

## II-95

### 急速砂ろ過池における空気洗浄のメカニズムに関する検討

北見工業大学 正 員 海老江 邦 雄

" 学生員 笠 原 伸 介

" 学生員 李 富 生

#### 1. ま え が き

空気洗浄（以後、空洗）は、強度が大きいのでろ層の清浄度を高めるとともに、洗浄水量を大幅に節約させるなど、急速砂ろ過池の洗浄にとって非常に有用な技術と考えられる。しかしながら、そのメカニズムが明確でないこともあって、現在のところ、わが国の浄水場では一般的でないようである。

著者らは、空洗に伴う濁質排出量は、図1に示すように、空洗開始直後に急激に増加し、2～3分後にピーク値（5.9～7.6g）に達したのちは徐々に減少（0.4～1.1%/min）すること、すなわち、空洗開始に伴って一旦砂上水中に排出された濁質の一部が、ろ層内へ舞い戻ることを指摘<sup>1)</sup>している。こうした濁質の舞い戻りは、特にろ層深部における清浄度の低下と洗浄水量の増加につながるため、そのメカニズムの解明や舞い戻り量の把握は空洗の適切な評価を行う上で重要な課題と考えられる。

本論では、砂上水中にトレーサーとして添加されたCuが空洗に伴って舞い戻る過程、舞い戻ったCuのろ層内拡散、およびこのプロセスにおけるろ層深さ方向の粒径分布の動きなどの測定を通して、空洗の非定常的に排出された濁質のろ層内への舞い戻りメカニズムの解明などに関して詳細に検討している。

#### 2. 実 験

ろ過筒内に有効径0.61mm（小砂）、0.71mm（中砂）、0.94mm（大砂）（均等係数1.4、空隙率44.3%）の珪砂を充填し、砂上水深10、30cm、Cu濃度732、377 mg/lにそれぞれ調整した後、強度30、50、70  $\text{Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ で空洗を行った。空洗中、砂上水およびろ層表面から10、20、30、40cm下にあるろ過筒側部のピーcockから、マイクロシリンジを用いてろ層断面中央部の水を0.04～0.5ml採取し、これら試料のCu濃度を原子吸光分光光度計を用いて測定した。また、中砂、砂上水深10cm、強度50  $\text{Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ の条件においては、所定の空洗後にろ層各部からろ材を採取し、画像処理装置を用いてその一方向径を測定することによって、空洗に伴うろ層深さ方向の粒径分布の動きを捉えた。

#### 3. 結果と考察

##### (1) 砂上水からろ層内へのCuの移動（舞い戻り）

図2は、砂上水およびろ層各部水中のCu濃度の経時

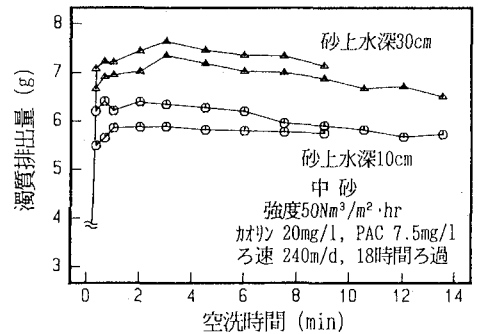


図1 濁質排出量の動き

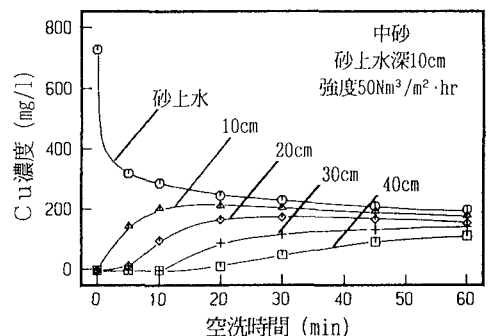


図2 Cu濃度の経時変化

変化である。ここで砂上水に含まれるCu濃度の動きに注目すると、空洗開始直後は押し上げ水によって希釈されるため急激に減少するが、その後は緩慢に低下している。また、図3は砂上水中のCuを指標とした舞い戻り率の経時変化を示している。これらから、空洗に伴う水の押し上げ終了後においても、砂上水とろ層内水は混合していること、および、砂上水中のCu（実際の空洗においては一旦排出された濁質）は、当初は比較的急勾配で、その後はほぼ一定の緩勾配で舞い戻っていること、さらに、舞い戻り率は、空洗時間10分で約10～44%にも上っていることが確認された。但し、当初の砂上水中のCuはろ層内水と金網下の押し上げ水とによって希釈・混合されることから、最終的な舞い戻り率は{空洗中ろ層内水量／（当初の砂上水量+金網下の押し上げ水量+当初のろ層内水量）}×100（%）になると考えられる。

