

# 汚泥濃縮の適正な運転条件に関する調査

## 1. 目的

札幌市の下水処理場（以下「水再生プラザ」）のうち、3箇所から発生する汚泥を東部スラッジセンターで集約処理している。東部スラッジセンターに受け入れた汚泥を濃縮する濃縮タンクでは、当初ピケットフェンスがタンク内の汚泥掻寄機に取り付けられていた。これを平成30年度に、汚泥の重力濃縮に効果がある「みずみち棒」に取り換えている。今回、みずみち棒を導入した濃縮タンクの適正な運転条件の検討と、汚泥性状の分析を行い季節変動等に応じた濃縮タンクの運転管理に結びつく知見を得ることを目的として調査を行った。

## 2. 本調査における主な設備の概要

### 1) 濃縮タンク

濃縮タンクの断面図を図-1に示した。図の左側がピケットフェンス設置の濃縮タンク、右側がみずみち棒を設置した濃縮タンクである。ピケットフェンスは、濃縮タンク内底部で汚泥をゆっくり排泥部に集めている汚泥掻寄機に金属の棒が垂直に多数取り付けられており、掻寄機の旋回によって汚泥中を通過することで、汚泥粒子を緩速攪拌して沈降域や圧密域にある気泡などを脱気させ、汚泥の沈降性及び濃縮性を改善させるものである。2)で後述するみずみち棒の仕組みと比較して、期待されている機能的に大きな差は無いが、みずみち棒には汚泥の沈降性向上に最大の効果が得られるような工夫がある。表-1には、ピケットフェンスとみずみち棒の設置条件等を示した。

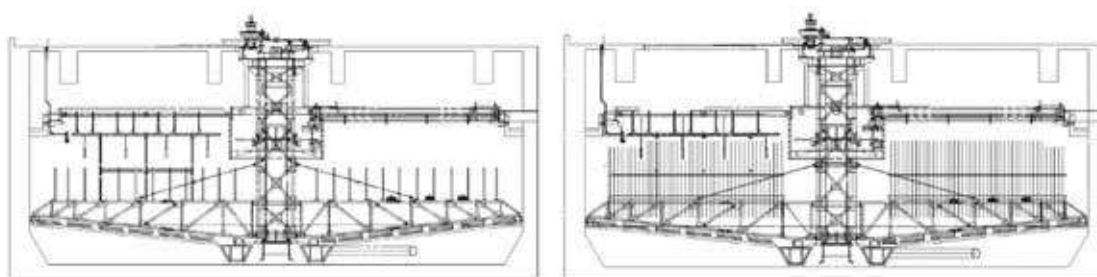


図-1 ピケットフェンス設置濃縮タンク（左）及びみずみち棒設置濃縮タンク（右）断面図

表-1 ピケットフェンスとみずみち棒の比較

	ピケットフェンス	みずみち棒
直径 (mm)	50	20
長さ (mm)	1,215	2,700
取付ピッチ (mm)	600	150、300
材質	SUS304	SUS304

図-2に分配槽と濃縮タンクの位置関係図を示す。分配槽は、水再生プラザから送られてくる汚泥を、4槽の濃縮タンクへ分配する役割を持つ。分配槽から各濃縮タンクへは自然流下により汚泥を投入しており、各濃縮タンクの入口にある可動堰の調整によって汚泥が均等に流入するように運転を行っている。

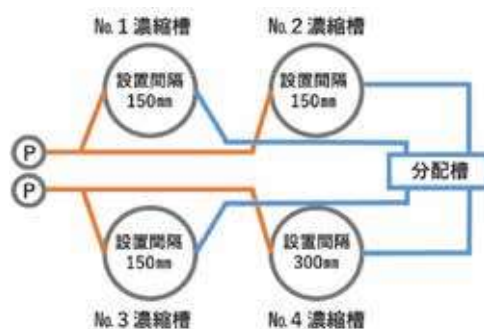


図-2 分配槽と濃縮タンク

図-3には、今回の調査設備である東部スラッジセンター（以下、東部SC）の濃縮タンクの運転時の概念図を示した。水再生プラザから送られてきた汚泥を、濃縮タンクの中央にあるセンターウェルから投入し、重力を利用して汚泥中の固形分を濃縮する設備である。沈降した汚泥と水（上澄水）の境界を界面といい、東部SCでは管理指標として、水面から界面までの深さが2.0m未満にならないよう運転を行っている。黄色の破線で囲った部分がみずみち棒である。みずみち棒は図-1及び表-1から分かるように、ピケットフェンスと比べると全長が2倍程度あり、界面から更に上方の上澄水部分にまで達している。また、取付ピッチはピケットフェンスに比較して、1/2から1/4の設置幅となっている。

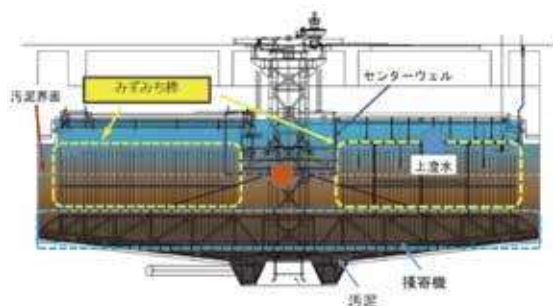


図-3 濃縮タンク概念図

## 2) みずみち棒

図-4にみずみち棒の原理を示す。みずみち棒とは、国立研究開発法人土木研究所で開発されたもので、汚泥中の粒子の沈降速度を高め、より濃度の高い下水汚泥を得る技術であり、汚泥中の粒子がお互いに干渉せず沈降可能な環境を作るということを基本的な考えとしている。濃縮タンク内では、みずみち棒が設置された掻寄機をゆっくり回転することで、みずみち棒の後部に水の通り道となる「みずみち」が形成される。汚泥から「みずみち」を通じて汚泥層内の水分が移動し、最終的に濃度の高い汚泥が得られるというものである。

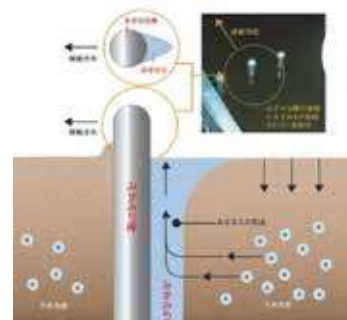


図-4 みずみち棒

## 3. 調査概要

### 3-1 調査期間

調査は、令和3年9月・11月・令和4年1月・3月の4回行い、調査期間は1回あたり3週間とした。

### 3-2 調査項目・方法

#### 1) 界面に関する調査

濃縮タンク運転時の界面に関して、以下の項目について調査した。通常の濃縮タンク運転時に

おける界面の測定値は、1時間に1回の瞬時値のみが記録されている。本調査では、通常の1時間毎の瞬時値と共に、界面計にデータロガーを設置し、通常運転時より測定記録の頻度を増加させ、1分間に1回の値も記録した。

#### ①みずみち棒の設置間隔の影響調査

みずみち棒の設置間隔の違いが、界面の位置に与える影響を調査した。みずみち棒の設置間隔は、No.1～3濃縮タンクが150mm、No.4濃縮タンクが300mmの等間隔である。

#### ②掻寄機の回転速度（周速度）の影響調査

みずみち棒の設置間隔が同じNo.1～3濃縮タンクで、掻寄機の回転速度（周速度0.88m/分～3.53m/分）を変更し、掻寄機の回転速度の違いが界面の位置に与える影響を調査した。

データの比較等検討の際には次の統計用ソフトウェアを使用した。：R version 4.1.2

## 2) 汚泥等性状及びガス成分分析

濃縮タンクにおける汚泥の沈降性は、濃縮タンクや掻寄機の構造、運転方法によるほか、汚泥等の性状にも影響される。濃縮タンクの管理の参考とするため、また、脱水性への影響を把握するために、季節ごとの汚泥等の性状分析とガス成分分析を行った。試料の採取及び分析は1)の調査に併せて行った。

#### ①汚泥等性状分析

濃縮タンク投入汚泥、引抜汚泥及び越流水の性状分析を行った。

分析項目：含水率、pH、蒸発残留物（TS）、浮遊物質（SS）、強熱減量（VTS）、浮遊物質強熱減量（VSS）、粗浮遊物、有機酸

分析方法：下水試験方法（2012年版）

※試料採取は、最初に分配槽から投入汚泥を採取し、その後汚泥のタンク内滞留時間経過後に引抜汚泥及び越流水の試料を採取した。

#### ②ガス成分分析

分配槽及び濃縮タンクの脱臭管から常時吸引されている槽内の空気を採取し、ガス成分（硫黄系悪臭成分、二酸化炭素）を測定した。

分析項目：硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル、二酸化炭素

分析方法：環境省告示8号（二酸化炭素を除く項目）、JIS K0304（二酸化炭素）

## 4. 調査結果（データ一覧）

### 1) 界面に関する調査

図-5から図-18に、各調査期間に測定した界面と同時間帯の濃縮タンクへの汚泥投入量のデータのグラフを示す。

なお、図-5～7は9月、図-8～10は11月、図-11～14は1月、図-15～18は3月のデータを示したものである。また、図の界面は水面からの距離を示したもので、不感帯は界面測定用センサの取付位置の関係で、界面を測定できない範囲を示し、水面から水深1.7mまでの範囲である。従って、界面が不感帯に入ってしまった場合、界面は1.7mとして記録されている。

汚泥の状態は、1月の調査のみ、下旬より水再生プラザから流入する汚泥量が減少した影響を受けて、通常よりも沈降性が良くなるという変化があったが、1月を除く各調査期間ではそのような特別な変動は無かった。

