

写真 7.3.2 ストレーナ A 形外観

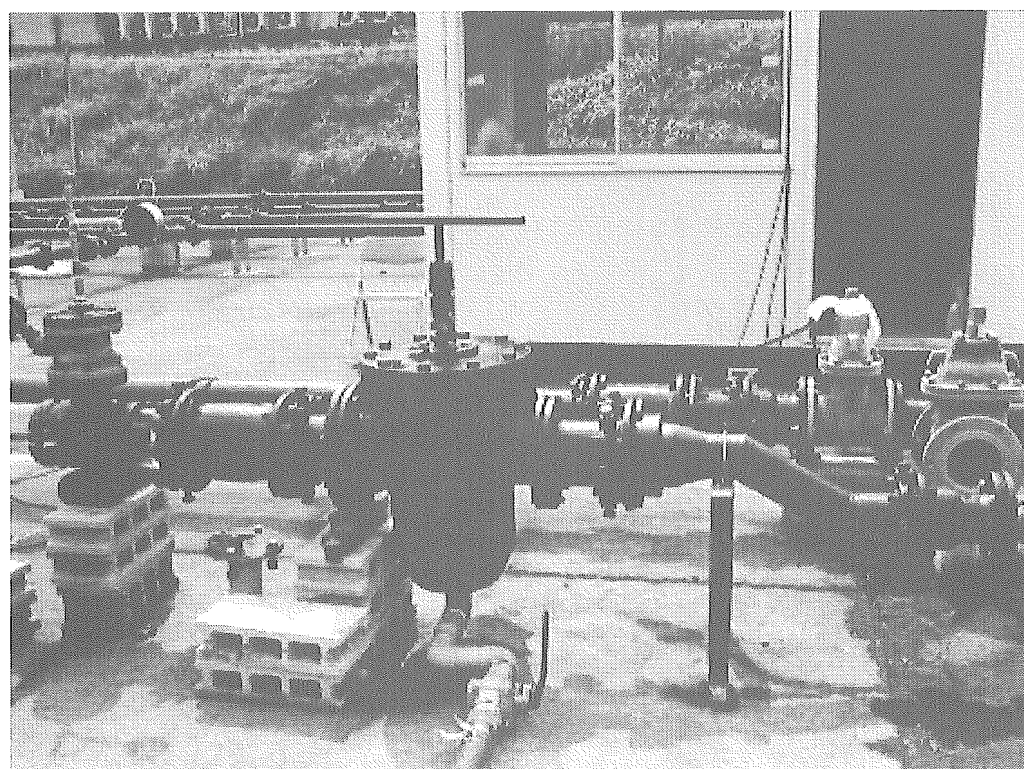


写真 7.3.3 ストレーナ B 形外観

2) 二次処理装置（膜ろ過装置）

膜ろ過装置の仕様を表 7.3.3 に示す。

表 7.3.3 膜ろ過装置の仕様について

外形寸法	L2000mm × W1500 × H2000
重量	約 400kg
セラミック膜エレメント	φ180 × 1000L 1本
膜面積	15m ²
膜孔径	10μm
計装機器	圧力計（原水側、ろ過水側 各1ヶ）、電磁流量計
流量制御	ポンプ回転数制御もしくはドレン弁開度制御（PID 制御）
流量範囲	100L/min-50mAq～500L/min-30mAq
膜供給ポンプ	三相 200V 7.5kW × 1台
メーカー	日本ガイシ（株）

