

天然凝集材による貯水池の濁水長期化対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般研究費）

研究期間：平 19～平 21

担当チーム：水工研究グループ（河川・ダム水理）

研究担当者：箱石憲昭、海野仁

【要旨】

大規模な洪水の流入や循環期の攪乱により、ダム貯水池全体が懸濁化した場合の濁水対策として、凝集材による処理が挙げられる。しかしながら、通常の凝集材では処理後の泥土処理の問題が大きいことから、凝集後の貯水池還元が可能な凝集材の開発が求められている。本研究では、天然凝集材アロフェンを取り上げ、凝集材を用いた濁水処理の適切な手法と現地への適用について検討した。

検討には、貯水池の底泥を材料とした模擬濁水あるいは貯水池から採水した濁水を用いた。濁水処理の方法については、ピーカー実験ならびに沈降筒実験を行って検討した。ピーカー実験の結果、凝集材を濁水と混合後に超音波分散処理を行い、さらに、急速攪拌することにより、濁質を効果的に凝集できることが判明した。また、沈降筒を用いた実験の結果、濁水およびアロフェン投入量の条件が同一であれば、超音波分散時間の長いケースの方がより高い凝集効果が得られることが判明した。以上の結果をもとに、濁水処理の貯水池への適用について検討した結果、貯水池内の当面処理を必要とする範囲を分画フェンスで仕切り、適量のアロフェンを投入して、超音波分散・攪拌処理の及ぶ範囲を凝集処理する方法が適切と考えた。

今後は、天然凝集材による貯水池濁水対策の実現に向け、現地実験を行い、効果を検証することが望まれる。

キーワード：濁水長期化、アロフェン、凝集実験、沈降筒、超音波分散

1. はじめに

我が国では環境影響評価法が制定・施行され、大規模な新設ダムでは事業が環境に及ぼす影響を予測・評価し、必要に応じ保全措置を講じる仕組みが確立された。しかしながら、既設ダムの中には、大規模出水後の貯水池の懸濁化により、下流河川に濁水を長期間放流する事例も見られる。

貯水池全体が懸濁化した場合の対応として、凝集材を用いて土粒子を強制的に沈降させることが考えられるが、一般に用いられる人工の合成材料では、貯水池底泥として長期滞留後の性質が不明であり、沈降した底泥を別途処理する必要が生じる。底泥処理のための費用はかなり大きなものとなることが予想されるため、運用実績はほとんどない。

本報告は、凝集材料として、天然の土コロイドを用いる方法を対象とし、その凝集特性を明らかにするとともに、具体的利用方法を提案することを目的とする。天然の土コロイドを凝集材とすることで、貯水池内の堆砂の一部として沈降濁質を取り扱うことが可能となる。

天然の土コロイドのうち、カオリン、アロフェン、

イモゴライトは比表面積が大きく凝集材としての活用が考えられるが、ここでは調達容易さ、凝集性能の高さからアロフェンを取り上げ、貯水池濁質の凝集について検討を進めた。検討内容は、①模擬濁水を対象とした凝集特性、②貯水池から採取した濁水を対象とした凝集特性、③効果的な凝集・沈殿域、④台船方式による凝集処理の4項目とし、以下、3カ年にわたって得られた知見について報告する。

2. 模擬濁水を用いた凝集特性実験¹⁾

2. 1 実験概要

土砂による貯水池の濁りについては、貯水池から採取した底泥を用いた先行研究により、その凝集特性が報告されている²⁾。この報告には、8ダム1遊水地の底泥を試料とした模擬濁水を用いた凝集実験が記述されている。実験の結果、凝集材を添加しなくても、濁水の水素イオン濃度（pH）を調整することにより、凝集効果が得られること、また、天然凝集材を使用した実験では、濁水の種類に応じて最適な凝集材添加量が存在すること、事前に凝集材を超音波分散機により分散の上、濁水に混合した後に攪拌することにより、

効果的な凝集効果が得られることが示されている。

今回は先行研究を発展させ、中性状態にある模擬濁水を効率的に凝集させる分散方法・攪拌方法を見出すことを目的に、実験を行った。実験には、ジャーテスター（試水凝集反応装置）を用いた。凝集の目安として、模擬濁水の初期濁度 50NTU を凝集後 5NTU 程度とする目標を設定した。

2. 2 模擬濁水の製造

実験には、十分な量の濁水を確保する都合上、模擬濁水を製造して用いた。模擬濁水の材料は、関東地方にある渡良瀬遊水地と川治ダム貯水池から採取した底泥を用いた。模擬濁水の製造は、濁りの長期化した貯水池の濁水を想定し、細粒分を多く含むよう行った。手順は先ず、 7μ の網目を透過した底泥粒子を蒸留水と混合し、超音波分散機で分散のうえ、24 時間静置後、水面から 17cm 以内の範囲内で上澄み液を採取した。ストークス式により算定される沈降速度からは、24 時間の静置により水面から 17cm 以内の範囲に残存する濁質の粒径は、 $1.5\mu\text{m}$ 以下となる。次に、この上澄み液を蒸留水で希釈し、また、pH調整剤を添加し、濁度 50NTU、pH7.0 になるよう調整した。作業は室温 20°C に設定した恒温室で行った。

2. 3 使用した凝集剤

実験には凝集材としてアロフェンを使用した（写真-2.1）。アロフェンは風化火山灰・火山灰質土壤に多く含まれる天然の土コロイドで、吸湿性・凝集性に優れる。我が国では、北海道・東北・九州地方などに多く分布し、調達が容易である。水に溶かしたアロフェンは、周辺の pH 環境により帯電し、凝集や分散現象を生じることが知られ、また、水との親和性や吸着能力に優れることから、乾燥剤や吸着剤として利用されている。アロフェンは、元来土壤中に含まれる物質であり、凝集材として貯水池に投入しても、水利用に及ぼす影響、生物生息環境に及ぼす影響は少ないと考えられる。また、添加したアロフェンによる堆砂の増加量は微量であり、貯水池の濁水対策としての利用が期待されている。



