

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

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一
福岡大学大学院 学生員 〇本村 明教

1.はじめに 現在、一般廃棄物の最終処分場の残余容量は逼迫した状況であり、廃棄物処理を取り巻く問題は深刻である。そこで本研究では、一般廃棄物焼却灰を天然骨材の代替品として気泡を用いてセメント安定処理することにより、軽量性や流動性などの付加価値を有する土木材料としての有効利用を考えた。しかし、焼却灰を混入した処理土を実際に用いる場合、強度・耐久性の確認、環境への安全性、コスト縮減が重要な問題となる。本研究ではまず、焼却灰を混入させた処理土の作成を行い、各種力学試験により処理土の強度特性の把握を行った。次いで、この処理土に対し溶出試験を行い、溶出特性から地盤環境に与える影響の検討を行った。さらに、環境コストを考慮した上で、焼却灰の有効利用に関する経済評価からコスト縮減について提案する。

2.供試体作製及び試験方法 気泡混合処理土の供試体は、高炉セメントB種、水、気泡、主材に有明粘土または海砂、副材には2mm以下に粒度調整した焼却灰AまたはBを混合して作製した。図-1に各試料の粒径加積曲線、表-1に試料の物理特性を示している。副材に焼却灰Aを用いる場合(配合条件①)では、主材は有明粘土および海砂Aとし、焼却灰Bを用いる場合(配合条件②)では、主材には有明粘土及び海砂Bを用いた。配合条件①では、土セメント比 $S/C=1.0$ 、焼却灰混入率(以下 R_r)を0.50, 75, 100%、養生日数は7, 28, 91, 365日とした。配合条件②では、処理土のコストを考えセメント量に着目し $S/C=1.0, 2.0, 3.0$ 、 $R_r=0, 75, 100\%$ 、養生日数は28日である。また、処理土の湿潤密度は 1.0g/cm^3 の一定とした。供試体の作成は、施工条件・品質管理を考慮し、フロー値 $180 \pm 20\text{mm}$ として配合設計を行った。供試体は $\phi 5 \times h 10\text{cm}$ の形状とし、恒温恒湿室にて養生を行った。処理土の力学特性は一軸圧縮試験から求めた。

3.焼却灰を混入した気泡混合処理土の力学特性

主材粘土、副材焼却灰Aにおける処理土の養生日数と一軸圧縮強さ q_u の関係を図-2に示す。91日まで強度は増加しているものの、その後の伸びは一定となっている。また、 R_r が大きくなるにしたがって強度が大きいく傾向となり、焼却灰を多く混入することにより、有効利用の促進が見込まれることが分かる。次に処理土の強度に及ぼすセメント量の影響についてまとめた。土セメント比 S/C と q_u の関係を図-3に示す。 S/C が大きくなる、すなわち、セメント添加量が減少することによって q_u は小さくなっている。しかし、いずれの配合においても、日本道路公団の「気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工に関する指針」の基準強度 $0.3 \sim 1.0\text{MN/m}^2$ を満足しており、セメント添加量を少なくできると思われる。また、セメント量の

減少に伴い製造コストの削減も期待できる。図-4に q_u と供試体の変形係数 E_{50} の関係を示す。両者は良い相関性を持っており、焼却灰を混入させた処理土の強度と剛性を任意に設定できることがわかる。図-5に単位セメント量と q_u の関係を示す。これにより、同程度のセメント添加量で比較してみると、 R_r の増加に伴って強度が大きくなっていたのはセメント量に依存していたためであることが確認できる。また、同一セメント量であれば焼却灰を入れたほうが強い強度を得られることが明らかになった。

