

# 近畿大学工学部建築学科卒業論文概要

平成 14 年度		番号 氏名	99168018
指導教官	藤井 大地 助教授		大年 政浩
題名	建築分野のエコマテリアルに関する調査研究		

## 1. はじめに

近年、建築廃材の排出量が増加し、その量は 6,600 万 t/年である。種類別では、コンクリート塊が 2,600 万 t/年、アスファルト・コンクリート塊が 2,200 万 t/年で、これらに次いで建設汚泥、建築混合廃棄物、建築発生木材があり、これらの合計で 99%になる。建築廃材の再利用率は 48%で、脱水、焼却などの減量化が 3%、約 50%が埋め立てられている。

また、2000 年 11 月 30 日に建設リサイクル法が施行され、建設業者に建築廃材の再資源化が義務付けられるようになった。以上の背景にもとづき、本論文では、2 章でエコセメント、3 章で再生コンクリート、4 章でリサイクル建材、5 章で廃棄物について調査を行い、建築分野のエコマテリアルの現状と今後の展望についてまとめている。

## 2. 一般ごみの再資源化

### 2.1 エコセメント

エコセメントは、エコロジーとセメントの合成語で、都市ごみ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物を主原料として製造される新しいセメントである。エコセメントでは、セメント原料として必要な粘土・珪石・鉄原料などの代替として都市ごみ焼却灰、下水汚泥などを利用している[4]。

1998 年 12 月、千葉県内で発生する一般廃棄物（都市ごみ焼却灰等）と産業廃棄物（汚泥等）をセメントとして再資源化することを目的として、三井物産（株）と太平洋セメント株式会社が共同で市原エコセメント（株）を設立[2]。エコセメント化施設では、約 400t/日の焼却灰を処理し、約 620t/日、年間約 16 万 t のエコセメントを生産するとし、総額建設コストは約 240 億から 290 億、ランニングコストは 22000 円/日、年間約 25 億円と試算されている[3]。また、エコセメントの安全性としては最新の排ガス処理設備を設置しているため、ばい煙類は排出基準（大気汚染防止法第三条の規定に基づく排出基準）を全て満足している。また、ダイオキシン類も約 1350 以上の焼成キルンの中で、化学的に分解・消滅するため、ダイオキシン類対策特別措置法、廃棄物の処理および清掃に関する法律の廃棄物焼却炉排出基準値 0.1ng-TEQ/m<sup>3</sup>N を十分に下回っている[1]。

エコセメントのメリットとしてはエコセメント化によって処分場の使用期限が延命されることにあるが、問題はそれ以上のデメリットが考えられることだ。エコセメントの製造コストが約 22000 円/t だが、普通セメントの販売価格は約 9000 円/t 程度で、一般のユーザーに対しては、同じ料金でなければ売れないので、差額コストを、地方自治体からの委託費（1~3 年度：34800 円/t、4 年度：38800 円/t）が税金負担となる[2]。

しかし、エコセメントの販売については、母体が太平洋セメントということもあるので、販売の方は順調であり、コンクリートメーカー等にも買ってもらっている（太平洋セメントが品質保証を行なっている）。また去年の夏ごろに JIS 化されたため、普及しやすくなっている[2]。

### 2.2 実験

文献[5]に示される実験では、焼却灰を利用した環境負荷低減型セメント（EC）と普通ポルトランドセメント（OPC）を使用し、表 1 に記されているように水セメント比、練り上がり及び養生温度、養生方法を変え、その違いが調べられている。

実験結果は、表 1 に記されているように、比表面積が大幅に違うが、あとはほぼ同等であり、化学成分、鉱物成分に関しても値を見ると差が大きいものもあるが、パーセンテージからすれば小さいものとなっている。

表 1 セメントの物理・化学的性質

セメント 種類	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結 (h-min)		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
			始発	終結	7 日	28 日
EC	3.17	4180	2-20	3-30	41.4	56.3
OPC	3.16	3350	2-20	3-30	43.1	60.4

化学成分 (%)							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub>	Cl
17.4	7.2	4.1	60.5	2.1	3.8	0.38	0.055
21.6	5.5	2.5	64.0	1.7	2.0	0.58	0.004

