

## 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）

研究担当者：西崎 到（新材料チーム上席）、新田弘之（新材料）、明嵐政司（グループ付き）

### 【要旨】

循環型社会が求められていることから、建設分野から排出される廃棄物の再生利用は非常に活発に行われている。一方、他の産業から排出される廃棄物の中には土木分野で利用できるものもあり、このようなものもできるだけ活用していくことで、循環型社会により貢献できる。このような中、土木研究所ではこれまでに他産業廃棄物を土木分野で活用する場合の参考となる「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」（2006，第一版）を作成し、リサイクルの促進に努めてきた。リサイクル技術の開発は目覚ましいものがあり、さらにリサイクルを推進するためには、最新の情報によるマニュアルを示し、より適切な利用を促す必要がある。このため、本研究では、最新の情報を基に同マニュアルを改訂した「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」の作成を目的として検討を行った。

「マニュアル第一版」の改訂にあたっては、現在記載されているリサイクル材料とその利用技術について最新の情報を取り入れるとともに、未掲載のリサイクル材料とその利用技術については技術内容、開発状況などを検討した上で、掲載が妥当と判断したものについて追加掲載のための作業を行った。また、一部のリサイクル材料については利用技術の開発を実施した。さらに、リサイクル材料の利用の妥当性を判断するための新しい評価方法の検討を行い、LCA、LCC の評価を実施した。これらの検討結果を踏まえ、マニュアル改訂に反映させる作業を行い、「マニュアル第二版（素案）」を作成した。

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<sup>1~4)</sup>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<sup>5~9)</sup>。

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」<sup>10)</sup>（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）を改訂して、「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。このため、本研究では、大きく分けて次の4つの研究を行った。

- ①「マニュアル第一版」では扱われていないリサイクル材料と利用技術の追加の検討
- ②「マニュアル第一版」に掲載されているリサイクル材料と利用技術の更新
- ③新たなリサイクル材料利用技術の開発
- ④他産業リサイクル材料の利用の妥当性などの評価手法の開発

これらの検討を踏まえ、

- ⑤「マニュアル第二版」素案の作成
- を行った。以下に、本研究の成果を報告する。

### 2. 「マニュアル第一版」では扱われていないリサイクル材料と利用技術の追加の検討

「マニュアル第一版」では扱われていないリサイクル材料と利用技術の追加を検討するために、これらに係わる資料を収集して、必要に応じてヒアリングを行った上で、追加候補の抽出を行った。その上で、追加候補については、「マニュアル第二版」に掲載する内容

の作成を行った。

## 2.1 新たなリサイクル材料と利用技術の抽出

平成 18 年度から 19 年度にわたって、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料を抽出した。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。また、「マニュアル第一版」の適用範囲外である法令あるいは建設技術審査証明等により品質基準が定められ、実用的に使用されている材料は、原則として調査の対象から除外している。

科学技術振興事業団が提供する科学技術文献速報のオンライン検索を利用して、キーワードの設定を「産業廃棄物・リサイクル・土木材料」として、過去五カ年に遡り、文献情報を収集した。その結果、93件の概要付き文献情報が抽出された。このうち、概要を通読して72文献を入手し、すべての文献を読み込んで、当該マニュアルに関係するものは41文献であることがわかった。

これらの文献の中で、マニュアル第一版では扱われていないリサイクル材料とその利用方法に関わるものは、28文献であった。これらの新しいリサイクル材料と利用方法の組み合わせを表-1に示す。これらのリサイクル材料と用途の組み合わせは、大別すると、次に示す2種類に分けることができる。

- 1)副産物は「マニュアル第一版」に記載されているが、処理方法が異なるもの（表-1の”1”～”5”）
- 2)副産物が「マニュアル第一版」には記載されていないもの（表-1の”6”～”17”）

## 2.2 新たなリサイクル材料と利用技術の抽出

平成 18 年度に文献検索を通じて抽出した新たなリサイクル材料について、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の妥当性について検討した。

表-2 は品質や環境安全性の情報を整理し、課題等を記述したものである。さらに表には現時点での掲載に関する評価を、

- a. 第二版での掲載へ向けての検討を進める：表中の○、
- b. さらに情報を収集して掲載するかどうかの判断を行う：表中の△、
- c. 掲載は時期尚早：表中の×

に区分して、記載した。表のように第二版での掲載へ

向けて検討を進めるものとして、「廃木材(チップ化)」、「製紙スラッジ焼却灰(焼却灰)」、「製鋼スラグ(SCP用材)」、「ペットボトル(フレーク)」を選定した。

表-1 新しいリサイクル材料とその用途

	副産物	処理方法	用途	参考文献
1	廃木材	瀝青加熱	歩道用舗装	11,12
2	廃木材	生分解性樹脂 混入	地盤材料	13,14
3	廃木材	焼却処理	ブロック、路盤 材	15
4	都市ゴミ焼 却灰等	水熱固化処理	舗装用タイル	16,17
5	下水道汚泥 焼却灰等	乾燥	ILB	18,19
6	農業用廃ビ ニール	加熱粉砕	ILB	20-22
7	製紙スラッ ジ焼却灰	石灰添加	地盤材料	23,24
8	製鋼スラグ	—	地盤材料 SCP材	25-28
9	産業廃棄物	熔融固化	ILB、地盤材料	29,30
10	ペットボト ル	破砕	気泡軽量混合土	31
11	FRP	破砕	歩道用舗装	32
12	廃白土		瀝青改質添加剤	33
13	不溶性スラ ッジ	焼結処理	タイル	34
14	廃瓦	破砕	歩道用舗装骨材	35
15	製鉄所の廃 粘土	—	建設用資材の充 填材	36
16	リン酸石膏	—	路盤材	37
17	焼却施設の ボトムアッ シュ	—	路盤材	38

表-2 新たなリサイクル材料の検討結果（その1）

副産物 (加工方法)	用途	品質	環境安全性	コメントと現時点での評価
<b>廃木材</b> <sup>11)12)</sup> (チップ化)	歩道用 舗装	<文献から抽出した項目> ・木質廃材の歩道用舗装材として利用検討。配合割合の決定に「マーシャル安定度試験」、混合物の品質性能として「骨材飛散抵抗性」、「滑り抵抗性」、「弾力性」、「耐流動性」評価。 i) 骨材飛散抵抗性：カンタプロ試験 ii) 滑り抵抗性：BPN測定 iii) 弾力性：SB・GB試験（反発係数） iv) 耐流動性：WT試験 <上記以外で考慮が必要な項目> ・歩道用舗装材の品質評価項目は、「舗装設計施工指針」の歩行者系舗装に準じる ・寒冷地などでは、耐摩耗性、耐凍結融解性による確認が必要。	<文献から抽出した項目> ・木質廃材混合物の溶出試験により有害物の溶出確認を実施。（具体的な試験方法の記述なし） <上記以外で考慮が必要な項目> ・自然環境の中から発生する廃木材については重金属等を含んでいないが、建築解体工事に伴う建築解体材には防腐剤などの有害な化学成分を含んでいるため、環境安全性に関する評価試験（「土壌の汚染に係わる環境基準」等）による確認が必要。	<コメント> ・供用とともに廃木材が腐敗し、土化していくので、供用上問題がないか確認が必要。 <現時点での評価>：○ ・原材料を間伐材などに絞れば、現時点でも利用は可能と考えられる。掲載に向け検討が必要。
<b>廃木材</b> <sup>13)14)</sup> (生分解性プラスチックと廃木材を混練したペレット)	地盤材 料	<文献から抽出した項目> ・木質ペレットについて、圧縮特性及び圧密特性の土質工学的性質について評価。 i) 圧縮特性 ii) 圧密特性 iii) 圧縮性・強度特性 <上記以外で考慮が必要な項目> ・木質ペレットを、路床あるいは盛土材等の地盤材料として利用する場合は、日本道路協会「道路土工指針」等の品質基準の確認が必要。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価については情報なし。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・チップ化廃木材と同様、環境安全性に関する評価試験（「土壌の汚染に係わる環境基準」等）による確認が必要。	<コメント> ・長期的な物理的性質、及び力学的特性の変化についての検討が必要。 ・廃木材の腐敗が地盤に及ぼす影響についての調査が必要。 <現時点での評価>：△ ・腐敗による性状変化が懸念され、長期的な性状変化が確認されなければ使用は困難。
<b>廃木材</b> <sup>15)</sup> (焼却灰)	ブロッ ク 路盤材	<文献から抽出した項目> ・材料品質評価に関する記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> ・歩道用ブロックへの利用あるいは路盤材に適用する場合は、「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」、「舗装設計施工指針」の品質基準の確認が必要。	<文献から抽出した項目> ・CCA処理木材※あるいはその他の化学処理木材について、燃焼試験により排ガスの性状、廃木材焼却灰の飛灰の溶出試験を実施。（※CCA：クロム・銅・砒素化合物系木材防腐剤）	<コメント> ・繰り返し再利用性の評価が必要。 <現時点での評価>：△ ・地域性、発生量などの観点からさらに確認が必要。
<b>都市ごみ焼却灰等</b> <sup>16)17)</sup> (水熱ホットプレス)	舗装用 タイル	<文献から抽出した項目> 舗装用タイルとしての品質評価 ・基本性状：湿潤密度、吸水率、保水量、熱伝導率 ・強度特性：曲げ強度、圧縮強度、モース硬度 ・耐摩耗性：摩耗量（砂落下法）、テーパー摩耗量 ・すべり抵抗性：BPN <上記以外で考慮が必要な項目> ・「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」等の品質基準の確認が必要。	<文献から抽出した項目> ・無機性廃棄物の熱処理した供試体について、「土壌の汚染に係わる環境基準について」（環境庁告示第46号）に基づく溶出試験を行っている。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・全ての素材（廃棄物）について、溶出試験が必要。	<コメント> ・繰り返し再利用性の評価や破損時などの対応の検討が必要。 <現時点での評価>：△ ・対象となる廃棄物を絞って、加工方法の有効性の判断が必要。
<b>下水汚泥焼却灰等</b> <sup>18)19)</sup> (真空プレス)	ILB	<文献から抽出した項目> ・舗装用タイル（ILB）としての品質評価は、インターロッキングブロック協会及びアスファルト舗装要綱に準じて実施。 i) 曲げ強さ（インターロッキングブロック協会法） ii) 圧縮強さ（JIS R 1250に準拠） iii) 吸水率（JIS A 5209に準拠） iv) 耐摩耗性（JIS A 5209に準拠） v) 滑り抵抗性（BPN）（ASTM E-303に準拠） vi) 耐凍害性（サイクル）（JIS A 1435に準拠）	<文献から抽出した項目> ・「無焼成レンガブロック」は下水汚泥焼却灰、フライアッシュ、微砂キラ、キラ砂、キラ粘土、水砕スラグ、鋳物砂等の素材を使用しているため、環境安全性に関する管理として、原材料の受け入れ段階で「環境庁13号基準」、製品完成段階で「環境庁46号基準」を実施。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・原材料によっては、「六価クロム」「ひ素」「ほう素」等が溶出するケースもあるため、環境安全性に関しては、原材料及び製品段階で慎重に管理することが必要。	<コメント> ・繰り返し再利用性の評価が必要と考えられる。 <現時点での評価>：△ ・対象となる廃棄物を絞って、加工方法の有効性の判断が必要。
<b>農業用廃ビニール</b> <sup>21)22)</sup> (減容固化処理)	ILB	<文献から抽出した項目> ・農業用ビニールを中間処理（減容固化処理）したビニール紐をインターロッキングブロックへ適用するため、曲げ強度試験（40×40×160mm）及び一軸圧縮試験（50Φ100mm）により、強度と廃ビニール量（添加量）を検討。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・ブロック材を舗装用として適用する場合は、「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」の品質基準を参照。	<文献から抽出した項目> ・環境評価に関する記述なし。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・雨水等の流出による環境汚染の確認のために、「土壌の汚染に係わる環境基準」等に基づく溶出試験が必要。	<コメント> ・ビニール紐を供試体の下から1cmの位置に設置しており、製品製造時の設置の均一性とそれに伴う品質の均一性についての検討が必要。 <現時点での評価>：× ・研究段階であり、実用性、経済性が不明。現時点での掲載は時期尚早。

表-2 新たなりサイクル材料の検討結果 (その2)

