

Ⅶ-8

活性炭吸着層・砂ろ過層のハイブリッド化による濁質の高効率処理

北見工業大学 フェロー 海老江 邦雄 学生員○高田 善公 学生員 李 宰昊
正会員 土井克哉 学生員 林田 武志

1. ま え が き

原水水質の悪化や病原性原虫問題の発生が契機となり、安全性が高い良質な水道水が強く求められるようになった。最近、オゾン、活性炭、膜ろ過などの高度処理施設の導入が活発化しているのは、そうした状況が背景にあるためと考えられる。K浄水場では、今年4月から、薬品沈殿池と急速砂ろ過池の中間に活性炭処理施設の運転がスタートした。このような活性炭処理施設は、フミン質や農薬の吸着だけでなく、沈殿後水中に残留する濁質に対しても高い除去効果を発揮するものと考えられる。

著者らは¹⁾、これまで、このような活性炭処理水に含まれる微量な濁質の濃度をさらに低減化させることを目的として、PAC注入による濁質粒子のゼータ電位の調整およびジャーテストによる処理に関する実験的研究を行ってきた。今回は、主にろ層を構成する砂粒子表面をPACによって改善する2つの方法について実験的に検討した。すなわち、K浄水場における薬品沈殿、活性炭吸着、急速砂ろ過工程における濁質の処理傾向を把握した後、実験プラン

を用いた2時間の低速ろ過を行い、

(1) 活性炭処理水にPACを注入しつつろ過する方法、および、(2) 逆洗の最終段に逆洗水中にPACを注入する方法が濁質の初期漏出の抑制に及ぼす効果について調べた。これまでに得られた結果を以下に報告する。

2. K浄水場の活性炭吸着・砂ろ過工程における濁質除去

図1は、K浄水場の水処理工程を示している。当浄水場は、これまで常呂川表流水を急速ろ過法によって処理してきたが、今年度から、処理水質の改善を目的に、薬品沈殿池と砂ろ過池の中間に粒状活性炭処理施設を導入した。活性炭処理の本来の目的は、フミン質、すなわち、トリハロメタン前駆物質の低減化にあるが、沈殿後水中のかんりの濁質をも除去(平均56時間の運転で活性炭層内水位が70cm程度上昇)することが分かっている。

