

### 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カ年の年次実施計画
- (e) 平成14年度業務目的

##### (2) 平成14年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 地震観測システムの仕様・機器構成の決定
  - 2) 観測対象建物の選定と地震計の設置
- (c) 業務の成果
  - 1) 地震観測システムの仕様・機器構成の決定
  - 2) 観測対象建物の選定と地震計の設置
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

##### (3) 平成15年度業務計画案

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 既存木造建物の地震応答観測（その2）

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
京都大学防災研究所	教 授	鈴木 祥之
京都大学防災研究所	助教授	林 康裕
福山大学工学部建築学科	教 授	鎌田 輝男

(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 ヶ年の年次実施計画

1) 平成14年度：

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する。  
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する。

2) 平成15年度：

地震観測対象建物を追加選定し、地震観測を開始する。  
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。  
平成15年度の地震観測記録の分析を行う。

3) 平成16年度：

地震観測対象建物を追加選定し、地震観測を開始する。  
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。  
平成16年度の地震観測記録の分析を行う。  
木造建物の地震時挙動について中間評価を行う。

4) 平成17年度：

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。  
平成17年度の地震観測記録の分析を行う。

5) 平成18年度：

平成18年度の地震観測記録の分析を行う。

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。

全体のまとめを行う。

(e) 平成14年度業務目的

木造建物特有の振動特性を把握し得る地震観測システムを構築する。

パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、特に京都市域で典型的な京町屋の建物を選定し、地震観測を開始する。

(2) 平成14年度の成果

(a) 業務の要約

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している。

平成14年度は、木造建物特有の地震応答を把握し得る地震観測システムを構築して、パイロット的な地震観測のために既存木造建物として特に京都市域で典型的な京町家の建物を1棟選定し、地震応答観測装置を設置して地震観測を開始した。

(b) 業務の実施方法

1) 地震観測システムの仕様・機器構成の決定

多数の木造建物を地震観測し、効率的かつ高精度な振動特性の把握が可能な地震観測システムの仕様を決定した。

決定した仕様に基づき、観測機器構成を決定した。

2) 観測対象建物の選定と地震計の設置

パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、京都市域で典型的な京町屋を1棟選定した。

常時微動計測結果に基づき、振動特性の把握を行った。

観測対象建物の構造的特徴を踏まえて、地震計やデータ収録装置の設置位置を決定し、配線・設置を行って観測を開始した。

### (c) 業務の成果

#### 1) 地震観測システムの仕様・機器構成の決定

表 1 には、決定した地震観測システムの仕様を示し、以下に、観測システムの機能と機器構成などについて記述する。

#### a) 観測システムの機能

多数の住宅に展開し安定した観測を簡便に維持するためには、設置住宅住民への負担を極力軽減することが重要であるため、京都大学防災研究所からのリモートコントロールにより、多数の観測点を統一的に管理できるシステム構成とした（図 1 参照）。