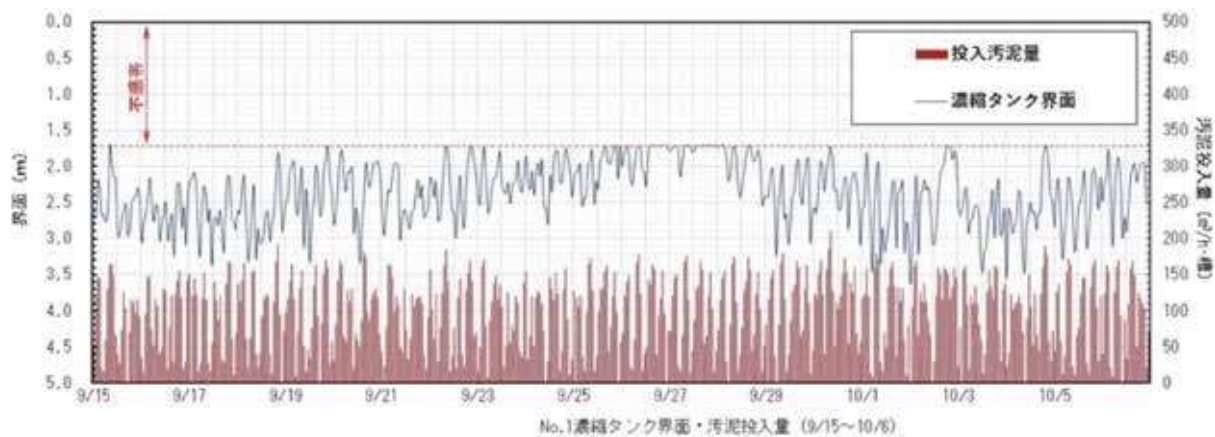


図-5 No.1濃縮タンク界面・汚泥投入量 (9/15~10/6)

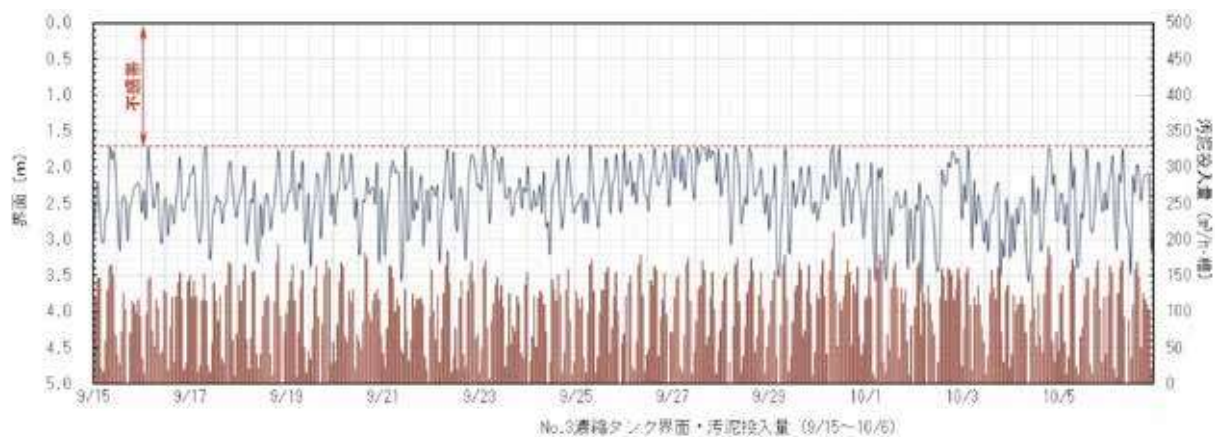


図-6 No.3濃縮タンク界面・汚泥投入量 (9/15~10/6)

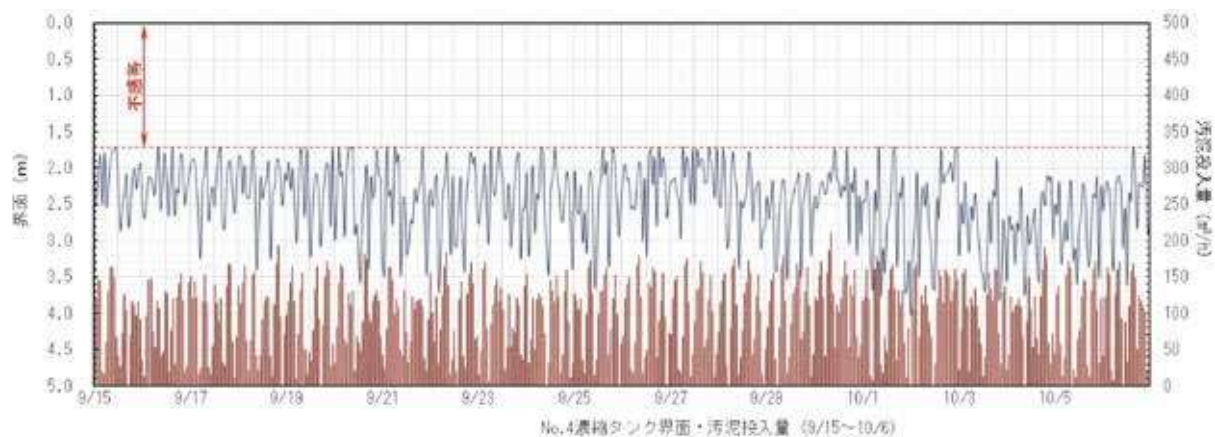


図-7 No.4濃縮タンク界面・汚泥投入量 (9/15~10/6)



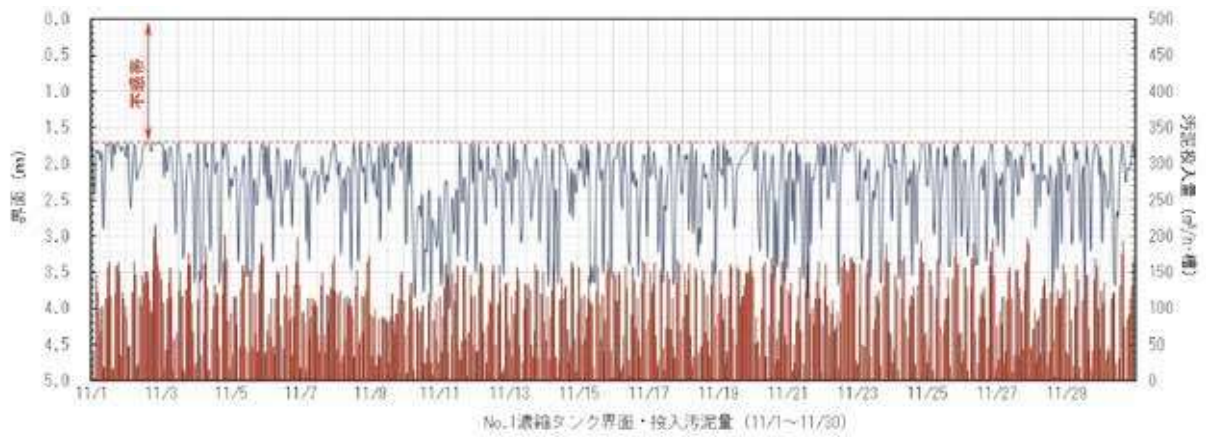


図-8 No.1濃縮タンク界面・汚泥投入量 (11/1~11/30)

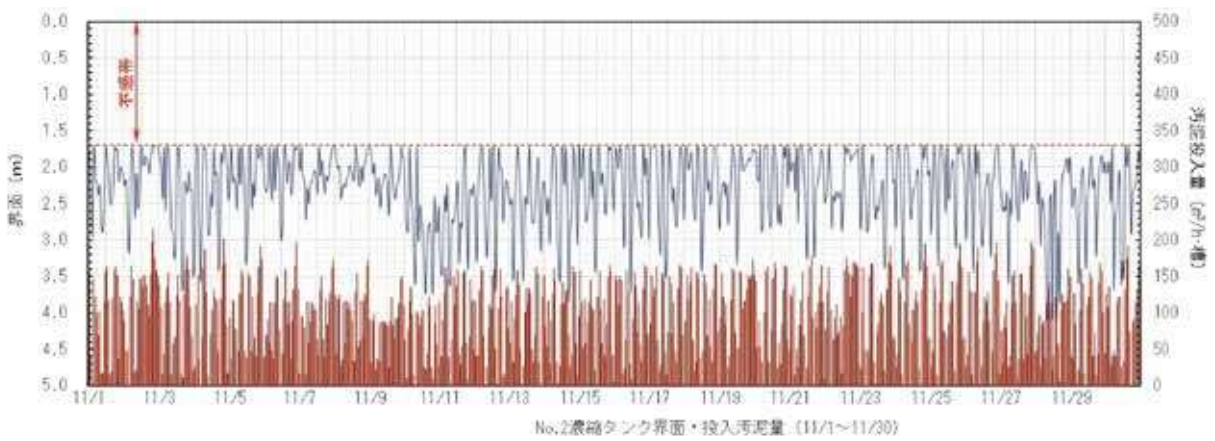


図-9 No.2濃縮タンク界面・汚泥投入量 (11/1~11/30)

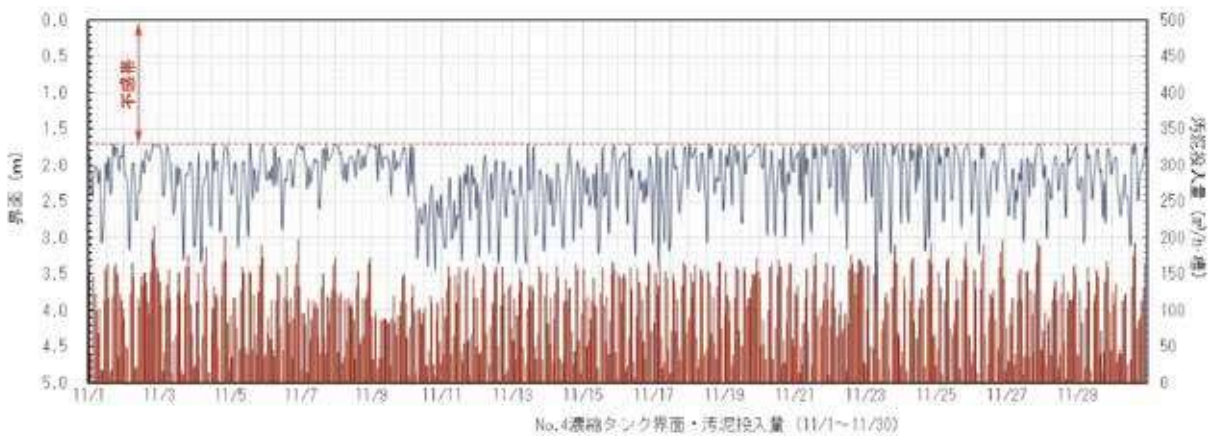


図-10 No.4濃縮タンク界面・汚泥投入量 (11/1~11/30)

