

下水の処理技術

柏谷 衛*

1. あらまし

わが国の下水道普及の遅れは衆知のとおりであるが、わが国で下水処理場が初めて供用を開始したのは大正12年といわれているから、下水処理の歴史は50年に達するわけである。しかし、昭和37年までの40年間に建設されて供用を開始した下水処理場は、わずかに53か所にすぎなかった。その後、第一次、第二次の下水道整備5か年計画を通じて下水処理場の新增設も進められるようになり、昭和45年度末までには、全国で232か所の下水処理場が操業を行うまでになった^{1), 2)}。

これらの下水処理場はその大部分が、一次処理プロセスと二次処理プロセスを有している。一部の下水処理場は一次処理プロセスを有するのみで供用を開始しているが、それらは二次処理施設の建設に要する二、三年間の暫定的な処置である。既存市街地からの下水を集める下水処理場では、供用開始当初は下水の濃度がきわめて低い。このため、一次処理のみで下水処理場からの処理水を放流しても、公共用水域の水質に障害を与えない場合には、一次処理のみで供用を開始することが認められてきた。

しかし、最近建設された下水処理場では二次処理までの施設を築造してから供用を開始するようになってきている。

下水処理場の一次処理プロセスでは、主として下水中の浮遊性有機物を取り除く。このプロセスでは重力式沈殿を主体とした処理が行われており、下水中のBODの30~50%が除去されている。二次処理プロセスでは、生物学的処理が行われており、主として下水中の溶解性有機物を取り除かれる。二次処理プロセスは、下水中のBOD除去率により2種類に分類される。その1は、一次処理と合せてBODの75%程度を除去するもので、この種の二次処理プロセスをもつ処理法を中級処理と呼んでいる。その2は、一次処理と合せてBODの85~95%を除去するもので、この種の二次処理プロセスを有する処理法を高級処理と呼んでいる。下水道法施行令では、下水処理場からの放流水の水質の技術上の基準につ

* 正会員 工博 建設省土木研究所 水質研究室長

いて定めているが、これをBODについてみると、中級処理ではBOD 60ppm以下、高級処理では20ppm以下となっている。昭和45年以前に供用を開始した下水処理場では、中級処理を採用したのも中小規模の下水処理場を中心にかなり多かったが、最近供用を開始した下水処理場では、高級処理を採用している場合が多くなっている。

昭和45年4月に「水質汚濁に係る環境基準」の基本方針が閣議決定され、それに引き続いて、公共用水域の生活環境に係る環境基準の類型指定が国および都道府県によって進められてきた。この環境基準達成のための施策として、排水規制と下水道整備の促進を二本柱としている場合が多い。しかし、都市内および都市郊外の河川、流域が開発されている湖沼、大中市および臨海工業地帯をかかえる閉鎖海域では排水規制を強化し、さらに下水道を整備して下水処理場で高級処理による二次処理までを行っても環境基準の達成が困難な場合も生じてきた。このため、下水の三次処理が大きくクローズアップされてきた。

この三次処理では、従来から行われてきた一次処理、二次処理が主として単一のプロセスから成り立っていたのに対して、除去すべき物質の種類および程度に応じて一種ないし、数種のプロセスより成り立っている。すなわち、一次処理、二次処理といういい方からすれば、三次処理、四次処理、……と称すべきであるが、これらを総称して三次処理と呼んでいる。三次処理に関する処理プロセスは主としてアメリカ合衆国を中心に開発されてきたが、合衆国における実用規模の処理施設の数はいまだそう多くはない。わが国では昭和46年度よりパイロットプラント規模で実験を開始したばかりであるが、公共用水域の環境基準達成のために、その実用化を急がされているのが現状である。

本文では従来から行ってきた下水の一次処理、二次処理の技術開発の状況、三次処理の技術開発の現状と問題点について述べることにした。

2. 一次処理プロセスの諸問題

すでに述べてきたように、一次処理では主として下水

中の浮遊性有機物が除去される。一次処理は最初沈殿池、または予備エアレーションタンク付きの最初沈殿池で行われる。浮遊性有機物の除去を効果的に行うために微生物活性をもつ二次処理プロセスの余剰汚泥を返送する方法が行われる場合が多い。