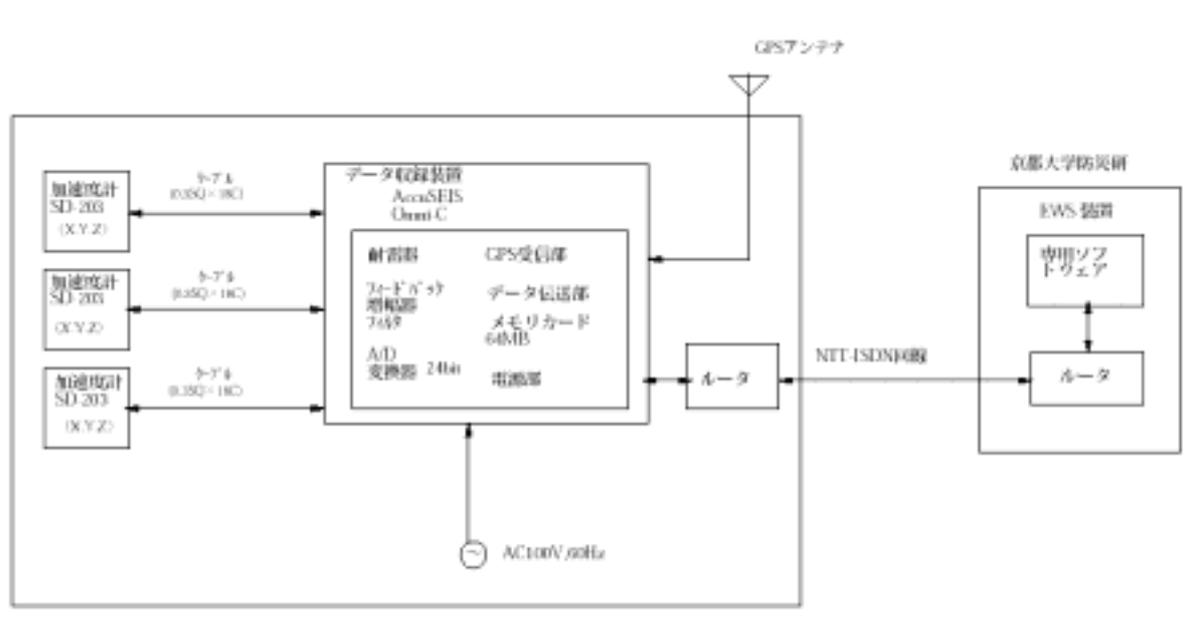


図 1 木造住宅地震観測装置システム図

さらに、多数の地震観測建物を管理するため、

データは全て大学研究所内のサーバーに自動的に収録

感度を切り替えて地震観測と常時微動観測をリモートで切り替え

広域トリガ、他成分トリガ、スケジュール観測

のリモート制御を可能とした。これにより、データ収集や管理を可能とするだけでなく、振動特性の日変化、季節変化を常時微動計測によりシステムティックに実施する事が可能となっている。

#### b) 観測機器構成

標準的な設置方法として、加速度計を 3 ケ所（地表面、2 階床レベル、小屋梁レベル）各 3 成分（水平 2 成分、上下 1 成分）、合計 9 成分の計測を基本とする。ただし、ねじれ振動が懸念される建物については、地表面 3 成分、2 階床レベル（水平 2 成分）、小屋梁レベル（水平 2 成分）に加え、ねじれ振動を観測するため水平 1 成分を小屋梁レベル 2 ケ所に設置する事も考える。測定された加速度に比例する電圧データはケーブルにて導かれ、アンプ部を經由し、A/D 変換器にてデジタルデータに変換された上で、収録ユニット（『AccuSEIS Omni-C』）内メモリカードに保存される。サンプリングレートは 100Hz

とする。この収録ユニットには Ethernet 対応の出力ポートがあり、設定されたトリガレベルを超えた地震データは 1 日 1 度定時に電話回線を通じて、京都大学防災研究所内に設置された地震観測システム制御用 EWS に伝送される。また、逆に、同 EWS から収録ユニットに蓄積された地震データを、電話回線を通じて回収が可能である。

図 2 には、(a)に京都大学防災研究所の地震観測システム制御用 EWS、(b)には京都大学防災研究所と木造住宅を結ぶルータ、(c)、(d)、(e)は各木造住宅に設置される収録装置、GPS アンテナと同軸ケーブル、加速度検出器である。

表 1 観測システム仕様一覧表

1. 加速度型検出器

型名	SD-203(3 成分組込型・地表、梁据付用：勝島製作所製)
検出器種類	速度型フィードバック型
周波数範囲	0.1 ~ 30Hz (フィルタによる)
測定最大値加速度	±2000Gal

寸法・重量約 240(W) × 240(D) × 190(H) mm 約 11kg

2. デジタル収録装置

型名	AccuSEIS Omni-C (勝島製作所製)
測定最大値加速度	±2000Gal
アンプゲイン	×1、×100 (リモート切替可)
A / D 変換機能	24bit
サンプリング周波数	100 (200Hz に変更可能)
ローパスフィルタ	fc = 30Hz -36dB 6 次バターワース相当
校正機能内蔵	時刻精度 GPS と同期
検出器インタフェース	1 ~ 3 検出器 (9ch) まで可能

記録媒体 Flash Card 64MB 1 枚 (連続記録用)

