

濁質などの凝集沈澱効果に及ぼす低水温の影響

Effects of Low Water Temperature in Reducing
Turbidity and Color Contents Through Coagulation and Sedimentation

北見工業大学 フェロー 海老江 邦雄 (Kunio EBIE)
 " ○ 学生員 佐藤 秀哉 (Hideya SATO)
 " 学生員 東 義洋 (Yoshihiro AZUMA)
 " 張 一憲 (Il-hun JANG)

1. ま え が き

積雪寒冷地における浄水処理上の問題点のひとつは、冬期の低水温期に凝集沈澱による処理性が大幅に低下することである。特に、ポリ塩化アルミニウムを使用した場合には、水温低下に伴う処理水質の悪化が著しい。また、処理性改善を目的に凝集剤が過剰に注入される傾向にあり、そのことによってろ過水中のアルミニウム濃度が上昇している。

ここでは、低水温下における凝集特性の解明と処理水水質の改善とを目的に、河川表流水の模擬原水を用いてジャーテストを行った。凝集剤としては、Al系のポリ塩化アルミニウム（以下、PACと称す）と鉄系のポリシリカ鉄（以下、PSIと称す）を用い、水温変動下における上澄水（処理水）とそのろ過水の濁度、色度、アルミニウムおよび鉄の動きについて検討した結果を報告する。

2. 実験条件および方法

実験には、北見工業大学水道水（深井戸水）を用いた。凝集剤としては道内の浄水場で多用されているPAC（ Al_2O_3 含有率10.5%、化学式 $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ 、ここで、 $1 \leq n \leq 5$ 、 $m \leq 10$ ）とその代替凝集剤としてポリシリカ鉄（鉄：シリカのモル比1：3）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、室温・水温とも一定（水温：2.0～20.0℃）に調整した後、濁度成分としてカオリン（低濁度：5mg/L、高濁度：50mg/L）または色度成分としてのフミン酸（低色度：4度、高色度：40度）、およびPACまたはPSIの所定量をそれぞれ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は、急速攪拌120rpm・5分間（G値：112～145s⁻¹、GT値：33600～43500）、緩速攪拌40rpm・10分間（同上：22～28s⁻¹、同上：6600～8400）、静置30分間と設定した。ジャーテスト後、ビーカー内の水面下1～2cmの位置から約100mLの試料水を採取し、pH、濁度、色度、水温、Al、Feの測定を行った。なお、ジャーテスト時のpHとしては次のような最適凝集域を採用した。すなわち、PACを用いた場合には、カオリンに対してpH6.8～7.0、フミン酸に対してpH6.0～6.2、また、PSIを用いた場合には、両成分に対してpH5.5～5.8を採用した。また、ジャーテスト後、一部の試料については、φ0.45μmメンブレンフィルターでろ過を行い、上記の各測定を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 カオリンの凝集沈澱に及ぼす水温の影響

表1に、PACとPSIを用いた場合の水温別の処理水濁度の動きを示した。PACを用いた場合、水温が低下するにつれて、また、凝集剤注入率が減少するにつれて処理水の濁度は急速に悪化している。一例を注入率0.02mmol/Lの低濁試料水で見ると、20℃では濁度1.4mg/Lであるのに対し、20℃以下では濁度4.1～5.6mg/Lとなり、水温が低下するとともに水質は悪化している。高濁試料水の場合には、低濁試料水の場合よりも除去率は高いが、処理水濁度の動きはほぼ類似の傾向を示している。後者で処理性が低かったのは、形成されたフロック中のAl/Tが低く低密となったため、低水温に伴う水の粘性が上昇す

