

## 日本における木造住宅の耐震性 —その歴史と現状—

坂本 功 (東京大学教授)

### 1. はじめに

木造住宅に限らず、建物の耐震性に関する研究が始まったのは、今からおよそ100年前の明治24年(1891)に起こった濃尾地震がきっかけである。その時に被害調査に赴いた学者や建築家の報告から、木造住宅の耐震性に関する教訓を読み取って要約すれば、「地盤の良い所を選び、基礎をしっかりと造り、筋かいを入れ、仕口を金物で緊結すること」である。

このいわば耐震建築の基本は、100年たった今でもそのまま通用する。このことは耐震建築において、地震被害からの教訓がいかに重要で、しかもそれを生かすことがいかに困難であるかを物語っている。

他方、地震による木造住宅の被害は、数の上では減少してきているように見える。しかしこれは耐震設計が行き届くようになったせいであると、楽観してよいものであろうか。

本論文では、日本における木造住宅を中心とした木造建築の耐震性について、歴史的な流れをたどりながら、技術的な問題点を検討してゆくことにしたい。

### 2. 伝統的木造建築の耐震性

#### 2.1 伝統的木造建築の耐震要素

どんな材料や構法によるにしても、壁が有力な耐震要素であることは、異論がないであろう。日本の伝統的木造建築においても、厚い土塗壁があるものは、当然、耐震壁として働くので、このことがあてはまる。では、壁がないかあるいはほとんどない場合は、どうであろうか。

日本の伝統的木造建築において、架構の耐震性の第一の要素となっていたものは、古代(奈良・平安時代)では、**図-1**に示すような、長押であった。例えば、鎌倉時代にあった地震被害に対して、藤原定家はその日記「明月記」に「長押なきによる」と書いており、この文章を引いた太田博太郎は、「当時においても、長押が建物の倒壊を防ぐのに、重要な役目を果たしていることを十分承知していた」と述べて、長押が耐震要素として積極的に認識されていたことを認めている<sup>2)</sup>。

次に、その鎌倉時代には禅宗様が導入されるとともに、長押に代わって、**図-2**に示すような、貫が耐震要素と



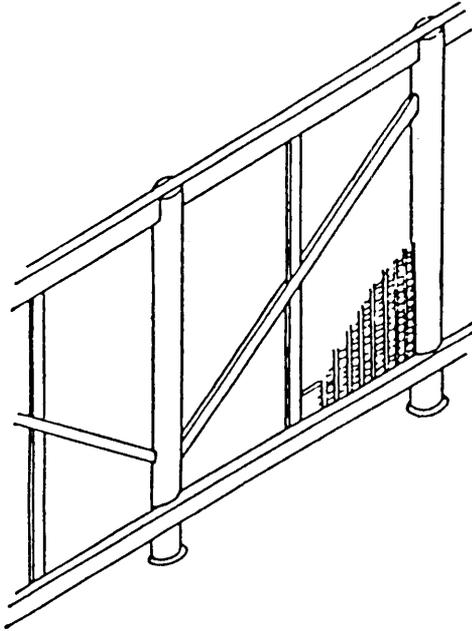
図-1 長押による構造 (富貴寺大堂・平安時代)



図-2 貫による構造 (円覚寺舎利殿・室町時代)

して普及していった。このことについて、太田は「とくに、禅宗様では木割が細く、壁は板壁であり、長押を用いないから、横力に耐えるためには、貫の使用が絶対不可欠のものであった」と述べ<sup>2)</sup>、関野克は、「この貫で固める枠組は地震等の横力にも抗し得たので、唐様の中世建築では土壁を用いず<sup>なて</sup>張りの板壁とした。」と述べている<sup>2)</sup>。これ以降現在に至るまで、伝統的木造建築は柱と貫で構成される架構により、地震時の水平力に抵抗することになった。

ところで、伝統的木造建築に筋かいがなかったわけではない。鎌倉時代の法隆寺舎利殿絵殿には、**図-3**に示すように、筋かいが使われている<sup>2)</sup>。また、平等院鳳凰堂が平安時代の末に修理された際、筋かいが入れられている<sup>2)</sup>。



図一三 法隆寺舍利殿絵殿の筋かい 文献1)

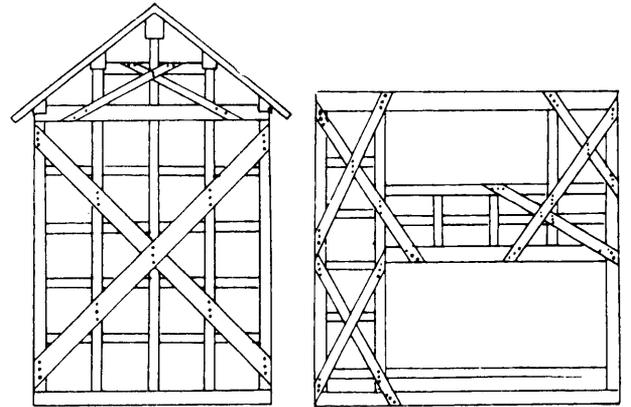
しかし、これらの例外を除いては、筋かいは普及しなかった。

## 2. 2 伊東忠太らによる評価

さてそれでは、このような伝統的木造建築の耐震性は、どのように評価されているであろうか。

まず、「明治前日本建築技術史」の「第一編総論 第四章建築の諸項 十一変災」において、伊東忠太は次のように述べている<sup>24)</sup>。「まず地震については、日本全土悉く地震帯にあたると言うも誇張に非ず、古今建築物を損傷し潰倒するの類例は枚挙にいとまあらず。しかるに日本民族は久しくこれに対する防備の策を重要視せざりしは頗る無理解なりし如くである。元来日本は優良なる木材を処理するに巧なるが故に、地震を考慮して極力堅牢なる木造を造りたるべきは当然であり、中古時代既に高級建築の一部に特に「地震の間」と称する堅牢なる房室を備え、江戸時代柳堂の内にも地震の間を備えたることは明確である。事実を徴するに、用意周到なる工作に成れる木造建築は、未だかつて激震のために潰倒したる例は無く、ただ僅かに若干の損傷を受けたるのみである。例えばかの安政二年の江戸の大地震に於いて、浅草寺の五重の塔は、僅かに絶頂の相輪が傾きしのみにして、塔身にはすこしも異常なかりしなり。これと類似の実例は、なお他に若干あるのである。

この安政の激震直後、江戸の医師小田東叡が一書を著した内に、耐震構造を論じ、縦横四角に組みたる木材の枠の中に、斜めに筋違の材を入れるれば安全であると言ったのは当然である。要するに木造建築と雖も、良材を以て仕口・継手等に完全の注意を加うるならば、既往の最大の烈震もこれを潰倒することは不可能であると思われ



図一四 小田東叡の耐震家屋構造 文献4)

る。」(同書には、小田東叡による図一4のような耐震耐風構造が転載されている。)

この文章は、いささか論理的ではなく、日本古来の木造建築が耐震的であったかどうかについて否定と肯定と両方のことが書かれており、しかも、意識的に耐震のことを考えたかどうかについても、あいまいである。極言すれば、弱いものは潰れ、強いものは潰れなかった、従って木造建築も強く造れば潰れないはずだ、と言っているにすぎない。

五重塔が地震によって倒壊した記録がないことは、事実とされており、その理由はすでに耐震工学によって説明されているので<sup>25)</sup>、ここでは繰返さない。しかし、社寺などのしっかりしているはずの木造建築が倒壊した例は、枚挙にいとまがない。例えば、大正12年(1923)の関東地震において、鎌倉では、円覚寺舍利殿、建長寺仏殿、鶴岡八幡宮舞殿等をはじめとして、相当多数の伝統的木造建築が倒壊している<sup>26)</sup>。

伊東によるこのような日本の伝統的木造建築に対する不明確な評価は、彼が建築様式あるいは建築意匠を中心にして、日本の建築史学を創始し、建築構造あるいは耐震構造には縁が遠かったせいと、日本の歴史的建築に対して、否定的な評価を避けたい気持ちがあったためであろう。

その点、同じ本の各論である「第三編 防災並びに暖房及び衛生」を担当した大熊喜邦は、その「第一章 防災 第一節 耐震構造」において、次のような明快な記述をしている<sup>27)</sup>。

「我が国土は古来地震に襲われることしばしばであった。日本書紀に雄朝律間稚児宿禰天皇(允恭天皇)五年七月丙子朔、巳丑、地震(396年)とあるを史に見ゆるの初とし、爾後幾千幾百の震災は我が国に起り、堂社民屋のその災禍を蒙るものまた決して少なくはなかったが、転変地異は人力の能く抵抗し得ざるものとの観念に支配され、時に五重の塔の如き耐震強度の高き高層建築技術の発達し来りたるものありとするもの、地震に対して建

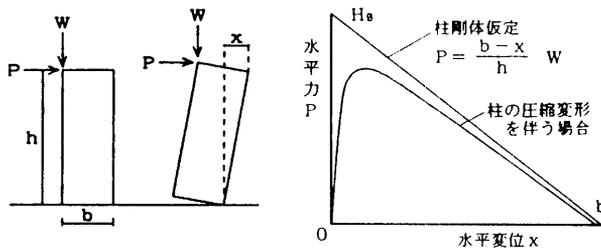


を拘束しろ、柱梁接点を剛とせよと唱ふるは、其特徴を消滅せんとするもので常識的迷論と云うの外ない。」そして、日本の伝統的木造建築の水平力に対する復元力は太い柱の転倒に伴うものであり、その力学的特性が免震の効果を発揮することを論じている。

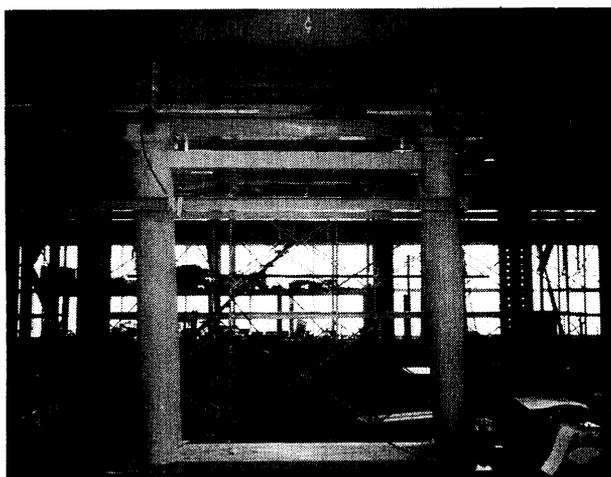
ほぼ同じ時期に、坂静雄は、京都帝国大学で建築構造学を講じるかたわら、伝統的木造建築の修理に際して、その構造上の問題に深く関わっている。そしてその耐震性を、現代構造学の方法によって解明することを手がけている。その成果のひとつが、真島が着目したのと同じ、図一5に示すような太い柱の転倒に伴う復元力の解析である<sup>214</sup>。静的な一方向加力に対するものではあるが、理論的解析としては、極めて優れたものである。

この坂による研究成果は、その後長い間埋もれたままであったが、近年、伝統的木造建築の再評価の動きの中で、河合直人により改めて取上げられ、図一6に示すような正負繰返し加力による実験が行われている<sup>215</sup>。

次に、鎌倉時代に採用された「貫」の現代的評価も、坂静雄によって試みられており<sup>216</sup>、また最近にも実験的検討が行われている<sup>217</sup>。この貫は構造学的には、柱との接合部において、半剛節モーメント抵抗接合を構成するものであり、貫を持つ架構は「貫構造」と呼ばれている。この貫構造については、大きな粘りがある反面、初期剛性に乏しく剛構造的な架構を前提としている現代木造には、いささかなじみにくい。



