

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（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成15年度業務目的

(2) 平成15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) 観測結果
 - 2) 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16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
	主任研究員	鹿嶋俊英	kashima@kenken.go.jp
	主任研究員	五十田博	hisodak@kenken.go.jp
宇都宮大学大学院	助教授	入江康隆	iriey@cc.utsunomiya-u.ac.jp
東京大学大学院	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おこなう。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（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) 地震計の設置

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た。

d) 強震観測

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、種地盤上の住宅のほうが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) 地震計の開発

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) 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
観測対象を増やしながらか計測を継続する。

- 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
観測対象を増やしながらか計測を継続する。

- 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
観測対象を増やしながらか計測を継続する。

(e) 平成15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棟に加えて、すでに設置済みの2棟¹⁾の合計6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。本年度は宇都宮市近郊の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、種地盤上の住宅のほうが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) 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。本年度は無線式の簡易地震計の検討をおこなった。

(2) 平成 15 年度の成果

(a) 業務の要約

1) 強震観測

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 15 年度に、新たに 4 棟の在来軸組工法木造住宅に地震計を設置し、合計 6 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、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、入力損失は、種地盤上の住宅のほうが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) 地震計の開発

無線式で同期が可能な簡易地震計を検討した。

(b) 業務の実施方法

昨年度報告した住宅 No. 1、No. 2（昨年度の番号では、それぞれ、No.9401、No.0001）に加え、2003年6月および11月に、宇都宮市の在来軸組工法木造住宅 2 棟（それぞれ、住宅 No. 4 および 3）の小屋裏、1 階、および周辺地盤上に、3 成分の超小型地震計を、それぞれ 3 個ずつ設置した。前者は、種地盤上に、後者は、種地盤上に建てられている。これらの住宅では観測開始後現在までに、No. 4 において、4 個の地震動が記録されているが、3 測点全てで同時観測されたものは一つもない。一方、No. 3 においては、3 点で同時観測されたものが 3 個ある。

(c) 業務の成果

1) 強震観測

a) 観測住宅および観測記録

これらの住宅、および、昨年度報告した住宅 No. 1、No. 2（昨年度の番号では、それぞれ、No.9401、No.0001）の建物外観を写真 1 に、建物概要を表 1 に示す。2000年7月以来、4 棟いずれかの住宅で観測された地震の震央位置を、図 1 にこれらの地震の概要を表 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

写真 1 観測住宅の外観

表 1 観測住宅概要

住宅 No.	竣工年	基礎形 式	外壁材	屋根材	1F床面積 (m ²)	2F床面積 (m ²)	延べ床面積 (m ²)	地震計の 連動
1	1990.4	べた基礎	ALC50	スレート	87.0	82.0	169.0	GL と1F
2	1994.11	べた基礎	アルミサイディング	瓦	113.5	77.2	190.7	3測点
3	1995.6	べた基礎	軽量モルタル、タイル	瓦	136.4	105.5	241.9	3測点
4	2002.4	不明	ALC37	瓦	125.5	70.4	195.9	なし

表 2 観測地震の概要

Eq. No.	Epicenters						Recorded Earthquakes & their Intensities							
	Date	time	Latitude	Longitude	Depth (km)	Mag.	House No. 1		House No. 2		House No. 3		House No. 4	
							IJMA*1		IJMA*1		IJMA*1		IJMA*1	
1	2000/07/21	03:39	36.53N	141.12E	49.37	6.4				3.3				
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		1.8					
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							*2	-
21	2003/09/20	12:54	35.22N	140.30E	69.96	5.8			1.9				*2	-
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	397.83	6.5	3.0		2.2		2.8		*2	2.1
24	2003/11/15	03:43	36.43N	141.17E	48.4	5.8	2.3		2.1		2.2		*2	1.1
25	2004/01/23	18:01	37.26N	141.13E	65.87	5.3			1.6					

