

II-27 直接ろ過法における高分子凝集剤の効果

北見工業大学 正会員 海老江 邦 雄
北見工業大学 学生員 藤 縄 憲 通
北見工業大学 天 野 重 己

1. ま え が き

最近、各種の有機性高分子凝集剤の開発により、直接ろ過で通常の原水のみならず、相当高濁な原水でも対応できる、また、比較的安定な原水では、ろ速の高速化が可能であるという報告¹⁾²⁾が出された。一般に濁質は、有機性高分子凝集剤のみで十分に除去しうるが、我国の河川表流水のように濁度変動が激しい原水に、高価な有機性高分子凝集剤を単独で、しかも、連続的に使用することは経済的ではない。著者らは、凝集剤の効果的な注入法を検討した中で、前段で少量のPACによってマイクロブロックを形成した後、ブロック形成を促進させるために、後段で微量の有機性高分子凝集剤を凝集助剤として加える二分割注入法の有効性を立証した³⁾。

本研究では、その成果を踏まえ、凝集助剤としてのノニオン系有機性高分子凝集剤(PAM)が、単層(珪砂)および二層(アンスラ+珪砂)の直接ろ過に及ぼす種々の効果について実験的に検討したが、得られた知見を以下に報告する。

2. 高分子凝集剤の選択

ろ過に先立ち、米国環境保護庁(EPA)が浄水処理用として認可しているK社製のカチオン系(推定分子量 $1,100 \times 10^4$)、アニオン系($1,400 \times 10^4$)、ノニオン系高分子凝集剤($1,200 \times 10^4$)などの凝集特性を回分式矩形混和槽(縦20cm×横20cm×高さ30cm)を用いて検討した。凝集剤としては、PAC、硫酸アルミニウム、PAC+カチオン系、PAC+アニオン系、PAC+ノニオン系の5組を採用した。実験方法としては、本学水道水に所定量のカオリン(50mg/l)を加えた後、急速混和(100~500rpm)を5分間行なう。ただし、2液を用いる場合には急速混和開始と同時にPACを、その2.5分後に高分子凝集剤を注入した。ついで、緩速混和(40rpm)10分間と沈殿10分間の後、上澄水を採取し、その残留濁度から各組の凝集効果を判定した。

