

低濁水の直接ろ過における粒子分離効率の高効率化

Improving Particle Separation Efficiency
in Direct Filtration of Low Turbidity Source Water

北見工業大学 フェロー 海老江 邦 雄 (Kunio Ebie)
" 学 生 員 ○山 田 直 之 (Naoyuki Yamada)
" 学 生 員 張 一 憲 (Il-Hun Jang)
" 学 生 員 樋 口 真 也 (Shinya Higuchi)

1. ま え が き

水道の蛇口水に起因する感染性原虫の流出事故が契機となって、地下水やbank filtration後の水など、1~2度以下の低濁原水を塩素処理のみで給水している多くの浄水場では、その一つの解決策として直接ろ過法への切り換えを考えている。そのような低濁原水を急速ろ過プロセスで処理する場合、一般化している凝集剤の過剰注入法で対応しても、満足できる処理性を得ることはできない。それと同時に、ろ過池の短時間閉塞、ろ過水へのアルミニウム漏出量の増加など、浄水施設の維持管理上の問題を引き起こすことになる。

本論は、低濁原水の直接ろ過技術を開発することを目的に、凝集剤注入率及び急速攪拌条件(強度:G 値及び時間 T 値)を段階的に変動させた一連の実験を行い、直接ろ過法の基本的な処理特性を把握した後、G 値及び T 値の適正化が凝集剤注入率の低減化、ろ過損失水頭の抑制及び初期漏出期を含むろ過水濁度の改善に極めて有効なことを明らかにしている。

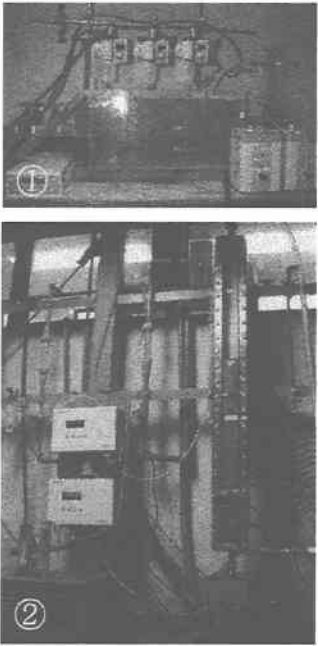
さらに、初期漏出期におけるろ過水濁度の改善を目的として、凝集剤注入率をろ過開始から短時間上昇させること、及びろ過開始から 20 分間 3 段の低速スタートろ過を行って、ろ層上部に薄い熟成層を生成しておくことの有効性を明らかにしている。

2. 実験方法及び実験条件

1) 実験方法および条件

本論では、写真 1 及び図 1 に示す直接ろ過システム採用のベンチスケールのろ過実験装置を使用した。ろ過筒の断面積は約 52cm²、その内部に珪砂を(有効径 0.61mm、

均等係数 1.39、比重 2.60) 厚さ 60cm(空隙率 44.3%)に充填した。ろ過原水としては表 1 の水質を持つ北見工業大学水道水(深井戸水、濁度 0.05~0.03mg/L 程度)に、濁質成分として表 2 に示す粒径分布を持つカオリン 1 mg/L(濁度 1.434mg/L)を注入したものを使用した。PAC 注入率は 1、3、5mg/L、急速攪拌条件としては強度(G)150、450、750s⁻¹、時間(T) 1、5、10 分間を採用した。また、ろ過初期に凝集剤注入率を上昇させる実験では G 値 750s⁻¹、T 値 5 分間を採用し、基本の PAC 注入率は 3mg/L とした。ろ速はいずれの実験においても 120m/d とした。損失水頭についてはガラス管マンメーターを用いてろ層 5cm 間隔で、また、濁度は微粒子アナライザー付き高感度濁度計(富士電機製、Z Y U)で測定した。また、Al 濃度はオキシン法による吸光光度法で定量した。



