

氏名	なかやままさとも 中山正与
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成10年9月9日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和52年3月 東北工業大学工学部土木工学科 卒業
学位論文題目	廃棄物埋立地から浸出する高濃度有機性汚水の 土壌中での挙動に関する基礎的研究
論文審査委員	主査 東北大学教授 野池達也 東北大学教授 須藤隆一 東北大学教授 大村達夫

論文内容要旨

廃棄物は人間の日常生活や、事業活動にともなって排出され、適正に処理処分されなければ、人間の健康で快適な生活環境が脅かされるとともに、地球環境時代といわれる今日、地球環境の保全に関しても憂慮すべき問題を引き起こすこととなる。

世界各国の都市ごみの処理の状況は、特に開発途上国においては、今だに多くの人々が組織的なごみの収集サービスも受けていないのが現状であり、また、かなり組織的に収集されていても、その処理処分は廃棄物処分場に投棄し放置されているのが大半の実状であり、焼却施設による中間処理は、先進国のごく限られた都市ごみについて取られている処理法である。アジアの開発途上国においても、廃棄物は野積み状態にされるかオープンダンプングによって処分されることが多く、また、廃棄物の質としては厨芥類等の有機性廃棄物が主体となっていることから、悪臭や、害虫の発生とともに、廃棄物から溶出する浸出水が環境に与える影響が懸念されており、それらが土壌に浸透する際には土壌や地下水が汚染される可能性があることから、土壌中に浸透した場合の挙動を明らかにすることが緊急の課題である。

一方、我が国における廃棄物の排出量は一時期の急激な増加傾向は見られなくなったものの、産業廃棄物については一年間に4億500万トン(平成6年度)、一般廃棄物については5,054万トン(平成6年度)が排出され、産業廃棄物についてはそのうちの約8,000万トンが、一般廃棄物については1,414万トンが管理型埋立処分場などによる最終処分に回されている。そして、これらの埋立処分場からは、環境汚染の一因となっている浸出水と分解ガスが長期間にわたって発生することが知られている。そして、これらが環境におよぼす影響を知ることや、浸出水の調整施設や処理施設の設計のためや、埋め立て跡地の利用に関する情報を得るために、埋立地から発生する浸出水や分解ガスに関して質的、量的な面から種々の研究が精力的になされている。

そして、廃棄物の陸上埋立に際しては、管理型埋立処分場における廃棄物の飛散の防止、圧縮除荷後の復元力の防止、衛生害虫および臭気発生の防止、火災の防止などのために覆土層を設ける。覆土層の本来の目的としては以上のようなものが挙げられるが、一方、この覆土層に、廃棄物層からの浸

出水が浸透すると、その濃度が低下することから、覆土層にはある程度の浄化作用があることが報告されている。従って、廃棄物の埋立処分場から発生する浸出水の水質や分解ガスを評価するためには、単に廃棄物層内での変化のみを考察するだけではなく、覆土層の働きを併せて考慮する必要があると考えられる。

また、産業廃棄物の最終処分場の残余年数は、全国で 2.6 年（平成 7 年 4 月）、同じく一般廃棄物では 8.7 年（平成 6 年度）と言われており、特に首都圏における最終処分場の不足は一層逼迫した問題となっている。そして、埋立地における覆土層の容積はその 20 ～ 30%を占めるといわれていることから、覆土層の体積を減らし、埋立地の延命化を図るために代替のフォームを使用することや、本来は埋め立てられる廃棄物である焼却灰に改良材を加えるなどして、覆土材として使用する研究も進められている。これまでの一般的な覆土層とこれらの代替物との比較をする際にも、覆土層に浸出水が浸透した場合の変化を明らかにすることが重要である。

また、我が国においては廃棄物の最終処分場の確保が困難になっていることも一因となって、廃棄物の不法投棄などの事例も増加しており、不適切な処分による土壌・地下水汚染が懸念されている。従って、不法投棄された廃棄物から溶出した浸出水が土壌中に浸透する際の挙動を知ることは、地下水汚染や土壌汚染の実態を知るためにも重要である。