図一5 柱の転倒による復元力のモデル化 (坂静雄, 河合直人) 文献14) 15)



図一6 朱雀門の2/3大模型による実験

いわゆる「大黒柱構造」あるいは「差鴨居構造」と呼ばれているものは、横架材(差鴨居)が柱との接合部で細くなっており、かつ、柱を貫いて一本の材が通っているわけでもないが、原理的には、貫構造と同じである。この「大黒柱構造(差鴨居構造)」そのものは、日本の木造家屋が耐震性に乏しいことの、いわば、元凶であり、積極的な構造的検討は行われていない。しかし、この種の建物で既存のものに対して実大水平加力実験が行われており、全体としての耐震性は、おおむね把握されている<sup>218)19)</sup>。すなわち、最大耐力が震度で表現して、0.15-0.20程度である。また、後藤一雄によって、差鴨居を太い貫のように通した、いわば現代の大黒柱構造の開発的研究が行われている<sup>220)</sup>。

## 2.5 伝統的木造建築の耐震性に関する私見

ここで、先走りするようではあるが、伝統的木造建築の耐震性に関する筆者の見解を述べておく。

日本では、度々破壊的地震が起り、木造建築が倒壊をはじめとする様々な被害を受けてきたにもかかわらず、意識的に建物を耐震的にしようとする努力は、ほとんど行われなかった。それには、地震の発生頻度と木造建築の特性が関係していると思われる。

まず、日本のように地震が頻発するとは言っても、ひとつの地方に限れば、破壊的地震の再現期間は、河角広の69年周期説を引くまでもなく、およそ100年という単位であり、人の世代交代の期間よりはるかに長い。すなわち、地震に対する経験的知見の蓄積が困難であった。(この点、明治以降に導入された近代科学は、このような散発的な災害に対する継続的な研究を、制度的に保証している。)

次に木造建築は、煉瓦や石による建物と比較して、建物の倒壊による人身被害が少ない。また、倒壊に至るまでの中間的被害が多いが、建て起こしによる修復が容易である。従って、木造建築を耐震的にしようという強い動機に乏しい。

では、伝統的木造建築の耐震性はどの程度のものであろうか。ここで重要なことは、「耐震性」あるいは「構造」という概念が、決して伝統的なものではなく、あくまでも近代科学の一分野としての現代構造学概念であるということである。従って、伝統的木造建築の耐震性を検討するということは、現代的な意味の耐震設計がなされていないものを、まさにその現代的な耐震の考え方で評価するということであり、一見無理がある。

しかし、現代の建築構造学は、近代科学の一分野であり、対象の如何を問わず、それを分析することができる<sup>221)</sup>。このような観点を前提にして、先に述べたコンドルから河合や後藤に至る研究成果をみると、一口に言って伝統的木造建築は、それなりの耐震性は有しているも

の、現在の耐震性の要求性能からみれば（まさにこれが、現代的な評価なのであるが）、相当に低いと言わざるを得ない。

繰返すが、伝統的木造建築は、現代流に耐震設計されてはいない。それを現代的な分析の方法によって、耐震性だけを抜き出して評価することは、伝統的木造建築にとってふさわしいことではない。しかし、それ以外の評価方法で説得力のあるものは、まだ見あたらない。

## 2. 6 伝統的木造建築の地震被害に対する地盤の影響

最後に、地震の被害に対する地盤の影響に関して、明治維新以前にどのように考えられていたかについて触れておく。

地盤の良し悪しによって、木造の建物の地震被害に差のあることは、経験的には古くから知られていた可能性が高い。杜寺の多くや古い町並・集落が良い地盤に立地していることは、その証拠のひとつと言えよう。

文献的には、日本の地震被害記録の集大成である武者金吉の「日本地震史料」によれば<sup>22)</sup>、1703年の元禄地震、1707年の宝永地震の際に、地盤による被害の差、地震動の強さの違いがあったとの記録が残されている。また、1885年の安政地震に関しても、同史料には「江戸の市中の被害は、深川、本所、下谷、浅草を最とす、山の手は震害軽く」と記されており、当時の人々もこの違いに気がついていたはずである。

このような木造の建物の震害と地盤の良し悪しの関係は、明治以降現在まで常に指摘され続けていることであり、以下の各章でも繰返し言及することになる。

## 3. 明治以降の震害経験と耐震論の発展

### 3. 1 濃尾地震から家屋耐震構造まで

明治に入ってから地震として、耐震工学と深い関係のある最初の地震は、明治13年（1880）の通称横浜地震である。この地震に学問的興味を抱いたお雇い外国人ジョン・ミルンが、地震学の研究を始めたことは、よく知られている<sup>23)</sup>。しかし、建物の耐震性に関する研究が本格的に始められたのは、言うまでもなく、明治24年（1891）の濃尾地震がきっかけである。この地震の後、震災予防調査会が組織され、大正12年（1923）の関東大震災の後で、地震研究所として発展的に解消されるまで、地震・耐震研究の中核的組織であった。

木造建築の耐震性に関する研究や提案は、2章で述べたように、まずこの濃尾地震によって大きな被害を受けた伝統的構法の木造家屋に対する否定的な評価から始まった。

次いで、明治27年（1894）、山形県庄内地方に起こった地震でも、伝統的構法の木造家屋は同様な被害を受けた。

この地震被害を調査した中村達太郎は、「庄内震災地巡

廻報告」の結びの部分で「以上陳述したる條々を約言すれば今回の震災における被害の大原因は左の三件なりとす。第一地形の完全ならざること、第二枿穴を穿ち大に柱を弱めたること、第三屋根の重きこと」と述べている<sup>24)</sup>。本文中には、図-7に示すような、被害のスケッチを多数載せている。

同じくこの地震被害を調査した曾根達蔵は、「山形県下震害家屋取調報告」の結論において「一般家屋被害の原因を尋れば蓋し左の十項に帰すべし」として、次のように列記している<sup>25)</sup>。

- 「第一 軟和の土質なるに拘わらず極めて粗漏なる基礎
- 第二 足固めなき礎上の建柱
- 第三 無益の盛土
  - 右は山形県下一般建築の欠点
- 第四 不完全なる側石は畳瓦
- 第五 建物の大且高に拘わらず構造都て従来の日本風なること
  - 右は震災地洋風建築の欠点
- 第六 過重なる屋根
  - 右は我国一般社寺建築の欠点
- 第七 枿及枿孔
- 第八 梁類の継ぎ方
- 第九 柱と小屋の取付け方
- 第十 通ふし貫の柱固め
  - 右は従来の不完全なる構造」

このような被害を受けて、具体的な改良の提案が行われた。すなわち「筋かいと金物を用いること」という、架構の構法一より詳しく言えば、軸組と接合部の構成方法一を中心とした改良案であった。その例として、辰野金吾原案による総論「木造耐震家屋構造要項」をはじめ

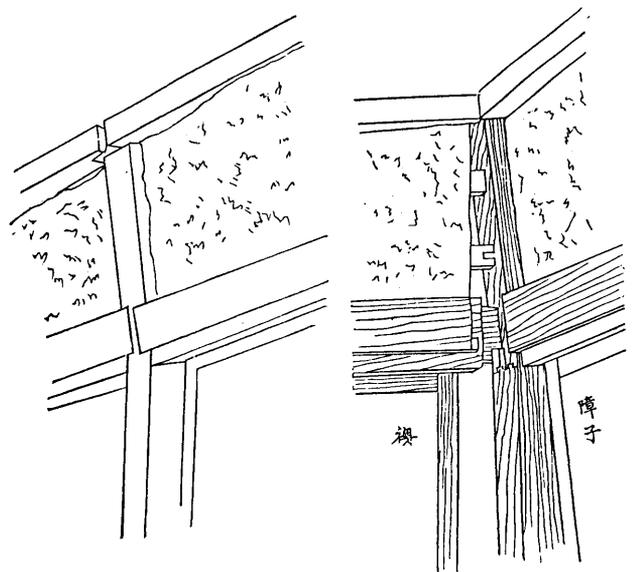


図-7 庄内地震による木造の被害の例  
(中村達太郎) 文献24)

として、曾根達藏(原案)「山形県下町屋一棟改良仕様」、中村達太郎(原案)「小学校改良木造仕様」および片山東熊(原案)「農家改良構造仕様」が出されている<sup>26, 27, 28, 29)</sup>。ただし、それらは必ずしもすぐに一般的に適用されるには、社会的・技術的状况が整っていなかった。

なおこの間、伊藤爲吉と瀧大吉は、それぞれの改良案と耐震論を活発に発表している<sup>30, 31)</sup>。それらの内容も上記の提案と同じ考え方にそっており、矛盾するものではない。

ただし、これらの提案においては、定量的にどの程度の耐震要素が必要か、より具体的には、構造計算などによって、どのような筋かいをどれだけどのように配置する必要があるかということは、まだ明らかではなかった。それは、建物に加わる地震力の大きさがわかっていなかった当時としては、やむを得ないことであった。

さて、このように、日本における耐震建築の研究は、震災予防調査会によって、世界にさきがけて始められた。そしてその最大の成果のひとつが、すでに紹介したように大正5年(1916)に震災予防調査会報告第83号として発表された佐野利器による「家屋耐震構造論」である<sup>29)</sup>。その中でよく知られているように、「震度」という考え方が示されており(第一章)、木造に対しても一章が充てられている(第六章)。

その第七章は「結論耐震構造要項」であり、その第六が「木造」となっている。ここには、16項目が挙げられているが、そのひとつは次のように述べている。

「61. 縦横架構材の接合は柄に依頼すべからず、材殊に柱を棄損せずして而して充分に密着せしめ固定的ならしむべし。其の最捷徑は鉄物殊にボルト(殊に筋違ボルト)の使用にあり、而して又架構面並びに架構間に於いては場合の許す限り筋違を用い三角形を構成して変形を防ぐべし。」

また、同じ「要項」の第二「建築地及び基礎」には、地盤の選択の重要性について、次のように述べている。

「1. 建築地の地質は硬きほど震度小にして又、不同沈下より起こる不測の災少なし、岩層砂利交じり粘土層、硬き粘土層、砂利層、等を優良なる地盤となすべく、水分なき砂地及び普通の粘土層等之に垂ぎ、水分多き砂地及び泥地又は埋立地の如きは望ましからざるものなり。」

ところで、この「家屋耐震構造論」においても、木造の耐震要素(筋かい)に関する定量的な規定はない。しかし、設計震度の考え方が与えられたということは、耐震計算の手がかりができたということであり、特別な建物に対しては、それが可能になった。

さて、関東地震の前年の大正11年(1922)に、東京地方でひとつの地震が起こっている。この地震は関東地震の陰に隠れているが、耐震工学上は重要な地震のひとつである。この地震の被害調査を行った内藤多仲らは、そ

の報告の中の「木造建築物」のところで、次のように述べている<sup>32)</sup>。「木造建物においては、壁の部分に亀裂を生ぜしものは、その数極めて多く、殆ど無数なれども、特殊の状況にありしもの外、大碎せしものなし。木構造による建物にして階数一または二にして、接手仕口に相当考慮し適当なる筋違を有するものにして、余り大なる張間を有する室なきものは、比較的耐震的にして、(以下略)。」

