

(69) 浄水スラッジの脱水効率に関する予測モデル

及川 智^{1,2,*}・北澤 弘美^{1,3}・佐藤 親房^{1,4}・小泉 明¹

¹ 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

² 東京都水道局水質センター (〒158-0085 東京都世田谷区玉川田園調布 1-19-1)

³ 東京都水道局浄水部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿 2-8-1)

⁴ 東京都水道局研修・開発センター (〒158-0085 東京都世田谷区玉川田園調布 1-19-1)

* E-mail: oikawa-tomo@waterworks.metro.tokyo.jp

浄水スラッジの排水処理では、環境負荷低減や処理残渣の有効利用の観点から、無薬注処理が主流となっている。しかし、無薬注処理では、低水温期に濃縮効率及び脱水効率が大きく低下することが大きな問題となっている。この対策として、スラッジの加温脱水や強制濃縮が行われているが、これらの改善策の効果は事前の予測を下回ることが広く知られている。そのため、脱水効率を理論的に精度良く予測できるモデルが求められている。本研究では、沈降濃縮、強制濃縮及び加温脱水について実験用脱水機を用いて実験を行い、その結果から、濃縮スラッジ濃度、ろ液粘度及びケーキ平均比抵抗から脱水効率を予測するモデルを導出した。この予測モデルにより、脱水施設の新設・更新や既存施設の運転において、費用対効果の最適化が可能になると考えられる。

Key Words : sludge treatment, dewatering efficiency, sludge pretreatment, thickening

1. はじめに

水質汚濁防止法により、一定規模以上の浄水処理施設は特定事業場に位置づけられ、浄水処理排水の適切な処理が義務づけられている。このため、浄水スラッジやろ過池洗浄排水の処理として濃縮及び脱水が行われており、濃縮工程では主に沈降濃縮が行われ、脱水工程では機械脱水処理や自然乾燥が行われている。環境負荷の低減や処理残渣である発生土の有効利用等の観点から、処理工程で石灰や有機高分子凝集剤を用いない無薬注方式が9割近くを占めている¹⁾。

しかし、無薬注方式では、低水温期に原水濁度が低下して凝集剤の割合が高い条件となると、濃縮効率が低下し、それに伴って脱水効率が低下する欠点がある。さらに、クリプトスポリジウム暫定対策指針(平成8年)による砂ろ過水濁度の管理強化によって、砂ろ過の前処理である凝集沈殿処理において凝集剤が過剰に注入される傾向があり、発生スラッジ量の増大、及び、濃縮・脱水効率低下が大きな問題となっている²⁾。

この対策として、スラッジを加温処理して脱水効率を向上させる方法(加温脱水)が考案され³⁾実施に導入されている⁴⁾。また、濃縮処理での改善策として、スラ

ッジや洗浄排水を機械的に強制濃縮させて濃度を向上させる方法があり、特にMF膜を用いる強制濃縮(膜濃縮)に関する研究が進められている^{2),5),6)}。

しかし、これらの改善策の脱水効率向上効果は、事前に予測された効果を下回ることが多く報告されている。加温脱水では、脱水効率はろ液(水)粘度の逆数に比例するとされているが³⁾、実施での運転結果ではこの関係から予測された効果が得られない⁷⁻¹⁰⁾。また、沈降濃縮では脱水効率が濃縮スラッジ濃度に比例するのに対し、強制濃縮では脱水効率向上効果は濃縮スラッジ濃度の向上率より低い⁹⁾。

浄水スラッジの脱水処理に関する既存の研究では、ケーキろ過理論と脱水性との関連についての報告¹¹⁾⁻¹⁵⁾はあるものの、比抵抗、ろ液粘度及びスラッジ濃度について、脱水効率との関係をろ過理論に基づいて明らかにした例はなく、現状では脱水効率を理論的に予測することができない。このため、脱水効率改善策の導入においては、事前に実験を行って脱水効率向上効果を把握し、設計諸元を決定する必要がある。しかし、加圧脱水機の実験装置は非常に高価であり、実験の実施が困難である場合が多く、不確かな予測値をもとに設計諸元が決定され、設置後の運転管理が困難となる場合がある。また、

施設の運転管理においても、費用対効果を最適化できる運転条件を決定することが難しいものとなっている。

筆者らは、強制濃縮及び沈降濃縮の脱水効率に及ぼす影響について、実験用横型加圧脱水機を用いた実験結果をろ過理論に基づいて解析して、強制濃縮及び沈降濃縮における脱水効率と比抵抗、ろ液粘度及びスラッジ濃度との関係式を導出した¹⁶⁾。無薬注方式の排水処理では、脱水効率向上策として、強制濃縮だけではなく加温脱水も広く用いられている。そこで本研究では、強制濃縮及び沈降濃縮で得られた濃縮スラッジを用いて加温脱水実験を行い、その結果をもとに、沈降濃縮、強制濃縮及び加温脱水に共通して適用できる脱水効率の予測モデルを提案する。以下、2. では筆者らが導出した沈降濃縮及び強制濃縮における脱水効率の関係式について説明する。3. では本研究で実施した加温脱水実験の内容を説明し、4. では実験結果をもとに、脱水効率の予測モデルを導出し、その有用性を示す。