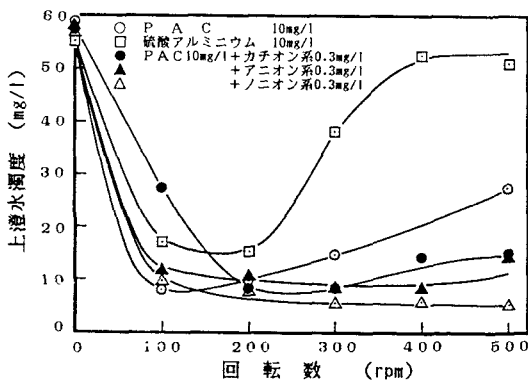


図1 各種凝集剤の凝集特性

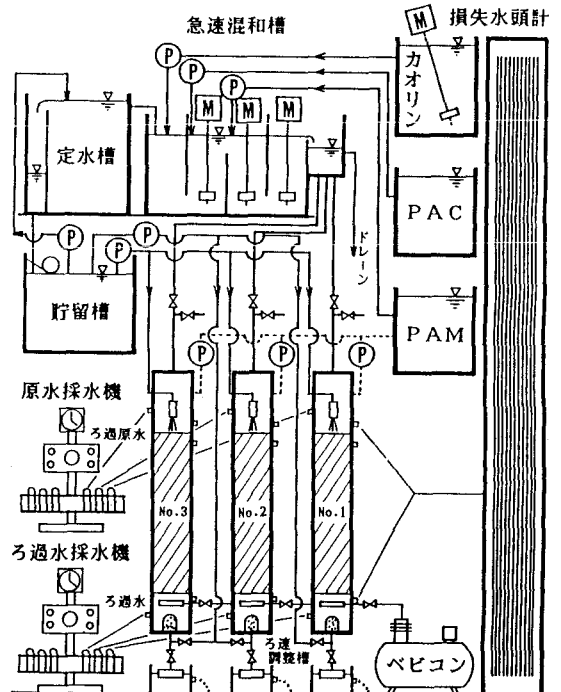


図2 ろ過実験装置

これらの結果を図1に示す。急速混和100rpmでは、PAC使用の場合が最も良好であり、ついでPAC+ノニオン系、PAC+アニオン系、硫酸アルミニウム、PAC+カチオン系の順となった。PACのみと硫酸アルミニウムのみの場合には、回転数を上げるに伴い上澄水濁度が上昇して行った。特に、硫酸アルミニウムの場合には、フロックが脆弱なため400rpmを超えると、除濁効果は殆ど認められなかった。一方、PACと有機性高分子凝集剤の併用では、イオン特性に関係なく、高い回転数の下での凝集ほど、若干ではあるが、逆に除濁効果が向上しており、粘着性の大きな強靱なフロックが形成されること、および凝集剤を強い急速混和下で分散させることの重要性が示唆される。また、PACと高分子凝集剤併用時の除濁効果は、ノニオン系が最良の結果を示したので、以後のろ過実験では、ノニオン系高分子凝集剤（PAM）を採用した。

表1 ろ材の諸特性

名 称	有効径 mm	均等 係数	比重	空隙率 %
珪 砂S(S)	0.62	1.31	2.57	44.3
珪 砂S(L)	0.75	1.64	2.58	44.3
アンスラA(S)	0.93	1.37	1.51	49.3
アンスラA(L)	1.53	1.29	1.51	49.3

3. 実験装置と実験方法など

実験は、単層ろ過実験と二層ろ過実験からなる。単層ろ過では小珪砂S(S)または大珪砂S(L)を60cm厚（空隙率 44.3%）に、また、二層ろ過ではS(L) 30cm厚（空隙率 44.3%）の上に小アンスラA(S)または大アンスラA(L)を30cm厚（空隙率 49.3%）に充填した。使用したろ材の詳細は表1に掲げた。

表2 実験条件一覧

単層ろ過	ろ 過 速 度	120, 240, 360m/day
ろ 層	PAC注入率	7.5mg/l
ろ 過	PAM注入率	0, 0.15, 0.3mg/l
ろ 材	ろ材の種類	S(S), S(L)
二層ろ過	ろ 過 速 度	120, 240, 360, 480m/day
ろ 層	PAC注入率	7.5mg/l
ろ 過	PAM注入率	0, 0.15, 0.3, 0.45mg/l
ろ 材	ろ材の種類	A(S)+S(L), A(L)+S(L)

実験装置は定水位槽、急速混和槽（縦55cm×横20cm×高さ25cm、容量2,695ml、回転数200rpm）、ろ過筒（断面積50～51cm²）、浮子式ろ速調整槽などから成り、フローシートは図2に示した。急速混和槽および急速混和槽～ろ過筒の接続ホース内滞留時間は各々4.8分、0.5～2分であった。また、本学水道水に急速混和槽第1槽入口でカオリン20mg/lを、第2槽入口でPAC 7.5mg/lを、そして、第3槽入口で所定量のPAMを注入して、ろ過原水とした。

実験で採用したろ速、PAM注入率、ろ材とろ材構成は表2に掲げた。ろ過は、18時間または正味の損失水頭が2.5mになるまでの、いずれか早い方で終了させた。損失水頭はろ層5cmごとに、また、原水とろ過水の一部を自動採水機で採取して濁度を測定した。さらに、内部抑留量については、ろ層から直接採取（単層14ヶ所、二層20～21ヶ所）した汚砂を清水に剝離させる直接法により定量した⁷⁾。

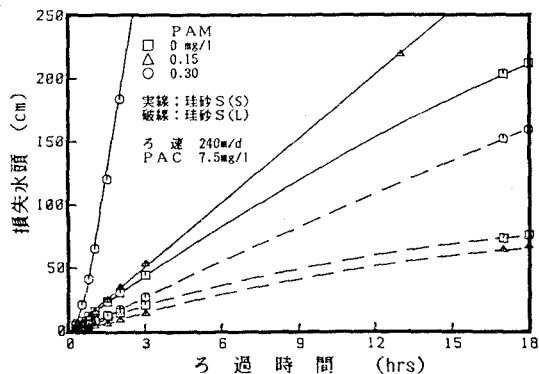


図3 損失水頭の動き（単層ろ過）

4. 実験結果と考察

4・1 単層ろ過におけるPAMの効果

単層ろ過に関する実験結果を表3と表4および図3～5に掲げた。

始めに、表3でろ過終了時における正味の損失水頭の動きを見ると、一部の条件（S(L), PAM0.15mg/l, ろ速 120と240m/d）を除き、概ねPAM注入率の増加につれて損失水頭は速やかに上昇している。特に、P

