



Title	ろ層の成層・混合が直接ろ過池の濁質除去に及ぼす影響
Author(s)	海老江, 邦雄; 笠原, 伸介
Description	第1回衛生工学シンポジウム (平成5年11月17日 (水) -18日 (木) 北海道大学学術交流会館) . 6 水処理 . 6-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 1, 214-218
Issue Date	1993-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7453">https://hdl.handle.net/2115/7453</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	1-6-6_p214-218.pdf



ろ層の成層・混合が直接ろ過池の濁質除去に及ぼす影響

北見工業大学土木開発工学科 海老江 邦 雄  
同 笠原 伸 介

1. ま え が き

珪砂のみで構成されているろ過池では、空気洗浄によつてろ層内のろ材の混合が、また上向流ろ過によつては損失水頭の抑制ができることは、既に指摘されている。<sup>1)~3)</sup>

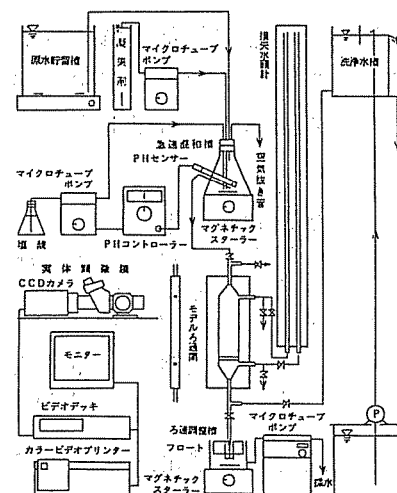
本論では、最初に、ろ材として珪砂を用いた場合、水逆洗によつて成層ろ層が、また水・空気併用逆洗によつて混合ろ層が形成できることを確認する。その後、モデルフィルター（Mフィルター）を用いた両ろ層における上、下向流ろ過実験を行つて、基礎的な濁質除去特性について検討することにより、混合ろ層・下向流ろ過が最も効果的であることを明らかにしている。さらに、実際のろ過池に対する適用性を検討するために、ベンチスケールのフィルター（Bフィルター）を用いた下向流ろ過実験を行つて、両ろ層におけるろ過挙動を比較することにより、標準的な有効径と均等係数を持つろ材の場合、混合ろ層・下向流ろ過が、損失水頭の抑制とろ過継続時間の延長に有効であることなどの実験結果について報告したい。

2. 実験装置と実験条件

実験装置の概要は図1に、実験条件は表1に示す。ろ過原水は、本学水道水に人工濁質としてカオリンを20mg/l注入した後、凝集剤としてPACまたは硫酸アルミニウム（Alum）を10mg/l注入して急速混和したものである。ろ速 120と240m/dでろ過を行い、損失水頭および原水とろ過水の濁度（積分球式濁度計）を測定した。また、Bフィルターを用いたろ速240m/dの実験においては、ろ過終了後、ろ層内の水をゆっくりと抜き取り、所定の位置から汚砂を採取し、ジャーテスターを用いて抑留物質を剥離させた後、定量した。

表1 実験条件

	Mフィルター		Bフィルター	
ろ層厚	6	cm	60	cm
有効径	0.59	mm	0.71	mm
均等係数	1.9		1.41	
空隙率	40.8	%	44.3	%
薬注率	Alum 10	mg/l	PAC 10	mg/l



Mフィルター（下向流）  
図1 実験装置の概要

3. 成層ろ層と混合ろ層

各ろ層の調整条件は表2に示す。成層ろ層については、ろ材充填後、逆洗を行うことによって、また混合ろ層については、逆洗と空洗を併用してろ層の攪拌を行った後、残留した空気を一瞬の強い逆洗で排出するという手法によって調整した。表3および図2は、調整後の両ろ層における所定の位置から採取したろ材の径を、画像処理装置によって測定（1層当りサンプル 200個以上）した結果である。これらによると、成層ろ層と異なり混合ろ層にお

表2 各ろ層の調整条件

	Mフィルター	Bフィルター
成層	膨脹率30%の逆洗(1.5min) +膨脹率20%の逆洗(1.5min)	膨脹率30%の逆洗(30 min)
混合	膨脹率25%の逆洗+空気量 70 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・hrの空洗(3 min)	膨脹率25%の逆洗+空気量 50 Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・hrの空洗(3 min)