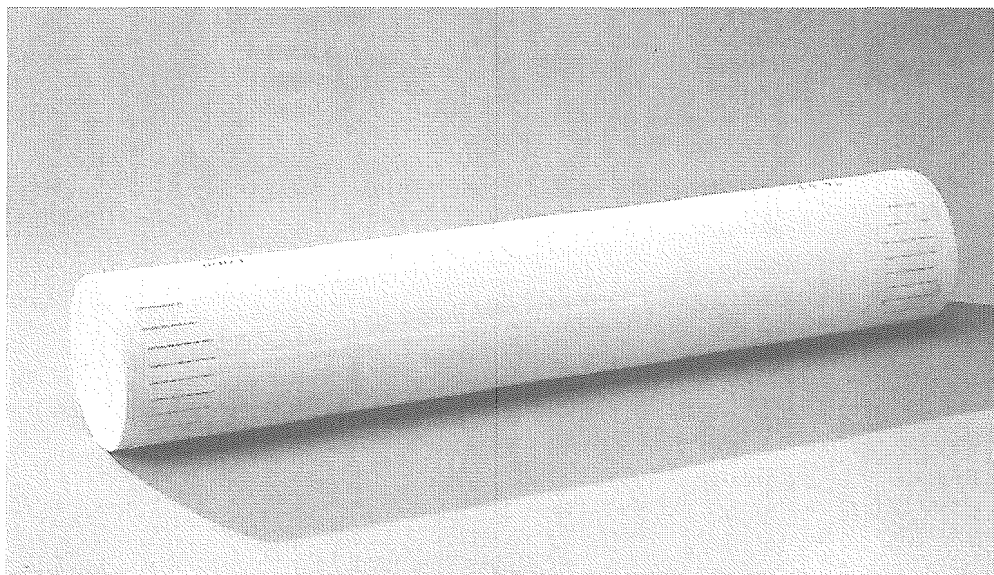


写真 7.3.4 セラミック膜エレメント

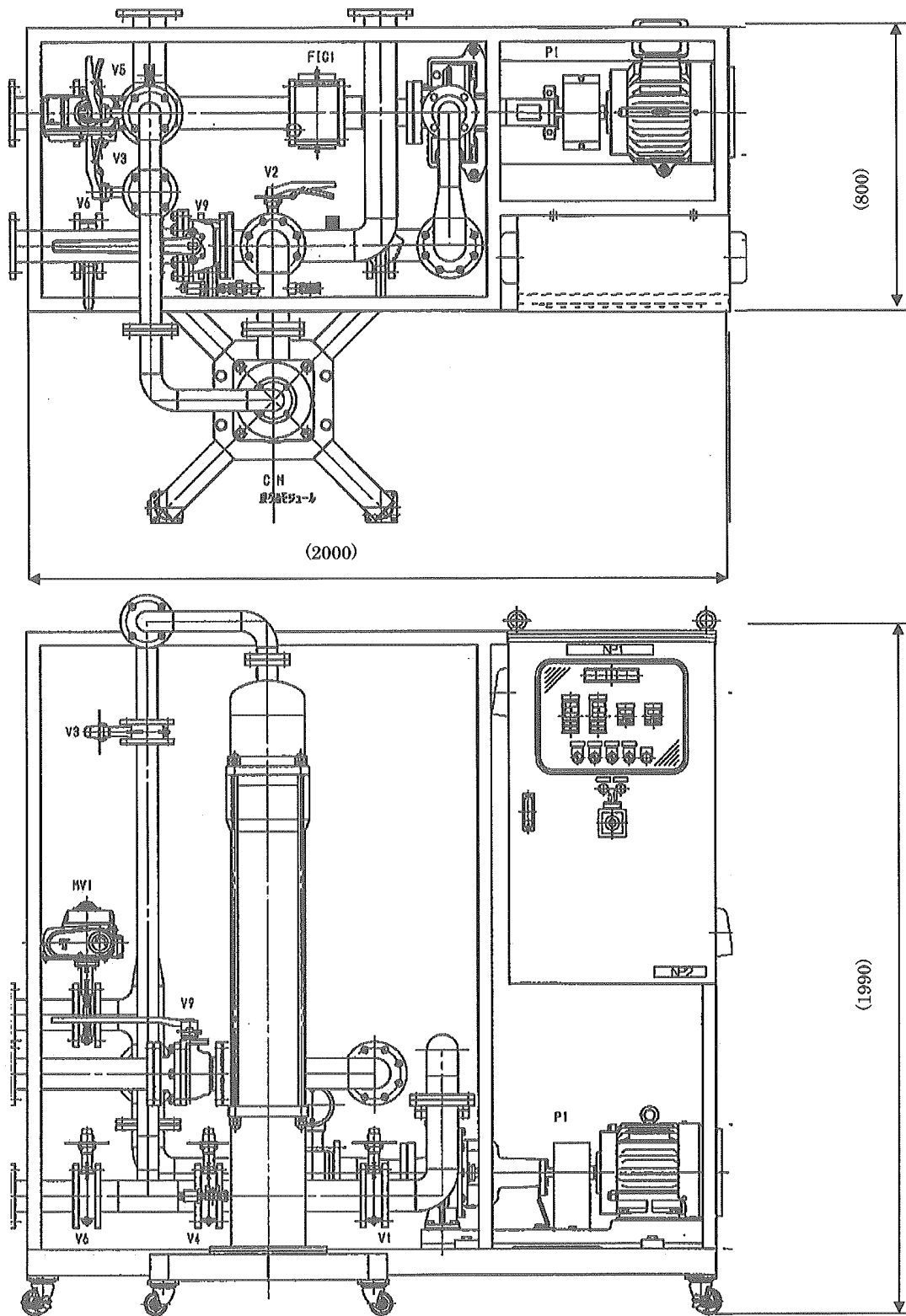


図 7.3.5 膜ろ過装置外観図

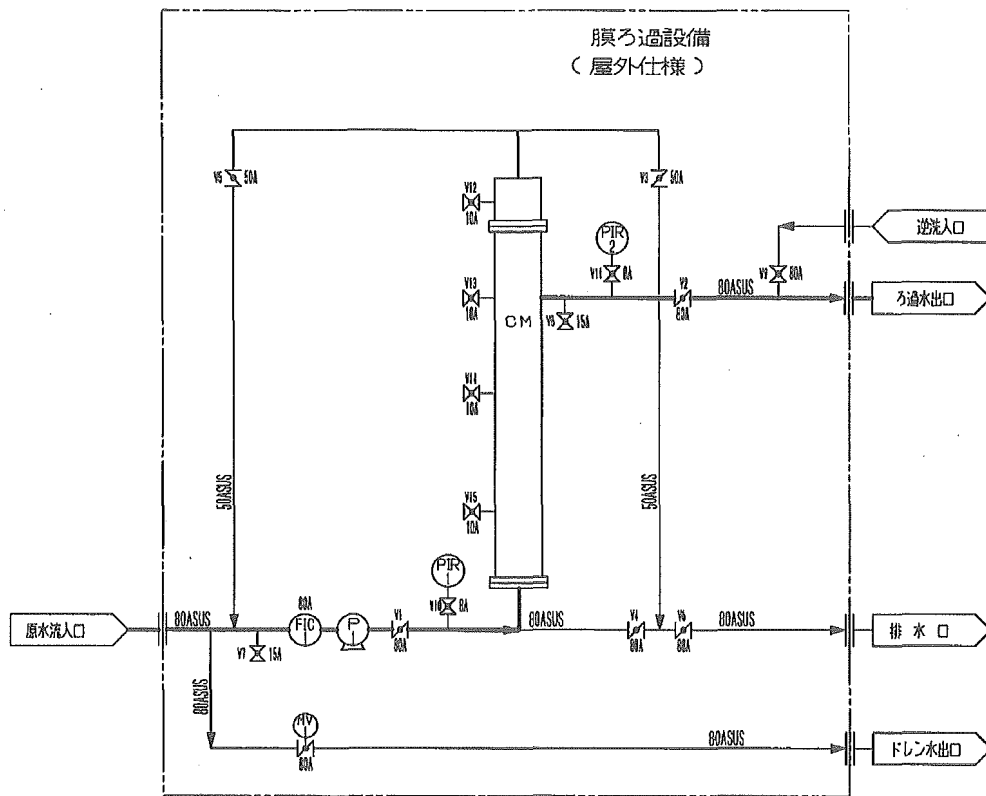


図 7.3.6 膜ろ過装置フロー

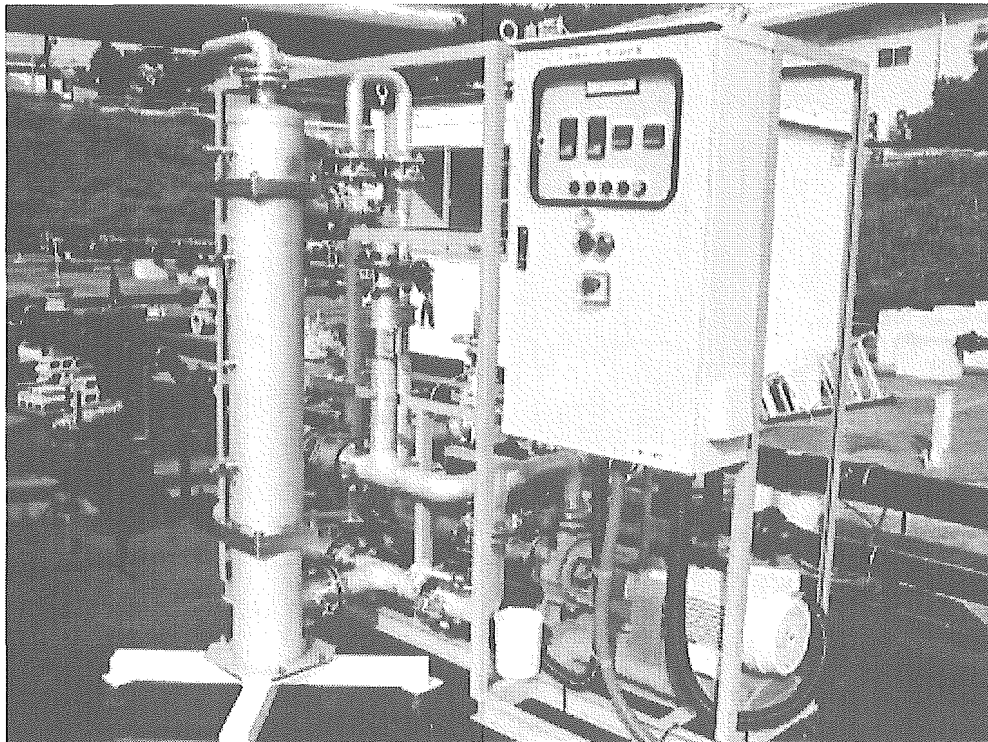


写真 7.3.5 膜ろ過装置実験管路設置状況

7.3.5 評価項目

非排水循環除去システムの一次処理装置（ストレーナ）と二次処理装置（膜ろ過装置）の組み合わせによる、水道管内の濁質除去効果の確認を以下の要点で行う。

① システム全体の運転状況・必要動力の確認

全体での圧力損失・循環ポンプ動力を測定し、運転状況・必要動力を確認する。

② 濁質流入状況及び濁質除去効果の確認

バイパス管への濁質流入状況、システムでの濁質除去効果を確認する。

③ システム全体の洗浄排水量の確認

ストレーナ、膜装置で除去した濁質を系外に排出するための洗浄排水量を確認する。

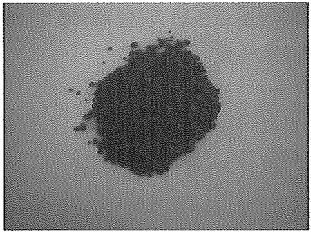
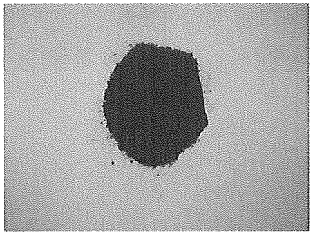
