

大地震発生時の迅速な建物在館可否判断・被害概要把握を支援するシステム

かんだ かつひさ
神田 克久

株小堀鐸二研究所 プリンシパルリサーチャー

ふるさわ やすひこ
古澤 靖彦

株イー・アール・エス 代表取締役社長

1 はじめに

2011年の東北太平洋沖地震において、多数の帰宅困難者が発生したことは記憶に新しい。また、夜間や荒天時といった厳しい屋外環境を想定すれば、大地震の直後、一定期間は建物内に留まるのがよいとされている。しかし一方で、広範囲に被害を及ぼす大地震直後には、建物自体の安全性を判断する専門家の不足も指摘されている。こうした課題を解決するために、筆者らは大きな地震力を受けた建物構造の被災度及び継続的な在館可否を短期間に自動的に判定する被災度判定システム q-NAVIGATOR(以下「q-NAVI」という)を開発した。さらに、その判定結果を参照しながら、天井や内壁といった非構造部材の被災状況を系統的に目視観察し、建物構造と合わせて総合的な空間の安全性を判定する仕組みを確立した。本稿では、適用事例を交えてこれらの手法を解説する。

2 構造の被災度判定システム

被災度判定システムは、地震構造ヘルスマニタ

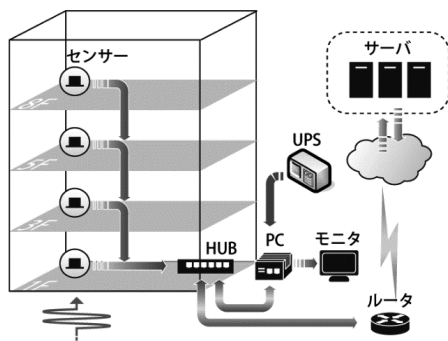


図1 システム構成概念図

リングと呼ばれる地震計を用いたシステムで、地震の最中に観測された建物の揺れのデータを揺れが収まった後に分析し、建物の被災度を即座に機械的に判定する。判定結果は地震直後の避難の要否(在館可否)の判断とともに、民間の建物では継続的な建物の使用可否の判断材料となる震災BCPツールとして盛んに活用されるようになった。自治体の建物については、帰宅困難者収容場所や避難場所としての使用可否の判断にも活用されている。

筆者らが開発した被災度判定システム q-NAVIは、2023年末現在、全国に550棟以上で採用、活用されている。10階以下の中低層建物では、加速度を計測するセンサーを建物の1階から最上階まで高さ方向に4ヵ所程度設置して地震を計測する。多くはビル管理者の部屋にデータを収集分析するシステム本体を設置し、上階のセンサーとの間をLANケーブルで接続し、リアルタイムに観測データを収集する(図1)。地震の揺れの終了後1、2分で分析が完了し、モニタ画面に判定結果、震度などの情報が表示される。建物の判定は、算出した同様の被災レベルである「安全」「要注意」

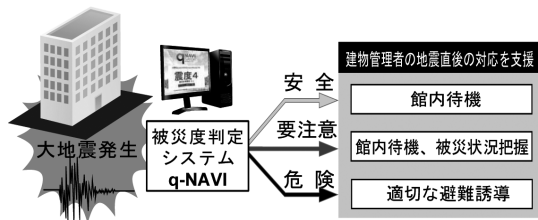


図2 構造体の判定と対応

「危険」の3段階で表示される(図2)。この際、建物及び階層ごとに構造体の変形性能に基づいて限界値を設定することによって、建物の耐震性能に合わせた判定を行うことができる。また、2016年熊本地震の際に問題となった大地震の繰り返しの影響を評価に加味することができるオプションも用意している。これによって、構造躯体の安全性の観点からの在館可否及び建物利用の是非の判断が地震後速やかにできる。

