

# アスファルト再生骨材の凍上抑制層材料としての検討

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  
 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 木村 孝司

道北地域では、アスファルト塊のストック量が著しく増大し、ストックヤードの確保が困難な状況にあり、再生加熱アスファルト混合物用骨材としての使用量が減少傾向にある中、アスファルト混合物以外の用途による利用促進が期待されている。

そこで、アスファルト再生骨材を国道本線上の凍上抑制層に用いるため、登坂車線の凍上抑制層材料として、アスファルト再生骨材40mm級を用いて試験施工を行い、DCP試験およびFWD試験を実施し、支持力等を確認した結果を報告する。

キーワード：アスファルト再生骨材、凍上抑制層、支持力、DCP試験、FWD試験

## 1. はじめに

留萌開発建設部管内におけるアスファルト中間処理施設では、受入量に比べ再生利用量が少ないため、各施設のストック量が増大し、ストックヤードの確保が困難な状況にある。このため、アスファルト発生材の利用促進に向けた取り組みとして、凍上抑制層材料にアスファルト再生骨材を用い試験施工を行った。

試験施工は、図-1に示す初山別村金駒内における登坂車線の設置工事（写真-1）において実施した。

本文では、アスファルト再生骨材を凍上抑制層に使用するための適用性を判断するために、凍上抑制層転圧後にDCP試験を、表層施工後にFWD試験を行い支持力を評価した結果等について報告する。

なお、同様の試験施工として、平成11年度の寒地土木研究所による「寒冷地におけるアスファルト再生骨材の路盤材への適用に関する検討」<sup>1)</sup>、平成25、26年度の稚内開発建設部浜頓別道路事務所と寒地土木研究所による「アスファルト再生骨材の有効利用について」<sup>2)</sup>、「アスファルト再生骨材の凍上抑制層への適用に関する検討について」<sup>3)</sup>、及び平成23年度の留萌開発建設部による「アスファルト再生骨材の有効利用について」<sup>4)</sup>の報告があり、本試験施工の参考としている。

