



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	凍結融解作用による損傷を有するRCはり部材の3次元非線形有限要素解析〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	金澤, 健
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13214号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/69971
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takeru_Kanazawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 金澤 健

学 位 論 文 題 名

凍結融解作用による損傷を有する RC はり部材の 3 次元非線形有限要素解析

(Three-dimensional Non-linear Finite Element Analysis of RC Beams Damaged by Freeze-thaw Action)

繰返し温度変化による凍結融解作用は、セメント硬化体中の水分が凍結・移動・融解を繰り返すことで微細なひび割れが蓄積し、複合材料としてのコンクリート強度とヤング係数を低下させる現象である。積雪寒冷地では、凍結融解作用により、既設構造物の安全性が著しく損なわれる事例が多く報告されている。このような構造物に対する維持管理は、残存耐力に代表される構造性能に基づいて行われる必要があるが、そのために必要な技術が確立されているとは言い難い状況にある。橋梁に着目すると、2014 年より 5 年に 1 度の点検が義務付けられてから、2017 年 7 月現在で、緊急措置が必要であると判断されたものの内、1/3 以上で未だに対策が決まっていないのが現状である。それゆえ、著しい損傷を有する橋梁に対して合理的な対策を提供できる耐力予測技術が、まさに今、社会に求められている。しかしながら、RC 部材の耐力や破壊形式は、凍結融解作用による損傷の空間的な分布に大きく左右されるため、目視に基づく点検や適用範囲が狭い実験式では、正しい耐力予測は困難である。そこで本研究では、3 次元非線形有限要素解析（非線形 FEM）を利用し、損傷域の異なる鉄筋コンクリート（RC）はり部材を対象に、その力学的挙動を評価可能な解析手法を構築する。

凍結融解作用により無筋コンクリートに生じる損傷は、20 世紀前半から世界的に注目され、これまでに数多くの知見が蓄積されてきた。しかしながら、最も精緻な手法と言える非線形 FEM にそれらの知見を取り入れても、損傷の分布によって異なる RC はり部材の耐力や破壊形式の変化を捉えることはできない。その理由は、鉄筋の存在と凍結融解作用による損傷の関連性が、これまでほとんど議論されてこなかったことにある。非線形 FEM による的確な耐力予測には、損傷の影響を適切に考慮可能な材料構成則の構築、および部材内部の損傷領域のモデル化が必要不可欠であるが、これらを考慮した部材解析の試みは世界的にもまだ報告されていない。本研究の特徴は、鉄筋の存在により、損傷域と RC 要素の力学的応答双方に生じる異方性を明らかにし、そのいずれをも考慮可能な構造解析手法を開発するという点にある。

本論文は全 5 章から構成されており、材料構成則の構築（第 2 章）および損傷領域のモデル化（第 3 章）を行った成果を取り入れた非線形 FEM を用いて、第 4 章において損傷域の異なる RC はり部材の解析を行い、実験結果との比較により、構築した解析手法の妥当性を検証する。以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、序論として、著しい損傷を有する既設土木構造物を取り巻く社会的課題、およびそれに関連する既往の取り組みを整理し、未解決な点を明らかにした上で、本研究の目的を示した。

第 2 章の主たる内容は、凍結融解作用を与えた RC 要素試験の結果に基づく、圧縮劣化構成則お

よび鉄筋とコンクリート間の付着劣化構成則の構築である。圧縮劣化構成則の構築では、鉄筋比の異なる RC 要素の 1 軸圧縮試験結果から、損傷の進行方向と圧縮力の作用方向との関係性によって力学的応答が大きく左右されることを見出し、それを評価可能な力学モデルを定式化した。付着劣化構成則の構築では、RC 角柱要素の 1 軸引張試験に基づいた付着劣化機構を、既往の構成則に基づいて考察することにより、実験定数を含まない合理的なモデリングを達成した。また、両構成則に関して、要素試験結果との比較検討を通じて、その妥当性や適用範囲を明らかにした。

第 3 章の主たる内容は、凍結融解試験中における熱水分の伝達と、部材中の損傷領域とを関連づける手法の構築である。損傷度の指標として、コンクリート内部組織の緩みを表す物理量である膨張ひずみを採用し、非線形 FEM にその膨張ひずみを初期ひずみとして考慮することで 3 次元的な損傷分布を予測する方法を提示した。この方法は、1 凍結融解サイクルあたりに生じる損傷度の大きさを決定づける主要因として凍結融解試験中の最低温度に、鉄筋に対する損傷の方向性を決定づける要因として鉄筋比にそれぞれ着目し、第 2 章における RC 要素試験の結果から、鉄筋比ごとに凍結融解サイクル数と膨張ひずみとの関係を見出した上で、熱伝導差分解析によって凍結融解試験中の部材内最低温度分布を予測するものである。最終的には、損傷域に存在する鉄筋の有無により、任意の温度履歴を受けた RC はり部材に生じる損傷性状の差異の再現に成功した。

第 4 章の主たる内容は、第 2 章と第 3 章の成果を利用した、非線形 FEM による RC はり部材の力学的挙動の評価である。この評価の特徴は、損傷域に存在する鉄筋の有無によって、初期ひずみ状態と適用される材料構成則が異なるため、部材の力学的応答に及ぼす損傷の異方性の影響が考慮される点にある。解析を通じて、損傷域が大きく鉄筋位置にまで達する場合には、鉄筋の存在を前提とした材料構成則と損傷領域評価双方を適用することで、耐荷力と部材剛性が低下し、より実挙動に近い結果が得られることを明らかにした。さらに、構築した解析手法は、損傷の分布により設計時の想定と異なる破壊形式が観察される場合にも、それを概ね予測可能であることを示した。

第 5 章では、本研究から得られた結論を総括した。