

混合地盤材料の二酸化炭素排出量に関する原単位の算出について

九州大学大学院 正 大嶺 聖

九州大学大学院 フェロ 落合英俊

1. はじめに

地盤環境問題の中で、リサイクル材を活用した混合地盤材料の環境負荷の評価が一つの課題となっている。環境負荷の大きな要因のひとつである二酸化炭素の排出量を算出するためには、その原単位を求める必要がある。本研究では、混合地盤材料の製造工程における二酸化炭素排出量を算定し、その比較検討を行う。

2. 混合地盤材料の種類と製造工程

表-1 は混合地盤材料の種類と製造工程の内容について主にリサイクル材を中心にまとめたものである。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、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。

3. 二酸化炭素排出量の算出結果

対象とする地盤材料の種類と材料条件を表-2 に示す。セメント安定処理土と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。気泡軽量混合土については、砂を用いた場合と石炭灰を用いた場合の二種類と

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。製鉄スラグについては、製鋼スラグと水砕スラグの両方を対象とした。スラグは自硬性を有し、内部摩擦角も大きいことから、地盤材料として活用されている。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、実際には混合土として利用されている。

表-1 混合地盤材料の種類と製造工程

	主材	混合地盤材料 ／リサイクル 材料	製造・利用工程	
			資源（原材料）	機械（排出・運搬・計量・管理などの装置は除く）
産業廃棄物系	石炭灰	セメント改良土	石炭灰、セメント	製造プラント（ミキサー、ベルトコンベア、バックホウ等）
		気泡混合土	石炭灰、発泡剤	製造プラント（ミキサー、ポンプ、バックホウ等）
		石炭灰造粒物	石炭灰、セメント、ペントナイト	製造プラント（ミキサー、ベルトコンベア、バックホウ等）、撒出機、転圧機
	鉄鋼スラグ	水砕スラグ、徐冷スラグなど（単体）	スラグ	撒出機、転圧機、水砕設備、廃水処理装置
		スラグ混合土	スラグ、コンクリート廃材	バックホウ、撒出機、転圧機
	廃タイヤ	タイヤチップ・タイヤシュレッズ	タイヤチップ	破碎（二軸破碎機）、分級、撒出機、転圧機
		タイヤチップ混合土	タイヤチップ、砂質土	破碎（二軸破碎機）、分級、バックホウ、撒出機、転圧機
	発泡廃ガラス材	発泡廃ガラス材（単体）	発泡廃ガラス材	破碎、焼成、撒出機、転圧機
		発泡廃ガラス材混合土	発泡廃ガラス材、砂質土	破碎、焼成、バックホウ、撒出機、転圧機
土系	建設発生土	流動化処理土	建設発生土、セメント、建設汚泥	製造プラント（ミキサー、ポンプ、バックホウ）
		気泡混合土	建設発生土、セメント、起発剤、建設汚泥	製造プラント（発泡機、ミキサー、ポンプ、バックホウ）

これらの地盤材料の環境負荷について、ここでは、主として材料の製造工程での二酸化炭素の排出量に着目する。表-3 は混合地盤材料の二酸化炭素排出量の算出結果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。

セメント安定処理土に比べて流動化処理土の二酸化炭素の排出量が少ないのは、セメント量の差によるところが大きい。ただし、このような違い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環境負荷コストは小さいが、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。

4. まとめ

様々な混合地盤材料の製造工程における二酸化炭素排出量を算定した。このような二酸化炭素排出量の違いから、リサイクル材の環境負荷の評価を行うことができる。

表-2 想定した地盤材料の条件

種類	材料の条件
セメント安定処理土	セメント量 120kg/m ³ , 湿潤密度 $\rho_t=1.4\text{t/m}^3$, 一軸圧縮強度 $q_u=300\text{kPa}$
流動化処理土	セメント量 70kg/m ³ , $\rho_t=1.3\text{t/m}^3$, $q_u=300\text{kPa}$
気泡軽量混合土 (砂)	湿潤密度 $\rho_d=0.9\text{t/m}^3$, 配合 (高炉セメント 280kg/m ³ , 砂 185kg/m ³), $q_u=1000\text{kPa}$
気泡軽量混合土 (石炭灰)	$\rho_d=0.9\text{t/m}^3$, 配合 (高炉セメント 210kg/m ³ , 石炭灰 210kg/m ³), $q_u=1000\text{kPa}$
製鉄スラグ (製鋼)	乾燥密度 $\rho_d=1.5\text{t/m}^3$, 内部摩擦角 $\phi=40^\circ$
製鉄スラグ (水砕)	$\rho_d=0.7\text{t/m}^3$, $\phi=35^\circ$
発泡廃ガラス材	$\rho_d=0.3\text{t/m}^3$, $\phi=30^\circ$
廃タイヤチップ混合土	$\rho_d=1.3\text{t/m}^3$, $\phi=50^\circ$, 廃タイヤ混合率30%

表-3 混合地盤材料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)	CO ₂ 排出量 (kg-C/m ³)	備考
セメント安定処理土	資源 セメント	0.228 kg-C/kg	120 kg	27.36	普通ポルトランドセメント
	機械 浅層攪拌混合	0.129 kg-C/kWh	3.0 kWh/m ³	0.39	スタビライザー式 50m ³ /h
	機械 運搬	0.093 kg-C/(t・km)	3.6 t・km	0.33	セメントを30km運搬
	CO ₂ 排出量の合計			28.11	
流動化処理土	資源 セメント	0.228 kg-C/kg	70 kg	15.96	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
	機械 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			20.28	
気泡軽量混合土 (砂)	資源 高炉セメント	0.135 kg-C/kg	280 kg	37.8	スラグ45%混合
	資源 砂	0.00154 kg-C/kg	185 kg	0.28	
	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 24m ³ /h (ミキサ, ポンプ, バックホウ等)
	機械 運搬	0.093 kg-C/(t・km)	5.55 t・km	0.52	砂を30km運搬
	CO ₂ 排出量の合計			39.46	
気泡軽量混合土 (石炭灰)	資源 高炉セメント	0.135 kg-C/kg	210 kg	28.35	スラグ45%混合
	資源 石炭灰	0 kg-C/kg	210 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
	機械 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			29.8	
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
	機械 数均し・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	
製鉄スラグ (水砕)	資源 水砕スラグ	0 kg-C/kg	700 kg	0	
	機械 運搬	0.093 kg-C/(t・km)	21 t・km	1.95	スラグを30km運搬
	機械 数均し・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			2.27	
発泡廃ガラス材	機械 粉碎・焼成	0.111 kg-C/kg	300 kg	33.3	タイル製造と同程度を仮定
	機械 運搬	0.093 kg-C/(t・km)	9 t・km	0.84	発泡材を30km運搬
	機械 数均し・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			31.46	
廃タイヤチップ混合土	資源 砂	0.00154 kg-C/kg	910 kg	1.40	
	機械 破砕	0.129 kg-C/kWh	18 kWh/t	0.91	二軸破砕機(5t/h)
	機械 運搬	0.093 kg-C/(t・km)	39 t・km	3.63	砂・チップを30km運搬
	機械 数均し・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	