

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780253

研究課題名(和文) 沖縄地方の農地水系における大気・水環境に配慮した沈砂池の維持管理に関する研究

研究課題名(英文) On study of maintenance of a sedimentation tank in an agricultural water network for the conservation of air and water environment

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) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：大気・水環境を保全できる沈砂池の設計・維持管理のための沈砂池の機能評価手法を確立するため、水理実験を行い、以下の結果を得た。導水・排水形態が沈砂池の流れ場に与える影響を調べた結果、実沈砂池の落下流れによる導水は表面負荷率を小さくさせることがわかり、沈砂池の対策効果を低下させた。水路底面付近の流れの乱れは少なく、細砂・シルト・粘土粒子が沈積できた。完全混合槽列モデルによる除去率の計算値は実測値とよく一致したが、流れ場の混合特性を示す槽数パラメータ値は実際の流れを表現していなかった。各態窒素成分濃度の短期変化を調べたところ、N20の排出を認めることができなかった。

研究成果の概要(英文)：To establish a method of an estimation of the effect of a sedimentation tank for conservation of air and water environment, a hydraulic experiment was conducted. As a result of the experiment, it found that a free-fall flow at inlet point make the overflow rate decreased. A fine sand, silt and clay particles can deposited because of less turbulence in the bottom of an experimental channel. A calculated trap efficiency is agreed with that of measured but the model parameter values are not good to indicate the mixture of an actual flow. There is no N20 emission in short term observation period.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学，農業土木学・農村計画学

キーワード：赤土等流出防止対策 沈砂池

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 沈砂池に関するこれまでの研究

沖縄県の農地では赤土等流出防止対策として沈砂池が設置されている。沈砂池の規模はストークスの沈降理論に基づいて設計されるが、沈砂池の効果を算出するための設計指針はなく、実際に利用されている沈砂池の効果も十分に評価されていない。また、サンゴ礁海域の富栄養化とオニヒトデの異常増殖との関わりが注目されており、赤土とともに流出する肥料由来の富栄養化成分の寄与がとくに重視されている。

筆者はサトウキビ栽培を主体とする代表的な畑地流域に設置された沈砂池で現地観測を行ってきた。観測結果の一事例として、土砂削減率70%、全窒素削減率87%および全リン削減率57%を得た。また、畑地流域から流出した全窒素の約8割は懸濁態窒素であることもわかった。リンについても同様であった。浮遊土砂は無機質粒子と有機物質から成る集合体であり、懸濁態窒素はその有機物質に含まれる窒素成分であると考えられた。また、一般的にリンは土粒子に結合して存在している。これらのことから、懸濁態窒素と懸濁態リンは沈砂池で削減されやすく、そのため、沈砂池には土砂とともに窒素成分とリン成分が貯留されている。

このように沈砂池では土砂の他に富栄養化成分も削減されおり、農地周辺にあるサンゴ礁海域などの水環境の保全においてはこのような沈砂池の多面的効果は評価に値する。

### (2) 沈砂池に関する今後の課題—維持管理—

肥料資源の輸入国である日本では施肥コストの削減や未利用肥料資源の有効利用が目下の課題である。そこで筆者は、沈砂池の貯留土砂に含まれるリン成分を有効利用するため、貯留土砂を農地に還元して再利用するシステムの構築に取り組んだ。その結果、菌根菌を混合した貯留土砂を用いてサトウキビのポット栽培実験を実施したところサトウキビを栽培できることが示された。また、農地水系は重要な温室効果ガスである亜酸化窒素N<sub>2</sub>Oの発生源として重視されている。N<sub>2</sub>Oの間接排出には不明な点が多いが、筆者のこれまでの研究結果からして、窒素成分の貯留部であり、かつ農地水系の一部である沈砂池はN<sub>2</sub>Oの発生源になっている可能性がある。沈砂池にはホテイアオイなど植物が繁茂することが多く、このことは沈砂池の底に沈積した窒素成分やリン成分が貯水に溶出して貯水の富栄養化に関与していることを示している。したがって、溶出した窒素成分の一部から硝化・脱窒反応によってN<sub>2</sub>Oが生成されることが推測され、沈砂池でもN<sub>2</sub>Oの排出量削減に努めなければならないといえる。

