

II-2

下水2次処理水の直接ろ過における
ろ層閉塞に関する一考察

室蘭工業大学 学生員 加爾肯 馬拉夫
 室蘭工業大学 正員 穂積 準
 室蘭工業大学 正員 吉田 英樹
 室蘭工業大学 学生員 五百蔵 浩史

1.はじめに

下水2次処理水の修景・親水用水への利用などその再利用用途の拡大に伴って、従来にも増して高い浮遊物質の除去や、これまで処理の対象とされていなかった色度その他の物質の除去が要求されるようになった。そこで、筆者らは浮遊物質と溶解性物質の同時除去を目的として、人工粗大ろ材と天然砂からなる2層ろ過のろ過特性について検討を加えてきた。既報では凝集剤添加及び無添加時の濁度、色度、COD、リン酸の除去特性について報告した^{1~5)}。本報告では、濁質などの抑留に伴うろ層閉塞に関する検討結果について述べることにしたい。

2.実験装置と方法

実験装置は図-1に示すようで、原水(下水2次処理水)を直接、または混合槽で凝集操作を施した後、ろ過速度を調整しつつろ過筒へ流入させる。次で所定時間毎に所定箇所より試料を採取し、濁度等を測定すると同時に損失水頭をマンメーターで測定する。実験は損失水頭が3mに達した時点で終了するものとした。実験終了後は水道水を用いてろ層を逆流洗浄し、再び実験を行う。

3.実験結果及び考察

図-2は単層及び2層ろ過におけるろ過水濁度の経時変化を砂粒径0.59~0.71mm、ろ過速度240m/d、凝集剤無添加の場合を例にとって示したものである。ろ層へ流入する下水2次処理水の濁度は5~15mg/Lと大きく変動し、ろ過水濁度もそれに依りて変化するが、その変化幅は小さく、砂層からの流出濁度は単層、2層ろ過とも約2~3mg/Lで、安定したろ過水が得られている。図-3は図-2と同一条件下での単層及び2層ろ過における損失水頭と砂層の深さ方向の損失水頭の増分(損失水頭-初期損失水頭)の経時変化を示したものである。許容損失水頭3mに達するまでのろ過継続時間は単層ろ過では8時間、2層ろ過では31時間である。この場合損失水頭が許容限界値に達した時点において、図-2に示されるように砂層はなお濁質抑留能力を残存保持した状態にある。

ろ過水濁度と損失水頭が同時に許容限界値に達するろ層構成が最適であるとされ、この場合に最長のろ過継続時間が得られるが、通常は図-2、3に示されるようにろ過継続時間は許容損失水頭によって支配される。した

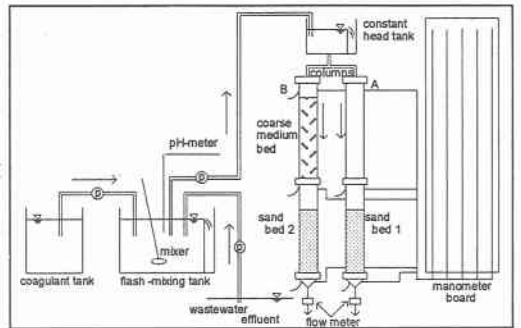


図-1 実験装置概略図

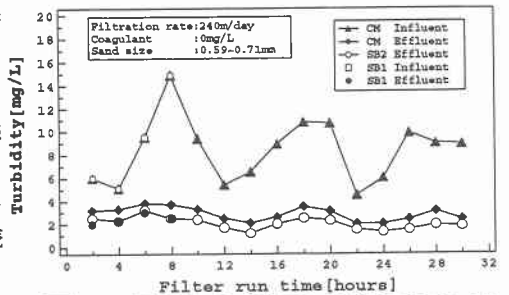


図-2 ろ過水濁度の経時変化

A Study on Filter Clogging in Direct Filtration of Secondary Wastewater Effluent by Manav Jarhen, Hitoshi Hozumi, Hideki Yoshida and Hirofumi Ioroi

がって、通常のろ過ではろ層の濁質抑留能力よりもむしろ濁質抑留に伴うろ層の閉塞が問題となる。

図-3において、砂層深さ方向の損失水頭の増分は単層ろ過ではろ過開始から終了時までほとんど0~5cmの層で発生しており、2層ろ過ではろ過開始4時間までは0~5cmの層で、4~8時間では0~5cmと5~15cmの層で、8~ろ過終了時点までは表面から25cmまでの層で発生し、損失水頭増分の発生は順次砂層深部に及んでいく。この損失水頭増分の変化は抑留濁質によって持たせられるものであるから、濁質の砂層への侵入深さの変化を表わし、損失水頭増分の増分の大小は濁質抑留量の大小に対応するものと考えられる。図-3の結果は、単層ろ過では濁質抑留が主として表面から5cmの層で進行し、2層ろ過では25cm以下の層ではほとんど濁質の抑留は行われず、また、表層の5cmにおける濁質抑留が著しいことを表わしている。

