

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06295

研究課題名（和文）赤土微粒子に対するフロック形成操作のための最適な攪拌条件の定量的評価

研究課題名（英文）Quantitative Evaluation of Optimal Stirring Conditions for Flocculation of Red Soil Particles

研究代表者

仲村 将（Nakandakari, Tamotsu）

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：70537555

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：赤土流出防止対策の沈砂池の機能改善に必要な技術を開発するため、赤土フロックを形成させる研究に取り組んだ。ジャーテストの応用実験を行い、攪拌条件と赤土フロック形成との関係を調べた。その結果、攪拌することにより赤土の濁りがより早く透き通るようになり、攪拌することによる赤土フロックの形成効果を確認することができた。新たに考案した攪拌指標は攪拌エネルギーと相関関係にあることがわかり、赤土フロックの形成効果を把握することに役立てられる。PIVを用いた流れの速度の測定結果などから、赤土フロック形成には攪拌することによって生み出される複雑な速度分布や渦が必要だとわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沖縄地方では、降雨時における畑の土壌侵食に伴う赤土の流出がサンゴ礁海域を代表とする水環境を汚濁している。とくに農地において、沈砂池をはじめとする種々の対策が実施されているが、赤土微粒子を除去することは難しく、対策の改良が求められている。農地に設置された沈砂池には付帯していないフロック形成装置を導入すれば赤土微粒子の流出を防止することができると考えられるが、その装置の設計に必要な技術は開発されていない。本研究は、農地の沈砂池の機能改善に必要な赤土フロック形成技術を開発することによって赤土の流出を防止し、水環境を保全することを目標としている。

研究成果の概要（英文）：In order to develop the technology necessary to improve the function of a settling basin as a countermeasure against red soil runoff, we worked on research about red soil particles flocculation. The relationship between stirring conditions and red soil particles flocculation was investigated by an application experiment of the jar test. As a result, the turbidity became transparent more quickly by stirring, and the formation effect of red soil particles flocculation by stirring was able to be confirmed. It was found that the newly devised stirring index has a correlation with the stirring energy, which is useful for grasping the formation effect of red soil particles flocculation. From the results of flow velocity measurements using PIV, it was found that complex velocity distributions and vortices created by stirring are necessary for red soil particles flocculation.

研究分野：水利環境

キーワード：赤土 フロック 沈砂池

### 1. 研究開始当初の背景

沖縄地方では、降雨時における畑の土壌侵食に伴う赤土の流出がサンゴ礁海域を代表とする水環境を汚濁する。沈砂池をはじめとする種々の対策が実施されてはいるが、赤土の微粒子を除去することは難しく、対策の改良が求められている。沈砂池は赤土微粒子が浮遊する濁った水を一時的に貯留し、重力の作用のみで赤土微粒子を沈降させようとする固液沈降分離装置として導入されている。しかし、赤土微粒子の大きさは数マイクロメートルから数十マイクロメートル程度と小さいため、これに作用する重力の大きさは非常に小さく、赤土微粒子を自然な沈降で沈殿させるには数日以上かかり、沈殿する前に赤土微粒子は沈砂池からキャリーオーバーして周辺水環境へ流れてしまっているのが現状である。このように沈砂池は赤土微粒子の対策施設としての効果を発現していない。

赤土対策の沈砂池と類似する仕組みの代表は浄水場の浄水システムの固液沈降分離プロセスである。浄水システムの固液沈降分離プロセスにおける懸濁粒子の除去効果は前処理となるフロック形成の成否に依存する。つまり、大きなサイズに成長したフロックは速やかに沈降するため除去効果は高まり、小さなサイズに留まったフロックは沈降するのに時間を要するため除去効果は高まらない。浄水システムの固液沈降分離プロセスはフロック形成を重視しており、懸濁粒子の除去効果を高めるためになるべく大きなフロックを形成させる操作の工夫に力を注いでいる。ところが、赤土対策の沈砂池の場合では、先進の成功事例である浄水システムの固液沈降分離プロセスにおいて重視されているフロック形成操作が省かれている。そのため、フロックになれないまま沈砂池に流れ込んだ赤土微粒子は微粒状態のまま浮遊して流れ続け、沈殿せずにキャリーオーバーしている。このように、浄水システムという先進の成功事例との対比に基づく考察から、赤土対策の沈砂池が対策施設としての効果を発現しないのはフロック形成操作が省かれているためであるといえる。したがって、沈砂池における赤土微粒子の除去効果を高めるにはフロック形成操作を沈砂池の前処理として導入したらよい。

