

Ⅶ-11

活性炭固定層の洗浄に関する基礎的検討

北見工業大学工学部 フェロー 海老江 邦雄  
 北見工業大学大学院 学生員 東 義洋  
 北見工業大学大学院 学生員 内田 淳

1. ま え が き

近年、水道水源の水質の悪化に伴って高度浄水処理を採用する水道事業者が増えている。高度浄水処理プロセスとしては固定層活性炭による吸着処理が数多く採用されている。活性炭吸着池は薬品沈殿の後段に置かれることが多いため、沈殿処理水中に残留する懸濁粒子による損失水頭の急増や活性炭の細孔の閉塞に伴う吸着効果の低下などが危惧される。このため活性炭固定層の洗浄方法の確立は非常に重要と考えられる。しかしながら、急速砂ろ過池における洗浄機構については数多くの研究<sup>1)~4)</sup>がこれまでに報告されているが、活性炭固定層の洗浄に関しては未だ不明な点が多く残されている。

本実験では浄水場の凝集・沈殿処理水を活性炭吸着筒に一定時間通水した後、急速砂ろ過池で広く実用化されている3種類の空洗・水逆洗併用法による洗浄効果を抑留濁質の排出傾向などから評価している。

2. 実験条件と実験方法

図1は実験装置のフローシートを、また、表1は装置の運転条件と仕様を示している。処理方式は、浄水場の沈殿池の後段に図1の粒状活性炭処理筒を組み込んだものである。活性炭としては、石炭系の粒状活性炭(卓越細孔径:30~300Å)を使用した。また、活性炭層の洗浄については24時間通水した後に行った。洗浄効果については排水ドレインより

表1 装置の運転条件と仕様

運転条件	装置仕様
凝集沈殿水 加圧式 通水速度: 250m/d	ステンレス製:70×70×1,300mm,2筒 吸着材:石炭系粒状活性炭 有効径:1.2mm、均等係数:1.3以下 炭層高:400mm

所定時間間隔で採水した洗浄排水の濁度・色度を測定して評価に使用した。また、濁質と色度成分の抑留量の定量手順<sup>1)</sup>は次の通りである。最初に活性炭吸着筒内の水を慎重に抜き、活性炭層の各部位から厚さ1cm分の活性炭を採取し、これを1lの蒸留水が入ったポリビンに移した。ついで、これらの活性炭に付着している濁質を横型振とう機により入念に剥離した後、ポリビン内の懸濁水の濁度・色度を測定した。また、ポリビン内の活性炭については乾燥後に重量を測定し、懸濁水の濁度・色度と活性炭の重量とから厚さ1cmの活性炭層に抑留していた各部位の濁質と色度成分を確定した。洗浄排水中のフロックの沈降速度については、500mlのポリシリンダー(内径:5cm、高さ:30cm)の上端から15cmの位置に設けた採水口から一定時間ごとに所定量の試料を採取し、それらの濁度を基に算出した。

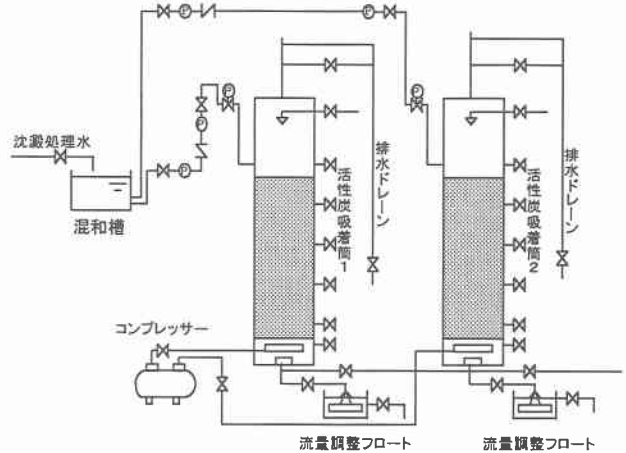


図1 実験装置のフローシート

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 空洗・水逆洗併用法における洗浄効果

急速砂ろ過池の空洗・水逆洗併用法としては、空洗や水逆洗の強度、継続時間、両洗浄の重複時間などが異なる種々の組み合わせが実用化されている。そこで、今回は、表2に掲げる3種類の空洗・水逆洗併用法（以後、A,B,C方式と称す）による活性炭固定層の洗浄を行い、濁質排出率などから洗浄効果を検討した。

