

積雪寒冷地域の特性を考慮した新たな舗装混合物の開発について

Development of new asphalt mixture suitable for snowy and cold region

東日本高速道路㈱北海道支社 ○正員 豊田 邦男 (Kunio Toyota)

東日本高速道路㈱北海道支社 西岡 恵治 (Keiji Nishioka)

1. まえがき

北海道支社管内の高速道路は、平成17年度末現在で約5割が高機能舗装化されている。(図1)

高機能舗装の整備が進むにつれ、面的もしくは部分的なラベリングやポットホール、骨材の散逸進行に伴う舗装厚の減少が深刻化してきた。

損傷の原因としては、冬期における凍結融解作用や浸水によるアスファルトの剥離及び、スチールエッジを使用した除雪作業等、厳しい気象条件によるものが考えられる。これらの損傷により、高機能舗装の排水機能や乗り心地の悪化に伴うお客様サービスレベルの低下及び、舗装構造物自体の耐久性の低下に繋がっている。早いところでは、施工後4~5年で補修が必要となることから、補修サイクルの短縮がライフサイクルコストの増大に繋がっている状況である。

これらの状況から、積雪寒冷地での過酷な供用条件に耐え、かつ高機能舗装と同程度の機能を有する新たなアスファルト舗装混合物の開発を行った。

本報文は、室内試験レベルにおける各種アスファルト舗装混合物(以下「舗装混合物」という)の比較検討結果及び、本線上での本格的な施工に至るまでの取組状況について報告するものである。

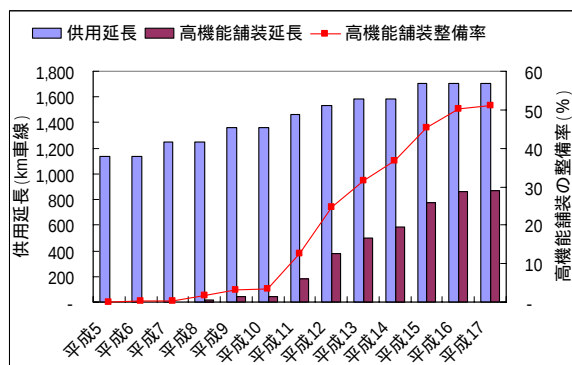


図1 高機能舗装の整備率

2. 各種舗装混合物の比較検討

2.1 新たな舗装混合物に求められる性能

新たな舗装混合物に求められる性能は、安全性の確保、耐久性の向上、経済性の確保の3点である。については、冬期走行時の安全性を確保するためのすべり抵抗の向上、湿潤時の視認性(路面の反射抑止)の確保と、スモッキング(煙霧)及びハイドロプレーニング(雨天走行時にタイヤが浮きスリップする現象)の抑制が必要とされる。については、厳しい気象条件での維

持管理においても長期耐久性が発揮できること、についてはライフサイクルコストの縮減を目指している。

2.2 各種舗装混合物の室内試験

新たな舗装混合物の開発にあたり、基となる既存のアスファルト舗装混合物について、室内試験における性状の確認を実施した。室内試験を実施した混合物と試験項目を表1に示す。

室内試験を行った混合物の特性は次のとおりである。舗装表面に機能性は無いが、耐骨材飛散抵抗性に優れている密粒舗装(TypeC)と、排水機能やすべり抵抗、耐流動性に優れている高機能舗装(空隙率18%)、排水機能が表面上の凹凸により通水し、すべり抵抗性が高く耐流動性に優れているSMA(砕石マッシュ舗装)・ハイブリッド舗装・機能性SMA。これらの混合物を比較し、各々の特徴を把握することで、新たな舗装混合物に求められている性能を検討できると考え室内試験を実施した。

表1 舗装種別と試験項目

舗装種別	使用アスファルト等	試験項目
密粒舗装(Type C)	ストレートアスファルト(80-100)	
高機能舗装(空隙率18%)	高粘度改質アスファルト	・ホイールトラッキング試験
砕石マッシュ舗装(SMA)	改質アスファルト	・低温カンパロ試験
ハイブリッド舗装	改質アスファルト	・すべり抵抗値測定
機能性SMA	高粘度改質アスファルト	

