

12.1 他産業リサイクル材料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 18～平 21

担当チーム：材料地盤研究グループ

（新材料、リサイクル）

研究担当者：脇坂安彦（グループ長）、明嵐政司（グループ付き）、西崎 到（上席）、

新田弘之、富山禎仁、岡本誠一郎（上席）

【要旨】

「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第二版」に記載する他産業リサイクル材料として廃木材（チップ化）、製紙スラッジ焼却灰、製鋼スラグ（SCP 用材）およびペットボトル（フレーク）を取り上げ、適用範囲、試験評価方法および利用技術を取りまとめた。

発泡廃ガラスを盛土材に用いる方法について、LCA と LCC を実施した。LCA では発泡廃ガラスを使用することにより、環境負荷が小さい構造物が構築できるものと考えられた。しかし、LCC では発泡廃ガラスを使用することによりコストが高くなり、LCA とは逆の結果となった。したがって、環境面でのメリットは認められるものの、コストの差が大きいことを考えると、通常の工事での採用は難しく、軽量材料が求められる工事での活用が適切と考えられた。

発泡廃ガラスについては、開発から時間が経っており、市場に流通しているため、分析に必要なデータの入手は比較的容易であり、それぞれ分析が実行できた。しかし、他の廃棄物再生資材では開発途上のものが多く、製造方法も価格も決定しにくいものが大半であると考えられる。今回のものも流通しているが、流通量が増えると価格が大幅に下がるものもあり、現時点の解析結果が不変ということはない。このため、廃棄物再生資材のような不確定要素の多いものを LCA、LCC 分析を行う場合は、価格や環境負荷量などを変動させて、将来の低減したときの値もある程度予測しながら、解釈する必要があると考えられた。

経済学的観点から、他産業リサイクル材を建設分野に使用する際に改善すべき課題として、製品価格への外部費用の転嫁、リサイクルの費用対便益、リサイクル材の市場変動と市場競合が考えられた。

キーワード：他産業リサイクル材料、廃木材、製紙スラッジ焼却灰、製鋼スラグ、ペットボトル、発泡廃ガラス、LCA、LCC

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「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」¹⁰⁾（土木研究所編著、大成出版刊行、以降、「マニュアル第一版」と略す）を更新して、「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（第二版）」（以降、「マニュアル第二版」と略す）を策定することを目的としている。そのため、「マニュアル第一版」では記述されていない新たな他産業リサイクル材料の種別ごとに、適用用途に応じた工学的性能や環境安全性等の評価技術を提案する。公共事業における試験施工や追跡調査あるいは民間独自の取得データに基づき、適用性を評価する。評価の固まったものを試験施工マニュアルから利用技術マニュアルに格上げし、建設分野への利用技術の確立を図る。

平成 20 年度は、まず、平成 19 年度にリサイクル製品の用途先の品質基準に対する適合性や環境安全性に対する情報を整理し、「マニュアル第二版」に掲載する候補として取り上げた、廃木材（チップ化）、製紙スラッジ焼却灰、製鋼スラグ（SCP 用材）およびペットボ

トル（フレーク）について「マニュアル第二版」に記載する事項の検討を行った。次に、廃ガラスの盛土材としての利用を例にとり、LCA、LCCの試算を行い、現状を把握するとともに、他産業再生資材でこれらの分析を行うときの共通の事項などの抽出を行った。

2. 「マニュアル第二版」に記載する基本的事項

2.1 廃木材

2.1.1 適用範囲

廃木材をチップ化した木質系材料を表層材として、歩行者用道路に利用する場合に適用する。

2.1.2 試験評価方法

1) 品質基準と試験方法

チップ化した木質系材料を用いた混合物が、歩行者用舗装材としての品質性状を確認するための評価項目には、①園路・歩道舗装としての基本機能（歩行性・耐久性）、②経済的であること（経済性）、③景観との調和に優れたものであること（色彩性）、等がある。

試験方法は、J I S（日本工業規格）、舗装試験法便覧等に基づくものとする。

2) 環境安全性と試験方法

自然由来の廃木材以外に有害物を含むと思われる木くずを使用する場合は、使用するチップ材について環境安全性の確認を行うものとする。

①安全性基準

有害物質の溶出量は、「土壌の汚染に係わる環境基準について」（平成3年8月23日環境庁告示第46号）別表（付属資料1. 別表参照）に示される27項目のうち銅を除いた26項目（「土壌汚染対策法施行規則」（平成14年12月26日環境省令第29号）第18条1項及び別表第2で定められた項目と同じ）の溶出限界（以下、溶出量基準と記す）を満足しなければならない。

