

論文 香川県の廃コンクリートフローにおける環境負荷特性に関する研究

竹田 真梨子*1・北垣 亮馬*2・堺 孝司*3・河村 景史*4

要旨：本研究は、香川県における廃コンクリートを中心とした廃棄物量及び CO₂ 排出量の実態調査を行い、それに基づき現状の廃棄物フローと今後予想される廃棄物フローにおける環境負荷シミュレーションを行った。その結果、中間処理場及び最終処分場におけるコンクリート系廃棄物の年間受入量はそれぞれ約 30 万 t 及び 14 万 t であり、CO₂ 排出原単位はそれぞれ 12.3kg-CO₂/t 及び 16.4kg-CO₂/t となった。また、再生骨材製造 CO₂ 排出量を加熱すりもみによるものの 30%~33%程度に抑えることができれば、再生路盤材として利用する場合及び最終処分する場合と同程度の CO₂ 排出量で再生骨材として利用することができる。

キーワード：廃コンクリート, 中間処理場, 最終処分場, 再生骨材, CO₂ 排出量

1. はじめに

近年、わが国では、地球温暖化対策に関する中期目標として、2020年までに2005年度比でCO₂排出量を25%削減することを目標として掲げており¹⁾、これは、2050年までに60~80%削減するという長期目標に繋がるものである。今後あらゆる産業がこの目標へ向け対応していくと考えられ、建設産業においてもCO₂排出量の削減は重要課題となると考えられる。また、環境問題に関することとして、資源の有効利用についても考えなければならない。わが国の建設業における産業廃棄物の内訳は、廃コンクリートが42%、廃アスファルト・コンクリートが36%と、全体の約80%をコンクリート系廃棄物が占めている²⁾。最終処分量については、コンクリート系廃棄物はリサイクル率が高いのにも関わらず、全体の約20%を占めている²⁾。路盤材需要の減少等により最終処分場の残余容量が逼迫する可能性があり、更なるコンクリート系廃棄物のリサイクルに努めなければならない。廃コンクリート塊のリサイクルとして、再生路盤材、再生骨材等の利用方法があるが、その大部分が再生路盤材として利用されており、再生骨材としての利用はあまり普及していない。建設投資の縮小により、今後、路盤材の需要は減少していくと考えられ、再生骨材としての利用推進が必要となってくると考えられる。

そこで、本研究では、香川県をフィールドとして廃コンクリートを中心とした廃棄物量の実態調査と、それに伴い発生するCO₂排出量を算出した。また、環境負荷シミュレーションツール(EcoMA³⁾)を用い、現状の廃棄物フローと、今後予想される廃棄物フローにおけるCO₂排出量の算出及びCO₂排出量削減シナリオの検討を行った。

2. 香川県におけるコンクリート系廃棄物の現状

2.1. 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事業所のうち、コンクリート系廃棄物(がれき類、ガラスくず・陶磁器くず及びコンクリートくず)の受入認可を持つ事業所に、平成20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。また、中間処理場については、表-2に示す、事業所周辺で発生している中間処理業を行う上での問題点について該当するものがあるか調査を行った。アンケートは、中間処理場66事業所中20事業所から、最終処分場は17事業所中10事業所から回収できた。

2.2. 中間処理場

(1) 品目別受入量

図-1に、回答の得られた全事業所の受入総量と品目別内訳を示す。コンクリート系廃棄物は受入総量の88%を占めている。また、図-2に示す、事業所別の品目別受入量より、ほとんどの事業所の受入量は廃コンクリート及び廃アスファルト合材が占めている。これより、コンクリート系廃棄物受入事業所の大多数がこれらの処理を専業として行っていることが分かる。

(2) 事業所別 CO₂ 排出原単位の算出

各事業所の中間処理のみによるエネルギー使用量に、CO₂ 排出原単位⁴⁾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。なお、自家発電を行っている事業所では重油または軽油を用い、その他の事業所では購入電力を用いている。また、運搬などその他のエネルギー使用量と正確に区別できない事業所については、エネルギー使用量の比率を

*1 香川大学大学院 工学研究科安全システム建設工学専攻 (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)

*4 香川大学 工学部安全システム建設工学科 (非会員)

