

建物被害データに基づく各種の被災度指標の対応関係の分析

Relationship Between Damage Ranks with Different Criteria Based on Building Damage

宮腰淳一*, 林 康裕**, 福和伸夫***

Jun'ichi MIYAKOSHI, Yasuhiro HAYASHI and Nobuo FUKUWA

We have discussed a relationship between damage ranks with different criteria for wooden buildings. First, criteria to judge damage ranks were reviewed using investigated materials of building damage from the 1891 Nobi earthquake to the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake. These criteria were classified into two types of the investigation by a police or an administrative office and the investigation by members having a profound knowledge on building damage. These criteria of the investigation by the police or the administrative office were almost same regardless of the generation in the material. Next, comparing vulnerability functions based on damage data of wooden buildings during the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake with those based on the damage data during the past earthquakes, these criteria didn't quite correspond in quantitative consideration. Finally, we have discussed the relationship based on building damage data of three investigations during the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake. These investigated organizations were Architectural Institute of Japan, Special Committee for Earthquake Reconstruction and City Planning, and Kobe city. Comparing damage data with vulnerability functions, we have pointed that the relationship were influenced by the purpose of investigations.

Keywords : *building damage, damage rank, wooden building, vulnerability function, physical parameter of earthquake ground motion, seismic performance*

建物被害, 被災度, 木造建物, 被害率曲線, 地震動強さ, 耐震性能

1. はじめに

地震による建物被害統計量は、地震動強さの分布や建物の耐震性能を把握する上で貴重な情報である。建物の被害統計量として、これまで全壊や半壊などに対する棟数あるいは戸数が頻繁に用いられている。しかし、建物あるいは家屋の被災度を表す「全壊」や「半壊」の判定基準は、建物被害調査を行う機関によって異なる。実際、今村(1910)は、被害統計量が行政上のものと学術的なものとの間で相当の隔たりがあることを指摘している。また、金井(1982)は、「建物の震害統計を行うに当たって、常に付きまとう困惑は、被害程度の判定が確立していないことにある」と指摘している。このように、古くから被災度指標の判定基準が調査機関によって異なっており、このことが被害統計量を解釈する上で問題となっていたことが伺える。

被災度指標の判定基準として代表的なものは、1968年6月14日付で内閣総理大臣官房審議室長から関係省庁に通知された災害の被害認定統一基準(総審第115号)であり、その後の被害地震ではこの基準による被害調査が行

われ(例えば、日本建築学会, 1984b), 1995年兵庫県南部地震でも同様の基準による被害調査が行われた(神戸市, 1996)。この基準は、当時の学術研究会議耐震構造研究班で検討し、1948年1月7日付で建設院から関係機関に通知された被災度判定基準(金井, 1967; 大崎, 1982)とほぼ内容を同じくしており、被災度判定基準としては過去の被害地震から兵庫県南部地震までの連続性があったことが推察される。また、兵庫県南部地震では、被害認定統一基準に基づく被害調査の他に、震災復興都市づくり特別委員会(1995)や日本建築学会近畿支部(鈴木・藤原, 1995)などによっても被害調査が行われた。しかし、調査機関によって被災度指標の判定基準が異なるため、それぞれの被害統計量に差異がみられた。これらの被害統計量を読み間違えないためにも、各種の被災度指標の対応関係について検討することは重要であろう。

一方、建物の被害は、建物に作用した地震動強さや建物の耐震性能に大きく影響を受けることは容易に推察できる。そのため、各種の被災度指標の対応関係をみる場合には、単に被害統計量を比較するだけでは不十分であ

* 清水建設株式会社和泉研究室 研究員・工修

** 清水建設株式会社和泉研究室 主任研究員・工博

*** 名古屋大学先端技術共同研究センター 教授・工博

Researcher, Izumi Research Institute, Shimizu Corporation, M. Eng.

Senior Researcher, Izumi Research Institute, Shimizu Corporation, Dr. Eng.

Professor, Center for Cooperative Research in Advanced Science & Technology, Nagoya University, Dr. Eng.

り、地震動強さや建物の耐震性能をできるだけ同一の尺度に変換する必要がある。過去のいくつかの被害地震では、墓石の転倒震度を地震動強さ指標とし、ほぼ同一の判定基準に基づいた木造住家の全壊率(古い資料では全潰率あるいは倒潰率と記されているが、これらはほぼ同義である)との関係が被害率曲線としてまとめられている(例えば、物部, 1933; 宮野, 1982a)。兵庫県南部地震でもほぼ同様の判定基準に基づいた被害調査結果を用いて求められた被害率曲線がある(例えば、Miyakoshi *et al.*, 1998)が、地震動強さ指標としては最大地動速度を用いていた。また、木造建物の耐震性能は、建築基準法が施行された1950年を境に大きく向上し、その後も時代とともに向上していったことは周知であろう。また逆に、1950年前後以前の木造家屋の耐震性能にはほとんど変化がなかったことが宮野(1984)や諸井・武村(1999)によって示されている。

本論文では、木造建物を対象として、被害認定統一基準に対する被災度判定基準としての時代的な連続性と兵庫県南部地震における異なる判定基準による被災度指標の対応関係について分析する。このとき、地震動強さや建物の耐震性能をできるだけ同一の尺度に変換した上で、建物被害の統計データや被害率曲線などに基づいて検討する。具体的には、まず過去の被害調査資料における被災度判定基準を整理する。次に、過去の被害地震の墓石の転倒震度と兵庫県南部地震の最大地動速度を最大地動加速度に変換した上で、1950年以前の木造建物に対する被害率曲線を比較し、被害認定統一基準の「全壊(潰)」に対する被災度判定基準としての時代的な連続性について、被害調査資料と定量的検討の両側面から分析する。また、兵庫県南部地震においては、最大地動速度のレベルと建物の耐震性能を同様の条件にそろえた上で、日本建築学会近畿支部・震災復興都市づくり特別委員会および兵庫県都市住宅部計画課・自治体(神戸市)の3つの調査機関における被害統計量や被害率曲線を比較し、各調査機関における被災度指標の対応関係を示す。

2. 地震被害調査資料と被災度判定基準

2.1 地震被害調査資料

本論文で用いた地震被害調査資料は、表1に示すように、1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震までのうち、宇佐美(1996)の資料に記述されている全壊(潰)家屋数が概ね50以上の主な被害地震とした。表には、各被害地震における調査機関、被災度指標および被災度判定基準の有無について示している。参考とした被害調査資料は、できるだけ原資料を調べ、調査機関および被災度判定基準が記述されているものはすべて記した。以下では、被災度判定基準が記述されている被害調査資料および後述する被害率曲線を算定するための基となった被害調査資料について、その被害調査の概要を述べる。

1) 1891年濃尾地震

大森(1900)は、調査機関は記述していないが美濃と越前における被害状況を町村別に示している。この中で

は、主に全潰の家屋数が報告されており、一部の町村では半潰や大破損の報告もある。また、村松(1963)は、調査機関は記述していないが岐阜県岐阜測候所(1894)と江森(1894)の被害調査資料を整理して、岐阜県に対しては被害率 $=$ (全潰率 $+$ 半潰率 $/2$)を市町村単位で、愛知県に対しては被害程度の大きい順に全潰・半潰・破損の家屋数を市および郡単位で示している。なお、愛知県に対する集計結果は愛知県の報告によるもので、この被災度は恩賜金支払いの判定に用いられた(江森, 1894)。

2) 1909年姉川地震

今村(1910)は、調査機関は記述していないが滋賀県と岐阜県における集計結果を示している。これは、行政上の処分を行うための被害調査であり、集計単位は市および郡である。被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰・破損の3段階である。

3) 1914年秋田仙北地震

今村(1915)は、秋田県警察部による被害調査に対して市町村単位での集計結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰・破損の3段階である。

4) 1923年関東地震

中村(1925)および松澤(1925)は、各府県警察部による被害調査に対して、神奈川県・東京府・千葉県・埼玉県・山梨県・静岡県・茨城県・栃木県・群馬県・長野県の各府県において市町村単位での集計結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰である。物部(1926)は、この調査結果を用いて、全潰率(資料の中では倒潰率となっている)からこの地震の震度分布を推定している。また、松澤(1925)は、この調査の他に、東京府の各区において大字(町)単位での集計結果も示している。さらに、北澤(1926)は、当時の東京府を対象とした建物被害の調査結果を市・郡または区単位で、焼失・非焼失区域別および階数別(1階・2階・3階以上)の集計結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰・大破損の3段階である。

5) 1948年福井地震

高橋(1951)は、国家警察および福井地震調査委員会調査班の現地調査(末廣・他, 1948)による集計結果を示している。集計単位は、福井県と石川県に対しては市および郡、激震地域に対しては部落である。被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰である。また、谷口・他(1951)は、この地震の震度分布を推定するために、国家警察によって調査された全潰率(資料の中では倒潰率となっている)を示している。さらに、竹山・他(1951)は、国家警察による調査結果の他に、福井平野周辺部落と福井市南方部落の実地調査結果を示している。この調査での被災度は、被害程度の大きい順に、全潰・半潰・傾斜・無被害の4段階である。

6) 1968年十勝沖地震

表1 1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震までの主な被害地震における被害調査資料の概要と国からの被災度判定基準の通達時期および木造建物に関する主な耐震規定の制定および改正時期

