



2004年新潟県中越地震における川口町川口震度計周辺の

建物被害の分析と強震記録の対応

大月俊典¹⁾、境有紀²⁾、小杉慎司³⁾

- 1) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科、大学院生
e-mail : e011269@edu.esys.tsukuba.ac.jp
- 2) 正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科、助教授、工博
e-mail : sakai@kz.tsukuba.ac.jp
- 3) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科、大学院生
e-mail : e011291@edu.esys.tsukuba.ac.jp

要 約

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、川口町川口において1996年の計測震度導入以来、初めて震度7が記録された。震度計周辺の建物被害調査を行ったところ、古い木造住宅を中心に多くの建物で甚大な被害が見られ、全壊・大破率は18%程度に達していた。そこで、川口町川口震度計周辺の建物全数被害調査を行い、様々なデータを収集し、被害レベルと構造種別、建物用途、建築年代、高床式構造、瓦屋根の有無との関係、および、応急危険度との対応関係などについての被害調査結果の分析を行った。また、強震記録における建物に大きな被害をもたらす1-2秒応答は、1995年兵庫県南部地震の震度7を記録した地点に匹敵するレベルであり、実際の被害との対応が確認された。

キーワード： 2004年新潟県中越地震、地震動、震度、建物被害、強震観測点

1. はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では多くの観測点で震度6弱以上を記録した¹⁾。その中でも川口町川口では1996年の計測震度導入以来、初めて震度7が記録され、多くの建物被害が発

生じた。筆者らは、10月31日～11月1日に川口町川口震度計周辺の建物全数被害調査を行った。ここでは、その結果を報告および分析し、観測された強震動の性質と被害の対応性について2004年新潟県中越地震の他の強震記録、1995年兵庫県南部地震などの過去に発生した被害地震の強震記録と比較を行った。

2. 被害調査概要

被害調査は震度計を中心とした半径200mの内側にある車庫、プレハブを除いた全ての建物について行い、地盤被害、基礎の被害を除いた強震動による上部構造の被害を対象とした。同様の調査としては、既に日本建築学会による報告書²⁾が刊行されているが、本報告では地震動と被害の関係の検討を行うために、震度7を記録し、強震記録も回収された強震観測点周辺に絞って詳細な調査を行っている。調査対象を観測点から半径200m以内にしたのは、観測点と同程度の揺れと見なすためにできるだけ観測点近傍に限定することと、被害率を算出するだけの十分な数の建物が存在すること、という相反する2つの条件のバランスから決定した。なお、対象エリアはほぼ平坦で大きな地形の変化はない。外部から1棟ずつ、被害レベル、構造種別、建物用途、建築年代、階数、瓦屋根の有無、応急危険度判定結果の調査を行った。被害レベルは木造建物については文献³⁾を、非木造建物については文献⁴⁾を参考に判定した。1階部分のみ店舗として使用している建物の建物用途は店舗とした。建築年代は、外観から分かる範囲での建物の外壁や屋根の材料の劣化具合、建築様式から「非常に古い」「古い」「やや古い」「新しい」と分類した。「新しい」は築10年以内、「古い」は築30年以上を目安としたが、外観から目視で判断したものであるため、あくまで参考的なものであることに注意されたい。階数については1階部分が鉄筋コンクリート造(以下、RC造)になっている高床式構造(以下、高床)は、「2+1」(1階部分がRC造で、2階・3階部分が木造)という表記とした。被害レベル(木造建物)、建築年代、高床建物について分類例を写真1、2、3に示す。

表1 建物の調査項目と分類

被害レベル(木造家屋)	全壊	半壊	一部損壊	無被害		
被害レベル(非木造建物)	崩壊	大破	中破	小破	被害軽微	無被害
構造種別	木造	RC造 ^{※1}	S造 ^{※2}			
建物用途	住宅	店舗	その他			
建築年代	非常に古い	古い	やや古い	新しい		
階数 ^{※3}	4	3	2+1	2	1+1	1
瓦屋根	有	無				
応急危険度	危険	要注意	調査済	不明		

※1 RC造:鉄筋コンクリート造

※2 S造:鉄骨造

※3 2+1:1階部分がRC造で2・3階部分が木造

1+1:1階部分がRC造で2階部分が木造



(a) 全壊



(b) 全壊



(c) 半壊



(d) 一部損壊

写真1 木造建物の被害レベルの分類例



(a) 非常に古い



(b) 古い



(c) やや古い



(d) 新しい

写真2 建築年代の分類例



(a) 高床木造住宅



(b) 高床木造店舗

写真3 高床木造の建物例

3. 被害概要

震度計は川口町役場建物（写真4、被害軽微）のすぐ南に設置されていた（写真5）。震度計周辺では古い住宅、店舗が集まっている地域を中心に多くの建物に甚大な被害が生じており、建物以外にも地盤の被害も大きく、道路にもひび割れが生じていた（写真6-11）。その一方で比較的新しい住宅が集まっている地域では建物にも地盤にもあまり被害が生じていなかった（写真12、13）。また、古い住宅では瓦屋根のものが多く、被害も生じており、一方、新しい住宅の多くは1階部分がRC造の高床式構造になっていて、被害は少なかった。



写真4 川口町役場



写真5 震度計の設置状況



写真6 被害が多い地域の様子



写真7 被害が多い地域の様子



写真8 被害が多い地域の様子



写真9 被害が多い地域の様子



写真 10 被害が多い地域の様子



写真 11 被害が多い地域の様子



写真 12 被害が少ない地域の様子



写真 13 被害が少ない地域の様子

4. 被害調査結果データと分析

4.1 調査結果および被害レベル

震度計から半径 200m の円内には計 225 棟の建物があり、車庫、プレハブ、地盤や基礎による被害を受けた建物を除くと 150 棟になる。表 1 に従って分類した全ての建物の調査結果を表 2 に示す。また、被害レベルごとに色分けした分布を図 1 に、被害レベルの割合を表したものを図 2 に示す。なお、木造、非木造を合わせた被害レベルの区分は、建物全体の分析のために便宜的に行ったものである。全 150 棟中、崩壊・大破・全壊レベルの建物は 27 棟であるので全壊・大破率は約 18% となった。

