

VII-4

塩化第二鉄による下水二次処理水の凝集直接ろ過に関する研究

室蘭工業大学○学生員 佐藤 隆紀
 室蘭工業大学 正員 積穂 準
 室蘭工業大学 正員 吉田 英樹

1.はじめに

今日、閉鎖性水域の富栄養化の防止、公共用水域の水質基準の達成や保全、あるいは下水二次処理水の修景・親水等への再利用に際して、更なる水質の安定化が求められている。そこで、我々は下水二次処理水中の浮遊物質、溶解性物質およびリン酸の除去法として、ろ過継続時間の延長効果が高い人工粗大ろ材と天然砂の2層からなる2階床凝集直接ろ過法について研究を重ねてきた。これまでの研究の結果、凝集剤として硫酸アルミニウムを用いた場合、浮遊物質で90%以上、溶解性物質で50~60%程度、リン酸で90%以上の除去が可能であることがわかった。¹⁾

本報告では無機系凝集剤として塩化第二鉄を用い、ろ過速度、凝集剤添加量、砂粒径および砂層初期空隙率を変化させた場合のろ過特性について検討した。

2.実験概要

実験装置は図2-1に示す装置である。ろ過筒には内径8cm、高さ100cmのカラムを2本結合したものを使用した。カラム上部には人工粗大ろ材(内径2mm、外径4mmのビニールチューブを長さ6mmの半円筒形に加工したもの)を空隙率46.7%、厚さ90cmで充填し、カラム下部には所定の大きさにふるい分けた砂を所定の空隙率で厚さ60cmで充填した。凝集剤は塩化第二鉄を使用し、凝集剤添加量を2.0、4.0、6.0、8.0 Fe^{3+} mg/L、凝集pH3.5~4.5とした。また、砂粒径を0.59~0.71mm、0.71~0.85mm、0.85~1.00mm、砂層初期空隙率を41、45%、ろ過速度を120、240、360m/dayとして実験を行った。なお、実験に用いた原水は、活性汚泥法処理水を最終沈殿池より導入して使用した。

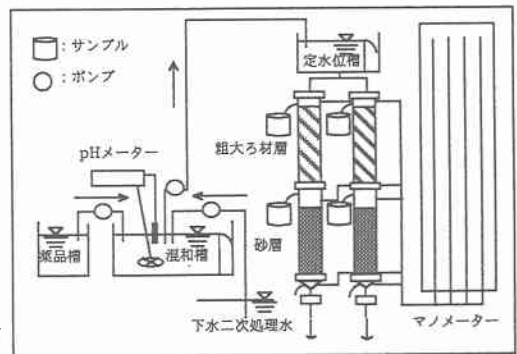


図2-1 ろ過実験装置

実験はろ過継続時間が30時間に達するか、または、全損失水頭が3.0mになった場合に終了とした。サンプルは下水二次処理水、凝集水、粗大ろ材層流出水および砂層流出水について採取し、濁度および色度の測定を行った。なお、サンプルは30分置きにサンプル瓶の1/4づつ採取し2時間で1サンプルとした。また、損失水頭は1時間間隔で測定を行った。

3.実験結果および考察

3-1) 濁度および色度除去率に及ぼす凝集剤添加量の影響

図3-1は凝集剤添加量を2.0、4.0、6.0、8.0 Fe^{3+} mg/Lにおける粗大ろ材層、砂層および2階床全体の平均濁度除去率をろ過速度別に示したものである。全体の平均濁度除去率はろ過速度、凝集剤添加量に関わらず95%程度と高い平均濁度除去率を得る。しかし、凝集剤添加量2.0 Fe^{3+} mg/L、ろ過速度360m/dayでは90%程度と他の条件より若干低下している。また、それぞれの凝集剤添加量の場合、粗大ろ材層における平均濁度除去率

