



# 道路舗装の維持管理に資する表面処理工法に関する研究

塚本, 真也

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2019-03-25

(Date of Publication)

2020-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7504号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007504>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



## 論文内容の要旨

氏 名 塚本 真也

専 攻 市民工学専攻

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

道路舗装の維持管理に資する

表面処理工法に関する研究

指導教員 澁谷 啓

(注) 2,000字～4,000字でまとめること。

我が国では、高齢化社会の進行や人口減少による厳しい財政的制約の下で、老朽化する道路舗装を適切に維持管理していくため、長寿命で維持補修回数が少ない舗装の開発や、予防的修繕工法により舗装の寿命を延命化させる技術開発が求められている。

道路舗装の維持管理を効率的かつ合理的に行っていくためには、舗装が破損する原因に対して有効な補修方法を見出していくことが重要である。舗装が破損する原因は、大型車交通量の多い幹線道路等と、大型車交通量の少ない生活道路等では異なっている。幹線道路等では主にわだち掘れやひび割れなどの破損が生じるが、この原因については、既往の研究により、主にアスファルト混合物の流動や疲労破壊であることが明らかとなっており、その対処方法も確立しつつある。大型車交通量の少ない生活道路等では、主にひび割れによる損傷が生じ、最終的には亀甲上のひび割れに進展することもある。この原因としては雨水や紫外線に長期間暴露されることによるアスファルト混合物の劣化・老化であると考えられている。

このため、アスファルト混合物の劣化・老化を予防的工法により抑制することができれば、舗装のライフサイクルコストの縮減に寄与し、道路舗装の効率的な維持管理に資することができるものとする。アスファルト混合物が劣化・老化する因子としては、舗装表面から雨水が浸透することや、紫外線によりアスファルト自体が劣化していくことが挙げられるが、それらへの対処方法としては、舗装の表面処理工法が有効であるとする。表面処理工法の歴史は古く、これまでにフォグシール工法、チップシール工法、スラリーシール工法、マイクロサーフェッシング工法、カーペットコートといった各種の工法が開発されてきているが、前述のとおり生活道路の維持管理に予防的工法として積極的に活用されているとは言い難い状況である。この理由としては、表面処理工法を用いることによる管理経費の節減効果や、効果的な活用方法などが具体的かつ十分に示されていないことにあると考える。

以上の背景より、本研究では、まず、各種の表面処理工法の特徴および課題を整理し、これにより表面処理工法のひとつであるフォグシール工法が大型車交通量の少ない道路舗装の維持修繕に適していることについて述べた。つぎに、雨水の浸透がアスファルト混合物の疲労破壊特性に与える影響、およびフォグシール工法がアスファルト混合物の疲労破壊特性を改善する効果を明らかにするために、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験を実施した。さらに、フォグシール工法を適用すべき路面の状態、適用すべき時期を検討し、表面処理工法のひとつであるフォグシール工法が大型車交通量の少ない道路舗装の維持管理において有用な工法であることを論じた。

(氏名：塚本 真也 No.2 )

本論文では研究内容を7章に分けて示した。各章の概要は次のとおりである。

第1章では、研究の背景、目的および本論文の内容と構成について述べている。

第2章では、アスファルト道路舗装の破壊形態について分類整理するとともに、本研究に関連する既往の研究を総括し、現状と課題について整理している。大型車交通量の少ない道路舗装においては、主にひび割れによる損傷が生じ、最終的には亀甲上のひび割れに進展することもある。この原因としては、アスファルトの劣化・老化が考えられており、その誘因因子としては、紫外線や雨水の影響が挙げられる。これまでに、アスファルトの劣化・老化に関する研究やアスファルト混合物を紫外線等で劣化させ疲労破壊特性を把握する研究は行われてきているが、雨水が疲労破壊特性に与える影響に着目した研究は少なく、これを把握する意義は大きいものと考えた。

第3章では、大型車交通量の少ない道路舗装の破損の主要因であるアスファルト混合物層の劣化・老化に対して効果的な維持修繕工法を選定するため、資料調査に基づき既存の維持修繕工法を分類し、それらの特徴を整理している。これにより表面処理工法のひとつである Fog Seal 工法がアスファルト混合物層の劣化・老化の予防に適していることを示している。Fog Seal 工法は、路面に水で希釈したアスファルト乳剤を薄く散布するだけの最も簡便な表面処理工法であり、小さいひび割れや表面の空隙を充填し、老化したアスファルト舗装の路面を若返らせる効果が期待できる工法である。

