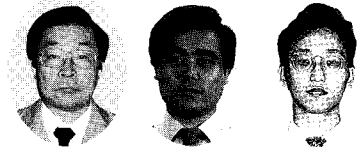


スラッジ加温による電気浸透脱水

Studies on the Heating-up Waterworks Sludge to Enhance Dewatering Speed of PED



(環)EO技術室
近 藤 史 朗
Shiro Kondo
佐 野 滋
Shigeru Sano
近 藤 吾 郎
Goro Kondo

電気浸透脱水速度を向上させるため、スラッジ加温法の効果を研究した。その結果、常温が7℃、16℃及び22℃の上水スラッジを40℃に加温して脱水することにより、従来の加圧脱水法及び電気浸透脱水法とも、1.3~1.5倍のろ過速度向上が認められた。また、電気浸透に要する消費電力量は、約10~50%の低減が可能であった。

The effects of heating-up waterworks sludge to enhance dewatering speed of pressurized electro-osmotic dehydrator (PED) have been studied. The method of conventional filter press using pressure alone and pressurized electro-osmotic dewatering were both proved to provide the increased filtration speed (1.3~1.5 times) when the sludges (7℃, 16℃ and 22℃) generated from the water purification plant was heated up to 40℃ and then dehydrated. It was also revealed that the power consumption required for electro-osmotic dewatering could be decreased by approx. 10~50%.

Key Words :

スラッジ加温
電気浸透脱水

the Heating-up Waterworks Sludge
Pressurized Electro-osmotic Dewatering

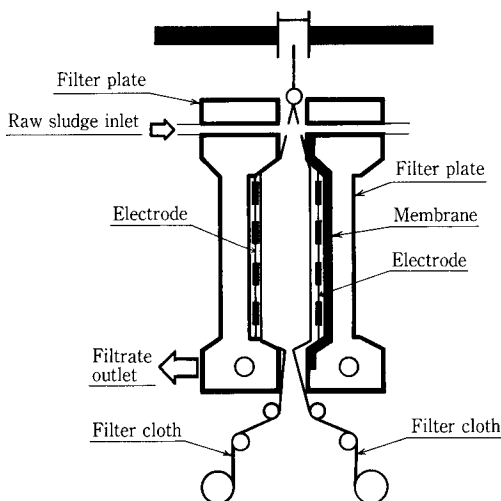
まえがき

近年、日本では多くの浄水場において無薬注による脱水方式が指向されている。

これは、無薬注脱水により、脱水ケーキの減容化が図れることが主要因である。

また、石灰、ポリマー等を含まない脱水ケーキは、農業利用等の有効利用をする場合において好都合である。

しかし、無薬注脱水方式は、従来の薬注脱水方式に比べ、ろ過速度が低下し、その結果、装置が大型化することとなる。



第1図 電気浸透式加圧脱水機内部構造
Fig. 1 Construciton of Pressurized Electro-osmotic dehydrator (PED)

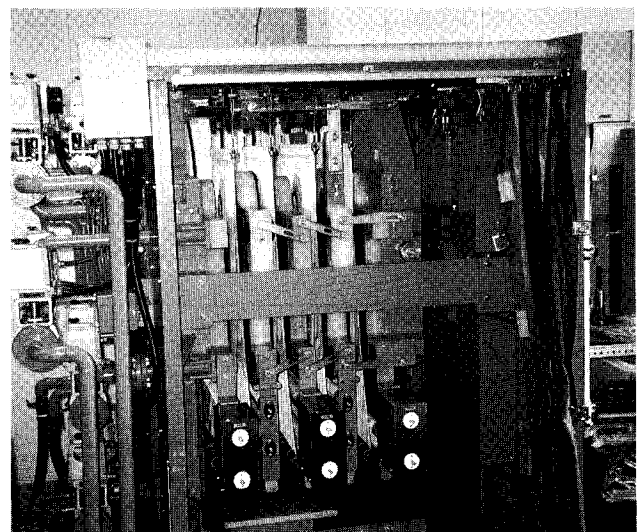


写真1 電気浸透式加圧脱水機(600[□])実験装置
Photo.1 Experimental unit (600[□])

