

# 港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 902 June 1998

新形式ろ過材を用いた余水処理装置の開発

加藤 佐谷  
藤本 藤本  
英健 勇裕  
夫幸 三史

運輸省港湾技術研究所



## 目 次

要旨	3
1. まえがき	4
2. 事前検討	4
2.1 懸濁粒子径と分離手法	5
2.2 高速分離技術	5
2.3 凝集剤の低減化技術	6
3. 余水処理装置の概要	7
3.1 深層ろ過装置	8
3.2 ろ布ろ過装置	9
3.3 凝集理論	10
4. 模型実験	11
4.1 予備実験	12
4.2 深層ろ過実験	13
4.3 ろ布ろ過実験	17
4.4 模型実験結果	19
5. 現地実験	19
5.1 現地実験条件	19
5.2 予備実験	22
5.3 深層ろ過実験	23
5.4 ろ布ろ過実験	25
5.5 現地実験結果	27
6. 実機試設計	28
6.1 通常の余水処理装置	28
6.2 深層ろ過装置	28
6.3 ろ布ろ過装置	30
7. 結論	30
8. あとがき	30
参考文献	31

# Development of Effluent Treatment Facility at Disposal Site Using New Type Filter

Hideo KATO\*  
Takeyuki FUJIMOTO\*\*  
Yuji SATO\*\*\*  
Hirofumi TANIMOTO\*\*\*

## Synopsis

New type filtration equipments that use new filter media and are capable of effluent treatment with large capacity using small amount of coagulant were developed. Granular filtration equipment was developed using hollow pipe type filter and rotary drum type belt filtration equipment was developed using standing fiber belt filter. Field experiment was carried out with these equipment after model experiment.

The granular filtration equipment has the treatment capacity of about the same degree as conventional method, requires area of about 1/5 to 1/6 of conventional method, is portable and economical as construction cost is about 1/2 and operational cost is about 1/2 of conventional method. Treated water of 30mg/l SS concentration was obtained by treating raw water of 1000mg/l SS concentration with this equipment at 10m/h filtration rate with dosage of small amount of coagulant (polymer 0.4mg/l). It can be positioned as a solid-liquid separator of high SS concentration.

The belt filtration equipment also has the treatment capacity of about the same degree as conventional method, requires area of about 1/9 of conventional method, is portable and economical as construction cost is about 1/2 and operational cost is about 3/4 of conventional method. The filtration rate of this equipment should be 5m/h to 7m/h and about 0.5mg/l polymer addition is needed to correspond to raw water SS concentration of 1000mg/l. It can be positioned as a solid-liquid separator of low SS concentration.

**Key Words:** Effluent Treatment, Granular Filtration, Belt Filtration, Hollow Pipe Type Filter, Coagulant

---

\* Chief of Dredging and Reclamation Laboratory, Machinery Division

\*\* Director of Shimonoseki Machinery Office, Fourth District Port Construction Bureau

\*\*\* Member of Dredging and Reclamation Laboratory, Machinery Division

# 新形式ろ過材を用いた余水処理装置の開発

加 藤 英 夫 \*  
藤 本 健 幸 \*\*  
佐 藤 勇 二 \*\*\*  
谷 本 裕 史 \*\*\*

## 要 旨

埋立余水の放流に際しては、その濁度に応じて凝集剤等の薬剤を大量に使用し余水の処理を行う必要がある。そのためには現状では大掛かりな余水処理施設を製作することになり、多額の費用がかかり経済性が悪い。この問題を解決するため、新しいろ過材を用いて凝集剤等の使用を極力おさえ、大容量で経済的な水処理が可能な技術を開発した。ろ過材としては最近開発された中空円筒状のろ材と繊維立毛ろ布を用いた。中空円筒ろ材を用いて深層ろ過装置を、繊維立毛ろ布を用いて回転ドラム式ろ過装置を考案し、模型実験の後、実機に近い大きさの実験装置を製作して現地実験を行った。その結果深層ろ過装置、ろ布ろ過装置ともに従来の凝集沈殿装置に比べて処理能力はほぼ同等で、経済性に優れ、実用性も高い方式であることが判明した。現地実験結果およびそれを基にして試算した装置の規模、経済性等についてまとめると以下のようになる。

- (1) 深層ろ過装置は移設可能な構造で、所要面積が従来法の約1/5～1/6、建設費が従来法の約1/2、運転費が約1/2と経済性に優れている。適用領域もSS濃度1000mg/ℓの原水をろ過速度10m/hで少量の凝集剤（ポリマー0.4mg/ℓ）の使用により処理水SS濃度30mg/ℓ以下まで処理でき、従来法とほぼ同程度の処理能力を持つ極めて有望な方法である。ろ布ろ過装置は、特に高濃度原水に対して効果的であり、高濃度処理用の固液分離装置として位置づけられる。
- (2) ろ布ろ過装置も移設可能な構造で、所要面積が従来法の約1/9、建設費が従来法の約1/2、運転費が約3/4と経済性に優れている。原水SS濃度1000mg/ℓに対応させるためにはろ過速度5～7m/hで、ポリマー0.5mg/ℓ程度の添加が必要である。また、ろ過速度15m/h程度の高速で処理するには、SS濃度100mg/ℓ以下の原水に適用するのが良いと考えられ、低濃度処理用の固液分離装置として位置づけられる。

キーワード：余水処理、深層ろ過、ろ布ろ過、中空ろ材、凝集剤

\* 機械技術部 浚渫埋立研究室長

\*\* 第四港湾建設局 下関機械整備事務所長

\*\*\* 機械技術部 浚渫埋立研究室

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1

電話：0468-44-5043, Fax：0468-44-0575, E-mail：katoh@cc.phri.go.jp



## 1. まえがき

現在、埋立地等に浚渫土砂を投入した際生じる余水は、余水吐から外洋に放流されるが、放流水の濁度（SS）が規制値に達しないよう濁りを抑える何らかの手段が講ぜられている。その方法としては、凝集剤等の薬剤を使用し沈殿地に濁質を沈降させる方法や、汚濁防止膜を展張する方法等がとられ、さらに厳密な余水管理が必要な場合は、大掛かりな余水処理施設を築造し、その運転管理も行う必要がある。こうした余水処理のための設備は仮設にもかかわらず多額の費用を要し経済性が悪い。こ

のため大掛かりな土木設備を必要としない余水処理装置の開発を行った。

## 2. 事前検討

新しい余水処理装置としての要求性能と対応技術についてまとめたものを表-1に示す。これらの要求性能を満足する基本機能としては、①高速分離、②凝集剤の低減化の両技術になる。そこでまず、これら両機能の従来技術について振り返ってみる。

表-1 要求性能と対応技術

要求性能	対応技術
・余水処理規模：1系列 1,000m <sup>3</sup> /h	余水処理としては大規模で、従来の余水処理の水面積負荷1m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・h程度では、コンパクトな装置にならない。 水面積負荷10m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・h以上の高速化が必要。
・余水処理の条件(SS成分はシルト・粘土)余水SS濃度：Max1,000mg/l	浚渫埋立工法の基本は、浚渫土砂を埋立地内に沈殿・堆積させることが目的なので、余水SS濃度が1,000mg/lまでは、埋立地内の沈殿により対応することにした。
・処理水SS濃度：Max30mg/l	処理水SS濃度は、将来20mg/l程度に規制強化があることを想定しておく。
・軽量・コンパクトで工事現場へ移動可能な構造	鋼板製で、ユニットがクレーンで扱え、船で運搬できる規模と考えると、最大寸法6m程度で、組立式の構造になる。 コンパクト化には、装置の高速化が重要課題で、高速分離技術の活用の可能性を検討する。
・凝集剤等の薬剤の使用量の低減	凝集沈殿法では、適正凝集剤量が存在し、これ以下に凝集剤の注入量を下げることが困難である。 膜ろ過法、ろ布ろ過法では、基本的に除去対象粒子径より小さい目開きのろ材を用いれば、凝集剤の低減が可能である。 また、砂ろ過法ではマイクロブロック法等により、凝集剤の低減が可能である。
・建設費の低減	建設費は容量の増加にともない増加するので、容量を小さくすることで対応する。
・運転コストの低減(省エネルギー化、省力化)	自然流下方式の採用でポンプ等の駆動動力を用いない方式とする。 水量、水質(SS濃度)変化に対しても無人で対応する

## 2.1 懸濁粒子径と分離手法

図-1に示すように、濁質粒子径が $10^{-2}$ mm程度までは普通沈殿で分離できるが、 $10^{-3}$ mm以下になるとコロイド粒子と呼ばれ沈殿分離が難しくなる。このようなコロイド粒子に対しては、凝集剤を添加した凝集操作でフロック化して分離する。この方法を凝集沈殿と呼んでいる。本調査の対象はシルト・粘土粒子であり、処理方法としては凝集沈殿法や精密ろ過法が適用できる。

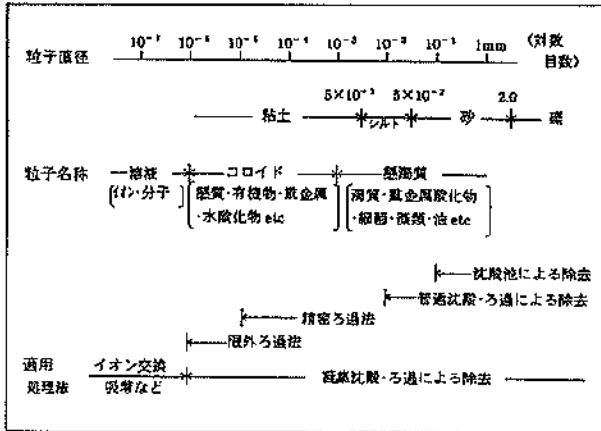


図-1 濁質粒子と適用処理法

## 2.2 高速分離技術

一般的な沈殿池の分類を表-2に示す。これらのうちで、高速分離が可能な装置は、傾斜板沈殿池、高速凝集沈殿池、造粒沈殿池であり、これらの沈殿池の作用原理を説明する。

表-2 沈殿池の分類

横流式沈殿池	単層式	
	多階層式	2階層
傾斜板式	水平流	上向流
	スラリー循環形	スラリーブランケット形

### (1) 傾斜板沈殿池

代表的な傾斜板沈殿池の構造を図-2に示す。本方式は、傾斜板を使用することで土粒子沈降距離を短くし、また傾斜板の枚数を増やすことにより分離面積を増加できるため、所要面積を小さくしたい場合に有効な方法である。海中での傾斜板への生物付着による閉塞トラブルの心配がある。

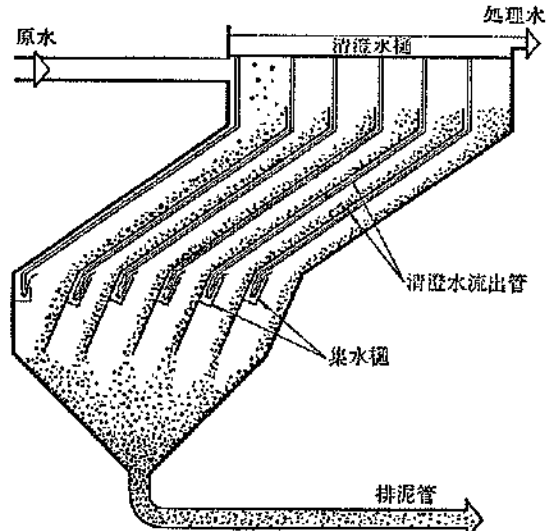


図-2 傾斜板沈殿池

### (2) 高速凝集沈殿池

一般にスラリー接触型高速凝集沈殿池はスラリー接触の方式によって①スラリー循環型、②スラリーブランケット型、③両者の複合型に分類されているが、ここでは代表的なスラリー循環型凝集沈殿池について説明する。

代表的な構造断面図を図-3に示す。原水は第一次攪拌室に導入され、ここで原水中の土粒子は既存のフロックと凝集付着する。第一次攪拌室にて混合されたスラリーは攪拌羽根のポンプ作用によって第二次攪拌室に送られ、ドラフトチューブを経てスラリープールへ流出し、ここでフロックと清澄液とが分離される。ドラフトチューブから流出するスラリーは一部スラリープールのスラリー界面下にもぐり込みスラリーとの接触でフロックの成長が促進される。余剰スラリーはコンセントレータ内に沈殿させ、タイマーにより連続的に排泥される。

本方式は沈殿池内に活発なスラリーを保持しているために、少ない原水変動に対しては非常に安定した処理が

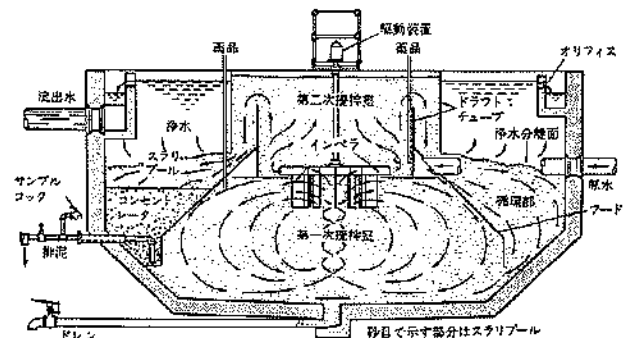


図-3 スラリー循環型凝集沈殿池

可能であるが、不適切な凝集剤の添加が継続すると、保有スラリーが分散して流出するトラブルが生じる。このように運転操作に若干熟練を要するので無人運転には向かない。

### (3) 造粒沈殿装置

スラリー接触型高速凝集沈殿池の一種である、造粒沈殿装置<sup>2)</sup>(スラリーブランケットの一種)について説明する。既存フロック層へ原水を上向流に流すことによって、フロック流動層を形成し、この層内でスラリー接触と清澄分離とを同時に行う装置をスラリーブランケット型凝集沈殿装置と呼んでいる。

フロックの沈降速度を高めるためには成長しても高密度なフロックを形成すれば良い。ブランケット層内で核となるフロックの表面に小フロックをシェル(殻)状に規則的に配列できれば、高密度のフロックが形成されるはずである。一般に異なる集塊段階の粒子群がランダムに結合するフロックをランダムフロックと称する。これに対し上記のような規則的に配列した高密度のフロックをレギュラーフロックと称する。ブランケット層内でのランダムフロックの形成を抑制して、できるだけレギュラーフロック形成に近づけたのが造粒沈殿装置である。

造粒沈殿装置のフローシートを図-4に示す。原水は

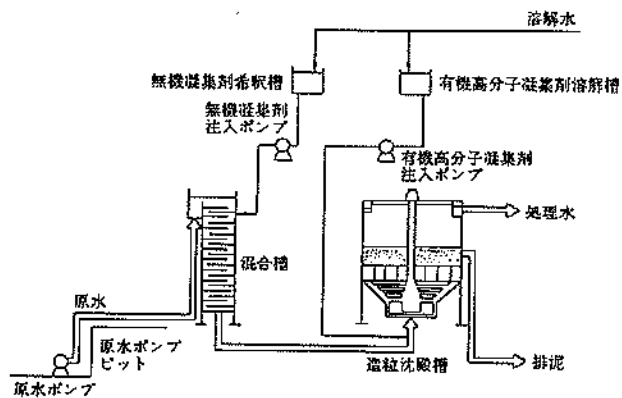


図-4 造粒沈殿装置フローシート

混合槽に供給され、混合槽の流入部に無機凝集剤が添加され、混合槽内で水流攪拌される。この間に微小フロックの生成が進行する。その後有機高分子凝集剤が混合槽出口に注入され、ただちに造粒槽へ上向に流入する。造粒槽は逆錐型をしており、錐型部に攪拌翼が取り付けられており、これを攪拌することによって核粒子となるフロックの表面に混合槽内で生成された微小フロックが付着し成長する。

造粒沈殿装置の混合槽は、均一粒度で核粒子に吸合できる最小径の微小フロックを形成させるために左右迂流

式攪拌を採用し、攪拌時間を60~90秒と非常に短くしている。また有機高分子凝集剤を核フロック表面に吸着させ、流入微小フロックを核フロック表面で吸合させるために、有機高分子凝集剤を造粒槽流入直前に注入している。さらに造粒槽内の核フロック表面の流れのせん断場を起こさせるために、パドル型の攪拌翼で混合し、微小粒子が核フロック表面へ規則的に配列されるように考慮されている。

造粒槽内で生成されたフロックは球状で、有効密度(フロックの密度-液密度)は従来型のブランケット層内で形成されるフロックの約10倍以上となり、10倍以上の高速分離が可能となった。

### (4) 沈殿池の処理性能

沈殿池の処理性能をまとめたものが表-3である。傾斜板沈殿池は、原理的には仕切板を挿入することによって処理性能を増大できるはずであるが、沈殿粒子の流れ(密度流)による再飛散により限界が生じ、横流沈殿池の2~3倍の能力である。

高速凝集沈殿池は横流式沈殿池の2倍の能力、造粒沈殿装置は横流式沈殿池の約10倍の能力が発揮でき、有望な装置であるが、凝集剤の注入率を低減させると処理できなくなる欠点がある。つまり高速分離は可能であるが、凝集剤の低減化は困難である。

表-3 沈殿池の処理性能

沈殿池種別	原水濁度(度)	水面積負荷(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> h)	滞留時間(min)	池内流速(cm/min)
横流式沈殿池	3000以下	0.9~1.8	120以下	40(水平)
傾斜板沈殿池(横流)	1500以下	2.4~3.6	15~40	60(水平)
〃(上向流)	〃	2.4~6.0	10~15	10(上向)
高速凝集沈殿池	1000以下	2.4~3.6	80~120	4~7(上向)
造粒沈殿装置	〃	12~24	15~30	-

## 2.3 凝集剤の低減化技術

凝集剤の添加量を低減できる技術としては、ろ布や膜を用いた分離技術で、対象除去SS粒子径より小さい孔径のろ布・膜を用いれば、原則として凝集剤を不要にすることができる。しかしこの方法は凝集剤は節約できても、ろ過速度が遅く抵抗が大きいため設備費が過大になり、しかもSS濃度の高い原水に対してはろ布の再生(洗浄)操作の頻度が多くなり、水損失が大きくなって適用できない。

粒状ろ材充填層によるろ過装置としては、表-4に示す各種のろ過装置が調査・検討されている。粒状ろ材を用いたろ過装置は、図-5に示すように、濁質の抑留状況がろ材の粒度構成により異なり、小粒子層で閉塞が進

表-4 各種ろ過装置のろ過性能

ろ過方法	ろ材	ろ材形状		原水SS濃度 (mg/l)	SS捕捉量 (kg/m <sup>2</sup> h)	ろ過速度 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)
		有効径 (mm)	層厚 (mm)			
単層ろ過	砂	0.6~0.7	600	<20	1.0	5~10
復層ろ過	アスライト, 砂	1.0~1.2	200~300	<30	1.0	5~10
		0.6~0.7	400~300			
上向流ろ過	砂	1.0~2.0	600~1500	<50	2.0	10~12
移動床式連続ろ過	砂	0.6~0.7	-	<50	-	7~15
ファイバーボール	ファイバーボール	10~40	500~1000	<50	2~5	30~40
ファイバックス	繊維	0.01~0.08	1000~1500	20~30	-	15~20
浮上ろ材ろ過	浮上ろ材	2.6	1.2	10~30	2	10
ポリウレタンフォーム	ポリウレタンフォーム	20~40	2000~3000	20~50	4~5	20
プラスチックチューブ	波形チューブ	10φ×20	1800	100~200	20	8

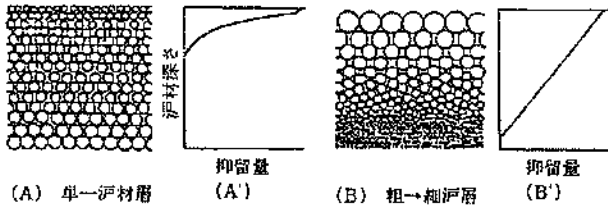


図-5 ろ層の粒度分布と濁質抑留量の分布

行してろ過層全体に均一に濁質を抑留することができない。

砂ろ過は濁質の抑留量が少ないために、凝集沈殿池の後処理の清澄化装置として開発されたもので、ろ過速度は5~10m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・hと凝集沈殿池に比べて速いが、流入SS濃度30mg/l~50mg/lが限界で高濃度処理には向かない。

特殊ろ材として、ファイバー（繊維）、発泡スチロールのような浮上ろ材、網目構造のポリウレタンフォームそしてパイプを切断した形状のチューブ等種々のろ材について検討されているが、高速度でSS濃度の高い原水を処理できるのは、プラスチックチューブのようなろ材であることがわかる。しかしプラスチックチューブは下水についての適用例では、処理水のSS濃度は40~60mg/lと高く、本調査の余水処理へ直接適用することは無理である。

このように、SS濃度の高い原水を対象として高速分離技術と凝集剤の低減化技術との両立を図ることは、従来の凝集沈殿、砂ろ過法では原理的に困難である。高濃度のSSを高速度で分離するためには、捕捉したSSを抑留するための大きな容量を有するか、捕捉したSSを連続的に系外に排出する機能を有することが必要である。前者として高容量ろ過法が、後者としてろ布ろ過法が考

えられる。

技術的には飛躍があるが、空隙率の大きい抵抗の小さい新形式のろ材を用いれば、SS濃度が高い原水を少ない凝集剤で高速度に処理することができる可能性がある。たとえば高容量ろ過法のろ材として、ポリウレタンフォーム（スポンジ）とネット状中空円筒、格子状中空円筒等がある。この高容量ろ過装置と少量の凝集剤を用いるマイクロフロック法<sup>3)</sup>と呼ばれるろ過法とを組み合わせると、SS濃度の高い原水を高速で少量の凝集剤で処理が可能と考えられる。

また一方のろ布ろ過法については、最近新しい織り方の三次元ろ布が開発されており、これを用いた回転ドラム式のろ過装置を開発することにより、高濃度SSの原水を高速で少量の凝集剤で処理できる可能性がある。

そこで本研究では、上記2種類の新形式のろ過法について模型実験、現地実験により、埋立余水処理への適用の可能性を検討した。

### 3. 余水処理装置の概要

開発した装置は「中空円筒ろ材」や「特殊ろ布」を用いて、ろ過の作用を利用することによって極力凝集剤を使用しないでSSを一定基準値以下に処理することを目標としたもので、建設費、運転費等のコスト低減に配慮した。装置は軽量、コンパクトなユニット構造とし、必要に応じて移設転用が可能なものとした。また余水は時間当たりの処理量が大量であるため、ろ過抵抗を小さくし、ポンプ等を使用しない自然流下による処理が可能なものとした。

一般にろ過機構は図-6に示すようにストレーンろ過（篩作用）、深層ろ過（ろ材の空隙内部で捕捉）、ケーキ



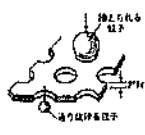
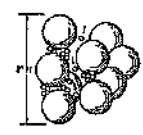
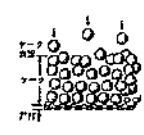
模式図	ストレインろ過	深層ろ過	ケーキろ過
			
ろ過	ある大きさの空隙がある材であり、その空隙でSSを捕捉または透過するという機械的分離。	三次元の空隙があり、空隙より数段小さなSSが沈積・付着し一部ケーキろ過となる。	ろ過の進行とともにケーキが成長し、ケーキ表面で固相分離が行われる。またはろ過前にケーキを付与する。
分離	不完全分離	不完全分離	ほぼ完全分離
運転	使い捨てまたはバッチ的に逆洗浄を行う。	バッチ的に逆洗浄を行う。	バッチ的な剥離作業。または連続的・機械的に層部を剥離。
代表的ろ過機	・中空糸膜ろ過 ・精密平膜ろ過	・砂ろ過	・ベルトフィルター ・フィルタープレス等

