

安定化促進のための埋立方法改変の検討

九州大学大学院工学研究院 島岡隆行 江藤次郎

1. 背景と目的

現在、地域住民の反対等により最終処分場の新たな確保が非常に困難な状況に陥っている。主な理由は、遮水システムの担保期間と埋立廃棄物中に含まれる有害物質の安定化期間の差異にあると考えられる。この問題を解消するためには、社会に受け入れられる最終処分場の形態を提案することが急務であり、これは従来型の末端制御方式(遮水構造および浸出水処理施設の高度化)ではなく、上流制御方式(埋立廃棄物の品質を洗浄や選別等の前所により改善)を導入することによって可能である。

著者らは、これまでに焼却灰と有機物を混合して埋立てることで脱塩が促進され、早期に安定化する現象を見出している¹⁾。そこで本研究では、現在の処分場により近い状態での検討を行うため、焼却灰と飛灰の混合物である焼却残渣を有機物に混合して埋立てることにより、焼却残渣の安定化を促進させる手法の評価を行った。混合することは埋立廃棄物の品質改善にあたり、上流制御方式にあたる。本報告では、焼却残渣の安定化指標の一つとしてその脱塩現象に着目し、焼却残渣に有機物を加え、埋立構造を変えたときの脱塩効果を検証したので、以下に結果を報告する。

2. 実験方法

実験に用いたカラムを図1に示す。焼却灰と飛灰を3:1(湿潤重量比)で混合した試料(No.1、3、5、7)およびこの混合物(3:1)に生ごみコンポストを9:1(湿潤重量比)で混合した試料(No.2、4、6、8)のそれぞれ約7,500gを充填高さ800mm(充填密度:約1.2g/cm³)になるように充填した。また、生ごみコンポストには、微生物の分解性が高いペレット状のものを用いた。充填試料の採取口を表層より100、300、500および700mmの4深度に設けた。カラムは、準好気性および嫌気性、さらに好気化による脱塩の効率化を検証するため、管径約7mmの網目状の通気管を通した好気性のカラムを追加した。実験条件を表1に示す。カラムは室内に設置し、1週間毎に946ml(No.1~4、7、8)、2,838ml(No.5、6)の蒸留水をそれぞれ散水した。充填試料は、1週間後、4週間後、それ以降は、4週間毎に採取し、全塩素含有量、可溶性塩素含有量の測定(JIS A 1154)、およびXRDによる塩素化合物の同定を行った。散水日の翌日に浸出水を採取し、水量、塩素イオン濃度の測定を行った。

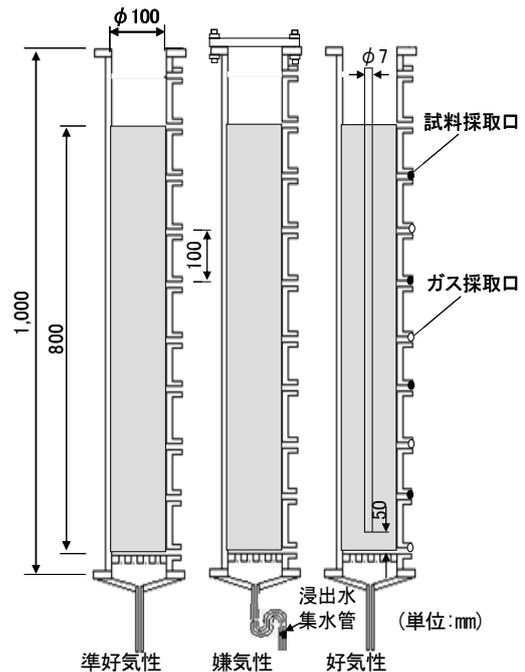


図1. カラム実験装置

3. 試料

表2に試料の性状を示す。試料中の全塩素、可溶性塩素および難溶性塩素量は表に示す通りである。XRD分析の結果、試料中の塩素化合物として、焼却灰では難溶性塩素化合物のフリーデル氏塩(3CaO・Al₂O₃・CaCl₂・10H₂O)、飛灰では可溶性塩素化合物のKCl、NaClおよび難溶性塩素化合物と

表1. 実験条件

カラム	充填試料	散水強度(mm/週)	カラム内雰囲気
No. 1	焼却灰+飛灰 (= 焼却残渣)	120	嫌気性
No. 2	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	120	嫌気性
No. 3	焼却灰+飛灰	120	準好気性
No. 4	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	120	準好気性
No. 5	焼却灰+飛灰	360	準好気性
No. 6	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	360	準好気性
No. 7	焼却灰+飛灰	120	好気性
No. 8	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	120	好気性