## 2. 管内の中間処理施設の現状

留萌開発建設部管内におけるアスファルト中間処理施設の各施設の受入可能容量を図-2に示す。

地区全体としては3万程度の受入可能な容量があるが、施設毎に見ると受入可能容量が3千tを切っておりこれ以上の受入がほぼ困難な施設が、全5施設中3施設を占める。



図-1 試験施工箇所図



写真-1 試験施工箇所（登坂車線設置工事）

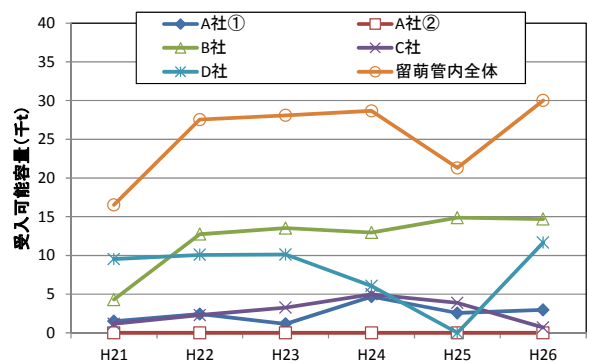


図-2 留萌開発建設部管内の中間処理施設のストック量

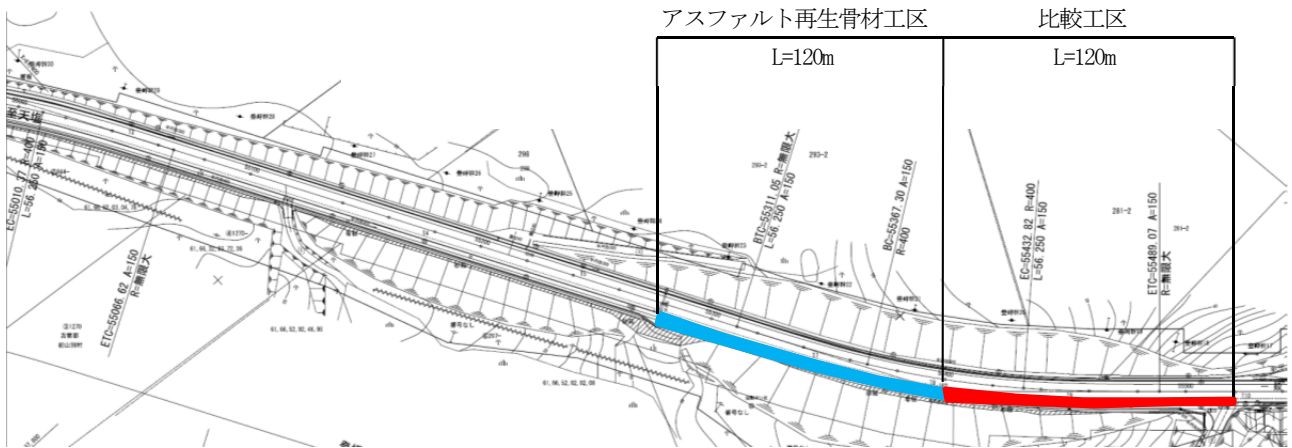


図-3 試験施工工区割

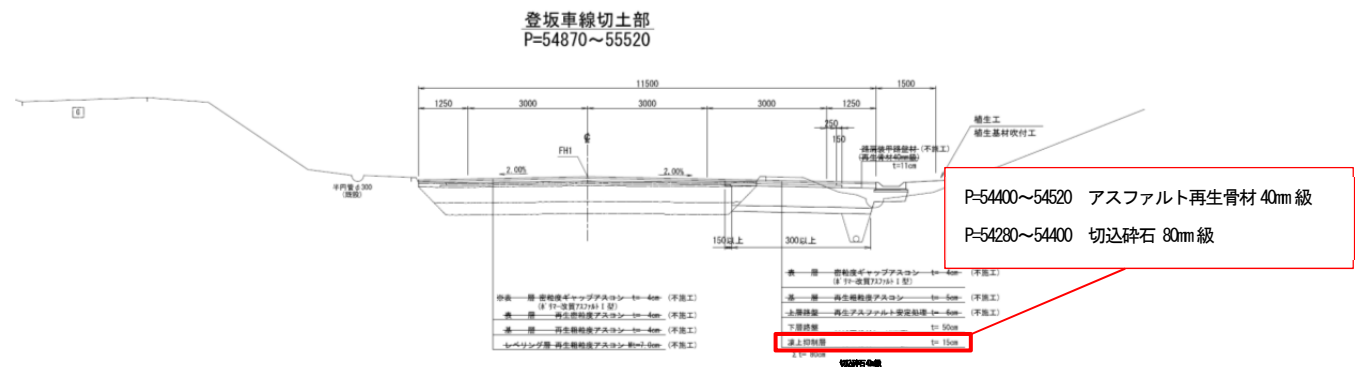


図-4 試験施工箇所定規図

### 3. 試験施工箇所の概要

初山別村金駒内における登坂車線設置工事の切土部のうち、120mの区間において凍上抑制層材料としてアスファルト再生骨材 40mm級を使用した(図-2)。また、一般的に凍上抑制層材料に用いられている切込砕石 80mm級を採用した比較区間もあわせて設けた。

なお、凍上抑制層の厚さはどちらの工区とも図-3に示すとおり 15cmとなっており、置換厚は初山別地域の20年確率置換厚に相当する 80cm<sup>9)</sup>としている。

### 4. 使用材料

今回凍上抑制層に使用したアスファルト再生骨材 40mm級、および切込砕石 80mm級の品質を表-2に示す。また、参考として下層路盤に用いた切込砕石 40mm級の値も併せて示す。なお、表-1に示した規格値は、「北海道開発局道路・河川工事仕様書【平成27年度版】北海道開発局独自」<sup>9)</sup>に記載されている凍上抑制層材料および下層路盤材料の品質規格である。

アスファルト再生骨材は、凍上抑制層材料の規格値である洗い試験における4.75mm以下に対する0.075mm通過率15%以下を満足する5.15%となっている。また、凍上抑制層に用いる切込砕石80mm級の14.6%、および下層路盤に用いる切込砕石40mm級の14.7%と比較して、少ない

