

IV-1-1 他産業リサイクル材の利用技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 13～平 17

担当チーム：材料地盤研究グループ

（新材料、リサイクル、土質）

研究担当者：明嵐政司（特命事項担当上席）

西崎 到（上席）、富山禎仁

尾崎正明（上席）、宮本綾子

小橋秀俊（上席）、森 啓年

【要旨】

本研究の目的は、他産業廃棄物を原料としたリサイクル材を土木分野で活用するために、リサイクル材の工学的性能や環境安全性等を評価する手法を提案し、研究結果をとりまとめて、「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」を策定することである。平成 16 年度は、それまでの調査研究によって完成させたマニュアル原案を有識者による委員会で受けた指摘事項を反映させた内容に書き改めた。さらに、モルタルバー法によって、ガラスカレットをコンクリート骨材として利用する時のアルカリ骨材反応性を判定し、ガラスカレットはアルカリ骨材反応性を有するが、低アルカリ量の普通ポルトランドセメントや高炉スラグセメントを用いる対策が有効であることもわかった。平成 17 年度は、前年度に完成させた「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」を元にして、「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」（土木研究所編著、大成出版刊行）を完成させた。さらに、このマニュアルでは詳細な記述を避けている、リサイクル材料の経済性についての指標を確立するための予備調査を行った。この調査結果に基づいて、リサイクル利用が進んでいない廃棄貝殻を事例とした検討を行い、コンクリート製品細骨材の代替利用が経済的に成り立つ可能性のある利用用途であることが明らかになった。

キーワード：他産業リサイクル材、環境安全性、社会制度、経済性、貝殻

1. はじめに

資源循環型社会の実現に向けて、建設副産物や産業廃棄物のリサイクルのための技術開発やシステムづくりが各方面で進められている。建設副産物については、土木研究所における既往の研究等^{1)~4)}によるマニュアルの作成など、研究成果が社会へと還元されている。一方、他産業からの廃棄物の多くは、処分場の逼迫や高騰する処分費の問題によりリサイクルに限界を抱えており、建設資材としての利用に大きな期待が向けられている。^{5)~9)}

本研究では、建設工事以外から発生するリサイクル材を建設工事に受け入れるための「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」を策定する。このマニュアルは、他産業リサイクル材の種別ごとに、用途に応じた工学的性能や環境安全性等の試験評価手法を提案し、利用技術（設計・施工の考え方等）を記載することにより、建設現場における他産業リサイクル材の適正な利用を図るものである。

2. マニュアル策定までの流れ

研究の流れを図 1 に示す。平成 14 年度までに実施

した主な研究項目は、以下の通りである。

(1) 公共事業への適用可能なリサイクル材の抽出

文献調査や聞き取り調査などを行い、公共事業へ既に適用されている、あるいは今後の適用が検討されている他産業リサイクル材を中心に、適用性が高い他産業リサイクル材を 40 種程度抽出した。ただし、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号）」で定義する「廃棄物」は対象外とした。

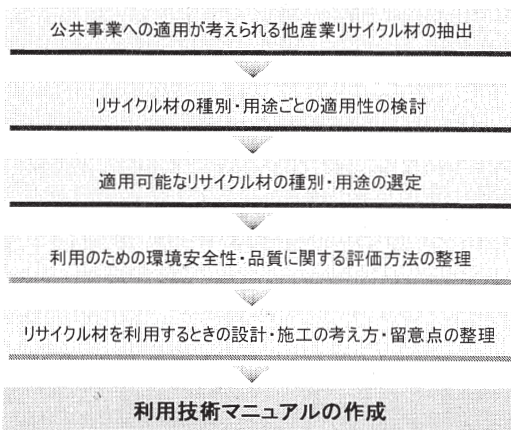


図1 「他産業リサイクル材の利用技術に関する研究」における研究フロー

(2) 他産業リサイクル材利用の実態調査

国土交通省の各地方整備局、北海道開発局、都道府県、政令指定都市等の土木工事への他産業リサイクル材の使用実績現状を把握するために、アンケート調査を実施した。リサイクル材の品名、用途、工事内容のみならず、追跡調査の有無、繰り返し利用実績の有無、リサイクル材の価格、環境安全性に関するデータの有無、把握されている問題点等も併せて調査した。

