

## V-12 菌類等を活用した侵食対策手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 15～平 17

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：栗原淳一，秋山一弥

### 【要旨】

沖縄における赤土流出や山地河川の浮遊砂など、降雨時の土壌侵食により生産された微細土砂が流出することが、治水、環境面等で問題となっている。このような問題に対して低コストで即効性をもつ手法として、土壌表面における菌類や藻類等の土壌微生物の繁茂による侵食抑制効果が期待される。本研究では、沖縄の赤土を対象に土壌中に存在する菌類の特定を行い、赤土を対象として水路実験や引き上げ試験などにより侵食抑制のメカニズムを検討するとともに、その効果の定量的な評価として菌類等の緊縛による侵食抑制効果を考慮した侵食速度式を検討し、侵食対策手法を提案した。加えて、早明浦上流の森林土壌や桜島火山灰についても適用性を確認し、現地試験等により菌類等の繁茂条件を検討し、その繁殖手法を提案した。

キーワード：土壌微生物，赤土流出，バガス，侵食抑制対策

### 1. はじめに

沖縄本島をはじめとする南西諸島における赤土の海域への流出によるサンゴ等の死滅や、山地河川の浮遊砂による土砂流出など、降雨時に土壌侵食により生産された微細土砂が流出することによる治水面、環境面等への影響が深刻な問題となっている。

沖縄県では赤土流出問題に対し、沈砂池などを用いた対策が行われているが、コストや労力の負担が大きい。また、発生源対策として植生工などが用いられるが、植生が安定して効果を発揮するまでに期間を要する。また、新城らによる高分子系被覆材による国頭マージ地帯での畑地からの赤土流出軽減効果<sup>1)</sup>、中らによる浸透性沈砂池工法<sup>2)</sup>の研究があるが、これらの工法についても、現地への普及については経済性や省力性の面で課題が残っている。このように、赤土など微細土砂流出の問題に対して低コストで即効性をもつ適切な手法の開発が望まれている。



写真-1 リーフ内への赤土の流出



写真-2 バガス(サトウキビの絞りかす)

る。

これまでに当研究チームで行ってきた研究により、土壌中にバガス(サトウキビから砂糖を抽出した絞りかす)(写真-2)を混入させると、地表面での菌類や藻類等の土壌微生物の繁茂が旺盛になることが確認されている。また、現地観測により菌類や藻類が繁茂した状態では、裸地状態に比べて流出土砂量が10%以下程度に減少することが確認されている<sup>3)</sup>。加えて、回転式侵食試験<sup>4)</sup>でもその効果が確認されている。そこで本研究では、土壌中に存在する微生物の繁茂による土壌侵食抑制効果について、主に沖縄県の赤土を対象として水路実験や引き上げ試験によって侵食抑制のメカニズムを検討するとともに、その効果の定量的な評価を試み、菌類等を用いた侵食対策手法の提案を行った。また、他の土壌への適用や、現地において菌類や藻類が繁茂する条件を検討した結果をとりまとめ、現地への適用に際しての繁殖手法を提案した。

## 2. 菌類等による微細土砂流出抑制効果のイメージ

降雨による土壌侵食に関するこれまでの多くの研究によると、その形態は①雨滴衝撃による侵食、②表面流の掃流力による侵食に分けられる。これまでの赤土流出の研究によると、赤土の主要な生産場であるパイナップル畑で生じる侵食形態は主に②に起因するとされているので<sup>5)</sup>、ここでは表面流の掃流力による侵食抑制を考える。

土壌中に繁茂した菌類による土粒子の緊縛効果のイメージを図-1 に示すが、菌糸がネット状に繁茂し、土粒子を互いに緊縛することで降雨時の表面流による掃流力への抵抗力が増し、土壌侵食量が低減するというメカニズムが考えられる。ここでは、このメカニズムを活用し、裸地において菌類等の土壌微生物の繁茂による侵食抑制効果を期待するものである。

