

福井大学総合研究棟Iにおける地震観測

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-12-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大堀, 道広, 小嶋, 啓介, 蔭山, 満 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/8976

福井大学総合研究棟 I における地震観測

Earthquake Observation of Science Tower 1, University of Fukui

大堀 道広*
(福井大学附属国際原子力工学研究所)
小嶋 啓介**
(福井大学大学院工学研究科 建築建設専攻)
蔭山 満***
(福井大学附属国際原子力工学研究所)

1. はじめに

福井大学文京キャンパスに建つ総合研究棟 I は、本学のシンボリックな建物であり、研究・教育の重要拠点の一つである（写真 1）。このため将来の大地震発生時には、建物の構造健全性を早急に確認し、速やかに施設の機能回復を図る必要がある。そのためにも、将来の大地震発生を想定し、継続的な地震観測により建物の振動特性の経時変化を把握し、本震および余震に伴う振動特性の変化を確認することが効果的である。また、観測記録を利用して、地面の揺れと建物の揺れの違いや、上層階での揺れの増大に関する理解を広め、家具・什器類の転倒防止対策などの重要性を唱えることで、地域における地震防災の啓発に資することができると思われる。特に福井県は全国的にみて地震活動が低く有感地震も少ないせいか、建物の耐震化率も低いのが実情であり、地震防災の意識が低い土地柄と言われても否定できない。一方、震度階 7 を設定する契機となった 1948 年福井地震の激震地に本学が立地することを考えれば、本学には率先して地震防災に取り組む姿勢が求められる。将来の大きな地震による揺れや被害を想定し、その対策を講ずる上で、地震動予測手法の高度化が必要であり、それには中小地震の記録を根気強く収集しておくことが重要である。対象建物では、2006 年 6 月より西棟の屋上階と地下階の 2 点で地震観測が行われている [坂上(2007)]。さらに、2015 年 3 月に 6 階に地震計を増設し、計 3 点で地震観測が行われ始めている。まだ、3 点観測として地震記録はないが、これまで観測された地震記録の概要と、基本的な振動特性を報告し、今後の本建物における地震観測研究への期待を述べることにする。

キーワード：地震観測 福井大学 振動特性 固有周期 減衰定数

-
- * Michihiro Ohori
(Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui, Tsuruga, 914-0055)
- ** Keisuke Kojima
(Department of Architecture and Civil Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)
- *** Mitsuru Kageyama
(Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui, Tsuruga, 914-0055)

(a)



(b)



写真 1：福井大学文京キャンパスの総合研究棟 I の外観
〔(a)：西棟側より撮影、(b)：北側より撮影〕

2. 対象建物と観測概要

対象とする総合研究棟 I（写真 1）は、西棟と東棟に分かれている。はじめに SRC 造の西棟（地上 13 階、地下 1 階）が第一期工事として 2001 年に建設されている。その後、S 造の東棟（地上 13 階、地下階なし）が第二期工事として 2008 年に建設されている。地上高さは両棟とも 58.5m である。西棟と東棟の間には 3m 程度のクリアランスがあり、各階床はエクステンション・ジョイントで結ばれている。

地震計は 2006 年に西棟の東端、すなわち両棟の中央付近に設置されたエレベータの近傍（屋上階は機械室に、地下階は EPS）にそれぞれ設置されている。屋上階に設置した 3 成分加速度計（ミットヨ製 JEP-4A3）からの加速度検出信号を地下階に設置したデジタル強震計（ミットヨ製 SMAD9）に記録するシステム構成となっている。観測可能な振幅レンジは $\pm 2000 \text{cm/s}^2$ 、総合的な周波数特性は 0.05~25Hz においてほぼフラットである。なお、地下階のデジタル強震計には地震計をもう 1 台接続できることから、2015 年 3 月に 6 階の EPS に屋上階と同じ型式の 3 成分加速度計を追加した。これにより、今後、高次モードをはじめとする詳細な振動特性の検出が期待される。

2006 年 6 月に観測システムを設置して以来、これまで 21 個の地震動が観測されている。図 1 には観測された地震の震源距離とマグニチュードの関係とともに、屋上階における最大加速度を示す。この中には、2007 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震の際には本震（M6.9、図 1 中の①）と 3 個の余震（M4.8~5.3）の記録が含まれている。この時の本震においてこれまでで一番大きい最大加速度が得られており、屋上階および地下階のそれぞ

