

## 下水処理技術の動向

柏 谷 衛\*

### 1. 下水処理の現況

わが国で最初に下水処理が行なわれたのは大正 11 年であるから、下水処理の歴史は半世紀に達する。しかし、その効用が認識されて処理場の建設が急ピッチに進められてきたのは数年前からである。現在供用中の処理場は約 160 ヶ所で、その計画処理総人口は  $11 \times 10^6$  人であり、その 70% までが昭和 38 年度以降に供用を開始した処理場である。黎明期に供用を開始した処理場は大都市および一部の中都市内に建設されたものであるが、ともに計画下水水量に対して十分な用地を確保し、最も清浄な処理水質が得られる 2 次処理法を採用していた。最近供用を開始した処理場は、都市の規模にかかわらず既成市街地内の下水を集めて処理するものや、新しく開発された住宅団地内の全戸水洗化を目的とした小規模処理場など各種のものが混在している。最近の処理場は規模の大小にかかわらず、用地取得難を反映してその計画下水水量を小面積で処理できるようコンパクト化された施設が数多くみられるのもその特色である。

供用中の処理場の処理方式は、活性汚泥法、散水ろ床法、簡易処理法に大別される。活性汚泥法を採用している処理場は全体の 66% を占め、散水ろ床法、簡易処理法を採用している処理場はそれぞれ 23%、11% である。活性汚泥法は高度の処理効果が期待できる標準活性汚泥法のほかに各種変法が含まれており、ステップエアレーション法、モデファイドエアレーション法、長時間エアレーション法、高速エアレーション沈殿池などが採用されてきた。これらの諸変法は標準活性汚泥法に比べて処理水質は劣るが、同じ敷地面積で標準活性汚泥法よりも多量の下水を処理できるよう、または汚泥発生量を減少させるよう工夫したものである。この活性汚泥法は、大規模処理場から小規模処理場まで規模のいかんにかかわらず採用されてきた。散水ろ床法は中小規模の処理場で採用され、それはすべては中級処理たる高速散水ろ床法である。わが国で最初に供用開始した三河島処理場(東京)で採用された標準散水ろ床法は、処理水質の安定と維持管理費の軽減をはかるうえで効果的な処理法であった

\*正会員 建設省土木研究所 下水道研究室長

が、用地取得難などにより三河島処理場からも姿を消してしまっただけでなく、簡易処理法は中規模処理場で主として採用されているが、これらの大部分は 2 次処理施設築造計画を有し、現在暫定的処置として同処理法を採用しているに過ぎないものである。

上記の処理場を規模別にみた場合、小規模処理場と称せられている計画処理人口 3 万人以下が 31% を占めているのに対し、計画処理人口 20 万人以上の大規模処理場は 20% に過ぎない。ここにあげた処理場の比率は、地方自治体が維持管理を行なっている約 160 ヶ所の処理場についてのものであるが、このほかわが国には下水道法の適用を受けずに清掃法および建築基準法の共同浄化槽として築造され、個人または法人が維持管理を行なっている住宅団地用処理場が数多く存在する。その実数は明確にはされていないが、これを小規模処理場の中に入れてみると、処理場全体に占める小規模処理場の比率はきわめて大きなものとなることは明瞭である。

### 2. 家庭下水の人口当量

処理場に流入する家庭下水の人口当量は、昭和 43 年度に実施した全国調査によれば、BOD で 11~70 g/人/日(平均 39.5 g/人/日)、浮遊物で 13~86 g/人/日(平均 41.8 g/人/日)、下水水量で 123~474 l/人/日(平均 263 l/人/日)であった。アメリカにおける同種の調査によれば、BOD で 76 g/人/日、浮遊物で 91 g/人/日、下水水量で 284 l/人/日といわれているから、わが国の家庭下水の人口当量は下水水量を除いては相当下まわっている。この理由の主たるものは、経済水準ならびに生活程度の相違であろうが、さらに別の理由としてデスポーザー使用の有無があげられる。アメリカでは、デスポーザーが普及していて厨芥はデスポーザーで粉碎したうえで下水道に受け入れられている。これに対して、わが国では下水道の普及が遅れていることを理由にデスポーザーの宣伝を自粛してもらっているのが実情である。しかし、将来は各家庭にデスポーザーが普及して厨芥は下水道に受け入れられることになり、さらに経済水準、生活程度の向上も著しい。それゆえ家庭下水の人口当量がアメリカの現在の水準に近づくのは比較的早いので、家庭下水の人口当