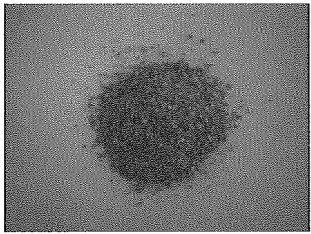

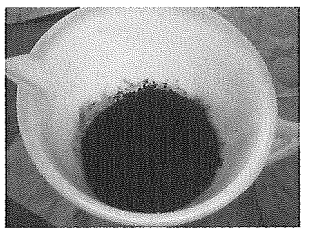
④ 濁質除去後の水質の確認

システム通過後の濁度を測定することで水質の確認を行う。また、参考値としてシステム通過後の残留塩素も測定する。

7.3.6 供試濁質について

今回使用した濁質の性状は、表 7.3.4 の通りである。

表 7.3.4 使用濁質

	形状	粒径	製造法	比重
鉄錆①		1~5mm	実際に使用されていたダクタイル鋳鉄管に付着していた錆こぶを採取し磨りつぶし、5mm ふるいにて調整したものの。乾燥体。	3.2
鉄錆②		1mm 以下	実際に使用されていたダクタイル鋳鉄管に付着していた錆こぶを採取し磨りつぶし、1mm ふるいにて調整したものの。乾燥体。	3.2
砂		1mm 以下	ダクタイル鋳鉄管のモルタルライニング用の砂。ふるいにて調整したものを使用。乾燥体。	2.4~2.6
塗膜片		不明	実際の配水管に存在したものを洗管作業などにより採取したもの。水分が多く、乾燥すると別性質に変化する恐れがあるため、投入量はかさ測定とした。	不明
混合物		鉄錆・砂 1 mm 以下 塗膜片不明	砂、鉄錆②、塗膜片を混合させたもの。 配合比は砂:鉄錆②=1:1 塗膜片は 50ml 投入。	—