表2 調査結果一覧

番号	構造種別	建物用途	建築年代	階数	瓦屋根	被害レベル	応急危険度
1	RC造	その他	やや古い	2	-	無被害	不明
2	RC造	その他	古い	3	-	被害軽微	不明
3	木造	住宅	新しい	2+1	-	一部損壊	要注意
4	RC造	その他	新しい	1	-	無被害	不明
5	木造	住宅	新しい	3	-	無被害	不明
6	木造	住宅	古い	2	-	一部損壊	要注意
7	木造	住宅	古い	2	-	一部損壊	要注意
8	木造	住宅	古い	3	-	無被害	不明
9	木造	住宅	新しい	2	-	無被害	要注意
10	木造	その他	非常に古い	2	○	全壊	危険
11	木造	住宅	新しい	3+1	-	無被害	不明
12	RC造	その他	新しい	4	-	無被害	不明
13	木造	住宅	新しい	2+1	-	一部損壊	要注意
14	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	不明
15	木造	住宅	新しい	2+1	-	半壊	不明
16	木造	住宅	古い	2+1	-	半壊	不明
17	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
18	木造	住宅	古い	2+1	-	一部損壊	要注意
19	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
20	木造	住宅	古い	2	-	一部損壊	不明
21	木造	住宅	非常に古い	2	-	半壊	要注意
22	木造	住宅	新しい	2	-	無被害	調査済
23	S造	店舗	古い	2	-	中破	要注意
24	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
25	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
26	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
27	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
28	木造	住宅	非常に古い	3	-	全壊	危険
29	木造	住宅	古い	2+1	-	無被害	調査済
30	RC造	住宅	古い	2	-	被害軽微	不明
31	木造	住宅	やや古い	2+1	-	半壊	危険
32	木造	店舗	非常に古い	2	-	全壊	危険
33	木造	住宅	新しい	2	-	無被害	要注意
34	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
35	木造	住宅	古い	2	-	半壊	不明
36	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	危険
37	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	不明
38	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
39	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
40	木造	住宅	古い	2	-	無被害	要注意
41	木造	店舗	古い	2	-	全壊	危険
42	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	要注意
43	RC造	住宅	古い	4	-	被害軽微	不明
44	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
45	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
46	RC造	住宅	新しい	3	-	無被害	調査済
47	木造	住宅	古い	2	-	一部損壊	危険
48	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
49	木造	住宅	古い	3	-	半壊	不明
50	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
51	木造	住宅	古い	2	-	無被害	調査済
52	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
53	木造	店舗	古い	2	-	半壊	要注意
54	RC造	その他	やや古い	1	-	無被害	不明
55	木造	住宅	新しい	2+1	-	半壊	要注意
56	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	不明
57	木造	店舗	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
58	RC造	その他	やや古い	1	-	被害軽微	調査済
59	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
60	木造	住宅	古い	2	-	無被害	調査済
61	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	要注意
62	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
63	木造	住宅	古い	2	-	半壊	不明
64	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
65	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
66	木造	住宅	非常に古い	2	○	半壊	不明
67	木造	店舗	非常に古い	2	-	半壊	要注意
68	木造	住宅	新しい	2+1	-	一部損壊	調査済
69	木造	店舗	新しい	2	-	無被害	不明
70	RC造	店舗	新しい	3	-	無被害	不明
71	S造	店舗	古い	1	-	大破	危険
72	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	危険
73	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
74	木造	店舗	古い	2	-	半壊	要注意
75	木造	店舗	古い	2	-	一部損壊	要注意

番号	構造種別	建物用途	建築年代	階数	瓦屋根	被害レベル	応急危険度
76	木造	住宅	古い	1+1	-	無被害	調査済
77	S造	店舗	古い	2	-	大破	危険
78	RC造	店舗	古い	2	-	中破	危険
79	S造	店舗	古い	2	-	中破	危険
80	木造	店舗	やや古い	2	-	一部損壊	危険
81	木造	店舗	非常に古い	2	-	全壊	危険
82	木造	住宅	非常に古い	2	-	全壊	危険
83	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
84	木造	住宅	新しい	2+1	-	一部損壊	不明
85	木造	住宅	古い	2	-	全壊	危険
86	木造	住宅	新しい	2	-	一部損壊	不明
87	S造	店舗	古い	3	-	被害軽微	要注意
88	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	要注意
89	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
90	S造	店舗	やや古い	3	-	中破	危険
91	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
92	RC造	店舗	やや古い	3	-	中破	不明
93	木造	店舗	古い	2	-	全壊	危険
94	木造	店舗	非常に古い	2	-	半壊	危険
95	木造	住宅	非常に古い	2	○	全壊	危険
96	木造	店舗	非常に古い	2	○	全壊	危険
97	木造	住宅	古い	2	-	半壊	要注意
98	木造	住宅	非常に古い	2	-	半壊	要注意
99	木造	住宅	非常に古い	2	○	一部損壊	不明
100	木造	住宅	古い	2	○	全壊	危険
101	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	不明
102	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	不明
103	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	不明
104	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	不明
105	S造	その他	新しい	2	-	中破	要注意
106	木造	住宅	古い	2	○	半壊	危険
107	木造	住宅	古い	3	○	一部損壊	危険
108	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
109	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
110	木造	住宅	新しい	2	-	一部損壊	調査済
111	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
112	木造	住宅	古い	2	○	全壊	危険
113	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
114	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	要注意
115	木造	住宅	古い	2+1	-	一部損壊	要注意
116	木造	住宅	やや古い	2+1	-	一部損壊	不明
117	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	不明
118	木造	住宅	非常に古い	2	-	半壊	不明
119	木造	住宅	古い	2	○	一部損壊	要注意
120	木造	住宅	やや古い	2	-	半壊	不明
121	木造	住宅	古い	2	○	半壊	危険
122	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
123	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
124	木造	店舗	古い	2	-	一部損壊	要注意
125	木造	住宅	新しい	2+1	-	無被害	調査済
126	木造	住宅	古い	2	-	半壊	要注意
127	木造	住宅	やや古い	2	-	一部損壊	危険
128	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
129	木造	店舗	やや古い	2	-	一部損壊	不明
130	木造	住宅	やや古い	2+1	-	全壊	危険
131	木造	住宅	やや古い	2	-	半壊	不明
132	S造	住宅	やや古い	3	-	無被害	不明
133	木造	住宅	古い	2	○	一部損壊	不明
134	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	不明
135	木造	住宅	古い	2	-	無被害	調査済
136	木造	住宅	古い	2+1	-	一部損壊	要注意
137	RC造	その他	古い	2	-	被害軽微	不明
138	木造	住宅	古い	2	-	無被害	危険
139	木造	住宅	古い	2	○	一部損壊	不明
140	木造	住宅	やや古い	2+1	○	一部損壊	危険
141	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
142	木造	住宅	古い	2	-	一部損壊	不明
143	木造	住宅	古い	2+1	-	無被害	危険
144	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	調査済
145	木造	住宅	やや古い	2	○	全壊	危険
146	木造	住宅	やや古い	2+1	-	無被害	要注意
147	RC造	その他	古い	3	-	被害軽微	不明
148	RC造	その他	非常に古い	2	-	被害軽微	調査済
149	RC造	その他	古い	3	-	被害軽微	不明
150	木造	住宅	古い	2	○	半壊	要注意

