

## VII-7

## PACを用いた濁質の凝集沈殿処理における温度の影響

北見工業大学 フェロー 海老江 邦 雄 ○学生会員 佐藤 秀 哉  
学生会員 李 宰 昊 尹 泰 漢

## 1. ま え が き

わが国における浄水処理用凝集剤としては、伝統的にアルミニウム系凝集剤が広く採用されてきた。古くは、固形または液体硫酸アルミニウムが主流であったが、昭和40年以降は、特に積雪寒冷地の北海道においては、低温、低アルカリ度原水が多いこともあり、ポリ塩化アルミニウム(以下、PACと称す)が最も効果的な凝集剤として急速に普及し今日に至っている。また、アルミニウムに関しては、若年性痴呆症や内臓疾患などとの関連性が指摘されてきた。平成5年から適用の水道水質基準においては、快適水質項目の一つにアルミニウム0.2mg/lが新規に加えられた。現在、代替凝集剤が研究開発されつつあるが、浄水場における冬期の凝集沈殿効果の低下や凝集剤の過剰注入に伴うろ過水へのアルミニウム流出は深刻であり、低水温下における凝集性の解明と残留アルミニウム濃度の低減化は、当面の重要課題と考えられる。

本論では、自然河川表流水の模擬原水、すなわち、北見工業大学水道水(深井戸水)にカオリンまたはフミン酸を加えた試料水を対象に、水温変動下におけるPACによる処理性とその改善について基礎的に検討した結果を報告する。

## 2. 実 験

## 2.1 試料水の調整とジャーテストの方法

実験には、試料水用原水として北見工業大学水道水(深井戸水)を用いた。また、凝集剤として道内の浄水場で多用されているポリ塩化アルミニウム( $Al_2O_3$ 含有率10.5%、化学式 $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$ 、ここで、 $1 \leq n \leq 5$ 、 $m \leq 10$ )を使用した。実験にあたっては同原水を定温室内に予め貯留しておき、室温・水温とも一定(低温:2.4°C、高温:24.3°C)に調整した後、濁度成分としてのカオリン(高濁度:

50mg/l、低濁度:5mg/l)または色度成分としてのフミン酸(高色度:40度、低色度:4度)を加えた後、予め調整しておいた所定量のPACを注入してジャーテストを行った。ジャーテストの条件として、急速攪拌5分間(120rpm)、緩速攪拌10分間(40rpm)、その後の沈殿30分間を採用した。ジャーテスト後、ビーカー内の水面下1~2cmの位置より約100mlの試料水を採取し、pH、濁度、色度、粒径、水温の測定を行った。なお、ジャーテスト時のpHとしては、カオリン、フミン酸の最適凝集領域であるpH6.8~7.0、pH5.0~5.5をそれぞれ採用した。

## 2.2 PACの凝集性に及ぼす温度の影響

カオリン試料水の場合には、PAC注入率10、20、30mg/l、フミン酸試料水に対してはPAC注入率30、50mg/lとし、これらの条件において凝集沈殿処理に及ぼす温度の影響を調べた。その後、低温下における凝集特性をより詳細に把握するために、(1)急速攪拌時間および緩速攪拌の時間と強度を一定とし、急速攪拌強度のみを120、160、200、240rpmと上昇させた場合、および、(2)急速、緩速攪拌強度を120、40rpmにそれぞれ固定したまま、急速攪拌時間を5、10、15分、緩速攪拌時間を10、15、20分間と変化させた場合についてジャーテストを行った。ジャーテスト後に採取した上澄水については、0.45μmのメンブレンフィルターを用いてろ過を行い、アルミニウムを溶解性とろ過性とに分けた。上澄水中のろ過性アルミニウムは、低温における凝集特性に強く関連すると判断したからである。これらの実験については、高温においてもろ過、両方の結果について比較検討を行った。

## 3. 結果および考察

## 3.1 カオリンの凝集処理に及ぼす温度の効果

図1は、温度が広範囲に変化する高濁試料水をPAC10mg/l注入して処理した際の上澄水濁度の動きを示している。ジャーテスト時の水温が2°Cから20°Cへと上昇すると、

Temperature Effects on the Use of PACl Coagulant for Water Purification  
by Kunio EBIE, Hideya SATO, Jae-Ho Lee and Tae-Han Yoon

