

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560669

研究課題名(和文)非専門家との連携協働による新たな建物強震観測体制「Pネット」の構築

研究課題名(英文)A new approach for earthquake response observation of buildings in collaboration with nonprofessional partners

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) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：将来の広域巨大地震災害に向けて建物の強震観測体制を充実するために、非専門家との協働に基づく新たな観測体制を提案し、観測システムの構築と運用テストを行った。まず、安価な地震計を用いて、機材の維持管理や記録の回収・分析などを容易に行いうるソフト・ハードを開発した。観測システム一式を高等学校などに貸与し、校舎等に設置して、理科教員と生徒による長期運用を行い、テストと改良を行った。結果として、最小限のコストで十分な観測結果を得るとともに、理科教育や防災普及啓発にも有効であることを示した。

研究成果の概要(英文)：A new approach for earthquake response observation of buildings called "P-NET" is introduced and tested in collaboration with high school teachers and students. The system is utilizing low cost seismometers and daily maintenance is performed by non-professional users who are interested in earth and building science, aseismic building and disaster mitigation. The observation has already tested in some high schools and observed data will be analyzed to show the effectiveness of the proposed system for long term observation in many buildings. Furthermore the most important effect is that the partner will be interested in the field of earth science, earthquake engineering and disaster mitigation.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：強震観測 地震防災 地震応答 地震計 理科教育 防災教育 固有周期

1. 研究開始当初の背景

(1) 大地震時の災害軽減に向けて、建物の耐震化は最重要課題の一つである。実建物の耐震性に関する観測資料を充実させ、また大規模地震災害における多数の建物被害を記録するためには、建物の強震観測の普及が不可欠である。

(2) 大地震時に都市域で多数の建物が同時被災した場合に、建物の被災度や継続使用の可否を早期に判定できるモニタリングシステムの要求が高まっている。

(3) 地盤の強震観測は全国規模で数千か所に整備され、一括管理されている。一方建物に関しては、これまで様々な観測例があるものの、特に一般的な建物や地方において十分とは言えない。観測結果の情報公開やデータベース化も限定的である。

(4) 強震観測の普及に向けて、機材のコストと観測にかかる労力軽減、観測記録の利用環境の整備などが必要である。専門技術者・研究者が強震観測を直接実施できるケースは限定的であり、非専門家の協力を得ることでさらなる展開が望める。

2. 研究の目的

将来の広域巨大地震災害に備えて、現状で著しく不備な建物の強震観測体制を改善するために、非専門家との協働を誘導する新たな強震観測体制「Pネット」を提案し、運用基盤の構築と運用テスト、および応用例の検討を行うことを目的とする。「P」は、People、Person、Partner などの意味を込めたもので、アイデアの要点は以下の2点である。

(1) 安価な地震計で簡略な観測体制をとり、強震記録の回収や維持管理作業を建物利用者などの非専門家に依頼する。またこれらの基本作業をサポートするソフト・ハードを提供する。

(2) 観測に協力するインセンティブとして、各自の立場で建物の強震観測のメリットを享受できる多様なハード、ソフト、ウェブ環境および防災教育・地域防災活動プログラム等を提供する。

以上により、最小限のコストで多数の強震観測点を確保するとともに、建物耐震化や地震防災教育、普及啓発が可能となり、日本の防災文化に根ざした強震観測普及の新たなモデルとなり得ると考えた。

3. 研究の方法

本研究では主に以下の3点を実施する。

(1) 非専門家による強震観測を可能にするためのハード、ソフトの開発とテストを行う。特に廉価型やリサイクルされた観測機材などローコストで手軽な強震観測装置の開拓と特性把握、限定された通信環境でも観測とデータ回収を効率的に行えるシステムの開発、データ回収・利用を支えるウェブGISベースのデータベースサーバーの開発などが主となる。

