長寿命舗装を目指した固形エポキシ添加アスファルト混合物の展開

日本道路（株）　技術研究所　徳光克也
日本道路（株）　技術研究所　吉儀友樹
日本道路（株）　技術部　　岡本信人
日本道路（株）　技術研究所　野田悦郎

1 はじめに

道路建設は新設から維持修繕の時代に移行し、舗装においても、これまで以上に長寿命化が望まれている。エポキシアスファルト混合物（以下エポアス混合物）は、潜在的に優れた性能を有しているため、当初、代替が効かない長大橋の鋼床版の基層混合物として認知されたが、高い価格もあって新設にはほとんど用いられなかった。その後、2000 年代にここで示す固形エポキシ樹脂が開発されてからは、既存の鋼床版基層混合物の標準であるグースアスファルトの修繕時期にあたり、通常の製造機械と施工機械を用いて施工でき、さらに夏期施工ではグースアスファルトより高温でないため交通開放時間が短縮できるという利点などから、エポアス混合物の施工機会が多くなりつつある。また、近年、コンクリート床版の防水工の強化充実が図られるにつき、防水層の防水効果の増大にみあった基層混合物の強化も重要視されつつあり、エポアス混合物はその選択肢になり得ると考えられる。さらに、このエポアス混合物はその高い耐流動性と高い据えきり抵抗性のほかに、高い耐水性や耐油性も有していることがわかり、半たわみ性舗装の代替工法として可能性も有している。以上のように、本混合物は鋼床版基層混合物への適用に端を発し、今後は、長寿命舗装への展開が期待できる。

このような検討の過程で、本エポアス混合物特有と考えられる性状もあり、これまで、室内実験や施工経験を通じて、配合設計や施工法の改良にフィードバックしてきたところである。

本文は、これらの展開を概観し、エポアス混合物の特有な性状・留意点などをとりまとめ、つぎに適用箇所別に必要とされる性能から検証したエポアス混合物の適用性について考察し、応用展開した結果をとりまとめたものである。

