

PIUS

地震研究所
ニュースレター

NEWS LETTER Plus No.29
Earthquake Research Institute,
The University of Tokyo



地震後の建物について、倒壊の危険があるのか、使用を続けても安全なのか、破損状態を速やかに判断することは、二次被害を 방지、被災者の不安や不便を軽減するために必要である。そこで災害科学系研究部門の楠 浩一教授は、建物が余震に対して安全か危険かを地震発生直後に自動で判定できる、画期的な「即時残余耐震性能判定システム」を開発した。

特集

地震後の建物は危険？ 安全？

即時残余耐震性能判定システムを開発



東京大学地震研究所

地震後の建物は危険？安全？

即時残余耐震性能判定システムを開発

建物の危険度判定が必要な理由

地震によって被害を受けた建物の入り口などに、赤色の「危険」、黄色の「要注意」、緑色の「調査済」というステッカーが付けられているのを見たことがあるだろう(図1)。「応急危険度判定」による分類で、建物が安全で使用可能な場合は「調査済」となる。

「大きな地震が起きると、建物にさまざまな被害が生じます。本震では倒壊を免れても、余震によって倒壊することもあります。二次被害を防ぐためには建物の被災状態を素早く判断する必要があることから、1980年代に応急危険度判定が生まれました」と楠教授は解説する。「応急危険度判定が国内で初めて大々的に実施されたのは、1995年に発生した兵庫県南部地震のときです。多くの建物を対象に行ったことで、問題も出てきました。その一つは、判定に時間と人手がかかることです」

応急危険度判定は、建築士の資格を有し、都道府県が開催する講習会を受講して認定された応急危険度判定士が行う。鉄筋コンクリート造の建物であれば、柱のひび割れの幅や数、コンクリートの剝落や鉄筋の露出などから判定する。「柱にひびが入っていると、小さくても不安になるものです。倒壊を

恐れて避難所で生活していた人も、安全の判定が出れば安心して自宅に戻ることができます。しかし、判定士が2人一組で目視によって調査するため、1日に判定できる棟数には限界があります。兵庫県南部地震では4万6000棟の判定を行ったが、延べ6,500人の判定士で約3週間かかっている。

楠教授は、「もう一つの問題は、『要注意』というグレーゾーンの判定」と指摘する。危険な状態ではないが、短時間の調査では安全と判定できないときは「要注意」とされ、実はその数がとても多い。「要注意」判定が増えることで、避難所の利用者が増えたり、避難生活が長引いたり、事業を再開できなかったりして、復興の遅れにもつながってしまうのだ。

「余震による二次被害を防ぎ、被災者の不安や不便を早急に軽減するには、地震発生後すぐに、建物が危険か安全か、二者択一で明確に判定しなければならない。そう考え、建築研究所に在籍していた2004年くらいから即時残余耐震性能判定システムの開発に取り組んできました」

偶然手にした本の解析手法が突破口に

即時残余耐震性能判定システムは、加速度計と評価装置から成る。「建物に設置した加速度計で地震時の加速度を計測し、その値をもとに評価装置が地震後の建物が危険か安全かを即時に自動で判定します」と楠教授。

建物にかかる力と建物の変形の大きさには線形関係があり、建物の破壊が進むと、その線形関係は崩れて傾きが小さくなっていく。楠教授は、この関係に注目した。建物にかかる力は、加速度に建物の重さを掛けると求まる。「問題は変形量です。加速度を2階積分すると変形量を算出できます。しかし、それは研究で使用する高性能な加速度計で測定した場合です。私は、一般の建物にも設置で

きるように加速度計は安価なものを使うつもりでした。安価な加速度計の場合、測定時に電気のノイズが入ってしまい、変形量を正しく算出できないのです」

その問題を解決できないかと悩んでいたある日、バスの待ち時間に立ち寄った書店で、ふと1冊の本に手が伸びた。「ウェーブレット変換という解析手法の解説書でした。少し読んで『使える』と直感し、買って帰り勉強しました」。ウェーブレット変換は、最近では画像圧縮処理に用いられているが、元は油田探査を目的としてダイナマイトで起こした人工地震の地震波解析のためにつくられたもので、ノイズ成分を数学的に排除できる。「ウェーブレット変換を用いることで、安価な加速度計の測定値でも2階積分してノイズを除去し、安定して変形量を算出できるようになり、判定システムが現実味を帯びてきました」

