

## II-73

### 直接ろ過に関する基礎的検討

#### 一 濁質除去に及ぼすろ材配列と水流方向の効果 一

北見工業大学 正 員 海老江 邦 雄

// 学生員 笠 原 伸 介

// // 安 出 卓 司

// // 渋谷 真 祐

// // 李 富 生

#### 1. ま え が き

一般に採用されている下向流ろ過においては、ろ層は成層化（上層に細砂、下層に粗砂）しており、濁質のほとんどが表層付近で捕捉される。こうしたろ過においては、ろ過水は低濁となるが損失水頭の発生量は大きくなる。一方、Ivesらによって提唱された上向流ろ過においては、濁質がろ層内部で分散して捕捉されるため、損失水頭の発生量は小さくなるが、ろ過水水質は多少悪くなる。さらに均一径ろ材を用いた上向流ろ過では、重力沈澱の効果を期待できないため、下向流ろ過よりも抑留量当りの損失水頭が大きくなるといった欠点も指摘されている。このように、ろ過水濁度を一定の限度内に保持しつつ発生する損失水頭をできるだけ抑制する上において、ろ材の配列や水流方向を検討することは非常に重要と考えられる。

本論では、『水・空気併用法』という新しい手法によって作られたろ材の完全混合ろ層と従来の成層ろ層における上向流ろ過と下向流ろ過を行い、これら一連の実験で得られた損失水頭とろ過水濁度を基に、輸送段階の因子を評価し、抑留量当りの損失水頭などを比較考察することによって、混合ろ層の有効性、および混合ろ層と成層ろ層の基礎的な濁質除去特性について検討している。

#### 2. 実験装置と実験方法

実験装置の概要は図1に示す。上向流の場合には急速混和槽をろ過筒の直下に設置した。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、凝集剤として硫酸アルミニウムを10mg/l 注入して急速混和したものを用いた。ろ材は有効径 0.54mm、均等係数 1.9の珪砂（比重 2.65）を用い、空隙率40.8%でろ層厚 6cmになるように充填した。成層ろ層については、ろ材充填後、膨張率30%の逆洗を 1.5分間行い、その後膨張率20%の逆洗を 1.5分間行うことによって調整した。また混合ろ層については、膨張率25%の逆洗と強度  $1.2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$  の空洗とを併用することによってろ層の強撹拌を 3分間行い、その後、ろ層内に残留している空気を一瞬の強い逆洗で排出するという新しい手法によって調整した。ろ過時間はいずれも4時間とし、成層、混合両ろ層について、上向流と下向流、およびろ速 120と 240m/day における実験を行い、ろ層の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。またろ過実験に先立って、各ろ層の上層部（0~1cm）、中層部（2.5~3.5cm）、下層部（5~6cm）から採取したろ材の粒径分布（画像処理法）およびろ過筒流入口における原水中のフロック粒径（光学顕微鏡法）を測定した。

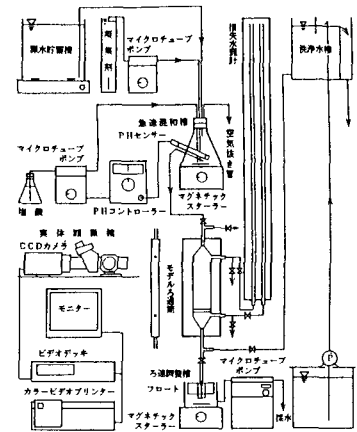


図1 実験装置の概要（下向流）

Effect of medium stratification and flow direction on the removal of suspended particles in direct sand filtration by Kunio EBIE, Shinsuke KASAHARA, Takuji YASUDE, Shinsuke SHIBUYA and Fusheng LI

### 3. 実験結果と考察

(1) ろ材とブロックの粒径分布 …… 図2は成層ろ層と混合ろ層におけるろ材の粒径分布の測定結果である。これによると、今回採用したろ層の混合と成層化の方法は十分に所期の目的を達成していると考えられる。すなわち、成層ろ層と混合ろ層における粒径分布の違いがよく現れており、前者の上層と下層における平均径の差は0.62mmと顕著であるのに対し、後者においてはほぼ一様となりその差は僅か0.05mmである。両ろ層におけるろ材配列を模式的に示すと図3のようである。これらでは、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、下層に向かうに従って大きくなるのに対し、混合ろ層においては一様である。こうした空隙の寸法分布の違いがろ過結果に差を発生させる原因となる。

