

## 脱水機の適正な管理に関する調査（Ⅱ）

現在東部及び西部スラッジセンターの脱水施設では図-1の概念図に示したような遠心脱水機を使用しているが、脱水機の管理では直接汚泥の凝集状態を見ることできないことから、薬注率や回転数などの操作条件の調整は、脱水分離液の性状（濁り、色、泡立ち等）及び脱水汚泥含水率等を判断材料としている。特に、脱水分離液の性状判断は、目視による判断というような経験が必要となる。そこで、測定機器による客観的な数値を基に、誰でも運転状態を把握できるような指標を作り出せないか調査することとした。

令和元年度には現在入手可能な測定機器から3種類（濁度、色度、透視度の測定器）を使って、分離液の測定値から脱水機内での汚泥の凝集状態等を推測できないか検討を始めた。

令和元年度の12（冬季）～3月（春季）にかけて汚泥のビーカーテストを行い、同時期の実機についても、分離液の測定を行うとともに運転条件のデータを収集した。令和2年度においても、7（夏季）～3月（春季）にかけて、前年度と同様の試験を行い、得られたデータと前年度のデータをまとめ、通年のデータとして検討を行った。

その結果、通年として検討した場合でも、前年度の結果と同じく、透視度と濁度の測定結果の組み合わせから、薬注の状態を推定する方法が使えるのではないかという結論を得た。

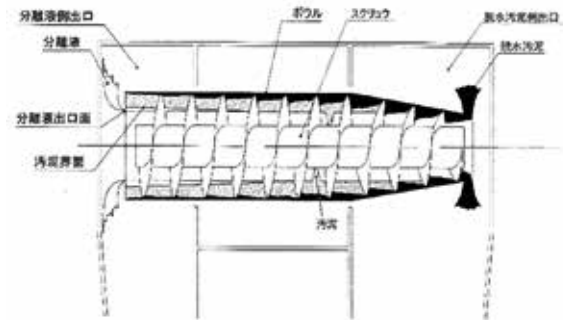


図-1 脱水機概念図

### 1. 調査方法

今回の調査は前年度に行った試験と同じく、試験室内で行うビーカーテストと、運転中の実機の脱水分離液を試料とした調査を行った。ビーカーテストの目的は、一定の条件下で凝集・脱水を行い、それによって得た脱水分離液を用いて測定機器による測定を行い、その特性を調べようとするものである。また、実機における調査の目的は、ビーカーテストの結果を実機に応用可能か調べようとするものである。

#### 1.1 ビーカーテスト

東部スラッジセンターにて高分子凝集剤の汚泥への添加率と、汚泥の脱水性、脱水分離液の性状及び測定機器による測定値の特性等について、ビーカーテストにより確認した。その際の条件等は、次のとおりである。

供試汚泥：東部スラッジセンターの脱水機供給汚泥を採取して試料とした。

供試汚泥量：高分子凝集剤添加率1条件に対し、600mLとした。

使用機器：攪拌機 ～ IKAジャパン製RW20（平型羽根）

卓上遠心脱水試験機（写真-1）～三陽理化学機械製作所製SYK-3800-10A（最高回転数4500rpm）

脱水分離液測定機器

①濁度計（写真-2）～笠原理化学工業製TR-55、透過・散乱光測定方式、測定範囲 0～1100度、測定波長 660nm

- ②透視度センサー（写真－3）～笠原理化工業製TP-30、レンズ集光式近赤外透過光測定方式、測定範囲 2～200cm、測定波長 880nm
- ③色度センサー（写真－4）～笠原理化工業製CR-30、白金コバルト吸光光度方式、測定範囲 0～50度、測定波長 390nm
- ④粘度計（写真－5）～A & D社製 SV-10H、音叉型振動式、測定範囲0.3～10000mPa・s



写真－1  
卓上遠心脱水試験機



写真－2 濁度計



写真－3 透視度センサー



写真－4 色度センサー



写真－5 振動式粘度計

高分子凝集剤：東部スラッジセンターの現用品（粉体、カチオン系）を試験の都度純水に溶解し、0.2%溶液として使用した。実機では、溶解に砂ろ過水を使っているが、水質に変動があり、ここでは条件を統一するため純水を使用した。

高分子凝集剤添加条件：添加率は0.25～0.50%（汚泥固形物に対する重量比で、0.05%間隔の添加率とした。）とし、相当量となる0.2%溶液を添加した。

凝集条件：容量1Lのビーカーに所定量の汚泥を入れ、高分子凝集剤をシリンジで注入し、回転数200rpmで2分間攪拌した。

脱水条件：目開き80メッシュ（175 $\mu$ m）のろ布製袋を卓上遠心脱水試験機内のバスケット（写真－6）に入れ、高分子凝集剤で凝集した汚泥を袋に投入して、10分間脱水した。

この試験機による脱水は、実機の脱水とは異なり、遠心力によりバスケット内の袋内面に汚泥層が形成され、水分が汚泥層からバスケット全面に開いている小孔を通過してバスケット外に排出される。分離液は全量を容器に回収した。脱水の際に発生する遠心加速度は、バスケットの直径（ $\phi$ 100mm）と、想定される回転数から約400Gと考えられる。



写真－6 バスケット

脱水分離液測定項目：濁度、透視度、色度、粘度

※測定値が機器の測定範囲を超える場合は、試料を希釈して測定し、希釈倍率を測定値に乗じて、または測定値を除して希釈前の値とした。

脱水汚泥測定項目：含水率（「下水試験方法」 第5編第1章第6節による）

ビーカーテスト及び実機調査における統計処理は、統計ソフトウェアR(ver.4.0.3)を使用した。

## 1.2 実機調査

東部スラッジセンターの脱水機の脱水分離液について測定を行った。また、測定用試料採取時の脱水機の運転データも合わせて収集した。

測定頻度：測定は月曜～水曜日のみとし、2回/日試料を採取した。

調査項目

- ・透視度、濁度、色度（ビーカーテストで使用した機器で測定）
- ・透視度（「下水試験方法」による）
- ・粘度（室温で測定）
- ・測定試料採取時の脱水機運転条件
- ・各日の汚泥分析結果

## 2. 結果及び考察

### 2.1 ビーカーテスト

今回の調査ではビーカーテストを期間中（7～3月）に8回行い、その際に使用した汚泥の濃度と強熱減量を表－1に示した。前年度の調査で4回行っており、今年度の調査はその継続として、通算の回数を示している。従って、5回目以降が今年度の調査結果である。

季節区分を「気象庁観測統計指針」に従うと、1、2、10、11回目は冬季の汚泥、3、4、12回目は融雪が始まった春季の汚泥、5、6回目は夏季の汚泥、7、8、9回目は秋季の汚泥と考えられる。

各回の測定結果等を表－2に示した。なお、表中の透視度で「下水試験方法」によるものは、脱水分離液採取の際に測定したものである。また、試験で発生した脱水分離液のうち幾つかの例を写真－7～10に、表－2－2のデータを基に項目ごとに図にしたものを図－2～13に示した。

図は横軸が、固形物当りの薬注率と有機物当りの薬注率の2種類ある。通常、薬注率は対固形物比で示されるが、今回は汚泥の強熱減量（有機物量）による影響があるか確認のため、対有機物比の薬注率でも図の整理を行った。

表-1 ビーカーテスト使用汚泥性状

回数	試験日	汚泥濃度 (%)	汚泥強熱減量 (%)
1回目	12月27日	2.7	89.4
2回目	1月9日	3.2	90.4
3回目	3月13日	2.6	80.0
4回目	3月17日	2.9	85.4
5回目	7月28日	3.0	89.7
6回目	8月28日	2.6	88.7
7回目	9月29日	2.7	88.7
8回目	10月27日	2.7	88.6
9回目	11月27日	2.7	88.7
10回目	12月25日	2.9	90.0
11回目	2月19日	2.7	86.1
12回目	3月12日	3.2	85.4

表-2-1 ビーカーテスト結果 (令和元年度実施)

