

# 積雪寒冷地における他産業再生資材の 舗装材料としての適用方法に関する検討について

国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○大山 健太郎  
国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 安倍 隆二  
国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 上野 千草

本研究では、積雪寒冷地における他産業再生資材の利用促進を図る目的とし、舗装材料としての適用方法を検討した。本報告では、過去に他産業再生資材を用いた各種試験、試験施工および追跡調査の実施結果を基に、舗装用材料としての適用方法について検討した結果を報告するものである。

キーワード：積雪寒冷地、他産業再生資材、リサイクル、環境安全性、供用性

## 1. はじめに

他産業再生資材とは、建設産業以外の生産活動にともなう発生源を原料とした再生資材である。

平成25年度の全国の産業廃棄物排出量は、3億8,470万トンであり、3%にあたる約1,172万トンが最終処分されている<sup>1)</sup>。図-1に全国の産業廃棄物処理状況を示す。産業廃棄物は再生利用され減量化が進められているが、最終処分量は鉱さいで6%、燃え殻で30%、ガラス等のくず、ゴムくずは各々約20%程度あり、リサイクル推進の観点から積極的に活用していくことが望ましい。他産業再生資材を積雪寒冷地で活用するためには、地域特性を考慮の上、環境安全性、品質、供用性状、経済性、および供給量を検討する必要がある。

本報告では、過去に他産業再生資材を用いた各種試験、試験施工、および追跡調査を基に、舗装用材料としての適用方法について検討した結果を報告するものである。

## 2. 試験に使用した他産業再生資材

他産業再生資材の舗装用材料としての適用方法について検討するため、ガラス瓶のワンウェイ瓶を細かく砕いたガラスカレット（以下、ガラスカレット）（写真-1）、バイオマスボイラーから発生する焼却灰とセメント等を混練機で製造した再生資材（以下、焼却灰）（写真-2）、家庭などから排出される一般廃棄物を加熱・溶融し、冷却・固化した溶融スラグ（以下、溶融スラグ）（写真-3）、鉱石から金属を製錬する際に、冶金対象で金属から溶融によって分離した鉱石母岩の鉱物成分などを含む物質の転炉スラグ（以下、転炉スラグ）（写真-4）、舗装用の石粉として用いられる石灰岩と同じ炭酸カルシウムを主成分とするホタテ貝殻（以下、ホタテ貝殻）（写真-5）を用い試験を行った。

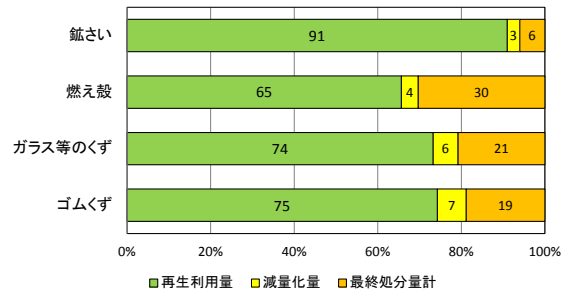


図-1 産業廃棄物処理状況



写真-1 ガラスカレット



写真-2 焼却灰



写真-3 溶融スラグ



写真-4 転炉スラグ



写真-5 ホタテ貝殻

表-1 試験施工概要

	利用対象	混合率	利用場所	施工時期
ガラスカレット	凍上抑制層材料	100%	構内道路	H22.9
焼却灰	凍上抑制層材料	100%	市道	H23.11
溶融スラグ	表層混合物用骨材	10%	市道	H18.10
溶融スラグ	路盤材料	10%, 30%	市道	H19.12
転炉スラグ	表層混合物用骨材	54.5%	一般国道	H15.10
ホタテ貝殻	表層混合物用フィラー	7.7%	一般国道	H14.11

### 3. 試験施工の概要

各他産業再生資材を用いた試験施工は表-1に示した時期に行っており、各試験施工箇所の舗装断面は図-2に示すとおりである。全ての箇所において、他産業再生資材を用いた工区と、一般的な舗装材料を用いた比較工区を設け試験を実施した。

### 4. 環境安全性

他産業再生資材を使用する際には安全性が第一に求められるが、環境安全性の評価基準は、現在定められてはいない。しかしながら溶出基準や含有量基準を超える環境汚染物質が含まれる他産業再生資材を舗装材料に用いた場合は、環境汚染物質の溶出による地下水汚染や、粉塵などを直接摂取することによる人体への健康被害などが考えられる。一方、土壌汚染対策施行規則においては、第二種特定有害物質で溶出量および含有量が規程されている(表-2)。