① 前処理部
② ろ過部及び測定
写真 1 直接ろ過実験装置

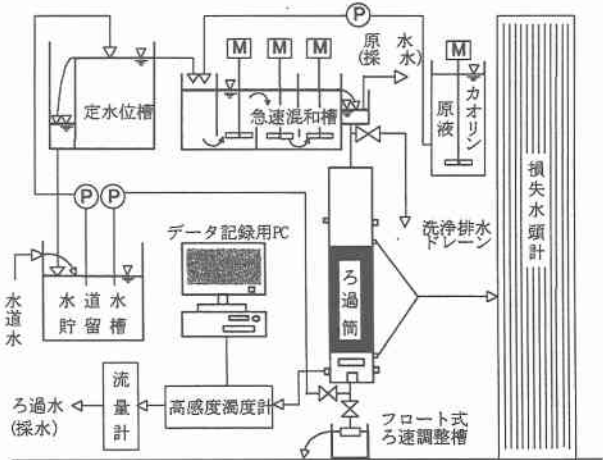


図 1 直接ろ過実験装置

表 1 北見工業大学水道水水質(深井戸水)

項 目	測定値	項 目	測定値
水 温 (℃)	9.5	蒸 発 残 留 物 (mg/L)	231
pH 値 (—)	6.5	塩 素 イ オ ン (mg/L)	16.1
濁 度 (mg/L)	<1.0	KMnO ₄ 消 費 量 (mg/L)	0.5
アルカリ度 (mg/L)	57	全 鉄 (mg/L)	0.15
硬 度 (mg/L)	74.7	マ ン ガ ン (mg/L)	ND

表 2 カオリン 1mg/L 注入時による
ろ過原水中の粒子数(個/mL)とその割合(%)

サイ ズ (μm)	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~7.0	>7.0
個 数 (個/mL)	1, 137, 028	43, 656	5, 621	243
割 合 (%)	95.83	3.68	0.05	0.02

2) 初期漏出時間の決定

低濁原水の直接ろ過では、初期漏出の長時間化など、この時期のろ過水濁度の抑制が重要となる。ろ過開始からのろ過水濁度の経時変化は、図2に掲げるように初期漏出期と清澄安定期から成る。本論では、図2に示す方法によって初期漏出時間を決定した。すなわち、ろ過水濁度ピーク出現後の濁度低下区間の延長線と安定期の延長線との交点Aを求める。次に、点Aにおける交角の2等分線とろ過水濁度曲線との交点を、初期漏出期から安定期への遷移点とした。その遷移点におけるろ過時間を初期漏出時間 t_l 、及びこの時のろ過水濁度を T_u とした。

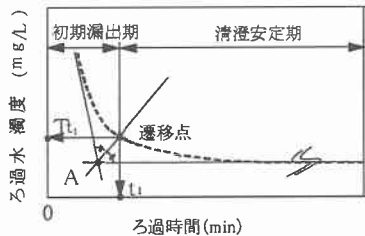


図2 初期漏出時間

3. 結果および考察

3. 1 急速攪拌条件が処理水水質に及ぼす影響

表3は、G値 $150s^{-1}$ 、T値 1min でPAC注入率を順次増加させた場合のろ過水水質及び損失水頭発生量を示している。PAC注入率 $1mg/L$ における安定期(ろ過 12~18時間)の濁度は $0.044mg/L$ と $0.1mg/L$ 以下となっているのに対して、初期漏出期におけるピーク濁度は $0.433mg/L$ と非常に高く、直接ろ過においてはこの初期漏出濁度をいかに抑制するかが重要である。また、PAC注入率の増加に伴い、各項目におけるろ過水濁度及び初期漏出時間は改善されているが、ろ過水 AI は増加し、さらにろ過 18 時間までの損失水頭は、注入率 $1mg/L(5.1cm)$ を基準にすると、 $3mg/L$ では $4.9(25.2cm)$ 、 $5mg/L$ では 8.3 倍($42.1cm$)へと、大幅に増加している。このことは、ろ過による粒子分離効率を向上させるための注入率増加が、損失水頭の上昇を招いていることを意味する。そこで、初期漏出濁度の抑制とろ過時間の延長化とを目的に、急速攪拌条件の最適化について検討した。

