

電気浸透式加圧脱水による上水汚泥 の農業利用に関する検討

Study on Agricultural Use of PED Sludge Cake Generated from Water Purification Plants



(環)EO技術室
三原 恒 美
Tunemi Mihara
近藤 史 朗
Shiro Kondo
鈴木 英 晴
Hideharu Suzuki
佐野 滋
Shigeru Sano

With the increase of sludge cake from water purification plants and decreased landfill space for the sludge cake, its agricultural use such as artificial soil has been studied. It was proved that the PED (Pressurized Electroosmotic Dehydrator) could dewater the sludge to the low water content just suitable for pelletizing, while the heat generated from the dewatering process was effective to kill pathogens and weed seeds in the sludge. This experiment has established a dehydration-pelletizing-drying process for the agricultural use of the sludge.

まえがき

浄水場のスラッジ排水処理設備から発生したケーキは、「廃棄物の処理および清掃に関する法律」による産業廃棄物として、その収集、運搬および処分が規制されている。

とりわけ、発生ケーキの処分については陸上の埋め立て処分が多いが、近年、その処分用地の確保がますます困難になってきている。レンガ・骨材・路盤材・窯業原料など、有効利用の方法の調査研究が行われているが、なお今後の実験研究課題であり、現在は栽培土、路盤材、宅地造成地理立用として一部が利用されているに過ぎない。¹⁾

このような浄水場の発生ケーキの処分は、脱水工程の無薬注化に伴って今後大きく変わってくると考えられる。本稿では、電気浸透式加圧脱水機による脱水工程の効率化と、発生ケーキの処分方法として農業利用のための処理方法の検討を行ったので、その一部を紹介することにしたい。

1. 農業利用のための条件

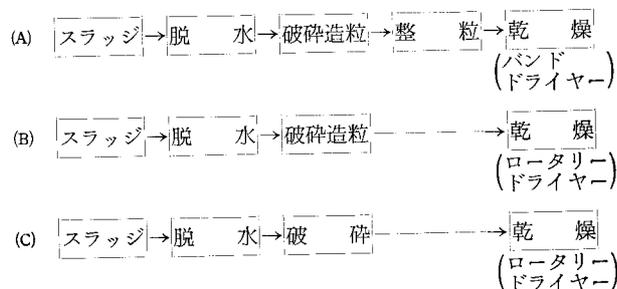
発生ケーキを製品ケーキとするための条件は、

- (1) 最終含水率を 30 % 程度まで下げること。
- (2) ハンドリングや製品価値を高めるために、ケーキを破碎し、粒径を 3 mm 程度にそろえること。
- (3) 無薬注処理とし、pH の変化をきたさないこと。
- (4) 病原菌や雑草種子が持込まれないように殺菌処理などを施すこと。

などであり、そのための調査検討を行った。

2. 処理プロセスの検討

プロセスについて、次の 3 つの方式の検討を行った。



(A)の方式は電気浸透式加圧脱水機により脱水後、その脱水ケーキを簡単な破碎、押し出し造粒機にて柱状ペレットに造粒し、さらに整粒機にて球状に成形し乾燥する方式である。この方式は製品粒子の均一性という点で最も優れ、商品価値も高いが、農地利用には経済的にコスト高になるきらいがある。

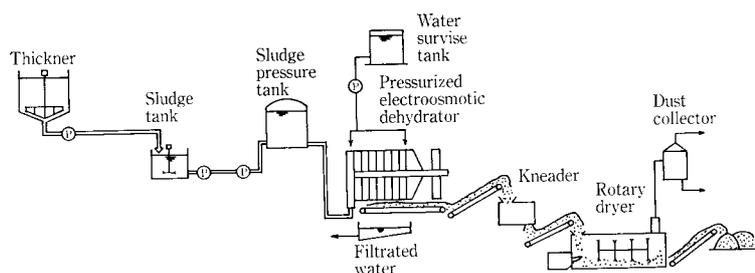
(B)の方式は(A)方式から整粒工程を除いたもので、柱状ペレットケーキを乾燥工程のロータリードライヤーで、少しでも粒状化、整粒化を行う方法である。