*1 : 計算により求めた計測震度、 *2 : 1または2測点のみで観測された記録

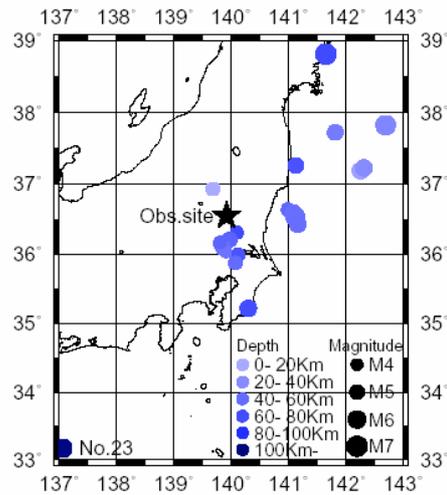


図 1 観測地震の震央位置

b) 観測記録の考察

i) 観測記録およびフーリエスペクトル

このうち、昨年度報告した住宅 No. 1 および住宅 No. 2 を含めて、全ての住宅で観測された地震記録のうちの代表例として地震 No.23 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、種地盤上の住宅 No. 1、3 のほうが種地盤上の住宅 No. 2、4 よりも、応答加速度が大きいことが分かる。特に No. 3 の E W 成分では、パルス的な 137Gal. の応答が生じている。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. 1 以外では、ほとんど認められない。