表 2. 試料の塩素含有量等の性状

充填試料	JIS A 1154			JLT 46				含水率 (%)	強熱減量 (%)
	全塩素 (%)	可溶性塩素 (%)	難溶性塩素 (%)	pH (-)	Cl ⁻ (mg/L)	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)		
焼却灰	0.92	0.65	0.27	11.6	400	98	9.1	24.7	3.2
飛灰	26.35	20.70	5.65	12.2	21700	34	16	0.7	1.7
生ごみコンポスト	1.30	1.29	0.01	8.2	1200	3083	638	19.1	19.2
焼却灰 + 飛灰	6.94	5.98	0.96	12.4	5300	71	7.9	18.3	2.4
焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	5.90	4.93	0.97	12.4	4800	202	49	17.5	3.3

表 3. 試料の化学組成

充填試料	(単位: %)											(単位: ppm)				
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	Cl	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd
焼却灰	39.1	2.0	14.5	6.4	3.9	23.9	3.9	1.7	2.0	0.4	0.6	527	4000	1400	4800	57
飛灰	14.8	1.1	3.9	1.0	2.4	44.2	7.2	5.1	0.8	3.1	14.8	155	740	1700	9000	200
生ごみコンポスト	4.3	0.2	1.8	2.5	2.3	66.9	4.1	5.7	4.5	4.8	2.5	0	140	0	1500	0
焼却灰 + 飛灰	34.8	1.9	13.5	5.4	3.8	27.1	4.2	2.3	1.9	0.8	2.7	465	4100	1200	6000	65
焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	33.2	1.9	12.6	5.5	3.6	28.9	4.2	2.4	2.1	1.1	2.7	468	3700	1300	5900	76

される CaCl(OH) が同定された。また、表 3 には波長分散型蛍光 X 線分析装置 (XRF) による試料の化学組成を示す。焼却灰は珪素とカルシウムに富み、飛灰はカルシウムに富んでいた。

4. 結果および考察

4.1. 浸出水中の塩素挙動

浸出水の pH を図 2 に、塩素濃度を図 3 に、累積塩素溶脱量を図 4 に示す。図 2 より、6 週間目以降、好気性カラムにおいて pH の著しい低下が見られた。また、図 3 より、好気性カラムにおいて塩素濃度は高濃度を保ち、準好気性カラムおよび嫌気性カラムでは塩素濃度が徐々に低下した。図 4 より、嫌気性カラム (No. 1) のカラムから最も多く塩素が溶出していたことが分かる。生ごみコンポストを添加したカラムおよび好気性カラムにおいては、溶出が遅れているように見える。これは、初期の段階で保水性の高い焼却残渣のみのカラムの方が保水性の低いコンポスト添加のカラムよりも水に接触している時間が長かったために、より多くの塩素が溶出したためと考えられる。また、好気性のカラムでは、散水した水の一部が通気管を通り充填試料に接触せずに浸出水として排出されたために塩素溶出が少なかったと考えられる。また、蒸発により、浸出水量が他に比べ少なかったことも考えられる。

4.2. 塩素含有量の変化

実験開始より 12 週間後における準好気性カラムの充填試料中の全塩素含有量の変化を図 5 に、嫌気性および好気性カラムの全塩素含有量の変化を図 6 に示す。図 5 より、準好気性カラムにおいて、散水強度 120mm/週のカラムよりも散水強度 360mm/週のカラムの方が、塩素が減少した。また、散水強度 360mm/週の方がよりカラム深部まで脱塩が進行した。図 6 より、嫌気性カラムにおいても準好気性カラムと同様な脱塩の傾向を示した。好気性 (No. 7) を除くいずれの