これに対応するため、当社は従来になかった新型脱水機である「電気浸透式加圧脱水機」を開発した。

本方式は、電気を印加することによって、従来型加圧脱水機よりも大きな脱水能力を持つことが特長である。

しかし、時代の要請に応えるため、さらに電気浸透脱水速度の向上を図り、装置の小型化が可能なスラッジ加温脱水法の適用を試みた。

本報では、2.1 m²のろ過面積を有する実験装置を用いたスラッジ加温脱水実験結果について報告する。

1. 実験装置及び実験方法

1.1 実験装置

実験では、ろ板寸法が600 mm² 実機規模の電気浸透式加圧脱水機を使用した。

実験装置の写真を写真1に示し、内部構造を第1図に示す。

実験装置は第2図に示すように、脱水機、スラッジ貯留槽、スラッジ加温装置、空気圧縮機、スラッジ打込ポンプ、直流電源装置及びろ布洗浄装置で構成される。

また、ろ板及びろ布はポリプロピレン製、電極板は特殊カーボン製、圧搾膜はクロロプレン製である。

1.2 実験方法

第1表に示した性状のスラッジを、スラッジ打込ポンプを使用し、490 kPaの圧力でろ室内に圧入した後、圧搾膜を使用し、490 kPaの圧力で圧搾を行い脱水した。

また、設定時間後に直流電圧(40, 100 V)をスラッジに印加した。

1.3 実験条件

実験条件を次の1)～7)に示す。

ろ過速度は、6)及び7)の条件に従い、算出した。

- 1) 薬注条件：無薬注
- 2) 打込・圧搾圧力：490 kPa
- 3) 印加電圧：0 V, 40 V, 100 V
- 4) 最終ケーキ厚み：約5 mm
- 5) スラッジ温度：常温, 20℃, 30℃, 40℃

※スラッジは実験開始前に、スラッジ貯留槽内に設置した電気ヒーターを使用して加温した。

- 6) ケーキ含水率：60%
- 7) 雑時間(ケーキ排出時間等)：3 min

2. 実験結果及び考察

2.1 実験結果

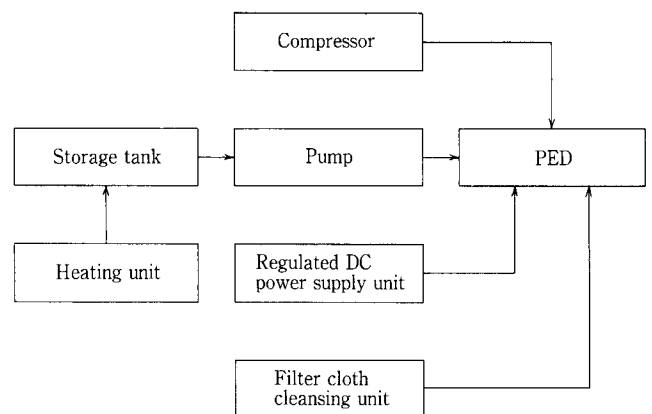
1) 実験結果を第2表に示す。

2) 第2表のデータを使用し、スラッジ温度とスラッジ打込量の関係を第3図に示す。

第3図のデータはすべて、打込圧力490 kPa、スラッジ打込時間10 minと設定し、スラッジ打込時間内において電圧は印加していない。

スラッジを常温から40℃に加温することにより、スラッジ打込量は、Aスラッジでは4.46 kg-DSが5.40 kg-DSと1.21倍に増加し、同様に、Bスラッジでは4.37 kg-DSが4.88 kg-DSと1.12倍に増加、Cスラッジ4.10 kg-DSが4.54 kg-DSと1.11倍に増加した。

前述のことから、スラッジを加温することにより、従来の加圧脱水法及び電気浸透脱水法とも、スラッジ打込量(処理固形物量)の増加が認められた。



第2図 実験設備
Fig. 2 Experimental facilities

第1表 A, B及びCスラッジの性状
Table 1 Properties of A, B and C sludge

	A-sludge	B-sludge	C-sludge
Sludge temp. (°C)	7	16	22
Sludge concentration SS (mg/l)	57 200	62 100	45 500
pH	6.8	6.9	7.0
Electrical conductivity (µS/cm at 25 °C)	560	650	550
Particle size distribution (%)			
· Silt content : 5 ~ 75 µm	60	54	40
· Clay content : 5 µm or less	40	46	60
Ignition loss (%SS)	20.4	19.0	21.7
Silica content (SiO ₂) (%SS)	40.9	40.1	39.3
Alumina content (Al ₂ O ₃) (%SS)	22.2	20.9	21.1

