海外事情

ケープ・タウンにおける下水の脱窒処理

Nitrogen Removal from Sewage in Cape Town.

岩井 重久*・山本 康次**

富栄養化対策としては磷の除去が中心として考えられるが、本来、窒素と磷の除去を併用する必要がある（特に高水温時）との考えから、南アフリカにおいては積極的に窒素および磷との除去対策がとられている。そして、南アフリカ国のGeneral Standard として $\text{NH}_3 - \text{N}$ の規制がとり入れられ、その値は $10\text{mg} / \ell$ である。

ここに紹介するのは Bardenpho process を改良した Modified Bardenpho process、多段の循環水路曝気法（Orbital plant）および Diffused aeration plant である。

1. Cape Flats 下水処理場（Modified Bardenpho process）

Bardenpho process¹⁾は図-1に示したように汚水は第1脱窒槽→硝化槽→第2脱窒槽→脱気槽→最終沈殿池を経て放流される。Single-sludge systemで

あり、脱窒は主に硝化槽から第1脱窒槽への硝化液の循環により、流入下水中の炭素源を利用して行なわれる。流入下水中の炭素源を電子供与体として利用するのでメタノール等の添加を必要とせず、処理に必要な酸素量も低減できる。さらに、第2脱窒槽を設置することにより脱窒率を高めている。

また Bardenpho process では、窒素だけでなく磷の除去率も高いとされている。これは一般に次の原因によるとされている。第1脱窒槽内ではanoxic condition（硝酸性窒素が最終的な電子受容体である状態）のみならず、槽の後半においてはanaerobic condition が存在し、汚泥中の磷が一旦、液中に放出される。そして磷の保持量が少なくなった汚泥は、次の硝化槽において過剰に磷を摂取する。

この磷除去のためのanaerobic tank を第1脱窒槽の前に設け、磷の生物学的除去を高めたのが Modified Bardenpho process²⁾である。

図-1 BARDENPHO PROCESS

* 京都大学名誉教授、IAWPRC名誉員、工博 Shigehisa Iwai

** 大阪府公衆衛生研究所 Yasutsugu Yamamoto

表 1 設計諸元 (CAPE FLATS)

DWF	50 M ℓ / day	Anaerobic zone	1041 m ³
COD	30000 kg O ₂ / day	Primary Anoxic zone	2600 m ³
BOD ₅	15000 kg O ₂ / day	Aeration zone	7360 m ³
TKN	2930 kg N / day	Secondary Anoxic zone	2600 m ³
		Re-aeration zone	1041 m ³

この処理方式によって稼動している Cape Flats 下水処理場は 2 年前に完成し、Cape Town の都心部の下水の約 1/3 を処理しており、処理能力 5 万 m³ / d の plant が 3 系列ある。

表 1 に Cape Flats 処理場の設計諸元を示した。流入下水はスクリーン、最初沈殿池を経て脱磷を目的とした anaerobic zone (流入下水に対する滞留時間 (以下同様) : 1 時間) に流入する。そして第 1 脱窒槽 (anoxic zone、滞留時間: 2.5 時間) において、硝化槽からの循環水の脱窒が行われる。硝化槽 (滞留時間: 7 時間) では微細気泡を用いて曝気を行い、酸素の溶解効率を高めている。硝化槽から第 1 脱窒槽への循環は流入汚水量に対し 4 倍で行なっている。第 2 脱窒槽 (滞留時間: 2.5 時間) での脱窒は内生呼吸型のものが中心であり、全体での脱窒率の向上に役立っている。再曝気槽 (滞留時間: 1 時間) は最終沈殿池での溶存酸素の確保と磷の再溶解を防止するためにある。最終沈殿池からの放流水は広大な oxidation pond を経て海に放流されている。

最終沈殿池まででの窒素除去率は 80~90% あり、放

流水は Total-N で 5~15 (原水: 75) mg/ℓ, NH₃-N で 0.5 (原水: 50) mg/ℓ 程度である。初沈汚泥と余剰活性汚泥とは嫌気性消化処理を受けるが、その前または後で 70°C、30 分の加温消毒を行う。消化汚泥は天日乾燥したり、汚泥ラグーンに投入する。

