

高耐久型SMAの試験施工について -ポットホールの抑制に向けて-

札幌開発建設部 札幌道路事務所 ○澤田 悠奈
札幌開発建設部 札幌道路事務所 古田 隆史
寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

近年、道路舗装の老朽化が進行し、ポットホールの発生が増加している。その結果、ポットホールを原因とする交通事故も多数発生していることから、ポットホールの発生抑制が急務な状況となっている。そこで、ポットホールの発生抑制にむけて、現在標準的に用いられている混合物よりも耐久性が高くポットホールが発生しにくいと考えられる混合物の試験施工を行ったことから、その配合設計から試験施工の結果までを報告するものである。

キーワード：基礎技術、計画手法

1. 背景と目的

札幌開発建設部管内の道路舗装では、近年、融雪期のポットホールの発生が増加しており、ポットホールの発生抑制が急務となっている。発生量が増加している背景としては、道路舗装の老朽化が進行していることや予算制約の影響などが考えられるが、そのような状況下で道路管理者がとりうる対策の一つとして、表層混合物の耐久性を向上し、表層付近に発生するポットホールの発生量を抑制することが挙げられる。

そこで、現在標準的に用いられる表層混合物である密粒度アスコン13Fストアスと細密粒度ギャップアスコン13F55改質II型よりも耐久性が高く、ポットホールが発生しにくいと考えられる新たな表層混合物を検討し、試験施工によって施工段階までの検証を行い、今後の長い検証に託すことを目的とした取り組みを行うこととした。

具体的には、耐久性が高い表層混合物の方向性を室内や混合物製造プラントにおいて検討し、高耐久型SMAと名付けた混合物を設定した。その混合物の配合設計から試験施工までを行い、施工までの各段階での確認試験等を行った。本報はその内容を報告するものである。

なお、現在標準的に用いられている表層混合物は、一般的には十分な耐久性を有していると判断している。しかし、公共投資の削減努力が求められる中、ポットホールの発生量を少なくし、補修間隔を現状よりも延ばしていく努力が望まれる。本取り組みはその一環として行うものであり、表層混合物を現状よりも更に高耐久化し、供用期間中に発生するポットホールの数を減らしていくという観点で行っている。

ちなみに、設計期間を大幅に超過して疲労破壊した舗

装体の安定処理混合物や基層混合物の損傷(疲労ひび割れ)に起因するポットホールは、表層混合物の耐久性を向上しても発生を抑制することはできない。本報はこのような構造的に破壊した舗装体に発生するポットホールの抑制を目的としたものではないので留意が必要である。

2. 耐久性の高い表層混合物の配合検討

耐久性が高く融雪期のポットホールができにくい表層混合物とは、供用年数が経過してもひび割れが発生しにくい、水の影響を受けにくい、凍結融解の影響を受けにくい、はく離しにくい、わだち掘れができにくい混合物であるといえる。そのような混合物とするための配合設計の方向性を整理すると以下ようになる。

- 骨材粒度は、ギャップ粒度の方が良い。細骨材やフィラー分がある程度多い方が良い。
- 最大骨材粒径が小さい方が良い。
- アスファルト量およびアスファルトモルタル量が多い方が良い。
- バインダははく離抵抗性が高く、骨材を把握する力が強い方が良い。(タフネステナシティが大きく、曲げ仕事量大きいバインダが良い)
- 空隙率は2~4%と小さい方が良い。
- 飽和度は高い方が良い。
- 骨材は吸水率やすり減り減量が小さく、はく離抵抗性や摩耗抵抗性が高い方が良い。
- 混合物の曲げ変形性能が高い方が良い。

上記の方向性については、相反する項目もあり全てを高いレベルで満足する混合物配合の設定は難しいが、極力耐久性が高い混合物とするための配合として具体化す

ると、以下ようになる。

～骨材粒度選定の面～

- ・細粒度ギャップ系：細密粒度ギャップアスコン13F55
- ・SMA系：高耐久型SMA13(空隙率3～4%程度、As量6～7%程度)、小粒径SMA

～アスファルト選定の面～

- ・ポリマー改質Ⅱ型(以下、改質Ⅱ型という)を使用することで耐久性が保たれる。なお、より高い耐久性を求める場合には、ポリマー改質Ⅲ型、Ⅲ型WF、高粘度改質が選択肢となりうる。