写真-2.1 実験に使用したアロフェン

2. 4 凝集実験の手順

1 回の実験には、1 リットルの濁水と湿潤重量 450mg (=乾燥重量 180mg) のアロフェンを用いた。実験手順は、以下のとおり。

1) 投入前分散：

450mg のアロフェンを 50 ミリリットルの濁水に溶き、超音波分散機で分散。分散は周波数 2.8kHz、出力 60w の装置を使用（写真-2.2）。

2) 投入後分散：

50 ミリリットルのアロフェン・濁水混合液を、950 ミリリットルの濁水とビーカー内で混合し、超音波分散機で分散。

3) 急速攪拌：

アロフェン・濁水混合液をジャーテスターにかけ、150rpm で攪拌（写真-2.3）。

4) 緩速攪拌：

さらに、40rpm で攪拌。

以上の手順の全部または一部を経た後、ビーカーを静置の上、水面下 4cm の濁度の経時変化を測定した。濁度の測定には、ホルマジン溶液により同定した濁度計を使用した。実験ケースを、表-2.1 に示す。

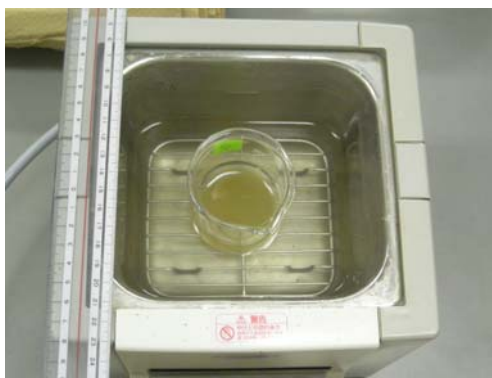


写真-2.2 投入前分散



写真-2.3 ジャーテスターによる攪拌

表-2.1 ビーカー実験ケース

ケース No.	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4
底泥採取地点	渡良瀬	川治	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬
投入前分散 [分]	0	0	0	1	5	15
投入後分散 [分]	3	3	0~15	0~15	0~15	0~15
急速攪拌 [分]	3	3	0	0	0	0
緩速攪拌 [分]	0	0	0	0	0	0

ケース No.	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4
底泥採取地点	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬	渡良瀬
投入前分散 [分]	0	0	0	1	5	15
投入後分散 [分]	3	5	3	3	3	3
急速攪拌 [分]	0~9	0~9	0	0	3	3
緩速攪拌 [分]	0	0	0	3	0	3

2. 5 実験結果

(1) 濁度の経時変化

実験全体を通じて十分な凝集効果の得られた2ケース(ケース1.1~1.2)について、濁度の経時変化について考察する(図-2.1)。これらのケースは、アロフェン投入後に3分の超音波分散を行い、さらに3分の急速攪拌を施したものである。ビーカー静置後の濁度の経時変化は、1分、5分、15分、30分、60分、360分、1,440分の7回にわたって測定した。

濁質とアロフェンによるフロックの形成は急速攪拌開始直後から始まり、攪拌中にもフロックの数が増え、濁水の濁りが徐々に低減する様子が肉眼でも確認された。ビーカー静置後の濁度は、静置後5~15分までに急速に低減し、その後は緩やかな変化となった。15分経過後には、渡良瀬遊水地・川治ダムともに3NTU前後にまで低減し、ビーカー内での凝集効果を確認した。

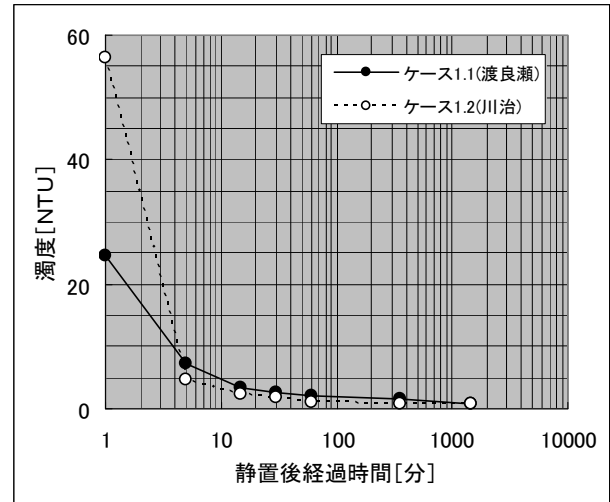


図-2.1 濁度の経時変化
(投入後分散3分+急速攪拌3分)

(2) 超音波分散処理の効果

超音波分散処理の効果を検討することを目的に、渡良瀬遊水池の模擬濁水を試料に、急速攪拌・緩速攪拌を省略して超音波分散処理のみをおこない、濁度の変化を測定した。ここで、投入前分散は、0分~15分の4段階に、また、投入後分散は、0分~15分の5段階に設定した(ケース2.1~2.4)。

処理後15分静置後の濁度(以下、「15分濁度」と記述)を、図-2.2に示す。急速攪拌・緩速攪拌を省略して3分~5分の投入後分散を行ったケースでは、15分濁度で20NTU以下程度の凝集効果が得られる結果となったものの、5NTU程度にまで低減する目標は達成されない結果となった。目標を達成するには、攪拌が必要であると考えられた。