また、Cape Flats 処理場では放流水の再利用 (中水道) の pilot 施設 (4500 m³ / d) があり、再利用における技術的・経済的問題の検討を行なっている。その処理過程は凝集沈殿—前塩素処理—砂ろ過—活性炭吸着—後塩素処理である。

2. Bellville 下水処理場

Bellville 下水処理場には Orbital Plant (循環水路曝気、図-2) と Diffused Aeration Activated Suldge Plant の 2 つの施設があり、どちらも高い脱窒率を示している。

図-2 Orbital Plant

表 2 設計諸元 (BELLVILLE)

PARAMETER	ORBITAL PLANT	DAAS PLANT
Loading		
Average DWF (m ³ / day)	9000	23000
Peak factor DWF	1.8	1.8
Peak factor WWF	3.0	2.2
Raw sewage COD (mg / ℓ)	700	1450
Raw sewage TKN (mg / ℓ)	50	60
Design		
Retention at ADWF (hrs)		
in aeration zone	10	36
in anoxic zone	NA	4.5
Mixed liquor return factor (DWF)	3	6
Oxygenation Capacity (kg O ₂ / h)		
minimum	220	1000
maximum	280	2500

表2にOrbital Plant (9000 m³/d)とDiffused Activated Sludge Plant (23000 m³/d)の諸元を示す。

2・1 Orbital Plant

Orbital Plantにおける酸素供給は回転平滑円板によるエアレータを用い、供給酸素量の調整はエアレータの回転数とそれに設置するパドル数とによって行う。こうした曝気水路の前・後には初沈・終沈を設け、終沈の下層水は、流入下水の3倍量をもって水路の始端へ返送させている。

Orbital Plantを多段構造とした場合、特に脱窒槽を設置しなくとも、通常の活性汚泥プロセスに比べて、放流水中のTotal-Nが低くなることがあるとDrewsらは報告している^{3), 4)}。

高い脱窒率が得られるのは循環水路内にaerobicな部分(エアレータ通過後)とanoxicな部分(エアレータ通過後DOが消費された所からエアレータ前まで)とがあり、混合液はaerobicな部分で硝化され、anoxicな部分で脱窒されるためであるとされている。

このような現象は、間欠的な曝気を行なった場合や、低いDOの条件で曝気れ気なった場合などにも生じており⁵⁾、筆者らの通性脱窒曝気法(FDE法)⁶⁾と同じ原理である。

Bellville下水処理場のOrbital Plantでは主として家庭下水を処理しており、曝気槽(滞留時間:10時間)には6個のエアレータがあり、それぞれ21個のパドルがついている。

Orbital Plantにおける窒素除去率は約85%(流入窒素濃度は55mg/l)であり、放流水の窒素濃度は10mg/l以下の値が得られており、窒素の除去率もFDA法の場合と類似している。そして、放流水の一部は砂ろ過後工業用水として利用されている。余剰・初沈汚泥は安定化池へ導く。

2・2 Diffused Aeration Activated Sludge Plant (DAAS Plant)

Diffused Aeration Activated Sludge Plantは1979年に完成した。そのフローシートを図-3に示す。槽はanoxic zone(滞留時間:4.5時間)と微細気泡

図-3 DAAS Plant

を用いるaerobic zone(滞留時間:36時間)とに分かれており、流入下水(家庭下水+工場排水)は最初沈殿池を経ずに直接aerobic zoneに流入する。

そして、流入下水量に対して最大で6倍量の沈殿池内下層水をanoxic zoneに返送し、そこで内生呼吸による部分的な脱窒を行なっている。

aerobic zoneは3つの領域に分けられており、それぞれに対する空気量の最大供給量は2:1:1になっている。それぞれの領域に対する空気量を調整することによって、aerobic zoneでは単に有機物の酸化・アンモニア性窒素の硝化だけでなく、脱窒反応も進行させている。すなわち、低DO条件を与えることにより通性脱窒曝気(FDA法)による脱窒が進行しているのである。このプラントの完成時よりも1年半前に、われわれは彦根市し尿処理場でFDA法による施設を完成させ、それ以来飲料適の放流水を出しつづけていることは、注目に値すると考える。

