

# 貯水池に流入する濁質の動態と処理に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）  
研究期間：平 25～平 27  
担当チーム：水理チーム  
研究担当者：石神孝之、宮川仁、本山健士

## 【要旨】

既存のダム の再開発事業に伴い、ダム改造工事中及び運用変更後の貯水位低下操作等により堆積土砂の巻き上げ等による貯水池の懸濁化及び濁水放流が懸念されている。また、ダム改造工事は潜水による水中工事を伴うことが多く、貯水池の懸濁化により視界不良及び作業効率低下が懸念されている。さらに、管理ダムにおける、濁水等の貯水位低下時や堆砂対策として堆積土砂を貯水池内で移動させる際にも濁水の発生が懸念される。そこで、本研究では、堆砂の移動や水位低下によってもたらされる濁質の移流・拡散・沈降といった、貯水池における懸濁化現象を解明するとともに、濁質の沈降を促進するための凝集処理手法を提案することを目的に実施した。

その結果、ダム再開発事業の現地調査を通じて、貯水池における懸濁化現象を踏まえた凝集処理区域の必要性を確認した。また、天然凝集材を用いた濁水凝集処理手法として、効率的な凝集沈殿手法について複数検討を実施し、「高圧洗浄機」、「キャビテーションミキサ」を用いた凝集処理手法の有効性を確認した。フィールド試験等を通じて「高圧洗浄機」および「キャビテーションミキサ」による手法において 10m を越える水深においても凝集処理効果を確認した。さらに、ゼータ電位値を用いた凝集性能の定量評価が可能であることを確認した。以上の結果より当研究にて開発した「高圧洗浄機」、「キャビテーションミキサ」を用いた凝集処理手法が、環境にも配慮し、大量の濁水を処理できるなどダム貯水池内の濁水処理技術として実用的であることを確認した。

キーワード：貯水池、濁水、アロフェン、凝集処理実験、ゼータ電位、現地実験

## 1. はじめに

既存のダム の再開発事業に伴い、ダム改造工事中及び運用変更後の貯水位低下操作により堆積土砂が巻き上げられることによる貯水池の懸濁化及び濁水放流が懸念されている。また、ダム改造工事は潜水による水中工事を伴うことが多く、貯水池の懸濁化による視界不良及び作業効率低下が懸念されている。さらに、管理ダムにおける、濁水等の貯水位低下時や堆砂対策として堆積土砂を貯水池内で移動させる際にも濁水の発生が懸念される。

そこで本研究は、貯水池における懸濁化現象の解明として、堆積土砂の巻き上げ、濁質の移流・拡散・沈降現象を解明すること、またダム貯水池内における工事や出水・濁水によって生じた濁水の凝集処理手法を開発することを目的に研究を実施した。

## 2. 貯水池における懸濁化現象の解明

貯水池における懸濁化現象として堆積土砂の巻き上げ、濁質の移流・拡散・沈降等の現象に着目し現

地調査を実施した。

### 2.1 堆積土砂の巻き上げによる懸濁化現象調査

貯水位の低下に伴う堆積土砂の巻き上げによる貯水池の懸濁化現象について調査するため、平成 25 年 10 月 9 日～11 日及び平成 26 年 10 月 8 日～10 日において A ダムにて現地調査を実施した。A ダムは、ダム の再開発工事に伴い貯水位を下げ運用している。

写真-1 に平成 25 年時点、写真-2 に平成 26 年時点の A ダム貯水池の同地点における写真を示す。現地調査結果から、水位低下に伴う濁水の発生状況を確認することができた。貯水位が通常運用時より大幅に低下していたことにより、粒径の小さい土砂が堆積していた地点において掃流力の増加による土砂の巻き上げや側岸侵食等が生じ、濁水の発生要因となったと考えられる。また、平成 25 年時点は貯水池全体が濁っていたが、平成 26 年時点は貯水池の一部（右岸付近）に濁水発生箇所と思われる色の濃さの違う箇所がみられた。このように同じ貯水池におい

ても水理条件等により濁水の発生状況や発生箇所が異なることが確認された。

## 2.2 濁質の移流・拡散・沈降現象調査

濁質の移流・拡散・沈降現象について調査するため、平成26年4月9日～10日にかけてBダムにて現地調査を実施した。Bダムではダム改造・土砂移動に伴う濁水の発生抑制のため、貯水池内にて覆砂工事を実施している。写真-3,4に覆砂工事の様子を示す。覆砂工事は、写真-3に示すとおり陸上より土砂を通して貯水池内に送り、写真-4に示す台船から覆砂するものである。当工事では覆砂時の濁度を低減させるため、輸送土砂に凝集剤を混合している。

(ここで示す凝集剤とは本研究で対象としている凝集材とは異なる製品である。)

事業者に対するヒアリング調査からは、凝集剤を添加することで工事箇所の濁度が低下する場所がある一方で、凝集剤の添加により濁度が上昇している箇所があることも確認した。

## 2.3 凝集処理区域の設定

2.1及び2.2の現地調査結果より、ダム貯水池内の堆積土砂の巻き上げによる懸濁化現象や濁質の移流・拡散・沈降現象は非常に複雑であることから、濁水凝集処理にあたっては、貯水池内の流動等も踏まえ汚濁防止フェンス等で凝集処理区域を設定することが必要であり、これにより効率的な濁水凝集処理が可能となると考えられる。

## 3. 濁水の適切な凝集処理手法の開発

貯水池全体が懸濁化した場合の対策として、効果的で実用的な濁水の凝集処理手法を開発することを目指し、天然凝集材(アロフェン)の活用手法とその効果について検討した。先行研究においては、凝集材の凝集性能を引き出す分散処理装置として、超音波分散装置を用いて、室内や現地での実験を通じ濁水凝集効果の確認について検討してきた<sup>1),2),3)</sup>。しかし、作業効率等に課題があることから、本研究においては凝集材を用いた濁水凝集処理の実用化に向けて、より効率的な凝集処理手法について検討を行った。