有害物質の含有量は、「土壌汚染対策法施行規則」第18条第2項及び別表第3（付属資料2. 別表第3参照）に示される9項目の含有限界（以下、含有量基準と記す）を満足しなければならない。

②試験方法

溶出試験方法は、「土壌の汚染に係わる環境基準について」（平成3年8月23日環境庁告示第46号）付表（付属資料1. 付表参照）に示された方法による。

含有量試験方法は、「土壌含有量調査に係わる測定方法」（平成15年3月6日環境省告示第19号）付表（付属資料3. 付表参照）に示された方法による。

③安全性の管理

木くずを使用する場合は、ロット単位で溶出試験を実施し、その結果を品質表示票として添付されたものを使用する。

2.1.3 利用技術

1) 使用材料

木質系チップ舗装混合物に使用する材料は、設計書に特記した場合を除き、規格に適合したものや同等以上の品質を有するものとする。

2) 設 計

木質系舗装の路盤工は、「舗装設計施工指針」に準ずるものとする。木質系チップ舗装混合物の配合は、バインダーの種類や舗装工法により違いがあるが、「2.1.2 試験評価方法 1) 品質基準と試験方法」の品質基準を満足する配合によるものとする。

3) 施工方法

木質系チップ舗装の施工は、混合・敷き均し・転圧・養生等について適正な品質管理のもとに行うものとする。

2.2 製紙スラッジ焼却灰（盛土等の土質材料）

2.2.1 適用範囲

製紙スラッジ焼却灰（P S 灰）を盛土材等の土質材料として使用する場合に適用する。

2.2.2 試験評価方法

1) 品質基準と試験方法

盛土材等の土質材料は、その使用目的により適用用途・機能も様々であり、使用に際しては、適用用途ごとの各指針・基準で要求されるものと同等の性能を有することを確認しなければならない。

盛土材等土質材料の品質基準及び試験方法は、以下のような仕様書・指針・基準等を参照するものとする。

- ・国土交通省：「土木工事共通仕様書」
- ・農林水産省：「土地改良事業計画設計基準」
- ・NEXCO（旧日本道路公団）：「設計要領 第二集」
- ・UR 都市機構（旧都市基盤整備公団）：「工事共通仕様書」
- ・（社）日本道路協会：「道路土工：道路土工要綱」
- ・（社）日本道路協会：「道路土工：土質調査指針」
- ・（社）日本道路協会：「道路土工：のり面斜面安定工指針」

2) 環境安全性基準と試験方法

リサイクル材料を盛土材等土質材料に使用する際に最も注意しなければならないことは、地盤に与える

環境安全性である。これまでの例では、P S 灰単体の場合、概ね土壤環境基準を満足するが、フッ素が基準値を超えており、そのままの状態では使用することができない。このため、加水やセメント・生石灰等の固化材を添加処理することにより、有害物質の溶出を抑制することが行われている。

したがって、P S 灰を使用する場合には安全性管理のために、「土壤の汚染に係わる環境基準について」(環境庁告示第 46 号)に基づき、ロット単位でP S 灰の溶出試験を実施するとともに、セメント・生石灰等の固化材処理による改良材(造粒材)についても、工事着手前・工事中及び竣工後に環境安全性の確認を行わなければならない。

環境安全性基準及び試験方法は、廃木材に準じる。

2.2.3 利用技術

P S 灰を盛土材等土質材料に使用する場合の設計基準は、使用用途により異なるため発注者の指定する仕様書・指針・基準等に準じるものとする。

P S 灰を土質材料として検討あるいは利用した主な例を、以下に示す。

①盛土材

製紙工程で発生するペーパーラッジとパーク(樹皮)、助燃剤として石炭を燃焼させたP S 灰に、水とセメントを添加し造粒させた材料の盛土材への適用検討として、施工性に関する支持力をコーン指数(qc)を500KN以上、盛土の安定性に関する強度特性を一軸圧縮強度(Qu)を7日養生後で150KN/m²以上として、所要の配合比を求めている。

②シールド導管充填材

P S 灰、採石粘土及び廃石灰を混合し粒度調整した材料(HB ソイル:ハイブリッドソイル)と水及びセメント添加により流動性を有するブラウト材について、シールドトンネルの空隙充填材(HB グラウト)及び埋め戻し材(HB サンド)として適用した。

