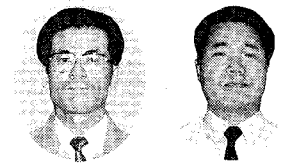


開放型サイフォン・フィルターの製品紹介

Introduction of "Open Siphon Filters."



(環)環境装置部 計画第2課

岡 靖

Yasushi Oka

藤井 督 大

Tokuhiro Fujii

This paper is the introduction about the structure and the feature of "Open Siphon Filter" which is installed in many purification plant, and the feature of Granular Activated Carbon Filter and Aerobic Biological Filter which are advanced equipments of "Open Siphon Filter".

まえがき

急速汙過装置として開放型サイフォン・フィルター(写真1)は、1973年に天理市豊井浄水場殿に納入して以来、着実に実績を増やし、その規模も大きくなってきた。

本文は、この標準的な開放型サイフォン・フィルターと、その応用例の紹介である。

開放型サイフォン・フィルターは、過去の蓄積された汙過理論や技術に最新の技術を加味させた自動汙過装置であり、多くの利点を持った経済的な設備である。汙過機構は従来からの安定した重力式汙過機構を、開放型の状態でそのままに採用することにより安全性と確実性を高めている。操作方法は簡便な電気制御を用い、サイフォン管により汙過、洗浄の行程切替えを行う。

汙過池は処理水量に応じて、1池から数10池までを任意に組み合わせることができ、流出渠の上部に共通の逆洗貯槽を保有し全体を一躯体にまとめ、設備のコンパクト化により効率を高めると同時に、汙過・洗浄の機能的な働きを持たせている。

1. 標準的砂汙過池の構造と作動原理

1.1 構造

開放型サイフォン・フィルターの基本的な構造は、原水渠、汙過室、流出渠、逆洗貯槽より成る。汙過室及びそれに付随する集水室は各池独立しているが、その他の原水渠、流出渠、逆洗貯槽及び捨水渠、排水渠は全池に共通させる。

第1図において汙過室は1列(大規模では2列)に並び、原水渠から流入した原水を汙過する。汙過室には精選した汙砂を充填し、その下に支持床を敷く。集水装置は有孔ブロックを用い、汙過及び逆洗時の集配水の均等化を計る。

隣接する集水室と捨水室、流出渠の上には逆洗貯槽を設け、各汙過池の逆洗に供する。また、原水渠の下部を排水渠に利用する。

1.2 作動原理

1) 汙過(第2図)

原水は、まず原水渠に導き整流させながら各汙過池に均等に分配させ、ガリットから汙過室内全面に流入させる。

汙層で汙過された汙過水は、集水装置(有孔ブロック)を経て、各池それぞれの集水室に集めたのち、汙過水サイフォン管で流出渠に移す。流出渠の末端には堰を設け、流出渠の水位をほぼ一定に維持させる。従って、汙過継続による汙過抵抗の上昇分は、汙過室内一次側の水位上昇となって現われる(自然平衡型)。汙過室内水位がHWLに達するか、または一定の時間汙過を継続した時点で洗浄行程に移る。

2) 洗浄(第3図)

原水サイフォン管(または原水弁)を閉じ、汙過室内水位をトラフの位置まで下げてから、汙過水サイフォン管を停止させる。(規模、池数の少ない場合は本行程を省くことがある)

洗浄はまず排水弁を開き、表洗ポンプの起動により表洗を行う。引き続き逆洗貯槽より逆洗サイフォン管を作動させ、有孔ブロックにより均等に逆洗水を噴出させ、汙層を逆洗させる。表洗と逆洗は一部ラップさせ、洗浄効果を高めるが、それぞれの洗浄行程は、タイマーにより設定する。

逆洗が終了すれば、原水を流入させながら、捨水サイフォン管を働かせ、一定時間捨水を行ったのち汙過水サイフォン管に切替え、再び汙過を開始する。(汙過水の水質により捨水行程は省くことも可能である)

