



管理型最終処分場における電気伝導率とイオン類の深度分布評価

田中宏和・森陰早也香・吉田耕一郎

Research on Depth Distribution of Electric Conductivity and Inorganic Ions on Industrial Waste Landfill

Hirokazu TANAKA, Sayaka MORIKAGE, Koichiro YOSHIDA

1. はじめに

管理型最終処分場の安定化については、降水による塩類洗い出しと微生物による有機物分解により進行する。

筆者らは処分場安定化の地域特性把握を主目的とし、北陸地方の管理型最終処分場を対象とした調査を実施している。

今回、埋立時期が異なる管理型最終処分場でボーリング掘削を実施し、得られたコアサンプルについて深度別の電気伝導率と含有イオン類の関係評価を試みたので、得られた知見を報告する。

2. 処分場情報と調査方法

2.1 調査対象施設の概況

調査対象の処分場埋立地は掘り込み式で、2011年3月現在で6区画が存在する。その内訳は、表1のとおりであり、今回ボーリング調査したのは埋立が完了している第1区画から第5区画までの全5区画である。各区画の埋め立て物組成を図1に示す。

埋立は、埋立地に一定水位の降水を溜め、中間覆土は行わずに区画の端から順次埋立する方式を採用している。さらに埋立終了後も、埋立層内部は年間を通じて保有水水位が高い状態が続いている。

最終覆土には、埋立地の造成時に発生した砂質土を使用しており、下部集水管に溜まった浸出水は水中ポンプで揚水し、下水道へ排除している。

2.2 ボーリング調査方法と試料採取、分析方法

ボーリング掘削は2009年11月に実施し、掘削径は116mm、掘削深度は第1区画が3m、それ以外の区画は5mとした。乱れの少ないコアサンプルを採取するため、二重管のサンプラーを用いて無水オールコア方式で掘削を行い、ポリカーボネート製の内管に採取したコアサンプルはできるだけ大気に接触しないように、採取後直ちに内管の上下をビニルシートで密閉した。

次に試料採取から30時間以内に、コアサンプルをポリカーボネート管に入れたまま、長さ0.25m毎に切断後、管側面を切断分離して、内部の廃棄物を観察し、スケッチと柱状図を作成した。

その後、深さが0.25-0.50m、1.25-1.50m、2.25-2.50m、3.25-3.50m、4.25-4.50mのコアサンプルを透水試験用として外部検査機関に搬送し、残りのコアサンプルから性状分析用として、試料をすみやかにデジバックに採取し、携帯型ダイヤフラムポンプを用いてデジバック内の空気を吸引し、密封した。ただし第2区画については最終覆土が

表1 各区画の埋立時期

区画	深さ(m)	埋立開始	埋立終了	埋立期間	終了からの期間
1	3.5	1982年12月	1988年3月	5年4ヶ月	23年
2	6	1988年3月	1990年9月	2年7ヶ月	20年6ヶ月
3	6	1990年9月	1995年5月	4年9ヶ月	15年10ヶ月
4	6	1995年6月	2000年12月	5年7ヶ月	10年3ヶ月
5	6	2001年1月	2009年5月	8年5ヶ月	1年10ヶ月
6	6	2008年3月	—	—	—

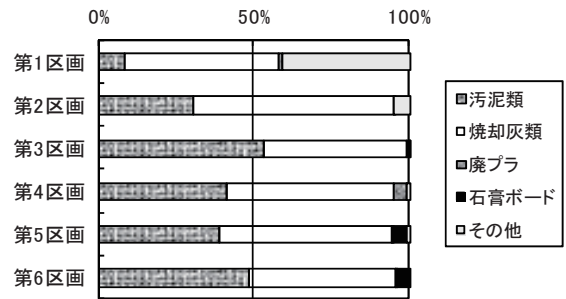


図1 埋立物組成 (重量換算)

深度1.5m付近まであり、深度1.50-1.75mのサンプルを透水試験用としたため、その部分の性状分析データは得られていない。

性状分析用試料は直ちに当センター分析室に持ち帰り、試料40gを500mLポリ容器に秤量し、超純水400mLを加え、300回/分で5分間上下振とうして検液を調製した。この検液を約200mL分取し、そのままの状態でのpH、電気伝導率(EC)、酸化還元電位(ORP)、アンモニウムイオン(NH₄⁺)を測定した。NH₄⁺の分析はイオン電極法を用いた。