鉱物組成 (%)			
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
48	13	12	12
51	24	10	8

## 3. 再生コンクリート

再生コンクリートは、建設廃棄物であるセメントコンクリート塊を破砕・分級した破砕材全量を再生骨材として用いたコンクリートである。

再生コンクリートに用いる再生骨材の製造は、破砕プラントにおいて、セメントコンクリート塊を路盤材粒度まで破砕したのち、分級を行う。粒度が 20~5mm のものを再生粗骨材、5mm 以下を再生細骨材として使用する。

再生骨材の製造上の問題をあげると、「品質の向上」、「収率の増大」、「コストの低減」の三つに分けることができる。品質を高めるには、いかに石を砕かずにモルタル分およびセ

メントペースト分を除去するかということであり機械の特性がかなり影響する。処理工程を増やすことで再生骨材の品質は確実に向上するが、収率の大幅な低下を伴い単位量あたりのコストは数倍に膨らむ。また、再利用の困難な微粒分の量が増大し、廃棄の方法や費用の面で頭を痛めることになる。品質と収率という相反する特性の妥協点を見つけ、コストも絡めた上で取り組まなければ企業活動として成り立たない。しかし現在、副産物である微粒分を付加価値の高い商品に加工でき収率にこだわる必要はなくなり、再生骨材の品質を追求することができるようになった。[6]

また、再生コンクリートの特徴としては、

- ・ 微粉など二次副産物の発生がない
- ・ 天然骨材使用コンクリートと同等のワーカビリティ（補足材使用）
- ・ 生コンプラントで製造、天然骨材使用コンクリートと同一工程である
- ・ 天然骨材使用コンクリートと同等の強度特性を有す\*
- ・ 施工性は、天然骨材使用コンクリートと同等である

\* 圧縮強度  $20N/mm^2$  以下の強度領域の場合[7]

また、その用途としては、コンクリート塊は、再生クラッシャーラン、再生コンクリート砂、再生粒度調整砕石などに再生され、道路の下層路盤材、裏込材、基盤材など、主に土木工事用として利用される。

また、建築分野でコンクリート塊を再利用するためには、再生コンクリート骨材として利用する必要があるが、そのためにはモルタル付着分の除去や不純物除去などの高度処理技術が必要になる。高度処理技術として知られている方法に粗骨材研磨技術があり、ブルクラッシャーなどの機械が用いられる。再生粗骨材（砂利）の吸水率は大規模装置、小規模装置のいずれによる場合も実用レベルの品質が確保されるようになった。[9]

また、現在の問題点とそれに対する改善・解決方法を以下の表2にまとめる。

表2 再生コンクリートにおける問題点と改善、解決策

項目	問題点	完全リサイクルコンクリートによる改善・解決
廃棄処分	最終処分場が減少しているにもかかわらず、解体コンクリート塊の発生量は増加している。1997年度現在、コンクリート塊の発生量（補足値）は、年間3600万トンであり、路盤材などに2400万トンが利用され、残りは最終処分されている。そのほかに残土中に紛れ込んでいるコンクリート塊が3000万トン以上であると予測される。	コンクリート塊はセメント製造用原料または、再生骨材としてそのまま使用ができるため、最終処分されるコンクリートは完全になくなる。