2. 強制濃縮及び沈降濃縮における脱水効率とケーキ平均比抵抗、ろ液粘性、濃縮スラッジ濃度との関係式¹⁶⁾

一定量のスラッジを定圧ろ過する場合であれば、ケーキろ過理論から脱水効率（ろ過速度）を求めることができる。しかし、実施設では脱水効率向上のためスラッジ圧入ろ過工程（ろ過工程）の後に加圧水による圧搾工程（圧搾工程）を行う圧搾機構付脱水機が多く用いられている。圧搾工程を含む脱水では、ろ過工程と圧搾工程の圧力が異なることや、圧搾工程におけるろ液量及び必要時間がろ過工程でのろ液量に影響を受けることなどの理由から、ケーキろ過理論からろ過速度を直接求めることが極めて難しい。そのため、現状では、比抵抗、ろ液粘度、スラッジ濃度が脱水効率に与える影響をろ過理論から予測できない。

そこで筆者らは、MF膜を用いた強制濃縮装置で濃縮したスラッジ（膜濃縮スラッジ）と沈降濃縮したスラッジ（沈降濃縮スラッジ）について実験用脱水機を用いて実験を行い、その結果をケーキろ過理論に基づいて解析し、ろ過工程の定圧ろ過係数 K_f (m⁶/s) について次の関係があることを見いだした。

$$\theta_{dw} \propto K_f^{-0.41} \quad (1)$$

ここで、 θ_{dw} ：脱水にかかる時間 (s) である。また、1回の脱水で脱水された乾燥固形物量 W (kg-ds) は次式で表される¹⁷⁾。

$$W = \frac{\rho s}{1 - m_{dw} s} V_{dw} \quad (2)$$

ここで、 ρ ：ろ液密度 (kg/m³)、 s ：原液中の固形分の

質量分率 (kg/kg)、 m_{dw} ：脱水終了時のケーキ湿乾質量比、 V_{dw} ：脱水終了時のろ液量 (m³) である。

ケーキろ過理論では、定圧ろ過式におけるろ液量 V (m³) の変化は次式で表される。

$$(V + V_m)^2 = K(\theta + \theta_m) \quad (3)$$

ここで、 K ：定圧ろ過係数 (m⁶/s)、 V_m ：ろ材抵抗に相当する仮想のろ液量 (m³)、 θ ：ろ過時間 (s)、 θ_m ： V_m を得るための仮想のろ過時間 (s) である。この式(3)において V_m を無視すると次式が得られる。

$$V = \sqrt{K\theta} \quad (4)$$

脱水終了時において、式(4)に V_{dw} 、 θ_{dw} を用いて式(2)に代入することにより、次式を得る。

$$W = \frac{\rho s}{1 - m_{dw} s} \sqrt{K\theta_{dw}} \quad (5)$$

式(5)について、ろ過工程の定圧ろ過係数 K_f を用いて実測値と比較したところ、良い比例関係があった ($R=0.991$)。

加圧脱水機の脱水効率を示すろ過速度 F (kg-ds/(m²・hr)) は単位時間、単位ろ過面積あたりの脱水固形物量として次式で定義される。

$$F = \frac{W}{A \cdot (\theta_{dw} + \theta_d)} \times 3600 \quad (6)$$

ここで、 A ：ろ過面積 (m²)、 θ_d ：スラッジ排出等の雑時間である。雑時間 θ_d は装置固有の定数であり、 F の一般的な挙動を説明する際には不必要であることから、雑時間なしのろ過速度 F' を使い、式(5)、(1)を式(6)に代入すると次式を得る。

$$F' = \frac{W}{A\theta_{dw}} \propto \frac{\rho s}{1 - m_{dw} s} \frac{\sqrt{K_f \cdot K_f^{-0.41}}}{K_f^{-0.41}} = \frac{\rho s}{1 - m_{dw} s} K_f^{0.71} \quad (7)$$

ここで、 K_f は次式で与えられる¹⁷⁾。

$$K_f = \frac{2A^2 P_f (1 - m_f s)}{\mu \alpha_f \rho s} \quad (8)$$

ここで、 P_f ：ろ過工程のろ過圧力 (Pa)、 m_f ：ろ過工程終了時のケーキ湿乾質量比、 μ ：ろ液粘度 (Pa・s)、 α_f ：ろ過工程のケーキ平均比抵抗 (m/kg) である。式(8)を式(7)に代入することにより、次式を得る。

$$F' \propto (\rho s)^{0.29} \cdot \frac{(1 - m_f s)^{0.71}}{1 - m_{dw} s} \cdot \left(\frac{2A^2 P_f}{\mu \alpha_f} \right)^{0.71} \quad (9)$$

