

3.4.2 既存木造建物の地震応答観測(その2)

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成16年度業務目的

(2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 観測対象建物の概要
 - 2) IR邸
 - 3) KT邸
 - 4) TN邸
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成17年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	鈴木 祥之	suzuki@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学工学研究科	教授	林 康裕	hayashi@archi.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学大学院	大学院生	森井 雄史	morii@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
	大学院生	新居 藍子	nii@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
	大学院生	須田 達	suda@dol.hi-ho.ne.jp

(c) 業務の目的

日本全国各地には、地域特有の木構法によって建てられた木造軸組建物が数多く存在している。これらの木造建物には建設年代が古い建物も多いが、今後も地域で継承していくべき構法や建物が多い。しかしながら、地域に特有な構法で建てられた既存建物の耐震性能の力学的解明は十分とは言い難く、来るべき大地震に対する耐震化対策を考える上でも、実際の地震時の応答特性の把握は不可欠である。本研究では、既存の木造軸組建物を対象とした地震観測を実施し、地震応答・耐震性能を解明する事を目的とする。

(d) 5（あるいは計画年数）ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成14年度：

- ① 既往の地震観測システムについて調査を行い、観測機器・システム仕様を決定した。
- ② パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、1棟を選定して地震観測を開始した。

2) 平成15年度：

- ① 地震観測対象建物を2棟追加選定し、地震観測を開始する。
- ② 平成15年度までに観測を開始した建物の振動特性・構造特性について分析を行う。
- ③ 平成15年度の地震観測記録の分析を行う。

3) 平成16年度：

- ① 地震観測対象建物を1棟追加選定し、地震観測を開始する。
- ② 平成16年度までに観測を開始した建物の振動特性・構造特性について分析を行う。
- ③ 平成16年度の地震観測記録の分析を行う。

4) 平成17年度：

- ① 観測対象建物の振動特性の経時特性について分析を行う。
- ② 平成17年度の地震観測記録の分析を行う。
- ③ 振動特性の変形依存性と構造特性の関係について分析を行う。

5) 平成18年度：

- ① 平成18年度の地震観測記録の分析を行う。
- ② 地震観測対象建物の構造特性・振動特性について総合的評価を行う。
- ③ 全体のまとめを行う。

(e) 平成16年度業務目的

- ① 京都市内において、既存の軸組木造住宅を新たに1棟選定し、地震観測を開始する。また、同システムによって、定期的・継続的な常時微動計測が行える様にする。
- ② 成15年度に地震計を設置した木造建物を中心として、地震観測記録に基づいて建物の振動特性を調べるほか、その変形依存性についても分析を行う。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

本研究では、既存木造建物の地震応答観測を実施して、木造特有の特性と木造建築の地域性を考慮して伝統構法を含む軸組構法木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図ることを目的として以下の研究を実施した。

軸組構法木造建物の地震時挙動を把握するために既存木造建物の地震観測を平成14年度、15年度に引き続き実施し、地震観測記録の分析を行っている。また、平成15年度には耐震改修中で地震観測を中断中であった郊外型の町家（IR邸）についても、耐震改修中の振動特性の変化を常時微動計測結果に基づき分析を行うとともに、地震観測再開後に得られた地震記録の分析を行った。さらに、平成16年度は、新たに京都市域で典型的な京町家1棟を選定して地震応答観測装置を設置した。設置に当たり、微動計測や構造詳細調査を行っている。

平成16年9月5日の紀伊半島沖・東海道沖の地震では、観測地域の京都市で震度3～4となり、観測対象の木造住宅で比較的大きな地震応答観測記録が得られたので詳細な分析を行っている。また、本年度に観測を始めた木造住宅1棟では地震計を密に配置して地震時における立体的な振動特性の把握を行った。

(b) 業務の成果

1) 観測対象建物の概要

パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、京都市域の木造住宅 KJ 邸、IR 邸、KT 邸、TN 邸の4棟を選定した。4棟の立地地点を赤印で図1中に示す。図中に示した青い点は、京都大学防災研究所が地震観測を行っている京都市地震観測ネットワークの観測地点である。これらの観測地点における地中と地表面の地震観測記録も、京都大学防災研究所に設置された地震観測システム制御用 EWS に自動収集され、同一フォーマットにて蓄積されて木造建物に入力した地震動の分析に用いられる。

以下に観測対象建物である KJ 邸、IR 邸、KT 邸、TN 邸の概要をそれぞれ示す。

- KJ 邸 京都市中心部に位置する築115年の京町家である。張り間方向に細長く、通り庭を有するなど典型的な京町家の形態をとり、規模は比較的大きい。平成14年度に観測を開始した。
- IR 邸 京都市郊外に建つ住宅専用の木造住宅である。耐震改修を終え、平成16年度より観測を再開した。
- KT 邸 茶屋様式の京町家で、KJ 邸と同様に張り間方向に細長い。平成15年度より観測を開始した。
- TN 邸 京都市中心部に位置し、明治初期建築で、規模、形態ともに標準的な京町家である。平成16年度より観測を開始した。

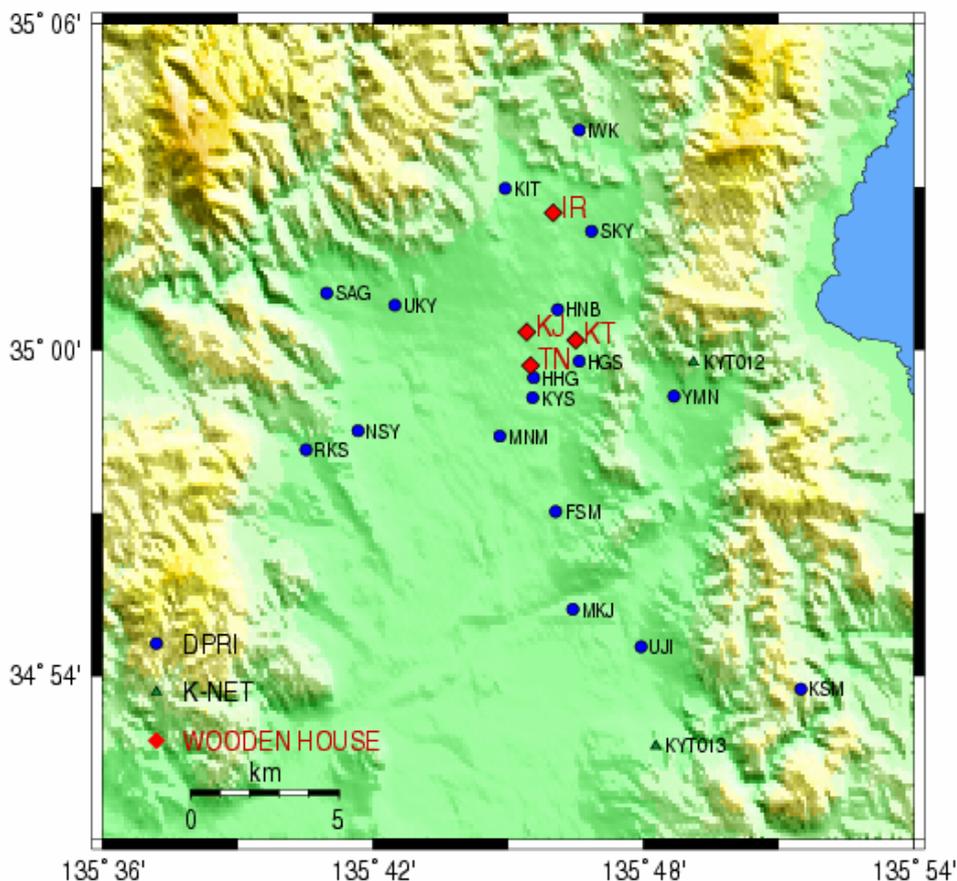


図1 観測対象建物位置と京都市地震観測ネットワーク観測地点

2) IR 邸

a) 建物概要

IR 邸は、京都市郊外に建つ住居専用の京町家である。築約 70 年であり、2004 年 2 月から 2004 年 6 月にかけて耐震改修が行われた。図 2、図 3 に改修前後の IR 邸の外観を示す。IR 邸は 2 階建ての軸組構造であるが、平面は典型的な京町家の細長い形態とは異なり、東西幅と南北幅に大きな差はなく 10m 程度である (図 4)。

