

(24) 下水 2 次処理水の急速汙過

建設省土木研究所

安中 徳二

〃

○京才 俊則

京都市下水道局

住山 淳

下水 2 次処理水の急速汙過は、建設費、維持管理費とも比較的安価で、SS、BOD の除去効率はそれぞれ 50～90%、30～80% と比較的高いことなどから、最も早く実施に移される 3 次処理プロセスのひとつと考えられる。このため、建設省土木研究所と京都市下水道局は鳥羽処理場構内に下向流式汙過池 3 池、上向流式汙過池 1 池から成る汙過池パイロットプラントを設置しこの手法に関する調査を行ってきている。本調査結果の一部はすでに報告しており、それらの内容は次の通りである。^{1), 2), 3)} a. 2 層汙過において全汙層厚を 1 m とすると、アンスラサイト層厚は 15 cm より 62.5 cm の方が汙過水質の低下を招くことなしに、汙過持続時間を 2 倍前後長くとれるという点で優れている。 b. 汙層最下部にガーネット等を敷く混合汙材は 2 層汙材より優れているとはいえない。 c. 2 層汙材上部に用いるアンスラサイトは有効径 1.6～1.8 mm 程度のものが適している。 d. 減衰汙過は定量汙過に比べてとくに有利な点がない。 e. 汙過池の洗浄は下水流入量の少ない夜間に行き、洗浄排水が 2 次処理系統に及ぼす影響を小さくした方がよい。 f. 汙過によって除去される浮遊物の粒径に関する調査を行った。その他、2 層汙材の汙層厚として 1 m と 60 cm を比較し、60 cm で得られる汙過水量は 1 m のその約 85% であることが見い出されている。

浄水では汙過を 100 年近く用いてきているため、下水 2 次処理水の急速汙過の実施にあたっては汙過池の設計、維持管理に関する知識の大部分は、浄水における技術を用いることができると考えられる。しかし、下水処理には浄水とは異ったいくつかの問題点があるので、浄水の汙過技術を下水処理に導入するに当ってはこれらの問題点を解決しなくてはならない。問題点としては a. 汙過水量の制御 b. 汙過原水の相違 c. 汙過水に要求される水質の 3 点に大別されると考えられる。本報文では、これらの問題が汙過池の設計維持管理に及ぼす影響の一部とその対策を以降考察し、次節以下に調査結果を述べる。

a. 汙過水量の制御 浄水では原水、汙過水にそれぞれ貯水池、配水池等の貯留施設があり、しかも給水量の予測が可能なることから、汙過水量を人為的に制御できる。一方、下水 2 次処理水をほぼ全量汙過する場合には、2 次処理水量が時間変動するため、汙過水量を人為的に制御するには相当規模の流量調整池を必要とする。汙過速度が流入水量の変動に対応して変化する汙過方式（以下、変動汙過という）が実用的であれば、流量調整池を設置しなくてもすむという面から、変動汙過はこの問題に対する一つの対策となりうる。このため変動汙過を定量汙過と比較し、その実用性を調査した。

b. 汙過原水の相違 浄水においては、原水中の SS の大半は無機性のものであるが、2 次処理水では無機と有機の混合物であり、SS の粘着性が浄水のものに比べ強いことが考えられる。このため汙過池の洗浄に十分な配慮を必要とする。これは、浄水では比較的表層汙過を行っているのに対し、下水では汙層全体を利用する汙層汙過を用いるため、汙層の内部まで SS が進入する点からも重要である。ここでは、従来、広く用いられている表面洗浄と逆流洗浄の組合せによる洗浄の実用性を調査した。

c. 汙過水に要求される水質 浄水は飲料水の生成を目的としているため、極めて清澄な汙過水が常に要求される。一方、下水 2 次処理水の汙過で要求される水質は浄水のそれより低いこと、および、一般的に汙過水質は、要求水質をうまわることが予測されるため、浄水における汙過に比較して、安全度を少なくとることができると考えられる。したがって、変動汙過を実施する場合には、必ずしも 2 次処理水全量を汙過池に通さずに、ピーク時の一部を放流することがありうる汙過池が実際的と考えられる。このため、そのような汙過池モデルを選定し、建設費、維持管理費、および必要敷地面積に関する費用関数を作成した。