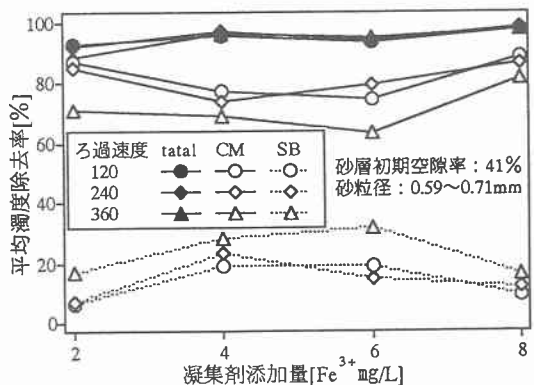


図3-1 各凝集剤添加量における平均濁度除去率

Study on Direct Filtration of Secondary Wastewater Effluent with Coagulation by Ferric Chloride by Takanori Sato, Hitosi Hozumi, Hideki Yosida.

ろ過速度120、240m/dayよりも360m/dayで低下している。そのため、砂層へ濁度負荷量が増大し、砂層の平均濁度除去率が上昇している。

図3-2は凝集剤添加量 $2.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ ろ過速度120および360m/dayにおけるろ過濁度の経時変化をについて示したものである。ろ過速度120m/dayにおける粗大材層流出水 (CM_{out}) および砂層流出水 (SB_{out}) はろ過期間中、安定した低い値で推移している。一方、360m/dayでは粗大材層で濁質の漏出が大きく、砂層流出水の濁度上昇を招いている。

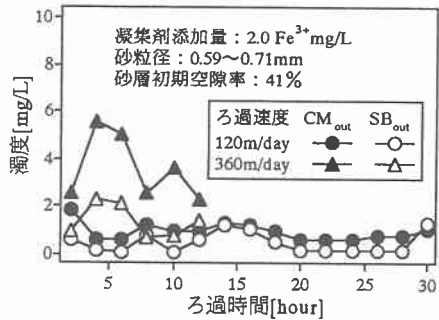


図3-2 ろ過水濁度の経時変化

図3-1および図3-2で見られたろ過速度の増大にともなう粗大材層からの濁質の漏出は、ろ過速度の増大による単位時間当たりの濁質負荷量の増大、ろ層内の水流によるせん断力が増大したためと考えられる。

図3-3はろ過速度360m/day、凝集剤添加量2.0、4.0、6.0、 $8.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ における砂層での濁質抑留分布について示したものである。凝集剤添加量が $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 以上の場合には砂層表面より20~30cmの深さで90%の濁質が抑留されている。一方、凝集剤添加量が $2.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ の場合は砂層表面より40cmの深さで90%程度の濁質が抑留されている。すなわち、凝集剤添加量が多い場合には比較的表層でろ過される表層ろ過が、逆に凝集剤添加量が少なくなるとろ層全体を使用する深層ろ過が発生する。これは凝集剤添加量 $2.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ では生成されるフロックの粒径が小さいため砂層深部まで押し込まれていと推察できる。

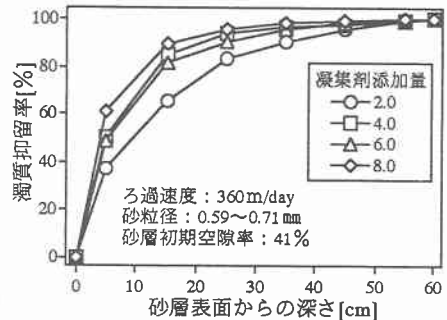


図3-3 砂層における濁質抑留分布

図3-4は凝集剤添加量を2.0、4.0、6.0、 $8.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ における粗大材層、砂層および2階床全体の平均色度除去率をろ過速度別に示したものである。図より全体の平均色度除去率は凝集剤添加量の増加とともに増大しおり $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 以上では50~60%程度の色度除去が可能である。また、同一添加量時において全体の平均色度除去は凝集剤添加量 $8.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ で若干バラツキが見られるがろ過速度によらずほぼ同一の値を示す。平均色度除去が50~60%で限界を示すのは、下水中に含まれる色度成分はフミン質(フミン酸、フルボ酸)が主な成分であり、色度除去の内、フミン酸については凝集剤による凝集操作が有効とされている。しかし、フルボ酸に関してはフミン酸に比して著しく粒子が小さく、凝集剤による凝集操作が効率的に行われなため有効な除去が行われない。そのため、凝集操作によって除去できないフルボ酸類が色度成分として残留するためと考えられる。2)