第 2 表 実験結果
Table 2 Experimental results

Test No.	Sludge temp. (°C)	Voltage (Volt)	Amount of sludge (kg-DS)	Moisture content of cake: 60 %			
				Time (T) required (min)	Filtration speed (kg-DS/m ² · h)	Power consumption (kWh/kg-DS)	
A-sludge	1	7	0	4.46	51	2.50	0
	2	20	0	4.62	50	2.64	0
	3	30	0	4.98	49	2.90	0
	4	40	0	5.40	41	3.76	0
	5	7	40	4.46	35	3.64	0.10
	6	20	40	4.62	33	4.00	0.06
	7	30	40	4.98	31	4.59	0.06
	8	40	40	5.40	29	5.32	0.05
	9	7	100	4.46	27	4.72	0.32
	10	20	100	4.62	27	4.89	0.31
	11	30	100	4.98	24	5.93	0.29
	12	40	100	5.40	23	6.71	0.25
B-sludge	13	16	0	4.37	42	2.97	0
	14	30	0	4.49	41	3.13	0
	15	40	0	4.88	36	3.87	0
	16	16	40	4.37	33	3.78	0.06
	17	30	40	4.49	31	4.14	0.05
	18	40	40	4.88	28	4.98	0.05
	19	16	100	4.37	27	4.62	0.24
	20	30	100	4.49	25	5.13	0.24
	21	40	100	4.88	23	6.06	0.22
C-sludge	22	22	0	4.10	53	2.16	0
	23	30	0	4.11	48	2.38	0
	24	40	0	4.54	46	2.76	0
	25	22	40	4.10	39	2.89	0.16
	26	30	40	4.11	37	3.12	0.16
	27	40	40	4.54	34	3.76	0.16
	28	22	100	4.10	31	3.65	0.36
	29	30	100	4.11	30	3.83	0.35
	30	40	100	4.54	28	4.48	0.30

- The filtration and compression for all experiments (No. 1 ~ 30) is 490kPa.
- The time required for filtration, compression, miscellaneous time is as shown below ;

Filtration time 10 min	Compression time (T-13) min	Misc. time 3 min
	Energization time (T-13) min	

The miscellaneous time includes cake separation time, filter plate movement time, etc.

- The filtration speed was calculated as follows ;

$$\text{Filtration speed} = \frac{\text{Amount of sludge (kg-DS)}}{\text{Time required (h)} \times \text{Filtration area (2.1 m}^2\text{)}}$$

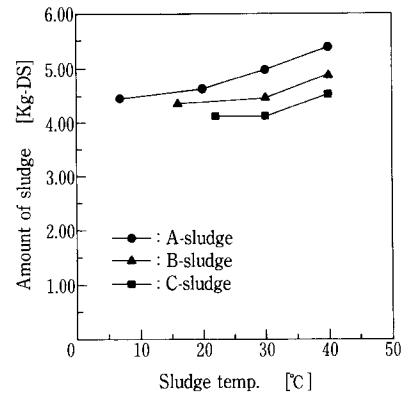
- The power consumption is electric energy required for electro-osmotic dewatering, but does not include the electric energy required for machine operation.

第 3 表 ろ過速度の比較

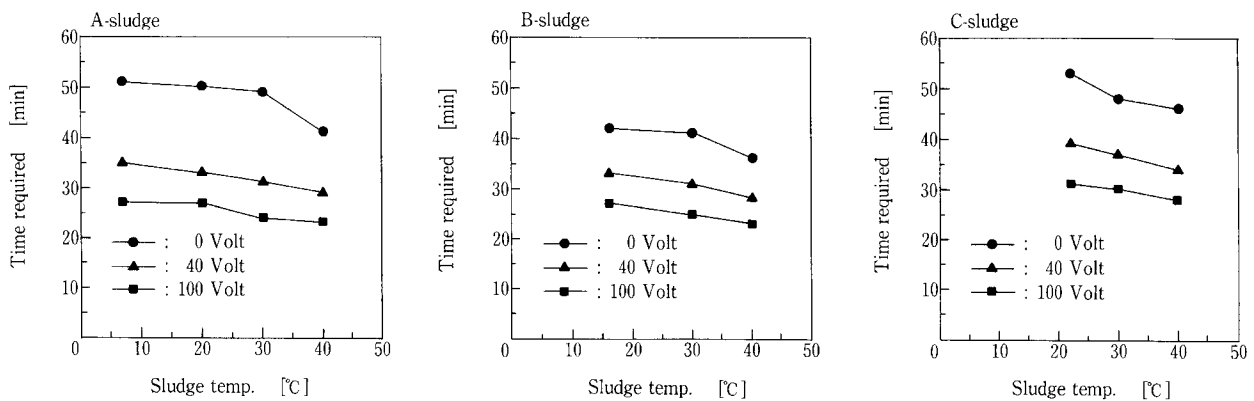
Table 3 Comparison of filtration speed

A-sludge				B-sludge			
Voltage (Volt)	0	40	100	Voltage (Volt)	0	40	100
Sludge temp. (°C)				Sludge temp. (°C)			
7 (nomal temp.)	100	146	189	16 (nomal temp.)	100	127	156
20	106	160	196	30	105	139	173
30	116	184	237	40	130	168	204
40	150	213	268	—	—	—	—