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	-	○	
	汚泥	○	○	
受け入れ品目	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			○	-
管理型品目		汚泥	○	-
		紙くず	○	-
		木くず	○	-
		残渣	○	-
		廃石膏ボード	○	-
		その他	○	-
エネルギー	重油	○	○	
	軽油	○	○	
	ガソリン	○	○	
	ガス	○	○	
	購入電力	○	○	

表-2 中間処理業を行う上での問題

No.	内容
1	再生製品の原材料となる製品が不足している
2	再生製品の需要がなくストックヤードが製品でいっぱいになり、新たに廃棄物を受入れることが困難である
3	中間処理場で製造している再生製品と競合するものがある
4	県外産の製品が多く流通している
5	その他

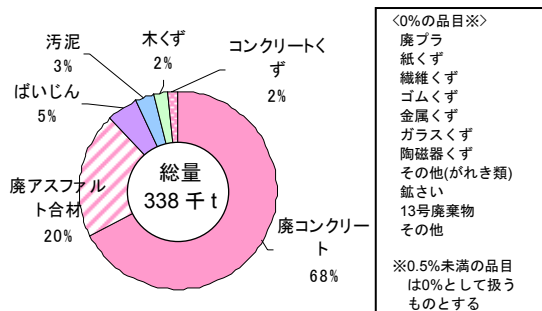


図-1 中間処理場の受入総量と内訳

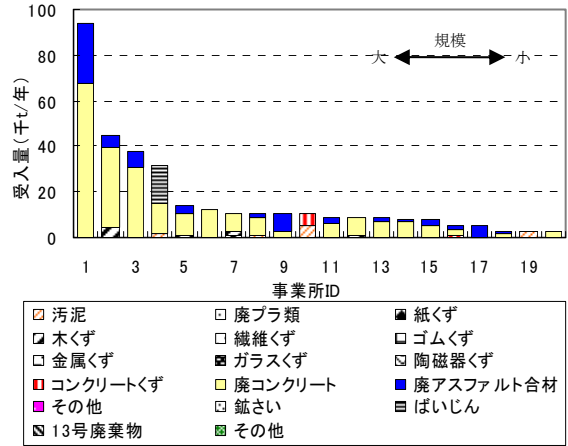


図-2 中間処理場各事業所の規模別・品目別受入量

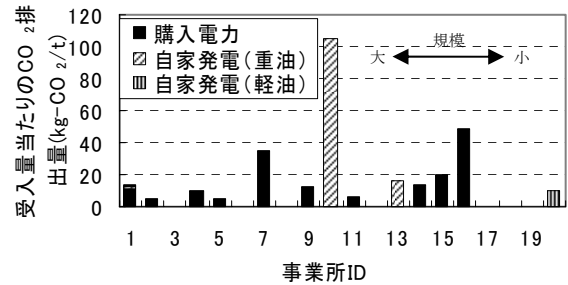


図-3 中間処理場各事業所の規模別
単位受入量当たりのCO₂排出量

答えていただき、それにより中間処理のみによるエネルギー使用量を算出した。図-3に、各事業所の規模別・受入量当たりのCO₂排出量を示す。事業所ID6, 12, 17についてはデータが得られていない。同図より、受入量当たりのCO₂排出量は事業所の規模と相関がないことが分かる。また、事業所ID10, 13は重油、ID20は軽油による自家発電を行っているが、それらを区別しても相関はみられなかった。各事業所の受入の多くがコンクリート系廃棄物であるため、その他の廃棄物処理によるCO₂排出原単位への影響と、エネルギー源の違いによる影響はないものと仮定し、異常値とみられる事業所ID10を除き平均すると12.3kg-CO₂/tとなった。

2.3. 最終処分場

(1)品目別受入量

図-4に、回答の得られた全事業所の受入総量と品目別内訳を示す。コンクリート系廃棄物は受入総量の31%を占めており、モルタルや廃アスファルト合材、土砂などが混ざっていたり、廃コンクリートのサイズが小さかったりといった理由で再生処理のできないものが受入れられている。また、事業所ID1~3にヒアリング調査を行ったところ、建設残土・浚渫土砂を多く受入れており、

受入総量の大部分を占めていることが分かった。図-5に、最終処分場各事業所の規模別・品目別受入量を示す。安定型最終処分場の上位3ヶ所の事業所で、最終処分量の大半を受入れていることが分かる。

