

◆特集：循環型社会における建設リサイクルの取り組み◆

## 他産業リサイクル材の利用技術に関する研究

富山禎仁\* 明嵐政司\*\* 萩原良二\*\*\*

### 1. はじめに

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<sup>1)~4)</sup>によるマニュアルの作成など、研究結果が社会へと還元されている。一方で、建設工事以外から発生する他産業廃棄物の多くは、処分場の逼迫や処分費の高騰などの問題や、産業内での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。土木分野においても、資源循環型社会の形成に積極的に貢献しようとしていることから、そのための利用技術マニュアルの早急な策定を求められている。

本研究の目的は、この利用技術マニュアルの策定である。このマニュアルでは、他産業リサイクル材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手法を提案し、利用技術（設計・施工の考え方等）を記載する予定である。これまでに、国、公団、都道府県等へのアンケート調査を実施し、他産業リサイクル資材の利用実績を取りまとめた。また、リサイクル材料・用途についての研究開発状況、マニュアル化、JIS化等に関する最新の情報についても収集し、土木資材としての適用性を評価した。本報ではその調査・検討結果について報告する。本研究の大まかな流れを図-1に示す。

### 2. 調査および検討内容

#### 2.1 公共事業への適用性が高い他産業リサイクル材の抽出

文献検索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、公共事業への適用性が高いと考えられる他産業リサイクル材をリストアップした。本研究では原則とし

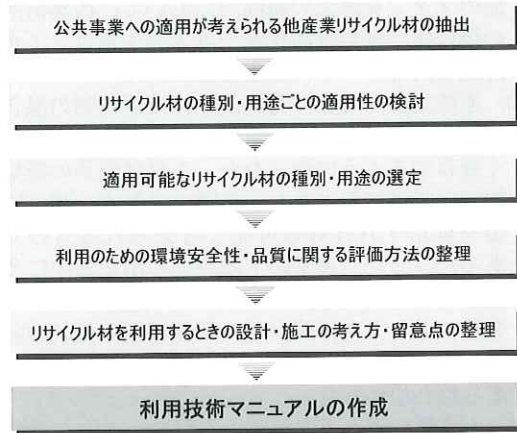


図-1 研究フロー

て、「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。

#### 2.2 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、道路公団の土木工事に、他産業リサイクル材が過去（平成11年度～平成14年度）の実績としてどのように活用されているかの現状を把握するために、アンケート調査を行った。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。

#### 2.3 他産業リサイクル材の建設資材としての適用性評価

アンケート調査結果に基づき、各リサイクル材およびその用途ごとに、建設資材としての適用性を評価した。表-1に示す各項目に対し、その評価基準を設定し、リサイクル材・用途ごとに点数化して、全評価項目の合計点数を求めた。

他産業リサイクル材を利用する際には、適用先で規定されている品質規格を満足する、物理化学的特性を有しているという前提のもとにあること

表-1 リサイクル材料の適用性評価項目および評価基準

評価項目	内容	評価基準
環境安全性	有害物質の含有量、溶出量	3. 処理後はほとんどの材料が満足される
		2. 処理後満足されないものも幾分ある
		1. 処理後もかなりの材料が満足しない
物理化学特性	建設材料としての品質	3. 処理後はほとんどの材料が満足される
		2. 処理後満足されないものも幾分ある
		1. 処理後もかなりの材料が満足しない
利用実績	利用事例とその評価	3. 実績がかなりある
		2. 実績が数件ある
		1. 実績が無い
供給性	生産者、生産地、生産量、供給可能地域	3. ほとんどの県で手に入る
		2. 入手できる県に限られる
		1. ほとんど入手できない
繰返し利用性	繰返し利用の可否	3. 同じ種類の構造物に再使用可能
		2. グレードの低い構造物に再利用可能
		1. 再利用不可能
経済性	コスト	3. 新材より安いと同程度
		2. 新材より高価
		1. コスト不定または不明
必要性	建設事業での利用の必要性	3. 建設事業以外の用途が無い
		2. 建設事業としても使用しないとさばききれない
		1. 建設事業以外の用途でほとんどさばけるが、建設事業でも用途を作りたい
CO <sub>2</sub> 排出量	発生原因、量	3. ほとんど発生しない
		2. 電力利用等である程度は発生する
		1. 焼成等のために発生量は大きい

