

# ガラスカレットの凍上抑制層材料への適用性に関する検討

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○ 三田村 宏二  
熊谷 政行  
安倍 隆二

ガラスカレットの有効利用方法として、舗装材料としての適用が考えられるが、その事例はまだ少ない。北海道のような積雪寒冷地の道路では、凍上による舗装の被害が発生するため、路床土の一部を凍上しにくい材料で置換する置換工法が対策としてとられており、「凍上抑制層」と呼ばれている。凍上抑制層には砂、切込砕石、切込砂利および火山灰の材料が用いられているが、ガラスカレットをより一層有効利用することを目的として、ガラスカレットを凍上抑制層に使用した場合の適用性について検討した。

キーワード：リサイクル、ガラスカレット、凍上抑制層

## 1. 背景

ガラス製品（ソーダ石灰ガラス）を破砕した状態の「ガラス屑」であるガラスカレット（写真-1）の利用率は、平成元年度以降年々増加しており、平成19年度には95.6%<sup>1)</sup>と資源有効利用促進法における平成22年度までの目標91%に達している。また、無色及び茶色のガラス製容器のほとんどはびん原料としてリサイクルされているが、その他の色のガラス製容器は、約6割がその他の用途としてリサイクルされている。今後も、ガラスカレットを有効利用することにより、省エネルギーとCO<sub>2</sub>削減効果がより一層推進される必要がある。

ガラスカレットの有効利用方法のひとつに、舗装構造における路盤材料としての適用がある。北海道では、砕石等が下層路盤材料に用いられるが、下層路盤は車輛の荷重を分散する役割を持つ重要な層であり、用いられる材料にはすりへり減量など一定以上の品質が求められる。

一方、北海道のような積雪寒冷地では、図-1 に示すように冬期の寒さが路床まで侵入して土に霜柱を発生させる、いわゆる「凍上」による舗装の被害が発生する。このため、路床の土の一部を凍上しにくい材料で置換する置換工法が対策としてとられている。この置換した層は「凍上抑制層」と呼ばれ、細かい粒子を多く混入しない砂や砂利など材が用いられている。そこで、ガラスカレットをより一層有効利用することを目的として、ガラスカレットを凍上抑制層に適用した場合の影響について検討した。

## 2. 検討方法

検討方法は、ガラスカレット自体の材料試験と、試験施工ヤード（図-2、図-3）を設け、舗装構造における凍

上抑制層にガラスカレットを適用し、舗装体に対する影響について調査（表-1）を行った。



写真-1 ガラスカレット

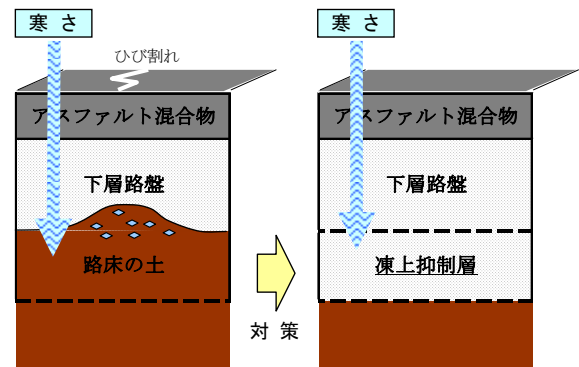


図-1 積雪寒冷地における舗装の凍上対策

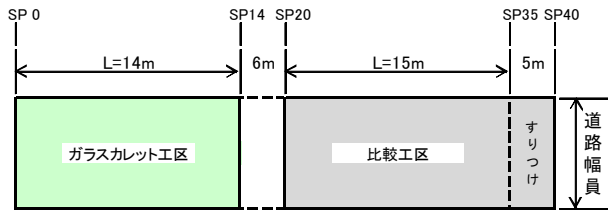


図-2 試験施工の平面図

ガラスカレット工区			比較工区		
密粒度アスコン(13F)	T=3cm		密粒度アスコン(13F)	T=3cm	
アスファルト安定処理	T=5cm		アスファルト安定処理	T=5cm	
40mm 級砕石 (下層路盤)	T=25cm		40mm 級砕石 (下層路盤)	T=25cm	
ガラスカレット (凍上抑制層)	T=47cm		80mm 級砕石 (凍上抑制層)	T=47cm	
路床土	-		路床土	-	

