

論文の内容の要旨

長期供用劣化がアスファルトの粘弾性状に及ぼす影響に関する研究

平戸利明

本研究は、アスファルト舗装に含まれる骨材を接着するアスファルトの劣化に関する研究である。アスファルト舗装は、供用期間中に交通車両が走行することによる繰返し載荷からの疲労の累積と紫外線、水、酸素などが原因となる環境劣化により破壊すると考えられている。疲労破壊については理論解析により様々な方法が提案されているが、一方で、アスファルトの劣化の評価は難しく、理論設計に取り入れられていないのが実情である。そこで、本研究では、長野自動車道の現道から採取したアスファルト混合物から抽出したアスファルトと室内で促進劣化させたアスファルトに関してそれぞれスティフネスを計測してそれらの関係について考察した結果、過去のアスファルトと現在のアスファルトとの違い、促進劣化させたアスファルトと現道から採取したアスファルトの違い、さらには、高分子材料で改質したアスファルトとそうでないアスファルトの違いなどに全く依存しない普遍的な劣化指標を提案した。

次に、アスファルト舗装では、舗装表面に車両が走行する箇所がかつ進行方向に縦表面ひび割れというひび割れがある。この現象は弾性体に近いセメントコンクリート舗装では見られず、その発生原因については、ここ数十年、国内外で活発に研究がなされているが、いまだ明確な結論が得られていない。そこで、粘弾性体であるアスファルト舗装の応力緩和性能に着目して、アスファルト混合物に圧縮作用を繰返し与えてその応力とひずみを解析した結果、アスファルト混合物は、その応力緩和性能によって、繰返し圧縮作用だけを受け続けても、疲労によりこの縦表面ひび割れが生じることを明らかにした。

以上、本論文はアスファルト舗装に含まれるアスファルトの長期供用にともなう粘弾性状の変化と粘弾性状に起因するアスファルト舗装特有の縦表面ひび割れのメカニズムを明らかにした。今後は下記の課題について取り組む。

1. アスファルトの劣化特性とアスファルト混合物の疲労破壊の関係を明確にする。
2. 供用されることによるアスファルトの応力緩和性能の変化について検討する。
3. 上記の結果に基づいて、理論設計法の精度を高める。

論文審査の結果の要旨

I. 論文の主題

長期供用劣化がアスファルトの粘弾性状に及ぼす影響に関する研究

II. 当該研究分野における位置づけ

本論文は、高速道路で長期供用されたアスファルト舗装の開削調査の結果と室内における促進劣化試験結果を整理し、アスファルトが示す粘弾性状に着目し、劣化メカニズムを解析している。

アスファルト舗装の破壊は、供用期間中に交通車両が走行することによる繰返し荷からの疲労の累積、あるいは環境劣化に伴うアスファルトの硬化により生じるものと考えられている。アスファルトの劣化は、アスファルトの代表的な性状試験である針入度により評価されているが、針入度ではアスファルトの種類の違いあるいは試験温度による影響を統一的に評価することが難しく、また理論設計でその数値を取り扱うことができない。そこで、理論解析に用いられる様々な弾性率について、現道から採取した試料と室内促進劣化により得られた値を考察し、19年前のアスファルトと現在のアスファルトとの違い、促進劣化させた試料と現道から採取した試料の違いあるいは改質アスファルトと非改質アスファルトの違いに依存しない劣化指標を提案している。提案された劣化評価手法は、学術的に新しい重要な成果を含むとともに、アスファルト舗装材料の評価手法として応用性の高い成果である。

さらに、アスファルト舗装に生じる破壊現象の一つとして、舗装表面に生じる縦ひび割れがある。この現象は弾性体に近いセメントコンクリート舗装における一般的な損傷には見られない。本現象は、舗装厚が薄いもののみならず、厚い高速道路においても生じるとされている。この原因については、タイヤ端部に発生する引張ひずみに起因するもの、あるいは走行車両による曲げ作用により走行軌跡部とは異なる位置で発生することが既往の研究で述べられているが、原因が明確ではないため理論設計に含まれていない。本研究では、粘弾性体であるアスファルト舗装の応力緩和性能に着目し、表面縦ひび割れの発生メカニズムとその要因について検討し、アスファルト混合物は繰返し圧縮作用を受けても疲労ひび割れが生じることを明らかにした。

