

P21 赤土砂生産場での侵食機構とその流出予測の考え方

建設省土木研究所 ○南哲行、山田孝、水野秀明、小山内信智
沖縄総合事務局 宮野敬介

1. 研究目的

沖縄地方を始めとする南西諸島では、降雨に伴って赤土砂が上流域の圃場等から大量に流出し、河道域、河口域及び海域において深刻な濁水問題が生じている。そのため、これまでに河道域での浮遊砂を沈降・堆積するための貯留型砂防ダムの施工や濁水濃度の低下を目的とした濾過材工法の適用が試験的に行われてきた。しかしながら、これらの工法は小規模の出水に対してはある程度の効果を発揮するものの、大規模な出水に対してはほとんど効果が期待できないことが経験的に明らかにされている。赤土砂の流出を効果的かつ経済的に軽減するためには、その生産源である圃場等での対策が必要不可欠である。そのためには、赤土砂の生産機構を物理的に解明する必要がある。これまでのそれに関する研究は、USLE式等の経験式の適用に関するものが多く、適用する場所により諸パラメータの値が大きく変化するため普遍的に適用できない等の問題があった。近年では、キネマティックウェーブ法やメッシュレス法による流出解析を行いそれと雨滴による土砂生産、表流水による土砂輸送とを連結させた物理則に基づく研究がいくつか行われている。ただし、これらの研究手法の大きな欠点は、「実際の圃場では、耕作ステージに応じて、鋤き込み後の降雨による表土層の目詰まり(クラスト形成)としめ固め、その後の強い日射による急激な乾燥による地表面の固化、収縮による割れ目の発生、パイナップル等の葉による地表面被覆程度の変化が生じている。これらにより浸透能や土質強度が変化し、表面流の発生条件や卓越する侵食形態、地表面の受食性が大きく変わる。」、ことを前提条件として取り扱っていないことである。また、圃場等から生産された赤土砂が河道に流入し河道域を経て河口に達するまでの一連の赤土砂の流出過程を数値解析手法により予測する手法はほとんど開発されていない。

本研究は、まず始めに様々な耕作(耕うん直後、植え付け後)ステージの圃場での侵食形態と影響範囲、土砂生産量の時系列変化を現地調査ならびに人工降雨実験によって明らかにした。そして、それらの成果を基に圃場の耕作ステージに伴う赤土砂の生産変化を考慮した流域レベルでの赤土砂の流出予測の基本的な考え方を提示した。

2. 耕作ステージでの卓越する侵食形態と土砂生産量の経時変化

(耕うん直後)

沖縄県羽地大川流域において複数の圃場試験区を施工し人工降雨実験を行った。1つの圃場試験区の大きさは9m²(3m×3m)、圃場試験区の勾配は3%であり、降雨条件は平均降雨強度18~22mm/h、累積雨量:145~180mmである。降雨はスプリンクラー式の回転ノズルによって与えた。耕うん直後の圃場では、表面流はほとんど発生せず、表面侵食、リル状侵食、ガリ侵食は発生しなかった。その理由として、①耕うんによる間隙の増大により雨水は容易に浸透すること、②耕うん直後の地表面は凹凸が著しく、相対粗度は大きいこと、③地表面の凹部に水が溜まるためそこからの溢水が生じない限りは表面流が流下することはないこと、④実験の降雨の雨滴は実際のものと比較して小さく、地表面との衝突による侵食や地面の締め固め効果が得られなかったことが考えられる。また、耕うん直後にガリ侵食が発生しない理由として、前述のように耕うん直後は表面流が発生しにくいこと、たとえ局所的に表面流が発生したとしても、多くの凹凸地形により表面流は一ヶ所に集中することなく分波して流下すること、が指摘される。ただし、雨滴の衝突により地表面凸部の細粒分が流出して凹部に流入し凹凸間の比高は小さくなる。また、凹部での細粒分の堆積により目詰まり状態(構造クラスト)が生成される。このような状態が幾度か繰り返されることにより、次第に表面流の発生しやすい条件が生成されるものと考えられる。

(植え付け後)(表-1、図-1)

沖縄本島北部のサーン川流域ならびに平良川流域において、表面侵食(主に雨滴侵食によるもの)が卓越している圃場(以下、圃場1)、圃場内での表面流による侵食が卓越している圃場(以下、圃場2)、圃場縁辺部でのガリ侵食が認められる圃場(以下、圃場3)、を各々1ヶ所ずつ抽出し、地元農家からのヒアリングによりそれらでのパイナップル植え付け時からの経過日数を調べた。次いで、それらの圃場での侵食量、パイナップルの葉による地表被覆率を計測するとともに地表面の状態を調べた。圃場1の経過日数は植え付け時から3ヶ月目、圃場2は6ヶ月目、圃場3は20ヶ月目である。また、パイナップルによる地表被覆率は各々、12%、25%、86%である。圃場1、2、3とも地表面から既に細粒分は流出している。また、圃場3では地表面にコケが繁茂している。山中式土壌硬度計による計測値(支持力換算)は、各々、1.2kg/cm²、0.8kg/cm²、5.0kg/cm²であり、経過日数の長い圃場3において土壌がある程度固結した状態にある。

表面侵食(圃場100m²あたり)については、植え付け後、3ヶ月間(圃場1)に約1.7m³、6ヶ月間(圃場2)に約2.0m³、20ヶ月間(圃場3)に約2.0m³、の土砂(累積量)が生産された。圃場1での植え付け後3ヶ月間の表面侵食に関連した累積雨量は約500mm、最大時間雨量34mm(植え付けから2ヶ月目の降雨)、である。同一の圃場での時系列的な比較はできないが、これらの実態から植え付け後の3ヶ月間に表面侵食が集中的になされたと考えられる。それ以降は、パイナップルの成長に伴う地表被覆率の増加とそれによる雨滴衝撃力の緩和、地衣類の面的な繁茂、土壌地表面の粗粒化と土壌の固化による侵食抵抗の増加により、侵食が軽減される傾向があると考えられる。

