技術報告

大阪海面埋立北港廃棄物処分場 浸出余水の好気嫌気循環式窒素処理

福 永 勲 *・西 尾 孝 之 *・伊 藤 尚 夫 *

大阪市北港廃棄物処分地南地区は、1985年（昭和60年）に供用が開始され、9年が経過して、海面埋立率は1993年（平成5年）3月には約54%に達した。南地区の海面埋立が進捗するにしたがって、埋立廃棄物から溶出する窒素濃度は増大し、総窒素濃度は最高値約67mg/lに達している。あと数年は供給されるにしても、それほど長期間水面が広く残存することを期待できない現状において、2・3区を経由して外海へ放流する場合でも、あるいは周辺海域へ直接放流するならばなおさら厳しく対策を講じなければならない事態になっている。

一方、脱窒方法について、近年はとくに生物学的方法の発達が著しい。例えば、古川ら¹⁾は固定化硝化菌および固定化脱窒菌を用いて海面埋立浸出余水の窒素除去方法を提案している。また、好気嫌気循環式生物処理法による窒素処理が盛んに行われている。硝化菌の増加を目的としたエアレータ内での循環法は高見澤ら²⁾が報告しているが、本報で本処分地に適用しようとしたものは、エアレータ内で充分硝化作用を受けた浸出余水を、有機物が充分存在し酸素欠乏状態にある自然酸化地、とくに拡散防止膜の中へ返送して脱窒する方法である。本報では窒素挙動の現状を解析するとともに、必要な返送量とその時期待される窒素除去量など各種の設計諸元と処理効果を求める実験を行った。

1. 海面埋立廃棄物浸出余水中における窒素挙動の現状と今後の予測

1-1 南地区窒素濃度の経年・経月変化

まず、大阪北港廃棄物処分地南地区1区浸出水の今日までの窒素濃度の経年経月変化の特徴を解析し、残存水面が少なくなっていくときの水質濃度変化につい

図-1 大阪北港廃棄物処分地南地区採水地点

て今後の予測をたてることとした。なお、北港海面埋立廃棄物処分地の地図、処分方法などの詳しくはすでに報告した³⁾。

図-1に示す採水地点における1985年度から1993年度までの総窒素とアンモニア性窒素濃度の経月変化を図-2に示す。これをみれば、1985年5月から1987年2月まで先行埋立のみの時期は、窒素濃度の増大はわ

図-2 1区内No.1地点における総窒素とアンモニア性窒素の挙動

* 大阪市立環境科学研究所
Isao FUKUNAGA, Takayuki NISHIO, Hisao ITO

ずかであるが、海面埋立が開始された1987年10月頃から急激に増大し始め、その上昇曲線は海面埋立面積の増大と一致しているようである。海面埋立が進捗するにしたがって窒素濃度はほぼ比例して増大し、1991年1月には $50\text{mg}/\ell$ を超えるに至った。そして、海面埋立を中止して2層目埋立を実施している間には、総窒素およびアンモニア性窒素は急激に減少し、1991年9月海面埋立が再開されると再び増大を始めた。この現象は、BOD、CODについて解析したように⁴⁾埋立廃棄物からの溶出と自浄作用による脱窒現象が併存するものである。

1-2 窒素挙動から見た将来予測

高率酸化池放流水について、海面埋立完成面積と総窒素濃度（ $T-N$ ）およびアンモニア性窒素（ NH_4-N ）の関係をプロットした結果を、図-3に示す、その結果、ほとんど一次直線に回帰しているようである。さらに、この図を延伸して、図に示すように残存海面面積がほぼなくなる時点、すなわち埋立完成面積が60万 m^2 程度になる時点の濃度を北地区の経過も考慮に入れて予測すれば、総窒素は約 $120\text{mg}/\ell$ となることわかる。

2. 浸出余水窒素対策

2-1 現行の水処理施設

現在北港廃棄物処分地では図-4に示すフローの水処理施設と凝集沈殿装置が設置されている。そのCOD対策で設置されている凝集沈殿処理施設での窒素除去効果は、多くを期待出来ない。そこで、現施設の改

