

3.4 木造建物実験

3.4.1 既存木造建物の地震応答観測（その1）

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) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 観測住宅および観測記録
 - 2) 観測記録の考察
 - 3) 地震計の開発
- (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17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1）

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人 建築研究所	構造研究グループ長	岡田 恒	okada@kenken.go.jp
宇都宮大学大学院	上席研究員	河合 直人	kawai@kenken.go.jp
信州大学	助教授	入江 康隆	iriley@cc.utsunomiya-u.ac.jp
東京大学大学院	助教授	五十田 博	hisoda@gipwc.shinshu-u.ac.jp
	助手	腰原 幹雄	koshi@buildcon.arch.t.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

実際の木造住宅の地震応答データを取得するため、強震観測をおこなう。平成14年度に強震計の設置をおこない、観測を始めた。本年度も継続して観測し、データの収集・分析し、地盤と建物の相互作用や振動台における応答との相違を調べる。また、木造建物に汎用化が図れる地震計の開発を併せて行う。

(d) 5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：

a) 関連分野の既往の研究の調査

これまで得られているデータ、測定方法などについて調査した。

b) 対象建物の選定

対象の建物について常時微動測定、構造調査、仕上げ、劣化などを調査した。

c) 強震計の設置

東京都台東区谷中地区の木造住宅、静岡県で耐震補強をした木造住宅、ならびに宇都宮市近郊の比較的新しい木造住宅2棟の合計4棟について地震計を設置し、強震観測を開始した。

2) 平成15年度：

a) 強震観測

宇都宮市近郊の比較的新しい木造住宅について観測データが得られた。解析結果から、木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは2～8%程度であること、減衰効果はそれほど大きくないこと、また、地盤上の最大加速度に対する建物1階におけるその比、すなわち、入力損失は、Ⅰ種地盤上の住宅のほうがⅡ種地盤上の住宅におけるものより大きいこと、などがわかった。

b) 強震計の開発

木造住宅に汎用化が図れる地震計の検討を行った。

3) 平成16年度：

a) 強震計の設置

川崎市に強震計を設置し新たな建物を捜し、建物の属性などを調査した。

b) 強震計のマイナーチェンジと設置

無線式で同期できるように簡易化を図った。

c) 強震観測

いくつかの観測建物で観測データが得られた。木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは小さいこと、減衰効果もそれほど大きくないこと、また、これらの振動特性は、地盤種別の影響を受けることなどが判った。観測されている入力は加速度レベルが小さく、大地震時の挙動を表現しているか疑問である。観測を継続し入力レベルについて検討を深める必要がある。

4) 平成17年度：

a) 新たな対象建物の選定

新たな建物を捜し、建物の属性などを調査する。

b) 地震計のマイナーチェンジと設置

より簡易化を図りながら設置を続ける。

c) 強震観測の継続

観測対象を増やししながら計測を継続する。

5) 平成18年度：

a) 新たな対象建物の選定

新たな建物を捜し、建物の属性などを調査する。

b) 地震計のマイナーチェンジと設置

より簡易化を図りながら設置を続ける。

c) 強震観測の継続

観測対象を増やししながら計測を継続する。

(e) 平成16年度業務目的

1) 強震観測

昨年度から東京都台東区谷中地区の木造住宅、静岡県で耐震補強をした木造住宅、ならびに宇都宮市近郊の比較的新しい木造住宅2棟、川崎市に建つ木造2階建て住宅に加えて、すでに設置済みの2棟¹⁾の合計7棟について強震観測をおこない、建物入力される地震動を建物と地盤の相互作用の観点から検討することが本業務の目的である。

2) 地震計の開発

多数の木造住宅に地震計を設置できるよう、簡易な地震計の開発を目的としている。

(2) 平成 16 年度の成果

(a) 業務の要約

地震時の在来軸組工法木造住宅およびその周辺地盤の観測記録から、木造住宅の設計用地震動入力決定のための資料を提供すること、また、強震時の住宅の挙動を把握することを目的とする。

そのために、平成 12 年度に 2 棟（宇都宮市）、平成 15 年度に 5 棟（うち 2 棟は宇都宮市、他は東京都、静岡県、川崎市に各 1 棟）に設置し、合計 7 棟の在来軸組工法木造住宅において地震観測を行っている。

