

学 位 論 文 題 名

アスファルトおよびアスファルト混合物の  
破壊性状に関する研究

学位論文内容の要旨

1. 研究の背景、目的および必要性

急速なモータリゼーションの進展とともに、そのサービス基盤である道路整備も着実な進展をみせ舗装ストックは飛躍的に増加している。道路舗装の9割以上を占めるアスファルト舗装は、経済性やユーザーに対する快適性、安全性に優れた機能を有している。しかしながら、気象条件、交通量の増大、車両の大型化と積載量の増加、慢性的な交通渋滞といった昨今の苛酷な外的条件に伴い、亀裂やわだち掘れといった破壊形態が顕著にみられるようになってきた。アスファルトの品質面からこれらの対策を考慮すると全く対峙する性質のアスファルトが推奨され、両者の破壊形態を考慮した合理的な評価方法の確立とその判断基準が必要とされている。

本研究はこれまで評価が困難であった低温領域におけるアスファルト単体での評価方法を確立するとともに、アスファルト混合物との破壊性状の対応関係を明らかにし、現道におけるアスファルト舗装の破壊形態を推定し、現地の外的条件を考慮したアスファルトの選定を可能としたものである。また、亀裂発生箇所では舗装体深部にわたり損傷が著しいが、この原因がウィンドウォッシャー液に含有する界面活性剤の影響によるという全く新しい破壊要因が存在することについて言及した。さらに、アスファルト混合物の破壊性状ならびに界面活性剤によるアスファルト舗装の損傷はアスファルト混合物の空隙率とも密接な関係にあることから、現状での施工条件がアスファルト混合物の空隙率に及ぼす影響についても検討を加えた。

2. 研究内容

本研究の主要な検討事項は以下のとおりである。

- (1) 従来のフラス脆化点試験機を改良し精度を著しく向上させるとともにこれに荷重計を取り付けることにより応力とひずみを同時に計測可能とした試験機（万能試験機）とアスファルト単体の熱応力試験を開発し、低温領域におけるアスファルトの品質変動や種々のアスファルトの性状比較を行い、アスファルト混合物との破壊性状の対応関係を明らかにした。また、これらの結果から現道におけるアスファルト舗装の破壊形態をアスファルトの低温性状から分類できることを示し、さらに広範囲の領域にわたるアスファルト混合物の破壊性状から、アスファルト舗装にとってより適正なアスファルトを選定する指標を得た。
- (2) 舗装表面、下層路盤材、コンクリート床版内に外部から浸入したと考えられる界面活性剤が存在していることを明らかにした。この界面活性剤が微量でも存在することによってアスファルトの剥離現象が著しく進行する現象を確認し、コンクリート構造物にとっては中性化と同様な現象を起こし、耐久性の低下を助長していることについて検討を行った。

- (3) アスファルト混合物の空隙率が施工時における施工下面の温度や形状、混合物温度、転圧ローラの機種等によって影響を受けることを明らかにし、施工下面と混合物の表面温度から空隙率を推定する実験式を求め、赤外線放射型カメラによる品質管理の必要性を提案した。

### 3. 研究の方法

開発した2つのアスファルトの試験結果と現地の亀裂現象と相関の高いアスファルト混合物の熱応力試験結果とを照合し、これらが評価方法として妥当性であることを検証した。次に、開発した万能試験機により種々のアスファルトについて曲げ試験を実施し、曲げ強度と破壊時のひずみの関係を示す破壊包絡線を求め、アスファルト混合物との破壊包絡線の対応を引張応力状態の破壊モードで検討した。この結果、アスファルトとアスファルト混合物の各種力学試験における相互関係が明確になり、現道での車両走行時におけるアスファルト舗装の破壊性状を推定し、アスファルト舗装にとってより適正なアスファルト混合物の破壊包絡線の形態を明らかにした。界面活性剤によるアスファルト舗装ならびにコンクリート構造物の損傷については、メチレンブルー活性法によって舗装体内に陰イオン系界面活性剤が存在していることを定量し、NMR分析、IR分析、元素分析によってアスファルトとともにこれら構造物の内部に浸透していることを確認した。この界面活性剤の存在によりアスファルトの剥離現象が著しく進行することを静的、動的剥離試験により評価を行った。アスファルト混合物の空隙率に関しては屋外の2地区で同一の舗装構成、施工機械、施工者によって寒冷期と通常期に試験施工を実施し、両者を比較検討した。アスファルト混合物の施工時における温度は中央を熱電対、表面を赤外線放射型カメラによって計測を同時に実施し、両者の関係を明確にするとともに、深さ方向の空隙分布の違いを明らかにし、重回帰分析によって施工前、施工時の表面温度と空隙率の相関を検討した。空隙率がアスファルト混合物の耐久性に与える影響は、曲げ試験によって確認を行った。

