

Dewatering of activated sludge with nonuniform electric field : improvement in the shape of electrodes

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/24740

〈論 文〉

不均一電界を利用した活性汚泥の脱水分離—電極形状の改良—

林 良 茂* 川 西 琢 也*
西 野 正 文** 坂 井 仁***

Dewatering of Activated Sludge with Nonuniform Electric Field
— Improvement in the Shape of Electrodes —

Yoshishige HAYASHI*, Takuya KAWANISHI*,
Masafumi NISHINO** and Hitoshi SAKAI***

* Dept. of Chemistry and Chem. Eng., Kanazawa University, 2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa 920 Japan

** ditto (now in Sekisui Chemical Co., Ltd.) 2-2 Kamichoshi, kamitoba, Minami-ku, Kyoto 601 Japan

*** ditto (now in P & G Far East, Inc.) 6 Minamifutami, Futami, Akashi, Hyogo 674 Japan

Abstract

The best method for dewatering of activated sludges with a nonuniform electric field was investigated using a cylindrical cell with improved electrodes. The experiment was carried out in a D.C. electric field with a buffered solution of $0.03 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{ Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ to keep the pH of activated sludge about 9.0.

The results showed that the buffer action was very effective for dewatering of an activated sludge, and that the stainless steel cylindrical cell with improved electrodes produced the profile of strong electric field in a cell. It was confirmed that when the water separated from the sludge in a cell pumped out at $16 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ with microtube-pump by the amount of about 50 wt% water in a sludge from 2 hours after the start of the turning on electricity, with 30 volt of external field almost all sludge particles were coagulated around the outside of the anode and the water contents in a dewatered activated sludge could be reduced up to about 60%, and further the amount of electricity was reduced.

Key words : activated sludge, dewatering, electrokinetic phenomena, nonuniform electric field, cylindrical electrode

1. 緒 言

不均一電界を利用した脱水分離操作は活性汚泥の脱水中に非常に有効な手段であり、脱水効率を高めるためには陽極近傍の電界を強くすること、また両極からの気泡の発生を抑えることが最も重要な課題であることが明らかとなった。両極から発生する気泡は、汚泥にKOHを添加してアルカリ性にすることによって抑制

することができたが、処理水のpH上昇によって起こる汚泥の変質を防ぐことはできなかった。

本報では同軸円筒型電極を用い、pHを一定に保つ緩衝作用を利用して脱水実験を行った。そしてこれまでの結果と比較すると共に電極形状の改良、および分離水をセル外へ排出させる等の改善を試みた。その結果、初期汚泥のほとんどすべてを陽極側に集結させることができ、また最終含水率を60%にまで下げること

* 金沢大学工学部物質化学工学科 〒920 金沢市小立野2-40-20

** 同上(現 積水化学工業(株)京都技術センター) 〒601 京都市南区上鳥羽上調子町2-2

*** 同上(現 P&G Far East Inc.) 〒674 明石市二見町南二見6番地

が可能となった。

2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略は従来のもので全く同じであるので割愛する。緩衝作用を利用した場合の実験ではこれまでの研究結果との比較を容易にするため、内径(=2r₂)149mmのセルAと内径76mmのセルBを用い、また電極に改良を加えた実験に対しては内径149mmの大型セルを用いた。Fig. 1は後者の実験に用いた電極の形状を示したものである。TYPE Iはこれまで用いてきたセルAと同じものであり、陽極径(=2r₁)を9mm, 12mmおよび25mm(改良型電極では12mmと25mm)とした。TYPE IIは中心電極の下端5mmの位置から10mm毎に中心電極と十字形になるように長さ100mmのステンレス管を交互に挿入したものである。なお、中心電極径を12mmとした場合には直径6mm(=2r₃)のステンレス管を、25mmとした場合には9mmのステンレス管を用いた。陰極はTYPE Iの場合と同じである。TYPE IIIは陽極をTYPE IIと同じ形とし、セル全体をステンレスにしてこれを陰極としたものである。セル内径はTYPE I, IIの場合と同じである。この場合セル底部も陰極となるので陽極の下部に陽極径に応じてそれぞれ直径15, 28mm, 厚さ1mmの絶縁体を取り付けた。なお、電極にはステンレス管を用いたので、その両端はシリコンゴムで封をした。

浴電圧は前回の結果との比較においては30, 40Vに、改良型電極を用いた場合には20, 30Vに、また汚泥量は600, 800, 1000mlに設定し、すべて緩衝液を用いて実験を行った。緩衝剤には汚泥のpHを9近傍に保つため四ほう酸ナトリウム(ほう砂)を使用し、濃