図-3 試験施工の舗装構成

表-1 試験施工における調査項目

調査項目	試験方法	試験目的
① 凍結深さ	凍結深度計	凍結深さを把握
	舗装体温度測定	凍結融解回数を把握 舗装体温度の経年変化を把握
② 締固め度	砂置換	締固め度を把握
③ 現場CBR試験	現場CBR試験器	施工部の支持力を把握
④ 凍上量調査	測量	凍上の影響を把握
⑤ FWD試験	FWD試験装置	舗装体の支持力を把握

### 3. 検討結果

#### (1) ガラスカレットの材料試験

ガラスカレットについて材料試験を実施し、凍上抑制層に一般的に用いられる 80 mm級切込砕石との材料物性を比較した結果を表-2 に示す。ガラスカレットを、舗装の凍上抑制層に適用する場合、最も重要となる性質は冬期間の寒さに対して凍上しないことである。凍上試験の結果、ガラスカレットの凍上率は 0.3%、凍結様式はコンクリート状であり、ガラスカレットは凍上しない材料であることがわかる。材料の凍上性を判断する目安である微粒分量試験結果は、凍上抑制層に一般的に用いられる 80 mm級切込砕石 14.3% (規格値 : 15%以下) に対して、ガラスカレットは 0.7%と非常に小さかった。また、吸水率も 80 mm級切込砕石と比較して低いため、非凍上性材料として有利な試験結果となっている。凍結融解の耐久性を表す粗骨材の安定性試験結果では、80 mm級切込砕石 4.7%に対し、ガラスカレットは 1.6%を示し、切込砕石と比較し、凍結融解への耐久性は高い材料である。路床材料の支持力を表す CBR 値は、80 mm級切込砕石 153.6%に対し、ガラスカレットは 27.2%と比較的小さいが、設計 CBR の上限である 20 以上を確保している。また、凍結融解作用を与えた後の CBR 保存率は、80 mm級切込砕石 58.3%に対して 82.0%と高く、凍結融解に対する抵抗性は 80 mm級切込砕石と比較し、同等以上の性能を有している。

Kouji Mitamura, Masayuki Kumagai, Ryuji Abe

表-2 材料試験結果

試料名		ガラスカレット 5-0mm	切込砕石 80-0mm
骨材の微粒分量試験 % (規格値 : 15%以下)		0.7	14.3
粗骨材の密度・吸水率試験	表乾密度 g/m <sup>3</sup>	2.49	2.56
	絶対密度 g/m <sup>3</sup>	2.49	2.50
	吸水率 %	0.19	2.33
ロサンゼルス試験機による粗骨材のすり減り試験 %		26.0	21.6
硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験 %		1.6	4.7
地盤材料の分類名		砂質礫	砂質礫
分類記号		GS	GS
試験方法		A-b法	E-b法
締固め	最大乾燥密度 ρ <sub>dmax</sub> g/m <sup>3</sup>	1.640	2.043
	最適含水比 W <sub>opt</sub> %	3.2	7.8
	膨張比 γ <sub>e</sub> %	0.013	0.000
貫入試験後含水比 W <sub>2</sub> %		12.1	8.3
CBR	平均CBR (N=67×3) %	27.2	153.6
	95%修正CBR %	-	99.6
	凍結融解後のCBR %	22.3	89.5
	CBR 保存率 %	82.0	58.3
	凍結融解後の修正CBR %	-	58.1
凍上	試験方法	φ 15	φ 15
	凍上率 ε %	0.3	0.8
	凍結様式	コンクリート状	コンクリート状