れで、 76.3 cm/s^2 、 21.2 cm/s^2 （いずれも短辺方向）を記録している。また、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（M9、図1中の②）の本震による地震動も記録されており、最大加速度は地下階では 4.4 cm/s^2 であったが、屋上階では 23.7 cm/s^2 （短辺方向）となり、先述の能登半島地震の本震に次いで二番目に大きい記録となっている。地下階と屋上階の最大加速度の関係を図2(a)に示す。同図には、両者の関係が 1:1、1:2、1:4、1:8、の対応となる場合を直線で描いている。これより、上下成分に比較して水平成分の揺れが大きいことや、上下成分は建物による増幅は顕著ではないのに対して水平両成分は最上階で地下階の 2~6 倍ほど大きくなっていることがわかる。加速度波形を 0.2~20Hz のバンドパスフィルターを施してから積分して速度波形を求めた上で、最大速度についても同様の関係を調べたのが図2(b)である。これより、最大加速度と同様の傾向が観察される。特に、水平両成分では最上階において地下階の 2~8 倍ほど大きくなっていることがわかる。

なお、最大速度は、2007年能登半島地震の地震動が最も大きく、屋上階および地下階のそれぞれで 12.4 cm/s 、 2.9 cm/s （いずれも短辺方向）を記録している。建物の周期については次章でも述べるが、最大速度を最大加速度で除してから 2π を乗じることで、1次固有周期が概算できる。これによれば、西棟の1次固有周期はおおよそ1秒と予測される。

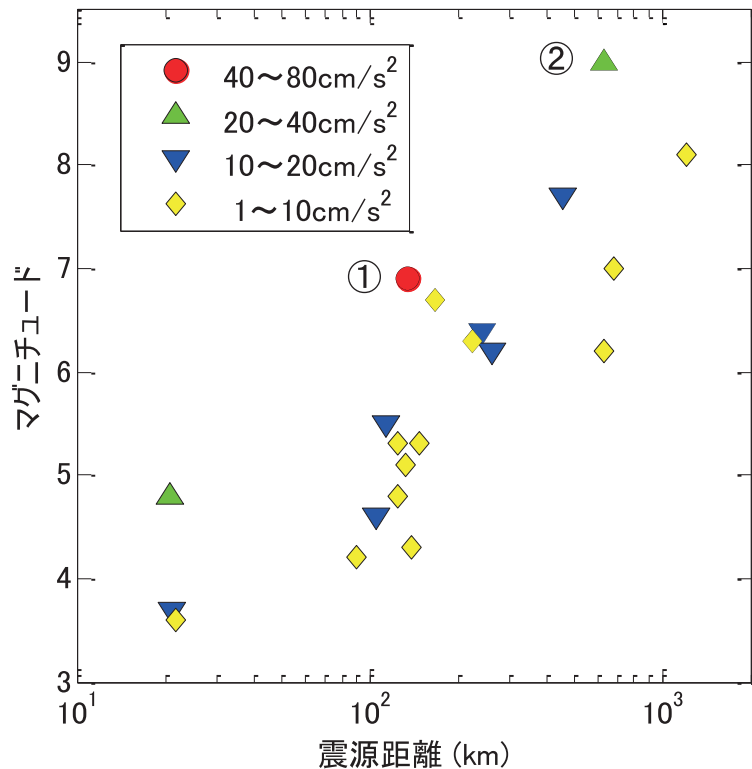


図1：観測された地震の震源距離とマグニチュード
（図中のシンボルは各地震の屋上階の最大加速度）

3. 基本的な振動特性

屋上階のフーリエスペクトルと地下階のフーリエスペクトルを算出し、地下階に対する屋上階のスペクトル比を取り、図3に示す。同図には、各成分について、各地震の結果を細線で描いた上で、最大加速度が最大だった2007年の能登半島地震の結果を太線で重ね書