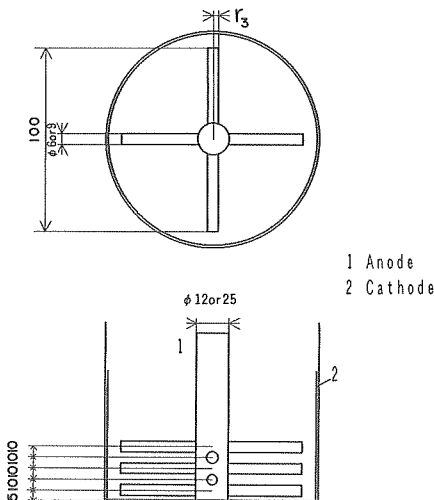


Fig. 1 Improved electrode (Type II and III)

度0.03mol・l⁻¹-sludgeとなるように24時間重力沈降処理した汚泥に添加した。実験は緩衝剤を添加した後ゆるく攪拌し、約3~4時間静置した汚泥を用いて行った*。使用した汚泥は染色工場の余剰汚泥である。

3. 実験結果とその考察

3.1 緩衝剤の影響

Fig. 2は前回示したものと同一条件で緩衝作用を利用した場合(以下緩衝汚泥と呼ぶ)のセル内の各点でのpHの経時変化を示したものである。通電中汚泥のpHは約9~10の間でほぼ一定となっている。緩衝作用を利用したすべての実験において、同様な結果が得られた。観察によると、通電直後における陽極近傍での気泡の発生は緩衝剤無添加の場合(以下非緩衝汚泥と呼ぶ)と比べて鎮静化されており、実験終了後セル内においては変性した汚泥は全く見られなかった。

Fig. 3は実験終了後のpHと最終含水率との関係を示したものである。緩衝作用を利用すると含水率が約10%程度低くなっている。非緩衝汚泥の場合には気泡の発生によるセル内の温度上昇にともなう水の蒸発が加味されていることを考慮すると、緩衝作用の利用は含水率を低下させるのにかなり有効であると言える。いま、各セルでの実験結果に着目してみると、セルAでは緩衝効果により最終含水率が約70~85%、セルBでは60~70%であり、セルBの方が低くなっている。これは明らかにセル内での電界の強さの違いによるも

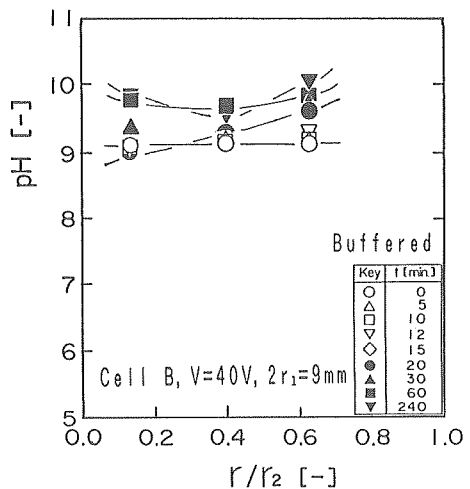


Fig. 2 Relationship between pH and r/r₂

* 分離された水の後処理の問題から、汚泥のpHが約7になるように中性リン酸塩を入れて実験を行ったが、気泡の発生のため通電後まもなく電界浮上により汚泥がセルからあふれ出てしまった。

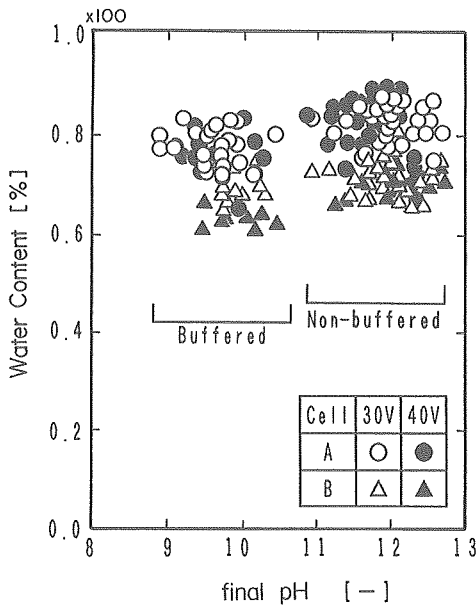


Fig. 3 Relationship between water content of dewatered activated sludge and pH

のである。

Fig. 4 はセル B で浴電圧40V, $2r_1=9\text{mm}$ の時の電流値の経時変化を示したものである。図から明らかなように、緩衝汚泥と非緩衝汚泥では同じような変化の様相を示しているが、電流のピーク値が約2倍も異なっている。緩衝剤の添加によって電気抵抗が小さくなるから電流値が大きくなるのは当然であるが、ガスの発生が抑制されているため、これが汚泥の脱水に対して有効に働いたことになる。

Fig. 5 は実験終了後の汚泥の pH と初期汚泥の乾燥質量 W_{ip} に対する脱水汚泥の乾燥質量, W_{cp} の比 W_{cp}/W_{ip} の関係の代表例を示したものである。この値