残りの200mLの検液を3000rpmで20分間遠心分離し、上澄液の酸消費量を滴定法で測定した。

さらに、上澄液を孔径0.45μmのメンブレンフィルターでろ過したものについて、塩化物イオン(Cl⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)、硝酸イオン(NO₃⁻)をイオンクロマトグラフ法で、ナトリウムイオン(Na⁺)、カリウムイオン(K⁺)、カルシウムイオン(Ca²⁺)、マグネシウムイオン(Mg²⁺)をICP質量分析法で測定した。K⁺の分析では、リアクションガスに酸素を用いた干渉除去法を採用した。また、炭酸水素イオン類(HCO₃⁻+CO₃²⁻)は滴定法による酸消費量測定結果から換算した。

3. 結果および考察

3.1 深度と電気伝導率の関係

廃棄物層の EC の結果を図 2 に示す。横軸の深度は切断したコアサンプルの最上端の深さを表している。

第 1、3、4 区画の深度 1.50m の比較的浅い部分に高値がみられ、第 5 区画でも深度 1.00m に同様な高値が確認されたが、第 2 区画では確認されなかった。また、1.75m 以深については、深度が深くなるほど EC の上昇傾向がみられ、各区画を比較すると、埋立終了からの経過期間が短い第 5 区画が最も高い値を示し、次に第 2 区画、第 4 区画、第 3 区画の順となった。

3.2 浅層部の高電気伝導率の原因

深度 1.00~1.75m の高 EC 層に着目し、その部分の主要イオン濃度を表 2 にまとめた。なお、水素イオン(H⁺)は pH から換算した。陰イオンについては第 1 区画と第 5 区画では SO₄²⁻、第 4 区画では HCO₃⁻+CO₃²⁻が高く、陽イオンについては第 1、4、5 区画で Ca²⁺が高いことが分かる。第 3 区画では他の区画に比べて、特に高濃度を示すイオンは確認できないものの、SO₄²⁻、HCO₃⁻+CO₃²⁻、Ca²⁺が高めであった。

この原因として保有水水位に着目した。各区画の観測井の水位は図 3 のとおりであり、年間を通じて保有水水位は高い。特に冬期は全区画で地表付近まで達し、秋の最も水位が下がる時期でも地表から -1~2m 程度の深度に水位があることが分かる。

以上から、高 EC 層を形成するメカニズムとして、次のとおり推察した。つまり、溶出しにくいイオンといわれる SO₄²⁻と Ca²⁺が、毎年繰り返される保有水の水位変動に伴う水の移動によって、水位変動幅の最下層付近に移動濃縮し、蓄積される¹⁾。図 4 に示されるとおり、深度 1.5m 付近の ORP は低く、還元性雰囲気となっていることから、硫酸還元菌の作用等により SO₄²⁻は硫化物イオン(S²⁻)となり、硫化カルシウム(CaS)をはじめとする難溶性の硫化物が形成され、その結果、第 3 区画と第 4 区画におけるイオン態の SO₄²⁻の賦存量は少なく、本試験では低い濃度値を示したと考えた。

さらに併行して、埋立層内部では Ca²⁺は有機物分解由来の HCO₃⁻や CO₃²⁻と反応し、難溶性の炭酸カルシウム(CaCO₃)を形成する。第 4 区画で HCO₃⁻+CO₃²⁻と Ca²⁺濃度が高いのは、CaS よりも CaCO₃形成速度が遅く、未だイオン態で存在するものが多いためと考えられるが、第 3 区画は第 4 区画よりも埋立時期が古く、埋立終了からの経過期間が長いため、CaCO₃形成の反応が進み、その結果イオン態の HCO₃⁻+CO₃²⁻や Ca²⁺濃度は低い。さらに、第 3 区画の HCO₃⁻+CO₃²⁻濃度が低い理由としては、有機物の好気性分解による HCO₃⁻+CO₃²⁻の供給がなくなったことも一要因として考えられる。第 5 区画については埋立終了からの期間が短いため、生物活性が乏しく、好気性有機物分解由来の HCO₃⁻+CO₃²⁻含有量が少ないと考えられた。