3. 記録モード

- 1) レベル周期, 計測震度, のトリガカウントによるイベントトリガ
- 2) 一定時間、又は指定時刻毎に記録するプログラムタイマ
- 3) ネットワーク経由による外部トリガ

4) 連続記録

4. 保存モード

1 日 1 回、定時にデータ回収 (リアルタイム送信によるデータ保存も可能)

記録データ種類 WIN フォーマットと K-NET フォーマットに準拠

5. ネットワークサービス

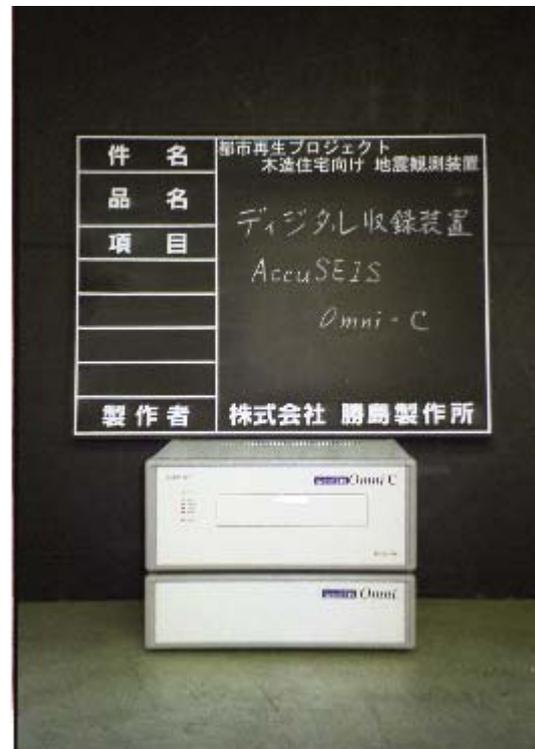
- 1) telnet によりデータ閲覧
- 2) ftp によりデータの回収可能



(a) 地震観測システム制御用 EWS (京都大学防災研究所)



(b) ルータ (木造住宅と京大防災研に設置)



(c) 収録装置 (木造住宅に設置)

図2 地震観測装置の外観



(a) GPS アンテナと同軸ケーブル



(b) 加速度検出器

図2 地震観測装置の外観（つづき）

## 2) 観測対象建物の選定と地震計の設置

### a) 観測対象建物の選定

パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、京都市域で典型的な京町屋である K 邸を選定した。K 邸の立地地点を図3中に示す。図中に示した赤い点は、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。

図4には K 邸の外観を示す。K 邸は「表屋造り」と呼ばれる京町屋であり、東西に細長い平面形状を有し、南側に通り庭を有する。敷地は、東西幅が約 60m、南北幅は約 11～17m と細長い形状をしており、住宅へは西側から平入りとなっている（図4(a)参照）。西側の入り口部は店舗（東西方向幅 8 間、道路に面した 4 間分は 2 階建て、残りは 1 階建て（中庭部分が店に改築されている））となっており、北側の蔵と南側の隣家の間隔はなく接触している。店舗部分の東側には、主たる居住空間である奥の間がある。奥の間の東側には座敷庭がある（図4(b)）。奥の間も南側の通り庭（図4(d)）部分を介して南側隣家と接している（図4(e)）。

このように、K 邸は、敷地形状に合わせて東西方向に複数の棟で構成されている上、景観や雨仕舞いにも配慮して南北の隣家と接している。従って、K 邸の地震応答を考える上では、京町屋独特の木工法を考慮するだけでなく、複数棟間の連成効果も考慮する必要がある。