(C)の方式は最も簡単な方式で、破碎だけで乾燥する方法である。この方式では粒度の均一性は得られないが、最も経済的な方法である。

本稿においては、経済性も考慮し、粒度をある程度そろえて、全量を農業利用することをめざし、歩留りを高めた(B)方式を中心に検討したので、これについて述べる。

3. 実験方法

実験装置については、そのフローを第 1 図に示す。



第 1 図 実験フローシート
Fig. 1 Test flow

第 1 表 脱水実験結果

Table 1 Test results of dehydration

Sample	Sludge conc. (%)	Filtration		Compression		Electroosmosis			Cake			Capacity (kg-DS/m ² ·h) at 55%	Power consumption (kWh/kg-DS) at 55%
		Time min	Pressure kgf/cm ²	Time min	Pressure kgf/cm ²	Time min	Pressure kgf/cm ²	Voltage V	Weight kg	Cake-water cont. %	Thickness mm		
A	6.91	4	5	15	5	(15)	5	40	7.9	49.0	4.8	5.64	0.10
		4	5	13	5	(13)	5	70	8.8	45.3	5.3	7.48	0.13
		4	5	10	5	(10)	5	100	8.4	45.0	5.1	8.23	0.20
B	10.4	5	5	35	5	(35)	5	40	9.0	45.7	5.5	6.70	0.08
		5	5	30	5	(30)	5	70	8.8	42.6	5.3	7.22	0.12
		5	5	25	5	(25)	5	100	8.5	36.2	5.2	8.91	0.17
C	5.1	20	5	40	5	(50)	5	40	8.5	52.1	5.5	2.90	0.25
		20	5	30	5	(40)	5	80	10.9	47.2	6.2	4.10	0.33
		20	5	20	5	(30)	5	100	10.5	44.6	5.9	5.50	0.39
D	3.8	25	5	35	5	(50)	5	40	8.0	53.8	5.3	2.02	0.32
		25	5	20	5	(35)	5	80	8.3	47.0	5.5	3.27	0.36
		30	5	15	5	(35)	5	100	9.8	44.7	6.5	4.20	0.41

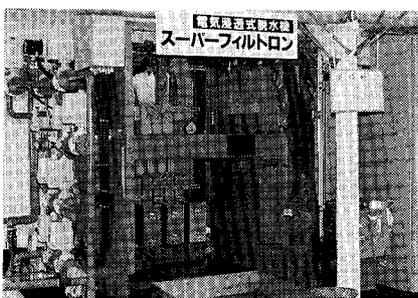


写真 1
電気浸透式加圧脱水機 (スーパーフィルター)

Photo. 1
Pressurized electroosmotic dehydrator



写真 2
脱水ケーキ

Photo. 2
Dehydrated cake

4. 実験結果

4.1 脱水機試験結果

電気浸透式加圧脱水機を用いて浄水汚泥の脱水試験を行った一例を第 1 表に示した。また、その脱水機および脱水ケーキの写真を写真 1, 2 に示した。

脱水機の処理能力を沓過速度 kg-DS/m²·h で表わす場合、処理能力を決定する因子としては次の(1)~(5)のものが関係している。

- (1) 汚泥性状
- (2) 脱水手段 (機械) によって決まる因子
 - ① 打込圧力・打込方法
 - ② 圧搾圧力・圧搾方法 (圧力, 電気など)
- (3) ケーキ含水率 (含水率をどこまで下げるか)
- (4) ケーキ厚み
- (5) 雑時間の設定 (沓過, 圧搾, 通電以外の脱水操作に必要な時間)

この内(1)(2)は、対象汚泥や脱水手段が決まると必然的に決った固有の値をとることになり、処理能力も一元的に定まるものである。(2)の場合、打込・圧搾圧力および方法など範囲はあるが、各メーカーおよび機種での最適のもので対応することになる。ただし、電気浸透式の場合、電気の印加時間、電圧によって沓過速度を変えることができるのが大きな特長である。