表-3 ガラスカレットの溶出試験結果

No.	項目	計量値 (mg/L)	判定	環境上の注意	測定方法
1	カドミウム	0.001未満	○	検液 1Lにつき 0.01mg以下であり、かつ、農用地においては、米1kgにつき1mg未満であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものについては、日本工業規格K0102 (以下「規格」という。) 55に定める方法、農用地に係るものについては、昭和46年6月農林省令第47号に定める方法
2	六価クロム	0.002未満	○	検液 1Lにつき 0.05mg以下であること。	規格65.2に定める方法
3	全シアン	不検出	○	検液中に検出されないこと。	規格38に定める方法 (規格38.1.1に定める方法を除く。)
4	総水銀	0.0001未満	○	検液 1Lにつき 0.0005mg以下であること。	昭和45年12月環境庁告示第59号付表1に掲げる方法
5	アルキル水銀	不検出	○	検液中に検出されないこと。	昭和46年12月環境庁告示第59号付表2及び昭和49年9月環境庁告示第64号付表3に掲げる方法
6	セレン	0.001未満	○	検液 1Lにつき 0.01mg以下であること。	規格67.2又は67.3に定める方法
7	鉛	0.003	○	検液 1Lにつき 0.01mg以下であること。	規格54に定める方法
8	砒素	0.001未満	○	検液 1Lにつき 0.01mg以下であり、かつ、農用地 (田に限る。) においては、土壌1kgにつき15mg未満であること。	環境上の条件のうち、検液中濃度に係るものについては、規格61に定める方法、農用地に係るものについては、昭和50年4月総理府令第31号に定める方法
9	ふっ素	0.1未満	○	検液 1Lにつき 0.8mg以下であること。	規格34.1に定める方法又は昭和46年12月環境庁告示第59号付表6に掲げる方法
10	ほう素	0.1未満	○	検液 1Lにつき 1mg以下であること。	規格47.1若しくは47.3に定める方法又は昭和46年12月環境庁告示第59号付表7に掲げる方法

ガラスカレットに対して溶出試験を実施し、環境に悪影響を及ぼす物質の溶出性をカドミウム等の 10 項目について分析した。結果を表-3 に示す。今回の分析結果において、環境上問題となる計量値は測定されなかった。

#### (2) 凍上抑制層としての試験施工

試験施工は旭川市内において行った。使用した骨材はガラスカレット工区の骨材粒度は 5-0mm 級、比較工区では通常使用される 80mm 級の砕石を選定し、それぞれの凍上抑制層に 100%の使用率で施工した。(写真-2、写真-3)



写真-2 ガラスカレット工区の施工状況



写真-4 メチレンブルーによる凍結深さ測定状況



写真-3 比較工区の施工状況

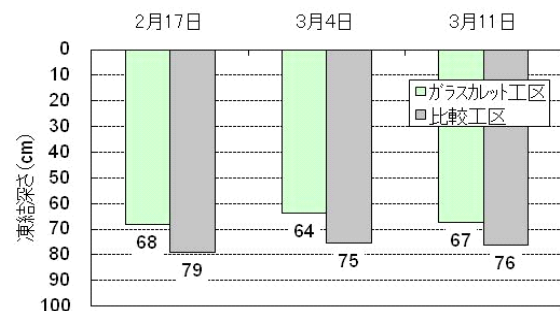


図-4 凍結深さの調査結果

#### (a) 凍結深さ

舗装体における凍結深さを把握するため、メチレンブルー凍結深度計で凍結深さを測定した。測定状況を写真-4、ガラスカレット工区と比較工区の比較した調査結果を図-4に示す。最も凍結が深くなった時の80mm級切込砕石を凍上抑制層に用いた断面では79cm、ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結深さでは68cmとなっており、その差は80mm級切込砕石の場合より10cm程度浅い結果となった。

試験施工箇所（北海道旭川市）の平成22年度における凍結指数は531°C・days（図-5）であり、平均値529°C・days（H18～H22）と比較し、平年並みの気象条件であった。試験施工区間における舗装の温度について、表面付近のアスファルト混合物層、深さ53cmの凍上抑制層、深さ83cmの路床の温度について、それぞれ図-6にまとめた。アスファルト混合物層の温度は、ガラスカレット工区と比較工区においてほとんど差は無く、舗装表面の舗装体温度は両者とも同一と考えられる。凍上抑制層内部の温度は、ガラスカレット工区と比較工区で差があり、ガラスカレット工区の方が比較工区に対して2.5°C程度高い値で推移している。また、路床の温度も凍上抑制層