地震計の配置は表 1 及び図 4 に示す 4 地点 (GL 1 地点、2F1 地点、RF 2 地点)、とし、計 9 成分で観測を行っている。



図 2 改修前の外観



図 3 改修後の外観

表 1 計測点配置

設置場所	コード	ch	成分
地盤	GL	1	NS
		2	EW
		3	UD
2階床	2FL-C	4	NS
		5	EW
小屋	RFL-C	6	NS
		7	EW
	RFL-N	8	NS
		9	EW

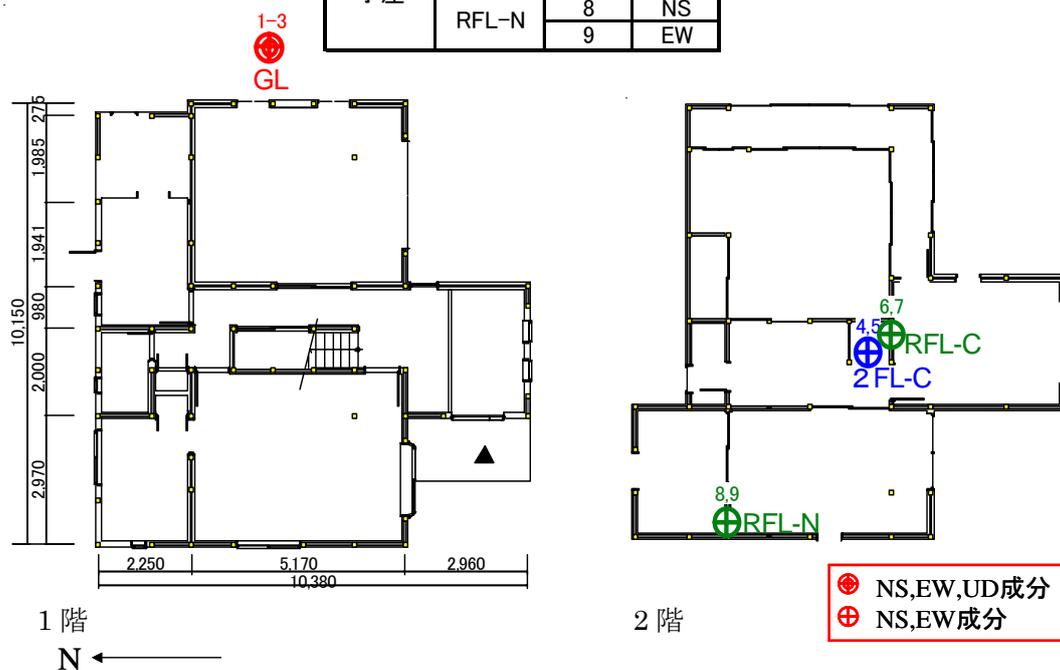


図 4 平面図および地震計設置位置

b) 耐震改修プロセス

IR 邸の耐震改修の過程を表 2、図 5 に示す。IR 邸は過去に増築されており、耐震改修では、過去に増築された部分の一部除去を行うとともに、耐震補強が施された。表 2 に示すように、耐震改修に合わせて常時微動計測を行い、IR 邸の振動特性の変化を調べている。

表 2 耐震改修の過程と常時微動計測日

耐震改修の過程		常時微動計測日
改修前		2003年9月23日
軸組のみ	増築部分を撤収した 壁(一部残す)・1階床をとりはずした 柱の腐食部分を除去した 屋根瓦をおろした	2004年3月3日
軸組補修後	柱の除去した箇所を補修した 新たに柱・梁を加えた 仕口ダンパーを取り付けた 1階床に合板をはり、2階床を補修した 屋根に野地板、防水シートをはった	2004年3月25日
構造要素の施工段階	荒壁パネル、構造用合板、木枠、筋交いを取り付けた 1階天井に石膏ボードを取り付けた 屋根に化粧スレートを施工した	2004年4月22日
仕上げ後(竣工)	壁、2階天井に石膏ボードを取り付けた 床にたたみ、フローリングを入れた 内外装仕上げ	2004年6月23日



図 5 耐震改修の過程

c) 改修過程における振動特性の変化

常時微動計測は、加速度計（アカシ製 GPL-6A3P）を使用し、サンプリング周波数 100Hz、計測時間 10 分間とした。計測箇所は 1 回目及び 5 回目（改修前後）の計測では、地盤 1 ヶ所、建物に 9 ヶ所とし、2～4 回目（改修中）の計測では、地盤 1 ヶ所、2 階床 4 ヶ所とした。得られた加速度データから地盤に対するフーリエスペクトル比を算出した。図 6 に各計測における代表的な計測点の配置を、図 7 に算出されたフーリエスペクトル比を示す。

i) 改修前(図 7(a))

1 次固有振動数は、NS 方向で 4.6Hz、EW 方向で 3.6Hz であった。

ii) 軸組のみ (図 7(b))

構面によりピーク振動数が異なり、NS、EW 方向で同じ 3 つのピーク振動数 (1.6Hz、2.2Hz、2.8Hz) が確認でき、両方向の振動が連成していると考えられる。

iii) 軸組補修後 (図 7(c))

NS、EW 方向で同じく 3 つのピーク振動数がみられるが、その値は 1.9Hz、2.4Hz、3.2Hz となり軸組を補修する前と比較して若干高くなっている。

iv) 構造要素の施工後 (図 7(d))

連成が見られなくなり、1 次固有振動数は、NS 方向が 3.5Hz、EW 方向が 3.3Hz となった。

v) 仕上げ後 (図 7(e))

固有振動数が、NS 方向で 7.4Hz、8.6Hz、EW 方向で 6.4Hz となった。これは、仕上げ前の固有振動数の約 2 倍であり、仕上げ前後で大きな変化がみられる。

