

論文 香川県におけるコンクリート系廃棄物フローとその環境負荷低減に関する研究

竹田 真梨子^{*1}・北垣 亮馬^{*2}・堺 孝司^{*3}

要旨: 本研究は、香川県におけるコンクリート系廃棄物フローの構造とそれに伴って発生する環境負荷の要因分析を行い、実際のフローを環境負荷シミュレーションツールに導入することで、建設廃棄物にかかわる環境負荷を算定し、必要な削減シナリオとその効果について検討した。その結果、中間処理場および最終処分場受入れにおけるコンクリート系廃棄物はそれぞれ全体の約 50%および 25%程度であり、中間処理場における CO₂ 排出原単位の平均値は約 6.3kg-CO₂/tであった。また、全てのシナリオにおいて、現状の廃棄物フローにおける CO₂ 排出量が最小となることがわかった。

キーワード: 廃棄物, 廃コンクリート塊, 中間処理場, 最終処分場, 集約化, 環境負荷

1. はじめに

近年、わが国では、「低炭素社会」の実現に向け、2050年までにCO₂排出量を現状比で60~80%削減することを目標としており、今後、あらゆる産業がこれに対応していくことになると思われる。建設業界は公共事業費の削減により事業量は減少しているが、建設事業が多くの資源を消費し、かつ廃棄物を発生させている状況に変わりではなく、日本におけるCO₂発生量の約1/3が建設分野に起因しているとされている¹⁾。また、わが国では、最終処分場の残余容量が減少傾向にあり、廃棄物削減とリサイクル推進に対する社会的要請は、年々高まっている。これらのことより、今後、資源循環システムの効率化を推進していくことが益々重要となっている。

そこで、本研究では、香川県をフィールドとして建設廃棄物フローの構造とそれに伴って発生する環境負荷の要因分析をしたのち、実際のフローを環境負荷シミュレーションツール (ecoMA²⁾) に導入することで、建設廃棄物にかかわる環境負荷を算定し、必要な削減シナリオとその効果について検討する。

運ばれ、構造物等が建設される。耐用年数の過ぎた構造物等が解体される際、廃コンクリートなどの廃棄物が発生する。それらの廃棄物は中間処理場または最終処分場へと運ばれ、中間処理がなされたものはさらに最終処分場へと運ばれるもの、再生骨材・再生路盤材として再利用されるものに分かれる。このような流れの中で、廃棄物の輸送・処理によって環境負荷が発生する。

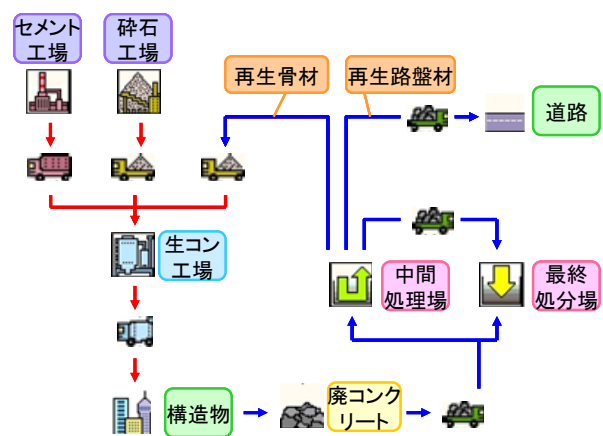


図-1 建設に関わる廃棄物フロー

2. 廃棄物フローの構造と環境負荷シミュレーションツール

2.1. 廃棄物フローの構造

建設に関わる廃棄物には、主に、廃コンクリート・廃アスファルトコンクリート合材があるが、それらのフローについて一般化したものを図-1 に示す。セメント工場や砕石工場などからコンクリート材料が生コン工場へと運ばれる。製造された生コンは建設現場へと