表-3に試験施工で用いた他産業再生資材の溶出試験の結果を示す。溶出試験については、土壌汚染対策施行規則の基準値を満足しており問題はない結果となった。

表-4に含有量試験結果を示す。焼却灰は土壌汚染対策施行規則の基準値を満足した。一方、溶融スラグ単体では満足しなかったが、切込砕石と混合したものは基準値を満足した。なお、JIS A 5032:2006では混合して満足するものは使用可能としている。

転炉スラグ・ホタテ貝殻については成分の確認を行い環境安全性を評価した。転炉スラグの成分は、酸化カルシウム(CaO)、二酸化ケイ素(SiO<sub>2</sub>)、鉄(T-Fe)が成分であり、有害物質が含まれていない。ホタテ貝殻の成分は、石灰岩から製造される石粉と成分が同程度であり性状については問題がないことが分かった。また、焼却灰については、六価クロム、セレン、ほう素、ふっ素は1ヶ月に2回、その他の項目は1ヶ月毎に溶出試験を実施している(表-5)。試験回数は13回~28回行っているが、基準値を上回ることがなく、環境安全性について十分に品質管理が行われている。

今後、他産業再生資材を道路用材料として活用する場合の環境安全性の留意事項を以下に示す。

- (1) 現地では、長期供用後の安全性を確認することが困難であることや、繰り返し再生利用を踏まえて、供用後の環境安全性を確保するためには、溶出試験と含有量試験の基準値を満足することが望ましいと考えられる。
- (2) 他産業再生資材の性状の変動率を勘案して、使用材料の性状を代表するように試験ロット(ほぼ同一性状成分とみなせる同一発生源の資材)の大きさを適切に設定することが必要である。
- (3) 使用箇所の土壌や地下水位の環境条件などにより水

Kentarou Ooyama, Ryuji Abe, Chigusa Ueno

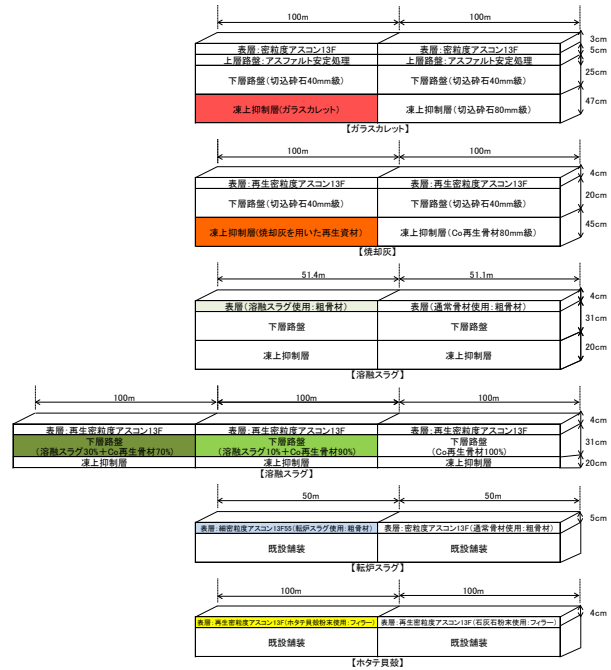


図-2 試験施工箇所の舗装断面

表-2 第二種特定有害物質(各基準値)

項目	溶出基準(mg/l)	含有量基準(mg/kg)
カドミウム及びその化合物	0.01以下	150以下
六価クロム化合物	0.05以下	250以下
シアン化合物	検出されないこと	50以下
水銀及びその化合物	0.0005以下	15以下
アルキル水銀	検出されないこと	—
セレン及びその化合物	0.01以下	150以下
鉛及びその化合物	0.01以下	150以下
砒素及びその化合物	0.01以下	150以下
ふっ素及びその化合物	0.8以下	4,000以下
ほう素及びその化合物	1以下	4,000以下