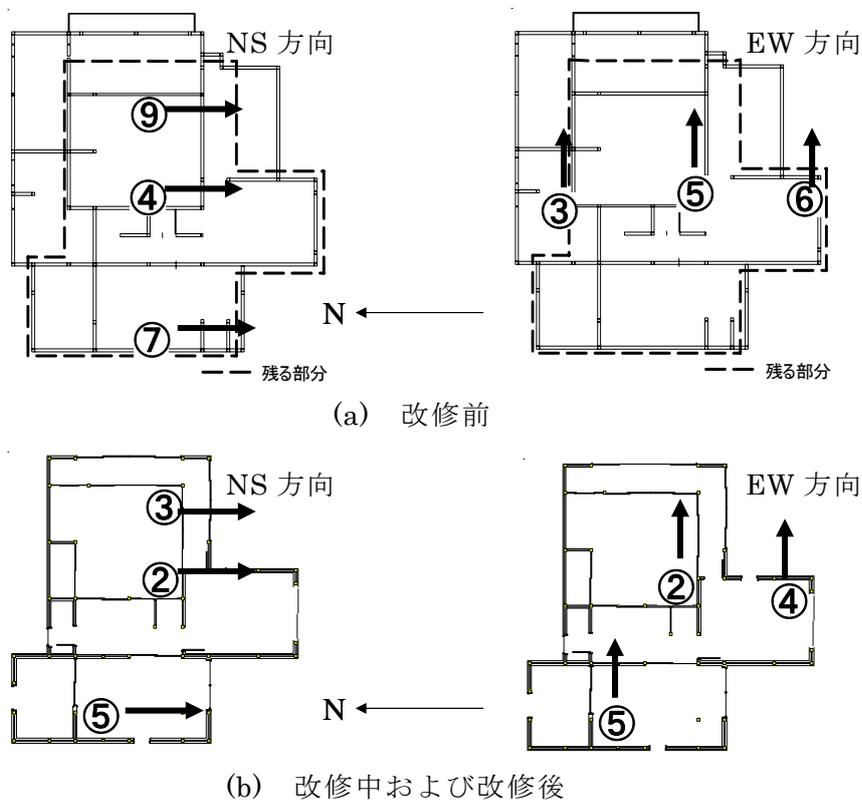


図 6 代表的な常時微動計測点配置(2 階床)

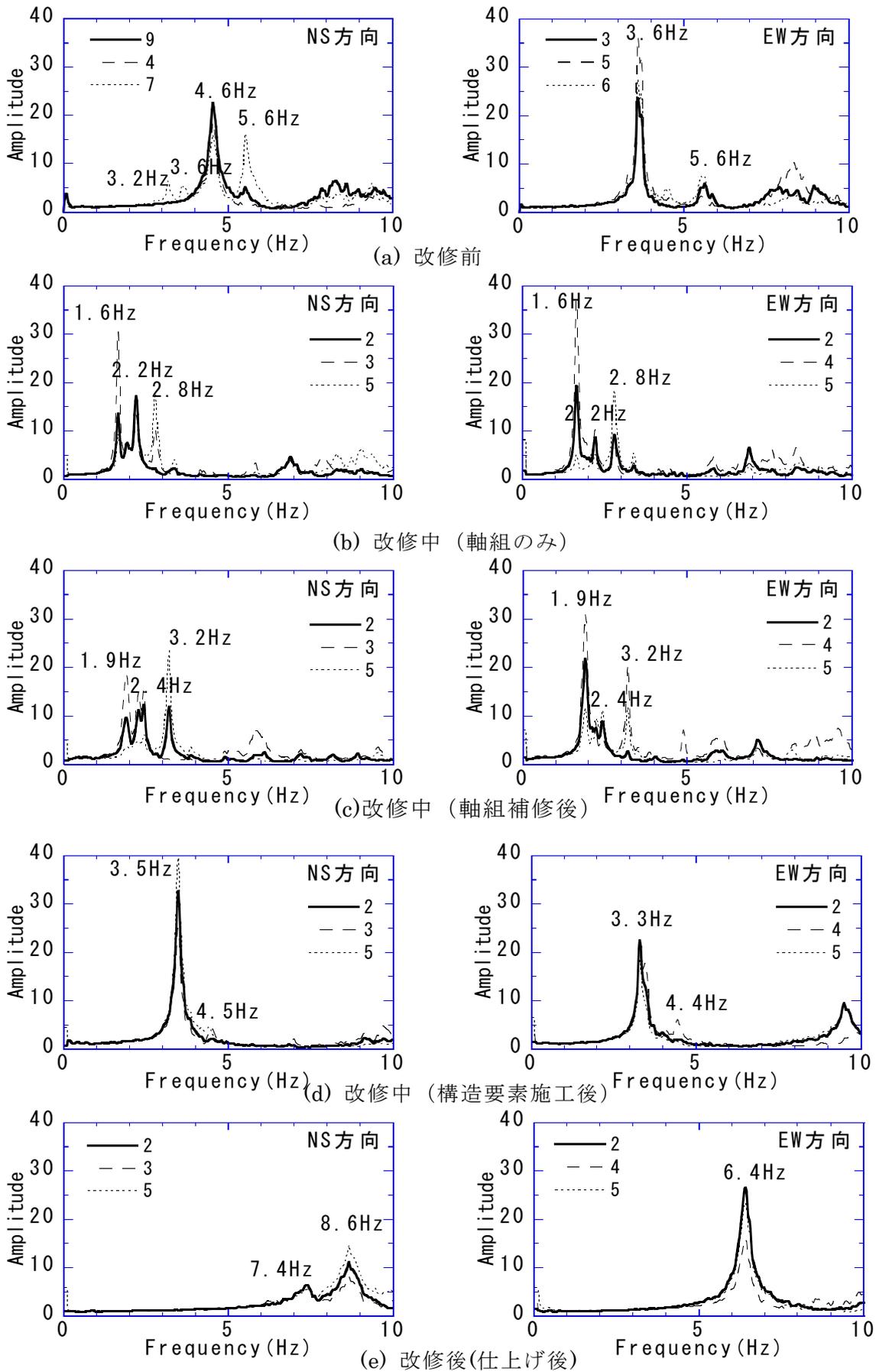


図7 改修過程におけるフーリエスペクトル比の変化

d) 地震観測記録の分析

IR邸では2004年9月半ばより地震観測を開始し、2005年3月15日現在までに表3に示す地震が観測されている。観測された地震の震源地を図8に示す。最も計測震度の大きな地震は、2004年12月1日23時30分に発生した地震で、計測震度が2.6、最大地動加速度が 0.296m/s^2 であった。同地震で得られたNS方向の加速度波形を地盤(GL)、2階床(2FL-C)、小屋(RFL-C)の3点について図9に示す。観測点RFL-Cの加速度データから算出した地表面に対するフーリエスペクトル比を、2004年12月1日23時12分に発生した地震(計測震度0.5、最大地動加速度 0.070m/s^2)および微動のものと比較して図10に示す。地震動レベルが大きいほど、固有振動数が低下し、フーリエスペクトル比のピーク値が小さくなる傾向がみられる。

表3 観測地震の諸元

No	地震発生日時	北緯	東経	マグニチュード	震源深さ [km]	PGA [m/s^2]	PGV [m/s]	I_{JMA}
1	2004/09/23 20:37	35.14	135.78	2.4	15.01	0.012	0.00027	-0.89
2	2004/10/05 08:33	35.93	136.38	4.8	12.38	0.022	0.00074	0.60
3	2004/12/1 23:12	35.04	135.81	2.8	12.30	0.070	0.00158	0.49
4	2004/12/1 23:30	35.04	135.81	4.0	12.65	0.296	0.01159	2.55
5	2004/12/2 04:16	35.04	135.81	2.4	12.42	0.025	0.00055	-0.47
6	2004/12/14 18:54	34.97	135.55	2.9	10.55	0.016	0.00024	-0.54
7	2005/01/9 18:59	35.31	136.85	4.7	12.63	0.025	0.00051	0.30