表3 従来の攪拌条件における処理性

PAC (mg/L)	初期濁質漏出期		安定期		ろ 過 18 時 間	
	ピーク濁度 (mg/L)	時 間 (min)	濁 度 (mg/L)	濁 度 (mg/L)	AI (mg/L)	損失水頭 (cm)
1	0.433 (-)	192 (-)	0.017 (-)	0.044 (-)	0.0224 (-)	5.1 (-)
3	0.132 (69.5)	121 (37.0)	0.002 (88.2)	0.010 (77.3)	0.0410 (1.8)	25.2 (4.9)
5	0.091 (79.0)	85 (55.7)	0.002 (88.2)	0.006 (86.4)	0.0542 (2.4)	42.1 (8.3)

下段括弧内は、PAC $1mg/L$ を基準とした場合の改善率(%)
なお、AI及び損失水頭の場合は倍率(-)

図3は、G値 $150s^{-1}$ のもとでT値 1、5、10minとした場合のろ過水濁度を示している。同図より、いずれの注入率においても、T値を 1 から5min にすると、ピーク濁度は低下し、初期漏出時間は短くなっている。さらに、T値を5min から10min に上昇させると、ピーク濁度は僅かながら上昇し、初期漏出時間が長くなっている。このことは、攪拌時間が長くなるとフロックは劣化し、ろ過池を通過する粒子が増加することを意味する。また、損失水頭発生量は、T値を 1min から 5min、10min へと

