特集・オキシデーション・デッチ（酸化溝）

オキシデーションデッチ技術の展望

To spread the Oxidation Ditch Technology

柏 谷 衛*

1. わが国のオキシデーションデッチ技術の導入、発展過程

1971年9月に、筆者はオランダのデルフト市にあるTNO（工業技術研究所）衛生工学研究部にA. Pasveer 博士をお尋ねした。同博士は1964年8月に東京で開催された第2回水質汚濁研究会議に出席のため来日されており、その折に建設省土木研究所にお出でになって研究についての御意見をいただいたり、船で隅田川の水質汚濁の状況をご案内したことから、筆者のことも知っていただいていた。当時筆者は活性汚泥法のエアレーションの研究に興味をもっており、TNOでもその研究が行われていたので、博士からご紹介していただいて、担当の研究員の方にお目にかかった。

その時、博士がいわれたことは、「なぜ、日本ではオキシデーションデッチが広く普及しないのだろうか。気候的にもオランダより条件がよい。大都市では無理だが、小都市ではこの方法を採用していくのが経済的である。脱窒も簡単にこなせるし、硫酸第1鉄を加えれば、リンも除去できる。オランダでは全国でこんなにたくさんのオキシデーションデッチが運転されている」と云って、壁のピンで位置を示したオランダの地図を示してくれた。そのピンの数はすでに300以上あったような記憶が残っている。同博士は、「インド政府の中央衛生工学研究所が熱心にオキシデーションデッチの普及につとめてくれているので、技術指導のために何回かインドに出掛けてきた」といわれた。

私は渡欧前から、オランダのTNOを尋ねようと計画していたが、国内のオキシデーションデッチの状況についてはうかつにも詳しく調べていなかったために非常に困ってしまった。ただ1ヶ所知っていたのがN市観光地にある温泉旅館からの排水を処理するオキシデーションデッチであった。当時、それはうまく運転されておらなかった。筆者の判断では最終沈殿池の

底部がいくつかのホッパーに分れていたため、汚泥の返送が十分に行なわれておらず、ホッパーに残留した汚泥が嫌気性になってスカムとして浮上することであった。この話をして博士の日本についてのご質問には答えなかった。

私が話を聞かせていただいたTNOの研究では、オキシデーションデッチが食品工場排水など高有機物負荷の排水の生物処理に使用されてきており、敷地面積を減らすために水深を大きくとることが要求されていること。したがって、横軸のローターでは具合が悪いので、縦軸のローターを使用することで、表面かくはん式エアレータの調査を行っているとのことであった。

筆者が帰国後に2～3の人にお聞きしてみたが、当時はN市しか下水道のオキシデーションデッチは運転されていなかったようである。

それから7～8年を経過して、苫小牧市では占部下水道部長が中心となって、同市勇払地区の下水処理場の処理プロセスにオキシデーションデッチ法を採用した。同部長のお話によると、当時は国内で参考にすべきものはほとんど見当らなかったの、外国文献を頼りに同市の既設処理場の一隅にパイロットプラントを設置して、1年間にわたる実験を行ない、勇払処理場はその実験結果に基づいて設計したといわれる。またロータも地元の鉄工所に製作させたものだという。筆者が日本下水道事業団に在籍当時、同部長にお願いして2年間にわたって、このデッチの処理効率、設計および維持管理についてのデータ収集を行なってきた。その結果、非常に良好な処理成績が全シーズンを通じて得られていることが確認された。勇払処理場はその後に施設の増設が行なわれて、現在では2系列のオキシデーションデッチが運転されている。

日本下水道事業団の3年前の調査によると、わが国には、福井県の住宅団地の処理場、秋田県八郎潟の大潟村の処理場にもオキシデーションデッチが導入され、運転されていることがわかった。残念ながら水質試験はほとんどやられておらないので、処理成績は余りよ

