

(46) 焼却残渣の好気性条件下における 塩素低減化に関する研究

森田 飛鳥^{1*}・島岡 隆行²

¹九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻 (〒819-0395 福岡市西区元岡7 4 4)

²九州大学大学院工学研究環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡7 4 4)

* E-mail: morita@doc.kyushu-u.ac.jp

都市ごみ焼却残渣中には、3～5%程度の高濃度の塩素が含まれており、難溶性塩素化合物のFriedel's Salt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)が含まれている。本研究では、Friedel's SaltはpHの低下に伴って可溶化する現象に着目し、飛灰を混合した焼却残渣に脱塩促進剤として生ごみコンポストを混合して、カラムに充填し、好気性条件で散水を行うことで、pHの低下の促進による脱塩への効果について検討した。好気性条件で脱塩試験を行った場合、嫌気性条件の場合よりも短期間でpHの低下が起こり、塩素含有量は表層で0.1%以下となり、好気性条件により塩素の溶出が促進された。また、X線回折分析を行った結果、Friedel's Saltのメインピークの減少に伴い塩素含有量は低下していた。

Key Words: solid waste, bottom ash, fly ash, chroline, organic matter, Friedel's Salt

1. はじめに

近年、年間約700万tの都市ごみ焼却残渣が発生しており、廃棄物最終処分場の延命化および循環型社会の形成を図るために、都市ごみ焼却残渣の資源化が望まれている。その有効な方法の一つにセメント原料化が挙げられる。しかし、都市ごみ焼却残渣中には高濃度の塩素（3～5%程度）が含まれており、セメント原料として用いるには塩素低減化（0.1%以下）を行う必要がある。焼却灰の脱塩処理では水洗処理による塩素低減化が行われているが、処理コストが高く、難溶性塩素を除去できないという課題がある。また、焼却灰中の塩素含有量が高い場合、幅広く利用が可能な普通ポルトランドセメント用の原料として利用できないという課題もある。故に焼却残渣を普通ポルトランドセメント用の原料として利用するためには、難溶性塩素を含めた塩素低減化を効率的に行わねばならない。

本研究では低コストな塩素低減化方法として、埋立地を巨大な塩素低減器として活用することを考える¹⁾。自然降雨による雨水浸透により、溶解性塩素の低減化が期待される。難溶性塩素の低減化については、難溶性塩素化合物を溶解性塩素化合物へ分解させることを狙う。難溶性塩素化合物はpHが低くなる

と分解し、その他にも SO_4^{2-} や CO_3^{2-} が関与し分解すると報告されている²⁾。好気性条件では大気由来 CO_2 や、焼却残渣中の未燃有機物が好氣的分解されて生成する CO_2 によってpHが低下することが期待される。嫌気性条件では未燃有機物の嫌氣的分解に伴う有機酸生成とそれによるpHの低下が期待される。また、難溶性塩素化合物の分解にはpH以外に SO_4^{2-} や CO_3^{2-} なども関与するとされているが、好気性条件と嫌気性条件のどちらが有利であるか、飛灰を含む焼却残渣を対象とした知見はほとんど知られていない。そこで本研究では、飛灰を含む焼却残渣を対象として好気性条件と嫌気性条件が塩素低減化に与える影響を、難溶性塩素の挙動を含めて検討することを目的とする。

また、これまでの研究から、焼却灰に有機物（生ごみコンポスト等）を混合すると、有機物分解に伴う有機酸や CO_2 の生成によりpHが低下し、難溶性塩素化合物が分解すると報告されている³⁾。しかし、本研究で用いる焼却残渣は飛灰を含み、飛灰は焼却灰に比べ、アルカリ分が高い。故に微生物分解が抑制されて、塩素低減に不利な環境となり、生ごみコンポスト混合の効果は顕著に現れない可能性がある。そこで、生ごみコンポストの添加が飛灰を含む焼却残渣の塩素低減化に対しても有効であるか合わせて検討した。

2. 試験概要

(1) 試験装置

試験装置図を図-1に示す。カラムは、直径10cm、高さ100cmであり、試料の充填高さは80cmになるように設定した。カラム底部の浸出水集水管より浸出水を採取した。嫌気性カラムは、充填試料を採取する時のみ一時的に開放し、それ以外では常に蓋をしている。好気性カラムは、上部および下部を開放し、さらにカラム内部に内径7mmの有孔管を設け、横方向より通気を行い、好気性条件とした。

