

廃棄物埋立地から浸出する高濃度有機性廃液の 砂層中での挙動に関する実験的研究

中山正与¹・江成敬次郎²

¹正会員 東北工業大学講師 工学部土木工学科 (〒982宮城県仙台市太白区八木山香澄町35-1)

²正会員 工博 東北工業大学教授 工学部土木工学科 (〒982宮城県仙台市太白区八木山香澄町35-1)

高濃度の有機性廃液が砂層中に浸透する場合の挙動について、砂を50cmの厚さに充填したカラムを用いて60週にわたる実験を行い検討した。COD濃度が24700mg/lのカラム流入水は、砂層の上層で大きく除去され、その除去率は82%となったが、60週経過後も5000mg/l程度のCODが残存して流出することがわかった。窒素の除去率は2%以下で小さいものであったが、りんについては67%の除去率が得られた。

Key Words : leachate, landfill, land treatment, anaerobic digestion

1. はじめに

廃棄物の排出量は年とともに増加の傾向にあり、それらの多くは最終的に廃棄物最終処分場に埋立てられる。こ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おり、それらに関して質的、量的な面からの種々の研究が精力的になされている。

一般廃棄物の最終処分場や産業廃棄物の管理型最終処分場においては、遮水工を施し、地下への浸出水の浸透を防いでいるが、この遮水工の劣化や穿孔などによる損壊は無視できず¹⁾、そのための環境汚染が報告されている²⁾。さらには、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³⁾。従って、これらの廃棄物からの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重要である。

また、廃棄物の陸上埋立に際しては、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⁴⁾。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^{5)~11)}。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。しかしながら、廃棄物埋立地浸出水のような、高濃度の浸出水が土壌に浸透した場合の挙動について、詳しく検討された

例^{9), 10)}は少ない。

土壌での浄化は、一般的に物理的浄化(濾過)、物理化学的浄化(吸着、不溶化)、生物化学的浄化(生物分解)などの作用によると考えられる¹²⁾。これまでも、土壌の浄化能力を利用した排水処理の研究が広く行われてきている。しかしながら、これらの研究では、主として濃度の低い二次処理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¹³⁾を除けば、大部分は好気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、これまでにあまり検討されていない、高濃度の有機性廃液を対象とし、これが土壌に浸透し嫌気的な環境に置かれた場合の挙動を知る第一段階として、土壌中における飽和浸透過程における高濃度有機性廃液の微生物分解を中心とした物質変化を考察することを目的としている。

本実験では、土壌のなかでもその組成が単純な砂を充填したカラムを用いて、その挙動を考察した。また、カラム実験に際しては、これまで報告されたように廃棄物層を土壌層の上において、そこから溶出する浸出水が土壌層に浸透するような方法^{5), 7)}とはせず、砂カラムに直接高濃度有機性廃液を注入する方式とした。これは廃棄物層からの溶出過程が複雑なことと、その濃度と組成が時間の経過とともに変化することが知られており^{14)~20)}、そのうえ、廃棄物層もある程度の浄化の場となっていることなどが報告されており²⁰⁾、砂層での挙動を評価することが難しくなるためである。

浸透の形態には、飽和流と不飽和流の場合があるが、容易に嫌気的な条件にするためと、解析を簡単にするために、砂層に流入した流入水の流れは、飽和流で

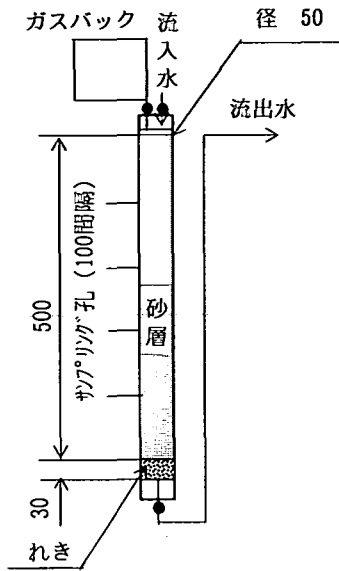


図-1 実験装置 (単位 mm)

浸透する方式とし、主として有機物と窒素、りんについての挙動を対象に考察した。

2. 実験方法

(1) 実験の概要

実験には図-1に示すような、内径5cmのアクリル製円筒カラムを用いた。これに砂1.65kgを50cmの高さに詰め、その下に水抜けが良好になるように、90gのれきを厚さ3cmになるように設け、カラムの両端をシリコン栓で密封した。覆土層の厚さは、覆土の目的、埋立処分する廃棄物の種類と形状、覆土材の種類、周辺環境条件等に応じて適切なものとしなければならないと規定されているが、埋立後に浸出水が浸透する即日覆土や中間覆土はおおよそ50cm程度であるので²¹⁾これを参考にしてカラムの砂層厚を決定した。砂の充填に際しては、間隙が蒸留水で飽和状態になるようにして行った。カラム上端のシリコン栓には、カラム流入水の流入用コックとガスバック取り付け用のコックが設置してあり、下端のシリコン栓にはカラム流出水用のコックが設置してある。また、砂層内の浸透水を採水するために10cm間隔にカラム側壁にサンプリング孔を設けた。

カラム流入水の流入コックと、カラム流出水コックはカラムへの流入と流出の際にのみ開けておき、上部よりカラム流入水を流入させ、下部より流出させた。その際、流出水は砂の表面と同じレベルから流出させるようにし、流れは飽和流となるようにし

表-1 砂の物理・化学的性質

比重	2.61
均等係数	2.63
有効径	0.38 (mm)
C	0.228 (mg/g)
N	0.064 (mg/g)
COD	0.271 (mg/g)
強熱減量	5.0 (mg/g)
pH(H ₂ O)	6.98
pH(KCl)	6.45
CEC	4.7 (me/100g)