再利用	現在のコンクリート廃材の主要用途である路盤材としての潜在需要は、道路建設工事が今後徐々に減少することが予想されているため、大きくは見込めない。また廃材発生現場と道路工事現場は離れているため、流通コストにも難点があるといえる。建築構造部分に使用可能な高品質再生骨材の製造が可能になり、実際に運用されはじめたのだが、特殊な破砕技術を要する点、エネルギー消費が過大である点などの問題を解決する必要がある。また従来から問題とされている再生骨材の価格上昇と再利用・廃棄処理が困難な微粉の大量発生に関わる問題がある。	コンクリート廃材は解体現場近くのセメント工場・再生骨材製造工場に持ち込まれ、加工後、近くの生コン工場、工事現場に出荷されるので、流通コストの情報はそれほど心配ない。再生骨材の製造時に大量発生する微粉は、セメント原料としてそのまま使用できる。再生セメント・再生骨材を用いたコンクリートは再びリサイクルすることができるので、コンクリートの永久的なリサイクルが可能となる。
骨材資源	今後、骨材資源不足と骨材採取による環境破壊の問題から、年間9億5000万トンにもよる骨材需要量に対して、良質な骨材を供給し続けられるかどうか懸念される。	環境保全の行ないやすい石灰石の探掘により、小規模分散型の骨材採取による環境破壊から開放される。再生骨材の永久的なリサイクルにより、骨材資源問題から開放される。
石灰石資源	わが国の石灰石資源の確定可採粗鉱量は98億トンであり、毎年2億トンが採掘されるため、あと50年弱で新たな鉱床を確保する必要がある。	石灰石資源を構造物の形で永久的に保存・蓄積するため、石灰石資源の枯渇問題は解消される。
二酸化炭素排出	石灰石を主原料とする限り、セメント1トンの製造で、約0.5トンの二酸化炭素が排出され続ける。	一度焼成した石灰石原料をセメント原料の一部として用いるため、セメント製造時の二酸化炭素排出量が削減され、セメント焼成エネルギーも減少する。
産業廃棄物	高炉スラグ、フライアッシュなどの産業副産物も、一度は有効利用されるが、コンクリートの最終処分時には、結局破棄されることになる。	産業廃棄物の積極的利用が促進されるとともに、永久的なリサイクルが可能になる。

[8]

#### 4. リサイクル建材

現在のわが国においては、経済の急激な成長に支えられた従来の大量生産・大量消費・大量廃棄の社会構造を改め、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷をできる限り低減するために、行政・事業者・国民がそれぞれ役割分担し、廃棄物等の発生抑制、循環資源の循環的な利用、適正な処分の確保を行う「資源循環型社会」を形成する必要がある。

平成12年に「循環型社会形成推進基本法」が制定され、現在官民をあげて取り組みが進められており、建設分野においても、建設副産物の適正処理と再資源化の促進を図るため

に「建設リサイクル法」が制定され、分別解体及び再資源化等の義務付け等が行われている。

建設分野においては、全産業に対するバージン材の利用量は約5割、最終処分量は約4割を占めており、これらの利用量及び処分量を可能な限り削減することは急務である。

建設系廃棄物の最終処分量を削減するためには、バージン材を使用した建築資材を代替する建築系廃棄物を原材料として利用した建築資材（以下「リサイクル建築資材」という）を活用することが重要である。そのためには、「建築・解体時の資材の分別」、「リサイクル建築資材の製品化」、「リサイクル建築資材の利用」の3段階の取り組みを適正に進め、建築資材の循環を図る必要がある。

現状では、これら3段階の取り組みのうち「建築・解体時の資材の分別」については、建設リサイクル法の制定により、解体現場や中間処理施設等で適正な処理が進みつつあるが、「リサイクル建築資材の製品化」、「リサイクル建築資材の利用」については、グリーン購入法による環境への負荷が少ない物品等の調達の推進、環境負荷削減の製品指標であるエコマークの普及等の取り組みはあるものの、製品化に係る技術開発や利用の拡大は大きな課題となっている。

したがって、「リサイクル建築資材の製品化」、「リサイクル建築資材の利用」について、これらの課題の解決を図り、建築資材の循環を進める必要がある。[10]

建築混合廃棄物は、分別を行えばマテリアルリサイクル、サーマルリサイクル（表3参照）、ケミカルリサイクルの可能性も出てくるが、コストの問題もあり、あまり行われていなかった。例えば、建築発生廃木材の減容化率は14%であり、60%が埋め立て処分されている。他の固体産業廃棄物と比較して可燃物の割合が少なく、建築混合廃棄物の処分率はかなり低いと言ってよい。[13]

また、建設発生木材については、チップ化し、木質ボード、堆肥等の原材料として利用することを促進する。これらの利用が技術的な困難性、環境への負荷の程度等の観点から適切でない場合には、燃料として利用することを促進する。

なお、建設発生木材の再資源化を更に促進するためには、再生木質ボード（建設発生木材を破砕したものをを用いて製造した木質ボードをいう）、再生木質マルチング材（雑草防止材及び植物の生育を保護・促進する材料等として建設発生木材を再資源化したものをいう）等について、更なる技術開発及び用途開発を行う必要がある。具体的には、住宅構造用建材、コンクリート型枠等として利用することのできる高性能・高機能の再生木質ボードの製造技術の開発、再生木質マルチング材の利用を促進するための用途開発、燃料用チップの発電燃料としての利用等、新たな利用を促進するための技術開発等を行う必要がある。