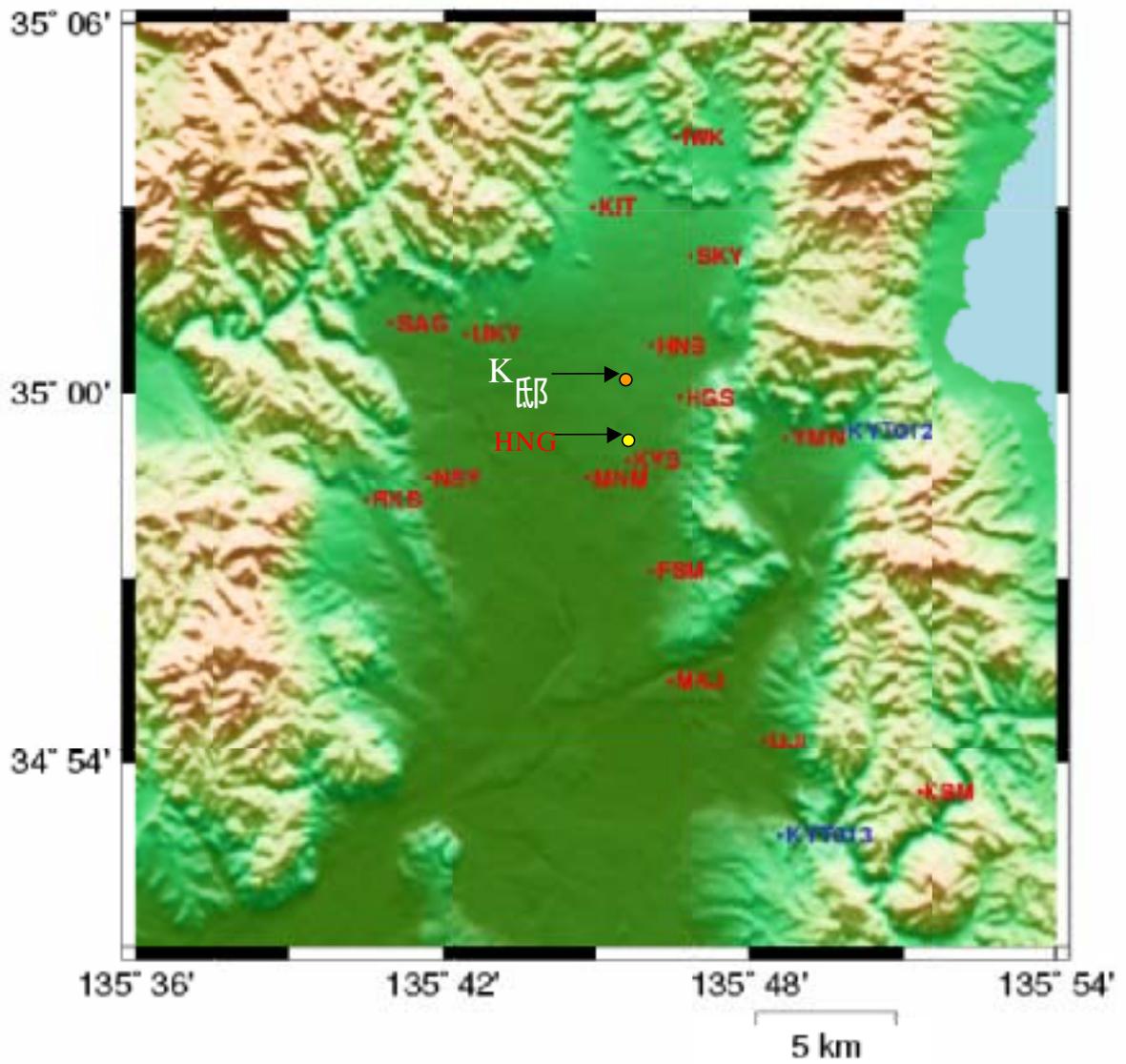


図3 K邸位置と京都市地震観測ネットワーク観測地点



(a) 西側の道路に面した建物の外観(A)



(b) 東面外観(B)



(c) 床下(カズラ石・地覆：C)

図4 地震観測対象建物(K邸)



(d) 通り庭上部 (D)



(e) 南隣接建物境界部(E)