一方、測定した15分濁度は、投入前分散時間にはあまり依存せず、投入後分散時間に大きく依存する結果となった。これは、投入前分散に比べ、投入後分散の効果が大きいことを示唆している。凝集材を濁水に投入後に分散をさせることで、凝集材が濁水中に満遍なく分散し、凝集材と濁質粒子とが結合する機会が増え、凝集が促進するためと推察される。

投入後分散時間については、0分から5分に増大させるに従い、一部ケースを除き15分濁度は低減する傾向が見られたが、投入後分散時間5分と15分の比較では、低減効果の差異はほとんど見られなかった。これは、投入後3~5分の分散で凝集材が十分に分散され、分散時間をこれ以上延長しても分散が促進しないことを示している。

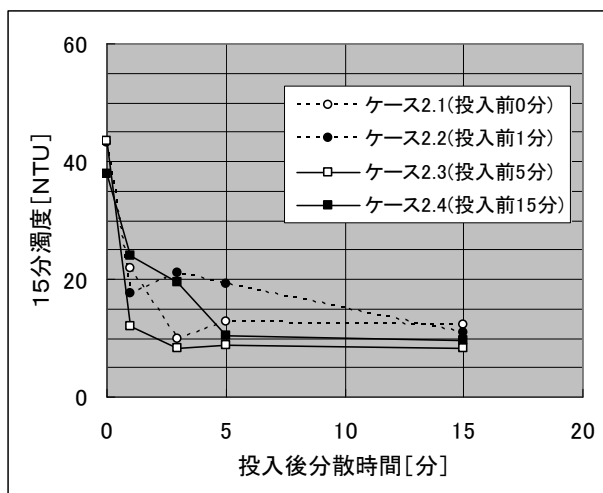


図-2.2 投入後分散時間と凝集効果
(急速攪拌・緩速攪拌なし)

(3) 急速攪拌・緩速攪拌の効果

ここでは、効果的な攪拌方法について検討する。前項で、一定の凝集効果の得られた投入後分散3分、5分のケースについて、緩速攪拌は行わず、急速攪拌を0分～9分に4段階に設定し(ケース3.1～3.2)、急速攪拌の効果を比較した(図-2.3)。

急速攪拌時間を0分から1分、3分と増大させるに従い、15分濁度は低減する傾向が見られたが、急速攪拌6分と9分の比較では、低減効果の差異はほとんど見られなかった。急速攪拌3分～5分のケースで15分濁度がほぼ5NTU以下となり、急速攪拌のみで目標とする凝集効果が得られる結果となった。

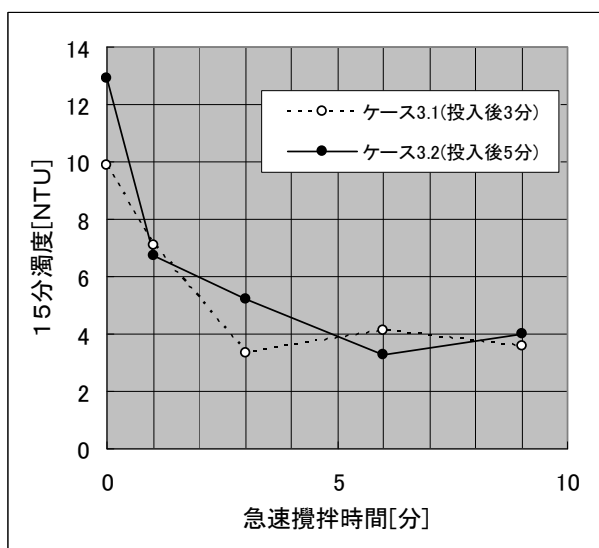


図-2.3 急速攪拌時間と凝集効果(緩速攪拌なし)

次に、緩速攪拌の効果を検討するため、3分の急速攪拌をしたケースと3分の急速攪拌に加え3分の緩速攪拌をしたケース、3分の緩速攪拌のみを行ったケースについて、15分濁度を比較した(ケース4.1～4.4)。3分の緩速攪拌の追加により、15分濁度は3.3NTUから2.8NTUに低減し、より高い凝集効果を得る結果となった(表-2.2)。一方、急速攪拌を省略し緩速攪拌のみを行ったケースでは、15分濁度は6.8NTUにとどまり、緩速攪拌のみでは目標とする凝集効果は得られない結果となった。

表-2.2 攪拌時間と凝集効果(投入後分散3分)

	急速0分	急速3分
緩速0分	9.9	3.3
緩速3分	6.8	2.8

単位: NTU

3. 貯水池内の濁水を用いた凝集特性実験^{3) 4) 5) 6)}

濁水の長期化した貯水池から試料を採取し、沈降筒実験を行って凝集特性を検討した。沈降筒実験はジャーテスターによる実験に比べ規模が大きく鉛直方向の濁度分布も測定できることから、貯水池における条件とある程度類似した条件のもとで、凝集現象を観察できると考えた。

3.1 濁水の採水

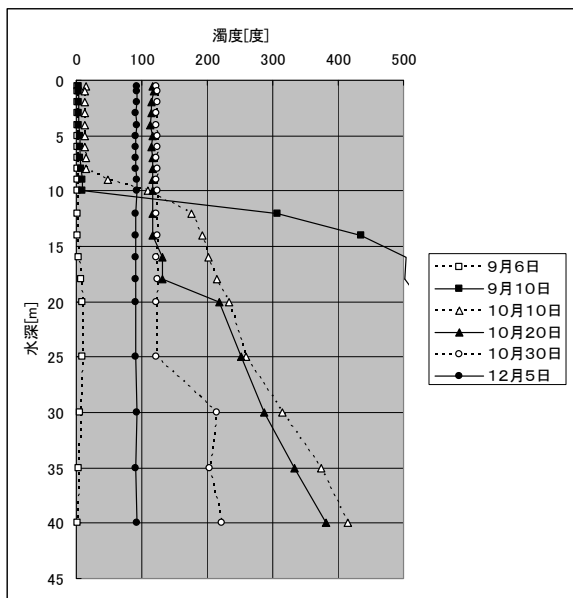
平成19年9月、関東地方では大きな出水を記録し、その後、いくつかのダムで濁水の長期化が見られた。そこで、実験に必要な濁水を確保することを目的に、川治ダムおよび下久保ダムから試料を採水した(表-3.1)。ここで、川治ダム貯水池の濁度変化についてまとめる(図-3.1)。

