

## 5 - 1 ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発(その3)

計画調整部技術開発課

岸 勘治、杉山 佳孝

山田 信夫 (現職員部研修担当)

### 1. はじめに

本調査は合流式下水道の雨天時越流水対策として、敷地に制約があり新たな貯留施設の設置が困難なポンプ所を対象に、省面積で高効率な除去が期待できる高速沈殿法を適用するため、平成12年度から平成14年度の3年間、大島ポンプ所に設置した実験装置において実負荷連続運転を行ない、性能評価、維持管理手法等を検討したものである。

### 2. 高速沈殿法の概要

高速沈殿法はフランスで開発され主に水道施設として実績があるが、合流式下水道の改善施設としてもパリ市で81,000m<sup>3</sup>/時の処理能力を有する実機が稼働している。

これは、凝集沈殿処理工程にマイクロサンド(珪砂、有効径170μm)を添加することにより凝集フロックの沈降速度を大きくし、汚濁物質の固液分離速度、効率を高めた処理法である。

高速沈殿法の処理装置概要を図1に示す。

処理プロセスは、通常の凝集沈殿処理法と同様に 無機凝集剤(ポリ塩化アルミニウム(以下「PAC」))を原水中に均一に拡散させるための「急速撹拌槽」、本技術の特徴でもあるマイクロサンドを均一に拡散させるための「注入撹拌槽」、PAC、マイクロサンド、および高分子凝集剤(アニオン系ポリマー(以下「ポリマー」))によって形成された微小フロックを大きく成長させるための「フロック形成槽」、処理原水中から取り除かれた汚濁物質を固液分離するための傾斜板つきの「沈殿槽」からなる。

