

✓新 報

I S S N 0386 - 5878
土木研究所資料第1521号

下水2次処理水の急速汙過 に関する設計資料

昭和54年7月

建設省土木研究所
下水道部三次処理研究室

は　じ　め　に

下水2次処理水の急速汚過は、建設費、維持管理費ともに比較的安価で、浮遊物、BODの除去率はそれぞれ50%~90%、20%~80%と比較的高いことなどから、最も早く実施に移される高度処理プロセスのひとつと考えられる。また、急速汚過法は、リン、窒素、溶解性有機物、あるいは無機塩類などの除去を目的とした種々の高度処理プロセスにおいても、仕上げ処理、あるいは前処理として必須のプロセスであることから、下水処理における急速汚過池設計法の確立は急務となっている。

建設省土木研究所では昭和48年より、京都市鳥羽処理場構内に、下向流式汚過池3池、上向流式汚過池1池から成る急速汚過池のパイロットプラントを設置し、下水処理における急速汚過法の調査を行ってきた。本資料は、この調査のうち、環境保全を目的として下水2次処理水全量を急速汚過する方法について、設計資料となるようまとめたものである。関係各位の参考になれば幸いである。

目 次

1. 概 説	1
2. 浄水からの技術導入	2
3. 計画下水量および水質	3
4. 汙過形式, 構造	6
5. 汙過水量制御方式	10
6. 汙過面積, 池数, および形状	16
7. 汙過速度	18
8. 設定全損失水頭	21
9. 汙 材	23
10. 下向流式汙過池の汙層	25
11. 上向流式汙過池の汙層	34
12. 砂理層の厚さおよび汙過砂利	36
13. 下部集水装置	37
14. 洗浄方式	43
15. 洗浄間隔	51
16. 洗浄用水	54
17. 洗浄タンクおよび洗浄ポンプ	55
18. 洗浄排水きょおよびトラフ	57
19. 急速汙過池の配管および弁類	59
20. 配管廊および操作廊	61
21. その他	62
今後の課題	68
おわりに	69
参考文献	70

1 概 説

活性汚泥法等による下水2次処理水には、通常、10~20mg/ℓ程度の微生物のフロックが主体となっている浮遊物が含まれている。この有機性の浮遊物を2次処理水から除去することによって、さらに優れた処理水を得ることができる。

このような低濃度の浮遊物の除去法としては、マイクロスクリーニング法、および急速濾過法が知られている。急速濾過法は世界的には100年以上も前から、わが国においては1912年に京都市蹴上浄水場で建設、運転されて以来、浄水の根幹技術のひとつとして用いられてきている。下水処理分野では、下水処理場の場内雑用水を含む下水処理水の再利用を目的として、2次処理水のマイクロスクリーニング、あるいは急速濾過が数多く実施されている。

マイクロスクリーニングは、主に円筒状の金網のふるい目によって、浮遊物を除去する方法であり、建設費、維持管理費等安価で経済性に優れている。

急速濾過は、砂、アンストラサイト、ガーネット等の粒状濾材から成っている濾層に比較的高速で水を流し、主として濾材への付着や濾層でのふるい分けによって浮遊物を除去する方法であるが、その濾過水の水質、安定性の点でマイクロスクリーニングより優れている。

下水2次処理水を急速濾過して得られる水質は、下水2次処理水の水質に占める浮遊性汚濁物質の割合、および濾過による浮遊物除去率によって決定される。種々の活性汚泥処理水を急速濾過して得られた、各汚濁物質の除去率を示す表-1.1によると、急速濾過による除去率が高い汚濁物質は浮遊物、濁度、BODであるが、それぞれの除去率には50~90%、20~80%程度とかなりの幅がある。これは各データを得た濾過池の濾材構成、濾過速度等の条件が同一でないことにもよるが、浮遊物の被濾過性、浮遊性汚濁物質の割合など活性汚泥処理水の特性の差異におうところが多いと考えられる。したがって、現時点では2次処理水の急速濾過によって得られる水質を予測するためには、対象とする下水処理場の2次処理水を用いたパイロット実験が必要となろう。その他、5~40%程度のCOD、わずかのN・Pが活性汚泥処理水の急速濾過によって除去されている。大腸菌の除去については、除去できた結果とできない結果がある。

表-1.1 下水2次処理水の急速濾過で得られる水質（除去率%）

文献	SS	濁度	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	K-N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	P	備 考
1.	59~78		40~70	10~30		←	ほとんどなし	→			PACを入れると除去率増大
2.	70				30(16~62)						
3.		81~84	25	20	24						
4.			30~45								
5.	90		60~80	10~20	20~25	1~7	10~20	硝化が進んでいる。			大腸菌75%以上除去
6.			60~80								
7.	78~80	70	42~73	32~37							Feが除去されている
8.	77		14					硝化が進んでいる。			大腸菌、一般細菌は除去されず
9.	53~74	25~66	57~77	6~23							流入水SS=12~15mg/ℓ

2. 浄水からの技術導入

浄水の急速汚過技術を導入するにあたって、下水2次処理水の急速汚過独特の問題点を解決しなくてはならない。

<解 説>

浄水では汚過を100年近く用いてきているため、下水2次処理水の急速汚過の実施にあたって汚過池の設計、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、浄水の汚過技術を下水処理に導入するに当た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) 汚過水量の制御 b) 汚過原水の相違 c) 汚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。

a) 汚過水量の制御 浄水では原水、汚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ことから、汚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汚過する場合には、2次処理水量が時間変動するため、汚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。汚過速度が流入水量の変動に対応して変化する汚過方式(変動汚過という)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、変動汚過はこの問題に対する一つの対策となりうる。

b) 汚過原水の相違 浄水においては、原水中の浮遊物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、浮遊物の粘着性が浄水のものにくらべ強いことが考えられる。このため汚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汚過を行っているのに対し、下水では汚層全体を利用する汚層汚過を用いるため、汚層の内部まで浮遊物が進入する点からも重要である。

c) 汚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、極めて清澄な汚過水が常に要求される。一方、下水2次処理水の汚過で要求される水質は浄水のそれより低いこと、および、一般的に汚過水質は、要求水質をうわまわることが予測されるため、浄水における汚過に比較して、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、変動汚過を実施する場合には、必ずしも2次処理水全量を汚過池に通さずに、ピーク時の一部を放流することがありうる汚過池が実際的と考えられる。

3. 計画下水量および水質

(1) 計画下水量は表-3.1を標準とする。

表-3.1 計画下水量

施設	計画下水量	摘要
急速汚過池	計画1日最大汚水量	洗浄用ポンプ、ブローア
導水管きょ等	計画時間最大汚水量	原水揚水ポンプ
汚過池数	計画時間最小汚水量	洗浄水を汚過水とする場合

(2) 2次処理水量および水質、濃度については、あらかじめ十分調査のうえ、決定しなければならない。

<解説>

(1)について

急速汚過池、導水管きょ等の計画下水量は、“下水道施設設計指針と解説¹¹⁾”に準じている。急速汚過池の洗浄は低水量時に行うことを標準(15節参照)としたので、汚過水で洗浄する場合は、洗浄水量確保のため、汚過池数は計画時間最小汚水量を考慮して設計する必要がある(6節参照)。

計画下水量は急速汚過池を設置する下水処理場の実測値を用いることが望ましいが、それぞれの汚水量の標準的な関係は次のようである。

a) 計画1日平均汚水量は、計画1日最大汚水量の70～80%とする。¹¹⁾

b) 計画時間最大汚水量は、計画1日最大汚水量の1時間当たりの量の1.3～1.8倍とする。¹¹⁾

c) 計画時間最小汚水量は、計画時間最大汚水量の1/3とする(図-3.1)。

但し、流量調整池(5節参照)を設ける場合は、流量調整後のそれぞれの値を計画下水量として用いるものとする。

表-2に京都市鳥羽処理場の2次処理水の月、日、時間変動を示す。¹²⁾

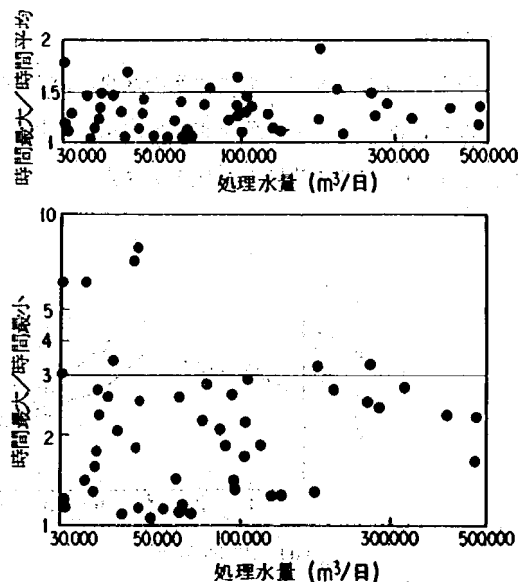


図-3.1 2次処理水量変化

表-3.2 2次処理水量の年間、週間、日間変動例

月	流量比
4	0.95
5	0.95
6	1.03
7	1.12
8	1.10
9	1.08
10	1.06
11	0.96
12	0.95
1	0.92
2	0.96

1969年～1975年

曜 日	流量比
日	0.86
月	1.03
火	1.03
水	1.02
木	1.03
金	1.03
土	1.00

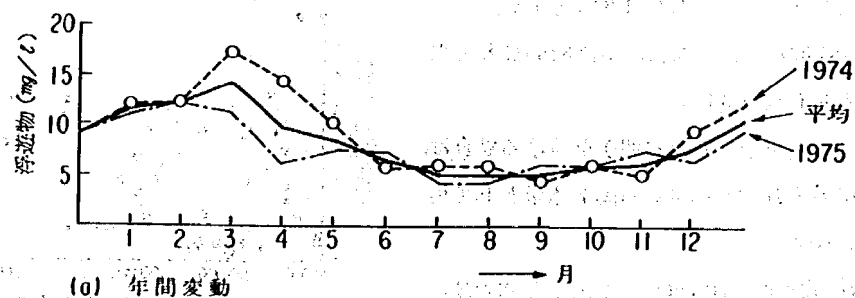
1975年1月～
1976年1月

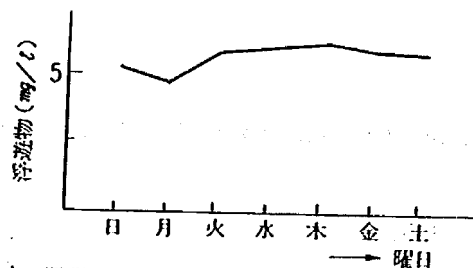
時 間	流量比
9	0.73
10	1.18
11	1.37
12	1.42
13	1.41
14	1.32
15	1.27
16	1.29
17	1.31
18	1.29
19	1.26
20	1.18
21	1.11
22	1.02
23	1.00
24	0.81
1	0.81
2	0.72
3	0.61
4	0.59
5	0.55
6	0.52

1974年6月～1976年2月

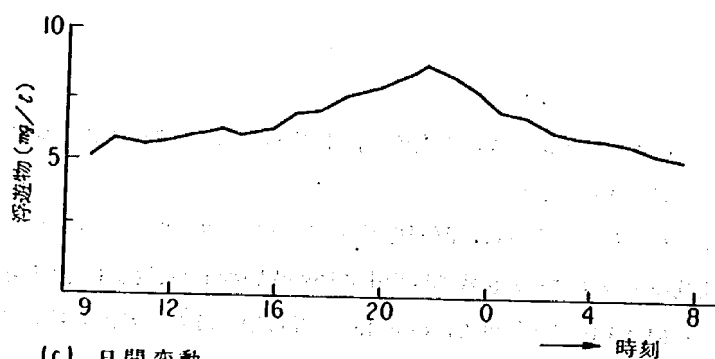
(2)について

計画下水量とともに2次処理水の水質、浮遊物濃度ならびに時間変動等は、急速汚過地面積決定に用いるので、あらかじめ十分調査して決定しなければならない。図-2、表-3に2次処理水の浮遊物濃度、浮遊物負荷量の時間変動例を示す。¹²⁾





(b) 週間変動



(c) 日間変動

図-3.2 2次処理水の浮遊物濃度の時間変動

表-3.3 2次処理水の浮遊物負荷量の時間変動

月	負荷量比 $\frac{M}{Y}$
4	1.19
5	1.01
6	0.84
7	0.70
8	0.69
9	0.68
10	0.80
11	0.72
12	0.89
1	1.33
2	1.44
3	1.70

曜日	負荷量比 $\frac{D}{w}$
日	0.79
月	0.85
火	1.06
水	1.08
木	1.11
金	1.08
土	1.03

時刻	負荷量比 $\frac{Hp}{D}$
9	0.57
10	1.23
11	1.16
12	1.23
13	1.28
14	1.25
15	1.15
16	1.25
17	1.33
18	1.35
19	1.44
20	1.40
21	1.39
22	1.34
23	1.27
24	1.04
1	0.85
2	0.72
3	0.58
4	0.53
5	0.48
6	0.44
7	0.46
8	0.47

4. 汚過形式，構造

- (1) 急速汚過池の形式，構造は，汚過ならびに洗浄が効率的，確実に行われるものでなければならない。
- (2) 急速汚過池は重力式を標準とする。

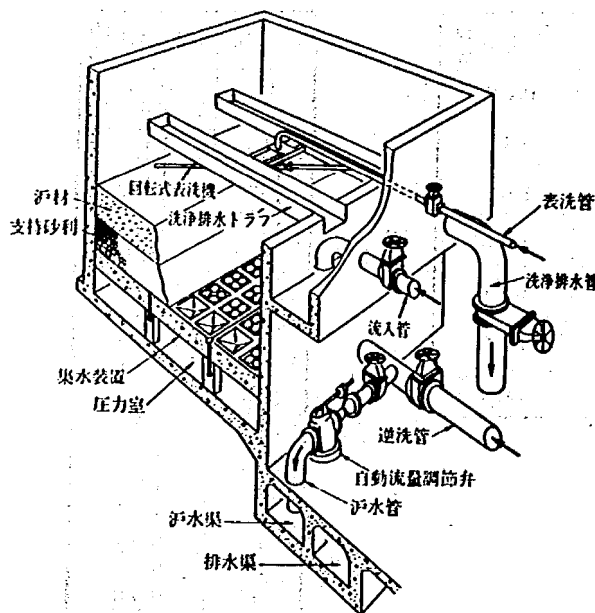
<解説>

(1)について

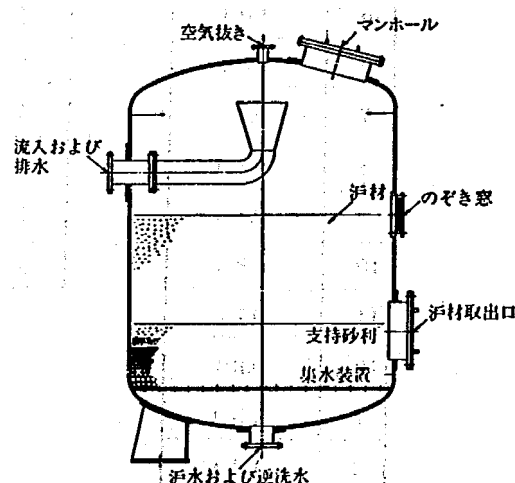
急速汚過池は汚過方向によって下向流式，上向流式，上下向流式，水平流式に分類される。

a) 下向流式汚過池（図一4.1，4.2）

汚層上部から取り入れられる流入水は，汚層を下方に向かって流れる間に汚過される。単一汚材で構成される汚層を，逆流洗浄で洗浄すると沈降速度の小さい細かい粒子が選択的に汚層上層に集積する。このように成層化された汚層で汚過を行うと，流入水中の浮遊物のほとんどは上層で抑留されるため，汚層全体が有効に利用されないとともに損失水頭が急激に増加し，汚過1回あたりの浮遊物捕捉量は小さくなる。このため，汚層上部に下部の汚材（通常は砂，比重2.55～2.65）より粒径が大きく比重が小さい汚材（通常はアンスラサイト，比重1.4～1.6）を充填した汚層，さらに砂層より下部に砂より粒径



図一4.1 重力型下向流式急速汚過池の構造



図一4.2 圧力型下向流式急速汚過池の構造

が小さく比重が大きい汚材（カーネット、イルミナイト等）を充填した汚層が、粗粒層から細粒層へ水を通すことによって、汚層全層近くが利用できるため浮遊物が捕捉量が増加することから実用化されてきている。前者を単層汚層といい後者を2層、あるいは多層汚層という。下水2次処理水の急速汚過では、2層汚過池を標準とする（10節参照）。

b) 上向流式汚過池（図-4.3）

下向流式汚過池が汚層を2層、あるいは多層することによって、浮遊物捕捉量を増加させたのに対して、粗汚材が集積している下部から流入させ上向きに汚過することによって浮遊物捕捉量を増加させたのが、上向流式汚過池である。上向流式汚過池では、汚過速度を大きくして行くと、あるいは汚層の目づまりが進行し汚層内の摩擦損失が大きくなって行くと、汚層は膨張、流動化し、抑留した浮遊物は汚過水中に流出し、汚過が行えなくなる。このため、上向流式汚過池では比較的粗い汚材を厚く充填するとともに、格子（グリット）を汚材上部に設けて汚層の膨張を防ぐのが一般的である（11節参照）。

c) 上下向流式汚過池（図-4.4）

上向流式汚過池の汚層の膨張を抑える方法として、原水の水圧を利用したものが上下向流汚過池である。原水は上・下両端から入り、汚過水は、汚層中央付近に設けられた集水装置から出る。このような構造にすれば、上下から同じ圧力がかけられているから、どんなに汚過速度を上げても、汚材が動き出すことはない。しかも、同じ平面積の汚過池で汚過面積は2倍に使える。

この形の汚過池で、上下流合わせて1,000 m/日程度の汚過速度がとられることは珍しくない。

上下向流汚過池では、上側汚層にはアンスラサイトと砂を、下側汚層には砂を使うことが多い。

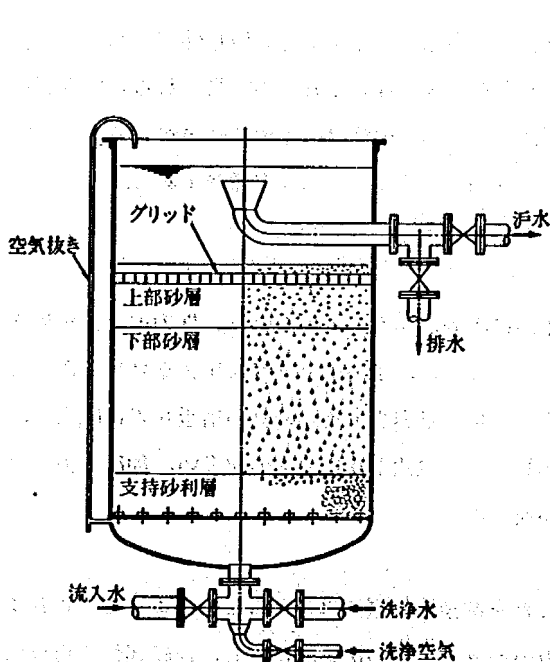


図-4.3 上向流汚過池の構造

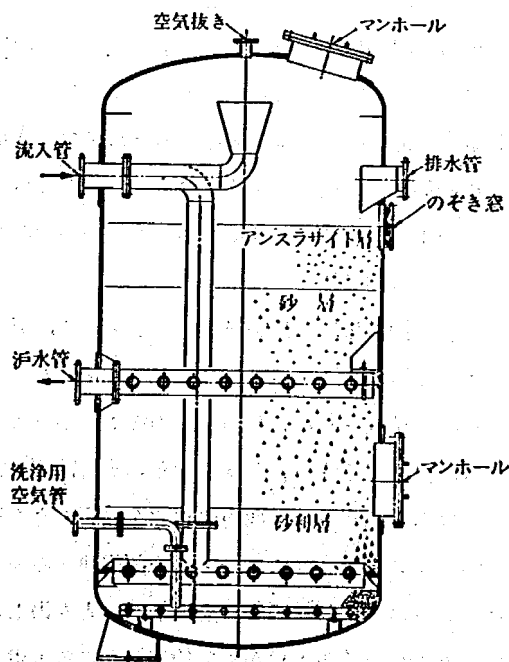


図-4.4 上下向流汚過池の構造

d) 水平流式汚過池 (図-4.5)

この汚過池では、円筒形汚層の中心部から円周部に向って水が流れるようになっている。したがって、汚過速度は流入端で大きく、次第に低下して、流出端で最も小さい。

汚過速度が大きいと、懸濁物の到達深度も大きい。したがって、このように汚過速度が汚層を通る間に漸減していく汚過池では、懸濁物の抑留深度が適度に大きくなって、汚層全体が有効に使われる。

大部分の懸濁物を除去された水は、外周の低汚過速度部を通る間に最終仕上げが行なわれて、良好な水質となって流出する。

このように、懸濁物の抑留深度は大きく、しかも汚過水水質は良好にという、やや矛盾した2つの命題を水平流汚過池では同時に満たすことができる。このほか、水平流汚過池の利点として、高さを高くすれば、平面積と無関係に汚過面積を大きくできることが挙げられる。これによって、設置面積が小さくなるばかりでなく、逆洗水量を小さくできる。逆洗速度は汚層の平面積によって決まるからである。また急速汚過池は汚過圧の確保法によって重力式と加圧式に分類される。

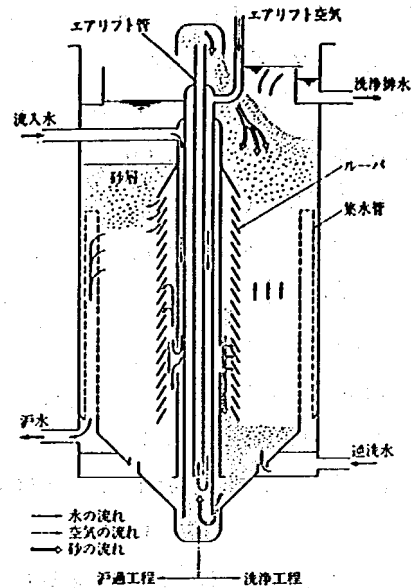


図-4.5 水平流汚過池の構造

e) 重力式汚過池

重力式汚過池は、池内に自由水面を有し、池内水位と流出水位の水頭差を利用して汚過が行われる。

汚過池の上部が開放されているので、池内の状態が監視でき、保守や補修の容易であるという利点がある。一方、汚過水頭を確保するために加圧式汚過池にくらべ汚過池は深くする必要がある。上水では、この形式の汚過池が採用されており、実績は古い。鉄筋コンクリート造りが標準である。

図-4.1, 4.3, 4.5はこのタイプの汚過池である。

f) 加圧式汚過池

加圧式汚過池は、密閉構造になっていて、外殻上面に圧力がかかるものをいう。重力式では損失水頭を大きく取ろうとすると、池壁を高く造らなくてはならないが、圧力式では流入圧力を高めるだけでこの目的が達成される。しかし、内圧がかかることから、材質は引張り強度の強い鋼板などに限られ、形状も円筒形とされる。あまり大きいものは製作が困難で、比較的小規模のことが多い。加圧式汚過池は密閉構造を取るため、池内の状態を監視できない不便がある。

図-4.2, 4.4はこのタイプの汚過池である。

目づまりの激しい汚層部分を連続的にとり出し、これを洗浄後汚層に補充することによって、これまでの汚過工程と洗浄工程が時間的に交互に繰り返されるバッチ運転の汚過池に対し、連続運転を可能にした汚過池が開発されている。水流方向で分類すると下向流式のもの上向流式のものがある。前者は

移動床汚過池といわれ、目づまりの激しい汚層上部の汚材をかき取り池外にある洗浄装置で洗浄する。洗浄後の汚材は汚層下部をダイヤフラムで上方に移動させ、ダイヤフラムを元に戻して出来る空間に充填される。後者は目づまりの激しい汚層下部の汚材をエアリフトで汚過池中央に設けてあるパイプを通して持ち上げながら洗浄し汚層上部で汚材を汚層上部に、洗浄排水を洗浄排水トラフに自然に分離するよう工夫されている。連続型汚過池の利点のひとつに、バッチ型汚過池では数多く必要となる自動弁の数を減らせるということがある。

自動弁が多いとそれだけシーケンスも複雑となり、維持管理にも労力を要することになるが、この問題を解決しようとして開発された下向流式汚過池がバブルプレス汚過池である。この汚過池の逆流洗浄は、汚過時の汚層上部水位と、洗浄排水トラフの高さにある水位差を利用して行う。すなわち、洗浄工程に入った汚過池の逆流洗浄は、汚過工程中の他の汚過池からの汚過水を先に述べた水位差によって、汚過池下部から取り込み行う。このため、汚過池の最小数は、少くとも洗浄中の汚過池を除いた汚過池の合計汚過水量は、一池の逆流洗浄水量より多くななければならないという条件によって決定される。