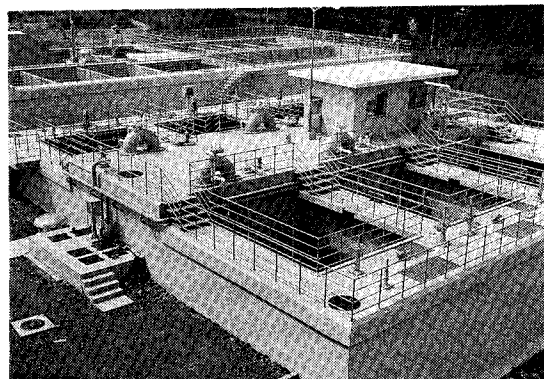
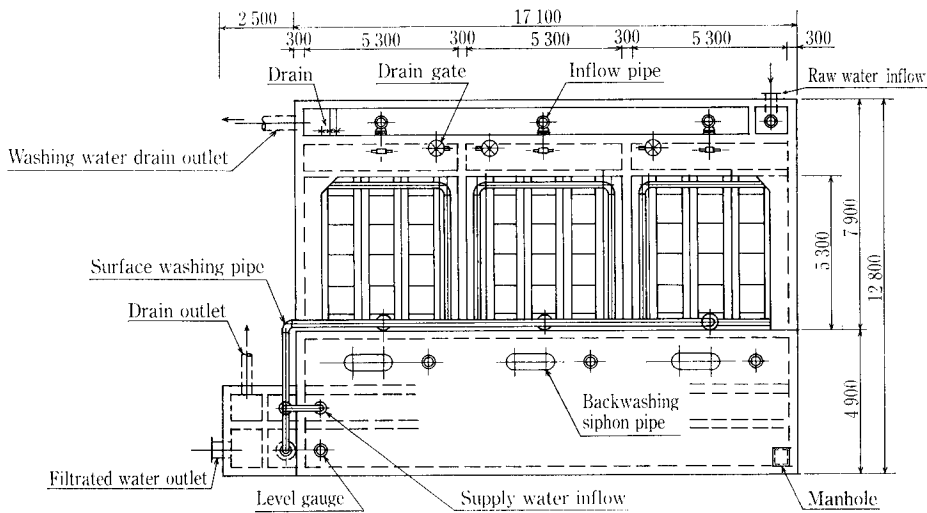
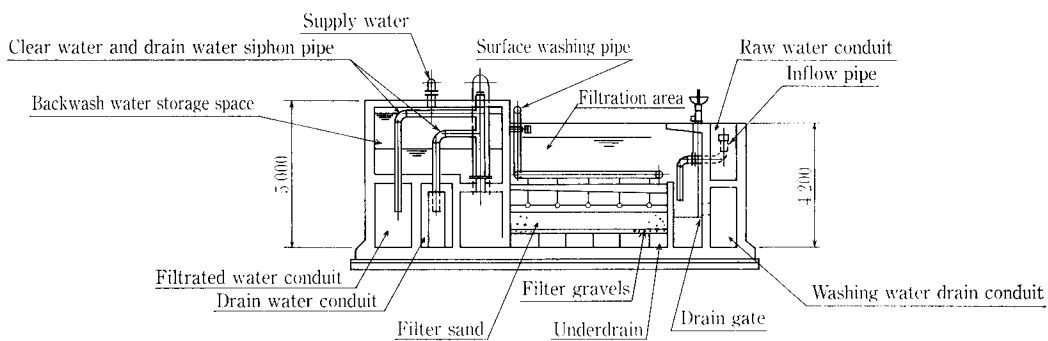


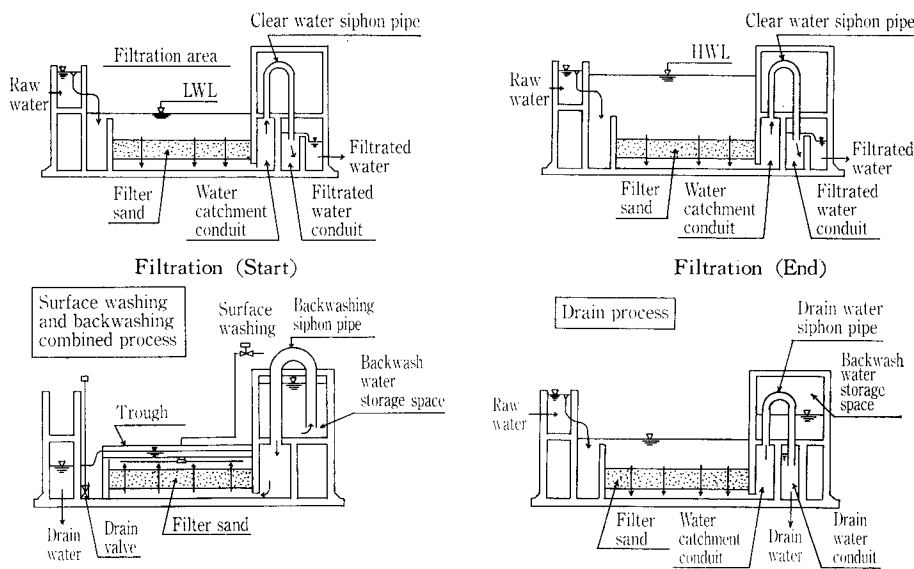
写真1 急速砂汙過池(開放型サイフォン・フィルター)の例
Photo. 1 Rapid sand filter "Open siphon filter"



Outline
 Total treating capacity 10 000 m³/day
 Quantity 3 unit
 Filtration rate 120 m/day (5 m/hr)
 Inside diameter 5 300 mm × 5 300 mm/unit
 Filtered area 28.09 m²/unit
 Filter media Standard municipal Filter sand