##### (1) 活性炭層内における濁質・色度成分の抑留分布

図2は、速度250m/dで24時間の通水後における活性炭層内の濁質および色度成分の抑留分布を示している。始めに、濁質の抑留傾向についてみると、色度成分より表層抑留傾向が強く、全体的に勾配が大きい。これは、凝集処理水中に存在する活性炭度の高いフロックが径の小さな表層の活性炭によって多量に捕捉され、後続の粒子がそれらの先行捕捉された粒子に付着凝集する形で除去されたことを示唆している。この抑留機構は急速砂ろ過池におけるものと同じであり、損失水頭の急激な上昇につながる。したがって、活性炭の表層部をどこまで洗浄できるかが洗浄効果を大きく左右することになると考えられる。他方、色度成分は濁質より微細で水流のせん断力に弱いこともあって、活性炭層内部に分散して抑留される傾向を示した。以下に、このような抑留傾向を示す活性炭固定層を対象に、各洗浄法による洗浄結果を示したい。

##### (2) 活性炭層の膨張率と濁質排出率の動き

図3は、洗浄方式A,B,Cにおける活性炭層の膨張率と濁質排出率との関係を示している。まず、A方式については、膨張率約17%で89%程度の濁質排出率が得られているが、空洗と水逆洗が重複するB方式ならびにC方式に比べると4.65%、2.16%低い。しかしながら、膨張率30%程度では、洗浄方式によって濁質排出率の差は殆ど認められない。また、B方式の濁質排出傾向は膨張率による影響が少なく、低膨張率の時から比較的高い排出率で推移する傾向であった。膨張率30%以上においては、いずれの洗浄方式においても若干濁質排出率が低下する場合もあるが、94%以上の高い濁質排出率が得られた。これらのことから、濁質排出率は低い膨張率時を除けば洗浄方式によって大きな差は認められなかった。

表2 各洗浄法の工程と条件

洗浄法	洗浄工程	空洗強度 Nm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ・hr	空洗時間 min	水逆洗速度 m/min	水逆洗時間 min
A	空洗3分 水逆洗	48	3	0.4 0.6 0.8	12 8 6
B	空洗1分 空洗2分 一次水逆洗 二次水逆洗	48	3	<0.1> 0.4 0.6 0.8	<2> 12 8 6
C	空洗3分 一次水逆洗 二次水逆洗	48	3	<0.1> 0.4 0.6 0.8	<3> 12 8 6