(2) 高校生と連携した観測の試行を行う。まず理科教育を主に考え、身近な建物の強震観測を行い、分析をサポートすることで、提案する観測方法の運用の有効性を示す。

(3) 大規模振動台実験における観測を試行し、特にモニタリングへの適用を検討する。大地震時の建物機能継続に向けたモニタリングに基づく構造被災度判定は、強震観測の重要な応用として認識されている。本手法による簡易な計測の有用性を厳しい実験環境で確認する。

4. 研究成果

(1) 観測機材の検討

ここでは一定期間観測に用いられた後に更新された旧型の地震計の活用を主に考える。具体的には防災科学技術研究所で使用された K-NET95 や、自治体ネットの計測震度計などが対象になる。これらは 1995 年兵庫県南部地震の後に地盤観測用として多数設置されたもので、10 年を経過したところから順次更新されてきた。

このような機器は、劣化等による動作不安定の可能性があることに加え、記録容量が小さいため観測データがあふれてしまうこと、通信が貧弱なためデータ転送に時間がかかること、バッテリー稼働時間が短いことなどの欠点を有している。一方で、K-NET95 は一つの筐体に収められ、設置や維持管理が容易な点は優れている。これらを考慮して K-NET95 には極力手を加えず、周辺機器の組み合わせで上記欠点に対応することを考える(学会発表)。

もっとも簡易には、のみに対応して、電源強化のために一般的な PC で使用される小型 UPS を併設することが考えられる。比較的頻繁にメンテナンス対応ができる観測点や、地震計を使用すること自体に教育・啓発的な意味があるケースでは、これで十分な機能が得られることを確認している。

一方、にも対応するため、強震計にマイクロサーバを接続して運用するシステムの開発を行った。写真1に外観を示す。マイクロサーバは小型、堅牢で低消費電力であり、多様な機器やネットワークとの接続に優れ、Linux により稼働することで機器コントロールを行うソフトウェアの開発も比較的容易である。今回開発したマイクロサーバ内蔵ソフトウェアは、定期的な強震計の状態確



写真1 観測機器の外観 (上から撮影)

認、時刻校正、定時観測、データ回収およびメールあるいはFTPによる転送、基本的なデータ分析、USBメモリへのデータバックアップなどの機能を有している。一方、トリガによる強震観測は強震計本体の機能である。これにより、長期にわたり観測を継続する場合、連続して多数の観測記録が得られる場合、あるいはネットワークに接続せずに観測する場合などでも十分なデータ量を記録でき、現地でのデータ回収が容易になる。また、多様な通信に対応することから、状況に応じて通信環境を選択できる。

さらに、現地でデータ回収を行う場合に備えて、ノートPCをマイクロサーバにLANケーブルで接続するだけでデータ回収や基本的なデータ分析を行うソフトウェアも作成した。これにより、ネットワーク接続がなされなくても、建物使用者などの非専門家の協力者が手でデータ回収を行うことが十分に可能になっている。

これらの機器の動作は、研究室で実施するとともに、写真2に示すように振動台実験においても検証している。



写真2 振動台実験における機器テスト状況

さらに観測データをデータベース化し、活用する環境として、ウェブGISベースのプロトタイプシステムも構築した。これにより各建物での観測結果を教習することが可能になるとともに、観測者が他の防災情報との関連などに用いることができる。

(2) 高校との連携による観測の実証

本研究で開発した観測システムを用いて、複数の高校の教員・生徒と連携した強震観測を行った。ここでは、特にSSH(スーパー・サイエンス・ハイスクール)の活動を進めている名古屋市内の高校の例を述べる。

高校側の体制は理科教員2名と理科部員数名である。強震計を数セット貸出し、扱い方の指導を行うとともに、地盤と建物の特性を観測するための基本的事項について説明した。またそのノウハウを生徒にまとめてもらい、今後の展開のマニュアルとした。図1は高校生が作成した校舎の概略と観測位置の例、表1は観測記録一覧である。観測地点において震度1~2の記録が得られていることがわかる。この期間の主要な地震はほぼ観測されており、日ごろから興味を持ってメンテナンスを行っていたことが確認できる。

