

VII-5

PACの微量注入による砂ろ過における濁質分離の改善

北見工業大学 フェロー 海老江 邦 雄
 学生会員○高 田 善 公
 尹 泰 漢

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、従来より高水質レベルの水道水が要求されるようになった。最近におけるオゾン、活性炭、膜ろ過などの高度処理施設の導入は、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、薬品沈殿池と急速砂ろ過池の中間に活性炭処理施設を設備し、平成10年4月からその運転をスタートさせた。このように、活性炭処理施設を沈殿池の後段に設けることによって、活性炭層をフミン質や農薬の吸着用だけでなく、沈殿処理水中の残存濁質除去にも有効に活用することができる。このような場合、砂ろ過流入水は非常に低濁となるため、ろ層の熟成が遅れてろ過池における濁質分離効率の低下が懸念される。

著者¹⁾らは、活性炭処理水をろ過流入水として用い、そこに含まれる濁質濃度をさらに効率的に低減化させることを目的に、流入水に対するPAC注入の効果について実験的研究を行ってきた。ここでは、ろ過筒流入水として沈殿処理水および活性炭処理水を用い、これらに注入された微量のPACがろ過水濁度とろ過水中の微粒子数の改善に及ぼす効果について実験的に検討した結果を報告する。

2. 実 験 方 法

今回の実験では、図1および表1に示す2本のろ過筒を組み込んだ実験装置および実験条件を用いた。いずれの場合にも、所定量のPACを注入(2、3、5、7mg/l)した実験とPACを注入しない実験とについて、これらのろ過筒を同時に平行

表1 実験装置と運転条件

装置の仕様	ステンレス製、70×70×1300mm、2筒
原水・ろ速	沈殿処理水、活性炭処理水、120m/d
砂 層	有効径：0.61mm、均等係数：1.39 空隙率：44.3%、砂層厚：60cm
PAC注入率	2、3、5および7 mg/l

表1 実験装置と運転条件
 運転した。ろ速は120m/d、ろ過時間は24時間とした。ろ過運転中のろ過水の濁度と粒子数は、図1に示すろ過筒に直接接続した高感度濁度計(富士電機、ZYU)によって、1分ごとに自動的に測定される。それに対し、流入水については、ろ過開始から1時間までは10分おきに、それ以降はろ過開始から2時間おきに採水し、卓上型高感度濁度計(富士電機、ZYV)を用いて測定した。また、流入水の採水時にろ層5cm厚さごとの損失水頭を測定した。さらに、活性炭処理水を流入原水とした実験においては、採水した試料中のAl濃度をICP(パーキンエルマージャパン、OPTIMA3000)を用いて定量した。

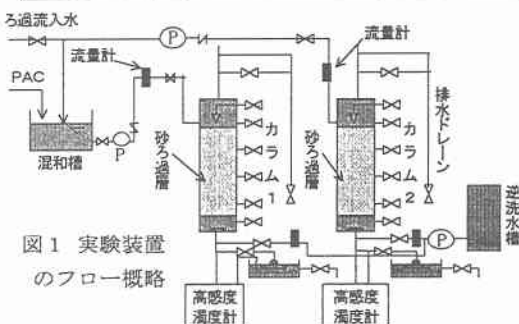


図1 実験装置のフロー概略

3. 沈殿処理水をろ過流入水として用いた場合

この実験系列Iの期間中における浄水場のPAC注入率は、平均48mg/l(最大62mg/l、最小38mg/l)、水温は平均16.8℃(最高20.9℃、最低12.9℃)であった。

Improving the Effluent Water Quality of Rapid Sand Filters by Coagulants in Influent Water
 by Kunio EBIE, Yoshitaka TAKADA and Tae-Ilan YOON

ろ過 24 時間におけるろ層の総損失水頭を表 2 に示した。同表を見ると、いずれの PAC 注入率においても、0～5cm 間において大半の損失水頭が発生している。また、0～5cm 間と比較にならないほど小さいが、5～15cm 間の損失水頭の値は 2 番目に大きい。これらより下層の損失水頭は極めて僅少である。以上のことから、濁質の大部分は、表層、特に 0～5cm 間に抑留されていたことが分かる。

つぎに、流入・流出濁度、濁度除去率および流出濁質量の改善率を表 3（初期漏出期）、および表 4（安定期）に示した。これらにおける流入水の平均濁度は 0.219～0.727mg/l の範囲であった。表 3 の初期漏出期を見ると、平均濁度除去率はどの実験の組においても PAC を注入した方が PAC を注入しない場合よりも高い。PAC 注入による除去率の上昇は 2.7～7.6%。流出濁質量の改善率については、23.4～70.6%となっている。これらの値の動きから、PAC 注入率の上昇とともにその効果は大幅に増加している。また、ろ過水濁度の最大値の動きを見ると、いずれの実験においても PAC を注入した方が低濁となっており、PAC 注入が初期漏出期におけるピーク濁度の抑制にも効果を発揮している。