出水前の9月6日は、水面から水深40mの範囲で、濁度10以下の値を示し、貯水池はほぼ清澄な状況にあった。9月7日には洪水が流入したものの、貯水池には濁水の流動防止フェンスが2条設置されていたこと、また、貯水池に水温躍層が形成されていたことから、洪水直後の9月10日時点では、表層部で濁度10以下の清澄な状態が維持されていた。10月に入ると、貯水池表層が徐々に冷却され、貯水池の温度躍層が崩れ始めた。表層の濁度も上昇し、10月20日には全層で濁度100以上を記録し、貯水池のいずれの水深においても濁水化した。洪水発生からほぼ3か月経過した12月5日においても全層で濁度90程度を記録し、出水後の貯水池濁水現象が長期化する結果となった。12月6日に採水した際も、

貯水池は全面的に濁った状況を呈していた（写真－3.1）。

表－3.1 試料採取日における現地測定濁度

No.	採水日	採水地点	現地測定濁度 [度]
1	19年 9月 8日	川治ダム	200以上
2	19年12月 6日	川治ダム	110
3	20年 1月23日	川治ダム	90
4	19年12月10日	下久保ダム	57



図－3.1 貯水池における濁度の鉛直分布（川治ダム）

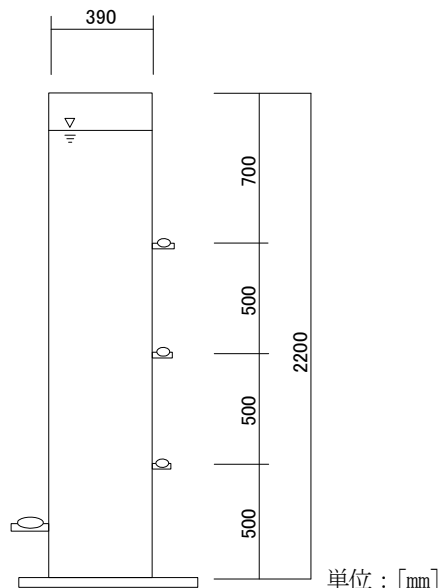


写真－3.1 採水日の川治ダム（平成19年12月6日）

3. 2 実験方法

実験には、直径0.39m、深さ2.2mの亚克力製沈降筒を使用した。（図－3.2）。沈降筒の上部には、アロフェンを分散させるための超音波分散機を（写真－3.2）、また、沈降筒の内部には、濁水を攪拌してフロックの形成を促すための水中ポンプを設置した。

本実験に先立ち、凝集材の分散方法、凝集材・濁水混合水の攪拌方法については、沈降筒を用いた予備実験を、また、アロフェンの投入量の設定については、ジャーテスターを用いた予備実験を実施した。これらの結果をもとに、分散方法については、出力600kwの超音波分散機を用いて6分ないし12分の分散、攪拌方法については揚水量13リットル/分の家庭用水中ポンプを用いて、超音波分散中ならびに分散終了後3分間の運転とした。アロフェン投入量については、川治ダム200NTU程度の濁水に対して360mg/L、下久保ダム50NTU程度の濁水に対して32mg/Lを目安として設定した。



図－3.2 φ390 沈降筒



写真－3.2 超音波分散機

凝集効果の把握は、凝集材投入後の濁度の経時変化を観察する方法とし、濁度は沈降筒に充填した濁水の水面から下方4cmの位置の他、沈降筒側面に50cm間隔で3か所設置した取水コックの位置で測定した。

実験ケースを、表－3.2 に示す。川治ダムについては、採水日の異なる3試料について、下久保ダムにつ

いては、1 試料について実験を行った。各試料について、分散時間時間の異なる 2 ケースならびに凝集処理を実施しないケースの合計 3 ケースを設定した。実験の目標として、凝集処理から 24 時間経過後に濁度が 5NTU 程度にまで低減することを旨し、アロフェン投入量を、川治ダムで 360mg/L~90mg/L、下久保ダムで 32mg/L に設定した。

表-3.2 沈降筒実験ケース

ケース No.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
採水地点	川治	川治	川治	川治	川治	川治
初期濁度 [NTU]	240	240	240	85.5	85.5	85.5
凝集材投入量 [mg/l]	360	360	0	180	180	0
超音波分散時間 [分]	6	12	—	6	12	—
攪拌時間 [分]	9	15	—	9	15	—

ケース No.	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3
採水地点	川治	川治	川治	下久保	下久保	下久保
初期濁度 [NTU]	55.0	55.0	55.0	37.0	37.0	37.0
凝集材投入量 [mg/l]	90	90	0	32	32	0
超音波分散時間 [分]	6	12	—	6	12	—
攪拌時間 [分]	9	15	—	9	15	—

3. 3 実験結果

(1) 濁度の経時変化

実験結果の一例として、ケース 2.2 における濁度の経時変化を図-3.3、写真-3.3 に示す。濁度の測定は、凝集処理後 1 分、5 分、15 分、30 分、60 分、180 分、360 分、720 分、1,440 分の 9 回にわたって実施した。