表-2 流入水平均濃度

pH	11.9
EC	7.62 (mS/cm)
SS	269 (mg/l)
COD	24700 (mg/l)
TOC	9360 (mg/l)
Cl	1270 (mg/l)
T-N	2110 (mg/l)
T-P	23.8 (mg/l)
7カド度	5970 (mg/l)
炭水化物	553 (mg/l)
蛋白質	12500 (mg/l)
有機酸	903 (mg/l)

た。しかしながら、後に述べるように、砂層内では微生物による有機物の分解にともなうガスが発生し、結果的には徐々に不飽和状態となった。

カラム流入水は一週間に一度、60mlを間欠的に流入させた。これは1年に換算すると1590mm(一週当たり30.6mm)の流入負荷に相当し、日本のおおよその年間降雨量に見合うだけの浸透量で砂層に流入することを想定している。埋立地からの浸出水量は、蒸発や表面流出があるために、その浸出率は一般に降雨量の0.3~0.4程度であると報告されている²²⁾。しかし、本実験では、起こりうる最大の負荷量で流入することを想定し、日本のおおよその年間降雨量に見合うだけの流入水が砂層に浸透するものとして流入水量の条件を定めた。なお、実験は20°Cの恒温室内で60週にわたって行った。

(2) 充填した砂とカラム流入水

実験に供した砂は水道水で十分に洗浄し、附着物を洗い流した川砂である。この砂の物理・化学的特性を表-1に示す。カラムに充填した際の間隙率は35.5%であった。

カラムへの流入水は、仙台市中心部の下水を処理している終末処理場の脱水汚泥ケーキを用いて作製

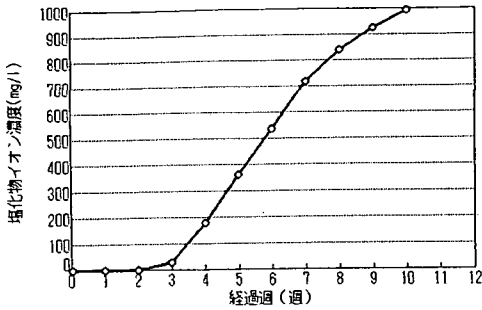


図-2 カラムの流下特性

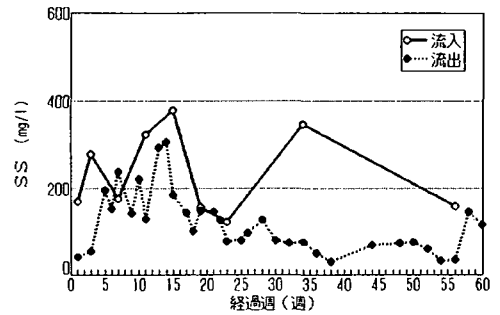


図-3 SSの変化

した高濃度有機性廃液である。この脱水ケーキは、消化過程を経ていない初沈汚泥を56%、余剰汚泥を43%含み、さらに、場内に併設してあるし尿処理施設からの消化汚泥を1%含んでいるもので、脱水の際に凝集剤として消石灰を約32%、塩化第二鉄を12%ほど添加している。この脱水汚泥ケーキに、等しい重量の蒸留水を加え、これを10日間ほど放置したのち、上澄水を採取しカラムへの流入水とした。カラム流入水の平均濃度を表-2に示す。作製したカラム流入水は冷蔵庫(約4°C)に保存し、カラムへの流入の都度引き抜いて使用した。

また、カラム内で嫌気的な分解を十分に行わせるために^{9)、23)}、カラム実験の開始時に、消化汚泥5mlを砂層の表面に植種した。

(3) 分析項目・方法

継続的に分析を行った項目はpH、SS、CODcr(以下COD)、TC・TOC(島津TOC-500)、有機酸(柳本ガスクロマトグラフG2800、FID検出器)、T-N、NH₄-N、T-Pである。また、スポット的に、NO₃-N、NO₂-N、蛋白質(ビュレット法)、炭水化物(アンスロン-硫酸法)についての分析も実施した。分析は採取液そのものと、1μmのフィルターで濾過したサンプルの両者について行った。しかし、これらを比較したところその差はほとんどなかったため、考察は採取液そのものについての分析値を用いた。また、発生ガス量は、ガスバックに捕集したものをシリンジに吸引して体積を計量し、併せてガス組成(柳本ガスクロマトグラフG2800、TCD検出器)の分析を行った。

カラム実験終了後、カラム内の砂を深さごとに採取し、強熱減量および炭素量・窒素量(柳本CNコーダー)、ATP量(5%グリシンで抽出後、ADVANTEC LUMICOUNTER-ATP-300により分析)について分析を行った。分析方法は特記したものを除き、下水試験方法²⁴⁾に準拠して行った。

3. 結果および考察

(1) 流下特性の検討

カラム実験に先立ち、カラムの流下特性を把握するために、実験に用いたものとまったく同じ条件の砂カラムを用い、カラム実験と同じ流入速度で1000 mg/lの塩化物イオンを流入させ、その破過曲線を求めた。この結果を図-2に示す。蒸留水で飽和状態にある砂カラムに塩化物イオンを供給すると、3週目から流出水の塩化物イオン濃度は増加し、10週目に流入水とほぼ同じ濃度まで上昇することがわかった。また、間隙率35.5%から求めた間隙の体積(348.3ml)と流入速度(60ml/週)から、平均滞留時間を計算すると5.8週となった。この破過曲線の形は、間欠流入にもかかわらず、一定濃度の溶液の連続注入時に観測されるものに類似しており、ポアボリュームが1に相当する滞留時間5.8週で、ほぼ流入水濃度の半分の値を示した^{25)、26)}。砂層の間隙は蒸留水で満たされている状態から実験を開始したので、初期のカラム流出水は蒸留水で希釈されたものが流出する。以上の結果より、10週目までのカラム流出水は、間隙に存在する蒸留水による希釈の影響が現れることになる。