(2) 試料

試料は、清掃工場より発生した焼却灰および飛灰を混合した焼却残渣試料(3:1)と塩素低減化の促進剤として生ごみコンポストを用いた。

(3) 試験方法

試験条件を表-1に示す。カラムNo.1とNo.3には焼却残渣試料のみを充填し、カラムNo.2とNo.4には焼却残渣と生ごみコンポストを9:1の湿潤質量比で充填した。各カラムとも湿潤質量が約7.8kg、密度が約 1.2t/m^3 となるように充填した。また、No.1、No.2は上部および下部を密閉し、カラム内雰囲気は嫌気性条件とした。No.3とNo.4は、上部および下部を開放し、カラム内に内径7mmの網目状の有孔管を通し、等間隔の4点で横方向から総通気量 4.0 l/min で通気を行い、好気性条件とした。

カラムは室内に設置し、4週間後より室温を 25°C に設定し温度コントロールを行った。約1,000mlの蒸留水を週に一度散水し、翌日採水した。

充填試料は、表層から10cm、30cm、50cm、70cmの4点で採取し、実験開始から1週間、4週間、以後4週間毎に採取した。充填試料採取口にはゴム栓を用い、試料採取時に一時的に開放したが、それ以外では常時密封した。

ガスは表層から20cm、40cm、60cm、80cmの4点で試料採取時と同時に採取し、ガスクロマトグラフィーにより、ガスサンプル中の O_2 と CO_2 の濃度を求めた。

塩素の分析に関しては、充填試料中の塩素含有量の変化を調べるため、硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法(JIS A 1154)に準拠し、試料中の全塩素量および可溶性塩素量を求めた。難溶性塩素量は、全塩素量から可溶性塩素量を差し引いて求めた。試験試料の性状を表-2に、XRF(EDX-800 島津製作所)による成分分析の結果を表-3に示す。

また、充填試料の構成鉱物の変化を調べるためにX線回折分析装置(RIGAKU MultiFlex)を用いて分析を行い、RIGAKU JADE ver.6.0を用いてデータの解析を行った。試料は絶乾・粉碎後、サンプルホルダーに詰めて分析を行った。分析条件は出力30mA、44kV、スキャンスピード $0.6^\circ/\text{step}$ 、ステップ $0.02^\circ/\text{step}$ とし、測定範囲は $2\theta=3\sim70^\circ$ とした。

3. 埋立条件の違いによる発生ガスへの影響

(1) カラム内 O_2 の経時変化

試験期間中の室内温度の経時変化を図-2に、カラム内の深さ40cmの位置における O_2 濃度の経時変化を図-3に示す。嫌気性カラムでは、全ての深さにおいて10%程度の O_2 が存在し、最も O_2 量が減少した中層部(深さ40cm)のデータを用いて、 O_2 消費量を嫌気性と好気性条件の場合で比較した。嫌気性のカラム(No.1、No.2)では、4週間目における室温の上昇に伴い、 O_2 が大幅に消費され、8週目において最も低下し、5%程度まで低下した。温度の上昇により、微生物呼吸が活発化したと考えられる。8週目以降に O_2 の割合が上昇しているのは、試料採取時に採取口を一時的に開放した際に空気が侵入したことが影響してお

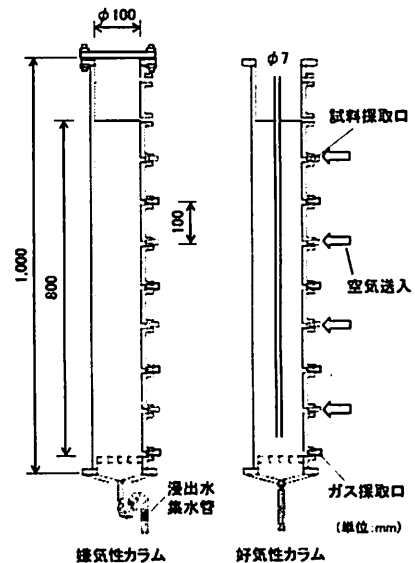


図-1 試験装置図

表-1 試験条件

カラム	充填試料	散水量(mm/週)	カラム内雰囲気
No.1	焼却灰+飛灰	120	嫌気性
No.2	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	120	"
No.3	焼却灰+飛灰	120	好気性
No.4	焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	120	"