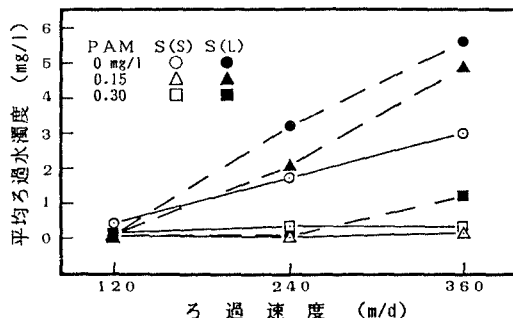


図4 平均ろ過水濁度の動き（単層ろ過）

AMを0.15mg/l加えたときよりも0.15から0.30mg/lへ増加させたときに急激な上昇が認められる。これと同様の傾向は図3においても認められ、その程度は、ろ材径が小さいほど顕著であり、ろ過継続時間が十分に取れないほどであった。このように損失水頭が異常に発生するのは、PAMの注入によって粘着性で密実な大型のフロックが形成されるためである。この傾向はPAM注入率増加につれて加速度的に強まり、ろ過の経過につれてろ層内に進入できないフロックがろ層表面を覆い尽くす場合も観察されたほどである。表4において、原水濁度と抑留総量がPAM注入率の増加とともに減少しているのは、そうしたフロックが急速混和槽内やろ過筒までの接続ホース内で沈降や付着を惹き起こしたためと考えられる。

表3 単層・二層ろ過の損失水頭の動き

ろ速 (m/d)	PAM (mg/l)	単層ろ過		二層ろ過	
		S(S)	S(L)	A(S)+S(L)	A(L)+S(L)
120	0.00	117.3 (18)	38.5 (18)	20.5 (18)	13.9 (18)
	0.15	120.3 (18)	36.9 (18)	20.5 (18)	14.1 (18)
	0.30	247.6 (6)	98.7 (18)	80.1 (18)	23.3 (18)
	0.45			242.8 (18)	95.1 (18)
240	0.00	212.2 (18)	75.8 (18)	38.1 (18)	32.6 (18)
	0.15	218.9 (18)	66.7 (18)	45.3 (18)	38.0 (18)
	0.30	183.8 (2)	159.3 (18)	125.2 (18)	31.4 (18)
	0.45			261.8 (9)	221.0 (18)
360	0.00	222.2 (13)	97.6 (18)	62.2 (18)	58.0 (18)
	0.15	179.4 (6)	112.1 (18)	83.7 (18)	65.5 (18)
	0.30	206.2 (2)	201.3 (18)	179.6 (18)	108.6 (18)
	0.45			195.1 (6)	239.0 (12)
480	0.00	—	—	76.1 (18)	80.8 (18)
	0.15	—	—	116.4 (18)	99.7 (18)
	0.30	—	—	233.3 (9)	234.2 (18)
	0.45	—	—	209.6 (4)	242.7 (7)

注)。()はろ過継続時間を表わす

表4 濁質抑留率の動き(単層ろ過)

ろ材	ろ速 m/d	PAM mg/l	ろ層各部の抑留率(%)				抑留 総量 mg	原水 濁度 mg/l
			0-5cm	5-10	10-30	30-60		
S(S)	120	0.00	48.6	27.0	27.0	23.4	8528	18.7
		0.15	68.6	24.4	24.4	6.2	7033	15.4
		0.30	90.9	2.3	2.3	2.7	2324	15.3
	240	0.00	28.1	19.0	19.0	36.7	16829	18.7
		0.15	52.7	23.8	23.8	22.7	11666	18.0
		0.30	86.5	2.2	2.2	5.2	1515	15.2
	360	0.00	26.8	17.9	17.9	38.3	18493	18.8
		0.15	62.4	22.5	22.5	14.1	8487	18.6
		0.30	89.4	2.8	2.8	3.5	2335	15.4
S(L)	120	0.00	32.1	21.3	21.3	36.0	9471	20.8
		0.15	35.5	22.9	22.9	35.9	8456	18.5
		0.30	60.7	28.6	28.6	9.6	6633	14.5
	240	0.00	22.0	15.7	15.7	39.0	16002	17.8
		0.15	20.6	14.2	14.2	36.5	15792	17.6
		0.30	35.5	17.4	17.4	33.2	13899	15.5
	360	0.00	15.7	12.0	12.0	39.8	22683	16.6
		0.15	17.1	12.4	12.4	37.1	22864	16.7
		0.30	24.3	15.5	15.5	36.1	19079	14.0

