

高耐久性舗装の開発と体系化の検討

日本道路 (株) 技術研究所 朴 希眞
日本道路 (株) 技術研究所 徳光 克也
日本道路 (株) 技術研究所 梶谷 明宏

1. はじめに

我が国における舗装の維持修繕費が、新設費を上回るようになって久しい。舗装のストックは増加傾向であり、これらを効果的・効率的に維持していくことが必要である。また、近年では、経済活動の活発化に伴う物流量の増大により、重荷重車を使用する工場施設内をはじめ、バス駐停車帯、サービスエリアなどの大型車駐車場において損傷が生じる事例もあり、舗装の「長寿命化」がクローズアップされている。

舗装の長寿命化を目指し、これまで配合面や使用材料の検討がなされ、ポリマー改質アスファルトの開発や半たわみ性舗装の適用などで対応してきたが、適用箇所によっては、早期に損傷する事例も報告されている。そこで、筆者らは、舗装の更なる長寿命化を図るため、以下の2種類の混合物を新たに開発した。

①ポリエステル樹脂を用いたポリエステルアスファルト混合物 (ポリアスコン)

②高強度セメントミルクを用いた半たわみ性混合物 (高強度半たわみ性混合物)

しかしながら、高耐久性の評価法が確立されていない現状で、適用箇所の諸条件に応じた最適な舗装の選択方法は、明確になっていない状況にあると思われる。例えば、耐流動性を評価するホイールトラッキング試験 (WT試験) の動的安定度 (DS) は、6,000 (回/mm) 以上の場合、「6,000 回/mm 以上」での報告となり¹⁾、高耐久性混合物の有意性が評価できない。また、水浸抵抗性を評価する水浸 WT 試験についてもポリマー改質アスファルト

などを使用すれば、剥離面積率はほぼ0%という結果になり、各種混合物の優劣を評価することは困難である。このような背景から、ハンバーグホイールトラッキング試験 (HWT 試験)²⁾をはじめとした評価方法を用いて、適用条件に応じた高耐久性舗装の選定を行い、実施工において確認し、開発した高耐久性舗装の体系化の検討を行った。

2. 開発した高耐久性混合物の概要

2.1. ポリアスコン

ポリアスコンは、通常のアスファルト混合物に写真-1のポリエステルを添加したものである。ポリエステルは、茶褐色で粉末状、物性は108°Cで軟化点を持ち、アスファルト混合物製造時にミキサ



写真-1 ポリエステル

に投入する。混合温度付近では熔融し、舗設後供用時には硬化し混合物の強度を増加させる熱可塑性樹脂である。

2.2. 高強度半たわみ性混合物

高強度半たわみ性混合物は、従来のセメントミルクより水セメント比を大きく低減させて高強度を持たせつつ、交通開放時間の短縮を目的として開発したセメントミルクを用いたものである。一般的に水セメント比を低減させると流動性が劣るので、充填率が低くなり、強度が小さくなる。開発した高強度セメントミルクは、無機系混和材や高性能減水剤などを配合することにより、従来と同等な充填率を確保し、セメントミルク自体の強度を著しく増大させたものである。

3. 室内検討

3.1. 室内検討の概要

室内試験では、耐流動性、耐水性、耐静止荷重性、たわみ性および耐油性について、開発した高耐久性混合物の有意性を評価した。検討対象とした混合物を表-1に示す。

表-1 検討対象混合物

	開発混合物	比較混合物
アスファルト系	・ポリアスコン	・ポリマー改質Ⅱ型アスファルト混合物 (改質Ⅱ型アスコン)
半たわみ性系	・高強度半たわみ性混合物	・従来半たわみ性混合物

3.1.1. 耐流動性 (DS)