(2) カラム流出水の変化

a) SSの変化

SSの変化を図-3に示す。カラム流入水は、冷蔵庫に保存中にそのSS成分はフロック化する傾向にあったので、カラム流入水のSS濃度の変動は大きい。全実験期間を通じての平均濃度は269mg/lであった。カラム流出水のSS濃度は流入水のSS濃度よりも小さく、14週まで増加し、その後減少する傾向にあり、50~60週の平均流出濃度は78mg/lで、除去率は71%であった。他の水質項目の流入水濃度に比較すると流入水SS濃度は小さく、各水質項目に占めるSS性成分の割合は小さいと判断されるので、このカラム実験では、各水質項目の砂層内での濾過

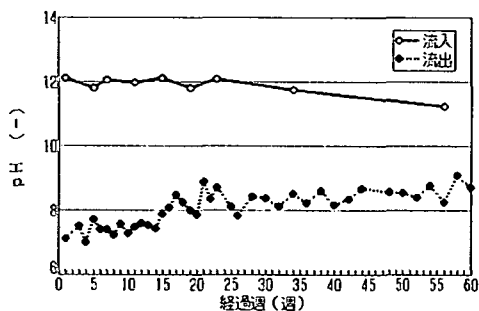


図-4 pHの変化

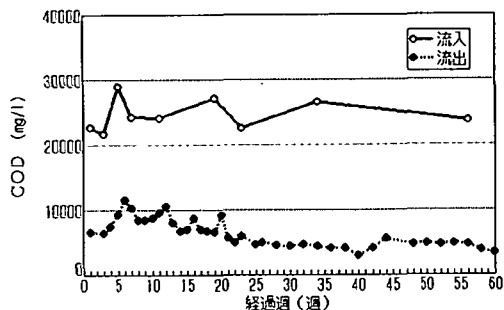


図-5 CODの変化

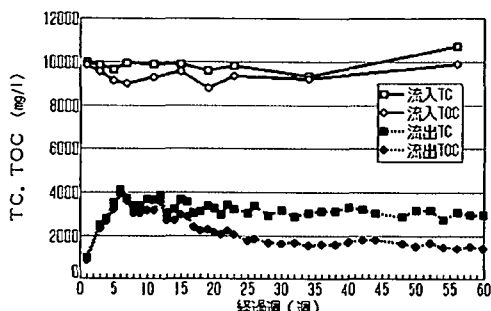


図-6 TC, TOCの変化

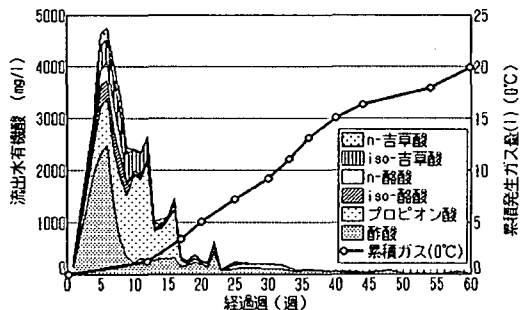


図-7 有機酸と累積発生ガス量の変化

作用による除去はそれほど大きくないものと考えられる。

b) pHの変化

図-4にpHの経時変化を示す。カラム流入水は、脱水の際に消石灰を加えてある脱水污泥ケーキを用いて作製したものであるために、その平均pHは11.9であり、高い値を示している。一方、流出水pHは実験初期からこの値よりかなり小さい値で流出しており、pH7から徐々に増加傾向にあり、50~60週の平均値は8.65であった。

c) 有機物の変化

CODの変化を図-5に、TCとTOCの変化を図-6に示す。カラム流入水の平均COD濃度は24700mg/lであった。カラム流出水のCODは6週目で最大値となり、それ以降は徐々に減少したが、約5000mg/l程度の濃度まで低下すると、実験期間が60週となってもそれ以下には減少せず、最終的に流出水中にCODが残存してしまう結果となった。また50~60週の平均COD除去率は82%であった。TOCもCODと同様の傾向で変化しており、カラム流入水の平均TOC濃度は9360mg/lであったが、カラム流出水のTOCは6週目で最大値となり、それ以降は徐々に減少した。しかし、約1500mg/l程度の濃度まで低下すると、実験期間が経過してもそれ以下には減少せず、50~60週の平均TOC除去率は84%であった。また、有機物の無機化にともなってICが増加し、その濃度は1500mg/lほどになった。

S.Soyupac等⁹⁾の実験では、厚さ41cmのシルト質砂を充填したカラムで、5700mg/lの流入CODは90%除去されたと報告している。また、相坂等⁷⁾の行ったカラム実験によるとCODの累積浸出負荷量は、埋立処分場で採取した残土の濾材層を設けると50%ほど減少すると述べており、西村等⁸⁾も厚さ25cmの真砂土の覆土層でTOCが約10000mg/lから約4000mg/lまで顕著に低下していることを報告している。このように、有機物は数10cmの土壌層を通過する間にかなりの大きさで減少することがわかる。

有機酸と累積発生ガス量の変化を図-7に示す。有機酸は、酢酸、プロピオン酸、n-酪酸、iso-酪酸、n-吉草酸、iso-吉草酸の6種類について分析し、有機酸濃度はそれらの合計濃度で表した。流入水の平均有機酸濃度は903mg/lであったが、カラム流出水の有機酸濃度は、6週目で最大の4750mg/lとなり、その後急激に減少し40週を過ぎてからは、70mg/l以下の濃度しか検出されなくなった。8週までは酢酸が、9週目以降はプロピオン酸が大きな濃度を示していた。

