産業廃棄物におけるバイオレメディエーションの除塩効果の検討

山口大学大学院　学生会員　○児玉　祥樹
山口大学大学院　正会員　中田　幸男
山口大学大学院　正会員　Azizul Md Moqsud

１．はじめに　図 1 より近年、最終処分場施設数の減少とともに埋立処分場の確保が極めて困難になっている。そのため焼却を主体とする中間処理を行う。焼却に伴って発生する塩化水素ガスを消石灰 $Ca(OH)_2$で中和すると大量の塩化カルシウムが発生する。すると廃棄物の塩分濃度が高くなり、浸出水として排出されるため問題となる [1]。本研究では微生物の挙動を活かしたバイオレメディエーションによる除塩効果を検討すると同時に、微生物の有機物分解と電圧との関係性があるか評価した。またバイオレメディエーションとは微生物の汚染物質分解、吸収等の働きを利用して環境汚染の修復、浄化することである。

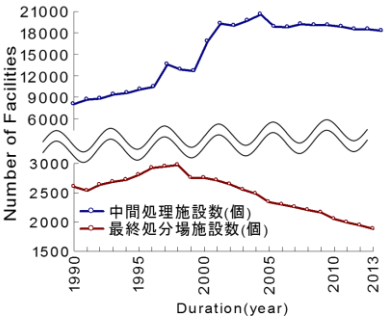

図 1　施設数の推移

表 1　廃棄物・まさ土の物理特性

	廃棄物	まさ土
含水比(%)	30.3	0.94
pH	11.12	6.37
EC(mS/cm)	10.77	0.0268
LOI(%)	20.3	2.0
湿潤密度ρ_s(g/cm^3)	2.72	2.64

２．実験概要　廃棄物、まさ土の物理特性を表 1 に示す。EC は電気伝導度を表しており、電気の通しやすさを示し、LOI は有機物含有量を表す。まさ土と比較して pH、EC、LOI 値が高く、塩分濃度、有機物含有量が多いことがわかる [2]。本研究では図 2 のように CASE1～5 の 5 種類のモデルを作成し、廃棄物の EC(mS/cm)を下げ、塩分濃度低下を目的に行った。また CASE4 では微生物代謝を利用し、有機物（燃料）を電気エネルギーに直接変換する装置である微生物燃料電池を用いている。有機物の分解によって生じた電子 e^-を負極が回収するため、土壌中の有機物の量を減らすことが可能であると考えられている。CASE1 においては何も入れてない状態であり、CASE2 は EM 菌を廃棄物に混ぜて用いている。CASE3 は CASE2 の飽和状態であり、CASE4 はそれに深さ 0cm、5cm の箇所に電極を設置した。最終処分場では図 3 の準好気性埋立構造が使用されている。廃棄物の微生物分解に伴う発酵熱で埋立地内外温度差による熱対流が生じ、空気の流入が起こる。それにより廃棄物の好気性分解を促進し、浸出水を浄化する構造である。この構造を想定し、CASE5 は CASE2 の条件でガス抜き管を設け、実験を行った。測定箇所は深さ 0、2.5、5、10、15cm で EC（mS/cm）、pH、LOI(%)を一週間に一回、CASE4 に関しては電圧を一日に一回、6 週間測定を行った。

