

リサイクル材の二酸化炭素排出量と再資源化効率の算定について

九州大学大学院 正会員 大嶺 聖
九州大学大学院 フェロー 落合英俊

1. はじめに

地盤環境問題の中で、廃棄物を活用したリサイクル材の環境負荷の評価が一つの課題となっている。本報告では、環境負荷の大きな要因のひとつである二酸化炭素に着目し、リサイクル材の製造工程における二酸化炭素排出量と廃棄物の削減に伴う環境負荷の低減を考慮した再資源化効率を提案し、その適用を行う。

2. リサイクル材の環境負荷の評価

表 - 1 想定したリサイクル材の条件

(a) 二酸化炭素排出量の算定

リサイクル材としては、石炭灰やスラグなどの産業廃棄系の混合地盤材料や建設発生土・建設汚泥を活用した土系の混合地盤材料などがある。気泡混合土や流動化処理土などの軽量土のほかに、廃タイヤや発泡廃ガラス材なども利用されている。このような材料を製造する際の環境負荷としては、

種類	材料の条件
流動化処理土	セメント量 $100\text{kg}/\text{m}^3$, $\rho_s=1.3\text{t}/\text{m}^3$, $q_u=300\text{kPa}$
気泡軽量混合土（石炭灰）	$\rho_d=0.9\text{t}/\text{m}^3$, 配合（高炉セメント $200\text{kg}/\text{m}^3$, 石炭灰 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ）, $q_u=1000\text{kPa}$
製鉄スラグ（製鋼）	乾燥密度 $\rho_d=1.5\text{t}/\text{m}^3$, 内部摩擦角 $\phi=40^\circ$
発泡廃ガラス材	$\rho_d=0.3\text{t}/\text{m}^3$, $\phi=30^\circ$
廃タイヤチップ混合土	$\rho_d=1.3\text{t}/\text{m}^3$, $\phi=50^\circ$, 廃タイヤ混合率30%

表 - 2 リサイクル材の二酸化炭素排出量の算定例

種類	項目	LCCO ₂ 原単位	数量 (1m ³ 当たり)	製造時のCO ₂ 排出量 G_m (kg-C/m ³)	備考	
流動化処理土	資源	セメント	0.228 kg-C/kg	100 kg	22.8	普通ポルトランドセメント
	機械	プラント	0.129 kg-C/kWh	6.7 kWh/m ³	1.53	プラントについてはエアモルタル製造と同程度を仮定
		運搬	0.093 kg-C/(t・km)	30 t・km	2.79	発生土を30km運搬
	CO ₂ 排出量の合計				27.12	
気泡軽量混合土（石炭灰）	資源	高炉セメント	0.135 kg-C/kg	200 kg	27.0	スラグ45%混合
		石炭灰	0 kg-C/kg	300 kg	0	
	機械	エアモルタル製造プラント	0.129 kg-C/kWh	6.7 kWh/m ³	0.86	プラントについては同上
		運搬	0.093 kg-C/(t・km)	6.3 t・km	0.59	石炭灰を30km運搬
CO ₂ 排出量の合計				28.45		
製鉄スラグ（製鋼）	資源	製鋼スラグ	0.00071 kg-C/kg	1500 kg	1.07	
	機械	運搬	0.093 kg-C/(t・km)	45 t・km	4.19	スラグを30km運搬
		敷均し・締固め	0.129 kg-C/kWh	2.5 kWh/m ³	0.32	各作業とも100m ³ 当り1.2hr
CO ₂ 排出量の合計				5.58		
発泡廃ガラス材	機械	粉碎・焼成	0.060 kg-C/kg	300 kg	18.0	焼成温度約800 を想定
		運搬	0.093 kg-C/(t・km)	9 t・km	0.84	発泡材を30km運搬
		敷均し・締固め	0.129 kg-C/kWh	2.5 kWh/m ³	0.32	各作業とも100m ³ 当り1.2hr
	CO ₂ 排出量の合計				19.16	
廃タイヤチップ混合土	源資	砂	0.00154 kg-C/kg	910 kg	1.40	
	機械	破碎	0.129 kg-C/kWh	18 kWh/t	0.91	二軸破碎機(5t/h)
		運搬	0.093 kg-C/(t・km)	39 t・km	3.63	砂・チップを30km運搬
		敷均し・締固め	0.129 kg-C/kWh	2.5 kWh/m ³	0.32	各作業とも100m ³ 当り1.2hr
CO ₂ 排出量の合計				6.26		