有機酸の濃度の減少に伴って、ガスの発生が観測され、ガス組成の平均的な値(図-8)は、74.2%がメタンであり、13.7%が炭酸ガスであった。後に述べるように、カラム流入水には蛋白質が高濃度で含まれていた。蛋白質の嫌氣的な分解によってメタン71%、炭酸ガス29%を含む分解ガスが発生し、炭水化物や有機性脂肪よりも、蛋白質の分解にともなうメタンの含有量が多いことが報告されている²⁷⁾。また嫌気

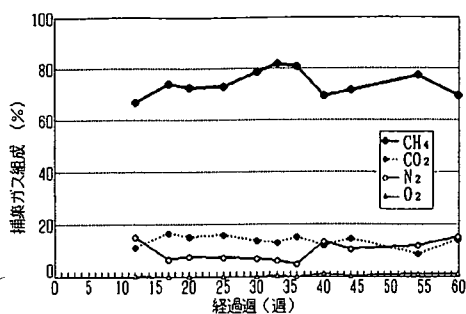


図-8 捕集ガス組成の変化

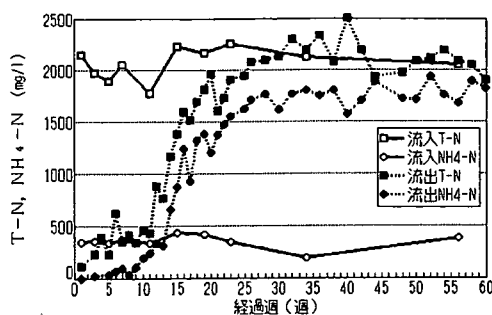


図-10 T-N, NH₄-Nの変化

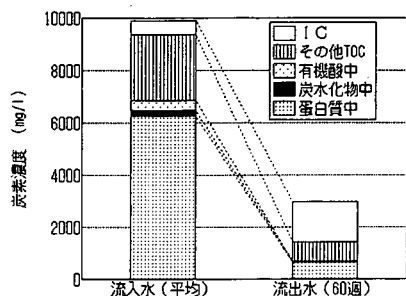


図-9 流入水と流出水の炭素濃度の構成

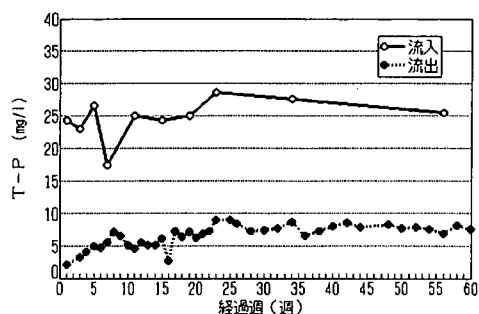


図-11 T-Pの変化

性消化での発生ガスの主成分はメタンで、67~75%を占め、炭酸ガスがこれについて25~35%を占めていると述べられている²⁸⁾。本実験でのメタン含有率はこれらに相当する大きさであったが、炭酸ガス量はこれらよりも小さい値を示した。

累積発生ガス量はほぼ直線的に増加していたので、12~60週の期間における勾配より平均的な発生ガス速度を求めると、403ml/週(0°C換算)となった。発生ガス中に移行したメタンのCOD換算値を発生ガス速度、メタン含有量、CODへの換算係数(2.857 mg-COD/ml-CH₄)²⁹⁾から求めると854mg COD/週となり、カラムへの週当りのCOD流入負荷に対する比率は57.6%となった。

平均流入水と流出水(60週)についての炭素の構成を図-9に示す。それぞれの有機物中の炭素含有量は、蛋白質については50%、炭水化物については40%とし、有機酸についてはその分子式より炭素含有量を求め算出した。炭素の構成から有機物の分解を考察すると、流入水の有機性炭素の67%が蛋白質に含まれるものであり、流出水ではこれが1/10に減少しており、この蛋白質の分解が有機物の減少に大きく寄与していることがわかる。また、有機物の分解にともない流出水中のICは増加し、流入水の2.8倍に達していることがわかった。

以上の結果から、24700mg/lのCODが砂層に浸透すると、COD除去率は82%になったが、60週経過しても、5000mg/lのCODが残存して流出してしまう

結果となった。また、CODの減少には、蛋白質の分解が大きく寄与しており、除去CODの57.6%がメタンガスとして捕集された。

d) 窒素, りんの変化

T-NとNH₄-Nの変化を図-10に示す。流入水の平均T-N濃度は2110mg/lであり、平均NH₄-N濃度は358mg/lであった。流入水にはNO₂-N、NO₃-Nはほとんど含まれていなかったため、流入水のT-Nは、NH₄-Nと有機態窒素で構成されている。T-NとNH₄-Nの経時変化より、時間の経過にともなって、有機態窒素がNH₄-Nに分解し、流出T-NのほとんどをNH₄-Nが占めていることがわかる。50~60週の流出水の平均NH₄-N濃度は1810mg/lであったので、およそ1450mg/lの増加となる。流入水には12500mg/lの蛋白質が含まれており、60週の流出水では1330mg/lまで減少していた。蛋白質の窒素含有量を14%とすると、この蛋白質の分解によって1560mg/lのNH₄-Nが増加することとなり、NH₄-Nの増加の実測値とほぼ見合う量となっている。流出水のT-N濃度は30週頃までに流入水のT-Nと同じ濃度まで上昇し、ほとんど除去されなくなる結果となった。しかし、塩化物イオンの流出特性と比較すると、T-Nの流出の遅れが見られる。これは、実験の初期に、NH₄-Nが砂に吸着されるためと考えられる¹⁰⁾。

