



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effect verification of wicking fabric on inhibition to frost heave at cold region pavement [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	WU, Yuwei
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15183号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87194
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	WU_Yuwei_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 WU Yuwei

審査担当者 主 査 教 授 石川 達也
副 査 教 授 蟹江 俊仁
副 査 教 授 渡部 要一
副 査 教 授 西村 聡

学位論文題名

Effect verification of wicking fabric on inhibition to frost heave at cold region pavement

(寒冷地舗装の凍上抑制に対するウィッキングファブリックの効果検証)

寒冷地の道路舗装は、舗装面のひび割れなど冬期に深刻な被害を受ける可能性があるが、これは、路床土の凍上現象が重大な路面変形を引き起こし、道路の損傷につながるためである。このため、凍上現象を抑止あるいは抑制することが、寒冷地道路舗装の長寿命化に必要である。その方法の一つとして、凍結部への水分移動を低減することが効果的な方法と考えられている。一般に舗装構造内の路盤・路床土は不飽和であることから、この考え方にに基づき凍結プロセス中の凍上を抑制するために、不飽和土から間隙水を排出可能な新しいジオテキスタイルである、ウィッキングファブリック (WF) が近年開発された。ただし、国内の気象環境あるいは地盤環境に対する WF の有効性は、これまで十分に検討されていない。そこで、本研究では、室内模型実験と数値シミュレーションを実施し、WF の凍上現象抑制効果と国内の気象・地盤環境における適用性について検討している。具体的には、WF を設置した場合と設置しない場合の実験的および解析的研究を実施して、凍結中の不飽和土内の水分移動とそれに伴う凍上量の変化を分析した。まず、様々な試験条件で一次元凍上試験を実施して、土の凍上性に対する冷却速度、土種別、上載荷重、給水条件、初期飽和度などの影響を調べた。さらに、凍結プロセス中の WF の凍上抑制効果を検討するために模型実験を実施した。次に、凍上現象に対する WF の抑制効果を詳細に検討するために、応力変形・熱伝導・飽和/不飽和浸透 (THM) 連成解析モデルを開発した。提案された THM 連成解析モデルは、凍結プロセス中の温度場、水理場、および応力場の間の相互作用を考慮できる。この解析モデルでは、連成関係は、リチャーズ式、質量保存の法則、ナビエ式を組み合わせることで記述され、これらの偏微分方程式は有限要素ソフトウェア (COMSOL) によって数値的に解かれる。THM 連成モデルの妥当性と適用性は、凍上試験結果と数値シミュレーション結果を様々な試験条件下で比較することによって検証された。その結果、凍上量は初期飽和度に比例し、冷却速度と上載荷重に反比例することが明らかになった。さらに、開式条件 (給水有) では、閉式条件 (給水無) よりも大きな凍上量となることが示された。

他方、凍結中の土～WF 間の水分移動と凍上現象を正確に再現するために、WF 蒸発モデルを開発して WF 周囲の境界条件を記述し、WF の吸水・排水プロセスを簡素に表現した。本研究で提案された WF 蒸発モデルでは、WF の排水効率に対する環境条件 (周囲温度、地中温度、および含水比変化) の影響を考慮に入れて土～WF 間の相互作用を模擬しながら、WF の吸排水効果を予測できる。この数値解析モデルの妥当性は、模型実験結果と数値シミュレーション結果を比較することに

よって検証される。また、様々な実験条件(土種別、地下水位、および冷却速度)下で、WFがある場合とない場合の数値シミュレーションを行い、WFの凍上抑制効果に対する実験条件の影響を検討した。その結果、WFを設置した模型地盤は、WFを設置しない場合よりも、同じ実験条件下で凍上量が大幅に少なくなった。さらに、土の種類、冷却速度、地下水位もWFの凍上抑制効果に影響を与えることが明らかになった。特に、WFは、透水性が低く冷却速度が遅く地下水面が低い実験条件で、より効果的な凍上抑制効果を示した。なお、WFの凍上抑制効果の予測にあたり理想的な単純化条件を仮定する既存のモデルでは、実現象へ適用する場合に凍上抑制効果を過大評価する可能性がある。このため、本研究で提案された数値解析モデルの性能と実用性を検証するために、実物大試験舗装におけるWFの凍上抑制効果を数値シミュレーションで検討した。この結果、提案された数値解析モデルでは、乾燥した大気中へのWFの接触面を十分確保することにより、WFが吸水機能と凍上抑制効果を継続的に維持できることが示された。

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不飽和土の凍上現象に適用可能な応力変形・熱伝導・飽和/不飽和浸透連成解析手法と吸水性ジオシンセティック排水材の構成モデルを開発し、それに基づき凍結作用を受ける寒冷地の舗装構造の凍上量予測とその抑制方法に対して貴重な知見を得たものであり、寒冷地特有の実務問題の一つである凍上被害を合理的に解決し、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、寒冷地地盤工学および防災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。