1. 変動汙過の実用性の検討

実験に用いた重力式下向流汙過池の汙過面積は $1.0 \times 1.2 \text{ m}$, 2 層汙層の上部に敷いたアンスラサイトの ES, UC, および充填厚はそれぞれ 1.62 mm, 1.33, および 6.25 mm, また下部に敷いた砂のそれぞれの値は 0.61, 1.26, および 3.75mm である。汙過水量の制御は次のようである。フローパターン発生器からの電気信号により汙過水管にとりつけてあるルーツポンプの回転数が変化する。この時の汙過水量を三角ゼキで計量し, この実測値と設定値の差に応じて再びルーツポンプの回転数を調節する。汙過の停止は下部集水装置の有孔ブロックを含む全損失水頭が 3 m に達した時点とした。汙過池の洗浄は, 表面洗浄 0.2 m/分 で 9 分, 逆流洗浄は汙材の膨張比が 20 % となる 1.04 m/分 で 9 分, 表面洗浄と逆流洗浄とのオーバーラップ時間 7 分で行った。

流入水と汙過水の SS は, 表面散乱光式の濁度計で連続的に濁度を測定し, 別に求めた SS と濁度の関係式から求めた。⁴⁾ 実験結果として用いた SS は, 1 回の汙過の開始から終了までの 1 時間ごとの濁度の平均値 (変動汙過では汙過速度との重加平均値) である。1 回の汙過で得られた SS は SS 捕捉量 ($\text{kg} \cdot \text{SS} / \text{m}^2 \cdot \text{汙床}$) として表わす。全損失水頭 (集水装置を含む) は連続的に水位計で, 汙層内損失水頭は, 汙過開始時 10 時, 16 時に汙材表面より 10, 30, 50, 75, 100 cm の 5 か所でマノメータを用いて測定した。

実験に用いたフローパターンを図-1 に示す。時間最大 / 時間平均は 1.3, 時間最大 / 時間最小は 2.8 となっている。これらの値の全国調査結果を図-2 に示すが, 同図によると, それぞれの値は処理水量にかかわらず, 1.5, および 3 程度考えればよいことが分る。

実験は変動汙過の平均汙過速度として 300, 420 m/日, および定量汙過については 180, 300, 420, 500 m/日 について行った。

図-3 に流入水と汙過水の SS の関係を示す。同図より汙過水 SS は, 流入水 SS の増加とともに増えること, および定量汙過で汙過速度 180, 300, 420 m/日のグループ A と定量汙過 500 m/日 および変動汙過 300, 420 m/日のグループ B に分かれることが認められる。同図にそれぞれのグループの流入水と汙過水の浮遊物の関係を直線と仮定して求めた回帰式を示す。両グループの回帰式を比較するとグループ B の汙過水 SS はグループ A より約 $1 \text{ mg} / \ell$ 多くなっている。変動汙過と定量汙過を比較するため, 両汙過方式で共通している汙過速度 300, 420 m/日 で比べると, 変動汙過はグループ B, 定量汙過はグループ A に入っていることより本実験条件では流入水 SS が等しいときは, 変動汙過の汙過水 SS は, 定量汙過より約 $1 \text{ mg} / \ell$ 多くなるといえる。汙過速度 300 m/日の変動汙過の最大汙過速度は 391 m/日 で, 汙過速度から考えると水質がこのようなに低下することは考えにくいので, 汙過速度

