

◆ 特集：土砂災害対策 ◆

菌類等による微細土砂流出抑制効果に関する研究

田方 智* 栗原淳一** 秋山一弥***

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、四国を代表する水源地である早明浦ダムにおける濁水問題など、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や利水面、環境面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¹⁾、中らによる浸透性沈砂池工法²⁾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。

これまでに土木研究所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）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³⁾。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⁴⁾。加えて、回転式侵食試験⁵⁾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微細土砂の流出抑制効果について、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土砂流出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た。また、現地において菌類や藻類が繁茂する条件を検討したので、その結果を報告する。

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、

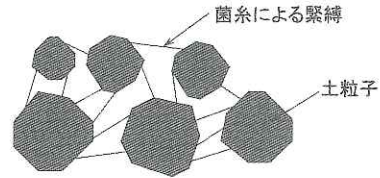


図-1 土壌中の菌類による土粒子の緊縛効果イメージ

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⁶⁾、ここでは表面流の掃流力による赤土流出の抑制を考える。

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。

3. 研究方法と結果

3.1 対象とした土壌と菌の種類

本研究では沖縄の赤土を対象とした。赤土とは、堆積岩が強風化した赤黄色土壌の総称である。対象とした赤土の代表的な粒径分布と土粒子密度を図-2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。

また、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り、バガスを混入し、室内にて約1ヶ月間養生した状況を図-3に示す。養生は、植物育成用蛍光灯のもとに20±2℃ならびに湿潤状態を維持した恒温室で行った。

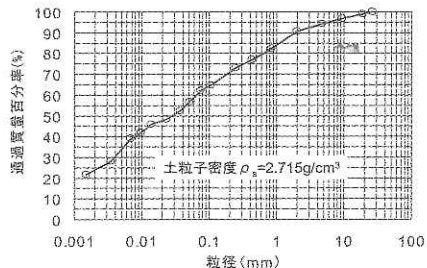
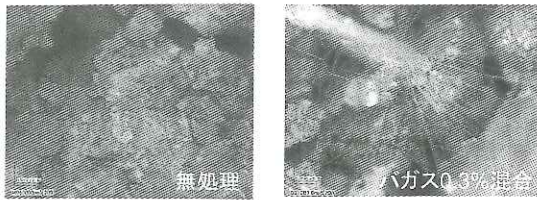


図-2 赤土の粒径加積曲線

Effect of Erosion Control by Using Natural Soil Microorganisms



養生14日

図-3 土壤中に繁茂した菌の状況

なお、確認された菌（糸状菌）の種類は、*Trichoderma*、*Cladosporium*、*Alternaria*、*Penicillium*などである。これらの菌は全国各地の土壤中みられ、比較的高湿の環境を好むものである⁷⁾。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確認された。

3.2 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°）、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-4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混合の方で流出土砂量が小さく、侵食が抑えられていることがわかる。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

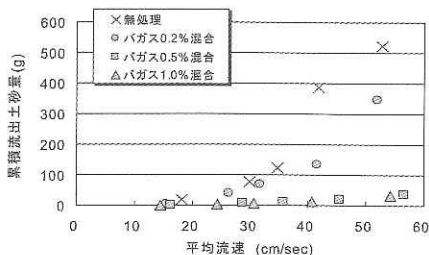


図-4 平均流速と流出土砂量の関係

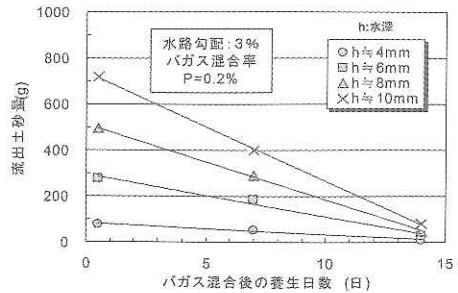


図-5 養生期間と流出土砂量の関係

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-5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。

3.3 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-6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-7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。