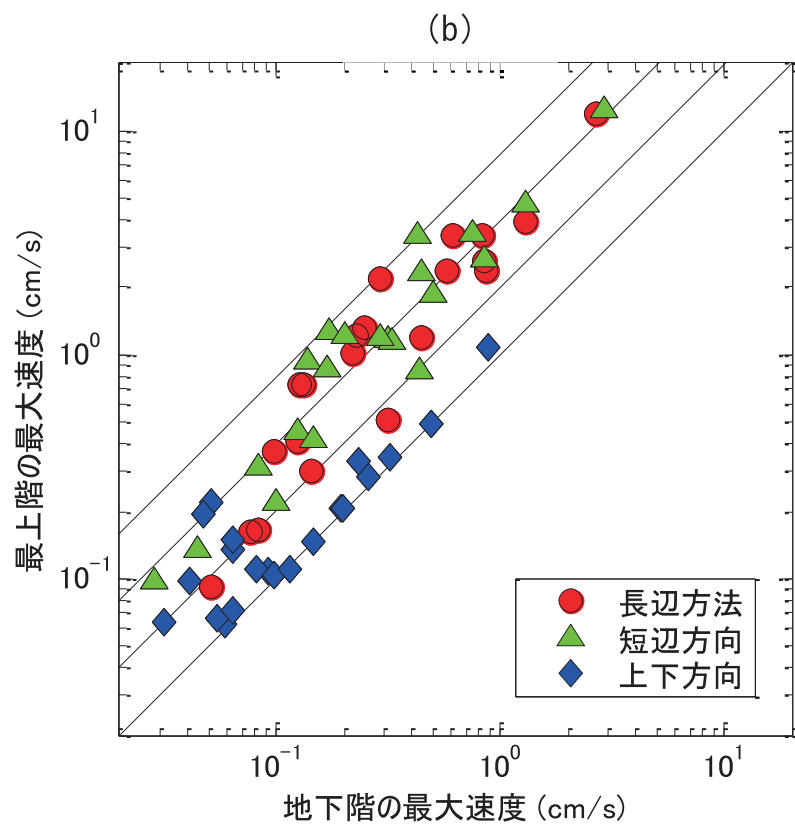
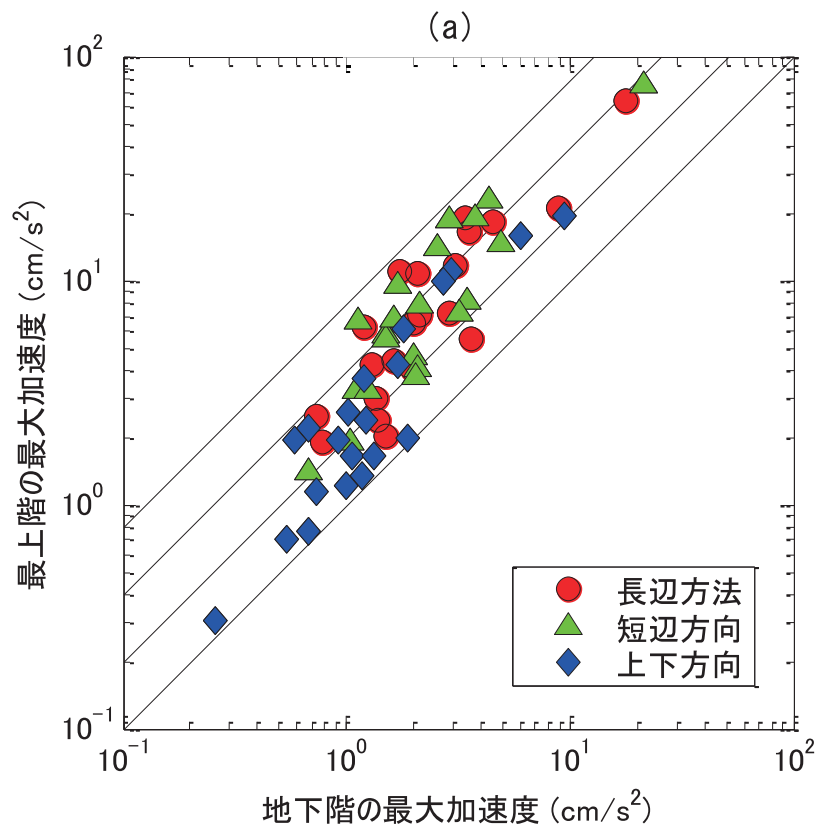