輸送による環境負荷を考えると、廃コンクリート塊を処理する際には、廃棄物発生現場から最短距離の処理場で処理を行い、処理後の再生製品を利用する際には、近隣の建設現場で使用するといったことが理想的である。しかし、公共事業の削減などにより、廃棄物フローには様々な問題が発生している。例えば、香川県では道路建設の縮小により、小規模な中間処理場が廃コンクリート

*1 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (正会員)

*2 東京大学大学院 工学系研究科特任助教 工博 (正会員)

*3 香川大学 工学部安全システム建設工学科教授 工博 (正会員)

塊を受入れず、結果として遠方の処理場へと運ばれている状況が発生している。これは、受入による利益はあるが、それらにコストをかけて処理を行っても、再生製品の利用先がないことによる。また、廃コンクリート塊の発生現場と、処理後の再生製品の利用先が必ずしも同じ地域内であるとは限らない。例えば、香川県のように公共交通が十分でない地域では、土地の広い郊外に駐車場付きの大型店舗が設置され、そこに人々が誘導される。また、新設の道路は郊外で建設されることが多い。つまり、コンクリート塊再生製品はその発生現場から遠距離輸送することが強いられる。このように、輸送による環境負荷は増加する傾向にあると考えられる。これらは、今後資源循環システムの効率化を推進していく上で重要な鍵となる。

2.2. 環境負荷シミュレーションツールの概要

環境負荷シミュレーションツール ecoMA は、東京大学野口研究室の開発したソフトウェアで、マルチエージェントシステムというモデルを使い、工場の生産・設備・流通情報を入力し、CO₂ 排出量、廃棄物量、リサイクル製品使用量などの環境負荷について、工場単位から地域全体までマルチスケールに評価できるツールである。本研究では、得られた実態調査結果を ecoMA に入力することによって地域の CO₂ 排出量を評価するものとする。

3. 中間処理および最終処分における環境負荷の現状

3.1. アンケート調査

香川県に事業所を持ち、産業廃棄物の中間処理、または最終処分を行っている全事業所に、平成 19 年度の事業内容を対象としたアンケート調査を行った。アンケート項目は表-1 の通りである。

アンケートは、中間処理場 123 事業所中 55 事業所から、最終処分場 18 事業所中 12 事業所から回収できた。結果に大きく影響する大規模な事業所からはほぼ全てアンケートを回収することができた。回答を得られていない事業所のほとんどは、建設系廃棄物を取扱っていない事業所であった。

3.2. 中間処理場

(1) 事業所別・品目別・受入量の比較

図-2 に、全事業所の総受入量の品目別内訳を示す。建設廃棄物である、ガラスくず・コンクリートくず・陶磁器くず及び、がれき類（廃コンクリート・廃アスファルト合材・その他）の割合は、総受入量の 50%程度を占めていることが明らかになった。

図-3 に、各事業所の品目別受入量を示す。多くの事業所が建設廃棄物を受入れており、その中でも廃コンクリートの受入量が大部分を占めている事業所が目立つ。

表-1 アンケート調査項目

	データ項目	中間 処理 場	最終 処分 場	
規模 情報	がれきの破碎処理能力	○	-	
	ストックヤード面積	○	-	
	プラントの稼働日数	○	○	
	現時点の埋め立て残余量	-	○	
	開設当初の埋立許可量	-	○	
受け 入れ 品 目	汚泥	○	○	
	廃プラスチック類	○	○	
	紙くず	○	○	
	木くず	○	○	
	繊維くず	○	○	
	ゴムくず	○	○	
	金属くず	○	○	
	ガラスくず・ コンクリートくず 及び陶磁器くず	ガラスくず ○ コンクリートくず ○ 陶磁器くず ○	○ ○ ○	
	がれき類	廃コンクリート	○	○
		廃アスファルト合材	○	○
		その他	○	○
	鉱さい	○	○	
	ばいじん	○	○	
	13号廃棄物	○	○	
その他	○	○		
生産 品 目	再生路盤材	○	-	
	再生砂	○	-	
	再生コンクリート用細骨材	○	-	
	再生コンクリート用粗骨材	○	-	
	再生アスファルト合材用骨材	○	-	
	鉄くず	○	-	
	その他	○	-	
副産 品 目	安定型 品目	がれき	○	-
		廃プラスチック類	○	-
		金属くず	○	-
		土砂	○	-
		その他	○	-
	管理 型 品 目	汚泥	○	-
		紙くず	○	-
		木くず	○	-
		繊維くず	○	-
		残渣	○	-
		廃石膏ボード	○	-
		その他	○	-
		その他	○	-
エネ ル ギ ー 消 費	重油	○	○	
	軽油	○	○	
	ガソリン	○	○	
	ガス	○	○	
	購入電力	○	○	

