〈資料〉

脱炭素社会に寄与するポリマー改質アスファルトについて

鷹本　丈裕*

本報文は2022年2月25日に、オンラインにて開催された第99回アスファルトゼミナールで報告した内容について、一部加筆修正して掲載します。

1. はじめに

2020年10月の内閣総理大臣所信表明演説で、脱炭素社会実現に向けて2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。また、中間目標として2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46％削減することを目指すとともに、50％の高みに向け、挑戦を続けていく決意も表明している。これらの目標は、非常に高いものであり、達成のためには、様々な分野が一丸となって取り組む必要がある。

我が国の道路におけるアスファルト舗装が占める割合は、90％以上と非常に高い。今後、これらの維持修繕なども考慮すると、アスファルト舗装分野の脱炭素社会実現に向けた取り組みは、急務であるといえる。

今回のアスファルトゼミナールでは、「脱炭素社会に寄与するポリマー改質アスファルトについて」と題し、ポリマー改質アスファルトの説明と脱炭素社会に寄与できる技術の紹介を、事例を示しながら報告した。以下にその内容を紹介する。

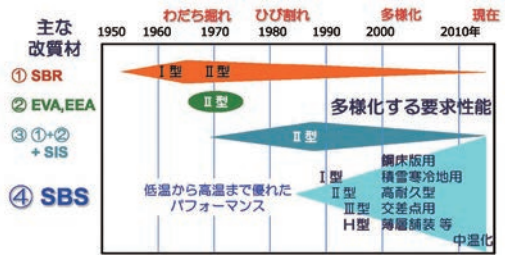
2. ポリマー改質アスファルトについて

2－1　ポリマー改質アスファルトとは

ポリマー改質アスファルトとは、ストレートアスファルト（以下、ストアス）に改質材を加え、性能を向上させたアスファルトである。改質材を加えることで、アスファルトの軟化点、接着力、粘度などが上昇する。この結果、ポリマー改質アスファルトを使用した舗装は、ストアスを使用したものと比較して高い耐久性や機能性を発揮する。

2－2　改質材の変遷

わが国でこれまでに使用されてきた改質材の変遷を**図－1**に示す。改質材の使用は、1950年代に始まり、その後、求められる性能に合わせて改質材も変遷していることがわかる。近年は、低温から高温領域まで優れたパフォーマンスを示すSBS（スチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体）が主流となっており、このSBSの使用で、多様化する要求性能に答えられる多くのポリマー改質アスファルトが開発されている。



図－1　改質材の変遷

2－3　SBSの概要

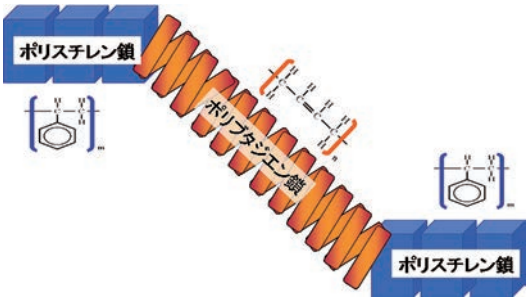
SBSは、ポリスチレン鎖とポリブタジエン鎖から構成された熱可塑性エラストマーである。簡易的な構造を**図－2**に示す。アスファルト中のSBSは、アスファルト混合物を製造・施工する温度領域において流動性を示すため、施工性が確保できる。

また、施工後の供用温度領域では、ポリスチレン鎖部分が、三次元ネットワークを形成し、高い凝集力を示すため、アスファルト混合物の塑性変形抵抗性が向上する。ポリブタジエン鎖部分については、優れたゴム弾性を発

*たかもと　たけひろ　一般社団法人　日本改質アスファルト協会　技術委員

揮するため、ひび割れ抵抗性が向上する。

このように、SBSは施工温度領域から供用温度領域において優れた性能をもった改質材である。



図－2　SBSの構造

2－4　ポリマー改質アスファルトの種類と適用範囲

ポリマー改質アスファルトは、舗装設計施工指針などによって規格化されており、**表－1**に示す7種類のグレードと、それ以外の特殊なグレードに大別される。

Ⅰ型からⅢ型は、数字が大きくなる程、塑性変形抵抗性が高くなり、大型車交通量に応じて使用される。H型は、ポーラスアスファト混合物に使用されるため、排水機能が必要な箇所に適用される。また、WおよびFといった付与記号は、それぞれ耐水性、可とう性を意味する。例えば、Ⅲ型-Wは、高い塑性変形抵抗性と耐水性を有するため、主にコンクリート床版上の橋面舗装に適用される。

