沈砂池における利水の可能性に関する実験的研究

吉永安俊¹・酒井一人²・仲村渠将³

An Experimental Study on Feasibility of Using Settling Basin as a Storage Basin for Water Use

Anshun Yoshinaga¹, Kazuhito Sakai² and Tamotu Nakandakari³

Abstract: In the Amami and Okinawa area, Japan, there are a great number of settling basins established in order that suspended sediments, which float from cultivated fields to rivers or sea areas, can be sedimented and removed. Currently, there has been an increase in the number of requests for water storage in these settling basins in cultivated fields with no irrigation reservoirs in order to utilize the water for irrigation. Since settling basins are utilized as a water source, water should always be stored in settling basins. Therefore, it is necessary to investigate how this water affects the function of settling turbid water in settling basins. This paper aims at experimentally investigating the feasibility of using a settling basin as a storage basin for irrigation water use. For this, two extremities of initial water storage in a model basin, i.e., empty and full storages, are considered. The turbidity (the concentration of suspended sediments) and the quantity of water leaving the basin from its outlet are measured to evaluate the amount of suspended sediments not trapped in the basin (i.e., escaping from the basin). Different tests with different initial water storages are comparatively conducted to estimate the effect of keeping the storage full for water use on the primary function of the basin. The results show that in both cases of initial water storage the equilibrium levels to which the outflow turbidities reach as time passes are the same. The amount of the escaping suspended sediments for the initially empty storage is slightly less than that for the initially full storage. It is thus concluded that the settling basin could be used as a storage basin for irrigation water use as well.

Keywords: Settling basin; Irrigation; Turbidity; Suspended sediment

1 はじめに

畑地帯に設置される沈砂池は流域の下流に設けられ、排水に含まれる土砂を沈積捕獲し、公共水域へ流出する土砂量を軽減させる役割を担っている。沈砂池の沈積捕獲能力、すなわち堆砂機能は、沈砂池の規模に大きく依存するが、流況や貯留水などにも影響される。沈砂池の堆砂機能は降雨直前には貯留水のない「空」の状態が良いとされ、多くの施設でその方法が採用されている。

しかし近年、かんがい施設のない地区において、沈砂池に貯水し、利水機能を期待する農家が増えつつあり、その対応が望まれている。沈砂池に利水機能を持たせることは、常時貯留を意味するため貯留水が堆砂機能に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

本研究では、模型沈砂池を用い、濁水流出実験により、貯留水が堆砂機能に及ぼす影響を明らかにし、沈砂池における利水の可能性を考察する。

貯留水の影響は、沈砂池の初期条件を「満水」及び「空」に設定し、排水濃度及び流亡土量を比較して判断する。較差が許容範囲なら貯水は可能であると判断する。しかし「堆砂機能の較差」と「利水の効果」は評価の基準が本質的に異なるため、利水の可能性の判断は営農形態や環境保全を含めた議論

必要と思われる。

2 実験方法

2.1 原型沈砂池

沈砂池は図1に示される形状で、満水面積約4,000m²、容量約8,000m³の規模である。集水域は整備された畑地帯で、面積は44.4haである。

作目はサトウキビを主体とするが一部にキクの露地栽培やビニールハウスでニガウリ栽培が行われている。

流域の排水は10カ所に設置された土砂溜マスを經由して沈砂池に流入する。沈砂池は3ヶ所の流入口と1ヶ所の排水口を有し、各流入口の支配面積は、それぞれ12.8ha、19.1ha、12.5haである。流量観測は排水口で行っている。

沈砂池の「空」条件は排水口の堰底に設けられた排水管を解放して実現させるが、現在は周辺農家の要望で配水管が閉じられ貯水状態で管理されている。流域には少量の基底流量があるため、多くの場合、満水状態にある。満水時の水位は沈砂池の排水口堰頂に等しい。

2.2 模型沈砂池

模型沈砂池の縮尺 n は 1/20 である。模型実験では実験装置の都合から、梅雨や台風時に多い10-50mm/hr程度の降雨強度で発生する流量を対象とした。

各流入口の流量は支配面積割合で比例配分する。

配分流量は給水槽の底に設けたオリフィスの径で調整する。流量を5種類設定したため、給水槽の底には5対、計15個の大きさが異なるオリフィスが

¹ 琉球大学農学部教授 Professor, Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru Nisihara-cho, 903-0213 Japan

² 琉球大学農学部助教授 Associate Professor, Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru, Nisihara-cho, 903-0213 Japan

³ 沖縄県庁企画開発部 Engineer, Department of Planning Development, Okinawa prefecture, 1-2-2 Izumizaki Naha City 900-8570 Japan