この中の鉄錆②、砂の粒度分布を、図 7.3.7、図 7.3.8 にそれぞれ示す。

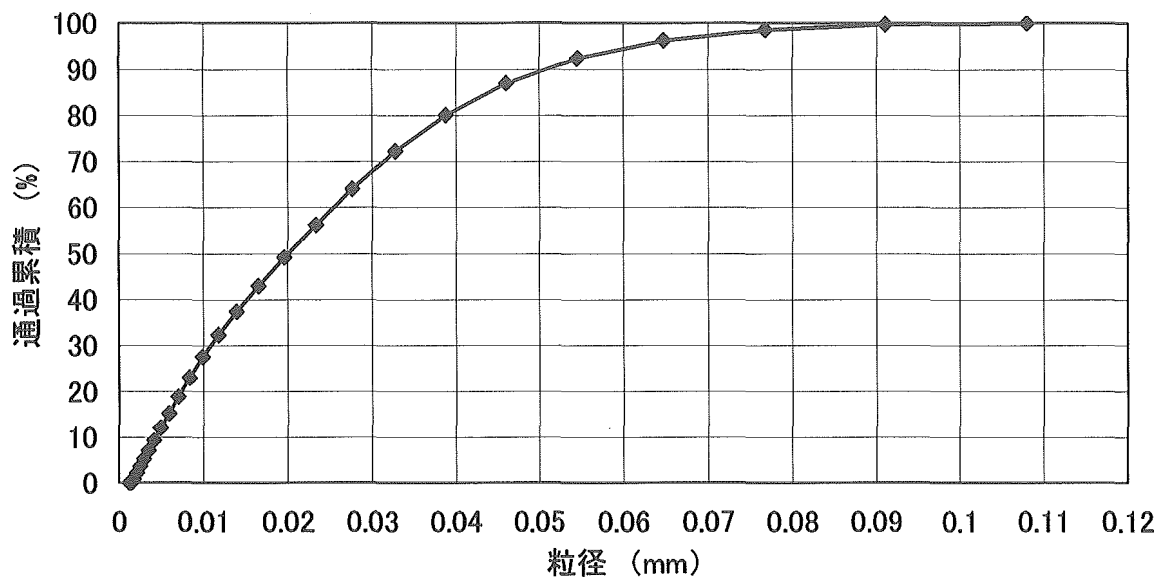


図 7.3.7 鉄錆②の粒度分布

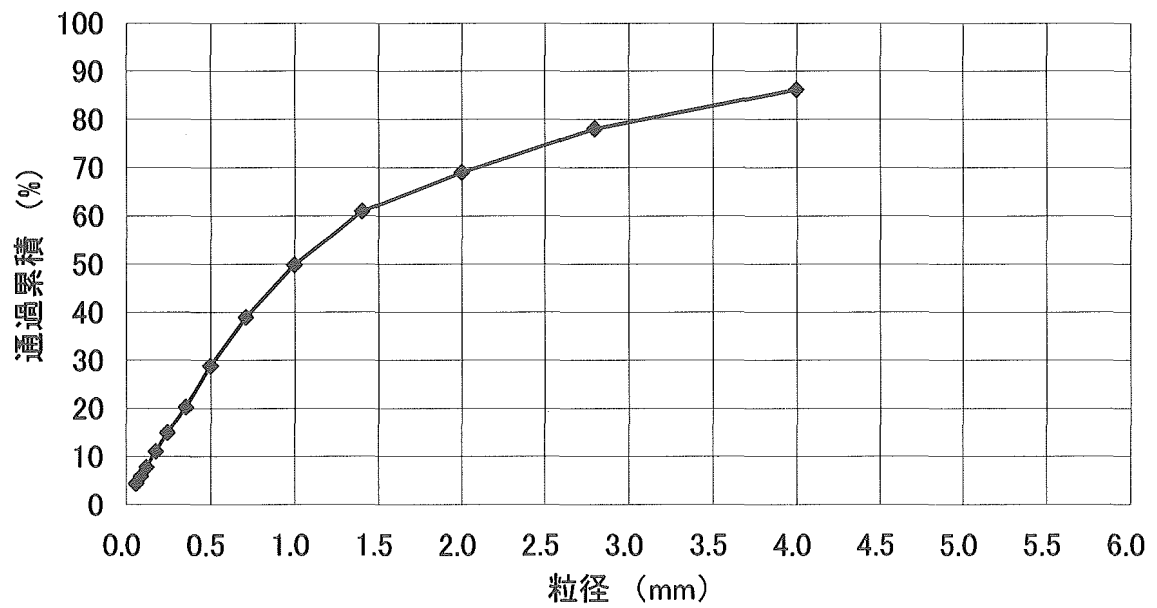


図 7.3.8 砂の粒度分布

7.3.7 実験条件

1) 機器の組み合わせ

各機器の組み合わせは以下の通りとし、表 7.3.5 に示す実験条件とする。

CASE-1: ストレーナ A 形 (目幅 $75\mu\text{m}$) + 膜ろ過装置 (膜孔径 $10\mu\text{m}$)