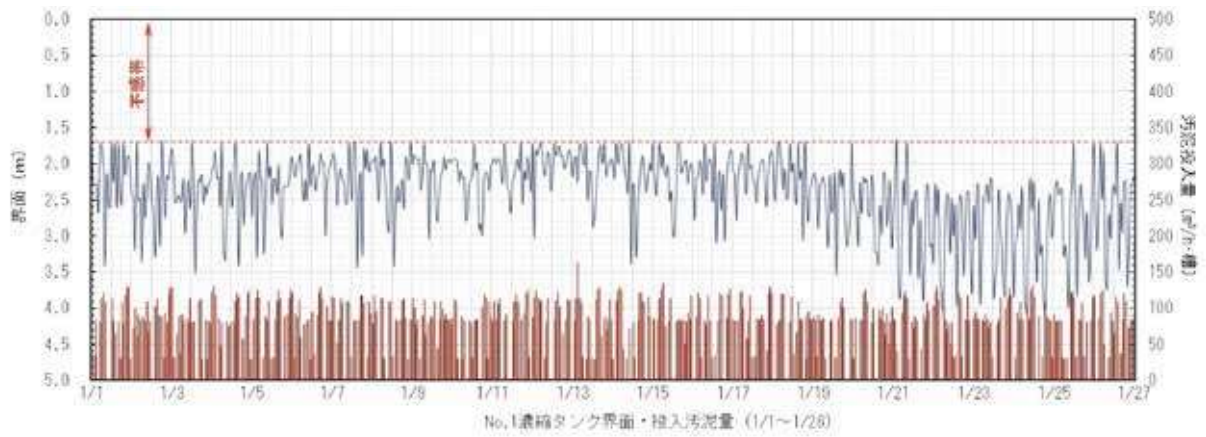


図-11 No.1濃縮タンク界面・汚泥投入量 (1/1~1/26)

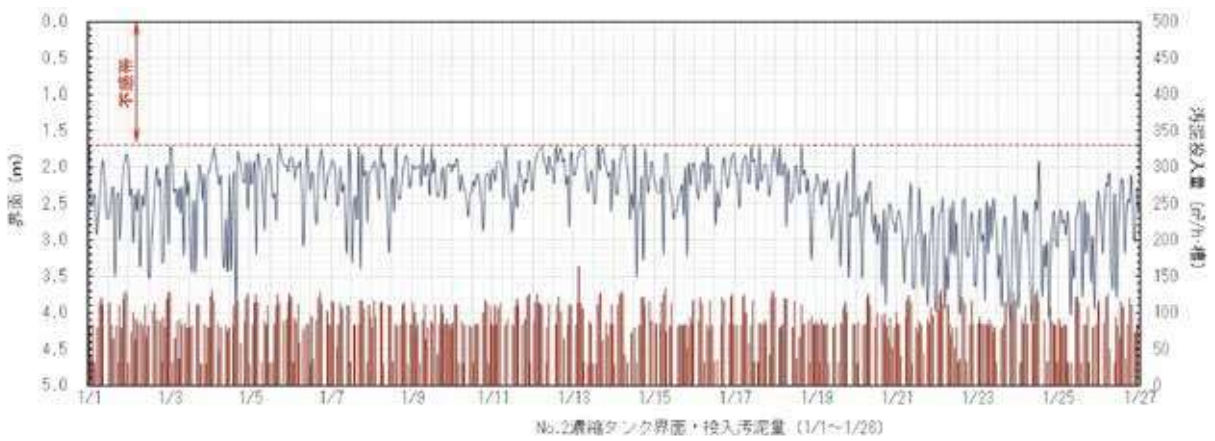


図-12 No.2濃縮タンク界面・汚泥投入量 (1/1~1/26)

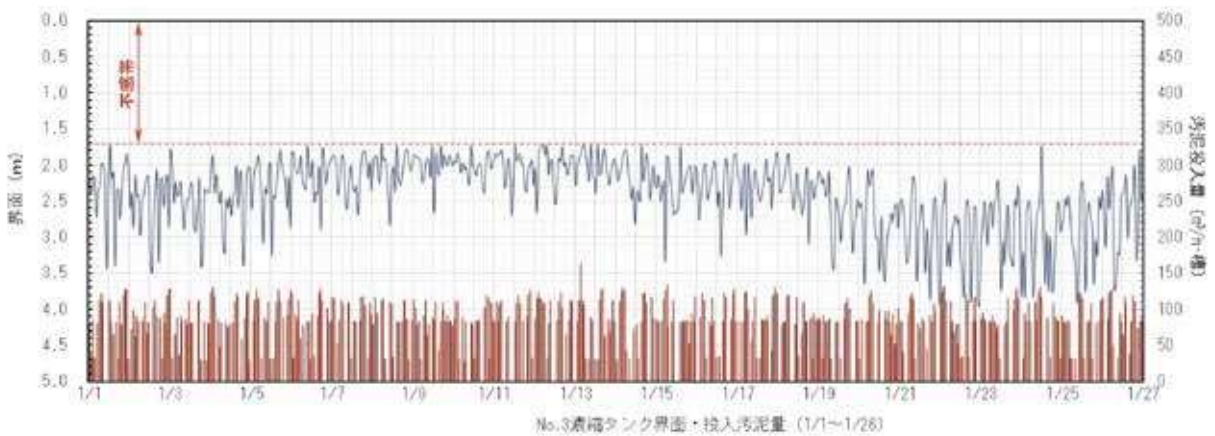


図-13 No.3濃縮タンク界面・汚泥投入量 (1/1~1/26)

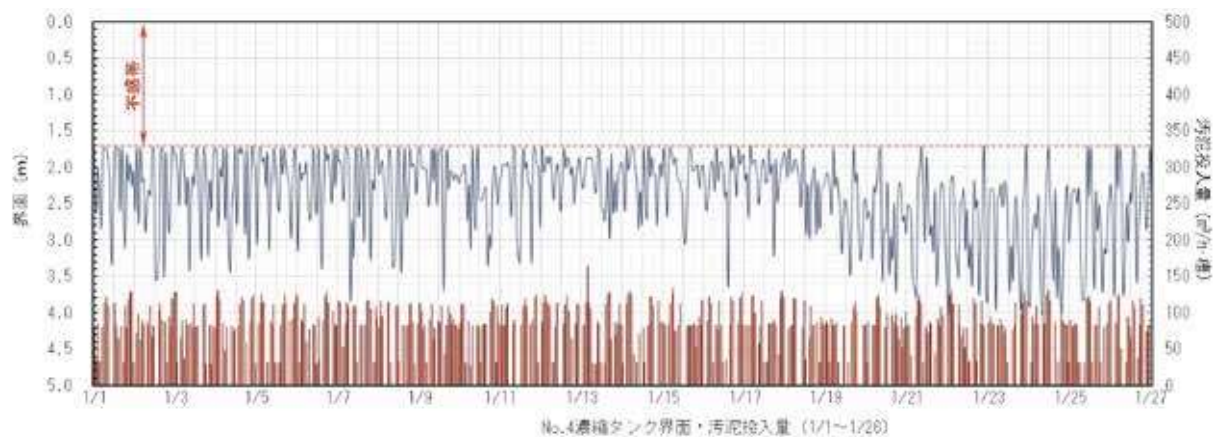


図-14 No.4濃縮タンク界面・汚泥投入量 (1/1~1/26)

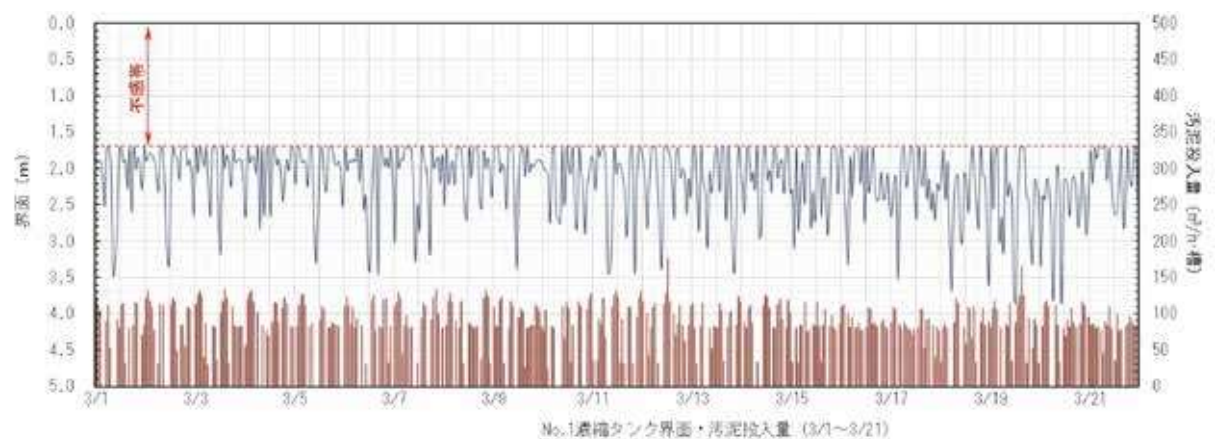


図-15 No.1濃縮タンク界面・汚泥投入量 (3/1~3/21)