表-1 使用材料の品質

	凍上抑制層			下層路盤	
	As再生骨材 40mm級	切込砕石 80mm級	規格値	切込砕石 40mm級	規格値
通過 重量 百分率	90mm	100	100	100 <sup>※1)</sup>	-
	75mm	100	100	100	-
	63mm	100	90	-	100
	53mm	100	84	70~100 <sup>※1)</sup>	100
	37.5mm	100	74	100 <sup>※2)</sup>	70~100
	31.5mm	95	69	-	96
	26.5mm	91	64	-	90
	19mm	83	58	-	82
	16mm	78	53	-	75
	13.2mm	72	48	-	66
	9.5mm	63	41	-	56
	4.75mm	45	32	20~65	42
	2.36mm	33	26	-	32
	1.18mm	24	20	-	23
	0.6mm	17	15	-	17
	0.3mm	10	10	-	11
	0.15mm	4	6	-	7
0.075mm	1	3	-	3	
単位容積質量	kg/m <sup>3</sup>	1551	1567	1572	-
絶対密度	g/cm <sup>3</sup>	-	2.452	-	2.469
表乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	-	2.538	-	2.548
見掛密度	g/cm <sup>3</sup>	-	2.681	-	2.683
吸水率	%	-	3.46	-	3.23
全量に対する 0.075mm通過率	%	2.33	4.71	-	6.22
4.75mm以下に対する 0.075mm通過率	%	5.16	14.61	15%以下	14.71
PI	-	-	NP	-	NP
安定性試験損失量	%	-	13.5	-	13.2
すりへり減量	%	-	30.0	-	29.5
修正CBR試験	%	12.5	83.5	-	90.0
最適含水比	%	6.2	8.3	-	8.1
最大乾燥密度	g/cm <sup>3</sup>	1.983	2.076	-	92.0

※1は80mm級の粗粒材料の規格値、※2は40mm級の粗粒材料の規格値

値となっている。

図-5 に骨材の粒度分布を示す。アスファルト再生骨材の粒度は、概ね切込砕石 40mm級と同様の粒度分布となっている。なお、アスファルト再生骨材は表-2 に示した切込砕石 40mm級の粒度の規格値範囲を満足している。

## 5. 施工状況

凍上抑制層の転圧条件を表-2 に示す。アスファルト再生骨材を用いた工区と、通常の切込砕石 80mm級を用いた比較工区の機械の構成および転圧回数は同一条件で行われ、アスファルト再生骨材を用いた工区の締固め度は 97.6%と規格値の 90%以上<sup>7)</sup>を満足し、比較工区の 92.6%よりも高い締固め度が得られた。

凍上抑制層施工後に、作業性についてアンケートを実施したところ、アスファルト再生骨材を用いることによる施工性の低下はなく、通常の方法と同一の機械編成および転圧回数で、良好な施工が行えたとの回答を得た。

また、夏期施工において心配された、運搬時および施工時の再生アスファルト骨材同士の固結は見られず、外気温 17.0~21.7℃の条件においてはさらさらとした状態で、良好な施工性であった。

## 6. 凍上抑制層施工後の支持力確認

支持力を確認する一般的な方法として「現場CBR試験」や「平板載荷試験」など強固な反力と試験に一定の時間を有する試験方法があるが、今回は登坂車線の施工であり比較的狭いスペースでも簡易かつ迅速に支持力を確認できる方法として、DCP試験を用いて行った。試験は、凍上抑制層施工直後に凍上抑制層表面にて実施した。

DCP(Dual-mass Dynamic Cone Penetrometer)とは、和訳すると「動的円錐貫入試験機」であり、円錐の貫入量から地盤の支持力 CBR (California Bearing Ratio) を簡易的に推定するもので、対象は路床・路盤・凍上抑制層等 (CBR=0~100%程度) となっている。

本試験は、図-6に示すように8kgのハンマーを57.5cm落下させることにより、コーンの付いた試験機を対象となる地盤に貫入させて、その貫入量を計測するものである。