り、その後のO₂の減少量が少ないことから、分解活性が低下していることが考えられる。本研究において、完全な嫌気状態のカラム内環境を作り出すことは出来なかったが、便宜上嫌気性と記載する。一方、好気性のカラム(No.3, No.4)では常時通気を行っているため、O₂濃度が試験期間を通して20%程度で安定しており、O₂がカラム内に十分に供給されていることが分かる。

(2) カラム内CO₂の経時変化

カラム内の深さ40cmの位置におけるCO₂濃度の経時変化を図-4に示す。好気性条件のカラムでは、コンポスト添加の有無に関わらず、12週目において2.5～4%程度のCO₂の発生が見られた。大気中のCO₂濃度(0.035%)と比較すると比較的高濃度のCO₂が発生している。また、好気性カラムにおけるCO₂の発生は全ての深さにおいて見られた。嫌気性条件のカラムにおいても、コンポスト添加の有無に関わらず、20週目

に2.5～3%程度のCO₂の発生が見られ、中層(深さ40cm)においてCO₂の濃度が最も高かった。また、完全な嫌気状態になっていないこともあり、嫌気・好気条件の間で発生ガスに明確な違いは現れなかった。また、O₂濃度の減少とCO₂濃度の増加の時期にずれが見られた。原因としては、焼却残渣はCO₂を吸収するため、発生したCO₂が焼却残渣に固定されたことにより時間のずれが生じた可能性が考えられる。CO₂の発生量が30週目以降減少した原因としては、微生物の分解活性が低下したことが考えられるが、今後の検討を要する。

4. 浸出水の性状の変化

(1) 浸出水の pH の経時変化

浸出水の pH の経時変化を図-5に示す。好気性のカラムにおいては、コンポスト添加の有無に関わらず、8～18週目において pH の著しい低下が見られた。

表-2 試験試料の性状

充填試料	JIS A 1154			含水率 (%)	硫黄(S) (%)	熱灼減量 (%)
	全塩素 (%)	可溶性塩素 (%)	難溶性塩素 (%)			
焼却灰	0.92	0.65	0.27	24.7	0.4	3.2
飛灰	26.36	20.72	5.64	0.7	3.1	1.7
生ごみコンポスト	1.31	1.29	0.02	19.1	4.8	19.2
焼却灰 + 飛灰 (3:1)	6.94	5.98	0.96	18.3	0.8	2.4
焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト (6.75:2.25:1)	5.90	4.93	0.97	17.5	1.1	3.3

表-3 試験試料の XRF 分析結果

試料	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	Zn	S	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb
	%												ppm			
焼却灰	39.1	23.9	14.5	6.4	3.9	3.9	2.0	2.0	1.7	0.5	0.4	4000	530	57	4800	1400
飛灰	14.8	44.2	3.9	1.0	7.2	2.4	0.8	1.1	5.1	0.9	3.1	740	160	197	9000	1700
生ごみコンポスト	4.3	66.9	1.8	2.5	4.1	2.3	4.5	0.2	5.7	0.2	4.8	140	0	0	1500	0
焼却灰+飛灰	34.8	27.1	13.5	5.4	4.2	3.8	1.9	1.9	2.3	0.6	0.8	4100	470	65	6000	1200
焼却灰+飛灰+生ごみコンポスト	33.2	28.9	12.6	5.5	4.2	3.6	2.1	1.9	2.4	0.6	1.1	3700	470	76	5900	1300

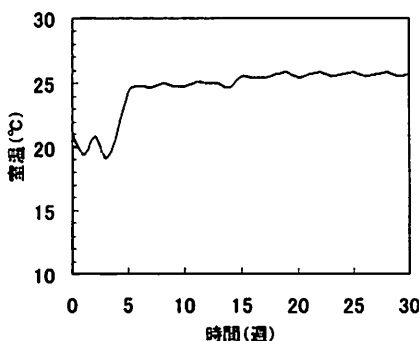


図-2 室内温度の経時変化

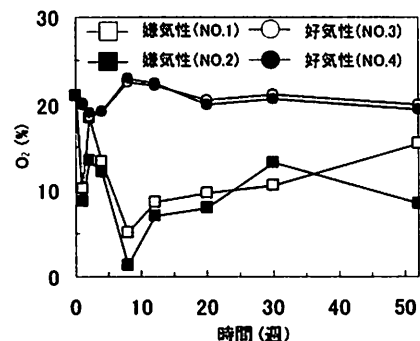


図-3 カラム内 O₂ の経時変化 (40cm)