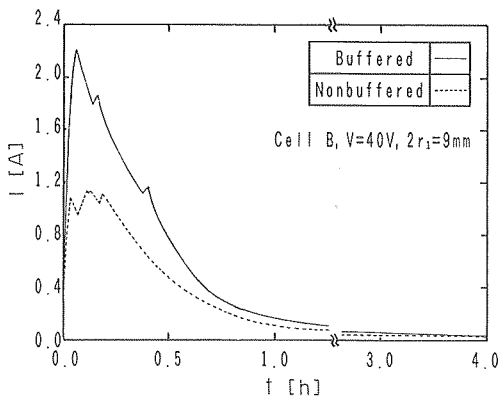


Fig. 4 I vs. t

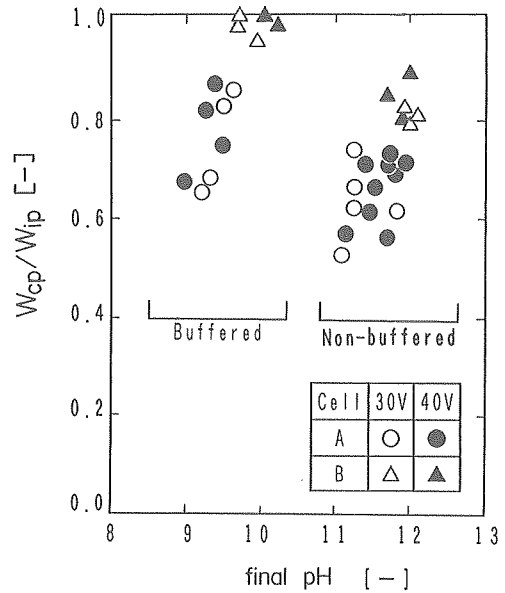


Fig. 5 Relationship between W_{cp}/W_{ip} and pH

が大きいく程、多くの汚泥粒子が陽極側に集結したことになる。図から明らかなように緩衝作用を利用するとかなり多くの汚泥粒子が陽極に集結している。セル B では緩衝作用によって初期汚泥中のほとんどの粒子が、非緩衝汚泥では約79~90%の粒子が集結しているのに対し、セル A では前者で約64~90%、後者で52~75%である。緩衝作用を利用すると、陽極に集結する汚泥量の点からも非常に有効であるといえる。

Fig. 6 は実験終了後の汚泥の pH と消費電力 W との関係を示したものである。消費電力は小さい方が望ましいのであるが、緩衝汚泥では消費電力が大きくなっている。これは緩衝汚泥の方が溶液中のイオン数が多くなるので、Fig. 4 に示したようにセル内を流れる電流値が大きくなったことに起因している。KOH を加えた前回の実験では KOH の添加量が少なかったため、消費電力に及ぼす pH の影響はほとんど認められなかったが、緩衝作用を利用するときには消費電力のある程度の増加は避けられないようである。また、浴電圧30V と40V の結果を比較すると、最終含水率や分離された汚泥量の浴電圧に対する依存性はあまり顕著に認められない。浴電圧が大きいく程、電気泳動および浸透速度は増加するが、実際には気泡の発生増加に伴う電気エネルギーの消費が無視できないため、このような結果が得られたものと考えられる。しかし、消費電力への浴電圧に対する依存性は明らかであるので、できるだけ小さい浴電圧の方が望ましいことになる。

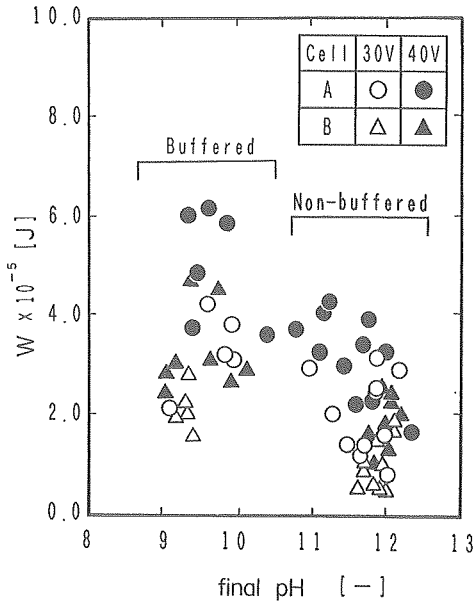


Fig. 6 Relationship between W and pH

3.2 セル内電位分布と陽極に集結した汚泥の状態

Fig. 7 は同軸円筒型電極である TYPE I におけるセル内の電位分布を示したものである。実験条件は浴電圧30V, 汚泥量1,000ml, 陽極径25mm である。同図において横軸は円筒中心からの距離 r と陰極半径 r_2 の比 r/r_2 , 縦軸は無次元電位 $\bar{V} = V_r/V_{r=r_1}$ である。図

