

既存集合住宅における単一加速度センサと サロゲートモデルを用いた全階応答推定法の検討

Estimation of Multi-Story Response Using Single Accelerometer Record and Surrogate Models
in Existing Residential Buildings

扇谷匠己¹⁾, 金子健作²⁾, 猿渡智治³⁾, 北原史也⁴⁾

Narumi Ougiyama, Kensaku Kaneko, Saruwatari Tomoharu and Fumiya Kitahara

1) 博(工) 株式会社長谷工コーポレーション 技術研究所 (〒206-0034 東京都多摩市鶴牧3-1-1,

E-mail: narumi_ougiya@haseko.co.jp)

2) 博(工) 大阪公立大学 講師 (〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号杉本キャンパス,

E-mail: kanekok@omu.ac.jp)

3) 株式会社JSOL エンジニアリング事業本部 (〒550-0001 大阪府大阪市西区土佐堀2-2-4 土佐堀ダイビル,

E-mail:saruwatari.tom@jsol.co.jp)

4) 株式会社長谷工コーポレーション 技術研究所 (〒206-0034 東京都多摩市鶴牧3-1-1,

E-mail: fumiya_kitahara@haseko.co.jp)

This study aims to improve the reliability of the SHM system capable of estimating the response of each floor based on single-point records, we attempted to estimate the response of all floors using deep learning for existing residential buildings where strong motion observations have been conducted. Additionally, we examined the accuracy of the response estimation by comparing it with the building's strong motion observation records. As a result, within the range of small amplitude considered in this study, it was confirmed that the maximum response acceleration of each floor can be estimated with sufficient accuracy from the records of the acceleration sensor on the top floor.

Key Words : Deep Learning, IoT Accelerometer Sensor, Strong Motion Observation, Reinforced Concrete Structure

1. はじめに

地震発生時には、余震による二次災害を防止するため応急危険度判定を速やかに行なうことが極めて重要である。この判定は通常、調査員が一軒ごとに目視で調査を行っており、その人数的制約から地震発生後に数週間から数か月を要することが多い。この課題に対する解決策として、建物内に加速度センサ等を設置し、地震時に得られるデータを活用する構造ヘルスモニタリング（SHM）システムが有効となる。

一般的なSHMシステムは、加速度センサを用いているものが多い。近年ではICT技術の進歩によりサーボ型加速度センサよりも安価なMEMS型加速度センサが開発されている。しかしながら、加速度センサを複数個使用するSHMシステムでは、普及するほど安価とは言えないのが現状である。そこで、SHMシステムに使用する加速度センサを一台に限定できれば、設置にかかる費用や施工性、導入費用が改善されることで費用対効果が大きくなるため普及促進の一助になると考えられる。

一台の加速度センサから得られる加速度記録に基づいて非計測階の応答を推定する方法は幾つか提案^{例えば1)}されており、機械学習による方法もある^{例えば2)}。

本研究では、単点記録に基づく各階の応答推定が可能

なSHMシステムの信頼性向上を目的として、強震観測を行っている既存の集合住宅を対象に、深層学習により全階の応答推定を試みるとともに、強震観測記録との比較による応答推定精度の検討を行う。

2. 検討対象の集合住宅概要

検討対象は、東京都内に建つ2つの鉄筋コンクリート造成集合住宅である。一つは地上15階建て、高さ約44mの集合住宅（物件A）、もう一つは地上11階建て、高さ約33mの集合住宅（物件B）である。各物件の平面形状および断面図を図1と図2に示す。図1、図2に示すように、屋上階を除く2階以上のすべての階のメータボックス内と1階の管理人室にMEMS型加速度センサ³⁾を設置して強震観測を行っている。本観測で用いるMEMS型加速度センサは、無線でセンサ間の時刻同期と収録システムへのデータ転送を行っている。観測時のサンプリング周波数は100 Hzとしている。

3. 深層学習による応答推定精度の検討

(1) 訓練データの作成と深層学習

対象建物にはすべての階に加速度センサが設置されているが、最上階（物件A：15階、物件B：11階）のセンサ

一台で運用すると想定し、残りのセンサの記録は正解値として用いる。本報では、純ラーメン構造となるX方向のみに着目して検討を行う。訓練データは文献4を参考に作成するものとし、以下に概要を示す。

訓練データ作成のための時刻歴応答解析モデルは質点系のせん断バネーマスモデルとする。各層の重量・剛性は構造図や構造計算書に基づいて算定し、骨格曲線は静的増分解析結果から作成する。訓練データ作成に用いる入力地震波は、FEMA P-695に記載のFar-FieldとNear-Field Ground Motion Setの50組を文献4と同様に計3000波となるように拡張した。