上澄水濁度は約 3mg/l から 25mg/l へと著しく上昇している。水温の低下に伴う処理水濁度の上昇は 10℃以下、とりわけ、5℃以下において激しいが、15℃を越えるとほぼ安定している。この傾向は、水の粘性係数の動きと類似している。Camp が指摘しているように、低温における凝集性の低下は粘性に深く関わっていることが推測される。図 1 には、K 浄水場における年間の原水水温の動きを示した。凝集性が低下しない高温期は僅か 3 ヶ月しかないのに対し、低温期は 11~4 月まで半年間も継続する。ジャーテスト結果と対応させると、最高温度と最低温度では処理水濁度は数倍も上昇することから、水温変化が大きい寒冷地域の浄水場における処理は大変難しくなることが推測される。

図 2 および図 3 は、低濁および高濁試料水を、低温および高温下で処理した結果である。これらの図においては、低濁、高濁いずれの試料においても、低温時には、明らかに凝集性が低下している。また、原水濁度が低く、PAC 注入率が低い場合ほど濁度除去率は低くなっている。すなわち、低温・低 PAC 注入率における上澄水濁度は、低濁試料水では 3.9mg/l、高濁試料水においては 22.7mg/l となり、除去率は僅か 22%、54%であった。このように、低濁試料水の濁度除去率が低いのは、形成されたフロック密度が低いため、水温の低下、すなわち、粘性の上昇とともに沈降し難くなったものと考えられる。また、低濁、高濁いずれの試料水においても、PAC 注入率の増加とともに処理水濁度が改善されていることから、粘性によるだけでなく、凝集剤の劣化も関わっていることが推測される。

表 1 は、PAC 注入率 10mg/l における上澄水中の粒子の径と数についてまとめた結果である。低濁試料水の場合、高温では全ての粒径において 90%以上が除去されているが、低温における除去率は著しく低く、平均で約 36%となった。さらに、粒径別に見ると、0.5~3μm の粒子については、1ml 中 40 万個近い粒子が残存しているのに対し、7μm 以上の粒子は 70%以上除去されて 550 個/ml となっている。他方、高濁試料水における除去傾向は、低濁試料水の場合と同様であるが、除去率は低濁試料水より 20%程度高くなった。これは、高濁試料水には粒子数が多いため、凝集剤との接触機会の増加が除

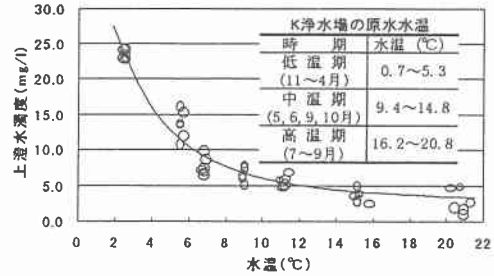


図 1 上澄水濁度におよぼす水温の影響 (高濁試料水、PAC 注入率 10mg/l)

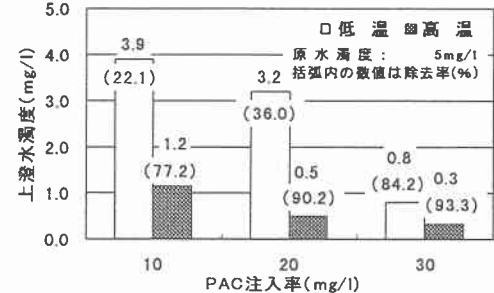


図 2 上澄水濁度と除去率の動き (低濁試料水)

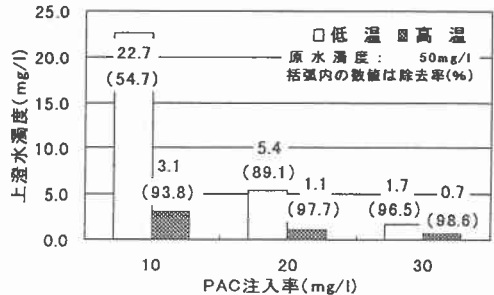


図 3 上澄水濁度と除去率の動き (高濁試料水)

表 1 上澄水中の粒子径分布 (PAC 10mg/l の場合)

原水濁度 (mg/l)	水温	粒 径 (個/ml)			
		0.5~1μm	1~3μm	3~7μm	7μm以上
5	低温	326,280 (13.9)	59,950 (12.2)	27,630 (47.9)	550 (69.8)
	高温	30,288 (92.0)	3,886 (94.3)	2,239 (95.8)	108 (94.1)
50	低温	—	345,890 (32.5)	215,080 (57.0)	3,890 (89.5)
	高温	—	27,192 (94.7)	12,096 (97.6)	393 (98.9)

括弧内の数値は除去率 (%), —はオーバーフロー

去率の上昇に繋がったものと考えられる。いずれにしても、粒子が小さく、沈降するために多くの凝集剤を必要とする場合ほど残留率が高いことは、小さな粒子ほど水の粘性の上昇と凝集剤の劣化の両方の影響を受け易いこ