8～20 週目にかけて高濃度の CO_2 の発生が確認されていることから、pH の低下は、 CO_2 の間隙水への溶解に起因していると考えられる。また、好気性カラムでは横方向より通気を行っているため、大気中の CO_2 の間隙水への溶解も pH 低下の要因の一つであると考えられる。20 週目以降再び pH が 11 程度まで上昇しているが、 CO_2 の発生が著しく減少したことが原因と考えられる。嫌気性のカラムにおいても、わずかに pH の減少が見られたが、好気性条件のカラムの方が、嫌気性条件よりも常時 pH が低下する傾向が見られた。

(2) 浸出水の Cl^- の経時変化

浸出水の塩素イオン濃度の経時変化を図-6 に示す。浸出水の塩素イオン濃度は、全てのカラムにおいて、時間の経過に伴い減少する傾向が見られた。

また、実験の初期においては、嫌気・好気に関わらず、生ごみコンポストを添加したカラムの方が焼却残渣のみのカラムよりも高濃度の塩素が溶出した。これは生ごみコンポスト由来の塩素溶出が原因と考えられる。

好気性条件と嫌気性条件の違いにより比較を行うと、実験の初期に好気性カラムでは塩素イオンの溶出が少なく、嫌気性カラムの方が高濃度の塩素イオンを溶出していた。好気性条件では、散水の初期の段階において試料の焼却残渣に水が浸透し難く、カラム

内部の有孔管に水が流れやすい構造であり、可溶性塩素を十分に洗い出しきれなかったことが原因と考えられる。

室温をコントロールし始めた 5 週目より初期に塩素の溶出が遅れていた好気性カラムの塩素濃度が嫌気性カラムの塩素濃度を上回る傾向が見られた。また、嫌気性・好気性ともに生ごみコンポストの添加によって塩素濃度に違いは現れなかった。故に、生ごみコンポスト添加の効果よりも埋立条件の違いの方が飛灰を含む焼却残渣の塩素の挙動に大きく影響を与えられ。

(3) 浸出水の SO_4^{2-} の経時変化

浸出水の硫酸イオン濃度の経時変化を図-7 に示す。嫌気性カラム(No.1, No.2)とコンポスト添加なしの好気性カラム(No.3)では、一端硫酸イオン濃度が減少し、その後 10mg/L 前後で安定する傾向が見られた。ただし、好気性のカラム No.4 のみ硫酸イオン濃度が 8 週目以降増加する傾向が見られた。生ごみコンポストには硫黄分が豊富に含まれていることから(表-2 参照)、生ごみコンポストの分解に伴って硫黄分が硫酸イオンとして再溶出したことが原因と考えられる。また、飛灰にも硫黄が生ごみコンポストとほぼ同程度含まれており、主に CaSO_4 の形態で硫酸イオンが存在している。よって、焼却残渣のみのカラム(No.1, No.3)から溶出した硫酸イオンは、飛灰中の

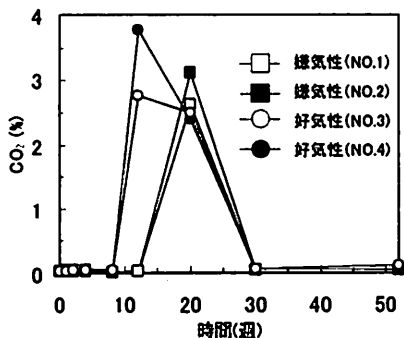


図-4 カラム内 CO_2 の経時変化 (40cm)