図-3 海面埋立完成面積と総窒素濃度およびアンモニア性窒素の関係と将来予測

図-4 南地区浸出余水処理装置フロー

造や付加的設備でより窒素除去効率を上げようとしたものである。

ここで、

V_1, V_2 : それぞれ自然酸化池、高率酸化池の水量, m^3

V_0, V_1 : それぞれ浸出余水発生量（排出水量と一致する）、返送水量, m^3/day

CH_0, CH_1, CH_2 : それぞれ浸出余水、自然酸化池、高率酸化池中の有機性及び NH_4-N 濃度, mg/ℓ

CO_1, CO_2 : それぞれ自然酸化池、高率酸化池中の亜硝酸性、硝酸性窒素濃度, mg/ℓ

k_{H1}, k_{H2} : それぞれ自然酸化池、高率酸化池中の有機性及び NH_4-N の硝化速度係数, $1/\text{day}$

ko_1, ko_2 : 自然酸化池、高率酸化池中の亜硝酸性、硝酸性窒素の脱窒速度係数, $1/\text{day}$

図-5 生物学的窒素除去における自然酸化池、高率酸化池のマスバランス

2-2 現施設の改良を想定した好気嫌気循環式生物学的窒素処理方法

(1)理論的考察

まず、その理論的考察を行う。まず、自然酸化池と高率酸化池のマスバランスを図-5のとおりとし、それぞれ一次反応的に硝化、脱窒が起きていると仮定して下の諸式が成立する。このとき、浸出余水中には亜硝酸性、硝酸性窒素は存在しないものと仮定した。

自然酸化池について、

$$\begin{aligned} \text{有機性およびアンモニア性窒素のマスバランス,} \\ -V_1(dC_{H1}/dt) = v_0C_{H0} - k_{H1}V_1C_{H1} + v_1C_{H2} - \\ (v_1 + v_0)C_{H1} \quad (1) \end{aligned}$$

亜硝酸、硝酸性窒素のマスバランス、

$$\begin{aligned} -V_1(dC_{O1}/dt) = -k_{O1}V_1C_{O1} + k_{H1}V_1C_{H1} + \\ v_1C_{O2} - (v_1 + v_0)C_{O1} \quad (2) \end{aligned}$$

高率酸化池について

$$\begin{aligned} \text{有機性およびアンモニア性窒素のマスバランス,} \\ -V_2(dC_{H2}/dt) = -k_{H2}V_2C_{H2} + (v_1 + v_0)C_{H1} - \\ (v_1 + v_0)C_{H2} \quad (3) \end{aligned}$$

亜硝酸、硝酸性窒素のマスバランス、

$$\begin{aligned} -V_2(dC_{O2}/dt) = -k_{O2}V_2C_{O2} + (v_1 + v_0)C_{O1} - \\ (v_0 + v_1)C_{O2} \quad (4) \end{aligned}$$

(3)実験装置と方法

用いた好気嫌気循環式窒素除去実験装置は、図-6のとおりである。この中で、No.1およびNo.2は好気的処理装置で、No.3およびNo.4は嫌気的処理装置である。No.1とNo.2の好気的装置では約1ℓ/minの空気量で通気した。No.3とNo.4の嫌気的装置では水表面にうすい透明ラップを敷いて表面からの酸素溶入を防止して嫌気的とした。No.2からNo.3へすなわち好気槽から

容器：塩ビ性200×200×500mm

A：エアレーションポンプ

B：循環用ポンプ

図-6 好気嫌気循環式窒素除去実験装置

嫌気槽へはポンプで送水し、嫌気槽から好気槽へはサイホンで返送することとした。従って、No.1は好気的処理のみの場合、No.2およびNo.3は好気嫌気循環式処理装置の場合、No.4は嫌気装置のみの場合の窒素挙動を想定した。この装置を用いて、まず好気式のみの場合と嫌気式のみの場合と比較しながら、好気嫌気循環式の窒素除去による窒素除去能を調べた。さらに、No.1と全く同じ装置を5個設置し、通気量と水温を変化させて硝化のための必要空気量、温度との関係を調べた。