注: 機能性SMAとは、北海道開発局で開発したSMAの耐久性と排水性舗装の機能を併せ持つ舗装である。求める機能はハイブリッド舗装と同様で、機能性SMAの配合は、高粘度改質アスファルトを使用し、As量が多く(6.5%)、植物繊維を0.3%含んでいる。

2.3 室内試験結果

2.3.1 ホイールトラッキング試験結果

図2に動的安定度と変形率の試験結果を示す。この結果は、3枚の平均値である。なお、密粒舗装は変形量が大きすぎて測定不能となったため、正規の(d60-d45)ではDS(動的安定度)が算定できず、やむを得ず(d45-d30)によりDSとRD(変形率)を算定した。

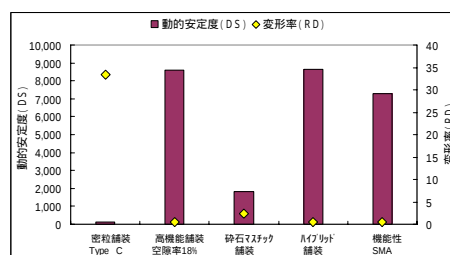


図2 動的安定度と変形率

DSは通常、6000回/mmまたは、それを超えた場合には6000回/mm以上とするが、ここでは、この試験で得られた試験結果を用いている。

DS の最大値は、ハイブリッド舗装で 8 625 回/mm を示し、最小値は密粒舗装の 139 回/mm であり、その他の舗装については、6 000 回/mm 以上という結果であった。また、RD は DS の試験結果の傾向に反比例し、DS が大きいものほど小さくなる傾向であった。

アスファルト種別の違いでは、ストレートアスファルトよりも改質アスファルトや高粘度改質アスファルトを使用した舗装混合物で DS が増加する傾向が確認され、高温域（60 にて試験）での耐流動性を向上させるためには有効であるという試験結果となった。また、ハイブリッド舗装は、改質アスファルトを使用しているにも関わらず、高粘度改質アスファルトを使用した高機能舗装と同程度の値であった。

2.3.2 低温カンタブロ試験結果

図 3 に低温カンタブロ試験結果（室温：常温、供試体：-20℃）を示す。この結果は、5 個の試験結果のうち最大値と最小値を除いた 3 個の平均値である。骨材損失率の最大値は、密粒舗装が 18.4% を示し、最小値は、機能性 SMA の 7.2% であった。空隙率が最も大きい高機能舗装は 17.0% であり密粒舗装と同程度の値となった。また、ハイブリッド舗装は空隙率が小さいため、SMA や機能性 SMA と同程度の値であった。

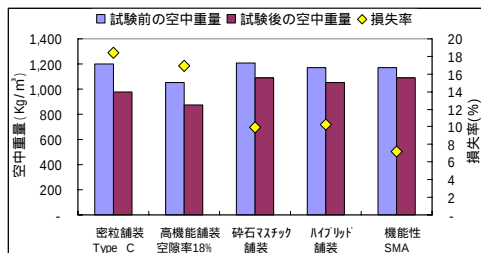


図3 低温カンタブロ損失率

2.3.3 すべり抵抗値試験結果

図 4 にすべり抵抗値試験結果を示す。この試験結果は、温度補正後の値である。BPN の最大値は、高機能舗装が 85 を示し、次にハイブリッド舗装が 68 で、それ以外の舗装は 62 であった。

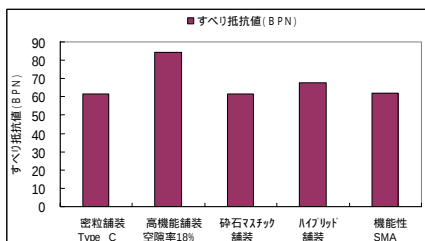


図4 すべり抵抗値 (BPN)