は言うまでもない。その上で、リサイクル材を用いることによって二次公害を引き起こさないという環境安全性を満足させることに、特に留意しなければならない。そこで、全評価項目の合計点数を求める際には、環境安全性、物理化学特性、利用実績という3項目を重視し、以下に示す式により、これらの項目の評価に重みを付けた。この結果をもとに、表-2に示す基準により各リサイクル材・用途を、実施工に利用できるもの、試験施工に利用するもの、調査段階のもの3段階に分類した。

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{環境安全性} \\ \hline \text{物理化学特性} \\ \hline \text{利用実績} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{アンケート利用実績} \\ \hline \text{供給性} \\ \hline \text{繰返し利用性} \\ \hline \text{経済性} \\ \hline \text{必要性} \\ \hline \text{CO}_2\text{発生量} \\ \hline \end{array} \times 0.1 = \text{合計点数}$$

この分類では、リサイクル材・用途の全評価項目の合計点数が高い場合においても、環境安全性に関する評価方法が確立されていない、あるいは環境安全性に対する信頼性が低いと思われるものについては、「試験施工に利用するもの」とした。環境安全性については、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を満たすリサイクル材のみを実施工へ利用可能であるとされた。

表-2 他産業リサイクル材の適用性による分類

分類	基準
実施工に利用できるもの	合計点数が高い。あるいはJIS・TRがある。
試験施工に利用するもの	合計点数が低い。またはアンケートによる利用実績が0件、または安全性に関する評価方法が確立されていない。
調査段階のもの	合計点数が低い。文献・資料等が少なく評価できない。

- ① 経験的・理論的に有害物質が溶出しにくい再生処理を施している。(例、厚生省(当時)より通達されている溶融固化処理<sup>5)</sup>)
- 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が無い木・紙や、安定型最終処分材料であるガラス等)

### 3. 調査および検討結果

#### 3.1 公共事業への適用性が高い他産業リサイクル材の抽出

文献検索や聞き取り調査などの結果、以下の8種類の廃棄物を原材料としたリサイクル材は、公共事業へ既に適用されているか、もしくは今後の適用が検討されており、公共事業への適用性が高いと判断された。

##### ①一般廃棄物焼却灰<sup>6)~8)</sup>

清掃工場等の焼却炉から排出される一般廃棄物の焼却灰を利用するものである。溶融固化処理し、舗装の路盤材料、アスファルト舗装の表基層用骨材、コンクリート用骨材に適用したり、セメント処理して現場打ちコンクリート、コンクリート工場製品へ適用することなどが検討されている。

##### ②下水汚泥<sup>9)</sup>

下水処理場において浄化処理の過程で発生する沈殿物を脱水・焼却して得られた灰を溶融固化処理し、舗装の路盤材料、アスファルト舗装の表基層用骨材、コンクリート用骨材へ適用すること等が検討されている。

##### ③石炭灰<sup>10)~12)</sup>

石炭灰をセメントと混合固化処理し、盛土、人工地盤材料、路盤材として利用したり、石灰を添加して混合固化処理して路盤材に用いる方法などが検討されている。

##### ④廃ガラス<sup>13),14)</sup>

建物解体により発生する窓ガラスくず、ガラス製造工程で発生するくず、不良品、卸・小売業で発生する使用済みのガラスびん等を分別して細かく粉砕し、ガラスカレットとして用いる。舗装の路盤材料やインターロッキングブロック用骨材等への適用が検討されている。また、粉砕焼成処理し、タイル、ブロックへの適用、溶融・発泡処理し盛土材への適用なども検討されている。

##### ⑤廃ゴム(廃タイヤ)<sup>15),16)</sup>

粉砕処理により、アスファルト舗装用骨材(添

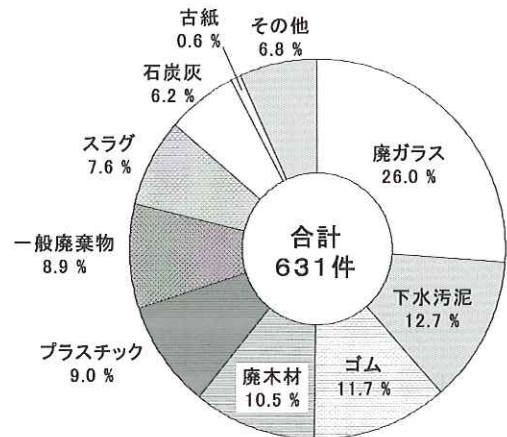
加材)、多孔質弾性舗装、歩道用弾性舗装、歩道用弾性ブロック舗装等への適用が検討されている。