このことは、濃尾地震以後の耐震研究の進歩と、限られているとはいえ耐震建築の普及が、十分に意義のあるものであったことを実証している。

### 3. 2 関東地震とその教訓

大正12年(1923)に起こった関東地震は、建物や土木構造物の破壊だけでなく、その直後に発生した大規模な火災によって、関東大震災と呼ばれる大災害を引き起こした。

この関東地震による被害について、北澤五郎は特に木造に関する報告の中で、次のように述べている<sup>33)</sup>。

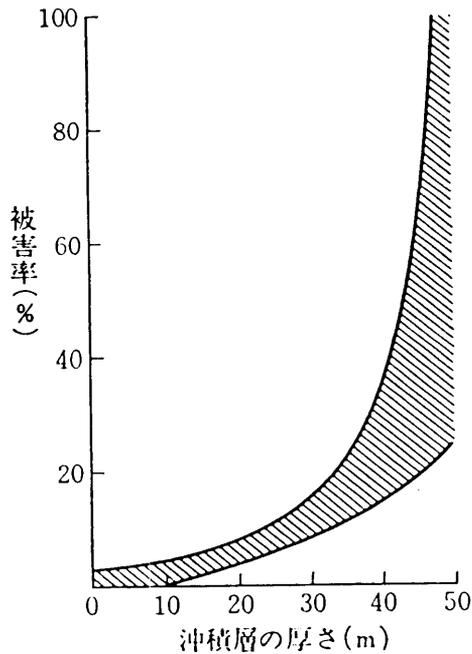
「佐野博士によれば、

- (1) 水分多き砂地および泥地または埋立地、
- (2) 硬軟地層の接触する所および崖地の上、は震度大にして被害多しとせられたり。また
- (3) 谷の如き場所においては地震波は屈折し、反射し、また干渉して甚だ複雑なる、または大なる波動を生ずるとはこの道専門家の称するところなり。いまこれを山の手の集团的被害地の地質と照らし考ふるに、皆右の条件を具備せざるはなく、さらに右のほか谷合なるが故に、
- (4) 概して土地湿潤なること、
- (5) 人為的に貧弱なる建物多きこと、
- (6) 前二項の結果として建物の土台、柱脚等の腐朽を来せるもの多きこと、の地勢上、地質上の必然的結果がこれに加わりて、ここに集团的被害を形成せしものと見ることを得。

(中略)

下町方面につきて被害分布と地勢の関係は、主として土地の軟硬に依るものなるべし。例えば浅草公園の南部、日本橋付近の如く土地硬き処は被害少なく本所深川の如き土質軟弱なる処は被害多し。下町の如く広潤なる平地において、被害の分布に粗密の相違あるは局部的地質の相違および家屋構造の差異は大いにこれが原因なるべしと雖も、また一面において表面にある沖積層の厚さがその原因の一つたる如き感あり。」

このように、地盤の硬軟により木造家屋の地震被害に大きな違いがあることは、すでに紹介したとおりではあるが、この関東地震による広範な調査によって、極めて



図一八 関東地震における沖積層の厚さと木造建築の被害率  
(大崎順彦 文献35)

明確に実証された。(土蔵の被害の状況が、木造家屋(一般の住宅)と異なることも、この地震の被害によって明らかになったが、ここでは触れない。)

さらに、沖積層の厚さと木造家屋の被害率の関係が、河角広によって調べられた<sup>34)</sup>。なお、大崎順彦は改めて調査結果を吟味し、図一八に示すようなグラフを示している<sup>35)</sup>。

こうして、いわゆる軟弱地盤において木造家屋の地震被害が大きいことは、学会の定説になったが、この北澤の報告では、まだ地盤の液状化あるいはそれを推定させる現象に関する言及はなく、従って、木造家屋の被害原因として挙げられていない。

北澤五郎の報告に戻ると、次に「被害の概説」として、「被害程度の軽きものよりその状態を連記すれば」として

「(1) 屋根瓦の脱落

(2) 軸部に変動または損傷なく塗壁または漆喰天井に亀裂を生じまたは剥落せるもの。土蔵造の塗壁の剥落。木骨煉瓦造の煉瓦積の亀裂または崩壊。

(3) 軸部に変動を生じ、梁、胴差、土台、鴨居または長押等の横架材と柱との接合に弛みまたは歪みを生じ為に傾斜せるもの、二階屋にありては階下傾き階上の傾かざるもの多く、階上のみ傾くもの、階上階下共に傾くもの、この際筋違の折るものあり。

(4) 軸部(特に柱)に損傷を蒙り前記の横架材(特に梁)と柱との接合点(梁と柱との仕口)に

において柱が挫折または柄が抜け出したために大いに傾斜せるもの。

(5) 大傾斜しつつ建物全体の移動せるもの、またはなおそのうえ基礎土台の地中にめり込めるもの、または小堂または小社殿にして軽倒せるもの。

(6) 軸部に大損傷を受け、各横架材との接合点において柱挫折し、倒壊せるもの。二階屋にありては階下潰れ階上は被害少なく地上に立つもの、または階下を残して階上の倒壊するもの、階上階下共につぶれしもの。」

を挙げた後、次のように被害原因を推定している。

「次にこの被害の状態より推し、主として被害の原因または誘因をなせりと思わるものを挙げこれを区分するときは概ね左の四種に分ち得べし。

(1) 地盤 (イ) 軟地盤のため (ロ) 盛土のため (ハ) 崖地のため

(2) 腐朽 (イ) 土台柱脚の腐朽のため (ロ) 柱と横架材との取合の腐朽または弛緩せるため

(3) 構造の不備 (イ) 地形および基礎の不備 (ロ) 柱細くかつその数少なきもの間仕切少なきもの (ハ) 屋根の過重なるもの (ニ) 軸部接合箇所施工その他の手法不備のもの (ホ) 防火壁類の崩壊によるもの

(4) 使用上の不注意活荷重の過大]

この後、それぞれの原因について解説しているが、そのうち(3)の(ニ)については、次のように述べている。

「軸部の接合の施工およびその他の手法の不備と断ずべきはその例甚だ多し、被害建物中八九を越ゆべきか、太神楽造筋違なきものもまたこの部類なり。平屋建にありては柱と土台、柱と梁との仕口の抜け出せるもの多し。

二階建にありて柱と梁との接合点に於いて柱の挫折せるもの多く、主として筋梁の仕口を中心にして挫折す。長押は柱当たりにて横に裂けたるもの多く、筋違あるものは筋違折れて建物はそのままなる例を見たり、筋違が建物の傾斜または倒壊を救いたるものなるべし。これを要するに仕口において各材を欠き取るが為に帰さざるべからず。」

このような、関東地震による木造家屋の被害の実態は、明治以来研究が積み重ねられ、佐野によって集大成された耐震設計の考え方が、基本的に正しかったことを実証した。

このような状況を受けて、大正12年の関東地震の翌年に改正された市街地建築物法において、「第55条 適当に筋違いまたは方丈を設くべし」という定性的な規定が入れられた。

### 3. 3 耐力壁と壁量計算

このように、木造建築に対しても、耐震設計は取入れられていったが、一般の大多数の木造建築、すなわち戸建て住宅にまでは及ばなかった。その普及のためには木造住宅に使われる耐力壁の研究が必要であった。

その成果のひとつは、田辺平学らによるもので、筋かいなどの入った壁、すなわち代表的な何種類かの耐力壁について実験を行い<sup>36,37)</sup>、それに基づいて実用応力分布係数を提案するとともに<sup>38)</sup>、「建築物耐震構造要項」の「木構造」の中で、表一のような強度の比率と剛性の比率を示している<sup>39)</sup>。

これに先立つ時期の剛柔論争には、先に述べたように、社寺建築もその対象になったが、一般の木造家屋もまた巻き込まれている。昭和5年の北伊豆地震(1930)をきっかけとして書かれた「耐震建築問答」において、土台と基礎を緊結していなかった住宅のほうの被害「むしろ少なかつたことについて、田辺平学はその免震効果を半ば認めている<sup>40)</sup>。

さて戦後、昭和23年(1948)に起こった福井地震について、その被害調査を行った久田俊彦は、木造建物で倒壊したものとそうでないものには、壁率に差のあることを見いだした<sup>41)</sup>。そしてその成果は、横尾義貫による単位長さあたりの壁の水平耐力を用いた耐震計算法の提案<sup>42)</sup>を併せて参考にし、さらになにがしかの行政的配慮が加えられて、昭和25年に市街地建築物法が衣替えした建築基準法のその施行令に、取入れられている。いわゆる「壁量計算」の方法である。この方法は、数値は改正

されているが、現在も生きている。

この壁量計算の現行の方法においては、許容耐力を一定の層間変形角(当時は1/60)に対して決めているので、強度と剛性が、田辺らの提案と違い、等価(強度と剛性が比例関係にある)に扱われている。

この壁量計算の方法は、力学的な概念や単位(モーメントやキログラム)を使うことなく、ある程度の耐震性を確保することができるという点で、極めて優れた方法と言える。事実、この法律の施行と住宅金融公庫の融資にからむ仕様書の普及によって、日本における木造住宅の耐震性が飛躍的に高まったのは、疑いのないところである。

壁量計算による耐震設計においては、次の式が成り立つように、耐力壁の種類と量(長さ)を決める。

$$\beta A \leq \Sigma \alpha l$$

ここで

$\beta$  : 所要壁率

$A$  : 床面積

$\alpha$  : 耐力壁の倍率

$l$  : 耐力壁の実長

建築基準法施行令当初の耐力壁の倍率と所要壁率は、それぞれ表一、表二の各欄の左側の数値のようになっている。久田は前後して、耐力壁に鉛直荷重を載荷して水平交番加力実験を行い、その耐力を再検討するとともに<sup>43)</sup>、この壁率の値が過小であることを認め、改めてそれらの値を提案している<sup>44)</sup>。施行令はそれを参考に、昭和34年(1959)に改正された。なお、昭和46年(1971)になって、耐風設計用の壁率が、新たに決められている。

昭和55年(1980)(施行は56年)のいわゆる新耐震設計法(以下新耐震という)の成立に際して、この壁倍率と所要壁率は、全面的に見直されて、それぞれ表一、表二の各欄の右側の数値のようになり、現在に至っている。

この改正にあたって、所要壁率を決めるときに、設計用地震力として、新耐震の値をとったのはもちろんであるが、固定荷重と積載荷重の値もそれまでの過小評価を改め実状に近くとっている。そして、壁倍率を決めると

表一 木構造骨組の種類と剛さ・強さの比  
(田辺平学) 文献39)

木構造骨組の種類		剛さの比	強さの比	
1	無	柱、梁接合部柄差又はボルト締の類	0	0.5
2		方杖附骨組の類	1	1
3		同上(合せ柱使用)	5	2.5
4	壁	筋違附骨組の類 (柱二ツ割程度の筋違)	1.5	4.5
5		筋違なき骨組 (大貫四枚使用)	5	1.5
6	真壁	大貫筋違の場合	1.5	3
7		柱二ツ割或は鉄棒筋違の場合	2.0	4.5
8		筋違なき骨組 (水平木摺打)	5	1.5
9	大壁	筋違なき骨組 (斜木摺打)	1.5	3.5
10		筋違附骨組の類 (柱二ツ割以上の筋違)	3.0	1.0

表二 耐力壁の倍率

	施行令当初(1950)	新耐震(1981)
真壁(土塗壁)	0.5	0.5
大壁(片面木摺)	0.5	0.5
大貫筋かい	1.0	1.0
柱三ツ割筋かい	2.0	1.5
柱二ツ割筋かい	3.0	2.0
構造用合板	-	2.0

表三 耐力壁の所要壁率 (cm/m<sup>2</sup>)

		重い屋根		軽い屋根	
		施行令当初	新耐震	施行令当初	新耐震
平屋		12	15	8	11
2階建	2階	12	21	8	15
	1階	16	33	12	29

きの層間変形角は、それまでの1/60の代わりに1/120を採用するなど、いくつかの点で見直しが行われた。ただし、これまでの「壁量計算」の延長上の改正であり、構造力学的なあいまいさは残ることになった。この点については、第5章で改めて検討したい。