### 4. 研究の新規性および成果

本研究によって、低温領域におけるアスファルト単体の評価方法を開発し、次のような成果が得られた。

- (1) フラース脆化点試験機を改良した万能試験機ならびに開発した熱応力試験は、アスファルトの低温性状を的確に把握し、アスファルト舗装の亀裂現象を評価し得る有効な方法である。
- (2) 低温領域におけるアスファルトとアスファルト混合物の破壊性状は互いに対応関係にあり、破壊包絡線の形状は著しく異なる3つのタイプに分類される。
- (3) アスファルトまたはアスファルト混合物の力学試験から現道におけるアスファルト舗装の脆化温度を求め、外気温等との相対関係から破壊形態を簡単に分類することができ、また強度や変形量の相対比較を行うことが可能である。
- (4) アスファルト混合物の空隙率は、外気温に支配的な影響を受ける施工面の温度とその形状、転圧ローラの種類に著しく依存し、平面的なバラツキのみならず、深さ方向にも大きく異なる。
- (5) ウィンドウォッシャー液中の界面活性剤は、優れた浸透性を発揮して舗装体内に浸入し、低濃度でも著しくアスファルトの剥離を進行させ、コンクリート床版では界面活性剤中の硫酸塩等により中性化と同様な現象が生じ耐久性を低下させている。

### 5. 今後の展望と課題

これまで経験的手法によってのみ区分されていたアスファルトの選定を現地の外気温等の外的条件を考慮したより精度の高い一つの指標が得られ、アスファルトの規格値として利用されることが期待される。既に日本道路公団の北海道仕様で一部本研究での評価方法

が採用されている。また、ウィンドウォッシャー液中の界面活性剤による全く新しい破壊現象については、蓄積される濃度と時間スケールの関係を明確にし、溶解力の小さな界面活性剤の使用やその除去方法を検討する必要がある。アスファルト混合物の空隙率は、最大粒径、配合、アスファルト量等に依存することから、これらの因子が破壊性状に与える影響を明確し、均質性を確保するための施工方法を見直す展開が期待される。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 森 吉 昭 博

副 査 教 授 山 崎 巖

副 査 教 授 鎌 田 英 治

副 査 教 授 佐 伯 昇

## 学 位 論 文 題 名

### アスファルトおよびアスファルト混合物の 破壊性状に関する研究

急速なモータリゼーションの進展とともに、そのサービス基盤である道路整備も着実な進展をみせ舗装ストックは飛躍的に増加している。道路舗装の9割以上を占めるアスファルト舗装は、経済性やユーザーに対する快適性、安全性に優れた機能を有している。しかしながら、気象条件、交通量の増大、車両の大型化と積載量の増加、慢性的な交通渋滞といった昨今の苛酷な外的条件に伴い、亀裂やわだち掘れといった破壊形態が顕著にみられるようになってきた。アスファルトの品質面からこれらの対策を考慮すると全く対峙する性質のアスファルトが推奨され、両者の破壊形態を考慮した合理的な評価方法の確立とその判断基準が必要とされている。

本研究はこれまで評価が困難であった低温領域におけるアスファルト単体での評価方法を確立するとともに、アスファルト混合物との破壊性状の対応関係を明らかにし、現道におけるアスファルト舗装の破壊形態を推定し、現地の外的条件を考慮したアスファルトの選定を可能としたものである。また、亀裂発生箇所では舗装体深部にわたり損傷が著しいが、この原因がウィンドウォッシャー液に含有する界面活性剤の影響によるという全く新しい破壊要因が存在することについて言及した。さらに、アスファルト混合物の破壊性状ならびに界面活性剤によるアスファルト舗装の損傷はアスファルト混合物の空隙率とも密接な関係にあることから、現状での施工条件がアスファルト混合物の空隙率に及ぼす影響についても検討を加えた。