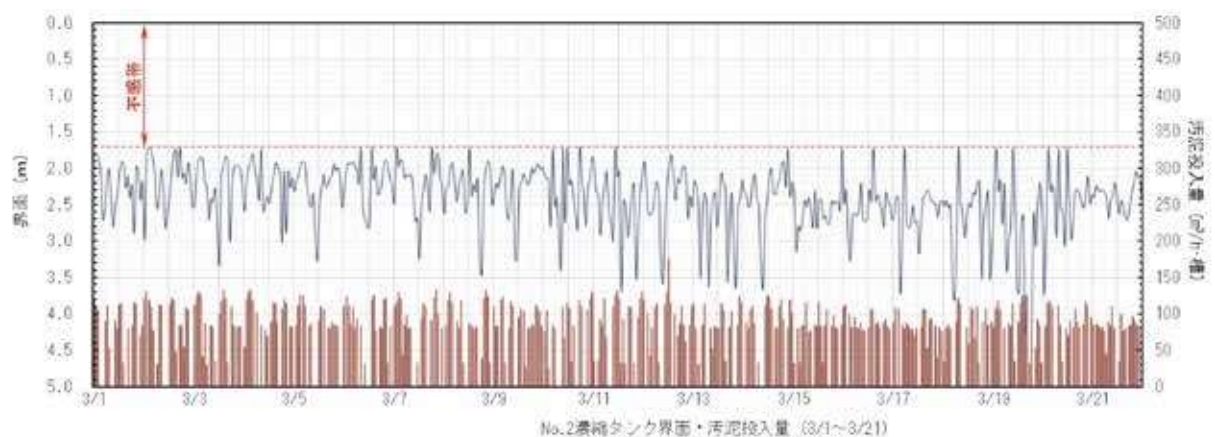


図-16 No.2濃縮タンク界面・汚泥投入量 (3/1~3/21)



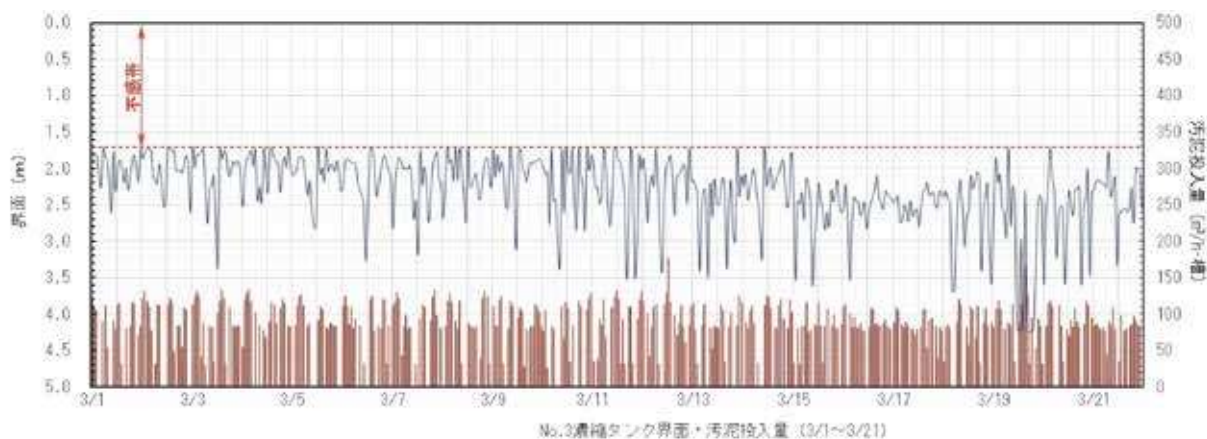


図-17 No.3濃縮タンク界面・汚泥投入量 (3/1~3/21)

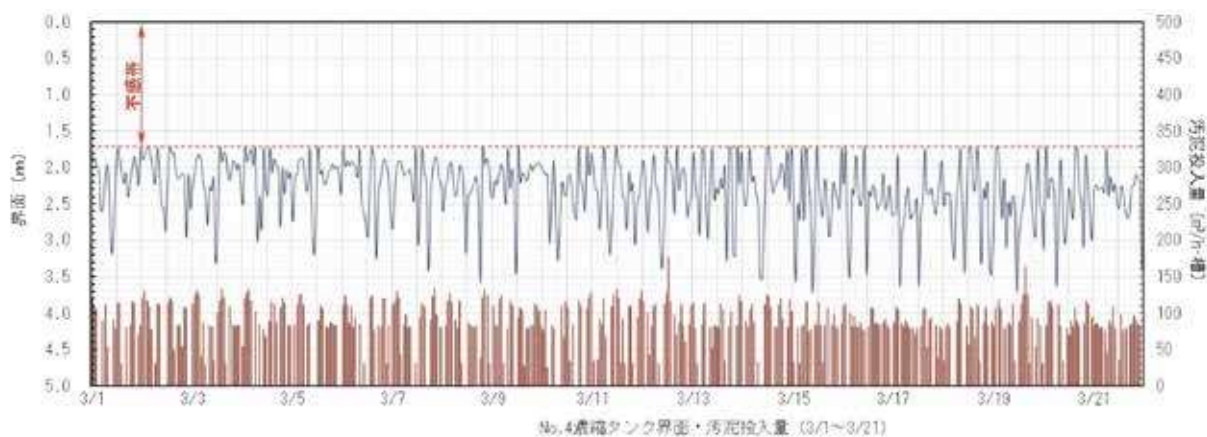


図-18 No.4濃縮タンク界面・汚泥投入量 (3/1~3/21)

## 2) 汚泥等性状及びガス成分分析結果

### ①汚泥等性状分析結果

表-2に汚泥等性状分析結果を示した。また、測定結果に併せて測定結果から推定される灰分(無機成分)等の項目の値、検討に使用した同日の脱水機薬注率の値も示した。

表-2 汚泥等性状分析結果

項目 採取日	試料	水温 ℃	蒸発残 留物 (TS) %	強熱減 量 (VTS) %	浮遊物 質 (SS) %	SS % TS当り	浮遊物 質強熱 減量 (VSS) % SS当り	粗浮遊 物 % TS当り	溶解性 物質 % TS当り	有機酸 % TS当り	SS・溶 解性物 質比	総灰分 %	SS由来 灰分 %	溶解性 物質由 来灰分 %	溶解性 物質由 来強熱 減量 %	日平均 薬注率 %
9月15日	投入	23.2	0.74	84.2	0.67	89.7	87.4	32.8	10.2	1.28	8.8	15.8	11.2	4.5	5.7	
	引抜1	22.5	2.60	86.5	2.42	93.3	88.4	34.7	6.9	2.22	13.5	13.5	11.0	2.7	4.2	0.24
	引抜2	22.8	2.70	87.1	2.52	93.3	88.9	32.8	6.7	2.16	13.9	12.9	10.3	2.6	4.1	0.24
9月21日	投入	23.5	0.82	87.1	0.74	90.3	90.8	32.7	9.7	1.62	9.3	12.9	8.3	4.6	5.1	
	引抜1	22.3	2.56	89.4	2.38	90.3	90.8	32.7	7.0	1.97	12.9	10.6	5.1	2.8	4.2	0.30



	引拔2	22.4	2.61	89.4	2.39	93.2	91.6	32.2	8.4	1.97	11.1	10.6	9.7	2.5	5.9	0.30
9月22日	投入	23.0	0.79	86.5	0.71	89.2	90.1	30.6	10.8	1.45	8.3	13.5	8.8	4.7	6.1	
	引拔1	22.4	2.52	88.8	2.40	95.0	90.1	31.4	5.0	2.10	19.0	11.2	8.9	2.3	2.7	0.32
	引拔2	22.5	2.74	89.3	2.56	93.3	90.4	33.2	6.6	2.10	14.1	10.7	8.3	2.3	4.3	0.32
9月27日	投入	23.5	0.74	86.4	0.66	89.3	89.9	28.7	10.6	1.45	8.4	13.6	9.0	4.5	6.1	
	引拔1	22.4	2.41	89.1	2.23	92.5	91.0	30.9	7.5	3.08	12.3	10.9	8.3	2.6	4.9	0.30
	引拔2	22.8	2.36	89.1	2.15	91.1	90.7	29.8	8.9	3.36	10.2	10.9	8.5	2.4	6.5	0.30
9月29日	投入	24.2	0.75	85.2	0.64	85.6	89.9	27.3	14.5	1.83	5.9	14.8	8.7	6.2	8.3	
	引拔1	22.8	2.59	88.8	2.37	91.4	90.7	32.5	8.5	2.18	10.8	11.2	8.4	2.7	5.8	0.33
	引拔2	22.8	2.50	88.7	2.27	90.6	90.7	31.4	9.2	2.32	9.8	11.3	8.2	2.9	6.3	0.33
10月4日	投入	22.0	0.79	87.0	0.72	91.5	89.8	28.4	8.5	1.19	10.8	13.0	9.3	3.7	4.8	
	引拔1	22.0	2.47	87.4	2.30	93.3	88.7	31.1	6.9	1.52	13.5	12.6	10.7	2.1	4.8	0.26
	引拔2	22.0	2.42	87.7	2.29	94.4	88.6	31.5	5.4	1.46	17.5	12.3	10.5	1.6	3.8	0.26
11月10日	投入	17.6	0.82	72.8	0.79	96.5	72.3	18.3	3.5	0.61	27.6	27.2	26.8	0.4	3.1	
	引拔1	19.0	3.87	75.7	3.69	95.4	76.2	27.3	4.7	1.35	20.3	24.3	22.8	1.6	3.1	0.24
	引拔2	19.0	3.86	74.8	3.70	95.7	75.1	24.9	4.1	1.30	23.3	25.2	23.7	1.3	2.8	0.24
11月16日	投入	18.6	0.75	85.1	0.68	91.0	88.2	30.3	9.0	1.16	10.1	14.9	10.8	4.1	4.9	
	引拔1	18.5	3.42	87.0	3.12	91.4	88.1	35.2	8.8	1.59	10.4	13.0	11.0	2.2	6.6	0.29
	引拔2	18.5	3.46	86.7	3.30	95.3	87.6	34.6	4.6	1.63	20.7	13.3	11.8	1.4	3.2	0.29
11月18日	投入	18.8	0.78	87.3	0.74	94.5	89.8	34.4	5.5	1.43	17.2	12.7	9.6	3.1	2.4	
	引拔1	18.4	3.32	87.7	3.17	95.6	89.0	36.2	4.5	1.72	21.2	12.3	10.7	1.7	2.8	0.32
	引拔2	18.5	3.26	88.5	3.19	97.7	89.3	34.3	2.1	1.64	46.5	11.5	10.3	1.0	1.1	0.32
11月24日	投入	17.9	0.69	86.1	0.64	92.2	89.3	28.9	7.8	0.90	11.8	13.9	9.9	4.0	3.8	
	引拔1	18.0	3.23	88.0	3.03	93.8	89.4	33.8	6.2	1.33	15.1	12.0	9.9	2.1	4.1	0.28
	引拔2	17.5	3.19	88.2	2.98	93.2	89.3	34.2	6.6	1.28	14.1	11.8	9.8	1.8	4.8	0.28
11月25日	投入	17.7	0.85	86.1	0.77	90.6	90.3	33.4	9.4	1.05	9.6	13.9	8.8	5.1	4.3	
	引拔1	17.5	3.40	88.7	3.26	95.9	90.2	35.6	4.1	1.58	23.4	11.3	9.4	1.9	2.2	0.26
	引拔2	17.5	3.48	88.6	3.37	96.8	89.9	34.9	3.2	1.56	30.3	11.4	9.7	1.7	1.5	0.26
11月30日	投入	18.0	0.82	87.4	0.77	94.7	90.3	34.7	5.4	0.84	17.5	12.6	9.3	3.4	2.0	
	引拔1	16.0	3.21	89.7	3.13	97.5	90.7	36.5	2.5	1.27	39.0	10.3	9.0	1.3	1.2	0.29
	引拔2	16.0	3.32	89.6	3.20	96.4	90.6	34.9	3.6	1.25	26.8	10.4	9.1	1.3	2.3	0.29
1月6日	投入	15.0	0.94	90.6	0.87	92.6	92.0	35.7	7.3	0.98	12.7	9.4	7.4	1.9	5.4	
	引拔1	15.2	3.43	91.5	3.27	95.2	92.5	37.9	4.7	1.55	20.3	8.5	7.2	1.2	3.5	0.36
	引拔2	15.2	3.31	91.4	3.19	93.3	92.5	38.1	3.6	1.62	25.9	8.6	4.2	1.3	2.3	0.36

