

R C床版上の基層用アスファルト混合物の性能に関する検討

—舗装およびR C床版の長寿命化に向けて—

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 ○星 卓見
丸山記美雄
木村 孝司

本研究は、R C床版上の舗装体内部への水分の浸入と床版上の滞水を防止し、橋面舗装のはく離抵抗性の向上を図ることを目的としている。このため、候補となる数種のアスファルト混合物について、床版上の滞水につながる混合物層下面の凹凸量のほか、耐水性、水密性等の要求性能を室内試験により評価した。その結果、アスモル分が多く、粗骨材の割合が低い細密粒度ギャップアスコンが基層用混合物として有利であることが示唆された。

キーワード：橋面舗装、はく離、R C床版、予防保全

1. はじめに

道路橋は、車両による繰り返し荷重、振動、衝撃、せん断等の力学的作用や降雨、風雪、温度変化等の気象作用、さらに床版の膨張収縮などが複雑に作用する環境におかれ、舗装、床版防水層及び床版で形成される構造体が疲労を受ける。この内、床版防水層に直接接する基層用アスファルト混合物は、防水層と密着して構造体を保護するが、舗装体のひび割れや施工目地、橋梁付属物（排水桝、伸縮装置等）付近のすき間から浸入した水分が混合物中及び床版上に滞水した状態で、夏期の高温時に輪荷重の作用を受けることで、混合物のはく離やブリスタリングが生じる例が散見されている（写真-1）。



写真-1 水分の浸入による基層のはく離

上述の課題解決のための方策としては、舗装の増厚や透水性の極めて低いゲースアスファルトの使用等が考えられるが、死荷重の増加や建設コストの増大といった問題がある。

このような背景から本研究では、舗装体内部への水

分の浸入とR C床版上の滞水を防止し、はく離抵抗性が高い基層用アスファルト混合物を選定することで橋面舗装の耐久性の向上を図り、R C床版の長寿命化にも資することを目的としている。

本報では、R C床版上に施工する基層用アスファルト混合物（以下、基層用混合物）として、候補となる数種のアスファルト混合物について要求性能を評価した結果¹⁾について報告する。

2. 試験研究の方法

基層用混合物層の底面はテクスチャが粗く、小さな間隙群（凹み）があるため水分が滞留する空間となり、ブリスタリングの発生やアスファルト混合物のはく離の一因になると考えられる（図-1）。既往の研究では、この小さな間隙群（凹み）が浸入した水の滞留及び水平方向への拡散空間になり得ること、及び混合物中の粗骨材の割合が低く、アスモル分の割合が高い混合物ほど混合物層底面のきめが浅く、小さな間隙群（凹み）の形成抑制に効果的であるとの報告がある²⁾。

筆者らは、数種類のアスファルト混合物の供試体を用いて、床版上の滞水につながる混合物層下面の凹凸量を数値化して評価するとともに、基層用混合物に求められる性能を各種室内試験により検証した。

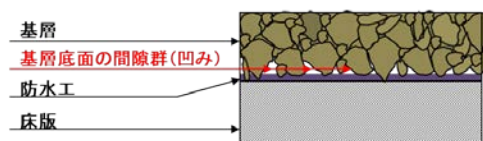


図-1 基層底面の間隙群（凹み）のイメージ

(1) 試験対象とした基層用混合物とバインダーの選定

本研究に用いた混合物の諸元を表-1に示す。排水性舗装区間の橋梁部の基層及び重交通区間の流動対策として表層に使用されている細密粒度ギャップアスコン(13F55)改質II型及び東・中・西日本高速道路株式会社(以下、NEXCO)でRC床版橋面の基層として使用されているSMAを対象とした。なお、SMAは、ストレートアスファルトを用いてNEXCOの中間層用配合設計標準粒度範囲³⁾をもとに繊維質補強材0.3%(外割)を添加して配合設計を行い、この配合を用いてストレートアスファルト及び改質II型を使用した混合物とした。このほか、基層用混合物として一般的に使用されている粗粒度アスコンを比較用として用いた。