本研究の主要な検討事項は以下のとおりである。

- (1) 従来のフラス脆化点試験機を改良し精度を著しく向上させるとともにこれに荷重計を取り付けることにより応力とひずみを同時に計測可能とした試験機（万能試験機）とアスファルト単体の熱応力試験を開発し、低温領域におけるアスファルトの品質変動や種々のアスファルトの性状比較を行い、アスファルト混合物との破壊性状の対応関係を明らかにした。また、これらの結果から現道におけるアスファルト舗装の破壊形態をアスファルトの低温性状から分類できることを示し、さらに広範囲の領域にわたるアスファルト混合物の破壊性状から、アスファルト舗装にとってより適正なアスファルトを選定する指標を得た。
- (2) 舗装表面、下層路盤材、コンクリート床版内に外部から浸入したと考えられる界面活性剤が存在していることを明らかにした。この界面活性剤が微量でも存在することによってアスファルトの剥離現象が著しく進行する現象を確認し、コンクリート構造物にとっては中性化と同様な現象を起こし、耐久性の低下を助長していることについて

検討を行った。

- (3) アスファルト混合物の空隙率が施工時における施工下面の温度や形状、混合物温度、転圧ローラの機種等によって影響を受けることを明らかにし、施工下面と混合物の表面温度から空隙率を推定する実験式を求め、赤外線放射型カメラによる品質管理の必要性を提案した。

本研究では開発した2つのアスファルトの試験結果と現地の亀裂現象と相関の高いアスファルト混合物の熱応力試験結果とを照合し、これらが評価方法として妥当であることを検証した。次に、開発した万能試験機により種々のアスファルトについて曲げ試験を実施し、曲げ強度と破壊時のひずみの関係を示す破壊包絡線を求め、アスファルト混合物との破壊包絡線の対応を引張応力状態の破壊モードで検討した。この結果、アスファルトとアスファルト混合物の各種力学試験における相互関係が明確になり、現道での車両走行時におけるアスファルト舗装の破壊性状を推定し、アスファルト舗装にとってより適正なアスファルト混合物の破壊包絡線の形態を明らかにした。界面活性剤によるアスファルト舗装ならびにコンクリート構造物の損傷については、メチレンブルー活性法によって舗装体内に陰イオン系界面活性剤が存在していることを定量し、NMR分析、IR分析、元素分析によってアスファルトとともにこれら構造物の内部に浸透していることを確認した。この界面活性剤の存在によりアスファルトの剥離現象が著しく進行することを静的、動的剥離試験により評価を行った。アスファルト混合物の空隙率に関しては屋外の2地区で同一の舗装構成、施工機械、施工者によって寒冷期と通常期に試験施工を実施し、両者を比較検討した。アスファルト混合物の施工時における温度は中央部を熱電対、表面を赤外線放射型カメラによって同時に計測し、両者の関係を明確にするとともに、深さ方向の空隙分布の違いを明らかにし、重回帰分析によって施工前、施工時の表面温度と空隙率の相関を検討した。空隙率がアスファルト混合物の耐久性に与える影響は、曲げ試験によって確認を行った。

本研究によって、低温領域におけるアスファルト単体の評価方法を開発し、次のような成果が得られた。

- (1) フラース脆化点試験機を改良した万能試験機ならびに開発した熱応力試験は、アスファルトの低温性状を的確に把握し、アスファルト舗装の亀裂現象を評価し得る有効な方法である。
- (2) 低温領域におけるアスファルトとアスファルト混合物の破壊性状は互いに対応関係にあり、破壊包絡線の形状は著しく異なる3つのタイプに分類される。
- (3) アスファルトまたはアスファルト混合物の力学試験から現道におけるアスファルト舗装の脆化温度を求め、外気温等との相対関係から破壊形態を簡単に分類することができ、また強度や変形量の相対比較を行うことが可能である。
- (4) アスファルト混合物の空隙率は、外気温に著しく影響を受ける施工面の温度とその形状、転圧ローラの種類に著しく依存し、平面的なバラツキのみならず、深さ方向にも大きく異なる。
- (5) ウィンドウォッシャー液中の界面活性剤は、優れた浸透性を発揮して舗装体内に浸入し、低濃度でも著しくアスファルトの剥離を進行させ、コンクリート床版では界面活性剤中の硫酸塩等により中性化と同様な現象が生じ耐久性を低下させている。

これを要するに、著者は、アスファルトの低温領域における新たな評価方法を開発するとともに、現道の外的条件を考慮した実用的方法を提案した。また、アスファルト舗装やコンクリート構造物等の破壊要因について有益な新知見を得ており、土木工学、特に道路工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。