表－1　ポリマー改質アスファルトの種類と適用範囲

種類 / 付加記号			Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	-W	-WF	H型	-F
混合物機能	適用混合物 / 主な適用箇所		密粒度、細粒度、粗粒度等の混合物に用いる。Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は、主にポリマーの添加量が異なる。					ポーラスアスファルト混合物に用いる。ポリマー添加量が多い	
塑性変形抵抗性	一般的な箇所		◎						
	大型車交通量が多い箇所			◎				◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所及び交差点				◎	○	○	○	○
摩耗抵抗性	積雪寒冷地域		◎	◎	○	○	○		
骨材飛散抵抗性	積雪寒冷地域							○	◎
耐水性	橋面（ｺﾝｸﾘｰﾄ床版）			○	○	◎			
たわみ追従性	橋面（鋼床版）	たわみ小		○	○		◎		
		たわみ大					◎		
排水性（透水性）								◎	◎

W：耐水性、F：可とう性、◎：適用性高い、○：適用可能，空欄：要検討

なお、ポーラスアスファルト混合物用特殊グレードについては、ポリマー改質アスファルトポケットガイドでその適用箇所や要求性能に応じて**表－2**のように分類している。

表－2　ポーラスアスファルト混合物用特殊グレードの種類と適用

混合物機能	主な適用もしくは箇所	特殊グレード			
		高耐久型	寒冷地・高耐久型	ねじれ抵抗性改善型	鋼床版用
塑性変形抵抗性	一般的な箇所	◎	◎	◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所	◎	○	◎	○
骨材飛散抵抗性	寒冷地の骨材飛散抑制	○	◎		○
	極寒冷地の骨材飛散抑制		◎		
	交差点部の骨材飛散抑制	○	○	◎	
疲労破壊抵抗性	鋼床版のたわみ追従性確保	○	○		◎
騒音低減、排水性（透水性）	高空隙率な小粒径混合物	◎	◎		

◎：適用性が高い、○：適用は可能

3. 脱炭素社会に寄与するポリマー改質アスファルト技術

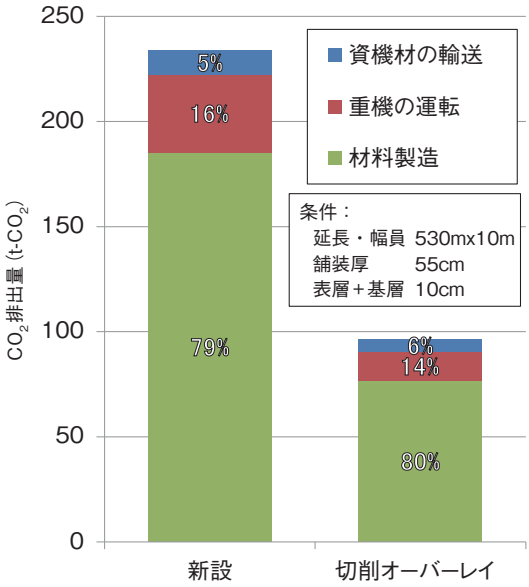
3－1　アスファルト舗装工事およびアスファルト混合物製造に関するCO_2排出量

アスファルト舗装工事におけるCO_2排出量は**図－3**に示す[1) 2)]とおりであり、延長530m、幅員10mの新設（舗装厚55㎝、アスコン層10㎝）および切削オーバーレイ（10㎝）ついて算出した。図の内訳は、「資機材の輸送」、「重機の運転」、「材料製造」に係るCO_2排出量の3種類である。