カラム流入水と流出水のT-P濃度の変化を図-11に示す。流入水の平均T-P濃度は23.8mg/lで

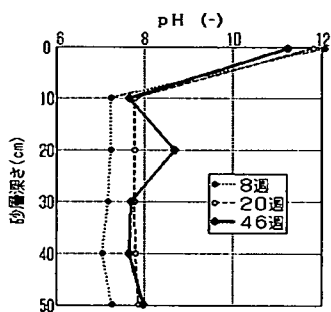


図-12 pHの砂層内変化

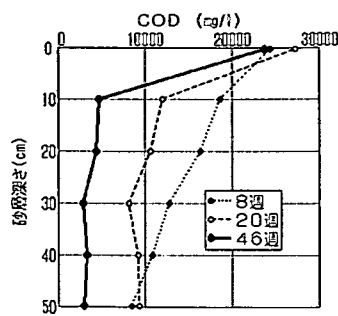


図-14 CODの砂層内変化

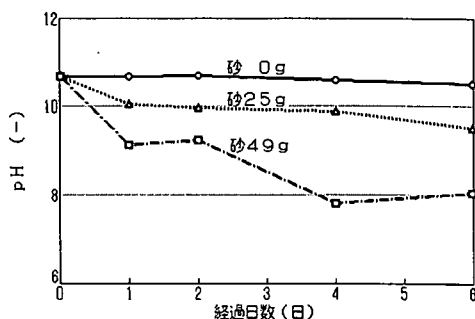


図-13 砂によるpHの緩衝実験

あった。流出水は7~8mg/lで流出しており、安定して除去されている。50~60週の除去率は67.6%であった。

(3) 砂層内での変化

それぞれの水質項目について、砂層内での変化を知るために、10cm間隔に設けたサンプリング孔から浸透水を採水し分析した。なお、採水は流入水をカラムに流入させてから一週間経過後、その週の流入の直前に行った。

a) pHの砂層内変化

pHのカラム内での変化を図-12に示す。ここで、深さ0cmの値はカラム流入水のpHを、50cmの値はカラム流出水の値を示している。pHは深さ10cmまで大きく減少し、それよりも深いところでの変化は小さかった。このpHの低下は、土壌のpH緩衝作用^{30), 31)}や、微生物分解による有機酸の生成^{7), 20)}、CO₂の溶解²²⁾などが影響しているものと考えられる。

pHの低下の一因と考えられる砂のpH緩衝能力を確認するために、カラム実験に用いたものと同じ砂に、カラム流入水を入れ、そのpHの変化を測定するピーカーテストを行った。実験には容量の異なる3種類の試験管を用いた。この3種類の試験管は、一定量のカラム流入水(13ml)と砂(それぞれ0, 25, 49g)を入れた場合に、ヘッドスペースができないように蓋

ができるような容量を持つものを特に選定したものである。ヘッドスペースができると、その中の空気中に含まれる炭酸ガスの溶け込みによるpHの低下が生じると考えられるので、それを避けるためである。選定した3種の試験管に13mlのカラム流入水を入れ、更に砂をそれぞれ0, 25, 49g入れて、ヘッドスペースができないように蓋をした。カラム流入水13mlに対して49gの砂をゆるく詰めた場合、砂はほぼカラム流入水で飽和された状態となる。静置状態で試験管内のカラム流入水のpHの経時変化を測定した。その結果を図-13に示す。砂を入れていないカラム流入水のpHの低下はほとんどなかったが、砂を入れたものについてはpHの低下が認められ、砂の量が多いほど著しくpHが低下する結果となった。砂の量が49gの場合、実験開始時のpH値10.9から、pHは徐々に減少し、4日でpH8程度まで減少していることがわかる。これらの結果から、pHの低下の一因として、砂によるpHの緩衝作用が働いているものと考えられる。

また京才等⁹⁾のカラム実験でも、pHが8以上または8以下の浸出水が砂層を通ると、pHが約8程度になり、これは実験期間1000日まで持続していたと報告されている。さらに、pH12の焼却灰溶出液を7~21日の滞留日数で30cm厚さの砂層を通すとpHは7.0~7.6となり中性化することが報告されている³²⁾。一方、S. Soyupac等⁹⁾は、土壌の働きとして、有機酸の生成によって酸性になるのを土壌が中性化し、メタン菌の増殖を高める働きを述べている。このように土壌中でのpHの中性化が種々報告されており、これは微生物の土壌中での活性を維持するのに重要な働きであると考えられる。pH緩衝作用の原因については、イオン交換の働きやpH依存荷電の存在などが挙げられるが³⁰⁾、その機構については今後更に詳細な検討が必要である。

b) 有機物の砂層内変化

カラム内でのCOD濃度の変化(図-14)は、実験の初期の8週では、上層から下層にかけて一様に減少していたが、実験期間が経過すると、深さ10cm

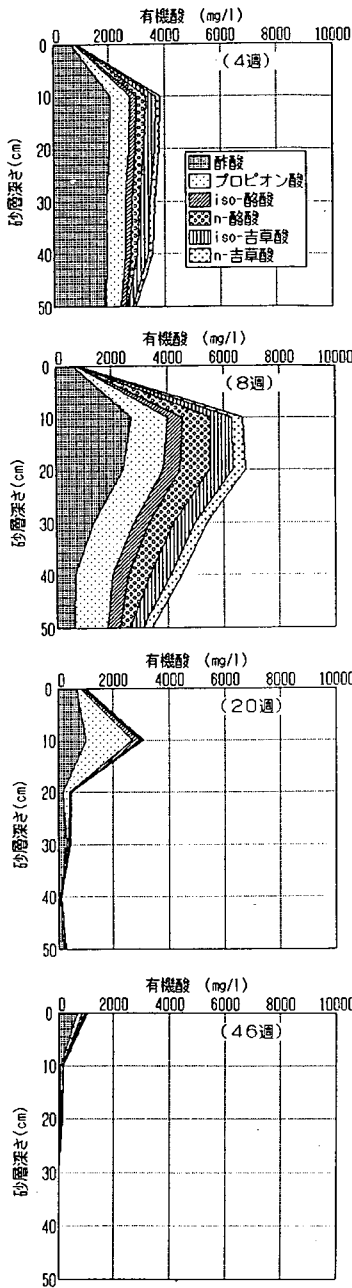


図-15 有機酸の砂層内変化

まで大きく減少し、それよりも深い層での変化は極めて小さくなる傾向を示した。この結果より、実験期間の経過にもなって、CODの分解速度が大きくなっていることと、CODの除去は、カラムに流入してから10cmまでの極めて限られた層内で進行するようになることがわかった。この原因については、時間の経過とともに砂層でのCODの分解速度が増加し、カラムへの流入は週に一度の間欠流入であるので、流入してから次の流入があるまでの間に、易

