上水汚泥の固液分離性を示す因子について

東北大学工学部○西村　修　後藤光亀　佐藤敦久　佐藤秀樹

1　はじめに　上水汚泥は、原水水質および浄水操作によってその固有の性状が決定され、固液分離操作（濃縮、脱水等）の効果を強く支配すると考えられる。したがって、汚泥処理プロセスの合理化を計るためには、処分の方法、その他の制約条件を十分に考慮した上で、汚泥の固有の性質に適したプロセスの選定、運用をすることが望ましい。従来、汚泥の固液分離性を知るために、沈降濃縮、遠心濃縮、真空脱水、CST等の実験が行われ、種々の特性値が示された。本研究では13種類の汚泥に対して上述の実験を行って特性値を求め、特性値間の相互関係、濃縮性、脱水性の簡便予測手法を実験的に考察した。また、上水汚泥は高含水率で固液分離の困難な汚泥であるが、この水分は比較的低い圧力域においてかなりの量を分離することができる。しかしながら、この上水汚泥に特徴的な低い圧力域における固液分離性については検討された例が少ない。そこで、新たに定率ひずみ圧密実験を行って、低い圧力レベルでの固液分離性を透水性、圧縮性という２つの因子から検討した。

2　実験試料および実験方法

2-1 実験試料　　実験に用いた上水汚泥は、12ヶ所の浄水場から計13種類を採取した。表-1に試料の組成分析結果を示す。A汚泥は生物処理槽より採取した沈澱汚泥である。その他の汚泥は、PACあるいは硫酸ｱﾙﾐﾆｳﾑを用いて凝集沈澱させた汚泥である。溶出ｱﾙﾐﾆｳﾑの測定は硫酸を用いて汚泥のpHを2以下にし、上澄水のｱﾙﾐﾆｳﾑ量を測定した。各種固液分離実験を行う際にはあらかじめ24時間沈降後、上澄水を排除したときの濃度を基準とした。

表－１　汚泥組成分析結果

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ig・loss	溶出Al_2O_3	SiO_2/Al_2O_3	粒子密度
	%	%	%	%	%		g/m³
A	53.1	16.2	3.97	20.3	0	3.28	2.396
B	29.7	31.7	1.74	31.6	6.90	0.94	2.266
C	26.0	35.9	1.69	33.9	8.59	0.72	2.395
D	32.3	28.9	2.35	22.1	7.89	1.12	2.512
E	39.4	28.0	2.55	24.0	6.26	1.41	2.388
F	39.0	26.7	2.81	19.2	6.86	1.46	2.534
G	57.2	22.7	4.97	16.0	3.57	2.52	2.493
H	30.7	34.2	2.32	27.8	6.96	0.90	2.388
I	24.5	43.6	1.33	27.2	11.17	0.56	2.392
J	32.4	30.4	3.73	23.6	5.44	1.07	2.510
K	28.6	26.1	2.71	29.1	4.90	1.10	2.327
L	57.7	26.8	2.22	14.8	4.58	2.15	2.353
M	43.2	29.5	2.82	21.1	6.16	1.46	2.437

2-2 固液分離実験

(A) 沈降実験　　初期濃度を測定した後1ﾘｯﾄﾙのﾒｽｼﾘﾝﾀﾞｰに入れ恒温室中に静置し、沈降界面の経時変化を測定した。沈降曲線は等速沈降区間、遷移区間、圧密沈降区間に分けられる。圧縮点は等速沈降区間と圧密沈降区間を近似した2本の直線の内角2等分線と沈降曲線との交点である。

(B) 遠心濃縮実験　　遠心濃縮による濃縮性は、汚泥に加えられる遠心加速度と時間に影響される。Vesilind[1]らは、遠心濃縮濃度と遠心加速度および時間の関係を

$S_f = a + b\log(z^{1.5} \cdot t)$　①

ここで、z：遠心加速度(gravity)、t：時間(min)、a,b：定数、S_f：汚泥濃度(%)、と表すことができることを明らかにしている。そこでcompactivity($z^{1.5} \cdot t$)を5段階に変えた実験を行い①式を求めた。汚泥は、目盛り付き10ccの試験管に入れ界面高さから濃度を換算した。

