

余剰汚泥の浮上濃縮装置

Flotation Thickener for Excess Sludge

環境装置事業部 技術部神戸G

岡 靖
Yasushi Oka

Dissolved air flotation is a gravity separation process in which air bubbles attach to solid particles.

This process is now effectively and economically used to thicken excess sludge from an activated sludge plant.

This paper discusses the sludge flotation thickening equipment (capacity, 2,243 m³ per day) that Shinko-Pfaunder has installed at municipal sewage treatment facilities.

余剰汚泥の効率的、経済的濃縮設備として、浮上濃縮装置が脚光を浴びている。当社ではこのほど、某市下水処理場に処理量2,243m³/dの浮上濃縮機械設備を納入し、良好な結果を得たのでその概要を紹介する。

1. ま え が き

下水処理施設の維持管理には多額の経費を必要としている。したがって、施設の効率化、省エネルギーによる維持管理費の低減が緊急の課題となっている。このような背景のなかで汚泥処理プロセスの見直しが進められている。

汚泥処理の基本的プロセスは、濃縮—調質—脱水—焼却の各工程の組合せにより構成されている。汚泥処理プロセスの最初の工程である濃縮の目的は、汚泥の流動性を保ったままでその体積を極力減容化することにより、後続の汚泥処理工程の効率化、規模の縮小化を図ることである。したがって濃縮は効率的、経済的汚泥処理のためには必要不可欠のものである。従来の重力濃縮では、高濃度の濃縮汚泥が得られず、また濃縮効果も不安定である。またSS回収率も悪く水処理系へも悪影響を及ぼしている。これらの欠点を是正するために、生汚泥と余剰汚泥を分離して濃縮する方法が考案された。すなわち、生汚泥は従来どおりの

重力濃縮、余剰汚泥は高効率の浮上濃縮装置がよく使われるようになってきた。

当社でも公共下水処理場向として、すでに5箇所の処理場に8基の浮上濃縮装置を納入し、順調に稼働している。本稿では、当社の最近の実績例として、某市下水処理場に納入した浮上濃縮設備とその試運転結果の概要を紹介する。

2. 浮上濃縮のメリット

浮上濃縮は、その処理原理からも余剰汚泥の性状によく合致し、高い固形物負荷で高濃度の汚泥が得られ、しかも処理コストが比較的安いことから、余剰汚泥の濃縮には最も適した方法とされている。浮上濃縮を余剰汚泥の単独濃縮に採用することにより次のようなメリットが生れる。

汚泥体積の減容化により

- 1) 脱水機処理能力のアップ
- 2) 脱水薬品量の減少
- 3) 消化槽の処理量アップと加温熱量の減少
- 4) その他、熱処理、凍結融解に要するエネルギーの減少

など汚泥処理関係の他に、浮上濃縮は高負荷で安定した余剰汚泥の処理ができるため、

- 5) 高いSS回収率によって、水処理系に返送されるSSをカットできる

- 6) 余剰汚泥引抜量に余裕ができ、安定した処理水質を得ることができる

という水質管理面でのメリットも見逃すことができない。

3. 浮上濃縮プロセス

本装置は空気を加圧条件下(4 kg/cm²G)で水に溶解した空気溶解水と余剰汚泥を減圧下で混合し、浮上濃縮槽にて大気圧下に解放させ、その際に空気溶解水より発生する微細気泡を汚泥粒子に付着させ、汚泥の見掛比重を小さくすることにより、濃縮槽表面に汚泥を浮上、濃縮する原理を利用した減圧下混合方式による、加圧浮

