

廃棄物を活用した地盤材料のLCAに関する一考察

九州大学大学院 正 大嶺 聖 九州大学大学院 正 落合英俊
九州大学大学院 正 安福規之

1. はじめに

廃棄物を再資源化する場合、環境への影響の程度を明らかにし、できるだけ環境負荷のかからない方法を検討することが重要である。その手法としてライフサイクルアセスメント(LCA)による評価が有効であると考えられる。本研究では廃棄物の地盤工学的有効利用として都市ごみ焼却灰を取り上げ、それを熔融スラグ、セメント固化および圧縮焼成する場合の3つの製造工程についてLCAを実施し、算定される二酸化炭素の排出量について比較・検討を行う。

2. ライフサイクルアセスメントの基本的な考え方

LCAを実施する場合、主に次の構成段階をそれぞれ検討することになる¹⁾。

(1) 目的と調査範囲の設定、(2) インベントリー分析、(3) 影響評価分析、(4) 結果の解釈

ここで、インベントリー分析とは、環境負荷データの収集を行い、ライフサイクル全体での算出を行う段階である。また、影響評価分析は、様々な影響を考慮すべきであるが、合理的な評価法はまだ確立されていないので、ここでは、多くのデータが蓄積されている二酸化炭素の排出量による環境負荷のみについて検討する。

土木建設分野における環境負荷の算定対象範囲は、通常、次の通りである。

a) 資材の消費、b) 資材・機械の輸送、c) 施工、d) 維持・補修、e) 解体・廃棄

この中から目的と調査範囲を明確にし、それに見合う環境負荷データの収集・分析する必要がある。

3. 廃棄物を活用した地盤材料に対するLCAの適用

様々な廃棄物について地盤工学的有効利用が望まれているが、本報では都市ごみ焼却灰を熔融スラグ、セメント固化および圧縮焼成して再資源化する場合のLCAを検討する。この3タイプの材料の製造フローを図-1に示す。熔融スラグは焼却灰を約1400℃の高温で熔融し、破碎・粒度調整することにより、無害化された粒状材料として利用できる。セメント固化は重金属等の有害物質の溶出を抑制するために行われるが、吸着能力のある粘土を混合することでその効果をより高めることができる²⁾。一方、圧縮焼成は粘土を混合した焼却灰を圧縮プレスした後、任意の温度で焼成することにより、重金属の溶出を抑えた固化材料を作製することが可能となる^{3)、4)}。ここでは、これらの地盤材料を土構造物に用いる場合を考え、施工・管理・廃棄の段階はいずれも同一であるものとし、製造工程のみの環境負荷を評価することとする。その結果をもとに、どのような方法が環境負荷低減型の再利用材として有効なのかを検討する。

表-1にインベントリー分析の結果を示す。いずれの場合も都市ごみ焼却灰1kgを再資源化するのに必要なCO₂の発生量を算出している。このときの焼却灰はいずれも共通項目なので、CO₂の発生量には含めていない。資源の中で粘土のCO₂原単位は、砂利・採石と同程度であると考えた。また、粘土は含水比100%とし、セメント固化および圧縮焼成のいずれの場合も全乾燥重量に対する粘土分含有率として30%混合するものとして、数量を決定した。熔融スラグについては、熔融するためのエネルギーが大部分を占めることになる。焼却灰を熔融するのに必要な電力と重油の数量は、熔融スラグに対する文献⁵⁾を参考に求めた(重量が1/2に減少すると仮定)。運搬(車両の燃料消費)については、粘土を20km離れた地点から輸送するものとし、焼却灰とセメントの運搬については考慮していない。混合攪拌機については、焼却灰4kg(混合材料として5kg)を処理できる小型の機械(消費電力0.75kW)を用いるものとして単位時間あたりのCO₂原単位を算定した。圧縮(プレス)機と破碎機についても同程度の能力のものを仮定した。焼成については、焼却灰1kgを処理できる小型の電気炉(1000℃で消費電力0.5kW)を用い、消費電力は温度に比例すると仮定した。また、他のCO₂原単位は、土木学会LCA小委員会の公表値を参考にした。なお、いずれもエネルギー多消費型のシステムなので、設備の建設および機械の減価償却に関する環境負荷は相対的に小さいと考え、これらの負荷は考慮していない。

CO₂原単位と数量の積によって各項目のCO₂排出量が算定され、それらを足しあわせることによって、製造工程のCO₂

排出量の合計が求められる。セメント固化および焼成圧縮については、それぞれセメント添加率および焼成温度に依存するため、このときのCO₂排出量の関係を図-2に示す。セメント固化および圧縮焼成のいずれの場合も、セメント添加率および焼成温度が高くなると、熔融スラグよりもCO₂排出量が多くなることがわかる。ただし、いずれも室内試験用の小型の機械を用いた場合の算定結果であり、大型で効率のよい機械を用いることでCO₂排出量は少なくなると考えられる。また、セメント固化については、CO₂原単位の低い高炉セメント（高炉スラグ45%混合で0.135kg-C/kg）を用いることでCO₂排出量をさらに抑えることが可能である。

