



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effect of moisture and wheel loads on resilient modulus and permanent strain of road subgrade in cold regions [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	REN, Daoju
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16045号
Issue Date	2024-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92763
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ren_Daoju_review.pdf, 審査の要旨



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 Daoju REN

審査担当者 主 査 教 授 石川 達也

副 査 教 授 西村 聡

副 査 教 授 川崎 了

学位論文題名

Effect of moisture and wheel loads on resilient modulus and permanent strain of road subgrade in cold regions

(寒冷地における水分及び輪荷重が道路路床のレジリエントモジュラス及び永久ひずみに及ぼす影響)

アスファルト舗装は、通常アスファルト混合層・路盤・路床で構成され、車両通行に伴う繰返し交通荷重を支持する構造物である。ただし、経時変化に伴いアスファルト舗装には疲労ひび割れやわだち掘れのような路面損傷が発生し、走行路としての道路舗装の機能が損なわれる。特に、北海道のような積雪寒冷地では、厳冬期の路床等の凍上により路面が隆起してアスファルト混合物層にクラックが発生したり、融解期の融雪水の流入やアイスレンズの融解により含水比が上昇し路床や路盤の支持力が一時的に低下して路面変状が発生したりする。このような寒冷地域特有の現象が、道路舗装の機能の劣化・喪失を早めると考えられている。一般に、アスファルト舗装に対する現行の舗装構造解析・設計手法では、多層弾性解析による舗装の構造解析(舗装応答解析)と経験に基づく舗装損傷解析(暫定破壊規準式による疲労破壊輪数の算定)を行って、アスファルト混合物層の疲労破壊(ひび割れ)と路床のわだち掘れに対する疲労寿命を予測している。しかし、当該手法では、年間を通して路盤や路床の弾性係数を一定と仮定するため、応力状態・含水状態・凍結融解作用などがその変動に及ぼす影響を考慮できない、および路床の永久変形量(わだち掘れ)を予測する暫定破壊基準式の有用性そのものについて主応力軸回転(PSAR)場で検証が必要といった課題がある。

これらの課題を解決するために、本論文では、環境作用(降水・凍結融解)が様々な路床材の動的力学特性に及ぼす影響および路床材の動的力学特性が寒冷地の道路舗装の疲労寿命に及ぼす影響を、環境作用を考慮したレジリエントモデュラス(Mr)及び主応力軸回転と含水状態の相乗効果を考慮した永久ひずみの観点から検討するとともに、それらをもとにした積雪寒冷地のアスファルト舗装の構造解析・設計手法の改良に焦点を当て検討している。ここで、レジリエントモデュラスとは、繰返し荷重に対する舗装構造の剛性や塑性変形量の評価に不可欠な舗装材料の弾性的変形特性を表す指標である。舗装構造解析・設計手法では、レジリエントモデュラスを用いて舗装応答解析を力学的に行って得られる回復ひずみをもとに、舗装損傷解析を実施して経験的に舗装構造の塑性変形量や疲労寿命を算定している。このため、レジリエントモデュラスは、舗装の応答と疲労寿命の予測に極めて重要な役割を果たす。そこで、本論文では、まず2種類の路床土に対して様々な環境条件や荷重条件下で一連のレジリエントモデュラス(MR)試験を行い、路床土の水分特性曲線(SWCC)のヒステリシスや凍結時・融解時の路床に載荷される輪荷重が路床材のレジリエントモデュラスに及ぼす影響を評価した。また、試験結果をもとに不飽和土に対する Bishop の有効応

力を組み込んだ3種類の経験的レジリエントモデュラスの予測モデルを3種類のサクション応力の推定モデルと組み合わせてその適用性を比較し、環境作用(降水・凍結融解)や応力状態を考慮して種々の路床土のレジリエントモデュラスを予測する上で最も実用性の高い予測モデルを提案した。続いて、過去に実施された礫材の多重リングせん断試験の結果をもとに、路盤・路床材の回復ひずみと永久ひずみの関係に及ぼす主応力軸回転と含水状態の影響を評価した。また、試験結果をもとに米国の力学的経験的舗装設計手法(MEPDG)で採用されている永久ひずみの予測モデルの妥当性と信頼性を検証し、主応力軸回転と含水状態の相乗効果を考慮してMEPDGの予測モデルを修正したわだち掘れ(永久ひずみ)の予測モデルを提案した。

本論文は7章から構成され、主にレジリエントモデュラスと永久ひずみの推定の2つに内容を分けて検討している。第1章では、本研究の背景、文献レビュー、研究目的、研究の構成を紹介した。第2章では、保水性試験装置や不飽和凍結融解三軸試験装置など、本研究で使用した試験装置の詳細を説明した。第3章では、様々な試験条件下で行われる保水性試験とレジリエントモデュラス試験の試料と試験方法を説明した。第4章では、種々の試験条件下でのレジリエントモデュラス試験の結果を示し、複雑な環境条件や荷重条件が路床材のレジリエントモデュラスに及ぼす影響について議論した。第5章では、様々なサクション応力推定式とレジリエントモデュラス推定式を組み合わせて、サクション応力に基づくレジリエントモデュラスの予測モデルの適用性を比較検討した。第6章では、わだち掘れをより正確に推定するために、主応力軸回転と含水状態の相乗効果を考慮してMEPDGの予測モデルを修正した永久ひずみの予測モデルを提案した。最後に第7章では、本研究で得られた研究成果をまとめて現行の舗装構造解析・設計手法の改良方法について提言を行うとともに、今後の研究課題を明らかにした。

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、降雨・凍結融解等の環境作用や交通荷重の繰返し载荷が路床材の力学特性に及ぼす影響を様々な種類の路床土に対して定量的に評価する手法を開発し、それに基づき現行のアスファルト舗装の理論的設計方法を改良するための貴重な知見を得たものであり、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。