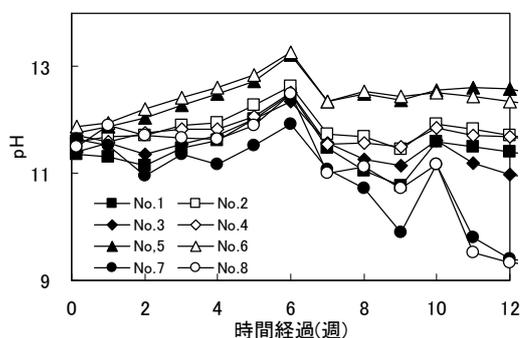


図 2. 浸出水の pH の経時変化

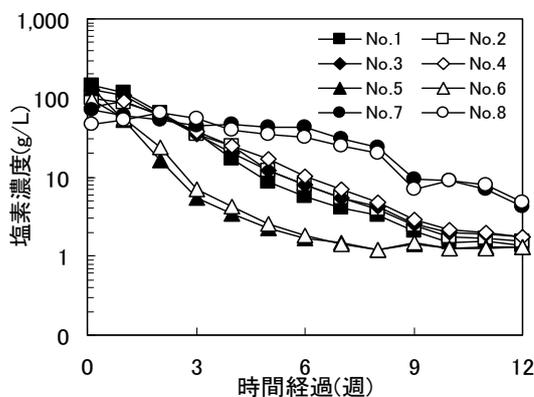


図 3. 浸出水の塩素濃度の経時変化

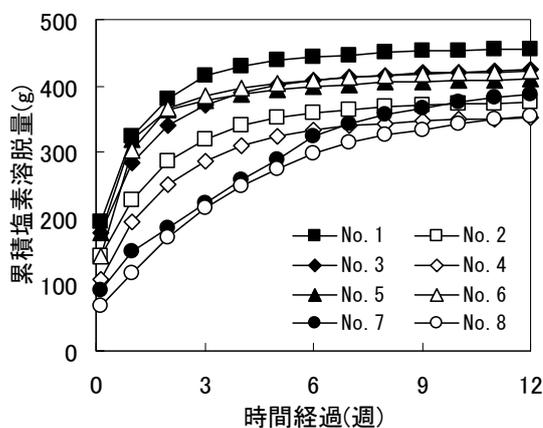


図 4. 累積塩素溶脱量の経時変化

カラムも表層ほど脱塩の進行が活発であり、下層ほど脱塩が遅延する傾向が見られた。これは、上層より塩素イオン等が大量に溶け込んだ平衡濃度に近い浸出水が下層へ流下してくるため塩素が溶脱しにくいことや、塩素が下層へ移動したことが考えられる。コンポストを添加したカラムの方の脱塩が遅延しているのは、保水性が低いために水との接触時間が短かったことが影響したと考えられる。しかし、pHの低下が大きく見られた(図2)ことから、難溶性塩素の溶解が促進されていると考えられる。好気性カラムでは時間が経過するとともに塩素溶脱が著しく増加しており(図4)、今後さらに脱塩が進むことが期待できる。

図7に嫌気性および好気性カラムにおける可溶性および難溶性塩素量の経時変化を示す。また、図8に代表的な難溶性塩素であるフリーデル氏塩の12週間後の状態を示す。嫌気性カラム浅部では速やかに可溶性塩素の溶脱が進み、難溶性塩素の分解も進行しているが、深部においては難溶性塩素が生成、残留している。好気性カラムでは1週目に多くの難溶性塩素が生成するとともに、全体に脱塩の進行の遅れが目立つ。しかし、12週目には難溶性塩素がほぼ全量分解されており、今後の可溶性塩素の溶脱により効率的に脱塩されることが期待される。

4.3. 難溶性塩素分解の諸要因

フリーデル氏塩はpH低下、二酸化炭素および硫酸イオンとの反応により分解することが知られている。特に、硫酸イオンとの反応では、アルカリ性環境においても分解する²⁾。

浸出水中のpHは好気性カラムにおいて10週目以降に大きく低下し

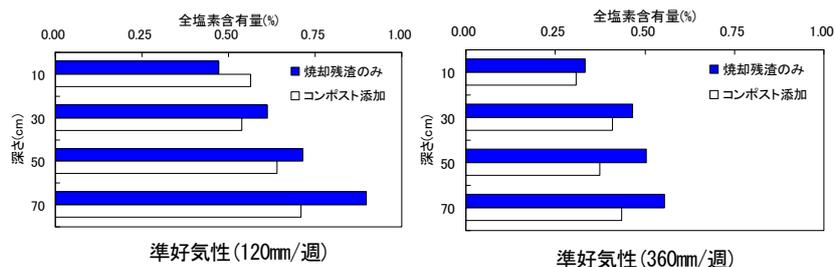


図5. 準好気性カラムの全塩素含有量(12週間後)