耐流動性はWT試験で評価し、試験条件および試験方法は、舗装調査・試験法便覧に準じた。

3.1.2. 耐流動性および耐水性

WT試験による評価には前述したように限界があるため、高耐久性舗装の性能の有意性が評価できるHWT試験²⁾を行った。試験条件および方法を表-2に示す。

表-2 試験条件および方法

項目	基準
試験温度	60℃
走行回数	10,000サイクル
試験方法	AASHTO T324-04
養生条件	気中, 水中

3.1.3. 耐静止荷重性

耐静止荷重性の評価は、曲げクリープ試験で行った。試験の概念を図-1に、試験条件を表-3に示す。試験方法は、所定の荷重を載荷し、時間ごとに変形量を測定した。

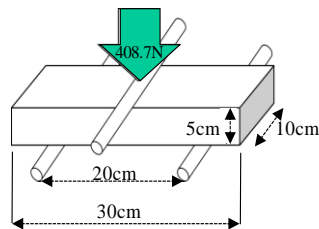


図-1 試験の概念図

表-3 曲げクリープ試験条件

曲げ強度 (MPa)	発生応力 (MPa)	スパン L (cm)	供試体厚さ h (cm)	供試体幅 b (cm)	載荷荷重 [*] P (N)	試験温度 (℃)
5	0.5	20	5	10	408.7	20, 60

※曲げ強度 (想定曲げ強度) の10%に相当する載荷荷重

3.1.4. たわみ性 (ひび割れ抵抗性)

たわみ性の評価は曲げ試験で行った。試験条件を表-4に示す。

表-4 曲げ試験条件

	アスファルト系	半たわみ性系
試験温度	-10℃	20℃
養生時間	6時間以上	
載荷速度	50mm/min	10mm/min
供試体サイズ	10cm×5cm×30cm	5cm×5cm×30cm
試験方法	舗装調査・試験法便覧	NEXCO試験方法C043 ³⁾

3.1.5. 耐油性

高速道路のSA・PAおよび物流センターの貨物駐車場に適用する場合、耐油性は重要なポイントとなるため、油浸後のマーシャル供試体を用いた安定度試験で評価した。試験条件を表-5に示す。

表-5 耐油性試験条件

養生方法	48時間油浸 (20℃) 後 30分間水浸 (60℃)
試験方法	マーシャル安定度試験

3.2. 室内試験結果

3.2.1. 耐流動性 (DS) の試験結果

試験結果を表-6に示す。各種混合物のDSは、6,000回/mm以上の結果となり、報告としては同等の性能と見なされる。したがって、DSによる評価結果に有意差は見られない。

表-6 耐流動性の試験結果

	混合物の種類	試験温度 (℃)	DS (回/mm)	報告
アスファルト系	改質Ⅱ型アスコン	60	6,300	6,000回/mm 以上
	ポリアスコン		21,000	
半たわみ性系	従来半たわみ性混合物		21,000	
	高強度半たわみ性混合物		21,000	

3.2.2. 耐流動性および耐水性の試験結果

HWT試験機を用いて、気中養生下で耐流動性、水中養生下で耐水性を評価した。試験結果を図-7に示す。

アスファルト系の耐流動性では、改質Ⅱ型アスコンよりポリアスコンが著しく小さいわだち掘れ深さとなり、大きな差を示した。半たわみ性系の耐流動性では、高強度半たわみ性混合物は、従来半たわみ性混合物より小さいわだち掘れ深さを示した。また、アスファルト系と半たわみ性系のわだち掘れ深さは、半たわみ性系の方が小さい値となった。以上のことから、耐流動性は各種混合物ごとに明確な差が見られた。耐水性は、走行回数ごとのわだち掘れ深さを測定し、わだち掘れが急激に進行する点を剥離変曲点として求めた。剥離変曲点は、改質Ⅱ型アスコン4,463サイクル、従来半たわみ性混合物5,763サイクルであり、剥離がみられた。また、開発した2種類の高耐久性混合物には変曲点がなく、剥離は見られなかった。