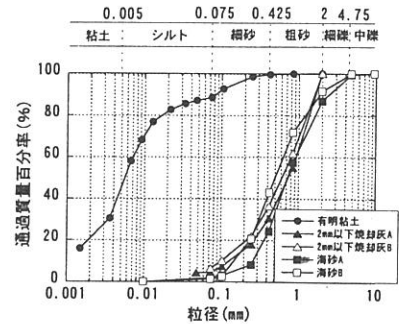
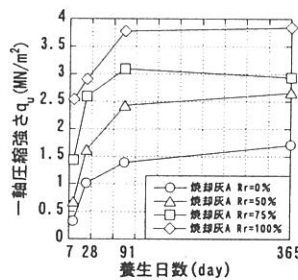
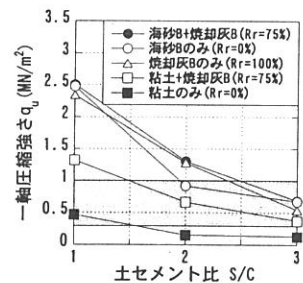
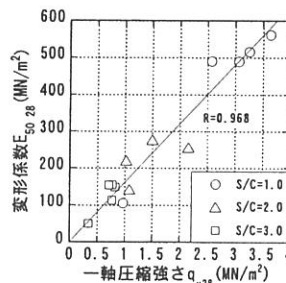
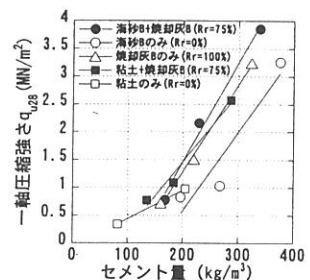


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

試料名	有明粘土	海砂A	海砂B	焼却灰A	焼却灰B
土粒子の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$	2.55	2.65	2.66	2.47	2.14
含水比 $w(\%)$	119.4	2.70	0.2	12.80	13.64
10% 粒径	—	0.15	0.27	0.15	0.15
50% 粒径	0.0055	0.50	0.73	0.50	0.75
均等係数 U_c	—	4.13	3.33	4.13	6.27
曲率係数 C_u	—	0.97	0.91	0.97	1.13

図-2 養生日数と q_u の関係図-3 S/C と q_u の関係図-4 q_u と E_{50} の関係図-5 単位セメント量と q_u の関係

4. 処理土が地盤環境へ及ぼす影響

本研究では、環境省告示第46号法（以下、環告46号）及びタンクリーディング試験（以下、TL試験）を行った。

4.1 実験試料と実験方法 主材有明粘土・副材焼却灰A（Rr=0, 75, 100%）の28日養生後の供試体を検体とした。環告46号では、溶媒（純水：pH5.8～6.3）1000mlと試料（2mm以下に粉砕した供試体）100g（液固比10）を6時間平行振とう、吸引ろ過し、ろ液中の重金属の溶出濃度を測定した。一方、TL試験では試料は塊状のまま溶媒に28日間浸漬させ、その後、ろ液中の重金属の溶出濃度を測定した。

表-2に各試料の溶出試験結果を示す。高炉セメント、有明粘土、海砂A及びBからは、重金属類の溶出は確認されなかった。焼却灰AからはCu及び土壌環境基準を超えるPbの溶出がみられた。焼却灰Bについては、Pbの溶出が少なく、Pbは両性金属であり、高アルカリでは溶出しやすくなるが、今回溶出は認められなかった。

4.2 処理土の溶出特性 焼却灰Aを気泡混合処理した供試体からの溶出特性を図-9に示す。

ここでは、焼却灰単体を「処理前」とし、気泡混合処理土を「処理後」とした。また、処理後の試料としてRr=100%、28日養生のものを使用した。Cuは処理後に溶出量が減少している。これは固化処理により重金属が固結されているためであると思われる。一方、PbはpHが大きくなるとともに溶解量が増加する傾向にある。図-10に副材焼却灰A、Rr=75%の試験結果を示す。主材に有明粘土を使用した方が、海砂に比べpHは小さくなっており、さらにCu、Pbの溶出量も減少している。これは、重金属が有明粘土に吸着された¹⁾ためと考えられる。図-11は試験方法の違いによる溶出特性である。TL試験ではPbの溶出量は土壌環境基準を下回り、処理土が固化体で存在する場合、溶出は抑制され、安全であるといえる。

表-2 各試料の溶出特性 (mg/l)

	Cu	Pb	pH
高炉セメント	N.D	N.D	11.92
有明粘土	N.D	N.D	8.30
海砂A	N.D	N.D	7.65
海砂B	N.D	N.D	7.50
焼却灰A	0.06	0.02	9.89
焼却灰B	0.24	N.D	11.80
土壌環境基準	—	0.01	