図-6 ろ過機構の種類

ろ過（粒子層を形成）とに分類される。

ストレインろ過は、分離すべき懸濁粒子径より小さい孔径のろ布や膜を用いて篩作用で分離するものであり、深層ろ過は砂やプラスチック等のろ材を充填したろ層を形成し、この層を通してろ材に付着させたり、沈殿作用により捕捉するものである。

中空円筒ろ材を用いた深層ろ過装置はこの深層ろ過方式に該当し、三次元ろ布を用いたろ布ろ過装置はストレインろ過とケーキろ過の中間領域でろ過を行うものである。

### 3.1 深層ろ過装置

深層ろ過の代表例としては砂ろ過があり、沈殿池の後段の清澄処理装置として水処理分野で広く用いられている。砂ろ材の空隙率は約45%であり、空隙の平均孔径は平均粒径の15%程度であるから、1mmの砂を用いると0.15mmである。

したがって、余水処理のようにSS濃度100~150mg/lと高濃度では、ろ層内に捕捉されるSS粒子量が少ないのと、150μm以上の大きい粒子（たとえば凝集フロック）はろ層の表面で篩作用で捕捉されるため、ろ層内部を有効に利用できない等の問題があり、沈殿池の代替として高濃度処理への適用はできなかった。

このため余水処理のように高濃度SSを分離除去するためには、ろ材の径を大きくし、空隙率を増加してSS捕捉空間を大きくする必要がある。余水処理装置へ適用し得るろ材について種々検討した結果、表-5に示すようなろ材が選定された。中空円筒ろ材の形状を図-7に示す。

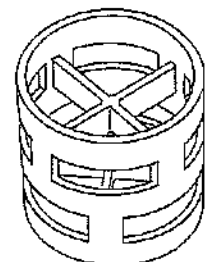
スポンジは網目構造になっており、中空円筒に比べて網目の径も小さく、接触面積も砂ろ過とほぼ同じ程度で

表-5 ろ材の形状・寸法

名称	網状	中空円筒	
	スポンジろ材	ネット状	格子状
材質	ポリウレタンフォーム	ポリプロピレン	ポリプロピレン
形状 (mm)	10×25×25 角形	25φ×25L 中空円筒	25φ×25L 中空円筒
空隙率 (%)	97	88	90



ネット状中空円筒



格子状中空円筒

図-7 中空円筒ろ材形状

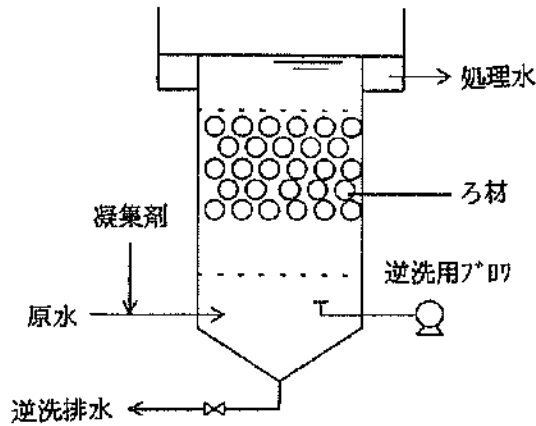
あるため清澄化の面では有利であるが、繊維状のSSや微生物、海藻類が付着した場合網目内からまわって再生できない可能性がある。微生物繁殖が活発で藻類等も生産される海水という条件を考えた時、孔径や空隙径の大きいろ材を選ぶことが重要と考え、中空円筒を採用することにした。中空円筒の中でネット状円筒と格子状円筒を比較すると、深層ろ過の主機構が沈殿になるとの考えから、沈殿面積として大きくとれ、かつ捕捉したSSが脱落しにくいという点から最終的にプラスチックの格子状円筒を選定した。

ろ過槽は、上下にろ材流出防止用のネットを設け、その内部にろ材を充填する構造になっている。原水を槽下部から流入させ、槽の上部からろ水を溢流させる上向流方式のろ過である。ろ材の密度は0.89g/cm<sup>3</sup>と小さいため水張り状態では浮上してろ材層を形成する。

凝集剤を添加した原水を槽下部から流入させ、ろ材層内にSSが捕捉されたら、原水の流入を停止し、逆洗用のブロワーを駆動し空気を導入する。空気の上昇力によってろ材を動揺・移動させることにより、ろ材に付着したSSを剥離した後、槽内液とともにSSを排出する。この操作を2~3回繰り返すことによりろ材の再生を行う。深層ろ過の作動原理を図-8に示す。

本深層ろ過装置の特長は下記の通りである。

- ①砂ろ過と比べて高濃度SSを高速度で清澄化できる。
- ②凝集沈殿法に比べて、高速度でかつ安定性が高く凝集剤の使用量を削減できる。

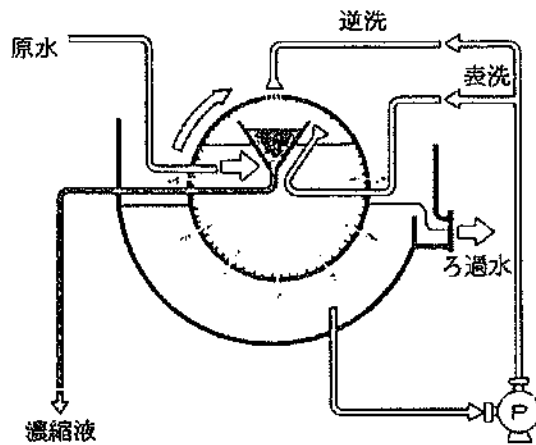


図一 8 深層ろ過の作動原理

- ③ 運転操作は極めて容易である。
- ④ 構造が簡単で、槽径、槽高を自由に変えられるのでフレハブ構造、可搬式等にすることが可能で、設置現場に適した構成にすることができる。

### 3.2 ろ布ろ過装置

ろ布ろ過装置は回転ドラム式のもので、原理を図一 9 に示す。回転ドラムの内面に特殊ろ布をエンドレスに張り、開放したろ過受槽にドラムの下方を浸漬させた状態で回転させる。原水はドラムの内側に供給され、内外面に生じる水頭差を利用して、ドラムの内側から外側へろ過される。



図一 9 回転ドラム式ろ布ろ過装置の原理

水頭差はろ材及びろ材取付け部強度により許容上限があるが、ろ布ろ過の場合最大500mm程度である。ろ過面積はドラム径 (D) × ドラム長 (L) × π で決まるが、水中の有効ろ過面積は水頭差が十分作用している部分であり、直径2000mm程度までのドラムの場合にはほぼドラム下部半周部となる。

内部ろ布表面で捕捉された濁質はドラムの回転と共に上部大気部に移動し、ドラム直上のスプレーノズルから噴射される洗浄水でろ布裏側から洗浄される。洗浄水はSS成分と一緒にドラム内部のホッパーに回収され、中空軸からろ過装置の系外に濃縮液として排出される。これをろ材の裏側から洗浄するため逆洗という。

ろ材表面の洗浄が不十分な場合、表面にSS成分が蓄積し、最後はろ材の目詰まりを生じるため、ドラム内部にろ材表面を荒い落とす洗浄ノズルが取り付けられている。これを表洗という。

この回転ろ布ろ過装置は他のろ過装置に比べ

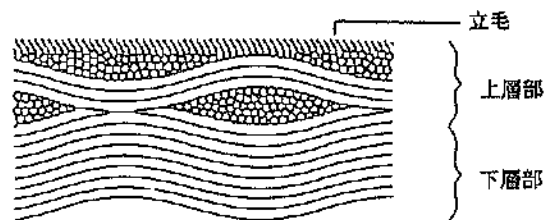
- ① ろ材の常時洗浄のため、砂ろ過装置のようなシーケンシャルな制御系が不要で連続運転が可能。
  - ② 常時ろ材面を洗浄するのでろ過速度を大きくすることができ、装置がコンパクトになるため据え付け面積が少ない。
  - ③ 常時ろ材面を洗浄するため、砂ろ過等に比較し、高濃度SS (30~1000mg/l) の処理が可能。
- 等の特長を持つ。

しかしながら従来の回転ドラム式ろ過装置のろ材は二次元ろ材である金網を用いていたため、

- ① 金網の最も小さなメッシュの目開は30μmで、粘土や微細藻類のような微粒子の除去性能が低い。
  - ② 金網ではメッシュを小さくすればするほど機械的強度が弱くなり破損しやすい。また粒子が網の目に詰まり、洗浄で除去しにくくなる。
- 等の欠点があった。

そこで繊維技術を応用した三次元ろ布により上記問題の解決を図った。すなわち縦糸、横糸から構成される織物であり、横糸に極細繊維 (繊維1本の直径が2~3μm) を用い、その横糸を立毛させ緻密層を構成したものである。これにより

- ① 基材となる織物は目開きと無関係に強度を上げられ、ろ過速度を増大することができる。
- ② 目開きの上に立毛が介する緻密層ろ過のため、数μmの粒子の除去が可能となった。
- ③ 立毛で下層の目開き部への粒子の閉塞ろ過を防止する



図一 10 三次元立毛ろ布

ので洗浄水による洗い落としが容易になり、ろ材の再生性が向上した。

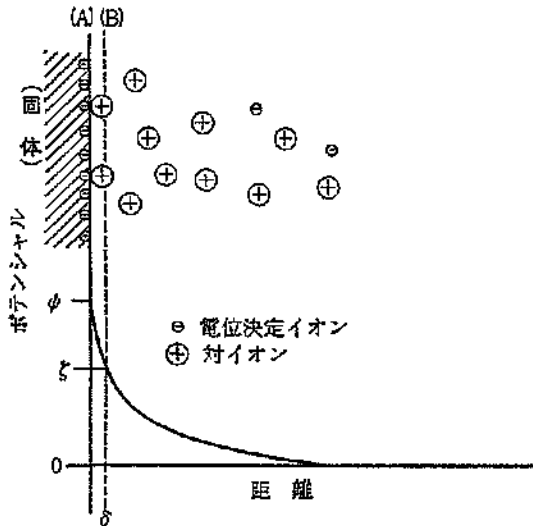
等のろ過性能の向上が得られた。本実験装置に使用しているろ布の模式図を図一10に示す。

### 3.3 凝集理論

本研究で使用した凝集剤は、上水道の製造に使用できる良品質のポリ塩化アルミニウムとアニオン系の有機高分子凝集剤である。これらの凝集機構について以下に説明する。

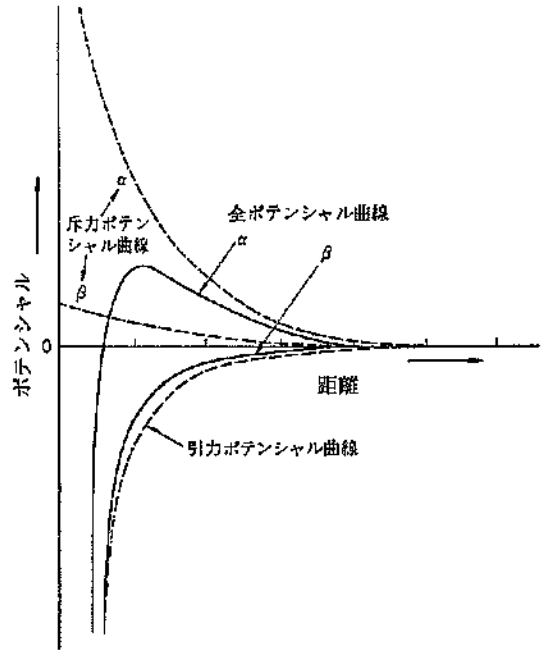
#### (1) ポリ塩化アルミニウム

余水処理の対象SSは、微細な粘土成分で、水中で負に帯電し、粒子同士が互いに反発しあって接触できないでいる。この粘土粒子の帯電状況を図一11に示した。この図の(A)が粘土粒子の表面であり、ここでの電位は $\phi$ である。水中の陽イオンは粘土粒子の表面に引き付けられ、粒子表面に保持されているスターン層(B)の電位は表面より小さくなっている。この電位をゼータ( $\zeta$ )電位と言う。電位は粒子表面から離れるに従って低下する。この電位は粒子同士の斥力として働く。



図一11 粒子表面の電位分布

図一12に2つの粒子間の相互ポテンシャルを示す。図中の斥力ポテンシャル曲線 $\alpha$ と引力ポテンシャル曲線(ファン・デル・ワールス力)との合成曲線が実線で示した全ポテンシャル曲線 $\alpha$ である。この場合、全ポテンシャル曲線の山の頂上より大きい運動エネルギーを粒子に与えないと粒子同士を接触させることができない。ところが粒子径が小さい場合、攪拌により水に与える乱流変動速度に限界があるため、粒子の運動エネルギーを高



図一12 粒子相互間のポテンシャル曲線

めることは難しく、凝集させることができない。そこで、粒子表面の界面動電位を低下させるために凝集剤が使用される。この場合は、斥力ポテンシャル曲線と全ポテンシャル曲線は $\beta$ のようになり、 $\alpha$ のようなポテンシャル障壁がなくなり、粒子は凝集しやすくなる。

凝集剤の凝集力はイオン価数が大きいほど高くなる。アルミニウム、鉄イオンは水中で3価のイオンになり、PACは水中で加水分解して4価になるので凝集力が高く凝集剤として用いられる。海水の場合、Mgイオン、Caイオン、Naイオン等が存在しているので、海水中では粘土粒子の負の電荷が対イオンである陽イオンを表面に引き付ける。このためスターン層に吸着される陽イオンの量は淡水に比べて非常に多くなり、ゼータ電位が小さくなるので、凝集剤の添加なくして凝集が進行する。海水の場合凝集剤が必要でないケースが生じるのは、このような理由による。

#### (2) 有機高分子凝集剤

負のイオンに帯電している粘土粒子は、対イオンである陽イオンを添加することにより、負電荷が中和され粒子相互間のエネルギーの障壁が小さくなり、粒子同士の接触により集塊が進行し、数十ミクロンの粒径に成長する。これが凝集粒子で、この表面には一部陽イオンが吸着されている。アニオン系の有機高分子凝集剤は、長い分子鎖の末端に負電荷の官能基が多数存在し、この官能基と凝集粒子の陽イオンの部分とが結合して粗大な粒子を形成する。この高分子凝集剤(ポリマー)の橋架け凝

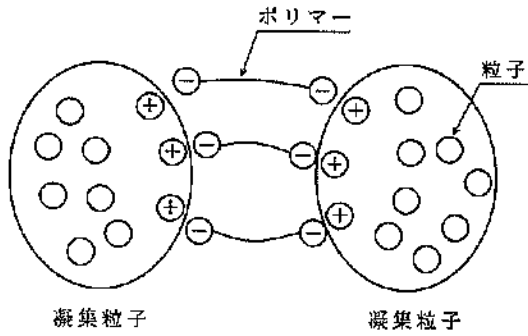


図-13 高分子凝集剤の橋架け凝集

集を図-13に示す。このように高分子凝集剤は凝集粒子同士を橋架けで集塊させて、大きなフロックに成長させるものである。

通常は、高分子凝集剤はフロックを大きくして、沈降速度を速めたり、ろ布ろ過による阻止率の向上を図るために添加するが、深層ろ過では高分子凝集剤をろ材に付着させて流入してくる凝集粒子をろ材層内で捕捉する接触凝集ろ過法を用いている。従って高分子凝集剤はろ過層に流入する直前に添加している。

#### 4. 模型実験

新形式のろ材を用いたろ過装置として、格子状円筒ろ

材を用いた深層ろ過装置と、繊維立毛ろ布を用いたろ布ろ過装置について模型実験を行った。実験装置のフローシートを図-14に示す。海水をポンプで揚水し、現地土砂処分場（荏田沖土砂処分場）から採取した底質を用いて所定の濁質濃度に調整し、供試原水とした。この原水に必要な応じて、PAC（ポリ塩化アルミニウム）を添加し攪拌した後、ポリマー（高分子凝集剤）を添加して直ちに各ろ過装置に供給し、ろ過水の濁質濃度を測定した。

ここで深層ろ過装置の場合は、PAC添加後のフロックはポリマーが結合できる大きさまで成長すればよく、凝集攪拌は短い方がよい。またポリマーの添加は、ろ材層である格子状円筒ろ材表面に付着させることが主目的であるので、できるだけPAC凝集粒子との接触の機会を小さくすることが重要である。なお凝集剤としてPACを用いない場合は、濁質表面にポリマーを吸着させ、格子状円筒ろ材内で捕捉できるまで成長させた方がよいと思われる。目標処理能力を以下に示す。

流入SS濃度	500mg/ℓ
処理水SS濃度	10~30mg/ℓ

##### (1) 実験装置の概要

- 1) 原水ポンプ：  
モノポンプ 8m<sup>3</sup>/h×20mAq×1
- 2) 深層ろ過槽：

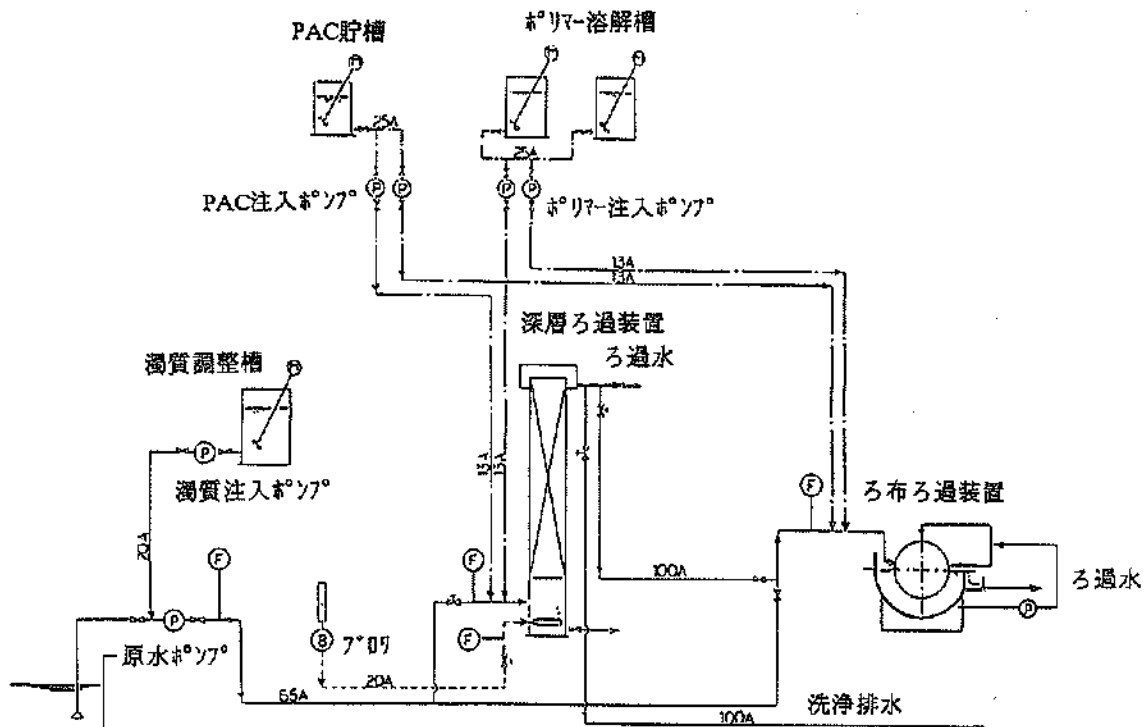


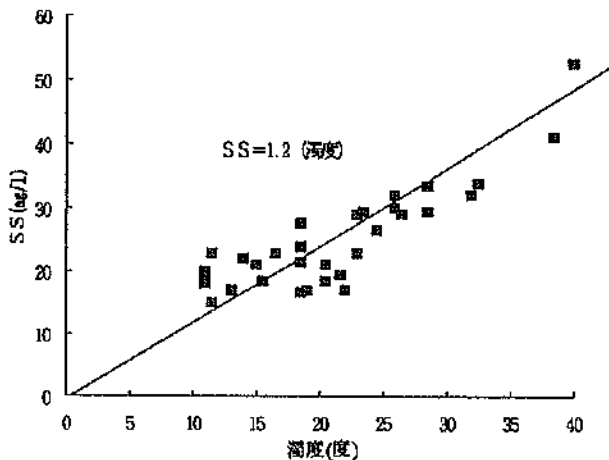
図-14 模型実験装置フローシート

- 寸法 300mmφ×4000mm×1塔  
(充填高さ 2750mm)
- 流量 1.4m<sup>3</sup>/h
- 中空円筒ろ材の形状寸法
- 寸法 25mm×25mm
- 密度 0.89g/cm<sup>3</sup>
- 3)ろ布ろ過装置： 500mm×1450mm(ろ布幅)
- 4)貯槽
- ①濁質調整槽 500ℓ×1
- ②PAC貯槽 100ℓ×1
- ③ポリマー溶解槽 200ℓ×2
- 5)その他
- ①薬注ポンプ
- ・濁質注入ポンプ 800ml/min×1
  - ・PAC注入ポンプ 100ml/min×2
  - ・ポリマー注入ポンプ 100ml/min×2
- ②攪拌機
- ・濁質調整槽 310mmφ×1250mmL×1
  - ・PAC貯槽 220mmφ×800mmL×1
  - ・ポリマー溶解槽 220mmφ×800mmL×2
- ③ブローワー 140Nℓ/min×0.5kgf/cm<sup>2</sup>
- ④流量計
- ・原水流量計 電磁流量計
  - ・空気流量計 オリフィス流量計

#### 4.1 予備実験

##### (1)原水SS濃度と濁度の相関

原水濁度10～600度の範囲で相関性を求めた。結果を図一15、図一16に示す。SS濃度と濁度の相関は、中濁度(50度以下)と高濁度(100～600度)では傾きが違い、また多少のばらつきはあるが相関性はあると見なせる。



図一15 原水SS濃度と濁度との相関(中濁度)

##### (2)最適凝集剤注入率

濁質100、300、600度に調整した原水を用いて、ジャーテストにてPACおよびポリマーの注入率を変えて最適注入率を求めた。結果を表一6に示す。PAC単独とPACとポリマーとの併用についてテストを行った結果、原水濁度100度程度の場合はPAC単独でも凝集するが、濁度300～600度と上昇するにつれPAC単独では良好な結果が得られなかった。ポリマーとの併用は非常に効果的で、PAC15mg/ℓ、ポリマー0.15mg/ℓで600度までの原水を20度以下まで処理可能である。

表一6 最適凝集剤注入率

原水濁度(度)	100		300		
PAC注入率(mg/l)	30	15	40	15	40
ポリマー注入率(mg/l)	0	0.15	0	0.15	0.15
上澄水濁度(度)	4	4	7	11	3.5

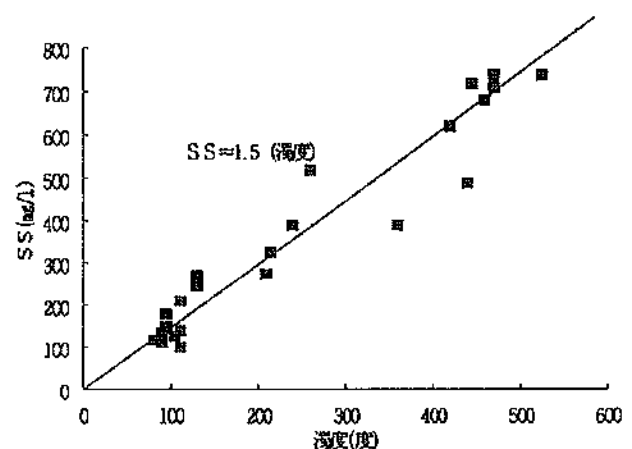
原水濁度(度)	600		
PAC注入率(mg/l)	40	15	40
ポリマー注入率(mg/l)	0	0.15	0.15
上澄水濁度(度)	16	15	6