## 2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では全体目的・個別目的および本研究期間における研究

目的を以下のとおりに定めた。

(1) 全体目的：大気・水環境を保全できる沈砂池の設計・維持管理のための沈砂池の機能評価手法の確立

(2) 個別目的：

- ①機能評価手法の確立：沈砂池における土砂と窒素成分の沈積メカニズムを水理模型実験で調べた後、表面負荷率を指標とした沈砂池の機能評価手法を確立する。
- ②N<sub>2</sub>O間接排出の現地観測：実際のN<sub>2</sub>Oガスフラックスと溶存N<sub>2</sub>Oを測定して現状を把握する。
- ③維持管理手法の提案：カラム実験で窒素成分の動態を定量的に把握した後、リン資源の有効利用と大気環境保全に寄与できる浚渫などの維持管理手法を提案する。

(3) 研究期間内の目的：以下の4項目を実験により明らかにする。

- ①導水形態と排水形態が沈砂池の流れ場の性質に与える影響の把握
- ②細砂・シルト・粘土粒子の削減率の把握
- ③沈砂池の流れ場の混合特性
- ④沈砂池貯水の各態窒素成分濃度の短期変化の把握

## 3. 研究の方法

### (1) 実験装置

本研究では実験用開水路を利用した沈砂池の実験装置を用いて水理実験を実施し、各種の計測を行った。図1に示すように、実験装置は、実験用開水路（幅40cm、深さ40cm、長さ8m）の内部を多孔パネルで仕切って作成した長さ6mの流路であり、この流路を単純な沈砂池とみなした。流路の流出境界側の多孔パネルの外側に深さ30cmの全幅堰を設置し、静止時の満水水深を30cmに定めた。水路床勾配は水平である。

インバータ制御したポンプを使って流路に給水し、連続流式装置として操作した。給水管路には電磁流量計を取り付けており、水だけを流した状態で定常流が形成させた。

当初計画では、実験装置をクローズドチャンバーになるように考えたが、経費の都合により、オープンタイプにした。

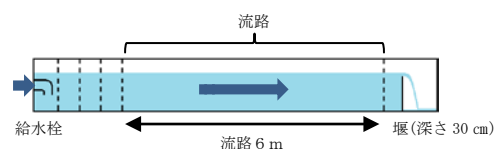


図1：実験装置の概略図

### (2) 研究機関内の各目的の実験方法

- ①流入境界の多孔パネルのめくらの有無によって擬一様流れと落下流れが得られるようにしている。擬一様流れは理想沈殿池、落下流れは実沈砂池の導水形態を想定している。また、流出境界の多孔パネ

ルが有る場合は擬一様な排水形態である理想沈澱池，無い場合は非一様な排水形態である実沈砂池を想定している．流路中心軸を含む鉛直平面内に配置した計測点で流速を計測した．流速の計測点数は流路中心軸方向に14点かつ水深方向に3点の合計42点である．流路の上・中・下流部で水位を計測した．静止時の水面を水位の基準高とした．導水形態が流れ場の様相に与える影響を明らかにし，実沈砂池の問題点を明確にする．

- ②インパルス応答法によるトレーサー輸送実験を行った．トレーサーは0.075mmふるいを通させたカオリナイト粒子，0.025mmふるいを通させたカオリナイト粒子および国頭マージの土壌粒子であり，目的に応じてこれら3種類のトレーサーを使い分けた．水だけを流した状態で定常流が形成されていることを確認した後，流路の流入境界の直上流地点にトレーサー懸濁液を注入した．注入所要時間は，毎回異なるが，数十秒から60秒程度である．トレーサーが流出境界に到達しない時点から下流端の全幅堰で越流水を経時的に採水し，実験後，これら採水サンプルのトレーサー濃度（以降，浮遊物濃度）を測定した．流路を浮遊するトレーサーを視認できなくなった時点でポンプ給水を停止し，貯水状態で数日間静置した．その後，排水・洗浄操作を行って流路床に沈積したトレーサーを懸濁液の状態（沈積物サンプル）で回収した．トレーサーの沈積物サンプルを減圧ろ過してトレーサーの沈積物をろ紙上に分離し，このろ紙を110度で24時間乾燥させた後，その絶乾質量を測定し，あらかじめ測定しておいたブランクろ紙の絶乾質量を引いてトレーサーの沈積物質量を求めた．各種の測器を設置して，流路中央部での流速・全幅堰の堰頂上での濁度・定常流形成後の流路中央部での水深を測定した．また，必要に応じて静止画と動画を撮影した．なお，トレーサー濃度・浮遊物濃度の測定や沈積物の分離操作における減圧ろ過には，有機バインダー処理された保留粒子径0.0005mmのガラスろ紙（ADVANTEC GC-90）を使用し，トレーサーの紛失を極力抑えた．また，ろ紙が使われているいろいろな絶乾質量の測定には最小表示0.01mgの電子天秤（METTLER TOLEDO XS105DU）を使用し，絶乾物を吸湿させないように工夫して精密に測定した．3種類のトレーサーと2種類の流量（100L/minと200L/min）を組み合わせた数ケースについて実験を行い，トレーサーとして用いられた細砂・シルト・粘土粒子の削減率とその影響要因を把握する．
- ③完全混合槽列モデルを用いて流れ場の混合特性を解析した．この解析には，目的②で得られたデータを用いた．流入境界