DCP貫入量からCBRを式(1)に示す相関式により推定することができる。

$$CBR = \frac{292}{[DCP貫入量(mm)]^{1.12}} \dots\dots(1)$$

DCP試験による貫入量が小さいほど支持力が高く、CBR値が大きくなる関係にある。試験は、凍上抑制層を貫通するまで行い、層全体の支持力を評価した。

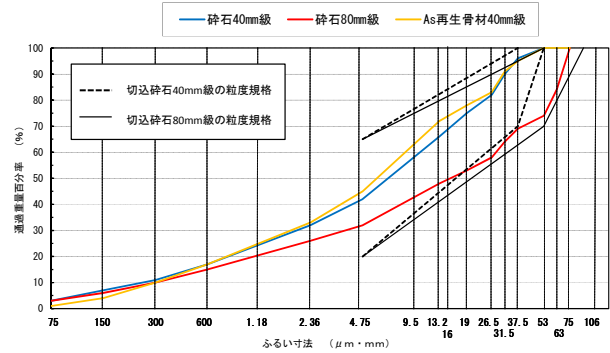


図-5 使用骨材の粒度範囲

表-2 転圧条件

使用機械	転圧回数
振動コンバインドローラー4t	5回
振動タイヤローラー9t	7回

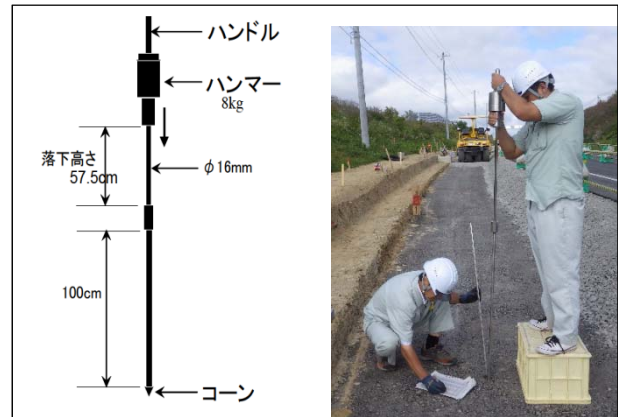


図-6 DCP試験の概要

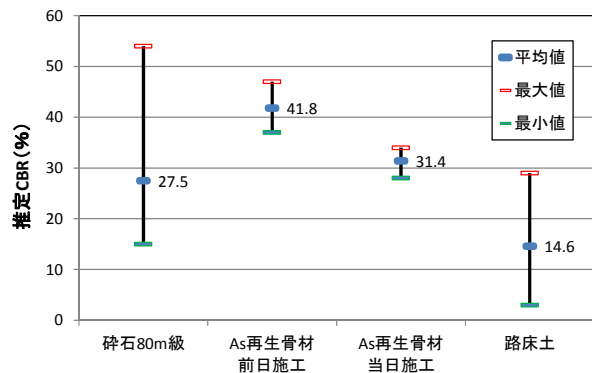


図-7 DCP試験結果

## 7. 試験結果

凍上抑制層敷設終了後に凍上抑制層上面および路床面でDCP試験を実施し、式(1)よりCBRを推定した。

試験実施時は、外気温 20.4℃であり、凍上抑制層の表面で 39.9℃、h=-5cmで 36.8℃、層の中間の深さとなるh=-7.5cmで 35.7℃、h=-10cmで 34.1℃、凍上抑制層下面となる深さh=-15cmで 32.5℃であった。

試験結果を図-7 に示す。スファルト再生骨材を凍上

抑制層に使用した工区の推定CBRの平均値は、調査の前日に施工した箇所では 41.8%を、調査当日に施工した箇所では 31.4%を示し、切込砕石 80mm級の工区の 27.5%と比較すると高い値を示した。

なお、切込砕石の推定CBRの値にばらつきが大きいのは、骨材の最大粒径が 80mmと層厚に対して大きいこと、CDR試験の先端のコーンと骨材の当たり方により、貫入量が大きく変動したものと考える。層厚が比較的厚い場合、骨材による影響は平均化されるが、本施工箇所の凍上抑制層厚が 15cmと薄いため、このような数値のばらつきが見られたと推測される。

アスファルト再生骨材については最大粒径が 40mmであったため、骨材の粒径の影響は小さく、切込砕石と比較して推定CBRのばらつきは小さかったものと考えられる。

図-8～9 にDCP試験により得られた深さ方向の推定CBRを示す。

図-8 は、調査日に施工された再生アスファルト工区の試験結果である。深さ方向に均等に支持力が得られており、1層当たり 15cmの巻出し厚において良好な品質で施工が行われていることが確認できた。

図-9 に、調査日前日に施工された再生アスファルト工区の試験結果を示す。図-8 と比較して、比較的浅い位置の推定CBRが高くなっていることが分かる。これは、凍上抑制層施工後に、アスファルト再生骨材の温度が比較的高い条件で、転圧機械等の重機が往来したため、表面付近の再生アスファルト骨材同士が付着し、一体化したためと考えられる。

図-9 の調査箇所の凍上抑制層表面の写真を写真-2 に、図-8 の調査箇所付近の表面写真を写真-3 に示す。写真-3 においては、アスファルトが骨材と骨材を付着しているように見られる。一方、写真-2 においては、そのような状況は見られない。