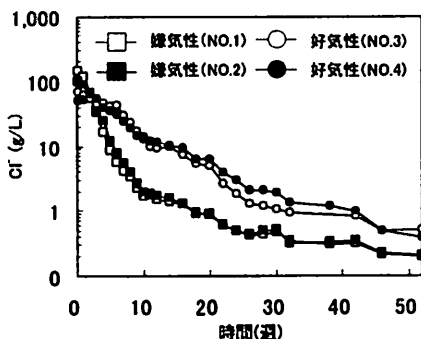


図-6 浸出水の Cl^- の経時変化

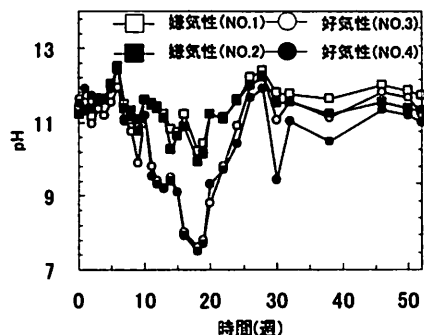


図-5 浸出水の pH の経時変化

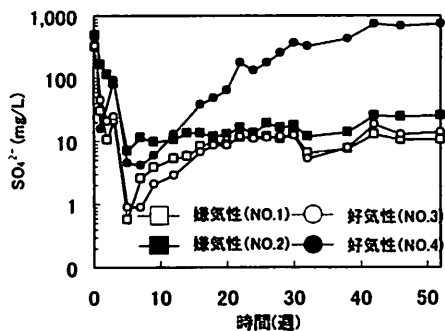


図-7 浸出水の SO_4^{2-} の経時変化

CaSO₄ が主な由来であると考えられる。嫌気性カラム(No.1, No.2)では、コンポストの有無による硫酸イオン濃度の違いはほとんど見られなかった反面、好気性カラムでは大きな違いが現れた。つまり、生ごみコンポストに含まれる Na₂SO₄ 等の硫酸化合物は、飛灰に含まれる CaSO₄ に比べ、好気的な条件で可溶化し易いと考えられる。また、硫酸イオンは代表的な難溶性塩素化合物である Friedel's Salt の分解反応を促すとされているが、図-6 より好気性カラムの塩素イオン濃度に大きな差は現れていない。つまり、図-6 および図-7 からは、硫酸イオンによる難溶性塩素化合物の分解効果は明確に確認できなかった。

5. 埋立条件の違いによる脱塩への影響

(1) 充填試料中の塩素の挙動

充填試料は、試験開始時、1, 8, 12, 30, 52 週間に深さ 10, 30, 50, 70cm の 4 点より試料採取を行った。

試料の難溶性塩素および可溶性塩素の割合を図-8 に示す。焼却残渣に含まれる飛灰は非常に高濃度の塩素を含んでおり、難溶性塩素の割合が高いことが分かる。

試験開始時、1, 8, 12, 30, 52 週間に採取した試料の表層および底層の可溶性塩素および難溶性塩素の割合の経時変化を図-9 および図-10 に示す。また、図中の 30 週および 52 週目の数値は全塩素含有量の値を示す。

全てのカラムにおいて、1 週目に難溶性塩素の生成が確認でき、塩素含有量は時間の経過とともに減少し、表層において最も減少した。また、埋立条件の違いにより、塩素の溶出速度に違いが見られた。嫌気性カラム(No.1)では、実験初期に可溶性塩素の洗い出しが行われたが、難溶性塩素が残存し、塩素の溶出が抑制され、52 週目においても全塩素が表層で 0.14%、底層で 0.27%残存した。

一方、好気性のカラム(No.3)では、内部に通した通気管に水が流れ込みやすい構造上、実験初期に可溶性塩素の洗い出しが遅れたが、温度コントロールを行った 5 週目以降、急速に塩素が低減し、52 週目において全塩素が表層で 0.10%、底層で 0.15%まで低減した。嫌気・好気条件の違いにより比較すると、好気性カラム No.3 の方がより底層まで塩素が低減した。また、浸出水の塩素濃度についても好気性条件の方が多くの塩素イオンが溶出しており、塩素イオンの収支においてつじつまが合う。また、生ごみコンポスト添加の場合においても嫌気性カラム(No.2)と好気性

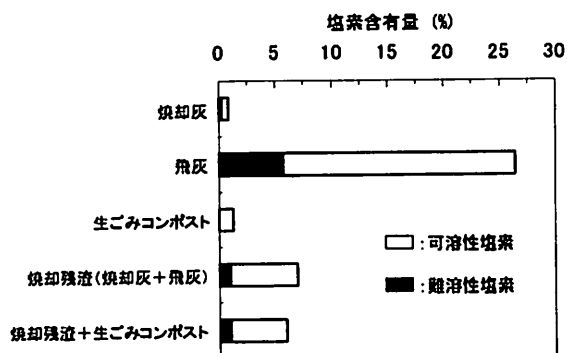


図-8 試験試料中の可溶性・難溶性塩素の割合

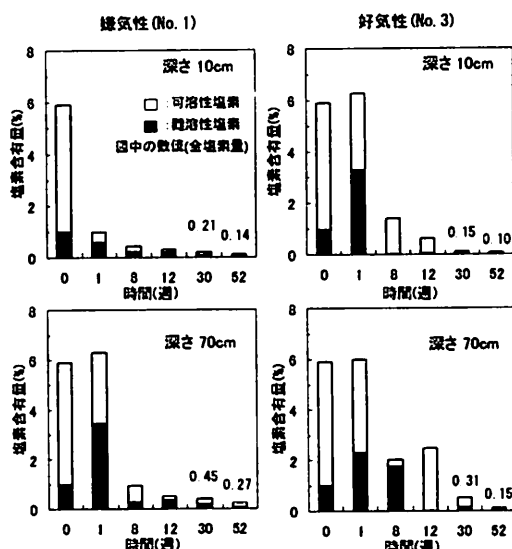


図-9 塩素含有量の経時変化 (焼却残渣のみ)

