

学位論文題名

準好気性廃棄物埋立地における浸出水安定化に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

廃棄物埋立処分場は人々の生活や事業活動から発生する廃棄物処理の最終段階に位置する重要な施設である。その施設の必要性については万人の認めるところであるが、いざ自分の近くの土地に設置されるとなると反対に転ずる人が多い。その主な理由は埋立地による環境汚染とその場に埋立地という迷惑施設がいつまでも存在し続けるという点にある。そのため、埋立地による環境汚染要素を可能な限り早くなくし、普通の土地に戻すこと、つまり、埋立地の早期安定化が大切である。

さて、準好気性埋立構造が有機物を多く含む埋立地の安定化、特に浸出水の安定化に有効であることは、実際の埋立地で観測された浸出水中有機汚濁濃度データから認められ、日本では多くの埋立地がこの構造を取っている。しかし、なぜ、準好気性構造が浸出水中の有機汚濁濃度を減少させるのか、また、その機能を効果的に発揮させるためにはどのような設計を行えばよいのか、科学的に不明な部分が多い。

そこで、本研究では、準好気性構造はどのような機構で浸出水の早期安定化に寄与するのかを解明すると共に、準好気性構造の機能を発揮させるための主要な設計因子である浸出水集排水管の管径や設置間隔について研究をおこなった。

以下に、本研究の内容をまとめる。

第1章は、本研究の背景として準好気性埋立構造や浸出水集排水管網について説明し、研究の目的・意義、本論文の構成について述べた。

第2章は、外気と異なった温度にある埋立地内に埋設された1本の集排水管に流れる空気量を計算する計算式を、ベルヌーイ式や熱伝達式を基本にして構成した。その式の有効性を簡単な室内実験装置で検証した。さらに、実埋立地規模での計算に適用し、管内を流れる空気流速に影響する因子を明らかにした。管内に空気が流れ込む駆動力は、埋立地内外の温度差による浮力(煙突効果)であり、埋立地表面を流れる風の風速(霧吹き効果)であること、わずかな温度差で0.5 m/s程度の風速が得られること; そのためには、管の両端が大気に開放されていることが必要であること、そしてこのことが準好気性構造という設計思想の根幹となっていることを指摘した。また、浸出水集排水管への空気流入速度は、埋立深さ、管壁の粗度(目詰まり)、埋立地内外の温度差によって大きな影響を受けること、また、より大きな速度で外気を流入させるように管径を設計する立場からいうと、温度差や埋立深さは影響しないが、管長さは大きな影響を持っているいて、管長さが75 mを超えると、管径は1 m程度にするのがよいことなどを明らかにした。

第3章は、浸出水集排水管が管網として形成されている場合の管内流速を計算する計算式を整理し、計算プログラムを開発した。これを使って、簡単な管網例について計算し、管間隔、幹線管径と枝管管径、内外の温度差、などの影響について検討し、管径や管間隔の設計を考える上での情報として整理した。その結果、浸出水流出口端への空気流入速度に

大きく影響を与える因子は、埋立地内外の温度差、管内の粗度（目詰まり）であること、埋立深さについてはこの場合はほとんど影響しない因子であることなどを明らかにした。また、浸出水流出端への空気流入速度を大きくするように設計する立場からいうと、底部集水管幹線から枝管を出す管間隔は小さい程よいこと、底部集水管幹線の管径は1 m程度がよいこと、枝管は大きいほどよいことを明らかにした。さらに、ここで開発したプログラムをより複雑な管網にも適用できた。

第4章では、微好気性ゾーンにおける TOC とアンモニア性窒素除去能力を実験的に検討した。すなわち、2, 3 章の研究により、浸出水集排水管内には大量の空気が流れ、管内の酸素濃度は大気と同じ状態にあるとみなせることが分かり、これにより集排水管近傍の碎石層、及びごみ層には好気性のゾーンが形成できることが分かった。そこで、ガス中酸素濃度の低い、微好気性の碎石層やごみ層における、浸出水中の TOC 及びアンモニア性窒素の除去能力を長期間にわたる実験によって研究した。その結果、浸出水集排水管近傍に形成される微好気性ゾーンにおいて大きな TOC も浄化能力のあること、TOC 浄化能ほどではないがアンモニア性窒素の硝化や脱窒が起こることが分かった。このことから準好気性埋立構造の埋立地における浸出水中 BOD の早期安定化は、浸出水近傍における微好気性ゾーンの働きによっていることを証明した。碎石層およびごみ層において TOC 負荷 $100 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以下では TOC 除去率はほぼ 100%であった。また、モノ一式で層内酸素濃度の影響を評価したとき、碎石層、ごみ層で飽和係数 1~2% (酸素分圧) であった。また、アンモニア窒素の酸化能力は ごみ層で $1\sim 2 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 、碎石層で $5 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 程度であった。また、ごみ層では硝化が起こると直ぐに脱窒が起こったが、碎石層では酸素濃度 5% 以下のみで脱窒が起こった。