表-3 溶出試験

重金属等(第二種特定有害物質)					
溶出試験	溶出基準(mg/l)	ガラスカレット	焼却灰	溶融スラグ	転炉スラグ
カドミウム及びその化合物	0.01以下	0.001	0.001	0.005	—
六価クロム化合物	0.05以下	0.002	0.044	0.04	—
シアン化合物	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	—
水銀及びその化合物	0.0005以下	0.0001	0.00016	0.0002	—
アルキル水銀	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	—
セレン及びその化合物	0.01以下	0.001	0.007	0.004	—
鉛及びその化合物	0.01以下	0.003	0.001	0.006	—
砒素及びその化合物	0.01以下	0.001	0.001	0.003	—
ふっ素及びその化合物	0.8以下	0.1	0.62	0.17	—
ほう素及びその化合物	1以下	0.1	0.5	0.06	—

試験無し(-)

表-4 含有量試験

重金属等(第二種特定有害物質)					
溶出試験	含有量基準(mg/kg)	ガラスカレット	焼却灰	溶融スラグ	転炉スラグ
カドミウム及びその化合物	150以下	—	15	2	—
六価クロム化合物	250以下	—	25	2	—
シアン化合物	50以下	—	5	—	—
水銀及びその化合物	15以下	—	1.5	0.001	—
セレン及びその化合物	150以下	—	15	9	—
鉛及びその化合物	150以下	—	33	415	—
砒素及びその化合物	150以下	—	15	20	—
ふっ素及びその化合物	4,000以下	—	400	—	—
ほう素及びその化合物	4,000以下	—	400	150	—

試験無し(-)

表-5 溶出試験(焼却灰)

分析項目試料(溶出試験)	単位	土壌	全試験回数(回) (H24.9~H25.9)	分析結果 (測定最高値)
		基準値		
カドミウム	mg/l	0.01以下	13	0.001未満
六価クロム	mg/l	0.05以下	28	0.044
全シアン	mg/l	検出されないこと	13	不検出
総水銀	mg/l	0.0005以下	13	0.00016
アルキル水銀	mg/l	検出されないこと	13	不検出
セレン	mg/l	0.01以下	28	0.007
鉛	mg/l	0.01以下	13	0.001未満
砒素	mg/l	0.01以下	13	0.001
ふっ素	mg/l	0.8以下	28	0.62
ほう素	mg/l	1以下	28	0.5

素イオン濃度の変化や化学反応などによる有害物質の発生を確認する必要がある。

表-6 他産業再生資材の材料試験

再生資材の種類		ガラスカレット	焼却灰	熔融スラグ	転炉スラグ	規格値 (表層)	規格値 (下層路盤材)	規格値 (凍上抑制層)
試験名		使用箇所			凍上抑制層	凍上抑制層	表層・下層路盤	表層
比重・吸水率試験	表乾密度 (g/m <sup>3</sup> )	-	-	2.66	3.65	砕石:2.50以上 細骨材:2.55以上	2.45以上 (As安定処理のみ)	-
	吸水率 (%)	-	-	0.35	0.83	砕石:2.5%以下	-	-
すり減り減量 (%)		26.0	45.7	35.3(スラグ0%混合) 36.7(スラグ10%混合) 42.4(スラグ30%混合) 66.1(熔融スラグ骨材)	11.1	砕石:30%以下	45%以下	-
安定性試験損失量 (%)		1.6	46.2	1.2	0.8	砕石:12%以下 細骨材:10%以下	20%以下	-
修正CBR試験 (%)		-	116.1	87.0(スラグ0%混合) 39.0(スラグ10%混合) 47.0(スラグ30%混合)	-	-	30%以上	-
水浸膨張比 (%)		-	-	-	0.04	2%以下	-	-
洗い試験 (75 μmフルイ通過量)		0.7	7.4	0.17	-	-	砕石:15%以下 砂利:9%以下	砕石:15%以下 砂利:9%以下
凍上試験	凍上率 (%)	0.3	0.88	0.06	-	-	-	-
	凍上様式 (段階1~6)	1	1	1	-	-	-	-
	凍結融解後のCBR (%)	22.3	81.4	18.1	-	-	-	-
	CBR保存率 (%)	82.0	90.6	92.6	-	-	-	-
凍上性の判定		合格	合格	合格	-	-	合格または要注意	合格または要注意

## 5. 材料試験

表-6に他産業再生資材の材料試験結果を示す。ガラスカレットと焼却灰を用いた再生資材は凍上抑制層に適用するために試験施工を実施した。洗い試験は、凍上性を評価する試験である。両材料ともに砕石の規格値15%以下と比較すると規格値を満足している。また、凍上試験では凍上性の判定は合格となり、非凍上性と評価された。凍結融解後のCBR試験では80%~90%の範囲内である。