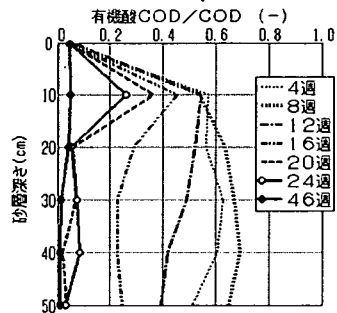


図-16 有機酸COD/CODの砂層内変化

分解性のものがカラムの上層で分解してしまい、難分解性のものだけが残存してしまうものと考えられる。

カラム内での有機酸濃度の変化(図-15)は、4週目の10cmにおける深さで3850mg/lとなっており、8週目では、10cmの深さで6730mg/lまで増加している。20週では全層にわたって大きく減少しており、46週では更に減少して、砂層の半分より深い層ではほとんど検出されていない。CODと有機酸の砂層内変化を考え合わせると、実験期間が経過すると上部10cmまでで有機酸の生成とガス化が活発に進み、CODが大きく除去されることがわかる。

COD濃度に寄与する有機酸濃度の大きさの変化を知るために、有機酸をCODに換算したもの²⁹⁾(有機酸COD)とCODとの比を求めたものを図-16に示す。流入水についての値は約0.05であるが、4週目では10cmの深さで0.6ほどになり、それより深い層ではほとんど変化しておらず、流入した有機物の一部が上層部で有機酸へ分解し、下層部では大きな変化はなくそのままの比で流出していることがわかる。16週目以降、この比は10cmまでは増加するがそれよりも深い層では減少する傾向が見られ、46週目では全層で小さくなっていることがわかる。この結果、実験初期から12週までは、深さ10cmまでに有機酸CODの占める割合は0.4以上の値を示すようになり、それより深い層でもこの値を維持しており、CODに占める有機酸の寄与が大きいことが示された。その後、有機酸の比は減少し、その寄与は次第に小さくなっていくことがわかった。

c) 窒素、りん の砂層内変化

T-NとNH₄-Nの砂層内変化を図-17、18に示す。NH₄-Nの砂層内での変化は、8週目で10cmの深さで810mg/lの濃度となっており、20週目以降では、10cmの深さで流出水と同程度の濃度まで増加しており、10cmまでの変化が大きいことがわかる。一方、20週目以降のT-Nの砂層内での変化については、変動が多少あるものの、流入水と流出水は同

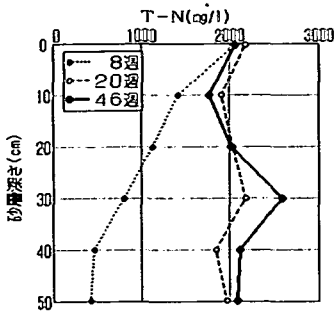


図-17 T-Nの砂層内変化

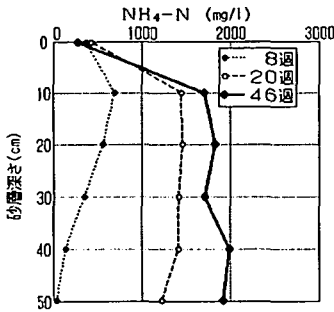


図-18 NH₄-Nの砂層内変化

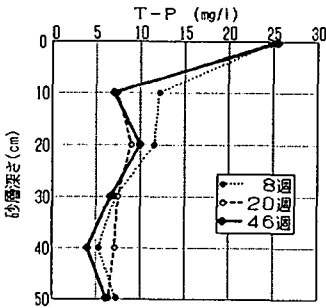


図-19 T-Pの砂層内変化

程度の濃度となり、砂層ではほとんど除去されていないことがわかる。

T-Pの砂層内での変化(図-19)は、10cmまで流下する間に大きく減少し、それより深い層では大きな変化がなく、砂層の上層部で大きく除去されていることがわかった。土壤浸透処理においてりんの除去率は高く、これらは吸着作用やアルミニウム、鉄、カルシウムなどと化学的に結合して不溶化水系から除去されることが知られており¹²⁾、本実験においてもこれらの作用によって除去されたものと考えられる。

(4) 砂への付着物質の変化

カラム実験期間は60週であったが、この期間内に目詰まりは生じなかった。実験期間の経過にもなると、砂層の表面に薄い膜が形成され、砂層の表面から10~15cmにかけて黒く変色するのがみられた。カラム実験