##### (3)静置沈降試験

無薬注静置条件下で、上澄水濁度がどの程度のレベルに達するかを確認した。結果を表一7に示す。原水を1ℓ

表一7 静置沈降試験結果

原水濁度(度)	1h静置濁度(度)	濁度除去率(%)
66	52	21.2
132	95	28.0
265	183	30.9
530	341	35.6



図一16 原水SS濃度と濁度との相関(高濁度)



のシリンダー内で1時間静置し、その後水面上から60mmまでの部分の液(200cc)を採取し濁度を測定した。その結果60mm/hと極めて小さな分離速度に設定しても濁度除去は小さく、無薬注で沈降分離することは困難と考えられる。

(4) 粒度分布測定結果

濁質として使用する供試泥は苅田沖土砂処分場余水吐近傍より必要量を採取した。湿式篩別法による粒度分布測定の結果を表-8に示す。さらに3 $\mu$ m以下の粒子に

表-8 粒度分布測定結果

粒径 ( $\mu$ m)	乾燥重量 (g)	頻度 百分率 (%)	累積重量 百分率 (%)
45以上	0.2287	9.9	100.0
45~25	0.2851	12.3	90.1
25~12.5	0.3964	17.2	77.7
12.5~3	0.2954	12.8	60.6
3以下	1.1034	47.8	47.8

表-9 3 $\mu$ m以下粒度分布測定結果

粒径 ( $\mu$ m)	粒子数(個 $\times 10^{-4}$ /ml)					平均
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
0.4~0.7	4662	7028	8880	6201	4550	6264
0.7~1.0	5635	1038	1307	859	626	629
1.0~2.0	146	277	345	219	159	229
2.0~5.0	25	43	52	38	31	38
5.0以上	31	5	9	5	4	5

表-10 深層ろ過実験条件

Run No.	1	2	3	4	5
原水SS(mg/l)	100	100	100	100	100
L V(m/h)	15	15	20	20	20
注入率(mg/l)	0	最濃PAC 注入条件	0	最濃PAC 注入条件	PAC・ $\text{Na}^+$ リヤ側用

Run No.	6	7	8	9	10
原水SS(mg/l)	300	300	300	300	300
L V(m/h)	15	15	20	20	20
注入率(mg/l)	0	最濃PAC 注入条件	0	最濃PAC 注入条件	PAC・ $\text{Na}^+$ リヤ側用

Run No.	11	12	13	14	15
原水SS(mg/l)	500	500	500	500	500
L V(m/h)	15	15	20	20	20
注入率(mg/l)	0	最濃PAC 注入条件	0	最濃PAC 注入条件	PAC・ $\text{Na}^+$ リヤ側用

ついて光散乱式粒度分布測定装置を用いて分析した結果が表-9である。

湿式篩別法による3 $\mu$ m以下の粒子が重量百分率で47.8%あり、その中の粒子径の分布が表-9であることから、微粒子の主体は0.4~0.7 $\mu$ mであり、この粒度分布からも凝集剤なしで分離することは経済的に不可能である。

4.2 深層ろ過実験

深層ろ過について原水SS濃度、ろ過速度(LV)、薬注条件を変化させ、ろ過水のSS濃度を測定した。実験条件を表-10に、実験結果をまとめたものを表-11に示す。

表-11 深層ろ過実験結果

原水SS(mg/l)	115	125	150	130			160
L V(m/h)	10	20	15	21.4			14.6
PAC(mg/l)	30	40	15	10	30	30	15
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0	0	0	0	0	0.1	0
ろ過水SS(mg/l)	6	28	18	38	20	10~15	46

原水SS(mg/l)	160	162	100~200	140		
L V(m/h)	14.6	31.3	41.7	20.8	31.8	
PAC(mg/l)	40	15	15	15	10	100
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
ろ過水SS(mg/l)	37	15	20~30	20	23	30

原水SS(mg/l)	140	240	250				
L V(m/h)	41.7	20.8	41.7	28.8		20.8	
PAC(mg/l)	15	19	10	0	20	20	25
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0.1	0	0.15	0	0	0.2	0
ろ過水SS(mg/l)	30	45	35	190	62	15	40

原水SS(mg/l)	450				500	430	
L V(m/h)	15	10	15	20	15	20	
PAC(mg/l)	15	40	40	40	40	10	20
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0	0	0	0	0	0.1	0.2
ろ過水SS(mg/l)	25	20	20	45	8	20	18

原水SS(mg/l)	350~400			450~500	720	300
L V(m/h)	10	15	20	41.7	20.8	15
PAC(mg/l)	15	15	15	15	15	5
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.05
ろ過水SS(mg/l)	8	10	15	20~30	10~15	25

原水SS(mg/l)	450	600	900
L V(m/h)	15		
PAC(mg/l)	5	5	5
$\text{Na}^+$ リヤ(mg/l)	0.05	0.05	0.05
ろ過水SS(mg/l)	25	30	30

(1) PAC単独処理

原水SS濃度当初約300mg/l、その後約500~600mg/lについて、PAC20、40、60mg/lと変えて実験した結果が図-17である。原水SS濃度約300mg/l、LV=6.7m/h、PAC40mg/lの条件でろ過水SS濃度25mg/l、原水SS濃度約500~600mg/l、LV=6.7m/h、PAC60mg/lでろ過水SS濃度30mg/l程度である。

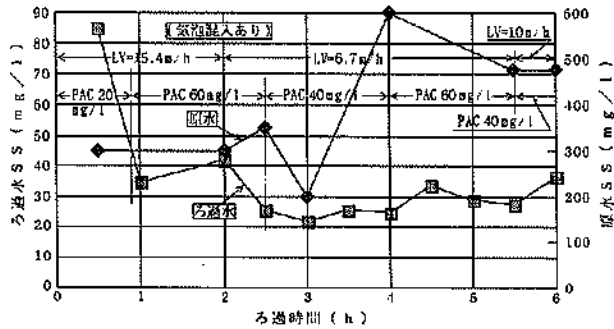


図-17 薬注条件の影響 (PAC単独)

(2) PACとポリマーとの併用処理

薬注条件の影響として、PACとポリマーとの併用処理の実験結果を図-18~図-21に示す。

図-18は原水SS濃度を150から350mg/lに増加した場合

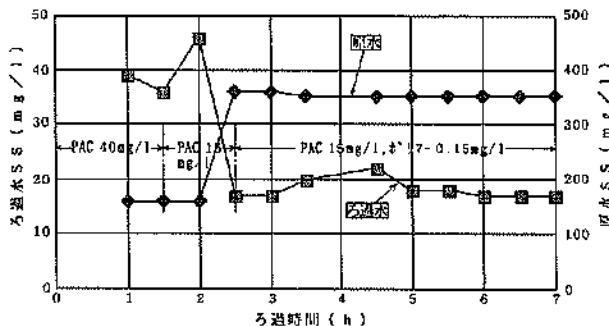


図-18 薬注条件の影響 (PAC、ポリマー併用)

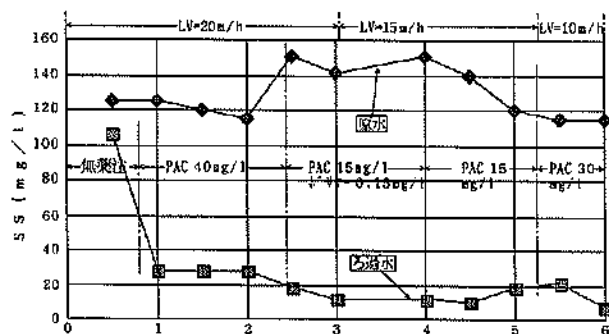


図-19 薬注条件の影響 (PAC、ポリマー併用)

合の処理結果である。PAC40mg/l単独注入ではろ過水SS35~40mg/lであったが、PAC15mg/l、ポリマー0.15mg/lの併用になると原水SS濃度の変化に影響されず、ろ過水SS濃度を15~20mg/lにすることができる。

図-19は原水濁度約115~150mg/lの条件下で、LV=20、15、10m/hとろ過速度を変化させ、さらに薬注条件を変えて調べた結果で、PAC15mg/lとポリマー0.15mg/lとの併用は約10mg/lのろ過水が得られるが、PAC単独でも、LV=15m/hでPAC15~30mg/lにすれば、ろ過水SSは10~20mg/lになることが判明した。

図-20はA:無薬注、B:PAC20mg/l、C:PAC20mg/l、ポリマー0.2mg/lの3条件で実験した結果である。無薬注ではほとんど捕捉されず、PAC20mg/l薬注すると60mg/lまで低下する。さらにポリマーを添加すると、20mg/l以下となった。

図-21はPAC20mg/l、ポリマー0.2mg/lからPAC10mg/l、ポリマー0.1mg/lに低下させた場合の結果で、ろ過水は20mg/l以下と比較的安定している。

(3) 限界薬品注入率

限界薬品注入率について検討した結果が図-22、図-23である。

図-22は原水SS濃度450mg/lについて、PAC40mg/l一定条件下で、LV=10、15、20m/hについて実験し

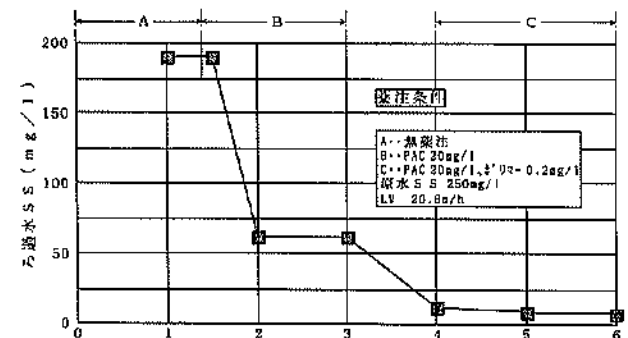


図-20 薬注条件の影響 (PAC、ポリマー併用)

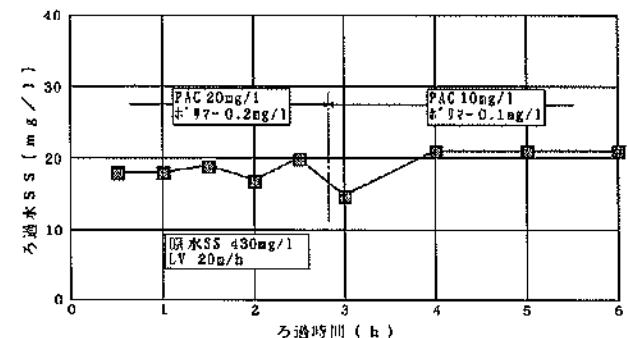


図-21 薬注条件の影響 (PAC、ポリマー併用)

た結果で、ろ過水SSは、それぞれ10mg/l以下、20mg/l、45mg/lとなり、LV=15m/hであれば、PAC40mg/lでろ過水SSを20mg/l以下にできる。

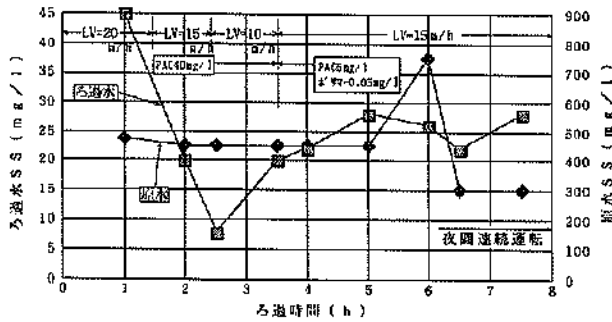


図-22 薬注条件の影響 (限界薬品注入率)

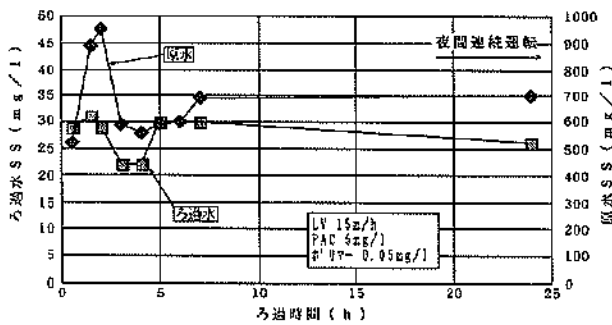


図-23 薬注条件の影響 (限界薬品注入率)

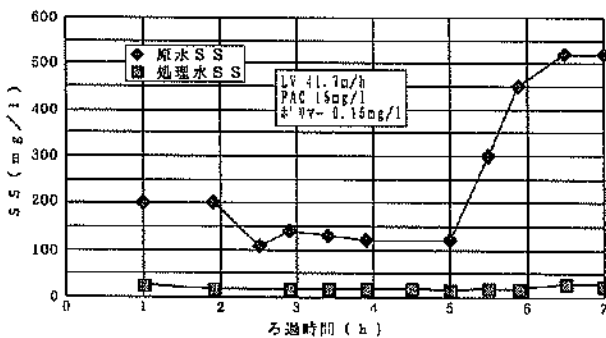


図-24 原水SS濃度の影響

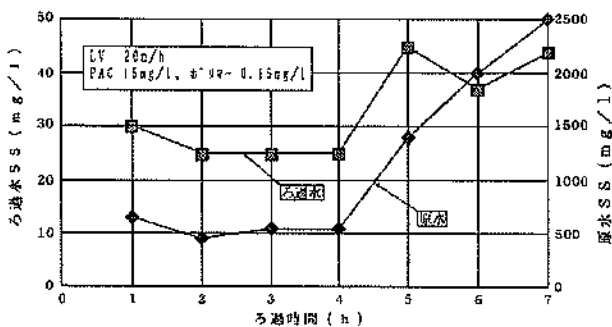


図-25 原水SS濃度の影響

図-23はPAC、ポリマー併用の結果で、PAC単独に比べてコスト低減が可能である。ろ過速度LV=15m/hで、PAC5mg/l、ポリマー0.05mg/l併用で、原水SS濃度450~950mg/lの条件で連続運転した結果、ろ過水SS 25~30mg/lで比較的安定した運転が可能であった。

(4) 原水SS濃度の影響

PAC、ポリマーの併用が適切な薬注条件であることが判明したので、この併用条件で原水SS濃度を約200mg/lから500mg/l、さらに2500mg/lに変動させてみた結果が図-24、図-25である。PAC、ポリマー併用であれば、ろ過水は原水SS濃度変動に対しても比較的安定して処理できることが判明した。

(5) ろ過速度の影響

図-26に示すように、薬注条件をPAC、ポリマー併用とPAC単独にして、LV=20.8、31.3、41.7m/hの3条件について調べた結果、ろ過水が30~40mg/lに変動しているが、PAC15mg/l、ポリマー0.15mg/lの併用時には安定している。図-27に示すように、原水SS濃度が350~400mg/lで、PAC15mg/l、ポリマー0.15mg/lの凝集剤注入条件で、LVを20m/h、15m/h、10m/hと変化させてみたが、ろ過水SS濃度は10~15mg/lと極めて安定している。

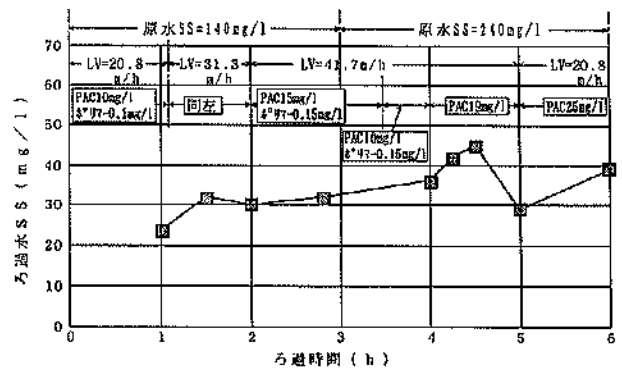


図-26 ろ過速度の影響

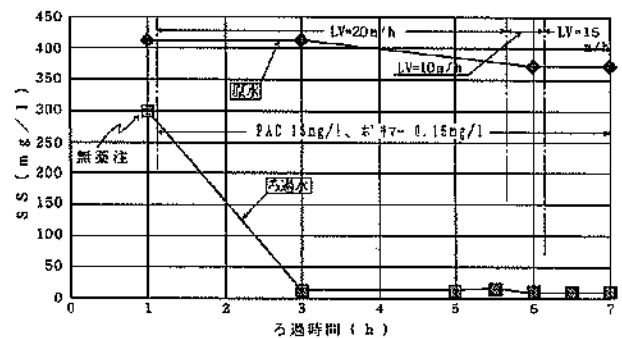


図-27 ろ過速度の影響

以上の結果よりPAC15mg/l、ポリマー0.15mg/lにすれば原水SS濃度500mg/lまで安定した処理が可能であると考えられる。

(6) ろ層内のSS濃度分布

深層ろ過層の高さ方向のSS濃度を測定した結果が、図-28と図-29である。図-28は原水SS濃度126mg/l、PAC10mg/l、ポリマー0.1mg/l、ろ過速度LV=20.8m/hの条件下、図-29は原水SS濃度162mg/l、PAC15mg/l、ポリマー0.15mg/l、ろ過速度LV=31.3m/hの条件下におけるものである。

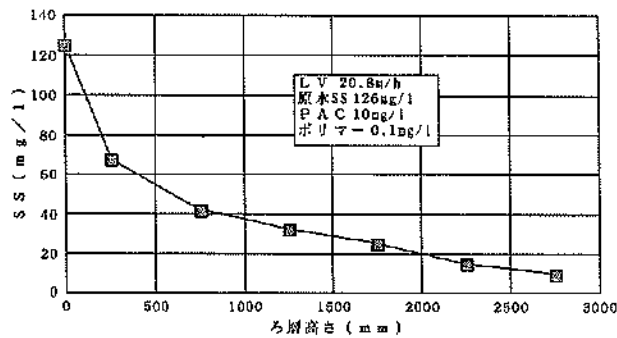


図-28 ろ層高さ方向のSS濃度分布

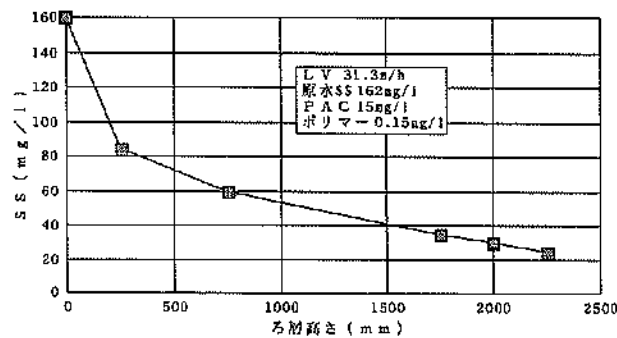


図-29 ろ層高さ方向のSS濃度分布

図-28によれば、LV=20.8m/hでSS濃度が20mg/l以下になるろ層高さは2000mmであるから、例えばLV=5m/hにすれば同じ滞留時間となる500mmでSS20mg/lになることが予測できる。同じく図-29によればろ層高さ2,000mmでSS約30mg/l以下になる。最初の250mm区間で除去SSの50%が捕捉され、残りの50%が2,500mmの区間で除去されている。この場合、ろ層2,000mmの位置での滞留時間が約3.2分であり、その位置でのSS濃度が30mg/lとなる。図の傾向から見て、滞留時間が5~7分であればろ過水のSS濃度は20mg/l程度になる。従って安全をみて、滞留時間を10~15分に設計すれば、ろ過水SS濃度20mg/l以下にできると考えられる。

(7) 実験結果の整理

前述の表-11の実験結果を基に、原水SS濃度および薬注条件をパラメーターにしてLVとろ過水SS濃度との関係で整理したのが、図-30~図-32である。

薬注条件の若干の違い等によりデータのばらつきはあるが、全体にLVが高くなれば、ろ過水SS濃度は増加し、またPAC単独の方が、PAC・ポリマー併用よりろ過水SS濃度は高くなる。

原水SS濃度130~162mg/lの条件の結果が図-30である。PAC・ポリマー併用 (PAC15mg/l、ポリマー

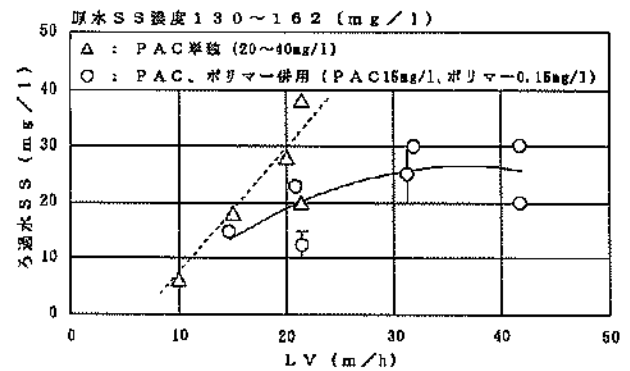


図-30 LVとろ過水SS濃度との関係

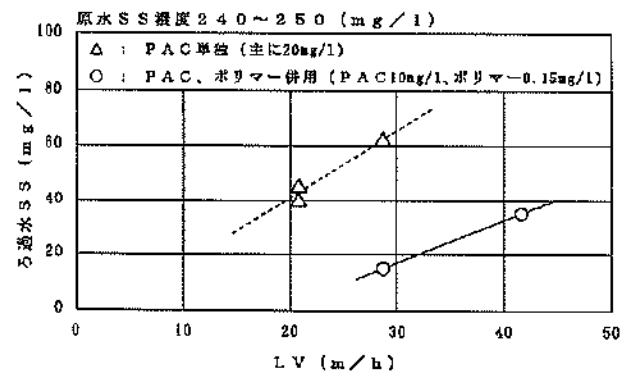


図-31 LVとろ過水SS濃度との関係

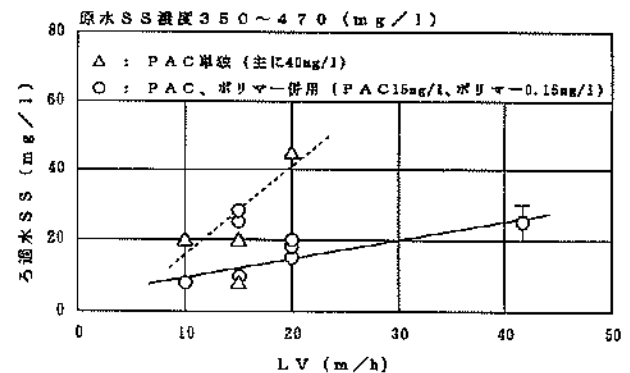


図-32 LVとろ過水SS濃度との関係

0.15mg/ℓ) の場合のろ過水SS曲線はLV=30~40m/hあたりで傾斜がなだらかになっている。PAC・ポリマー併用であればLV=20~30m/hまでろ過水SSを20mg/ℓ以下にできるが、PAC単独(20~40mg/ℓ)ではLV=15m/h程度にする必要がある。

原水SS濃度240~250mg/ℓの条件の結果が図-31である。PAC・ポリマー併用(PAC10mg/ℓ、ポリマー0.15mg/ℓ)であればLV=30m/hまでろ過水SSを20mg/ℓ以下にできるが、PAC単独(主に20mg/ℓ)ではLV=10m/h程度にする必要がある。

原水SS濃度350~470mg/ℓの条件の結果が図-32である。PAC・ポリマー併用(PAC15mg/ℓ、ポリマー0.15mg/ℓ)の場合のろ過水SS曲線は図-30と異なり直線状になっている。PAC・ポリマー併用であればLV=30m/hまでろ過水SSを20mg/ℓ以下にできるが、PAC単独(主に40mg/ℓ)ではLV=10m/h程度にする必要がある。

以上のようにPAC単独処理では、LV増加に対するろ過水SS濃度の増加率が高く、またろ過水SS濃度自体の値も高くなるので、PACとポリマーの併用が適切である。

### 4.3 ろ布ろ過実験

ろ布ろ過について原水濁質濃度、ろ過速度、薬注条件を変化させ、ろ過水の濁質濃度を測定した。

#### (1) ろ布

ろ布は次の2種を実験に用いた。

##### ①三次元立毛ろ布(S)

複数のポリエステル縦糸と横糸を交互に織り込む特殊な織り方により強度を持たせ、表層部では太さが2~3μmの多数の極細繊維が基材の太い繊維を覆い被す形態で一定の方向に立毛し、緻密層を形成する三次元ろ布。