での導水形態の違いによって流れ場の混合状態がどのように評価されるのかを把握する．

- ④国頭マージをトレーサーに用いた場合の実験において，原土・沈積土・原水・貯水のそれぞれの各態窒素成分濃度を計量証明事業者へ委託して測定した．貯水については，実験終了から2日後および8日後に採水した試水を分析し，各態窒素成分濃度の短期変化を調べた．沈積土については，絶乾質量測定後，全量を分析に供した．

#### 4. 研究成果

- (1) 流入構造が沈砂池の流れ場の性質に与える影響の把握

- ①（理想条件）導水・排水形態ともに擬一様流れにした場合：定常流量を100L/minとした．流速は，大きさが1.0cm/sから1.9cm/sの範囲に分布し，向きが水路中心軸方向に卓越した．流入境界から10cm下流地点を除いて一様な流速分布となり，ほぼ理想的な押し流れが形成された．上流，中流および下流の水位はそれぞれ15.0mm，14.9mm および14.8mmであり，流路の水面勾配は微小であった．流路全体が粒子の沈殿除去に有効な押し流れ区間になっていると考えられ，その場合，表面負荷率は0.07cm/sになる．
- ②（実条件1）導水形態を落下流れ，排水形態を擬一様流れにした場合：定常流量を100L/minとした．流速の大きさは0.5cm/sから11.3cm/sの範囲に分布した．流入境界から約100cm下流地点までの範囲には，落下流れによって大きな流速が現れ，鉛直縦断面内を循環する流れ場が形成された．これは落差工直下に形成される流れ場に類似した（石野・井筒；内田ら，2005）．一方，流入境界から400cm地点より下流側の範囲には，上記①の理想条件の場合と類似した押し流れが形成された．流速分布の結果から，粒子の沈殿除去に有効な押し流れ区間は循環流が形成されている上流部分を除いた，流入境界から150cm地点付近から下流境界（600cm下流地点）までの範囲となり，理想条件の場合と比較して約75%に減少した．この場合には，表面負荷率は0.09cm/sになる．
- ③（実条件2）導水形態を落下流れ，排水形態を非一様流れにした場合：定常流量を100L/sとした．流速の大きさは0.4cm/sから9.6cm/sの範囲に分布した．流入境界から約100cm下流地点までの範囲は，上記②の実条件1の場合とほぼ類似した流れ場であった．流出境界の堰近傍では従来の知見のとおり上向きの流速が生じた．粒子の沈殿除去に有効な押し流れ区間は上流の循環流部分と堰近傍を除いた流入境界から150cm地点付近から下流境界付近（570cm下流地点）までの範囲となり，

理想条件の場合と比較して約70%に減少した。この場合には、表面負荷率は0.10cm/sになる。

- ④粒子の除去効果に関する考察：表面負荷率の大小関係から粒子の理論的な除去効果は、大きい順に理想条件、実条件1、実条件2となる。導水・排水形態が実際に似るにつれて除去効果は低下することを示している。実際の導水・排水形態による非一様な流速分布の形成が、粒子の沈殿除去に有効な押し出し流れの部分を縮小させるためといえる。

(2) 細砂・シルト・粘土粒子の削減率とその影響要因の把握

①導水形態を擬一様流れ、カオリナイト粒子の0.075mmふるい通過分をトレーサーにした場合：下流端における採水サンプルの浮遊物濃度の範囲は0.1~24.3mg/Lであった。トレーサーの注入質量は91.076g、沈積質量は69.4710g、排出質量は21.605g、除去率は76.278%となった。トレーサーは明瞭な密度流を形成し、その密度流が底面付近を流れる様子が観察された。