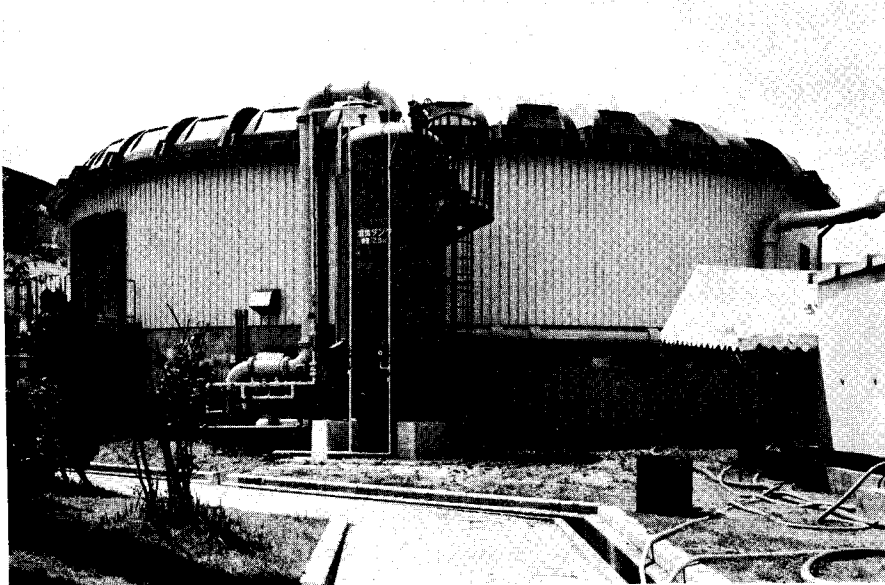
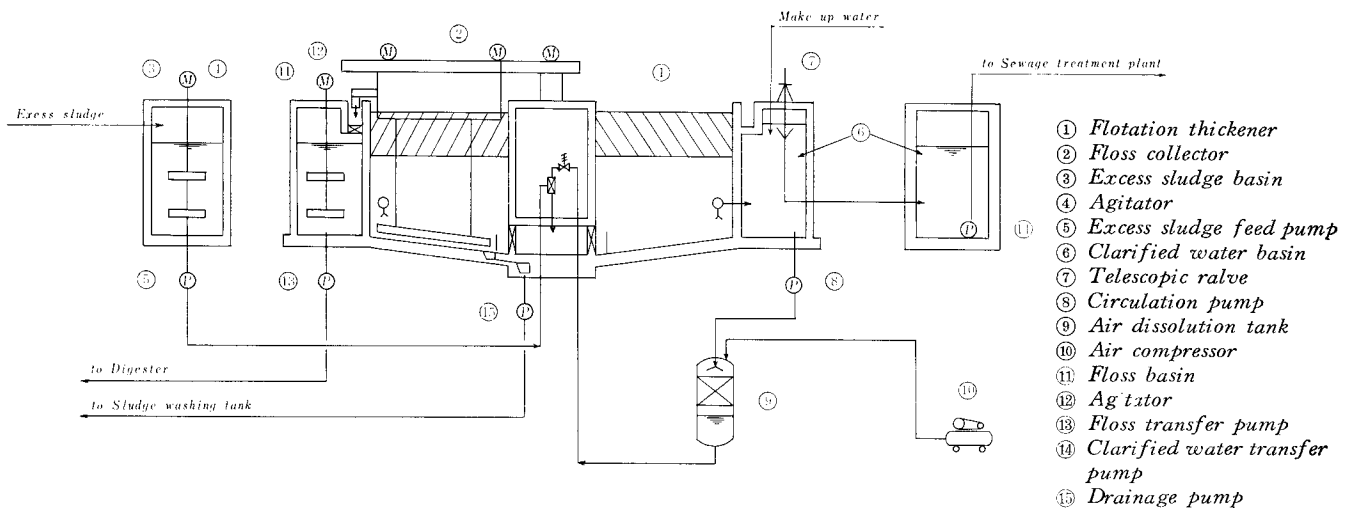


写真1 浮上濃縮棟外観

Photo.1 General view of flotation thickener building



第1図 浮上濃縮設備概略フロー
 Fig. 1 Flow diagram of flotation thickening unit

上濃縮装置である。

第1図に概略フローを示した。以下に順次プロセスの概要を説明する。

1) 余剰汚泥の受入

最終沈殿池から間歇的にポンプ圧送される余剰汚泥を、余剰汚泥貯留槽に貯留する。次に余剰汚泥供給ポンプにより、連続して定量を浮上濃縮槽に供給する。この際の供給量は電磁流量計で確認する。