大量の2次処理水を汚過するのに必要な急速汚過池が持つべき条件として、4、(1)で述べた他に、

- a) 汚過池内部の監視が容易なこと
- b) 大型の汚過池建設が可能なこと
- c) 構造が単純で、故障が少いこと

があげられる。これらを考慮すると、以上述べてきた急速汚過池のうち重力型下向流式汚過池、および上向流式汚過池が標準的な下水2次処理水の汚過用の急速汚過池である。

表－4.1は重力型下向流式汚過池と上向流式汚過池の特徴を比較したものである。

表－4.1 重力型下向流式汚過池と上向流式汚過池の比較

項 目	㉑ 動型下向流式汚過池	㉒ 上向流式汚過池	備 考
汚 過 水 質	同	等	
汚過持続時間	同	等	㉑の汚材選定に注意する。 (10節 参照)
洗 浄 時 間	20～30分/池	40～60分/池	
洗 浄 水 量	8～15 m ³ /m ² 汚床	10 m ³ /m ² 汚床程度	
洗 浄 水	汚過水	汚過水又は2次処理水	㉑で2次処理水が用いられる かどうかは今後の検討課題
汚過の安定性	良	汚過中にフロックスルージが生 じる可能性がある(11節参照)	
変 動 汚 過	可能	実績が少い	㉒については今後の検討課題
最大汚過速度	水理学的には制限がない。	水理学的に上限がある。	
汚 過 池 上 部 の 外 観	汚過池上部に2次処理水が 滞留し、スカム、ユスリカ 等が発生する。	汚過池上部に汚過水が湧き 出てくるので良	

5. 汚過水量制御方式

- (1) 流入水量と汚過水量がバランスするような汚過水量制御機構の備った急速汚過施設でなければならない。
- (2) 急速汚過施設には、流入水のオーバーフロー管を設けなくてはならない。

<解 説>

(1)について

時間的に変動する2次処理水量と汚過水量がバランスし、基本的には2次処理水の全量を汚過できるような急速汚過池でなければならない。一般的に汚過水量の急変は汚過水質を悪化させる¹³⁾といわれているが、これを避けるためには、急速汚過池流入前に流量調整池を必要とする。図-5.1は図-5.2の

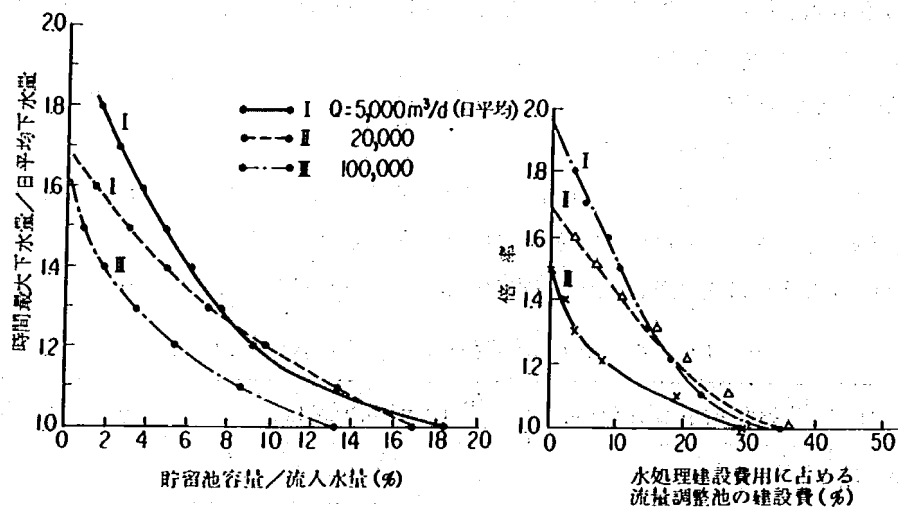


図-5.1 流量調整池の規模と効果、および費用の関係

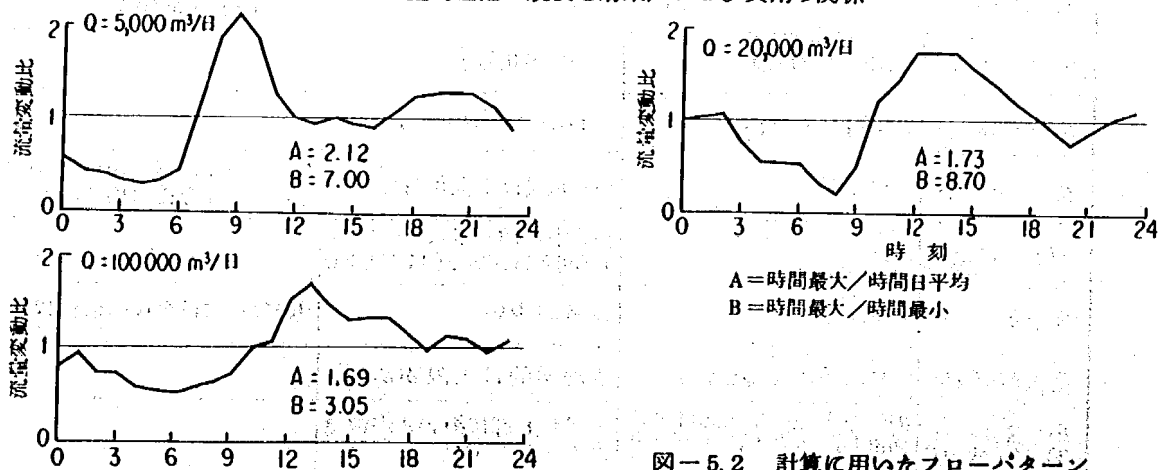


図-5.2 計算に用いたフローパターン

流量変動パターンを基に、流量調整池容量の日平均流入下水流量に対する割合、時間最大下水流量と日平均時間下水流量の比、および水処理建設費中に占める流量調整池の建設費の割合の関係を示した例¹⁴⁾である。同図によると、日平均流入下水流量 100,000 m³/日の下水処理場で、流入変動を 1.2 倍まで認めると、約 550 m³の流量調整池が必要となり、この建設費は水処理建設費の約 9 % に相当する。また、流量変動をすべて抑えようとすると、約 1,300 m³の流量調整池が必要となり、水処理建設費の約 30 % の建設費を要する。

このように、流量変動を抑えるには、かなり大きな流量調整池を必要とするとともに、流量変動をすべて抑えうる流量調整池を設けたとしても、2次処理水量の完全な予測が不可能で、完全な定流量の流入は困難であることから、2次処理水量の流量変動を受け入れうるような急速汚過池（変動汚過池）の設計が必要となる。

図-5.3, 5.4 は図-5.5 に示す流量変動パターンを用いた変動汚過と定流量汚過の汚過水の浮遊物および全損失水頭を 3 m としたときの浮遊物捕捉量を比較したものである。¹⁰⁾ 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。変動汚過の汚過速度は、平均

速度で表わしてある。同図より汚過速度の等しい 300, 420 m/日で変動汚過と定流量汚過を比較すると変動汚過の汚過水の浮遊物は定流量汚過のそれより約 1 mg/l 多くなっている。また変動汚過の浮遊物捕捉量は定流量汚過の 8 割強となっている。変動汚過の浮遊物捕捉量は後述する（15 節参照）ように、汚過池の洗浄時刻とも大きく関係するもので、洗浄時刻を適切に設定することによって、両汚過方式の差は小さくすることができる。以上のことから、変動汚過は定流量汚過にくらべて、汚過水質、浮遊物捕捉量

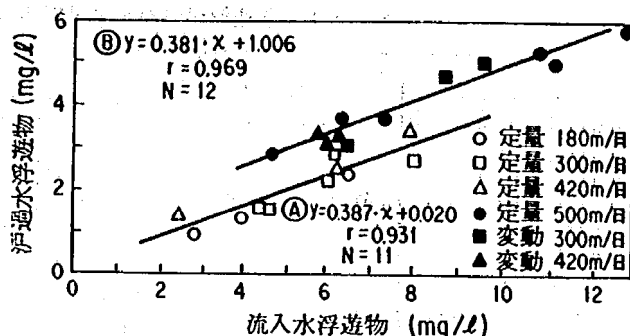


図-5.3 流入水（2次処理水）と汚過水の浮遊物

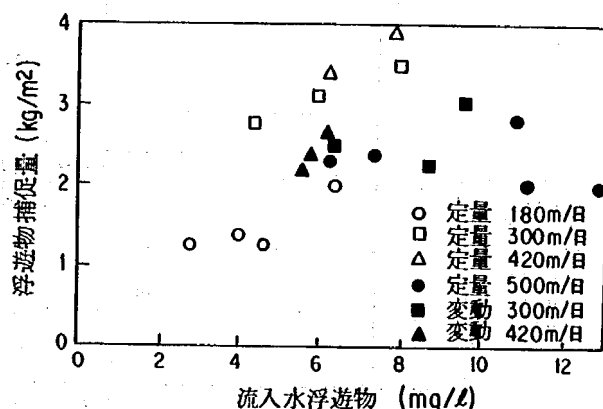


図-5.4 流入水（2次処理水）浮遊物と浮遊物捕捉量

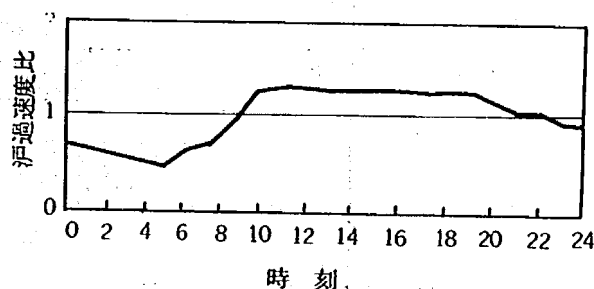
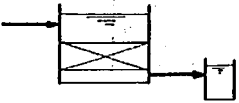
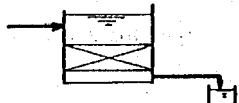
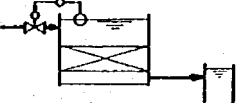
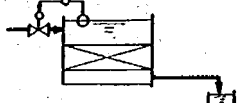
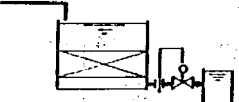
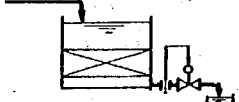
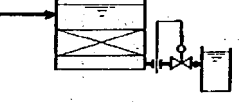
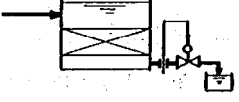
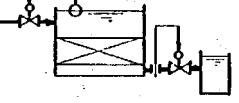
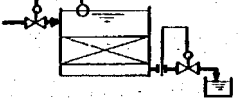
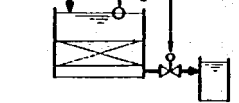
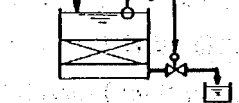
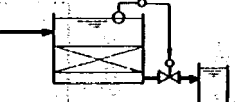
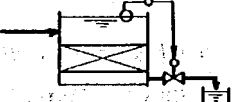
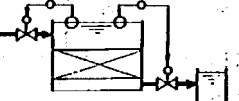
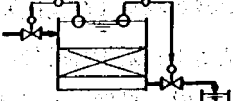
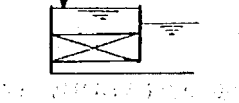
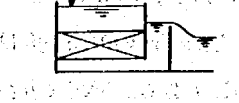
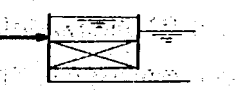
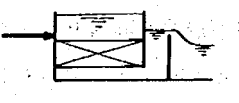


図-5.5 変動パターン

表一 5.1 急速河過法の流量調節方式と流出入方式

調節方式	流入法	流出法	
		非カスケード	カスケード
減衰加過形	非カスケード		
	水位制御		
流量制御形	カスケード		
	非カスケード		
	水位制御		
水位制御形	カスケード		
	非カスケード		
	水位制御		
自然平衡形	カスケード		
	非カスケード		

とも多少低下するが、その程度はそれ程大きくなく、変動河過は実施可能と考えられる。

表-5.1 は河過流量調節法、流入のしかたおよび流出のしかたの可能な組合せを、重力型下向流式河過池についてまとめたものであり、次のように分類される。¹⁵⁾

- a) 流出弁開度を最初設定した後は流量調節を行わず、自然に流出するだけ河過するもの……減衰河過法
- b) 河過池出口に流量計と調節弁とを設けて、流出量を設定値に保つもの……流量制御形河過
- c) 河過池水位が一定になるように流出弁を調節するもの……水位制御形河過
- d) 調節弁は設けず、流出口位置を砂面より高くすることによって、流入量と流出量とが自然に平衡する構造にしたもの……自然平衡形河過

上にあげたものは流出側の流量を制御しているもので、いわゆる出力調節形といえるものである。これに対して、流入量を調節する方法もあるが、これが単独で用いられることはなく、必ず上にあげたものと組み合わせて使われている。河池内への流入のしかたには次のようなものがある。

- a) 流入管が河過池水位より高い位置にあって、池内水位と縁が切れて流入するもの……カスケード的流入
- b) 流入量が河過池水位の影響を受けるもの……非カスケード的流入
- c) 流入流量を調節するもの

の3種がある。流入流量を調節する方法としてはもっぱら水位制御が用いられている。

流量調節や流入のしかたとは別に、流出のしかたにもカスケード的なものと、非カスケード的なものがある。

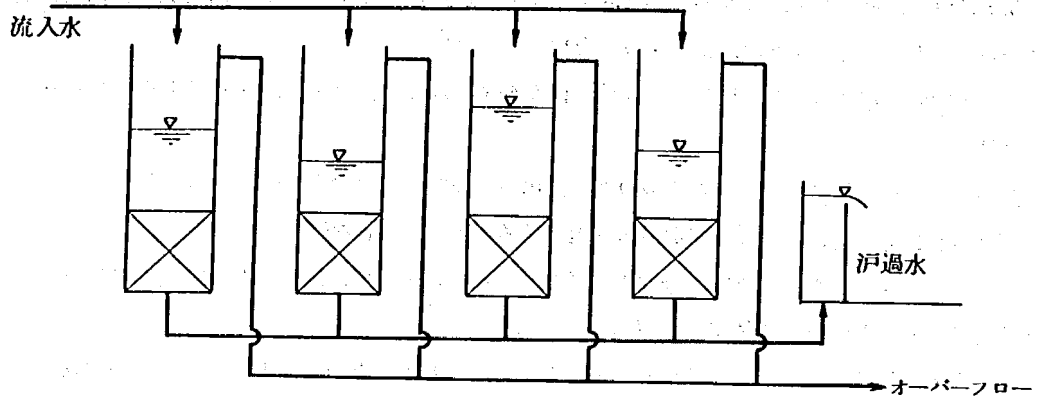
これらの急速河過池のうち、流入水量の変動に河過水量が追従できるものは、水位制御形（水位制御流入を除く）と自然平衡形である。一般の上向流式河過池は、自然平衡形となっている。河速の急変を避けるには、他池の影響を受けないように、カスケード形の流出法を採ることが望ましい。

自然平衡形は水位制御形にくらべて、流量調節用の装置を必要としないという利点を有する反面、河過圧を確保するために河過池が高くなるという欠点がある。

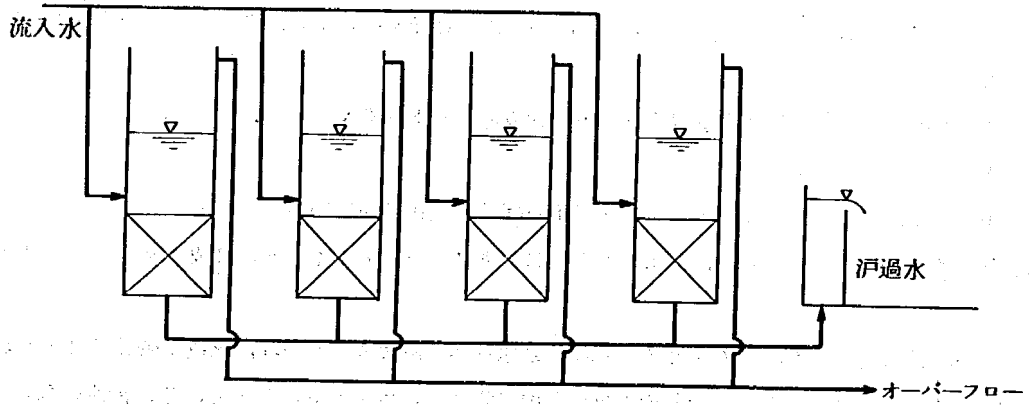
流入法をカスケードにするか非カスケードにするかは、複数の急速河過池間で流入水量をどのように分配するかということとかわっている。図-5.6 は自然平衡形下向流式河過池を用いて、流入法を検討したものである。a)の独立型カスケード流入では、流入水量が河過池間で均等に分割されれば、河過池水位（全損失水頭）は、各河過池の河層の目づまりに応じた高さとなる。一方、b)の非カスケード流入（可変減衰河過）では、各河過池への流入水管が連通管になっているため、河過池水位は池間で一定となり、河層の目づまりの小さい河過池程、河過水量は大きくなる。但し、流入管の直径は、摩擦損失が無視できる程に太くなくてはならない。非カスケード流入は独立型カスケード流入に対し、次のような利点を有する。¹⁶⁾

a) 河層の目づまりが激しい河過池程河過速度が低くなるため、集水装置、河過水管における損失水頭は、小さくなる。したがって、最終損失水頭を一定とすると、独立型カスケード流入より河過持続時

(a) 独立型カスケード流入



(b) 非カスケード流入



(c) 連結型カスケード流入

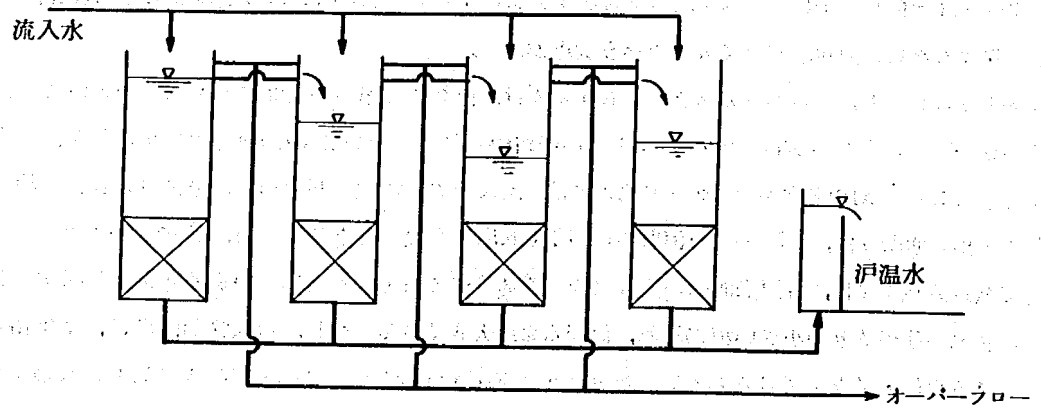


図-5.6 流入法の比較

間が長くなる。

b) 最も目づまりの激しい汚過池の汚過速度減少分は、他の汚過池によって補償されるため、各汚過池の水位上昇はきわめて小さい。

c) カスケード流入で必要となる汚過池最大水位と流入管のクリアランス分の水位が不必要となる。

しかし、非カスケード流入では、洗浄直後の汚過池の汚過速度は他の汚過池の目づまりが激しければ激しい程大きくなり、場合によっては、許容汚過速度を越えることも予測される。このための何らかの対策を必要としよう。この非カスケード流入の欠点をカバーし、かつc)を除く利点を残す流入方式としてc)の連結型カスケード流入が考えられる。¹⁷⁾ 連結型カスケード流入では一定の汚過池水位までは独立型カスケード流入と同様に動作するが、これを越えた流入水量はオーバーフローして、他の汚過池に再配分される。流入水量の一部がオーバーフローした汚過池は以降、定圧減衰型の汚過を行うことになる。

変動汚過を対象とした独立型カスケード流入、非カスケード流入、および連結型カスケード流入の利害得失を実験的に明らかにした例はないため流入方法決定に先立って充分な検討が必要である。

(2)について

雨天時等、急激な流入下水水量増加時でも2次処理水全量を汚過するような汚過池を設計すると、非常に大きな汚過池となる。このような場合は、2次処理水の一部はバイパス放流することが实际的である。このために汚過施設にオーバーフロー管を設ける必要がある。オーバーフロー管は、故障修理等による汚過池の汚過能力減少に対処するためにも必要である。

図一5.6で示した非カスケード流入、および連結型カスケード流入は、独立型カスケード流入ではオーバーフローする水量を他の汚過池で吸収しうるので、独立型カスケード流入にくらべて、オーバーフローする機会は少なくなる。

6. 汚過面積，池数，および形状

- (1) 汚過面積は，計画汚水量を汚過速度で除して求める。
- (2) 池数は1池あたりの最大汚過面積，洗浄水量の確保等の洗浄条件，洗浄時の汚過運転中の汚過池流入水量増大，予備池を考慮して決定しなくてはならない。
- (3) 形状は長方形を標準とする。

<解 説>

(1) について

計画汚水量を Q (㎡/日)，汚過速度を v (㎡/日) とすると所要汚過面積 S (㎡) は，

$$S = \frac{Q}{v} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

で求められる。

(2) について

水道施設設計指針・解説¹³⁾ では最大汚過面積について“汚過池1池の面積があまり大きいと，汚過ならびに洗浄の平面的均一性を期し難いこと，洗浄施設の規模が大きくなること等があるので，浄水場の規模に応じて，適切に決めなければならない。これらのことから，1池の面積は150㎡程度が限度と考えられる”と述べている。

また Baumann¹⁸⁾ は，1池当りの汚過池の規模は約 850 sq.ft (78.8㎡) に制限すべきであると述べている。

汚過水を用いて全池を連続的に洗浄するためには，全池の洗浄水量を確保できる洗浄水タンクを設けることは，タンク容量が大きくなり不経済であるから，1池が洗浄に入っている間に，残りの汚過池からの汚過水量で次の洗浄水量を確保することが考えられる。

$$(n_{min} - 1) \cdot A \cdot v_w = A \cdot I \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

n_{min} : 予備池を含まない最小池数 I : 洗浄時間中の平均洗浄速度 (㎡/日)

A : 1池当りの汚過面積 (㎡) v_w : 1池洗浄中の残りの汚過池の汚過速度 (㎡/日)

6.2式より n_{min} は次式より求められる。

$$n_{min} = \frac{I}{v_w} + 1 \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

2次処理系統に返送される洗浄排水の水量，浮遊物，BOD等の負荷を均等に2次処理系統に返送するための洗浄排水貯留タンクを設置しないで，しかも2次処理系統が洗浄排水によって過負荷にならないためには，低水量時に汚過池の洗浄を行うことが望ましい(15節参照)。低水量時の1池ずつの連続洗浄を仮定すると次式が成り立つ。

$$T = t \cdot n_{max} \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

T : 洗浄可能な低水量時間 (min)

t : 1 池当りの洗浄時間 (min)

n_{max} : 予備池を含まない最大池数

6.4 式より n_{max} は次式より求められる。

$$n_{max} = \frac{T}{t} \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

1 池が洗浄されている場合、他の汚過池の汚過速度 (v_w) は 6.6 式となる。

$$v_w = \frac{n}{n-1} v \quad \dots\dots\dots (6.6)$$

v : n 池が全部運転されているときの汚過速度 (m/日)

6.6 式より $n = 4, 6, 8, 10$ 池のとき、1 池洗浄によって他の汚過池の汚過速度は、洗浄前と洗浄中の流入水量に変化がないとすると、洗浄前の汚過速度の 1.33, 1.20, 1.14, 1.11, 倍となる。洗浄による、汚過運転中の汚過池の汚過速度の増加によって、汚過水質が低下しないよう池数を決定しなくてはならない。

水道施設設計指針・解説では予備池について“汚過池は、部分的な故障や計画的な汚材交換等の場合を考慮して、最小限予備池を含め 2 池とする。10 池を越える場合には、池数で 1 割程度の予備池を設けることにより、おおむね、全体としての汚過水量を維持することができると考えられる”とのべている。

7. 汙過速度

汙過速度は、汙過水質、汙層の有効利用、汙過持続時間を考慮して決定しなくてはならない。

<解説>

汙過速度は6.1式に示すように、汙過面積決定に直接かわるもので、汙過池設計上、最も基本的な値である。

図-5.3はアンスラサイト（有効径 1.62mm 、均等係数 1.33 、層厚 625mm ）と砂（有効径 0.61mm 、均等係数 1.26 、層厚 375mm ）から成る下向流式二層汙過池によって得られた結果であるが、汙過速度 500m/日 の定量汙過の汙過水浮遊物は $180, 300, 420\text{m/日}$ の定量汙過の汙過水浮遊物より高くなっている。このように、ある汙過速度を越えると汙過水質は低下するので、要求汙過水質から最大汙過速度は決定される。

