

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02223

研究課題名（和文）防災拠点施設のリアルタイム耐震診断システムの開発と実装

研究課題名（英文）Development and implementation of a real-time seismic evaluation system for disaster prevention facilities

研究代表者

齊藤 大樹（SAITO, TAIKI）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：00225715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：防災拠点施設にIT強震計を設置し、独自開発のシミュレーション技術と組み合わせること地震後に建物の健全性を即時に診断できるシステムを開発し、東三河地域の5都市（豊橋市、豊川市、蒲郡市、田原市、新城市）の市庁舎に実装した。観測記録のアップロード、建築物の耐震診断、診断結果のメール送信のすべての作業を自動化し、クラウドコンピュータにおいて稼働するように改良することで、災害時には、インターネット接続が確保されている限り、確実にシステムが機能できるようにした。また、機械学習を導入し、建物モデルのパラメータ推定や建物被害の推定を効率的かつ高精度に行う新しい手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発されたリアルタイム耐震診断システムは、建物にIT強震計を設置し、地震波が検知された場合に、ただちに建物解析による損傷診断を行い、診断結果を建物管理者らに送るものである。本研究期間で、東三河地域の5都市すべての市庁舎にシステムを実装し、これまでに複数の地震でシステムが稼働して、自治体の初期対応に生かされている。東三河地域をモデルケースとして実績を上げることで、さらに全国的にシステムが展開されることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research, a system that can immediately diagnose the soundness of buildings after an earthquake was developed by installing IT strong-motion seismographs at disaster prevention base facilities and combining with our original simulation technology. The system has been modified to operate on a cloud computer, automating all the processes of uploading observation records, diagnosing the earthquake resistance of buildings, and sending diagnosis results by e-mail. Furthermore, a new method for efficient and accurate estimation of building model parameters and building damage by introducing machine learning was developed.

研究分野：建築構造

キーワード：地震被害 防災拠点建物 耐震診断 モニタリング シミュレーション解析

### 1. 研究開始当初の背景

近い将来に発生することが確実視されている首都直下地震や南海トラフ地震などの巨大地震に備え、建物の耐震性能向上や被害軽減のための技術開発が進められている。しかし、2016年の熊本地震では宇土市役所が大破し、耐震補強した大津市役所も使用不可となるなど、本来、災害時に機能すべき防災拠点施設がその役割を果たすことができなかった。防災拠点施設については、以下の課題が指摘される。

①防災拠点施設の中には、1986年の耐震基準改正以前に建設され、耐震性が低く、緊急に補強が必要なものがある。また、首都直下地震や南海トラフ地震では、震度7の激しい揺れが想定される地域があり、現行の耐震基準を満足する建物でも被害を免れず、対策が必要な場合がある。

②地震直後に行われる建物の応急危険度判定は、余震による建物倒壊の危険があるため、原則として目視による外観調査に限られており、内部の被害状況を把握することが難しく、建物を継続して使用してよいかどうかを即時に判断できない。

③耐震診断結果は、大破・中破・小破などのおおまかな判定値か、 $I_s$  値などの専門的な指標で示されることが多く、一般の建物管理者や居住者には分かりにくい。診断結果を元に、部材のひび割れや室内の被害状況をCG等で視覚的に表示する技術の確立が必要である。

### 2. 研究の目的

地震時には市役所や消防署などの防災拠点施設が確実に機能することが求められる。しかし、近年の地震において、市役所等が被災して機能不全に陥ったケースがあった。そこで、私たちは、防災拠点施設にIT強震計を設置し、独自開発のシミュレーション技術と組み合わせることで地震後に建物の健全性を即時に診断できるシステムを開発した。すでに複数の市役所や消防署に実装し、運用を開始している。

本研究では、その成果を発展させ、構造被害だけでなく建物の機能や居住者の安全を診断できるようにシステムを拡張する。また、建物管理者や居住者に分かりやすく診断結果を伝達する技術を開発する。さらに、これらの研究成果を実装し、全国の防災拠点施設に使えるように普及・展開を図る。

### 3. 研究の方法

#### 1) IT強震計による建物のリアルタイム耐震診断システムの開発と実装

豊橋市役所、豊橋中消防署、蒲郡市役所、豊川市役所、田原市役所、新城市役所にIT強震計を設置して、地震観測を行うとともに、地震時のリアルタイム耐震診断を行う。

#### 2) 地震観測データを利用した部材レベルの損傷診断技術の開発

建物の被害予測を行うためのモデル化手法を検討し、観測記録からモデルの改良を行う。また、地震観測データから建物の被害を即時に推定する方法として、従来の建物モデルを用いた方法ではなく、観測データそのものから機械学習により被害を推定する方法について検討する。