表-1 混合物の諸元

項目	粗粒度 アスコン (20)	細密粒度 ギャップアス コン(13F55)	SMA (13)	
	合 成 粒 度			
ふるい通過重量百分率 (%)	26.5	100.0		
	19.0	98.8	100.0	100.0
	13.2	81.0	98.1	97.5
	4.75	45.1	62.1	42.5
	2.36	30.0	44.9	27.4
	600 μ	16.9	41.6	20.3
	300 μ	11.7	31.1	17.1
	150 μ	6.6	12.0	12.7
	75 μ	4.6	9.2	10.5
アスファルト種別	ST	改II	ST	改II
アスファルト量(%)	5.3	6.0	7.7	
空隙率(%)	4.0	3.5	2.3	2.2
略号	粗粒_ST	細密_II	SMA_ST	SMA_II

※1 表中の記号は次の内容を示す。

ST : ストレートアスファルト

II : ポリマー改質アスファルトII型

※2 以下、図中では表中の略号を用いる。

(2) 要求性能と評価方法

舗装表面からの水分の浸入及び床版上の滞水に対して基層用混合物に求められる要求性能、これを評価するための試験項目及び評価値を表-2のとおり整理した。

表-2 要求性能と評価試験項目及び評価値

要求性能	試験方法	評価値
非滯水性	プリンティング法	接地面積率
	CTM	MPD
水密性	加圧透水試験	透水係数
耐水性	水浸マーシャル安定度試験	残留安定度
はく離抵抗性	水浸ホイールトラッキング試験	はく離率

防水工の低損傷性	目視による防水工の損傷状況確認	損傷点数
骨材飛散抵抗性	低温カンタプロ試験	損失率

なお、「非滯水性」とは、浸入した水の滞留及び水平方向への拡散空間となる基層用混合物層底面の間隙群(凹み)の割合が低いことと定義した。

3. 試験結果

(1) 非滯水性

a) プリンティング法による2値化と接地面積

ホイールトラッキング試験用供試体の底面をプリンティング法を用いて紙に転写した後、混合物毎に撮影した3枚のデジタル画像の中央部分(30cm×30cm)を切り出して画像処理・解析ソフトウェアで2値化し、各々の面積の平均値を算出した。供試体底面の転写状況を写真-2に、2値化した画像の例を写真-3に示す。

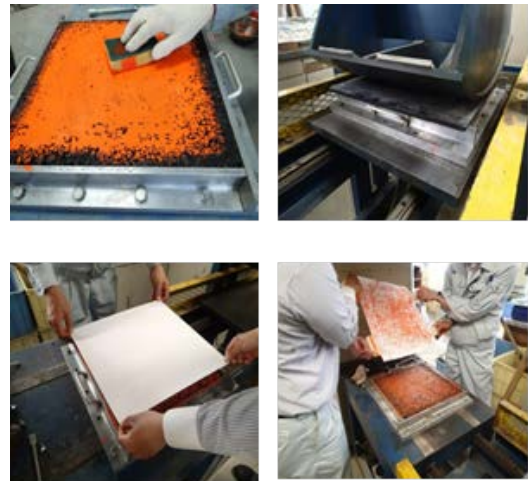


写真-2 供試体底面の転写状況

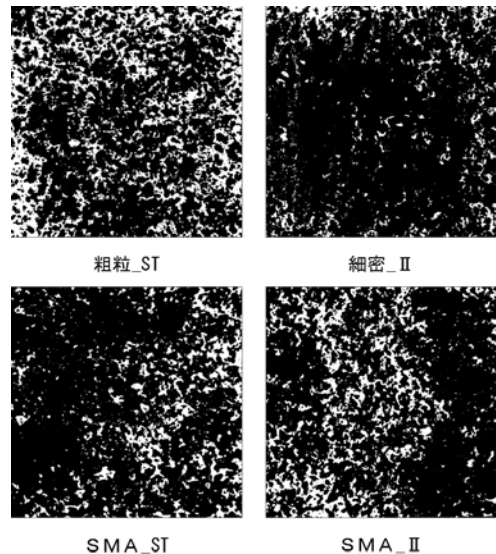


写真-3 2値化した混合物底面の画像(例)

画像の白色部分は供試体底面に空隙（凹み）があるためにインクが用紙に付着しなかった箇所を示し、黒色は凹みが無く平滑性が高い部分で、実際の施工時には床版面の防水層と密着すると想定される部分を表す。

