

京都大学工学部 正員 平岡正勝 正員 武田信生 正員 村上忠弘
学生員 〇畠田重幸 学生員 戸高広明

1.研究目的 本研究は、汚泥熱処理プロセスのモデル化を目的とする一連の研究の一部である。その目的は、汚泥熱処理プロセスの代表的な欠点と利点である、熱処理による汚泥固形物質の液相中への溶出と熱処理による汚泥の浮遊性の改善が熱処理の進行に伴ってどのような挙動を示すかを、実験的に把握する点にある。

2.実験方法および装置

1)溶出現象に関する実験 熱処理による汚泥固形物質の溶出現象を把握するための状態変数としては、TS,DS,FTS(強熱残留物),FDS(溶解性強熱残留物),VTS(強熱減量),VDS(溶解性強熱減量)を下水道試験法に基いて、各試料について各3点を測定した。原汚泥は京都市島羽下水処理場の初沈生汚泥と余剰汚泥の混合濃縮汚泥である。試料は、この原汚泥を表2に示す熱処理条件で処理した汚泥(熱処理汚泥)である。熱処理に使用したオートクレーフは内容積35Lの攪拌機付の回分式で、加熱は直火式である。平均昇温速度は約4%/minであり、その昇温

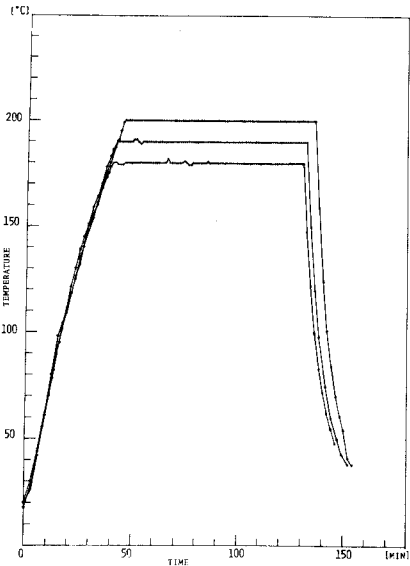


図1 昇温曲線

曲線の例を図1に示す。
2)浮遊性の改善に関する実験 熱処理による汚泥の浮遊性の改善についてはCarmanの浮遊方程式における比抵抗値を指標とした。浮遊実験で用いた試料は、1)で作った熱処理汚泥を一夜固静置し、沈降

	HOLDING TIME	TS (PPM)	DS (PPM)	SS (PPM)	FTS (PPM)	FDS (PPM)	VTS (PPM)	VDS (PPM)
200°C	RAW	42000	1700	40300	16200	500	25800	1200
	0	38800	7600	31200	14700	1300	24100	6300
	15	36900	9400	27500	14100	1300	22800	8100
	30	37400	10600	26800	15600	1700	21800	8900
	45	37600	10400	27200	14700	1500	22900	8900
	60	36400	9800	26600	14500	1400	21900	8400
190°C	90	35900	10900	25000	15100	1400	20800	9500
	RAW	33000	1400	31600	11600	500	21400	900
	0	30400	5500	24900	10700	800	19700	4700
	15	31300	8300	23000	11100	1100	20200	7200
	30	29600	8900	20700	10800	1300	18800	8600
	45	29300	9000	20300	11200	1500	18100	7500
180°C	60	29700	9500	20200	11200	1500	18500	8000
	90	30300	9100	21200	11100	1100	19200	8000
	RAW	33300	1400	31900	12900	600	20400	800
	0	32200	5300	26900	12300	1000	19900	4300
	15	31700	6700	25000	12500	1200	19200	5500
	30	30300	7200	23100	11800	1200	18500	6000
	45	31400	7800	23600	11900	1300	19500	6500
	60	30000	7900	22100	11800	1100	18200	6800
	90	30500	8300	22200	11500	1500	19000	6800

表1. 原汚泥および熱処理汚泥の性状(下水道試験法による測定)