#### 3) リアルタイム耐震診断システムのクラウド化

地震時に、耐震診断を行うコンピュータが被災する事態を避けるため、システムのクラウド化を進める。

### 4. 研究成果

#### 1) IT強震計による建物のリアルタイム耐震診断システムの開発と実装

東三河地域の市庁舎および消防署にIT強震計を設置して、地震時のリアルタイム耐震診断システムを実装した(図1)。

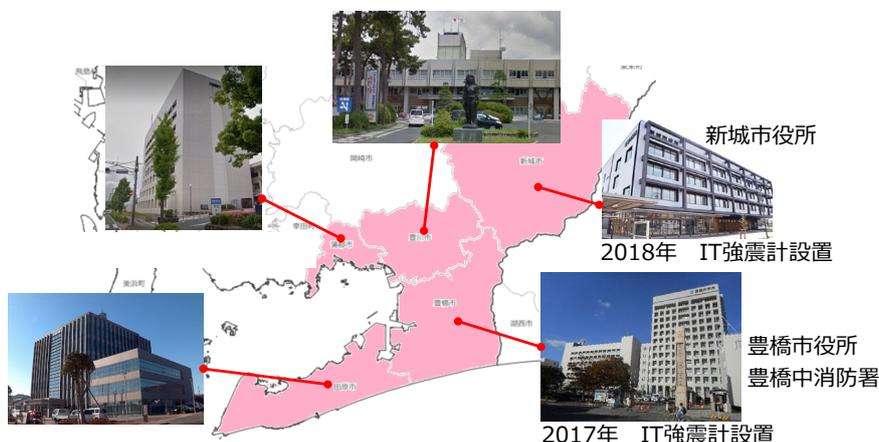


図1 東三河地域の市庁舎および消防署へのリアルタイム耐震診断システムの実装

2) 地震観測データを利用した部材レベルの損傷診断技術の開発

建物の地震観測データから、建物の構造特性（剛性、減衰など）を同定する手法として、応答曲面法と機械学習のベイズ推定法の2つの方法を適用し、ベイズ推定法の優位性を明らかにした（図2）

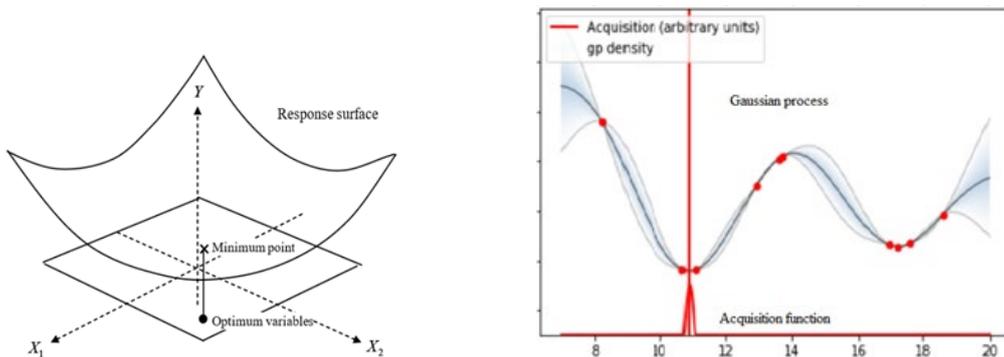


図2 (a) 応答曲面法

図2 (b) ベイズ推定法

また、建物上部の地震動の加速度波形のウェーブレットスペクトルから、機械学習のCNN（畳み込みニューラルネットワーク）により、建物の被害（最大層間変形角、最大応答加速度、最大塑性率から小破、中破、大破）を推定する手法を開発した（図3）。

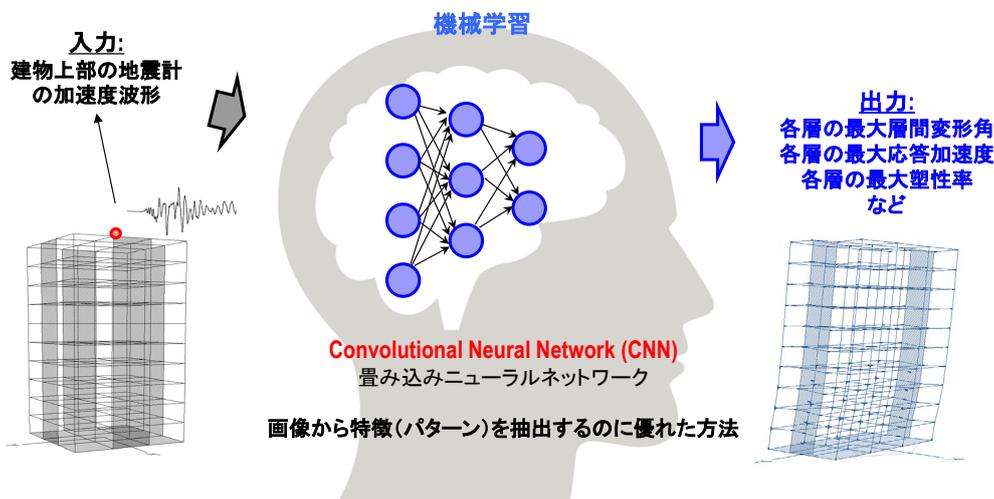


図3 CNNによる建物被害推定

3) リアルタイム耐震診断システムのクラウド化

地震記録の抽出、地震発生のお知らせ、1次耐震診断、2次耐震診断の機能をすべて、AWS（アマゾン・ウェブ・サービス）クラウド上に委嘱し、地震時にシステムが被災することなく、診断を可能とした（図4）