ここで、画像の黒色部分の面積を接地面積（下層と接する面積）、全体面積（30cm×30cm）に対する接地面積の割合を「接地面積率」として算出し、この接地面積率から各混合物の非滯水性を評価した。

b) 接地面積率と「粗骨材重量比」及び「アスモル重量比」の比較

各混合物中の 2.36mm 以上の粗骨材の合計重量とアスファルト混合物の全体重量の比を「粗骨材重量比」とし、2.36mm 未満の細骨材、石粉及びアスファルトの合計重量とアスファルト混合物の全体重量の比を「アスモル重量比」として算出した。

ここで求めた混合物別の粗骨材重量比及びアスモル重量比と前項で求めた接地面積率の関係を図-2 に示す。

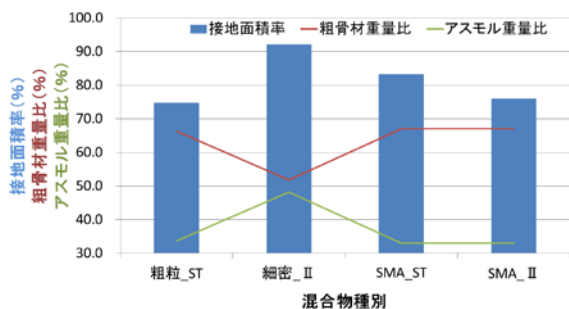


図-2 混合物別の粗骨材重量比及びアスモル重量比と接地面積率

試験の結果、接地面積率が一番高い混合物は細密粒度ギャップアスコン（改質II型）の92%であった。この結果から、細密粒度ギャップアスコンは、他の混合物に比べて混合物層底面の平滑性が高く、小さな間隙群の形成の割合が低いことが確認された。

また、粗骨材重量比とアスモル重量比の観点から接地面積率を比較した場合、アスモル重量比が高く、粗骨材重量比が低い混合物は接地面積率が高い傾向を示すことを確認した。

以上の結果から、混合物底面の小さな間隙群の形成の割合が低く、非滯水性が高いアスファルト混合物として細密粒度ギャップアスコンが有利であることが示唆された。

c) CTM を用いた MPD 測定試験

回転式きめ深さ測定装置（CTM：Circular Track Meter）を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法⁹⁾により、前述の接地面積を計測した供試体底面及び上面のきめ深さ（以下、MPD：Mean Profile Depth）を計測し、MPD

と接地面積率との関係について検証した。

各混合物の供試体「底面」の MPD と接地面積率の関係を図-3 に、供試体「上面」の MPD と接地面積率の関係を図-4 に示す。

双方の図から MPD と接地面積率には高い相関が見られ、MPD が小さな混合物ほど接地面積率が高い傾向を示した。なお、この MPD と接地面積率の関係は、供試体「底面」、「上面」とともに同様の傾向を示すことから、供試体「上面」の MPD でも混合物底面の小さな間隙群の形成の割合を評価できることが明らかとなった。