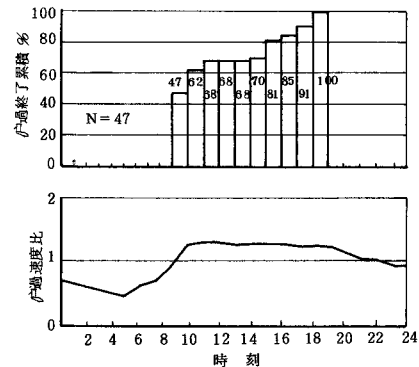


図-1 変動汙過における汙過終了時刻

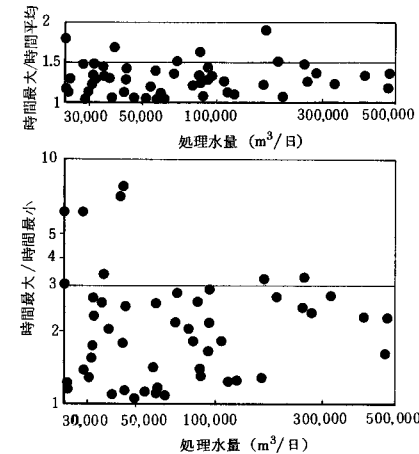


図-2 2 次処理水量変化

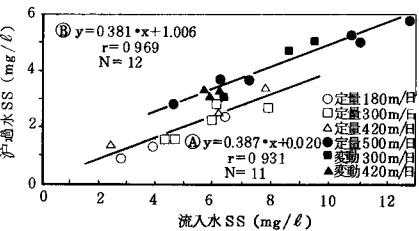


図-3 流入水 (2 次処理水) と 汙過水の SS

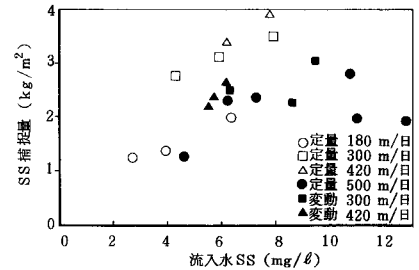


図-4 流入水 (2 次処理水) SS と SS 捕捉量

の変動自体に問題があると考えられる。

図-4に全損失水頭を3mとしたときのSS捕捉量を示す。同図より、汙過速度500m/日を除く実験では流入水SSの増加とともにSS捕捉量も増していること、また定量汙過300、420m/日は他の実験条件のものよりSS捕捉量が多くなっていることが認めらる。図-5に流入水SSと汙過水量の関係を示す。同図は、汙過速度300、420m/日では変動汙過と定量汙過の汙過水量はほぼ等しいことを示しているの、汙過速度300、400m/日での変動汙過と定量汙過のSS捕捉量の比較は、SS除去濃度の比較になる。例えば流入水SSを8mg/lとし、図-3より汙過水SSを求めSS除去濃度を計算すると、変動汙過、定量汙過でそれぞれ4.9、5.9mg/lとなる。したがって汙過速度300、420m/日で変動汙過を行うと、SS捕捉量は定量汙過の4.9/5.9=0.83と約80%になる。

図-1に、変動汙過において汙過が停止した時刻とその累積度数を示す。同図には本実験以外のデータも含まれている。これらの実験の汙過開始時刻は9:00~16:00となっている。同図より、全損失水頭が3mに達した時刻は、汙過水量増加終期、および高水量時に限られていることが分る。特に汙過水量増加終期の9時台に全体の約半分が終了している。一例を図-6に示す。このことは、変動汙過を実施した場合、複数の汙過池がほぼ同時刻に許容損失水頭に達し、汙過池処理能力の不足を招く可能性を示唆している。このため、夜間などの低水量時に汙過池の洗浄を行い、流入水量の増加時刻と高水量時を乗り切ることが考えられる。これは、低水量時に汙過池を洗浄し、その洗浄排水による2次処理系統への影響を小さくするという考えとも合致する。

図-7は定量汙過における汙層内損失水

頭増加率の平均値と汙層深度の関係である。ここで損失水頭増加率とは、各汙材深度間における損失水頭から、その深度間の初期損失水頭を減じた値の、同様に求めた汙層深度1mに対する比率をいう。同図より、汙過速度によってSSの捕捉形態が異なっていることが見い出される。すなわち、汙過速度180m/日では表層汙過、汙過速度500m/日ではアンスラサイトと砂の混合部、あるいは砂層部汙過の傾向を示している。一方これらの中間の300、420m/日では180、500m/日にくらべて、汙層全体を利用する汙層汙過に近い形になっている。このために、本実験条件下では、300~420m/日の汙過速度で、汙過水質、SS捕捉量の両面から優れた結果が得られたと考えられる。

2. 繰り返し汙層洗浄の結果

前節で述べた汙材構成(図-12参照)の汙過池を約2年8か月間、実験に用いた。この間汙過の停止は全損失水頭3mに達した時点とし、汙過停止後の汙過池洗浄は前節で述べた方法(図-8参照)を用いた。洗浄結果の一例を図-8に示す。図-8に示すSSは、洗浄排水の濁度を、表面散乱光式の濁度計で連続的

