

一般廃棄物焼却灰を用いた気泡混合処理土の長期安定性

福岡大学工学部 正会員 藤川 拓朗
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一
 福岡大学工学部 正会員 山田 正太郎

1.はじめに 一般廃棄物焼却灰及び建設工事から排出される各種泥状土は大部分が最終処分場で直接埋立処分されている。環境省の調べによれば、最終処分場の残余年数は平成13年度末で全国平均12.5年分と言われている¹⁾。そこで本研究では、焼却灰と泥状土に気泡混合処理を施し、土木材料として有効性の検討を行った。この処理土は、軽量性や流動性などの付加価値を有する土木材料であるとともに、セメント固化による焼却灰の溶出を抑えることができると考えられる²⁾。そこで、気泡混合処理土の強度特性に及ぼす泥状土の違いによる影響及び長期的な耐久性を一軸圧縮試験、高圧圧縮試験から検討し、溶出試験を行い処理土が地盤環境に与える影響について検討を行った結果を報告する。

2.供試体作製 気泡混合処理土の供試体は、高炉セメントB種、気泡、水、主材に泥状土として博多粘土、有明粘土、副材として2mm以下焼却灰を使用した。**表-1**に博多粘土、有明粘土、2mm以下焼却灰の物理特性、また**図-1**に各試料の粒径加積曲線を示す。供試体は、土セメント比S/C=1.0、2.0、3.0の3種類、主材に対する焼却灰混入率Rr（以下Rrと示す）0、75、100%の3種類、として作成した。また、処理土の目標湿潤密度を $1.0 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 、フロー値を $180 \pm 20 \text{ mm}$ と日本道路公団の規定³⁾に従った。予備練り試験により得られた配合表を**表-2**に示す。供試体の作成に用いたのは $\phi 5 \times h=10(\text{cm})$ の塩化ビニル製のモールドを用いて、恒温恒湿室にて供試体をラップに包み気中養生を行い、所定の養生日数にて一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験は供試体3本行いその平均値を結果としている。溶出特性の把握は、固化体を用いたタンクリーチング試験による溶出試験を行った。

3.処理土の力学特性と耐久性の検討

3-1 泥状土の違いによる検討 **図-2**に焼却灰混入率Rr=75%における博多粘土及び有明粘土を用いた一軸圧縮試験の結果を示す。また、**図-3**には一軸圧縮強さ（以下 q_u と記す）と養生日数の関係を示している。博多粘土、有明粘土ともに物理特性は**表-1**に示す通りほとんど差はないが有明粘土を用いた場合の方が博多粘土より強い強度を示している。これは配合条件を決定する際に粘土の違いが強度に表れたことが要因と考えられる。

3-2 処理土の長期的強度

図-4に有明粘土を用い、S/C=1.0における処理土の養生日数と一軸圧縮強さ q_u の関係を示す。処理土の強度は、養生日数91日まで強度は増加しており、その後、730日後まではほぼ一定である。この結果より、焼却灰を混入した処理土は、ほぼ安定した強度を有することを示している。さらに、日本道路公団で基準とされている一軸圧縮強さ $0.3 \sim 1.0 \text{ MN/m}^2$ をいずれも満足しているとともに、焼却灰の混入率の増加に伴って強度が大きくなることもわかる。これは、焼却灰を天然骨材の代替材として使用できることを示唆している。

3-3 圧縮特性

処理土の圧縮特性を調べるために、直径6cm、高さ2cmの供試体を用い

キーワード：気泡混合処理土 焼却灰 一軸圧縮試験 溶出試験 有効利用

〒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

表-1 試料の物理特性

	博多粘土	有明粘土	焼却灰
粒子の密度 $s (\text{g/cm}^3)$	2.519	2.55	2.73
初期含水比 $w (\%)$	79.1	119.4	21.8
均等係数 U_c	-	-	6.27
曲率係数 U_c'	-	-	1.13
液性限界 $w_L (\%)$	108.9	110	-
塑性限界 $w_P (\%)$	35.1	29.7	-