(2) 事業所別環境負荷原単位の算出

各事業所のエネルギー使用量に、原単位³⁾を乗じて算出した CO₂ 排出量を、受入量で除すことにより、受入量当たりの CO₂ 排出量を算出した。図-4 に、各事業所の規模順・受入量当たりの CO₂ 排出量を示す。同図から、受入量当たりの CO₂ 排出量は、工場の規模と相関がないことが分かる。そこで、建設廃棄物を受入れている事業所のみを抽出したものを図-5、図-6 に示す。事業所 29、35 は、電力を自家発電によりまかなっているため、重油の使用量が多くなり、CO₂ 排出量が大きくなっている。

る。その他の事業所については最大値と最小値で差はあるが、ほぼ同程度のCO₂排出量となっているといえ、それらの平均値は約6.3kg-CO₂/tである。なお、事業所21および26についてはエネルギー使用量のデータが得られていない。

3.3. 最終処分場

(1) 事業所別・品目別・受入量の比較

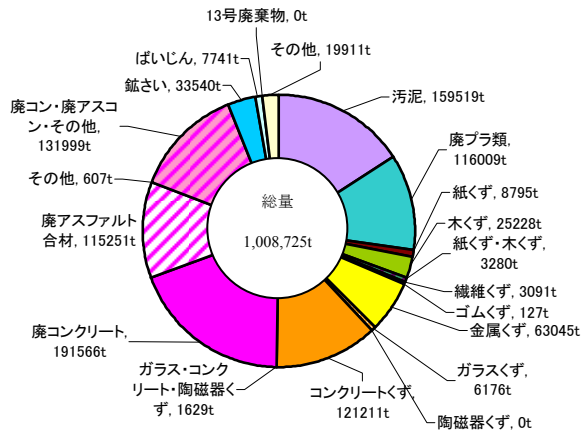


図-2 中間処理場の受入総量と内訳

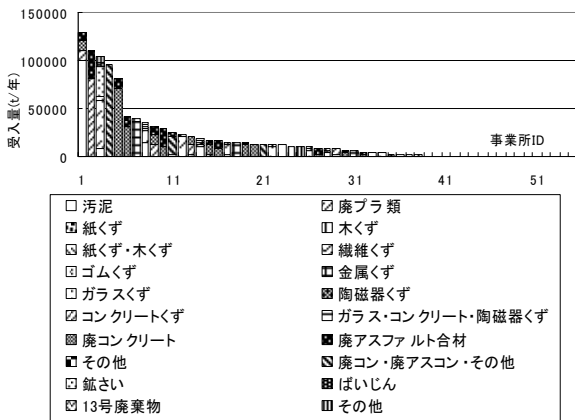


図-3 中間処理場の規模別・品目別受入量

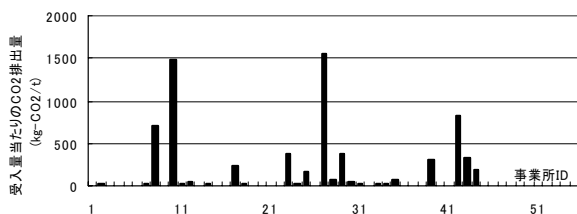


図-4 中間処理場の規模別単位受入れ量あたりCO₂排出量

図-7 に、全事業所の総受入量の品目別内訳を示す。建設廃棄物である、ガラスくず・コンクリートくず・陶磁器くず及び、がれき類（廃コンクリート・廃アスファ

ルト合材・その他）の割合は、総受入量の約25%となっている。また、建設残土・浚渫土砂が総受入量の60%強と、総受入量の大部分を占めていることがわかる。

図-8 に、各事業所の品目別最終処分量を示す。安定型最終処分場の上位2ヶ所の事業所で、最終処分量の大半を受入れている。また、管理型最終処分場では建設廃棄物をほとんど受入れていないことがわかる。