実施日	対固形物 高分子凝 集剤添加 率 (%)	透視度 (計器 cm)	透視度 (下水試験 方法、cm)	色度 (度)	濁度 (度)	分離液量 (mL)	凝集剤量 (mL)	脱水汚泥 (g)	脱水汚泥 含水率 (%)	高分子凝 集剤 (g)	対有機物 高分子凝 集剤添加 率 (%)
1回目 12月27日	0.25	0.6	0.9	2074	484	540	20.3	80.3	79.7	0.041	0.28
	0.30	0.8	0.8	1623	363	550	24.3	74.3	77.4	0.049	0.34
	0.35	1.2	1.1	1209	268	572	28.4	56.4	74.2	0.057	0.39
	0.40	2.1	1.5	837	182	587	32.4	45.4	74.8	0.065	0.45
	0.45	3.4	2.0	586	111	568	36.5	68.5	75.5	0.073	0.50
	0.50	3.9	2.6	471	97	554	40.5	87.0	78.4	0.081	0.56
2回目 1月9日	0.25	0.5	0.8	2678	642	565	24.0	59.0	72.6	0.048	0.28
	0.30	0.6	0.8	2098	502	561	28.8	68.3	70.8	0.058	0.33
	0.35	0.8	1.0	1732	382	564	33.6	69.6	71.2	0.067	0.39
	0.40	1.0	1.6	1501	317	575	38.4	63.4	70.4	0.077	0.44
	0.45	1.7	1.6	933	196	575	43.2	68.7	71.5	0.086	0.49
	0.50	2.7	1.8	636	133	566	48.0	82.0	74.5	0.096	0.55
3回目 3月13日	0.25	1.5	2.3	738	181	567	19.5	53.0	73.8	0.039	0.31
	0.30	3.0	3.4	419	94	566	23.4	57.4	72.9	0.047	0.38
	0.35	5.5	3.7	378	66	569	27.3	58.8	70.9	0.055	0.44
	0.40	9.3	4.5	197	46	580	31.2	51.2	70.9	0.062	0.50
	0.45	11	9.0	127	35	584	35.1	51.6	72.1	0.070	0.56
	0.50	12	6.4	161	35	565	39.0	74.0	71.9	0.078	0.62
4回目 3月17日	0.25	1.0	1.8	1183	252	560	21.8	61.8	71.6	0.044	0.30
	0.30	1.5	2.0	836	175	567	26.1	59.1	72.0	0.052	0.35
	0.35	2.3	2.6	1708	144	582	30.5	48.5	71.2	0.061	0.41
	0.40	3.9	2.5	404	91	594	34.8	40.8	71.0	0.070	0.47
	0.45	5.4	3.5	328	62	578	39.2	61.2	71.3	0.078	0.52
	0.50	2.5	4.0	281	117	545	43.5	98.5	72.4	0.087	0.58

表-2-2 ビーカーテスト結果 (令和2年度実施)

通算回数 実施日	対固形物 高分子凝 集剤添加 率 (%)	透視度 (計器 cm)	透視度 (下水試験 方法、cm)	色度 (度)	濁度 (度)	分離液量 (mL)	凝集剤除 外分離液 量 (mL)	凝集剤量 (mL)	脱水汚泥 含水率 (%)	高分子凝 集剤 (g)	対有機物 高分子凝 集剤添加 率 (%)
5回目 7月28日	0.25	0.6	1.0	2260	455	560	538	22.5	73.0	0.045	0.28
	0.30	1.2	1.2	1340	296	560	533	27.0	73.3	0.054	0.34
	0.35	1.2	1.4	1270	283	571	540	31.5	72.3	0.063	0.39
	0.40	1.5	1.3	1130	205	576	540	36.0	73.1	0.072	0.45
	0.45	1.9	1.6	824	193	572	532	40.5	74.1	0.081	0.50
	0.50	2.4	2.3	634	159	550	505	45.0	79.5	0.090	0.56
6回目 8月28日	0.25	0.7	1.0	1920	419	565	546	19.5	72.9	0.039	0.27
	0.30	1.1	1.4	1290	295	580	557	23.4	71.2	0.047	0.33
	0.35	1.6	1.6	930	227	580	553	27.3	72.0	0.055	0.38
	0.40	2.0	2.2	740	176	575	544	31.2	73.8	0.062	0.43
	0.45	2.5	2.3	598	148	590	555	35.1	74.9	0.070	0.49
	0.50	3.0	2.3	476	113	570	530	40.5	75.4	0.081	0.56
7回目 9月29日	0.25	0.7	1.0	1970	388	568	548	20.3	71.8	0.041	0.28
	0.30	1.3	1.5	1210	246	579	555	24.3	70.6	0.049	0.34
	0.35	1.7	1.6	950	207	575	547	28.4	70.2	0.057	0.40
	0.40	2.2	1.8	700	165	570	538	32.4	70.3	0.065	0.45
	0.45	2.5	2.3	586	129	575	539	36.5	72.9	0.073	0.51
	0.50	2.4	2.0	476	112	560	520	40.5	74.0	0.081	0.56
8回目 10月27日	0.25	0.8	0.9	1820	401	550	530	20.3	73.2	0.041	0.28
	0.30	1.2	1.0	1340	305	560	536	24.3	72.1	0.049	0.34
	0.35	1.6	1.0	940	221	550	522	28.4	71.6	0.057	0.40
	0.40	2.3	1.3	760	180	570	538	32.4	72.5	0.065	0.45
	0.45	2.7	1.5	616	143	580	544	36.5	74.6	0.073	0.51
	0.50	2.9	2.1	598	132	560	520	40.5	76.0	0.081	0.56
9回目 11月27日	0.25	0.7	0.9	1820	389	544	524	20.3	78.1	0.041	0.28
	0.30	1.0	1.1	1310	277	554	530	24.3	75.8	0.049	0.34
	0.35	1.7	1.4	790	188	560	532	28.4	75.9	0.057	0.40
	0.40	2.0	1.6	760	153	562	530	32.4	76.6	0.065	0.45
	0.45	2.9	1.9	500	108	560	524	36.5	77.7	0.073	0.51
	0.50	3.2	2.5	415	94	546	506	40.5	79.2	0.081	0.56
10回目 12月25日	0.25	0.5	0.7	2600	543	555	533	21.8	76.6	0.044	0.28
	0.30	0.8	1.0	1790	348	555	529	26.1	75.4	0.052	0.33
	0.35	1.1	1.1	1420	285	555	525	30.5	75.4	0.061	0.39
	0.40	1.6	1.2	982	199	555	520	34.8	74.6	0.070	0.45
	0.45	2.0	1.3	781	174	560	521	39.2	76.3	0.078	0.50
	0.50	3.0	1.5	641	118	540	497	43.5	79.2	0.087	0.55
11回目 2月19日	0.25	0.9	1.3	1200	269	535	515	20.3	76.2	0.041	0.29
	0.30	1.3	1.5	910	207	550	526	24.3	75.7	0.049	0.35
	0.35	1.5	1.8	760	157	555	527	28.4	74.3	0.057	0.41
	0.40	2.2	2.5	570	113	565	533	32.4	74.3	0.065	0.47
	0.45	2.7	3.3	519	100	555	519	36.5	75.1	0.073	0.53
	0.50	2.7	3.8	494	92	530	490	40.5	77.2	0.081	0.58
12回目 3月12日	0.25	0.4	0.7	2420	545	526	502	24.0	78.0	0.048	0.29
	0.30	0.8	0.9	1590	371	528	499	28.8	77.1	0.058	0.35
	0.35	1.3	1.4	1070	265	543	509	33.6	75.8	0.067	0.41
	0.40	1.4	1.5	900	230	554	516	38.4	74.4	0.077	0.47
	0.45	2.0	1.6	872	218	550	507	43.2	76.3	0.086	0.52
	0.50	1.9	2.0	799	176	544	496	48.0	77.6	0.096	0.59





8/28 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)  
写真-7 6回目 (夏季) ビーカーテスト分離液



10/27 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)  
写真-8 8回目 (秋季) ビーカーテスト分離液



2/19 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)  
写真-9 11回目 (冬季) ビーカーテスト分離液



3/12 分離液 (左から0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50%)

写真-10 12回目 (春季) ビーカーテスト分離液

### 2.1.1 含水率

図-2、3は高分子凝集剤添加後の汚泥を、卓上遠心脱水試験機で脱水した後の含水率を示した。図-2は固形物当りの高分子凝集剤添加率、図-3は有機物当りの高分子凝集剤添加率を横軸としている。図-4、5は添加した凝集剤の液量分を除外した脱水分離液量と薬注率の関係を示した。横軸は、図-2、3と同じく、図-4が固形物当り、図-5が有機物当りの薬注率としている。写真-11には凝集前汚泥、写真-12には凝集後汚泥、写真-13には試験機上方から見た脱水後のバスケット内の脱水汚泥の状態を示した。

写真-12は凝集状態が最も良いと思われる条件のものである。写真-13中の白色のものはろ布製袋で、その内側の茶褐色のものが脱水汚泥である。凝集後の汚泥をバスケット内の袋に投入後脱水すると、脱水汚泥はどの条件でも、写真のように試験機内のバスケット内周に、含水率に応じて一様な厚さで形成されていた。

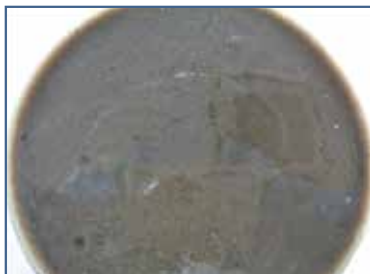


写真-11 凝集前汚泥



写真-12 凝集後汚泥



写真-13 脱水汚泥

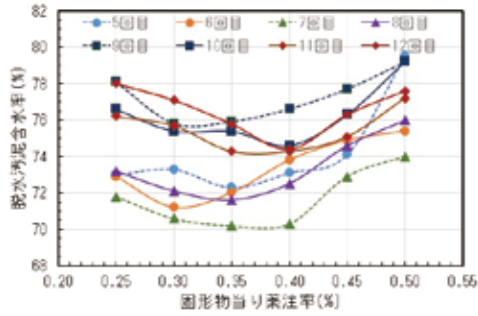


図-2 脱水汚泥含水率vs.薬注率(対固形物)