1月12日	投入	15.0	0.78	87.3	0.72	92.6	90.2	30.6	7.3	0.87	12.7	12.7	9.1	3.5	3.8	
	引拔1	15.0	3.52	91.0	3.38	96.0	92.1	37.6	4.0	1.68	24.0	9.0	7.6	1.4	2.6	0.33
	引拔2	15.0	3.58	90.9	3.47	96.8	92.0	38.2	3.1	1.62	31.2	9.1	7.7	1.3	1.8	0.33
1月13日	投入	14.0	0.84	87.6	0.78	92.7	90.2	30.6	7.3	0.43	12.7	12.4	9.1	3.3	4.0	
	引拔1	14.2	3.48	89.9	3.30	94.8	91.1	35.5	5.2	1.61	18.2	10.1	8.3	1.8	3.4	0.30
	引拔2	14.5	3.54	89.8	3.46	97.6	91.1	35.5	2.3	1.62	42.4	10.2	8.6	1.5	0.8	0.30
1月19日	投入	14.5	0.69	87.5	0.62	89.0	90.9	30.7	11.0	0.62	8.1	12.5	8.2	4.3	6.7	
	引拔1	14.3	3.56	90.7	3.38	95.0	92.0	38.5	5.1	1.63	18.6	9.3	7.6	1.8	3.3	0.35
	引拔2	14.3	3.22	90.6	3.07	95.3	91.9	38.1	4.7	1.69	20.3	9.4	7.7	1.7	3.0	0.35
1月20日	投入	14.0	0.74	88.0	0.67	89.9	91.1	31.7	10.0	0.88	9.0	12.0	8.0	3.9	6.1	
	引拔1	14.3	3.30	90.8	3.10	93.9	92.0	41.9	6.1	1.58	15.4	9.2	7.5	1.7	4.4	0.33
	引拔2	14.3	3.04	90.6	3.00	98.5	91.9	40.1	1.3	1.59	75.8	9.4	7.9	1.3	0.0	0.33
1月26日	投入	14.4	0.81	89.1	0.74	92.1	91.5	34.5	7.9	1.24	11.7	10.9	7.8	3.1	4.8	
	引拔1	14.2	2.67	90.4	2.52	94.5	91.4	37.3	5.6	1.11	16.9	9.6	8.0	1.7	3.9	0.28
	引拔2	14.0	2.76	90.4	2.69	97.6	91.4	37.8	2.5	1.16	39.0	9.6	8.5	1.2	1.3	0.28
3月1日	投入	14.7	0.92	86.4	0.85	92.5	88.9	33.6	7.5	0.96	12.3	13.6	10.3	3.3	4.2	
	引拔1	14.0	3.45	88.4	3.31	96.0	89.5	35.9	4.1	1.16	23.4	11.6	9.9	1.8	2.3	0.32
	引拔2	14.0	3.46	88.4	3.35	96.7	89.6	37.8	3.2	1.19	30.2	11.6	10.0	1.5	1.7	0.32
3月2日	投入	14.4	0.72	85.6	0.65	89.9	89.3	30.0	10.2	0.72	8.8	14.4	9.6	4.9	5.3	
	引拔1	14.0	3.48	88.4	3.35	96.2	89.7	36.0	3.7	1.41	26.0	11.6	10.0	1.5	2.2	0.32
	引拔2	14.0	3.44	88.7	3.29	95.6	89.8	37.1	4.4	1.35	21.7	11.3	9.8	1.5	2.9	0.32
3月7日	投入	12.7	0.91	87.4	0.84	93.1	89.5	37.2	6.8	0.63	13.7	12.6	9.8	2.7	4.1	
	引拔1	13.0	3.28	87.0	3.15	96.1	87.9	33.1	4.0	1.26	24.0	13.0	11.6	1.5	2.5	0.28
	引拔2	13.0	3.40	86.8	3.26	95.9	87.8	35.1	4.1	1.22	23.4	13.2	11.8	1.4	2.7	0.28
3月9日	投入	14.0	0.83	86.9	0.75	90.8	89.9	30.7	9.2	0.80	9.9	13.1	9.2	3.9	5.3	
	引拔1	12.8	3.51	87.6	3.44	98.1	88.8	35.3	2.0	1.12	49.1	12.4	10.9	1.6	0.4	0.29
	引拔2	12.9	3.40	87.2	3.27	96.2	88.4	37.2	3.8	1.12	25.3	12.8	11.2	1.6	2.2	0.29
3月15日	投入	11.9	0.81	84.3	0.77	95.0	86.3	37.1	5.1	0.47	18.6	15.7	13.0	2.8	2.3	
	引拔1	11.2	3.41	85.4	3.33	97.5	86.3	35.5	2.3	0.92	42.4	14.6	13.3	1.1	1.2	0.28
	引拔2	11.0	3.34	85.0	3.28	98.3	85.7	36.0	1.8	0.89	54.6	15.0	13.9	1.2	0.6	0.28
3月16日	投入	11.9	0.79	85.8	0.75	95.2	87.4	31.0	4.8	0.42	19.8	14.2	12.0	2.2	2.6	
	引拔1	11.6	3.55	85.7	3.44	96.9	86.3	36.2	3.1	0.80	31.3	14.3	13.2	1.1	2.0	0.26
	引拔2	11.8	3.70	85.5	3.57	96.5	86.3	34.9	3.5	0.76	27.6	14.5	13.3	1.2	2.3	0.26

②ガス成分分析結果

表-3にガス成分分析結果を示した。また、併せて試料採取時のガス流量等の結果も示した。

表-3 ガス成分分析結果

項目 採取日	試料採取 箇所	ガス流量 (湿り) m <sup>3</sup> N/h	ガス流量 (乾き) m <sup>3</sup> N/h	温度 ℃	酸素濃度 vol%	ガス流速 m/s	水分量 vol%	硫化水素 volppm	硫化メチ ル volppm	二硫化メ チル volppm	メチルメ ルカプタ ン volppm	二酸化炭 素 vol%
9月22日	分配槽	581	574	23	20.9	2.5	1.1	21	0.083	0.036	3.6	0.1
	濃縮タンク	440	435	22	20.9	4.3	1.2	1.5	0.014	0.006	0.52	<0.1
11月25日	分配槽	263	259	16	20.9	1.1	1.5	3.9	0.034	0.028	1.3	<0.1
	濃縮タンク	413	407	16	20.9	4.0	1.5	1.2	0.011	0.007	0.4	<0.1
1月18日	分配槽	528	527	12	20.6	2.2	0.3	21	0.79	0.021	3.1	0.3
	濃縮タンク	432	420	12	20.9	4.1	0.4	4.6	0.024	0.011	1.4	<0.1
3月10日	分配槽	376	374	12	20.7	1.5	0.5	4.6	0.033	0.015	1.4	0.2
	濃縮タンク	348	346	12	20.9	3.3	0.5	5.4	0.014	0.010	1.3	<0.1

5. 調査結果の考察

1) 運転方法と界面に関する考察

①みずみち棒の構造と回転速度の違いによる界面への影響

図-19に通常運転時の測定頻度である1時間に1回の界面測定値と、ロガーによって1分間に1回の値を記録した界面測定値の比較を示した。両者の値はほぼ同様の傾向を示していることから、通常の運転データによる検討を行っても傾向としては変わらないと判断し、通常運転時における1時間に1回の測定値を用いて考察を行うこととした。

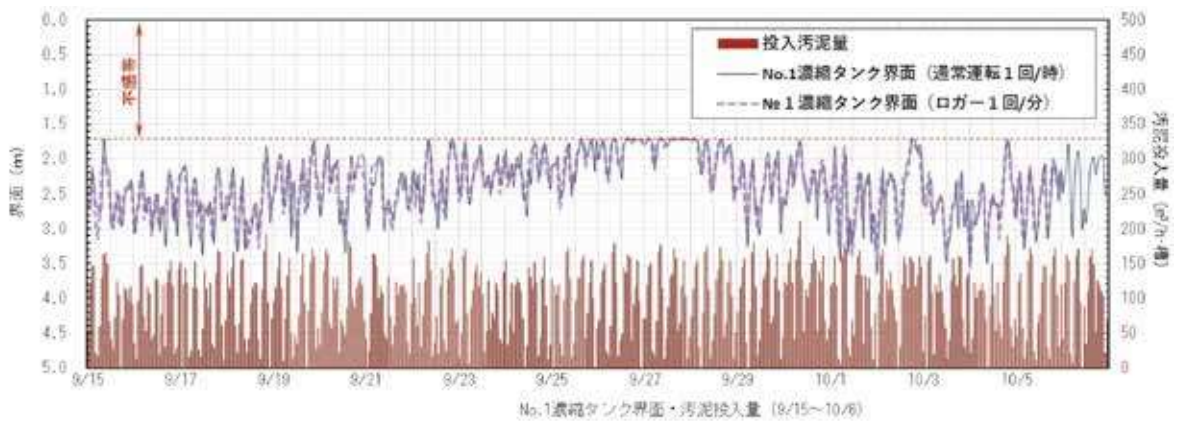


図-19 濃縮タンク界面の値の比較 (通常運転1回/時：青色、ロガー1回/分：紫色)

