

II-3

減速ろ過における濁質の除去挙動に関する検討

北見工業大学 正 員 海老江 邦 雄  
 // 学生員 土 井 克 哉  
 // 学生員 安 藤 丈 弘  
 // 学生員 内 田 淳

1. ま え が き

減速ろ過法についてはBaylis<sup>1)</sup>が最初の報告を行っている。この方法では流出弁開度を一定に保ってろ過が行われるので、ろ層閉塞とともにろ速が徐々に低下し、Cleasbyら<sup>2)・4)</sup>によっても指摘されているように、ろ過水質の改善効果があると考えられている。

著者ら<sup>5)・7)</sup>は、これまでに凝集剤の注入率やろ材径を変えた定速ろ過と減速ろ過に関する実験(ろ過開始時のろ速を同一に設定した18時間ろ過)を行い、損失水頭、ろ過水濁度、濁質の抑留量分布、阻止率などについて比較検討してきた。

本論では、既報と同一のろ材径と凝集剤注入率の下において、総ろ過水量を減速ろ過と等しく設定した定速ろ過の実験を新たに加え、損失水頭、ろ過水質の改善、ろ層内における濁質抑留状況などの観点から、減速ろ過の有効性について検討した結果を報告したい。

2. 実 験

2-1 実験装置の概要

図1は本実験に用いた直接ろ過装置である。同装置は(1) 原水調整部、(2) ろ過・洗浄部、(3) 損失水頭測定部、(4) 採水制御部などからなり、流入側水位一定の重力式ろ過を採用している。

2-2 実験方法

ろ過筒内に表1に掲げる珪砂(大、中、小砂)を空隙率44.3%で60cm厚に充填して成層化し、所定のろ速に調節してろ過を開始した。その際のろ過原水は、本学水道水にカオリンを20mg/l、凝集剤としてPACを7.5 または15mg/l注入した後、急速混和したものである。なお、ろ過開始時のろ速については、定速ろ過ではろ速調整槽のピーコックによって、また、減速ろ過ではろ過筒下部のバルブによって調節した。減速ろ過のろ速については、自動採水機による1分間採水量に基づいて算出した。ろ過終了後、ろ層内の抑留濁質を乱さないよう注意しながらろ過筒内の水抜きを慎重に

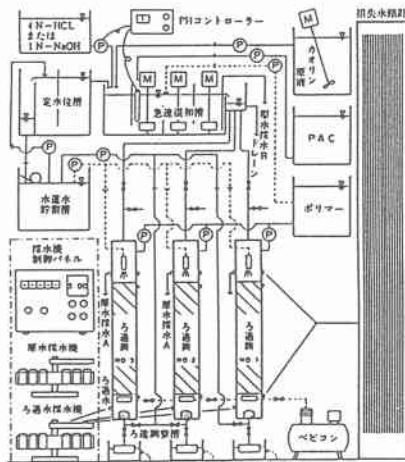


図1 直接ろ過装置

表1 ろ材の特性

	有効径 (mm)	均等係数	比重
大砂	0.94	1.39	2.62
中砂	0.71	1.41	2.65
小砂	0.61	1.39	2.62

表2 ろ層表面の採砂位置

No	ろ層深さ (cm)	No	ろ層深さ (cm)
1	0~1	8	14~15
2	1~2	9	20~21
3	2~3	10	25~26
4	3~4	11	30~31
5	4~5	12	35~36
6	7~8	13	45~46
7	10~11	14	55~56

Behavior of Kaolin Particles Coagulated with PACl in Declining-Rate Filtration  
 by Kunio EBIE, Katsuya DOI, Takehiro ANDO and Jun UCHIDA

行い、表2に示す層内の所定の位置から厚さ1cmのろ材を採取した。ろ材に付着している濁質についてはジャーテスターを用いて清浄水を入れたビーカーの中で剥離させ、懸濁水の濁度を測定することによってろ層内の抑留濁質量を定量した。

### 2-3 定速ろ過の(A)と(B)

本論では、ろ速240m/dの定速ろ過を定速(A)、図2に掲げる減速ろ過のろ速<sup>8)</sup>の経時変化から算出した平均ろ速(表3参照)で定速ろ過したものを定速(B)とする。したがって、ろ過開始時のろ速は、定速(A)と減速ろ過においては240m/d、定速(B)においては表3に示す値を採用した。