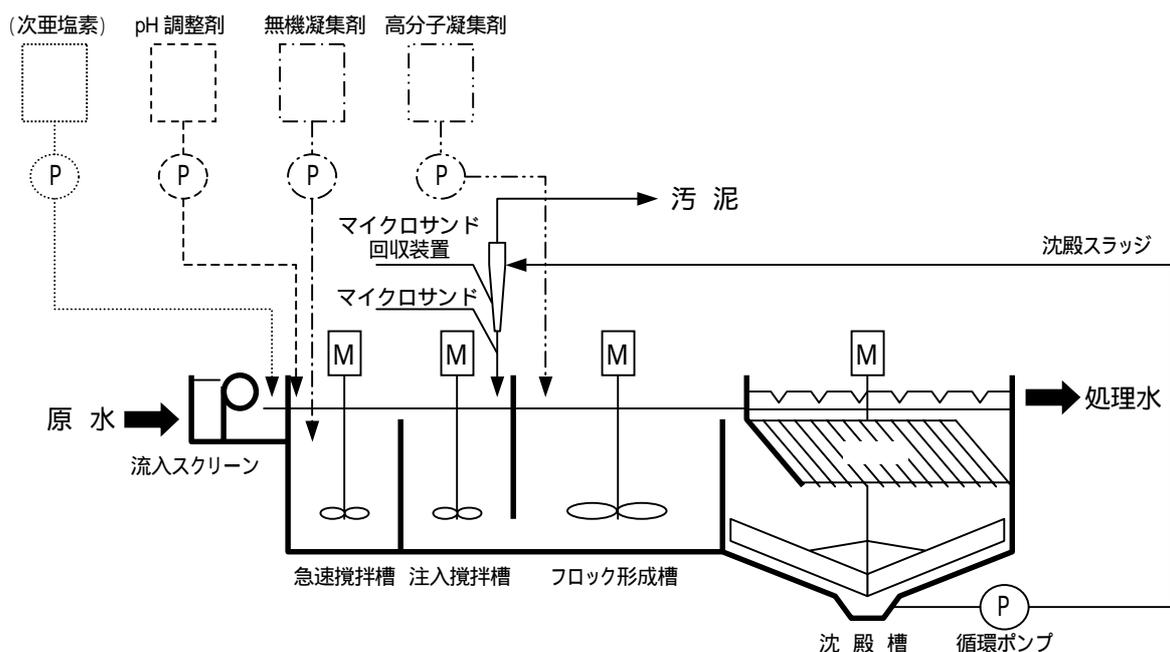


図1 高速沈殿法の処理装置概要

本技術は、フロックの形成に PAC とポリマー及びマイクロサンドを利用しているため、従来の凝集沈殿法より重いフロックを形成することができる。

フロックの模式図を図 2 に示す。

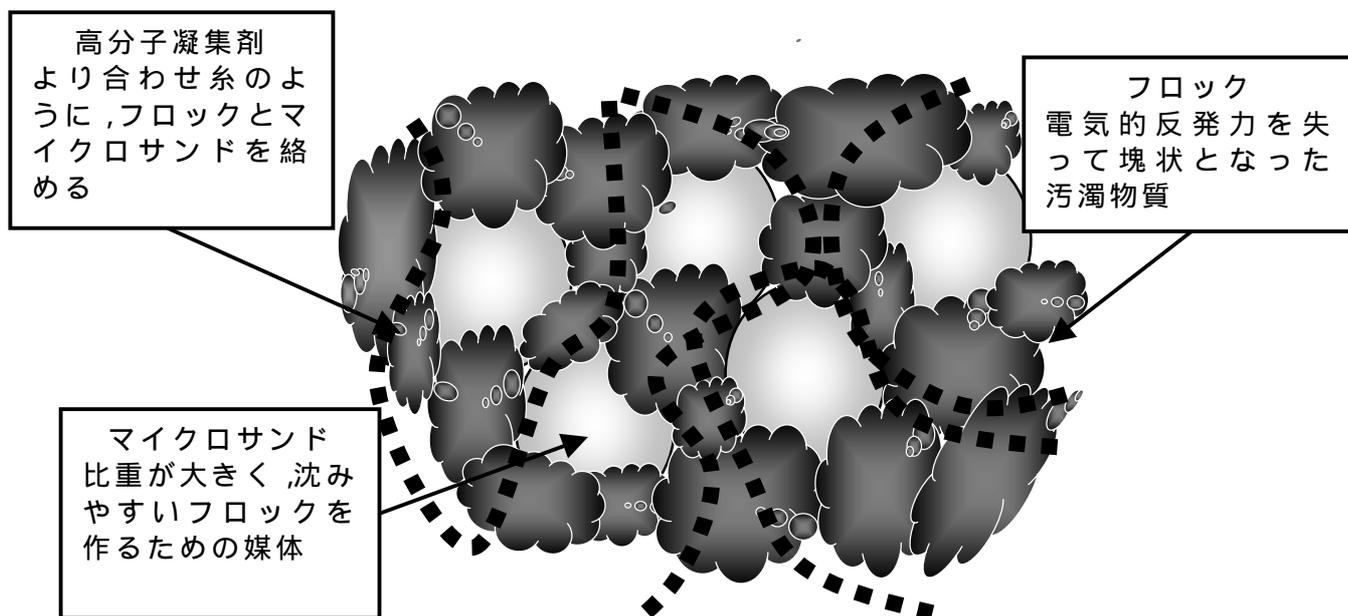


図 2 フロックの模式図

この特徴により、フロックの沈降速度、沈降効率を高めることができるので、結果として従来の処理法と比べ高速で大容量の処理が可能となっている。

マイクロサンドは、沈殿槽から引き抜いた後、マイクロサンド回収装置により分離回収し循環再利用する。

ポンプ所等への適用に際しては、流入部に次亜塩素酸ナトリウム(以下「次亜塩」)等の消毒剤を注入することで放流水の消毒ができる。また、原水 pH が高いまたは低い場合には、凝集性が低下するため pH 調整剤を注入する。

### 3. 調査

本調査は、大島ポンプ所に設置した高速沈殿法の実験装置を使用して実負荷運転、水量や水質変動への対応、運転・維持管理手法等を検討し、実用化手法の確立を目的とした。

#### 3.1 調査目標

処理対象を浮遊物質(以下「SS」)とし、除去率 80%以上とする。

無人運転システムの確立とそのための計画、設計、維持管理手法の作成。

ポンプ所、処理場への実施設化に向けての検討。

#### 3.2 調査期間

平成 12 年 5 月～平成 15 年 3 月

#### 3.3 調査場所

調査場所は、3Q 遮集ポンプ所で実験装置を設置する余地が有り放流先の水利用から雨天時越流水対策の緊急度が高いことを考慮して砂町処理区大島ポンプ所を選定した。大島ポンプ所位置図を図 3 に、実験フローを図 4 に示す。