2 固形エポキシとエポアス混合物の展開の流れ

固形エポキシを用いたエポアス混合物の長所 [1]を活用した対象舗装箇所への応用の方向と状況を示したのが、図 1 である。

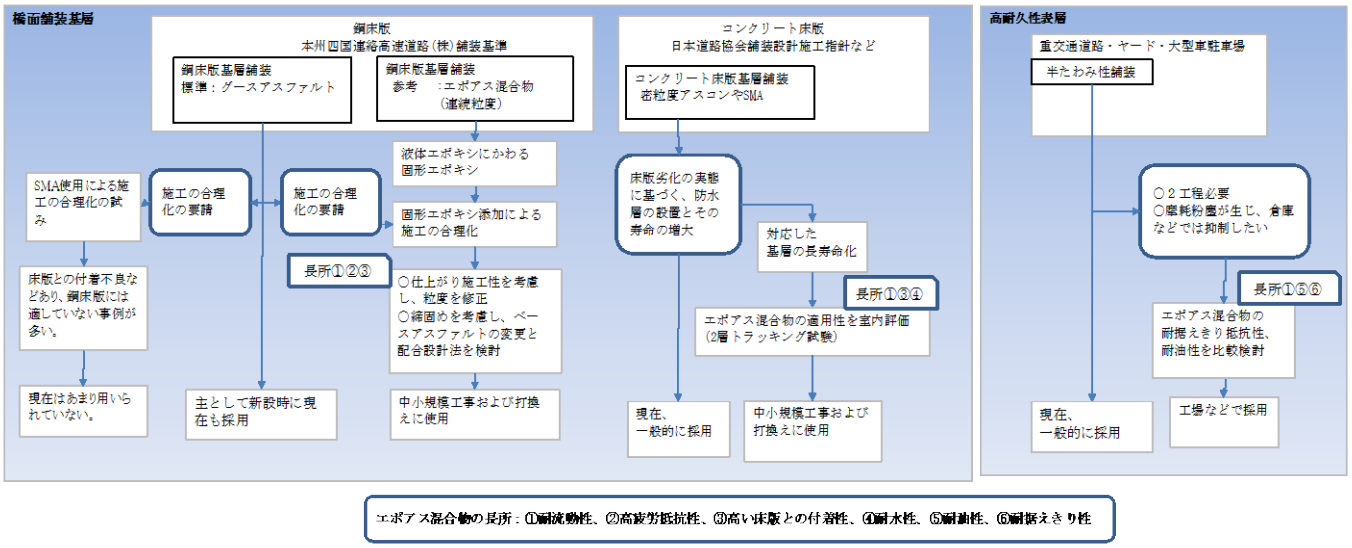

図 1　エポアス混合物の展開

〈床版の基層への適用〉

エポアス混合物の有する耐流動性、高い疲労抵抗性、高いたわみ性、良好な床版との付着性を用いて、まずそれらが最も要求される鋼床版舗装の基層として、主として従来の鋼床版上基層であるグースアスファルトの修繕のニーズに対応し展開してきたが、近年、規模の拡大に伴い、より高品質で出来形のよいエポアス舗装を目指して、粒度、配合設計法などを見直しした。

コンクリート床版舗装の基層については、これまであえてエポアス混合物を用いる積極的背景はなかったが、近年、コンクリート床版の防水強化が行われ、30 年の耐久性を有するといわれる防水層の普及に伴い、それに見合った基層の長寿命化への対応としてエポアス混合物の耐流動性、床版との付着性、高い耐水性を適用する。

〈長寿命表層への適用〉

エポアス混合物の基本性状の検討過程で、耐水性・耐油性も高く、据えきり抵抗性も高いことが判明したことから、長寿命表層として、あるいは半たわみ性舗装に変わるものとして適用する。

3 エポアス混合物の特徴

適用対象舗装によらず共通する基本的な製造・施工時の留意点を以下に示す。

3－1　混合方法の影響

固形エポキシは、バインダ量の 20%程度を混合物の混合中に添加するが、主剤と硬化剤のプラントミックス時の混合添加順により性能が異なる傾向が見られたので、表 1 に示す試験条件で室内検討した。

表 1　混合手順が及ぼす影響の実験概要

対象混合物	SHRP(13)　(後述説明)
ベースアスファルト	ストアス 60～80(以下 StAs60～80)
バインダ量	8.7%（内割 20%がエポキシ)
混合手順 ①手順 DD： G・S・K(Dry10sec)⇒As(Wet120sec 秒) ②手順 DW： G・S(Dry10 秒)⇒As(Wet30 秒)　⇒K(Wet90 秒) ③手順 WW: G(Dry10 秒)⇒As(Wet30 秒)　⇒S・K(Wet90 秒) ④手順 WWS： G(Dry10sec)⇒As(Wet30sec)⇒S(Wet30sec) ⇒K(Wet90sec) G:骨材,　As：ベースアスファルト,　S:エポキシ主剤, K:エポキシ硬化剤,　Dry:ドライ混合,　Wet：ウェット混合	
評価法：ホイールトラッキング試験	

試験結果を表 2 に示す。これより混合手順により大きな性能の差が生じ、As 混合後にエポキシが添加され被覆することが重要であることがわかった。以上より、実機の混合でも、As 添加後 30 秒、主剤・硬化剤添加後 90 秒の混合を標準としている。

表 2　混合手順が混合物性状に及ぼす影響

混合手順	供試体 空隙率(%)	動的安定度 (回/mm)
①DD	1.5	1,709
②DW	1.5	173
③WW	2.0	4,765
④WWS	2.5	7,000

