

## アクリル酸重合体を用いた土の団粒化と微生物(藻類)の 濃度変化関係に関する実験的研究

山梨大学工学部 学生会員 ○小野 薫平  
山梨大学大学院 正会員 荒木 功平  
山梨大学工学部 非会員 山崎 友香, 非会員 遠山 忠

### 1. はじめに

地球温暖化等の気候変動に伴う大雨の頻度増加が指摘されるようになり<sup>1), 2)</sup>, 経験したことの無い災害の発生, 各種産業への影響等が懸念されている. 亜熱帯特有の高温多雨気候を有す沖縄県では, 土の流出が起りやすく, 農地等から流出する赤土等は, 水産業, 観光業, サング等の生息環境に影響を与えており, 1950年代頃から問題化している<sup>3)</sup>. 農地からの赤土等の推定年間流出量は20万トン以上といわれ<sup>4)</sup>, 近年のゲリラ豪雨の発生等による一層の負荷が懸念される<sup>5), 6), 7)</sup>. 赤土等流出対策への長期的視点から, 沈砂池の容量確保・機能維持期間の把握のために, 開発事業以外の流出源に対する研究が必要とされてきている.

赤土等の流出抑制には, 農家等が自ら耕土流出対策を行う「地域主導による流出源対策」が最も安価かつ効果的といわれている. 一方で, 農家の高齢化, 減少等の状況下で, 広大な農地における耕土流出対策の実施を農家の多くに期待することは難しい. 農家が実施可能で画期的な流出対策の考案が必要である.

近年, 微生物による土の団粒構造形成に基づく耐侵食性の発現の研究がなされている. 菌類や藻類が繁茂した状態では, 流出土砂量が裸地状態に比べて10%以下に減少することが現地観測により明らかにされてきた<sup>8), 9)</sup>. 一方で, より直接的な土の団粒化の促進方法として, 高分子系改良剤を用いる方法がある. 高分子系改良剤が市販されるようになってきたことから, 今後その適用が広がっていくものと予想される. しかしながら, 高分子系改良剤が微生物にもたらす影響を定量的に明らかにする研究は皆無である. 高分子系改良剤が微生物に与える影響が明らかにされれば, より効果的な使用方法を確立することが期待される.

本研究ではアクリル酸重合体を用いて土の団粒化と微生物増減の関係を明らかにすることを旨とする.

### 2. 赤土(国頭マージ)に関する概要と用いた試料(宜野座国頭マージ)の物理特性

#### (1) 国頭マージの成因

国頭マージの母材は, 沖縄本島では, 中・古生代の変成岩の千枚岩を主体とした砂岩, 緑色岩類, 古第三紀の砂岩, 頁岩類, 新第三紀の流紋岩, 安山岩を主体とした火成岩類, 花崗岩などの深成岩類, 及び更新世の堆積物である国頭礫層で代表される<sup>10)</sup>. 国頭マージは母材が高温多湿の環境下で風化, ラテライト化し, 鉄分が赤色化した<sup>11)</sup>部分の総称である. 沖縄本島北部から周辺離島に広く分布し, 土色はほぼ赤褐色か黄褐色である. 特に赤褐色の土は, 熱帯のラトソルに似る. 多種類の基岩を有する国頭マージは, 基岩や国頭礫層の層位の違いにより, その物理特性は異なるといわれている.

#### (2) 国頭マージの物理特性

沖縄県が調査した沖縄本島北部(61地点)<sup>12)</sup>の国頭マージの物理特性<sup>13)</sup>について, 表-1にまとめた. 国頭マージの物理特性は大きくばらついていることがわかる. 特に粘土分含有率や細粒分含有率は最小値と最大値で大きく異なる傾向がある. このことから, 国頭マージについては, 採取地点が変われば物理試験を実施することが望ましいと考える.

#### (3) 用いた試料(宜野座国頭マージ)の物理特性

沖縄県国頭郡宜野座村で, 宜野座村及び農家の協力を得て, 写真-1に示す当該圃場で国頭マージ(以下, 宜野座国頭マージと称する)を採取した.

