流出量は、計算値より軽減されることが期待できる。

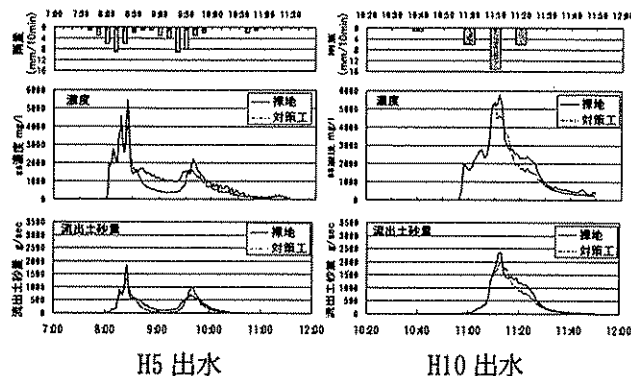


図-5 対策前後の土砂濃度、流出土砂量の違い

表-7 対策前後の流出土砂量等の比較

対策効果		裸地	対策後
H5出水	総流出土砂量 (m ³)	1.20	0.93
	流出土砂量ピーク値 (g/sec)	1,839	1,318
	SSピーク値 (mg/l)	5,450	4,564
	総流出土砂量効果	100.0%	77.6%
	流出土砂量ピーク値効果	100.0%	71.7%
	SSピーク値効果	100.0%	83.7%
H10出水	総流出土砂量 (m ³)	0.70	0.61
	流出土砂量ピーク値 (g/sec)	2,351	2,023
	SSピーク値 (mg/l)	5,786	5,275
	総流出土砂量効果	100.0%	87.1%
	流出土砂量ピーク値効果	100.0%	86.1%
	SSピーク値効果	100.0%	91.2%

7 その他の侵食対策手法

上記以外にも、簡易で効果的な対策について検討を行った。その中でも、沖縄地方において盛んな製糖業から生じる産業廃棄物である「バガス」を、土壌表層に混入する手法については、侵食実験において、大きな効果が認められたため、効果発現の実態とそのメカニズムについて検討を行った¹²⁾。

7.1 バガス混入試料を用いた侵食実験

まず、赤土砂の主要生産源であるパインアップル圃場からの流出土砂量が最も多い圃場更新後1ヶ月~1年間³⁾の密度 ($\rho d \approx 1.4g/cm^3$) と等しくなるように、現地採取の赤土砂の乾燥重量に対して、0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0%の割合でバガスを混入させた試料を締めて作成した。

次に、回転式侵食試験器により、混入率 0.1, 0.2, 0.3%の試料を用いて侵食実験を行った。回転式侵食試験器は、円筒内で一定の水位を保った水に回転羽によって回転流を発生させ、下面に設置した40cm四方の試料表面にせん断流を発生させる構造である¹³⁾。実験の結果、混合率0.2%以上の場合、同程度の流速においてバガス無混入の試料と比べると、流出土砂量に大きな違いが見られた(図-6 流速は、既往知見により回転数の0.76倍で近似¹³⁾)。土砂流出が始まる直前の流速で見ると、無混入試料は約23cm/sであるのに対して、0.2%混入の場合、約46cm/sとなり、無混入試料の2倍程度の流速まで土砂流出が始まらないことが分かる。しかし、0.2%以上混入しても混入率による大きな違いは見られない。

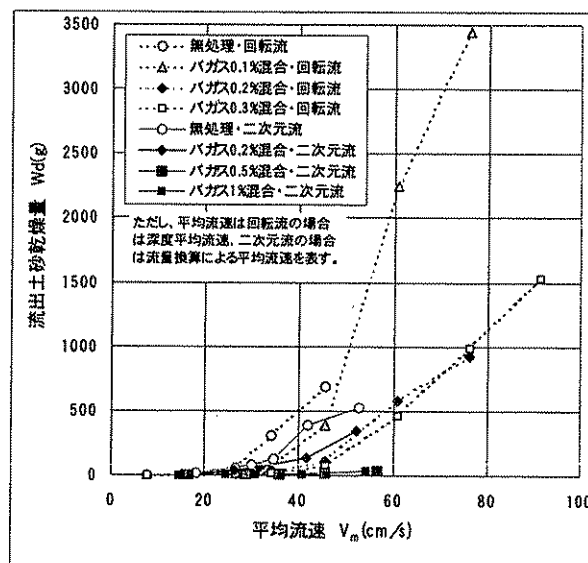


図-6 平均流速と流出土砂量の関係

回転式侵食試験器は水深を6cmに維持しているが、実際の圃場表面では水深は1cm以下である。そこで模型水路により、実際に近い水深で実験を行った。実験は、0.3m×1mの試料を勾配3%の水路に設置し、水深2, 3, 4, 6, 10mmの5ケースで10分間通水させ、流末の水槽で全流出土砂量を受け、水を蒸発させ流出