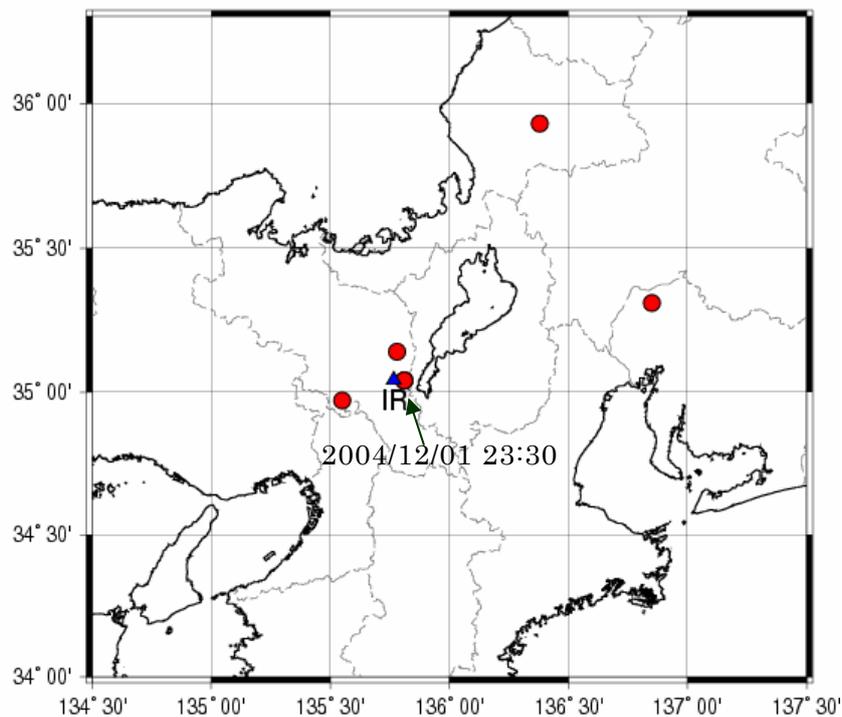


図8 観測地震の震源位置

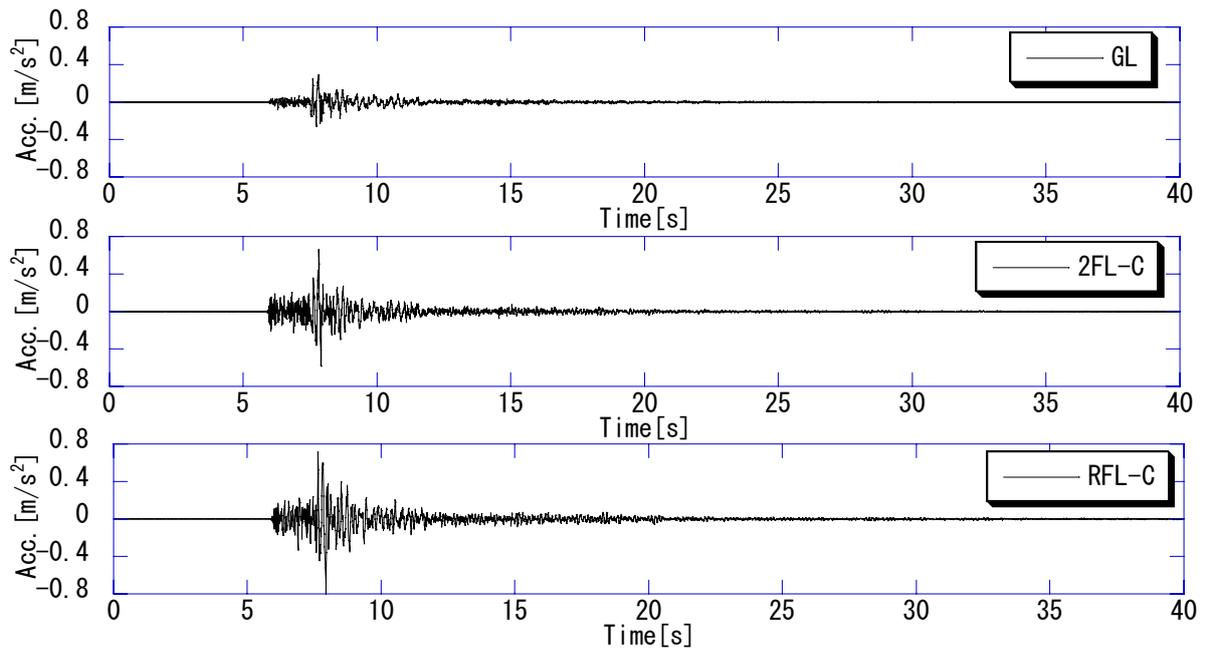


図9 観測された加速度波形 (NS方向、2004年12月1日23時30分の地震)

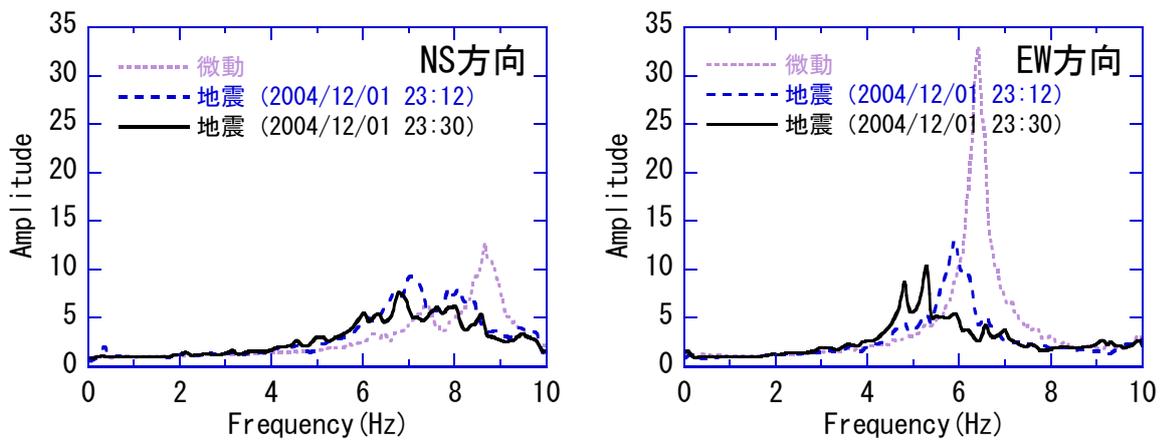


図10 フーリエスペクトル比の比較

3) KT 邸

a) 建物概要

KT 邸は築 60～70 年の 2 階建ての京町家で、お茶屋の様式となっている。外観を図 11 に、平面図を図 12 に示す。平面は、間口が 2 間半、奥行きが 5 間半と張り間方向に細長い形状となっている。最も奥の室では居室の境となる張り間方向の構面の位置が 1 階と 2 階で一致しておらず、それに伴い柱の位置も 1 階と 2 階で異なる箇所が存在している。張り間方向南側には通り庭と呼ばれる空間がある。通り庭は土間で屋根まで吹き抜けとなっているものも多いが、当建物では改修がなされ、1、2 階とも床が張られている。