ところが、(3)(4)(5)の項目については、対象汚泥や脱水手段が決っても、それぞれ設定値をいくりにするかで処理能力が大幅に変るとい問題がある。

ケーキ含水率については、含水率を低下させるほど、脱水所要時間は必要となり、時間当りの処理量は低下する。またケーキ厚も、一般的に厚みの自乗で沓過抵抗が大きくなる傾向があり、いくりにするかによって処理能力は大幅に変わる。そこで、条件を①ケーキ含水率 55% 時、②ケーキ厚約 5 mm、③雑時間の設定を 4 分として求めた。

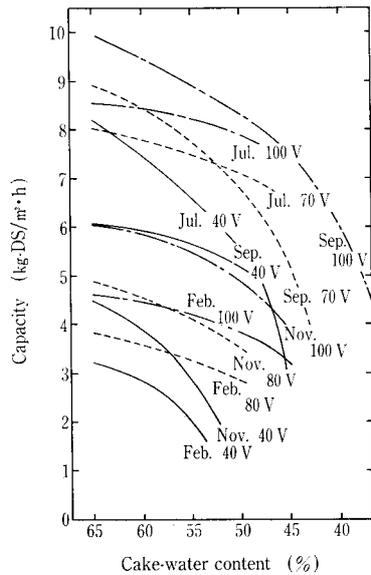
そこで第 1 表の試料 A~D の結果をみると、スラッジ濃度に表わされる汚泥性状によって、沓過速度が大きく変わること (これは季節的な変化でもある)、また、印加電圧を増加させることによって沓過速度を大幅に増加させることができることがわかる。この関係を第 2 図に示す。

さらに、消費電力とケーキ含水率の関係を第 3 図に示す。消費電力費は印加電圧が高い程大きくなる。

難沓過性のスラッジほど、消費電力が大きくなることもわかった。また、消費電力量は、含水率を低下させるほど大きくなるのは当然であるが、これはケーキ含水率が低い段階ほど、同じ 1% 含水率を低下させるのに、消費電力が大きくなるからである。これはケーキ中の水分が少なくなると、ケーキの抵抗が増し、液移動に使われていた電気エネルギーの一部が熱エネルギーとして消費されることによるものである。

さらに、今回の実験調査を通じて、従来の圧力だけに頼る加圧脱水機 (フィルタープレス) と比較して電気浸透原理を付加した加圧脱水機のメリットが次の点で確認された。

- (1) 脱水率が大幅に向上する。(5~10%)
- (2) 沓過速度が大幅に向上し、無薬注脱水によって低下



第2図 ケーキ含水率—沷過速度の関係
Fig. 2 Relation between cake-water content and capacity

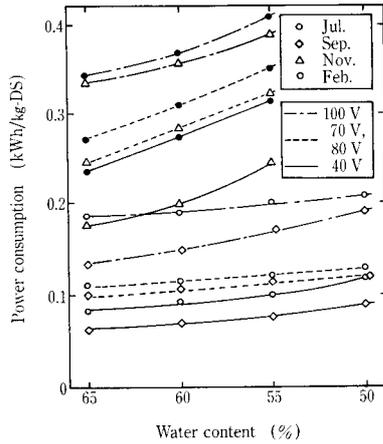
する処理能力を補うことができる。

- (3) 印加電力のコントロールによって、合理的な運転が可能である。例えば、夏季の沷過性のよい汚泥に対しては電気をわずかしか使用せず、冬季の難沷過性汚泥に対しては電力をアップして季節によるアンバランスを調整できる。

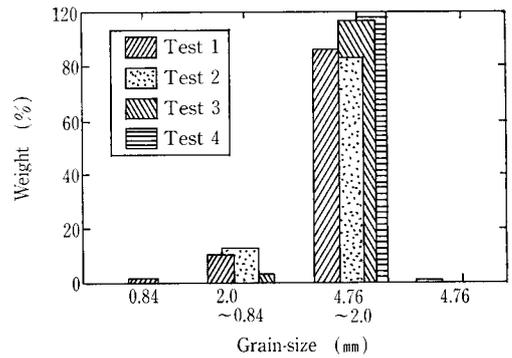
4. 2 造粒および乾燥実験結果

造粒試験については、ハンドリングなどを考えて一定の粒度にするのが目的であるから、その結果については押出造粒ケーキが互に付着しないこと、適当な長さに簡単に切れること、ダイスの目詰りが起らないことなどを判定基準に評価した。