※ 階数の「+1」は高床建物を示し、「2+1」は1階部分がRC造で2・3階が木造、「1+1」は1階部分がRC造で2階が木造ということを表す。瓦屋根は「○」が有り、「-」が無しを表す。



図1 被害レベルの分布

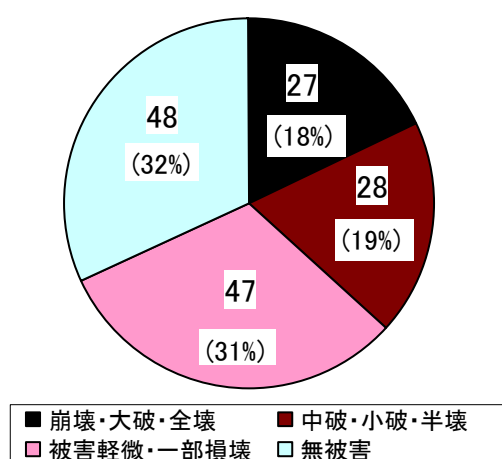


図2 被害レベルの割合

4.2 構造種別と被害レベルの関係

構造種別の割合、および、構造種別ごとの被害レベルの割合を図3に示す。構造種別の割合は木造が80%以上を占め、その20%が全壊しており、半数以上が何らかの被害を受けていることがわかる。これは、日本建築学会による災害調査報告²⁾内の川口町大字川口地区での悉皆調査結果の木造全壊率15%とおおよそ対応している。またRC造建物では大破以上の被害を受けたものはなく、2棟が非構造壁に大きな被害を受けており、中破（写真14、15）と判定した。S造建物は25%が崩壊・大破レベルであり、大きな被害の割合は木造建物以上であるが、S造建物の総数が8棟であるため比較するのに十分な棟数とはいえない。

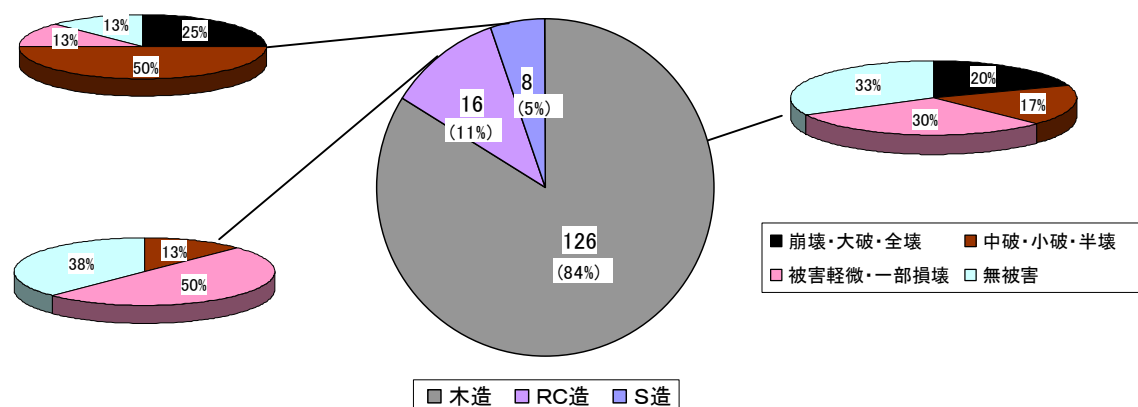


図3 構造種別の割合および構造種別ごとの被害レベルの割合

4.3 建物用途と被害レベルの関係

建物用途の割合、および、建物用途ごとの被害レベルの割合を図4に示す。建物用途の割合は、76%を占めている住宅が最も高く、続いて店舗、その他という順である。用途ごとの被害レベルの割合を見てみると、住宅の18%に対して店舗の29%が崩壊・大破・全壊レベルであり、1階の剛性が極端に弱くなっている店舗の耐震性の低さが表れている。全壊・大破した店舗建物を写真16-18に、中破レベルの店舗建物を写真19、20に示す。

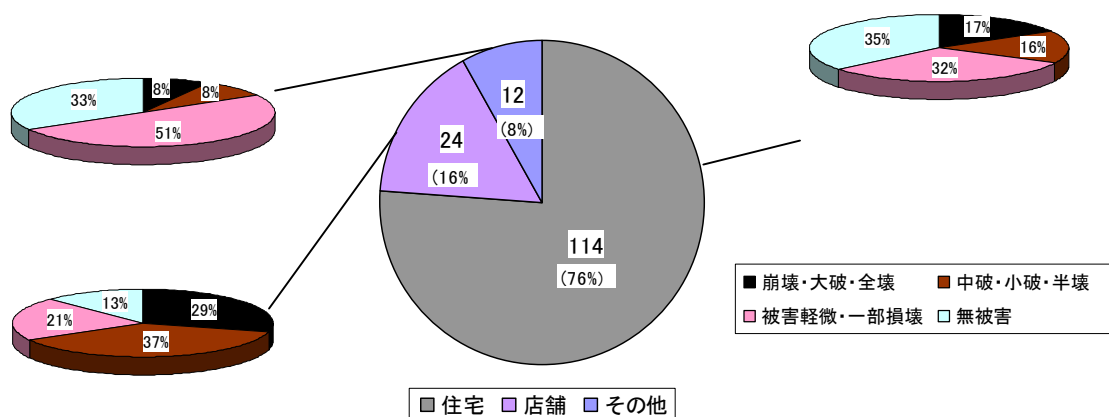


図4 建物用途の割合および建物用途ごとの被害レベルの割合

4.4 建築年代と被害レベルの関係

建築年代の割合、および、建築年代ごとの被害レベルの割合を図5に示す。建築年代の割合には大きな偏りはないが、若干古い建物が多い。建築年代ごとの被害レベルの割合をみても、非常に古い建物のほとんどが崩壊・全壊・大破または半壊・中破・小破しており、年代が新しくなるに従って被害が軽くなっていることがわかる。非常に古い建物の全壊例を写真21-25に示す。

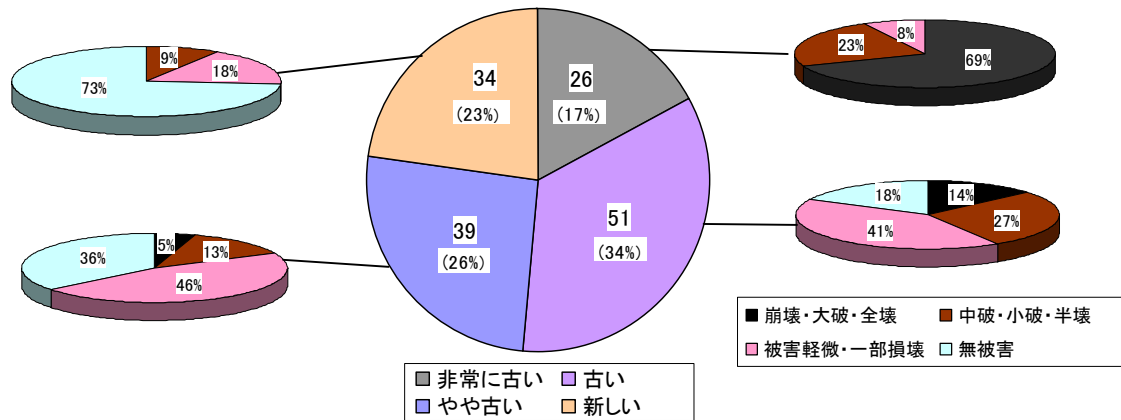


図5 建築年代の割合および建築年代ごとの被害レベルの割合



写真14 中破の被害を受けたRC造店舗(78)