CASE-2: ストレーナ B 形 (目幅 $150\mu\text{m}$) + 膜ろ過装置 (膜孔径 $10\mu\text{m}$)

表 7.3.5 ストレーナ及び膜ろ過装置との組み合わせについて

機 器	本管流速	濁質種類	濁質仕様	濁質投入量
CASE-1	1.0 m/s	鉄錆①	5 mm 以下	500 g
		鉄錆②	1 mm 以下	300 g
		砂	1 mm 以下	500 g
		混合物	鉄錆・砂共に 1 mm 以下	500 g + 50 ml (鉄錆・砂：各 250g)
CASE-2	1.0 m/s	鉄錆①	5 mm 以下	500 g
		鉄錆②	1 mm 以下	300 g
		砂	1 mm 以下	500 g
		混合物	鉄錆・砂共に 1 mm 以下	500 g + 50 ml (鉄錆・砂：各 250g)

2) 本管流速条件について

本管の流速がなく、本管流速での濁質移動が起こらない状況を想定し、実験管路では本管流速 $v=0\text{m/sec}$ となる閉回路で実験を行った。

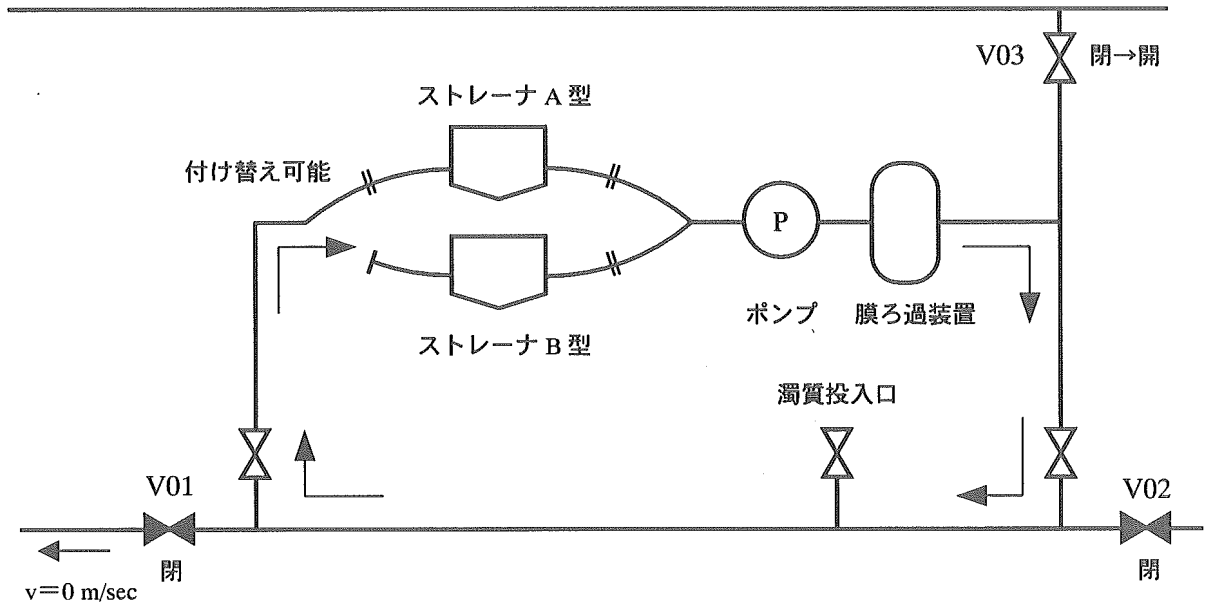


図 7.3.9 実験管路の実験条件

3) 実験方法

以下の工程で実験を実施した。

- ①流量調整 本管流速が所定の流速となるようにポンプ流量を設定 (PID 制御)
- ②試料投入 本管上下流弁 (V01, V02) を閉止し、本管流速をゼロにした後、消火栓から試料を投入
- ③濁質除去実験 弁 (V03) を開放後、ポンプ起動し、濁質の除去を開始
10 分間実験配管内を所定の流量で循環後、実験終了
(測定項目については、次項参照)

7.3.8 測定項目

1) システム全体の運転状況・必要動力の確認

濁質除去時におけるシステム全体、一次処理装置及び二次処理装置の圧力損失・循環用ポンプ動力を測定する。測定項目ごとの測定方法・使用機器は下表の通り。

表 7.3.6 測定項目ならびに測定方法

測定項目		測定方法	使用機器
圧力 損失	システム	循環ポンプ前後圧力値より測定	KH15 圧力変換器(長野計器製) KH52 差圧変換器(長野計器製) PSE560 圧力センサ(SMC 製)
	一次処理	一次処理装置 (ストレーナ) 前後 圧力値より測定	
	二次処理	二次処理装置 (膜ろ過装置) 前後 圧力値より測定	
ポンプ動力		ポンプ運転用 インバータ出力周波数より換算	—————

