

12. 循環型社会形成のためのリサイクル建設技術の開発

研究期間：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：材料地盤研究グループ長 脇坂安彦

担当研究グループ：材料地盤研究グループ（グループ付、新材料、リサイクル）、道路技術研究グループ（舗装）

1. 研究の必要性

地球環境を維持保全していくためには、限りある資源を有効に活用し、省資源、省エネルギーに努め、循環型の社会を構築していくことが不可欠である。大量の資源を用いている建設分野にも、その一翼を担うことが求められている。具体的には、まず、生活や産業活動から発生する有機性廃棄物、建設副産物や産業廃棄物などのリサイクル促進、下水汚泥をはじめとするバイオマスの有効活用などの技術開発を進めていく必要がある。次に、建設計分野への利用要請が高まってきている他産業リサイクル材料の利用を促進するために、利用者が安心して使えるリサイクル材料の評価、利用技術の確立が求められている。さらに、国土交通省所管事業から毎年大量に発生しているバイオマスは、これまで廃棄、処分の対象とされてきたが、地球温暖化対策などの点からも、これらを資源と位置付け、安全性を確保した上での積極的な利用が求められている。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、建設分野のリサイクル技術のうち、他産業リサイクル材料の利用評価法、舗装分野のリサイクル技術および公共事業由来バイオマスの資源化技術の開発を研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- ①他産業リサイクル材料利用のための評価手法の提案
- ②舗装分野のリサイクル技術の開発
- ③公共事業由来バイオマスの資源化技術の開発

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- ①他産業リサイクル材料の有効利用技術に関する研究（平成18～21年度）
- ②熔融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究(1)（平成17年度～20年度）
- ③熔融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究(2)（平成17年度～20年度）
- ④劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究(1)（平成18年度～21年度）
- ⑤劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究(2)（平成18年度～21年度）
- ⑥公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究（平成18年度～20年度）

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の平成19年度における成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、既述の達成目標に関して、成果と今後の課題について要約すると次のとおりである。

(1) 他産業リサイクル材料利用のための評価手法の提案

「他産業リサイクル材料の有効利用技術に関する研究」では、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。その結果、以下のことが判明した。

- ①他産業リサイクル座有としての廃木材（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）の適用範囲、試験評価方法および利用技術をとりまとめた。
- ②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。
- ③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。
- ④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。

「溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究(1)」では、これまでの研究をもとに、溶融スラグ等の舗装への適用性の評価方法を取りまとめ、舗装での LCA を行う場合に便利な環境負荷量の算定プログラムを作成した。また、LCA を行う際に必要な資材の環境負荷原単位の見直しや舗装資材の環境影響評価する場合に必要な環境条件についての計測を行った。その結果、以下のことがわかった。

- ①溶融スラグ等の再生資材を舗装へ適用性する場合の評価方法を作成した。特に LCA 算出については、簡便に算出できるプログラムを作成した。プログラムでは、ライフサイクルの各段階毎（建設時、供用時、維持修繕時、解体撤去時）に計算できるようにした。
- ②舗装で基本となる骨材、再生骨材、アスファルト混合物の環境負荷原単位の見直しを行った。前年度まで使用していた原単位と比べより精度が向上した。
- ③舗装資材の安全性を検討する上で必要となる舗装内での水との接触について、実測した。限られたデータではあるが、供用中水に接触する機会は少ないものと考えられた。

「溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究(2)」では、アスファルト舗装用に利用されている溶融スラグをアスファルト合材工場(以下、合材工場)から収集し、環境基準に関する実態を調査したほか、再生資材が混入し耐流動性や疲労抵抗性が低下した場合の維持修繕コストを考慮した LCC について試算した。また、舗装への適用性評価指標となる素材の品質評価項目について整理した。その結果、以下のことが判明した。

- ①アスファルト混合物用の骨材として使用されている溶融スラグの環境安全性を調査した結果、鉛とフッ素の含有が確認されたものの、環境基準を超える物質はなかった。
- ②LCC の観点から、舗装の耐久性を低下させない資材を利用することが必要である。
- ③舗装で利用実績のある他産業再生資材について、一般的な材料を使用した場合に比べ低下する性状を確認した結果、耐流動性や耐水性、疲労抵抗性などの項目が確認できた。

(2) 舗装分野のリサイクル技術の開発

「劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究(1)」では、低針入度再生骨材を用いた再生混合物の新たな配合設計方法について検討を行った。また、排水性舗装発生材を再生利用した試験舗装により耐久性評価を行った。その結果、以下のことが判明した。

- ①圧裂スティフネスにより再生アスファルトの品質評価が可能であり、再生混合物の配合設計にも適用できる可能性があることがわかった。
- ②低針入度アスファルト材料を再生利用する場合、塑性変形抵抗性の品質評価が特に重要であることがわかった。