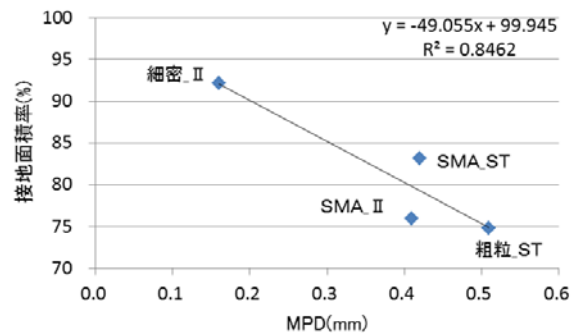


図-3 供試体「底面」のMPDと接地面積率

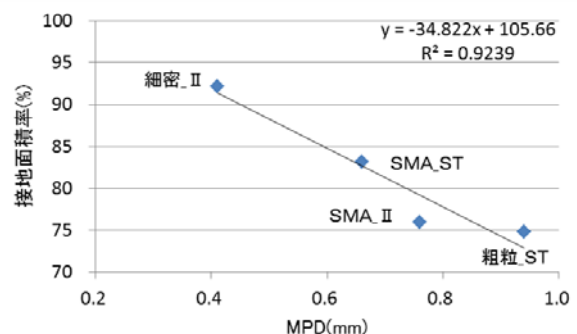


図-4 供試体「上面」のMPDと接地面積率

(2) 水密性及び耐水性

各混合物の水密性を評価するために加圧透水試験を、耐水性を評価するために水浸マーシャル安定度試験を実施した。

a) 加圧透水試験

加圧透水試験は、アスファルト混合物の加圧透水試験方法⁹⁾に拠り、ゴムスリーブで漏水を防止するタイプの試験機を使用した。

目標締め固め度 96%及び 98%の供試体の加圧透水試験結果（水圧 150kPa）を表-3 に示す。

水利用アスファルト混合物では 1×10^{-7} cm/sec以下の透水係数を不透水の目安（以下、便宜的に「不透水」と表記）としているが、細密粒度ギャップアスコン（改質II型）及びSMA（ストアス、改質II型）は、締め固め度が 96%及び 98%ともに不透水で水密性が高

い。これに対し、粗粒度アスコンは締め固め度が 96% 及び 98%ともに透水しており、水密性の低い混合物であることを確認した。

表-3 加圧透水試験結果 (水圧 150kPa)

混合物種別	透水係数 (cm/sec)	
	締め固め度96%	締め固め度98%
粗粒ST	243×10^{-5}	340×10^{-6}
細密_II	不透水	不透水
SMA_ST	不透水	不透水
SMA_II	不透水	不透水

b) 水浸マーシャル安定度試験

水の影響を受けやすい混合物の耐水性を評価する指標として、国土交通省北海道開発局 (以下、開発局) では水浸マーシャル安定度試験⁴⁾から求められる残留安定度の規格値を 75%以上と規定している。

試験の結果、図-5 に示すとおり全ての混合物の残留安定度が 75%以上となり、開発局の規格値を満足する結果となった。なお、最高値は細密粒度ギャップアスコン (改質 II 型) の 99%で、残留安定度から耐水性を評価する場合、細密粒度ギャップアスコン (改質 II 型) は、最も耐水性に優れていることを確認した。

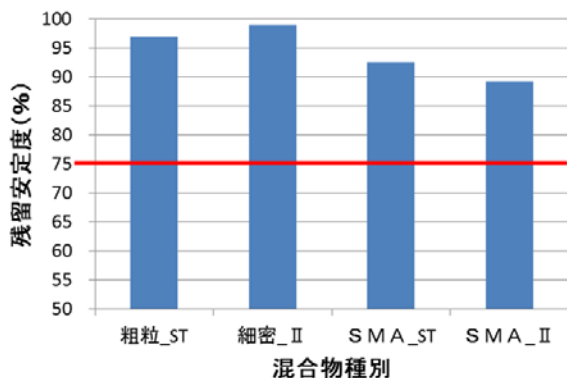


図-5 各混合物の残留安定度

(3) はく離抵抗性

混合物のはく離抵抗性を評価するため、混合物層底面からの水の浸入を対象とした試験方法による水浸ホールトラッキング試験⁴⁾を実施した。なお、供試体の寸法は 30cm×30cm×5cmとした。

水浸ホールトラッキング試験後の供試体断面のはく離率及び目視によるはく離状況の観察結果から各混合物のはく離抵抗性を評価した。

はく離率の算出にあたっては、全ての供試体において骨材の剥落による供試体底面の断面欠損は無かった

ため、供試体の切断面において、骨材からアスファルト被膜がはく離している面積を全断面積で除した値をはく離率とした。

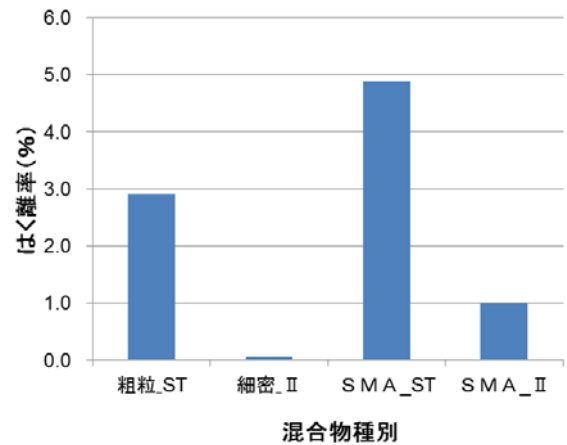


図-6 はく離率

各混合物のはく離率を図-6 に示す。試験の結果、粗粒度アスコン (ストアス) 及びSMA (ストアス、改質 II 型) のはく離率が約 1%以上であったのに対し、細密粒度ギャップアスコン (改質 II 型) は 0.1%以下と低い値となった。