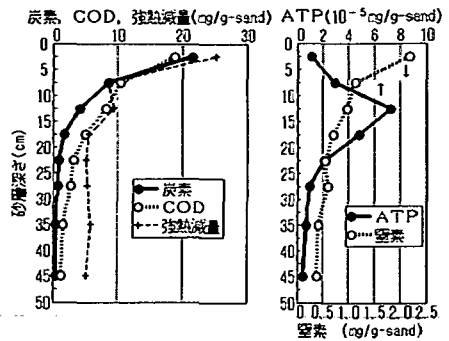


図-20 砂への付着物の変化

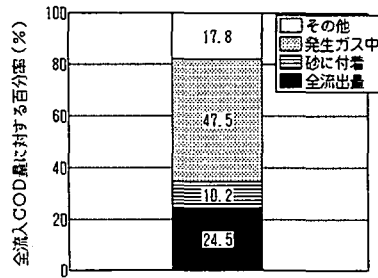


図-21 COD收支

終了後、深さ30cmまでは5cm間隔に、それより深い層では10cm間隔でカラム内の砂を取り出した。その後、直ちに砂への付着生物量とその活性を評価する目的で、ATPを測定した³⁴⁾。さらに、砂に付着している炭素、COD、強熱減量、窒素を測定した。これらの結果を図-20に示す。炭素、COD、強熱減量、窒素はいずれも上層で大きく、下層ほど小さくなる傾向にあった。しかしATPは、10~15cmでピークを持つ変化を示し、他の成分とは異なる砂層内分布を示した。これは、間欠流入のために表層では負荷の変動が大きいこと、pHの大きい流入水に曝されることなどが原因であると考えられる。ATPが小さい上層の区間でCODの除去が大きく進行する原因について考察すると、カラム流入水は間欠的に上層から流入しており、流入水は上層に滞留することになる。従って、上層でのCOD分解能力がそれほど大きくなるとも次の流入までに上層に滞留している易分解性のCODの分解が進むことなどが考えられる。

(5) COD收支

全実験期間におけるCOD收支を以下のように計算し検討した。

- ①全流入COD量 = $\sum (C_{in} \times Q_{in})$
 - ②全流出COD量 = $\sum (C_{eff} \times Q_{eff})$
- C_{in} : 流入水COD濃度(mg/l)
 Q_{in} : 流入水量 (l)

Ceff : 流出水COD濃度(mg/l)

Qeff : 流出水量 (l)

③砂への付着COD量

$$= \Sigma ((COD_i - COD_0) \times W_i)$$

COD_i : それぞれの深さにおける
付着COD量(mg/g)

COD₀ : カラム実験開始時の付着
COD量(mg/g)

W_i : それぞれの深さにおける砂
の重量(g)

④発生ガス中COD量は図-7に示した発生ガス中のメタンの体積をその組成から求め、係数2.857mg-COD/ml-CH₄²⁹⁾を乗じて求めた。

これらの計算結果を図-21に示す。全流入COD量①に対して、全流出COD量②が24.5%、砂への付着COD量③が10.2%、発生ガス中COD量④が47.5%であり、回収率は82.2%であった。未回収分については、この実験では、カラム上端でのみガスを捕集したので、流出水に混入して気泡状になって出るガスがあり、発生したCH₄をすべて回収できなかったこと、除去されたCODの一部がCH₄以外の物質(H₂Sなど)に転換したこと³⁵⁾、流入水、流出水、そして砂に付着している成分に、COD分析の際の酸化率に違いがある可能性があることなどが原因と考えられる。

前述のように、土壌での浄化は物理的浄化(濾過)、物理化学的浄化(吸着、不溶化)、生物化学的浄化(生物分解)などの作用によると考えられ、CODの収支の検討から、CODの減少には生物分解が大きく寄与していることがわかった。

4. おわりに

廃棄物最終処分場における浸出水のように、高濃度の有機物を含む廃液が覆土層や地下に浸透する場合の挙動を知るために、嫌気的な条件にある砂カラムを用いた実験を行い検討した。その結果次の点が明らかになった。

(1)高濃度有機性廃液が50cmの砂層に浸透した場合、CODについては80%以上の大きな除去率が得られた。また、CODは、砂層へ流入してから10cmの深さまでの限られた区間で大きく除去され、それより深い層ではほとんど変化していないことがわかった。このCODの除去には、生物分解が大きく寄与しており、その中でも流入水中の蛋白質の分解の影響が大きいことが示された。しかし、一方では60週経過後も除去されずに残存するCOD成分があることがわかった。

(2)CODの収支を検討したところ、全流入CODの47.5%がカラム上端に設置したガスバックに捕集され、10.2%が砂層に付着して除去され、24.5%が流出した。

(3)窒素成分については、有機態窒素のNH₄-Nへの分解が生じているが、砂層中でのT-Nの除去率は極めて小さく、従って、高濃度のNH₄-Nが流出する結果となった。また、有機態窒素のNH₄-Nへの分解は砂層の上層部で生じていた。

(4)りんについては、67%の除去率が得られ、この除去は砂層の上層部で大きいことがわかった。

(5)カラム実験終了後、砂への付着量を測定したところ、炭素、COD、強熱減量、窒素については、上層部で大きく、下層部で小さくなる傾向にあったが、ATPについては、10~15cmの深さでピークをもつ変化を示した。

以上の結果より、廃棄物埋立地内の覆土層では有機物は大きく除去されるが、一方では残存するものがあること、窒素の除去は望めないが、りんの除去は期待できることなどがわかった。今後は、降雨にともなう発生量に変化する浸出水のように、間欠的に土壌層に流入する場合の流下特性や浄化機構をさらに明らかにすることと、不飽和状態で浸透する場合や、浸透する廃液の水質の違いによる浄化特性の検討を行うことを課題としたい。

参考文献

- 1) 国松孝男, 菅原正孝: 都市の水環境の創造, 技報堂出版, pp.238~263, 1992.
- 2) 花嶋正孝, 松藤康司, 島岡隆行, 押方利郎: シャ水シートの試験方法に関する一考察, 第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集I, pp.495~498, 1993.
- 3) 中杉修身: 土壌・地下水汚染の現状と対策, 廃棄物学会誌, 第5巻, 第2号, pp.164~173, 1994.
- 4) 高橋一三: 土壌の汚染と浄化作用(8) - 廃棄物の埋立(その1) -, 水処理技術, Vol.15, No.2, pp.1~17, 1974.
- 5) 京才俊則, 大嶋吉雄, 岡久宏史: 下水汚泥の埋立に伴う浸出水・余水の性状調査報告書, 土木研究所資料第2322号, 1986年3月.
- 6) 京才俊則, 大嶋吉雄, 近藤次夫: 浸出水・余水の処理に関する調査, 土木研究所資料 昭和60年度下水道関係調査研究年次報告集, 1986.
- 7) 相坂清子, 平間幸雄: 下水汚泥からの浸出成分について, 下水道協会誌, Vol.20, No.282, pp.56~66, 1987.
- 8) 西村文緒, 島岡隆行, 花嶋正孝: 埋立地における硬化型フォームの即日覆土材としての有効性について(その2), 廃棄物学会第4回研究発表会講演論文集I, pp.465~468, 1993.
- 9) Soyupac, S., Farquhar, G.J. and Sykes, J.F.: Modelling