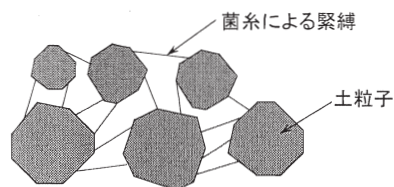


図-1 土壌中の菌類による土粒子の緊縛効果イメージ

## 3. 研究方法と結果

### 3.1 対象とした土壌

本研究では主に沖縄県北部に位置する東村の赤土を対象とした(図-2)。赤土とは、堆積岩が強風化した赤黄色土壌の総称であり、膨潤性粘土鉱物を含む粘性土である。対象とした赤土の代表的な粒径分布と土粒子密度を図-3 に示すが、シルト分以下の粒径が60%以上を占め、細粒分を多く含む土壌である

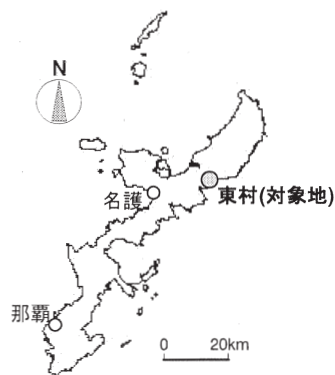


図-2 対象箇所位置図

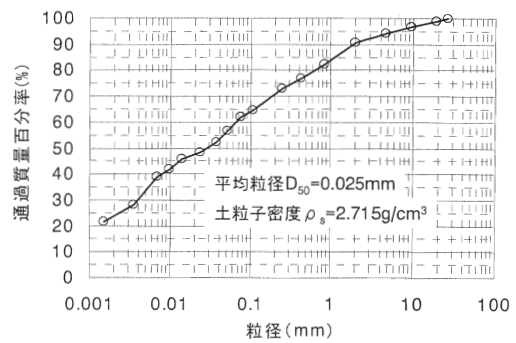


図-3 赤土の粒径加積曲線

### 3.2 菌種の同定

(独)農業環境技術研究所微生物分類研究室の分析により、対象とした赤土のサンプル内で14属の糸状菌が分離され、そのうちの6種が同定された。同定された菌(糸状菌)の種類は、*Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium* などである。表-1 に各菌種の特徴を示すが、特にバガス混合と無混合土壌の生息菌相に違いはみられず、これらの菌は元来その土壌に生息しているものであると考えられる。これらの菌は全国各地の土壌で見られ、比較的高温多湿の環境を好むものである<sup>7)</sup>。これらの菌は、室内の一定条件下ではおよそ2週間~1ヶ月までは時間の経過とともに増加する傾向がみられ、バガス等の養分を混ぜることで繁茂が促進される傾向が実験により確認された。

なお、バガスやわらを土壌中に混入させると土壌微生物の繁茂が促進することが明らかとなっている<sup>8)</sup>。無処理の土壌とバガスを混入した土壌を、室内にて約1ヶ月間

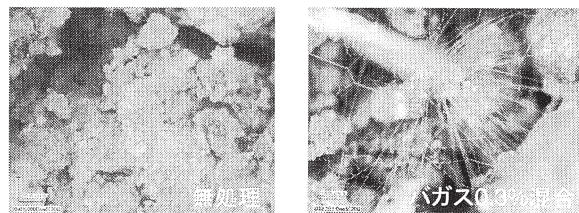
表-1 菌種の特徴

属	俗名	生理性状			生態分布	
		温度 <sup>※1)</sup>	湿度 <sup>※2)</sup>	pH	環境 <sup>※3)</sup>	地理
<i>Alternaria</i>	ススカビ	中温性	好湿性	3~9	湿性	世界各地
<i>Aspergillus</i>	コウジカビ	中~高温性	耐乾性	5~6	乾燥	世界各地
<i>Cladosporium</i>	クロカビ	中温性	好湿性	5~6	湿性、水系	世界各地
<i>Penicillium</i>	アオカビ	中温性	耐乾性	5~6	乾燥	世界各地
<i>Pestalotioosis</i>		中温性	好湿性		湿性	世界各地
<i>Trichoderma</i>	ツチアオカビ	中温性	好湿性		湿性、水系	世界各地

※1) 温度 低温性: 0~20°C, 中温性: 20~30°C, 高温性: 30~40°C

※2) 湿度 好湿性: 95%RH以上, 耐乾性: 85~95%RH, 好乾性: 65~90%RH (RH: 相対湿度)