～コスト面～

コストを度外視して良質の骨材、高性能のアスファルトを選定して混合物を作れば、耐久性が高い混合物となるのは自明である。それに対して、本研究は、コストの制約を設けて配合の検討をすすめた。具体的には、標準的に用いられている細密粒度ギャップアスコン13F55改質Ⅱ型再生材混入率30%(以下、細密粒G13F55)に比べて、混合物単価が2倍未満の範囲であることを条件に加えた。

検討の結果、高耐久な混合物としては表-1に示す高耐久型の碎石マスティックアスファルト混合物で最大骨材粒径が13mmのもの5mmのもの(以下、高耐久型SMA13および高耐久型SMA5という)の2種類を選定した。使用するアスファルトはいずれの混合物も改質Ⅱ型とした。

表-1 試験対象とした混合物

区分	略称	骨材粒径	アスファルト
標準	細密粒G13F55	13	改質Ⅱ型
試験①	高耐久型SMA13	13	改質Ⅱ型
試験②	高耐久型SMA5	5	改質Ⅱ型

3. 高耐久型SMAとは

碎石マスティックアスファルト混合物は、その英語表記であるStone Mastic Asphaltの頭文字をとってSMAと略記されることが多い。従来広く用いられてきた細粒度や密粒度混合物との大きな違いは、粗骨材の配合比率が高く、粗骨材で骨格を形成して車両の荷重を受け止めつつ、骨材同士のすき間はアスファルトモルタルで充填されている混合物であるという点である。そのため安定性と耐久性が高い混合物とされている。ただし、SMAと一括りに称されていても、目的や用途によってSMAには様々な種類や配合がある点には注意を要する。SMAのなかで身近なものとしては、北海道開発局の高規格道路において用いられている北海道型SMA⁹⁾が挙げられる。北海道型SMA混合物は、SMAの高耐久な面と、排水性舗装に似た表面のきめを併せもっていることが特徴で、空げき率は3～7%、アスファルト量は5～7%程度を目標に配合設定が行われる。一方、本稿で高耐久型SMAと名付けた混合物は、高い耐久性を第一に求めていることから、

積雪寒冷地での耐久性を低下させる主要因である水や凍結融解の影響を受けにくいよう、空隙率が2～4%程度と小さく、アスファルト量が6～8%程度と多い混合物とし、ひび割れ抵抗性や耐摩耗性も高い混合物であることを目標とした混合物であり、北海道型SMAとは異なる混合物である。

4. 配合設計とプラントでの試験舗設

(1) 試験対象混合物の配合設計

a) 試験対象混合物の粒度範囲

3種類の試験対象混合物(細密粒G13F55、高耐久型SMA13、高耐久型SMA5)の粒度範囲と目標粒度を表-2, 3, 4および図-1に示す。高耐久型SMAの粒度範囲については、「Stone Mastic Asphalt碎石マスティックアスファルト(SMA)」(北海道土木技術会 舗装研究委員会)²⁾を参考にした。図-1を見ると、高耐久型SMA13は、細密粒13F55よりも粗骨材量(=2.36mmふるい目に留まる量)が17.5%程度多く、耐久型SMA5は、細密粒13F55よりも粗骨材量が8%程度多いことが分かる。高耐久型SMA13および高耐久型SMA5は、植物性繊維を外割で0.3%程度添加し、骨材同士のすき間がアスファルトビチューメンで充填されやすいように配慮した。

表-2 細密粒G13F55の粒度範囲と目標粒度

ふるい目	粒度範囲	目標粒度
19	100	100
13.2	95～100	97
4.75	52～72	62
2.36	35～55	45
0.6	32～50	41
0.3	20～40	30
0.15	10～25	18
0.075	8～13	10
設計As量	共通範囲の中央値	
F/A	1.7程度	

表-3 高耐久型SMA13の粒度範囲と目標粒度

ふるい目	粒度範囲	目標粒度
19	100	100
13.2	95～100	97.5
4.75	30～50	40
2.36	20～35	27.5
0.6	—	—
0.3	13～20	16.5
0.15	—	—
0.075	8～13	10.5
設計As量	共通範囲の中央値	
植物性繊維添加量	外割0.3%	

表-4 高耐久型SMA5の粒度範囲と目標粒度

ふるい目	粒度範囲	目標粒度
19	—	—
13.2	—	—
8	100	100
4.75	90～100	95
2.36	32～42	37
2	30～40	35
0.6	—	—
0.3	—	—
0.15	—	—
0.09	8～13	10.5
0.075	7～12	9.5
設計As量	共通範囲の中央値	
植物性繊維添加量	外割0.3%	

