

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420548

研究課題名(和文) 広域地震災害を想定した建物強震観測・モニタリング普及促進のための環境構築

研究課題名(英文) Development of building response observation and monitoring system considering large earthquake disaster

研究代表者

飛田 潤 (Tobita, Jun)

名古屋大学・災害対策室・教授

研究者番号：90217521

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：建物強震観測の拡充と観測記録の活用のため、広域地震災害を想定した建物被災度モニタリングや防災情報への展開を考慮して、技術者や建物使用者が活用できる強震観測方策とデータ共有システムの検討を行った。主な成果は、建物の強震観測の現状把握と既存の観測記録の再検討、ウェブGISを用いた強震観測記録の共有システムの検討、強震観測の普及にむけたシステム・データ・機材の活用の検討である。これにより建物に関係する設計者、技術者および使用者にメリットを考慮した観測方策の展開が有効であることを考察した。

研究成果の概要(英文)：Methods and application of building earthquake observation are developed considering data sharing and utilization for damage monitoring under large earthquake disasters. Results are concluded as follows: 1. Re-examination of current status of observed buildings and data. 2. Development of database system for observed buildings and data using web-GIS technique. 3. Data utilization and new equipment for building earthquake response observation considering researchers, engineers and building users.

研究分野：建築構造学

キーワード：強震観測 地震応答 構造モニタリング データベース ウェブGIS 相互運用 波形データ

1. 研究開始当初の背景

大地震時の被害軽減に向けて、建物・都市の耐震性の向上が最重要課題であり、そのためには実際の地震時の地盤や建物の挙動をとらえる強震観測が必要となる。1995年阪神淡路大震災以降、地盤の強震観測・震度観測は全国規模で整備され、記録は公開されて建物耐震化や防災目的に使用されている。

一方で、建物の強震観測は、個々の建物の観測事例にとどまり、一元的な管理や情報活用は行われていない。2011年東日本大震災では広域で多数の建物の観測記録が得られ、分析結果が学会等で報告されたが、一元化して活用する段階には至っていない。

東日本大震災では首都圏で多数の建物が震度5以上の揺れを受け、非常対応や建物の使用継続の判断のため、構造モニタリングシステムの有用性が意識された。しかし現状では観測例はごく一部である。

南海トラフ地震など広域で多数の一般建物が被災することを想定すると、対応できる技術者は大幅に不足する。これをカバーするため、事前の被害想定や災害対応戦略の検討に加えて、発災時の建物健全度判定や即時対応、そして復旧まで統一的に対応できる強震観測・モニタリング手段と記録活用環境を提示することが有効と考えられる。

2. 研究の目的

地盤の強震観測に比べて一元化や公開性が十分ではない建物強震観測の普及を図るため、個々の建物の観測結果の収集整理や、地震時の建物被災度モニタリング、さらに将来の広域地震災害を想定した多数の建物での強震観測の方策検討を目的として、これまでの観測状況の整理やデータ共有システムのプロトタイプ構築、およびその活用方策の検討を行う。結果として、建物に関する設計者・技術者や建物使用者に対して、強震観測のメリットを提示することにより、一層の普及や大規模災害時の有効活用につながると考えた。

3. 研究の方法

上記目的に関して、以下の3点を主に実施した。

(1) 既存文献等の公表資料から明らかにしうる強震観測・モニタリング建物を整理し、データベースを構築して、傾向の分析やデータの再検討、将来展開方策などを考察する。

(2) 観測関係者が利用するシステムを相互運用GISで構築し、強震観測建物と地震・地盤・都市情報などを一元化した統合観測システムのプロトタイプを設計・構築し、東海地域のデータによりテストを行う。