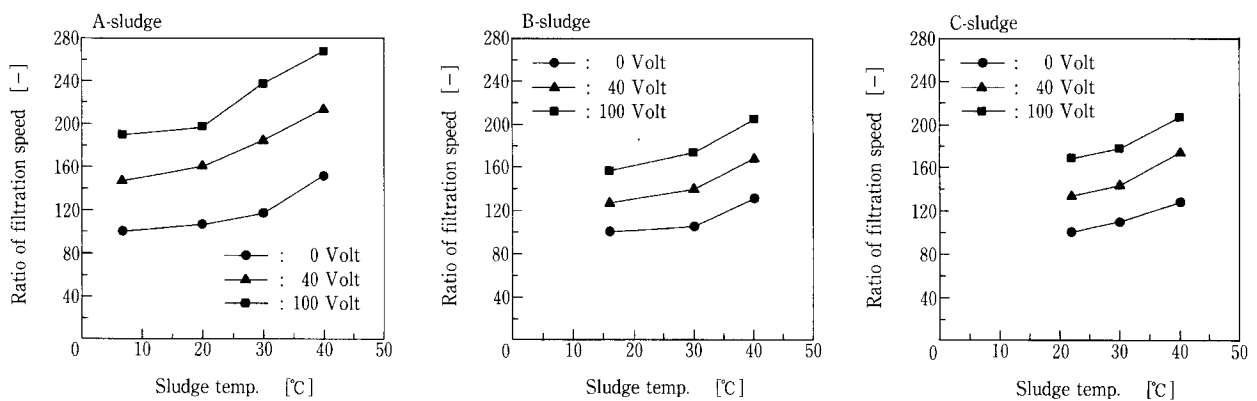
C-sludge			
Voltage (Volt)	0	40	100
Sludge temp. (°C)			
22 (nomal temp.)	100	134	169
30	110	144	177
40	128	174	207



第 3 図 スラッジ温度とスラッジ打込量の関係
Fig. 3 Relation between Sludge temp. and Amount of sludge



第 4 図 スラッジ温度とケーキ含水率が60%になるまでの所要時間との関係
Fig. 4 Relation between Sludge temp. and Time required



第 5 図 スラッジ温度とろ過速度の関係
Fig. 5 Relation between Sludge temp. and Ratio of filtration speed

3) 第2表のデータを使用し、スラッジ温度とケーキ含水率が60%になるまでの所要時間との関係を第4図に示す。

スラッジを常温から40℃に加温することにより、ケーキ含水率が60%まで低下させる所要時間は、加圧脱水法の場合、Aスラッジでは51分が41分となり20%の低減が認められ、同様に、Bスラッジでは14%の低減、Cスラッジでは13%の低減が認められた。

一方、電気浸透脱水法の場合、Aスラッジでは35分(40V)及び27分(100V)が29分(40V)及び23分(100V)となり15~17%の低減が認められ、同様に、Bスラッジでは15%の低減、Cスラッジでは10~13%の低減が認められた。

前述のことから、スラッジを加温することによりケーキ含水率が60%まで低下させる所要時間は、加圧脱水法及び電気浸透脱水法とも約10~20%減少する。

4) 2) 及び 3) に示すように、スラッジを加温することによりスラッジ打込量(処理固形物量)が増加し、かつ

所要時間が短縮されるのでろ過速度が上昇する。

第3表にろ過速度の比較を示す。

第3表のデータを使用し、スラッジ温度とろ過速度の関係を第5図に示す。

また、第3表及び第5図の値は、Aスラッジではスラッジ温度7℃のとき、Bスラッジではスラッジ温度16℃のとき、Cスラッジではスラッジ温度22℃のときの非通電時ろ過速度をいずれも100として換算した値を使用して比較している。