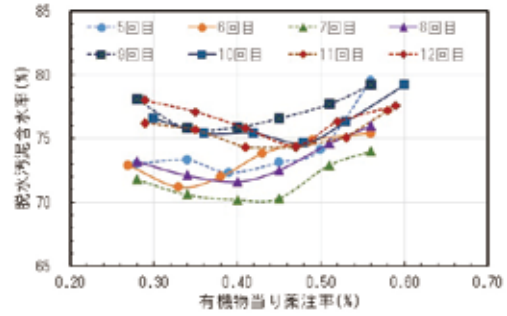


図-3 脱水汚泥含水率vs.薬注率(対有機物)

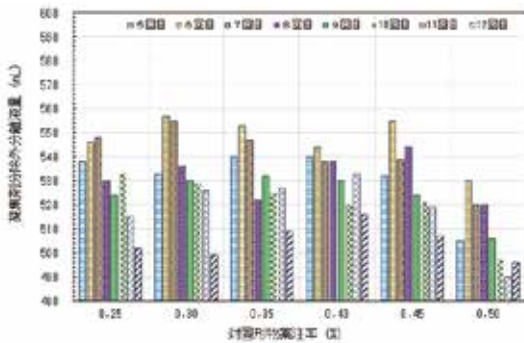


図-4 分離液量vs.薬注率(対固形物)

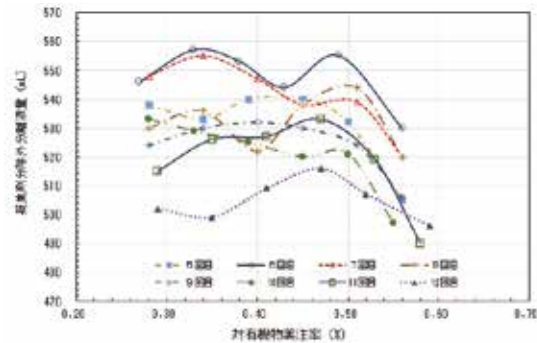


図-5 分離液量vs.薬注率(対有機物)

薬注率を二つの面から考えてみた。一つは図-2、3に示した脱水汚泥含水率の測定結果を指標とした場合、もう一つは図-4、5に示した投入凝集剤液量を除外した脱水分離液量を指標とした場合である。

脱水汚泥含水率の最低値を指標として、薬注率（以下「適正薬注率」とする。）を考えると、固形物当りの薬注率は0.30~0.40%程度、有機物当りの薬注率では0.34~0.48%の場合が最低値となる添加範囲ではないかと考えられる。また、脱水分離液量の最大値を指標とすると、固形物当りの薬注率は0.30~0.40%程度、有機物当りの薬注率では0.34~0.48%程度が最大値となる添加範囲ではないかと考えられた。図-6には、前年度の結果も含めた結果をまとめた。これを見る限りでは、汚泥のVTSは80~90%の範囲にあって、適正薬注率は必ずしもその値に比例するような関係にないと考えられる。図-7は、季節ごとに図-6の結果をまとめ直したものである。これを見ると、季節による区分というような要素を加えて考えると、整理がしやすくなりそうである。

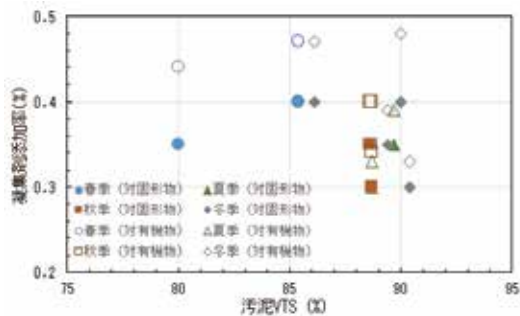


図-6 凝集剤添加率vs.汚泥VTS

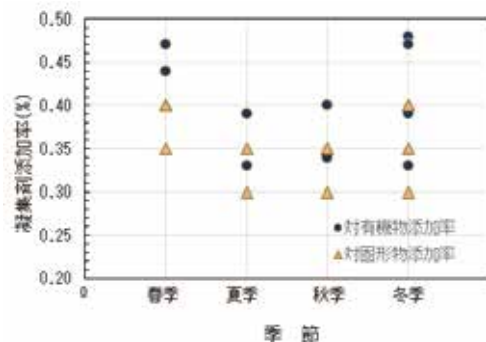


図-7 季節別凝集剤添加率



薬注率を固形物、有機物どちらを基準とした場合でも、ある薬注率の範囲（適正薬注率）を外れると脱水汚泥含水率が上昇する結果となった。高分子凝集剤を用いた脱水の場合に、適正薬注率が存在し、それを外れると脱水汚泥含水率の低減効果が弱まるということが明らかである。これは、汚泥の強熱減量に関係なく見られた現象である。

### 2.1.2 透視度

図-8、9には薬注率と透視度の関係を示した。透視度は計測器（透視度センサー）による値を示している。なお、前年度の調査と同じく、試料そのままでは計測器の計測範囲下限を外れたため、希釈して測定を行い、希釈倍率で除した測定値を透視度とした。透視度は、薬注率が高くなるにつれて値が大きくなる傾向にあった。結果についても、脱水汚泥含水率で最適薬注率と判断される範囲を超えても、透視度の値が頭打ちになるというような現象が見られなかったのは、どの季節においても同じであった。

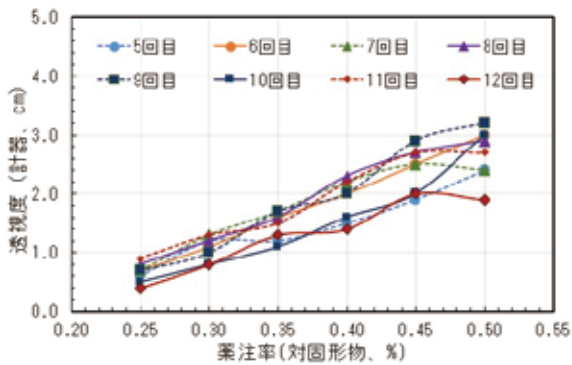


図-8 透視度vs.薬注率(対固形物)

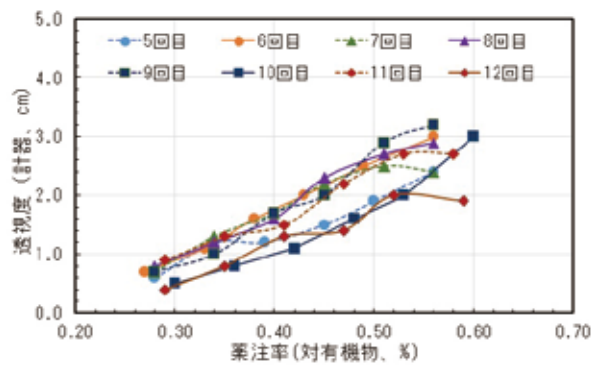


図-9 透視度vs.薬注率(対有機物)

### 2.1.3 濁度、色度

図-10・11には濁度の測定結果、図-12・13には色度の測定結果を示した。濁度の場合には分離液は希釈せずにそのまま測定したが、色度は希釈して、測定後に結果を希釈前の値に換算したのは、前年度と同じである。

図-10・11の濁度の結果を見ると、薬注率が高くなるに従い、濁度の値は低くなっていく傾向を示したのは、前年度の調査と同じである。

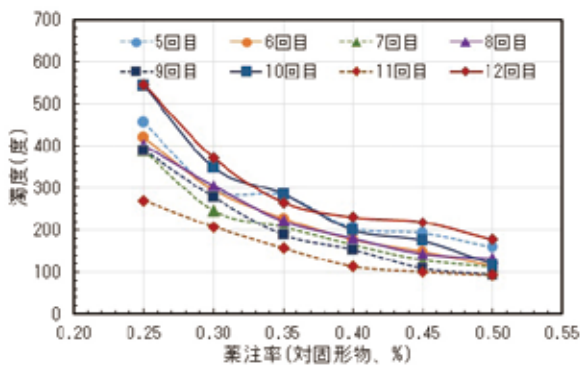


図-10 濁度vs.薬注率(対固形物)

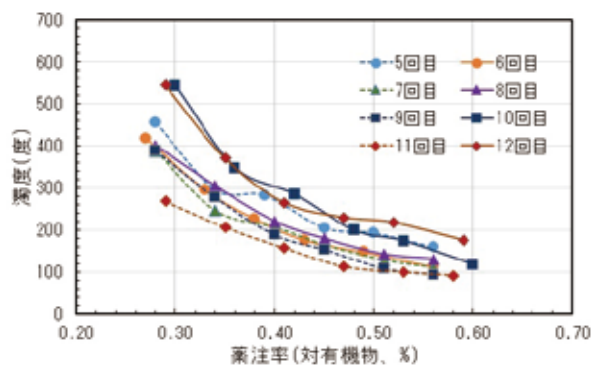


図-11 濁度vs.薬注率(対有機物)

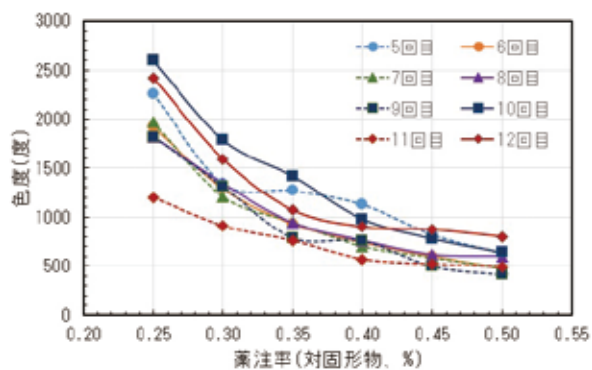


図-12 色度vs.薬注率(対固形物)