汚水が土壌に浸透した場合の挙動についての研究は、これまでも土壌の浄化能力を利用した排水処理の研究として広く行われてきている。しかしながら、これらの研究では、廃棄物から溶出する浸出水に比較すると濃度の低い汚水の浄化を対象としており、さらに、脱窒による窒素除去などの研究を除けば、大部分は好氣的な土壌環境下において検討されているにすぎない。そこで、本研究は、廃棄物から溶出する浸出水にみられるような高濃度の有機性汚水を対象とし、これが土壌に浸透し、主として嫌氣的な環境に置かれた場合の有機物や窒素、リンなどの変化を明らかにし、地下に浸透した場合の挙動や覆土層の働きを解明することを目的としている。

また、有機物が嫌氣的条件下で生物分解される際に発生するメタンガスは温室効果ガスの一つでもあり、メタン 1 分子当たりの温室効果は炭酸ガス 1 分子当たりの温室効果より約 21 倍以上も高いといわれており、メタンガスの温室効果への寄与率は 15%程度と見積もられていることから、その発生量や発生速度を明らかにすることが重要である。本研究では、水質の挙動だけではなく高濃度有機性汚水の嫌氣的分解による土壌中でのメタン生成速度を測定することによってその大きさを評価することについても検討を行っている。

本論文は、次の 7 章より構成されている。

第 1 章「総論」では、本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章「汚水の土壌浸透に関する既往の研究」では、汚水が土壌層に浸透した場合の汚濁物質の挙動および廃棄物埋立地から発生する浸出水の特性に関して、既往の研究成果をまとめるとともに、汚水の土壌処理法に関して土壌の浄化機構を中心とする研究成果をまとめ、廃棄物浸出水の土壌中での挙動に関する研究課題の整理を行っている。

第 3 章「土壌に浸透する高濃度有機性汚水の変化」では、砂カラム実験を実施することによって、砂層に飽和浸透する高濃度有機性汚水の分解挙動を検討した。そのために、発生ガス量や、砂層に付着している物質を評価し COD の物質収支を求めるとともに、ATP を測定することにより、生物量の砂層内分布を明らかにした。その結果、COD については 80%以上の大きな除去率が得られたが、60 週経過後も残存して流出する COD 成分があった。そして、COD は流入側の上層の 10cm 程度の区間で大きく減少していた。COD の収支を検討したところ、嫌氣的な生物分解による寄与が大きいこ

とがわかった。窒素については、有機態窒素が $\text{NH}_4\text{-N}$ に変化しているが、窒素はほとんど除去されず、従って高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が流出する結果となった。一方、リンは大きく除去される傾向にあった。これらの結果は、廃棄物の埋立地から流出する浸出水の水質と同じ特徴を有していることから、埋立地における覆土層は、これらの浸出水の水質特性を形成する働きをしていることが示唆された。砂層へ付着している物質として、COD量、強熱減量は砂層の上層で最大で、下の層ほど減少する傾向にあるのに対して、生物量やその活性を示す指標であるATP量は、表層より10～15cmの深さで最大であった。

第4章「土壤中における有機物の分解活性に影響を及ぼす因子」では、酸生成速度およびメタン生成速度を求めることによって、有機物の分解速度の大きさや分布を明らかにした。そしてこれらに影響を及ぼす因子として、浸透する深さ、分解活性阻害物質の混入、および温度を取り上げ、これらが水質変化におよぼす影響について検討した。

メタン生成速度は、上層で大きく下層では小さな値となり、1mの深い層に浸透しても、下層ではほとんど除去されずに流出してしまう結果を示した。これらのことから、廃棄物層から流出した浸出水中のCODは、最初に浸透する覆土層では大きく除去されるが、その覆土層で除去されずに流出したものは、下の覆土層に浸透してもほとんど除去されずに流出してしまうものと考えられる。36.9～73.8mg-Hg/lの濃度の水銀を混入させた影響は、有機物の分解や窒素、リンの濃度変化にほとんど影響を与えなかった。温度の影響を10、20、30℃の条件で比較したところ、10℃では、揮発性有機酸が蓄積し、CODの減少はほとんどみられなかったが、20、30℃の温度条件では、CODは同程度に除去され、流出水に差はみられなかった。

第5章「土壤に間欠的に流入する有機性汚水の浄化機構」では、土壤に間欠的に流入する際の浄化機構を明らかにするために、間欠流入する保存性物質の濃度変化を解析し、次いで、CODの分解速度をMonod型の式で定式化し、CODの変化を計算によって求めることによって検討した。

