

潜水士の視界確保を目的とした原位置濁水処理工法の現場適用事例

前田建設工業株式会社 正会員 ○山本 達生

前田建設工業株式会社 正会員 桑野 陵一

1. はじめに

潜水士による水中作業が欠かせないダムの再開発工事や災害復旧工事では、潜水エリア内に水の濁りが発生している場合が多く、潜水士の視界悪化による作業効率の低下や、安全性の確保が課題となる。

本報は、上記課題の解決を目的とした原位置濁水処理工法の開発・現場適用した結果、潜水作業の作業効率と安全性の向上に寄与する結果が得られたので、その概要について報告をするものである。

2. 原位置濁水処理工法の概要

潜水エリアに凝集材を散布し、混合・攪拌および静置することで、潜水エリアの透明度向上を図ることとしたが、以下に示す課題があった。

課題1：潜水エリア周辺には大量の濁水が存在するため、透明度が向上したエリアに周辺の濁水が流入し、効果の持続性が担保出来ない。

課題2：大規模な水域にて凝集材を混合・攪拌する既存技術が確立されていない。

課題3：凝集沈殿したブロックの適切な処理方法が確立されていない

このため、各課題に対する解決策として、以下の対策が有効であると考えた。

対策1：潜水エリアに汚濁防止膜を設置する。

対策2：コンプレッサーによるエア搅拌により凝集材の攪拌を行う。

対策3：沈殿ブロックの回収が不要となる魚毒性の極めて小さい凝集材(以下、セーフクリンパウダー¹⁾)を使用する。

課題1・2を解決するため、汚濁防止膜を設置して閉鎖水域空間を造成し、その水域に凝集材を散布した後、エア曝気することで濁水の凝集反応を促進させる原位置濁水処理工法(図-1～3)を考案した。

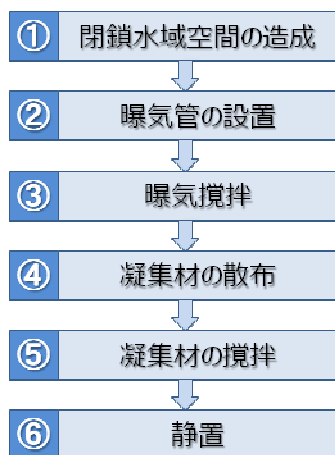


図-1 施工フロー



図-2 施工状況の写真

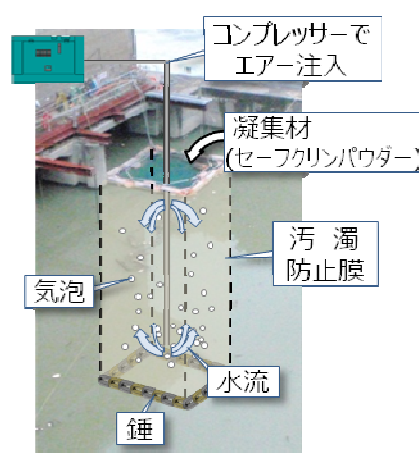


図-3 工法概念図

また、課題2・3の解決のために特殊な凝集材を使用した。この特殊凝集材の特徴は以下のとおりである。

キーワード ダム、濁水処理、潜水士、安全性向上、コストダウン

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町1丁目39番地16号 前田建設工業(株) 技術研究所 TEL 03-3977-2242

- ・一材型の粉体材料である(写真-1)
- ・強い凝集作用を有し、沈降性の高いフロックを生成する(写真-2)。
- ・低濁度の濁水に対しても、高い凝集反応性を有する。
- ・天然鉱物を主原料としており、人工的に合成された高分子凝集材を含まない

上述の通り、本工法で使用する凝集材は、強い凝集性を有するものの、天然鉱物を主原料としており、化学的人工物を含まないため、安全性が高い材料となっている。

また、本凝集材は処理対象となる濁水の種類に対応して、使い分けをしている。安全性の高さを示すデータとして、表-1に化学物質に鋭敏なヒメダカに対する96時間急性毒性試験結果の一覧を示す。