表1 水温による処理水濁度（mg/L）の動き
（原水濁度：5mg/L）

凝集剤	注入率 (mmol/L)	水 温 (℃)					平 均
		2.0	5.0	10.0	15.0	20.0	
PAC	0.020	5.6	5.6	5.4	4.1	1.4	4.4(12)
	0.037	6.2	4.6	2.4	1.1	0.5	3.0(40)
	0.056	4.6	2.4	1.2	0.8	0.4	1.9(60)
	平 均	5.5 (0)	4.2 (16)	3.0 (40)	2.0 (60)	0.8 (84)	3.1(38)
PSI	0.020	0.5	0.5	0.4	0.6	0.7	0.5(90)
	0.037	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3(95)
	0.056	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2(96)
	平 均	0.3 (94)	0.3 (94)	0.3 (94)	0.3 (94)	0.4 (92)	0.3(94)

（原水濁度：50mg/L）

凝集剤	注入率 (mmol/L)	水 温 (℃)					平 均
		2.0	5.0	10.0	15.0	20.0	
PAC	0.020	40.1	33.4	10.8	5.3	3.8	18.7(63)
	0.037	14.8	11.4	4.1	2.1	1.3	6.7(87)
	0.056	6.1	4.4	1.7	0.9	0.8	2.8(94)
	平 均	20.3 (59)	16.4 (67)	5.5 (89)	2.8 (94)	2.0 (96)	9.4(81)
PSI	0.020	1.7	1.6	3.2	2.2	2.4	2.2(96)
	0.037	0.6	0.3	0.7	0.7	0.7	0.6(99)
	0.056	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.3(99)
	平 均	0.8 (98)	0.7 (99)	1.4 (97)	1.1 (98)	1.2 (98)	1.0(98)

括弧内の数値は除去率（%）

るなかで、沈降が良くなかったものと考えられる。また、いずれの試料水においても低水温下の処理性は凝集剤注入率の増加によって改善されているが、20℃の場合に比べると数倍以上の高い濁度となっている。

PSI を用いた場合を見ると、PAC を用いたときとは対照的に、水温低下による処理水濁度への影響は殆んど認

表 2 二元配置法による分散分析

PAC	自由度	原 水 濁 度 (mg/L)			
		5	50	5	50
		変 動		寄 与 率 (%)	
水 温 : T	4	80.4	1692.4	62.9	42.5
注 入 率 : D	2	31.7	1368.6	24.8	34.4
T × D	8	13.9	910.6	10.4	22.8
誤 差 : E	15	1.2	4.3	1.8	0.2
総 変 動	29	127.2	3975.9	100.0	100.0

PSI	自由度	原 水 濁 度 (mg/L)			
		5	50	5	50
		変 動		寄 与 率 (%)	
水 温 : T	4	0.09	1.9	10.9	6.2
注 入 率 : D	2	0.53	21.8	70.7	82.2
T × D	8	0.09	2.0	9.4	6.0
誤 差 : E	15	0.03	0.8	9.0	5.6
総 変 動	29	0.74	26.5	100.0	100.0

寄与率はすべて F 検定において 1% 有意を示す。

められず、いずれの注入率、原水濁度に対してもほぼ一定の処理水濁度となっている。これは鉄が Al よりも約 2 倍重く、さらに、PSI 中に含まれる重合ケイ酸の作用によって大きなフロックが形成されたためと考えられる。

つぎに、処理水濁度に及ぼす各因子の効果を把握するために、表 1 のデータを二元配置法によって分散分析した結果を表 2 に掲げる。その結果、因子の寄与率は、PAC の場合、水温による変動が最も大きく、低濁、高濁の順に 62.9%、42.5% となった。このことから、水温の影響は低濁原水ほど影響は大きくなることが分かる。また、注入率による処理水濁度の変動は 24.8%、34.4% となったことは、原水濁度が高くなると注入率の増加によって処理水が改善されることを示している。

一方、PSI の場合、水温変動の影響は小さく、低濁、高濁に対する寄与率は 10.9%、6.2% となっている。それに比べて、凝集剤注入率による変動が、両者のいずれにおいても 70% 以上と、非常に大きな寄与率となった。このことから、低水温下における濁質の凝集沈澱においては、PSI は水温の影響を殆んど受けないのに対し、PAC は水温の影響を大きく受け、注入率を増加させることによって、ある程度処理性の改善を図りうるということが分かった。