濁度の経時変化を概観する。濁度測定は前述のとおり、沈降筒の深さ方向に 4 点測定した。図-3.3 より、凝集処理後の濁度は、時間の経過に伴い徐々に低減する状況が把握される。水面から 4 cm における濁度は他の測定点に比べ、凝集処理直後から低い値を示すが、時間の経過に伴い、他の測定点も追従して濁度が低下する傾向が見られた。処理後 12 時間経過した段階では各測定点とも 6~8NTU の範囲に、また、24 時間経過後には 3~6NTU の範囲に分布し、沈降筒全体で凝集・沈殿の効果が確認された。

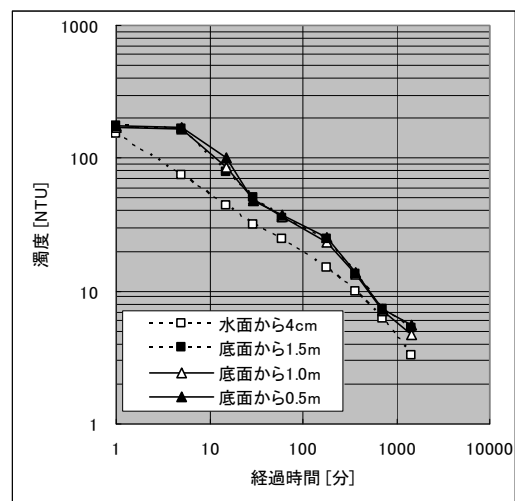


図-3.3 濁度の経時変化 (ケース 2.2)



投入直後 6 時間後 24 時間後

写真-3.3 沈降筒実験における濁度の経時変化 (ケース 2.2 ; 川治ダム)

(2) 凝集処理における超音波分散の効果

実験を行った全ケースについて、濁度の経時変化を図-3.4~3.7 に示す。図示した濁度は、4 測点の平均値である。実験を行った 12 ケースのうち、4 ケースについては凝集材投入後 24 時間で濁度が 5NTU 程度にまで低減し、目標をほぼ達成する凝集効果が確認された。また、試料・アロフェン投入量の条件が同一であれば、超音波分散時間の長いケースの方がより高い凝集効果が得られる結果となった。一方、アロフェンを投入せずに濁水を静置したケース (ケース 1.3、ケース 2.3、ケース 3.3、ケース 4.3) では、濁度の低減はごくわずかで、貯水池の濁水長期化を裏付ける結果となった。

目標とする凝集効果を得るためのアロフェン投入量・超音波分散時間・静置時間の組み合わせは、複数存在する。実際に現地に適用する場合は、必要とされる濁水処理能力に応じて、凝集材の購入費用、超音波

