

く 目 的 く

一般に汚泥の水分除去に対する物理的操作には限界があり、今までの処理方法では、水分除去能力とコストの両立ができていないのが現状である。そこで、経済的な範囲で有効に水分を除去する方法が望まれるわけであるが、それに対する効果的な方法としてフッ素電解処理法を取り上げている。前報¹⁾においては、フッ素電解処理汚泥の固化物についての圧縮強度特性を報告したが、本処理法の大きな利点である結合水の自由水化による脱水乾燥性能の向上については定性的に述べたのみであった。そこで本報告では、汚泥中の水分除去に関するフッ素電解処理法の効果の定量化を行いたいと思う。

く 方 法 く

本報告で述べる汚泥は、住宅団地における下水の最初沈殿汚泥および活性汚泥法による余剰汚泥である。一般的な下水における成分は、水を除けば有機物がそのほとんどを占めている。さらに生物による処理の場合、発生する余剰汚泥には多量の微生物が存在している。この微生物の生命活動は細胞に依存しており、細胞は生体高分子と呼ばれる有機物によって大略構成されている。結局、このように汚泥は有機物の集合体であると考えられる。

生体高分子である蛋白質に直接接している水分子は、極性基のまわりで配向するため熱運動が強く束縛され、蛋白質と水が強く結合していることが知られている。一般に、この結合水は物理的にも処理しにくく、汚泥の脱水性を悪化させる主要因となっている。しかしフッ素電解法によれば、まず電気的エネルギーを加えることによって極性基間の結合を弱めることが考えられる。すなわち、双極子間の相互ポテンシャルエネルギーは $-Meq/r^2$ ここで M : 価数 r : 中心間距離

e : 静電エネルギー η : 双極子モーメント

と表わされるが、このエネルギーは、2個の双極子の一方を固定して他方を同一平面内で90°回転させるエネルギーと等しい。したがって、この回転に要するエネ

ルギーを電気分解の際に外部から与えれば、結合水は引き離されることが予想される。ただ、このままでは再結合の可能性があるので、フッ素電解法では炭酸カルシウムを添加して生体高分子側の極性を打ち消すことによって問題を解決している。このように生体高分子に強く結合している水分子は、フッ素電気分解によって除去され結合水の自由水化が可能となっているが、実際の自然乾燥時においても予想通りに汚泥中の結合水の除去が成されているかを確かめるために乾燥実験を行なった。処理汚泥は、無処理汚泥に比べて結合水の自由水化が達成されているので最終的な残留水分量が少なければフッ素電解法が有効であると判断できよう。電解条件

(1) 電解槽 20 l のアクリル製直方体

(2) 極板 陽極 Al 陰極 Cu 間隔 10 cm

(3) 電解電圧 5 V - 10 A, (4) 電解時間 80 分

(5) 添加薬剤 (蒸発残留物重量当り)

$FeCl_3$ 10%, CaF_2 5%, $CaCO_3$ 10%

電解後、固液分離した汚泥は 120 メッシュのろ布で 10 分間水切りをした。すなわち自由水の蒸発は処理、無処理とも変わらないことは明らかなので、汚泥の固相重量と液相重量の比 0.70 程度から始発とした。前方の汚泥を等量づつ蒸発皿にとり、風通しが良い開放空間に静置した。この場合、直射日光は当たらないように制御した。時系列の測定項目は重量である。

く 結 果 く

汚泥の天日乾燥による水分の時系列減少率は表-1、2、図-1 に示す。図中各時刻における値は、2 個のデータの平均値を示している。この結果から、汚泥水分の蒸発の表現にはある種の曲線が有効であろうと考えられた。そこで蒸発モデルの数式化のため、汚泥の速度式を作成してみた。汚泥に含まれる全水分量を W_0 、時間を表わす変数を t とし、時刻 t における汚泥水分量を $W(t)$ と表わすことにする。したがって、時刻 t と $t + \Delta t$ の間に蒸発する量は $W(t) - W(t + \Delta t)$ と表わ

されるが、すでに述べたように汚泥の表面水は汚泥相に近い水分子ほど強い束縛を受けているので、蒸発水量は汚泥水分の七における量 $W(t)$ と時間間隔 Δt に比例することになる。比例定数を K として

$$W(t) - W(t + \Delta t) = KW(t)\Delta t \quad \text{--- (1)}$$

という関係が得られる。これを变形して

$$\frac{W(t + \Delta t) - W(t)}{\Delta t} = -KW(t) \quad \text{--- (2)}$$

と表わす。(2)式の左辺において $\Delta t \rightarrow 0$ としたときの極限は $W(t)$ の導関数になるから

$$dw/dt = -KW \quad \text{--- (3)}$$

が得られる。この(3)式が汚泥水量 $W(t)$ の微分方程式である。解の存在および一意性は物理現象であり、かつ初期値が存在するので問題は無い。(3)式を变形すると

