

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震、2016年の熊本地震といった大規模地震により、広範囲の建物に被害が生じて長期間使用できなくなる事例が多数発生した。地震後は主要業務の再開や帰宅困難者受入れなどのため、建物継続使用可否の早急な判断が求められるが、交通網の麻痺した状況下では専門家の到着までに時間を要し、その間は建物を利用できないことが課題となっている。

これに対して、2015年に内閣府から『大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針』¹⁾が公表され、建物管理者が応急的に建物の安全確認を行うことが可能となったが、実際には、構造の専門家ではない建物管理者が継続使用可否の判断を行うことが難しい状況もありえる。また大規模地震の直後は、複数の建物被害の大小をスクリーニングし、対応の優先順を判断することが非常に有効であるが、多くの建物情報を収集して被害の全容を把握するまでに数日程度を要するという課題もあった。以上の背景より、加速度センサーを建物に設置し、地震直後に建物の揺れのデータを分析して表示する「モニタリングシステム」のニーズが高まっている²⁾。

そこで著者らは、低価格の加速度センサーを利用した2種類のモニタリングシステムを開発した。一つは低層～高層までの建物を対象とした標準的な「建物健全性評価支援システム」で、建物の複数階に設置した加速度センサーのデータから構造健全性を推定することで、建物管理者による継続使用可否の判断を支援するシステムであり、地震後の事業継続の重要性が高い超高層建物、庁舎、工場などに適用されている。もう一つは多数の事業所や防災拠点などの所有者向けの「初期対応支援システム」で、各建物に設置した1台の無線加速度センサーのデータから複数の建物被害の大小を一度に把握することで、地震直後の初期対応判断を支援するシステムである。現在、当社の支店・首都圏の防災拠点等の47建物に試験導入し、実証検証を行っている。

本報では、「建物健全性評価支援システム」の概要と、「初期対応支援システム」の概要および実証検証結果について報告する。

2. 建物健全性評価支援システムの概要

建物の複数階に設置した加速度センサーの波形データから、地震時に建物に生じた最大層間変形角を評価し、建物の健全性を即時推定するシステムである。地震直後に建物の構造健全性を「安全」「注意」「危険」の3段階で簡易判定(0次診断)して表示するため、建物所有者や建物管理者は、建物の継続使用可否を迅速に判断できる。応急・復旧のスピードが早まるため、速やかな事業継続・再開が可能となる。

本システムの構成を図1に示す。建物基礎部(1階)と数階毎に加速度センサーを設置し、それらを防災センターや建物管理室に設置したPC(ゲートウェイ)とLAN接続する。全てのセンサーが同期しているため、1つのセンサーで揺れを感知すると、全てのセンサーの波形データが得られる仕組みとなっている。地震直後に、PCが各センサーの加速度波形データを数値積分して変位波形を算出し、センサー間の変位差などを基に建物の最大層間変形角を推定し、建物の構造安全性を評価する。参考として、観測された各階の最大加速度の大きさから、什器など建物内の被害の目安がわかるため、点検階の判断に活用できる。評価結果をクラウドで管理することで、現地だけではなく遠隔地からも確認可能である。

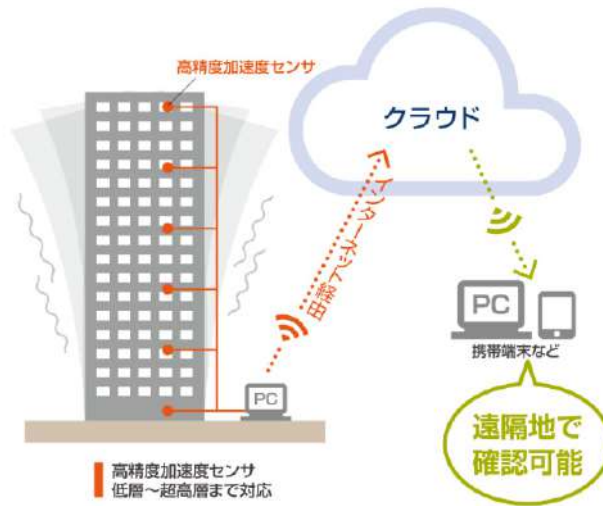


図 1 建物健全性評価支援システムの構成

3. 初期対応支援システム

3.1 システム概要

各建物の上層階に設置した1台の無線加速度センサーのデータから、建物被害の大きさを簡易的に評価し、モバイル端末(専用アプリ)に情報配信するシステムである。複数建物の被害の大きさを一度に把握することができるため、多数の事業所や防災拠点の所有者が、初期対応の優先順位付けが可能となる。