写真15 中破の被害を受けたRC造店舗(92)

※括弧内の番号は表2の建物番号と対応(以下、同じ)



写真 16 全壊した木造店舗(32)



写真 17 全壊した木造店舗(41)



写真 18 大破した S 造店舗(77)



写真 19 中破の被害を受けた S 造店舗(23)



写真 20 中破の被害を受けた S 造店舗(90)



写真 21 全壊した木造建物(10)



写真 22 全壊した木造住宅(39)



写真 23 全壊した木造住宅(62)



写真 24 全壊した木造住宅(64)



写真 25 全壊した木造住宅(27)

4.5 木造高床・木造瓦屋根と建物被害の関係性

震度計周辺では1階部分がRC造で上層部が木造であるという高床式になっている住宅や店舗が数多く見られた。高床の有無と被害レベルとの関連性を探るため、高床式の木造建物（以下、高床木造建物）と高床式でない木造建物（以下、非高床木造建物）の被害レベルの割合を図6に示す。両者を比較すると、高床木造建物は非高床木造建物に比べて全壊、半壊の割合が低いことがわかる。しかし、高床木造建物は比較的新しい建物が多かったことから、建築年代との関係も検討するため、高床木造建物、非高床木造建物について建築年代ごとの被害レベルの割合を求めて図7、8に示し、年代ごとの全半壊部分をオレンジで囲ってある。

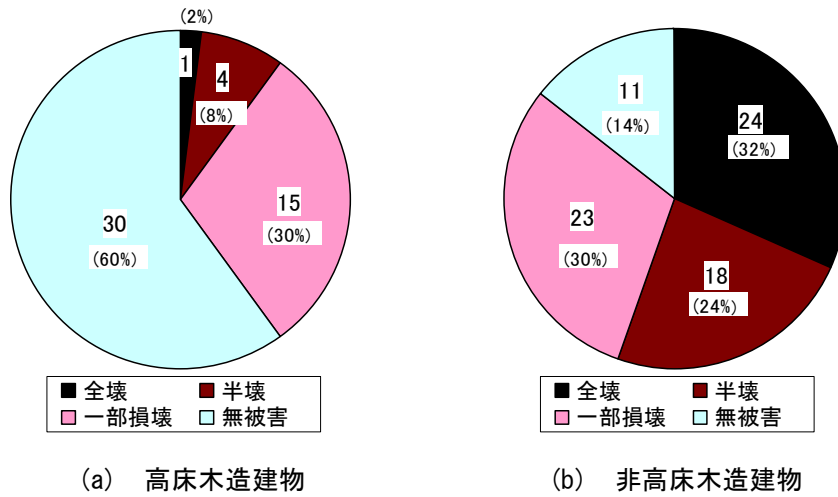


図 6 被害レベルの割合

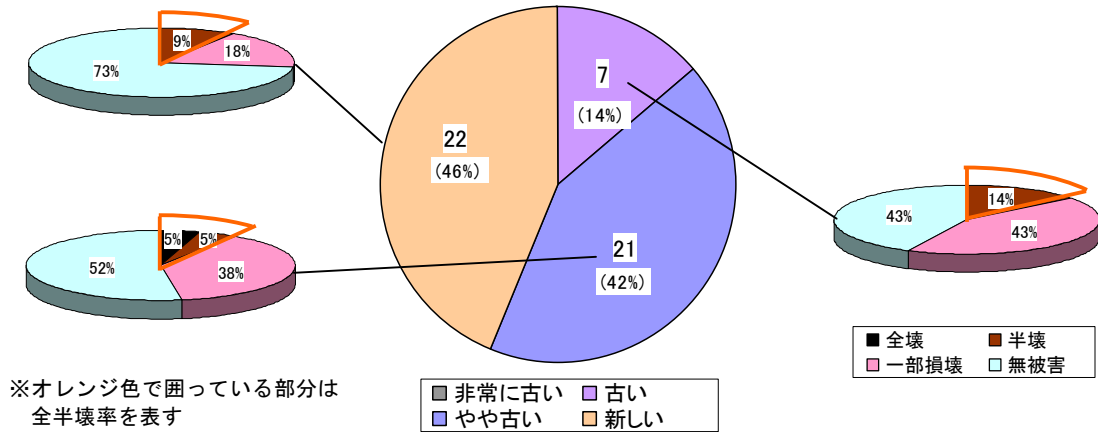


図 7 高床木造建物の建築年代の割合および建築年代ごとの被害レベルの割合

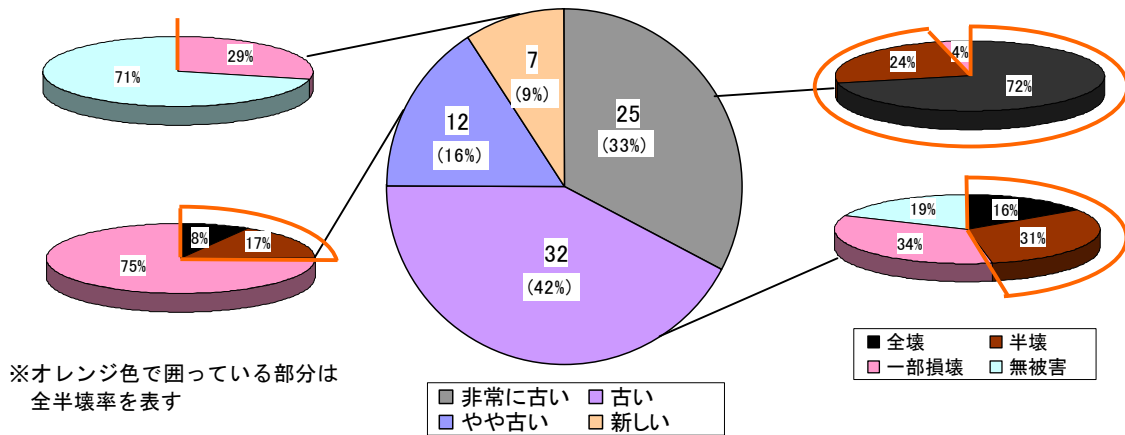


図 8 非高床木造建物の建築年代の割合および建築年代ごとの被害レベルの割合

図7、8より、高床式になっている建物は比較的新しいものが多く、逆に高床式でないものは古いものが多いことがわかる。建物年代別に被害を見ると、建築年代が非常に古い非高床木造建物の全半壊率は96%と非常に高く、古い・やや古い木造建物での高床、非高床の全半壊率を比較しても非高床の方の全半壊率が高い。しかし、新しい木造建物については逆に高床の方が全半壊率は高くなっているため、高床であることと被害との関連性は薄いと考えられる。以上のことから、高床であるから耐震性が高いと一概には言えず、高床建物の被害が少なかったのは、新しい建物が多かったからであると考えるべきであろう。