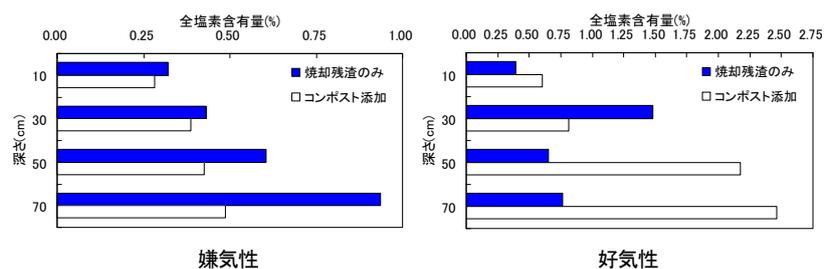


図6. 嫌気性および好気性カラムの塩素含有量(12週間後)

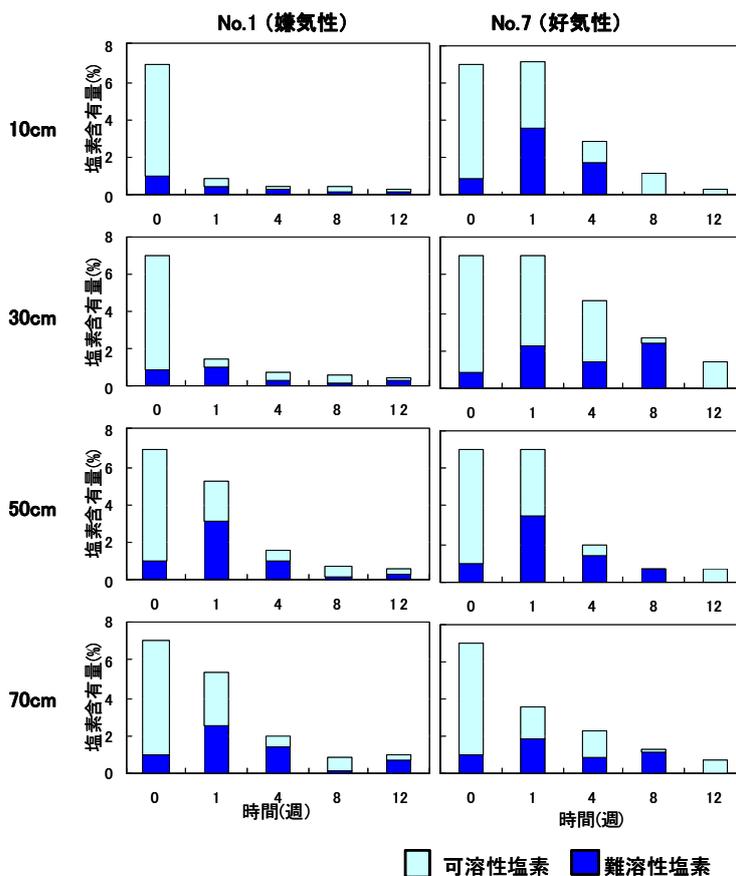


図7. 嫌気性および好気性カラムの塩素含有量の経時変化

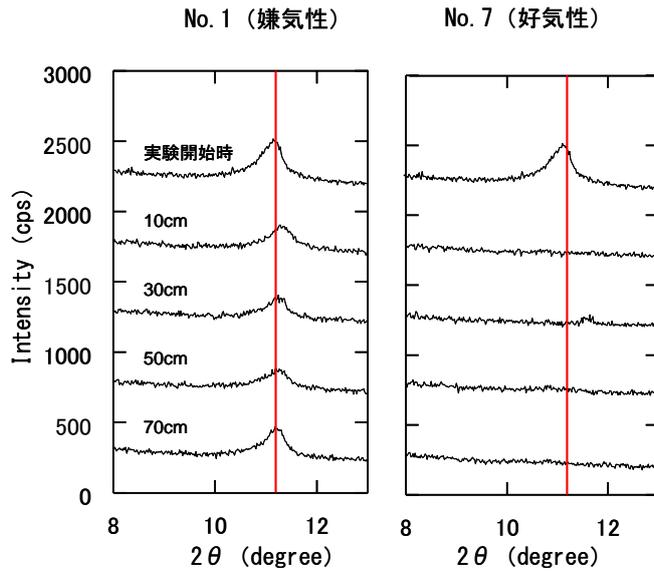


図8. フリーデル氏塩の消長(12週間後)