余震に対して建物が安全か危険かを自動で判定

地震後の建物が安全か危険かは、どのように判定するのだろうか。「2000年に改正された建築基準法では、限界耐力計算といって建物がどれだけの地震力に耐えられるかを計算して設計する方法も選択できるようになりました。この方法で算出した建物が倒壊しない限界を表す、安全限界点を基準に判定します」

具体的には、まず加速度計を建物の数カ所に設置する。加速度を常時計測し、データを評価装置に送る。加速度が急激に変化すると、評価装置は地震だと判断し、加速度から建物にかかる力と建物の変形の大きさを求め、その値を縦軸と横軸に取った性能曲線を描く。このとき、損傷がなければ、性能曲線の傾きは変わらない。柱にひびが入って破壊が始まると、建物の剛性が低下するため性能曲線が折れて傾きが小さくなる。

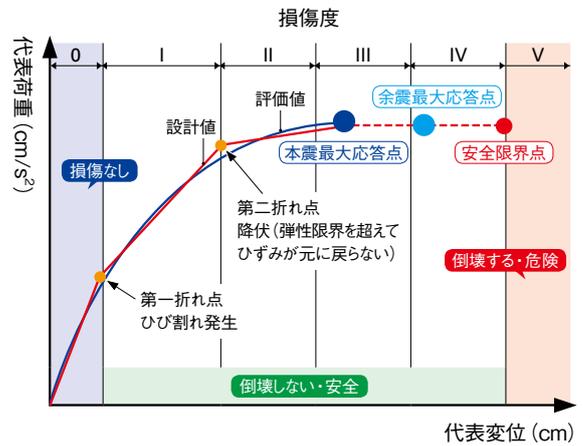
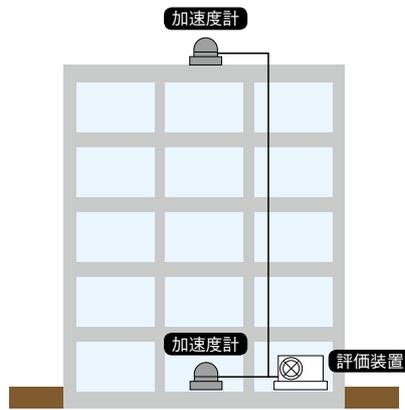
「性能曲線の傾きから建物の損傷の有無が分かります。また損傷がある場合は、地震

図1 応急危険度判定のステッカー



図2 即時残余耐震性能判定システムの構成と判定の概念図

建物の数カ所に安価な加速度計を設置し、評価装置（安価なコンピュータ）とケーブルでつなぐ。地震を感知すると、評価装置が自動で加速度から建物にかかる力（荷重）と建物の変形（変位）の大きさを求め、その値を縦軸と横軸に取った性能曲線を描く。最大応答点の位置から建物の損傷度が分かる。さらに本震最大応答点から余震での最大応答点を推定し、それが安全限界点より手前であれば建物は余震に対して安全、越えていれば危険と判定する。



での最大応答点と安全限界点の位置から損傷の程度を把握できます」と楠教授。「さらに、本震と同じ大きさの余震が起きた場合の最大応答点を推定することが、この判定システムの大きな特徴です。推定した余震の最大応答点が、安全限界点より手前であれば建物は余震に対して安全、越えていれば余震によって倒壊の危険があると、明確に判定できます」（図2）

これらの処理は全て評価装置で自動的に行われ、地震発生の数分後には指定した端末にメールでクイックレポートが届く。鉄筋コンクリート造だけでなく、鉄骨造や木造など、どのような建物にも適用できるのも、この判定システムの利点である。