表3 ろ材粒径の測定結果（Mフィルター）

ろ層部位 (cm)	成層ろ層		混合ろ層	
	平均径 (mm)	変動率 (%)	平均径 (mm)	変動率 (%)
0 ~ 1	0.73	20.5	0.81	28.4
2.5 ~ 3.5	1.05	25.7	0.84	34.5
5 ~ 6	1.35	23.7	0.86	29.1

いては、各層の平均径がほぼ一様で、変動率が全体的に大きいことから、ろ層内のろ材がよく混合されている様子が窺える。

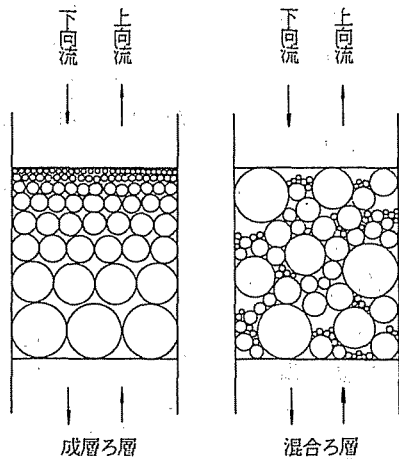


図3 ろ層の模式図

図3は、これらのろ層を模式的に示したものである。ろ層全体の平均空隙率は同じであるが、空隙寸法については、成層ろ層では表層で最も小さく、下層ほど大きくなっているのに対し、混合ろ層では一様になっていると考えられる。最初に、これらのろ層の基礎的な濁質除去特性について、実験的に検討した。

#### 4. モデルフィルターによる基礎的検討

(1) 損失水頭と濁度流出率の動き …… 図4は損失水頭と濁度流出率の経時変化および4時間平均濁度除去率を示している。最初に、損失水頭はいずれのろ速でも同じ傾向で発現し、成層ろ層・下向流ろ過>混合ろ層・上向流ろ過>混合ろ層・下向流ろ過>成層ろ層・上向流ろ過の順となった。ここで、一般に採用されている成層ろ層・下向流ろ過における4時間後の損失水頭を基準に比較すると、ろ速120m/dの場合、混合ろ層・上向流ろ過では19%、混合ろ層・下向流ろ過では32%、成層ろ層・上向流ろ過では54%、またろ速240m/dの場合、混合ろ層・上向流ろ過では24%、混合ろ層・下向流ろ過では35%、成層ろ層・上向流ろ過では42%、損失水頭が抑制されている。

つぎに平均濁度除去率については、同図からいずれのろ速でも、成層ろ層・下向流ろ過>混合ろ層・下向流ろ過>混合ろ層・上向流ろ過>成層ろ層・上向流ろ過の順となった。成層ろ層と混合ろ層の平均濁度除去率を比較すると、両ろ速とも下向流ろ過においては成層ろ層の、上向流ろ過においては混合ろ層の除去率が高い。しかしながら、その差はいずれも3~5%であり、ろ材粒径分布が平均濁度除去率に及ぼす影響は小さいことが確認された。また、成層ろ層と混合ろ層において、上向流ろ過と下向流ろ過の平均濁度除去率を比較すると、

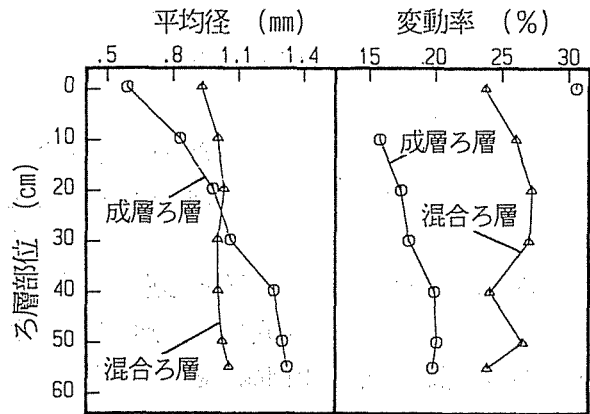


図2 平均径と変動率の分布 (Bフィルター)