次に瓦屋根の有無と被害レベルの関係を探るため、瓦屋根である木造建物（以下、瓦屋根木造建物）と瓦屋根でない木造建物（以下、非瓦屋根木造建物）の被害レベルの割合を図9に示す。両者を比較すると、瓦屋根建物の52%が全壊、19%が半壊であり、非瓦屋根木造建物に比べて大きな被害の割合が高いことがわかる。瓦屋根についても建築年代との関係を探るため、瓦屋根木造建物での建築年代ごとの被害レベル割合を図10に、非瓦屋根木造建物での建築年代ごとの被害レベル割合を図11に示し、年代ごとの全半壊部分をオレンジで囲ってある。

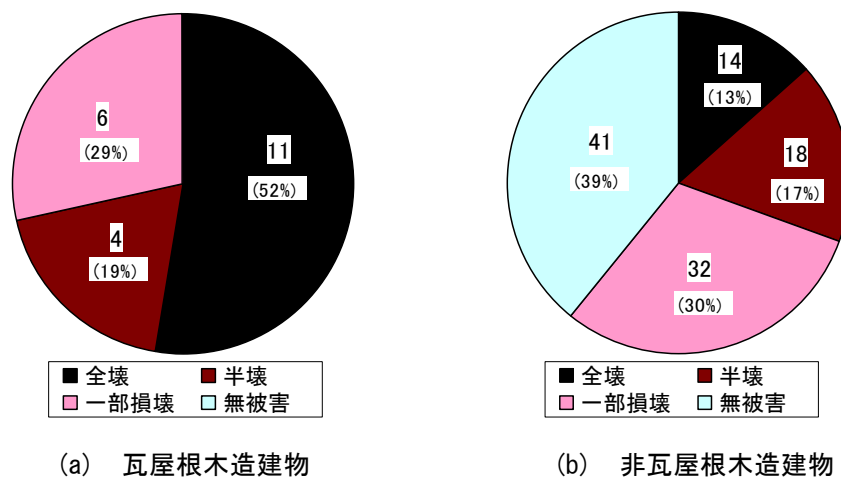


図9 被害レベルの割合

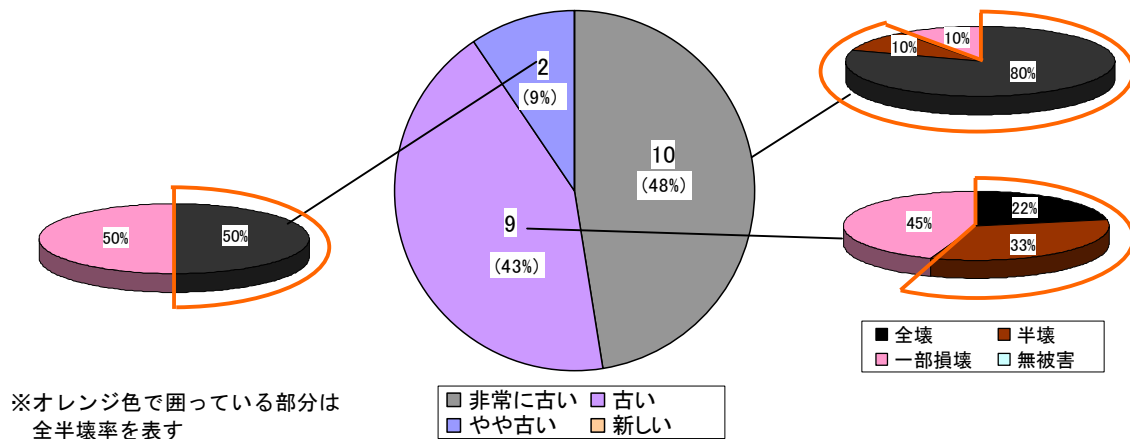


図 10 瓦屋根木造建物の建築年代ごとの被害レベルの割合

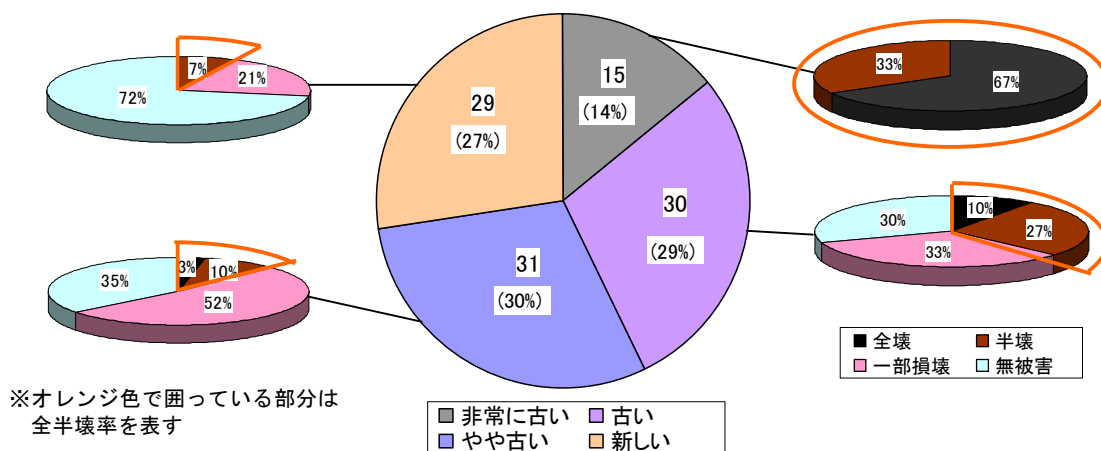


図 11 非瓦屋根木造建物の建築年代ごとの被害レベルの割合

図 10、図 11 から瓦屋根木造建物のほとんどは、非常に古い・古いものだと見える。逆に非瓦屋根木造建物は「非常に古い」を除く各年代で棟数がほぼ均等にある。また、非常に古い木造建物は瓦屋根の有無に関係なく全半壊率が高く、古い・やや古い木造建物についても瓦屋根建物の方が全半壊率が高いことがわかる。しかし、やや古い瓦屋根木造建物に該当するものは 2 棟しかなく、検討するにあたって十分な棟数とはいえない。ただ、瓦屋根木造建物で無被害のものは 1 棟もなかったことから、瓦屋根の重量が要因となって非瓦屋根木造建物よりは何らかの被害を受けやすくなっているということと言えるだろう。