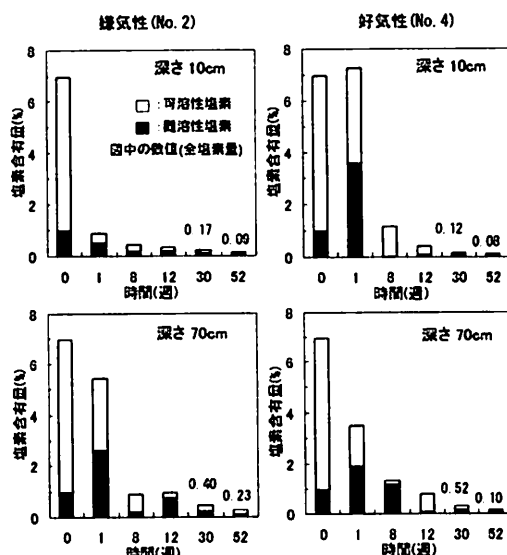


図-10 塩素含有量の経時変化 (コンポスト添加)

カラム(No.4)では同様に好気性カラムの方がより底層まで塩素が低減している。好気性のカラムでは、浸出水の pH が低下した 10 週目以降、難溶性塩素の大部分が可溶化している。この pH の低下が難溶性塩素の可溶化を促進させたことが示唆される。よって、好気性条件では難溶性塩素の可溶化に時間を要するが、一度可溶化現象が生じれば急速に塩素の溶出が進行すると考えられる。

次に、生ごみコンポストの添加の有無で比較を行うと、嫌気性カラム(No.1, No.2)では、生ごみコンポストを添加した No.2 の方がより塩素が低減している。好気性のカラム(No.3, No.4)では、生ごみコンポストを添加した No.4 において、全塩素が表層で 0.08%、底層で 0.10%まで低減し、生ごみコンポストを添加したカラム(No.4)の方がより塩素が低減した。No.4 のカラムでは、No.3 のカラムに比べ高濃度の硫酸イオンが溶出している。浸出水中の塩素イオン濃度では違いが見られなかったが、難溶性塩素そのものに着目してみると、硫酸イオンの供給が、難溶性塩素の分解に寄与したことが示唆される。

これより、嫌気条件より好気条件の方が塩素低減には有利であり、特に難溶性塩素の分解が促進される pH の低下や高濃度の硫酸イオンによる効果であると考えられる。

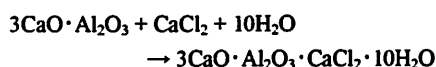
(2) 充填試料中の難溶性塩素化合物の挙動

本試験に用いた試料に含まれる塩素化合物には、Halite (NaCl) , Sylvite (KCl) や Friedel's Salt ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) が XRD によって検出された。

Halite, Sylvite などは可溶性塩素化合物であるため、時間の経過に伴い減少し、検出されなくなった。また、Friedel's Salt は、他の塩素化合物に比べピーク強度が大きく、変化も大きかったことから、特に Friedel's Salt の挙動について検討した。

a) Friedel's Salt の消長

代表的な難溶性塩素化合物である Friedel's Salt は、セメント鉱物である $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ が水和反応を起こし、塩素を取り込むことで生成することが分かっている⁴⁾。



試験開始時、1, 8, 12, 30, 52 週間目に採取した充填試料を XRD 分析によって分析した。Friedel's Salt の

メインピークを調べることで、好気性カラムで生じた難溶性塩素の可溶化現象を調べた。Friedel's Salt のメインピークの経時変化を図-10 に示す。また、その他化合物の XRD 分析の結果を表-4 に示す。