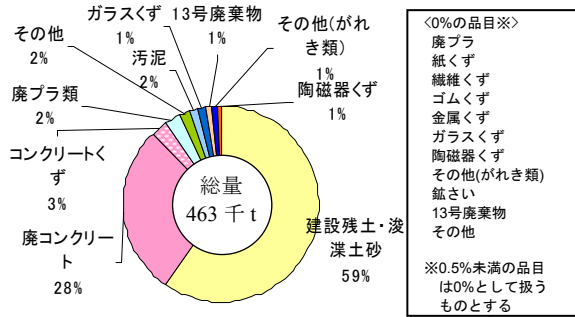


図-4 最終処分場の受入総量と内訳

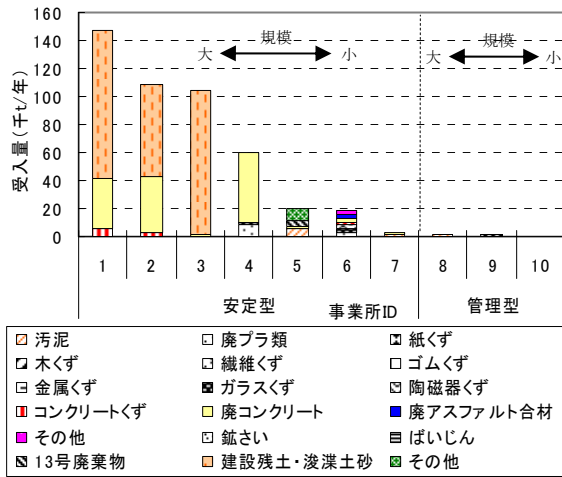


図-5 最終処分場各事業所の規模別・品目別受入量

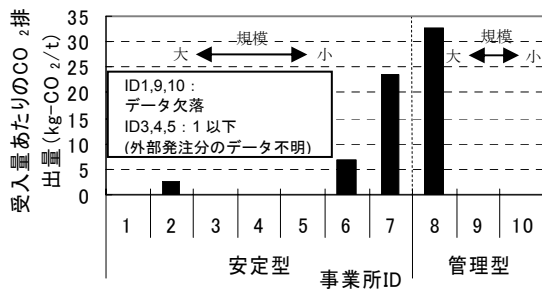


図-6 最終処分場各事業所の規模別単位受入量当たりのCO₂排出量

(2)事業所別 CO₂ 排出原単位の算出

各事業所の最終処分のみによるエネルギー使用量に、CO₂ 排出原単位⁴⁾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。なお、使用エネルギーは重機作業及び場内運搬に用いられる重油及び軽油と、汚水処理等に用いられる購入電力である。また、廃棄物発生現場からの運搬などその他のエネルギー使用量と正確に区別できない事業所に

ついては、中間処理場と同様に最終処分のみによるエネルギー使用量を算出した。図-6に、各事業所の規模別・受入量当たりのCO₂ 排出量を示す。事業所 ID1, 9, 10についてはデータが得られていない。また、事業所 ID3~5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、最終処分量当たりのCO₂ 排出量は1.0kg-CO₂/tを下回っていた。事業所によって差があるが、事業所 ID3~5の事業所を除き平均すると、16.4kg-CO₂/tとなった。

3. 香川県のコンクリート系廃棄物の循環における問題

中間処理業を行う上での問題(表-2参照)別事業所数を図-7に示す。アンケートの回答の得られた20事業所中10事業所から、この問題についての回答があった。最も回答の多かったのは、新規の廃棄物受入が困難であるという問題であり、全体の半数を占めている。今後、建設投資の縮小により、こういった傾向が益々増加していくことが考えられる。また、図-4に示すように、最終処分場で受入れられているコンクリート系廃棄物は現在把握できているだけでも約14万t存在する。中間処理場で受入れきれない廃棄物が発生し、最終処分場へと運ばれることで、最終処分場の残余容量の問題も更に深刻化していくと考えられる。