図-1に宜野座国頭マージの粒度分析結果を示す. この

表-1 国頭マージの物理特性

物理特性	単位	平均値	最小値～最大値
自然含水比	%	22.5	6.8～45.3
土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.63	2.24～2.82
pH		7.3	5.5～8.7
強熱減量	%	6.8	2.7～13.8
粘土分含有率	%	16.3	4.9～42.3
細粒分含有率	%	51.5	19.9～89.5



写真-1 宜野座国頭マージの採取場所概観

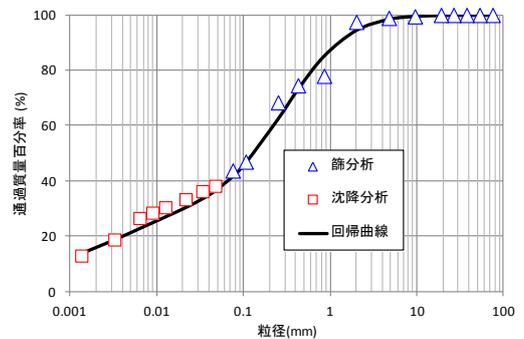


図-1 宜野座国頭マージの粒径加積曲線

キーワード 微生物 団粒化 赤土

連絡先 〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11 TEL. 055-220-8528 E-mail: karaki@yamanshi.ac.jp

図より、採取試料は概ね 10mm 以下であることがわかる。

また、図には、篩分析、沈降分析結果に対して対数正規分布関数を用いた最小二乗法により回帰分析を行い、それぞれの近似曲線に重み関数を乗じ、足し合わせることで求めた曲線(以下、回帰曲線)を示している。この図より、回帰曲線は試験結果と良好な関係を示していることがわかる。なお、回帰曲線と試験結果の相関係数は 0.997 である。

表-2 に宜野座国頭マージの粒度分布パラメータを示す。均等係数が 300 を超え、曲率係数は 3 程度であることがわかる。また、粘土分含有率は 21.5% であり、表-1 の平均値 16.3% より大きいことがわかる。細粒分含有率については、表-1 の平均値 51.5% より小さい。

表-3 に宜野座国頭マージの土粒子密度とコンシステンシーの土質試験結果を示す。また、図-2 に、表-3 より作成した塑性図を示す。この図より、採取試料は A 線より上にあり、B 線より左側にあることから、粘土(低液性限界){CL}に分類される。しかしながら、プロットは A 線に近く、図-1、表-2 より砂分を多く含むことから、中間土と判断することが妥当におもわれる。

表-2 宜野座国頭マージの粒度

物理特性	単位	値
10%通過粒径	mm	0.000587
30%通過粒径	mm	0.0199
50%通過粒径	mm	0.129
60%通過粒径	mm	0.219
均等係数	-	373
曲率係数	-	3.08
粘土分含有率	%	21.5
細粒分含有率	%	41.8

表-3 宜野座国頭マージの物理

物理特性	単位	値
土粒子密度	g/cm <sup>3</sup>	2.668
液性限界	%	31.3
塑性限界	%	19.5
塑性指数	-	11.8

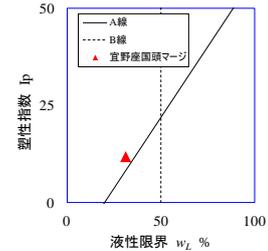


図-2 塑性図

3. 微生物を用いた既往の研究及び宜野座圃場で実施された国頭マージの土砂流出実験結果

藻類や菌類などの土壌微生物に肥料やバガス(サトウキビから砂糖を抽出した絞りかす)を投与すると、地表面の菌類などの繁茂が旺盛になることが確認されている<sup>14)</sup>。糸状菌類、藍藻類、緑藻類、地衣類および苔が地表面の土粒子(土塊)を絡めて形成する土壌微生物のコロニー(Biological Soil Crust)の耐侵食性についてはすでに認識され多くの研究があり、Technical Reference(U.S.D.I, 2001)<sup>15)</sup>などに纏められている。荒木ら<sup>16)</sup>は写真-1の宜野座圃場において微生物等を用いた土砂流出実験を行っている。その概要を以下に記載する。