とが分かった。

以上のことから、PAC を使用する場合には、水温が低いほど凝集・フロック形成段階で十分な改善を計ることが重要となる。

### 3. 2 水温とフミン酸試料水の凝集性

フミン酸は粒径が小さいため、効果的な凝集処理を行うには十分な攪拌が必要であると指摘されている。ここでは、カオリン試料水と同一の条件でジャーテストを行った後に、処理水の一部を採取し、0.45μm のメンブレンフィルターによるろ過を行った。表2は、ろ過前後の色度の測定結果を示している。同表においては、低色度、高色度いずれの試料水の場合にも、低温下においては、PAC 注入率に関わらず色度除去率は0であった。しかしながら、それらの試料をろ過すると高色度試料水では除去率が60%台、70%台となっているが、低色度試料水の除去率は極めて低い。つぎに、高温時における色度除去の傾向を見ると、低温時より全体的に除去率は上昇しているが、いまだ十分とは言える状況ではない。また、その傾向は、低温時と類似している。

これらのことから、(1)低温・低色度原水の処理水質を改善するために大量のPACを注入しても、処理性は改善されないこと、および、(2)このような微細なフロックに対して、凝集助剤の注入が効果的と判断されること、の2点が示唆される。また、全体的にフミン酸試料水の除去率は、カオリン試料水の場合よりも低下するので、その除去率向上のためには一層の工夫が必要と考えられる。低温時における凝集性の低下は、水の粘性の上昇および凝集剤そのものの化学的活性度の低下の両方に起因すると考えられる。

### 3. 3 攪拌強度と攪拌時間の変化と凝集性の改善

ここでは、実験条件として、原水濁度50mg/l、PAC注入率は凝集性の低下が起り易い10mg/lに設定し、高温、低温下におけるジャーテストを行った。表3はそれらの結果である。同表を見ると、低温条件では回転数を120から240rpmへの上昇によって2mg/l程度の濁度低下が認められた。また、濁度と同時に、ろ過性アルミニウムは0.34から0.28mg/lと約20%近く減少している。このことから、低温下では、自分自身で沈殿するまでには至らないが、

表2 ジャーテストによるフミン酸試料水の色度除去傾向

水温	ろ過	原水色度4度		原水色度40度	
		PAC 注入率 (mg/l)			
		30	50	30	50
低	前	4.0 (0.0)	4.0 (0.0)	40.0 (0.0)	40.0 (0.0)
	後	3.4 (15.0)	3.1 (22.5)	14.9 (62.8)	11.2 (72.0)
高	前	3.6 (10.0)	3.4 (15.0)	25.6 (36.0)	13.3 (66.8)
	後	2.7 (32.5)	2.9 (27.5)	1.3 (96.8)	1.8 (95.5)

括弧内の数値は除去率 (%)

微細なアルミニウム水酸化物フロックが形成されていることが分かる。一方、高温時においても、低温時と同様の傾向が認められ、濁度は1.5mg/l、ろ過性アルミニウムは0.13から0.11mg/lへと減少した。また、攪拌強度240rpmにおけるG値は、高温時の420に対して低温時には310である。低温時におけるG値の低下は、水温2.4℃においては、粘性が24.3℃の約2倍となったことに依っている。低温下では回転数が同じでも、水の粘性の上昇により凝集に大きく影響することが分かる。攪拌が不十分になることが理解される。

表4および表5は、急速攪拌時間が一定下で緩速攪拌時間を延長させた場合、および緩速攪拌時間が一定下で急速攪拌時間を延長させた場合の処理水濁度の動きを示している。緩速攪拌時間に関しては、低温下で攪拌時間の延長により、処理水濁度は28.2から26.4mg/lへと1.6mg/l、ろ過性アルミニウムも12%程度改善された。

表3 急速攪拌強度の上昇に伴う処理水濁度の改善

低 温 (2.4℃)				
回転数 (rpm)	G 値* (S <sup>-1</sup> )	上澄水濁度 (mg/l)	上澄水 Al 量 (mg/l)	ろ過性 Al 量 (mg/l)
120	110	28.7	0.514	0.348
160	169	27.1	0.501	0.335
200	236	26.7	0.486	0.312
240	310	26.5	0.450	0.283
高 温 (24.3℃)				
120	148	3.3	0.168	0.133
160	228	2.9	0.167	0.130
200	319	2.1	0.146	0.113
240	420	1.8	0.140	0.109

$$\ast G = \sqrt{\frac{\rho \cdot C \cdot a \cdot v^3}{2\mu V}}$$

高温においては、元来、処理性が高いので、濁度で 1mg/l、ろ過性アルミニウムで 3%程度と改善は僅少であった。また、急速攪拌時間を延長した場合には、上澄水濁度は 28.2 から 23.2mg/l と 5.0mg/l、ろ過性アルミニウムは 13%程度改善されており、緩速攪拌時間を延長した場合よりも大きな効果が発現している。高温においても、低温時と同様に、濁度、ろ過性アルミニウムが改善されている。