これまでに観測された記録の解析結果から、常時微動時の固有振動数に対し、地震時には固有振動が 5～10% 低下すること、木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは、2～8% 程度、減衰効果はそれほど大きくないこと、また、地盤上の最大加速度に対する建物 1 階におけるその比、すなわち、入力低減は、Ⅰ種地盤上の住宅のほうがⅡ種地盤上の住宅におけるものより大きいことなどが判った。²⁾

(b) 業務の実施方法

平成 15 年度に報告した住宅 No. 1、2、3、4 に加え、新たに、No. 5、6、7 の 3 棟の木造住宅において 2 階床および 1 階床上に、3 成分の超小型地震計を設置した。

(c) 業務の成果

1) 観測住宅および観測記録

これら地震観測を行っている住宅の建物外観を、写真 1 に、建物概要を、表 1 に示す。また、2000 年 7 月以来、宇都宮市の 4 棟いずれかの住宅で観測された計測震度 1 以上の地震総数は 65 個である。それらの震央位置を、図 1 に、地震概要を、表 2 に示す。表 2 中○印は、3 測点全てで同時観測された地震を示す。



住宅 No. 1

住宅 No. 2

住宅 No. 3

住宅 No. 4 (宇都宮市)



住宅 No. 5 (東京都) 住宅 No. 6 (静岡県) 住宅 No. 7 (川崎市)

写真 1 観測住宅の外観

表 1 観測住宅概要

2005. 2. 23現在

住宅番号	1	2	3	4	5	6	7
竣工年月	1990. 4	1994. 1	1995. 6	1994. 1	1903?	1971	1980
延べ床面積(m ²)	169.0	190.7	241.9	195.9		161.1	129.6
屋根材	スレート	瓦	瓦	瓦	瓦	瓦	瓦
壁材	ALC50	アルミ サイディング	きつれパネル +モルタル, タイル	ALC37	下見板	モルタル	モルタル
基礎形式	べた	べた	べた	べた			
地盤種別	I	II	I	II			
地震計設置年月	2000. 7	2000. 7	2003. 10	2003. 6	2003. 9	2003. 9	2004. 1
観測記録数*	24	27	40	21	2		2
うち3点で観測	(15)	(26)	(39)	(10)			
P. G. A (Gal)	157.0	31.0	75.0	41.0			