(3) 東海地域における観測事例を継続的に収集・データベース化し、分析を行うとともに

に、南海トラフ地震などの広域災害も想定した有効性を検討する。

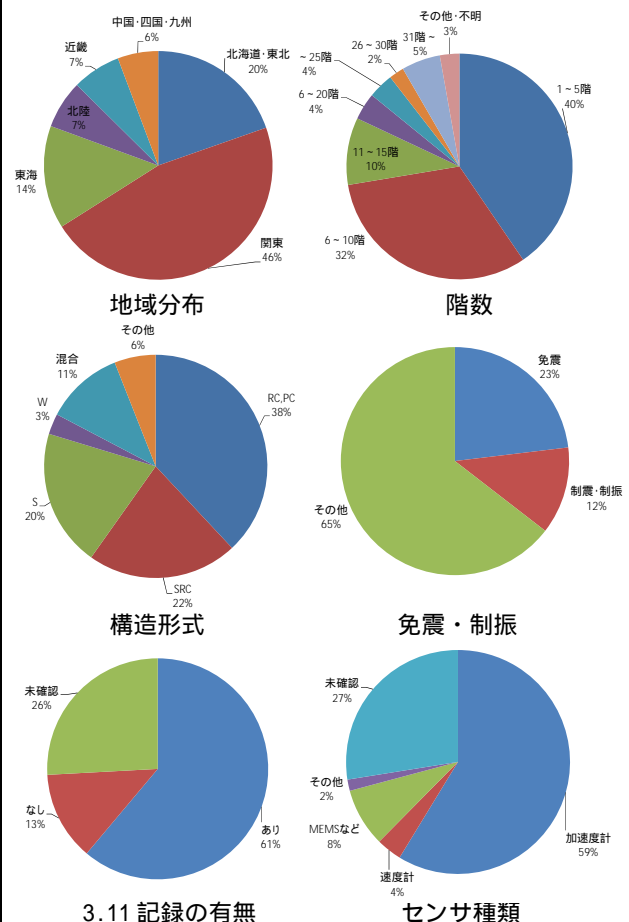
4. 研究成果

(1) 強震観測建物の現状分析

地盤の強震観測・震度計測は、兵庫県南部地震以降に整備が進み、現在では気象庁、消防庁、防災科学技術研究所などにより全国で約5000か所のオンライン観測点がある。一方で建物については、公的機関によるまとまった強震観測例は多くなく、主に建設関係や研究機関などにより各建物の状況に応じて実施されているため、全容は明らかではない。

研究代表者は建築学会強震観測小委員会で、文献調査に基づく建物強震観測データベースの作成を継続している。多くの観測例が報告される建築学会大会梗概集や論文集などを調査して、現状で約500棟がデータベース化されており、分析の一部を図1に示す。

観測建物の地域分布は、関東が半数近くで、次いで東日本大震災など近年の地震災害が多かった北海道・東北、今後の災害が懸念される東海などに多い。人口・建物数などから見て近畿は少なく、阪神淡路大震災後の普及は必ずしも多くないと考えられる。階数、構造形式ではRC、SRC、Sの中低層建物が多数を占め、免震・制振は約1/3である。東北地方太平洋沖地震の本震は2/3で記録され、地域分布とともに、東日本大震災が観測成果の公表に影響があったこともわかる。



3.11 記録の有無 センサ種類
図1 国内の建物強震観測 (490建物)

観測機器は、建物では加速度センサが多く、MEMS などの簡易な加速度センサや記載がないものも含めれば大多数を占める。モニタリング等の目的によっては、精度よりもコストや設置容易性が重視されている。また長周期建物でも、加速度計の精度向上により十分な性能となっている。

実際の観測建物数はこれに比してどのくらい多いかは不明であるが、観測関係者のヒアリングなどから、公表されない観測対象は主に民間でかなり多数になると考えられる。戸建住宅など小規模な観測対象は少ないが、熊本地震の被災状況などからも、モニタリングの必要性は高い。(引用文献)

(2) 既往の観測結果の再検証

代表者らは 20 年以上にわたり、名古屋大学内や周辺地域で約 30 棟の強震観測を実施してきた。最も多い建物では 13 年で 400 近い地震記録が得られている。これらを再整理することで、固有振動数や減衰定数とその変化、建物特性との関係などが考察できる。

一例として、S 造 10 階建の大学研究棟の分析結果を図 2 に示す。この建物は 2001 年の竣工から 3 年程度は固有振動数が低下するが、その後は振幅依存性があるものの変化は少ないことが分かる。この原因として積載荷重の影響を検討したところ、荷重増加分のみでは説明できないことが分かっている。このような建物固有の特性は精度の高いモニタリングに必須である。また入力の特価卓越振動数と建物応答倍率の関係から、入力に対する応答の簡易な予測を通して、被害予測に利用可能である。