- ③直轄国道における再生排水性舗装の追跡調査では、施工後2～3年目までの調査結果から判断すると耐久性に劣るなどの問題は生じていない。
- ④排水性舗装発生材と通常の密粒系舗装の混合発生材を再生利用した試験舗装において、供用初期の性能に問題はみられなかった。

「劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究(2)」では、再生利用における品質評価方法の検討として、中間処理施設で製造される劣化アスファルトを含む再生骨材への新しい評価方法の適用性の検討、および繰返し再生利用における再生用添加剤の適用限界の試験評価を行った。その結果、以下のことが判明した。

- ①圧裂試験により、再生骨材中のアスファルトの劣化度を混合物試験で簡易に評価できる可能性があることがわかった。
- ②繰返し再生によりアスファルトの性質が変化し、再生用添加剤の種類の影響も見られるため、繰返し再生を考慮した再生用添加剤の評価の必要性が示された。

(3) 公共事業由来バイオマスの資源化技術の開発

「公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究」では、国土交通省管轄の公共事業から、毎年定期的に発生している大量のバイオマスを資源と位置付け、安全性を確保しつつ積極的な利用推進に繋げることを目的に、バイオマスインベントリーシステム開発のための基礎調査や微量有害物質試験方法の開発を行うとともに、資源化技術や利用技術に関する開発実験を行った。その結果、以下の成果を得た。

- ①2 日以上存置後に回収された除草物の回収時重量の相加平均値は、 $667(\text{g}/\text{m}^2/\text{year})$ であった。また、即日回収された単位剪定量（本数又は表面積）あたりの剪定物の平均重量は、高木 $61.8\text{kg}/\text{本}$ 、中低木（単独植え） $10.2\text{kg}/\text{本}$ 、中低木（寄せ植え） $1.5\text{kg}/\text{m}^2$ であった。
- ②草木系バイオマス 145 試料の乾燥重量あたりの高位発熱量の相加平均値は $17,315\text{kJ}/\text{kg}$ であった。
- ③国土交通省管轄の緑地・樹木管理から発生する除草物および剪定物のエネルギー賦存量は、 $3.1\text{PJ}/\text{year}$ 、 $0.14\text{PJ}/\text{year}$ と推算された。除草物と剪定物の合計では、 $3.3\text{PJ}/\text{year}$ ($=3.3 \times 10^{15}\text{J}/\text{year}$) と推算された。この熱量は、A 重油 $8.4 \times 10^7\text{L}$ に相当した。
- ④公共緑地管理から発生するバイオマスである刈草中に含まれる可能性のある微量有害物質（殺菌剤等農薬）の GC/MS による試験方法を開発した。実試料中からは殺菌剤等農薬は検出されなかった。
- ⑤シマミミズを用いた生物暴露試験により、バイオマスを堆肥化した場合に含まれる可能性のある微量有害物質について土壌生物への影響を考慮した試験方法を開発した。
- ⑥実際のバイオガスを用いたエンジン稼働実験を行い、40 日間の安定稼働を確認するとともにエンジンの特性を把握した。40 日間にわたり処理場内の実施設へ電力を供給したが、人為的要因および気温低下による凍結の影響を除き安定していた。
- ⑦運転安定時における電圧の変動幅が大きいため系統連系することができない。発電量の小さい本システムでは、無理に系統連系するよりも多少の電圧変動を許容する機器に直接電力供給を行うことが望ましい。
- ⑧緑化基盤用ピートモス代替開発品を現地適用した結果、生育基盤材が比較的細かく均質であるため、ムラができにくく、作業性は良好だった。
- ⑨生育基盤材の理化学性は、吹き付け後、時間を経ることによって、生育に適した条件に近づいた。31 日目の調査時には種子からの発芽が確認された。植物がまばらで侵食防止効果を有するまで、凍上や降雪があったが、生育基盤材に支障は見られなかった。

12. DEVELOPMENT OF RECYCLING TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION FOR EFFICIENTLY UTILIZING NATURAL RESOURCES AND REDUCING WASTES

Abstract: It is indispensable for global environment preservation to make full use of limited resources, to save natural resources and energy, and finally to help establish a recycle-oriented society. Construction projects, which consume huge amounts of resources and energy, are also required to play a part. In this study, we are going to develop the recycling technology of organic waste materials produced in construction projects, construction by-products, sewage sludge and industrial waste materials.

Keywords: recycle, melt-solidified slag, copper slag, ferronickel slag, life cycle cost, aged asphalt, repeated recycling, recycled asphalt mixture, biomass, biogas engine