\* 上表中の<>内の数値は一次逆洗速度を示している

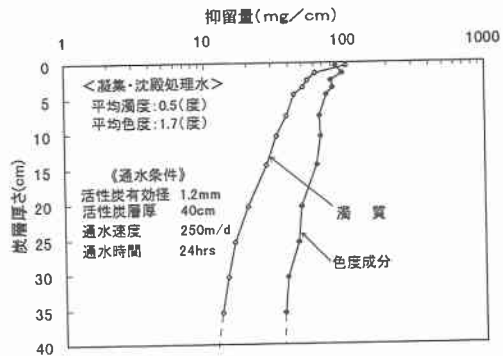


図2 活性炭層内における濁質・色度成分の抑留分布

このような抑留傾向を示す活性炭固定層を対象に、各洗浄法による洗浄結果を示したい。

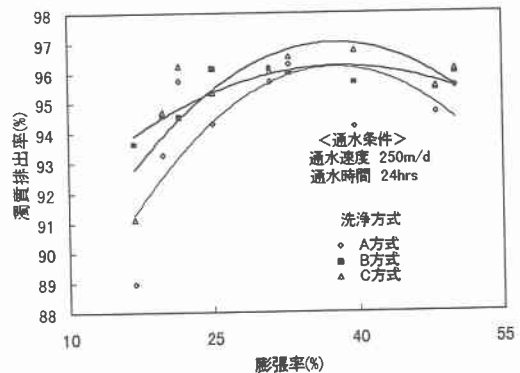


図3 膨張率と濁質排出率の関係

### (3) 水温期と濁質残留率の動き

図4に、高、中、低水温期における濁質残留率の動きを掲げる。水逆洗速度 0.8m/min の場合には、いずれの水温期においてもC方式による濁質残留率が最も低く、ついでB方式、空洗と水逆洗が重複しないA方式で最も濁質残留率が高くなった。このように、一次水逆洗水量が多い順に高い洗浄効果が得られたことから、空洗と水逆洗を重複することの重要性が示された。次に、水逆洗速度 0.6m/min の場合には、高水温期 (14.7~17.6℃) と中水温期 (8.9~10.6℃) でB方式が最も濁質残留率が低く、ついでC方式、A方式となった。C方式より空洗と水逆洗の重複時間が短いB方式の方が低い濁質残留率を示した理由としては、一次水逆洗時にB方式の場合より活性炭上の水深が上昇し、空洗時に活性炭が流動する体積が増加したために活性炭同士の接触機会が減少したこと、また、一旦剥離された濁質が活性炭層内に舞い戻ったことなどが原因と考えられる。水温期と濁質残留率の関係については、A、C方式では水温が低下するに伴って濁質残留率が低下するが、B方式では水温期に関係なく 4.0%程度の残留率で推移している。このこと

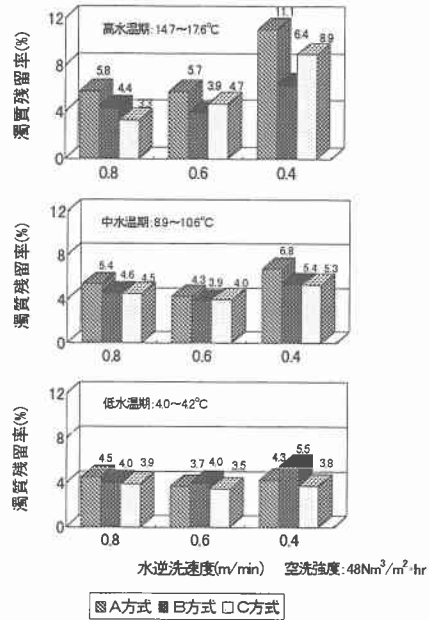


図4 水温期と濁質残留率の動き

ことから、B方式は水温による影響が少なく、安定した洗浄効果を示すことが分かった。次に、最も水逆洗速度が小さい0.4m/min の場合には、いずれの水温期においても他の水逆洗速度の場合より高い濁質残留率となった。特に、高水温期におけるA方式を比較すると、水逆洗速度 0.8m/min の場合よりも5.3%、0.6m/min の場合よりも5.4%も高い残留率となった。これは、水逆洗速度が低速であったために適切な膨張率が得られず、濁質の排出がスムーズでなかったためと考えられる。しかしながら、水温が低下するに伴って膨張率が増加し、他の逆洗速度の場合と比べて残留率の差が小さくなっている。以上のことから、水温、すなわち膨張率と洗浄効果は密接に関係しており、洗浄効果を大きく左右することが確認された。また、高水温期には洗浄方式によって洗浄効果が大きく異なり、空洗と水逆洗を重複させることの有効性が明らかとなった。しかしながら、洗浄方式と洗浄効果については、水温や水逆洗速度によって大きく変化することから、一概に空洗と水逆洗を重複させることが高い洗浄効果につながるわけではなく、水温によって洗浄方式を選択することが必要と考えられる。

### (4) 各洗浄法におけるG値の動き

表3は、図4の各洗浄法における平均速度勾配G値を示している。各水温期におけるG値の大きさと濁質排出率には比較的良好な相関が認められた。しかしながら、高水温期と低水温期では最大のG値が60s<sup>-1</sup>程度後者で低いにも関わらず、高い濁質排出率が得られた。このことから、G値の大きさが直接洗浄効果の向上につながるわけではなく、G値以外に膨張率や洗浄時間などの因子が複雑に関与していることが推察できる。したがって、洗浄効果をG値のみで評価することは適当とは考えられない。

表3 各洗浄法におけるG値の動き

(下線の付いている数字は洗浄中の最大値)