(2) 事業所別環境負荷原単位の算出

各事業所のエネルギー使用量に、原単位³⁾を乗じて算出したCO₂排出量を、受入量で除すことにより、最終処分量あたりの単位CO₂排出量を算出した。図-9 に、処分形態別、各事業所の規模順・最終処分量あたりのCO₂排出量を示す。事業所1, 2, 3は、重機による整地作業を外部発注しており、それに伴うCO₂排出量は含まれておらず、最終処分量あたりのCO₂排出量は1.0kg-CO₂/tを下回っていた。図-9の通り、最終処分場の形態・規模と最終処分量あたりのCO₂排出量とは相関は表れなかった。なお、事業所6, 10および11についてはエネルギー使用量のデータが得られていない。

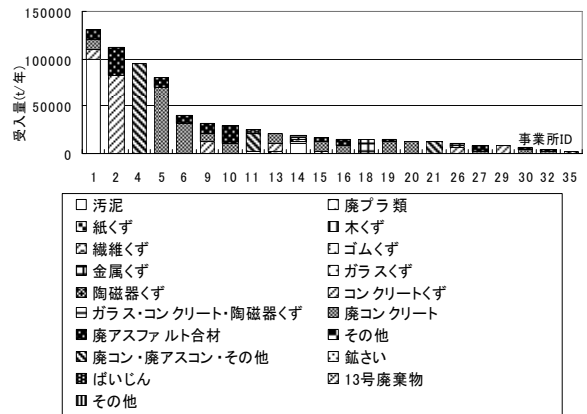


図-5 建設廃棄物受入中間処理場の規模別・品目別受け入れ量

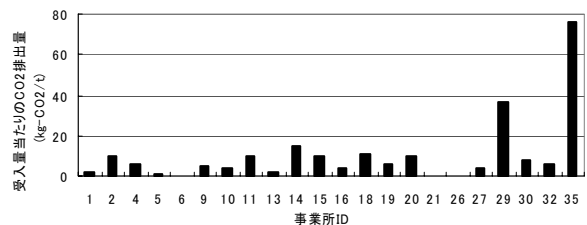


図-6 建設廃棄物受入中間処理場の規模別単位受入れ量あたりのCO₂排出量

3.4. 廃棄物フローの構造の実態

調査結果に基づいた廃棄物フローの構造を図-10に示す。中間処理量・処理後再生利用量は香川県の平成18年度調査結果比で約45~60%程度となっている。これは、

アンケートの回収率 50%とほぼ対応している。最終処分量については香川県の平成 18 年度調査結果比で約 130% となっており、本調査による総量が香川県の調査による総量を上回る結果となったが、調査年度が異なることが影響している可能性もある。処理後最終処分量は、香川県の平成 18 年度調査比で約 6 倍弱となっているが、これは香川県では残渣、その他の品目以外は処理後再生利用量として取り扱われていることによると考えられるが、詳細は不明である。

