一般廃棄物焼却灰を用いた気泡混合処理土の地盤環境影響評価

福岡大学　正会員　○藤川　拓朗
福岡大学　正会員　佐藤　研一
福岡大学　正会員　山田　正太郎

1. はじめに 現在、我が国における最終処分場の残余年数は平成 14 年度末で全国平均 13.1 年分[1)]と言われており、処分場の延命化は社会問題になっている。しかし、その処分場の大部分を占める焼却灰は、依然として有効利用されていない。著者らは[2)]これまでに、スラリー化安定処理工法に代表される気泡混合処理工法を用いて、焼却灰（主灰）の有効利用に向けて実験的検討を行ってきた。その中で、焼却灰を用いた気泡混合処理土の力学特性及び長期耐久性については、地盤材料として十分な強度・耐久性を有していることが分かっている。今回の報告では、これら処理土の実用化に向けて、実際に打設した場合の地盤環境への影響や重金属の溶出特性についてタンクリーチング試験及びカラム試験を行い、実験的検討を行った結果について報告する。

2. 実験概要　処理土の作製には高炉セメントB種、気泡、水、博多粘土を使用した。**図-1** に粒径加積曲線を、**表-1** に博多粘土と副材に使用した 2 ㎜以下焼却灰の物理特性を示す。供試体は、土セメント比 S/C= 1.0, 3.0、焼却灰混入率 Rr=0, 25, 50, 75, 100%の 5 種類を作製した。ここで、焼却灰混入率 Rr（以下 Rr と示す）とは主材＋副材の質量に対する副材の質量を百分率で表わしたものである。また、処理土の配合条件は日本道路公団の規定[3)]に従い、目標湿潤密度を 1.0±0.02g/cm^3、フロー値を 180±20mm と設定し、配合設計を行った。**表-2** に決定した配合表を示す。供試体の作製には任意の大きさ（一軸：直径φ5 ㎝×高さ h10cm、圧縮：φ5 ㎝×h2cm）の塩ビ製のモールドを用い、20℃一定状態のもと養生を行った。作製した処理土を用いて、焼却灰を用いた気泡混合処理土の地盤環境影響を把握するために、①Rr の増加に伴う処理土の溶出特性、②酸性雨の影響を考慮した処理土の溶出特性、③処理土の地盤環境影響評価について実験的検討を行った。

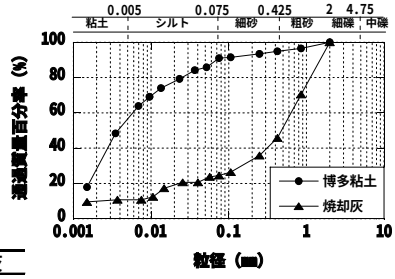

図-1　粒径加積曲線

表-1　材料の物理特性

	博多粘土	焼却灰
密度 ρ_s(g/cm^3)	2.519	2.437
含水比w (%)	143.4	36.9

表-2　処理土の配合表

S/C	Rr (%)	セメント (kg/m^3)	主材 (kg/m^3)	焼却灰 (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	気泡 (L/m^3)	フロー値 (mm)	湿潤密度 (g/cm^3)	水セメント比 W/C
1.0	0	363	363	0	248	488.6	175	1.008	0.68
	25	345	259	86	288	460.7	180	0.997	0.83
	50	340	170	170	297	454.2	180	0.993	0.87
	75	327	82	246	324	435.3	195	1.002	0.99
	100	318	0	318	344	420.9	185	0.998	1.08
3.0	0	174	522	0	279	456.5	173	0.996	1.60
	25	168	378	126	306	437.1	180	0.998	1.82
	50	165	248	248	318	427.6	185	1.001	1.93
	75	163	122	366	327	421	180	0.999	2.01
	100	156	0	468	357	399.7	175	0.996	2.29

※数字は絶乾状態における配合を示したも

2.1 溶出試験概要及び実験条件

2.1.1 タンクリーチング試験（日本方式） タンクリーチング試験は、28 日間気中養生させた処理土を塊状のまま使用し、国土交通省の通達[4)]に準拠して試験を行った。なお、今回の分析では Pb と Cd の 2 種類の重金属についてのみ分析を行っている。実験条件を**表-3** に示す。

2.1.2 カラム試験 カラム試験はφ5cm のカラムに供試体（φ5cm×h10cm）を設置させ、下降流で溶媒を流した。供試体は、塊状及び同じ条件の供試体を用い、ハンマーで破砕（最大粒径 1㎝ 以下）させた同じ条件（土セメント比、焼却灰混入率、供試体質量ともに同じ）の供試体の計 2 種類を用いた。溶液には、蒸留水（pH5.8～6.3 に調節）及び pH3 に調整した 2 種類の溶液を用い、最終的に液固比（L/S）10 となるまで連続通水して実験を行った。実験条件を**表-4** に示し、カラム試験装置の図を**図-2** に示す。