第1図 急速砂濾過池（開放型サイフォン・フィルター）の例
Fig. 1 Rapid sand filter "Open siphon filter"



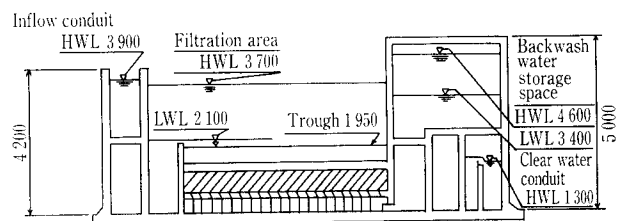
第2図 濾過（サイフォン・フィルター）
Fig. 2 Filtration (Siphon filter)

第3図 洗浄（サイフォン・フィルター）
Fig. 3 Backwashing (Siphon filter)

2. 標準仕様

第4図に示すように、濾過池の槽高は、原水渠側で4 200 mm、逆洗貯槽側で5 000 mmである。

原水渠への流入水位は、濾過池底盤面を基準位置とすると3 900 mmであり、濾過水側の流出渠水位は1 300 mmである。従って、濾過池全体への流入から流出までの水位差は2 600 mmとなり、従来型の重力式濾過池の3 000～4 000 mmよりかなり小さくてすむ。



第4図 濾過池の槽高（サイフォン・フィルター）
Fig. 4 Water level

汙過室内には、次の材料・機器を設置する。

- 汙 材： 水道用基準汙砂
- 層 高 600 mm
- 有効径 0.50~0.60 mm
- 支 持 床： 砂 利
- 層高（4層） 200 mm
- 下部集水機構： 有孔ブロック
- 集水トラフ： FRP製
- 表 洗 装 置： 固定式または回転式

汙過速度は、浄水設備として用いる場合、120~150 m/日の範囲であるが、一般の用途では最大180 m/日まで可能である。また、汙過継続による汙過抵抗の増加分は最大1600 mm水柱であり、汙過抵抗がこの値に達するか、または一定時間汙過を経過した時点が汙過終点とする。

次に、洗浄は表洗と逆洗を併用し、行程として表洗、表逆洗、逆洗および捨水の4行程に分ける。次にそれぞれの洗浄条件を示す。

表 洗——ポンプにより送水する。
水量 0.15~0.20 m³/min/m² } 固定式の場合
水圧 15~20 m水柱
時間 4~6分間

逆 洗——逆洗貯槽から逆洗サイフォン管で自然流下によって送水する。
水量 平均0.6 m³/min/m²
水圧（噴出部にて）
通常3~4.2 m水柱
時間 通常 5分間~最大7分間

ただし、表逆洗を一部ラップさせる。

捨 水——捨水サイフォン管を起動させる。
水量（汙速） 120~150 m/日
時間 0~15分間（省くこともある。）

各池の汙過水量は、原水渠から均等に分配し水理的に汙過するので常に定量であり、汙過流量の調節器はいっさい不要である。他方、逆洗流量は水温変動や汙材の負荷状況により、適時調節できるよう流量調節器を設けている。

なお、逆洗貯槽の容量は、逆洗時間を通常5分間、最大7分間として決定する。

3. 標準的砂汙過池の特長

開放型サイフォン・フィルターには次の数多くの利点があり、他の一般的な汙過装置として適用することにより、その優位性を発揮する。

1) 汙過機構は安全性が高い。

汙過室は開放型であり、汙過・洗浄時の監視が容易である。

汙過室内の構成は、標準の汙砂・支持床からなり、集水機構は流量均等性のすぐれている有孔ブロックを用いている。これらの機構は、従来から最も多く採用されてきた重力式汙過池と同じ機構であり、汙過水の安全性が高い。また、汙過水の流出位置は汙層上面より高い位置にあるので、汙過抵抗が上昇しても汙層内部に負圧が発生することがなく汙過の安定性がよい。

2) 槽高が低い。

汙過室の槽高は4.2 mと低く、しかも流入水位は3.9 mである。これは、同一敷地内に沈澱池と汙過池を併設する

場合、同じG.L.上に設置したままで沈澱池から汙過池へ自然流下で流すことができる。

また、汙過池への流入と流出の水位差はわずか2.6 mであり、他の汙過池に比べて小さい。これは、浄水場全体の設備計画に、極めて有利である。

3) 洗浄効果が高い。

独自の逆洗貯槽を同じ躯体に一体化して保有させているので、常に一定量の逆洗用水を確保でき、これを各汙過池の逆洗に利用させる。従って、他の汙過池の通水状態に影響させることがまったくなく、常に確実な逆洗が行える。さらに、表洗を併用するので、汙層内部まで均一に洗浄される。