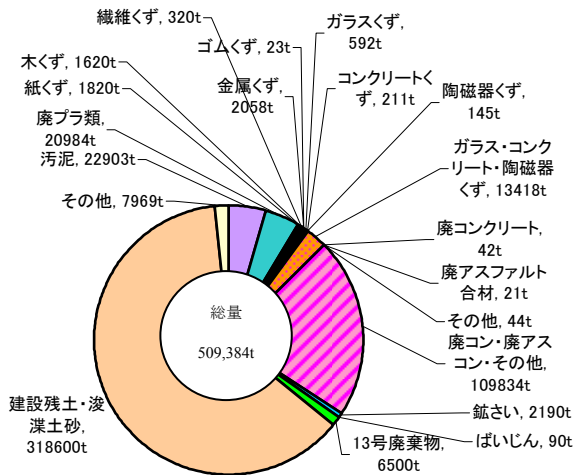


図-7 最終処分場の受入れ総量と内訳

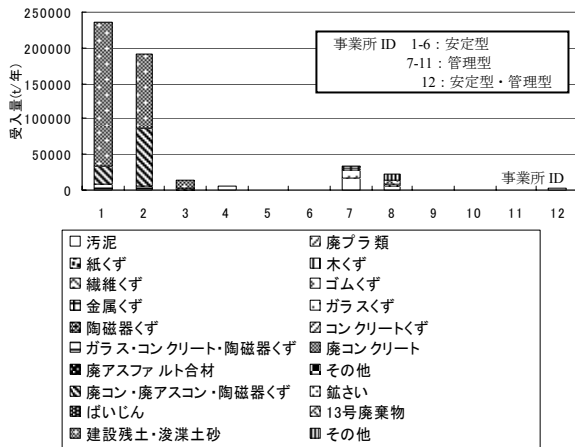


図-8 最終処分場の規模別・品目別受入量

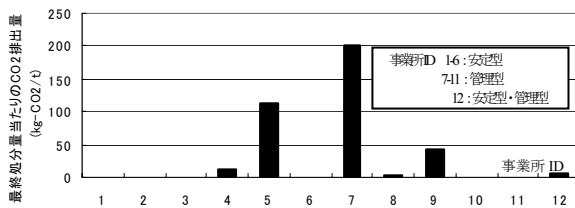


図-9 最終処分場の規模別単位受入れ量あたり CO2 排出量

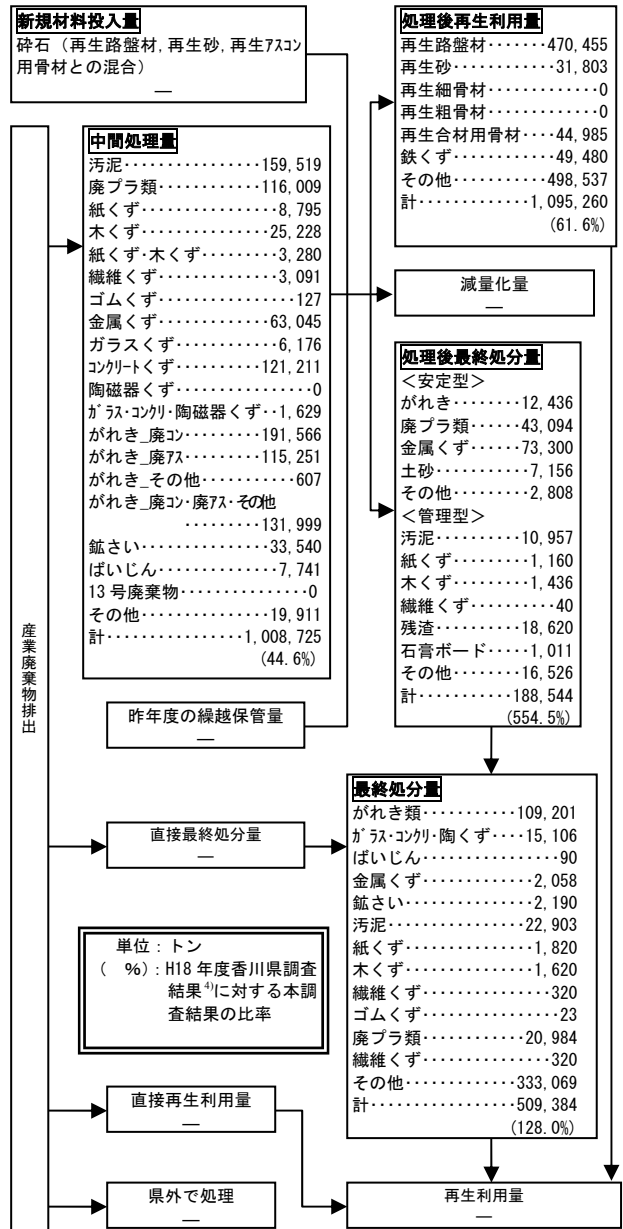


図-10 廃棄物フロー

4. 環境負荷のシミュレーションのためのシナリオの設定

本研究では、既存の中間処理工場を効率的に運用させる集約化のシナリオを設定し、それらをシミュレーションすることで香川県における CO₂ 排出量削減効果を検証した。なお、集約率は、(集約後の工場数) / (現時点の工場数) と定義し、地域の中間処理場が、廃コンクリートを受け入れられない場合や、再生路盤材の需要に比べて廃コンクリートの排出量が大きい場合には、余剰分を最終処分場にて処理するものとした。著者等は、香川県の中間処理場の処理可能量が、排出量よりも十分大きいことに着目し、中間処理場の集約化を目的とした 6 のシナリオを中心に、CO₂ 排出量の最小化を実現するための検討を行ってきたが²⁾、今回は、表-2 に示すように、

中間処理場の集約化によるCO₂削減効果を評価するために用意した1~3とともに、再生製品の需要発生分布が異なるシナリオ4~6を設定し、中間処理場から配送される再生製品の利用場所や供給量が異なることによるCO₂排出量への影響を評価することとした。

シナリオ1, 2, 3は、著者等のこれまでのシミュレーションにおいてCO₂削減効果が高いとされているシナリオである。シナリオ4および5は、2.1で述べた建設に関わる廃棄物フローの現状に即し、再生製品の需要発生地域の違いによるCO₂削減効果を評価するためのシナリオとなっている。また、シナリオ6は、再生製品の利用先が減少しているということを受けて、それらが最終処分場へ運ばれたときにどのようなことが起こるかを検討するシナリオとなっている。

