

1 まえがき

河川表流水の濁度は降雨によってはもちろんのこと、流域のさまざまな都市活動の影響をうけて常に変動している。このような原水濁度の変動に対し、いかにして適正な水処理を行なうかということは一つの大きな問題である。とくにマイクロフロックの直接ろ過などのように、処理時間が著しく短縮され、かつ、凝集剤の使用量が最小限におさえられている場合には、濁度負荷の変動に対する装置の安全率が低く最も危険と考えられる。

今回の実験においては直接ろ過用のモデルプラントを用い、はじめに、薬注量と砂の径がろ過現象にいかに関与するかを観察した。その後、同様の条件でろ過の前期（ろ過6時間目）と後期（ろ過20時間目）にある一定の濁度上昇（20, 40, 80度）を短時間（1hr）発生させた場合、それがどのようにろ過現象に影響するかを調べてみた。実験はまだ継続中ではあるが現在まで得られたいくつかの知見を以下に報告する。

2 実験条件

使用した装置は急速混和直後のマイクロフロックを含む原水を直接ろ過するタイプのモデルプラントで、ろ過筒は一边70mmの正方形断面で長さ1.1mである。実験条件は以下の通り。

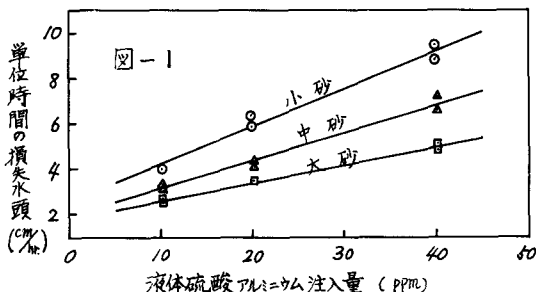
- ・砂層厚 ----- 60 cm ・初期空隙率 ----- 43 % ・ろ過速度 ----- 240 m/h
- ・使用砂 ----- 大 (0.84~1.00 mm), 中 (0.71~0.84 mm), 小 (0.59~0.71 mm)
- ・人工加濁 ----- 本学地下水にカオリン 20 ppm
- ・凝集剤 ----- 液体硫酸アルミニウム 10, 20, 40 ppm

3 結果と考察

3-1 一般的なるろ過現象について（正味の総損失水頭1.5m発生時にろ過池を停止させた）

(1) 正味の総損失水頭

正味の総損失水頭の発生量は同一原水濁度であっても、ろ速の高速化や薬注量の増加、また砂の径や空隙率の減少にともない顕著に増大することが知られている。図-1に今回の種々の実験条件下における1時間当りの平均損失水頭値を示す。薬注量を10ppmから20ppmに増加させることにより損失水頭は平均1.4倍、20ppmから40ppmへ増加させることにより平均1.5倍の増加を示した。また図-2は濁度と薬注量を変化させてJar Tester



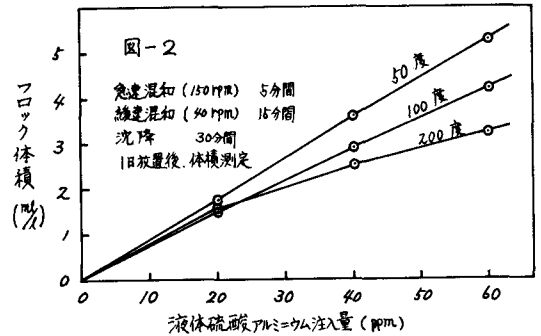
による凝集・フロック形成を行ない24時間放置後に測定したフロック体積である。これらから生成されたフロック体積は、薬注量と、特に濁度の低い方で、ほぼ正比例の関係がみられ、薬注量の変化の影響とは、すなわち同一濁度におけるフロック体積の変化の影響であると言っても過言でない。また

損失水頭の発生に及ぼす砂の径の影響とは、今回は粒径に関係なく空隙量を一定としているから、個々の空隙の大きさ、または、砂の有効表面積の相違によるものと理解すべきだろう。

図-1のデーターを基に変動の解析(繰り返し2回の二元配置法による)を行ない、変動に対する個々の要因の寄与率を求めた結果、表-1-(a)に示すように、損失水頭の発生に対しては葉注量が61.5%と砂の径よりも断然大きな寄与率を示した。

(2) 砂層オー層(0~5cm)の損失水頭配分率

佐藤らは同一のカオリン添加量と葉注量の場合、マイクロフロックよりもフロック形成を行なった大きなフロックの方が下層へ浸入することを示しているが、同一濁度では急速かくはんのみの場合でも、葉注量の多いものほど砂層上部で占める損失水頭の比率が徐々に低くなり、葉注量の多いほどフロック体積の大きい剪断に対して弱いフロックが形成され、そのため下層へより多くのフロックが浸入していくものと思われる。例えば、葉注量を倍にしても図-2のフロック体積の増加ほど損失水頭が発生しないのもこの原因によると解釈できる。また、同一の濁度と葉注量の場合には、オー層の占める損失水頭の比率は砂の径により異なり、小さな砂ほど高くなっている。