(3) リサイクル材の建設資材としての適用性検討

他産業リサイクル材料・用途についての研究開発状況、利用状況、マニュアル化、JIS化等に関する最新の情報に基づき、リサイクル材・用途ごとに建設資材としての適用性を評価した。この評価をもとに、リサイクル材・用途ごとに「実施工へ利用できるもの」「試験施工へ利用するもの」「調査段階のもの」という3段階に分類した。

(4) マニュアル原案の作成

他産業リサイクル材を利用するための環境安全性や品質に関する評価方法、設計・施工の留意点等を整理し、(3)の分類に従って「他産業リサイクル材利用技術マニュアル(案)」を作成した。このマニュアル原案の構成は表1のとおりである。

表1 他産業リサイクル材利用技術マニュアル(案)の構成

第1編：共通事項

第2編：利用技術マニュアル(実施工へ利用できるもの)

第3編：試験施工マニュアル(試験施工へ利用するもの)

第4編：マニュアル参考資料(調査段階のもの)

ところで、他産業リサイクル材を土木資材として利用する際に特に留意すべき点は、リサイクル材を用いることによって二次汚染を引き起こさないようにするという環境安全性である。その他の品質特性については、その特性に合った用途を調整することなどにより解決される場合が多い。そこで「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」では、特に環境安全性に主眼を置いた内容にすることとした。各リサイクル材・用途の環境安全性の評価にあたっては、環境安全性に関する試験結果だけで判断せず、以下に挙げるような条件等を考慮し、より信頼性の高いリサイクル材のみを「実施工へ利用可能できるもの」として分類する。

- ① 経験的・理論的に溶出しにくい再生処理を施している。(例：厚生省通達による溶融固化処理⁵⁾)
- ② 原料となる廃棄物の環境安全面での有害性が少な

い。(例：自然由来で重金属汚染等の可能性が低い木や紙など)

(5) リサイクル材として環境安全性等の評価が不確かな材料の検証

下水汚泥焼却灰^{10~12)}および廃ガラス^{13~23)}を取りあげ、これらを原料としたリサイクル材料の環境安全性を評価するため、下水汚泥焼却灰を原料としたコンクリート工場製品や焼成品等の有害物溶出試験を実施した。また、ガラスカレット骨材の耐久性試験も行った。さらに、当該リサイクル材に関する国内外の文献を調査し、環境安全性、リサイクル時の安全化対策、リサイクルの実施状況等を中心に現状技術を整理した。

下水汚泥焼却灰を原料としたコンクリート工場製品および焼成品からは、規定値を超える有害物の溶出は認められず、環境庁告示第46号の環境基準を満足するものと判断された。骨材として使用するガラスカレットの色や添加量、セメントの種類等を変えた各種モルタルバーについて、迅速法(JIS A 1804)²⁴⁾によりアルカリ骨材反応性試験を行ったが、いずれの試料も0.1%未満の長さ変化率であり、JISで規定しているアルカリシリカ骨材反応性の判定基準を下回る結果となった。

ただし、これだけでガラスカレットによるアルカリ骨材反応の判定を行うことが妥当であると結論づけるのは危険なので、モルタルバー法(JIS A 1146)²⁵⁾によりアルカリシリカ骨材反応を再検証する必要があることがわかった。

(6) モルタルバー法によるガラスカレットのアルカリ骨材反応の検討

ガラスカレットのアルカリ骨材反応性試験を「骨材のアルカリシリカ反応性試験(JIS A 1146)」²⁵⁾によって行った。その結果、アルカリ骨材反応性の判定基準0.1%以上の平均膨張率を上回る結果となった。さらに、ガラスカレットによるアルカリシリカ骨材反応を抑制するために、低アルカリ量普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種による対策もあわせて検討したが、両対策ともに有効に機能することが明らかになった。

研究の最終年度である本年度は、「建設工事における他産業リサイクル材料技術マニュアル」¹⁾(以降「マニュアル」と略す)。「マニュアル」では記述されていないより広い経済学的見地から、リサイクル材料評価のための基本的な概念を整理した。さらに、「マニュアル」の中で今後の利用が期待される廃棄物である貝殻に着目して、先にとりまとめた経済学的な観点から、