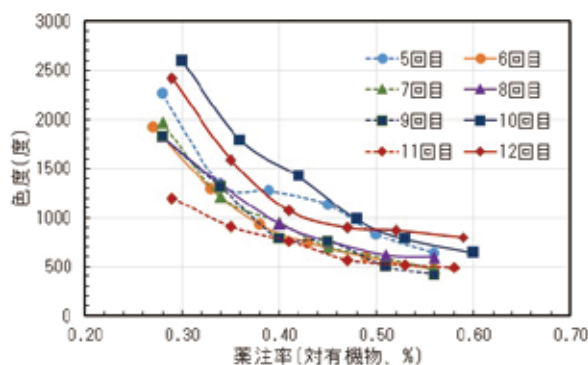


図-13 色度vs.薬注率(対有機物)

図-12・13の色度の結果では、濁度の変化と同様の傾向が見られた。

脱水分離液の目視による観察では、全般的に薬注率が低い場合には、脱水分離液の色は茶色がかった黄褐色であるものが、薬注率が高くなると、茶色が薄まり、薄い黄褐色になるという変化が分かる。また、薬注率が高い場合（対固形物添加率で0.5%）は、分離液の色が薄くなるともに、ポリ瓶内で凝集剤によって形成されたと思われる沈殿物が生じた。

濁度と色度のデータが、類似の変化傾向を示していたので、両者に相関があるか検定を行った。なお、この際のデータは前年度のデータも含めたすべてのものである。データの分布状態は、図-14に示したとおりである。

検定を行った結果は次のとおりであった。

- ・相関係数 : 0.968
- ・95%信頼区間 : 0.949~0.98
- ・P値（有意確率） :  $1.21 \times 10^{-43}$

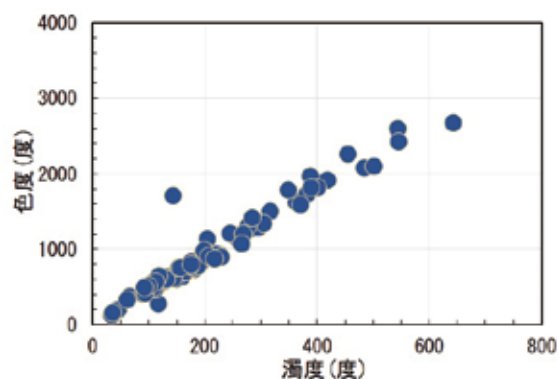


図-14 色度vs.濁度(ビーカーテスト)

ここでP値（有意確率）が、危険率0.05より小さな値であることから、両者の間には有意の相関があると考えられる。これは、前年度の調査と同じ傾向であった。

#### 2.1.4 計測器による測定

今年度も前年度と同じ3種類の計測器で測定を行っている。そこで、前年度分も含んだすべてのデータを対象に、何らかの関係が見られるか確認のため、一つの図にプロットしたものを図-15に示した。

図-15から、透視度に対して濁度と色度は、前年度の結果と同じく、ほぼ同じ関係にあるのではないかと考えられた。そこで、図-16では図-15の曲線的なデータ分布を、縦・横軸それぞれ等間隔軸から対数軸に変更してみたところ、濁度・色度共に透視度に対して両対数軸の図上では、ほぼ直線的な分布になることが分かった。

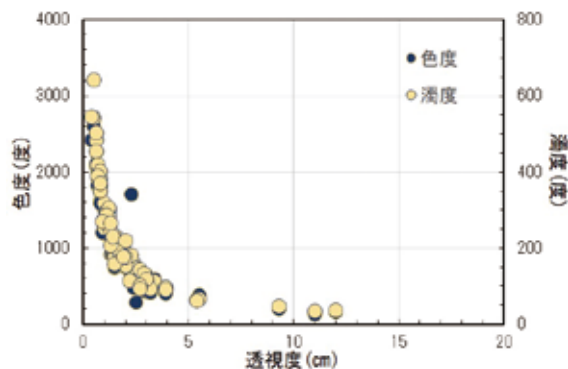


図-15 色度、濁度vs.透視度(等軸)

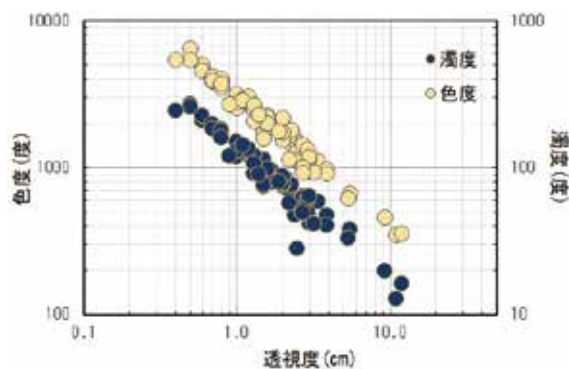


図-16 色度、濁度vs.透視度(対数軸)

次に、3つの項目の各データについて対数を取り、それを用いて相関を算出するとともに、透視度と色度及び濁度間の相関に関する検定を行った。その結果を表-3、4に示した。

表-3 相関行列

	色度	透視度	濁度
色度	1	-0.955	0.967
透視度	-0.955	1	-0.980
濁度	0.967	-0.980	1

表-4 相関の検定結果

項目	透視度vs.色度	透視度vs.濁度
相関係数	-0.955	-0.980
95%信頼区間	-0.972 ~ -0.929	-0.987 ~ -0.968
P値(有意確率)	$1.02 \times 10^{-38}$	$1.07 \times 10^{-50}$

表-3は各変数間の相関係数を示した相関行列である。表-4では、どちらの結果も、有意確率が0.05より小さな値となり、各々の間に有意の相関があることが分かった。

測定器による測定結果が、前年度と同様の傾向を示すことが分かり、データについて同様の処理をできると考えられた。そこで、今回は常に汚泥の処理に影響を及ぼす要因の一つとして、汚泥性状の季節的な変化の影響を考慮するとどうなるかについて検討した。

汚泥性状の年間を通じた変化については、2019、2020年と2021年3月までのデータを整理したものを図-17~19に示した。ここで整理した項目は、気温と日常的に測定している項目の濃縮タンク投入汚泥水温、給泥汚泥のpH、M-アルカリ度である。

図-17は、降水量と給泥汚泥強熱減量の変動を示したものである。この図からは、強熱減量は降雨がない状態では85~90%程度の範囲内にあり、降雨の際には急激な低下を示す傾向にあることが分かる。



図-17 降水量、給泥汚泥強熱減量の変動

図-18には、日平均気温、濃縮タンク投入汚泥水温、給泥汚泥pHの変動を示した。日平均気温は、平年値に対して同様の变化を示した。また、濃縮タンク投入汚泥水温は日平均気温にやや遅れて変化を示していた。更に、その水温変動の範囲は、10~25℃と考えられる。給泥汚泥のpHは、ほぼ濃縮タンク投入汚泥水温と反対の変動を示した。