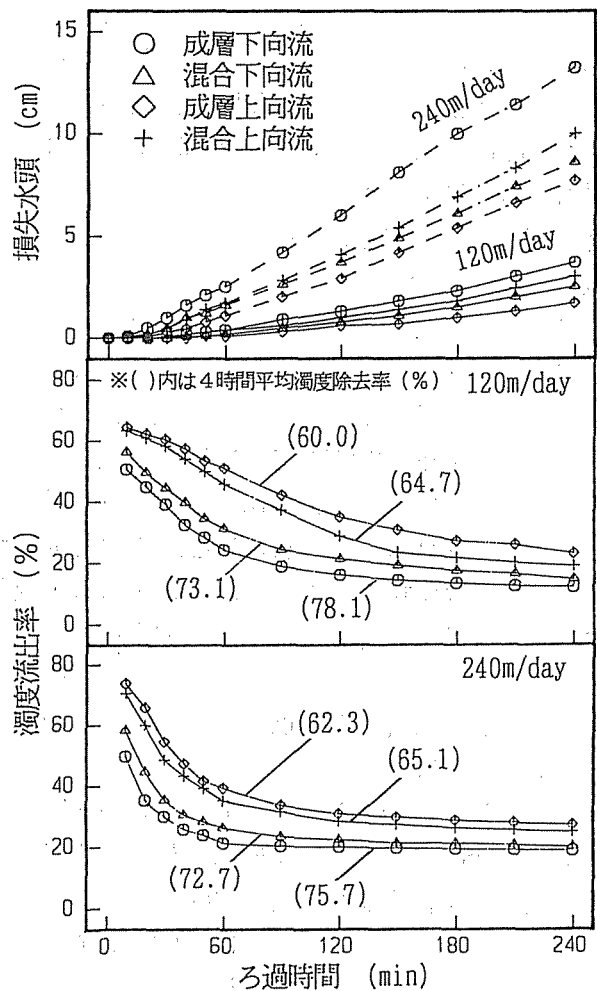


図4 損失水頭と濁度流出率

成層、混合いずれのろ層でも下向ろ過の除去率が7~13%高くなっており、濁度除去率の観点からは、下向ろ過が上向ろ過よりも望ましい。

(2) 抑留量当りの損失水頭の動き 表4は抑留量（成層ろ層・上向ろ過における4時間抑留量を基準とした）当りの損失水頭を示している。これによると、ろ速120m/dでは混合ろ層・上向ろ過>成層ろ層・下向ろ過>混合ろ層・下向ろ過>成層ろ層・上向ろ過の順に、ろ速240m/dでは成層ろ層・下向ろ過>混合ろ層・上向ろ過>成層ろ層・上向ろ過>混合ろ層・下向ろ過の順となった。ここで、ろ層別に抑留量当りの損失水頭を比較すると、混合ろ層においては、上向ろ過が下向ろ過よりもろ速120m/dでは33%、240m/dでは31%大きいのに対し、成層ろ層においては、下向ろ過の方がそれぞれ52%、42%大きくなった。このことは、混合ろ層では輸送段階における重力沈澱の因子の作用（上向ろ過における抑留物質は下向ろ過におけるより低密になる）が大きく影響したのに対し、成層ろ層ではろ層空隙の寸法分布（上向ろ過では下向ろ過より懸濁粒子がろ層内部に進行する）が大きく影響したことを示している。

(3) さえぎりと重力沈澱の効果 図5は、凝集性粒子に対する輸送段階の主要因子（さえぎりと重力沈澱）の作用状況を示したものである。ろ過時間が短ければ、上向ろ過におけるろ材頂部での抑留は無視できると考えられるので、さえぎりと重力沈澱による濁質除去の比率を海老江の方法<sup>4)</sup>に従って算出し、表5に示した。これによると、輸送段階の因子の効果は、既往の結果と同様に、今回採用したいずれのろ層、ろ速においてもさえぎりの効果が重力沈澱の効果より卓越しており、全体の88.4~94.8%であった。また、当然のことながら、重力沈澱の効果についてはろ速120m/dの方がろ速240m/dにおけるよりも高い比率を示した。