また、このような技術開発等の動向を踏まえつつ、建設発生木材については、建設発生木材の再資源化施設等の必要な施設の整備について必要な措置を講ずるよう努める必要がある。[9]

表3 マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの用途

区分	用途
原材料としての利用（マテリアルリサイクル）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パーティクルボード</li> <li>・ 製紙用チップ</li> <li>・ マルチング材</li> <li>・ 堆肥</li> <li>・ 炭化</li> <li>・ 高性能・高機能の再生木質建材</li> </ul>
燃料としての利用（サーマルリサイクル）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 燃料チップ</li> <li>・ 固形燃料（RDF）</li> <li>・ セメント燃料化</li> </ul> <p>*なお、実証段階の技術として高炉における高炉における還元剤としての利用が挙げられる。</p>

[13]

## 5. 廃棄物

最近になり、建築混合廃棄物のリサイクルを進めるための総合的な中間処理工場の建設が開始された。手選別、破碎、機械選別、可燃物の焼却、廃プラスチックの減容などの設備を備え、塵芥、騒音、振動も抑えており、市街地にも立地可能である。搬入した廃棄物の85%が再資源化、減量化が可能とされている。機械選別機は比重差と形状差により、重量物と、可燃物を主とした軽量物、タイルやボード類を主体とした混合物に分別する。これに手選別を追加して、コンクリート塊、プラスチック、金属、ボード片、再生砕石などの分別を行っている。さらに再資源化率を上げる試みもなされており、建築混合廃棄物もリサイクル時代に入ったと言ってよい。

特定建設資材以外の建設資材についても、それが廃棄物となった場合に再資源化等が可能なものについてはできる限り分別解体等を実施し、その再資源化等を実施することが望ましい。また、その再資源化等についての経済性の面における制約が小さくなるよう、分別解体等の実施、技術開発の推進、収集運搬方法の検討、効率的な収集運搬の実施、必要な施設の整備等について関係者による積極的な取組が行われることが必要である。

具体的には、次のとおりである。プラスチック製品は、建設工事に使用される量が多いことから、建築物の解体の急増に伴い、廃プラスチック（プラスチック製品が廃棄物となったものをいう）の発生が急増すると予想されており、廃プラスチックの再資源化を促進する必要がある。このため、廃プラスチックの再資源化について、経済性の面における制約が小さくなるよう、関係者による積極的な取組が行われることが重要である。

特に、廃プラスチックに係る再資源化施設等が工事現場の近傍にあり、当該施設等に運搬する費用が過大とならないなど、その再資源化が経済性の面において制約が著しくないと認められる場合は、できる限り他の建設資材廃棄物と分別し、当該施設等に搬出するよう努める必要がある。このうち、建設資材として使用されている塩化ビニル管・継手等については、これらの製造に携わる者によるリサイクルの取組が行われ始めているため、関係者はできる限りこの取組に協力するよう努める必要がある。

石膏ボードは、高度成長期以降建築物の内装材として広く利用されており、建築物の解体の急増に伴い、廃石膏ボード（石膏ボードが廃棄物となったものをいう）の発生が急増すると予想されることから、ひっ迫が特に著しい管理型最終処分場（環境に影響を及ぼすおそれのある産業廃棄物の処分場）の状況を勘案すると、その再資源化を促進する必要がある。このため、廃石膏ボードの再資源化について、経済性の面における制約が小さくなるよう、関係者による積極的な取組が行われることが重要である。

また、石膏ボードの製造に携わる者により新築工事の工事現場から排出される廃石膏ボードの収集、運搬及び再利用に向けた取組が行われているため、関係者はできる限りこの取組に協力するよう努める必要がある。

また、再資源化等が困難な建設資材廃棄物を最終処分する場合は、安定型処分品目（環境に影響を及ぼすおそれの少ない産業廃棄物をいう）については、管理型処分品目（環境に影響を及ぼすおそれのある産業廃棄物）が混入しないように分別した上で、安定型最終処分場（安定型処分品目の最終処分場をいう）で処分し、管理型最終処分場で処分する量を減らすよう努める必要がある。[9]