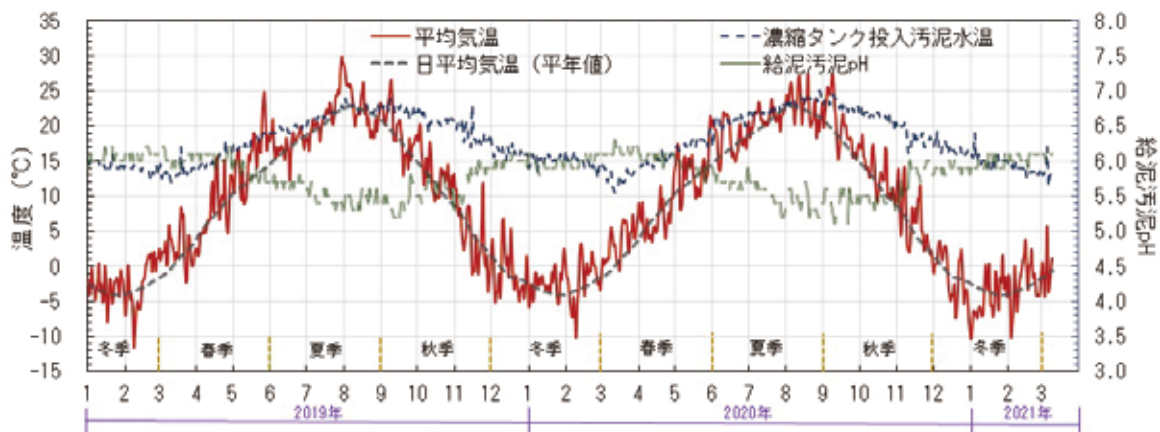


図-18 日平均気温、濃縮タンク投入汚泥水温、給泥汚泥pHの変動

図-19には、給泥汚泥の強熱減量とM-アルカリ度の変動を示した。この2つの項目については、項目間で類似の変動を示すことはない。

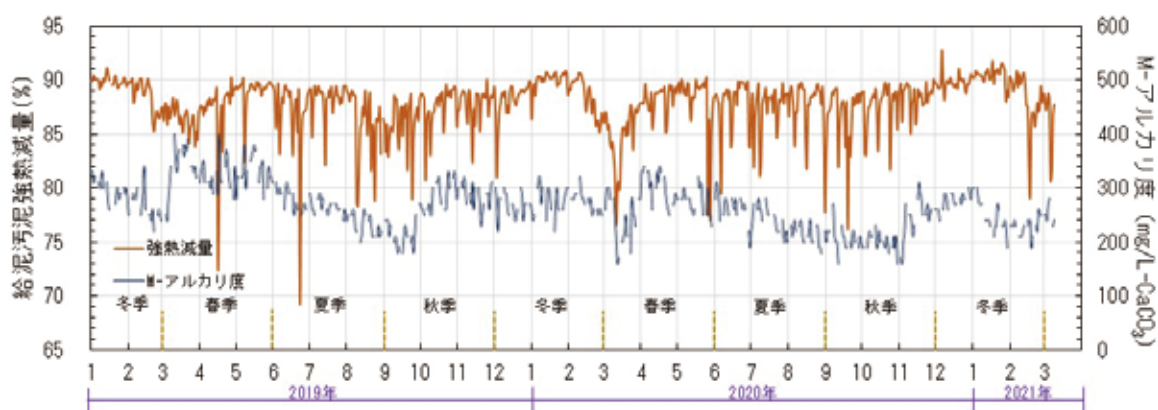


図-19 強熱減量、給泥汚泥M-アルカリ度の変動

季節によってその値が変動すると考えられる項目について、季節的な差異の有無等を調べる方法として、多変量解析法の一つである主成分分析法で分析を行った。その結果を、表-5~7に示した。

表-5~7の結果から判断すると、今回用いたデータは第2主成分までを採用することで説明ができそうである。

これらの結果を基に、各データから得られる主成分得点の分布を図-20に示した。

表-5 主成分分析結果 1

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
給泥汚泥pH	0.703	0.0673	0.708
給泥汚泥強熱減量	0.125	-0.992	-0.0303
濃縮タンク投入汚泥水温	-0.700	-0.110	0.705



表に示した結果から、第1主成分は温度という外的な要因、第2主成分は汚泥の性状に関する要因というような考え方ができそうである。それに基づいて考えると、**図-20**から、今回のデータは夏季・秋季のグループと冬季・春季のグループに分けることができそうである。図では、主成分1で0を境として正の値と負の値を示すグループに分けられ、主成分2では夏季と秋季はグループとして分けてみることは難しいと考えられる。

単純に考えれば、四季による4つのグループが生じるのではないかと考えられるが、今回使用したデータによる結果では、グループ化可能なものは夏季・秋季グループと、冬季・春季グループと考えられる。これらを使って、ビーカーテストの結果から前年度調査と同じく計測器の測定値から薬注率を推定できないか重回帰分析を行ってみた。

前年度及び今年度の調査で、透視度、濁度、色度の3つの測定値は、相関関係があることが分かったので、これらをすべて説明変数として重回帰分析に使うのは、分析方法上不適切である。そこで、これらの中から透視度を説明変数として使い、さらにVTS（強熱減量）も変動する要因であることから説明変数に加えて、薬注率を目的変数とした重回帰式を求めた。その結果を**表-8、9**に示した。

但し、この結果は有機物当りの薬注率の値を目的変数とした場合のものであり、それは目的変数とした薬注率について、固形物当りと有機物当りの場合で、さらに対数を取った場合と取らない場合について計算し、より寄与率（ $R^2$ ）が高い値となった結果を採用したためである。

表-6 主成分分析結果2

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
主成分分散	1.93	0.986	0.0894

表-7 主成分分析結果3

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
標準偏差	1.39	0.993	0.299
分散の寄与率	0.642	0.329	0.0298
累積寄与率	0.642	0.970	1.00

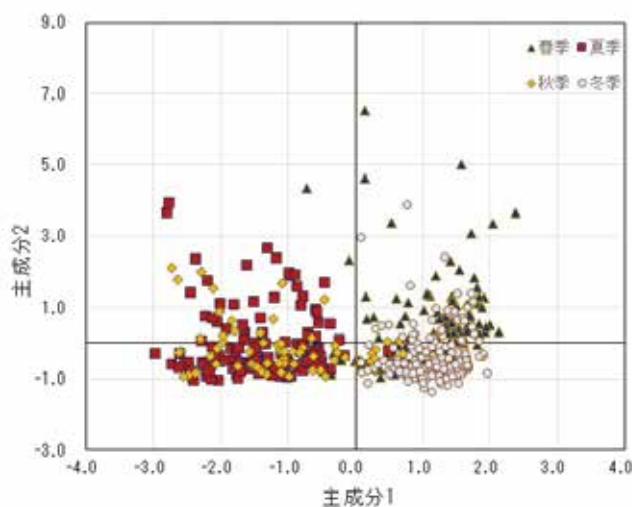


図-20 主成分得点による散布図

表-8 重回帰分析結果（夏季・秋季データによる）

	偏回帰係数	標準誤差	t 統計量	有意確率 p 値
切片	-3.28	1.07	-3.06	$4.90 \times 10^{-3}$ ***
X1:Log(透視度)	0.446	0.0236	18.9	$4.05 \times 10^{-17}$ ***
X2:VTS	0.0407	0.0120	3.37	$2.26 \times 10^{-3}$ ***

有意性  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
残差の標準誤差 自由度  
Residual standard error: 0.02673 on 27 degrees of freedom  
決定係数 自由度修正済決定係数  
Multiple R-squared: 0.930, Adjusted R-squared: 0.9248  
F-検定 有意確率  
F-statistic: 179.3 on 2 and 27 DF, p-value:  $<2.57 \times 10^{-16}$

表-9 重回帰分析結果 (冬季・春季データによる)

	偏回帰係数	標準誤差	t 統計量	有意確率 p 値
切片	-1.70	0.258	-6.57	$8.28 \times 10^{-8}$ ***
X1:Log(透視度)	0.306	0.0283	10.8	$2.77 \times 10^{-13}$ ***
X2:VTS	0.0144	0.00293	4.92	$1.59 \times 10^{-5}$ ***

有意性  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
残差の標準誤差 自由度  
Residual standard error: 0.0529 on 39 degrees of freedom  
決定係数 自由度修正済決定係数  
Multiple R-squared: 0.753, Adjusted R-squared: 0.740  
F - 検定 有意確率  
F-statistic: 59.5 on 2 and 39 DF, p-value:  $1.43 \times 10^{-12}$

重回帰式は、 $y = a + bx_1 + cx_2 + \dots$  という形式で表現されるので、その形式で表-8の結果を示すと次のようになる。

$$y = -3.28 + 0.446\text{Log}(x_1) + 0.0407x_2 \dots \text{式①}$$

同じく表-9の結果は、次のようになる。

$$\text{Log}(y) = -1.70 + 0.306\text{Log}(x_1) + 0.0144x_2 \dots \text{式②}$$

但し、両式とも  $y$  : 対有機物薬注率(%)  $x_1$  : 透視度(cm)  $x_2$  : VTS(%)とする。

結果を見ると、夏季・秋季のデータを用いた方が冬季・春季のデータを用いた場合より予測精度は良いという結果になった。図-20から分かるように、夏季・秋季のデータは重なり合って分布しているが、冬季・春季は2つのグループに分けてもよいのではないかと考えられるような分布を示している。このような相違が、回帰分析の結果にも表れたのではないかと考えられる。

汚泥の性状の違いを考慮した分析をしようとするならば、今回の結果に限れば少なくとも夏・秋季と冬・春季の2つに分けて考えるのが、良いのではないかと考えられる。

今年度の調査では、前年度と同じ計測器のほかに、粘度計も使用して計測を行った。これは、脱水分離液で高分子凝集剤の添加による影響を見るのに、ほかの計測器も使えるか検討のために行ったものである。

今回測定を行ったのは、高分子凝集剤をそれぞれ純水、砂ろ過水に溶解した場合と、実機の高分子凝集剤の粘度比較、高分子凝集剤の低濃度溶液の粘度、ビーカーテストで発生した分離液の粘度である。

高分子凝集剤を純水、砂ろ過水に溶解した場合の結果を図-21に、純水で高分子凝集剤を溶解し、濃度を3段階に変えた場合の粘度を図-22に、同じく砂ろ過水で高分子凝集剤を溶解し、濃度を3段階に変えた場合を図-23に、低濃度高分子溶液の粘度を図-24に、ビーカーテストの際の添加率毎の脱水分離液の粘度を図-25に示した。

図-21には、高分子凝集剤を溶解する際の溶媒として純水（蒸留水）と砂ろ過水を使って、どちらも濃度0.2%の溶液を作った際の粘度と温度の関係を示した。また、比較として実機で使われている高分子凝集剤溶液の粘度の測定結果も示した。

図から分かるように、純水で溶解した場合の粘度が、砂ろ過水で溶解した場合より大きな値を示した。実機の場合は、純水と砂ろ過水の間の値を示した。実機の場合は、溶解濃度が正確には0.2%からずれており、この時には0.2%を下回っていたと思われる。