図 11 KT 邸外観



図 12 KT 邸平面図

b) 常時微動計測

KT 邸において建物全体の振動特性を把握するため、常時微動計測を行った。計測では、アカシ製地震計 GPL-6A3P（水平 2 成分、鉛直成分）10 台を地表面 1 か所、建物内 9 か所に設置し、サンプリング周波数 100Hz で、10 分間の同時計測を行った。代表的な計測点の地表面に対するフーリエスペクトル比を図 13 に示す。また、フーリエスペクトル比のピーク値と同振動数における位相差を用いて得られた振動モードを図 14 に示す。

けた行方向では、2.7Hz にピークが見られる。同振動数では各構面で振幅や位相差に差がないことから、並進モードと推測できる。張り間方向では 4.6Hz(1 次)と 5.7Hz(2 次)でピークが見られる。1 次ピーク振動数では北側の構面の振幅が、2 次ピーク振動数では南側の構面の振幅がそれぞれ大きく、ねじれ挙動を呈している。張り間方向でねじれが見られるのは、KJ 邸においてけた行方向でねじれが顕著に見られた事と、対照的である。

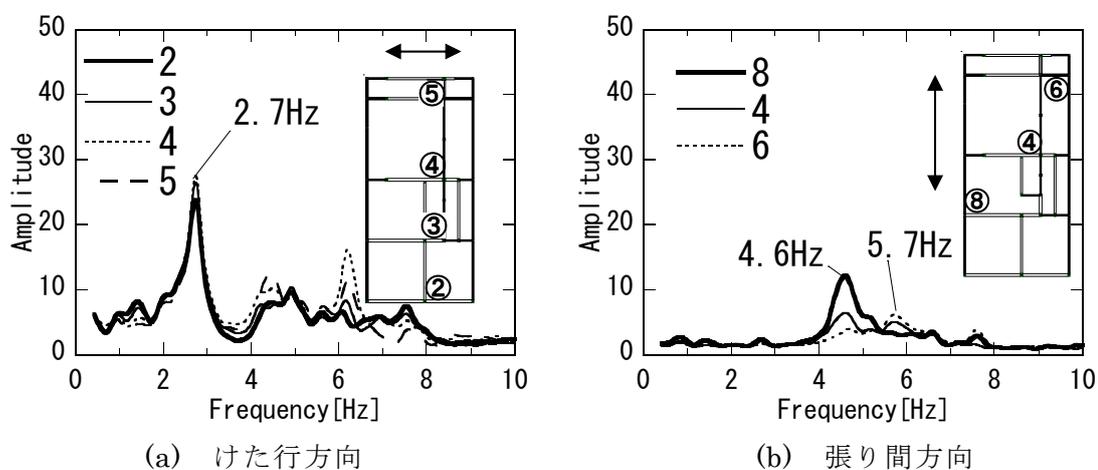


図 13 フーリエスペクトル比（常時微動計測）

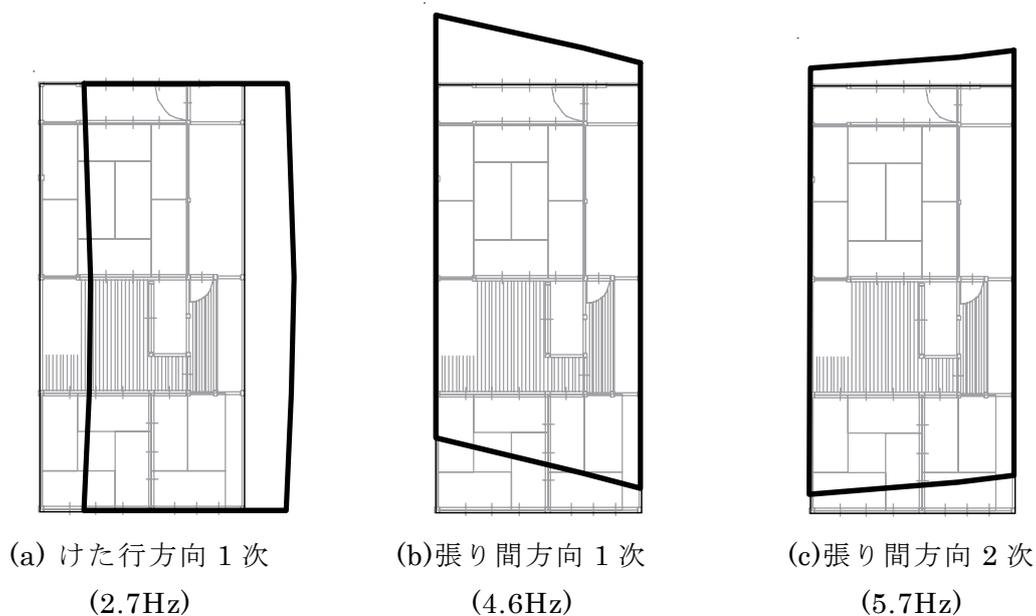


図 14 常時微動計測に基づく振動モード

c) 地震観測記録の分析

地震観測は、図 15 に示す観測点（地表面 1 か所、2 階床レベル 1 か所、小屋レベル 2 か所）計 9 成分で行っている。

2005 年 2 月時点で最大地動加速度が最も大きな観測地震は 2004 年 9 月 5 日に発生した東海道沖の地震（M7.3）で、最大地動加速度が 0.37m/s^2 、計測震度が 3.3 であった（図 17 の地表面で観測された加速度波形を参照）。以下では、同地震観測記録を用いて分析を行った結果を示す。得られた加速度記録から算出した地表面に対するフーリエスペクトル比を常時微動計測結果と比較して図 16 に示す。けた行方向では、1 次固有振動数が常時微動計測時の 2.7Hz から 1.8Hz 付近に低下している。一方、張り間方向では、地震時のフーリエスペクトル比のピークが明瞭に見られない。