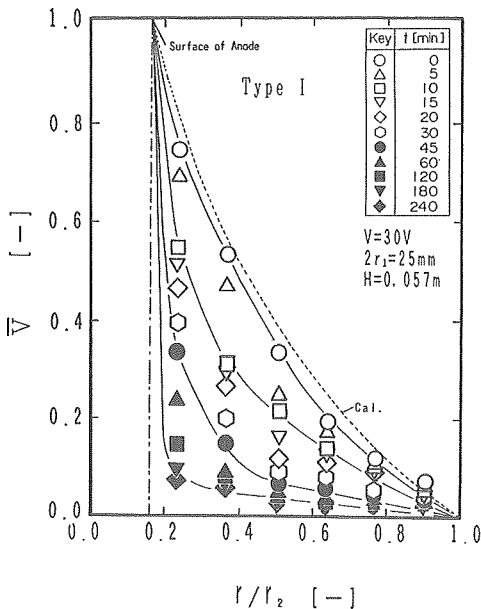


Fig. 7 Distribution of dimensionless electric potential in cell (Type I)

から明らかなように、セル径および処理量が大きくなっても緩衝作用を利用すると、セル内の電位分布は脱水の進んでいたセル B の場合とほとんど同じ様相を示しており、通電開始後比較的早い時間から陽極近傍の電位勾配が大きくなっている。これは明らかに脱水の進行が速いことを示している。

Figs. 8~11 は TYPE III における電位分布の一例を示したものである。実験条件は Fig. 7 の場合と同じである。Fig. 12 にはその測定位置を(a)~(d)の記号で示した。TYPE III(a)は陽極の十字部と45°をなす角度で半径方向に、TYPE III(b)は十字部と22.5°をなす角度で半径方向に、TYPE III(c)は十字部近傍の電位を調べるために十字部と平行にそれぞれ底面から30mmの高さにおいて測定したものであり、また TYPE III(d)は底面からの影響を見るために、十字部から45°をなす角度で半径方向に底面から10mmの高さにおいて測定したものである。実験条件はすべて TYPE I の場合と同じである。Figs. 8~10 より明らかなように、十字部中央付近(a)においては TYPE I の場合とほとんど同じ電位分布を示している。十字部と22.5°をなす角度の方向(b), および十字部近傍(c)においては、通電初期で r/r_2 が大きい所、すなわち陰極近傍で電位勾配が大きく、両者はほとんど同じ傾向を示している。また Figs. 8, 11 を比較すると、底面に近い位置では陽極近傍の電位勾配が非常に大きい。電位勾配が大きくなると電界が強くなるため、脱水分離に対して有効であるが、TYPE

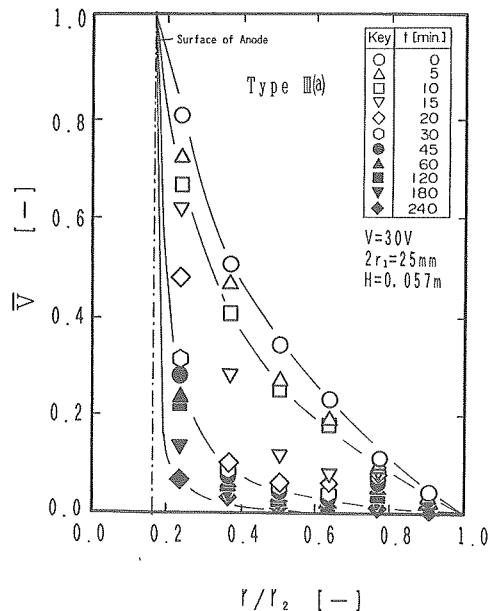


Fig. 8 Distribution of dimensionless electric potential in cell (Type III(a))

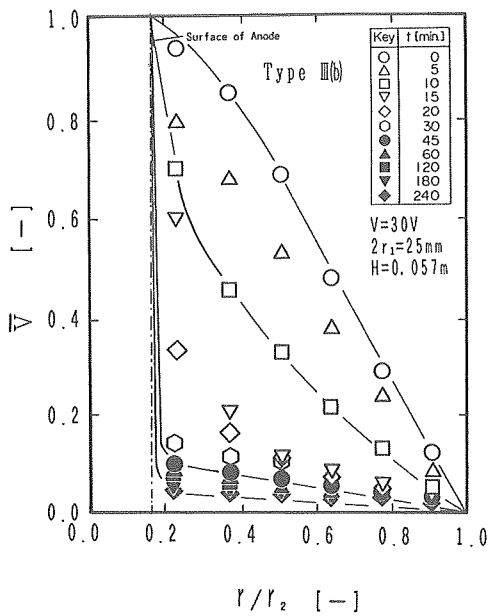


Fig. 9 Distribution of dimensionless electric potential in cell (Type III(b))