最初沈殿池の前に予備エアレーションタンクを設けることは1933年にRoeによって提案され⁹⁾、その効果が合衆国の下水処理場で確認されてきたが^{4),5)}、わが国でも実験が行われて東京都小台下水処理場で初めて採用されている^{6),7)}。予備エアレーションは、それだけでも生下水中の浮遊物およびBODの除去に効果的であるが、さらに、二次処理プロセスの余剰汚泥を返送することによって、その効果を高めることが知られてきた。このため、最近建設された下水処理場の大部分は一次処理として、予備エアレーションタンクと最初沈殿池を合せもつようになってきている。

最初沈殿池の形状には長方形、円形、正方形のものがある。このうち、わが国で建設されてきたものには長方形が多い。最初沈殿池は水面積負荷率、沈殿時間などを基礎として設計されるので、理論的にはその効率は同じになるはずである。しかし、最初沈殿池では沈殿堆積した浮遊物を集めるための汚泥掻寄機⁸⁾の速度が早いと沈殿した浮遊物が乱されて再浮遊し、そのために処理効率は低下する。円形沈殿池と矩形沈殿池では回転式の汚泥掻寄機が設けられ、矩形沈殿池では多数の掻寄板を引張るチェーンフライト式の汚泥掻寄機が用いられている。実測の結果では、チェーンフライト型汚泥掻寄機を有する矩形沈殿池が処理効率の点でややすぐれているようである。わが国では、下水処理場の用地難から用地面積をもっとも有効に利用できる長方形沈殿池が設置されるケースが多いが、最近では強力で故障の少ないチェーンが製作されるようになり、長方形沈殿池も長さ50mに達するものが建設できるようになった。

大都市では極端な用地難から、さらに最初沈殿池を2階式にして、単位用地面積あたりの処理下水量を2倍とする二層式沈殿池が設けられ、さらに三層式沈殿池の計画も進められている。これらの最初沈殿池はすべて長方形沈殿池で設計されており、これらはチェーン製作技術の進歩による面がきわめて大きい。

3. 二次処理プロセスの諸問題

わが国の下水処理場で採用されている二次処理プロセスの70%以上は活性汚泥法であり、散水汙床法を採用している下水処理場は18%にすぎない。活性汚泥法の下水処理場の大部分は、高級処理たる標準活性汚泥法、ステップエアレーション変法などの処理方式を採用して

いる。これに対して、散水汙床法を採用している下水処理場の大部分は処理人口3万人以下の比較的小規模の処理場であり、すべて中級処理たる高速散水汙床法を採用している。これから建設される下水処理場では放流水の水質としてBOD 20 ppm以下が要求されているので、高級処理の処理方式を有する活性汚泥法を採用するケースが大部分を占めることになる。

活性汚泥法では、主として好気性微生物群の吸着・凝集・酸化・同化作用を利用して処理を行う。活性汚泥は汚水性バクテリア、原生動物などを主体に構成されているゼラチン状のフロックで、有機物の吸着力・凝集力・酸化力がきわめて強く、最終沈殿池での沈降分離性も非常にすぐれている。標準活性汚泥法と呼ばれている標準型の活性汚泥法で良好に処理されているときは、BOD 10 ppm以下、浮遊物 15 ppm以下の処理水を得ることができるが、通常はBOD 12~18 ppm、浮遊物 20~35 ppm程度である。

標準活性汚泥法では、リン、チッ素についても除去することができる。活性汚泥法を構成する好気性微生物群の細胞の化学的組成はHelmersらによって $C_{118}H_{170}O_{51}N_{17}P$ であることが見いだされている⁹⁾。これによると活性汚泥には1.16%のリンと8.91%のチッ素が含まれていることになる。好気性微生物群の細胞構成に必要なリン、チッ素は、炭素と同様に下水中に含有する無機および有機成分から摂取することになる。これらの関係をもとに理論的に計算してみると、標準活性汚泥法によってBODを90%除去したときのリン、チッ素の除去率はそれぞれわずかに12、15%である。しかし、下水処理場での実測の結果では、リン、チッ素の除去率はこの数値を大幅に上回ることが見いだされている^{9),10)}。通常の下水処理場では下水中のリン、チッ素の25~45%が除去されており、除去率がきわめてすぐれている場合には、チッ素82%、リン90%という例もある^{9),11)}。しかし、一般的には二次処理まではリン、チッ素の高度な除去を行なうのは困難であり、後述する三次処理が必要になってくる。

