

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、土質）

研究担当者：脇坂安彦（グループ長）、明嵐政司（特命事項担当上席）、西崎 到（上席）、新田弘之、富山禎仁、尾崎正明（上席）、小橋秀俊（上席）

【要旨】

ホタテ貝殻はコンクリート用細骨材として微粒分量が基準を満足していない以外は基準を満足していた。ホタテ貝殻 100%置換細骨材を使用したコンクリートは、圧縮強度、曲げ強度、耐久性ともに問題はなかった。カキ貝殻 100%置換の細骨材では、微粒分量および絶乾密度が基準を満たさなかったが、カキ貝殻置換率 15～45%では、粒度分布、密度、吸水率ともに基準を満足していた。カキ貝殻置換率 15～45%の細骨材を用いたコンクリートでは、フレッシュコンクリートの性質および圧縮強度において、特に問題はなかった。ホタテ貝殻置換細骨材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を貝殻置換率 0%のコンクリートと比較すると、ホタテ貝殻の場合は、置換率の増加とともに材料費は低くなるが、カキ貝殻の場合には逆に高くなる。

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た結果、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）が「マニュアル第二版」に掲載する候補として妥当であると考えられる。

キーワード：他産業リサイクル材料、細骨材、ホタテ貝殻、カキ貝殻

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「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19年度は、他産業リサイクル材料として昨年度に引き続きホタテ貝殻を取り上げ、各種骨材試験およびコンクリート試験を行うとともに、ホタテ貝殻と同等の品質を有していると考えられるカキ貝殻についても各種骨材試験、コンクリート試験およびモルタル試験を実施し、ホタテ貝殻およびカキ貝殻のコンクリート用細骨材としての適性について検討した。また、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の検討を行った。

2. ホタテ貝殻を細骨材としたコンクリート試験

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・

表-1 コンクリートの配合条件

水セメント比 (%)	粗骨材 かさ容積 (m^3/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 $\pm$ 2.5	4.5 $\pm$ 1.5	20

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。

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。

2.2.1 コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は表-1 に示す通りである。

2.2.2 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 $^{\circ}\text{C}/\text{時}$

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

2.2.3 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/cm³)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/cm³)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/cm³)を容積比 6:4 で混合して使用した。

(3)粗骨材

青梅産硬質砂岩碎石 20~5mm(表乾密度=2.66g/cm³)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。

2.2.4 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。

2.2.5 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。

2.2.6 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。

2.2.7 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φ10×20cm 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 $^{\circ}\text{C}$ 60%(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 $^{\circ}\text{C}$ 60%(RH)の条件下で気中養生とした。試験は JIS A 1148 によった。

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。

2.3.1 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1)と同じである。

2.3.2 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

最高温度: 60 $^{\circ}\text{C}$ 98%(RH)

最高温度持続時間: 1hr

降温条件: 自然放冷

2.3.3 使用材料

コンクリート配合試験で使用した材料のうち、「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/cm³)を使用した。

2.3.4 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。

表-2 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 (%)	単位量(kg/m ³)					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(℃)
	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

2.3.5 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。

2.4 試験結果

2.4.1 ホタテ貝殻置換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、標準よりも微粒子に富んでいる。

(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/cm³、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/cm³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/cm³であった。

(3) 微粒子量

微粒子量は 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協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) 塩化物質

塩化物質は 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。

2.4.2 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/mm²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。

2.4.3 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-2 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

表-3 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 ²)						曲げ強度 (N/mm ²)	
	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	

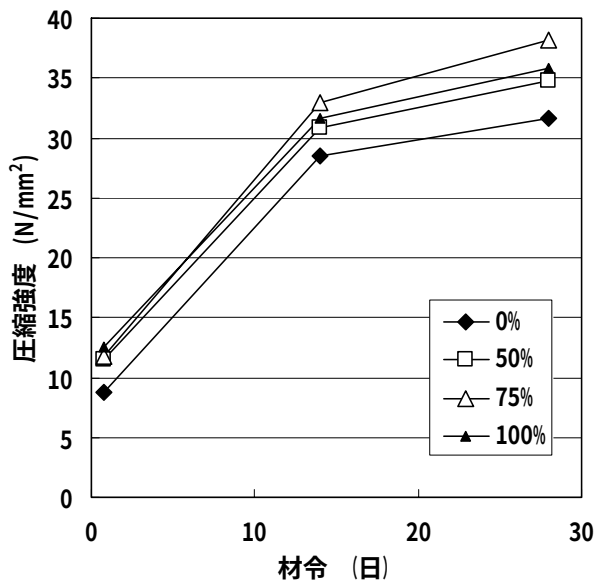


図-1 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの圧縮強度の経時変化

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-3 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