HB グラウトとHB サンドの使用に際しては、P S 灰の原料と製品段階で「土壤の汚染に係わる環境基準」、「ダイオキシン類対策特別措置法に定める環境項目」、また工事着手前、及び竣工後に工事区間の上流側と下流側から地下水を採取し、「地下水の水質汚濁に関わる基準」、「ダイオキシン類特別措置法の水質に係わる項目」についての試験を実施し、環境安全性を確認している。

③サンドコンパクションパイル(SCP)の中詰め材

P S 灰と山砂製造時の泥土を原料として、生石灰、

セメント等の固化材・混和材を混合し造粒した材料を2週間エージングした後、SCPの中詰め材に適用した。改良効果については、杭間と砂層部のN値及び振動による泥濁化で評価している。

2.3 製紙スラッジ焼却灰(路盤材料)

2.3.1 適用範囲

製紙スラッジ焼却灰(P S 灰)を道路舗装の路盤材料に使用する場合に適用する。

2.3.2 試験評価方法

1) 品質基準と試験方法

P S 灰を用いた路盤材料の品質基準は、道路舗装の種類・使用位置及び工法・材料に応じて、「舗装設計施工指針」、「舗装施工便覧」等の該当する品質規定を準用する。また、P S 灰をアスファルト用再生骨材と混合し、所定の品質が得られるように調整した再生路盤材料は、「プラント再生舗装技術指針」に示される品質規定を準用する。

なお、上層路盤として用いる骨材は、すりへり減量が50%以下とする。粒度調整砕石は、所定の粒度が必要である。また、安定処理に用いる骨材は、修正CBR20%以上(アスファルトを除く)、PIが9以下(石灰では6~18)かつ最大粒径が40mm以下であることが望ましい。

品質基準に定められた品質項目の試験方法は、「舗装試験法便覧」に示される方法を準用する。

2) 環境安全性基準と試験方法

P S 灰の環境安全性基準と試験方法は、廃木材に準ずる。

2.3.3 利用技術

1) 設計

P S 灰を用いた路盤の設計は、「舗装の構造に関する技術基準・同解説」、「舗装設計施工指針」等に示される方法と手順に準ずるものとする。設計に際しては、P S 灰を用いた路盤材料の等値換算係数は、現状では施工実績も多くないため、試験施工を行うことにより確認する。また、当面重交通道路への適用は避け、B交通以下への適用により実績を積み重ね、供用性等のデータを収集するなどの配慮が必要である。

なお、P S 灰を用いた路盤材料については、凍上試験結果より凍上抑制材料として不合格なものもみられるため、寒冷地域へ適用する場合には注意が必要である。

2) 施工

PS灰を用いた路盤の施工は、路盤工法に応じて「舗装設計施工指針」、「舗装施工便覧」等に示される方法と手順に準ずる。

3) 記録及び繰り返し利用性

PS灰を路盤材に使用する場合、発注者は使用材料調書（PS灰の品質表示票、PS灰を用いた路盤材の環境安全性等）、平面図・断面図・数量等の設計図書を保存し、当該路盤材料の繰り返し再利用と処分に際して利用できるようにしておく。

2.4 製鋼スラグ

2.4.1 適用範囲

製鋼スラグを土工用資材として、サンドコンパクションパイル用材料として使用する場合に適用する。

2.4.2 試験評価方法

1) 品質基準と試験方法

サンドコンパクション工法は軟弱地盤改良工法の一つであり、振動荷重を用いて地盤内に砂または類似材料を圧入し、地盤内に締め固めた砂杭群を造成することにより、地盤の支持力向上や強度増加を図る工法である。

サンドコンパクション工法の改良効果は、砂質土地盤と粘性土地盤において、次のように評価される。

①砂質土地盤

砂質土地盤の支持力、圧縮沈下、液状化に対する効果は、標準貫入試験N値、間隙比 e 、相対密度 D_r の関係より、締め固めの増加、すなわち間隙比の減少として評価される。

②粘性土地盤

粘性土地盤に対しては、短期的には周辺の粘性土より大きなせん断強度を有する締め固めた砂杭を造成し、砂杭と粘性土から成る複合地盤を形成することによる地盤の支持力増強効果、長期的には砂杭の排水効果により圧密促進と砂杭への応力集中による圧密沈下量の低減として評価される。