##### ②二次元平織りろ布(X)

極細繊維を縦糸、横糸に使い、一本毎に交互に織る平織ろ布で極細繊維からなる微細孔を備えた二次元ろ布。

#### (2) 実験用装置仕様

- ・ドラム径 500mm
- ・ドラム長さ 450mm
- ・最大有効差圧 300mm
- ・有効ろ過面積 0.216m<sup>2</sup>
- ・回転数 1~10rpm
- ・逆洗圧力 最大4kgf/cm<sup>2</sup>
- ・逆洗量 最大1.3m<sup>3</sup>/h
- ・表洗圧力 最大2kgf/cm<sup>2</sup>
- ・表洗量 最大0.9m<sup>3</sup>/h
- ・凝集反応槽 容積0.2m<sup>3</sup>

・攪拌機 0~500rpm

#### (3) 運転方法概要

あらかじめ所定量を吐出するように調整された凝集剤ポンプと、凝集が目標凝集反応時間になるように調整された原水供給ポンプを稼働させ、凝集反応槽に供給する。

所定の反応時間を経過後、ろ過装置に原水が供給される。ろ過装置の必要水頭は300mmと少ないので、凝集反応槽とろ過装置の位置関係を配慮すればろ過装置への供給は自然流下で行われ、ポンプを必要としない。

原水を供給後、ドラムおよび表・逆洗用のポンプを稼働させれば運転は連続で行われる。逆洗圧力は標準で3kgf/cm<sup>2</sup>、表洗圧力は1kgf/cm<sup>2</sup>で行う。

#### (4) 無薬注ろ過実験

無薬注で原水濃度を変化させた結果を図-33に示す。

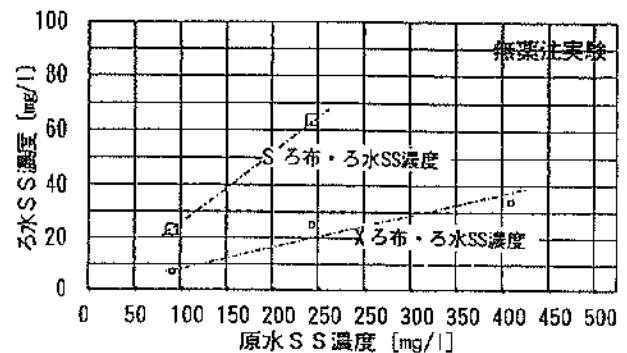


図-33 無薬注ろ過実験結果

Sろ布で原水濃度が100mg/ℓ、Xろ布で300mg/ℓ以上の場合には、無薬注では目標水質30mg/ℓを達成できないことが判明した。

また回転ドラム式ろ布ろ過装置の特長である回転数、ひいては水中ろ過時間とSS阻止率の関係を調査した。結果を図-34に示す。

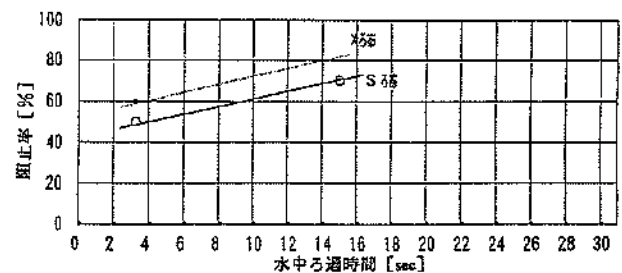


図-34 水中ろ過時間の影響(無薬注)

Xろ布で高阻止率が期待されたが、結果としてはXろ布は高SS濃度の場合には二次元ろ布のため逆洗が不十分となり、連続運転が不可能であった。またろ過速度が



4m/h以下となり実用に適さないことも判明した。このため薬注実験についてはXろ布は不採用とした。

またSろ布については、少なくともろ過時間は15秒前後にする必要があることが判明した。

(5) 最適薬注条件

最適薬注条件を採すため以下の実験を行った。その結果アニオン系ポリマー単独がコスト的に有利であり最適と判断した。

- a. PAC単独
- b. PAC+アニオン系ポリマー
- c. アニオン系ポリマー+カチオン系ポリマー
- d. アニオン系ポリマー単独

a.とb.については、フロックが脆く、ろ布からリークしたので使用不可であった。c.については、原水SS濃度670mg/lでアニオン系ポリマー0.08mg/l、カチオン系ポリマー0.04mg/lで目標水質を達成可能であったが、コスト面では不利であった。d.アニオン系ポリマーは、原水SS濃度500mg/lに対し0.11mg/lで目標水質を達成可能であり、コスト面でも有利であったので本条件を採用した。

図-35にアニオン系ポリマーとカチオン系ポリマー2種混合注入による処理結果を、図-36にアニオン系

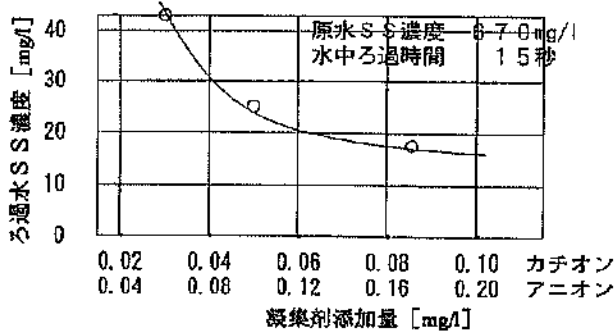


図-35 アニオン・カチオン混合系凝集剤の効果

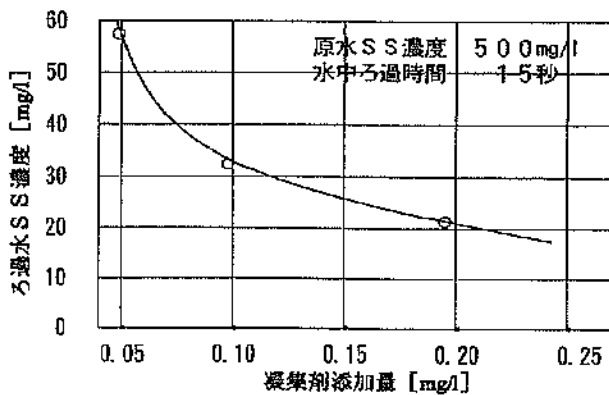


図-36 アニオン単独凝集剤の効果

ポリマー単独注入による処理結果を示す。

(6) 最適ろ過時間

上記実験からろ布種はS、薬注はアニオン系ポリマー単独という条件が見出された。次にドラム回転数、すなわち水中ろ過時間によるろ過性能の確認実験を行った。実験結果を図-37に示す。なお水中ろ過時間はドラム径

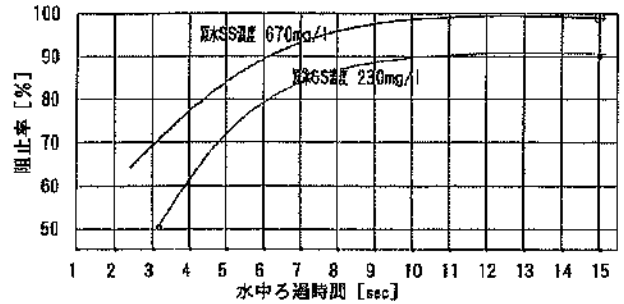


図-37 水中ろ過時間の影響

に無関係に回転数 n (rpm) の関数で示される。

$$\text{水中ろ過時間} = 30/n \text{ (sec)}$$

本実験から水中ろ過時間は10~15秒前後になるように回転数を設定する必要があることが判明した。

(7) 凝集反応条件

凝集反応槽での最適滞留時間の実験を行った結果を図-38に示す。最小8分程度が必要であることが判明した。

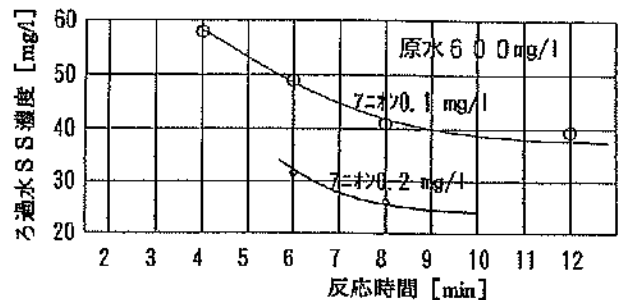


図-38 凝集反応時間とろ過性能

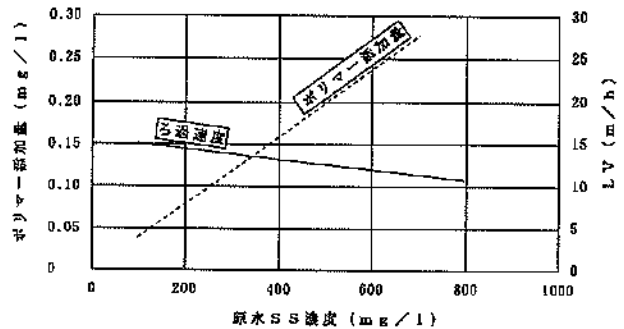


図-39 最適運転条件

また攪拌機の回転数については200rpm前後が最適であった。

(8) 原水濃度とポリマー添加量およびろ過速度

目標水質を維持するのに必要なポリマー添加最小必要量を原水SS濃度に対して、またその時のろ過速度を実験で求めた。結果を図-39に示す。

(9) ろ布ろ過最適条件の設定

以上の各実験から運転条件の最適設定値を以下に示す。

- ・原水最大SS濃度 1000mg/l
- ・ろ過水SS濃度 30mg/l以下
- ・ろ布種 S
- ・凝集剤条件 図-39に従った注入量
- ・凝集剤反応時間 最小8分
- ・ろ過装置ろ過速度 15m/h
- ・ろ過装置水中ろ過時間 最小15秒

4.4 模型実験結果

深層ろ過装置、ろ布ろ過装置の模型実験結果をまとめて従来の凝集沈殿方式と比較したものを表-12に示す。これらを要約すると以下のようになる。

(1) 深層ろ過装置で原水SS濃度100~600mg/l、ろ過速度LV=15m/hの場合、PAC5mg/l、ポリマー0.05mg/lを添加すれば、ろ過水SS濃度30mg/l以下にできる。また、原水SS濃度600mg/l、ろ過速度LV=20m/hの場合、P

AC15mg/l、ポリマー0.15mg/lを添加すれば、ろ過水SS濃度20mg/l以下にできる。

(2) ろ布ろ過装置で原水SS濃度100mg/l、ろ過速度LV=15m/hの場合、ポリマー0.04mg/lを添加すれば、ろ過水SS濃度30mg/l以下にできる。また、原水SS濃度600mg/l、ろ過速度LV=12m/hの場合、ポリマー0.24mg/lを添加すれば、ろ過水SS濃度30mg/l以下にできる。

(3) 深層ろ過装置、ろ布ろ過装置ともに原水のSS変動に対して、薬注操作は濃度比例注入制御を設ければ容易に対応可能である。

(4) 深層ろ過装置は、ろ過速度の変動については計画値の2倍程度までは処理水の水質に影響はなく、水量変動には強い。

5. 現地実験

上記の模型実験結果を基に、深層ろ過装置とろ布ろ過装置について現地実験を行い、現地余水による性能確認と実機を設計するための各種データ取得を行った。

5.1 現地実験条件

(1) 実験場所および浚渫箇所

実験施設は図-40に示す第四港湾建設局の刈田沖土砂処分場の余水吐の近くに設置した。実験期間中、埋立地内には新門司沖土砂処分場護岸床掘工事の浚渫土砂およ

表-12 模型実験結果一覧

評価項目		凝集沈殿			深層ろ過		ろ布ろ過			
処	原水SS濃度	Max(mg/l)	1000							
		Ave(mg/l)	500							
理	無薬注		処理不能			処理不能		原水SS100mg/l以下 処理水30mg/l以下		
	機	原水SS(mg/l)	100	300	600	100~600	600	100	300	600
		PAC(mg/l)	40	40	40	5	15	-	-	-
		ポリマー(mg/l)	-	0.15	0.15	0.05	0.15	0.04	0.12	0.24
		処理水SS(mg/l)	20以下			30以下	20以下	30以下		
	ろ過速度(m/h)	1.2			15	20	12~15			
	槽高(m)	4			4		-			
各種変動条件	原水濃度変動		原水のSS変動に対して、薬注は濃度比例注入制御を設ければ容易に対応可能。PAC単独ではSS300mg/l以上になると対応が難しくなる。							
	原水流量変動		水面積負荷(ろ過速度に対応)1.2m/hまでなら問題なし。これ以上になると処理水質悪化する。			計画値LV=20m/hの場合、最大LV40m/hまでは処理水に影響なし。水量変動には強い。		供給装置として一定量供給方式とする必要がある。		

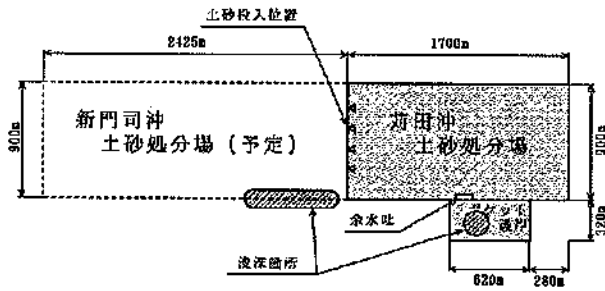


図-40 土砂処分場平面図

びポケット護岸内からの二次浚渫土砂が投入されており、余水はこれらの工事に伴うものである。浚渫箇所、土砂処分場への浚渫土砂投入位置、および余水吐の位置を図-40に示す。なおポケット護岸内の土砂は関門航路浚渫によるものである。

(2) 実験装置フローシート

本余水処理現地実験は、ポンプを用いない自然流下方式で計画していたが、現地据付現場の諸条件により、やむをえずポンプ取水方式を採用した。

実験装置は図-41にフローシート、付図-1に配置図、付図-2、付図-3にそれぞれ深層ろ過装置、ろ布ろ過装置の断面図、写真-1に実験装置の全景を示す。

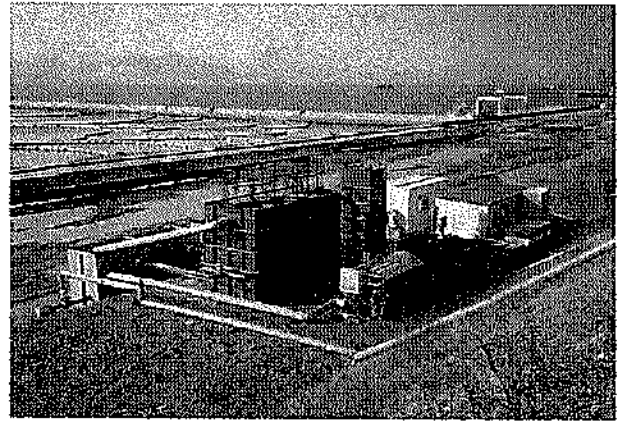


写真-1 現地実験装置全景

埋立地内の余水吐近くにフロート式のポンプを据付け、このポンプで余水を取水して供試原水とし、深層ろ過装置とろ布ろ過装置へ供給する。本実験はジャーテストで決めた適正なPACおよびポリマーを注入し、清澄な処理水が得られる最適注入量、最適操作条件を求めた。なおろ過処理水および洗浄水は埋立地内に返送し、埋立地外には放流しないようにした。

苅田沖土砂処分場の埋立は最終段階で、余水水質も浚渫工事の状況により大幅に変化する。最悪の場合には浚

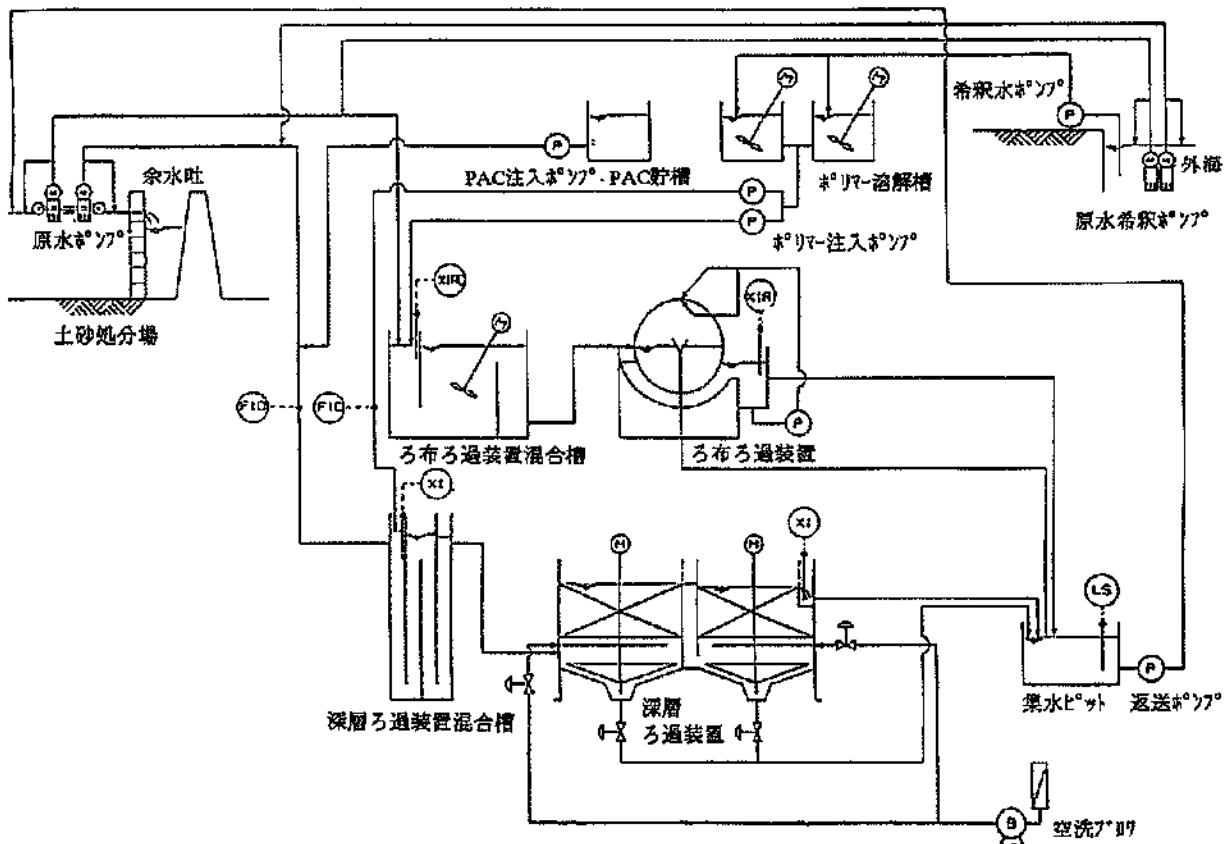


図-41 現地実験装置フローシート

濁土が埋立地内で沈殿せずそのまま余水吐より流出することも考えられるので、このような最悪の場合にも実験ができるように原水希釈用のポンプを設置した。実験装置の目標処理能力を以下に示す。

流入SS濃度	4000mg/ℓ以下
処理水SS濃度	10~30mg/ℓ
最大処理水量	100m <sup>3</sup> /h (実機の1/5~1/10スケール)

### (3) 現地実験装置の設計条件

模型実験では深層ろ過装置とろ布ろ過装置について基本的な除濁性能試験を行い、基本特性を求めた。

深層ろ過装置のSS除去メカニズムはろ材表面への付着と沈降であり、この機構は装置の大きさに左右されない。ろ布ろ過装置のSS除去機構はろ布の目開きより大きい粒子を分離する篩作用であり、この作用原理もまた装置の大きさに影響されない。このように両方式とも基本となるSS除去機構は異なるが、装置拡大によるSS除去性能の影響がないので、下記に示すように模型実験の結果をそのまま現地実験の装置設計に適用した。

深層ろ過装置の実規模の実績によれば、最大寸法8m程度であり、本研究の目的である移動可能な構造を考慮すると、実装置の寸法は6mが限度である。一方ろ布ろ過装置は、ろ過時間を一定にすれば、ろ布への粒子の付着状況が同じになるので、除濁性能を一定に保つことができるという設計思想である。ドラム径を大きくするとろ過面積は大きくなるが、ろ布と液との境界面におけるろ布速度も大きくなり、ろ布面に付着した粒子をせん断力で剥離する作用が働いたためろ過水質にはマイナスに作用する。また移動可能な構造と自然流下方式を考慮するとドラム径5mが最大である。

実験規模としては、実装置の寸法を想定し、スケールアップの影響度の少ない最小の寸法にするのが理想的である。水処理装置は経験的要素が多く理論的設計方法が確立していないが、従来からの事例より一般的に3~4倍の拡大であればスケールアップ影響はほとんどないと言われている。そこで本研究においては、深層ろ過装置2.3m角、ろ布ろ過装置1.25mφと実規模の寸法の約1/3の規模の実験装置とした。

#### 1) 深層ろ過装置

##### a. 前回模型実験装置

・処理量	1.4m <sup>3</sup> /h
・凝集槽：	
寸法	40mmφ軟質ビニール管
平均流速	0.3m/h
滞留時間	3min

##### ・深層ろ過槽：

寸法	0.3mφ×4.0mL
中空ろ材充填高	2.75mH
ろ過速度	LV=20m/h

##### b. 現地実験装置

・処理量	100m <sup>3</sup> /h
・凝集槽：	
寸法	1.08mW×1.44mL×4mH
平均流速	0.3m/h (模型実験と同じ)
滞留時間	3min (      )

##### ・深層ろ過槽：

寸法	2.3mW×5.15mL×3.35mH (2.3m角直列2段)
中空ろ材充填高	1.4m×2=2.8m
ろ過速度	LV=20m/h (模型実験と同じ)

深層ろ過槽については、自然流下方式にするため、層高を低くする必要があり、中空ろ材の充填高さを模型実験の約1/2にし、2槽直列に配置して充填層高2.8mを確保する構成とした。

#### 2) ろ布ろ過装置

##### a. 前回模型実験装置

・処理量	1.77m <sup>3</sup> /h
・凝集槽：	
有効容積	0.2m <sup>3</sup>
滞留時間	8min
・ろ布ろ過機：	
ろ過速度	LV=15m/h
水中ろ過時間	15s
ドラム寸法	0.5mφ×0.45mL
ろ過面積	0.216m <sup>2</sup>
回転数	2rpm
周速	3.14m/min

##### b. 現地実験装置

・処理量	50m <sup>3</sup> /h
・凝集槽：	
寸法	2.4m角×1.5mH
有効容積	7m <sup>3</sup>
滞留時間	8.4min (模型実験と同じ)
・ろ布ろ過機：	
ろ過速度	LV=15m/h (模型実験と同じ)
水中ろ過時間	15s (      )
ドラム寸法	1.25mφ×2.0mL
ろ過面積	6.7m <sup>2</sup>
回転数	2rpm (模型実験と同じ)
周速	7.9m/min

(4) 主要機器仕様

1) 深層ろ過装置：

- ・ 深層ろ過槽
  - 寸法 2.3mW×5.15mL×3.35mH×1
  - ろ過面積 5.3m<sup>2</sup>
- ・ 凝集槽：
  - 寸法 1.08mW×1.44mL×4mH
  - 平均流速 0.3m/h
  - 滞留時間 3min

2) ろ布ろ過装置：

- ・ ろ布ろ過機
  - 寸法 1.58mW×3.68mL×3.5mH×1
  - ドラム寸法 1.25mφ×2.0mL
- ・ 凝集槽：
  - 寸法 2.4m角×1.5mH
  - 滞留時間 8.4min