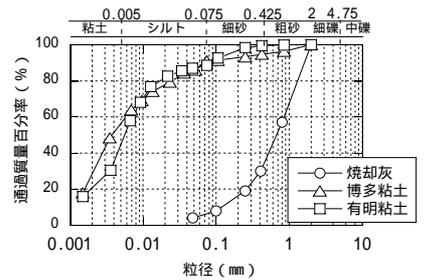


図-1 粒径加積曲線

表-2 実験に用いた配合表

主材	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 (kg/m ³)
博多粘土	1.0	0	197	197	0	591	266.2
		75	252	144	108	479	341.6
		100	326	0	326	326	447.7
	2.0	0	136	272	0	577	270.8
		75	158	181	134	509	317.6
		100	207	0	414	356	424.4
	3.0	0	88	264	0	634	232.7
		75	117	201	151	519	307.6
		100	162	0	486	330	438.4
有明粘土	1.0	0	205	375	0	408	274.4
		75	286	132	245	320	368.1
		100	323	0	367	289	410.2
	2.0	0	118	432	0	441	231.8
		75	183	168	314	322	338.9
		100	220	0	500	261	401.3
	3.0	0	82	450	0	455	217.6
		75	135	185	344	321	328.5
		100	160	0	545	276	382.2

配合表は1m³あたりの配合である。

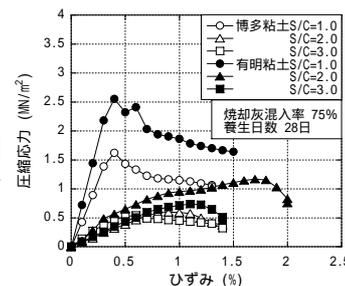


図-2 応力ひずみ曲線

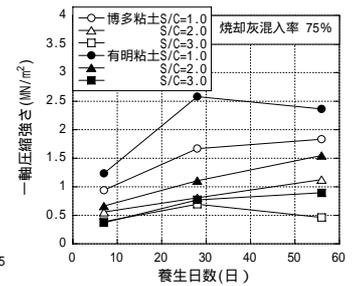


図-3 養生日数と q_u の関係

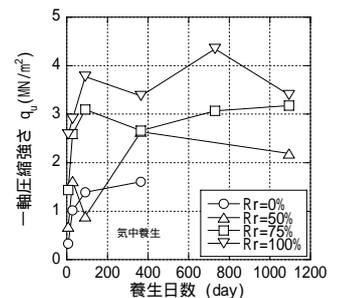


図-4 養生日数と q_u の関係

一次元圧密試験を行った結果を図-5及び表-3に示す。実験に用いた処理土は、焼却灰混入率100%、S/C=3.0であり、養生後28日、56日である。結果より、圧密降伏応力は、養生日数の経過に伴って大きくなり、その値は一軸圧縮強さにほぼ等しい事がわかる。このことは、処理土地盤は一軸圧縮強さ以上の荷重により大きな変形が生じていることを示している。そこで、28日養生後の供試体を用いて、圧密降伏応力と等しい荷重により処理土のクリープ試験を行った結果を図-6に示す。なお載荷荷重は28日養生後の圧密降伏応力と同値とした。供試体に圧密降伏応力の荷重を加えつづけても顕著な増加は見られず一定の値で安定しており、破壊に至るまでに相当な年月を要することが伺える。以上の結果から考えると処理土は、長期的に安定し耐久性の高い材料であることが伺える。

4. 処理土の環境影響評価 本研究では、処理土の環境影響の評価法として、タンクリーチング試験を行った。この溶出試験は、塊状のまま溶媒水中に水浸し、水中に溶出する重金属の濃度を測定する方法である。試験では供試体を5×h10cm、Rr=100%、S/C=3.0の成型体試料を用いた。タンクリーチング試験はオランダ方式と日本方式との溶出量の違いに着目し、Zn, Cd, Fe, T-Cr, Cu, Pdの6種類について測定した。処理土と焼却灰の溶出特性を比較するために、焼却灰のみの溶出結果を表-4に示している。

4-1 タンクリーチング(日本方式) 溶媒水には蒸留水を使用し、初期pHは5.8~6.3に塩酸で調整した。次に固液比1:10の溶媒水に、供試体の全てが水中に没するように水浸させる。その後容器を密封し、20の恒温で整置する。浸漬28日後に溶媒水を採水し、所定の処理を行った後、重金属の濃度測定を行った。溶出試験結果を表-5に示す。溶出試験結果では、測定した6項目についてすべて定量下限値未満(N.D)もしくは基準値以下であったことから、焼却灰を気泡混合処理した材料は地盤環境に対して安全であることが確認された。