また、建設廃棄物に関するこれまでの行政の働きとしては、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）の一部改正によって、産業廃棄物管理票（マニフェスト）をすべての産業廃棄物に適用することが義務付けられた。これによって、産業廃棄物の排出業者である元請けの建設業者は、建設系廃棄物を委託処理する場合に、自らマニフェストを購入し、交付することで、産業廃棄物が適正に処理されることを管理しなくてはならなくなった。また、この新しい法律のポイントとしては、

- ・ 建設工事や解体工事に伴い排出される廃棄物のうち、木くずやコンクリートといった対象資材の再資源化を義務付けている。
- ・ 解体工事の方法として、これまでのようなミンチ解体ではなく分別解体を行うことを義務付けている。
- ・ 上記2つの事項の義務を負うのは、解体業者ではなく元請業者（建て替え時に施主から解体工事も含めて請負う場合は、住宅供給者が元請業者になる）である。
- ・ 解体工事を行う場合には、当該する都道府県に発注者が分別解体計画などを届けなくては工事を実施することができない。
- ・ 解体工事業者の登録制度を新設する。 [12]

などがあげられる。

## 6. まとめ

本論文では、建築分野のエコマテリアルに関する調査研究を行った。

焼却灰を材料とするエコセメントでは、有害物質を処理する技術が改善され、ほぼ実用段階に至っていることがわかった。しかし、コスト面では、厳しい課題が残っており、更なるコスト低減が行われれば、将来かなり普及するものと思われる。

再生コンクリートについては、現在考えられる様々な問題点についても解決策が見出されており、調査した中では、一番普及への見通しが良いと思われる。

建材のリサイクルについては、いまだ問題点が多くあり、調査した中では、最もリサイクル率が悪く、コスト面、技術面で多くの課題が残っていることがわかった。

廃棄物に関しては、十年前に比べると非常に改善が進んでいるが、混合廃棄物の場合、分別に手間がかかるため、リサイクル率が悪くなっている。

以上の調査から、建築分野の再資源化は、課題は多く残ってはいるが、徐々に発展してきていること、また、完全再資源化を目指して、廃棄物の利用促進、建材のリサイクル、廃棄物の処理に関して、なお一層の努力が必要であることがわかった。

## 参考文献

- [1] エコセメントのJISの制定及び溶融スラグのTRの公表  
<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0002982/0/020722ekosemento.html>
- [2] ひ～ろ～道日記・現在編  
<http://www.hiromichi21.com/diary/2001-9-3.html>
- [3] ごみ・コミ通信ホームページ  
<http://homepage2.nifty.com/gomicomi/eko-semento.htm>
- [4] 太平洋セメント株式会社ホームページ  
<http://www.taiheiyo-cement.co.jp/>
- [5] 長塩靖祐（太平洋セメント）、棚野博之、鹿毛忠継、濱崎仁、横山滋、木村正尚、環境負荷低減型セメントを使用したコンクリートの基本性能に関する実験的研究 その四 強度発現に及ぼす養生温度の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp897-898,2002.8
- [6] 概要  
<http://www02.so-net.ne.jp/~lee-con/gaiyou.html>
- [7] 大有建設株式会社ホームページ  
<http://www.taiyu.co.jp/>
- [8] RESEARCHES  
<http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/researches/#3>
- [9] リサイクル指針  
<http://www.pref.yamanashi.jp/kokyokoji/kouhyou/mokuhyo.html>
- [10] 建築系廃棄物を利用したリサイクル建築資材に関する提案募集要綱  
<http://www.bcj.or.jp/src/giken136.doc>
- [11] 進む建設産業のリサイクル  
[http://www.cgr.mlit.go.jp/kisha/2001dec/131226\\_01.htm](http://www.cgr.mlit.go.jp/kisha/2001dec/131226_01.htm)
- [12] 佐野建設株式会社ホームページ  
<http://www.rnac.ne.jp/~sanokenn/index.htm>
- [13] 特定建設資材について  
<http://www.pref.osaka.jp/kenshi/recycle/riyou.html>