一次元移流分散方程式を使用し、CODの減少をMonod型の消滅項で表した。そして、流入時浸透流速がある場合と、流入が停止し拡散のみで変化する場合について、それぞれの計算条件で計算すると、間欠流入におけるCODの変化を概略的にシミュレートすることができた。

第6章「土壤中での水質変化におよぼす流入水の水質特性と浸透条件の影響」では、流入水の水質の違いによる影響を調べるために、幾種類かの水質の流入水を流入させ、土壤中での分解挙動を検討した。また、浸透条件を飽和流と不飽和流にした場合についての比較検討を行った。

COD、リンの除去は、流入する水質の違いよりも負荷量に依存しており、負荷量が増加すると、除去量も増加する傾向にあった。また、これらの水質項目については、浸透の条件による影響も小さいものであった。これに対して、窒素については浸透の条件によって除去量に差がみられ、土壤層の下層が大気に接している場合に除去量が増加した。また、上層が大気に解放されている場合には、付着物質が多く、目詰まりがおきやすいことがわかった。

第7章「総括および結論」では、本研究で得られた成果を総括している。

ここで得られた研究成果から、浸出水のような高濃度有機性汚水が地下に浸透した場合の挙動や、廃棄物埋立地の覆土層の働きをある程度推定することが可能である。これらの成果が、廃棄物埋立地における浸出水や発生ガスの予測とそれらの管理に役立ち、廃棄物の処理処分施設に対する市民の信頼を増進させるための一助になることを期待するものである。

審査結果の要旨

廃棄物埋立地から浸出する高濃度有機性汚水が、土壤に浸透した場合の挙動を明らかにすることは、土壤汚染や地下水汚染の実態を把握し、管理型埋立地における覆土層の機能を評価するために不可欠である。本論文はカラム実験により土壤に飽和浸透する高濃度有機性汚水の分解挙動を解明したもので全編7章からなる。

第1章は総論であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、汚水が土壤層に浸透した場合の汚濁物質の土中での挙動および廃棄物埋立地から発生する浸出水の水質特性について、既往の研究成果をまとめると共に、汚水の土壤処理法に関して土壤の浄化機構を中心とする研究成果をまとめ、廃棄物埋立地浸出水の土壌中での挙動に関する研究課題の整理を行っている。

第3章では、土壤に飽和浸透する高濃度有機性汚水の分解挙動をカラム実験によって検討し、CODの80%以上の除去が行われ、その大部分が流入側の上層における嫌氣的微生物分解によるものであり、ATPの測定による微生物活性は表層より10～15cmの深さで最大値を示すことを明らかにした。また、窒素およびリンに関しては、有機態窒素からアンモニア態窒素への転換およびリンの土粒子への吸着除去機能を明白にし、管理型埋立地の覆土層は浸出水に対してこれらの水質特性を形成する働きがあることを示している。これは重要な知見である。

第4章では、有機汚濁物質の土壌中における嫌氣的分解の挙動に関して、酸生成速度およびメタン生成速度によって有機物分解の速度および分布について検討し、バイアル実験によりメタン生成速度は上層で大きく下層では小さな値を示す結果より、覆土層に関して上層の覆土層の方が有機物除去機能が大きいことを明らかにした。また、温度条件として10℃においては土壌中の微生物の有機物分解機能が失われること、さらに重金属の阻害作用についても検討を加えている。これも重要な知見である。

第5章では、主として降雨時に土壤に間欠的に流入する有機性汚水の浄化機構を示すモデル式として次元移流分散方程式を用い、CODの減少はMonod型の式で表現することによって、流入時で浸透流速がある場合と流入が停止し拡散のみによって変化する場合についてCODの変化を計算し、保存性物質の濃度変化を測定することによって、間欠流入におけるCODの変化の定式化を行っている。

第6章では、土壤への流入汚水の水質の違い、飽和浸透あるいは不飽和浸透および浸透面が大気に接する面を有する等の浸透条件による影響について検討し、CODおよびリン除去に関しては流入水質の違いおよび浸透条件よりも負荷量に依存し、窒素に関しては浸透条件の影響を受けやすいことを示している。これは新しい知見である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、廃棄物埋立地から浸出する高濃度有機性汚水が土壤に浸透し、有機汚濁物質、窒素およびリンが嫌氣的な環境において微生物分解を受ける挙動を、温度・毒性物質および浸透条件等の環境条件の影響を考慮して解明し、覆土層の浄化機能を明らかにしたもので環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として合格と認める。