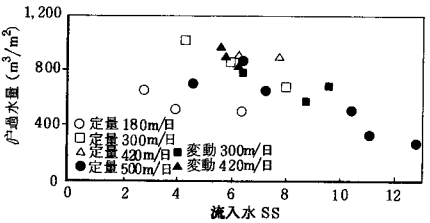


図-5 流入水(2次処理水)SSと汙過水量

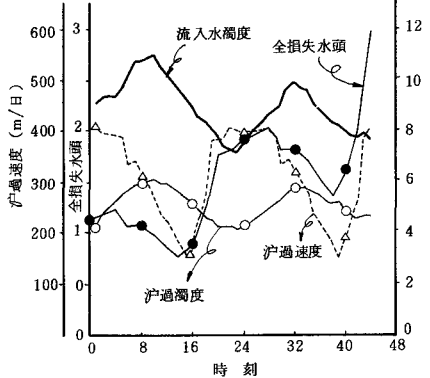


図-6 変動汙過の例

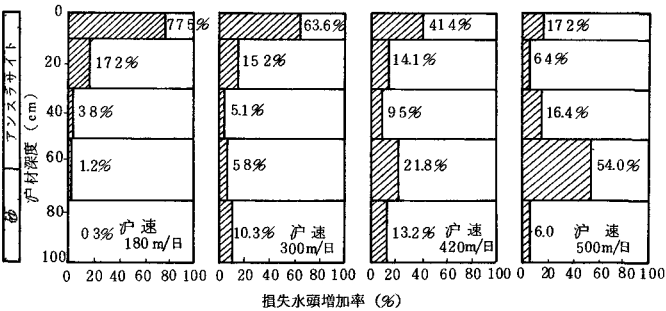


図-7 損失水頭増加率と汙材深度

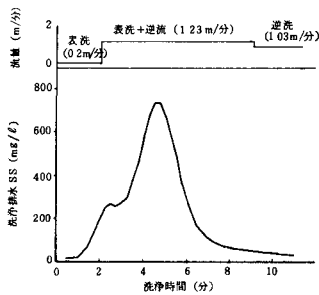


図-8 洗浄結果の一例

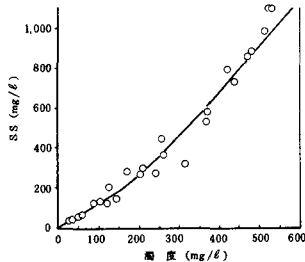


図-9 洗浄排水のSSと濁度の相関

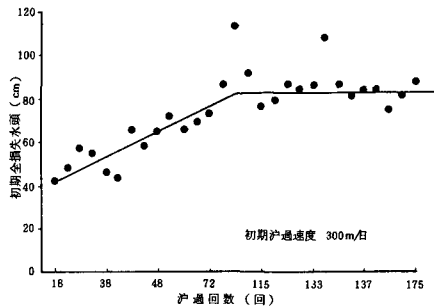


図-10 濾過回数と初期損失水頭の変化

に測定し、図-9に示す濁度とSSの関係から求めたものである。同図より濁度150mg/l前後でSSとの関係が変化しているが、SS1,000mg/l程度までの洗浄排水は、表面散乱光式濁度計を用いてそのSSが推定できることが分る。

約2年8か月の間に、この濾過池を用いて175回の濾過を行った。この間濾過速度は180、300、420、500m、濾過方式は定量、変動、減衰と実験条件は種々に変化させている。このため、洗浄後の初期全損失水頭の経時変化を調査するため、初期濾過速度300m/日の濾過をとり出し、濾過回数との関係で図-10に示した。

同図によれば、初期全損失水頭はある程度の濾過回数までは徐々に増加し、以降ほぼ平衡に達し一定値を示している。図より濾材の使用開始時と平衡後の初期全損失水頭をそれぞれ40、80cmとし、濾過停止を全損失水頭300cmのときとすると、平衡後の有効損失水頭は使用開始時の $220/260 \div 0.85$ と約85%に低下していることになる。

図-11に示す濾過回数18と175回目の濾過層内損失水頭分布より、図-10に示す初期全損失水頭分布の増加はアンスラサイト層よりも砂層によっていることがうかがわれる。175回目の濾過終了、濾過池洗浄後濾材をかき出し、水道用ろ砂試験方法を用いて濾材へのSS付着量を測定した。結果を図-12に示す。アンスラサイト表面のSS付着量は8.3g/l・濾材と下部のアンスラサイトと比較すると多いが、これは洗浄後、洗浄排水桶（濾材上部より70cm）へ排出されずに残留したSSが濾層表面に沈殿したためとも考えられるので、アンスラサイトには全層に渡って2~4g/l・濾材程度のSSが付着していたと推察される。これに反し、砂へのSS付着は著しく15~18g/l・濾材もありアンスラサイト層に比べ砂層の洗浄が不十分であることが示され図-11の結果を裏付けている。

