

VII-13

浄水スラッジ循環法に関する基礎的検討

—循環スラッジの性状が処理水質に及ぼす影響—

北見工業大学	フェロー	海老江 邦 雄
〃	学生会員	李 宰 昊
〃	正 会 員	土 井 克 哉
〃	学生会員	玉 川 幸 慎
〃	学生会員	林 田 武 志

1. ま え が き

急速ろ過の前処理で発生するスラッジは、主に原水中の濁質と凝集剤中の Al との混合物である。こうしたスラッジ中の Al は、特に凝集剤の高注入時には、かなりの凝集力を残しており、直接あるいは酸処理して使用すれば、凝集剤注入率の削減および処理水質の改善が計られる。このような基本的考え方に基づく処理法が活性化スラッジ循環法である。海老江らは、実際の浄水場において同法の有効性を検証する前に、PAC-カオリン系フロックを対象に繰返しジャーテストによってフロックの凝集力、スラッジ循環を伴うモデルプラントによってそのメカニズムや処理効果について検討した。その結果、PAC で凝集させたカオリンのスラッジでは、酸処理 pH が 5~6 の領域において活性化スラッジ循環法の効果が認められた。また、濁質とフミン質を含む浄水場スラッジの活性度の検討から、フミン質が多いスラッジほどはより酸性の領域でその効果が大きく現れることが示唆された。そこで、今回は、最初に PAC・フミン酸系スラッジを、その後 PAC・カオリン・フミン酸系スラッジを対象に実験を行ったが、それらの成果について報告したい。

2. ジャーテストによるフロックの再凝集力の検討

活性化スラッジ循環法では、使用するスラッジがどの程度の効果を発揮するかを事前に把握することが重要になる。道東の4浄水場におけるスラッジの活性度指数を表1に示す。一般に、R浄水場の場合で見られるように、低濁、高色度原水の処理には多量の凝集剤が注入され、それに伴って活性度指数は高くなっている。したがって、スラッジ循環法においては、フミン質を含むスラッジを使用するほど高い効果を発揮することが期待される。

表1 浄水場の原水水質、凝集条件およびスラッジの活性度指数 (* 粉末活性炭注入 :3mg/l)

浄水場	原水水質と凝集条件			スラッジ活性度指数	
	濁度 (mg/l)	色度 (度)	PAC 注入率 (mg/l)	pH 6.5	pH 3.0
M*	3.2	5.6	24.3	5.7	67.5
R	3.1	17.4	130.0	5.0	74.7
H	22.0	15.0	35.0	3.1	59.3
A	15.0	22.0	75.0	2.5	57.5

PAC・カオリン系フロックの最適酸処理 pH と再凝集力については既に報告してあるが、ここでは同様の方法によって、PAC によるフミン酸の1成分フロック、および PAC によるフミン酸とカオリンとの2成分フロックを対象に酸処理 pH と再凝集力について検討を行った。

2. 1 実験装置および実験方法

a) PAC・カオリン系フロックの場合

大学水道水にカオリン 50mg/l および PAC7.5mg/l 注入し、全量が 500ml となるように試料を調整した。その試料を対象に、急速攪拌 5分 (120rpm)、緩速攪拌 10分 (40rpm)、沈殿時間 30分の条件でジャーテス

Fundamental Study on Recycling Activated Sludge in the Water Purification : the Impact of Sludge Components on the Settled Water Quality by Kunio EBIE, Jae-Ho LEE, Katsuya DOI, Yukinori TAMAKAWA, and Takeshi HAYASHIDA