熔融スラグは、下層路盤および表層用のアスファルト混合物に適用するために室内試験を実施した。下層路盤材料としては、凍上試験により非凍上性が確認された。ただし、単体で使用するとすり減り減量の規格値を満足しないため、下層路盤材料や表層用のアスファルト混合物として使用する場合は、通常骨材を混入する必要があることが確認された。

図-3に表層用のアスファルト混合物として、耐摩耗性を評価するため熔融スラグ、転炉スラグ、ホタテ貝殻を使用した場合のチェーンラベリング試験の結果を示す。どの混合物も規格値1.3cm<sup>2</sup>以下の値となり、十分な耐摩耗性を有する再生資材であることを確認した。

以下に再生資材を利用するための舗装材料としての留意事項を示す。

- (1) 一般的な舗装材料の品質を満足することが必要である。
- (2) 凍上抑制層に使用する場合は、凍上試験により非凍上性を確認する必要がある。また、舗装構成を決定するため、凍結融解後のCBR試験を行い路床土と再生資材の合成CBRを算出する必要がある。
- (3) 下層路盤に使用する場合は、他産業再生資材の非凍上性の確認や、単体の使用で所定の支持力を有し、単体のみで使用が可能であるのか、あるいは一般通常骨材を混入する必要があるのかを確認する必要がある。

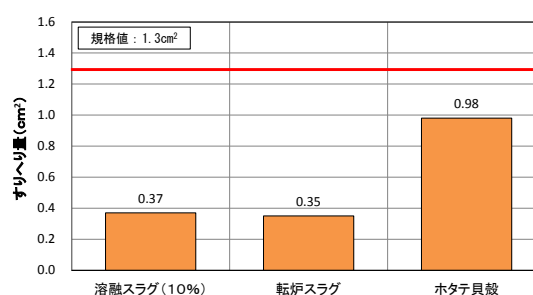


図-3 チェーンラベリング試験

表-7 製造時の留意事項

品名	製造時の注意点
ガラスカレット	特殊な製造装置が必要
焼却灰の再生資材	特殊な製造装置が必要
熔融スラグ	製造後ふるい分け作業が必要
転炉スラグ	一定期間のエイジングを行う必要がある
ホタテ貝殻	新たな製造プラントが必要

表-8 施工時の留意事項

品名	施工時の注意点
ガラスカレット	締固め機械は振動ローラーを用いると施工性が良い
焼却灰の再生資材	最適含水比の管理
熔融スラグ	下層路盤に用いる場合は、再生骨材と通常骨材を均一に混合する必要がある
転炉スラグ	アスファルト混合物の温度低下は通常混合物より早い
ホタテ貝殻	通常の使用方法で使用可能

表-9 締固め度

品名	施工箇所	締固め度 (%)	規格値 (%)
ガラスカレット	凍上抑制層	101.8	90以上
焼却灰	凍上抑制層	90.9	90以上
熔融スラグ(スラグ10%)	下層路盤	99.3	93以上
熔融スラグ(スラグ30%)	下層路盤	99.7	93以上
熔融スラグ(スラグ10%)	表層用の混合物	99.3	94以上
転炉スラグ	表層用の混合物	99.5	94以上
ホタテ貝殻	表層用の混合物	99.8	94以上

- (4) アスファルト混合物に使用する場合は、積雪寒冷地で定められた骨材の密度、吸水率、安定性試験の規格値を満足することや、表層に使用する場合は、チェーンラベリング試験により耐摩耗性の評価を行うことやマーシャル安定度試験を行い、最適な再生資材の混合率を決定する必要がある。



## 6. 製造時・施工時・品質管理における留意事項

### (1) 製造時

表-7に製造時の留意事項を示す、他産業再生資材の製造は、各々の再生資材によって特殊な製造装置が必要となる場合がある。ガラスカレット、焼却灰、ホタテ貝殻については各々の再生資材を製造するために、新たな製造プラントを作る必要があった。

転炉スラグは、スラグ中にある石灰分が水と反応して膨張する性質があるため、エージング処理を行い、水浸膨張比が規格値以下のものを使用する必要がある。

熔融スラグについては、下層路盤用に使用する際、単独使用で規格値を満足しない場合は、通常骨材と混合する必要がある。アスファルト混合物の表層用骨材に利用する場合は、耐摩耗性を確保するため、10%程度の混合率とする必要がある。