① 実験条件1

No.1	好気性エアレーション量	1ℓ/min
No.2	好気性	"
No.3	嫌気性	} 嫌気好気循環
No.4	嫌気性	

上に述べたように、まず好気式のみの場合と嫌気式のみの場合と比較しながら、好気嫌気循環式の窒素除去能を調べた。ここで、No.2とNo.3の間の循環量は0.537ℓ/min=773.2ℓ/dayで、容量18ℓとして、平均滞留時間23.3日である。また、用いた検水は自然酸化池拡散防止膜内の浸出余水である。

本実験における総括酸素移動容量係数は K_{La} は、硫酸銅-亜硫酸ソーダ法によって測定した。Cuとして2mmol/ℓ約100ml、10%Na₂SO₄16mlを約20ℓの実験槽に投入して、初期溶存酸素をほぼ0とした後、通気を開始し、随時採水して、ウィンクラーアジ化ナトリウム変法によって溶存酸素を測定した。その後酸素欠乏量と時間との関係を片対数にプロットし、勾配から総括酸素移動容量係数を算定した。

その結果、通気量0.2ℓ/min(24℃)で $K_{La}=0.023$ 1/min, 0.5ℓ/min(22, 26℃)で $K_{La}=0.080$ 1/min, 1ℓ/min(26℃)で $K_{La}=0.20$ 1/min, 1ℓ/min(27℃)で $K_{La}=0.13$ 1/minとなった。すなわち、これらの実験における K_{La} は、0.2~0.13 1/minであることがわかった。

② 実験条件2 (硝化速度と空気量、水温の関係)

さらに、硝化のための必要空気量、温度との関係を調べた。用いた検水は①と同様に自然酸化池拡散防止膜内の浸出余水である。

No.1	空気量小0.20ℓ/min, 水温20℃ (恒温室)
No.2	中0.50ℓ/min, 20℃ (恒温室)
No.3	大1.0ℓ/min, 20℃ (恒温室)
No.4	中0.50ℓ/min, 10℃ (低温室内)

№.5 中0.50ml/min, 30℃ (恒温フラスコ)

(5)実験結果

① 好気嫌気循環式窒素除去実験

まず、実験条件1の結果に基づいての経日的測定結果の一例を、それぞれ図-7に示す。

まず、実験に使用した検水は、すでに述べたように自然酸化池拡散防止膜内の浸出余水で、COD、総窒素の初期値は、46.8~55.2, 27.15~32.5mg/ℓであった。特徴的なことは、アンモニア性窒素の初期値は高くなかったが、実験開始後7日目でアンモニア性窒素が増大した。これは、蛋白などの有機性窒素が分解したものと考えられる。

COD減少曲線で、一次式にしたがって減少すると仮定すると、減少係数 K_1 は0.023 1/day となった。

総窒素について、嫌気槽のみの№.4では初期にはほとんど減少せず、ラップによる通気防止効果が薄れて空気が多少は入り込んだとみられる20日以降多少減少した。好気槽のみである№.1も多少減少しているが、これは微小生物空間 Microbiosphere に嫌気的な部分が存在し、有機物すなわち水素供与体が存在して、脱窒が起こったものと考えられる。一方、№.2が好気的でその $\text{NO}_3\text{-N}$ を供給される№.3嫌気槽は他に比べてかなりの速度で窒素除去が可能であることを示した。先に予測した海面埋立最終総窒素濃度120mg/ℓも、20~30mg/ℓまで減少可能と思われる。

② 硝化速度と水温の関係

実験条件2に基づいて、硝化のために必要な空気量と硝化速度との関係 (エアレーション量0.2, 0.50, 1.0ml/min, 水温いずれも20℃), 温度 (№.4-10℃, №.5-30℃) との関係を調べた。その結果、水温が高く、有機物が存在すれば、系全体が好気的であってもその程度によっては水温約30℃の№.5が最も早い速度で総窒素が減少した。硝化に対する空気量の影響をみれば、№.1は空気量が最も少なく硝化が遅れ、№.2, №.3の間にはそれほど影響がみられなかった。水温の影響をみれば夏季水温の№.5は、圧倒的に硝化速度が高いが、冬季水温に近い№.4でも滞留時間40日でほぼ硝化が可能であることがわかった。