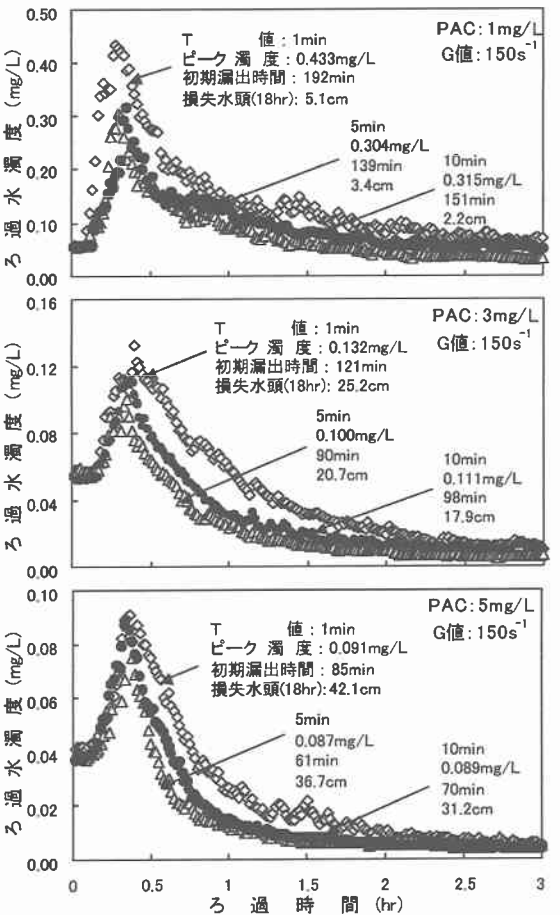


図3 T値に伴うろ過水濁度の動き

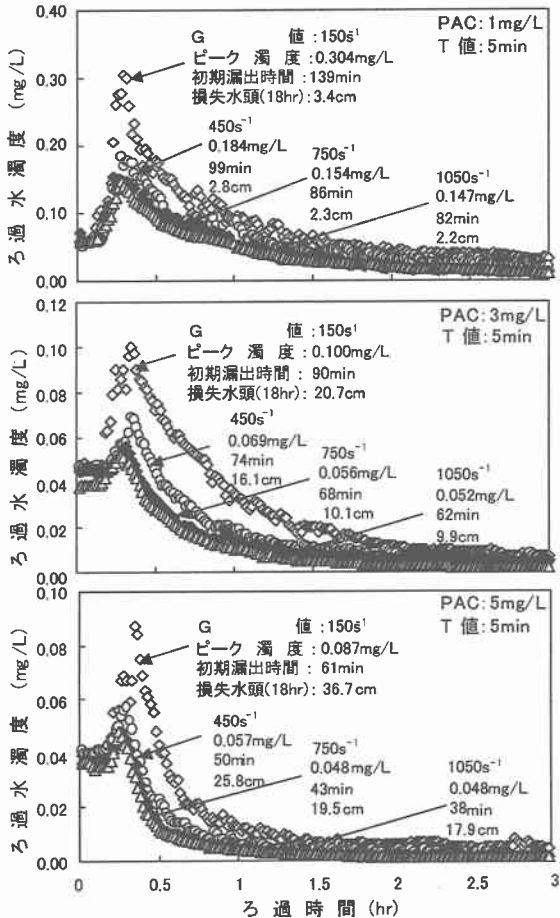


図4 G値に伴うろ過水濁度の動き

長くすることによりいずれの注入率においても低下している。ろ過水濁度及び損失水頭発生量の観点から、T値5minにおける処理性が最適であると判断した。

ついで、G値に関しては、T値を5minに設定して、G値を150、450、750、1050s⁻¹と変動させた。その結果を図4に示す。ろ過水濁度は、清澄期にはG値の上昇に伴う改善は僅かであるが、ろ過初期におけるろ過水濁度、初期漏出時間、ならびにろ過18時間までの損失水頭はいずれも低下している。しかしながら、いずれの注入率の場合にも、G値750s⁻¹から1050s⁻¹に上昇させた場合には、いずれの項目についても殆ど改善は認められなかった。

以上のことから、低濁水の直接ろ過における最適攪拌(G値750s⁻¹、T値5min)及び従来より採用されているG値150s⁻¹、T値1minの条件もとで、凝集剤注入率を変えたる過実験を行った。表4は、これらの実験における処理結果を示している。同表から、初期漏出期におけるピーク濁度及び時間は、いずれの注入率の場合にも改善率50%前後であり、攪拌条件の最適化は初期漏出濁度の抑制に非常に有効であることが明らかとなった。また、ろ過18時間までのろ過水Al及び損失水頭については攪拌条件を最適化することで大幅に改善することができた。さらに、従来の攪拌条件(G値150s⁻¹、T値1min)ではピーク濁度を0.1mg/L以下に抑制するためには、注入率5mg/L必要であったが、攪拌条件を最適化すれば、注入率3mg/Lでピーク濁度を0.1mg/L以下の0.056mg/Lに抑えることができた。このことは、最適攪拌条件の採用により、凝集剤注入量を削減できることを証明している。

表4 最適攪拌条件による処理性改善

PAC (mg/L)	攪拌条件		初期漏出期		安定期				ろ過18時間	
	G値 (s ⁻¹)	T値 (min)	ピーク濁度 (mg/L)	時間 (min)	濁度 (mg/L)	濁度 (mg/L)	Al (mg/L)		損失水頭 (cm)	
1	150	1	0.433	192	0.017	0.044	0.0224		5.1	
	750	1	0.154	86	0.007	0.014	0.0118		2.3	
	改善率 (%)		(64.4)	(55.2)	(58.8)	(68.2)	(47.6)		(54.9)	
3	150	1	0.132	121	0.002	0.010	0.0410		25.2	
	750	1	0.056	68	0.001	0.004	0.0229		10.1	
	改善率 (%)		(57.6)	(43.8)	(50.0)	(60.0)	(44.1)		(59.9)	
5	150	1	0.091	85	0.002	0.006	0.0543		42.1	
	750	1	0.048	43	0.001	0.002	0.0318		19.5	
	改善率 (%)		(47.3)	(49.4)	(50.0)	(66.7)	(41.4)		(53.7)	