設けられている。流量の表示は、設定流量ではなく排水口で測定した実測流量とした。これは設定流量を得るためのオリフィス径の微調整が困難であることと、一定濃度の濁水を流すために行っているポンプ攪拌がオリフィス流出量を不安定にさせ、定流量が得られないためである。

なお、流量は、実験の初期、中期、終期に3回ず

図1: 沈砂池

つ排水口で行った測定の平均値を採用した。

現地の濁水濃度は降雨条件により常に変動するが、本研究では堆砂機能の評価を容易にするため一定値（1,000mg/L）とした。この値は現地において年に数回程度発生する濃度である。

濁水は海域汚染原となっている国頭マージ（赤黄色土）を用い、74ミクロン篩通過試料を水道水で溶かして作成した。濁水準備量は貯留槽の都合で沈砂池満水容量（1.0m³）の2-2.3倍程度である。

沈砂池の堆砂機能は、排水濃度及び流亡土量で評価する。流亡土量は排水口で数分間隔に採取した濁水の濃度に流量を乗じて求める。濁水濃度は濁水の炉乾燥重量を濁水重量で除して求める。

3 実験条件

3.1 相似律

本研究で相似律を用いるにあたり、着目する水理現象は、流れ場における浮遊土砂の沈降である。

流れ場は重力に支配され、一般的にフルード相似律が適用されるが、粘土分を多く含む浮遊土砂の沈降は重力とともに粘性力の影響を受けるためフルード相似律では十分には表現はできない部分がある。

しかし本研究では、沈砂池における浮遊土砂の沈降現象は流れ場に最も大きく影響されると判断し、フルード相似律を適用することとした[1]。

フルード相似律において土粒子の沈降速度を相似律で表せば $n^{1/2}$ となる。

この沈降速度を達成する土粒子径をストークス式[2]を用いて求める。ストークス式における土粒

子径と沈降速度の関係は(1)式になるから、

$$V = \propto D^2 \quad (1)$$

$$V = n^{1/2} = \propto D^2 \quad (2)$$

$$D = \propto (n^{1/2})^{1/2} = \propto n^{1/4} \quad (3)$$

土粒子径を相似率で表せば $n^{1/4}$ となる。この値は、相似律を $n=1/20$ とすると $(1/20)^{1/4}=0.47$ となり、原粒径の約半分であることがわかる。したがって模型実験においては原型の2倍程度の浮遊土砂径の沈降現象を再現していると考えられる。

フルード相似律における長さ、時間、流量、速度、流量及びストークス式から求めた土粒子径を表1に示す。

表1: フルード相似律

要素	相似律	縮小率
長さ	n	0.050
時間	$n^{1/2}$	0.224
速度	$n^{1/2}$	0.224
流量	$n^{3/2}$	0.000559
粒径*	$n^{1/4}$	0.473

* 粒径はストークス式により求めた。

3.2 実験条件の組み合わせ

沈砂池の初期条件「空」、「満水」における流量とフンかごの有無の組み合わせは表2に示すとおりである。設定流量の実現が困難なため、流量は実測値で示した。そのためバラツキがみられる。

なお表に示す「空」条件とは、沈砂池に貯留水が全くない「から」の状態をいい、「満水」条件とは、沈砂池の排水口の堰の高さまで水を満たした状態をいう。

表2: 初期条件と流量、フンかごの有無

空条件		満水条件	
流量(L/s)	フンかご	流量(L/s)	フンかご
0.369	無	0.299	無
0.373	無	0.346	無
0.375	無	0.559	無
0.376	無	0.621	無
0.766	無	0.818	無
0.780	無	0.859	無
0.840	無	1.344	無
0.330	有	1.366	無
0.336	有	1.838	無
0.338	有	1.982	無
		0.341	有
		0.349	有
		0.387	有

