

# 中性子ラジオグラフィによる多重円板型脱水機の 汚泥脱水過程の視覚化

藤原健史\*、武田信生\*、形部豊数\*\*  
颯田尚哉\*\*\*、米田憲司\*\*\*\*、岡本賢一\*\*\*\*

\* 京都大学大学院工学研究科環境工学専攻

京都市左京区吉田本町

\*\* (株)テエラ分離

京都府宇治市槇島町16-42-11

\*\*\* 岩手大学農学部農業生産環境工学科

岩手県盛岡市上田3-18-8

\*\*\*\* 京都大学原子炉実験所

大阪府泉南郡熊取町野田1010-1

## 概要

多重円板型脱水機は、円板を重ね合せたドラムを汚泥に接触させて回転し、汚泥を送りながら汚泥中の水を円板間の狭い隙間から排除するタイプの脱水機である。一方、中性子ラジオグラフィとは、熱中性子を物体に照射して透過した熱中性子の像を得る方法であり、金属容器内の水を明瞭に写し出すことができる。多重円板型脱水機の脱水メカニズムを調べるために、模型の円板脱水装置を作成し、円板の間隙を通る水を中性子ラジオグラフィによって視覚化した結果、円板間には毛管効果と推定される水の吸引が見られた。

## キーワード

汚泥処理、汚泥脱水、多重円板型脱水機、中性子ラジオグラフィ、可視化、画像処理

## 1 はじめに

汚泥の脱水装置として従来から加圧、真空、遠心脱水機などが用いられているが、小型で場所をとらず維持管理が楽であるという点で多重円板型脱水機が注目されている。多重円板型脱水機は、ステンレス製の円板を重ね合せたドラムを汚泥に接触させ、ドラムを回転させることによって汚泥を送りながら、汚泥中の水分を円板と円板の隙間から排除する。従来の脱水機では脱水しにくい含油廃液も多重円板型脱水機では脱水できることから、下水のみならず、食品廃水の処理にも多く用いられている。従来の脱水機と異なり汚泥に大きな力を加えず、汚泥を低速で移動させながら脱水する多重円板型脱水機の脱水メカニズムはまだ十分には解析されていない。

われわれは、多重円板型脱水機の脱水機構を調べるために、おからを試料として装置内の圧力分布、水分分布を測定し、画像処理により汚泥の流線を明らかにした<sup>1)</sup>。その結果、汚泥は上下のドラム間を蛇行しながら流れることによって圧縮と緩和を交互に繰り返し、緩和時に生じる粒子の間隙に水が移動することによ

って、汚泥の流れの内部から外部へと水が移動すると推測した。外部へ、すなわち汚泥とドラムの境界へと水が移動し、ろ体（円板）の隙間に吸い上げられて排除されるものと考えられる。

本研究では、ろ体が汚泥と接触したときに、水がろ体の隙間に吸引されることを実験的に調べることを目的とした。ろ体には実装置で使われているろ体を用い、ろ体間に保持された水の存在を中性子ラジオグラフィという手法を用いて撮影した。この中性子ラジオグラフィとは、熱中性子を物体に照射して透過した熱中性子の像を得る方法であり、熱中性子が水に吸収されやすく金属に吸収されにくいことから、金属に挟まれて外からは見ることができない水を写し出すことができる。得られた画像を計算機で処理し、水が脱水されときの要因について考察した。

## 2. 多重円板型脱水機

多重円板型脱水機の構造とろ体ドラム（以後、単にドラムと呼ぶ）の構造をFig. 1に示す。0.8~1.2mm厚の円板状のろ体を0.2mm間隔で重ねあわせたドラムが上下2段に並び、そのドラムが低速で回転することによって汚泥が脱水ケーキ出口側へと運ばれ、その間にろ体の隙間から水が排出される。この多重円板型脱水機は、加圧脱水機のように力を加えず汚泥を流動させながら脱水することが特徴である。なお、実機の性能は2), 3)などで報告されている。

この脱水機は、脱水ケーキ出口に向かって上下ドラムの間隔が狭くなるように設計されており、汚泥は出口に近づくにつれて圧縮される。しかし、脱水が生じるのはこの圧縮力だけではなく、毛管現象により0.2mmのろ体間に水が吸引される力も関係していると考えられる。