また、この開放型サイフォン・フィルターには、捨水行程が組み入れられており、必要な時間捨水を行い汙過水が安定な状態になってから、汙過工程に切替えられる。

4) 運転水量を自由に換えられる。

逆洗水は、自己の保有する逆洗貯槽から供給されるので、運転水量は汙過池の定格能力より少ない場合でも全く支障ない。

また、建設の初期年度の汙過水量が少ない場合でも同様に適応性がある。

5) 汙過設備全体がコンパクトである。

汙過池の池数は、全体の処理水量から最も合理的な池数を任意に選定できる。1池あたりの汙過面積は特に制限はないが、一般には150 m²程度まで可能であり、特に大規模浄水場でも池数を多く増やす必要がない。しかも、これらの汙過池全体と逆洗貯槽を一体構造にまとめており、他方、管廊や逆洗ポンプ室が不要となるので、汙過設備全体がコンパクトになる。従って、汙過室に対する付帯部分の比率は極めて小さくなり、他の一般の汙過池よりも全体のスペースは小さくできる。

6) 設備費・動力費が安い。

汙過池全体の土木構造物がコンパクトにまとまり、池数も経済的に選定できる。また、一般型の汙過池のような各種自動弁や汙過水流量計、逆洗ポンプさらには高架水槽も不要となり、これらの設備費が安くなる。

動力費についても、表洗ポンプ以外は大きな動力設備がなく、特に動力費の大きい逆洗ポンプが必要でない点が有利である。

4. 活性炭汙過池としての実施例

前述の標準的砂汙過池としての開放型サイフォン・フィルターは、汙過材を変え、また若干その構造を変更することにより砂汙過池以外にも適用できる。

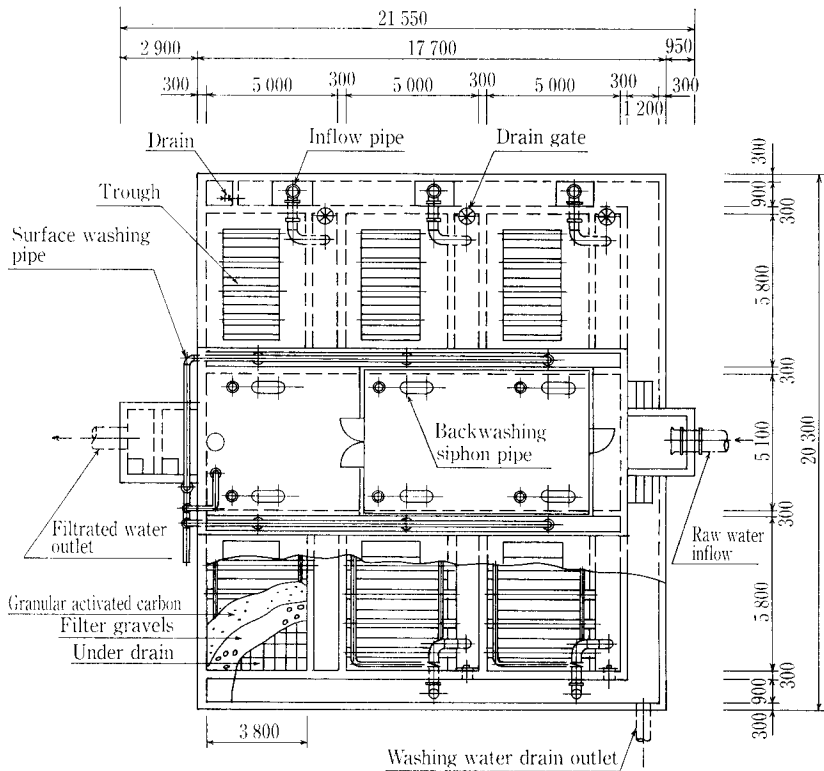
その中でも、活性炭汙過池としての実績は、最近特に高度浄水処理との関連もあって件数が多くなっている。

次に活性炭汙過池の納入例を図示すると共に、活性炭汙過池として使用する場合の特長を述べる。（第5図）

なお、活性炭汙過池を上水道施設として使用する場合、当然のことながら活性炭の層厚等の基本的仕様は、水道施設設計指針及び高度浄水施設技術資料（活性炭処理施設）などの諸基準に準拠したものとなる。

特 長

- (1) 上向流または下向流、どの方式でも採用可能である。
- (2) 洗浄方式は、表面洗浄方式+水洗浄方式であり、さ



Outline

Total treating capacity	31 800 m ³ /day
Quantity	6 unit
Filtration rate	240 m/day (6 units)
Inside diameter	3 800 mm × 5 800 mm/unit
Filtered area	22.04 m ² /unit
Filter media	Granular activated carbon