また、廃コンクリートの地域排出分布は名知の調査により人口密度にしたがうものとし⁵⁾、各工場の廃コンクリート1トン処理あたりのCO₂排出原単位について、中間処理場は3.2より6.3kg-CO₂/t、最終処分場は、廃コンクリートのみの処理あたりのCO₂排出原単位が算出できないため、埋立地の造成、破砕にかかるエネルギー量が、材料によらず同じだと仮定し、コンクリート系廃棄物が処理されている安定型処分場の中でCO₂排出量のデータが揃っている事業所4と5の平均値より64kg-CO₂/tとした。輸送トンキロあたりのCO₂排出原単位は国土交通省データより0.174kg-CO₂/t.km⁶⁾とし、工場や輸送形態の規模によってCO₂排出原単位は変化しないものとした。

表-2 中間処理場における環境負荷シミュレーションシナリオ

シナリオ名	操作	操作するドメイン(横軸)	再生製品需要分布
1 都市型中間処理場重視型	人口密度の低い事業所から順に集約化していく	中間処理場集約化率	人口密度に比例
2 大規模中間処理場重視型	処理能力の低い事業所から順に集約化していく	中間処理場集約化率	人口密度に比例
3 大規模中間処理場・都市立地重視型	処理能力の低い、人口密度の低い事業所から順に集約化していく	中間処理場集約化率	人口密度に比例
4 再生製品郊外利用型・僻地インフラ整備型	再生製品を人口密度の低いところでより多く利用する	県面積に占める需要発生面積率	人口密度に反比例。但し、需要発生面積率に従い、ある人口密度以下の地域のみで需要発生
5 再生製品郊外利用型・郊外開発型	再生製品を都市部に接する郊外地域で利用する	県面積に占める需要発生面積率	人口密度に比例。但し、需要発生面積率に従い、ある人口密度以下の地域のみで需要発生
6 廃コンクリート需要減少型	需要のない廃コンは全て最終処分を行う	廃コンクリートの再利用率	人口密度に比例