標準活性汚泥法は現在行われている二次処理プロセスのなかで、もっともすぐれた方法であるが、下水処理場の用地難にあえぐわが国では、合衆国などで開発されてきた各種の活性汚泥変法が多く用いられてきた。このうち、もっとも多く利用されてきたのがステップエアレーション変法と高速エアレーション沈殿池である。

ステップエアレーション変法は、エアレーションタンク内での下水と活性汚泥混合液の酸素利用量をできるだけ均一化するために、エアレーションタンク内の数箇所まで下水を流入させる方法である。この方法によれば、エアレーションタンクの体積は標準活性汚泥法の場合に比

べて相当小さくでき、標準活性汚泥法に近い処理水質を得ることができる。しかし、処理水質についての安定性に欠けること、処理水中の溶解性 BOD 濃度が高くなるのが欠点である。高速エアレーション沈殿池はエアレーションタンクと最終沈殿池とを一槽にまとめたものである。余剰汚泥を定間隔で引き抜いて活性汚泥量を一定に保つようになっている。施設がコンパクト化されているが、処理水質は標準活性汚泥法に比べて劣り、処理の安定性も欠ける。

このようなことから、最近計画され、建設されている二次処理施設のほとんど全部が標準活性汚泥法を用いるようになってきている。標準活性汚泥法では下水のエアレーションに 6~8 時間、沈殿に 2.5 時間を必要とし、大容量のエアレーションタンク、最終沈殿池を建設しなければならない。用地難の大都市では、これだけの用地面積の確保が困難なことから、エアレーションタンクについてはその有効水深を大きくとること、最終沈殿池については、前節で述べたと同様に二層式沈殿池を建設することで用地問題の解決をはかろうとする努力がなされてきた。

深層エアレーションタンクについては東京都を中心に技術開発が進められてきたが、従来のエアレーションタンクが有効水深 4~6 m であるのに対して、水深 8~10 m のエアレーションタンクが建設されるようになってきている。しかし、深層エアレーションタンクでは、タンク内の混合、散気方式などについて未解決の問題も多く、今後さらに研究を進めていかなければならないと考えている。

近年、第二次産業の発達から純酸素が比較的安価に、しかも簡単に製造されるようになってきた。この純酸素を下水の二次処理に応用する技術開発が合衆国で行われ純酸素活性汚泥法の名で登場してきた。そして、合衆国では約 10 か所の実用施設が運転、あるいは建設中である。この方法では標準活性汚泥法に比べてきわめて短いエアレーション時間 (1.5 時間程度) で、処理水質も標準活性汚泥法のそれと同程度のものが得られている。合衆国で最初に開発された方法は、わが国でも技術導入が行われ、一部の大都市でパイロットプラント規模による実験が行われてきた。この方法では純酸素を利用するために安全性と材質腐食の問題の解決が残されており、合衆国の環境保護庁は、この問題の解決に補助金を支出して研究を行っている¹²⁾。ことに、炭化水素に対する安全性は、そのための警報器が開発され、設置されていても、腐食性ガスの多い下水処理場で常に確実に作動するかは大きな問題であり、わが国でもこの方法を取り入れるならば、安全性を中心とした研究が必要であろう。

わが国の下水処理場で、処理区域内の工場排水を受け

入れて家庭汚水とともに処理している例は非常に多い。また、工場排水処理を主体とした下水処理場もある。このため、一部の下水処理場では放流水中に重金属類が含まれて問題視されたこともある。従来、工場排水を下水道に受け入れる場合に、工場側はこれを権利と考えて、下水道管理者側の組織、体制および取締り条例の不備をいいことに自己の義務をはたさず、いかなる排水でも下水道に放流してしまえば排水問題は片づいたと考えてきたふしがある。しかし、公共団体が管理する下水処理場からの放流水質が、公共用水域の水質と生態に悪影響をもたらしてはならないので、下水道管理者は自己の処理区域内に存在する悪質の工場排水の取締りに最善の努力を払わなければならないのは当然のことである。