図 2 : 地階と最上階の最大加速度および最大速度の関係

きしている。これより、スペクトル比は地震によらず安定しているように見える。詳細に見れば、2007年の能登半島地震のスペクトル比は、他の地震よりもピーク周波数がやや低いことも認められる。また、水平方向の両成分には多くのピークが確認されるのに対して、上下成分には、9Hz付近（周期約0.11秒）に一つだけピークが見られる。2007年の能登半島地震のスペクトル比の主なピーク周波数（▲印）のうち、水平成分の結果を1次から4次まで抽出し、その逆数となる固有周期を算定した結果を表1、表2に示す。1次固有周期は長辺方向が1.12秒、短辺方向が1.13秒と算定されている。同表には、構造設計図書に記載された振動モデルに基づき、固有値解析を行った固有周期も併記している。西棟の1次固有周期は長辺方向が0.99秒、短辺方向が1.13秒と算定されている。地震観測記録のスペクトル比から算定した1次固有周期は、設計値と良く一致している。また、2次から4次の固有周期についても、観測値と設計値は1次に比較すると一致度は下がるものの、概ね対応している。なお、設計値はないが、上下成分のスペクトル比には、0.11秒に明瞭なピークが見られる。本報告では詳細は割愛するが、2014年8月に対象建物の西棟および東棟で常時微動観測を行っており、この時の西棟の屋上階と地下階とのスペクトル比によれば、1次固有周期は長辺方向では1.06秒、短辺方向では1.17秒と算定され、地震記録に基づく観測値、および設計値とほぼ対応する。

1次振動モードの減衰定数は、図3のスペクトル比のピーク振幅が長辺方向および短辺方向ともに23倍ほどで、これを $1/2h$ （ h は減衰定数）に等価であるとすれば、おおむね2%と試算される。今後、システム同定手法 [McVerry (1980)] を用いて、各振動モードにおける固有周期と減衰定数を評価する予定である。また、上述の常時微動観測からもRD法 [田村(1990)] などを用いて減衰定数を評価し、地震観測記録からの評価結果との比較や、西棟と東棟の振動特性の差異を明らかにして行きたいと考えている。

ところで、写真1に示すように、建物の外観からは西棟と東棟の構造形式の違いはわからない。S造の東棟については1次固有周期が長辺方向が1.66秒、短辺方向が1.80秒と算定されており、SRC造の西棟に比べて、固有周期の設計値がやや長くなっている。東棟の常時微動観測によれば、屋上階と地下階とのスペクトル比より1次固有周期は長辺方向が1.32秒、短辺方向が1.11秒と算定される。西棟に比べて、東棟では常時微動による固有周期が設計値よりもかなり短い。これはS造の東棟では非構造部材の剛性寄与の経年変化の影響が大きいことも要因であろう [例えば Minami (1987)]。今後、東棟での地震観測も実施したいと考えている。

4 今後の展望

本報告では、本学のシンボリックな建物である総合研究棟 I の西棟において、2006年6月より実施されている地震観測とその記録の概要を紹介した。福井県の現在の地震活動はたいへん低いものの、1948年福井地震の激震地に立つことを考えれば、本学のシンボリックな建物の構造健全性を継続的に監視し、将来の大地震時にも学内の研究・教育活動の継続性を維持する必要がある。さらに地域における地震防災の啓発に資する本学の取り組みを示すためにも、地震観測を続けて行く意義は大きい。2015年3月には西棟の中間階に地震計を増設し、今後、システム同定手法 [例えば McVerry (1980)] により高次モードをはじめとする振動特性の詳細な把握や、非構造部材の剛性寄与の経年変化や地震後の固有周期の変化 [例えば Minami (1987)] などの検出も期待される。ゆくゆくは東棟でも地震観測を実施し、建物全体の振動特性を総合的に把握するとともに、両棟の連結制振 [例えば 蔭山ほか (2000)] の可能性を検討したいと考えている。そのためにも、現在の地震観測により記録を継続的に蓄積して行きながら、さらに地震観測システムを充実させて行くことが重要であると考えている。