濃縮した汚泥(熱処理濃縮汚泥)および濃度依存性を調べるために新たに調整した190℃ 処理30分holdingの熱処理濃縮汚泥を用いた。濾過方式は真空濾過法で下水道試験法のリーフテストを採用した。濾過圧力は53.4kPa前後とした。ケーキは濾過後の吸引を10分間行った後に取り出し、その含水率と有機物含有率を測定した。

処理温度 \ holding time (min)	0	15	30	45	60	90
200℃	○	○	○	○	○	○
190℃	○	○	○	○	○	○
180℃	○	○	○	○	○	○

表2. 汚泥の熱処理条件

3. 実験結果および考察
1) 容出現象に関する実験
生汚泥および各々の熱処理汚泥の性状を表1に示す。ここで同一の熱処理温度に関しては、同一の原汚泥を毎回十分に攪拌して使用しており、本来TSの値は一定になるはずであるが、各系列とも生汚泥のTSに比べて熱処理汚泥のTSは全体に、若干低い値を示す傾向にある。熱処理汚泥間のバラッキは処理後のサンプリング時の誤差や測定誤差であると考えられるが、上記の傾向は単なる誤差であるとは考えられない。そこで、この原因としては、オートクレーブ内での汚泥の焦げつき(バーキング)の可能性、あるいは、熱処理により汚泥中の固形分が揮発しやすい形になるためにTSの測定方法の内容に問題点があるという可能性などが考えられるが、現在検討中である。さて図2は、熱処理の進行に伴って汚泥固形物質が溶出する様子を、DSを用いて示したものである。次に、図3と図4は、汚泥固形物質を有機性のものと無機性のものとに分けて、各々についての溶出の状況を示したものである。縦軸を、それぞれTS、VTS、FTSで除してあるのは、全固形物質量、全有機物質量、全無機物質量のそれぞれに対する溶解性の物質の占める割合と考えてもよいが、それよりも、むしろ、反応器投入時における初期濃度のバラッキを、