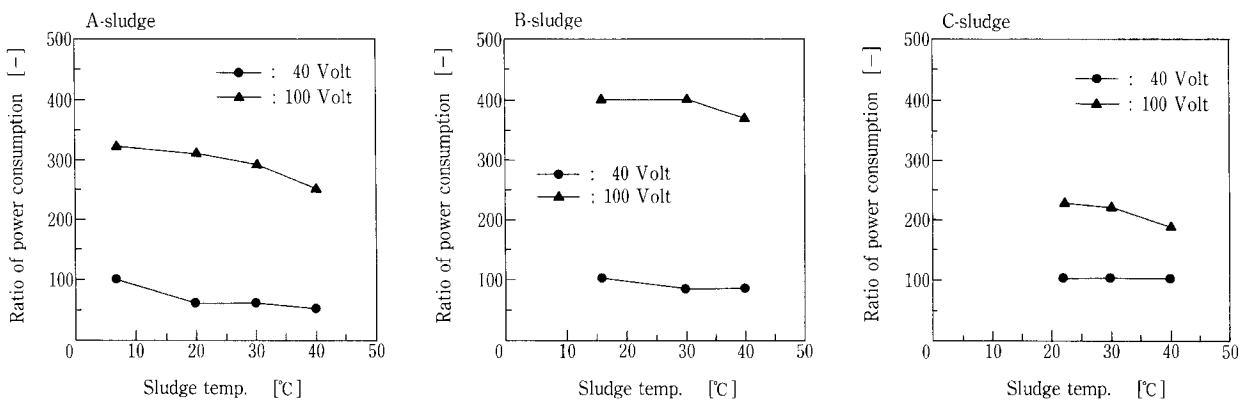
スラッジを常温から40℃に加温することにより、ケーキ含水率が60%になる時のろ過速度は、加圧脱水法の場合、Aスラッジでは2.50 kg-DS/m²・hが3.76 kg-DS/m²・hとなり1.50倍の増加が認められ、同様に、Bスラッジでは1.30倍の増加、Cスラッジでは1.28倍の増加が認められた。

一方、電気浸透脱水法の場合、Aスラッジでは3.64 kg-DS/m²・h(40V)及び4.72 kg-DS/m²・h(100V)が5.32 kg-DS/m²・h(40V)及び6.71 kg-DS

第4表 消費電力量の比較
Table 4 Comparison of power consumption

A-sludge			B-sludge		
Voltage (Volt)	40	100	Voltage (Volt)	40	100
Sludge temp. (°C)			Sludge temp. (°C)		
7 (nomal temp.)	100	320	16 (nomal temp.)	100	400
20	60	310	30	83	400
30	60	290	40	83	367
40	50	250	—	—	—

C-sludge		
Voltage (Volt)	40	100
Sludge temp. (°C)		
22 (nomal temp.)	100	225
30	100	219
40	100	188



第6図 スラッジ温度と消費電力量の関係
Fig. 6 Relation between Sludge temp. and Ratio of power consumption

$/\text{m}^2 \cdot \text{h} (100 \text{ V})$ となり、スラッジ温度が常温時の加圧脱水法ろ過速度に対して2.13~2.68倍の増加が認められ、同様にBスラッジでは1.68~2.04倍の増加、Cスラッジでは1.74~2.07倍の増加が認められた。

前述のことから、スラッジ温度を上昇させた場合、また印加電圧を上昇させた場合、いずれの場合もろ過速度は上昇した。

5) 第4表に、スラッジ温度と印加電圧を変化させた場合の消費電力量の比較を示す。

第4表のデータを使用し、スラッジ温度と消費電力量の関係を第6図に示す。

また、第4表及び第6図の値は、Aスラッジではスラッジ温度7℃、Bスラッジではスラッジ温度16℃、Cスラッジではスラッジ温度22℃における印加電圧40V時消費電力量をいずれも100として換算した値を使用して比較している。

スラッジを常温から40℃に加温することにより、ケー

キ含水率を60%まで低下させた場合の電気浸透脱水に要する電力量は、Aスラッジでは0.10 kWh/kg-DS (40 V) 及び0.32 kWh/kg-DS (100 V) が、0.05 kWh/kg-DS (40 V) 及び0.25 kWh/kg-DS (100 V) となり、スラッジ温度常温時各印加電圧における電力量に対して、22~50%の低減が認められ、同様にBスラッジでは8~17%の低減、Cスラッジでは40V時の場合、増減はなかったが、100V時の場合、0.36 kWh/kg-DS が、0.30 kWh/kg-DS となり、スラッジ温度常温時電力量に対して、17%の低減が認められた。