- Contaminant Attenuation in Soil: Microbial Decomposition of Organic Matter. In Land Disposal of Hazardous Wastes, EPA-600/9-78-016, pp.245~254, 1978.
- 10) Kjeldsen, P. and Christensen, T.H.: Soil Attenuation of Acid Phase Landfill Leachate, *Waste Management & Research*, pp.247~263, 1984.
- 11) Loes, V.E.: Mineralization of organic matter in the subsoil of a waste disposal site, *Soil Science*, Vol.16, No.1, pp.22~28, 1978.
- 12) 国松孝男, 菅原正孝: 都市の水環境の創造, 技報堂出版, pp.146~166, 1992.
- 13) 山口登志子, 寺西康治: 不飽和浸透流における脱窒過程, 衛生工学研究論文集, 第23巻, pp.211~217, 1987.
- 14) Ehrig, H.J.: Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate, *Waste Management & Research*, Vol.1, pp.53~68, 1983.
- 15) 花嶋正孝, 松藤康司: 埋立場からの浸出汚水量とその水質, 都市と廃棄物, Vol.8, No.8, pp.25~32, 1978.
- 16) 水野勝, 溝口清数, 稲垣成房: 産業廃棄物埋立地モデルの浸出水について (第2報), 水処理技術, Vol.27, No.3, pp.57~63, 1986.
- 17) 水野勝, 溝口清数, 神谷正俊: 産業廃棄物埋立地モデルの浸出水について (第3報), 水処理技術, Vol.27, No.5, pp.35~41, 1986.
- 18) 水野勝, 溝口清数, 神谷正俊: 産業廃棄物埋立地モデルの浸出水について (第4報), 水処理技術, Vol.27, No.9, pp.27~31, 1986.
- 19) 田中信寿, 神山桂一: 都市廃棄物嫌気性埋立層中の可溶性汚濁物生成過程に関する研究, 土木学会論文集, 第381号, II-7, pp.217~225, 1987.
- 20) 李南勲, 楠田哲也, 島岡隆行, 松藤康司, 花嶋正孝: 埋立廃棄物層における汚濁物質の質変換現象に関する実験的研究, 廃棄物学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.53~63, 1993.
- 21) (社) 全国都市清掃会議: 廃棄物最終処分場指針解説, pp.226~229, 1994.
- 22) 花嶋正孝, 松藤康司, 樋口壮太郎, 堀内朝夫, 山本一郎, 島崎武志, 北村隆: 廃棄物物理立場浸出汚水の処理について, 水処理技術, Vol.18, No.10, pp.51~61, 1977.
- 23) Nakayama, M. and Enari, K.: The degradation of highly concentrated organic waste water by the sand layer method, *proceedings 5th I.A.W.Q Asian Regional Conference on Water Quality and Pollution Control*, pp.685~691, 1995.
- 24) (社) 日本下水道協会: 下水試験方法 (1984年版)
- 25) 中野政詩: 土の物質移動学, 東京大学出版会, pp.71~75, 1991.
- 26) 地下水問題研究会編: 地下水汚染論—その基礎と応用—: 共立出版, pp.192~230, 1992.
- 27) 岩井重久, 申丘澈, 名取眞: 下・廃水汚泥の処理, コロナ社, pp.16~43, 1981.
- 28) 井出哲夫: 水処理工学, 技報堂出版, pp.373~376, 1993.
- 29) 李玉友, 野池達也: 嫌気性消化の酸生成相における余剰活性汚泥の分解特性, 水質汚濁研究, 第10巻, 第12号, pp.729~740, 1987.
- 30) 岩田進牛: 土のはなし, 大月書店, pp.161~166, 1986.
- 31) 久馬一剛: 新土壌学, 朝倉書店, pp.86~93, 1991.
- 32) 松藤敏彦, 田中信寿, 宮脇健太郎, 阿部知子: 焼却灰埋立層浸出水 pH の決定要因, 土木学会第48回年講, pp.1152~1153, 1993.
- 33) 建設省土木研究所: 昭和62年度下水道関係調査研究年次報告書集, 土木研究所資料第2654号, pp.106~109, 1988年10月.
- 34) Chung, Y-C. and Neethling, J.B.: ATP as a measure of anaerobic sludge digester activity, *Journal WPCF*, Vol.60, No.1, pp.107~112, 1988.
- 35) 李玉友, 野池達也: 汚泥の嫌気性消化における細菌群の分布と物質分解特性—メタン生成菌とホモ酢酸生成菌を中心として—, 水質汚濁研究, 第12巻, 第12号, pp.771~780, 1989.

(1996.3.29 受付)

THE DEGRADATION CHARACTERISTICS OF HIGHLY CONCENTRATED ORGANIC WASTE WATER BY THE SAND LAYER METHOD

Masatomo NAKAYAMA and Keijiro ENARI

The purpose of this study is to consider experimentally the degradation characteristics of highly concentrated organic waste water using a sand column for 60 weeks. The influent COD of 24700mg/l was reduced by 82% over the 50cm sand column length. The COD reduction was achieved in the upper sand layer. The T-N in the inflow water was almost not removed, and which removal rate was less than 2%. The T-P concentration was reduced, the average removal rate was 67%.