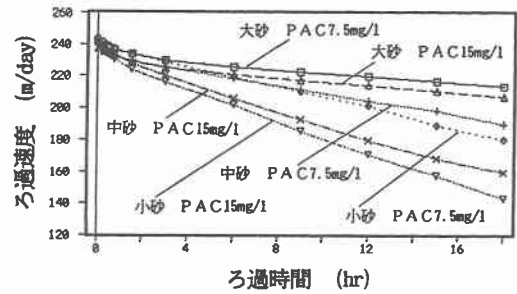


図2 減速ろ過におけるろ速の経時変化

表3 減速ろ過における18時間平均ろ速 (m/d)

PAC 注入率 (mg/l)	使用 砂		
	大 砂	中 砂	小 砂
7.5	223.20	211.55	209.70
15	217.89	194.05	186.46

## 3. 実験結果と考察

### 3-1 損失水頭の経時変化

図3は中砂における損失水頭の経時変化を示している。定速(A)と減速ろ過とを比較すると、ろ過開始から3時間までは両者の差は殆ど見られないが、ろ過時間とともにその差は大きくなり、ろ過終了時には減速ろ過の方が22.9~37.3cm小さくなった。一方、定速(B)と減速ろ過とを比較すると、ろ過開始時の定速(B)の損失水頭は定速(A)および減速ろ過の損失水頭よりも小さい。これは、定速(B)のろ過開始時におけるろ速が小さかったためである。その後、PAC 7.5、15mg/lでそれぞれろ過約10、12時間頃から減速ろ過の方が小さくなり、ろ過終了時での両者の差は3.6~19.8cmとなった。これは、定速ろ過ではろ速が終始一定であったのに対し、減速ろ過では時間の経過とともにろ速が徐々に低下したためと考えられる。

### 3-2 ろ過水濁度への影響

図4は中砂のろ過水濁度の動きを示している。PAC 7.5mg/lの場合、減速ろ過の平均ろ過水濁度は定速(A)、(B)よりそれぞれ0.71、0.22mg/l(76.3、50.0%)低下した。一方、PAC 15mg/lの場合には、ろ過30分から3時間までは0.05~0.19mg/lと非常に低かったが、減速ろ過の方が定速ろ過(A)、(B)よりも平均で0.03~0.12mg/l高かった。それ以後はいずれにおいても濁質の終期漏出が発生しているが、その上昇勾配は減速ろ過で最も小さく、定速(A)、(B)よりそれぞれ0.21、0.05 mg/l・hr(2.6、1.3倍)抑制されていた。18時間平均でも1.31、0.29mg/l(59.0、24.2%)低下しており、減速ろ過の水質改善効果が顕著に現れている。また、表4の大砂、小砂も含めた18時間平均のろ過水濁度でも、減速ろ過が定速(A)、(B)に対してそれぞれ平均で0.71、0.19mg/l(42.3、16.4%)低濁となっている。

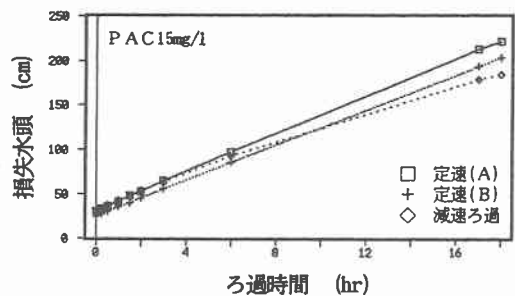
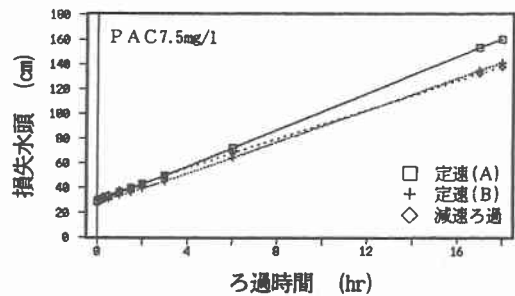


図3 損失水頭の経時変化(中砂)