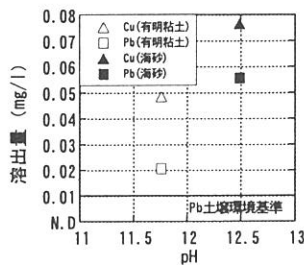


図-10 主材の違いによる影響(焼却灰A)

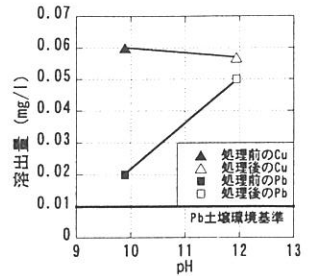


図-9 固化処理による影響(焼却灰A)

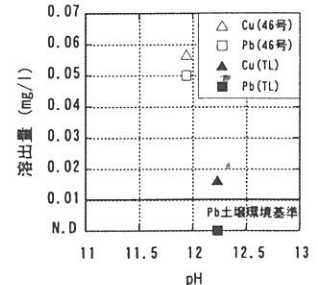


図-11 試験方法の違いによる溶出特性

5. 環境コストを考慮に入れた経済性の評価 廃棄物を有効利用する場合には、技術的または法的な問題のほかに、コスト（材料単価）が支障になっていることが多い。一般的にコストというのは運搬費や建設費などの直接コストを指すが、近年、環境に与える負荷も一つのコスト（環境コスト）として考えられてきている。そこで、焼却灰を気泡混合処理土の土質材料として有効利用する場合、ライフサイクルコストという概念の中で、どの程度の環境影響負荷があるのかを求め、コスト削減の可能性について検討した。図-12に今回例として取り上げた焼却灰の有効利用フローを示す。一般廃棄物焼却灰は清掃工場で排出されると最終処分場に埋立処分されるが、これに対し、物理選別処理を行い、気泡混合処理土の土質材料として有効利用することを考えた。表-3はそれぞれ海砂、山砂、焼却灰のみを用いて処理土を作成した場合の直接コスト及び環境コストの算出を行った結果である。計算は4300m³のトンネル坑口盛土を気泡混合処理土により施工すると仮定した²⁾。焼却灰の前処理費には電気代、人件費、重金属固定材費などを含んでいる。環境コストとは環境負荷の配慮の大きさを表すコストである。本研究では、材料採取や処理により排出されるCO₂は65.5円/kgとして換算し、直接コストと合計して評価した。また、山砂採取の場合は、森林によりCO₂が吸収されることも考慮している³⁾。これより、天然骨材の代替品として焼却灰を用いることにより大幅なコスト削減が可能であると思われる。今後、さらに天然材料を用いた時の環境影響負荷に対するコスト等を計算に入れ検討して行く予定である。

5.1 まとめ ①焼却灰を混入した気泡混合処理土は土木材料として利用可能である。②セメント添加量が少ない低品質な配合においても基準強度を満足することが可能であることが確認できた。このことより、気泡混合処理土の直接コストを削減できると思われる。③焼却灰を気泡混合処理することにより、重金属の溶出を抑制することができることがわかった。④焼却灰を気泡混合処理土として有効利用を考える場合、天然骨材を用いるよりもコストを削減できると思われる。

【参考文献】1) 嘉門：「一般廃棄物焼却灰の地盤工学的利用に伴う環境影響評価」第10回廃棄物学会研究発表会講演文集、pp494-496、1999
2) 財団法人建設物価調査会：「平成14年度版 国土交通省土木工事費算定基準」 3) 福岡県：「環境家計簿 県民編 平成14年」

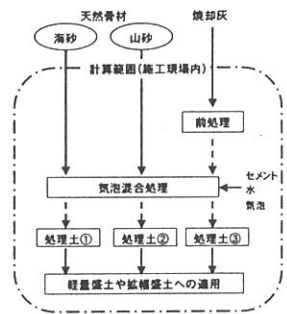


図-12 焼却灰の有効利用フロー

表-3 直接コスト及び環境コストの総合評価 (単位：万円)

土質材料	直接コスト					環境コスト	合計
	前処理費	材料費	労務費	機械器具費	現場経費		
①海砂のみ	—	5399	515	772	215	0.57	6901.6
②山砂のみ	—	6914	515	772	215	13.54	8429.5
③焼却灰のみ	3113	0	515	772	215	12.00	4627.0