2) 濁質流入状況及び濁質除去効果の確認

濁質移動時、本管に存在する濁質が本管の T 字管・十字管へ堆積することが考えられるため、投入量とシステム回収量及び残存量よりシステムへの流入率を算出する。

また、実験終了後の残存量とシステム回収量より、システムでの濁質除去率を算出し、除去効果を確認する。

$$\text{システム流入率(\%)} = \frac{\text{流入量}}{\text{投入量}} \times 100$$

$$\text{システム除去率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{残存量}}{\text{流入量}} \right) \times 100$$

$$\text{投入量} = \text{流入量} + \text{不明量 (管内堆積分)}$$

$$\text{流入量} = \text{システム回収量} + \text{残存量}$$

$$\text{システム回収量} = \text{一次処理装置及び二次処理装置洗浄排水含有量}$$

$$\text{残存量} = \text{実験終了後の濁質濃度 (SS、濁度)} \times \text{実験配管保持水量}$$

なお、測定方法等は表 7.3.7 の通り。

表 7.3.7 濁質の測定項目ならびに測定方法

測定項目	測定方法
投入量	乾燥重量、かさ体積
流入量	システム回収量と残存量より算出
システム回収量	一次処理装置及び二次処理装置洗浄排水含有量 (捕集物乾燥重量、洗浄排水 [SS、濁度] より算出)
残存量	実験終了後の濁質濃度測定 [SS、濁度] と実験管路保持水量より算出

3) システム全体の洗浄排水量の確認

一次処理装置及び二次処理装置における、除去した濁質を系外に排出するために必要な洗浄排水量の測定を行う。

4) 濁質除去後の水質の確認

鉄錆①、②投入時、循環運転中の流入水（一次処理装置前）及び処理水（二次処理装置後）をサンプリングし、濁度の経時変化を測定する。

また、循環運転前後で系内の水道水の残留塩素濃度を測定する。

表 7.3.8 処理水の測定項目ならびに測定方法

測定項目	測定方法	使用機器
濁度	90° 散乱光透過光測定方式	HACH 社 携帯型濁度計 2100P 型
残留塩素	DPD 吸光光度法	水道機工 DPD 残塩チェッカー

7.3.9 実験結果

1) システム全体の運転状況・必要動力の確認

表 7.3.9 に実験結果を示す。CASE-1 (ストレーナ A 形 [75 μ m] + 膜ろ過装置) での組み合わせで、システム全体の最大圧力損失は、通常運転時で 70kPa 以下となったが、1mm 以下の細かい鉄錆では 200kPa 程度の圧力損失になり、かつ流量低下状態となった。この要因として、一次処理装置であるストレーナのろ過面積及びフィルタ目幅と流入する細かい濁質の濃度に関係すると考えられる。この現象の回避方法として、細かい鉄錆の高濃度流入時 (写真 7.3.6) には圧力損失を検知してストレーナ洗浄を行っておくことで 70kPa 以下となり、通常運転時のろ過性能になることが確認できた。

循環ポンプ動力について、通常運転時で最大 0.9kW 程度であったが、200kPa の場合、3.1kW まで上昇した。

表 7.3.9 各条件での最大圧力損失・ポンプ動力について [Case-1]

濁質種類・仕様	本管流速 (m/s)	投入量 (g)	最大圧力損失(kPa)			最大 ポンプ 動力 (kW)	備考
			ストレーナ	膜ろ過	全体		
濁質投入前	1.0	0	1.0	14.3	50.6	0.77	
鉄錆① 5mm	1.0	500	2.3	18.7	53.4	0.8	
鉄錆② 1mm	1.0	300	193.5	0.0	193.5	3.1	流量低下 が発生
鉄錆② 1mm	0.5→1.0	300	1.8	30.2	63.9	0.87	初期 洗浄有
砂 1mm	1.0	500	1.5	15.6	37.2	0.64	
混合物	1.0	500	2.0	28.3	64.2	0.88	