焼却残渣のみの場合で、嫌気性のカラム(No.1)と好気性のカラム(No.3)を比較すると、嫌気性条件では52週目においても全ての深さにおいてFriedel's Salt のピークが存在しているのに対し、好気性条件では8週目において全ての深さでFriedel's Salt が消滅し、分解生成物と考えられるGypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)とEttringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)のピークが見られた。ただし、嫌気性カラム(No.1)では時間の経過に伴いFriedel's Salt のピーク強度が弱くなっている。これは、カラム内に10%程度の O_2 が存在し、完全な嫌気条件を作り出せていないこと(図-3を参照)により、嫌気性条件においても CO_2 の発生も見られていることから、Friedel's Salt が CO_2 の影響を受けて分解したことが原因と考えられる。生ごみコンポストの有無で比較を行うと、好気性条件のNo.3とNo.4のカラムでは両方とも8週目に全ての深さでFriedel's Salt のメインピークが完全に消滅し、特に生ごみコンポストを混合したNo.4のカラムではGypsum, Ettringiteのピークが顕著に現れた。

Friedel's Salt のメインピークが完全に消滅した8週目は、好気性条件で高い濃度の CO_2 が発生し、pH が著しく低下し始めた時期と一致する。表-4より、難溶性塩素の著しい可溶化が起こった好気性カラムで

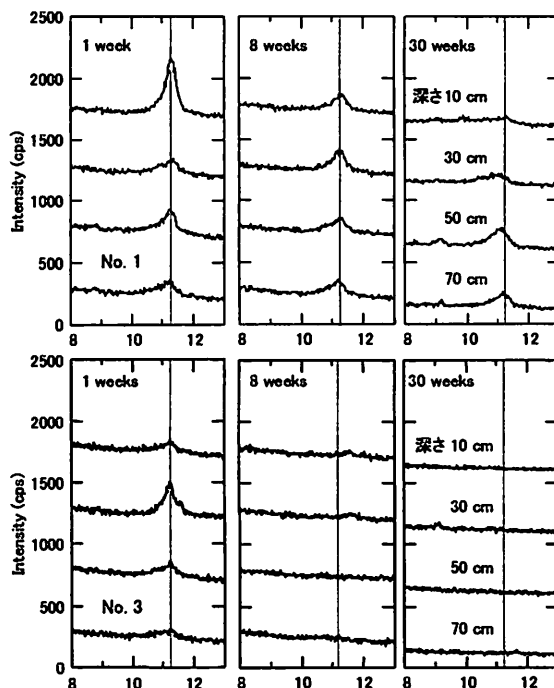


図-11 Friedel's Salt の消長

表-4 XRD 分析による試料中の化合物

カラム名 (埋立構造)	No.1(嫌気性)						No.3(好気性)					
	1		8		30		1		8		30	
経過時間 (週)	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70
深さ (cm)	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70	10	70
Calcite [CaCO ₃]	++++	++++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Hydrophilite [CaCl ₂]	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	++++	++++	+++	+++
Corundum [Al ₂ O ₃]	++	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++
Gibbsite [Al(OH) ₃]	++	++	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
Friedel's Salt [3CaO·Al ₂ O ₃ ·CaCl ₂ ·10H ₂ O]	+++	++	++	++	+	++	++	++	-	-	-	-
Ettringite [3CaO·Al ₂ O ₃ ·3CaSO ₄ ·32H ₂ O]	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Gypsum [CaSO ₄ ·2H ₂ O]	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	+

- : 非検出 + : 200cps 以下 ++ : 200~500cps +++ : 500~1000cps ++++ : 1000cps 以上

は, Friedel's Saltの消滅と同時に, 可溶性の塩素化合物であるHydrophilite (CaCl₂)の割合が多くなっていることが分かる。つまり, 好気性条件では, Friedel's Saltの分解に適した環境であり, 分解後は塩素が溶出し易い環境にあったと考えられる。

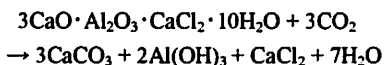
b) Friedel's Saltの分解メカニズム

焼却残渣の脱塩の阻害の主要な要因となる難溶性塩素化合物の代表的なものであるFriedel's Saltは(i) pHの低下による分解, (ii) CO₂の供給による分解, (iii) SO₄²⁻の供給による分解の3つの反応により分解することが知られている^{5,6)}。特に, SO₄²⁻による分解では分解生成物としてEttringiteやGypsumが生じる。

① pHの低下による分解

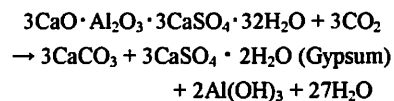
Friedel's SaltはpHが11以下に低下すると分解することが知られている⁷⁾。