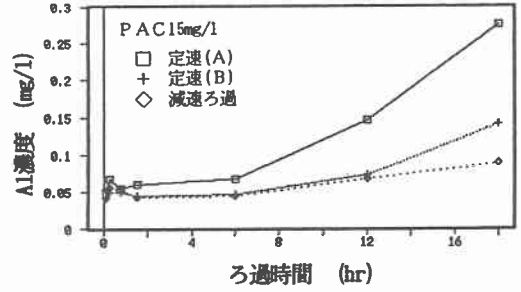
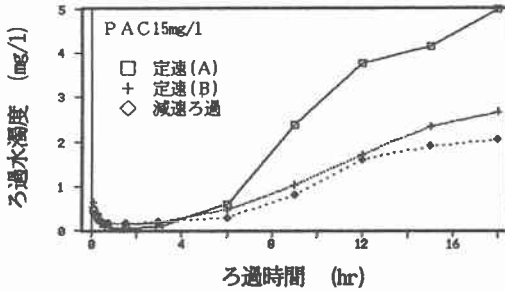
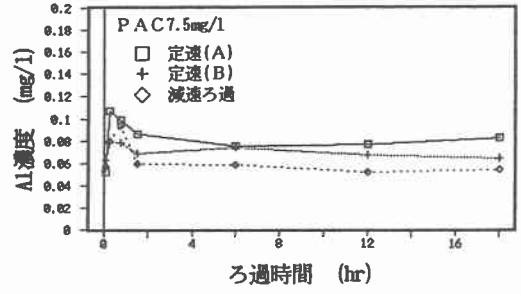
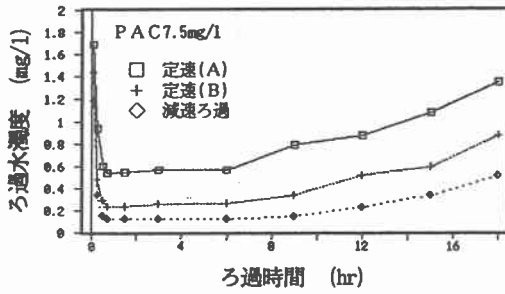


図4 ろ過水濁度の経時変化(中砂)

図5 ろ過水Al濃度の経時変化(中砂)

3-3 ろ過水Al濃度の動き

図5に中砂におけるろ過水Al濃度<sup>9)・10)</sup>の経時変化を示す。ろ過15~45分間にいずれのろ過においてもピークが見られるが、その後はPAC 7.5mg/lではろ過終了まで、PAC 15mg/lではろ過6時間までおおむね一定の値を示し、定速(A)、(B)よりも減速ろ過の方が僅か(0.002 ~ 0.029 mg/l)であるが、低い値となった。またPAC 15mg/lの場合には、いずれも6時間以降にAl濃度が上昇しているが、その勾配は定速(A)、(B)よりも減速ろ過の方が平均して0.013、0.004 mg/l・hr (4.6、2.1倍)抑制されている。さらに、18時間平均の原水およびろ過水のAl濃度を示す表5をもとに、原水に対する除去率を算出すると、定速(A)、(B)よりも減速ろ過の方が1.0~9.7%大きくなっている。また、ろ過水Al濃度の比較では、減速ろ過が定速(A)、(B)よりもそれぞれ平均で0.038、0.013 mg/l (35.2、15.7%)低下している。このように、減速ろ過の採用によってろ過水中のAl濃度も大幅に低下させることが可能となる。

表4 18時間平均ろ過水濁度 (単位: mg/l)

PAC 注入率 (mg/l)	使用砂	ろ 過 方 法		
		定速(A)	定速(B)	減速ろ過
7.5	大砂	1.55	1.31	1.20
	中砂	0.93	0.44	0.22
	小砂	0.60	0.13	0.09
15	大砂	3.39	3.07	2.83
	中砂	2.22	1.20	0.91
	小砂	1.32	0.77	0.54

表5 18時間平均Al濃度

PAC 注入率 (mg/l)	使用砂	原水 Al濃度 (mg/l)	ろ 過 水 Al 濃 度 (mg/l)		
			定速(A)	定速(B)	減速ろ過
7.5	大砂	0.349	0.124	0.105	0.090
	中砂	0.351	0.080	0.069	0.057
	小砂	0.359	0.066	0.057	0.049
15	大砂	0.756	0.159	0.147	0.139
	中砂	0.766	0.131	0.071	0.058
	小砂	0.771	0.089	0.050	0.027

3-4 ろ過水質に及ぼす各因子の寄与率

PAC注入率(P、2水準)、ろ過法(F、3水準)およびろ材(M、3水準)を主因子とする三元配置法によって、ろ過の経過に伴う各時間におけるろ過水濁度とAl濃度の分散分析を行い、各因子の寄与率を算出した。その結果