また、Fog Seal 工法に用いるアスファルト乳剤には各種のものが市販されていることから、室内試験によって、紫外線によるアスファルト混合物の劣化を抑制する効果について比較検討している。その結果、以下の結論を得た。

アスファルト混合物に紫外線を照射する促進耐候性試験より、近年、市販されている改質アスファルト乳剤は、従来から Fog Seal 用として規格化されているアスファルト乳剤 MK-2 よりも耐候性に優れていることが分かった。

耐候性試験後の試験供試体からアスファルトを抽出し針入度試験を実施した結果、Fog Seal 等を施した供試体の、紫外線の照射に伴うアスファルトの針入度の低下は小さく、Fog Seal 工法はアスファルト混合物の紫外線劣化を抑制する機能を有していることが分かった。

第4章では、雨水等の水分がアスファルト混合物の疲労破壊特性へ与える影響を把握するため、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験を実施している。まず、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験は一般的な試験ではない

ことから供試体の作成方法、水の供給方法等について検討している。

(氏名：塚本 真也 No.3 )

つぎに、水を供給する場合と供給しない場合の曲げ疲労破壊試験結果を示し、水がアスファルト混合物の疲労破壊特性へ与える影響について述べている。水を供給する曲げ疲労試験を実施した結果、水を与えない通常の試験結果に比べて、載荷回数が30,000~40,000回付近から急速に応力が小さくなっていく傾向が認められた。これは、30,000~40,000回程度で、供試体に微細なひびわれが生じ、水分が供試体内部に浸透したためと考えられた。

さらに、試験供試体にアスファルト乳剤を塗布し水を供給した場合の曲げ疲労試験結果を示し、Fog Seal 工法がアスファルト混合物の疲労破壊特性を改善する効果について述べている。水を供給しながらの曲げ疲労試験を30,000回で休止し、供試体に Fog Seal を施した後に再開する試験を実施した結果、Fog Seal 工法によりアスファルト混合物内への水の浸透を抑制することで疲労破壊特性を改善できることが分かった。

第5章では、実際の舗装へ Fog Seal 工法を適用することを想定し、Fog Seal を適用箇所を選定や、Fog Seal 施工後の性能確認を目的とする現場透気試験について述べている。道路舗装に適用する現場透気試験は一般的な試験ではないことから、試験器を試作し、試験方法や測定値の評価方法について検討している。検討の結果、透気係数を算出することで再現性に優れた結果が得られ、各種の舗装へ適用できるものと考えられた。

また、実際に劣化・老化しているアスファルト舗装路面、目視で確認できない微細なひび割れが発生している箇所、各種のアスファルト混合物供試体において、Fog Seal 工法の施工前後で現場透気試験を実施し、Fog Seal 工法がアスファルト舗装の透気性を改善する効果について述べている。供用13年経過した路面において、Fog Seal 施工前後で現場透気試験を実施した結果、施工前に透気係数が  $10^{-6}$  m/s オーダーの箇所では、Fog Seal を  $0.41/m^2$  散布することで  $10^{-7}$  m/s オーダーとなった。施工前に  $10^{-7}$  m/s オーダーの箇所についても Fog Seal を塗布することで更に改善することができた。

微細なひび割れが発生している箇所現場透気試験を実施した結果、Fog Seal によって微細なひび割れを塞げることが分かった。

各種のアスファルト混合物の試験供試体を作製し、混合物密度、表面のきめ深さ、透水係数と、現場透気試験から得られる透気係数を比較した結果、混合物密度と透気係数は  $R_2$  値で  $0.7\sim 0.84$  と良好な相関関係があることが確認できた。表面のきめ深さと透気係数に相関関係はなかった。透水係数と透気係数は  $R_2$  値で  $0.85$  程度と良好な相関関係があることが分かった。

(氏名：塚本 真也 No.4 )

第6章では、実際にフォグシール工法が施工された道路舗装にて実施した路面性状調査等の追跡調査結果について述べている。14年間供用された箇所の現地調査を行った結果、当時の路面が残存しているところは、フォグシールの痕跡が確認でき、フォグシールを実施していない周辺とは見た目にも差異があることから、舗装の延命に寄与しているものと思われた。