そして、第 1 区画は安定化の終期に近く、酸化性雰囲気が戻つつあることから、硫黄酸化菌等の働きにより、硫化物が酸化されることによって SO₄²⁻の再溶出が起り、高値を示したと推定された。

なお、第 2 区画で高 EC 層がみられなかった理由は、最終覆土層が約 1.5m あるのに対し、保有水水位の低下が地

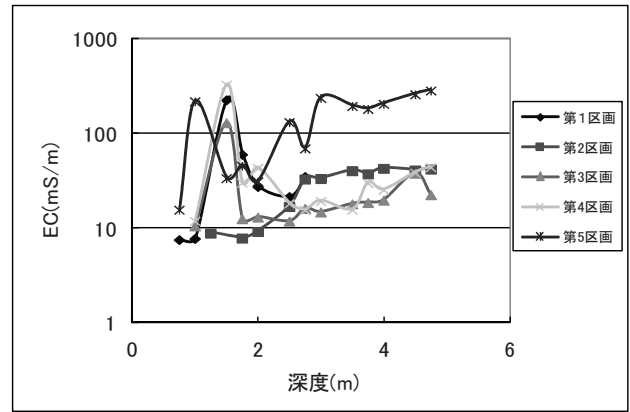


図 2 電気伝導率の深度分布

表 2 高電気伝導率部分の主要イオン濃度

区画	第1区画	第3区画	第4区画	第5区画
深度 (m)	1.50-1.75	1.50-1.75	1.50-1.75	1.00-1.25
SO ₄ ²⁻ (meq/L)	6.29	0.47	0.14	36.77
NO ₃ ⁻ (meq/L)	0.15	0.14	0.02	0.21
Cl ⁻ (meq/L)	0.05	0.03	0.12	0.20
HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻ (meq/L)	1.10	1.00	15.60	0.46
H ⁺ (meq/L)	0.00	0.00	0.00	0.00
NH ₄ ⁺ (meq/L)	0.64	0.19	0.07	0.26
Na ⁺ (meq/L)	1.94	0.16	0.87	0.59
K ⁺ (meq/L)	0.18	0.02	0.17	0.18
Ca ²⁺ (meq/L)	4.51	0.90	11.42	31.38
Mg ²⁺ (meq/L)	0.19	0.08	0.00	0.74
Anion (meq/L)	7.59	1.65	15.88	37.63
Cation (meq/L)	7.47	1.35	12.54	33.14

