

# 阪神大震災における木造家屋の被害に関する考察

秦 正 徳

(平成7年11月6日受理)

## 要 旨

阪神大震災において、木造家屋の多大な被害が発生した。この木造家屋の被害について、現場の記録写真を用い、構造の耐震性という観点から倒壊原因の考察を行い、今後の耐震性設計に関する知見を得た。この考察から得られた結果の主なものは次のとおりである。

- ①木造家屋の耐力の正確な算定は、現在の方法では困難である。
- ②合理的な構造計画によって、軸組木造家屋も大地震に十分対処できる。
- ③木造家屋の倒壊限界は、変形角  $1/5$  がほぼ妥当である。
- ④密集家屋の耐震性能は、家屋を相互に連結し一体化することで合理的に向上する。

## キーワード

阪神大震災, 木造家屋の被害, 耐震性能, 密集家屋, 倒壊限界

## 1 はじめに

阪神大震災は予測しなかった震度の都市直下型の大地震によるものであった。このため、死者5500人以上、全壊した家屋が十万棟以上という未曾有の被害をもたらした<sup>1)</sup>。大地震の約一ヶ月後および約二ヶ月後に被害現場の調査を実施した。被害については多くの報告があるが<sup>2)</sup>、木造家屋の構造設計に焦点を絞って考察したものは少ない。また、このような災害の報告は一元的に行うだけでなく、被害の状況を異なった視点で記録し、多方面の切り口からの考察を記述しておくことは、将来の防災を考えるうえで厚みを増すという観点から、必要であると考えられる。

古来より木造家屋の耐震性能は4つの観点

から述べられている。すなわち、よい地盤を選び、基礎を強固にし、筋違を入れて、接合を固めること、である<sup>3)</sup>。ここでは、後者の二つを中心に考察を試みたが、多くの町並みに見られる相互に連結された家屋が特徴的な被害を呈していたことから、第5の観点として、近隣の協調が密集家屋群にとって耐震という側面からも重要であることを指摘した。

## 2 調査区域および時期

図1に震度分布と調査区域を示した<sup>4)</sup>。この考察に用いた写真は、すべて筆者が現地調査の際に撮影したものである。現地調査は兵庫県南部大地震発生から約一ヶ月後の1995年2月16日～2月18日および約二ヶ月後の1995年3月23日～3月25日に実施された。