3－2　可使時間

固形エポキシを用いた混合物のマーシャル締固めおよびホイールトラッキング試験結果から 3 時間程度まで施工可能であること[2]がわかっていたが、施工経験から、ある程度の時間を過ぎると、混合物におけるツヤが消失する時間がある特有の現象が見られた。そこで、ツヤ消失がいつで、かつ混合物性状にそれが影響しないかを確認するため、締固め温度に保温した混合物を経時的にマーシャル突固めし、密度ほか硬化後性状をあたるとともに、ツヤの変化を定量化するためろ紙付着量を測定した。試験条件を表 3 に示す。

試験結果を図 2、図 3、図 4 に示す。

表 3　可使時間測定実験の概要

対象混合物	密粒度(13)
ベースアスファルト	ポリマー改質アスファルトⅡ型 (以下改質Ⅱ型)
バインダ量	6.4%（内割 20%がエポキシ)
試験手順と評価法：20kg ほど混合し締固め温度で保温し、経過時間毎にサンプリングしマーシャル供試体作成。 測定項目：①締固め度、②マーシャル特性（密度測定後 60℃ 1 週間養生）③ろ紙付着量(ツヤの評価)	

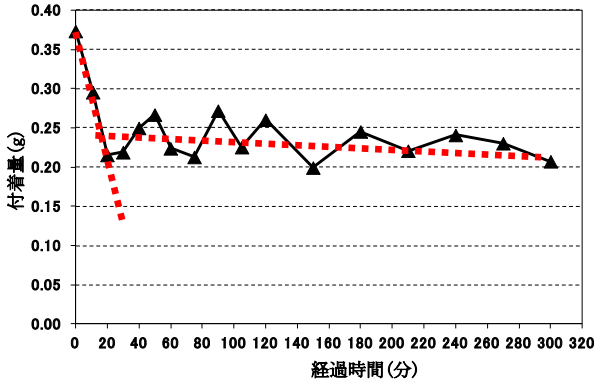

図 2　　経過時間とろ紙付着量

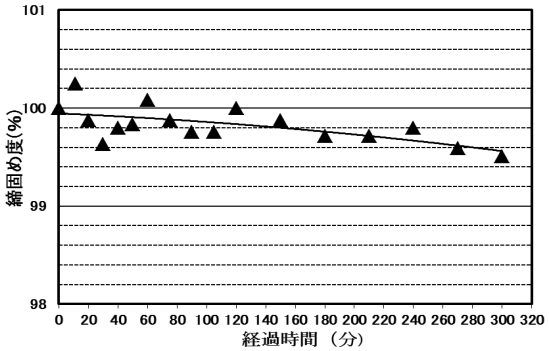

図 3　経過時間と締固め度

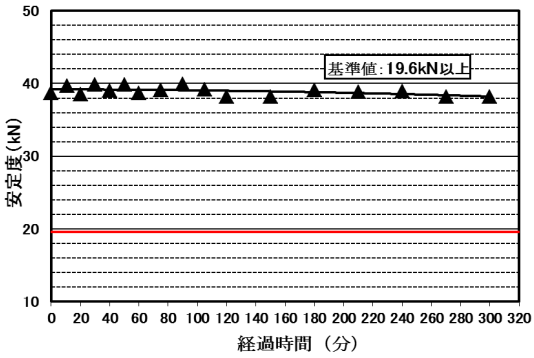

図 4　経過時間とマーシャル安定度

これらより、製造後 20 分程度すればツヤが消失し（図 2）エポキシの影響が出始めるが、締固めおよび硬化後の性能は 4 時間程度までの保温であれば変化がないことがわかった。

以上より、品質管理面では、可使時間は 4 時間以内とし、配合設計および施工管理の供試体は混合 20 分以降に作成することとしている。

4 橋面舗装基層として

4－1　配合の検討

(1)　粒度の検討[3]

鋼床版基層混合物への適用が増えるにつれ、比較的細粒分が多い配合を用いていたことから、ローラ転圧時に構造や遮水性に影響のないヘアクラックが発生する場合があった。このヘアクラックの発生を抑制するため、最大粒径を 13mm とした各種混合物の室内検討を行った。試験条件を表 4 に示す。