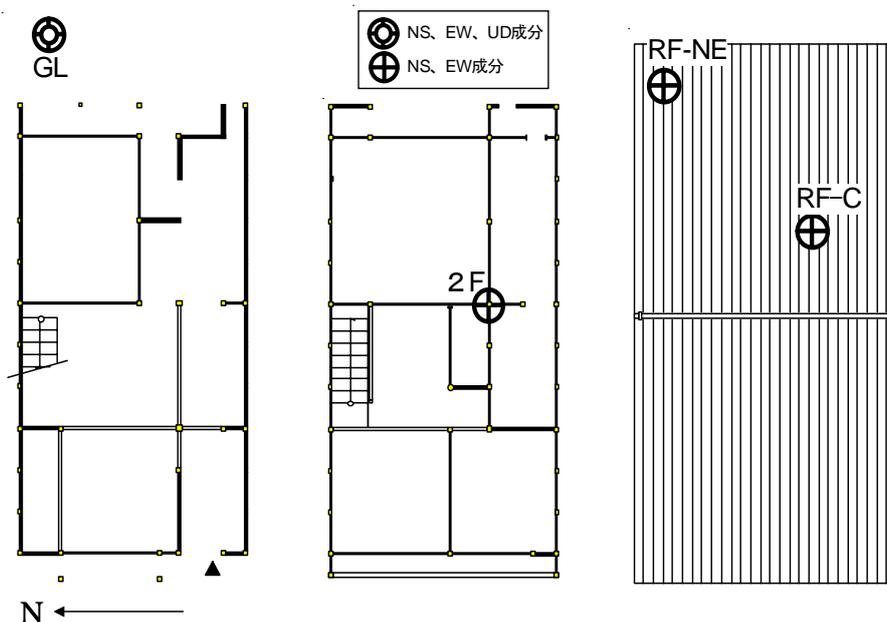


図 15 計測点配置

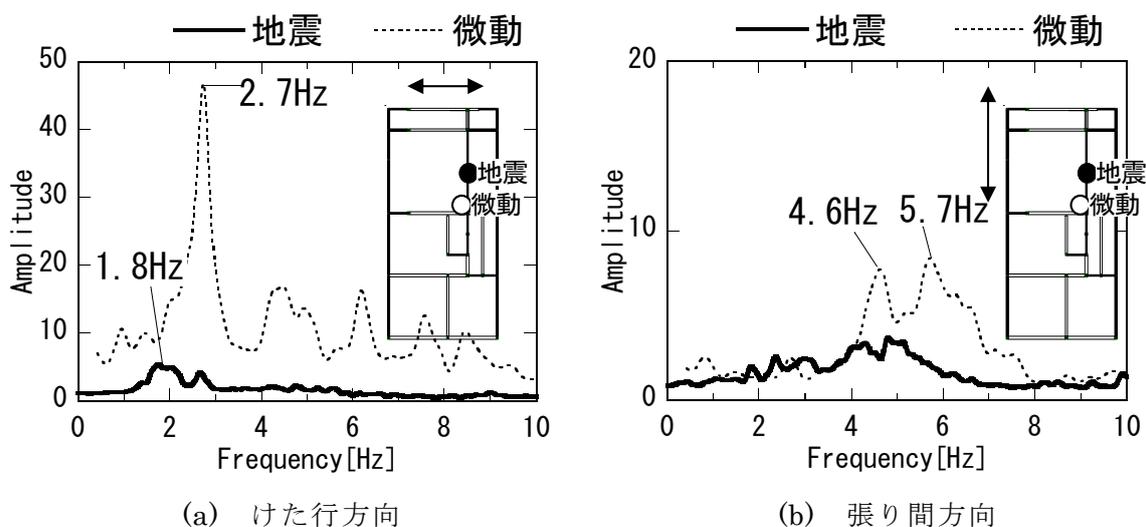


図 16 フーリエスペクトル比（東海道沖の地震と微動の比較）

得られた時刻歴波形を図 17 に示すように分割し、①～⑥の各時間帯について、地表面に対するフーリエスペクトル比を求めた。図 18 に、張り間方向のフーリエスペクトル比の時間変化を、小屋の 2 観測点 (RF-C、RF-NE) について示す。フーリエスペクトル比のピーク振動数は、地震動が大きい時間帯ほど低下し、振幅も小さくなる傾向が見られる。

図 19 に、時間帯毎に求めた、地表面に対するフーリエスペクトル比のピーク振動数と変形角 (相対変位を観測点高さで除した値の各時間帯における最大値) との関係を示す。同図より、張り間方向、けた行方向ともに、変形の増加とともにピーク振動数が低下する傾向が見られる。変形はけた行方向で大きいのにに対して、ピーク振動数の低下の度合いは、張り間方向で大きい。張り間方向の 1 次ピーク振動数の低下が最も大きく、4.4Hz から 2.4Hz へと低下している。また、両方向とも変形が小さくなるにつれ (⑤⑥の時間帯)、ほぼ地震発生前のピーク振動数に回復している。

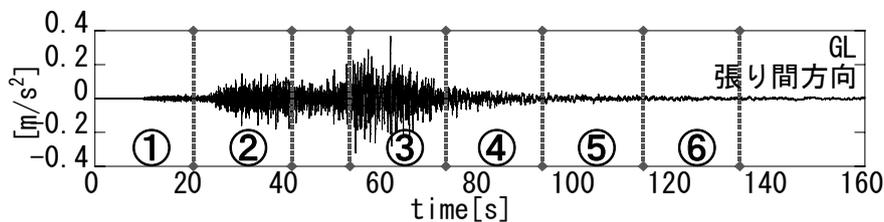


図 17 地表面の加速度波形(東海道沖の地震)

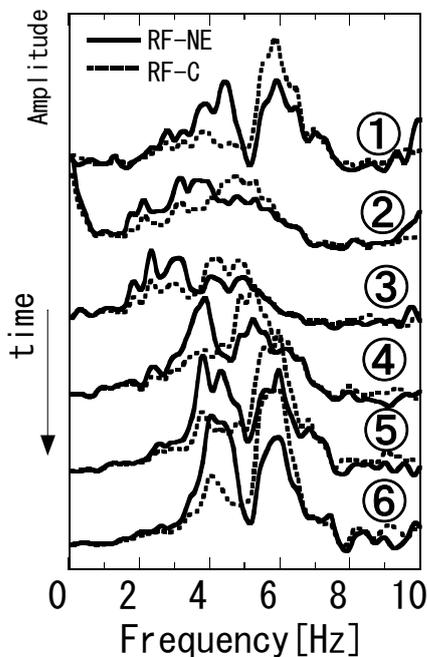


図 18 フーリエスペクトル比の時間変化

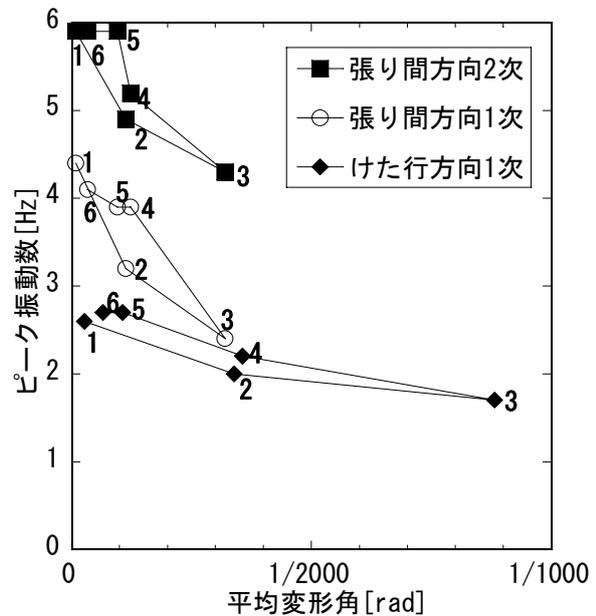


図 19 変形角とピーク振動数の関係

4) TN 邸

a) 建物概要

TN 邸は、京都市中心部に建つ明治初期建築の京町家である。図 20 に建物各部の様子を示す写真と平面図を示す。2 階建てであり、平面は、間口が 3 間、奥行きが 6 間半と張り間方向に細長い形状で、西側が通りに面している。間取りは、通り庭に沿って 4 室並ぶことから 1 列 4 室型と分類される。京町家としては標準的な規模、間取りである。