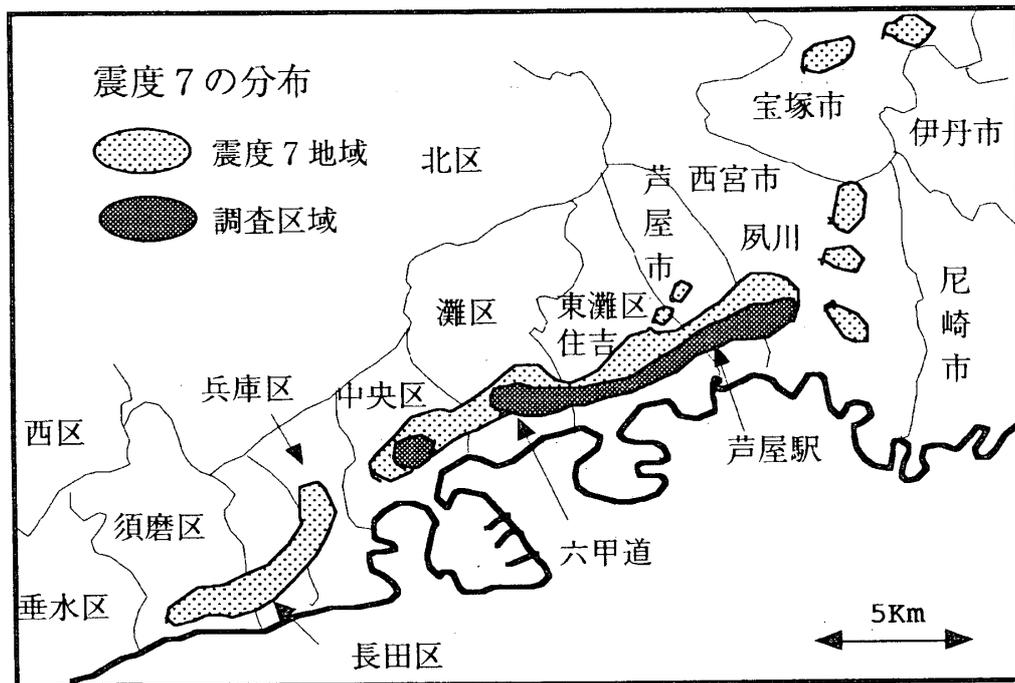


図1 阪神地域の震度分布と<sup>4)</sup>調査区域

### 3 被害状況と考察

#### 3.1 現行耐力算定方法に関する疑問

写真1に見るように、木造家屋の建築年は、写真に写した番号順に、おおむねつぎのように分類<sup>3)</sup>される。

- ①1950年以前の戦前の建物＝伝統的であるが部材が細い木造家屋
- ②1950～1980年の高度成長期とオイルショック時代の建物＝ボードが出現し、それを利用することで水平耐力の向上が図られた時代の木造家屋
- ③1980年以降の建物＝実物大の破壊試験を

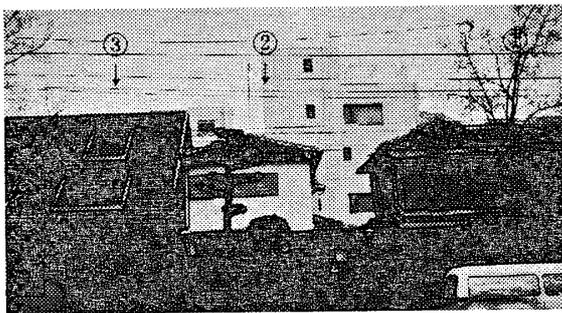


写真1 神戸市東灘区住吉

実施して、外力に対する建物の挙動が把握され始めた時代の木造家屋

被害にあった家屋を年代ごとに見ると築後長く経過した家屋の被害率が高いという、多くの報告がなされている<sup>5)</sup>。近年になるほど、実大実験の結果が反映されて<sup>6)</sup>、家屋の耐震性能が安全側になっていることは確かである。このことを示す事実として、工業化住宅の被害が極めて少ないことが挙げられる<sup>7)</sup>。

図1に示すように、多くの家屋が倒壊した地域の震度は7（静的震度にして0.5相当）と発表されている<sup>4)</sup>。調査区域で転倒していた石碑の形状から算出した静的震度<sup>8)</sup>は0.4を上回っていた。ところで、設計は一般的に静的震度を0.2と想定している<sup>9)</sup>。地震に対する家屋の抵抗力は、この静的震度にか家屋の質量をかけて求めた水平力にか家屋がどの程度耐えうるかとして、見積もられる。したがって、設計時の見積の倍以上の水平力が家屋に作用したことになり、倒壊して当然といえよう。しかし、写真2に示したようにいわゆる工業化住宅は無傷で残っていた。

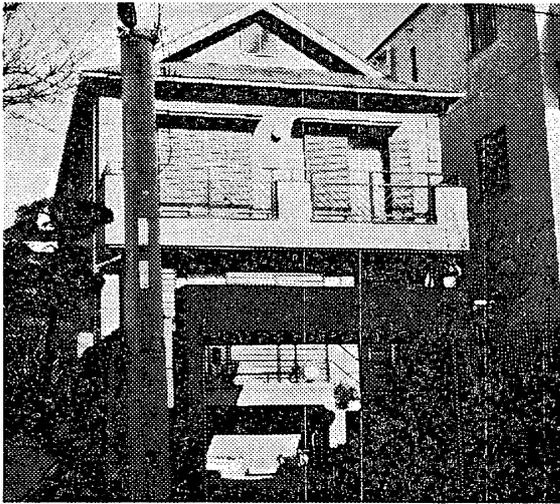


写真2 神戸市東灘区

一方、水平力を壁で抵抗させるという考え方を基礎とした抵抗システムは建物の実大実験で検証され<sup>6)</sup>、耐力壁の実大実験<sup>10)</sup>から得た壁耐力を用いて家屋の抵抗性能が合理的に算定されている。この方式によって設計された工業化住宅において、上述したほどの余力があるとは予測されていなかったと考えられる。

そこでは、設計で耐力壁として見積もっている構造要素（筋違や壁など）以外の構成要素が効果を発揮していたと考えられる。外壁に施行された仕上げ材などがこの構成要素として挙げられ、実験によるとこれらの地震に対する抵抗性能の付与は、20%程度とされている<sup>11)</sup>。しかし、先にも述べたように、想定した水平力の倍以上の水平力に家屋が耐えたことから、設計で見積もられた抵抗性能の100%以上の抵抗性能が実際に付与されたということになる。