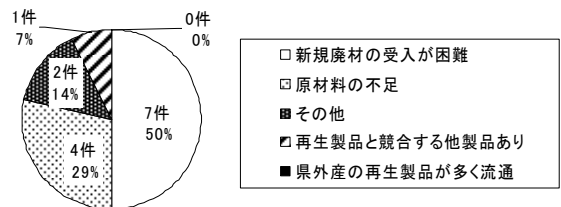


図-7 中間処理業を行う上での問題別事業所数

次いで回答の多かったのは、再生製品の原材料となる製品が不足しているという問題であり、アスファルト合材工場においては廃アスファルト合材が不足していることが明らかとなった。アスファルト合材を製造する際、新材を用いるよりも廃材を用いる方がCO₂ 排出量削減に繋がる。また、中間処理場で廃アスファルト合材を破砕した場合、夏場の気温の高い時期には骨材同士が接着してしまい、利用しにくい問題がある。これらのことより、廃アスファルト合材はアスファルト合材工場にて再利用することが必要である。

4. 香川県の廃コンクリートにおける需給バランス

香川県の路盤材使用量を、表-3にあるデータを用いて推定した。その結果を図-9に示す。同図より、年間約12万t~45万tが路盤材として利用されてきたことが

分かる。図-10 にがれき類排出量⁶⁾を示す。同図において、廃コンクリート排出量がわからないため、廃コンクリートと廃アスファルト合材の比率をこれまでの調査に基づき 5:2 と仮定した。この廃コンクリート排出量から路盤材使用量を減じたものを図-11 に示す。これは、使い道のない廃コンクリート余剰量となり得ると捉えることができる。同図より、年間約 25 万 t~63 万 t の廃コンクリート余剰量が発生し得ることが分かる。また、同図より、廃コンクリートからその 5 割の重量の再生粗骨材が取り出せると仮定し、算出したものと、平成 20 年度の生コンクリート製造量⁷⁾より粗骨使用量を算出したものを図-12 に示す。これより、年間 15 万 t~30 万 t の再生粗骨材を取り出すことができ、再生骨材としての利用先があると考えられる。

表-3 路盤材使用量算出データ

道路実延長の前年度との延長差	道路統計年報 ⁵⁾ より、道路種別及び幅員別に延長差を算出(図-8)
道路路盤の厚さ	市町村道: 250mm 高速道路, 一般国道, 都道府県道: 370mm と仮定
道路の幅員	表-4 の計算値を用いた
再生路盤材の比重	突き固め密度として 2.0t/m ³ を用いた

表-4 道路幅員別計算値

道路統計幅員区分	5.5m 未満	5.5m~13.0m	13.0m~19.5m	19.5m 以上
計算値	5.5m	9.25m	16.25m	19.5m

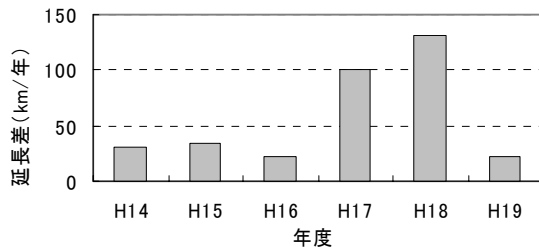


図-8 道路実延長の前年度との延長差

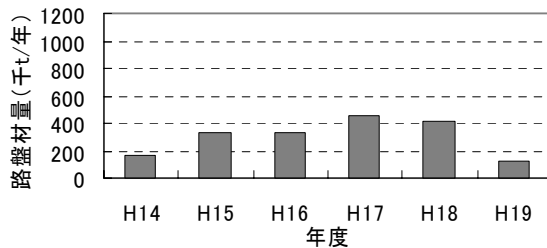


図-9 路盤材使用量 (推定値)