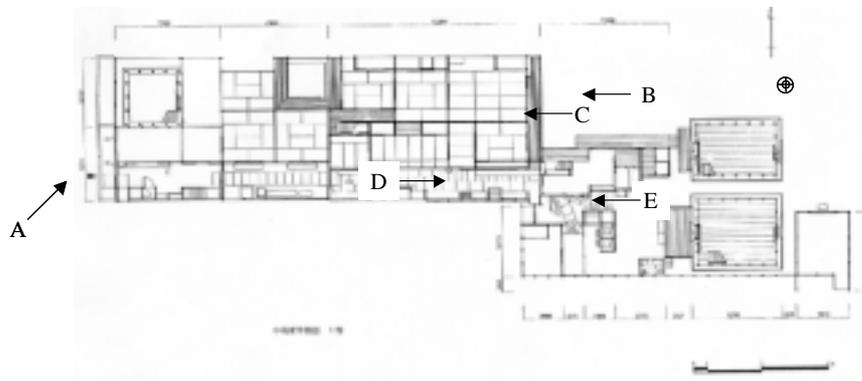


図4 地震観測対象建物(K邸) (つづき)

b) 常時微動測定による振動特性の把握

常時微動計測結果に基づき、振動特性の把握を行った。

K 邸は 1995 年 6 月 4 日に常時微動計測が行われている。常時微動計測は、建物周辺地盤、奥の間の 2 階床及び小屋梁の 3 ヶ所に速度計((株)東京測振製、VSE15)を置き、水平 2 成分と上下成分の合計 3 成分を 3 点同時計測で行っている。サンプリング周波数は 100Hz、フィルターは 0.1Hz のハイパスで、10 分間の計測を行った。

常時微動計測から得られた地表に対する小屋梁・2 階床レベルのフーリエスペクトル比を図 5 に示す。張間(東西)方向の 1 次固有周期は 0.18s、2 次固有周期は 0.11s、桁行(南北)方向ではそれぞれ 0.44s と 0.20s となっている。短辺方向となる桁行方向の 1 次固有周期は張間(東西)方向よりも長くなっている。また、南北方向の 2 次のピークには 2 階部分で 3 つのピークが存在している。

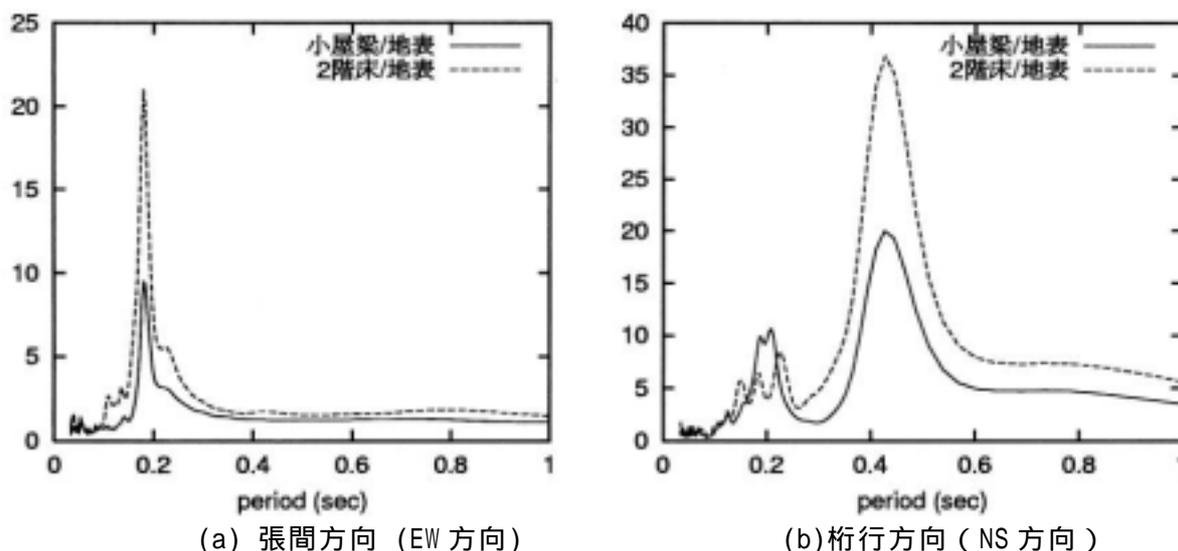


図 5 常時微動計測から得られたフーリエスペクトル比

c) 装置の配置及び測定の開始

地震計やデータ収録装置の設置位置を決定し、配線・設置を行って観測を開始した。

K 邸の地震観測は、常時微動計測の結果に基づき、奥の間を対象として行う。計測に際しては、各階の層間変形の推定と NS 方向のねじれ振動や立体振動に着目した地震計配置とした。計測点の配置を図 6 ~ 8 に示す様に、以下の 9 成分の観測を行う。図 9 に地震計(小屋梁レベル:8ch)とデータ収録装置の設置状況を示す。