(6)考察と今後の展望

これらの実験結果について一次反応式で減少するとした時の減少速度係数を、表1に整理する。その結果、平均すれば、自然酸化池の硝化速度係数 $k_{H1} = 0.0013$ 1/day, 脱窒速度係数 $k_{O1} = 0.0128$ 1/day, 高率酸化池の硝化速度係数 $k_{H2} = 0.1558$ 1/day, 脱窒速

図-7 実験1におけるCOD, T-N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の経日的変化

表1 COD, 脱窒, 硝化係数

No.	実験条件	COD	T-N	NH ₄ -N
実験1	好気性のみ	0.0070	0.0016	0.1659
	好気 } 循環式	0.0199	0.0017	0.0811
	嫌気	0.0163	0.0098	0.0119
①	嫌気性のみ	0.0063	0.000	0.000
実験2	好気性のみ	0.0046	0.0070	0.1457
	好気 } 循環式	0.0050	0.0113	0.1448
	嫌気	0.0048	0.0158	0.0195
②	嫌気性のみ	0.0043	0.0035	0.0027
実験係数	20℃, 0.2 l/mi	—	0.0015	0.0350
	20℃, 0.5 l/mi	—	0.0020	0.1714
	20℃, 1.0 l/mi	—	0.0027	0.1021
	10℃, 0.5 l/mi	—	0.0014	0.0132
	30℃, 0.5 l/mi	—	0.0024	0.2284

単位: 1/day

図-8 窒素対策施設の提案図

度係数 $K_{O_2} = 0.0043 \text{ 1/day}$ と算定された。以上の結果から、予想される海面埋立最終面における総窒素濃度 120 mg/l は、滞留時間180日でほぼ $30 \sim 40 \text{ mg/l}$ ま

で減少可能と思われる。そこで、図-8のような窒素除去施設を考案し、エアレータ6台のフル稼働と $3,000 \text{ m}^3/\text{day}$ の余水返送設備（ポンプとホースのみ）の付設で可能であることがわかった。

3. 要 約

以上、1区浸出水中における窒素挙動と対策について検討を行った結果を要約すれば、以下のとおりである。
(1) 窒素濃度は、夏季に低く、冬季に高い値を示しつつ、残存水面が減少するに従って増大し、海面埋立が中止されている間は減少するとはいえ、1993年度の年平均値約 38 mg/l に達し、その74%はアンモニア性窒素であった。そして、最終的には、 120 mg/l に達すると予測された。

(2) 6基のエアレータのフル稼働と浸出余水返送法の組み合わせによる好気嫌気循環式生物学的脱窒法を検討した。その結果、高率酸化池から自然酸化池へ $3,000 \text{ m}^3/\text{day}$ の高率酸化池水を返送すれば、総窒素は約 $30 \sim 40 \text{ mg/l}$ まで浄化されると予測された。

参 考 文 献

- 1) Furukawa, K., Ryo, S., Fujita, M., Fukunaga, I., : J. Fermentation and Bioengineering, 77, 413-418 (1994)
- 2) Takamizawa, K., Fukunaga, I., Inoue, Z. : Environmental Technology, 14, 981-987 (1993)
- 3) 福永 勲: 水処理技術, 35, 221-230 (1994)
- 4) 福永 勲, 山本 攻, 井上善介: 第2回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 273-276 (1991) 廃棄物学会論文誌, 6(2) 印刷中 (1995)

わかり易い最新の環境計測・分析技術講座

A 5 判 137頁 定価3,900円 (送料350円)

- 環境計測や分析業務に従事しておられる技術者へ、最新の技術をより深く理解するために
- その他環境関連分野でご活躍の方へ、計測、分析で得られた情報を十分活用するために
- 環境計測・分析分野への入門書として最適です

著 者 宗森 信 (大阪府立大学名誉教授) 日色 和夫 (京都教育大学教授)
黒田 大介 (大阪府立工業研究所) 青木 豊明 (大阪府立大学)
中原 武利 (大阪府立大学) 奥野 年秀 (兵庫県立公害研究所)
溝畑 朗 (大阪府立大学付属研究所)

発行 環境技術研究協会/〒530 大阪市北区天満2-1-20 TEL 06-357-7611