(4) 効果的なろ過方法 …… 抑留量当りの損失水頭を小さくするためには、混合ろ層・下向ろ過か成層ろ層・上向ろ過が、また濁度流出を抑制するためには、下向ろ過が望ましいという結果になった。それゆえ、検討した4方法中、混合ろ層・下向ろ過が最も効果的と考えられる。そこで、一般の浄水場などに適用する場合を想定し、ベンチスケールのフィルターを用いて、同方法と一般的な成層ろ層・下向ろ過との比較実験を行った。

## 5. ベンチスケールのフィルターによる比較検討

(1) 損失水頭とろ過水濁度の動き …… 図6は、損失水頭とろ過水濁度の経時変化と18時間平均濁度除去率を示している。この図における損失水頭は、いずれのろ速でも混合ろ層の方が成層ろ層より小さく、18時間後の損失水頭は、ろ速120m/dの場合27%、ろ速240m/dの場合23%それぞれ減少している。また、抑留量当りの損失水頭で比較すると、ろ速120m/dの場合、成層ろ層では  $9.4 \times 10^{-3}$  cm/mg、混合

表4 抑留量当りの損失水頭

ろ速 (m/day)	ろ材 配列	H/σ (mm/mg)	
		下向流	上向流
120	成層	0.44	0.29
	混合	0.36	0.48
240	成層	0.92	0.65
	混合	0.61	0.80

※H:損失水頭, σ:抑留量

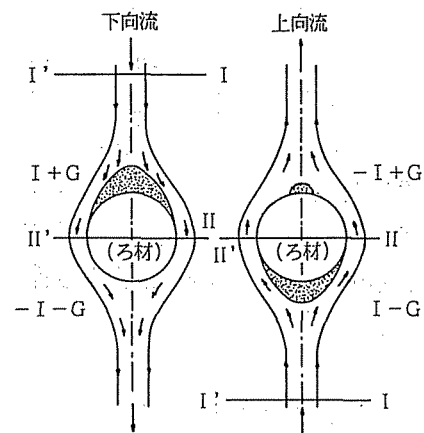


図5 凝集性粒子の卓越抑留傾向 (Iは"さえぎり", Gは"重力沈澱"を表す)

表5 さえぎり (I) と重力沈澱 (G) の因子の効果

ろ速 (m/day)	ろ材 配列	輸送因子の効果 (%)	
		I	G
120	成層	88.4	11.6
	混合	94.3	5.7
240	成層	91.1	8.9
	混合	94.8	5.2

ろ層では  $7.1 \times 10^{-3} \text{cm/mg}$ 、またろ速240m/dの場合、それぞれ  $7.8 \times 10^{-3} \text{cm/mg}$ 、 $5.9 \times 10^{-3} \text{cm/mg}$ となり、いずれのろ速においても混合ろ層の方が24%小さい値となった。これらのことから、成層ろ層を混合ろ層に変更すれば、損失水頭は20~30%抑制することができる。

つぎに平均濁度除去率については、成層ろ層の方が混合ろ層より高い値を示したが、その差はいずれのろ速においても0.1~0.9%と僅かであり、Mフィルターの場合と同様に、ろ層内におけるろ材径分布が平均濁度除去率に及ぼす影響は小さい。

(2) ろ層内5cmごとの損失水頭と抑留濁質分布の動き

表6は18時間後の5cmごとの損失水頭を示したものである。

この表におけるろ層(0~5cm)の損失水頭に着目すると、成層ろ層より混合ろ層の損失水頭は大幅に抑制(44~49%)されている。また、ろ速240m/dでの成層、混合ろ層におけるろ層全体(0~60cm)と表層部(0~5cm)の抑留量当りの損失水頭を示した表7においても、成層ろ層に対する混合ろ層の抑制効果は、ろ層全体で24%であるのに対し、表層部のみでは34%と大きな差を示した。これらのことは、損失水頭の抑制には表層付近の空隙が大きく関与するので、特に表層部のろ材の確実な混合が重要になることを示唆している。