このシステムの最大の特徴は、ルータから接続するインターネットを介して、クラウドサーバとデータのやり取りをすることで、遠隔集中保守が可能なことである。保守を自動効率化し、常時稼働監視によって異常の早期検知が可能となり、地震時の正常な稼働が高いレベルで担保されている。さらに、メール機能による関係者への早期の情報展開・周知、地震の観測評価データのクラウドサーバ上への自動バックアップとインターネット上での画面表示などで、どこでも判定や評価結果を確認できるようにしている(図3)。これによって、複数の建物や離れた場所の建物の管理への利用が可能で、地震後の応急対応が効率化できる。

3 非構造部材の安全性判定

非構造部材は構造物が損傷しない程度の地震力でも被害が生じ、人的被害を引き起こす恐れがあ

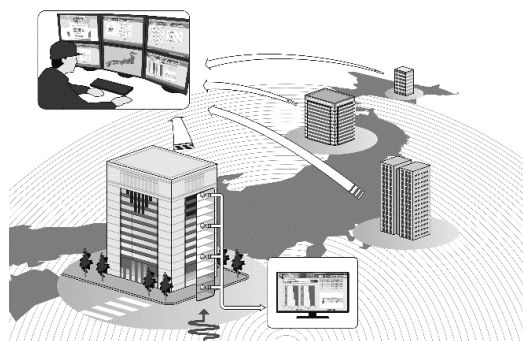


図3 遠隔監視とクラウドサーバ画面表示

る。これより、建物躯体の構造安全性が確認された場合でも、建物内の空間使用性の判断には非構造部材の安全性確認が必要となる。地震被害の観点からは、非構造部材は建物の変位・変形に追従できずに破壊・脱落等の被害が生じる「変位依存型部材」と、大きな加速度によって被害が生じる「加速度依存型部材」に大別される(前者は間仕切りや窓、後者は天井が典型)。

被災度判定システムでは、構造体の安全性判定の尺度として最大層間変形角、即ち変位・変形が算定され、併せて各階の加速度(床応答加速度)も算定される。これより、各部材の損傷状況と層間変形角あるいは加速度の関係が明確であれば、この関係から非構造部材の被害程度を推定可能である。近年、本分野の研究や情報開示も進み、公的な機関からのガイドラインやメーカーカタログ等から、個々の部材について最大層間変形角・加速度と損傷限界・使用限界の関係といった定量値の取得が可能になってきた。しかし一方で、例えば同じALCパネルであっても躯体への定着方式や構法によって損傷状態が異なるものもあり、一概に共通の関係としては示されていない。さらに工業製品としての部材のばらつきや、施工の正確性の相違等も考慮する必要がある。

したがって、判定ロジックを構築する際には、まず設計図書で対象居室の非構造部材の仕様を把握し、現地でこれらの取付方法を確認することが必要となる。また、あらかじめ設定した損傷判定の基準値は安全側の数値を設定することもあり、実際の判定では、判定結果後の目視確認が必要となる。なお、目視調査の実施については、測定された最大層間変形角や加速度が、損傷の基準値を超過したか否かに応じて行う。その際、目視調査箇所が複数発生した場合には、層間最大変形角や加速度に基づき調査優先順位を決め、順次調査を

実施することになる。図4に、非構造部材の限界値を設定するまでの流れを示す。なお、目視点検調査の具体的な方法や判定などの手順は、次章の事例紹介で詳述する。

4 東京都庁舎への適用

ここでは、被災度判定システムの公共施設への適用事例として東京都庁舎を紹介する。都庁舎では以前から地震計を設置していたが、単純な観測システムで、必要な時に観測データをダウンロードして分析を行う必要があり、防災目的にはリアルタイムに活用できなかった。機器のリプレイス時期に合わせて、2023年に第一本庁舎、第二本庁舎、都議会議事堂を合わせて、ネットワーク型の被災度判定システムを導入した。各棟のセンサー(地震計)と分析装置はLANケーブルで結ばれ、各棟の分析装置は光ケーブルで結ばれ、全棟で一つのネットワークを形成してリアルタイムでデータのやり取りが可能となっている。各棟の地震計と分析装置は地震発生後各棟に設置したシステム本体でリアルタイムの自動解析処理が行われ、即座に各棟の防災センターのモニタに全棟分の判定や評価結果が表示される。さらに、光回線を介して外部のクラウドサーバにデータを自動アップロードし、メールを担当者に配信するとともに、インターネット上で様々な端末から結果が確認できるようになっている(図5)。

