

ろ過水濁度の低減化における凝集剤注入法の有効性

Effectiveness of Coagulant in Influent Waters
in Reducing Effluent Turbidity from Rapid Sand Filters北見工業大学工学部
同 上
シン技術コンサルフェロー ○ 海老江 邦 雄 (Kunio Ebie)
学 生 員 李 宰 昊 (Jae-Ho Lee)
高 田 善 公 (Yoshitaka Takada)

1. ま え が き

水源水質の悪化や水道水中の原由に起因する感染性下痢症の発生などが契機となって、浄水処理の高効率化を目途とした開発研究が盛んに行われている。浄水処理に多用されている急速ろ過法の濁質分離効率は2～2.5log程度であり、実用レベルで5log程度と言われる膜ろ過法に比べると著しく低い。それゆえ、濁質の分離効率を高めることを目的に、アルミニウム代替凝集剤の開発や凝集助剤としての有機性高分子凝集剤の導入研究、さらに、それらと密接に関わるろ速の高速化、高容量の二層（アンストラ・砂）ろ過、ろ過池の洗浄法などに関する各種の研究が、多方面で実施されている。

著者らは、砂などで構成されるろ層内の濁質分離効率を高めるには、基本的に濁質粒子とろ材の表面電位の改善が重要であると考えている。すなわち、ろ過池流入水に微量の凝集剤を注入して流入濁質粒子の表面電位を調整する凝集剤注入法、およびそうした粒子の分離に直接与かるろ材の表面を凝集剤で被覆調整する凝集剤被覆法が、極めて有用な新技術になりうると判断している。

本論では、北見市広郷浄水場にベンチスケールのろ過実験装置を設置し、水質が低温下で安定な冬期に、2種類の低濁および極低濁原水（①：薬品沈澱池流出水、②：①を粒状活性炭層でろ過した処理水）を用いて、ろ過水濁度の低減化に及ぼす凝集剤注入法の効果を検証するための一連の実験を行った。ここでは、その実験の概要および結果を以下に報告する。

2. 実 験

1) 原水およびその水質

北見市広郷浄水場は、粒状活性炭による吸着処理工程を付加した急速ろ過法の変法（凝集・フロック形成・沈澱・活性炭吸着・砂ろ過・塩素消毒）を採用して、一級河川「常呂川」の表流水を約40,000m³/d処理している。原水水質の最大の特徴は、12月～3月の冬期間、非常に低温・低濁で安定していることである。

表1は、今回の実験期間（平成12年1月と2月）中における原水の平均水質およびその原水に所定量の凝集剤PACを注入（平均29.7mg/L、変動幅25.0～39.0mg/L）したのち実施で急速攪拌・フロック形成・沈澱処理を施した、いわゆる、沈澱処理水の平均水質を示している。上述のように、この時期の原水は低濁であると同時に低温で粘性が高いため、凝集剤注入率は比較的高く設定されているにも拘らず、1月と2月の濁度除去率はそれぞれ

表1 北見広郷浄水場の原水および沈澱処理水の水質

水質項目	原 水		沈澱処理水	
	1 月	2 月	1 月	2 月
水 温 (°C)	0.7 (0.6～1.0)	0.6 (0.5～0.7)	0.6 (0.6～0.8)	0.6 (0.5～0.7)
pH	7.3 (7.0～7.7)	7.2 (7.0～7.5)	6.7 (6.6～7.0)	6.8 (6.6～7.0)
濁 度 (度)	1.6 (0.7～5.1)	1.8 (0.7～5.8)	1.2 (0.6～2.5)	1.3 (0.8～2.5)
色 度 (度)	4.1 (3.1～7.6)	4.1 (3.0～7.3)	2.5 (1.6～3.7)	2.6 (1.9～3.6)
KMnO ₄ (mg/L)	4.9 (4.3～5.6)	4.8 (4.2～5.5)	3.0 (2.7～3.4)	2.9 (2.2～3.3)
アルカリ度 (mg/L)	30.3 (28.0～34.0)	30.1 (27.5～32.0)	24.8 (23.0～28.0)	24.9 (22.0～27.0)

れ25.0%、38.5%、また色度除去率はそれぞれ39.0%、36.6%に止まっている。

2) 実験装置および実験方法

図1は、実験に用いたベンチスケールのろ過装置のレイアウトを示しており、活性炭吸着筒、砂ろ過筒、微粒子アナライザー付きの高感度濁度計などによって構成されている。活性炭吸着筒および砂ろ過筒の仕様、操作条件などについては、表2に掲げた通りである。