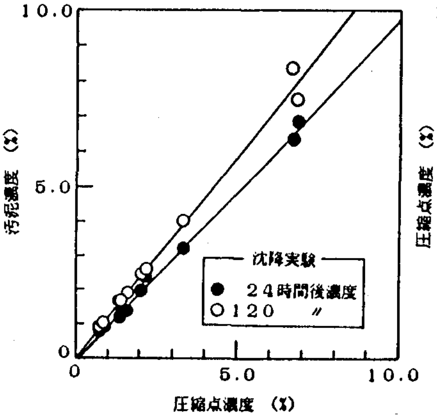
(C) ﾇｯﾁｪ試験　　ﾛｰﾄは内径4.96cm（ろ過面積19.32cm²）で、ろ材としてろ紙（No.5C）を用い試料量は100mlである。吸引圧力は10～50cmHgで数段階に変化させた。実験終了は汚泥ケーキ表面にクラックが入ったときとし、そのときの濃度を最終濃度とした。

(D) CST実験　　汚泥の撹拌は供試汚泥濃度が比較的低いのでガラス棒を用いてゆっくりと混合した。測定機種はTRITON-W.P.R.L TYPE130、ろ紙はTRITON社製 CST PAPER 70mmX90mm、ｼﾘﾝﾀﾞｰはｽﾃﾝﾚｽ製φ20mmX26mmであり、5回以上の測定を

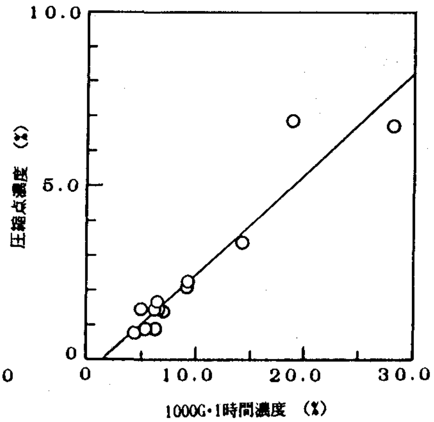
繰り返し平均値を持って CST値とした。

(E) 定率ひずみ圧密実験

定率ひずみ圧密実験は、標準圧密試験の代用として検討されてきた方法で、筆者らは実験装置を上水汚泥を対象として工夫して、汚泥の透水性、圧縮性を評価した[2]。圧密容器は、直径8cmで初期試料厚さ2cm、ひずみ速度約3/100(mm/mim)である。