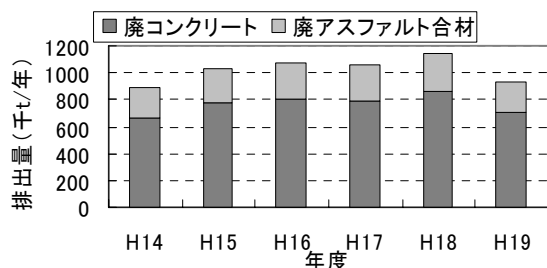


図-10 がれき類排出量⁶⁾

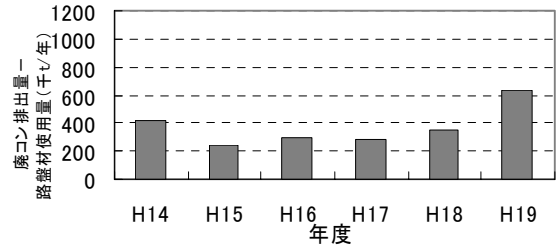


図-11 廃コンクリート排出量と路盤材使用量の差

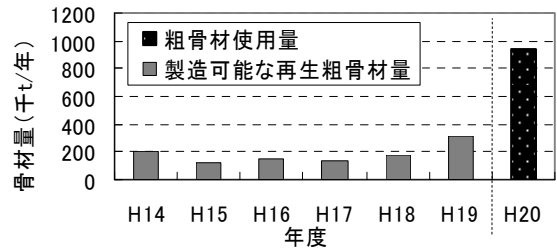


図-12 製造可能な再生骨材量と粗骨材使用量の比較

5. 廃コンクリートの利用に関する環境負荷シミュレーション

本研究では ecoMA³⁾ を用い、既存の中間処理場及び最終処分場による環境負荷シミュレーションを行った。本シミュレーションのプログラムフローを図-13 に示す。

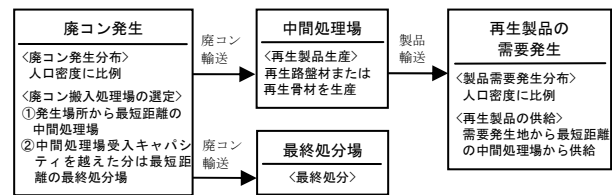


図-13 シミュレーションのプログラムフロー

香川県における廃コンクリートフローの現状と今後想定される動向を反映させたシナリオを設定し、シミュレーションすることにより、香川県における CO₂ 排出量削減効果を検証した。環境負荷シミュレーションのためのシナリオを表-5 に示す。また、図-9 及び図-10 より算出した、廃コンクリート排出量における再生路盤材使用量の割合を図-14 に示す。シナリオ 1 では同図より、平成 17 年度をピークに再生路盤材使用量が減少していると考え、それによりどのような傾向が表れるか検討を行うものである。その際、廃コンクリートは路盤材以外にも使用されているが、その使用量が把握できないため、路盤材として使用する以外の廃コンクリートは全て最終処分されるものと仮定した。シナリオ 2 では、再生路盤材の需要減少により最終処分される廃コンクリートが増加した場合について検討を行うものである。シナリオ 3 では、路盤材としての需要が減少し、再生路盤材製造から再生骨材製造へと変化していった場合について検討を

行うものである。高品質再生骨材を製造可能な加熱すりもみにより再生骨材を製造することとし、加熱すりもみによるCO₂排出原単位を用いる場合と、その1/2及び1/3のCO₂排出原単位を用いる場合の3ケースについて検討を行った。シナリオ2及び3においては、中間処理場で受入れきれない廃コンクリートは全て最終処分するものとし、変数として中間処理場で受入可能な廃コンクリート総量に対する再生路盤材製造割合を与えた。

その他前提条件については、廃コンクリート排出量は人口密度に比例するものとし⁸⁾、各事業所の廃コンクリート受入可能量はアンケート結果を用いた。各事業所の廃コンクリート1t処理あたりのCO₂排出原単位について、中間処理場は2.2.(2)より12.3kg-CO₂/t、最終処分場は、2.3.(2)より16.4kg-CO₂/tとし、加熱すりもみ再生骨材の製造に伴うCO₂排出原単位は41.5kg-CO₂/t⁹⁾を用いた。輸送トンキロ当たりのCO₂排出原単位は国土交通省データより0.174kg-CO₂/t.km¹⁰⁾とし、事業所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。

各シナリオのシミュレーション結果を図-15~17に示す。図-15より、平成17年度から19年度にかけて再生路盤材の需要減少による最終処分量の増加に伴い、最終処分によるCO₂排出量は増加している。しかし、各年度のCO₂排出量の総量を見ると、最終処分によるCO₂排出原単位は中間処理によるCO₂排出原単位よりも大きいものの、廃コンクリート排出量と相関があることが分かった。ただし、平成15年度と17年度の場合において、廃コンクリート排出量は17年度の方が多く、CO₂排出量は15年度の方が大きくなっている。これは、両年度に