### 3. 4 新潟地震から北海道南西沖地震まで

福井地震以後に大きな地震被害をもたらしたのは、昭和39年（1964）の新潟地震である。この地震の被害調査報告書では、木構造の部分の「木造建物の被害原因の分類」において<sup>文45)</sup>、「木造建物の被害を原因の面から大別すると、1. 地盤が軟弱であったために、地震動により地盤が割れ、陥没あるいは沈下などの現象を起し、そのため建物の基礎が不同沈下を起すか、あるいは基礎が破壊して上部構造の破壊を惹起したもの、2. 地盤が滑り動いて建物の一部または全体が滑動したもの、3. 上記のような地盤条件の障害は比較的顕著でなかったが、上部構造が地震のため所謂振動破損したもの、4. 上記のうち二つまたは全部が同時に原因として存在したもの、という四つに分けられる。今回の震害においては、1と2の原因が多いことと、1と2による被害の程度が大きかったことが特徴である。」と述べられている。

木造に関しては、振動的被害よりも地盤による被害が大きいことを指摘しているが、この新潟地震で初めて注目を集めた液状化現象という言葉そのものは、まだ使われておらず、地盤の破壊が液状化によるものかどうかは、明らかではない。しかし、常識的に考えて、地盤の破壊の中に少なからず液状化によるものがあることは、確かであろう。

次に、新耐震の直接のきっかけになった昭和43年の1968十勝沖地震の被害調査報告書では、木造建築の被害の特徴として、次の諸点が挙げられている<sup>文46)</sup>。

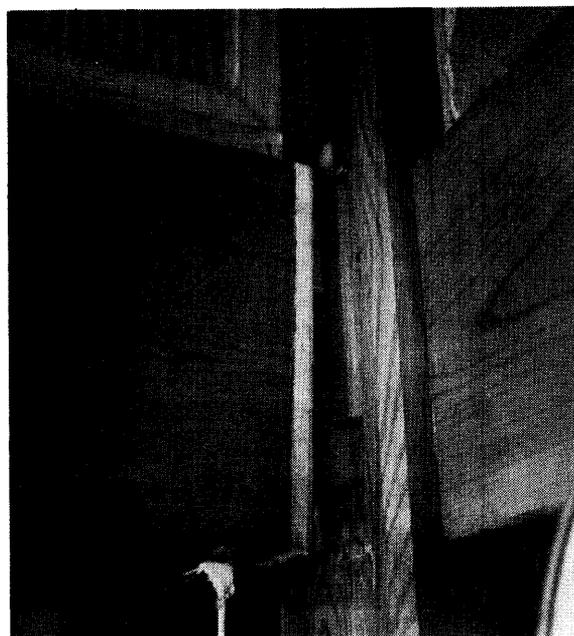
「1. 学校施設を除く一般木造建物では大きな被害をうけたものはほとんどが泥炭地や埋立地等の軟弱地盤上にある。被害建物の中には簡単な東石地業、あるいは無筋ブロック積みのものがかなり多く、地業が不完全であることが被害を大きくしている。2. 上記の他、傾斜地に造成した宅地の崩壊、崖崩れ、落石等による被害が認められる。3. 商店では店舗前面の水平剛性の不足による変形及びショーウインドーガラスの破損等の被害が多い。4. 非住家の被害のほとんどが農家の納屋又は畜舎で、これらの多くは老朽しているか、あるいは耐震的考慮のはらわれていないものである。5. 学校施設には全壊したものは1棟もないが、校舎全体にかなりの変形を生じたものが若干見られる。」

この木造の被害のすべては、目新しいものではなく、この地震における鉄筋コンクリート造の被害の状況と対照的である。

昭和53年の1978宮城県沖地震の被害調査報告書では、その「木造建物の被害」のところで<sup>文47)</sup>、「木造も樂觀できない」として、「今回の被害を見て、木造は地震に強いという近來の樂觀は見直さなければならないことを痛感する」と述べており、やや具体的には、「構造法としては、普通の軸組方式による現代住宅も、伝統的な農家もその構造が不適当なものは差別なく損壊しており、老朽した建物に被害の多いことはいうまでもない。」としている。また、「建物被害の様相を部位別にながめると、これは従来の地震後に何度も指摘されたことがらが多く、教科書どおりに壊れているといっても過言ではない。」と述べている。事実図一9に示すように、先に図一7に示した明治時代の被害とまったく同一の様相が見られる。地盤に関しては項目を改めて、「宮城県沖地震による被害は一面地盤災害ともいえるほど徹底的に地盤の良否に支配された。」としている。

なお、この地震では、液状化による木造の被害も確認されており、同じ報告書の「地盤」の部分には、次のような記述がある。「基礎の浅い木造などの比較的軽い建物では、基礎が浅いために、足元が不安定となり不同沈下による傾斜や水平ねじれが生じやすく、それが進行して倒壊に至っている例もある。」

昭和58年（1983）の日本海中部地震による木造建築の被害は、その被害調査報告書<sup>文48)</sup>において、「今回の地震による木構造の被害は、地盤の破壊に伴うものがほとんどすべてであったといっても過言ではないことである。前記の被害地点のほとんどは、砂丘や湖沼が、連続あるいは点在するところである。そして、そのようなところで



図一9 宮城県沖地震による木造の被害の例  
(飯塚五郎蔵) 文献12)  
(図一7の右側と酷似していることに注目)

砂の液状化が生じたことが、直接的には噴砂口の存在によって確認され、また間接的には、地形や表層地盤の破壊状態から推定されている。」と述べられており、液状化をはっきりと被害の原因に挙げている。

平成5年(1993)の釧路沖地震における木造建築の被害は、崖の崩壊に伴うものが目立ったが、平坦な所でも、商店などで前面が全開口になっているものには、完全に倒壊したものが数棟ある<sup>文49)</sup>。

同年の北海道南西沖地震における木造建築の被害は、津波によるものを除くと、地震の大きさのわりには少ないが、振動的被害がほとんどなかった反面、地盤の液状化による被害は、広い範囲にわたって見られた<sup>文50)</sup>。

以上のような、各地震ごとの被害の様相を見てくると、大きくは、振動的被害が減少し、代わって液状化による被害が主になる傾向が見られる。しかしそれと同時に、液状化しなくても軟弱地盤での被害は跡をたたく、また、傾斜地や造成地での被害も相変わらず起きている。建物本体としては、耐力壁の不足や配置の不可(一面全開口による偏心)、基礎の不備による被害、外壁モルタルや屋根瓦の剥落または落下も、引き続いて生じているし、また、老朽による被害も少なくない。これらは、まさにこれからの木造建築の、従って、木造住宅の耐震上の課題である。

### 3. 5 木造耐震要項

木造建築あるいは木造住宅をいかに造れば耐震的にできるかというその方法をまとめたもの、すなわち、木造耐震要項と総称しうるものは、様々な機会に提示されている。それらのすべては、地震被害の教訓を生かし、かつ、耐震研究の成果を盛り込んだものである。

本稿は「住宅の自然災害の危険性とその軽減の方策」という共通テーマのもとに、地震を対象として書いたものであるが、「その軽減の方策」の具体的内容は、これらの木造耐震要項にはほぼ尽くされている。専門家向けから一般の人を対象とした啓蒙的なものまで精粗様々であるが、以下に主要なものを列記しておく。

#### (1) 専門家向け

「木造耐震家屋構造要項」(辰野金吾原案)震災予防調査会(1985)<sup>文26)</sup>

「家屋新築及び修理に関する耐震構造上の注意書」文部省震災予防評議会(1930, 1939改訂)<sup>文51)</sup>

「建築物耐震構造要項」のうち「木構造」日本学術振興会(1941)<sup>文52)</sup>

「復興建築の建方」(日本建築学会作製)建設省建築局

(「北陸震災復旧技術指導の手引き」のうち

「§1 木造建物の耐震構造法」北陸震災調査特別委員会(1951)文献53)に再録)

「耐震建築構造要項」のうち「4. 木構造」(相川新一・杉山英男担当)日本建築学会(1966)<sup>文54)</sup>(文献52)を発展させたもの)

#### (2) 一般啓蒙用

「わが家の耐震・半壊家屋応急修理法」日本建築学会・震災予防協会(1959, 1979, 1988, 改訂)<sup>文55)</sup>

「地震にそなえて 一わが家の耐震知識」日本建築防災協会・日本建築士会連合会(1979, 1985改訂)<sup>文56)</sup>

#### (3) 研究者が個人でまとめたもの

佐野利器「家屋耐震構造論」のうち「第7章 結論耐震構造要項, 第6 木造」(1989)<sup>文9)</sup>

田辺平学「耐震構造問答」のうち「付録A. 耐震建築の要項(木造関連部分)」(1933)<sup>文40)</sup>

## 4. 木造住宅の構法の変化

### 4. 1 戦前の木造住宅

木造建築は、歴史的に見ても世界的に見ても、極めて多様である。ここでは主に、現在の木造住宅の成り立ちに関係の深い構法について、明治以降の変化を見てゆくことにする。

現在の木造住宅は、江戸時代の武士や庶民の住宅から変化してきたものと思われるが、身分制度があり貧富の差も大きかった江戸時代と、国民の大部分が中流意識を持つ現在とでは、人々の生活程度のばらつきに大きな違いがあると思われる。従って、住宅の歴史を考える場合にも、どの階層のものをとるかによって、変化の見方に違いが出てくるおそれがある。少なくとも現在文化財に指定されているような民家を、江戸時代の典型的な庶民住宅とみなすわけにはゆかない。江戸には「焼屋」と呼ばれる粗末な庶民住宅が、多数あったといわれている<sup>文57)</sup>。また、江戸の街の住宅は「町屋」と呼ばれるものであり、田舎のそれは「農家」であったが、いわゆるサラリーマン化した現在では、新しい住宅の大半が武士の住宅の流れをくむ住居専用の建物となっている。

明治以降の地震による大きな被害を受けた木造住宅は、その被災地域から考えて、濃尾地震では主に農家、関東地震では主に町屋であったと言える。その農家のほうは、昔ながらの構法に近いものが、戦後間もなくまでは多数あり、現在でも田舎に行けば散見することができる。しかし、その構法が現在の木造住宅の構法に、直接つながっているとは考えにくい。例えば農家に多い大黒柱構法あるいは差鴨居構法と呼ばれる軸組や、同じく「さす」による小屋組は、現在の木造住宅には取入れられていない。

一方、旧来の武士の住宅や町屋のほうは、都市の発展に伴って建替えが進み、特に東京では関東大震災や戦災

によって古いものが失われてしまった。しかし、比較的細い木材によって軸組を構成し、和小屋を載せ、外壁は土塗りに下見板張りで、屋根は瓦葺きという構法的特長は、昭和30年頃までの木造住宅に引き継がれている。

そこで、このような武士の住宅の流れをくむものや町屋から現在の木造住宅への変化を調べてみる。

都市における建物としては、木造以外に官庁、学校、病院、事務所などのものがあるが、明治初期にはほとんどすべて木造であった。そして、西欧の科学技術のひとつである建築技術もまずこれらの建物に適用された。最初は外観だけを真似る「擬洋風」であったが、やがて軸組にも本格的な洋風構造が取入れられるようになった。杉山英男はこれを「エリートの木造」と呼んでいる<sup>58)</sup>。これに対して、日本在来の木造構法のほうは、「大工の木造」と呼んでいる。

このエリートの木造は、第3章で述べた、耐震的観点からの改良案と基本的には軌を一にするもので、筋かいを持ち接合部を金物で固めるという構法である。屋根には洋小屋を載せる。この構法は、一般の庶民住宅である大工の木造に多少の影響を及ぼしたものの、本格的に取入れられるのには、戦後の建築基準法を待たなくてはならなかった。