### (2) 施工時

表-8に施工時の留意事項を示す。ガラスカレットを凍上抑制層として使用する場合は、転圧時に振動ローラを用いた。これはタイヤローラより転圧効果が期待できるためである。

焼却灰を凍上抑制層材料として使用する場合は、吸水率が高く、水分が吸水されやすいことから、最適含水比を確保するため天候によっては散水を行う必要がある。

熔融スラグを下層路盤に使用する場合は、通常骨材と混合するための敷地の確保や混合方法を検討する必要がある。十分な混合を行わなければ、均一な支持力が確保しにくいと考えられる。また、アスファルト混合物に使用する場合は、0～5mm程度の粒度に調整する必要がある。細かい粒度に調整しないで使用すると、骨材が破碎し、剥離の原因となる。

転炉スラグを表層用混合物として使用する場合は、混合物の温度低下が通常混合物より早いため、迅速な施工が必要となる。

### (3) 品質管理

表-9に品質管理項目の一項目である締固め度の試験結果を示す。全ての施工箇所規格値は満足した。

一般的には砂置換法で締固め度を評価するが、ガラスカレットについては、火山灰や砂で一般的に利用されている球体落下試験も併せて行った。その結果、ガラスカレットは球体落下試験でも品質管理を行えることを確認した。

以上の結果、他産業再生資材は特殊なプラントを作る必要がある場合があることや、施工性については再生資材によっては各々の留意事項があることが確認されたので、使用に当たっては、他産業再生資材の各々の留意事項を考慮する必要がある。



写真-6 焼却灰を用いた試験施工箇所における開削調査



写真-7 路床部の地下水

表-10 追跡調査項目

	ガラスカレット	焼却灰	熔融スラグ	転炉スラグ	ホタテ貝殻
横断凹凸量調査	○	○	○	○	○
FWD試験	○	○	○	—	—
目視確認	○	○	○	○	○
凍上量調査	○	○	○	—	—

## 7. 供用後の安全性について (pHについて)

他産業再生資材を用いた舗装の供用後において、有害物の溶出および舗装の切削や再生利用の過程で有害物が発生する可能性の有無を確認する必要がある。今回、焼却灰を使用した箇所の開削調査を行い(写真-6)、路床部まで開削を行った。路床部から地下水(写真-7)を採取して焼却灰による影響を確認するため、pH試験を実施した結果、pHは7.1を示し、地下水に影響を与えていないことを確認した。

## 8. 供用性の確認について

他産業再生資材を用いた試験施工箇所の追跡調査項目を表-10に示す。供用性能を確認するため、調査内容は、横断凹凸調査、FWD試験、目視確認および凍上量調査等を実施した。

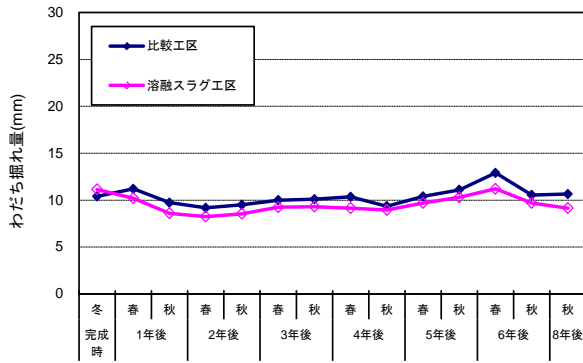


図-4 わだち掘れ量 (熔融スラグ)

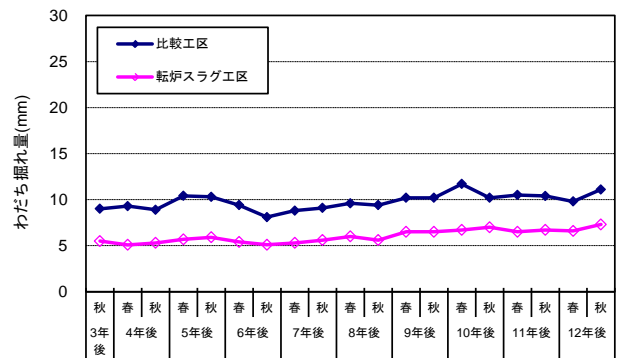


図-5 わだち掘れ量 (転炉スラグ)