を図6に示す。

(1) ろ過水濁度……ろ過開始直後にはPAC注入率とろ材の寄与率がそれぞれ40%前後を占めていたが、ろ材は30分～3時間の間に最小の21.1%まで低下した。それに対し、ろ過法の寄与率が開始直後の5.1%から最大で15.2%、また、2因子相互作用である(P×F)の寄与率は15分～3時間の間で出現し、最大で23.1%となった。さらに、PAC注入率については6時間、ろ材が3時間以降で寄与率が増加し、前者は12時間、後者は6時間でピーク(それぞれ55.4、40.6%)に達し、ろ過終了時まで前者は31.0～40.6%、後者は41.6～55.4%と比較的高い寄与率を占めている。

(2) A1濃度……ろ材の寄与率はろ過開始直後65%前後、45分後に極小(53.2%)、その後6時間でピーク(84.1%)に達した後は単調に減少しているが、A1濃度の変動に関する卓越因子であることは変わらない。PAC注入率については、45分後にピーク(32.3%)に達したが、6時間で極小(5.2%)となった後、再び単調に増加している。他方、ろ過法については、6時間までは2.1～7.7%と低かったが、6時間以降はPAC注入率の場合と同等に漸増の傾向を示した。ろ過終了時には、PAC注入率とろ過法の寄与率(それぞれ32.4、26.0%)がろ材の寄与率(21.5%)を上回る結果となった。

### 3-5 ろ過水中のフロック径の動き

図7は中砂を用いたろ過におけるろ過水中のフロック径<sup>11)</sup>の測定結果(粒子数: 270個前後)を示している。PAC注入率7.5、15mg/lのいずれにおいても、2μm以下では定速ろ過(A)、(B)、それ以上の径では減速ろ過の方が相対度数が幾分大きく、平均径でも減速ろ過において0.15～0.20μm大きくなった。しかし、当初の予測と異なり、これらの間に有意な差は認められなかった。ただし、PAC15mg/lの場合には、経時のろ過水濁度に大きな差が出たため、平均フロック径は低濁時には小さく、高濁時には若干大きくなる傾向を示した。

### 3-6 濁質のろ層内抑留状況

(1) ろ層内抑留量……図8は中砂・PAC7.5mg/lの場合の抑留量分布を示している。定速(A)と減速ろ過を比較すると、ろ層1cm毎の抑留量はろ層全体に渡り減速ろ過の方が少なく、その差は8.4～210

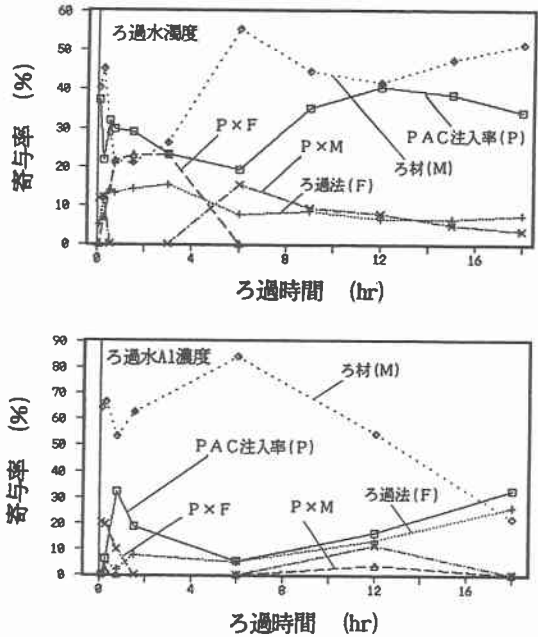


図6 各因子の寄与率の経時変化

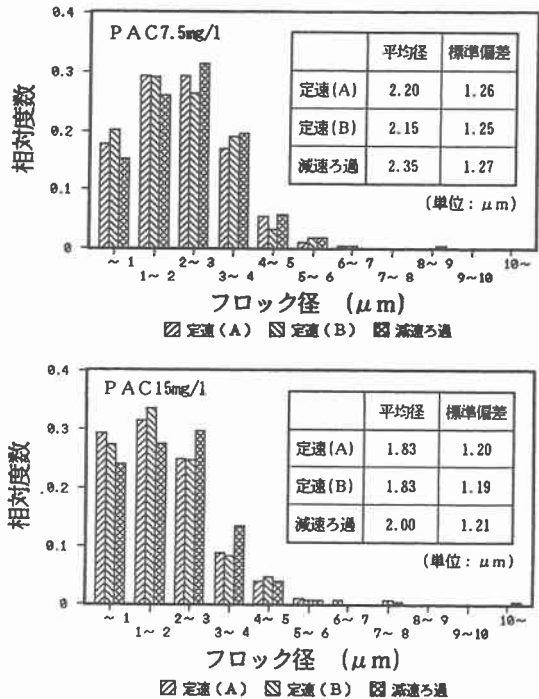


図7 ろ過水中のフロック径分布の動き (中砂 採水11回×25個前後)