### 2. 研究の目的

フロック形成に関わるパラメータは攪拌強度(G)、懸濁濃度(C)および攪拌時間(T)の3つである。浄水システムの場合、凝集剤の添加を必須条件としたこれら3つのパラメータの最適化によってフロック形成を実現させている。一方、農地や自然の水循環系に組み込む沈砂池の場合、化学物質である凝集剤を用いることはできず、また降雨にまつわる土壌侵食・出水という複雑な現象に対してパラメータCとTを調節することも現実的ではない。したがって、赤土対策の沈砂池の場合、凝集剤なしでパラメータGのみの最適化によるフロック形成が求められる。そこで本研究では、様々な攪拌操作を試行錯誤的に実験し、速やかに沈降するフロックを形成させる攪拌操作を見つけ出す。さらに、その最適な攪拌操作が生成する流れ場を解析し、パラメータGの水理学的記述を試みる。

### 3. 研究の方法

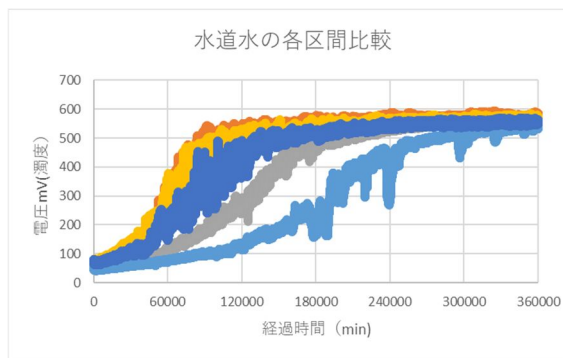
本研究の実験はいわゆるジャーテストの応用である。ジャーテストは、円筒形の容器に懸濁液を入れ、攪拌翼を挿入し、攪拌翼を一定の回転数で回転させて懸濁液を攪拌し、所定の時間が経過した後に攪拌を停止して測定を行い、懸濁物のフロック形成の有無などを調べることによって浄水システムの固液沈降分離プロセスの運転条件を決定するための試験である。ジャーテストの応用実験によって赤土フロックが速やかに沈降する最適条件を探る。攪拌装置はサーボモーターシステムと攪拌翼から成る。サーボモーターシステムによって攪拌翼の回転数と回転の向きを制御する。攪拌が生み出す流れの様相が変化すると赤土微粒子の運動も変化するはずであり、流れの様相とフロック形成には相関関係があると予想した。そこで、流れの様相を変化させるため、形状が異なる攪拌翼を3つ考案して用いる。実験条件は攪拌翼の回転数、回転の向きおよび攪拌翼の形状となり、得られた実験データを解析してこれらの実験条件とフロック形成の関係を把握して最適条件を明らかにする。なお、当初予定した攪拌時間は実験実施上の都合により実験条件から省かれた。

フロック形成の状態測定として赤土フロックの沈降がどのくらいの速さで進行するのかを把握するための濁度測定を行う。これは、赤土フロックが速やかに沈降するときに懸濁液が短時間のうちに澄んでくる現象を濁度の経時変化として捉える間接的評価方法である。濁度測定には市販品と自作品を併用する。この測定結果から濁りがより早く透き通る、つまりより速やかに沈降する赤土フロックを生み出す実験条件を把握する。なお、当初予定していた粒径分布測定と顕微鏡観察は、試料採取時や測定中のフロック破壊を避けられないと判断して断念した。これらの測定に関しては、試料採取方法の考案を今後の課題としたい。攪拌が生み出す流れの流速分布、乱流の状態などを把握するためPIVを用いて流れを測定する。攪拌強度(パラメータG)の水理学的記述として、攪拌翼の辺縁を積分経路とする攪拌翼の辺縁の回転時の速さの線積分を検討する。