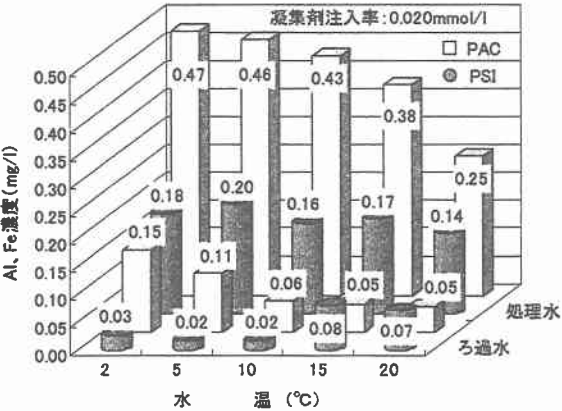
図 1 は一例として凝集剤注入率 0.020mmol/L における処理水およびろ過水中の Al と Fe 濃度をまとめたものである。これらの図において PAC の場合、低水温に向かうにつれてろ過水中の Al 量は増加した。特に、5℃以下で Al 量は急増し、2℃では 20℃における 3 倍となっている。この値は、上澄水中の Al の 3 割程度がろ過水へ流出したことになる。高濁試料水の場合にも同様な傾向となった。しかし、ろ過によって Al 濃度が急減していることから、低水温下ではマイクロフロックが形成されていたことを示唆している。PSI の場合には、濁度除去率が高かったことから、いずれの原水についても水温に関係なく一定の低い処理水 Fe 濃度となった。また、水温が低下してもろ過水中の Fe は注入濃度の 20% 以下となっている。

以上のことから、濁質の凝集沈澱は、PAC を用いた場合に非常に大きく水温の影響を受け、濁度除去率は低下する。また、マイクロフロックは形成されるが沈降性が低下する。さらに、水温が低下するほどろ過水中の Al 量が増加する。それに比べ、PSI の場合には、水温が低下してもこうした影響は殆んどなく、良好な処理水水质を得られることが分かった。

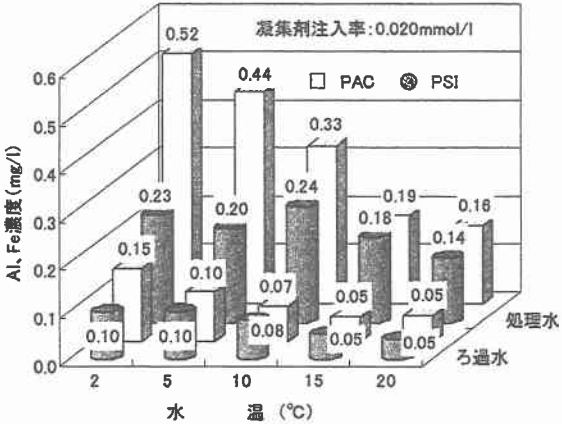
3. 2 ポリマーによる低水温下における凝集性の改善

低水温、特に 2℃で PAC の他に、助剤としてノニオン系高分子凝集剤（以下、ポリマーと称す）を用いた場合について、ジャーテストを行った。PAC と同時にポリマー 0.1mg/L を注入した場合と、急速攪拌終了後にポリマーを注入した場合について、低水温下における濁質の改善効果について検討した。

表 3 に、ポリマーを用いた場合の改善効果を示す。高濁試料水の場合、ポリマーを注入することによって、いずれの条件においても濁度は 1/1.5 になったが、いまだにかなりの濁質が残っている。また、低濁試料水ではポリマー注入による効果は殆んど認められなかった。この



(低濁試料水)



(高濁試料水)