副産物 (加工方法)	用途	品質	環境安全性	コメントと現時点での評価
製紙スラッジ焼却灰 <sup>24)25)</sup> (焼却灰)	地盤材料	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ P S 灰及び採石粘土の単体としての基本性状、及び混合物 (H B ソイル、H B サンド、H B グラウト) の物理的・力学性状について評価。 (H B ソイル、H B サンド)</li> <li>i) 単体の基本性状・・・粒度、単位容積重量、強熱減量、化学組成</li> <li>ii) 混合物特性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 締め固め特性・・・最大乾燥密度、最適含水比</li> <li>・ 透水性・・・透水性試験</li> <li>・ 強度特性・・・C B R、一軸圧縮強度、三軸圧縮試験による地盤材料としての評価</li> <li>・ 乾湿繰り返し抵抗性・・・乾湿繰り返し (細粒化の程度の評価) (H B グラウト)</li> <li>i) 流動性・・・フロー値 (空隙充填性及び施工性)</li> <li>ii) 強度特性・・・一軸圧縮強度及び変形係数</li> </ul> </li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有害物質の溶出に関して、製造時・工事中・竣工後に環境安全性について確認している。</li> <li>i) 製造段階：「土壌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の水質に係わる項目」</li> <li>ii) 工事着手前・着手後及び竣工後：工事区間の上流側及び下流側より地下水を採取し水質を確認している。</li> <li>・ 「地下水の水質汚濁に係わる基準」、「ダイオキシン類対策特別措置法の水質に係わる項目」</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ P S 灰を土木材料等へ大量利用の場合、品質管理の面から灰の種類ごとの成分の変動の確認が必要。</li> <li>・ P S 灰：P S 灰は、かさ比重が 0.25~0.5 程度とかなり小さいため軽量材としての特徴を有し、また粒径は 5~425 μ m の範囲でシルト、細粒分が大半である。このため、軽量骨材、充填材等地盤改良材、のり面吹き付け材等へ利用が有効。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有利な材料特性もあり、掲載に向け検討が必要。品質安定性、発生量、発生地域の観点からさらに整理が必要。</li> </ul>
製鋼スラグ <sup>26)27)29)</sup> (熱溶融処理)	地盤材料 S C P 材	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 製鋼スラグ単体、及び地盤改良用製鋼スラグ (S C P 用*) の混合物特性について評価している。</li> <li>i) 単体としての基本性状：粒度分布、比重、含水比、一軸圧縮強度</li> <li>ii) 混合物特性：密度、C B R 値、三軸圧縮強度、透水係数 (※ S C P：サンドコンパクションバイブル)</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地盤材料として利用する場合は、日本道路協会「道路土工指針」などの品質基準を参照。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地盤材料としての利用する場合の環境関連評価については記述なし</li> <li>・ S C P 材として利用する場合、周辺環境への影響を調査するため、pH 及び有害物質の溶出を調査。</li> <li>i) pH：製鋼スラグを海域で利用する場合、海水成分による緩衝作用又は希釈により、周辺海域の pH 上昇はほとんどなし。</li> <li>ii) 有害物質の溶出： <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」による溶出試験で、「海洋汚染防止法水底土砂基準」をクリア。</li> </ul> </li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 製鋼スラグは、J I S 化されている。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「マニュアル第 1 版」には S C P 用材料としてのスラグの扱いの記述がないため、掲載に向け検討が必要。</li> </ul>
産業廃棄物 <sup>30)31)</sup> (溶融固化)	I L B 地盤材料	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 溶融スラグ単体としての基本性状の評価項目。</li> <li>i) 密度 (比重)、粒度、単位容積重量、液性・塑性限界、透水係数</li> <li>・ 溶融スラグの土工材料としての適用性評価項目。</li> <li>i) 締め固め特性・・・突き固め支援による最大乾燥密度、最適含水比</li> <li>ii) 路床支持力・・・C B R 試験 (設計 C B R)</li> <li>iii) せん断特性・・・三軸圧縮試験による内部摩擦角</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地盤材料 (路床、盛土材) として利用の場合、日本道路協会「道路土工指針」、などの品質基準を参照。</li> <li>・ I L B の場合は、「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」の品質規格を参照。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境関連評価に関する記述なし</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 溶融スラグは 1,200℃ 以上で高温溶融するため、ダイオキシン類や P C B 等は分解するので環境安全性の確認は、「カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン」の 6 項目の溶出基準の検測でよいとしている。(「建設工事における他産業リサイクル材料利用技術指針マニュアル」)</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 溶融スラグが生産されていない地域もあるため、使用に際しては骨材の入集の可能性の調査が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 品質安定性、発生量、発生地域の観点からさらに整理が必要。</li> </ul>
ペットボトル <sup>32)</sup> (フレーク)	気泡軽量混合土	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ P E T フレークを使用した気泡混合土の品質評価としては、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。</li> <li>i) 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 P E T フレーク重量) と供試体の空気量 (V a)、湿潤密度 (δ t)、フロー値との関係から評価。</li> <li>ii) 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、軽量性や施工性を損なわない範囲での配合を検討。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 適用場所として寒冷地域で使用する場合には、凍結融解に対する耐久性の評価 (凍結融解の繰り返しによる相対動弾性係数の評価等) が必要。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境関連評価に関する記述なし</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ P E T ボトルの原料は、ポリエチレンテレフタレートで樹脂の一種であり、高温溶融処理の場合は有害ガスの発生に関する検討が必要であるが、常温でフレーク状に破碎して製造する P E T フレークを使用する場合は環境に対して安全であると考えられる。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気泡混合土工法は、混合する気泡の量やセメント添加量により、使用目的に応じた軽量性、流動性、強度を有する地盤材料を製造可能。</li> <li>・ フレーク状の P E T ボトルは、軽量性に優れた特性を生かし気泡混合土の軽量性を損なわないで補強できる利点あり。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 利用可能量、コスト等の観点からさらに整理必要。</li> </ul>

表-2 新たなりサイクル材料の検討結果（その3）

副産物 (加工方法)	用途	品質	環境安全性	コメントと現時点での評価
FRP <sup>33)</sup> (プレス成形)	歩道用 舗装	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフト感があり、すべりにくい歩道用舗装材であるため、品質評価としては、表面の硬さ、耐久性、すべり抵抗性、透水性、混合物の強度及び耐凍結融解性に関する評価試験を実施。                     <ol style="list-style-type: none"> <li>i) 表面の硬さ：表面硬度</li> <li>ii) 表面の耐久性：表面ゴム層引っ張り試験 (JIS K6251)、掘え切り試験</li> <li>iii) 透水性：透水試験 (JASS 7 M101)</li> <li>iv) すべり抵抗性：BPN測定 (ASTM E303)</li> <li>v) 混合物の強度：曲げ試験 (JASS 7 M101)、圧縮試験 (JIS K6911)</li> <li>vi) 耐凍結融解性：凍結融解試験 (JIS A1435)</li> </ol> </li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境関連評価に関する記述なし。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FRPを加熱混合物に適用した場合、混合物製造時に臭気の発生が認められた事例がある。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FRPは、バスタブ・システムキッチン等の使用済み製品や自動車部品等の異種材料が混合した状態にあり、再リサイクルが難しいと考えられる。</li> <li>・実施工による耐久性、長期供用性の評価が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域性、発生量、利用可能量などの観点からさらに整理が必要。</li> </ul>
廃白土 <sup>34)</sup> (使用済み白土 <sup>※</sup> ) ※廃白土：油脂精製工程における酸性白土による脱色工程で排出される使用済み活性白土	瀝青改質添加剤	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・廃白土を再生添加剤として使用した再生加熱アスファルト混合物について、再生アスファルト性状の回復度、再生混合物の性状評価を実施                     <ol style="list-style-type: none"> <li>i) 再生アスファルトの回復度</li> <li>ii) 再生混合物のたわみ性</li> <li>iii) 再生混合物の耐流動性</li> <li>iv) 再生混合物の耐流動性・ひび割れ性</li> </ol> </li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施工による耐久性及び長期供用性に関する評価が必要。また、再リサイクル性の検討も必要。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境関連評価に関する記述なし</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「廃白土」は産業廃棄物であるが、環境庁告示第13号(昭和48年)による廃白土の溶出試験結果によると、有害物質は検出されない事例があり、環境に対する影響は少ないものと考えられる。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要であるとされる。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域性、発生量、利用可能量などの観点からさらに整理が必要。</li> </ul>
不溶性スラッジ <sup>35)</sup> (焼結 <sup>※</sup> ) ※金属の表面処理(リン酸塩被膜処理)時に発生する不溶性スラッジに大谷石の破砕くずを主に1000～1200℃で焼成	タイル	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・歩道・駐車場・公園等の舗装用ブロックであり、保水性、断熱性、吸音性を有しているとのあるが、材料品質評価に関する詳細の記述なし。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ブロック材を舗装用として適用する場合は、「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」の品質基準を参照。</li> <li>・適用場所によっては、耐摩耗性 (JIS A1451 床摩耗試験) あるいは耐凍結融解性 (凍結融解試験) による評価が必要。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境関連評価に関する記述なし。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原料・素材は、「大谷石」の破砕屑、化成スラッジ及び焼結助剤のガラス、粘土等であるが、1,000～1,200℃以上で加熱焼成されるため、重金属類やダイオキシン等に対する環境安全性は問題ないものと考えられる。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生量が把握できておらず、判断できない。</li> </ul>
廃瓦 <sup>36)</sup> (破砕)	歩道用 舗装	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料品質評価に関する記述なし。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・瓦廃材を使用した歩道・公園・園路用の舗装材であり、「インターロッキングブロック舗装設計施工要領」の品質規格の参照が必要。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境関連評価に関する記述なし。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・境安全性に関する評価試験(「土壌の汚染に係わる環境基準」等)による確認が必要。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：△</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・品質安定性と発生量の観点から検討が必要。</li> </ul>
製鉄所の廃粘土 <sup>39)</sup> (焼成固化)	建設用 資材の 充填材	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パウダー状の固化廃棄物 (SWSW: steel を添加したセラミック体と粘土の混合物) について、化粧レンガあるいはセラミックブロックへ適用するための品質評価試験を実施・見かけ比重、吸水率、線収縮率、曲げ試験</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JISの建築材料「コンクリート製品・タイル・れんが」の品質規格も参照。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パウダー状の固化廃棄物について、溶出試験による有害物含有量試験確認。</li> <li>・セラミック体を含むSWSWの燃焼プロセスで発生するガス放出物の分析 (主に、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>) 結果あり。</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「土壌の汚染に係わる環境基準」(環境庁告示第46号)に基づく溶出試験が必要。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性に関する確認・評価が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：×</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での情報がなく、現時点では判断できない。</li> </ul>
リン酸石膏 <sup>37)</sup> (セメント固化)	路盤材	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・セメント処理されたリン酸石膏混合物の路盤へ適用するための品質評価試験。                     <ol style="list-style-type: none"> <li>i) 最適含水比及び最大乾燥密度の決定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・標準プロクター及び修正プロクター締固め試験</li> </ul> </li> <li>ii) 強度及び膨張量測定・一軸圧縮試験等</li> </ol> </li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・路盤材は、「舗装設計施工便覧」の品質規格を参照。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境評価については記述なし</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「土壌の汚染に係わる環境基準」等に基づく溶出試験の必要があると考えられる。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要であるとされる。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：×</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での情報がなく、現時点では判断できない。</li> </ul>
焼却施設のボトムアッシュ <sup>38)</sup> (焼却灰)	路盤材	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般固化廃棄物のボトムアッシュについて、品質評価試験を実施。                     <ol style="list-style-type: none"> <li>i) 最適含水比、最大乾燥密度：修正プロクターによる締固め試験</li> <li>ii) 有機物含有量：加熱燃焼 (550℃) による重量損失量</li> <li>iii) 変形特性：繰り返し三軸試験によるレジリエントモジュラスΦ150mm、高さ300mm)</li> </ol> </li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・路盤材では、「舗装設計施工指針」の品質規格参照。</li> <li>・有機物含有量は、ボトムアッシュの変形特性に影響しているため、材料試験で確認が必要。</li> </ul>	<p>&lt;文献から抽出した項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境関連評価に関する記述なし</li> </ul> <p>&lt;上記以外で考慮が必要な項目&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「土壌の汚染に係わる環境基準」等による溶出試験により、含有量の確認が必要。</li> </ul>	<p>&lt;コメント&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・長期的な耐久性の確認が必要。</li> </ul> <p>&lt;現時点での評価&gt;：×</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での情報が少なく、判断できない。</li> </ul>

## 2.3 「マニュアル第二版」に追加する新たなリサイクル材料と利用技術の基本的事項

前項までの検討で、「マニュアル第二版」へ追加する候補となった「廃木材（チップ化）」、「製紙スラッジ焼却灰（焼却灰）」、「製鋼スラグ（SCP用材）」、「ペットボトル（フレーク）」について、マニュアルへの記述内容を検討した。

### 2.3.1 廃木材

#### (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) 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。

#### (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) 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。

### 2.3.2 製紙スラッジ焼却灰（盛土等の土質材料）

#### (1) 適用範囲

製紙スラッジ焼却灰（PS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) 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、PS灰単体の場合、概ね土壌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、「土壌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。

### (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スラッジとバーク(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/m<sup>2</sup>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「土壌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化した材料を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。

## 2.3.3 製紙スラッジ焼却灰(路盤材料)

### (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) 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CB R20%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。