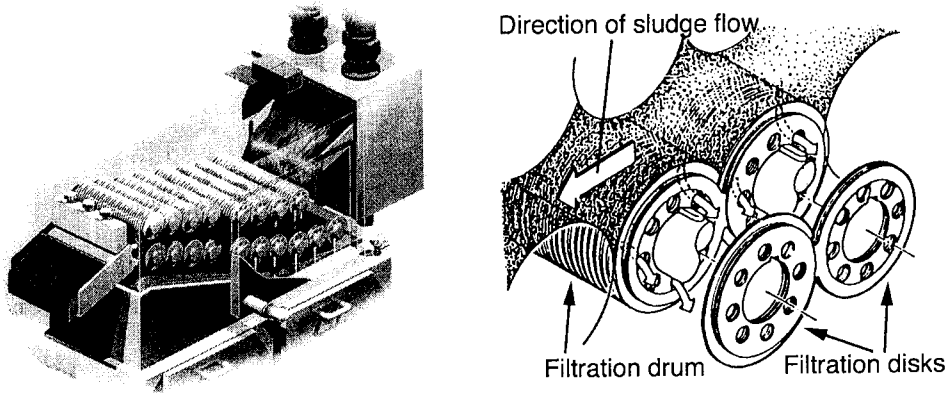


Fig. 1 多重円板型脱水機とろ体ドラムの構造

## 3 中性子ラジオグラフィ

ろ体による水の吸引を明らかにするためには、0.2mmの間隔で並んだろ体が汚泥に接触した後、ろ体間に水があることを確認しなければならない。しかし、ステンレス製のろ体で挟まれた空隙にある水を目視することはできない。そこで、本研究では非破壊試験などへ応用されている中性子ラジオグラフィを利用し、ろ体間の水の存在を視覚化することにした。

中性子ラジオグラフィ<sup>4)</sup>とは、中性子の透過像を測定して、試料中の中性子散乱物質や吸収物質の分布を得る方法である。X線やγ線の吸収は物質の種類によらず密度の影響を受けるが、中性子は金属などの重元素を透過しや

すく、水素、ホウ素、炭素などの軽元素や中性子吸収断面積が大きいカドミウム(Cd)やガドリウム(Gd)に散乱、吸収されやすい。水素を多く含む水は中性子をよく散乱・吸収することから、ステンレスのろ体に挟まれた水は像として得やすい。中性子ラジオグラフィは、装置内の水の流動の解析などにも使われている。<sup>5)</sup>

本研究では、中性子照射装置として京都大学原子炉実験所のE2孔を利用した<sup>6)</sup>。(Fig. 2) 原子炉内の高濃縮ウランの核分裂によって生じた中性子が、重水によって減速されて熱中性子となり、その熱中性子が直径16cm、長さ514cmの空洞を通過して試料に照射される。試料を透過した中性子はコンバータと呼ばれるGdを塗布したプレートで吸収され、かわり生じた電子によってフィルムが感光される。撮影したフィルムはイメージスキャナによってデジタル画像ファイルに変換し、画像処理を行った。

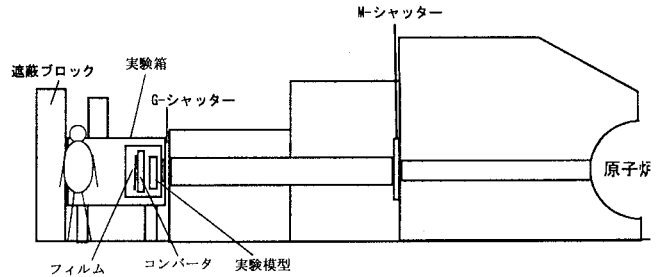


Fig.2 京都大学原子炉実験所E2孔装置

#### 4 可視化の実験方法

汚泥の水分をろ体が吸引する様子を調べるために、Fig. 3に示す実験装置を作成した。図中(a)は脱水機の上部に並んでいるろ体を想定し、上側から汚泥へ接触する装置とした。また(b)は下部に並んでいるろ体を想定して下側から汚泥へ接触する装置とした。