今回は、当初の研究目的を達成するために、2種類の原水（実験系列1：沈澱処理水、実験系列2：沈澱処理水をさらに活性炭処理した水）を用いて砂ろ過実験を行った。いずれの原水を用いた場合にも、凝集剤の注入効果を比較できるように、原水をそのままおよびそれに所定量の凝集剤（PAC 2、3、5、7mg/L）を注入した後約5分間の急速攪拌を行った水をろ過する2本のろ過筒を並行運転した。それらの全ての実験で、ろ速は120m/d、ろ過時間は24時間

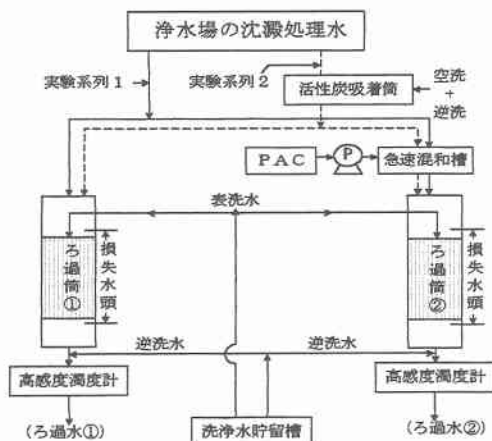


図1 ろ過実験装置のレイアウト

表2 活性炭筒・砂ろ過筒の仕様と操作条件

活性炭筒 (4 筒)	砂ろ過筒 (2 筒)
・塩化ビニール製・円筒 ：φ104×4400mm	・側面・後面はステンレス製、前面は透明アクリル板製：70×70×1300mm
・活性炭：石炭系、有効径1.2mm、均等係数1.3以下	・ろ材：シリカ砂、有効径0.61mm、均等係数1.39
・充填層：厚さ1.5m、空隙率70%	・ろ層：厚さ60cm、空隙率44.3%
・線速度：180m/d、接触時間8.4分	・ろ速：120m/d、接触時間3.2分

に設定した。

いずれの実験においても、原水については、ろ過開始から1時間までは10分間隔で、それ以降は2時間間隔で採水し、卓上型の微粒子アナライザー付きの高感度濁度計（富士電機製、ZYU）を用いて濁度および微粒子数（4種類の径0.5～1.0、1.0～3.0、3.0～7.0、>7.0μmごとの粒子の個数/mL）を測定した。また、ろ過水については、実験装置組み込み型の同種の濁度計を用いて、同一の項目について1回/分の頻度で測定した。ろ過中の損失水頭については、ろ層5cm間隔でろ過開始から終了までガラス管マンオメーターで測定した。なお、活性炭筒、砂ろ過筒の洗浄再生については、運転開始直前にそれぞれ空洗・逆洗併用法、表洗・逆洗併用法で洗浄再生を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 沈澱処理水に凝集剤を注入した場合（実験系列1）

沈澱処理水の砂ろ過で得られた正味の損失水頭を表3に、砂ろ過時の濁度の経時変化を図2～図5、および平均濁度と平均濁度除去率とを表4に掲げた。

最初に、正味の平均損失水頭としては、PACを注入しなかった場合117.7cm（72.2～165.0cm）、PACを注入した場合151.9cm（99.6～199.8cm）が得られた。この実験系列における原水濁度が0.4mg/L程度と低いにもかかわらず損失水頭が大きく発生したのは、当初、実施設の急速攪拌時に注入した凝集剤の残留分が多かったためと考えられる。また、PAC注入に伴って原水濁度は僅かに上昇（注入しない場合：0.403mg/L、注入した場合：0.440mg/L）しているが、正味の損失水頭についても、注入率の上昇とともに増加（注入率2、3、5、7mg/Lの順に27.4、29.8、34.8、45.1cmの上昇、平均34.2cm）した。このような損失水頭の上昇につながった濁質の抑留状況、すなわち、ろ過水濁度の低減化状況を、PAC注入の有無に留意しながら見て行きたい。

初期漏出濁度については、PAC注入の有無に関わらず、前掲のいずれの図においても、20～30分間程度出現している。PAC注入による抑制効果はいずれにおいても

表3 沈澱処理水の砂ろ過に伴う正味の損失水頭（cm）

PAC (mg/L)	PAC注入 しない場合	PAC注入 した場合	増加量 (cm)	増加率 (%)
2	72.2	99.6	27.4	38.0
3	117.0	146.8	29.8	25.5
5	165.0	199.8	34.8	21.1
7	116.4	161.5	45.1	38.7
平均値	117.7	151.9	34.2	29.1