フンかごは沈殿池に2列に配置され、幅7cm、高さは満水面（水深10cm）より少し低い8cm、長さは全幅である。

フンかごは金網で作ったかごに割栗石を詰めたものであり、堆砂機能の向上をねらって設置される。模型実験では径8-10mmの碎石が用いられている。

模型実験における水理現象の理解を容易にするため、合理式を用い、おおよその流量と、それを発生させる雨量を相似律を用いて求め表3に示した。

表 3: 模型流量と原型流量, 雨量の関係

模型流量 [L/s]	原型流量 [m ³ /s]	雨量 [mm/hr]
0.5	0.9	12
1.0	1.8	24
1.5	2.7	36
2.0	3.6	48

集水面積 44.4ha, 流出係数 0.6 と仮定した場合

4 結果および考察

4.1 排水濃度

排水濃度は、排水口で 200mL 程度を目処に採取し、炉乾燥法で土量を求め、濁水重量で除して求めた。

各流量における排水濃度の推移は図 2 を示すとおりである。

排水濃度の推移には、条件の違いによる特徴的な差異が見られる。

「空」条件では、貯留現象で排水が全く生じない時間帯が存在する。排水濃度は開始時点から高く、短時間のうちに均衡状態に達する。

一方、清水で満たされた「満水」条件では、流入水の押し出し現象で初期排水は清水のみである。

しかし濁水の拡散現象により濃度は経時的に増加し、一定時間後は「空」条件同様、均衡状態に達する。

均衡状態における排出濃度は、図 2 から明らかなように流量に大きく影響され、流量が多いほど高い。

これは流量が多いほど沈砂池内での滞留時間が短く、また流れの乱れが強く、土粒子の沈降が進行しないためと考えられる。

なお、ここで均衡状態というのは、排水濃度が経時的にほぼ一定濃度で推移する状態をいい、沈砂池における浮遊土砂の沈降現象が定常に達した状態と考えられる。

均衡状態における排水濃度は「空」より「満水」条件の方が若干低い傾向が見られるが、長時間経過した後は、ほぼ同一濃度に達すると思われる。

図 2 に示される観測値は 3 個移動平均値を採用しているがバラツキが認められる。この原因として乾燥土量の秤量精度と沈砂池内における流況の影響が考えられる。

図 2: 排水濃度の推移

秤量に伴うバラツキは、排水濃度を求めるために採水した 170-200mL に含まれる土量が微量であるにも関わらず 0.01g 単位のはかりを使用したことが原因と思われる。

一方、流況の影響は、特に「満水」条件で大きい。

水通しを流下する流れの流心は容易に変動し、排水口に直行する場合は、高濃度が観測され、蛇行し、十分混濁していない貯留水を押し出す場合は、低濃度が観測される。

図 3 は「空」, 「満水」条件における均衡状態の排水濃度と流量の関係を示す。排水濃度は流量の影響を受け、流量の増加とともに高くなる傾向がある。

また両回帰曲線がほぼ重なることから、初期条件が均衡状態の排水濃度に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

図 3 を用いると、任意流量に対する堆砂機能の評価が可能となる。たとえば、「満水」条件において、流量が 0.5L/s の時、排水濃度は 250mg/L 程度となり、2.0L/s では約 500mg/L 程度となる。源水が 1,000mg/L であるから、堆砂機能はそれぞれ 75%, 50%程度であると評価できよう。

図 3: 任意流量と均衡状態における排水濃度

図 4 は「満水」条件の任意流量における総流入量 (L) と排水濃度の関係を示す。横軸は総流入量を沈砂池容量で除した倍数値で表してある。

たとえば、1.5 は沈砂池容量の 1.5 倍の流入量ということである。いずれの流量においても沈砂池容量の 1.5 倍程度の流入量で排水濃度はほぼ一定、すなわち均衡状態に達することがわかる。

図 4: 総流入量と均衡状態の排水濃度

図には示していないが「空」条件の場合は 1.2 倍程度の流入量で均衡状態が現れ、その濃度は「満水」

条件の値にほぼ等しい。

したがって沈砂池容量の 1.5 倍程度より大きい流入量においては、図 3 同様、この図からも排水濃度に及ぼす貯留水の影響は全く認められないことがわかる。

図 4 に示す流量と排水濃度の関係から、流量の減少および流入濁水濃度の低下に伴う排水濃度の低下は容易に予想される。

沈砂池の 1.5 倍に満たない流入量を生じさせる降雨の多くが小流量で、かつ低流入濁水濃度であることを考慮すれば、排水濃度は貯留水の希釈で著しく低下するものと思われる。したがって「満水」条件における初期排水（「空」条件で均衡状態に達するまでの時間）は比較的低濃度と考えられる。沈砂池への貯水の判断は、この初期排水濃度を如何に評価するかに関わってくると思われる。

例えば、評価基準を沖縄県赤土等流出防止条例の排出濃度 (200mg/L) にとれば、多くの降雨の場合、貯水は可能と思われる。

4.2 流亡土量

流亡土量は排水濃度に流量を乗じて求める。図 5 に「空」条件の流亡土量の累積値を、図 6 に「満水」条件における累積値を示す。「空」条件における流亡土量は、排水開始直後に濃度が均衡状態に達するため、直線的な増加傾向を示し、その増加割合は流量が多いほど大きい。

一方、「満水」条件の累積流亡土量は、初期の段階では指数関数的に増加するが、排水濃度が均衡状

態に達した後は、直線的な増加に転じる。流亡土量は流量及び流入量の増加に伴って増大する。

図 7 は流量がほぼ等しい場合の「空」及び「満水」条件における累積流亡土量を比較したものである。「空」条件では、一定時間の貯留現象が存在するため、流亡土量は常に少ない。