上記のサンドコンパクションパイル工法の改良効果を評価する上で必要とされる製鋼スラグの基本物理特性としては、粒度組成、粒子密度、単位体積重量等の基本性状の他、力学的性質として、せん断特性、透水性等がある。これらの品質については、JIS（日本工業規格）、土質試験法（地盤工学会）に準じて行うものとする。

2) 環境安全性基準と試験方法

①安全性基準と試験方法

製鋼スラグの品質は、製鉄所ごとの違いだけでなく、製鉄所内においても精錬工程の以外により差異がみられることから、サンドコンパクションパイル用材料として海域または埋立て地等で利用する場合には、使用するスラグについて、重金属等の溶出量及び含有量が廃木材の「2）環境安全性と試験方法」に示した評価基準値を満足するとともに、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する施行令」による溶出試験を行い、「海洋汚染防止法水底土砂基準」を満足しなければならない。

「環境リスク評価基準値」に関わる試験方法は、廃木材に準じる。また、「海洋汚染防止法水底土砂基準」に係わる試験法は、「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項」に規定する廃棄物に含まれる金属等の検定方法（昭和48環告14）に準じる。

②安全性の管理

製鋼スラグを使用する場合は、ロット単位で溶出試験を行い、その結果を品質表示票として添付するものとする。品質表示票は、廃木材に準じる。

2.4.3 利用技術

1) 設計

製鋼スラグを用いたサンドコンパクションパイル工法の設計は、砂等の天然の粒状材料と同様に扱うことができる。ただし、製鋼スラグを用いたサンドコンパクションパイル工法の実施例は多くないため、既往の実施例または試験施工等の結果も考慮して適切に行わなければならない。

なお、製鋼スラグを粘性土地盤に適用したサンドコンパクションパイルの改良効果については、まだ未解明な点があるとされており、「港湾工事用製鋼スラグ利用手引書」では原則として高置換率の改良に適用することとされている。

2) 施工

製鋼スラグを用いたサンドコンパクションパイル工法の試験施工では、陸上部及び海域部での施工のいずれも天然砂と同等の施工性が得られている。

施工現場で製鋼スラグを貯蔵する場合は、降雨等による溶出水のpHが高くなるため、周辺に影響を及ぼすおそれがある場合には中和処理を行うなどの配慮が必要であるとともに、溶出水の排水には十分注意しなければならない。

3) 記録及び保管

製鋼スラグをサンドコンパクションパイル工法に使用した場合には、発注者は設計図書（平面図、断面図、数量等）及びリサイクル材料の試験成績票を施工図面

とともに保管し、繰り返し再利用と処分の際に利用できるように備えておくものとする。

2.5 ペットボトル (PET フレーク)

2.5.1 適用範囲

ペットボトルをフレーク状に再生処理した PET フレークを、気泡混合土に利用する場合に適用する。

2.5.2 試験評価方法

気泡混合土は、一般の土と比較して軽量であり、流動性がよいことから、山岳地や軟弱地盤での盛土、土木構造物における橋台・擁壁の裏込めや構造物の埋戻し、空洞充填材等広範囲に適用可能である。PET フレークをそれらの構造物の土木資材として適用する場合には、使用目的に応じた各指針・基準等の要求されるものと同等の性能を有することを確認しなければならない。

PET フレークを使用した気泡混合土の品質評価としては、下記のように流動性 (充填性)、施工性 (ポンプ圧送の可能性)、及び施工後の強度を検討している例がある。

- ・流動性及び施工性に関しては、P/C (セメント重量に対する PET フレーク重量) と供試体の空気量 (Va)、湿潤密度 (δt)、フロー値との関係から評価する。
- ・施工後の強度については、P/C を変化させて、一軸圧縮強度及び変形係数との関係から、軽量性及び施工性を損なわない範囲での配合を検討する。

なお、気泡混合土の品質基準については、次の指針・マニュアル等を参照するものとする。

- ・(独) 土木研究所：「混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書—気泡混合軽量土工法利用技術マニュアル—」
- ・NEXCO (旧日本道路公団)：「気泡混合軽量土を用いた軽量盛土工法の設計・施工指針」

2.5.3 利用技術

気泡混合土の設計は、適用用途によって細部では異なる部分があるが、通常は、気泡混合土の強度・密度、あるいは流動性の設定が必要である。それらの設計基準は、発注者の指定する指針・基準等に準じるものとする。