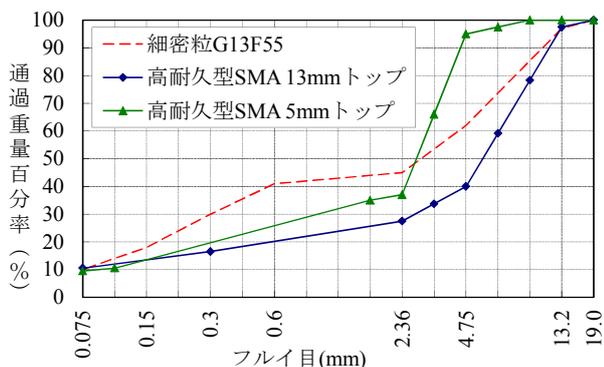


図-1 試験混合物の目標粒度分布図

b) 配合設計手法

目標粒度を表-2, 3, 4の通りとして合成粒度を決定し、合成粒度において高耐久型SMA13はアス量を5.5~7.5%の範囲で0.5%刻みで5点変化させてマーシャル試験を実施した。高耐久型SMA5はアス量を7.0~9.0%の範囲で0.5%刻みで5点変化させてマーシャル試験を実施した。最適アスファルト量は表-5に示す共通範囲の中央値で設定することを基本とした。最適アスファルト量で作成した供試体に対して、耐流動性を評価するためにホイールトラッキング試験、耐摩耗性を評価するためにチェーンラベリング試験を実施し、表-6に示す目標値を満足することを確認して室内配合を決定することとした。

表-5 試験対象混合物の配合設定時マーシャル試験基準値

項目	細密粒G13F55	高耐久型SMA13	高耐久型SMA5
突固め回数(回)	両面75	両面50	両面50
標準基準密度(g/cm ³)	2.35	2.35	2.35
空隙率(%)	3~5	2~4	3~5
飽和度(%)	75~85	70~90	65~85
安定度(kN(kgf))	7.35(750)以上	4.9(500)以上	4.9(500)以上
フロー値(1/100cm)	20~40	30~60	20~50
安定度/フロー	0.25(25)以上	-	-
骨材間隙率(%)	-	17以上が望ましい	17以上が望ましい

表-6 SMAの各種試験目標値

試験項目	細密粒G13F55	高耐久型SMA13	高耐久型SMA5
耐流動性 (WT試験, 動的安定度)	1,500回/mm以上	3,000回/mm以上	3,000回/mm以上
耐摩耗性 (チェーンラベリング試験, すりへり量)	1.30cm ² 以下	1.30cm ² 以下	1.30cm ² 以下

c) 決定配合と混合物性能試験結果

最終的に、試験施工を行う混合物の室内配合を決定した結果を表-7に示す。高耐久型SMA13は、細密粒13F55よりもアスファルト量が約0.7%多く、空隙率が0.3%低く、飽和度が3%高い。そのため、水や凍結融解の影響を受けにくいことが期待され、高耐久と考えられる。高耐久型SMA5は、アスファルト量が7.8%と多いのが特徴であり、水の影響を受けにくいと考えられる。

配合を決定した混合物に対する性能試験結果を表-8に

示す。高耐久型SMA13、高耐久型SMA5はいずれも表-6に示した目標値を満足しており、十分な耐流動性と摩耗抵抗性を有していると判断できる。なお、積雪寒冷地でポットホールができにくい混合物には、凍結融解の影響を受けにくいことや、ひび割れが発生しにくいことも必要な性能である。これらの性能試験については、現在室内試験によって繰返し凍結融解作用を与えて検証中である。

表-7 試験対象混合物のアス量や空げき率(室内配合)

	アスファルト量 (%)	空隙率 (%)	骨材間隙率(%)	飽和度 (%)
細密粒G13F55	6.0	3.3	17.1	80.7
耐久型SMA13	6.7	3.0	18.4	83.7
耐久型SMA5	7.8	4.0	21.4	81.3

表-8 試験対象混合物の各種試験値

試験項目	細密粒G13F55	高耐久型SMA13	高耐久型SMA5
耐流動性 (WT試験, 動的安定度)(回/mm)	4,730	5,700	3,980
耐摩耗性 (チェーンラベリング試験, すりへり量)(cm ²)	0.52	0.54	0.64
きめ深さ MPD(mm)	-	0.61	0.66