分散・攪拌に必要な設備の費用、処理に係わる人件費などを総合的に判断し、最適な投入量と分散時間・攪拌時間を決定する必要があると考える。

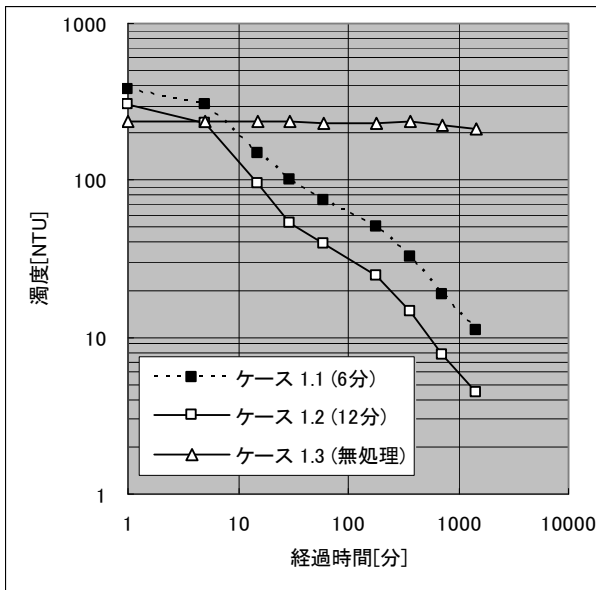


図-3.4 濁度の経時変化（川治ダム）（1／3）

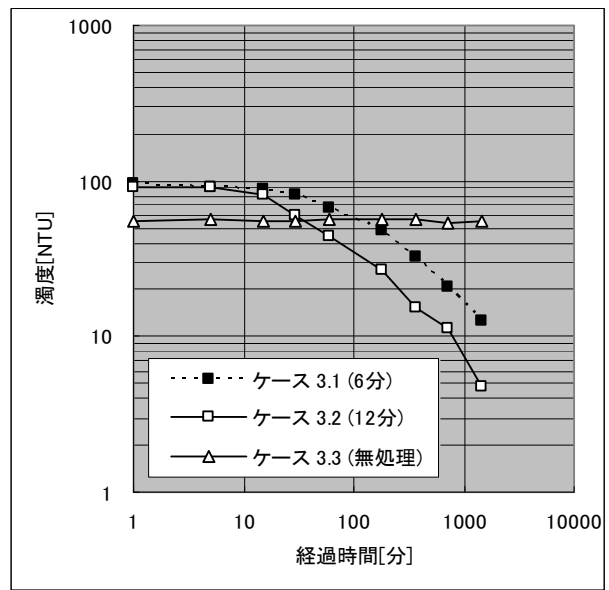


図-3.6 濁度の経時変化（川治ダム）（3／3）

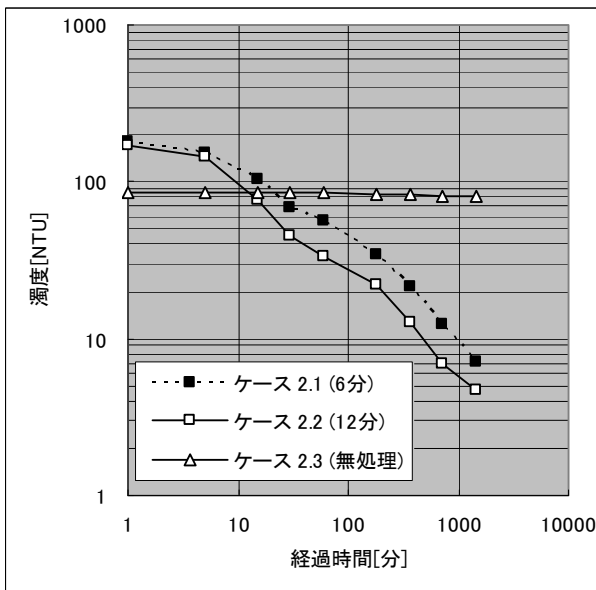


図-3.5 濁度の経時変化（川治ダム）（2／3）

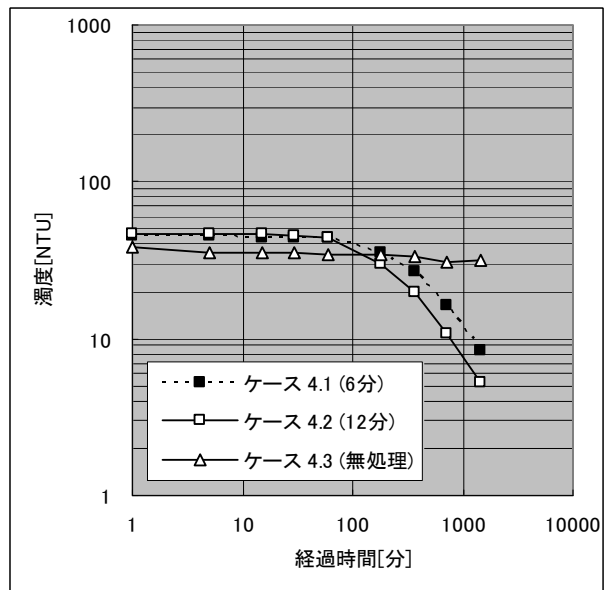


図-3.7 濁度の経時変化（下久保ダム）

4. 効果的な凝集・沈殿域⁷⁾

前章までの検討で、天然凝集材アロフェンを用いた貯水池濁水凝集処理における分散方法、攪拌方法が見出され、凝集特性についてもかなりの程度明らかとなった。しかしながら、実際に濁水処理を現地に適用する際には、凝集効果の及ぶ範囲を適切に評価の上、凝集処理施設の諸元を検討する必要がある。ここでは、効果的な凝集・沈殿域を把握することを目的に、凝集効果の下方への伝播について検討した結果を報告する。

4. 1 凝集効果の下方伝播実験

(1) 実験方法

沈降筒を用いた凝集実験をおこない、凝集効果の下方伝播について検討した。凝集の目安として、濁水の初期濁度 50 NTU を凝集後 5 NTU 程度に低減させる目標を設定した。

実験には、十分な量の濁水を確保する都合上、模擬濁水を製造して用いた。模擬濁水の材料は、川治ダム貯水池から採取した底泥を用いた。製造手順は、

「2. 2 模擬濁水の製造」と同様とした。実験には凝集材としてアロフェンを使用した。

実験には、「3. 2 実験方法」と同様に、直径0.39m、深さ2.2mのアクリル製沈降筒を用いた（前出「図-3.2」）。沈降筒の上部には超音波分散機を、また、沈降筒の内部には、水中ポンプを設置した。

分散方法については、出力600kwの超音波分散機を用いて12分間の処理、攪拌方法については揚水量13リットル/分の水中ポンプを用いて、超音波分散と同時に12分間の運転とした。アロフェン投入量については、濁度50 NTUの模擬濁水に対して90mg/Lと設定した。

凝集効果の把握は、凝集材投入後の濁度の経時変化を観察する方法とした。実験ケースは、凝集効果の下方伝播を確認することを目的に逐次設定した結果、表-4.1に示す4ケースとなった。

(2) 実験結果

濁度の測定は、凝集処理後1分、5分、15分、30分、1時間、3時間、6時間、12時間、24時間の9回実施した。各ケースの経時変化を図-4.2に示す。

Case 1 を例に、濁度の経時変化を概観する。凝集処理後の濁度は、時間の経過に伴い徐々に低減する状況が把握される。処理後 12 時間経過した段階では 6.5 NTU、24 時間経過後には 4.0 NTU となり、「5 NTU 以下」という目標を達成した。

Case 2-1 は、Case 1 の沈殿物の凝集余力を把握するため、採取した沈殿物を別の沈降筒内の濁水に投入したものである。沈殿物を濁水中に均一に分布させることを考え、攪拌処理をおこなった。凝集対象の濁水の濁度 50 NTU に対し、24 時間経過後 35.8 NTU となり、凝集効果は限定的となった。そこで、凝集余力を最大限引き出す状況を想定し、分散処理・攪拌処理をおこなった結果、24 時間経過後の濁度は 4.7 NTU にまで低減した (Case 2-2)。

Case 3 は、Case 2-2 の沈殿物の凝集余力を検討したものである。本ケースの24時間経過後の濁度は40.8 NTU となり、凝集効果はほとんど見られない結果となった。