図-7.1¹⁰⁾はこのときの汙層内部の損失水頭増加率*の分布を示したものであり、汙過速度の増加とともに、流入水の浮遊物が汙層内部まで進入している。

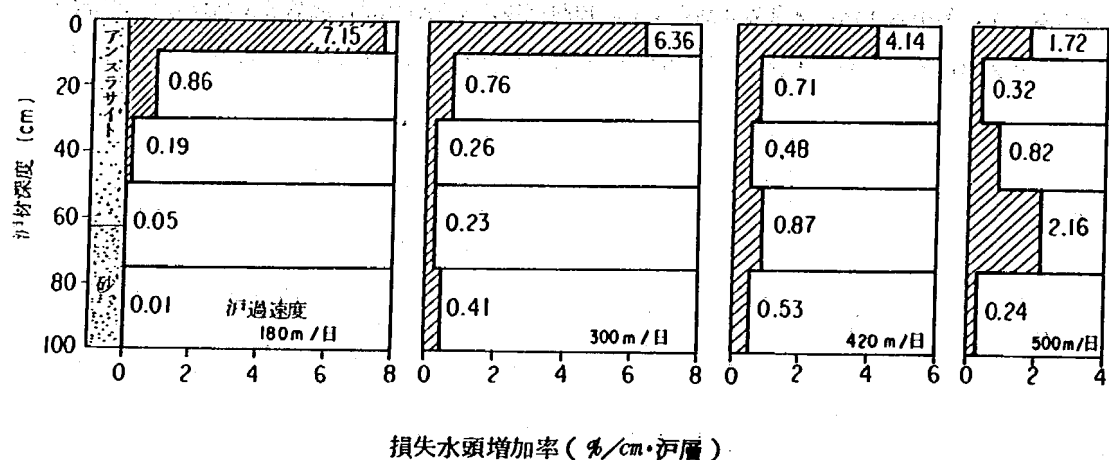


図-7.1 損失水頭増加率*と汙過速度

*損失水頭増加率 ある汙過持続時間における損失水頭測定結果から、初期損失水頭を引いて求めた浮遊物の目づまりによる損失水頭増加量のうち、汙材深度 0cm における増加量を 100% としたとき、汙層 1cm 当り、損失水頭が何 $\%$ 増加しているかをいう。

戸過速度 180 m/日では、浮遊物はアンスラサイト上層部分で除去され表層戸過、戸過速度 500/日ではアンスラサイトと砂の混合部、あるいは砂層部まで浮遊物はもちこされて、ここで戸過が行われている。一方、300、420 m/日の戸過速度ではこれらの中間の浮遊物抑留状況で、戸層全体を利用する内部戸過となっている。このため、図-5.4 に示す浮遊物捕捉量は戸層の一部で戸過を行っている戸過速度 180 m/日、500 m/日にくらべ、戸層全体を利用している戸過速度 300 m/日、420 m/日の値は大きくなっている。以上のことから、戸過水質を悪化させない範囲で、戸過速度を大きくとることによって戸層全体を有効に利用できるといえる。

戸過持続時間は、戸過池の戸過能力からすると、戸過水浮遊物が要求浮遊物を上まわらな限り次式より求まる。

$$T_r = \frac{L \times 24}{v(SS_{in} - SS_{eff.})} \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

T_r : 設定全損失水頭に達するまでの戸過持続時間 (hr)

L : 設定全損失水頭までに捕捉した浮遊物捕捉量 ($kg \cdot SS/m^2$ 戸床)

v : 戸過速度 (m/日)

SS_{in} : 流入水の浮遊物 (mg/l)

$SS_{eff.}$: 戸過水の浮遊物 (mg/l)

浮遊物捕捉量は、戸材、戸過速度等の戸過条件、および2次処理水の性状によって異なり、現時点では一義的に設定することはできないが、2次処理水中の浮遊物が増加すると、浮遊物捕捉量も増加する傾向がある(図-5.4)。表-7.1 に示す例もこの傾向がある。このことは、1日1回の洗浄を行うとすると(15節参照)、2次処理水中の浮遊物の増加に対処し易いという意味で好ましい傾向である。

表-7.1 浮遊物捕捉量

戸		材		原水種類	戸速 $m/日$	原水浮遊物濃度	浮遊物捕捉量
アンスナサイド		珪砂				mg/l	kg/m^2
有効径 mm	層厚 mm	有効径 mm	層厚 mm				
1.65	650	0.80	350	二次 処理水	180~210	5	1.6
						10	3.2
						15	4.8
						20	6.4
					280	5	2.6
						10	5.3
						15	8.0
						20	—

河過水量は次式より求まる。

$$q = T_r \cdot v \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

q : 設定損失水頭に達するまでの河過水量 ($m^3/m^2 \cdot \text{河床}$)

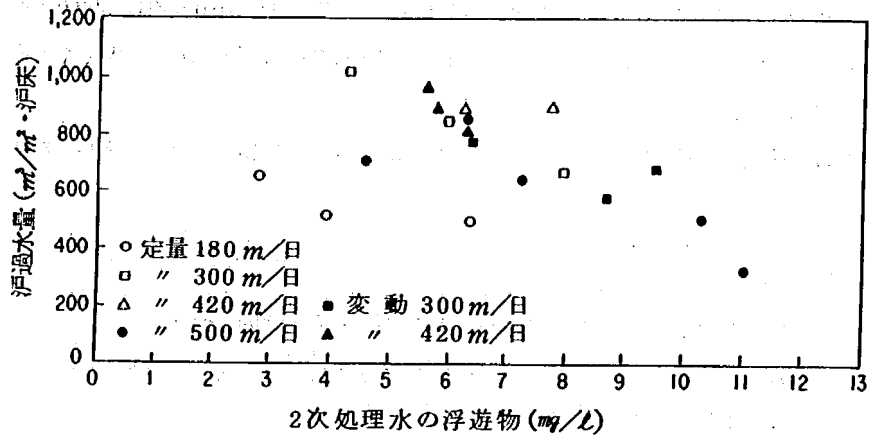


図-7.2 2次処理水の浮遊物と河過水量

図-7.2は、図-5.3, 5.4と同一の実験で得られた2次処理水の浮遊物と河過水量の関係である。

8. 設定全損失水頭

設定全損失水頭は、3 m前後を標準とする。

<解 説>

汙過圧力を得るための汙層、集水装置、配管等における全損失水頭の設定は、

- a) 汙過水に浮遊物が漏出しない範囲にすること。
- b) 汙過が効率的に行える範囲とすること。
- c) 汙過池建設費が割高とならない範囲とすること。

が重要である。

図-8.1, 8.2は下向流式汙過池、および上向流式汙過池を用いて、変動汙過を行った結果であるが、全損失水頭3 mまでは、全損失水頭増加に伴う浮遊物の漏出は生じていない。

図-8.3はBaumann¹⁸⁾が汙過水量の増加と損失水頭の増加の関係を、汙過のタイプによって分類したものである。(a)は、汙材粒度が小さすぎるか汙過速度が低すぎるときに生ずる表面汙過であり、浮遊物は汙層上部にできるケーキによって主に除去される。汙過水質は汙過期間中一定となるが、損失水頭は汙過水量の増加とともに指数関数的に増加するため、損失水頭は汙過水量の増加に対し有効に働かないことになる。

(b)は流入水の浮遊物が汙層全層に均一に捕捉される内部汙過であり、汙過水量の増加に伴って損失水頭はほぼ直線的に増加する。汙過速度を上昇させると初期損失水頭が増加する分だけ、ある損失水頭までの汙過水量は減少する。このよう

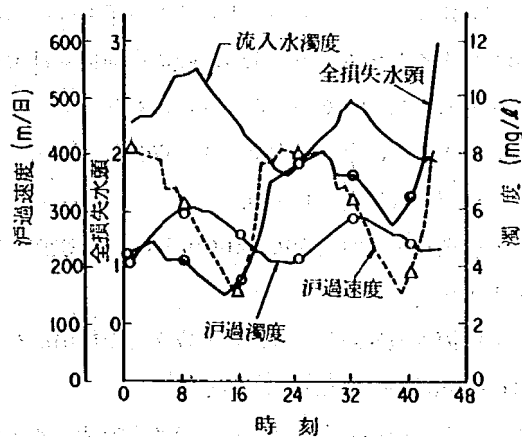


図-8.1 下向流式汙過池における変動汙過の例

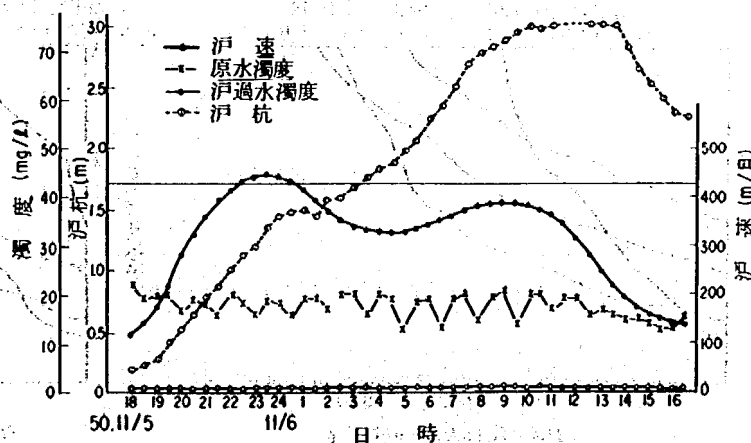


図-8.2 上向流式汙過池における変動汙過の例

な汙過は、汙過方向に対し、粗→細の空隙を有する汙層によって可能になる。

(c)は(a)表面汙過と(b)内部汙過が組み合わさったものであり、汙過速度が低いと前者が、汙過速度が高いと後者が卓越するため、ある設定損失水頭に対し汙過水量が最大となる最適汙過速度が存在する。一般的に、多層汙層から成る下向流式汙過池、あるいは上向流式汙過池による2次処理水の汙過では、(c)の結果を得ることが多い。

図-8.4¹²⁾ は2次処理水を2層汙過池で汙過した結果であるが、図-8.3と同様の傾向を示しており、このとき、最適汙過速度は300~400m/日となっている。しかし、 dH/dq 、 dH/dL は、全損失水頭3mあたりから大きくなっており、これ以上全損失水頭を大きくしても、汙過水量、浮遊物捕捉量は全損失水頭の増分に比例しては増さないことがうかがわれる。

このように、全損失水頭を3m程度にすると

- a) 浮遊物は漏出しない。
 - b) 全損失水頭は300~400m/日の汙過速度で有効に利用される。
- とともに

- c) 汙過池建設費、維持管理費などの経済性を考慮すると3~3.6mの全損失水頭が望ましい。¹⁸⁾

ことから、全損失水頭は3m前後に設定することがよい。

なお、汙過池天端までの余裕高は、30cm程度とする。¹³⁾

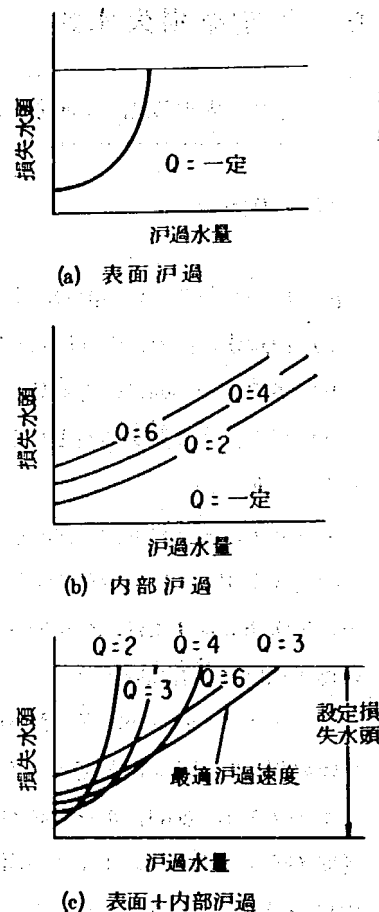


図-8.3 汙過水量と損失水頭の増加の関係

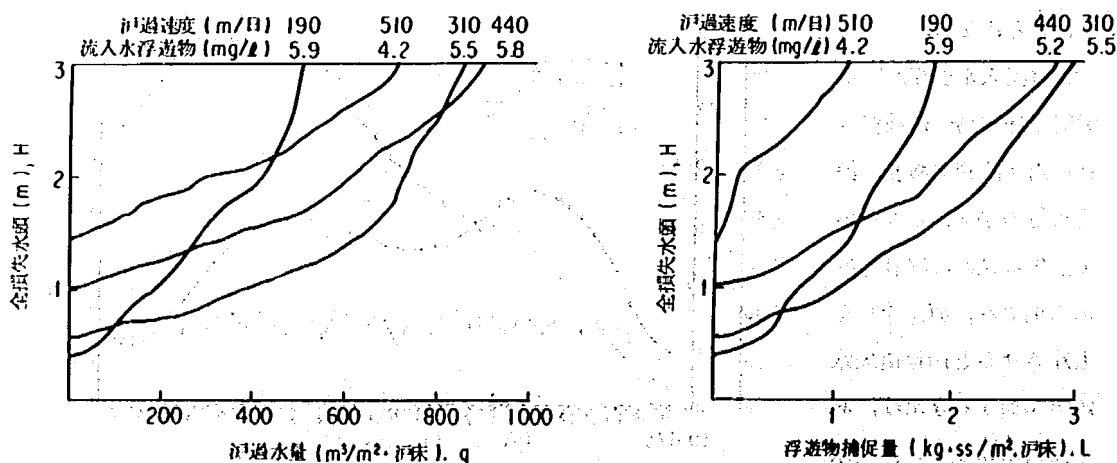


図-8.4 全損失水頭の増加と汙過水量、浮遊物捕捉量の関係

9. 汚 材¹³⁾

急速汚過に用いる汚材は次の各項によるものとする。

- (1) 汚砂の品質は、日本水道協会規格 (JWWA) A 103-1967 (水道用ろ砂試験方法) によるものとする。但し、有効径、均等数等粒度に関する項目は10節、11節によるものとする。
- (2) 多層汚過池における汚砂以外の汚材の品質については、十分な汚過、洗浄の機能ならびに汚層構成を保持できるものでなければならない。

<解 説>

(1)について

a) 汚砂は、石英質の多い硬く均質な砂で、偏平またはぜい弱な砂あるいは、ごみ、粘土等の不純物の少ないものであること。

汚過の機能ならびにひん繁な洗浄に耐える必要から、汚砂の外観的性状をこのように定めた。

b) 新規に敷き込む汚砂の洗浄濁度は、30度以下であること。

汚砂の清浄さ(汚れの限度)を、このように定めたものである。

c) 新規に敷き込む汚砂の強熱減量は0.7%を越えないこと。

汚砂は、なるべくきょう雑物の少ない純良な砂であることが望ましい。そこで、有機性不純物ならびに石灰粒、石灰石および貝がら等きょう雑物の混入量の上限を比較的簡単に試験できる強熱減量によって定めた。

d) 新規に敷き込む汚砂の塩酸可溶率は、3.5%を越えないこと。

前項と同じくきょう雑物の混入限度を、塩酸可溶率によって定めたものである。

e) 汚砂の比重は、2.55~2.65の範囲にあること。

天然のケイ砂の比重は、2.6前後ではなほだしい差異はないが、比重の異なる砂や鉱物を混用していると、逆流洗浄を繰り返しているうちに分級が進み、設計状態と異なる汚層構成になりがちなので、汚砂の比重の範囲をこのように限定した。

f) 汚砂の摩滅率は3%を越えないこと。

洗浄を繰り返すうちに、汚砂が破碎損耗して、洗浄排水中に流出し、汚層の粒度構成や汚材量が設計状態と異なってくることを防ぐために、汚砂の摩滅率をこのように定めた。

(2)について

アンスラサイト汚材については、良質のアンスラサイトの破碎物をふるい分けたもので、清浄で、細長、偏平およびうろと状の破碎物を含まず、比重は1.4を下らないこと。更に、使用中の損耗を減らすため、破碎性(もろさ)が低く、摩滅率は1%以下のこと、汚過水への成分溶出を減らすため塩酸可溶率は1.5%以下であること等が必要である。

人工軽量砂（膨張性けつ岩等の粘土鉱物を焼結し、ふるい分けたもの）については、塩酸可溶率 1.5 %以下で、摩滅率 1.5 %以下のもの。

ガーネットとイルミナイト浜材については、不純物が少なく、塩酸可溶率 5 %以下、比重 3.8 以上で、偏平、細長なもの少ないもの。

10. 下向流式汙過池の汙層

- (1) アンスラサイトと砂から成る2層汙過池を標準とし、砂の層厚はアンスラサイト層厚の60%以下とする。
- (2) アンスラサイトの有効径は1.6～2.0 mmとする。
- (3) アンスラサイトの有効径は砂の有効径の2.7以下とする。
- (4) アンスラサイトと砂の均等係数はできる限り1に近づける。
- (5) アンスラサイトと砂から成る汙層の厚さは60～100 cmとする。

<解 説>

(1)について

汙材粒径の特性は、通常、有効径と均等係数で表わされる。

$$ES = d_{10} \quad \dots\dots\dots (10.1)$$

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \dots\dots\dots (10.2)$$

ES : 有効径 (mm)

UC : 均等係数

d_{10} : 汙材の粒度加積曲線上での10%通過径 (mm)

d_{60} : " " " 60% " "

汙層の汙過効率は、a) 汙過水の水質、b) 汙過水量 (または浮遊物捕捉量、あるいは汙過持続時間)、c) 洗浄水量比 から検討できる。すなわち、汙過水の水質 (浮遊物) が優れていること、設定全損失水頭に達するまでの汙過水量が多いこと、汙過池を清浄にするのに必要な洗浄水量の汙過水量に対する割合 (洗浄水量比) が小さい汙層が望ましい。

表-10.1 汙 材 構 成

		汚 材 構 成	A	B	C	D	E	F	G	H
汚 材 粒 径	アンスラサイト	有効径(mm)	0.95	0.95	0.95	1.62	1.51	1.78	1.62	1.85
		均等係数	1.48	1.48	1.48	1.33	1.19	1.28	1.33	1.24
	砂	有効径(mm)	0.64	0.64	0.64	0.61	0.58	0.69	0.61	0.58
		均等係数	1.50	1.50	1.50	1.26	1.28	1.41	1.26	1.28
	ガーネット	有効径(mm)			0.32					
		均等係数			2.16					
汚 層 厚 (mm)	アンスラサイト		150	625	625	625	625	625	375	625
	砂		850	375	300	375	375	375	225	375
	ガーネット				75					
	合 計		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	600	1,000

表-10.2 2層汙材と3層汙材の汙過水水質の比較

汙材構成 汙過速度			A					B					C				
項 目			180	240	300	360	420	180	240	300	360	420	180	240	300	360	420
濁 度	濃 度	流入水	8.4	6.6	6.9	7.8	7.8	8.0	6.5	6.9	8.4	8.1	7.9	6.6	6.8	7.9	7.7
	(mg/L)	汙過水	2.9	2.3	2.5	3.1	5.5	3.7	2.8	2.9	3.2	5.3	4.1	2.8	3.1	3.2	5.8
	除 去 率 (%)		65.5	65.2	63.8	60.0	29.5	53.8	56.9	60.0	64.4	34.6	48.1	57.6	54.4	59.5	24.8
浮遊物	濃 度	流入水	13.3	12.8	11.5	14.6	15.0	12.9	12.5	12.0	14.0	12.7	13.0	12.5	12.1	12.8	13.2
	(mg/L)	汙過水	4.0	3.7	3.4	4.5	5.9	5.2	3.2	4.4	3.7	6.0	4.0	3.6	4.5	4.3	5.6
	除 去 率 (%)		60.9	71.1	70.4	69.2	60.7	59.7	74.4	63.3	73.5	52.8	69.2	71.2	62.8	66.4	57.6
BOD	濃 度	流入水	22.8	19.4	21.2	27.2	20.6	22.9	17.9	21.8	25.3	17.1	22.8	17.6	23.8	23.0	16.8
	(mg/L)	汙過水	7.9	4.8	4.9	6.8	7.2	6.9	5.3	6.0	7.6	7.4	7.2	4.6	7.2	7.9	6.7
	除 去 率 (%)		65.4	75.3	76.9	75.0	65.0	69.9	70.4	72.5	70.0	56.7	68.4	73.9	69.7	65.7	60.1
COD Mn	濃 度	流入水	17.0	15.1	14.5	16.1	15.0	17.3	15.0	15.7	16.2	15.3	16.7	15.1	15.7	15.9	13.9
	(mg/L)	汙過水	14.5	11.8	12.1	12.5	12.6	14.5	12.1	12.1	13.0	12.9	15.8	12.8	12.9	12.9	13.1
	除 去 率 (%)		14.7	21.9	16.6	22.4	16.0	16.2	19.3	22.9	19.8	15.7	5.4	15.2	17.8	18.9	5.8

表-10.3 2層汙材と3層汙材の汙過持続時間の比較 (全損失水頭3 m, 時間)

汙材構成	項 目	汙 過 速 度 ($m^3/m^2 \cdot n$)				
		180	240	300	360	420
A	最 大	62.00	54.75	50.30	36.25	47.67
	最 小	6.33	9.75	9.75	4.00	7.00
	平 均	32.93	28.96	20.92	21.40	20.33
B	最 大	125.25	101.50	125.25	65.75	100.00
	最 小	11.25	7.50	21.75	4.50	12.50
	平 均	71.55	53.17	48.07	38.80	50.00
C	最 大	129.00	94.00	113.50	57.75	94.00
	最 小	31.00	22.25	23.25	7.50	9.15
	平 均	69.23	58.49	40.00	33.32	37.70

表-10.2, 10.3は表-10.1に示す汙材構成A, B, Cを用いて減衰汙過を行った結果⁹⁾である。Aは当初、全層を砂としたが汙層表層の目づまりが激しく図-8.3(a)に示す表層汙過となったため、表層15cmをかきとり、B, Cと同じアンスラサイトを充填した。このため、AとBは2層汙材におけるアンスラサイトと砂の層厚比の比較となっている。CはBの砂層下部をガーネットとして3層汙材としている。A, B, C汙材間に汙過水水質の差はほとんどないが(表-10.2), 汙過持続時間はBが最も大きく、Aの約2倍、Cより数%多い結果となっている。これは汙材Aの初期全損失水頭が汙材Bの約60%増(図-10.1)と多く、全損失水頭3 mまでの汙過に用いることができる有効損失水頭がその分だけ

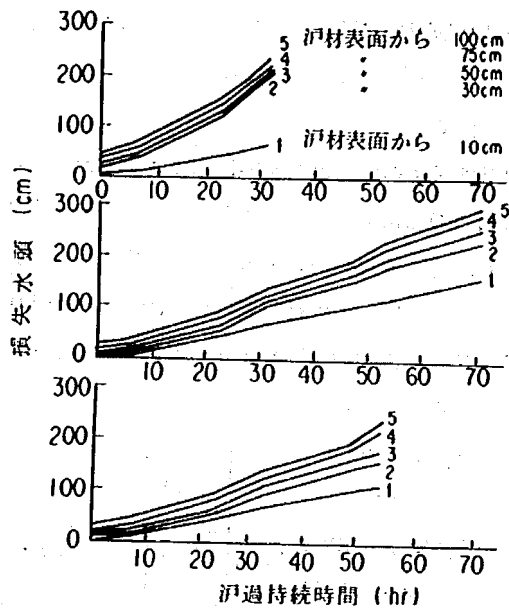
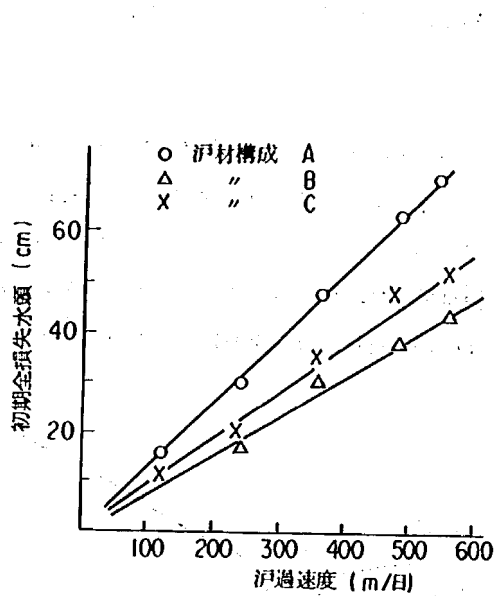


図-10.1 濾材構成 A, B, C の初期全損失水頭 図-10.2 損失水頭の変化(初期濾過速度 360m/日)

減少すること、また、濾材 A は濾材 B, C にくらべ表面濾過となっている(図-10.2)ことが原因である。各濾材の洗浄は表面洗浄(0.2m/分, 9分)逆流洗浄(膨張比 2.0 を得るのに必要な流量, 9分), 表面洗浄と逆流洗浄のオーバーラップ時間 7 分として行ったが、膨張比 2.0 を得るのに必要な流量は濾材 A, B, C についてそれぞれ 0.87, 0.71, 0.71m/分と、比重の大きな砂を多量に用いた濾材 A が最も多くなっている。この結果、洗浄水量比は濾材 A, B, C についてそれぞれ 2.3 ~ 3.2%, 1.1 ~ 2.0%, となり、C は B より多少、大きくなる傾向であった。