図2は、活性炭処理の運転開始から洗浄に至る1工程の流入水および

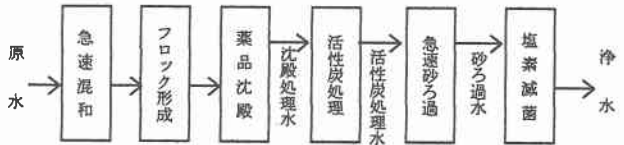


図1 K浄水場における水処理工程

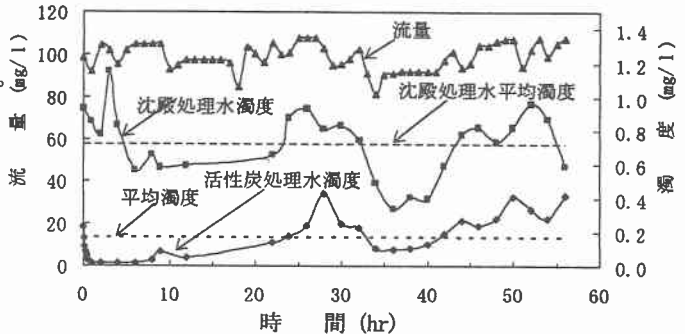


図2 活性炭処理層における濁質除去の動き

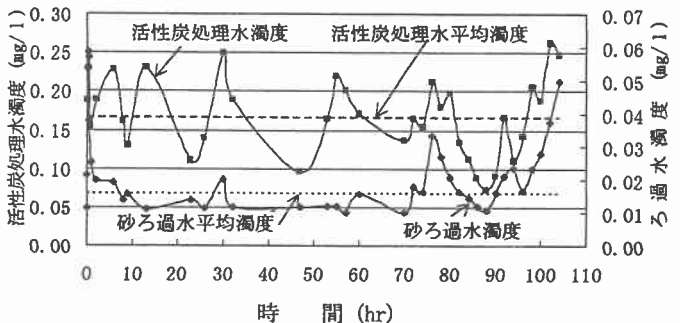


図3 砂ろ過層における濁質除去の動き

New Challenge for Improving the Removal of Turbid Matter by Combining Activated Carbon Beds and Rapid Sand Filters by Kunio EBIE, Yoshitaka TAKADA, Jae-Ho LEE, Katsuya DOI and Takeshi HAYASHIDA

び流出水の濁度変動を示している。これらの平均濁度はそれぞれ0.725mg/l、0.17mg/lとなり、平均除去率として76.6%が得られている。また、同図における活性炭処理水濁度の経時変化を見ると、運転開始直後には0.23mg/lであったが、短時間のうちに急速に低下して流出水は極めて低濁となっている。この時期の活性炭処理水濁度には沈殿処理水濁度の変動は影響していないが、その後、活性炭処理水濁度は流量や沈殿後水濁度の動きに追従して変動するとともに、全体的に緩やかな上昇傾向を辿っている。

他方、砂ろ過池における活性炭処理水濁質の処理傾向を図3で見ると、活性炭処理水の平均濁度0.167mg/lに対し、砂ろ過水の平均濁度は0.016mg/lであった。したがって、この間の平均除去率は90.4%であった。また、ろ過水濁度に関しては、ろ過開始直後には0.058mg/lであるが、ろ過10時間程度でほぼ安定期に入っている。その後、活性炭処理水濁度の変動に追従し、ろ過30時間、60時間付近で小さなピークが出現している。さらに、ろ過70時間を過ぎる頃から終期漏出が起り、次第に流入水濁度とろ過水濁度との差が接近して行く状況が認められる。

以上のように、砂ろ過池は低濁な活性炭処理水を受け入れているにも拘わらず、90%もの濁質を分離している。しかしながら、依然として、流入濁質の10%程度は分離されずに流出していることになる。また、流入濁度の変動がろ過水水质に影響することが分かった。クリプトスポリジウムなどの原虫対策上からは、浄水場の濁質除去率として4.5log程度が必要とされているが、そのためには、凝集沈殿段階における改善はもとより、砂ろ過池の濁質除去率についてもさらに向上させることが必要である。

3. ろ材表面の改善効果に関する実験

今回の実験においては、図4に掲げる活性炭筒と急速砂ろ過筒を組み込んだ実験プラントを用いた。通常の定速ろ過では、ろ過初期にろ層の未熟成に起因するろ過水水质の低下が認められる。本論ではそれを抑制するために、ろ材の表面電位の調整を考え、(1)活性炭処理水に微量のPACを注入しつつろ過を行う方法(実験系列1)、(2)逆洗水にPACを注入する方法(実験系列2)の2種類の有効性について検討することとした。実験条件は、表1に示す通りである。

各ろ過筒内の砂については、ろ過に先立って、初期の表面状態をほぼ一定に維持することを目的に、0.1Nの塩酸で軽く洗浄しておいた。その後、0.8m/minの逆洗速度でろ層を成層化し、最終的には所定の空隙率44.3%に調整して、所定条件のろ過実験に入った。

系列1の実験の場合、図4に示すように、ろ過筒1に流入する系統の活性炭処理水に対し、微量のPACを注入して急速混和(250rpmで約5分間)を行った。その後、ろ過速度120m/dで2時間

