

## 7.4 低炭素社会を実現する舗装技術の開発および評価手法に関する研究③

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷政行、丸山記美雄、  
安倍隆二、三田村宏二

## 【要旨】

本研究では、積雪寒冷地の舗装工事における CO<sub>2</sub> 削減が期待できる技術として、積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発および低炭素型舗装技術の開発を行うことを目的としている。本年度は、中温化舗装技術を用いた試験施工を行い、積雪寒冷地における CO<sub>2</sub> 削減効果や中温化混合物の品質データをとりまとめた。また、他産業廃棄物のリサイクルとして、ガラスカレットを凍上抑制層に利用した試験施工を実施し、ガラスカレットの品質を確認した。

キーワード：低炭素型社会、中温化舗装、リサイクル、CO<sub>2</sub> 削減、アスファルト混合物

## 1. はじめに

低炭素社会の早期実現に向け、さまざまな分野で CO<sub>2</sub> 削減技術や工法の開発が進められている。舗装分野においては低炭素化に有効と考えられる新たな技術の検討が行われており、材料の低炭素化、工事における低炭素化、資源有効利用による低炭素化などが考えられている。これら個々の舗装技術は、元々は施工効率の向上やリサイクル性能の向上などを主な目的として開発されてきており、CO<sub>2</sub> 削減の観点からの取り組みは十分とは言えない状況にある。CO<sub>2</sub> 削減の観点から技術開発を進めるとともに、適用範囲、評価方法などを明らかにしていく必要がある。

## 2. 積雪寒冷地の低炭素舗装技術の開発

## 2.1 中温化舗装技術の開発

積雪寒冷地において中温化舗装技術を用いることによる CO<sub>2</sub> 削減効果が不明確であることから、中温化アスファルト混合物の試験施工を実施し、混合物の品質・施工性および冬期の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の検証を行った。試験施工は、北海道内 6 箇所の現場において中温化混合物の混合温度を加熱アスファルト混合物（以下、通常混合物）より 30℃低減することにより、CO<sub>2</sub> 削減の排出量および品質・施工性の検証を行った。試験施工箇所の概要を表-1、試験施工の状況を写真-1 に示す。