(2)アスファルトプラントでの試験練りおよび試験舗設

前項で述べた室内配合の混合物を、実際の現場で支障なく製造・運搬・舗設するための方法を確認する目的で、プラントでの試験練りおよび試験舗設を実施した。

a) アスファルトプラントでの試験練り

試験練りは現場での試験施工の約2ヶ月前に、実際に使用するアスファルトプラントにて実施した。試験練りの目的は、高耐久型SMA13と高耐久型SMA5に対して、図-1および表-7に示す骨材粒度とアスファルト量で実際のプラント設備での混合物の仕上がりを確認し、プラント配合を最終決定する事である。あらかじめ設定した材料加熱温度、混合温度で試験練りを行った結果、目標とする混合物が得られ、プラントで支障なく製造が可能であることを確認できたことから、プラント配合を決定した。

b) プラントでの試験舗設

プラントでの試験舗設は、試験施工の約1か月前にプラント構内にて実施した。プラントでの試験舗設の目的は、転圧に用いる機械構成の検討、適正な転圧回数の検討、出荷・到着・転圧時の温度管理目標値の確認、混合物の舗設時の扱い方や留意点を作業員が把握すること、である。

高耐久型SMA13と高耐久型SMA5の2種類の混合物に対して、転圧機械の転圧回数とタイヤローラの使用有無を変化させた工区を設けることを計画したが、プラント構内で確保可能な試験ヤードの都合上、図-2に示すよう

にマカダムローラとタンデムローラによる転圧回数は6回の1種類とし、仕上げ転圧にタイヤローラを用いる区間と用いない区間を設定して比較検討することとした。立会による施工状況の確認、仕上がりの目視確認、コア採取による密度測定を実施した。

その結果、適正な締固め度や仕上がりを得るために、適正な目標温度は表-9のとおりとすること、タイヤローラを仕上げ転圧に用いること、転圧回数を表-10, 11に示す回数とすることを決定した。

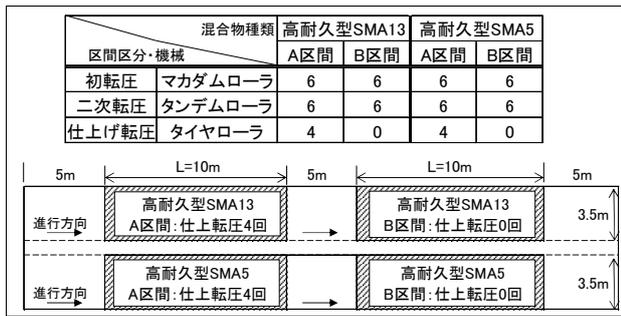


図-2 プラントでの試験舗設 工区割り

表-9 目標温度

作業段階	目標温度範囲 (°C)	上限温度 (°C)	下限温度 (°C)
出荷温度	175 ± 10 °C	185	165
到着温度	170 ± 10 °C	180	160
初転圧	155 ± 10 °C	165	145
二次転圧	130 ± 10 °C	140	120
仕上げ転圧	70 ± 10 °C	80	60

表-10 高耐久型SMA13の転圧回数検討結果

混合物種類 区間区分	高耐久型SMA13		高耐久型SMA5	
	A区間	B区間	A区間	B区間
切取供試体密度 (g/cm³)	2.332	2.305	2.266	2.252
基準密度 (g/cm³)	2.366		2.305	
締固め度 (%)	98.6	97.4	98.3	97.7

表-11 高耐久型SMAの転圧回数検討結果

	転圧回数	
	高耐久型SMA13	高耐久型SMA5
初転圧	7	7
二次転圧	5	5
仕上げ転圧	5	5

5. 現場での試験施工

現場での試験施工は、高耐久型SMA13および高耐久

Yuuna Sawada, Takashi Furuta, Kimio Maruyama

型SMA5の施工性、供用性能や耐久性を確認し、表層混合物としての適用可能性を検討する事を目的としている。以下に概要と結果を述べる。

(1) 試験施工箇所

試験施工箇所は、国道275号苗穂地区で、図-3に示すように、下り方向(L側)の片側2車線のうち外側車線(走行車線)の同一車線延長上に3種類の混合物を約100mずつ隣接して舗設した。

当該箇所は登り勾配区間であり、試験施工区間の縦断勾配が1.12%~3.95%、平面線形はR=280mの曲線およびその緩和曲線区間であり、登坂のための駆動力やカーブ走行時の横抵抗力が舗装表層に加わる、比較的厳しい条件の現場であるといえる。