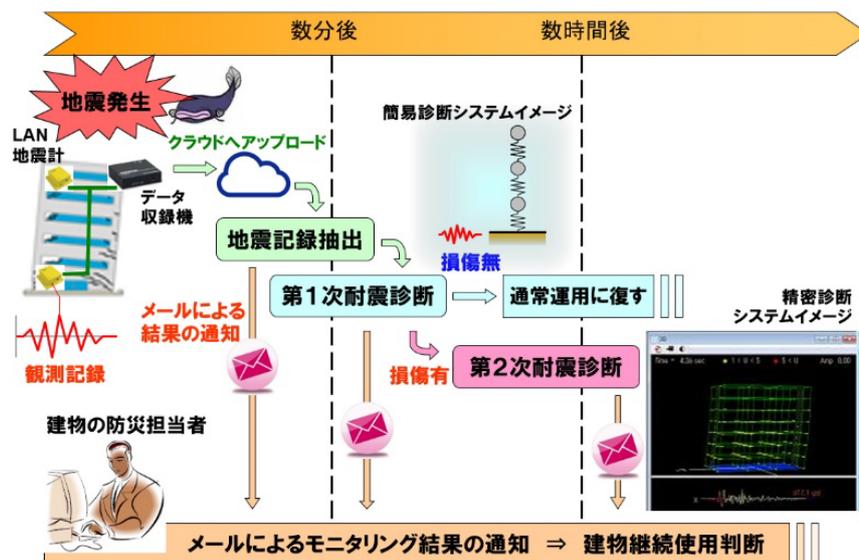


図4 リアルタイム耐震診断システムの構成

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Moscoso Alcantara Edisson Alberto, Bong Michelle Diana, Saito Taiki	4. 巻 21
2. 論文標題 Structural Response Prediction for Damage Identification Using Wavelet Spectra in Convolutional Neural Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 6795 ~ 6795
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21206795	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Nabil MEKAOUI, Tomoki HORIOKA, Kazuhiro HAYASHI, Taiki SAITO	4. 巻 67B
2. 論文標題 REAL-TIME PARAMETER IDENTIFICATION OF SEISMICALLY EXCITED BUILDING STRUCTURES USING RESPONSE SURFACE METHOD AND BAYESIAN OPTIMIZATION TECHNIQUE: CASE STUDY	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 643-653
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhong Zhang, Ohzora Hamata, Takuma Akiduki, Tomoaki Mashimo, Taiki Saito and Kazuhiro Hayashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Cracks in Bridge Floor Detected by 2-Dimensional Complex Discrete Wavelet Packet Transform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Innovative Computing, Information and Control	6. 最初と最後の頁 1877-1894
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24507/ijicic.16.06.2007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 林和宏・齊藤大樹	4. 巻 19
2. 論文標題 防災拠点建物を対象としたリアルタイム耐震診断システムの社会実装 - 市役所庁舎へのシステム導入とその運用状況	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 378-387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Hayashi, T. Saito, T. Horioka, E. Sato	4. 巻 9
2. 論文標題 Implementation of real-time seismic diagnostic system on emergency management center buildings: system introduction and operational status on municipal government office buildings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Civil Structural Health Monitoring	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Hayashi, T. Saito	4. 巻 8
2. 論文標題 Implementation of Real-time Seismic Diagnostic System on Emergency Management Center Buildings: In Case of the 2018 Osaka earthquake	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Structural and Civil Engineering Research	6. 最初と最後の頁 159-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 金村亮佑, 齊藤大樹, 林和宏
2. 発表標題 機械学習を利用した地震記録に基づく建物解析モデルの最適化
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀岡知樹, 齊藤大樹, 林和宏
2. 発表標題 応答曲面法を用いたモニタリング建物の構造パラメータ最適化
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀岡知樹, 齊藤大樹, 林和宏
2. 発表標題 防災拠点建物における残存耐震性の診断システムの開発
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 和宏  (Hayashi Kazuhiro)  (40725636)	千葉大学・大学院工学研究院・准教授   (12501)	
研究分担者	章 忠  (Zhong Zhang)  (50254579)	広島工業大学・工学部・教授   (35403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------