表-4.1 実験ケース

実験ケース	試料	分散処理	攪拌処理	静置時間
Case 1	初期状態 (50NTU) の濁水に 90mg/L の濃度でアロフェンを添加。	12分	12分	24時間
Case 2-1	Case 1 の沈殿物 (底面より 20cm の範囲) を採取。沈殿物と濁水 (50NTU) を、容積比 1 : 9 の割合で混合。	---	12分	24時間
Case 2-2	Case 2-1 の実験終了後の試料を再使用。	12分	12分	24時間
Case 3	Case 2-2 の沈殿物 (底面より 20cm の範囲) を採取。沈殿物と濁水 (50NTU) を、容積比 1 : 9 の割合で混合。	12分	12分	24時間

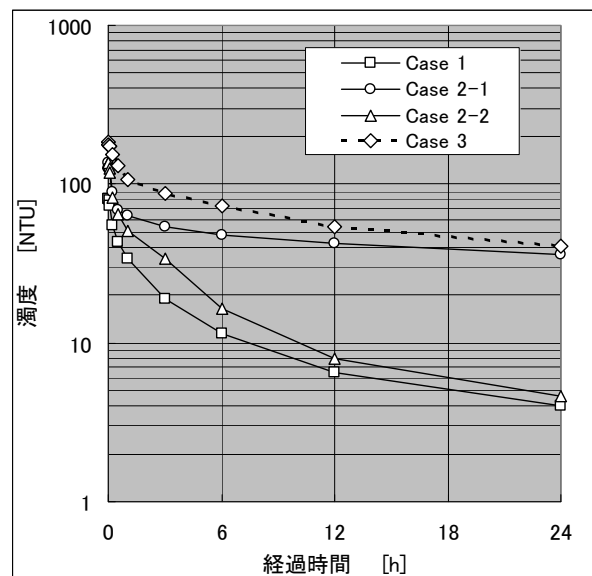


図-4.2 濁度の経時変化

4. 2 効果的な凝集・沈殿域

効果的な凝集・沈殿域を検討するにあたり、凝集効果の下方伝播について考察する。下方伝播については、今までに2種類のシナリオを想定していた。一方のシナリオは、貯水池の表層部を対象に凝集処理をすれば、アロフェンが土粒子を吸着しながら沈降する過程で深層部にまで凝集効果が及ぶというシナリオ、他方のシナリオは、凝集効果の及ぶ範囲は表層部だけで、凝集効果は深層部まで及ばないというシナリオである。今回の沈降筒を用いた凝集実験の結果を考察すると、Case 1の沈殿物を再利用したCase 2-2は十分な凝集効果が得られる一方、沈殿物の再々利用にあたるCase 3では凝集効果がほとんど見られない結果となった。実験結果を貯水池に置き換えると、仮に、貯水池の水面から水深2mの範囲を対象に凝集処理をした場合、2m沈降後のアロフェンの吸着余力は最大でも投入直後の半分程度であり、表層部より2m以深における凝集効果は限定的なものに留まるものと考えられる

凝集処理のサイトとしては貯水池内と放流先河川とが考えられるが、ここでは、貯水池内の凝集処理を想定し、効果的な凝集・沈殿域について検討する。検討にあたっては、凝集・沈殿域を「水深方向」と「平面的広がり」に分け、まず、「水深方向」について議論する。

前述の実験において、Case 2-1とCase 2-2は、共にアロフェンに凝集余力があるにもかかわらず、Case 2-1はアロフェンの分散効果が及ばなかったことから、凝集効果は限定的となった。凝集・沈殿域の水深方向の設定にあたっては、当該範囲内でアロフェンの凝集効果が最大限出現するよう、区域を設定する必要がある。具体的には、攪拌処理を併用することにより超音波分散が及ぶ範囲を「凝集・沈殿域」とする方法である。沈降筒を用いた実験の結果、「表層部から水深2mまで」が凝集・沈殿域の一つの設定例となり得る。

一方、「平面的広がり」については、貯水池のうち、取水放流設備の近傍を分画フェンスで仕切り、凝集・沈殿域として設定する方法が考えられる。貯水池全面で凝集処理を展開するには多くの費用を要することから、当面、処理を必要とする範囲を凝集・沈殿域として分画フェンスで仕切った上、濁度に応じた適量のアロフェンを投入し、超音波分散・攪拌を併用して凝集処理をおこなうことが効果的と考える。

5. 濁質凝集処理プラントの概略検討

5. 1 濁質凝集処理プラントの方式

以上の検討を踏まえ、濁水の長期化した貯水池における濁質凝集処理プラントについて、3形態提案する。

(1) 湖岸プラント方式

湖岸プラント方式は、貯水池から濁水を汲み上げ、湖岸のプラントで凝集処理の上、貯水池または下流河川に放流する方式である。濁水を貯水池から汲み上げるポンプ、濁水と凝集材を混合するタンク、凝集材を分散処理する超音波分散機、濁水と凝集材の混合液を攪拌する回転翼または水中ポンプ、これらの装置の動力となる発電機等から構成される。プラント内で濁水を処理することから安定的に処理が可能である反面、設備が大規模となる。

(2) 下流河岸プラント方式

湖岸プラント方式と同様の装置を放流先河川の河岸に設置したもの。放流水に的を絞って凝集することから効率的な凝集が期待できる反面、貯水池内の濁度低減には寄与しないという弱点がある。

(3) 台船プラント方式

凝集処理装置一式を台船上に載せ、貯水池内で凝集処理する方式。装置の組み立て、解体が容易なことから可搬性を有する反面、十分な凝集効果が得られるか、現地で検証する必要がある。

以下、台船プラント方式を取り上げ、機器構成、諸元について概略検討する。

5. 2 台船プラントの概略検討

1日あたり100m³程度の処理能力を有する台船プラントについて、概略検討する。最も簡便な機器構成としては、凝集材の投入装置、投入した凝集材を分散させる超音波分散機、分散効果を行き直らせるための攪拌装置、動力を供給する発電機等から構成される(図-5.1)。施設はユニフロート台船上に設置し、2艘の曳舟を同時に運転し、貯水池内に静置させる(図-5.2)。台船プラントの機器構成・諸元を、以下に示す。