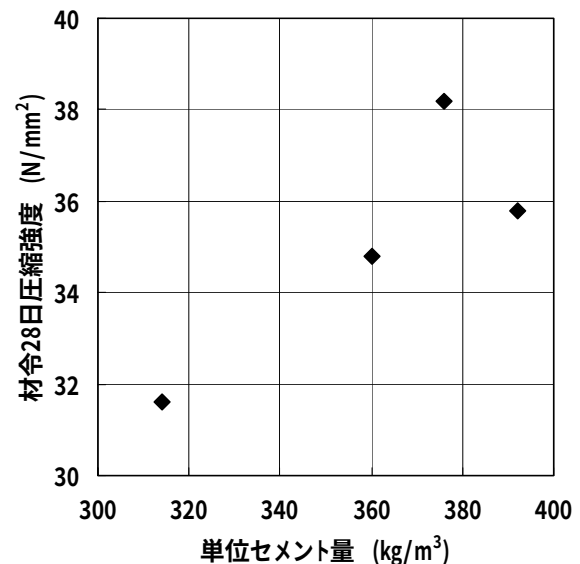


図-2 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの単位セメント量と圧縮強度との関係

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-3 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

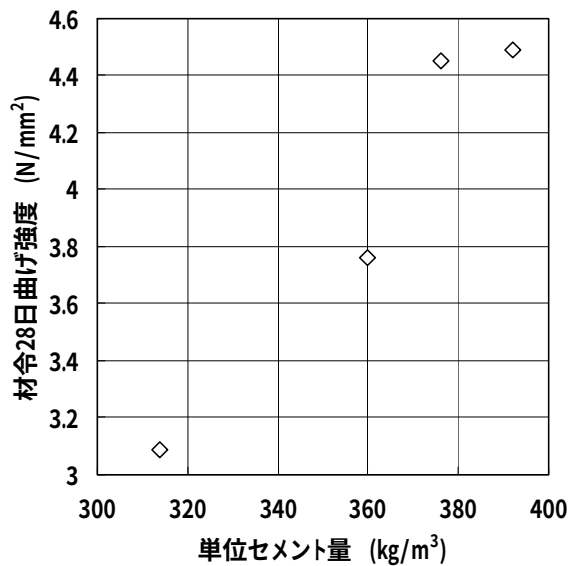


図-3 ホタテ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの単位セメント量と曲げ強度との関係

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、締め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。

3. カキ貝殻を細骨材としたコンクリート試験

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。

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。

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。

3.3.1 コンクリートの配合条件

コンクリートの配合条件は、「2.2 ホタテ貝殻置換率 100%のコンクリート試験」の場合 (表-1) 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ブ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。

3.3.2 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、「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。

3.3.3 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。

3.3.4 練混ぜ

コンクリートの練り混ぜは、容量 55L の強制練りミキサパン形を用いて行った。

3.3.5 フレッシュコンクリート試験

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。

3.3.6 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 $\phi 10 \times 20$ 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 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中で養生を行った。

3.4 モルタル試験

3.4.1 カキ貝殻細骨材の粒度調整

モルタル試験には、カキ貝殻を粉碎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、0.6~0.3mm、0.3~0.15mm、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。

3.4.1 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、「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-4 の配合でモルタル試験を実施した。なお、使用材料は「3.3 コンクリート試験」と同じである。

表-4 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-5 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 ³)					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 ³ /cm ²)	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	大井川 陸砂	808	0	1027	0.65	a: 0.002	8.0	4.6	21	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