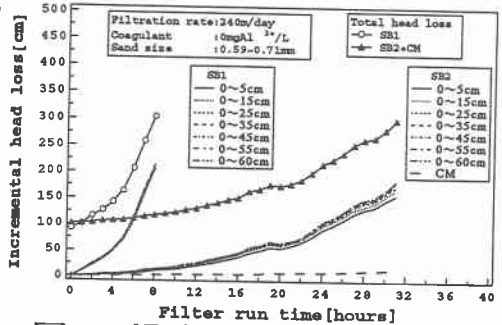


図-3 損失水頭の経時変化

図-4は図-2、3と同一条件下における単層及び2層ろ過の流入、流出濁度から求めた濁質抑留量と損失水頭増分の関係を示したものである。粗大ろ材層では濁質抑留能力が大きいのにも拘わらず、損失水頭は極めて小さい。逆に砂層では抑留量が少ないにも拘わらず、損失水頭は急激に上昇し、抑留量に対する損失水頭の変化率は大きい。すなわち、単層ろ過は当然のことながら2層ろ過においても濁質抑留に伴う砂層の閉塞が損失水頭の変化を支配し、ろ過継続時間を規定する最大の要因である。なお、アンストラサイトと砂を用いた2層ろ過の場合にはアンストラサイト層における損失水頭増分の発生が大きく、ろ過継続時間の検討に当たってはアンストラサイトと砂両層の閉塞を問題にしなければならない。

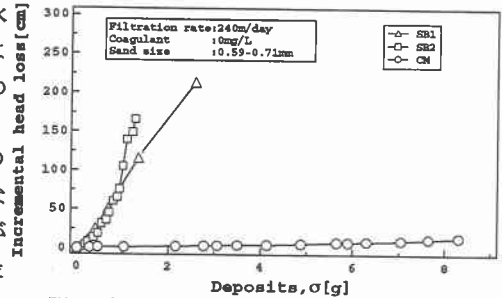


図-4 損失水頭増分と濁質抑留量の関係

次に、濁質抑留に伴う砂層空隙の変化について検討する。砂層空隙の変化を直接測定することは極めて困難であるので、測定した損失水頭と充填層の損失水頭公式から空隙率の変化を求めた。砂層の損失水頭公式の代表的なものとしてはKozeny-Carman式とFair-Hatch式があり、いずれも適用可能であるが、ここではKozeny-Carman式⁶⁾を用いることとした。

$$H/L = k(\mu/\rho g)U(1-\epsilon)^2/\epsilon^3(A_p/V_p)^2 \quad (1)$$

ここで、 H :ろ層の損失水頭、 L :ろ層厚さ、 ρ 、 μ :それぞれ水の密度と粘性係数、 g :重力の加速度、 U :ろ過速度、 ϵ :ろ層の空隙率、 A_p 、 V_p :それぞれろ材一個の表面積と体積、 k :Kozeny定数。

図-5は凝集剤無添加時の単層及び2層ろ過と凝集剤添加時の2層ろ過の砂層空隙の減少量と抑留濁質量の関係を砂粒径0.59~0.71mm、ろ過速度240m/dの場合を例にとって示したものである。この場合の空隙減少量は各深さの砂層毎に空隙の減少体積を求め、その総和を各深さの砂層体積の総和すなわち濁質抑留の生じている砂層体積で除した砂層単位体積当たりの体積減少量である。また、濁質抑留量は同様に濁質抑留の生じている砂層単位体積当たりの抑留濁質量である。砂層空隙体積の減少量は濁質抑留量の増