表1は、今回採用した全条件におけるCu量の60分間平均舞い戻り速度を示している。最初に、ろ材径の影響に着目すると、舞い戻り速度はろ材径が小さいほど小さく、平均値で見ると小砂では0.31%/min、中砂では0.53%/min、大砂では0.63%/minと、小砂では大砂の約1/2であった。つぎに、空洗強度については、強度が大きいほど小さくなるものの、30 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・hrでは0.50%/min、50 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・hrでは0.49%/min、70 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・hrでは0.47%/minと、その差は僅かであった。また、砂上水深の影響については、水深10cmでは0.62%/min、水深30cmでは0.36%/minと水深が大きい方で小さかった。さらに、表2は、舞い戻り速度の変動を三元配置法で分散分析（F検定）し、各因子の寄与率を算出した結果である。これによると、ろ材径と砂上水深の影響は大きかったのに対し、空洗強度および2因子交互作用の影響はいずれもF検定の段階で有意にならなかった。また、空洗開始10分後では砂上水深の寄与率は51.9%とろ材径の43.1%より大きいが、空洗時間が長くなるにつれてろ材径の影響が大きくなり、60分後の寄与率は砂上水深の1.5倍強となるなど舞い戻り量の変動に対する卓越因子の効果を捉えることができた。

## (2) 舞い戻ったCuのろ層内拡散

図2によると、砂上水からろ層内へ輸送されたCuは、次第に上層から下層へと送られ、空洗時間の経過とともに各層の濃度は上昇し、最終的には砂上水中の濃度と等しくなると推測される。図4～6は、ろ層深さ方向の水量分布についてはほぼ一様との推定に基づき、ろ層内のCuの重量分布を示したものである。これによると、砂上水からろ層内に侵入したCuは、時間とともに徐々に下層に移動している様子が窺え、空洗によって砂上水が

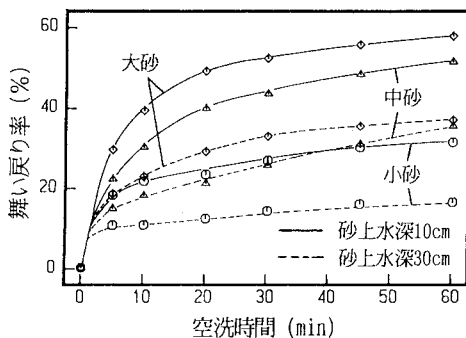


図3 舞い戻り率の動き（強度50Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・hr）

表1 砂上水中のCuの平均舞い戻り速度の動き

| 砂上水深<br>(cm) | 空洗強度<br>(Nm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・hr) | MV (%/min) |      |      | 平均   |
|--------------|-----------------------------------------------|------------|------|------|------|
|              |                                               | 小砂         | 中砂   | 大砂   |      |
| 10           | 30                                            | 0.42       | 0.68 | 0.83 | 0.62 |
|              | 50                                            | 0.42       | 0.65 | 0.79 |      |
|              | 70                                            | 0.41       | 0.66 | 0.74 |      |
| 30           | 30                                            | 0.21       | 0.45 | 0.48 | 0.36 |
|              | 50                                            | 0.22       | 0.40 | 0.49 |      |
|              | 70                                            | 0.21       | 0.35 | 0.47 |      |
| 平均           |                                               | 0.31       | 0.53 | 0.63 | 0.49 |

※MV：60分間平均舞い戻り速度

表2 各因子の寄与率（%）

| 因子   | 空洗時間 (min) |      |      |
|------|------------|------|------|
|      | 10         | 30   | 60   |
| ろ材径  | 43.1       | 52.4 | 56.5 |
| 空洗強度 | ---        | ---  | ---  |
| 砂上水深 | 51.9       | 44.2 | 37.6 |
| 誤差   | 5.0        | 3.4  | 5.9  |