3. 2 ろ過初期注入率の上昇による処理性改善

凝集効果を左右する急速攪拌条件について検討した結果、最適攪拌条件はG値750s⁻¹、T値5minであることがわかった。ここでは、初期漏出濁度の改善を目的に、PAC注入率をろ過開始から短時間上昇させることの効果について検討する。

今回用いた実験装置においては、ろ過開始から20分程度経過した後にピーク濁度が現れるため、ろ過開始20分間をPAC注入率上昇時間とした。その結果を図5及び表5に掲げる。また、基本となる注入率としては、安定期における濁度及び損失水頭などから判断し、3mg/Lを採用した。ろ過水濁度の動きを見ると、初期注入率の上昇に伴い、ピーク濁度は低下しているが、いずれの場合にもろ過開始から20分以降は基本注入率3mg/Lとなるため、濁度低下区間の低下勾配は、ほぼ一様である。

初期漏出期におけるピーク濁度は、ろ過初期における注入率の上昇に伴って低下し、ろ過初期20分間の注入率を5、7.5mg/Lと上昇させることにより、改善率は15.5、25.9%となり、10mg/Lまで上昇させた場合には、ピーク濁度は確認できなかった。初期漏出期における濁度、時間及びろ過6時間におけるろ過水濁度は、ピーク濁度と同様に、ろ過初期注入率の増加に伴って改善されている。一方、初期注入率を3mg/Lから10mg/Lまで増加させた場合、ろ過6時間までのろ過水Alは1.9、損失水頭発生量は1.4倍である。

粒子の抑留をろ層の上層部に限定させ、ろ層の薄い上層部を早期に熟成させることがろ過初期における濁質漏

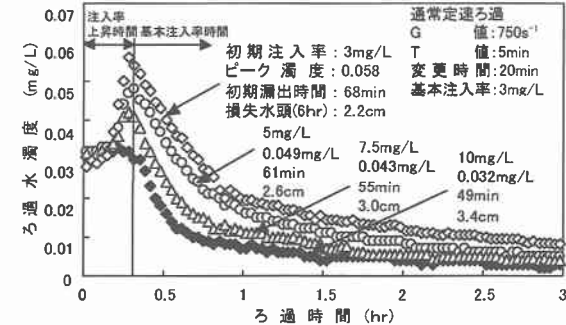


図5 ろ過初期注入率上昇に伴うろ過水濁度

表5 ろ過初期注入率上昇に伴う処理性

初期注入率 (mg/L)	初期漏出期			ろ過6時間		
	ピーク濁度 (mg/L)	濁度 (mg/L)	時間 (min)	濁度 (mg/L)	Al (mg/L)	損失水頭 (cm)
3	0.058 (-)	0.033 (-)	68 (-)	0.013 (-)	0.0229 (-)	2.2 (-)
5	0.049 (15.5)	0.031 (6.1)	61 (10.3)	0.01 (23.1)	0.0311 (1.4)	2.6 (1.2)
7.5	0.043 (25.9)	0.026 (21.2)	55 (19.1)	0.007 (46.2)	0.0361 (1.6)	3.0 (1.4)
10	- (-)	0.022 (33.3)	49 (273.9)	0.005 (61.5)	0.0433 (1.9)	3.4 (1.5)

下段括弧内は、初期注入率3mg/Lを基準とした場合の改善率(%)