3.4.2 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。

3.4.3 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。

3.4.4 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。

3.5 試験結果

3.5.1 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/cm³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、「絶乾密度が2.5g/cm³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/cm³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/cm³および1.99%、置換率30%:2.51g/cm³および1.81%、置換率45%:2.50g/cm³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。

3.5.2 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-5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-5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-5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-6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

表-6 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 ²)			
	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-7 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 ³)	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
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
大井川水系陸砂	45	2.0	0.003	115	2.061	7.4	20

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。

3.5.3 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-7 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

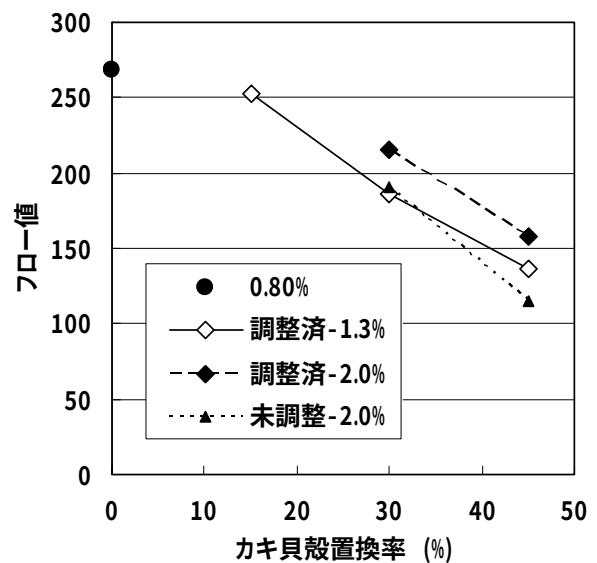


図-4 カキ貝殻置換率とフロー値との関係。凡例の数字は高性能 AE 減水剤使用量を表す。

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。

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¹¹⁾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

