

構造ヘルスモニタリングのための圧電センサと自己符号化器による耐震木造壁の損傷検知

Damage Detection of Wooden Structural Members Using Piezoelectric Sensor and Autoencoder for Structural Health Monitoring

崎山 夏彦^{*1} 牛米 歩^{*1} 岸 朔矢^{*2} 岸 映裕^{*2} 橋爪 洋一郎^{*2} 中嶋 宇史^{*2,3} 伊藤 拓海^{*1}
Natsuhiko Sakiyama Ayumu Ushigome Sakuya Kishi Akihiro Kishi Yoichiro Hashizume Takashi Nakajima Takumi Ito

^{*1} 東京理科大学工学部建築学科

Department of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo University of Science

^{*2} 東京理科大学理学部応用物理学科

Department of Applied Physics, Faculty of Science, Tokyo University of Science

^{*3} JST さきがけ

JST PRESTO

We tried to identify the state of members injured by natural disasters by machine learning using the vibration response waveform of a piezoelectric sensor attached a wooden element. We destroyed step by step a wooden wall connected to columns. In each destruction stage, the vibrational characteristic is measured by a piezoelectric sensor. The oscillating source to obtain data models vibrations of natural vibration coming from a wind and so on. We detected the injury of a member by using autoencoder which learned only the waveform of the element which is not injured.

1. はじめに

近年、耐震技術の向上により、巨大地震による甚大な建物被害は減少してきている。しかし、東日本大震災や熊本地震などでの経験を踏まえ、震災建物の立入・再使用の可否の判定や、建物の復旧のため、構造学上の損傷度に基づく迅速かつ適正な判定方法の確立の重要性が改めて認識されている。現在、二次被害の防止として応急危険度判定、建物の継続使用・復旧可否の診断として被災度区分判定が整備・運用されているが、これらは緊急時に膨大な建物の迅速な判定のために簡便化されており、判定基準の工学的裏付けや、診断結果の精度について課題が指摘されている。また、これらの診断・判定は、建築構造の専門家の現地調査によるため、人員不足、余震に対する安全面、調査長期化による復旧遅れなどの課題がある。

そこで、近年はセンサや無線技術の小型化・低コスト化、人工知能関連の技術革新により、建物の健全性を自動診断する次世代の「構造ヘルスモニタリング」が注目されている。この中で、加速度計による診断は高層建築物などで実用化が進んでいるが、層レベルの損傷予測にとどまっており、部材レベルの損傷の診断や定量化には至っていない。また、木材の損傷診断手法として、貫入法・超音波探傷法があるが、コストと使用者のスキルに依存するといった課題がある。

そこで本研究では、部材レベルの損傷検知のための計測法と解析法の開発を試みる。具体的には、圧電素子により部材の振動特性を計測し、振動波形データから部材の損傷度の検知と評価を試みるものである。

本稿では、建築構造用の木造耐震壁の水平載荷試験を行い、各レベルの損傷を与え、生活・交通振動等に相当する微弱な振動を与えて、その振動波形データに対して自己符号化器を

用いた損傷度の検知を試みる。自己符号化器を使用することで、汎用性のある検知システムの開発を目的とし、各種構造形式や種別、部材・部位への適用も期待される。

2. 実験概要

本稿では、構造用木造耐震壁の損傷検知を対象としている。そこで、地震による各レベルの損傷を与える目的で、静的繰返し載荷試験を行う。

図 1, 3 にセットアップ図と載荷計画を示す。厚物合板(板厚 24mm)を 2 枚用い、載荷用の鉄骨剛柱(両端ピン)を挟みこみ、対角線方向 4 か所を高力ボルトで締結する。これにより、木壁には対角線方向に圧縮・引張が生じる。

図 2 の層間変形角で載荷を制御し、現行の被災度区分判定で小破、中破、大破に相当する振幅とする。各振幅の最大変形後に除荷し、図 1 に示す A の位置に小型の振動器で振動を 30

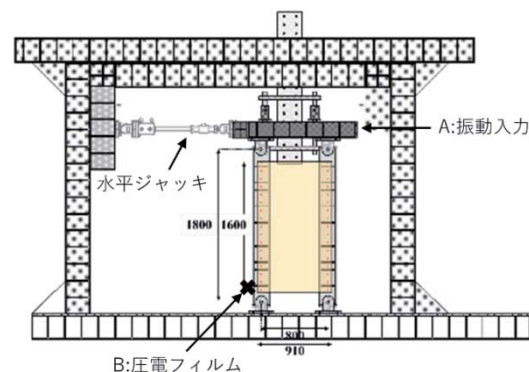


図1. セットアップ図

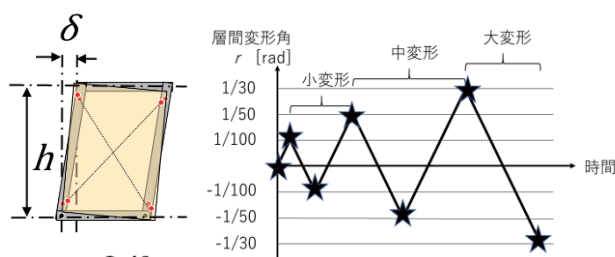


図2.層間変形角

図3. 载荷計画

★において振動を検出する。

秒与える。なお、振動器は、交通振動や生活振動、風などを想定し、規則的な振幅の振動を設定した。

PVDF 圧電フィルムは試験体の力学特性に基づき、弾性部位の図1のBの位置に貼付した（サンプリングは0.001秒）。小型振動器による振動は、木壁を伝搬した後に圧電フィルムで検出する。