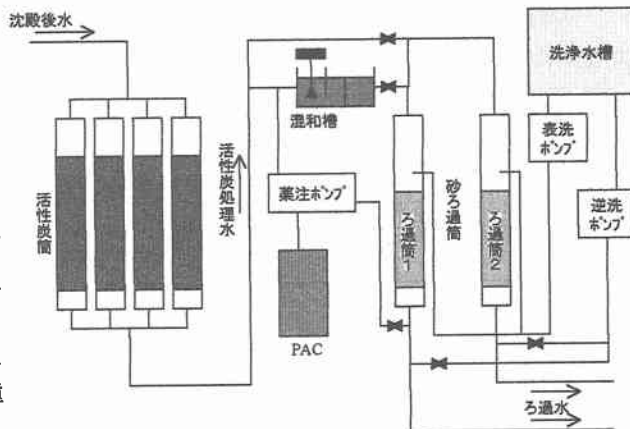


図4 活性炭筒と砂ろ過筒を組み込んだ実験プラント

表1 実験装置の仕様と実験条件

活性炭筒	塩化ビニール製：直径104×長さ4,400mm×4筒 原水：沈殿処理水、ろ過速度：180m/d 有効径：1.2mm、均等係数：1.3以下、層厚：1.5m
砂ろ過筒	ステンレス製：縦70×横70×長さ1,300mm×2筒 原水：活性炭処理水、ろ過速度：120m/d ろ過時間：120分、有効径：0.6mm、均等係数：1.5 空隙率：44.3%、砂層厚さ：600mm
ろ材表面の電位調整法	実験系列1：ろ過原水へのPAC注入による実験 PAC注入率：0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mg/l 実験系列2：逆洗水中へのPAC注入による実験 PAC注入の時期：成層化終了直前の2分間 PAC注入率：50、100、150および200 mg/l

のろ過を行っている。また、比較対照用のろ過筒2については、活性炭処理水にPACを注入せずに、そのままろ過筒1と同じ条件でろ過を開始した。ろ過中には、所定時間の経過後に流入水とろ過水を採水するとともに、ろ層の損失水頭を測定した。両ろ過筒から採水した試料については、高感度濁度計を用いて濁度と微粒子数（粒径1～3μm、3～7μm、7μm以上の3種類）を測定した。

系列2の実験においては、系列1の場合と同様に、最初に塩酸によるろ材表面処理を行い、その後、ろ層の成層化を行った。ただし、ろ過筒1については、成層化終了前の2分間は逆洗水中にPACを50、100、150または200mg/lの濃度となるよう注入を行い、その後、注入したPACがろ材表面を確実にコーティングするよう、30分間放置した。その後のろ過条件や測定条件などについては系列1の場合と同じである。

4. 実験結果および考察

4・1 活性炭処理水にPACを注入した場合

図5は、活性炭処理水に直接PACを注入した場合における砂ろ過の結果である。PACを注入しない場合の原水濁度は0.039mg/l（変動幅0.033～0.051mg/l）であったが、これをろ過するとろ過水濁度は0.027mg/l（同、0.021～0.034mg/l）となり、平均濁度除去率として30.8%が得られた。他方、PACを注入した場合の原水濁度、ろ過水濁度はそれぞれ0.044mg/l（変動幅0.030～0.064mg/l）、0.020mg/l（同、0.018～0.024mg/l）で、平均除去率は54.5%となった。したがって、原水にPACを注入することによって、ろ過水濁度は0.020mg/lにまで低下し、平均濁度除去率として23.7%改善することができた。

PAC注入率がろ過水濁度に及ぼす影響については、注入率0.5mg/lにおける濁度除去率は約40%、注入率5mg/lでは約60%となっており、図5で見られるように、注入率の増加に伴って除去率はほぼ直線的に上昇している。

ついで、表2に濁度と同時に測定された濁質粒子のサイズ別の除去傾向を掲げる。同表における濁質粒子の除去傾向については図5の濁度除去率の傾向ほど明確ではないが、PACを注入しないろ過においては、粒子径が大きいほど除去率が上昇し、径が7μm以上の粒子の除去率は51.2%となっている。それに対し、PAC注入を行った場合には、径が1～3μmの粒子では除去率が41.7%と5%も上昇しているが、3～7μmでは逆に除去率は低下しており、7μm以上では16.5%も除去率が上昇している。これらのことから、ろ過原水である活性炭処理水に直接PACを注入すると、径の小さな粒子は注入率の増加に伴って凝集やろ材表面の電位変化の影響を次第に強く受けているが、径の大きな粒子の場合には、PAC注入率の増加に伴う効果と同時に、低PAC注入時から除去率が高く、ろ材表面における沈殿やストレーニングによる分離の割合が当初より大きかったものと推測される。