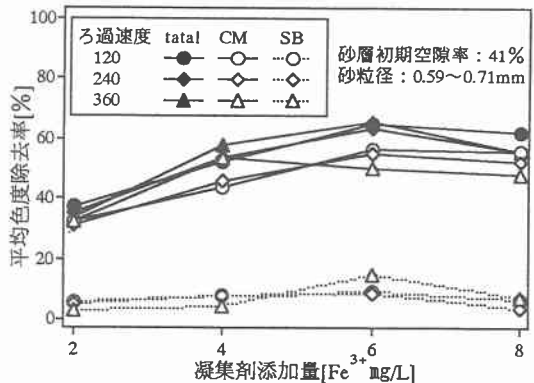


図3-4 各凝集剤添加量における平均色度除去率

3-2) 濁度および色度除去率に及ぼす砂粒径、砂層初期空隙率の影響

図3-5はろ過速度240m/day、凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ における2階床全体の濁度および色度の平均除去率と砂粒径の関係を示したものである。砂粒径の増大するに従い平均濁度除去率は低下しており、それぞれ、0.59~0.71mm

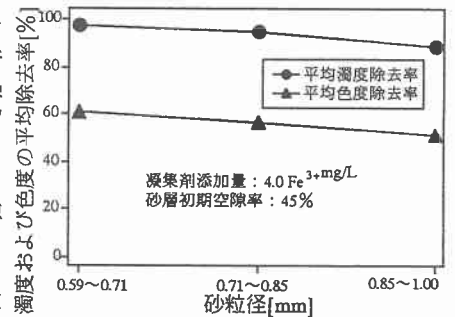
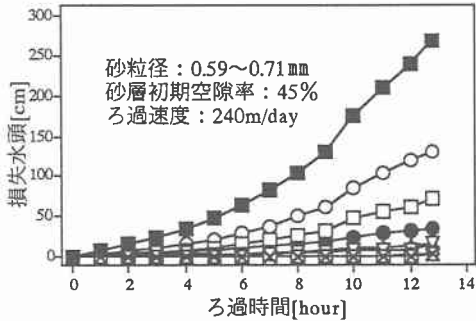
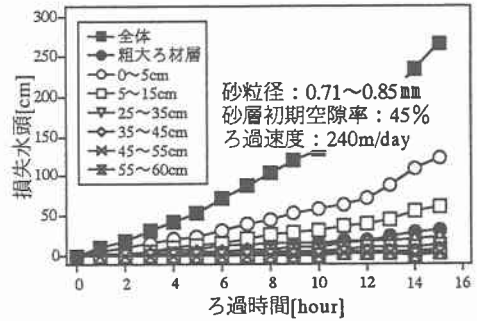


図3-5 各砂粒径における濁度および色度の平均除去率



(a) 0.59~0.71mm

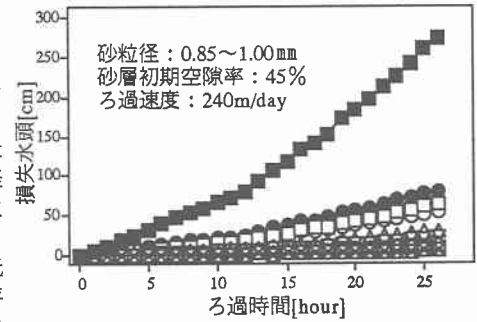


(b) 0.71~0.85mm

で98%、0.71~0.85mmで95%、0.85~1.00mmで90%となっている。また、平均色度除去率も同様な傾向を示しており、0.59~0.71mmで60%、0.71~0.85mmで55%、0.85~1.00mmで50%程度になっている。