実験用原水は、図 4 の SNo.2 特殊人孔またはポンプ所内雨水沈砂池から取水した。

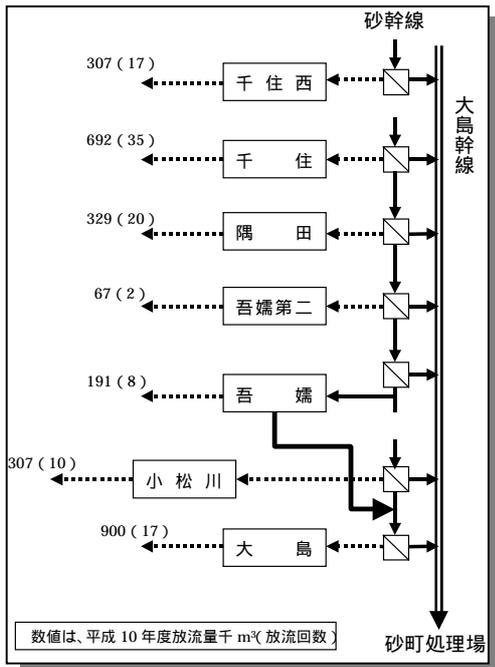


図 3 大島ポンプ所位置図

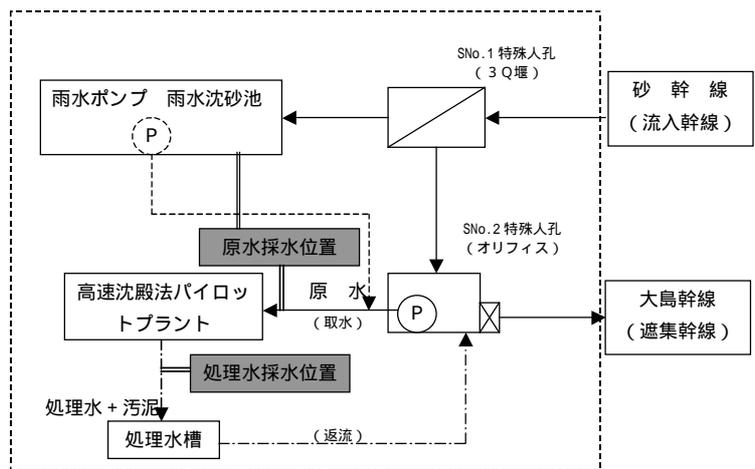


図 4 実験フロー

### 3.4 実験装置の諸元

フランスで実用化した本処理法の基本諸元等に基づいて実験装置を製作した。

#### (1) 実験装置諸元

実験装置を既設の大島ポンプ所内に設置するため、設置場所の面積や設置工事の便に配慮して設備を配置した。設計、製作の条件は下記のとおり。

標準処理能力	120m <sup>3</sup> /時
急速攪拌槽滞留時間	1分程度
注入攪拌槽滞留時間	1分程度
フロック形成槽滞留時間	2分程度
傾斜板内上昇速度(以下「処理速度」という)	120m/時
使用薬品	無機凝集剤：PAC 高分子凝集剤：アニオン系ポリマー
マイクロサンド	有効径：170μm(6号珪砂)

マイクロサンド投入量は、装置の処理能力(m<sup>3</sup>/時)に対して初期投入量は、2.0 kg・m<sup>3</sup>/時である。実験では、120 m<sup>3</sup>/時 × 2.0kg・m<sup>3</sup>/時 = 240kg を初期投入量とした。

#### (2) パイロットプラント機器リスト

前記の諸元に基づくパイロットプラントの主要機器リストを表1に示す。

### 3.5 平成13年度までの主な調査結果

平成13年度までに明らかになった基本的な諸元は以下の通りである。

#### (1) 薬注率

SS除去率80%以上を得ることが出来る薬注率は

原水 SS 40~200mg/L	PAC 添加率 7mg/L	ポリマー添加率 1.0mg/L
原水 SS 200~900mg/L	PAC 添加率 10mg/L	ポリマー添加率 2.0mg/L
原水 SS 900mg/L以上	PAC 添加率 20mg/L	ポリマー添加率 2.0mg/L

であった。

表1 主要機器リスト

No	機器名称	主仕様	出力 (kw)	台数	備考
1	取水ポンプ	水中汚水汚物ポンプ 口径 150mm × 2 m <sup>3</sup> /分	15	2	自動回転数制御
2	流入スクリーン	スクリー式スクリーン 目巾 3mm	0.4	1	
3	急速攪拌槽 注入攪拌槽	ステンレス製 容量1.38m <sup>3</sup>	0.4	各1	攪拌機付
4	フロック形成槽	ステンレス製 容量4.0m <sup>3</sup>	0.4	1	攪拌機付 回転数可変
5	沈殿槽	傾斜板面積11.0m <sup>2</sup> (幅0.5m × 長1.0m × 22枚)	0.4	1	掻寄機付 回転数可変
6	PACタンク	有効容量1.0m <sup>3</sup>	-	1	
7	PAC 注入ポンプ	ダイヤフラムポンプ 最大720mL/min	0.4	1	自動回転数制御
8	ポリマー 自動溶解装置	有効容量500L	0.46	1	フィーダー+ミキサー
9	ポリマー 注入ポンプ	ダイヤフラムポンプ 5,000mL/min	0.4	1	自動回転数制御
10	pH調整剤 注入ポンプ	硫酸貯留タンク：100L ダイヤフラムポンプ 最大240mL/min	0.2	1	自動回転数制御
11	循環ポンプ	渦巻きポンプ 40mm × 最大0.27m <sup>3</sup> /min	3.7	1	自動回転数制御
12	次亜塩 <sup>1)</sup> 注入設備	次亜塩貯留タンク：100L ダイヤフラムポンプ 最大500mL/min	0.2	1	注入量可変(手動)

1)次亜塩：次亜塩素酸ナトリウム(以下「次亜塩」)

## (2) 処理速度と除去性能の把握

目標のSS除去率80%以上で安定した運転ができる最大の処理速度は、120m/時であった。なお、処理速度を上げるにつれて平均SS除去率は下がる傾向にあった。

## (3) 循環率<sup>1)</sup>と除去性能

平均SS除去率80%以上で安定した運転ができる循環率は、6%であった。

1) 循環率：沈殿槽で沈殿分離された沈殿スラッジの引き抜き量を流入水量あたりの率で現したものの。例えば、施設の流入水量100m<sup>3</sup>/分の場合で、循環率6%の時の循環水量は、6m<sup>3</sup>/分である。循環率が少なすぎると循環配管の閉塞やマイクロサンド循環量不足を生じ、反対に循環率が多すぎると汚泥が増加する。

## (4) マイクロサンドの循環濃度と除去性能

目標のSS除去率80%以上で安定した運転ができる循環濃度は、3kg/m<sup>3</sup>以上であった。

### 3.6 平成14年度の調査結果

平成14年は、平成13年度に引き続き汚濁物質除去性能、降雨時における機器の自動起動・停止、薬注率の自動制御、傾斜板の維持管理、流入スクリーンの取り外し、次亜塩素酸ナトリウム注入による消毒性能、油分除去に関する処理性能、ポンプ所・処理場への適用等を調査した。