同液温で純水溶解と砂ろ過水溶解の粘度を比較すると、砂ろ過水溶解液は純水溶解液の半分程度の値を示していた。同じ物質を同じ濃度に溶解したのであるが、溶媒が異なることで粘度に差が生じてしまうことが分かった。純水は水道水を原水として、イオン交換樹脂で処理後に蒸留したものである。一方、砂ろ過水は下水を生物処理した後の処理水を、砂ろ過装置で処理したものである。純水と砂ろ過水の違いを考えると、溶解している塩類の濃度の違いが考えられる。

図-22、23には、それぞれ純水と砂ろ過水で所定の濃度に溶解した高分子凝集剤の温度と粘度の関係を示した。

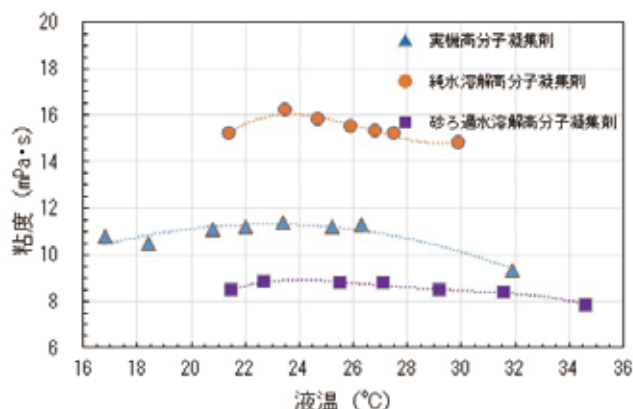


図-21 高分子凝集剤の溶媒による粘度比較

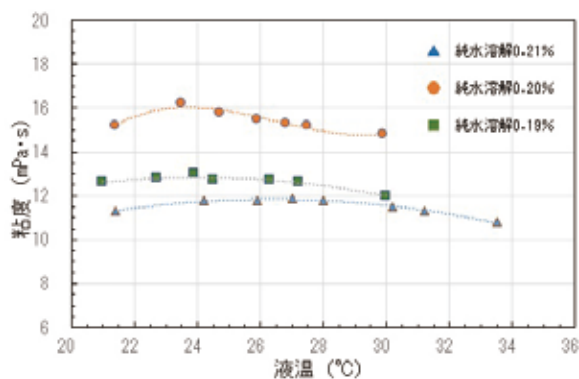


図-22 高分子凝集剤の濃度による粘度比較 1

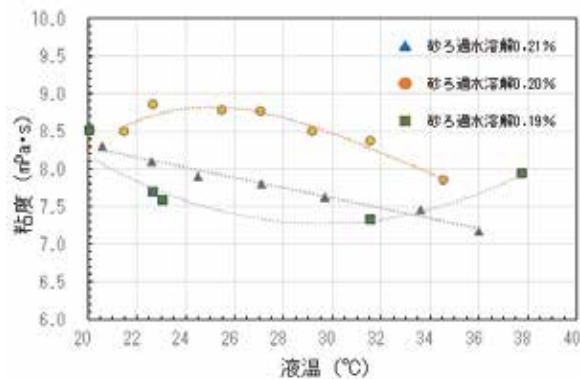


図-23 高分子凝集剤の濃度による粘度比較 2

2つの図を見比べると、やはり純水で溶解した場合と砂ろ過水で溶解した場合では、前者は後者の倍程度の粘度の値を示した。また、濃度は0.21、0.20、0.19%の3段階として測定したが、濃度0.20%が最も高い値を示し、他の条件はより低い値を示した。但し、今回は温度条件を細かく制御できなかったため、あくまでもこの結果は参考ということで示した。

図-24には、ビーカーテストで高分子凝集剤の未反応分が分離液に存在する場合を想定し、低濃度（希薄濃度）における高分子凝集剤溶液の粘度を示した。

測定は0.2%の高分子凝集剤溶液を原液として希釈し、10、50、100ppm溶液として同一温度（室温：21.4℃）で測定した。なお、希釈は原液の溶解に使用した純水または砂ろ過水で行った。

この場合でも純水で溶解した方が、砂ろ過水で溶解したものより高い粘度を示していた。また、濃度の増加に対応して純水溶解の方は上昇傾向が見られたが、砂ろ過水溶解の方は殆ど純水溶解溶液のような粘度の変化は見られなかった。

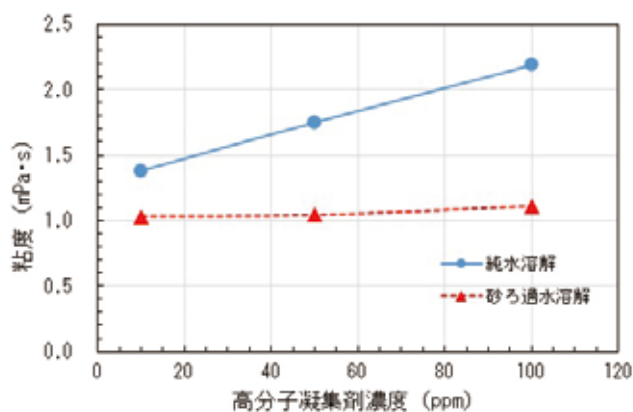


図-24 低濃度高分子凝集剤の粘度

図-25には、2回のビーカーテストの際の、高分子凝集剤添加率（対固形物）と脱水分離液粘度の関係を示した。この測定の際に液温は制御していなかったため、各データは19.4～22.6℃の間にあった。図に示したとおり、この結果では特に共通する傾向は認められなかった。温度の分布範囲は、それほど広くなかったことから、粘度への影響はあまり考えられず、その他の影響があったのではないかと考えられる。その他の影響を及ぼす要因としては、汚泥の塩類濃度等が考えられるが、今回の調査ではそこまでは調べられなかった。

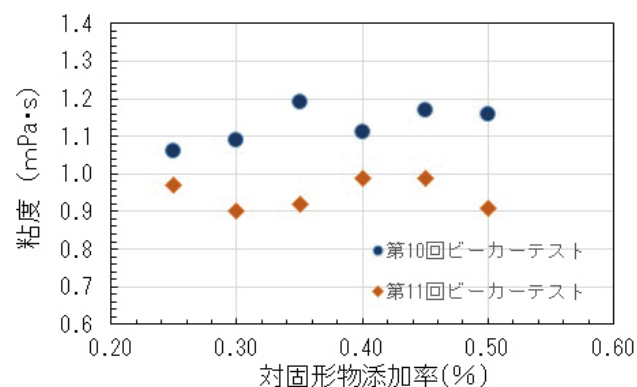


図-25 ビーカーテスト分離液粘度

今回粘度を指標として、汚泥の凝集状態を知ることができないか試してみたが、温度や溶媒の性状等が関わってくることが分かり、今後これについて調査するならば、これらの要因の制御も考慮に入れる必要があると考えられる。

## 2.2 実機での調査

### 2.2.1 全般状況

図-26、27（図-17の再掲）には2019年から2021年3月までの気温・汚泥水温・強熱減量を示した。各図から分かるように、今回の調査期間中の気温、汚泥水温、汚泥強熱減量は前年と大きく異なる点はなかった。なお、季節区分は「気象庁観測統計指針」に従った。



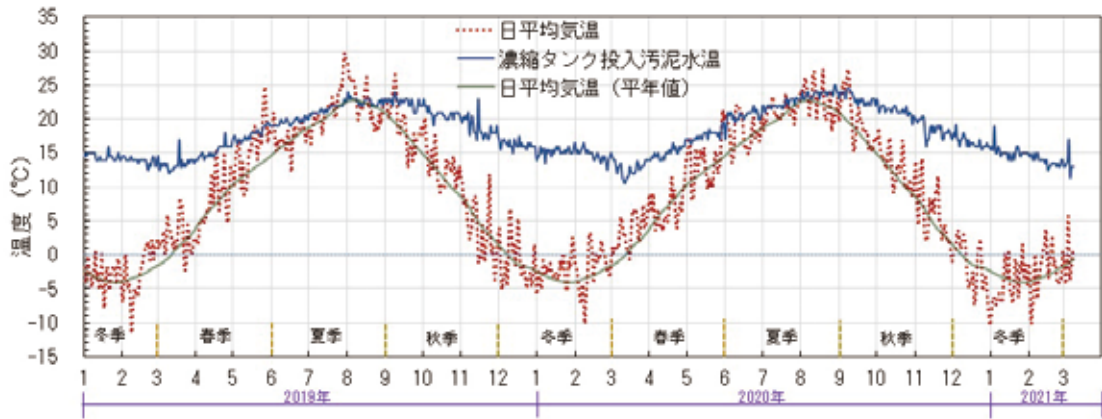


図-26 気温・汚泥水温の変動

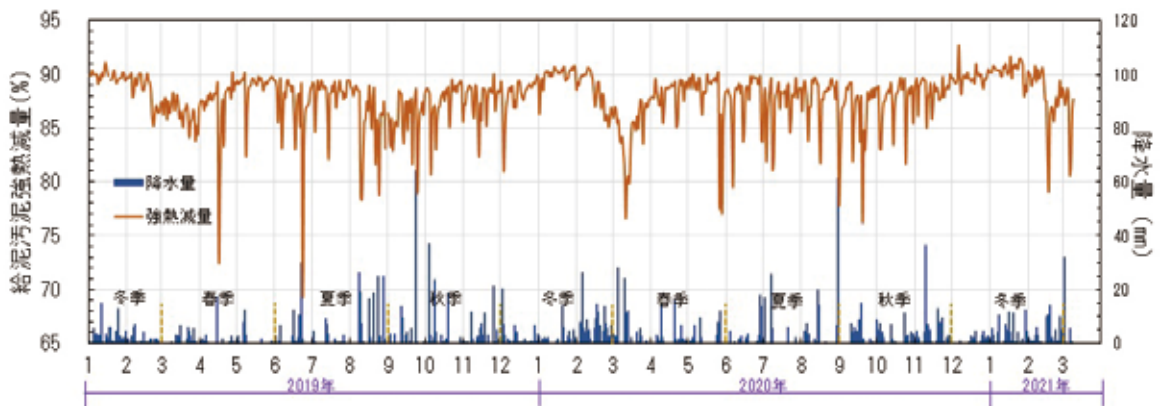


図-27 降水量・汚泥強熱減量の変動 (図-17の再掲)