以上のことから、濾材 A, B, C では B が最も 2 次処理水の濾過には適した濾材構成といえる。すなわち、多層

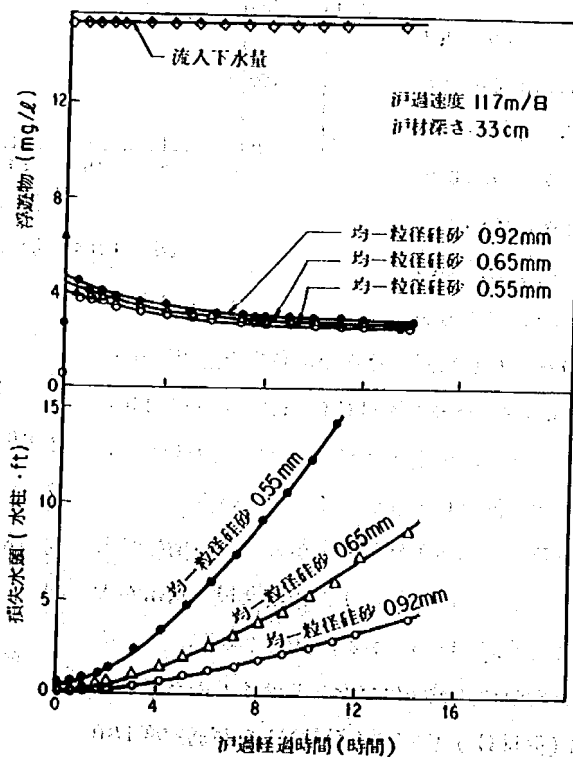


図-10.3 種々の粒径の濾材を用いた場合の処理水質および損失水頭と濾過経過時間との関係

汚濁は2層汚濁層にくらべ特に有利な点がない。また2層汚濁層における砂のアンスラサイトに対する割合は60%以下とすることが指摘できる。

(2)について

汚材は浮遊物が漏出しな範囲で大とした方が、初期損失水頭は小さくまた、単位汚過水量当りの損失水頭の増加量も小さくなるため、ある損失水頭までに得られる汚過水量は大となる¹⁸⁾(図-10.3)。しかし、同じ汚材を用いても、汚過速度によって、得られる汚過水量は異ってくる(図-8.3, 8.4)。

表-10.4^{19,20)}の汚材粒度の比較(I)は、表-10.1の汚材構成C, Dについて行ったものである。汚材B, Cの汚過成績は同等であることから(表-10.2, 10.3)汚材C, Dの比較はアンスラサイト粒度の比較となる。初期

汚過速度120~500
m/日 の減衰汚過を
行った結果、汚材D
(アンスラサイトの
有効径1.62)と汚材
C(アンスラサイト
の有効径0.95)の汚
過水質はほぼ同一で
あるが、前者の汚過
水量は後者の約60
%増となっている。

汚過池洗浄は前述の
方法と同じであるが、

汚材Dを20%膨張させるのに必要な逆流洗浄水
量は $1.03 \text{ ml/ml} \cdot \text{分}$ と汚材C $0.71 \text{ ml/ml} \cdot \text{分}$ の45%
増となったが、汚過水量が多いため、汚材Dの洗
浄水量比は汚材Cより小さくなっている。

汚材Dにくらべ汚材Cの全損失水頭の増加が大
きいこと(図-10.4)、また初期全損失水頭が大
きいこと(図-10.5)がこの原因である。

汚材粒度の比較(2)はアンスラサイトの有効径、
1.51(汚材E)と1.78(汚材F)を汚過速度180
m/日~420m/日の定量汚過、および変動汚過を行
って比較したものである。両者に汚過水質の差は
ないが汚材Fの汚過水量は汚材Eの14%増とな

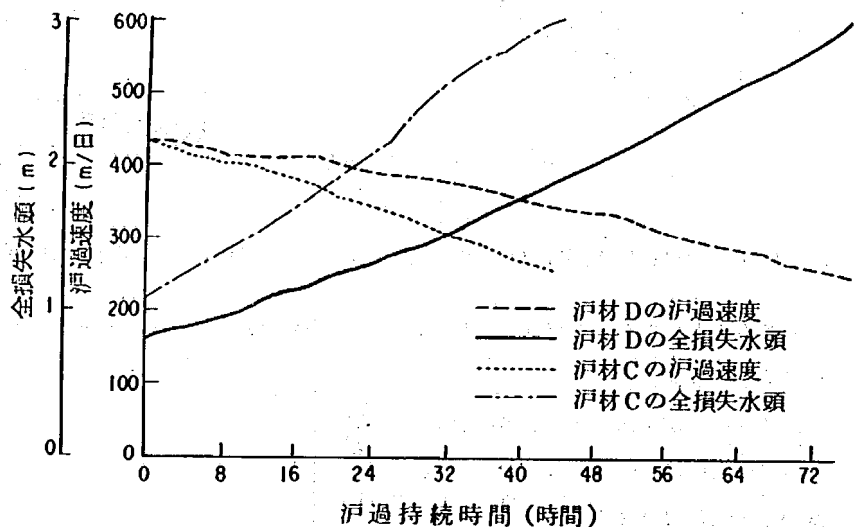


図-10.4 汚過持続時間と全損失水頭、汚過速度

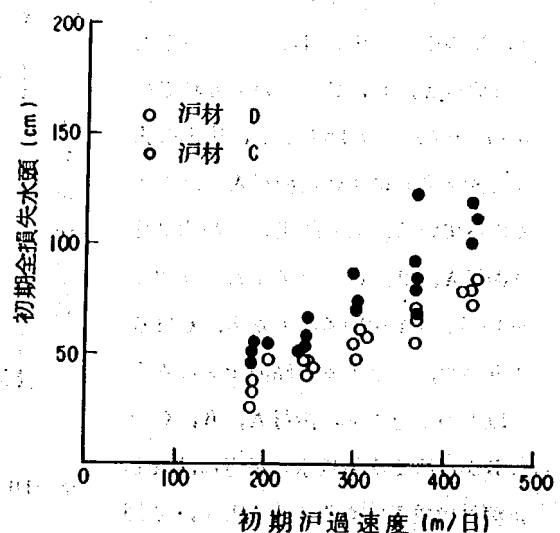


図-10.5 汚材粒径と初期損失水頭

表-10.4 汚材粒度，汚材深度，および汚過方法の比較

			変動汚過と減衰汚過 の比較 (汚材D)		定常汚過と減衰汚過 の比較 (汚材D)		汚材粒度の比較(1)		汚材粒度の比較(2)		汚層の厚さの比較	
			変動汚過	減衰汚過	定常汚過	減衰汚過	汚材C	汚材D	汚材E	汚材F	汚材G	汚材D
汚過水量 平均 (範囲) (ml/m)			971 (710~1248)	1040 (666~1466)	1123 (786~1643)	1050 (661~1559)	670 (479~1159)	1055 (661~1559)	791	903	579 (231~880)	684 (271~968)
洗浄・汚過水量比 平均 (範囲) (%)			1.14 (1.56~0.89)	1.06 (1.66~0.76)	0.99 (1.41~0.67)	1.05 (1.67~0.71)	1.22 (1.71~0.71)	1.05 (1.67~0.71)	1.22	1.41	1.88 (4.71~1.24)	1.62 (4.08~1.14)
水 質 分 析 結 果	濁度	流入水 平均 (範囲) (mg/L)	6.2 (2.6~14.8)	6.2 (2.6~14.8)	3.5 (2.3~4.9)	3.5 (2.3~4.9)	6.1 (2.3~20.0)	6.3 (2.3~20.0)	4.7	4.7	5.8 (1.9~12.0)	5.5 (1.9~11.0)
		汚過水 平均 (範囲) ()	4.1 (1.9~9.3)	4.1 (2.1~7.9)	2.3 (1.6~3.9)	2.6 (1.8~3.9)	3.9 (1.6~11.3)	4.0 (1.8~10.5)	2.0	2.1	3.3 (1.0~8.5)	3.0 (0.8~5.7)
		除去率 (%)	34	34	34	26	36	37	57	55	43	45
	浮遊物	流入水 平均 (範囲) (mg/L)	7.9 (3.7~12.0)	7.9 (3.7~12.0)	4.4 (2.5~6.8)	4.4 (2.5~6.8)	8.0 (2.5~29.3)	8.0 (2.5~29.3)			8.3 (3.0~19.8)	8.2 (3.0~19.3)
		汚過水 平均 (範囲) ()	5.2 (2.4~10.0)	4.8 (2.4~8.3)	2.9 (1.7~5.1)	3.0 (1.8~4.7)	4.7 (1.7~16.7)	4.7 (1.8~14.0)			3.4 (1.0~6.8)	2.7 (0.6~6.6)
		除去率 (%)	34	39	34	32	41	41			59	67
	BOD	流入水 平均 (範囲) (mg/L)	17.5 (4.5~30.7)	17.6 (4.5~30.7)	12.5 (3.3~21.5)	12.5 (3.3~21.5)	17.9 (3.7~71.2)	18.2 (3.3~71.2)			21.0 (8.5~42.6)	21.1 (8.5~42.6)
		汚過水 平均 (範囲) ()	7.3 (3.2~11.6)	7.1 (3.2~10.5)	7.0 (2.8~12.7)	6.8 (3.0~14.4)	8.2 (2.8~42.8)	8.3 (3.0~42.2)			9.0 (2.0~20.1)	9.1 (2.3~20.3)
		除去率 (%)	58	60	44	46	54	54			57	57
	COD _{mn}	流入水 平均 (範囲) (mg/L)	22.3 (14.3~33.9)	22.1 (12.9~33.9)	16.6 (12.8~19.9)	16.6 (12.8~19.9)	21.4 (12.4~35.5)	21.5 (12.8~35.5)			—	—
		汚過水 平均 (範囲) ()	19.0 (11.6~32.9)	19.4 (12.4~31.1)	16.1 (11.7~19.9)	15.6 (10.6~19.4)	18.6 (9.4~31.2)	19.0 (10.6~31.2)			—	—
		除去率 (%)	15	12	3	6	13	12			—	—

- ・除去率は平均値から求めた。
- ・汚過水量は，全損失水量が3 mに達した時の値から求めた。

っている。濾材Fの粒度が粗いため初期損失水頭が小さくその分だけ3mに達するまでの全損失水頭を大きくとれること（図-10.6, 10.7, 10.8），特に砂層部での損失水頭に大きな差が生じていること（図-10.7），濾過後半になって濾材Eの全損失水頭の増加率が濾材Fのそれより大きくなっていること（図-10.6）などが原因である。しかし，粒度が粗いため濾材Fの所定膨張比を得るのに必要な逆流洗浄水量は，濾材Eより大きい（図-10.9）。このため表面洗浄（0.2m/分，9分）と逆流洗浄（膨張比20％にするのに必要な水量，9分）から成る洗浄を行った結果，平均の洗浄水量比は濾材Eの1.22％に対し濾材Fは1.41％であった。したがって，洗浄水量比からすると，細かい濾材のEの方が有利となる。

2次処理水の2層濾過におけるアンスラサイトの有効径は，1.8～2mm⁴⁾，1.7mm⁵⁾，1.84mm¹⁸⁾，2.0mm²¹⁾がよいとされていることと上記の結果を考え合わせると，1.6～2.0mm程度とするのが適当である。

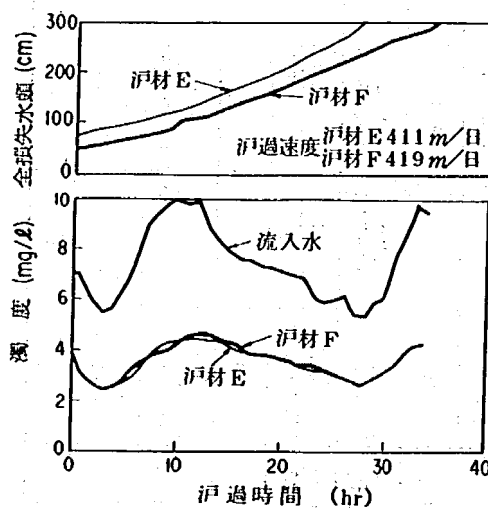


図-10.6 全損失水頭と濁度の変化

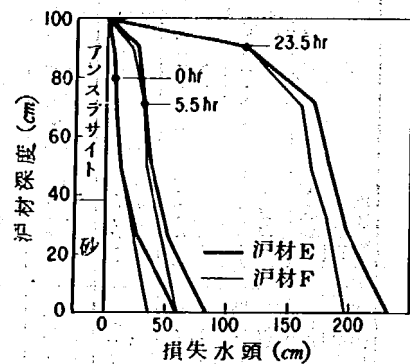


図-10.7 損失水頭の変化

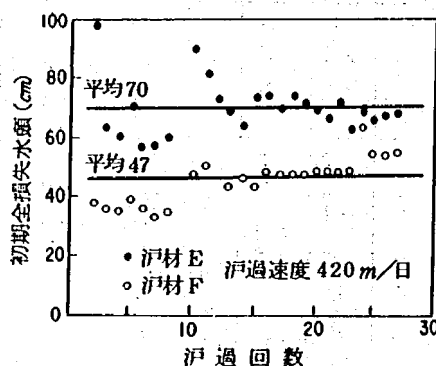


図-10.8 初期全損失水頭の変化

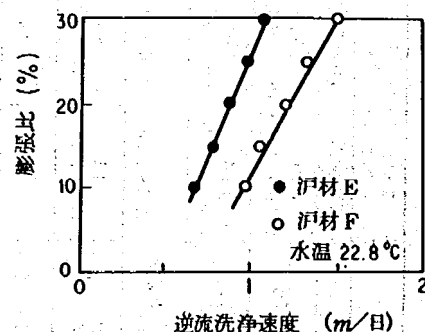


図-10.9 逆流洗浄速度と膨張比

表-10.5¹⁷⁾ は濾材購入時に濾材メーカーと，濾材発注機関が行った濾材ふるい分け結果の例である。表に示す仕様の発注に対し，メーカーは㊸のふるい分け結果を添えて濾材を納入した。この濾材を発注機関がふるい分けた結果が㊹である。砂に関しては仕様，㊸，㊹ともよく一致したが，アンスラサイト

に関しては仕様と⑥は一致しているが⑥とは合っていない。このため、発注機関はメーカーに再度アンスラサイトの調整を依頼した結果が⑥であり、この戸材を発注機関がふるい分けた結果が⑥である。アンスラサイトの仕様と⑥、⑥はよく一致しているため、これを戸過池に搬入した。

戸材によって戸過池の性能は大きく異なるが、この例のように必ずしも戸材メーカーのふるい分け結果と発注機関のふるい分け結果は一致しないことも

あるので、発注機関は戸材搬入前に少なくとも戸材のふるい分けを行い仕様と一致していることを確認の上、戸材搬入を行うべきである。なお、戸材ふるい分け方法は「水道用ろ砂試験方法(JWWA A 103-1967)」によるものとする。

(3)について

アンスラサイトにくらべて粒度の細かすぎる砂を用いると、逆流洗浄時に、砂がアンスラサイト層深部に侵入し、極端な場合はアンスラサイト層と砂層の逆転が生ずる。表-10.1に示すアンスラサイト砂に対する有効径の比はHを除いて1.48~2.66であるが、これらの戸材を繰り返し逆流洗浄(膨張比20%)しても、砂とアンスラサイトは境界部を除いて混合していない。戸材C、Dを2年8か月程度戸過に用いた後に境界部を観察したところ、約8cm程度の砂とアンスラサイトの混合層が境界部に見うけられたが、²³⁾これは、砂層表面の急激な損失水頭増加防止に役立ち好ましいことである。⁴⁾

一方、戸材Hにおけるアンスラサイトの砂に対する有効径の比は3.19であるが、この場合に砂とアンスラサイトの巾広い混合帯が観察された。この結果、砂とアンスラサイト境界部前後の初期損失水頭が未使用時に比べ急激に増加し(図-10.10²⁰⁾)戸過水質に影響はほとんど認められなかったが、戸過持続時間が減少した。

以上のことから、アンスラサイトの砂に対する有効径の比を3以上とすることは危険であり2.7以下程度にすることがよい。

(4)について

可能な限り均一な粒径の戸材を用いた方が、戸層表面における急激な損失水頭の増加を抑え、戸層内

表-10.5 ふるい分け結果例

		有効径 D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	均等係数
仕 様	アンスラサイト	1.6~1.65	—	1.3以下
	砂	0.58~0.62	—	1.3以下
メふるかい分け	③1回	アンスラサイト	1.63	2.10
		砂	0.60	0.78
	⑥2回	アンスラサイト	1.65	2.20
		砂	—	—
発注機関分け	③1回	アンスラサイト	1.42	1.90
		砂	0.60	0.77
	⑥2回	アンスラサイト	1.66	2.03
		砂	—	—

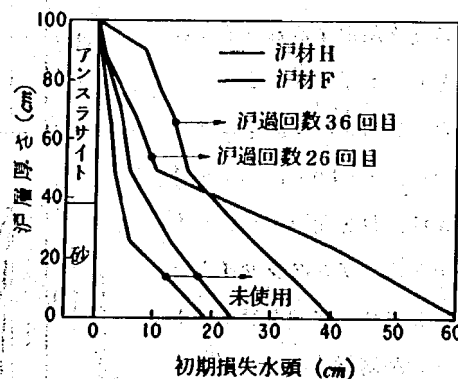


図-10.10 戸材HとFの初期損失水頭の比較

部に大きな浮遊物抑留能力を持たすことができる。このため、汙材粒度の均一性の示標である均等係数はできる限り、1に近づけるべきである。このために、均等係数の小さな汙材を購入すると同時に汙材敷き込み後（砂層敷き込み後、アンスラサイト敷き込み後）、膨張比30%を越えない逆流洗浄を2～3回繰り返し、表層に集まる細かい汙材をかきとることが¹³⁾望ましい。このようにして得られる汙材の均等係数の最小値は1.2～1.3程度である。均等係数の小さな汙材を敷き込むことは、汙材の収率が落ちること、および手間がかかるため、その費用は割高となる。しかし均一汙材敷き込みによって得られる汙過効率の増大を考えると、汙材敷き込み費用の増加分は大きなものではない。¹⁸⁾

(5)について

2次処理水の浮遊物の質を一定とした場合、浮遊物の汙層への侵入深さ、すなわち、汙層の必要厚さLは、汙材径dと汙過速度vに比例し、次の式で表わされる関係にある。¹³⁾

$$L = k d^{1.5 \sim 2} v^{0.7 \sim 1.5} \dots\dots\dots (10.3)$$

したがって、逆流洗浄によって、弱く成層する実際の汙過池では、汙材の粒度が大きく、均等係数が小さく、更に汙過速度が早いほど浮遊物が内部まで侵入するので、多量の浮遊物を抑留できる反面、深い汙層厚を必要とする。粒度汙過速度等の条件を同じにすれば、汙層厚さを減らすほど、汙過水に浮遊物が漏出してくる時間が早くなる。

このように、汙層厚さは汙過水の水質、汙過持続時間を左右するとともに、汙過池の壁面高を決定する基本的な数値としても重要である。

表-10.4に示す汙層厚さの比較は、表-10.1に示す汙材構成G、Dを用いて行ったものである。アンスラサイトと砂、および、アンスラサイトと砂の汙層厚さの比を同一にし、全汙層厚さを600mm（汙材構成G）、1,000mm（汙材構成D）と変えている。汙過速度180～500m/日（但

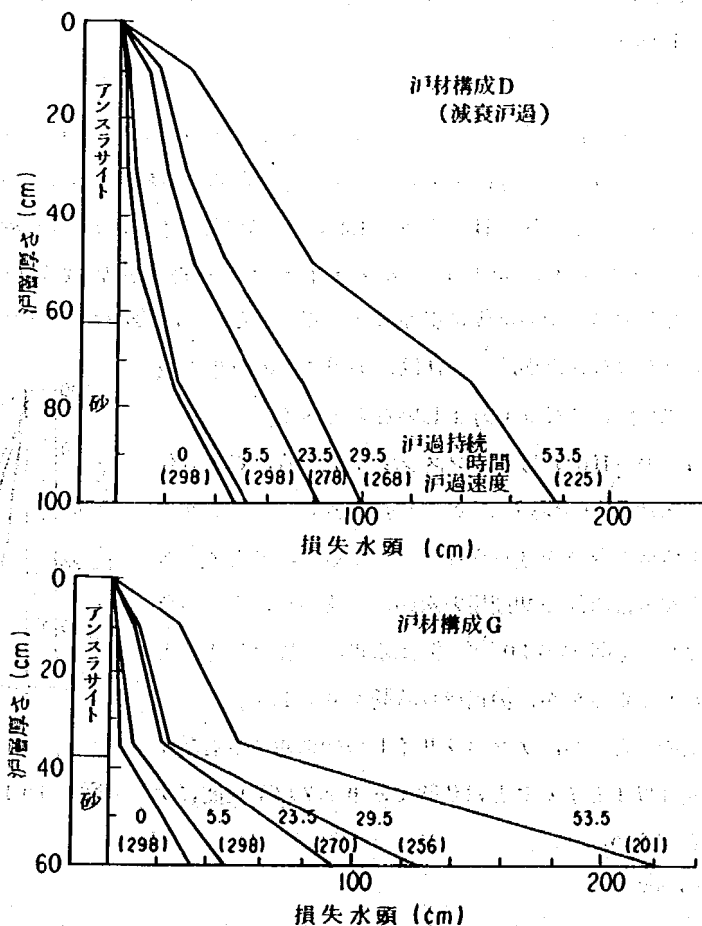


図-10.11 汙材構成D、Gの内部損失水頭

し、変動汚過については平均汚過速度 420 m/日まで)で、減衰汚過、定量汚過、変動汚過を行った結果の平均値が表-10.4である。汚過水質は汚層厚さの厚い汚材Dの方が汚材Gをわずかに上廻るとともに、汚材Dの汚過水量も汚材Gの1.8倍増となっている。これは、汚材Gは汚材Dにくらべアソスラサイト層における浮遊物の捕捉が不十分で、砂層に大きな負荷がかかり¹⁷⁾(図-10.11)汚層がうすいだけ初期損失水頭は小さいにもかかわらず、汚過途中で全損失水頭が逆転するためである¹²⁾(図-10.12)。

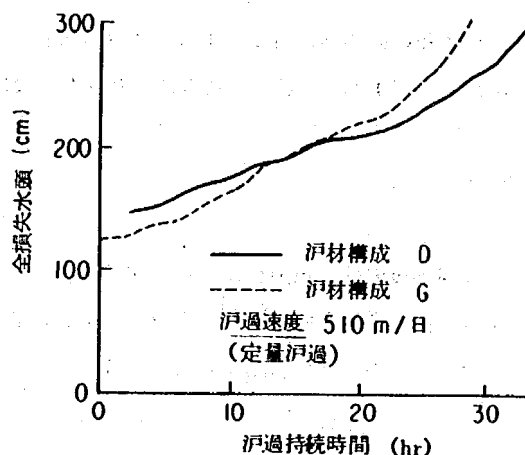


図-10.12 汚材構成D、Gの全損失水頭

20%の膨張比を得るのに必要な逆流洗浄速度は汚材D、Gについてそれぞれ1.03 m/min, 1.01 m/min となり先に示した洗浄方法で洗浄した結果、浄水量比は汚材D、Gそれぞれ1.62%, 1.88%と、洗浄水量比についても汚材Dの方が優れていた。したがって、総合的に汚層厚さ100 cmの汚過成績の方が60 cmの汚過成績より優れていたことになる。しかし、その差はそれ程大きくないことその他、汚層厚さを40 cm厚くすることは、汚過池高さがその分だけ大きくなり、建設費、維持管理費も割高となる。したがって、汚層厚さの決定に当っては、要求される汚過持続時間、汚過水質、および経済性を考慮すべきであり、ここでは、汚層厚さとして60~100 cmとした。

藤田は²²⁾急速汚過における浮遊物除去率は、汚材粒径をD、汚層厚さをLとすると L/D (L/D 単位汚過面積当りの汚材全表面積に比例する)が大きい程、増加するという仮定のもとに、過去の実績を整理した。この結果、通常の水の凝集水または、凝集沈殿水を対象とする場合汚過速度100~300 m/日の範囲で濁度除去率60~90%を確保するために必要な L/De (De : 有効径, L , De ともmm)は1,000程度とすればよいと述べている。

汚材D、Gについて L/De を計算すると、

$$\text{汚材D} \quad \frac{L}{De} = \frac{625}{1.62} + \frac{375}{0.61} = 1,000$$

$$\text{汚材G} \quad \frac{L}{De} = \frac{375}{1.62} + \frac{225}{0.61} = 600$$

となり、汚材Dは満足できる値であるが、汚材Gの値は小さい。しかし、硫酸バンドなどによる薬品のフロックより、2次処理水中に残留する生物フロックの方が粒径が大きく、強いようで、²⁰⁾この結果をもって汚材Gを不適とすることは適当でない。2次処理水を対象とした L/De を求めることが必要である。

11 上向流式汙過池の汙層

- (1) 比較的粗い砂のみからなる1.5～1.8 mの汙層とする。
- (2) 汙層表面下10 cm程度のところにグリットを設ける。

<解 説>

(1) 上向流式汙過池では、粗汙材が集積している汙層下部から2次処理水を流入させるため、下向流式汙過池のように汙層表面に集積する細汙材のために、表層汙過となることはない。このため、下向流式汙過池程、汙材径の均一性を議論する必要はない。

上向流式汙過池で汙過を経続していくと、浮遊物が汙層に抑留されていくにしたがって増大する汙層内損失水頭が、汙材重量と等しくなる。さらに汙過を経続すると汙層内損失水頭の方が大きくなるため、汙層の一部が浮遊状態となり、抑留した浮遊物が汙過水に流出する。この現象をブレイクスルーという。ブレイクスルーを防ぐため、上向流式汙過池では、比較的粗い砂を、1.5～1.8 m敷き込むことを標準とする。