### 3.1 凝集処理手法検討の流れ

効率的な凝集処理手法として、①pH調整(温泉水)による凝集処理②マイクロバブルを用いた凝集処理③凝集材分散装置としてキャビテーションミキサ及



写真-1 Aダム貯水池（平成25年度）



写真-2 Aダム貯水池（平成26年度）



写真-3 Bダム覆砂工事（土砂投入口）



写真-4 Bダム覆砂工事（土砂撒布）

び高圧洗浄機を用いた凝集処理の3つの手法について検討した。

### 3.2 pH調整による凝集処理

アロフェンはpHを変化させることによって表面の粒子表面の電荷が変化する。既往研究<sup>4),5)</sup>より、化学薬品等によりアロフェンのpHを変化させ、凝集性能を高める方法が提案されている。しかし、ダム

貯水池において化学薬品を濁水処理に使用した場合、貯水池内に堆砂として堆積したのちの水質への影響が懸念される。そこで、凝集処理後は貯水池堆砂の一部として取り扱えるような凝集処理手法として自然界に存在する温泉水を使用した pH 調整による効率的な凝集処理について検討した。

### 3.2.1 温泉水による凝集実験

温泉水による pH 調整の凝集効果確認のため、ビーカーによる室内実験を実施した。

#### (1) 実験方法

##### ① 濁水の作成

濁水は栃木県の川治ダム貯水池から採取した底泥を材料に、濁水長期化時の貯水池の濁水を想定し、模擬濁水を製造した。底泥を逆浸透膜水（以下、RO 水）中で 7 μm メッシュの布を通し、24 時間静置後、水面から 17cm 以上の範囲の上澄み液を採取し、濁度が 100NTU 程度になるよう調整した。濁水作成の際に RO 水としたのは、溶媒水中のイオン等による影響をできるだけ低減させるためである。

##### ② 凝集材懸濁水の作成

凝集材は湿潤アロフェンを使用した。アロフェン投入量を 360mg/L とし、実験に使用する 1L の濁水から 100ml 分取し、湿潤アロフェンを投入し薬さじで塊を軽くつぶし懸濁水とした。その後、温泉水を滴下し pH を調整した懸濁水を作成した。温泉水は秋田県雄勝郡東成瀬村椿川字仁郷山国有林より採取した須川温泉水を使用した。温泉水の pH 値は 1.96 である。

##### ③ 実験手順

100mL の懸濁水をビーカーに入った 900mL の濁水に投入し、試水凝集反応装置（ジャーテスター）を用いて急速攪拌（150rpm）で 3 分間攪拌し、静置した。

計測はビーカー静置直後から 24 時間後までの濁度を計測した。計測位置は水面下 4cm である。

#### (2) 実験結果

表-1 に実験ケースを示す。実験は温泉水を用いて懸濁水の pH を 3.84~6.07 に調整したものと無調整の懸濁水による凝集実験 7 ケースと自然沈降実験の計 8 ケース実施した。図-1 に濁度の経時変化を示す。図-1 に示す通り、懸濁水の pH が酸性側に強くなるとともに濁度が低下しているのが分かる。また、No. 3 においては他のケースと比べ濁度が大きく低下している。これは、凝集材であるアロフェンが pH3.8 付近で粒子の正の表面電位が上昇し、負の表面電位を

表-1 実験ケース（温泉水処理）

実験ケース	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
濁水濁度 (NTU)	102							
凝集材投入量 (mg/L) (乾燥重量)	360							
凝集材	-	湿潤アロフェン	須川温泉水を湿潤アロフェンに添加した懸濁水					
凝集材 pH	-	無調整	3.84	4.16	4.66	5.16	5.61	6.07

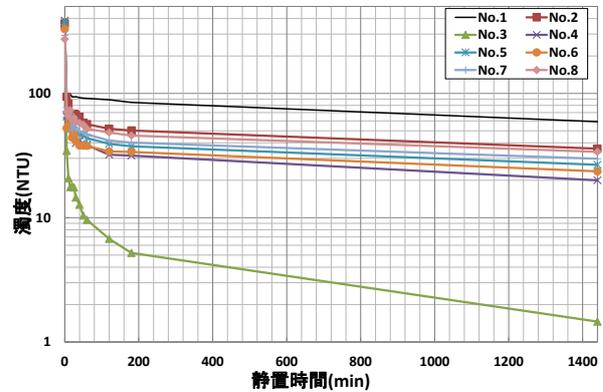


図-1 温泉水処理による濁度の経時変化

持つ濁質粒子との凝集が進んだものと考えられる。なお、No. 3 による実験開始直後のビーカー中の濁水は、pH4.70 とかなり酸性側となった。

### 3.2.2 温泉水と超音波分散装置による凝集実験

温泉水による pH 調整の凝集効果の確認を踏まえ、更に効率的な凝集処理を行うため、温泉水による pH 調整と超音波分散装置による分散処理を組み合わせた手法についてビーカーによる室内実験を実施し、凝集性能を確認した。

#### (1) 実験方法

濁水・凝集材懸濁水の作成は、3.2.1 と同様である。実験手順は、懸濁水を超音波分散装置（株式会社エスエムテー社製 UH-600S）を用い 20 秒間分散後、濁水に投入した。本手法のように懸濁水のみを事前に分散処理したのち濁水に投入するものを投入前分散、懸濁水と濁水を混合したのち分散処理するものを投入後分散と定義する。以降の手順・計測等は 3.2.1 と同様である。

#### (2) 実験結果

表-2 に実験ケースを、図-2 に濁度の経時変化を示す。図-2 に示す通り、3.2.1 と同様に懸濁水の pH が酸性側に強くなるとともに濁度が低下しているのが分かる。また 3.2.1 の実験と比べ超音波分散処理を行うことで、濁度が大きく低下していることが分かる。これは凝集材であるアロフェンが、pH 調整に加え超音波分散処理を施すことによって、より粒子の正の表面電位が上昇し、負の表面電位の濁質粒子との凝集が進んだものと考えられる。なお、No. 11