この結果は、きめ深さ（舗装表面の粗さ）が大きい高機能舗装、ハイブリッド舗装が他の舗装に比べて高いすべり抵抗性を示すものであった。その他の舗装は BPN60 に近い結果となったが、これは、最適アスファルト量を目標空隙率（空隙率規定範囲の中央値）となるアスファルト量で行ったため、混合物としてアスファルト量過剰となり、舗装表面にアスファルトモルタル分の浮き（以下「フラッシュ」という）がある事が原因と考える。

以上の結果から、すべり抵抗性を向上させるためには、きめ深さを確保する事が有効であることが確認できた。

2.4 試験結果のまとめ

前節 2.3 で述べた結果及び、初期コストについて、5 種類の舗装混合物を順位付けした結果を表 2 に示す。

表 2 試験結果による優劣の順位

	密粒舗装 type C	高機能舗装 空隙率18%	SMA	ハイブリッド舗装	機能性SMA
動的安定度	1	4	2	5	3
骨材損失率	1	2	4	3	5
すべり抵抗値	3	5	3	4	3
初期コスト	5	3	2	3	1
計	10	14	11	15	12

この表は、それぞれの試験の中で、最も優れた値を示した混合物を 5 点、最も劣る値を示した混合物を 1 点として評価したものである。順位の数字を合計した結果、ハイブリッド舗装が最も優れている結果となり、この舗装について配合設計を実施することにした。

3 ハイブリッド舗装の配合設計

ハイブリッド舗装の試験施工にあたり、中日本高速道路株式会社（旧日本道路公団試験研究所）が制定した、「ハイブリッド舗装混合物の配合設計マニュアル（案）」により、配合設計を実施した。

このマニュアル（案）の特色としては、静的ダレ試験、動的ダレ試験により混合・締固め温度の設定を行うことや、見掛け密度と真空バック法密度を併用して配合設計を行うことなどにあり、通常の舗装混合物の配合設計とは異なる流れ（図 5、6）となっている。

今回の配合設計で得られたマーシャル基準値と、機能性・耐久性試験の基準値及び、配合比を表 3～5 に示す。これらの項目について基準値を満足していることを確認し、現場での試験施工を実施した。

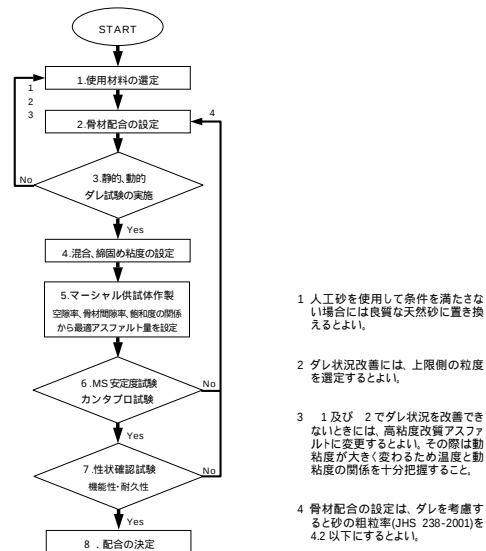
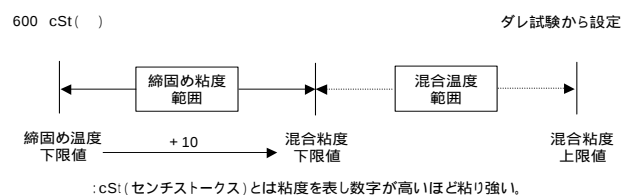


図5 ハイブリッド舗装の配合設計の流れ



cSt (センチストークス) とは粘度を表し数字が高いほど粘り強い。

図6 混合・締固め温度（粘度）設定方法

表 3 ハイブリッド舗装のマーシャル基準値と試験値

項	目	規 準 値	試 験 値
空 隙 率 (%)	見掛け法	2.5～2.8	2.7
	真空バック法	5.8～7.1	6.8
骨材間隙率 (%)		20.2以下	19.9
飽 和 度 (%)		64.0～69.5	65.8
安 定 度 (kN)		6.0以上	8.4
安定度 / フロー値 (kN/m)		2,000～4,900	2,545