・ 地表面	NS 成分・EW 成分・UD 成分	座敷庭東側	1 ~ 3ch
・ 2 階床レベル	NS 成分・EW 成分	奥の間西側	4,5ch
・ 小屋梁レベル	NS 成分・EW 成分	奥の間西側	6,7ch
	NS 成分	奥の間中央付近・東側	8,9ch

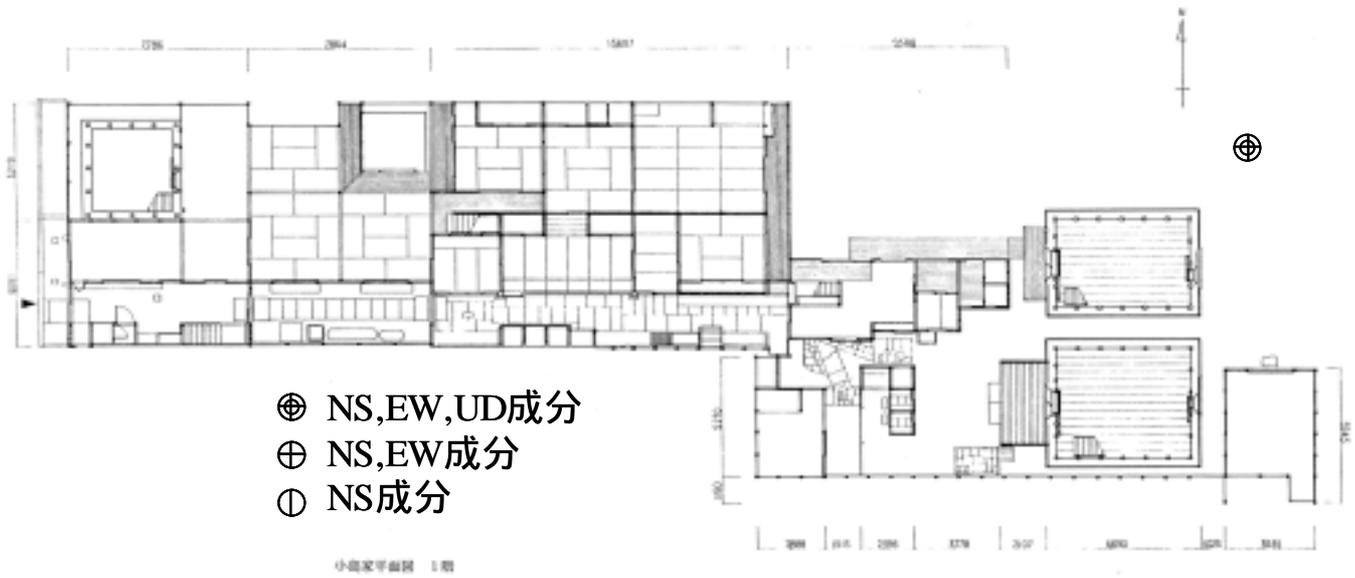