トを行った。その後、一旦形成されたフロックを含む試料を 0.2N - HCl で pH4、4.5、5、5.5 または 6.5 に調整した後、試料の pH を 0.2 N - NaOH を用いて最適凝集 pH6.6~6.8 に上昇させて、再び同様の条件でジャーテストを行った。このような方法でフロックの凝集・破壊を繰り返し行い、上澄水の濁度およびアルミニウム濃度を測定することによって、より大きい再凝集力を発揮する最適な酸処理 pH を求めた。

b) PAC・フミン酸系フロックおよび PAC・カオリン・フミン酸系フロックの場合

予め調整しておいたフミン酸溶液を所定の色度(約 25 度)になるように大学水道水に注入した後、PAC45mg/l を注入して、上記の方法でジャーテストを行った。但し、図 1 に示すように、ジャーテストで確認されたフミン質の最適凝集 pH は 5 付近にあったので、フミン酸フロックを含む試料を一旦 pH 3、3.5、4.0、4.5 または 5.0 の酸性側にした後、再び pH5 に調整してジャーテストを繰り返した。また、PAC・カオリン・フミン酸系フロックの場合には、大学水道水にカオリン 50mg/l、フミン酸の所定量(色度約 25 度)を注入して試料を調整した後、PAC22.5mg/l を注入してフミン酸フロックの場合と同様の方法で実験を行った。ここで用いたフミン酸溶液は、試薬用フミン酸(関東化学製)を 60°C、0.2N - NaOH 溶液中で攪拌、溶解させた後、希釈して使用した。なお、フミン酸 4mg/l を含む試料は色度 25~27 度を示した。

2. 2 実験結果と考察

図 2 は、いずれも最適凝集 pH(カオリン単独 : pH6.6~6.8、フミン酸単独 : pH5.0、カオリン+フミン酸 : pH5.5)で行った繰り返しジャーテストにおける回数の増加に伴う上澄水水質の動きを示している。PAC・カオリン系フロックの場合、上澄水濁度と Al 濃度は繰り返し数の増加とともに減少しており、フロックの破壊、再凝集を繰り返すことによって、当初は、十分に凝集しなかったカオリンやアルミニウムが徐々に取り込まれて行く状況が認められる。しかしながら、PAC・フミン酸系フロックの場合には、繰り返し数の増加とともにフロックが次第に劣化して行く傾向が、上澄水色度よりも Al 濃度において明確に認められる。これらのことは、カオリンフロックより比重が小さい色度成分のフロックは水流のせん断力に弱く、劣化し易かったことを示している。また、PAC・カオリン・フミン酸系フロックの場合、フミン酸単独の場合と同様に、ジャーテストの繰り返し数の増加とともにいずれの成分も次第に劣化して行った。このことは、2成分フロックの場合には、カオリンもフミン酸に随伴して劣化が進行することを示している。しかしながら、2成分フロックの場合の劣化程度は、PAC・フミン酸系フロックの場合よりも著しく低く、大きな再凝集力を持っていることが分かった。

つぎに、図 3 はスラッジを酸処理した場合の上澄水色度の結果を示している。フミン酸とカオリンとの 2成分スラッジ

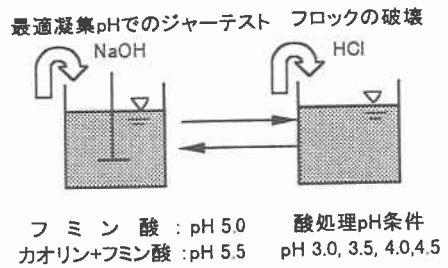


図 1 繰り返しジャーテストの手順

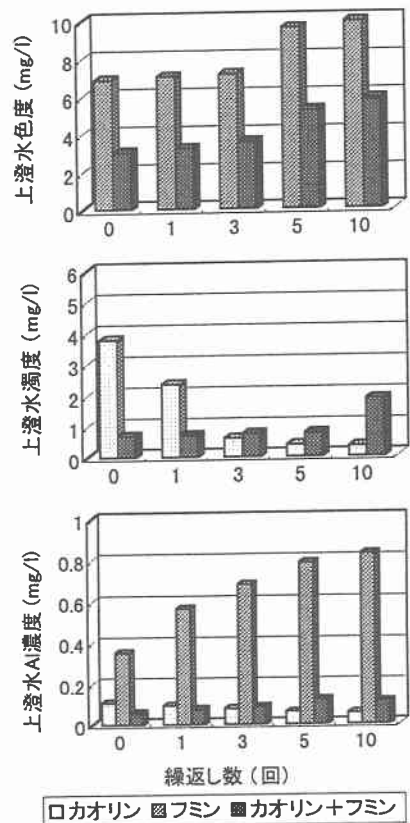


図 2 ジャーテストの繰り返し数と上澄水色度、濁度および Al 濃度の動き(酸処理なし)