このことから、混合物底面に水分が存在し、交通荷重の作用を受ける条件下で混合物層の底面からはく離が進行した場合、細密粒度ギャップアスコン (改質 II 型) は、他の混合物に比べ、はく離抵抗性が高いことを確認した。

なお、写真-4 は水浸ホールトラッキング試験後の供試体底面のはく離状況の例であるが、粗粒度アスコン (ストアス) では供試体底面の粗骨材からアスファルト被膜がはく離している部分 (赤線の囲み) が多く、これと比較して細密粒度ギャップアスコン (改質 II 型) は、はく離が殆どないことが分かる。

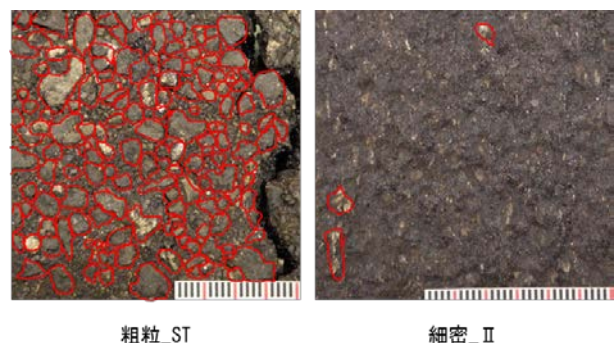


写真-4 供試体底面のはく離の状況

また、写真-5 は、水浸ホールトラッキング試験によって混合物中の骨材からはく離したアスファルト分が、供試体底面に敷かれた不織布に付着している様子

で、黒色が付着したアスファルト分である。この写真から、粗粒度アスコン（ストアス）は、細密粒度ギャップアスコン（改質Ⅱ型）に比べて付着したアスファルト分が多いことが分かる。この不織布に付着したアスファルト分の質量を計測した結果（図-7）、細密粒度ギャップアスコン（改質Ⅱ型）の質量が一番小さく、混合物中の骨材からはく離れたアスファルト分が少ないことを数値的に読み取ることができる。

これらの不織布の観察結果からも、細密粒度ギャップアスコン（改質Ⅱ型）のはく離抵抗性が高いことが裏付けられた。

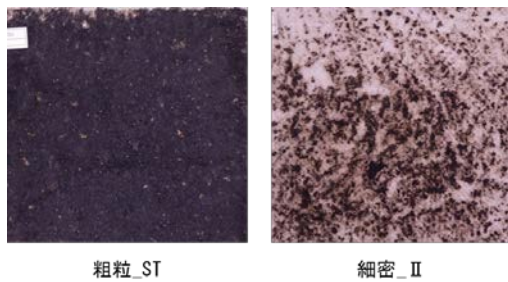


写真-5 不織布へのアスファルト付着状況 (例)

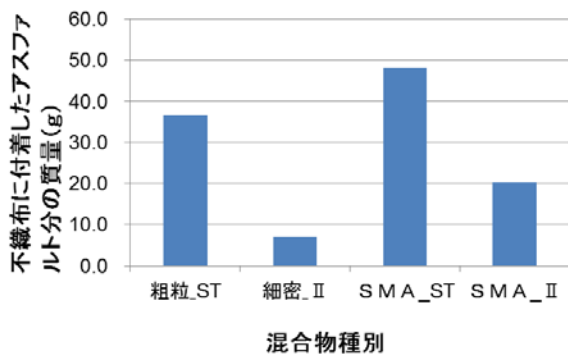


図-7 不織布の質量

(4) 防水工の損傷状況の確認

基層用混合物を転圧する際、混合物中の粗骨材の稜角部が防水工を貫通してRC床版に達することで、床版への水分の浸入経路になる可能性が想定される。

この防水工の損傷状況を確認するため、コンクリート板上に防水工及び基層用混合物を施工した供試体を用いて、混合物中の粗骨材の稜角部が防水工を貫通してコンクリート板に達した点数を数えることで、各混合物が防水工へ与える損傷の程度を評価した。