また、水を供給する曲げ疲労試験結果に基づきフォグシール工法によるアスファルト舗装の延命効果を試算し、ライフサイクルコストの縮減効果について述べている。フォグシール工法によるアスファルト舗装の延命効果を試算した結果、アスファルト舗装の寿命を10年と仮定した場合、供用5年後にフォグシールを施工することで舗装寿命を3年延ばす効果が期待できる結果となった。この結果より、いくつかの仮定のもとライフサイクルコストを試算した結果、定期的にフォグシールを施工することで40年間のトータルコストを約2割縮減できる結果となった。

第7章では、各章で得られた知見を総括して本研究の結論を取りまとめている。

以上

氏名	塚本真也		
論文 題目	道路舗装の維持管理に資する表面処理工法に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	澁谷 啓
	副査	教授	森川 英典
	副査	教授	芥川 真一
	副査		印
	副査		印
要 旨			
<p>我が国では、高齢化社会の進行や人口減少による激しい財政的制約の下で、老朽化する道路舗装を適切に維持管理していくため、長寿命で維持補修回数少ない舗装の開発や、予防的修繕工法により舗装の寿命を延命化させる技術開発が求められている。道路舗装の維持管理を効率的かつ合理的に行っていくためには、舗装が破損する原因に対して有効な補修方法を見出していくことが重要である。舗装が破損する原因は、大型車交通量の多い幹線道路等と、大型車交通量の少ない生活道路等では異なっている。幹線道路等では主にわだち割れやひび割れなどの破損が生じるが、この原因については、既往の研究により、主にアスファルト混合物の流動や疲労破壊であることが明らかとなっており、その対処方法も確立しつつある。大型車交通量の少ない生活道路等では、主にひび割れによる損傷が生じ、最終的には亀甲上のひび割れに進展することもある。この原因としては雨水や紫外線に長期間暴露されることによるアスファルト混合物の劣化・老化であると考えられている。このアスファルト混合物の劣化・老化を予防的工法により抑制することができれば、舗装のライフサイクルコストの縮減に寄与し、道路舗装の効率的な維持管理に資することができるものと考えられる。アスファルト混合物が劣化・老化する因子としては、舗装表面から雨水が浸透することや、紫外線によりアスファルト自体が劣化していくことが挙げられるが、それらへの対処方法としては、舗装の表面処理工法が有効であると考えられる。</p> <p>以上の背景より、本研究では、まず、各種の表面処理工法の特徴および課題を整理し、これにより表面処理工法のひとつであるフォグシール工法が大型車交通量の少ない道路舗装の維持修繕に適していることについて述べている。つぎに、雨水の浸透がアスファルト混合物の疲労破壊特性に与える影響、およびフォグシール工法がアスファルト混合物の疲労破壊特性を改善する効果を明らかにするために、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験について述べている。さらに、フォグシール工法を適用すべき路面の状態、適用すべき時期を検討し、表面処理工法のひとつであるフォグシール工法が大型車交通量の少ない道路舗装の維持管理において有用な工法であることを論じている。</p> <p>本論文は、以下に示す全7章で構成されている。</p> <p>第1章は「序論」として、研究の背景、目的および本論文の内容と構成について述べている。</p> <p>第2章では「既往の研究」として、アスファルト道路舗装の破壊形態について分類整理するとともに、本研究に関連する既往の研究を総括し、現状と課題について整理している。既往の研究では、アスファルトの劣化・老化に関する研究やアスファルト混合物を紫外線等で劣化させ疲労破壊特性を把握する研究は行われてきているが、雨水が疲労破壊特性に与える影響に着目した研究は少なく、これを把握する意義は大きいと述べている。</p> <p>第3章では「大型車交通量の少ない道路舗装に適した維持修繕工法の選定」として、大型車交通量の少ない道路舗装の破損の主要因であるアスファルト混合物層の劣化・老化に対して効果的な維持修繕工法を選定するため、資料調査に基づき既存の維持修繕工法を分類し、それらの特徴を整理している。これにより表面処理工法のひとつであるフォグシール工法がアスファルト混合物層の劣化・老化の予防に適していることを示している。また、フォグシール工法に用いるアスファルト乳剤には各種のものが市販されていることから、室内試験によって、紫外線によるアスファルト混合物の劣化を抑制する効果について比較検討している。</p>			