発震 年月日 ^(注1)	震央地名 地震名	マグニ チュード ^(注2) M	調査機関 ^(注3)	被災度	被災度判 定基準 ^(注4)	参考資料 ^(注5)	被害率曲線に 関する文献 ^(注6)
1891.10.28	濃尾	8.0	-	全潰・半潰・大破損 全潰・半潰 全壊・半壊(・破損)	- 表9 -	大森(1899,1900) 村松(1963) 飯田(1985a)	物部(1926) 村松(1961) △
1894.10.22	庄内	7.0	-	全潰・半潰・破損	-	大森(1895)	
1896.08.31	陸羽	7.2	秋田県	全潰・半潰・破損	-	山崎(1897), 今村(1913)	
1897.02.20	仙台沖	7.4	-	大破・小破	-	震災予防調査会(1898)	
1905.06.02	芸予	6.7	-	全潰・半潰・破損	-	今村(1906)	
1909.08.14	江濃(姉川)	6.8	-	全潰・大破・小破 全潰・半潰・破損	表10 -	今村(1910) 今村(1910)	
1914.01.12	鹿児島県中部	7.1	鹿児島県庁	全潰・半潰・一部破損	-	宇佐美(1996)	
1914.03.15 (1919)	秋田仙北	7.1	秋田県警察部 市街地建築物法	全潰・半潰・破損	-	今村(1915)	今村(1915)
1922.12.08	千々石湾	6.9	-	全潰・半潰	-	宇佐美(1996)	
1923.09.01	関東	7.9	各府県警察部 各府県警察部 および警察署 実地調査と警察署 各府県警察部	全潰・半潰 全潰・半潰 全潰・半潰 全潰・半潰・大破損 倒潰	- - - 表12 -	中村(1925) 松澤(1925) 北澤(1926) 物部(1926)	宮野(1982b) 宮野(1982b) 物部(1926)
1924.01.15	神奈川県西部	7.3	警察署	全潰・半潰	-	震災予防調査会(1925)	
1925.05.23	北但馬	6.8	兵庫県および京都府 警察部	全潰・半潰	-	谷口(1927a)	
1927.03.07	北丹後	7.3	京都府	全潰・半潰	-	谷口(1927b)	
1930.11.26	北伊豆	7.3	内務省警保局	全潰・半潰	-	今村(1931)	
1931.09.21	西埼玉	6.9	-	全潰・半潰	-	宇佐美(1996)	
1935.07.11	静岡	6.4	静岡県庁	全潰・半潰	-	斎田(1935)	
1939.05.01	男鹿	6.8	-	全潰・半潰	-	萩原(1939)	
1943.09.10	鳥取	7.2	鳥取県特高課 各町村役場	全壊・半壊	-	日本建築学会 震災調査隊(1944)	
1944.12.07	東南海	7.9	三重県警察部警防課	全壊・半壊(・破損) 全壊・半壊	- -	飯田(1985b) 川北(1995)	△
1945.01.13	三河	6.8	-	全壊・半壊	-	飯田(1985c)	△
1946.12.21	南海	8.0	内務省警保局 公安第一課	全壊・半壊	-	宇佐美(1996)	
(1948.01.07)			学術研究会議	全潰・半潰・傾斜	表7, 8	金井(1967) 大崎(1982)	
1948.06.28	福井	7.1	国家警察・ 福井地震調査委員会 国家警察本部 実地調査	全潰・半潰 全潰 全潰・半潰・破損	- - 表11	高橋(1951) 谷口・他(1951) 竹山・他(1951)	高橋(1951) 谷口・他(1951) 宮野(1982a)
1949.08.17 (1950)	今市	6.2	-	全壊・半壊・一部破損	-	宇佐美(1996)	
1952.03.04	十勝沖	8.2	国家地方警察本部 建築基準法施行令改正 (1959)	全壊・半壊・一部破損	-	十勝沖地震調査委員会 (1954)	宮野(1982a)
1961.02.02	長岡	5.2	-	全壊・半壊・小破	-	宇佐美(1996)	
1962.04.30	宮城県北部	6.5	-	全壊・半壊・一部破損	-	宇佐美(1996)	
1964.06.16	新潟	7.5	新潟県災害対策本部	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1964)	
1968.02.21	えびの	6.1	各警察本部および 宮崎県・鹿児島県 災害対策本部	全壊・半壊・一部破損	-	損害保険料率算定会 (1968)	
1968.05.16	十勝沖	7.9	北海道総務部	全壊・半壊	表4	北海道建築部(1969)	
(1968.06.14) (1971)			災害被害認定統一基準 建築基準法施行令改正	全壊・半壊	表3	総審第115号	
1974.05.09	伊豆半島沖	6.9	静岡県災害対策本部	全壊・半壊・一部損壊	-	日本建築学会(1980a) 望月・他(1976)	宮野(1982a)
1975.04.21	大分県中部	6.4	大分県警察本部 大分県消防防災課	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1976) 望月・他(1976)	宮野(1982a)
1978.01.14	伊豆大島近海	7.0	静岡県災害対策本部	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1980b)	
1978.06.12	宮城県沖	7.4	宮城県総務部消防防災課 建築基準法施行令改正 (1981)	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1980c)	○
1982.03.21	浦河沖	7.1	警察本部 日本建築学会	全壊・半壊・一部破損 倒壊・大破・中破・ 小破・被害軽微	表3 表13	日本建築学会(1984a) 日本建築学会(1984b) 日本建築学会(1984b)	
1983.05.26	日本海中部	7.7	警察庁 秋田県および自治省	全壊・半壊・一部破損	-	宇佐美(1996) 日本建築学会(1984c)	山本・他(1985) ○
1987.12.17	千葉県東方沖	6.7	自治省消防庁 建設省建築研究所	全壊・半壊・一部破損 破壊・大破・中破・ 小破・被害軽微	- 表15	東京都消防庁防災部 防災課(1988) 室田・他(1988)	○

表1 つづき

発震 年月日 ^(注1)	震央地名 地震名	マグニ チュード ^(注2)	調査機関 ^(注3)	被災度	被災度判 定基準 ^(注4)	参考資料 ^(注5)	被害率曲線に 関する文献 ^(注6)
M							
1993.01.15	釧路沖	7.8	北海道災害対策本部	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1995a)	○
1993.07.12	北海道南西沖	7.8	北海道災害対策本部	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1995b)	○
1994.10.04	北海道東方沖	8.1	北海道庁防災消防課	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1996a)	
1994.12.28	三陸はるか沖	7.5	青森県総務部消防課 および岩手県 自治省消防庁	全壊・半壊・一部破損	-	日本建築学会(1996b)	
			神戸市	全壊・半壊・一部損壊	表5,6	国土庁(1995) 神戸市(1996)	Miyakoshi <i>et al.</i> (1998) 村尾・他(1999b)
			震災復興都市づくり 特別委員会	全壊または大破・中程度 の損傷・軽微な損傷	表14	震災復興都市づくり 特別委員会(1995) 建設省建築研究所 (1996)	宮腰・他(1997) 長谷川・他(1998) 諸井・他(1999) 山口・他(1999)
1995.01.17	兵庫県南部	7.2	日本建築学会近畿支部	倒壊・大破・中破・ 小破・被害軽微	表13	鈴木・他(1995)	
			神戸大学工学部	全壊・半壊・一部損壊	-	神戸大学工学部(1995)	嘉嶋・他(1996)
			損害保険料率算定会	全損・半損・一部損	表16	吉村(1998)	

注1)：()内は被災度判定基準が適用された年月日および木造建物に関する主な耐震規定が制定または改正された年を示す。

注2)：マグニチュードは宇佐美(1996)による。

注3)："- "印は、調査機関が記述されていないことを示す。

注4)："- "印は、被災度判定基準が記述されていないことを示す、また記述されている場合は別表にて示す。

注5)：参考資料とは、調査機関・被災度・被災度判定基準が記述されている文献を示す。

注6)：参考資料の被害統計データを用いて被害率曲線を算定している文献を示す、△・○印は複数の地震の被害統計データから一つの被害率曲線を算定しているものを示す。

(△：谷口・他, 1986; ○：童・他, 1994)

北海道建築部(1969)は、北海道総務部がまとめた集計結果を市町村単位で示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全壊・半壊である。

7) 1982年浦河沖地震

日本建築学会(1984a)は、北海道警察本部による被害調査に対して北海道における市区町村単位での集計結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全壊・半壊・一部破損の3段階である。また、日本建築学会(1984b)では、この地震で建物被害が集中した浦河町常盤町の約150棟の木造建物を対象とした、建物の構造的な被害調査結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、倒壊・大破・中破・小破・被害軽微・無被害の6段階である。

8) 1987年千葉県東方沖地震

東京都消防庁防災部防災課(1988)は、自治省消防庁による被害調査に対して千葉県・東京都・茨城県・神奈川県・埼玉県各都県における集計結果を示している。被災度は、被害程度の大きい順に、全壊・半壊・一部破損

の3段階である。また、室田・他(1988)は、千葉県長南町および茂原市を中心とする地域を対象に、16棟の木造建物の被害調査を行っている。これは、日本建築防災協会(1991)による被災度判定基準に基づいた被害調査であり、被災度は、被害程度の大きい順に、破壊・大破・中破・小破・被害軽微・無被害の6段階である。

9) 1995年兵庫県南部地震

この地震では、同じ地震に対して複数の調査機関による被害調査が行われた。以下では、表2に示すような、日本建築学会近畿支部(以下、日本建築学会調査とよぶ)、震災復興都市づくり特別委員会および兵庫県都市住宅部計画課(以下、震災特別委員会調査とよぶ)、神戸市(以下、自治体調査とよぶ)の3種類の被害調査についてその概要を述べる。

日本建築学会調査(鈴木・藤原, 1995)は、日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会を中心とする兵庫県南部地震災害調査ワーキンググループによって行われた調査で、建物の構造的な被害状況の把握を目的としており、神戸市中央区を対象とした全数調査である。被災度は、

表2 1995年兵庫県南部地震の被害調査資料の概要

論文中の 呼称	日本建築学会調査	震災特別委員会調査	自治体調査
調査地域	神戸市中央区	神戸市・芦屋市・西宮市・尼崎市 宝塚市・伊丹市・川西市	神戸市内
調査機関	日本建築学会近畿支部	日本都市計画学会関西支部 日本建築学会近畿支部都市計画部会 兵庫県都市住宅部計画課	神戸市
被災度 判定基準	構造的被害	再使用可能性	建物の財産的価値 の損害割合
被災度	倒壊・大破・中破 小破・被害軽微・無被害	全壊または大破・中程度の損傷 軽微な損傷・外見上被害なし	全壊・半壊 一部損壊・無被害

被害程度の大きい順に、倒壊・大破・中破・小破・被害軽微・無被害の6段階である。この調査結果では、建設年代による区分はなく、主要街路によって区分された小ブロック単位での集計結果を、(倒壊率+大破率+中破率の1/2)=被害率として示している。

震災特別委員会調査(震災復興都市づくり特別委員会, 1995; 建設省建築研究所, 1996)は、被災の全体像の把握を目的とした調査であり、日本都市計画学会関西支部と日本建築学会近畿支部都市計画部会(両者により震災復興都市づくり特別委員会が結成された)が行った調査結果に、同一の判定基準で兵庫県都市住宅部計画課が行った補足調査結果を加えて、建設省建築研究所が地理情報システム(GIS)上で整理したものである。震災復興都市づくり特別委員会での被災度は、被害程度の大きい順に、ランクC・ランクB・ランクA・無被害の4段階であるが、建設省建築研究所によってそれぞれ全壊または大破・中程度の損傷・軽微な損傷・外観上被害なしとしてまとめられた。この調査結果では、構造種別や建設年代による区分はないが、独立住宅・集合住宅・商業施設・工業施設などの用途別や2階建て以下と3階建て以上の高さ別の被害棟数を町丁目単位で集計されている。