写真-2、写真-3は宜野座圃場で実施した土砂流出実験の概況(撮影日:2011年12月26日)を示している。写真-2は放棄地(裸地状態から放置したもの(雑草処理しない))、写真-3はB.S.Cを施した区画(幅1.5m、流下距離6.0m)を示している。写真-2と写真-3を比較すると区画内の地表面の色が全く異なり、写真-3が微生物により覆われていることがわかる。一方、写真-2は雑草等が少なくほとんど裸地状態であることがわかる。

写真-4、写真-5はB.S.Cを施した区画において地表面の接写をしたものである。写真4が上流側(写真-3の下側)、写真-5が下流側(写真-3の上側)である。写真-4、写真-5において特に微生物の繁茂に差はあまり見られず、地表面が緑色にコーティングされたような状態になっていることがわかる。

図-3に気象庁の東村観測所(宜野座村最寄りの観測所)で観測された日雨量を示している<sup>17)</sup>。合わせて2011年12月6日以降の累積雨量を示す。日降水量は2月に100mm近い日があるのと4月に50mm以上を記録していることがわかる。

図-4に放棄地とB.S.Cの区画で観測された累積赤土流出量の時系列変化を示す。図-4より、放棄地に比べ、B.S.Cが明らかに土砂流出を抑制出来ていることがわかる。



写真-2 放棄地



写真-3 B.S.C



写真-4 B.S.C(上流側)



写真-5 B.S.C(下流側)

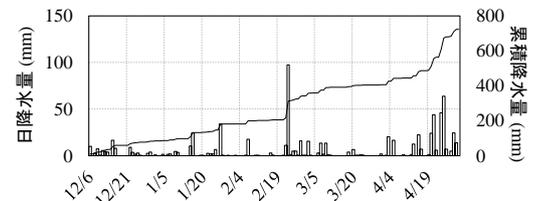


図-3 降水量～日関係

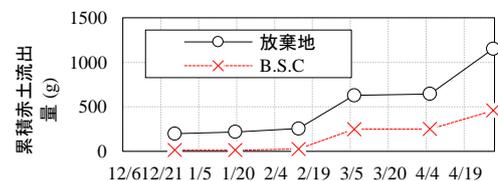


図-4 累積赤土流出量～日関係

4. アクリル酸重合体を用いた土の団粒化に関する一考察

4.1 土の団粒化剤(アクリル酸重合体)の概要

市販されている土の改良剤で微生物の繁茂の促進が同時に図られれば有用である。高分子化合物のアクリル酸重合体は粘り気の強い液体である。

図-5 はアクリル酸重合体(商品名：グラベール，レモン通商株式会社)による団粒化の概念図を示している。アクリル酸重合体に含まれたプラスの電荷は，すぐに粘土・シルト粒子の表面電化に結びつき，細かい粒子を数個ずつ繋ぎ合わせて，無数の隙間を持った団粒構造をつくる。土の団粒化剤を用いることで，①土の通気量が 2~4 倍に増加，②土の浸水速度が 10 倍以上改善，③土の保水性が 30%~50%増加するといわれている。<sup>18)</sup>

4.2 土の団粒化剤<sup>18)</sup>を用いた土砂流出の簡易実験

写真-6 のように赤土(国頭マージ)を充填したアクリル円筒(底面に網を設置している)を二つ用意し，さらにその下に排水された土を受けるアクリル円筒を設置した。右側には蒸留水を与え，左側には蒸留水に団粒化剤を溶かした液体を与えた(蒸留水の量は同量とした)。

写真-8 は国頭マージを通り抜けた液体が試料下のアクリル円筒に溜まった結果を示している。この写真から右側が濁っているのに対し，左側はほぼ透明であることがわかる。このことから，団粒化剤は降水に伴う粘土・シルト粒子の流出抑制に効果的であることがわかる。