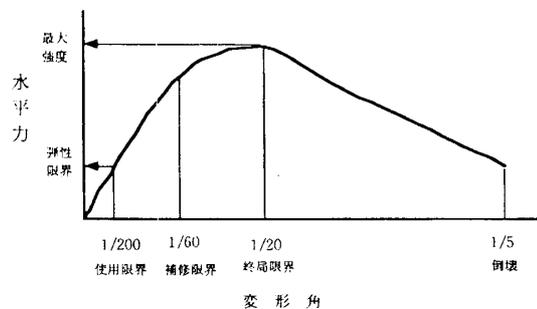
これらの状況は、現在の設計計算の妥当性についての疑問をものがたっている。耐力を発現しているとされている構造以外の構成要素の効果をまとめて20%の付与と評価することに誤りがあるように考えられる。

すなわち、木造軸組においては、接合をピン接合と仮定するところに構造剛性の過小評価の一因があるという指摘につながる<sup>12)</sup>。ま

た、壁工法においては、腰壁のように耐力壁として算定しない壁の効果も設計時点で見積もるべきではないだろうか。

### 3.2 建物の限界状態

建物の被害状態を定量化するには、構造の鉛直線の傾きの程度、すなわち、変形角を測定する。つまり、高さに対する水平方向の変形の割合で示す。この割合は少数ではなく分数で表現するのが慣例である。たとえば1/100ならば、1メートルにつき1センチ横方向にずれたということになる。図2に示した限界状態の判定<sup>13)</sup>によると、地震の揺れによって生じた変形角が1/200のときを使用限界とし、1/60を補修限界とすることになっている。さらに、家屋が倒壊したと判定される時の変形角は1/5とされている。想定された限界状態まで変形するのに必要な仕事量だけ、地震のエネルギーを吸収すると考えられている<sup>14)</sup>。

図2 木造家屋の限界状態<sup>13)</sup>

また、実大の家屋を水平方向に力を加えて壊した試験の報告では、変形角が1/3になるまで崩れ落ちなかったという報告がなされている<sup>15)</sup>。すなわち、高さ1メートルにつき水平方向に33センチまで変形できることになる。

今回の調査では、写真3の右から2棟目の建物（矢印①）の変形角が1/4、すなわち、高さ1メートルにつき25センチ横にずれた状態である。内部に進入するのが危険と感じられたが、後述するように、避難は十分可能な状態であった。耐震性能を見積もるときの基



写真3 神戸市灘区

準として採用される変形角は、極論すれば、人が生存できる隙間があればよいとする傾きと考えられる。このため、無傷の状態を壊れないとする一般的な感覚と異なっている。写真3の左から2棟目の家屋（矢印②）に許可を得て入り内部の調査を実施したが、変形角は極めて大きく、かがんで入るのがやっとであった。非常に危険を感じたが、まだ隙間が存在していた。人命に関わる被害はなかったということであるが、速やかな避難は困難であると判断された。

このことから、木造家屋の倒壊限界としての変形角は1/5をほぼ妥当であると考えられる。

### 3.3 被害の典型

#### 3.3.1 全壊の典型例

築後60年以上の建物の多くは、写真4のような全壊の状態を呈している。状況を観察すると、基礎は煉瓦をモルタルで固めただけ、鉄筋が入っていない、外壁の下見板が効いていない、モルタルの下地である木摺りの間隔



写真4 神戸市東灘区

が大きい、モルタルのラスが細い、接合が固められていないなどが見て取れる。このように耐振性を発揮する建物の構成要素が不完全である上に、土で固めた重い瓦屋根が載っていたので建物の重心が高い位置となり、地震に対する抵抗性能が極めて低い状態であったと推測される。地震の最初の大きな揺れで接合がはずれてしまい、屋根の重みに耐えることなく瞬時に崩落してしまったと考えられる。