その結果をまとめると



第3図 ケーキ含水率—消費電力量の関係
Fig. 3 Relation between cake-water content and power consumption



第4図 粒径分布
Fig. 4 Grain-size distribution of dried cake

- (1) 造粒の適正水分範囲があること、その水分範囲は汚泥性状により異なるが、約40~50%であった。
(2) 電気浸透式加圧脱水機による脱水ケーキの水分は、まったく造粒適正水分範囲にあり、さらに特別の脱水調整は不要であった。

その造粒試験機と造粒ケーキを写真3, 4に示す。

乾燥試験は製品水分を30%程度にすること(あまり乾燥しすぎると、固くなり過ぎて水浸による破砕性が失われる。)と乾燥工程の熱処理で土壤殺菌を行うことである。

乾燥機およびその粒状ケーキを写真5, 6に示す。その製品形状は、丸味を帯びた俵状であるが、粒径としては2~5mm, 径の収率が95%以上で粉化率も非常に少なく、第4図に示すように粒径分布のそろったものが得られた。

4. 2. 1 造粒性について

押出造粒機を使う場合の造粒性について、必ずしもケーキ水分が低い方がよいとは限らないことがわかり、造粒因

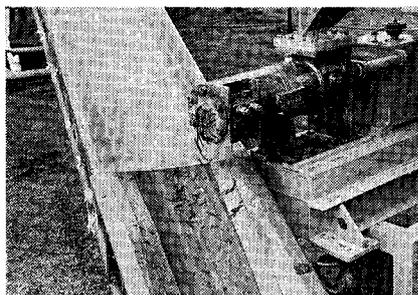


写真3 造粒機
Photo. 3 Kneader

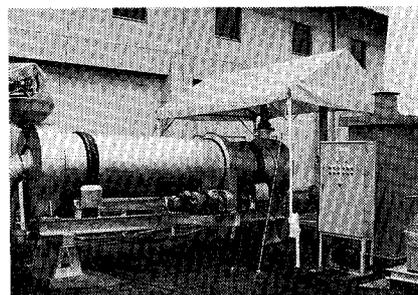


写真5 乾燥機(ロータリードライヤー)
Photo. 5 Rotary dryer



写真4 造粒ケーキ
Photo. 4 Kneaded cake

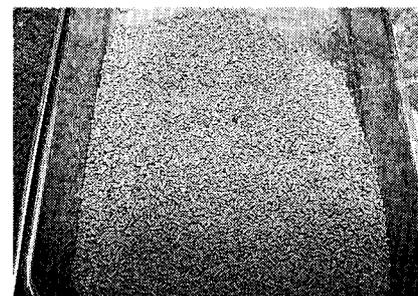


写真6 乾燥ケーキ
Photo. 6 Dried cake

第2表 各脱水ケーキの諸因子と造粒性

Table 2 Granulation factors of dehydrated cake

Sample		A	B	C	D
Cake-water content av (%)	W	48.7	45.7	54.3	48.5
Grain-size distribution <5 μm (%)	G	58.0	72.0	76.0	73.0
Specific weight	ρ	2.417	2.588	2.557	2.374
Organic matter (%)	B	21.1	15.6	18.7	26.4
Thixotropy	f	M	L	M	S
$f = k \frac{W \cdot \rho}{G \cdot B}$		0.096	0.105	0.098	0.060

Note: k=1

第4表 雑草種子発芽試験結果 (発芽数)

Table 4 The germination test of weeds (Germinated number)

Sample		A			B		
Cake		Raw cake	EO cake	Dried cake	Raw cake	EO cake	Dried cake
Planting seeds		100	100	100	100	100	100
Test 1	5 days	0	0	0	0	0	0
	10 days	0	0	0	0	0	0
	20 days	0	0	0	0	0	0
	30 days	0	0	0	0	0	0
Test 2	5 days	0	58	0	0	66	0
	10 days	0	73	0	0	90	0
	20 days	0	75	0	0	82	0
	30 days	0	65	0	0	71	0

