## 7-162

## 焼却残渣の埋立処理に伴う風化作用について

九州大学大学院 学生会員 原口 崇 正会員 島岡 隆行 河越 健至 学生会員 張 瑞娜 正会員 江藤 次郎 渡邊 公一郎

1.はじめに 我が国では、持続可能な循環型社会の育成に向けて、廃棄物の発生抑制、再利用、リサイクル 等の取組みが行なわれているが、廃棄物の最終処分場は残余容量、残余年数とともに逼迫した状況となってい る。最終処分場を取り巻く問題としては、前述の残余容量の逼迫の問題とともに、廃棄物の埋立てが完了した 最終処分場の早期の廃止と、跡地の有効利用の問題が挙げられる。廃棄物の埋立層の浸出水には重金属などの 様々な有害物質が含まれ、最終的な跡地有効利用までには長期間の年月、多額の費用が必要である。最近では、 地方自治体の財源不足が指摘されており、より早い最終処分場の廃止が求められるが、このためには埋立処分 される廃棄物の約半分を占める焼却残渣の早期安定化が必要である。

2.実験目的・方法 本研究では、焼却灰が風化作用によって安定化されることに注目した。風化作用は「物理的風化作用」、「化学的風化作用」に分けられる。風化作用の過程では、母材の組成・気候・地形・微生物が要因として大きく作用し、溶出液の化学的性状をはじめ、陽イオン交換容量(CEC)、母材中の元素含有量などが変化する。

本研究では、風化作用に伴う性状の変化の解明を目的とし、CECと粒度分布、および鉱物種の変化に着目して焼却灰の安定化について検討した。

試料は、焼却灰のみで埋立てられているアメリカ合衆国の処分場で採取した埋立焼却残渣である。表 - 1 に 採取試料の埋立年と深度を示す。表 - 2 に採取試料と同じ焼却炉から排出された焼却原灰の元素含有量を示す。 試料採取は、キャッピングされている2地点(1989年埋立、1994年埋立)と、されていない2地点(2001年埋立、 2003年埋立)で行われた。

CECの測定には粒径2ミリ以下の試料を用い、セミミクロ Schollenberger 法、およびインドフェノール青吸光光度法を用いた。鉱物種の同定にはX線 回折分析(XRD)装置(理学電機RINT2100)を使用した。

3.実験結果および考察 図 - 1 に CEC の深さ方向の変化を示 す。図中の点線は焼却原灰の CEC の値(7.68 c-mol/kg)を示す。表 層(深さ0 m)における各埋立地点の CEC を比較すると、古い埋立 地点(1989年埋立、1994年埋立)が新しい埋立地点(2001年埋立、 2003年埋立)よりも大きくなる傾向が認められた。次に、CEC の 深さ方向の変化を見ると、1994年埋立の地点において深くなるほ ど増加する傾向が示されたが、新しい埋立地点(2001年埋立、2003 年埋立地点)ではその傾向は明確には認められなかった。

一般にCECが増加する要因として、粒径が小さい粒子の含有割合が
 大きく比表面積が大きいこと、および陽イオンを内部に多く取り込む
 鉱物を含んでいることなどが報告されている。そこでまず、粒度分布
 について検討した。図 - 2に、各埋立地点における表層(深さ0m)の粒
 度分布を、図 - 3に深度の増加に伴いCECの値が増加する傾向を示し
 た1994年埋立地点の粒度分布を示す。図 - 2より、CEC測定で用いた
 粒径2ミリ以下の粒子の含有割合は、新しい埋立地点(2001年埋立、
 2003年埋立)で大きいことが認められた。また、図 - 3より、深さ3m
 以外での粒度分布がほぼ同じであることが認められた。粒度分布の結
 果と図 - 1に示すCECの分布とを比較したが、両者の明らかな相関は
 図 - 認められなかった。

表 - 1 採取試料

埋立年	採取深度(m)	キャッピング
1989年	0、1、2、2.5	あり
1994年	0, 1, 2, 3	あり
2001年	0、1、2、3、4	なし
2003年	0, 0.5, 1, 2, 3, 4	なし

表-2 焼却原灰の性状

一志	含有量	溶出濃度	计非	含有量	溶出濃度		
九杀	(mg/kg)	(mg/L)	九杀	(mg/kg)	(mg/L)		
Ca	244000	2100	Na	9950	200		
CI	97600	1400	K	7480	230		
AI	26700	0.57	Pb	3860	5.14		
Fe	16000	0.11	Cu	1670	0.10		
Mg	13600	0.03	Mn	624	0.04		
Zn	11800	1.99	Cr	379	0.01		



【キーワード】焼却灰、埋立地、風化、陽イオン交換能、鉱物種、XRD

〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院工学研究院附属環境システム科学研究センター 092-642-4092