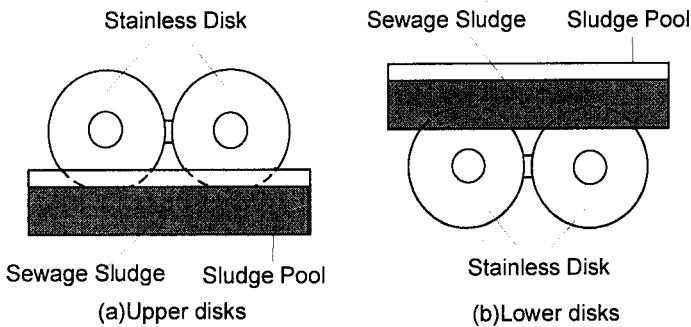


Fig. 3 実験装置

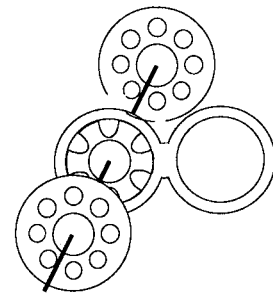


Fig. 4 ろ体の構造

ろ体はFig. 4に示すように、特殊なリングで軸に固定されたためがね型リングを、直径約10cmの2枚の円板が挟みこむように構成され、その円板間の間隔が0.2mmとなっている。円板には8個の穴があり、円板の隙間に入り込んだ水はその穴を通して抜ける。実機用のドラムは、円板とめがね型リングが交互に重ねられて構成されるが、実験ではFig. 4に示す3枚だけを使用した。試料の汚泥には、下水処理場の濃縮汚泥に高分子凝集剤を添加して軽く絞ったものを用いた。

以上の装置を用いて、装置(a)でろ体を水に上側から接触させたとき(実験1)、同じく装置(a)で汚泥に上側から接触させたとき(実験2)、装置(b)で汚泥に下側から接触させたとき(実験3)の3種類の実験を行った。各実験では、接触させた時点と、円板を180°回転した時点、360°回転した時点、そして3回転した時点のそれぞれについて中性子ラジオグラフィを撮影した。熱中性子の照射時間は30分とした。フィルムは中性子照射用のものを用い、現像後スキャナにて読み取り画像処理を行った。

## 5 結果と考察

### 1) ろ体を水に上側から接触させた場合 (実験1)

中性子ラジオグラフィによる画像をFig. 5に示す。ろ体を水に接触させた瞬間から、水が円板の円周部より上がってくるのが目視により確認された。水が存在するところは、熱中性子を吸収して画像上では白く写る。軸部のプラスチックやろ体を回転させるためのゴムなどは、水素原子を多く含むために白く写る。この図より、水面より6mmの高さまで水が上昇していることがわかった。また、水は内部リングにまで伝わりさらに高くまで上昇していることが確認できた。ろ体を回転すると、円周部に付着した水は軸方向に染みこんだ。ただし、Fig. 4の毛管現象により引き上げられた水の高さは、回転してもほぼ一定であった。