図-11.1, および 11.2 に上向流式汙過池の汙層の例, および、損失水頭の分布を示す。同図より砂層の L/De を求めるとそれぞれ1,410, 1,150と比較的大きい。また2～3 mmの支持砂理における損失水頭がきわめて大きいことを考慮するとこれらの例は、浮遊物の捕促という点では安全側にある。

(2) 上記のような汙層にする他、ブレイクスルーを防ぐため、汙層浮遊防止装置をとりつけることが一般的である。

あまり強固な汙層浮遊防止装置を設置すると洗浄が困難になる。このため図-11.1の例では厚さ5 mm, 幅15 cm, 間隙15 cmのグリットといわれる格子を汙層表面下10 cmに設置してある。このグリット

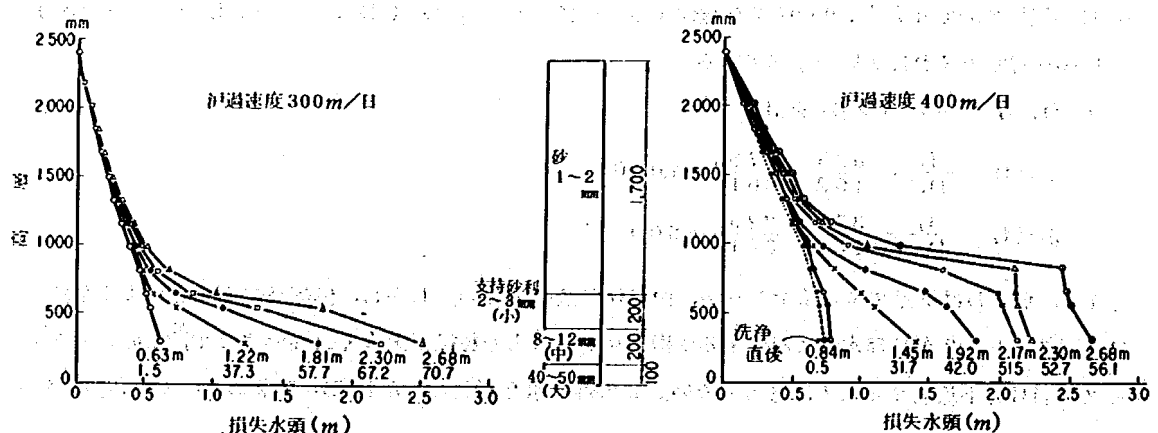


図-11.1 汙層, および損失水頭分布の例⁵⁾

に応力がかかる河層全損失水頭は1.70~1.76mであったと報告されている。⁵⁾すなわち、図-11.1のような河層構成でグリットを用いなく、河層全損失水頭が1.7~1.8mに達すると、ブレイクスルーが発生する。このようなとき、グリットがあるとグリットの間で砂がかみ合い逆ブリッジができ、砂は自重以上の力をグリットに伝達することができるため、ブレイクスルーは防がれる。しかし、砂表面にスライムが残留していたり、砂の締め固めが不十分であると、砂のかみ合いによる抵抗力が小さくなるため、ブレイクスルーが発生する。このため

- a) 洗浄を完全に行うこと。
 - b) 洗浄終了後、河過池内の水を抜き、砂層を締め固めること。
- がブレイクスルー発生防止に必要である。⁵⁾

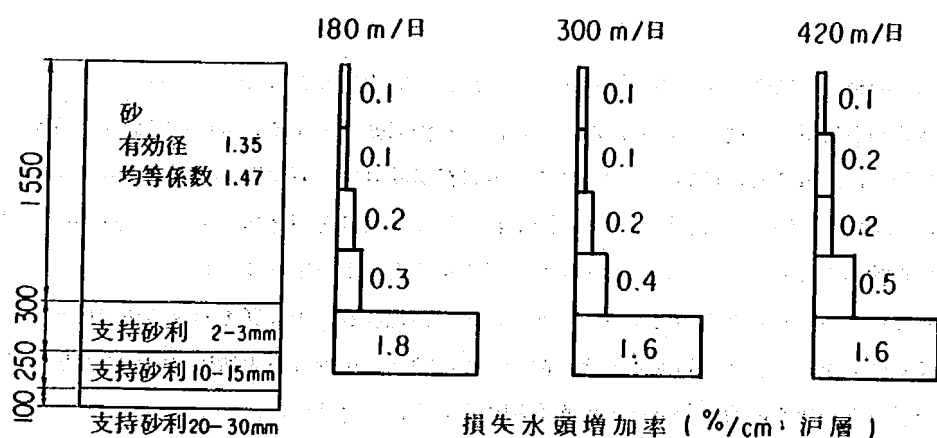


図-11.2 河層、および損失水頭分布の例¹⁷⁾

12. 砂利層の厚さおよび汙過砂利

- (1) 汙過砂利は、その形が球に近く、硬質、清浄で質の均等なものがよく、ごみ 粘土質等の不純物を含まないものであること。
- (2) 汙過砂利の粒径と砂利層の厚さは、下部集水装置あるいは空気洗浄管、逆流洗浄速度、あるいは空気洗浄速度に合わせて適切に決めること。
- (3) 汙過砂利は、粗粒のものを下層に、細粒のものを上層にするのを標準とし、不陸のないように順序よく敷きならすこと。

<解 説>

汙過砂利は汙材と下部集水装置の中間にあって、汙材が集水装置から抜け出ないようにすること、および集水装置から噴出する逆流洗浄水、あるいは、通常汙過砂利下部におかれる空気洗浄管からの空気を汙層中に均一に分散させる目的をもつ。このように汙過砂利は、汙過時、洗浄時に重要なつなぎの役割を果し、これが乱れると汙過成績の急激な低下、汙過池の事故等を引き起こすが、一般的に汙過池の供用開始後は点検できない。このため、汙過砂利の役割も備えた下部集水装置（ポーラススラブ形式等）も開発されているが一般的なものとなっていないため、汙過砂利、およびその厚さ決定に当っては十分な配慮をする必要がある。2次処理水の急速汙過では、浄水のそれより大粒径の汙材を用い、それだけ強い洗浄を行うため浄水の設計例をそのまま利用することはできない。

(2)について

汙過砂利は逆流あるいは空気洗浄時に流動化すると汙過砂利層がくずれ、汙過砂利の目的を果せなくなる恐れがあるため、逆流あるいは空気洗浄時に流動化しないような汙過砂利を用いなければならない。汙過砂利の流動化は下部集水装置、空気洗浄管の開口比、および逆流洗浄速度、空気洗浄速度によって決まってくる。

(3)について

汙過砂利の最上部は汙材が落ち込まず、逆流洗浄水、あるいは洗浄空気が均一に分散する程度に細かくし、最下部は下部集水装置から抜け出さず、流動化しない程度に大きくする。中間の汙過砂利は上段の汙過砂利が落ち込まないような粒度とする。このようにすると、砂利層は4～5層となる。

完全な球形粒子が下段の完全な球形粒子間に落ち込まない条件は次式で与えられる。

$$\frac{D_V}{D_L} \leq 2.41 \quad \dots\dots\dots (12.1)$$

D_V : 上段の粒子径 D_L : 下段の粒子径

このため、汙過砂利は粗粒のものを下層に、細粒のものを上層にするのを標準とするが、汙過砂利と汙材の混合を防ぎ、汙過砂利の流動化を防ぐため、数mmのガーネット等砂利より比重の大きいものを最上部に敷き込むこともある。

13 下部集水装置¹³⁾

下部集水装置は、均等かつ有効な汙過と洗浄ができるような構造でなければならない。

<解 説>

汙過池には、汙材の支持、汙過水の集水および逆流洗浄水の均等配分等の機能を併せもつ下部集水装置を設ける。下部集水装置を通過する流量は、逆流洗浄時には汙過時の数倍にも達する。従って、水理的には、逆流洗浄時の流量配分の均一さが満足される条件を満たせば、汙過水の集水時の均一さは、十分に達せられる。

そこで集水装置は、水の輸送過程においては、断面を十分にとることによって、水頭損失を小さくして、水圧の平面的な均一化を図り、水の分配過程においては、通水孔径を狭め、通水抵抗をある程度大きくすることによって、汙層との平面的に均一な流出入を図るように設計される。

洗浄が平面的に不均一であると、汙過時にはよく洗浄された部分のみを水が通ることになり、汙過速度の極端に早い部分が生じ、洗浄不十分な部分には徐々に汙層の部分的閉そくが生ずる。従って、洗浄の平面的均一性の確保は、汙過池の機能の継続上、極めて重要である。

下部集水装置としては、損失水頭、断面とも小さいほうが経済的であるので、これらの値をできるだけ小さくして、しかも水流分布の均一性を得るための工夫がなされ、後に示すような種々の形の装置が用いられている。

しかし一方、小さな水頭損失で均等分布の得られる下部集水装置ほど、装置としては優秀であるが、通水抵抗が小さいため、逆に汙過水きょ等流出側での水位変動が汙過池内に伝ばされて、汙過条件をかく乱しやすい。¹⁵⁾ 従って、損失水頭の少ない下部集水装置を採用する場合には、下流側で他池と水理的に縁を切るか汙過水きょ等流出側を水位変動の少ない構造にする必要がある。

水理的条件以外には、下部集水装置は、耐食、耐久および耐圧性に富んだ材質で作られ、底板に堅固に固定される必要がある。下部集水装置が破損すると、洗浄が不均等になり、砂が圧力室を経て汙過

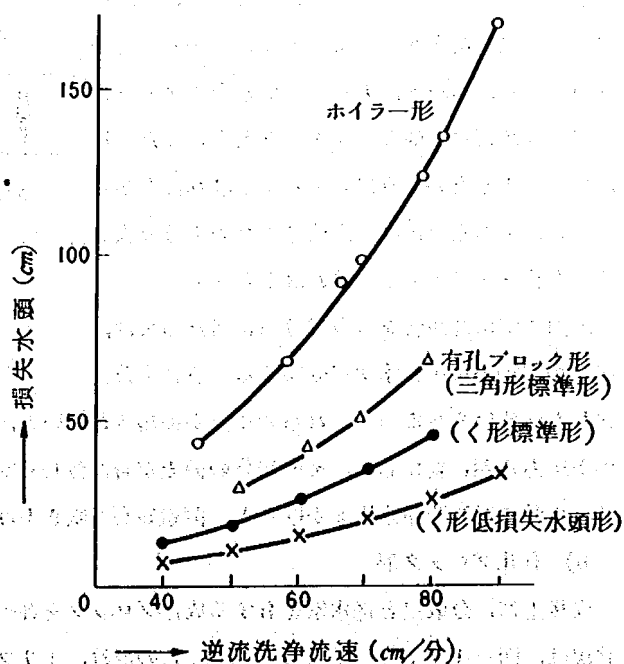


図-13.1 下部集水装置の損失水頭の実測例

水きよまで流出し、様々なトラブルのもととなる。更に汚床下の装置であるから点検修理が容易ではないので、信頼性の高いものでなければならない。すなわち、装置は耐食性に富んでいなければならない。また、汚材の重量に耐え、洗浄時には急激な水圧変化に耐える力学的強度を有していなければならない。

なお、下部集水装置の損失水頭は、開口部の面積、流速および形状係数によって決まる。

以下に具体的な下部集水装置について、その要件を述べ解説を加える。

a) ホイラー形

図-13.2に示すように、汚過池底板上に支柱を設け、その上にコンクリート成形品を緊結したものが多く、成形品と底板の間が圧力水室となる。成形品の上面には、倒角すい形のおう部があり、その中に大小5または14個の磁球を並べたものである。

倒角すい形の中心間隔は、今までの経験から20~30cm程度が適当とされている。中央部の噴出口の総断面積は汚過面積の0.25~0.4%程度がよい。

倒角すい形部に入れる球は、質が堅硬で形が正しいものでなければならない。普通、よく焼成された硬質磁球が用いられる。板を支台上にすえ付けるときは、洗浄水圧によって浮き上がることをないように、ボルト、ナットで十分定着するとともに、目地には固練りモルタルを入念にたたき込んで、漏水しないようにしておかなければならない。また圧力水室には、点検等のため十分な大きさの人孔を設けておかなければならない。

圧力水室に洗浄管を取り付けるに当たっては、洗浄水が均等に圧力水室に分布するように十分工夫しなければならない。これらのことが実施されないと、洗浄水の主流が突き当たる部分では、速度水頭が圧力水頭に変化して、その部分の汚床が特に激しく吹き上げられ、洗浄の不均衡をきたすのみでなく、急激に逆流洗浄水圧をかけると、汚過砂利が吹き上げられ汚床を傷めることすらあるからである。

b) 有孔ブロック形

底板上に、分散室と送水室を有する成形ブロックを並べるもので、ブロックの標準形状ならびに布設状況は、図-13.3に示すとおりである。この形は、オリフィス孔で連通された二段構造による均圧効果とブロック上面に配列された多数の集水孔により、平面的に均等な汚過と逆流洗浄効果を期するもので

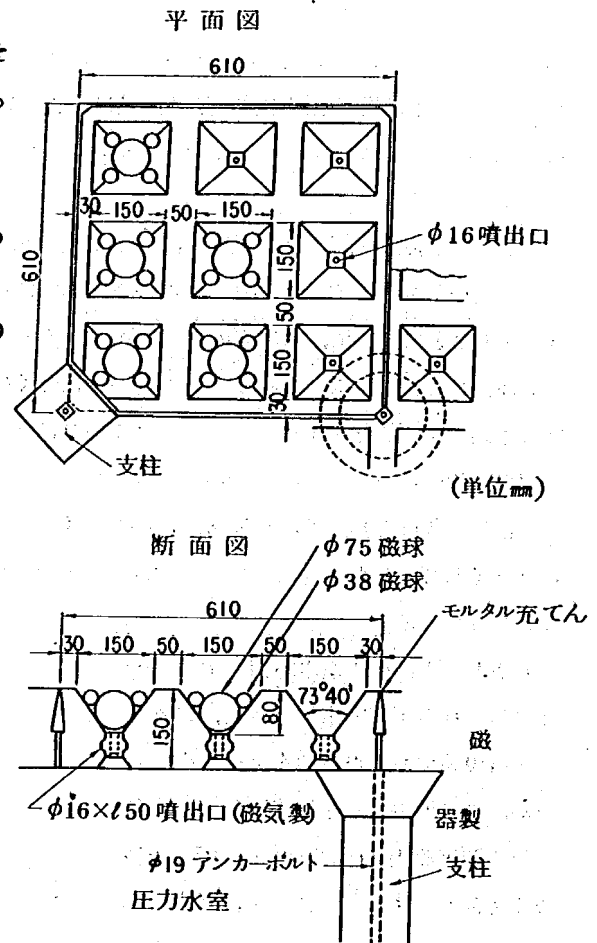


図-13.2 ホイラー形下部集水装置

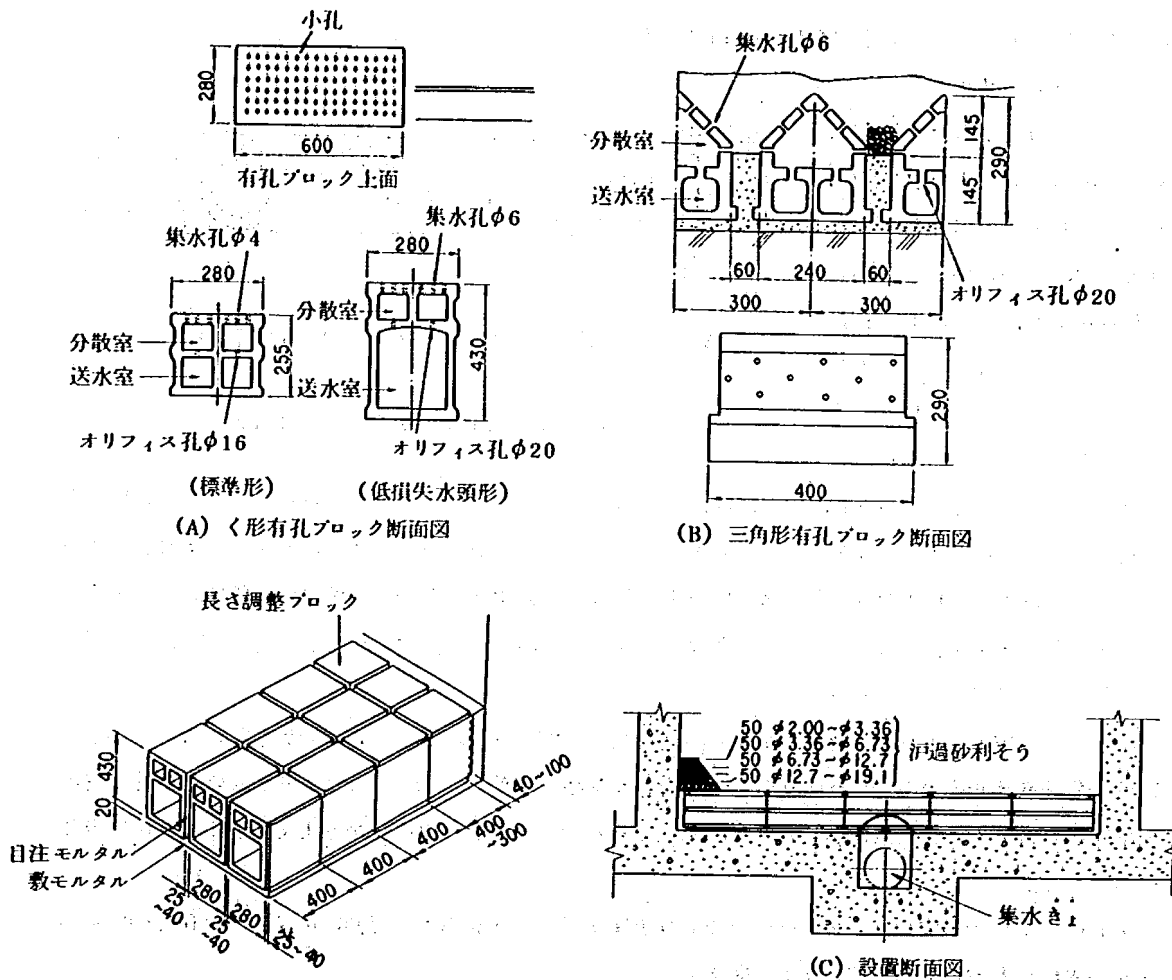


図-133 有孔ブロック形下部集水装置

ある。ホイラー形に比べた特徴は、施工が容易（ブロックが軽い、支柱不要）、構造物を浅くできる、（圧力室不要、必要砂利層厚が薄い）、平面的均等さを得やすいこと等である。送水室断面の大きなものほど、水輸送過程での均圧が保たれるので、集水孔の孔径を大きくしても、水分散の平面的均一性を保つことができ、結果的に下部集水装置における損失水頭を減らすことができる。

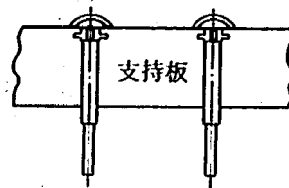
有孔ブロックの材質は、耐食性、耐久性および耐圧性に富んだもので、形状は変形のないものでなければならない。陶磁器のものにあつては、成形時のバラツキや施工時の破損に注意が必要である。なお、汙過池の中央が管廊側には集水きょを設けて、ブロックとの水の出し入れを行うものとし、その断面面積は、汙過面積の1%以上（逆流洗浄速度0.6m/分のとき）とする。

通常用いられているものの開口比（集水孔総面積の汙過面積に対する比）は、く形標準形0.65%、く

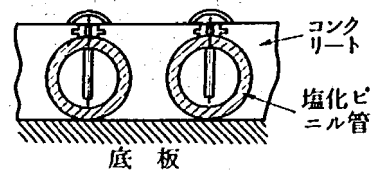
形低水頭形で1.36‰，三角形標準形で0.57‰である。

b) ストレーナ形

底板上に布設する管もしくは、支持板にストレーナを取り付け、それを通じて水の出し入れを行うもので、その標準形状ならびに布設状況は、図-13.4に示すとおりである。管に取り付ける場合には、管と水の出し入れを行う集水きょを、河過池中央に



(A) 支持板取付形



(B) 集水支管取付形

図-13.4 ストレーナ形下部集水装置

設ける。管は耐久性のものとし、すえ付けに当たっては、ストレーナの最下孔の近くまでコンクリートを充填して水が停滞する部分をなくするとともに、ストレーナが管から外れないように十分固定しておく必要がある(図-13.4(B)参照)。ストレーナの間隔は、広すぎると均等な河過および洗浄ができない。また狭すぎると不経済となる。今までの経験からいって、10~20cmが適当である。取り付け高さは同一になるような注意が必要である。

ストレーナ取り付け短管の総断面積は、河過面積の0.25~0.4‰とすると、逆流洗浄時に適当で均等な逆流洗浄速度が得られる。これより大きいと均等な洗浄ができない。また、これより小さいと均等な逆流洗浄は得られるが、損失水頭が必要以上に大きくなるので、大きな逆流洗浄水圧を要することになり不経済である。

ストレーナ装置の成否は、ストレーナの腐食と閉そくの防止にある。腐食防止には、耐食性の強い金属か合成樹脂材料のものを使用する。閉そく防止には、ストレーナの孔の大きさに見合った、径と厚さの砂利層を設けることにより、また、河過時に過大な河過速度がでることを避けることにより、細かい河材の脱落を予防し、もしくは、ストレーナの形状寸法を、砂が脱落しても閉そくしないようなものを選択するのがよい。

d) 有孔管形

通水孔を開けた管を、孔が下向きになるように、底板上に支台を設けて布設するもので、図-13.5に示したようなものである。使用する管は、耐食性、耐久性および耐圧性に富んだ材質で作られたもので、小孔は口径、角

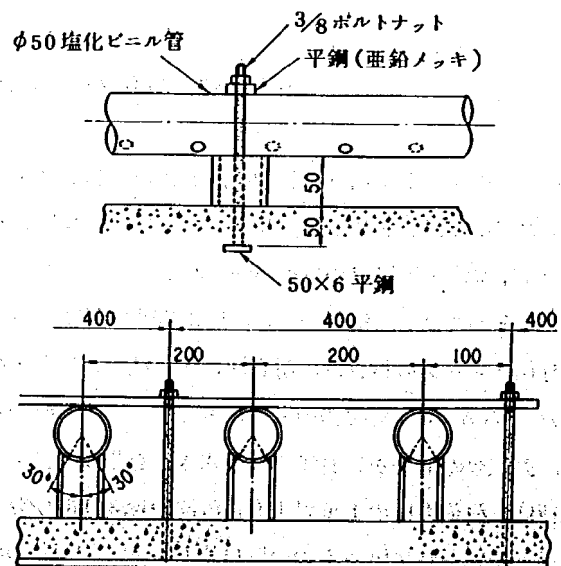


図-13.5 有孔管形下部集水装置 (単位 mm)

度とも均等に開けられたものでなければならない。

集水支管の間隔は30cm以下とし、その長さは管径の60倍以下とする。管径に比して管長が長過ぎると、逆流洗浄時に管内水圧の不均衡が大きくなり、均等な洗浄ができなくなる。小孔の径は6~12mm程度が適当で、小孔の間隔は(小孔の総断面積、小孔の径および集水支管の間隔と相関的なものであるが)、だいたい7.5~20cm程度とし、ブッシングをはめ込むこと。ただし、硬質塩化ビニル管を使用する場合には、ブッシングはなくてもよい。

小孔の総断面積は、戸過面積の0.2%程度または支管の総断面積の20~50%程度がよく、本管断面積は、支管の総断面積の1.75~2.0倍程度にするのがよい。支管ならびに本管が細過ぎると逆流洗浄時に損失水頭の不均衡をきたし、均等な洗浄ができなくなるし、太過ぎると不経済になる。

有孔管形は、洗浄時に管が振動しやすいから支台に十分定着していなければならない。小孔を下または斜め下に向って開けると、洗浄水がいったん床板に当たってうまく拡散し、砂利層に衝撃を与えることが少なく、また砂粒等で小孔が詰まるおそれが少ないという利点がある。

この形でも枝管末端が閉そくしていると、その付近では速度水頭が圧力水頭に変化するため、その部分では洗浄水がほかの部分よりもよく吹き出す傾向がある。このような現象の起こらないようにするには、集水管末端を作らないよう相互に連絡して、逆流洗浄時の集水管内の圧力分布をできるだけ均等にするのもよい方法である。

e) 多孔板形

径が数mmの粒状物を、菓子「おこし」状に成形した板で、底板上に支壁を設けて圧力水室となし、支壁上に多孔板を取り付けて集水装置とするもので、板の標準品は図-13.6に示すような形状である。

多孔板に要求される性質は、通水性の持続力と力学的強度である。

通水性能としては、通気率55ml/ml/分(水圧50mmの空気圧差20℃において)、空げき率34~38%程度が必要とされている。戸材中からの細砂の脱落による物理的目詰りを予防するためには、無理な戸過や不均一な洗浄を避けるべきである。化学的目詰りを防ぐには、材質の耐食性が要求される。また、上部荷重や(板の目詰りに起因し)逆流洗浄水圧による板の割れは、大きな被害をもたらすので、力学的に十分な強度が必要である。