深層学習についても文献4を参考に行うこととし、深層ニューラルネットワーク（DNN）への入力は最上階（物件A：14質点、物件B：10質点）の加速度床応答スペクトル（水平1方向）、出力は全階の最大応答加速度とする。DNNは、全結合層と活性化関数としてLeaky ReLUを用いた活性化層から構成される。入力層と出力層のユニット数は、物件Aではそれぞれ249と16、物件Bでは249と12とする。隠れ層の数はどちらも2つ、そのユニット数は物件Aでは98と38、物件Bでは90と32とする。学習における勾配法は文献4と同様にAdamとする。

(2) 強震観測記録による検討

本節では、最上階で観測された加速度記録を入力として学習済みモデルにより推定した全階の最大応答加速度（推定値）と強震観測により得られた最大応答加速度（観測値）を比較する。強震観測記録は、観測期間中に記録されたもののうち、比較的大きなものを対象とした。そのため、表1に示すように各物件で異なる日時の強震観測記録を対象としている。

図3および図4に学習済みモデルにより推定した最大応答加速度と強震観測記録の比較を示す。図3は最大応答加速度の高さ方向分布を示している。図より、各物件の3波とも全体的に、強震観測記録に近い最大応答加速度を推定できている。特に、1階部の加速度については、推定値と観測値はほぼ一致した。図4には観測値と推定値の比較を示している。図より、加速度レベルが小さい範囲では応答推定精度が一部で±20%を超えており、加速度が20 cm/s²を超える比較的大きい加速度レベルでは、推定精度が±20%以内に収まる傾向となった。

表1 強震記録の概要

物件 A	日時	震源地	最大震度
No.1	2021年2月13日	福島県沖	震度6強
No.2	2022年4月4日	千葉県北西部	震度3
No.3	2023年5月11日	千葉県南部	震度5強
物件 B	日時	震源地	最大震度
No.1	2021年10月7日	千葉県北西部	震度5強
No.2	2022年11月3日	千葉県北西部	震度3
No.3	2023年5月11日	千葉県南部	震度5強