調査前に施工された区間で行ったDCP試験より得られた推定CBRの平均値は 41.8%であるのに対し、調査日に施工された区間の推定CBRは 31.4%であり 10%以上の差が見られたことから、気温や日射の影響で材料が温められ、材料温度が比較的高い条件下で転圧作用が加われれば、支持力が向上する可能性が示唆された。

## 8. アスファルト再生混合物の温度と支持力の関係

稚内開発建設部浜頓別道路事務所が実施した凍上抑制層にアスファルト再生骨材を用いた試験施工箇所における凍上抑制層の中間温度と支持力の関係を図-10 に示す。

これによると材料温度が上昇すると推定CBRが低下し、支持力が小さくなる傾向が確認できる。また、再生骨材の温度が概ね 30℃を超えると推定CBRが 30%を切る値となることが分かる。なお、この測定を行った箇所は工事用道路として 1 層の巻出し厚を 30cmとして施工され

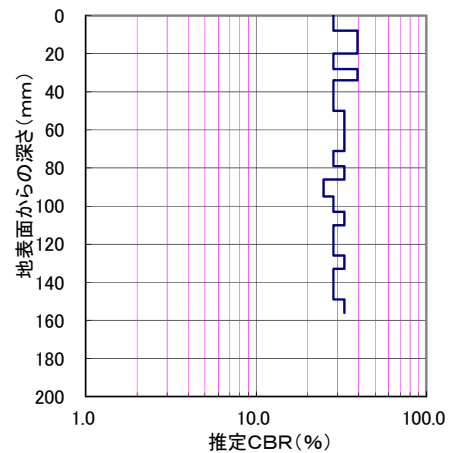


図-8 調査当日施工箇所の深さ方向の推定CBR

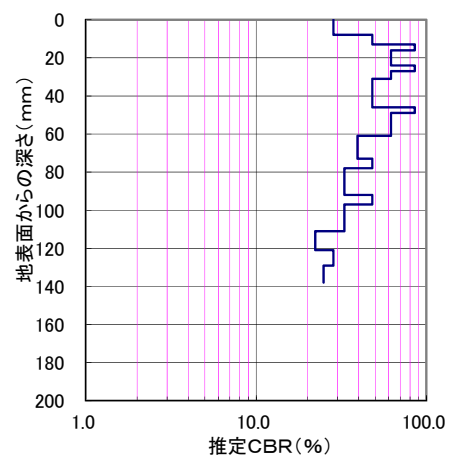


図-9 調査前日施工箇所の深さ方向の推定CBR



写真-2 調査日施工箇所の凍上抑制層上面の状態



写真-3 調査前日施工箇所の凍上抑制層上面の状態

た箇所である。

今回、初山別においては、15cmの巻出し厚で施工されており、浜頓別よりも巻出し厚が薄いことから、より転圧の効果が得られたことが、凍上抑制層の中間部の温度が 35.7℃の条件でも平均で 31.4~41.8%と高い推定CBRとなった要因と考えられる。

### 9. 凍上抑制層内の温度

一般国道 231 号留萌市浜中（交通区分N5）、一般国道 238 号稚内市声問（交通区分N5）、一般国道 238 号稚内市頓別（交通区分N5）に埋設されている温度計より整理した凍上抑制層の中間部の温度の年間変動を図-11 ~ 13 に示す。

道北地域の3箇所において温度計測を行っているが、凍上抑制層の中間温度が30℃を超える年は現在のところ確認されていない状況にある。

アスファルト再生骨材の支持力は図-10に示したとおり、材料温度の影響を大きく受け変動する。このため、本試験施工箇所においても、凍上抑制層の温度を確認するため図-14のように熱電対を用いた温度計を埋設した。今後、経年的に温度データを採取していく予定である。

### 10. 供用性状の支持力等の確認

供用後の支持力の推移や、路面の変形の推移を長期的に計測するため、表層施工後に横断凹凸量、およびFWD試験によるたわみ量の初期値の測定を行った。横断凹凸量については、今回の計測値を初期値として今後の検討に用いる。FWD試験によるたわみ量は、初期値および施工後の支持力の確認に用いる。