このほか、高さ、構造種別、骨組形式、基礎形式、地盤条件等異なる建物の観測記録の再整理を行った(論文、発表、)。

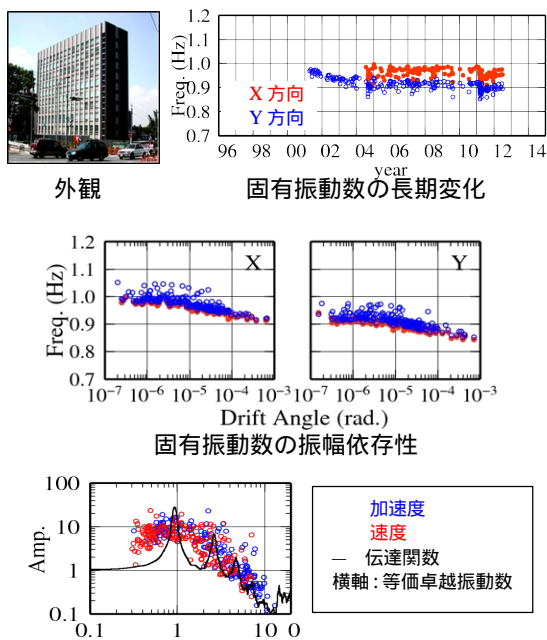
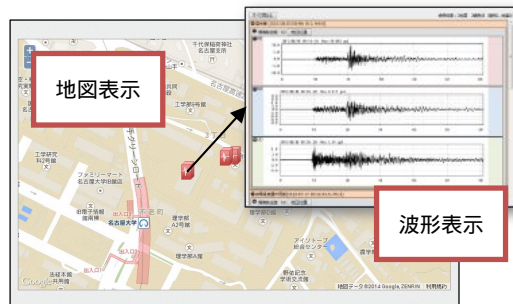


図 2 S 造 10 階建の長期地震観測の再検討

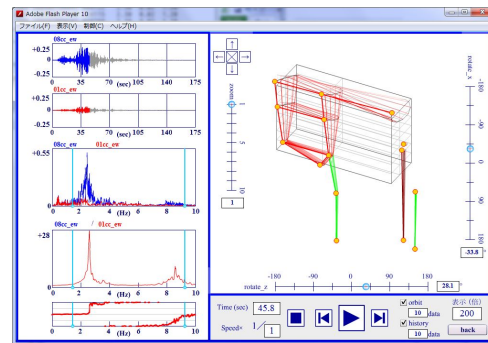
(3) 建物強震観測のデータ統合システム

建物強震観測の結果を整理し、多様な目的に利用するためのデータベースシステムの作成を行った。その際に、建物・地盤情報の一元管理、ウェブ GIS による地図情報・防災情報との統合、多様な活用のためのインターフェイスなどを考慮した。

図 3 は作成したシステムの画面例である。ウェブ GIS の相互運用により、他のシステムにおける防災情報と建物・観測情報を合わせて考察することが可能である。また、建物の強震観測の特徴として、多点同時記録の扱いが重要であり、図に示すアニメーションインターフェイスを検討した。



観測記録データベースの地図・波形画面例



建物の多点同時観測記録の分析画面

図 3 建物強震観測記録を扱うデータベース

(4) 観測記録の蓄積と活用事例

免震建物について、名古屋大学において減災館や附属病院建物が建設されたため、建設中から長期のモニタリングを継続中である(論文、発表、)。また東海地域の自治体等で免震庁舎の新築あるいは免震改修が多数行われ、その際に計測を行っている(発表)。強震観測対象となっている免震建物は多いが、繰り返し発生する小地震記録の整理・分析が行われているとは限らない。さらに減災館では、建物全体を自由振動および強制振動させる実験機能を持ち、繰り返し加振する過程でのモニタリングが行われている。これらを通じて長期・繰り返し応答における免震建物の特性やその変化の把握が重要となる。