この式は、 s で決定される第1因子 ($(\rho s)^{0.29}$)、 μ 及び α_f で決定される第3因子 ($(2A^2 P_f / \mu \alpha_f)^{0.71}$)、及び、 μ 及び α_f に影響を受ける m_f 及び m_{dw} と s から決定される第2因子 ($(1 - m_f s)^{0.71} / (1 - m_{dw} s)$) からなる。式(9)において s と μ 、 α_f を分離するため、さらに検討した結果、第2因子×第3因子は $(\mu \alpha_f)^{-0.71}$ に比例していた ($R^2=1.000$)。また、浄水スラッジの濃度表現としては、質量体積分率である濃縮スラッジ濃度 s' (kg/L) が一般的に用いられ

ていることから、 s' を用いて最終的な関係式として次式を得た。

$$F' \propto (s')^{0.29} \cdot (\mu\alpha_f)^{-0.71} \quad (10)$$

式(10)は、スラッジの加温処理を行わない常温脱水について得られた関係式である。本研究では、加温脱水についてこの関係式を適用し、浄水スラッジの無薬注方式での脱水効率向上策として広く用いられている強制濃縮及び加温脱水について共通に成立するろ過速度の予測モデルを得ることを試みる。

3. 実験方法

(1) 供試スラッジの作成

実験のフローを図-1に示す。多摩川下流域に位置する調布取水堰から取水した河川水を、実験用凝集沈殿設備(処理水量 100m³/日)においてポリ塩化アルミニウムを用いて凝集沈殿処理し、発生した沈殿スラッジを採取した。沈殿スラッジを濃縮槽で48時間沈降濃縮を行って濃縮スラッジを作成した。また、沈殿スラッジをMF膜を用いた強制濃縮装置で濃縮し、より高い濃度の濃縮スラッジを作成して脱水実験に供した。

(2) 脱水実験

脱水実験には、実験用短時間型横型加圧脱水機(ろ過面積 1.16m²)を用いた。実験用脱水機の外観を図-1に、仕様及び運転条件を表-1に示した。脱水機は浄水場で用いられる実機とほぼ同様の構成である。脱水は、ろ板締めつけ、スラッジ圧入を行うろ過工程、加圧水で圧搾を行う圧搾工程、ろ板開放・ケーキ排出及びろ布洗浄からなる。ろ過工程及び圧搾工程の圧力は実機と同様に、それぞれ0.49MPa、1.47MPaとした。ろ過工程は5分間、圧搾工程はろ過工程終了から絞りきり(ろ液量 20g/(m²・分)以下)までとした。ろ布は短時間型横型加圧脱水機標準ろ布であり、ろ布使用回数は90~300回

表-1 実験用脱水機の仕様と実験条件

形式	圧搾機構付ろ布走行式 短時間型横型加圧脱水機
ろ過面積	1.16m ² (0.29m ² × 4室)
圧力	ろ過工程 : 0.49MPa 圧搾工程 : 1.47MPa
時間	ろ過工程 : 5分 圧搾工程 : 絞りきりまで 雑時間 : 8分
使用ろ布	短時間型加圧脱水機標準ろ布 (ポリプロピレン製綾織り、 敷島カンバス製 P891)
ろ布使用回数	90~300回
加温温度	40℃

と実機での使用回数と比較すると少ない条件であった。

脱水実験では、沈降濃縮スラッジ及び膜濃縮スラッジを供給槽にポンプで移送し、ダイヤフラムポンプで脱水機へ圧入した。加温脱水の脱水効率向上効果を把握するため、各スラッジについて、スラッジを加温せずにそのまま脱水を行う常温脱水実験、及び、スラッジを供給槽で40℃まで加温して脱水を行う加温脱水実験を連続して行った。加温脱水においては圧搾水も40℃に加温した。

実験は各スラッジについて、ろ布のコンディショニングのためのプレ脱水、常温脱水、加温脱水という順で実施した。一連の脱水に必要な濃縮スラッジは100L程度となり、スラッジ量が不足するため、実験は各スラッジについて一回のみ実施した。そのため、測定値の変動幅についての情報が実験からは得られない。そこで、同一スラッジについて一連の脱水を5回連続して繰り返す実験(連続脱水実験)を別に実施した(脱水回数は合計15回となる)。

本研究で用いた脱水機ではろ布洗浄水を加圧していないことから、ろ布の洗浄が不十分であることが考えられた。そこで、1回の実験終了後はろ布をブラシで洗浄して目詰まりを回復させた。

(3) 測定項目

濃縮スラッジの濃度はJIS K 0102に基づいてTSとして測定した。脱水実験では、圧搾工程の時間を計測して脱水時間 θ_{dw} を求めた。また、脱水終了時のケーキ