したがって海域への土砂流出負荷量の削減を目的とする場合は、沈砂池の初期条件は「空」が有利であるといえる。

流亡土量が流量によって大きく影響されることは

図 7: 初期条件が流亡土量に及ぼす影響

図 5, 6 で述べたとおりである。しかしこれらの図では各流量における実験継続時間が異なるため、流亡土量の単純比較はできない。そこで沈砂池容量の 1.5 倍及び 2.0 倍の流入量における各流量の累積流亡土量を求め比較を試みた。

図 8 は沈砂池容量の 1.5 倍の流入量における累積流亡土量を示し、図 9 は 2.0 倍の結果である。

図 5: 「空」条件における流亡土量の推移

図 8: 沈砂池の 1.5 倍の流入量における流亡土量

図 6: 「満水」条件における流亡土量の推移

図 9: 沈砂池の 2 倍の流入量における流亡土量

両図において累積流亡土量は「空」条件が「満水」条件より少ない。

また両回帰曲線は流入量(L)が大きいほど接近し、初期条件の影響は流入量の増大で小さくなる傾向がみられる。これは大きな降雨では初期条件の影響が小さくなることを意味する。

当然のことながら流入量 1.0 倍以下の降雨では、「空」条件は排水がないから 100%の堆砂機能を発揮する。

以上の結果より、貯留水は流亡土量の若干の増加をもたらすことが明らかになった。

5 フトンかごの影響

ここでフトンかごを設置し、その影響をみてる。

フトンかごは堆砂機能の向上をねらって沈砂池を横断して潜りの状態で設置される。沈砂池の流れの乱れはフトンかごに詰めた栗石の間隙を通過するため、ある程度整流化される。しかし流量の増大とともに、フトンかごを越流する流れが卓越し、整流効果は小さくなると考えられる。

図 10 は、図 3 で示した流量と排水濃度の関係に、フトンかごを設置した場合の結果を付加したものである。

図中で●印は「満水」、▲印は「空」条件にフトンかごを設置した場合の結果である。図から明らかなように、「空」条件の排水濃度はフトンかごの有無に関わらずほぼ同一であり、「満水」条件ではむしろ高くなっている。資料数が少なく即断はできないがフトンかご設置による堆砂機能の向上は確認できないように思われる。これは濁水中の土砂粒径が 74 ミクロン以下の微細粒子であることも影響して

図 10: フトンかごが均衡排水濃度に及ぼす影響

いると考えられる。しかしこの結果は、従来のフトンかごの設置意義を否定するものであり、今後、沈砂池の形状やフトンかごの設置場所などを考慮しつつ、さらなる調査が必要と思われる。

6 まとめ

沈砂池において利水を可能にするためには貯留水が堆砂機能を損なわないことが前提となる。したがって本研究では貯留水の影響を模型沈砂池を用い、初期条件を「空」、「満水」に設定して排水濃度、流亡土量を比較して明らかにした。

得られた結果を要約すれば次のとおりである

- 1) 「空」と「満水」条件における排水濃度の推移は大きく異なる。「満水」条件では貯留水の希釈効果が経時的に弱くなるため緩やかに増加するが「空」条件では、貯留現象で一定時間排水はないものの排水開始と同時に一気に高濃度に達する。
- 2) 排水濃度は、いずれの条件でも任意時間後にはほぼ一定値、すなわち均衡状態に達し、それらの値はほぼ等しい。したがって大雨条件では貯留水が排水濃度に及ぼす影響は小さいと考えられる。
- 3) 排水濃度が均衡状態に達するまでの総流入量は「満水」条件で沈砂池容量のほぼ 1.5 倍程度、「空」条件では 1.2 倍程度である。
- 4) 累積流亡土量は「空」条件では直線的な増加傾向を示し、「満水」条件では初期は緩い指数関数的増加、均衡状態以降は直線的な増加傾向を示す。同一流入量における流亡土量の総量は「空」条件が「満水」条件より若干少ない。
- 5) フトンかごが沈砂池の堆砂機能に及ぼす効果は、いずれの条件においても確認できない。

7 おわりに

沈砂池の貯留水は初期の排水濃度及び流亡土量の増加をもたらすが、それらは沈砂池が満水に要する時間内に発生した量に限られる。その後続く排水濃度を考慮すれば、初期の排水濃度はそれほど問題にはならないと考える。

しかし貯留の可能性の判断は、下流の水域環境の保全とかんがえ効果から総合的に判断されるべきと思われる。

引用文献

- [1] 永井莊七郎(1982): 水理学, コロナ社, pp468-475.
- [2] 土木学会水理委員会水理公式集改訂委員会(1990): 水理公式集, 土木学会, p.76.

〔この論文に対する公開の質疑または討議は2002年6月30日まで受け付けます。〕