

上水スラッジ濃縮装置の開発

Development of Sludge Concentrators for Water Purification Plant



岩井 俊 憲 Toshinori Iwai ①

田中 将 一 Shoichi Tanaka ①

あらまし

浄水場では浄水工程から発生する濁質等を含む排水処理工程があり、発生する上水スラッジを濃縮処理することで脱水や乾燥が効率的に行えることが知られている。天日乾燥床やフィルタープレスのニーズに沿うものとして、上水スラッジを効率的に濃縮できる装置を開発した。原水の種類や性状、浄水処理プロセスの違いにより、発生する上水スラッジには違いがある。そこで、水源、水質の異なる浄水場において実施した実液試験をもとに装置の最適運転方法と維持管理性の向上を追及した。ここでは、3年間にわたる実液試験において得られた知見を報告する。

Abstract

In wastewater treatment for water purification plants, it is a well-known fact that dehydration treatment can be efficiently performed by using a sludge concentration system as the pretreatment to the wastewater treatment. Hitachi Zosen developed equipment that can efficiently concentrate sludge to meet the needs described above. There are differences in the generated purified sludge due to the properties of the raw water and the differences in the purification treatment process. Hitachi Zosen conducted field experiments locations where the water source and quality were different and pursued easy maintenance and optimum operation methods for the equipment. Hereafter, Hitachi Zosen reports the results obtained in the field over three years using different purified water sludge.

1. 緒言

当社はフィルタープレスのメーカーとして、民需向けには国内累計4,000台以上の納入実績があり、水道事業体へも納入実績を伸ばしている。また、フィルタープレスだけでなく、水道事業体の排水処理設備更新計画に伴うトータルエンジニアリング対応の一環として、上水スラッジを効率的に濃縮できる装置を開発した。

上水スラッジ濃縮装置は、主に大規模浄水場向で適用されている。それに対して当社では小規模浄水場においても、遠隔監視・操作で浄水場技術者の支援が可能、かつメンテナンスが容易で安定した性能が発揮できる装置を開発した。一方、上水スラッジの性状は原水の種類や性状により大きく異なり、処理特性も異なる。そこで、

水源の種類が異なる3箇所の浄水場で性状の異なる上水スラッジを用いて、合計3年間の現場実液試験（以下実証試験）を行い、上水スラッジの特性に応じた効率的な運転方法を確立した。

また、少量のサンプル上水スラッジを用いてラボ実験できる小型テスト機と試験手法を開発し、大規模な実証試験を行うことなく、実証試験と同等の操作条件、性能を把握できるようにした。これにより、フィルタープレスとの組み合わせも含めて、最適な排水処理設備を提案できるようになった。ここでは、3年間のフィールド試験で得た知見について報告する。

2. 上水スラッジ濃縮装置の開発

2.1 実証試験の概要 上水スラッジ濃縮装置の基本フローを図1に示す。開発した上水スラッジ濃縮装置では、原スラッジを張り込んだろ布濃縮槽の中に封

① 環境事業本部 水処理ビジネスユニット 水処理技術部

筒状のろ布エレメントを浸漬し、吸引ろ過により濃縮するプロセスを採用した。本文冒頭の写真に示すように、実証試験装置は天日乾燥床横に設置した。処理する原スラッジは、既存の原スラッジ貯留槽（或いはシクナー）から実証試験装置スキッド上の原スラッジ槽へ供給した。装置から排出する濃縮スラッジは天日乾燥床へ、ろ液は清澄性を確認した後、天日乾燥床の排出ラインへ排出した。