$$dw/w = -Kdt \quad \text{--- (4)}$$

となり、変数分離型であるので積分すれば、

$$\ln W = -Kt + C_1 \quad (\ln \text{は自然対数})$$

$$W = e^{-Kt + C_1} \quad (C_1 \text{は積分定数})$$

$$W = C_2 e^{-Kt} \quad (\text{ただし } C_2 = e^{C_1}) \quad \text{--- (5)}$$

とする。 $t=0$ のとき $W=W_0$ であるので、 $C_2=W_0$ より

$$W(t) = W_0 e^{-Kt} \quad \text{--- (6)}$$

である。なお表-2は、残存量そのものでなく初期水分に対する残存率が示されている。一般に水分の蒸発は、自然の条件下で乱される確率的な物理現象であり図-1の曲線は、水分減少の確率密度関数と考えることができる。関数 $W(t)$ のパラメタをデータ (t_i, W_i) ($i=1, 2, \dots, 8$)から推定するために最小二乗法を用いた。ここで指数関数はパラメタの一次式の形に変形している。 $\log(W(t)/W_0) = -Kt \log e$ --- (7)

$$\text{すなわち } y = at \quad (\text{ここで } a = -K \log e) \quad \text{--- (8)}$$

変数変換によるデータは表-3に示される。推定結果は無処理汚泥(W_1)、処理汚泥(W_2)について

$$W_1 = e^{-0.089t} \quad \text{--- (9)}$$

$$W_2 = e^{-0.132t} \quad \text{--- (10)}$$

となる。回帰係数の有意性の検定のために分散分析表を表-4に示す。どちらも明らかに有意である。 K の値は大きい方が乾燥速度が早いことになり、フッ素電解処理した汚泥は無処理汚泥の2.24倍となっている。

< 考 察 >

無処理と処理汚泥の乾燥速度および最終含水率は明
り S53 秋大会 学術講演集

らかに相違しており、処理した汚泥は乾燥速度が早いことがわかる。最終含水率については処理したものが約99%、無処理のものが約85%となっている。処理場で採取した余剰汚泥は同一のサンプルであるから、この約14%の差は、フッ素電解処理による結合水の自由水化によるものであると考えることができる。この差は視観察によっても明らかに判断できる程度のものであり、汚泥固化物を有効利用しようとする場合には大きなメリットとなっている。今後処理条件(薬剂量、電流等)の因子を変数として汚泥の乾燥促進効果を定量化し、最適値を見い出せば、本処理法の有用性がより良く評価されよう。

表 1 時系列重量変化 (単位 g)

日数	0	0.6	2.85	3.88	4.81	6.58	10.83	14.79
無処理汚泥 C_1	No1	160.27	156.98	127.02	120.66	105.26	87.92	83.29
	No2	158.65	154.88	126.04	118.55	102.97	87.90	80.52
	平均	159.46	155.93	126.53	119.61	104.12	88.91	81.91
								74.17
処理汚泥 C_2	No3	157.30	154.98	138.15	127.10	116.17	103.72	90.29
	No4	159.41	155.78	140.43	128.00	117.21	104.55	91.26
	平均	158.31	155.37	139.29	127.55	116.69	104.14	90.78
								86.56

表 2 水分残存率 (%)

日数	0	0.6	2.85	3.88	4.81	6.58	10.83	14.79
無処理汚泥	100	96.5	77.6	63.8	51.0	36.2	20.5	15.5
処理汚泥	100	95.9	68.0	61.7	35.7	17.8	9.9	0.9

表 3 回帰分析データ

	1	2	3	4	5	6	7	8	計	平均
時間	0	0.6	2.85	3.88	4.81	6.58	10.83	14.79	44.34	5.54
C_1	0	-0.01	-0.11	-0.20	-0.29	-0.44	-0.69	-0.81	-2.55	-0.32
C_2	0	-0.02	-0.17	-0.21	-0.45	-0.75	-1.00	-2.00	-4.64	-0.58

表 4 分散分析表

	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比
無処理汚泥	回帰	0.630	1	0.630	210**
	残差	0.016	6	0.003	
	計	0.646	7		
処理汚泥	回帰	3.143	1	3.143	95.2**
	残差	0.200	6	0.033	
	計	3.343	7		

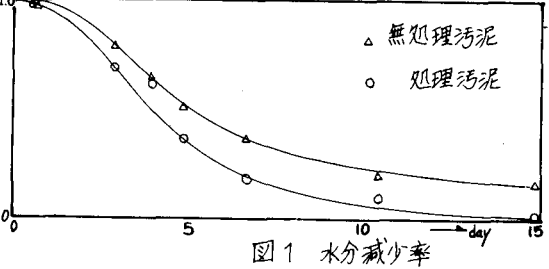


図 1 水分減少率