3. 解析的検討

3.1 解析概要

実験前のいわゆる未損傷の木壁の振動データを用いて自己符号化器に学習させ、得られた自己符号化器を用いて、損傷を与えた木壁の損傷度の検知を試みる。

3.2 学習・検証データ

1回の計測から得られた30秒のデータから、長さ0.06秒の一続きのデータを切り出し1つの学習・検証データとする。図4にデータの一例を示す。学習時には未損傷の木壁のデータのみを、検証には全ての損傷度のデータを用いた。

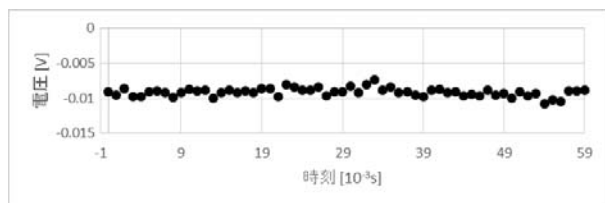


図4. 学習・検証に用いるデータの一例

3.3 自己符号化器

自己符号化器を用いて学習データの教師なし学習を行う。自己符号化器は入力層、隠れ層、出力層の三層からなるニューラルネットワークの一種である。本研究で用いる構成を図5に示す。入力層の値と出力層の値の差の二乗平均を誤差として定義する。この誤差は学習データの再現性の程度を示す。未損傷のデータのみを学習データとすることで、誤差が大きいほど未損傷の場合に比べて振動特性が変化していることを意味する。

3.4 解析結果

図6に検証データの誤差を示す。未損傷の場合に比べ、損傷時のほうが誤差は大きい。このことから、振動の伝搬特性について、人間では識別し得ない振動についても、機械的に損傷の有無を検知可能であると考えられる。ただし、損傷の程度については、本研究では明確に識別できなかった。損傷度合いの定量的な識別は今後の課題となる。

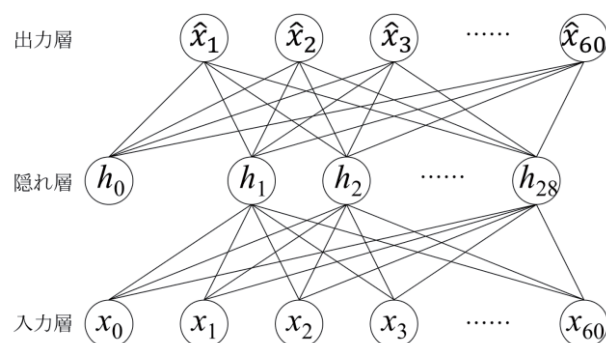


図5.自己符号化器の構成

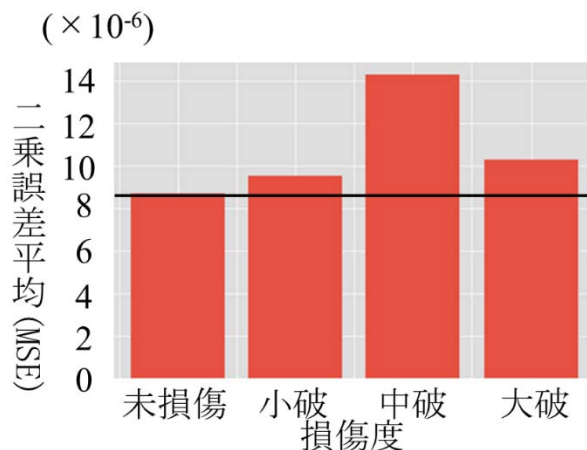


図6.未損傷部材の振動に対する各損傷度の自己符号化器における入出力の誤差

4. まとめ

本稿で得られた知見を以下に示す。

- 自己符号化器と圧電フィルムを用いて、損傷を受ける前のデータを学習しておきさえすれば、部材レベルでの損傷の有無を検知できることを示せた。
- センサを直接取り付けられない部材でも、部材の振動伝搬特性の変化を利用して、損傷の有無を検知できる。

5. 謝辞

本稿の実験は、本学工学部建築学科の中家優太さん、米澤泰斗さん、作間景さんにお手伝いをいただきました。また、本研究は一般財団法人大成学術財団より助成を得て実施されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [国土交通省 2011] 国土交通省: 多世代利用住宅の維持管理・流通を支える構造ヘルスモニタリング技術の利用ガイドライン, 国土交通省, 2011.
- [白石 2017] 白石 理人, 森井 雄史, 岡田 敬一: 高層建物の振動台実験へのモニタリング技術の適用事例, 2017年度日本建築学会大会(中国)構造部門(鋼構造)パネルディスカッション資料, 2017.
- [国土交通省監修 2015] 日本建築防災学会: 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災区分判定基準および復旧技術指針 木造建築物, 日本建築防災協会, 2016.