表-3　実験条件（タンクリーチング試験）

S/C	主材	副材	焼却灰混入率 (%)	養生日数 (日)	養生方法
1.0	博多粘土	2㎜以下焼却灰	0	28	気中養生
			25		
			50		
			75		
			100		
3.0	博多粘土	2㎜以下焼却灰	0	28	気中養生
			25		
			50		
			75		
			100		

表-4　実験条件（カラム試験）

S/C	溶液pH	処理土の状態	液固比(L/S)
1.0	pH5.8～6.3	塊状および破砕	0.2, 0.5,1.0, 2.0, 5.0, 10.0
	pH3		

3.実験結果及び考察

3.1 タンクリーチング試験結果　土セメント比 S/C=1.0, 3.0、焼却灰混入率 Rr=0, 25, 50, 75, 100%の 28 日養生後の供試体を用いてタンクリーチング試験を行った結果を**表-5** に示す。表より、S/C=1.0，3.0 ともにいずれの混入率においても Pb、Cd の溶出は見られず、土壌環境基準を満たしていることが分かる。これより、焼却灰に気泡混合処理を施すことでセメントによる固結作用が働き、重金属の溶出を抑制することが可能であることが明らかとなった。また、塊状の形状を維持することが出来れば、長期において重金属の溶出を抑制することが可能であると考えられる。

3.2 カラム試験結果　土セメント比 S/C=1.0、焼却灰混入率 Rr=100%の打設 2 日後（脱型直後）の供試体を用いてカラム試験を行った。なお、いずれの条件においても Cd の溶出は見られなかったため、Pb の溶出結果のみ記してある。

キーワード：焼却灰，気泡混合処理土，溶出試験，カラム試験，タンクリーチング試験
〒814-0180　福岡市城南区七隈 8 丁目 19-1　福岡大学工学部　TEL 092-871-6631(内線 6464)

(1)蒸留水を溶液として用いた場合　L/S と pH の関係を**図-3** に示し、L/S と Pb 溶出量の関係を**図-4** に示す。図より、L/S の増加に伴い塊状、破砕ともに pH が低下する傾向にあることがわかる。破砕した処理土において Pb の溶出が確認されたが、L/S の増加に伴い溶出量が減少し L/S=5.0 以降は土壌環境基準を満たしていることから、Pb は比較的早い段階で溶出することが明らかになった。また、タンクリーチング試験において重金属の溶出が見られなかった塊状の処理土において Pb がわずかに溶出した理由として、カラム容器に供試体を設置する際に、処理土の側面を削った事による影響が Pb の溶出に起因したと考えられる。

(2)調節水(pH3)を溶液として用いた場合　L/S と pH の関係（pH3）を**図-5** に示し、L/S と Pb 溶出量の関係（pH3）を**図-6** に示す。図より、破砕した処理土において Pb の溶出が見られたのは、焼却灰の緩衝能作用[5]により浸出水の pH が 12 付近で安定し、減少しなかった為であると考えられる。しかし、溶液に蒸留水を用いた場合と同様に、L/S の増加に伴い溶出量が低下する傾向にあることが明らかとなった。また、タンクリーチング試験により重金属の溶出が見られなかった塊状の処理土においては、Pb の溶出がわずかながら見られた。これは、処理土の表面を削ったことによるによる粉体の影響や溶液通水時に、処理土の透水性が極めて低く供試体内部を浸透せず側面に浸透したことにより、緩衝能作用が働かず、pH が酸性領域に移行した為であると考えられる。

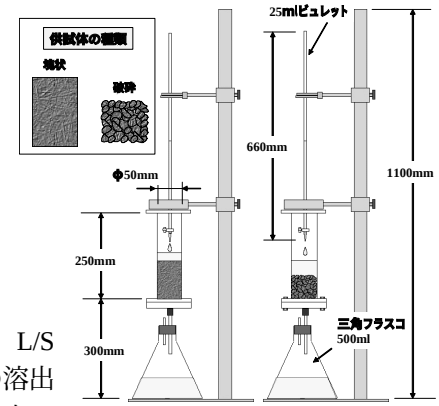

図-2 カラム試験装置

表-5　タンクリーチング試験結果

条件	試料名			分析結果(mg/L) Pb	分析結果(mg/L) Cd	pH
改良前（環告46号）	焼却灰単体			0.327	<0.001	11.98
改良後（タンクリーチング）	S/C1.0	焼却灰混入率 Rr	0%	<0.005	<0.001	11.73
			25%	<0.005	<0.001	12.00
			50%	<0.005	<0.001	11.88
			75%	<0.005	<0.001	11.56
			100%	<0.005	<0.001	11.54
	S/C3.0	焼却灰混入率 Rr	0%	<0.005	<0.001	11.51
			25%	<0.005	<0.001	11.58
			50%	<0.005	<0.001	11.61
			75%	<0.005	<0.001	11.64
			100%	<0.005	<0.001	11.62