前述のことから、スラッジ温度を上昇させた場合、電気浸透脱水に要する電力量は10~50%減少した。

2. 2 理論値と実験結果の比較

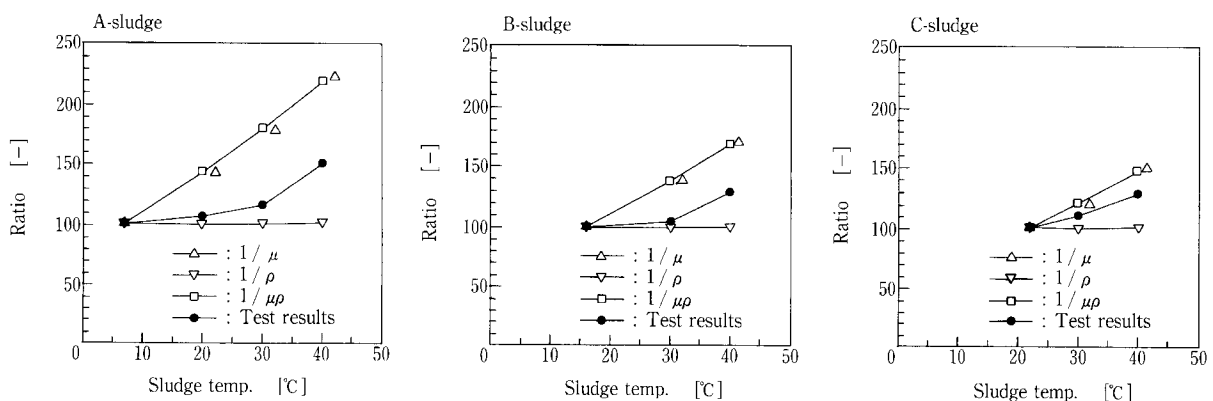
1) 定圧ろ過

ろ材抵抗を無視した場合、定圧ろ過において単位面積当りのろ液量 U は Ruth 式 (1式) で表すことができ、温度の変化に影響を受けないと考えられる因子をまとめ

第5表 加圧脱水法による加温効果の理論値と実験結果の比較

Table 5 Comparison of theory and test results of heating effect in pressurized dewatering

	Sludge temp. (°C)	Calculated value			Test results
		$1/\mu$	$1/\rho$	$1/\mu\rho$	
A-sludge	7	100	100	100	100
	20	142	100	142	106
	30	178	100	178	116
	40	218	101	219	150
B-sludge	16	100	100	100	100
	30	139	100	139	105
	40	169	101	170	130
C-sludge	22	100	100	100	100
	30	120	100	120	110
	40	146	101	147	128



第7図 加圧脱水実験結果と計算値の関係

Fig. 7 Relation between Sludge temp. and Calculated value

ると、この式は、(2)式となる。

$$U^2 = \frac{2A^2 \cdot P (1-mS)}{\mu \cdot \alpha \cdot \rho \cdot S} \cdot \theta \quad (1)$$

$$U^2 = k_1 \frac{1}{\mu \cdot \rho} \quad (2)$$

A : ろ過面積
m : ケーキの湿乾質量比
P : 圧力
S : スラリー濃度
 μ : 粘性
 ρ : ろ液密度
 θ : 時間
 α : ケーキの平均比抵抗
U : 単位面積当たりろ液量
 k_1 : 定数

スラッジ温度を変化させた場合における $1/\mu$ 、 $1/\rho$ 及び $1/(\mu\rho)$ の計算値を、第5表に実験結果とともに示す。

第5表のデータを使用し、スラッジ温度と理論値及び加圧脱水実験結果の関係を第7図に示す。

また、第5表及び第7図の各値は、Aスラッジではスラッジ温度7℃時、Bスラッジではスラッジ温度16℃時、Cスラッジではスラッジ温度22℃時のろ過速度をいずれも100として換算した値を使用して比較している。

第5表及び第7図からみると、スラッジ温度が変化しても $1/\rho$ の変化は僅かであるが、 μ 値は脱水能力向上に大きな影響を与えることがわかる。

温度が7℃から40℃に上昇すると、計算上では $1/\mu$ は2.18倍の増加となるが、Aスラッジ実験結果では1.5倍と、それより少ない結果であった。

同様に、温度が16℃及び22℃から40℃に上昇すると、計算上では $1/\mu$ は1.69倍及び1.46倍の増加となるが、Bスラッジ及びCスラッジ実験結果では1.3倍と、それより少ない結果であった。

この原因はスラッジ加温による影響として、ケーキ粒子の細分化、スラッジ性状の変化等が考えられる。

2) 電気浸透脱水

電気浸透脱水速度 U_E は、定電圧下において(3)式で表される。

$$U_E = \frac{\zeta \cdot D \cdot E}{\kappa \cdot 4\pi \cdot \mu} \quad (3)$$

E : 電圧
D : 誘電率
 μ : 粘性
 U_E : 電気浸透脱水速度
 ζ : ゼータ電位
 κ : 比電導度

ここで、誘電率は、(4)式から得られた値を使用する。

$$D = 78.54 [1 - 4.579 \times 10^{-3} (t-25) + 1.19 \times 10^{-5} (t-25)^2 - 2.8 \times 10^{-8} (t-25)^3] \quad (4)$$

D : 誘電率
t : 温度

また、ゼータ電位は、(5)式から得られた値を使用する。

$\Delta E/\Delta P$ はゼータ電位計による測定値を使用し、D及び μ は理論値を使用する。

$$\zeta = \frac{k_2 \cdot \mu \cdot \Delta E}{D \cdot R \cdot \Delta P} \quad (5)$$