## 4. 2 戦後の木造住宅の変化

戦後になって、それまでの市街地建築物法に代わって、昭和25年(1950)に建築基準法が制定され、同じ年に住宅金融公庫の融資が始まった。

そこで戦後の構法の変化としてまず第一に挙げられるのは、建築基準法の徹底と住宅金融公庫の仕様書の普及によるものである。それらによって、以下のような構法的变化があったことは、確かである。

- (1) 積み石や玉石などの一体でない基礎が、コンクリートによる一体の布基礎に変わったこと。
- (2) 柱と横架材(差鴨居・貫)のみの軸組から、斜材である筋かいの入った軸組に変わったこと。
- (3) 枘差<sup>はぎさし</sup>などの伝統的な仕口による接合部から金物で補強された接合部に変わったこと。

このような法規と金融による構法の変化とともに、次のような変化が認められる<sup>59)</sup>。

そのひとつは、材料・施工法の変化で、これには工業化の進展や大工などの職人の質・量両面にわたる衰退が背景にある。

- (1) 湿式構法(土塗壁)から乾式構法(各種ボード等面材張りの壁)への変化
- (2) 葺き土のある瓦屋根・茅葺き<sup>かや</sup>屋根から、引っ掛け<sup>かや</sup>瓦・カラーベスト・金属板葺きの屋根への変化

もうひとつは、生活様式・住宅観の変化に伴う変化で、

これには特に生活の洋風化が強く影響している。

- (1) 外壁・間仕切りの少ない開放的な間取りから、個室の多い、従って壁の多い間取りへの変化。
- (2) 和室で真壁から洋室で大壁への変化。

以上のような大きく分けて3つの変化は、最初の法規・金融の変化だけでなく、後の2つも、木造住宅の耐震性に大きく影響しているのであるが、そのことは改めて第5章で述べることにしたい。

さて、ここまでは在来軸組構法の話であったが、木造住宅の構法を論じる際には、いまや、木質系プレファブ構法とツーバイフォー構法を抜きにするわけにはいかない<sup>58)</sup>。木質系プレファブ構法は、ミサワホームにより開発され、昭和37年(1962)に発売された。合板を枠材に接着したパネルを主要な構造要素とするものであり、耐震上はその接着パネルが耐力壁を構成する壁式構造である。他社のものも含め、個々の型式ごとに建築基準法第38条の規定により、建設大臣の特認の対象となっている。

ツーバイフォー構法は、昭和40年代の初めに北米から導入されたもので、北米では wood frame construction または light framing と呼ばれている、ごく一般的な木造住宅の構法である。昭和49年(1974)に枠組壁工法という名称で建設省告示が出されて一般化された。耐震上は枠組に合板を釘打ちした壁や耐力壁となる壁式構法である。

これらの2つの構法は、新しい構法であったので、耐震設計上も新たな検討がなされることになり、在来構法の耐震設計に対する研究に代わって、精力的な研究がなされた。これらの耐震設計法は基本的には、在来軸組構法の手法が踏襲されたが、それについては第5章で述べる。

## 5. 木造住宅耐震論の現在

### 5. 1 プレファブとツーバイフォーの耐力評価

昭和30年代の中頃に境に、木造建築で規模の大きいものはほとんど建てられなくなり、木造と言えば住宅に限られるようになってしまった。このことは、極めて重要なことではあるが、本論の範囲を外れるので、ここではその事実を認めるだけにして、話を進める。

この時期以降の木造住宅に関する大きな出来事は、第4章で述べたように、それまでのいわゆる在来軸組構法のほかに、木質系プレファブ構法とツーバイフォー構法が現われたことである。

これらの構法は新しいものであり、その耐震安全性についても、当然検討を加える必要があった。ただし、木質系プレファブ構法もツーバイフォー構法も、構造的には在来軸組構法と同じ耐力壁構造であるので、耐震設計は壁量計算によることになった。

従って、まず木質系プレファブ構法のそれぞれの耐力

壁に対して、壁倍率が与えられることになったが、その決定方法は、当然、建築基準法施行令における壁倍率のそれに準じた方法が採用された。すなわち、ある一定の層間変形角に対して抵抗力を求め、その値をもとに壁倍率を算出する方法である。

ただし、木質系プレファブ構法の耐力壁は、合板を枠材に接着したもので剛性が高いので、壁倍率を求めるための層間変形角としては、例えば1/200といった在来軸組構法よりも小さな値が採用されている。それと併せて、許容耐力から最大耐力までの余力と変形性能（粘り）とを確保するために、2つの条件を加えている<sup>560</sup>。すなわち、許容耐力は最大耐力の1/m（mは例えば1.5）以下でかつ、層間変形角としては、1/h（hは例えば200）と最大耐力時の変形角の1/n（nは例えば2）の小さいほうの値をとる。結果的には、これら3個の条件を満たすように壁倍率が決められる。この方法は、建物の強さと粘りを確保することができるという点で非常に優れたものである。

次に、ツーバイフォー構法が導入されたが、これは北米育ちの構法であり、そこではすでに耐力壁としての研究が十分になされており、仕様ごとの許容耐力が与えられていた。しかし日本では、導入当初は行政的には木質系プレファブ構法と同様に扱われたので、それにならって壁倍率による方法が採用された。

ただし、北米における耐力壁の許容耐力を求める試験の方法は、ASTMに基づいたタイロッド式であり、しかも許容耐力を求めるための変形角は、日本で採用しているような見掛けの層間変形角ではなく、真の剪断歪<sup>ひずみ</sup>による角度を採用している。

耐力壁が水平力を受けたとき、その両端脚部に働く引抜力は、別途応力計算によって求め、必要な接合金物をつけるという北米の設計法では、タイロッドによる試験方法は合理的である。

なお、木質系プレファブ構法とツーバイフォー構法の壁倍率を求める耐力壁の水平加力試験においては、この時期ほとんどが片押し繰返しであり、押し引き（両張り・正負）の繰返しではなかった。このことは、地震時のように建物が振動することを考えれば、不十分である。ただし、現在では押し引きの繰返しによる試験が行われている。

このような問題点を持ちながらも、木質系プレファブ構法とツーバイフォー構法は、在来軸組構法と比べて、現状では耐震性が高いと言ってもよいであろう。このことについては、宮城県沖地震の被害調査報告書の次の記述が、ひとつの説明を与えるであろう<sup>47</sup>。「木造プレハブ住宅は絶対数が少ないせいもあるが、その破壊は極めて少ないとみられ、この種の構造が厳しい構造審査を経て認定されていることを裏書きする。沖野に建設中の枠組

壁構法住宅（総2階建）の1階がつぶれて2-3の問題点が議論されているが、近くに建つ同構法の完成住宅は無事であり、この構造法もよく研究されて導入されているので原則的に問題はないようである。」

## 5. 2 耐力壁以外の効果

木造建築の耐震設計法の便法としての壁量計算も、昭和25年の建築基準法施行令において採用されたものであるが、3章で述べたように、数度の改正を経たのち、昭和56年のいわゆる新耐震設計法の施行の際に、現行のように見直しが行われた。

その詳しい内容については、「建物の保有耐力と変形性能（初版）」に説明されているのでそれによって要点だけを、紹介しておこう<sup>561</sup>。

まず、許容耐力を決めるための層間変形角として、1/120をとったのは、2つの理由がある。ひとつは、新耐震において変形制限の規定が設けられ、一般には1/200であるが、内外装材の変形追従性が高ければ、1/120としてよい、という規定に従ったためである。もっとも、木造建築物（木造住宅）の内外装材が、他の建築物の内外装材よりも追従性が高いという保証はない。

もうひとつは、木造の耐力壁の荷重-変形関係の実験結果の工学的判断によるものである。すなわち、筋かいを代表とする耐力壁の実験において、変形角1/120程度では、弾性的な挙動を示し、かつそこから最大耐力に至るまでに、1.5倍以上の抵抗力の上昇があり、それに伴って十分な変形性能を示す。倒壊に至るのは、変形角が1/10を超えてからである。もちろん、このことは、おおよそみえみえであるが、現在の日本の木質構造の研究者の、おおむねの共通理解と言ってよいだろう。

次に、非常に重要なことは、壁率の算出において、耐力壁の負担すべき地震力を設計地震力の2/3としていることである。このような扱いは、新耐震以前からなされており、「木構造計算規準」の「解説」において、その説明がなされている<sup>562</sup>。ただし、このときの耐力壁以外の負担の割合は、20%としている。そこで当然、この残りの地震力は何によって負担されているか、が問題になる。これについて、上記規準の解説には、「小壁などの抵抗力を20%考慮して」と書かれており、小壁、すなわち垂壁や腰壁の効果に期待している。しかし、これらは単独では水平力を負担できないから、これらが本来の耐力壁と一体となり、いわゆるラーメン効果を発揮して建物全体としての耐力を向上させているとみなしていると解釈できる。しかしこのことは、定量的な根拠があるものではないので、耐力壁以外の効果として、仕上材等の効果も含まれるのではないかという疑問が残る。

### 5.3 木造住宅の剛強化と耐震性の向上

近年の地震による木造住宅の被害は、図-10に示すように、年代的にだんだん減少してきており<sup>文63)</sup>、しかも、地盤の破壊特に液状化によるものが目立ち、振動的被害は非常に少なくなっているように見える。その理由としては、関東地震のように、大都市のごく近くで大きな地震が起っていないことや、福井地震のように、いわゆる直下型の地震による非常に強い地震動が生じていないこともあるが、それにしても振動的被害が少ないと言える。

これらの理由は地震側のものなので、では、木造住宅の振動的被害が少なくなっていること、つまり、木造住宅が強くなっていることの、建物側の理由としては、どんなものが考えられるだろうか。その理由は、すでに4章で挙げた構法の変化そのものと対応している。

まず第一に建築基準法と住宅金融公庫の仕様書の効果である。このような、法規と金融による効果は、最も端的には、先に3章で述べた壁量に現われているはずである。ところが、それに関して、やや古いが図-11のような調査結果がある<sup>文64)</sup>。この図によると、法定の壁量は必ずしも完全には守られてはおらず、地震による被害を受けてもおかしくないものが、相当数あることになる。

従って、木造住宅が耐震的になっている理由は法規と金融による効果だけではなく、別のところにもあると考えざるを得ない。すなわち、耐震設計とは直接関係のない点で、結果的に耐震的になっていることになる。それらの理由として、すでに挙げた次の2点が考えられる。ひとつは、材料・施工法の変化に伴う構法の変化であり、もうひとつは、生活様式・住宅観の変化に伴う間取り・構法の変化である。

以上のような変化を耐震的な観点から、一言で表わせば、木造住宅が総じて剛強になったということになる。そのことの具体的な証拠として、図-12に示すように実質的な壁長が十分にあることや<sup>文65)</sup>、図-13に示すように木造住宅の固有周期の短周期化が挙げられる<sup>文66)</sup>。また、

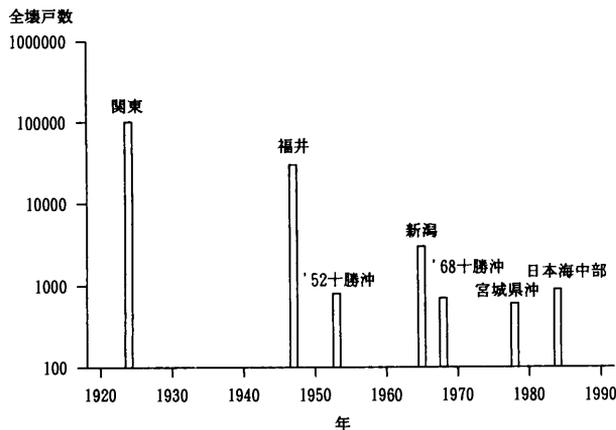


図-10 過去の地震と全壊戸数 (福田昌也) 文献63)