* 東京理科大学教授，理工学部土木工学科
Mamoru KASHIWAYA

くわからなかった。日本下水道事業団では、近江八幡市の琵琶湖に浮ぶ沖の島の下水処理場にオキシデーションデッチを採用することにした。これは滋賀県の琵琶湖富栄養化防止条令による下水処理場からの排水基準（窒素、リンの濃度規制値）に適応しうる最も維持管理費の安い処理法として、オキシデーションデッチと急速汜過との組合せ処理を選んだものである。沖の島処理場も昨年夏供用を開始しており、本誌でも村上忠弘君が計画、設計について詳細に報告を行なうようである。

下水道の建設が将来は次第に小都市、村落に及び、小規模処理場が多数作られていく。その処理プロセスとしてオキシデーションデッチ法が処理効率の面から、維持管理の面からも優れていると考えられることから、建設省で技術評価制度によって、各水処理メーカーの所有するオキシデーションデッチの曝気装置の技術評価を行なうことにした。応募したメーカーは8社であり、現地実験データを提出した。現在、建設省から委託を受けた国土開発技術研究センターは「オキシデーションデッチ用機械式曝気装置技術評価委員会（左合委員長）」を設けて評価書の作成作業に取りかかっている。

日本下水道事業団では窒素とリンとを有機物と同時に除去することを目的とした沖の島処理場が供用を開始したこと、2次処理プロセスとしてもオキシデーションデッチは小規模処理場用として今後は数多く採用されていく可能性が大きいことから、同事業団の技術評価委員会（左合会長）に諮問して、プロセス全体についての技術評価調査を開始した。

このように、オキシデーションデッチはごく最近になって、わが国でも脚光をあびることになった。しかし、残念ながら Pasveer 博士はすでに現役から引退されてしまっておられる。

2. オキシデーションデッチの設計、運転に関する Pasveer 博士の考え方

Pasveer 博士のオキシデーションデッチ（以下、単にデッチという）は、通常の活性汚泥法の設備と異って独立した最終沈殿池をもっていない。基本的な設備は図-1に示すようにリング状の回路（溝）から成りたっている。Bにはロータが取り付けられており、これは酸素供給、下水と活性汚泥との混合、混合液循環の流速発生役目を果す。生下水はAから流入し、デッチ内の大量の混合液に混じってその有機物濃度が低下し

図-1 Pasveer博士のオキシデーションデッチの基本的な形

た後に好気性生物処理を受ける。デッチ容量は極めて大きく、MLSS濃度も高いので、池内の活性汚泥量は標準活性汚泥法の場合の10～30倍となる。したがってBOD-SS負荷は $0.05\text{kg}/\text{SS}\cdot\text{kg}\cdot\text{日}$ 以下である。混合液の固液分離はロータを停止することにより行ない、処理水はCより排出する。デッチ内に蓄積した汚泥は長時間にわたるデッチ内滞留によって好気性酸化されて無機化に近づくが、汚泥濃度を一定に保つためにその1部を引抜く。デッチの側部はロータ取付け部付近を除いて素堀である場合が多いが、砂質土では洗堀されやすいので、「そだ束」を埋め込んでいる。ロータとしては初期にはケスナーブラシが用いられたが、効率が悪いのでBaars博士らの開発による籠型ロータ、山形鋼ロータが用いられるようになった。このロータは活性汚泥法でも広く用いられており、従来のケスナーブラシ付エアレーションタンクがこの種のロータを装備することにより、容量を僅か15%までに縮少することができたといわれる。

デッチを用いた下水処理の消費エネルギー量について、博士は次のような結論を導びいている。すなわち、デッチ法でのエアレーションのための消費エネルギー量は標準活性汚泥法のエアレーションのための消費エネルギー量より明らかに多い。これは最初沈殿池を設置しないがために、流入下水のSSの酸素要求量分をカバーしなければならないこと。またデッチ内の活性汚泥を無機化に近づけるために余分の酸素を必要とす

るためである。しかし、デッチ法では標準活性汚泥法のような下水処理の他の部分で消費されるエネルギー量は極めて少なくなるので、下水処理全体での消費エネルギー量はデッチ法の方が少なくなる。