図3-6(a)~(c)はろ過速度240m/day、凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 、砂層初期空隙率45%における各砂粒径の損失水頭の経時変化を示したものである。砂層で発生する損失水頭は砂粒径が増大するに従い減少している。これは、砂粒径が増すにつれ砂層での濁質抑留能力の低下を意味しており、図3-6の0.85~1.00mmにおける平均濁度除去率の低下を招いている。しかし、0.85~1.00mmにおけるろ過水はろ過期間中、許容ろ過水濁度以下(5.0mg/L)³⁾の安定したろ過を行っており、0.85~1.00mm砂粒径以下ならば安定した水質のろ過が可能と思われる。

図3-7はろ過速度240m/day、砂粒径0.59~0.71mm、凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ における2階床全体の濁度および色度の平均除去率と砂層初期空隙率の関係を示したものである。平均濁度除去率はいずれの空隙率においても95%程度の高い値を得ている。また、平均色度除去率については多少バラツキがあるものの50~60%程度の除去が可能である。



(c) 0.85~1.00mm

図3-6 各砂粒径における損失水頭の経時変化

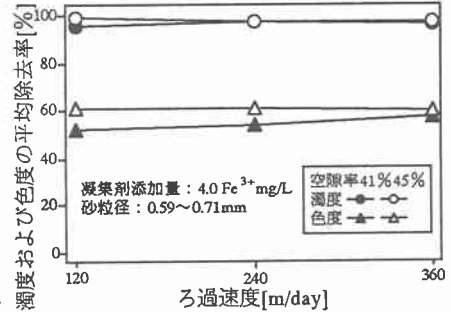


図3-7 各砂層初期空隙率における濁度および色度の平均濁度除去率

3-3) ろ過継続時間に及ぼす凝集剤添加量、砂層初期空隙率および砂粒径の影響

図3-8は砂層初期空隙率41%、砂粒径0.59~0.71mmにおけるろ過継続時間と凝集剤添加量の関係をろ過速度別に示したものである。各々のろ過速度におけるろ過継続時間は凝集剤添加量 $2.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ で最も長く、凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 以上では、どのろ過速度でもほぼ一定のろ過継続時間を示している。

図3-9は凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 、ろ過速度240 m/day、砂層初期空隙率45%におけるろ過継続時間と砂粒径の関係を示したものである。この図より砂粒径の増加とともにろ過継続時間は延長され、0.71~0.85mmでは0.59~0.71mmの1.1倍、0.85~1.00mmでは1.7倍程度のろ過継続時間を示している。

図3-10は凝集剤添加量 $4.0\text{Fe}^{3+}\text{mg/L}$ 、砂粒径0.59~0.7

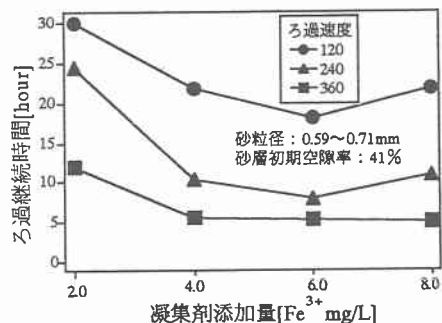


図3-8 各凝集剤添加量におけるろ過継続時間

1mmにおけるろ過継続時間と砂層初期空隙率の関係を示したのもである。ろ過速度が増加するに従い、ろ過継続時間は短くなる傾向が見られる。また、砂層初期空隙率の増加によりろ過継続時間は約1.1～1.4倍程度延長されており、特に、ろ過速度が遅い条件の方が延長効果大きい。

3-4) 最適ろ過条件の検討

凝集剤として塩化第二鉄を用いた場合の濁度および色度の平均除去率やろ過継続時間等に及ぼす凝集剤添加量、ろ過速度、砂層初期空隙率および砂粒径の影響については以上のような結果が得られた。では、これらのろ過装置を実用化するにあたってどのような条件を設定すれば良いかについて検討する。