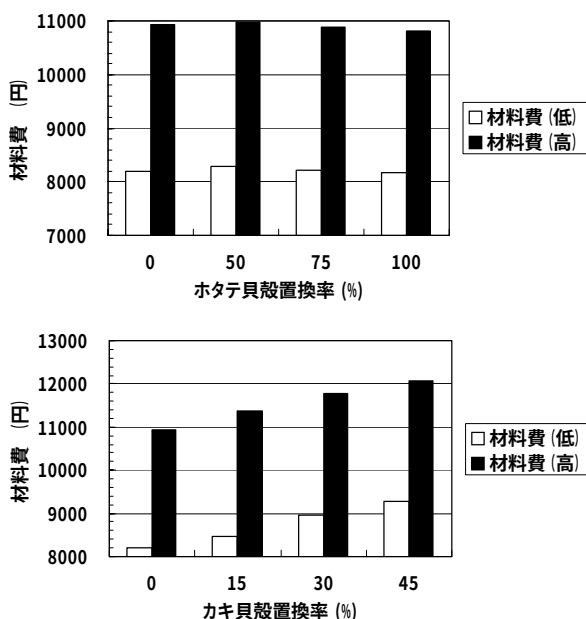


図-5 ホタテ・カキ貝殻の置換率と材料費との関係

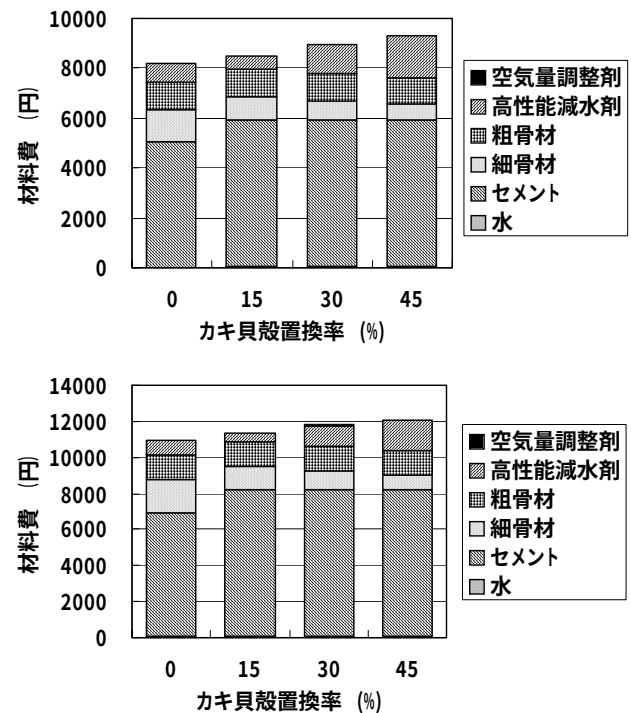


図-6 カキ貝殻置換細骨材を用いたコンクリートの材料費の内訳。上段：低材料費の場合。下段：高材料費の場合。

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。

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. 新たなリサイクル材料と利用技術の検討

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-8 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○、

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

表-8 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
廃木材 ¹²⁾¹³⁾ (チップ化)	歩道用 舗装	<文献から抽出した項目> - 木質廃材を歩道用舗装材として適用するための品質評価として、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」について評価している。 i) 骨材飛散抵抗性：カンタブロ試験 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となる。	<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している。（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）による確認が必要であると考えられる。	<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。
廃木材 ¹⁴⁾¹⁵⁾ (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：一軸圧縮試験により、木質ペレットの内部構造の均一性について検討。 ii) 圧密特性：圧密試験による間隙比と圧密応力の関係から、木質ペレットの吸水膨張性について検討。 iii) 圧縮性・強度特性：三軸圧縮試験による圧密応力と間隙比、及び内部摩擦角・粘着力（せん断応力）から、木質ペレットの体積膨張性及び強度発現性について検討。 <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> - 地盤材料として基本的な土質工学的性状を確認しているが、生分解性複合素材の内部構造について、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と考えられる。 - 廃木材の腐食が地盤に及ぼす影響についての調査が必要と考えられる。 <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。
廃木材 ¹⁶⁾ (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と考えられる。 <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。
都市ごみ焼却灰等 ¹⁷⁾¹⁸⁾ (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・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> - 様々な廃棄物をプレス成形して、有害物を封じ込める方法であるが、繰り返し再利用性の評価や破損時などの対応の検討などが必要。 <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。
下水汚泥焼却灰等 ¹⁹⁾²⁰⁾ (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している。 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。

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

表-8 新たなリ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
農業用廃ビニール ^{21)・23)} (減容固化処理)	I L B	<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）を検討している。 <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、経済性が不明なため、現時点での掲載は時期尚早。
製紙スラッジ焼却灰 ²⁴⁾²⁵⁾ (焼却灰)	地 盤 材 料	<文献から抽出した項目> - PS灰及び採石粘土の単体としての基本性状、及び混合物（HBソイル、HBサンド、HBグラウト）の物理的・力学性状について評価している。 (HBソイル、HBサンド) i) 単体の基本性状・・・粒度、単位容積重量、強熱減量、化学組成 ii) 混合物特性 ・締め固め特性・・・最大乾燥密度、最適含水比 ・透水性・・・透水性試験 ・強度特性・・・CBR、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 ・乾湿繰り返し抵抗性・・・乾湿繰り返し（細粒化の程度の評価） (HBグラウト) i) 流動性・・・フロー値（空隙充填性及び施工性） ii) 強度特性・・・一軸圧縮強度及び変形係数	<文献から抽出した項目> - 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。 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」 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。 「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」	<コメント> - PS灰を土木材料等に大量に利用する場合、品質管理の面から灰の種類ごとの成分の変動を確認する必要がある。 - PS灰：PS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5-425μm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。 <現時点での評価>：○ - 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。
製鋼スラグ ^{26)・28)} (熱溶融処理)	地 盤 材 料 S C P 材	<文献から抽出した項目> - 製鋼スラグ単体、及び地盤改良用製鋼スラグ（SCP用[®]）の混合物特性について評価している。 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 ii) 混合物特性：密度、CBR値、三軸圧縮強度、透水係数 (※SCP：サンドコンパクションパイル) <上記以外で考慮が必要な項目> - 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。	<文献から抽出した項目> - 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 - SCP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計測している。 i) pH：製鋼スラグを海域で利用する場合には、海水成分による緩衝作用あるいは希釈により、周辺海域のpHの上昇はほとんどない。 ii) 有害物質の溶出： 「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」により、製鋼スラグを溶出試験した結果、「海洋汚染防止法水底土砂基準」をクリア。 - ごく一部の製鋼スラグには、重金属などの溶出量が基準値を超えるものがあるが、「これら溶出の恐れのあるスラグは、製造所において分別・管理されているため建設資材として一般に流通することはない（港湾工事事用製鋼スラグ利用手引き書）」とされている。	<コメント> - 製鋼スラグは、JIS化されている。 <現時点での評価>：○ 「マニュアル第1版」にはSCP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。
産業廃棄物 ²⁹⁾³⁰⁾ (溶融固化)	I L B 地 盤 材 料	<文献から抽出した項目> - 溶融スラグ単体としての基本性状は、下記の項目を実施しており、材料としての品質の均一性（安定性）を評価している。 i) 密度（比重）、粒度、単位容積重量、液性・塑性限界、透水係数 - 溶融スラグの土工材料としての適用性を評価するために、下記の項目を実施している。 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 ii) 路床支持力・・・CBR試験（設計CBR） iii) セン断特性・・・三軸圧縮試験による内部摩擦角 <上記以外で考慮が必要な項目> - 溶融スラグを地盤材料（路床、盛土材）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。 - ILB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。	<文献から抽出した項目> - 環境関連評価に関する記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> - 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PCB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」）	<コメント> - 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と思われる。 <現時点での評価>：△ - 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。