3) 原水ポンプ：

- ・ 水中ポンプ 2m<sup>3</sup>/min×10mAq×2

4) 返送ポンプ：

- ・ 渦巻きポンプ 4m<sup>3</sup>/min×12mAq×1

5) 貯槽：

- ・ 集水ピット 2.13mW×5.13mL×2.57mH×1
- ・ PAC貯槽 500ℓ×1
- ・ ポリマー溶解槽 1000ℓ×2

6) 薬注ポンプ：

- ・ PAC注入ポンプ 30mℓ/min×1
- ・ ポリマー注入ポンプ 250mℓ/min×1,300mℓ/min×1

7) 希釈水ポンプ：

- ・ モーノポンプ 8m<sup>3</sup>/h×20mAq×1

8) 攪拌機：

- ・ ポリマー溶解攪拌機

9) 流量計：

- ・ 原水流量計 電磁流量計
- ・ 空気流量計 オリフィス流量計

5.2 予備実験

(1) 原水SS濃度と濁度の相関

原水SS濃度と濁度の関係を図-42に示す。両対数紙上で勾配は1であり両者は等しい結果となった。

(2) 最適凝集剤注入率

ジャーテストによりPACおよびポリマーの注入率を求めた結果を表-13に示す。表-13のRun1、Run2よりPAC注入率は、20mg/ℓ程度で上澄水の濁度10度以下になり清澄度の向上にはPACが有効であることが分かるが、フロックが小さく分離速度が極めて小さい。ポリマー注入率は原水濁度の影響を受けるようで、濁度の上昇に伴って注入率が増加する。

表-13 ジャーテストの結果

Run No.	1					2			
原水濁度(度)	465					730			
PAC注量(mg/l)	20	30	40	50	60	10	20	30	40
*リ注量(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上澄濁度(度)	17	10	8.5	8	8	17	7	4	5

Run No.	3				4			
原水濁度(度)	160				470			
PAC注量(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0
*リ注量(mg/l)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.05	0.10	0.15	0.20
上澄濁度(度)	32	23	21	20	34	28	26	26

Run No.	5				6			
原水濁度(度)	720				740			
PAC注量(mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0
*リ注量(mg/l)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.10	0.20	0.30	0.40
上澄濁度(度)	35	30	26	25	38	35	31	27

Run No.	7			
原水濁度(度)	1840			
PAC注量(mg/l)	0	0	0	0
*リ注量(mg/l)	0.10	0.20	0.30	0.40
上澄濁度(度)	63	43	32	30

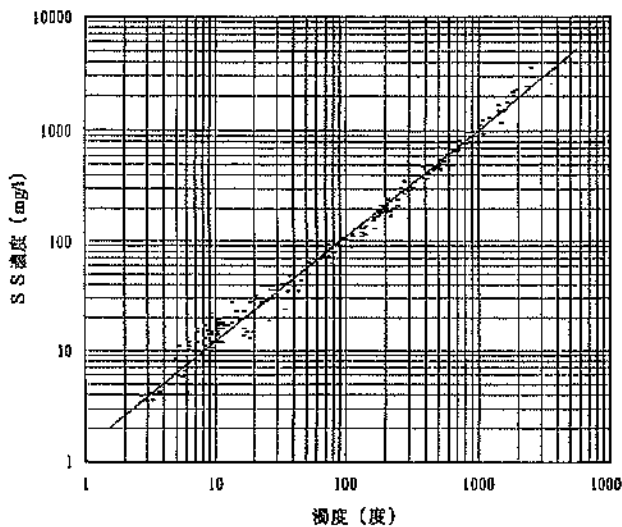


図-42 原水SS濃度と濁度との相関

粒子の沈降速度測定によると、PAC単独では粒子の沈降速度が1.2m/h以下と小さく、ポリマーを添加すると粒子が粗大化し沈降速度が3.3~5.0m/hと高速度になる。今回の研究の主眼は、少ない凝集剤の使用で分離速度を速めることによって装置をコンパクト化することであり、凝集剤の注入操作の容易性も考慮して、ポリマー単独のケースを主に実験を行うことにした。ジャーテス



トによるおおよそのポリマーの注入率を表-14に示す。

表-14 ポリマー注入率

原水濁度(度)	ポリマー注入率(mg/l)
400以下	0.1~0.2
1000以下	0.25~0.35
2000以下	0.4

### (3) 粒度分布測定結果

レーザー回折散乱式粒度分布測定装置を用いて、測定した結果の一例を図-43に示す。粒度分布は原水のサンプリング毎に若干異なり、本図は中央粒径が中程度の代表的なものを示している。粒度分布のばらつきは、浚渫箇所の違い、すなわち新門司沖土砂処分場床掘土砂と関門航路浚渫土砂の土質の違いに起因しているものと考えられる。

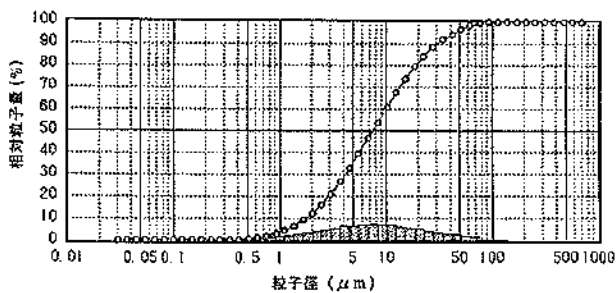


図-43 粒度分布測定結果

## 5.3 深層ろ過実験

上記の実験条件により現地実験を行った。現地実験の一例を図-44、図-45に示す。図-44はPAC単独および無添加の処理結果である。図-45はポリマー単独の処

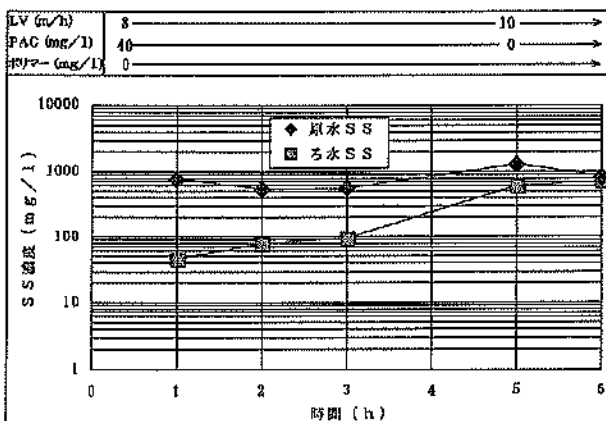


図-44 深層ろ過実験結果の例

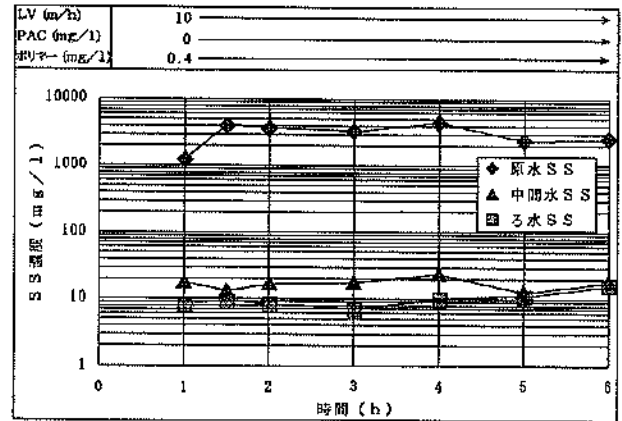


図-45 深層ろ過実験結果の例

理結果であり、ろ過速度LV=10m/h、ポリマー0.4mg/lの条件で、原水SS濃度3000mg/l程度のものが、ろ過水SS濃度20mg/l以下になっている。

#### (1) 凝集剤無添加処理

図-44の凝集剤無添加のデータによるとLV=10m/hで、おおよそ原水SS濃度700~1000mg/lがろ過水SS濃度700mg/l程度にしかならず、凝集剤無添加で原水を処理するのは不可能であり、凝集分離が必要となる。

#### (2) PAC単独処理

図-44のPAC単独処理の結果によれば、LV=8m/h、PAC40mg/lの注入条件で、原水SS濃度約550mg/lがろ過水SS濃度90mg/lになっている。ろ過水SS濃度が高いのは、PAC単独ではフロックが形成されてはいるが、微細フロックで沈降速度が遅く、かつ付着力が弱いためにろ材層内の流れによる乱れで再飛散しているためと考えられる。したがってポリマーと併用して付着力を高める必要がある。

#### (3) PACとポリマーとの併用処理

PACとポリマーとの併用の結果をまとめたのが表-15である。この結果はほぼ模型実験の結果と同じであるが、今回の現地実験の方が若干凝集が難しいと思われる。

表-15 PACとポリマー併用処理の結果

LV (m/h)	PAC (mg/l)	ポリマー (mg/l)	原水SS (mg/l)	ろ過水SS (mg/l)
17	20	0.15	200~600	15~28
20	20	0.2	680~1140	13~41

#### (4) ポリマー単独処理

ポリマー単独処理の結果をLV=10~12、14~14.5、20m/hのそれぞれについてとりまとめたものが表-16

表-16 原水SS濃度とポリマー添加量,ろ過水SSの関係

LV(m/h)	10~12			
原水SS(mg/l)	500以下	2400以下	2900以下	4400以下
ポリマ(mg/l)	0.20	0.30	0.45~0.50	0.40
ろ過水SS(mg/l)	20以下	20以下	30以下	20以下

LV(m/h)	14.0~14.5				
原水SS(mg/l)	120以下	280以下	800以下	1500以下	1500以下
ポリマ(mg/l)	0.20	0.25	0.35	0.15	0.25
ろ過水SS(mg/l)	10以下	10以下	30以下	30以下	20以下

LV(m/h)	20				
原水SS(mg/l)	150以下	160以下	240以下	450以下	1470以下
ポリマ(mg/l)	0.25	0.20	0.20	0.30	0.30
ろ過水SS(mg/l)	10以下	10以下	20以下	20以下	20以下

LV(m/h)	20		
原水SS(mg/l)	1500以下	2000以下	3550以下
ポリマ(mg/l)	0.25	0.30	0.35
ろ過水SS(mg/l)	20以下	80以下	10以下

である。この表に基づいて原水SS濃度とポリマー添加量およびろ過水SS濃度の関係を求めたものが図-46~図-48である。

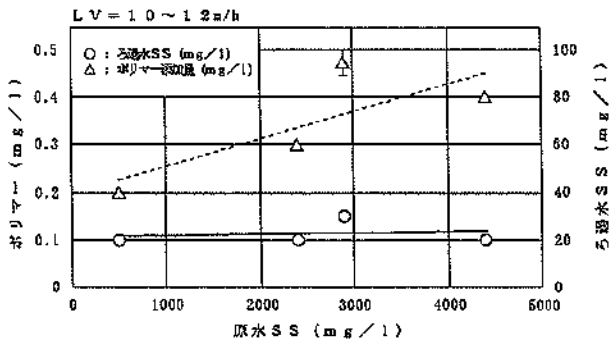


図-46 原水SS濃度とポリマー添加量,ろ過水SSの関係

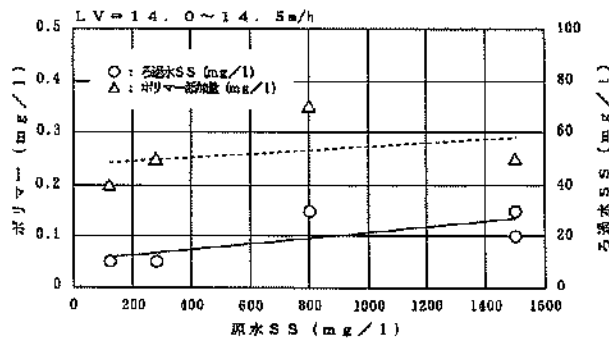


図-47 原水SS濃度とポリマー添加量,ろ過水SSの関係

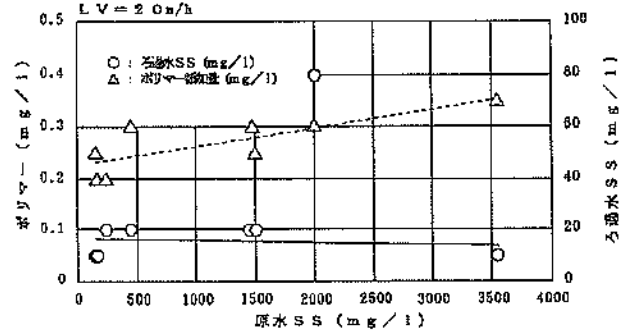


図-48 原水SS濃度とポリマー添加量,ろ過水SSの関係

データにはばらつきはあるが、全体の傾向としては、ポリマー添加量は原水SS濃度の増加に対し増加しているが、ろ過水SS濃度は原水SS濃度の増加に対しほぼ一定であることがわかる。またLV=20m/h以下の範囲ではLVによるポリマー注入率の影響はほとんどないと思われる。

前回の調整濁水を用いた模型実験では、PAC5mg/l、ポリマー0.05mg/lの併用が最適であったが、今回の現地実験で実余水について調べたところ、ポリマー添加量を0.1~0.4mg/lと前回に比べポリマーを0.05~0.35mg/l増加することにより、PAC5mg/lの注入を省略できることが確認された。

凝集条件としては、PAC・ポリマーの併用がいかなる粘土粒子の性状変動に対しても対応でき安全であるが、2種類を用いるので操作が複雑になる。そこで、水質目標が30mg/l程度の本研究の計画としては、ポリマー単独で十分処理できるので、省力化も考慮してポリマー単独使用を採用する。

表-17に原水の粒度分布が異なる場合の原水SS濃度

表-17 原水SS濃度・粒度分布とポリマー注入率

原水SS濃度 (mg/l)	ポリマ注入率 (mg/l)	粒度分布 (%)	
		0.92μm以下	5.6μm以下
1500以下	0.15	3.0	33
800以下	0.35	4.2~5.6	46~48
2900以下	0.45~0.50		

とポリマー注入率との関係を示す。表の上段と下段を比べると、原水SS濃度が小さくてもポリマー注入率が大きくなっているケースがある。これは原水濁質の性状因子すなわち粘土粒子の性質と粒度分布の影響と考えられる。本表によると、粒度が小さくなると注入量が増加する傾向が認められる。

本現地実験では、浚渫箇所が新門司沖土砂処分場床掘

土砂と関門航路浚渫土砂であり、新門司沖の方が粒子が小さく、凝集剤を多く必要とした。このような土砂粘土成分の変動を考慮し、本土砂処分場の余水処理の計画としては原水SS1000mg/lに対して、ポリマー0.4mg/l程度添加できるようにする必要がある。

なお今回の調査では、新門司沖土砂処分場床掘土砂と関門航路浚渫土砂との2カ所の土砂についてのポリマー必要量であり、他の土砂についてはジャーテストで土砂の粒度分布とポリマー添加量との関係を求める必要がある。

### (5) ろ過槽洗浄方法の検討

ろ過槽の洗浄法として当初計画ではブロワーによって空気洗浄を行った後、槽内水を全量ドレインする方法を考えていた。この方法は大容量のブロワーが必要であるという問題点がある。この対策としてドレインだけでろ材を洗浄する方法の可能性を検討した。そのためにろ過槽底部から排泥を行う場合と排泥を行わない場合について調査した。

#### 1) ろ過槽底部から排泥を行わない場合

第1、第2槽のろ過槽を洗浄した後、通水を始め運転を続けたところ、5日後に処理水の悪化が始まり、ろ過槽SS捕捉量が限界に達したのでろ過槽の洗浄を行った。この期間にろ過槽に流入したSS量は合計1186kgであった。

#### 2) ろ過槽底部から排泥を行った場合

第1、第2槽の洗浄をした後、汚泥かき寄せ機を駆動しながら底部に沈殿した汚泥を間欠的に排泥しながら運転を続けた。この結果11日後の時点でもろ過槽のSS捕捉量が限界に達せず処理水質は良好であった。この期間に槽内に流入したSS量は3951kgであり、排泥しない場合に比較して大きな値になった。

以上の結果から、ろ過槽の底部から沈殿汚泥を排泥することによってろ過槽で除去されたSSは約3倍に増加している。

#### 3) ろ過槽洗浄方法

上述のようにろ過槽の底部から沈殿汚泥を排泥することによりろ過槽を洗浄する可能性が考えられるので、ドレインだけでろ材を洗浄する方法の可能性を検討した。

ドレイン速度は槽容量13m<sup>3</sup>を6分で排出とした。この時の水面降下速度は0.4m/minである。この条件で第2槽をドレインしたところ、中空円筒ろ材の空隙部に多量に捕捉されていた汚泥が水面降下にとまってろ材から効果的に落下することが観察された。ドレイン終了時のろ材の状態はろ材表面に少量のSSが付着している状態であり、SS捕捉の主要部分である中空部の汚泥はほぼ完

全に除去されていた。

ドレイン終了後に槽内に残留しているSSを調べるために、再度満水にして空洗を行いながらドレインした時に排出されるSS量を測定した結果40.3kgであった。SS捕捉量が限界に達した時のろ過槽のSS捕捉量は325kg(上記「排泥を行わない場合」の実験時に測定。1186kgとの相違分はろ過水として流出。)であったので、ドレインのみで槽内に捕捉された汚泥の $(325-40.3)/325=0.88$ すなわち88%が排出されたことがわかる。なお今回は汚泥かき寄せ機を駆動しなかったが、汚泥かき寄せ機を駆動すれば更に効果的に汚泥を排出できると考えられる。

ろ材洗浄の目的は中空円筒ろ材の空隙部に捕捉された汚泥を除去することにあるので、ある程度の汚泥が槽内に残留してもろ材中空部の汚泥が除去されていれば特に支障はなく、ドレインの際の水面降下によるろ材中空部からの汚泥の落下除去作用のみで十分であった。

空気洗浄+ドレイン洗浄とドレイン洗浄のみについて、洗浄後ろ過を再開した時のろ過水のSS濃度の経時変化を調べた結果が表-18である。空気洗浄によって攪乱すると、ブロックが破壊されやや回復が遅いことが分かる。

表-18 洗浄後ろ過再開時のろ過水の回復特性 (LV=12m/h)

時間 (min)	空洗+ドレイン	ドレインのみ
	ろ過水SS濃度(mg/l)	
5	65	42
10	50	30
15	41	15

洗浄方法は以下のとおりである。

- a. ドレイン洗浄
  - ・原水停止
  - ・0.4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・minの速度で排出
  - ・原水流入開始
- b. 空気洗浄+ドレイン洗浄
  - ・原水停止
  - ・空気洗浄2.4Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・min 1分間
  - ・0.4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・minの速度で排出
  - ・原水流入開始

### 5.4 ろ布ろ過実験

ろ布ろ過実験の現地実験の一例を図-49に示す。ろ過速度LV=7~10m/h、ポリマー0.24~0.79mg/lの条件で、原水SS濃度1000mg/l程度のものが、ろ過水SS濃

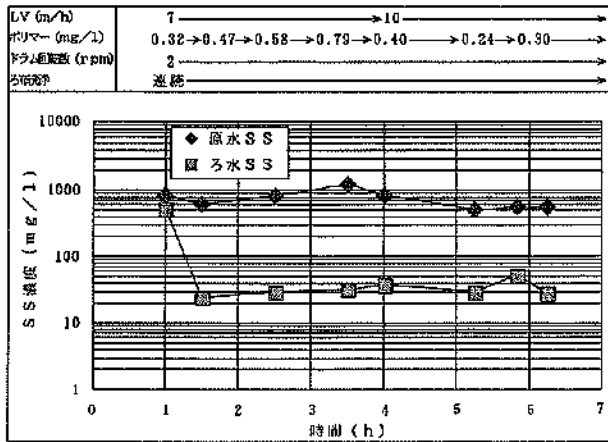


図-49 ろ布ろ過実験結果の例

度30mg/l以下になっている。

(1) 凝集剤無添加処理

図-50は凝集剤無添加時の原水SS濃度に対するろ過水SS濃度およびろ過速度の相関図である。ろ過速度は、原水SS濃度300mg/lで45~50m/h、800mg/lで35~40m/hと高い値が得られたが、ろ過水SS濃度はそれぞれ150mg/l、400mg/l、つまり阻止率は約50%と低い。そこで阻止率向上を目的に、ドラム回転数、間欠洗浄運転の効果の検討を行った。

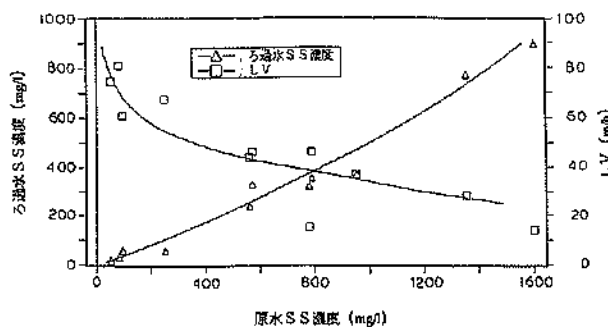


図-50 凝集剤無添加時の特性

1) ドラム回転数の効果

ドラム回転数を変えることによって水中ろ過時間を変化させ、ケーキろ過を併用して阻止率を向上させることができる。この目的でドラム回転数を1、2、4rpmの3ケースで検討したが、短時間での原水SS濃度の変動があり、阻止率に差がなかった。

2) 間欠洗浄運転の効果

ろ布洗浄を間欠にすることによっても、ケーキろ過を併用し阻止率を向上させることができる。図-51は、ろ布洗浄を間欠にした時のろ布洗浄停止時間に対するろ過

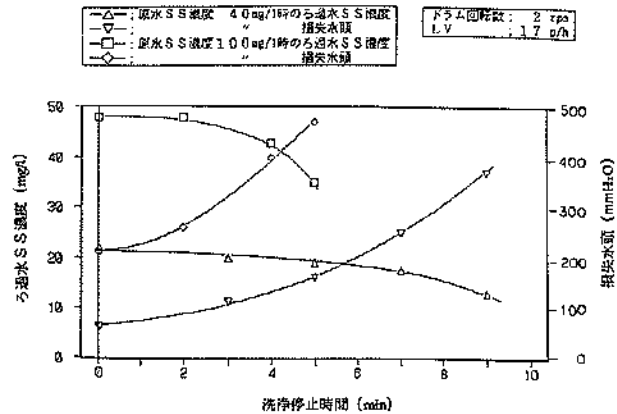


図-51 間欠洗浄の影響

水SS濃度および損失水頭の変化を見たものである。原水SS濃度40mg/l、100mg/lと2ケースについて検討したところ連続洗浄に比べろ過水SS濃度が10~15mg/l低下した。

(2) ポリマー添加処理

1) 最適凝集条件の検討

凝集反応槽の凝集条件は、ろ過機のろ過性能（ろ過速度、阻止率）、凝集反応槽の大きさ等を決定する重要因子であり、以下について検討した。

a. 凝集槽攪拌機の回転数

図-52は、攪拌機の回転数によるろ過水SS濃度、損失水頭の相関図である。ろ過水SS濃度は回転数への依存性はないが、損失水頭は130rpmが最も低い。これは、回転数が130rpm以上では凝集フロックの破碎を生じ、130rpm以下では原水とポリマーの十分な混合ができなくなり、いずれもフロックの凝集が悪くなるためと推定される。