*計測震度1以上

空欄は、不明または未整備

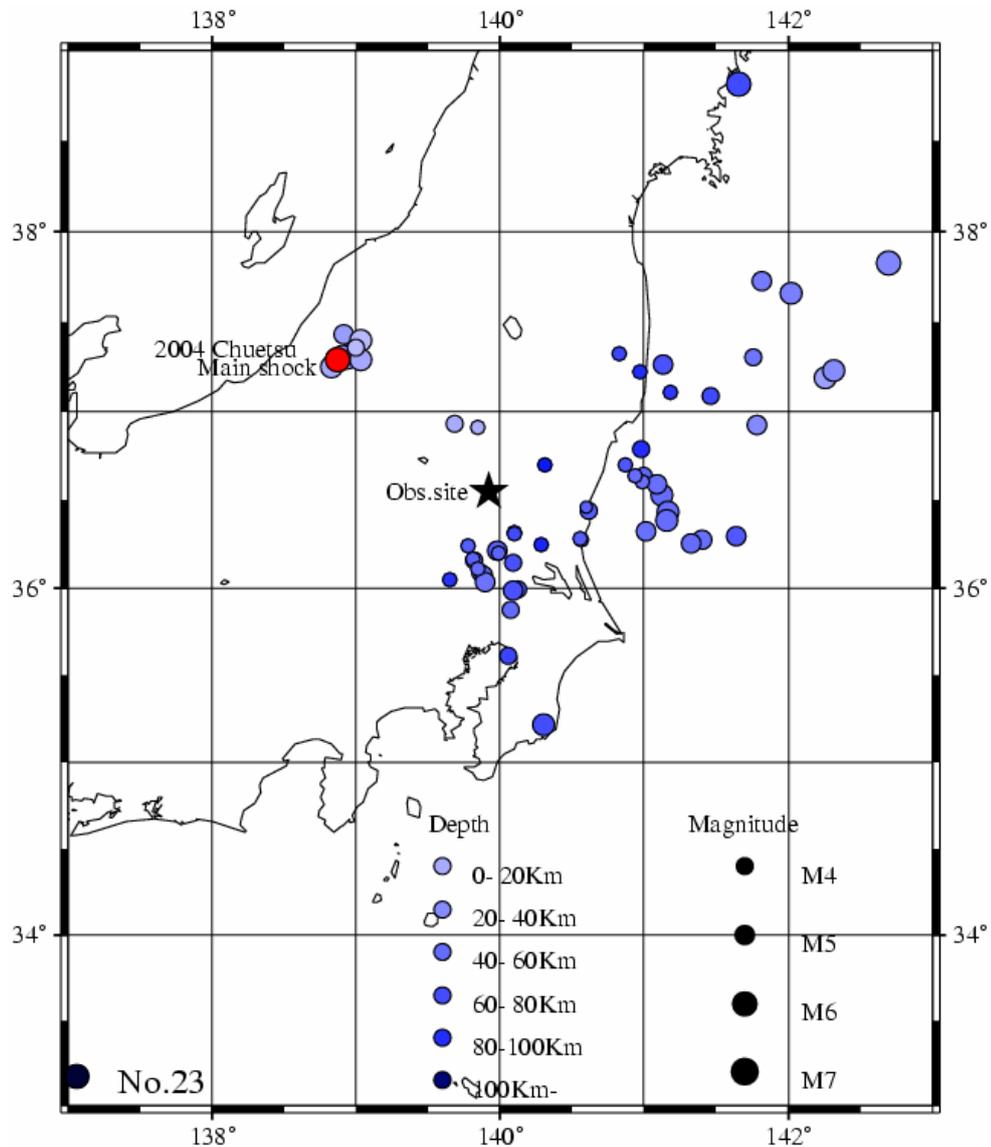


図 1 観測地震の震央位置

表 2 観測地震の概要

Eq. No.	Epicenters						Recorded Earthquakes & its Intensities							
	date	time	Latitude	Longitude	Depth (km)	Mag.	House No. 1		House No. 2		House No. 3		House No. 4	
								Ik		Ik		Ik		Ik
1	2000/07/21	03:39	36.53N	141.12E	49.37	6.4			○	3.4				
2	2000/10/18	12:58	36.93N	139.68E	9.18	4.7	○	1.3						
3	2001/02/25	06:53	37.19N	142.26E	15.83	5.9	○	1.3	○	1.9				
4	2001/03/06	14:32	36.64N	141.00E	51.98	4.7			○	1.4				
5	2001/07/20	06:02	36.16N	139.82E	55.17	5.0			○	2.3				
6	2001/09/25	04:35	36.31N	140.10E	70.89	4.4	○	2.2	○	1.5				
7	2001/09/25	04:57	36.31N	140.10E	71.22	4.4	○	2.4	○	1.5				
8	2001/10/02	17:19	37.73N	141.82E	40.76	5.5			○	1.5				
9	2001/10/18	06:30	36.08N	139.86E	49.02	4.4	○	2.9	○	1.6				
10	2002/02/12	22:44	36.59N	141.09E	47.79	5.7	○	2.7						
11	2002/06/14	11:42	36.21N	139.98E	56.99	5.1			○	3.0				
12	2002/07/13	21:45	36.00N	140.13E	65.45	4.8	○	2.6	○	1.6				
13	2002/07/24	05:05	37.23N	142.32E	30.00	5.9			○	1.8				
14	2002/12/23	05:31	36.20N	139.99E	54.71	4.2	○	1.9						
15	2003/03/13	12:12	36.09N	139.86E	47.26	5.0	○	4.1	○	2.8				
16	2003/05/06	23:48	36.03N	139.91E	45.55	4.2			○	1.5				
17	2003/05/12	00:59	35.87N	140.07E	49.92	4.6	○	2.2						
18	2003/05/26	18:24	38.82N	141.65E	72.03	7.1	○	2.9	○	2.8				
19	2003/05/31	02:47	36.17N	139.81E	54.54	4.0			○	1.4				
20	2003/08/04	20:57	36.44N	140.62E	58.12	4.9							△	-
21	2003/09/20	12:54	35.22N	140.30E	69.96	5.8			○	1.9			△	-
22	2003/10/31	10:06	37.83N	142.70E	33.35	6.8				○	1.7			
23	2003/11/12	17:26	33.17N	137.06E	397.8	6.5	○	3.0	○	2.2	○	2.8	△	2.1
24	2003/11/15	03:43	36.43N	141.17E	48.4	5.8	○	2.3	○	2.1	○	2.2	△	1.1
25	2004/01/23	18:01	37.26N	141.13E	65.87	5.3			○	1.6			△	1.9
26	2004/01/27	15:10	37.11N	141.19E	84.34	4.4				○	1.1			
27	2004/02/04	04:10	35.99N	140.08E	65.13	4.2				○	2.0	○	1.7	
28	2004/03/11	11:34	36.32N	141.01E	47.52	5.3				○	1.7	△	-	
29	2004/04/04	08:02	36.39N	141.16E	48.99	5.8				○	2.4	○	1.9	
30	2004/04/05	02:39	36.04N	139.65E	86.68	3.9				○	1.2	△	-	