##### ⑥廃プラスチック<sup>17)</sup>

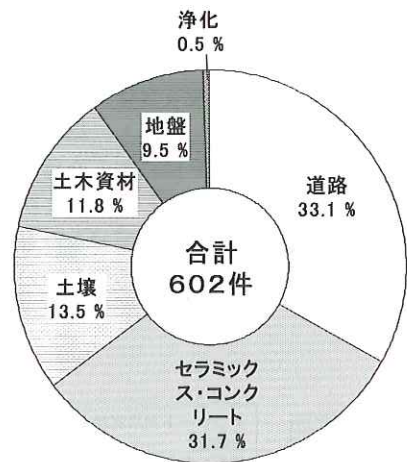
ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン等の熱可塑性樹脂を、樹脂別に破砕し一定の混合比で配合した後、溶融混練して擬木、杭などの工場製品を成形している例がある。

##### ⑦廃木材

廃木材をリサイクルする最も一般的な方法は、廃木材をいったん破砕しチップにして利用する方法である。マルチング材、クッション材、歩行者用舗装材、緑化基盤材、型枠材などへの適用の他、廃木材をチップ化した後に接着剤で再結合してべ



(a) リサイクル材別



(b) 用途別

図-2 リサイクル材の利用実績に関するアンケート集計結果

ンチ、ブロック、ポール等を作製している例がある。

⑧古紙

古紙の再生利用には、粉碎熱圧処理によるコンクリート型枠への適用などが検討されているが、利用実績はまだ少ない。

3.2 アンケート調査結果

アンケート調査により明らかとなった他産業リサイクル材の利用実績を、リサイクル材別、用途別にまとめた結果を図-2に示す。用途別に示したグラフのうち、「道路」は主に路盤材料や舗装用材料等、「セラミックス・コンクリート」は焼成製品やセメント原料、コンクリート用骨材等、「地盤」は盛土材や埋め戻し材等、「土壌」はマル

チング材や緑化基盤材等、「土木資材」は擬木や杭等の工場製品等、「浄化」は水質浄化材を示している。

リサイクル材別に見ると、廃ガラスの利用実績が非常に多くなっている。これは、特定の県の担当者が県自身で調査可能なもののほか、コンクリート二次製品メーカーへ調査を依頼し、メーカーが工事別に多くの回答を寄せたためである。以下、下水汚泥、ゴム、廃木材、プラスチック、一般廃棄物がそれぞれ10%程度を占めている。

一方、用途別の結果を見ると、道路およびセラミックス・コンクリートへの利用が全体の60%以上を占めている。セラミックス・コンクリートには、廃ガラスをコンクリート骨材（工場製品）

表-3 リサイクル材の種別・用途ごとの適用性の検討結果

利用分類	リサイクル材原材料	処理方法	用途	
実施工に利用できるもの	一般廃棄物 一般焼却灰	溶融固化処理	舗装の路盤材料、アスファルト舗装の表基層用骨材、コンクリート用骨材等	
		焼成処理（セメント化処理）	現場打ちコンクリート、コンクリート工場製品	
	下水汚泥	溶融固化処理	舗装の路盤材料、アスファルト舗装の表基層用骨材、コンクリート用骨材等	
	廃ガラス	粉碎処理	舗装の路盤材料、インターロッキング用骨材	
		粉碎焼成処理	タイル・ブロック	
		溶融・発泡	盛土材	
	廃プラスチック	粉碎処理、再生処理	工場製品（擬木、杭等）	
	廃木材	破碎処理	マルチング材・クッション材、歩行者用舗装生チップを利用した緑化基盤材、チップを堆肥化して利用した緑化基盤材	
		木粉+プラスチック	型枠材、工場製品	
	廃ゴム（廃タイヤ）	粉碎再生処理	凍結抑制舗装	
アスファルト舗装用骨材（添加材）への適用		多孔質弾性舗装、歩道用弾性舗装、歩道用弾性ブロック舗装、工場製品		
試験施工に利用できるもの	一般廃棄物 一般焼却灰	溶融固化処理	埋め戻し材	
		焼結・焼成固化処理	舗装の路盤材料	
	石炭灰	下水汚泥	焼結・焼成固化処理	工場製品
		石炭灰	セメント混合固化	盛土、人工地盤材料、路盤材
			石灰混合固化	路盤材
			焼結・焼成固化処理	人工軽量骨材
			粉碎処理	アスファルト舗装用ファイラー
			水熱固化	アスファルト舗装
	選別利用	コンクリート混和材、路盤材、路床材、盛土材、中詰め材、裏込材、土質改良材		
	廃ガラス	粉碎処理	アスファルト舗装の表層用骨材、樹脂系舗装の表層用骨材	
溶融・発泡		緑化保水材、湧水処理材、地盤改良材、軽量骨材		
廃プラスチック	粉碎処理、再生処理	アスファルト舗装用改良材、アスファルト舗装用骨材		
古紙	粉碎熱圧処理	型枠材		
廃木材	炭化	土壌改良材、護岸用土留め材、河川浄化材		