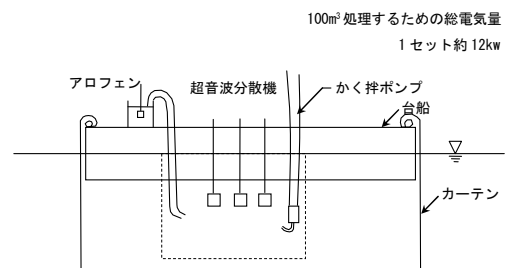


図-5.1 台船プラントの機器構成

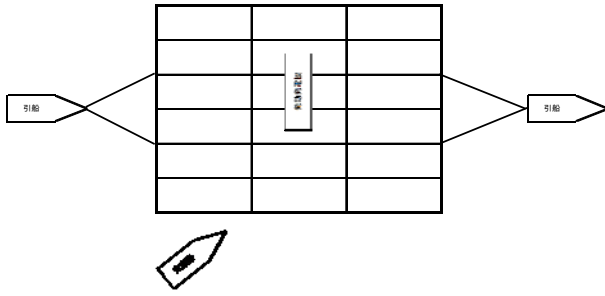


図-5.2 ユニフロート台船の静置

(1) 台船上の機材

分散機 (0.6kW) 処理能力=1.25[m³/(h・台)]

分散機運転時間=8[h/day]

1日あたり処理能力=1.25×8
=10[m³/(day・台)]

分散機台数=100[m³/day]÷10[m³/(day・台)]
=10[台]

かく拌ポンプ (1.5kW) =4[基]

発電機 (15kw 以上) =1[台]

(2) 台船上の材料

アロフェン投入量=90[g/m³]

必要量=0.090[kg/m³]×100[m³]=9[kg]

湿潤アロフェンの重量に換算すると、22.5[kg]

(3) ユニフロート台船

1) ユニフロート=6台 (82m²)

2) 引船=2隻

3) 交通船=1隻

(4) 濁水処理作業員=3名 (普通船員)

以上は、「表-3.2 沈降筒実験ケース」中の「ケース 3.2」を参考に検討した台船プラントの概略諸元である。1日あたり 100m³ の処理量は、ダムからの放流量に比べて少量であるものの、その処理には比較的大規模な設備を要する結果となった。台船プラントを実用化するには、処理施設の性能向上が不可欠と考える。

6. まとめ

本研究では、天然凝集材による濁水の処理方法と現地への適用方法について検討した。このうち、模擬濁水を用いたビーカーレベルの実験により、以下の結論を得た。

- ・凝集材を濁水と混合後に超音波分散処理を行い、さらに、急速攪拌することにより、濁水を効果的に凝集できることが判明した。
- ・超音波分散・急速攪拌については、ある一定の時

間を超えた処理をしても、凝集効果は増大しないことがわかった。

また、沈降筒実験においては、以下の結論を得た。

- ・濁水の長期化した貯水池から採取した試料を用いた実験においても、凝集材による濁水の凝集効果を確認することができた。
 - ・沈降筒実験では、試料・アロフェン投入量の条件が同一であれば、超音波分散時間の長いケースの方がより高い凝集効果が得られる結果となった。
- さらに、処理施設の現地への適用については、以下の知見を得た。

- ・貯水池の内、当面処理を必要とする範囲を分画フェンスで仕切り、適量のアロフェンを投入して、超音波分散・攪拌処理の及ぶ範囲を凝集処理する方法が適切と考えた。

- ・貯水池の表層部を対象に凝集処理した場合、中層部・下層部における凝集効果は限定的と考えた。

以上の検討結果を踏まえ、最後に、貯水池内で濁水を凝集処理するための台船プラントの概略を提案した。

本研究は、主に室内実験で得られた知見をまとめたものであり、濁水が空間的に広く分布する貯水池内で凝集処理を実用化するには、多くの課題が残されている。今後は現地実験を行い、天然凝集材による貯水池濁水対策の実現に向け、研究を前進させたい。

本研究を実施するにあたり、データの提供、現地での採水などで国土交通省利根川上流河川事務所、同省鬼怒川ダム統合管理事務所川治ダム管理支所、独立行政法人水資源機構下久保ダム管理所の方々にご協力頂いた。紙面を借りて、御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 海野仁, 箱石憲昭, 星野公秀:天然凝集材アロフェンを使用した貯水池濁水凝集に関する一考察, 土木学会第63回年次学術講演会概要集第II部門, pp. 259~260, 2008. 9
- 2) 柏井条介, 結城和宏:天然凝集材(アロフェン)の濁水凝集効果, ダム技術No. 239, pp. 20~28, 2006. 8
- 3) 海野仁:天然凝集材による貯水池の濁水長期化対策, 土木学会環境水理部会研究集会2008in白浜, 2008. 6
- 4) Hitoshi UMINO, Noriaki HAKOISHI: Turbid water treatment in a reservoir using natural coagulant, The 5th EADC International Symposium on Co-existence of Environment and Dams, October 2008
- 5) 海野仁, 箱石憲昭:天然凝集材アロフェンを用いた貯水池濁水凝集実験, ダム技術No. 267, pp. 16~23, 2008. 12
- 6) 海野仁, 箱石憲昭:天然凝集材を用いた貯水池濁水処理, 大ダムNo. 208, pp. 44~50, 2009. 7
- 7) 海野仁, 箱石憲昭:天然凝集材を用いた貯水池濁水処理における凝集効果の下方伝播, 土木学会第65回年次学術講演会概要集第II部門, 2010.9 (投稿中)