D : 誘電率
 μ : 粘性
 ζ : ゼータ電位
 ΔE : 流動電位差
 ΔP : 圧力差
 k_2 : 定数

スラッジ温度を変化させた場合における $1/\mu$ 、D、 ζ 及び $\zeta \cdot D/\mu$ の計算値を、第6表に実験結果とともに示す。

第6表のデータを使用し、スラッジ温度と理論値及び電気浸透脱水実験結果の関係を第8図に示す。

また、第6表及び第8図の各値は、Aスラッジではスラッジ温度7℃時、Bスラッジではスラッジ温度16℃時、Cスラッジではスラッジ温度22℃時の計算値及びろ過速度をいずれも100として換算した値を使用して比較している。

Dは、スラッジ温度が上昇すると低下の傾向を示す。 ζ は、約30℃で最低値を示した後、スラッジ温度上昇に従い、増加していく。

第6表及び第8図から判るように、スラッジ加温によるD、 ζ の変化と比べて、 $1/\mu$ の変化の割合が大きい。

加圧脱水法と同様、電気浸透脱水法においても、 μ がスラッジ加温効果に与える影響が大きいことがわかる。

3. 加温脱水法の実用化

3.1 実用化した場合の利点

- 1) 加温脱水法を実用化した場合、脱水能力が常温脱水法と比べて向上するため、装置が小型化する。
- 2) ケーキの剥離が良好であるため、ろ布の寿命が延びる。
- 3) 1) 及び 2) から消耗品費が節約できる。

3.2 実用化する場合の課題

- 1) 適切な加温方法の選定。
- 2) スラッジの温度低下防止。

3.3 ランニングコスト

電気浸透式加圧脱水機を使用した場合の常温脱水法及び加温脱水法のランニングコスト比較を行った。

比較条件を次の1) ~ 12)に示す。

- 1) 発生固形物量 : 5 000 kg-DS/d
- 2) 運転時間 : 5 d/w, 7 h/d
- 3) スラッジ濃度 : 4.0 %
- 4) ケーキ含水率 : 60 %
- 5) ろ過速度 : 常温 (10~20℃) 2.0 kg-DS/m²·h
加温 (40℃) 2.6 kg-DS/m²·h
- 6) 電気浸透脱水に要する電力量 :

常温 (10~20℃) 0.15 kWh/kg-DS
 加温 (40℃) 0.13 kWh/kg-DS

- 7) スラッジ加温方法：蒸気直接吹込
- 8) 建設費（設備費及び建築費）の減価償却期間：17年
- 9) 人件費は除く。
- 10) 電気料金：15円/kWh（基本料金を含む。）
- 11) ガス料金：38円/Nm³（基本料金を含む。）
- 12) ボイラー用薬品：636円/kg

