

STI 値を指標にした凝集沈澱・砂ろ過の処理性評価

ー 連続流プラントによる実験結果 ー

Evaluation of the Rapid Filtration Process Efficiency Through Taking the STI-value As an Index

ー Experimental Results Obtained from the Continuous Flow Type Plant ー

北見工業大学工学部 フェロー 海老江 邦 雄 (Kunio Ebie)
 北見工業大学大学院 ○学 生 員 東 義 洋 (Yoshihiro Azuma)
 同 上 学 生 員 山 木 暁 (Satoru Yamaki)

1. ま え が き

凝集沈澱の処理性評価は、従来、沈澱処理水中の濁度を指標に用いることが多く、その値の高低に着眼して浄水施設が維持管理されてきた。一方、著者ら^{1),2)}は回分試験後の沈澱水を対象にした吸引ろ過試験から、ろ過抵抗は処理水に残留する濁度よりも凝集剤によって大きく影響することを指摘している。このことは、砂ろ過池の効率的な運転にとって最も重要となる損失水頭発生量の抑制を実現するためには、沈澱処理水の濁度ではなく凝集剤残留量の低減化を図るべきことを示唆している。しかしながら、実際の浄水施設で沈澱処理水中の凝集剤量を連続的に定量することは困難である。また、モニター用ろ過筒の情報を凝集剤注入率制御にフィードバックさせて、ろ過池の損失水頭を抑制することも現実的な手法とは成り得ない。

そこで、本論では、沈澱処理水をメンブランフィルターで吸引ろ過するに要した時間から算出される STI(suction time index)値を処理性評価の指標とすることを提案している。すなわち、この方法では、凝集沈澱および砂ろ過の処理性は、処理水中の濁度ではなく STI 値で評価される。

今回は、急速攪拌強度 G_R 値を変化させて凝集沈澱処理を行い、 G_R 値の上昇が STI 値に及ぼす影響や処理水の STI 値を指標とする同法の妥当性などを連続流プラント実験で検証した結果を報告したい。

2. 実験方法および実験条件

1) 連続流プラントの概要および実験条件

実験装置として、写真-1および図-1に示す急速混和槽、フロック形成槽、フィン付き傾斜板沈澱槽、砂ろ過筒を2系列有する連続流プラント(1系列あたりの処理水

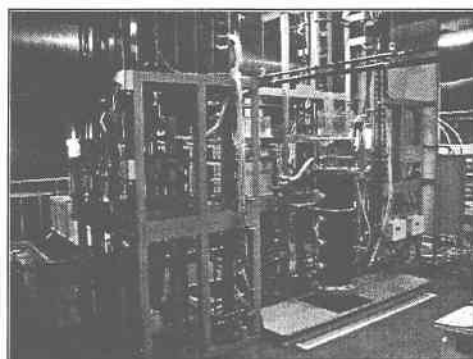


写真-1 連続流プラント(H 浄水場内に設置)

量 $10\text{m}^3/\text{日}$ 、急速混和槽における G_R 値 $150\sim650\text{s}^{-1}$ 、 T_R 値 348sec 、フロック形成槽における G_S 値 20s^{-1} および T_S 値 2904sec 、沈澱槽における表面負荷率 $0.20\text{cm}/\text{min}$ 、砂ろ過筒：珪砂(有効径 0.6mm 、均等係数 1.4)、層厚 60cm 、ろ過速度 $240\text{m}/\text{日}$)を用いた。原水には、表-1に示す後述する H 浄水場の水道水を用いた。同水に、表-2の粒