また表1に、原水中のブロックの平均径と標準偏差およびブロック密度関数より算出した有効密度を示す。これによると、ろ材の有効径はブロックの平均径の151倍に相当し、図4に示す状況と同様に、ろ材空隙の寸法とブロック径の間には大きな違いが認められる。したがって、O'Meliaが提唱したように、ろ過における濁質の捕捉過程は輸送と付着の2段階で考えなければならない。ここでは、凝集条件が全ての実験において同一であるから、付着段階の因子の効果には差がない。それゆえ、ろ材配列や水流方向の違いから来る濁質除去率の差に基づいて、輸送段階の因子の効果の評価することが可能になる。

(2) 損失水頭とろ過水濁度の動き …… 図5は損失水頭発生量と濁度流出率の経時変化を示している。最初に、損失水頭はいずれのろ速において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。一般に採用されている成層ろ層・下向流ろ過における4時間後の損失水頭発生量を基準に比較すると、ろ速120m/dayの場合、混合ろ層・上向流ろ過は19%、混合ろ層・下向流ろ過は32%、成層ろ層・上向流ろ過は54%、またろ速240m/dayの場合、混合ろ層・上向流ろ過は24%、混合ろ層・下向流ろ過は35%、成層ろ層・上向流ろ過は42%いずれの場合にも損失水頭発生量が抑制されている。

つぎに平均濁度流出率については、図5のいずれのろ速においても、成層ろ層・上向流ろ過>混合ろ層・上向流ろ過>混合ろ層・下向流ろ過>成層ろ層・下向流ろ過の順となった。表2は、4時間平均濁度除去率を示している。この表を用いて、成層ろ層と混合ろ層の平均濁度除去率を比較すると、いずれのろ速においても下向流ろ過においては成層ろ層、上向流ろ過においては混合ろ層の除去率が高くなった。しかしながら、その差はいずれのろ速においても3~5%であり、ろ材配列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

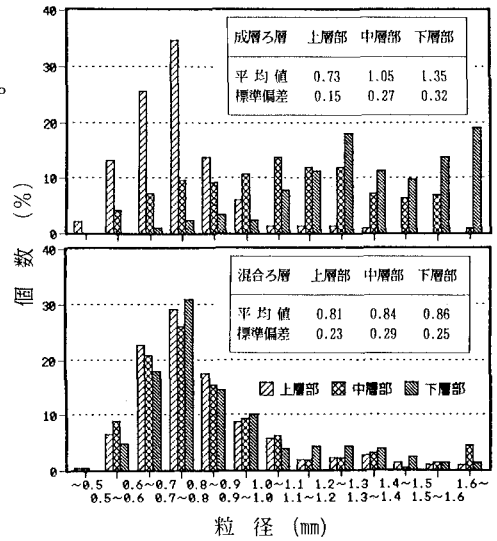


図2 ろ材の粒径分布

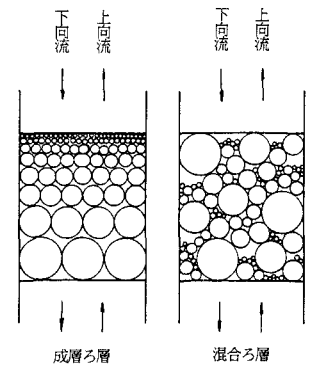


図3 各ろ層の模式図

表1 ブロックの測定結果

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| 平均径  | 3.58 $\mu\text{m}$          |
| 標準偏差 | 2.35 $\mu\text{m}$          |
| 有効密度 | 1.54 $\text{g}/\text{cm}^3$ |

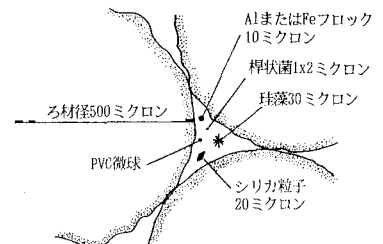


図4 ろ材空隙と諸懸濁粒子

向ろ過の平均濁度除去率を比較すると、成層、混合いずれのろ層においても下向ろ過の除去率が7~13%高くなり、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という結果が得られた。