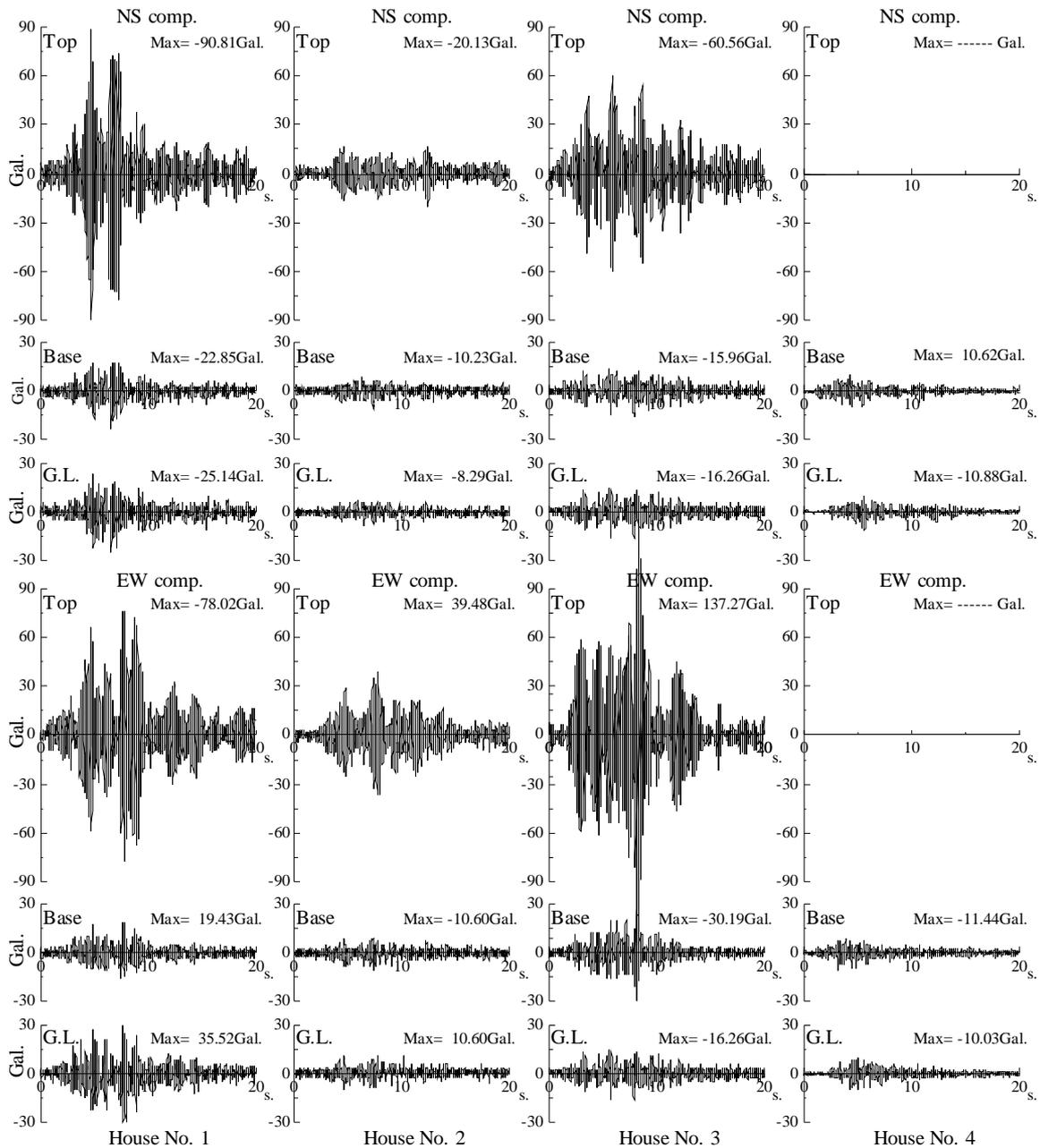


図2 波形 (住宅 No. 1) 図3 波形 (住宅 No. 2) 図4 波形 (住宅 No. 3) 図5 波形 (住宅 No. 4)
地震 No.23 (2003.11.12)の各住宅での観測波形

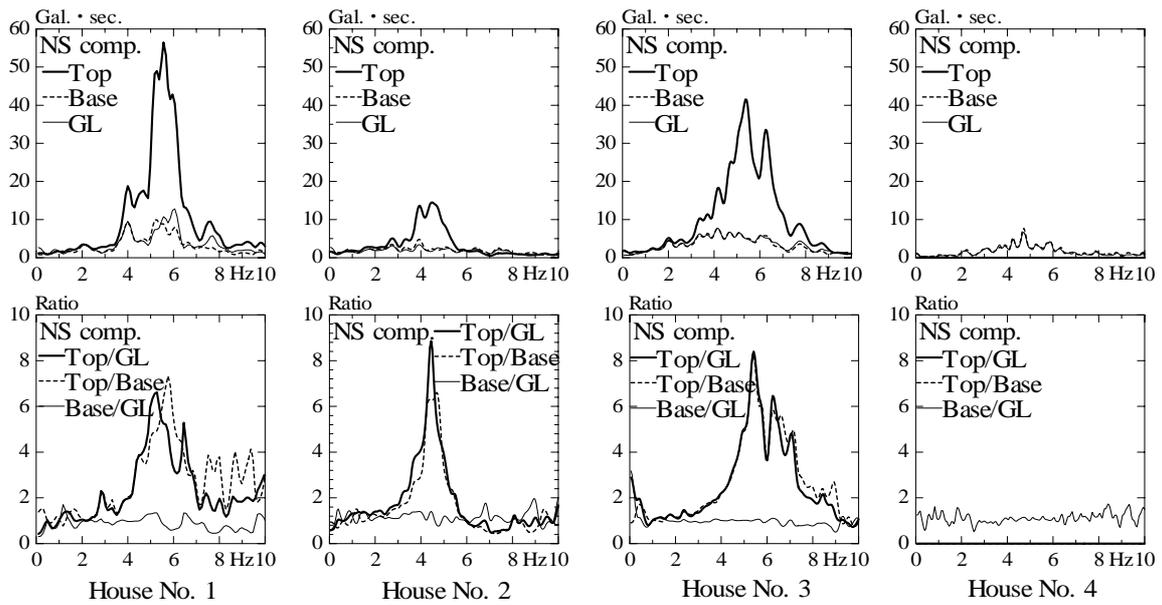


図6 スペクトルと比
(住宅 No.1)