表 4 を見ると、PAC 注入に伴う除去率の上昇は 3.3～4.6%であるが、先の場合と同様に、改善率については 48.7～77.1%となっており、PAC 注入率の上昇とともに効果が顕著になっている。

さらに、流入・流出粒子数の平均値を示した表 5 を見ると、予測通り、全ての粒径、実験系列において、PAC を注入した場合の流出数は 1/3～1/2 程度に減少しており、濁度の動きと類似した傾向が認められる。初期漏出期の粒子数を表 6 で見ると、平均値は、PAC を注入することによって、大幅に減少している。また、表 7 の安定期にも同様の傾向が認められた。しかしながら、クリプト原虫サイズ以上の粒子はいまだに流出しており、より高効率で濁質の分離を行うことが必要である。

以上のことから、沈殿処理水に PAC を微量注入した場合、濁質は極端な表層抑留の傾向をとるこ

表 2 ろ層深さごとの損失水頭 (24hr)

PAC (mg/l)	0～5		5～15		15～25		25～40		40～60	
	平均	MAX	平均	MAX	平均	MAX	平均	MAX	平均	MAX
2	61.7	8.0	1.7	0.3	0.5					
0	39.0	3.7	0.7	0.2	0.2					
3	44.8	3.8	1.0	0.1	0.2					
0	49.0	2.9	0.6	0.3	0.4					
5	53.2	2.3	0.4	-0.1	-0.1					
0	39.4	2.4	0.4	0.1	0.0					
7	50.0	2.2	0.6	-0.2	-0.5					
0	35.3	2.0	0.4	-0.1	-0.1					

表 4 安定期 (1～24hr) の濁度除去傾向

PAC (mg/l)	流入水 (mg/l)			ろ過水 (mg/l)			除去率 (%)	流出量改善率 (%)
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN		
2	0.308	0.333	0.215	0.018	0.029	0.005	94.3	
0	0.288	0.319	0.182	0.033	0.029	0.012	88.7	49.6
3	0.376	0.494	0.185	0.015	0.023	0.007	96.1	
0	0.399	0.726	0.255	0.030	0.037	0.018	92.5	48.7
5	0.683	0.762	0.430	0.020	0.040	0.010	97.1	
0	0.635	0.726	0.384	0.046	0.062	0.019	92.8	60.6
7	0.719	0.670	0.527	0.007	0.029	0.004	99.0	
0	0.635	0.619	0.450	0.027	0.033	0.011	95.7	77.1
平均	0.332	—	—	0.012	—	—	96.7	
	0.324	—	—	0.022	—	—	92.4	59.0

表 6 初期漏出期 (0～1hr) の流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1～3μm			3～7μm			>7μm		
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN
2	419	1684	46	50	619	0	2	42	0
0	2519	17145	496	165	1250	6	6	69	0
3	340	2492	41	26	206	0	1	42	0
0	1400	4077	7	52	184	0	3	31	0
5	545	2913	59	20	83	0	1	42	0
0	2635	9548	34	97	513	17	8	46	0
7	372	5670	0	24	206	0	4	84	0
0	1487	4970	275	80	268	9	4	24	0

表 3 初期漏出期 (0～1hr) の濁度除去傾向

PAC (mg/l)	流入水 (mg/l)			ろ過水 (mg/l)			除去率 (%)	流出量改善率 (%)
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN		
2	0.240	0.295	0.190	0.021	0.086	0.006	91.3	
0	0.219	0.314	0.131	0.025	0.219	0.014	88.6	23.4
3	0.257	0.298	0.148	0.018	0.065	0.007	93.0	
0	0.342	0.872	0.090	0.037	0.090	0.000	89.2	35.3
5	0.727	0.962	0.354	0.034	0.093	0.005	95.3	
0	0.661	0.872	0.451	0.065	0.146	0.001	90.2	52.4
7	0.471	0.644	0.364	0.015	0.074	0.000	96.8	
0	0.342	0.391	0.306	0.037	0.085	0.015	89.2	70.6
平均	0.424	—	—	0.022	—	—	94.1	
	0.391	—	—	0.045	—	—	89.3	45.4

表 5 平均流入・流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1～3μm		3～7μm		>7μm	
	流入水	ろ過水	流入水	ろ過水	流入水	ろ過水
2	2,959	199	2,078	23	331	2
0	2,815	878	2,127	41	302	5
3	3,938	122	2,961	14	429	2
0	3,465	770	3,156	32	432	4
5	5,429	159	4,238	13	526	2
0	4,962	837	4,241	34	466	5
7	4,653	119	5,303	17	540	3
0	4,916	548	4,802	38	469	4