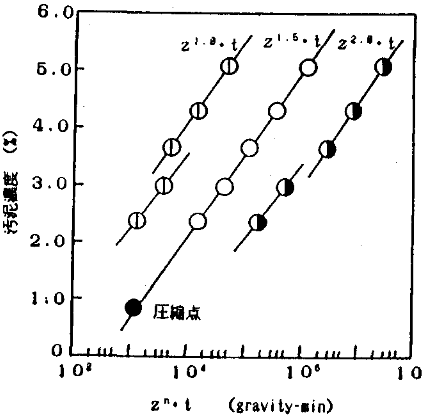
図－1 24,120時間沈降濃度と圧縮点濃度の関係



図－2 圧縮点濃度と1000G,1時間遠心濃縮濃度の関係

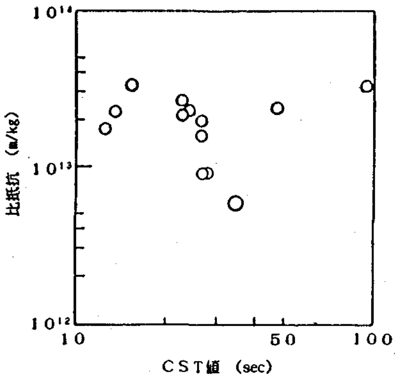
3 実験結果および考察

3-1 濃縮性の因子　Novak[3]らは、いろいろな浄水場の汚泥に対しﾒｽｼﾘﾝﾀﾞｰでの汚泥の沈降固形物濃度を測定することにより、重力脱水、真空ろ過、遠心濃縮等で到達できる固形物濃度を予測している。このとき沈降固形物濃度は5日後のものを基準としている。しかし、汚泥固有の性質という観点から考えれば、圧縮点濃度のように沈降曲線の特性から求められるものに対して、5日後の濃度は物理的意味が曖昧である。図-1は、圧縮点濃度と24、120時間後の濃度の関係を表したものである。圧縮点の時間は7～60時間の範囲でかなりバラツキがみられるが、24,120時間の濃度と強い相関が認められ、ある時間の濃度という値も特性値となりうると考えられる。図-2は、圧縮点濃度と1000G,1時間の遠心濃縮濃度の関係であり正の相関が認められる。これは、作用する力の大きさが変わっても汚泥固有の性質が濃縮効果を強く支配するためと考えられる。図-3は、F汚泥の遠心加速度と時間を変化させて遠心濃縮実験を行った結果である。ここで実験は、遠心加速度134G(1000rpm)で10分､30分､573G(2000rpm)で10､30､100分の条件で行った。これをCOMPACTIVITY($z^n \cdot t$)のnを1.0､1.5､2.0として整理すると、$z^{1.5} \cdot t$のときに1本の直線で近似でき、Vesilindらが示した結果と同様であった。したがって①式の定数a,bも汚泥固有の性質を示す因子と考えられる。ここで、圧縮点のプロットは、Z=1(G)としてcompactivityを求めているが$z^{1.5} \cdot t$の直線の延長上にあり、これは他の汚泥でも同様の結果が得られた。したがって、遠心濃縮実験から圧縮点濃度を推定する可能性が示された。

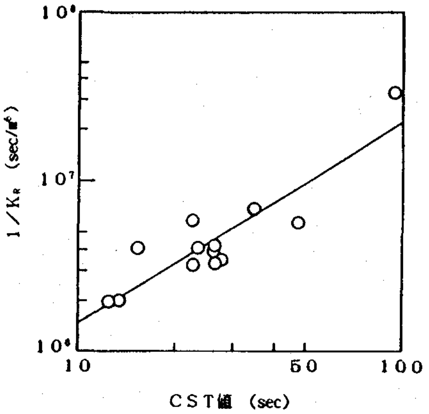


図－3 COMPACTIVITY($Z^n \cdot T$) と遠心濃縮濃度の関係

3-2 ろ過性の因子　図-4は、比抵抗（吸引圧力として40cmHg）とCST値の関係であり、ほとんど相関は認められない。笠倉ら[4] は、CSTの評価指標としての適性を検討し、同一の汚泥に対する比抵抗に変わる相対的な固液分離性状の評価指標になりうるが、すべての汚泥に適用できる絶対的な指

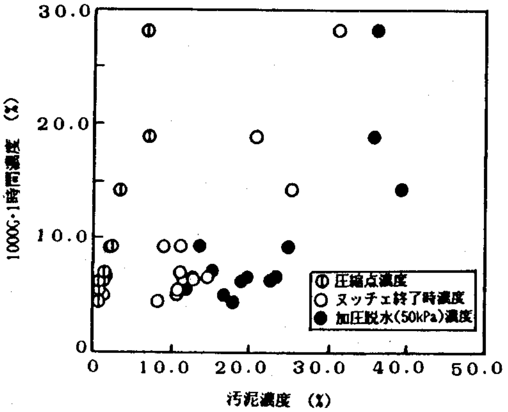


図－4 平均比抵抗(40cmHg)とCST値の関係



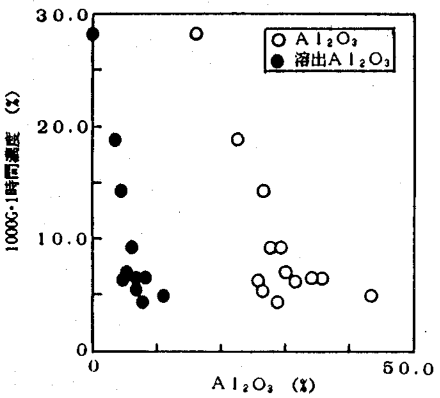
図－5 $1/K_R$ とCST値の関係

標ではないことを示している。本実験でも同様の結果が得られ、いろいろな種類の汚泥の固液分離性を比較するときにCST値は有用でないといえよう。図-5は、圧力9.8KPa（水頭にして1m）のときの真空脱水のろ過定数の逆数（$1/K_R$;t/vとvのﾌﾟﾛｯﾄの傾き）とCST値の関係である。この場合には比抵抗との関係と異なり弱い相関が認められる。これは、CSTが、あるろ液量を得るのに要する時間として$1/K_R$に相当するものであり、比抵抗のように$1/K_R$から、圧力、初期濃度、最終濃度の影響を分離していないためと考えられる。