② CO₂の供給による分解



③ SO₄²⁻の供給による分解

Friedel's saltは, SO₄²⁻によりEttringiteへ変化し, CO₂との反応により分解することが知られている。以下にEttringiteのCO₂との反応式を示す。



好気性カラム(No.3, No.4)では, Friedel's Saltのメインピークの消滅時期に浸出水のpHの低下, CO₂の発生, SO₄²⁻の供給という条件が揃っていることから, 以上の3つの分解反応を経てFriedel's Saltが分解したと考えられる。また, 嫌気性カラム(No.1, No.2)においてもCO₂の発生が確認されており, Friedel's SaltがCO₂により分解を受け, X線回折パターンにおけるFriedel's Saltのメインピーク強度は弱まる傾向にあるが, 好気性カラムのように難溶性塩素が可溶化しメインピークが消滅するような強い分解は受けていないと考えられる。

6. おわりに

焼却灰と飛灰を混合した焼却残渣の早期の塩素の低減を行うために, 好気性埋立, 脱塩促進剤の添加を試み, カラム試験を行って, 塩素の挙動を検討した結果を以下に示す。

(1) 焼却残渣を好気性条件で埋め立てると, 嫌気性条件のカラムよりも pH が低下した。難溶性塩素の可溶化が促進され, 52 週間経過後, 表層で全塩素が 0.1% 以下まで減少していた。また, 塩素低減の促進剤として生ごみコンポストを混合し, 好気性条件で散水を行ったカラムが最も塩素が減少したことから, 生ごみコンポストの添加による効果が認められた。

(2) XRD の結果より, 好気性条件では, 難溶性塩素化

合物の代表的な Friedel's Salt のピークは、時間の経過と共に小さくなり、難溶性塩素の可溶化が起こると同時に完全に消滅した。Friedel's Salt の減少に伴い、Hydrophilite や Ettringite, Gypsum の増加が確認された。Friedel's Salt において、pH の他に SO_4^{2-} の供給による 3 つの分解経路も大きく関与したと考えられる。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B)19360242) および環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金(K2138) の助成を受けて行われた。ここに深く謝意を表す。

参考文献

- 1) T.Shimaoka et al. : Innovative dechlorination from municipal solid waste incineration residues, Sardinia 2007 Proceedings, 2007
- 2) 成岡朋弘ほか：有機物の共存下における焼却灰中の塩素の溶出挙動(2), 第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集

I, pp.589-591, 2006

- 3) 竹本智典ほか：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
- 4) A.K.Suryavanshi, J.D.Scantlebury, and S.B.Lyon.: Mechanism of Friedel's Salt Formation in Cements Rich in Tri-calucium Aluminate, Cement and Concrete Research, Vol.26, No.5, pp.717-727, 1996.
- 5) A.K.Suryavanshi, R.Narayan Swamy: Stability of Friedel's Salt in Carbonated Concrete Structural Elements, Cement and Concrete Research, Vol.26, No.5, pp.729-741, 1996.
- 6) 竹本智典ほか：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, Vol.19, No.5, pp.293-302, 2008
- 7) 津留真哉ほか：焼却残渣中のフリーデル氏塩の生成と分解に関する研究, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.885-886, 2005

(2009. 5. 22 受付)

Study on dechloridation under aerobic condition in Municipal Solid Waste Incineration Residues

Asuka MORITA¹, Takayuki SHIMAOKA²

¹ Dept. of Urban and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University

² Dept. of Urban and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University

The MSWIR contains high content of chlorine(Bottom ash:1~2%, Fly ash:10~30%). According to Japanese Industrial Standard (JIS) of cements, it is necessary to decrease the content of chlorine of MSWIR. A certain portion of chlorine in MSWIR is soluble in water, however remain portion is not soluble. The latter is called as insoluble chlorine. It is known that insoluble chlorine is Friedel's Salt. Friedel's Salt is solubilized as the pH falls and aerobic condition is effective way. The pH fall is promoted by CO_2 dissolved. In this study, on incineration residue which mixed incineration fly ash with incineration ash, desalination effect using the aerobic condition was tested. It is performed that column-type experiments with mixtures of MSWIR, organic matters, and water. Sample was used two types which were the case of only MSWIR or addition of garbage compost. And, column of two types (the aerobic and the anaerobic land fill type) of each sample were used. The leachates, gasses, and MSWIR were periodically taken for analyses including measurement of Cl^- concentration, pH, and ORP of solutions, and XRD. As the result, aerobic landfill site desalinated effectively and the peak of Friedel's Salt gets low.