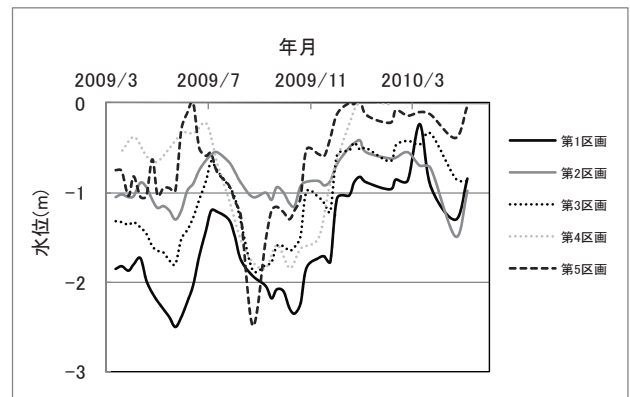


図 3 観測井水位

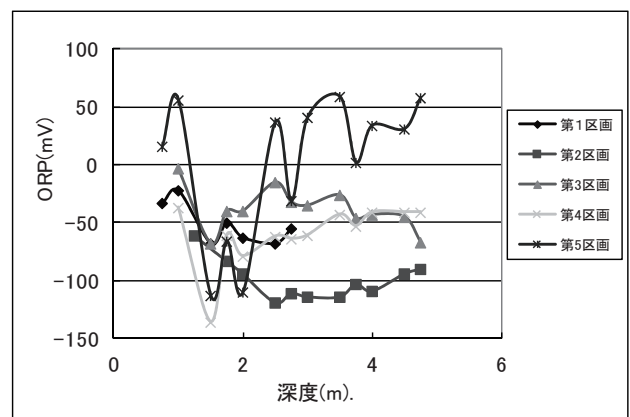


図 4 酸化還元電位の深度分布

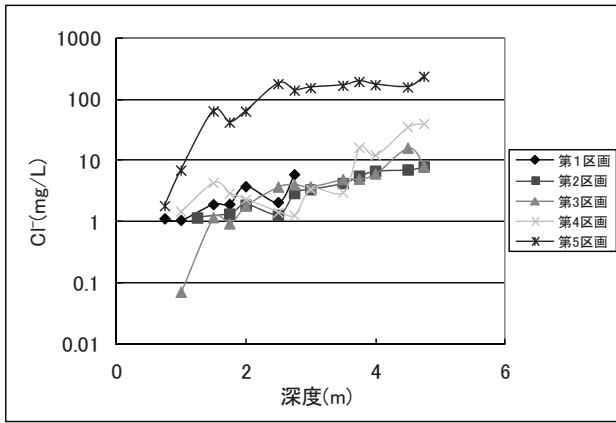


図5 塩化物イオンの深度分布

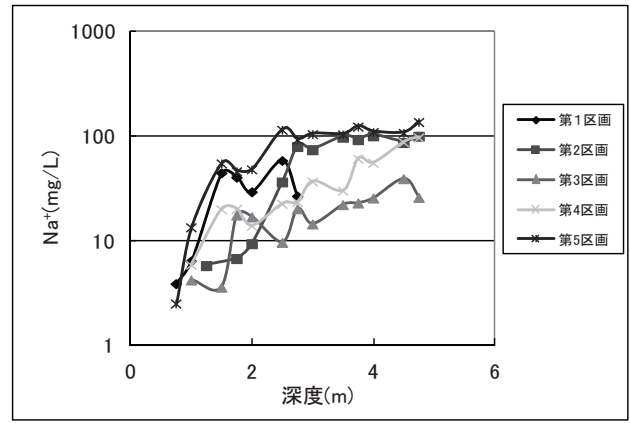


図6 ナトリウムイオンの深度分布

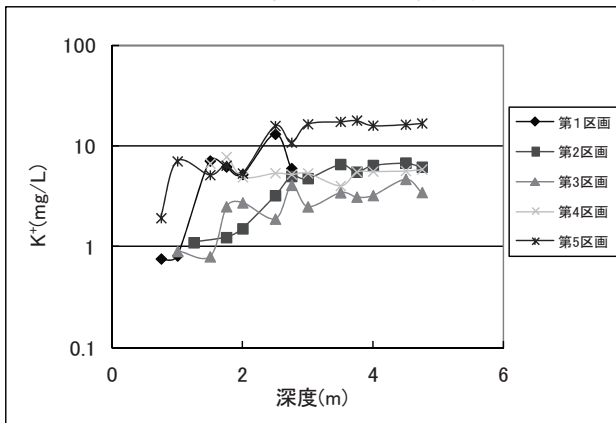


図7 カリウムイオンの深度分布

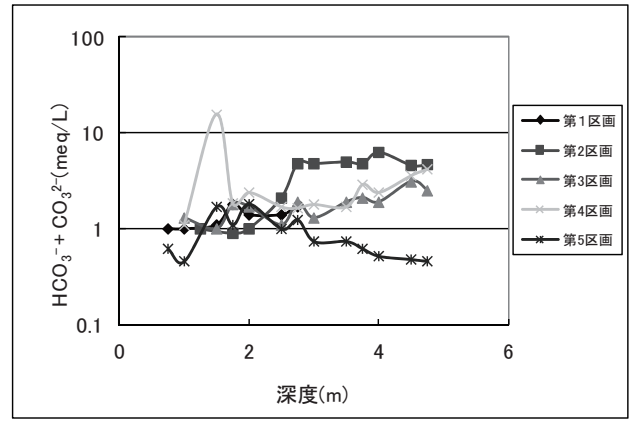


図8 炭酸水素イオン類の深度分布

表下1m程度までであることから、水位変動が廃棄物層まで達しなかったことが原因と考えられた。

3.3 深層部の電気伝導率挙動原因

次に、1.75m以深で深度に伴うEC上昇がみられたことについて考察する。全区画において易溶出性の Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ は深度とともに増加傾向を示した(図5～図7)。

$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ は埋立終了から期間が経過した第2～4区画では増加しているが、埋立時期が最近で、酸化性雰囲気を残す第5区画では減少傾向を示した(図8)。一方、 SO_4^{2-} と Ca^{2+} は第5区画では深度約3mまで増加傾向を示し、3～5mでは高濃度で推移したが、第2～4区画では低下傾向を示した(図9、図10)。