自治体調査(神戸市, 1996)は、大規模な災害発生に伴う災害救助法(昭和22年法律第118号)に基づいた建物の財産的価値の損害程度の調査であり、自治体の職員が目視で外観を調査し、その後住民からの申請により建物内部も含めた再調査を行った。被災度は、全壊・半壊・一部損壊・無被害の4段階である。この調査結果では、1950以前・1951～60年・1961～70年・1971～80年・1981年以降の建設年代別に大字(町)単位で集計されている。

2.2 被災度判定基準

被災度判定基準を明確に記述している被害調査資料は表1に示すようにあまり数多くはないが、調査機関などから判断して被災度判定基準を大きく二つに分けることができる。一つは警察や自治体などによる判定基準であり、もう一つは専門家による判定基準である。以下では、まず前者の被災度判定基準について整理し、兵庫県南部地震までの判定基準としての時代的な連続性について推察する。次に、後者の被災度判定基準について、比較的古い被害地震については前者の被災度判定基準との違いを述べ、比較的新しい被害地震についてはできるだけ詳細に整理する。

1) 警察及び自治体による被災度判定基準

警察および自治体による判定基準として代表的なものは災害の被害認定統一基準(総審第115号)であろう。これは、1968年6月14日付で内閣総理大臣官房審議室長から警察・厚生・建設・消防の各省庁に通知されたもので、例えば1982年浦河沖地震の被害調査資料(日本建築学会, 1984b)に示されているように、その後の被害地震ではこの基準による被害調査が行われるようになった。具体的な被災度判定基準を表3に示す。これは、これまで家屋の全壊・半壊等において各省庁間に差異があったこと

表3 災害の被害認定統一基準による被災度判定基準(総審第115号)

被災度	被災度判定基準
全壊 (全焼・全流失)	住家が滅失したもので、具体的には、住家の損壊、焼失もしくは流失した部分の床面積がその住家の延床面積の70%以上に達した程度のもまたは住家の主要構造部の被害額がその住家の時価50%以上に達した程度のもの
半壊 (半焼)	住家の損壊が甚だしいが、補修すれば元通りに再使用できる程度のも、具体的には損壊部分が住家の延床面積の20%以上70%未満のものまたは住家の主要構造部の被害額がその住家の時価20%以上50%未満のもの

表4 1968年十勝沖地震における被災度判定基準(北海道建築部, 1969)

被災度	被災度判定基準
全壊 (全焼・流失)	住家の損壊(焼失)又は流失した部分の延床面積がその住家の7割以上に達したもの、若しくは損壊(焼失)した部分の延床面積が7割に達しないが、その住家を改築しなければ再び住家として使用することができない程度のも
半壊 (半焼)	住家の損壊(焼失)した部分の面積がその住家の延床面積の2割以上7割未満の場合であって、その部分の修理を行うことによって住家として使用できる程度のも
一部破損	全壊(焼)、流失、半壊(焼)及び床上、床下浸水に該当しない場合であって、建物の一部が破損した状態

表5 1995年兵庫県南部地震における自治体(神戸市)調査による被災度判定基準(神戸市, 1996)

被災度 ^{注)}	被災度判定基準
全壊	住宅が滅失したもの、あるいは補修しても家屋として使用することが困難なもの(損害の程度が50%以上のもの)
半壊	損壊が甚だしいが、補修すれば家屋として再使用できる程度のもの(損害の程度が20%以上50%未満のもの)
一部損壊	損壊が局部的なもので、補修を要する程度のもの(損害の程度が20%未満のもの)

注)：国による災害の被害認定統一基準(総審第115号)では全壊と半壊のみであるが、これに神戸市が一部損壊も加えて被害調査を行った。

表6 1995年兵庫県南部地震における自治体(神戸市)調査による木造建物の損害割合算定のための部位別構成比(神戸市, 1996)

部位	構成比 (%)
屋根	20
壁	60
構造体 (柱・基礎・床組)	20

から、統一された判定基準を明示したものであった。また、この基準が通知される直前に発生した1968年十勝沖地震の被害調査資料(北海道建築部, 1969)では、表4に示すような被災度判定基準が示されている。この基準は、建物の損害割合に関する記述はないものの、床面積の損壊割合などの点において表3に示した災害の被害認定統一基準と内容がほぼ同じであり、この時点では既に判定基準が統一されていたものと考えられる。

1995年兵庫県南部地震でも、ほぼ同様の判定基準による被害調査として自治体調査(神戸市, 1996)がある。これは、表3に示した災害の被害認定統一基準に一部損壊を追加した判定基準で、具体的な被災度判定基準を表5に示す。ただし、表中の建物全体の損害割合の具体的な算定

表7 学術研究会議による被災度判定基準 (金井, 1967 ; 大崎, 1982)

被災度	被災度判定基準
全潰	大部分倒潰(焼失, 流失)して復旧しにくいもの (損害の割合が50~100%のもの)
半潰	一部倒潰(焼失, 流失)し, また被害甚だしいが, 大修理によって復旧するもの (損害の割合が20~50%のもの)
小被害	被害軽微なもの (損害の割合が20%以下のもの)

備考: 損害の割合は同一の物価標準で算定した建築費金額と建物の損害金額との割合で見積る。

表8 学術研究会議による被災度判定のための木造瓦葺建物の工事費歩合(参考) (金井, 1967 ; 大崎, 1982)

部位	住宅用 (%)	公共用 (%)
基礎	5	10
軸組	20	25
小屋根	10	15
屋根	15	10
壁	15	10
雑作	20	20
建具	10	10
畳	5	0

表9 村松 (1963) による1891年濃尾地震の岐阜県における被災度判定基準

被災度	被災度判定基準
全潰	全潰・全焼・半焼にして修復しえないもの
半潰	被害程度が20%あるいはそれ以下で修復しうるもの

方法は自治体により多少異なっている (村尾・山崎, 1999a) が, 神戸市では表6に示すような部位別の構成比 (重み) を定め, それに各部位の損害割合を乗じて建物全体の損害割合を算定した (神戸市, 1996)。

これより以前, 1948年1月7日付で建設院から関係機関に通達された判定基準がある (金井, 1967 ; 大崎, 1982)。この具体的な被災度判定基準を表7に示す。また, 表中の損害の割合を算定するための資料として, 表8に示すような木造瓦葺建物の各部位に要する工事費の割合が付属して示されていた。これは, やはりそれまで不統一であった被災度判定基準を, 内務省からの提案で当時の学術研究会議耐震構造研究班が検討し, その成果を示したものであった (小林, 1998) が, この基準も1948年福井地震では有効な利用がなく, 結局不統一のままであった (金井, 1982 ; 小林, 1998)。

また, 村松 (1963) は, 1891年濃尾地震における岐阜県の被害調査 (岐阜県岐阜測候所, 1894) の被災度判定基準を表9のように示しており, 表中の「全潰」は同じ地震における愛知県の被害調査 (江森, 1894) の「全潰」と「半潰」を合わせたものであると指摘している。愛知県の被害調査による被災度が恩賜金支払いの判定に用いられていたことや, 表9における「半潰」の判定基準が被害程度20%以下であることから, 表9の「全潰」および「半潰」は, それぞれ表7に示した学術研究会議による「半潰」以上および「小被害」に対応するものと考えられる。

以上のように, 災害の被害認定統一基準による被災度

表10 今村 (1910) による1909年姉川地震における被災度判定基準

被災度	被災度判定基準
全潰	屋根が地面に墜落する程度の潰家
大破	家屋の傾斜, 接合部の分離, 上部の一部の墜落等
小破	屋根瓦の滑下, 土壁の崩壊等

表11 竹山・他 (1951) による1948年福井地震の実地調査における被災度判定基準

被災度	被災度判定基準
全潰	地震時に屋根の一部分以上が地に着いたもの, 2階にありては2階床部分が地に着いたもの之に含む
半潰	軸部構造の破壊著しく小なる補修では到底使用不可能なるもの
傾斜	軸部構造の被害軽微にして傾斜せるも小なる補修にて使用可能なるもの
無被害	軸部構造の被害なく, 傾斜も認められず壁等に多少の亀裂あるも使用に差支えなきもの, 又は全然被害なきもの

表12 北澤 (1926) による1923年関東地震の実地調査における被災度判定基準

被災度	被災度判定基準
全潰	平屋に在りては屋根以下潰れたるもの, 二階家に在りては階下潰れ階上そのままのもの, または階上潰れ階下そのままのもの
半潰	潰れざるも改築をなさざれば使用に耐えざるもの, すなわち軸部に大なる破損をきたせるもの
大破損	大に傾斜し支柱にて支えたるもの, または内部に所々大なる破損あるもの

判定基準と学術研究会議による被災度判定基準がほぼ対応し, また, 学術研究会議による判定基準が公表された前後では, 木造建物の被害調査が全国的に概ねこの基準に統一されていたようであること (大崎, 1982) や, 警察が内務省の所轄であったことなどを考えると, 警察および自治体による被災度判定基準は1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震まで概ね統一されていたものと考えられる。

2) 専門家による被災度判定基準

専門家による判定基準に対して, 今村 (1910) は, 1909年姉川地震の被害調査資料の中で次のように述べている。学術的な意味で「全潰」とは「屋根が地面に墜落する程度の潰家」であるが, 行政上の処分を行うための「全潰」とは「家屋は立ち居ると雖も若し柱の挫折其他の大なる損害が内部に起り随て修繕を加ふるも用を成し得ざる程に破損し其結果取り潰しを要するもの」としている。両者の判定基準に従えば, 住家全潰数はそれぞれ450程度および980程度となり, 両者の被害調査における被害統計量が大きく異なることを指摘している。さらに, 学術的な立場からは, 表10に示すような判定基準による被害統計量が必要であるとしている。最終的には, それ以前の被害地震である濃尾地震・庄内地震・陸羽地震との被害統計としての整合をとるために, 行政上の処分を行うための「全潰」・「半潰」・「大破損」の住家被害数を示している。また, 竹山・他 (1951) は, 1948年

表13 日本建築学会木構造分科会による木造建物の被災度判定基準 (日本建築学会, 1984b)