濾材をかき出し後、濾過池にかき出し濾材とほぼ同様の新濾材（アンスラサイトES=1.51、UC=1.19；砂ES=0.58、UC=1.28；濾層厚は同一）を充填した。この濾材交換時に上向流式濾過池は濾材交換を行っていない。そこで濾材交換前後で上向流式濾過池をベースにSS除去率の変化を検討してみた。濾材交換前後それぞれ6回の濾過の平均濁度除去率は、下向流式濾過池で53、62%、上向流式濾過池で59、55%となっている。すなわち、濾材交換前では上向流式濾過池の濁度除去率に比べ、下向流式濾過池は6%低く、反対に濾材交換後では7%高くなっている。これが砂部へのSS付着のためとは速断できないが、その可能性は大きいと考えられる。

図-12に示す各層別のES、UCによると、アンスラサイトは多少摩滅し、また成層化していること、およびUCは搬入時の値と大差なく、濾材を流動させても1.3以下にはなりにくいことが分る。

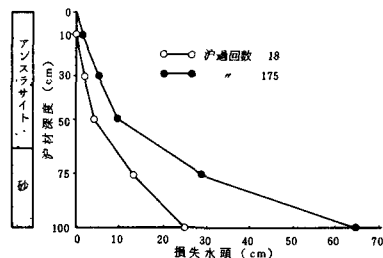


図-11 初期損失水頭の変化

濾材構成	濾材深度 (cm)	SS 付着量 (g/l)	ES (mm)	UC
アンスラサイト	0	8.3	1.40	1.29
	10	3.5	1.50	1.31
	20	2.3	1.59	1.32
	30	2.3	1.60	1.31
	40	2.5	1.60	1.33
	50	2.2	1.65	1.33
砂	60	9.2	0.63	2.90
	70	16.5	0.52	1.50
	80	15.4	0.62	1.26
	90	17.8	0.62	1.26
	100	15.1	0.62	1.27

・搬入時の濾材 ES1.62、UC1.33
 アンスラサイト ES0.61、UC1.26
 ・濾材深度60cmはアンスラサイトと砂の混合層

図-12 濾材調査結果

3. 汚過池モデルの選定, および費用関数の作成

3.1 汚過池モデルの選定

変動汚過を行う汚過池は, 汚過水量を制御するタイプと, 流入水量を制御する方式に大別できる。前者は汚過池の水位を一定に保つよう, 汚過池の水位検出装置とバルブあるいはポンプを連動させ, 変動する流入水量を汚過するよう開度あるいは回転数などを制御する方式である。後者は流入水量および汚層の目づまりに応じて汚過池の水位が変動する方式である。この方式はさらに流入水の取り入れ方法によってカスケード型と非カスケード型 (可変減衰汚過, variable declining rate filtration) に分れる。可変減衰汚過 (図-13) では流入水が非カスケードに入ってくるため, 複数の汚過池の水位はすべて等しい。このため, SSを多く捕捉している汚過池程, 汚過速度は小さくなり, 洗浄直後の汚過池が他の汚過池より最も大きな汚過速度をとることになる。汚層の目づまり, 流入水量の増大は, 汚過池水位の上昇となって現われてくる。費用関数の作成にあたって, この可変減衰汚過池を設計モデルとして採用した。その理由は次の通りである。

a. 汚過池設計条件として, 各汚過池 1 日 1 回, 2 次処理水量の少ない時間に洗浄すること, 許容損失水頭 (この場合 3m) を越えた場合は 2 次処理水をバイパス放流することを採用したが, この条件では各池の損失水頭が独立している他の汚過方式より, 独立していない本汚過方式の方がバイパス放流する機会が少い。b. 流量制御に機械設備を必要としない。c. 汚過水は汚層より高い位置にあるセキを越流して汚過水室に入るため, 汚層内の負圧発生が未然に防げる。d. 汚過速度の変化がおだやかである。等である。