貝殻の既存用途を検討し、今後技術開発によって安定的なリサイクル材料の利用が見込まれる利用用途を明らかにした。

3. リサイクルのための社会制度

3.1 廃棄物に係わる費用分担^{2,3)}

生産物を生産する際に生産者自身に生じる費用を私的費用と呼ぶ。ただし、この生産活動に伴って公害や交通渋滞などの生活環境の悪化などにより、生産者以外の人々が大部分を負担させられる損失を外部費用という。生産活動によって生じた副産物や、生産物が使用され、その使用後に発生する廃棄処分費用もこの外部費用に含まれる。この私的費用に外部費用を加えたものが社会的費用である。

廃棄物の処理に係わる経済的課題は、この社会的費用を誰がどの程度負担するかということに集約される。例えば、卑近な例として「自動車リサイクル法」を取り上げる。この法律の施行に伴って、新車に対しては、販売価格に廃棄物処理のための費用が当所から追加されている。また、既存車両に対しては、車検時にその費用を車の所有者が支払う。どちらの場合も、生産物である自動車の恩恵を享受するものが、その廃棄処分費用を負担していることになる。ただし、この中には廃棄物の処理費用しか外部費用に含まれていない。大気汚染をはじめとする環境汚染を外部費用として負担する議論は、燃料税の環境税化などの議論に譲る。

このような方法で、廃棄物処理に係わる外部費用とその負担を明確にすることによって、適切な廃棄物リサイクルのための費用が社会全体で確保される。

一般廃棄物は、地方自治体が地方税を財源として処理業務を担っている。排出量に応じた費用負担がなされていないので、排出者である一般事業所や家庭では、ごみ削減の動機付けがきわめて希薄である。一般廃棄物の削減を行うためには、排出量に応じた一般廃棄物の収集有料化が有効である。この収集費用には、廃棄物の収集処理費の他に、リサイクルによる払戻金・外部不経済費用も含める必要がある。

産業廃棄物の発生者は、製品やサービスを提供する第一次、第二次および第三次産業を中心とするに事業者である。ただし、第三次産業から排出される廃棄物の一部は、一般廃棄物として処理されるものもある。

産業廃棄物に分類される廃棄物は、事業者自らが費用を負担して処理しなければならない。通常は、排出量に応じて費用負担を求められるので、費用負担の点

からは、収集が有料化された一般廃棄物と同じである。しかし、経済基盤が脆弱で企業間競争が激しい業態においては、その生産物の販売価格決定に当たって、適切に外部費用を価格転嫁できないので、産業廃棄物の処理およびリサイクルができないものもある。

3.2 公的機関による施策の必要性

先に示したように、適切に算定された外部費用を製品価格に転嫁することは、リサイクル材料の市場を形成するための第一歩である。これに加えて、リサイクル材料の市場の形成を阻害する要因は、リサイクル材料と競合する新材市場に比べて価格変動が大きいことである。リサイクル材料の多くは、通常材料の代替である。さらに、リサイクル市場におけるリサイクル材料の流通量は、通常材料の流通量に比べて非常に少ない。したがって、通常材料の市場での小さな価格変動が、リサイクル市場により大きな価格変動を引き起こす。

このように、潜在的に脆弱なリサイクル材料市場を保護し、自立的に持続可能な市場を育成するためには、公的機関の政策誘導が必要である。

各産業分野では、廃棄物の種別ごとにリサイクルの目標設定を行って、その達成を図ってきた。また、使用する材料は原則としてリサイクル材料であることを規定して、材料調達を行うことも可能である。ただし、これらの非経済学的政策が、経済学的効率性の観点からは不合理である場合も多いので、製品の製造に伴って副産物を発生させる生産者が、その製品価格にリサイクルも含めた廃棄物処理費用を転嫁出来るよう促す政策誘導が公的機関に求められている。

4. 廃棄物としての貝殻

貝殻の廃棄物としての歴史は古い。縄文時代の遺跡としての貝塚は、当時の廃棄物処分場であり、貝殻の他にも当時の生活状況を推し量ることの出来る様々な出土品が発見されている。「マニュアル」では、第4章「今後の検討を待つ材料」に記述されている。数千年たった現在も、リサイクルを含めた適切な処理方法は得られていない。

貝殻の主成分は炭酸カルシウムであり、石灰石の成分に酷似している。建設工事ではセメントや骨材として石灰石が広く使われており、この代替品として貝殻が使える可能性がある。また、その生成過程を考えると、廃棄物としての環境安全性に関しては全く問題がないといって差し支えない。