原スラッジ槽に貯留した原スラッジは、原スラッジ攪拌ポンプ（水中ポンプ）を利用して、ろ布濃縮槽に供給した。

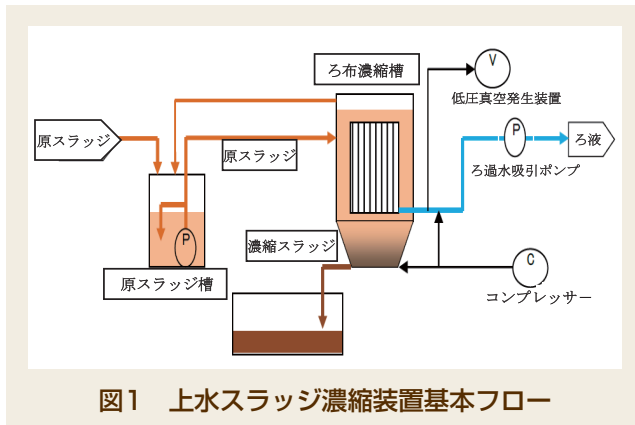


図1 上水スラッジ濃縮装置基本フロー

ろ布濃縮槽内のろ布エレメントが常時浸漬状態で、ろ過水吸引ポンプにより原スラッジを吸引ろ過し、ろ布表面にケーキ層を形成することで濃縮スラッジを得ることができる。ろ布表面のケーキ層の形成が進行し、ろ過水吸引ポンプの吸引圧力が所定の圧力以下になった時点で、濃縮槽内の残スラッジを原スラッジ槽へ排出した。そして、ろ布表面に付着した付着スラッジが空气中に露出した状態で、低圧真空装置（LPVU）を用いた吸引ろ過に切替え、更に付着スラッジの中の水分の吸引を行った。

ろ布表面に付着した付着スラッジの剥離は、ろ布の内側からの圧縮空気の吹込みにより実施した。剥離した濃縮剥離スラッジは、ろ布濃縮槽内下部に落下させて貯留し、定期的ろ布濃縮槽内で原スラッジと混合して天日乾燥床へ排出した。一方、吸引ろ過により得たる液は、ろ液貯留槽に一旦貯留した後、天日乾燥床横の排水ラインに排出した。



図2 小型テスト機

ラボテスト用に開発した小型テスト機（図2）も機器の容量は小さいが、同一の設備構成となっている。

また、小型テスト機は実証試験期間中、同一上水スラッジを用いた比較試験を行い、実証試験装置と同等の運転性能が出ることを確認した。この結果、少量のサンプルスラッジで商用設備計画が可能となった。

2.2 装置処理工程 上水スラッジ濃縮装置の処理は、事前に実施した手動試験結果に基づいて決定した図3に示す工程で行った。工程の切り替えのタイミング、設定値など、安定した自動運転が可能となるパラメーターを確認・検証した。

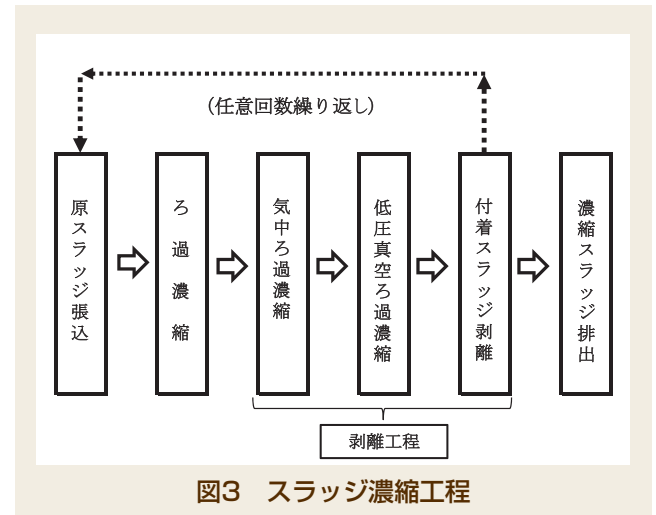


図3 スラッジ濃縮工程

(1) 原スラッジ張込工程

原スラッジ攪拌ポンプにより原スラッジをろ布濃縮槽に供給した。原スラッジ供給の必要ない場合には、原スラッジ槽の攪拌を行っている。

(2) ろ過濃縮工程

ろ過水吸引ポンプによるスラッジの吸引ろ過では、一定の流束でろ過すると、ろ過と共にスラッジによるろ布表面の閉塞が一気に進み、吸引圧が急激に低下してしまう。そこで、手動試験において、ろ布の吸引圧力に応じてろ過流束（フラックス）を減ずる運転プログラムを組み、全自動でフラックス制御を行った。この結果、問題なく運転制御できることを確認した。フラックスは低い場合、ろ過時間を延長できるが、単位時間当たりの処理量は減ることになり、処理効率が低下する。また、フラックスが高い場合、短時間でろ布の閉塞が進行してしまい、ろ布へのスラッジ付着量不足、ろ過以外の工程時間の比率が増すため、サイクル（原スラッジ供給から濃縮スラッジ剥離までの一連の工程）あたりの処理能力の低下を招く。