ヘアクラックの発生状況と、動的安定度を合わせて図 5 に示す。これより、SHRP 粒度がヘアクラック発生の抑制、動的安定度とも優れていることがわかった。

表 4　粒度の検討試験条件

対象舗装	橋面舗装基層
対象混合物（注）	密粒度(13) 密粒度(13F) 細粒度(13) SHRP(13)
ベースアスファルト	StAs60～80
バインダ量	マーシャル突固め法による OBC、OBC±0. 5%（内割 15%がエポキシ）
室内と評価	①ホイールトラッキング試験供試体作成時の表面観察 ②動的安定度
(注) SHRP でも適用されている 0.45 乗粒度で、ここでは SHRP 粒度と呼ぶ。なお、対象混合物には当時、鋼床版上への SMA の適用に懸念が指摘されていたこと 4から検討対象に入れてない。	

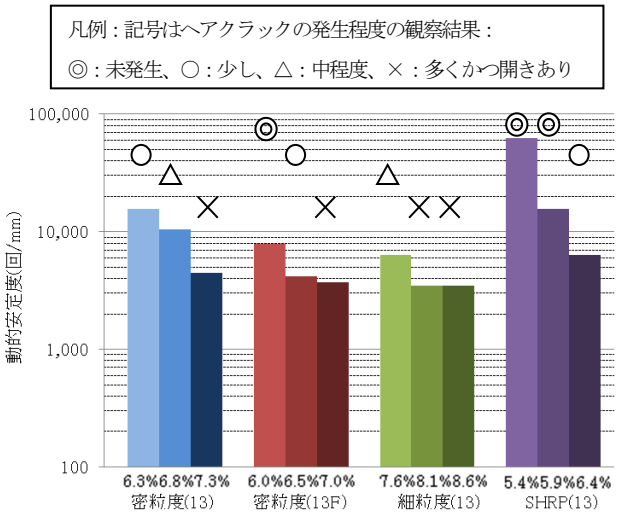

図 5　動的安定度と表面仕上がり

(2)　配合設計法の検討[5]

鋼床版基層に用いる混合物は、従来のグースアスファルトの同等程度の不透水性が望まれる。それまで実施工したエポアス混合物は、通常の締固め度規定は満足するが、十分な不透水性を得られない場合もあることがわかった。そこでジャイレトリ試験機（SGC）を用いて現場エネルギに見合う締固め条件を検討した。

SGC 旋回数 15 回における空隙率と、模擬鋼床版で試験舗装し採取したコア密度の関係を図 6 に示す。これより、現場密度を再現した締固め条件は SGC 旋回数 15 回であることがわかった。

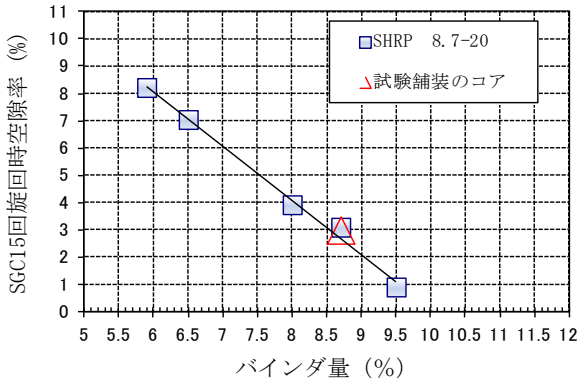

図 6　室内配合設計と採取コアの空隙率

(3)　ベースアスファルトの検討[5]

締固めを重視した配合設計法を採用したことで、StAs を用いた場合、図 6 のようにバインダ量は多くなり、結果的に動的安定度は 5000 回/mm 程度になった。そこで、ベースアスファルトをかえて、SGC で配合設計（15 旋回時で空隙率 2.5%）し OBC を求めたところ、ポリマー改質アスファルト H 型（以下改質 H 型）を用いた OBC と動的安定度は表 5 のようになり、締固め特性が良好になるとともに、動的安定度の向上を図ることができた。