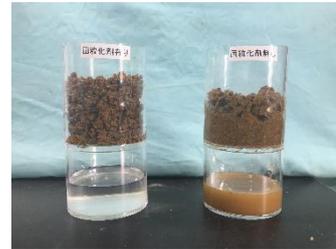
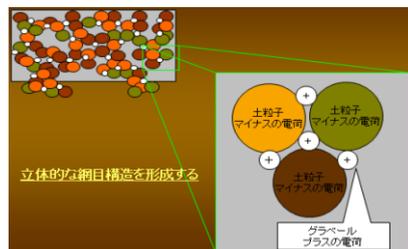


図-5 アクリル酸重合体と団粒

写真-6 簡易透水実験装

4.3 土の団粒化剤を用いた変水位透水試験

本研究では，国頭マージに団粒化剤の濃度を 1%，2%，2.5%，4%，5%，7.5%，10%に変えて混合した。変水位透水試験機を用いて JISA 1218：2009「土の透水試験方法」に従い実験を行った。図-6 に各希釈率での透水係数の変化を示す。図-6 から希釈率 4% が最大値をとっていることがわかるが，希釈率 5%でもほとんど同じ値をとっていることから 4%と 5%の間に最大値をとると考えられる。

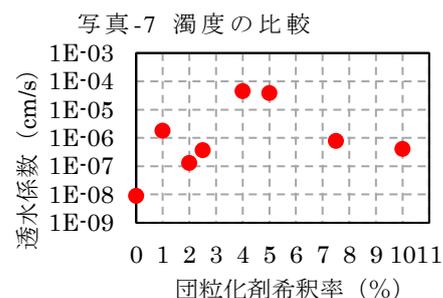


図-6 各希釈率による透水係数

5.アクリル酸重合体を用いた土の団粒化と微生物（藻類）の濃度変化関係の実験

5.1 アクリル酸重合体が微生物に与える時系列的影響に関する簡易観察実験

アクリル酸重合体を溶かした蒸留水(希釈率 10%)を国頭マージに与え，微生物の繁殖する様子を観察した。写真-8(a)~(h)に 2016 年 4 月 5 日~5 月 23 日の試料状況の撮影結果を示す。