#### 3.6.1 汚濁物質除去性能

平成13年度に引き続き、汚濁物質除去性能を調査した。(表2参照)

運転条件は、処理速度40~120m/時、PAC添加率7~20mg/L、ポリマー添加率1.0~2.0mg/L、循環率6%である。平均除去率は、SSで92%、生物化学的酸素要求量(以下「BOD」)で72%、化学的酸素要求量(以下「COD」)で64%であった。

表2 汚濁物質除去性能

分析項目	原水濃度 (mg/L)	処理水濃度 (mg/L)	除去率 (%)	平均除去率 (%)	試料数
SS	50 ~ 2,300	4 ~ 210	85 ~ 98	92	43
BOD	37 ~ 1,100	9 ~ 330	63 ~ 85	72	34
COD	18 ~ 180	8 ~ 80	48 ~ 81	64	34

### 3.6.2 降雨時における自動起動・停止

無人運転システムを確立するため、人為的な操作の全くない状態で、装置を自動的に起動・停止させる実験を行った。自動運転時における起動・停止条件として、積算降雨量と SNo.2 特殊人孔の水位を用いた。実験は、7回実施し、自動起動・停止ができることを確認した。起動時および停止時のフローチャートを図5、6に示す。

降雨データの測定点；大島ポンプ所屋上

水位データの測定点；大島ポンプ所敷地内 SNo.2 特殊人孔内

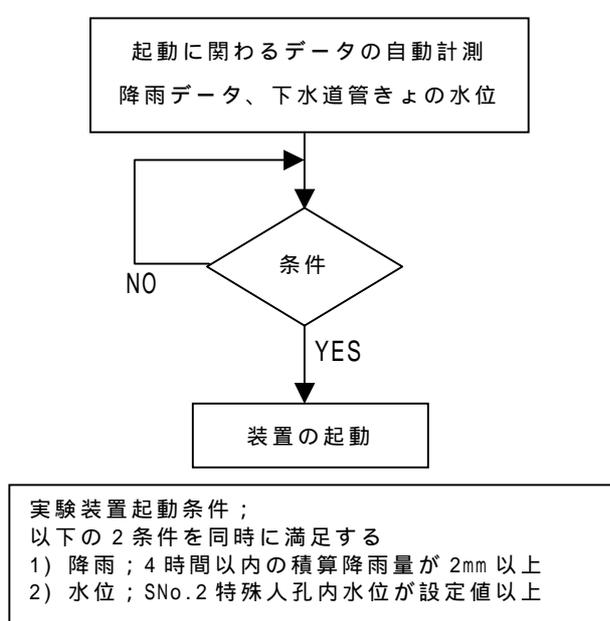


図5 起動時のフローチャート

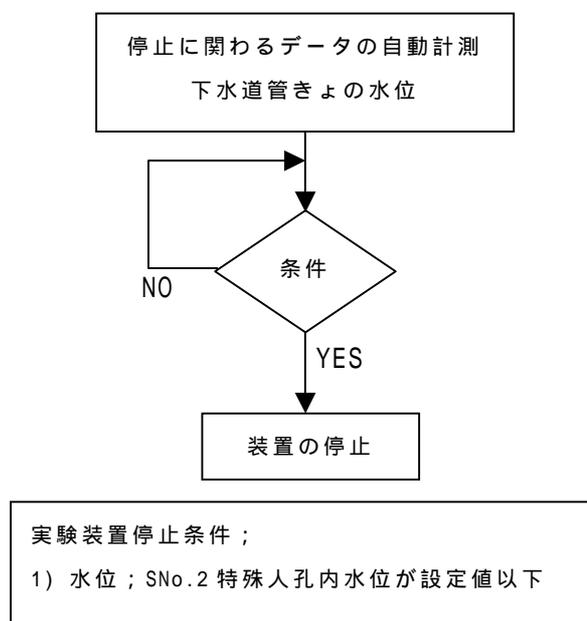


図6 停止時のフローチャート

### 3.6.3 濁度計測による薬注率の自動制御

より効率的で安定した処理を目的に、濁度計観測値を指標として薬注率の自動制御実験を行なった。

原水 SS と原水濁度の関係を図7に示す。原水濁度は原水濁度計の数値である。

図7で得られた結果から原水 SS と原水濁度については、ある程度相関があると判断し、原水濁度に対する薬注率を設定した。

原水濁度に対する薬注率の設定を図8に示す。

図8に示すとおり、PACの注入率は、原水 SS が 200mg/L (濁度 230NTU) 以下は 7mg/L で固定し、原水 SS が 200mg/L (濁度 230NTU) 以上になると徐々に上昇させ、原水 SS が 900mg/L (濁度 650NTU) 以上では、20mg/L に固定した。

同様に、ポリマーの注入率は、原水 SS が 0mg/L (濁度 0NTU) で 1mg/L とし徐々に上昇させ、SS が 200mg/L (濁度 230NTU) 以上では、2mg/L に固定した。

上記の薬注条件で、処理速度を 60m/時、80m/時及び 120m/時の 3 パターンによる処理実験を行った。いずれも SS 除去率が目標値の 80%以上であった。