②導水形態を落下流れ、カオリナイト粒子の0.075mm通過分をトレーサーにした場合：下流端における採水サンプルの浮遊物濃度の範囲は0.2~71.1mg/Lであった。トレーサーの注入質量は99.815g、沈積質量は69.5689g、排出質量は30.246g、除去率は69.698%となった。

③導水形態・排水形態ともに擬一様流れ、カオリナイト粒子または国頭マージの0.025mmふるい通過分をトレーサーにした場合：流量の大小によらず、トレーサー懸濁液は流入境界を通過してすぐに流路床の方へ移動し、その後、流出境界に到達するまで流路床付近を流れた。トレーサー懸濁液の移動は密度流を形成していると考えられた。観察の限りでは、その流れの先頭は強く乱れ、シルト・粘土粒子は沈積しにくいと考えられた。しかし、シルト・粘土懸濁液の流れの先頭のつぎには流路床のごく近傍に密度流とは異なると思われる遅い流れが形成された。この遅い流れの乱れは弱く、シルト・粘土粒子が沈積し得ると考えられた。

④上記③について、流量が100L/minの場合、トレーサーの注入質量は25~52g、沈積質量は15~32gとなり、除去率は59~67%となった。流量が200L/minの場合、トレーサーの注入質量は35~42g、沈積質量は11~17gとなり、除去率は32~41%となった。このように、シルト・粘土粒子の沈積が認められた。

(3) 沈砂池の流れ場の混合特性

①導水形態を擬一様流れ、カオリナイト粒子の0.075mmふるい通過分をトレーサー

にした場合：完全混合槽列モデルの槽数パラメータ値は $n=7$ となった。無次元化したインパルス応答から計算した除去率は82%であり、この計算値は実測した除去率76.278%よりわずかに大きい程度であった。

②導水形態を落下流れ、カオリナイト粒子の0.075mm通過分をトレーサーにした場合：完全混合槽列モデルの槽数パラメータ値は $n=24$ であった。無次元化したインパルス応答から計算した除去率は70%であり、実測した除去率は69.698%とほぼ同じであった。

③上記①および②より、完全混合槽列モデルは精度よく効果を評価できた。

④上記①および②より、導水形態が擬一様流れの方が落下流れより槽数パラメータ値が小さかった。このことは擬一様流れの場合の流路の流れが完全混合に近く、落下流れの場合の流路の流れが押し出し流れに近いことを示しており、実際とは逆の評価をしている。これはモデルには密度流の影響が考慮されていないことが原因であると考えられる。

(4) 沈砂池貯水の各態窒素成分濃度の短期変化の把握

①各態窒素成分濃度は、原土ではT-N: 0.38mg/g, N03-N: 0.14mg/100g, N02-N: <0.001mg/g, NH4-N: 0.35mg/100gであった。沈積土ではT-N: 0.53mg/g, N03-N: 0.63mg/100g, N02-N: 0.002mg/g, NH4-N: 0.29mg/100gであった。原水ではT-N: 0.26mg/L, N03-N: 0.22mg/L, N02-N: <0.002mg/L, NH4-N: <0.01mg/Lであった。貯水(2日後)ではT-N: 0.26mg/L, N03-N: 0.22mg/L, N02-N: <0.002mg/L, NH4-N: <0.01mg/L, N20: <0.1mg/Lであった。貯水(8日後)ではT-N: 0.28mg/L, N03-N: 0.22mg/L, N02-N: <0.002mg/L, NH4-N: 0.02mg/L, N20: <0.1mg/Lであった。

②貯水のT-Nの短期変化はNH4-Nによるものであった。貯水の窒素成分濃度の短期変化はほとんど認められないレベルであり、N20排出を認めることはできなかった。冬季に実験が行われ、水温が比較的小さかったために、窒素動態に関わる微生物の活動が抑えられてしまったと思われる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

①米須 恵理子 他, 流入出構造に影響された沈砂池の流れ場の性質, 平成24年度農業農村工学会大会講演会, 平成24年9月19日, 北海道大学。

②仲村 将 他, 沈砂池を想定した流れの混合特性, 平成25年度農業農村工学会大

会講演会，平成 25 年 9 月 4 日，東京農業  
大学.

- ③仲村渠 将 他，遅い水流中を移動するシルト・粘土懸濁液に浮遊するシルト・粘土粒子の沈積，平成 26 年度農業農村工学会大会講演会，平成 26 年 8 月 27 日，朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

仲村渠 将 (NAKANDAKARI, Tamotsu)

琉球大学・農学部・准教授

研究者番号：70537555