3. LCA, LCC の検討

3.1 概要

他産業再生資材の適用性の検討方法として、LCA (ラ

イフサイクルアセスメント) や LCC (ライフサイクルコスト) による方法が考えられる。しかし、他産業再生資材の場合、これらの分析に必要なデータは特に入手しにくく、入手できる場合でも、開発途上のものがほとんどであり、効率的な生産方法がとられていないことが多いため、コスト的にも環境的にも不利な場合が多いものと予想される。

平成 20 年度は、廃ガラスの盛土材としての利用を例にとり、LCA, LCC の試算を行い、現状を把握するとともに、他産業再生資材でこれらの分析を行うときの共通の事項などの抽出を行うこととした。

3.2 廃ガラス (発泡) の盛土への利用ケースの設定

3.2.1 発泡廃ガラスの概要

発泡廃ガラスは様々な利用方法が提案されているが、ここでは、軽量盛土材として利用する方法について分析を行った。

廃ガラスを原料とした軽量盛土材は、 $0.4 \sim 0.5 \text{g/cm}^3$ ほどの材料で、廃ガラスを加熱・溶融・発泡させ、 $2 \sim 75 \text{mm}$ としたものである。現在、全国 10 工場程度で生産されており、既に製品として流通している。

軽量であることを利用して、軟弱地盤での利用などが提案されている。

3.2.2 設定条件

発泡廃ガラスを軽量盛土材に利用する場合としない場合などを比較検討することとし、基本的な盛土構造は、図-1 のように設定した。

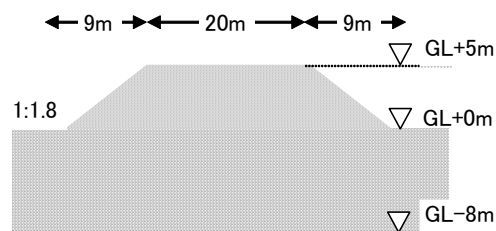
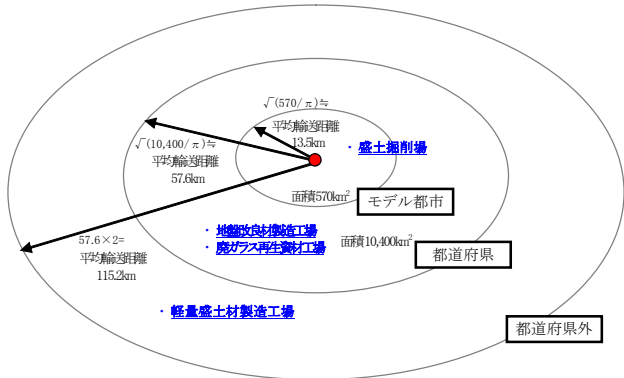


図-1 盛土構造の設定

国内での平均的な値を求めめるため、都道府県、モデル都市、現場などを図-2 のように設定した。都道府県の値は、全都道府県の平均値、モデル都市は政令指定都市の平均値を用いた。各資材の製造工場の配置は、工場数、全国の分布状況を考慮して設定した。これらの配置により各資材の輸送距離を設定した。

評価対象範囲は、図-3 のように設定した。廃ガラスを収集して再生資材工場に運ぶまでは、発泡廃ガラス

を製造するしないかわかわらず行われるものとして、評価対象外とした。また、盛土材が撤去・廃棄されることはほとんどないものとして、これも評価対象外とした。



※疑似半径：対象面積を円と仮定してその半径を平均的な輸送距離と設定した。

例えば、 $r^2 \pi = 570 \text{km}^2$ の場合、 $r = \sqrt{570/\pi} \approx 13.5 \text{km}$

図-2 現場、工場等の配置と輸送距離の設定

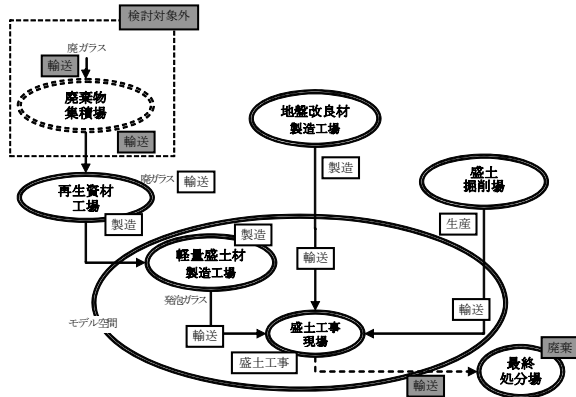


図-3 評価範囲の設定

3.2.3 検討ケース

検討ケースは、表-1 に示す3ケースとした。Case1 は全て普通盛土材を用いた場合、Case3 は全て発泡廃ガラス軽量盛土材を用いた場合、Case2 はその中間とした。