地震後の判定結果としては、建物全階の構造体の「安全」「要注意」「危険」の3段階の判定がなされる。同時に、大地震発生時に帰宅困難者収容場所になる各棟の低層階の非構造部材(天井、

内壁、扉、ガラススクリーンなど)についても、前述した最大層間変形角・加速度と部材の損傷限界値との比較によって「安全」「要点検」「危険」の3段階の判定が表示され、それぞれの判定結果に基

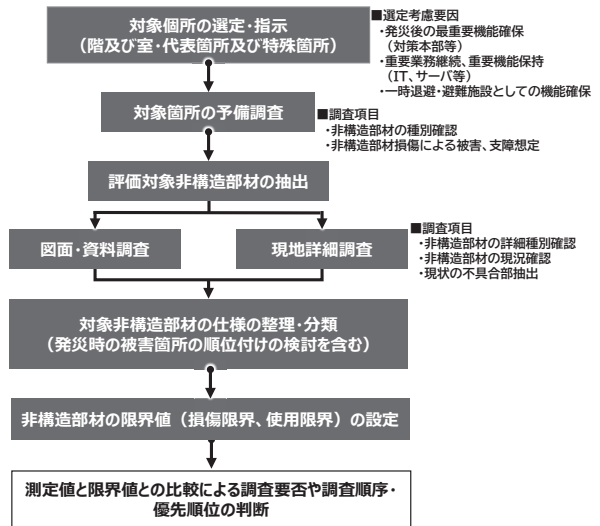


図4 非構造部材の限界値設定の流れ

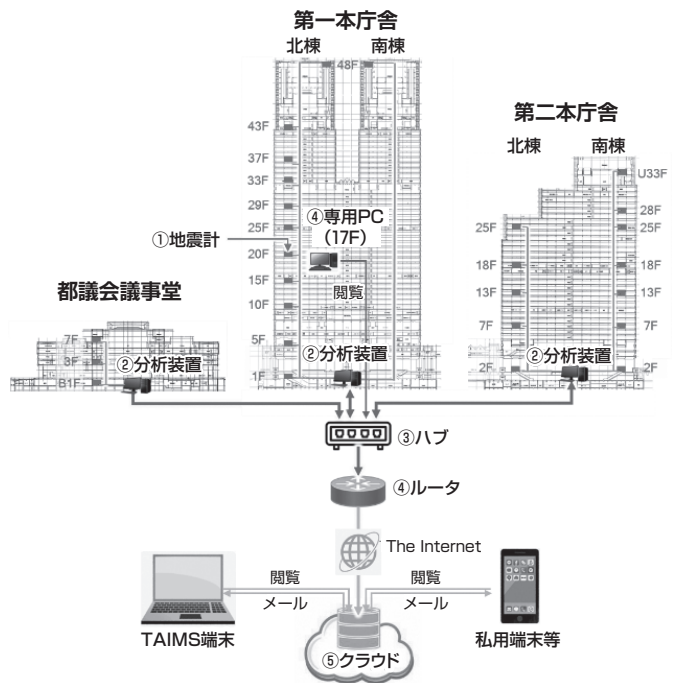


図5 都庁舎被災度判定システム概念図

づき次ステップの応急対応が行われる。なお運用上は、ほとんどの人が地震を感じる震度2程度以上で3棟すべての観測が起動するようになっており、関係者は中小地震の状況も把握できるようになっている。