における上澄水色度の動きを見ると、酸処理 pH3.0、3.5 では繰返し数の増加に伴って色度は低下しているが、酸処理 pH 4.0 と 4.5 では、徐々にフロクの劣化が起きている。こうしたフロクの劣化は、色度成分の除去に必要な溶解性アルミニウム、すなわち、多価のアルミニウムの欠如に起因していると考えられる。一方、pH3.5 および 3.0 でフロクを処理した場合にフロクの劣化が認められなかったのは、この pH におけるアルミニウムは荷電中和力が最大となる多価のアルミニウムになっていたためと考えられる。

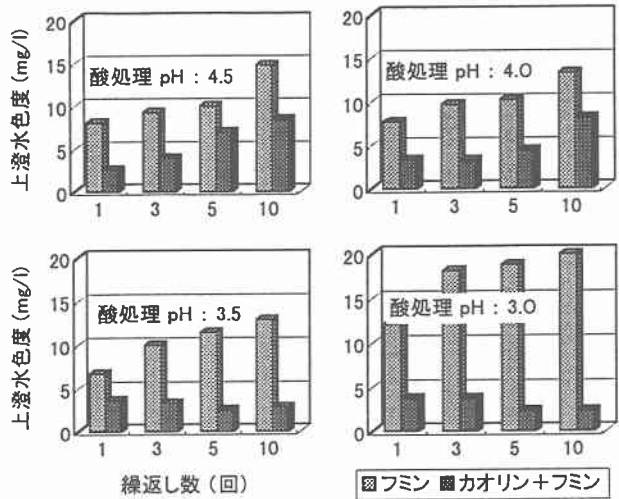


図 3 ジャーテストの繰返し数と上澄水色度の動き

3. モデルプラントによる実験

著者らは、既に PAC・カオリン系スラッジの場合、pH 5 付近で最も高い水質改善効果が得られることを報告しているが、ここでは、図 4 に掲げる連続流のモデルプラントを用いて PAC・フミン酸系スラッジと PAC・フミン酸・カオリン系スラッジの循環による水質改善効果の確認実験を行った。このモデルプラントの運転条件としては、PAC・フミン酸系の場合には、フミン酸 4mg/l (色度約 25~27) を PAC・フミン酸・カオリン系実験の場合には、カオリン 20mg/l およびフミン酸 4mg/l を注入したものを原水とし、処理水量は 3 l/min と設定した。また、急速攪拌槽、2 段のフロク形成槽および傾斜板を組み込んだ上向流式沈殿池の滞留時間はそれぞれ 5.9、37.7 および 53.3 分であった。循環用の各成分スラッジは、予めこのモデルプラントを用いて作った後、それらを完全に沈降させて使用した。新規 PAC の注入率および循環スラッジの注入率は、所定のアルミニウム濃度となるよう設定したが、後述の通りである。