図-5 旭川市における凍結指数

と同様な傾向を示しており、比較工区の路床の温度がマイナスとなる期間は19日間であるのに対して、ガラスカレット区間は0日であった。凍上抑制層内部の温度が融解のプラスになった日時は、比較工区では2月28日であるのに対して、ガラスカレット工区の方が多少遅く3月16日となっている。



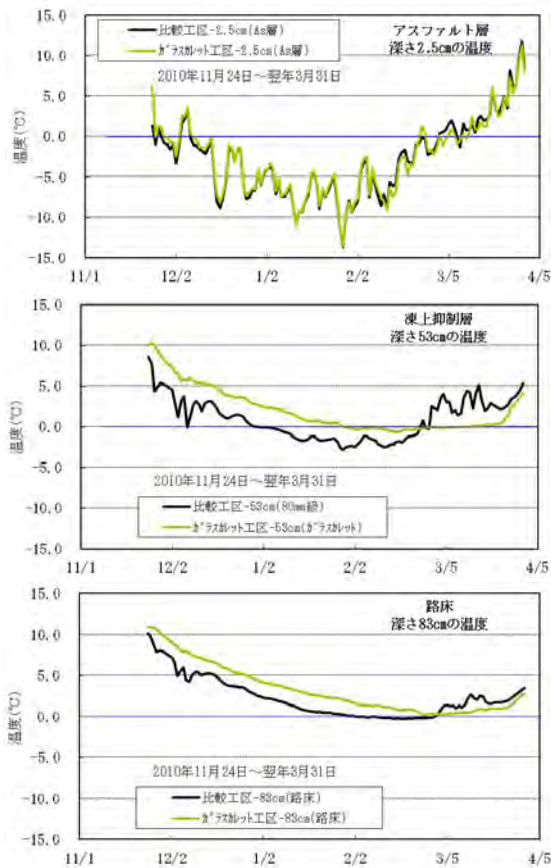


図-6 舗装体の内部温度

(上：舗装表面 中：凍上抑制層 下：路床部)

(b) 締固め度

ガラスカレット工区および比較工区の凍上抑制層において砂置換により密度測定を行い、締固め度を表した結果を図-7に示す。ガラスカレット工区が平均 101.8%、比較工区が平均 92.7%となり、ガラスカレット工区が比較工区より高い値を示していた。なお、ガラスカレットの転圧作業は振動ローラー（転圧回数 6回）、タイヤローラー（転圧回数 8回）を用いて施工を行ったが、作業性に問題はなかった。

各工区の転圧回数と沈下について図-8、図-9、作業状況を写真-5に示す。ガラスカレット工区と比較工区では、ローラーの転圧方法が異なるため単純な比較はできないが、ガラスカレットは80mm級の砕石と比較して粒度が細かく比較的均一であるため、振動ローラーによる転圧において、転圧回数が6回程度で沈下が収束する。また、沈下量も3~4cm程度となっている。一方、80mm級の砕石を用いた比較工区では、タイヤローラーを用いた転圧において、転圧回数が8回程度で沈下が収束し、沈下量も4~7cm程度となった。