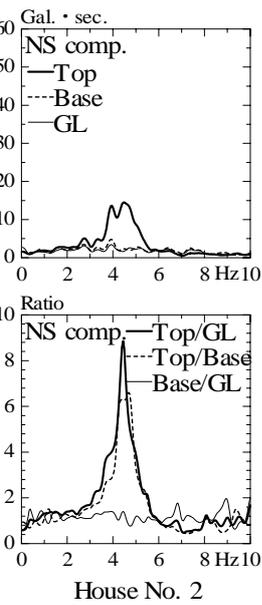


図7 スペクトルと比
(住宅 No.2)

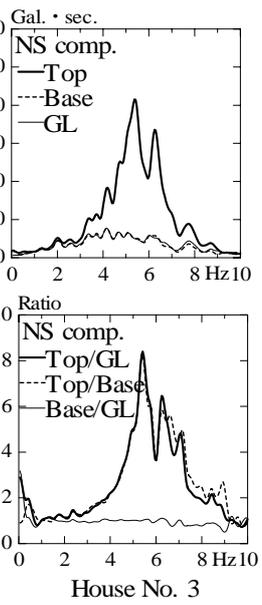


図8 スペクトルと比
(住宅 No.3)

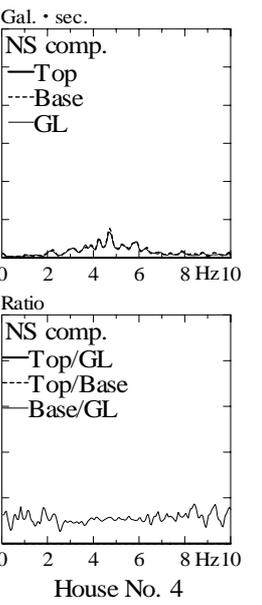


図9 スペクトルと比
(住宅 No.4)

次に、全ての地震記録について、時間領域、および、周波数領域における応答の振幅比を用いて、木質住宅の地盤建物相互作用効果という観点から、考察する。ただし、観測住宅は4棟、しかも、そこで観測された記録数は限られているので、考察といっても限定的である。

ii) 時間領域における考察

まず、時間領域においては、地盤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上段、および、下段に示す。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附近であるが、住宅No.2においては、これが2附近であることが分かる。ここでは、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が、その他に柱梁接合部の固定度、耐力壁の仕様の違いなどの他の要因も考えられる。また、観測記録が多い住宅No.1と2において、大きな地震に対しては、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。