### (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

P S 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。

### 2.3.4 製鋼スラグ

#### (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) 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」に係わる試験方法は、「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。

#### (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。

### 2.3.5 ペットボトル（PET フレーク）

#### (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) 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（ $\delta t$ ）、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」

## (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. 「マニュアル第一版」に記載されている利用技術の最新情報による更新

### 3.1 方法

「マニュアル第一版」は、5年以上前の情報に基づき作成されたものである。他産業リサイクル材料の利用技術は、開発途上のものが多く技術の進歩が早いものが多いため、改訂にあたっては新たな利用技術を追加していくだけでなく、既に掲載されている利用技術についても最新の情報に基づき再構成しなければならない。そこで、2000年以降に公表された「マニュアル第一版」に掲載されている技術に関連する文献を検索

し、その中からマニュアルの改訂に有用な情報があると予想されるものを抽出し、抽出された文献の内容を精査することにより、「マニュアル第一版」の改定内容を検討することにした。

### 3.2 文献検索結果

「マニュアル第一版」には、他産業リサイクル材料としては、一般廃棄物焼却灰、下水汚泥、石炭灰、木くず、廃ガラス、廃タイヤ、古紙、瓦・陶磁器、貝殻、廃プラスチックが掲載されている。これらのリサイクル材料と、路盤材や骨材といった利用用途をキーワードとして検索を行ったところ、表-3に示すように文献が全部で957件あった。

この文献のタイトルや抄録の内容から、マニュアルの改訂に必要な情報が得られると予想されるものを抽出した。「マニュアル第一版」は技術レベルに応じて、「第2編 利用技術マニュアル」「第3編 試験施工マニュアル」「第4編 今後の検討を待つ材料」の3つに別れている。調査した文献の技術レベルは様々であるので、それぞれについて分類したところ、表-4、表-5、表-6のような結果になった。表には、抽出した文献の件数と文献 No.を示しており、空欄の箇所は該当する文献が見当たらなかったものである。第2編については16件、第3編については32件、第4編については18件、合計66件の文献が抽出された。

### 3.3 文献に基づく変更内容の検討

収集した文献の内容と「マニュアル第一版」の記述内容を対比、精査し、「マニュアル第二版」の記述案の作成を行った。主な変更点は以下の通りである。

#### 3.3.1 「第2編 利用技術マニュアル」の主な変更点

「マニュアル第一版 第2編」に関しては、基本的情報である廃棄物の発生量等のデータ更新は必要なものの、技術的内容で追加すべき事項はわずかであった。主な変更点は以下の通りである。

(1) 「3.4.1 アスファルト舗装用フィラー」の記述追加

石炭灰をアスファルト舗装用フィラーとして利用する場合、通常フィラーとして用いられる石粉の場合と比べ、アスファルト量の適用範囲が狭くなる傾向があることから、プラントでの品質管理上の留意点として追記する。

表-3 「マニュアル第一版」に掲載されている他産業リサイクル材料に関する文献検索結果（ヒット件数）

項目	KEYWORD		件数	項目	KEYWORD		件数
一般廃棄物 焼却灰	一般廃棄物焼却灰		55	廃ガラス	廃ガラス	路盤	1
	一般廃棄物	溶融	2		廃ガラス	焼成	3
		焼成	1		廃ガラス	タイル	2
		利用	3		廃ガラス	ブロック	2
		コンクリート	4		廃ガラス	溶融	3
	ごみ焼却灰	溶融	9		廃ガラス	発泡	64
		焼成	9		廃ガラス	盛土	13
利用		7	廃ガラス		骨材	12	
	計	90	廃ガラス		舗装	5	
下水汚泥	下水汚泥	溶融	25		廃ガラス	緑化	1
	下水汚泥	焼結	4		廃ガラス	改良	1
	下水汚泥	焼成	4			計	107
	下水汚泥	利用	35		廃タイヤ	廃タイヤ	舗装
	下水汚泥	埋戻し	3	廃タイヤ		利用	3
	下水汚泥	路盤	2	弾性		舗装	6
	下水汚泥	舗装	6	多孔質弾性舗装			20
	下水汚泥	タイル	3	タイヤ		再生	2
	下水汚泥	改良材	8	タイヤ		粉砕	3
	計	90		計		38	
石炭灰	石炭灰	安定処理	9	古紙		古紙	型枠
	石炭灰	盛土	19		古紙	再生	10
	石炭灰	石灰	5		古紙	利用	8
	石炭灰	地盤	33		計	22	
	石炭灰	舗装	17	瓦・陶磁器	廃瓦		35
	石炭灰	路床	4		廃陶磁器		2
	石炭灰	路盤	22		廃陶器		8
	石炭灰	フィルター	6		廃磁器		2
	石炭灰	骨材	233			計	47
	石炭灰	混和材	14	貝殻	貝殻	再生	2
	石炭灰	焼結	2		貝殻	利用	15
	石炭灰	焼成	9			計	17
	石炭灰	中詰め材	3	廃プラスチック	廃プラスチック	舗装	8
	石炭灰	土質改良	5		廃プラスチック	アスファルト	5
	石炭灰	粉砕	9		廃プラスチック	骨材	12
	石炭灰	溶融	17		廃プラスチック	資材	2
	石炭灰	裏込め材	7		廃プラスチック	土木	1
		計	414		廃プラスチック	製品	8
	木くず	木くず	粉砕		4	廃プラスチック	再生
ウッドチップ		マルチング	2		廃プラスチック	利用	10
ウッドチップ		舗装	13		計	49	
木くず		舗装	21	総計			957
木くず		基盤	5				
木くず		緑化	17				
木くず		炭化	7				
木くず		土壌改良	1				
木くず		型枠	7				
木くず		資材	6				
	計	83					

表-4 「第2編 利用技術マニュアル」に関する文献

リサイクル材料	処理形態	再生資材	文献数	文献No	
1. 一般廃棄物焼却灰	1.1 熔融固化処理	1.1.5 埋戻し材			
		その他			
	1.2 焼成処理(セメント化処理)	1.2.1 現場打ちコンクリート骨材 1.2.2 コンクリート工場製品 その他(安定処理)	1	40	
2. 下水汚泥	2.1 熔融固化処理	2.1.5 埋戻し材 その他(タイル・ブロック)	1	41	
		3.1 セメント混合固化	3.1.1 盛土・人工地盤材料 3.1.2 路盤材料 その他	2	42,43 44
3. 石炭灰	3.2 石灰混合固化	3.2.1 路盤材料 その他			
		3.3 焼結・焼成処理	3.3.1 人工骨材 その他	2	45,46
	3.4 粉砕処理	3.4.1 アスファルト舗装用フィラー その他	2	47,48	
		4.1 粉砕処理	4.1.1 マルチング 4.1.2 歩行者用舗装 4.1.3 緑化基盤材 4.1.3-1 生チップ緑化基盤材 その他	1 2 1 1	49 50,51 52 53
4. 木くず	5.1 粉砕処理	5.1.1 舗装の路盤材 その他			
		5.2 粉砕焼成処理	5.2.1 タイル・ブロック その他	1	54
		5.3 熔融・発泡	5.3.1 盛土材 その他	1	55
		6.1 粉砕熱圧処理	6.1.1 コンクリート型枠 その他(環境負荷)	1 1	82 83
		7.1 炭化	7.1.1 土壌改良材 7.1.2 護岸用土留材 その他	2	84,85
7. 木くず	7.2 木粉+プラスチック	7.2.1 型枠材 7.2.2 土木用資材 その他	2	86,87	
		3.3.1 アスファルト舗装用フィラー その他			
		3.2 水熱固化	3.2.1 アスファルト舗装 その他		
		3.3 選別利用	3.3.1 コンクリート用混和材 3.3.2 路盤材料 3.3.3 路床材料	1 1 1	65 66 67

(小計 16)

表-5 「第3編 試験施工マニュアル」に関する文献

リサイクル材料	処理形態	再生資材	文献数	文献No
1. 一般廃棄物焼却灰	1.1 焼結・焼成固化処理	1.1.1 舗装の路盤材料 その他(土木資材、環境安全性)	2 2	56,57 58,59
		2.1 焼結・焼成固化処理	2.1.1 タイル等の焼成製品 その他	2
2. 下水汚泥	2.2 焼却灰石灰混合固化	2.2.1 土質改良材 2.2.2 路盤材料 その他	2 1	62,63 64
		3.1 粉砕処理	3.1.1 アスファルト舗装用フィラー その他	
	3.2 水熱固化	3.2.1 アスファルト舗装 その他		
3. 石炭灰	3.3 選別利用	3.3.1 コンクリート用混和材 3.3.2 路盤材料 3.3.3 路床材料	1 1 1	65 66 67

リサイクル材料	処理形態	再生資材	文献数	文献No		
4. 廃ガラス	4.1 粉砕処理	3.3.4 盛土材 3.3.5 中詰め材 3.3.6 裏詰め材 3.3.7 土質改良材 その他	1	68 69 70		
		4.1.1 アスファルト舗装の表層用骨材 4.1.2 樹脂系舗装の表層用骨材 4.1.3 インターロッキングブロック用 その他	1 1	71 72		
		4.2 熔融・発泡	4.2.1 緑化保水材 4.2.2 湧水処理材 4.2.3 地盤改良材 4.2.4 軽量骨材 その他	1 1 1 1	73 74 75 76	
		5.1 粉砕・再生処理	5.1.1 アスファルト舗装用骨材 5.1.1-1 凍結抑制舗装 5.1.1-2 多孔質弾性舗装 5.1.1-3 歩道用弾性舗装 5.1.1-4 歩道用弾性ブロック舗装 その他	3 2	77,78,79 80,81	
			6.1 粉砕熱圧処理	6.1.1 コンクリート型枠 その他(環境負荷)	1 1	82 83
	7.1 炭化		7.1.1 土壌改良材 7.1.2 護岸用土留材 その他	2	84,85	
			7.2 木粉+プラスチック	7.2.1 型枠材 7.2.2 土木用資材 その他	2	86,87

(小計 32)

表-6 「第4編 今後の検討を待つ材料」に関する文献

リサイクル材料	処理形態	再生資材	文献数	文献No
1. 石炭灰	1.1 熔融固化処理	(1) アスファルト舗装用骨材 (2) コンクリート用骨材	1 1	88 89
		2. 瓦・陶磁器くず	(1) 歩行者系舗装 (2) コンクリート製品 (3) 透水性舗装 (4) コンクリート基本性状 (5) 植栽基盤	1 1 1 2 1
3. 貝殻		(1) アスファルト舗装材 (2) 路床・路盤 その他(環境安全性、用途拡大)	1 1 2	96 97 98,99

リサイクル材料	処理形態	再生資材	文献数	文献No
4. 廃プラスチック	4.1 粉砕・再生処理	4.1.1 アスファルト舗装用改質材	3	100,101 102
		4.1.2 アスファルト舗装用骨材		
		4.1.3 プラスチック工場製品（擬木、杭等）	1	103
		その他（軽量コンクリート、生産量）	2	104,105
5. その他				

(小計18)

### 3.3.2 「第3編 試験施工マニュアル」の主な変更点

「マニュアル第一版 第3編」に関しては、基本的情報である廃棄物の発生量等のデータ更新のほか、技術的内容として、新たな用途、設計法、留意点などの情報が得られたので、これらの情報を参考に記述の変更を行った。主な変更点は以下の通りである。

#### (1) 「3.3.7 土質改良材」の記述追加

石炭灰の軟弱盛土地盤改良材として利用について、設計・施工に関する情報が得られたので、記述を追加する。

#### (2) 「4.2.4 軽量骨材」の記述追加

廃ガラスを発泡させた軽量骨材の利用方法として、ポーラスコンクリートへの適用事例が報告され、雨水浸透升、雨水浸透トレンチなどのコンクリート製品として性能の確認が行われているため、情報を追加する。

#### (3) 「5.1.1-2 多孔質弾性舗装」の記述追加

廃タイヤを利用した多孔質弾性舗装については、工場成型したパネルを現場の路面に貼り付ける方法が掲載されているが、現場で材料を混合し、敷き均して施工する現場施工型の情報が得られたので、記述を追加するとともに、施工後の供用性について記述がなかったが、供用5ヶ月までの情報が得られたので、追加する。さらに、設計に関する情報も得られたので、追加する。

#### (4) 「7.2.1 型枠材」の記述追加

木くずと廃プラスチックから製造したコンクリート型枠について、繰り返し利用した場合の耐久性の情報が得られたので、追加する。

### 3.3.3 「第4編 今後の検討を待つ材料」の主な変更点

「マニュアル第一版 第4編」に関しては、発生量などの基本的情報がこれまでほとんど掲載されていなかったが、一部に情報が得られたものがあったのでこれを追加した。また、「マニュアル第一版」においては、

