

2022年 8月 24日

豊橋技術科学大学長 殿

建築・都市システム学 専攻

学位審査委員会

委員長

浅野 純一郎



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Mekaoui Nabil		学籍番号	第 199503 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 建築・都市システム学 専攻	
博士学位論文名	Artificial Intelligence-Based Optimization of Structural Parameters to Simulate the Seismic Behavior of Buildings (人工知能を用いた構造パラメータの最適化による建築構造物の地震時挙動シミュレーション)			
論文審査の期間	2022年 7月 14日 ~ 2022年 8月 19日			
公開審査会の日	2022年 8月19日	最終試験の実施日	2022年 8月19日	
論文審査の結果※	合格		最終試験の結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	中 澤 祥 二			
委 員	齊 藤 大 樹		松 井 智 哉	
		印		印
		印		印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文では、AI（人工知能）技術を用いた構造パラメータの最適化手法として、建物の構造パラメータや非線形ヒステリシス挙動を推定する手法の開発と、機械学習モデルを組み込んだ建築構造物のハイブリッド耐震解析技術を開発するものである。

第1章では本論文の背景と目的を述べている。

第2章では、強震観測データから建物の構造パラメータを推定する手法として、応答曲面法とベイズ推定法を用いた最適化手法を開発し、豊橋市内の3棟の実建物で検証を行っている。また、既存のオンライン耐震診断システムに組み込むことを視野に入れ、最適化手法の精度と速度を検証している。

第3章では、免震建築物を対象に、免震層の非線形ヒステリシス挙動を予測する深層学習ネットワークを開発し、上部構造の数値モデルを組み合わせたハイブリッド耐震解析技術を開発している。免震層と上部構造の双方に解析モデルを設定した地震応答解析結果と、免震層だけを機械学習モデルとしたハイブリッド解析結果を比較し、精度を確認している。第4章では、兵庫県三木市の実大震動台（E-ディフェンス）で行われた5階建ての免震建物の振動台実験から得られたデータを用いて、鉛入り積層ゴム支承（LRB）と三段振り子支承（TPB）の2つの免震装置の機械学習モデルを作成し、複雑な非線形ヒステリシス挙動を予測可能であることを示している。また、上部構造を質点系モデルとし、免震層に機械学習モデルを用いたハイブリッド地震応答解析を行い、実験結果と比較している。

最後に、第5章において、研究成果のまとめと提言を示している。

審査結果の要旨

近年、建物内に地震計を設置し、地震の際に地震計の記録から建物の健全性を診断する技術の開発が進められている。その際、建物の剛性や減衰などの構造パラメータを正しく設定する必要がある。また、免震装置や制振装置を建物に設置する場合には、個々の装置の非線形ヒステリシス挙動を正しく把握する必要がある。いずれも構造図面や実験結果をもとにモデル化がなされるが、その精度には限界があるのが現状である。

本論では、AI（人工知能）技術を応用し、建物の構造パラメータや免震装置の非線形ヒステリシス挙動の推定手法の開発を行っている。さらに、免震装置の機械学習モデルと上部構造の数値モデルを組み合わせたハイブリッド耐震解析技術の開発を行っている。主要な研究成果は、以下のように要約できる。

- 1) 強震観測データから建物の構造パラメータを推定する手法として、応答曲面法と機械学習のベイズ推定法を用いた最適化手法を開発し、豊橋市内の3棟の実建物で検証を行うことでベイズ推定法の優位性を明らかにしている。提案する最適化手法は、既存のリアルタイム耐震診断システムに組み込むことができるなど、高い実用的価値を有している。
- 2) 免震建物の振動台実験から得られたデータを用いて、2つの免震装置の機械学習モデルを作成し、非線形ヒステリシス挙動を精度よく再現している。適切な学習データを用いることで、従来の数値モデルでは再現不可能なレベルの精度を実現しており、高い学術的価値を有している。
- 3) 免震装置の機械学習モデルと上部構造の数値モデルを組み合わせたハイブリッド耐震解析技術の開発し、数値シミュレーションによりその精度を確認している。これまでに前例のない新しい解析手法であり、新規性が高く、耐震技術の高度化に寄与する高い学術的価値を有している。

以上、本論文は、AI技術を応用し、建物の構造パラメータや非線形ヒステリシス挙動を迅速で精度よく推定する手法を開発し、さらに、従来の数値モデルと機械学習モデルを組み合わせたハイブリッド耐震解析手法を提案しており、研究成果には学術的な新規性と実用性が認められることから、博士（工学）の学位論文に相当するものと判断した。