このように、地盤材料にLCAを適用することによって、廃棄物の再資源化における環境負荷低減の程度を比較することができる。

4. まとめ

廃棄物の再資源化の例として都市ごみ焼却灰を取り上げ、地盤材料に対するライフサイクルアセスメント（LCA）の適用を試みた。算定される二酸化炭素の排出量の結果に基づくと、都市ごみ焼却灰をより低い温度で焼成あるいは少ないセメント添加量で再資源化材を開発することができれば、熔融スラグにして利用する場合よりも環境負荷が小さくなると考えられる。

参考文献 1） 末踏科学技術協会・エコマテリアル研究会：LCAのすべ-環境への負荷を評価する-，1995年。 2） 田中他：固化処理した汚染土の溶出特性に及ぼすセメント添加量と粘土含有率の影響，土木学会第56回年次学術講演会，III部門，pp.652-653，2001年。 3） 緒方他：都市ごみ焼却灰と粘土を混合および焼成処理した固化材料の開発，平成13年度土木学会西部支部研究発表会，2002年（投稿中） 4） 田中他：焼成処理した固化材料の重金属に対する溶出特性，平成13年度土木学会西部支部研究発表会，2002年（投稿中） 5） 稲葉・花木：下水汚泥と都市ごみのゼロエミッション指向型管理，環境システム研究，Vol.27，pp.365-374，1999年。

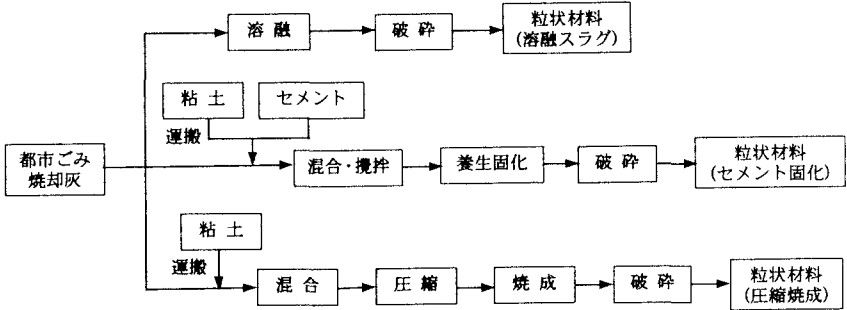


図-1 各種粒状材料の製造フロー

表-1 インベントリ分析結果

	項目	LCCO ₂ 原単位 (kg-C/単位)	単位	熔融スラグ		セメント固化		圧縮焼成	
				数量	排出量 (g-C)	数量	排出量 (g-C)	数量	排出量 (g-C)
資源	都市ごみ焼却灰	—	kg	1		1		1	
	ポルトランドセメント	0.228	kg			1×a/100	2.28×a		
	粘土	0.001	kg			0.86	0.86	0.86	0.86
機械 (エネルギー)	熔融								
	電力	0.129	kWh	0.05	6.45				
	重油	0.802	L	0.05	40.10				
	運搬	0.093	t・km			0.017	1.58	0.017	1.58
	混合攪拌機	0.0242	h			0.17	4.11	0.17	4.11
	圧縮(プレス)機	0.0242	h					0.17	4.11
	焼成(電気炉)	0.0645×T/1000	h					1.00	0.0645×T
	破砕機	0.0242	h	0.10	2.42	0.10	2.42	0.10	2.42
CO ₂ 排出量の合計 (g-C)					48.97		8.97+2.28×a		13.08+0.0645×T

a: セメント添加率(%), T: 焼成温度(℃)

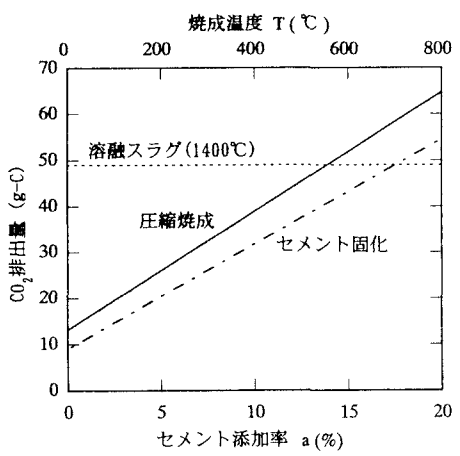


図-2 再資源材料のCO₂排出量とセメント添加率および焼成温度の関係（焼却灰1kgあたり）