5. シミュレーションに基づく環境負荷評価

各シナリオのシミュレーション結果を図-11~16に示す。どのシナリオもドメインが100%は現状を再現し

た結果を意味する。

各シナリオでCO₂排出量が最小になるのは、パラメータが100%の状態、すなわち現状であった。シナリオ4で0.43万トン、それ以外0.3万トンとCO₂排出量が違うのは、シナリオ4のみ再生製品の需要発生分布を人口密度に反比例させているために輸送距離が伸びるからである。本研究では工場の規模によって環境負荷原単位が変化しないと仮定しているため、各シナリオのCO₂排出総量は単に輸送距離にのみ依存する。このため、工場数が多いほど輸送距離は短くなり、パラメータ100%の状態が最小のCO₂排出量となる。

次に、各シナリオを通じてもっともCO₂排出量が大きくなるのは廃コンクリート塊の利用率が10%のときで、シナリオ6のとき、最大2.52万トン排出される。

これは、廃コンクリートの最終処分におけるCO₂排出原単位が、中間処理における環境負荷原単位よりも約10倍の大きさであることに起因していることに加え、中間処理場に比べて市街地からかなり遠方に位置するため輸送におけるCO₂排出量が大幅に増えるためである。これは輸送よりも処理プロセスにおける排出量が圧倒的に大きいことから、地域によらずこの現象が起きる可能性が指摘される。これまで、最終処分場の逼迫を主な理由として廃コンクリート塊を用いた再生路盤材や低品質再生骨材の利用が促進されてきたが、最終処分場の環境負荷原単位は、処分場の整地作業に伴う重機利用量に依存して中間処理場より大きくなる可能性がある。

たとえば、本調査で得られた最終処分場の環境負荷原単位の平均値64kg-CO₂/tは、加熱すりもみ再生骨材の製造に伴う環境負荷原単位である41.5kg-CO₂/t⁷⁾よりも大きい。また調査の最小値である約15kg-CO₂/tであっても、中間処理場の環境負荷原単位と双肩している。これが最終処分場の整地作業に依存しているならば、このことは、仮に道路需要が減少していく中で、再生路盤材の需要がなくなっていった場合でも、最終処分場の逼迫を抑制する上でも、CO₂排出量の増加を抑制する上でも、高品質再生骨材・低品質再生骨材を製造する方が最終処分するより優位になる可能性があることを示唆している。今後、最終処分場の重機利用による整地作業方法や条件の違いによるインベントリフローの精査や、再生製品を中心とした新たな廃コンクリートの再利用方法を喫緊に検討することが求められる。

6. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) 産業廃棄物を取り扱う全事業所にアンケートを実施し香川県の建設系廃棄物の物質フローを構築した。
- (2) シミュレーションによって中間処理場の集約化シナ