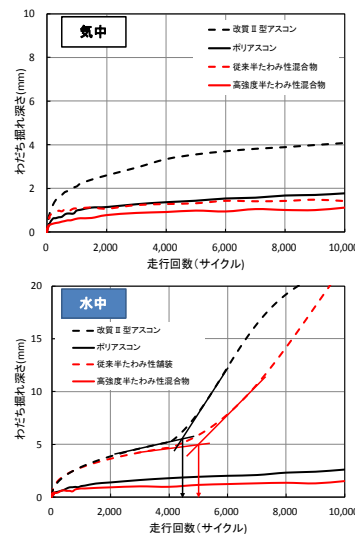


図-7 HWTの試験結果

以上のことから、ポリアスコンと高強度半たわみ性混合物は、同程度の優れた耐水性を有しており、有効性が確認できた。

3.2.3. 耐静止荷重性の試験結果

曲げクリープ試験の状況を写真-2に、結果を図-2に示す。図-2より、改質II型アスコンより開発した高耐久性混合物は、静止荷重による変形抵抗性に優れている結果が得られた。特に、高強度半たわみ性混合物は6時間を越え、15時間以上経過しても破壊せず、きわめて優れた耐静止荷重性を示した。また、ポリアスコンは従来半たわみ性混合物とほぼ同等な性能を有していた。

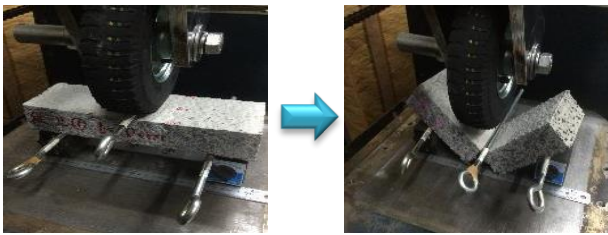


写真-2 曲げクリープ試験の状況

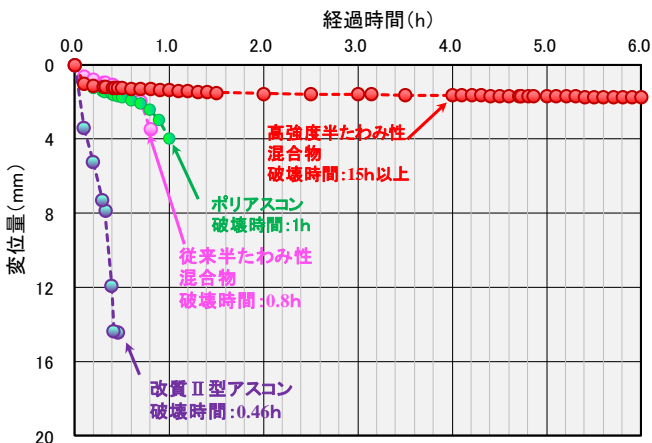


図-2 経過時間による変位量

3.2.4. たわみ性 (ひび割れ抵抗性) の試験結果

曲げ試験結果を表-8に示す。ポリアスコンは改質II型アスコンと同程度の破断ひずみを示した。また、高強度半たわみ性混合物も従来半たわみ性混合物とほぼ同等な値を示し、NEXCOの基準値を満足した。以上のことから、開発した高耐久性舗装は良好なひび割れ抵抗性を有していると考えられる。

表-8 曲げ試験結果

	混合物の種類	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ ($\times 10^3$)	基準値
アスファルト系	改質II型アスコン	11.4	5.1	—
	ポリアスコン	11.5	4.9	
半たわみ性系	従来半たわみ性混合物	2.7	7.6	2.5MPa以上 3.0×10^3 以上
	高強度半たわみ性混合物	3.4	5.9	

3.2.5. 耐油性の試験結果

油浸後の供試体の状況を写真-3に、耐油性試験結果を図-3に示す。ポリアスコンは、改質II型アスコンに比べ3.5倍の油浸マーシャル安定度、1.5倍の油浸残留安定度を示した。また、従来半たわみ性混合物と高強度半たわみ性混合物はともに、改質II型アスコンより著しく高い油浸マーシャル安定度と油浸残留安定度を示しており、優れた耐油性を有していることが確認できた。