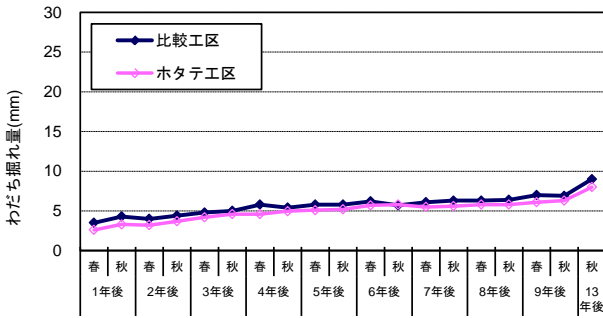


図-6 わだち掘れ量 (ホタテ貝殻)

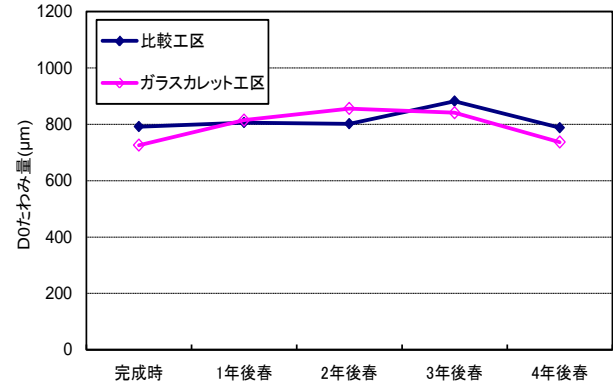


図-7 FWD試験 (ガラスカレット)

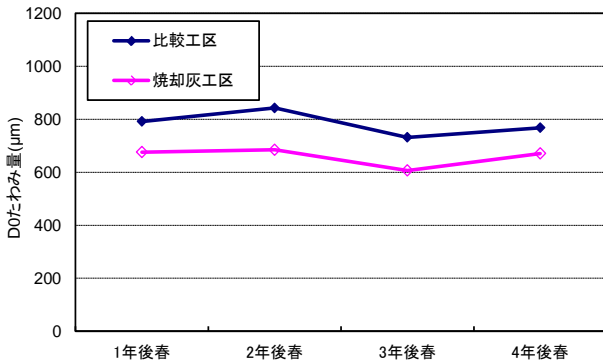


図-8 FWD試験 (焼却灰)

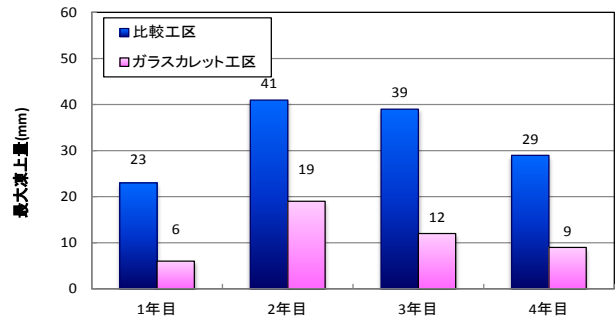


図-9 凍上量 (ガラスカレット)

### (1) わだち掘れ量

舗装材料に熔融スラグ (図-4)、転炉スラグ (図-5) およびホタテ貝殻 (図-6) を用いた試験施工箇所のわだち掘れ量の調査を実施した。供用期間は、熔融スラグで8年、転炉スラグおよびホタテ貝殻で10年以上であるが、他産業再生資材工区のわだち掘れ量は、比較工区と比べても同程度または同程度以下の数値であり、良好な路面性状である。

### (2) FWD試験

凍上抑制層材料にガラスカレットおよび焼却灰を用いた試験施工箇所のFWD試験の結果を図-7および図-8に示す。FWD試験とは、重錘を落下させて路面に衝撃を加え、その時に発生する路面のたわみ量を測定し、舗装

の構造性能を評価するものである。ガラスカレットおよび焼却灰を用いた試験施工箇所の供用期間は4年であり、主に融解期に調査を実施した結果、他産業再生資材工区のたわみ量は、比較工区と比べて、同程度または同程度以下であり、良好な支持力を示した。

### (3) 凍上量調査

代表的な事例として凍上抑制層に使用したガラスカレットの凍上量調査結果を図-9に示す。施工後4年間、現地調査を行ったが、ガラスカレット工区の凍上量は、比較工区に比べ小さい結果となった。表-6に示す材料試験時においても、凍上率が低い材料であり、ガラスカレットは凍上しにくい材料であることが確認された。