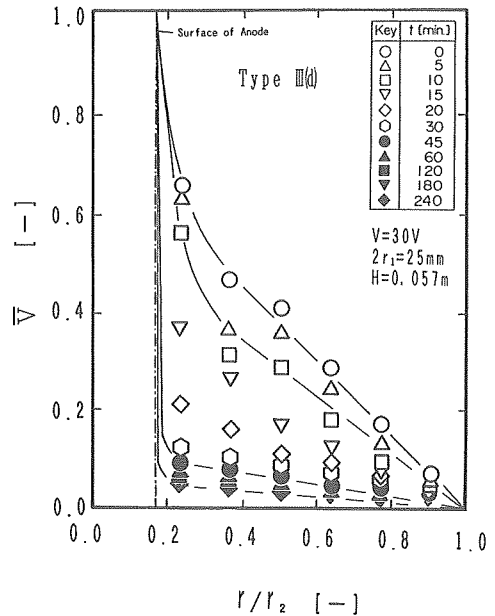


Fig. 11 Distribution of dimensionless electric potential in cell (Type III(d))

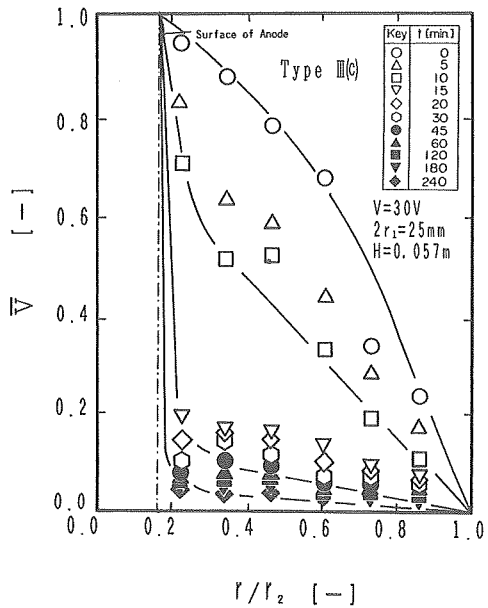


Fig. 10 Distribution of dimensionless electric potential in cell (Type III(c))

Iではその効果が陽極近傍のみに現れるのに対し、TYPE IIIでは中心電極近傍のみならずすべての十字部近傍で現れていることが特長である。

Fig. 13はTYPE IIIにおける通電終了時の陽極に集結した汚泥の様相を示したものである。汚泥粒子は中心陽極側に強く凝結し、さらに十字部を覆うようにし

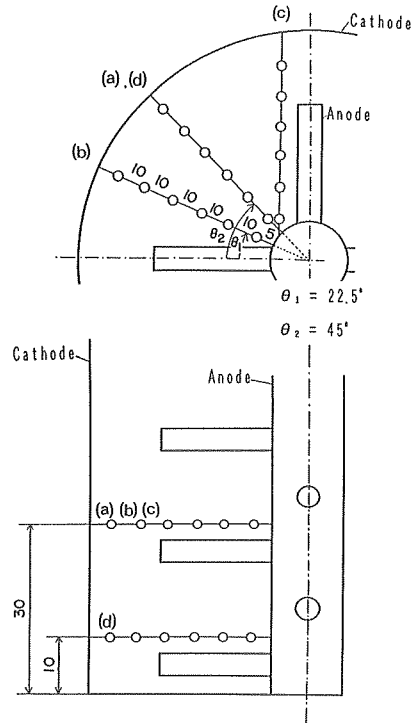


Fig. 12 Measured points in cell

て集結していた。

3.3 セル内の汚泥深さの影響

Fig. 14は、浴電圧30Vにおける汚泥深さ \bar{H} =

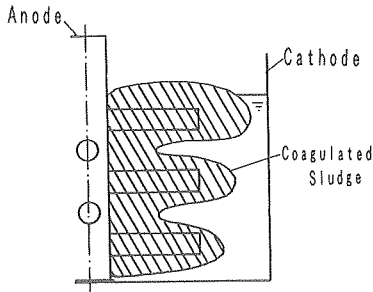


Fig. 13 Typical form of dewatered activated sludge

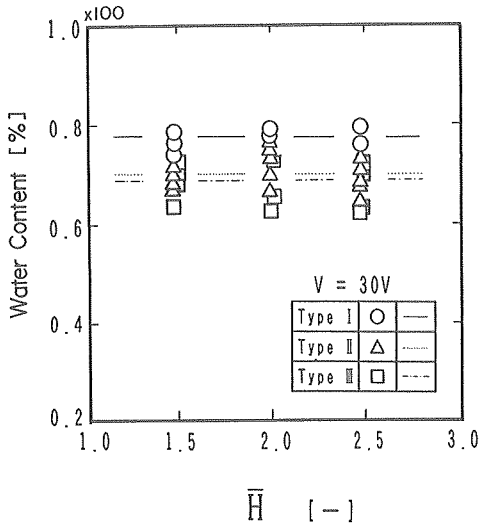


Fig. 14 Relationship between water content of dewatered activated sludge and pH

H/H_{tower}^* と最終含水率の関係を、また Fig. 15 に \bar{H} と W_{cp}/W_{ip} 関係を示した。図中の実線、点線、一点鎖線はそれぞれのデータの平均値を結んだものである。なお、本実験で設定した陽極径の脱水分離に及ぼす影響はほとんど認められなかったため、以下陽極径の脱水分離に及ぼす影響はないものとする。Figs. 14, 15 から、最終含水率は TYPE I, II, III の順に低く、また分離された汚泥量は TYPE I, II, III の順に多いことが判る。従って、電極を TYPE III で示した形状にすると汚泥の脱水分離に非常に有効であるといえる。また、TYPE III では浴電圧 30V で含水率が約 68% となり、ほとんどの汚泥粒子が分離されているので、処理汚泥量を多くしても電界の強いセル B の場合と同程度の結果が得られた。これは Figs. 8~11 で見られたように、セル内で電位勾配が大きくなる部分が従来のものより多く