図 1 水温に伴う処理水 Al、Fe 濃度の動き

表3 ポリマー注入による処理水濁度 (mg/L) の動き

原水濁度: 5mg/L	PAC注入率 (mmol/L)		
	0.020	0.037	0.056
ポリマー注入なし	5.6 0	6.2 0	4.6 8.0
急速攪拌時 ポリマー同時注入	5.8(ー) 0	6.2(ー) 0	4.2(1/1.1) 16
急速攪拌後 ポリマー注入	5.1(1/1.1) 0	5.5(1/1.1) 0	2.8(1/1.6) 44.0
原水濁度: 50mg/L	PAC注入率 (mmol/L)		
	0.020	0.037	0.056
ポリマー注入なし	40.1 19.8	14.8 70.4	6.1 87.8
急速攪拌時 ポリマー同時注入	26.7(1/1.5) 46.6	9.1(1/1.6) 81.8	4.0(1/1.5) 92.0
急速攪拌後 ポリマー注入	30.9(1/1.3) 38.2	10.5(1/1.6) 79.0	4.2(1/1.5) 91.6

上段: 処理水、下段: 除去率 (%), 括弧内: 処理水改善率
ように、今回採用した攪拌条件では、濁質処理がいまだ不十分な状況であることから、ポリマーの特性を活かした適切な攪拌強度の選定が必要と考えられる。

3. 3 フミン酸の凝集沈澱に及ぼす水温の影響

図2および図3に高色度試料水を対象にしたジャーテスト結果を掲げる。PACを用いた場合には、20℃では注入率の増加に伴って色度は低下し、0.1mmol/L 以上で色度7度程度で一定となっている。水温が低下しても、0.05mmol/L では色度が処理しきれているが、それ以上の注入率になると色度は次第に上昇している。水温が10℃以下になると、注入率の増加に伴って処理水の色度は上

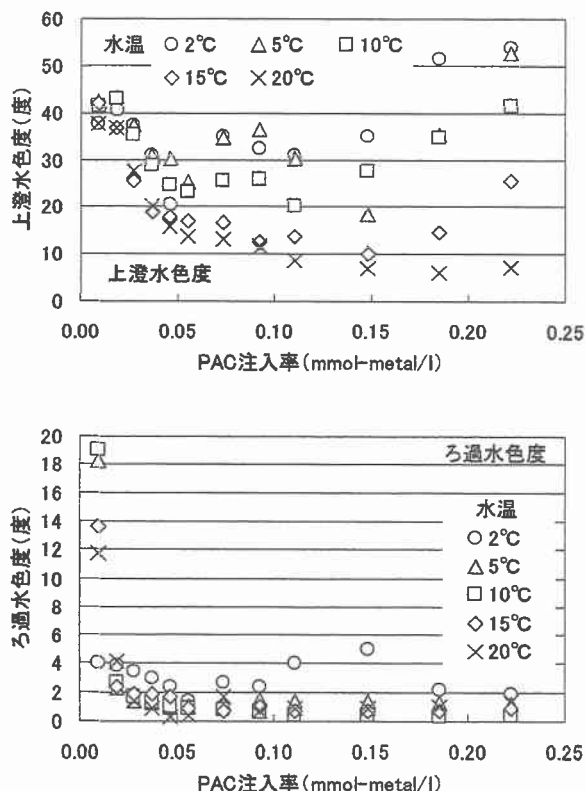


図2 高色度試料水における処理水色度の動き (PAC)

昇する傾向を示した。特に 2℃では、その傾向が顕著になり、凝集剤が過剰注入の場合には原水よりも高い色度となっている。また、20℃で PAC を過剰に注入しても、色度は十分に除去されず、80%程度の除去性しか得られなかった。低水温になると色度は高くなる傾向があったが、ろ過水中には殆んど流出せず、水温に関係なくほぼ一定 (1 度程度) となったことから、処理水中のフロックは、低水温では沈降できるほど大きく成長していないことが分かる。また、2℃で PAC を 0.05mmol/L 以上注入した場合、ろ過水の色度が高くなったのは、Al フロック中に取り込まれなかった溶解性のフミン酸がによるものと考えられる。

PSI を用いた場合、0.1mmol/L までは、注入率の増加に伴い処理水の色度は急速に減少して行き、この注入率を越えたとほぼ 1 度程度の処理水が得られた。PAC を用いた場合とは異なり、水温による影響は殆んど見られない。