表-1 試験施工概要

| 施工場所                        | 天候          | 外気温(℃)              | 風速(m/sec) | 舗装厚(cm) | 合材出荷量(t)            | 施工面積(m <sup>2</sup> ) | 幅員(m)      | 延長(m)                 | プラント型式 | 混合物の種類および中温化剤名称                    |
|-----------------------------|-------------|---------------------|-----------|---------|---------------------|-----------------------|------------|-----------------------|--------|------------------------------------|
| 札幌<br>夕張市宝<br>(一般国道452号)    | 曇り          | -2~5℃<br>(平均+2℃)    | 1         | 4       | 中温化79.3<br>通常79.2   | 中温化763.9<br>通常763.9   | 4.25~4.75  | 中温化179.75<br>通常179.75 | Ⅲ型     | 密粒度アスコン13F(表層)<br>【発泡系】            |
| 釧路<br>標茶町北方無去<br>(一般国道272号) | 晴れ          | 0~6<br>(平均+3℃)      | 1~2       | 4       | 中温化63.0<br>通常63.0   | 中温化625.0<br>通常625.0   | 6.25~6.88  | 中温化100<br>通常89        | Ⅲ型     | 再生密粒度アスコン13F(表層)<br>【発泡系】          |
| 帯広<br>音更町下士幌<br>(下士幌築堤)     | 晴れ          | -11~5℃<br>(平均+0.6℃) | 1~5       | 5       | 中温化252.0<br>通常324.0 | 中温化2000.0<br>通常2600.0 | 4          | 中温化500<br>通常650       | Ⅲ型     | アスファルト安定処理<br>【粘弾性調整系】             |
|                             | 晴れ          | -14~+2℃<br>(平均-6℃)  | 2~3       | 3       | 中温化153.0<br>通常189.0 | 中温化2000.0<br>通常2600.0 | 4          | 中温化500<br>通常650       | Ⅲ型     | 密粒度アスコン13F(表層)<br>【粘弾性調整系】         |
| 室蘭<br>白老町虎杖浜<br>(一般国道36号)   | 晴れ          | +2~7℃<br>(平均+5℃)    | 3~6       | 9       | 中温化304.0<br>通常304.0 | 中温化1389.6<br>通常1389.6 | 8.4~8.55   | 中温化84<br>通常84         | Ⅲ型     | 再生アスファルト安定処理<br>(4+5層目)【滑剤系】       |
|                             | 晴れ、<br>雪混じり | -3~2℃<br>(平均-1℃)    | 5~11      | 6       | 中温化248.0<br>通常232.0 | 中温化1646<br>通常1646     | 8.25~10.00 | 中温化92<br>通常92         | Ⅲ型     | 再生粗粒度粗粒度アスコン<br>(2+3層目)【滑剤系】       |
|                             | 晴れ          | -5~4℃<br>(平均-2℃)    | 3~6       | 5       | 中温化120.0<br>通常112.0 | 中温化960<br>通常960       | 10         | 中温化96<br>通常94         | Ⅲ型     | 細密粒度ギャップアスコン(13F55)<br>改Ⅱ(表層)【滑剤系】 |
| 函館<br>今金町美利河<br>(一般国道230号)  | 晴れ          | 0~6℃<br>(平均+2℃)     | 1~4       | 4       | 中温化52.8<br>通常52.8   | 中温化450<br>通常450       | 4.5        | 中温化100<br>通常100       | Ⅳ型     | 密粒度アスコン13F(表層)<br>【発泡系】            |
| 稚内<br>稚内市勇知<br>(一般国道40号)    | 晴れ          | -3~+2℃<br>(平均-1℃)   | 3~10      | 5       | 中温化63.2<br>通常57.6   | 中温化450<br>通常450       | 4.5        | 中温化100<br>通常100       | Ⅳ型     | アスファルト安定処理<br>【滑剤系】                |
|                             | 晴れ          | +3~+8℃<br>(平均+1℃)   | 1~6       | 3       | 中温化41.6<br>通常41.6   | 中温化500<br>通常500       | 5.0        | 中温化100<br>通常100       | Ⅳ型     | 密粒度アスコン13F(表層)<br>【滑剤系】            |



写真-1 試験施工状況（白老町）

表-2 調査項目

| 調査項目         | 調査目的                    | 調査時期    | 調査方法  |
|--------------|-------------------------|---------|---|
| ① プラント出荷温度計測 | プラント出荷時の温度を把握           | プラント出荷時 | ・ダンプトラックの荷台上で温度計測を行う。表面から2cm、15cmの位置において、棒状温度計を用い、5点計測を行う。  |
| ② 現場到着温度計測   | 運搬時の温度低下を把握             | 現場到着時   | ・出荷時の温度の変動幅や運搬時の温度低下の程度を把握する。   |
| ③ 敷均し温度計測    | 敷均し温度を把握                | 敷き均し時   | ・敷均し温度の変動幅を把握する。中温化混合物工区および通常混合物工区の各18箇所を測定する。<br>・サーモグラフィにより、温度の均一性を計測する。<br>・熱電対を舗装体に埋設し、アスファルト混合物の敷均しから交通解放時間までの温度を計測する。 |
| ④ 締固め度計測     | 締固め度を把握                 | 施工完了後   | ・サーモグラフィにより確認された温度低下箇所からコアを採取し密度を測定する。<br>・舗装の端部から各工区10本のコアを採取し、密度を計測する。  |
| ⑤ 重油使用量計測    | CO <sub>2</sub> の削減量を把握 | 混合物の製造時 | ・流量計により、重油使用量を計測する。<br>・骨材の温度、含水比、骨材加熱温度、およびバグフィルターの排気熱温度等の計測を行う。   |
| ⑥ 供用性調査      | 供用性状を把握                 | 施工完了後   | ・施工完了後、横断凹凸量調査および平坦性調査等の供用性状を把握する。  |