#### 3.3.2 倒壊の典型例

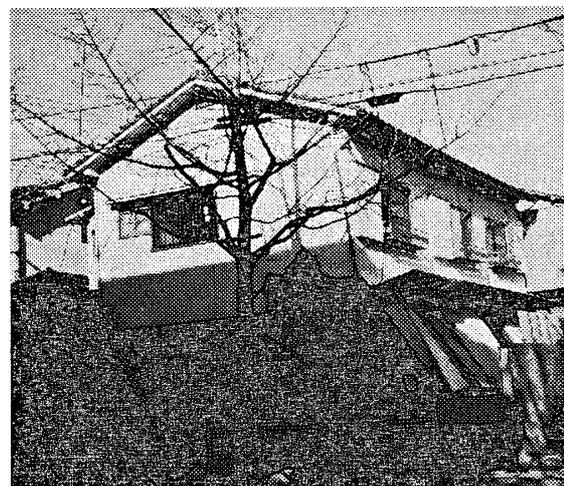


写真5 西宮市

写真5は、1階の壁の量が不足していた場合に見られる、典型的な膝を折ったような壊れ方を示している。この様な壊れ方が非常に多く見られた。



写真6 西宮市

写真6は1階の壁に筋違のない例である。写真7の事例と同様、全体がねじれるように壊れている。地震は一方向に揺れるのではな

く、あらゆる方向から回転して捻るような力が加わることを示している。最も重要なところは四隅であるが、構造全体がバランスよく抵抗するよう構造要素を配置しなくてはならない。

### 3.4 構造計画の重要性

#### 3.4.1 通し柱の損壊

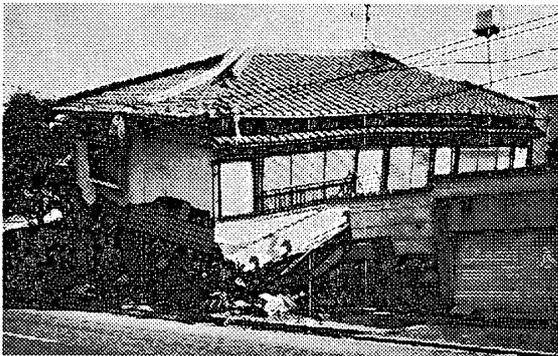


写真7 神戸市東灘区

写真7は新しい家屋の被害例であるが、新しいからといって、大丈夫ということではない。構造計画が悪いとこのような壊れ方をする。壁の配置、床の剛性など構造全体がバランスよく外力に抵抗しなければならない。この場合、おそらく、一階の南側（写真右方向）に縁側があり、この縁側に直交する壁面（写真手前方向）に広い玄関があったと考えられる。これらの2方向に十分な壁の量を確保できなかったのだろう。このため、1階の耐力壁の配置が写真の奥側に偏ったことにより構造全体の抵抗バランスが崩れて、家屋がねじれるように壊れはじめたのだろう。同時に、手前隅の通し柱に力が集中して、この通し柱が桁との接合部分で折れている。

この事例のような被害を未然に防ぐには、可能な限り筋違を入れた強固な壁をつくること、これらの壁をバランスよく配置すること、および、床の剛性を高めることである。すなわち、外力が構造全体に均一に配分されて土台から基礎に流れるように計画することである。また、開口部を必要とするならば、剛接

合のフレームを配置することが考えられる。フレームを作るために、太い柱を使用するか鉄骨を併用するのも一つの方法だと考えられる。

#### 3.4.2 面材の効果

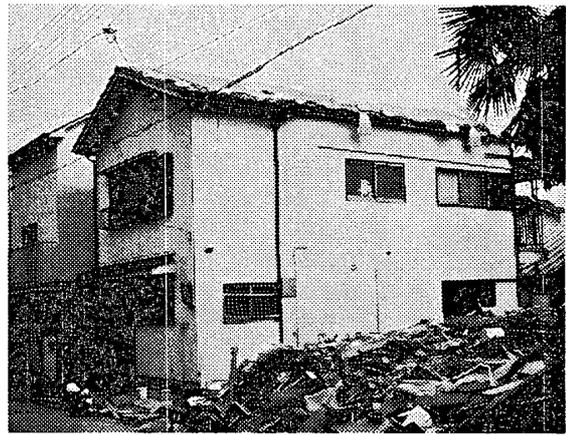


写真8 神戸市灘区

写真8は築後20年経過した家屋である。当時の個室を求めるニーズを反映して、内部に壁を多く造った構造となっている。合板などの面材すなわちボード類を多用し始めた時代の家屋である。したがって、強固な壁がいくつも内部に配置された構造となっている。さらに、特筆すべきはメンテナンスが行き届いていたことである。床下を観察したところ、定期的に白蟻対策のための薬剤が散布されていた痕跡を認めた。同時に、小屋裏換気も良好であった。小屋組部材の含水率が16%前後であることがこの事実を示している。