※3) 環境 乾燥: 低水分・低湿度環境, 湿性: 高水分・高湿度環境, 水系: 水および常時水を利用する環境



養生14日

図-4 土壌中に繁茂した菌の状況 (無処理とバガス混合の比較)



養生した状況を図-4 に示す。養生は、植物育成用蛍光灯のもとに  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  ならびに湿潤状態を維持した恒温室で行った。無処理ではほとんど菌類等の繁茂がみられないのに対し、バガスを混合させた方で菌糸が多く確認され、菌類の繁茂が旺盛であることがわかる。

### 3.3 水路実験

次に、沖縄で採取した赤土を対象として水路実験を実施した。水路勾配 3%(約  $1.7^\circ$ )、長さ 3m、幅 30cm の矩形水路に、流下方向 1m 区間に現地にて採取した試料を敷き詰め、現地の密度に合うように締め固めた。上流から 5 段階の流量をそれぞれ 10 分間通水させ、下流端で流出土砂量や SS 濃度を計測した。実験は、無処理(バガス混合なし)とバガス混合比(=バガス乾燥重量/土砂乾燥重量)を変化させたケースで実施した。

図-5 に各流量における平均流速と流出土砂量の関係を示す。無処理(バガス混合なし)のケースとバガスを混合したケースを比較すると、無処理に比べてバガスを混合したケースの方が流出土砂量が小さく、侵食が抑えられていることが分かる。無処理のケースと最も流出の少ないバガス 1.0% 混合のケースを比較すると、無処理は平均流速 18cm/sec 程度で侵食され、土砂が流出し始めるのに対し、バガス 1.0% のケースでは 40cm/sec を超えても流出はあまりみられず、40cm/sec 程度の流速で比較すると流

出土砂量は無処理の約 1/30 程度に抑えられている。また、バガスの混合率の違いによる流出土砂量の差をみると、0.5% までは混合率の増加に伴い抑制効果が增大するが、0.5% を超えると効果にあまり変化がないことが分かった。

図-6 はバガス混合率 0.2% における養生期間(0~14 日)と流出土砂量との関係を水深(流量)ごとに示したものである。どの流量においても、養生日数に応じて流出土砂量が減少することが分かる。水深 10mm(流速約 50cm/s) の場合、養生期間 0.5 日では流出土砂量約 700g に対し、養生 14 日後では約 80g と 1/10 程度に減少している。

### 3.4 引き上げ試験

水路実験の結果からバガスを混合することで物理的に侵食抵抗が増していることも考えられる。ここでは、菌類等の繁茂による抵抗力の増加を定量的に評価するために、図-7 に示すような引き上げ試験を実施した。これは、直径 2.5mm のステンレス単棒もしくは格子棒を地表面に敷設しておき、養生後(菌類等の繁茂後)に静かに引き上げ、鉛直抵抗力を計測するものである。この抵抗力を計測することで菌類等の繁茂による侵食に対する抵抗力として評価するものである。引き上げ棒の形状により計測値に差異が生じる可能性があるため、2 種類の形状の引き上げ棒で試験を行った。

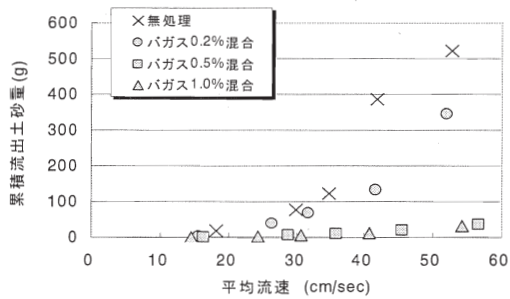


図-5 平均流速と流出土砂量の関係

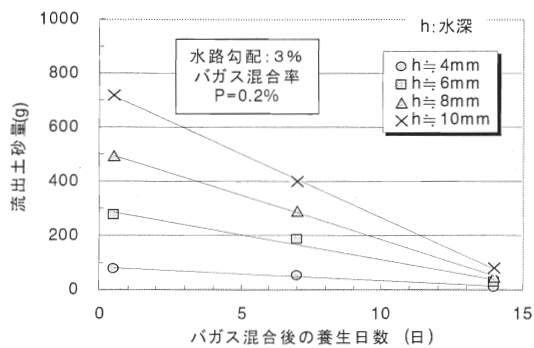


図-6 養生期間と流出土砂量の関係

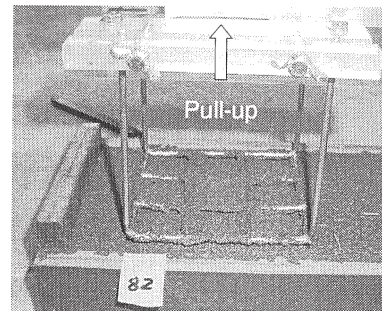


図-7 引き上げ試験の状況(格子タイプ)