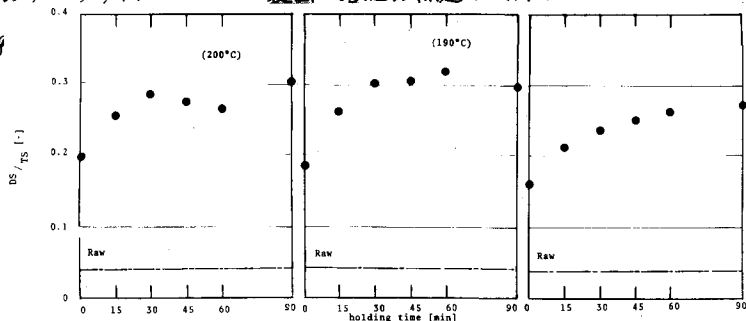


図2 熱処理の進行に伴う汚泥固形物質の溶出

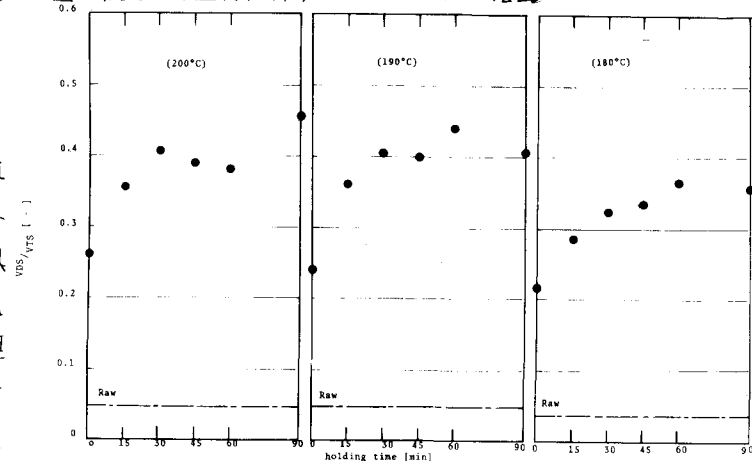


図3 熱処理の進行に伴う有機性固形物質の溶出

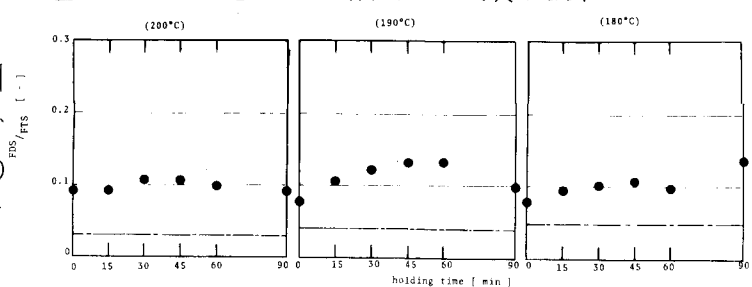


図4 熱処理の進行に伴う無機性固形物質の溶出

可能性などが考えられるが、現在検討中である。さて図2は、熱処理の進行に伴って汚泥固形物質が溶出する様子を、DSを用いて示したものである。次に、図3と図4は、汚泥固形物質を有機性のものと無機性のものとに分けて、各々についての溶出の状況を示したものである。縦軸を、それぞれTS、VTS、FTSで除してあるのは、全固形物質量、全有機物質量、全無機物質量のそれぞれに対する溶解性の物質の占める割合と考えてもよいが、それよりも、むしろ、反応器投入時における初期濃度のバラッキを、

溶出現象に対する速度式がTS,VTS,FTS濃度に関して線型であるという仮定のもとに、補正をするためのものであるとみなすのが妥当である。図2から、汚泥固形物質の溶出曲線が指数関数的な漸近曲線で与えられるであろうという推論は妥当なものであることがわかる。また、この図の下方に一点鎖線で示した生汚泥の値と比べれば溶出現象の激しさがわかる。このことは、有機性のものだけを取り出した図3を見ればより明確になる。また、絶対量は少ないが無機物も溶出していることが図4からわかる。

2) 戸過実験 試料とした熱処理濃縮汚泥の性状は表3に示してある。各々の熱処理濃縮汚泥に対する比抵抗値は図6に示した通りである。ただし、これはSS濃度として表3の値を用いているので、同一の時経列でもSS濃度は一定ではない。一般に汚泥の比抵抗値はSS濃度によって影響されることがわかっていて、図5は190℃30分処理の熱処理濃縮汚泥の比抵抗値のSS濃度依存性を示したものであり最小自乗法により次の回帰方程式を得た。 $\hat{r} = 7.708 \times 10^5 + 9.008(C - 6.200 \times 10^4)$
 $\hat{r}$: 比抵抗 ($\frac{\text{sec}^2}{\text{g}}$) C: SS濃度 (PPM)

熱処理条件のみが比抵抗値に与える影響を取り出すには、各熱処理条件について図5のようなグラフを求め一定のSS濃度に対する比抵抗値を求めた上で、図8のようなプロットを行うべきであるが、今回は、代表として図5の勾配を用いて、すべての比抵抗値を各々の系列の平均SS濃度に対する比抵抗値に換算し、SS濃度依存性に対する補正を行った。図8は、このようにして得た比抵抗値をプロットしたものである。これを直線で近似した時の回帰方程式は、下に示した通りであるが、これを一本の直線で表わすのはかなり無理があると思われるのでこの評価については現在検討中である。