最適な条件を決定するにあたって求められるのは、良好な水質の処理水を出来るだけたくさん経済的に得ることが重要である。

これまでの結果より塩化第二鉄を用いた場合の平均濁度除去率はろ過速度、凝集剤添加量、砂層初期空隙率および砂粒径に関わらず、常に安定した高い濁度除去率を得られ、その値は90～95%程度である。しかし、平均色度除去率に関しては凝集剤添加量に左右されており2.0で極端に低い値を示すことから4.0以上が望ましく、凝集剤添加量は4.0が最適と考えられる。砂層初期空隙率については濁度および色度除去率が同一にも関わらず45%でろ過継続時間の延長が可能なことから45%が最適と考えられる。また、砂粒径については先に述べた通り、0.85～1.00mm以下が望ましいと考えられる。

表-1は今回の実験で得られたろ過水量を示したものである。ろ過水量が最大となるものを最適条件とすると、最適条件は砂層初期空隙率45%、ろ過速度240m/day、砂粒径0.85～1.00mmである。

表3-1 ろ過水量

砂層初期空隙率 (%)	41			45							
	砂粒径 (mm)			0.59～0.71		0.71～0.85		0.85～1.00			
ろ過速度 (m/day)	120	240	360	120	240	360	120	240	360		
ろ過終了時間 (hour)	21.8	10.3	5.7	30.0	12.8	6.5	-	15.0	-	26.0	-
ろ過水量 (m ³ /m ²)	109.0	103.0	85.5	150.0	128.0	97.5	-	150.0	-	260.0	-

※凝集剤添加量：4.0Fe³⁺mg/L

4. 結論

- 1) 塩化第二鉄を使用した場合、凝集剤添加量4.0Fe³⁺mg/Lが最適であり、濁度および色度の平均除去率は90～95%、50～60%程度である。
- 2) 塩化第二鉄を使用した場合の最適条件は砂層初期空隙率45%、ろ過速度240m/day、砂粒径は0.85～1.00mmである。
- 3) ろ過継続時間は凝集剤添加量およびろ過速度の減少、砂粒径および砂層初期空隙率増加によって延びる。

《参考文献》

- 1) 吉田智志、他：アルミ系、鉄系凝集剤を用いた場合の直接ろ過による下水二次処理水のろ過特性、土木学会北海道支部論文報告集、第54号(B)、7-15、pp670～673
- 2) 丹保憲二・小笠原紘一：浄水の技術、技報堂出版(1985)
- 3) 小越真佐司：下水処理の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)、下水道協会誌Vol.29、No338、pp3～5(1992)
- 4) 建設省高度処理会議：高度処理施設設計資料(1994)

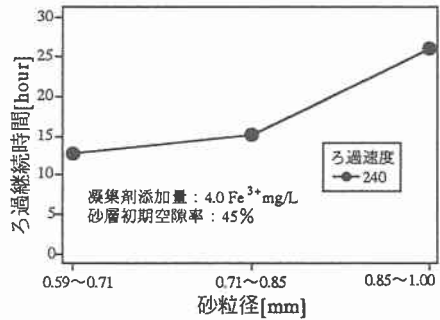


図3-9 各砂粒径におけるろ過継続時間

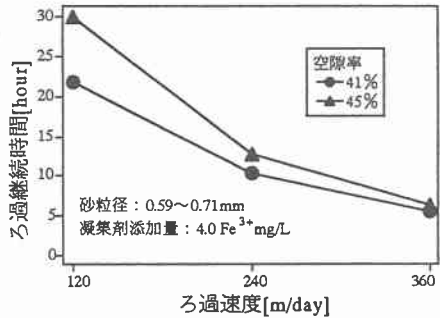


図3-10 各砂層初期空隙率におけるろ過継続時間