31	2004/04/28	18:16	36.91N	139.84E	7.50	4.0				○	1.6			
32	2004/05/08	09:10	36.70N	140.87E	62.30	4.1				○	1.2			
33	2004/05/16	00:37	37.30N	141.76E	44.01	4.6				○	1.3			
34	2004/05/16	19:53	36.70N	140.31E	105.08	4.1				○	2.1			
35	2004/05/29	12:47	37.66N	142.02E	37.75	5.9				○	1.6	△	-	
36	2004/07/10	20:07	36.08N	139.89E	48.21	4.7	○	3.2	○	1.9	○	2.4	○	2.1
37	2004/08/06	03:23	35.62N	140.06E	75.21	4.6				○	1.4			
38	2004/08/19	20:40	37.08N	141.46E	72.6	5.0				○	1.4			
39	2004/09/01	11:49	36.92N	141.78E	31.08	5.6				○	1.8	△	-	
40	2004/10/01	09:59	37.32N	140.83E	74.39	4.2				○	1.1			
41	2004/10/06	23:40	35.99N	140.09E	65.97	5.7	○	2.9	○	2.4	○	2.9	○	2.9
42	2004/10/07	22:01	36.27N	140.56E	58.57	4.4				○	1.9	○	1.4	
43	2004/10/11	05:27	36.60N	140.99E	47.35	4.4				○	1.1			
44	2004/10/11	10:39	36.28N	140.56E	57.85	3.8				○	1.7			
45	2004/10/16	11:58	37.22N	140.97E	90.31	4.0				○	1.0			
46	2004/10/17	02:19	36.27N	141.40E	47.75	5.5	△	-		○	1.5			
47	2004/10/17	03:54	36.26N	141.33E	49.01	5.7	△	-		○	1.7			
48	2004/10/23	17:56	37.29N	138.87E	13.08	6.8	△	3.1	○	2.9	○	2.8	○	2.2
49	2004/10/23	18:03	37.35N	138.99E	9.38	6.3	△	2.5	○	2.4	○	1.9		
50	2004/10/23	18:11	37.25N	138.83E	11.52	6.0	△	1.4		○	1.7			
51	2004/10/23	18:34	37.30N	138.93E	14.17	6.5	△	2.9	○	3.1	○	2.7	○	2.2
52	2004/10/23	23:34	37.31N	138.91E	19.88	5.3				○	1.5			
53	2004/10/27	10:40	37.29N	139.03E	11.60	6.1	△	2.8					△	1.8
54	2004/11/04	08:57	37.43N	138.92E	18.02	5.2				○	1.2			
55	2004/11/06	10:25	36.24N	139.78E	58.39	3.9				○	1.2			
56	2004/11/08	11:15	37.40N	139.03E	0.00	5.9				○	1.7			
57	2004/11/09	04:15	37.35N	139.00E	0.00	5.0				○	1.2			
58	2004/12/09	02:15	36.64N	140.93E	48.81	4.2				○	1.1			
59	2004/12/18	06:45	36.25N	140.28E	95.39	3.8				○	1.1			
60	2004/12/19	14:22	36.29N	141.64E	61.50	5.1				○	1.1			
61	2004/12/21	10:56	36.46N	140.59E	56.10	3.6				○	1.1			
62	2005/01/01	05:13	36.78N	140.98E	89.45	5.0			○	1.8	○	3.6	○	2.2
63	2005/02/08	11:29	36.14N	140.09E	66.99	4.8	△	2.6	△	1.7	△	2.6	○	2.3
64	2005/02/16	04:46	36.04N	139.90E	45.38	5.4			○	1.9			○	2.5
65	2005/02/23	21:58	36.11N	139.85E	49.62	4.4	△	2.5					○	2.2