#### 3.4.3 床の剛性と重量の軽さ

写真9の家屋は築後60年の平屋に2階を増築した事例である。測定の結果、柱の傾きはまったく生じていなかった。特筆すべきことは床に隙間なく構造用合板を敷き詰めてあったことである。床の剛性が高いので、外力が構造要素に一律に伝達されて、建物全体で抵抗したのである。さらに、屋根および小屋組が軽く造られていたし、二階の積載重量も非常に少なかったようである。家屋の上部の重



写真9 神戸市灘区

量が小さく、構造の剛性が高かったので、被害を免れたのだと考えられる。

増改築は、既存の建物との連結や敷地における配置などの制限があるので、構造計画の自由度が少ないことが多い。このため、既存の平屋をまたぐように2階を増築した家屋や壁面だけを改装した家屋の被害が散見されたと報告されている<sup>10)</sup>。しかし、ここに挙げた被害を受けていない事例も発見された。つまり建物の抵抗システムに合致した設計施工であれば、強烈な地震に十分耐えられる木造家屋を増築することが出来るということである。

#### 3.4.4 鉄骨による補強

写真10は非常に難しい敷地条件のところに建てられた木造3階建である。一階部分が膝を折ったように被害を受けている。1階の壁の量が足りなかったと考えられる。しかし、詳細に見ると、この家屋は写真に矢印で指摘したように鉄骨で補強されている。敷地の制限などで、壁の量が絶対的に不足することはあり得ることだと考える。この例では鉄骨で構造を補強をしていたので、全壊することは免れている。変形角は1/5程度であった。

このような被害状態を目標にして、設計の



写真10 芦屋市

意図通りの変形に抑えられたということであれば、この事例は合理的な設計がなされた成功事例といえよう。先に述べた限界状態の設定から見て、倒壊が意味するところをよく表している。すなわち、不動産という財産価値を守るほどの強固さではなかったが、生命を守り、内部の財産もある程度守られたと考えて良いだろう。

#### 3.4.4 家屋群の一体化

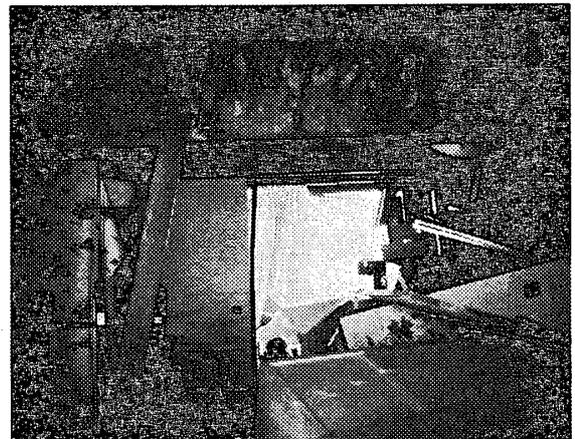


写真11 神戸市灘区

写真11は、写真3の右から2番目の家屋(矢印①)の室内である。1階の変形角は極めて軽度であった。2階の変形角は測定の結果

果、1/4であった。許可を得て入室したが、進入するとき非常に危険を感じ、また、階段が損壊しており入室は困難であった。柱などの主要な構造の木材の含水率を測定したところ18%前後で、特に含水率が高いということとはなかった。

特筆すべきことは、玄関の引き戸を開けてこの家屋に進入し、退出するときも正常に引き戸が閉まったということである。この家屋は隣家と相互に連結されているため、建物の前後に開口部があること、および室内の間仕切り壁がないことから、耐力壁は隣家との境界に位置するだけであった。このため、写真の左右方向に有効な耐力壁は皆無に等しい。



写真12 神戸市東灘区

上述の家屋群の倒壊形態は、桁が連結されていたことにより、写真12に示した他の密集家屋群の倒壊とは明らかに異なっている。2階部分が倒壊しても、玄関から安全に避難できるという状況から、ローコスト住宅の設計を考えていく上で貴重な被害例だと考えられる。