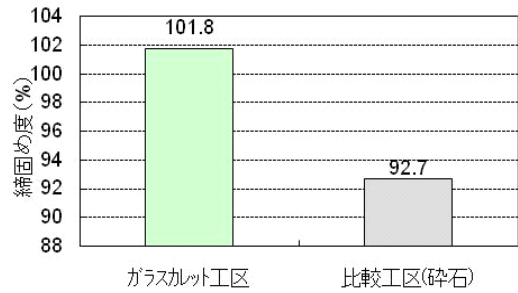


図-7 凍上抑制層の締固め度



写真-5 ガラスカレット工区の施工状況

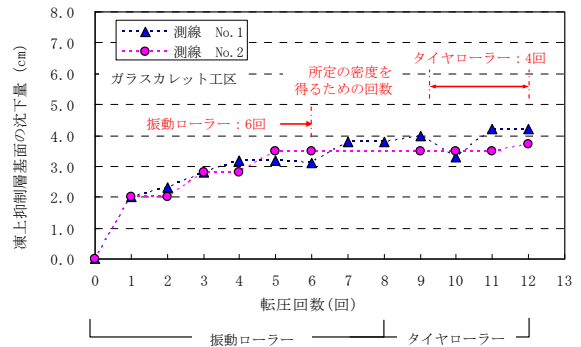


図-8 ガラスカレット工区における転圧機械と凍上抑制層基面の沈下

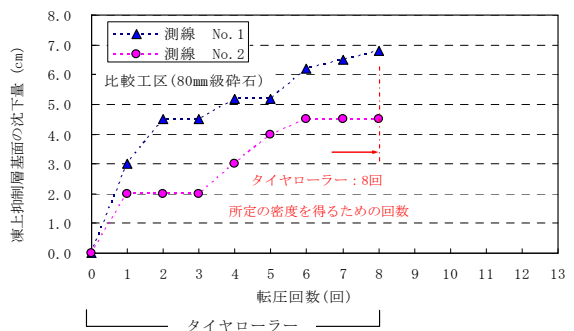


図-9 比較工区(80mm級砕石)における転圧機械と凍上抑制層基面の沈下

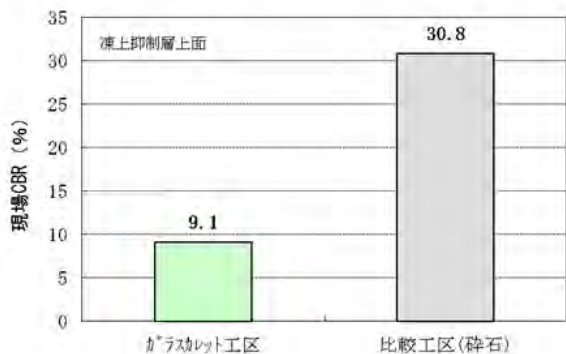


図-10 現場 CBR 試験結果の比較



写真-6 凍上量調査の状況

(c) 現場 CBR 試験

凍上抑制層の支持力を測定するため現場 CBR 試験をガラスカレット工区および比較工区でそれぞれ行った。結果を図-10 に示す。ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の現場 CBR は、9.1%で比較工区における CBR 値の 30.8%よりも小さい値を示していた。この傾向は室内試験における CBR 試験結果と同様である。

(d) 凍上量

舗装体の凍上の影響を把握するため、ガラスカレット工区では3測線、比較工区では4測線で凍上量を計測した。試験状況を写真-6、凍上量の推移を図-11 に示す。比較工区において 80 mm級切込砕石を凍上抑制層に用いた断面よりもガラスカレットを凍上抑制層に用いたガラスカレット工区の断面の方が凍上量は明らかに小さくなっている。これは比較工区の最大凍上量が 20mm 以上であるのに対して、ガラスカレット工区では 5mm 程度となっており、比較工区では路床付近まで凍結が進入していたが、ガラスカレット工区では路床に凍結が達しなかったためだと思われる。これは表-2 の材料試験の結果に現れているが、ガラスカレットの凍上率は 0.3%、切込砕石の凍上率は 0.8%となっており、ガラスカレットの方が凍上しにくい材料となっているためだと考えられる。

(e) FWD 試験

舗装後にアスファルト舗装表面で FWD 試験を実施し、舗装体の支持力を測定した。FWD 試験による D0 たわみについて、施工直後と一冬経過時の融解期に分けて調査した。試験装置の概要を図-12、調査結果を図-13 に示す。D0 たわみは舗装全体の強度を表す指標である。施工直後における D0 たわみはガラスカレット工区で 813  $\mu\text{m}$ 、比較工区で 903  $\mu\text{m}$ であり、融解期における支持力の値もほとんど変化がなく、ガラスカレット工区で 821  $\mu\text{m}$ 、比較工区で 814  $\mu\text{m}$ となっており、ガラスカレットは、比較工区と同等程度の支持力を示した。