5. 建物被害レベルと応急危険度の対応性

被害調査の際には、大部分の建物に応急危険度判定のステッカーが貼られていた。応急危険度判定とは、「危険」「要注意」「調査済」の 3 段階で危険度が表されるものである⁵⁾。応急危険度判定の分布図を図 12 に示す。ただし、ステッカーが確認されなかったものの中で明らかに全壊しているものは「危険」とし、その他については不明とした。

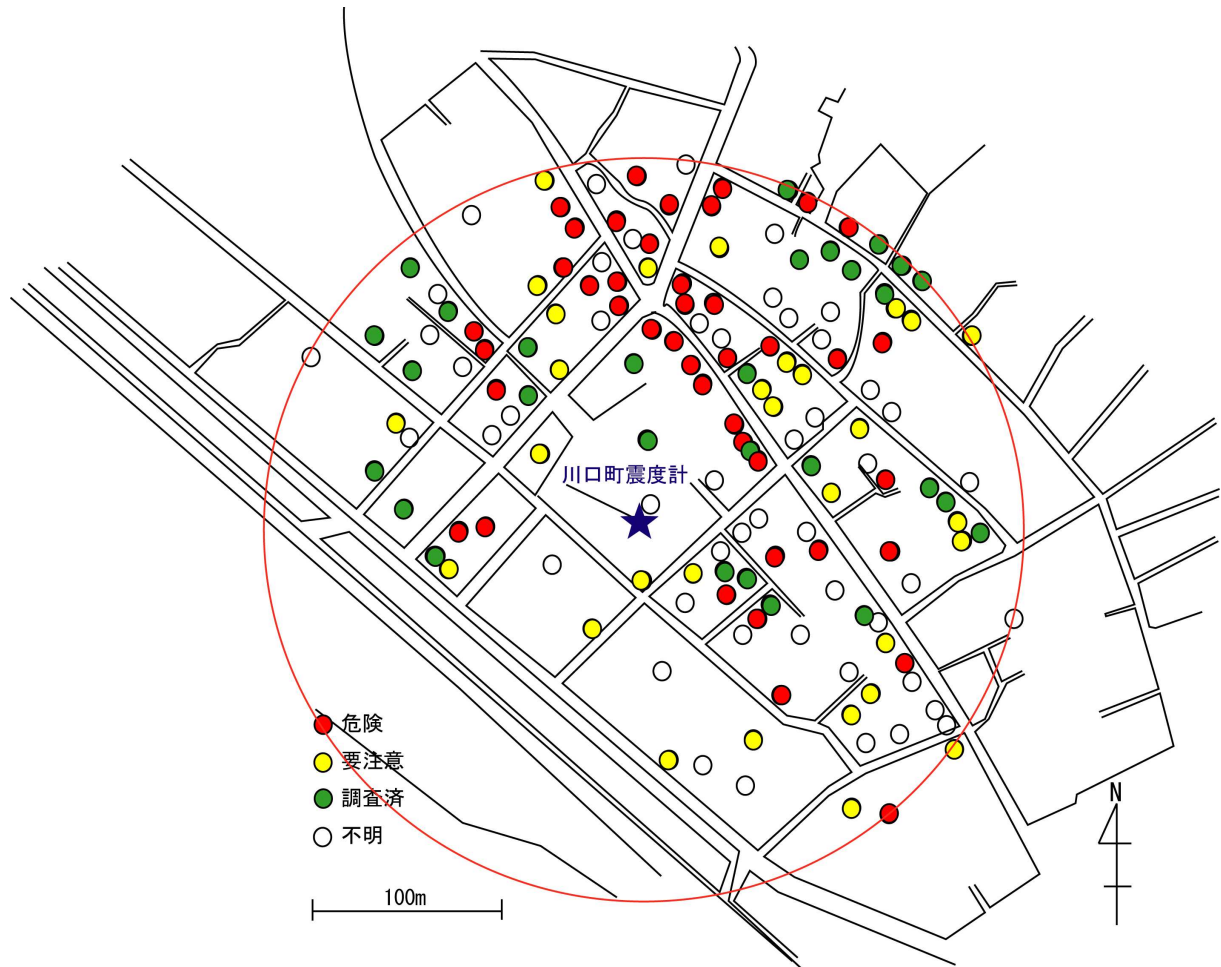


図 12 応急危険度の分布

応急危険度判定結果と構造的な被害を対象としている被害レベルの対応性を検討するため、応急危険度の割合、および、応急危険度ごとの被害レベルの割合を図 13(a)に示す。また、応急危険度と被害レベルの対応関係を表 3(a)に示す。応急危険度「危険」に対応する被害レベルを「崩壊・大破・全壊」、「要注意」に対応するのを「中破・小破・半壊」「一部損壊・被害軽微」、「調査済」に対応するのを「無被害」とすると（図 13(a)でオレンジで囲んだ部分、表 3(a)でオレンジで塗った部分）、「要注意」の対応率は 87% (37+50)、「調査済」の対応率は 86%とかなり対応が良いといえるが「危険」の対応率は 62%と低くなっている。その原因としては応急危険度判定の定義が、「破壊が人命に危険を及ぼす度合い」であることから「危険」と判定される要因として、隣接建築物・周辺地盤に関する危険度や、屋根瓦などの落下危険物・転倒危険物に関する危険度なども含まれることが考えられる。そこで、構造的な被害以外の要因で「危険」と判定されているものは「要注意」と修正した応急危険度の割合、および、応急危険度ごとの被害レベルの割合を図 13(b)に示す。また、応急危険度と被害レベルの対応関係を表 3(b)に示す。その結果「危険」の対応率は 90%となり、応急危険度判定と被害レベルは構造的な被害に対して十分対応していることがわかる。よって、応急危険度判定は、構造的な被害以外の要因で「危険」と判定されているものを「要注意」と修正すれば、「危険」は「崩壊・大破・全壊」、