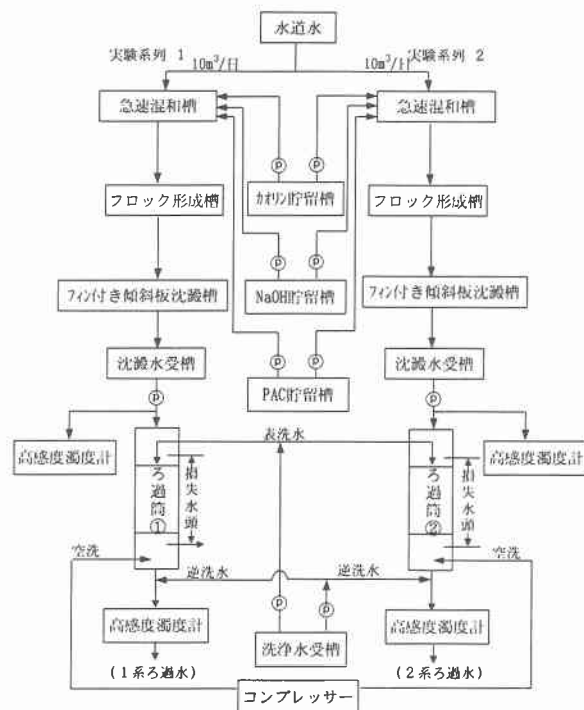


図-1 連続流モデルプラントのフロー

表-1 H 浄水場の水道水水質

項 目 名	平 均 値	項 目 名	平 均 値
pH 値 (—)	6.8	塩素イオン (mg/L)	11.9
濁 度 (mg/L)	<0.1	KMnO ₄ 消費量 (mg/L)	1.7
アルカリ度 (mg/L)	14.4	Al (mg/L)	0.02
硬 度 (mg/L)	32.5	鉄 (mg/L)	0.02
蒸発残留物 (mg/L)	87	マンガン (mg/L)	<0.005

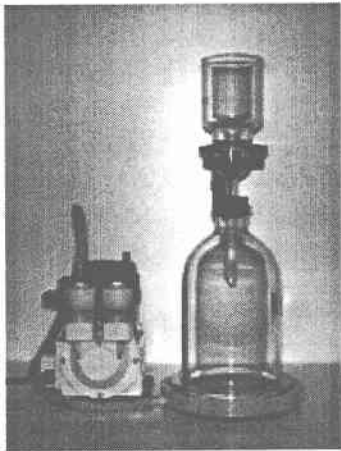
表-2 カオリン 1mg/L 注入時の
粒子数(個/ml)と粒子数割合(%)

粒径範囲(μm)	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~7.0	>7.0
粒子数(個/ml)	1137028	43656	5621	243
粒子数割合(%)	95.83	3.68	0.05	0.02

径分布を持つカオリンを 10mg/L、PAC または PSI-3 を 0.06 mmol-metal/L 注入した。また、水酸化ナトリウム (0.2w/v%)と硫酸(1.0w/v%)とを用いて、PAC の場合には pH6.8±0.1、PSI の場合には pH6.0±0.1 の凝集 pH 領域内に調整した。なお、沈澱処理水ならびにろ過水の濁度は、高感度濁度計(ZYU 型、富士電機製)で連続測定した。Al 濃度はオキシシ法で、Fe 濃度は 1,10-フェナントロリン法で定量した。

2) 吸引ろ過試験および STI 値の算出

吸引ろ過試験の手順としては、最初に沈澱水またはろ過水を水温が 20±0.1℃となるように恒温水槽で加温した。その後、0.45μm メンブランフィルターで写真－2 に



写真－2 吸引ろ過装置

示す吸引ろ過装置(減圧容器：VT-500；減圧用フィルターホルダー：KSF-47；吸引ポンプ：EP-01；到達真空度：26.7kPa)で、試料水 500ml のろ過時間を測定した。STI(suction time index)値については、以下の式を用いて算出した。なお、蒸留水(20±0.1℃)の吸引時間(63sec)については、予め測定しておいた。

STI 値(無次元)=
$$\frac{\text{試料水 500ml の吸引時間(sec)}}{\text{蒸留水 500ml の吸引時間(sec)}}$$

3. 実験結果および考察

3.1 実施設における処理水の水質および STI 値

表－3 は、平成 13 年 2 月の H 浄水場における各処理工程の水質および STI 値を示している。同浄水場は、粒状活性炭による吸着工程などを付加した急速ろ過プロセス(凝集・フロック形成・沈澱・活性炭吸着・中間塩素・砂ろ過・塩素消毒)で、一級河川常呂川の表流水約 40,000m³/日を処理している。なお、PAC の平均注入率は 54mg/L と非常に高く設定されている。それは、この時期における原水が低濁、低温(高粘性)である上、急速攪拌強度が Gr 値 100s⁻¹程度、時間 Tr 値 1min 程度と弱く短いことに依っている。このような、凝集剤の過剰注入は、スィープ型の凝集を卓越させて、固液分離効率を向上させようと理解されているためである。

凝集剤を多量に注入しているにも拘わらず、同表の凝集沈澱処理による濁度および色度の除去は僅かであり、残留 Al 濃度も平均 0.86mg/L と非常に高い。沈澱処理水の STI 値は、平均 5.9 程度となっており、活性炭処理を行うことによって、その値は 2.7 程度にまで低下している。また、STI 値 2.7 程度の活性炭処理水を砂ろ過した場合、ろ過継続時間 65.9hr で損失水頭は 0.6m であった。活性炭吸着池を通さずに、STI 値 5.9 の沈澱処理水を砂ろ過すれば、