なお、余剰汚泥貯留槽には汚泥の沈殿防止と均一化を目的として攪拌機を設置している。

2) 加圧水の受入および微細気泡の発生

浮上濃縮で重要な働きをする微細気泡は、次の要領で発生させ汚泥に付着させる。

空気圧縮機で混気タンク (Air dissolution tank) に空気を送り込み 4 kg/cm²G の圧力下で、水中に空気を飽和溶解度まで溶解させる。次に空気溶解水 (以下混気水と呼ぶ) は一次圧力調節弁 (減圧弁) を経て、減圧下で余剰汚泥と混合され、浮上濃縮槽に放出される。この際に混気水より微細気泡が析出し、汚泥に付着する。なお、加圧水は浮上濃縮槽の分離水を循環使用している。

3) 汚泥の濃縮と貯留

濃縮槽に流入した余剰汚泥と混気水の混合液は、槽内下部にある整流板を経て、槽内へ分散される。微細気泡の付着した汚泥は槽上部に浮上し、分離水は分離水収集管を通じて分離水貯留槽に貯留される。槽上部に浮上した汚泥は、浮力により圧密濃縮され濃縮汚泥層 (以下フロス層と呼ぶ) を

形成する。フロス層のレベルは分離水貯留槽に設けた分離水越流弁 (Telescopic valve) にて調整する。

所定の濃度に達したフロスは、フロス掻取機により掻取られ、トラフを通じてフロスピットに貯留される。一方、分離水は加圧水として循環使用されるとともに、分離水越流弁を通じて分離水排水槽に貯留され、排水ポンプにより水処理系へ返送される。

4) フロスの搬出

フロスピットに貯留されたフロスは攪拌機により脱気され、フロス移送ポンプにより消化タンクへ圧送される。

5) 底部沈殿物の除去

余剰汚泥中の夾雑物等の一部浮上し難い汚泥は浮上槽底部に徐々に蓄積し、これが嫌気化することにより濃縮度の悪化及び分離水SS上昇の原因になる。したがってこれを

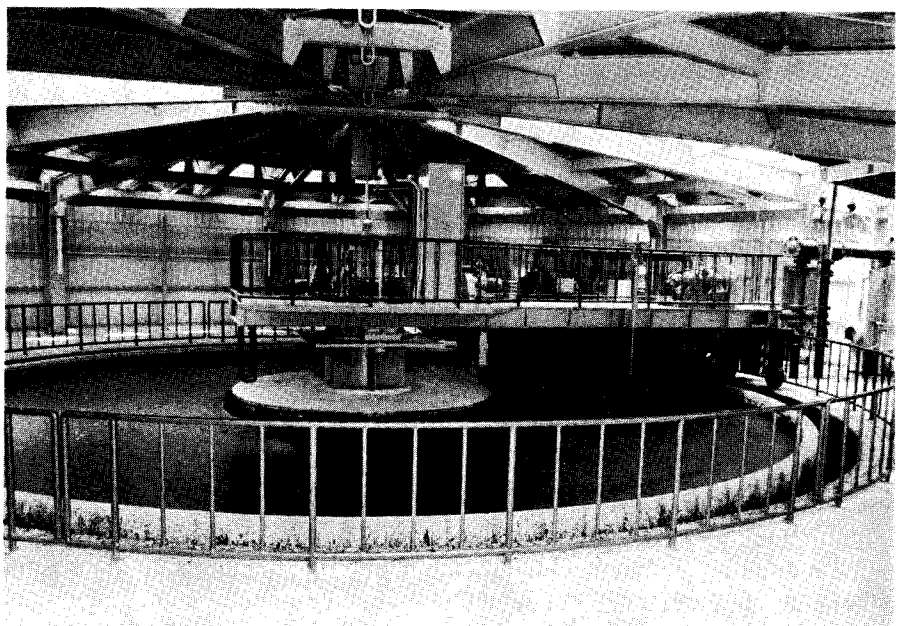


写真2 浮上濃縮槽及びフロス掻取機
 Photo. 2 Flotation thickener and floss collector

防ぐために底部汚泥掻寄機（フロス掻取機に装備）により沈殿汚泥を掻寄せ、沈殿汚泥移送ポンプで系外に排出している。

4. 納入装置の概要

4.1 設計条件

余剰汚泥供給量	2,243 m ³ /d
余剰汚泥濃度	7,000 mg/ℓ (平均)
固形物負荷	120~150 kgSS/m ² ・d
気固比(A/S)	0.02 kg・Air/kg・SS
フロス濃度	3.5%以上
固形物回収率	79%以上分離水 SS 200mg/ℓ (以下)