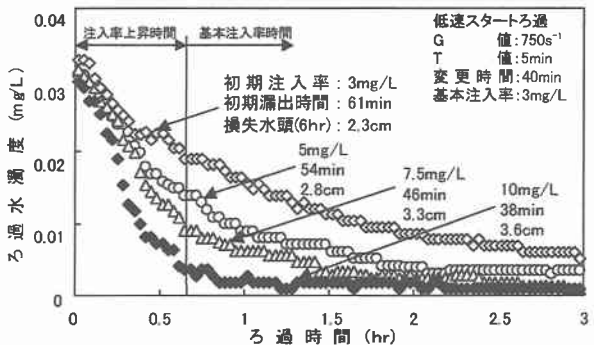


図6 初期注入率上昇と低速スタートろ過

表6 初期注入率上昇と低速スタートろ過

初期注入率 (mg/L)	初期漏出期			ろ過6時間		
	ピーク濁度 (mg/L)	濁度 (mg/L)	時間 (min)	濁度 (mg/L)	Al (mg/L)	損失水頭 (cm)
3	- (-)	0.022 (-)	61 (-)	0.009 (-)	0.0215 (-)	2.3 (-)
5	- (-)	0.019 (13.6)	54 (11.5)	0.006 (33.3)	0.0231 (1.1)	2.8 (1.2)
7.5	- (-)	0.018 (18.2)	46 (24.6)	0.004 (55.6)	0.0251 (1.2)	3.3 (1.4)
10	- (-)	0.015 (31.8)	38 (37.7)	0.003 (66.7)	0.0291 (1.4)	3.6 (1.6)

下段括弧内は、初期注入率3mg/Lを基準とした場合の改善率(%)

出の抑制効果を発揮することは既に報告した。ここでは、初期漏出の更なる改善を目的とし、ろ過初期に PAC 注入率の上昇時間を設けた低速スタートろ過について検討した。その結果を、図 6 及び表 6 に示す。ここで、20 分間 3 段の低速スタートろ過とは、ろ過開始から 20 分間を最終ろ速の 1/3 のろ速(40m/d)、次の 20 分間を最終ろ速の 2/3 (80m/d)のろ速でろ過を行い、その後はろ過終了時間まで最終ろ速(120m/d)で運転するろ過方法である。この方法に従った場合、ろ過開始から 40 分間の低速ろ過期間における処理水は、通常定速ろ過における 20 分相当量となる。そこで、ろ層内への PAC 供給量を同量にするため、注入率の上昇時間をろ過開始より 40 分間とした。

まず、ろ過水濁度の動きを見ると、低速スタートろ過を採用することにより、いずれの注入率においてもろ過開始直後から低下し、ピーク濁度は完全に消失している。また、ろ過初期の注入率を上昇させることにより、通常定速ろ過と同様に初期漏出濁度、時間及びろ過 6 時間における濁度を改善することができた。

図 7 及び表 7 で、通常定速ろ過と低速スタートろ過の基本注入率時間における処理性を示している。ここでは、通常定速ろ過と低速スタートろ過とを比較するために、基本注入率時間を注入率変更時間より 5 時間とした。ろ過水濁度の動きについて見ると、いずれの注入率においても、低速スタートろ過を採用することにより、注入率変更時(ろ過開始より 40min)の濁度は大幅に改善され、初期注入率 10mg/L では、注入率変更時の除去率が 99.9%と非常に高くなっている。注入率変更時の濁度は、注入率 5 で 68.9%(0.045mg/L→0.014mg/L)、7.5 で 76.3%(同 0.045→0.014)、10mg/L で 86.7%(同 0.030→0.004)の大幅な改善を確認することができた。また、低速スタート法を採用することにより、いずれの注入率においても基本注入率時間におけるろ過水濁度及びろ過

水 Al は大きく改善されている。

以上の結果、低濁水の直接ろ過では、処理性が悪くなるろ過初期において、注入率上昇時間を設けることがろ過初期及び安定期におけるろ過水濁度の改善に効果的であり、さらに、低速スタートろ過と併用することで、ろ過初期におけるろ過水濁度を著しく改善させうる。また、基本注入率時間における処理性にも大きく影響することがわかった。