ここで、FWD (Falling Weight Deflectmeter) とは、和訳すると「重錘落下式たわみ測定装置」であり、重錘を落下した際の舗装のたわみを測定することにより、非破壊で舗装の支持力を測定することができる装置である(写真-4,5)。

調査においては、寒地土木研究所所有の試験車両を用いたが、全国で約30台が稼働中である。

FWD試験の概念を図-15に示す。路面に落下ウェイトを落としたときに舗装表面に生じるたわみ量を、複数点で同時に測定する装置である。

複数点で同時にたわみ量を測定するため、路面のたわみ形状が得られ、測定は、非破壊で舗装を傷つけることがなく、一箇所毎に5分程度と短時間で調査が可能な試験である。測定したたわみ形状や大きさは、舗装の各層の構造的な強弱により変わるため、測定結果を解析することにより、舗装各層の強度や路床の支持力などを推定することができ、舗装の支持力が判定できる。

たわみ量の初期値を表層施工後の平成28年11月14日に計測した。結果を図-16に示す。1工区当たり10測線で測

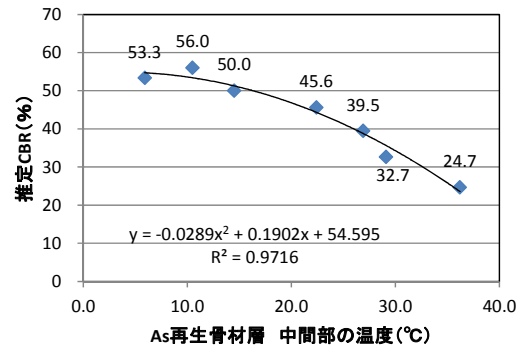


図-10 アスファルト再生骨材層の中間部の温度と支持力の関係

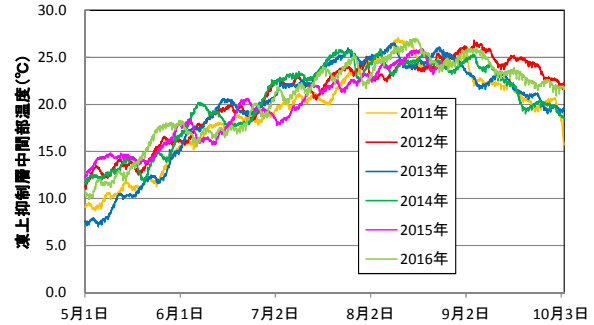


図-11 凍上抑制層温度 (留萌市浜中)

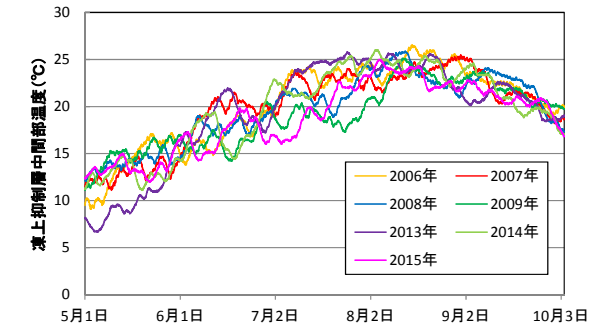


図-12 凍上抑制層温度 (稚内市声問)

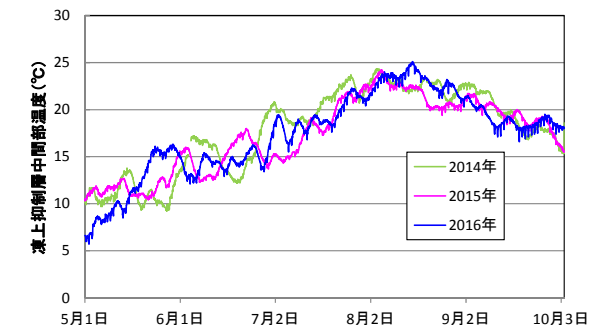


図-13 凍上抑制層温度 (浜頓別町頓別)