このように、材料としての品質および環境安全性にさほどの課題があるとは思えない材料のリサイクルが

進んでいない原因の一つとして、経済学的な課題があげられる。他の産業廃棄物のリサイクル材料を経済学的な観点から評価するためにも格好の検討材料である。

帆立貝の主要な生産地としては、北海道・青森県、牡蠣貝の主要な生産地としては、宮城県・岩手県・広島県・岡山県がある。これら県道庁のうち、北海道・青森県・岩手県・宮城県の担当部署およびその担当部署を通じて紹介された漁業協同組合に対して、廃棄物としての発生状況やリサイクルの取り組みの聞き取り調査を行った。さらに、科学文献データベース JICST を活用して、貝殻のリサイクルに関する文献検索と収集を行った。

4. 1 廃棄物の現状⁴⁾

貝殻には、帆立・牡蠣・浅蜷・蛤・阿古屋貝（真珠）など様々であるが、発生量やリサイクルを含めた処分に関するまとまった統計データは見あたらない。しかし、そのかなりの部分を占めるとされる帆立・牡蠣貝殻の年間発生量はそれぞれ約 35 万トン、約 20 万トンである。

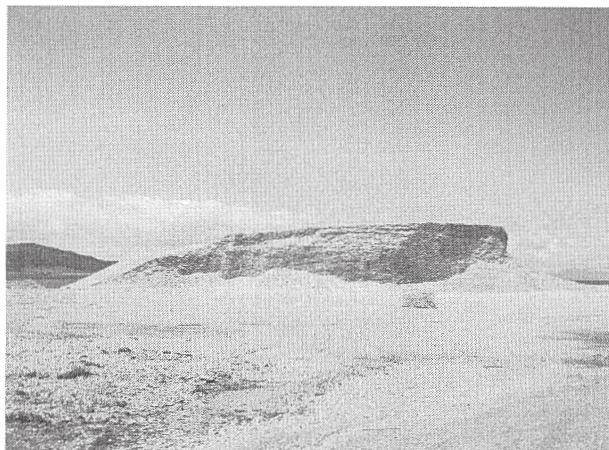
貝殻の廃棄物としての法的な扱いは、複雑である。貝殻を廃棄物として排出するものは、漁業組合に代表される漁業者・水産加工業者・消費者である一般家庭や飲食店に 3 分類される。漁業者がむき身として貝を出荷するときに排出される貝殻は、一般事業所から排出される一般廃棄物とされる。水産加工会社が同様の生産活動を行う際に排出される貝殻は、産業廃棄物である。また、貝殻付き貝を購入する一般家庭や飲食店は、貝殻を一般廃棄物として排出することが出来る。

一般家庭や飲食店から発生する貝殻は、一般廃棄物として地方自治体が処理している。一方、漁業者の排出する貝殻は、自治体による受け入れがなされていない。したがって、多くの貝の生産地では、地方自治体の補助金や漁業協同組合・水産加工会の共同出資で運営する処理組合が、貝殻の保管・粉碎処理等を行っている。写真 1 (a) は、海岸の空き地に積み上げられた帆立貝殻である。写真 1 (b) は、海岸の入り江の谷間を埋める牡蠣貝殻ある。

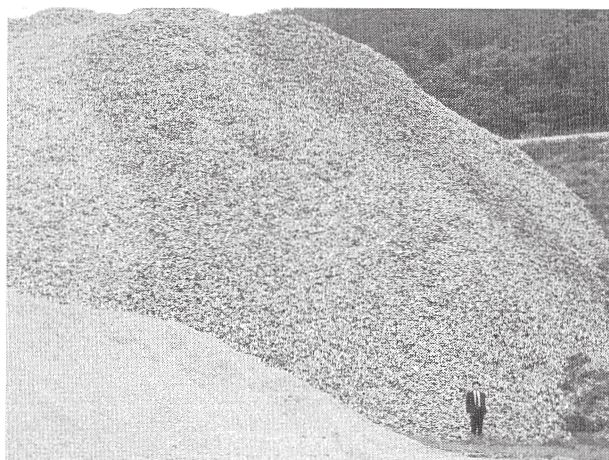
廃棄物処理に要する費用が貝の販売価格に転嫁されていないことと、個々の事業主体の経済的な負担能力が非常に低いので、処理は野積みによる脱塩・脱臭気や簡単な粉碎にとどまっている。青森県平内町役場に対するヒアリングによれば、このような処理を施した貝殻は、処理組合現地渡し（輸送賃は利用者負担）で 100 円/トン程度の価格で、販売されるとのことであった。