また、表6のろ層(0~10cm)の損失水頭は、成層ろ層に比べて混合ろ層の方が、いずれのろ速においても36~39%小さいのに対し、ろ層(10~60cm)では、84~113%大きい。さらに、図7のろ速240m/dにおける18時間後の抑留濁質分布では、ろ層(0~10cm)での抑留量は成層ろ層より混合ろ層の方が16%少ないのに対し、ろ層(10~60cm)では36%多いことが確認された。これらのことは、混合ろ層では濁質がろ層内部に分散して捕捉されることを示している。しかしながら、いずれのろ層においても、総抑留量の56~67%が表層の僅か10cmで捕捉されており、ろ層厚を通常の60cmにした場合

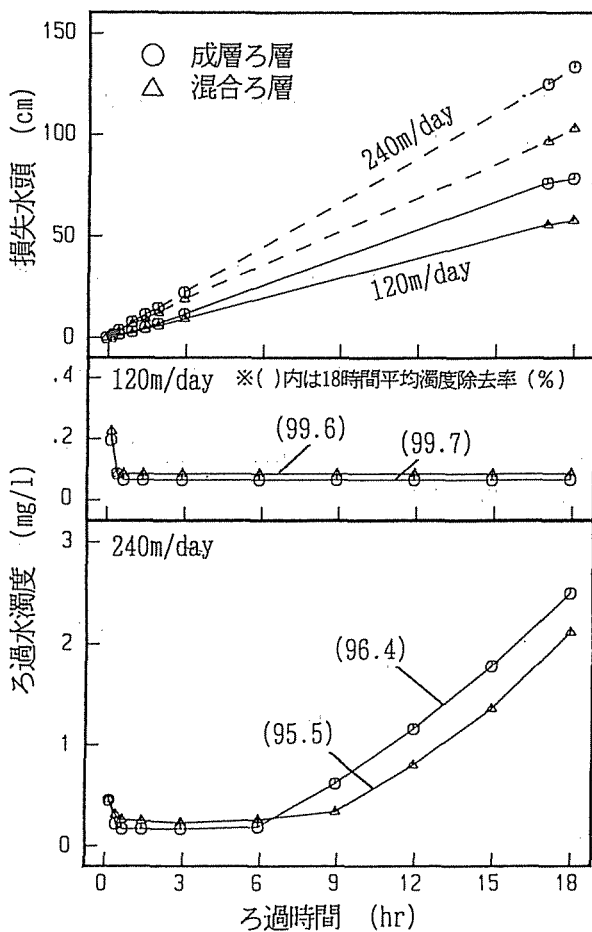


図6 損失水頭とろ過水濁度

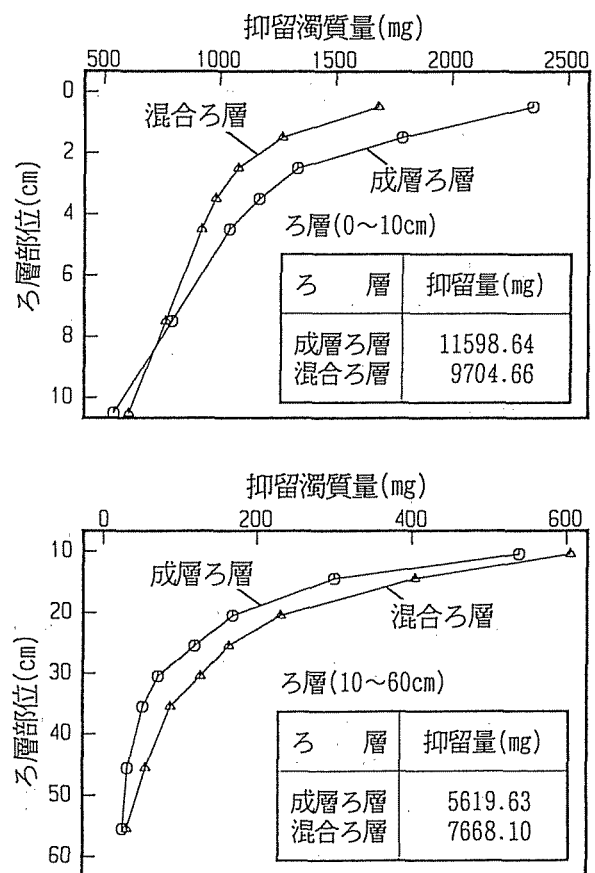


図7 18時間後の抑留濁質分布(240m/d)