による実験開始直後のビーカー中の濁水は、pH4.85とかなり酸性側となった。

### 3.2.3 pH 調整（温泉水）による凝集処理のまとめ

実験を通じて得られた pH 調整による凝集処理の知見は次のとおりである。

- ① pH 調整（温泉水）による凝集処理により濁度が低下することを確認した。
- ② pH調整に加えて分散処理を施すことでより濁度が低下することを確認した。

以上から、本手法が効率的な濁水凝集処理手法であることを確認した。一方で pH 調整を実施することにより濁水の pH が酸性側に変化することから、ダム貯水池に適用する場合の環境影響が懸念される。また、ダム貯水池に適用する場合、大量の濁水を処理する必要があるが、そのためには超音波分散装置の改良・温泉水の確保が必要である。よって本手法を適用する場合には、環境影響や適用範囲等について十分な検討の上で実施する必要があると考えられた。

### 3.3 マイクロバブルを用いた凝集処理手法<sup>6)</sup>

次に、マイクロバブルを用いた凝集処理手法について検討を行った。マイクロバブル（以下、バブル）は体積あたりの界面面積が大きい、気泡の液中での上昇速度が遅くなる、気泡が振動すると音や熱を放射する、電場中では負に帯電したかのような振る舞いをするなど特徴的な特性を有し、これを利用した多分野への応用が進んでいる<sup>7)</sup>。このことからバブルの凝集処理手法への適用可能性について、産業技術総合研究所、筑波大学等の協力を得て、検討を行った。実験は、バブルによる凝集材の土粒子の吸着、凝集沈殿効果への影響調査実験（実験1）と、それを踏まえてバブルによる凝集材そのものの沈降特性への影響調査実験（実験2）の2ケースを行った。

#### 3.3.1 実験1

##### (1) 実験方法

実験1は、バブルによる凝集材の土粒子の吸着、凝集沈殿効果への影響について検討するため、直径39cm、高さ2.2mの沈降筒を用いて凝集処理実験を実施した。①図-3に示すように、沈降筒の底部からバブルを発生させるベンチュリー管式発生装置を設置したもの（図-3の右写真左側）と、②比較検討のため、攪拌用の水中ポンプを設置したもの（図-3の右写真右側）の2つを用意した。一方、アロフェンは、2つの沈降筒内の模擬濁水5Lをそれぞれから採水した上で、濃度が180mg/Lとなるように調整・混入

表-2 実験ケース（温泉水+超音波分散処理）

実験ケース	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
濁水濁度 (NTU)	106							
凝集材投入量 (mg/l) (乾燥重量)	-	360						
凝集材	-	湿潤アロフェン	須川温泉水をアロフェンに添加した懸濁水					
凝集材pH	-	無調整	3.89	4.20	4.77	5.21	5.71	6.13
分散手法	自然沈降	なし	投入前分散					

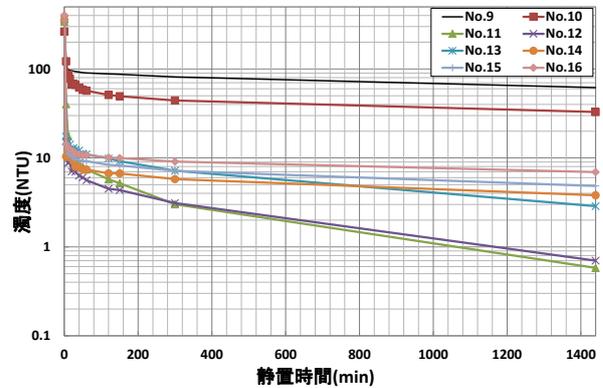


図-2 温泉水+超音波分散処理の濁度の経時変化

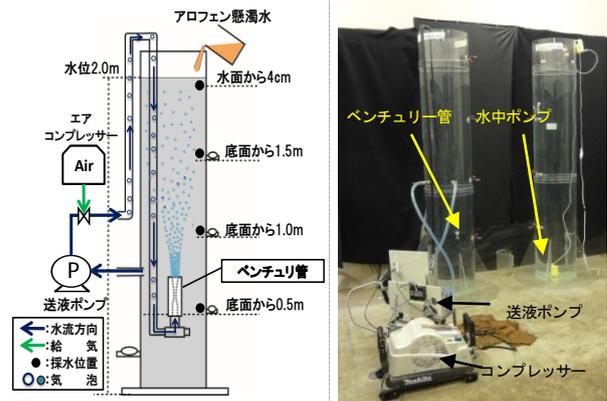


図-3 実験装置の概要



アロフェン投入の様子

濁水攪拌の様子

写真-5 実験準備の状況

し、12分間超音波分散処理を行い、懸濁水とした。その後、写真-5の左のように、2つの沈降筒へ懸濁水を上部から5Lずつ同時に投入し、30分間送液ポンプ又は水中ポンプを起動、筒内を十分攪拌（写真-5の右）させ、ポンプを停止した。なお、液送ポンプの液相流量は11.35L/min、気相流量は0.5～0.6L/minであり、水中ポンプの液相流量は12L/minであった。実験中は、一定時間毎に図-3左図に示す採水位置から微量を採水し、濁度計を用いて濁度を

計測した。また、比較のため直径 20cm、高さ 2.2m の沈降筒を用意し、水位 2.0m (62.8L) とした自然沈降実験も実施した (写真-5 右写真右奥)。