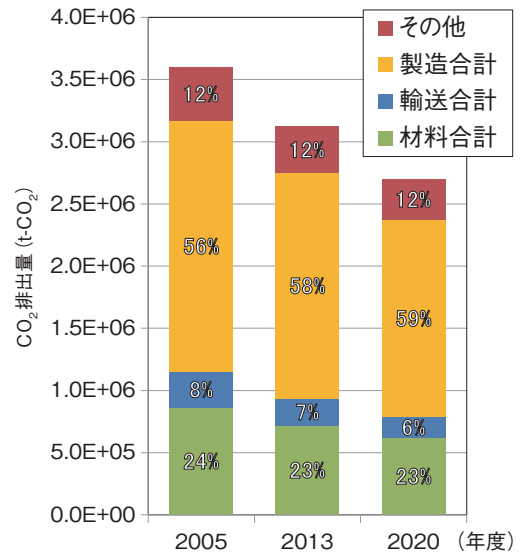
新設および切削オーバーレイいずれにおいても、材料製造に係るCO_2排出量が約80％を占めていることがわかる。したがって、アスファルト舗装工事に関するCO_2排出量を抑えるには材料製造に係る排出量を抑えることが効果的といえる。

また、アスファルトプラントにおけるアスファルト混合物製造のCO_2排出量を**図－4**に示す。なお、図の内訳は、アスファルトプラントでの製造に伴う排出を「製造合計」、骨材やアスファルトの輸送に伴う排出を「輸送合計」、原料採掘から製造に伴う排出を「材料合計」として表記している。

年度によってCO_2排出量は異なるものの、ここで着目したいのは、いずれの年度においても、製造合計が約60％を占めていることである。そのため、アスファルト混合物の製造に伴うCO_2排出量を抑えることが効果的といえる。



図－3　アスファルト舗装工事に関するCO_2排出量の試算例



図－4　アスファルト混合物製造に関するCO_2排出量の試算例

3－2　ポリマー改質アスファルトによるCO_2排出量削減技術

ポリマー改質アスファルトが脱炭素社会実現に向けて寄与できることとして、「長寿命化技術」、「中温化技術」、「リサイクル技術」の3つが挙げられる。これらについて、実例も踏まえて紹介する。

(1) 長寿命化技術

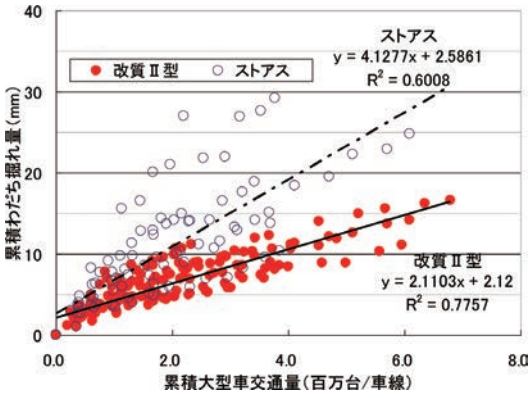
ポリマー改質アスファルトを使用したアスファルト混合物は、ストアスを使用した場合と比較して、耐流動性、耐水性、摩耗抵抗性などの耐久性が向上するため、舗装の長寿命化が期待できる。また、長寿命化によって維持修繕の頻度が減少するため、それに伴うCO_2排出量が抑制できる。ポリマー改質アスファルト適用による、長寿命化の事例を以下に紹介する。

①　ポリマー改質アスファルトⅡ型の事例

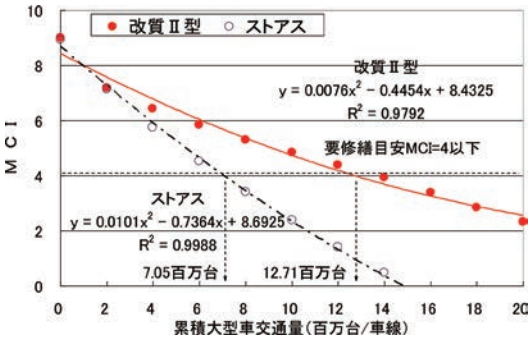
丸山らの検討事例では、ストアスとポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）の長期供用性の追跡調査の結果を基に、舗装寿命の比較を行っている[3]。

累積大型車交通量と累積わだち掘れ量の関係を**図－5**に示す。改質Ⅱ型を用いると、ストアスを用いた場合と比べ、舗装のわだち掘れ量を50％程度に抑えられることが見てとれる。