処理人口1500人、計画下水水量 150 $\text{m}^3/\text{日}$ (時間最大下水水量 360 $\text{m}^3/\text{日}$) では、図-1と同じ形式のデッチが設けられた。デッチ内の容量は 450 m^3 、籠型ロータ (径70 cm、長さ 3 m、回転数75rpm、7.5馬力) 1台が設置された。流入下水ポンプは75 $\text{m}^3/\text{時}$ で、スクリュウポンプのようにスクリーンを要しない型式のポンプが用いられる。ロータが運転されてエアレーションが行なわれているときには、下水は下水管内に貯留されて流入下水ポンプは運転されない。下水管は40 m^3 までの貯留能力をもっている。ロータの運転が停止して20分後に下水流入ポンプが作動する。この20分の間は活性汚泥が静止沈殿される。デッチの流出部には図-2に示す

図-2 デッチ内上澄水放流用サイフォン

サイフォンが設けられている。流入下水ポンプが20分後に作動して、水位がaからbに上昇する18分間は活性汚泥の沈殿 (総沈殿時間は38分間) が続けられる。水位はさらに上昇してcに達し、サイフォンd内に貯まっている空気が押し出されて、サイフォンがつながり、沈殿上澄水 (処理水) が排出される。流入下水ポンプが45~50 m^3 の下水を汲み上げ停止して40分後にロータが再び回転を始める。流入下水ポンプの運転を停止すると、デッチ内の水位が低下をはじめ、28~30分後に水位は再びaに戻ることになるので、サイフォンがつながっている間にロータが回転をはじめるというようなことは起らない。サイフォンの設計容量はcとfとの水位の差異から決められる。その調節は堰gの高さを変えることによって行なわれる。

大規模なデッチの計画、例えば家庭汚水と酪農工場排水とを同時に処理する計画下水水量500 $\text{m}^3/\text{日}$ (時間最

図-3 大規模オキシデーションデッチ

大下水量 1,200 $\text{m}^3/\text{日}$) の処理施設の場合には、図-3に示す形式のデッチが用いられる。デッチ内の容量は主デッチが500 m^3 、2本の副デッチが各125 m^3 、合せて750 m^3 である。主デッチには籠型ロータ2台 (長さ 3 m) が設置され、これは連続的に運転される。副デッチには各1台の籠型ロータ (長さ 2 m) が設置され、これは間欠的に運転される。副デッチ内の主デッチ寄りには扉が取り付けられており、この副デッチのロータが回転を休止している間には扉は閉じている。したがって副デッチの扉部の通水断面積は僅かなものになっている。扉設置の目的は2次流の発生によって副デッチでの活性汚泥の沈殿が妨害されるのを防ぐためである。

図-3に示した形式のデッチでは下水はほとんど連続して流入される。副デッチは交互に最終沈殿池としての役割を果し、処理水は副デッチの終端から流出していく。この終端には電動越流堰が設けられている。副デッチのロータは1回に1時間のみしか運転されず、ロータの運転によって再浮遊した活性汚泥は、再び主デッチに戻される。このロータの運転が停止して暫くしてから、副デッチは最終沈殿池の役割を果していくことになる。この2本の副デッチの運転操作によって処理水は連続的に流出する。

博士の設計によるデッチはすでに述べてきたように構造は簡単であり、しかもタイマーとリレーを組合せた簡単な電気回路を取り付けることにより、無人運転できるように設計されている。また、活性汚泥は無機化に近づくまでに好気性分解されているので、汚泥発生量が少いのが特徴である。デッチの構造は素堀りに近いものであり、側面の土崩れ防止のため「そだ束」が用いられている程度の構造であり、建設費は安価である。運転のためのエネルギー消費量は、1人・年間当たり18kWhを越えない範囲にあるといわれている。