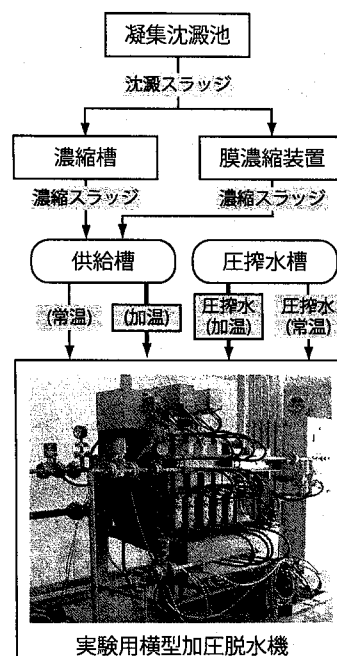


図-1 実験のフロー

総重量及び含水率を測定して、ろ過速度を算出した。さらに、ろ過工程のろ液重量の時間変化 ($dV/d\theta$) を測定し、式(11)を用いて $dV/d\theta$ と V の関係から K_f 及び V_m を求めた。

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{K_f}{2(V+V_m)} \quad (11)$$

得られた K_f から式(8)の関係に基づき比抵抗 α_f を算出し、 V_m から次式の関係¹⁷⁾に基づいて材抵抗 R_m を求めた。

$$R_m = \frac{V_m \alpha_f \rho_s}{A(1-m_f s)} \quad (12)$$

(4) 実験期間

実験は平成14年4月から16年3月までの間に、沈降濃縮スラッジについて37回、膜濃縮スラッジについて20回実施した。

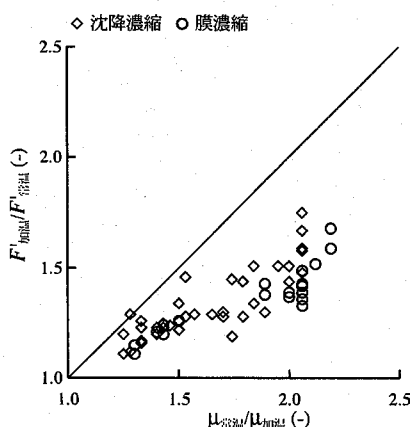


図-2 加温脱水のろ過速度向上効果

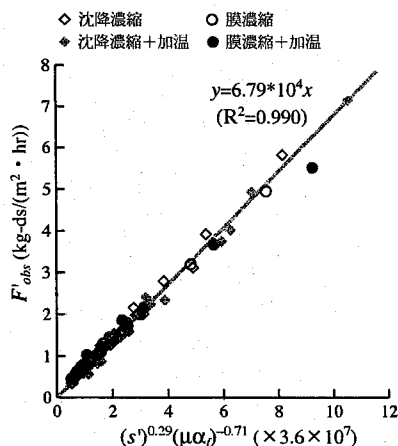


図-3 加温脱水における式(10)の適合性

4. 結果及び考察

(1) 加温脱水による脱水効率向上効果

加温脱水による脱水効率向上効果については、加温による μ の低減に伴ってろ過速度 F は μ の逆数に比例して増加すると予測されている³⁾。そこで、本実験の加温脱水におけるろ過速度の常温脱水に対する向上率 ($F'_{加温}/F'_{常温}$) について、 μ の逆数の比 ($\mu_{常温}/\mu_{加温}$) を比較して図-2に示した。沈降濃縮と膜濃縮の結果の分布には差が見られなかったことから、沈降濃縮と膜濃縮では加温脱水によるろ過速度向上効果に違いがないことが分かった。また、 $F'_{加温}/F'_{常温}$ は $\mu_{常温}/\mu_{加温}$ を下回ることがほとんどであり、 $\mu_{常温}/\mu_{加温}$ が大きいほど差が大きくなっていた。このことから、加温脱水におけるろ過速度の向上効果は μ の逆数では過大評価されることが確認された。

常温脱水実験結果から得られた関係式である式(10)では、ろ液粘度の乗数は-0.71であり、加温脱水でのろ過速度が μ の-0.71乗に比例することが考えられた。そこで、加温脱水における式(10)適合性について検討するため、右辺の $(s')^{0.29}(\mu\alpha)^{-0.71}$ と実際のろ過速度 F'_{obs} を比較して図-3に示した。 $(s')^{0.29}(\mu\alpha)^{-0.71}$ と F'_{obs} との決定係数 R^2 は0.990と高く、加温脱水においても式(10)の関係が成立することが分かった。