量増加に対処した処理場の設計とデスポーザーについての研究が必要となってきた。

### 3. 小規模処理場の問題点

処理場に流入する下水水量および BOD 負荷量は 1 日のうちで変化するが、その変動比〔時間最大値/日平均値〕は処理場の規模によって異なる。流入負荷変動比は処理人口 12 万人以上の大規模処理場では 1.5 以下であるが、処理人口 2 万人以下の小規模処理場では 2.0~2.5 となる。さらに、流入 BOD 負荷量の変動比は処理人口 30 万人以上では 2.0 以下であるが、処理人口 1 万人以下では 4.0 を越える。処理場に流入する下水水量および BOD 負荷量は均等になるほど経済的な施設の設計が可能であり、処理水質が安定しており、維持管理も容易となることは当然である。すなわち、小規模処理場の設計および維持管理は流入負荷変動比が大なるがゆえに、大規模処理場のそれに比べてむずかしいことである。大規模処理場の放流水は一般に清浄であり、水質が安定しているのに対し、小規模処理場の放流水は不安定で、大規模処理場の放流水に比べて水質が相当劣る場合の多いことが知られてきた。

処理場の規模が大型化すれば、単位処理量当り、あるいは計画処理人口当りの建設費が安価となるのは当然である。この建設費を主たる施設（水処理のための主要施設の建設費で、用地費、附帯施設および汚泥処理施設を含まないもの）で比較してみると、計画処理人口 1 万人では、活性汚泥法、高速散水ろ床法とも 3 400 円/人を要しているのに対し、計画処理人口 10 万人では活性汚泥法で 1 800 円/人、高速散水ろ床法で 680 円に減少している（建設費は昭和 41 年度単価に換算した金額）。

処理場の規模が大型化すれば維持管理費も軽減される。昭和 42 年度実績によれば、処理量 1 000 m<sup>3</sup>/日では活性汚泥法で 8.2 円/m<sup>3</sup>、高速散水ろ床法で 7.7 円/m<sup>3</sup>を要しているのに対し、処理量 10 000 m<sup>3</sup>/日では活性汚泥法で 3.3 円/m<sup>3</sup>、高速散水ろ床法で 2.5 円/m<sup>3</sup>、さらに処理量 100 000 m<sup>3</sup>/日ともなると活性汚泥法で 1.8 円/m<sup>3</sup>まで低下している。

上記のように供用中の処理場での調査結果は放流水質の点からも、建設および維持管理費の点からも小規模処理場の築造がきわめて不利となる結果を与えている。供用中の小規模処理場は同一処理方式で、適用される法律のみが異なる共同浄化槽をも含めた場合にその数が非常に多いことはすでに述べた。これらの小規模処理場と共同浄化槽は、計画処理単位人口当りの建設費が大規模処理場に比べてきわめて高価となっても、1 ヶ所当りの建設費はそれほど金額の張るものではないため、手軽に築

造されてきたのが実情である。しかし、処理場が建設されることによって公共用水域の水質の汚濁が進行するようでは、処理場の使命が水質汚濁防止と水資源の質的保全にあることからみて大きな問題である。このような事態の発生を防止し、処理場がその使命を十分に果たすためには、できるだけ集約して大規模な施設としなければならない。そして、大規模処理場の建設は今後永続される住民の下水道使用料の負担を減少させるためにも役立つことになる。

### 4. 工場排水と家庭下水との共同処理

昭和 40 年度の実績では、わが国の上水道用水量は 60 億 t であるのに対し、工業用水量は 200 億 t に達している。工業用水需要量は、将来さらに大幅な伸びを示すことが予想されている。それゆえ、排出される汚水のうちで工場排水の占める割合は非常に大きなものである。下水道の大局的な使命が水質汚濁防止にある以上、工場排水を積極的に下水道に受け入れていかねばならないのは当然である。それゆえ、将来は処理場に流入する下水水量中に占める工場排水の割合はきわめて大きなものとなる。数多くの製造業種からの排水については、これを単独で処理するよりも、下水道に受け入れて家庭下水との共同処理を行なうほうが、技術的にも経済的にも有利であることが知られてきた。ある種の工場排水は、有害、有毒物質を含むので、下水道に放流する以前に除害施設で前処理しなければならない。また、工場が 1 地区に集中して存在する場合には共同除害施設が築造されて前処理が行なわれる。