4.2 浮上濃縮装置主要機器諸元

浮上濃縮槽

形式	鉄筋コンクリート製円形槽
寸法	内径 12,000 mm 側深 4,580 mm
浮上面積	有効 101.67 m ²
池数	1池
フロス掻取機	
形式	スクロール形フロス掻取機 (回転ドラム形中央駆動式)
駆動装置	台車走行用 走行速度 1.1~4.07 m/min 0.4 kW バイエルサイクロ可変減速機 ドラム回転用 回転数 2.0~8.0 r.p.m. 1.5 kW バイエルサイクロ可変減速機 スクリュウコンベア用 回転数 62 r.p.m. 3.7 kW サイクロ減速機
数量	1台

余剰汚泥貯留槽攪拌機

形式	ピッチドバドル式4枚翼2段
翼径	1,350 mm
回転数	42 r.p.m.
電動機	5.5 kW × 4P × 400 V
数量	1台

余剰汚泥供給ポンプ

形式	一軸ネジポンプ
口径	150 mm
揚水量	1.6 m ³ /min
揚程	10 mAq
電動機	15 kW × 4P × 400 V
数量	2台 (内1台予備)

加圧水ポンプ

形式	片吸込渦巻ポンプ
口径	200 × 150 mm
揚水量	5.0 m ³ /min
揚程	50 mAq
電動機	75 kW × 4P × 400 V
数量	2台 (内1台予備)

混気タンク

形式	鋼板製円筒立形
----	---------

寸法 内径 1,900 mm

直線部高さ 5,000 mm

有効容量 12.5 m³

使用圧力 常用 4.0 kg/cm² G

最高 7.0 kg/cm² G

空気溶解効率 80%以上

数量 1基

空気圧縮機

形式 圧力スイッチ式

吐出空気量 830 Nℓ/min

最高使用圧力 9.5 kg/cm² G

電動機 7.5 kW × 4P × 400 V

数量 2台 (内1台予備)

フロスピット攪拌機

形式 ピッチドバドル式4枚翼2段

翼径 1,600 mm

回転数 30 r.p.m.

電動機 5.5 kW × 4P × 400 V

数量 1台

フロス移送ポンプ

形式 スクリュー渦巻ポンプ

口径 100 mm

揚水量 0.6 m³/min

揚程 19 mAq

電動機 7.5 kW × 4P × 400 V

数量 2台 (内1台予備)

分離水越流弁

形式 手動開閉台付テレスコープ弁

口径 400 mm

ストローク 800 mm

数量 1台

分離水排水ポンプ

形式 着脱式水中汚水ポンプ

口径 125 mm

揚水量 2.2 m³/min

揚程 11 mAq

電動機 11 kW × 4P × 400 V

数量 2台

沈殿汚泥引抜ポンプ (既設ポンプ流用)