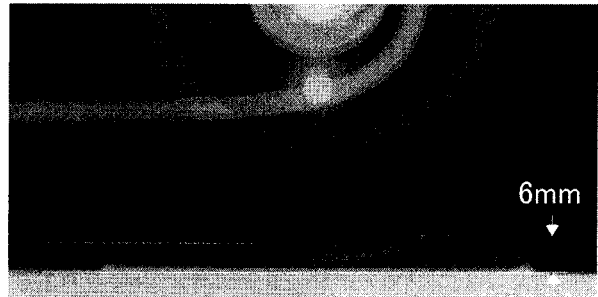


Fig. 5 毛管現象による水の上昇

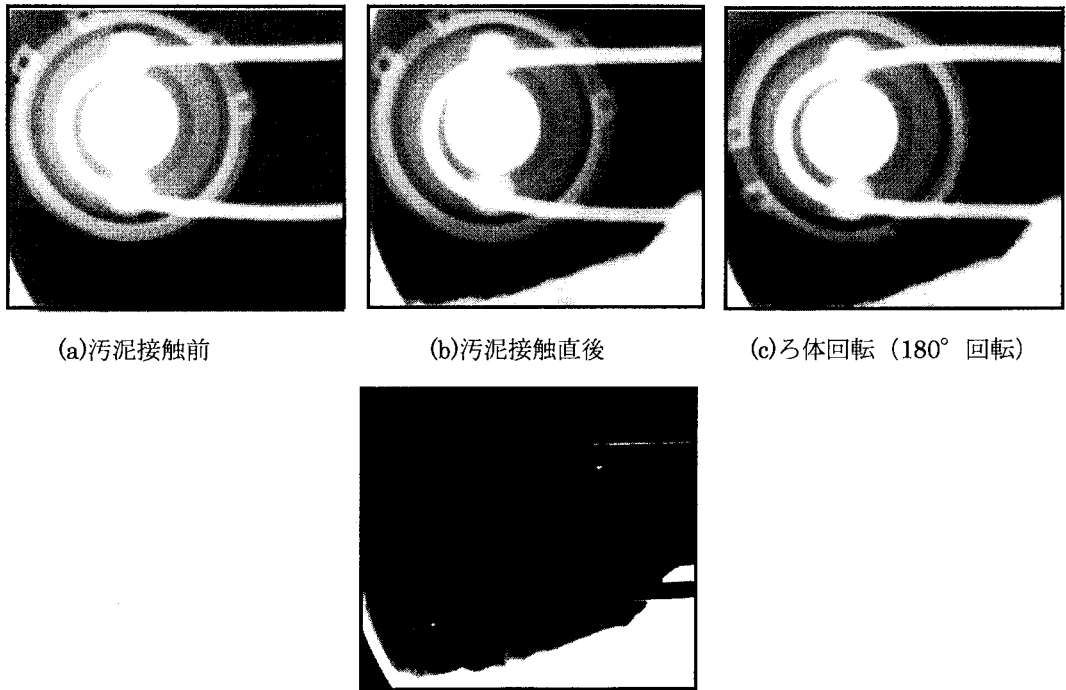
### 2) ろ体を汚泥に上側から接触させた場合 (実験2)

汚泥と接触した前後と180°回転後の中性子ラジオグラフィの画像をそれぞれFig. 6(a) (b) (c)に示す。ただし、ガウシアンフィルタで平滑化し、かつコントラストがはっきりとするように濃度変換を行った。画像(d)は、汚泥接触後の画像(b)から接触前の画像(a)を引いた差分画像に濃度変換を行った図である。画像(b) (c)では円板の円周部分が汚泥中にめり込んで水の存在が分からないが、画像処理した(d)に水と思われる白い影を確認できたので、円周部分にも水があると判断された。ろ体が汚泥と接触後、表面にある水を吸引することが分かったが、実験1のように水が吸い上げられて軸付近まで到達する様子はなかった。また、回転を始めたときに水が継続的に引き上げられることもなかった。このことから、汚泥表面の水分は接触時に吸い上げられてしまい、ろ体にはさらに汚泥内部の水まで引き上げられる吸引力はないと考えられる。実機では連続的に汚泥が送りこまれて、ろ体の外周には水が常に供給されるので、連続した水の吸引があるのではないかと考えられる。しかし、吸引力は小さいことから、汚泥が圧力でろ体に押し付けられて生じるろ過量は、吸引による排水量をしのぐものと考えられる。

### 3) ろ体を汚泥に下側から接触させた場合 (実験3)

撮影された中性子ラジオグラフィの画像をFig. 7に示す。ただし、ガウシアンフィルタで平滑化し、コントラストがはっきりとするように濃度変換を行っている。水分が時間とともに下降するため、汚泥を接触後まもなくろ体内部に水が多く流下していることがわかる。回転および時間の経過によって汚泥の水はさらに流下し、メガネ型リングの内部を通る水と円板の周部分を通る水が、円板下端で集まり溜まっていることが分かる。最終的にろ体を3回転しそれを定常状態での水分の分布として撮影したが、ろ体全体にわたって濡れた状態になっているとともに下端から滴が垂れている。下側に並ぶろ体では、重力による水の流下のために、毛管現象の影響を評価することはできなかった。

以上の実験から、ろ体には細い隙間に水分を吸引する力が存在することがわかった。しかし、水だけを吸引する場合で高さ6mm程度、汚泥中の水分については汚泥表面の水を吸引する程度で吸引力は小さい。吸引力で排水される水量より、汚泥にかかる圧力によるろ過量と、重力による水の流下量のほうが多いと考えられる。