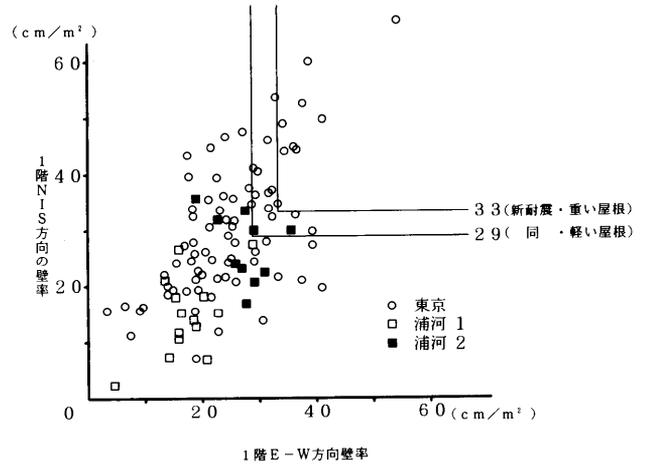


図-11 耐力壁量の実態 (坂本功ほか) 文献64)

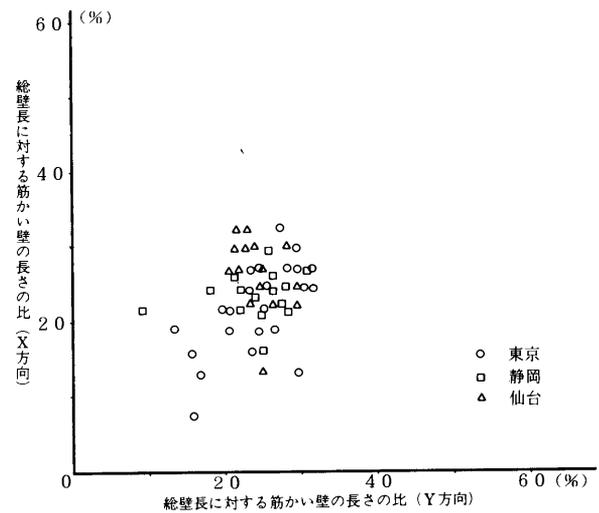


図-12 壁の総量の実態 (坂本功ほか) 文献65)

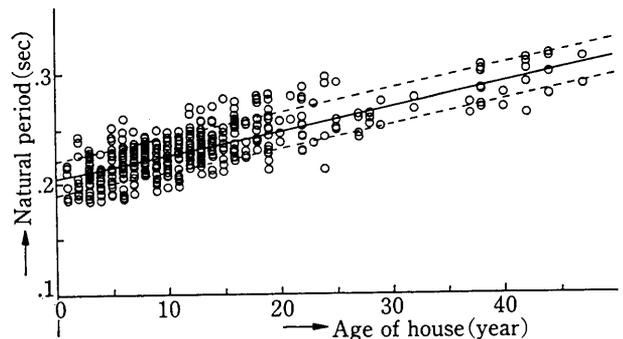
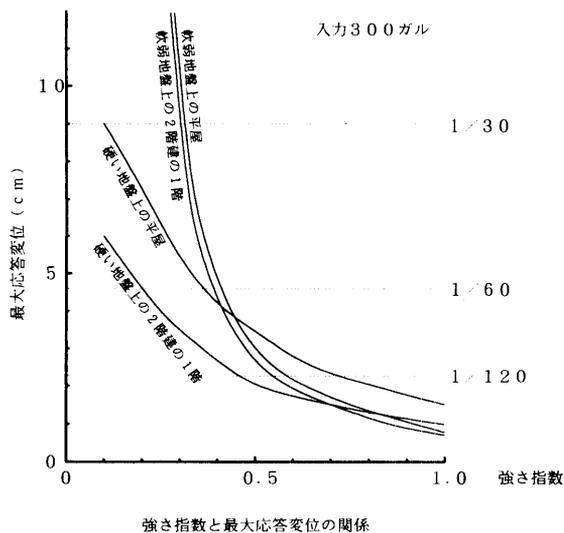


図-13 木造住宅の固有周期の変化 (山辺克好) 文献66) (老朽化の影響もあると思われるが、剛強化の効果を表していると考えられる)

ごく平均的な木造住宅を想定して造った実大実験において、実際の耐力が本来の耐力壁だけの耐力に対して、約4倍もあったということも、このことを裏づけている<sup>文67)</sup>。

このような木造住宅の剛強化が、確かに木造住宅の耐震性を向上させることは、図-14に示す剛強さの程度(強度指数)と最大応答変位の関係からも明らかである<sup>文68)</sup>。

それではこのような、実態としての剛強化が存在する



図一14 木造住宅の剛強さと地震による最大応答変位の関係 (坂本功) 文献68)

とすれば、それに応じた耐震性の評価がなされるべきである。設計段階での評価にそのまま導入するには問題があるにしても、既存の建物の耐震診断には有効である。日本建築防災協会版の「木造住宅の耐震精度診断と補強方法」はそのような試みのひとつである<sup>文69)</sup>。

#### 5. 4 3階建てと壁倍率の読み替え

昭和50年代の終わり頃から、木造建築に対する見直しの気運が広がり、住宅を超える規模の木造建築が復活してきた。その理由についてはここでは触れないが、その動きの中で、昭和62年に建築基準法とその施行令の改正が行われ、そのひとつとして、準防火地域に木造の3階建てが建てられることになった。

それまででも、防火の指定のない所では、木造3階建てでも可能であったが、この改正により、需要が増える見込みになったので、法律で要求されている構造計算をどうすればよいかという問題が出てきた。もちろん、現在の高度に発達した構造計算技術をもってすれば、可能であることには違いないが、ある程度実務的な方法が望ましい。殊に、木造住宅の構造は Non-Engineered Structure の流れをくむものだけに、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と比べて、むしろ複雑でモデル化しにくいと言える。

そこで、これまで用いてきた「壁倍率」を読み替えて、許容耐力の値とみなすという便法が考えられた<sup>文70)</sup>。壁量計算における壁倍率は、壁長さ1mに対して130kgの抵抗力を持つ場合(大貫筋かいに相当)に1.0倍と定義したものである。従って単純に言えば、1.0倍=130kg/mと換算できる。

しかし、これも先に述べたように、耐力壁が負担するのは設計地震力の2/3であるとされているので、残りの地震力がなんらかの要素により負担されることが期待でき

るとして、耐力壁は上記の値に対して、2/3の逆数、すなわち1.5倍の許容耐力を持つと考えることができる。従って、

$$1.0 \text{倍(壁倍率)} = 130 \text{kg/m} \times 1.5 = 200 \text{kg/m(許容耐力)}$$

このような便法によれば、個々の仕様によっていちいち許容耐力を計算で求めることなく、また軸組全体の応力計算をすることなく、地震力に対する建物全体としての耐力を検討することができる。ただし、転倒モーメントにより耐力壁の両側の柱脚部に働く引抜力に対しては、中立軸の高さを適当に仮定することにより、別途検討することになっている。

さて、実務的には、これで構造計算が容易になったが、これはあくまでも便法であって、殊に地震力の1/3を負担するのが何かがあいまいであるという問題点が残っている。上記の「手引き」では、この1/3について、「実大実験の耐力値は単体試験から加算して推定した値より1.5倍ほど大きくなっている」ことを根拠にしている。ただし次に、「実際に完成した最近の建物では、耐力壁に算定していないボード類などの非耐力壁や腰壁・垂壁などの水平力に対する効果が加わるので、変形はより少なく安全性は高くなっている」としており、腰壁・垂壁の効果は1/3の負担以外の要素と考えているようにみえる。つまり、先の「規準」の説明とは一致していない。このようなあいまいさがあるところが、この便法の限界であって、3階建てでもごく普通のもの、例えば耐力壁がしかるべく配置されており、腰壁や垂壁が適度についており、耐力壁以外にも間仕切壁がある程度配置されているような住宅にだけ適用すべきものである。

#### 5. 5 本格的な構造計算に向けて

昭和62年(1987)の建築基準法とその施行令の改正では、新たに大断面木造建築物の規定が設けられ、構造用の大きな断面の集成材などによる大規模木造建築が可能になった。この大断面木造建築物については、ここでは直接論じないが、これより必要性が高まったことから、昭和56年のいわゆる新耐震のときには、積残しになって決められなかった木造に対する構造特性係数(Ds値)が、与えられた。

ただし、木造住宅では、このDs値を用いるような耐震計算、すなわち、いわゆるルート3を通るような場合は、ほとんど想定されていないので、現在の在来軸組構法の住宅が、Ds値でどのような値に対応するかはよくわからない。ただ、昭和56年の時点で、常識的に造られたそれらの住宅がどの程度の保有耐力を持つかについては、耐力壁単体の実験値から建物全体の保有耐力を推定する方法が示されている<sup>文61)</sup>。

このような、Ds値を用いる耐震計算を行うためには、基礎的研究として、木造住宅の耐力壁または建物全体の

正負繰返し加力に対する復元力特性の把握と、建物全体の動的応答解析が必要である。この方面の研究も徐々にではあるが進展しつつある<sup>文71,72,68)</sup>。

さて、大多数の木造住宅の耐震設計は、いまだに「壁量計算」ととどまっているが、2階建てまでのごく常識的なものは、おおむねそれによって最低限度の耐震性が確保されていると考えられるので、殊更精密な構造計算を要求する必要はない。

しかし、常識的でないもの、例えば壁の実長が非常に短く、かつ腰壁や垂壁がほとんどないものか、偏心のおそれがあるものは、当然構造計算が必要である。そのためには、耐力壁をはじめ軸組全体のモデル化の方法や、各部分の許容耐力の算出方法などについて、ある程度標準的な方法が提示されることが望ましい。

この点では、北米から導入され、日本ではいわば新しい構法として採用されたツーバイフォー構法のほうが、構造計算になじみやすいこともあって、すでにその方法が示されている<sup>文73)</sup>。これに対して、在来軸組構法についても、本格的な耐震計算ができる体系作りが始まっている<sup>文74)</sup>。

## 5. 6 地盤の液状化とその対策

木造住宅の地震被害に対して、地盤の良否が非常に大きく関係することは、すでに繰返し述べたように、地震の度ごとに報告されており、またそのような被害を教訓として、木造住宅の建設にあたっては、地盤を選び、かつ、しっかりした基礎とすることの重要性が、これもまた繰返し強調されている。

地盤に原因があって、木造住宅の地震被害が引き起こされる場合としては、大きく次の3つにまとめられる。

- 1) 厚い沖積層等の軟弱地盤において木造住宅の地震応答が大きくなること（いわゆる振動的被害）。
- 2) 傾斜地あるいはその造成地が崩壊すること。
- 3) 沖積層あるいは埋立地等の軟弱地盤が破壊すること。

このうち1)については、関東地震以来、被害調査結果に基づいて定量的な関係が明らかにされており、(図一8参照)、また地震応答計算からも説明することができる<sup>文68)</sup>。2)については、地盤の造成の問題であり、個々の住宅では対処が困難であるので、ここでは問題の指摘にとどめる。

さて、3)のように平坦地において地盤が破壊することの原因としては、十分に締め固まっていなかった場合と液状化の2つが考えられる。しかし、このような区別は地震被害の調査報告書においても、必ずしも明確に記述されてはおらず、液状化が大きな注目を集めた新潟地震の報告書においてすら、木構造の被害の部分に「液状化」の文字が出ていないし、また1978宮城県沖地震に関して