しかし、 $F'_{加温}/F'_{常温}$ について、ろ液粘度-0.71乗の逆数の比 ($\mu_{常温}/\mu_{加温}$)^{-0.71} とを比較したところ(図-4)、 $\mu_{常温}/\mu_{加温}$ と比較した図-2と比較して良い一致を示しているものの、結果の分布は $F'_{加温}/F'_{常温}$ が低い側に偏っており、加温脱水におけるろ過速度の向上率は、ろ液粘度-0.71乗の逆数から予測される値よりも低い傾向があることが分かった。

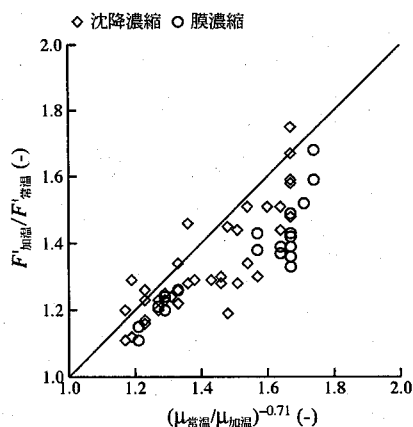


図-4 加温脱水のろ過脱水速度向上効果 ($\mu^{-0.71}$ での比較)

(2) 加温脱水におけるろ過速度関係式の検証

この原因について、加温脱水における比抵抗とろ材抵抗の変化について検討した。常温脱水と加温脱水の比抵抗を比較して図-5に示した。比抵抗が $3 \times 10^{14} \text{m/kg}$ より高い領域では加温脱水における比抵抗の増加が見られたが、他の領域では加温による比抵抗の変化は見られず、全体的に見ると、加温脱水によって比抵抗の変化が見られなかった実験結果が多かった。図-4では多くの実験結果で加温脱水におけるろ過速度向上率が-0.71乗の逆数から予測される値よりも低い傾向があったが、加温脱水によって比抵抗が増加した結果は少なかったことから、加温脱水による比抵抗の増加はこの原因ではないと考えられた。

次に、ろ材抵抗の影響について検討した。ろ液粘度から予測されるろ過速度が得られない原因については、ろ材の閉塞であると推測した研究³⁾がある一方、実施設では加温脱水によってろ布の目詰まりの軽減が生ずることが報告⁸⁾されている。そこで、ろ過工程終了時点での全ろ過抵抗(=ケーキ抵抗 R_c +ろ材抵抗 R_m)に占

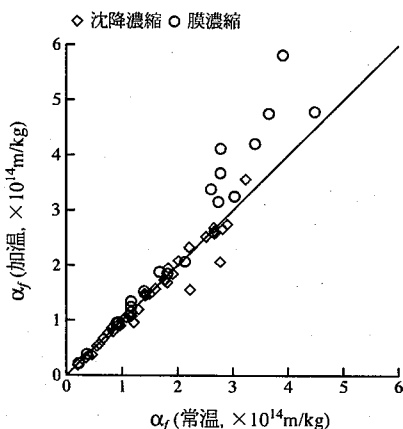


図-5 加温及び常温の比抵抗の比較(ろ過工程)

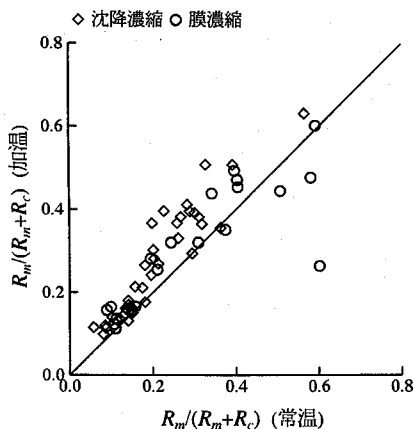


図-6 ろ過工程終了時点の全ろ過抵抗に占めるろ材抵抗の割合の比較

めるろ材抵抗 R_m の割合($R_m/(R_c+R_m)$)を常温脱水と加温脱水とで比較して図-6に示した。加温処理によって全ろ過抵抗に対するろ材抵抗の寄与が増大する傾向が見られた。しかし、ろ材抵抗は脱水を繰り返すごとに増加する傾向があり、加温脱水を常温脱水の後に実施したため、ろ材抵抗が上昇したことが考えられた。そこで、連続脱水実験における $R_m/(R_c+R_m)$ と F' の変化について比較した(図-7)。脱水回数が10回未満の場合には $R_m/(R_c+R_m)$ が上昇して F' が減少し、それ以降は $R_m/(R_c+R_m)$ 及び F' があまり変化しないことが分かった。また、常温脱水、加温脱水の F' の変動係数は約5%であり、 $R_m/(R_c+R_m)$ が約0.1から約0.3に増加しても、 F' はあまり変動しないことが分かった。通常の実験の脱水では常温脱水を2回目、加温脱水を3回目に実施している。このことから、本実験の加温脱水での $R_m/(R_c+R_m)$ の増加は、脱水回数の経過によるろ材抵抗の増加によるものであり、 F' には大きな影響を与えないことが分かった。