3.3 LCA

設定した条件で、LCA の検討を実施した。まず、それぞれのケースの LCI を行ったところ、表-2 のようになった。

表-2 の結果および環境負荷原単位の調査結果から、環境負荷物質の排出量を算定した。CO₂ 排出量の算定例

を図-4 に示す。従来工法として設定した Case1 は、CO₂ 排出量が非常に多くなった。これに比べ発泡廃ガラスを用いた Case2 と Case3 では半分近くになっている。Case1 は材料の CO₂ 排出分が大半を占めているが、これはセメントの CO₂ 排出原単位が大きいことに起因する。したがって、セメントの使用量が減るあるいは使用しない Case2 と Case3 では排出量が小さくなった。

表-1 検討ケース

	Case1	Case2	Case3
工法	地盤改良工法	地盤改良工法 + 荷重軽減工 法	地盤改良工法 + 荷重軽減工 法
普通盛土材	100%	50%	0%
軽量盛土材	0%	50%	100%
地盤改良率	30%	14%	7%
地盤改良材	セメント	セメント	セメント

表-2 各ケースでの LCI

材 料 量	単 位	Case1	Case2	Case3
		軽量盛土 混合率 0%	軽量盛土 混合率 50%	軽量盛土 混合率 100%
普通盛土材	t	29,178	14,589	0
軽量盛土材	t	0	2,432	4,863
セメント	t	16,186	7,200	3,574
施工	L	9,912	6,977	5,799
輸送(軽油 消費量)	L	1,326,245	1,143,859	1,270,293

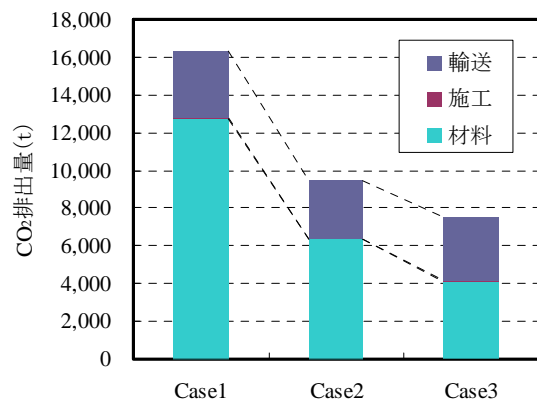


図-4 各ケースでの CO₂ 排出量の算出結果

3.4 LCC

LCA の実施より、発泡廃ガラスの使用により、環境負荷低減が期待できることが分かった。

設定した条件で、LCC の検討を実施した。盛土工事の数量は、表-3 のようになった。材料費、輸送費、施工人件費、諸経費を含む工事費は「国土交通省土木工

表-3 盛土工事の数量

工種	対象ケース	単位	数量
敷均し締固め工	Case1, 2, 3	m ³	16, 210
粉体噴射攪拌工 (杭長 8m)	Case1	本	1, 856
	Case2	本	863
	Case3	本	464
盛土材	Case1, 2, 3	m ³	16, 210

事標準積算基準書」に基づき算出した。工種毎に代価を算出し、それに数量を掛け合わせて工事費とした。

盛土工事では維持管理、解体撤去・処分する事例はほとんどないものとして、LCC の比較は、初期の建設コストだけの比較となった。結果を図-5 に示す。従来工法として設定した Case1 がもっともコストが低く、発泡廃ガラスを用いた Case2 と 3 は非常にコストが高く算定された。これは材料費の違いが大きく影響しており、発泡廃ガラス材が高価であることに起因している。