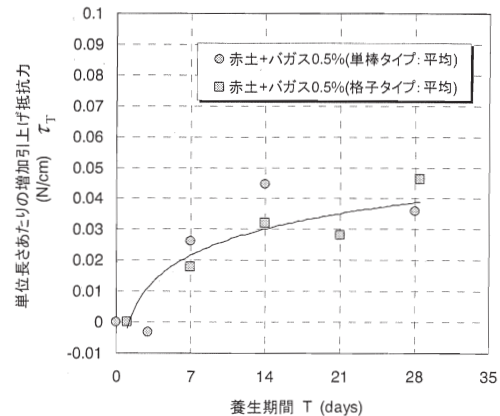


図-8 養生期間と引上げ抵抗力増加の関係

図-8 に養生期間と引き上げ抵抗力の関係を示す。これによると、養生14日までは養生期間に沿って引き上げ抵抗力が増加し、その後は緩やかに増加する傾向がみられる。

水路実験結果に加え、本試験の結果から、バガス等を混合、養生させることにより菌類等が繁茂し、侵食抵抗が増すというメカニズムが示された。

#### 4. 菌類等による効果を考慮した侵食速度式の検討

降雨時の表面流に対する菌類等の緊縛による土壌の侵食抑制効果を定量的に把握するために、水理実験と引き上げ試験結果を基に侵食速度として評価することを検討した。ここでの侵食速度は、流出土砂の体積を試料面積と通水時間で除して求めている。無処理の状態において赤土のもつ粘着力を考慮して求めた侵食速度式<sup>9)</sup>を基本とし、実験的に引き上げ抵抗力を見かけ粘着力の増加分として補正係数を求めた。図-9 に示す菌類等の繁茂による抵抗力の増加と養生0日における侵食速度に対する侵食速度の割合の関係を示す。これらを用いて、以下の侵食速度式を導いた。

$$E = 4 \times 10^{-7} (U_* - U_{*c}) \cdot \left( \frac{C_{0sc}}{\beta \cdot C_{0s}} \right)^4 \dots\dots\dots(1)$$

$$\beta = R^{-1/4} \dots\dots\dots(2)$$

$$R = -21 \times \Delta\tau_T + 1 \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta\tau_T = 0.013 \ln(T) + 0.0013 \dots\dots\dots(4)$$

$E$ : 侵食速度(cm/s),  $U_*$ : 摩擦速度 (cm/s),  $U_{*c}$ : 限界摩擦速度 (cm/s),  $C_{0s}$ : 表層粘着力(N/cm<sup>2</sup>),  $C_{0sc}$ : 限界表層粘着力(N/cm<sup>2</sup>),  $\beta$ : 菌類の繁茂による  $C_{0s}$  の補正係数(みかけ上の粘着力),  $R$ : 侵食速度低減割合,  $\Delta\tau_T$ : 引き上げ抵抗力の増加分(N/cm),  $T$ : 養生期間(室内) (日)

ここで、上式に実験で得られた  $U_{*c}=3.0$ cm/s, 限界表層粘着力  $C_{0sc}=1$ N/cm<sup>2</sup>, 表層粘着力  $C_{0s}=0.25$ N/cm<sup>2</sup> を代入し、図-10 に示すように実験値との適合をみると、養生