また、ろ過後の粒子数に注目してみると、全体的にPAC注入率の増加に伴って減少する傾向は認められるが、原虫レベルの径7μm以上の粒子については、未だ6～27個/ml残留しており、今回のような極低濁水の高効率処理の難しさを示している。クリプトスポリジウム原虫対策上からは、浄水場における濁質除去を4.5logレベルまで高めることが求められている。そのためには、濁質粒子をさらに高効率で分離する方法を開発することが必要と考えられる。

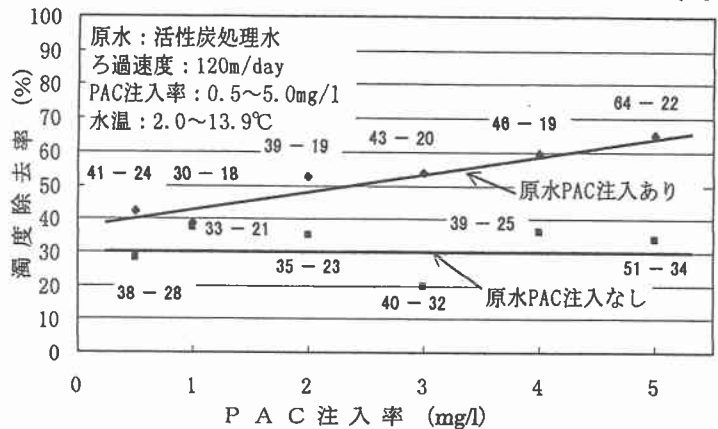


図5 濁度の除去傾向（実験系列1）〔(流入水濁度-ろ過水濁度)×1000mg/l〕

表2 実験系列1における濁質粒子の除去傾向

PAC (mg/l)	粒 径 1~3 μm			粒 径 3~7 μm			粒 径 7以上 μm		
	粒子数 (個/l)		除去率 (%)	粒子数 (個/l)		除去率 (%)	粒子数 (個/l)		除去率 (%)
	流入水	ろ過水		流入水	ろ過水		流入水	ろ過水	
—	1,000	1,050	5.4	94	105	-11.7	43	27	37.2
0.5	1,601	1,382	13.7	115	121	-5.2	89	25	71.9
—	886	650	26.6	97	69	28.9	47	27	42.6
1.0	884	747	15.5	80	76	5.0	49	24	51.0
—	802	652	18.7	88	51	42.0	27	7	74.1
2.0	990	724	15.5	80	72	10.0	45	17	62.2
—	1,132	995	12.1	104	73	29.8	41	21	48.8
3.0	1,479	607	26.9	78	59	24.4	42	6	85.7
—	1,407	959	31.8	141	54	61.7	47	19	59.6
4.0	1,838	845	54.0	110	39	64.5	33	8	75.8
—	2,157	1,394	35.5	165	54	67.3	53	24	54.7
5.0	2,282	978	57.1	176	73	58.5	45	19	57.8
平均	1,249	790	36.7	115	68	40.9	43	21	51.2
	1,512	881	41.7	107	73	31.8	51	17	67.7

平均：上段 - PAC注入なし、下段 - PAC注入あり

4・2 逆洗水中にPACを注入した場合

図6は、逆洗最後の2分間所定のPAC注入を行い、PACでろ材表面をコーティングした後に活性炭処理水をろ過した結果を、比較対照ろ過池の結果と併せて示している。

最初に、ろ材をコーティングしていない場合には、原水濁度は0.032mg/l(変動幅0.024~0.040mg/l)であったが、これをろ過するろ過水濁度は0.022mg/l(同0.008~0.033mg/l)となった。この場合の平均濁度除去率は31.3%であった。