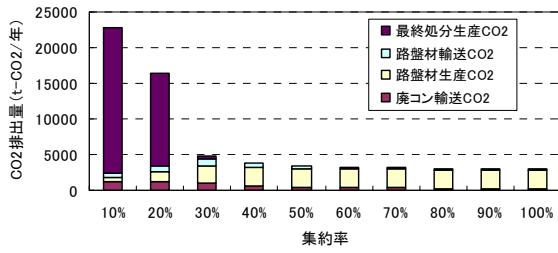


図-11 シナリオ1・都市型中間処理場重視型

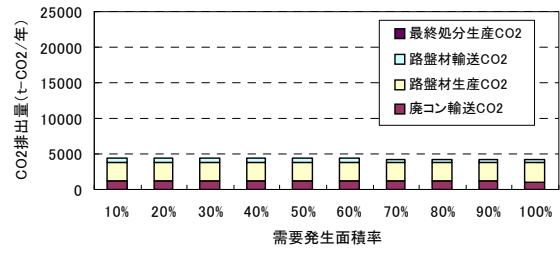


図-14 シナリオ4・再生製品郊外利用型
・僻地インフラ整備型

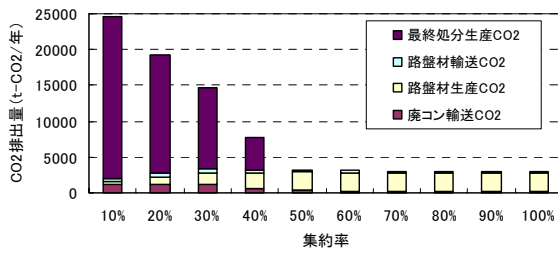


図-12 シナリオ2・大規模中間処理場重視型

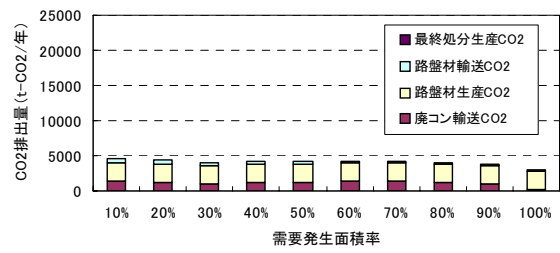


図-15 シナリオ5・再生製品郊外利用型・郊外開発型

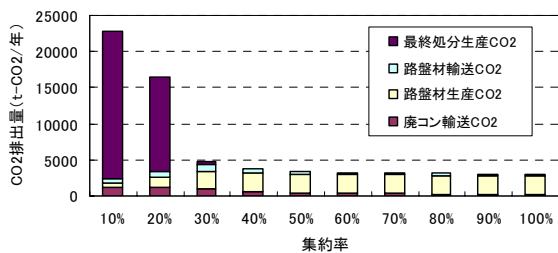


図-13 シナリオ3・大規模中間処理場・都市立地重視型

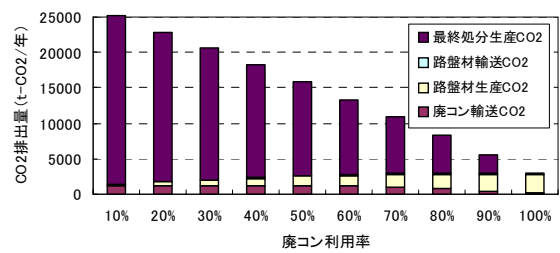


図-16 シナリオ6・廃コンクリート需要減少型

リオおよび再生製品の需要分布の違いによる広域CO₂排出量の比較評価を行った。処理規模による消費エネルギーの効率化がない限り、集約化によるCO₂削減効果はない。本調査では、処理規模による消費エネルギー効率の違いをデータ収集できなかつたため、実調査で消費エネルギー量と生産量を正確に収集する方法が求められる。

- (3) 再生製品の需要低下により最終処分される廃コンクリートが増加しCO₂排出量が大幅に増加する。これまで最終処分場の延命化を理由に廃コンクリート塊の再利用促進がなされてきたが、最終処分場の敷地造成にかかわるCO₂排出量をカウントすることによって、中間処理場の環境負荷排出原単位よりも大きくなる可能性がある。廃コンクリート塊の再利用が最終処分場の重要な判断材料になる可能性もあるため、最終処分場のインベントリデータの把握が早急に求められる。

参考文献

- 1) 温室効果ガスインベントリオフィス編：日本の温室効果ガス排出量データ, 2008.5
- 2) 野口貴文ほか：コンクリート材料分野を対象とした資源循環シミュレーションシステム (EcoMA) の開発 その1 研究開発プロジェクトの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.725-726, 2006
- 3) 土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案), 2005
- 4) 平成18年度廃棄物排出・処理状況 (香川県)
- 5) 名知洋子ほか：首都圏における建設副産物処理施設の立地特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.589, pp.161-168, 2005
- 6) 国土交通省 編：環境負荷の小さい物流体系の構築を目指す実証実験補助制度におけるCO₂排出削減量の算出方法について, <http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/H16youryouCO2.pdf>
- 7) 島裕和ほか：加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収のLCA評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.67-72, 2001