表－3 H 浄水場の各工程における処理状況
(下段の括弧内は平均値)

試料水	変動範囲					
	濁度 (mg/L)	色度 (mg/L)	残留Al (mg/L)	STI 値 (-)	ろ過継続時間 (hr)	損失水頭 (m)
原 水	1.72-3.34 (2.98)	3.7-2.4 (3.2)	- (-)	1.0 (1.0)	-	-
沈 澱 処理水	1.31-2.11 (1.59)	2.4-3.0 (2.7)	0.99-1.15 (0.86)	5.5-6.3 (5.9)	-	-
活性炭 処理水	0.42-0.60 (0.53)	1.0-1.9 (1.3)	0.24-0.46 (0.35)	2.2-3.0 (2.7)	54.5-64.5 (63.1)	1.15-1.23 (1.20)
砂ろ過 処理水	<0.1 (<0.1)	0.2-1.1 (0.5)	0.02-0.03 (0.02)	1.0 (1.0)	57.3-72.0 (65.9)	0.5-0.7 (0.6)

原水水温:0.5℃、PAC 平均注入率54mg/L
活性炭吸着池：通水速度137m/日
砂ろ過池：ろ過速度104m/日

ろ過損失水頭が大幅に上昇することは容易に予測される。そこで、STI 値が砂ろ過池の損失水頭にどの程度影響するか、また、沈澱処理水を濁度ではなく STI 値で評価することの妥当性を、次節の連続流プラント実験の結果で考えたい。

3.2 連続流プラントによるろ過損失水頭の抑制効果

著者らは、STI 値を低減化させるためには最適な凝集操作を行うこと、すなわち、凝集剤の分散性を高めて、濁質粒子あたりの凝集剤付着量を増加させることが有効であると考えている。このような凝集は、急速攪拌 Gr 値を上昇させることによって達成されたと考えた。そこで、連続流プラントの Gr 値を 150 から順次 650s⁻¹まで上昇させて、凝集剤として PAC を用いた場合の凝集沈澱およびろ過を行ってみた。沈澱水水質および STI 値を表－4 に、ろ過水濁度および損失水頭を図－2、ろ過水中の微粒子数(個/ml)を図－3 に掲げた。同表から、Gr 値の上昇に伴って沈澱水の濁度および Al が低下し、併せて STI 値も低下している。Gr 値を 150 から 650s⁻¹に上昇させた場合の濁度、Al、STI 値の改善率は、それぞれ 22.8、29.1、28.1%であった。注目すべきは、Gr 値を 450 から 650s⁻¹に上昇させた場合、濁度の変化は認められなかったが、Al および STI 値は更に改善されている点である。すなわち、高 Gr 値では濁度と Al が同一の挙動を示さず、濁度が同じであっても、Al 濃度が減少すれば STI 値も低下している点である。このような Al と STI 値との動きが砂ろ過処理に与える影響について見ていきたい。

表－4 Gr 値に伴う沈澱水の水質および STI 値
(下段の括弧内は平均値)

Gr 値 (s ⁻¹)	変動範囲			
	Time (hr)	濁度 (mg/L)	残留Al (mg/L)	STI 値 (-)
150	0-22	0.44-0.66 (0.57)	0.255-0.314 (0.282)	3.1-3.5 (3.2)
300		0.34-0.49 (0.47)	0.239-0.270 (0.253)	2.5-2.7 (2.7)
450		0.38-0.50 (0.44)	0.213-0.305 (0.242)	2.5-2.8 (2.6)
650		0.37-0.48 (0.44)	0.182-0.262 (0.200)	2.2-2.3 (2.3)

PAC 注入率：30mg/L(0.06mmol-Al/L) 原水水温：18.7℃

ろ過初期 0~1hr ならびにその後の清澄期の 1~16hr におけるろ過水濁度を図-2で見ると、STI 値の高低による明確な差は認められない。しかしながら、ろ過 16hr 以後を見ると、STI 値が 3.2 と最も高かった場合には、0.01~0.02mg/L 程度と僅かな濁度上昇が出現している。それ以外の場合では、STI 値によるろ過水濁度および微粒子数の動きに明確な差は認められなかった。