技術的情報が少ないものもあったが、これも得られたものがあつたので、追加した。この他、新たな適用方法の検討例などの情報もあつたので、これも追加した。

#### (1) 「1. 石炭灰」の追加内容

「1.1 溶融固化」に石炭灰溶融スラグのコンクリート用骨材への利用についての記述を加える。

#### (2) 「2. 廃瓦・陶磁器くず」の追加内容

「マニュアル第一版」では、廃瓦・陶磁器くずについては、適用例の項目だけを紹介することとどめているが、技術的な情報が多少得られた廃瓦を利用とした土系舗装（歩行者系舗装）、廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品について品質などの情報を加える。

#### (3) 「3. 貝殻」の追加内容

「マニュアル第一版」では、貝殻についても、適用例の項目だけを紹介することとどめており、今回も品質などの有用な情報は得られなかったため、品質など情報は記載しない。しかし、新たな適用事例が報告されているので、それらを項目として加える。

#### (4) 「4. 廃プラスチック」

廃プラスチックについては、新たな利用法の検討事例はあるものの、いずれもまだ多くの課題を残すものであったため、「マニュアル第一版」の項目のままにとどめておく。

## 4. 新たなリサイクル材料利用技術の開発

新たなリサイクル材料利用技術の開発としては、現時点での利用量が少ないものの、さらなる技術開発により利用量が増える可能性があるものとして、貝殻について検討を行った。貝殻は、「マニュアル第一版」では、第4章「今後の検討を待つ材料」に記述されているが、現状のリサイクル技術では利用量が少ないものの一つである。

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。既往の文献(参考文献106-107)では、現場打ちコンクリートを対象とする細骨材の一部として使用する検討も行われている。経済的な効用を考慮すると高い置換率が必要と考えられる。そこで、高い置換率のリサイクル技術を開発することを目指した。

貝殻には、帆立・牡蠣・浅蛸・蛤・阿古屋貝（真珠）など様々であるが、帆立・牡蠣貝殻の発生量は、約35万トン、約20万トンであり、多くの部分を占めているものと考えられる。

本研究では、帆立・牡蠣貝殻をコンクリート用細骨材に用いる方法の検討を行った。

#### 4.1 貝殻砂の物理試験結果

帆立貝殻砂の物理試験結果は、表-7 に示す。貝殻砂の品質は、粒度分布を除く試験項目において、【2002年制定】土木学会 コンクリート標準示方書 [施工編] 6章コンクリートの配合設計 6.2 コンクリート材料 6.2.4 細骨材及び JIS A 5005-1993 「コンクリート用砕石及び砕砂」3.品質 表3 物理的性質の規定値を満足している。また、アルカリ骨材反応性試験（化学法）結果においても「無害」と判定された。

モルタル供試体を作成する際には、上記示方書の規定を満足するように、すべての貝殻混入率に対して、粒度調整を行った。

表-7 帆立貝殻砂の物性

試料名	貝殻	天然砂	標準値*
絶乾密度	2.59	2.54	2.5以上
表乾密度	2.63	2.59	—
吸水率	1.41	2.04	3.5以下
塩化物	0.009	—	0.04以下
有機不純物	薄い	—	標準色より薄いこと
安定性損失量	0.6	—	10以下
単位容積質量	1.42	1.73	—
実績率	54.8	68.2	—
アルカリシリカ反応性試験	無害	—	無害
粗粒率	2.85	2.65	—

\*2002年制定コンクリート標準示方書（施工編）

#### 4.2 ホタテ貝殻を細骨材としたコンクリート試験

##### 4.2.1 ホタテ貝殻細骨材の物理試験

ホタテ貝殻細骨材のコンクリート用骨材としての物性を確認するためにふるい分け（JIS A 1102）、密度・吸水率（JIS A 1109）、微粒分量（JIS A 1103）、単位容積質量（JIS A 1104）および塩化物量（JIS A 5308）の骨材試験を行った。

##### 4.2.2 ホタテ貝殻置換率 100%のコンクリート試験

ホタテ貝殻置換率 100%の細骨材を用いたコンクリート試験を行った。試験ではコンクリートを蒸気養生し、材齢 14 日における圧縮強度試験および凍結融解試験を行った。

##### (1) コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は表-8 に示す通りである。

表-8 コンクリートの配合条件

水セメント比 (%)	粗骨材かさ容積 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	目標スランブ (cm)	目標空気量 (%)	コンクリート温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
50	0.63	8±2.5	4.5±1.5	20

##### (2) 蒸気養生条件

蒸気養生条件は以下の通りである。

練上がり温度：20 $^{\circ}\text{C}$  60%(RH)

前置き時間：3hr

昇温速度：20 $^{\circ}\text{C}/$ 時

最高温度：65 $^{\circ}\text{C}$  98%(RH)

最高温度持続時間：3hr

降温条件：自然放冷

##### (3) 使用材料

###### 1) セメント

セメントはT社製「普通ポルトランドセメント」（密度=3.16g/cm<sup>3</sup>）を使用した。

###### 2) 細骨材

細骨材としてホタテ貝殻細骨材 1（表乾密度=2.64g/cm<sup>3</sup>）とホタテ貝殻細骨材の物理試験で対象としたホタテ貝殻細骨材 2（表乾密度=2.65g/cm<sup>3</sup>）を容積比 6:4 で混合して使用した。

###### 3) 粗骨材

青梅産硬質砂岩砕石 20~5mm（表乾密度=2.66g/cm<sup>3</sup>）を使用した。

###### 4) 混和剤

混和剤として高性能減水剤標準形および空気量調整剤を使用した。

###### 5) 練混ぜ水

練混ぜ水には上水道水を使用した。

##### (4) 骨材準備

細骨材は、表面水率が 1 %以下となるように調整した。粗骨材は、表面乾燥飽水状態となるよう調整した。

##### (5) 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、容量 55L の強制練りミキサパン形を用いた。コンクリートの練混ぜ量は 30L とした。

##### (6) フレッシュコンクリート試験

フレッシュコンクリート試験として、スランブ試験（JIS A 1101）、空気量試験（JIS A 1128）、コンクリート温度試験（JIS A 1156）を行った。

##### (7) 硬化コンクリート試験

###### 1) 圧縮強度試験（蒸気養生）

JIS A 1132:2006 「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」により  $\phi$ 10×20cm の円柱供試体（1材齢

につき3本1組)を作製し、蒸気養生を行った後、材齢14日に圧縮強度試験を行った。蒸気養生後は20°C60%(RH)の条件下で気中養生とした。圧縮強度試験はJIS A 1108によった。

#### 2)凍結融解試験(蒸気養生)

JIS A 1132により10×10×40cmの角柱供試体を3本作製し、蒸気養生を行った後、材齢14日に凍結融解試験を開始した。蒸気養生後は20°C60%(RH)の条件下で気中養生とした。試験はJIS A 1148によった。

### 4.2.3 ホタテ貝殻置換率0%、50%、75%、100%のコンクリート試験

細骨材中のホタテ貝殻置換率を0%、50%、75%、および100%と変化させ作製したコンクリートを蒸気養生した場合の強度発現性に関する試験および小型の試験体の外観目視観察を実施した。

#### (1)コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、ホタテ貝殻置換率100%の場合(表-8)と同じである。

#### (2)蒸気養生条件

蒸気養生条件は以下の通りである。

練上がり温度:20°C 60%(RH)

前置き時間:3hr

最高温度:60°C 98%(RH)

最高温度持続時間:1hr

降温条件:自然放冷

#### (3)使用材料

コンクリート配合試験で使用した材料のうち、「4.2.2 ホタテ貝殻置換率100%のコンクリート試験」と異なる材料は、細骨材のみである。すなわち、細骨材中のホタテ貝殻置換率を変化させるため、大井川水系陸砂(表乾密度=2.58g/cm<sup>3</sup>)を使用した。

#### (4)フレッシュコンクリート試験

フレッシュコンクリート試験として、スランプ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1128)、コンクリート温度試験(JIS A 1156)を行った。

### (5)硬化コンクリート試験

#### 1)圧縮強度試験

JIS A 1132によって蒸気養生材齢18hr供試体はキャップレス型枠、その他の供試体は中割れ鋼製型枠を用いてφ10×20cmの円柱供試体(1材齢につき3本1組)を作製した。各供試体は蒸気養生を行った後、材齢18hr、14日および28日に圧縮強度試験を行った。なお、蒸気養生後は20°C60%(RH)の条件下で気中養生とした。圧縮強度試験はJIS A 1108によって行った。

#### 2)曲げ強度試験

JIS A 1132によって10×10×40cmの角柱供試体を3本作製し、蒸気養生を行った後、材齢14日に曲げ強度試験を行った。なお、蒸気養生後は20°C60%(RH)の条件下で気中養生とした。曲げ試験はJIS A 1106によって行った。

#### 3)小型試験体による外観目視観察

細骨材のホタテ貝殻の置換率毎に49×39.5×22cmの小型試験体を2体作製し、蒸気養生を行った後、翌日脱型し、目視観察および写真撮影をした。

### 4.2.4 試験結果

#### (1)ホタテ貝殻細骨材の物理試験結果

##### 1)ふるい分け

ホタテ貝殻置換率100%の細骨材の通過質量百分率はふるいの呼び寸法0.3mm~0.15mmの粒径のものが標準粒度範囲のよりも4%上回っており、標準よりも微粒分に富んでいる。

##### 2)密度および吸水率

ホタテ貝殻置換率100%の細骨材の絶乾密度は2.63g/cm<sup>3</sup>、吸水率は0.75%であった。JIS A 5005では、細骨材として用いる砂の品質として、「絶乾密度が2.5g/cm<sup>3</sup>以上」、「吸水率が3.0%以下」とされており、ホタテ貝殻は細骨材として絶乾密度および吸水率は基準を満足している。なお、表乾密度は2.65g/cm<sup>3</sup>であった。

表-9 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたフレッシュコンクリートの性質

ホタテ貝殻 の置換率 (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )					高性能減 水剤使用 量(C×%)	空気量調 整剤使用 量(C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリー ト温度(°C)
	水	セメント	細骨材		粗骨材					
			大井川陸砂	ホタテ貝殻						
0	157	314	804	0	1027	0.65	0.004	8.0	5.0	26
								8.0	4.8	26
50	180	360	355	216+146	1027	0.6	0.001	8.5	4.4	26
								8.0	4.6	26
75	188	376	170	312+207	1027	0.55		8.0	4.2	27
								8.0	4.5	27
100	196	392	0	393+265	1027	0.5		8.5	5.7	26
								9.0	5.7	26

### 3) 微粒分量

微粒分量は 13.8%であった。JIS A 5005 では、細骨材の場合「7.0%以下」とされており、基準を満足していない。

### 4) 単位容積質量および実積率

単位容積質量および実積率は、1.41 kg/L および 53.6%であり、単位容積質量は(社)日本コンクリート工学会による普通細骨材としての一般的な値 (1.50～1.85 kg/L) より小さく、実積率は一般的な値 (53～73%) の範囲内にあった。

### 5) 塩化物量

塩化物量は 0.031%であった。JIS A 5308 では「0.04%以下」とされており、基準を満足している。

## (2) ホタテ貝殻置換率 100%のコンクリート試験結果

### 1) フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの性質は、スランプ: 8.0cm, 空気量: 5.7%であり、目視によるワーカビリティも良好であった。なお、高性能減水剤の使用量は、0.5C×%で、空気量調整剤は使用しなかった。

### 2) 圧縮強度

材齢 14 日の圧縮強度は、30.8N/mm<sup>2</sup>であった。

### 3) 凍結融解抵抗性

凍結融解 300 サイクル後の耐久性指数は、105 であり、かなり良好であった。

## (3) ホタテ貝殻置換率 0%, 50%, 75%, 100%のコンクリート試験結果

### 1) フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの性質は表-9 に示すとおり全てのホタテ貝殻置換率において配合条件を満足した。また、目視によるワーカビリティも良好と判断された。混和剤使用量は、ホタテ貝殻置換率の増加に伴

い減少する傾向が認められた。空気量は、ホタテ貝殻置換率が増えると増加する傾向にあったため、置換率の増加に伴い空気量調整剤の使用量は減少した。

### 2) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を表-10 および図-1 に示す。蒸気養生後の材齢 18 時間, 14 日および 28 日の圧縮強度は、おおむねカキ貝殻置換率の増加とともに増加しているが、置換率 75%と 100%では圧縮強度は逆転している。図-2 は単位セメント量と材令 28 日における圧縮強度との関係を示したものである。圧縮強度はホタテ貝殻置換率とおおむね相関していたが、これは見かけ上のことであり、圧縮強度の増加は単位セメント量の増加が要因であると考えられる。ホタテ貝殻置換率 100%の場合、セメント量が最多であるのに、強度が最高でないのは、ホタテ貝殻骨材の強度が大井川系陸砂の強度よりも低いため、こちらの影響の方がセメント量の効果よりも大きかったためと考えられる。あるいは、ホタテ貝殻細骨材の形状が扁平であることが影響していると考えられる。