## 2.2 研究方法

試験施工における調査項目を表-2に示す。中温化混合物の品質およびCO<sub>2</sub>削減率を確認するため、試験施工箇所毎において、①プラント出荷時における混合温度、②運搬時における混合物の温度低下、③敷均し温度、④混合物の締固め度、⑤CO<sub>2</sub>削減量の調査を行った。また、中温化舗装技術の効果を確認するため、中温化剤を用いてアスファルト混合物を作製して室内試験を行った。

## 2.3 研究結果

### 2.3.1 冬期施工における舗装の締固め度

試験施工箇所において、敷均し温度、初期転圧温度と締固め度に関する調査を行い、中温化混合物と通常混合物の品質を確認した。試験施工箇所毎における敷均し温度の平均値を図-1、締固め度の平均値を図-2に示す。

中温化混合物の目標敷均し温度範囲は115～140℃程度であったが、概ね120～130℃の範囲で敷均し作業を行っていた。ただし、調査箇所によっては110℃を下回る測定値も見受けられた。締固め度は切取コア供試体を各工区において10本ずつ採取した時の平均値であるが、中温化混合物は30℃程度の温度を低減しても通常混合物と同等程度の締固め度が確保されており、規格値も満足していた。

また、目標の敷均し温度となっている箇所と、温度が低下している箇所をサーモグラフィを使用し、表面温度を確認したうえでマーキングを行い、転圧終了後に切取コア供試体を採取して締固め度を確認した。

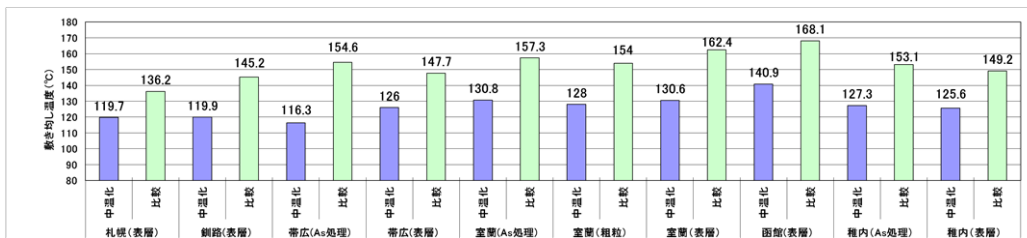


図-1 試験施工箇所毎における敷均し温度の平均値 (°C)

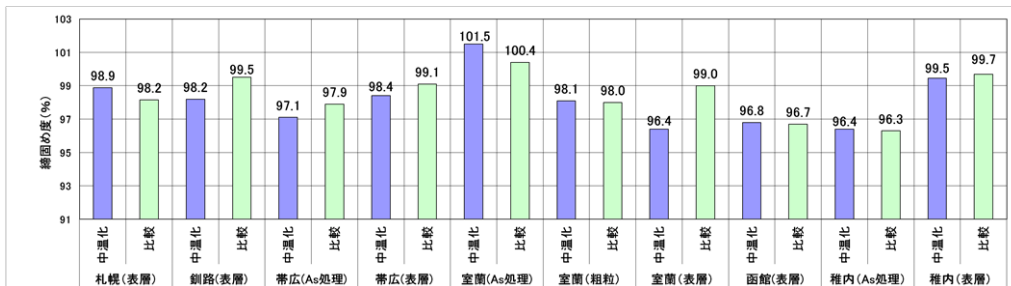


図-2 試験施工箇所毎における締固め度の平均値 (°C)

サーモグラフィーによる温度分布状況を図-3に、稚内での調査箇所での初期転圧温度と締固め度の関係を図-4示す。

稚内での中温化混合物の目標初期転圧温度は110～120℃であり、所定の温度で転圧された箇所は99～100%程度の締固め度が確保されていることが確認できた。中温化混合物をサーモグラフィーで撮影した温度低下をしていた箇所についても、20～30℃程度高い転圧温度で施工された通常混合物の施工箇所と比べても同程度の締固め度であり、規格値は満足していた。