以上から、濁度計による計測濁度を指標とする薬注率自動制御運転の可能性が示された。

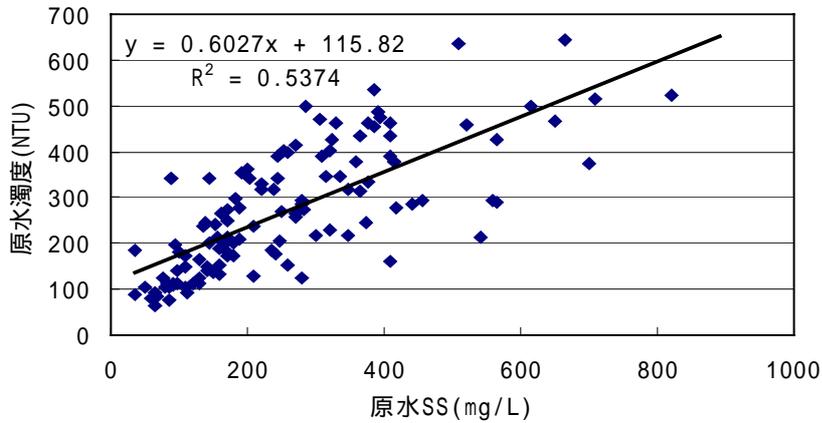


図 7 原水 SS と原水濁度の関係

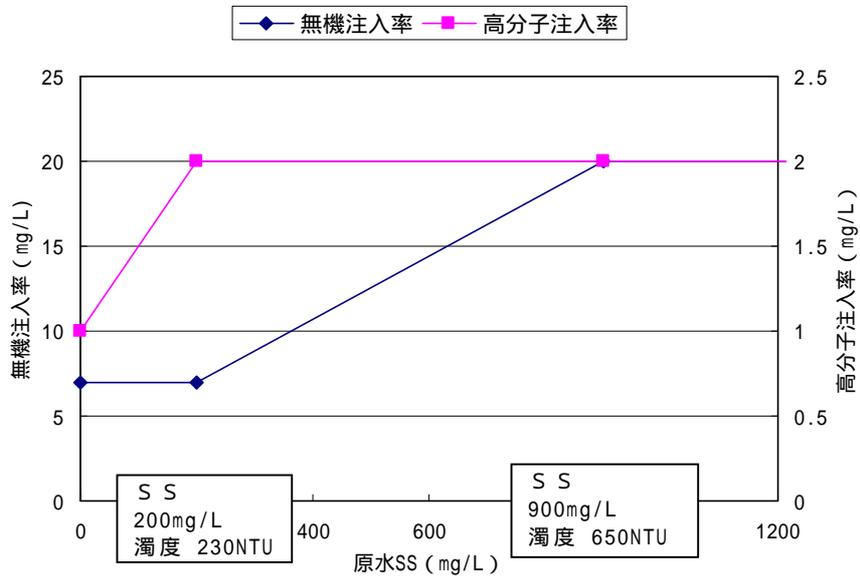


図 8 原水濁度に対する薬注率の設定

処理速度 120m/時における濁度を指標とした薬注制御運転結果の例を図 9 に示す。

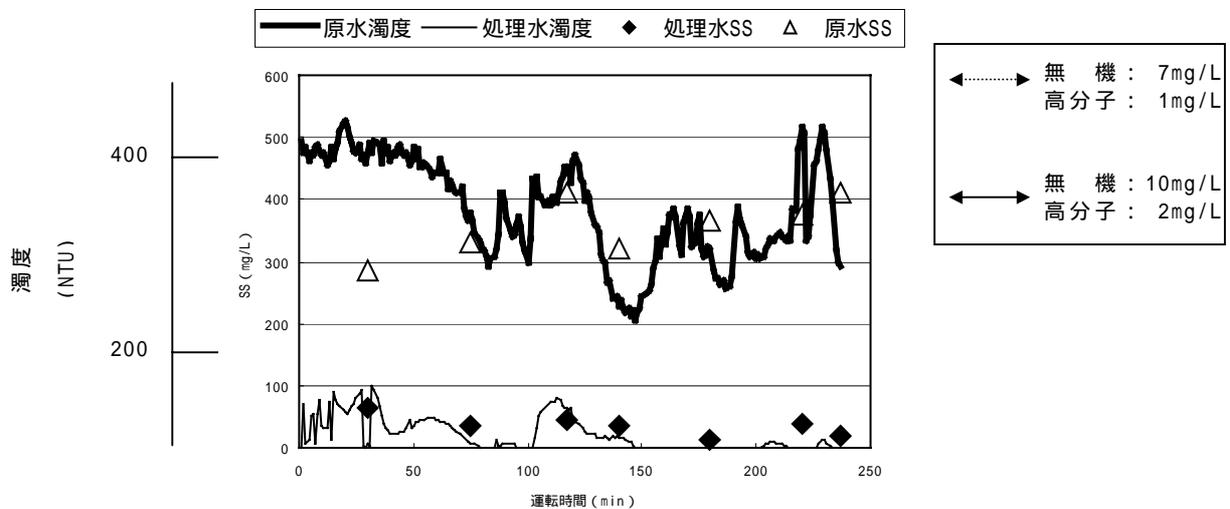


図 9 濁度を指標とした薬注率制御運転例 (処理速度 120m/時)