界面測定データを基に、みずみち棒設置間隔の違いによる平均界面の値を図-20に、掻寄機の回転速度(周速)の違いによる平均界面の値を図-21に示した。

みずみち棒の設置間隔の違いによる界面への影響については、No.4のみ設置間隔が300mm、他の濃縮タンクは150mmとなっており、各条件における平均界面の値を比較すると、数mm程度の差であり、ほぼ同様の傾向を示したことから、明らかな差異があるとは言えない結果となった。



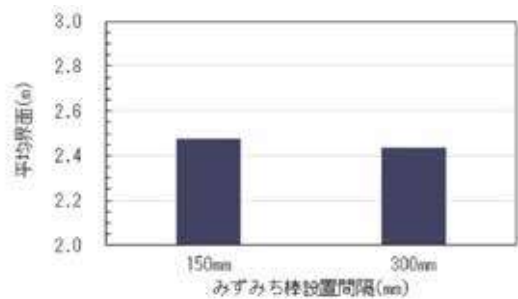


図-20 みずみち棒設置間隔と平均界面値

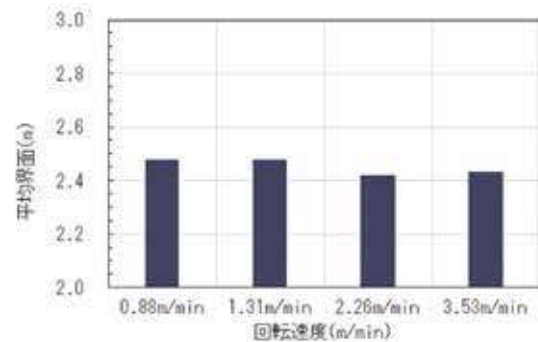


図-21 回転速度と平均界面値

みずみち棒の設置間隔に違いがあっても、年間を通じて汚泥濃縮タンク4槽の処理能力や処理特性に大きな差がないことがわかった。

なお、No.4のみずみち棒は、後から150mmに変更することができるような構造になっているが、今回の結果から、300mmよりも150mmのほうが良いという明確な結果が得られなかったことから、現段階では150mmにする必要はないものと判断される。

次に回転速度の違いによる界面への影響については、図-21より各条件における平均界面の差は数mm程度と、ほぼ同様の値であり、みずみち棒の設置間隔の違いによる界面への影響調査と同様、明らかな差異があるとは言えない結果となった。

なお、9月の調査においては、掻寄機の回転速度を速めることにより、濃縮タンク水面に浮上する気泡量の減少が見られた。過去に圧送汚泥のORP（酸化還元電位、汚泥性状のうち酸化還元の状態を示す指標）を測定した結果では、夏季の汚泥は無酸素～嫌気の状態にあると考えられる。従って、今回の調査の時点でも同様の状態にあったと考えられることから、汚泥の腐敗が進む環境にある時間の短縮が図られたことが一因として考えられる。また、腐敗ガス発生を抑制することで、汚泥にガスが付着し水面に浮上するといった悪影響が低減されることも期待される。

本調査で設定した掻寄機の回転速度（周速）については、各々の回転速度において電力計で掻寄機の電力を測定している。その結果、掻寄機の動力は回転速度に関係なく一定であることがわかった。このため、動力費に関係なく、回転速度は自由に変更できることが確認できた。

以上のことから、汚泥の腐敗を防ぐことは脱水性向上に繋がること、また、掻寄機の動力使用量は回転速度に関係なく一定であることから、夏期は回転数を上げる運転を行った方が良いものと考えられる。

## ②みずみちの移動面積の有意性分析

みずみち棒の効果を評価するため、今回は設置間隔と回転速度（周速）の2点に着目した。みずみち棒の効果の基本を再度確認すると、汚泥層内を移動するみずみち棒によって形成される「みずみち」によって、汚泥層内の水分がみずみちに移動することで、沈降圧密が進行することと考えられる。

①では、みずみち棒の設置間隔と回転速度がそれぞれどのように界面に影響するのか、平均界面値を使って概括的に考察したものであるが、ここでは、汚泥の沈降圧密性に着目し、設置間隔と回転速度の2つの条件を合わせた指標（移動面積）に関して、図-5～図-18の詳細な界面値のデータを用いて、統計用ソフトウェアを活用して、データ間の有意性について分析を行った。

以下の表-4に、みずみち棒の設置間隔と周速から求めた移動面積と、その条件における界面の平均値、中央値を整理したが、実際の分析は6つの移動面積ごとの詳細な界面データを一つの群として、6つの群間の有意差の有無を検定し、有意差が認められた場合に各群間での有意差について多重比較検定を行った。

表-4 移動面積と汚泥界面平均値及び中央値の関係

周速×設置間隔	1.31m/min ×300mm	2.26m/min ×300mm	0.88m/min ×150mm	1.31m/min ×150mm	2.26m/min ×150mm	3.53m/min ×150mm
移動面積 $m^2/min$	0.00332	0.00572	0.00425	0.00633	0.0109	0.0171
平均値 (m)	2.35	2.47	2.37	2.39	2.42	2.43
中央値 (m)	2.24	2.27	2.32	2.29	2.3	2.395

群間比較 (Kruskal-Wallis 検定) の結果

Kruskal-Wallis chi-squared = 29.444, df = 5, p-value = 0.00001897

まず、6つの移動面積群の比較結果では、P値(検定の際に有意性判定のため算出された指標で、有意水準と比較する値)は有意水準(判定するための基準値で、通常5%又は1%が使われる)5%(0.05)より小さな値(0.00001897)となり、移動面積のデータ間には有意の差があると考えられる。しかし、この結果ではどの移動面積との間に有意差があるのかは分からない。それを分析したのが多重比較結果である。

表-5 多重比較結果

移動面積	0.00332	0.00425	0.00572	0.00633	0.0109
0.00425	<u>0.0032</u>	-	-	-	-
0.00572	1	<u>0.0254</u>	-	-	-
0.00633	0.2235	0.2295	1	-	-
0.0109	0.1082	1	0.642	1	-
0.0171	<u>0.0003</u>	1	<u>0.0062</u>	<u>0.0173</u>	0.7035

表-5に示した値がP値で、この値が有意水準0.05より小さい場合(数字に下線を付したものに)、2つの移動面積群の間には有意差があると判断できる。表中の結果を見ると、5組の間に有意差があると考えられる。

図-22には移動面積と界面(中央値)の関係を示し、矢印で示しているのは表-5中で有意差があると判断された条件の組合せである。これを見ると、本調査においては、みずみち棒設置間隔150mmで速度(周速)も速く設定した条件(移動面積が最も大きい時)が、より界面の沈降が大きいと考えられる結果となった。

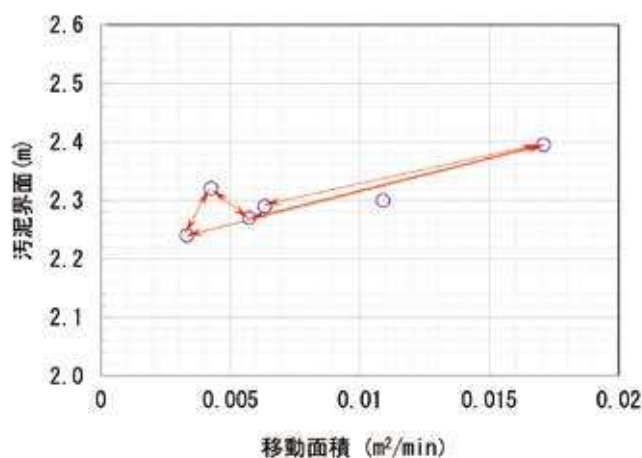


図-22 移動面積と汚泥界面(中央値)の関係

みずみち棒設置間隔150mmで速度（周速）も速く設定した条件というのは、9月の調査において掻寄機を速めた条件である。本項で前述のとおり、この時には濃縮タンク水面に浮上する気泡量の減少が見られている。また、実際の運転においても、夏季に掻寄機を速めることにより、濃縮タンクの汚泥の沈降性が良くなるということは、経験的に確認されている。

このことから、今回行った設置間隔と周速から求めた移動面積と界面の値における検定の結果は、これまで夏季の運転において経験的に得られていた沈降性の改善効果を裏付けるデータの一つであると考えられる。

### ③汚泥の投入と引拔が界面に与える影響

図-5から図-18に示した濃縮タンクにおける界面の上下変動は、投入する汚泥量や引抜量にも影響を受けることが経験的にわかっている。そこで、運転データから各時間帯における濃縮タンクへの投入・引抜量の収支（投入量-引抜量）を算出し、界面と対比を行った。その一例を図-23・24に示す。