形式 無閉塞渦巻ポンプ

口径 100 mm

揚水量 1.0 m³/min

揚程 10 mAq

電動機 5.5 kW × 4P × 400 V

数量 1台

付帯設備

余剰汚泥貯留槽及びフロスピット脱臭装置

脱臭塔

型式 FRP製立形乾式脱臭塔

処理風量 3.0 m³/min

処理臭 臭気強度2以下

数量 1基

脱臭ファン

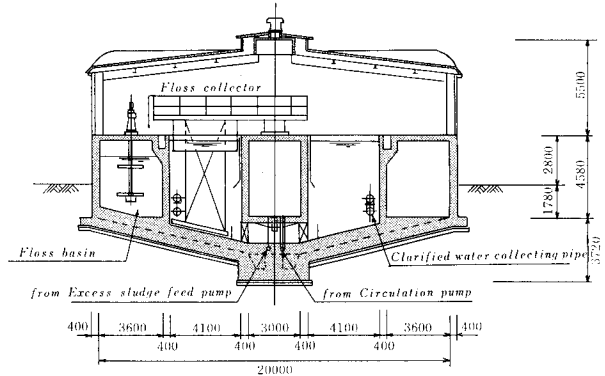
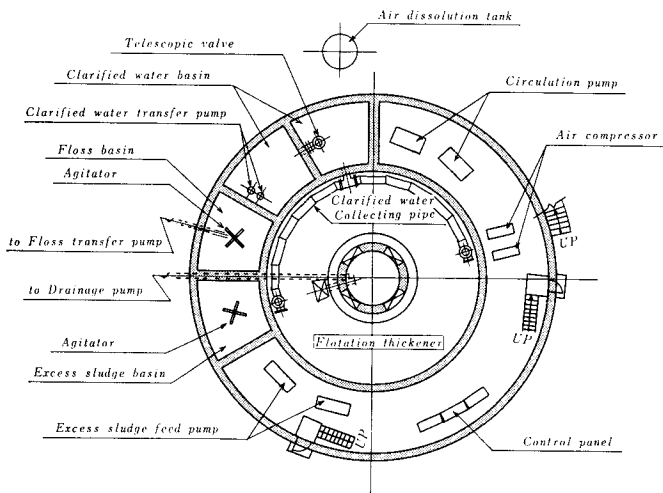
型式 片吸込ターボファン

風量 3.0 m³/min

吐出圧力 80 mmAq

電動機 0.4 kW × 4P × 400 V

数量 1台



第2図 浮上濃縮棟構造図

Fig. 2 Construction drawing of flotation thickener building

4. 3 浮上濃縮装置の構造

本装置は、既設の污泥洗浄タンクを改造したものである。その構造は第2図に示すとおり中央部に浮上濃縮槽、外周部には余剰污泥貯留槽、フロスピット、分離水槽及び補機室を設けた合理的なものである。

5. 浮上濃縮装置の技術的ポイントと本装置の対応

5. 1 浮上濃縮装置の技術的ポイント

浮上濃縮のポイントはいうまでもなくフロス濃度を高めることにあり、大きく分けると次のようになる。

- 1) 対象污泥の性状
- 2) 濃縮装置の運転条件

固形物負荷
気固比 (A/S)
フロス厚み

上記条件で浮上濃縮装置としての諸元は決定するが、浮上濃縮を効果的に行うためには、次のような機能上 (又は機構上) のポイントがある。

- 1) 混気タンクの空気溶解効率
- 2) 污泥と気泡の効率的な付着
- 3) 粗大気泡発生の抑制
- 4) 混気污泥の槽内への均一分散
- 5) 粗大気泡の円滑な排出
- 6) フロスの適切な搔取り

5. 2 機能上のポイントとその対応

前項の機能上 (又は機構上) のポイントとその対応について順に述べる。

1) 混気タンクの空気溶解効率

混気タンクの空気溶解効率が悪い場合

- ①必要な A/S を保つためには加圧水量が多く必要となる。
- ②上記により、加圧水ポンプの能力不足を招いたり、電力消費量の増大を招くことになる。
当社方式では、下記の機構で空気溶解効率を高めるとともに、操作性及び維持管理面でも優れたものになっている。

- ①空気吸収理論に基づいて設計されており、その機構は多孔板を多段積としたトイレ方式であり、常に80%以上の高い空気溶解効率を得ている。また、加圧水流入部には噴射分散板を設けて、気液接触効果を高めている。

- ②加圧水流入部に特殊なノズルを使用せず、また充填材も使用していないため、目詰りが起らない長所を有している。

- ③空気の吹き込みは、混気タンク内水位によるON-OFF方式を採用しているため、シンプルかつ確実な制御方式となっている点も当社方式の特長である。

2) 污泥と気泡の効率的な付着

フロス濃度を高めるためには、污泥に微細気泡を効果的に付着させ、污泥の浮力を増加させることである。

3) 粗大気泡発生の抑制

粗大気泡が発生すると、污泥と微細気泡の付着を妨げるばかりでなく、気泡どおしが合体してさらに大きな気泡となって槽内を上昇してフロス層を乱すために、フロス濃度低下の原因となる。