一方, 欠点としては a. 汚過水室に設けるセキのために汚過池が深くなる。b. 汚過池水位を各池とも一定に保つため, ヘッダーからの配管は摩擦損失を小さくするため太くする必要がある。c. 各池の汚染, 目づまり状況を把握するには, 各池からの処理水量を知る必要がある。等が考えられる。

3.2 汚過池設計条件

a. 計画汚水量 日最大で 30,000; 100,000; 300,000m³/日 (図-14 参照) b. 汚過速度 日最大に対し 300m/日 c. 汚過池断面, 汚材等 図-15 参照 d. 洗浄 洗浄用水は汚過水とし, 非常時に 2 次処理水を使う。洗浄計画は図-16 参照。1 日 1 回各池を順に洗浄する。汚過水室には 1 池分の洗浄用水を確保し, 2 池以降は洗浄していない汚過池からの汚過水でまかなう。e. 汚過池数 洗浄用水の確保

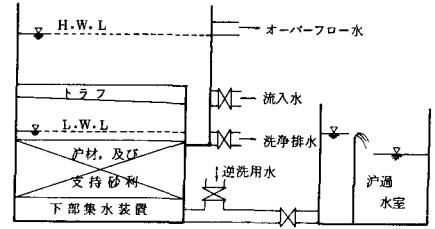
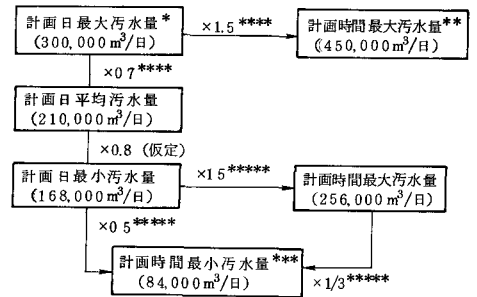


図-13 可変減衰汚過池



* 汚過地設計に用いる。 **** 下水道施設設計指針と解説
** 配管類設計に用いる。 1/3
*** 池数決定に用いる。 ***** 図-2より

図-14 設計に用いた汚水量 (300,000m³/日の例)

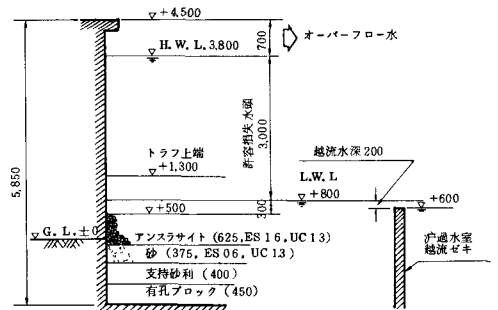


図-15 汚過池断面概略

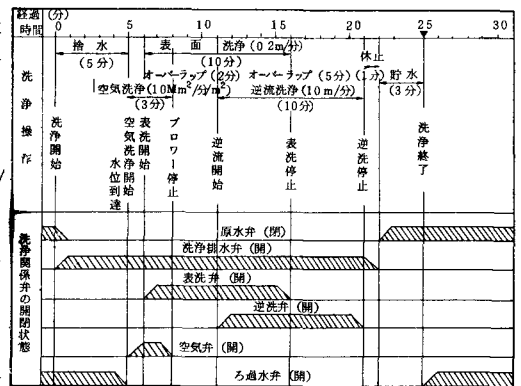


図-16 汚過池洗浄計画

許容最大汚過面積⁶⁾、および洗浄できる低水量時の時間帯を6時間とし、この3点から検討した結果、洗浄用水の確保より各計画汚水量に対しすべて12池とした。

3.2 費用関数の作成

表-1 費用関数積算結果(単価は昭和53年度単価)

3.1, 2の条件で2次処理水の急速汚過実施に必要な建設費、維持管理費、敷地の積算結果を表-1に示す。

処理施設設計にあたっては、処理場ごとにそれぞれ特殊性があるため、表-1に示す積算はおおよそ汚過池単体をその範囲としており、次に示す事項は積算していない。
建設費：原水ポンプ施設、洗浄排水処理、汚過水の放流、管理棟、一次電源配線、薬品洗浄設備、維持管理費：人件費、敷地：原水ポンプ敷設を除く建設費積算外事項。