しかし、図-6ではろ過工程終了時点での $R_m/(R_c+R_m)$ は0.1~0.6となっており、ろ過速度に対するろ材抵抗の影響は無視できないことが分かった。式(10)の導出過程では、式(3)においてろ材抵抗に関する項である V_m を無視して式(4)を得ており、式(10)にはろ材抵抗の影響が反映されていない。そこで、ろ材抵抗を含めたろ過速度の予測モデルを再検討することとした。

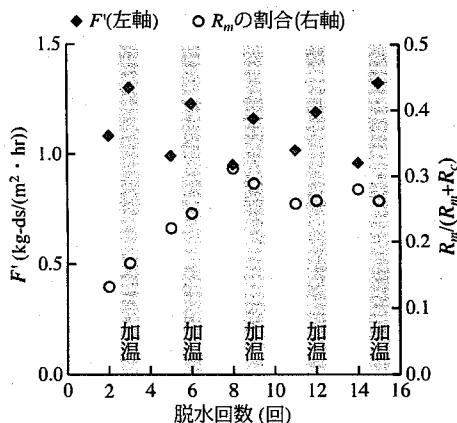


図-7 連続脱水実験におけるろ過速度と $R_m/(R_c+R_m)$ の変化

(3) ろ材抵抗を含んだ脱水効率（ろ過速度）予測モデルの検討

式(4)において V_m を無視しない場合、 V と θ_{dw} の関係は次式で表される。

$$V = \sqrt{K(\theta + \theta_m)} - V_m \quad (13)$$

そこで、実験結果をもとに式(13)の右边を算出し、左辺と比較して図-8に示した。図から、式(13)の右边と左辺 V との間には明確な比例関係があることが確認された。右边と左辺は正確には一致していないが、これは、ろ過工程の K_f でろ過・圧搾工程全体の θ_{dw} を表したことによるものと考えられた。以上から、ろ材抵抗を無視した式(4)ではなく、ろ材抵抗を含んだ式(13)を使用すべきことが分かった。

しかし、式(13)では実験を実施しないと把握できない V_m 、 θ_m の項が残ることとなり、ろ過速度の予測が困難となる。そこで、 V_{dw} と $K\theta_{dw}$ との関係について実験結果を再検討した。 V_{dw} と $K\theta_{dw}$ とを比較して図-9に示す。その結果、多少の逸脱は見られるものの、 V_{dw} は $K\theta_{dw}$ の0.37乗に比例していることが分かった。

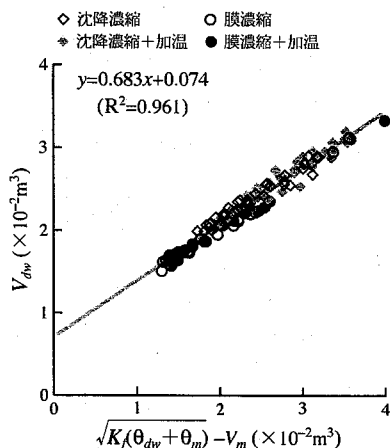


図-8 式(13)の右边と左辺の比較

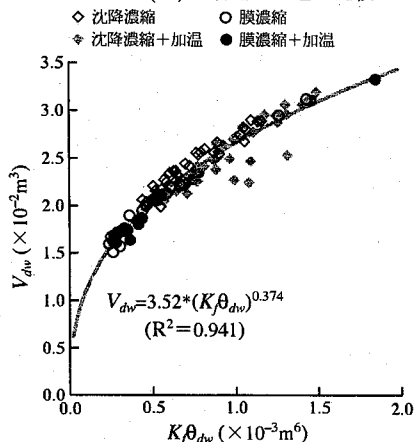


図-9 V_{dw} と $K\theta_{dw}$ の比較

$$V_{dw} \propto (K_f \theta_{dw})^{0.37} \quad (14)$$

この $K_f \theta_{dw}$ の乗数は式(4)の乗数である0.5よりやや低い値であった。

さらに、実験結果から式(1)の K_f と θ_{dw} との関係について、加温脱水も含めて比較して図-10に示した。その結果、 K_f は θ_{dw} の-0.40乗に比例しており、式(1)とほぼ同様であった。

以上の結果をもとに、式(10)を再計算すると、以下の式を得る。

$$F' \propto (s')^{0.38} \cdot (\mu \alpha_f)^{-0.62} \quad (15)$$

この式は、浄水スラッジの脱水処理において、強制濃縮、沈降濃縮、加温脱水について共通に成立する、ろ材抵抗の影響を含んだろ過速度の予測モデルである。このモデルでの $\mu \alpha_f$ の乗数は-0.62であることから、実験結果について $F'_{加温}/F'_{常温}$ と $(\mu_{常温}/\mu_{加温})^{-0.62}$ とを比較して図-11に示した。図から $(\mu_{常温}/\mu_{加温})^{-0.62}$ を用いてほぼ正確に $F'_{加温}/F'_{常温}$ を予測することができる。