写真-3 耐油性試験後の供試体

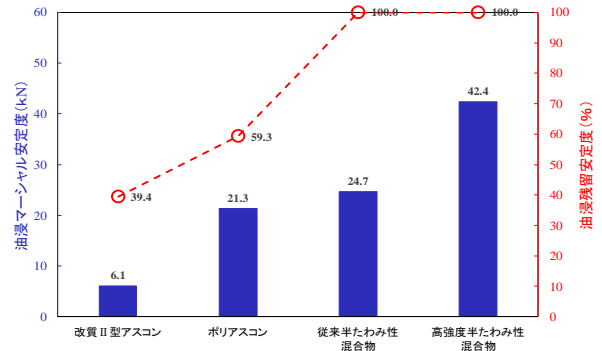
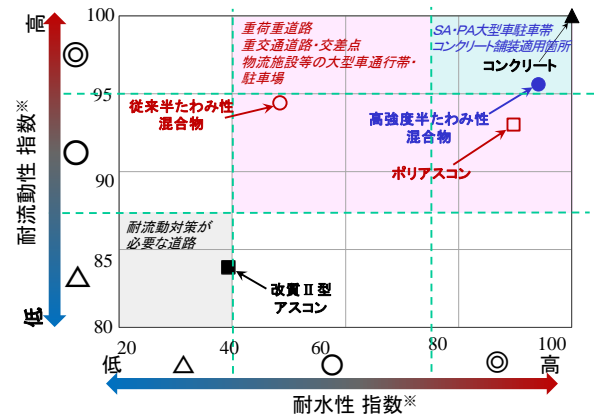


図-3 油浸後のマーシャル安定度および残留安定度

3.3. まとめ

耐流動性および耐水性の試験結果に基づき、各種高耐久性混合物を適用箇所別に示したものが図-4である。図-4および耐静止荷重性、ひび割れ抵抗性、耐油性を考慮した上で、重荷重車の走行する道路や物流施設にはポリアスコンを、重荷重車が長時間停車する駐車場や重荷



※コンクリート舗装を100とした時の指数²⁾

図-4 各種高耐久性舗装の施工箇所による有意差

重の作業車が走行する箇所には高強度半たわみ性舗装が適していると考え、実施工で適用性の評価を行った。

4. 施工事例

4.1. アスファルト系舗装の施工

アスファルト系の高耐久性舗装を施工し、追跡調査を行った。施工は、重車両の低速走行や静止荷重が頻繁に生じる7箇所の物流倉庫で行った。ここでは、施工事例AとBの2例を紹介する。施工は、通常の密粒度アスファルト舗装工と同様な機械編成で行った。

4.1.1. 施工事例A

(1) 概要

施工箇所の施工前状況を写真-4に示す。施工箇所の概要を以下に示す。



写真-4 施工前の状況

- ・ 施工箇所：大型車の駐車および走行する物流倉庫
- ・ 施工時期：2017年11月
- ・ 施工方法：表層5cm(5cm切削オーバーレイ)
- ・ 施工工区：ポリアスコン工区、改質II型アスコン工区
- ・ 評価項目：表-9に示す。

表-9 試験施工の評価項目

評価項目	試験方法
混合物特性	・ マーシャル安定度試験
耐流動性	・ ホイールトラッキング試験
たわみ性	・ 曲げ試験

(2) 施工結果

ポリアスコンの混合性および施工性は、改質II型アスコンと同様であった。施工状況を写真-5に示す。ポリアスコンの施工箇所の一部で、人力施工を行ったが、ポリエステルが熱可塑性樹脂であるため、再加熱しての仕上げが可能であった。

室内試験結果を表-10に示す。ポリアスコンは、改質II型アスコンより著しく大きい安定度を示し、たわみ性も良好であった。切り取りコアによる締固め度は99.8%と良好であった。