被災度	被害状況 (以下のいずれかに該当するもの)
倒壊	○屋根・壁・床・柱等の破損が全面にわたり、建物の変形が著しい ○周辺地盤の崩壊により、建物の変形が著しい
大破	○大部分の壁・垂れ壁が破損し、内外装材がほとんど脱落している ○筋かいが折損し、柱・はりには割れが生じ、床が破損している
中破	○大部分の壁・垂れ壁・腰壁にひび割れが生じ、一部が脱落している ○大部分の屋根がわらが破損している ○基礎のひび割れが著しい
小破	○大部分のれんがおよび一部の屋根がわらが破損している ○一部の壁にひび割れが生じている ○一部の壁仕上材が脱落している ○基礎の一部にひび割れが生じている
被害軽微	○一部の屋根瓦に損傷が見られる ○一部の垂れ壁・腰壁・仕上材にひび割れが生じている
無被害	○外見上被害がまったくない

福井地震において表11に示すような被災度判定基準に基づいて専門家による建物被害調査を行った。そして、この基準と表7に示した学術研究会議によって検討された判定基準との間には、建物の損害割合で比較すれば若干の差異(全潰で2割程度)があることを指摘している。ここで、表10と表11の「全潰」の判定基準を比較すると、両者はほぼ同様であることが分かる。また、これらと同じような判定基準が、1923年関東地震の被害調査資料の中で北澤(1926)によって表12のように示されている。このように、警察および自治体による判定基準と専門家による判定基準との間には古くから差異がみられ、そのことが被害統計量の理解を困難にしていたといえる。しかし、それらの差異を認識した上でそれまでの被害地震の被害統計量と整合させるために、今村(1910)は警察および自治体による集計結果を示し、谷口・他(1951)は警察および自治体による集計結果に基づいて被害率曲線を算定している。

この他の専門家による被災度判定基準として、まず、日本建築学会木構造分科会が提案したもの(日本建築学会, 1984b)がある。この判定基準は建物の構造的な被害に基づいており、具体的な被害状況との対応を表13に示す。兵庫県南部地震における日本建築学会調査でもほぼこの判定基準に基づいた調査が行われている(鈴木・藤原, 1995)。さらに、兵庫県南部地震においては震災特別委員会調査による判定基準もある。この判定基準は建物の再使用が可能であるかあるいは修理・修繕が必要であるかに基づいており(震災復興都市づくり特別委員会, 1995)、具体的な被害状況との対応を表14に示す。

また、日本建築防災協会(1991)によってまとめられた被災度判定基準によって、1987年千葉県東方沖地震における被害調査が行われた(室田・他, 1988)。この基準は、基礎、床組、軸組、軸組壁、仕上材及び屋根の各部位について損傷率と損傷状況を調査し、これらの調査結果を基に建物全体の被災度を総合的に判定するものである。表15には、軸組壁を例として、具体的な部位別の被害ランクと被害状況との対応を示す。さらに、地震保険

表14 震災復興都市づくり特別委員会(1995)による1995年兵庫県南部地震の木造建物の被災度判定基準

被災度 ^(注)	被災度判定基準	被害状況
全壊 または 大破 (C)	○再使用不可能 ○住める見込みは非常に少ない	○既に家屋がない(撤去済み) ○全面的倒壊(1階が潰れている、屋根が落ちている、傾斜(5度以上)が著しい) ○基礎の破断(上部構造と遊離している、ひび割れが著しく上部を支えられない) ○柱などの破損(柱が折損している、抜け出している、軸組が分解している) ○外壁の破損(外壁の構造体が剥離、剥落している)
中程度の損傷 (B)	○大幅な修理で再使用可能 ○大幅な修理で住める可能性あり	○部分的破損(傾きが認められる(5度以下)) ○基礎の破断(基礎のモルタルが剥離している、基礎にひび割れが認められる) ○外壁の破損(大きな亀裂が認められる、目地が著しくずれている、ガラス窓が破れ落ちている) ○*壁のモルタルが剥離しているだけのものはこのランクに含めない ○屋根の破損(屋根瓦のズレが著しい(大半が落ちているなど)) ○その他(被害が顕著でランクCにはいたらない)
軽微な損傷 (A)	○軽微な損傷で使用可能 ○少しの修繕で住める可能性あり	○外壁の破損(モルタルが部分的に落ちている、壁に僅かなひび割れがある) ○屋根の破損(屋根瓦が部分的に落ちている) ○その他(被害が軽微でランクBにはいたらない)
外観上被害なし (無被害)	○見た目には被害がない	○見た目に被害がない

注)：被災度は建設省建築研究所による。()内は震災復興都市づくり特別委員会(1995)による被害ランクを示す。

表15 日本建築防災協会(1991)による木造建物の軸組壁に対する被害ランクの判定基準

被害ランク ^(注)	被害状況 (以下のいずれかに該当するもの)
破壊 (V)	○引き起こしが不可能な程の残留変形(1/10を超える層間変形角)が生じている ○1階部分が完全に崩壊している
大破 (IV)	○破壊には至っていないが、著しい残留変形(約1/10の層間変形角=引き起こしが可能)が生じている ○筋違を設けた壁では、筋違が破損したり、筋違端部が破損し、柱、土台からはずれている ○ボード壁では、ボードが面外に湾曲したり、下地材から脱落している ○ほとんどの土塗壁で、塗土が小舞竹から剥離している ○貫が折損している
中破 (III)	○ほとんどの軸組壁に残留変形が生じている ○筋違を設けた壁では、筋違仕口のずれが生じている ○ボード壁では、釘頭のボードへのめり込み、ボードの相互間に著しいずれが生じる ○土塗壁では、そのほとんどにひび割れが生じている
小破 (II)	○残留変形は、ほとんどない ○筋違は健全 ○ボード壁では、ボード壁隅角部にひび割れが生じ、一部の釘がめり込んでいる ○土塗壁では、一部にわずかなひび割れが生じている
軽微 (I)	○残留変形はほとんどない ○壁面にわずかなずれが生じている、他は異常がない

注)：被害ランクは部位別に判定されるものであり、建物全体の被災度とは必ずしも対応しない。

の支払いのための被災度判定基準もある(吉村, 1998)。この判定基準は、建物と家財のそれぞれに対して示されており、このうち建物に対する被災度判定基準を表16に示す。ここで、「全損」および「半損」の判定基準は、表3に示した災害の被害認定統一基準の「全壊」および「半壊」と大筋において整合するように定められてい

表16 地震保険支払いのための被災度判定基準 (吉村, 1998)

被災度 ^(注)	被災度判定基準
全損	建物の主要構造部である軸組、基礎、屋根、外壁などの損害額が、その建物の時価の50%以上になった場合、または建物の焼失あるいは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の70%以上になった場合、地震保険金額の全額を支払う
半損	建物の主要構造部の損害額が、その建物の時価の20%以上50%未満になった場合、または建物の焼失あるいは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の20%以上70%未満になった場合、地震保険金額の50%を支払う
一部損	建物の主要構造部の損害額が、その建物の時価の3%以上20%未満になった場合、地震保険金額の5%を支払う

注)：全損・半損は、国による災害の被害認定統一基準(総審第115号)の全壊・半壊と大筋において整合するように定められている。

る。この基準による被害調査が、兵庫県南部地震でも行われた(村尾・山崎, 1999a)。

2.3 被害状況からみた被災度の比較

本節では、同一の地震に対して異なる判定基準に基づく複数の被害調査が行われている兵庫県南部地震を対象として、3つの被害調査における被災度指標の対応関係を推察する。

まず、各被害調査の判定基準をやや詳細に検討する。自治体調査では、表5, 6より建物全体の損害割合に与える壁の重みが非常に大きく、逆に柱・基礎・床などの構造体の重みが小さいことが分かる。また、表13および表14より、日本建築学会調査では屋根瓦、壁、基礎、筋かい・柱・はり・床などの被害状況から、震災特別委員会調査では屋根、壁、基礎、軸組などの被害状況から被災度を判定していることが分かる。そこで、建物の部位を、外壁、柱・はり・床・基礎などの構造体、屋根の3つに分類し、各部位の具体的な被害状況を各被害調査の被災度に対応させて表17に示す。ここで、自治体調査では、建物全体の損害割合を算定するための各部位の構成比(重み)を示している。

表より、日本建築学会調査と震災特別委員会調査との被災度の対応関係をみると、震災特別委員会調査の「軽微な損傷」は日本建築学会調査の「被害軽微」～「小破」に概ね対応し、震災特別委員会調査の「中程度の損傷」は日本建築学会調査の「中破」に概ね対応するが「小破」あるいは「大破」と対応する場合も考えられる。また、日本建築学会調査の「大破」は震災特別委員会調査の「中程度の損傷」～「全壊または大破」に対応すると考えられる。

一方、自治体調査では損害割合算定のための外壁の重みが60%であり、たとえ外壁の一部にひび割れがあっても損害割合として高ければ、建物全体としては「半壊」、さらには「全壊」と判定される場合も考えられる。また、柱・はり等の構造体や屋根についても、その部位の損害割合が高ければ、建物全体の損害割合は最大で20%となり、「半壊」と判断される場合もある。このようなことから、震災特別委員会調査の「軽微な損傷」でも、自治体調査の「半壊」あるいは「全壊」と判定さ

表17 被害状況に対応する1995年兵庫県南部地震の被害調査における被災度の比較

部位	被害状況	被災度		
		日本建築 学会調査	震災特別委員会 調査	自治体 調査 ^(注)
外壁	一部の外壁のひび割れ	小破	軽微な損傷	60%
	大部分の外壁のひび割れ	中破	中程度の損傷	
	外壁の破損	大破	中程度の損傷～ 全壊または大破	
柱・はり 床・基礎	基礎のひび割れ	小破～中破	中程度の損傷	20%
	筋かいの破損	大破	中程度の損傷～ 全壊または大破	
	柱・はりの割れ 床の破損			
屋根	一部の瓦の損壊・破損	被害軽微～ 小破	軽微な損傷	20%
	大部分の瓦の破損	中破	中程度の損傷	

注)：自治体調査では、建物全体の損害割合算定のための部位別の構成比を示しており、これを重み係数として計算される建物全体の損害割合が50%以上の場合に全壊・20～50%の場合に半壊・20%未満の場合に一部損壊と判定される。

れる可能性もある。

3. 警察及び自治体の調査による被災度指標の対応関係

2.2節では、過去の被害地震の被災度判定基準を整理し、被害調査資料に基づく検討からでは警察や自治体による判定基準には濃尾地震から兵庫県南部地震まで判定基準としての時代的な連続性があった可能性があることを示した。このことを、過去の被害地震の建物被害統計量に基づいて検討する。建物の被害は、建物に作用した地震動強さや建物の耐震性能によって影響を受けることを考えると、これらを同一の尺度に変換して比較する必要がある。以下では、建物の耐震性能に大きく影響を与える木造建物の耐震基準、および木造住家の被害率と地震動強さ指標とを関係づけた被害率曲線について整理し、地震動強さと建物の耐震性能をできるだけ同一の尺度に変換した上で被害率曲線を比較する。