表-5 環境負荷シミュレーションシナリオ

No	シナリオ名	内容
1	路盤材需要減少・現状反映型	H14~19年度の路盤材使用量を用い、現状のフローを反映させたシミュレーションを行う
2	路盤材需要減少・将来予測型	H14~19年度の平均廃コン排出量を用い、中間処理場で受入れた廃コンは全て再生路盤材を製造し、路盤材の需要減少により発生する廃コン余剰量は全て最終処分するものと仮定し、シミュレーションを行う
3	再生骨材製造型	H14~19年度の平均廃コン排出量を用い、中間処理場で受入れた廃コンは全て再生路盤材及び再生骨材を製造すると仮定し、シミュレーションを行う

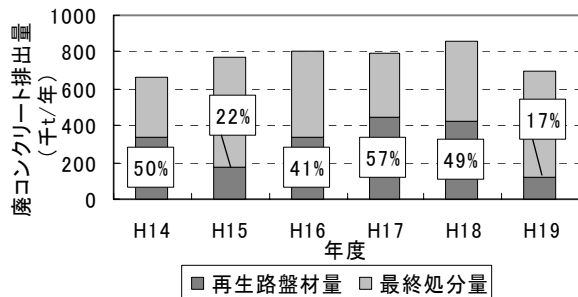


図-14 再生路盤材量及び最終処分量の仮定量

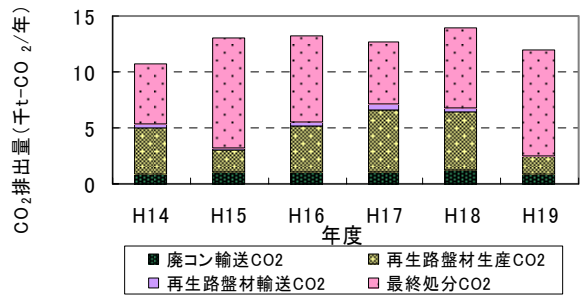


図-15 シナリオ1によるCO₂排出量

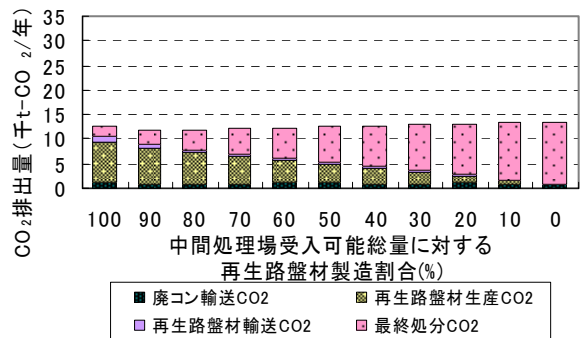


図-16 シナリオ2によるCO₂排出量

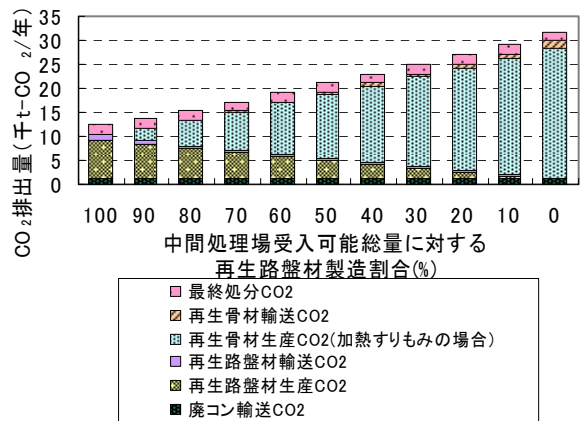


図-17 シナリオ3によるCO₂排出量 (加熱すりもみのCO₂排出原単位を用いた場合)