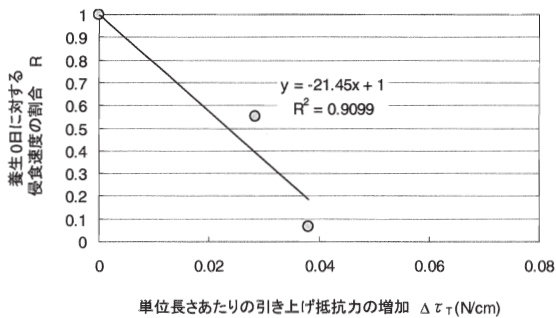


図-9 引き上げ抵抗力と侵食割合の低減変化

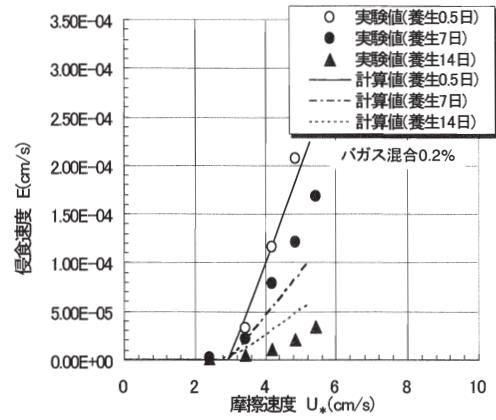
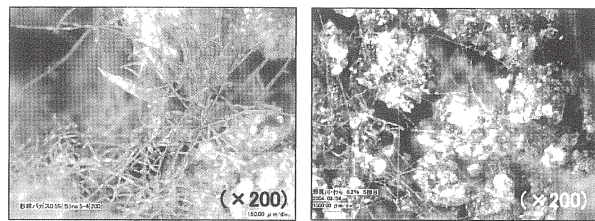


図-10 侵食速度式による計算値と実験値

14日で計算値の方がやや大きめになるが、概ね実験値と合う結果を得た。

#### 5. 他の土壌への適用

上記までに、沖縄の赤土を対象に菌類等の繁茂による侵食抑制効果について検討してきた。本手法は赤土に限らず、全国の土壌への適用を考えている。そこで、特に濁水問題が顕在化している早明浦上流域の森林土壌と特殊な土壌のひとつである火山灰を対象として、菌類等が生育し、侵食抑制効果を発揮するかを室内養生により確認した。養生は赤土のケースと同様、20±2℃で湿潤状態を維持した恒温室で行った。図-11 に早明浦土壌と桜島火山灰における菌類の繁茂状況を示す。両土壌でも菌類の



早明浦上流森林土壌+バガス0.5% 桜島火山灰+バガス0.5%

図-11 早明浦上流森林土壌、桜島火山灰における菌類の繁茂

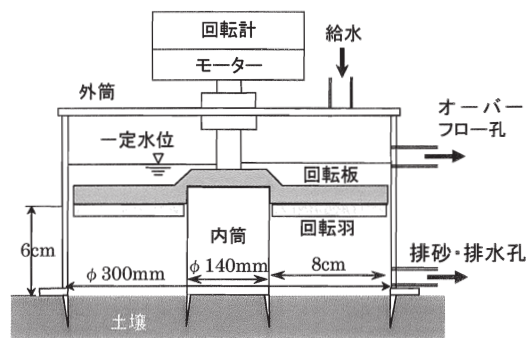


図-12 回転式侵食試験機の概要



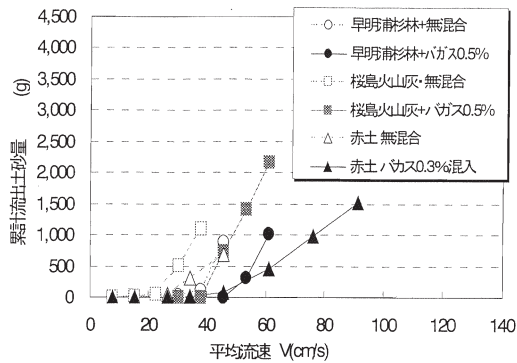


図-13 回転式侵食試験機による  
平均流速と流出土砂量の関係

繁茂状況が確認され、このような土壌でも菌類は生育するといえる。

また、赤土に加え、両土壌においても菌類等の繁茂により侵食抑制効果が発揮されるかをみるために、試験方法が簡便な回転式侵食試験機を用いて検討した(図-12)。

この装置は上部に設けた回転羽により、内外の円筒内に回転流を起し、せん断流を発生させるものである。回転流の平均流速は水路の中央位置で評価し、排砂・排水孔から流出した土砂量に、いったん土壌表面から剥離・移動したが排砂孔から流出せずに内部に残留した土砂を加算したものを侵食(流出)土砂量とした。図-13に実験結果を示すが、赤土をはじめ、早明浦上流森林土壌および桜島火山灰のいずれの試料においても、バガスを混合させたケースの方が侵食開始の流速が大きく、侵食が開始されても同等の流速では侵食量が少ないことがわかる。