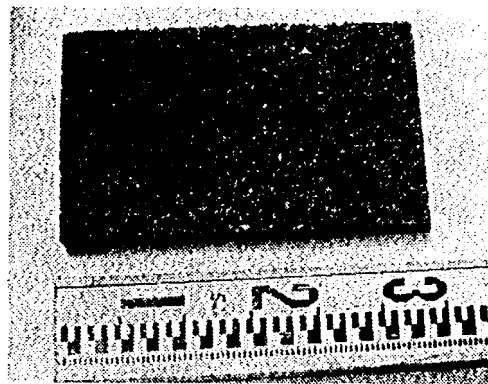


図-13.6 多孔板形下部集水装置

これらの要件を満たすものとして、現在のところ、角を削って丸味を付したよう融アルミナ(長径3mm程度)を焼結した板が用いられている。

また、多孔板を敷き並べる継手は、多孔板相互を連結し、水流の自由な流通や戸材の脱落を永続的に防止できるようなものでなければならない。更に、洗浄時に、持ち上げられることのないように、底板

に堅固に定着されなければならない。

多孔板の長所は、一般的に砂利層を省略でき、従って構造物を浅くできることであるが、板の価格は、他のものに比して高価である。

1.4. 洗浄方式

汚層の洗浄方式は、汚層が有効に洗浄されるものでなければならない。

<解説>

洗浄が不十分であると、初期損失水頭が増大し、汚過池の汚過能力が低減するので、汚層の洗浄方式は、汚層が有効に洗浄されるものでなければならない。

2次処理水の汚過では、2次処理水中の浮遊物が浄水のバンドブロックにくらべ粘着性が強く、汚材からはくりがより困難なこと、および浄水の汚過にくらべ、より内部汚過とするので浮遊物が汚層深部まで到達していることから、浄水の洗浄より強力な洗浄を行う必要がある。

下向流式汚過池の洗浄方式と上向流式の洗浄方式とは異なるので、別々に議論する。

(1) 下向流式汚過池の洗浄方式

下向流式汚過池の洗浄方法には、逆流洗浄、表面洗浄、空気洗浄があるが、逆流洗浄が主たる洗浄方法であり、表面洗浄、空気洗浄は逆流洗浄効果を高める補助的手段である。

a) 逆流洗浄¹³⁾

表面洗浄あるいは空気洗浄により破碎された濁質を汚層から排出すること、および汚層内に抑留された濁質を汚材から分離し、更に、トラフまで押し流すのに必要にして十分な逆流洗浄速度と均等な水流分布が、保たれるものでなければならない。

逆流洗浄は、2つの段階からなっており、第1は、逆流洗浄水による汚材相互の衝突、摩擦や水流のせん断力で付着濁質をはく離する段階であり、第2は、汚層上に排出されたこれらの濁質のトラフへの流出の段階である。

逆流洗浄では、まず汚層を流動化することが重要である。汚層に下部から逆流洗浄水を送るとある流速までは汚層が静止したままであるが、流速の増大に伴い、汚材粒子が跳躍し汚層が流動化し始める。更に流速を増すと、汚材粒子の浮遊している流動化状態に達する。流速を一層増大することにより、汚材粒子の運動は活発となり、ついには流動状態の汚層から飛び出すことになる。逆流洗浄は、汚層を流動化させ、汚材粒子が浮遊している、いわゆる膨張状態を保ち、かつ、流動化した汚層から汚材粒子を飛び出させない状態にすることが重要である。

汚材が砂であれば、膨張砂層底部から砂層表面にかけて、大きく緩やかな循環流のほかに、局所的な短絡流や小さなうずの発生を伴う砂流が生ずる。

逆流洗浄の第1段階は、逆流水によって汚層をこのような流動状態とし、汚材相互の衝突、摩擦や水流のせん断力により、付着濁質のはく離を促し分離することである。付着濁質のはく離や汚層からの排出は、汚層を20～30%膨張させたときに有効であり、洗浄効果がよいとされている。

第2段階は、汚層上に排出された濁質が速やかに流出されることで、トラフの高さ、間隔等に影響さ

れる。どの段階でも逆流洗浄水が均等に噴出される下部集水装置と砂利層が、設置されていることが必要である。

ただし、多孔板形の下部集水装置においては、砂利層を省略することができる。

b) 表面洗浄¹³⁾

表面洗浄は、汚層表層部に抑留されている濁質を、強力な水流によるせん断力で、破碎できるものでなければならない。

原水水质、前処理の程度および汚層構成等によって定まる汚過方式で、表層部に濁質が極端に多くなる抑留分布状態では、逆流洗浄のみでは十分な洗浄効果を期待することが無理である。すなわち、逆流洗浄のみでは、汚層表層部に濁質が残り洗浄効果が悪く、長い間に汚層表面の汚材にでい状物質が蓄積され、汚層の濁質抑留容量を減少させるばかりでなく、ついにはマッドボールが形成するに至ることがある。このような欠点を補うためには、逆流洗浄のほかに表面洗浄を併用しなければ、十分に洗浄効果をあげることができない。

表面洗浄は、汚層表層部に圧力水を高速で噴射させ、強力な水流によるせん断エネルギーによって、でい状層を破碎するとともに、汚材相互の衝突、摩擦を増大させて洗浄効果をあげようとするものである。表面洗浄は、逆流洗浄開始に先だって噴出ノズルから出る射水が、汚層全表面に行きわたるようにしなければならない。

表面洗浄装置には、固定式と回転式とがある。固定式には、水平管自身に孔を開けて射水させるのと、水平管から垂直管を下ろし、その先に数個の孔の開いた噴出ノズルを取り付け、これから射水させるものがある。

回転式は、垂直回転軸の下端に取り付けた水平回転管の側面および先端に孔を開けて射水させ、その圧力によって水平回転管を回転させるものである。

1) 固定式は、60～90cm間隔に管径25mm管を垂直に配列し、その先端を、砂面上約10cmとして、これに噴出ノズルを取り付けるか、または管を砂面上5～10cmの高さに水平間隔約60cmに配置し、これに約30cmごとに孔を両側に設けること。

2) 回転式は、中央に回転軸を有する管を砂面上5～25cmの高さに配置して、管の側面および先端に噴出ノズルを取り付け、7～10回/分の速度で回転できる構造とすること。

なお、実際の設計に当たっては、実験により各部の形状、寸法および砂面上の位置等を定めるのがよい。

c) 空気洗浄

汚層下部から空気を通って噴出する気泡が、汚層中を上昇するときに、気泡の通路にある汚層を震動させることによって、汚層に抑留した浮遊物の一部をはくりするとともに、汚層をゆるめる。このため、空気洗浄後に行われる逆流洗浄効果が高まる。

d) 表面洗浄プラス逆流洗浄による洗浄

汚層の上部水位を汚層表面近くまで下げてから汚層表面にたい積した浮遊物を表面洗浄によって破碎

した後、表面洗浄と逆流洗浄の併用により、汚層内部の浮遊物をはくり、排出する。最後は汚層成層化のために、逆流洗浄のみを行う。表面洗浄、逆流洗浄時間は5～15分で、表面洗浄と逆流洗浄の重複時間はなるべく大きくとる。

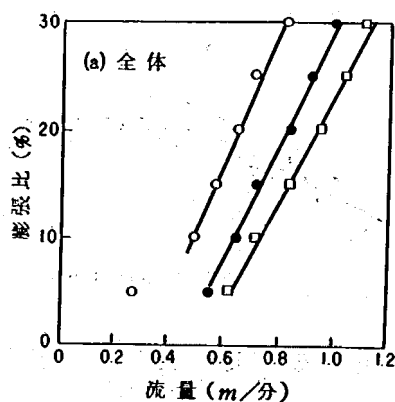
表面洗浄条件は表-14.1¹³⁾を標準とする。

膨張比20～30%を得るのに必要な逆流洗浄速度は、汚材構成、洗浄水の水温によって異なる。図-14.1(a)は逆流洗浄水量と膨張比の関係の1例である²³⁾。また、図-14.2は同一膨張比を得るための、洗浄用水の水温20℃において1としたときの水温の補正係数²⁴⁾である。図-14.1、14.2および図-10.9から、洗浄用水の水温を10～25℃とし、10節で示した汚材径を考慮すると、2層汚過池において、膨

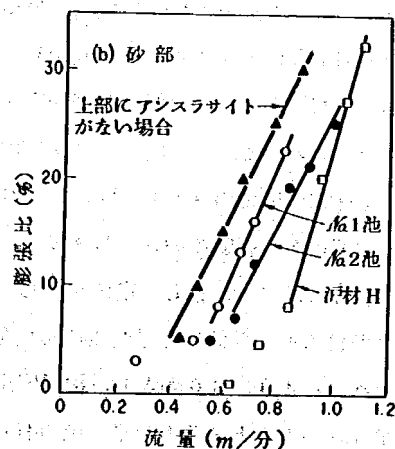
表-14.1 表面洗浄水量、圧力

	表面噴射水圧 (m)	表面洗浄水量 ($m^3/m^2 \cdot \text{分}$)
固定式	10～20	30～40
回転式	0.15～0.20	0.05～0.10

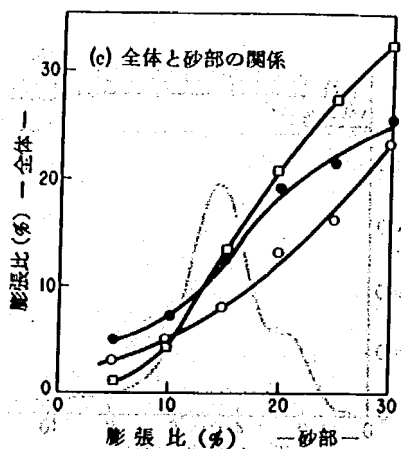
(a) 全体



(b) 砂部



(c) 全体と砂部の比較



汚過池 汚		1	2	3
汚材	ES(mm)	1.12	1.51	1.85
	UC	1.19	1.19	1.24
	充填厚(mm)	6.25		
	ES(mm)	0.58		
砂	UC	1.2.8		
	充填厚(mm)	1.75		
支持砂利		2.00～3.36, 3.36～6.73, 6.73～12.9, 12.9～19mmの砂利を50mmづつ充填		
集水装置		レオポルドブロック		

図-14.1 逆流洗浄における汚層の膨張比(水温24.3℃)

張比20~30%を得るためには、逆流洗浄水量は0.8~1.6 $m^3/m^2 \cdot \text{分}$ 程度必要となる。これは浄水の場合¹³⁾(0.6~0.9 $m^3/m^2 \cdot \text{分}$)にくらべ30~80%増である。逆流洗浄に必要な圧力水頭は、汙層で費やされる圧力損失に支持砂利層、集水装置、および管理における圧力損失を加えたものとなる。

図-14.3¹⁰⁾は表-10.1に示す汙材Dの下部集水装置を含む初期全損失水頭の変化である。洗浄は表面洗浄(固定式、ノズル位置は汙層表面より20cm、速度0.2 $m/\text{分}$ 、時間9分)と逆流洗浄(膨張比20%を得るのに必要な水量、9分)で、表面洗浄と逆流洗浄の重複時間は7分から成る方法で行っている(図-14.4参照)。全損失水頭が3 m に達した時点で停止する汙過を175回(2年8か月)行ったが、この間、汙過速度を種々に変化させている。このため同図には初期汙過速度300 $m/\text{日}$ についてのみ示す。同図によれば、初期全損失水頭はある程度の汙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。図より汙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、汙過停止を全損失水頭3 m のときとすると、平衡後の有効全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。

図-14.5に示す汙過回数18と175の汙層内損失水頭分布より、図-14.3に示す初期全損失水頭の増加はアン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回目の汙過終了、汙過池洗浄後、汙材をかき出し、水道用砂試験方法を用いて汙材の浮遊物付着量を測定した(図-14.6)。アンサイト上層の浮遊物付着量は、8.3 g/l 汙材と下層のアンサイトにくらべ多いが、これは洗浄後、洗浄排水桶(汙材上部より70cm)へ排出されずに残留した浮遊物が汙層表

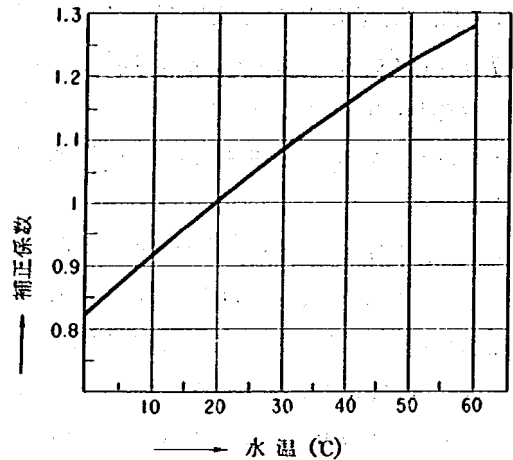


図-14.2 同一膨張比を得るための水温の補正(20℃を1)

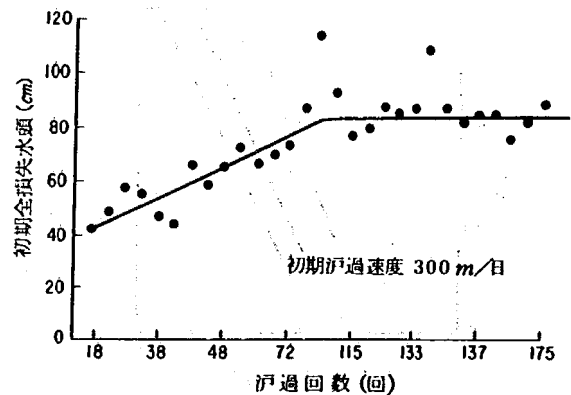


図-14.3 汙過回数と初期損失水頭の変化

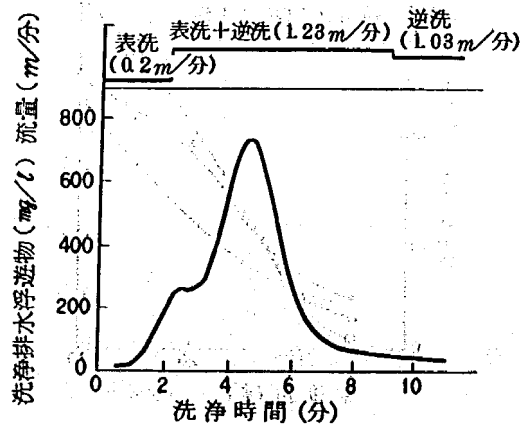


図-14.4 洗浄結果の一例

面に沈殿したためと考えられるので、アン
スラサイトには全層に渡って $2.2 \sim 3.5 \text{ g/l}$
汚材の浮遊物が付着していたことになる。
これに対し、砂層の浮遊物付着量は $15 \sim 18$
 g/l 汚材と、単位体積当りの浮遊物付着量
はアンスラサイト層にくらべ $5 \sim 7$ 倍も多
くなっており、図-14.5 の結果を裏付け
ている。

汚材搬入時の有効径、均等係数よりアン
スラサイト、砂の調和平均径²²⁾を求めると、
それぞれ 2.03 mm 、 0.73 mm となる。アン
スラサイト、砂は球状でその空隙率は同一とし、調和
平均径から単位体積あたりのアンスラサイトと砂の表
面積の比率をとると、 $(2.03)^2 / (0.73)^2 \div 7.7$ とな
り、アンスラサイトと砂の単位表面積当りの浮遊物付
着量は同レベルにあることになる。

汚材をかき出した汚過池に、かき出した汚材とほぼ
同様の新汚材（アンスラサイトの有効径 1.51 、均等係
数 1.19 ；砂の有効径 0.58 、均等係数 1.28 ；汚材厚
は同一）を敷き込んだ。この汚材交換時に汚材交換を
行わなかった汚過池（A池とする）を対照として、汚
材交換前後の濁度除去率の変化を調べた結果、汚材交
換前ではA池にくらべ 6% 低かったが、汚材交換後は
A池より 7% 高かった。これが汚材の汚染のためとは
速断できないがその可能性は大きい。

図-14.6 には各層別の有効径、均等係数を示してい
るが、同表によれば、アンスラサイトは多少、摩滅し、
また成層化していることがうかがえる。しかし均等係
数は搬入時の値と大差なく、約2年半という期間を考
慮すると、汚材を流動（逆法膨張比は 2.0 倍としてい
る）させても 1.3 程度以下にはなっていないことが分る。

この他、汚材搬出によって得られた知見を列挙すると次のようである。径 $1 \sim 4 \text{ cm}$ で少し押せばつぶ
れる程度のマッドボールが見られ、アンスラサイト下部、及びアンスラサイトと砂の混合部（約 8 cm ）
に多かった。汚過池4隅が汚れていた。下部集水装置のレオバルトブロックは目づまりしていなかった。

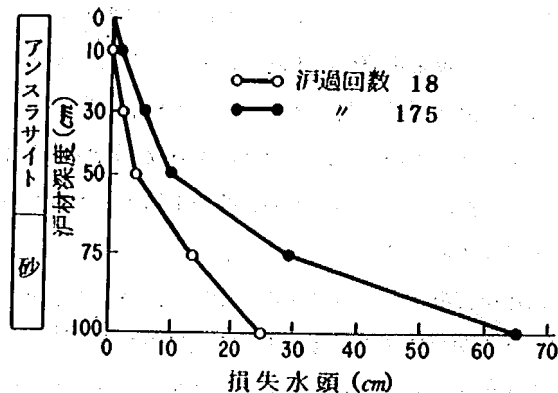


図-14.5 初期損失水頭の変化

汚材 構成	汚材 深度 (cm)	浮遊物 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

- 搬入時の汚材
アンスラサイト ES1.62, UC1.33
砂 ES0.61, UC1.26
- 汚材深度 60 cm はアンスラサイトと砂の混合帯

図-14.6 汚材調査結果

以上に述べたように、上記条件による表面洗浄、逆浄洗浄から成る汚層の洗浄は初期全損失水頭および汚過水水质を新汚材時と同等にすることはできなかったが、これでよしとするかどうかは、要求される水质、汚過持続時間などを考慮して判断されるべきである。

上記条件の表面洗浄、逆浄洗浄から成る洗浄を改善する方法として次のようなことが考えられる。

- ・表面洗浄、逆流洗浄の水量、時間を増す。このために、洗浄条件設定用操作盤は、洗浄条件の変更が容易なものとする必要がある。
- ・次亜塩素酸ソーダ等による定期的な汚層の洗浄を行う。Clとして0.05%の次亜塩素酸ソーダで汚層を2時間浸漬するとよいという報告がある。²⁵⁾
- ・全損失水頭が一定値に達した後に洗浄を行うのではなく、定時間（例えば1日1回）ごとに洗浄を行う（15節参照）。
- ・図-14.2(b), (c) に示されているように、砂層の膨張は、上層にアンスラサイトがあると抑えられる傾向があるので、汚材選定時にこの点を考慮する。

e) 空気洗浄プラス逆流洗浄による洗浄

空気洗浄単独、あるいは空気洗浄と逆流洗浄の組合せて、汚層に抑留された浮遊物の一部をはくりするとともに、汚層をゆるめた後、逆流洗浄を行う。空気量は $0.5 \sim 1.5 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \text{ 汚床/分}$ 程度とする。前者（空気水非同時洗浄）より後（空気水同時洗浄）の方が効果が確実であるといわれている。²⁶⁾

空気水同時洗浄時間は、洗浄排水トラフに汚材が流出することを防ぐため、汚層上部水位が洗浄排水トラフの20cmより上にこない範囲としなくてはならない。このため、空気水同時洗浄前に、水位を汚層下部まで低下させること、および、空気水同時洗浄時の逆流洗浄速度を下げるなどが考えられている。

空気水同時洗浄後におこなわれる汚層内の浮遊物の排出、およびアンスラサイト、砂の成層化を目的とした逆流洗浄速度は、15~20%の膨張比を得るのに必要な水量とし、時間は5~10分必要である。これより小さな膨張比で行うと、空気水同時洗浄時に混合したアンスラサイトと砂の成層化に必要な時間が非常に長くなる。

空気水同時洗浄は、表面洗浄プラス逆流洗浄では洗浄しにくいと考えられる砂層部の洗浄がより十分に行われる可能性があるが、両者を比較したデータは今のところなく、今後の検討がまたれる。

Cleasbyら²⁵⁾は空気水同時洗浄を推奨している。汚材の越流を防止するために、粗い砂単層から成る汚床を用いること、汚材が洗浄排水トラフから越流しない程度の逆流洗浄速度とすることによって、洗浄排水が排水トラフ到達後も空気水同時洗浄が可能としている。この方法が表面洗浄プラス逆浄洗浄、あるいは空気水非同時洗浄より優れているという実験結果を得ている。2~3.6mm 砂を117cm敷き込んだ砂汚過池、および、1~2mm のアンスラサイトを38cm、0.5~0.8mmの砂を23cm敷き込んだ2層汚過池で散水汚床処理水を汚過した結果、砂汚過池の汚過水の水質は2層汚過池のそれよりわずかに低下したにすぎなかったと述べている。しかし、用いた試料が散水汚床処理水であることから、活性汚泥処理水についてもこの方法を検討する必要がある。

(2) 上向流式汚過池の洗浄方式

上向流式汚過池の洗浄は、汚過池の汚過能力の回復ということのみでなく、ブレークスルーを防ぐという意味でも重要である。

ブレークスルーを防ぐ目的で設けるグリットのある上向流式汚過池は、グリットのため汚層の膨張が抑えられるため、下向流式汚過池にくらべて洗浄は困難である。このため、上向流式汚過池の洗浄時間は下向流式汚過池より複雑で長くなる。

上向流式汚過池の洗浄は次に示す方法を⁵⁾を参考とする(図-14.7)。

- 洗浄開始：洗浄開始指令で汚過工程が終了し、洗浄工程がスタートする。
- 水抜き：洗浄工程に入ると、汚過水弁、原水弁が閉じ、捨水弁、洗浄排水扉が開いて池の水位が低下する。
- エアブローの開始：砂層表面上10cmまで汚材の上部水位をぬいた後4分後にエアブローが起動する。4分間で砂中の水は完全に排出される。
- 水洗浄の開始：エアブローを開始してから、2分後に、逆洗ポンプを起動する。これは、ブローの送風量が規定量に達するまでに時間がかかるためである。水洗浄は開始後5分間は低水量(0.17 m³/分)を送水する。以降は通常水量(0.78 m³/分)を送水する。水量が低水量から通常水量に切り換わる時点は、エアブローの停止時点と一致する。低水量で送水する目的は、水と空気の混合洗浄時間をできるだけ長くし、汚床内の多くの浮遊物を排出するためである。
- エアブローの停止：洗浄水の水位が上昇して、トラフの上端より20cm下った所まで達したとき

時刻	14'15"00"	18'00"00"	21'30"00"	23'30"00"	28'00"00"	33'30"00"	36'15"00"	39'45"00"	41'45"00"	46'5"00"	52'45"00"	55'45"00"	15'00"45"
洗浄操作	洗浄開始	水位計○	エアブロー開始	水洗浄開始	エアブロー停止	水洗浄停止	水位計○	エアブロー開始	水洗浄停止	原水弁開	原水弁開	水洗浄停止	汚過水弁開
	3'00"	3'30"	2'00"	4'00"	5'30"	2'45"	3'30"	2'00"	4'30"	7'30"	2'00"	5'00"	
逆洗関係弁の開閉状態	1'45"	1'45"			原水弁							1'45"	
	20'				汚過水弁							1'45"	
			20'			20'		20'		捨水弁			
		逆洗水弁	1'30"			1'30"	1'30"				1'30"		
							洗浄排水扉						2'30"
			25'	閉	25'	空気抜き弁	25'	閉	25'				
			30'		30'	逆洗空気弁	30'		30'				

図-14.7 上向流式汚過池洗浄工程

に、ブロワを停止する。これはブロワによる汚過砂の流出を防ぐためである。ブロワの稼働時間は7分ぐらいである。

f) 水洗浄の停止：逆洗ポンプは起動してから10分後に停止する。

g) 水抜き：逆洗ポンプが停止すると同時に捨水弁を開き、b)と同じ操作により、汚過池の水を完全に排出する。この間に要する時間は約6分である。

h) エアブローの開始

i) 水洗浄の開始：d)と同じ操作で、低水量、通常水量という順序で送水する。

j) エアブローの停止：e)と同じ操作でブロワの運転時間は約7分である。

k) 水洗浄の停止：2回目の水洗浄の時間は、1回目より2分長く、12分間行う。これは砂層中の汚濁物と空気を完全に排出するためである。

l) 休止：逆洗ポンプ停止後、約2分間そのままの状態を保つ。これは汚過に先立ち、汚過砂を落ち着かせるためである。

m) 捨水：原水弁を開けると、汚過状態となるが、洗浄排水扉をそのまま5分間開けたままにして、汚過水の最初の部分をトラフより捨水する。汚過池の水を抜き、砂面直下に達したときに、原水弁を開き、汚過水量分の原水を送る。以降5分間汚過水を洗浄排水扉より捨水をしてから、汚過水弁を開けて、汚過を再開する。