Note: Planting seeds: White clover

子について検討した。

一般に、造粒体(含液体)においても、粘性流体におけるチクソトロピー現象と同様の流動特性があるといわれている。これは内部応力を受けるに従い、物質の変形速度が大きくなり、粘度が減少していく性質である。すなわち練られれば流動化していく現象であり、放置しておくともどる性質である。

造粒性に与える諸因子

水分	大	小
粒径	小	大
真比重	大	小
チクソトロピー	大 軟い	小 硬い

このチクソトロピー現象が大きいほど、造粒ケーキはやわらかくなる。この現象に影響をおよぼす因子との関係を示すと左記のとおりである。この因子から判断すると、一定の適性範囲というものはあるが、水分は低

く、粒径は大きく、真比重は小さく、有機物は多いほど、チクソトロピー現象が小さく造粒にとって有利となる。

これを具体的な脱水ケーキでみた一例を第2表に示す。各因子のチクソトロピーに与える影響度合はよく分らないが、第2表で示したf値で数量的に表わしてみると、定性的に観察したものとよく一致した。諸因子の数値から、適性水分範囲に最も影響を与えているのは、有機物量の変化によるものと思われる。

4.2.2 乾燥結果について

脱水ケーキの状態により異なるが、3mmφの柱状ペ

第3表 糸状細菌(N/g)

Table 3 Filamentous fungi

Test No.		1	2	3	4
A	Raw sludge	1.2×10^3	1.2×10^3	5.2×10^3	2.5×10^3
	EO cake	ND	6.1×10^2	2.0×10	1.3×10^2
	Dried cake	ND	4.8×10^2	ND	5.4×10^2
B	Raw sludge	1.9×10^4	2.2×10^3	1.1×10^4	1.1×10^4
	EO cake	1.3×10^2	1.2×10^2	ND	1.7×10^2
	Dried cake	ND	4.0×10	8.0×10	2.4×10^2

ットに造粒したものをロータリードライヤーで、入口温度300~500°C、出口温度を100~150°C、滞留時間20~25分の条件で乾燥し、水分30%程度の乾燥ペレットケーキが得られた。

プロセスとしては、球状に固める整粒工程を省いた方が多孔性、通気性が増し、水浸による適度の破砕性もあるペレットケーキが得られた。

なお、解砕機を使って破砕するだけのプロセスでは、粒度の均一性に欠け、2~5mmφの粒度の回収率は50~60%で、1mmφ以下が約20%、5mmφ以上が20~30%であった。目的によってはこれも経済的で自然な客土として扱えると思われる。

4.3 園芸作物病原菌試験

園芸作物の発病の有無を調べる指標として、糸状細菌の分析が行われる。従って、通常の加圧脱水および電気浸透式加圧脱水ケーキ、さらに造粒乾燥ケーキについて、糸状細菌の分析による病原菌試験を行った。その結果の例を第3表に示す。

この結果から、菌数減にはばらつきがあるものの、電気浸透や乾燥処理によっても、菌数の大幅減が認められ、殺菌効果が確認された。

なお、作物の発病については、糸状菌は空気中にも存在し、入り込む余地があるが、糸状菌で代表的な園芸作物病原菌である *Fusarium* 菌は一般に糸状菌が1000 N/g以下であれば、農業利用に供しても発病しないといわれている。

この見地に立てば、糸状細菌については、電気浸透式の脱水工程で十分殺菌されており、乾燥工程を得なくても発病の心配はないといえる。これは、電気浸透工程で多少熱が発生するため、低温殺菌が行われているものと考えられる。

4.4 雑草種子発芽試験

通常の加圧脱水、電気浸透脱水および造粒乾燥ケーキについて雑草種子発芽試験を行った。その結果を第4表に示す。しかし、原スラッジに生きた種子が確認できなかったため、植種を行い発芽数を調べた。その結果、単なる加圧脱水ケーキでは70%以上の発芽が認められたが、電気浸透脱水、乾燥殺菌ケーキでは発芽が認められず、種子が死滅することが確認された。

4.5 造粒ケーキの用土的性状について²⁾

盆栽などの土として通気性がよく、しかも水もちがよい土が理想的である。その指標として、一般に三相分布(固

第5表 土の種類と三相分布 (粒径2~5 mm)