4) 混気污泥の槽内への均一分散

円形槽の場合、槽容積を有効に使用し、性能を十分に発揮させるために、混気污泥を特定方向に片寄せることなく、中央部から放射状に分散させる必要がある。分散が不均一な場合にはフロス厚さ不均一によりフロス濃度のむらが生じ、平均フロス濃度の低下をもたらす。

以上の2)～4)に対応するため、下記の構造としており、これが円形浮上濃縮槽としての当社方式の大きな特長となっている。(第1図及び第3図参照)

- ①浮上濃縮槽中央部に支柱で支えられたドライピット (操作室) を設けている。
- ②ドライピット内に一次圧力調節弁 (減圧弁) 及び混合器を設けて余剰污泥と加圧水を混合させ、混気污泥をドライピット底部中央一点より吹き出す構造とする。
以上の構造にすることにより

- ①一次圧力調節弁と混合器が最短距離で接続できるため、粗大気泡の発生を抑制し、汚泥と微細気泡の効果的な付着が行われる理想的な減圧下混合となっている。
- ②混合後の混気汚泥は、配管途中に分岐部や曲り部がなく直線流で、しかも短距離で放出するため、気泡の合体を防ぎ、粗大気泡の発生を抑制している。
- ③混気汚泥はドライピット下部中心一点より下向に吹出され、ドライピット支柱開口部よりバッフプレートを通じて槽内に放出される。すなわち、混気汚泥は槽中心一点より放射状に放出されて上昇する理想的なフローパターンとなり、均一分散される。

槽底部に設けられたバッフプレートは混気汚泥の整流と分離水集水管への短絡防止の二つの役割を果たしている。

5) 粗大気泡の円滑な排出

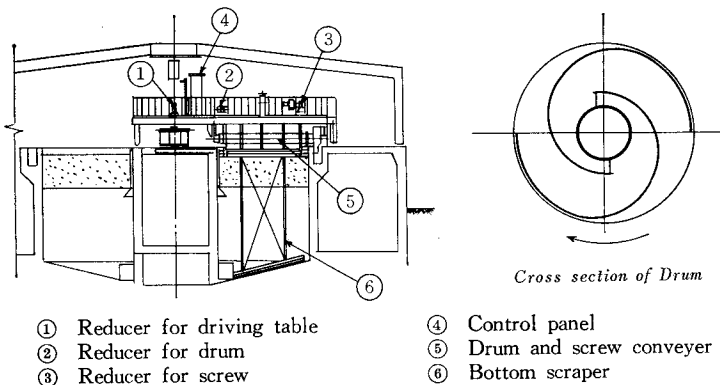
前項に述べたように粗大気泡の発生は極力抑制しているが、余剰空気等による粗大気泡の苦干の発生はやむを得ないといえる。粗大気泡発生によるフロスゾーンの攪乱を防止するためには、発生した粗大気泡を速やかに槽外に排出する必要がある。粗大気泡の円滑かつ速やかな排出機構として当社ではドライピット底部に下部気泡ガイド、ドライピット上部外周部に気泡捕集部を設けて十分な効果を得ている。

6) フロスの適切な掻取り

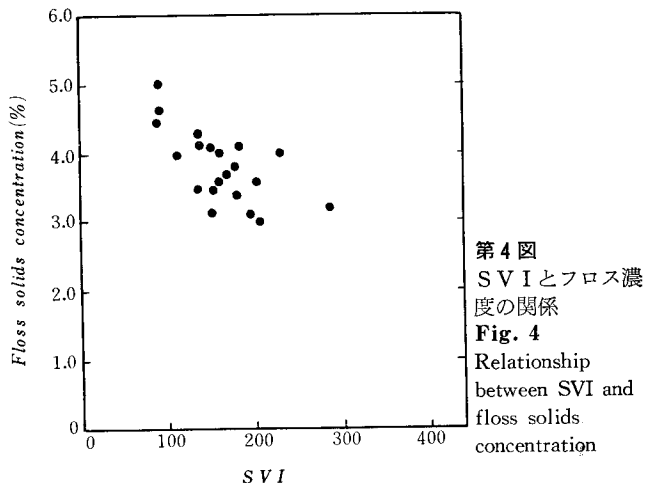
安定した高濃度のフロスと高い固形物回収率を得るためには、フロス層表面部の高濃度のフロスを円滑に掻取り、かつ適切なフロス厚みを維持する必要がある。