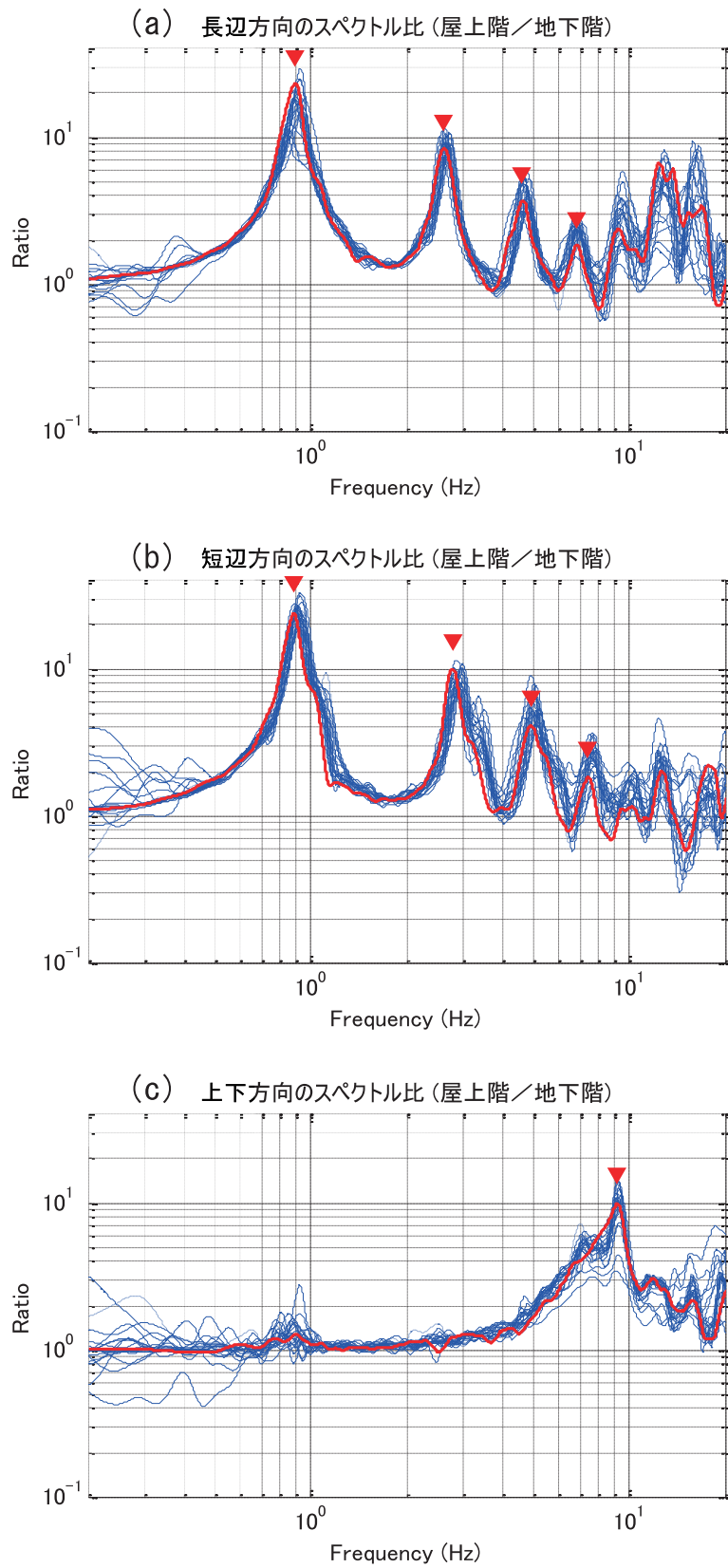


図 3 : 地階に対する最上階のフーリエスペクトル比
(太線 : 2007 年能登半島地震、細線 : その他の 20 地震)

表 1：長辺方向の固有周期の設計値と観測値の比較

	長辺方向の固有周期 (秒)			
	1次	2次	3次	4次
設計値 (A)	1.012	0.401	0.250	0.179
観測値 (B)	1.116	0.380	0.216	0.146
比 (B/A)	1.103	0.949	0.861	0.812

表 2：短辺方向の固有周期の設計値と観測値の比較

	短辺方向の固有周期 (秒)			
	1次	2次	3次	4次
設計値 (A)	1.194	0.497	0.311	0.219
観測値 (B)	1.129	0.358	0.203	0.134
比 (B/A)	0.946	0.722	0.652	0.612

謝辞

本報告における強震観測は、東京大学地震研究所と本学の共同研究の一環によるものです。関係各位に心からの感謝を申し上げます。また、地震計の増設に際して、地域環境研究教育センター・平成 26 年度研究支援経費ならびに平成 25 年度復興関連事業「原子力防災・危機管理社会システムモデルの構築」からの支援を受けましたことを記します。

参考文献

- 坂上 実 (2011): 地震研究所における強震動観測の変遷と現状, これから, 東京大学地震研究所技術報告, 第 17 号, pp. 74-94.
- G. H. McVerry (1980): Structural Identification in the Frequency Domain from Earthquake Records, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 8, No. 2, pp. 161-180.
- 田村幸雄, 佐々木淳, 塚越治夫 (1993): RD 法による構造物のランダム振動時の減衰評価, *日本建築学会構造系論文集*, No.454, pp.29-38.
- T. Minami (1987): Stiffness deterioration measured on a steel-reinforced concrete building, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 15, No. 6, pp.697-709.
- 蔭山 満, 安井 譲, 背戸一登 (2000): 連結制振の基本モデルにおける連結バネとダンパーの最適解の誘導, *日本建築学会構造系論文集*, 第 529 号, pp. 97-104.