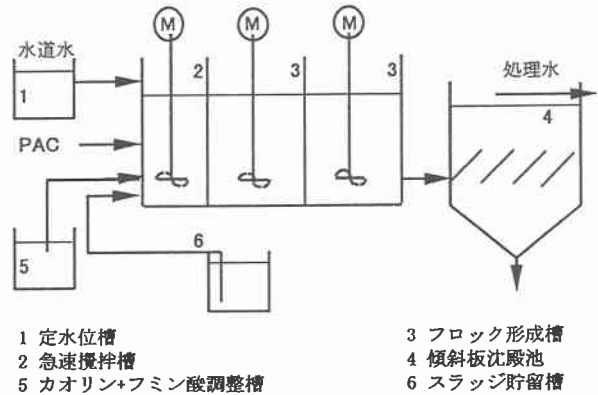


図 4 実験装置のフローシート

3. 1 各種のスラッジと最適酸処理 pH

最初に、凝集剤注入率(新規および循環スラッジからの合計)一定の下で、スラッジの pH が処理水濁度および色度に及ぼす影響を調べた。スラッジの pH3、4、5、6 の 4 条件における処理水色度および濁度の動きを図 5 に示した。また、処理水質が安定となる 2 時間以降における濁度および色度の平均値を表 2 に示している。凝集剤注入率は、カオリンスラッジの場合、新規 PAC 7.5mg/l、循環スラッジに由来する PAC 15mg/l であり、PAC・フミン酸系スラッジと (フミン+カオリン) スラッジの場合には、新規 PAC はそれぞれ 22.5、7.5mg/l および 循環に由来する量は 7.5mg/l となるように設定した。

図 5 のカオリンスラッジの場合には、pH 5 のスラッジを循環させた際に最も高い濁質除去効果が認め

れた。このことは、PAC・カオリン系のスラッジでは、低い pH で酸処理するほどスラッジが再凝集し難い状態になることを意味している。しかしながら、今回行ったフミン酸スラッジを用いた場合には、逆に、スラッジの酸処理 pH がより酸性側の領域で効果が大きく現れている。このことは、フミン質の凝集領域はカオリンの非凝集領域に相当する pH 3.8~5 であるためと考えられ、先のジャーテストでも同様の傾向が認められた。この理由は、カオリンと比べてフミン質の表面積が極めて大きいこと、および、そのためにフミン質を含むスラッジの場合には、有効凝集剤の割合が減少しているためと考えられる。また、PAC・フミン酸・カオリン系のスラッジの場合には、酸処理後のスラッジの循環効果はフミン酸と同様に酸性側で最も大きく認められた。したがって、pH3 では、スラッジ中の A1 が殆ど荷電中和に有効なイオンになっていることが分かった。

3. 2 活性化スラッジの循環と処理水水質

ここでは、パイロットプラントを用いて、最適 pH3.0 で処理された PAC・カオリンフミン酸系スラッジを循環させた場合と循環させない場合の沈殿処理水質の動きを検討した。スラッジ循環のない場合の新規 PAC の注入率は 22.5、15.0、7.5 mg/l の3段階とした。また、スラッジを循環させた場合の新規 PAC 注入率は 7.5 mg/l および循環スラッジに由来する PAC 注入率は 7.5mg/l とした。これらの実験における処理 2 時間以降の濁度、色度およびアルミニウム濃度の平均値を図 6 に示した。まず、処理水色度を見ると、新規 PAC7.5mg/l の場合、スラッジを循環させた方が約 10 度程度改善されている。さらに、新規 PAC 注入率 22.5、と 15mg/l との場合には、循環させた場合に色度が高くなったが、スラッジ循環量を多くすると、すなわち、循環スラッジに由来する PAC 濃度を上げると、循環による改善効果が期待される。また、処理水濁度を見ると、先のジャーテストでも確認されたように、濁質は色度成分に随伴して挙動し、濁度についても同様な改善傾向が認められた。一方、処理水のアルミニウム濃度は、新規 PAC7.5mg/l の場合、スラッジを循環させた場合に最も低い濃度を示した。

以上のことから、酸処理スラッジを循環させると、新規の凝集剤注入率を低く設定しても循環スラッジ中の A1 の作用によって相当高い凝集効果が期待できる。

表 2 2 時間以降における平均処理水濁度および色度 < 水質改善の方向 : → >

平均濁度 (mg/l)

種類	酸処理 pH			
	6	5	4	3
カオリン	2.7	2.7	3.7	4.2
カオリン+フミン酸	7.3	5.9	5.3	4.1

平均色度 (度)