以上のように、PAC を凝集剤として使用する時には、急速攪拌の強度など、攪拌時間の最適化によって相当程度の凝集改善が計れるものと考えられる。また、低温時には、微少なろ過性アルミニウムが形成されているから、これを凝集助剤ないしフロック形成助剤を用いて粗大化させることが、処理レベルの向上につながるのではないかと考えられる。

#### 4. ま と め

- 1) PAC による濁質の処理性については、水温によって大きく影響される。特に、水温 5℃以下における除去率の低下が著しかった。
- 2) 低温下におけるカオリン濁度の凝集性の低下は、PAC 注入率が低いほど顕著となる。また、上澄水中に残存する粒子数は小さなものほど多く、除去率は微細なものほど低くなることが分かった。
- 3) フミン酸の処理においては、低温下の除去率は 0%であったが、ろ過水の色度除去率は、高色度試料水において 60~70%となっていた。このことから、フロックは自身で沈降できるほどの寸法にまでは成長していなかったものと考えられる。
- 4) 低温・低 PAC 注入率下での処理性を改善するためには、攪拌強度の上昇、攪拌時間の延長を行ったところ、濁度およびろ過性アルミニウムの両方において 10~20%程度改善された。その場合、緩速攪拌時間よりも急速攪拌時間による改善効果が大きくなることが分かった。
- 5) 処理性が低い場合にもいまだ多くのろ過性アルミニウムが残留していることから、凝集助剤、フロック形成助剤の使用が有効と考えられる。今後は、鉄系の凝集剤をも視野に入れて、濁質、フミン質の低温下における処理性の把握と改善方法について検討したいと考えている。

表 4 緩速攪拌時間の延長による処理水濁度の改善

緩速攪拌 時間 (min)	低 温		高 温	
	濁度 (mg/l)	ろ過性 Al (mg/l)	濁度 (mg/l)	ろ過性 Al (mg/l)
10	28.2	0.4145	2.6	0.1046
15	28.4	0.3611	2.1	0.1021
20	26.4	0.3691	1.6	0.1008

表 5 急速攪拌時間の延長による処理水濁度の改善

急速攪拌 時間 (min)	低 温		高 温	
	濁度 (mg/l)	ろ過性 Al (mg/l)	濁度 (mg/l)	ろ過性 Al (mg/l)
5	28.2	0.4145	2.6	0.1046
10	26.1	0.3510	1.4	0.1006
15	23.2	0.3613	1.2	0.0539

#### < 文 献 >

- 1) Juli K. Morris and Willium R. Knocke : Temperature Effects on the Use of Metal-Ion Coagulants for Water Treatment, Jour. AWWA, Vol. 73, No. 3, pp. 74-78, 1984
- 2) Johans Haarhoff and John L. Cleasby : Comparing Aluminum and Iron Coagulants for In-line Filtration of Cold Water, Jour. AWWA, Vol. 77, No. 4, pp. 168-175, 1988
- 3) N. Qureshi and R. H. Malmberg : Reducing Aluminum Residuals in Finished Water, Jour. AWWA, Vol. 77, No. 10, pp. 101-108, 1988
- 4) K. Ebie and J. H. LEE : New Technology for Improving Settled Water Quality by Recycling Activated Sludge in Water Purification, Proceeding of 11<sup>th</sup> IWSA-ASPAC Regional Conference, pp. 153-159, 1998. 11.
- 5) 伴 繁雄、幡野 昭五、小林 高根 : ポリ塩化アルミニウム凝集剤の基礎的研究、水道協会雑誌、第 404 号、pp. 18-29、1968. 5.
- 6) 海老江 邦雄、李 宰昊 : 浄水スラッジ循環法の有効性に関する基礎的研究、水道協会雑誌、第 782 号、pp. 11-20、1999. 11
- 7) 海老江 邦雄、佐藤 秀哉ら : 濁質分離効率の改善を目的としたろ材表面の電位調整に関する基礎的検討、第 50 回全国水道協会発表講演集、pp. 116-117、1999, 5