土砂量の重量を計測した。混入率は0, 0.2, 0.5, 1%の4ケースである。

実験の結果、流出土砂量は混入率0.2%, 無処理の順に多くなるが、0.5%, 1%では大きな違いは見られない(図-6)。また、混入率とマンニング則による粗度係数(n)については明確な関係は見られず、特に水深10mm付近では、混入率による粗度係数の違いはほとんど見られない(図-7)。これは、試料表面に露出したバガスにより、粗度係数が変わるほどの影響を受けないことを示しており、他の要因により、耐侵食性が向上していると考えられる。

7.2 表層せん断試験

バガス混入による耐侵食性の向上は、粗度係数の増加によるほか、バガス中の繊維質により、表層部のせん断抵抗が増加するという土質特性の変化も要因として考えられた。そこで、混入率0, 0.1, 0.2, 0.3%の試料を用いて表層せん断試験を行った。この結果から求められた表層粘着力を見ると、バガスを混入しても強度が増す傾向は見られなかった(図-8)。

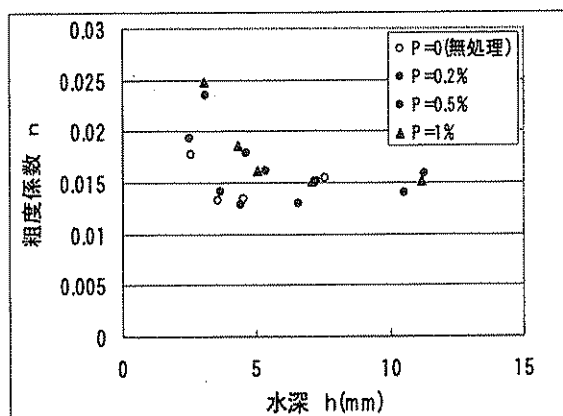


図-7 実験ケース毎の粗度係数

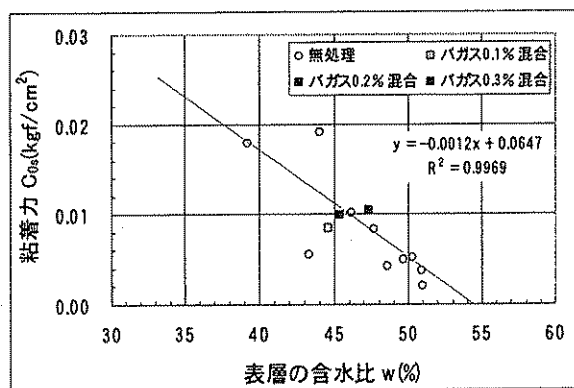


図-8 表層せん断試験結果

7.3 養生期間を変えた試料を用いた侵食実験

以上の実験から、耐侵食性向上の理由として、粗度・せん断抵抗の増加以外の要因を考える必要がある。

これまでの実験は、試料作成から約1週間後に行ったため、表面に薄くカビが生えている試料も見られ、顕微鏡で見ると菌糸が高密度で繁茂しているのが認められた。この影響を見るため、試料作成後1~2週間、気温20度で養生し、菌糸の発達程度の違う試料を作成した後、水路実験により試料作成直後の試料と流出土砂量の違いを比較した。この結果、養生期間が長い程、流出土砂量が少なくなる傾向が見られた(図-9)。また、菌糸は養生期間が長くなるほど高密度にネットを形成し、中には土粒子が太い菌糸の束で連結される試料も見られた(写真-4)。