表 5　エポキシ混入率毎の OBC と動的安定度
（ベースバインダ：改質 H 型）

エポキシ混入率(%)	OBC(%)	動的安定度(回/mm)
20	7.3	9,900
25	6.9	9,900
30	7.4	10,100

(4)　試験施工

以上の室内試験結果に基づき、エポキシ混入率 20%、バインダ量 7.3%で施工厚 4cm の試験施工を実施した。試験施工状況と試験結果は、写真 1、表 6 に示すとおりであり、動的安定度その他の性状を満足しつつ、空隙率 3.3%となる密度を確保でき、加圧透水試験によっても不透水であることを確認した。

写真 1　SHRP 粒度/改質 H 型の試験施工状況

表 6　SHRP 粒度/改質 H 型エポアス混合物の試験施工結果

粒度		SHRP	
ベースバインダ		改質 H 型	
バインダ量		7.3%(エポキシ混入率 20%)	
マーシャル特性値	突固め回数	空隙率%	安定度 kN
	5 回	5.4	21.9
	10 回	3.5	26.2
	20 回	3.0	24.5
	50 回	2.4	22.8
DS(回/mm)		15,750	
曲げひずみ×10^{-3}		9.7	
コア空隙率(%)		3.3	
RSN40		0.32	
BPN		80	
表面きめ深さ（mm）		0.47	

4-2　耐久性の評価

(1)　2 層ホイールトラッキング試験

道路橋床版の多くを占めるコンクリート床板の橋面舗装には、床板防水工の強化に呼応して、透水係数が小さく、かつ耐水性に富む混合物、たとえば SMA の適用が多くなっている。ここでは、エポアス混合物のコンクリート床板上の基層として適用性検討を目的として、SMA との比較により 2 層ホイールトラッキング試験を行った。

試験条件を表 7 に示す。ここでは、基層混合物の影響を明らかにするため、防水層は用いず、側方非拘束の条件で走行実験を行った。

表 7 2 層ホイールトラッキング試験条件

検討対象舗装		コンクリート床版橋面舗装基層	
2 層試験供試体	上 層(5cm)	改質 H 型使用排水性混合物(13)	
	基 層(5cm)	改質Ⅱ型使用 SMA(5)	エポアス混合物、細粒(5)
試験手順		側方非拘束として、60℃気中、輪荷重 900N で、ホイールトラッキング走行実験を 17 時間行う。	

試験結果を写真 2 に示す。これからわかるように、側方拘束を外した状態にすると、基層混合物の変形が著しくなり、最終的に、基層が改質Ⅱ型使用 SMA（5）の場合はひび割れし破断した。一方、エポアス混合物は底面との付着拘束が高いと考えられ床版への適用性が高いと判断できる。

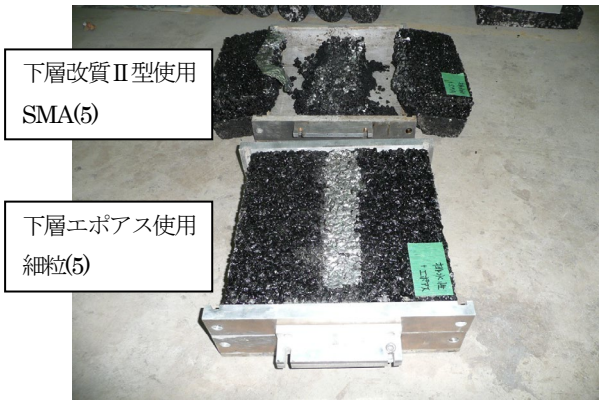

写真 2　長時間 2 層ホイールトラッキング走行結果

(2)　床版との付着強度

床板または防水層と基層混合物の付着力は、橋面舗装では極めて重要である。ここでは防水層を施した床板上の各種混合物の付着強度を測定した。試験条件を表 8 に、試験状況を写真 3、試験結果を図 7 に示す。

