HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Mechanical response and damage analysis of asphalt pavement subjected to wheel loads in seasonally cold region [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	SI, Junling
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15678号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91186
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	SI_Junling_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　SI Junling

審査担当者　主　査　教　授　石川 達也
副　査　教　授　西村 聡
副　査　特任教授　藤井 義明

学位論文題名

Mechanical response and damage analysis of asphalt pavement subjected to wheel loads in seasonally cold region
(輪荷重を受ける積雪寒冷地のアスファルト舗装の構造解析手法の提案)

積雪寒冷地のアスファルト舗装は、交通荷重にさらされるだけでなく凍結融解など様々な環境作用を受ける社会基盤施設であるため、舗装損傷の進行が比較的速い。供用初期には、損傷のほとんどが通常舗装表面で見られるものの、老朽化すると路盤・路床で損傷が発生する場合もある。このため、供用後 50 年近くが経過した近年、アスファルト舗装の損傷が表層部のアスファルト混合層から路盤・路床へと進行する懸念が高まっている。したがって、経年劣化が進んだ積雪寒冷地のアスファルト舗装の疲労寿命を正確に予測するには、環境作用に対する路盤・路床の力学的応答を適切に評価する必要がある。この場合、温度変化、含水比変化、凍結融解作用がアスファルト舗装の性能と耐久性に大きな影響を与える特に重要な要因になる。一方、力学的経験的設計手法である現行の理論的設計法 (TPSDM) は、日本のアスファルト舗装の設計に広く利用されるようになってきたものの、例えば、含水状態・凍結融解・応力状態等による路盤・路床の弾性係数の変化を考慮していないなど実現象に即していない点も散見される。このような状況を踏まえ、本研究では、現行の理論的設計法の精度向上を目指し、舗装材料や舗装構造の違いだけでなく環境要因や交通荷重の作用にも影響される路盤・路床の弾性係数の変化を考慮することにより、舗装構造の力学的応答を合理的に評価し、その疲労寿命を正確に予測可能な積雪寒冷地のアスファルト舗装の構造解析手法を提案することを目的とする。

このため、本研究では、まず、舗装応答解析の適用性の向上を目的として、有限要素法 (FEM) を用いて 3 次元応力変形・熱伝導・飽和/不飽和浸透 (THM) 連成解析モデル (力学的経験的舗装構造連成解析:MEPSCA) を開発している。このモデルでは、温度場および浸透場は、両場の相互作用を考慮した双方向連成解析が行われる。他方、応力場については、温度場と浸透場の解析結果に基づき、片方向連成解析として線形弾性解析が行われる。ただし、応力場に用いられる路盤・路床の弾性係数の構成則は、マトリックサクション (飽和度)、凍結融解 (温度)、応力状態 (拘束圧・偏差応力) に依存する非線形弾性モデルが適用されていることから、応力場の平衡状態を満足するまで路盤・路床の弾性係数の分布を変化させながら収束計算が行われる。本研究では、別途行われた試験舗装における舗装構造各層の温度・含水比・剛性の長期計測結果と解析結果を比較することで、開発した力学的経験的舗装構造連成解析 MEPSCA の妥当性を検証している。次に、本研究では、舗装損傷解析の精度向上を目的として、現行の理論的設計法 (TPSDM) で疲労寿命推定に用いられる疲労ひび割れやわだち掘れに対する暫定破壊基準式の修正方法について検討している。疲労ひび

割れおよびわだち掘れによる許容 49kN 輪数は、暫定破壊基準式に舗装応答解析から得られた舗装構造各部のひずみを入力することでそれぞれ計算されるが、本研究では新規開発した MEPSCA の解析結果を利用して疲労寿命推定の精度向上を図るだけでなく、米国の力学的経験的舗装設計手法 (MEPDG) で採用されている計算方法および交通荷重に伴い発生する主応力軸回転によるひずみの増幅効果を考慮して現行の暫定破壊基準式を修正する方法を提案している。また、実路での疲労寿命の調査結果をもとに、実環境における当該修正方法の有用性を確認している。以上の検討結果から、本研究では、舗装材料や舗装構造の違いだけでなく環境要因や交通荷重の作用にも影響される路盤・路床の弾性係数の変化を考慮可能なアスファルト舗装の構造解析および設計手法の開発により、現行の理論的設計法の精度向上、特に積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の疲労寿命予測精度を向上させることができたと結論している。

本論文は 7 章から構成されている。第 1 章では、研究の背景、目的、日本の理論的舗装構造設計法における改善の必要性を紹介した。第 2 章では、路盤・路床材料の弾性係数と塑性変形量の予測モデル、THM 連成解析、主応力軸回転が路盤・路床材料の塑性変形に及ぼす影響について概説した。第 3 章では、舗装構造に及ぼす環境要因の影響を整理し、試験道路における長期計測結果とシミュレーション結果を比較することで、季節変動のような長期的問題に対する THM 連成解析の妥当性を検証した。第 4 章では、アスファルト混合層 (上層路盤) とクラシャーラン (下層路盤) の不飽和浸透特性をモデル化し、室内模型試験結果とシミュレーション結果を比較することで、豪雨時のアスファルト舗装の浸透挙動のような短期的問題に対する間隙空気・間隙水の気液二相流解析の妥当性を検証した。第 5 章では、路盤・路床材料の弾性係数に及ぼす環境要因の影響を評価可能な構造解析手法を確立し、実路における長期計測結果によりその妥当性と適用性を検証した。第 6 章では、路盤・路床の弾性係数を定数から応力状態や複合的な環境要因に依存して変化する弾性係数に置き換えるとともに、疲労ひび割れやわだち掘れに対する疲労寿命の予測式 (暫定破壊規準式) を主応力軸回転の影響などを考慮して修正し、実路における疲労寿命の調査結果によりその妥当性と適用性を検証した。最後に第 7 章では、研究結果を要約し、現行の舗装構造解析・設計手法の改善に関する提言を行い、舗装構造の疲労寿命の予測精度向上について論じた。

これを要するに、著者は、これまで工学的検討が充分なされていなかったアスファルト舗装における路盤・路床の含水比変化および凍結融解に伴う剛性変化を推定可能な応力変形・熱伝導・飽和/不飽和浸透連成解析手法とそれを応用した寒冷地舗装構造設計手法を開発し、凍結融解作用を受ける積雪寒冷地の舗装構造の設計・維持管理方法の合理化に対して貴重な知見を得たものであり、積雪寒冷地に存する社会基盤施設の設計・施工・維持管理の高度化と信頼性の向上を図る上で、舗装工学および寒冷地地盤工学の発展に対して貢献するところ大なるものがある。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。