4. 2 再利用の試みと課題

建設事業以外での利用用途としては、水産分野ではカキ養殖稚貝採苗付着基質・漁場造成用魚礁資材⁵⁾・漁場底質改良材⁶⁾・水質浄化材⁷⁻⁹⁾などがある。漁場底質改良材を除けば、いずれも、貝殻の発生量と需要が不均衡であるために、廃棄物としての貝殻の保管量を減少させる利用用途とは成り得ない。また、廃棄物の海洋投棄禁止の流れを踏まえると、漁場底質改良材としての利用は、その明確な効果が実証されない限り、有効なリサイクル利用用途となり得ない。水質浄化は、



(a) 海岸に積み上げられた帆立貝殻 (平内町)



(b) 入り江の谷間を埋める牡蠣貝殻 (気仙沼市)

写真 1 処理組合による貝殻の保管状況

リン酸と窒素の除去を目的としている。石灰石の代替材料として活用するものであるが、反応性を向上させるためには、高温での焼成が不可欠となり、リサイクル材料の石灰石との価格競合性を損なう恐れがある。

農林業分野では、土壌改良剤・肥料²²⁻²⁵⁾・養鶏飼料・酸性水の中和²⁶⁻²⁸⁾・暗渠排水疎水材としての利用が検討されてきた。これらの利用用途も水産分野と同じように、貝殻の発生量と需要が不均衡であるため、廃棄

物としての貝殻の保管量を減少させる利用用途とは成り得ない。さらに、酸性水対策として石灰石の代替利用を行うには、反応性を向上させるために、リン酸と窒素の除去の場合と同様の高温焼成が不可欠となり、石灰石との価格競合性を損なう恐れがある。

その他の利用分野としては、除菌抗菌消臭剤・食品添加物（栄養補給剤）があげられているが、水産・農業分野にもまして、貝殻の発生量と需要が不均衡であるために、廃棄物としての貝殻の保管量を減少させる利用用途とは成り得ない。

建設事業での利用用途としては、暗渠資材・地盤改良材¹²⁻²²⁾・水質浄化剤・セメントの石灰代替材料・コンクリート製品の細骨材²³⁻²⁶⁾・舗装材料²⁷⁻³²⁾がある。旧運輸省第二港湾建設局が進めている石巻港南防波堤建設において採用されたサンドコンパクション工法で採用されている以外は、すべて一過性のものであり、持続的なりサイクル利用とはなっていない。また、上記防波堤工事も2040年には終了予定であるので、廃棄物としての貝殻のリサイクルに係わる根本的な解決とはなっていない。

セメントの石灰代替材料としての検討は、岩手県大船渡市太平洋セメント工場を試みられたが、塩分と臭気が課題であるとして、継続されていない。ただし、最近のセメント工場は、多種多様な廃棄物を有償で引き受けている。例えば、下水汚泥や畜産廃棄物がある。受け入れにかかる費用はトン当たり1万円程度といわれている。大船渡漁協におけるヒアリングによれば、漁業組合が貝殻廃棄に対して負担出来る金額は、トン当たり3千円が限度とのことであったので、経済的な観点からこのようなりサイクルは実現が非常に難しい。

コンクリート製品の細骨材代替材料としての利用は、需給量の均衡・材料輸送距離の観点から非常に有望であるが、コンクリート製品の強度とワーカビリティの兼ね合いから、骨材置換率が最大20%であるため、貝殻代替骨材の安い価格をコンクリート製品に反映させられないという課題が残されている。

さらに舗装材料として、6号砕石（粗骨材）・細骨材・フィラーとしての代替利用が検討されているが、代替率が低いので、リサイクル材料を用いたことによる価格低減が期待できないことと、需給量が不均衡であるという課題がある。そのため、ほとんどの事例が一過性の試験施工に止まっている。