水温期	洗浄方式	下欄の洗浄条件におけるG値の動き(s <sup>-1</sup> ) 〈濁質排出率(%)〉		
		空洗速度 0.8m/min 逆洗速度 0.8m/min	空洗速度 0.8m/min 逆洗速度 0.6m/min	空洗速度 0.8m/min 逆洗速度 0.4m/min
高水温期 14.7~17.6 (°C)	A	348~103 <94.19>	350~93 <94.28>	353~78 <88.95>
	B	346~380~103 <95.64>	348~384~93 <96.13>	343~379~79 <93.13>
	C	383~104 <96.74>	388~93 <95.32>	398~79 <91.11>
中水温期 8.9~10.6 (°C)	A	312~100 <94.63>	312~91 <95.69>	312~77 <93.25>
	B	311~347~99 <95.40>	314~340~90 <96.14>	310~346~77 <94.59>
	C	340~102 <95.53>	343~90 <96.05>	351~78 <94.70>
低水温期 4.0~4.2 (°C)	A	282~99 <95.52>	282~89 <96.28>	284~76 <95.73>
	B	283~319~100 <95.97>	282~318~92 <95.99>	282~318~77 <94.52>
	C	318~100 <96.11>	318~93 <96.54>	321~78 <96.22>

### (5) 洗浄排水中のフロックの沈降速度

図5および図6は、一例としてA方式で水逆洗速度0.8、0.4m/minの洗浄を行った際の排水中のフロックの沈降速度分布を示している。まず図5については、洗浄排水量が最初の0～0.8ℓでは沈降速度が1.5cm/min以上の粒子の割合が73%と最も多く、0.25cm/min以下で21%となっており、洗浄初期には沈降速度の大きい粒子が多く存在していることが分かった。ところが、洗浄の進行に伴って沈降速度が1.5cm/min以上の粒子の割合が急激に少なくなり、逆に0.25cm/min以下の粒子の割合が増加している。一方、洗浄2回目では1.5cm/min以上の粒子の割合が5%と少なく、沈降速度0.25cm/min以下の粒子の割合が87%と洗浄1回目より多くなった。また、水逆洗速度が異なる図5と図6において、洗浄排水中の粒子の沈降速度分布は類似の傾向を示したが、洗浄排水量が4～4.8ℓのところと比較すると前者の方が沈降速度が0.25cm/min以下の粒子の割合が15%程度少なくなっている。このことは、逆洗速度が低いと沈降速度0.25cm/min以上の粒子の排出率の低下、すなわち、濁質排出率の低下を招くことを示唆している。よって、洗浄効果を高めるには0.25cm/min以上の沈降速度をもつ粒子をいかに早く排出するかがポイントとなる。

### 3.2 空洗時間の長さが洗浄効果に及ぼす影響

図7は、A方式の空洗時間が1分と3分の場合における濁質残留率を示している。空洗・水逆洗速度がともに0.4m/minの場合を除けば、濁質残留率の差は空洗3分の方が平均で0.5%程度高くなる傾向が認められた。このことは、空洗を必要以上に長く行うと洗浄効果を低下させることを意味しており、海老江ら<sup>9)</sup>が指摘している濁質の舞い戻りに起因するものと考えられる。しかしながら、空洗時間が1分と3分とでは濁質残留率に大差がないことから、活性炭層内に抑留される大部分のフロックは比較的容易に剥離されることが分かった。また、逆洗水量は同じであるが水逆洗速度が違う場合には洗浄効果に差が現れ、逆洗速度0.8m/minと0.4m/minとで比較すると、4～6%程度前者が高い濁質排出率を示した。以上の結果から、活性炭固定層における洗浄では、フロックの剥離に強く関与すると考えられる空気洗浄よりも、主としてフロックの輸送に関わる水逆洗が洗浄効果を大きく左右するものと推測される。