他方、ろ材をコーティングした場合には、原水濁度、ろ過水濁度はそれぞれ0.034mg/l(変動幅0.027~0.041mg/l)、0.015mg/l(同、0.01~0.023mg/l)となり、平均濁度除去率として31.3%が得られた。したがって、逆洗水にPACを注入することによって、平均濁度除去率で24.6%改善されたことになる。

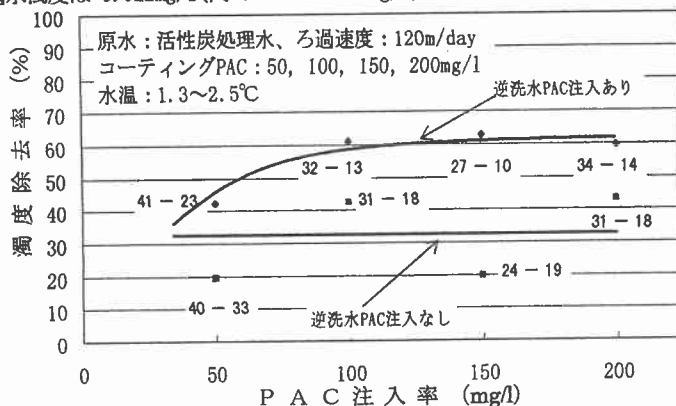


図6 濁度の除去傾向(実験系列2) [(流入水濁度-ろ過水濁度)×1000mg/l]

PAC注入率の効果について 図6を見ると、注入率50mg/lから100mg/lまでは濁度除去率が上昇しているが、PAC注入率100mg/l以上では、ほぼ一定な60%程度の除去率となっている。PAC使用量を削減させる上からは、このPAC注入率100mg/l程度が、今回の実験条件に対して適切であったものと考えられる。

つぎに、サイズ別の濁質粒子の除去傾向をまとめて表3に示した。同表の除去傾向のうち、径が7μmを超える粒子については、ろ過原水にPACを注入した場合と同様に、PACによるコーティングの有無にかかわらず、いずれも50%強となっている。また、径1~3μmの粒子については、PACを注入することによって除去率は19.8%から58.7%へと38.9%も上昇している。このように、PACによるろ材表面のコーティングに関しては、径の小さな粒子の除去効果が著しく改善される状況が確認された。

さらに、ろ過水中に流出した粒子数の動きを見ると、粒子のサイズにかかわらずいずれもPAC注入率

表3 実験系列2における濁質粒子の除去傾向

PAC (mg/l)	粒 径 1～3 μm			粒 径 3～7 μm			粒 径 7以上 μm		
	粒子数 (個/l)		除去率 (%)	粒子数 (個/l)		除去率 (%)	粒子数 (個/l)		除去率 (%)
	流入水	ろ過水		流入水	ろ過水		流入水	ろ過水	
—	924	785	15.0	65	64	1.5	36	18	50.0
50	2,000	934	53.3	152	131	13.8	52	29	44.2
—	855	671	21.5	67	61	9.0	32	15	53.1
100	1,947	348	82.1	84	76	9.5	26	11	57.7
—	943	818	13.3	64	49	23.4	38	11	71.1
150	1,658	816	50.8	142	109	23.2	57	25	56.1
—	1,039	740	28.8	91	54	40.7	24	20	16.7
200	1,952	1,025	47.5	204	146	28.4	54	23	57.4
平均	940	754	19.8	72	57	20.8	33	16	51.5
	1,889	781	58.7	146	116	20.5	47	22	53.2

平均：上段 - PAC注入なし、下段 - PAC注入あり

100mg/lにおいて最小値となっている。PAC注入率が200mg/lになると、残留粒子数は2～3倍に増加していることから、過剰なPAC注入によるろ材表面のコーティングは、ろ層の濁質抑止には逆効果となることが分かった。また、ろ過原水にPACを注入した場合と同様に、最も良好なる過水においても、径7 μm以上の粒子は11個/mlも流出する結果となっている。