図6 1階平面図と地盤地震観測点の配置

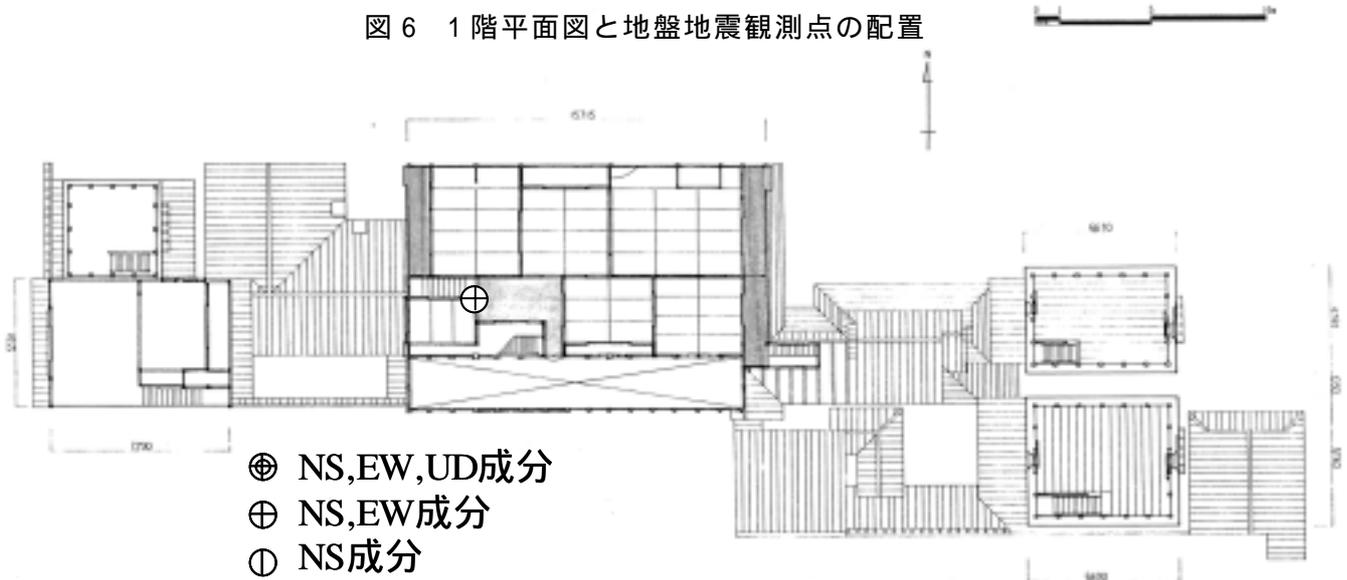


図7 2階平面図と2階地震観測点の配置

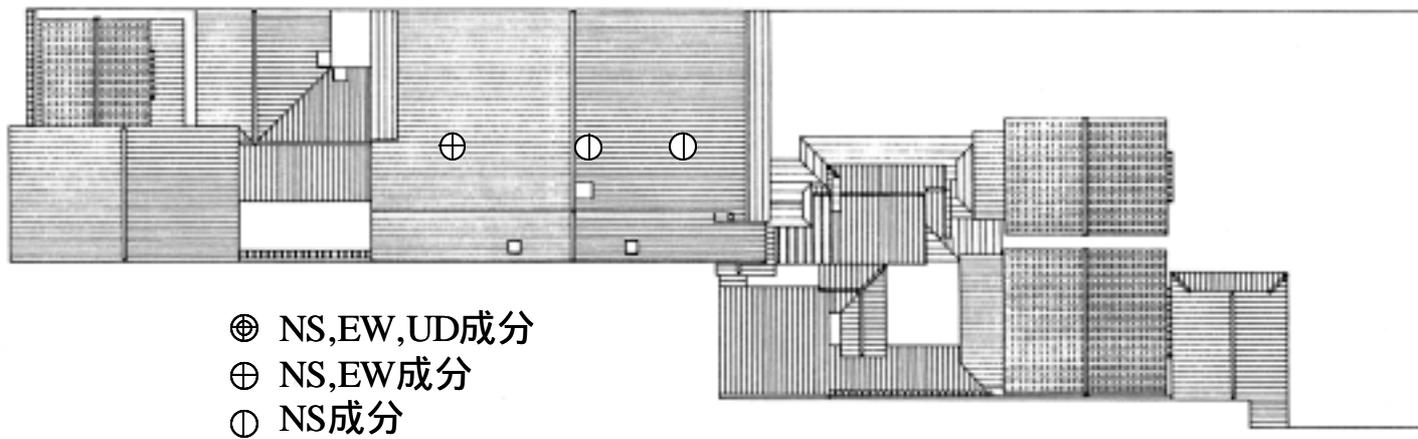


図8 屋根伏図と小屋梁上の地震計配置



(a) 地震計 (小屋梁レベル)