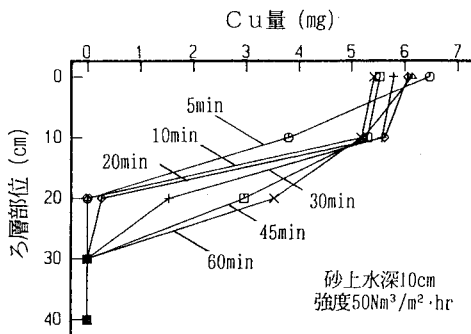


図4 Cuの重量分布の動き（小砂）

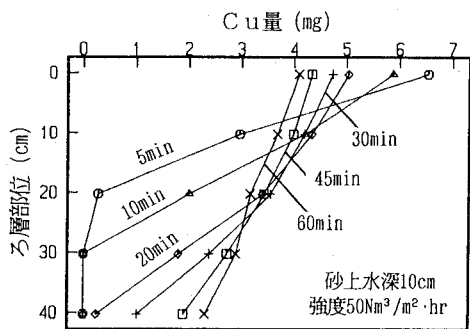


図5 Cuの重量分布の動き(中砂)

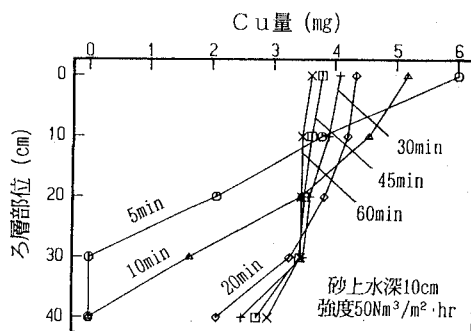


図6 Cuの重量分布の動き(大砂)

ろ層内からの押し上げ水と混合するのみならず、ろ層内においても上・下層が次第に混合して行く様子が確認された。

一定の空洗時間までに、砂上水からろ層内に輸送されたCuの重量に対する各層(1cm厚さ)の空隙内に存在するCu量の割合を拡散率(%)と定義し、60分間の空洗におけるろ層各部の拡散率の平均値を、上述の因子ごとにプロットしたものが図7である。まず、ろ材径については、径が小さい材ほど、砂上水からの舞い戻り量が少ない上層部における拡散率が高い。すなわち、小砂では表層部で5.6%、30cm以深で0%であったのに対し、中砂では表層部で2.4%、40cmで1.3%、大砂ではそれぞれ2.0、1.5%であった。これは、小径ろ材ほど、ろ層単位体積中のろ材表面積が大きく、内部輸送に対する抵抗が大きかったためと推測される。つぎに、空洗強度と砂上水深の影響については有意な差が認められず、いずれの強度においても表層部で2.9~3.0%、40cmで1.0~1.2%、またいずれの砂上水深においても表層部で2.8~2.9%、40cmで1.1~1.2%であった。これらのことから、ろ層内の混合に関しては、ろ材径が大きく影響するのに対し、空洗強度と砂上水深の影響は小さいことが分かった。それゆえ、空洗時間が一定の場合には、ろ材径が大きいほど舞い戻り濁質はろ層深部にまで移動することとなる。

### (3) 空洗に伴うろ材径の動き

図8は、空洗の経過に伴うろ層深さ方向の粒径分布をプロットしたものである。図で見られるように、ろ層深さ方向のろ材径の動きについては、ろ層のほぼ40cmを境にして、その上・下で異なっている。ろ層40cmより上では、空洗時間の経過とともに最小径の発現部位が下がってきており、空洗によって当初の粒径の成層化状態(上層：小、下層：大)が徐々に崩れて、完全混合状態に進行する様子が認められる。すなわち、空洗5分後の最小径はろ層部位10cmで1.01mmであるのに対し、60分後には30cmで1.07mmとなっている。こうした動きは、空洗に伴うろ層内のCuの動きと類似しており、空洗の定常期に