種類	酸処理 pH			
	6	5	4	3
フミン酸	24.1	21.9	21.5	17.4
カオリン+フミン酸	26.6	22.8	20.6	17.8

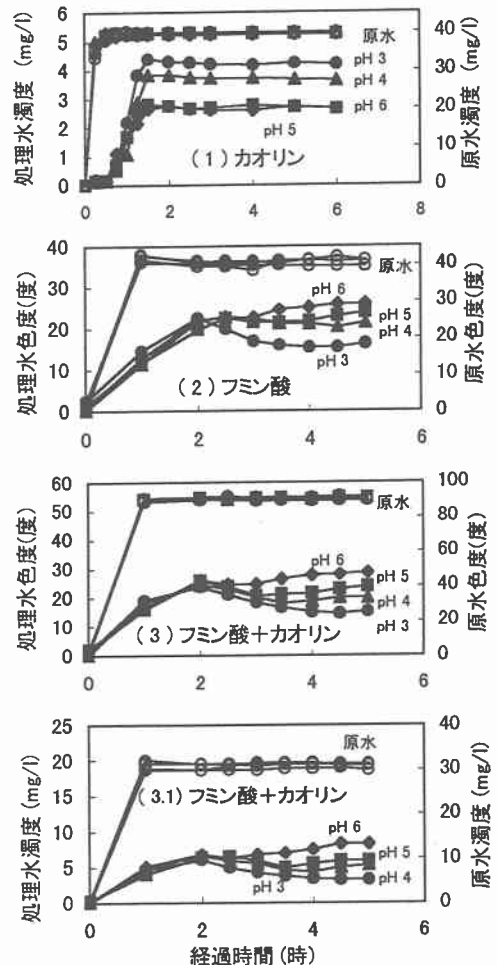


図 5 各種のスラッジと酸処理 pH における処理水水質の経時変化

また、濁度、色度だけでなく、処理水中のアルミニウム濃度の低減化も可能である。したがって、この研究によって、凝集剤注入率の削減、凝集沈殿処理水水質の改善は可能と考えられる。さらに、処理水 Al/T が減少することを考えると、活性化スラッジ循環法の採用は凝集沈殿工程の後段に置けられる砂ろ過および膜ろ過などの効果的運転やスラッジの脱水性の向上などに有効と考えられる。