また、累積大型車交通量と舗装の維持管理指数（MCI）の関係を**図－6**に示す。改質Ⅱ型を用いると、ストアスを用いた場合と比べ、要修繕目安に達するまでの交通量が1.8倍となる。この様に、改質Ⅱ型の使用により舗装寿命が延長できることがわかる。



図－5　わだち掘れ量のパフォーマンスカーブ

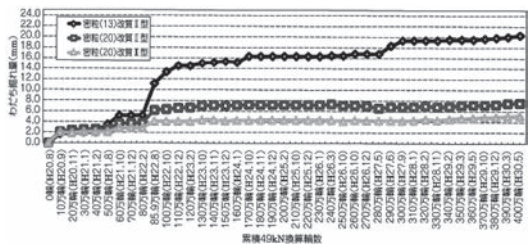


図−6　MCIのパフォーマンスカーブ

② ポリマー改質アスファルトⅢ型の事例

寺田らの検討事例では、(国研) 土木研究所内の舗装走行実験場において、改質Ⅱ型およびポリマー改質アスファルトⅢ型 (以下、改質Ⅲ型) の舗装上で400万輪の走行試験を実施し、わだち掘れの抑制効果ついて検証している[4]。

走行試験後の49kN換算輪数とわだち掘れ量の関係は、**図−7**に示すとおりである。密粒度 (20) 混合物の結果に着目すると、1年後までは改質Ⅱ型と改質Ⅲ型でわだち掘れ量は同程度であるものの、3年後は改質Ⅱ型と比べ約半分となっている。さらに約10年後に当たる400万輪走行後には、約60%のわだち掘れ量となっている。この様に、実車による走行試験においても、改質Ⅲ型の高い塑性変形抵抗性が実証されている。



図−7　49kN換算輪数とわだち掘れ量の関係

③ ポリマー改質アスファルトⅢ型-Wの事例

首都高速道路では、2006年から交通量の多い高速3号渋谷線の橋面舗装にポリマー改質アスファルトⅢ型-W (以下、改質Ⅲ型-W) を適用し、同路線で施工した改質Ⅱ型を用いた工区と路面性状やポットホールの緊急補修件数などを比較している[5]。

舗設2年後までの路面性状とパッチング率に関する追跡調査結果を表-3に示す。改質Ⅲ型-Wを使用した箇所は、改質Ⅱ型を使用した箇所と比べ、わだち掘れ量、ひび割れ率ともに良好であり、パッチング率が0%である。つまり、緊急補修件数が0件であったことを示している。

この結果より、改質Ⅲ型-Wの剥離抑制効果は実道でも検証されている。

表−3　路面性状とパッチング率に関する追跡調査結果

車線	基層の種類	舗設約2年後							
		平均わだち掘れ量(mm)		最大わだち掘れ量(mm)		パッチング率(%)		ひび割れ率(%)	
		平均	σ	平均	σ	平均	σ	平均	σ
左側車線	密粒度(改質Ⅲ−W)	5.3	1.2	6.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	密粒度(改質Ⅱ型)	7.2	3.0	9.5	4.9	0.3	6.8	0.5	18.3
右側車線	密粒度(改質Ⅲ−W)	4.6	1.1	5.8	1.9	0.0	0.0	0.1	1.2
	密粒度(改質Ⅱ型)	6.8	2.3	8.8	3.9	0.1	2.3	0.1	3.0

④ 重荷重用ポリマー改質アスファルト (特殊グレード) の事例

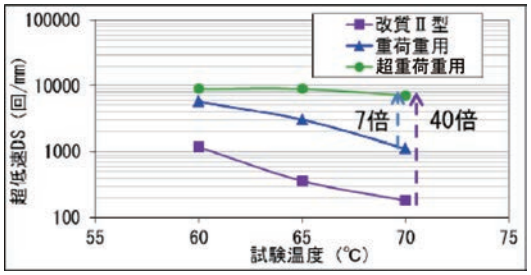
重荷重用ポリマー改質アスファルト (以下、重荷重用) とは、トレーラーなどの大型車両が渋滞する箇所や、港湾など特殊な重荷重車両が低速度走行する箇所に適用する塑性変形抵抗性が非常に高いアスファルトである。