(3) ろ過水の平均濁度

各実験条件におけるろ過水の平均濁度を図-3に示す。これから砂の径が0.6~0.8mmにおいては、粒径の大きくなるにつれて濁度除去率は徐々に悪くなっていくが、砂の径が0.9mmを越えると急激な水質の悪化が見られた。また、葉注量の違いによる傾向については、表層の損失水頭の比率の結果から予想されたように、葉注量の多いものほどろ過水濁度が高かった。

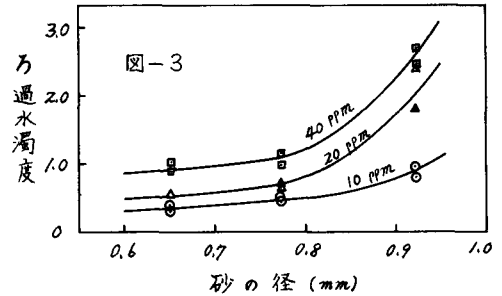


図-3のデーターを基に上と同様の方法にて変動の解析を行ない表-1-(b)のような結果を得た。ろ過水平均濁度については、砂の径の寄与率が57.1%と葉注量の寄与率よりも大きく、これは損失水頭の場合と反対である。また、個々の実験のろ過の経過にともなうろ過水濁度の推移をみると、初期のフレイクスルーが短時間

生じたのち清澄期となり、その後、砂の径の大きなものでは終期のフレイクスルーが見られた。篠原らはろ過水濁度が周期的に濁度流出を起しながら推移すると報告しているが今回の実験

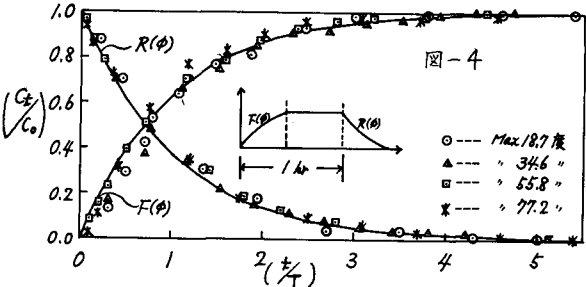
表-1			(a) 損失水頭/時		(b) ろ過水濁度		(c) ろ過継続時間	
要因	反復数	範囲	純効果	寄与率(%)	純効果	寄与率(%)	純効果	寄与率(%)
砂の径	3×2	0.59~1.00 ^{mm}	2,230	32.0	56,194	57.1	89,503	32.1
注葉量	3×2	10~40 ppm	4,284	61.5	27,106	27.6	184,970	66.2
交作用	—	—	356	5.1	10,153	10.3	3,590	1.3
その他	—	—	93	1.4	4,880	5.0	1,232	0.4
(合計)			6,963	100.0	98,333	100.0	279,295	100.0

では見られなかった。

3-2 原水濁度に変動がある場合のろ過現象について

(1) 濁度変動の型

濁度変動時には別に準備した定量ポンプを作動させ所定の濁度上昇分に相当するカオリン懸濁液を添加した。急速かくはん槽は一辺 20 cm の正方形断面で理論滞留時間は 4.5~5.0 分である。カオリン添加量の4段階について濁度変動時の流出水を採水・測定した結果を図-4 に示す。図中の実線は、完全混合型の残余濃度曲線 $R(\phi)$ と過渡応答曲線 $F(\phi)$ を示しているが、実験結果はほぼこれと一致している。また $R(\phi) \div 0, F(\phi) \div 1$ に達するのに 25 分程度の時間を要した。濁度変動が1時間加えられた場合には図-4 の中央部に示すような変動の型となる。



ただし、 $R(\phi) = C_t/C_0 = e^{-\phi}$

$F(\phi) = 1 - R(\phi)$

$\phi = t/T$

であり、 C_0 は $t=0$ 、 C_t は $t=t$ における槽内の濃度、 T は理論滞留時間である。なお、原水濁度に変動がある場合の損失水頭・原水濁度・ろ過水濁度の動きの一般型を図-5 に示す。

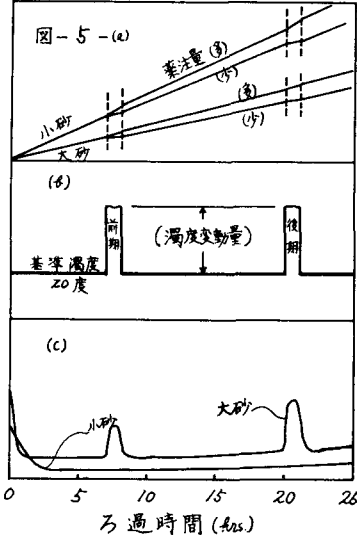
(2) ろ過水濁度

原水濁度に変動がある場合のろ過水濁度の状況を表-2 に示す。ここで、A は前期に B は後期に1時間の原水濁度上昇を伴ったグループである。また表中のカッコ内の数字はろ過開始より濁度変動の前までの平均ろ過水濁度である。数字の左肩に*印を付したものは濁度変動時に明らかにろ過水の濁度上昇が認められたものである。したがって、ろ過水濁度の上昇を生じたものはAにおいては薬注量 10 ppm の大砂、Bにおいては薬注量 10 ppm の大砂と、薬注量 40 ppm