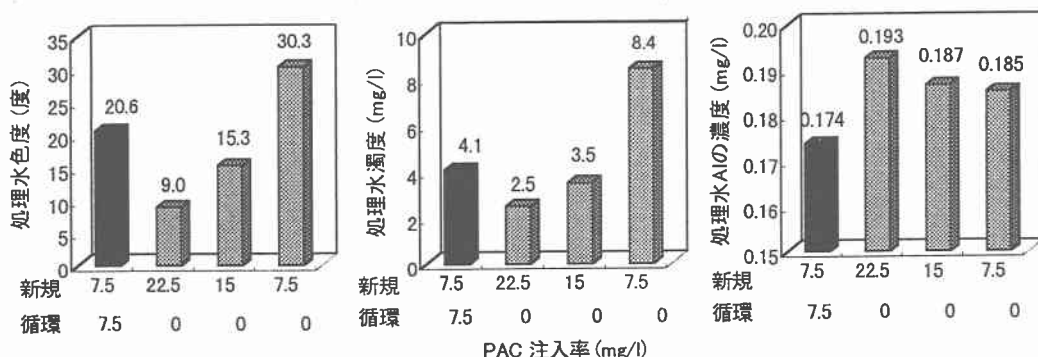


図 6 運転 2 時間以降の色度、濁度および Al 濃度の平均値の動き

4. ま と め

浄水スラッジ循環法に関する今回の一連の実験によって得られた知見は以下のようである。

- 1) フロックの再凝集力を評価するために最適凝集 pH で行った繰返しジャーテストから、PAC・フミン系フロックは、PAC・カオリン系フロックより比重が小さく、水流のせん断力に弱いため、容易に劣化する傾向が認められた。また、PAC・カオリン・フミン酸系フロックは、PAC・フミン系フロックの場合と同様に、ジャーテストの繰返し数の増加とともにいずれの成分も次第に劣化して行った。しかしこの場合の劣化程度は、PAC・フミン系フロックの場合よりも著しく低く、PAC・カオリン・フミン酸系フロックの方が大きな再凝集力を持っていることが分かった。
- 2) スラッジを酸処理した場合、PAC・フミン酸系フロックは、ジャーテスト数の増加に伴って全 pH 領域で大幅にフロックの劣化が認められたが、PAC・カオリン・フミン酸系フロックは、pH3.5 および 3.0 でフロックを処理した場合、フロックの劣化は認められなかった。
- 3) モデルプラントを用いた実験における各種スラッジの循環効果については、PAC・カオリン系スラッジについては、pH5 付近で酸処理した場合に、PAC・フミン酸系スラッジおよび PAC・カオリン・フミン酸系スラッジについては、pH3 付近で酸処理した場合に、最も循環効果が認められた。
- 4) PAC・カオリン・フミン酸系スラッジの場合、スラッジを循環させない 3 段階の PAC 注入率(22.5、15、および 7.5mg/l)の場合と pH3 付近で処理したスラッジを循環させた場合(新規 PAC 7.5mg/l, 循環 PAC 7.5mg/l)のモデルプラントによる 2 時間以降における処理水質を見ると、凝集剤注入率の削減および処理水水質の改善が達成されている。さらに、これらの場合の処理水 Al/T が減少していることを考えると、活性化スラッジ循環法の採用は、後段に配置される砂ろ過や膜ろ過などの効果的運転やスラッジの脱水性の向上などにも有効になると考えられる。

< 文 献 >

- 1) 海老江 邦雄・李 宰昊：浄水汚泥の活性度と循環使用による凝集沈殿処理水質の動き、第 3 回北海道大学衛生工学シンポジウム、pp. 171-176、1997. 11.

- 2) 海老江 邦雄ら：凝集沈殿効果の向上を目的とした活性化スラッジ循環法の基礎的検討、第 48 回全国水道研究発表会講演集、pp. 68-69、1997. 6.
- 3) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法と凝集沈殿水質の改善、土木学会北海道支部論文報告集、第 53 号、pp. 676-679、1997. 2.
- 4) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法による濁質の凝集沈殿に関する検討、土木学会北海道支部論文報告集、第 52 号、pp. 20-23、1996. 2.
- 5) 海老江 邦雄・内田 淳：活性化スラッジ循環法による凝集沈殿効果の向上、第 47 回全国水道研究発表会講演集、pp. 74-75、1996. 5.
- 6) 伴 繁雄ら：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.
- 7) 武田 福隆：水処理における凝集の理論的研究、pp. 1-8、水処理技術、Vol. 8、No. 10、1967. 10.
- 8) 丹保 憲人：水処理における凝集機構の基礎的研究 (I)、水道協会雑誌、第 361 号、pp. 2-12、1964. 10.
- 9) Raymond D. Letterman and Charles T. Driscoll : Survey of Residual Aluminum in Filtered Water. Jour. AWWA, pp. 154-158, 1988. 4.
- 10) Thomas R. Hundt and Charles R. O'Melia : Aluminum-Fulvic Acid Interactions : Mechanisms and Applications. Jour. AWWA, pp. 176-186, 1988. 4.
- 11) Steven K. Dentel and James M. Gossett : Mechanisms of Coagulation With Aluminum Salts. Jour. AWWA, pp. 187-198, 1988. 4.
- 12) Marina C. Koether, John E. Deutschman, and Gary W. vanLoon : Low-Cost Polymeric Aluminum Coagulant. Jour. Environmental Eng., pp. 859-864, 1997. 9.