認められるが、必ずしも注入率の上昇に比例して低下しているわけではない。この傾向は、濁度がさらに一桁低い後述する活性炭処理水のろ過においても同様であった。このような傾向となった主な原因は、ろ過開始からの短時間は、十分に注意してもろ層ならびにろ層上の空間に洗浄排水の一部が残留すること、およびろ材表面が未熟であることの両方に起因していると考えられる。したがって、初期漏出濁度をさらに低下させるためには、より入念な洗浄を行った後にろ材の表面電位の改善が主目的である凝集剤被覆法をこの注入法と併用することが有効であろうと考えられる。

初期漏出期が終わった後のPAC注入効果については、いずれの場合にも、長時間にわたりその効果が継続する状況が認められた。その間における原水の濁度変動

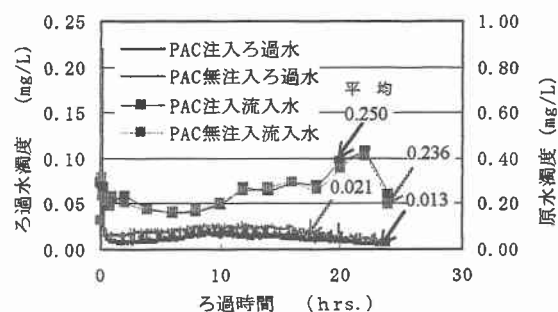


図2 原水・ろ過水濁度の経時変化（PAC 2mg/L）

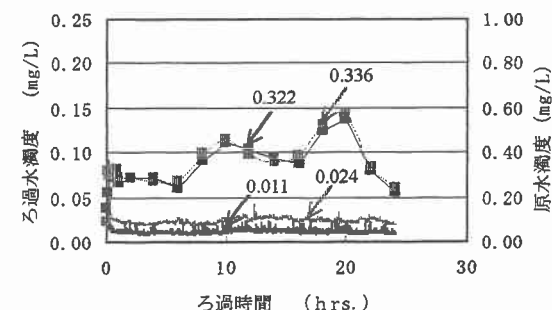


図3 原水・ろ過水濁度の経時変化（PAC 3mg/L）

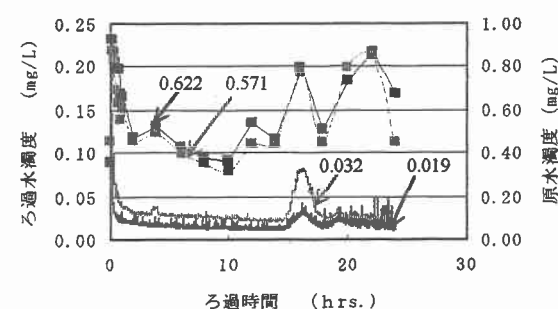


図4 原水・ろ過水濁度の経時変化（PAC 5mg/L）

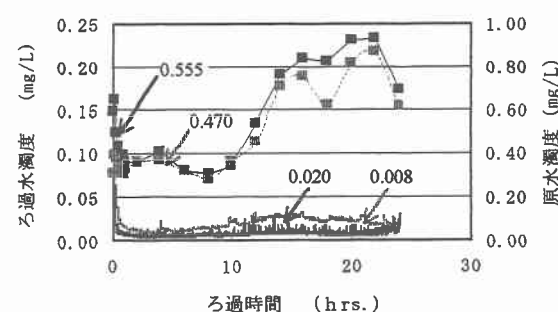


図5 原水・ろ過水濁度の経時変化（PAC 7mg/L）

表4 沈澱処理水の砂ろ過時における濁度 (mg/L) の動き

PAC (mg/L)	PAC注入しない場合			PAC注入した場合			ろ過水濁度の改善率 (%)
	流入濁度	ろ過水濁度	除去率 (%)	流入濁度	ろ過水濁度	除去率 (%)	
2	0.236	0.029	91.1	0.250	0.013	94.8	38.1
3	0.336	0.024	92.9	0.332	0.011	96.7	54.2
5	0.571	0.032	94.4	0.622	0.019	96.9	40.6
7	0.470	0.020	95.7	0.555	0.008	98.6	60.0
平均値	0.403	0.026	93.5	0.440	0.015	96.8	45.8