次にこのDiffused Aeration Activated Sludge Plantにおける流入および流出水の水質を表3に示す。放流水中のNH₃-Nは1mg/l以下であり、全窒素でも4mg/lである。そして、窒素の除去率は90%以上に達しており、CODの除去率も94%程度の値が得られている。汚泥処分はOrbital Plantにおけるのと同様である。

表3 Results of Plant Operation

	RAW	FINAL
pH	6.9	6.9
COD (mg/l)	1300	80
TKN (mg/l)	45	2
NH ₃ -N(mg/l)	28	0.5
NO ₂ -N(mg/l)	—	0.1
NO ₃ -N(mg/l)	—	2
SS (mg/l)	600	12

3. おわりに

以上、南アフリカにおける脱窒・脱磷の実際を紹介した。

脱窒においては、メタノールなどの有機炭素剤が通常必要とされるが、南アフリカにおいては流入下水中の炭素を利用し、85~90%という高い脱窒率が得られている。我国のように下水中のアルカリ度が低い場合にはアルカリ剤の補給の必要性も考えられるが、筆者らのFDA法においては薬品添加なしに85%程度の脱

窒率が得られている。また、南アフリカでは、脱窒においても凝集剤を添加せず、脱窒と同様、生物学的方法が採用されており、処理コストの低減がはかられている。今後、我国においてもこのような脱窒・脱窒法の発展が望まれる。

以上は筆者の一人(岩井)が昭和57年3/4月の IAWPR, 第11回 Cape Town 大会へ出席した際に、Technical Visitに参加して得られた知見を、他の筆者(山本)が種々の文献を参照しながら取りまとめたものである。

本誌の本年2月号に特集された諸文献^{7), 8)}を参照すると、各種の脱窒処理法にはそれぞれの歴史的背景があることがわかる。高速・高負荷の活性汚泥法が発達した西独では、2段処理の型式をとって活性汚泥法の後に曝気水路法を設けて脱窒しているし、最初に酸化溝が開発されたオランダでは、それを改良して脱窒することを考え、南アフリカもそれに習った。われわれは長時間曝気法による小規模下水処理場での不十分な曝気による運転結果にヒントを得て、彦根市のFDA法を開発したが、これは微細気泡によるケープタウンの上記2か所の下水処理場の方式ときわめてよく似るという結果を生じた。われわれは硝化・脱窒が同時にはじめから進行すると考えたが、シュトルテンボルクの説⁸⁾やケープタウンの下水処理場の例のように、流入下水と返送水とが混合された直後の短時間内に脱窒が優先して行われるようであるので、FDA法の機能解析

に当っては、今後この点を重視しなければならないと考えている。生物学的脱窒効果の向上も当然はからなければならない。

われわれは琵琶湖の水質を悪化させないために、必要に迫られて、われわれの研究グループの手でFDA法を開発した。南アフリカでは水資源が乏しく、下水を再利用する前提のもとに、本報告に記されたような諸方法を国の最優先研究課題として開発せざるを得なかった。国が異っていても、ともに必要は開発の母であったとも言えるであろう。

参 考 文 献

- 1) Barnard, J. L. (1974) Cut P and N without chemicals. Wat. Wastes Eng'ng (U.S.) 11, 33
- 2) Sutton, P. M. (1980) Nutrient removal in suspended growth systems without chemical addition. J. W.P.C.F. 52, 98
- 3) Drews, R. J. L. C. et al (1972) The "Orbal" extended aeration activated sludge plant, J.W.P.C.F. 44, 21
- 4) Drews, R. J. L. C., Greeff A. M. (1973) Nitrogen elimination by rapid alternation of aerobic/"anoxic" condition in "Orbal" activated sludge plants Water Research, 7, 1183
- 5) 岩井重久 他(1981) 長時間曝気法における連続曝気時と断続曝気時との脱窒効率, 水処理技術, 22, 8, 1
- 6) 岩井重久 (1982) 下水脱窒処理の研究動向, 環境技術, 11, 2, 136
- 7) 田中伊三雄 (1982) 欧州における下水脱窒処理の動向, 環境技術, 11, 2, 141
- 8) G. J. M. シュトルテンボルク (1982) シュライバー式向流円形曝気槽における生物学的脱窒, 環境技術, 11, 2, 146