経済学的観点から貝殻をみると、貝の生産活動を行う組織の経済的脆弱性や産地間の競合が、外部費の販売価格への価格転嫁を困難にしている。ただし、需給

時期のズレの調整や需給量の均衡を図り、使用する際に必要な運搬費用も含めた処理費用を負担したとしても平内町の処理組合による貝殻の引き渡し価格のように、代替材料よりも大幅に材料費が安くなれば、競合する通常材料に対して価格競合性が見込める可能性は残されている。

残念ながらこれまで検討されてきた貝殻の利用用途で、このような条件に該当するものが得られていないことが、貝殻の廃棄およびリサイクルに係わる抜本的な対策の確立に至っていない原因であると思われる。

5. まとめ

平成17年度のまとめをはじめに示す。

(1) 廃棄物処理に係わる外部費用とその負担を明確にすることによって、適切な廃棄物リサイクルのための費用が確保される。

(2) リサイクル市場の形成を阻害する要因には、通常材料の市場価格変動影響を大きく受けることである。

(3) 公的機関がリサイクルを促進するために取るべき非経済学的な政策としては、廃棄物のリサイクル率達成目標の設定・リサイクル材料優先利用の標準仕様化がある。

(3) 公的な機関が取り組むべき経済学的政策としては、生産の事業主体が廃棄物処理費用を製品価格に転嫁の制度化がある。

(4) 貝殻の主成分は炭酸カルシウムであり、石灰石の成分に酷似している。建設工事ではセメントや骨材として石灰石が広く使われており、この代替品として貝殻が使える可能性がある。

(5) 関係機関へのヒアリングと文献調査によって、これまでの貝殻の利用用途で、そのほとんどが価格や需給の均衡といった経済学的課題を考慮していないことが、貝殻の廃棄およびリサイクルに係わる抜本的な対策技術となっていない原因である。

(6) 需給量の均衡・材料輸送距離の観点から非常に有望であるものとしては、コンクリート製品の細骨材代替材料としての利用がある。ただし、コンクリート製品の強度とワーカビリティの兼ね合いから設定される細骨材の最大置換率約20%を新しい技術開発によって向上させ、貝殻代替骨材の安い価格をコンクリート製品に反映させることが課題として残されている。

さらに、これらを加えた研究全体のとりまとめは以下ようになる。

(1) 建設工事における他産業リサイクル材料利用技術

マニュアルの作成

文献調査や聞き取り調査などを行い、公共事業へ既に適用されている、あるいは今後の適用が検討されている他産業リサイクル材を中心に、適用性が高い他産業リサイクル材を40種程度抽出した。

また、国土交通省の各地方整備局、北海道開発局、都道府県、政令指定都市等の土木工事への他産業リサイクル材の使用実績現状を把握するために、アンケート調査を実施した。リサイクル材の品名、用途、工事内容のみならず、追跡調査の有無、繰り返し利用実績の有無、リサイクル材の価格、環境安全性に関するデータの有無、把握されている問題点等も併せて調査した。

さらに、他産業リサイクル材料・用途についての研究開発状況、利用状況、マニュアル化、JIS化等に関する最新の情報に基づき、リサイクル材・用途ごとに建設資材としての適用性を評価した。この評価をもとに、リサイクル材・用途ごとに「実施工へ利用できるもの」「試験施工へ利用するもの」「調査段階のもの」という3段階に分類した「他産業リサイクル材利用技術マニュアル(案)」を作成した。このマニュアル(案)を学識経験者からなる委員会に諮り、「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」を作成した。

(2) リサイクル材として環境安全性等の評価が不確かな材料の検証

下水汚泥焼却灰^{10~12)}および廃ガラス^{13~23)}を取りあげ、これらを原料としたリサイクル材料の環境安全性を評価するため、下水汚泥焼却灰を原料としたコンクリート工場製品や焼成品等の有害物溶出試験を実施した。また、ガラスカレット骨材の耐久性試験も行った。さらに、当該リサイクル材に関する国内外の文献を調査し、環境安全性、リサイクル時の安全化対策、リサイクルの実施状況等を中心に現状技術を整理した。