4. ま と め

低濁原水を対象に、初期濁質漏出及び損失水頭発生量の抑制を目的に直接ろ過実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 初期漏出期のピーク濁度と時間、及び損失水頭の発生量に、急速攪拌 G 値及び T 値が大きく影響を及ぼす。
- 2) 攪拌条件を最適化することにより、従来よりも少ない凝集剤注入率 3mg/L で良好な処理を達成できた。また、損失水頭発生量を大幅に抑制できることから、ろ過継続時間を延長させることができることを示した。
- 3) 処理性が悪化するろ過初期に注入率を上昇させることによって、僅かな損失水頭発生量で、初期漏出期におけるピーク濁度、ならびに安定期における濁度を改善できることが明らかとなった。
- 4) 低速スタートろ過においても、ろ過初期に注入率を上昇させて、ろ層上部に薄い熟成層を形成しておくことにより、注入率変更時から 0.003mg/L 程度の極めて清澄なる過水を生産することが可能であることを示した。

5. あとがき

一連の実験に協力いただいた北見工業大学工学部土木開発工学科上下水道工学研究室の輪島秀則技官及び学生各位に心から感謝する。

【 文 献 】

1) 海老江 邦雄・李 富生・湯 浅 晶：改良ジャーテスト法による天然有機着色成分の直接ろ過性の評価、環境工学研究論文集、第 32 巻、pp.9～18、1995

2) 海老江 邦雄・東 義洋・浅 香 博則、山 木 暁、萩 下 隆：凝集処理における攪拌条件の最適化に関する基礎的検討、第 52 回全国水道研究発表会講演集、pp.96～97、2001.5

3) 海老江 邦雄・東 義洋・山 木 暁・李 宰昊：凝集沈殿処理に及ぼす急速攪拌条件の基礎的検討、平成 13 年度全国土木学会第 56 回年次学術講演集、土木学会 CD-ROM、VII-232、2001.10

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 63 巻、第 8 号(第 719 号)、pp.10～20、(1994.8.) 1) 角 田 省 吾・青 柳 由 重：直接凝集ろ過法に関する実験的研究、水道協会雑誌、第 486 号、pp.2～10、1975

5) 丹 保 憲 仁：水処理における凝集機構の基礎的研究(Ⅲ)、硫酸アルミニウムによる粘土系濁質の凝集、水道協会雑誌、365 号、pp.25～37、1965.2

6) 松 井 佳 彦・小 川 和 延、丹 保 憲 仁：PDA と微粒子カウンターを用いた最適急速攪拌条件に関する研究、水道協会雑誌、715 号、pp.42～50、1994.4

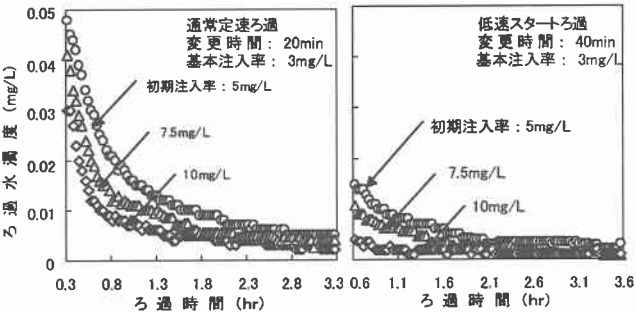


図 7 基本注入率時間におけるろ過水濁度

表 7 低速スタートろ過による処理性改善

初期注入率 (mg/L)	ろ 過 方 法	基 本 注 入 率 時 間			
		変更時濁度 (mg/L)	濁度 (mg/L)	Al (mg/L)	損失水頭 (cm)
5	通常定速ろ過	0.045	0.009	0.0326	2.3
	低速スタートろ過	0.014	0.004	0.0243	2.5
	改善率 (%)	(68.9)	(55.5)	(47.6)	(1.04)
7.5	通常定速ろ過	0.038	0.006	0.0379	2.7
	低速スタートろ過	0.009	0.002	0.0264	3.0
	改善率 (%)	(76.3)	(66.7)	(44.1)	(1.07)
10	通常定速ろ過	0.030	0.004	0.0454	2.9
	低速スタートろ過	0.004	0.001	0.0306	3.2
	改善率 (%)	(86.7)	(75.0)	(41.4)	(1.03)