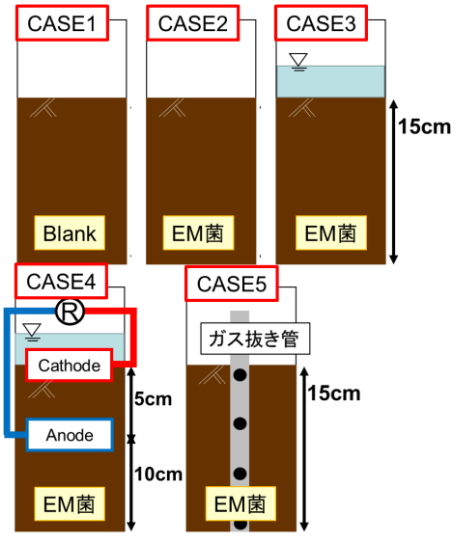

図 2　CASE1～5 のモデル

３．実験結果

３－１．CASE1～5 の比較　図 4、5 に CASE1～5 における 6 週間目の pH、EC 値の結果を示している。CASE2 の 1 週目では表層も下がっていたが 2 週目以降は表層の EC 値が高くなる結果が得られた。CASE1、2 において水分の蒸発とともに表層付近の塩分が集積することがわかった。これにより、微生物の働きが弱まったと考え、

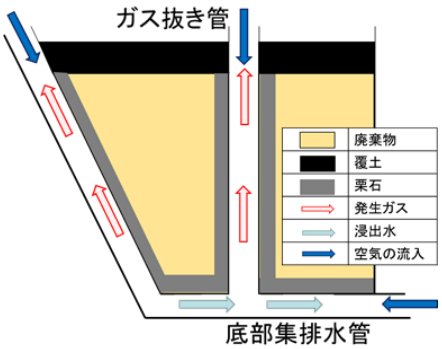

図 3　準好気性埋立構造

キーワード　産業廃棄物、バイオレメディエーション、有機物分解
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台 2-16-1　山口大学大学院創成科学研究科　TEL　0836-85-9300

CASE5 では、ガス抜き管を用い酸素供給を行った。CASE2、5 の表層部を比較すると CASE2 は初期値から EC=5.36(mS/cm)上がっているのに対し、CASE5 は EC=1.06(mS/cm)下がった。これにより空気の流入が好気性分解を促したと考える。CASE3、4 は全体的に EC 値が下がっているが、飽和状態なため底部に塩分が集積している。底部だけで見ると CASE2 と同程度の値を示している。CASE3、4 を比較すると CASE4 は有機物分解が多い分、CASE3 より EC 値の減少が小さかった。pH に関しては CASE1、2 の表層が高い値を示した。CASE3、4、5 は全体的に下がっていることが分かる。

３－２．LOI と電圧の関係　図 6 に CASE4 の LOI と電圧との関係性を示す。LOI において初期値の 20.3%から 16.3%と減少したため、電圧値も出ることがわかった。また 21 日以降の LOI 減少が大きく、電圧値も上がる結果が得られた。また CASE4 の LOI は 16.3%であるが CASE3 は 18.8%と減少が少なかった。これにより有機物の分解によって生じた電子 e^-を負極が回収するため、土壌中の有機物の量を減らすことができ、電圧値が上がったと考える。

３－３．SEM 解析　SEM(scanning electron microscope)とは走査型電子顕微鏡であり、電子線を細く絞って試料に当て、放出される二次電子や反射電子、透過電子、X 線、カソードルミネッセンス（蛍光）、内部起電力等を検出する事で対象を観察する電子顕微鏡のことである。図 7 に SEM による廃棄物の解析写真とその条件、表 2 に CASE5 の 0 週間目と 6 週間目の得られた元素成分を示す。この結果から 0 週間目の Ca、Na、Cl 等の塩分濃度が高いだけでなく、Pt、Fe 等の金属類も多く含まれることが分かる。今回 EM 菌を使用した際に、6 週間目では Ca、Na 等は減少したが金属類は減少しなかったため、金属類を考慮した微生物選定を行っていく必要がある。それにより除塩効果がより得られると考えられる。

４．まとめ　CASE3、4、5 が全体的に pH、EC 値が下がった。CASE2、5 の比較から空気の流入による好気性分解を促すことで、より塩分濃度低下の効果が得られた。LOI が下がれば電圧値も上がり、21 日以降の LOI 減少が大きく、電圧値の増加も大きいことがわかった。SEM 解析により Ca、Na 等の減少することがわかり、塩分濃度低下の効果が得られた。金属類を吸収する微生物を選定すれば、除塩や有機物分解の効果の向上を見込むことができると考える。

参考文献

1) 堀井安雄、樋口壮太郎、島岡隆行、花嶋正孝：高塩類浸出水の処理技術、廃棄物学会誌,Vol.8,No.7,pp.529-539,1997

2) Moqsud, M.A., Omine, K., Raja, C.E., 2012, Soil restoration of agricultural land damaged by sea water in Tohoku Earthquake 2011, International Journal of Environment, 2(2): 128-134.