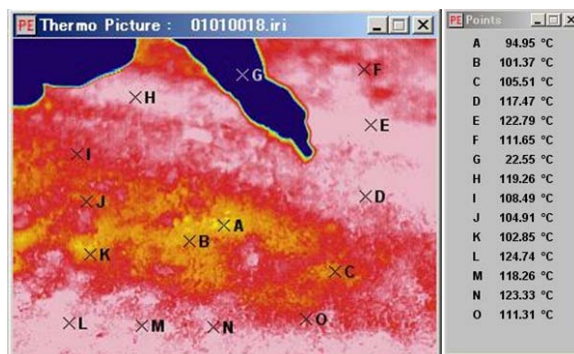


図-3 サーモグラフィーによる温度計測

### 2.3.2 冬期施工におけるCO2削減率

CO<sub>2</sub>削減率は各試験施工箇所において、中温化混合物と通常混合物のプラント製造時の重油消費量を計測することで確認をした。CO<sub>2</sub>削減率を図-5に示す。

気象条件やプラントの型式・能力によって中温化混合物を30℃の温度低減を出来なかった施工箇所や、異常値と思われる値が算出された施工箇所は除外したが、全ての工区でCO<sub>2</sub>削減効果が確認された。

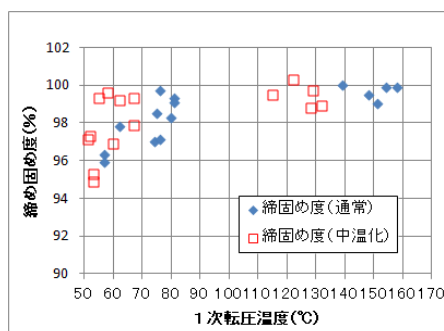


図-4 初期転圧温度と締固め度の関係（稚内）

### 2.3.3 中温化舗装技術の効果（室内試験）

中温化舗装技術の効果を確かめるため、室内試験を行った。標準のアスファルト混合物と、3種類の中温化剤（発泡系、粘弾性調整系、滑剤系）を用いた中温化混合物とで締固め度の比較を行った。突固め方法の違いによる影響を確認するため、突固め装置とジャイレトリー試験機で供試体を作製した。また、突固め温度の変化による中温化剤の効果を確認するため、混合物の突固めの温度を50～160℃の範囲で10℃毎に変化させて作製をした。発泡系の中温化剤を用いた結果を図-6に示す。

160℃で混合した標準混合物の値と、130℃で作製した中温化混合物の値とで締固め度の値を比較したところ、中温化混合物は、30℃低減した標準混合物と同程度の締固め度の値を確保していることが確認された。また、ジャイレトリー試験機による締固め度の値は、突き固め装置の値に比べて高い値を示しており、試験施工箇所での締固め度と同程度となることが確認された。

### 2.4 まとめ

積雪寒冷地における中温化舗装技術の効果は確認されたが、中温化舗装技術の適用範囲や施工条件、長期的な路面性状を明確にするためには、施工データを蓄積していくことが必要と思われる。