## (2) 実験結果

図-4 に開始直後から 1 日後までの水面から 4cm、底面から 0.5m において採水した濁度の時系列変化を示す。また、写真-6 に開始直後と 10 分後の状況を示す。図-4 を見ると、バブルが混入した場合、混入しない場合と比べ、濁度の低下が遅くなっている一方、1 日経つとバブルを混入しない場合と同程度に濁りが改善していることが判る。また、写真-6 から、沈降筒上部を見ると、バブルの混入により濁度の低下が遅くなっていることが判る。以上から、長期的にはバブルは凝集効果を阻害しないものの、一時的に凝集沈殿を遅延させる効果があることが判った。これは、バブルが液中においてアロフェンを吸着し、バブルの浮力により上層部にアロフェンが滞留したことによるものと考えた。このため、バブルのアロフェン吸着効果を確認する実験 2 を行った。

### 3.3.2 実験 2

#### (1) 実験方法

実験 2 は、実験 1 と同様の沈降筒 2 つを用意し、川治ダム貯水池から採取した底泥を投入せずに RO 水 238.8L で満たした。また、アロフェンは超音波分散処理を行わず、その他は実験 1 と同手順で懸濁水とした。その後、2 つの沈降筒に懸濁水 5L を同時に沈降筒上部から投入し、筒内を 30 分間十分に攪拌させ、沈降特性実験を開始した。

#### (2) 実験結果

図-5 に開始直後から 1 日後までの水面から 4cm、底面から 0.5m において採水した濁度の時系列変化を示す。また、写真-7 に開始直後と 20 分後の沈降筒の様子を示す。図-5 や写真-7 から判るとおり、バブルが混入すると濁度の低下が混入しない場合と比べ、遅くなっている。バブルがアロフェンの沈降を遅延させ、滞留時間を長くする効果があることが判った。

### 3.3.3 バブルによる凝集効果検討結果

実験を通じて得られたバブルによる凝集処理の知見は次のとおりである。

- ①バブルは、凝集沈殿を遅延させるものの、アロフェンによる凝集効果を妨げるものとはならない。
- ②バブルは、アロフェンの沈降速度を低下させ、一時的にアロフェンを滞留させる効果を持つ。

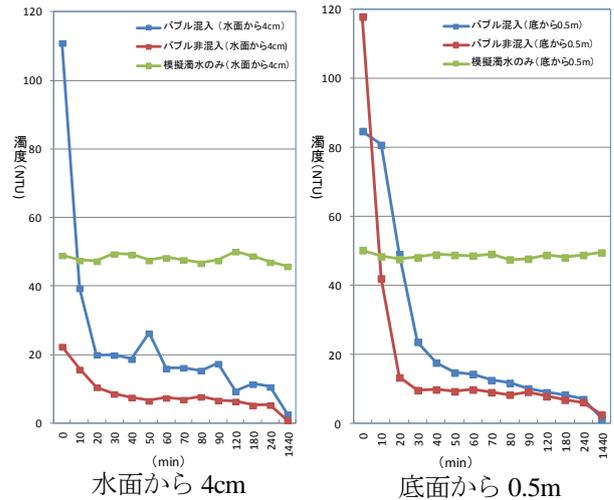


図-4 濁度の経時変化 (実験 1)



写真-6 沈降筒による実験の様子 (実験 1)

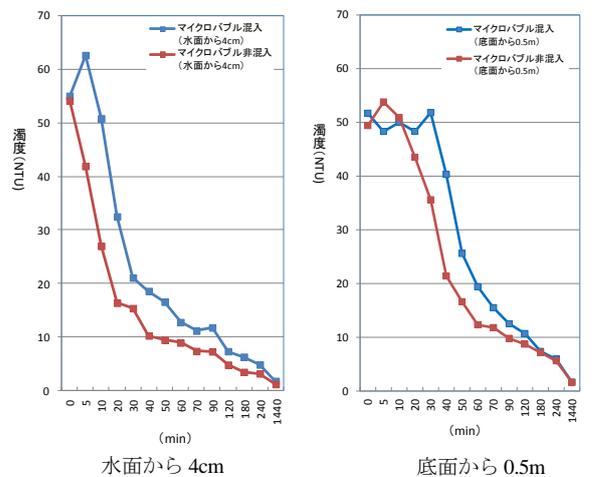


図-5 濁度の経時変化 (実験 2)



写真-7 沈降筒による実験の様子 (実験 2)

以上から、凝集材の効率的な凝集処理手法の確立が前提となるが、ダム貯水池は広大であるため、今後、凝集材となるアロフェンを貯水池内に広範囲にわたって効率的に拡散・輸送することが、凝集処理手法を実用化していくにあたって重要な課題となると考えられる。コスト面やダム貯水池で対応できる設備面からの検討など実用化に向けては多面的な検討が必要となることは言うまでもないが、今回の実験結果から、バブルが効率的な拡散・輸送において有効な手法となる可能性があると考えられる。

### 3.4 凝集材分散装置を用いた凝集処理<sup>8)</sup>

超音波分散装置を用いた濁水凝集処理は貯水池への適用に必要な大量処理への適用性に限界がある。そこで、超音波分散装置に代わる新たな分散装置としてキャピテーションミキサ（φ25mm、全長600mm以下、ミキサ）及び市販の高压洗浄機（以下、洗浄機）を選定した。ミキサとは、圧送管にくびれを作ることでベンチュリー効果により圧力と流速を変化させ、乱流が生起することに伴い発生する気泡により混合分散を行う装置である。ミキサ及び洗浄機（以下、新装置）を用いた凝集処理手法の特徴は、次のとおりである。

- ① ダム貯水池に適用することを踏まえ、大量処理が可能な凝集処理手法である
- ② 化学薬品や pH の調整を行わない環境に配慮した手法である

また、本検討の凝集材は「原料アロフェン」とこれを精製した「アロフェン」の2種類を使用した。

#### 3.4.1 室内ビーカー実験

新装置による凝集効果を確認するための室内実験を行った。表-3に室内実験の実験ケースを示す。実験の手順は次の通りである。まず、川治ダム貯水池から採取した底泥を用い所定の濁度になるよう濁水を作製した。次に既往の実験において、濁度に対して経験的に効果が得られるアロフェン量を、効果的な分散手法である投入後分散で模擬濁水に投入した。この模擬濁水を 1L のビーカーに入れ攪拌し静置の上、水面下 4cm の濁度の経時変化を測定した。実験結果を図-6に示す。図-6から Case1, 3 に比べ実験開始後すぐに Case2, 4 の濁度が低下しており、新装置が現場適用性の高い効率的な分散手法となる可能性が示唆された。