4-2 タンクリーチング(オランダ方式) S/L(液固比)=5.0の条件で溶媒(pH4の硝酸溶液)に浸漬して静置し、その溶媒は、6時間,1日,2.25日,4日,9日,16日,36日後に新しい溶媒と交換され、回収された溶媒が化学分析を行う試料となる。本試験の特徴はこの溶出液の濃度を元に、溶出の速度を分析して評価することにある。溶出試験結果を表-6に示す。また、溶出量の変化を図-7に示す。試験結果より、Zn, Fe, Pdは比較的早く溶出していることが分かった。オランダ式でも、測定した6項目すべて定量下限値未満(N.D)もしくは基準値以下であった。また、焼却灰を気泡混合処理することにより重金属の溶出を防ぐことができ、地盤環境に対して安全であることが確認された。

5. まとめ 気中養生された供試体を用いて3年間継続的に求めた一軸圧縮強さから、処理土は強度的に安定した材料であることが示された。圧縮試験結果より、処理土の一軸圧縮強さと圧密降伏応力はほぼ同程度の強度を持ち、クリープ試験結果から、一軸圧縮強さ以下の荷重下において耐久性のある材料であることが明らかとなった。溶出試験より、重金属は測定基準値以下であり、処理土が地盤環境にあたる影響は少ないと言える。また、オランダ式の結果より、Zn, Fe, Pdは比較的早く溶出することが明らかになった。焼却灰のみの溶出特性と比べて、焼却灰を気泡混合処理することにより重金属の溶出を防ぐことが示された。

参考文献 1)環境省：平成16年度版環境白書。 2)佐藤,本村：コスト縮減と環境影響負荷低減を考えた一般廃棄物焼却灰の有効利用に関する研究,土木学会西部支部研究発表会,ppA312~A313,2003年3月。 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的设计・施工に関する指案,平成8年。

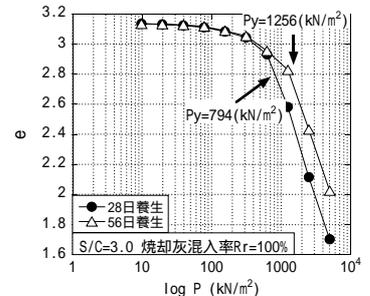


図-5 圧密試験結果

表-3 p_y と q_u の比較

養生日数 (day)	p_y (kN/m ²)	q_u (kN/m ²)
28	794	811
56	1256	1233

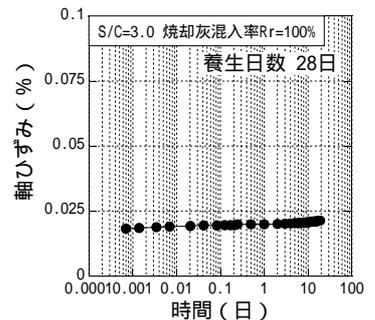


図-6 クリープ試験結果

表-4 溶出結果(焼却灰のみ)(mg/l)

重金属	Zn	Cd	Fe	T-Cr	Cu	Pd
溶出量	0.005	0.001	0.02	0.045	0.21	0.026
土壤環境基準		0.01		0.05		0.01
定量下限値	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

表-5 溶出結果(日本式)(mg/l)

重金属	Zn	Cd	Fe	T-Cr	Cu	Pd
溶出量	0.015	ND	0.015	0.005	0.006	0.008
土壤環境基準		0.01		0.05		0.01
定量下限値	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

表-6 溶出結果(オランダ式)(mg/l)

	Zn	Cd	Fe	T-Cr	Cu	Pd
6時間	0.016	ND	0.016	0.001	0.003	0.007
1日	0.015	ND	0.012	0.002	0.003	0.007
2.25日	0.002	ND	0.012	0.002	0.002	0.004
4日	0.002	ND	0.01	0.001	0.001	0.002
9日	0.001	ND	0.008	0.002	0.003	0.001
16日	0.001	ND	0.008	0.001	0.001	0.001
36日	0.001	ND	0.002	0.002	0.004	0.001
土壤環境基準		0.01		0.05		0.01
定量下限値	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

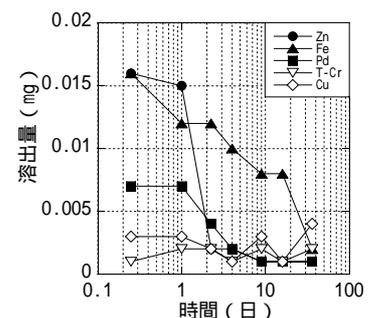


図-7 溶出量結果