HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地盤凍結工法における土の凍結膨張対策に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	小椋, 浩
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15367号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89386
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroshi_Ogura_review.pdf, 審査の要旨

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　小椋　浩

審査担当者　主　査　教　授　蟹江 俊仁
副　査　教　授　石川 達也
副　査　教　授　渡部 要一
副　査　教　授　川端 伸一郎　（北海道科学大学）

学位論文題名

地盤凍結工法における土の凍結膨張対策に関する研究
(Study on Measures against Freeze Expansion of Soil due to Ground Freezing Method)

地盤凍結工法は, トンネル工事等における掘削防護のための地盤改良工法の一つである。しかし, 粘性土地盤をはじめとする一部の土質条件下では, 大きな凍結膨張圧の発生や凍上による変位増大により, 周辺構造物や地表面に多大な影響を及ぼす可能性も懸念されている。凍結膨張に起因する凍上問題, 凍結膨張圧問題が予想される場合には適切な対策が必要となるものの, これまで現場においてはさまざまな対策が対症療法的に用いられてきた経緯がある。このような実情に対し, 本研究はこれらの凍結膨張対策の効果に物理的・数理的な裏付けを与えるとともに, 合理的な設計方法および管理方法の提案を図ったものである。

第 1 章においては本研究の背景と目的, 本論文の構成について記述している。

第 2 章では地盤凍結工法とその課題ともなる地盤凍結工法の原理を説明した上で, 地盤凍結工法を適用する場合の適用目的, 国内外での適用の歴史, 施工事例の分析を行った。地盤凍結工法の課題として, 凍土壁の熱管理や地下水流の影響, 解析手法の課題を挙げるとともに, 凍土壁の力学的強度設定についても詳述している。また, 凍結膨張とその影響の予測, 凍結膨張対策の合理的設計について説明を行いながら, 予想される課題を体系的に整理することにより, 本研究の主題である凍結膨張対策の合理的設計法確立の重要性に言及している。

第 3 章では凍結膨張圧対策の現状と課題と題して, まず土の凍結膨張メカニズムとその影響の予測方法について記述している。地盤凍結工法において重要なことは, 適切な物性評価に基づく凍結膨張量の予測と, 周辺地盤での凍上変位や凍結膨張圧の評価である。このため, まず室内凍上試験と現場での凍結膨張予測としての凍上試験方法の概要説明, 試験結果の紹介と凍結膨張率の現場への適用方法を示している。次に地表面及び地下埋設物への凍上の影響検討方法としての三次元凍上変位計算法や近接構造物への凍結膨張圧の影響検討方法としての高志の円筒理論を取り上げ, 凍上変位の影響, 凍結膨張圧の影響等について過去の事例に対する事象の具体的分析を行った。これらを踏まえ, 凍結膨張変位の吸収による対策と, 温度管理がもたらす凍土厚増加抑制による対策の位置づけを明確に示している。

第 4 章では膨張変位吸収による凍結膨張圧低減効果とその合理的設計法についての提案と検証を行っている。膨張変位吸収による膨張対策には, 地山抜取方式, 膨張対策溝方式, 砂置換帯方式などが過去において施工されており, これらの課題を示した上で, 膨張変位吸収の効果予測手法の提案を行った。地山抜取方式での予測手法は, 過去に行われた抜取り孔の実験を元に抜取り孔の開孔率や

抜取り孔の配置形状による抜取り孔の崩壊開始圧力, 崩壊完了圧力を求め, この方式による膨張圧低減の予測手法を提示した。膨張対策溝方式での予測手法に対しては, 対策溝が凍結前の土圧に対して崩壊をせず, 凍結膨張圧作用時に膨張対策溝が崩壊する残存率を導出する検討を行った。一方, 砂置換帯方式での予測手法においては未凍結の周辺地盤の変形係数と砂置換帯の変形係数, ならびにその大きさから合成地盤としての変形係数を求め, 砂置換帯に求められる性能に合わせた合理的な設計方法を提案した。これらの研究成果を検証するために, 実際の凍結工事現場における予測・管理結果との比較を行ない, いずれの場合においてもそれぞれの発生事象を的確に説明できる結果となり, 提案した予測手法の有効性が検証された。

第 5 章は温度管理がもたらす凍土厚増加抑制による対策として, 凍結範囲の外側に温水管を列状に配置し, 循環する温水により加熱をすることで, 凍土維持期間中の凍土の増加を抑える方法 (以下, ヒートフェンス方式) の合理的設計法について検討を行った。このヒートフェンス方式の凍土厚制御においては, 凍結を促進させる凍結管と, 凍結を抑制させる温水管の配置設定が重要な上, 凍結領域を的確に予測するための熱解析手法の適用が必要となる。本研究では, 凍結管列と温水管列の間に存在する平衡凍土面に着目した実用的熱解析手法である平衡凍土面法の適用範囲とその精度についての検証を行い, 実用的な適用方策を提言するに至った。その結果, ヒートフェンス方式による凍土厚制御と凍上量抑制効果の妥当性が確認されることとなった。

以上, 本研究成果により, 凍結膨張対策の実用的かつ合理的な設計手法と管理方法が提案された。これを要するに, 著者は凍結工法における凍結膨張対策に関する新たな知見を得たものであり, 地盤凍結工法の実用性の向上と応用性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。