#### 3.4.2 ダム貯水池における現地実験

室内実験の結果より新装置による凝集効果を確認

表-3 室内実験の実験ケース

	Case1	Case2	Case3	Case4
分散装置	なし	ミキサ	なし	洗浄機
模擬濁水初期濁度(NTU)	450		108	
アロフェン濃度(mg/L)	0	900	0	360
分散手法	自然沈降	投入後分散	自然沈降	投入後分散
攪拌時間・回転数	180秒・150rpm			

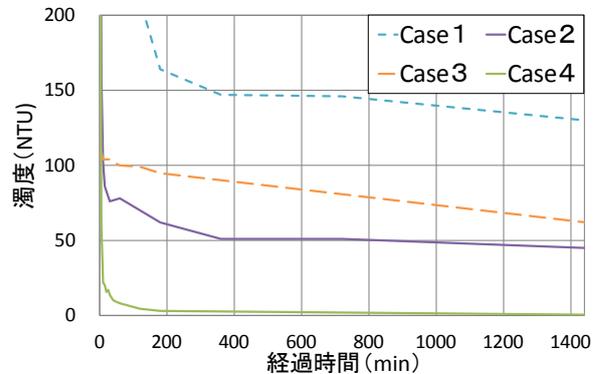


図-6 室内実験結果

表-4 現地実験の実験条件

分散装置	ミキサ	洗浄機
実験フィールド	4m×4m×15m	φ500×15m
貯水池濁水	底泥	底泥(砂分除く)
凝集材	原料アロフェン	アロフェン
濁度計設置位置	水深3m,7m,12m	水深10m

した。しかし、分散装置を用いた凝集処理については、大量処理への適用性や 2m 以上の水深における効果は確認できていない<sup>9)</sup>。そこで、ダム貯水池への適用に必要な大量処理及び水深方向への効果確認のため、天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備流入部建設工事現場内において 10m を超える深度での濁水凝集処理現地実験を行った

#### (1) 実験方法

現地実験は平成 27 年 1 月 12 日～2 月 5 日までの間の 2 週間で天ヶ瀬ダム貯水池にて行った。凝集処理実験の方法を表-4に示す。実験の手順は次の通りである。まず、貯水池内に実験フィールドを設置し貯水池と区分し、このフィールドに天ヶ瀬ダム底泥を投入、ポンプを用いて循環させフィールド内ができるだけ一様な濁度となるよう調整した。この後に自然沈降実験、凝集処理実験を行い、濁度の経時変化を計測した。なお、実験後の投入したアロフェンや凝集沈殿物はポンプ等を用いて回収した。

#### (2) ミキサを用いた実験結果

表-5にミキサを用いた実験ケースを示す。実験は、「アロフェン濃度」、「分散手法」、「攪拌の有無」を変化させた 4 ケースを実施した。水深 7m 地点の濁度の経時変化を図-7に示す。図-7から 120 分を超過すると初期濁度の違いはあるが Case5 に比べ Case6～8 の濁度が低下している。このことからミキサを用い

た凝集効果が 2m 以上の水深においても確認された。

### (3) 洗浄機を用いた実験結果

表-6 に洗浄機を用いた実験ケースを示す。実験は、「アロフェン濃度」、「分散手法」を変化させた 4 ケースを実施した。水深 10m 地点の濁度の経時変化を図-8 に示す。図-8 から 200 分以降では Case9 に比べ Case10~12 の濁度が低下している。このことから洗浄機を用いた凝集効果も 2m 以上の水深においても確認された。また、投入前分散に比べ投入後分散ではさらに濁度が低下し、投入後分散が既往の実験結果と同様、より凝集効果が高いことも確認された。

### 3.4.3 屋外検証実験<sup>10)</sup>

現地実験の結果から、新装置による濁水凝集処理手法が 2m 以上の水深においても効果があることを確認した。しかし、現場条件に制約があり実験条件の詳細設定・管理や観測等に困難な面があった。そこで屋外実験場における複数ケースでの長時間の実験を行い、貯水池大水深での濁質処理効果の検証を行った。

#### (1) 実験方法

実験は、土木研究所内にある直径 20m 深さ 20m の実験水槽（写真-8）内に直径 500mm、長さ 10m の風洞管を沈降筒（写真-9）として水中に 4 本設置し、貯水池と区分して実験を実施した。なお、実験水槽の水は事前調査からポリ塩化アルミニウム（PAC）の凝集効果も阻害する現象が確認され沈降筒には水道水を注入した。

実験ケースは表-7 のとおり設定した。Case1~Case4 は目標初期濁度を 100NTU とし、凝集材はアロフェン、分散装置は洗浄機を使用した。Case5~Case9 は目標初期濁度を 300NTU とし、凝集材は原料アロフェン、分散装置はミキサを使用した。実験の濁水は、濁質として天ヶ瀬ダムの底泥を使用し、沈降筒に濁質を投入し、沈降筒内の濁度が概ね一様となるようポンプ循環させ初期濁度を調整したものを使用した。過年度の貯水池実験の内容も踏まえてケース毎に初期濁度に対するアロフェン量を投入した。また、分散方法は投入前分散、投入後分散とこの 2 つを組合せた混合分散とし、凝集処理終了後静置し水深 3, 7m の濁度の経時変化を計測した。