3.1 木造建物の耐震基準

日本における建築構造基準の変遷は大橋(1993)に詳しいが、木造建物に関しては日本建築学会(1998)に良くまとめられている。ここでは、これらの文献を参考にし、木造建物の耐震性能に大きく影響を与えたであろう耐震規定について簡単に述べる。

わが国で最初の国レベルの建築法規である市街地建築物法が1919年に制定された。建築物の構造に関する具体的な規定は、1920年に公布された市街地建築物法施行規則に示されているが、木造建物に関する耐震規定は特に示されなかった。1950年に、耐震規定上最も重要である建築基準法が制定され、同年建築基準法施行令が公布された。木造建物に関しては、いわゆる壁量規定が導入され、これを境に耐震性能が大きく向上したことはいうまでもない。その後、1959年に建築基準法施行令が改正され、壁量規定が強化された。1971年の建築基準法施行令の改正では、基礎は一体のコンクリート造または鉄筋コンクリート造の布基礎とするとといった基礎の強化と、風圧力に対する見付け面積に応じた必要軸組量の規定が新設された。そして、いわゆる新耐震設計法と呼ばれる

1981年の建築基準法施行令の改正では、軟弱地盤における基礎の強化、壁量規定の強化、見付け面積の計算方法の変更などが行われた。

以上のように、木造建物の耐震性能は、建築基準法の制定および施行令が改正された1950年、1960年、1970年、1980年あたりで時代とともに向上していったものと考えられる。一方、宮野(1984)は少なくとも1948年福井地震以前の木造住家の耐震性能は時代的な変遷が少ないと考えられることを指摘している。また、諸井・武村(1999)はこのことを他の資料を加えて確認し、さらに1952年十勝沖地震までは、木造住家の耐震性能にはほとんど変化がなかったと結論づけている。したがって、本論文における過去の被害地震の被害統計量との比較では、1950年前後以前の木造建物を対象として検討する。

3.2 被害率曲線

1952年十勝沖地震以前の被害地震において、地震動強さ指標と木造住家の全壊率(全潰率あるいは倒潰率)とを関係づけた被害率曲線が算定されている。1891年濃尾地震については村松(1963)および大森(1899; 1900)の調査結果を利用した物部(1926)、1914年秋田仙北地震については今村(1915)の調査結果を利用した物部(1926)、1923年関東地震については物部(1926)および宮野(1982b)、1948年福井地震については高橋(1951)、谷口・他(1951)および宮野(1982a)、1952年十勝沖地震については宮野(1982a)がそれぞれ表18に示すように算定している。ここで、 K_0 は木造住家の標準的な耐震度を表し、 h は木造住家の耐震性能のばらつきの程度を表すものである。表18に示した被害率曲線の算定に用いた被害統計量は、表1および2.2節の考察からも分かるように、ほとんどが警察および自治体による調査結果を用いており、これらはほぼ同一の被災度判定基準に基づいていたと考えられる。ただし、地震動強さ指標としては墓石の転倒震度を用いており、その正規分布関数で被害率を表している。なお、これらの被害率曲線のうち、宮野(1984)は1891年濃尾地震において大森(1899)の示した墓石の転倒震度が過小評価されている可能性を指摘し、また、物部(1926)や村松(1961)も同様の指摘をしている。このことから、大森(1899; 1900)の調査結果を利用した1891年濃尾地震の被害率曲線は検討対象から除くこととした。

一方、Miyakoshi *et al.* (1998)は、1995年兵庫県南部地震においてほぼ同様の判定基準によると考えられる自治体調査の集計結果に基づいて被害率曲線を算定している。この被害率曲線は、表19に示すとおり建設年代別に算定されており、特に木造住家の耐震性能にほとんど変化がないと考えられる1950年以前のものも算定されている。ここで、 λ は木造住家の標準的な耐震度を表し、 ζ は木造住家の耐震性能のばらつきの程度を表すものである。また、地震動強さ指標は最大地動速度を用いており、その対数正規分布関数で被害率を表している。このように、地震動強さ指標と被害率曲線の関数形が、兵庫県南部地震より以前の被害地震における被害率曲線とは

表18 1950年前後以前の木造住家全壊(潰)率に対する被害率曲線

地震	文献	K_0	h
1891年濃尾地震	物部(1926)	0.40	15.9
	村松(1963)	0.43	12.6
1914年秋田仙北地震	物部(1926)	0.47	8.0
1923年関東地震	物部(1926)	0.475	10.0
	宮野(1982b)	0.49	7.55
	高橋(1951)	0.49	19.9
1948年福井地震	谷口・他(1951)	0.42	7.5
	宮野(1982a)	0.480	5.59
1952年十勝沖地震	宮野(1982a)	0.484	8.62

注：被害率曲線は $P(K) = \Phi((K - K_0)/\sigma)/100$ 、 $\sigma = 1/2h$ と表される。ここで P は被害率、 K は墓石の転倒震度、 Φ は標準正規分布関数である。

表19 1995年兵庫県南部地震の自治体調査結果に基づく木造建物に対する建設年代別の被害率曲線 (Miyakoshi *et al.*, 1998)

構造区分	年代区分	被災度	λ	ζ
木造	～1950	全壊	4.22	0.558
		半壊以上	3.26	0.945
	1951～60	全壊	4.38	0.445
		半壊以上	3.77	0.674
	1961～70	全壊	4.32	0.467
		半壊以上	3.72	0.614
	1971～80	全壊	4.67	0.462
		半壊以上	4.08	0.551
	1981～	全壊	5.12	0.552
		半壊以上	4.56	0.624
	全年代	全壊	4.42	0.538
		半壊以上	3.81	0.721

注：被害率曲線は $P(PGV) = \Phi((\ln PGV - \lambda)/\zeta)$ と表される。ここで P は被害率、 PGV は最大地動速度、 Φ は標準正規分布関数である。

異なっていることが分かる。

3.3 被災度指標の時代的な対応関係の考察

前節で示した被害率曲線を比較する前に、地震動強さ指標をそろえることを考える。まず、墓石の転倒から推定される最大地動加速度 PGA は、大森(1899)によれば、転倒した墓石の高さ H に対する幅 B の比 B/H から $PGA = (B/H) \cdot g$ (g は重力加速度) で表される West の式 (Milne, 1881) により静的に算定される。しかし、鏡味・小林(1970)は、単体の転倒を動的に考えれば、短周期の地動になるほど転倒しにくくなること (小林, 1950) から、短周期の影響を実際より小さく評価していると指摘している。そして、実際の最大地動加速度に対する墓石の転倒から求められる最大地動加速度の比として、鏡味・小林(1970)は木造建築物の倒壊率を介して80%程度、表・他(1979)は大地震の震央域での観測記録との比較から70%程度と推定している。ここでは、その比を75%とし、1952年以前の被害率曲線において、墓石の転倒震度 $K (=B/H)$ を最大地動加速度 PGA に変換する。

一方、兵庫県南部地震において、液状化による被害がほとんど報告されなかった地域での地震観測記録の一覧を表20に示す。これらの観測記録の最大加速度と最大速度の関係を図1に示す。図より、最大加速度と最大速度

表20 1995年兵庫県南部地震における地震観測記録一覧

記号	所在地	観測点	観測位置	最大加速度 (cm/s ²) ^{注1)}		最大速度 (cm/s) ^{注1)}		観測機関
				NS	EW	NS	EW	
TKT	神戸市須磨区	JR鷹取駅	GL	606	657	127	127	鉄道総合技術研究所
NGT	神戸市長田区	長田駅前高層住宅	B1F	315	122	62	22	住宅都市整備公団関西支社
JMA	神戸市中央区	神戸海洋気象台	GL	818	617	92	75	気象庁
FUK	神戸市中央区	舞合供給所	GL	802	687	123	57	大阪ガス
KBN	神戸市中央区	神戸駅前ビル	B3F	331	154	87	25	NTT
KBU	神戸市灘区	神戸大学 土地造成研究施設	トンネル -10m	270	305	51	31	関西地震観測研究協議会
SSS	神戸市灘区	新神戸変電所	GL	511	584	76	78	関西電力
KOB ^{注2)}	神戸市東灘区	神戸市立本山 第一小学校	1F	410	770	55	78	関西地震観測研究協議会
AMS	尼崎市	尼崎第三変電所	GL	227	354	50	58	関西電力
TKZ	宝塚市	JR宝塚駅	GL	684	601	72	82	鉄道総合技術研究所

注1)：最大加速度および最大速度での斜体数字は加速度波形または速度波形からの計算値を示す。
注2)：KOB地点の観測記録の最大値はKagawa et al. (1996) による。

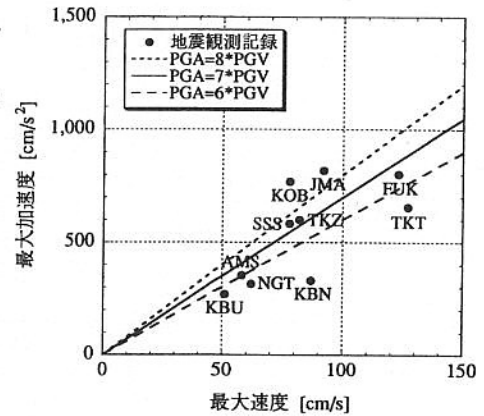


図1 1995年兵庫県南部地震における地震観測記録の最大速度と最大加速度の関係

は概ね比例関係にあるといえる。このような比例関係は、林・他 (1997a) が神戸海洋気象台の観測記録と二次元地盤モデルを用いて計算した大阪層群上面での再現波による検討からも示されている。ここでは、図1を参考に、 $PGA=7 \times PGV$ として、Miyakoshi et al. (1998) が求めた被害率曲線の地震動強さ指標を最大地動速度 PGV から最大地動加速度 PGA に変換する。

地震動強さ指標を最大地動加速度に変換したそれぞれの被害率曲線を比較して図2に示す。地震動強さ指標がほぼ同じ尺度で表されていて、木造住家の耐震性能がほとんど変わらないとすれば、被災度判定基準が同じである場合、木造建物群の平均的な耐震度を表す全壊率50%に対する最大地動加速度の値がほぼ一致すると考えられる。図より、1952年十勝沖地震以前の被害率曲線では、若干ばらつきはあるものの、全壊率50%に対する最大地動加速度の値が概ね一致するといえる。これに対して、兵庫県南部地震における1950年以前の木造建物の被害率曲線と1952年十勝沖地震以前の被害率曲線とを比較すると、全壊率50%に対する最大地動加速度の値は兵庫県南