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

表-8 新たなリ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
ペットボトル ³¹⁾ (フレーク)	気 泡 軽 量 混 合 土	<文献から抽出した項目> ・PET 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。 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PET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。 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。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・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）が必要と考えられる。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> ・PET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に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PET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。	<コメント> ・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できる。 ・フレーク状のPET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がある。 <現時点での評価>：○ ・利用可能量、コストなどの観点からさらに整理が必要。
FRP ³²⁾ (プレス成形)	歩 道 用 舗 装	<文献から抽出した項目> ・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。 i) 表面の硬さ：表面硬度 ii) 表面の耐久性：表面ゴム層引っ張り試験（JIS K6251）、据え切り試験 iii) 透水性：透水試験（JASS 7 M101） iv) すべり抵抗性：BPN測定（ASTM E303） v) 混合物の強度：曲げ試験（JASS 7 M101）、圧縮試験（JIS K6911） vi) 耐凍結融解性：凍結融解試験（JIS A1435）	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・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。	<コメント> ・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。 ・実施工による耐久性、長期供用性の評価が必要であると考えられる。 <現時点での評価>：△ ・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。
廃白土 ³³⁾ (使用済み白土 [※]) ※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	<文献から抽出した項目> ・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、再生混合物のたわみ性、耐流動性、ひび割れ性について評価している。 i) 再生アスファルトの回復度：回収アスファルトの針入度、軟加點、15℃伸度試験 ii) 再生混合物のたわみ性：曲げ試験 iii) 再生混合物の耐流動性：動的安定度 iv) 再生混合物の耐流動性・ひび割れ性：圧裂試験による圧縮強度比 <上記以外で考慮が必要な項目> ・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である。また、再リサイクル性の検討も必要。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> ・「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ないものと考えられる。	<コメント> ・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要であると考えられる。 <現時点での評価>：△ ・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。
不溶性スラッジ ³⁴⁾ (焼 結 [※]) ※金属の表面処理（リン酸塩被膜処理）の際に発生する不溶性スラッジと大谷石の破碎くずを主に1000～1200℃で焼成	タイル	<文献から抽出した項目> ・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ころだが、材料品質評価に関する詳細の記述なし。 <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。 ・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）による評価が必要と考えられる。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・原料・素材は、「大谷石」の破碎屑、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。	<コメント> ・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要であると考えられる。 <現時点での評価>：△ ・発生量が把握できておらず、判断できない。
廃 瓦 ³⁵⁾ (破 碎)	歩 道 用 舗 装	<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> ・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。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・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> ・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要である。 <現時点での評価>：△ ・品質安定性と発生量の観点から検討が必要。
製鉄所の廃粘土 ³⁶⁾ (焼成固化)	建 設 用 資 材 の 充 填 材	<文献から抽出した項目> ・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 <上記以外で考慮が必要な項目> ・使用用途からみて、JISの建築材料「コンクリート製品・タイル・れんが」の品質規格を参照する必要がある。	<文献から抽出した項目> ・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（Brazilian Standards）で確認。 ・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_x、NO_x）を行っている。 <上記以外で考慮が必要な項目> ・「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。	<コメント> ・耐久性に関する確認・評価が必要と考えられる。 <現時点での評価>：× ・国内での情報がなく、現時点では判断できない。