* H_{tower} はこれまでの結果と比較をしやすいように 0.023m の値を採用した。

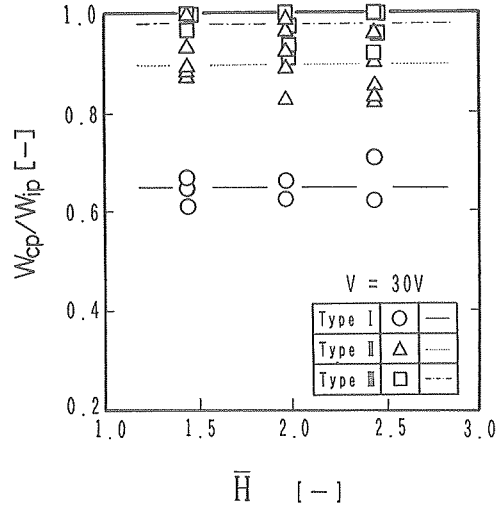


Fig. 15 Relationship between W_{cp}/W_{ip} and \bar{H}

なったためであると考えられる。

TYPE III ではセル底部も陰極になるため、汚泥深さが脱水分離に対して影響してくると思われたが、実際には汚泥深さの影響はほとんど認められなかった。この事実は底部近傍の電位は、主にセル底面の陰極と最下部の十字部の陽極とによって支配されていることを示している。

Fig. 16 は浴電圧 30V における汚泥深さ \bar{H} と消費電力 W の関係を、Fig. 17 は電極形状ごとの電流値の経時変化を示したものである。Fig. 16 から消費電力は

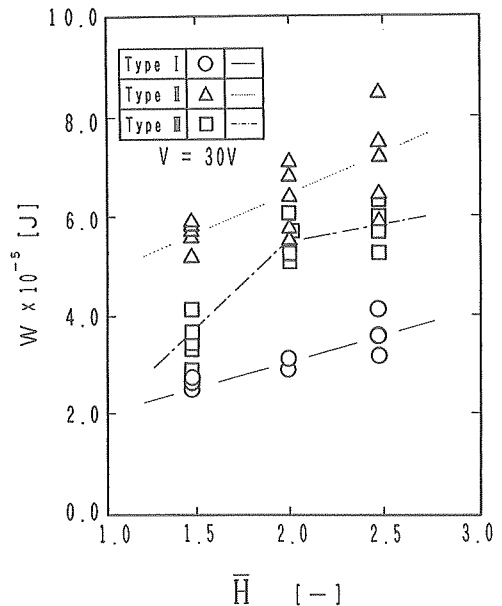


Fig. 16 Relationship between W and \bar{H}

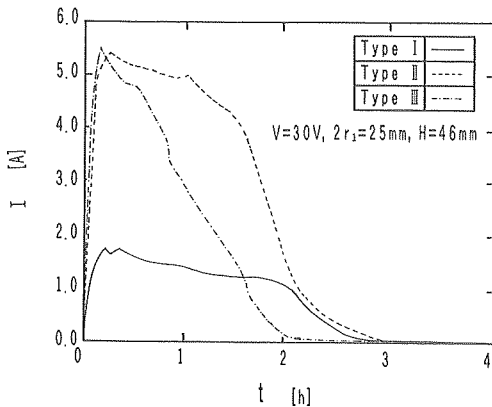


Fig. 17 Relationship between I and t

TYPE IIが最も大きく、次いでTYPE III, TYPE Iとなっている。TYPE IIとIIIの陽極形状は同じであるが、後者はセル全体が陰極になっているため消費電力も大きくなると予想された。しかし、電流値の経時変化を示したFig. 17を参照すると、TYPE IIIはTYPE IIの場合に比べて電流値が速く降下している。これは明らかにTYPE IIIでは脱水が進み、界面動電現象によって汚泥が陽極に強く凝結したために消費電力がTYPE IIの場合よりも小さくなったことを示している。また、TYPE I, IIでは消費電力は汚泥深さに比例して大きくなっているが、TYPE IIIにおいては $\bar{H}=2.0$ と 2.5 ではほとんど同じ消費電力を示している。汚泥量が多くなると電気抵抗が小さくなり電流が多くなるから、汚泥深さに比例して消費電力は大きくなるはずである。浴電圧20Vの場合には、すべてのTYPEにおいてこの傾向が明確に現れていた。しかし、TYPE IIIのような改良型電極を用いた場合、浴電圧30Vではセル内の電界が強いので電気泳動および浸透速度が速くなり、脱水が進むと共に電流値の降下度合いが大きくなり、結果としてほとんど同じ電気量になったものと思われる、非常に興味深い結果である。浴電圧20Vの場合には、TYPE IIIの電極を用いてもセル内の電界が30Vの場合に比べて弱いために十分に脱水が行われなかった。

