

学 位 論 文 題 名

Estimation of carbon balance,
gas and moisture movement in solid waste landfills

(廃棄物埋立地における炭素収支および浸出水とガス移動状況の推定)

学位論文内容の要旨

廃棄物埋立地はごみの安定化まで時間がかかり長期的な維持管理が必要となるため、費用の増加や環境汚染の恐れなどの問題が発生する。このような問題を解決するために埋立地の早期安定化の必要性が強く認識され、各国では埋立地の安定化促進のためのさまざまな研究を行っている。一方、維持管理の継続、廃止を決定するためには、安定化度をはかる必要がある。一般的に浸出水の水質や埋立ガスなどが用いられているが、これらは外部での測定に過ぎない。例えば埋立地内に水道があると乾燥領域が生じ、分解が進まない可能性がある。埋立廃棄物の掘削調査を行うことが望ましいが、埋立廃棄物の不均質のため代表性のある試料を得るのが困難である。そこで、本研究では二つのアプローチによって埋立地内部の状況を推定した。まず、20年間の記録のある産業廃棄物埋立地のデータを用い、炭素収支を評価した。なお、廃棄物埋立地に設置された多数のガス抜き管の調査により、埋立地内部での浸出水およびガスの流れを明らかにした。

本論文は5章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的、意義について述べるとともに、本研究の構成について概説した。

第2章では、長期間にわたる実規模埋立地での長期挙動および内部状態の把握を目的とした。埋立年齢が約2年から20年まで異なる5区画を持つ産業廃棄物埋立地を対象とし、浸出水の発生量、浸出水BOD、搬入廃棄物の種類などのデータを用い、区画ごとの水分収支、炭素収支を推定した。搬入廃棄物中の炭素量は、埋立物の種類別に測定した特性値を用いて推定した。浸出水量のデータは1999年以前の記録がないため、覆土の有無に応じた雨水浸透率、流出までの遅れ時間を未知パラメータとし、浸出水量に合うように決定してモデルとし、1999年以前の浸出水量を推定した。寒冷地であるため、積雪、融雪による浸出水発生が遅れも考慮した。その結果、埋立地に搬入された炭素量に対し、浸出水とともに流出する割合は埋立年齢と関係なく2%未満であることがわかった。また、2004年からブロワーで埋立地底部の浸出水集水管から空気を吸引し、脱臭を行っている。2000年埋立開始の第4区画に対してガス流速と濃度の測定を行ったところ、ガスとともに流出した炭素量は1%未満であることがわかった。しかし覆土が設置されていないため、埋立地表面からの空気侵入によるエアレーションとなっていた可能性がある。一方、2004年以前に埋立を終了し

た第 1～3 区画は 1m の最終覆土が設置されたのちの吸引であり、エアレーションは期待できない。より正確な炭素バランスの評価のためには搬入ごみの組成や特性、浸出水の水質や発生量、また埋立ガスの発生量などを区画ごとに記録する必要がある。

第 3 章では、構造に不備があり大量の浸出水が滞水している一般廃棄物埋立地において、安定化促進のために設置したガス抜き管の調査により浸出水の流れを推定した。98 本のガス抜き管のうち、48 本でガス抜き管設置後の TOC、TN、水位の経時変化を、18 本で深さごとの水平方向浸出水流速を、NaCl 溶液を用いたトレーサ実験によって求めた。その結果、水位はガス抜き管ごとに大きく異なり、原地盤の地形との関連が見られた。すなわち沢に周辺の水が集まりやすい構造になっているため水位が高く、降雨によって変動も大きい。ガス抜き管における水平流速は、下層より上層が大きかった。また管内浸出水の水質を調査した結果、多くのガス抜き管で管設置後に TOC の急激な減少が見られた。TOC 低下の時期が温度の上がる夏期であることから、不飽和層においてガス抜き管設置により空気が侵入して好気性分解が起こり、TOC の低下した浸出水が飽和層に流れ込んだためと思われる。上層で流速が大きいのも、このためである。飽和層は十分に洗い出しが進んでおり、低下後の TOC は飽和層の濃度を表わしていると考えられる。ただし浸出水原水の TOC 濃度には大きな減少は見られず、浸出水中有機物低下の効果はガス抜き管周辺に限られている。

第 4 章では、第 3 章で対象とした埋立地において、ガス抜き管におけるガス移動のメカニズムを明らかにした。38 本のガス抜き管において、出口からのガス流速、ガス濃度の測定、また 4 本のガス抜き管においてガス濃度、温度、およびガス流速の垂直分布を測定した。ガス流速は、CO ガスを用いたトレーサ実験によって測定した。ガス濃度分布はガス抜き管ごとに異なるが、ほとんどの場合 15～20m の深さにおいても窒素が存在し、空気が底部まで侵入していることがわかった。ガス流速は上部ほど増加し、またメタンガスと窒素の割合はほぼ一定である。このことより、ガス抜き管は埋立ガスの排出とともに空気の引き込みの効果があることを明らかにした。空気の流量が温度と正の相関があることから、好気分解によって廃棄物層の温度が上昇し、その熱によってガス抜き管内に浮力効果が働いたものと考えられる。表面に積雪がある冬期も空気の流入があることから、空気の移動は水平方向である。

第 5 章は結論であり、論文の主な内容をまとめた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	松藤敏彦
副査	教授	恒川昌美
副査	教授	名和豊春
副査	准教授	東條安匡