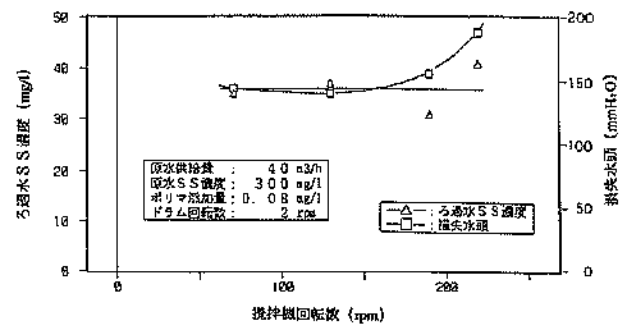


図-52 凝集槽攪拌速度の検討

b. 凝集槽滞留時間

図-53は、槽内での必要滞留時間を見たものであり、滞留時間7分以下では急激にろ過水水質が悪化してくる。この結果から、滞留時間は7分以上必要であることが分かる。

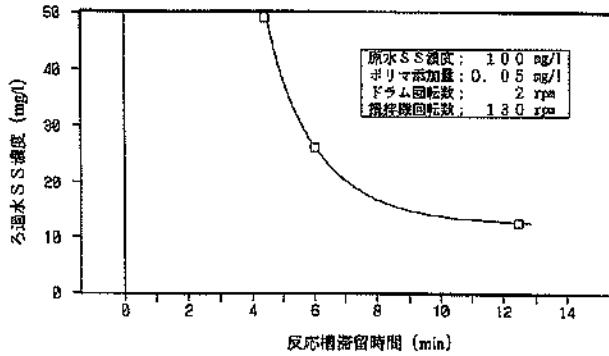


図-53 凝集反応時間の検討

## 2) 最適運転条件

ろ過水SS濃度30mg/l以下を得るための、原水SS濃度に対するポリマー添加量およびろ過速度を図-54に示す。

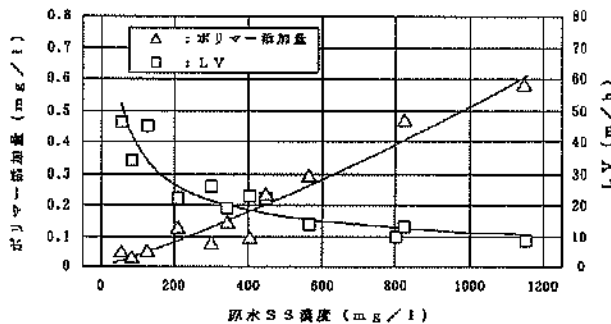


図-54 最適運転条件

ろ過速度を上げるためには、損失水頭を大きくとるほど有利であるが、機械の構造上（ドラム、軸のたわみ）、ろ布の耐久性、洗浄回復性およびろ過性能の安定性等の理由から、標準運転時の損失水頭を300mmAqとしてある。

ろ布ろ過装置は現地実験においてろ過速度の設定が大きかったため、原水SS濃度変動に対して処理性能が若干不安定であった。図-54では原水SS濃度1000mg/lでろ過速度11m/hとなっているが、原水SS濃度1000mg/lに対応させるにはろ過速度11m/hは高過ぎ、5~7m/hに下げることが必要である。

ポリマー添加量は、原水SS濃度に比例し次の式で表される。

$$\text{ポリマー添加量 (mg/l)} = 0.0003 \sim 0.0005 \times \text{原水SS濃度 (mg/l)}$$

本現地実験では、前述のように浚渫箇所による土砂粘土成分の変動があり、余水処理の計画としては原水SS 1000mg/lに対して、ポリマー0.5mg/l程度添加できるようにする必要がある。

## 5.5 現地実験結果

### (1) 深層ろ過実験まとめ

#### 1) 凝集剤の注入条件について

現地実験は、経済性や注入操作の容易性も考慮して、ポリマー単独で処理することとした。ポリマーの注入量は、原水SSの粒度分布に影響されるが、本実験の範囲でろ過水SS濃度30mg/l以下の条件下では、原水SS濃度1000mg/lでポリマー0.4mg/lと極めて少量の凝集剤の添加で処理できることが判明した（後出表-19参照）。

#### 2) 原水SS濃度の影響

原水SS濃度の変動が最大2000mg/l程度までであれば、ろ過速度LV=10m/hでポリマー0.5mg/l添加すれば、ろ過水のSS濃度を30mg/l程度にできる。

#### 3) ろ過速度の影響

ろ過速度LV=10m/hから20m/hの範囲について実験した結果、この範囲のLVの変化に対してはろ過水SS濃度に大きな影響を与えない。また原水SS濃度1000~2000mg/lの高濃度に対応するには、LV=10m/hでろ過速度を下げ処理するのが有効である。この理由は、ろ過速度を減少させると、ろ層下部で沈降性の良いフロックが分離し、ここで分離できない小径のフロックのみがろ層内に流入しろ層で捕捉されるので、ろ層へのSS負荷量を低減でき、槽容積を沈降とろ過の2段に有効に利用できるためである。

#### 4) ろ材の洗浄方法

洗浄方法は、当初空気洗浄を考えていたが、ドレイン（槽内の水抜き）操作ではほぼ完全にSSを除去できることが判明した。ドレイン洗浄操作は、原水の流入を停止し、攪拌翼を回転しながらドレインを開始する。ドレイン速度が0.4m/minで排出時間が6分の条件でろ材の洗浄が十分であることが判明した。

### (2) ろ布ろ過実験まとめ

#### 1) 凝集剤の注入条件について

ろ布ろ過装置も経済性や注入操作の容易性を考慮して、ポリマー単独で処理することとした。本実験の範囲でろ過水SS濃度30mg/l以下の条件下では、原水SS濃度1000mg/lでポリマー0.5mg/lと極めて少量の凝集剤の添加で処理できることが判明した（表-19参照）。

#### 2) 原水SS濃度とろ過速度

今回の現地実験においては、ろ過速度の設定が大きかったため、原水SS濃度変動に対して処理性能が若干不安定であった。原水SS濃度1000mg/lに対応させるためにはろ過速度を5~7m/hに下げることが必要である。また、ろ過速度15m/hの高速で処理するには、SS濃度100mg/l以下の原水に適用するのが良いと考えられる。なおこ

の条件下で処理水30mg/ℓ以下にするには、ポリマー0.1～0.2mg/ℓ程度の凝集剤添加を必要とする。

## 6. 実機試設計

従来の余水処理装置と深層ろ過装置、ろ布ろ過装置のコスト比較のため、これらの基本仕様を設定し建設費・運転費の概算を求めた。

### 6.1 通常の余水処理装置

#### (1) 設計条件

処理水量	5,000m <sup>3</sup> /h×24h=120,000 m <sup>3</sup> /d
原水SS濃度(最大)	1,000mg/ℓ
ろ過水SS濃度(最大)	30mg/ℓ
PAC注入率	20mg/ℓ
ポリマー注入率	0.5mg/ℓ

#### (2) 流入・流出構造

自然流下方式で、自動弁により流量調節および流入、流出、停止を行う。つまり処理水が悪化したら、流入停止ができるようにする。

#### (3) 凝集池

1系列10m×10m×5m(有効水深4m)を6池とし、攪拌翼を設ける。

#### (4) 沈殿池

付図-4に概要を示すように、排泥が容易な構造にするために、外槽コンクリート構造、30m角槽、6系列6槽構造とし、中心駆動の汚泥かき寄せ機を配備した構造とする。汚泥かき寄せ機でかき寄せた汚泥は水中ポンプで排泥する方式とする。

840m<sup>3</sup>/h×6系列

(1系列につき)

凝集池滞留時間	28分
凝集池容量	10m×10m×4m=400m <sup>3</sup> ×1池
沈殿池	30mW×30mL×5mH×1池 (有効水深4m)
沈殿有効面積	900m <sup>2</sup> (水面積負荷0.93m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・h)
沈殿有効容積	3600m <sup>3</sup> (滞留時間4.3h)

### 6.2 深層ろ過装置

#### (1) 設計条件

現地実験期間中の埋立余水は、新門司沖土砂処分場護岸床掘工事の浚渫土砂および閘門航路浚渫土砂が間欠的に投入された場合であり、この範囲の土砂性状の変化で

あればポリマー単独で処理できる。

処理水量	5,000m <sup>3</sup> /h×24h=120,000 m <sup>3</sup> /d
原水SS濃度(最大)	1,000mg/ℓ
ろ過水SS濃度(最大)	30mg/ℓ
ポリマー注入率	0.4mg/ℓ

深層ろ過装置のフローシートを付図-5に、配置図を付図-6に示す。

#### (2) 流入・流出構造

現地実験装置では流入は分散管方式、流出は越流セキ方式にし、流入・流出部分の高さをできるだけ小さくするように工夫した結果、処理性能は良好であったので、実機も同一の構造とした。

分散管方式は孔径を同じにすれば、スケールアップの影響はほとんどない。越流セキ方式は、越流負荷(セキ長さ当たりの流量)が現地実験では100m<sup>3</sup>/h・8m(セキ長さ)=12.5m<sup>3</sup>/h・m、実装置は1000m<sup>3</sup>/h・(24×3)m=14m<sup>3</sup>/h・mで(深層ろ過装置5系列として1系列当たり1000m<sup>3</sup>/hを3槽のろ槽で処理する)、現地実験の約1.1倍程度でありほとんど影響しないと考えられる。原水の流入は自然流下方式により行い、流入・流出の停止は自動弁により行う。

#### (3) 凝集槽

現地実験では、上下迂流式の凝集槽で、平均流速0.3m/h、滞留時間3分で、模型実験におけるビニール管路によるものとはほぼ同一の性能が得られた。したがって、実機も平均流速0.3m/h、滞留時間3分の上下迂流式の凝集槽にした。

#### (4) 深層ろ過装置

深層ろ過装置本体の図を付図-7に示す。深層ろ過のSS除去は、25mm径のプラスチックろ材の表面への付着と内部への沈降分離が主機構であると考えられるので、原水がろ材層内へ滞留している時間(ろ材との接触時間)を一定にすれば、ろ過速度に影響されない。

模型実験装置は、ろ過速度LV=20m/h、ろ材高さ2.75m(滞留時間8.25分)、現地実験装置はLV=20m/h、ろ材高さ1.4m×2段(滞留時間8.4分)で実験した。現地実験の結果、LV=10m/h、ろ材高さ1.4m×1段(滞留時間8.4分)でも同一性能が得られることが明らかとなった。試設計では、この結果に基づいて、LV=10m/h、ろ材高さ1.5m×1段(滞留時間9分)とした。

本装置は上向流ろ過方式で、凝集フロックを分散管方式で槽断面均一に流入させ、上向に流す。上向流のろ過速度LVよりも速い沈降速度を有するフロックはろ層下部でスラリーブランケット層(フロック層群)を形成さ

せ、ここで接触フロック形成と沈降分離が行われ、大部分のSSはここで分離される。この部分で分離されなかったフロックがろ材層内で捕捉され、清澄液は上部の集水樋に集水され放流される。

槽底部の沈積フロックは集泥機で掻き寄せて定期的に排出し、ろ材層内の堆積フロックはろ材層を攪拌棒で攪拌することによりろ材から剥離脱落させる。

### 1) 装置構造

深層ろ過装置に特長的な装置内の構造は以下の通りである。

#### ①ろ材攪拌棒

ろ過中定期的にろ材層を攪拌し、ろ材層内に捕捉されたSSを落下させる。これにより、ろ材の洗浄周期を延長させる。

またろ材の洗浄中にろ材を攪拌させ、ろ材層内に抑留されているSSの除去を効率的に行う。

#### ②掻き寄せ機

沈殿した汚泥を濃縮して排出するための設備である。

#### 2) 洗浄方法

ろ材の洗浄は、攪拌棒でろ材層内を攪拌した後、ろ過槽内の水をドレインすることにより行う。

#### 3) プロセス制御と異常対策

流量変動に対応できるように、原水流量計により原水流量を検知し、ポリマー注入量を制御する。

ろ材の洗浄周期は通常タイマーで制御するが、非常用として処理水質悪化時にも自動的に洗浄するようにする。

#### 4) 装置寸法

装置の可搬性を考え、深層ろ過装置1基の寸法は6m角の角槽とする。6m角の角槽であれば分割することにより、陸上でのトラック輸送も可能となる。

表-19 現地実験結果および経済性等比較

評価項目		濃集沈殿	深層ろ過	ろ布ろ過	
計	原水流量(m <sup>3</sup> /h)	5000			
	原水SS(mg/l)	1000			
	処理水SS(mg/l)	30			
	PAC(mg/l)	20	-	-	
画	ポリマー(mg/l)	0.5	0.4	0.5	
	条件	寸法(m)	30W×30L×5H×6	6角×4.5H×3槽×5	6W×8L×7H×5
有効面積(m <sup>2</sup> )		900×6	106.25×5	67×5	
有効容積(m <sup>3</sup> )		3600×6	-	-	
ろ過速度(m/h)		0.93(水質負荷)	10	15(5~7)	
滞留時間		4.3h	9min	15s(ろ過時間)	
設備設置面積(m <sup>2</sup> )		9000	1540	1008	
建設費		内訳	機械設備(千円)	262,000	679,000
	電気設備(千円)		78,000	172,000	135,000
	土木工事(千円)		2,226,000	14,000	107,000
	据付・配管(千円)		78,000	153,000	138,000
	合計(千円)	2,644,000	1,018,000	1,030,000	
運転費	内訳	薬品(円/m <sup>3</sup> )	1.55	0.44	0.55
		電力(円/m <sup>3</sup> )	0.71	0.79	0.95
	合計(円/m <sup>3</sup> )	2.26	1.23	1.50	
各種変動条件	原水濃度変動	原水SS濃度に比例したPACの注入制御を行えばSS濃度5000mg/lまで対応可能。	原水SS濃度に比例したポリマーの注入制御を行えばSS濃度3000mg/lまで対応可能。	原水SS濃度に比例したポリマーの注入制御を行えばSS濃度1000mg/lまで対応可能。	
	原水流量変動	水面積負荷(ろ過速度に対応)の50%程度の変動には対応できる。	LV=10m/hで設計しており最大20m/h程度の変動には対応可能。水量変動には強い。	設計流量の10%程度までの流量変動は対応可能	

### 6.3 ろ布ろ過装置

#### (1) 設計条件

ろ布ろ過装置の場合も深層ろ過装置と同様にコスト面、注入操作の容易性等の面からポリマー単独で処理した。試設計に際しての設計条件は以下のとおりである。またフローシートを付図-8に示す。

処理水量	$5,000\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} = 120,000\text{m}^3/\text{d}$
原水SS濃度(最大)	$1,000\text{mg}/\ell$
ろ過水SS濃度(最大)	$30\text{mg}/\ell$
ポリマー注入率	$0.5\text{mg}/\ell$

#### (2) 凝集槽

凝集滞留時間は模型実験、現地実験と同程度の7分とする。

#### (3) ろ布ろ過装置

ろ布面積は模型実験、現地実験結果に基づき、原水処理量から算出した。ろ布タイプは三次元繊維立毛ろ布を用いた。

濁度計により原水SS濃度を検知し、原水ポンプ、薬注ポンプを比例制御する。原水SS濃度が高濃度(SS濃度 $1000\text{mg}/\ell$ 以上)時は、原水流入を停止し、ろ過装置には通水しない。原水SS濃度が低濃度(SS濃度 $70\text{mg}/\ell$ 以下)時は、凝集剤無添加でろ布洗浄は間欠運転とする(付図-9)。

#### (4) 運転条件

##### 1) ポリマー添加時

- ・原水SS濃度 $70\sim 1000\text{mg}/\ell$ の範囲とする。
- ・ポリマー添加量は、 $0.0005 \times \text{原水SS濃度}(\text{mg}/\ell)$ を標準とする。
- ・ろ過速度は、 $5\sim 7\text{m}/\text{h}$ を標準とする。

##### 2) 凝集剤無添加時

- ・原水SS濃度 $70\text{mg}/\ell$ 以下。
- ・ろ過速度は、 $15\text{m}/\text{h}$ を標準とする。
- ・ろ布洗浄は間欠運転とする。

従来の凝集沈殿余水処理装置、深層ろ過装置、ろ布ろ過装置を今回の現地実験データに基づいて、原水流量 $5000\text{m}^3/\text{h}$ 、原水SS濃度 $1000\text{mg}/\ell$ 、処理水目標SS濃度 $30\text{mg}/\ell$ の処理条件において、設備仕様、建設費・運転費の概算、運転操作性等を比較したものを表-19に示す。深層ろ過装置およびろ布ろ過装置は、従来の余水処理装置に比べ所要面積が少なく済み、建設費、運転費も低くすることができる等極めて経済的であり、コンパクトで移設可能な装置の設計ができることが証明された。

### 7. 結論

本研究によって得られた成果は土砂処分場等の効率的な余水処理技術として十分活用できると考えられる。得られた結果を以下に示す。

(1) 従来の凝集沈殿装置は、多くの実績があり確実な処理法であるが、所要面積が大きく、移設できず、建設費は高いという欠点がある。

(2) 深層ろ過装置は現地実験の結果、余水処理装置としての実用性が高いと評価できる。所要面積が従来法の約 $1/5\sim 1/6$ 、移設可能な構造で、建設費が従来法の約 $1/2$ 、運転費が約 $1/2$ と経済性に優れている。適用領域もSS濃度 $1000\text{mg}/\ell$ の原水をろ過速度 $10\text{m}/\text{h}$ で少量の凝集剤(ポリマー $0.4\text{mg}/\ell$ )の使用により処理水SS濃度 $30\text{mg}/\ell$ 以下まで処理でき、従来法とほぼ同程度の処理能力を持つ極めて有望な方法である。原水SS濃度としては $30\sim 3000\text{mg}/\ell$ の広範囲に適用することができるが、特に $100\text{mg}/\ell$ 以上の高濃度に対してより効果的であり、高濃度処理用の固液分離装置として位置づけられる。

(3) ろ布ろ過装置も現地実験の結果、余水処理装置としての実用性が高いと評価できる。所要面積が従来法の約 $1/9$ 、移設可能な構造で、建設費が従来法の約 $1/2$ 、運転費が約 $3/4$ と深層ろ過装置と同様経済性に優れている。ろ布ろ過装置は現地実験においてろ過速度の設定が大きかったため、原水SS濃度変動に対して処理性能が若干不安定であった。原水SS濃度 $1000\text{mg}/\ell$ に対応させるためにはろ過速度 $5\sim 7\text{m}/\text{h}$ で、ポリマー $0.5\text{mg}/\ell$ 程度の添加が必要である。また実験の結果、ろ過速度 $15\text{m}/\text{h}$ の高速で処理するには、SS濃度 $100\text{mg}/\ell$ 以下の原水に適用するのが良いと考えられ、低濃度処理用の固液分離装置として位置づけられる。

### 8. あとがき

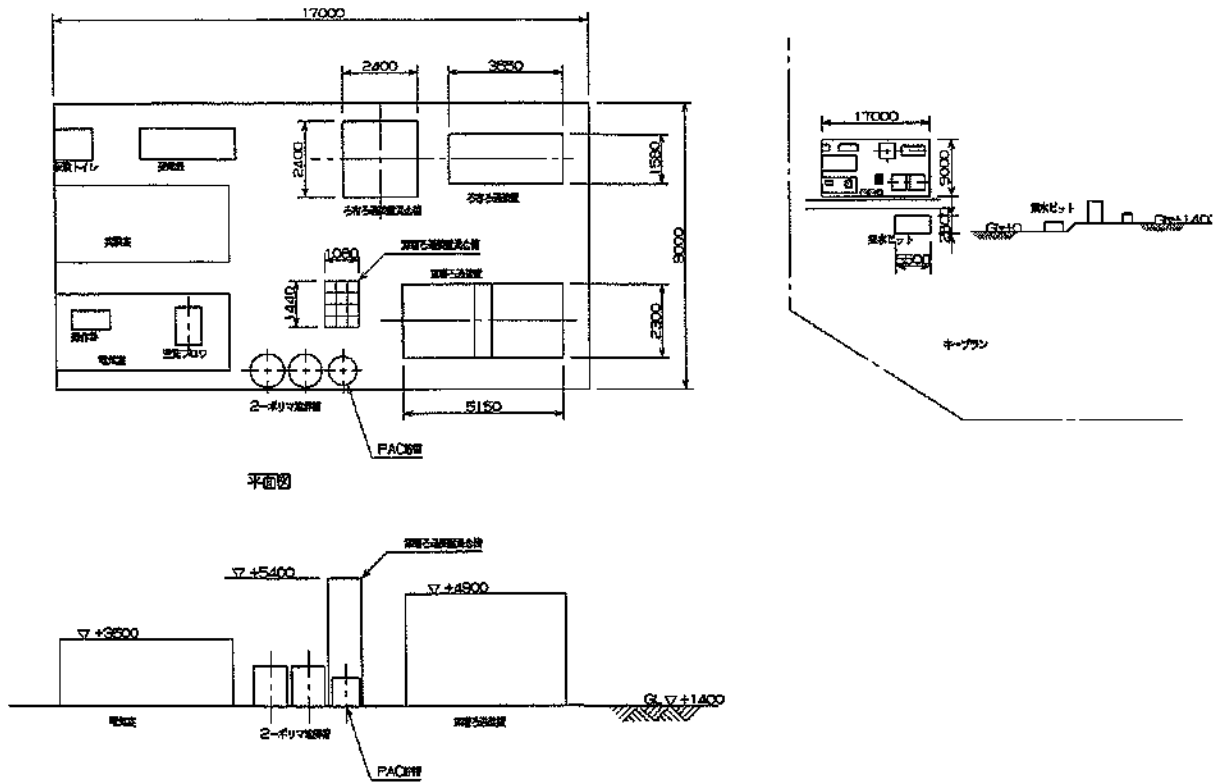
凝集剤の使用を極力おさえ、大容量で高濃度SSの余水の処理が可能な装置という条件で研究を開始し、中空円筒ろ材を用いて深層ろ過装置を、繊維立毛ろ布を用いて回転ドラム式ろ布ろ過装置を考案し、模型実験、現地実験を通し、本方式が大容量、高濃度の埋立余水の処理に有効であることが明らかとなった。今後は本装置のポータブルな点を生かし、現地での使用実績を積み、長期間にわたって実工事に使用した場合の問題点等を検討し、現場に適したものにしていく必要がある。

(1998年3月31日受付)

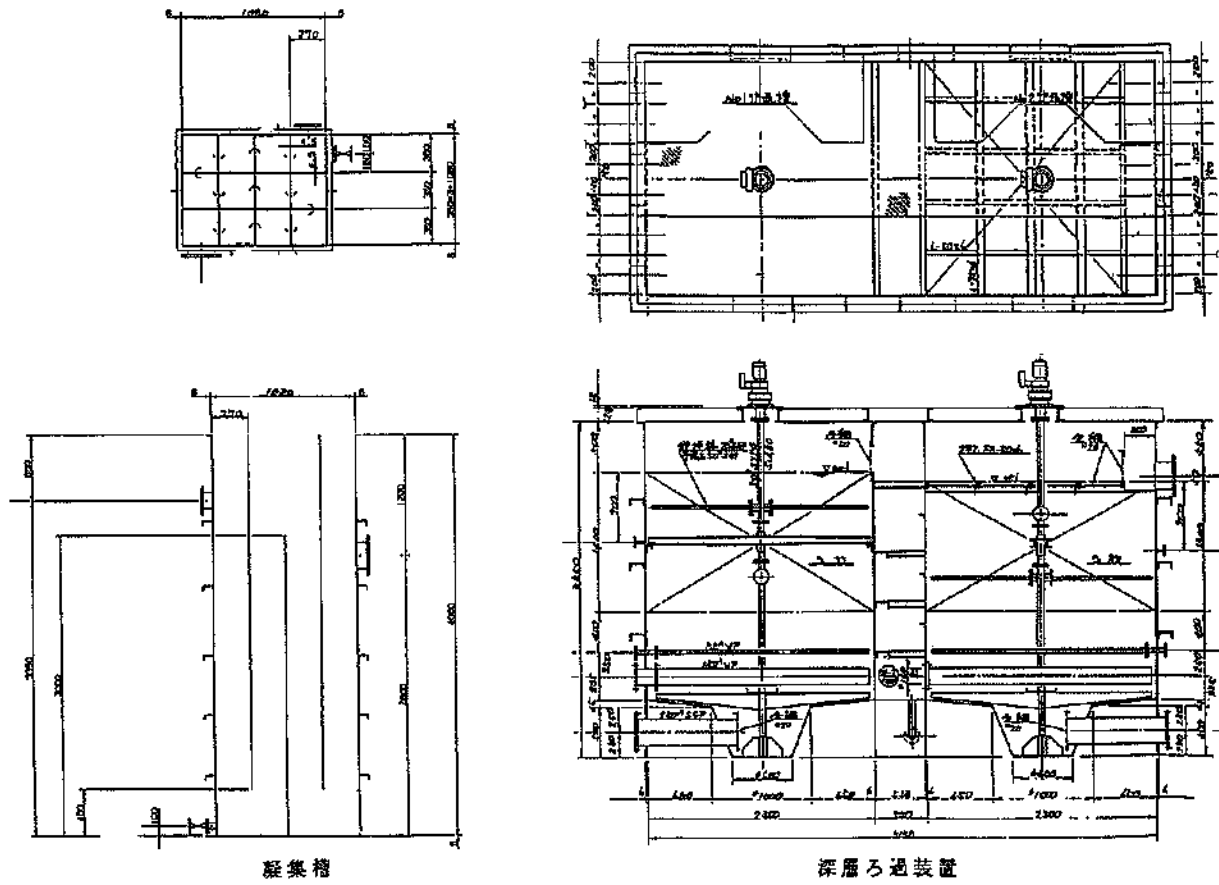


## 参考文献

- 1) 井出哲夫：水処理工学、技報堂出版、1976.6
- 2) 角田省吾・丹保憲仁：高密度フロック形成に関する研究、下水道協会誌論文集、Vol.29、No.339、1992.3
- 3) 角田省吾：マイクロフロックろ過の研究の現状、工業用水、No.227、1977.8
- 4) 第四港湾建設局：平成4年度汚濁防止技術調査研究報告書、平成5年3月
- 5) 第四港湾建設局：平成5年度余水処理装置模型実験調査報告書、平成6年3月
- 6) 第四港湾建設局：平成6年度余水処理装置現地実験調査報告書、平成7年3月