第5章では、4章の実験結果は酸素濃度の均質な場での実験結果であるが、実際の浸出水集排水管近傍の微好気性ゾーンでは、管から碎石層・ごみ層に入るにつれて酸素濃度が減少して行くのであるから、当然酸素濃度には分布がある。そこで4章で得られた成果を利用して、集水管近傍での酸素侵入深さ、酸素侵入フラックス、TOC やアンモニア性窒素除去能力を計算した。その結果、浸出水集排水管近傍の碎石層に形成される微好気性ゾーンの厚さは、約 0.6 m 程度で、管路から碎石層に流入する酸素フラックスは、 0.1 m/d (つまり、酸素流入断面の面積当たり $50 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ の TOC 除去能力があるということ) であり、さらに、これらの値は碎石層のガスの拡散のし易さによって決まり、嫌気性ゾーンから碎石層に流入する TOC 濃度によらず一定であることを明らかにした。さらに、集水管の径が大きいほど高い TOC 除去量が期待できるので、集排水管の直径と期待できる TOC 除去能との関係を概算し、集排水管の直径や管間隔の設計を考える上での情報として整理した。その結果、一定の TOC 浄化能を発揮するためには、底部管の間隔が重要な設計因子であり、少なくとも、管間隔を 30 m 程度、底部集排水管管径を 1 m 程度、底部集排水管枝管管径を 0.5 m 程度にする必要があることを明らかにした。

第6章は、本研究の総括である。

以上のように、有機物の多いごみ埋立地において主要な埋立構造である準好気性構造について、浸出水の早期安定化機構を解明し、その機能を効果的に発揮するために必要な設計方法、特に集排水管の管間隔、管径について設計の指針を与えた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 田 中 信 壽
副 査 教 授 渡 辺 義 公
副 査 教 授 高 桑 哲 男
副 査 助 教 授 松 藤 敏 彦

学位論文題名

準好気性廃棄物埋立地における浸出水安定化に関する基礎的研究

廃棄物埋立処分場は廃棄物処理の最終段階に位置する重要な施設であるが、環境保全に関して多くの問題を抱えている。その解決のためには埋立地から発生する環境汚染要素を可能な限り早くなくし、普通の土地に戻すことが大切である。本論文はこのようなことから準好気性埋立構造の基礎的な研究に取り組んでいる。その主な結果は次の点に要約できる。

1)埋立地内に設置され、外気より高い温度にある管路中の空気流速を計算する式を提案し、実験室規模での実験によりこの式の有効性を検証した。さらに実規模での計算に拡張し、管路からの加温による管内空気の浮力と埋立地表面で吹く風の吸引力によって管内に数十cm/sの空気流れが容易に生ずることを示した。さらに実埋立地のように管路網となっている場合にも管内を流れる空気の流速を計算できるプログラムを開発した。

2)埋立地内に埋設された管(浸出水の集排水管)の中に新鮮な空気が常に供給されるので、管路の周辺には管から拡散侵入してくる酸素によって好気的なゾーンが形成され、そこで有機汚濁(TOCや $\text{NH}_4\text{-N}$)の浄化が期待できる。その部分をカラム実験装置内に模擬し、長期間にわたってTOC、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度や酸素濃度を変化させて浄化実験を行っている。TOC浄化能力としてはTOC負荷で $100 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 程度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化能力は $\text{数 g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 程度であり、ごみ層では硝化されたものが全て脱窒されるが、碎石層では酸素濃度5%以下でのみ脱窒が起こること、気相中酸素濃度0.1%レベルまでTOC酸化反応が進むことなどを明らかにした。

3)上記の実験結果をもとに、TOC酸化速度や $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化速度をモノー型で表現し、管路周囲の碎石層内の酸素濃度やTOC、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の分布を計算し、好気性ゾーンの深さは約60cm程度、管路からの酸素の侵入フラックスは $0.1 \text{ m}/\text{d}$ 程度であり、これらの数値は、嫌気性ガスの管路への流入速度が $1 \text{ m}/\text{d}$ まで大きくならない限り影響を受けず、流入TOCの濃度や浸出水量にも依存しないこと、またこのゾーンでは酸素流入断面積当たり $50 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ という大きなTOC浄化能力を持っていることを明らかにした。

4)準好気性埋立構造の浸出水集排水管の管径については設計上の根拠がなかったが、有効なTOC浄化能力を得るためには、管設置間隔を30m程度、底部集排水管幹管の径を1m程度、底部集排水管枝管の径を0.5m程度にするのがよいことを明らかにした。

これを要するに、著者は、準好気性埋立構造における浸出水早期安定化機構を及び準好気性埋立構造の設計に新知見を与えたものであり、環境工学並びに廃棄物処分工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。