III. 論文の構成

第1章では、本研究の背景について説明し、関連する既往の研究を概観し、残された課題を整理することで、本研究の目的を設定した経緯について述べている。

第2章では、東日本高速道路株式会社が管理する高速道路において、アスファルト舗装の表面から深さ方向への劣化の影響度を調査した結果、アスファルト舗装の劣化は表面のみならず、アスファルト安定処理路盤にも及んでいること、ポーラス混合物では密粒度アスファルト混合物と比較し、針入度の低下が著しく速いことを明らかにした。

第3章では、第2章で得られたデータを踏まえて、室内試験により促進劣化試験させたバインダとの比較検証を行っている。室内試験の結果、交通荷重や環境負荷により劣化したアスファルトの粘弾性状とアスファルト舗装の破損の関係を整理し、両者の間に高い相関があることを示した。また、アスファルトの粘弾性状としてノモグラフから得られるスティフネスと Dynamic Shear Rheometer (DSR) 試験から得られる各種パラメータを用いて評価した結果、ノモグラフから得られるスティフネスと DSR 試験より得られる複素せん断弾性率には、荷重時間や測定温度に関わらず、非常に高い相関があることが示された。さらに、DSR 試験より得られる複素せん断弾性率と損失せん断弾性率の関係は、バインダの種類、荷重時間、測定温度あるいは現道から採取したアスファルトと促進劣化させたアスファルトに関わらず、非常に高い相関が得られることを示した。

第4章では、アスファルトの粘弾性状とそれを用いた理論設計法によるアスファルト舗装の寿命解析を行い、その適用性について検討した。長期供用されたアスファルト混合物から採取したアスファルトの弾性率を用いて、アスファルト混合物の弾性率を推定し、さらにアスファルト舗装の許容 49 kN 換算輪数を算出した。許容 49 kN 換算輪数の算出方法はいくつか提案されているが、舗装設計便覧に示される方法で算出した結果、アスファルト混合物のひび割れとアスファルトの粘弾性状について一定の相関を示した。

第5章では、アスファルト舗装の表面に生じる縦ひび割れに着目し、ホイールトラッキング試験を改良して、供試体表面に縦ひび割れを再現することで、そのメカニズムについて検討した。試験の結果、ある条件下で、タイヤ直下の表面にひび割れが生じることが分かった。この要因を明らかにするため、圧縮作用と引張作用をそれぞれ繰り返して与え、応力の変化を評価した結果、弾性体に近いセメントコンクリートでは、圧縮作用時には圧縮応力、引張作用時には引張応力がそれぞれ生じるが、アスファルト混合物では、応力緩和するため、作用方向に関わらず圧縮応力と引張応力が交互に生じることが明らかとなった。すなわち、アスファルト混合物は繰り返し圧縮作用を受けても引張応力が生じるため、疲労ひび割れが生じることを明らかにした。

IV. 論文の独自性や成果

本研究の独自性や成果は、アスファルト舗装に含まれるアスファルトに対し、詳細な調査・解析を行い普遍的かつ応用性の高い評価手法を提案したこと、および粘弾性材料であるアスファルト舗装特有の破壊現象のメカニズムについて見解を示しており、理論設計法への適用が期待できることである。

V. 論文の課題

本論文では、アスファルトの劣化に対する評価方法を示したが、今後はその劣化指標と疲労ひび割れの関係を検討すること、また室内試験により明らかにした縦表面ひび割れのメカニズムを理論設計に適用し、その精度を明確にすることが挙げられる。

VI. 論文の評価

本論文は、アスファルト舗装に含まれるアスファルトの粘弾性状について詳細な調査・解析を行った結果、アスファルトの種類や改質、非改質に関わらずアスファルトの劣化を評価できる性能評価方法を提案した。本結果は、理論解析への応用性が期待できる。さらに縦表面ひび割れに関する研究では、アスファルト舗装特有の破壊現象について新たな視点となる応力緩和性能に着目した見解を示しており、その内容には独創性および工学的有用性が認められる。

以上より、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。