表4 ハイブリッド舗装の耐久性・機能性と試験値

性 能	試 験 項 目	基 準 値	試 験 値	備 考
骨材飛散抵抗性	低温カンタブロ試験 (%)	12.0以下	10.8	供試体-20
耐流動性	ホイールトラック試験 (回/mm)	3,000以上	10,700	改質アスファルト
水密性	加圧透水試験 (cm/s)	1×10^{-7} 以下	不透水	
キズ深さ	CTメーター測定	1.2以上	1.46	回転式路面粗さ測定器
曲げ強度	単純曲げ試験	6.0×10^{-3} 以上	7.23×10^{-3}	
耐摩耗性	ラベリング試験 (cm ²)	1.1以下	0.69	
剥離抵抗性	水浸ホイールトラック試験 (%)	5以下	0	

表5 ハイブリッド舗装の配合

舗装種別	6号 砕石	7号 砕石	人工 砂	粗目 砂	細目 砂	石粉	As	合計
ハイブリッド舗装	72.6	-	8	-	4.7	8.9	5.8	100
高機能舗装(参考)	76	-	-	14.2	-	4.8	5	100

4. ハイブリッド舗装の試験施工

4.1 施工方法

ハイブリッド舗装の試験施工は、トンネル部で実績がある施工方法を参考にして実施した(表6)。

この舗装混合物は、出荷時の混合物温度に非常に敏感な混合物であり、プラントからの出荷温度が高過ぎると、運搬時にダンプ荷台において、アスファルトモルタル分の材料分離(以下「ダレ」という)が発生した事例もある(写真1)。従って、通常の混合物に比べ、目標出荷温度幅を ± 5 程度と狭く設定し、図6に基づいて求めた169の ± 5 にて適正な出荷温度管理を実施し、初期転圧をマカダムローラ(10t)で11回程度(片道)、二次転圧としてタイヤローラ(25t)で3回以上(片道)行ったが、その中でいくつかの問題が発生した。

表6 施工機械と管理目標

施 工 箇 所	出荷温度 混合時間	初期転圧	二次転圧
トンネル部	178 $\pm$ 10	マカダムローラ-14t 9回以上	タイヤローラ-15t 3回以上
	dry10秒wet40秒	155 $\pm$ 10	110 $\pm$ 10
明かり部(今回)	169 $\pm$ 5	マカダムローラ-10t 11回	タイヤローラ-25t 3回以上
	dry10秒wet45秒	155 $\pm$ 5	120 $\pm$ 10
高機能舗装(参考)	170 $\pm$ 10	マカダムローラ-10t 6回	タイヤローラ-15t 4回

4.2 施工時における問題点

4.2.1 均一な表面きめ深さの確保

ハイブリッド舗装の施工時において、すべり抵抗値を低下させるフラッシュが発生した(写真2)。このようになると、表面のきめ深さが不均一となり、安全で快適な走行の支障となってしまう。