表 7 安定期 (1～24hr) の流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1～3μm			3～7μm			>7μm		
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN
2	187	905	11	21	104	0	2	63	0
0	772	1344	331	35	95	2	5	36	0
3	115	525	0	14	165	0	2	53	0
0	761	1511	304	32	107	3	5	42	0
5	149	867	0	12	124	0	2	84	0
0	826	3461	193	29	101	1	5	42	0
7	114	543	0	18	145	0	3	74	0
0	531	1150	167	38	100	4	4	37	0

と、また、PACの微量注入は、注入率が増加するほど濁度および粒子の除去に大きな効果を発揮するが、クリプト対策の面からはいまだ不十分であることが確認された。

4. 活性炭処理水をろ過流入水として用いた場合

この実験系列Ⅱにおける浄水場のPAC注入率は平均 46mg/l (最大 70mg/l、最小 35mg/l)、水温は平均 15.9℃ (最高 19.5℃、最低 13.0℃) であった。

沈殿処理水がろ過筒流入水である場合と同様に、24 時間ろ過におけるろ層各深さの総損失水頭を表 8 に、濁度除去傾向を表 9 および表 10 に、また、ろ過水への微粒子流出傾向を表 11~13 に掲げた。既往研究において活性炭層の濁度除去率は約 80% となることを報告している。この実験Ⅱにおいては、流入濁度は平均 90% 程度低下している。しかしながら、全体的な傾向は流入濁度が沈殿処理水を用いた場合よりも低下しているだけで、極めて類似している。流出濁質量の改善率はPAC注入率が上昇するほど大きくなっており、初期漏出期には 46.8~72.5%、安定期には 67.6~80.5% と沈殿処理水を

表 8 ろ層深さごとの損失水頭 (24hr)

PAC (mg/l)	0~5	5~15	15~25	25~40	40~60
2	8.6	1.2	0.5	0.1	0.1
0	1.2	0.6	0.2	0.2	-0.1
3	18.9	1.9	0.7	0.5	0.2
0	2.0	0.5	0.3	0.1	0.4
5	46.1	5.8	0.8	0.5	0.3
0	6.8	1.2	0.4	0.3	-0.3
7	48.0	5.0	0.9	0.3	0.4
0	3.3	1.3	0.7	0.7	0.4

表 10 安定期 (1~24hr) の濁度除去傾向

PAC (mg/l)	流入水 (mg/l)			ろ過水 (mg/l)			除去率 (%)	流出量改善率 (%)
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN		
2	0.039	0.154	0.024	0.005	0.016	0.002	88.5	67.6
0	0.039	0.166	0.021	0.014	0.041	0.007	64.3	
3	0.045	0.085	0.019	0.005	0.024	0.001	89.0	72.4
0	0.040	0.082	0.022	0.016	0.043	0.008	60.1	
5	0.045	0.183	0.024	0.004	0.017	0.001	91.2	67.5
0	0.049	0.325	0.015	0.013	0.036	0.008	73.1	
7	0.037	0.052	0.025	0.003	0.014	0.001	91.0	80.5
0	0.028	0.038	0.020	0.013	0.031	0.006	53.6	
平均	0.042	—	—	0.004	—	—	89.9	72.0
	0.039	—	—	0.014	—	—	62.8	

表 12 初期漏出期 (0~1hr) の流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1~3			3~7			>7		
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN
2	355	4924	41	66	1361	0	1	42	0
0	1472	1472	1472	782	92	92	9	9	9
3	848	4282	66	80	658	0	5	42	0
0	5027	5027	1472	2584	141	141	10	10	10
5	219	2074	0	21	328	0	5	126	0
0	1158	1158	1158	622	85	85	4	4	4
7	192	2390	0	18	206	0	0	0	0
0	1082	1082	1082	584	46	46	1	1	1

用いた場合よりも大幅に改善された。このように、PACの微量注入は流入水濁度が低い場合の方が高い効果を発揮することが確認された。これは、注入したPACが濁質の凝集にではなく、ろ材表面に被覆されて後続の粒子の捕捉に大きく寄与しているためと考えられる。また、ろ過水中のクリプトサイズの粒子に注目してみると、沈殿処理水の場合に比べて 80%程度改善されているとは言え、より一層の高効率化が必要な状況である。