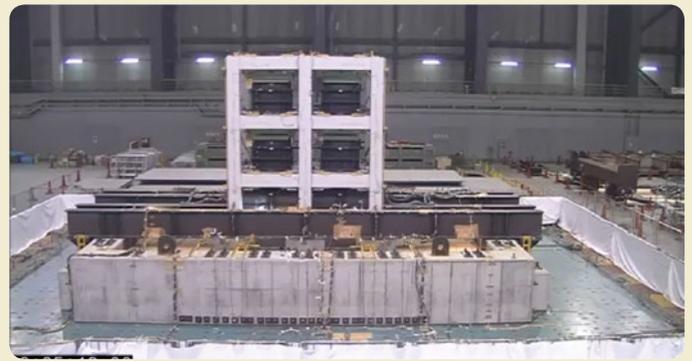
判定システムの有用性を実証

2006年に横浜国立大学へ移った楠教授は、即時残余耐震性能判定システムの実用化を目指し、まずは大学の建築学棟に設置して観測を継続してきた。そして2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生。「大きな揺れにみんなが騒然となる中、システムは正常に働きクイックレポートが出力されました。建物は損傷しているが、同じ大きさの余震が起きても倒壊しない、という判定でした」と楠教授。「ひびが入った壁を見て不安になっている人もいましたが、クイックレポートを見せると、明確な判定にみんな安心しました。この判定システムの有用性が実証されたのです」

2014年、楠教授は地震研へ。「判定システムを実用化するには、事例を増やして判定の正しさを検証し、有用性を実証していく必要があります。そのために現在30棟ほどの建物に設置させていただいていますが、建物が損傷や倒壊するほどの地震は頻繁にはありません。そこで、E-ディフェンスにおいて実験用の建物を用いてデータを取得しています」（図3）

図3 E-ディフェンスによる検証実験の様子

地盤や基礎も実際の建物と同じように建てた試験体。加速度計を設置して地震の揺れを与え、即時残余耐震性能判定システムの検証実験を行った。



E-ディフェンスとは防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターの実大三次元震動破壊実験施設の愛称で、実物大の建物に地震の揺れを与え、揺れや損傷、崩壊の過程を詳細に調べることができる。最近では、地盤や基礎も再現した建物を用いた実験も可能だ。その建物内に加速度計を設置し、地震の揺れを与えたところ、危険、つまり同じ大きさの余震が起きたら倒壊するという判定が出た。そして1回目より大きな揺れを与えたところ、建物は倒壊。判定が正しいことが実証できた。楠教授は、E-ディフェンスの実験を通して判定を精密化し、また加速度計の最適な設置場所や個数も導き出そうとしている。

ただし、即時残余耐震性能判定システムで判定できるのは、柱や梁など構造体についてである。天井が落ちたり、ガラス窓が割れたりした場合も、その建物の使用は危険だが、それらは目視でなければ確認できない。カメラを設置するなど、非構造体の状態をリアルタイムで確認できる方法を開発し、連携させることが今後の課題だ。

即時残余耐震性能判定システムの大いなる可能性

この判定システムは、ほぼ実用段階に達している。楠教授は、「まず、建物の安全性を

いち早く判断する必要がある、災害対策本部が置かれる庁舎、病院、避難所となる学校などへの設置を進めたい」と語る。

そして、設置する建物を増やし、それらのデータを集めて活用する仕組みの構築も目指している。地域の中でどの建物が危険であるかが分かれば、安全な避難経路を指示したり、救援物資の輸送をスムーズにしたり、インフラの復旧計画が立てやすくなったりと、自治体の活動にも役立つ。

「実は、この判定システムは地震発生時だけに役立つものではありません。建物の老朽化をモニタリングしてメンテナンスの時機を知らせるなどの使い方も考えられます」と楠教授。例えば、ユネスコの世界文化遺産に登録された長崎市の軍艦島（端島）にある日本最古の鉄筋コンクリート造の建物に即時残余耐震性能判定システムを設置し、倒壊の危険性検知を目的に常時モニターを行っている。

「ネットワークや映像、非構造体、情報処理などいろいろな専門家と連携して、即時残余耐震性能判定システムを幅広い用途で活用し、皆さんの安全・安心に役立てたいですね」と楠教授は意気込む。

