

## 審査の結果の要旨

氏名：楊元植

本論文は「ニューラルネットワークによる履歴推定手法を利用したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験手法の開発に関する研究」と題し、ニューラルネットワークを利用した新たな構造耐震実験手法の提案とその実現可能性を解析的・実験的検討により論じたもので、本論6章と付録3章より構成される。

**第1章「序論」**では、構造物の地震応答を対象とした実験手法のひとつであるサブストラクチャ・オンライン地震応答実験は、実験の省力化や試験体の縮尺率の緩和がはかれるとともに破壊過程を詳細に観察・追跡可能である一方で、従来の手法では載荷実験対象以外の履歴特性は数学モデルに置換されるため、その履歴特性があらかじめ明確でない場合には、その載荷対象以外の部位についてはオンライン実験手法の最も重要な特徴、すなわち載荷実験で得られた履歴特性を解析部分にリアルタイムに反映しうる利点、を十分に活かせていない実情を述べている。またモデル化に起因する誤差により、対象構造物の真の応答が実現されない問題点を指摘し、これらの解決策としてニューラルネットワークに着目し、載荷実験から時々刻々得られるデータをリアルタイムに反映した履歴推定手法に基づく新たな実験手法を提案している。さらに、ニューラルネットワークに関連のある既往の研究事例を紹介し、本研究で目指す実験手法の実現には、これらの従来の研究事例を単に適用するのではなく、本実験手法に適したネットワーク構築のためのアルゴリズムを新たな発想に基づき開発する必要性を述べている。

**第2章「階層型ニューラルネットワーク」**では、本研究で用いる階層型ニューラルネットワークの基本概念とその学習アルゴリズムであるBP (Back Propagation) 法とWL (Whole Learning) 法を紹介し、入力データの基準化範囲がネットワークの推定精度に大きな影響を与えること、WL法がBP法よりも学習精度が高く学習時間も短いことを示し、本研究で対象とする非線形履歴の推定に適した基準化範囲と学習アルゴリズムを設定している。

**第3章「階層型ニューラルネットワークを用いた弾塑性地震応答解析」**では、ニューラルネットワークによる非線形履歴の推定手法をサブストラクチャ・オンライン地震応答実験に適用することを目的として、時々刻々増加する学習データをニューラルネットワークがリアルタイムに効率よく学習するための入力層データの成分およびその基準化方法、ニューラルネットワークの再学習時における初期結合係数の設定方法などを提案し、これらが学習精度と学習時間に与える影響を詳細に検討することにより、本章での提案が本研究で目指す実験手法の実現に利用可能な実用的アルゴリズムであることを示した。

**第4章「従来の手法に基づくオンライン地震応答実験」**では、本研究で提案する新たな実験手法の実施に先行し、2層建物を想定した2質点せん断系のオンライン地震応答実験およ

びサブストラクチャ・オンライン地震応答実験を従来の手法に基づき実施し、その実験結果を整理することにより、ニューラルネットワークの履歴推定手法を利用したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験の実現可能性および従来の手法に対する優位性を確認するための基礎資料を収集している。

**第5章「ニューラルネットワークを用いたサブストラクチャ・オンライン地震応答実験」**では、第4章の実験対象と同様の2層建物を対象として、第3章で提案したニューラルネットワークを用いたサブストラクチャ・オンライン地震応答実験を実施し、本研究で新たに提案したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験が実現可能であることを実験的に確認している。

**第6章「結論と今後の課題」**では、本研究で得られた結果を総括するとともに、今後も引き続き検討すべき課題について記述している。

以上のように、本論文は、従来数学モデルにより推定することが通例であったサブストラクチャ・オンライン地震応答実験手法における載荷実験対象以外の部位の履歴特性をニューラルネットワークに基づき推定し、これを反映した地震応答解析と併用することにより、架構全体の地震応答性状を評価するための新たな実験手法を提案したものである。ここで提案した手法は、単に既往の研究事例に見られるような事前に構築されたネットワークを用いるアルゴリズムではなく、載荷実験で得られる結果をその実験の進行とともに時々刻々と学習したニューラルネットワークに基づきリアルタイムで推定する新たなアルゴリズムを提案・実現している点で、従来の研究事例とは明確に一線を画しており、さらにその実現可能性について解析的検討のみならず実験の実現に成功した点に特徴があり、その成果は耐震工学の発展に寄与するところが極めて高いと考えられる。よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認める。