も同様である(第3章参照)。

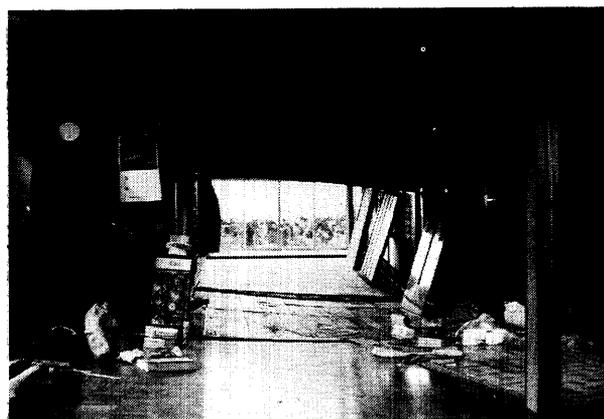
液状化現象そのものは、昔からあったに違なく、東海地方について過去の地震被害を詳細に述べた飯田氏は、早くも1707年の宝永地震で液状化が起こっており、その後も安政地震(1854)では遠州灘の臨界域や駿河湾沿岸で、濃尾地震(1893)では濃尾平野のみならず天竜川流域や清水港付近で、さらに東南海地震(1944)では、遠州灘沿岸の多くの地点で液状化が起こっていることを報告している<sup>文75)</sup>。福井地震(1948)の被害調査報告書にも、「噴砂」の発生が書かれている<sup>文53)</sup>。また、新しい学問分野である地震考古学によれば、古い液状化の跡が発掘されている<sup>文76)</sup>。

木造建物の地震被害が、明らかに地盤の液状化によって引き起こされたことが、意識的に確認されたのは、1983年の日本海中部地震ではなかろうか。この地震についてはすでに述べたように、木造住宅のほとんどすべての被害が液状化によるものであった。この地震では、軸組にほとんど傾斜が認められないにもかかわらず、図一15のように内部で床が大きく陥没しているものがあった。

このような地盤の液状化に対する対策としては、そのような地盤を避けることが第一であることはもちろんであるが、そうできなければ、次のようなものが考えられる。

- 1) 地盤を締め固めるなど、地盤改良を行う。
- 2) べた基礎とするなど基礎を剛強にする。
- 3) 上部構造を剛強にする。

このような対策は、戸建ての木造住宅では必ずしも、容易に実行できることではないが、施主にその意志があれば可能なことである。事実、今年の北海道南西沖地震において、道南各地で液状化が発生しているにもかかわらず、それに伴う木造住宅の被害が意外に少なかったのは、この地域の木造住宅が上記の2)と3)の条件を満たしていたためと考えられる。これは、寒地建築のため基礎の背が高く、おのずと剛強になっており、かつ開口部が小さく、従って壁が多く結果的に剛強になっている



図一15 日本海中部地震における木造住宅の床の陥没(文献48)(柱は垂直のままであることを注意)

ためで、決して耐震性を意図してのことではない。従って、北海道以外であればもっと激しい被害が生じた可能性が高い。

すなわち、木造住宅が液状化の可能性が高い地盤にどんどん建てられるようになっていくことを考えると、今後の地震で地盤の液状化による木造住宅の被害が、大規模に発生するおそれは、ますます高まっていると考えてよい。

なお、基礎と上部構造を剛強にただけでは、建物全体が傾いてしまうという、新潟地震の際に川岸町の壁式鉄筋コンクリート造のアパートと同じ被害が、**図-16**に示すようにこの北海道南西沖地震で生じている<sup>50)</sup>。基礎のフーチング部だけでなく地業についても対策が必要であることの証明になっている。

最後に、地盤の液状化が生じている所では、必ずしも液状化だけが原因とは思えない被害、すなわち振動的被害も見られるということを、指摘しておきたい。例えば、日本海中部地震において、液状化が床下で発生したことが確認されている木造住宅で、**図-17**のように明らかに一方に傾斜しているものがあった<sup>48)</sup>。

また、1989年にアメリカで起こったロマ・プリータ地震で大きな被害のあったマリナー地区では、液状化が生じたことが確認されているが、そこでの木造集合住宅の被害状況は、大きな傾斜、またはそれによる倒壊である<sup>47)</sup>。このことは、その場所が、液状化を起こすほどほかの場所よりも強く揺れたか、あるいは液状化によって地盤が建物の応答を大きくするように揺れた可能性を示唆しているようであり、今後の研究課題であると思われる。

## 6. むすび

宮城県沖地震（1978）まで、少なからず見られた振動的被害は、その後の地震では少なくなっているとはいえ、跡を絶ったわけではない。筋かいが不足していたり、仕口の補強が不備なものは相変わらず被害を被っている。およそ100年前の濃尾地震の教訓は、いまだに意味を失っていない。

さらにこの教訓のもうひとつの点である地盤については、ますます重要性が増してきている。日本海中部地震（1983）と釧路沖地震（1993）・北海道南西沖地震（1993）では、地盤の破壊に伴う被害が極めて広範に起こっていることは、これまでに述べてきたとおりである。そして、後者の被害は主に地盤の液状化現象によるものである。

このような液状化による地震被害の被害は、かつては建物が建っていなかった所に、現在では住宅が建てられているためと考えられ、このことはすでに常識になっているといえる。従って液状化対策こそが、当面の木造住宅の被害軽減の最大の課題であることは間違いな

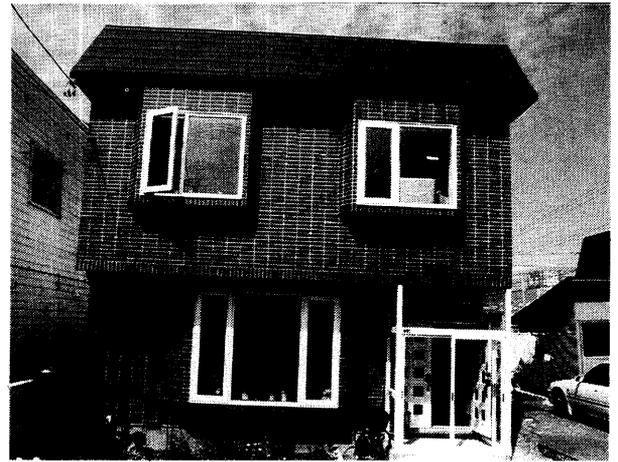


図-16 北海道南西沖地震における木造住宅の傾斜  
文献50) (布基礎を含め無傷のまま右に傾いている)

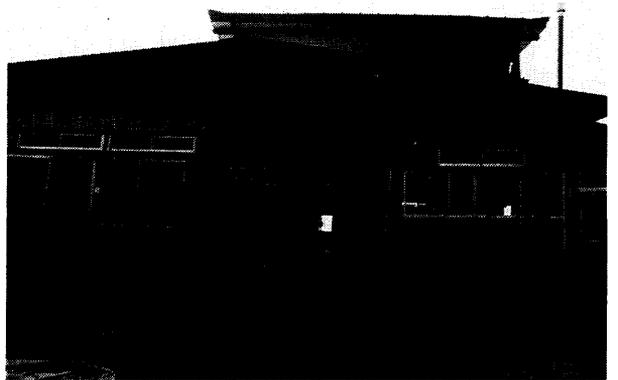


図-17 日本海中部地震における木造住宅の傾斜  
文献48) (床下で液状化が生じている)

い。

では、液状化対策さえ十分に行えば、将来にわたって木造住宅の地震被害はなくなるであろうか。決してそうではない。先に、**第5章**で述べたように、現在のありふれた木造住宅は、建築基準法施行令で要求されている壁量に対して、数倍の実質的な壁量を持っているものが、非常に多い。このような、実態としての壁量の多さが、最近の地震による振動的被害の少なさに寄与していることは、明らかである。

そのことは、1991年に発生した茂原における竜巻の被害の調査結果<sup>47)</sup>とも、矛盾しない。その竜巻は、瞬間最大風速78m/sec.と推定されたほどの強さだったにもかかわらず、ごくありふれた住居専用の住宅は、屋根は飛んでも壁体は少なくとも外見上は形を保っていた。法規ぎりぎりであれば、これほどの強風に耐えられるはずがない。

このことは、必ずしも現行建築法規の規定や考え方が、間違っていることを意味しているわけではない。法規の構造規定としては、構造要素（例えば、筋かい）として、

材料・断面・接合部などを、きちんと決めざるを得ず、従って、仕上材などのような「非構造材（耐力壁以外の要素）」に構造耐力を期待するわけにはゆかないであろう。法規として、最低限度の強さを構造要素のみによる強さに期待していると考えられる。

しかし、このように、事実として、非構造材に少なからぬ耐力があるからには、これをなんらかの方法によって評価すべきであろう。もちろん、研究的には、どんな構造材・非構造材であっても、計算あるいは実験によって、それらの耐力を評価することができる。しかし、その方法を無数に建つ木造住宅に適用することは、現実的ではない。

そこで、実用的な方法としては、壁量計算の方法を踏襲して、それに「非構造材」の要素を取込むことである。具体的には、非構造材を含む壁に対して、妥当な壁倍率を与えることである。先に第5章で既存木造住宅の耐震診断の方法を紹介したが、これを再検討して耐震設計法とすることは、困難なことではない。そして、法規を守ることとは別に、この方法によって、その木造住宅の耐震性を確保するようにすべきである。ただし、適用上や模様替えのときの注意が必要ではある。

もちろん、壁量計算から脱皮して、耐力壁の許容耐力によって耐震計算を行う方法や、軸組全体をモデル化して応力計算・断面算定・接合部計算ができる方法を考えてゆかなくてはならない。

思うに、いわゆる新耐震設計法の成立にあたっては、次のような認識があった。それまでの許容応力度法（弾性設計法）においては、設計用地震力を実際に生じる力よりも小さい値に設定し、構造物の耐力も安全率を見込んだ小さい値で表現しておいて、実際のそれ以上強い地震に対しては、余力で持つことを暗に期待していた。しかし、その余力は積極的に評価されていたわけではないので、余力（あるいは粘り）に乏しいものは、極めて強い地震においては、大きな破壊を生じるものが出てくる、ということである。

従って、新耐震では、地震としては極めて強いものを想定し、建物の強さとしては保有耐力をとる、といういわば本音で耐震設計することにしたわけである。

木造住宅も新耐震の精神にならって、地震力を実際に生じる大きさにとり、耐力も実際に持っている大きさを評価するという、本音で耐震設計する時期になっていると言えよう。

本論文は、state-of-the-artを意図したのもでも、筆者の研究成果を紹介しようとしたものでもない。木造住宅の耐震性に関する筆者の見解を、ひとつの全体像として描こうとしたものである。

なお、過去の震害について、ややくどいほどに被害調査報告書の文章を引用したのは、これらこそが将来の地

震被害を軽減するための、最大の教訓と考えているためである。

また引用については、古い文字を常用漢字に、カタカナ文をひらがな文にするなど文章はそのまま適宜表記を改めた。

本稿の執筆にあたって、特に明治以降の歴史的概観については、参考文献の(79), (80), (58) および(81), (82)を大いに参照した。また第5章の内容に関しては、木質構造の研究者の多数の論文やその人たちとの議論に、ほとんどすべてを負っていると言っても過言ではない。記して感謝の意を表す。

