

## 論文審査の結果の要旨

氏名：赤 津 憲 吾

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：水を用いたアスファルト混合物の分別再資源化技術と品質管理手法の開発

審査委員：（主査） 教授 秋 葉 正 一

（副査） 教授 渡 部 正 教授 鵜 澤 正 美

わが国の道路整備における舗装の維持修繕工事において、舗装工事により発生する既設のアスファルト舗装材（以下、発生材）は産業廃棄物に指定され、処分に制約が生じることとなっている。このため、1970年代中期頃から発生材の再生利用に関する研究が始まり、現在、発生材は再生加熱アスファルト混合物（以下、再生混合物）に用いるアスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）や再生路盤材などに用いる再生砕石に再資源化され、再資源化率は99%を上回っている。

現行の再生骨材への再資源化技術は、発生材を機械破碎および分級により粒状化することで、量的に高水準な再資源化を実現しており、2018年には、混合物の全出荷量に占める再生混合物の割合は74.9%に達している。また、2018年には、再生混合物中に占める再生骨材配合率の全国の平均が51.4%に達している。他方で、近年、混合物に使用する新規材料である、アスファルトや骨材の供給力の低下が懸念されている。これらより、劣化と再生を複数回繰返した再生骨材は、今後増えることが予測されるとともに、再生骨材の需要はますます増加すると考えられる。しかしながら、劣化と再生を複数回繰返した再生骨材の利用に関しては、既に室内試験により、旧アスファルトが酸化劣化を蓄積していることや配合した再生混合物のひび割れ抵抗性が低下する可能性を確認されている。

混合物の製造における品質管理項目である、アスファルト量および粒度は、アスファルト抽出法により厳密に把握することができる。しかしながら、使用される溶剤は1995年末に1,1,1-トリクロロ・エタンがオゾン層破壊物質として廃止されて以降、人体や環境に対する安全性への配慮からナフテン系やリモネン系の溶剤が代替され、それらの溶剤は、改質アスファルトや再生混合物に対する溶解性能、試験時間に課題を残している。一方で、再生骨材は、再生混合物の繰返し利用に伴い、アスファルト量や骨材粒度にバラツキを生じさせることが懸念されており、今後、再生混合物は製造後に厳密な品質管理を行う必要性が求められる。

本研究は、高温高压水が混合物からアスファルトと骨材に分離する性能を有していることを既往研究で確認していることから、まず、亜臨界水を用い、多様なアスファルト混合物に適用可能なアスファルト抽出試験法を提案している。つぎに、常圧の熱水（80~90℃）を用い、多様な発生材に適用可能な熱水すりもみ法による分別再資源化技術の開発を行っている。さらに亜臨界域の高温高压水を用いた、劣化したアスファルトの性状回復技術を開発に関する検討を実施している。

本論文は、全6章から構成されており、以下に各章ごとの要旨を述べる。

第1章は序論であり、アスファルト舗装発生材の再生利用について、わが国におけるこれまでの経緯を整理した上で、「研究の背景」および「研究の目的」を示すとともに、「論文の構成」について概説している。

第2章は、まず、わが国の混合物の需要と供給について、アスファルト舗装の現状と新規材料の需給バランス、発生材の再生利用の現状を示している。つぎに、再生混合物の繰返し利用について、現行の再生利用技術の課題を整理している。さらに、本研究で適用する高温高压水の特長について概説し、高温高压水を用いアスファルト混合物から骨材とアスファルトを分離する既往研究を整理することで、高温高压水のアスファルト抽出法や分別再資源化技術への応用の可能性と課題を整理し、本研究実施の意義を明確にしている。

第3章は、まず、既往研究において、有機溶剤等を一切用いることなく、水を溶媒とした環境調和型

アスファルト抽出試験の開発に取り組んでおり、高温高压水がアスファルト抽出溶媒として適用できる可能性を明らかにしているが、この成果では、ストレートアスファルト（60-80）を被膜した混合物からアスファルトを抽出しきることが困難であり、多種のアスファルトへの適用に課題を残していることを明確に整理している。

そこで、本章では、既報研究の課題を解決するために、ストレートアスファルト（60-80）を被膜した混合物、再生混合物に対する課題を克服した抽出試験機、試験方法の改良を行い、多種のアスファルトへ適用したアスファルト抽出試験方法の確立を試みている。その結果、改良を加えた本試験機および試験法が、ストレートアスファルト（60-80）を含有した混合物を含む多種の新規混合物、および再生骨材へ適用可能なアスファルト抽出試験法であることを確認し、亜臨界水を用いたアスファルト抽出試験法の提案している。

第4章は、まず、近年のわが国では、ストレートアスファルトより耐久性の高いポリマー改質アスファルトを含有したポーラスアスファルト混合物が広く用いられているが、多様な改質材を含んでいることから、供用後の発生材は、劣化したポリマー剤の硬化が進行しており、団粒化による粒度の変動が大きく、再生混合物への利用に関して、品質管理や配合に課題を残していることを明らかにしている。このため、近年、多くのポーラスアスファルト混合物が更新時期を迎えおり、ポリマー改質アスファルトを含有した発生材の再生利用方法の確立が急務となっていることを示している。

このような改題を解決するために、本章では、ポリマー改質アスファルトを含有した発生材に対して常圧の熱水（80～90℃）を用いた熱水すりもみ法を適用することを試み、分別回収した骨材の性状および品質試験、回収した骨材を配合した再生混合物の曲げ強度により評価している。その結果、熱水すりもみ法はポリマー改質アスファルトを含有した発生材から、素材に近い状態まで復元した1-13mmの骨材を分別回収できることを明らかにしている。

一方、凝集した旧アスファルトを含有している0-1mm微粒分について、有機物の分解能力を有する亜臨界域の高温高压水を用いて、アスファルトの性状回復技術に関する基礎検討を行っている。その結果、劣化したアスファルトの性状が回復する可能性を示唆している。

第5章は、前章において発生材から1mm以上の骨材と1mm以下の凝集した旧アスファルトを含有している微粒分を分別回収できることを確認したことから、劣化した旧アスファルトの性状を回復する技術について検討している。

具体には、既報研究において、いくつかの課題が残されているものの、亜臨界水域（200～350℃）の高温高压水による水熱分解技術を用いたアスファルトの再生に関する検討がなされていることから、この技術を用い、構成成分比率の異なるストレートアスファルト（60-80）を劣化させ、劣化アスファルトの回復効果に関する検討を実施している。その結果、反応温度350～360℃、反応時間15分程度の反応条件のもと、基本的な物理的性状において回復が期待でき、また、従来の再生技術と比較して、化学的性状において優位性があることを明確にしている。また、水熱分解後のアスファルトは動的粘弾性状より、改質アスファルトと類似したバインダー性能を発揮する可能性があり、繰り返し再生利用に際して旧アスファルトの付加価値を高める可能性があることを示唆している。

## 第6章 結論

本章では、各章で得られた成果を総括し、本研究の意義を明確にするとともに、今後の課題と展望を提示している。

以上、本論文は、アスファルト舗装発生材のリサイクルにおいて、再生アスファルト混合物の良好な品質を確保するための品質管理試験やリサイクル技術を提案した。この成果は、生産工学、特に道路工学に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令 和 2 年 3 月 5 日