写真-5 施工状況

表-10 室内試験結果

配合名	マーシャル安定度試験			WT試験	曲げ試験	
	かさ密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	安定度 (kN)	DS (回/mm)	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ (×10 ⁻³)
改質II型アスコン	2.373	5.1	10.8	7,000	11.7	3.6
ポリアスコン	2.307	5.8	36.5	12,600	8.95	3.7
基準値	—	3~6	4.9以上	—	—	—

(3) 追跡調査結果

写真-6に、供用1年後のポリアスコンと改質II型アスコンの路面状況を示す。両工区ともにわだち掘れ量は、0mmであり、目視観察によりいずれもひび割れは見られず健全な状態を保持していることが確認できた。

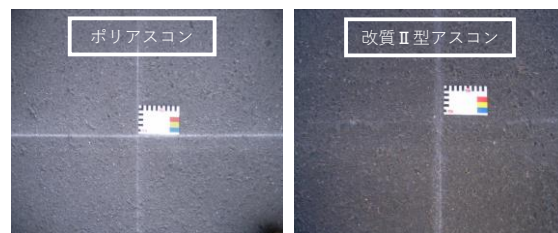


写真-6 供用1年後の路面状況

4.1.2. 施工事例B

(1) 概要

施工箇所の施工前状況を写真-7に示す。施工箇所の概要を以下に示す。



写真-7 施工前の状況

- ・ 施工箇所：大型車の駐車および走行する物流倉庫
- ・ 施工時期：2018年4月
- ・ 施工方法：表層5cm(10cm切削オーバーレイ、基層5cm)
- ・ 施工工区：ポリアスコン工区、改質II型アスコン工区
- ・ 評価項目：表-9と同じ

(2) 施工結果

室内試験結果を表-11に示す。施工事例Aと同様にポリアスコンの混合性や施工性、各種混合物性状は、良好であった。

表-11 室内試験結果

配合名	マーシャル安定度試験			WT試験	曲げ試験	
	かさ密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	安定度 (kN)	DS (回/mm)	曲げ強度 (MPa)	破断ひずみ (×10 ⁻³)
改質II型アスコン	2.338	3.8	14.0	7,000	10.6	3.6
ポリアスコン	2.341	4.0	42.4	31,500	10.0	5.4
基準値	—	3~6	4.9以上	—	—	—

(3) 追跡調査結果

写真-8に供用4ヶ月後(一夏経過)の路面状況を示す。

す。わだち掘れ深さは、改質Ⅱ型アスコンでは8mmであり、ポリアスコンは0～2mmであった。これより、ポリアスコンは塑性変形抵抗性に優れていることが確認できた。



写真-8 路面状況(改質Ⅱ型)

4.2. 半たわみ性系舗装の施工

高強度半たわみ性舗装を施工し、追跡調査を行った。施工箇所は、大型車や重機が頻繁に走行する工場、大型バス駐車場、高速道路PAの大型車駐車マスである。

4.2.1. 施工事例C

(1) 概要

施工箇所の概要を以下に示す。

- ・ 施工箇所：大型車や重機が走行する工場
- ・ 施工時期：2016年11月
- ・ 施工方法：表層5cm(5cm切削オーバーレイ)
- ・ 施工工区：高強度半たわみ性舗装工区、
従来半たわみ性舗装工区(早強タイプ)
- ・ 評価項目：表-12に示す。

表-12 評価項目

評価項目	試験方法	備考	
セメントミルク	混合状況	・目視確認	—
	施工性	・充填状況の確認(目視) ・流動性試験方法(Pルート法)	—
	強度	・セメントミルクの曲げ試験 ・セメントミルクの圧縮試験	4×4×16cm(7日養生)
半たわみ性混合物	強度	・コンクリート曲げ強度試験	10×10×40cm(7日養生)