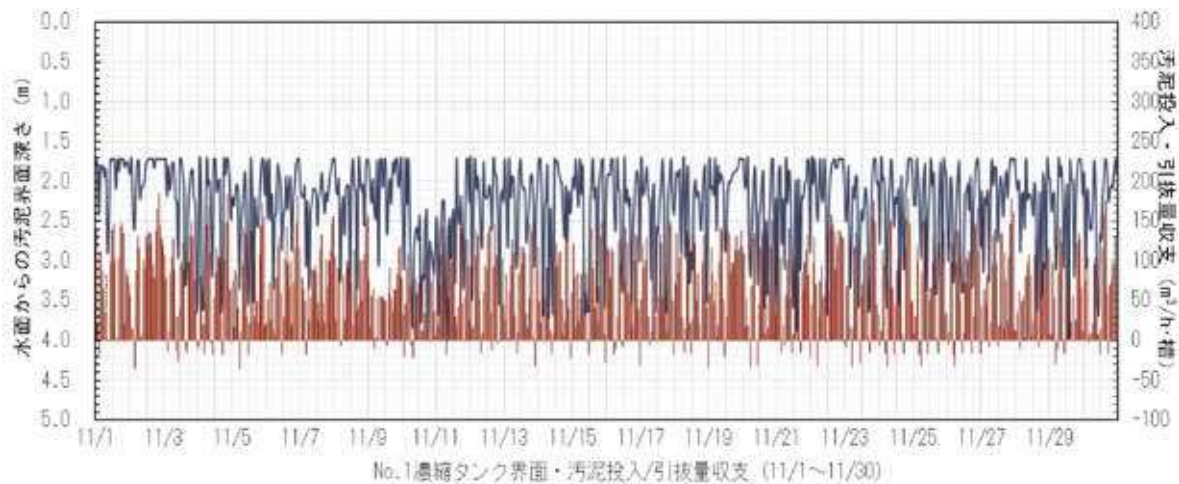


図-23 No. 1 濃縮タンク界面・汚泥投入/引抜量収支

図-23は11月のNo.1 濃縮タンクにおける時間経過による汚泥収支、界面の変化を示し、図-24は同じデータを散布図に示したものである。

図-23では汚泥投入・引抜量収支の増減に対して、界面の上下が対応しているように見受けられる。

一方、図-24では、水面から1.7m以下の不感帯域のデータ取得ができない条件での分析になるが、データにばらつきはあるものの、右肩上がりの関係があるように見える。つまり、投入量よりも引抜量が多く収支がマイナスになると界面は下がり、投入量が多く収支がプラスに

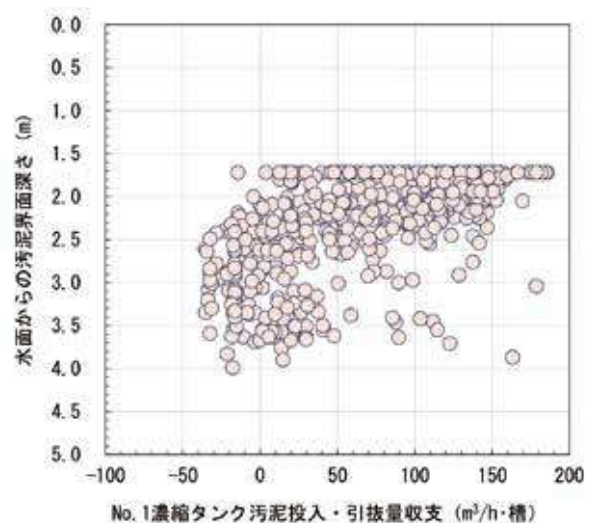


図-24 界面と汚泥投入・引抜収支



なると界面が上がる傾向である。汚泥の投入時には、より界面管理に留意する必要があることがデータからもわかった。なお、データのばらつきについては、汚泥の性状の違いによる沈降性の差も影響していると考えられる。

## 2) 汚泥等の性状及びガス成分に関する考察

### ①濃縮前後の汚泥成分の変化と脱水性との関係

汚泥の成分について、今回の分析結果から図-25のような汚泥中物質の構成を想定し、表-6及び図-26に整理した。

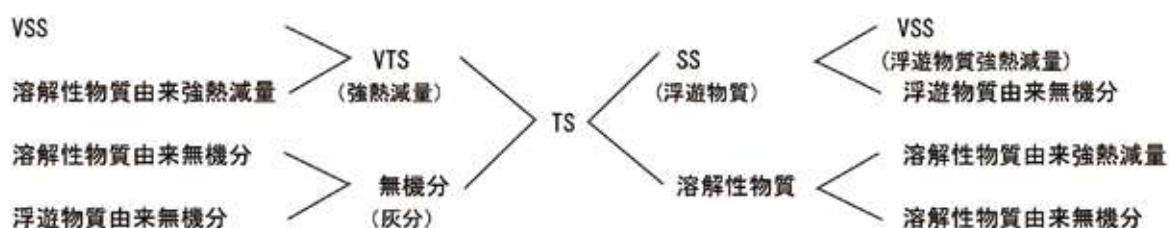


図-25 汚泥中物質の構成

表-6 各調査時期における引抜汚泥構成内容

項目	9月		11月		1月		3月	
	投入	引抜	投入	引抜	投入	引抜	投入	引抜
SS (TS当り)	89.3	92.3	93.3	95.4	91.4	95.7	93.5	96.7
VSS (TS当り)	80.1	83.7	80.7	83.1	82.7	88.2	82.5	85.1
VTS	86.1	88.4	84.1	86.1	87.8	90.7	86.1	87.0
溶解性物質	10.7	7.2	6.8	4.6	8.6	4.0	6.5	3.3
溶解性物質由来強熱減量	6.0	4.8	3.4	3.0	5.0	2.5	3.6	1.9
溶解性物質由来灰分	4.7	2.5	3.4	1.6	3.5	1.5	2.9	1.4
灰分	13.9	11.5	15.9	13.9	12.2	9.1	13.9	13.0
SS由来灰分	9.2	9.0	12.5	12.3	8.7	7.6	11.0	11.6
SS構成比	0.897	0.903	0.866	0.871	0.905	0.921	0.882	0.880
溶解性強熱減量構成比	0.561	0.658	0.500	0.652	0.588	0.625	0.554	0.576

※単位：% (TS当り) 但し、SS構成比・溶解性強熱減量構成比を除く

SS構成比 =  $VSS / (VSS + SS由来灰分)$

溶解性強熱減量構成比 =  $溶解物質由来強熱減量 / (溶解性物質由来強熱減量 + 溶解性物質由来灰分)$

これらの結果から、汚泥の濃縮等について、次のようなことが考えられる。

投入汚泥と濃縮後の引抜汚泥を対比すると、灰分の構成比が濃縮によって低くなると考えられる。低下は主に溶解性物質由来の灰分（無機分）によって生じていると考えられる。これは表中の溶解性強熱減量構成比や図-26から推測される。

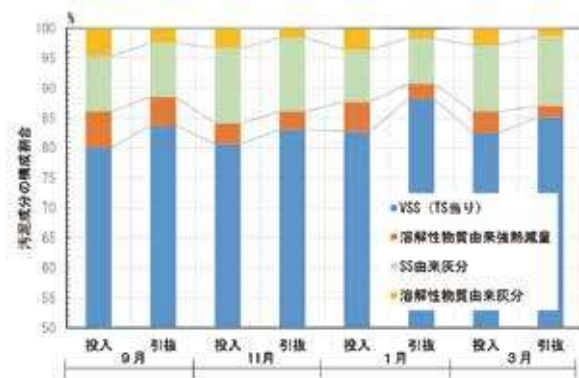


図-26 各調査時期における引抜汚泥構成比

1月は汚泥の強熱減量が最も高くなる時期であるが、この時のVTS（強熱減量）の構成内容を見ると、VSS（浮遊物質強熱減量）が他の月に対して高く、逆に溶解性物質由来の強熱減量は3月に次いで低い値を示している。従って、SS（浮遊物質）に占めるVSS（浮遊物質強熱減量）の比率（表中のSS構成比）が最も高い値を示すということもでき、汚泥の脱水という観点からは、次のようなことが考察される。

理論的には、脱水の際に添加する高分子凝集剤は、汚泥の粒子に作用してフロックを形成することから、VSS（浮遊物質強熱減量）が高ければ、その分添加する量も多く必要となり、薬注率は高くなる。

また、脱水の目的は、汚泥粒子から間隙水や毛管結合水、表面付着水を除去することであり、高分子凝集剤による調質でフロックを形成することで間隙水等の除去は可能であるが、毛管結合水の除去にはより大きな外力を加える必要がある。1月の汚泥のようにVTS内のVSSの割合が高い場合は、毛管結合水を除去して目標の含水率の脱水汚泥を得るために、脱水機内で汚泥に遠心力が作用する時間を長くするといった調整が他の月より必要となる。

②有機酸の発生要因と脱水への影響

図-27に濃縮タンク投入汚泥水温と脱水機給泥汚泥pHの推移を直近3か年分示した。

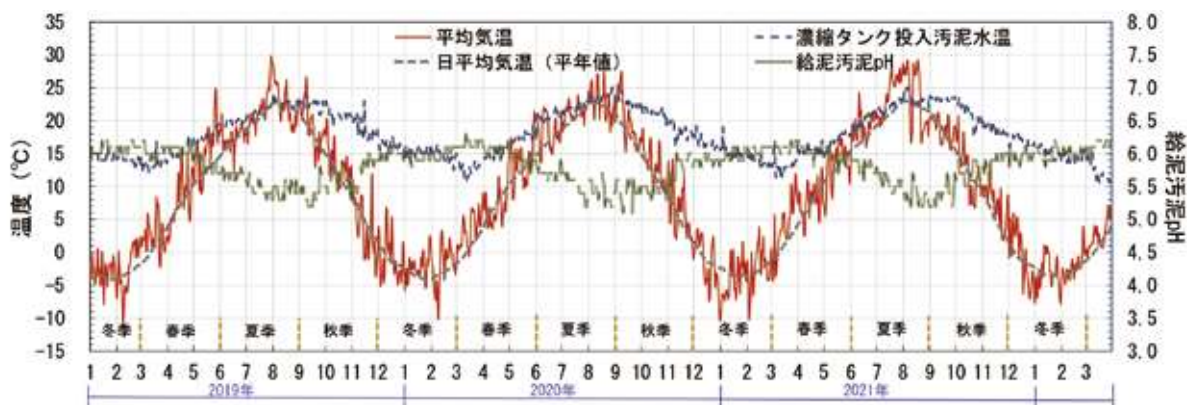


図-27 濃縮タンク投入汚泥水温と脱水機給泥汚泥 pH の推移

図に示したとおり、汚泥水温と汚泥pHは年間で周期的な変動をしている。6月には水温が上昇するに従い、汚泥のpHは下降傾向を示し始め、最終的には5付近まで低下する。低下した状態は、10月初～中旬頃まで継続し、その後水温の低下と共にpHは上昇し始める。6～10月の時期には、汚泥の腐敗による濃縮タンクでの汚泥浮上や、腐敗によって生じたガスの気泡発生が見られている。今回の測定結果でも、有機酸は9月に最高値がみられ、3月には最低値となって、水温の変化に対応した測定値の変化が見られた。有機酸は嫌気的条件下で汚泥が分解されて、酸発酵によって生成されるものであると考えられることから、汚泥の成分が変化し、濃縮後の脱水工程に対しても影響を与えることが考えられる。その一例として、各月の溶解性物質の値を見ると、9月が最も高く、3月が最も低くなっていることから、汚泥が分解し、成分の変化の度合いが各月で異なっていることが考えられる。