部地震における被害率曲線の方が小さい。ただし、これらの被害率曲線の比較では以下のような点に注意を要する。(1) 兵庫県南部地震の被害率曲線において、算定に用いた建物被害データは主に最大地動速度が約50 [cm/s] 以上の被害の大きな地域を対象としたものであり、被害率の小さな地域のデータが不足している。(2) 兵庫県南部地震が発生した1995年時点では1950年以前の木造建物は建築後40年以上が経っており、木材の経年劣化による耐震性能の低下によって被害が増大した可能性がある (土井・他, 1995)。(3) 木造建物の耐震性能には地域性がある。(1)および(2)の要因は兵庫県南部地震の被害率がやや大きめである可能性を示唆しており、また(3)に関して高井・岡田 (1998) は木造住宅の耐震性能が地域によって異なることを指摘しているが、現段階ではそれらのことを定量的に示すほどの十分な資料はない。したがって、兵庫県南部地震における1950年以前の木造建物の全壊率50%に対する最大地動加速度の値が、1952年以前の被害率曲線のそれに対応するかどうかを図2からだけで判断することは難しい。すなわち、警察および自治体の調査

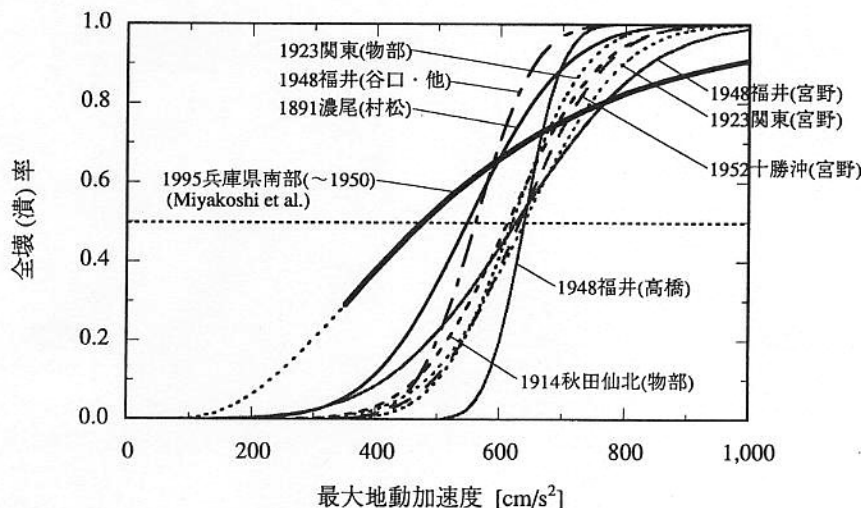


図2 1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震までの警察および自治体による判定基準に基づいた被害調査結果を用いて算定された1950年前後以前の木造住家全壊 (潰) 率に対する被害率曲線の比較

による「全壊(潰)」の被災度判定基準は、被害調査資料からの比較では濃尾地震から兵庫県南部地震まで判定基準として時代的な連続性が認められたが、被害率曲線による定量的な比較からはその連続性を確認するまでには至らなかった。

4. 異なる判定基準における被災度指標の対応関係

兵庫県南部地震では、同じ地震において異なる判定基準に基づいた複数の被害調査が行われたが、それぞれの被害統計量に差異がみられた。そこで、日本建築学会調査・震災特別委員会調査・自治体調査の3つの被害調査における被災度指標の対応関係について、建物被害の統計データや被害率曲線に基づいて分析する。先述したとおり、建物の被害は、建物に作用した地震動強さや建物の耐震性能によって影響を受けることを考えると、表2に示したように調査範囲の異なる各被害調査の被害統計量を単に比較するだけでは不十分である。そこで、地震動強さの違いを最大地動速度、建物の耐震性能の違いを建設年代の棟数の構成比で説明できると考え、これらをできるだけ同一の尺度に変換して比較する。

4.1 日本建築学会調査と震災特別委員会調査の比較

建設省建築研究所(1996)は、日本建築学会調査と震災特別委員会調査の両者で調査された神戸市中央区の建物のうち、GIS上の建物ポリゴンで照合された木造建物に対して両調査の被害棟数を比較している。このうち、日本建築学会調査の「焼失」・「不明」および震災特別委員会調査の「火災による損傷」・「被災度未調査」・「被災度不明」を除いた被害棟数から計算した被害率を比較して図3(a)、(b)に示す。この比較では、建物ポリゴンで照合しているため、建物1棟毎に日本建築学会調査と震災特別委員会調査の2つの被災度が与えられていることになる。つまり、最大地動速度のレベルや建物の建設年代は全く同一であると考えて良い。従って、図3(a)、(b)の被害率の違いは、被災度判定基準の違いであると考えられる。図より、震災特別委員会調査の「軽微な損傷」は日本建築学会調査の「被害軽微」～「中破」に、震災特別委員会調査の「中程度の損傷」は日本建築学会調査の「中破」～「大破」に、震災特別委員会調査の「全壊または大破」は日本建築学会調査の「大破」～「倒壊」に対応するといえる。

4.2 震災特別委員会調査と自治体調査の比較

震災特別委員会調査と自治体調査は、表2に示すとおり調査範囲が異なり、また建物1棟毎ではなく町丁目あるいは大字単位での被害棟数の集計値であるため、最大地動速度のレベルや建設年代の棟数比が必ずしも同一ではなく、そのことが被害率の違いに影響を与えている可能性がある。そこで、最大地動速度のレベルを合わせるために、林・他(1997a; 1997b)によって最大地動速度が推定されている大字のうち、両調査範囲で共通の大字を選び、被害棟数を再集計して求めた被害率を比較して図3(c)、(d)に示す。ここで、震災特別委員会調査では低

層(2階建て以下)の独立住宅を木造建物とした。

震災特別委員会調査と自治体調査の被害率を比較するためには、最大地動速度レベルや建設年代の棟数比が図3(b)と同様の条件で選択された調査範囲での被害率を求める必要がある。しかし、図3(b)と(c)は同じ震災特別委員会調査であるが、調査範囲が異なるため被害率に差異がみられる。この原因を調べるために、それぞれの調査範囲での建設年代および最大地動速度レベルの棟数比

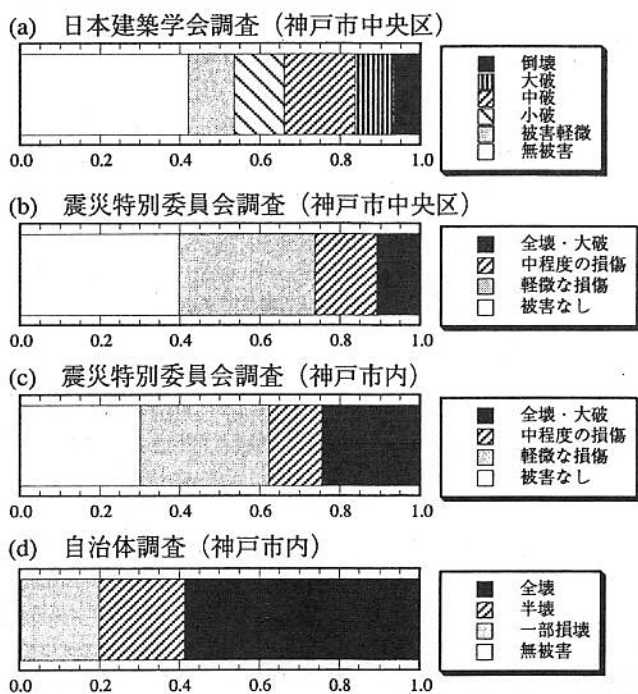


図3 1995年兵庫県南部地震における被害調査別の被害率の比較

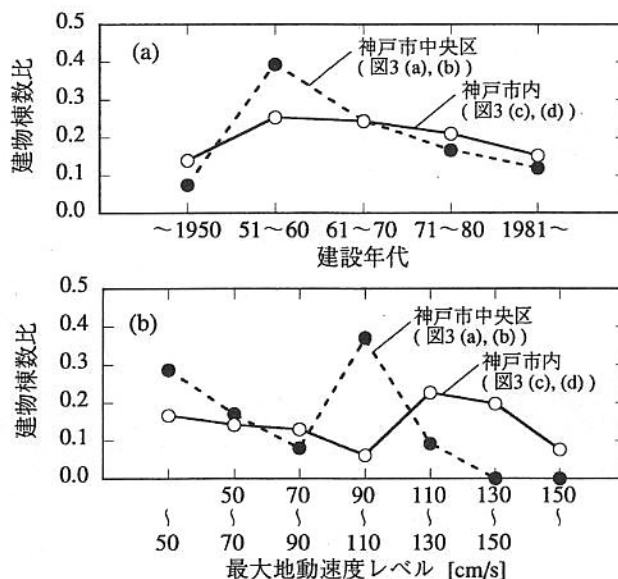


図4 1995年兵庫県南部地震における(a)建設年代別および(b)最大地動速度レベル別の調査地域に対する建物の棟数比の比較

表21 1995年兵庫県南部地震の震災特別委員会調査結果に基づく低層建物に対する用途別の被害率曲線(宮腰・他, 1997)

高さ区分	用途区分	被災度	λ	ζ
低層 (2階建て以下)	独立住宅	全壊または大破	5.08	0.559
		中程度の損傷以上	4.71	0.544
		軽微な損傷以上	4.11	0.720
	集合住宅	全壊または大破	4.90	0.551
		中程度の損傷以上	4.54	0.588
		軽微な損傷以上	3.85	0.838
	商業施設	全壊または大破	5.15	0.588
		中程度の損傷以上	4.85	0.612
		軽微な損傷以上	4.30	0.803
	工業施設	全壊または大破	5.20	0.562
		中程度の損傷以上	4.93	0.577
		軽微な損傷以上	4.14	0.734
	全用途	全壊または大破	5.06	0.556
		中程度の損傷以上	4.71	0.552
		軽微な損傷以上	4.14	0.897

注)：被害率曲線は $P(PGV) = \Phi((\ln PGV - \lambda)/\zeta)$ と表される。ここで P は被害率、 PGV は最大地動速度、 Φ は標準正規分布関数である。