※ CASE-2 (ストレーナ B 形+膜ろ過装置) のデータの記載はストレーナ B 形の目幅が A 形に比べ大きく圧力損失が小さいため、省略した。

※ 最大圧力損失には、配管 (φ100mm 本管+φ75mm バイパス管) の圧力損失を含む。

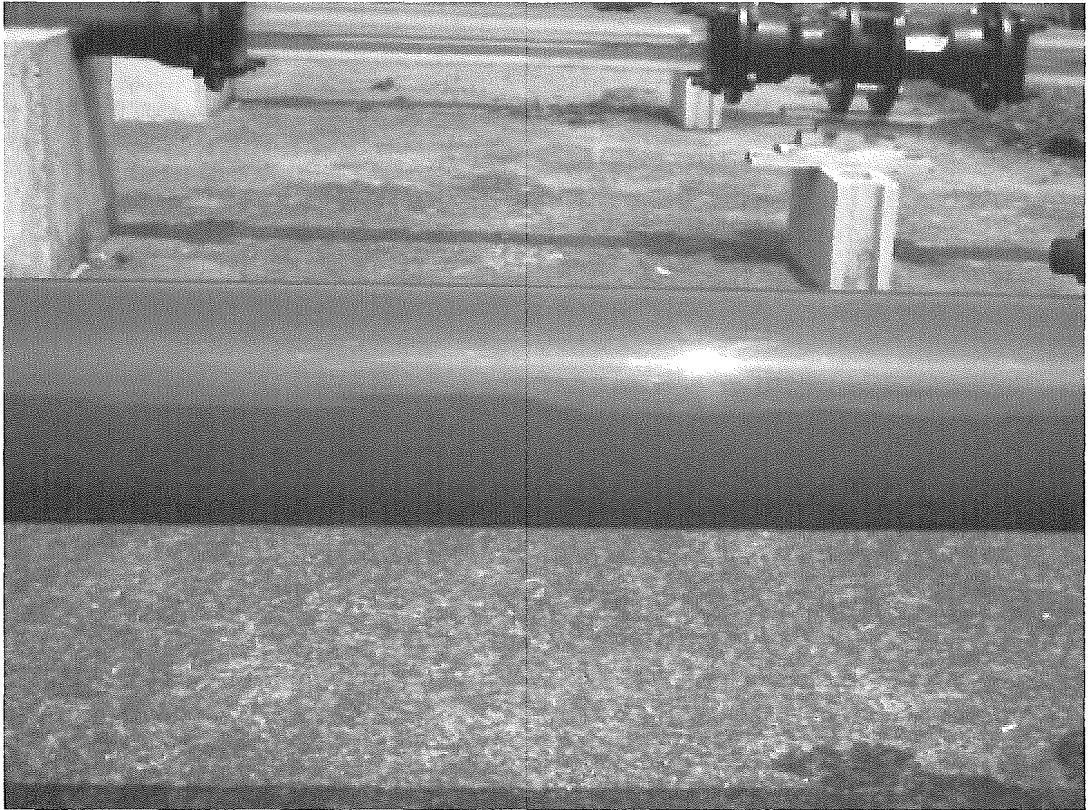


写真 7.3.6 細かい鉄錆を投入した状況（確認用アクリル管）

2) 濁質流入状況及び濁質除去効果の確認

実験結果を表 7.3.10 に示す。投入量に対するバイパス管への流入率は 58%以上であり、特に細かい鉄錆はほぼバイパス管へ流入することがわかった。また、段階的に流速をあげた場合の流入率は流入率が低くなる傾向となり、本管流速を 1m/sec 程度まで上げて行う必要があると考えられる。

次に、バイパス管へ流入した濁質についてのシステム除去率は 99.8%以上と高い値を示した。

表 7.3.10 各条件でのシステム流入率・システム除去率について

機 器	濁質の 種類・仕様	本管 流速 (m/sec)	投入量 (g)	流入量 (g)	残存量 (g)	システム 流入率(%)	システム 除去率(%)
CASE-1	鉄錆 1~5mm	1.0	500	356.2	4.5×10^{-5}	71.2	99.9
	鉄錆 1mm 以下	1.0	300	279.8	7.4×10^{-5}	93.3	99.9
	砂 1mm 以下	1.0	500	391.1	0.53	78.2	99.9
	混合物	0.5→1.0	500	349.6	0.40	69.9	99.9
CASE-2	鉄錆 1~5mm	1.0	500	380.0	7.3×10^{-5}	76.0	99.9
	鉄錆 1mm 以下	1.0	300	300.0	3.6×10^{-5}	100.0	99.9
	砂 1mm 以下	1.0	500	428.6	1.06	85.7	99.8
	混合物	0.5→1.0	500	294.6	0.13	58.9	99.9

3) システム全体の洗浄排水量の確認

表 7.3.11 に結果を示す。システム運転中にも洗浄可能であるストレーナでの 1 回の洗浄水量は最大約 0.6m³であった。

また、運転終了後の膜ろ過装置の物理洗浄水量は約 0.05m³と少なく、洗浄後の透水能の低下も認められなかった。但し、使用の継続により物理洗浄による膜閉塞の回復が困難となった場合は、薬液による洗浄が必要と考える。

各機器の洗浄水量を合わせても、従来の洗管作業に比べ洗浄水量を大幅に削減することが可能である。

表 7.3.11 各機器の最大洗浄排水量について

機 器	条 件	最大洗浄排水量 (m ³)
ストレーナ A 形 (75 μ m)	循環運転中の洗浄	0.32
ストレーナ B 形 (150 μ m)	循環運転中の洗浄	0.60
膜ろ過装置	循環運転終了後 コンプレッサ使用	0.05

4) 濁質除去後の水質の確認

循環運転中の流入水及び処理水の濁度経時変化の一例を図 7.3.10 に示す。また、各条件での濁度最大値及び実験終了時の処理水濁度を表 7.3.12 に示す。

循環開始後、濁質が高濃度でシステム入口に到達していることがわかる。また、処理水は、濁度ピーク時に濁度 3 度程度の漏洩が認められた。しかし、循環運転を継続することにより、二回目以降は濁度 2 度以下となり、循環運転終了時（約 6 周）には処理水濁度は 0.7 度以下にまで低減できることが確認できた。

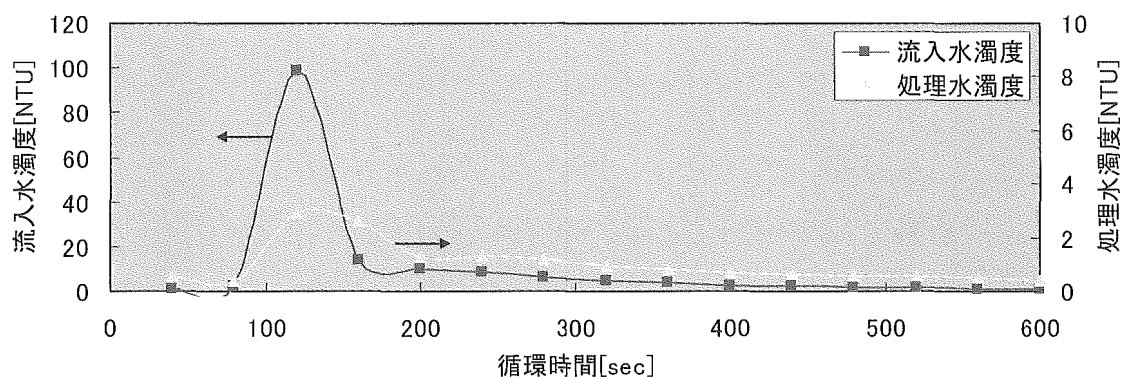


図 7.3.10 濁度経時変化の一例

表 7.3.12 各条件での濁度測定結果

機 器	濁質 種類・仕様	本管流速 (m/s)	投入量 (g)	流入水最大濁度 (NTU)	循環後処理水濁度 (NTU)
CASE-1	鉄錆 1～5mm	1.0	500	98.7	0.4
	鉄錆 1mm 以下	1.0	300	339.0	0.7
CASE-2	鉄錆 1～5mm	1.0	500	113.5	0.7
	鉄錆 1mm 以下	1.0	300	286.5	0.3