#### 〈参考文献〉

- 1) 太田博太郎「2中世 2.5 構造と意匠」(太田博太郎ほか「改訂増補建築学大系4—1日本建築史」彰国社 1976.2, pp. 219-227)
- 2) 関野克「建築 4日本木造建築の構造」(朝日新聞社(編)「日本科学技術史」朝日新聞社 1962.3, pp. 694-707)
- 3) 伊藤延男(解説)「平等院」日本名建築写真選集第3巻 新潮社 1992.3, pp. 85-125
- 4) 伊東忠太「第一編総論 第四章建築の諸項 十一変災」(日本学士院(編)「明治前日本建築技術史(新訂版)」野間科学医学研究資料館 1982.5, pp. 33-35)
- 5) 梅村魁「2. 耐震構造の歴史」(日本建築学会関東支部(編)「耐震構造の設計—構造計算のすすめ方7—第2版」日本建築学会関東支部 1993.2, pp. 15-22)
- 6) 坂本功・大橋好光・河合直人・後藤治・渡辺一正「伝統的木造建築の耐震性に関する調査研究—関東地震における鎌倉市内の被害について—」住宅総合研究財団・研究年報(予定)
- 7) 大熊喜邦「第三編防災並びに暖房及び衛生 第一章防災 第一節耐震構造」(日本学士院(編)「明治前日本建築技術史(新訂版)」野間科学医学研究資料館 1982.5, pp. 105-114)
- 8) ゼー、コンドル「各種建築に関し近來の地震と結果」建築雑誌 第63号 1892.3, pp. 63-67, 同63号 1892.3, pp. 92-99および同64号 1892.4, pp. 132-137
- 9) 佐野利器「家屋耐震構造論上編」震災予防調査会報告第83号(甲)1916.10, pp. 1-142および「同下編」同(乙)1917.3, pp. 104-137
- 10) 佐野利器「住宅と地震(主として木造)」住宅建築 建築世界社 1916, pp. 303-310
- 11) 佐野利器・武藤清「高等建築学第26巻 家屋耐震並耐風構造」(第3章耐震構造一般 第2節各種構造論 34木造)常盤書房 1935.5, pp. 202-215
- 12) 日本建築学会「1978年宮城県沖地震災害調査報告」(8. 木造建築の被害) 1980.2, pp. 631-673
- 13) 真島健三郎「地震と建築」丸善 1930
- 14) 坂静雄「社寺骨組の力学的研究第1部 柱の安定復元力」建築学会大会論文集第21号 1941.4, pp. 252-258
- 15) 河合直人「古代木造建築の柱傾斜復元力と耐力壁の効果に関する実大実験」日本建築学会学術講演梗概集 1993.9, pp. 1021-1022
- 16) 坂静雄「社寺骨組の力学的研究第2部 貫の耐力」建築学会大会論文集第21号 1941.4, pp. 259-268
- 17) 安村基「木造軸組構法等の開発事業報告書 貫構造差鴨居構造設計方法の開発」(財)日本住宅・木材技術センター 1986.3
- 18) 杉山英男ほか「江戸時代に建築された農家の水平加力試験の結果」日本建築学会構造系論文報告集 第360号 1986.2, pp. 23-30

- 19) 坂本功・河合直人・山下伸夫・大橋好光・安達文男「伝統的木造住宅の水平加力ならびに振動実験(その1,その2,その3)」日本建築学会大会学術講演梗概集 1985.10, pp. 1227-1232
- 20) 後藤一雄「貫通仕口による木造ラーメン(大黒柱)構造の研究その1 仕口の挙動に関する実験的研究」日本建築学会論文報告集第366号 1986.8, pp. 119-125,「同 その2 実大試験体による加力テスト」同378号 1987.8, pp. 75-81,「同 その3 実用設計計算法の提案」日本建築学会構造系論文集第410号 1990.4, pp. 19-25
- 21) 坂本功「非構造部材と木造建築は耐震設計されていないか」建築雑誌 Vol. 103, No. 1272 1988年5月号 pp. 48-51
- 22) 武者金吉「日本地震資料 一並びに隣地地域一東京等」毎日新聞社 1951
- 23) レスリー・ハーバードニガスタ, パトリック・ノット(宇佐見龍夫監訳)「明治日本を支えた英国人 地震学者ミルン伝」日本放送出版協会 1982.2
- 24) 中村達太郎「庄内震災地巡回報告」建築雑誌第103号 1895.7, pp. 159-166
- 25) 曾根達蔵「山形県下家屋取調報告」建築雑誌第103号 1895.7, pp. 167-178
- 26) 辰野金吾(原案)「木造耐震家屋構造要項」建築雑誌第99号 1895.3, pp. 51-53
- 27) 曾根達蔵(原案)「山形県下町屋一棟改良構造仕様」建築雑誌第100号 1895.4, pp. 82-103
- 28) 中村達太郎(原案)「小学校改良木造仕様書」建築雑誌第101号 1895.5, pp. 101-103
- 29) 片山東熊(原案)「農家改良構造仕様」建築雑誌第102号 1895.6, pp. 143-146
- 30) 伊藤爲吉「耐震の鉄具使用の困難を論じて木製組法の完成を期せむとす」建築雑誌第107号 1895.11, pp. 276-295
- 31) 瀧大吉「耐震構造」建築雑誌第74号 1893.2, pp. 46-61
- 32) 内藤多伸「大正十一年四月二十六日ノ地震ニ依ル東京ニ於ケル震災被害調査報告」建築雑誌第436号 1921.7, pp. 1-11および図
- 33) 北澤五郎「木造被害調査報告」震災予防調査会報告第100号(丙)上 1924 pp. 1-53(建築雑誌臨時増刊第503号 1927.12, pp. 1049-1459に再録)
- 34) 河角広「東京の震度分布と地盤について」建築雑誌 第66巻773号 1951.4, pp. 8-15
- 35) 大崎順彦「地震と建築」岩波新書 1983.8
- 36) 田辺平学・勝田千利・後藤一雄「交番水平荷重をうける木造有壁骨組(真壁)の実験」日本建築学会論文集 9号 1938.4, pp. 130-139
- 37) 田辺平学・後藤一雄・菊田守雄「交番水平荷重をうける木造有壁骨組(大壁)の実験」日本建築学会論文集 13号 1939.4, pp. 210-219
- 38) 田辺平学・後藤一雄・菊田守雄「木構造骨組の実用横力分布係数並に計算法に関する一二の問題(耐震耐風木構造に関する研究 第8報)」日本建築学会論文集 第17号 1940.3, pp. 329-338
- 39) 日本学術振興会「建築物耐震構造要項」1941
- 40) 田辺平学「耐震建築問答」丸善 1933
- 41) 久田俊彦「福井地震における木造住宅壁体の効果」(北陸震災調査特別委員会「福井地震震害調査報告」)1951, 建築部門 第4部 研究特別論文 pp. 219-226
- 42) 横尾義貴「木造家屋の耐震化」(財)防災研究所研究報告第2号 1949.11
- 43) 久田俊彦「木造壁体の耐力に関する研究」日本建築学会論文集第42号 1951.2, pp. 71-79
- 44) 久田俊彦「木造建物の耐力計算法一案」建築技術 No. 47 1955.4, pp. 32-38
- 45) 日本建築学会「新潟地震災害調査報告」1964.12, pp. 135-201
- 46) 1968年十勝沖地震調査委員会「1968年十勝沖地震調査報告」1968.5, pp. 636-673
- 47) 日本建築学会「1978年宮城県沖地震災害調査報告」1985.2, pp. 631-673
- 48) 日本建築学会「1982年浦河沖地震・1983年日本海中部地震災害調査報告」1984.12, pp. 312-326
- 49) 杉山英男「平成5年釧路沖地震の教えるもの 一木造建物の耐震性について」ビルディングレター 1993.3, pp. 37-44
- 50) 坂本功・安藤直人・宮沢健二・河合直人「北海道南西沖地震における木造建物の被害」建築防災 1993.11(予定)
- 51) 文部省震災予防評議会「家屋新築及び修理に関する耐震構造上の注意書」1930, 1939改訂
- 52) 日本学術振興会「建築物耐震構造要項」1941
- 53) 北陸震災調査特別委員会「福井地震震害調査報告」1951
- 54) 相川新一・杉山英男 担当「4. 木構造」(「耐震建築構造要項」日本建築学会 1966)
- 55) 日本建築学会・震災予防協会「わが家の耐震・半壊家屋応急修理法」1959, 1979, 1988, 改訂
- 56) 日本建築防災協会・日本建築士会連合会「地震にそなえて一わが家の耐震知識」1979, 1985改訂
- 57) 小木新造「江戸東京学事始め」ちくまライブラリー54 筑摩書房 1991.3
- 58) 杉山英男「1.1 木質構造の分類とその歴史」(木質構造研究会(編)「木質構造建築読本—ティンバーエンジニアリングのすべて」井上書院 1988.11, pp. 7-29)
- 59) 坂本功「地盤と木造建築物の耐震性」月刊地球 Vol. 8, No. 2 1986年2月号 海洋出版株式会社 pp. 101-105
- 60) 杉山英男「木構造」建築構造学大系22 彰国社 1971.3
- 61) 石山祐二ほか「木構造」(日本建築学会「保有耐力と変形性能(初版)」1981.6, pp. 39-59)
- 62) 日本建築学会「木構造設計規準・同解説」1973.4
- 63) 福田昌也「木造住宅の構法と被害に関する研究」東京大学卒業論文(1992年度)
- 64) 大橋好光・柴田明子・坂本功「在来木造住宅の耐震性を中心とした構造設計に関する調査研究」6-th Japan Earthquake engineering Symposium 1982, pp. 2105-2111
- 65) 大橋好光・坂本功「在来木造住宅の耐震性に関する調査研究その3」日本建築学会大会学術講演梗概集 1984.10, pp. 2649-2650
- 66) 山辺克好「木造家屋の耐震性状に関する研究」日本大学生産工学部報告A 第22巻 第2号 1989.12, pp. 61-84
- 67) 室田達郎・有馬孝礼・岡田恒・佐藤雅俊ほか「在来軸組構法木造住宅の地震時挙動に関する実大静的繰返し水平加力試験」建築研究資料 No. 28 1981
- 68) 坂本功「木造軸組構法木造の水平耐力と応答層間変形の関係」7-th Japan Earthquake engineering Symposium 1984, pp. 1823
- 69) 日本建築防災協会・日本建築士会連合会「木造住宅の耐震精度診断と補強方法」1985.11
- 70) 日本住宅・木材技術センター「3階建て木造住宅の構造設計と防火設計の手引き」1988.3
- 71) 杉山英男・坂本功・石山祐二「5章木構造」(日本建築学会「地震荷重と建築構造の耐震性(1976)」1977.1, pp. 625-666)
- 72) 坂本功・山口修由ほか「木構造」(日本建築学会「耐震建築設計における保有耐力と変形性能(1990)」1990.10, pp. 210-260)
- 73) 枠組壁工法建築物設計の手引き・構造計算指針編集委員会(編)「枠組壁工法建築物構造計算指針」1992.12
- 74) 宮沢健二「第2章 木造3階建共同住宅の構造計算 2.4 水平力に対する検討」(日本住宅・木材技術センター「木造3階建て共同住宅の構造計算と防火設計の手引き(仮称)」用資料)
- 75) 飯田波事「既往の地震と地盤の液状化」月刊地球 Vol. 8, No. 2 1986年2月号 海洋出版株式会社 pp. 109-113

- 76) 寒川旭「地震考古学 遺跡が語る地震の歴史」中公新書  
1992.10
- 77) 日本建築学会「1989ロマプリータ地震災害調査報告」  
1991.7 (5.2 木構造 pp. 173-191)
- 78) 坂本功「茂原における竜巻による木造建物の被害に関する考  
察」日本建築学会大会学術講演梗概集 構造2 1991, pp.  
2841-2842
- 79) 村松貞次郎「日本近代建築技術史」(新建築技術叢書一8)彰国  
社 1976.9
- 80) 杉山英男「木造の家は地震に強いのか」講談社ブルーバックス  
1985.6
- 81) 野田草太「日本木造建築の耐震性とその変遷」東京大学卒業論  
文 (1981年度)
- 82) 小澤哲仁「明治以降における木構造の変遷」東京大学卒業論文  
(1981年度)