項目	合計、内訳、及び費用関数	計画最大汚水量(Q・千m ³ /日)			備 考
		30	100	300	
建設費 円/㎡汚水	合計	15,350	7,280	5,250	
	土木	3,110	1,940	1,730	土工、水替工、コンクリート工
	機械	5,430	2,420	1,640	配管、塗装、ポンプ、フローア
	汚過池内設備	1,300	1,140	1,160	表洗装置、トラフ、集水装置、汚材、支持砂利、空気管
	電気	5,500	1,780	720	受電盤、操作盤等盤類、計装機器、配線工事
	費用関数(C,千円/千m ³)	$C = 0.389 \cdot Q^2 - 0.166 \times 10^3 \cdot Q + 0.200 \times 10^4$			
維持管理費 円/㎡汚水	合計	6.18	2.57	1.76	
	電気	0.03	0.01	0.01	原水ポンプ以外のポンプ、弁類、計器、電気単価10.74円/KWH
	原水ポンプ用電気	1.08	0.33	0.25	スクリーポンプ、揚程6.6m以上
	汚材補充	0.04	0.04	0.04	アンスラサイトを年間5%補充
	汚材交換	0.09	0.07	0.07	汚材交換は支持砂利を含め10年に1度
	補機類維持	0.06	0.06	0.06	補修、および給油に200,000円/10,000m ³ ・年
	減価償却	4.88	2.07	1.32	償却年次、土木、汚過池内設備20年、機械、電気7年
敷 地	費用関数(M,円/千m ²)	$M = 0.175 \cdot Q^2 - 0.744 \times 10^2 \cdot Q + 0.825 \times 10^4$			
	敷地(㎡/㎡・汚水)	0.086	0.057	0.041	
	W(m)	39.2	58.2	76.9	
	L(m)	66.0	98.2	158.9	
	S(m)	10	15	20	
	X(m)	15	20	25	
	敷地関数(A,㎡/千m ³)	$A = 0.124 \times 10^{-2} \cdot Q^2 - 0.575 \cdot Q + 0.102 \times 10^3$			

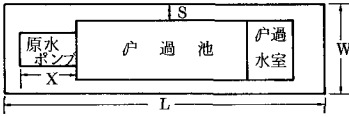


表-1より建設費、維持管理費、敷地ともスケールメリットが大きく出ている。このひとつの原因として処理水量にかかわらず汚過池数を12池としたことがあげられる。洗浄用水として汚過水でなく2次処理水を用いる、あるいは汚過水室を大きくとることによって処理水量に応じて汚過池数を洗浄用水の確保という観点以外から決定できれば、別の結果が出ると予想される。建設費のうち汚過池内設備費の割合が比較的大きい。このうち約1/3は集水装置(有孔ブロック)で占められている。また、表洗装置、トラフ、空気管は水没するということからステンレス製にしたこともこの原因である。維持管理費のほとんどは減価償却費となっており、減価償却費を除くと30,000, 100,000, 300,000m³/日でそれぞれ1.30, 0.57, 0.44円/m³となる。維持管理にかかる電気料のうちほとんどは2次処理水の揚水にかかり、2次処理水の揚水と比較すると洗浄にかかる電気料はきわめて少い。敷地の積算において汚過施設周辺の余裕巾を30,000, 100,000, 300,000m³/日でそれぞれ10, 15, 20mとしたが、この値の決定に特に大きな根拠がないにもかかわらず、必要な敷地面積に及ぼす影響は大きく出ている。

4. まとめ

a. 変動汚過を定量汚過と比較し、汚過水質は多少低下し、SS捕捉量は約80%となることを示したが、この程度の効率低下であれば変動汚過は実施可能と考える。b. 表面洗浄と逆流洗浄から成る洗浄方式で175回の汚過一洗浄サイクルを繰り返した結果、初期損失水頭はある程度までは増加するが以降、一定値を保つようになる。初期損失水頭の増加を防ぐには空気洗浄、薬品洗浄等の手段を付加することが考えられる。c. 2次処理水の急速汚過に必要な建設費用、維持管理費用、敷地を、可変減衰汚過池をモデルとし3に示す条件で求めた。この結果は1例として用いることができる。

<参考文献> 1) 柏谷・京才, 第10回衛生工学研究討論会講演集, 昭49 2) 柏谷, Advanced Wastewater Treatment JRGWP Seminar, 1976 3) 京才・住山, 第33回年講, 昭53 4) 安中, 下水協誌, Vol.15, No.174, 1978 5) Cleasby, H.E., Jr., JAWWA, 61:4, Apr., 1969 6) 水道施設設計指針・解説, 日本水道協会, 1977