表 14 は、A1 の流入・流出濃度および除去率を示している。A

表 9 初期漏出期 (0~1hr) の濁度除去傾向

PAC (mg/l)	流入水 (mg/l)			ろ過水 (mg/l)			除去率 (%)	流出量改善率 (%)
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN		
2	0.122	0.340	0.030	0.013	0.092	0.006	89.0	46.8
0	0.137	0.340	0.033	0.028	0.138	0.013	79.3	
3	0.133	0.231	0.056	0.032	0.092	0.009	75.6	60.0
0	0.156	0.366	0.046	0.095	0.136	0.043	39.0	
5	0.130	0.183	0.080	0.011	0.067	0.002	91.8	68.2
0	0.116	0.325	0.047	0.030	0.058	0.017	74.3	
7	0.058	0.108	0.039	0.010	0.086	0.003	83.6	72.5
0	0.053	0.118	0.029	0.031	0.064	0.018	40.4	
平均	0.111	—	—	0.017	—	—	85.0	61.9
	0.116	—	—	0.046	—	—	58.3	

表 11 平均流入・流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1~3 μm		3~7 μm		>7 μm	
	流入水	ろ過水	流入水	ろ過水	流入水	ろ過水
2	683	71	211	10	23	1
0	704	302	186	31	32	3
3	770	125	231	49	46	5
0	691	693	257	94	35	22
5	602	76	171	13	26	1
0	576	415	159	32	1	3
7	554	74	101	13	13	1
0	537	344	86	26	26	2

表 13 安定期 (1~24hr) の流出粒子数 (個/ml)

PAC (mg/l)	1~3			3~7			>7		
	平均	MAX	MIN	平均	MAX	MIN	AH17	MAX	MIN
2	61	488	0	8	83	0	1	42	0
0	258	258	258	143	29	29	3	3	3
3	98	640	0	15	186	0	2	84	0
0	521	521	255	283	46	46	5	5	5
5	76	388	0	13	103	0	2	63	0
0	390	390	390	210	30	30	3	3	3
7	61	291	0	12	103	0	1	42	0
0	318	318	318	172	25	25	2	2	2

表 14 A1 の除去傾向

PAC (mg/l)	濃度 (mg/l)		除去率 (%)
	流入水	ろ過水	
2	0.14	0.03	80.7
0	0.11	0.03	57.4
3	0.18	0.04	78.9
0	0.09	0.06	40.8
5	0.30	0.03	89.1
0	0.16	0.09	44.9
7	0.28	0.03	90.2
0	0.09	0.05	37.1

1 除去率はPACを注入した方において高い値（注入率2mg/l のとき23.3%、3mg/l のとき38.1%、5mg/l のとき44.2%、7mg/l のとき53.1%）を示したが、ろ過水中のA1濃度はPAC注入の方において僅かに低い値が得られた。先に見たように、損失水頭の発生が上層部に偏っていたことなどを加味して考えると、注入したPACの大部分がろ層上層部で抑留され、その後におけるA1フロックと濁質粒子の効果的な捕捉に役立ったものと推測される。

5. ま と め

今回の実験研究により、以下のような知見が得られた。

- 1) 沈殿処理水にPACを微量注入した場合、濁質の大半は表層部に抑留された。PAC注入は、注入率を上昇させるほど濁度および微粒子の除去に有効であることが分かった。PAC注入による除去率の上昇は初期漏出期で2.7~7.6%、安定期で3.3~4.6%と小さいが、これを流出濁質量の改善率で見ると初期漏出期で23.4~70.6%、安定期で48.7~77.1%となり、大きな効果が出現することが分かった。
- 2) 活性炭処理水の濁度は沈殿処理水濁度よりも90%程度低くなった。これを流入水として用いた場合における流出濁質量の改善率は、PAC注入率が高いほど大きく初期漏出期には46.8~72.5%、安定期には67.5~80.5%となり、沈殿処理水をろ過原水として用いた場合よりも高くなった。
- 3) 流入水に微量のPAC注入を行ってろ過した場合、流入水濁度が低い場合ほど改善率が高まった。これは、注入したPACが直接粒子の凝集に作用するよりも、一旦、微フロックとなつてろ材表面に被覆され、後続の粒子除去に関わるというメカニズムのためと考えられる。
- 4) 活性炭処理水がろ過原水の場合、PAC注入率が上昇するほどアルミニウム除去率は上昇した。これらのアルミニウムは、ろ材表面の荷電調整、凹凸の増加、損失水頭の発生に直接関わりと同時に、濁質の高効率分離に役立ったものと考えられる。全体として、PACの微量注入は、濁質の分離効率の改善に大いに有効であることが確認された。

【 参 考 文 献 】

- 1) 海老江 邦雄・高田 善公 他：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、土木学会北海道支部論文報告集第55号(B)、pp.724-729、1999
- 2) 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
- 3) K. O. Cranston and A. Amirtharajah : Improving the Initial Effluent Water Quality of a Dual-Media Filter by Coagulants in Backwash, Journal AWWA, Vol.76, No. 12, pp50-63、1987
- 4) 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.
- 5) 丹保 憲仁・小笠原 紘一：浄水の技術、技報堂出版、1985
- 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) 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