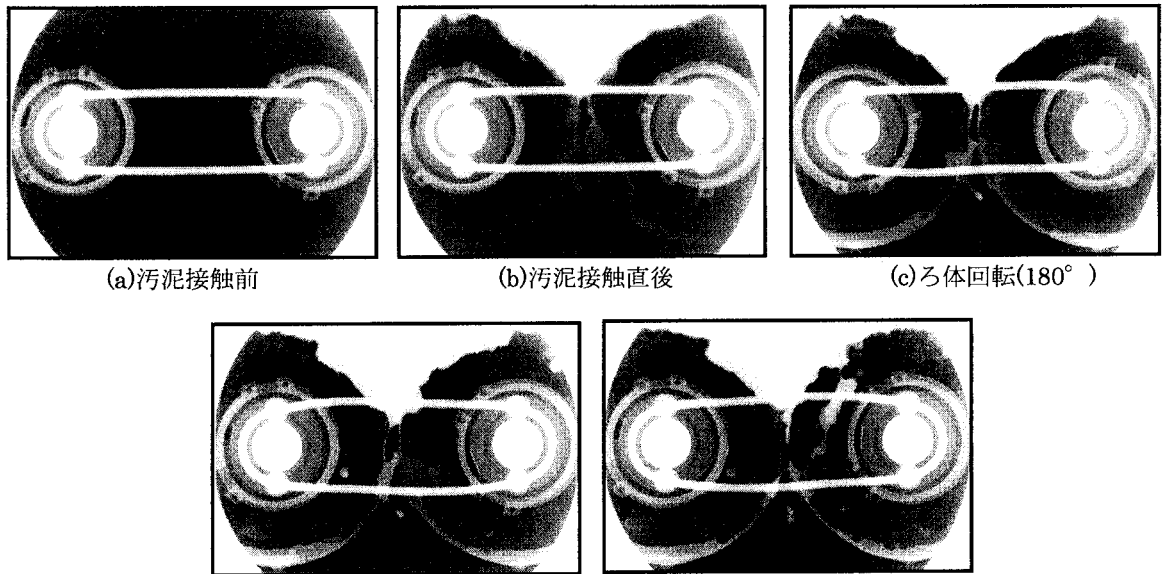
(a)汚泥接触前

(b)汚泥接触直後

(c)ろ体回転 (180° 回転)

(d)画像処理による図(b)の水分の抽出

Fig.6 ろ体を汚泥の下側より接触



(a)汚泥接触前

(b)汚泥接触直後

(c)ろ体回転(180° )

(d) ろ体回転(360° )

(e) ろ体回転(3回転)

Fig.7 ろ体を汚泥の上側より接触

## 6 おわりに

本研究では、多重円板脱水機で使用されるろ体が汚泥中の水を間隙に吸引することを実験的に調べた。ろ体と汚泥を接触させて、ろ体間に保持された水を中性子ラジオグラフィによって撮影した。その結果、ろ体表面で毛管現象と思われる水の吸引を確認することができた。中性子ラジオグラフィ法は、金属に挟まれた水の存在を視覚化することが可能であり、本実験においてはステンレスのろ体に挟まれた水の存在を明瞭に捕らえることができた。しかし、熱中性子の照射強度が弱いと照射時間を長くとる必要があり、瞬間的な水の存在状況を捕らえていない。フィルムの代わりにイメージングプレートを使うことによって、より短時間で明瞭な画像が得られ、脱水メカニズムの定量的な解析も可能になると考えられる。

## 謝辞

中性子ラジオグラフィの撮影にあたり、元京都大学修士学生の菊谷純君にお世話になりました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤原健史、小野孝治、武田信生、形部豊数、画像処理による多重円板型脱水機の汚泥流動解析、EICA学会誌、Vol. 5、No. 2
- 2) 佐藤義文、芳住登紀子、板山真、多重円板型脱水機による無機汚泥脱水、清掃技報、No. 15、pp. 105-115、1990
- 3) 中川章、水口敬司、古菌昭隆、多重円板型脱水機による汚泥の濃縮、脱水、PPM、No. 11、pp. 47-54、1984
- 4) 小林久夫、中性子ラジオグラフィの展望、RADIOISOTOPES、Vol. 46、No. 8、pp. 76-81、1997
- 5) 三島嘉一郎、日引俊、熱流動現象の可視化と計測への応用、原子力工業、Vol. 41、No. 2、pp. 46-53、1995
- 6) 平岡英一編、中性子ラジオグラフィ写真集、日本非破壊検査協会、1995