図4および図5は、低色度試料水を用いた場合の結果である。PAC 用いた場合、高色度試料水では低水温になると、注入率の増加に伴って色度は高くなったが、低色度試料水の場合には、いずれの水温においても、注入率を増加させると色度が高くなる傾向が認められた。ろ過水色度は低注入率時に若干高いが、0.05mmol/L 以上になると 1 度以下となった。全体として、高色度試料水よりも低色度試料水の処理性は大きく低下し、水温に関係なく色度は原水よりも高い色度くなっている。

PSI を用いた場合、PAC とは対照的に、注入率を増加させると色度は低下していき、水温に関係なくほぼ一定の色度 (2 度程度) と除去率 (50%程度) が得られた。ろ過水の色度はPACと同様な処理性を示した。すなわち、注入率が高くなるほどろ過水の色度が徐々に高くなって

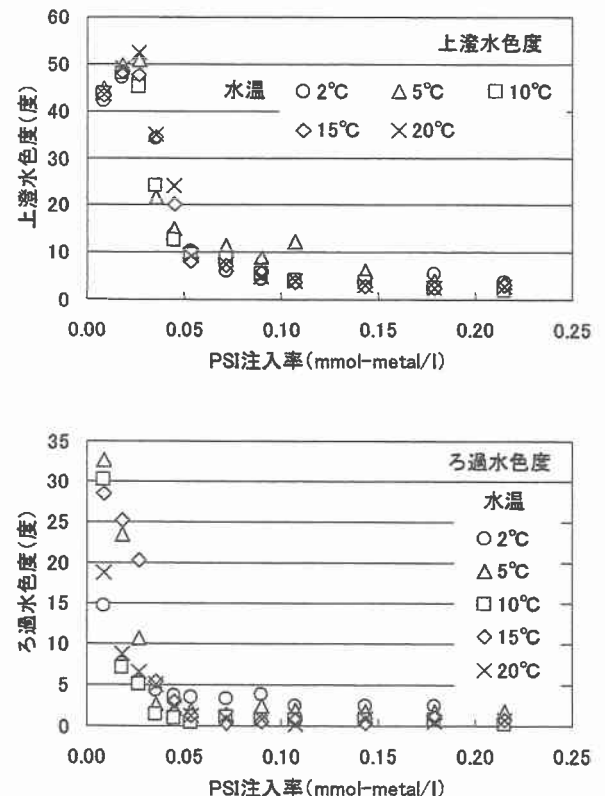


図3 高色度試料水におけるろ過水色度の動き (PSI)