設定フラックスに対する操作圧力パラメーターは、原スラッジの性状によって違いがあるため、濃度の違いだけで決定することはできない。後段の3項で述べるが、原スラッジの濃度が1%の浄水場と0.2%の浄水場での運転パラメーターのイメージは、概ね図4ようになる。

(3) 気中ろ過濃縮工程

ろ過濃縮工程において、ろ布吸引圧力が所定圧力に達した際に、ろ布濃縮槽のドレン弁を開けて槽内の残ス

ラッジを原スラッジ槽に排出する。この間、ろ過水吸引ポンプは運転を継続したままで、ろ布面に形成された付着スラッジ内の水分を吸引し続け、ろ布モジュールが空气中に露出した状態でろ過を継続すると、徐々に空気がろ過水側（ろ布の2次側）に漏れ込んで吸引圧が大気圧近くまで上昇する。所定の圧力まで上昇した時点でろ過水吸引ポンプを停止した。

(4) 低圧真空ろ過濃縮工程

ポンプによる原スラッジのろ過吸引終了後、付着スラッジの剥離性を向上させる目的で、低圧真空ろ過装置を用いてろ布のろ液側から真空吸引を行った。同じ付着量であっても、季節によって付着スラッジから吸引できるろ液量には違いがあった。また、真空ろ過におけるろ液量が多い場合と少ない場合では、付着スラッジの剥離状況が異なることが確認された。低圧真空ろ過濃縮工程における適切なろ液量が確保できるろ過時間に調整することで、付着スラッジの剥離性を保つことができる。

(5) 濃縮スラッジ剥離工程

ろ布面に付着した付着スラッジの剥離は、コンプレッサーにより圧縮空気をろ液側から吹き込み、ろ布面から空気を噴出させることにより行った。この操作により、ろ布面に付着した付着スラッジのほとんどは剥離し、ろ布

濃縮槽下部に落下。得られた濃縮剥離スラッジは、破片状のケーキとなって、ろ布濃縮槽下部に堆積する。

(6) スラッジ排出工程

上述の(1)～(5)の工程を複数回繰り返し、ろ布濃縮槽下部に堆積した剥離濃縮スラッジは、気中ろ過濃縮工程の原スラッジ返送後、ろ布濃縮槽内に残った残スラッジと混合して天日乾燥床へコンプレッサーの空気圧により排出した。濃縮スラッジ排出までの工程の繰り返しは、排出する濃縮スラッジ濃度が6%程度となるサイクル数に決定した。ろ布面に付着したスラッジの濃度は季節によって異なるが、概ね7～15%となった。原スラッジの性状や季節変化により付着スラッジの濃度は変化するが、排出までの繰り返しサイクル数を調整することで、目標とする濃度の濃縮スラッジが得られる。

3. 実証試験における濃縮例

3ヶ所の異なる浄水場での実証試験では、原スラッジの性状により上水スラッジの濃縮特性が異なるが、そのスラッジに最適な運転条件とすることで安定した濃縮が継続できることが分かった。安定して継続運転できる最適条件下で得られた上水スラッジの濃縮例を表1に示す。