### 3・6・4 傾斜板の維持管理調査

本法の特徴として、高速で安定した処理水を得るため沈殿槽内に傾斜板を設置している。しかし、きょう雑物や汚物が付着した場合、構造上洗浄等の維持管理作業に手間がかかることが懸念される。このため、傾斜板を存置した場合と、撤去した場合の処理能力及び維持管理性能について比較調査した。傾斜板模式図を図10に、関連諸元を表4に示す。

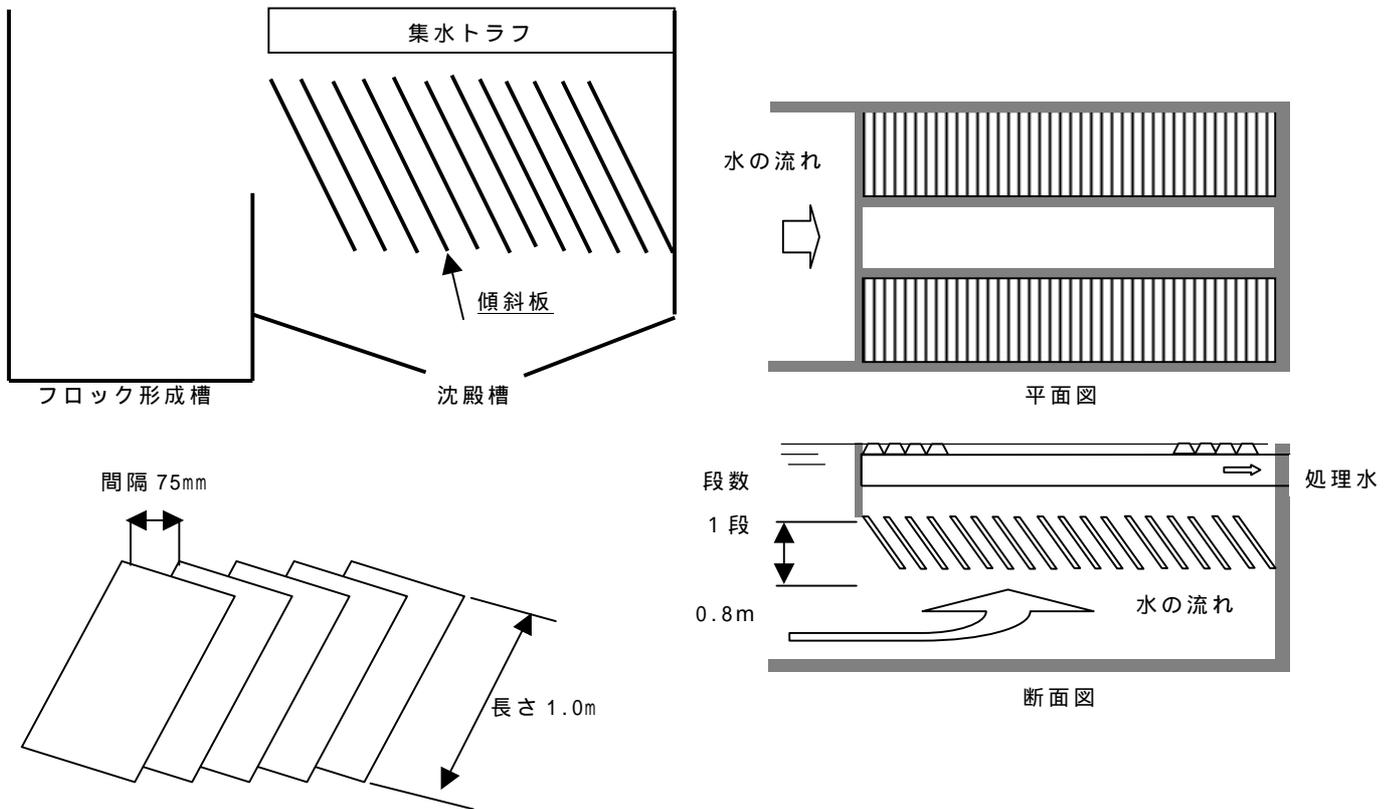


図10 傾斜板模式図

表4 大島ポンプ所実験装置の傾斜板関連諸元

項目	諸元	備考
傾斜板1枚当たり寸法	500mm(幅)×1,000mm(長)	傾斜板間隔75mm
傾斜板総面積	11m <sup>2</sup>	設置枚数22枚
沈殿槽寸法	1,500mm(幅)×1,800mm(長)×2,000mm(高)	外形寸法
沈殿槽容量	5m <sup>3</sup>	

PAC、ポリマーの注入率をそれぞれ3パターン変化させて傾斜板の有無による除去率を比較した結果を表5に示す。

表5 比較結果 (SS 除去率)

単位：%

傾斜板条件	処理速度 (m/時)	注入率：PAC × ポリマー (mg/L)		
		パターン 1 10 × 1.0	パターン 2 15 × 1.5	パターン 3 20 × 1.5
傾斜板無し	60	-5.9	67.8	90.0
	80	7.7	60.0	76.0
	100	37.5	75.3	70.0
	120	-20.0	-38.5	-33.3
傾斜板有り	60	77.1	83.3	84.4
	80	80.8	85.0	85.4
	100	80.8	81.4	87.5
	120	80.7	85.3	85.3