ろ過水濁度に及ぼす影響は、必ずしも明確に認められる訳ではない。また、PAC 注入率の効果については、注入率が高くなるにつれて濁度の低減効果が大きく出ている。しかしながら、PAC 注入率 5 および 7 mg/L の場合には、ろ過 20 時間辺りからろ過水濁度が徐々に上昇し、終期漏出が始めているようである。こうした終期漏出を抑えるためには、低 PAC 注入率の採用、間欠注入ないしろ過終期における PAC 注入停止などの対応が有効と推測される。

ついで、表 4 を基に、実際の濁度および濁度除去率の動きを見ると、PAC を注入しなかった場合の流入、流出濁度および濁度除去率の平均値はそれぞれ 0.403mg/L、0.026mg/L、93.5%であった。それに比し、PAC を注入した場合には流出濁度と濁度除去率の平均値はそれぞれ 0.015mg/L、96.8%であった。また、濁度除去率は PAC 注入率の上昇に伴って 2 mg/L 注入時の 94.8% から 7 mg/L 注入時の 98.6%へと高まっている。それゆえ、PAC 注入率の上昇に伴う濁度除去率は、全体平均で僅か 3.3%の上昇に過ぎなかったが、ろ過水へ流出した濁質量ベースで計算すると、PAC 注入率 2 mg/L の場合の 38.1%から 7 mg/L 時の 60.0%まで PAC 注入率の上昇とともに大きく改善されており、この方法がろ過水濁度の低減化に有効であることが証明された。

3.2 沈澱処理水を活性炭処理した水に凝集剤を注入した場合 (実験系列 2)

沈澱処理水を活性炭処理した後に砂ろ過した場合の正味の損失水頭を表 5 に、それらのろ過における経時の濁度変化を図 6～図 9 に、さらに、それらに基づいて計算した平均濁度と平均濁度除去率とを表 6 に掲げた。

表 6 で見られるように、砂ろ過筒の平均流入濁度は、PAC を注入しなかった場合には 0.035mg/L、注入した場合には 0.040mg/L と極めて低くなっている。これは、沈澱処理水に含まれていた大部分の濁質が活性炭層で除去されたためである。それゆえ、その後の砂ろ過による損失水頭の発生は少なく、PAC を注入しなかった場合、正味の平均損失水頭は僅か 7.0 cm (2.8～11.5 cm) に過ぎず、沈澱処理水の砂ろ過時で発生した損失水頭の

表 5 活性炭処理水の砂ろ過に伴う正味の損失水頭 (cm)

PAC (mg/L)	PAC注入しない場合	PAC注入した場合	増加量 (cm)	増加率 ($\times 10^2$ %)
2	2.8	15.0	12.2	4.36
3	4.6	31.1	26.5	5.76
5	11.5	71.2	59.7	5.19
7	8.9	75.9	67.0	7.53
平均値	7.0	48.3	41.3	5.90

1/16.8 であった。それに比べ、PAC を注入すると、沈澱処理水の砂ろ過の場合と同様に、注入率に比例してほぼ同程度の損失水頭 (平均上昇量 41.3 cm) が上昇した。

つぎに、図 6～図 9 で原水・ろ過水濁度の経時変化を見ると、濁質の初期漏出については、いずれの場合にも洗浄の影響と考えられる流入濁度の上昇が認められるものの、ろ過水濁度は PAC を注入することによっていずれも大きく抑制されている。したがって、沈澱処理水のろ過時と同様に、ろ過前の洗浄をより十分に行うことに加えて、予めろ材表面の電位調整を図れば、初期漏出はさ

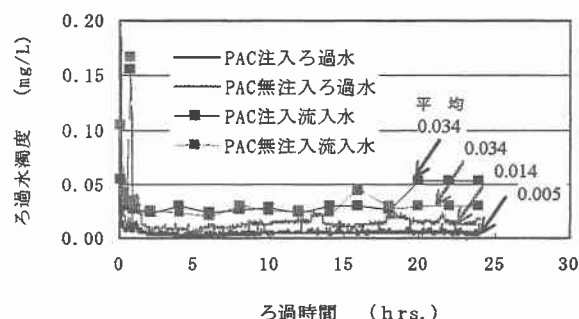


図 6 原水・ろ過水濁度の経時変化 (PAC 2 mg/L)