[200℃] $\log \hat{r} = 5.720 - 0.00888(T - 40)$

[190℃] $\log \hat{r} = 6.270 - 0.0133(T - 40)$

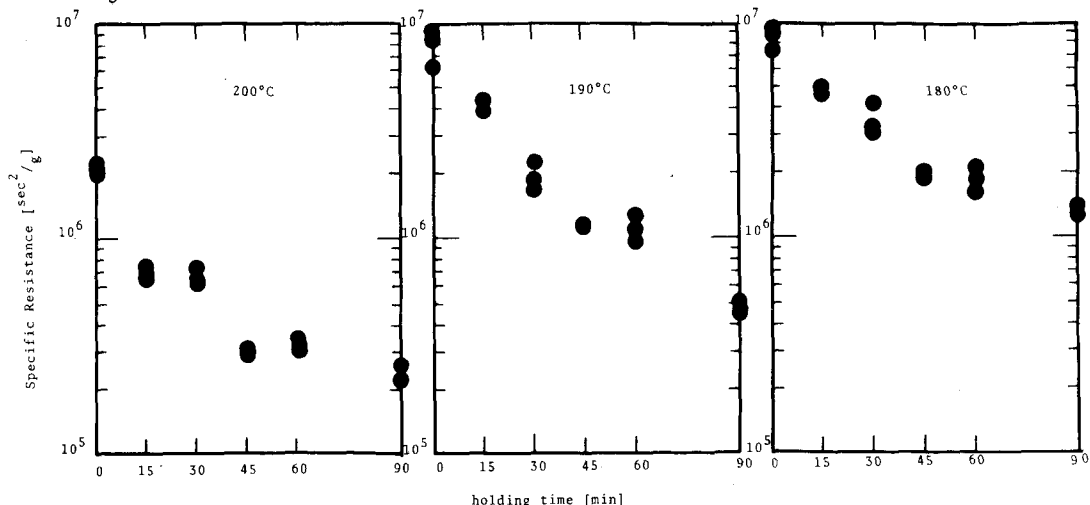
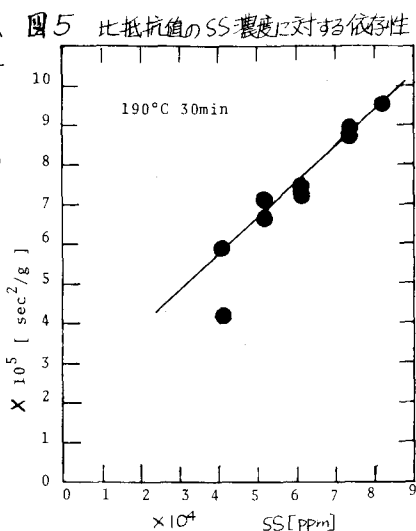


図6 熱処理の進行に伴う比抵抗値の変化 (生データー)

$$[180^{\circ}\text{C}] \log \eta = 6.464 - 0.00826(T - 41.47)$$

η ; 比抵抗 [sec/g] T ; holding time [min]

図7は、真空炉過後に10分間の空引きを行ったケーキの含水率を示したものであるが、熱処理の進行に伴って、含水率の低いケーキができる傾向を示している。なお、ケーキのはく離性は200℃, 190℃の系列ではholding time 0minと15min以外はかなり良好であった。このことと、含水率が50~60%になることを考え合わせれば、あえて加圧脱水する必要はないと考えられる

表3 熱処理農産物の性状 [ppm]

処理温度	holding time (min)	TS	DS	SS
200℃ 処理	0	72100	8300	63800
	15	69600	8800	60800
	30	70100	9500	61600
	45	66000	9100	56900
	60	62500	9900	52600
	90	65400	10000	55400
190℃ 処理	0	57400	5700	51700
	15	58500	7800	50700
	30	57100	8500	48600
	45	55000	9300	45700
	60	55200	9000	46200
	90	62400	9000	53400
180℃ 処理	0	60100	4800	55300
	15	53800	5600	53200
	30	60500	7000	53500
	45	59300	7700	51600
	60	56600	7700	48900
	90	56300	7800	48500