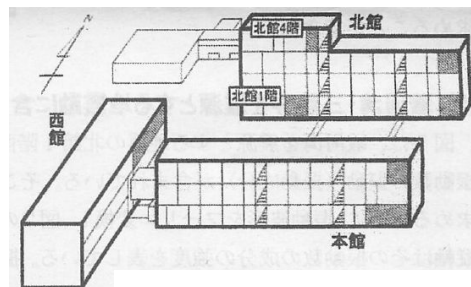


図1 観測対象の高校校舎(高校生による作図)

表1 観測地震リスト(2011/6~2013/4)

地震発生日時	震源地	震源からの距離D [km]	マグニチュード	明和高校の震度	初期微動継続時間T [s]
2011/08/01 23:58	駿河湾	159	M 6.2	2	19.54
2011/11/10 18:55	愛知西部	20	M 3.9	2	2.34
2011/11/18 3:57	福井嶺北	99	M 4.8	1	14.25
2011/12/14 13:01	岐阜美濃東部	61	M 5.1	2	7.27
2012/05/05 18:56	愛知県西部	51	M 4.3	2	6.21
2012/12/07 17:18	三陸沖	724	M 7.3	2	(計測不能)
2013/02/06 13:42	愛知県西部	67	M 4.1	1	(解析中)

さらに、図2に異なる地震の建物1階の記録の比較、図3に建物2方向の1階と4階の記録の伝達関数を示す。これらはいずれも、今回システムにより高校生が自発的に分析を行った結果である。図2では遠方の地震で短周期成分が小さいこと、図3では伝達関数のピーク振動数の読み取りと、その振動数における1階と4階のスペクトル形状を建物の短辺と長辺で比較して考察している。このように、科学に興味を持つ高校生であれば、十分に精度の高い観測記録が得られることが確認できた。また、観測と分析に関するレポートは、他の高校における観測のマニュアルとして十分使用できるものであった。

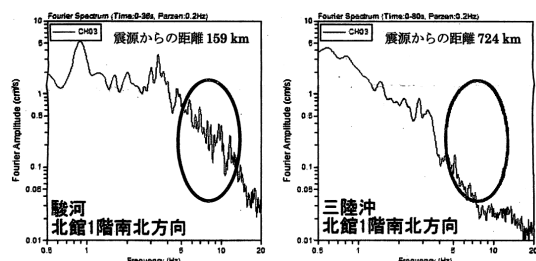


図2 高校生による地震観測記録の分析(1)

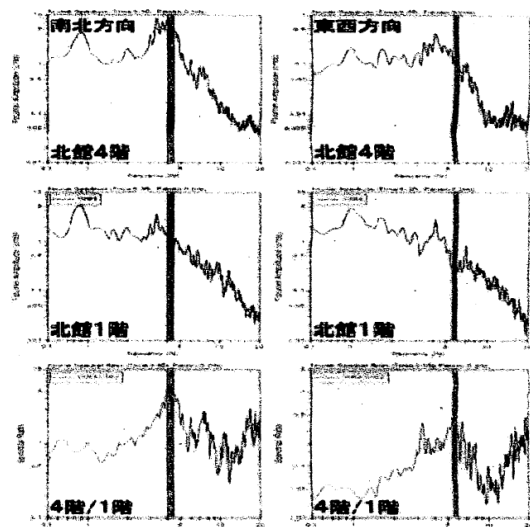


図3 高校生による地震観測記録の分析(2)

さらに工夫を重ねたある生徒はフーリエ変換に興味を持ち、FFT を計算するエクセルマクロを構築した。一方、海外での発表会に英語で参加した生徒もいる。このように、本研究のアプローチは、観測記録の拡充のみならず、教育啓発にも有効であると考えられる。