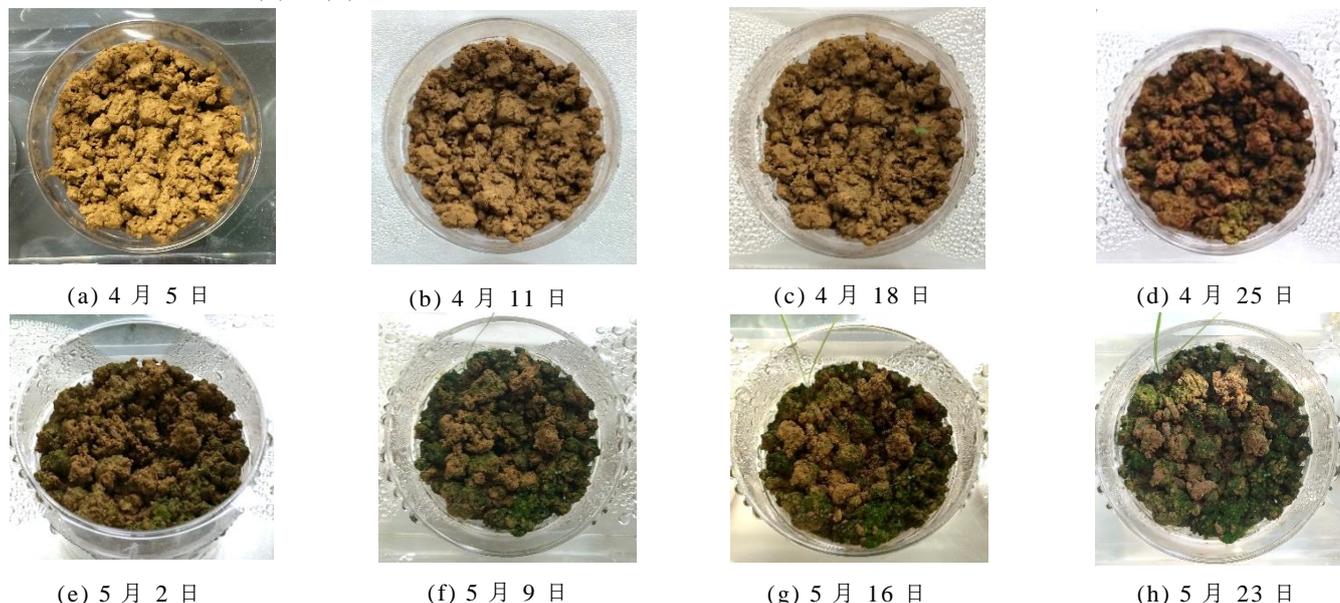


写真-8 アクリル酸重合体が微生物に与える時系列的影響に関する簡易観察実験

## 5.2 クロロフィル含有量の測定方法

地盤工学分野では微生物濃度の把握に関する研究は未だに少なく、実験方法は確立されていない。本研究で用いたクロロフィル含有量の測定方法について概説する。

微細藻類のクロロフィル濃度測定は、メタノール抽出法を用いて行った。微生物(藻類)が付着した土壌を微生物が均一になるように混ぜ合わせた後、土壌 0.25 g, メタノール 1.0ml を 1.5ml サンプリングチューブに採取した。そのサンプリングチューブをボルテックスミキサーでよく混合した後、常温で 30 分間静置した。その後、サンプリングチューブを遠心分離(1,000rpm, 5min)した後、上澄み液を回収した。その上澄みの波長 650nm( $A_{650}$ ), 665nm( $A_{665}$ )の吸光度を分光光度計を用いて測定した。メタノール抽出液中のクロロフィル  $a$  と  $b$  濃度  $Chl(a+b)$  ( $\mu\text{gChl/ml}$ )の算出式<sup>19)</sup>は以下のとおりである。

$$Chl(a+b) = 4 \cdot A_{665} + 25.5 \cdot A_{650}$$

## 5.3 クロロフィル含有量の測定結果

本研究では、国頭マーグに団粒化剤の濃度を 5%, 15%, 25% に変えて与えた。写真-14 に初期状態を示す。クロロフィル含有量の測定を 2016 年 6 月 24 日～7 月 22 日(約 1 ヶ月)にかけて行った。

図-6 にクロロフィル濃度の時系列変化を示す。図-6 から、どの希釈率でも 2 週目から 3 週目にかけて極端にクロロフィル濃度が上がっていることがわかるが、その後の濃度はほぼ一定となっている。微生物の繁殖は非線形性を有していると考えられる。一方、希釈率 5%～25% の間で団粒化剤によるクロロフィル濃度にあまり違いがみられないことは、少ない投入量(5%)で多く投入した場合(25%)と同等の結果を得ることができることを示している。このことは、費用対効果において最適な解(投入量)が存在することを示している。

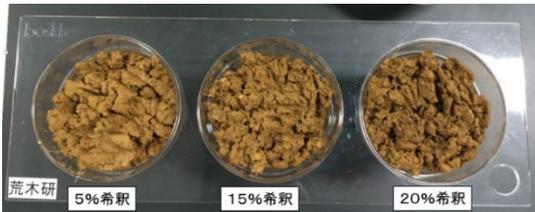


写真-9 団粒化剤投与実験の初期状態概要

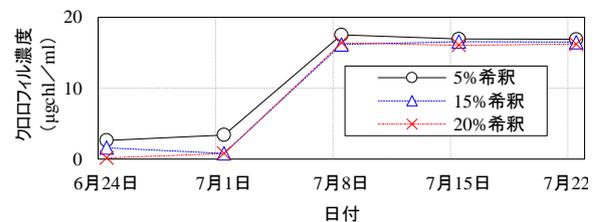


図-7 クロロフィル濃度の時間変化

## 6 おわりに

本研究では、土の団粒化剤と微生物による対策を組み合わせた効果に着目し、赤土(国頭マーグ)にアクリル酸重合体(土の団粒化剤)を与え、クロロフィル濃度を測定した。その結果、土の団粒化剤は、微生物を増加させる傾向があることがわかった。また、アクリル酸重合体の投与量は微生物の増加と線形関係を有さない。このことは、微生物による耕土流出対策を効果的に発現させる上で最適な解(投与量)が存在することを示している。本研究の結果から、高度流出防止のためのアクリル酸重合体の最適な利用方法を確立する糸口が得られた。