表7 抑留量当りの損失水頭 (240m/day)

ろ層部位 (cm)	H/σ(cm/mg)	
	成層	混合
ろ層全体(0~60)	$7.8 \times 10^{-3}$	$5.9 \times 10^{-3}$
表層部(0~5)	$11.7 \times 10^{-3}$	$7.7 \times 10^{-3}$

※H:損失水頭(18hr), σ:抑留物質質量(18hr)

には、ろ層に十分な余裕があるので、成層、混合ろ層の濁度除去率に殆ど差が認められなかったのは当然と考えられる。

## 6. ま と め

今回、ろ層状態(成層・混合)とろ過方向について実験的に検討を行い、混合ろ層・下向ろ過は、比較的損失水頭(抑留量当りの損失水頭)が小さい上、濁度除去率が高く、最も効果的なろ過方法であることを示した。また、標準的な有効径と均等係数を持つ珪砂を用いた場合、一般的な成層ろ層・下向ろ過を混合ろ層・下向ろ過に変更することによって、ろ過水濁度は僅かに上昇(0.1~0.9%)するが、損失水頭を20~30%抑制できる、すなわち、ろ過継続時間の延長を可能にする優れたろ過方法であることを明らかにした。

## 【 文 献 】

- 1) S.R.Hewitt, A.Amirtharajar: Air Dynamics Through Filter Media During Air Scour, Jour. of Environmental Engineering Div., ASCE, Vol.110, No.3, pp.591-606, June'84
- 2) J.L.Cleasby, et al.: Backwashing of Granular Filters, Jour. of AWWA, Vol.69, No.2, pp.115-126, Feb.'77
- 3) E.W.J.Diaper and K.J.Ives: Filtration Through Size-Graded Media, Jour. of Sanitary Engineering Div., ASCE, SA3, Vol.89, pp.89-114, June'65
- 4) 海老江邦雄: 急速ろ過ろ層における抑留物質の挙動(I), 水道協会雑誌, 第493号, pp.25-46, '75.10
- 5) 周 柏青, 北尾高嶺, 木曾祥秋: 上向流急速ろ過におけるろ過流動化防止法とろ過性能に影響を及ぼす因子の検討, 水道協会雑誌, 第692号, pp.17-23, '92.5
- 6) K.J.Ives: Progress in Deep-Bed Filtration, Water Supply, Vol.8, Jönköping, pp.151-155, '90
- 7) 海老江邦雄, 笠原伸介, 渋谷真祐, 安出卓司: 直接ろ過におけるろ材配列と水流方向の影響に関する検討, 第44回全国水道研究発表会講演集, pp.162-164, '93.5
- 8) 海老江邦雄, 笠原伸介: 直接砂ろ過池の性能に及ぼすろ材粒径分布の影響, 土木学会第48回年講, pp.1238-1239, '93.9
- 9) 海老江邦雄, 笠原伸介, 安出卓司, 渋谷真祐, 李富生: 直接ろ過に関する基礎的検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 第49号, pp.685-688, '92.1

表6 18時間後の損失水頭 (cm)

ろ層部位 (cm)	120m/day		240m/day	
	成層	混合	成層	混合
0~5	60.1	33.8	89.7	45.7
5~10	14.2	13.9	26.0	24.5
10~15	2.8	5.1	10.0	14.6
15~20	1.2	2.2	3.6	8.7
20~25	0.5	0.9	2.2	3.8
25~30	0.1	0.6	1.3	2.4
30~35	0.1	0.5	0.4	1.5
35~40	0.0	0.3	0.2	0.8
40~45	0.0	0.2	0.0	0.4
45~50	0.0	0.1	0.0	0.4
50~55	0.0	0.1	0.0	0.0
55~60	0.0	0.0	0.0	0.0