4．処理土の地盤環境影響評価　これらの結果より、焼却灰を用いた気泡混合処理土は、塊状において重金属の溶出は見られなかったが、厳しい条件下（pH3）において Pb が溶出する事が明らかとなった。一方、破砕した処理土においては、両溶液ともに Pb の溶出が確認された。そのため、焼却灰を用いた気泡混合処理土の環境影響負荷を正しく評価するには、処理土の地盤内での挙動を把握しておくことが肝要となる。そのため、気泡混合処理土上に構造物や覆土を設計した際の耐久性及び破壊状況を確認することを目的に、S/C=3.0 の条件下において、圧縮降伏応力 p_y の 0.9 倍の荷重を載荷させてクリープ試験を行った。**図-7** に圧縮試験結果を、**図-8** にクリープ試験結果を示す。図から分かるように作製した処理土は、降伏応力の 9 割という荷重下においても、気泡の消泡等による著しい変化や脆性的な破壊は見られず、安定した材料であることが明らかとなった。この事は、実施工において処理土は塊状のまま存在し、破砕等の影響により重金属が溶出する可能性は極めて低いと考えられる。以上より、処理土の溶出特性を検討する場合、粉体で試験を行う溶出試験法よりも、塊状のまま試験を行うタンクリーチング試験の方が、実地盤の溶出挙動を的確に評価することが出来る事を示している。さらにこれらの結果は、安定化を目的として成型固化した廃棄物を再び粉砕し、溶出特性を検討することは、処理の効果が把握できなくなる[6]ということを示している。

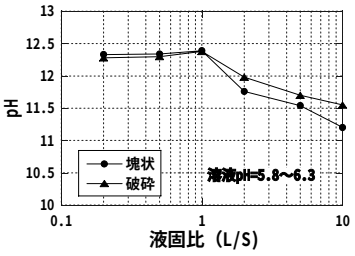

図-3 L/S と pH の関係

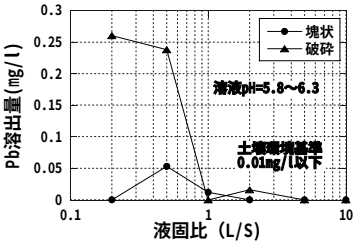

図-4 L/S と Pb 溶出量の関係

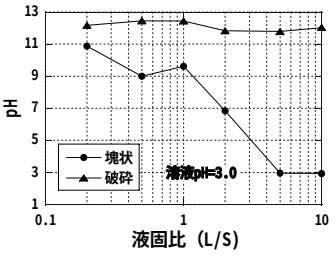

図-5 L/S と pH の関係（溶液 pH=3.0）

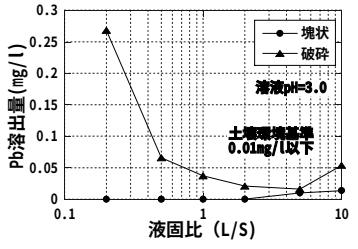

図-6 L/S と Pb 溶出量の関係（溶液 pH=3.0）

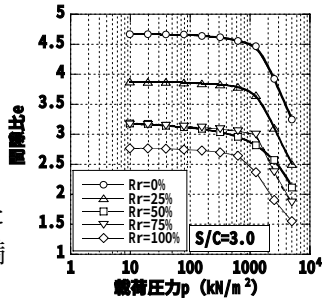

図-7 圧縮曲線

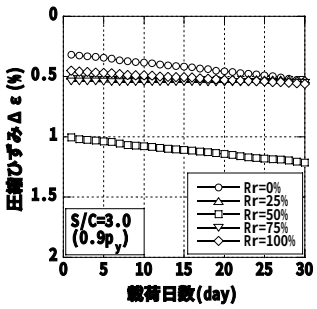

図-8 クリープ試験結果

5．まとめ　①タンクリーチング試験において、焼却灰を用いた気泡混合処理土は焼却灰混入率に関係なく、土壌環境基準を満足する結果となった。②安定化を目的とした固化処理土を破砕して溶出試験を行うと、重金属が溶出する。③処理土の実施工を考えた場合、タンクリーチング試験による評価手法が、有効的な試験法である事が明らかとなった。

参考文献 1)環境省:「平成 17 年度環境白書」. 2) 佐藤ら:「焼却灰を用いた気泡混合処理土の長期耐久性」,第 41 回地盤工学発研究表会講演集掲載予定, 2006. 3) 日本道路公団試験研究所:「気泡混合処理土を用いた軽量盛土工法の設計・施工に関する試案」, 1996. 4)国交省「技術調査係り」:タンクリーチング試験について,平成 13 年 4 月 5) 金光ら:「溶媒に処分場浸出水を用いた廃棄物溶融スラグの溶出実験について」, 第 25 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, pp339～341, 2004. 6) 酒井ら:「溶出試験の基本的考え方」, 廃棄物学会誌, Vol7, No.5, pp383～393, 1996.