氏名	塚本真也
<p>第4章では「水を供給する曲げ疲労試験によるフォグシール工法の評価」として、雨水等の水分がアスファルト混合物の疲労破壊特性へ与える影響を把握するための試験として、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験について述べている。まず、水を供給しながらのアスファルト混合物の曲げ疲労破壊試験は一般的な試験ではないことから供試体の作成方法、水の供給方法等について検討している。つぎに、水を供給する場合と供給しない場合の曲げ疲労破壊試験結果を示し、水がアスファルト混合物の疲労破壊特性へ与える影響について述べている。水を供給する曲げ疲労試験を実施した結果は、水を与えない通常の試験に比べて、載荷回数が30,000~40,000回付近から急速に応力が小さくなっていく傾向があり、曲げ疲労によって供試体に微細なひびわれが生じ、水分が供試体内部に浸透したためであると考察している。さらに、試験供試体にアスファルト乳剤を塗布し水を供給した場合の曲げ疲労試験結果を示し、フォグシール工法がアスファルト混合物の疲労破壊特性を改善する効果について述べている。水を供給しながらの曲げ疲労試験を30,000回で休止して供試体にフォグシールを施した後に再開する試験を実施しており、フォグシール工法によりアスファルト混合物内への水の浸透を抑制することで疲労破壊特性を改善できることを述べている。</p>	
<p>第5章では「現場透気試験によるフォグシール工法の評価」として、実際の舗装へフォグシール工法を適用することを想定し、フォグシール工法の適用箇所の選定や、フォグシール工法施工後の性能確認を目的とする現場透気試験について述べている。道路舗装に適用する現場透気試験は一般的な試験ではないことから、試験器を試作し、試験方法や測定値の評価方法について検討している。検討の結果、透気係数を算出することで再現性に優れた結果が得られ、各種の舗装へ適用できる試験方法であると述べている。また、実際に劣化・老化しているアスファルト舗装路面、目視で確認できない微細なひび割れが発生している路面、各種のアスファルト混合物供試体表面において、フォグシール工法の施工前後で現場透気試験を実施し、フォグシール工法がアスファルト舗装の透気性を改善する効果について述べている。実際に劣化・老化しているアスファルト舗装路面および目視で確認できない微細なひび割れが発生している路面において、フォグシール工法の施工前に透気係数が<math>10^{-6}</math> m/s オーダーの箇所が、アスファルト乳剤を<math>0.4\text{ l/m}^2</math> 散布することによって<math>10^{-7}</math> m/s オーダーへと改善しており、フォグシール工法には微細なひび割れ等を塞ぐ効果があると述べている。各種のアスファルト混合物の試験供試体を作製し、混合物密度、表面のきめ深さ、透水係数と、現場透気試験から得られる透気係数を比較しており、混合物密度と透気係数のR2値は<math>0.7\sim 0.84</math>、透水係数と透気係数のR2値は<math>0.85</math>程度であり良好な相関関係があると述べている。</p>	
<p>第6章では「フォグシール工法の長期供用性調査およびライフサイクルコスト分析」として、実際にフォグシール工法が施工された道路舗装で実施した路面性状調査等の追跡調査結果について述べている。14年間供用された箇所の現地調査を行った結果、当時の路面が残存しているところではフォグシール工法の施工跡が確認でき、フォグシールを実施していない周辺とは見た目にも差異があり、フォグシール工法は舗装の延命に寄与していると考察している。また、水を供給する曲げ疲労試験結果に基づきフォグシール工法によるアスファルト舗装の延命効果を試算し、ライフサイクルコストの縮減効果について述べている。フォグシール工法によるアスファルト舗装の延命効果は、アスファルト舗装の寿命を10年と仮定した場合、供用5年後にフォグシールを施工することで舗装寿命を3年延ばす効果が期待できるとしている。この結果より、いくつかの仮定のもとライフサイクルコストを試算しており、定期的にフォグシール工法を施工することで40年間のトータルコストを約2割縮減できるとしている。</p>	
<p>第7章では「結論」として、各章で得られた知見を総括して本研究の結論を取りまとめている。</p>	
<p>以上のとおり、本研究は、道路舗装の維持管理方法の一つである表面処理工法について研究したものであり、表面処理工法の有用性について重要な知見を得たものとして価値ある集積である。提出された論文は工学研究科学学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の塚本真也は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>	