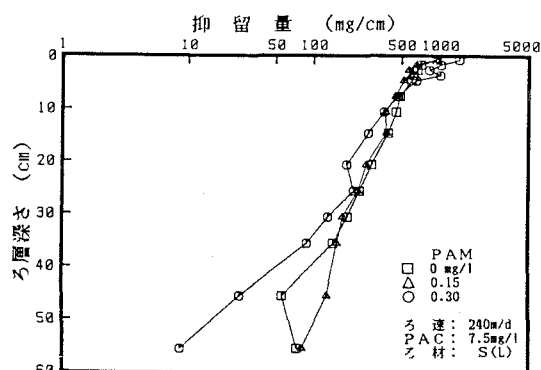
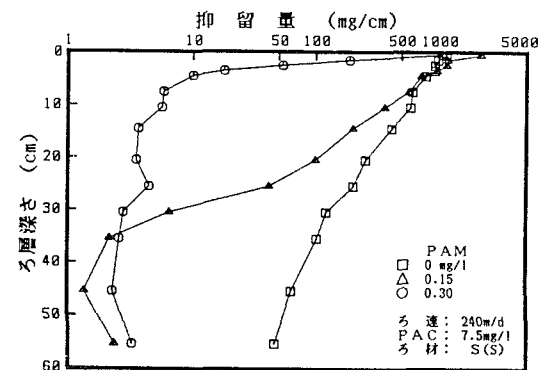


図5 抑留量の動き(単層ろ過)

さらに、表4でろ層各部における濁質の抑留率の動きを見ると、ろ材径が小さいほど、ろ速が遅いほど、そして、PAM注入率が高いほど、ろ層0～5cmでの抑留率が高く、強い表層抑留の傾向を示した。図5のろ層内抑留量分布からも同様の傾向が認められる。同図のS(S)の表層1cmにおける抑留率を算出したところ、PAM注入率を0, 0.15, 0.3mg/lへと増加させるに伴い、6.7, 18.5, 68.9%へと飛躍的に上昇し、表層抑留ないし表面ろ過の傾向を強く示した。それに対し、S(L)の表層1cmにおける抑留率は順に5.9, 5.9, 6.8%と殆んど差異が認められなく、大きなろ材の採用が損失水頭の発生量の抑制と表層抑留傾向の緩和に非常に有効であることを示している。

4・2 二層ろ過におけるPAMの効果

二層ろ過に関する実験結果を表3と5および図6～8に掲げた。

始めに、表3と図6で正味の損失水頭

の動きを見ると、損失水頭に対するPAM、ろ速、上層ろ材としてのアンスラサイトの径の効果については単層ろ過の場合と同様であるが、その絶対値については、当初の予想通り、著しく減少しており、二層ろ過を採用した効果が顕著である。例えば、PAM注入率0.15mg/l、ろ速240m/dでは、単層ろ過のS(S)に比較して二層ろ過のA(S)では79.3%、A(L)では82.0%もの減少といった具合である。また、単層ろ過の場合、ろ層表面で多量に観察された大型フロックの堆積については、今回は大きなろ材を使用しているために相当軽減されており、濁質抑留量当りの損失水頭で示すと1.5～6.4cm/gであった。しかしながら、A(S)ではPAM注入率0.3mg/l以上、A(L)ではPAM注入率0.45mg/lにおいて10～148cm/gという高い値が出現しており、表層抑留傾向をさらに抑制して、より一層損失水頭発生量を抑えるためには、ろ材径の選定がキーポイントとなることが示唆される。

表5 濁質抑留率の動き(二層ろ過)