なお、供試体の作成は、道路橋床版防水便覧(付録-1)⁹⁾に拠り、30cm×30cm×厚さ6cmのコンクリート平板上にプライマーを塗布した後、塗膜系床版防水層（アスファルト加熱型）を厚さ1.0～1.5mm程度施工し、その上に厚さ4cmの基層用混合物をローラー転圧により重ねた。これを切断して寸法30cm×5cm×厚さ10cmの3個の供試体を作成した。

この3個の供試体の隣り合った4つの切断面上で、混合物中の粗骨材の稜角部が防水工を貫通してRC床版に達している点数の平均値を算出した。

SMA（改質Ⅱ型）の供試体切断面を写真-6に例示する。アスファルト混合物中の骨材の角が防水工を貫通してコンクリート板に達しているのが確認できる。

試験結果を図-8に示す。粗粒度アスコン及びSMA（ストアス、改質Ⅱ型）は骨材が防水工を貫通した点数が高いのに対し、細密粒度ギャップアスコン（改質Ⅱ型）の点数が低く、防水工の損傷が少ない結果となった。

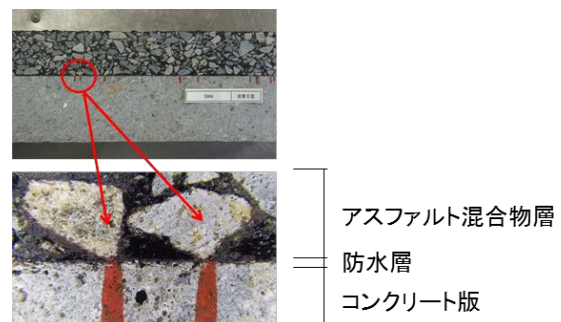


写真-6 供試体切断面の例 (SMA (改質Ⅱ型))

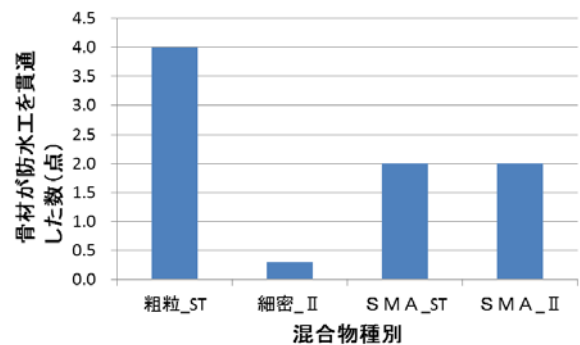


図-8 骨材が防水工を貫通した点数の比較

(5) 骨材飛散抵抗性

舗装性能評価法別冊⁹⁾では、タイヤチェーンを装着した車両の走行等によって発生する衝撃骨材飛散の程度を衝撃骨材飛散値とし、測定方法はロサンゼルス試験機を使ったカンタブロ試験方法を規定している。

道路橋の伸縮装置近傍は通過車両の衝撃による混合物の骨材飛散が懸念される。このため、筆者らは現地における通過車両が混合物に与える作用と類似した条件の試験方法としてカンタブロ試験が適当と考え、基層用混合物の衝撃に対する抵抗性を評価する方法として用いた。なお、試験温度は開発局の試験条件に準拠し供試体温度-20℃、室温-20℃とした。カンタブロ試験結果を図-9に示す。