TOPICS

報告

- 科学技術振興機構 (JST) の日本・アジア青少年サイエンス交流事業「さくらサイエンスプラン」が今年も7月に開催され、中国、台湾、韓国、インド、タイ、シンガポール、インドネシアから13名の学生が来所しました。期間中に開催された2日間の巡検では、静岡県の清水港に停泊中の地球深部探査船「ちきゅう」、富士山周辺、および伊豆半島ジオガイド協会所属のガイドさんによるご案内のもと北伊豆にある丹那断層を訪れました。



巡検で訪れた伊豆半島ジオパークの北伊豆エリアにある丹那断層トレンチ断面

- 地震研究所の一般公開・公開講義が2018年8月1日に開催されました。



最近の研究から

最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究から」に新たな論文が追加されています。ぜひご覧ください。

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/researchlist/>

- 爆発的噴火における火砕流発生条件
- 水を含んだプレートの沈み込みシミュレーション
- スロー地震データベースの構築
- 入力波動場に基づく、水辺における地盤-建物相互作用解析
- 遠地地震によって誘発された深部低周波微動のマイグレーション
- 超巨大噴火の噴煙シミュレーション
- 房総半島沖で発生したスロースリップイベントの時間発展過程の多様性
- 四国西部の微動パッチ強度の不均質性

地震・火山情報

- 平成30年北海道胆振東部地震についての情報が、「地震・火山情報」で公開されています。

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/>

受賞

- 小原一成所長が日本地震学会賞を受賞。「スロー地震学」の創成を通じた地震学の発展への貢献が評価されたもの。
- 金子隆之助教、前野深准教授、中田節也名誉教授が日本火山学会論文賞を受賞。対象論文は、御嶽山2014年噴火に関して空撮画像などの解析から噴火活動の概要を明らかにした「2014 Mount Ontake eruption: Characteristics of the phreatic eruption as inferred from aerial observations」。

本所永遠の使命とする所は
地震に関する諸現象の科学的研究と
直接又は間接に地震に起因する災害の予防並に
軽減方策の探究とである(寺田寅彦)

INFORMATION

告知

- 11月2日 「懇談の場」を地震研1号館2階セミナー室にて17時30分より開催予定です。今号の特集「地震後の建物は危険？安全？——即時残余耐震性能判定システムを開発」について、楠浩一教授にお話しいただきます。お気軽にご参加ください。
- 12月10～14日 2018 AGU(アメリカ地球物理学連合) Fall Meetingに出展予定

人事異動

- **2018年9月1日**
採用 地球計測系研究部門 助教 西山竜一
- **8月16日**
昇任 地震予知研究センター 准教授 石山達也
火山噴火予知研究センター 准教授 鈴木雄治郎
- 採用 巨大地震津波災害予測研究センター 助教 伊藤伸一
- **7月1日**
採用 地震予知研究センター 准教授 加納靖之
転入 庶務チーム・人事担当 係長 松林輝雄
研究支援チーム・研究協力担当 係長 前田理恵
財務チーム・管理担当 係長 酒泉 創
転出 庶務チーム・人事担当 係長 今村 智
財務チーム・管理担当 係長 千葉大輔
研究支援チーム・研究協力担当 主任 新井宏之

- **6月1日**
採用 観測開発基盤センター 特任助教 熊澤貴雄
任命 地震予知研究センター 特任助教 吉光奈奈
- **5月16日**
昇任 災害科学系研究部門 教授 楠浩一
- **5月1日**
昇任 地震予知研究センター 教授 上嶋 誠
- **4月16日**
昇任 地球計測系研究部門 准教授 綿田辰吾

東京大学地震研究所 ニュースレターPlus 第29号

発行日 2018年10月15日

発行者
東京大学 地震研究所

編集者
地震研究所 広報アウトリーチ室

制作協力
フォントクリエイト
(デザイン: 酒井デザイン室)

問い合わせ先
〒113-0032
東京都文京区弥生1-1-1
東京大学 地震研究所
広報アウトリーチ室

Eメール
orhp@eri.u-tokyo.ac.jp

ホームページ
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>