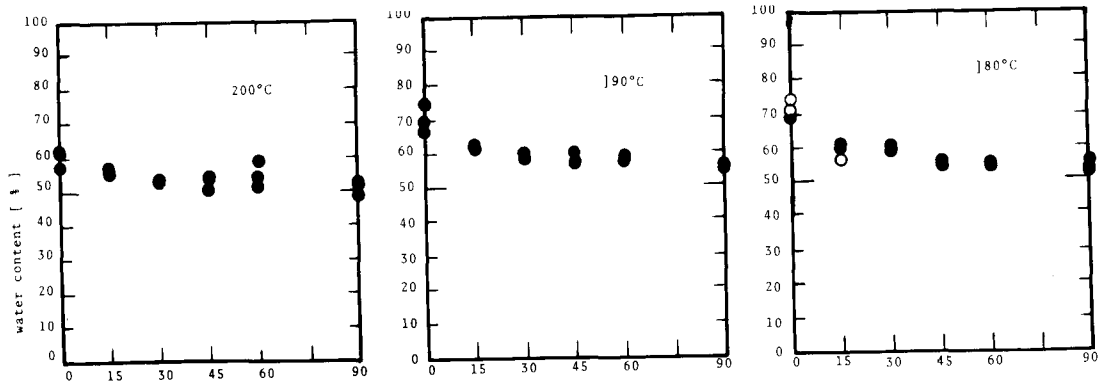


図7 ケーキ含水率におよぼす熱処理条件の影響

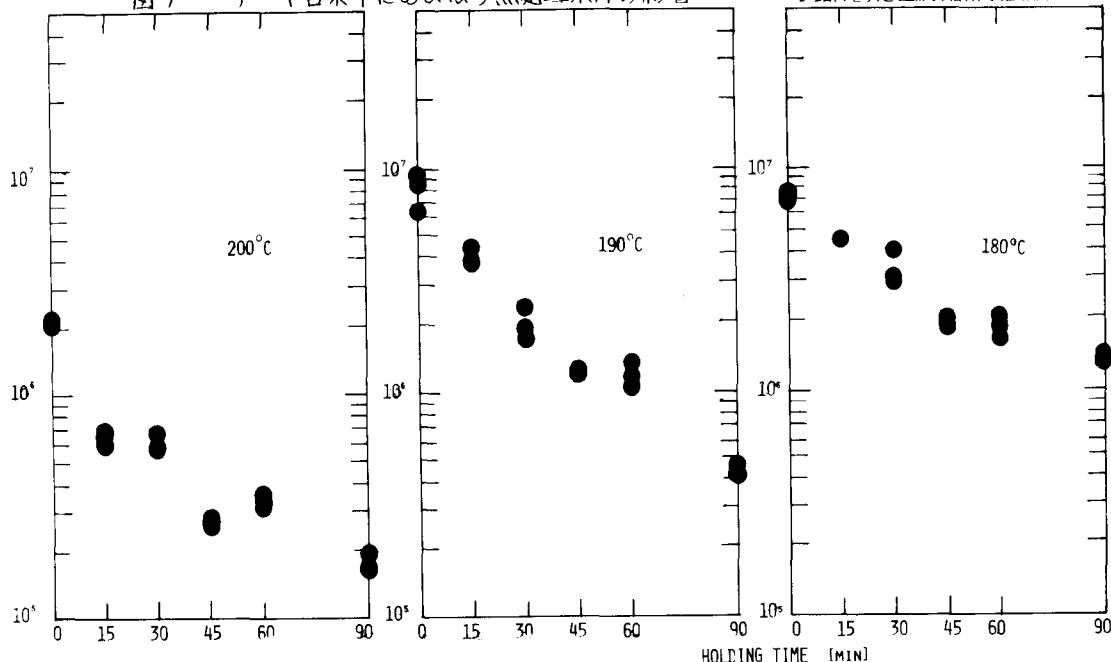


図8 熱処理の進行に伴う比抵抗値の変化(濃度補正後)