- A：自治体調査(神戸市内)に基づく被害率曲線
B：震災特別委員会調査(阪神地域)に基づく被害率曲線
C：震災特別委員会調査における神戸市中央区の調査結果

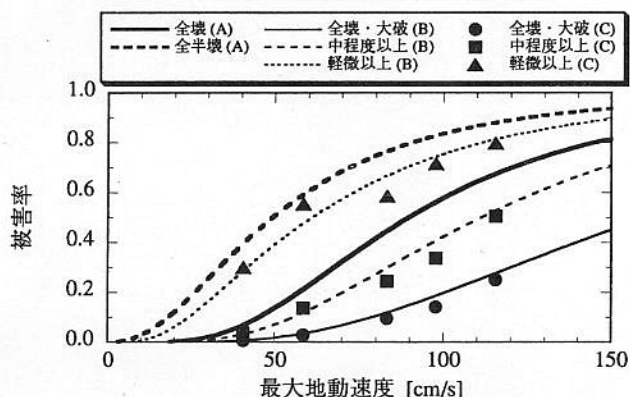


図5 1995年兵庫県南部地震における震災特別委員会調査と自治体調査の木造建物に対する被害率曲線の比較

を比較して図4に示す。ただし、震災特別委員会調査では建設年代が不明であるため、平成5年の神戸市の住宅統計調査結果(神戸市, 1995)より、木造建物の住宅数から建設年代の棟数比を求めた。図より、建設年代の棟数比は神戸市中央区の方が若干古い、それ以上に最大地動速度レベルに違いがあることが分かる。具体的には、神戸市中央区の調査範囲の約9割が110 [cm/s] 以下のレベルであるのに対して、神戸市内の調査範囲の約5割が110 [cm/s] 以上のレベルである。実際、図3 (b) に対する図3 (c) の被害率の比は、「全壊または大破」・「中程度の損傷」以上・「軽微な損傷」以上でそれぞれ2.3・1.4・1.2倍である。これに対して、図3 (b), (c) の調査範囲での最大地動速度の平均値はそれぞれ75, 98 [cm/s] となり、この値と表21に示す震災特別委員会調査の建物被害データより求めた低層独立住宅の被害率曲線(宮腰・他, 1997)から計算される被害率の比は、それぞれ2.2・1.7・1.2倍であり、両者はほぼ対応する。従って、最大地動速度レベルの違いを補正することで図3 (b) と (c) の被害率の違

日本建築学会調査	無被害	被害軽微	小破	中破	大破	倒壊
震災特別委員会調査	外観上被害なし		軽微な損傷		中程度の損傷	全壊または大破
自治体調査	無被害	一部損壊	半壊	全壊		

図6 1995年兵庫県南部地震の各被災度調査における木造建物に対する被災度指標の対応関係

いをほぼ説明できるといえる。

そこで、震災特別委員会調査と自治体調査の被災度の対応をみるために、両調査の建物被害データに基づく被害率曲線を比較する。これらの被害率曲線は最大地動速度と被害率の関係を示したもので、最大地動速度の尺度を同一にして比較することができる。それぞれの被害率曲線を比較して図5に示す。ここで、自治体調査の建物被害データに基づく木造建物の被害率曲線は、表19に示すように建設年代別に算定されている(Miyakoshi *et al.*, 1998) ので、建設年代の棟数比を同一にするために、図4 (a) に示した神戸市中央区の棟数比を重み係数として算定している。また、震災特別委員会調査の建物被害データに基づく被害率曲線は、表2に示したとおり神戸市だけでなくより広範な阪神地域の建物被害データに基づいており、正確には神戸市中央区での関係ではない。しかし、図5中にシンボルで示した図3 (b) の調査範囲での最大地動速度と被害率の平均的な関係は、震災特別委員会調査の建物被害データに基づく被害率曲線で概ね説明できると考えられる。これらのことから、自治体調査の「全壊」は震災特別委員会調査の「軽微な損傷」～「中程度の損傷」に、震災特別委員会調査の「軽微な損傷」は自治体調査の「半壊」～「全壊」に概ね対応しているといえる。この対応関係は図3 (c) と (d) の比較からも示される。

4.3 被災度指標の対応関係

前節までの考察より、兵庫県南部地震における3つの建物被害統計資料に基づく被災度指標の平均的な対応関係は、概ね図6のようになると考えられる。また、この対応関係は、表17に示した被害状況からみた被災度指標の対応関係と概ね整合する。

図より、以下のことが指摘できる。まず、日本建築学会調査と震災特別委員会調査を比較すると、日本建築学会調査では「大破」と判定される建物の中にも、震災特別委員会調査による判定基準(表14)では大幅な修理で使用可能な建物があるといえる。しかし、日本建築学会調査の「無被害」と震災特別委員会調査の「外観上被害なし」との比較から両調査における被害の有無の判定は対応しており、全体的にみると日本建築学会調査の被災度指標は震災特別委員会調査の被災度指標をより細かく分類したものと考えられる。一方、震災特別委員会調査と自治体調査を比較すると、自治体調査では「全壊」と判

定される建物でも、震災特別委員会調査による判定基準(表14)では少しの修繕で使用可能な建物もあるといえる。また、自治体調査の「一部損壊」は震災特別委員会調査の「外観上被害なし」にほぼ対応している。このような違いから、両調査の調査目的である建物の再使用可能性と建物の財産的価値の損害という観点が大きく異なることが示されたといえる。

5. まとめ

本論文では、木造建物を対象として、1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震までの被害調査資料から被災度判定基準を整理し、各種の被災度指標の対応関係について分析した。以下にその結論を示す。

まず、過去の被害調査資料における被災度判定基準は、警察および自治体による判定基準と専門家による判定基準の二つに大きく分けることができる。このうち、警察および自治体による判定基準に対して、地震動強さの指標と建物の耐震性能の尺度をそろえた上で被害率曲線を比較した。その結果、「全壊(潰)」の被災度判定基準は、被害調査資料による比較では濃尾地震から兵庫県南部地震まで判定基準としては概ね統一されていたが、そのことを定量的に確認するまでには至らなかった。

次に、専門家による判定基準に対して、過去の被害調査資料を整理した上で、同じ地震で複数の異なる判定基準によって建物被害調査が行われた1995年兵庫県南部地震を対象とした分析を行った。ここでも、地震動強さのレベルや建物の耐震性能の尺度をそろえた上で、日本建築学会調査・震災特別委員会調査・自治体調査の3つの調査結果に対して建物被害の統計データや被害率曲線を比較した。その結果、日本建築学会調査の被災度指標は震災特別委員会調査の被災度指標をより細かく分類したものであることを示した。また、震災特別委員会の調査目的である建物の再使用可能性という観点からと、自治体の調査目的である建物の財産的価値の損害という観点からとでは、例えば被害の有無という点において大きく異なることを指摘した。

兵庫県南部地震以降、多くの地方自治体で地震被害想定が行われ、この地震による建物被害の統計データを利用したものも少なくない(損害保険料率算定会, 1998)。この場合、利用する建物被害統計データの調査目的がどのようなものであったかを理解した上で、地震被害想定結果を利用する必要がある。また、地震による建物被害の大小を被害統計量で示す場合には、例えば岡田・高井(1999)が示しているような統一された判定基準に基づいて被害調査を行うことは重要である。しかし、例えば、自治体調査では固定資産税の減免などの行政上の対応策として、日本建築学会調査では学術的(構造的)な観点での今後の耐震設計のための資料として、それぞれの被害調査は重要な役割をもっている。したがって、調査目的による被災度判定基準の違いが建物被害統計量に影響を及ぼすことを認識した上で、それぞれの目的に応じて建物被害統計量を利用する必要がある。

謝辞

本論文では、1891年濃尾地震から1995年兵庫県南部地震までの建物被害統計に関する貴重な資料を使用させていただきました。実際に被害調査をされた方々および関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 土井正, 宮野道雄, 北本裕之, 呂恒儉(1995): 木造家屋被害に対する構造部材の蟻害・腐朽による劣化の影響, 1995年兵庫県南部地震一木造建物の被害一, 日本建築学会近畿支部, pp.125-143.
- 江森盛孝(1894): 明治二十四年愛知県震災誌, 震災予防調査会報告, 第2号, pp.8-69.
- 岐阜県岐阜測候所(1894): 大震報告書(明治二十四年十月二十八日)別表.
- 萩原尊禮(1939): 昭和14年5月1日男鹿地震調査概報, 東京帝国大学地震研究所彙報, 第17号, 第3冊pp.627-637.
- 長谷川浩一, 翠川三郎, 松岡昌志(1998): 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測一その2 建築年代別木造建築物の被害関数の作成と震害予測一, 日本建築学会構造系論文集, 第505号, pp.53-59.
- 林康裕, 宮腰淳一, 田村和夫, 川瀬博(1997a): 1995年兵庫県南部地震の低層建物被害率に基づく最大地動速度の推定, 日本建築学会構造系論文集, 第494号, pp.59-66.
- 林康裕, 宮腰淳一, 田村和夫(1997b): 1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく最大地動速度に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第502号, pp.61-68.
- 北海道建築部(1969): 住家および非住家の被害状況, 1968年十勝沖地震調査委員会, 1968年十勝沖地震調査報告, pp.629-632.
- 飯田汲事(1985a): 飯田汲事教授論文選集 東海地方地震・津波災害誌, pp.160-383.
- 飯田汲事(1985b): 飯田汲事教授論文選集 東海地方地震・津波災害誌, pp.458-529.
- 飯田汲事(1985c): 飯田汲事教授論文選集 東海地方地震・津波災害誌, pp.590-632.
- 今村明恒(1906): 明治三十八年六月二日芸予地震調査報告, 震災予防調査会報告, 第53号, pp.2-22.
- 今村明恒(1910): 明治四十二年姉川地震調査報告, 震災予防調査会報告, 第70号, pp.1-64.
- 今村明恒(1913): 明治二十九年ノ陸羽地震, 震災予防調査会報告, 第77号, pp.78-87.
- 今村明恒(1915): 大正三年秋田仙北地震調査報告, 震災予防調査会報告, 第82号, pp.1-30.
- 今村明恒(1931): 北伊豆大地震の計測学的研究, 地震, 第3巻, 第1号, pp.1-38.
- 鏡味洋史, 小林啓美(1970): 関東地震の川崎における地表面の加速度分布(地盤と木造建築物地震被害率), 日本建築学会論文報告集, 第176号, pp.17-23.
- Kagawa, T., K. Irikura and I. Yokoi(1996): Restoring clipped records of near-field strong ground motion during the 1995 Hyogo-Ken Nanbu (Kobe), Japan earthquake, *Journal of Natural Disaster Science*, Vol.18, No.1, pp.43-57.
- 金井清(1967): 震害調査, 地震, 第2輯, 第20巻, 第4号, pp.316-319.
- 金井清(1982): 木造家屋の震害に就いて, 地震動予測の研究, 損害保険料率算定会, 地震保険調査研究, 2, pp.1-18.
- 嘉嶋崇志, 高田至郎, 水越薫, 石田寛, 田上淳, 早坂浩(1996): 兵庫県南部地震による建物被害の分析 その2: 建物フラジリティ曲線の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.3-4.
- 川北米良(1995): 三重県地方の地震および津波による災害について, 災害の研究, 第26巻, pp.118-141.
- 建設省建築研究所(1996): 平成七年兵庫県南部地震被害調査最終報告書.
- 北澤五郎(1926): 木造被害調査報告, 震災予防調査会報告, 第100号(丙)上, pp.1-54.
- 小林啓美(1950): 単体の転倒と震度, 日本建築学会研究報告, 第8号.
- 小林啓美(1998): 福井地震1948と地震工学, 地震工学振興会ニュース, No.161, pp.6-9.
- 神戸大学工学部(1995): 兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第2報), pp.20-41.
- 神戸市(1995): 神戸の住宅一平成5年住宅統計調査結果一, 統計神戸, No.580, pp.18-19.