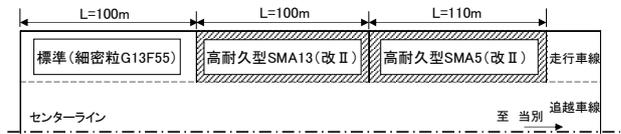


図-3 混合物配置概略平面図

(2) 施工計画(施工機械、転圧方法)

試験施工は平成28年9月26日~27日の夜間に舗設を行い、試験対象混合物は、表層厚4cmで施工した。高耐久型SMA13および高耐久型SMA5の舗設に用いる施工機械は、表-12に示す機械を使用した。タンデムローラを二次転圧に用いること、アスファルトフィニッシャにはタンパバイブレーション方式を使用することとしたが、これは標準的な混合物である細密粒G13F55の舗設に用いる施工機械構成と大きく変わるものではない。

高耐久型SMAの目標温度は、表-9に示したのものとした。混合物を出荷するプラントについては、通常の混合物と同じプラントで出荷可能であり、出荷温度(練上がり)は165~185°Cを目標とした。プラントから舗設現場までの運搬時の温度低下を防ぐため、ダンプトラックの荷台に合材シートを2枚重ねた。

基層と表層の層間付着力も耐久性に影響するため、タックコートにはタイヤ付着抑制型改質アスファルト乳剤PKM-Tを使用した。この乳剤は、タックコート本来の層間接着力を保持しつつ、合材運搬ダンプトラックやフィニッシャなどの施工車両のタイヤへの乳剤付着を低減させることを目的に開発された乳剤である。

表-12 使用機械一覧

使用用途	機械名	形式	規格	製造者
敷均し	アスファルトフィニッシャ	S1603-2	W=2.55~7.0	フェーゲル
初転圧	マカダムローラ	R2-2	10t級	酒井重工業
二次転圧	タンデムローラ	SW502	6t級	酒井重工業
仕上げ転圧	タイヤローラ	T201-1	10t級	酒井重工業

(3) 施工状況および出来形管理・品質管理結果

高耐久型SMA13および高耐久型SMA5の施工に際しては、細密粒度G13F55と同様の出来形管理、品質管理を行った。施工時に立会いを行い、施工後に施工者に対して聞き取り調査を行い、施工状況、出来形管理、品質管理について確認を行った。

a) 施工状況

施工状況の確認は、混合物の製造、運搬、敷き均し、締固めの各段階について行ったが、ダレの発生や材料の分離などが生じないよう、温度管理を適切に行い、運搬時には保温用のシートをかけ、運搬時間や待ち時間を少なくするなどの配慮を行った。その結果、ダレや分離などの問題が生じることなく、良好に舗設を完了できた。いずれの段階においても細密粒G13F55と大きくは変わらないものの、高耐久型SMA13は粘り気が強く重たい混合物であり、混合物の人力での扱い(人力での作業性)については簡単とは言えない面があり、コテやレーキでの仕上げは難しいとの指摘があった。一方、高耐久型SMA5は人力でも比較的扱いやすく、違いがあった。

b) 出来形管理結果

出来形管理は一般舗装工表層工の項目について道路・河川工事仕様書²⁾に示された規格値で行った。その結果、厚さ、幅、平坦性のいずれも各工事箇所でも規格を満足していることを確認した。

c) 品質管理結果

品質管理は標準的な混合物と同様、舗装の材料、プラントおよび舗設現場における管理項目について行った。規格値は道路・河川工事仕様書に示されているものによった。その結果、材料の品質管理項目とプラントでの品質管理項目ともに規格値を満足していた。

現場密度は基準密度に対する規格値の中に入っており、各々の混合物の締固め度は、細密粒度G13F55が99.4%、高耐久型SMA13が98.0%、高耐久型SMA5が98.5%であり、良好に施工されたことが確認された。

初期転圧温度は規格値を満足しており、問題はなかった。施工時の温度管理は、各混合物の目標に対して、目標の範囲で施工が行えた。

外観検査の結果として、舗設した混合物の表面の仕上がり状況を写真-1に示す。高耐久型SMA13は、細密粒度G13F55に比べると表面にきめがあり、凹凸が見られる。高耐久型SMA5は高耐久型SMA13よりも表面のきめは小さいが、細密粒G13F55よりは表面に凹凸がある。