学位論文題名

Estimation of carbon balance, gas and moisture movement in solid waste landfills

(廃棄物埋立地における炭素収支および浸出水とガス移動状況の推定)

廃棄物埋立地は他のごみ処理施設と異なり、安定化までに時間がかかる。埋立地内部状態を知る方法としては、浸出水の水質や埋立ガス発生量などが用いられており、維持管理の廃止を決定するための指標としても使われている。しかし、廃棄物埋立地にはさまざまな廃棄物が埋め立てられている。水みちの形成によってバイパス流が生じ、また透水係数の小さい覆土に沿って水が流れ、その下が乾燥状態となることもある。このようには廃棄物埋立地は不均質性が高いことから、外部での測定である浸出水やガスが、必ずしも内部状態を代表する指標とはならない。また埋立廃棄物の掘削調査は内部状態を直接知る方法だが、廃棄物の不均質のため代表性のある試料を得るのが困難である。そこで、本研究では二つのアプローチによって埋立地内部の状況を推定した。まず、20年間の記録のある産業廃棄物埋立地のデータを用い、有機物の指標として炭素収支を評価した。なお、廃棄物埋立地に設置された多数のガス抜き管における調査によって、埋立地内部での浸出水およびガスの流れを明らかにした。

本論文は5章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景、目的、意義について述べるとともに、本研究の構成について概説した。

第2章では、長期間にわたる実規模埋立地での長期挙動および内部状態の把握を目的とした。埋立年齢が約2年から20年まで異なる5区画を持つ産業廃棄物埋立地を対象とし、浸出水の発生量、浸出水BOD、搬入廃棄物の種類などのデータを用い、区画ごとの水分収支、炭素収支を推定した。搬入廃棄物中の炭素量は、埋立物の種類別に測定した特性値を用いて推定した。浸出水量のデータは1999年以前の記録がないため、覆土の有無に応じた雨水浸透率、流出までの遅れ時間を未知パラメータとし、浸出水量に合うように決定してモデルとし、1999年以前の浸出水量を推定した。寒冷地であるため、積雪、融雪による浸出水発生が遅れも考慮した。その結果、埋立地に搬入された炭素量に対し、浸出水とともに流出する割合は埋立年齢と関係なく2%未満であることがわかった。また、2004年からブローで埋立地底部の浸出水集水管から空気を吸引し、脱臭を行っている。2000年埋立開始の第4区画に対してガス流速と濃度の測定を行ったところ、ガスとともに流出した炭素

量は 1% 未満であることがわかった。しかし覆土が設置されていないため、埋立地表面からの空気侵入によるエアレーションとなっていた可能性がある。一方、2004 年以前に埋立を終了した第 1～3 区画は 1m の最終覆土が設置されたのちの吸引であり、エアレーションは期待できない。より正確な炭素バランスの評価のためには搬入ごみの組成や特性、浸出水の水質や発生量、また埋立ガスの発生量などを区画ごとに記録する必要がある。

第 3 章では、構造に不備があり大量の浸出水が滞水している一般廃棄物埋立地において、安定化促進のために設置したガス抜き管の調査により浸出水の流れを推定した。98 本のガス抜き管のうち、48 本でガス抜き管設置後の TOC、TN、水位の経時変化を、18 本で深さごとの水平方向浸出水流速を、NaCl 溶液を用いたトレーサ実験によって求めた。その結果、水位はガス抜き管ごとに大きく異なり、原地盤が沢に周辺の水が集まりやすく水位が高い。ガス抜き管における浸出水の水平流速は、下層より上層が大きかった。また管内浸出水の水質を調査した結果、多くのガス抜き管で管設置後に TOC の急激な減少が見られた。TOC 低下の時期が温度の上がる夏期であることから、不飽和層においてガス抜き管設置により空気が侵入して好気性分解が起こり、TOC の低下した浸出水が飽和層に流れ込んだためと思われる。上層で流速が大きいのも、このためである。飽和層は十分に洗い出しが進んでおり、低下後の TOC は飽和層の濃度を表わしていると考えられる。

第 4 章では、第 3 章で対象とした埋立地において、ガス移動のメカニズムを明らかにした。38 本のガス抜き管において、出口からのガス流速、ガス濃度の測定、また 4 本のガス抜き管においてガス濃度、温度、およびガス流速の垂直分布を測定した。ガス流速は、CO ガスを用いたトレーサ実験によって測定した。ガス濃度分布はガス抜き管ごとに異なるが、ほとんどの場合 15～20m の深さにおいても窒素が存在し、空気が底部まで侵入していることがわかった。ガス流速は上部ほど増加し、またメタンガスと窒素の割合はほぼ一定である。このことより、ガス抜き管は埋立ガスの排出とともに空気の引き込みの効果があることを明らかにした。空気の流量が温度と正の相関があることから、好気分解によって廃棄物層の温度が上昇し、その熱によってガス抜き管内に密度差が生じたためと考えられる。表面に積雪がある冬期も空気の流入があることから、空気の移動は水平方向である。

第 5 章は結論であり、論文の主な内容をまとめた。

これを要するに、筆者は、廃棄物埋立地内部の状態を知るため、有機物の指標として炭素収支推定の意義と可能性を示し、多数のガス抜き管における測定により浸出水とガスの動きを推定した。またガス抜き管埋設による周囲からの空気引き込みは、長期化が懸念される埋立地の安定化促進に向けた新たな方法を示唆する重要な発見である。本研究の成果は廃棄物処分工学の発展に寄与するところ大なるものがあり、筆者は、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。