3.4 分離された水のセル外への排出操作

通電中汚泥粒子は陽極方向に移動し、濃縮汚泥層の周りに分離された水の層ができる。時間と共に流れる電流が少なくなると、分離された水が多孔質体となっている濃縮汚泥に逆に浸透して行き、分離された汚泥の含水率を高めてしまうと推定される。従って、通電中にこの水をセル外へ排出することが汚泥の脱水分離に有効であると考え、通電中に分離された水を排出する実験を行った。実験は初期汚泥量を600, 800, 1,000

m/lとし、電極形状をTYPE III, 浴電圧を30Vに設定して行った。Fig. 17に示したように、TYPE IIIの場合には通電開始後約1時間で電流がピーク値の50%、また約2時間で5%以下にまで下がっている。観察によると通電開始後約1時間で汚泥粒子のほとんどが陽極に集結しており、約2時間で陽極に完全に凝結していた。そこで水の排出開始時間を通電開始1時間後、2時間後、さらに脱水が終了したと思われる3時間後の3通りで実験を行った。排水方法はマイクロチューブポンプを用い、排水速度を $16\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ に設定した。また、排水量は初期汚泥量の25wt%, 50wt%を目安とした。60wt%以上の水を排出した実験も行ったが、この場合、濃縮汚泥の周りに水がほとんどなくなり、電流が全く流れなくなると共に、途中で排水中に汚泥が同伴するようになったため本実験では排水量を50wt%以下に設定した。

Fig. 18は最終含水率と初期汚泥中に含まれている水分量 M_i に対する排出した水分量 M_d の比、 $f = M_d/M_i$ の関係を排水開始時間をパラメータとしてプロットしたものである。図中の実線、点線、一点鎖線はそれぞれのデータの平均値を結んだものである。初期汚泥量の25%の水をセル外へ排出した場合、含水率は排水開始時間に無関係に排水しない場合よりも約5%低くなっている。また50%の水を排出した場合、排水開始時間が通電1時間後と3時間後で含水率の低下は25%の水を排出した場合とほとんど同じであるが、2時間後に水を排出し始めると排水しない場合よりも含水率が約10%低くなっている。通電開始3時間後は、前述のごとく脱水がほぼ終了したと思われる時

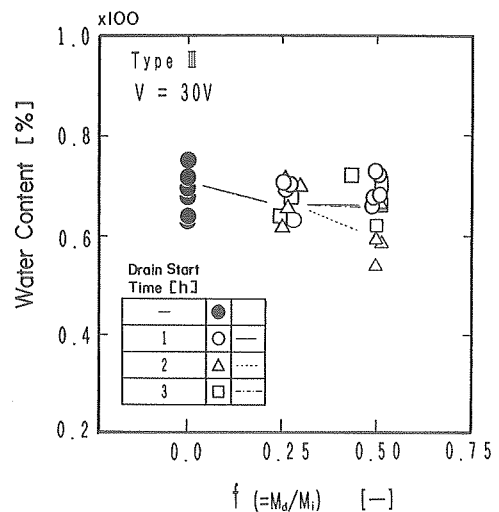


Fig. 18 Relationship between water content of dewatered activated sludge and f

間であり、この場合の排水操作は単に分離水を排除しただけと推定されるが、含水率は排水量に無関係に約5%の低下を示している。このように排水操作は含水率を低下させる要素を持っており、とくに50%の水を排出すると排水開始時間の違いによって含水率の低下度が異なっている。1時間後に排水を始めた場合にはまだ電気浸透が汚泥に作用している時であるので、この時に水を抜き始めると汚泥中を流れる電流が少なくなり、これが脱水作用にマイナスの効果をもたらす。従って、この場合には脱水に対してプラスとマイナスの効果が作用し、結果として含水率の低下度が排水量に無関係に脱水が終了したと推定される時点で水を抜いた場合と同じになったものと考えられる。一方、通電開始2時間後は観察結果からも明らかなように、汚泥が陽極に凝結した状態であるので、この時に水を抜き始めると濃縮汚泥への分離水の浸透を防ぐのに効果的であり、とくに排水量を初期汚泥量の50%にすると、それが脱水に最も有効に働いており、含水率も約60%まで低下している。従って、初期汚泥量の25%の水を排出した場合、排水開始時間が異なっても含水率に差異が表れなかったのは排水量が比較的小さいことに起因していると考えられる。