この非構造部材判定が「要点検」「危険」となった場合は、目視調査が行われる。都庁舎では、指定された9ヵ所の帰宅困難者収容場所ごとに調査対象となる代表的な部材の位置、写真、目視判定で参照すべき被害事例画像がビジュアルライズされたチェックシートを策定した(図6・7)。調査者は各所にチェックシートを持参して、調査に該当する部材の損傷内容をチェックすればよい仕組みとしている。そして、この内容チェックに対応する対処・応急対応策も同一シート内に収められている。対処・対応策は、基本的に部材の種類や損傷度に応じて、使用禁止(例えば人的被害が重篤となる天井の落下等)、部分的に使用禁止(壁材や自動ドアの一部の破損等)の2種類があり、同一収容場所の中に一つでも使用禁止と判定された部材がある場合は、収容場所全体の使用を全面的に

禁止とする判定ロジックとしている。

5 おわりに

大地震後の建物の在館可否を、専門家でなくとも一次的に判定する最新の手法について紹介した。現在、構造部材については損傷位置の推定、非構造部材については目視に代わる撮影画像のAI判定といった開発を進めている。本稿が防災後の人々の安全・安心の確保や、企業の速やかな事業継続の一助となれば幸いである。

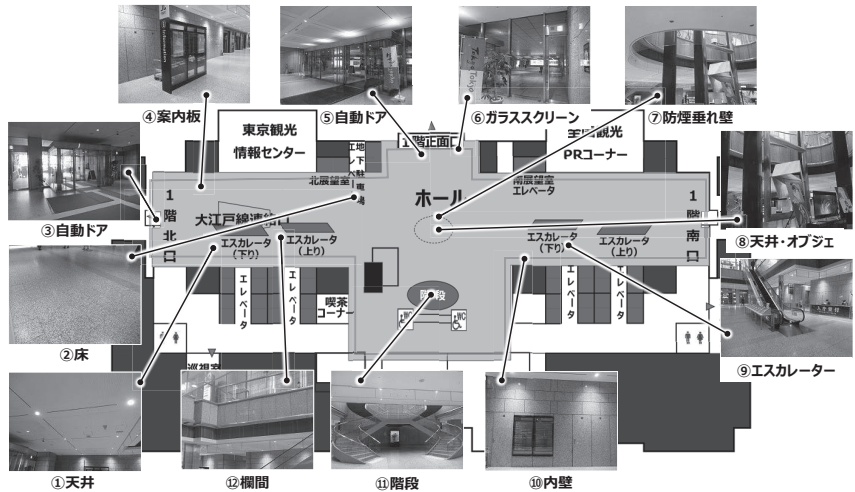


図6 調査対象非構造部材の位置表示事例

点検場所		第一本庁舎 1階			
点検項目	代表写真	損傷内容(該当項目をチェック(☑))	該当する場合の対処・応急対応等	備考(過去の被害写真)	
① 天井		<input type="checkbox"/> 天井材が落下している。	全面使用禁止		
		<input type="checkbox"/> 天井材にスレがみられる。または照明等の吊り設備が落下している/落ちかかっている。	全面使用禁止(但し、専門家へ詳細診断を要請し、その結果に応じて使用)		
② 床		<input type="checkbox"/> 傾いている、または陥没している。	全面使用禁止		
		<input type="checkbox"/> フロア等、床材に損傷がみられる。	周辺にカラーコーン等を置く(カラーコーン内は使用禁止)		
③ 自動ドア		<input type="checkbox"/> 上部の梁部分(ドアオペレーターなどを収める為のケース)が落下している、または枠が変形している。	全面使用禁止		
		<input type="checkbox"/> ガラスが破損している。	破損物の撤去・清掃後、周辺にカラーコーン等を置く(カラーコーン内は使用禁止)		

図7 非構造部材の目視調査チェックシート事例