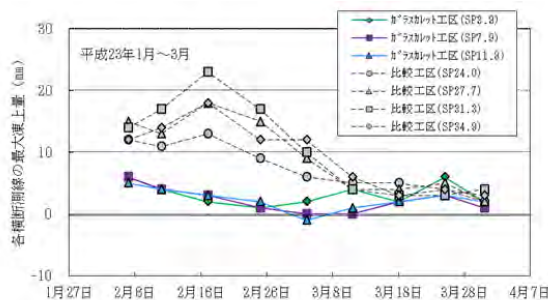


図-11 凍上量の推移

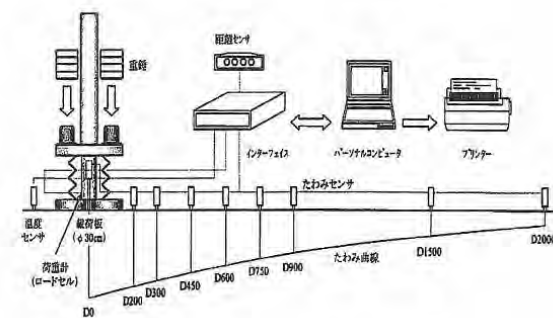


図-12 FWD 試験装置の概要



図-13 FWD 試験による D0 たわみ量比較

## 4. まとめ

ガラスカレット(5-0mm)を道路の凍上抑制層材料として使用し、その適用性について検討するため、試験舗装を施工した。材料試験や現地調査から得られた結果は以下に示すとおり。

### (1)ガラスカレットの力学的性質

ガラスカレットの凍上率は 0.3%で凍結様式はコンクリート状であり、ガラスカレット自体は材料的に凍上しない。

材料の支持力を表す CBR 値は、80 mm級切込砕石と比較すれば小さいが、設計 CBR の上限値 20 以上を満足している。凍結融解作用を与えた後の CBR 保存率は 82.0%と 80mm級切込砕石より高く、ガラスカレットは凍結融解に対する支持力低下を起しにくい材料である。

### (2) ガラスカレットの科学的性質

ガラスカレットについて溶出試験を実施し、環境に悪影響を及ぼす物質が溶出しないか分析を実施した結果、環境上問題となる計量値は測定されなかった。

### (3)凍結深さ

ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結深さは、80 mm級の砕石を凍上抑制層に用いた断面の凍結深さより小さくなっており、その差は 80 mm級の砕石を凍上抑制層に用いた場合より-9~-11cm である。ガラスカレットは、従来の 80 mm級の砕石と比較して所定の密度を得られやすく、より均一な施工が可能と考えられる。

### (4)締固め度

ガラスカレットの転圧作業は振動ローラおよびタイヤローラを用いて施工を行ったが、作業性には問題はなかった。

### (5)凍上量

ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍上量は、80 mm級の砕石を凍上抑制層に用いた断面より小さかった。これは、比較工区では路床まで凍結が進入していたのに対して、ガラスカレット工区は路床が凍結しなかったためであり、材料の凍上率の違いにより凍上量が異なると考えられる。

### (6) 支持力

FWD 試験における、ガラスカレット工区の施工直後の D0 たわみと、融解期における D0 たわみの値はほとんど変化が無いことから、2010 年度の気象条件では、ガラスカレットを凍上抑制層に使用しても、ガラスカレット自体の融解期の支持力低下は見られない。

## 5. 考察

本検討において、ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結深さは、80mm級切込砕石を凍上抑制層に用いた場合と比較して、凍上量も小さかった。しかし、外気温や降雪等によって融解期の支持力や路面の評価等も異なる可能性がある。今後も現地データを蓄積し、積雪寒冷地におけるガラスカレットの凍上抑制層への適用に関する検討を行いたい。

**謝辞：**本調査を実施するにあたり、試験施工に御協力いただいた、コンス・A・M・G株式会社に対し、感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) ガラスびんリサイクル促進協議会 HP