なお、床板はコンクリート床版と鋼床版とし、それぞれ専用の防水層を施した。

表 8　床版との付着強度試験条件

基層 混合物	①エポアス細粒度(5), ②エポアス SMA(5) ③改質 H 型 SMA(5),④エポアス SHRP 粒度(13)
床版	①高耐久性型 As シート防水＋コンクリート床版 ②アスファルト系塗膜防水＋鋼床版
試験法	日本道路協会防水工便覧

写真 3　床版との付着強度試験状況(鋼床版の例)

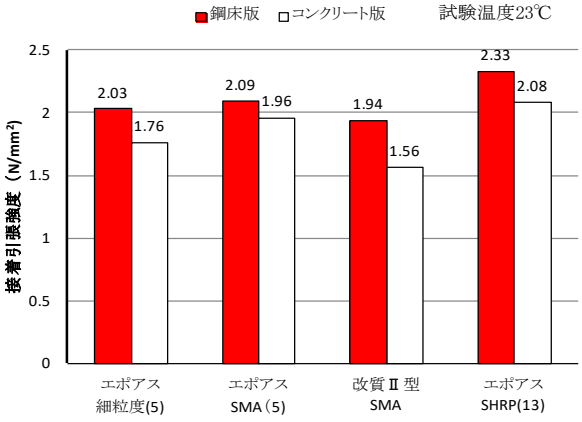

図 7　付着強度試験結果

これよりわかる事項は以下のとおりである。

①床版がコンクリート、鉄鋼に関わらず、付着強度の大小の順は、同じ傾向を示す。

②バインダはエポアスを用いる方が付着強度は高い。

5 高耐久性表層として

5－1 耐荷重性

高耐久性表層の要求性能として最も求められるものは耐荷重性であることから、それに適した粒度の検討を行った。

選定した粒度と試験結果を表 9 に示す。これより、総合的性能として、密粒(13)を用いた場合にバランスがとれた、高い性能を発揮することがわかった。

表 9　耐荷重性評価粒度と試験結果

混合物	動的安定度 DS (回/㎜)	据えきり損失量 (%)	曲げ破断ひずみ ($\times10^{-3}$)	油浸残留安定度 (%)
密粒ギャップ(13)	21,000	0.25	5.4	67.1
SMA(13)	10,500	1.16	5.4	62.7
密粒度(20)	9,000	0.65	5.5	79.2
密粒度(13)	15,750	0.33	5.9	74.2
ベースバインダ：改質Ⅱ型				

5－2　耐水性・耐油性

半たわみ性舗装の代替として用いる場合は耐油性も要求されるため、耐水性・耐油性の検討を行った。評価試験方法は①水浸マーシャル安定度、②油浸漬マーシャル安定度（20℃の灯油に 48 時間浸漬した後、通常のマーシャル安定度試験を実施する）とし、ともに前後の残留安定度で評価した。なお、比較対象混合物には改質Ⅱ型を用いた混合物とした。

試験結果を表 10 に示す。これより、エポアス混合物は改質Ⅱ型を用いた混合物よりも耐水性･耐油性が高く、特に耐油性は半たわみ性混合物に近い耐油性を有していることがわかった。

表 10　耐水・耐油性試験結果

粒度	密粒度(13)	SMA(13)	密粒度(13)
バインダ	改質Ⅱ型＋エポキシ(20)	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型
バインダ量(%)	6.4	5.3	5.2
残留安定度(%)	91.8	90.7	81.5
油浸残留安定度(%)	74.2	40.2	44.5
	(参考)：半たわみ性混合物　82		