このような処置を講じても、工場排水を下水道へ受け入れて家庭下水と共同処理することが、公共のためにも、また企業のためにも大きな利益をもたらすものである。これは ① 工場排水単独処理では公共用水域の放流水質基準として清浄度の高い水質を要求されるときは、技術的にも経済的にもその基準が遵守し難い場合の多いこと、② 共同処理では生物学的処理に必要な栄養源が家庭下水から補なわれ、障害となる有害、有毒物質が希釈されて微生物への衝撃を減じ、常に安定した処理を行なえること、③ 処理場規模を拡大させることにより、単位下水水量当りの建設費および維持管理費が軽減できること、④ 地方自治体の管理する処理場では、運転操作員の訓練が十分に行ない得ること、などの理由によるものである。

水質汚濁防止に対する地方自治体の関心が最近とみに深まり、工場排水を主体とする処理場の建設がさかんに行なわれるようになってきた。その例としてあげられる浮間処理場(東京)は新河岸川沿岸の工場排水を処理する

もので、隅田川の水質汚濁防止に大きく寄与している。さらに和歌川沿岸の工場排水のための塩屋処理場（和歌山）、新設コンビナートの工場排水のための深芝処理場（鹿島）なども近く供用を開始する。

## 5. 下水処理場の環境保全

処理場の維持管理のうえで重要なものの1つに悪臭対策がある。このため、市街地に建設された一部の処理場は覆蓋がつけられ、場内の悪臭を含む空気が煙突付のダクトにて強制換気する方法がとられてきた。このような悪臭対策は、黎明期に建設された堀留処理場（名古屋）においてもすでに行なわれてきた。数年前に供用を開始した落合処理場（東京）、名城処理場（名古屋）では、悪臭対策のほか、その美化をも考慮して施設の屋上を公園または運動場として市民に開放している。市街地に処理場を建設する場合には、付近住民の反対を軟らげるためにこのような処置もやむ得ないと考えられるが、そのために建設費は1.5~2倍となっている。さらに大きな問題は、覆蓋を有するため維持管理の作業がきわめて困難となり、繁雑となることである。地方都市などで計画中の処理場も、付近住民が覆蓋を付け、屋上を公園にするよう強く要求しているケースが増加しているのは、このようなことからみて大きな問題である。

これは、悪臭が処理場全施設から発生するという考えに基づくものである。しかしながら、十分なる維持管理が行なわれている処理場の悪臭発生箇所は、沈砂池、ポンプ場などごく限られた箇所のみであり、少なくとも好気性生物処理が行なわれている施設からの悪臭の発生はない。欧米でも市街地に建設したため悪臭防止対策を講じている処理場がかなりみられるが、そのために処理場内の数多くの施設に覆蓋を取り付けたという報告は見当らない。しかし、局所的な悪臭対策の研究は数多く行なわれており、ポンプ場などではオゾン、触媒酸化などの脱臭法が採用されている。悪臭対策のために処理場の維持管理作業が障害を受けるようでは大きな問題であるので、その効果、経済性も含めて十分な検討を要する必要がある。

## 6. 将来の下水処理

現在採用されている処理方法のうち、最も浄化効率の高い標準活性汚泥法でも、その除去率はBODで85~95%、浮遊物で80~90%で、窒素化合物、リン酸の塩除去はごくわずかしかな行なわれなく、かつ無機化合物はほとんど除去されない。そのため、処理場からの浮遊物が河底に沈積して河川中の溶存酸素を消費するなど汚濁の

原因となったり、水中の窒素、リンなどの濃度が増加する富栄養化現象を生じて藻類が異状発生し、水利用上の障害となっているケースが認められている。このようなことから、現在の処理水質を改善する目的で新しい処理方法がイギリス、アメリカなどで研究されており、これは下水の3次処理（Tertiary Treatment）と呼ばれている。たとえば、シカゴ市が実施している3次処理の実験は、標準活性汚泥法、およびオキシデーションポンド処理水中の浮遊物、リンの除去を目的としたもので、ミシシッピ河の最上流部に位置する大都市としての水質汚濁防止上の責任を果たすためのものである。また、イギリスでは処理場放流水中の浮遊物によって感潮河川の汚濁が進行しているのに鑑みて、浮遊物の高度の除去を目的とした実験を行なっている。