本システムの構成を図 2 に示す。建物上層階に無線加速度センサーを1台設置し、クラウドに接続する。本システムは、センサー配線工事が不要なため、導入や移設のしやすさが特徴である。地震時には、加速度波形データが自動的にクラウドに送信され、クラウド上のアプリが建物の最大変形角を簡易的に算出し、JSCA 性能設計説明書³⁾に示された標準的なクライテリアに基づいて建物の健全性を「安全/注意/危険」の3段階で推定する。建物健全性の推定は、中低層建物に対してのみ有効である。なお、現地の建物管理者がWEB 入力した電気(非常用発電)、水道、通信などの建物インフラの稼働状況もアプリ上に表示されるため、避難所や復旧拠点として使用可否判断にも活用できる。モバイル端末アプリの表示画面を図 3 に示す。

建物変位の簡易推定手法を図 4 に示す。建物上層階のみで得られた加速度波形データを積分して算出した変位は地動変位を含むため、建物のみの変位を求めるためには、地動変位を推定して除去する必要がある。本システムでは、基礎部(1階)にセンサーを設置して地動変位を計測する代わりに、1質点系の建物振動モデルを用いて地動変位波形を推定し、建物変位を評価する⁴⁾。

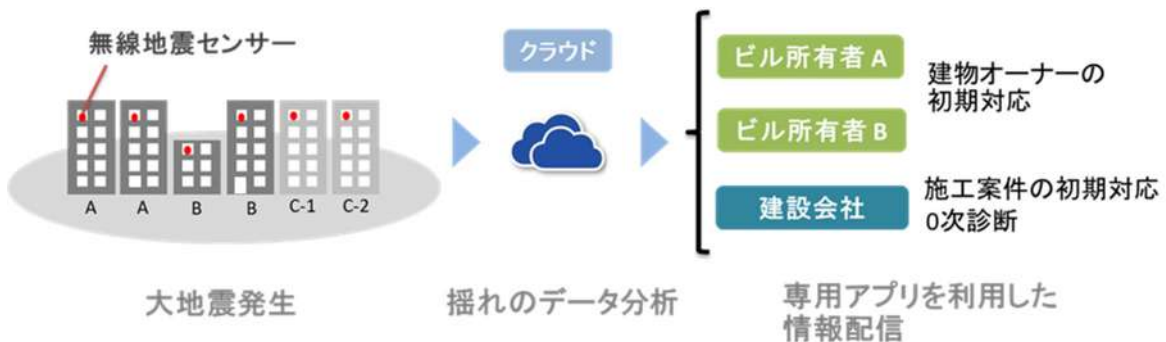


図 2 初期対応支援システムの構成



図3 専用アプリの表示画面

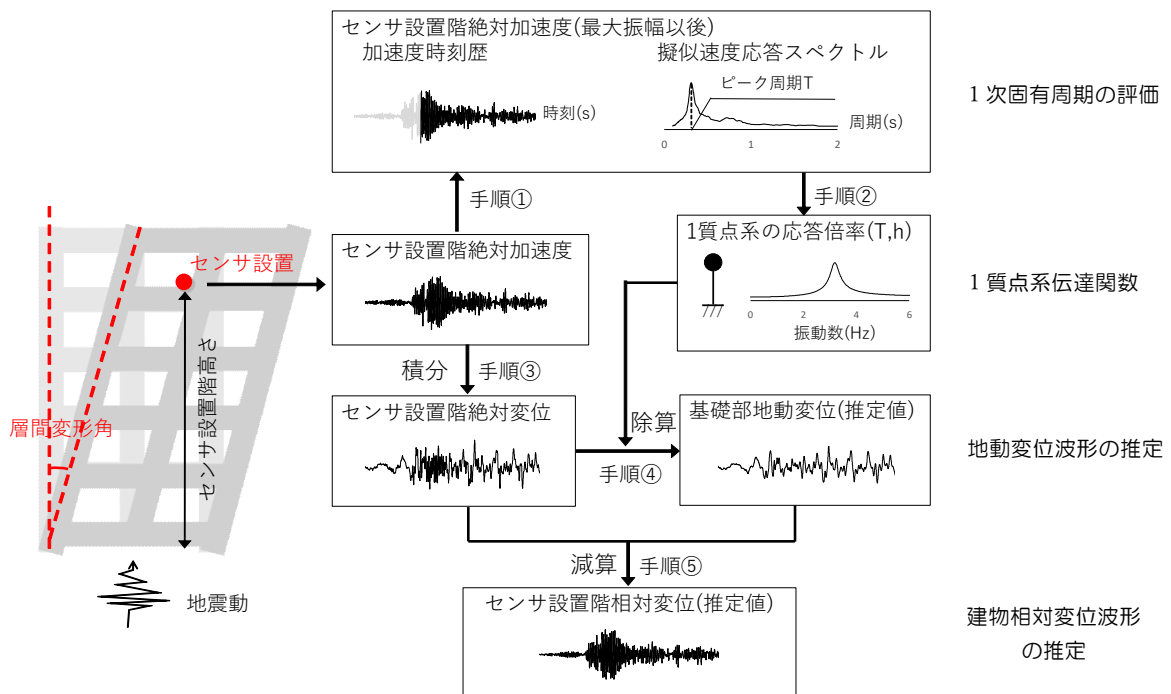


図4 建物変位の簡易推定手法

3.2 適用例

地震時の動作検証を目的に、初期対応支援システムを当社支店や首都圏の防災拠点等の 47 建物に試験導入を行った。2020 年 2 月 1 日に発生した茨城県南部の地震 (M5.3、最大震度 4) において、首都圏の 32 建物で波形データが収録され、地震直後に建物被害の大きさがアプリ上に表示された。図 5 に MAP 画面の表示結果を示す。中地震のため、全ての建物が安全と評価され、本システムが正常に動作することを確認した。