### 3) 曲げ強度

曲げ強度の試験結果を表-10 に示す。曲げ強度も圧縮強度と同様にホタテ貝殻置換率の増加とともに増加している。図-3 は単位セメント量と材令 28 日における曲げ強度との関係を示したものである。圧縮強度の場合と同様に、ホタテ貝殻置換率と曲げ強度が相関していたのは、見かけ上のことで、曲げ強度は単位セメント量と相関しているものと考えられる。

### 4) 目視観察結果

全ての置換率において、打込み時に骨材の分離は見られず、締固めおよび表面仕上げは容易であった。また、脱型後の外観目視観察の結果、表面気泡、ジャン

表-10 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度および曲げ強度

ホタテ貝殻の置換率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )						曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	18時間		14日		28日		14日	
	試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値	試験値	平均値
0	9.04	8.79	27.5	28.5	31.1	31.6	3.16	3.09
	8.66		29.2		32.7		2.94	
	8.68		28.9		31.1		3.16	
50	11.4	11.5	31.2	30.9	34.8	34.8	3.85	3.76
	11.6		30.9		35.1		3.96	
	11.5		30.7		34.6		3.48	
75	12	11.8	33.1	33	37.3	38.2	4.03	4.45
	11.7		33		39.1		4.7	
	11.7		32.8		38.1		4.62	
100	12.5	12.6	31.1	31.6	35.9	35.8	3.96	4.49
	13		32		34.8		4.84	
	12.4		31.6		36.8		4.66	

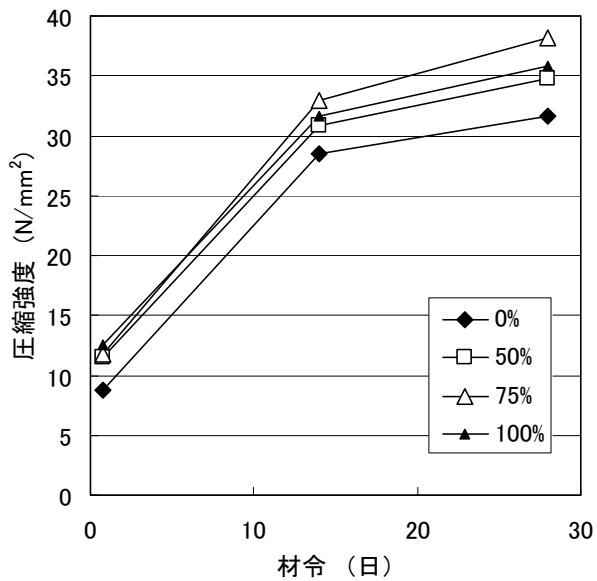


図-1 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度の経時変化

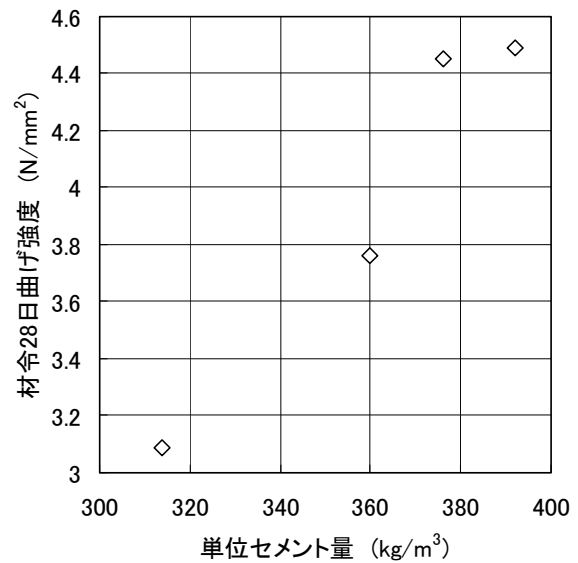


図-3 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの単位セメント量と曲げ強度との関係

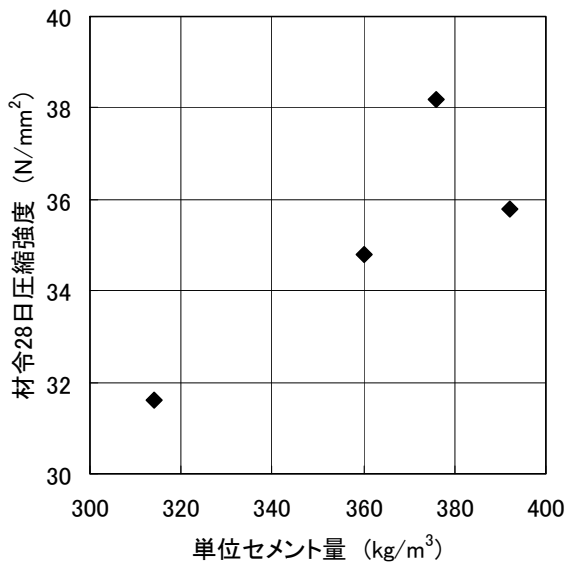


図-2 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの単位セメント量と圧縮強度との関係

カ、ひび割れ、砂すじ等の欠陥は認められず、置換率の相違による色合いの変化も見られず、良好であった。

### 4.3 カキ貝殻を細骨材としたコンクリート試験

#### 4.3.1 カキ貝殻細骨材の製造

コンクリート用骨材として使用するため、車載型回転式破碎混合機を用いて約500kgを細骨材用に破碎製造した。

#### 4.3.2 カキ貝殻細骨材の物理試験

ふるい分け試験 (JIS A 1102) および密度・吸水率試験 (JIS A 1109) を行った。

#### 4.3.3 コンクリート試験

通常のコンクリートと同一水セメント比となるように、細骨材容積の一部をカキ貝殻細骨材で置換えた場合のコンクリート配合を選定するとともに、これらについてのフレッシュコンクリート性状を確認するために下記に示す配合条件で試験を行った。

##### (1) コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、「4.2.2 ホタテ貝殻置換率100%のコンクリート試験」の場合 (表-8) と同じである。当初カキ貝殻の置換率を0, 50, 75, 100%とした細骨材でコンクリート試験を実施する予定であったが、事前のコンクリート予備試験において所要のスランプを得るための混和剤使用量がカキ貝殻置換率の増加に伴い大幅に増大する傾向を示した。そこで、コンクリートの状態と実用上の経済性を考慮した結果、カキ貝殻の置換率は45%を上限とすることが妥当と判断されたため、カキ貝殻の置換率を0, 15, 30, 45%に変更してコンクリート試験を実施した。

##### (2) 使用材料

コンクリート試験の使用材料は、細骨材にカキ貝殻を使用した以外は、「4.2.2 ホタテ貝殻置換率100%のコンクリート試験」の場合と同じである。

##### (3) 骨材準備



細骨材は、表面水率が1%以下となるように調整した。粗骨材は、表面乾燥飽水状態となるよう調整した。

#### (4) 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、容量55Lの強制練りミキサパン形を用いて行った。

#### (5) フレッシュコンクリート試験

スランプ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128)、コンクリート温度の測定 (JIS A 1156)、ブリーディング試験 (JIS A 1123) および凝結 JIS A 1147 試験を行った。

#### (6) 硬化コンクリートの圧縮強度試験

圧縮強度試験用供試体はφ10×20 cmの円柱とし、JIS A 1132により作製し、JIS A 1108により材齢7日および28日で試験を行った。供試体本数は各材齢3本1組とし、試験材齢まで20±2℃の水中で養生を行った。

### 4.3.4 モルタル試験

#### (1) カキ貝殻細骨材の粒度調整

モルタル試験には、カキ貝殻を粉砕したままの粒度分布で細骨材としたもの(粒度未調整)と、5~2.5mm、2.5~1.2mm、1.2~0.6mm、0.60~0.3mm、0.30~0.15mm、0.15mm以下に6分級し、大井川水系陸砂と同一粒度分布となるように調整したもの(粒度調整済み)の2種類を用いた。

#### (2) モルタルの配合

カキ貝殻細骨材の粒度を対比用の大井川水系陸砂と同一とした場合のモルタル性状を確認するため、「4.3.3 コンクリート試験」の置換率0%の配合から粗骨材を取り除いた配合を基準として、細骨材容

積の一部をカキ貝殻細骨材に置き換えた表-11の配合でモルタル試験を実施した。なお、使用材料は「4.3.3 コンクリート試験」と同じである。(3) 骨材準備

試験に使用した細骨材は、表面水率を1%以下に調整した。

#### (4) 練混ぜ

モルタルの練混ぜは、JIS R 5201-1997「セメントの物理試験方法」に規定する容量2Lのモルタルミキサを用いて行った。

#### (5) モルタル試験

モルタルフロー試験(JIS R 5201)、単位容積質量試験(JIS A 5002)および温度の測定(JIS A 1156)を行った。

### 4.3.5 試験結果

#### (1) カキ貝殻細骨材の物理的性質

##### 1) ふるい分け

カキ貝殻置換率100%の細骨材の通過質量百分率は、ふるいの呼び寸法0.3mm~0.15mmの粒径のものが23%となり、標準粒度範囲の上限値15%を8%上回っている。このときの粗粒率(F.M)は2.24であり、コンクリート用細骨材としては細かい部類に属するものである。大井川水系陸砂に容積置換率15%、30%および45%の3ケースで混入したところ、全てのケースにおいて通過質量百分率は標準粒度範囲内であった。

##### 2) 密度および吸水率

カキ貝殻置換率100%の細骨材の絶乾密度は2.48g/cm<sup>3</sup>であり、吸水率は0.97%であった。JIS A 5005では、細骨材として用いる砂の品質は、「絶乾密

表-11 カキ貝殻置換細骨材を用いたモルタルの配合

カキ貝殻 細骨材置 換率(vol%)	s/c	1バッチの練混ぜ量(g)			
		水	セメント	陸砂	カキ貝殻
0	2.59	256	509	1316	0
15	2.57	256	509	1118	191
30	2.56	256	509	921	383
45	2.55	256	509	724	574

表-12 カキ貝殻置換細骨材を用いたフレッシュコンクリートの性質

カキ貝殻 の 置換率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					高性能 減水剤 使用量 (C×%)	空気量 調整剤 使用量 (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリ ート温度 (°C)	ブリー ディング率 (%)	ブリー ディング量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	凝結時間	
	水	セメント	細骨材		粗骨材								始発 時間	終結 時間
0	157	314	808	0	1027	0.65	a: 0.002	8.0	4.6	21	2.2	0.09	5:10	7:25
15	185	370	586	100	1027	0.35	b: 0.0005	8.5	3.5	21	1.2	0.06	4:20	6:15
30	185	370	482	200	1027	0.8	b: 0.001	7.5	4.2	21	0.4	0.02	4:30	6:30
45	185	370	379	300	1027	1.15	b: 0.002	7.0	4.4	21	0	0.00	4:25	6:25

度が 2.5g/cm<sup>3</sup>以上」および「吸水率が 3.0% 以下」とされている。したがってカキ貝殻細骨材は絶乾密度について JIS A 5005 の条件を満足しなかった。なお、表乾密度は 2.50g/cm<sup>3</sup>であった。

大井川水系陸砂に容積置換率 15%、30% および 45%の 3 ケースで混入した場合の絶乾密度および吸水率は、それぞれ置換率 15%:2.51g/cm<sup>3</sup>および 1.99%、置換率 30% : 2.51g/cm<sup>3</sup>および 1.81%、置換率 45% : 2.50g/cm<sup>3</sup>および 1.63% であり、全てのケースにおいて JIS A 5005 の条件を満足した。

## (2) コンクリートの性質

### 1) フレッシュコンクリートの性質

フレッシュコンクリートの性質を表-12 に示す。配合条件を満足するコンクリートの単位水量、単位セメント量は、ホタテ貝殻で細骨材を置換すると増加するが、置換率 15~45%では同じであった。高性能減水剤使用量は、置換率 15%で減少するものの、30%、45%で

八回しない場合よりも増加している。

空気量は置換率が増えると増加する傾向にあったため、置換率の増加にともない空気連行性のある空気量調整剤使用量(表中の a)は低減し、抑泡作用のある空気量調整剤使用量(表中の b)は増加した。

ブリーディング率は、表-12 に示すとおり、細骨材の置換率の増加に伴い、減少している。

凝結時間は、表-12 のように細骨材の一部をカキ貝殻細骨材に置換することにより始発時間で 40~50 分、終結時間で 55 分~1 時間 10 分早くなる傾向があるが、カキ貝殻置換率と始発・終結時間との関係は不明瞭である。

### 2) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を表-13 に示す。材齢 7 日では、わずかながらカキ貝殻置換率が高くなる程、強度が高くなる傾向が認められたが、材齢 28 日では、置換率が高くなる程、わずかに強度が低くなる傾向がある。