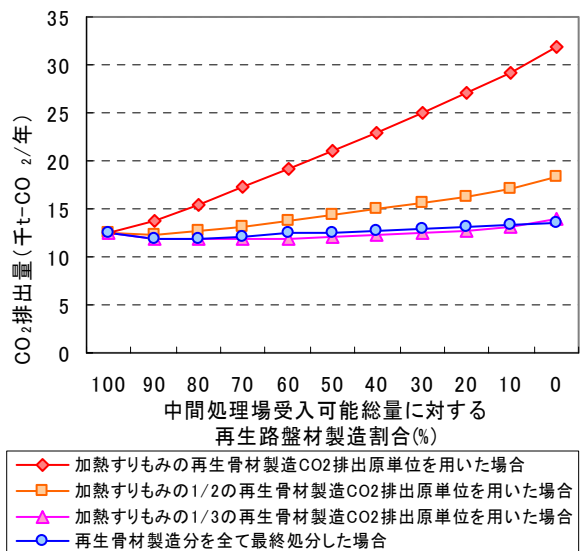


図-18 シナリオ2及びシナリオ3のCO₂排出量の比較

において廃コンクリート排出量の差が小さく、再生路盤材使用量の差が大きくなっているため、中間処理と最終処分によるCO₂排出原単位の差が表れたものと考えられる。

図-16より、再生路盤材の製造割合が100%から90%にかけてCO₂排出量が減少しているが、90%から再生路盤材の製造割合が減少すると全体のCO₂排出量は増加している。これは、100%から90%へ変化した場合、最終処分量増加に伴い廃コンクリートの処理（中間処理及び最終処分）におけるCO₂排出量は増加しているが、再生路盤材製造量減少に伴う輸送CO₂排出量の減少の方が大きくなったためであり、90%以下への変化については双方のCO₂排出量が逆転するためである。すなわち、再生路盤材の需要減少に伴い最終処分量が増加し、全体のCO₂排出量は増加する。

図-17より、再生骨材製造によるCO₂排出原単位は中間処理によるCO₂排出原単位の約3.4倍となっているため、当然のことながら再生骨材製造割合が大きくなる程CO₂排出量は大きくなる結果となった。

図-18にシナリオ2及びシナリオ3の再生骨材製造CO₂原単位の異なる3ケースのCO₂排出総量を示す。同図より、再生骨材製造CO₂排出原単位を1/3に削減できた場合はシナリオ2と同程度のCO₂排出量となる。このことは、再生骨材製造CO₂排出原単位を現行の1/3程度に抑えることができれば、廃コンクリート余剰量を最終処分するのと同程度のCO₂排出量で再生骨材として利用することができることを意味する。また、再生骨材製造CO₂排出原単位を現行の30%程度に抑えることができれば、再生路盤材を利用するのと同程度のCO₂排出量で再生骨材として利用することができる。路盤材の需要減少により、廃コンクリートが最終処分場に回ることになれば、最終処分場の残余容量が逼迫することが考えられる。したがって、再生骨材製造は喫緊の課題となり、再生骨材製造技術の普及とCO₂排出原単位削減に向けた技術開発の推進が必要である。

6. 結論

- (1) 香川県のコンクリート系廃棄物を取扱う中間処理場及び最終処分場にアンケート調査を実施したところ、コンクリート系廃棄物の年間受入量は中間処理場が約30万t、最終処分場が約14万tであった。また、各事業所のCO₂排出原単位を平均すると、中間処理場は12.3kg-CO₂/t、最終処分場は16.4kg-CO₂/tとなった。
- (2) 中間処理場では、再生路盤材の需要減少に伴いストックヤードが製品でいっぱいとなり新規の廃棄物の受入が困難であるという問題が発生している。この問題を解消するために、コンクリート用骨材として利用

できる再生骨材の製造が必要である。

- (3) 再生骨材製造CO₂排出原単位を現行の1/3程度に抑えることができれば、廃コンクリート余剰量を最終処分するのと同程度のCO₂排出量で再生骨材として利用することができる。また、再生骨材製造CO₂排出原単位を現行の30%程度に抑えることができれば、再生路盤材を利用するのと同程度のCO₂排出量で再生骨材として利用することができる。そのためには、再生骨材製造技術の著しい向上が必要である。

謝辞

本研究の一部は、環境省地球環境研究総合推進費(Hc-087)の助成によるものである。また、本研究を進めるにあたって「香川県の建設に関わる物質フロー研究会」会員から多くの貴重な意見を得た。合わせて、ここに深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 環境省：チャレンジ25,
<http://www.challenge25.go.jp/index.html>
- 2) 田中倫英：建設リサイクルに関する今後の動向、建設の施工企画、676号、pp.4-7、2006.6
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 国土交通省道路局企画課編：道路統計年報、2002-2008
- 6) 香川県廃棄物対策課編：廃棄物排出・処理状況、2003-2009
- 7) 全国生コンクリート工業・協同組合連合会：生コンクリート都道府県別出荷実績、2009
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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>