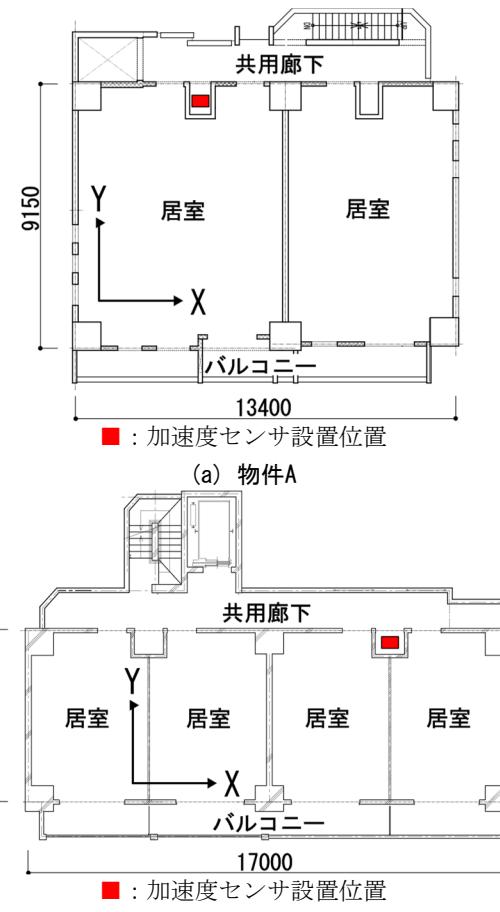


図1 検討対象建物の平面形状



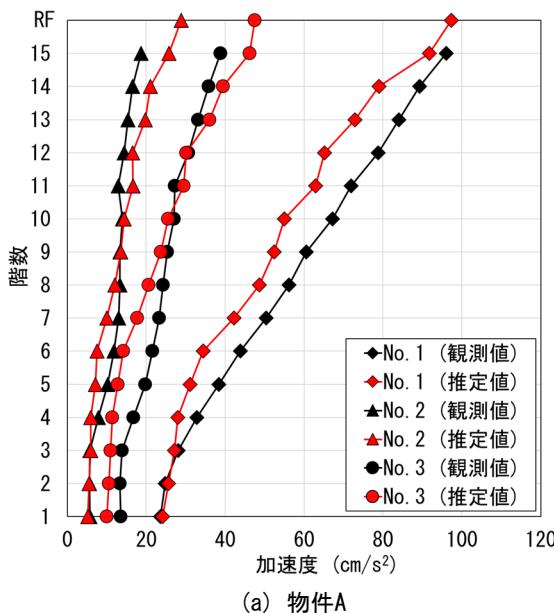
図2 検討対象建物の断面形状

4. まとめ

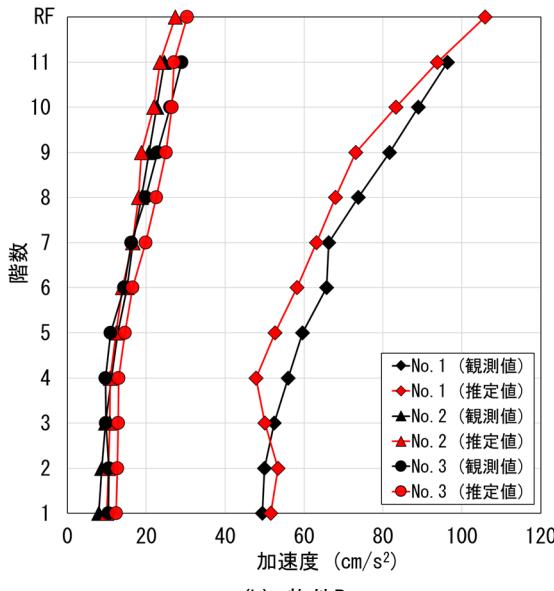
本研究では単点記録に基づく各階の応答推定が可能なSHMシステムの信頼性向上を目的として、強震観測を行っている既存の集合住宅を対象に、深層学習により全階の応答推定を試みるとともに、強震観測記録との比較による応答推定精度の検討を行った。

その結果、今回検討した小振幅域において、最上階の加速度センサの強震観測記録のみから各階の最大応答加速度を十分な精度で推定できることを確認した。

今後は、実用性を考慮して1階に設置することを想定した検討や汎用的なモデルの作成など多くの集合住宅に適用するための検討を進めていく予定である。



(a) 物件A

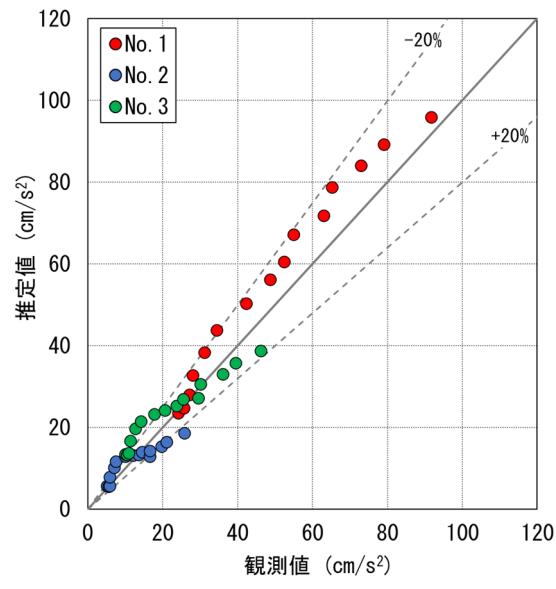


(b) 物件B

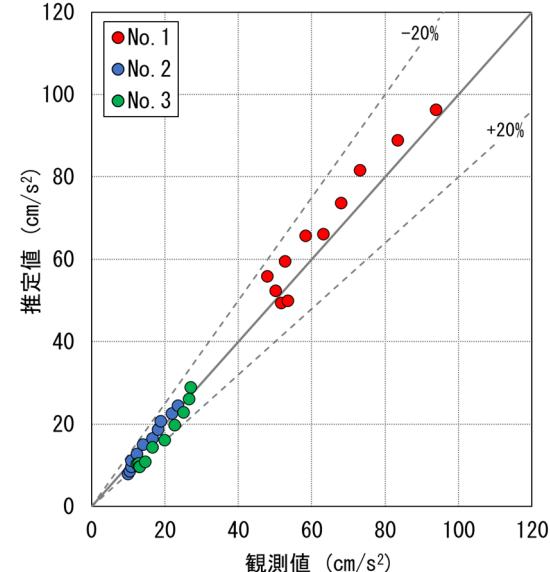
図3 最大応答加速度の高さ方向分布

参考文献

- [1] 鈴木悠, 三田彰: 1台の加速度センサを用いた出力のみによる建物の層間変形角推定手法, 日本建築学会構造系論文集, 第81卷, 第726号, pp.1199-1207, 2016
- [2] 斎田和輝, 金子健作: 人工地震損傷度の深層学習による建物内待機可否の即時判定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.103-104, 2023.7
- [3] 扇谷匠己, 猿渡智治: 地震観測記録を活用したRC造集合住宅の応答解析モデルの検討, 計算工学講演会論文集, Vol.29, 2024
- [4] 北原史也, 扇谷匠己, 金子健作: 単点加速度記録とサーロゲートモデルを用いた建物全階応答モニタリング(その2 中層共同住宅への適用と推定精度の検証), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2025.9(掲載予定)



(a) 物件A



(b) 物件B

図4 観測値と推定値の比較