#### 4 おわりに

写真3の街区は、左の端の方から徐々に街並が変化していることが看取される。現在住んでおられる方の聞き取りによると、当初はこれらの家屋はすべて連結されていたという

ことであった。さらに、およそ60年前に建築された家屋群だということであった。写真の左端の家屋（撤去されたため写真では空き地に見える）が全壊して、その隣に新築された木造3階建ての家屋（矢印③）を傾かせてしまったというのである。この木造3階建て家屋の変形角は大きいところで1/100であった。矢印②と矢印③の家屋の間は空き地であった。矢印②の家屋は写真にあるように倒壊している。倒壊した家屋（矢印②）の桁をよく見ると、鋸断した跡がはっきりと確認された。ホゾの痕跡も認められた。矢印②と矢印③の家屋の間の空き地には家屋が建っていたのであり、矢印③の家屋の左隣の家屋を含めたこれら4軒の家屋は互いに連結されていたのである。はずされたところから倒壊していったと考えられる。

この例にあるように、街をつくる家屋は互いに密接に関係し合いながら存在しているといえよう。生活環境の改善を行うのは基本的に個人の自由だと考えられるが、お互いに利益を分かち合いながら生活しているものも事実である。街は全体としてその強さを保っているということである。例えば、既存建物の増改築や更地にするとき、とりわけ連続していた家屋群の連結を断つことになる場合は、残された家屋群の耐震性能を慎重に検討してから取り壊しを行わなければならない。

#### 謝辞

この調査は、農林水産省森林総合研究所神谷文夫氏、同小松幸平氏、同原田真樹氏、金沢工業大学鈴木有氏、同後藤正美氏、秋田県立農業短期大学付属木材高度加工研究所飯島泰男氏の各位に同行し実施したものである。これらの各位のご指導に心から感謝いたします。

## 引用文献

- 1) 坂本 功：阪神・淡路大震災－地震と被害の概要，木材工業，Vol.50, No.11, 1995/11, pp.495-500
- 2) 例えば，日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，1995年3月31日
- 3) 坂本 功：日本における木造住宅の耐振性，住宅総合研究財団研究年報，No.20, 1993, pp5-23
- 4) 朝日新聞1995/2/8付け記事をトレースして変更
- 5) 例えば，平野 茂：阪神・淡路大震災報告－軸組構造，TIMBER ENGINEERING NEWS, No.23, 1995/2, pp.6-9
- 6) 例えば，建設省住宅局建築指導課・木造住宅振興室監修：枠組壁工法建築物構造計算指針，工業調査会，1992/12, pp5-28
- 7) 関西ツーバイフォー協議会：調査物件リスト（未発表），1995/2
- 8) 大森信次著：建物の耐震診断入門，鹿島出版会，1983, pp.67-69
- 9) 鹿島建設技術研究所編：既存建物の耐力診断と対策，鹿島出版会1987/1, p.51
- 10) 例えば，室田達郎，岡田恒，安村基：木造耐力壁のせん断性状，建築研究所年報，Vol.1983, 1985, pp.283-289
- 11) 日本建築学会：木構造設計基準・同解説，1973/4
- 12) 秦 正徳：半剛接合を有する木構造の解析に関する研究，京都大学博士論文，1989
- 13) 平嶋義彦：限界状態設計への移行に伴う木材の評価方法，日本木材学会木材強度
- 14) 梅村魁著：耐震構造への道，技術堂出版，1992/8, pp.82-94
- 15) 久保俊彦編：地震と建築，鹿島出版会，1992/2, pp.115-120
- 16) 有馬孝札：兵庫県南部地震－木造住宅の被害に関するメモ，日本建築学会構造委員会資料，No.558, 1995/1

## A Study on the Damage of Wooden Houses in Great Hanshin Earthquake

Masanori HATA

(Received November 6, 1995)

### ABSTRACT

The Great Hanshin Earthquake caused serious damage to wooden houses. By making use of the documentary photographs in site, a study on this collapse of wooden houses was made to determine the resistance of their construction to earthquakes. From this study, the results indicated several ways for the design of performance to make these structures more earthquake resistant in the future.

The principal results are as follows:

- ①The present methods are not suitable for the accurate estimation of the resistance of wooden houses to earthquakes.
- ②A reasonable construction plan makes wooden frame houses resist earthquakes more effectively.
- ③A shearing deformation building code should be established for wooden houses. At this time, it seems like a ratio of 1/5 would be appropriate.
- ④The resistance of wooden structure to earthquakes would be increased if houses in close proximity were linked together with support joists.

### KEY WORDS

Great Hanshin Earthquake, Damage of wooden houses, Resistance performance to earthquake, Houses standing close together, Limit state of collapse