以上、今回採用したろ過原水へPACを注入する方法、および、逆洗水へPACを注入してろ材表面を被覆する方法のいずれによっても、濁度除去、濁質粒子除去効果を上げることが確認された。しかしながら、その除去程度は、原虫対策上からは必ずしも十分とはなっていない。今回の実験結果を基に、PAC注入に伴うろ材表面の電位の上昇量と濁質除去効果との定量的な関係、および、このようなろ過水水質改善方法の限界がどの辺りにあるかなどの詳細については、今後の研究課題にしたいと考えている。

5. ま と め

今回の研究によって、以下のような知見が得られた。

- 1) 実際の浄水場の薬品沈殿池と急速砂ろ過池の中間に設置された活性炭吸着層とそれに続く急速砂ろ過層における平均濁質除去率はそれぞれ76.6%、90.4%であることが分かった。また、これら両層における流入側濁質変動に伴う経時の濁質除去傾向を大雑把に把握することができた。
- 2) ろ過原水である活性炭処理水へのPAC注入は濁質除去に有効であること、また、濁質除去効果はPAC注入率が高いほど大きく、PAC注入率5mg/lの場合、濁度除去率は30%強改善された。
- 3) 逆洗水にPACを注入した場合にも、同程度の濁質除去効果が得られた。濁度除去率および粒子数の減少傾向から判断すると、最適のPAC注入濃度は100mg/l程度であろうと考えられる。
- 4) これらの方法による効果は、いずれの場合にも径が小さな1～3 μmの粒子において大きく認められることが分かった。それは、径の大きな粒子ほど、ろ材表面の電気的な性状よりもろ材表面における沈殿やろ材間隙におけるストレーニングによって除去される比率が高いためではないかと考えられる。
- 5) 今回採用した方法は、いずれも20%強の効果を発揮することを確認した。今後は、より濁質粒子の除去率を高めるために、PACによるろ材表面の電位調整量と処理性の改善率とを定量的に把握するなどの方法によって、より効果的な条件を明確にして行きたいと考えている。

【 文 献 】

- 1) 海老江 邦雄・林田 武志 他：砂ろ過による低濁原水の高効率処理に関する基礎的検討、土木学会第53回年次学術講演会概要集、第7部、pp.244-245、1998

- 2) 海老江 邦雄・土井 克哉：減衰ろ過の濁質抑留メカニズムと水質改善における有効性、水道協会雑誌、第67巻(第764号)、pp.16-27、1997.5.
- 3) 海老江 邦雄・末広 誠一・萩下 隆・東 義洋・土井 克哉：低水温下における生物活性炭のアンモニア酸化機能、水道協会雑誌、第753号、pp.15-22、1997
- 4) 丹保 憲仁・小笠原 絃一：浄水の技術、技報堂出版、1985
- 5) 長塩 大司・花元 隆司他：中間オゾン・活性炭流動システムにおける高効率ろ過プロセスの開発、第49回全国水道研究発表会概要集、pp.4-26、1997.5.
- 6) 海老江 邦雄：寒冷地における浄水処理、水文・水資源学会誌、Vol.7、No.4、pp.332-342、1994
- 7) 小島 貞男・渡辺 和男：凝集剤・ポリ塩化アルミニウムの実用化に関する研究(1)、水道協会雑誌、第392号、pp.2-9、1973
- 8) 中村 文雄・松本 順一郎：凝集剤使用量に関する研究(1)、水道協会雑誌、第431号、pp.28-36、1970
- 9) 橋本 温・平田 強：相模川におけるクリプトスポリジウムおよびジアルジアの汚染レベル、水環境学会誌、第21巻、pp.61-64、1998
- 10) 海老江 邦雄・笠原 伸介：急速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、第720号、pp.23-31、1994
- 11) 海老江 邦雄：急速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、1996
- 12) 海老江 邦雄・笠原 伸介：急速ろ過池の空気洗浄に伴う排出濁質の舞い戻り現象、水道協会雑誌、pp.13-21、1997
- 13) 小川 進・佐野 茂：活性炭ろ過筒運転管理の水理、土木学会論文集、No.572、pp.63-72、1997.8.