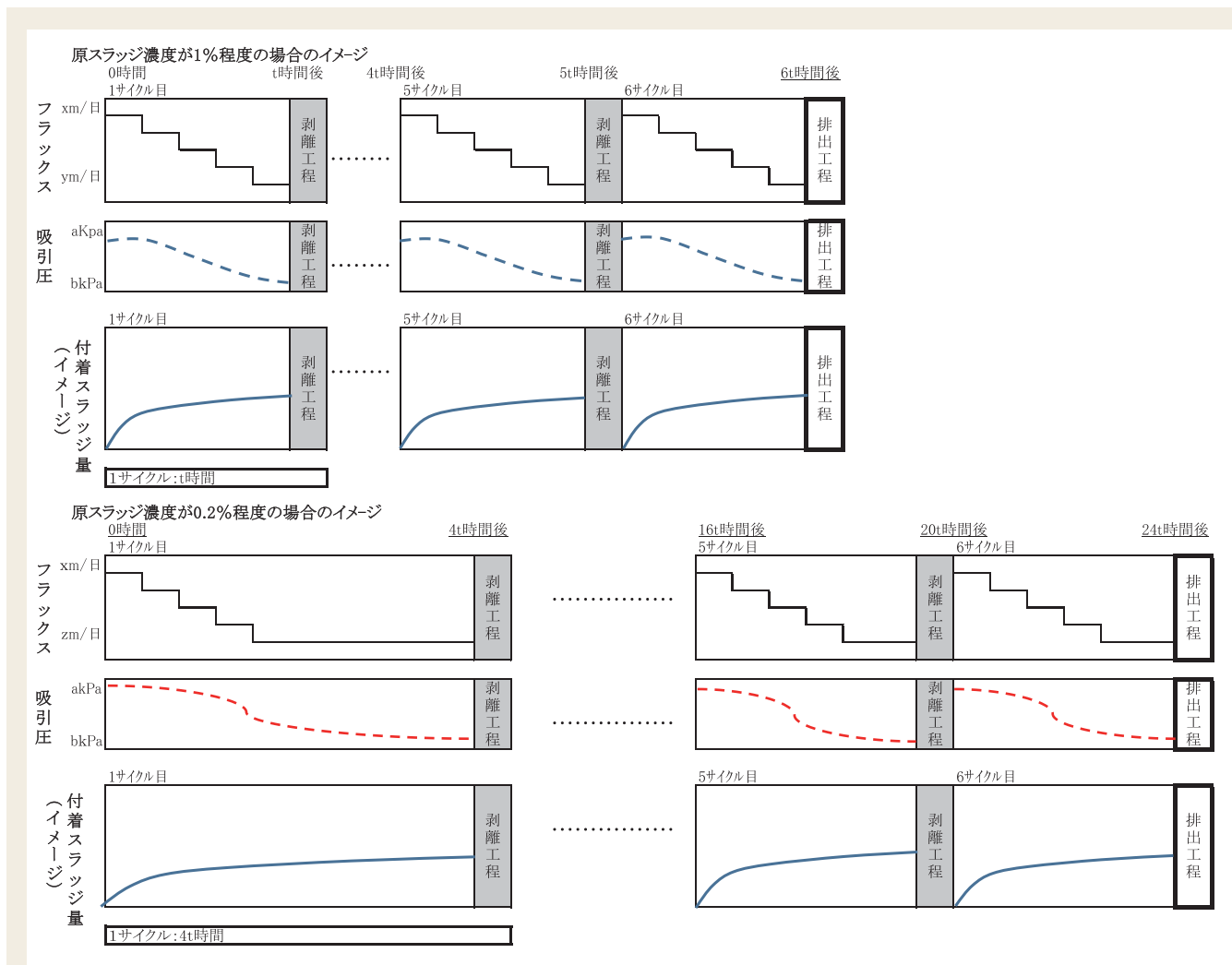


図4 運転パラメーターのイメージ図

CASE1: 1年目に実証試験を実施したA浄水場では、原スラッジ濃度は1%程度で供給されるため、サイクル時間も2時間程度と安定した濃縮運転を継続することができた。

CASE2: 2年目に実証試験を実施したB浄水場では、天日乾燥床へ供給される原スラッジ濃度は0.1～0.2%と希薄であったため、サイクル時間が27時間と非常に長くなった。ただし、希薄なスラッジでも通常スラッジ(1%程度)と同様に継続して安定した濃縮スラッジが得られる運転が継続できた。

CASE3: 3年目のC浄水場での実証試験では、原スラッジ濃度は1%程度と1年目のA浄水場に似通っていたが、サイクル時間は3.3時間となった。

CASE4: 小型テスト機により実施した、D浄水場の上水スラッジ濃縮実験結果を示す。

表1 スラッジ濃縮例

	原水	原スラッジ濃度 %	1サイクル時間 hr	濃縮剥離スラッジ濃度 % ※1	濃縮スラッジ濃度 % ※2	濃縮倍率 (対排出スラッジ)	1サイクル処理量 kg-ds/m ²
Case1 A浄水場	ダム+地下水	1.01	1.93	7.13	5.32	5.3	0.40
Case2 B浄水場	地下水	0.2	27.08	6.45	4.93	24.7	0.95
Case3 C浄水場	湖沼水	1.28	3.32	6.89	5.96	4.7	0.55
Case4 D浄水場	河川水	3.35	3.40	9.40	7.90	2.4	1.63