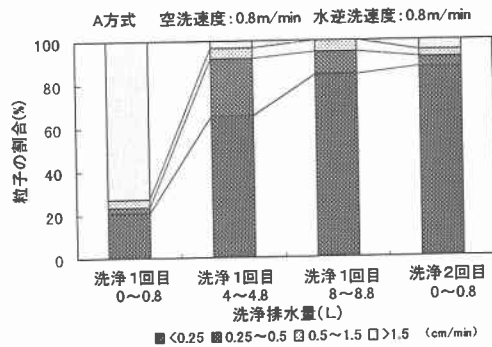


図5 洗浄排水中のフロック沈降速度

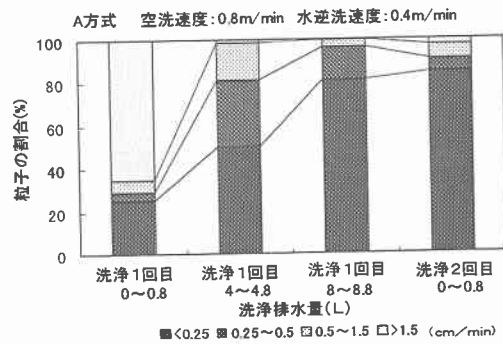


図6 洗浄排水中のフロック沈降速度

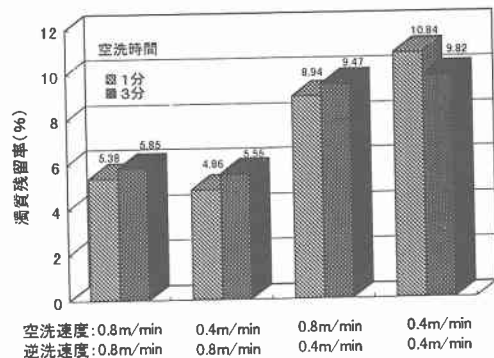


図7 空洗時間と濁質排出率の関係

### 3.3 活性炭上の水深が洗浄効果に及ぼす影響

急速砂ろ過池の洗浄では砂上水深が大きいほど濁質排出率が高くなると報告<sup>9)</sup>されている。そこで、活性炭層の洗浄においても同様な傾向となるかどうかを、活性炭層上の水深を10,20,30,40,60cmの5段階として検討した。図8は、A方式における検討結果を示している。まず、活性炭上の水深が最も浅い10cmの場合には、空洗速度0.8m/min、水逆洗速度0.4m/minの組み合わせで最も高い濁質残留率を示した。また、空洗・水逆洗速度がともに0.8m/minの場合には一番低い濁質残留率となり、両者の差は3%程度であった。空洗速度0.8m/min、水逆洗速度0.4m/minの組み合わせが最も高い濁質残留率となった理由としては、浅い活性炭上水深で大きい空洗速度で洗浄を行ったため、いったん剥離された濁質が活性炭層内部に舞い戻り、低速の水逆洗では十分な膨張率が得られずに濁質が残留したためと考えられる。次に、活性炭上水深が20cmの場合には、いずれの洗浄条件においても活性炭上水深が10cmの場合よりも濁質残留率が低下する傾向を示した。また、水逆洗速度と空洗速度が大きいほど濁質残留率は低くなり、空洗・水逆洗速度がともに0.8m/minと0.4m/minの場合を比べると、活性炭上水深10cmで2%程度だった両者の差が4%程度にまで広がっている。この傾向は活性炭上水深の上昇に伴って一段と顕著となり、活性炭上水深60cmの場合には両者の差が9.6%にもなった。活性炭上水深30cm以上の場合には、逆洗速度0.8m/minでの濁質残留率がほぼ横這いに推移しているのに対し、逆洗速度0.4m/minの場合には上昇している。このことから、活性炭上の水深を大きくしすぎると逆に濁質残留率を高めることが分かる。以上のことから、洗浄時の水抜きレベルを適切に決定することが効果的に濁質を排出させる上で重要となる。

### 3.4 水逆洗単独による洗浄効果

空洗・水逆洗併用時における洗浄効果について述べてきた。ここでは水逆洗単独時の洗浄効果を示したい。図9は、洗浄水量は一定であるが水逆洗速度を変動させた際の濁質残留率の動きである。水逆洗速度0.8、0.6、0.4m/minでは、ほぼ同程度の濁質残留率であるが、逆洗速度0.2m/minにおいては残留率は急増し、他の洗浄速度の場合の5倍程度となっている。また、図4の中水温期における濁質残留率と比較すると、水逆洗速度0.8m/minで2.2%、0.6m/minで1.3%、0.4m/minでは2.7%程度水逆洗単独時に高い値となった。したがって、活性炭層内に抑留されるブロックの大部分は比較的容易に剥離されるが、空洗を併用させることによって、濁質排出率を2%程度改善することが分かった。