下水汚泥焼却灰を原料としたコンクリート工場製品および焼成品からは、規定値を超える有害物の溶出は認められず、環境庁告示第46号の環境基準を満足するものと判断された。骨材として使用するガラスカレットの色や添加量、セメントの種類等を変えた各種モルタルバーについて、迅速法(JIS A 1804)²⁴⁾によりアルカリ骨材反応性試験を行ったが、いずれの試料も0.1%未満の長さ変化率であり、JISで規定しているアルカリシリカ骨材反応性の判定基準を下回る結果となった。

ただし、これだけでガラスカレットによるアルカリ骨材反応の判定を行うことが妥当であると結論づけるのは危険なので、モルタルバー法(JIS A 1146)²⁵⁾によりアルカリシリカ骨材反応を再検証する必要があることがわかった。したがって、ガラスカレットのアルカリ骨材反応性試験を「骨材のアルカリシリカ反応性試験(JIS A 1146)」²⁵⁾によって行った。その結果、平均膨張率はアルカリ骨材反応性の判定基準0.1%以上を上回る結果となった。ガラスカレットによるアルカリシリカ骨材反応を抑制するために、低アルカリ量普通ポルトランドセメントや高炉セメントB種による対策もあわせて検討したが、両対策ともに有効に機能することが明らかになった。

(3) リサイクル材料の社会的経済的側面からの考察とケーススタディー

産業副産物を適切に処理するためには、廃棄物処理に係わる外部費用とその負担を明確にする必要がある。さらに、リサイクル市場の形成を阻害する要因には、通常材料の市場価格変動影響を大きく受けることがあげられるので、安定した市場が形成されるまでは、公的機関が非経済的な政策として、廃棄物のリサイクル率達成目標の設定・リサイクル材料優先利用の標準仕様化を行う必要がある。公的な機関が取り組むべき経済学的政策としては、生産の事業主体が廃棄物処理費用を製品価格に転嫁の制度化がある。

「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術マニュアル」では、「今後の検討を待つ材料」に分類されている廃棄貝殻に上記の考察を当てはめ、そのリサイクルの可能性を検討した。貝殻の主成分は炭酸カルシウムであり、石灰石の成分に酷似している。建設工事ではセメントや骨材として石灰石が広く使われており、この代替品として貝殻が使える可能性がある。

関係機関へのヒアリングと文献調査によって、これまでの貝殻の利用用途で、そのほとんどが価格や需給の均衡といった経済学的課題を考慮していないことが、貝殻の廃棄およびリサイクルに係わる抜本的な対策技術となっていない原因であることがわかった。需給量の均衡・材料輸送距離の観点から非常に有望であるものとしては、コンクリート製品の細骨材代替材料としての利用がある。ただし、コンクリート製品の強度とワーカビリティの兼ね合いから設定される細骨材の最大置換率約20%を新しい技術開発によって向上させ、貝殻代替骨材の安い価格をコンクリート製品に反映させることが課題として残されている。