下水処理における重金属類の影響については、これが活性汚泥を形成する好気性微生物群にいかなる障害を与え、有機物の除去がいかに低下するかという面で多くの研究が行われてきた。たとえば、合衆国のロバートタフトセンターで行われてきたこの種の研究は、重金属として、銅、亜鉛、ニッケル、クロムに限られるが、10 年間にわたる詳細な研究である¹³⁾。いま、わが国で問題になっている水銀、カドミウム、鉛などについて、これを下水処理施設を通じての収支、微生物群への蓄積という面から行ってきた研究はほとんどない。しかし、この種の研究は、最近かなり重点を置いて進められつつある。重金属は工場排水のみでなく、一部の大学、病院、研究所からの下水、ひいては一般家庭汚水中にも、かなりの量が含まれている場合もあり、下水処理に対する一般の認識を、この面からも高めていく必要がある。

4. 三次処理の目的

わが国で今後行われる三次処理の方向は、当面は次の点から考慮されることになる。すなわち、

① 現在定められている環境基準を達成するために、BOD、COD の指標で表わされている有機物を二次処理水よりもさらに低下させる、

② まだ環境基準値として示されていないが、最近問題となっている湖沼、閉鎖海域での富栄養化を防止するために、栄養塩類 (リン、チッ素) を除去する。

最近、水質汚濁計算法が発達し、公共用水域の水質の将来予測計算が、かなりの精度で行えるようになってきた。それゆえ、下水処理場を含めた流域の汚濁源からの有機物負荷量をどの程度までカットすれば環境基準が達成できるかを知ることができるようになった。これらの計算に基づいて、下水処理場からの放流水中の BOD、COD なども定められ、三次処理の必要性、さらに三次処理を行って、どの程度の水質として放流する必要がある

るかについても求めることができる。

湖沼、閉鎖海域を富栄養化し、藻類の異状発生や赤潮を発生させるリン、チッ素については、それが原因物質であることが確認されているものの、その濃度レベルについてはあまり明らかではない。霞ヶ浦を例にとると、昭和46年には藻類が異状発生し、魚貝類に被害を与えたが、昭和47年には藻類の発生量は少なく、また今年には藻類の異状発生によって魚貝類に大きな被害を与えている。湖沼、閉鎖海域での藻類の異状発生や赤潮発生は天候に左右される面が大きい。しかし、いずれにしても、わが国の代表的な湖沼や閉鎖海域の多くは天候によって藻類の異状発生、赤潮発生をもたらす潜在物質であるリン、チッ素の濃度レベルが高いことは明らかである。このため、原因者の一つである下水処理場放流水についても、リン、チッ素をできるだけ取り除くための努力を払わなければならないことになる。

前節で述べたように、二次処理としてもっともすぐれている標準活性汚泥法を行えば、通常はBOD 12~18 ppm、浮遊物 20~35 ppm の処理水が得られる。この標準活性汚泥法による処理水の特徴は、溶解性のBOD成分が低いことである。このため、最終沈殿池から越流する活性汚泥の微細なフロックを除去して浮遊物を1~6 ppm までに低下させるとBODは2~8 ppm までに行うことができる。

しかし、活性汚泥変法を用いたときには二次処理水のBODは20 ppm 以下であっても、浮遊物を1~6 ppm に低下させることによって、常にBOD 10 ppm 以下に保つことは困難である。このようなことから、二次処理で得られる水質は三次処理の経済性を大きく支配することになり、三次処理を行う前提としての二次処理方式の選定は、きわめて重要な意味をもっている。

5. 有機物除去の三次処理プロセスと、その問題点

三次処理によって有機物を取り除くもっとも経済的な方法は、前節で述べたように浮遊物を除去することである。このために沝過とマイクロスクリーニングの2つの手法が開発されてきた。この種の技術の実用化では、合衆国よりもイギリスのほうが進んでいるとみられる。沝過は上水の沝過と同様に急速沝過池が用いられるが、沝材の粒度は上水の場合よりも相当に粗い。沝過には下向流式と上向流式があり、前者は合衆国で、後者はイギリスで主として用いられており、それぞれ特徴がある。土木研究所では、下向流式沝過池3池、上向流式沝過池1池によりパイロットプラント規模の実験を京都市鳥羽下水処理場構内で行ってきた。実験結果によると、沝過水

の浮遊物は1~6 ppm、BODは2~8 ppm であり、浮遊物とBODについては、良好な処理成績が得られている。しかし、COD 10~18 ppm が残留しており、リン、チッ素についても、ごくわずかしは除去できない。河川の環境基準では、BOD、浮遊物で基準値を定めているから、沝過により二次処理水中の浮遊物を除去するのみで現在の環境基準を達成できる下水処理場も多いと考えられる。