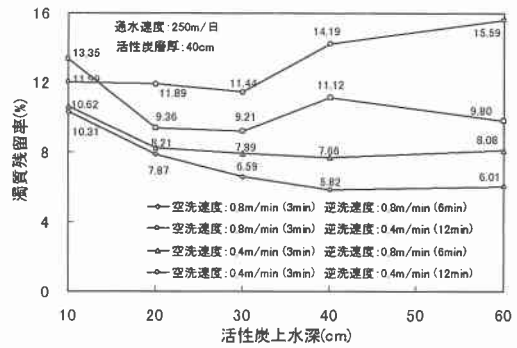


図8 活性炭上の水深に伴う濁質残留率の動き

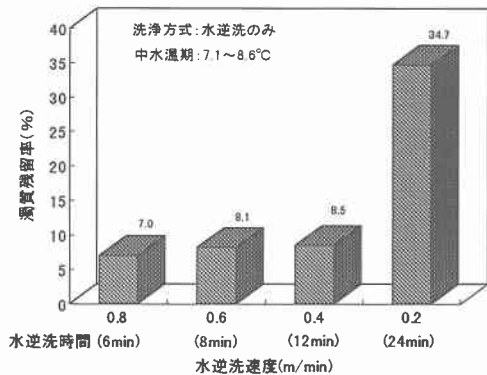


図9 水逆洗単独時の濁質残留率

#### 4. ま と め

今回、空洗・水逆洗併用法による活性炭固定層の洗浄について詳細な検討を行い、つぎのような知見を得た。

(1) 活性炭層内における濁質および色度成分の抑留分布については、濁質は表層抑留の傾向が強いのにに対し、色度成分は活性炭層内部に比較的分散して抑留される傾向となる。

(2) 高水温期には洗浄方式によって洗浄効果が大きく異なり、空洗と水逆洗を重複させることが有効であるが、低水温期には洗浄方式による洗浄効果の差は小さい。しかしながら、一概に空洗と水逆洗を重複させることが高い洗浄効果につながるわけではなく、水温によって適切な洗浄方式を選択することが重要である。

(3) 空洗を必要以上に長く行くと洗浄効果の低下につながる。また、活性炭層内に抑留されたフロックの大部分は比較的容易に剥離されることが分かった。

(4) G値を大きくすればいつも洗浄効果が向上するわけではなく、洗浄効果にはG値以外に膨張率、洗浄時間などの諸因子が複雑に関与している。

(5) 空洗・水逆洗速度が同一であっても活性炭層上の水深により濁質残留率は変動することから、洗浄時には適切な水抜きレベルを採用することが大切である。

#### 5. あとがき

一連の実験に協力いただいた北見市広郷浄水場水質係の萩下隆氏および北見工業大学土木開発工学科卒業生の林田武志、星井祐樹両君に感謝の意を表す。

#### 【 文 献 】

- 1)海老江邦雄：急速砂ろ過池の洗浄における空洗・水逆洗併用法の効果、水道協会雑誌、第729号、pp.27-36(1995年6月)
- 2)藤田賢二：急速砂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(1972年8月)
- 3)海老江邦雄・笠原伸介：急速砂ろ過池の洗浄における空洗のメカニズムと効果、水道協会雑誌、第720号、pp.23-31(1994年9月)
- 4)巽 巖：急速砂ろ過槽の逆洗効果に関する研究(I)、水道協会雑誌、第314号、pp.21-31(1960年11月)
- 5)巽 巖：急速砂ろ過槽の逆洗効果に関する研究(II)、水道協会雑誌、第315号、pp.26-35(1960年12月)
- 6)丹保憲仁：浄水の技術 技報堂出版、pp.286-291(1985年)
- 7)海老江邦雄：急速砂ろ過池における抑留物質の挙動(V)、水道協会雑誌、第518号、pp.2-27(1977年11月)
- 8)内藤一良・輿水重信ら：膨張率一定制御方式による活性炭の洗浄特性とオゾン処理の有効性、第47回全国水道研究発表会、pp.132-133(1996年5月)
- 9)久保田昌良・渡辺昭二ら：活性炭吸着塔の実験的把握に基づく逆洗方法の検討、第47回国水道研究発表会、pp.132-133(1996年5月)
- 10)水道施設設計指針・解説 1990年版、厚生省監修、日本水道協会(1990年)