

気泡混合処理を施した焼却灰の長期耐久性

福岡大学工学部 学生会員 ○江藤圭介

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

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⁾とされており、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、有効利用されていない。そこで、著者ら²⁾は焼却灰に気泡混合処理を施し付加価値を加えた新しい材料とする利用法の検討を行ってきた。これまで気泡混合処理土の力学特性を中心に検討を行ってきたが、クリープ試験や乾湿繰返しによる強度劣化による処理土の耐久性に関しては未だ未解明な部分である。そこで本研究は、①基本的な力学特性を確認、②処理土の圧縮クリープ特性及び乾湿繰返しを受けた場合の耐久性の検討を行い、これまでの結果を含め処理土の総合的な評価を行った。

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 mm 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+副材に対する副材の割合を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 $1.0 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 、フロー値を $180 \pm 20 \text{ mm}$ 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 $\phi 5 \text{ cm} \times$ 高さ $h 10 \text{ cm}$, 圧縮: $\phi 5 \text{ cm} \times h 2 \text{ cm}$) の塩ビ製のモールドを用い、 20°C 一定状態のもと 7, 28, 91 日間養生を行った。

表-1 材料の物理特性

	博多粘土	焼却灰
密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.519	2.437
自然含水比 (%)	143.4	36.9

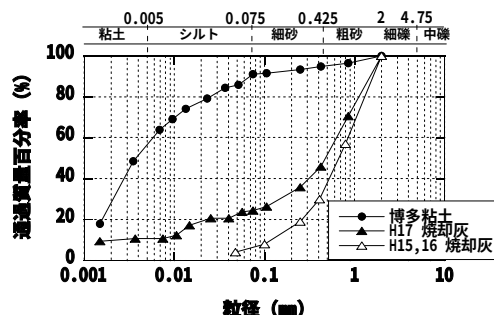


図-1 粒径加積曲線

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のの

3.1 一軸圧縮試験 処理土の一軸圧縮強さ q_u

(以下 q_u と示す) と Rr の関係を図-2 に示す。なお、図中には著者ら²⁾が行った過去 2 年間のデータも併せて記している。焼却灰は、採取した季節等により性状が異なるとされている。しかし、同じ S/C ではほぼ同じ強度を有していることがわかる。また、S/C の増加に伴い強度が減少しているが、どの条件においても基準強度を満たしている。このことは、配合表からも分かるように S/C=3.0 の処理土は焼却灰を用いる際に、S/C=1.0 に比べ 1 m^3 あたり約 1.5 倍の焼却灰量を増加させることが可能であることを示している。図-3 に W/C と Rr の関係を、図-4 に q_u と W/C の関係を示す。これらの図より、処理土の強度は、水セメント比に依存していることが分かる。次に q_u と E_{50} の関係を図-5 に示す。一般の処理土は、一軸圧縮試験時の E_{50} と q_u の関係を $E_{50}=(100 \sim 200)q_u$ で表わすことが出来るとされている⁴⁾。焼却灰を用いた処理土は、一般的な気泡混合処理土とほぼ同程度の剛性を有することがわかる。また、 q_u と E_{50} は相関性が良く、処理土の強度と剛性を任意に設定できることが分かる。これらの結果より、焼却灰を用いた気泡混合処理土は強度剛性面において、十分に安定した品質を得ることができることが明らかになった。

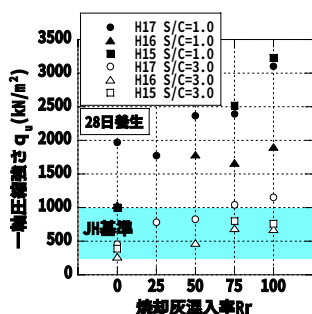
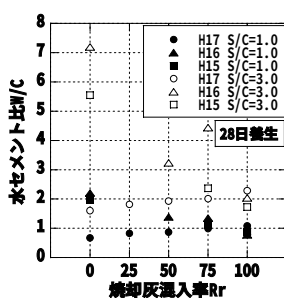
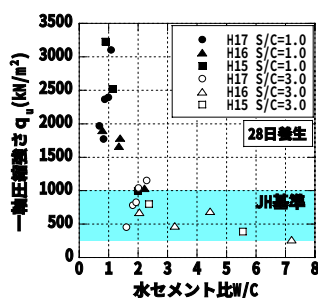
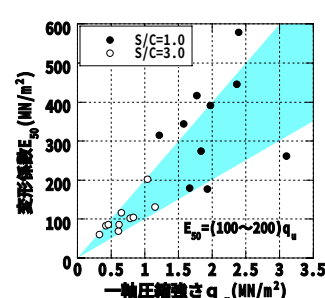
図-2 q_u と Rr の関係

図-3 W/C と Rr の関係

図-4 q_u と W/C の関係図-5 q_u と E_{50} の関係

3-2 長期変形特性 実験は、S/C=1.0, 3.0 の供試体を用い 28 日養生後 JIS A 1217「土の圧縮試験方法」に準じて行った。なお、間隙比 e を算出する際に用いた土粒子密度は、処理土を破碎して求めた。一方、クリープ試験は、圧縮試験により求められた圧縮降伏応力 p_y の 0.8, 0.9 倍の荷重を 30 日間载荷した。図-6、図-7 に圧縮試験結果を示す。圧縮降伏応力は、S/C=3.0 においてはセメント添加量が少ないため間隙比が大きく、S/C=1.0 の供試体に比べ小さい事がわかる。図-8 に q_u と p_y の関係を示す。図より、 q_u と p_y の関係には若干ばらつきが見られる。これは、供試体作成時の攪拌の不均一性による影響だと考えられる。図-9 にクリープ試験結果を示す。S/C=1.0 の p_y の 8 割の荷重では大きな変化が見られなかった。しかし、S/C=3.0 の p_y の 9 割の荷重では、混入率に関係なく载荷日数の経過に伴い圧縮量が増加し、クリープ変形が生じた。これより、処理土上に構造物や覆土を設計する際には、変形において注意が必要であると予想される。