として使用している事例が多数含まれている。

### 3.3 適用性の検討結果

各種リサイクル材の技術開発状況や使用実態等の現状を調査し、表-2に示す基準をもとに、実施工あるいは試験施工への適用性を評価し整理した結果を表-3に示す。この表では、各リサイクル材・処理方法に対し、現在、各機関で検討されている具体的な用途についても示した。

ここで注意しなければならないのは、同一のリサイクル材原材料を用いる場合においても、その処理方法によって、製品の物理化学特性や環境安全性に大きく差異が生じることがあるということである。例えば、一般廃棄物を熔融固化処理して使用する際、徐冷方法により生成された結晶質スラグは安全性が高く、また強度面でも優れているため、コンクリート用骨材やアスファルト舗装用骨材等の実施工へ利用可能である。一方、水冷方法により生成された水砕スラグは、重金属等が流出あるいは溶出する可能性が指摘されている。最新の研究によれば、適切な加工処理による品質向上が報告されているが<sup>18)</sup>、リサイクル材の環境安全性や品質に関するデータが十分でない現段階では、地下水と接する確率の高い埋め戻し材などへの水砕スラグの利用については検討を要する。今後、こうしたリサイクル材について、適用先を熟慮するとともに、環境安全性に十分留意して試験施工を行い、データ計測等により技術的な蓄積を図り、適用性についての総合的な判断をする必要がある。

現在調査段階のものも含め、今後検討が必要なリサイクル材を表-4に示した。これらのリサイクル材は既に公共工事への使用実績があることがアンケート調査の結果から明らかとなっている。しかし、現時点ではこれらに関する技術情報は乏しく、適用性に関する判断が困難な状況である。利用指針が未整備である現段階では、適用先として、環境安全性に十分留意した上で、より重要度の低い構造物等を選定することに留意すべきである。

## 4. 他産業リサイクル材の利用に対する考え方

リサイクル材は原料に廃棄物を用いることから、新材に比較して高価、あるいは低品質である場合が多い。こうした条件下でリサイクル材の利用を進めることを品質の面から考えると、適用先の調

整という方法が有力であると考えられる。たとえば一般焼却灰と下水汚泥をセメント化した速硬型セメントは、塩分含有量が多く新材と同等の品質ではない。しかし、無筋コンクリートに限定して用いることにより構造上使用可能になるものと思われる。また、路盤材としての品質を確保できないリサイクル材は、盛土材に用いるなどの方法が考えられる。

経済性との関連では、リサイクル材が新材に比べて高付加価値を有している場合がある点に留意する。たとえば、木くず等を粉砕・熱圧処理した板を型枠として用いると、自然木材のものより耐久性が良くなり繰り返し使用回数が増えることな

表-4 今後検討が必要な他産業リサイクル材

リサイクル材	用途
廃ゴム・タイヤ	造園材等
瓦・陶磁器くず	舗装用ブロック・タイル
貝殻	凍結抑制材料、アスファルト舗装のファイラー、水質浄化材、暗渠被覆物、地盤改良材等
焼却灰熔融スラグ	植栽基盤、配管保温筒、ロックウール製品
下水汚泥	土壌改良材、アスファルト舗装のファイラー
下水汚泥焼却灰	アスファルト合材、セメント原料、埋め戻し材
下水処理水(再生水)	せせらぎ用水、冷暖房用水 機械用水等
浄水汚泥	法面緑化工
石炭灰	法面緑化
クリンカーアッシュ	保水材、補強土壁(衝撃吸収層)、基盤材
石炭灰・屑ガラス	緑化基材・浄化基材
廃ガラス(粉砕処理)	コンクリート二次製品
再生ウール(回収衣料品)	防草シート
廃タイヤ	砂防ダムの間詰護岸の緩衝材、法面保護材
古紙	高含水掘削土改良材
鉄鋼スラグ	舗装材、覆砂材、基礎材、S.C.P.材、地盤改良材、コンクリート二次製品、混和材
銅水砕スラグ	中詰材、細骨材
キューポラススラグ・鑄物砂	コンクリート二次製品、盛土材
フェロニッケルスラグ	中詰材、路床材
脱硫酸石膏	土質改良材
焼成クロム鉱さい	路盤材
動物汚物	普通肥料