#### (2) 実験結果

図-9 に洗浄機での実験の水深 3m、7m 地点の濁度の経時変化を示す。また、図-10 にミキサの実験の水深 3m、7m 地点の濁度の経時変化を示す。図-9 に

表-5 現地実験の実験ケース（ミキサ）

	Case5	Case6	Case7	Case8
分散装置	なし		ミキサ	
貯水池濁水初期濁度(NTU)	410	275	326	245
アロフェン濃度(mg/L)	0	600	300	250
分散手法	自然沈降		投入前分散	
攪拌時間	なし	2時間	2時間	なし

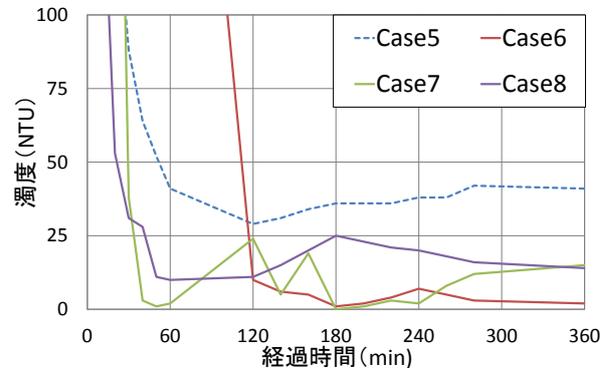


図-7 濁度の経時変化（ミキサ）

表-6 現地実験の実験ケース（洗浄機）

	Case9	Case10	Case11	Case12
分散装置	なし		洗浄機	
貯水池濁水初期濁度(NTU)	106	81	154	203
アロフェン濃度(mg/L)	0	200	400	400
分散手法	自然沈降		投入前分散	投入後分散
攪拌時間			なし	

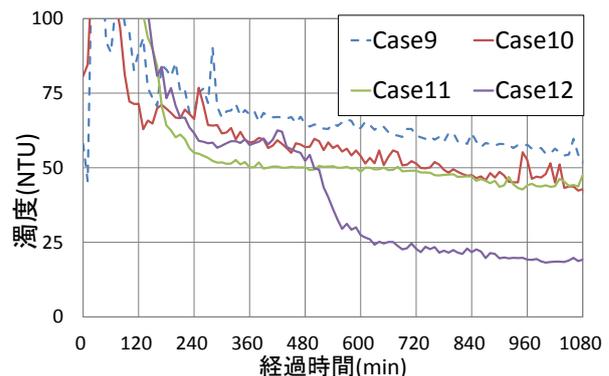


図-8 濁度の経時変化（洗浄機）



写真-8 実験水槽全景

写真-9 沈降筒設置状況

表-7 実験ケース一覧

ケース名	分散装置	使用アロフェン	初期濁度(NTU)	アロフェン投入濃度(mg/L)	分散方法	備考
Case1	高圧洗浄機	精製	100	0	-	自然沈降実験
Case2			100	200	なし	
Case3			100	200	投入前分散	
Case4			100	200	投入後分散	
Case5	キャビテーションミキサ	原料	300	0	-	自然沈降実験
Case6			300	300	なし	
Case7			300	300	投入前分散	
Case8			300	300	混合分散	
Case9			300	200	混合分散	

示す通りいずれのケースでも水深 3m の濁度が水深 7m よりも低くなっており、時間の経過とともに濁質が徐々に沈降している様子が伺える。また、アロフェンを分散処理した場合、自然沈降や未処理の場合と比べて濁度が低下しており、アロフェンを分散処理することで効率的に凝集処理が可能であることを確認した。また、分散処理方法によっても濁度低下の程度は変化している。図-10 に示す通り、図-9 の知見に加え、混合分散した場合、7 時間程度で 10NTU 程度に低下し、ダムからの放流水質として妥当な値を得ることができた。また、投入前分散では 100NTU 程度しか低下しないケースがある一方、分散処理が無い場合でも 2 日間で 60NTU 程度となるものもあり、不均質な結果も得られた。以上、現地実験と同様の条件および一部条件を変えた場合での分散処理の効果を確認でき、現地実験の結果の検証ができた。

### 3.4.4 凝集材分散装置を用いた凝集処理検討結果

以上から得られた知見は以下の通りである。

- ・ 新装置が現場適用性の高い効率的な分散手法となる可能性が示唆された。
- ・ 新装置による濁水凝集処理手法が 2m 以上の水深においても効果があり、新装置を用いたアロフェンの分散処理による濁水凝集処理手法の有効性が確認された。

## 4. 凝集性能の定量評価

アロフェンは正のゼータ電位、濁質は負のゼータ電位を有することが過年度の計測において判っている。そこで、新装置を用いた分散処理による凝集性能の向上する現象を、分散処理前後のアロフェン及び濁水のゼータ電位値を計測することにより、定量的に評価可能か検討した。

### 4.1 アロフェンのゼータ電位

分析は原料アロフェンとアロフェンを用いて、貯水池投入時に用いる濃度の高い希釈水について、幅広い濃度でのゼータ電位値を計測することとし、分散処理の有無でのゼータ電位値の違いを分析した。

#### 4.1.1 分析方法

分析ケースを表-8 に示す。ゼータ電位計測は ELSZ-1000 大塚電子製を使用した。なお、希釈水には R0 水を用いた。全ての検体の電気伝導度は 1.3~4.9(mS/m)であった。また、分散装置は、新装置として検討している洗浄機、ミキサを用いた。