化学式		キャッピングあり									キャッピングなし											
	焼却原灰	1989年埋立				1994年埋立					2001年埋立					2003年埋立						
	/	0	1	2	2.5	0	0.5	1	2	3	0	1	2	3	4	0	0.5	1	2	3	4	
SiO <sub>2</sub>	+	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++	++	+++	++++	++++	++++	++++	+++	++	
(Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	-	++	++	++++	++	++	++	+	++	++	++	+++	++	++	+++	++	+	++	++	++	++	
CaCO <sub>3</sub>	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	+++	+++	+++	++++	
CaSO₄ · 2H₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	++		-	+	-	-	-	+	-	+	
CaSO₄	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+++	+++	++	-	-	•	-	+++	++	
Ca(OH)₂	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	
Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>12</sub> · 26H <sub>2</sub> O	-	++	++	1	++	++	++	+	++	++	-	+	1	-	1	-	++	++	++	+	++	
Fe₃O₄	-	++	++	-	++	++	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	+	+	+	+		-	-	+	-	-	-	-	+	-	++	++	-	-	+	+	
FeO	-	-	-	1	-		1	•	•	-	+	-	ł	-	•	+	+	+	+	-	+	
NaCl	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++++	+++	+++	-	-	-	-	++	++	
Ca₂(OH)₀Cl · 2H₂O	-	++	++	-	++++	++	++	++	++	++	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
	化学式 SiO <sub>2</sub> (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> Ca(OH) <sub>2</sub> Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH) <sub>12</sub> ·26H <sub>2</sub> O Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO NaCl Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O	化学式 嫌却原放 SiO <sub>2</sub> + (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - CaCO <sub>3</sub> ++ CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O - CaSO <sub>4</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> +++ Ca <sub>2</sub> OH <sub>2</sub> O - Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Fe <sub>0</sub> - NaCl +++ Ca <sub>2</sub> OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O -	化学式 焼却原友 SiO <sub>2</sub> + + +++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - + + CaCO <sub>3</sub> ++ +++ CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> + - Ca(OH) <sub>2</sub> +++ - Ca(OH) <sub>2</sub> +++ - Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> NaCl ++ - Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl・2H <sub>2</sub> O - ++	化学式 構想原友 1989年 0 1 5iO <sub>2</sub> + +++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - ++ +++ CaCO <sub>3</sub> ++ ++ ++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> +++ Ca(OH) <sub>2</sub> +++ + + Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - + + + Fe <sub>3</sub> O NaCl ++ Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O - ++ ++	代学式 焼却原次 う 1989年埋式 0 1 2 5iO2 + +++++ ++++ ++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - + + +++ +++ ++++ (CaCO3 +++ +++ CaCO3 +++ ++ CaCO3 +++ ++ ++ CaCO3 +++ ++ ++ CaCO3 +++ ++ - CaCO4 ++ Ca(OH)2 +++ + Ca(OH)2 +++ + Fe3O4 - + + + + - Fe3O + + + + + - Fe3O Ca(OH)6Cl・2H2O + + + +	化学式 株却原友 「1989年埋立 0 1 2 2.5 SiO <sub>2</sub> + + ++++ ++++ ++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - ++ +++ +++ +++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ CaSO <sub>4</sub> ・2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> +++ Ca(OH) <sub>2</sub> +++ + - ++ - ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ ++ ++ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - ++ ++ ++ ++ Fe <sub>6</sub> O NaCl +++ Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O - ++ ++ -+ ++	化学式 焼却原友 1989年埋立 0 1 2 2.5 0 SiO <sub>2</sub> + +++++ ++++ ++++ ++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - ++ +++ +++ ++++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ +++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> +++ ++ ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ - ++ ++ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - ++ ++ ++ ++ ++ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NaCl ++ Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O - ++ ++ ++ - +++	化学式	化学式 株却原友 1989年埋立 1994年2 0 1 2 2.5 0 0.5 1 SiO <sub>2</sub> + +++++ ++++ ++++ ++++ ++++ (Ca,Na)Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> - ++ +++ +++ +++ +++ +++ +++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ CaCO <sub>3</sub> +++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O ++ ++ ++ ++ ++ ++ CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> +++ ++ - ++ ++ ++ ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ ++ ++ ++ ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ ++ ++ ++ ++ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> - ++ ++ NaCl ++ Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Cl·2H <sub>2</sub> O - ++ ++ ++ -+ ++ ++ ++	K 学式     A 加展液     A 加展液     A 加展液     A 加展液     I 989年埋立     1999年埋立     1994年埋立     1994年世     1994年世     194     194     194     19     194     194     19     194     194     11	K 学式     K 学式     K 学式     K 御 康 次     1989年埋立     1999年埋立     1994年埋立     1994年世立     1994年世     1994世     1994     1994     1994     1994年世     1994年世	供却原友       1989年埋立       1994年埋立         0       1       2       2.5       0       0.5       1       2       3       0         SiO2       +       +++++       +++++       +++++       ++++++       ++++++       +++++++       +++++++       ++++++++       +++++++++       ++++++++++       ++++++++++++++++++++++++++++++++++++	供却原放         1989年埋立         1994年埋立         1994年埋立         200           SiO2         +         +++++         ++++         ++++         ++++         ++++         +++++         ++++         +++++         +++++         ++++++         ++++++         ++++++         +++++++         +++++++         +++++++         ++++++++         ++++++++         ++++++++         +++++++++++         +++++++++++++++++++++++++         ++++++++++++++++++++++++++++++++++++	供却原友         1989年埋立         1994年埋立         2001年担           SiO2         +         +++++         +++         +++	供却原放       1989年埋立       1994年埋立       1994年埋立       2001年埋立         SiO2       +       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       ++++++       ++++++       ++++++       +++++++       +++++++       +++++++       ++++++++       ++++++++       +++++++++       ++++++++++       ++++++++++++++       +++++++++++++++++++++++++++++++       ++++++++++++++++++++++++++++++++++++	小田原友         1989年埋立         1994年埋立         2001年埋立           1989年進立         1994年進立         2001年進立         2001年進立           SiO2         +         ++	供出男孩       1989年埋立       1994年埋立       1994年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2001年埋立         SiO2       +       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       ++++++       ++++++       ++++++       +++++++       +++++++       ++++++++       +++++++++       ++++++++++       ++++++++++++++++++++++++++++++++++++	th 学式	化学式       1989年埋立       1994年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2001年       20034         SiO2       +       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       +++++       ++++++       +++++++       ++++++++       ++++++++       +++++++++       ++++++++++       ++++++++++++++++++++++++++++++++++++	独康族       1989年埋立       1994年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2003年埋式         SiO2       +       ++++      +++       ++++       +++	化学式       1989年埋立       1994年埋立       2001年埋立       2001年埋立       2003年埋立       2003年世立       2003年世立	