#### 4. 研究成果

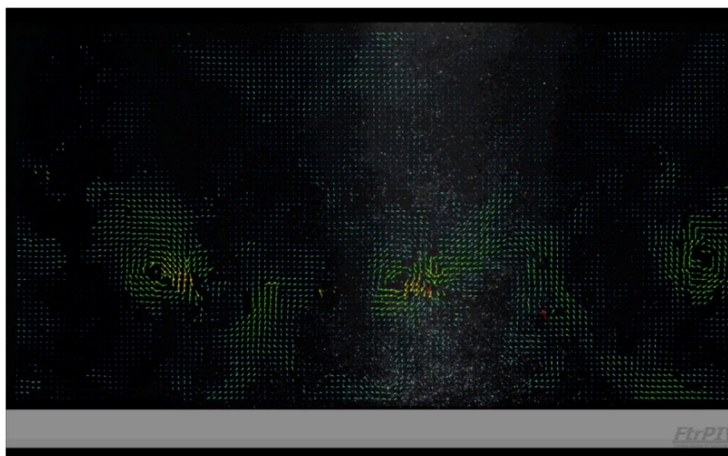
研究の初歩として、ジャーテストの応用実験の攪拌によって赤土フロックが形成されるかどうかを確かめた。攪拌翼を毎分 1 回転させて赤土懸濁液を 1 時間攪拌し、攪拌停止直後から 1 時間後までの濁度を市販品の濁度計で連続計測した。攪拌翼の回転の向きは、時計回転のみの場合と時計回りと反時計回りを 1 回転ごとに切替える時計・反時計切替え回転の 2 種類とした。攪拌翼の形状は四角形、3 本爪フォーク形、凹凸形の 3 種類とした。なお、攪拌しない場合を全体の対照操作とした。その結果、対照操作、時計回転および時計・反時計切替え回転のいずれの場合においても濁度は時間経過とともに減少する傾向を示した。時計回転および時計・反時計切替え回転の濁度は攪拌を行わない対照操作の場合より小さくなった。このことは、攪拌操作を施した赤土懸濁液には赤土フロックがより多く存在することを示唆する。つまり、攪拌操作を施した赤土懸濁液の濁度が小さくなり易いということは、赤土の浮遊物同士の間隔が広がって透き通っていたり、赤土の浮遊物が速やかに沈降したりするからだと考えられる。攪拌操作によって赤土フロックが形成されたとすればこの現象を無理なく理解することができる。攪拌流れに多様な渦が生成され、赤土微粒子の衝突頻度が高まり、赤土フロックが形成されたと思われる。時計回転と時計・反時計切替え回転の平均トルクおよびトルクの平均仕事を比較すると、後者のほうが前者より約 13 倍大きい。このことは、時計・反時計切替え回転の攪拌は時計回転の攪拌よりも多くのエネルギーを流れに注入したことを示しており、その分だけ渦の多様性(強さ、大きさ、数など)が高まっていたことを示唆する。時計回転と時計・反時計切替え回転の濁度に明確な違いは認められなかった。凹凸形は他よりも優れた効果が認められた。攪拌翼の辺縁長が他よりも大きいことが渦の形成に寄与したと考えられる。

研究の本格化に伴い、濁り計測装置を自作して実験装置を改良した。時計回転のみの場合と時計・反時計切替え回転を試した。攪拌翼の回転速度は毎分 20 回転と毎分 60 回転の 2 種類とした。凹凸形の攪拌翼のみを使用した。攪拌しない場合を全体の対照操作とした。対照区と攪拌区のいずれの場合でも濁りは時間経過とともに減少した。濁りの減少傾向にはケースごとの特徴が認められた。時計回転の毎分 20 回転と毎分 60 回転、時計・反時計切替え回転の毎分 20 回転の濁りは攪拌しない対照区より小さかった。これら 3 つの攪拌区では対照区よりも水が透き通ったことになる。攪拌により流れに多様な渦が生成され、赤土微粒子の衝突頻度が高まり、赤土フロックの形成が進み、赤土の浮遊物同士の間隔が広がったり、浮遊物が速やかに沈降し易くなったために水が透き通ったと考えられる。これら 3 つの攪拌区では濁りが小さくなると G 値や線積分が大きくなり、濁りは G 値や線積分と相関関係にあることが分かった。残り 1 つの攪拌区である時計・反時計切替え回転の毎分 60 回転の濁りは攪拌しない対照区より大きかった。この攪拌区の G 値や線積分は他の攪拌区よりかなり大きく、流れの乱れが激し過ぎたために原料の赤土がむしる砕けてより小さな赤土微粒子が生成され、濁りが大きくなったと考えられる。攪拌の最適さを G 値や線積分によって示せることが明らかとなった。興味深いことに、線積分の式は見かけ上レイノルズ数の積算を示しており、今後の課題としてその物理的意味合いを研究する必要がある。



攪拌条件	時計回り60rpm	時計反時計交互20rpm	時計回り20rpm	時計反時計交互60rpm
G値	33	26	8	123
線積分	5793	4076	1931	13518

攪拌流れを PIV を用いて測定し、流れの模様などを把握することを試みた。その結果、回転する攪拌翼の後流領域に複雑な流速分布が認められた。また、持続的な渦が認められ、飛行機の翼の先端に現れる渦と同類だと思われた。このように複雑な攪拌流れが赤土フロックを形成させたと考えられる。データ取得が不十分であったため、定量的な測定が今後の課題である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------