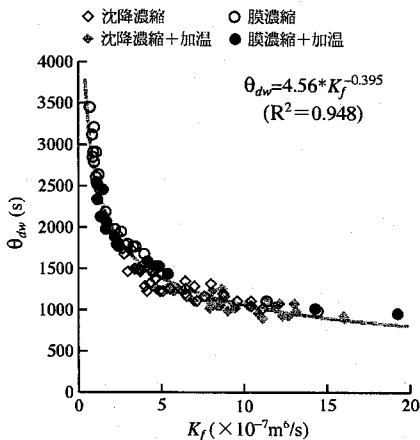


図-10 K_f と θ_{dw} の比較

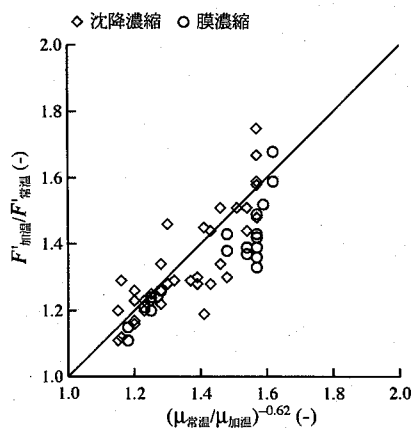


図-11 加温脱水のろ過脱水速度向上効果($\mu^{-0.62}$ での比較)

さらに、式(15)右辺と実験結果 F'_{obs} とを比較して図-12に示した。図-3と比較するとあまり大きな違いは見られないが、 F'_{obs} の低い部分での一致が若干改善され、 R^2 は0.990から0.992に向上した。

この予測モデル(式(15))は、強制濃縮及び沈降濃縮したスラッジをそれぞれ常温脱水及び加温脱水した際のろ過速度について、低水温期のろ過速度が非常に低い条件から高濁度時のろ過速度が非常に高い条件まで、決定係数0.992という極めて高いレベルで予測することが可能である。この予測モデルを用いることにより、強制濃縮における濃縮スラッジ濃度とろ過速度の関係や、加温脱水における昇温幅とろ過速度向上率の関係をより正確に予測できるものと考えられる。さらに、強制濃縮と加温脱水を組み合わせた場合の効果の予測も可能である。

5. おわりに

本研究では、浄水スラッジの無薬注方式での脱水効率(ろ過速度)の予測モデルを得ることを目的に、浄水スラッジを沈降濃縮または強制濃縮して実験用横型加圧脱水機で脱水実験を行い、その結果を解析した。以下に、主要な成果を列挙する。

- 1) 加温脱水でのろ過速度向上効果は、ろ液粘度の逆数から予測されたものよりも低かった。そこで、筆者らが常温脱水で得たろ過速度と濃縮スラッジ濃度、ろ液粘度及びケーキ平均比抵抗との関係式(ろ過速度関係式)を適用したところ、 $R^2=0.990$ と良い一致を見た。
- 2) 加温脱水のろ過速度向上効果の予測値は、ろ液粘度の逆数からの予測値よりも一致したもの、依然として実測値よりも高い傾向があった。この原因について検討したところ、ケーキ平均比抵抗及びろ材抵抗は加温によってあまり変化しないことが明らかと

なった。しかし、ろ過工程終了時の全ろ過抵抗に占めるろ材抵抗の割合は10~60%であり、浄水スラッジの脱水においては、ろ材抵抗の影響が無視できないことが分かった。

- 3) ろ材抵抗の影響を含んだろ過速度の予測モデルについて検討を行い、沈降濃縮、強制濃縮、加温脱水に共通して成立するろ過速度の予測モデル式： $F' \propto (s')^{0.38}(\mu\alpha)^{-0.62}$ を得た(決定係数 R^2 は0.992であった)。この予測モデル式は、ろ材抵抗の影響も含んだ実際の脱水の状況を、より近似的に推定することが可能である。

本研究では、浄水スラッジの無薬注方式で広く用いられている沈降濃縮、強制濃縮及び加温脱水において、これまで明確な関係が明らかでなかった、濃縮スラッジ濃度、ろ液粘度及びケーキ平均比抵抗と脱水効率(ろ過速度)との関係について、加温脱水実験結果をもとにして浄水スラッジの脱水効率予測モデルを導出した。今後、この予測モデル式を用いることにより、脱水施設の新設・更新において、脱水効率向上策の導入検討や、設計諸元の決定において、投資効果を最適化することが可能となると考えられる。さらに、既存の加温処理、強制濃縮施設においても、費用対効果が最適となる運転条件を決定することが可能になると考えている。