·····

図 - 5 XRD測定結果

次に、採取試料に含まれている鉱物種とCECとの関係について検討した。図-4に試料のXRD回折分析の 結果を示す。焼却原灰と採取試料を比較すると、Calcite(CaCO3)は古い埋立地点(1989年埋立、1994年埋立)よ りも新しい埋立地点(2001年埋立、2003年埋立)で多量に検出された。新しい埋立地点ではキャッピングされて おらず、外気や雨水の影響を受けやすい事から炭酸化がより進行したことが原因として示唆された。Gypsum (CaSO4・2H2O)、Anhydrite(CaSO4)も同様に新しい埋立地点で検出された。Portlandite(Ca(OH)2)は焼却原灰で比 較的多く検出されたのに対し、採取試料からは1994年埋立地点の深さ3mにおける試料を除いて、検出されな かった。Portlanditeは易溶解性であることから、埋立層の内部で早期に溶解したものと思われる。また、Halite (NaCl)は焼却原灰と、2001年、2003年埋立地点の深い層で検出された。この2地点では表層をキャッピングさ れていないことから、浸透した雨水に溶解したHaliteが下層に移動、析出したものと思われる。古い埋立地点 (1989年埋立、1994年埋立)では、Ettringite(Ca6Al2(SO4)3(OH)12・26H2O)やHydrocalumite(Ca2(OH)6Cl・2H2O)の ような含水鉱物が含まれていることが認められたが、新しい埋立地点(2001年埋立、2003年埋立)では認められ なかった。この原因として、Ettringiteは不安定な鉱物であり、キャッピングされていない新しい埋立地点では、 雨水などの影響を受けたことが推測される。

**4**.**まとめ** 本研究ではCEC、粒度分布、含有鉱物種の分析を行ない、焼却残渣の風化に伴う安定化について 検討した。粒度分布とXRD分析の結果、表層をキャッピングされていない新しい埋立地点において、風化がよ り進行している傾向を示した。このことから、風化の程度は埋立年数よりもキャッピングの有無に、より依存 する可能性が示唆された。しかしながら今回、キャッピングされている埋立地点において、そうではない埋立 地点よりも CEC が大きいという傾向が認められたため、今後は CEC が増加する原因について考察を深めてい く予定である。

【参考文献】1)深谷秦文,露木尚光:セメント・コンクリート材料化学,技術書院(2003)

2) 一国雅巳, 松本聰, 岡崎正規ら: 季刊化学総説 No.4 土の化学, 学会出版センター(1989)