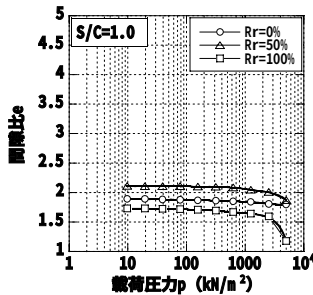


図-6 圧縮曲線

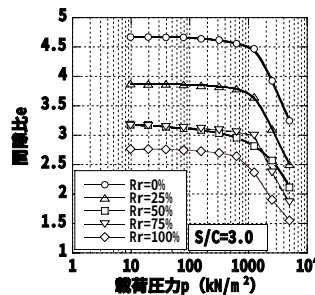


図-7 圧縮曲線

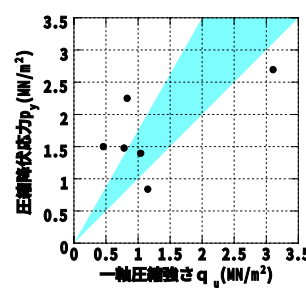
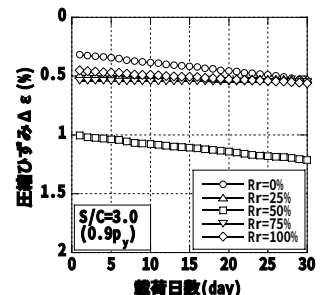
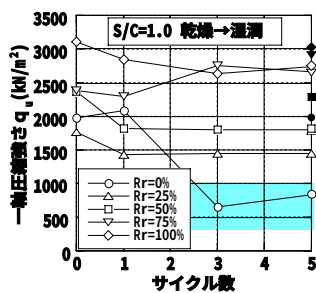
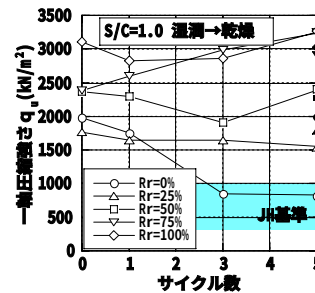
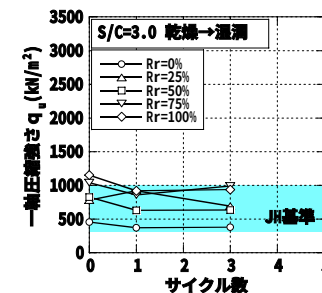
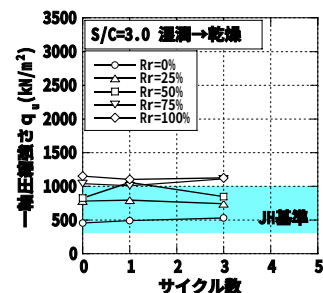
図-8 q_u と p_y の関係

図-9 クリープ試験結果

3-3 乾湿繰返しによる耐久性の検討 実験は、28 日養生後の供試体を用い乾燥過程 (20℃一定に保った室内において気中養生) 7 日間、湿潤過程 (同室で水浸養生) 7 日間を 1 サイクルとして計 5 サイクル行った。実験では、乾湿のサイクルを入れ変えての検討も行った。この間、0, 1, 3, 5 サイクル終了後に一軸圧縮試験により耐久性の検討を行った。これにより、劣化の進行状況を把握し、焼却灰を用いた処理土の強度特性に及ぼす耐久性の検討を行った。図-10～図-13 に q_u とサイクル数の関係を示す。図中の黒点は、同配合条件における 91 日養生の強度を示している。S/C=1.0 では、Rr=0%の強度が 3 サイクル時に大きく減少しているが、Rr=25, 50, 75, 100%においてはどれも強度の大きな減少は見られなかった。また、湿潤養生の強度と比較しても、大きな強度の減少は見られなかった。

図-10 q_u とサイクル数の関係図-11 q_u とサイクル数の関係図-12 q_u とサイクル数の関係図-13 q_u とサイクル数の関係

さらに、湿潤→乾燥過程においては Rr=50, 100%の強度が 3 サイクル以降に増加の傾向を示し、湿潤養生の強度を上回る結果となった。乾燥→湿潤過程に比べ湿潤→乾燥過程の方が強い強度を示したのは、供試体の乾燥収縮によるものと考えられる。S/C=3.0 においても S/C=1.0 と同様に、乾湿繰返しに伴う強度変化は見られなかった。これらの結果より、焼却灰を混入することは、処理土の耐久性向上に大きな役割を果たすことが示された。

4.まとめ ①これまでの研究結果より、焼却灰を用いた気泡混合処理土は、一般的な気泡混合処理土とほぼ同程度の強度及び剛性を有することが明らかとなった。②S/C=3.0 の p_y の 9 割の荷重では、混入率に関係なく载荷日数の経過に伴い圧縮量が増加しクリープ変形が生じた。③乾湿繰返し試験結果より、焼却灰を混入した気泡混合処理土は、処理土の耐久性向上に大きな役割を果たすことが示された。

参考文献 1)環境省:「平成 17 年度環境白書」. 2) 佐藤ら:「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」, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp109~110, 2005. 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) 社団法人地盤工学会:「軽量地盤材料の物性と適用の現状」, pp24~25, 1998.