Table 5 Three-phase distribution of soil

Soil-phase \ Soil	Test soil	Kanuma soil	Red soil	Volcanic sand	River sand
Solid-phase	26.5	8.0	14.4	18.0	50.2
Liquid-phase	44.5	60.1	62.6	34.2	9.6
Aero-phase	29.0	31.9	32.0	46.1	40.2

相、液相、気相の容積比)で示される。通気性としては、気相の値が20~30%が基準として一応の目安とされている。実験で得た造粒ケーキについて、三相分布を調べ、市販の土や自然の土砂との比較を試みた。その結果を第5表に示す。

三相分布は粒径によって異なるので、粒径は2~5 mmのもので比較した。

この分析値から、造粒実験土は通気性29%で、基準を満たしており、鹿沼土に近い。保水性(液相)では鹿沼土や赤土より低いが、通常の良い田畑で、適度な湿り気の際の三相分布が、固相:液相:気相=40:30:30%の割合といわれているので、40%以上の液相の数値は農業用として十分保水性を満足している土といえる。

5. 処理費用の検討

電気浸透式加圧脱水と従来の加圧脱水で行った場合の費用について算出し比較を行った。その結果を第5図に示す。

試算条件として次の内容で概算した。

(1) 消耗品

汙布(寿命1年)、ダイヤフラム(寿命5年)として試算し、その他の部品については今回省略した。また、電極についてはライフが長いので、消耗品に含めなかった。

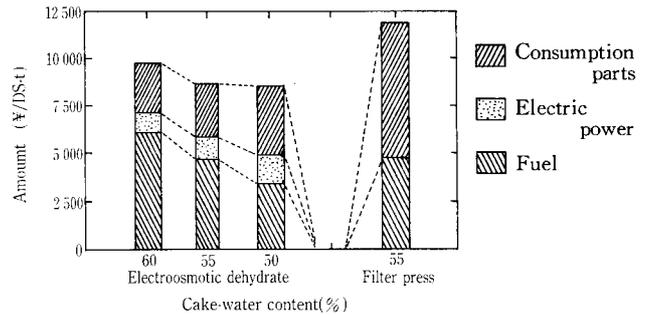
(2) 電力量

12円/kWh。電気浸透のために費される電気代のみ算定し、ハード上の必要電力は同じとして今回の比較に含めなかった。

(3) 燃料費

灯油40円/ℓで30%水分までの乾燥エネルギー費用として試算

これらの結果から電気浸透式では、処理費用の割合としては乾燥のための燃料が最も大きく、消耗品、電力費の順である。従来の加圧式の場合は燃料費よりも、消耗品費の割合が大きくなる。(装置が大きくなり、汙布、ダイヤフラムが増えるため。)



第5図 処理費用の内訳比較

Fig. 5 Comparison of running cost (at 40V)

電気浸透式と従来の加圧式との比較では、いずれにしても総費用で3000~4500円/t-DSの処理費用に差があり、従来の加圧式より3割程度ランニングコストが安いといえる。

6. まとめ

今回の浄水汚泥の農業利用について検討を行った結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 電気浸透式加圧脱水機による脱水は、今後、無薬注処理が進んで、処理能力が低下したり、季節的な性状変化が激しくても、印加電圧のコントロールによって処理能力を調整でき、効率的な脱水ができることを確認できた。
- (2) 浄水分野における発生ケーキの処分法として、農業利用をめざした検討を行い、脱水-造粒-乾燥のプロセスを確立できた。
- (3) 農業利用を考える場合に、必要な製品ケーキの病原菌の殺菌や雑草種子の死滅化にも、脱水工程で電気浸透方式を生かせば、効果のあることが確認された。
- (4) 確立したプロセスによる製品は、用土の性状を満足するものであった。

むすび

今度の実験調査により、単なる汚泥脱水だけでなく、上水汚泥の農業利用に関する種々の知見を得ることができた。得られた知見を生かして、今後の有効利用の一助として行きたい。

【参考文献】

- 1) 水道年鑑(1990年版) 水道産業新聞社
- 2) 「盆栽の土づくり」 辻元正著 農山漁村文化協会