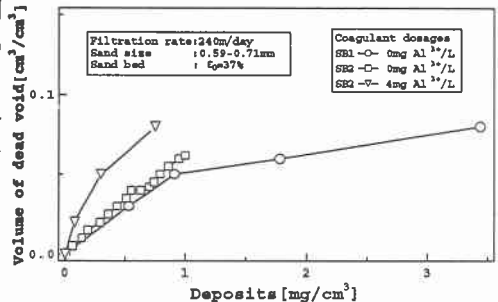


図-5 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係

大とともに大きくなるが、その増加率は次第に小さくなっていく。また、抑留濁質の密度は 1 g/cm^3 より大きく濁質 1 g の体積は 1 cm^3 を越えないので、図-5は濁質抑留体積に比べてはるかに大きな空隙体積が滅殺されることを示している。砂層の空隙は数多くの狭窄部を有する水路の集合とみなすことができ、抑留濁質によるこの狭窄部の閉塞によって流れに有効な空隙水路が利用されない状態で死空間となる。その結果、損失水頭は濁質抑留量に相対して極めて大きくなり、図-5に示されるようにみかけ上はるかに大きな体積の空隙が閉塞される状況を呈することになる。また、ろ過の初期においてはすき間間隔の小さい狭窄部が閉塞され、ろ過の進行とともに間隔の小さい狭窄部は減少し、すき間間隔のより大きな狭窄部が次第に閉塞されるようになる。その結果、濁質抑留に伴う砂層空隙体積の減少量の変化率はろ過の進行とともに次第に小さくなるものと考えられる。

図-5は濁質抑留量と空隙減少量を砂層の深さ方向に均等化した場合の結果である。しかしながら、前述したように濁質抑留量は表層で大きく深部で小さい分布を持つので、厳密には各深さの砂層毎に両者の関係を求める必要がある。本実験では深さ方向のろ過水濁度の変化を測定していないので、濁質抑留量の分布を求めることはできないが、図-4の結果では損失水頭の増分と濁質抑留量の関係がほぼ直線で近似できることから、深さ方向の濁質抑留量と損失水頭の分布との間に1対1の対応関係があるものと仮定して濁質抑留量の分布を求め、各深さの砂層毎の空隙体積の減少量と濁質抑留量の関係を求めた。図-6、7、8はその結果を砂粒径 $0.59 \sim 0.71 \text{ mm}$ 、ろ過速度 240 m/d の場合を例にとって示したものである。凝集剤無添加時の単層と2層ろ過及び凝集剤添加時の2層ろ過いずれの場合も各深さの砂層における空隙体積の減少量と濁質抑留量の関係は一つの曲線で近似され、砂層の各深さにおいて類似の空隙水路の閉塞が生じていることを示している。

図-9、10、11は凝集剤無添加時の単層と2層ろ過及び凝集剤添加時の2層ろ過における砂層 $0 \sim 5 \text{ cm}$ での空隙体積の減少量と濁質抑留量の関係をろ過速度別に示したものである。いずれもろ過速度の増大とともに濁質抑留量当たりの空隙減少量は小さくなっている。ろ過速度が大きい程、流れのせん断力は大き