15. 洗浄間隔

1日1回、低水量時の洗浄を標準とする。

<解 説>

汚過の停止および汚層の洗浄は、全損失水頭が設定値に達したとき、汚過水に浮遊物が漏出し汚過水質が要求水質を上まわったとき、あるいは汚過持続時間が設定時間に達したときのいずれかで行われるのが一般的である。

設定全損失水頭に達した時点で、汚過継続にともなう徐々に低下してきた汚過水質が、要求水質と一致する汚過が最適とされるが、一般的に2次処理水の急速汚過では、汚速 $400\sim500\text{m/日}$ 以下、全損失水頭 3m 以下では、汚過継続にともなう汚過水に浮遊物が漏出することはない。

このため、以下に示す理由によって、1日1回、低水量時の洗浄を標準とする。

(1) 洗浄排水の処理¹⁰⁾

洗浄排水はBOD、浮遊物濃度は高く2次処理水量に対し1～4%の水量である。洗浄排水中の汚濁物質は浮遊性有機物が主体となるため、最初沈殿池で受け入れ、処理することがよい。

図-15.1は京都市鳥羽処理場の最初沈殿池流入水の水量、SS、BOD負荷の実測値をもとに、2次処理水を全量汚過し、1日1回の汚過池洗浄を行い、洗浄排水を最初沈殿池に返送した場合の最初沈殿池に与える

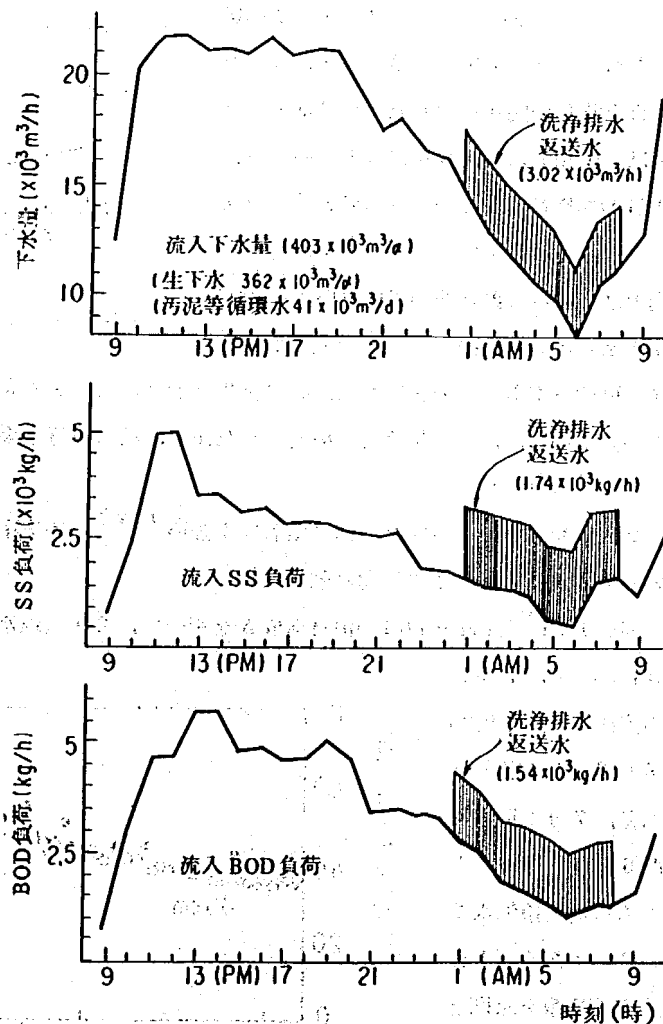


図-15.1 洗浄排水を受け入れた場合の最初沈殿池の流入負荷

負荷を計算したものである。同図、および洗浄排水中の浮遊物の沈殿性は、最初沈殿池流入水中の浮遊物に比べ劣っていないことから、汚過池の洗浄は低水量時に行い、その洗浄排水を連続的に最初沈殿池に返送することによって、2次処理施設を改増しなくとも、洗浄排水は処理できる。

(2) 汚過能力減少の回避¹⁰⁾

汚過池の損失水頭は汚過速度、及び浮遊物の抑留量に比例して増大する。このため変動汚過では、浮遊物の抑留量が多く、汚過速度が増大した時に、損失水頭も増し、設定損失水頭に到達する可能性が大きい(図-8.1, 8.2参照)

図-15.2は下段に示すパターンで変動汚過を行った時の全損失水頭が3mに達した割合と時刻の関係を示したものである。同図は、全損失水頭が3mに達した時刻は、水量増加終期、および高水量時に限られていることを示している。すなわち、変動汚過では、複数の汚過池がほぼ同時刻に設定損失水頭に達し、汚過池の汚過能力が減少

する可能性がある。換言すれば、高水量時を過ぎると、次の高水量時まで、汚過能力が不足することはない。このため、高水量時前に汚過池を洗浄し、高水量時を乗り切ることが必要である。

(3) 洗浄の難易

2次処理水中の有機性浮遊物は粘着性が強い¹⁸⁾²⁾ため洗浄しづらいが、さらに汚層中に抑留されている時間が長い程、この傾向は強まる。

図-15.3¹⁷⁾は表-10.1の汚材構成Aを用いて、2次処理水を汚過し1日1回の洗浄(表面洗浄: 0.15m/分, 7分;

逆流洗浄: 膨張比20%を得るのに必要な水量, 7分; 重複時間5分)を行ったときの初期全損失水頭の変化である。1日1回の洗浄を原則としたが図中・は休日等の都合により洗浄

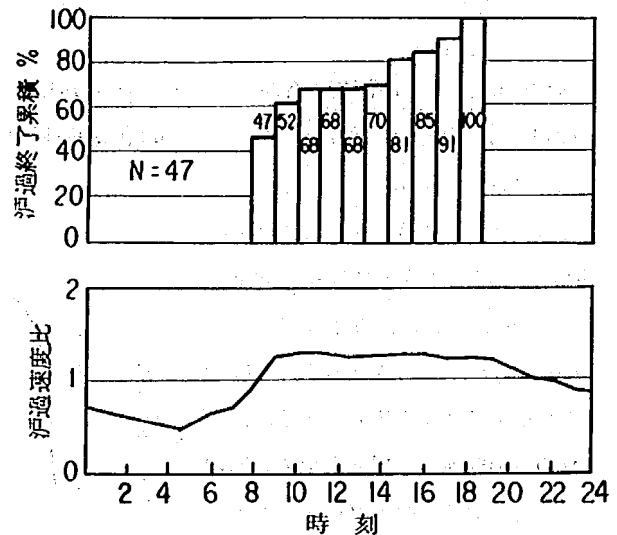


図-15.2 変動汚過における汚過終了時刻

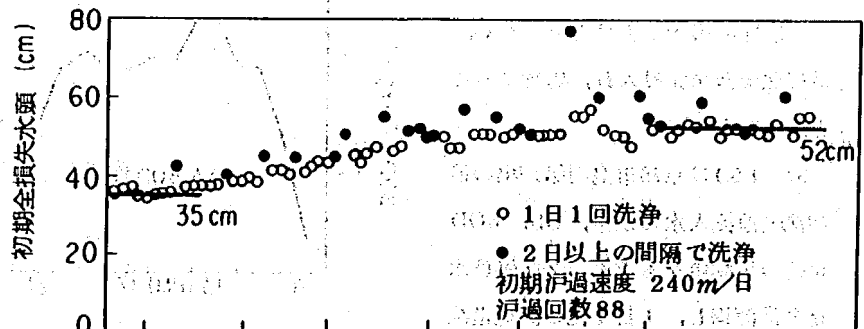


図-15.3 1日1回洗浄したときの初期全損失水頭の変化

間隔が2日以上となったものである。

図-15.3を図-14.3（洗浄間隔は全損失水頭が3mに達したときとしたため2日から1週間以上となっている）と比較すると、1日1回の洗浄をすることによって、初期全損失水頭の増加は抑えられている。図-15.3より実験開始時の初期全損失水頭を35cm、終了時を52cmとすると、汙過回数88回のうちに17cm、初期全損失水頭は増加しているが、実験期間が低水温時にむけて行われ

ていることを考慮すると真の増加量はもう少し、小さくなる。たとえば、初期損失水頭を求めるLeva式では、他の条件が一定なら、初期損失水頭は水の粘性係数(μ)に比例する。実験開始時と終了時の洗浄用水の水温をそれぞれ20℃、15℃とすると μ はそれぞれ102.9、116.7 kg・S/m²となり、実験開始の初期全損失水頭を35cmとすると、終了時は $52 \times \frac{102.9}{116.7} \div 46$ cmと修正され、88回の汉過で初期全損失水頭の増加は11cmと比較的小さくなる。

図-15.3より、洗浄間隔が2日以上になると、1日1回のときと比較しその直後の初期全損失水頭は高くなり、引き続きその後の値も高くなっている。

図-15.4に示す洗浄間隔と洗浄排水の濁度ピーク出現時間の関係¹²⁾からも、洗浄間隔が長くなると濁度ピーク出現時間が長くなる傾向のあることから、洗浄しづらくなるといえる。

以上の理由によって1日1回、低水量時の洗浄を標準とする。このため汉過速度等、汉過池の設計にあたっては、24時間の汉過持続時間で汉過能力が100%近く発揮できるようにするのがよい。また、汉過池洗浄前に、設定損失水頭に達した場合は、汉過不可能な水量分をオーバーフローさせ、減衰汉過とすることも考えられる。

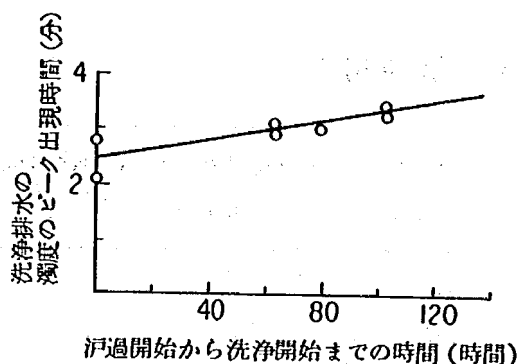


図-15.4 濁度のピーク出現時刻と汉過開始から洗浄開始までの時間の関係

16. 洗浄用水

洗浄用水は沝過水を標準とするが、2次処理水を用いても差支えないことが実験的に確認できたら、2次処理水を用いてもよい。

<解説>

浄水では“洗浄には、沝層中に藻や小形動物が繁殖して、汚染や沝過障害を生じさせないように、残留塩素が存在する水を用いなければならない”とされている。¹³⁾しかし、2次処理水の沝過では沝過池の汚染について、浄水程配慮する必要がないこと、および、残留塩素のない沝過水を用いた洗浄による障害は報告されていないことから、特に洗浄用水中に残留塩素は存在しなくてもよい。しかし、残留塩素のある水で洗浄し、初期全損失水頭を抑えた例⁵⁾もあるので、次亜塩素酸ソーダ等洗浄剤を洗浄用水に注入する設備を設けることが望ましい。これは、沝過を停止し、沝層を洗浄剤で浸して洗う場合にも利用できる。

上向流式沝過池では、洗浄水として2次処理水を用いても特に問題は生じていない。⁵⁾ただし、この場合はビニール等のゴミが下部集水装置、支持砂利等につまることを防ぐため、4~6mm程度のストレーナーを通した2次処理水を用いる。

下向流式沝過池に、洗浄水として2次処理水は、下部集水装置、支持砂利が目づまりする危険性があるので、現時点では用いるべきではないといわれるが、²⁵⁾今後、下部集水装置、支持砂利を含めて2次処理水の使用を実験的に検討し、問題が生じなければ、用いることができる。

17. 洗浄タンクおよび洗浄ポンプ¹³⁾

洗浄水を供給するために、洗浄タンクまたは洗浄ポンプを設けなければならない。

<解 説>

洗浄ポンプと洗浄タンクの選択は、建設費、維持管理費に大きく影響し、更に運転操作上も非常に重要な事柄であるので、浄水場の規模に応じて比較検討のうえ慎重に決定しなければならない。ポンプ直送で洗浄するには、一時に大量の水をポンプ揚水しなければならないので、相当大きい容量のポンプを必要とするから、維持管理費は、洗浄タンクを設ける場合よりも一般に高額になる。

従って、ポンプ直送とするか、洗浄タンクを設けるかは、規模、建設費、電力容量、維持管理費および立地条件等を総合的に検討したうえで決定しなければならない。

a) 洗浄タンク

洗浄タンクの容量は、少なくとも1池を洗浄できる水量を蓄えられる大きさとし、水深はなるべく浅くして洗浄水圧の変化を少なくすることが望ましい。

タンクには、流入管、流出管、越流管、排水管および満水警報装置等を設ける。流出管については、その中心を低水位から管径の2倍以上低くするか、壁を設ける等により空気が混入するのを防止し、汚過池に空気が追い込まれないようにしなければならない。

タンクの低水位は、トラフ上縁高に逆流洗浄配管、弁類、流量調節器、下部集水装置、砂利層および汚層等の損失水頭を加算し、逆流洗浄水がトラフから十分に流出できるように決定しなければならない。

洗浄タンクへの揚水ポンプは、洗浄に支障をきたさない容量とし、必ず予備を設けなければならない。

洗浄設備には、洗浄流量、あるいは速度を測定、指示するための装置および流量を制御するための調節装置を設ける必要がある。特に、逆流洗浄にあたっては、逆流洗浄時間中の逆流洗浄速度を一定に保つために、流量調節器は欠くことのできないものである。

b) 洗浄ポンプ

洗浄水を直送するときのポンプの容量は、14節を参考にし必要な洗浄水量を十分に送水できるものとしなければならない。

季節による水温差の大きい地域では、逆流洗浄速度を変更することを考慮に入れて、逆流洗浄ポンプの容量を決定しなければならない。

逆流洗浄ポンプの揚程は、洗浄配管、弁類、流量測定装置、下部集水装置、砂利層および汚層等の損失水頭にポンプます水位とトラフ上端との高低差を加算したものに多少の余裕を付加し、トラフから逆流洗浄水が十分に流出できるように決定しなければならない。

表面洗浄ポンプの揚程は、洗浄配管、弁類および噴出ノズル等の損失水頭に、ポンプます水位とトラフ上端との高低差と表-14.1を参考にし、必要な水圧を加算して決定しなければならない。

逆流洗浄ポンプや表面洗浄ポンプには、必ず予備を設けなければならない。

洗浄ポンプの吸水源としてのポンプますの容量、ならびにこれに対する水の補給は、少なくとも1池を洗浄できる水量を、一時に揚水しても支障のないものでなければならない。

洗浄配管には、洗浄流量あるいは速度を測定、指示するための装置等を設けなければならない。

18. 洗浄排水きょおよびトラフ¹³⁾

洗浄排水きょおよびトラフは、次の各項に適合していなければならない。

- (1) 洗浄排水きょ、洗浄排水きょおよびトラフの大きさは、最大排水量に約20%の余裕を見込み、トラフで完全に越流する状態が保たれる容量を有すること。
- (2) トラフは、耐食性、耐久性および耐圧性に富んだ材質で作られ、その上端は完全に水平、かつ、同一高さで堅固にすえ付けること。
- (3) 越流する縁の間隔は、1.5 m以下とし、その上端は河材の膨張高に応じ、河床表面上適当な高さとする。

<解説>

(1)について

洗浄排水きょ、洗浄排水きょおよびトラフの大きさは、最大洗浄流量を完全に排水できるものでなければならないが、洗浄水量については14節に示したように、ある程度設計の際に選択の幅があるし、また、実際に池を築造した後、洗浄の実績をみて洗浄水量を増加したい場合も生ずる。

このようなことを考えると、設計に当たって洗浄水量を少な目に押えて、ぎりぎりの寸法で設計すると支障を生ずることもあるので、設計洗浄水量に対して20%程度の余裕を見込んでおくのが無難である。なお、トラフの設計には中川公式²⁰⁾を用いるとよい。中川の式は、エネルギー方程式に基づいているが、上流端からの距離とともに流量が増加する効果に比し、摩擦損失が無視できるとして次の式を与えている。

$$\int_{\zeta_1}^{\zeta} d\zeta = \int_{\zeta_1}^{\zeta} \frac{\eta^3 - \zeta^2}{\zeta_1 (il/hcl)\eta^3 - 3\eta\zeta/2} d\eta$$

ここに

η : h/hcl

ζ : x/l

h : 上流端よりの距離 x における水深

hcl : 限界水深 $= \sqrt[3]{\alpha Q_1^2 / g b^2}$

l : トラフの長さ

Q_1 : 下流端総流量

b : トラフの幅

h_0 : トラフ上流端水深

i : トラフの底こう配

α : 流速分布によるエネルギー補正係数

g : 重力加速度

$il/hcl \leq 1.5$ の場合の数値積分結果は図-18.1 に示されており、通常は α, Ql, b より hcl を求め、 α を決めて $\xi = \alpha/l$ と il/hcl より $\eta = h/hcl$ の値を決めれば h を求めることができる。 $il/hcl > 1.5$ の場合は、水路途中に限界水深を生じて常流より射流に転ずるが、この場合の計算式は次のようになる。

$$h_0 = 0.41 \times hcl \times \{1.5 / (il/hcl)\}^2$$

なお以上の諸式は、沈殿水集水用のトラフにも利用できる。

(2)について

トラフは一般に鋼板製、鉄筋コンクリート造り、プレストレスト・コンクリート製および合成樹脂製等が使用されている。池が空のときにトラフが満水の場合、トラフが空で池の水がトラフの縁までである場合等の荷重条件に対して、材料の選択と強度計算は慎重に行わなければならない。

トラフの上端は完全に水平、かつ、同一高さでないと、洗浄排水が速やかに全面から均等に排除されない。また、トラフの上端の越流部は外側に折り曲げないほうがよい。汙層から排出された濁水が流出しにくいからである。

(3)について

トラフの越流する縁と縁との間隔が広過ぎると、中間部分に汉層から排出された濁質の滞留部ができて、全部流れ去るのに長時間かかる。

それでトラフの間隔が狭いほど時間は短くてよいが、あまり狭くすると、汉材の入れ換え作業

等に支障をきたし、また、トラフの本数が多くなるので工費も幾分高くなる。そこで1.5 m以下で適当に決めるのがよい。

また汉層表面上トラフの縁までの高さは、汉材が流出しない程度になるべく低くすれば、濁質の排出が短時間にできて都合がよい。しかし、トラフの底があまり汉層表面に近いと洗浄中にトラフの直下の汉層表面が掘れるので好ましくない。

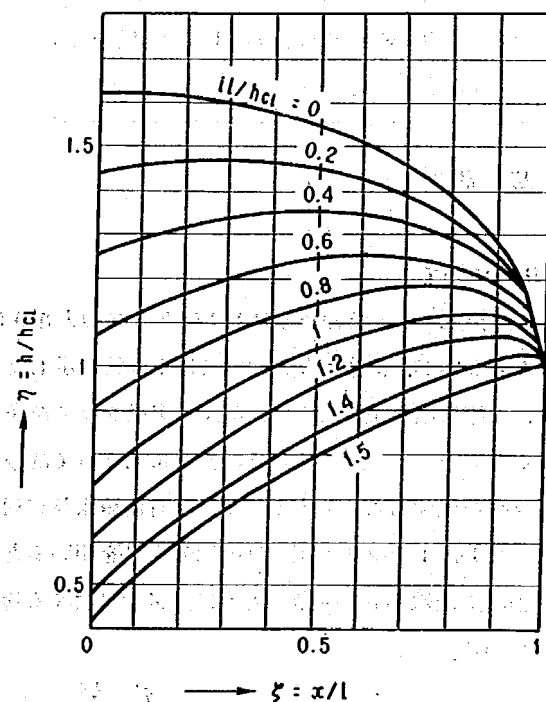


図-18.1 洗浄トラフ換算水面曲線

19. 急速汚過池の配管および弁類

急速汚過池の配管および弁類は、次の各項に適合していなければならない。

- (1) 急速汚過池の各種配管の大きさは、管内の流速を考慮して適切に定めること。
- (2) 管・弁類の定着支持は十分にし、修理の際に取り外しのできる構造とし、構造物に伸縮継手を設けた部分には、管にも必ずこれを設けること。
- (3) 弁類は、汚過行程ならびに洗浄行程の切り換えが完全に行えるものであること。
- (4) 弁類は、緊急時に安全側に作動するものであること。
- (5) 汚過水が洗浄排水等により汚染されるおそれのない構造にすること。

<解 説>

急速汚過池内の配管の巧拙は、汚過池の機能、建設費および維持管理に影響するところが大きいから、あらゆる面から比較検討しなければならない。

(1)について

沈殿池、汚過池および浄水池間の水位関係をよく考慮して、連絡管きょは、各汚過池の水理条件がほぼ同一状態を保つようにしなければならない。表-19.1は、一般の標準を示したもので、最大汚過速度の場合においても、その流速は最大値を超過しないようにしなければならない。

(2)について

管は広さが限定された管廊内に弁や異形管を連続して配管するから、管の支持定着に特に注意し、修理に当たり、管・弁の取り外しが可能なように、あらかじめ考慮しておくとともに、計器類の点検に、便利なようにしなければならない。管は構造物に定着するから、構造物に伸縮継手を設けた部分には、管にも必ずこれを設けるようにしないと、管が切断されることがある。

(3)について

急速汚過池には、各種の弁類を必要とし、多数の弁類を短時間に操作しなければならないから、電動または空気圧、水圧による自動操作とするのがよい。

小口径の弁は電動にすると、弁体より電動部のほうが大きくなり、しかも重たくなるので、十分な支持定着をするように考慮しなければならない。

これらの弁類は、一カ所で集中して操作できるように操作台にまとめ、更に弁類の開閉状態をわかりやすく表示したり、汚過工程、洗浄工程の状況を把握するため必要な計器類をまとめて設置する等して、確実に操作が行えるようにしなければならない。

(4)について

緊急時の状況に応じて弁類は、現状を保持したままが望ましい場合と、開や閉になったほうがよい場合がある。

緊急時の弁類の動作は、あらゆる場合を十分考慮し、どのような種類の緊急時に対処するかを定めて、対策を講じておかなければならない。

停電のような緊急時には、通常現状保持が望ましく、その点で電動弁がよいが、空気圧、水圧等で操作する弁類は開のものが閉になったり、閉のものが開になったりするので、設置に当たっては十分な対策を講じておかなければならない。

空気圧、水圧等で操作する弁類は、弁体とシリンダー部をそれぞれ独立した形式のものとし、常時開放のものは、横形または水平形に取り付け、弁が自然に閉止しないようにする。やむを得ず縦に取り付ける場合は、制動装置を設けるか、またはカウンターウェイトを付けるとよい。

(5)について

汚過水が洗浄排水、その他により汚染されないように、流出きょは汚過池の下を利用して設けるのがよく、流出きょ、排水きょは、それぞれ離して設けるか、または排水きょは汚過池外に出す等特に考慮する必要がある。

流出きょ上の床板に人孔を設ける場合、床板より10cm以上高くし、常時は密封するようにする。

表一 19.1 急速汚過池内の配管の流速

名 称	流 速 m/秒		注 意 事 項
	平 均	範 囲	
流 入 管 (きょ)	0.60	0.50~0.75	
流 出 管 (きょ)	1.00	0.60~1.50	流量調節器の標準流量でその管径を定める
洗浄管 { 本 管	2.00	1.50~3.00	各池の洗浄圧力をできるだけ等しくする
	分岐管	2.50	2.00~3.50
洗 浄 排 水 管	2.00	1.50~3.00	圧力水室を有するものは洗浄水が均等に分布するようにする すみやかに排除するため十分大きくする
排 水 管	—	2.50~6.00	流出管の管径の1/2を標準とする
越 流 管	—	—	汚過池の水位が計画水位以上となるおそれあるとき設ける 原水本管をきょとしたとき、その末端に設ける

20 配管廊および操作

急速汚過池の配管廊および操作廊は、次の各項に適合していなければならない。

- (1) 配管廊は、機器の点検ならびに出し入れに便利な構造とし、通風、排水および除湿に注意すること。
- (2) 操作廊を設ける場合には、汚過池全面が監視できるような構造とすること。

<解説>

(1)について

配管廊は、各種管きょおよび弁類が混み合って設置されるので、これらのすえ付け、点検、修理および出し入れが効率よく便利にできる構造とする必要がある。

この場所は、通風、排水ともに悪くなりやすい所であるから、あらかじめ、除湿、換気および排水等について考慮しておく必要がある。

(2)について

操作廊は、汚過池を操作するための操作台等を、収容する必要がある場合に設けられるもので、操作台等を外界から保護する上屋を有するほか、汚過池の稼動状況を、十分に監視することができる構造とするよう、配慮しなければならない。