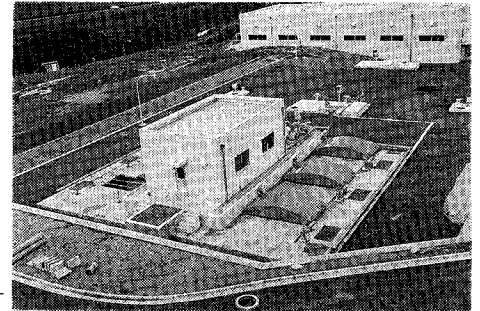
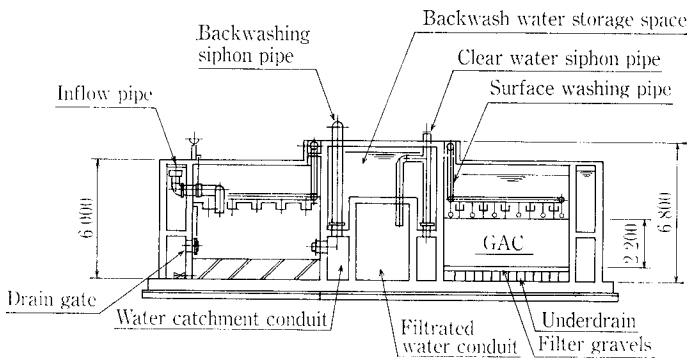


写真 2 活性炭濾過池
Photo. 2 Granular activated carbon filter



第 5 図 活性炭濾過池の例
Fig. 5 Granular activated carbon filter

らに効果的な空気洗浄方式も採用可能である。

(3) その他、標準的砂濾過池が有する長所はそのままここでも発揮されている。

以上の特色ある活性炭濾過池ではあるが、実際に採用する場合の注意事項を次に示す。

下向流式、自然平衡形の活性炭濾過池を計画する場合に、原水流入部水位と処理水流出部水位との差を濾層が、常に負圧となることがないように、かつ、濾過池全体の寸法は低くなるように計画することが得策となる。

活性炭層の層高は、一般的に 1.5 m 以上と厚く、また通水速度 (LV, SV) も砂濾過に比べて高速となるため、通水時の損失水頭が極端に大きくなることもある。活性炭濾過池の設計においては、この初期損失水頭をできる限り小さく抑えることにより、既定の上限損失水頭に達するまでの濾過時間を長くすることができる。

宗像地区水道企業団殿に納入した活性炭濾過池の例では、前段の砂濾過池と後段の浄水池の水位の関係、及び建

設予定地レベルの点より制約され、初期損失水頭が重要な問題となった。この設計時における活性炭濾過池内の初期損失水頭は、次の式により推定した。

(1) 活性炭層による通水損失

$$h = \frac{200\mu v}{\rho_F g \phi^2 D^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \dots \dots \text{レバの式}$$

この式の適用範囲は $Re < 10$ となっており、本事例の場合の Re を確認すると

$$Re = \frac{\rho_F D v}{\mu}$$

Re ; レイノルズ数

ρ_F ; 水の密度 [kg/m³] = 10³

D ; 濾材粒径 [m] = 1.0×10^{-3}

v ; 濾過速度 [m/s] $240 \text{ m/d} = 2.78 \times 10^{-3}$

μ ; 水の粘性係数 [kg/m.s] = 10^{-3}

$$Re = \frac{10^3 \times 1.0 \times 10^{-3} \times 2.78 \times 10^{-3}}{10^{-3}}$$

$$= 2.78 < 10 \dots \dots \text{適用可}$$

従って、

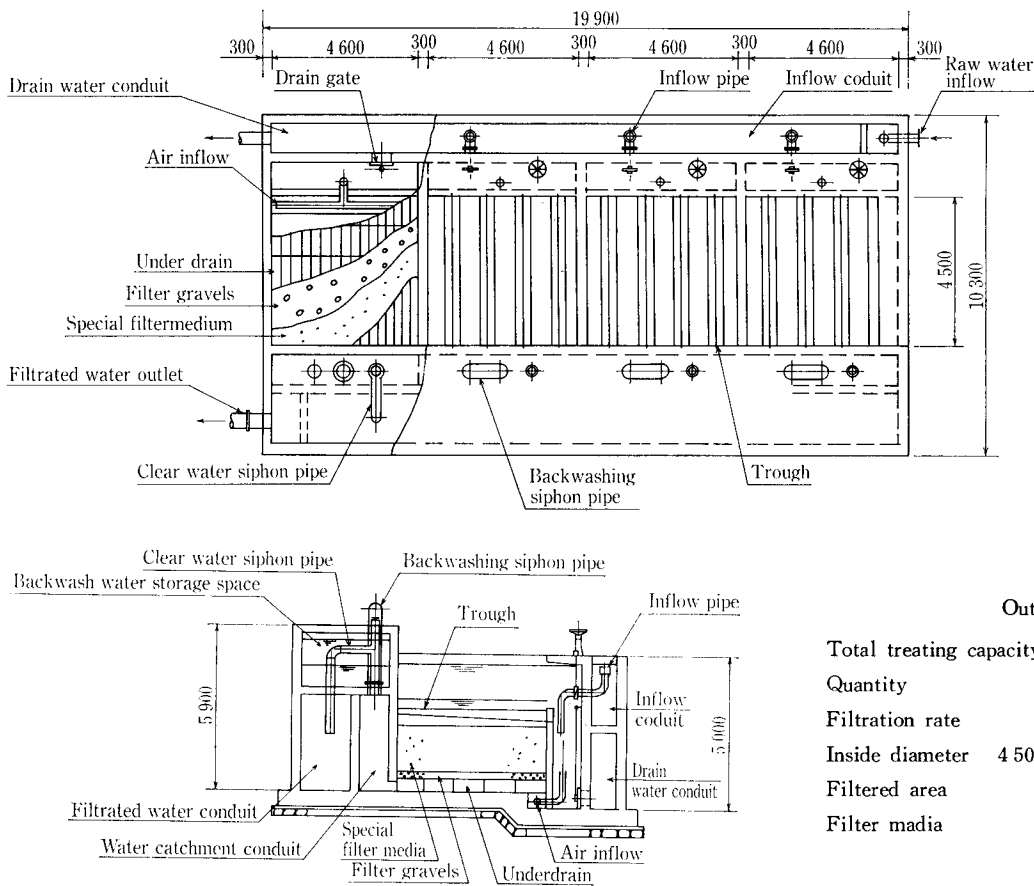
$$h = \frac{200\mu L v}{\rho_F g \phi^2 D^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