なお、比較対象のため、通常の濁水処理で使用されるポリ塩化アルミニウムや高分子凝集材の魚毒性試験結果を併記する。

ここで、ポリ塩化アルミニウム及び高分子凝集材の魚毒性試験は、既知の文献による評価値であるため、48時間での試験結果となっている。

これより、一般的に凝集材として用いられているポリ塩化アルミニウムや高分子凝集材に比較して、5倍程度以上、魚毒性が小さい凝集材であることが分かる。

3. 適用現場の概要

考案した原位置濁水処理工法の適用性を検証するため、下記の工事現場にてその効果を検証した。

発注者： 電源開発株式会社
 工事名： 滝発電所土木設備復旧工事(新潟・福島豪雨対応)ドラフト内堆積土砂排除工事
 工期： 2011年8月29日
 ～2014年9月30日
 工事概要： 平成23年7月末の新潟・福島豪雨災害により発電運転を停止している滝発電所の早期復旧に向け、放水庭の堆積土砂排除、進入道路整備等を行う。
 主な工種： ドラフト内及び放水庭土砂掘削



写真-1 セーフクリンパウダー

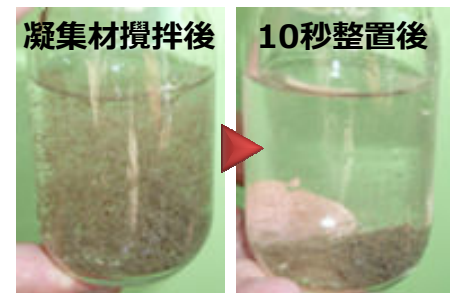


写真-2 フロック沈降性

表-1 凝集材の種類と魚毒性試験結果

凝集材名称	用途	魚毒性:LC ₅₀ (mg/L) ^{※1}
セーフクリンパウダー(N)	工事濁水一般用	4,500 ^{※2}
セーフクリンパウダー(P)	低電気伝導度用	2,100 ^{※2}
セーフクリンパウダー(Z)	高濃度濁水用	7,200 ^{※2}
ポリ塩化アルミニウム(PAC)	従来品	840 ^{※3}
高分子凝集材	従来品	190～350 ^{※3}

※1：対象の魚が50%死亡する時の濃度

※2：96時間での試験結果，※3：48時間での試験結果



写真-3 現場全景写真

滝発電所では、平成 23 年 7 月末の新潟・福島豪雨災害²⁾で甚大な被害を受け、発電運転を停止しており、早期の復旧に向け放水庭の堆積土砂排除を中心とした復旧工事を進めていた。

当該放水庭には、豪雨災害で流下した支障物が沈んでおり、これらを撤去する必要がある。

支障物の撤去には潜水作業を伴うが、放水庭内の土砂浚渫作業の影響で発生した濁りのため、水中での視界がほとんど確保できない状態であり、潜水土の安全確保および作業効率の低下に対する懸念があった。

4. 原位置濁水処理工法の適用効果

(1) 課題と事前検討結果

事前調査により、支障物が水没している放水庭の底部には、SS670mg/L の濁りが生じており、1 cm 先の視界も確保できない状態であることが分かった。

このため、5 m^W×5 m^L×15 m^Dの汚濁防止膜を潜水作業エリアに設置し、このエリア内の水の濁りの除去を試みた。

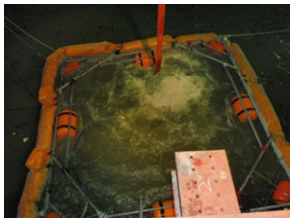
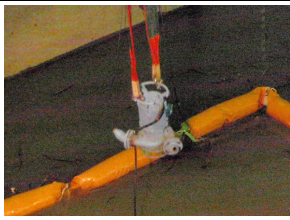
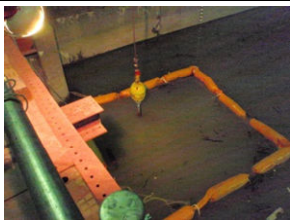
(2) 凝集材の添加・エア－攪拌状況