マイクロスクリーニングでは、ふるい目の大きさ23~35 μ のステンレス製金網を取り付けた回転式ドラムにより浮遊物を除去し、金網に付着した浮遊物は洗浄用ジェット水で洗い流す。この方法では、浮遊物、BODの除去率は急速沝過によるものよりも低い。下水処理場の二次処理水量は流入下水水量よりは変動が小さいものの、やはりかなりの時間変動がある。この流量変動に対する制御は、マイクロスクリーニングのほうが容易である。

急速沝過の場合も、マイクロスクリーニングの場合も除去した浮遊物を含む排水は最初沈殿池に返送して、生下水と混合して浮遊物の沈殿除去がはかられる。この際急速沝過池からの洗浄排水は間欠的に排出されるので、逆流洗浄を夜間の流入下水量の少ない時間に行えるよう沝材の選定を行えば、一次、二次処理プロセスに障害を与えずに処理を行うことができる。マイクロスクリーニングの場合は洗浄排水は連続的に排出されるので、流入下水量のピークと重なる時間には一次、二次処理プロセスの過負荷運転を避けるために洗浄排水滞留池を設ける必要がある。浮遊物除去によって既存の汚泥処理施設で処理すべき汚泥量は増加するが、増加の割合は10%程度であり、汚泥処理施設を拡張せずに処理を行うことができると考えている¹⁴⁾。

放流水中のBODを常に5 ppm 以下に、またCODを10 ppm 以下に保つためには、活性炭吸着によるなければならない。三次処理に利用できる活性炭には粒状と粉末活性炭の2種類があって、それぞれ異なる使い方がなされている。活性炭は二次処理および活性炭処理以前に行われる三次処理の程度、要求される放流水質によって、粉末活性炭ではその所要量、粒状活性炭では接触時間を変えて要求を満たすことができる便利さがある。しかし、その処理コストはかなり高く、1 m³の下水を処理するのに10円程度かかる¹⁵⁾。

粒状活性炭は、下向流式または上向流式の吸着塔に入れてこれに下水を通過させることによって処理が行われる。吸着能力の低下した活性炭は、再生炉で再生してふたたび吸着塔に戻される。この間の損失量は5~10%といわれている¹⁶⁾。現在用いられている粒状活性炭の粒度は8×30メッシュ、12×40メッシュの2種類である。

粉末活性炭は所要量を下水と混和して下水中の有機物

を吸着後、高分子凝集剤を加えて沈殿除去する。粉末活性炭は粒状活性炭に比べて吸着速度が速いこと、有効に利用できること、貯蔵量が少なくすむことなどの利点があるが、沈殿分離に時間がかかること、再生方法が確立されていないという欠点がある¹⁵⁾。この再生が経済的に行われるようになると、粒状活性炭よりもかなり安く利用できるようになる。

このほか、下水中に残留する有機物を化学的に酸化して、炭酸ガス、水、チッ素化合物などの安定した物質に変える方法として、オゾンを利用する方法がある。しかし現在のところ、活性炭吸着よりも処理費は高い。

6. 栄養塩類除去の三次処理プロセスと、その問題点

栄養塩類としてはリン化合物とチッ素化合物がある。リンを除去する一般的な方法として、下水中に凝集剤を加え、難溶性のリン化合物を形成し、これを沈殿除去するものである。凝集剤としては、石灰、アルミニウム塩、鉄塩などが効果的であることが知られてきた。

石灰を凝集剤として利用する方法はアメリカ合衆国カリフォルニア州タホ湖の下水処理場で実用化され、現在も運転が行われている。石灰利用の方法では、下水の緩衝能に打ち勝つ量（生石灰として 250~400 ppm）の石灰を注入しなければならない。しかし、下水中の残留リン濃度を常に 0.5 ppm 以下にすることができる。石灰により凝集沈殿した下水の pH は 11 以上あるので、アンモニアが遊離しており、比較的簡単にアンモニアの除去が行える。石灰による凝集沈殿汚泥は容易に脱水できこれを焼却炉で再生することにより繰り返し利用ができる。また、焼却炉からの排ガス中の炭酸ガスは、凝集沈殿処理水中に残留するカルシウムイオンの除去と pH 調整に利用できる。二次公害の発生もなく、汚泥処分の問題もあまり気にしなくてすむ。わが国の地下資源は少ないが、石灰石だけは豊富で、炭酸カルシウムとして 96.5% 以上の石灰石が可採粗鉱量として 265 億 t 埋蔵されている。筆者らは横須賀市下町下水処理場内にパイロットプラントを設けて石灰による凝集沈殿の実験を行ってきた¹⁷⁾。石灰による凝集沈殿は上記のように利点は多いが、最大の欠点は炭酸カルシウムのスケールが装置内面および攪拌機などに付着することである。とくに冬期には長期間の実験を継続することが困難なほどであった。この方法が実用的に利用できるか否かは、炭酸カルシウムのスケール問題の解決が鍵となっている。