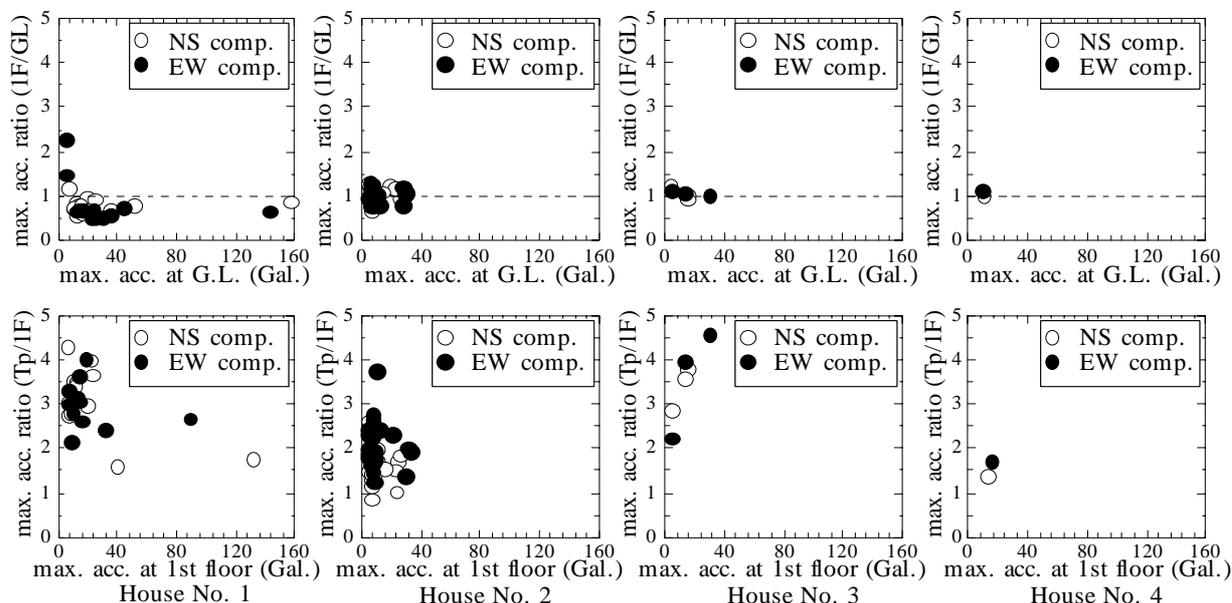


図10 最大加速度比 (住宅No.1) 図11 最大加速度比 (住宅No.2) 図12 最大加速度比 (住宅No.3) 図13 最大加速度比 (住宅No.4)

iii) 周波数領域における考察

地盤記録のフーリエスペクトルに対する建物1階のその比に現れる相互作用効果の特徴である山および谷の値、および、1階記録のフーリエスペクトルに対する小屋裏のその比のピーク値を、住宅ごとに求め、それぞれ、図14～17上段、中段、および、下段に示す。上段の図から、住宅No.1と2においては、1F/G.L.のスペクトルピーク値は、1.0附近にあること、No.2においては、やや大きく1.0～2.0に分布していることが分かる。中段の図から、1F/G.L.のスペクトルに現れる谷の値は、極小さな地震を除くと、住宅No.1においては、0.6附近、住宅No.2と3においては、1.0附近にあることが分かる。この、スペクトルに現れる谷の値は、地盤建物相互作用による減衰効果を表す（文献1）ことから、木質住宅では、減衰効果が小さいということの意味している。下段の図から、建物内での増幅率は、5～10程度であることが分かる。また、大き

な地震に対しては、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。これは、時間領域での結果と調和的である。