コストについては、標準的な混合物である細密粒G13F55の施工単価を100とすると、高耐久型SMA13および高耐久型SMA5は標準的な混合物に対して4割程度高価となった。



a) 細密粒G13F55



b) 高耐久型SMA13mmトップ



c) 高耐久型SMA5mmトップ

写真-1 各試験施工混合物の表面仕上がり状況

(4) 供用性に関する調査結果

施工後約一か月後に、施工後の初期値として、わだち掘れ、ひび割れ率、きめ深さ、すべり摩擦係数の測定を行った。なお、きめ深さとすべり摩擦係数は必須品質管理項目ではないが、混合物の性状を把握する目的で参考のために測定を行っているものである。結果を図-4, 5, 6に示す。

わだち掘れ量は高耐久型SMA13が3.7mm、高耐久型SMA5が5.2mmと細密粒13F55の2.4mmよりも大きい、いずれも舗設直後の初期値としては妥当な範囲の値であり、今後の推移を見ていくことが大切である。きめ深さMPDは高耐久型SMA13が0.79mm、高耐久型SMA5が0.49mmと細密粒13F55の0.25mmよりも大きな値となっており、写真-1に示した表面のきめの状態と整合している。すべり摩擦係数は60km/hで0.4以上となっており、十分なすべり抵抗性を有していると判断できる。

今後20年程度の期間、表-13に示す時期に、わだち掘れ、ひび割れ率などの計測を行い、ポットホールが発生状況や損傷状況の経過を観察していく予定である。

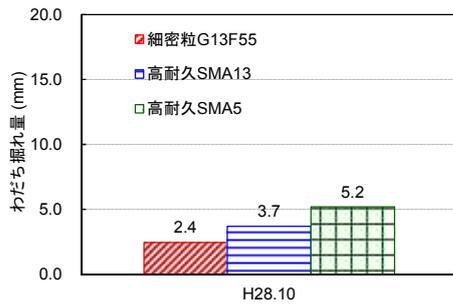


図-4 わだち掘れ調査結果(初期値)

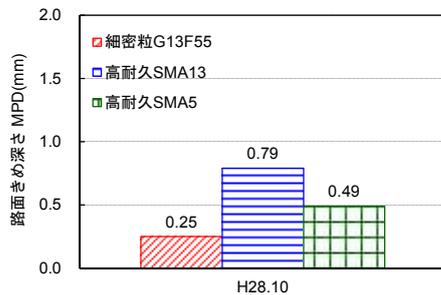


図-5 きめ深さ調査結果(初期値)

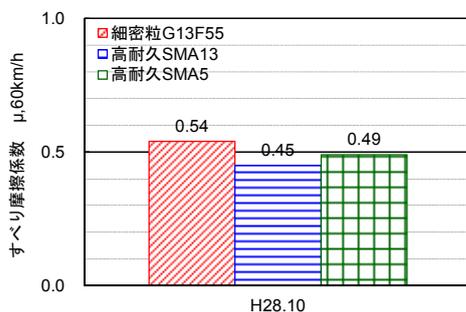


図-6 初期すべり摩擦係数調査結果(初期値)

表-13 今後の追跡調査計画

追跡調査実施時期	実施年月
初期値	施工後2か月以内を目安に実施
施工後2年経過	2018年6月頃予定
施工後5年経過	2021年6月頃予定
施工後10年経過	2027年6月頃予定
施工後15年経過	2031年6月頃予定
施工後18年経過	2034年6月頃予定
施工後20年経過	2036年6月頃予定

6. まとめ

(1) 現在標準的に用いられている混合物よりも耐久性が高くポットホールが発生しにくいと考えられる混合物として、高耐久型SMA13および高耐久型SMA5の配合設

定を行い、プラントでの試験舗設と現場での試験施工を行った。

(2) 配合設定から試験施工に至る一連の検討を順調に実施することができ、高耐久型SMA13および高耐久型SMA5は表層混合物として十分に適用可能な混合物であることを確認した。実際の供用条件下での長期的な耐久性は、今後追跡調査によって時間をかけて検証していく必要があるが、現在までのところ、所期の目標を達成していると考えている。

供用条件下での長期的な耐久性が確認されることが最終的な目標であり、今後も継続的な損傷状況の経過を観察していきたい。

謝辞：本試験施工の遂行にあたっては、工事受注者である北央道路工業株式会社の協力をいただいた。関係者に謝意を表す。

参考文献

- 1) 積雪寒冷地における舗装技術検討委員会：北海道型SMAの施工の手引き(案)、平成28年3月改訂版、2016.3
- 2) 北海道土木技術会舗装研究委員会：砕石マスティックアスファルト(SMA)、2009.8
- 3) 北海道開発局事業振興部技術管理課：平成28年度版北海道開発局道路・河川工事仕様書、2016.