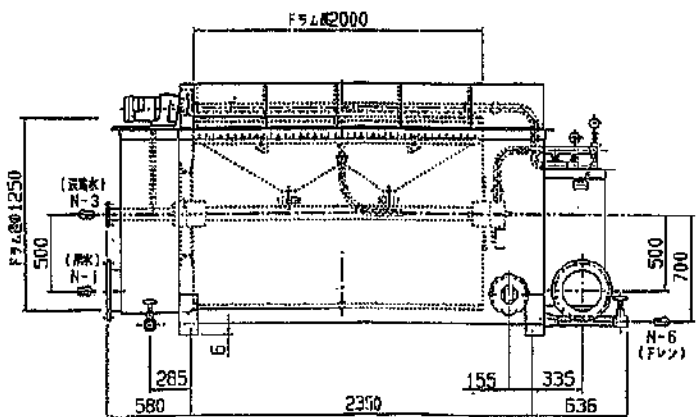
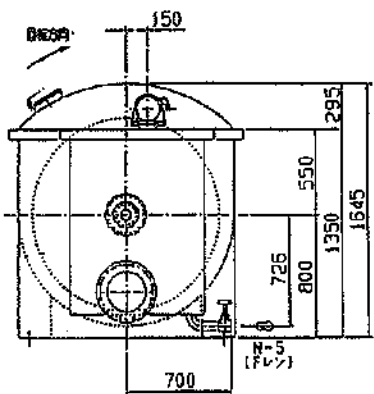
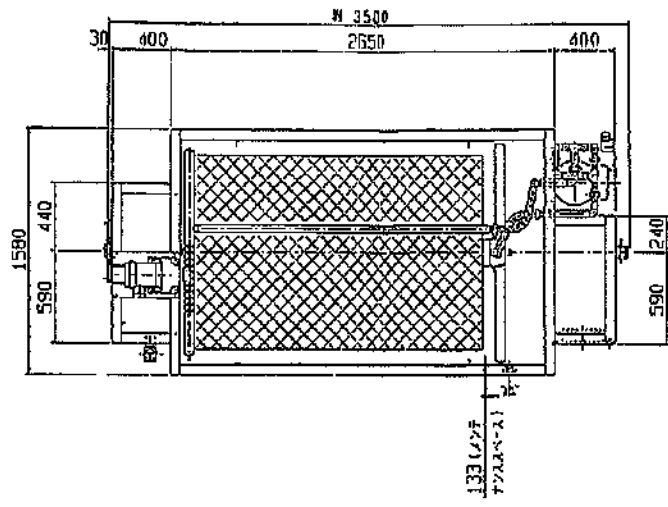


付図一 現地実験装置配置図

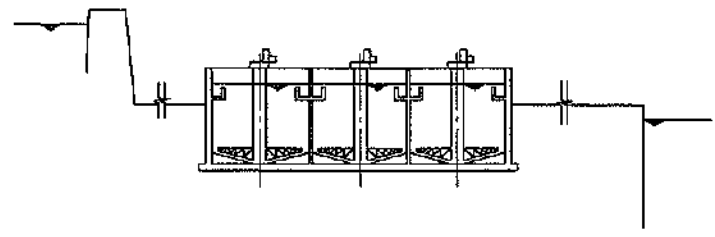
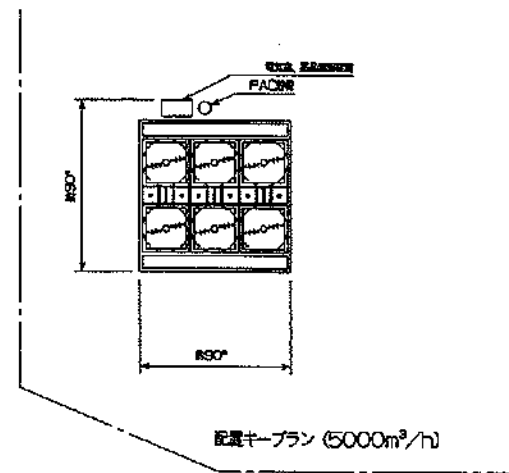
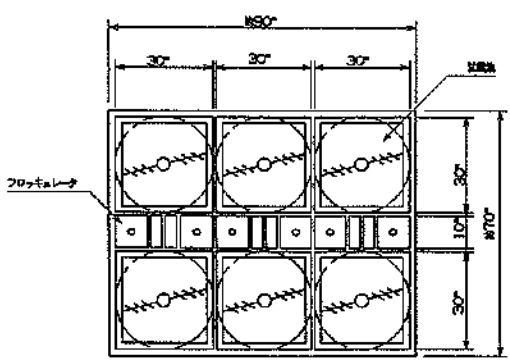


付図二 深層ろ過装置断面図

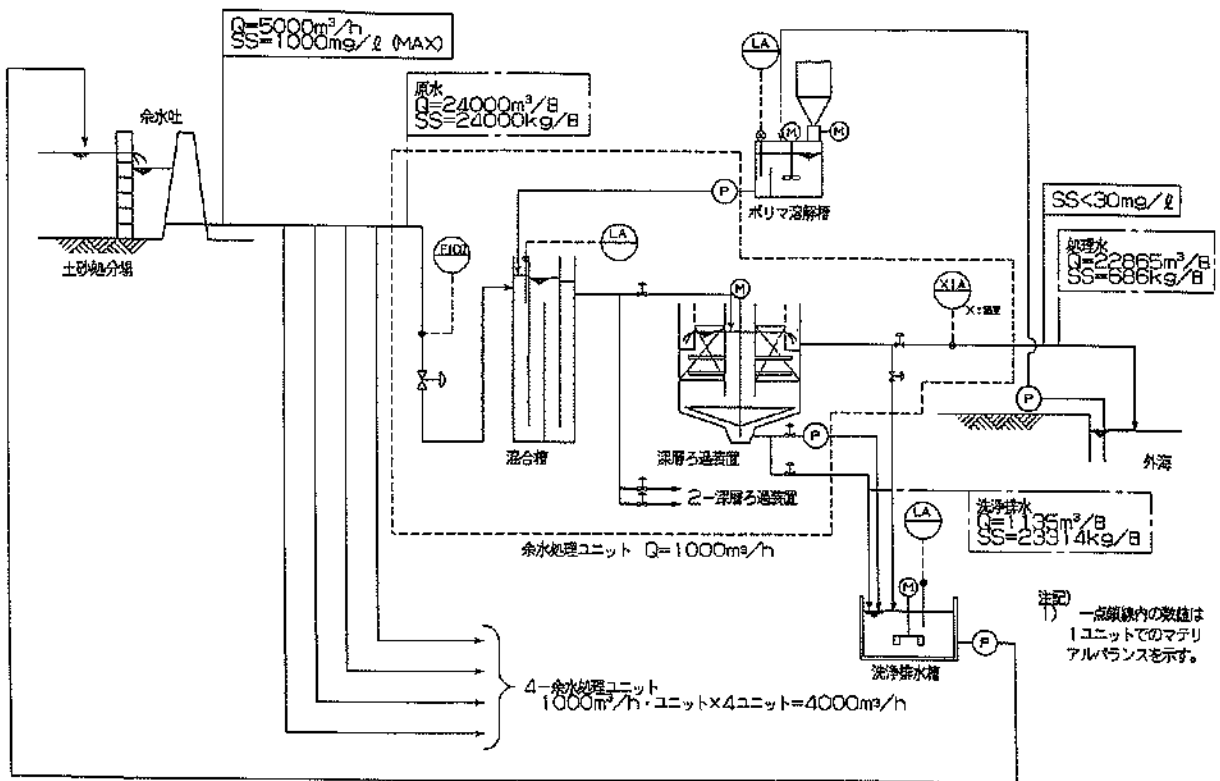
型 式	ろ布ろ過機
本体外径寸法	1.58mF×8.58mL×1.645mH
F774内外損失水頭	Max. 0.5mH <sub>2</sub> O
産 量 量	約 1750kg
運 送 量 量	約 4600kg



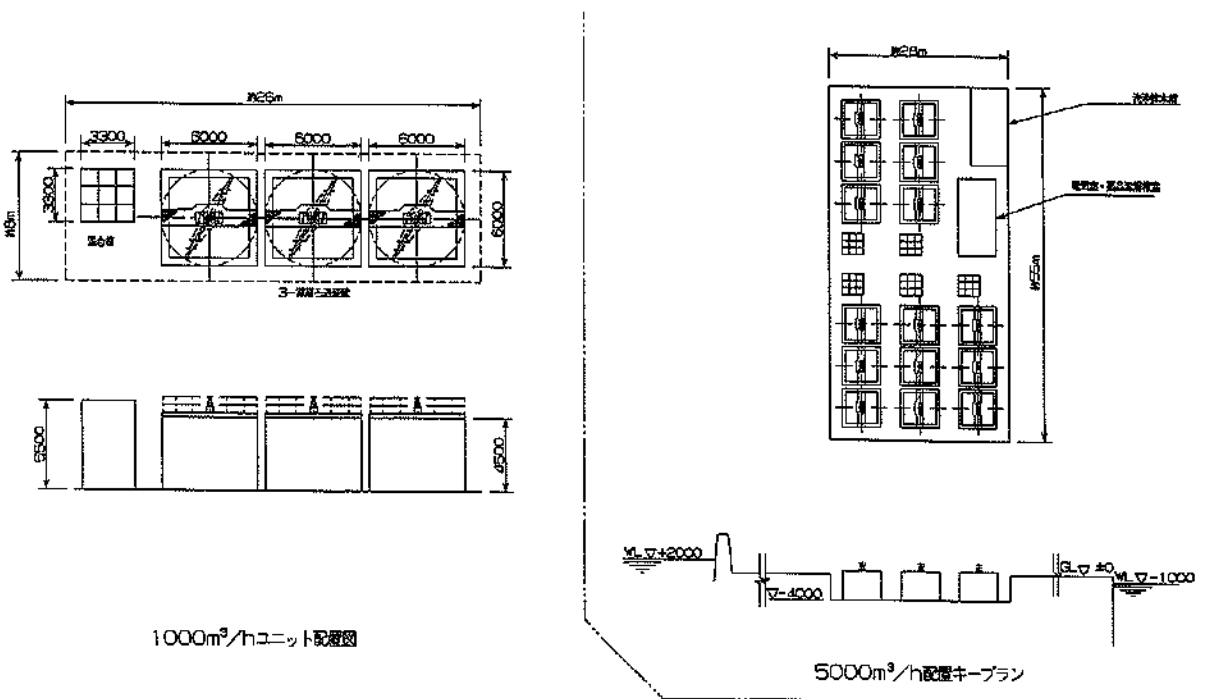
付図-3 ろ布ろ過装置断面図



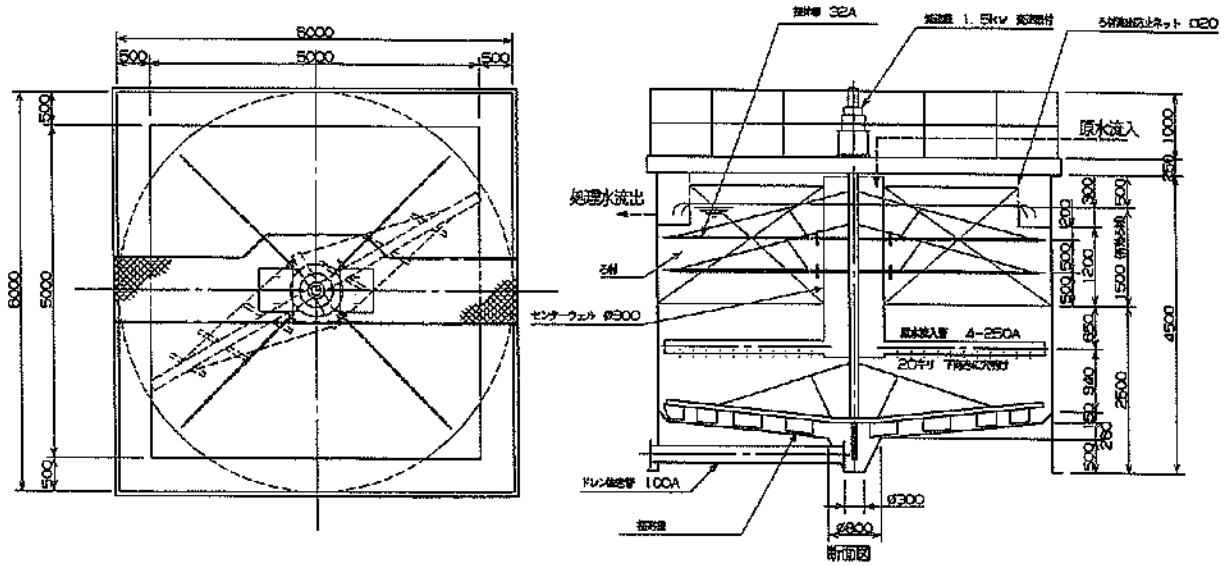
付図-4 通常の余水処理装置



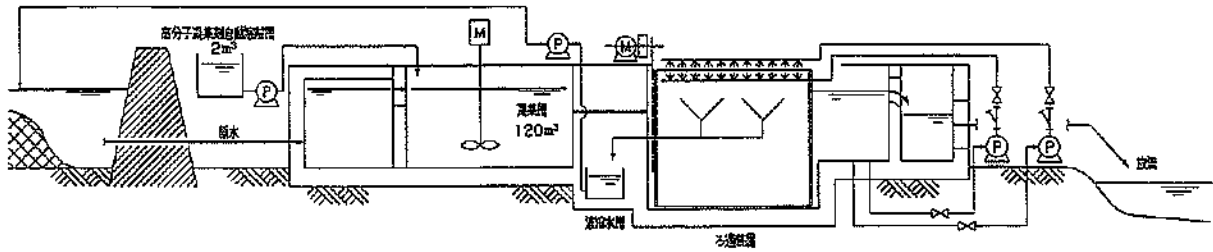
付図-5 深層ろ過装置フローシート



付図-6 深層ろ過装置配置図



付図-7 深層ろ過装置本体



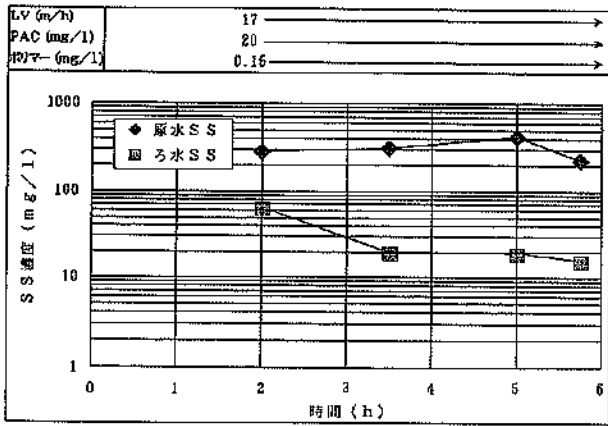
注記

繪台数は、本圖台数×5台を必要とする。

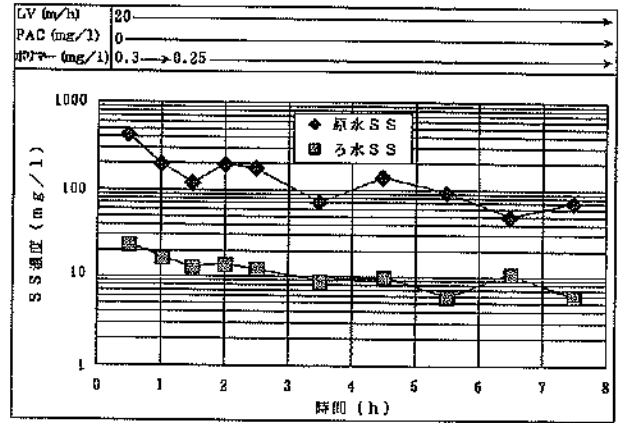
(本圖台数を、1式とする。)