ろ材	ろ速 m/d	PAM mg/l	ろ層各部の抑留率(%)						抑留 量 g	原水 濁度 mg/l
			0-5cm	5-10	10-30	30-35	35-40	40-60		
A(S) + S(L)	120	0.00	35.0	20.6	33.2	3.9	2.5	4.8	8049	17.9
		0.15	58.5	23.7	15.7	1.0	0.4	0.6	7302	16.2
		0.30	74.8	18.8	5.1	0.6	0.3	0.5	6442	14.1
		0.45	77.9	10.4	9.0	1.1	0.4	1.2	1639	3.6
	240	0.00	27.7	19.2	35.6	5.4	3.7	8.4	13705	15.2
		0.15	33.6	18.9	32.9	5.5	3.2	5.9	12848	14.3
		0.30	51.0	24.2	23.8	0.5	0.2	0.3	11433	12.7
		0.45	80.6	8.1	9.3	0.9	0.3	0.9	2365	5.3
	360	0.00	28.4	17.0	35.9	6.9	3.7	8.2	17289	12.6
		0.15	30.0	16.7	30.6	5.8	4.2	12.7	16860	12.3
		0.30	37.5	24.8	35.3	1.9	0.3	0.3	17987	13.2
		0.45	83.9	7.0	7.5	0.9	0.2	0.6	2693	5.7
	480	0.00	20.1	17.9	41.4	5.9	3.9	10.8	28422	15.6
		0.15	29.6	17.5	33.1	7.0	4.0	8.8	20058	11.0
		0.30	64.5	21.2	12.9	1.1	0.2	0.1	8807	9.7
		0.45	80.8	7.5	7.0	3.9	0.4	0.3	1909	4.7
A(L) + S(L)	120	0.00	25.2	17.1	32.1	7.1	4.4	14.1	7614	16.7
		0.15	40.6	21.5	30.4	3.0	1.3	3.1	7543	16.5
		0.30	59.3	20.1	17.1	1.9	0.6	1.1	4963	10.9
		0.45	85.4	7.8	4.9	1.2	0.3	0.4	3635	8.1
	240	0.00	19.9	15.9	34.1	8.7	6.1	15.3	13673	15.2
		0.15	24.5	15.5	32.8	7.6	4.8	14.9	13993	15.3
		0.30	37.2	20.6	31.3	4.7	1.5	4.7	12427	13.8
		0.45	82.4	10.8	4.1	1.2	0.5	1.1	4657	5.1
	360	0.00	18.1	13.3	32.2	9.8	6.9	19.8	18290	13.4
		0.15	22.3	14.9	32.3	8.7	5.5	16.3	17714	13.1
		0.30	25.2	13.7	33.4	8.0	4.1	15.8	17131	12.5
		0.45	82.8	10.1	4.0	1.5	0.5	1.1	6462	7.1
	480	0.00	16.3	11.0	33.5	11.0	6.3	22.0	18593	10.2
		0.15	22.2	12.4	31.2	10.6	6.3	17.3	19836	10.9
		0.30	32.7	18.7	36.6	3.9	3.6	4.5	15735	8.6
		0.45	82.9	9.3	3.5	1.7	0.6	1.9	3730	5.3

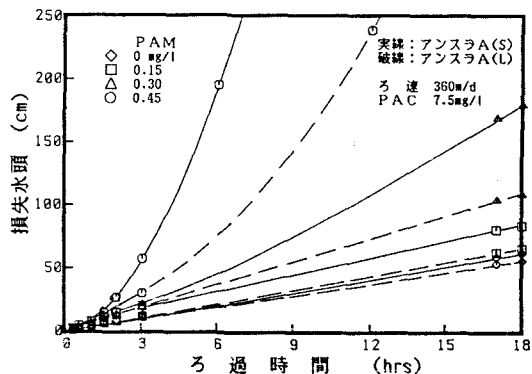
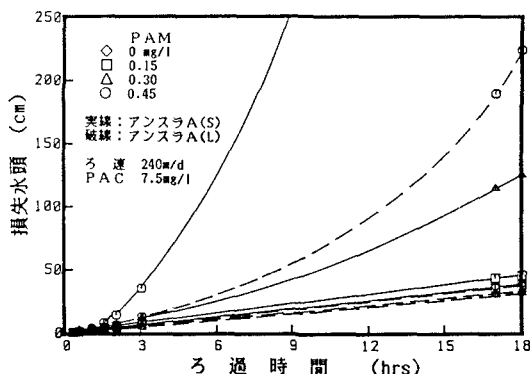


図6 損失水頭の動き(二層ろ過)