リン除去用のアルミニウム塩としては硫酸アルミニウムとアルミン酸ナトリウムがあるが、後者は硬水には効果的であるが軟水にはあまり良好な結果が認められない

ことから、わが国で使用するとしたら硫酸アルミニウムになる。ともに下水中のオルトリン酸イオンと反応してリン酸アルミニウムを形成する。リン酸アルミニウムは最小溶解度 (0.01 ppm) が pH 6 以上で得られることから、pH 約 6 で凝集沈殿が行われることになるので、公共水域に放流するにあたって pH 調整を行う必要はない。リン酸アルミニウムは再生することは可能であるがリンの再溶出問題やコスト高の問題などがあって、三次処理用としてのアルミニウム塩の再生は、いまのところ実現性が乏しい。

リン除去用の鉄塩としては塩化第 2 鉄、硫酸第 2 鉄の第 2 鉄塩、塩化第 1 鉄、硫酸第 1 鉄の第 1 鉄塩があり、また、第 1 鉄塩を多量に含む鉄の酸洗い排水も利用できる。

鉄塩によるオルトリン酸イオンの除去については、アルミニウム塩の場合と同様、リン酸第 2 鉄ができるほか水酸化第 2 鉄のフロックの凝集作用が利用される。しかし、第 1 鉄塩の場合の反応は、第 2 鉄塩に比べて複雑で完全には解明されていない。実験結果から、第 1 鉄塩を用いた場合のリン除去の最適 pH は約 8、第 2 鉄塩を用いた場合には約 4.5 といわれているから、第 1 鉄塩の場合には凝集剤添加時に、また、第 2 鉄塩の場合には凝集沈殿後に pH 調整が必要になる。

アルミニウム塩、鉄塩を凝集剤として用いる場合には石灰の場合とほぼ同程度のリンの除去を期待できるが、この種の凝集沈殿処理は汚泥の発生量がきわめて多く、しかも濃縮、脱水しにくいものである。最近、浄水場の汚泥処理について、その濃縮脱水性が問題となっているが、三次処理汚泥では有機物を含有するために、汚泥処分を含めたその取扱いは大きな問題であり、まだ適切な手法は解決されておらず、筆者らも室内実験の段階にある。このように、リンの除去は凝集剤により比較的容易に行うことができるが、石灰を凝集剤とした場合には、炭酸カルシウムのスケールの除去が、アルミニウム塩、鉄塩の場合については汚泥の処理・処分が大きな問題であり、この解決をはからなければ実用上でリンの除去を行うことは困難な状態にある。

チッ素の処理法としては、アンモニア性チッ素の状態を除くものと、硝酸性チッ素の状態を除くものと二通りがある。

前者としては、アンモニアストリッピング法、不連続点塩素処理法および選択的イオン交換法があり、後者には生物学的脱チッ素法がある。

アンモニアストリッピング法は、下水をアルカリ性にしたときにアンモニアが遊離する性質を利用して、下水の表面積を増加させたいえ、多量の空気と接触させてアンモニアを空气中に追い出す方法である。石灰による凝

集沈殿を行ったときには、下水の pH を 11 以上にするため、本法を用いて容易にアンモニアを除去することができる。しかし、空気中にアンモニアを追い出しても、それが植物に吸収される以外はまた水に戻るため、この方法は適切ではないとの批判もある。筆者らは横須賀市下町下水処理場で、この方法の実験を行っている。