ている(図2)。また、ガス中の二酸化炭素濃度(図9)も好気性カラムにおいて12週目に大きく上昇している。さらに、浸出水中の硫酸イオン濃度(図9)も好気性カラムにおいて高い値を示している。好気性カラムには代表的な難溶性塩素であるフリーデル氏塩を分解するための主要な要因が揃っていることが分かる。

充填試料中の硫黄の濃度に着目すると飛灰と生ごみコンポスト中の濃度が高く(表3)、好氣的条件下において硫酸イオンとなり、フリーデル氏塩の分解に関与したものと推定される。コンポストを混合に伴う硫酸イオン濃度の変化は小さいことから、主に飛灰中の硫黄の関与が大きいものと考えられる。さらに、硫酸イオンの存在がpHの低下と炭酸塩の分解による二酸化炭素の発生をもたらし、フリーデル氏塩の分解を加速したことも推測される。

5. 結論

- (1) 埋立条件によらず、表層で6~7%存在した塩素は、0.3~0.6%まで減少した。生ごみコンポストを添加したカラムにおいて、わずかに焼却灰のみのカラムよりも脱塩が進行したが大きな差は見られなかった。飛灰の混合により、pHは上昇し、実験期間が12週間と短期間であったことから微生物分解が進まなかったため、コンポスト混合の効果が明確に認められなかったと考えられる。また、充填試料の保水性の影響を大きく受け、脱塩が遅れたことも考えられる。
- (2) 好氣的条件下では、実験初期に脱塩の遅れが見られたが、時間の経過に伴い脱塩が促進される傾向が見られ、中層および下層における脱塩も生じていたことが認められた。また、散水量の多いほど深部まで脱塩が生じることが分かった。
- (3) 好氣的条件下では、実験開始から12週間が経過した時点で、難溶性塩素のほぼ全量が分解されていた。これは、飛灰中の硫黄が硫酸イオン化し、フリーデル氏塩の分解に関与したためであると推測される。

以上、埋立てられた焼却残渣を好氣的な環境に保持できるよう埋立構造を改変することにより、焼却残渣中の塩素は迅速に溶脱され、最終処分場の早期廃止や埋立廃棄物の有効利用を促進できる可能性が示唆された。また、焼却灰のみの埋立を想定した過去の実験では、有機物の混合が脱塩の促進に有効であったが、焼却灰と

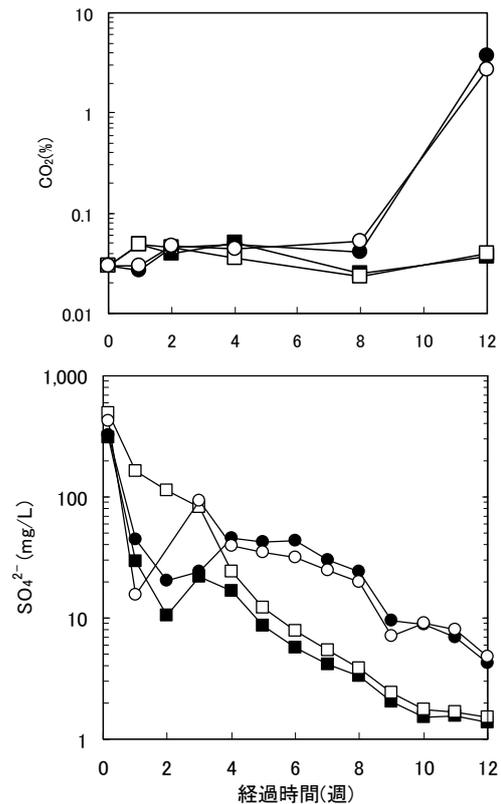


図9. ガス中のCO₂濃度と浸出水中の硫酸イオン濃度

飛灰を混合しての埋立を想定した今回の実験では、混合された有機物の脱塩促進への寄与は明確には認められなかった。

参考文献

- 1) 竹本智典, 島岡隆行, 江藤次郎, 成岡朋弘: 焼却灰中の塩素挙動に有機物の及ぼす影響, 環境工学研究論文集, Vol. 43, pp. 279-288 (2006)
- 2) 竹本智典, 江藤次郎, 成岡朋弘, 島岡隆行: 都市ごみ焼却灰中の不溶性塩素の消長メカニズムに関する基礎的研究, 廃棄物学会論文誌, 投稿中