表-10、図-28、29にはデータ収集期間中（令和2年7月～令和3年3月上旬）の日報から得た脱水機運転時の薬注率設定値について、その平均値を示した。図は脱水機毎に平均値と標準偏差を示したものである。図中の黒点が平均値、上下の線が標準偏差となっている。

表-10に示した薬注率設定値の平均値は、No.3脱水機の令和2年12月に行った定期整備前及び整備後のものである。整備前の3台の薬注率平均値の差は、検定の結果では有

表-10 各脱水機の薬注率平均値

脱水機	No.3脱水機整備前		No.3脱水機整備後	
	薬注率平均 (%)	n	薬注率平均 (%)	n
No.1	0.309	48	0.353	28
No.2	0.329	54	0.334	29
No.3	0.362	33	0.343	27

※表中のnはデータ数を示す。

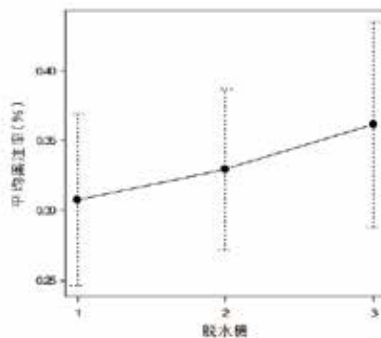


図-28 脱水機別薬注率 (No.3整備前)

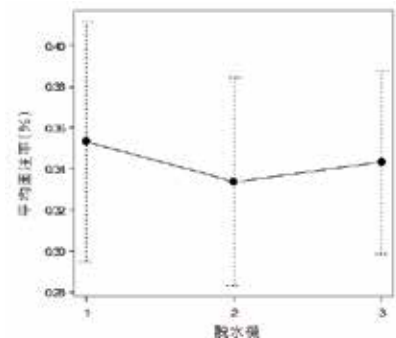


図-29 脱水機別薬注率 (No.3整備後)

意であった。従って、3台の薬注率の平均値には有意の差があると言える。また、脱水機の薬注率平均値について各々の差の有意性を調べると、No.1とNo.3の平均値の間では有意の差が認められたが、No.1とNo.2、No.2とNo.3の平均値の間では有意の差は認められなかった。

これに対して、表-10・図-29のNo.3脱水機整備後では、平均値に対する検定を行っても、3台の脱水機薬注率の平均値に有意の差は認められなかった。従って、No.3脱水機の値は整備前後で、他の脱水機と異なる傾向を示すと考えられることから、今回も前年度の調査と同じくNo.1脱水機の値を検討に使うこととした。

図-30、31にはデータ収集期間中のNo.1脱水機の汚泥性状、分離液測定結果、機器設定条件等の運転状態を示した。なお、この期間中No.1脱水機は連続して運転されていたわけではなく、断続的な運転となっていた。そのため、図中では試料を採取した時刻及びその直近の時刻の機器運転データをプロットした。

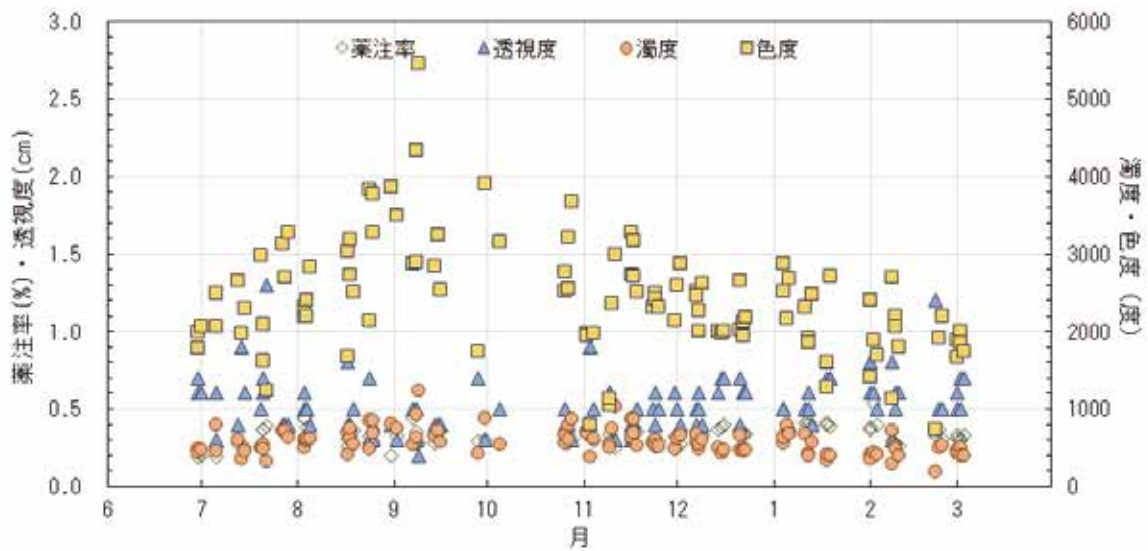


図-30 データ収集期間中のNo.1脱水機分離液の透視度・濁度等

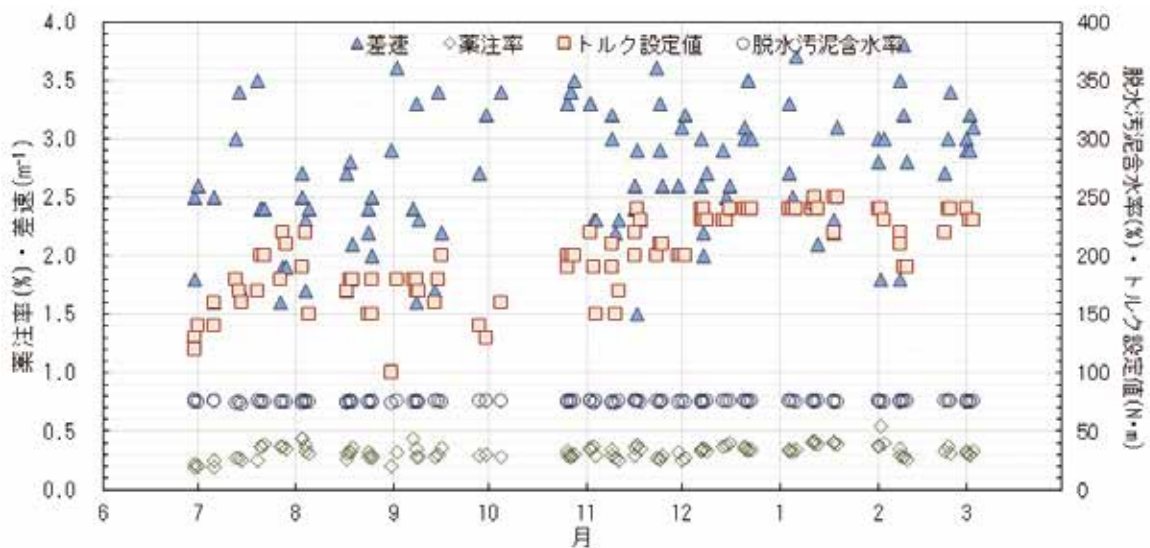


図-31 データ収集期間中のNo.1脱水機差速・汚泥性状等

図-31の中で、差速は脱水機のボウルとスクリュウの回転数の差を示しており、ボウル内部の汚泥搬送速度の目安である。また、トルク設定値は、汚泥搬送に係るスクリュウの運転中に生じるトルクの設定値を示し、脱水機の運転制御指標の一つである。

なお、脱水機の遠心力設定は、汚泥の性状に応じて6月から9月中旬までは1700G、9月下旬から12月中旬までは1900G、それ以降は2100Gであった。

これらの因子が薬注率と組み合わせられて、最終的に脱水汚泥含水率を所定の値以下とするように脱水機が運転されている。

図では季節によるトルク設定値や分離液の性状の違いなどが見られるが、今回特別な変化を示したものは無く、通常どおりの運転をしていたと言える。

## 2.2.2 濁度、色度

図-32には、ビーカーテストの際の分離液のデータ（図-14）とNo.1脱水機のデータを重ね合わせたものを示した。この図から、ビーカーテストの際の分離液とNo.1脱水機の分離液の値は、四季を通して前年度の調査の場合と同じく、類似した傾向を示しているのではないかと考えられる。従って、ビーカーテストの結果が実機と同様のものであり、実機の推定に使うこともできるのではないかと考えられる。