表-8 新たなリサイクル材料の検討結果（その4）

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
リン酸石膏 ³⁷⁾ (セメント固 化)	路盤材	<文献から抽出した項目> ・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。 i) 最適含水比及び最大乾燥密度の決定 ・標準プロクター及び修正プロクター締め固め試験 ii) 強度及び膨張量測定・・・軸圧縮試験、線膨張試験 <上記以外で考慮が必要な項目> ・路盤材は、「舗装設計施工便覧」の品質規格を参照。	<文献から抽出した項目> ・環境評価については記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> ・「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。	<コメント> ・耐久性及び長期供用性の確認・評価が必要であると考えられる。 <現時点での評価>：× ・国内での情報がなく、現時点では判断できない。
焼却施設のボ トムアッシュ ³⁸⁾ (焼却灰)	路盤材	<文献から抽出した項目> ・一般固化廃棄物のボトムアッシュについて、下記の項目について品質評価試験を行っている。 i) 最適含水比、最大乾燥密度：修正プロクターによる締め固め試験 ii) 有機物含有量：加熱燃焼（550℃）による重量損失量 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) <上記以外で考慮が必要な項目> ・路盤材では、「舗装設計施工指針」の品質規格を参照。 ・有機物含有量は、ボトムアッシュの変形特性（レジリエントモジュラス）に影響しているため、材料試験として確認する必要があると考えられる。	<文献から抽出した項目> ・環境関連評価に関する記述なし <上記以外で考慮が必要な項目> ・「土壌の汚染に係わる環境基準」等による溶出試験により、含有量の確認を行う必要があると考えられる。	<コメント> ・長期的な耐久性の確認が必要であると考えられる。 <現時点での評価>：× ・国内での情報が少なく、判断できない。

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。

6. まとめ

ホタテ貝殻およびカキ貝殻のコンクリート用細骨材としての適性を判断するため、各種骨材試験、コンクリート試験、モルタル試験を実施した。その決壊化のことが判明した。

- 1)ホタテ貝殻はコンクリート用細骨材として微粒分量が基準を満足していない以外は基準を満足していた。
- 2)ホタテ貝殻 100%置換細骨材を使用したコンクリートは、圧縮強度、曲げ強度、耐久性ともに問題はなかった。
- 3)カキ貝殻 100%置換の細骨材では、微粒分量および絶対乾密度が基準を満たさなかったが、カキ貝殻置換率15～45%では、粒度分布、密度、吸水率ともに基準を満足していた。
- 4)カキ貝殻置換率 15～45%の細骨材を用いたコンクリートでは、フレッシュコンクリートの性質および圧縮強度において、特に問題はなかった。
- 5)カキ貝殻置換率 15～45%の細骨材を用いたモルタルでは、置換率の増加とともにフロー値が小さくなり、

流動性が低下した。

6)ホタテ貝殻置換細骨材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を貝殻置換率 0%のコンクリートと比較すると、ホタテ貝殻の場合は、置換率の増加とともに材料費は低くなるが、カキ貝殻の場合には逆に高くなる。したがって、ホタテ貝殻の細骨材への適用は実用性が見込めるが、カキ貝殻の実用的な適用は困難であると考えられる。

7)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た結果、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)が「マニュアル第二版」に掲載する候補として妥当であると考えられる。