○ 地盤， 1階， 小屋裏の3測点で観測された記録
 △ 1， または， 2測点で観測された記録

2) 観測記録の考察

観測記録およびフーリエスペクトル

このうち、観測地震記録のうちの代表例として地震 No. 48（新潟県中越地震の本震）を選び、その波形を、住宅 No. 1、2、3、4ごとに、それぞれ、図2、3、4、5に示す。また、フーリエスペクトル、および、それらの比も、同様に、住宅ごとに、図6、7、8、9の上段、および、下段に示す。

図2～5から、I種地盤上の住宅 No. 1、3でのほうがII種地盤上の住宅 No. 2、4におけるよりも、応答加速度が大きいことが分かる。フーリエスペクトル比（図6～9の下段）から、地盤建物相互作用の特徴の一つである周期の伸び（実線と一点鎖線のピーク振動数の差）は、住宅 No. 2のNS（梁間）方向で、わずかに認められる程度である。

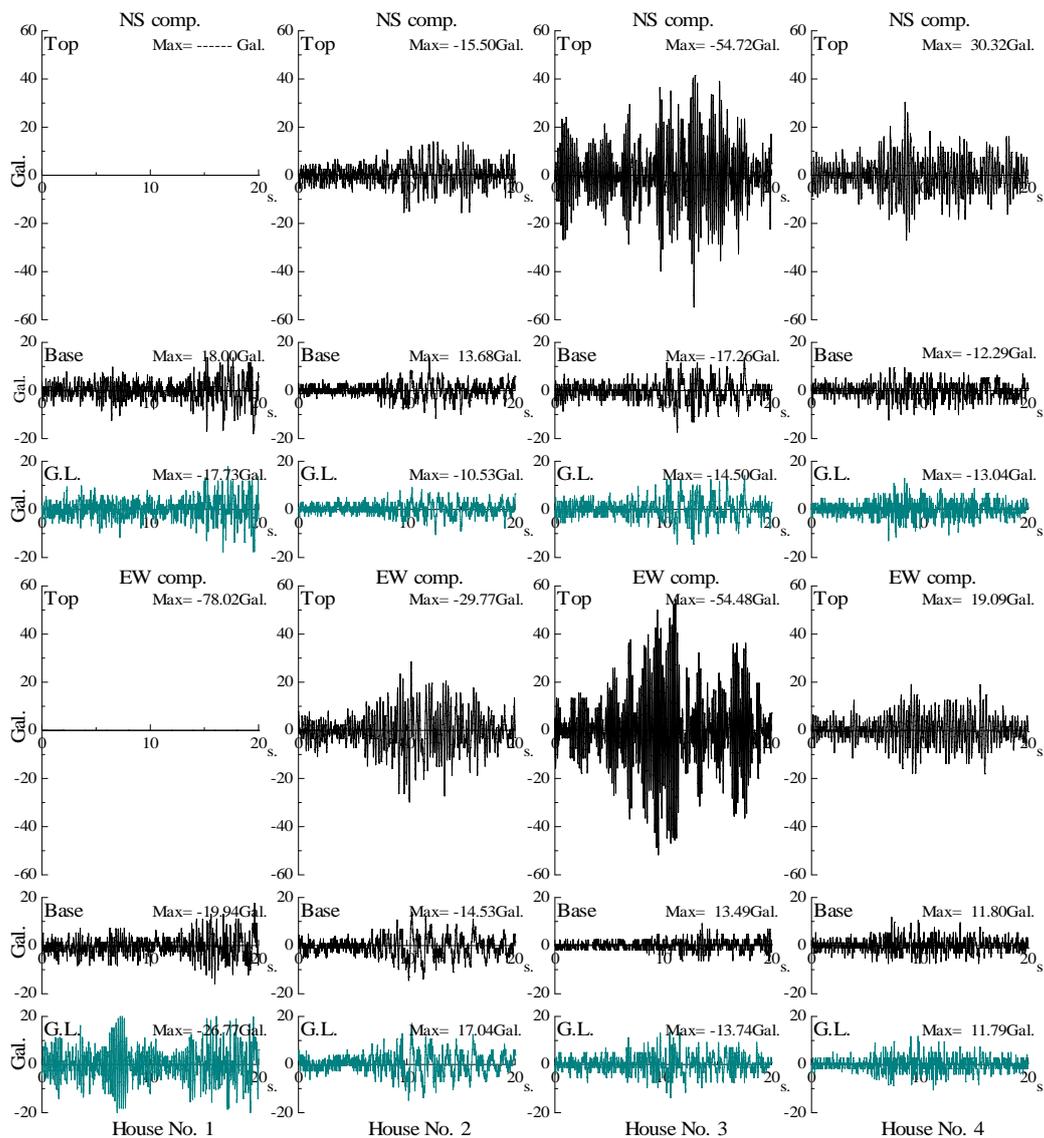
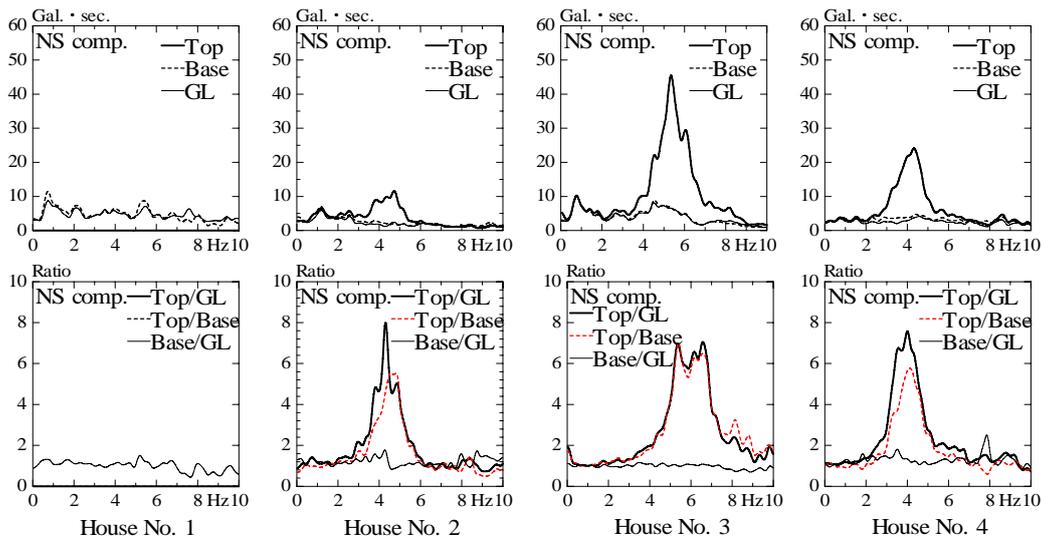
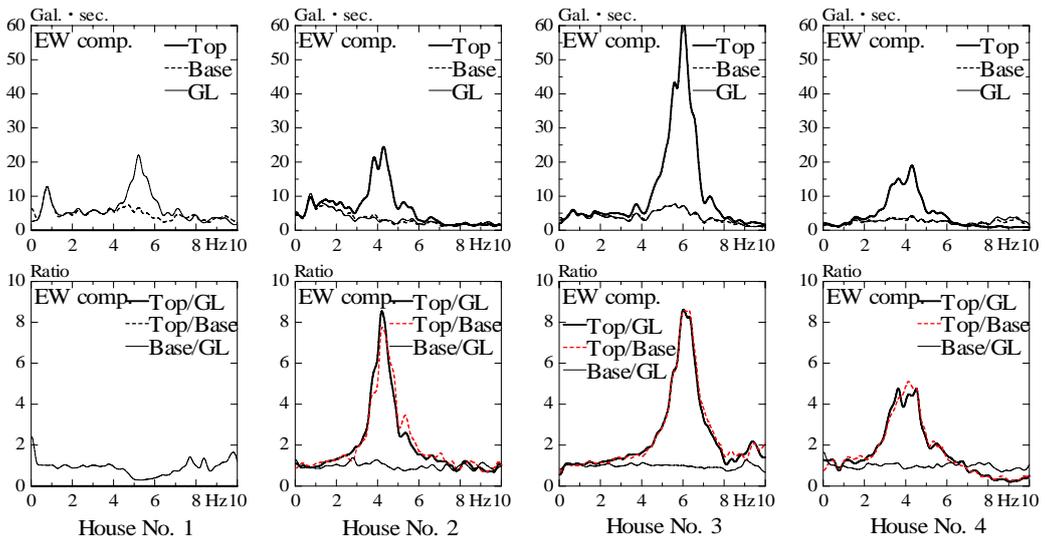