(3) 『さえぎり』と『重力沈澱』の効果 …… 図6に上向ろ過と下向ろ過におけるろ材の上向面と下向面における輸送段階の主要因子(さえぎりと重力沈澱)の作用状況を示す。ろ過時間が短ければ、上向ろ過におけるろ材頂部の抑留物質量は無視できると考えられる。そこで、海老江の方法に従ってさえぎりと重力沈澱による濁質除去効果(抑留量と比率)を算出し、表3に示した。これによると、輸送段階の因子の効果は、既往の研究結果と同様に、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%になるという結果が得られた。また当然のことながら、重力沈澱の効果はろ速 120m/day の方がろ速 240m/day におけるよりも高い比率を示している。

(4) 抑留量当りの損失水頭発生量の動き …… 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)当りの正味の損失水頭発生量を示している。これによると、ろ速 120m/day においては混合ろ層・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/day においては成層ろ層・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ている。そこで、成層ろ層と混合ろ層で比較すると、下向ろ過においては、成層ろ層が混合ろ層よりもろ速 120m/day では22%、240m/day では51%大きいのに対し、上向ろ過においては、成層ろ層が混合ろ層よりもろ速 120m/day では40%、240m/dayでは19%小さい。この理由は、成層ろ層の場合、下向ろ過で濁質捕捉量が最も多くなる上層部に径が最小のろ材が配置されているのに対し、上向ろ過で濁質捕捉量が最も多くなる下層部に径が最大のろ材が配置されているためと考えられる。

つぎに、混合ろ層の抑留量当りの損失水頭発生量については、上向ろ過の方がろ速 120m/day では33%、240m/dayでは31%大きいのに対し、成層ろ層では、上向ろ過の方がそれぞれろ速34%、29%小さかった。この理由は、混合ろ層の場合は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)がろ層の空隙寸法分布の作用より大きく影響したのに対し、成層ろ層の場合はろ層の空隙寸法分布の作用(上向ろ過における懸濁粒子は下向ろ過におけるよりろ層内部に進行する)の方が大きく影響したためと考えられる。

#### 4. ま と め

(1) 本論で新たに採用した『水・空気併用法』は、ろ層内のろ材を完全

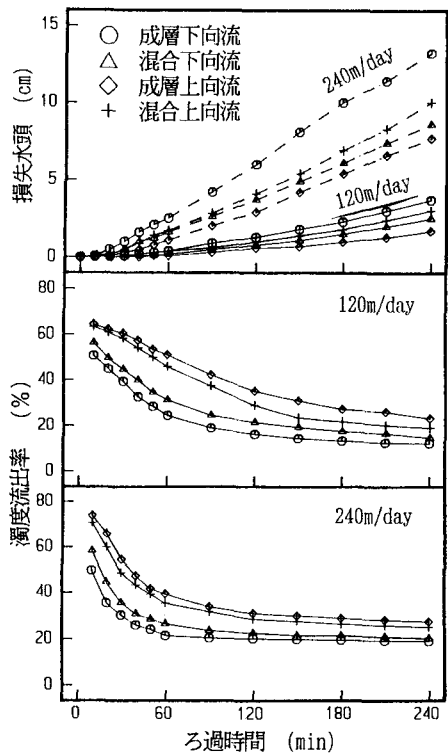


図5 損失水頭と濁度流出率

表2 4時間平均濁度除去率

| ろ 速<br>(m/day) | ろ材<br>配列 | 濁度除去率(%) |      |
|----------------|----------|----------|------|
|                |          | 下向流      | 上向流  |
| 120            | 成層       | 78.1     | 60.0 |
|                | 混合       | 73.1     | 64.7 |
| 240            | 成層       | 75.7     | 62.3 |
|                | 混合       | 72.7     | 65.1 |

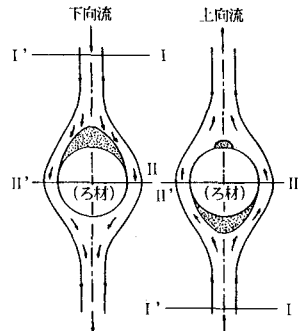


図6 凝集性粒子の卓越抑留傾向  
(Iは“さえぎり”、Gは“重力沈澱”を表す)