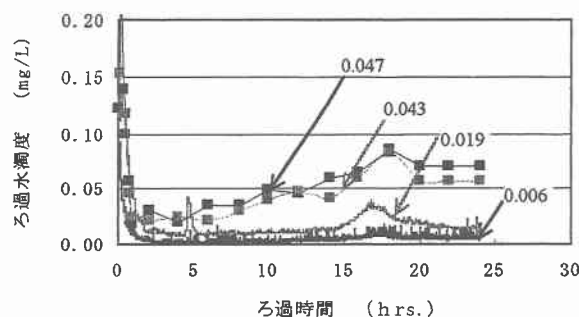


図 7 原水・ろ過水濁度の経時変化 (PAC 3 mg/L)

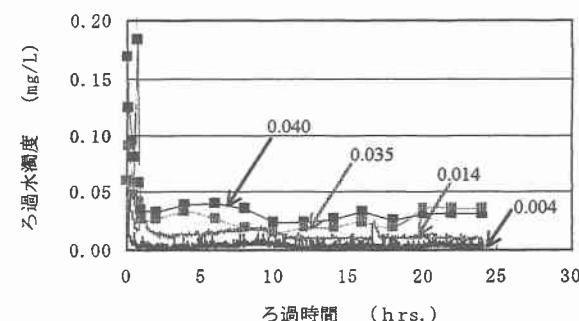


図 8 原水・ろ過水濁度の経時変化 (PAC 5 mg/L)

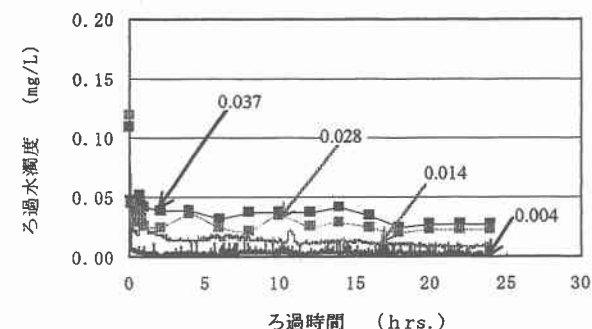


図 9 原水・ろ過水濁度の経時変化 (PAC 7 mg/L)

表6 活性炭処理水の砂ろ過時における濁度 (mg/L) の動き

PAC (mg/L)	PAC注入しない場合			PAC注入した場合			ろ過水濁度 の改善率 (%)
	流入 濁度	ろ過水 濁度	除去率 (%)	流入 濁度	ろ過水 濁度	除去率 (%)	
2	0.034	0.014	58.8	0.034	0.005	85.3	64.3
3	0.043	0.019	55.8	0.047	0.006	87.2	68.4
5	0.035	0.014	60.0	0.040	0.004	90.0	71.4
7	0.028	0.014	50.0	0.037	0.004	89.2	71.4
平均値	0.035	0.015	56.2	0.040	0.005	87.9	66.7

らに大幅に抑制しうるものと考えられる。さらに、ろ過が安定状態に入ったろ過2時間以降には、流入濁度変動の影響がろ過水に及んでいる場合も認められるが、いずれの場合にもPACを注入することによって、ろ過水濁度は低下しており、凝集剤注入法の効果が確認された。

これらの傾向を表6の平均濁度および平均濁度除去率で見ると、PACを注入しなかった場合には、流入濁度0.035mg/Lがろ過によって0.015mg/Lへと低下し、56.2%の平均除去率が達成された。それに比べ、PACを注入した場合には、平均濁度除去率は87.9%へと上昇し、ろ過水は極めて低濁な0.005mg/Lへと改善されている。したがって、流入濁度を基準にした除去率では、PAC注入に伴う平均除去率は大幅な31.7%の上昇となった。また、これをろ過水濁度で比較したPAC注入率による改善率で見ると、この値はPAC注入率の上昇とともに大きくなっており、平均改善率として66.7%が得られた。

これら全体の動きを沈澱処理水の砂ろ過結果と比較してみると、活性炭処理水の砂ろ過における流入濁度がほぼ一桁低かったこともあって、ろ過による濁度の除去率は低かったが、その分、PAC注入によるろ過水濁度の改善率は大きく現れている(45.8%→66.7%)。濁度除去率が低かった理由は、今回のように、凝集沈澱、活性炭処理などの前処理を経た残留濁質ほど、粒径は小さく表面電位が凝集領域から外れているためと考えられる。また、PAC注入に伴う改善率が大きく出た理由は、単位濁質量当たりの注入凝集剤量が多く、電位が大幅に改善されたことに起因すると推測される。