どが報告されている。付加価値の内容によっては、リサイクル材の価格が新材より高価であっても利用できると考えられる。

## 5. まとめ

国、公団、都道府県等へのアンケート調査結果などをもとに、技術の熟成度や環境安全性、利用実績等を考慮して、各リサイクル材・用途ごとの適用性を評価した。今後は、試験施工事例などの必要な補足データの収集・分析を行い、「他産業リサイクル材利用技術マニュアル」をとりまとめる予定である。

## 参考文献

- 1) 三木博史：建設発生土の有効利用の現状と課題，地質と調査，pp.2～5，平成12年
- 2) 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，平成9年10月
- 3) 小橋秀俊、三木博史、山田哲也、藤井、小畑：建設発生土のリサイクル技術とコスト縮減，土木技術資料，第42巻，第5号，pp.40～45，平成12年5月
- 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，生衛発第508号，平成10年3月26日
- 5) 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縮減効果，土木技術資料，Vol.42，No.5，pp.46～51，平成12年5月
- 6) (財)廃棄物研究財団：スラグの有効利用マニュアル（一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針解説），平成11年
- 7) 百瀬英雄、玉 信一、中村裕子、明石哲夫、平岡英信、藪田和哉：灰溶融スラグの道路路盤材適正評価，第9回廃棄物学会研究発表会論文集，pp.433～435，平成10年10月
- 8) 独立行政法人土木研究所、東京都土木技術研究所、千葉県、埼玉県、麻生セメント(株)、住友大阪セメント(株)、太平洋セメント(株)、日立セメント(株)：都市ごみ焼却灰を用いた鉄筋コンクリート材料の開発に関する共同研究報告書（マニュアル編），平成14年3月
- 9) 下水汚泥資源利用協議会：下水汚泥の建設資材利用マニュアル（案），平成13年
- 10) (財)石炭利用総合センター：平成11年度石炭灰全国実態調査報告書，平成13年3月
- 11) 日本フライアッシュ協会：石炭灰とその利用について（主に道路材料として），昭和62年4月
- 12) 石原 勲、泉 秀俊、甘楽和夫、長岡茂徳：石炭灰を原料とした路盤材の実用化，道路建設，Vol.584，PP.43～48，平成8年9月
- 13) 木村浩平、網野秀生、針谷孝伸：ガラスカレットの路盤材および埋戻し材への適用，第23回日本道路会議論文集，p.152，平成11年10月
- 14) 渡辺孝平、上川泰治、矢野 淳、友野 裕：廃ガラスを原料とした発泡ガラスの特性，第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集，pp.439～441，平成11年
- 15) 吉居英夫、香川保徳、光谷修平：ゴム粒子混入型低騒音舗装の多機能性とその評価，第22回日本道路会議論文集，p.476，平成9年12月
- 16) 大西博文、明嵐政司、南里吉輝：新たなる低騒音舗装の開発（多孔質弾性舗装の開発経過と今後），月刊建設，Vol.41，No.2，pp.20～22，平成9年2月
- 17) 「プラスチックリサイクルの基礎知識2001年」（社）プラスチック処理促進協会
- 18) 開 進一、三宅淳一、井口敬次：廃棄物発電事業における溶融スラグの再資源化調査の報告，第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集I，pp.549～551，平成13年10月

富山禎仁\*



独立行政法人土木研究所  
材料地盤研究グループ新  
材料チーム研究員，工博  
Dr. Tomonori TOMIYAMA

明嵐政司\*\*



独立行政法人土木研究所  
材料地盤研究グループ新  
材料チーム首席研究員，  
工博  
Dr. Seishi MEIARASHI

萩原良二\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
材料地盤研究グループ長  
Ryoji HAGIWARA