



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on a practical frost heave estimation with a combined thermal-hydraulic and mechanical simulation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	鄭, 好
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11617号
Issue Date	2014-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57721
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Zheng_Hao_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 鄭 好

審査担当者 主 査 教 授 蟹江 俊仁
副 査 教 授 横田 弘
副 査 教 授 石川 達也

学位論文題名

Study on a practical frost heave estimation with a combined thermal-hydraulic and mechanical simulation

(温度・流体および力学連成シミュレーションによる実用的な凍上評価法に関する研究)

極寒冷地の開発において、凍結凍上問題は常に大きな技術的課題のひとつとなる。本研究の目的は、凍結凍上に伴う様々な工学的課題を解決するために、凍上予測を含めた地盤と構造物との熱力学的相互作用に対して、実用的な数値解析モデルの提案を行おうとするものである。本研究において対象となるモデルは、熱伝導解析、地盤構造物連成応力解析、ならびに地下流動解析のすべてが包括的かつ同時に考慮されなければならない。たとえば、凍上とそれに関連する一連の物理現象である、凍結融解領域の評価や凍上量そのもの、あるいは融解に伴う地下水流動が誘発する地形浸食、凍結凍上に伴う圧力分布の変化などを評価・予測することに資する解析の手法の確立である。著者はその手法がシンプルかつ実用的なモデルであることを求め、既存の基準に適用されている汎用性の高い物性パラメータのみを用いて評価できるような手法の提案を行った。

第一章では、凍上現象に関わる研究に至った背景と、それに関わる技術的な課題が説明されている。特に、昨今の人口の増加とエネルギー消費量が飛躍的に増大するライフスタイルの変化の中で、極寒冷地を含む地域の持続可能な開発の必要性が示された上で、凍上に関わる様々な現象がもたらす極寒冷地域開発の課題が述べられている。

第二章では、これまでの凍上関連の研究について、その経緯と研究内容についてのレビューがなされている。実際、これまでも、凍上現象そのもののメカニズムを説明するような幾多の理論が提案されてきており、物理現象としての理論的な説明は行われてきたものの、現在でも十分に説明ができない点も指摘されている。本章では、その中でも有力ないくつかの凍上理論を紹介するとともに、実大実験を含む実験成果についても言及した上で、実用の場面での採用実績が多い高志の式を取り上げ、凍上予測手法として採用した経緯が述べられている。

第三章は、高志の式における凍上予測に凍結速度が要求されることから、熱伝導解析に関わる研究成果がまとめられている。ただし、飽和した地盤内における熱伝導問題は、含有水分の移動による熱移流の発生も考えられるため、その効果の有無も含めて慎重に議論がなされている。また、凍結・融解作用に伴う潜熱の取り扱いについても、等価比熱法による評価手法に言及した上で、凍上量評価に重要な凍結方向と凍結速度の同定手法まで明示し、その効果の程度が有限要素法により定量的に比較検討されている。

これに続く第四章では、高志の式における凍上予測において必要とされるもうひとつのパラメータである有効拘束圧の評価にあたり、凍結膨張による応力分布を求めるための力学モデルについて

まとめられている。支配方程式の導入から有限要素式への展開も含め、凍結方向における有効拘束圧の計算や凍上による膨張がもたらす応力分布への影響について検討が行われている。

第五章では、未凍結地盤の応力・ひずみ関係の非線形性に対する検討も行っている。なぜなら高志の式は、凍結面における有効拘束圧力に反比例する形で凍上量が評価されるため、有効拘束圧力の評価が極めて重要な因子であるからである。もし、地盤のひずみと応力が線形関係にある場合は、ひずみ増加に応じて応力も増加し、凍結凍上量は抑制される方向となる。一方、地盤のひずみと応力の関係が非線形領域に入った場合、ひずみの増加に伴う応力の増加が抑制されるため、凍結凍上は促進されることとなる。このため、未凍結土に対して軸差応力に応じた弾性係数の低下を考慮した Duncan and Chang の式を適用することとし、地盤の力学特性が凍上量予測と地盤内応力分布に対して与える影響を定量的に評価した。

第六章では、地盤内での地下水流動解析について検討を行っている。特に融解に伴う地下水の流動がもたらす熱の移流問題を評価するため、地盤内の含水量に応じた熱容量をパラメータとして導入し、飽和土ならびに不飽和土中での地下水流動に伴う温度変化を考慮した。このような解析は、永久凍土の融解や極寒冷地の開発行為に伴う温度分布の変化に伴う地形変化を見るために有効な手法と考えられる。

第七章では、これらの熱伝導、応力ならびに地下水流解析を組み合わせたシミュレーション解析結果に基づき、本手法の妥当性と適用性について整理するとともに、今後の研究の方向性についても知見が示されている。

これを要するに、著者はこれまで工学的な評価が困難であった凍結凍上に起因する地盤と構造物との熱力学的相互作用問題に対して、実用性に優れた挙動評価手法を提示した上で、今後の極寒冷地域を対象とした構造物の設計方法や安全性の評価に関する貴重な知見を得たものであり、構造工学ならびに寒冷環境工学の発展に対する貢献大なるものと認められる。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られる。