表-13 カキ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度

カキ貝殻 置換率 (%)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )			
	7日		28日	
	試験値	平均値	試験値	平均値
0	37.9	37.8	49.8	50.2
	38.6		49.9	
	36.8		50.9	
15	38.5	38.8	49.4	49.1
	39.2		48.5	
	38.7		49.5	
30	38.8	38.7	47.9	48
	38.6		48.1	
	38.8		48	
45	40.4	40.1	48.6	47.7
	40		46.5	
	39.9		48.1	

表-14 カキ貝殻置換細骨材を用いたモルタルの性質

細骨材種類	カキ貝殻 置換率 (%)	高性能AE減 水剤使用量 (C×%)	空気量調整 剤使用量 (C×%)	フロー 値	単位容積 質量 (t/m <sup>3</sup> )	空気量 (%)	モルタル 温度 (°C)
大井川水系陸砂	0	0.8	0.002	268	2.126	5.3	19
粒度調整済 カキ貝殻細骨材 + 大井川水系陸砂	15	1.3	0	253	1.988	11.1	20
	30	1.3	0.001	186	1.943	12.9	20
		2.0	0.001	215	1.89	15.3	20
	45	1.3	0.002	136	1.947	12.5	20
2.0		0.002	158	1.867	16.1	20	
粒度未調整 カキ貝殻細骨材 + 大井川水系陸砂	15	1.4	0	250	2.013	10	20
	30	2.0	0.002	191	1.992	10.8	20
	45	2.0	0.003	115	2.061	7.4	20

### (3) モルタルの性質

カキ貝殻細骨材を用いたモルタルの試験結果を表-14に示す。図-4はカキ貝殻置換率とフロー値との関係を示したものである。カキ貝殻置換率が増えるとフロー値は低下し、モルタルの流動性は低下している。カキ貝殻置換率15%の場合、カキ貝殻置換率0%の場合と同等のフローを得るために必要な高性能AE減水剤使用量は、粒度調整済みのときには0.8%から1.3%へ0.5%、粒度未調整のときには0.8%から1.4%へ0.6%増加した。混和剤使用量をカキ貝殻置換率15%の場合と同一とし、粒度調整済カキ貝殻細骨材の置換率を30%および45%に増加させると、フロー値はそれぞれ186および136と大幅に小さくなった。したがって、置換率30%、45%の場合、置換率0%と同等のフローを得るために必要な使用量が大幅に増大することが予想されたため、高性能AE減水剤使用量を実用上の上限値を考慮して2.0%に固定した。高性能AE減水剤使用量2.0%としたときのカキ貝殻置換率30%および45%のモルタルのフロー値は、それぞれ215および158で、1.3%のときに比べ若干の改善がみられた。高性能AE減水剤使用量2.0%の場合において、カキ貝殻細骨材の粒度調整の有無とフロー値との関係を見ると、粒度未調整の方がフロー値は若干、小さいが、粒度調整の顕著な効果は認められなかった。

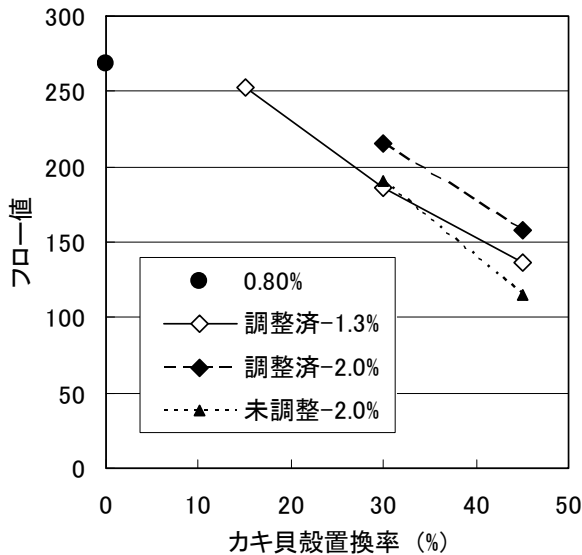


図-4 カキ貝殻置換率とフロー値との関係。凡例の数字は高性能AE減水剤使用量を表す。

### 4.4 ホタテ貝殻およびカキ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの経済性

ホタテ貝殻およびカキ貝殻で置換した細骨材を用いたコンクリートには、フレッシュコンクリートの性質および圧縮強度、曲げ強度ともに特に問題は見受けられなかった。ここでは、ホタテ貝殻およびカキ貝殻を細骨材として用いたコンクリートの経済性に関する考察を行う。経済性に関しては材料費のみを検討した。コンクリート材料費のうち、水、セメント、細骨材、粗骨材の価格は、東京都内の最低および最高価格を使用し（水以外の価格は「建設物価」平成20年3月号<sup>108)</sup>に記載のものを使用）、混和材の価格は神奈川県内の価格を使用した。なお、ホタテ貝殻、カキ貝殻は廃棄物であるため、価格は設定していない。

図-5はホタテ貝殻、カキ貝殻の置換率と材料費との関係を示したのである。ホタテ貝殻の場合は、置換率50%の場合は、置換率0%の場合よりもわずかに高くなるが、75%、100%と置換率が高くなるにつれ、安くなる傾向がある。一方、カキ貝殻の場合は置換率の増加とともに材料費もかなり高くなっている。図-6はカキ貝殻の場合の材料費の内訳を示したものである。低材料費、高材料費のいずれの場合もカキ貝殻を混入することにより、細骨材費は低くなるが、セメント費および高性能減水剤費が細骨材費の低減分以上に高くなるため、全体材料費も高くなっている。

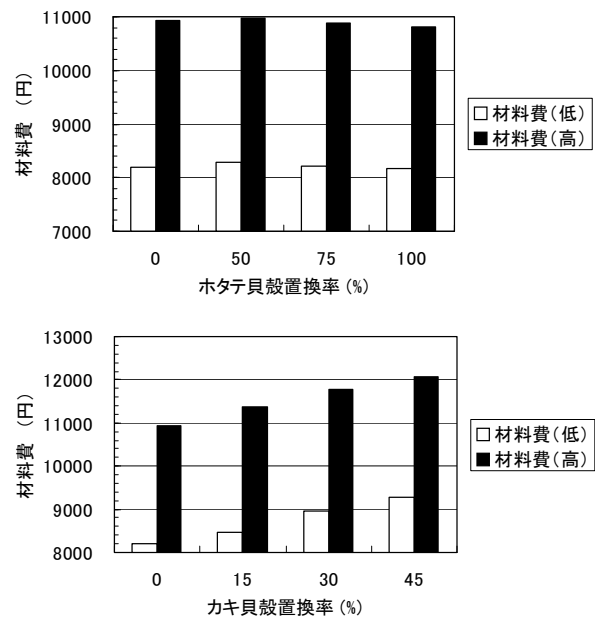


図-5 ホタテ・カキ貝殻の置換率と材料費との関係

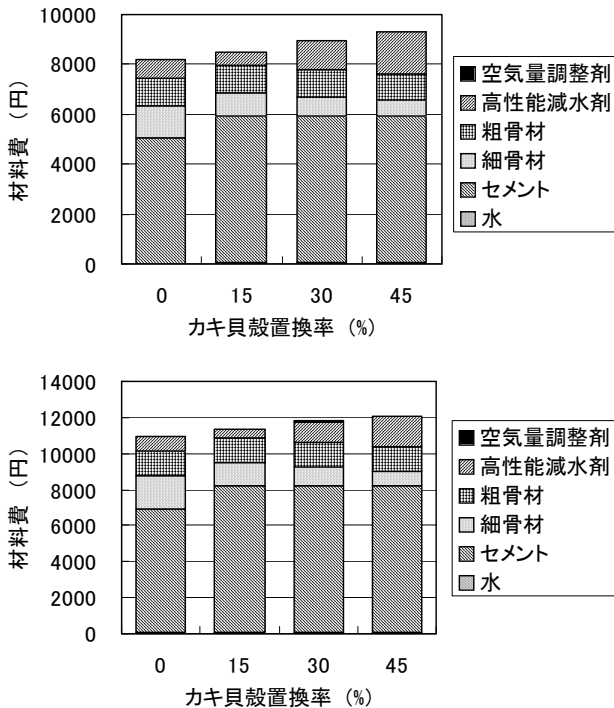


図-6 カキ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの材料費の内訳。上段：低材料費の場合。下段：高材料費の場合。

以上のように貝殻の費用を無料と仮定すると、ホタテ貝殻の場合は、通常のコンクリートと同程度の材料費となり、経済的にもホタテ貝殻の細骨材利用は実用性が見込める。一方、カキ貝殻の場合は通常のコンクリートよりも高くなり、経済性の点からは細骨材とすることは困難である。

## 5. 他産業リサイクル材料の利用の妥当性などの評価手法の開発

他産業リサイクル材料を利用していくとき、コストだけで評価すると、コストに見合わない場合が多く、利用が進まない場合が多い。また、リサイクルだけに注目しすぎると、リサイクルのために多大なエネルギーを必要とする場合もあり、真の意味での環境にやさしいものとなっていないこともある。そこで、これらを加味して他産業リサイクル材料の利用の妥当性を評価する方法として、LCAやLCCを実施して、評価手法としての適用性を検討した。さらに、これらの手法を用いた場合の課題や他の手法の可能性についても考察した。

### 5.1 LCA, LCC の検討

#### 5.1.1 概要

他産業リサイクル材料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、他産業リサイクル材料の場合、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。

#### 5.1.2 廃ガラス（発泡）の盛土への利用ケースの設定

##### (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。

##### (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-7 のように設定した。

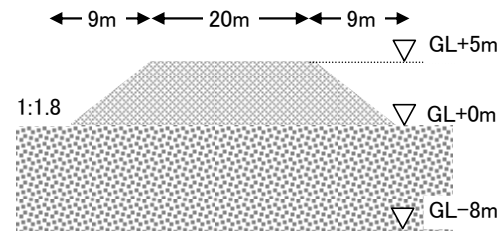
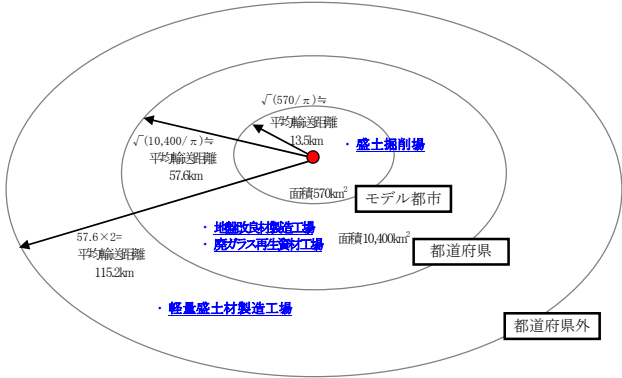


図-7 盛土構造の設定

国内での平均的な値を求めるため、都道府県、モデル都市、現場などを図-8 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-9 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-8 現場、工場等の配置と輸送距離の設定

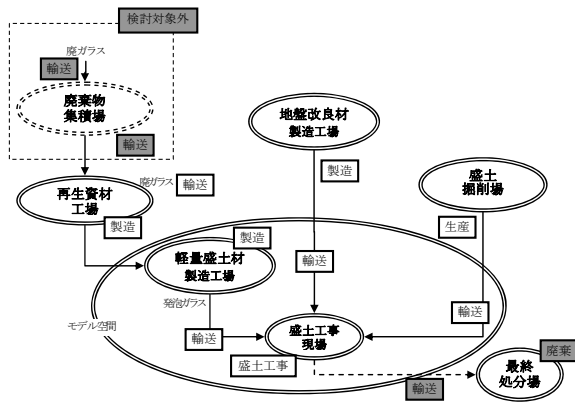


図-9 評価範囲の設定

### (3) 検討ケース

検討ケースは、表-15 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。

#### 5.1.3 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-16 のようになった。

表-16 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。CO<sub>2</sub> 排出量の算定例を図-10 に示す。従来工法として設定した Case1 は、CO<sub>2</sub> 排出量が多く、特に材料製造の排出が多くなった。一方、Case2 と Case3 では25%程度低くなった。最も CO<sub>2</sub> 排出量が小さくなること期待した Case3 では、輸送による排出が多くなり、トータルでは Case2 より大きくなった。現在、発泡廃ガラスの生産地が少なく、現場までの平均輸送距離が 115.3km と長く設定されたため、量を多く輸送する Case3 では影響が大きくなった。

表-15 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-16 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%
材	普通盛土材	t		29,178	14,589	0
	軽量盛土材	t		0	3,242	6,484
	セメント	t		16,186	7,200	3,574
燃	施工	L		9,912	6,977	5,799
	輸送(軽油 消費量)	L		1,326,245	1,358,609	1,699,794