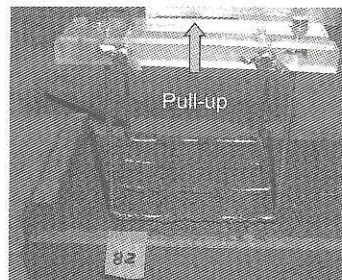


図-6 引き上げ試験の状況（格子タイプ）

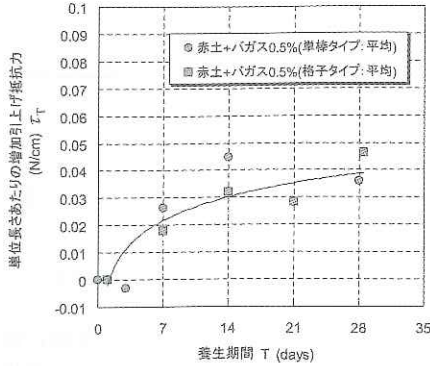


図-7 養生期間と引上げ抵抗力増加の関係

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考えた。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粘着性に着目して求めた侵食速度式⁸⁾を基本とし、実験的に引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-8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。

$$E = 4 \times 10^{-7} (U_* - U_{*c}) \cdot \left(\frac{C_{osc}}{\beta \cdot C_{os}} \right)^4 \quad (1)$$

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

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

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

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_{os} : 表層粘着力 (N/cm²)、 C_{osc} : 限界表層粘着力 (N/cm²)、 β : 菌類の繁茂による C_{os} 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)

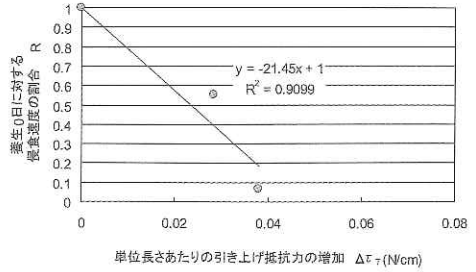


図-8 引上げ抵抗力と侵食割合の低減変化

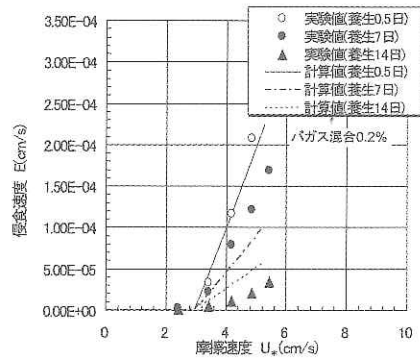


図-9 侵食速度式による計算値と実験値

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 $C_{osc} = 1$ N/cm²、表層粘着力 $C_{os} = 0.25$ N/cm² を代入し、図-9に示すように実験値との適合をみると、養生14日で計算値の方がやや大きくなるが、概ね実験値と合う結果を得た。

5. 現地への適用について

本研究は、前述のように下流への微細土砂の流出に対して低コストで即効性のある対策手法の開発を目指して検討を進めた。従来から用いられている植生工やモルタル吹付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も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は有効である。しかし、沖繩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、特に鋤き込みから植え付け間での裸地であるとされており、これらの工法は現実的ではない。これに対し、本手法はバガスなどを混合させることで菌類等の土壤微生物の生育を促進させることにより侵食抑制効果を期待する工法であり、現地においても自然状態で繁茂している菌類等が見られており、低コストで環境にも優しい手法であるといえる。

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いこと、ビニル等により保湿養生することで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。

本手法は、大きな応力に対する効果は少ないと考えられるが、パイナップル等が生育するまでの裸地状態の圃場に対する対策としては、温度や湿度等の一定の条件が整えば、その適用性は高いといえる。今後は斜面地も含め、適用性をさらに検討していく必要がある。

6. おわりに

菌類等を用いた微細土砂流出抑制効果を、水路実験や引き上げ試験をもとに検討した。その結果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) 現地試験の結果、乾燥状態にあると菌類等の生育状況は悪く、一方で保湿状況にすることで格段に生育が良くなることが確認された。

今後は、本手法を菌類等による微細土砂流出対策手法として確立させるために、菌種の違いによる土粒子の緊縛効果の把握や、より効果的な菌類や藻類等の土壤微生物の促進方法、侵食速度式の適用による微細土砂流出抑制効果のシミュレーションなど、さらなる現地への適用可能性の検討を進めていきたい。

本研究を行うにあたり、土壤中の菌種の同定については、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、常任直人、桐 博英、白村宣春：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) 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
- 4) 南 哲行、山田 孝、仲野公章、富坂峰人、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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 高島浩介監修：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

田方 智*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム交流研究員
Satoshi TAGATA

栗原淳一**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム首席研究員
Junichi KURIHARA

秋山一弥***



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム主任研究員
Kazuya AKIYAMA