これらより、早明浦上流森林土壌および桜島火山灰の両試料についても、赤土同様に菌類等が繁茂することで侵食を抑制する効果があるということができ、環境条件が調べば全国各地の土壌についても効果を発揮することが示唆される。

## 6. 繁殖手法と対策手法

### (1) 現地への適用と繁殖手法の提案

現地への適用性を検討するために、2005年9月から現地試験を実施し、菌類等の繁茂状況を観察した。その結果、降雨が少なく地表面が乾燥状態にあると菌類等の繁茂はあまりみられなかった。そこで、写真-3に示すように現地試験地にてビニル等により保湿養生したところ、繁茂状況は格段に増すことが確認された。また、桜島火山灰についても赤土と同様の結果が確認された。菌類等の繁茂には湿度が大きく影響すると考えられるため、表-2に含水比を変化させて菌類等の繁茂状況を確認した結

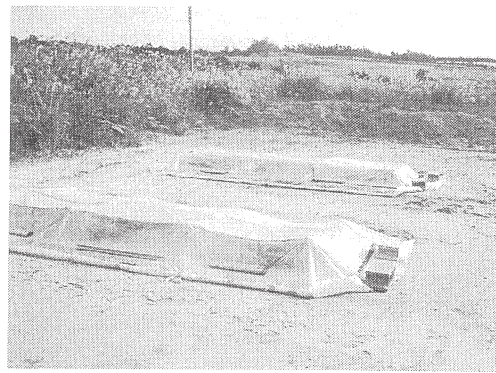


写真-3 現地試験地におけるビニル養生の状況

表-2 含水比の変化による  
菌類等の繁茂状況の関係

	養生日数 1日	養生日数 6日	養生日数 13日	養生日数 22日
含水比 0%	×	×	×	×
含水比 5%	×	×	×	×
含水比 10%	×	○	◎	◎
含水比 15%	○	◎	◎	◎

【単位面積あたり(約1.5mm×1.0mm)に確認できる菌糸の程度】  
×: 菌糸が0~3本程度, △: 菌糸が3~5本程度  
○: 菌糸が5本以上, ◎: 菌糸が10本以上(ネット状)

果を示す。これは、含水比を変えた赤土にバガスを0.5%混合させ、室内の恒温室にて養生したサンプルであり、繁茂状況の評価は顕微鏡の画面1枚(約1.5mm×1.0mm)に確認できた菌糸の本数を示したものである。表-2によれば、含水比が10%を下回る場合には菌類等の繁茂がほとんどみられないことがわかる。

以上より、今回対象とした菌類等の繁殖手法について以下の提案を行う。

- 繁殖には湿潤な状態を確保することが重要である。また、温度も繁茂に必要な条件である。
- 温度20℃以上、含水比10%以上であれば、バガス等の栄養分を投入するだけで十分に繁殖することが期待できる。
- 上記b)の条件が満たされない場合でもシート養生を施すことで、繁殖の促進が期待される。また、一定の繁殖が確認されれば、シートを撤去しても生育を続ける。

### (2) 現地への適用と繁殖手法の提案

従来から用いられている植生工やモルタル吹付工などは、表面流の掃流力に対する抑制に加え、雨滴衝撃による侵食に対して抑制効果を発揮すると考えられ、切土や盛土面などの斜面への対策として用いられてきた。しかし、沖縄等で問題となっている赤土流出の発生源は主にパイナップル圃場の平坦な裸地であり、これらの工法は現実的ではない。

現地調査から、赤土が大量に発生するのは、概ね4年サイクルで行われるパイナップル栽培のうち、鋤き込みから植付け・萌芽までの間が主であり、この期間においてバガスを圃場に混合させることで菌類等の土壌微生物の成育を促進させることが期待される。パイナップルの生育が進むと、圃場の表面は自然状態で菌類等が繁茂していることが確認されており、自ずと侵食に対する抵抗力を持つようになる。従って、侵食に対して不安定な鋤き込みから植付け・萌芽までの間の侵食対策として本工法を活用することが期待される。