【謝辞】本研究の一部は、国土交通省の河川砂防技術研究開発公募地域課題分野(砂防)(代表者：荒木功平(山梨大学))、環境省の環境研究総合推進費(S8-2(2))、研究代表者：小松利光)、JSPS 科研費 24760381(研究代表者：荒木功平)にご援助をいただきました。ここに深甚の謝意を表します。

湯之上幸則氏(レモン通商株式会社)、沖縄県、宜野座村の関係者の方々、藤田智康氏・青木憲氏(特定非営利活動法人沖縄県科学・技術ネットワークセンター)、松川保則氏(特定非営利活動法人有用プランツ普及協会)、富坂峰人氏(日本工営株式会社)、橋本幹博氏(NTC コンサルタント株式会社)はじめ多くの方に多大なご支援をいただきました。ここに深甚の謝意を表します。

【参考文献】1) 国土交通省：平成 19 年度国土交通白書、ぎょうせい、p. 65, 2008. 2) 国土交通省：平成 20 年度国土交通白書、ぎょうせい、p. 17, 2009. 3) 翁長謙良：島しょ環境下における赤土流出及び汚濁防止に関する研究、平成 2～5 年度科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告書、p. 2, 1994. 4) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策事業 沖縄県における赤土等流出源実態調査報告書、p. 75, 2002. 5) 沖縄県農林水産部営農支援課：平成 22 年度地域協力型環境保全営農支援モデル事業仕様書、p. 1, 2010. 6) 荒木功平、安福規之、大嶺聖、村山啓太：沖縄県における降雨特性の経年変化に関する一考察、第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp. 210-212, 2011. 7) K. Araki, N. Yasufuku, K. Murayama, K. Omine and H. Hazarika : Modeling for outflow of soil sediments considering grain size distribution, The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Unsaturated Soils and Ground, pp. 151-160, 2011. 8) 小山内信智、田中秀基、桜井亘、下村幸男：菌類等を利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、P067, pp.376-377, 2004. 9) 溝淵綾、中野武登、下村幸男、富坂峰人、長谷川啓介：ラン藻を利用した土壌微粒子流出防止に関する研究：土木学会第 59 回年次学術講演会、7-157, pp.313-314, 2004. 10) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策調査 粒度分布や沈降特性を考慮した土壌分布把握推進事業報告書、pp. 10-11, 2002. 11) Tadahiro Matsushita : Message for the 21st century, Sabo works and Its Achievements, 砂防広報センター、p. 110, 1999. 12) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策調査 粒度分布や沈降特性を考慮した土壌分布把握推進事業報告書、pp. 32-33, 2002. 13) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策調査 粒度分布や沈降特性を考慮した土壌分布把握推進事業報告書、pp. 60-61, 2002. 14) 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、2002. 15) U.S.D.I. Bureau of Land Management: BIOLOGICAL SOIL CRUST: ECOLOGY AND MANAGEMENT, Technical Reference 1730-2, 2001. 16) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖：気候変動に伴う赤土等流出問題への宜野座村での現地実験による適応策研究、土木学会論文集 G (環境) Vol.69(No.5) I\_117-I\_122, 2013. 17) 気象庁ホームページ「気象庁過去の気象データ検索」：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>、(2016 年 8 月 18 日閲覧) 18) 「NETIS 新技術情報提供システム」：<http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Explanation/MainExplanation.asp> 19) Journal of Bioscience and Bioengineering VOL. 117 No. 5, 617e619, 2014.