ついで、同図中の損失水頭の発生量については、ろ過水濁度の場合とは異なり、STI 値の高低により明確な差が認められる。すなわち、処理水濁度は 0.44mg/L と同一で、STI 値は 2.3 と 2.6 と異なっている場合を見ると、前者は後者より損失水頭の発生が 10cm 程度(改善率 8.3%程度)低く抑えられている。このことは、砂ろ過池における損失水頭の発生量を予測するには、沈澱水濁度ではなく STI 値を指標とすべきことを示唆している。また、 G_R 値の上昇による STI 値の低減化は損失水頭の抑制に大きく寄与し、STI 値が 3.2 から 2.3 に低下すると、損失水頭は 28cm(改善率 21.0%程度)も抑制されている。

3.3 STI 値によるろ過損失水頭の予測

沈澱処理水の STI 値が損失水頭の発生に大きく寄与することは前述の通りである。ここでは、STI 値が大きく異なる PAC と PSI-3 を対象にした連続流プラント実験(水温 6.0℃付近)の結果を表-5 に示す。

同表の沈澱処理水に注目すると、いずれの凝集剤を用いた場合にも、 G_R 値 150s⁻¹ よりも 600s⁻¹ の場合に、濁度、凝集剤残留量、および STI 値が低くなっている。また、 G_R 値の上昇に伴う各値の改善率は、PAC の場合、濁度 14.4、凝集剤残留量(Al または Fe)12.2、STI 値 20.0%、また、PSI-3 の場合、同 17.5、11.5、25.4%となっている。このように、凝集沈澱処理が難しい低水温下においても、 G_R 値の上昇が固液分離効率の向上につながっている。

ついで、PAC と PSI-3 の両者間における沈澱水濁度と STI 値とを見ると、前者が後者に比べて沈澱水濁度で 2.3 倍程度高いにも拘わらず、STI 値では 2.2~2.4 倍低くなっている点が注目される。すなわち、沈澱水濁度が清澄であっても、凝集剤が多量に残留する場合には STI 値が大きくなっている。また、使用する凝集剤の種類により STI 値が大きく影響されることも示唆される。

さらに、ろ過時間に伴う損失水頭の動きを図-4で見ると、沈澱水濁度の高低ではなく STI 値の高低によって、損失水頭の発生が影響されている。一方、 G_R 値を 150 から 600s⁻¹ へ上昇させることによる損失水頭の改善率は、PAC の場合で 16.4%、PSI-3 の場合で 18.6%となっている。いずれの凝集剤においても、 G_R 値の上昇による STI 値の低下が損失水頭の抑制に効いている様子が窺える。

ここで考えなければならないことは、PAC と PSI-3 との STI 値が同一であれば、損失水頭発生量が同一となるかということである。STI 値はメンブランフィルター表面でのケーキろ過に依っているのに対し、砂ろ過池での損失水頭はろ層内部空隙を利用した深層ろ過に依っていること、また、PAC と PSI-3 で形成されたフロックの砂