h ; 濾層の損失水頭 [m]

L ; 濾層の厚さ [m] = 2.2 m

ϕ ; 濾材の形状係数 = 0.5

ϵ ; 空隙率 = 0.55



Outline

Total treating capacity	15 000 m ³ /day
Quantity	4 unit
Filtration rate	181 m/day
Inside diameter	4 500 mm × 4 600 mm/unit
Filtered area	20.7 m ² /unit
Filter media	Special filter media (Porous type)

第6図 生物接触濾過装置の例
Fig. 6 Aerobic biological filter

濾過室内のLWLと濾過水流出渠の水位差を+15.110 - (+14.400)=0.71 mとした。

(試運転時における実測値では、約560 mmとなっており、活性炭の均等係数に配慮した効果がでているものと考えられる)

この例のように、開放型サイフォン・フィルターの構造にすると濾過水渠の堰板のレベルを調整することにより、初期損失水頭が大きい場合でも、濾層内に負圧を発生させることなく、しかも、濾過池入口、出口における総損失水頭を小さく設計することが可能となる。

5. 生物処理施設(生物接触濾過池)としての実施例

生物接触濾過池は、充填材として多孔質性のセラミックや合成樹脂などを使用し、微生物を付着繁殖させ原水を接触濾過することにより、アンモニア性窒素や溶存マンガン等を生物処理するもので、今後の処理法として発展が望まれるものである。

本装置の規模が小さい場合は構造を鋼板製とするが、大規模となると躯体を鉄筋コンクリートとした開放型サイフォン・フィルターの構造が有利となる。(第6図)

次に本方式の特長を述べる。

特長

- (1) 他の生物処理方式(ハニカム方式、回転円板方式)に比べて接触除去効率がよく、設備がコンパクトになり建設費が安い。
- (2) 原水中に酸素が不足する場合には、空気を吹き込み容易に酸素を補給できる。

$$h = \frac{200 \times 10^{-3} \times 2.2 \times 2.78 \times 10^{-3}}{10^3 \times 9.8 \times 0.5^2 \times (1.0 \times 10^{-3})^2} \times \frac{(1-0.55)^2}{0.55^3} = 0.607 \text{ [m]} \rightarrow 610 \text{ mm}$$

(2) 支持砂利層による通水損失

砂利層の構成は、最下層が粒径12~20 mm, 第2層7~12 mm, 第3層4~7 mm, 最上部2~4 mmを各々50 mm厚さ敷き、計200 mmの標準的値としている。損失水頭の式は上記レバの式によるが、損失水頭については、粒径が濾材に比べて大きく、損失は粒径の二乗に反比例する。また、層厚も小さいため無視できる。

(3) 集水装置(レオポルド・ブロック)による損失水頭

$$hc = \frac{1}{2g} \left(\frac{v}{c\beta} \right)^2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{2.78 \times 10^{-3}}{0.65 \times 0.014} \right)^2 = 0.0047 \text{ [m]} \rightarrow \text{無視可能}$$

C; 流量係数 = 0.65
β; 集水装置の開孔比 = 1.46 %

以上のように通水時の圧力損失水頭は、活性炭層による損失が大部分を占めることになるが、この推定計算により

(3) 汙過型式のため他の方式と比べて、運転維持費が少なく管理が容易となる。

(4) 汙材に比表面積の大きい粒子媒体を用いることで、多量の微生物を付着保持でき、その結果、負荷変動に対し高い安定性を示し、他の生物処理法と比べて良好な処理水が得られる。