フラッシュの発生原因としては、混合物の温度が高く(施工時の外気温も高かった)ダレ気味だったこと、

アスファルトフィニッシャーの敷均しにムラがあり部分的に細粒分が集中した箇所があったこと、ローラの転圧が重複した箇所があったことが上げられる。

4.2.2 締固め度不足傾向

4.2.1の課題とは逆に、ハイブリッド舗装の施工時において、鉄輪(マカダムローラ)主体で転圧を行った

が、混合物の温度低下により、締固め度不足の傾向になった。



写真1 ダンプ荷台におけるダレの発生状況

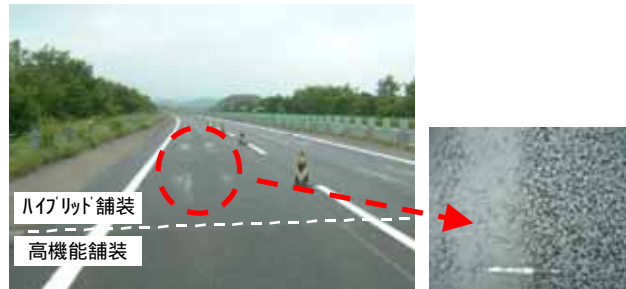


写真2 フラッシュの発生状況

4.2.3 ハイブリッド舗装に関するまとめ

ハイブリッド舗装は、均一な表面のきめ深さを確保しつつ内部は十分な密度が必要となる、相反する要素を両立させる舗装である。従って、施工においては、敷き均しから転圧に至るまで、狭い目標温度範囲の中で確実に施工できる細心の施工体制が要求される。このことから、フラッシュの抑制、締固め度不足解消を目指し、現場での品質のばらつきを改善するための検討を行うこととした。

5 新たな舗装混合物

5.1 施工性改善の検討事項

前述の問題点を解消するために、基となるハイブリッド舗装を改良し、新たな舗装混合物の検討を行った。

検討事項としては、機能性・耐久性は損なわず、ダレやフラッシュを抑制し、締固め度不足傾向を解消することである。ダレやフラッシュを抑制するためには、混合物の細粒分を多くし、6号砕石(13mm～5mm)の空隙を埋めることにより解消できると考え、7号砕石(5mm～2.5mm)を配合し4.75mm通過量を5%増すことにした(表7)。

表7 粒度比較表

ふるい目(mm)	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
ハイブリッド舗装	100.0	97.5	74.0	30.0	25.0	20.0	15.0	12.0	10.0
新たな舗装	100.0	97.5	74.5	35.0	25.0	20.0	15.5	12.5	10.0
高機能舗装	100.0	96.0	73.5	24.5	19.5	12.5	9.5	6.5	4.5

締固め度不足傾向の解消については、転圧機種の違いによるものと考え、鉄輪(マカダムローラ)主体からタイヤローラ主体にすることで、舗装内部のアスファルトを浮き上がらせる(ニーディング)効果により内部を密実にすることが出来ると考えた。それに伴って表面のきめ深さも浅くなるため、マーシャルの基準値については密粒舗装 typeC を適用し、機能性・耐久性の基準値は

ハイブリッド舗装を準用した（表 8、9）。

表 8 新たな舗装混合物のマーシャル基準値

項	目	基 準 値
空 隙 率 (%)	見掛け法	3.0～5.0
飽 和 度 (%)		75.0～85.0
安 定 度 (kN)		6.0以上
フロー値 (1/100cm)		29～40
残留安定度 (%)		75以上

表 9 新たな舗装混合物の耐久性・機能性基準値

性 能	試 験 項 目	基 準 値	備 考
骨材飛散抵抗性	低温カンパロ試験 (%)	12.0以下	供試体-20
耐流動性	ホイールトラック試験 (回/mm)	3,000以上	改質アスファルト
曲げ強度	単純曲げ試験	6.0×10^{-3} 以上	
耐摩耗性	ラベリング試験 (cm ²)	1.1以下	
剥離抵抗性	水浸ホイールトラック試験 (%)	5以下	
キマ深さ	CTメーター測定	1.0程度	目標値

5.2 配合設計

新たな舗装混合物の配合比を表 10 に示す。前述のとおり 7 号砕石を意図的に配合しており、また使用アスファルトは改質アスファルト（寒冷地用）で、室内配合設計時までの暫定アスファルト量は 5.8% である。

この配合とアスファルト量 - 0.2% の 5.6% にて、実機練りとダンプ運搬によるダレ試験を実施した。

表 10 新たな舗装混合物の配合比

舗装種別	6号 砕石	7号 砕石	人工 砂	粗目 砂	石粉	As	合計
新たな舗装	65.2	6.4	6.4	6.4	9.8	5.8	100
	65.4	6.4	6.4	6.4	9.8	5.6	100