「要注意」は「中破・小破・半壊」「一部損壊・被害軽微」に、「調査済」は「無被害」にほぼ対応し、建物被害レベルを判定するのに十分な参考になる資料となることわかる。

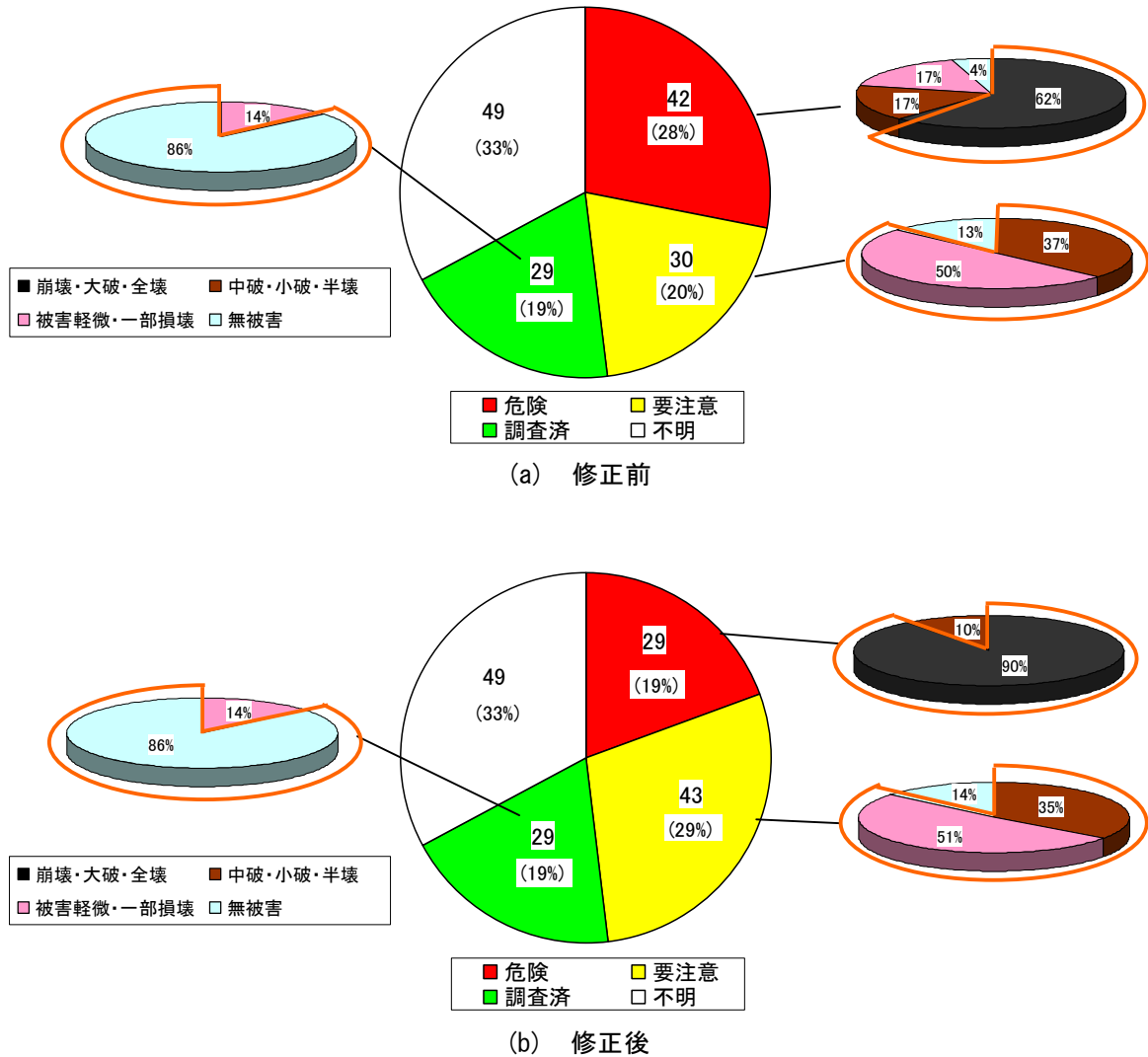


図 13 応急危険度の割合および応急危険度ごとの被害レベルの割合

※オレンジ色で囲っている箇所は応急危険度と被害レベルが対応している部分

表 3 応急危険度ごとの被害レベルの割合

(a) 修正前

(b) 修正後

	崩壊・大破・全壊 ・全壊	中破・小破 ・半壊	一部損壊 ・被害軽微	無被害
危険	62	17	17	4
要注意	0	37	50	13
調査済	0	0	14	86

(単位 %)

	崩壊・大破 ・全壊	中破・小破 ・半壊	一部損壊 ・被害軽微	無被害
危険	90	10	0	0
要注意	0	35	51	14
調査済	0	0	14	86

(単位 %)

※ オレンジ色の箇所は応急危険度と被害レベルが対応している部分

6. 建物被害と強震記録との対応性

建物被害と強震記録との対応性を検討するため、川口町震度計に加え、2004年新潟県中越地震において被害調査を行った⁶⁾他の観測点での計測震度などの地震動強さ指標、被害状況を表4に示す。被害レベルは観測点周辺の被害調査結果を基に、文献⁷⁾の木造建物全壊率・半壊率による震度の被害関数、および一部損壊については文献³⁾の震度の被害関数を参考にして判断した。

弾性加速度応答スペクトル（減衰定数5%、水平2方向ベクトル合成）を図14に示す。図14(a)には調査を行った全ての観測点でのスペクトルを示すが、川口町のスペクトルは他の観測点と比べて1秒以下の値はさほど大きくなく、建物に大きな被害をもたらす1-2秒⁷⁾に大きなパワーを持っていて他のものと破壊力が全く異なることがわかる。さらに、図14(b)には過去に発生した被害地震での強震記録のスペクトルを示すが、川口町震度計の1-2秒応答は1995年兵庫県南部地震のJR鷹取や葺合のそれとほぼ同等のレベルであることがわかる。表4には提案する算定法による震度⁷⁾も示す。これは、震度の大きさによって変化する対象に応じて、震度算出の基になる地震動の周期帯を変化させたものであり、例えば、震度6弱以上の高震度では式(1)に示すように1-2秒の周期帯を基にして算出される。

$$I_{1-2} = 2.171 * \log(V_{1-2}) + 1.002 \quad (1)$$

I_{1-2} : 1-2秒震度、 V_{1-2} : 1~2秒の平均弾性速度応答（減衰定数5%、水平2成分ベクトル和, cm/s）

表4を見ると提案震度は他の指標と比べて実際の被害との対応が良いことがわかる。また、川口町震度計周辺の木造建物の全壊率は20%であり、それを震度7が設定された福井地震当時の倒壊率に換算するとほぼ30%に対応しており⁸⁾被害レベルは震度7相当だといえる。