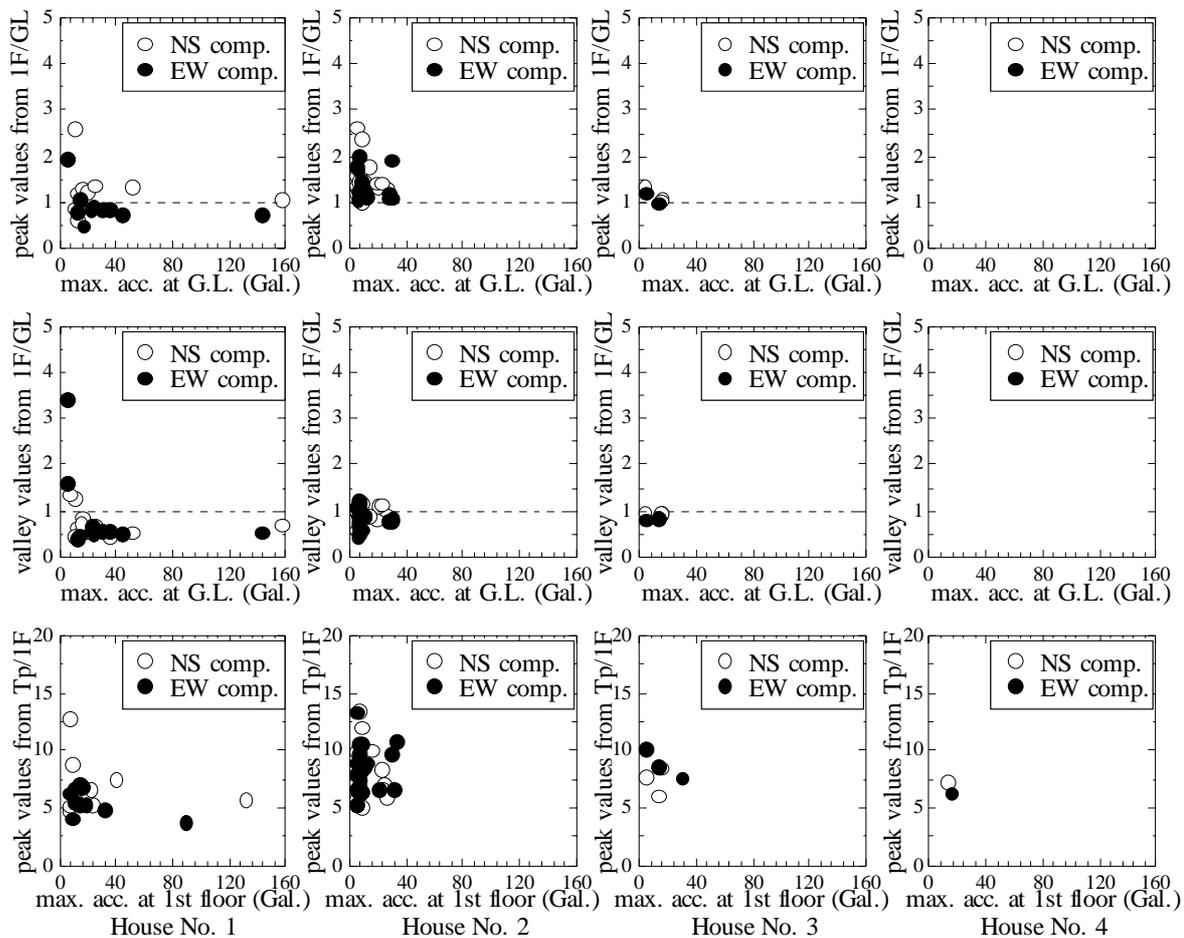


図 14 1 階外側の山谷値 (住宅 No. 1) 図 15 1 階外側の山谷値 (住宅 No. 2) 図 16 1 階外側の山谷値 (住宅 No. 3) 図 17 1 階外側の山谷値 (住宅 No. 4)

2) 地震計の開発

以下の性能を目標とした廉価な簡易地震計を検討した。

本体

- ・ 3成分（水平2、上下1）の加速度波形を1分間程度の記録を5回以上記録できる
- ・ 地震加速度は1gal単位で1000galまで記録する。
- ・ 記録された地震加速度記録はUSB経由等で容易にパソコンなどに転送できる
- ・ 複数個のセンサーにおける収録の同期がとれる

センサー部

- ・ センサー部から本体へのデータ転送は無線によりおこなう
- ・ 分解能は1gal以下、最大値は2000gal以上とする
- ・ 三成分（水平直交二成分、上下一成分）一体型とする
- ・ 周波数特性は0.1Hz～20Hzの範囲が平坦であること
- ・ 温度特性は-5 ～ +60 の範囲で使用できること

(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二十数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。

現在は、わずかに 4 棟の住宅における地震観測なので、今後は、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が課題である。

(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・口頭発表等

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	Journal of 13 th World Conference Earthquake Engineering	August 1-6, 2004
入江康隆、 五十田博ほか	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その 21 木造建物の強震観測	日本建築学会学術講演梗概集	平成 16 年 8 月 (予定)

(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16年度業務計画案

(a) 業務計画，実施計画

廉価な簡易地震計の開発を進めるとともに、地震計を設置する住宅を増やし、地震観測を継続する。

(b) 目標とする成果

異なる地盤上の様々な構法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。