5.3 実機練りとダレ確認

実機による練り落とし後の混合物の状況を見ると、5.8% 及び 5.6% とともに十分にアスファルトが骨材に被膜しており、良好な混合物であった。

しかし、ダンプ運搬でのダレ確認では、5.8% の混合物に、ダンプ荷台上でダレが発生したことから、5.6% を最適アスファルト量とし試験施工を実施した。

5.4 試験施工

試験施工の出荷温度、施工方法を表 11 に示す。タイヤローラ 25t を主体とし、12 回（片道）転圧した結果、締固め度は 99% となり、締固め度不足は解消した。表面の性状については、きめが浅い仕上がりとなり、フラッシュも発生しなかったことから、骨材飛散抵抗性に優れた舗装が出来たと考えている。

表 11 新たな舗装混合物の施工機械と管理目標

舗装種別	出荷温度 混合時間	初期転圧	二次転圧	仕上転圧
新たな舗装	178 ± 5	マカダムローラ-10t 4回	タイヤローラ-25t 12回以上	タンデムローラ-4t 適宜
	dry10秒wet45秒	163 ± 10	120 ± 10	ローラ-マーク消去

5.5 本施工

試験施工の結果、ダレやフラッシュを抑制し、締固め度不足も解消できたことから、高速道路本線上において本施工を実施した。舗装表面の仕上がり状況（写真 3）、締固め度の品質管理データ（図 7）を示す。

表面の仕上がりについては、フラッシュもなく均一で良好な仕上がりであり、締固め度についても、99%～101% の中に分布しており、十分な締固め度となっている。

また、機能性については、写真 4 に示すとおり、湿

潤時の視認性の確保（路面の反射抑制）や、スモッキング（煙霧）抑制効果があることを確認できた。

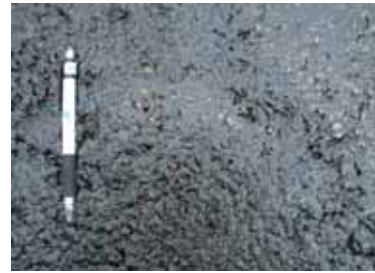


写真 3 舗装表面の仕上がり状況

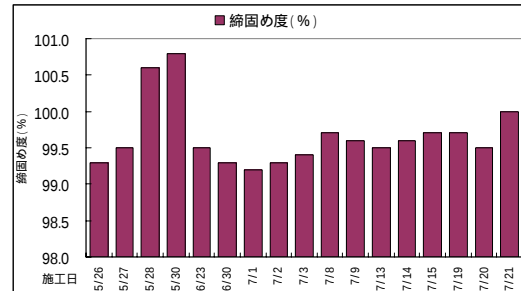


図 7 締固め度の品質管理データ



写真 4 舗装の違いによる路面の反射状況

6. あとがき

「北海道型高機能舗装」は、積雪寒冷地での厳しい気象条件等に耐えうる様々な機能を有した多機能な舗装混合物であることが今回の研究成果より得られた。

今後は、平成 18 年度に実施した各工事の施工管理データをまとめ、請負人との施工ヒアリング結果を踏まえ、配合設計・施工マニュアルに反映させる。また、追跡調査を実施し、長期耐久性・機能性について検証していく予定である。

参考文献

- 1) 山口清人、豊田邦男、村田信之・高機能舗装の損傷原因分析と耐久性のある混合物を目指して - 東日本高速道路（株）北海道支社管内 - 舗装 Vol.41、№9、pp8-14（2006-9）
- 2) 田村崇、北川純一、西岡恵治・高機能舗装損傷原因分析と新たな評価方法・表層混合物の導入提案について - 北海道型の耐久性のある高機能舗装混合物を目指して - 第 49 回（平成 17 年度）北海道開発局技術研究発表会発表論文集・（2006-2）