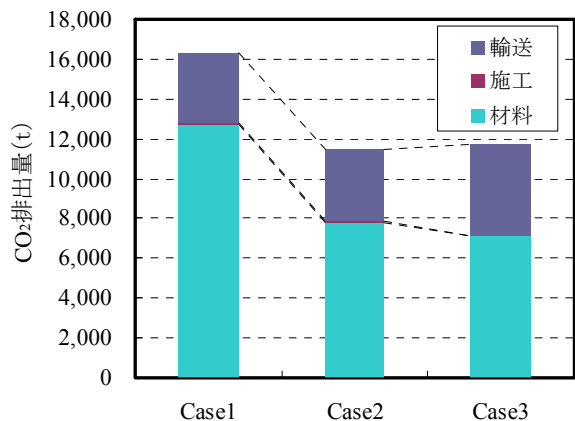


図-10 各ケースでの CO<sub>2</sub> 排出量の算出結果

### 5.1.4 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-17 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-11 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。

表-17 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	16, 210

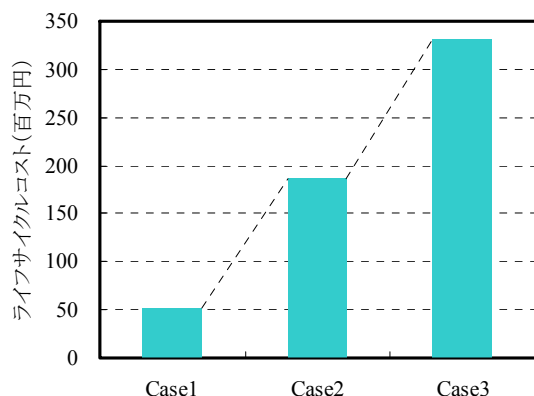


図-11 各ケースでの LCC 算出結果

### 5.2 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。

#### 5.2.1 廃棄物の外部費用の製品価格への転嫁

「廃棄物の経済学」<sup>109)</sup>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こ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、こ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。

#### 5.2.2 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。

### 5.2.3 リサイクル材の市場変動の抑制と市場競争

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争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、通常の材料の代替である。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。

## 6. 「マニュアル第二版（素案）」の作成

平成21年度に実施した「マニュアル第一版」記述内容の見直し、平成20年度までに実施した「マニュアル第一版」に追加すべき新たなリサイクル材の調査、LCA、LCCによる評価などの内容を加えて「マニュアル第二版（素案）」の作成を行った。

追加するサイクル材としては、製紙スラッジ焼却灰の利用（盛土材等土質材料、路盤材）、製鋼スラグのサンドコンパクションとしての利用、フレック状に加工したPETボトル（ペットフレック）の気泡混合土への利用であり、マニュアル形式で作成した。

リサイクルの効果の評価や、各種リサイクル技術の取捨選択のためのツールとして検討してきた、LCA

やLCCの結果についてもマニュアルに掲載するようにとりまとめた。代表的な事例として評価を行った発砲廃ガラスの盛土への利用、非鉄スラグの舗装用骨材としての利用、廃プラスチックの舗装用骨材としての利用、廃タイヤのアスファルト改質材としての利用についてのLCA、LCCがマニュアルに掲載するよう記述を変更した。

このような作業を行い、「マニュアル第二版（素案）」を作成した。

## 7. まとめ

本研究では、資源循環型社会の実現に向けて、最新の技術情報を集め、またリサイクル技術の開発や評価などを行った上で、「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（第一版）」の改訂作業を行った。主な内容は以下の通りである。

「マニュアル第一版」に記載されている技術に関する改訂作業において、「第2編 利用技術マニュアル」の技術的変更内容は比較的少なく、発生量等の最新データへの更新が中心となった。「第3編 試験施工マニュアル」では、新たな用途、設計法、留意点などの情報を加えた。「第4編 今後の検討を待つ材料」については、品質などの情報が追加できるものは追加し、新たな利用法などの情報があつたものは追加した。

「マニュアル第一版」に未掲載の技術の追加作業においては、最新の情報をもとに技術の完成度等を勘案して、製紙スラッジ焼却灰、製鋼スラグ、ペットフレックについて記述することにして、マニュアル形式で記述し、マニュアルに追加した。

また、リサイクル技術を評価する方法についても検討を行い、LCA（ライフサイクルアセスメント）、LCC（ライフサイクルコスト）による評価が有効であることが考えられた。そこで、発砲廃ガラス、非鉄金属スラグ、廃タイヤ、廃プラスチックのリサイクルを事例としてLCA、LCCを実施した。これらの内容をとりまとめマニュアルへ掲載した。

さらに、リサイクル材料として有望と考えられた貝殻については、コンクリート用骨材への利用技術を開発研究し、ホタテ貝殻の有効性を確認した。

以上の検討を行い、最終的には「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）」（素案）として取りまとめた。

## 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縮減、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縮減効果、土木技術資料、Vol.42、No.5、pp.46-51、2000
- 4) 一般廃棄物の熔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) 建設省土木研究所コンクリート研究室：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、第 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、Vol.46、No.1、pp.62-67、2004
- 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) 田中稔、高田一雄：木質アスファルト加熱機械及び配合割合の技術開発、第 4 回廃棄物対策研究発表会成果発表抄録集 平成 16 年度廃棄物対策研究推進事業、pp. II.87-II.90、2004
- 12) 田中稔、高田一雄：木質アスファルト加熱機械及び配合割合の技術開発、第 3 回廃棄物対策研究発表会成果発表抄録集 平成 15 年度廃棄物対策研究推進事業、pp. II.52-II.55、2004
- 13) 山本哲朗、鈴木素之、楠木覚士、長谷川秀人、渡辺良一：廃木材を混練した生分解樹脂の一次元圧縮特性、地盤工学研究発表会発表講演集、Vol.39、No.1/2、pp.641-642、2004
- 14) 山本哲朗、鈴木素之、楠木覚士、長谷川秀人、渡辺良一：廃木材を混練した生分解樹脂の三軸圧縮挙動、地盤工学研究発表会発表講演集、Vol.39、No.1/2、pp.639-640、2004
- 15) 稲井淳文：大阪府下における木質バイオマス発電の調査と検証、日本木材保存協会年次大会研究発表論文集、Vol.20、pp.47-51、2004
- 16) 山崎仲道：リサイクルと水熱反応、Jasco Report、特集第 6 号、pp.6-14、2002
- 17) Mikihiro OIDA, Hiroki MAENAMI, Norifumi ISU, Emile H ISHUDA, "Recycling of Inorganic Wastes as paving Tile by Hydrothermal technology", Journal of the ceramic Society of Japan Vol.112 No.1305, pps1368-1372, 2004
- 18) 「焼き物の町」で廃棄物を使った無焼成レンガを商品化、月刊地球環境、Vol.33、No.3、pp52-53、2002
- 19) 三谷敏博：循環型社会を支える「無焼成レンガブロック」技術、電気評論、Vol.88、No.10、pp.60-61、2003
- 20) Geiza E. Oliveira, Jose Nilson F. Holanda, "Use of mix of clay/solid waste from steel works for civil construction materials", Waste Management & Research Vol.22 No.5, pp358-363, 2005
- 21) 久保井利達、久保井徳洋、尼田正男、原出久裕：農業用廃ビニールの有効利用によるインターロッキングブロックの製作について、地盤工学研究発表会発表講演集、Vol.41、No.1/2、pp.641-642、2006
- 22) 久保井利達、久保井徳洋、原出久裕：農業用廃ビニールのリサイクルによるインターロッキングブロックへの適用、土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)、Vol.61、No.Disk 2、2005
- 23) 久保井利達、久保井徳洋、西田一彦：建設資材であるブロックへの農業用廃ビニールの有効利用について、地球環境シンポジウム講演論文集、Vol.11、2003
- 24) 笹木敏信、堤博恭、浅田素之、鈴木正浩：PS 灰と碎石粘土の混合地盤材料の路床・路盤材への活用事例、基礎工、Vol.32、No.7、pp.48-51、2004 (製紙汚泥焼却灰をセメント・石灰に加えて路床。路盤材に)
- 25) 浅田素之、小川恵道、堤博恭、浦野真次、沢田英一、堀内澄夫：PS 灰と碎石粘土を用いたリサイクル地盤材料の活用、清水建設研究報告、Vol.80、pp.7-16、2004
- 26) 藤原稔：素材産業におけるリサイクルへの取り組み



- み 鉄鋼スラグの利用、日本エネルギー学会誌、Vol.81、No.2、pp.98-104、2002
- 27) 松井保、鍋島康之：粒状化处理された産業副産物の土木材料としての利用、鉄鋼スラグの用途拡大に向けて-2 社会鉄鋼工学部会スラグ利用プレハブ構造材研究会 第二回報告会 平成 15 年、pp.43-46、2003
- 28) Jean-Michel Piau, Jorgen Christensen, Denis Francois, "Le projet de recherche europeen SAMARIS", Revue Generale des Routes, No.840, pp80-85, 2005
- 29) D. Evans, T. Hartwell, N. Jones, C. Byrne,"Recycling steelmill byproducts – some practical developments and outstanding issues", Ironmaking & Steelmaking Vol. 31 No.6, pp435-438, 2004
- 30) 与田昭男、清水益人、明石哲夫：産業廃棄物溶融スラグの有効利用、環境浄化技術、Vol.4、No.10、pp.54-58、2005
- 31) 日鉱三日市リサイクル株式会社：日鉱三日市リサイクルにおける ASR 処理、鉱山、Vol.58、No.4、pp.9-11、2005
- 32) 亀井健史、松尾和俊：フレーク状の PET ボトルを利用した気泡混合軽量土の一軸圧縮特性、土木学会論文集、No.764、pp.359-366、2004
- 33) 伊藤哲夫、金子正市、山岸敏夫：ガラス繊維強化プラスチックリサイクル材の新規用途開拓—舗装材(お散歩歩道)の開発—、FRP CON-EX 講演集、Vol.47、pp.A.31.1-A.31.2、2002
- 34) 渡邊良二、田口仁、増田和也：廃白土の再生添加剤としての適用性、日本道路会議論文集、p09107、2003
- 35) 日本パーカラライジング株式会社：リサイクル材保水性セラミックスタイル パルセラン、月刊リフォーム、Vol.21、No.9、pp.48-49、2004
- 36) 小林範男、高田治也：瓦廃材の骨材化システム、産業機械、No.668、pp.60-62、2006
- 37) A. B. Parreira, A. R. K. Kobayashi, O. B. Silvestre Jr., Influence of Portland Cement Type on Unconfined Compressive Strength and Linear Expansion of Cement-Stabilized Phosphogypsum", Journal of Environmental Engineering Vol.129, No. 10, pp956-960, 2003
- 38) Maria Arm, "Variation in deformation properties of processed MSWI bottom ash: results from triaxial tests", Waste Management vol.24 No.10, pp1035-1042, 2004
- 39) Geiza, E: Use of mix of clay/solid waste from steel works for civil construction materials. Waste Manegement & Research, vol.22, No.5, pp.358-363, 2005
- 40) 八反田英仁、中川善貴、草深守人：一般ゴミ焼却灰を焼成安定化处理したリサイクル材の力学特性について、土木学会年次学術講演会講演概要集 第 3 部、Vol.56th、No.B、pp.572-573、2001.9.1
- 41) 田宮敬三：下水汚泥の有効利用 溶融・結晶化設備による結晶化スラグの商品化、月刊地球環境、Vol.32、No.7、pp.98-100、2001.7
- 42) 宇野浩樹、桧垣貫司、鶴谷巖、大中昭：セメント混合によって造粒化した石炭灰の盛土材料への適用性、土と基礎、Vol.51、No.6、pp.4-6、2003.6.1
- 43) 長谷一矢、北原繁志、中山学之：石炭灰を用いた混合改良土並びに路盤材の長期性状、北海道開発局技術研究発表会発表概要集、Vol.43rd、No.1、pp.51-56、2000.2
- 44) 森昌也：石炭灰を用いた混合路盤材の長期性状について、国土交通省国土技術研究会報告、Vol.2003、pp.85-88、2003.11
- 45) 石川寛範、藤木英一、田中公徳、和美広喜、新井一彦：石炭灰の資源化に関する研究(その1) 石炭灰を用いた人工骨材の開発、日本建築学会学術講演梗概集 A-1 材料施工、Vol.2000、pp.603-604、2000.7.31
- 46) 十河茂幸、三浦律彦、近松竜一：石炭灰製高強度人工骨材を用いたコンクリートの強度・耐久性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.22、No.2、pp.259-264、2000.6.1
- 47) 加藤賢治、松井隆幸、村田浩一、亀山修一：焼却石炭灰(フライアッシュ)の舗装混合物への利用、日本道路会議論文集、Vol.27th、pp.ROMBUNNO.12114、2007
- 48) 遠田幸生、成沢謙伸：石炭灰のアスファルトフィラー材としての利用について、廃棄物学会研究発表会講演論文集、Vol.15th、No.Pt.1、pp.722-724、2004.11.1
- 49) 川九邦雄、桃井信行：高速道路のり面におけるウッドチップマルチングの物理的変化と温度緩和効果、日本緑化工学会誌、Vol.29、No.1、pp.178-181、2003.8.31
- 50) 昆野剛、鈴木利幸、加藤義輝：環境に優しい乳剤を用いた施工事例の紹介 明色アスファルト乳剤