## 9. 他産業再生資材の適用方法について(案)

試験施工の結果を基に、積雪寒冷地における他産業再生資材の適用方法を検討した結果を以下に示す。

図-10は積雪寒冷地における他産業再生資材の舗装材料として活用する場合の考え方(案)のフロー図であり、表-11は図-10の対応表である。なお、このフロー図は「舗装再生便覧<sup>2)</sup>」の考え方に積雪寒冷地特有の留意事項を付加したものである。

以下に他産業再生資材を舗装用材料として活用する場合の留意事項を以下に示す。

### ① 素材の安全性

他産業再生資材は、単体として溶出試験と含有量試験により規格値を満足することが望ましい。これは、他産業再生資材は繰り返しリサイクルを前提としている材料であるため、リサイクル時に材料の偏り等により、溶出量または含有量が規格を満足しないことが発生し再利用時に支障をきたすことが想定されるためである。

### ②-1 積雪寒冷地に適した舗装用材料の性状

他産業再生資材は、積雪寒冷地特有の凍上や凍結融解等に対する性能を有し、舗装用材料として満足する性状であること。

### ②-2 舗装用材料の性状を改善する対策が可能

舗装用材料として満足されない場合でも、品質の改善が可能な場合がある。これらの対策の有無と対策に要する費用を勘案して採否を判断する。

### ③-1 製造・施工性の問題

他産業再生資材の製造は、特殊なプラントが必要になることや製造工程が特殊な場合がある。施工性においては他産業再生資材の留意事項を踏まえた施工を行うこと。また、施工時は使用する建設機械により施工性の向上が改善できるため、選定する建設機械には留意すること。

### ③-2 製造・施工性の問題点の解決が可能

製造・施工に問題点がある場合でも、製造方法および施工方法の改善により問題点を解決できる場合がある。これらの対策の有無と対策に要する費用を勘案して採否を判断する。

### ④ 供用後における安全性

供用後に舗装の変状や有害物の溶出の有無を確認することや、舗装の切削が再生利用の過程で有害物が発生する可能性がないかを確認する。

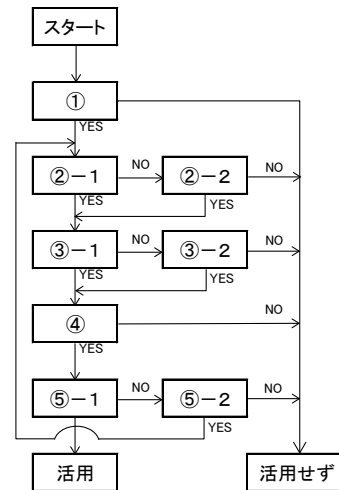


図-10 積雪寒冷地における他産業再生資材の舗装材料として活用する場合の考え方(案)

表-11 図-10の対応表

①	素材の安全性に問題がない
②-1	積雪寒冷地に適した舗装材料の性状
②-2	舗装用材料の性状を改善する対策が可能
③-1	製造・施工に問題はない
③-2	製造・施工に問題点の解決が可能
④	供用後の安全性に問題ない
⑤-1	積雪寒冷地における十分な供用性能
⑤-2	適用条件の変更により活用が可能

### ⑤-1 積雪寒冷地における十分な供用性能

他産業再生資材を使用した試験舗装箇所において、供用後は、わだちぼれ調査や凍上量等の路面性状の確認を行い十分な供用性能を有しているか確認を行うこと。

### ⑤-2 適用条件の変更により活用が可能

試験舗装により、所定の供用性能に満たない場合でも、供用条件によっては利用することができる場合がある。舗装用材料の特性にあった適用箇所を再度検討する。

なお、活用するにあたっては、ライフサイクルコストの他に、ライフサイクルアセスメントなどにより、環境負荷低減に対する考慮も勘案して採否を判断することが望ましい。

## 10. おわりに

今回検討した試験施工箇所における他産業再生資材の使用は、安全性、材料性状、施工性および供用性に問題が少なくと思われる。今後は積雪寒冷地における他産業再生資材の適用方法(案)を提案する予定である。

## 参考文献

- 1) 環境省：平成25年度 産業廃棄物の排出・処理状況について、<http://www.env.go.jp/press/101858.html>
- 2) 社団法人 日本道路協会：舗装再生便覧、pp.116-122 平成22年11月