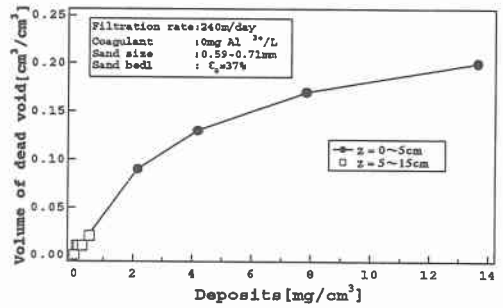


図-6 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係

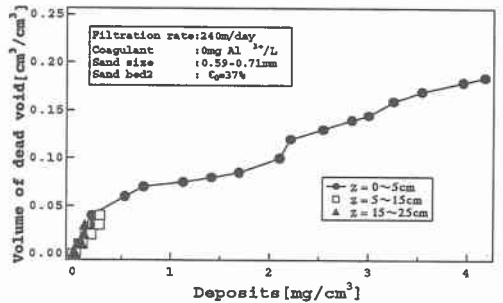


図-7 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係

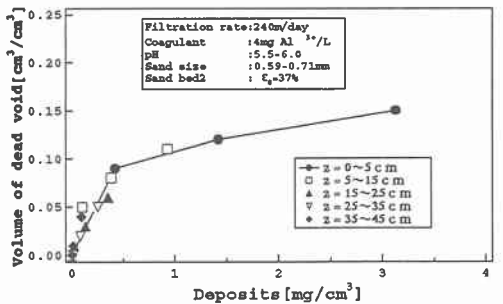


図-8 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係

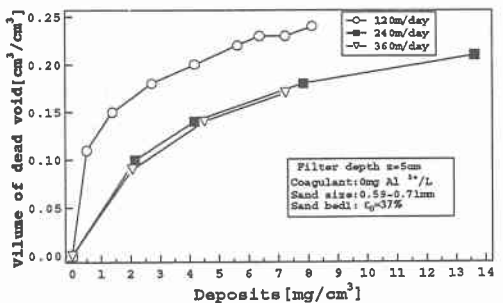


図-9 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係

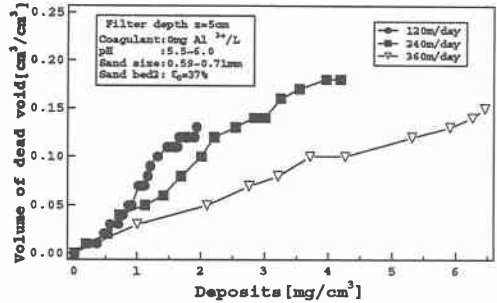
くなるので、空隙水路の狭窄部に滞留された濁質堆積は大きな流れの抵抗を受ける。そのため、濁質粒子の堆積構造はろ過速度によって異なり、同一空隙体積を減殺するに要する濁質抑留量はろ過速度の増大とともに大きくなるものと考えられる。また、ろ過速度が大きい程、局所的な乱れも大きくなり、狭窄部以外の空隙部分、例えば流れに無効なポケット部分などへ持ち来されて抑留される濁質が増大するなど、狭窄部の閉塞に直接関与しない濁質抑留量が増大し、これも図9～11の結果をもたらす要因の一つと考えられる。また、凝集剤添加と無添加の場合を比較すると濁質抑留量当たりの空隙減少量は前者の方が後より大きい。これは、凝集剤無添加時に密度の大きい比較的稠密な濁質であったものが、凝集によって内部に水を取り込みつつ粗大化し密度の小さいフロックとなることによるものである。つまり、同一質量に対する濁質粒子の体積が凝集操作を施した場合大きくなることによるものである。また、凝集剤無添加の場合の単層と2層ろ過では単層ろ過の方が濁質抑留量当たりの空隙減少量は大きい。2層ろ過では粗大ろ材層で径の大きい濁質が補足され、下部の砂層へ比較的径の小さい濁質が多く流入するので、単層と2層ろ過では砂層へ流入する濁質の寸法が異なる。これに伴って空隙水路狭窄部の滞留濁質の堆積構造が異なり、図9～11の結果が得られたものと考えられる。また、小粒径の濁質程、前述のポケット部へ侵入しやすいといったことも考えられる。これらの点については今後なお検討することとしたい。

4. 結論

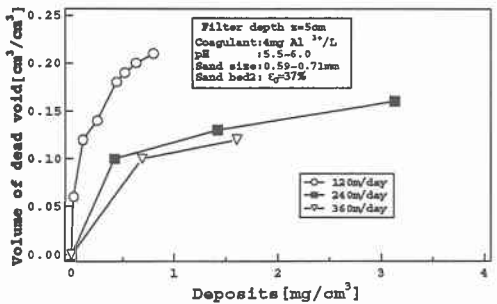
- 1) 砂層における濁質抑留はろ過の進行とともに表層から次第に深部に及んでいく。
- 2) 抑留濁質による砂層空隙狭窄部の閉塞によって抑留濁質の体積よりみかけ上はろ過に大きな砂層空隙が減殺される。
- 3) 砂層空隙体積の減少量は濁質抑留の増大とともに増大するが、その増加率は次第に小さくなる。
- 4) 砂層空隙体積の減少量と濁質抑留量の関係は各深さの砂層で異ならず、一つの曲線で近似しうる。
- 5) 単位抑留濁質量当たりの砂層空隙体積の減少量はろ過速度の増大とともに小さくなる。
- 6) 単位体積当たりの砂層空隙体積の減少量は凝集剤添加と無添加の場合では前者の方が大きく。また、単層と2層ろ過では前者の方が大きい。

参考文献

- 1) N'GUESSN BI TOZAN Michel, et al: Direct Filtration of Secondary Wastewater Effluent by A Dual Media Filter, Proc. of Environmental Engineering Research, Vol. 30, pp267~273(1993)
- 2) 加尔肯馬拉夫, 他: 2階床直接ろ過による下水2次処理水の高度処理, 土木学会第49回年次術講演会, pp1052~1053(1994)
- 3) N'GUESSN BI TOZAN Michel, et al: Removing Color and Turbidity from Secondary Wastewater Effluent by Direct Filtration in a Dual Media Filter, Proc. of Environmental Engineering Research, Vol. 31, pp29~35(1994)
- 4) 加尔肯馬拉夫, 他: 2階床直接ろ過による下水2次処理水の高度処理 (第2報), 土木学会第50回年次術講演会, pp1050~1051(1995)
- 5) 穂積準, 他: 2階床ろ層による下水2次処理水の高度処理に関する研究—処理性能に及ぼすろ過速度の影響とろ過機構の検討—, 環境工学研究論文集, Vd.32, pp339~347, (1995)
- 6) Carman, P.C: Fluid Flow Through Granular Beds, Trans. Inst. Chem. Engrs, Vol. 15, pp150~166(1937)



図一 10 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係



図一 11 単位体積当たりの濁質抑留量と空隙体積の減少量の関係