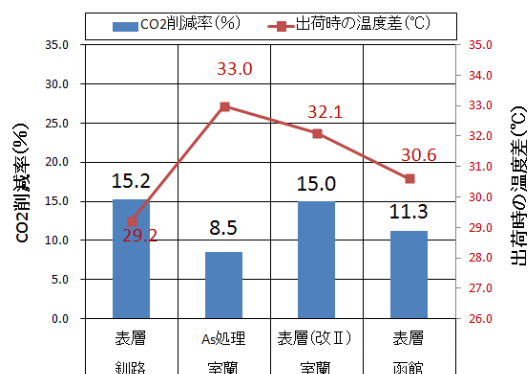


図-5 試験施工におけるCO2削減率

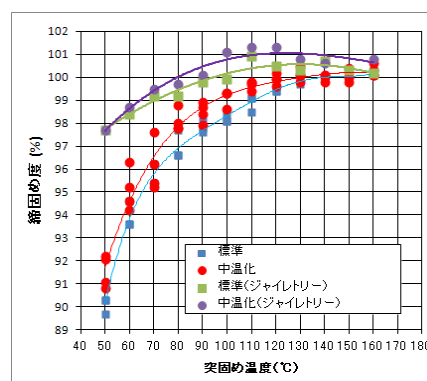


図-6 中温化混合物の締固め度（発泡系）

### 3. 積雪寒冷地の舗装リサイクル技術の開発

#### 3.1 ガラスカレットの凍上抑制層への適用性

ガラスカレットとは、ガラス製品やガラス瓶を粉砕して、粒度を調整した物である。主な利用方法としては、ガラス瓶に再生利用されているが、再生されずに埋め立て処理されている物もあり、適用範囲を拡大することが必要とされている。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、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、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。そこで、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。

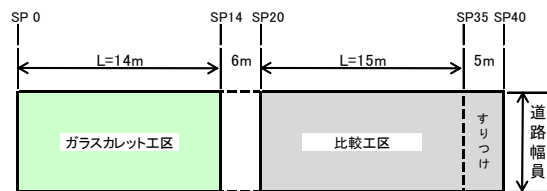


図-7 試験施工の平面図

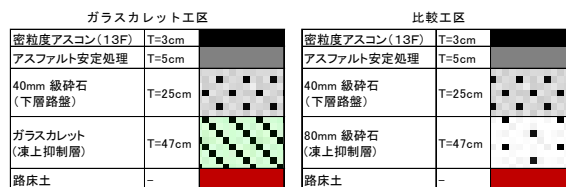


図-8 試験施工の舗装構成

#### 3.2 研究方法

検討方法として、ガラスカレット自体の材料試験と、試験施工ヤードを設け、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た場合の舗装体に対する影響の検討を行った。試験施工の概要を図-7、図-8に示す。

#### 3.3 研究結果

##### 3.3.1 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80mm級切込砕石との材料物性を比較した結果を表-3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を引き起こさないことである。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80mm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80mm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、80mm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、80mm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、

表-3 材料試験結果

| 試料名                      |                             | ガラスカレット<br>5-0mm                          | 切込砕石<br>80-0mm |       |
|--------------------------|-----------------------------|---|----------------|-------|
| 材料試験                     | 骨材の微粒分量試験 %<br>(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  |
|                          |                             | 絶乾密度 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            |       |
|                          | 分類                          | 地盤材料の分類名                                  | 砂質礫            | 砂質礫   |
|                          |                             | 分類記号                                      | GS             | GS    |
|                          | 締固め                         | 試験方法                                      | A-b法           | E-b法  |
|                          |                             | 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            |       |
| CBR                      | 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            |       |
|                          | 平均CBR (N=67×3) %            | 27.2                                      | 153.6          |       |
|                          | 凍結融解後のCBR %                 | 22.3                                      | 89.5           |       |
|                          | CBR 保存率 %                   | 82.0                                      | 58.3           |       |
| 凍上                       | 凍結融解後の修正CBR %               | -   | 58.1           |       |
|                          | 試験方法                        | φ15                                       | φ15            |       |
|                          | 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        |       |

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、80mm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80mm級切込砕石と比較し、同等以上の性能を有している。なお、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の溶出性をカドミウム等の10項目について分析した。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。

##### 3.3.2 凍結深さ

試験施工箇所(北海道旭川市)の施工年度における

凍結指数は  $531^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$  であり、平均値  $529^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$

(H18~H22)と比較し、平年並みの気象条件である。メチレンブルー凍結深度計で測定したガラスカレット工区と比較工区の凍結深さの調査結果を図-9に示す。80mm級切込砕石を凍上抑制層に用いた断面より、ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍結深さが少ない結果となっており、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。

### 3.3.3 凍上量

凍上量の推移を図-10に示す。80mm級切込砕石を凍上抑制層に用いた断面より、ガラスカレットを凍上抑制層に用いた断面の凍上量は明らかに小さく、比較工区の最大凍上量が2cm以上であるのに対して、ガラスカレット工区では0.5cm程度となっている。これは、比較工区では路床付近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に凍結が達しなかったためと考えられる。