図2 波形 (住宅 No. 1) 図3 波形 (住宅 No. 2) 図4 波形 (住宅 No. 3) 図5 波形 (住宅 No. 4)

地震 No. 48（新潟県中越地震 2004. 10. 23）の各住宅での観測波形



N S (梁間) 方向



E W (桁行き) 方向

図6スペクトルと比 (住宅 No. 1) 図7スペクトルと比 (住宅 No. 2) 図8スペクトルと比 (住宅 No. 3) 図9スペクトルと比 (住宅 No. 4)

次に、7棟の住宅について、フーリエスペクトル比(3F/2F/1F)から求めた常時微動時と地震時の固有振動数の平均値を、表2に太字で示す。参考のために、常時微動時の固有振動数も併記する。まず、常時微動時の固有振動数は、古い木造住宅(No.5)を除くと、5~7Hzであることが分かる。この振動数は、地震時に、5~10%低下する(周期が延びる)。この低下した振動数は、住宅No.1および2において地震後すぐに実施した常時微動測定から、地震を経験する前の値に回復していることを確認している。¹⁾

表3 フーリエスペクトル比から求めた常時微動時と地震時の固有振動数

住宅番号		1	2	3	4	5	6	7
NS(梁間)	Microtremor	6.40	5.23	5.63		3.76	6.52	
	Earthquake	5.76	4.69	5.37	4.47			
E W(桁行)	Microtremor	5.18	5.04	6.66		3.86	5.35	
	Earthquake	4.79	4.30	6.01	4.27			

空欄は未測定または未整備

最大加速度振幅比 地盤での地震記録の最大加速度に対する建物1階のその比、および、1階の最大加速度に対する小屋裏のその比を、住宅ごとに求め、それぞれ、図10～13に示す。上段の図から、住宅No. 1においては、0.5～1.0に分布していること、住宅No. 2～4では、1.0附近に分布していることが分かる。この値が、1.0以下になるということは、入力大きさが低減されることを意味するので、木質住宅においては、入力低減は小さいといえる。また、下段の図からは、住宅No. 1と3においては建物内の増幅率は3.0附近、住宅No. 2と4においては、これが2.0附近であることが分かる。ここでは、II種地盤上の住宅のほうが、建物内の加速度増幅率は小さいという結果が得られた。加速度増幅比に関しては、柱梁接合部の固定度、耐力壁の仕様の違いなど他の要因も考えられるので、詳細については今後の観測結果待ちである。また、大きな地震になるほど、この増幅率が小さくなっていく（右下がり）傾向が認められる。