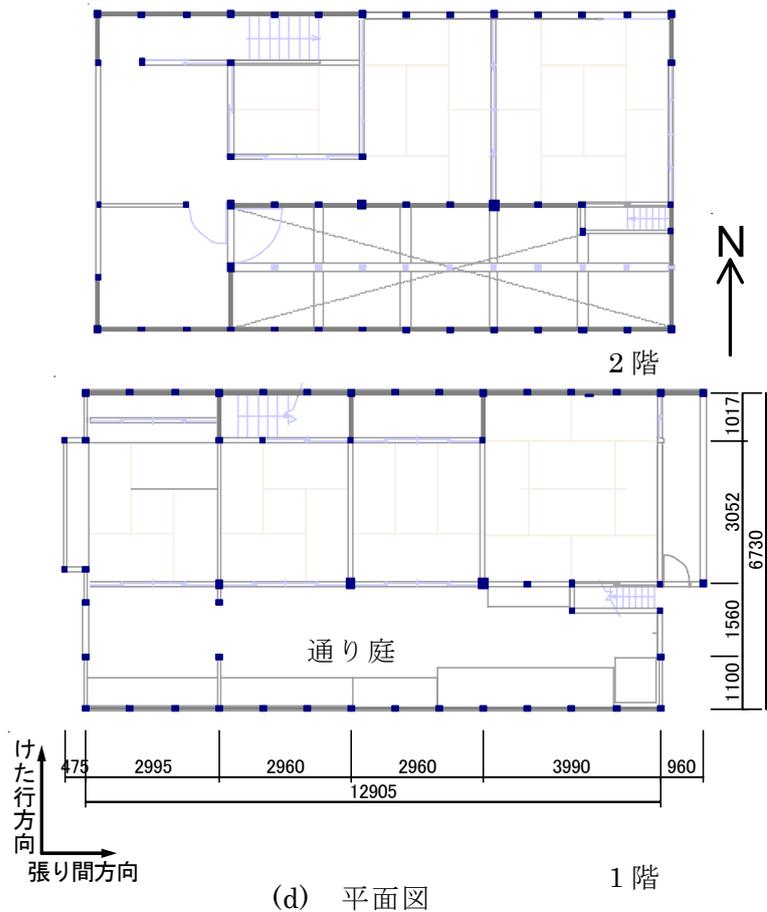
(a) 外観



(b) 1 階居室



(c) 通り庭

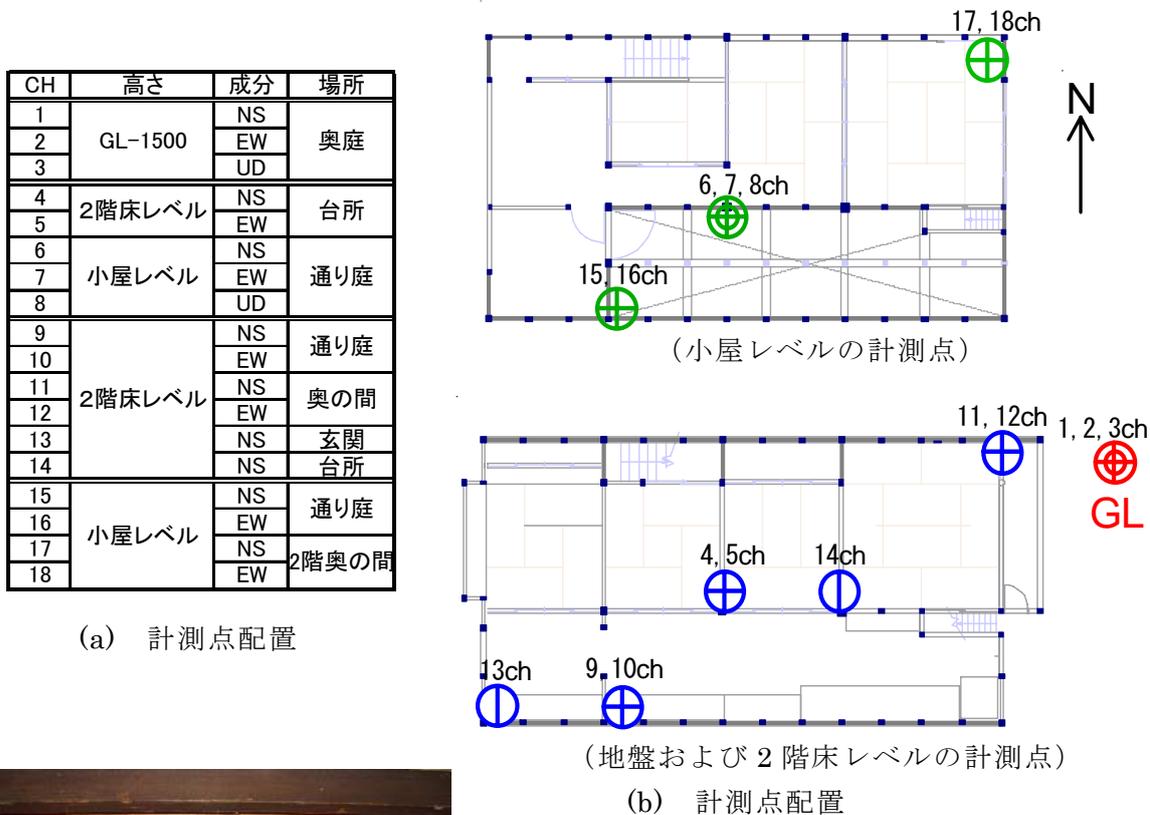


(d) 平面図

図 20 TN 邸の概要

b) 計測点配置

地震計設置は、図 21 に示す様に、9 箇所（GL 1 箇所、2 F5 箇所、RF3 箇所）、計 18 成分となっており、詳細な振動性状の把握が可能となっている。



(c) データロガー



(d) 検出器 (11,12ch)



(e) 検出器 (6,7,8ch)

図 21 TN 邸の地震計設置状況

c) 常時微動計測

TN 邸において建物全体の振動特性を把握するため、2004 年 7 月 21 日に常時微動計測を行っている。計測では加速度計（アカシ製、GPL-6A3P:水平 2 成分、鉛直 1 成分）を 10 か所（地盤 1 か所、2 階床 7 か所、小屋 1 か所、別棟の蔵 1 か所）に設置し、サンプリング周波数 100Hz、計測時間 10 分間として同時計測を行っている。得られた加速度データから地盤に対するフーリエスペクトル比を算出した。図 22 に計測点配置を、図 23 に代表的な計測点について算出したフーリエスペクトル比をけた行方向、張り間方向それぞれについて示す。けた行方向では 3.1Hz、張り間方向では 5.0Hz に卓越が見られている。フーリエスペクトル比のピーク値と同振動数における位相差を用いて得られた振動モードを図 24 に示す。