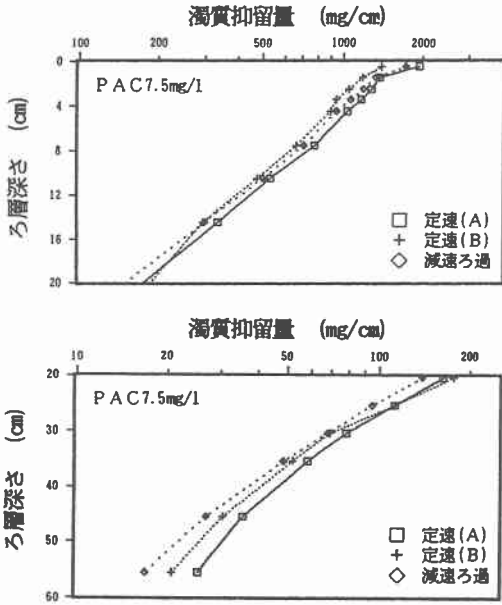


図8 ろ層内抑留量分布 (中砂)

.1mg/cmである。また、定速(B)と減速ろ過を比較すると、ろ層深さ15cm付近を境にして、上部では減速ろ過の方が3.3~335.6mg/cm、下部では定速(B)の方が1.3~38.4mg/cm多くなっている。

図9は中砂における所定のろ層内抑留量を示す。総抑留量については、PAC 7.5、15mg/lのいずれにおいても多い方から順に定速(A)、減速ろ過、定速(B)となった。この理由は、①ろ過水量については、定速(B)および減速ろ過が定速(A)よりも18時間で21.3~34.4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>少なかった、②減速ろ過においては定速(B)よりもろ層上部、特に表層10cmまでの抑留量が678.1~973.3mg多く、ろ層全体でも579.5~678.1mg多かった、ことが挙げられる。

これらの結果から、同一の総ろ過水量下における抑留量の比較においても減速ろ過が表層抑留の傾向をとった。大砂、小砂についても同様の傾向が認められた。

(2) ろ層5cm毎の平均阻止率……中砂の場合の阻止率<sup>12)、13)</sup>の動きを図10に示す。定速(A)と減速ろ過を比較すると、ろ層全体にわたって減速ろ過における阻止率が大きくなっており、その差はPAC 7.5、15mg/lでそれぞれ(0.48~3.28、0.67~1.69)×10<sup>-2</sup>cm<sup>-1</sup>であった。特に、ろ層30cm以下における両者の差はろ層深部に行くほど大きくなっている。

一方、定速(B)と減速ろ過とを比較すると、PAC 15mg/lの場合には、後者の阻止率が平均で0.38×10<sup>-2</sup>cm<sup>-1</sup>大きかった。また、PAC 7.5mg/lの場合には、ろ層20~25cm付近を除き、後者の阻止率がこれより上部で(0.52~0.84)×10<sup>-2</sup>cm<sup>-1</sup>、下部で(0.31~1.67)×10<sup>-2</sup>cm<sup>-1</sup>大きな値をとり、さらに、表層部および下層部に行くほどその差は大きくなっている。

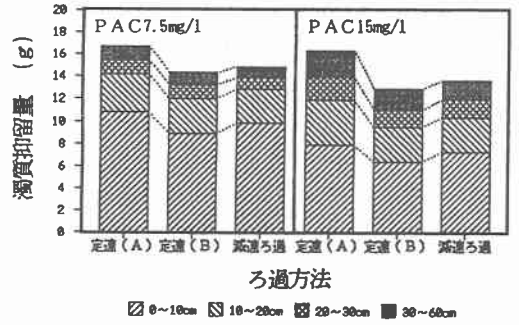


図9 各ろ層区間内の抑留量 (中砂)

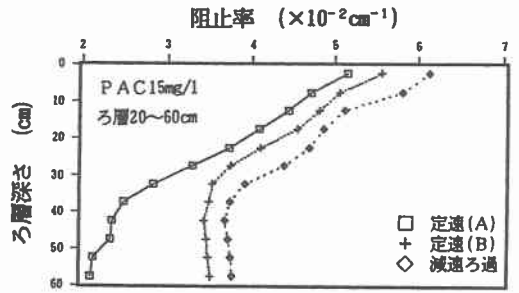
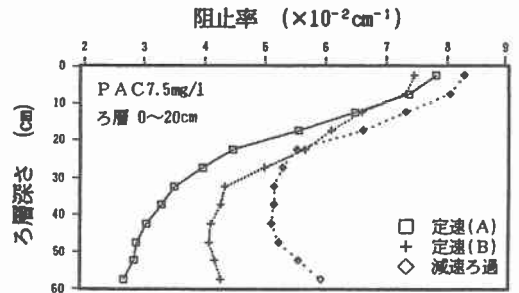