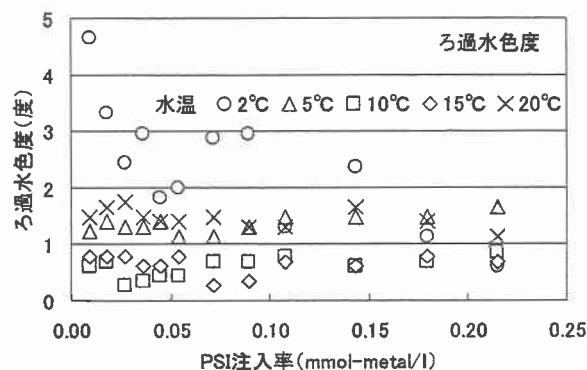
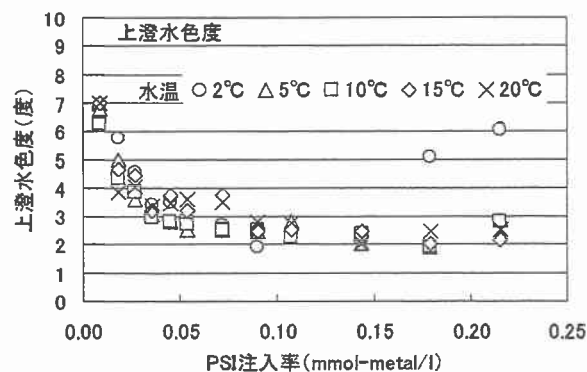
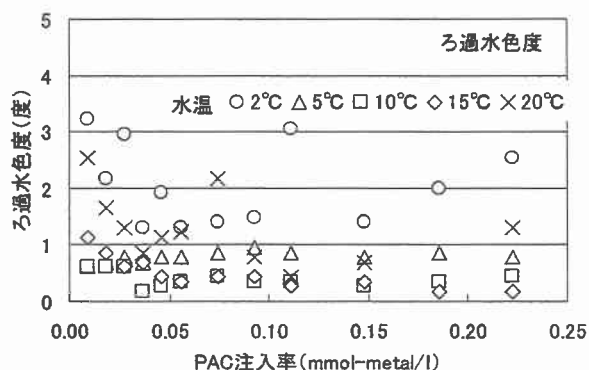
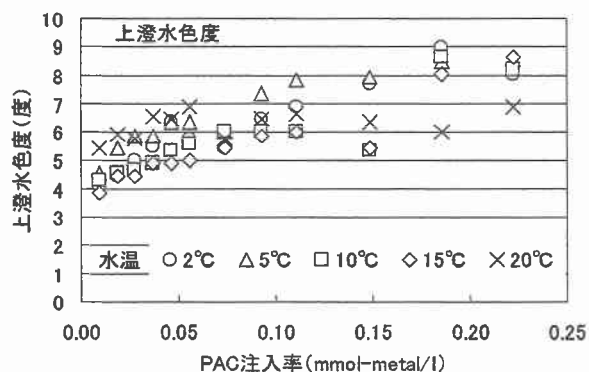


図4 低色度試料水における処理水色度の動き (PAC)
 いる。これは、攪拌が不十分なために流出したものと考えられる。また、2℃における色度は他の水温におけるよりも高い値となった。

以上のことから、フミン酸の凝集では、PACを用いた場合には、水温低下時に、凝集剤を過剰に注入すると、残留色度は高くなることが分かった。PSI の場合には、2℃の場合を除き、水温に左右されずにほぼ一定の処理水水质を得ることができる。

4. ま と め

本研究で得られた知見は以下の通り。

- 1) 濁質の凝集処理に PAC を用いた場合には、水温の影響を大きく受ける。特に、水温 5℃以下で低注入率の場合ほどその影響は顕著に現れた。二元配置法による分析においても、低濁原水になるほど処理性は低下することが分かった。それに比し、PSI を用いた場合には、水温に関係なくほぼ一定の処理水が得られた。
- 2) 上澄水中の Al 濃度はそれに比べ、PAC を用いた場合、水温低下とともに処理性は低下している。ろ過水中の Al 濃度は低かったことから、フロックが十分に成長していなかったことが推測される。
- 3) フミン酸の処理性は、PAC を用いた場合、水温による影響を大きく受ける。低色度試料水では水温が低下すると処理水の色度が上昇した。PSI を用いた場合は、低色度試料水の 2℃における処理水は若干水温の影響を受けるが、それ以上の水温ではほぼ一定の処理水が得られた。
- 4) 今回の実験結果から、低水温下における処理性を改善するには、Al 系から Fe 系の PSI への切り替えが有効であることが分かった。また、水温低下時に PAC を主凝集剤として用いる場合には、有機高分子ポリマーを適切

図5 低色度試料水における処理水色度の動き (PSI)
 な攪拌条件で採用することが必要であると考えられる。

〈 参 考 文 献 〉

- 1) Juli K. Morris and William 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) Johannes 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 11th IWSA-ASPAC Regional Conference, pp.153-159, 1998. 11
- 5) 海老江 邦雄、佐藤 秀哉ら : PAC を用いた濁質の凝集沈殿処理における温度の影響、第 57 回土木学会北海道支部論文報告集、pp.594-597、2000. 2
- 6) 海老江 邦雄、佐藤 秀哉ら : PAC による濁質の凝集沈殿に及ぼす水温の影響、第 51 回全国水道研究発表会講演集、pp.76-77、2000. 5
- 7) 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
- 8) 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