本手法は、大きな外力に対する効果は少ないと考えられるが、環境への負荷が少なく、低コストかつ省力的であるため、裸地における侵食抑制手法としての効果が期待できる。特に、条件が調えば1~2週間で菌類等は繁茂し、早期に効果を発揮することができるため、例えば植生工等が定着するまでの期間における土壌侵食抑制手法としての利用などが期待できる。前述した対策手法のポイントを以下に記す。

- a) 赤土対策のうち、パイナップル畑などの平坦な土壌に対してバガス等を混合する。
- b) パイナップル畑からの流出は、鋤き込みから植付け・萌芽までの間が特に顕著なので、この時期に本工法を用いることが効果的である。
- c) バガスはサトウキビの絞りかすであり、低コストで省力化が期待される。
- d) バガスの混合割合は、0.5%程度とする。
- e) 本工法は環境への負荷が少なく、低コストで省力的である。
- f) ただし、繁殖・生育には湿潤性と一定の温度が必要であり、活用できる地域が限定される。

## 7. まとめ

菌類等を用いた侵食抑制効果を、水路実験や引き上げ試験をもとに検討し、定量的な評価を行い、菌類等を用いた侵食対策手法を提案した。また、室内や現地試験によって菌類等の繁茂が旺盛になる条件を検討し、繁殖方法の提案を行った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 沖縄の赤土で認められた糸状菌の種類は、*Trichoderma*、*Cladosporium*、*Alternaria*、*Penicillium* などであり、バガスやわら等の農産廃棄物の栄養分を施すことで、生育が促進される。
- (2) 現地観測の結果から、菌類等が繁茂した状況下では裸地試験地に比べ、流出土砂量が約10%以下程度に抑えられる。
- (3) 水路実験の結果、無処理のケースに比べバガスを混

合させたケースは流出土砂量が大幅に抑えられる。ある一定割合まではバガス混合率を高くすると流出抑制効果は増す。

- (4) 菌類の繁茂による抵抗力を評価するために、引き上げ試験を実施した結果、室内養生期間14日までは引き上げ抵抗力が増加した。
- (5) 菌類等の繁茂による侵食抵抗力を引上げ試験結果から定量的に評価した侵食速度式を提案した。
- (6) 早明浦上流の森林土壌、桜島火山灰への適用を検討した結果、赤土と同様に菌類等の繁茂による侵食抑制効果が確認された。
- (7) 菌類等の繁殖手法や侵食対策手法のポイントを整理した。

本研究を行うにあたり、土壌中の菌種の同定や生育環境条件等については、独立行政法人農業環境技術研究所微生物分類研究室の對馬誠也室長をはじめ、小板橋主任研究官、吉田研究官には多大な協力をいただきました。ここに深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 新城俊也、小宮康明、宮城調勝、赤嶺充司：高分子系皮膜剤による国頭マージ地帯における赤土流出防止、農業土木学会論文集、第166号、pp.97-104、1993
- 2) 中達雄、島崎昌彦、常住直人、桐博英、白杵宣春：浸透性沈砂池工法による浮遊土砂制御、農業土木学会論文集、第190号、pp.113-119、1997
- 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、pp.30-38、2002
- 4) 桜井亘、徳永敏朗、南哲行、山田孝、下村幸男：バガス混合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、pp.234-235、2002
- 5) 南哲行、山田孝、仲野公章、桜井亘：南西諸島における赤土砂の生産・流出機構とその対策に関する研究、土木研究所報告
- 6) 小山内信智、田中秀基、桜井亘、下村幸男：菌類等を活用した侵食対策手法に関する研究、平成16年度砂防学会研究発表会概要集、pp.376-377、2004
- 7) 高鳥浩介監修：かび検査マニュアルカラー図譜、株式会社テクノシステム、2002
- 8) 桜井亘、仲野公章、南哲行、山田孝、下村幸男、菊池英明：赤土砂の侵食速度式を考慮した赤土砂流出予測手法、平成15年度砂防学会研究発表会概要集、pp.402-403、2003