以上のことから、深度に伴うEC上昇は上層から下層への塩類洗い出しが関係していると考えられるが、廃棄物層の好気、嫌気雰囲気により原因となるイオン種は異なり、埋立からの経過期間が長く、嫌気性の強い第2～4区画では $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ と易溶出性の Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ の濃度上昇が寄与していた。一方、埋立からの期間が短く、好気性雰囲気を残す第5区画は Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ に加えて SO_4^{2-} や Ca^{2+} も下部層に高濃度に存在し、下部層での高ECに寄与していた。これらの結果は過去に、各区画の浸出水中のイオンを比較評価した結果と矛盾しない²⁾。

なお、第2区画の下部層のECが第3、4区画よりも高い理由として、第2区画のORPが極度に低いことや、深度2.5m付近から Na^+ 、 K^+ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ が急激に増加していることから、何らかの原因により、水が移動しにくく、洗い出しが進んでいないことが推察されるが、明確な理由は不明であった。

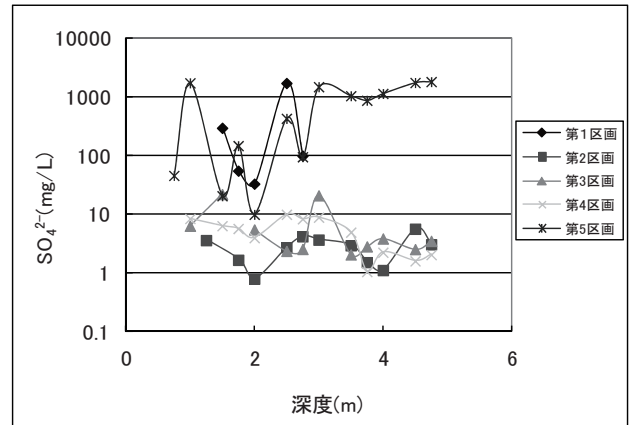


図9 硫酸イオンの深度分布

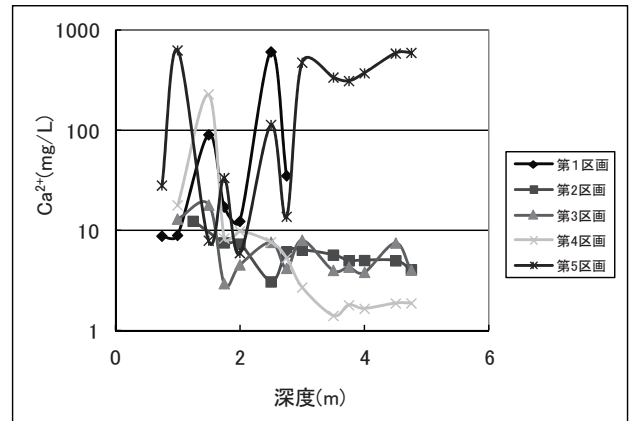


図10 カルシウムイオンの深度分布

4. まとめ

埋立時期が異なる複数区画のボーリングコアのEC分析で、深度 1.00m から 1.75m に高値を示す層を確認した。これは SO_4^{2-} と Ca^{2+} 、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ に起因し、保有水水位の年間変動により濃縮されたためと推察され、時間の経過とともに難溶塩の形成が示唆された。

1.75m 以深においては深度とともに EC が上昇傾向を示し、EC に寄与するイオンとしては全区画で易溶出性の Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ が確認され、さらに埋立時期が古い区画においては $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ の上昇も確認された。一方、酸化性雰囲気が残る新しい区画では SO_4^{2-} と Ca^{2+} 濃度が下層部で高く、高 EC に寄与していた。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「安定化の促進と安全な跡地利用のための最終処分場の分析評価と技術開発」の一環として実施した。ご指導いただいた国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター廃棄物適正処理処分研究室の山田正人室長、遠藤和人主任研究員、石垣智基主任研究員、そして、調査にご協力を賜りました関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1)長森正尚他：浸出水の水質経年変化,埼玉県公害センター研究報告,21,49-65(1994)
- 2)田中宏和他：管理型最終処分場における埋め立て途中と終了後の浸出水水質挙動比較,第 20 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集,457-458(2009)