図-33には透視度と色度、濁度との関係を示した。今回の実機調査での測定結果でも、前年度と同じく透視度と濁度、色度の間には一定の関係が見られた。

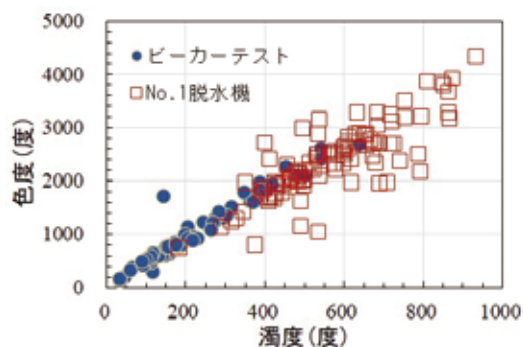


図-32 色度vs.濁度(ビーカーテスト、実機)

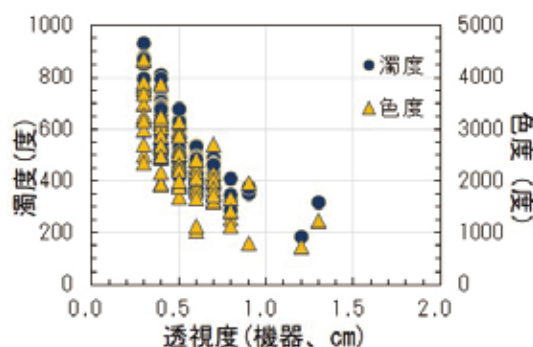


図-33 濁度、色度vs.透視度(No.1脱水機)

## 2.2.3 計測結果による指標検討

ビーカーテストの結果が実機の運転と整合するならば、測定機器の実機における使用も可能と考えられることから、実機での測定機器の利用について検討した。

図-34、35には今回の実機データのうち、No.1脱水機について薬注率と透視度、濁度の関係を示した。図から分かるように、薬注率と測定値の間では明確な傾向が見られず、これから薬注率の過剰、適正、過少を判断するのは困難である。

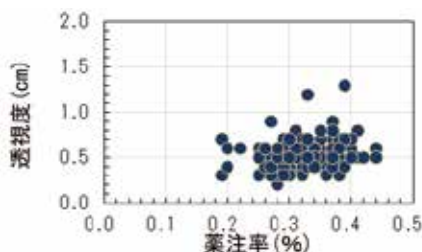


図-34 透視度 vs.薬注率  
(No.1脱水機)

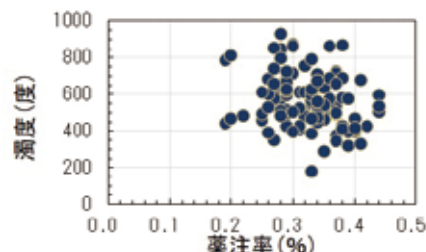
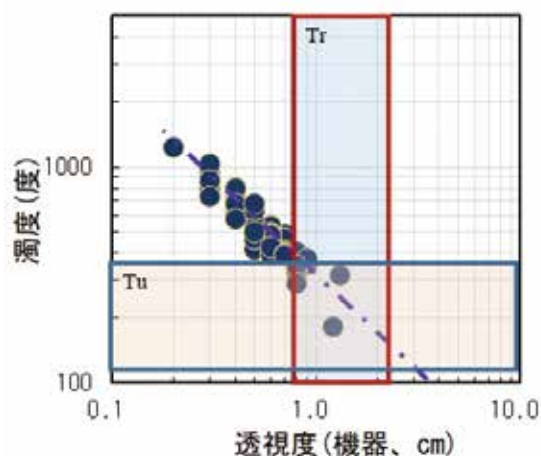


図-35 濁度 vs.薬注率  
(No.1脱水機)



ビーカーテストでは、**図-16**に示したように、透視度と濁度は両対数目盛でプロットすると、ほぼ直線に乗るという関係が見られた。そこで、実機（No.1 脱水機）の結果を両対数軸の図上にプロットしたのが、**図-36**である。前年度の調査でも同様の関係が見られたが、その際は冬季から春季にかけてのデータのみであった。それに対して、今回は夏季から春季までの通年のデータに基づくものであり、年間を通して同じ関係が成り立つということが推測される。

この図中の一点鎖線の直線は、ビーカーテストの際に得られた濁度と透視度の関係（**図-16**参照）を次の回帰式で示したものである。

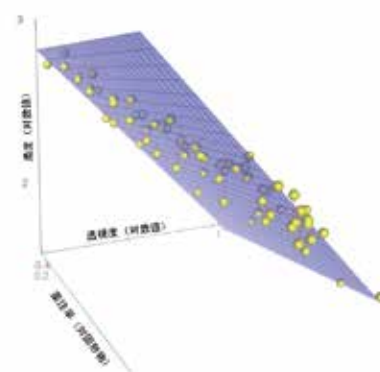


**図-36 濁度vs.透視度 (No. 1 脱水機)**

$$y = 295x^{-0.861} \dots \text{式③}$$

但し y : 濁度 x : 透視度とし、危険率 1 % で有意であることを確認済み。自由度修正済み決定係数 0.915

式③と薬注率の関係を、**図-37**で考えてみる。濁度、透視度、薬注率の三つの軸で構成される空間を考え、各データをプロットしたものが**図-37**である。青紫色の平面は、これらのデータから最小 2 乗法で得られるものである。この空間で、式③は濁度と透視度で作られる平面に正対して、図中の青紫色の平面を真横から見たものと考えられる。薬注率は、透視度と濁度が作る平面に直交する軸とすると、式③と薬注率との関係を、この図から推測することができる。



**図-37 式③と薬注率の関係**

**図-36**中の着色された範囲は、ビーカーテストで適正薬注率と推測された条件の範囲を示しており、「Tr」は透視度、

「Tu」は濁度の範囲である。どちらの場合も一定の範囲を持っているのは、ビーカーテストの際の汚泥性状が一定ではなく、同じ適正薬注率であっても濁度・透視度にばらつきが生じたことによる。

ビーカーテストと実機で薬注率と脱水分離液の性状の関係に同様の傾向があるとするならば、データが2つの範囲の重なる部分に分布すると、ビーカーテストの結果で適正と思われる範囲の薬注率で運転されており、反対にそこを外れた部分に分布すると、適正と思われる範囲を外れて運転されているのではないかと推測される。透視度の場合は、範囲の下限より低い値は薬注率が低い場合である。一方、濁度の場合は、範囲の上限より高い値は薬注率が低い場合となる。

データの分布をみると、殆どが着色した枠外にあることから、実機の薬注率はビーカーテストで適正と思われる範囲より低目であったのではないかと考えられる。この結果は、前年度の調査



の際に作成した図上のデータ分布と同じ傾向であった。

今回の調査から、前年度の調査で検討した透視度センサーと濁度計の測定値を組み合わせることで、実機の運転状態のうち薬注率について推測する方法は、年間を通じて適用可能なのではないかと考えられる。例えば、**図-36**からデータのプロットを除いた、**図-38**のような図を予め用意しておき、測定データを図にプロットして、図中でのプロット位置から、その薬注率の状態を判定するというような使い方が考えられる。

汚泥の脱水時の状態を判断する一つの手法として、このような方法を検討した。今後もビーカーテストや、実機での測定に機器を取り入れることで、客観的な判断を可能にする手法について考えていきたい。

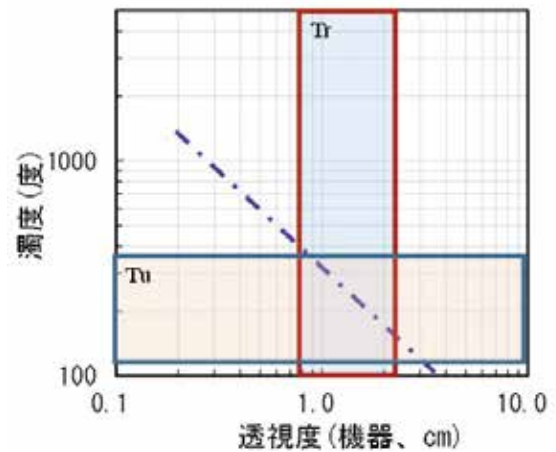


図-38 濁度vs.透視度

### 3. まとめ

測定機器を利用した遠心脱水機の運転状態把握方法について前年度に引き続き調査を行い、次のような結果を得た。

- ① 汚泥への高分子凝集剤添加率を6段階としたビーカーテストを脱水試験まで行い、その際に発生する脱水分離液の測定機器による透視度、濁度、色度の測定を行った。
- ② 前年度の調査と同じく、各測定値の間には相関関係があり、透視度と濁度の測定結果からは統計的に有意な回帰式を得ることができた。
- ③ 実機の脱水分離液の濁度と色度について測定したところ、その結果はビーカーテストの場合とほぼ同じ傾向を示すことが分かり、ビーカーテストで得た知見を実機に当てはめることが可能ではないかと考えられた。
- ④ 脱水機の運転状態判断の客観的方法を、機器測定値を基に作ることについて検討した。通年のデータでも前年度の冬季～春季のデータと同じ傾向が見られたことから、前年度と同じく、透視度と濁度の測定結果を組み合わせ、図上で薬注率過少・適正の範囲内にあるかを判断する方法を適用可能なことが分かった。今後も、測定機器を使った客観的な判断を可能とする方法について考えていきたい。