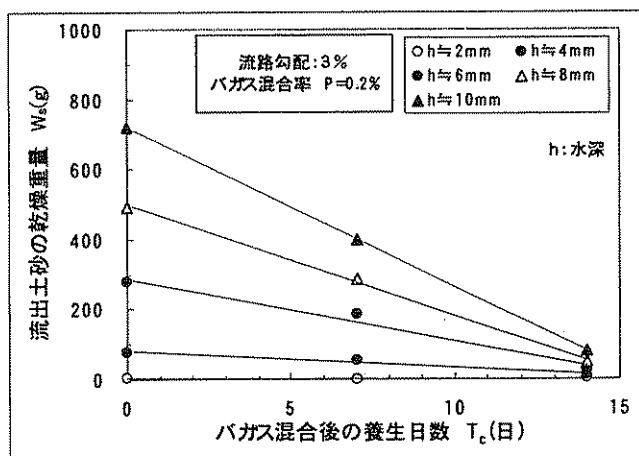


図-9 養生期間を変えた侵食実験結果

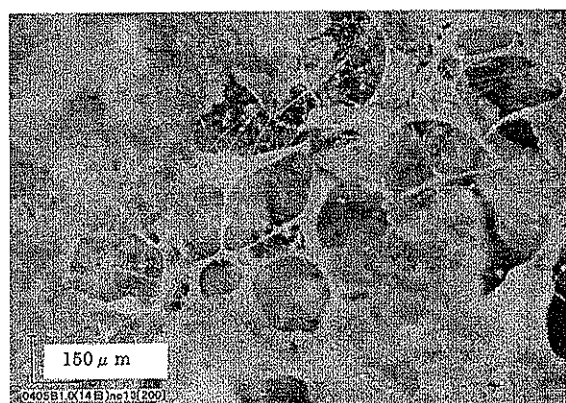


写真-4 試料の拡大写真(0.5%混入 養生期間14日)

7.4 バガス混入による耐侵食性向上のメカニズム

以上の試料の養生期間を変えた実験から、菌糸が細粒土粒子を緊縛し、赤土砂の耐侵食性を向上させてい

る可能性が認められた。ただし、この菌糸のネットによる強度の増加は、深度 3mm でせん断する表層せん断試験では、測定できなかったものと考えられる。今後は、菌糸の集合体の力学的な評価や、現地試験による実際の気象条件下における効果確認などが必要である。

8 まとめ

以上の観測・検討等により、減耕起+裁断物マルチ及び藻類被覆による対策を施工すると、圃場表層の過飽和層の形成防止、過飽和層の侵食防止効果等により、赤土砂流出防止効果を発揮することを確認した。またこの手法は、コスト・労力がかからず実現可能性が高いと考えられ、実際のパイナップル圃場への適用性も高いと考えられる。

さらに、バガス混入による赤土砂の耐侵食性の向上が確認された。これについては、幅広い活用を図るため、力学的な評価や、現地試験等による実際の効果発現の確認が必要である。

なお、本研究の実施に当たり、沖縄総合事務局には、観測の実施や現地調査に多大なるご協力を頂いた。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- 1)赤土等流出防止対策検討会：技術者のための赤土等対策入門書，p.63-66，2001
- 2)南哲行・小山内信智・山田孝・黒崎靖介・中村勝正・与那嶺淳：沖縄島における流域単位での赤土砂の流出特性について，砂防学会誌，Vol.54，No.3，p.39-46，2001
- 3)南哲行・山田孝・仲野公章・冨坂峰人・徳永敏朗・山城修：耕作ステージの異なるパイナップル圃場での赤土砂流出特性，砂防学会誌，Vol.54，No.5，p.30-38，2002
- 4)南哲行・山田孝・溝口昌晴：赤土砂の生産実態とその要因に関する基礎調査，砂防学会誌，Vol.54，No.4，p.77-81，2001
- 5)南哲行・山田孝・下村幸男・黒崎靖介：鋤き込み圃場の飽和化に伴う赤土砂流出過程に関する実験的考察，砂防学会誌，Vol.55，No.1，p.47-51，2002
- 6)南哲行・仲野公章・山田孝・下村幸男・小野寺勝：沖縄島の圃場地表面に形成される過飽和層での赤土砂侵食機構，砂防学会誌，Vol.55，No.3，p.3-11，2002
- 7)沖縄県農業試験場経営研究室：作目・作型別の技術体系・収益性指標Ⅱ，p.145-154，1996
- 8)沖縄県農林水産部：土地改良事業における赤土等流出防止対策設計指針，p.17，1995

9)南哲行・山田孝・黒崎靖介・安仁屋勉・座覇洋：河川の流下域における赤土砂流出対策工とその効果に対する一考察，砂防学会誌，Vol.55，No.1，p.42-46，2002

10)比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰：パイナップル畑からの土砂流出量について，沖縄県衛生環境研究所報，第30号，p.87-92，1996

11)喜名景秀・亀谷茂・比嘉明美：土壌改良と被覆効果の実証，平成11年度沖縄県農業試験場業務年報，p.25，1996

12)桜井 亘，徳永敏朗，南 哲行，山田 孝，下村幸男：バガス混入による赤土砂の耐侵食性の向上について，平成14年度砂防学会研究発表会概要集，p.234-235，2002.5

13) Ground-erosion Resistance Property of Kanto Loam, 欧 国強ら，新砂防 Vol.47 No.3, 1994