に混合させる上において、非常に有効な方法であることが確認された。

(2) 損失水頭発生量は、ろ速 120、240m/day のいずれにおいても、成層ろ層・下向ろ過>混合ろ層・上向ろ過>混合ろ層・下向ろ過>成層ろ層・上向ろ過の順となり、一般に広く採用されている成層ろ層・下向ろ過は、他の3方法より好ましくないろ過方法となることを明らかにした。

(3) 平均濁度除去率は、ろ速 120、240m/dayにおいても、成層ろ層・下向ろ過>混合ろ層・下向ろ過>混合ろ層・上向ろ過>成層ろ層・上向ろ過の順となり、下向ろ過は、ろ層の成層化の如何によらず上向ろ過よりも高い値を示した。また、ろ材配列と水流方向が濁度除去率に及ぼす影響については、前者では3~5%であったが後者では7~13%程度と大きな差を示した。

(4) 輸送段階の卓越因子はさえぎりであり、今回の4条件の平均値においては92.2%を占めた。また、重力沈澱の効果については成層ろ層の方が大きく、混合ろ層の場合の平均1.7倍となった。

(5) 抑留量当りの損失水頭発生量には、重力沈澱の因子とろ層の空隙寸法分布の作用が影響しており、下向ろ過では成層ろ層において、上向ろ過では混合ろ層において大きな値を示した。また、混合ろ層では上向ろ過において、成層ろ層では下向ろ過において大きな値となった。

(6) 直接ろ過におけるろ材配列と水流方向を総合的に判断すると、今回採用した4方法の中では混合ろ層の下向ろ過が最も妥当な方法であろうと考えられる。

## 5. あ と が き

最後に、一連の実験を実施するにあたり、北見工業大学土木工学科上下水道工学研究室の輪島秀則技官および学部4年生の小坂茂仁君の協力を得たことを付記し、感謝の意を表す。

## 【 文 献 】

- 1) 海老江邦雄：急速ろ過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
- 2) E.W.J.Diaper and K.J.Ives：Filtration Through Size-Graded Media，Jour.of Su.Eng.Div.，ASCE，SA3，vol.89，June '65
- 3) 丹保憲仁，渡辺義公：アルミニウム・フロックの密度に関する研究，水道協会雑誌，第397号，pp.2-10，'67.10
- 4) 日本国特許庁：特許公報，第835386号，'76.3.3
- 5) K.J.Ives：Progress In Deep-Bed Filtration，Water Supply，vol 8，Jönköping，pp.151-155，'90
- 6) 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
- 7) 丹保憲仁：急速ろ過進歩の動向，用水と廃水，vol11 No.5，pp.1-9，'69
- 8) 角田吾省，青柳由重：直接凝集ろ過法に関する実験的研究，水道協会雑誌，第486号，pp.2-10，'75.3
- 9) 藤田賢二：急速ろ過池のろ材層厚と粒径に関する考察，水道協会雑誌，第485号，pp.2-14，'75.2
- 10) 丹保憲仁，小笠原絃一：浄水の技術，技報堂出版

表3 さえぎり "I" と 重力沈澱 "G"

| ろ速<br>(m/day) | ろ材<br>配列 | 抑留量(mg) |        | 輸送因子の効果(mg) |       | 輸送因子の効果(%) |      |
|---------------|----------|---------|--------|-------------|-------|------------|------|
|               |          | 下向流     | 上向流    | I           | G     | I          | G    |
| 120           | 成層       | 74.41   | 57.13  | 65.77       | 8.64  | 88.4       | 11.6 |
|               | 混合       | 69.65   | 61.65  | 65.65       | 4.00  | 94.3       | 5.7  |
| 240           | 成層       | 144.34  | 118.62 | 131.48      | 12.86 | 91.1       | 8.9  |
|               | 混合       | 138.47  | 124.05 | 131.26      | 7.21  | 94.8       | 5.2  |

表4 抑留量当りの損失水頭

| ろ速<br>(m/day) | ろ材<br>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