図7で平均ろ過水濁度の動きを見ると、各因子の効果については単層ろ過の場合と同様の傾向が認められる。清澄期の最低濁度については、PACのみの場合には、0.00~1.27mg/lと単層ろ過の結果より高濁となったが、PAM0.15mg/l注入では、ろ速に関係なく、単層ろ過の場合と同様、検出限界以下の極めて安定した処理水が得られた。また、清澄期の長さについては、PAC注入のみでは二層ろ過の方が単層ろ過に比べ0~3時間短くなった。PAM注入の場合には逆に10時間程度長くなっており、二層ろ過の効果が出現している。以上のことからPAM注入を前提とするならば、今回よりろ過水質は多少低下しても若干大き目のろ材を使った方が、相対的にはより良い結果が得られるものとする。

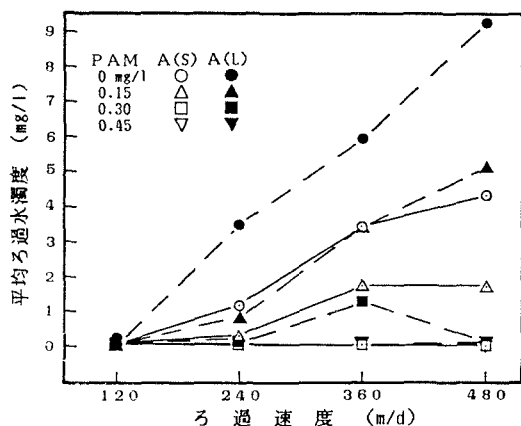


図7 平均ろ過水濁度の動き（二層ろ過）

ついで、ろ材各部における抑留濁質の動きのうち、抑留率に関する表5では、PAMの増加に伴い、ろ速の低下に伴い、また、上層のアンスラサイト径が小さいほど、表層における抑留率が高まる傾向が認められた。しかしながら、A(S)ではPAM 0.3mg/l以上およびA(L)では0.45mg/lの条件を除けば、その程度は単層ろ過に比較して、大幅に改善されている。ろ層内の抑留量の動きを示す図8では、単層ろ過よりいずれの場合にも、内部抑留傾向が強く現われている。また、アンスラサイトと珪砂の境界層付近で濁質量の局所的な増加が見られ、これは、すでに指摘³⁾されているように、両ろ材が混合して空隙率が小さくなったため濁質の捕捉効率が高くなったことに起因するものである。