アメリカ合衆国内務省水質汚濁防止局では、多くの貯水池を有する流路延長の長い河川の汚濁防止のための処理方法の開発と、将来の水質基準設定のための資料として下水処理の究極の汚濁物質除去効率を知るために高度処理（Advanced Waste Treatment）のパイロットプラントによる実験を3カ所で行ない、すでに10年間の研究実績を有している。高度処理法は2次処理の後で行なわれる前記3次処理を含み、さらに現在の1次、2次処理の一部、または全部を修正、または変更することをも考慮に入れた革新的な下水の処理法である。現在までの10年間に実施してきたのは、浮遊物除去法（マイクロストレーナーなど3種類）、有機物除去法（粒状活性炭による吸着など4種類）、無機物除去法（電気透析法など4種類）、栄養源〔窒素、リン〕除去法（石灰、アルミニウム塩による凝集沈殿など4種類）である。これらの処理法では、その運転経費をできるだけ軽減するために薬剤は再生利用し、再生炉より発生する炭酸ガスもpH調整に利用するなど工夫しているが、運転経費は相当高いものとなっている。たとえば、ワシントンのブループレインズ処理場での高度処理の実験は、薬品凝集沈殿一過一中和一粒状活性炭による吸着一塩素処理を組み合わせたものであり、無機物除去、窒素の完全除去を考慮していないが、それでも運転経費は人件費を除いて15~16.4円/m<sup>3</sup>を要している。

アメリカ合衆国カリフォルニア州タホ湖岸では、湖水の汚濁を防止する目的で3次処理が行なわれてきた。この装置は生物処理水中の窒素、リン、微量有機化合物を除去する目的で南タホ公益事業組合が連邦政府の助成を受けて建設し、供用開始後しばらくの間は、その運転経費についても助成を受けてきた。このように、国と地方自治体が協力して、下水中の栄養源、微量有機物を除去する3次処理を行なっても、まだタホ湖の富栄養化を防止する自信がもてないので、処理水はかんがい用水として

利用してタホ湖に放流するまでに至っていない。このように、下水の3次処理は技術的にも経済的にもまだ解決すべき多くの問題をかかえている。

わが国の河川の流下時間は大陸の河川に比べてきわめて短い、それでも用水源として重要な河川、湖沼に処理水を放流する場合にはその富栄養化を防ぎ、あるいは下流部での水処理費を軽減するために将来は3次処理を必要とすることになる。現在でも一部の湖沼は極度の富栄養化に悩まされている。このため、国情に適した3次処理法の研究開発を実施しなければならない時期にたち

至っている。また3次処理について、その技術開発とともに重要なことは、その運転経費の負担をいかにするかを定めなければならない点にある。これは3次処理の運転経費がきわめて高価となる場合が多いこと、河川の上流部で生計を営むものはどの程度までの水質的な責任を下流部に対して有するかが明確化されていないためである。この運転経費の負担についての検討は、上記の責任の範囲を明らかにすることから始まり、国および地方自治体の助成と、下流部受益者がその一部を負担することをも含めて、公平に行なわなければならない。

### 本州四国連絡橋技術調査報告書

- 付属資料 1. 耐風設計指針(1967)および同解説 } 特別頒布  
 2. 耐震設計指針(1967)同解説および耐震設計詳説 }

本学会が建設省および日本鉄道建設公団より委託をうけて調査した結果を「本州四国連絡橋技術調査報告書」(4冊一組)として頒布いたしました。そのうち、付属資料 1. 2. は、学術的、技術的にもきわめて貴重なものであり会員からの要望もありますので委託者のご厚意により限定部数にかぎり増刷の許可を得、下記により頒布しますので希望者は至急お申込み下さい。

#### 記

1. 耐風設計指針 A 4 182 ページ 1 200 円 (〒 100 円)  
 2. 耐震設計指針 A 4 194 ページ 1 500 円 (〒 100 円)

記申込要：領書店では頒布していませんので前金で省接、土木学会刊行物係へお申込み下さい。残部数十部のみ。

# 新土木設計データブック 上・下

成瀬 勝武 ・ 本間 仁 ・ 谷藤正三 共編 B 5 判 / 上・6000円 下・6500円

- 本書の特色 土木設計全般に必須な事項を公式・数表・図面により具体的に示した各分野の最新の設計データを集め、計算例・使用例・設計例を入れた工事の計画・見積・施工なども現場ですぐに役立つように編集をしたOR・構造解析などの分野をおき土木技術者の現代的要請にこたえた現場で見てもすぐ役立つよう6000個以上の図版を積極的に入れた各分野における示方・仕様・規格のうち設計に必要な部分を抜粋した

## フローリンの土質力学 I

赤井浩一 監修 A 5 / I・¥2000

## 新編 土質力学

河上房義 著 A 5 / ¥950

## 新編 土质地質

小貫義男 著 A 5 / ¥1500

## 現場のための 海岸工学 高潮篇

豊島 修 著 A 5 / ¥1800

## OR入門

牧野都治 著 A 5 / ¥600

## グラフ理論の基礎

小野寺力男 著 A 5 / ¥650

〈図書目録・内容見本呈〉

森北出版

東京・神田小川町3-10 電話 03・292・2601 振替 東京34757