参考文献

- 1) 土木研究所、“建設事業における他産業リサイクル材料技術マニュアル”、大成出版、(2006)
- 2) リチャード・C・ポーター、“入門 廃棄物の経済学”、東洋経済新報社、(2005)
- 3) 金森久雄・荒 憲治郎、森口親司、“経済事典 第四版”、有斐閣、(2005)
- 4) 出村雅晴、“漁業系廃棄物処理の現状と課題—魚類残滓のリサイクルを主体に—”、農林金融 2004. 11、54-68
- 5) 松永務、“漁業系廃棄物等を魚礁素材として再資源化する取り組みについて” 月刊建設 Vol. 44No. 10 (2000)、26-28
- 6) 鶴谷広一、“リサイクル材を底質に用いたアマモの発芽・育成実験”、ヘドロ No. 90 (2004-5)、17-28
- 7) 阿部久雄、“無機材料の活用による閉鎖性水環境の窒素・リン除去技術開発—リサイクル原料を用いたリン除去材の開発—”、長崎県窯業技術センター研究報告 No. 51 (2004)、5-10
- 8) 竹森鈴子、“貝殻物質による水中リン酸態リンの除去・回収法の開発”、日本化学会西日本大会講演予稿集 (2004)、325
- 9) C Namasiyayam, "Technical Note Removal of phosphate by adsorption onto oyster shell powder-kinetic studies", Journal of Chemical Technology and Biotechnology Vol. 80 No. 3 (2005)、356-358
- 22) 帆刈裕之、“強酸性土壌における木本群落の再生を目指して—貝殻粉砕物を利用した樹林化工法—”、治山研究発表会論文集 Vol. 43 (2004)、213-219
- 10) 横田弘司、“アサリガイ、ホタテガイ、アキヤガイの殻の肥料効果”、広島農業短期大学研究報告 Vol. 7No. 2 (1983)、221-227
- 11) 遠藤祐司、“ホタテ貝殻を用いた酸性坑内水中和実験”、北海道応用地学合同研究会論文集 No. 10 (1999)、108
- 12) 山内昇、“ホタテ貝殻(細流粉砕物)の泥炭改良効果に対する実験的研究”、地盤工学会北海道支部技術報告集 No. 44 (2004)、99-104
- 13) 吉田寛、“貝殻廃棄物を利用した酸性雨・強酸性土壌地の緑化”、日本緑化工学会誌 Vol28No. 4 (2003)、512-519
- 14) 内田美保、“酸性雨中和剤としてのカキからの溶解特性” 水環境学会誌 Vol22. No. 12 (1999)、997-1000
- 15) 船渡隆平、“リサイクル型養殖のすすめ 廃棄貝殻の有効利用 宮城県におけるカキ殻処理事業”、養殖 Vol38No. 6 (2001)、71-73
- 16) 山田幹雄、“粉砕した牡蠣殻と安定剤とを混合した強酸性土の指示力特性に関する一考察”、地盤改良シンポジウム論文集 Vol. 6 (2004)、195-200
- 17) 李基豪、“カキ殻混合土の非排水せん断強度・変形特性”、土木学会論文集 No. 701 (2002)、303-314
- 18) 坪井英夫、“フライアッシュソイルシステムの開発—高含水比土を有効利用した環境負荷低減型システム—”、ヘドロ No. 90 (2004)、55-62
- 19) 吉田寛、“貝殻廃棄物を利用した酸性雨・強酸性土壌地の緑化”、日本緑化工学会誌 Vol28No. 4 (2003)、512-519
- 20) 澤崎雅之、“建設汚泥の有効利用に関する実験的研究” 福井工業大学研究紀要 No. 33 (2003)、197-201
- 21) 山田幹雄、“牡蠣殻由来消石灰および破碎殻を混ぜ合わせた有機質粘土の強度特性”、地盤改良シンポジウム発表論文集 Vol. 5 (2002)、181-186
- 22) 谷口克也、“カキ殻の地盤改良補助材への利用”、日本道路会議論文集 Vol. 25 (2003)、09115
- 23) Hynsuk Yoon, "Oyster shell as substitute for aggregate in mortar", Waste management & Research Vol. 22 (2004)、158-170
- 24) 吉崎友里子、“自然素材の構造物への応用に関する基礎的研究 その1 ホタテ貝殻の結合材としての評価”、平成13年度日本大学理工学部学術講演会論文集、62-63
- 25) 近藤祭子、“自然素材の構造物への応用に関する基礎的研究 その2 ホタテ貝殻コンクリートの評価”、平成13年度日本大学理工学部学術講演会論文集、64-65
- 26) 前川朋弘、“アルミニウム残灰およびカキ貝からを用いたアルミナセメントの製造”、Journal of the Society of Inorganic Materials Japan Vol. 7 No. 289、699-706
- 27) 坂本寿信、“ほたて貝殻入りアスファルト舗装について”、日本道路会議論文集 Vol. 25 (2003)、09101
- 28) 吉井昭博、“ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としてのリサイクル利用について”、北陸道路舗装会議技術報文集 Vol9 (2003)、277-282
- 29) 吉井昭博、“ホタテ貝殻粉末のアスファルト舗装材としての適性”、北海道開発土木研究所月報 No. 598 (2003)、48-55
- 30) 張金喜、“貝殻を用いたセメント系歩道舗装について”、セメント技術大会講演要旨集 Vol. 55 (2001)、

274-275

31) 坂本地仁、“リサイクルと公共事業 水産副産物の有効活用について ほたて貝殻の再利用”、月刊建設 Vol. 40No. 10 (1996)、43-47

32) 貝沼憲男、“火力発電取水路清掃等の土木分野へのリサイクルに関する研究結果について (その2) —アスファルト舗装用フィラーへの適用検討—”、電力土木 No. 248 (1993)、80-88