圃場内の表流水によるリル状侵食(圃場 100m²あたり)は、圃場 1、2 では植え付け後半年程度はわずかであるが、圃場 3 では 20 ヶ月後には 4.1m³ にまで達している。圃場 3 ではパイナップルが横方向に列状に植えられており、その間を表面流が流下する(最急勾配: 3.3 度)ことによってリル侵食が生じている。ちなみに、パイナップルを不規則に密植させて植え付けている圃場(圃場 4、5)でのリル状侵食量は、植え付け後 11 ヶ月のもので約 1.4m³、18 ヶ月のもので約 1.8m³ であり、列状に植え付けた場合よりもかなり少ない事がわかった。不規則に植え付けたことにより、表面流の流速が低減し、結果として掃流力が減少したとみなせる。ガリー侵食については、唯一、圃場 3 の下流端急崖部で生じており、その量(圃場 100m²あたり)は 0.1m³ である。パイナップルが植え付けられている下流側の列の一部が決壊しており、それによってガリーが発生したとも考えることができる。

以上のことから今回の人工降雨実験の条件、現地圃場の条件では、耕うん直後の降雨では、面的な表面侵食、リル状侵食、ガリー侵食は発生しないこと、植え付け後 3 ヶ月間程度は表面侵食が卓越すること、その後は表流水によるリル状侵食が著しくなること、特にパイナップルを列状に植え付けるとその間が大きく侵食されること、ガリー侵食は植え付け後 20 ヶ月程度の間では発生しにくく、それによる侵食量も圃場全体の侵食量からみればそれほど大きなものではないこと、ガリーは植え付け列間での決壊によって生じる場合があることがわかった。

3. 流域レベルでの赤土砂流出モデルの考え方

以下のような基本的な考え方に基いてモデルを作成し、検討を進めることとしている。

- ①土砂の生産源は圃場とし、侵食形態は、表面侵食、植え付け間のリル状侵食を主体とする。表面侵食については、地表被覆率の変化、地表面の土砂の受食性変化を考慮する。植え付け間のリル状侵食については、地表面の土砂の受食性変化、移動可能土砂量の分布と量を考慮する。尚、耕作ステージ毎の地表面の土砂の受食性については、圃場のステージ毎に不攪乱の地表面サンプルを採取し、二次元流路を用いた実験により、例えば無次元侵食速度と無次元掃流力との関係を明らかにすることによって設定する。
- ②対象流域をメッシュ区分し、DEM を作成する。
- ③メッシュ間の流水の移動は、浅水流の運動方程式により追跡する。境界条件は雨量を各メッシュの水深で置き換えその流れを追跡する。
- ④メッシュ化された圃場から流水に伴って浮遊砂が流出するとして追跡計算する(例えば、芦田、道上式の活用)。
- ⑤損失雨量の与え方、土壤浸食の程度は圃場の耕作ステージと対策工に応じて変化させ、メッシュ化された流域内に様々な土砂流出特性をもった圃場メッシュが含まれるようにする。損失雨量は、圃場のステージごとに現地でモデル圃場を設定し、それらの箇所での流出観測を行うことによって設定する。
- ⑥圃場下流の砂防ダムへの流入量、流入濁度の実データとの比較によって、再現計算のチェックを行う。

表-1 調査した圃場の諸元

圃場 No.	所属流域	圃場面積 (m ²)	勾配	耕作開始年月	耕作開始から調査日までの期間	葉の被覆率 (%)	摘要
1	サーン川	346	1/15.6	1998/12	3ヶ月	12.4	列状に植付け
2	平良川	935	1/11.4	1998/10	6ヶ月	25.2	列状に植付け
3	平良川	718	1/ 8.6	1997/08	20ヶ月	85.5	列状に植付け
4	サーン川	237	1/20.2	1998/05	11ヶ月	88.9	一定範囲内に不規則に植付け
5	サーン川	480	1/11.4	1997/10	18ヶ月	100.0	一定範囲内に不規則に植付け

※ 葉の被覆率は、圃場を上方から撮影し、葉が地表を覆っている割合を求めたものである。

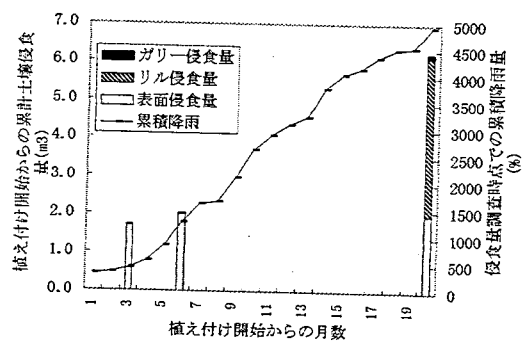


図-1 植え付け後の侵食形態別土砂流出量

参考文献

- 1)例えば、酒井一人他(1997):濁水濃度解析モデルの開発の現状とその可能性、農業土木学会誌、第 65 巻第 3 号。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、日本工営株式会社中央研究所の下村幸男氏、同社東京技術本部総合砂防推進センターの小野寺勝氏、八千代エンジニアリング株式会社東京事業部水工部の溝口昌晴氏、同社名古屋支店の井戸清雄氏のご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表します。