(b) データ収録装置

図9 地震計とデータ収録装置の設置状況

#### (d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、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行う。本年度は、木造建物特有の地震応答を把握し得る地震観測システムを構築して、パイロット的な地震観測のために既存木造建物として特に京都市域で典型的な京町家の建物を選定して地震応答観測装置を設置して地震観測を開始した。

##### 地震観測システムの仕様・機器構成の決定

多数の木造建物を地震観測し、効率的かつ高精度な振動特性の把握が可能な地震観測システムの仕様を決定した。また、決定した仕様に基づき、観測機器構成を決定した。ただし、居住者の建物内での行動によってトリガーがかかってしまわない様に、地震観測のトリガー条件(トリガー・レベルやトリガー方式(広域トリガーや多点トリガーなど)については、対象とした建物の振動特性などに応じて設定していく必要がある。

##### 観測対象建物の選定と地震計の設置

パイロット的な地震観測のための既存木造建物として、京都市域で典型的な京町屋を1棟(K邸)を選定した。そして、K邸の振動特性や構造的特徴を考慮して、地震計やデータ収録装置の設置位置を決定し、配線・設置を行って観測を開始した。ただし、K邸の地震応答を分析する上では、K邸の京町屋としての構造(構法、複数棟で構成、隣家と連棟)を考慮すると、観測成分数は数限られている。構造の詳細調査とあわせて、地震観測点以外の場所も含めた多点での常時微動計測などを実施して、地震応答特性を解明していく必要がある。

#### (e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
林康裕	建物性能把握と強震観測	第3回強震データの活用に関するシンポジウム、建物の強震観測に関する将来像、日本建築学会、建築会館	平成14年12月18日

(g) 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

名称	機能
地震観測データの転送・計測管理システム	データの転送と計測管理
データ変換	Winフォーマット準拠形式からK-NETフォーマット準拠形式への変換
観測データ即時分析ソフト	波形・スペクトル特性図化

3) 仕様・標準等の策定

木造建物の地震観測システム仕様の策定

### (3) 平成 15 年度業務計画案

地震観測対象建物を追加選定し、地震観測を開始する。

具体的には、地震観測対象建物として軸組構法建物を 2 棟選定する。選定に当たっては、以下の点を考慮する。

- イ) 地震観測記録を地域の強震動予測へ活用することも考慮して、設置地域の地震計設置場所や地震・地盤環境を勘案する。
- ロ) 地震応答の分析が地域の軸組構法木造建物の耐震性能把握・向上につながると考えられる様に、地域に特徴的な構法を有して建物を選定する。

また、居住者の建物内での行動によってトリガーがかかってしまわない様に、地震観測のトリガー条件の設定方法について検討を行う。

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。

具体的には、以下の様な調査を実施する。

- イ) 用いられている構法や部材寸法の調査や、部材の劣化度合いの調査など、建物の構造調査を実施する。
- ロ) 構造調査を行った建物について耐震診断を行う。耐震診断法としては、軸組構法の耐震性能評価が可能な、限界耐力計算に基づく方法を用いる。
- ハ) 設置した地震計を用いて常時微動計測を実施し、木造建物の振動特性について分析する。
  - ・ H/V スペクトルに基づき、表層地盤の卓越振動数について分析を行う。
  - ・ 建物の振動特性（固有振動数や振動モード）の把握を行う。
  - ・ 観測建物の振動特性の日変化や季節変化について調べる。

なお、平成 14 年度に実施した K 邸については、設置した地震計以外にも振動計を臨時設置し、多点で常時微動計測を行って立体的な振動モードの推定を行う。これにより、隣接建物の影響や複数棟で構成される K 棟の基本的な振動性状が把握できると考えられる。

平成 15 年度の地震観測記録の分析を行う。具体的には、

- ・ 地動に対する建物応答の伝達関数を算定
- ・ 地震時の伝達関数を常時微動計測に基づく伝達関数と比較
- ・ 加速度記録を積分して層間変位応答を算出

などを通じ、軸組構法木造建物の地震時の応答特性について調べる。