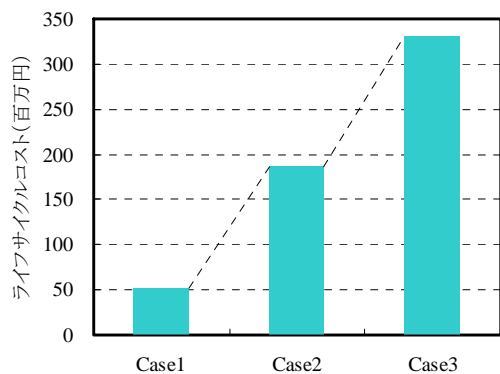


図-5 各ケースでの LCC 算出結果

4. 経済学的見地からのリサイクルに関する考察

「マニュアル第一版」では、新材に適用される品質基準と同等の性能および環境安全性を重要な評価項目としてきた。「マニュアル第二版」においては、環境的な見地からの評価指標である LCA と、経済的な見地からの評価指標である LCC の追加が必要であると考え、リサイクル製品を土木資材に採用した際の事例に基づ

く試算を行った。しかし、前章でも示したように、経済的な面からは、LCC を考慮しても良好な経済性が得られない結果となる場合が多いのが現状である。この主な要因には、リサイクル費用の分担について課題があると考えられるので、これらについて経済学的見地から考察を行うこととした。

4.1 廃棄物の外部費用の製品価格への転嫁

「廃棄物の経済学」¹¹⁾においてリチャード・C・ポーターは、廃棄物のリサイクルについての基本原則をいくつか示している。そのひとつに、「廃棄物の外部費用が廃棄物を排出した製造者の販売する製品に転嫁されていなければ、リサイクルも含めたいかなる廃棄物の処理方法も機能しない。」というものがある。

廃棄物の発生者は、大まかに、地方自治体（区あるいは市町村）と、一般企業に分類される。例えば、「マニュアル第一版」の第二編利用技術マニュアルに示した 5 種類の廃棄物、すなわち、「一般廃棄物焼却灰」、「下水汚泥」、「石炭灰」、「木くず」、「廃ガラス」のうち、はじめの 2 つは前者、残りの 3 つは後者が発生者である。前者は、一般の公共事業を行う際にそれらの廃棄物を原料とするリサイクル材料を利用することが可能である。したがって、それらの廃棄物を原料とするリサイクル材料を地方自治体自らが優先的に使用する施策を実施することは、リサイクル材料の普及を促進する上で、実施が比較的容易な施策となる。しかし、後者の場合には、廃棄物の発生者が自らその廃棄物を原料とするリサイクル材料を使用することは希であるので、製品価格に外部費用を加算していなければ、廃棄処分のみならずリサイクルを行うことも困難になる。

外部費用の転嫁によって、廃棄物の有効利用に成功している一例としては、セメントがある。エコセメントだけでなく、通常のポルトランドセメントの製造過程においても多量の廃棄物が使用されている。セメント製造会社は、これらの廃棄物の受け入れ費用と製品販売の両方で利益を得ている。外産費用の転嫁がなされていれば、このように原料となる廃棄物の受け入れ費用を受け取ることが出来るのは、リサイクル材料製造者にとっての利点である。

4.2 リサイクルの費用対便益

前出のポーターの基本原則には「リサイクルは、廃棄物処分の一つの方法であり、そのほかの廃棄物処理方法としては、埋め立ておよび焼却がある。どの方法を採用するかは、それぞれの方法に対する費用便益分

析を行い、費用対便益が最小になる手法を選択すべきである。」というものもあり、廃棄物リサイクルにおける、費用対便益分析の重要性を指摘している。

リサイクルの費用便益分析を行うときの、主たる便益としては、「(ア)資源の回収」、「(イ)埋め立て量・焼却量の削減」、「(ウ)ごみ収集の減少」などがあり、主な費用としては「(エ)リサイクル可能物の収集」、「(オ)再利用のための加工」などがある。今後、リサイクルのシステムを構築する際には、このような便益を考慮する必要がある。

4.3 リサイクル材の市場変動の抑制と市場競合

リサイクル材料の市場の形成を阻害する要因に、リサイクル材料と競合する新材市場に比べて、リサイクル市場の価格変動が大きいことがあげられる。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、潜在的に脆弱なり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。

また、事例は少ないが、リサイクル材料が通常材料によって形成される市場と全く異なる新規市場に投入される場合には、通常材料の市場価格変動の影響を受けないので、経済学的観点からは有利な条件となる。

「マニュアル第一版」に掲載されたリサイクル材料のける事例としては、廃ガラスを発砲処理した軽量盛土材料および廃タイヤのゴムを主要原料とする多孔質弾性舗装が該当する。

5. まとめ

「マニュアル第二版」に記載する他産業リサイクル材料として廃木材（チップ化）、製紙スラッジ焼却灰、製鋼スラグ（SCP 用材）およびペットボトル（フレーク）を取り上げ、適用範囲、試験評価方法および利用技術を取りまとめた。