5－3　耐候性

一般にエポキシ等の樹脂を用いたアスファルト混合物は、耐候性に劣ると考えられている。ここでは紫外線劣化等の耐候性の評価として、マーシャル供試体を作製し、これを耐候性試験機（ウェザリング試験機）（舗装調査・試験法便覧　C015T　耐候性試験方法（促進耐候性）による）に供した。評価はウェザリング前後の目視観察と間

接引張強度で行った。なお、比較対象混合物には StAs 使用密粒度（13F）とした。試験結果は表 11 のとおりであり、用いている固形エポキシ使用エポアス混合物は紫外線劣化等による耐候性の問題はないといえる。

表 11　耐候性試験結果

粒度		密粒(13)	SMA(13)
バインダ		StAs60～80＋エポキシ(15)	改質Ⅱ型
バインダ量(%)		6.7	5.0
ウェザリング後の観察結果	色	やや白色化	白色化
	つや	やや消失	消失
	ひび割れ	未発生	未発生
間接引張強度残留率(%)		93.7	92.0

6 まとめと適用状況

長寿命舗装を目指した固形エポキシ添加アスファルト混合物の展開として、以上のような室内実験と試験施工を基にして表 12 に示す配合設計・施工方法を設定した。

表 12 エポアス混合物の基本仕様

		床版基層	高耐久性表層
防水層		原則使用	
混合物	ベースバインダ	改質H型	改質Ⅱ型
	粒度	SHRP(13)	密粒(13)
	エポキシ混入率(%)	20	20
	配合設計法	SGC旋回数15	ベースアスファルト使用混合物のOACにエポキシを添加
	配合設計空隙率(%)	2.5	4.0以下
	動的安定度（回/㎜）	5,000以上	15,000程度
	曲げ破断ひずみ	5×10^{-3}以上	－
施工法		通常のマカダムローラ（10-12tf）とタイヤローラを用いる。タイヤローラとして振動タイヤローラを推奨する。	通常のマカダムローラ（10-12tf）とタイヤローラ（15-25tf）を用いる。

この設定した基本仕様に基づいて、鋼床版上基層 5 件、コンクリート床版上基層 1 件、高耐久性表層として 10 件の施工を実施してきたところである。供用年数はまだ最大でも 1.5 年であるが、供用状態は良好である。この中には、写真のように都市内高速道路の鋼床版舗装の打換えに試行された事例もある。

写真 4　都市内高速道路鋼床版基層打換えの施工状況

7 おわりに

今後、既存の舗装の修繕時期にあたり、修繕工法として長寿命舗装が望まれるが、施工上や施工時間の制約から新設時で可能な特別機械（クッカ車など）や特別な工程（半たわみ性舗装での２プロセス施工など）が採用できない状況は多くなると考えられる。ここでは、固形エポキシを用いたエポキシアスファルト混合物の使用により、従来の鋼床版舗装基層にとどまらず、コンクリート床版基層や高耐久性表層として適用性を示すことで、上記のような条件への対応策となることを示した。本文では、これら拡大展開してきたエポキシアスファルト混合物に関し、室内実験や試験施工を通じて得られた知見・改善およびそれに基づく混合物配合設計・施工方法などを示したが、供用年数もまだ経ていないことから、追跡調査も実施し、さらに高品質で使いやすい長寿命化舗装の確立を目指していきたい。

（参考文献）

[1]徳光克也他：鋼床版舗装基層へのエポキシアスファルト混合物の適用、舗装、2010、Vol.45-No.4

[2]三村典正他：固形エポキシ樹脂を用いたエポアス混合物の開発、第 24 回日本道路会議論文集、9010、2001 年

[3]徳光克也他：3041 エポキシアスファルト混合物の仕上り面を考慮した配合検討、日本道路会議論文集　，2011

[4] 久利良夫他：阪神高速道路における舗装損傷に関する考察、舗装、2007、Voll.42-No.9

[5]野田悦郎他：3040 固形型エポキシ添加アスファルト混合物の締固め特性の検討、日本道路会議論文集、2011