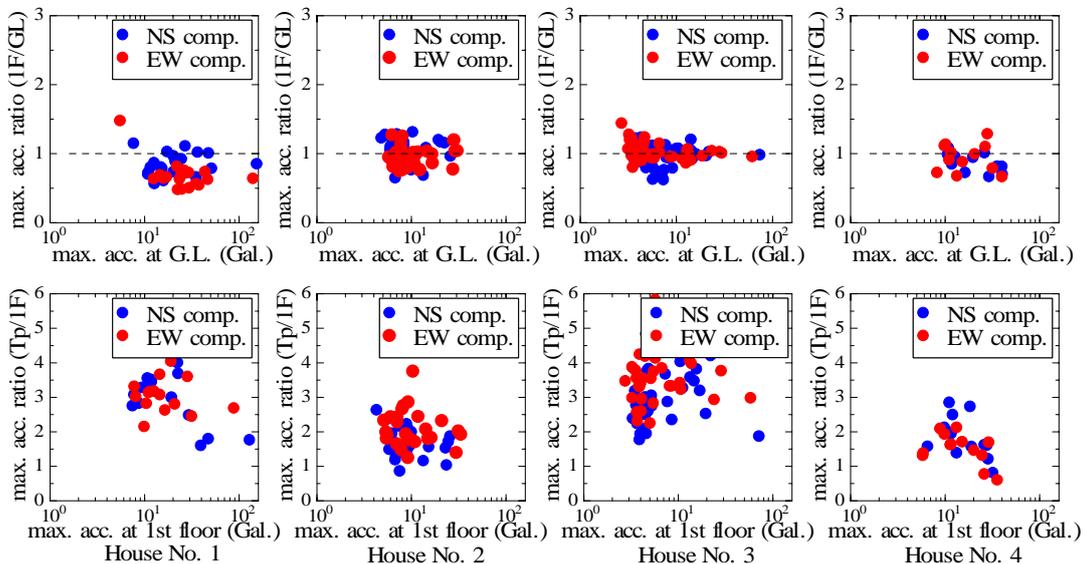


図10 最大加速度比 (住宅 No. 1) 図11 最大加速度比 (住宅 No. 2) 図12 最大加速度比 (住宅 No. 3) 図13 最大加速度比 (住宅 No. 4)

3) 地震計の開発

表4に示すような性能を持つ無線式の強震計を開発し、設置した。写真2に開発した強震計を示した。なお、現在の価格は1台3成分（水平2成分、上下動）で10万円程度を目指しているが、量産によって価格は下がるものと考えられる。

表 4 開発強震計の仕様

センサーの大きさ	30×50×40mm
分解能	1gal
観測時間	60 秒
収録地震数	10 波（11 波目では最大加速度の小さいものが消去される）
バッテリー部	24 時間無停電時に対応



写真 2 開発した強震計

(d) 結論ならびに今後の課題

4 棟の在来軸組工法木造住宅において、これまでに観測された 65 個の地震記録の解析結果から、木造住宅における地盤建物相互作用による建物周期の伸びは小さいこと、減衰効果もそれほど大きくないこと、また、これらの振動特性は、地盤種別の影響を受けることなどが判った。さらに、新たに 3 棟の住宅においても地震観測中であるが、現在のところ、観測記録の解析が未整備である。

さらに、築年数、構法、地盤種別の異なった多用な住宅において地震観測を行う計画である。その結果、地震時の住宅応答の特徴を統計的に捉え、住宅用地震入力決定のための資料を提供することが今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 入江康隆、野俣善則：観測記録に基づく木造 2 階建て住宅と R C 造 5 階建て建物の動的相互作用、日本建築学会構造系論文報告集、No. 548、2001. 10

(f) 成果の論文発表・口頭発表など

著者	題名	発表先	発表年月日
Irie Y. Nomata Y.	The dynamic soil-building interaction and the reduction of input motion of contemporary timber houses	Proc. of 13 th WCEE, Vancouver, B. C., Canada	August 1-6, 2004
入江、野俣、五十田他	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究（その21）強震観測	2004年日本建築学会大会	2004.8

(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

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成17年度業務計画

1) 業務計画、実施計画

地震計を設置する住宅を増やし、地震観測を継続する。

2) 目標とする成果

異なる地盤上の数多くの住宅において地震観測を行い、地震時の住宅応答の特徴を統計的に捉え、住宅用地震入力決定のための資料を提供すること。