原スラッジ固形物組成分析値 (%)	強熱減量	Al ₂ O ₃	SiO ₂
A浄水場	24.5	24.4	12.4
B浄水場	21.0	9.2	12.3
C浄水場	30.7	6.8	21.9
D浄水場	21.8	11.2	33.3

※1) 低圧真空ろ過濃縮工程完了後のろ布表面から剥離したスラッジ
 ※2) 濃縮剥離スラッジと残スラッジを混合して装置から排出した濃縮スラッジ

4. フィルタープレスとの組み合わせ試験

実証試験装置および小型テスト機で濃縮した濃縮スラッジと原スラッジを用いて、フィルタープレスのろ過脱水試験を行った。原スラッジ、濃縮スラッジを各々原料とした場合のフィルタープレスの処理能力を表2に示す。

CASE1のように原スラッジ濃度1%を上水スラッジ濃縮装置によって5%まで濃縮すると、フィルタープレスの能力は2.4倍となった。つまり、フィルタープレスの大きさを2分の1以下に小型化できることがわかる。

CASE2のように原スラッジ濃度が0.2%程度の場合でも適切な運転により5%程度に濃縮できる。逆に0.2%の原スラッジをフィルタープレスで直接処理するとろ過速度が0.08kg-ds/m²・hrとなることから、非常に大きなろ過面積を持ったフィルタープレスが必要になることが分かる。上水スラッジ濃縮装置を用いると濃縮運転サイクル時間は長くなるが、適切な濃縮処理能力を確保すれば、濃縮スラッジの濃縮倍率は24倍以上となり、フィルタープレスの能力も10倍程度に向上する。スラッジ濃縮をしない場合の10分の1程度で計画できることが分かる。

今回開発した上水スラッジ濃縮装置は、シンプルな設

備とするために、濃縮スラッジの排出にはコンプレッサーの空気圧を利用して押し出し排出を行っている。

実案件計画でフィルタープレスと上水スラッジ濃縮装置の組み合わせプロセスを計画する場合、配管等を工夫して上水スラッジ濃縮装置の濃縮剥離スラッジをそのままフィルタープレスへ移送する方式とすることで、より高濃度の濃縮スラッジを脱水することが出来るため、フィルタープレスの能力は更に向上することになる。

表2 フィルタープレスろ過脱水試験結果

	原水	原スラッジ濃度 %	フィルタープレス処理能力 kg-ds/m ² ・hr		濃縮スラッジ濃度 %	フィルタープレス処理能力 kg-ds/m ² ・hr
Case1 A浄水場	ダム+地下水	1.01	0.33	⇒	5.32	0.78
Case2 B浄水場	地下水	0.2	0.08	⇒	4.93	0.82
Case3 C浄水場	湖沼水	1.28	0.15	⇒	5.96	0.42
Case4 D浄水場	河川水	3.35	0.29	⇒	7.90	0.85

注) フィルタープレスの処理能力は、弊社での実験測定結果

5. ろ布エレメントの耐久性確認

ろ布エレメントは、上水スラッジ濃縮装置の要となるもので、主には付着スラッジ剥離工程でろ布エレメントの吸引(収縮)/剥離(膨張)という変形を繰り返すため、一定の耐久性が必要となる。そこで、ろ布エレメントの耐久性を加速試験で評価した。上水スラッジ濃縮装置の原スラッジ槽内に実証試験と同じろ布エレメントを設置し、原スラッジの吸引、付着スラッジの剥離を短時間サイクルで繰り返した。