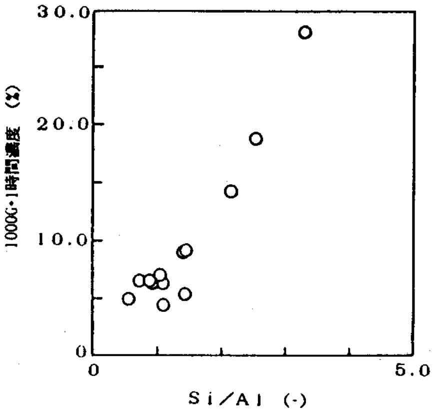


図－6　1000G,1時間遠心濃縮濃度と各固液分離実験より到達する濃度の関係

3-3　濃縮性と脱水性の関係　　図-6は、重力沈降濃縮、真空ろ過(40cmHg)、加圧脱水(100KPa)で到達する濃度と遠心濃縮(1000G,1hr)到達濃度の関係である。それぞれの固液分離操作から得られる濃度は、汚泥固有の性質とそれぞれの操作特性の両方から決定される。しかしながらこの図から明らかなように、汚泥が本質的にもつ固有の性質は、それぞれの固液分離操作にわたって一貫してその強い影響を及ぼしていることがうかがわれる。



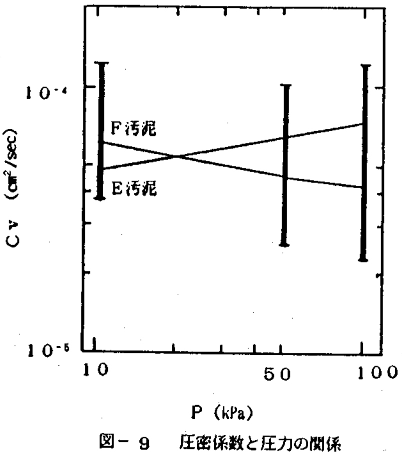
図－7　1000G,1時間遠心濃縮濃度と汚泥中のｱﾙﾐﾆｳﾑ量の関係



図－8　1000G,1時間遠心濃縮濃度とSi／Al 比の関係

3-4　組成の因子　　図-7は遠心濃縮濃度(1000G,1hr)と汚泥中のｱﾙﾐﾆｳﾑ量の関係である。上水汚泥の固液分離性を特徴付けているのは凝集によるフロックの形成に起因することは従来からよく知られていることであるが、本実験でも確かめられるとともに、簡便な溶出ｱﾙﾐﾆｳﾑの測定でも評価できることがわかった。図-8は遠心濃縮濃度(1000G,1hr)とSi/Al比の関係でかなり高い相関が得られらたが、この他Ig-loss等の固液分離性に与える影響は明かではなかった。

3-5　定率ひずみ圧密実験結果　　図-9は定率ひずみ圧密実験で得られた汚泥の圧密係数で、圧力に対して増加あるいは減少するものがあり、上水汚泥の固液分離性はいろいろな圧力レベルで検討されるべきであることが推察される。



図－9　圧密係数と圧力の関係

4　おわりに

上水汚泥の固液分離性を示す因子について実験的に検討し2.3の知見を得た。今後、上水汚泥の固液分離性を本質的に支配する凝集の程度を因子として検討したい。

参考文献）　1)P.A.Vesilind,G.Zhang:"Technique for estimating sludge compactability in centrifugal dewatering",J.WPCF,Vol.56,No.2,Dec.(1984)　2)西村ら：「定率ひずみ圧密実験による上水汚泥の固液分離性について」、昭和62年度土木学会東北支部講(1988.3)　3)J.T.Novak,D.C.Calkins:"Sludge Dewatering and Its Physical Properties",J.AWWA,Jan.(1975)　4)笠倉ら：「汚泥ろ過性の評価指標としてのCST(Capillary Suction Time)」、下水道協会誌、Vol.15,No.168,(1978.6)