また、図 6 に本システムを設置した RC 造 4 階建て建物での、建物変位推定手法の検証結果を示す。4 階と 1 階に設置された別の地震観測システムのセンサーと、4 階のみにセンサーを設置した本システムとで建物の変位波形 (1 階に対する 4 階の相対変位) を比較した。本システムによる建物変位の推定波形は、既存システムによる変位波形 (正解値) と良く一致していることから、簡易推定手法によっても良好な精度で建物変位を推定できることが確認された。



図 5 アプリの表示結果 (茨城県南部の地震)

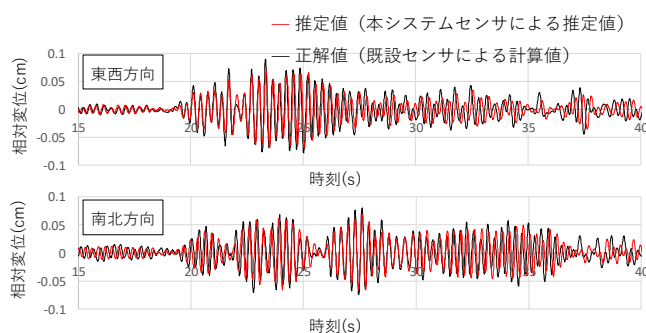


図 6 建物変位手法の検証結果

4. まとめ

本報では、地震直後の建物所有者・建物管理者の建物の使用可否判断や、初動判断を支援する「建物健全性評価支援システム」の概要と、「初期対応支援システム」の概要および実証検証結果について報告した。今後も本システムの導入を推進することで、被災建物の応急点検の迅速化を実現し、速やかな事業継続・事業再開に貢献していく。

【参考文献】

- 1) 内閣府：大規模地震発生直後における施設管理者等による建物の緊急点検に係る指針，2015.2，http://www.bousai.go.jp/jishin/kitakukonnan/kinkyuutenken_shishin/pdf/siryou_shishin.pdf
- 2) 日本建築学会：シンポジウム「建物の健全性モニタリング評価技術の取り組みと今後の課題」，日本建築学会 構造委員会 振動運営委員会 建物健全性モニタリング小委員会，2020.
- 3) 一般社団法人 日本建築構造技術者協会：JSCA 性能設計説明書 2017 年版【耐震性能編】およびパンフレット，2018.3，<http://www.jsca.or.jp/vol5/p4/pamphlet2.php>
- 4) 欄木龍大，佐藤貢一ほか：建物上層部に設置した 1 点のセンサーによる構造モニタリングシステムの開発，日本建築学会大会梗概集，構造 II，pp.1071-1072，2019.9