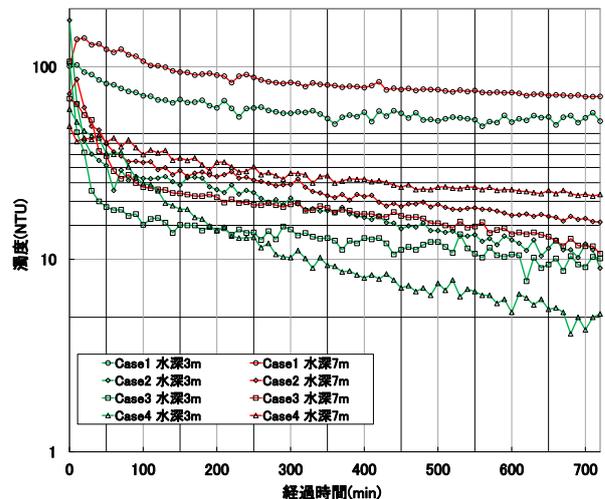


図-9 洗浄機による濁度の経時変化

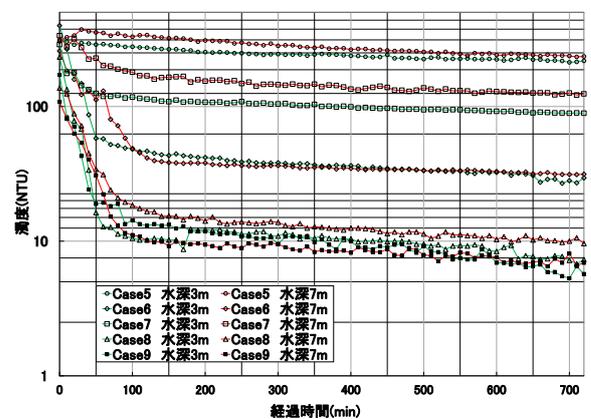


図-10 ミキサによる濁度の経時変化

表-8 アロフェン分析ケース一覧

ケース名	アロフェン種類	濃度 (mg/L)	分散処理
Case 1	精製	20000	無
Case 2		10000	
Case 3		500	
Case 4		20000	
Case 5	原料	500	有
Case 6		20000	
Case 7		10000	無
Case 8		500	
Case 9		20000	
Case 10		500	

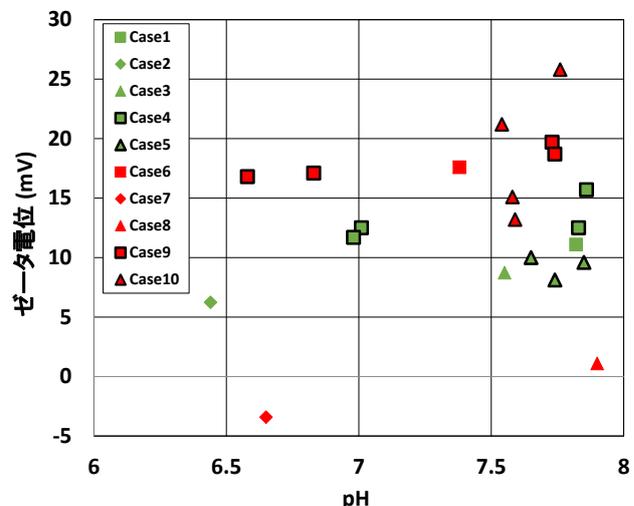


図-11 ケース毎の pH とゼータ電位値の関係

#### 4.1.2 分析結果

図-11 にアロフェン希釈水の pH 値とゼータ電位値の関係を示す。計測結果から、全ての検体について pH 値は概ね 6.5～8 の中性域を示した。また、分散処理を行っていない Case1～3、Case7、8 のゼータ電位は概ね -5mV～10mV の値を示し、分散処理を行った Case4、5 および Case9、10 のゼータ電位は概ね +10mV 以上の値を示した。これにより分散処理を行うと値が高くなる傾向が見受けられた。また、原料アロフェンの方が、値が高くなる傾向が見受けられ、凝集材としてより有用な材料となると考えられた。なお、Case6 の値が高いが、これは、「天然」であるため、分散処理を行わなくても値が最初から高い物質もアロフェンに含まれている可能性が考えられた。以上、新装置による分散処理により、ゼータ電位値が上昇する傾向が確認され、アロフェンの凝集性能の向上について、定量的な評価指標となり得るものと考えられる。

#### 4.2 濁水のゼータ電位

濁水は川治ダムと天ヶ瀬ダムの濁質より作成した濁水を対象とし、分散処理の有無でのゼータ電位値の違いを分析した。

##### 4.2.1 分析方法

分析ケースを表-9 に示す。ゼータ電位計測はゼータサイザー（マルバーン製）を使用した。なお、希釈水には溶媒水中のイオン等による影響をできるだけ低減させるために R0 水を用いた。分散装置は、新装置として検討している洗浄機を用いた

##### 4.2.2 分析結果

図-12 に分析結果を示す。分析結果より、分散処理を加えることで、負のゼータ電位値が大きくなっていることが分かる。このことから、濁質も分散処理により凝集効果を高める可能性が確認できた。しかし、濁水の分散によるゼータ電位の絶対値の上昇はアロフェンと比べてわずかなサンプルによるものであり、今後詳細に検討する必要がある。

#### 4.3 定量評価に関するまとめ

以上から得られた知見は次のとおりである。

- 1) ゼータ電位値が分散処理による凝集性能の向上を定量的に評価する指標の一つであることが確認された。
- 2) 分散処理により濁質も分散処理により凝集効果を高める可能性が確認できた。

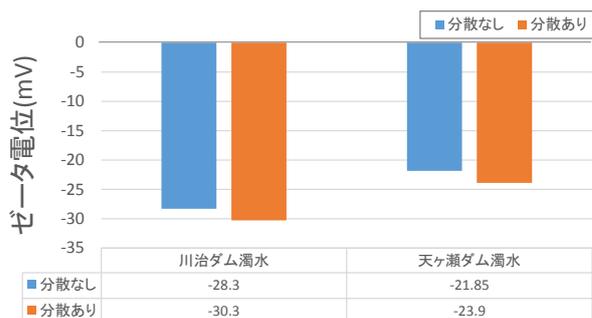


図-12 濁水のゼータ電位変化

表-9 濁水分析ケース

濁水	川治ダム		天ヶ瀬ダム	
	無し	有り	無し	有り
pH	6.78	6.64	7.34	7.34
濁度(NTU)	430NTU	430NTU	415NTU	415NTU