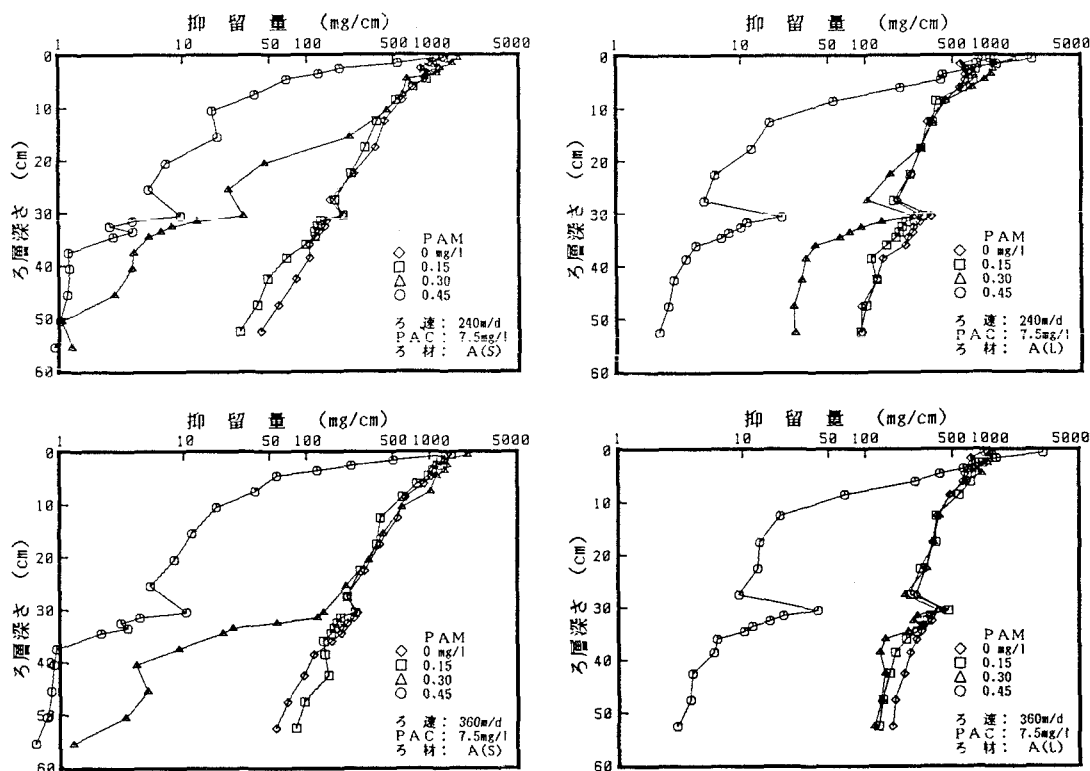


図8 抑留量の動き（二層ろ過）

る。二層ろ過池の洗浄にあたっては、この点を十分に留意しなければならない。

これまで述べて来たように、PAMを凝集助剤として用いた直接ろ過では、ろ材径、ろ速、PAM注入率のいずれもが結果に大きな影響を及ぼしており、最適条件を特定することは大変難しい。今回の実験範囲では、A(L)、ろ速360m/d、PAM 0.3mg/lとなろうか。なお、PAM注入率の増加に対処し、ろ層の濁質負荷を一層軽減する上で、急速混和後に滞留時間の短い沈殿スペースを設置することが有効と考えられる。

5. あ と が き

PAC注入後にノニオン系高分子凝集剤(PAM)を凝集助剤として使用した単層および二層の直接ろ過実験で得られた知見を以下にまとめる。

- (1). 5組の凝集剤でカオリンの凝集効果を検討したところ、PAC+PAMが最も良かった。また、PAMは強力な粘着性を瞬時に発揮するので、従来よりさらに強い混合場で凝集させることが肝要である。
- (2). PAMによるフロックは、PACのフロックより密実で大きく強い粘着性を示した。単層ろ過では、ろ層表面に堆積したフロックにより損失水頭が急激に上昇して、十分なる過時間を確保できなかった。
- (3). 上層にアンスラサイト、下層に珪砂を配置した二層ろ過は、損失水頭の抑制ならびに表層抑留の傾向の緩和に効果的であり、ろ過時間の延長とろ速の高速化とを可能にする。
- (4). 清澄期のろ過水濁度については、PACのみ使用の場合、二層ろ過では単層ろ過より僅かに劣っていたが、PAM使用の場合には、いずれも検出限界以下となり相違は認められなかった。
- (5). PAMによりフロックは沈降性が非常に良好なので、ろ過前に滞留時間の短い沈殿スペースを配置することにより、さらにろ過時間を延長させることが可能となる。また、同時に、高濁原水対策ともなる。

以上、今回の実験により、ノニオン系高分子凝集剤の二層ろ過への適用は、損失水頭、ろ過水濁度、ろ過の高速化の観点から、将来的に有望であることが明らかになった。

最後に、本研究の実験遂行ならびに関連データの採取に協力いただいた本学土木工学科上下水道研究室の学生に対し、心から感謝の意を表わす。

【 参 考 文 献 】

- 1). Committee Report on Survey of Polyelectrolyte Coagulant Use in the United States, JAWWA, Vol.74, No.11, Nov. 1982
- 2). 河 村 勲：米国における浄水技術と施設の現状，水道協会雑誌，No.457
- 3). 海老江・藤縄：凝集剤の分割注入に関する実験的検討，土木学会北海道支部論文報告集，第42号，1986.2
- 4). Hsuan-Hsien Yeh, et al: Selecting polymers for direct filtration, JAWWA, Vol.73, No.4, Apr. 1981
- 5). W.R.Hutchison: High-Rate Direct Filtration, JAWWA, Vol.68, No.6, June, 1976
- 6). E.G.Wagner, et al: Low-Dosage High-Rate Direct Filtration, JAWWA, Vol.74, No.5, May, 1982
- 7). 海老江・藤縄：直接ろ過法における濁質流出率の動き，土木学会北海道支部論文報告集，第43号，1987.2.
- 8). 篠 原 紀：急速ろ過池のろ過機構と複層ろ過池に関する基礎的研究，九州大学学位論文，1974
- 9). 篠 原 紀：破碎無煙炭ろ過材の特性とその用い方について，水処理技術，Vol.6, No.9, 1965.9.
- 10). 玉井 義弘：逆粒度構成のろ過池に関する実験，水道協会雑誌，No.383, 1966.8.
- 11). 永沢・滝沢：水処理の高分子科学と技術（下）高分子水処理剤，地人書館