付図-8 ろ布ろ過装置フローシート

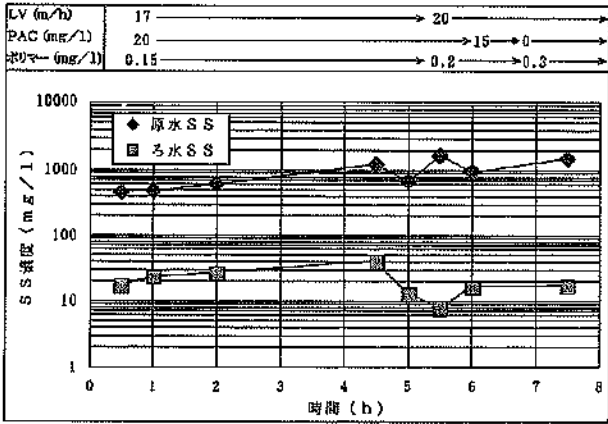




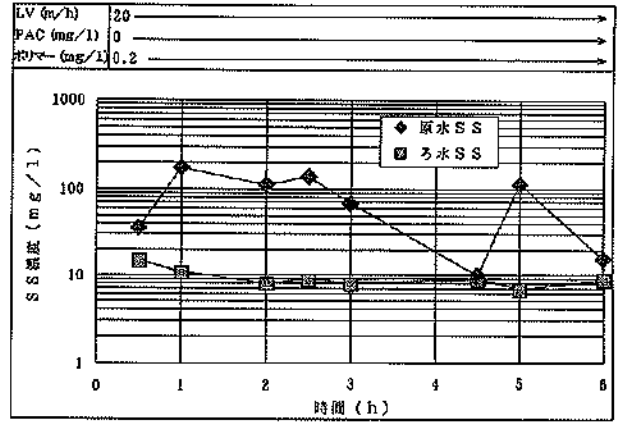
付図-10 深層ろ過現地実験結果



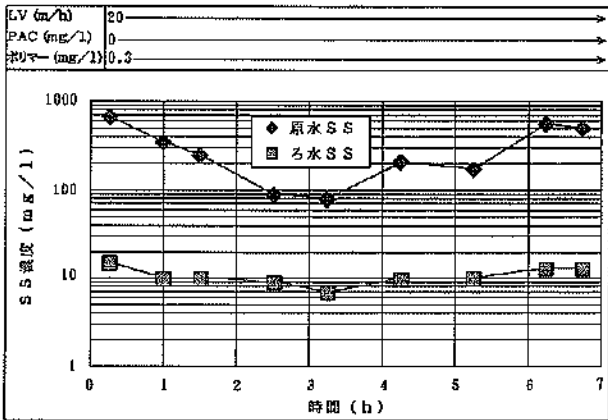
付図-13 深層ろ過現地実験結果



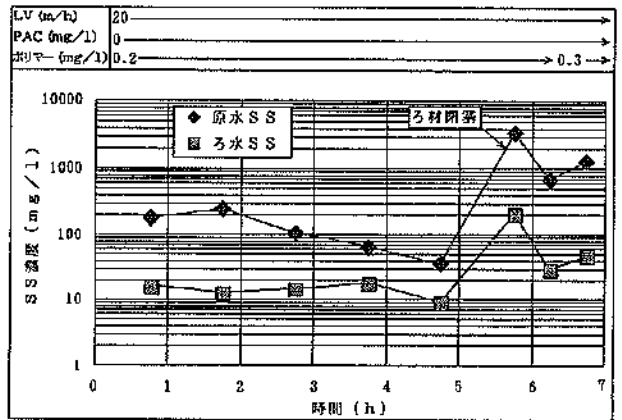
付図-11 深層ろ過現地実験結果



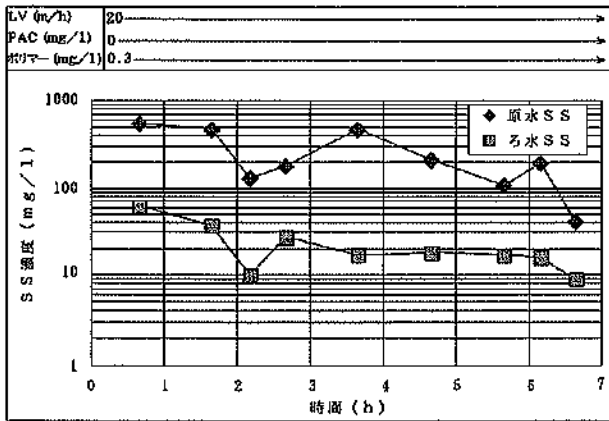
付図-14 深層ろ過現地実験結果



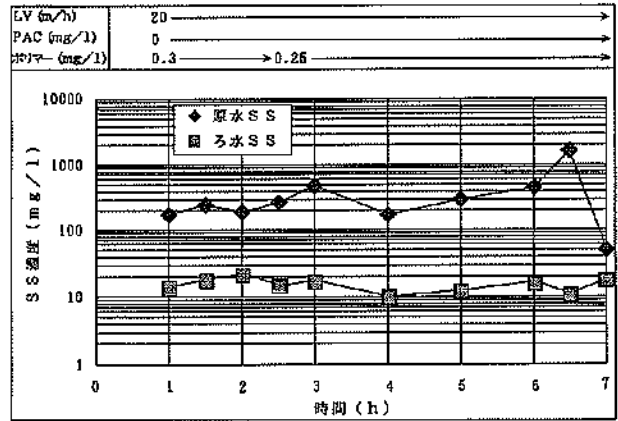
付図-12 深層ろ過現地実験結果



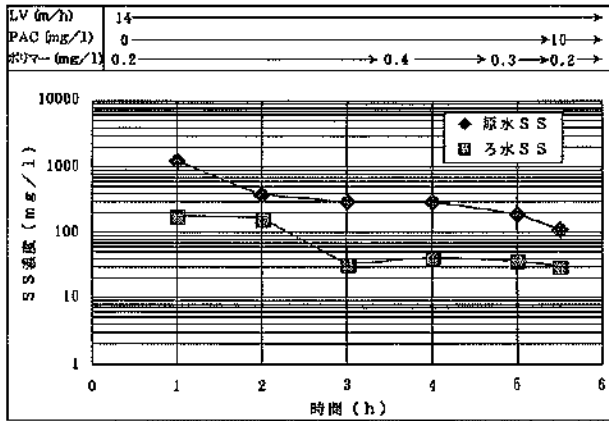
付図-15 深層ろ過現地実験結果



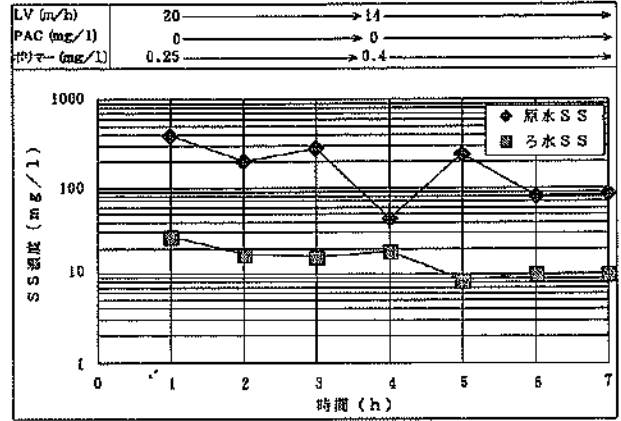
付図-16 深層ろ過現地実験結果



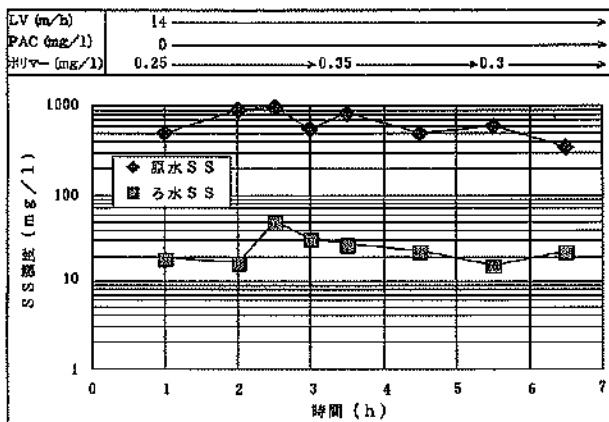
付図-19 深層ろ過現地実験結果



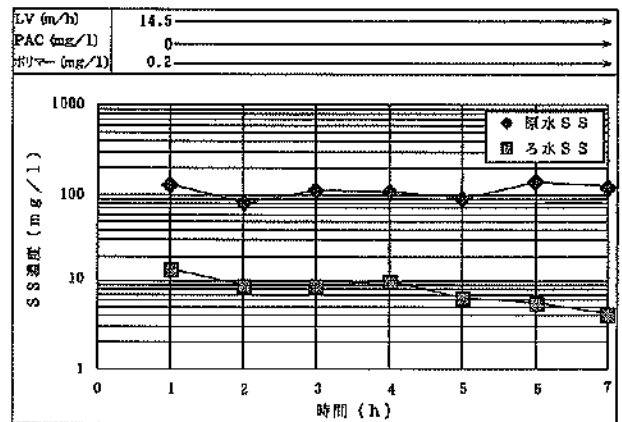
付図-17 深層ろ過現地実験結果



付図-20 深層ろ過現地実験結果

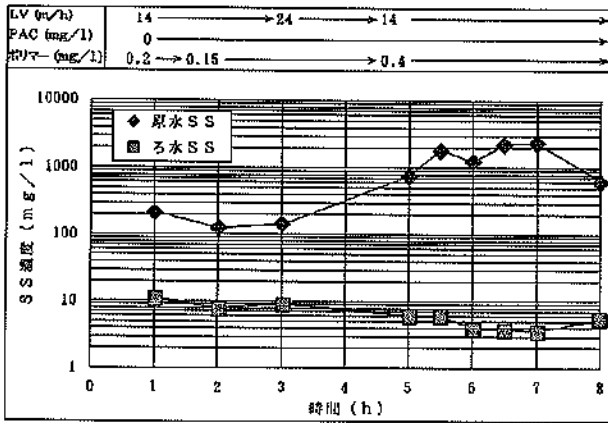


付図-18 深層ろ過現地実験結果

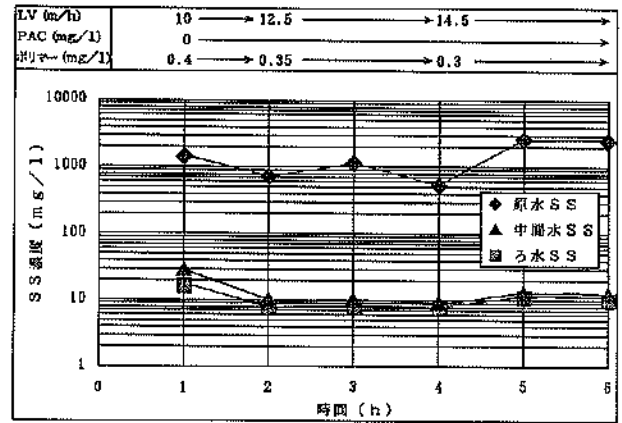


付図-21 深層ろ過現地実験結果

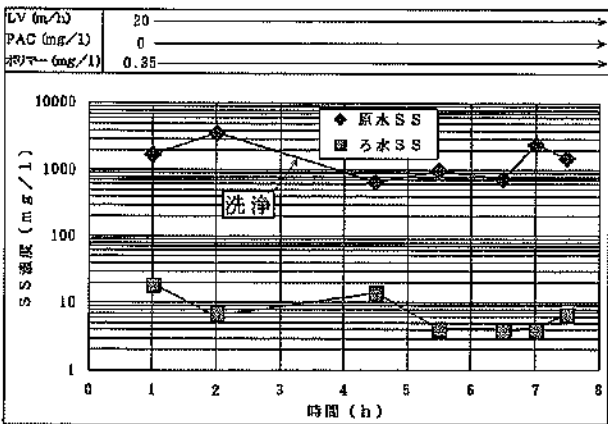




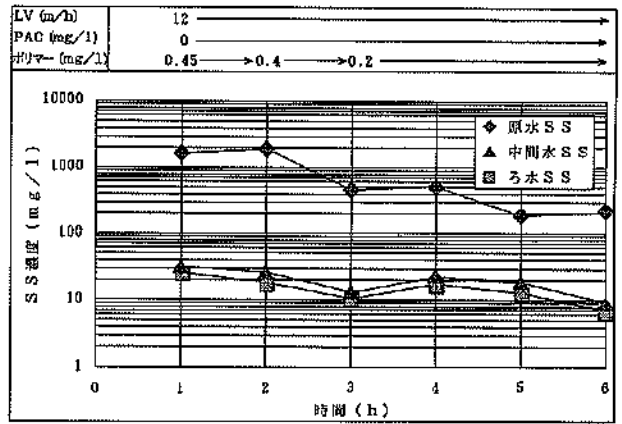
付図-22 深層ろ過現地実験結果



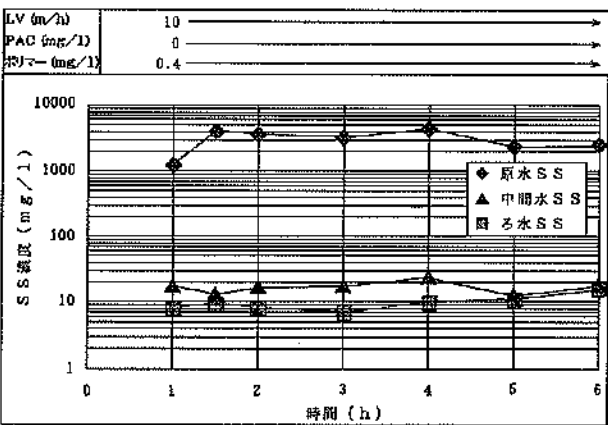
付図-25 深層ろ過現地実験結果



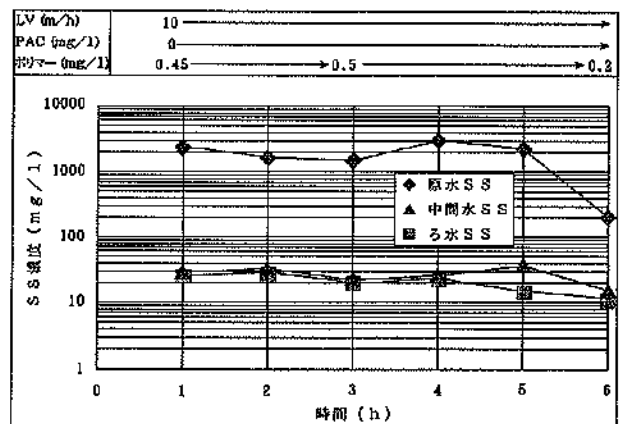
付図-23 深層ろ過現地実験結果



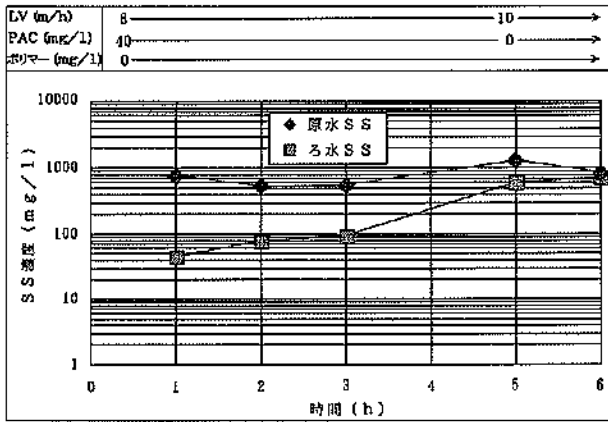
付図-26 深層ろ過現地実験結果



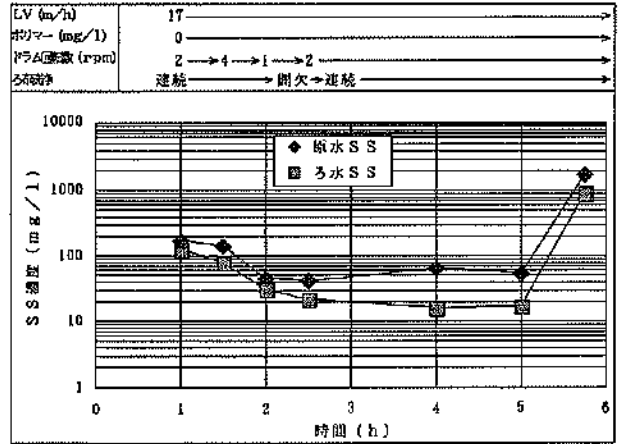
付図-24 深層ろ過現地実験結果



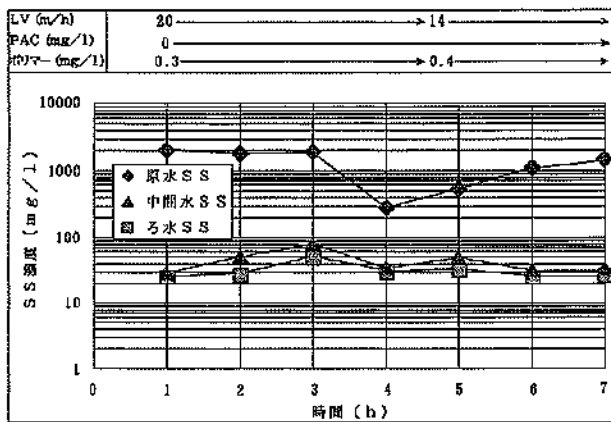
付図-27 深層ろ過現地実験結果



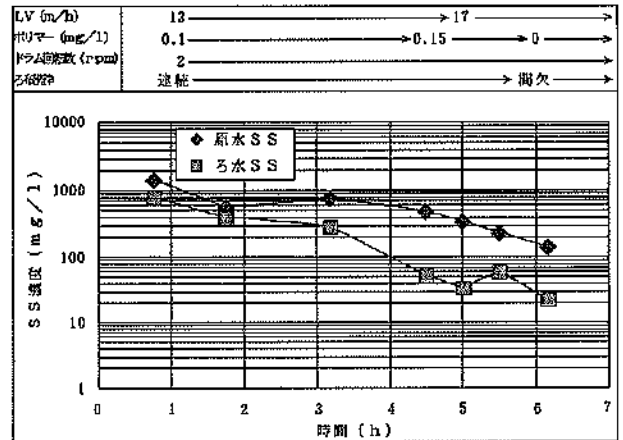
付図-28 深層ろ過現地実験結果



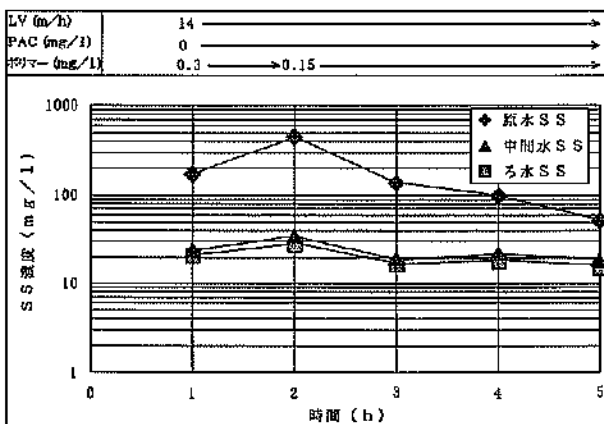
付図-31 ろ布ろ過現地実験結果



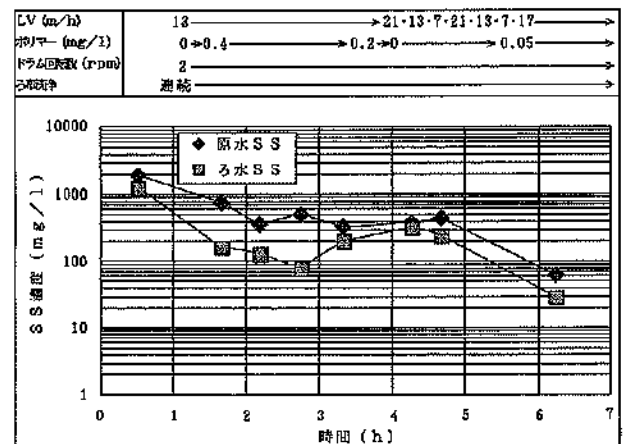
付図-29 深層ろ過現地実験結果



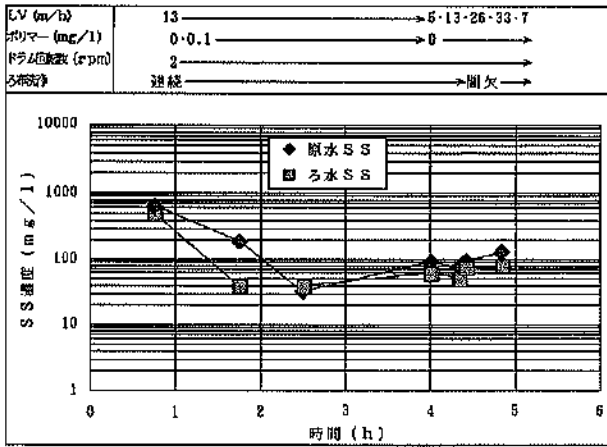
付図-32 ろ布ろ過現地実験結果



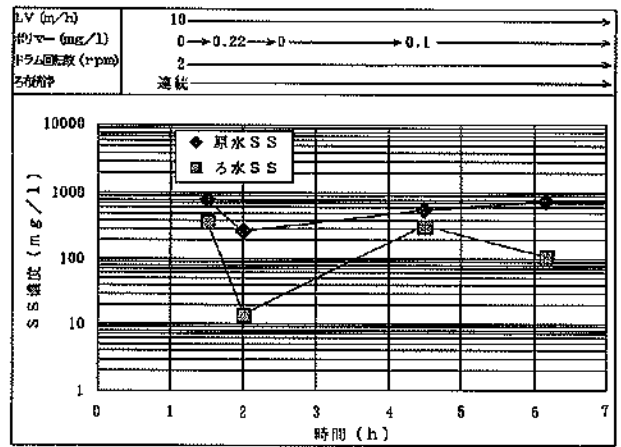
付図-30 深層ろ過現地実験結果



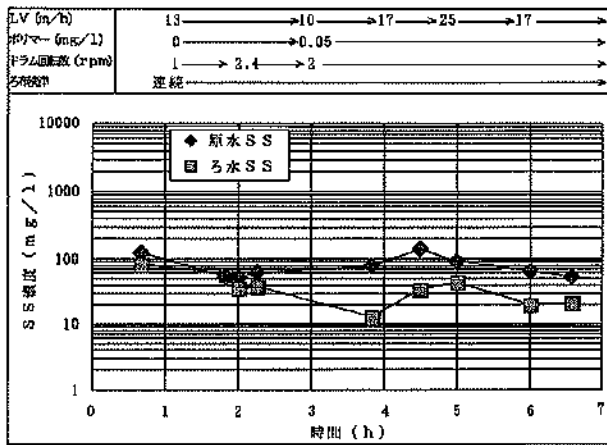
付図-33 ろ布ろ過現地実験結果



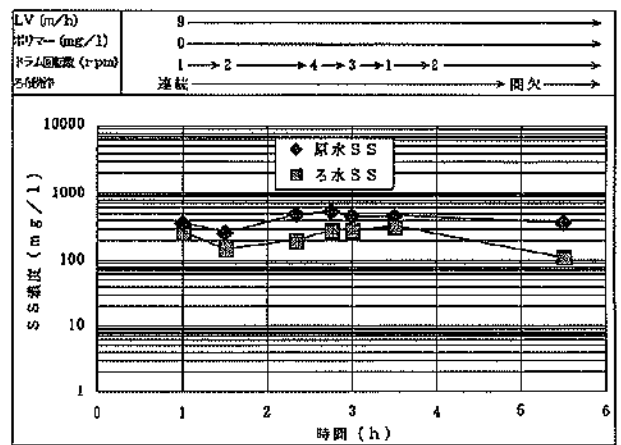
付図-34 ろ布ろ過現地実験結果



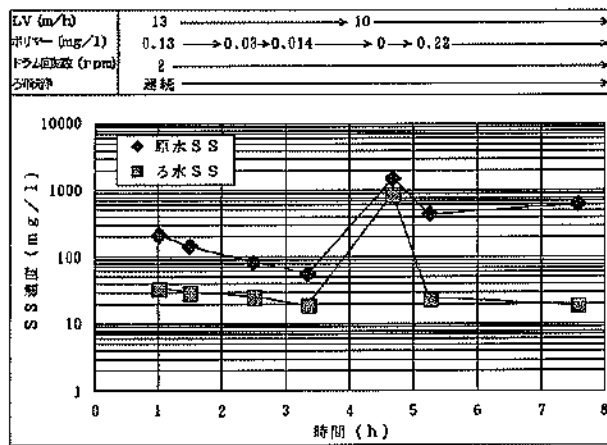
付図-37 ろ布ろ過現地実験結果



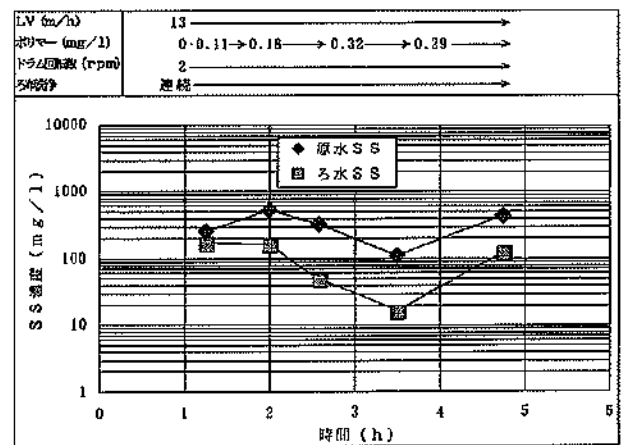
付図-35 ろ布ろ過現地実験結果



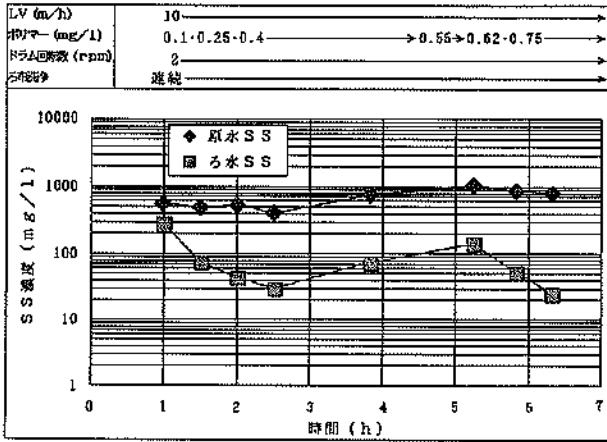
付図-38 ろ布ろ過現地実験結果



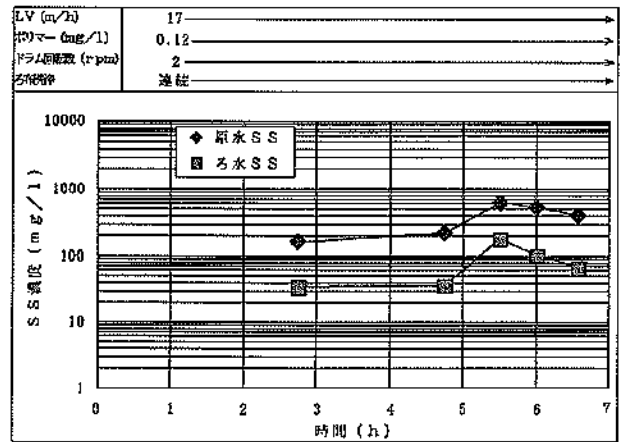
付図-36 ろ布ろ過現地実験結果



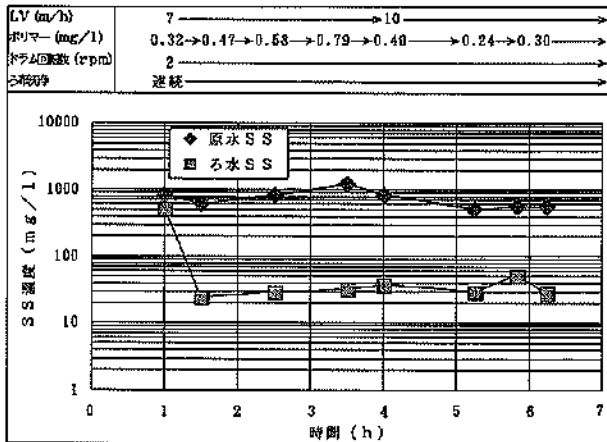
付図-39 ろ布ろ過現地実験結果



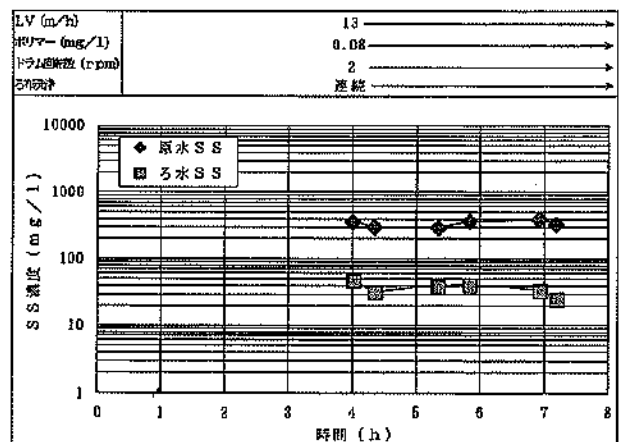
付図-40 ろ布ろ過現地実験結果



付図-42 ろ布ろ過現地実験結果



付図-41 ろ布ろ過現地実験結果



付図-43 ろ布ろ過現地実験結果



港湾技研資料 No.902

1998・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1998) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行なってはならない。