原スラッジの吸引は水エゼクター装置を設置して吸引ろ過し、付着スラッジの剥離は装置のコンプレッサーの圧縮空気配管を分岐して利用した。

加速試験の条件は表3の通りである。加速試験の吸引/剥離回数は、加速試験終了時点で88,393回に達した。

表3 加速試験ろ布エレメント操作条件

原スラッジ吸引時間	300秒
付着スラッジ剥離時間	10秒
吸引時フラックス	1.8m/日

上水スラッジ濃縮装置ではろ過開始前に1回、付着スラッジ剥離時に2回、計3回/サイクルの吸引/剥離を行うので、吸引/剥離回数は29,464サイクルの運転に相当する。上水スラッジ濃縮装置が平均3時間/サイクル、8サイクル/日運転と仮定すると、3,683日の運転日数に相当することになる。

加速試験終了後のろ布の状況を観察すると、ろ布表面、ろ布形状、配管接続部に損傷や異常は無く健全な状態を保っており、強度的な問題はないことが確認された。

ただし、今回の実証試験で用いた原スラッジよりも鉄・マンガンが多く含まれる原スラッジの場合、これらの付着により閉塞も考えられるため、そのスラッジ性状に合わせたろ布再生洗浄など、養生措置が必要なケースもあるが、物理的強度は10年程度の耐久性があると判断される。

6. 装置維持管理性の向上

ろ布は通常メンテナンスフリーであるが、上述のように閉塞の有無などの確認のため、ろ布エレメントを取り出して確認することがある。装置開発時は、ろ布エレメントをブロック化した構造で試験を行っていた。そのため、ブロック全体の引き上げにクレーンや吊り上げ装置が必要で、ろ布エレメント1枚ずつの取り外しは煩雑で操作性が悪かった。そこで、5つのろ布エレメントを1カートリッジとし、軽量化して人力で簡単に取り外し、取り付けられるようにした。これにより、装置点検時の操作性は格段に向上した。

カートリッジから取り外しが必要なる布エレメントも、一般的な工具を使用して人の手で脱着出来る構造とすることで、メンテナンス性を向上させた。実証試験ではろ布エレメントの交換作業も行い、作業性が良いことを確認した。

上水スラッジ濃縮装置は、ケーキろ過ではあるものの、一般的なろ過装置と同様に運転時間の推移とともに、ろ布面の目詰まりが起り、ろ過性能が低下する。ろ過面の目詰まりの解消、防止策としてろ布洗浄が考えられるが、頻繁な洗浄は洗浄排水量の増加、つまり排水処理設備全体の効率低下につながる。そこで、実証試験では運転期間中にろ布の洗浄をしなかった。しかし、ろ過性能の低下は濃縮効率低下につながることから、設定している運転パラメーターでの処理能力が70%程度に低下した時点でろ布モジュールを取り外した。そして、数日乾燥させることで付着スラッジを除去し、再度取り付けて運転をしたところ、新品の95%以上の能力に回復することが確認された。

最後に実証試験を行った中規模の浄水場では、この管理方法を採用したところ、日常運転ではメンテナンスフリーとなり、乾燥によるろ布再生ができた。この運転管理方法により、洗浄排水の発生や消耗品交換も最低限に抑えられると考える。

また、装置には日常の点検が必要な特殊な計測機器などは使用していない。さらに、夜間等に人員配置がない中小規模の浄水場でも安心して利用できる装置とするため、必要に応じていつでも装置の運転状態を確認、操作ができる遠隔監視システムを組み込んでいる。

このシステムにより、**図5**に示すようにリアルタイムで運転を監視できる。また、監視データである運転サイクル時間の変化などから、原スラッジの濃度変化の動き、浄水工程の変化、排水処理工程の効率的な運転、季節変動に伴う変化にも効果的に対応できる。