Fig. 19 は $H=57\text{mm}$ の時の消費電力 W と f の関係を示したものである。図中の実線、点線、一点鎖線はそれぞれのデータの平均値を結んだものである。排水開始時間が早く、しかも排水量が多いほど消費電力は小さくなっている。これは水を排出することによってセル内の液量が減少し、流れる電流が少なくなることに起因している。

Fig. 20 は分離された汚泥量の指標となる W_{cp}/W_{ip}

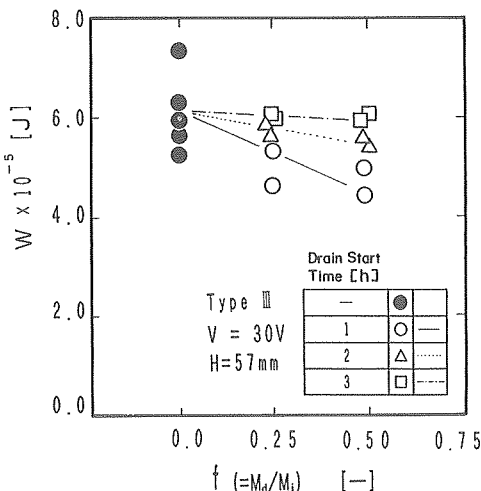


Fig. 19 Relationship between W and f

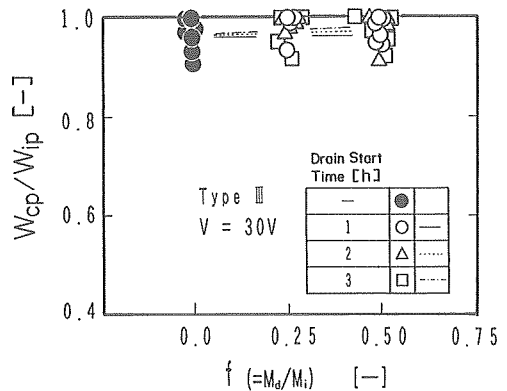


Fig. 20 Relationship between W_{cp}/W_{ip} and f

と f の関係を示したものである。図中の直線は、Fig. 19 の場合と同様にそれぞれのデータの平均値を結んだものである。排水開始時間および排水量に無関係にほとんどすべての汚泥粒子が分離されていることが判る。この結果は、分離される汚泥量は電流がピーク値に達するまでの通電初期の電気泳動によって支配されていることを明確にしている。

以上のように、活性汚泥の脱水分離に対して $\text{pH}=9$ 近傍で緩衝作用を利用すると非常に有効であるが、それに伴う電気量の増加は避けることのできない問題となる。しかし、通電中に分離された水を排出する操作は汚泥の最終含水率を約60%まで低下させることができ、また同時に消費電力を減少させることができる非常に有効な手段であることが明らかとなった。本実験では重力沈降で処理した汚泥に電界を与えているが、前回示したように初期汚泥の含水率を何らかの方法で下げる手段を見出せば、本報で示した脱水方法を用いることによって、処理汚泥をさらに低含水率まで下げることが可能となる。

4. 結 言

本研究では染色工場の活性汚泥に不均一電界を与えて脱水実験を行い、以下の結論を得た。

1) 汚泥を $\text{pH}=9$ 近傍で一定に保つ緩衝作用を利用すると、両極からのガスの発生を抑制し、汚泥粒子の電気泳動および浸透に対して非常に有効である。

2) 同軸円筒型電極を TYPE III のように改良すると、セル内の陽極近傍の電界が強くなるため、十分な脱水効果を期待することができる。

3) 分離された水を通電中にセルから排出すると、汚泥の脱水分離に非常に有効である。この時、排水開始時間を電気浸透が終了したと推定される電流がピーク値の約5~10%となる頃に設定し、排水量を初期汚泥

量の約50wt%とすれば最も有効である。

(原稿受付 1991年10月2日)

(原稿受理 1992年6月10日)

使用記号

f : 質量比 ($=M_d/M_i$)	[—]	r : セル中心からの距離	[m]
H : 円筒セル内の汚泥深さ	[m]	r_1 : 陽極半径	[m]
\bar{H} : 無次元変数 ($=H/H_{lower}$)	[—]	r_2 : 陰極半径	[m]
I : 全電流	[A]	t : 通電時間	[s]
M_i : 初期汚泥中の水分量	[kg]	V : 浴電圧	[V]
M_d : セル外へ排出された水分量	[kg]	V_r : 陰極と $r=r$ 間の電位差	[V]
		\bar{V} : 無次元電位 ($V_{r=r_2}/V_{r=r_1}$)	[—]
		W : 電気量	[J]
		W_{cp} : 脱水汚泥の乾燥質量	[kg]
		W_{ip} : 初期汚泥の乾燥質量	[kg]
		κ : 汚泥の電気伝導度	[S·m ⁻¹]