- を用いたウッドチップ舗装、あすふあるとにゆうざい、No.163、pp.20-21、2006.4
- 51) 田畑邦衛：ウッドチップ舗装の温度低減効果、動物園水族館雑誌、Vol.50、No.3/4、pp.93-95、2009.8.31
  - 52) 森迫光晴：現地発生木質廃材を用いたリサイクル緑化工法、水と土、No.155、pp.64-67,7(2)、2008.12
  - 53) 大沢吉範、大木宜章、石田哲朗、関根宏、保坂成司：木屑と電解上水汚泥を混合した法面緑化基盤、土と基礎、Vol.51、No.4、pp.23-25、2003.4.1
  - 54) 室井洋二：環境・景観材料としての舗装材最新動向 廃ガラスを利用した舗装ブロックの開発、建材フォーラム、No.358、pp.14-16、2006.6.15
  - 55) 巻内勝彦、峯岸邦夫、久保哲也、根本亮：軽量発泡廃ガラス混入粘性土の力学特性、地盤工学研究発表会発表講演集、Vol.38th、No.1/2、pp.829-830、2003.6.6
  - 56) 花木和文、八反田英仁、下村嘉平衛：一般廃棄物焼却灰を焼成リサイクルした人工砂（アークサンド）の特徴、地盤工学シンポジウム論文集、Vol.47th、pp.373-380、2002.11.7
  - 57) 古賀千佳嗣、佐藤研一、DAVIES M C R：一般廃棄物焼却灰の地盤材料としての評価に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.59th、No.Disk1、pp.3-296、2004.9.1
  - 58) 佐藤研一、山田正太郎、藤川拓朗、中村公亮：資源循環・環境制御システムに関する研究 平成17年度 焼却灰の無害化と再利用技術 一般廃棄物焼却灰の物理・力学特性、資源循環・環境制御システムに関する研究 平成17年度、pp.54-60、2006
  - 59) 瀬戸口大志、前野祐二：都市ごみ焼却灰の焼成処理を必要としない固化材開発について、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.61st、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.7-160、2006.9.1
  - 60) 中島信一、遠藤淳：下水汚泥焼成レンガ「アシュレイ」事業報告、大阪府建設技術発表会論文集、Vol.29th、pp.19-24、2002.6
  - 61) 佐藤与吉：化成スラッジを利用したセラミック焼結体「パルセラン」、日本パーカラライジング技報、No.12、pp.122-126、2000.1.1
  - 62) 伊藤孝優、伊藤孝男、浅田秋江：下水汚泥焼却灰の土質改良材への適応性について、地盤工学シンポジウム論文集、Vol.47th、pp.365-372、2002.11.7
  - 63) 伊藤孝優、伊藤孝男、浅田秋江：下水汚泥焼却灰を用いた造粒型複合系土質改良材の改良効果について、地盤工学シンポジウム論文集、Vol.48th、pp.403-408、2003.11.4
  - 64) 井倫孝、杉原元一、越川茂雄、伊藤義也：下水汚泥焼却灰のセメント固化による路盤用人工骨材の製造法とその品質に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.57th 部門 5、pp.V-401、2002.9.1
  - 65) 岩原広彦、加地貴、横手晋一郎、河野清：フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートのフレッシュ性状、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.58th、No.Disk2、pp.V-150、2003.9.1
  - 66) 斉藤栄一、岡部俊男、長稔：（リサイクルに関する）新技術・新工法 石炭灰混練物の流体化現象を利用した固化地盤築造技術の開発、電力土木、No.320、pp.116-120、2005.11.5
  - 67) 飯国卓夫、青戸治之、斎藤直、樋野和俊：軟弱路床土の石炭灰を活用した安定処理、基礎工、Vol.34、No.4、pp.83-87、2006.4.15
  - 68) 佐藤厚子、西川純一、天野公人、湯口雄司、仁平陽一郎：石炭灰の試験盛土施工、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.57th 部門 3、pp.III-044、2002.9.1
  - 69) 原田博、城田尚登、山本哲朗、浜田純夫：石炭灰の有効利用 軽量盛土・トンネル補修の裏込め材への施工事例、土木学会年次学術講演会講演概要集 第5部、Vol.55th、pp.430-431、2000.8.31
  - 70) 桑原昭浩、丸川真一、門田克司、島勝俊、樋野和俊、軟弱盛土材への石炭灰の有効利用 石炭灰原粉の軟弱盛土地盤改良材としての適用例、土木学会年次学術講演会講演概要集 第3部、Vol.55th、No.B、pp.484-485、2000.8.31
  - 71) 越健太郎、鈴木哲雄：廃ガラスびんカレット入りアスファルト舗装の長期供用性と再生利用、舗装、Vol.40、No.4、pp.9-12、2005.4.1
  - 72) 稲田善紀、木下尚樹、川口隆：廃ガラスを利用した樹脂舗装の性能および評価方法の検討、愛媛大学工学部工学ジャーナル、Vol.2、pp.165-173、2003.3
  - 73) 原裕、鬼塚克忠、佐藤磨美、桃崎節子：環境に配慮した工事事例 環境に配慮した斜面緑化の事例 発泡廃ガラス材を用いた緑化、土と基礎、Vol.49、No.10、pp.13-15,1(1)-1(2)、2001.10.1
  - 74) 桃崎節子、鬼塚克忠、原裕、横尾磨美：斜面緑化における発泡廃ガラス材の適用事例 湧水処理および保水材として、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、Vol.1999 第2分冊、pp.1046-1047、

2000.3.1

- 75) 吉武茂樹、原裕、佐藤磨美、落合一明：発泡廃ガラス材の有効利用 地盤改良工法、地盤工学会東北支部研究討論会講演概要集、Vol.2000、pp.56-59、2000.10.27
- 76) 本田悟：軽量化技術 排水性や保水性に着目して適用性を確認 廃ガラスを用いた発泡軽量骨材のコンクリートへの利用技術の開発研究、月刊コンクリートテクノ、Vol.28、No.6、pp.91-95、2009.6.1
- 77) 伊藤孝浩、武市靖、小野田光之：多孔質弾性舗装の工学的特性と凍結抑制効果に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、Vol.60th、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.5-076、2005.8.20
- 78) 田口仁、明嵐政司：多孔質弾性舗装の試験舗装と騒音測定結果について、日本道路会議論文集（CD-ROM）、Vol.27th、pp.ROMBUNNO.12P60、2007
- 79) 国生正人、藤田仁：すべり抵抗を改善した現場施工型多孔質弾性舗装 - 座間市道17号線での施工事例 -、日本道路会議論文集（CD-ROM）、Vol.27th、pp.ROMBUNNO.12P65、2007
- 80) 小枝日出夫、池田憲二、畑山朗、吉田茂：弾性インターロッキングブロック舗装の冬期路面性能評価、土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、Vol.57th、pp.V-028、2002.9.1
- 81) 小枝日出夫、池田憲二、畑山朗、佐藤大：弾性インターロッキングブロックを用いた凍結抑制舗装、舗装、Vol.38、No.7、pp.15-19、2003.7.1
- 82) 期待高まる紙以外への古紙利用 制振マット、コンクリート型枠、活性炭への利用事例と可能性、紙パルプ技術タイムス、Vol.43、No.3、pp.10-13、2000.3.1
- 83) 葛岡勝悦、佐々木ひとえ、泉沢啓、佐藤真貴子、佐藤好克：古紙再生素材における環境（生態系）への影響総合評価手法の検討、宮城県保健環境センター年報、No.19、pp.85-87、2001.11
- 84) 福井雅康、山田純夫：廃棄物の炭化技術とその利用 岡山木質系廃棄物炭化事業の実施状況 JFE式炭化炉による廃木材からの炭化物製造とその利用、環境浄化技術、Vol.5、No.11、pp.39-42、2006.11.1
- 85) 村田徳治：肝腎産業事始め 連載71 廃木材の資源化と炭化処理 土壌改良資材としての木炭の使い方、月刊廃棄物、Vol.26、No.5、pp.116-119、2000.5.1
- 86) 柳啓、大島明、菊池雅史、小山明男、福部聡：廃木材の再利用に関する研究 その2. コンクリート用型枠パネルの繰り返し使用に関する基礎実験、日本建築学会学術講演梗概集A-1 材料施工、Vol.2004、pp.943-944、2004.7.31
- 87) 大島明、菊池雅史、小山明男、福部聡、柳啓：廃木材の再利用に関する研究 その1. コンクリート用型枠パネルの基本物性の検討、日本建築学会学術講演梗概集A-1 材料施工、Vol.2004、pp.941-942、2004.7.31
- 88) 加藤義輝、木下孝樹、多喜川昇、西山徳明：石炭灰溶融スラグのアスファルト舗装用細骨材への利用 石炭灰を舗装材料へ利用する新しい試み、舗装、Vol.36、No.3、pp.3-7、2001.3.1
- 89) 熊谷茂、石川嘉崇、真野孝次：石炭灰溶融化スラグ有効利用システムの研究（その2 コンクリート用骨材としての各種試験）、日本建築学会学術講演梗概集A-1 材料施工、Vol.2003、pp.405-406、2003.7.30
- 90) 中出誠、平田広一：廃瓦を使用した自然性舗装の開発と実用化、北陸道路舗装会議技術報文集、Vol.9th、pp.239-242、2003.6.17
- 91) 友竹博一、松山幸広、梅原秀哲、篠田泰宏：廃瓦再生細骨材を使用したコンクリート製品の性能に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.60th、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.5-408、2005.8.20
- 92) 米田稔、森沢真輔、安河内健、新井貴史：廃瓦舗装の温暖化防止効果に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.60th、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.5-134、2005.8.20
- 93) 河金甲、谷口義則、直野和人：廃かわらを骨材として用いたコンクリートの基礎的性質、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.61st、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.5-427、2006.9.1
- 94) 緑川猛彦、根本裕司、大野英城：コンクリート材料としての廃瓦の利用に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.64th、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.V-360、2009.8.3
- 95) 長原宏憲、小村哲夫、兵頭正浩、野中資博：廃瓦を骨材として有効利用した植栽基盤材の検討、農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集、Vol.63rd、pp.73-75、2008
- 96) 吉井昭博、岳本秀人、内山智幸：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、Vol.9th、

- pp.277-282、2003.6.17
- 97) 古田昭二、和田智：貝殻を再利用した路床および路盤改良、日本道路会議論文集、Vol.27th、pp.ROMBUNNO.12117、2007
- 98) 清田健、奥西武、佐藤準、佐藤朱美、桜井博：水産系副産物（貝殻）の土木資材としての利用にむけた環境影響の検討、海洋開発論文集、Vol.20、pp.893-898、2004
- 99) 内山智幸、長野伸泰、山岸暢、可児浩、吉田昌充：ホタテ貝殻未利用資源の有効利用に関する研究、化学工学会関東支部大会研究発表講演要旨集、Vol.2006、pp.7-8、2006.7.24
- 100) 高本直史：循環型社会の構築 建設リサイクル等の推進 廃プラスチックを再利用した舗装 建設副産物以外の廃棄物リサイクルについて、月刊建設、Vol.46、No.10、pp.18-20、2002.10
- 101) 久保光、三田村文寛、米村豊志、小形信男：廃プラスチックと廃木材チップを利用した舗装の性能評価、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.62nd、No.Disk2、pp.ROMBUNNO.5-132、2007.9.1
- 102) 梶岡正彦、原義明、村山雅人、平戸利明：廃プラスチックを利用した改質アスファルトの開発、材料とプロセス、Vol.20、No.4、pp.915、2007.9.1
- 103) 神谷昌岳、北村真、大杉高志：環境問題のすべて 廃プラスチックの再利用についての試み、JETI、Vol.48、No.12、pp.71-72、2000.11.1
- 104) 小出英夫、佐々木徹、外門正直：廃プラスチック製粗骨材を用いた軽量コンクリートの諸特性、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.57th、pp.V-416、2002.9.1
- 105) プラスチック処理促進協会：2005年 プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況 廃プラの62%が有効利用、都市と廃棄物、Vol.37、No.1、pp.53-56、2007.1.1
- 106) 横田季彦、山内匡、清宮理：ホタテ貝殻を利用したコンクリートの強度特性、土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、Vol.61st、No.Disk2、2006
- 107) 山内匡、清宮理、横田季彦、八木展彦：ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの基本的性質、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.1649-1654、2006
- 108) (財) 建設物価調査会：建設物価、平成20年3月号
- 109) 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