(2) 施工結果

施工完了後の状況を写真-9に、試験結果を表-13に示す。高強度セメントミルクの流動性は、フロー値(Pルート)では従来セメントミルクに比べ大きいものの、従来セメントミルクと同様な浸透性を示し、充填性・施工性は良好であった。高強度セメントミルクの強度と高強度半たわみ性混合物の曲げ強度は、従来半たわみ性混合物に比べ、ともに2倍程度を示した。また、気温15℃での現場強度を確認した上、高強度半たわみ性舗装は4時間、従来半たわみ性舗装(早強タイプ)は12時間で交通開放した。



写真-9 施工完了状況

表-13 試験結果

		高強度半たわみ性混合物	従来半たわみ性混合物
セメントミルク	フロー値(sec)	28.0	10.0
	曲げ強度(MPa)	9.1	5.9
	圧縮強度(MPa)	55.2	24.8
半たわみ性混合物	曲げ強度(MPa)	4.1	2.4

(3) 追跡調査結果

写真-10および写真-11に供用2年後の路面状況を示す。高強度半たわみ性舗装は、ひび割れやわだち掘れが見られず健全な状態を保持していた。一方、従来半たわみ性舗装は、亀甲状ひび割れが見られ、表面の摩耗も著しく進行していた。

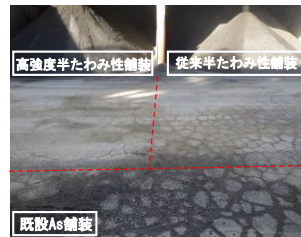


写真-10 路面状況(供用2年)



写真-11 路面状況(接写)

4.2.2. 施工事例D

(1) 概要

写真-12に大型バス駐車場の施工前の状況を示す。駐車場は、静止荷重によるわだち掘れやひび割れが発生している箇所であった。施工箇所の概要を以下に示す。

- ・ 施工箇所：大型バス駐車場
- ・ 施工時期：2017年11月
- ・ 施工方法：表層4.5cm(4.5cm切削オーバーレイ)
- ・ 施工工区：高強度半たわみ性舗装工区

(2) 施工結果

施工は、気温5℃の寒冷期であったため、保温対策を行った。その結果、交通開放までの養生時間は4時間であった。また、所定の充填率が確認され、施工性は良好であった。

(3) 追跡調査結果

施行箇所の供用1年後の状況を写真-13に示す。目視観察の結果から、ひび割れやわだち掘れは見られず、健全な状態を保持していることが確認できた。



写真-12 施工前の状況



写真-13 供用1年後の状況

4. 2. 3. 施工事例 E

(1) 概要

写真-14 に高速道路 PA の施工前の状況を示す。施工箇所の概要を以下に示す。

- ・ 施工箇所：高速道路の PA (大型車駐車マス)
- ・ 施工時期：2018 年 4 月
- ・ 施工方法：表層 4cm(14cm 切削オーバーレイ，基層 10cm)
- ・ 施工工区：高強度半たわみ性舗装工区，
従来半たわみ性舗装工区 (超速硬タイプ)



写真-14 施工前の状況

(2) 施工結果

施工時は日射が強かったため，セメントミルクの硬化が速かったが，所定の充填率を確保できた。試験結果を表-14 に示す。セメントミルクの強度と半たわみ性舗装の曲げ強度は，基準値を満足するものであった。また，交通開放までの養生時間は，高強度半たわみ性舗装は 6 時間，従来半たわみ性舗装 (超速硬タイプ) は 3 時間であった。

表-14 試験結果 (NEXCO 仕様)

		高強度半たわみ性混合物		従来半たわみ性混合物	
		試験値	基準値	試験値	基準値
セメントミルク	フロー値 (sec)	27.1	20~40 ^{*1}	10.0	9~11
	圧縮強度 (MPa)	72.3	50以上 ^{*1}	25.4	15~36
	曲げ強度 (MPa)	9.1	5以上 ^{*1}	4.4	-
半たわみ性混合物	曲げ強度 (MPa)	3.4	2.5以上	2.7	2.5以上
	曲げひずみ (×10 ⁻³)	5.9	3.0以上	7.6	3.0以上