観測記録をデータベース化するシステムも試みている。図4は地図上に観測建物をプロットした例であり、ここから波形データベース等へリンクされる。相互運用により他の防災情報との連携も可能である。



図4 観測建物データベース(プロトタイプ)例

(3) 振動台実験におけるモニタリング試行
構造ヘルスマニタリングへの活用を視野に、本研究のシステムを実大構造物の振動台実験に使用し、強震計による建物応答および層間変形等の評価を試みた(雑誌論文)。図5は、Eディフェンスで行われた高層建物の室内状況実験の試験体である。30階建ての建物を縮約したモデルとなっており、強震計を7点に設置した。

レベルの異なる加振について観測結果が得られたため、固有周期と減衰定数を最大層間変形との関係で図6に示す。加速度記録の積分による層間変形も安定して求められており、本システムの時刻同期や波形精度が十分使用できるものと評価される。

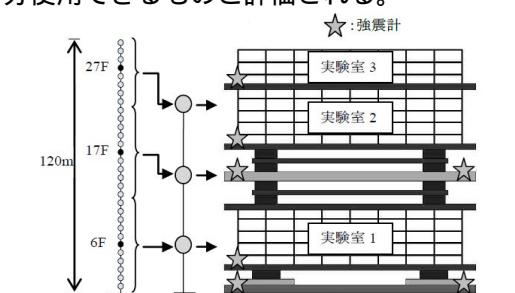


図5 高層建物を模擬した振動台実験の試験体

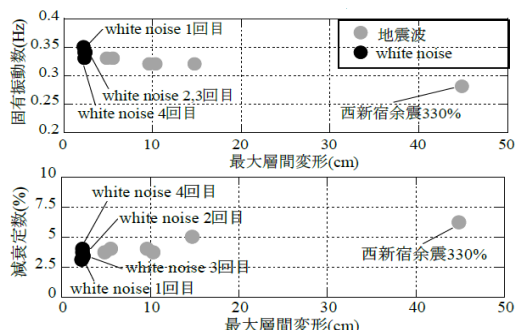


図6 強震計によるモニタリング結果

(4) まとめ

以上の(1)~(3)に示したほかにも、多数の建物に設置して稼働テスト中である(学会発表、ほか)。高温等で観測条件の良くない場合でも、マイクロサーバは長期に安定稼働することが確認できている(現状では強震計の安定性のほうが低い場合がある)。他の強震計の使用も可能であり、マイクロサーバのソフトウェア変更により対応できる。今後は観測データを活用する環境整備をさらに進めることで、本システムの利用促進につながると考えられる。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計1件)

松下卓矢、倉田和己、飛田潤、福和伸夫、吉澤睦博、長江拓也：振動台実験に基づく地震時室内被災状況のモニタリング技術とシミュレーションの開発、日本建築学会技術報告集、Vol.19、No.43、pp.871-874、2013.10

(学会発表)(計3件)

平山義治、飛田潤、福和伸夫：S造19階建てオフィスビルの観測に基づく常時微動、台風、地震時の固有振動数の変化、日本建築学会学術講演梗概集、pp.599-600、2013.8

小島宏章、飛田潤、護雅史、福和伸夫：旧型強震計とマイクロサーバを用いた強震観測システムの構築、日本建築学会学術講演梗概集、pp.621-622、2013.8

松下卓矢、飛田潤、小島宏章、福和伸夫：長期の強震観測に基づく中低層建物の応答分析、日本建築学会学術講演梗概集、pp.595-596、2013.8

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

福和 伸夫 (FUKUWA, Nobuo)
名古屋大学・減災連携研究センター・教授
研究者番号：20238520

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

小島 宏章 (KOJIMA, Hiroaki)
名古屋大学・大学院環境学研究科・助教
研究者番号：40402557
(平成13年3月まで)