(3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100) (101) (102) (103) (104) (105) (106) (107) (108) (109) (110) (111) (112) (113) (114) (115) (116) (117) (118) (119) (120) (121) (122) (123) (124) (125) (126) (127) (128) (129) (130) (131) (132) (133) (134) (135) (136) (137) (138) (139) (140) (141) (142) (143) (144) (145) (146) (147) (148) (149) (150) (151) (152) (153) (154) (155) (156) (157) (158) (159) (160) (161) (162) (163) (164) (165) (166) (167) (168) (169) (170) (171) (172) (173) (174) (175) (176) (177) (178) (179) (180) (181) (182) (183) (184) (185) (186) (187) (188) (189) (190) (191) (192) (193) (194) (195) (196) (197) (198) (199) (200) (201) (202) (203) (204) (205) (206) (207) (208) (209) (210) (211) (212) (213) (214) (215) (216) (217) (218) (219) (220) (221) (222) (223) (224) (225) (226) (227) (228) (229) (230) (231) (232) (233) (234) (235) (236) (237) (238) (239) (240) (241) (242) (243) (244) (245) (246) (247) (248) (249) (250) (251) (252) (253) (254) (255) (256) (257) (258) (259) (260) (261) (262) (263) (264) (265) (266) (267) (268) (269) (270) (271) (272) (273) (274) (275) (276) (277) (278) (279) (280) (281) (282) (283) (284) (285) (286) (287) (288) (289) (290) (291) (292) (293) (294) (295) (296) (297) (298) (299) (300) (301) (302) (303) (304) (305) (306) (307) (308) (309) (310) (311) (312) (313) (314) (315) (316) (317) (318) (319) (320) (321) (322) (323) (324) (325) (326) (327) (328) (329) (330) (331) (332) (333) (334) (335) (336) (337) (338) (339) (340) (341) (342) (343) (344) (345) (346) (347) (348) (349) (350) (351) (352) (353) (354) (355) (356) (357) (358) (359) (360) (361) (362) (363) (364) (365) (366) (367) (368) (369) (370) (371) (372) (373) (374) (375) (376) (377) (378) (379) (380) (381) (382) (383) (384) (385) (386) (387) (388) (389) (390) (391) (392) (393) (394) (395) (396) (397) (398) (399) (400) (401) (402) (403) (404) (405) (406) (407) (408) (409) (410) (411) (412) (413) (414) (415) (416) (417) (418) (419) (420) (421) (422) (423) (424) (425) (426) (427) (428) (429) (430) (431) (432) (433) (434) (435) (436) (437) (438) (439) (440) (441) (442) (443) (444) (445) (446) (447) (448) (449) (450) (451) (452) (453) (454) (455) (456) (457) (458) (459) (460) (461) (462) (463) (464) (465) (466) (467) (468) (469) (470) (471) (472) (473) (474) (475) (476) (477) (478) (479) (480) (481) (482) (483) (484) (485) (486) (487) (488) (489) (490) (491) (492) (493) (494) (495) (496) (497) (498) (499) (500) (501) (502) (503) (504) (505) (506) (507) (508) (509) (510) (511) (512) (513) (514) (515) (516) (517) (518) (519) (520) (521) (522) (523) (524) (525) (526) (527) (528) (529) (530) (531) (532) (533) (534) (535) (536) (537) (538) (539) (540) (541) (542) (543) (544) (545) (546) (547) (548) (549) (550) (551) (552) (553) (554) (555) (556) (557) (558) (559) (560) (561) (562) (563) (564) (565) (566) (567) (568) (569) (570) (571) (572) (573) (574) (575) (576) (577) (578) (579) (580) (581) (582) (583) (584) (585) (586) (587) (588) (589) (590) (591) (592) (593) (594) (595) (596) (597) (598) (599) (600) (601) (602) (603) (604) (605) (606) (607) (608) (609) (610) (611) (612) (613) (614) (615) (616) (617) (618) (619) (620) (621) (622) (623) (624) (625) (626) (627) (628) (629) (630) (631) (632) (633) (634) (635) (636) (637) (638) (639) (640) (641) (642) (643) (644) (645) (646) (647) (648) (649) (650) (651) (652) (653) (654) (655) (656) (657) (658) (659) (660) (661) (662) (663) (664) (665) (666) (667) (668) (669) (670) (671) (672) (673) (674) (675) (676) (677) (678) (679) (680) (681) (682) (683) (684) (685) (686) (687) (688) (689) (690) (691) (692) (693) (694) (695) (696) (697) (698) (699) (700) (701) (702) (703) (704) (705) (706) (707) (708) (709) (710) (711) (712) (713) (714) (715) (716) (717) (718) (719) (720) (721) (722) (723) (724) (725) (726) (727) (728) (729) (730) (731) (732) (733) (734) (735) (736) (737) (738) (739) (740) (741) (742) (743) (744) (745) (746) (747) (748) (749) (750) (751) (752) (753) (754) (755) (756) (757) (758) (759) (760) (761) (762) (763) (764) (765) (766) (767) (768) (769) (770) (771) (772) (773) (774) (775) (776) (777) (778) (779) (780) (781) (782) (783) (784) (785) (786) (787) (788) (789) (790) (791) (792) (793) (794) (795) (796) (797) (798) (799) (800) (801) (802) (803) (804) (805) (806) (807) (808) (809) (810) (811) (812) (813) (814) (815) (816) (817) (818) (819) (820) (821) (822) (823) (824) (825) (826) (827) (828) (829) (830) (831) (832) (833) (834) (835) (836) (837) (838) (839) (840) (841) (842) (843) (844) (845) (846) (847) (848) (849) (850) (851) (852) (853) (854) (855) (856) (857) (858) (859) (860) (861) (862) (863) (864) (865) (866) (867) (868) (869) (870) (871) (872) (873) (874) (875) (876) (877) (878) (879) (880) (881) (882) (883) (884) (885) (886) (887) (888) (889) (890) (891) (892) (893) (894) (895) (896) (897) (898) (899) (900) (901) (902) (903) (904) (905) (906) (907) (908) (909) (910) (911) (912) (913) (914) (915) (916) (917) (918) (919) (920) (921) (922) (923) (924) (925) (926) (927) (928) (929) (930) (931) (932) (933) (934) (935) (936) (937) (938) (939) (940) (941) (942) (943) (944) (945) (946) (947) (948) (949) (950) (951) (952) (953) (954) (955) (956) (957) (958) (959) (960) (961) (962) (963) (964) (965) (966) (967) (968) (969) (970) (971) (972) (973) (974) (975) (976) (977) (978) (979) (980) (981) (982) (983) (984) (985) (986) (987) (988) (989) (990) (991) (992) (993) (994) (995) (996) (997) (998) (999) (1000)

21 その他

2次処理水の急速汚過にあたって、急速汚過池設備の耐食性、ストレーナまたはスクリーン、ポストエアレーション、濁度計、流量計、水位計を検討、あるいは設置する必要がある。

<解説>

(1) 急速汚過池設備の耐食性

下部集水装置、空気洗浄管、表面洗浄管等急速汚過池設備の材質決定にあたっては、耐食性を十分考慮しなければならない。タールエポキシ樹脂塗装したSS製の表面洗浄管が、4年間の使用でボロボロになった例がある。

(2) ストレーナまたはスクリーン

2次処理水にビニール等の大型ゴミが混入し、これらが汚過池内に入ると、洗浄によっても排出されず汚過効率が低下する可能性がある。このため、2次処理水はストレーナ、又は細目スクリーンを通した後に汚過池に導く必要がある。

(3) ポストエアレーション

2次処理水中の溶存酸素は、汚層に抑留している微生物によってほとんど消費されるため、汚過水の放流先によっては、汚過水をポストエアレーションして、溶存酸素の回復を図る必要がある。汚過水がカスケードで流出する場合は、必然的にエアーションされるので、ポストエアレーションの必要性は減少する。

(4) 濁度計

2次処理水、汚過水、あるいは洗浄排水の水質(浮遊物)は、連続型濁度計によって監視できる。濁度計の測定方式には、透過光式、透散乱光式、散乱光式、積分球式などがある。検水測定部形状には、セル式、オーバーフロー式、落下式などがある。

下水道分野では、濁度は公定法となっていないので、濁度計使用にあたっては、濁度と浮遊物の相関を求め、必要に応じて濁度を浮遊物に換算する必要がある。図-21.1²⁸⁾は2次処理水、汚過水について、表面散乱式濁度計を用い、1日の濁度の平均と、同時間の混合試料で浮遊物を求めて

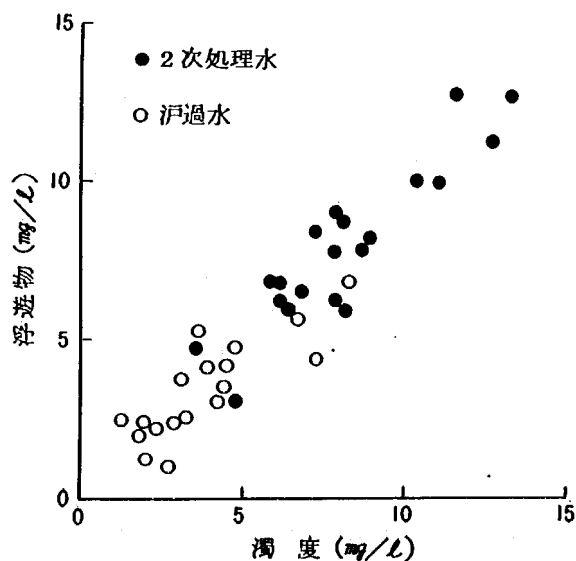


図-21.1 2次処理水、汚過水の浮遊物と濁度の相関

両者の関係を約半年にわたって求めた例である。

図-21.2¹⁰⁾は同じ型の濁度計で、洗浄排水の濁度と浮遊物の関係を求めた例である。

(5) 流量計

2次処理水量、戸過水量、洗浄水量は、流量計を用いて測定する。流量計には超音波式、電磁式、差圧式、セキ式、パーシャルフリューム式、面積式、容積式など種々のものがあるがそれらの一般的な比較を表-21.1²⁹⁾、表-21.2²⁹⁾に示す。

(6) 水位形

全損失水頭は水位計を用いて測定する。水位計にはフロート式、圧力式、静電容量式、エアバージ式、超音波式、水没式触針式などあるが、それらの一般的な比較を表-21.3²⁹⁾、表-21.4²⁹⁾に示す。

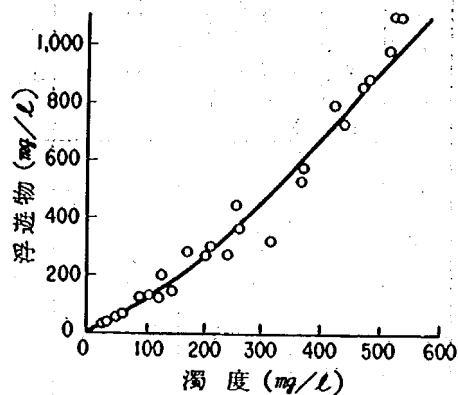


図-21.2 洗浄排水の浮遊物と濁度の相関

表21-1 各種流量計の性能

項目 \ 方式	超音波式	電磁式	差圧式 (ベンチュリ管)	セキ式	パージアルフリューム	面積式	容積式
測定範囲	配管径： 300mm～3000mm 流速：0～1m/S 0～10m/S	φ6mm～φ2400mm 流速：0～1…10m/S 0～0.3…m/S	管径：100A～800A (ノズル形) 200A～1200A (円すい形) ReNo 3×104以上	三角セキ： 1～250m ³ /h 四角セキ： 10～7,800m ³ /h 全角セキ： 20～50,000m ³ /h	1.5～14,220m ³ /h	50～700… 125,000Q/h	オーバル式 25～400,000L/h ルーツ式 300～32,000L/h ロータリピストン式 20～40,000L/h
測定精度 (指示値に対して)	±1.0%(大口径) ±1.5%(小口径)	±1.0% (0～1…10m/S) ±1.5% (0～0.3…1m/S)	±2%	±3%～±5%	±3%	±1～2%	±0.2～0.5%
出力信号 (発信器)	瞬時値DC4～20mA (負荷抵抗1kΩ) 積算値出力 接点出力	DC4～20mA (負荷抵抗0～600Ω) DC20～50mA (負荷抵抗0～200Ω)	DC4～20mA (負荷抵抗0～550Ω)	(レベル発信器) 同左	同左	同左	アナログ信号 接点パルス
電源 及び 消費電力	AC100V 50/60HZ 73VA(変換器)	AC100V 50/60HZ 260～700VA (コンデンサ付)	直流2線式 DC13V～33V	同左	同左	同左	AC100V 50/60HZ
材質	検出器：SUS304 (エポキシ焼付塗装)	外筒：炭素鋼(SS41) SUS304 電極：SUS316L ライニング：テフロン ネオプレン	鋳鉄 FC25 (ノズル形) 炭素鋼 SS41 (円すい形)	セキ本体 SS41 エッジ板 SUS364	スチール コンクリート FRP (硝子繊維入り強化 プラスチック)	要部(テーパ管、フ ロート、ロッド) SUS304, 316- 及び各種ライニング 本体：SS41 SUS304, 316	要部：銅合金 鋳鉄、SUS 本体：銅合金、鋳 鉄、ステン レス鋳物 タフタイ ル鋳物
取付方法	測定管の外壁に取付	測定管路に直接フラ ンジにて接続	同左	開水路中に取付ける	同左	測定管路に直接取 りつける。	同左
備考							

表-2.1.2 各種流量計比較

項目 \ 方式	超音波式	電磁式	差圧式 (ベンチュリ管)	セキ式	パージアルフリューム	面積式	容積式
水路の形状	パイプ(密流)	パイプ(密流)	パイプ(密流)	開渠・暗渠	開渠・暗渠	パイプ(密流)	パイプ(密流)
浮遊物、固形物の混入障害	有	少ない	比較的少ない	若干ある	ほとんど無い	有	有
設置時必要な直管長 (一般)	上流: 10D 下流: 5D	上流: 5D (電極位置より) 下流: 不要	上流: 5~10D 下流: 3~5D	上流: セキ幅の 4~5倍 下流: 全幅セキ のみ若干	上流: スロート幅 の10~15倍	不要 (但し下流5D が望ましい)	不要
シノシアビリティ (一般)	1:10	1:20	1:5	1:10以上	1:10以上	1:10	1:20
圧力損失	特になし	特になし	発生差圧の20~ 30%	ベンチュリー管 の約10倍	ベンチュリーの管 約1.5倍	単位面積当りの 浮子の重量	0.2~0.3kg/cm ²
コスト	管径が大となると特 に割安となるが300 以下では割高	管径が大となると 特に高価	管径が大となると 鋳物の価格高くな る	セキ板はフリューム に比較し安価 但しシステムと しては高価	セキに比して高価	比較的安価	管径に比して、 やや高価
メンテナンス	特になし	特にないが下水等 のときは電極清掃 の必要がある場合 あり	特にないがエアー 抜きの堆積物など の除去を考えてお くこと	等にないが堆積 物の除去の為の 清掃がある場合 もある	特になし	浮子の掃除など が必要	可動部補修
配線工事	電源ケーブル3芯 (2芯) 信号ケーブル2芯 シールド(又は多芯) 延長ケーブル 同軸ケーブル	電源ケーブル3芯 (2芯) 信号ケーブル2芯2 重シールド 比較電圧ケーブル 2芯	信号ケーブル 2芯シールド	同左	同左	同左	電源ケーブル 3芯(2芯) 信号ケーブル 2芯又は3芯シ ールド
備考							

表-2.1.4 各種レベル計の比較

項目 方式	フロート式	圧力式	静電容量式	エアージョー式	超音波式	水冷式
測定対策 (標準)	液体	液体	液体 粉粒体	液体	液体 粉粒体	液体
腐蝕性・粘着 性の対応策	フロート・テープの 材質を耐食性とする。	フランジ式の場合は 受圧部の材質を耐食 性とし、又、シール タイプの圧力計を使 用する。	電極を耐食性材質と してテフロン被覆等 を施す。 付着物による誤差は 電気回路にて補正する。	挿入管の材質を耐食 性とする	測定物には非接触な ので関係なし	受信器・受圧部共、 耐食性とする。
コスト	比較的高価	比較的安価であるが ダイヤフラムの材質 により高価になる。	比較的安価	比較的安価	高 価	耐食性とした場合、 比較的高価である。
メンテナンス	テープ、ロープ等の 経年劣化に注意する	特になし	特にないが電極の付 着物の除去が必要	特になし	特になし	特にないが泥や水ア カ等の除去の為、水 洗の必要有り。
配 線	信号ケーブル 2芯シールド	同 左	信号ケーブル 3芯シールド(発~受) 2芯シールド(変~受) 電線ケーブル(変換器) 2芯(3芯)	信号ケーブル 2芯シールド	信号ケーブル 特殊同軸ケーブル (発~受) 2芯シールド(変~受) 電線ケーブル (変換器) 2芯(3芯)	信号ケーブル 4芯シールド (中継箱~変) 2芯シールド (変~受) 電線ケーブル(変換器) 2芯(3芯)
備 考	粘着性の物には不適 高圧真空タンクの使 用可	測定液の比重の変化 に注意する事。	レベル校正が計算で は出来にくいので実 液での校正が必要	常時、空気を吹き出 している為、浮遊物 を含む液体に最適	液体で気泡、固形物 混入があれば不適 小レベルで誤差大	直接、液中に投げ込 むだけでよいので工 事簡単

表-2.1.3 各種レベル計の性能

方式 項目	フロート式	圧力式	静電容量式	エアーバージ式	超音波式	水没式
測定範囲	0~0.5---40m	0~320---20,000mm H ₂ O	10~2000PF 一般には0~2m max20m程度である が制限はない	0~100---20,000mm H ₂ O	0~3---39m	0~50mH ₂ O
測定精度 (指示値に対して)	±1.0%	±0.5%	±2%	±0.5%(発信器のみ)	±1.0%	±0.5%
出力信号 (受信器)	DC4~20mA	同左	DC4~20mA(変換器)	DC4~20mA	DC4~20mA(変換器)	DC4~20mA
電源及び 消費電力	直流2線式 DC13~33V	同左	AC100V50/60Hz (DC24V) 15VA以下	直流2線式DC13~ 33V	AC100V50/60Hz	同左
材 質	フロート:硬質塩ビ SUS304 テープ:SUS304 重種: " 本体:アルミ合金	検出部: SUS316L ハステロイC, タンタル ケース:アルミ合金	電極: SUS304にテ フロン被覆 ケース:アルミ鋳物	挿入管 SGP, SUS304 SUS316 PVC	—	SUS304
取付方法	容器等の上部に取付 用ベースを付けとり つける。	容器側面にフランジ にて直接,又は導圧 管にて配管	容器にフランジ,又はね じにて取付け	測定液中に挿入管を 入れる	容器にアングル座,又 はフランジにて取付	鎖にて直接容器中に 投げ込み,支え足に て定着
備 考						

今 後 の 課 題

下水2次処理水の全量汚過を目的とした急速汚過池設計にあたって、今後解決しなくてはならない問題点に、次のような事項がある。

1. 浮遊物除去率

2次処理水の急速汚過による浮遊物除去率には、2次処理水質によって、50～90%とかなり差があるため、現状では、汚過水の浮遊物を予測するためには、パイロット調査が必須となる。この浮遊物除去率の差の原因が究明でき、その因子が容易に測定できるなら、浮遊物除去率の予測もまた容易になる。土木研究所では、この因子として、2次処理水中の浮遊物の粒度分布を考え、粒度の大きい浮遊物は、凝集性がよいことから、汚過によって除去されやすいため、粒度の大きい浮遊物を多く含む2次処理水の浮遊物除去率は大きいという仮定を立てて調査を行っている。²⁰⁾

2. 汚過水量制御方式

時間的に変動する2次処理水量と汚過水量をバランスさせるための方法として、本文中に、流量調整池の導入、水位制御型汚過、自然平衡型汚過とその変法等を述べたが、これらを含め、汚過水量制御方式の確立を図る必要がある。

3. 1池あたりの最大汚過面積

水道施設設計では、1池あたりの最大汚過面積として150㎡を与えているが、この値が2次処理水の汚過にも適用可能かどうか検討する必要がある。

4. 砂利層の構成、および下部集水装置

浄水にくらべて2次処理水の汚過は、粘着性の浮遊物を汚過すること、内部汚過とすること、汚過速度が大きいこと、残留塩素のない水で洗浄する可能性のあること、空気洗浄を用いる可能性のあること、逆流洗浄速度が大きいことなどの特徴がある。一方、現在用いられている砂利層の構成および下部集水装置は浄水における汚過を対象に決定、あるいは製作されていることから、2次処理水の汚過の特徴を考慮してこれらを決定、あるいは製作する必要がある。

5. 洗浄条件

上記の2次処理水の汚過の特徴を踏まえた洗浄方式を確立させるとともに、許容される初期損失水頭の増加量、および2次処理水を含む洗浄用水として用いるべき水に関する調査を行う必要がある。

おわりに

2次処理水の急速汚過をはじめ、下水処理における急速汚過の実施例は我が国ではまだ数例あるだけである。しかし、本法は今後急速に普及してくるものと予想される。本資料は2次処理水の急速汚過を中心に、その設計において考慮すべき事項についてまとめたものであるが、本文中にも指適したように、問題点も多く残されている。今後、これらに検討を加え、さらに充実した資料にする予定である。

最後ではありますが、本資料をまとめるにあたり、パイロットプラント設置当時から御尽力、御指導いただきました柏谷衛前下水道部長（現日本下水道事業団試験部長）、安藤茂前三次処理研究室長（現日本下水道事業団援助課長）とともにこの調査を行ってきた三次処理研究室の前職員である湯浅信吾氏（現静岡県都市整備課）、池杉直文氏（現新潟県下水道課）、および京都市下水道局の米田孝局長はじめ関係各位にお礼申し上げます。

参 考 文 献

1. 三宅ら, 上向流式砂戸過による下水の三次処理, 第10回下水道研究発表会講演集 P187~189
2. 塩塚, 活性汚泥処理水の三次処理に於ける戸過機について, 第10回下水道研究発表会講演集, P246~248
3. 横須賀市下水道部, 下水の三次処理実験報告(第2報)・昭和49, 50年度
4. 広岡, 下水二次処理水の二層戸過, 工業用水, Vol. 227 №8, 1977, P27~35
5. 東京都下水道局計画部技術開発課, 三次処理における急速戸過に関する実験報告書, 1976年4月
6. 依田, 2層戸過による2次処理水の戸過実験, 下水道協会誌, Vol. 12 №132, 1975/5
7. 大阪市下水道局・水道局, 下水処理水の三次処理実験中間報告(II), 昭和50年3月
8. 神奈川県, 高度処理調査委託報告書(実用化実験用砂戸過装置), 昭和50年12月
9. 柏谷, 2次処理水の戸過に関する研究, 第4回日米下水処理技術委員会会議録, 建設省都市局下水道部, 昭和50年10月, P306~320
10. 安中ら, 下水2次処理水の急速戸過, 第15回衛生工学研究討論会講演論文集, 土木学会, 1979 1, P165~170
11. 建設省監修, 下水道施設設計指針と解説, 日本下水道協会, 1972
12. 京都市下水道局, 三次処理における急速戸過池の設計資料, 昭和52年3月
13. 厚生省監修, 水道施設設計指針・解説, 日本水道協会, 1977
14. 建設省都市局下水道部; 日本下水道事業団, 既設処理場の改善指針に関する調査(昭和52年度), 昭和53年3月
15. 藤田, 急速ろ過池における流量調節方式の理論的解析, 水道協会誌, 第423号, 昭和44年12月
16. Cleasby, H. E., Jr, Fieter Rate Control without Rate Controllers, JAWWA Vol 61, №4, Apr, 1969
17. 建設省土木研究所下水道部三次処理研究室内部資料
18. Baumann, E. R., Design of Filters for Advanced Wastewater Treatment, 1972
19. 建設省土木研究所, 昭和50年度下水道事業調査費報告, P57~72
20. 建設省土木研究所, 昭和53年度下水道事業調査費報告, P89~94
21. Bowker, R. P. G., Downflow Granular Filtration of Activated Sludge Effluents
22. 藤田, 急速ろ過池のろ材層厚と粒径とに関する考察, 水道協会誌, 第485号, 昭和50年2月, P2~14
23. 建設省土木研究所, 昭和52年度下水道事業調査費報告, P93~98

24. 藤田, 急速ろ過池における洗浄に関する諸元の水理学的考察, 水道協会誌, 第455号, 昭和47年8月, P2~P31
25. Cleasbyら, Backwash of Granular Filters Used in Wastewater Filtration
26. 扇田ら, 改訂水道技術, 日本水道新聞社, 昭和52年, P277
27. 柏谷ら, 下水の三次処理としての活性汚泥処理水のろ過, 第10回衛生工学研究討論会講演集, 土木学会, 昭和49年1月, P83~89
28. 京才, 急速ろ過について, 第5回日米下水処理技術委員会会議録, 建設省都市局下水道部, 昭和52年4月, P459~474
29. 土木学会論, 水理公式集, 昭和46年改訂版, P429
30. 富士電気, 水処理電気・計装・工事ハンドブック
31. 大阪市下水道局, 下水処理水の三次処理実験調査・52年度報告, 昭和53年3月

郵便はがき

305-□□

二十円切手
をはって下
さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

下水道部三次処理研究室
御中

昭和 年 月 日

受 領 書

土 木 研 究 所
下 水 道 部 殿

氏 名

下記物品を受領致しました。

記

品 名 土木研究所資料 第1521号
下水2次処理水の急速汚過に関する
設計資料

数 量* 部

No.* _____

* 2部以上のときはまとめて頂いても結構です。

キ
リ
ト
リ
線