3. オキシデーションデッチのその後の改良と発展

デッチ法はTNOにおける研究開発の後、欧米の水処理メーカーの手にゆだねられて、さらに改良が加えられていく。筆者の意見では、この改良はPasveer博士の考え方とは異なる方向で行なわれてきたともいえるものである。例えば、独立した最終沈殿池が設けられて、その中には機械的な汚泥かき寄せ機が取り付けられ、したがって汚泥返送のために返送ポンプが必要になった。下水のデッチ内の滞留時間は通常0.5～1.5日、浮遊物滞留時間は20～30日に短縮された。したがって、デッチ法は活性汚泥法の長時間エアレーション変法に近づいたといえる。また、最終沈殿池それ自体は通常の活性汚泥法で使用されているものと全く同じ構造であり、デッチ部分についてもコンクリート構造物として建設される場合が多くなった。わが国で建設されてきたデッチは、苫小牧市のもの（構造はコンクリート製）を除いて、古くに建設されたN市の観光地の処理場を含めてすべてこのような形態となっている。苫小牧市で設置されたのは、同市がPasveer博士の文献を調べ、実験を行なって設計したものであり、Pasveer博士の提案された大規模デッチに類似している（ただし、下水および汚泥の滞留時間はPasveer博士の提案よりも短い。したがって、引抜き汚泥は嫌気性消化されている）。

欧米の水処理メーカーによる開発と改良は、施設のコンパクト化に向けられ、水深を大にして大量処理を行なうに必要な設備、装置に向けられた。その成果の一つとして、縦軸エアレータを有するカラーセルデッチが開発された。また、アメリカではデッチの底部にUチューブを埋込み、縦軸の翼車と圧縮空気とを用いるデッチも開発された。また、デンマークでは2系列のデッチを用い、これを嫌気、好気に交互にくり返すことにより、脱窒を行なうデッチも開発された。

これらはいずれもわが国に技術導入されている。

デッチの設計では、活性汚泥法と同様にBOD-SS負荷（ r ）が用いられる。この r は式(1)によっても定義することができる。

$$r = Li/S \cdot t^* \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Li : BOD₅ (g/m³)

S : デッチ内混合液浮遊物濃度 (g/m³)

t^* : 下水のデッチ内平均滞留時間 (日)

ヨーロッパでは、 r を0.05 kg/kg・SS・日以下、

S を4,000 g/m³としている。ヨーロッパの下水はBODが高いことから、 Li を300 g/m³とすると、 t^* は1.5日となる。

亜熱帯であるインドでも設計指針が作られており、この両者を比較したのが表1である。表1の使い方として、ヨーロッパの指針は温帯の北側、すなわち北海道での基準値、インドの指針は亜熱帯や温帯の南側、

表1 ヨーロッパおよびインドの
オキシデーションデッチ設計指針

パラメータ	ヨーロッパ	インド
BOD-SS負荷 (kg/kg・SS・日)	0.05	0.1～0.3
酸素要求量 (kg・O ₂ /kg・BOD)	2.0	1.5～2.0
余剰汚泥発生量 (g/人・日)	25～30	5～10
汚泥乾燥床面積 (m ² /人)	0.35	0.025
所要敷地面積 (m ² /人)	1.2	0.125

すなわち、沖縄、南九州での基準値と考えれば、表1はわが国でも十分に適用できるものである。

4. オキシデーションデッチを今後わが国に普及させていくに当って実施すべき技術開発課題

日本下水道協会が昭和47年に発行した「下水道施設設計指針と解説」にもデッチの設計法が記載されており、その諸数値はヨーロッパで用いられているものと全く同じである。したがって、この設計指針を用いて設計される限り、良好な放流水質が得られるはずである。

しかし、ここにおいてヨーロッパとわが国との下水の水質の相違に注目しておかなければならない。わが国の下水はヨーロッパの下水に比べてBOD濃度は3/2～1/2に過ぎないが、総窒素濃度はほぼ等しい。また、総アルカリ度は1/2～1/3の軟水である。したがって、わが国の下水の処理では、ヨーロッパでの下水の処理よりも窒素の硝化に注目しなければならないことになる。

デッチ法ではBOD-SS負荷を標準活性汚泥法の1/6程度まで低めて運転しているが、ヨーロッパの夏の下水の平均水温は20℃を超えることが比較的少ない。したがって、BOD濃度が非常に高いこと（250～320 mg/l）もあって、処理水のBOD濃度は5～18 mg/lであるが、硝酸イオンは検出されず、亜硝酸イオン0.6～0.1 mg/lである。すなわち、硝化はほとんど起っていない。わが国の夏の下水の平均水温は25℃前後であるため、標準活性汚泥法による処理でも硝化には十分