ランニングコスト試算結果を第7表に示す。

第7表の値は、常温脱水法の合計を100として換算したものである。

第7表の結果をまとめると次のとおりとなる。

- ① 運転費（電力費、スラッジ加温に要するエネルギー

費等）は、加温脱水法の場合、スラッジ加温に要するエネルギー費が高く、常温脱水法の2倍である。

- ② 消耗品費は、加温脱水法の場合、装置が小型化するため、加温装置を含めても、常温脱水法に比べ17%低減できる。

- ③ 設備の減価償却費は、加温脱水法の場合、全体のランニングコストに対して64%を占め、同様に常温脱水法の場合は69%を占める。

従って、いずれの場合もランニングコストに大きな割合を占める。

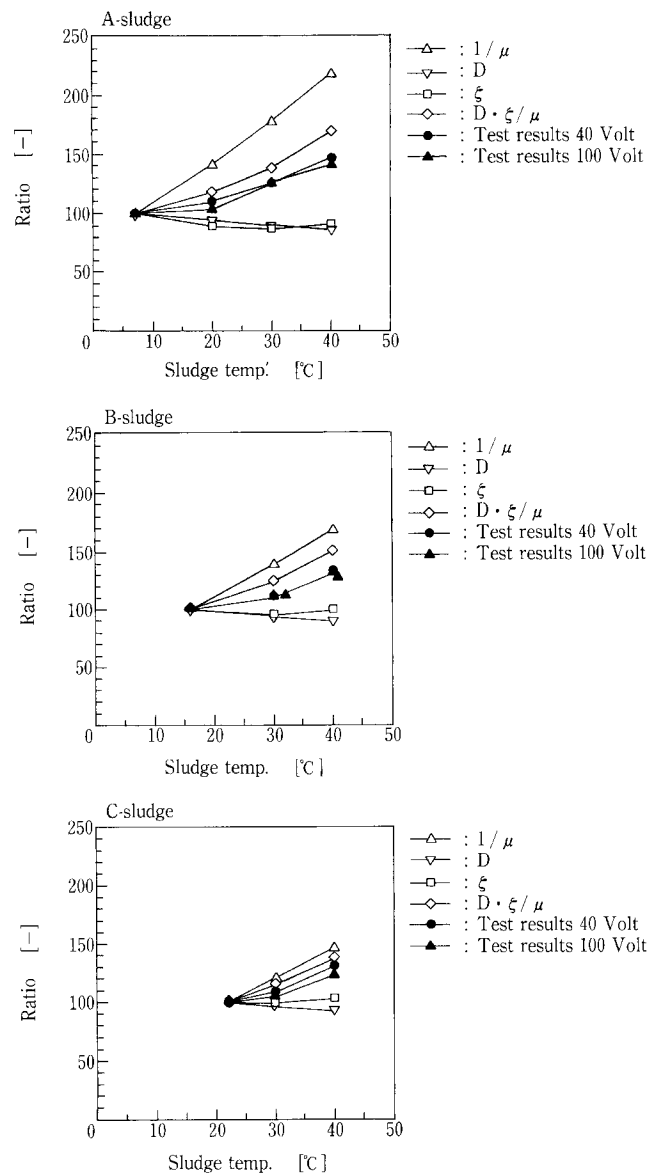
また、加温脱水法の場合、装置が小型化するため、

第6表 電気浸透脱水法による加温効果の理論値と実験結果の比較
 Table 6 Comparison of theory and test results of heating effect in electro-osmotic dewatering

	Sludge temp. (°C)	Calculated value				Test results	
		$1/\mu$	D	ζ	$D \cdot \zeta/\mu$	40 V	100 V
A-sludge	7	100	100	100	100	100	100
	20	142	94	89	119	110	104
	30	178	90	87	139	126	126
	40	218	86	90	169	146	142
B-sludge	16	100	100	100	100	100	100
	30	139	94	95	124	110	111
	40	169	90	99	151	132	131
C-sludge	22	100	100	100	100	100	100
	30	120	96	99	114	108	105
	40	146	92	102	137	130	123

第7表 ランニングコストの試算結果
 Table 7 Results of running cost accounting

	PED	PED with heating unit
	□ 1500 mm×70 CH×2	□ 1500 mm×54 CH×2
The cost of operation	5	10
The cost of parts for consumption	12	10
The cost of equipment	69	61
The cost of construction	14	15
	100	96



第8図 電気浸透脱水実験結果と計算値の関係
 Fig. 8 Relation between Sludge temp. and Calculated value

加温装置を含めても、常温脱水法に比べ12%の低減ができる。

- ④ 建築物の減価償却費は、加温脱水法の場合、大きなスラッジ加温槽を必要とするため、常温脱水法の1.07倍となる。

総合的には、加温脱水法の採用によりランニングコストは、常温脱水法に比べて、4%の低下となる。

むすび

- 1) 上水スラッジを加温することにより、ろ過速度の向上を図ることができる。

また、理論値から推測される上昇率よりも、実際の実験結果は低く、1.3~1.5倍となる。

- 2) 電気浸透脱水法の場合、スラッジを加温することにより、電気浸透に要する消費電力量の低減が図れる。

- 3) 加圧脱水法の場合、ろ過性は、粘性の影響が主要因であるが、電気浸透脱水法の場合、ろ過性は、粘性の影響が高い割合を示し、それに続いて誘電率及びゼータ電位が影響を及ぼす。

- 4) コージェネレーションシステムを採用し、その排熱を利用してスラッジの加温を行う等、他の熱源を利用することができれば、ランニングコストはさらに削減することが可能である。

【参考文献】

- 1) S. Kondo: STUDIES ON THE HEATING-UP WATERWORKS SLUDGE TO ENHANCE DEWATERING SPEED OF PED, 7th World Filtration Congress Budapest HUNGARY, HUNGARIAN CHEMICAL SOCIETY, PROCEEDINGS Vol. 1 (1996), p. 301~304, 320

連絡先

近藤 史朗 環境装置事業部
(工学博士) EO 技術室
室長
TEL 078 - 232 - 8138
FAX 078 - 232 - 8056
E-mail s. kondo@pantec. co. jp

佐野 滋 環境装置事業部
EO 技術室
課長
TEL 078 - 232 - 8138
FAX 078 - 232 - 8056
E-mail s. sano@pantec. co. jp

近藤 吾郎 環境装置事業部
EO 技術室
TEL 078 - 232 - 8138
FAX 078 - 232 - 8056
E-mail g. kondo@pantec. co. jp