舌間らの検討事例では、重荷重用よりさらに高い塑性変形抵抗性を有する超重荷重用ポリマー改質アスファルト (以下、超重荷重用) を超低速DSで評価している[6]。超低速DSとは、一般的なホイールトラッキング試験の条件をより過酷にしたものである。試験条件は、接地圧0.9MPa、走行速度10.5回/分、試験温度60～70℃、試験時間240分で評価したものであり、超低速DSは、下式で算出されている。なお、d240、d180は、240分、180分後の沈下量である。

$$超低速DS = \frac{走行速度10.5\ (回/分) \times (240\text{-}180\ (分))}{d240\text{-}d180\ (mm)}$$

試験温度と超低速DSの関係は、**図−8**に示すとおりであり、試験温度70℃において、超重荷重用は、改質Ⅱ型の40倍、重荷重用の7倍と、非常に高い塑性変形抵抗性を発揮している。この結果から、重荷重用および

超重荷重用は、過酷な条件化でも、長寿命化に寄与できるポリマー改質アスファルトといえる。



図－8　49kN換算輪数とわだち掘れ量の関係

(2) 中温化技術

中温化技術は、製造および施工時の温度を低減できるアスファルトを用いた技術を指し、製造時の使用燃料を抑えることでCO_2排出量が削減できる。通常の改質Ⅱ型と中温化ポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、中温化Ⅱ型）の練落とし時の状況を**図－9**に示す。中温化技術を適用することにより、煙の量が明らかに違うことがわかる。また、施工温度を低くしても所定の締固め度が得られるため、従来の改質Ⅱ型同等の性能を確保できる。

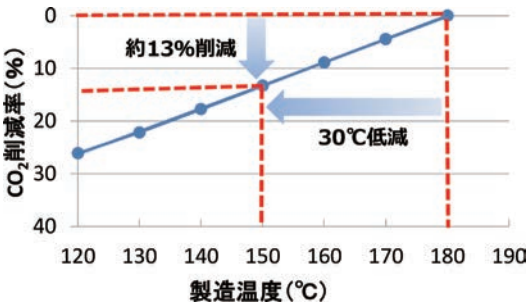
図－9　中温化Ⅱ型の練落とし時の状況

製造温度とCO_2削減量の関係を**図－10**に示す。なお、CO_2削減率は、「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」[7]を参考にしており、重油消費量を基に試算したものである。製造温度を改質Ⅱ型混合物は180℃、中温化Ⅱ型混合物は150℃と仮定すると、中温化Ⅱ型の使用により約13％のCO_2削減効果が得られる。

前述したように、中温化Ⅱ型の混合物性状は、改質Ⅱ型と同等であることから、中温化技術は舗装の健全性を確保しつつ、脱炭素社会実現に貢献できる。

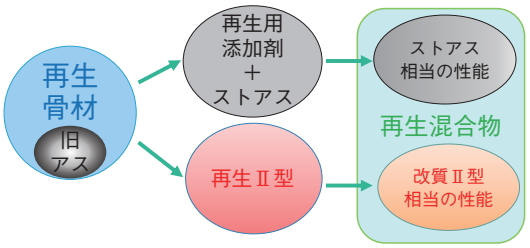
(3) リサイクル技術

リサイクル技術とは、アスファルト混合物に再生骨材を混入させることで、新規で使用するアスファルト量を減らし、CO_2排出量を削減する技術を指す。



図－10　製造温度とCO_2削減量の関係

従来のストアスを用いた再生アスファルト混合物は、旧アスファルトの針入度を回復させる再生用添加剤とストアス（新アス）を使用することで、再生骨材を使用しても新材を用いたストアス相当の混合物性能を確保できる。一方、再生ポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、再生Ⅱ型）は、再生Ⅱ型そのものが再生骨材となじみが良いため、再生用添加剤を使用しなくても、新材を用いた改質Ⅱ型混合物相当の性能が確保できる（**図－11**）。

