



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Proposal of a constitutive model for the behavior of unsaturated soils subjected to freeze-thaw action [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	羅, 斌
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13792号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75928
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Luo_Bin_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 羅 斌

審査担当者 主 査 教 授 石川 達也
 副 査 教 授 渡部 要一
 副 査 教 授 藤井 義明
 副 査 准教授 西村 聡

学位論文題名

Proposal of a constitutive model for the behavior of unsaturated soils subjected to freeze-thaw action
(凍結融解作用を受ける不飽和土の挙動解析に対する構成モデルの提案)

北海道のような積雪寒冷地においては、凍結融解に伴う土木構造物の破壊・損傷が頻繁に発生する。凍結融解作用は、地盤材料を劣化させることになるため、路盤、路床、道床、盛土・切土斜面など地盤材料で構成される層を有する道路、鉄道、パイプラインなどのインフラストラクチャーは、その本来の要求性能を凍上・融解沈下によって損なうあるいは低下させることになる。この際、地盤凍結工法などの地下水面以下の地盤深部で凍結する場合と異なり、自然凍結条件下の地盤は、ほとんどの場合、凍結前、地表近くで不飽和状態にある。このような不飽和土の凍結融解現象は、寒冷地における社会基盤施設の設計・施工・維持管理に携わる研究者・技術者にとって関心の高い研究対象であるにも関わらず、未だ十分な解明がされていない。この際、土は液体(水)で土粒子間空隙が完全あるいは部分的に満たされた多孔質材料であるため、土粒子間空隙内への水分の浸透挙動と土の力学的挙動は相互に影響を及ぼしている。さらに、この土粒子と間隙水の相互作用は、氷点下の温度では、間隙水の相変化を考慮する必要があるため、挙動はより複雑になる。したがって、凍結融解作用を受ける不飽和土の挙動を予測するには、応力変形・熱伝導・飽和/不飽和浸透連成 (THM) 解析を実施することが望ましい。

そこで、本論文では、不飽和土の凍結融解挙動、特に凍上・融解沈下挙動の数値モデリング方法の確立に焦点を当て検討している。このため、第3章では、まず、水～氷の相変化、凍結による透水性の低下、および実験式に基づく凍上・融解現象のモデル化方法について提案し、第4章では、提案したモデルの有用性を検証するため、当該モデルを組み込んだ二次元 FEM 解析手法により飽和土の凍上試験やボックスカルバート上にある舗装構造の凍上現象の数値シミュレーションを行った。この結果、実現象を充分再現できない点はあるものの、実用上支障のないレベルで飽和土の凍上・融解挙動や舗装表面の凍上・融解沈下および地盤内部の応力変化を予測可能であることを示した。第5章では、上記モデルの課題を解決し不飽和土へ適用範囲を拡大するために、凍土の不凍水分量の温度依存性を表す不凍水量曲線 (SFCC) を、不飽和土のサクションに起因する凝固点降下を考慮して水分特性曲線 (SWCC) に基づいてモデル化するとともに、氷晶分離凍結に伴う体積変化傾向の計算手法の改善や、凍上方向と融解沈下方向の独立制御の組込を実施して、モデルの支配方程式が凍結・融解過程における土の非線形特性(主に熱特性、浸透特性)を充分考慮可能なように改良した。さらに、不飽和土の凍上試験や斜面の凍上・融解沈下現象の数値シミュレーションを行い、改良したモデルの適用性・妥当性を検証した。

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不飽和土の凍上・融解沈下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を開発し、それに基づき凍結融解作用を受ける寒冷地の土構造物の変形挙動予測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。