凝集材の攪拌設備には、作業エリア内の水全体が流動している状況を継続させる能力や、凝集反応により生成した土粒子の凝集フロックを破壊しないことが求められる。

上記要求事項を満足する攪拌設備を検討するため、分流式攪拌ポンプ攪拌とエア－曝気攪拌の2種類の設備の適用性を検証した。検証結果を表-2に示す。

目視判断による効果の確認ではあるが、明らかにエア－曝気攪拌の方が、攪拌設備として優れていることが分かった。

表-2 攪拌設備による攪拌効果の違い

	攪拌設備設置状況	攪拌状況
エア－曝気		
ポンプ攪拌		

(3) 視界確保状況

汚濁防止膜内の水の濁りを除去した処理結果の一例を表-3に示す。

これより、本工法を適用する前の放水庭内は、水深が深くなる程、水が濁った状態となっており、全深度において視界が確保できない状況であった。

考案した濁水処理工法に適用により、全深度で水の濁りがほとんどない状態に処理することが可能であった。

ここで、Ec とは電気伝導度を示しており、この値が大きい程、水に溶解しているイオン類が多いことを示しており、一般的には、この値が大きい程、水質が悪いことを示している。

表-3 より、本工法の適用の前後で水の pH、Ec の値に大きな変化は認められなかった。

このことから、水の濁りを除去するために添加した凝集材の影響で、放水庭内の水質に悪影響を及ぼすことがなかったと判断した。

表-3 処理結果の一例

		水面	-6m	-13m
SS [mg/L]	原 水	17.0	50.5	670
	処理水	0.0	0.0	3.4
pH [-]	原 水	6.71	—	—
	処理水	7.13	7.01	7.04
Ec [mS/cm]	原 水	0.074	—	—
	処理水	0.050	0.050	0.052

さらに、施工状況の写真を写真-4～9 に示す。施工前は放水庭底部に溜まった土砂浚渫作業の影響により、潜水土の視界が確保できない程、濁りが発生している状況が観察できる。

汚濁防止膜を設置(写真-5)し、凝集材の散布(写真-6)・混合攪拌することにより、写真-7 に示すよう、原位置での濁水処理を実施した水域のみ、水の濁りが除去できている状況が確認できる。

写真-8 は、潜水作業を開始した状況であるが、足の先まで確認できるほど、水の透明度が上昇したことが観察できる。

写真-9 は、水底の状況を示す写真であるが、数m先までの視界が確保できている様子が確認できる。



写真-4 施工前状況



写真-5 汚濁防止膜設置状況



写真-6 凝集材散布状況

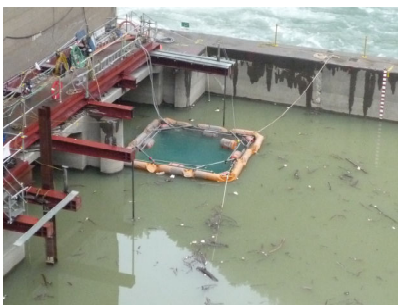


写真-7 濁水処理後(遠景)

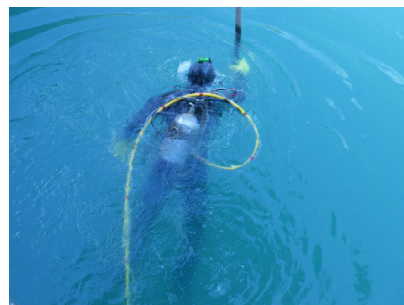


写真-8 潜水作業状況

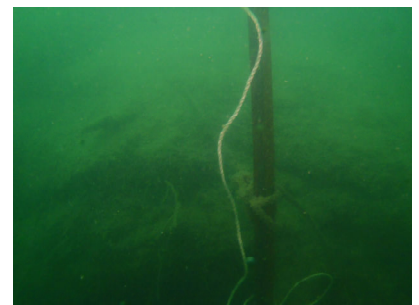


写真-9 水底の状況

(4) 作業効率向上

当該工法の適用により、潜水作業開始初日から支障物を撤去することが可能になり、作業効率が約3倍程度向上した他、安全性が格段に向上する結果が得られた。

また、潜水土からの聞き取り調査の結果、作業中に水底土砂を再攪拌しても、ブロックの沈降速度が速いため、視界の回復が素早く図られ、安全性の向上と作業の効率化が図れたとの評価であった。