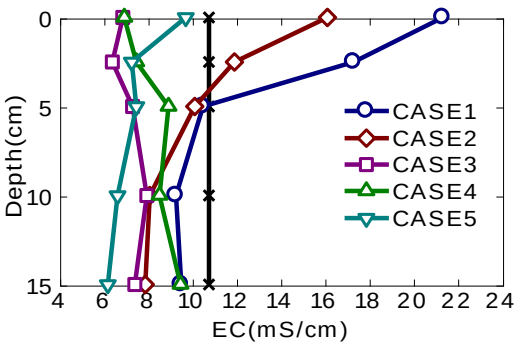

図 4　EC 値の比較（6 週間目）

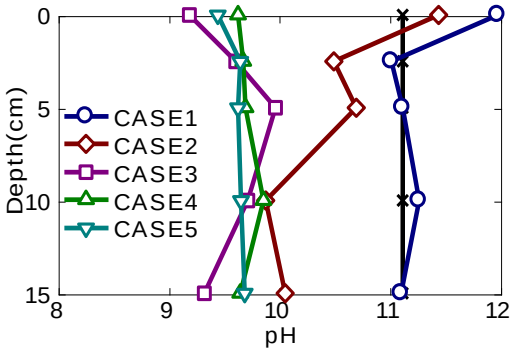

図 5　pH 値の比較（6 週間目）

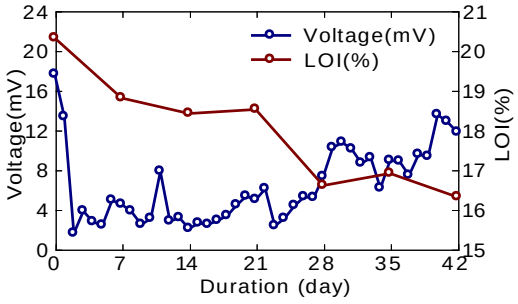

図 6　LOI と電圧の関係

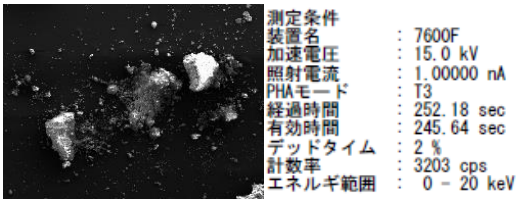

図 7　SEM 解析写真と条件

表 2　CASE5 の元素成分

0 週間目

ZAF法 簡易定量分析
フィッティング係数 : 0.0870

元素	質量%	原子数%
C K	58.14	69.97
O K	29.01	26.21
Na K	0.49	0.31
Mg K	0.20	0.12
Al K	0.62	0.33
Si K	1.86	0.96
S K	0.42	0.19
Cl K	0.76	0.31
K K	0.26	0.10
Ca K	2.58	0.93
Fe K	0.80	0.21
La L	0.71	0.07
Pt M	4.16	0.31
合計	100.00	100.00

6 週間目

元素	質量%	原子数%
C K	51.95	63.78
O K	36.66	32.06
Na K	0.21	0.12
Mg K	0.33	0.31
Al K	0.96	0.70
Si K	1.82	0.97
S K	0.71	0.33
Cl K	0.16	0.11
K K	0.23	0.10
Ca K	1.21	0.49
Fe K	1.01	0.41
La L	0.91	0.29
Pt M	4.20	0.33
合計		