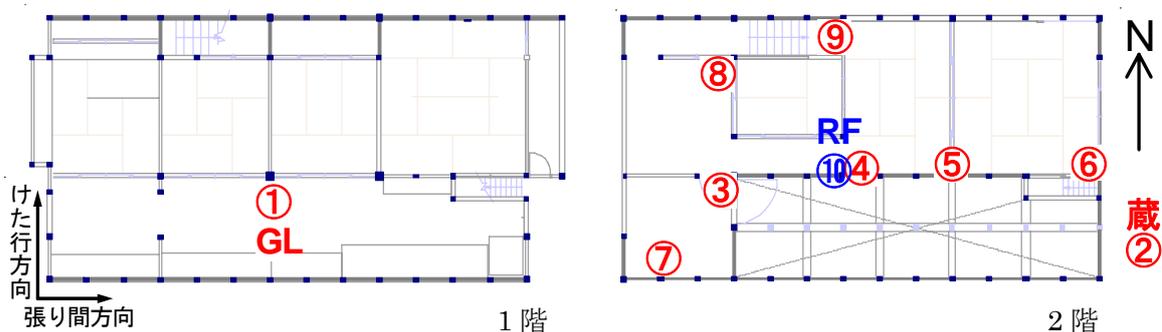


図 22 微動計測点配置

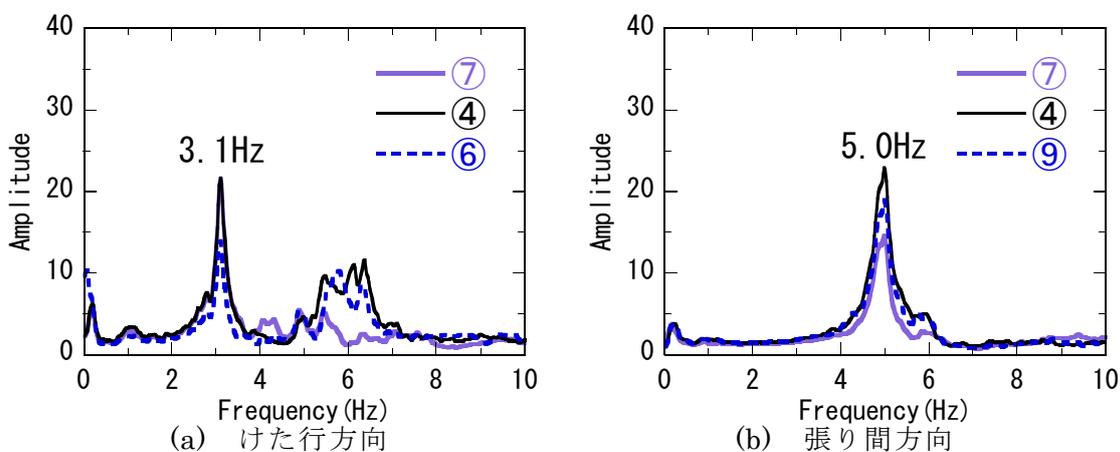


図 23 フーリエスペクトル比

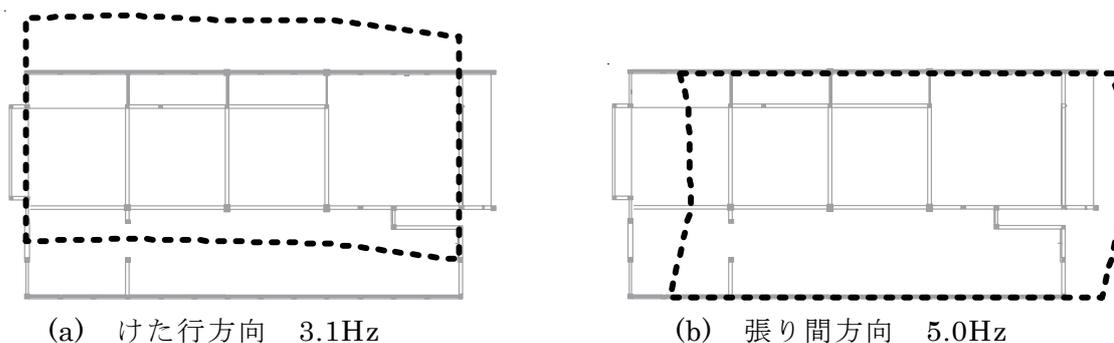


図 24 振動モード

(c) 結論ならびに今後の課題

1) IR 邸

IR 邸は、京都市郊外に建つ住居専用の京町家であり、2004 年 2 月から 6 月にかけて耐震改修が行われた。改修前後と改修中の主要段階において常時微動計測を行って振動特性の変化を調べた。その結果、壁、筋交いなどの構造要素を施工した後に、構面間や主軸方向間の連成がみられなくなったこと、仕上げ施工前後で 1 次固有振動数が約 2 倍となり、微小振動レベルでは、仕上げ材が振動特性に与える影響が大きいことが確認できた。また、地震観測の結果、他の標準的な京町家と同様に、1 次固有振動数の変形依存性が大きい事を確認した。今後、構造特性の違いが 1 次固有振動特性の変形依存性に及ぼす影響について調べる。

2) KT 邸

- ・常時微動計測の結果、けた行方向の 1 次固有振動数は 2.7Hz で並進成分が卓越しているが、張り間方向には 4.6Hz と 5.7Hz の 2 つの卓越がみられ、ねじれ挙動が顕著に見られた。
- ・観測地震期間中の最大地震である 2004 年 9 月 5 日の東海道沖の地震（計測震度 3.3）について分析を行った結果、変形が大きい時間帯ほど固有振動数が低下する傾向があった。特に、変形量はけた行方向で大きいですが、1 次固有振動数の低下は張り間方向においてより顕著に見られた。ただし、固有振動数低下後も、変形が小さくなるにつれて地震前の固有振動数に回復していくことを確認した。

3) TN 邸

- ・平成 14 年度より地震観測を行ってきた典型的な京町家である KJ 邸、平成 15 年度に地震計を設置した茶屋形式の町家である KT 邸および郊外型の町家である IR 邸に加え、本年度は、標準的な京町家である TN 邸を地震観測対象建物として選定し、既設 3 棟と比べて観測成分数を密にして地震観測を開始した。
- ・地震観測に先立って行った常時微動計測の結果、1 次固有振動数はけた行方向で 3.1Hz、張り間方向で 5.0Hz であった。今後、地震観測記録の分析を通じて固有振動数の変形依存性について調べる予定である。

(d) 引用文献

なし

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
新居藍子・須田達・林康裕・鈴木祥之	京町家の構造特性評価に関する研究（その1）地震観測に基づく振動特性の分析	2004年日本建築学会大会	2004.8.31
須田達・新居藍子・森井雄史・林康裕・鈴木祥之	京町家の構造特性評価に関する研究（その2）限界耐力計算に基づく耐震性能評価法の検討	2004年日本建築学会大会	2004.8.31
新居藍子・須田達・林康裕・鈴木祥之	地震観測に基づく京町家の振動特性の分析	日本地震工学会大会-2004	2005.1.12

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成17年度業務計画案

本研究では、既存木造建物の地震応答観測を実施して、木造特有の特性と木造建築の地域性を考慮して伝統構法を含む軸組構法木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図ることを目的としている。

軸組構法木造建物の地震時挙動を把握するために、既存木造建物に平成14年度に1棟、平成15年度に2棟、平成16年度に1棟を選定して地震計を設置し、地震観測と週に1度の定期的・継続的な常時微動計測を行っている。平成17年度においても観測を継続実施し、地震観測記録の分析、常時微動計測による地震前後の振動特性の変化や振動特性の経時変化や季節変動、それらの構造特性の違いなどについて分析を行う。