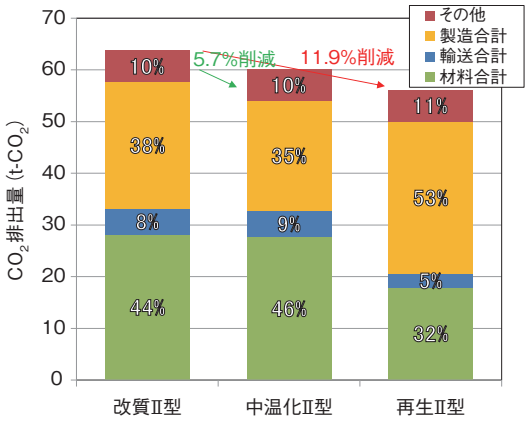


図－11　再生Ⅱ型の概要

再生Ⅱ型の使用によるCO_2排出量の削減効果の検証にあたり、改質Ⅱ型混合物、中温化Ⅱ型混合物（30℃低減）、再生Ⅱ型混合物（再生骨材50％使用）を800t製造した際のCO_2排出量を算出した結果を**図－12**に示す。CO_2排出量の算出には、「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」[8]を参考にした。

CO_2排出量は、改質Ⅱ型混合物と比較して、中温化Ⅱ型混合物で5.7％削減、再生Ⅱ型混合物で11.9％削減と、削減率は約2倍となった。

これらより、再生骨材を有効利用することでCO_2を大きく削減できると判断できる。



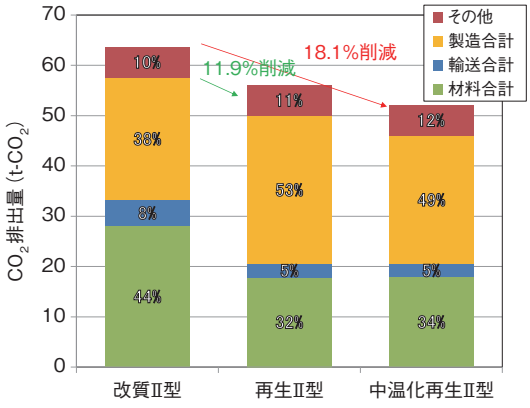
図−12　再生Ⅱ型混合物のCO_2排出量

(4) 長寿命化、中温化、リサイクル技術の併用

最後に、長寿命化、中温化、リサイクル技術をすべて取り入れた、中温化再生ポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、中温化再生Ⅱ型）のCO_2排出量の試算結果について紹介する。

改質Ⅱ型、再生Ⅱ型、中温化再生Ⅱ型をそれぞれ用いた混合物を800t製造時した際のCO_2排出量を**図−13**に示す。なお、再生骨材の使用量は、再生Ⅱ型、中温化再生Ⅱ型ともに50％とした。

中温化再生Ⅱ型を用いた混合物は、改質Ⅱ型混合物に比べて18.1％削減できる。これは、再生Ⅱ型の削減率の1.5倍であり、技術を組み合わせることで、CO_2排出量をさらに大きく削減できることがわかる。



図−13　中温化再生Ⅱ型のCO_2排出量

4. おわりに

本報では、脱炭素社会実現に向けたポリマー改質アスファルトの技術について紹介した。

現在では、CO_2排出量削減に貢献できるポリマー改質アスファルトを各メーカーが多く取り揃えているものの、コストメリットの観点からあまり普及していないのが実情である。社会全体で脱炭素社会実現に向けた取り組みを進めている中、アスファルト舗装分野においても真摯に取り組む必要があるため、脱炭素社会に寄与できるポリマー改質アスファルトの積極的な利用を、関係者の方々には是非ご検討いただきたい。

当協会では、今後もポリマー改質アスファルトの開発および規格検討、関係機関との情報交換を通して、多様なニーズに応える活発な活動を継続していく所存である。

参考文献

1) 新田、「アスファルト舗装に関する二酸化炭素排出量について」、アスファルト、vol.64、No.237、pp.5～8、2021

2) (公社) 日本道路協会、「舗装の環境負荷低減に関するガイドブック」、2014

3) 丸山ら、「ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物舗装のLCC評価と適用範囲」、改質アスファルト29号、2007

4) 寺田ら、「耐流動性評価指標とわだち掘れの関係」、舗装、Vol.54、No.2、2019

5) 田中ら、高機能舗装の基層に使用するポリマー改質アスファルトの耐久性評価、土木学会第65回年次講演概要集、V-069、2010

6) 舌間ら、「重荷重車両が走行しても塑性変形抵抗性に優れるバインダの開発」、第32回日本道路会議 、2017

7) 日本道路協会、「環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック」、2009

8) 日本道路協会、「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」、2014