3.3 ろ過水に残留した微粒子の径と個数

表7に、ろ過水濁度が比較的安定になったろ過2～6時間における粒子数の動きを示した。

全体的傾向としては、PAC注入率の上昇に伴う粒子個数の減少は径が小さく個数が多い場合ほど顕著となっている。それに比べ、クリプトスポリジウムと関連する径が大きい粒子については、当初より個数は少ないが、PAC注入による個数の減少、すなわち、平均除去率は小さくなっている。また、今回の実験では砂ろ過層への流入濁度が低かったためか、PAC注入率の上昇に伴う流出粒子個数の減少傾向は明確には認められなかった。径の大きな粒子については、ろ過水が低濁となるほど個数は減少しているが、ゼロにはなっていない。除去率を高めるためには、ろ過層内では径の大きな粒子ほど水流抵抗を強く受けるので、予めより入念な凝集をしておくことが必要と考えられる。いずれにしても、そうした状況を考慮して、より一層の濁度低減化法の開発が必要であろう。

表7 ろ過水中の微粒子数 (個/mL) とその除去率 (%)

原 水	PAC (mg/L)	0.5～1.0 (μ m)	1.0～3.0 (μ m)	3.0～7.0 (μ m)	>7.0 (μ m)
沈 澱 処理水 の ろ過水	0	39,018	538	30	4
	2	平均 { 12,263	{ 146	{ 21	{ 2
	3	15,773 { 15,682	{ 72	{ 8	{ 1
	5	{ 27,879	{ 123	{ 12	{ 1
	7	{ 7,267	{ 78	{ 9	{ 2
平均改善率		59.6	80.5	58.3	62.5
活性炭 処理水 の ろ過水	0	23,773	368	32	3
	2	{ 5,108	{ 43	{ 6	{ 1
	3	{ 3,954	{ 61	{ 5	{ 1
	5	{ 4,301	{ 70	{ 11	{ 1
	7	{ 4,074	{ 59	{ 10	{ 1
平均改善率		81.6	84.2	75.0	66.7

4. あ と が き

本研究で得られた知見は以下の通り。

1) 今回の2種類の低濁原水を対象にした砂ろ過実験から、凝集剤注入がろ過池における高効率の固液分離に極めて有効な方法であることが証明された。

2) 沈澱後水(平均濁度0.403mg/L)の砂ろ過に同法を適用した場合には、PAC注入率2～7mg/Lでは、注入率を高く設定するほどろ過水濁度(平均0.015mg/L)は低下し、平均改善率として45.8%(38.1→60.0%)が得られた。

3) 沈澱処理水を活性炭処理した水(平均濁度0.035mg/L)に同法を適用した場合にも、PAC注入率の上昇とともにろ過水濁度(平均0.005mg/L)は低下し、平均改善率としては、沈澱処理水の場合よりも高い66.7%(64.3→71.4%)が達成された。

4) 濁質の初期漏出の抑制については、凝集剤注入法の効果は発現しているが、完全に抑えることはできなかった。今後は、ろ材表面の凝集剤による被覆調整を主目的とする凝集剤被覆法をも併用して、その効果を検証したいと考えている。

《 文 献 》

1) K. J. Ives, J. Gregory, J. Scott and H. Pugh : Cryptosporidium Parvum, Proc. of 6th World Filtration Conference, pp. 224-231 (1993)

2) 海老江 邦雄・李 宰昊・張 一憲 : 凝集剤被覆ろ過の有効性に関する基礎的研究、水道協会雑誌(投稿中、2000.11.16.)

3) K. O. Cranston and A. Amirtharajar : Improving the initial effluent quality of a dual-media filter by coagulants in backwash, Jour. of AWWA, Vol. 79, pp. 50-63 (1987)

4) 海老江 邦雄・渋谷 真祐 : 直接砂ろ過における初期漏出濁度の抑制に関する研究、水道協会雑誌、第719号、pp. 10-20 (1994)

5) 海老江 邦雄 : 急速ろ過ろ層における抑留濁質の挙動(I) - 懸濁粒子輸送の卓越因子の検討 -、水道協会雑誌、第493号、pp. 25-46 (1975)

6) A. Amirtharajar and D. P. Wetstein : Initial degradation of effluent quality during filtration, Jour. of AWWA, Vol. 72, No. 9, pp. 518-524 (1980)