キーワード リサイクル材, 二酸化炭素発生量, 再資源化効率, 廃棄物

連絡先 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学工学研究院建設デザイン部門 TEL 092-642-3285

表 - 3 再資源化効率の算定結果

リサイクル材の種類	リサイクル材製造時のCO ₂ 排出量 G_m (kg-C/m ³)	処分場建設におけるCO ₂ 原単位 θ_w (kg-C/1000円)	廃棄物			廃棄物の活用により削減されるCO ₂ 排出量 G_r (kg-C/m ³)	再資源化効率 R (%)
			種類	利用量 b_w (t/m ³)	処分費 C_w (円/t)		
流動化処理土	27.12	1.58	発生土	1.3	6,000	12.32	45.4
気泡軽量混合土（石炭灰）	28.45	1.58	石炭灰	0.3	9,000	4.27	15.0
鉄鋼スラグ（製鉄）	5.58	1.58	スラグ	1.5	2,000	4.74	84.9
発泡廃ガラス材	19.16	1.58	廃ガラス	0.3	6,000	2.84	14.8
廃タイヤチップ材	6.26	1.58	廃タイヤ	0.39	6,000	3.70	59.1

原材料の採掘・製造における機械の燃料消費や製造プラントおよび施工機械の燃料消費などが考えられる。

対象とする地盤材料の種類と材料条件を表 - 1 に示す。流動化処理土については、普通ポルトランドセメントを用いた場合を想定した。石炭灰には自硬性があるため、砂を用いた場合と比べて少ないセメント量で同等の強度が得られるため、気泡軽量混合土については、細骨材として砂の代わりに石炭灰を用いた場合を対象とした。スラグは自硬性を有し、内部摩擦角も大きいいため、ここでは、製鋼スラグをそのまま地盤材料として活用する場合を想定した。発泡廃ガラス材については軽量盛土材として主に単体で活用されている。また、廃タイヤチップ材は軽量材としても有効であるが、そのままでは圧縮性が大きく、土と混合することで大きな内部摩擦角が得られるため、ここでは混合土として利用を想定した。

表 - 2 はリサイクル材の製造時の二酸化炭素排出量 G_m の算定例を示したものである。二酸化炭素の排出量は主に資源と機械（エネルギー）に分けられ、それぞれの CO₂ 原単位から求められる。また、各材料はいずれも 30km の運搬を想定した。流動化処理土の二酸化炭素の排出量は、施工機械の種類や設定したセメント量によって影響される。気泡混合軽量土については、細骨材として砂の代わりに石炭灰を活用することで環境負荷コストが低減される。鉄鋼スラグや廃タイヤチップ材の二酸化炭素排出量は小さいが、これらの材料は製造する際のエネルギーが小さいことを意味している。

(b) 再資源化効率

これまでにリサイクル材の製造に二酸化炭素の排出量と炭素税の積として環境負荷コスト¹⁾を算出したが、この場合の環境負荷の算定結果は炭素税の設定により変化するため、ここでは新たに再資源化効率を以下のように定義する。

$$R = \frac{G_r}{G_m} \times 100 = \frac{\theta_w b_w C_w}{\sum \theta_i a_i} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここで、 G_r ：廃棄物の活用によって削減される CO₂ 排出量 (kg-C)、 G_m ：リサイクル材の製造時の CO₂ 排出量 (kg-C)、 θ_w ：廃棄物処分場の建設における CO₂ 排出原単位 (1.58kg-C/1,000 円)、 b_w ：廃棄物の利用量 (t)、 C_w ：廃棄物処分費 (円/t)、 θ_i ：製造工程における CO₂ 排出原単位 (kg-C/単位)、 a_i ：製造に関する数量 (単位) 廃棄物処分費には処分場建設費が反映されていると考えられるため、ここでは、使用された廃棄物の処分費に相当する処分場建設の CO₂ 排出量が廃棄物の活用により削減される CO₂ 排出量と等しいと見なすことにより G_r を決定した。表 - 3 に再資源化効率の算定結果を示す。この結果で示されるように、製造時の CO₂ 排出量が小さく、多くの廃棄物を使用しているリサイクル材ほど再資源化効率が高いことがわかる。

4. まとめ

様々なリサイクル材の製造工程における二酸化炭素排出量と再資源化効率を算定した。その結果、リサイクル材の環境負荷の違いが再資源化効率によって定量的に表されることを示した。

参考文献 1) 大嶺 聖, 松雪清人: リサイクルにおける材料コストと環境負荷の評価に関する考察, 第5回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp.245-250, 2003.