次に、廃ガラスの盛土材としての利用を例にとり、LCA、LCC の試算を行い、現状を把握するとともに、他産業再生資材でこれらの分析を行うときの共通の事項などの抽出を行った。その結果をまとめると次のとおりである。

発砲廃ガラスを盛土材に用いる方法について、LCA と LCC を実施した。LCA では発砲廃ガラスを使用する

ことにより、環境負荷が小さい構造物が構築できるものと考えられる。しかし、LCC では発砲廃ガラスを使用することによりコストが高くなり、LCA とは逆の結果となった。したがって、環境面でのメリットは認められるものの、コストの差が大きいことを考えると、通常の工事での採用は難しく、軽量材料が求められる工事での活用が適切と考えられる。

発砲廃ガラスについては、開発から時間が経っており、市場に流通しているため、分析に必要なデータの入手は比較的容易であり、それぞれ分析が実行できた。しかし、他の廃棄物再生資材では開発途上のものが多く、製造方法も価格も決定しにくいものが大半であると考えられる。今回のものも流通しているが、流通量が増えると価格が大幅に下がるものもあり、現時点の解析結果が不変ということはない。このため、廃棄物再生資材のような不確定要素の多いものを LCA、LCC 分析を行う場合は、価格や環境負荷量などを変動させて、将来の低減したときの値もある程度予測しながら、解釈する必要があると考えられる。

経済学的観点から、他産業リサイクル材を建設分野に使用する際に改善すべき課題として、以下の3点が挙げられる。

- ①製品価格への外部費用の転嫁
- ②リサイクルの費用対便益
- ③リサイクル材の市場変動と市場競合

参考文献

- 1) 建設発生土利用技術マニュアル検討委員会、「建設発生土利用技術マニュアル」,(財)土木研究センター、1997
- 2) 小橋秀俊, 三木博史, 山田哲也, 藤井厚企, 小畑敏子、「建設発生土のリサイクル技術とコスト削減」, 土木技術資料, Vol.42 No. 5, pp.40-45、2000
- 3) 三木博史, 古本一司、「流動化処理土による地中埋設管の施工コスト削減効果」, 土木技術資料, Vol.42 No.5, pp.46-51,2000
- 4) 「一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について」(平成10年3月26日、生衛発第508号)
- 5) 「コンクリート副産物の高度処理・利用技術に関する共同研究報告書”コンクリート副産物の土木事業における利用ガイドブック」, 土木研究所共同研究報告書166号、1997
- 6) 廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック編集委員会、「廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック」, 建設産業調査会, p.469, 1993
- 7) 富山, 明嵐, 萩原、「他産業リサイクル材の利用技術に関する研究」, 土木技術資料 Vol46 No.1, pp.62-67,2004

12.1 他産業リサイクル材料の有効利用技術に関する研究

- 8) 経済産業省、「資源循環ハンドブック2003年」, p.41, 2003
- 9) 笈田幹弘、「低温固化技術による無機廃棄物を原料とした
舗装材の開発」, Fine Ceramics Report Vol.21 No.4, pp.88-89,
2003
- 10) 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
- 11) 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

12.1 RECYCLE MATERIALS MADE OF INDUSTRIAL BYPRODUCT FOR CONSTRUCTION PROJECT

The coverage, testing and evaluation methods, utilization techniques of crapped wood, ash of paper manufacture sludge, steel slag and polyethylene terephthalate bottles as the recycle materials described in “Utilization manual of recycle materials from other industry in construction, 2nd edition” were concluded.

LCA and LCC were analyzed for the applicability evaluation of the technology used to the fill material of the foam waste glass. As the result, it was clarified that the cost went up though the environmental impact decreased to the foamed waste glass fill technology. Therefore, the foam waste glass should be used by construction that is more special than usual construction.

There is a possibility that recycle materials reduce the price and environmental impacts. Therefore, when LCC and LCA of the waste materials are analyzed, the analysis that considers the price and the environmental impact fluctuation is necessary.

From the viewpoint of economy, the shift of a external cost to price of the materials, a cost versus benefit of recycling, variation of a market price and competition of market of recycling was considered to be the problems when the recycle materials from other industry was used for construction

Keywords: recycle materials from other industry, scrapped wood, ash of paper manufacture sludge, steel slag and polyethylene terephthalate bottles, LCA, LCC