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

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

- 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
- 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) (財) 建設物価調査会、「建設物価」、平成 20 年 3 月号
- 12) 田中他：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抄録集、平成 16 年度廃棄物対策研究推進事業、pp.II-87-90、2004
- 13) 田中他：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抄録集、平成 15 年度廃棄物対策研究推進事業、pp.II-52-55、2004
- 14) 山本他：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講演集、vol.39、No.1/2、pp.641-642、2004
- 15) 山本他：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講演集、vol.39、No.1/2、pp.639-640、2004
- 16) 稲井：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講演研究発表論文集、vol.20、pp.47-51、2004
- 17) 山崎：リサイクルと水熱反応、Jasco report、特集第 6 号、pp.6-14、2002
- 18) Oida, M.: Recycling of inorganic wastes as paving tile by hydrothermal technology. Journal of the Ceramic Society of Japan, vol.112, No.1305, pp.1368-1372, 2004
- 19) 「焼き物の町」で廃棄物を使った無焼成レンガを商品化し、月刊地球環境、vol. 33、No. 3、pp.52-53、2002
- 20) 三谷：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
- 21) 久保井他：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講演集、vol.41、No.1/2、pp.641-642、2006
- 22) 久保井他：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、Disk2、2005
- 23) 久保井他：建設資材であるブロックへの農業用廃ビニールの有効活用について、地球環境シンポジウム講演論文集、vol.11、2003
- 24) 笹木他：P S 灰と碎石粘土の混合地盤材料の路床・路盤への活用事例、基礎工、vol.32、No.7、pp.48-51、2004
- 25) 浅田他：P S 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：素材産業におけるリサイクルへの取り組み 鉄鋼スラグへの利用、日本エネルギー学会誌、vol.81、No.2、pp.98-104、2002
- 27) 松井他：粒状化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、社会鉄鋼工学会スラグ利用プレハブ構造材研究会第 2 回報告会、平成 15 年、pp.43-46、2003
- 28) Evans, D.: Recycling steelmill byproducts some practical developments and outstanding issues. Ironmaking & Steelmaking, vol.31, No.6, pp.435-438, 2004
- 29) 与田他：産業廃棄物溶融スラグの有効活用、環境浄化技術、vol.4、No.10、pp.54-58、2005
- 30) 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 A S R 処理、鉱山、vol.58、No.4、pp.9-11
- 31) 亀井他：フレーク状のペット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
- 32) 伊藤他：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.A31.1-A31.2、2002
- 33) 渡邊他：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、pp.9107、2003
- 34) 日本パーカ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
- 35) 小林他：瓦廃材の骨材化システム、産業機械、No.668、2006
- 36) Geiza, E: Use of mix of clay/solid waste from steel works for civil construction materials. Waste Management & Research, vol.22, No.5, pp.358-363, 2005
- 37) Parreira, A, B: Influence of Portland cement type on unconfined compressive and liner expansion of cement-stabilized phosphogypsum. Journal of Environment Engineering, vol.129, No.10, pp.956-960, 2003
- 38) Arm, M.: Variation in deformation properties of processed MSWI bottom ash: result from trial tests. Waste Management, vol.24, No.10, pp.1042-1042, 2004

12.1 RECYCLE MATERIALS MADE OF INDUSTRIAL BYPRODUCT FOR CONSTRUCTION PROJECT

Scallop shells satisfy the standards for fine aggregate used in concrete except for fine grain amount. Compressive and flexural strengths and durability of concrete made from the fine aggregate which was wholly replaced by scallop shells had no problem. The fine aggregate which was wholly replaced by oyster shells did not satisfy the standards in fine grain amount and density in absolute dry condition. However, the fine aggregates which were 15 to 45% replaced by oyster shells satisfy the standards in grain size distribution, density and water absorption. Properties of fresh concrete and compressive strength of the concrete made from the fine aggregates which were 15 to 45% replaced by oyster shells showed no problem. In scallop shells containing fine aggregate, the prices of materials composing concrete are lowered when replacement ratio of shells is increased. Whereas in oyster shells containing fine aggregate, the prices of materials composing concrete are raised when replacement ratio of shells is increased.

Based on suitability for the quality standards in user and environmental safety of recycle materials, scrapped wood, ash of paper manufacture sludge, steel slag and polyethylene terephthalate bottles were selected as suitable recycle materials which described in second version of the manual.

Keywords: recycle materials from other industry, fine aggregate, scallop shells, oyster shells