注) マイナスは、原水より処理水 SS が悪化したことを示す。

比較実験によると傾斜板を外した場合は、注入率パターン 3、処理速度 60m/時の場合のみで目標 SS 除去率 80%以上となった。処理速度が 60m/時以上となると、沈殿槽内の水流の乱れが発生しているものと考え沈殿槽内流速分布を測定した。その結果、傾斜板を外すと槽内に流入した水がそのまま水平流として流出側へ移動したり、場所により上昇流速が 120m/時を大幅に超過したりするなど、水流の乱れが大きくなったため、沈降性能が低下し除去率が悪化したものと考えられた。

以上の結果から、傾斜板は、沈殿槽内の水流を整流してフロックの沈降性能を高める効果があり、高速で安定した処理水を得るため欠かせない装置であることを確認した。

傾斜板を使用しない場合でも、処理水の流れを安定させ目標 SS 除去率 80%以上を得るために、沈殿槽内の水流を整流できる装置や沈殿槽の構造そのものを検討する必要がある。

実験装置では、0.05MPa(0.5kg/cm<sup>2</sup>)の水圧による放水で傾斜板の汚れを除去できたが、引き続き洗浄手法をはじめとする維持管理の簡素化について検討する必要がある。

### 3.6.5 流入スクリーンの問題点

雨天時流入水は、路面等から多種多様のきょう雑物を含むことが推測される。流入部スクリーンは、マイクロサンドと汚泥の分離装置としてのマイクロサンド回収装置がきょう雑物により閉塞することを防ぐ目的で設置するものである。実験装置では、スクリーン目幅 3mm ときわめて細目であり、目詰まり等による維持管理の手間が懸念される。

このため、引き続きマイクロサンド回収装置の機能確保とスクリーン目詰まりの両面から、維持管理について検討する必要がある。

### 3.6.6 油分除去に関する処理性能について

白色固形物（通称オイルボール）の原因物質と考えられる油分（ノルマルヘキサン抽出物質。以下「n-hex」）の除去について調査した。

油分の除去性能を図13に示す。

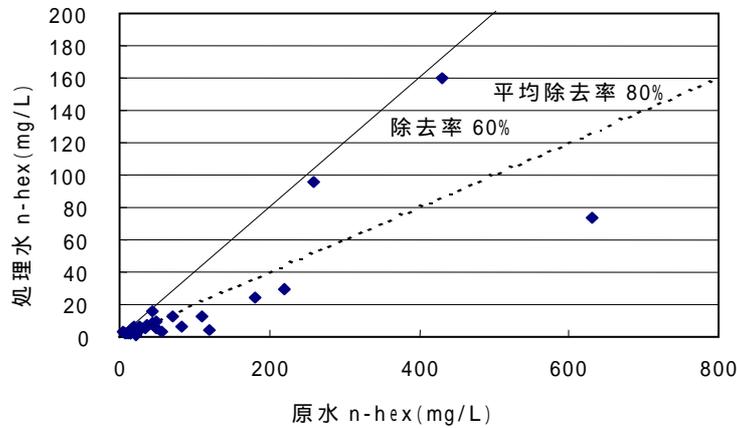


図13 油分の除去性能

実験期間中の雨天時の原水中 n-hex は 6～630mg/L であった。n-hex 除去率は 60%を超え、平均除去率は 80%で SS 除去とほぼ同等であった。

### 3.6.7 ポンプ所に高速沈殿法を設置した場合の汚泥処理について

ポンプ所に高速沈殿法を適用した場合、除去したフロックから汚泥が発生することとなる。ポンプ所は汚泥処理施設を持っていないため、発生した汚泥の取り扱いが課題となる。

(1) 遮集管を利用して発生汚泥を処理場に送泥する場合、(2) ポンプ所に汚泥処理施設を新たに設置して発生汚泥を処理する場合の2ケースについて、既存施設に与える影響や費用をシミュレーションにより分析した。

東雲ポンプ所(流域 246.86ha)を対象に 3mm/時の降雨強度相当する流入量(以下「3mm/時」)を処理する高速沈殿法を想定し、表6の収支試算条件による負荷量収支を計算した。

表6 収支試算条件

項目	設定値	備考
SS濃度	流入水:200mg/L 処理水:20mg/L	想定値
薬注率	無機10.0mg/L × 高分子2.0mg/L	設定例
循環率	処理水量に対し6%	
汚泥発生率	循環水量の80%	