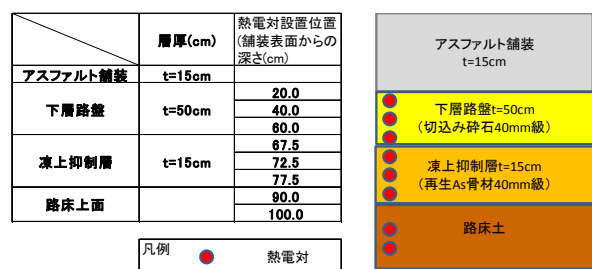


図-14 温度計設置位置



写真-4 自走式FWD試験車両全景



写真-5 FWD試験装置設置状況

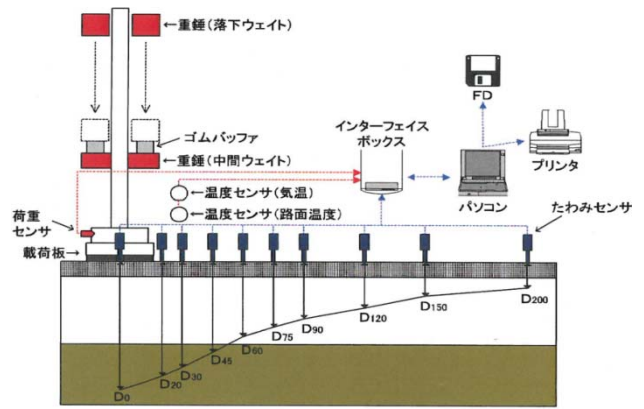


図-15 FWD試験の概念

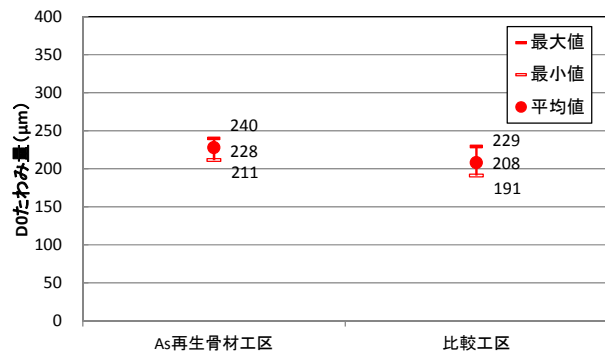


図-16 FWD試験結果

定を実施し、D0たわみ量の平均値と最大値および最小値を示している。アスファルト再生骨材工区の平均値は228 $\mu$ mであり、比較工区の208 $\mu$ mとほぼ同等の値となり十分な支持力を有していることを確認した。また、最大値と最小値の差は、アスファルト再生骨材工区で29 $\mu$ m、比較工区で38 $\mu$ mと同程度のばらつきであった。

## 11.まとめ

- 今回の試験施工においてアスファルト再生骨材を凍上抑制層に使用した工区において、以下のことを確認した。
- 通常の凍上抑制材料である切込砕石 80mm級と同一の施工条件で、良好な転圧作業を行うことができ、所定の締固め度が得られることを確認した。また、通常の凍上抑制材料である切込砕石 80mm級を用いた比較工区よりも高い締固め度を得られたことを確認した。
  - DCP試験による推定CBRは、材料温度 32.5～39.9℃の条件においても、概ね 30%以上の値が得られることを確認した。
  - FWD試験による施工後のD0たわみ量は、比較工区と同等の値を示し、十分な支持力を保持していることを確認した。

## 12. 今後の課題

今後は、現在未確認である供用による車輛の影響や、融解期の支持力低下、夏期の高温期におけるアスファルト再生骨材の軟化に伴う支持力低下の影響を把握し、当該地域における凍上抑制層材料としての適用性を評価していく予定である。

## 参考文献

- 1) 安倍隆二、高橋守人、早坂保則;寒冷地におけるアスファルト再生骨材の路盤材への適用に関する検討、土木学会舗装工学論文集第4巻、1999年12月、PP.127～134
- 2) 杉田和之、高見和弘、佐藤義臣;アスファルト再生骨材の有効利用について-凍上抑制層への利用手法の考察、第57回北海道開発局技術研究発表会、2014年2月
- 3) 高見和弘、村田俊一、上野千草;アスファルト再生骨材の凍上抑制層への適用に関する検討について、第58回北海道開発局技術研究発表会、2015年2月
- 4) 十河陽一、古城学、荒木恒也;アスファルト再生骨材の有効利用について、-基礎材・路盤材への利用手法の考察、第55回北海道開発局技術研究発表会、2012年2月
- 5) 北海道開発局;道路設計要領第2集、2015年4月、p.参27
- 6) 北海道開発局;北海道開発局道路・河川工事仕様書【平成27年度版】、2015年4月、pp.3-29～30
- 7) 北海道開発局;北海道開発局道路・河川工事仕様書【平成27年度版】、2015年4月、p.2-205