損失水頭

原水濁度

ろ過水濁度



量 10 ppm の大砂と、薬注量 40 ppm では大砂のうちの濁度変動が80度のもののみであった。これらのことから、先に表-1-(b) で見たのと同様に、ろ過水への濁度流出については砂の径の影響が非常に大きく、この程度の濁度変動に対しては砂の径を操作することによりろ過水を清浄に保つことが可能である。さらに薬

表-2		薬注量 10 ppm		薬注量 40 ppm		
濁度変動量(度)		小砂	大砂	小砂	中砂	大砂
A	20	0.40 (0.34)	* 1.18 (0.18)	0.30 (0.48)	0.13 (0.17)	0.19 (0.24)
	40	0.16 (0.32)	* 0.86 (0.49)	0.22 (0.14)	0.28 (0.27)	0.36 (0.40)
A	80	0.32 (0.31)	* 0.71 (0.47)	0.15 (0.15) 0.14 (0.30)	0.33 (0.26)	0.38 (0.34)
B	20	0.20 (0.35)	* 0.89 (0.69)	0.75 (0.89)	0.29 (0.20)	0.66 (0.32)
	40	0.33 (0.28)	* 1.13 (0.48)	0.35 (0.20) 0.30 (0.21)	0.62 (0.49)	1.0 (0.61)
B	80	0.36 (0.44)	* 2.69 (0.57)	0.44 (0.53)	0.70 (0.44)	* 1.18 (0.66)
		0.29 (0.26)	* 2.94 (0.37)	0.16 (0.21) 0.22 (0.25)		* 2.24 (0.63)
		0.17 (0.31)	* 0.83 (0.45)	0.39 (0.65)		* 2.53 (0.57)

注量について見ると、図-3 でみられるように、普通のろ過の場合には薬注量 10 ppm の方が 40 ppm のものよりフロックの砂層浸入も浅く、低濁のろ過水を得ることができるともかかわらず、濁度変動時には薬注量の多い方が、特に A の場合には安定していた。以上のことから、このような短時間の濁度変動においても適切なるろ過を行なおうとすれば最小限の凝集・フロック形成に必要な (Al-T) 比を維持しなければならないという事であろうが、この限界の値は今回の結果から判断して濁度・砂の径によって変わる数値であるようだ。すなわち、薬注量 10 ppm については、小砂の場合は (Alum-T) 比が 0.1 にまで下つても濁度流出は見られないが大砂の場合は 0.25 で流出が見られた。また薬注量 40 ppm については、小砂の場合は問題ないが、大砂の場合、前期では 0.4 で流出は見られなかったが、後期には同じ 0.4 でかなりの濁度流出が観測されている。結果として、薬注量の多い方が、また砂の径が小さい方が原水の濁度変動に対して強いこととなる。

(3) 損失水頭

濁度変動時の損失水頭の動きを観察してみると、図-5-(a) に示したように、薬注量 10 ppm の場合には損失の伸びが鈍る、または停止あるいは逆に低下するといった現象に対し、薬注量 40 ppm の場合には同じ速度あるいはより急勾配で増加するのが見られた。なお後期に濁度変動を長時間 (4~7 時間) かけたいくつかの実験結果によれば、薬注量 40 ppm でははじめから急激に損失を伸ばし、薬注量 10 ppm では濁度変動の 1~2 時間以後はこれも損失の伸びが濁度変動以前よりも大きくなる傾向が見られた。ろ過水の濁度は原水に変動があると徐々に上昇し原水濁度変動が止むと元にもどっている。ここで、原水濁度変動時にはろ過水にある程度の濁度流出があり、また、図-2 で明らかなように同一の薬注量で濁度が上昇すると薬注量が多いほどフロック体積が著しく減少するはずであるにもかかわらず損失水頭の伸びは大きくなっている。これに対しては、(Al-T) 比の減少によりフロック密度が増大し表層で抑留される傾向が強くなること、さらに、(Al-T) 比の減少により十分な凝集を受けられなかった粒子が存在することなどの仮説をたてて考える必要があろう。またフロック体積についても Jar Test の結果と砂層内でのフロック体積をストレートに結びつけて良いものかどうか、これらについては、今後更に検討が必要である。

4 あとがき

ろ過現象は非常に複雑である。従来多数の実験は種々の実験条件が運転中に変動しない、いわゆる静的な実験であったが、それらを基礎とし今後は本報のような濁度変動やろ速変動³⁾などがある動的な実験によるデータの蓄積がろ過現象の解明に、また実際のろ過池の設計や運転にとって必要であらうと思われる。

参考文献

- 1) 佐藤・渋谷；マイクロフロック法に関する実験的研究，第21回 全国水道研究発表会講演集
- 2) 篠原・細谷；ろ層内のフロック挙動，第22回 全国水道研究発表会講演集
- 3) 海老江・河端；ろ速に間欠的変動がある場合の砂ろ過の諸現象，第22回 全国水道研究発表会講演集