*1 NEXCO特記仕様書

(3) 追跡調査結果

写真-15 に施工箇所の供用 8 ヶ月後の路面状況を示す。目視観察の結果，ひび割れやわだち掘れの損傷は見られず，健全な状態を保持していたが，



写真-15 供用 8 ヶ月後の状況

従来半たわみ性舗装 (超速硬タイプ) は，表面のセメントミルクが摩耗し，骨材が露出している状況であった。

5. まとめ

本検討で得られた成果は以下のとおりである。

- ① 高耐久性舗装をアスファルト系と半たわみ性系に分けて，HWT 試験を中心に各種の評価を行うことで，これまで明確ではなかった高耐久性の評価を明らかにすることができ，各種混合物の優位性を明確にすることができた。

- ② 高耐久性舗装として開発したポリアスコンと高強度半たわみ性混合物は，従来の混合物と同様な施工性であり，より高耐久性を示す結果が得られた。
- ③ 開発した高強度半たわみ性混合物は，セメントコンクリートとほぼ同様な性能を示し，物流倉庫などコンクリート舗装を採用したいが，工事規制の時間的な制約から採用されなかった箇所等への適用性が見出された。
- ④ 表-15 に，本検討で得られた成果から，適用性を評価した結果を示す。

表-15 高耐久性舗装の適用性

項目	種類	アスファルト系		半たわみ系	
		改質 II 型アスコン	ポリアスコン	従来半たわみ性混合物	高強度半たわみ性混合物
耐久性*	耐流動性	1	3倍	3倍	3倍
	耐水性cycle(mm)	1(5.7)	2倍以上(3.1)	2倍以上(2.7)	2倍以上(1.4)
	耐静止荷重(h)	1	2倍以上	2倍程度	20倍以上
	たわみ性(×10 ⁻³)	1	0.9倍	1.5倍	1.2倍
	耐油性(kN)	1	3.5倍	4倍	6倍以上
	評価	△	○	◎	◎
施工性	施工(日当り施工量)	1,500~2,000m ² /日	1,500~2,000m ² /日	2,100~2,900m ² /日(母体+注入)	2,100~2,900m ² /日(母体+注入)
	養生時間	2h程度	2h程度	8h~24h	4h~8h
	評価	◎	◎	△	○
経済性*	直工費(表層 5cm)	1	1.8倍程度	1.8倍程度	2倍程度
	評価	◎	○	○	△
適用箇所	大型車交通量が多い道路	◎	◎	○	○
	重荷重車の走行路	△	◎	○	○
	大型車の長時間停車重荷重車のねじり作業場	△	○	○	◎

* 改質 II 型アスコンを 1 とした時の値

6. おわりに

高耐久性舗装をアスファルト系と半たわみ性系に分けて検討したが，施工性からみると，半たわみ性系は母体アスコンを構築した後，セメントミルクを注入・充填させる 2 工程となり，その後の養生も含め，アスファルト系に比べると劣ることは否めない。一方，アスファルト系は，荷重時間と温度に依存する粘弾性体であることから，静荷重によるクリープ現象を抑制するには限界がある。両者のこうした得失を評価した本検討の成果により，大型車や重荷重車が長時間停車する箇所またはねじり作業を行う箇所の舗装には高強度半たわみ性舗装を，これらが走行する箇所の舗装にはポリアスコン舗装を適用するなど各種高耐久性舗装の体系化ができたと考えている。

<参考文献>

- 1) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，平成 19 年 6 月
- 2) 朴希真他：HWT 試験によるアスファルト混合物の評価と適用性，第 32 回日本道路会議論文集，3P08，平成 29 年 10 月
- 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，NEXCO 試験方法：アスファルト舗装関係試験方法 C043-2007-NEXCO 試験法条件，平成 29 年 7 月