(5) 凝集材の安全性について

滝発電所の放水庭での原位置濁水処理工法の適用時においては、凝集材の安全性を評価するデータは、表-1 に示す魚毒性試験結果だけであった。このため、周辺環境に対する影響を考慮し、潜水作業完了後、水底に堆積した凝集ブロックを吸引回収し、産業廃棄物処理した。

一方、原位置濁水処理を行った後、pH、Ec(電気伝導度)に変化が認められないこと、凝集材の魚毒性が極めて小さいことから、凝集ブロックをそのまま水底に残しても周辺環境に与える悪影響はほとんどないものと考えた。

このため、別途、他のダム湖より採取した底泥および湖水を用いて、①凝集材、ダム底泥及び凝集ブロックの成分分析(蛍光X線分析、X線回析測定)、②凝集材、ダム底泥及び凝集ブロックの形状観察(電子顕微鏡観察)、③凝集ブロックの72時間急性毒性試験(ヒメダカ)、④ダム湖水及び凝集上澄み水の水質試験、⑤凝集材及び凝集ブロックの含有・溶出試験を行い、第三者機関にて凝集ブロックの安全性を評価した。

上記の試験結果の詳細報告は別の機会に報告することとするが、凝集フロックの安全性について、以下の評価が得られた。

- ・凝集フロックの組成、構造はダム底泥のそれに酷似しており、使用した凝集材の種類による差異もほとんど認められなかった。ダム湖底泥、フロック P、フロック Z とも $\text{SiO}_2 + \text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) + \text{K}_5\text{Na}_5\text{AlSi}_3\text{O}_8$ からなる安定相であった。
- ・凝集材、凝集フロック、凝集処理した後の上澄み液に環境基準を超過する項目は認められなかった。
- ・フロック P、フロック Z の表面の物理性状は、底泥本来のものと差異はないと考えられる。
- ・EDS マッピングから、フロック P、フロック Z に凝集材の偏在は観察されなかった。
- ・ヒメダカに対する 72 時間急性毒性試験結果によれば、フロック P、フロック Z は、凝集材と同程度の「毒性なし」という結果が得られた。

以上の結果より、凝集材により生成したフロックがダム底に蓄積して環境中に存在しても、生物に影響がないと考えられる評価が得られた。

これより、今後本工法を適用する際、原位置濁水処理した結果、水底に堆積した凝集フロックの回収は不要であると判断する。

5. まとめ

本工法で放水庭潜水エリアの水の濁りを除去することで、潜水土の視界を確保することが可能となり、安全・作業効率の大幅な向上が図れた。

また、水の濁りを除去することに伴い発生する凝集フロックは、蓄積して環境中に存在しても、生物に影響がないという評価が得られたため、フロック回収の必要性が低いことが分かった。

6. おわりに

今後、災害復旧工事だけでなく、ダム改修工事等の作業を伴う工事において、積極的に本工法の適用拡大を図り、潜水土の安全確保に寄与していきたいと考えている。

なお、本工法の安全性の評価については、旭川工業高等専門学校 物質化学工学科 古崎教授、松浦准教授、兵野助教、新日本工業株式会社前田代表取締役を始め多くの方々に多大なご協力を頂いた。ここに記して深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 山本ら：回転金網ろ過方式の濁水処理工法の開発，前田技術研究所報，Vol. 52, 2011, 2011.
- 2) 福島県土木部：平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨による被害状況(速報版)，福島県土木部, 2011