6. 下部集水装置 A/W 式レオポルドブロックについて

前述した砂汙過池、活性炭汙過池及び生物接触汙過池等すべて下部集水装置には、当社製の A/W 式レオポルドブロックが採用されている。

A/W 式レオポルドブロックは、アメリカ・レオポルド社の基本技術を基に、当社が技術提携をしたのを機会に、当社の蓄積した技術と経験を加えて、わが国の実状に合った急速汙過池の集水装置として完成させたものである。

従来から、市場に有孔ブロックとして多数採用されているものに比べて、主なる改良点としては、汙過・洗浄の均等性の向上、通水時の損失水頭の低下、材質の改善、運搬取扱いの容易性、現場据え付けの簡易化、さらには、大きな特長である空気と水の併用洗浄が可能となった点である。

6.1 A/W 式レオポルドブロックの構造

A/W 式レオポルドブロックは、送水室と分散室に区分された二段構造となっており、その均圧効果により汙過室全面にわたって逆洗時の噴出流量の均等性を大きく向上させている。自動逆洗型ブロックは、特に逆洗ポンプを用いないで装置内部の洗浄用水で逆洗する自動汙過池に適用しやすくするため、損失水頭を極めて小さくさせている。

自動逆洗型の 1 ブロック 本体寸法は、270 mm^W × 370 mm^H × 940 mm^L である。(第 7 図)

送水室の断面は、逆洗時の水や空気の流速を低くおさえるため十分な大きさになっている。送水室と分散室の間には傾斜した支切壁があり、水オリフィスと 2 段の空気オリフィスによって連通しており、さらに、ブロックの上部表面には小さい間隔であけられた多数の噴出オリフィスがある。

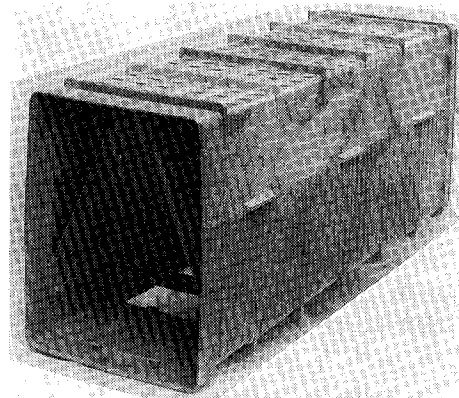


写真 3 A/W 式レオポルドブロック
Photo. 3 Type A/W Leopold block

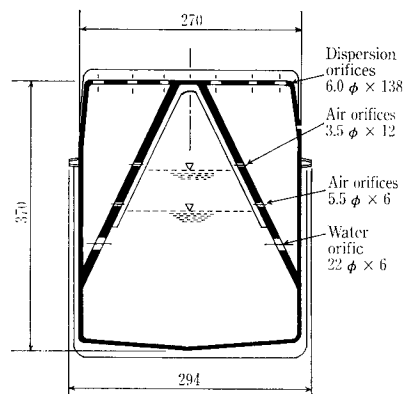
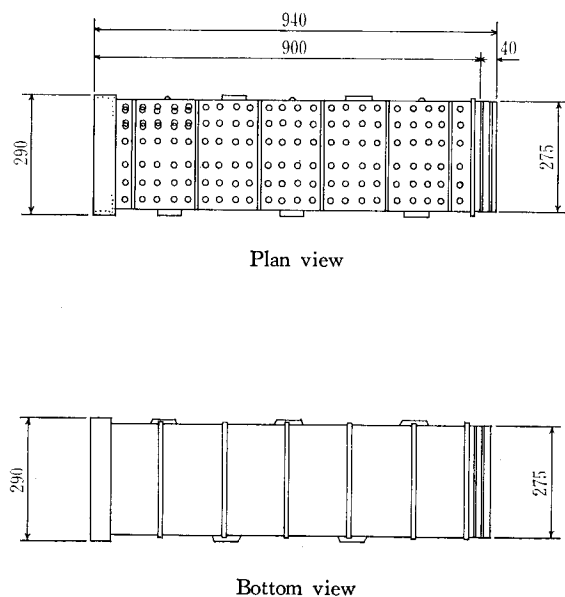
り、空気・水が全面から均等に噴出する。特に、空気は送水室の上部形状が三角形状になっており、ここに空気層が形成されて空気洗浄時の均等分配が可能となる。また、上端には小孔径の空気抜き用オリフィスがあり、汙過時の空気留りを防いでいる。

A/W 式レオポルドブロックは、耐水性にすぐれ完全な耐摩耗性を有する低圧ポリエチレン製であり、平滑な表面と精密なオリフィス孔を持っている。各ブロックは、汙過池の長さに応じて必要数が接合される。接合は作業の容易なメカニカルジョイントで行い、各接合個所は 2° 以下の屈曲が生じて、空気や水の洩れは完全に防止される。