このため当社ではスクロール型フロス掻取機（台車走行式ドラム回転形）を採用している。その機構及び操作は下記のとおりである。（第3図に概略構造を示す）

- ①走行台車に取付けた回転ドラムによりフロスを掻取る。掻取られたフロスはドラム中央部に導かれ、スクリュウコンベアにより濃縮槽外周部のトラフに排出される。
- ②さらに、回転ドラム下部には強制板を設け、希薄フロスの流れ込みをカットするとともに、強制板先端の可動板により、フロス掻取深さの微調整を行っている。
- ③走行台車に底部汚泥掻寄機を設け、フロス掻取りと同時に沈殿汚泥の掻寄せを行っている。
- ④台車及び回転ドラムには可変速減速機を使用し、掻取



第3図 フロス掻取機
Fig. 3 Floss collector



第4図
SVIとフロス濃度の関係
Fig. 4
Relationship between SVI and floss solids concentration

第1表 余剰汚泥の性状

Table 1 Composition of excess sludge

	Northern plant sludge	Southern plant sludge	Mixed sludge
SS (mg/l)	8,400~10,200	8,200~8,700	8,400~11,600
VSS/SS (—)	0.80	0.81~0.83	0.80
SVI (Aeration tank) (ml/g)	96~97	102~105	—

量の調節を行っている。安全装置としては台車及び走行用はトルクリミッター、スクリュウコンベア用には2Eリレーを使用している。

- ⑤フロス掻取機の自動運転は、今回装置ではタイマー及び電極によるON-OFF制御を行っている。

当社では上記以外の制御方法として、フロス界面計によるON-OFF制御（特許出願中）の実績を有している。

6. 試運転結果の概要

本処理場は、南処理場、北処理場の2箇所の処理施設からなっており、試運転はそれぞれの単独余剰汚泥及び混合汚泥について行った。

6.1 余剰汚泥の性状

エアレーションタンクMLSSのSVIが低いほど、フロス濃度は高くなる。SVI 100~150ではフロス濃度3.5~4.0%が得られることを確認している。参考として、当社の実績（パイロットプラントも含む）で得られたSVIとフロス濃度の関係を第4図に示す。

試運転中の余剰汚泥性状を第1表に示す。北処理場の方が余剰汚泥濃度は多少高いが、汚泥性状そのものには両者に大差はなく、SVI 100前後であり、浮上濃縮に適した汚泥といえる。

6.2 試運転結果

試運転結果の一覧表を第2表に示す。

1) フロス濃度

固形物負荷 100~150 kg·SS/m²·d, A/S 0.015~0.023 kg·Air/kg·SS の条件でフロス濃度3.6~4.3%が得られており、目標（3.5%以上）を達成した。

2) 分離水SS

分離水SSは大略100mg/l, 固形物

第2表 試運転結果

Table 2 Running test results

	SS Loading (kg·SS/ m ² ·d)	A/S (kg·Air/ kg·SS)	Floss solids concentra- tion (%)	Excess sludge SS (mg/ℓ)	Clarified water SS (mg/ℓ)	SS recovery rate (%)
Southern plant sludge	105~110	0.015~0.02	4.0~4.2	8,300~8,400	50~70	99.2~99.4
	127~129	0.017~0.022	3.8~4.2	8,200~8,300	65~100	98.8~99.2
Northern plant sludge	140~150	0.021~0.024	3.8~4.3	8,400~ 10,200	72~75	99.1~99.3
	120~140	0.017~0.023	3.8~3.9	10,300~ 11,600	70~90	99.1~99.4
Mixed sludge	150~170	0.02~0.023	3.6~3.9	9,800~ 10,500	65~135	98.6~99.4