不連続点塩素処理法は、アンモニアを含む下水に塩素を注入し、pH 6~7 に維持することにより、アンモニアをチッ素ガスの形で追い出す方法である。チッ素ガスとして追い出すため、アンモニアストリッピング法よりも効果的であるが、アンモニア性チッ素 1 に対して塩素 8~10 を必要とするため、処理コストは相当高くつく。また、処理水中に残留塩素が含まれるため、そのまま放流すると水生生物に障害を与えることとなるため、残留塩素を除くために活性炭処理を必要とする。この方法ではコンパクト化した施設で処理を行うが、使用する薬品としては塩素と苛性ソーダであり、ともにいま問題となっている水銀電解法と関係するので、わが国のソーダ工業が今後どのような方向をたどるかによって、その実用化の見通しが定まると考えられる。筆者らは、京都市鳥羽下水処理場でパイロットプラント規模の実験を行うべく室内実験を進めている。

選択的イオン交換法は、イオン交換物質を用いてアンモニウムイオンを選択的に他のイオンと交換する方法である。いま、合衆国で実用化が進められているのは、自然界に存在するゼオライトの一種であるクリノプチロライトを用いる方法である。この方法では、クリノプチロライトは再生することによって半永久的に使用できるが、再生液には高濃度のアンモニアが含まれ、この処理をいかに行うかが問題となっている。このアンモニア再生液から肥料をつくる方法、また、アンモニアストリッピングにより大気中に追い出す方法が検討されているが双方ともに問題があり、その解決は今後に残されている。

生物学的脱チッ素法は、二次処理水中のアンモニア性チッ素を好気性微生物の作用によって硝酸性チッ素に変え、さらに通性細菌が嫌気性状態で有機性炭素を酸化する際に硝酸イオン中の酸素原子を利用することを応用し

て、チッ素ガスとして取り除く方法である。この有機性炭素源としてメタノールが用いられている。この方法はチッ素除去法としてはもっともすぐれたものであり、ワシントンのブループレインズ下水処理場では、この方法でチッ素除去を行うべく工事が進められている。しかしこの方法では硝化および脱チッ素反応を成就するために約 8 時間を要し、それだけの容量を有する反応槽が必要である。このため用地難に悩むわが国では、いままで開発されてきた方法のなかでもっとも適切な方法だとしても採用できかねるという問題がある。

このように、チッ素の除去法については 4 つの方法が開発されてきたが、わが国の国情を考えたとき採用可能な方法はまだ見い出されておらず、わが国独自のチッ素除去方法の開発が望まれている。

参考文献

- 1) 建設省：建設省土木研究所資料，第 524 号，1968 年。
- 2) 建設省：建設省土木研究所資料，第 819 号，1972 年。
- 3) Roe, F.C. : Public Works, Vol. 64, No. 7, p. 15, 1933.
- 4) Roe, F.C. : Sewage and Industrial Wastes, Vol. 23, No. 2, p. 127, 1951.
- 5) Therous, R.J. and Betz, J.M. : Sewage and Industrial Wastes, Vol. 31, No. 11, pp. 1 259, 1959.
- 6) 藤井秀夫・今 利雄：水道協会雑誌，No. 354, pp. 23, 1964 年。
- 7) 野中八郎：水道協会雑誌，No. 340, p. 26, 1963 年。
- 8) Helmers, E.N. Frame, J.D. Greenberg, A.E. and Sawyer, C.N. : Sewage and Industrial Wastes, Vol. 23, No. 7, pp. 884, 1951., and Vol. 24, No. 4, pp. 496, 1952.
- 9) 建設省：建設省土木研究所資料，第 621 号，1970 年。
- 10) 建設省：建設省土木研究所資料，第 762 号，1971 年。
- 11) 建設省：建設省三次処理技術開発協力会議報告書（その 1），1973 年。（印刷中）
- 12) 建設省都市局下水道部：第 2 回日米下水処理技術委員会会議録，1973 年。（印刷中）
- 13) Robert A. Taft Engineering Center : Public Health Service Publication, No. 999-WP-22, 1965.
- 14) 建設省土木研究所未発表資料。
- 15) 建設省都市局下水道部：第 1 回日米下水処理技術委員会会議録，1972 年。
- 16) U.S. Environmental Protection Agency : Process Design Manual for Carbon Adsorption, 1971.
- 17) 建設省：建設省土木研究所資料，第 769 号，1972 年。

土木学会創立 60 周年記念出版
土木工学ハンドブック編集委員会編

土木工学ハンドブック B5判 3000 ページ（上中下巻に分冊）

昭和 49 年秋・刊行予定

●旧版を全面的に編成がえおよび書き改め、土木工学の宝典たらしめるべく鋭意編集。総執筆 400 余名●