6.2 設計強度

取付けられた集水装置は、逆洗時 0.3 kg/cm²、または最大逆洗流速での圧力の 2 倍以上の内部圧力に基づいて設計してある。荷重条件は、0.7 kg/cm² 以上で行っており、空気洗浄の初期及び後期に起る動圧に対しても十分な安全係数を加味している。また、船積み、運搬、据え付け時に対する強度は全く問題ない。

A/W 式レオポルドブロックの製品特性は次の通りである。



第 7 図 A/W 式レオポルドブロック寸法図
Fig. 7 Air/Water filter underdrain (Leopold block)

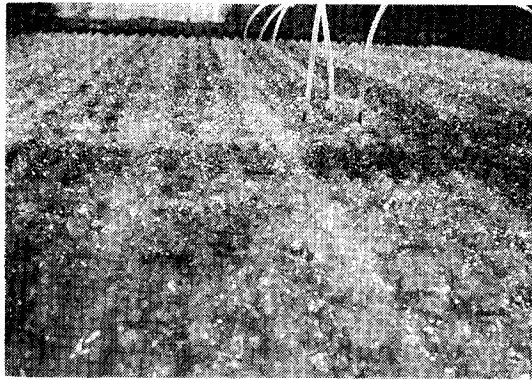


写真 4 水逆洗の均等性
Photo. 4 Water backwash only



写真 5 空気と水の同時逆洗
Photo. 5 Air and water backwash

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| (1) ブロック上面での耐圧力 | |
| 集中荷重 | 230~450 kg |
| 等分布荷重 | 1.8~2.5 kg/cm ² |
| (2) 抗張力 | 2.8 kg/cm ² |
| (3) 衝撃強度 (アイゾット試験) | 4.2 kg-cm/cm |
| (4) 曲げ強度 | 6 300~7 700 kg/cm ² |
| (5) 溶解試験 (試験方法は J I S K 6762 による) | |
| 濁度 | 0.5 度以下 |
| 色度 | 1 度以下 |
| 過マンガン酸カリウム消費量 | 1.1 mg/l |
| 残留塩素の減量 | 0.1 mg/l 以下 |
| 臭い及び味 | 異常なし |

6. 3 A/W式レオポルドブロックの洗浄効果

写真 4 は水逆洗による状態を示し、写真 5 は空気・水の同時洗浄状態を示す。

A/W 式レオポルドブロックは、特殊断面構造により送水室の上部に空気層が構成され、空気流速の大小(0.3~1.4 m/min 一般には 0.8~1.2 m/min) に拘らず、均等な空気単独洗浄あるいは空気・水の同時洗浄が行える。

一般の空気洗浄装置としてのストレーナーや多孔管方式などでは、噴出口の間隔が大きくなり、そのため「デッドスペース」が生じ、汚材の汚染が進行したり、噴出時の圧力変化により空気爆破が発生し、支持床の乱れを起こす原因ともなる。

A/W 式レオポルドブロックは、送水室から分散室へは空気調節オリフィスで空気量と圧力を調整した上、ブロック上部の全面に設けられた多数の噴出オリフィスから空気を均等に噴出させるので、「デッドスペース」や「空気爆

破」は起こらず、安定した空気洗浄ができる。また、上面の噴出オリフィスは二重形状をしており、たとえ噴出オリフィスの真上に砂利が乗った場合でも、閉塞されることなく両サイドより水、空気は噴出する構造となっている。

空気洗浄方式は、表面洗浄方式と比べて活性炭汚過池や生物接触汚過池、その他三次処理用の複層、深層汚過池等に採用した場合、空気の強力な汚材攪拌力により、粘着性のある汚材付着汚泥であっても確実に剥離粉碎され、汚層深部まで効果的に洗浄が行える。また、汚層内への空気の流入は、腐敗や嫌気状の雰囲気改善できる等のメリットも大きい。

1990年版の「水道施設設計指針・解説」では、活性炭汚過処理および生物接触汚過処理の項はもちろんのこと、急速汚過池(砂汚過池)の項目にも、洗浄方式として正式に空気洗浄方式が記載されたこともあり、今後は、ますます本方式が数多く採用されるものと考えられる。

む す び

上水道におけるテーマは、水の安全性とよりおいしい水の供給となっている。このため、高度処理施設の導入が検討され、一部すでに実施されている状況である。

開放型サイフォン・フィルターは、時代の要請に合致したユニークな汚過装置である。汚過、洗浄機能の効率化と安定化、設備全体のコンパクト化、付属機器の簡略化による設備費の低廉化など幾多のすぐれた点を発揮させ、数千 m³/日の小規模から数十万 m³/日の大規模まで砂汚過池として浄水設備の中に採用され、また活性炭処理、生物処理としての汚過装置としても、今後は多く採用されるものと考えられる。