図10 ろ層5cm毎の平均阻止率 (中砂)

#### 4. ま と め

総ろ過水量を等しく設定した定速ろ過と減速ろ過に関する実験的検討を行い、次の諸知見を得た。

- (1) 損失水頭は、定速ろ過よりも減速ろ過の方が小さく、中砂ではろ過終了時に 3.6~19.8cm 小さくなった。
- (2) ろ過水濁度は、減速ろ過の方が平均で 0.19mg/l (16.4%) 低下し、水質改善効果が確認された。
- (3) ろ層内抑留量については、減速ろ過における抑留量、特に、表層10cmでの抑留量が多く、表層ろ過の傾向を示した。
- (4) 中砂を用いた場合のろ層 5 cm 毎の平均阻止率は、PAC 7.5mg/l の場合のろ層 20~25cm を除き、減速ろ過の方が大きくなった。
- (5) ろ過水中のAl濃度についても濁度と同様に減速ろ過で低減傾向を示し、減速ろ過は定速 (A)、(B) より平均でそれぞれ 35.2、15.7% (0.038、0.013mg/l) 低下した。
- (6) ろ過因子の三元配置法による分散分析の結果、濁度の変動に対してはろ材とPAC注入率が、またAl濃度の変動に対しては、ろ材の寄与率が大きくなることが分かった。

#### 5. あ と が き

最後に、実験に協力していただいた北見工業大学土木開発工学科上・下水道研究室の輪島秀則技官および卒研究生の田辺 仁、松山和弘両君に感謝の意を表す。

#### 【 文 献 】

- 1) J.R.Baylis: Variable-Rate Filtration, Pure Water, Vol.11, No.5, '59.5.
- 2) J.R.Cleasby: Declining-Rate Filtration, Jour.of AWWA, Vol.73, No.9, pp.484-489, '81.9.
- 3) L.Di Bernardo & J.L.Cleasby: Declining-Rate Versus Constant-Rate Filtration, Jour.of Env. Eng. Div., ASCE, Vol.106, No.6, pp.1023-1041, '80.12.
- 4) D.J.Hilmore & J.L.Cleasby: Comparing Constant-Rate and Declinig-Rate Direct Filtration, Jour.of AWWA, Vol.78, No.12, pp.26-34, '86.12.
- 5) 海老江邦雄・土井克哉 他: 減速ろ過法における懸濁物質の挙動とその効果, 土木学会北海道支部論文報告集 (第II, IV部門), 第51号 (B), pp.356-361, '95.2.
- 6) 海老江邦雄・土井克哉 他: 減速ろ過法の有効性に関する検討, 第46回全国水道研究発表会講演集, pp.94-95, '95.5.
- 7) 海老江邦雄・土井克哉 他: 自然減速ろ過の有効性に関する基礎的研究, 土木学会第50回年次学術講演概要集 第2部 (B), pp.1030-1031, '95.9.
- 8) 藤田 賢二: 急速砂ろ過池における流量調節方式の理論的解析, 水道協会雑誌, 第423号, pp29-45, '77.33.
- 9) 海老江邦雄: ろ過水のアルミニウム濃度に及ぼす直接砂ろ過因子の影響, 水道協会雑誌, 第771号, pp.29-37, '93.12.
- 10) R.G.Miller, et al.: The Occurrence of Aluminum in Filtered Water, Jour.of AWWA, Vol.76, No.1, pp.84-94, '84.1.
- 11) 海老江邦雄・渋谷真祐 他: 直接砂ろ過池の濁質除去に及ぼす凝集剤の種類とろ層厚さの影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 第49号, pp.671-674, '93.2.
- 12) 海老江邦雄: 急速砂ろ過池の阻止率の動きについて, 土木学会北海道支部論文報告集, 第39号, pp.69-72, '83.2.
- 13) 藤田 賢二: 急速砂ろ過工程の数学的表現 (I) - ろ過方程式 -, 水道協会雑誌, 第510号, pp.12-29, '77.3.