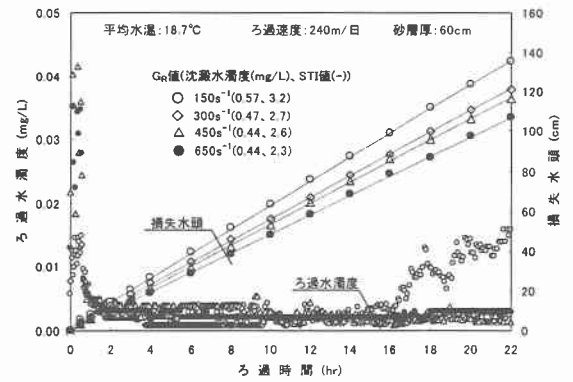


図-2 ろ過損失水頭とろ過水濁度の経時変化

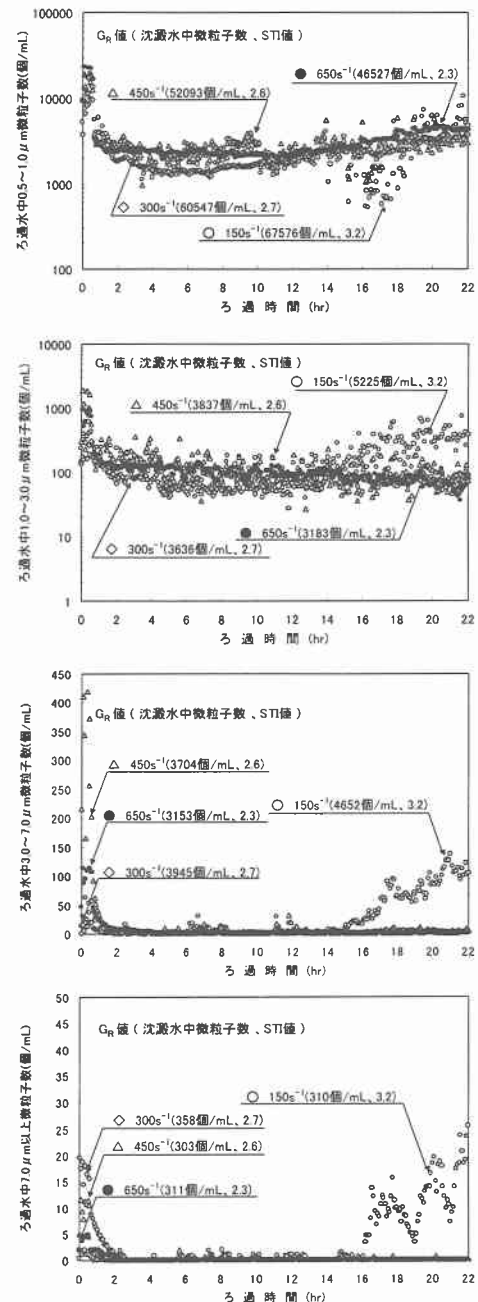
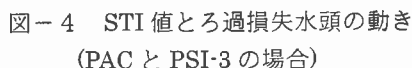


図-3 ろ過水に含まれる粒径ごとの微粒子数の経時変化
層内における抑留傾向や付着凝集力が大きく異なることから、恐らく、凝集剤が異なれば STI 値と損失水頭の発生量にも差があると考えられる。したがって、凝集剤ごと

凝集剤	処理水	G ₀ 値 (s ⁻¹)	変動範囲			
			Time (hr)	濁度 (mg/L)	Al or Fe (mg/L)	STI値 (-)
PAC	沈澱水	150	0-10	0.88-0.92 (0.90)	0.301-0.348 (0.326)	2.3-2.6 (2.5)
		600		0.75-0.79 (0.77)	0.270-0.301 (0.286)	2.0-2.1 (2.0)
	ろ過水	150		<0.01-0.07 (<0.01)	0.014-0.049 (0.028)	1.0-1.0 (1.0)
		600		<0.01-0.03 (<0.01)	0.012-0.059 (0.028)	1.0-1.0 (1.0)
PSI-3	沈澱水	150		0.39-0.42 (0.40)	0.425-0.468 (0.422)	5.8-6.0 (5.9)
		600		0.31-0.35 (0.33)	0.278-0.334 (0.307)	4.3-4.4 (4.4)
	ろ過水	150		0.01-0.03 (0.02)	0.008-0.019 (0.013)	1.0-1.0 (1.0)
		600		0.02-0.04 (0.03)	0.019-0.035 (0.024)	1.0-1.0 (1.0)

PAC注入率: 30mg/L(0.06mmol/L-Al/L) 原水水温: 6.0℃



今回の連続流プラント実験の結果から、砂ろ過池における損失水頭の抑制には、沈澱水濁度ではなく STI 値の低減化、すなわち、凝集剤残留量の更なる低減化が重要であること、また、STI 値を指標とした沈澱水の評価が有効であることを指摘した。なお、今回は、Gr 値の上昇による STI 値の低減化について報告したが、更なる低減化を達成するには、Gr 値の上昇だけでなく、Gs 値、Tr 値、Ts 値などの最適化を図ることが必要であろう。

- 1) G_R 値の上昇は、沈澱処理水中の濁度、凝集剤残留量および STI 値の低減化に有効であること。
- 2) PAC 使用の場合、ろ過継続時間 22hr までは、STI 値の変動(2.3~3.2)がろ過水濁度に与える影響は非常に小さく、微粒子数の動きについても同様であった。
- 3) 処理水濁度が同一であっても、STI 値が異なる場合には損失水頭の発生量に差が生ずる。
- 4) G_R 値を上昇させて STI 値を低下させると、砂ろ過池における損失水頭が抑制される。
- 5) 沈澱水濁度が清澄であっても STI 値が低いとは限らない。砂ろ過池の損失水頭は、沈澱処理水濁度ではなく STI 値に大きく影響される。
- 6) 砂ろ過池における損失水頭の抑制を目的に沈澱処理を行う場合には、沈澱水濁度ではなく凝集剤残留量、すなわち、STI 値を低下させることが重要である。

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卒論生、佐久眞光一、
芹沢宏幸の両君ならびに北見市広郷浄水場の高畑征夫係
長、萩下降係長に感謝の意を表す。

— 993 —