## 5. まとめ

本研究は、貯水池における懸濁化現象の解明として、堆積土砂の巻き上げ、濁質の移流・拡散・沈降現象を解明すること、さらに、ダム貯水池に生じる濁水の処理手法として天然凝集材を用いた効率的な濁水凝集処理手法を開発することを目的に実施した。

本研究の結果を以下に示す。

- ・ 現地調査より、濁水凝集処理にあたっては貯水池内の流動等も踏まえ汚濁防止フェンス等で凝集処理区域を設定する必要性を確認した。
- ・ pH 調整 (温泉水) による凝集処理の効果を確認した。
- ・ マイクロバブルは、アロフェンの沈降速度を低下させ、一時的にアロフェンを滞留させる効果を持つことを確認した。
- ・ 新装置が現場適用性の高い効率的な分散手法となる可能性が示唆された。
- ・ 新装置による濁水凝集処理手法が 2m 以上の水深においても効果があり、新装置を用いたアロフェンの分散処理による濁水凝集処理手法の有効性を確認した。
- ・ ゼータ電位値が分散処理による凝集性能の向上を定量的に評価する指標の一つであることを確認した。

今後の課題として更に効率的に分散処理可能な装置の検討やダム貯水池への適用方法・範囲の検討、ゼータ電位を用いた定量評価に関する詳細検討等が必要と考える。

**謝辞：**本研究の一部（キャビテーションミキサを用いた検討）は大成建設株式会社との共同研究成果です。また、本研究を進めるにあたり、マイクロバブルの検討においては、産業技術総合研究所の竹村 文男先生、筑波大学の金子 暁子先生、ゼータ電位値の計測においては、筑波大学の足立 泰久先生、小林 幹佳先生に多大なるご協力を賜りました。また、ゼータ電位値の計測の一部は文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業（NIMS 分子・物質合成プラットフォーム）の支援を受けて実施しました。このように現地調査・現地実験においては、関係機関の皆様にご多大なご理解・ご協力いただきました。ここに申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 海野仁, 箱石憲昭: 火山灰土凝集材を用いた濁水凝集処理に関する実験と評価, ダム技術 No. 335, pp25~40, 2014.
- 2) 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, II-023, 2010.
- 3) 海野仁, 箱石憲昭: 天然凝集材による環境負荷低減型濁水処理システムに関する研究, 土木研究所成果報告書, 2012
- 4) 堀岡正和: 「新しい凝集剤に関する研究 (I) - アロフェンを原料とする凝集剤の製法 -」, 水道協会雑誌 第 398 号, pp. 9~16, 1967. 11
- 5) 尾崎哲二, 口船愛, 森本辰雄, 和田信一郎: 「火山灰土を原料とする新しい凝集剤の開発」, 土木学会誌 vol. 93 No. 6, pp. 52~55, 2008. 6
- 6) 宮川仁, 海野仁, 金子暁子, 竹村文男, 箱石憲昭: マイクロバブルを用いた凝集材の分散手法に関する研究, 日本混相流学会混相流シンポジウム, 2014
- 7) 日本機械学会 (編集): マイクロバブル最前線 (機械工学最前線, 共立出版
- 8) 本山健士, 石神孝之, 楠見正之, 宮川仁, 箱石憲昭: 天然凝集材を用いた効率的な貯水池濁水処理手法の検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会, II-03, 2015.
- 9) 海野仁: 火山灰土由来の無機凝集剤を用いた貯水池濁水処理に関する研究, 筑波大学大学院博士 (農学) 学位論文, 2014
- 10) 宮川仁, 石神孝之, 楠見正之, 本山健士: 天然凝集材の現場適用可能な分散処理装置による濁質処理効果の検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, II-24, 2016.

# STUDY ON MOVEMENT OF SOIL PARTICLES FLOW INTO RESERVOIRS AND COAGULATION TREATMENTS FOR TURBID WATER

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2013-2015

Research Team : River and Dam Hydraulic  
Engineering Research Team  
(Hydraulic Engineering  
Research Group)

Author : ISHIGAMI Takayuki

MIYAKAWA Masashi

MOTOYAMA Kenshi

**Abstract** : It may cause turbid water when construction works are conducted or water level is lowered in a reservoir. In dam renewal work, there are many underwater work by diving, and it is concerned that work efficiency decrease due to poor visibility by turbid water. In addition, turbid water is generated by drawdown of drought, or sedimentation move construction work.

This study aims to clarify the movement of turbidity such as advection, diffusion and settlement. Moreover, it aims to present coagulation treatments which accelerate the settlement of soil particles.

As a results of the field investigation, we suggest that we should set the coagulation work area based on the flow of the reservoir. Moreover, we proposed as a practical plan how to use the “high pressure washing machine” and “cavitation mixer” from several coagulation sedimentation methods, We confirmed the effect of the method “high pressure washing machine” and “cavitation mixer” in the experiment of water depth over 10m. Furthermore, we confirmed that coagulation ability can be evaluated quantitatively by zeta potential.

From the above results, we confirmed that we developed coagulation sedimentation methods about “high pressure washing machine” and “cavitation mixer”, and their method can be used in the dam reservoir.

原稿承認  
平成 28 年 6 月 30 日

## 土木研究所成果報告書原稿承認伺

(平成 27 年度)

1 所 属 名	水工研究グループ水理チーム		
2 調査研究課題名	貯水池に流入する濁質の動態と処理に関する研究		
3 原 稿 枚 数	全 10 枚	4 原 稿 受 理	平 成 年 月 日
<p>上記のとおり成果報告書原稿の承認を伺います。 平成 28 年 6 月 30 日</p>			
<u>土木研究所理事長</u> 殿	グループ長等	上席研究員	執 筆 者

注 1) 用紙の大きさは、日本工業規格A列4縦とする。