有機酸の発生は、汚泥に粘性が出ることや、pHが低下することにより、汚泥の凝集を妨げる要因にもなる。このことから、汚泥の腐敗により脱水性が悪化することも考えられる。

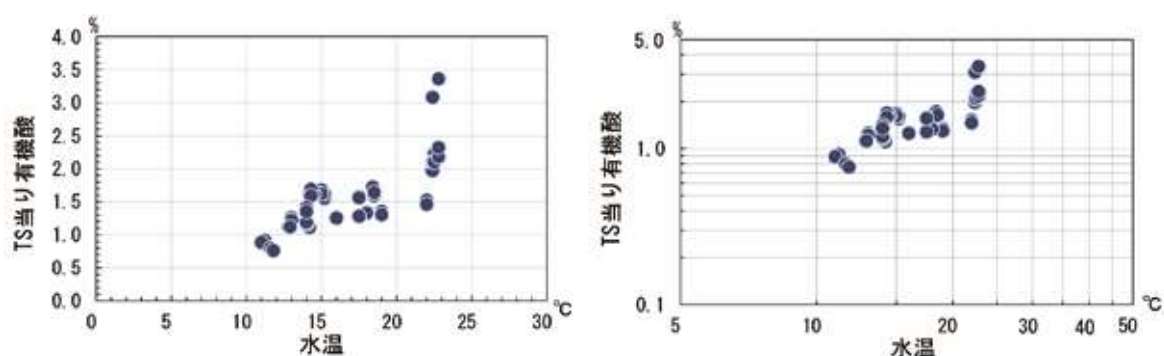


図-28 濃縮タンク投入汚泥水温と濃縮タンク引抜汚泥有機酸の関係(左図：等軸・右図：両対数軸)

水温（汚泥）とTS当りの有機酸比率を見ると、図-28のように温度上昇に対して急激に増加しているように見える。そこで、水温・有機酸を両対数軸にプロットしてみると、直線的な関係が確認された。そこで、この2つを変数（水温：説明変数、有機酸：目的変数）として、回帰分析をしてみると、次のような有意の回帰式が得られた。

表-7 水温と有機酸を変数とした回帰分析結果

	回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
切片	-1.138	0.147	-7.761	$6.678 \times 10^{-10}$
水温（対数変換）	1.080	0.120	8.997	$1.049 \times 10^{-11}$

Residual standard error: 0.08007 on 46 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6377, Adjusted R-squared: 0.6298

F-statistic: 80.95 on 1 and 46 DF, p-value:  $1.049 \times 10^{-11}$

$$\log(y) = -1.138 + 1.080 \log(x)$$

$$y = 0.0728x^{1.081} \quad \text{式-1}$$

※対数変換は常用対数による

この式-1から、水温が10°C上昇すると有機酸発生量が約2倍になると推測され、水温は有機酸の発生量に影響を与える因子の一つであると考えられる。



③粗浮遊物の挙動と脱水への影響

粗浮遊物は一般的に脱水性を良好にする因子とされている。しかし、各月の粗浮遊物測定値の平均と、同日の脱水機薬注率平均を図に示すと、両者は類似した変化を示しており、最も脱水性が悪くなる1月に粗浮遊物の含有が多くなった。VTSやVSSの中には粗浮遊物も含まれていると考えると、薬注率に関していえば、粗浮遊物に遠心脱水機における薬注率の低減といった効果は期待できないものと考えられる。しかし、粗浮遊物の特性から、脱水の際のフロックの核になるといった効果は期待できるのではないかと考えられる。

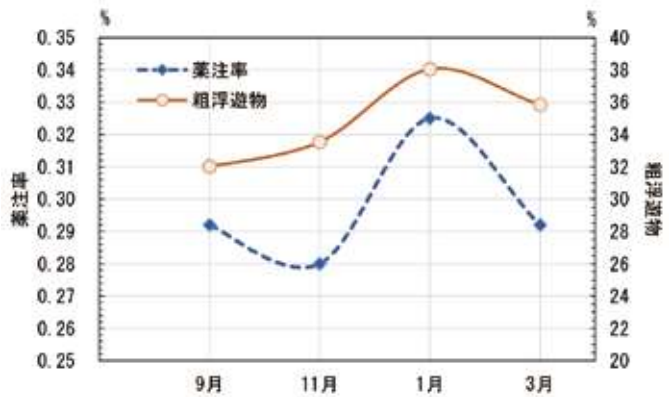


図-29 薬注率と粗浮遊物の推移

④脱水時の薬注率に影響する汚泥性状（重回帰分析）

脱水時の薬注率を目的変数とし、今回分析した項目を説明変数として、重回帰分析を行った。その結果は、次のとおりである。

表-8 脱水時の薬注率とVTS等の重回帰分析結果

	回帰係数	偏回帰係数	標準誤差	t 値	確率(> t )
切片	-0.490	0	0.111841	-4.382	0.0000718163 ***
VTS	0.00727	0.716	0.001096	6.628	0.0000000402 ***
TS	0.0355	0.472	0.010334	3.432	0.00131 **
有機酸	0.0222	0.353	0.008418	2.638	0.01150 *

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02238 on 44 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5429, Adjusted R-squared: 0.5117

F-statistic: 17.42 on 3 and 44 DF, p-value: 0.000000134

ここで選択された変数の他に、粗浮遊物やVSS等も変数の候補に入れた場合の重回帰分析も行ったが、寄与率（R<sup>2</sup>値が大きいほど、相対的に説明力が高い）が最も大きく、係数の有意確率も5%未満となったものは、上記のとおりVTS、TS、有機酸が変数として選択された場合であった。

この結果では、個々の回帰係数の影響の大小を示す偏回帰係数を見ると、一般的に言われるようにVTSは薬注率への影響が最も大きく、次いでTS、有機酸となっている。有機酸はVTSの半分程度の影響を示すと思われる。なぜ有機酸が重回帰式に取り込まれたかということであるが、汚泥の可溶化といった性状を代表しており、脱水前の汚泥の状態を示すもので、VTSに包含されるような粗浮遊物との差異が生じたのではないかと考えられる。但し、この結果は今回の分析データに基づいたもので、更にデータ数が多くなると、異なる結果が得られることも考えられる。

## ⑤ガス成分の変動

ガス成分分析結果から、各月によってガス成分に変動があることがわかった。東部スラッジセンター脱臭設備の設計値の原臭と比較すると、9月と1月のメチルメルカプタンの値のみ設計値より若干高かったが、それ以外については設計値の原臭と同等かそれ以下であることがわかった。

## 6. まとめ

- 1) みずみち棒の設置間隔や搔寄機の回転速度（周速）の違いが、界面に与える影響について、令和3年9月～令和4年3月の期間内で、4回調査を行った。それぞれの条件について、界面の平均値を用いた概括的な比較では、各条件で明確な差異は見受けられなかった。
- 2) 一方、1)の2つの条件を総合したみずみち棒の移動面積を指標とし、詳細な界面値を用いてデータ分析を行ったところ、移動面積の条件間で有意の差があると考えられるものもあり、みずみち棒設置間隔150mmで速度（周速）も速く設定した条件が、より界面の沈降が大きいと考えられる結果となった。
- 3) また、濃縮タンクの汚泥投入量と引抜量の収支と界面の関係については、ばらつきはあるものの一定の傾向があり、界面管理に留意する必要がある。
- 4) 夏季の調査で、汚泥の腐敗との関係についても検討した。その結果、汚泥の腐敗を防ぐことは脱水性向上に繋がること、また、搔寄機の動力使用量は回転速度に関係なく一定であることから、夏期は回転数を上げる運転を行った方が良いものと考えられる。
- 5) 調査期間中の汚泥性状の分析結果から、濃縮過程での変化や、汚泥の成分構成の季節変化について確認した。
- 6) 汚泥の腐敗に関係する有機酸についても今回測定し、季節的な変化状況も確認した。また、水温との関係についても回帰分析を行い、有意な回帰式を得た。これらのことから、有機酸の発生には水温が影響することが確認された。
- 7) 脱水時の薬注率と今回分析した項目について重回帰分析を行った結果、VTS、TS、有機酸を説明変数とした有意な回帰式を得ることができ、その結果から薬注率への影響としてはVTSの影響が最も大きく、次いでTS、有機酸の順であることが明らかとなった。

## 【参考文献】

1. 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 -2019年版-  
公益社団法人 日本下水道協会 pp.325-330
2. 汚泥重力濃縮槽におけるみずみち棒導入に関する技術資料集（案）  
岡本 誠一郎、新井 小百合、浅井 圭介  
独立行政法人土木研究所 pp.1-24
3. 濃縮槽内の粒子挙動と操作－干渉沈降速度と流れ特性－  
北海道工業開発試験所 関口逸馬、北海道大学工学部 高森隆勝  
日本鉱業会誌/99 1147 (85-9) pp.863-865
4. 下水汚泥の重力濃縮におけるピケットフェンスの効果  
建設省土木研究所 北村友一、落修一、渡部春樹  
土木学会第50回年次学術講演会 pp.1234-1235

5. 汚泥処理系の最適管理への試み—濃縮槽および消化槽について—  
長坂實上  
環境技術 Vol.13 No.8 (1984) pp.55-61
6. 下水汚泥の腐敗過程における沈降・濃縮性の変化及び可溶化現象について  
大久保俊治、川田賢治、内藤威  
下水道協会誌 Vol.21 No.245 1984/10 pp.76-85