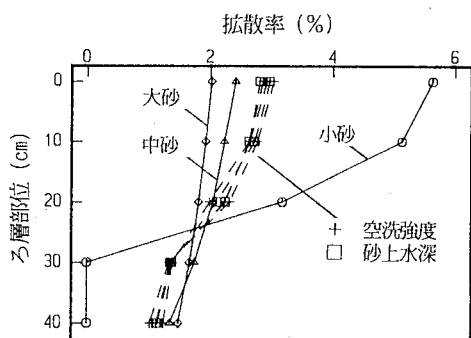


図7 ろ層各部の拡散率

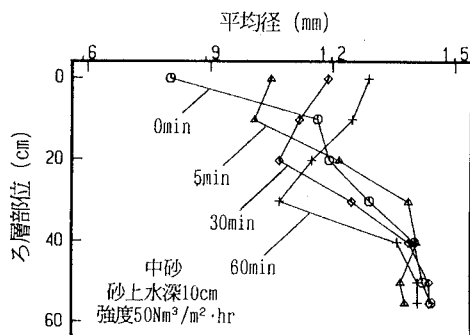


図8 ろ材径の動き

おけるろ材相互の擦れがろ層の混合に伴っても起こっていることを示唆している。他方、ろ層部位40cm以下では、空洗によるろ材径の変動は小さい。ろ過筒側部の肉眼観察においても、ろ材の動きは殆ど見られず、測定結果が証明された。これは、下層では通路が固定され、径の小さな気泡が連続的に上昇していたのに対し、上層では相互に会合し、大きな径となった気泡がろ層断面を動揺させ、通路が変動していたことと関連していると推測される。

#### 4. ま と め

今回の実験によって得られた知見は以下の通りである。

- (1) 空洗を単独で行うと、一旦砂上水中に排出された濁質がろ層内に徐々に舞い戻り、深層部にまでその影響が及ぶことを、Cuを指標とした実験によって明らかにした。また、最終的な舞い戻り率は、{空洗中ろ層内水量 / (当初の砂上水量 + 金網下の押し上げ水量 + 当初のろ層内水量)} × 100 (%)であり、今回の実験における60分間平均舞い戻り速度は0.21~0.83%/minであった。
- (2) 砂上水からろ層内への舞い戻りについては、ろ材径と砂上水深の影響が大きく、空洗時間が長くなると卓越因子が砂上水深からろ材径に移ることを示した。また、舞い戻り量については、ろ材径が小さいほど、砂上水深が大きいほど抑制されることが分かった。
- (3) 舞い戻ったCuのろ層内拡散に関しては、ろ材径が大きく影響しており、空洗強度と砂上水深は殆ど影響しないことが確認された。したがって、空洗を単独で採用する場合には、排出濁質の舞い戻りを抑制する上から、空洗時間の適切な設定は勿論であるが、ろ材径の選定、すなわち、小径ろ材の採用が重要な要素になると考えられる。
- (4) 空洗単独採用時には、ろ層内水(抑留濁質)の押し上げや一部濁質の舞い戻り現象とともに、ろ層の混合が、特にろ層 0~40cmの範囲において、起こることを示した。

#### 5. あ と が き

最後に、一連の実験に協力いただいた北見工業大学土木開発工学科上・下水道工学研究室の輪島秀則技官、および卒論生小林 等、土井克也両君に感謝の意を表す。

#### 【 文 献 】

- 1) 海老江邦雄・笠原伸介：急速砂ろ過池の洗浄における空気洗浄のメカニズムと効果，水道協会雑誌投稿中
- 2) J.L.Cleasby, et al.: Backwashing of Granular Filters, Jour. of AWWA, Vol.69, No.2, pp.115-126, Feb.'77
- 3) 篠原 紀・山本由忠・時岡重行：急速ろ過池の空気洗浄に関する実験的研究(1) - 単層ろ過池の場合 - , 水道協会雑誌, 第 556号, pp.15-22, '81.1
- 4) S.Kawamura: Design and Operation of High Rate Filtration Part 2, Jour. of AWWA, Vol.67, No. 11, pp.653-662, Nov.'75
- 5) A.Amirtharajar: Fundamentals and Theory of Air Scour, Jour. of Env. Eng. Div., ASCE, Vol.110, No.3, pp.573-590, June '84
- 6) S.R.Hewitt and A.Amirtharajar: Air Dynamics Through Filter Media During Air Scour, Jour. of Env. Eng. Div., ASCE, Vol.110, No.3, pp.591-606, June '84
- 7) 藤田賢二：急速ろ過池における洗浄に関する諸元の水理学的考察，水道協会雑誌，第 455号，pp. 2-31，'72.8
- 8) 大和田一彦，廣田春夫：急速ろ過池の空気洗浄方式，工業用水，第 266号，pp.46-54，'80.11