Note: Term of test

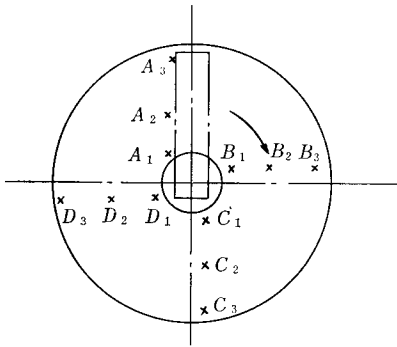
Southern plant sludge:
May 8~May 11, 1984

Northern plant sludge:
May 14~May 17, 1984

Mixed sludge:
May 21~May 22, 1984

第3表 フロスゾーンの分布

Table 3 Distribution of floss depth below top of floss



Mea- suring point	Floss depth	Mea- suring point	Floss depth	Mea- suring point	Floss depth
A ₁	1.50	A ₂	1.60	A ₃	1.55
B ₁	1.50	B ₂	1.60	B ₃	1.55
C ₁	1.50	C ₂	1.55	C ₃	1.55
D ₁	1.50	D ₂	1.55	D ₃	1.50

回収率99%が得られており、目標値 (SS200mg/ℓ以下、回収率97%以上) を満足した。

3) A/S

今回の処理対象汚泥は、A/S 0.02kg·Air/kg·SS 以下では適切なフロスレベルを維持するのがやや困難であった。安定した運転をするためには A/S 0.02kg·Air/kg·SS が必要であった。

4) フロス掻取機運転

今回の運転では、20分運転、20分休止の運転を行い、1) 項のフロス濃度を得るとともに、適切なフロスレベルを維持することができた。なお、フロス掻取機20分運転で走行台車が1周するように速度調整した。

5) フロスゾーンの分布

浮上濃縮槽中心部、中間部、外周部について4個所のポイントでフロス厚を測定し、フロスゾーンの厚み分布を確認した。その結果は第3表のとおりである。

フロス厚みは中心部がやや薄い傾向が見られるが、全体的にはほぼ均一といえる。

フロス厚みの測定は、ポータブル式フロス界面計により行った。

6) 表層フロス濃度の分布

浮上濃縮槽中心部、中間部、外周部の表層フロスを採取し、濃度測定した結果を第4表に示した。

2回の測定結果とも外周部ほど濃い結果を得ている。

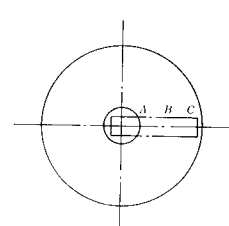
7) フロスの濃度勾配

浮上濃縮槽外周部で、採取深さを変えてフロス濃度を測定した結果は次のとおりである。

表層~50mm	4.3%
表層~100mm	4.0%
表層~150mm	3.8%

第4表 表層フロス濃度の分布

Table 4 Distribution of surface floss solids concentration



Measuring point	Floss solids concentration (%)	
	Test 1	Test 2
A	4.0	3.9
B	4.1	3.8
C	4.5	4.3

表層~200mm 3.3%

以上の結果より、高濃度フロスを得るためには極力浅く掻取るべきであり、掻取深さは100mm 以下が望ましいということが確認できた。本試運転中の掻取深さは70~80mmで行った。

7. むすび

浮上濃縮装置の最新の納入実績を紹介したが、フロス濃度、固形物回収率とも良好な結果を得ることができ、現在順調に運転中である。

当社としては、今回の実績も含めて実運転データを集積するとともに、さらに効率の良い浮上濃縮装置にするための改善点を研究中である。

また、当社はこのほど、(社)日本産業機械工業会の第10回優秀公害防止装置表彰事業において、加圧浮上濃縮装置が「日本産業機械工業会会長賞」を受けたことを付記する。

最後に本装置の設計、据付、試運転に際し多大な協力と助言をいただいた下水道局ご担当各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 森田正己ほか：環境技術, Vol. 11, No. 12 (1982) p.29
- 2) 神鋼ファウドラニューズ: Vol. 24, No. 3・4 (1980) p.40