残留塩素濃度測定結果を表 7.3.13 に示す。

濁質投入前(無濁質状態)での循環運転の残留塩素濃度測定では機器前後とも 0.58ppm であり、機器内部での塩素消費は確認できなかった。しかし、鉄錆投入により残留塩素濃度は 0ppm となる結果となった。これは、今回使用した鉄錆は乾燥体であり、常時水中に存在するものと性質が異なるためと考えられる。

表 7.3.13 各条件での残留塩素測定結果

単位:ppm

条件 \ 測定箇所	ストレーナ前	膜装置下流側
濁質投入前	0.58	0.58
鉄錆投入後	0	0

7.3.10 まとめ

本実験の結果をまとめると、以下の通りとなる。

- ① ストレーナと膜ろ過装置を直列に結んだシステムにより、1mm以下の鉄錆・砂から最大5mmの鉄錆まで安定的に除去することが可能であることを確認した。
- ② システムの循環流速を1.0m/sec以上とすることで99%以上の除去率となった。なお1.0m/sec以下の流速では、濁質の除去システムへの流入率が低下することが確認された。
- ③ 粒径1mm以下の細かい鉄錆の除去実験の際、システムの圧力損失が200kPa程度となったが、事前にストレーナの洗浄をしておくことで回避可能であることが確認された。細かな濁質を多量に処理する際には、逆洗の間隔を短くする必要があると考えられる。
- ④ 簡易な逆洗により、現地でシステムの洗浄を行えることを確認した。また、システム全体の洗浄に要する水量は0.7m³程度であり、従来の洗管作業(5~10m³)と比較して大幅に排水量が減少することが確認された。
- ⑤ 最大で濁度100度を超える流入水が、システムを2周することで濁度2度以下となることが確認された。また、最終的にシステムを6周させた時の濁度は1度以下となり、システムは十分な濁質除去能力を有しているものと考えられる。

* 検証した各濁質除去方式の特徴

	管路設置形ストレーナ方式
除去対象濁質 (捕集濁質)	砂・鉄錆・塗膜片など 内装フィルタ目幅(75 μ m~150 μ m)以上の形状のもの
濁質除去方法	管路内に設置したストレーナ内装の金属(ステンレス製)フィルタで濁質を捕集除去
メーカー	(株)石垣 コスモ工機(株)
捕集濁質 排出方法	間欠式手動回転洗浄方式 捕集濁質排出は洗浄バルブ開放と装置内洗浄管の回転により行なう。
捕集濁質 洗浄水量	1.0m ³ /回程度 (1回あたり2分程度、0.2MPa時)
捕集濁質 排出頻度	濁質排出状況により設定
特徴	本管内に常時設置するタイプ。 装置通水中に濁質捕集を行ない、不断水にて捕集濁質を管外に排出(除去)する。

	洗浄排水方式
除去対象濁質 (捕集濁質)	沈降性の濁質に適す。 砂礫、フレーク状鉄錆
メーカー	栗本鐵工所
捕集濁質 排出方法	バルブ付T字管上部の消火栓あるいは専用栓等からの排水洗管
捕集濁質 洗浄水量	一般的には管内流速1.0m/s以上での洗管が効率的。 砂礫では0.8m/s以上が望ましい。
捕集濁質 排出頻度	—
特徴	フランジ付きT字管よりも排出性能に優れる。 バルブ機能を有するため、末端側の仕切弁操作が不要。 管網内の任意の方向から排水可能。

	セラミック膜方式
除去対象物質 (捕集濁質)	砂・鉄錆・塗膜片など セラミック膜孔径(10 μ m)以上の形状のもの
メーカー	日本ガイシ (株)
捕集濁質 排出方法	膜の差圧上昇時に逆圧洗浄
捕集濁質 洗浄水量	ϕ 180mm セラミック膜エレメント 1 エレメントあたり 50L/回程度
捕集濁質 排出頻度	濁質排出状況により設定 (膜差圧と管路有効圧を考慮し実施)
特徴	本管内に常時設置するタイプ 装置通水中に濁質捕集を行い、捕集濁質を系外に排出する。 膜孔径 10 μ m であるので、非常に微細な濁質まで除去可能

	非排水循環除去システム方式
除去対象濁質 (捕集濁質)	砂・鉄錆・塗膜片など セラミック膜目幅(10 μ m)以上の形状のもの
メーカー	JFE エンジニアリング (株) ・ (株) 石垣・コスモ工機 (株) 日本ガイシ (株) 共同研究成果
捕集濁質 排出方法	ストレーナ部：間欠式手動回転洗浄方式 膜ろ過装置部：循環運転後の逆洗方式
捕集濁質 排出水量	運転中の洗浄水量：1.0m ³ /回程度 運転後の洗浄水量：0.1m ³ /回程度
捕集濁質 洗浄頻度	濁質排出状況により設定
特徴	① モバイル型 移動車両に搭載し、消火栓接続と本管バルブ操作で経路を設定し、濁質除去対象配管を強制循環により濁質除去を行なう。濁質除去後の水道水は管路に返送する。 ② 常時設置型 管網の中央部に常時設置し、モバイル型同様の濁質除去を行なう。

8. 効率的な濁質対策