### 3.3.4 締固め度

ガラスカレットの転圧作業は振動ローラ（転圧回数6回）、タイヤローラ（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。凍上抑制層の締固め度の試験結果を図-11に示す。現場密度試験による凍上抑制層の締固め度は、ガラスカレット工区が比較工区より高い値を示し、良好な締固め度を確保できた。

### 3.3.5 FWD試験による融解期の支持力比較

アスファルト舗装表面で実施した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図-12に示す。D0たわみは舗装全体の強度を表す指標である。ガラスカレット工区の施工直後におけるD0たわみは $813\mu\text{m}$ であり、融解期における支持力の値もほとんど変化が無く、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。

## 3.4 まとめ

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、ガラスカレットの凍上抑制層への適用性に関する検討を行いたい。

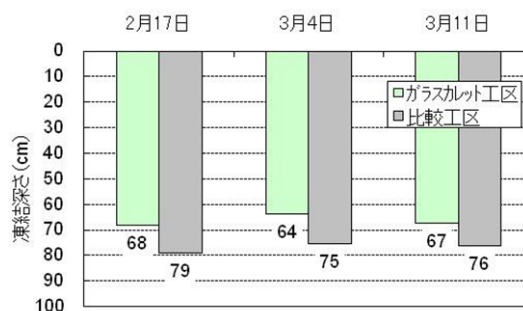


図-9 凍結深さの調査結果

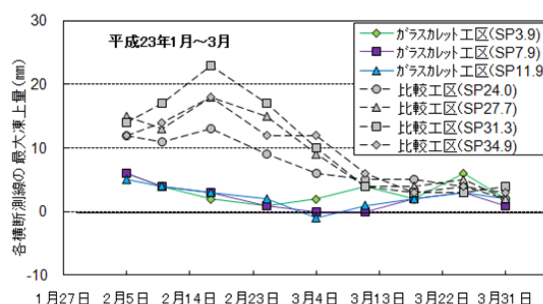


図-10 凍上量の推移

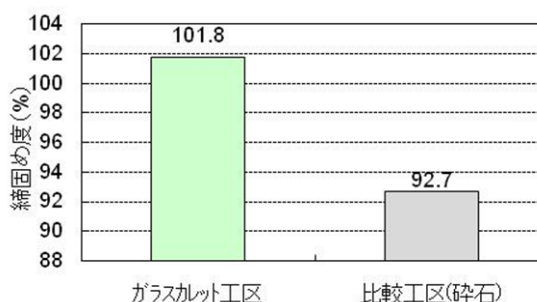


図-11 凍上抑制層の締固め度

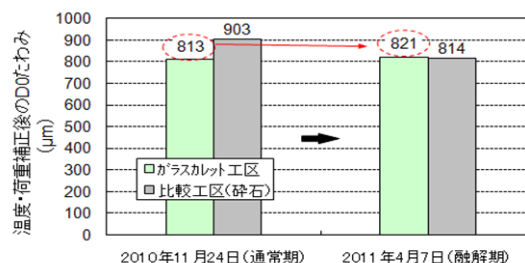


図-12 通常期と融解期におけるD0たわみの比較 (FWD試験)

## RESEARCH ON PAVEMENT TECHNOLOGY REALIZING A LOW CARBON SOCIETY AND EVALUATION METHOD ③

**Budgeted** : Grants for operating expenses general account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Road Maintenance Research Team

**Author** : MASAYUKI Kumagai

MARUYAMA Kimio

ABE Ryuji

MITAMURA Koji

**Abstract** : The purposes of this study are to develop pavement recycling technology in heavy snowfall and cold regions and to develop low carbon pavement technology for reducing CO<sub>2</sub> in pavement construction in heavy snowfall and cold regions. During this year, test pavements were carried out using warm mix pavement technology, and CO<sub>2</sub> reduction effect and quality of warm mix pavement were evaluated. Additionally, test pavements were developed using glass cullet for an antifrost layer in order to recycle other industrial wastes, and the effect of using glass cullet was confirmed.

**Key words** : low-carbon society, warm mix pavement ,recycle, carbon reduction, asphalt mixtures