注意しなければならないことが知られてきた。この硝化は総アルカリ度との関係で中途半端に行なわれる、すなわち、アンモニア性窒素と硝酸・亜硝酸性窒素とが共存する状態が生ずる。処理水中には炭酸化合物が極く僅かしか残留していないにもかかわらず、フラン瓶中でアンモニア性窒素が硝化反応を起して、測定されたBODは排水基準を上廻る場合すら生ずることになる。ヨーロッパではATU（アリルチオユリア）を用いてフラン瓶内の硝化を抑制して測定したBODをもって、放流水のBODと公式に認めているが、わが国ではそれが認められていない。

流入下水に含まれる窒素はすべてケルダール窒素である。いま、その濃度を30mg/lとし、有機性窒素とアンモニア性窒素の比率を6:4とする。有機性窒素は加水分解してアンモニア性窒素になる際に、有機性窒素1mg当り総アルカリ度として3.57mgを放出する。また、アンモニア性窒素1mgはそれが硝化される際に総アルカリ度として7.14mgを消費する。したがって、このケルダール窒素1mgを硝化するに必要な総アルカリ度は理論的には150mgとなる。すでに述べてきたように、わが国の下水は軟水で総アルカリ度は100mg程度しか含まれていない。処理水に含まれる総アルカリ度は零にするわけにはいかないので、最低20mgを残留させるものとする、これをアルカリ剤の添加によって補給するものとすれば、70mgが必要となる。それでないと、硝化が中途半端になってBODが上昇する危険性があるのと、pHの低下によって活性汚泥の生育が障害を受けて処理がうまく行なわれなくなる。

この不足する総アルカリ度を脱窒によって補うことは可能である。硝酸性窒素1mgはこれが生物学的に脱窒される際に総アルカリ度3.57mgを放出する。したがって、総アルカリ度の不足分70mgは硝酸性窒素19.6mgが脱窒されることによって補いうるわけである。これは総窒素の除去率として65.3%に相当し、デッチでは達成可能な数値である。脱窒には水素供与体が必要であるが、これは流入下水に含まれている炭素化合物（BOD）を用いることができる。硝酸性窒素1mgを脱窒するに必要なBODは3.5mg程度といわれているので、硝酸性窒素19.6mgを脱窒するに必要なBODは68.6mgとなる。通常の下水のBODは120~150mg/lが含まれているので、脱窒が行なわれても活性汚泥を構成する微生物の栄養源が不足することにはならないので、デッチはうまく処理が行なわれていくことになる。

このような硝化・脱窒を組合せて処理を行なうには、デッチの構造、機構をそれができるように設計しておくなければならない。脱窒反応は下水と混合液を溶存酸素がほとんど零の状態ではゆるやかに攪拌してやることによって生じさせることができる。脱窒反応が終了した後は、残留するBODの酸化、ケルダール窒素の硝化までを行なう。このような2段階の生物反応は間欠運転のデッチでは行ないやすいが、連続運転のデッチでどのようにして行なっていくかは、今後の技術開発の目標の1つである。現在、建設省が行なっているデッチの曝気装置の技術評価は、混合液への酸素導入を如何に経済的に行なうかをねらったものであり、技術向上の1ステップであることには違いない。しかし、それだけではデッチを年間を通じてうまく運転し、極めて優れた処理水を常に得るデッチ法の技術は完成しない。この技術は下水が硬水で総アルカリ度250~350mg/lに達する欧米諸国では必要のないものであり、わが国の下水の水質の宿命から独自の技術開発を要する課題である。

参考文献

- 1) Pasveer, A. "New Development in the Application of Kessener Brushes (Aeration Rotors) in the Activated-Sludge Treatment of Trade-waste Waters", Waste Treatment edited by P. C. G. Isaac, p. 126~155 Pergamon Press Inc. (1960)
- 2) Mara, D. D. "Sewage Treatment in Hot Climates" p. 103~108, John Wiley and Sons Inc (1976)
- 3) 日本下水道協会編「下水道施設設計指針と解説」p. 339 (1972)