#### (1) 遮集管を利用して処理場に送る場合

収支計算の結果、発生した汚泥を遮集管に連続投入し砂町水処理センターに送るケースでは、センターの受泥負荷増は4%程度と試算した。

#### (2) ポンプ所内で汚泥処理を行なう場合

図14に示す濃縮、脱水、搬出の設備が新たに必要となる。また、表7に示す建設費及び維持管理費も必要となることから、実現は困難である。

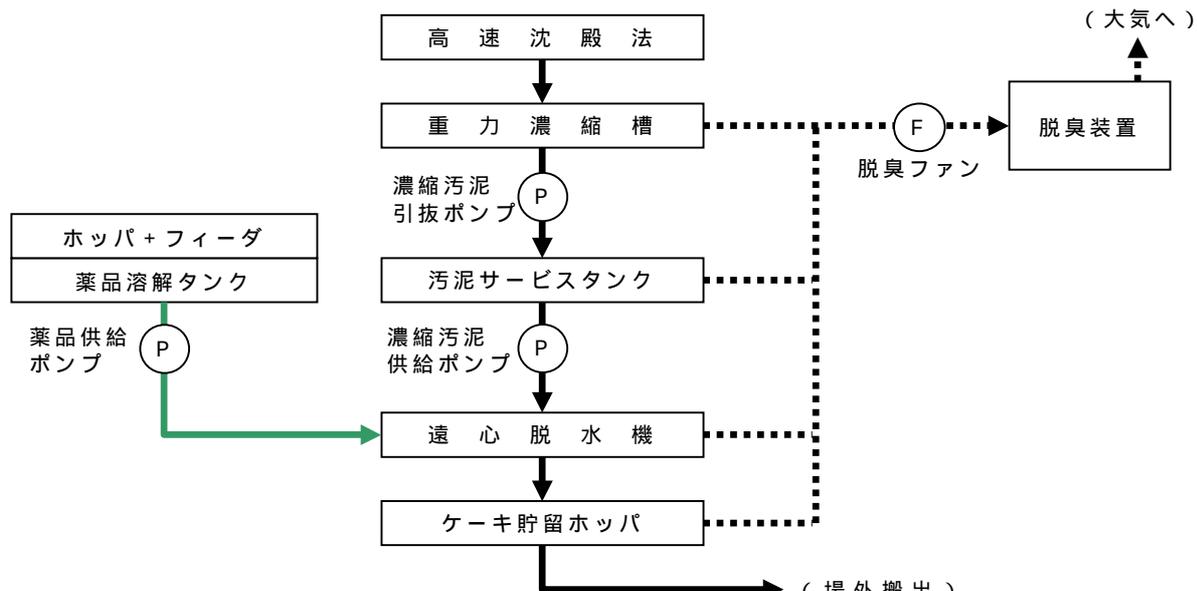


図 1 4 ポンプ所で汚泥処理を行なう場合のフロー

表 7 ポンプ所内で汚泥処理を行なう場合の概算費用

処 理 水 量	概算建設費	概算維持管理費
流域 3mm/時	1,700 百万円	17.2 円/汚泥 m <sup>3</sup>

建設費は、上記フローにおける機械設備工事費用で試算した。

維持管理費は、薬品、用水、電力、ケーキ処分費で試算した

#### 4 . 設計諸元

高速沈殿法の基本的な設計諸元を以下のとおり提案する。

表 9 高速沈殿法の設計諸元

項 目	諸 元
急速攪拌槽滞留時間	1分
注入攪拌槽滞留時間	1分
フロック形成槽滞留時間	2分
傾斜板上昇速度	120m/時
循 環 率	流入水量に対して6%
薬 注 率	PAC 10.0mg/L ポリマー 2.0mg/L

## 5. まとめ

平成 12 年度から 3 カ年にわたり実験装置により高速沈殿法の性能評価を行った結果、下記の事項を確認した。

(1) 目標 SS 除去率 80%を達成するための運転条件は、下記のとおりである。

使用薬品

- ・無機凝集剤：PAC
- ・高分子凝集剤：アニオン系ポリマー

マイクロサンド：珪砂（有効径 170 μm）

適正薬注率\* \*実験において SS 除去率が 80%以上となった薬注率。

- |                    |                |                 |
|--------------------|----------------|-----------------|
| ・原水 SS 40～200mg/L  | PAC 添加率 7mg/L  | ポリマー添加率 1.0mg/L |
| ・原水 SS 200～900mg/L | PAC 添加率 10mg/L | ポリマー添加率 2.0mg/L |
| ・原水 SS 900mg/L 以上  | PAC 添加率 20mg/L | ポリマー添加率 2.0mg/L |

処理速度：120m/時

処理能力：120m<sup>3</sup>/時

循環率：6%

マイクロサンド循環濃度：3kg/m<sup>3</sup> 以上

急速攪拌滞留時間：1 分

注入滞留攪拌時間：1 分

フロック形成滞留時間：2 分

(2) 降雨時の自動運転が可能である。

(3) 濁度比例制御による薬注率自動制御運転が可能である。

(4) 傾斜板は高速処理や安定した処理水を得るために必要な装置である。

(5) 流入部スクリーンは、マイクロサンド回収装置閉塞防止のために必要な装置である。

(6) 白色固形物（オイルボール）の原因物質と考えられる油分の除去は、SS 除去率とほぼ同程度である。

今後、以下の課題が考えられる。

- (1) 傾斜板及び流入スクリーンの維持管理の軽減
- (2) マイクロサンドの回収率の向上
- (3) 更なる装置の簡素化、コンパクト化

## 謝辞

本件は、公募型共同研究として、(株)西原環境衛生研究所、日本理水設計(株)との間で実施したものである。関係者の多大なご協力に感謝する。

## 参考文献

1. ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発、東京都下水道局技術調査年報平成 12 年度、平成 12 年 12 月
2. ポンプ所における越流負荷の効率的除去技術の開発（その 2）、東京都下水道局技術調査年報 2002、平成 15 年 1 月
3. 新しい合流改善手法の調査研究、(財)下水道新技術推進機構、平成 14 年 2 月