参考文献

- 1) 飯島宣雄：浄水場排水処理の現状と今後の動向、水道協会雑誌, Vol. 69, No. 5, pp. 2-4 (2000)
- 2) (財)水道技術研究センター：新しい浄水技術、技報堂出版, p.260 (2005)
- 3) 関根勇二：排水処理における加温処理による脱水性の向上について、水道協会雑誌, Vol. 64, No. 7, pp. 41-48 (1995)
- 4) 滝沢優憲：東京水道における排水処理施設更新の実施例、水道協会雑誌, Vol. 69, No. 5, pp. 5-8 (2000)
- 5) 水道技術研究センター編：水道膜ろ過法入門 (2002)
- 6) 黄建元・滝沢智・藤田賢二：浸漬型中空糸精密濾過膜濃縮装置による膜濾過物理洗浄排水の濃縮処理 - 相模川原水による実証実験 -, 環境工学研究論文集, Vol. 36 (1999)
- 7) 近藤史朗, 佐野滋, 近藤吾郎：スラッジ加温による電気浸透脱水, 第48回全国水道研究発表会講演集, pp. 278-279 (1997)
- 8) 羽田文雄, 村田勝己, 田中真三, 佐野滋, 西田正俊：施設を使用したスラッジ加温による脱水性向上実験, 第49回全国水道研究発表会講演集, pp.204-205 (1998)
- 9) 鹿島田浩二, 郷田昭一, 木村直人, 野村淳一, 江川眞一郎：上水排水処理における脱水前処理のシステム比較検討, 第53回全国水道研究発表会講演集, pp. 302-303 (2002)
- 10) 小林雅道, 山根陽一, 大島武雄, 落合隆：上水汚泥脱水に

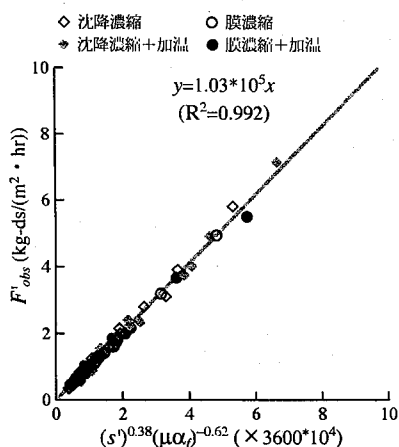


図-12 式(15)の計算値と実測値の比較

における強制濃縮＋加温の効果, 第 55 回全国水道研究発表会
講演集, pp. 286-287 (2004)

11) 菅谷謙三: 浄水スラッジ性状と無薬注加圧脱水性の関係,
水道協会雑誌, Vol. 62, No. 11, pp. 28-38 (1993)

12) 菅谷謙三: 浄水スラッジ粒子の比表面積による脱水性の評
価, 水道協会雑誌, Vol. 62, No. 12, pp. 39-47 (1993)

13) 横山升: 上水沈澱汚泥の無薬注脱水の限界, 水道協会雑誌,
第 476 号, pp. 7-14 (1974)

14) 笠倉忠夫, 秋吉功: 浄水場排泥性状とろ過脱水性の関係,

水道協会雑誌, 第 477 号, pp. 34-50 (1974)

15) 佐藤敦久, 後藤光亀: 上水汚泥の脱水特性に関する研究 (I),
水道協会雑誌, 第 562 号, pp. 17-29 (1981)

16) 及川智, 水野悦朗, 北澤弘美, 佐藤親房, 小泉明: MF 膜
による浄水スラッジの強制濃縮における脱水効率改善効果,
水道協会雑誌, 投稿中 (2006)

17) 杉本泰治: ろ過-メカニズムとろ材・ろ過助剤, 地人書館
(1992)

(2006.5.26 受付)

An Empirical Model for Predicting Dewatering Efficiencies of Waterworks Sludge

Tomo OIKAWA^{1,2}, Hiroyoshi KITAZAWA^{1,3}, Chikafusa SATO^{1,4}, Akira KOIZUMI¹

¹Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

²Water Quality Management Center, Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government

³Purification Division, Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government

⁴Training and Technical Development Center, Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government

An empirical model for a dewatering efficiency of waterworks sludge was developed. In waterworks sludge treatment, it was difficult to predict the dewatering efficiency from cake filtration theory. Therefore, at the time of a sludge treatment plant construction, expensive pilot tests were needed to determine sludge pretreatment methods and schemes, and often they were not feasible.

In this study, the effect of pre-treatment (mechanical thickening and heating) on dewatering efficiency was investigated by pilot filter-press. By comparison between experimental results and cake filtration theory, it was found that filter resistance could not be neglected. As a result, a model for a dewatering efficiency (i.e. a filtration rate), which included the filter resistance, was developed. According to the model, the filtration rate is described as a function of the solid concentration, the cake specific resistance and filtrate viscosity. The filtration rates calculated from the model were in a good agreement with the experimental results. Therefore, the model can serve to predict the effect of sludge pretreatment processes.