表4 調査を行った観測点での地震動強さ指標と被害状況

観測点	地震動強さ指標				被害レベル	木造建物被害状況
	計測震度	PGA	PGV	提案震度		
川口町震度計	6.51	1667.9	144.7	6.61	7	家屋の20%程度が全壊
K-NET小千谷	6.73	1500.7	133.4	6.29	6弱	全壊建物数棟
JMA小千谷	6.33	973.3	93.6	6.03	6弱	全壊建物数棟
K-NET十日町	6.19	1746.5	65.6	5.24	5強	軽微な被害数棟
K-NET長岡支所	6.10	912.0	71.4	5.75	6弱	軽微な被害多数
KiK-net加茂	5.65	412.0	28.8	5.32	5強	軽微な被害数棟
K-NET小出	5.54	639.3	39.7	5.02	5強	軽微な被害数棟
JMA長岡	5.49	424.6	38.3	4.93	5強	軽微な被害数棟
K-NET長岡	5.50	542.7	51.0	4.93	5強	軽微な被害数棟
JMA六日町	5.44	153.0	27.8	4.97	5強	軽微な被害数棟
十日町市震度計	5.92	1339.7	58.3	5.39	6弱	軽微な被害多数
中里村震度計	5.96	768.8	71.9	5.65	5強	軽微な被害数棟
栃尾市震度計	5.49	1012.3	34.2	5.25	5強	軽微な被害やや多い
小出市震度計	5.20	371.7	27.3	5.04	5強	軽微な被害数棟

PGA: 地動最大加速度 (cm/s²), PGV: 地動最大速度 (cm/s)

7. まとめ

川口町震度計周辺半径 200m 内の建物のうち地盤被害、基礎の被害を除いた強震動による上部構造の被害を対象として調査を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 18%の建物が全壊あるいは大破しており、木造建物に限定すると 20%が全壊という被害を生じていた。これは、福井地震当時の倒壊率に換算するとほぼ 30%に対応しており、被害レベルは震度 7 相当といえる。
- 全壊した建物のほとんどは非常に古い住宅や、1 階の剛性が低い店舗などであった。
- 被害レベルと高床式木造建物、木造建物における瓦屋根の有無の関係性を分析した結果、瓦屋根の有無は被害と関係があるといえるが、高床の有無と被害との関係があるとは一概に言えない。
- 応急危険度判定については、構造的な被害以外の要因で「危険」と判定されているものを「要注意」と修正すれば、「危険」は「崩壊・大破・全壊」、「要注意」は「中破・小破・半壊」「一部損壊・被害軽微」に、「調査済」は「無被害」にほぼ対応し、建物被害レベルを判定するのに参考となる資料になることがわかった。
- 川口町震度計で観測された地震動は、他の観測点に比べて建物の大きな被害を引き起こす 1-2 秒にパワーをもっており、そのレベルは 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取や葺合の強震記録に匹敵するものである。

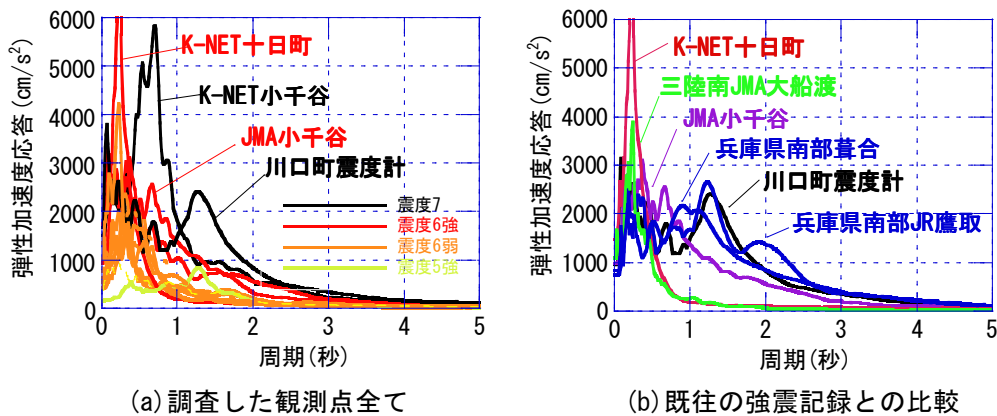


図 14 弾性加速度応答スペクトル（減衰定数 5%、水平 2 方向ベクトル合成）

謝 辞

強震記録は防災科学技術研究所、JR 総合技術研究所、大阪ガス、気象庁より提供していただきました。被害調査の際、現地の方々には被災されていたにもかかわらず、様々なご協力をいただきました。気象庁計測震度を求めるプログラムは、参考文献 9) の巻末のリストを基に早稲田大学山田真氏、中村操氏らがコーディングし東京電力植村富一氏が修正したものに手を加えて使わせていただきました。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ、
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/041023_niigata/1756/nigata_main.htm

- 2) 2004年10月23日新潟県中越地震災害調査報告、日本建築学会、2006年8月、pp.23.
- 3) 岡田成幸、高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、No.524、1999年10月、pp.65～72.
- 4) 1978年宮城県沖地震災害調査報告、日本建築学会、1980年2月、pp.142.
- 5) 全国被災建築物応急危険度判定協議会ホームページ、(財)日本建築防災協会、
<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/Jimukyoku/Oukyu/Oukyu.htm>.
- 6) 境有紀、小杉慎司、大月俊典、中村友紀子：強震動と建物被害、平成16年新潟県中越地震被害調査報告会梗概集、日本地震工学会、2004年12月、pp.27～34.
- 7) 境有紀、神野達夫、瀬瀬一起：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案、日本建築学会構造系論文集、第585号、2004年、pp.71～76.
- 8) 諸井孝文、武村雅之：1995年兵庫県南部地震による気象庁震度と住家全壊率の関係、地震2、第52巻、1999年、pp.11～24.
- 9) 気象庁：震度を知る 基礎知識とその活用、ぎょうせい、1996.

(受理：2006年6月13日)

(掲載決定：2007年3月29日)

Analysis of Damage to Buildings around Seismic Intensity Meter at Kawaguchi, Kawaguchi-machi in the 2004 Niigataken-Chuetsu Earthquake and Correspondence of Structural Damage to Strong Motion Records

OTSUKI Toshinori¹⁾, SAKAI Yuki²⁾ and KOSUGI Shinji³⁾

1) Student Member, Graduate Student, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba

2) Member, Assoc. Prof., Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba, Dr Eng

3) Student Member, Graduate Student, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba

ABSTRACT

In the 2004 Niigataken-Chuetsu Earthquake which occurred on October 23, 2004, the seismic intensity scale 7 was recorded at Kawaguchi, Kawaguchi-machi for the first time since the introduction of seismic intensity meters in 1996. We investigated damage to buildings around the seismic intensity meter. We found many heavily damaged buildings, especially for old wooden houses. Heavily damage rate of the buildings was approximately 18%. We analyzed relationship between damage levels of buildings and structure types, usage of buildings, age of buildings, raised floors or not, tiled roofs or not and post-earthquake quick inspection, using the results of our investigation. Elastic response in the period range of 1-2 sec. which closely related to heavy building damage from the recorded strong ground motion was very large. Therefore, we confirmed correspondence of elastic response in the range of 1-2 sec. to the actual building damage.

Key Words: The 2004 Niigataken-Chuetsu Earthquake, Strong ground motions, JMA Seismic intensity scale, Damage to Building, Strong ground motion observation point