- 神戸市 (1996): 阪神・淡路大震災一神戸市の記録 1995年一, pp.35-37.
- 国土庁 (1995): 平成7年版 防災白書, 大蔵省印刷局, pp.12-14.
- 松澤武雄 (1925): 木造建築物による震度分布調査報告, 震災予防調査会報告, 第100号 (甲), pp.163-260.
- Milne, J. (1881): Experiments in observational seismology, *Transactions of the Seismological Society of Japan*, Vol.3, pp.12-64.
- 宮腰淳一, 林康裕, 渡辺宏一, 田村和夫 (1997): 1995年兵庫県南部地震の建物被害に基づく建物の耐震性能評価, 構造工学論文集, Vol.43B, pp.269-276.
- Miyakoshi, J., Y. Hayashi, K. Tamura and N. Fukuwa (1998): Damage ration functions of buildings using damage data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake, *Proceedings of 7th International Conference on Structural Safety and Reliability*, Vol.1, pp.349-354.
- 宮野道雄 (1982a): 墓石・木造建物被害等による震度に関する若干の検討, 土木学会論文報告集, 第319号, pp.33-42.
- 宮野道雄 (1982b): 1923年関東大地震における震度と震源距離・方向性・地形の関係, 土木学会論文報告集, 第319号, pp.43-53.
- 宮野道雄 (1984): 墓石の転倒および木造建物の被害に基づく地動加速度の推定に関する研究, 東京都立大学学位論文.
- 望月利男, 国井隆弘, 松田磐余, 田村俊和 (1976): 最近の内陸直下型地震の調査報告, 東京都立大学地震研究グループ.
- 物部長穂 (1926): 土木工事震害調査報告, 震災予防調査会報告, 第100号 (丁), pp.1-66.
- 物部長穂 (1933): 土木耐震学, 常磐書房.
- 諸井孝文・武村雅之 (1999): 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, 第2輯, 第52巻, 第1号, pp.11-24.
- 村松郁栄 (1961): 震度分布と地盤の性質との関係について一特に濃尾地方について一, 岐阜大学学芸学部研究報告 (自然科学), 第2巻, 第5号, pp.559-569.
- 村松郁栄 (1963): 濃尾地震激震域の震央分布および地殻変動, 岐阜大学学芸学部研究報告 (自然科学), 第3巻, 第2号, pp.202-224.
- 村尾修, 山崎文雄 (1999a): 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会計画系論文集, 第515号, pp.187-194.
- 村尾修, 山崎文雄 (1999b): 兵庫県南部地震の実被害データに基づく灘区の地震動分布と建物被害関数, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, 第2分冊, pp.1101-1104.
- 室田達郎, 緑川光正, 芳村学, 山口修由 (1988): 1987年千葉県東方沖地震による建築物の被害調査報告, 建設省建築研究所, 建築研究資料, No.65, pp.43-72.
- 中村左衛門太郎 (1925): 木造建築物による震度分布調査報告, 震災予防調査会報告, 第100号 (甲), pp.67-140.
- 日本建築防災協会 (1991): 震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針 (木造編), pp.3-29.
- 日本建築学会 (1964): 新潟地震災害調査報告, pp.19-24.
- 日本建築学会 (1976): 1975年大分県中部地震によるRC建物の被害調査報告一九重レークサイドホテルおよびその周辺建物の被害一, pp.2-14.
- 日本建築学会 (1980a): 1974年伊豆半島沖地震・1978年伊豆大島近海地震災害調査報告, pp.97-145.
- 日本建築学会 (1980b): 1974年伊豆半島沖地震・1978年伊豆大島近海地震災害調査報告, pp.257-275.
- 日本建築学会 (1980c): 1978年宮城県沖地震災害調査報告, pp.43-54.
- 日本建築学会 (1984a): 1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告, pp.1-4.
- 日本建築学会 (1984b): 1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告, pp.56-60.
- 日本建築学会 (1984c): 1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告, pp.170-180.
- 日本建築学会 (1995a): 1993年釧路沖地震・1993年北海道南西沖地震災害調査報告, pp.1-10.
- 日本建築学会 (1995b): 1993年釧路沖地震・1993年北海道南西沖地震災害調査報告, pp.273-280.
- 日本建築学会 (1996a): 1994年北海道東方沖地震・1994年三陸はるか沖地震災害調査報告, pp.1-12.
- 日本建築学会 (1996b): 1994年北海道東方沖地震・1994年三陸はるか沖地震災害調査報告, pp.200-258.
- 日本建築学会 (1998): 阪神・淡路大震災調査報告 建築編4 木造建築物・建築基礎構造, pp.7-14.
- 日本建築学会震災調査隊 (1944): 鳥取県震災調査報告, 建築雑誌, 第58輯, 第706・707号, pp.79-145.
- 大橋雄二 (1993): 日本建築構造基準変遷史, 日本建築センター.
- 大森房吉 (1895): 明治二十七年十月二十二日庄内地震概報告, 震災予防調査会報告, 第3号, pp.79-106.
- 大森房吉 (1899): 明治二十四年十月二十八日濃尾大地震ニ関スル調査, 震災予防調査会報告, 第28号, pp.79-96.
- 大森房吉 (1900): 明治二十四年十月二十八日濃尾大地震ノ調査 (第二回報告), 震災予防調査会報告, 第32号, pp.67-78.
- 大崎順彦 (1982): 地盤と震害2, 建築技術, No.369, pp.135-146.
- 岡田成幸, 高井伸雄 (1999): 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, 第524号, pp.65-72.
- 表俊一郎, 三宅昭春, 橋橋秀衛 (1979): 大地震時の震央域に於ける地動最大加速度 (転倒墓石による最大加速度と強震記録との対比), 日本建築学会大海学術講演梗概集, 構造系, pp.463-464.
- 斎田時太郎 (1935): 昭和10年7月11日静岡地震に就て, 東京帝国大学地震研究所彙報, 第13号, 第4冊 pp.985-998.
- 震災復興都市づくり特別委員会 (1995): 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査被災度別建物分布状況図集一縮尺5000分の1一.
- 震災予防調査会 (1898): 宮古測候所報, 震災予防調査会報告, 第21号, pp.95-98.
- 震災予防調査会 (1925): 大正十三年月十五日神奈川地震被害調査表, 震災予防調査会報告, 第100号 (甲), pp.339-353.
- 損害保険料率算定会 (1968): えびの地震災害調査概要, pp.26-27.
- 損害保険料率算定会 (1998): 地震被害想定資料集, 地震保険調査報告, 28.
- 末廣重二, 久本壮一, 田中康裕 (1948): 福井地震踏査報告 (1), 昭和23年6月28日福井地震調査概報, 駿震時報, 第14巻別冊, pp.22-36.
- 鈴木祥之, 藤原悌三 (1995): 神戸市中央区における木造建物の被害, 1995年兵庫県南部地震一木造建物の被害一, 日本建築学会近畿支部, pp.41-48.
- 高井博雄, 岡田成幸 (1998): 気候風土から見た日本の木造住宅耐震性能の地域性の解釈, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, 第3分冊, pp.3435-3438.
- 高橋龍太郎 (1951): 福井地震概説, 昭和23年福井地震震害調査報告 II 建築部門, 北陸震災特別委員会, pp.1-22.
- 竹山謙三郎, 竹ノ内清次, 大崎順彦 (1951): 福井平野周辺部に於ける被害率分布について一主として地盤と木造建物の被害との関係一, 昭和23年福井地震震害調査報告 II 建築部門, 北陸震災特別委員会, pp.29-66.
- 谷口仁士, 飯田汲事 (1986): 地震時住家被害予測法定式化への試み一主として, 地盤液状化に起因する被害を中心に一, 日本建築学会構造系論文集, 第365号, pp.108-117.
- 谷口忠 (1927a): 但馬地震建築物被害調査報告, 震災予防調査会報告, 第101号, pp.41-62.
- 谷口忠 (1927b): 丹後地震に於ける建築物の被害に就て, 東京帝国大学地震研究所彙報, 第3号, pp.133-162.
- 谷口忠, 小林啓美, 坂井辰郎 (1951): 物体の転倒建造物の倒壊より推察した福井地震の地動, 昭和23年福井地震震害調査報告 II 建築部門, 北陸震災特別委員会, pp.23-29.
- 十勝沖地震調査委員会 (1954): 十勝沖地震調査報告 1952年3月4日, pp.45-49.
- 東京消防庁防災部防災課 (1988): 千葉県東方沖を震源とする地震の概要について, 防災, 第42巻, 第240号, pp.2-7.
- 童華南, 山崎文雄, 佐々木裕明, 松本省吾 (1994): 被害事例に基づく地震動強さと家屋被害率の関係, 第9回日本地震工学シンポジウム論文集, 第2分冊, pp.2299-2304.
- 宇佐美龍夫 (1996): 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版416-1995], 東京大学出版会.
- 山口直也, 山崎文雄 (1999): 1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.325-336.
- 山本明夫, 金子史夫, 殿内啓司 (1985): 木造家屋被害に与える地盤の液状化への影響, 第18回地震工学研究発表会講演概要, pp.381-384.
- 山崎直方 (1897): 陸羽地震調査概報, 震災予防調査会報告, 第11号, pp.50-74.
- 吉村昌宏 (1998): 阪神・淡路大震災と地震保険, 地震予知総合研究振興会, 地震ジャーナル, 25, pp.51-58.