減災館では、免震ピット階擁壁に作用する動土圧について、振動実験による応答や慣性力、周辺地盤の振動応答等との関係から、土圧発生メカニズムを検討している(論文)。

高層建物について、加速度応答観測に基づく特性評価(発表) 構造損傷モニタリングの検討(発表)を行った。Eディフェンスにおける鉄骨造18層モデルの倒壊に至る実験で、強震計による観測結果からモニタリングを行い、地震計を削減した場合でも十分な損傷度評価を行いうることを示している。

中低層建物について、地盤と建物の動的相互作用の評価が応答・被害予測に重要である。大学キャンパス内の建物について、基礎構造、地盤条件および上部建物形状による相互作用の相違について検討を行った(発表)。2016年4月に発生した熊本地震では、震度7が観測された益城町役場での建物内と周辺地盤の強震観測記録を用いて検討を行った。観測記録の特性は、動的相互作用効果と地盤非線形を考慮することでおおむね表現できることが明らかになっている。

大規模構造物について、長さ300mに及ぶ発電所建物の多点同時観測記録から、マットスラブの変形挙動と入力評価を行った(発表)。詳細な立体変形挙動から、表層地盤の表面波の波長に対応する基礎変形挙動を生じていることを明らかにしている。

(5) 地盤の地震動特性

建物の応答や被災を検討するにあたり、地盤の観測記録との比較検討は重要である。2016年4月1日の三重県南東沖の地震(M6.1)では、広域で最大震度4の揺れとなり、多数の地震記録が得られた。震源位置やメカニズムが1944年東南海地震に対応するため、震度分布などの比較を行い、類似点を考察した。

一方、将来の地震動予測結果との照合も重要であり、精度の高い地震動予測と観測記録の比較検討も重要となる(発表)。

<引用文献>

飛田 潤、鹿嶋 俊英、中村 充、植竹 富一、山村 一繁、栗田 勝実、神原 浩：国内の強震観測建物台帳の作成、日本建築学会技術報告集、第20巻46号、2014、901-906

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

成澤 健太、福和 伸夫、飛田 潤：実在免震建物を利用した振動実験環境の構築、構造工学論文集、査読有、Vol.63B、2017、251-258

松下 卓矢、西澤 崇雄、飛田 潤、福和 伸夫：常時微動計測・振動実験・強震観測に基づく超高層建物の振動特性とその変化、日本建築学会技術報告集、査読有、第20巻46号、2014、879-884

[学会発表](計10件)

成澤 健太、飛田 潤、福和 伸夫、護 雅史：免震建物の加振実験による動土圧の

観測、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8、907-908

藤網 晋太郎、福和 伸夫、中溝 大機、飛田 潤：継続的地震観測記録に基づく異なる構造種別の中層建物の地震応答特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8、759-760

奥 祥平、都築 充雄、飛田 潤、福和 伸夫：常時微動計測に基づく大規模構造物の基礎の挙動、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8、945-946

平井 敬、福和 伸夫：大阪堆積盆地上の長周期地震動の震源位置による変動、日本建築学会大会学術講演梗概集、2016.8、1151-1152

波多野 智也、飛田 潤、長江 拓也、福和 伸夫、平山 義治：鉄骨造超高層建物の振動台実験における汎用強震計による構造損傷評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015.9、935-936

藤網 晋太郎、飛田 潤、福和 伸夫：建設段階の継続的微動観測に基づく免震建物の振動特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、2015.9、911-912

波多野 智也、飛田 潤、福和 伸夫、護 雅史：常時微動および地震観測に基づく超高層建物の振動特性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014.9、911-912

松下 卓矢、飛田 潤、福和 伸夫、中溝 大機：長期の強震観測に基づく中低層建物の応答増幅に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014.9、959-960

李 彦劼、護 雅史、飛田 潤、福和 伸夫：地震観測記録に基づく免震建物の上下方向振動特性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014.9、613-614

平野 貴士、護 雅史、飛田 潤、福和 伸夫：建設段階の継続的観測に基づく三角形平面免震建物の振動特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014.9、611-612

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飛田 潤 (TOBITA, Jun)
名古屋大学・災害対策室・教授
研究者番号：90217521

(2) 研究分担者

平井 敬 (HIRAI, Takashi)
名古屋大学・環境学研究科・助教
研究者番号：00708373

護 雅史 (MORI, Masafumi)
名古屋大学・減災連携研究センター・特任教授
研究者番号：40447842