

## 審査の結果の要旨

氏名 潘 浩然

潘浩然氏から提出された「Capacity curve derivation using Wavelet Transform Method for building damage evaluation with limited number of accelerometers（日本語題名：少数の加速度計を用いた高層建物のWavelet変換による性能曲線算出法に関する研究）」では、近年注目されつつある構造モニタリング技術を建築構造物に適用し、巨大地震直後に建物の継続利用性やその安全性を比較的早期に判定するシステムの提案を行っている。地震直後には、十分な性能が残っていない建物に対しては立ち入りを禁止するなどして二次被害を防止し、十分な性能が残っている建物には継続利用を促して避難者数を減らすために、早急に建物の被災度を判定する必要がある。既に「応急危険度判定」および「被災度区分判定」として制度化されているが、技術者の目視に拠っており、膨大な時間を要するとともに、「要注意」という玉虫色の判定が多くなるのが現状である。そこで本論文では、2000年に建築基準法の構造計算方法の一つとしても採用された「等価線形化法」を援用することによりその被災度判定の自動化を達成することを目的としている。具体的には、建物に設置した加速度計による記録を用いた等価線形化法の定式化と、最適なセンサー設置階の検討を行い、既往の振動台実験データを用いてその有効性を確認している。さらに、数値解析と振動台実験結果を用いて現行の被災度区分判定との比較を行い、提案技術の実用可能性を確認している。

本論文は7章から構成されており、各章の内容は以下のとおりである。

第1章では、本研究の背景・目的および方法が具体的に述べられている。

第2章では、観測された加速度記録から、建物の非線形挙動を表す「性能曲線」を算出する方法が提案されている。ここでは、ノイズや高次モード成分も含まれる加速度応答値から、主要な応答成分である1次モード成分を抽出するため、Wavelet変換を用いる方法を提案している。ここで、性能曲線とは、建物の非線形挙動を等価な1自由度系に縮約した時の力と変形の関係である。まず、この主要成分の抽出方法を一般的なバンドパスフィルターを用いた場合と数値解析モデルを用いて比較している。その結果、バンドパスフィルターはその境界周波数の設定に精度が大きく依存するものの、Wavelet変換を用いる場合は境界周波数を設定する必要はなく、安定して精度よく主要成分を取り出せることを示している。更に、強非線形状態での精度を確認するため、既往の実大3層建物を用いた振動台

実験を用いて検討している。更に、60m の鉄塔での実地震応答観測記録を用いた検討から、得られた性能曲線は伝達関数から求めた鉄塔の周期と精度良く対応していたことを示している。

第 3 章では、センサーを設置していない階の加速度推定方法と、最適なセンサー配置を検討している。センサーの価格は低下してきているものの、特に高層建物では全層に加速度計を配置することは極めて困難である。既往の研究では、一般的には振動モードを予め検討し、そのモード形に応じてセンサー設置階を決定している。しかし、実建物に設置する場合は、あらかじめモード形を検討することが困難な場合もある。そこでセンサー非設置階の加速度推定に区分 3 次多項式補間法を用いる方法を提案している。提案手法の精度を 3 つの数値モデルに対する、いくつかの入力レベルでの 3 つの地震波形を用いて解析的に検討するとともに、3 つの振動台実験を用いた実観測についても検討している。その結果、全体崩壊形を示す今日の建物に対しては、センサーは等間隔で配置するのが良く、28 層程度でも 4 台程度の加速度計があれば充分であることを示している。

第 4 章では、8 階建て鉄骨鉄筋コンクリート実建物を対象に、2011 年東北地方太平洋沖地震での観測記録を用いて、性能曲線を用いた被災度自動判定を試みている。更に、実大 6 層振動台実験を用いて、比較的非線形性の高い建物応答を対象にして、同じく性能曲線を用いた被災度判定を試み、適正に評価できたことを示している。また、6 階建て数値モデルを用いて、既往の被災度区分判定手法による被災度と提案手法による被災度の比較を行っている。既往の被災度区分判定手法は、主として柱や壁といった鉛直部材の損傷度を基に、建物全体の残存耐震性能率  $R$  を計算し、その被災度を判定する。入力レベルを変化させることにより、検討解析モデルに様々な被災程度を生じさせて比較したところ、両者の被災度判定結果はほぼ同じとなったことを示している。

第 5 章では、本論文の結論と今後の課題がまとめられている。

以上のように、本論文は建築構造物を対象とした、地震による建物の損傷度をセンサーを用いて即時に判断する技術の開発とその普及促進を図るための研究として貴重な成果が得られている。

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られる。