細密粒度ギャップアスコン（改質Ⅱ型）及びSMA（改質Ⅱ型）の損失率が約14%で、両者の混合物はバイ

ンダーにストレートアスファルトを用いた粗粒度アスコン及びSMA（ストアス）と比較して、骨材飛散抵抗性の高い混合物であることを確認した。

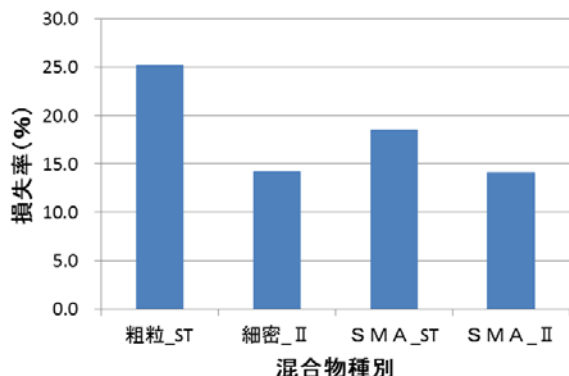


図-9 カンタプロ損失率

(6) その他の耐久性

各混合物の塑性変形抵抗性（耐流動性）を把握するため、ホイールトラッキング試験⁹⁾に抛り動的安定度（以下、DS：Dynamic Stability）を計測した。各混合物のDSを図-10に示す。

試験の結果、ストレートアスファルトを使用している粗粒度アスコンは、DSが1,000（回/mm）未満、SMA（ストアス）で約1,100（回/mm）であったのに対し、改質アスファルトを用いた細密粒度ギャップアスコン（改質II型）及びSMA（改質II型）は3,000（回/mm）以上の高い値を示した。

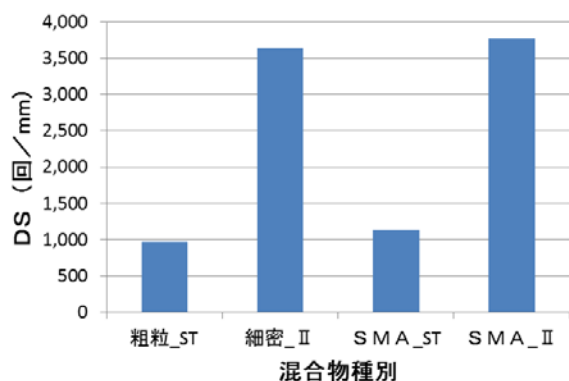


図-10 動的安定度（DS）

4. まとめ

本検討の結果、細密粒度ギャップアスコン（改質II型）は、水の滞留及び水平方向への拡散空間になり得る混合物層底面の小さな間隙群の形成が少ない混合物で、他の混合物と比較して水密性、耐水性、はく離抵抗性、防水工の低損傷性及び骨材飛散抵抗性にも優れていることを確認した。

なお、SMA（ストアス、改質II型）は細密粒度ギャップアスコン（改質II型）と同様に水密性が高く、さらにSMA（改質II型）については骨材飛散抵抗性にも優れた試験結果が得られた。しかし、これらは混合物層底面の平滑性が低く、小さな間隙群の形成の割合が高いことから非滞水性の面で懸念が残るほか、耐水性やはく離抵抗性といった水分の影響による損傷抵抗性に劣ることから、RC床版上の基層用混合物としては細密粒度ギャップアスコン（改質II型）がより良いと推察される。

また、塑性変形抵抗性の面では、橋梁部は車両の走行位置が限定される等の理由から一般部に比べて流動しやすいことを考慮すると、基層用混合物に改質アスファルトを使用することで塑性変形抵抗性を高め、RC床版と基層のはく離リスク及び流動による補修頻度の低減を図ることは有益であると思料する。

以上の結果から、橋面舗装及びRC床版の長寿命化を図ることが可能な予防保全対策として、RC床版上の基層用混合物に細密粒度ギャップアスコン（改質II型）を用いることが有効であると考えられる。

さらに、細密粒度ギャップアスコン（改質II型）は、既に現場での豊富な施工実績があり、施工が容易で品質や出来映えにおいても信頼性の高い混合物であることから、現場へもスムーズに適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：平成 26 年度土木研究所成果報告書（重点-32 積雪寒冷地における道路舗装の予防保全に関する研究、pp.6~15、2015
- 2) 加藤亮、宮永憲一：橋梁床版防水工の高度化に対応したレベリング層用混合物の検討、道路建設、（社）日本道路建設業協会、No.739、pp.64-70、2013.7
- 3) 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社：設計要領第1集 舗装編、（株）高速道路総合研究所、平成21年7月
- 4) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧（第1分冊、第3分冊）、平成19年6月
- 5) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、平成19年3月
- 6) 日本道路協会：舗装性能評価法 別冊、平成20年3月