図5 遠隔監視による運転支援イメージ

7. 今後の展開

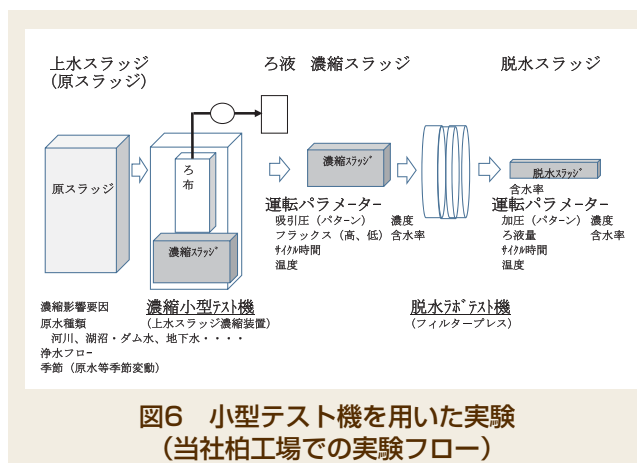
国内の中小規模浄水場では排水処理の最終工程の脱水処理に天日乾燥床を採用するケースが多く、大規模浄水場ではフィルタープレスの採用が多い。いずれにしてもスラッジ濃縮により、排水処理を効率化でき、スラッジの減容化・乾燥処理に寄与できる。

天日乾燥床のある浄水場は、国内には多数あるが、天日乾燥床で十分に濃縮・乾燥できない状態のまま搬出しなければならない事業体もある。あるいは、中小規模浄水場では少ない人員で、施設管理が厳しくなっている事業体もある。そのような中、C浄水場では上水スラッジ濃縮装置を導入することで従来の天日乾燥床の5分の1の面積で処理できることがわかり、本装置を導入することとなった。

また、フィルタープレスの計画でも低濃度の原スラッジでは、ろ過速度の低下が生じるため、大きなろ過面積が必要となり、装置の大型化を余儀なくされる。そのため、上水スラッジ濃縮装置によりスラッジ濃度を高めることで、小型化が可能となる。

ならびに、上水スラッジの濃縮処理・脱水処理設備計画では、原水の種類や性状、浄水処理プロセスの違いに加えて原スラッジの季節変動を把握しておく必要がある。そこで、実証試験の終了後も、開発した小型テスト機を使って浄水場の上水スラッジの濃縮試験を継続し、季節変動を含めて種々の上水スラッジの濃縮特性を把握していく予定である。この小型テスト機は弊社のフィルタープレスの設計・製造拠点となる柏工場内に設置されており、**図6**に示すように、フィルタープレスとの組み合わせについても最適化の検討が可能となった。その結果、あるサンプルでは、フィルタープレス単独で計画するよりも、上水スラッジ濃縮装置と組み合わせることで、トータル設備、ランニングコストが安価となる試算結果も出た。

実際の現場で3年間行ってきた実証試験により、本装置が様々な上水スラッジに対応できることが分かった。さらに、開発した小型テスト機を供試することで、実証試験と同様の最適運転パラメーターを把握することが可能となった。また、少量のサンプル上水スラッジで最適



な排水処理方法の提案が可能となったことで、天日乾燥床の機能強化に関心のある水道事業者から、上水スラッジ濃縮の検討依頼を受け、設備提案を行う機会を得ることができた。

今後は、水道事業者の更新計画に、フィルタープレスだけでなく、上水スラッジ濃縮装置+天日乾燥床や上水スラッジ濃縮装置+フィルタープレスのといったその水道事業体に最適な提案が可能となる。

8. 結 言

3年間にわたり性状の異なる3箇所の上水スラッジによる実液試験を実施し、上水スラッジの性状毎に最適運転パラメーターがあることが分かった。また、上水スラッジ濃縮装置、天日乾燥床、フィルタープレスとの組み合わせで合理的な排水処理設備を提案できるようになった。

また、上水スラッジ濃縮装置の小型テスト機により、各地のスラッジや季節変動も想定した最適な提案が可能になった。国内の水道施設は更新の時期を迎えており、近年は地球温暖化による気候変動による集中豪雨の発生など、浄水場の設備運営にも大きな影響を与えている。これらを踏まえて最適な排水処理方法を見出し、規模に制限されない、より効率的な処理を提案していきたい。

【文責者連絡先】

Hitz日立造船株式会社 環境事業本部
水処理ビジネスユニット 水処理技術部
岩井俊憲
Tel : 06-6569-0517 Fax : 06-6569-0065
e-mail : iwai_t@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Environment Business Headquarter
Water Treatment Business Unit
Toshinori Iwai
Tel : +81-6-6569-0517 Fax : +81-6-6569-0065
e-mail : iwai_t@hitachizosen.co.jp



岩 井 俊 憲



田 中 将 一