

木造の耐震性能向上に向けて

— 小幅板で造る木造耐震壁 —

東洋大学理工学部建築学科教授

松 野 浩 一

1. 日本の多種多様な木造建築—歴史的背景を概観する

(1) 建築材料の視点から

古今東西を問わず、建築は木、石、鉄を材料として建設されてきた。建築史から見ると、エジプト時代以降3,000年間にわたって木は使われ続け、欧州では18世紀以降に石はコンクリートに代わり、木は鉄に変わってきた。そして21世紀の今日、欧州では再び木が使われ始めている。日本では19世紀中頃（明治維新以降）から西洋建築の材料であるコンクリート、鉄が一般的に使われるようになった。このような建築に使用される構造材料の変遷を図-1のように整理することができる。鉄は、イギリスで起こった産業革命以降、薪に石炭そして石油が取って代わりエネルギー資源が変化することによって、鋼が一般的な建築用材として普及した。

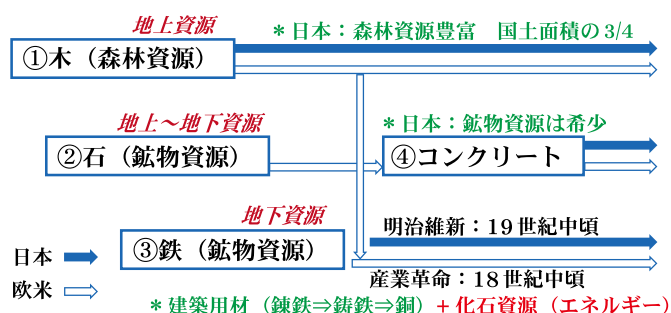


図-1 構造材料の変遷

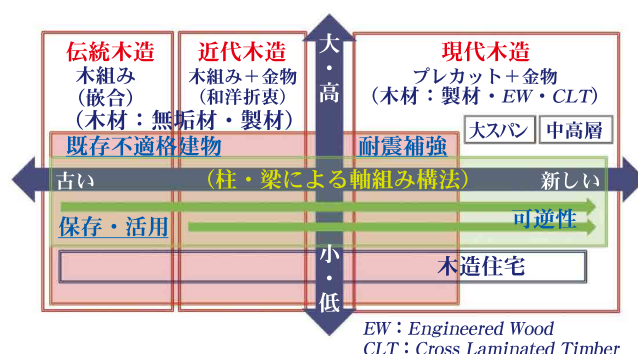


図-2 日本の木造構法と今日的課題

(2) 技術・文化・構法の視点から

日本の木造建築史を概観するとインド、中国、朝鮮半島を経て伝わった北伝仏教と共に伝来した建築技術としての木造建築がある。おおそ大和時代から平安時代に建設された社寺建築である。また、気候風土、生活文化に即して各地で発展してきた日本独自の建築文化としての木造建築がある。安土桃山時代～江戸時代の武家屋敷、農家、町家、商家として建設された住宅建築である。そして、明治維新後、欧米から伝えられた建築構法としての木造建築がある。この時期は、迎賓館をはじめとする大規模木造、住宅など小規模木造など洋館、和館、和洋館など和と洋が混在する時代である。そして、真壁造りとは異なる意匠となる大壁造りが盛んに用いられるようになる。また、昭和時代中頃まで教育施設である学校の校舎は、大規模木造建築として建設され

てきた。

このように日本の木造建築は、様々な技術、文化、構法、用途を融合しながら建築形態や建築空間の設えが多様化してきた。大別すると真壁造り、大壁造りなどの意匠がそれぞれ工夫され建設されてきた。このような木造建築文化は、日本特有のもので他に類を見ない。

(3) 木造構法の視点から

日本の木造建築を構法的に概観すると伝統木造建築、近代木造建築、現代木造建築に大別することができる。何れも鉛直材の柱、横架材の梁および桁による軸組構法である。軸組の柱と梁および桁などの接合部である仕口、横架材同士の接合部である継ぎ手を嵌合（かんごう）式で組む伝統木造、嵌合式に金物など接合具を積極的に用いる近代木造、そして、機械加工によるプレカット部材を主に金物で緊結する現代木造に分類することが

できる。

伝統木造の仕口、継ぎ手の木材加工は、建設現場での建て方工事前に、大工職人が“墨付け”“きざみ”という作業を仕事場または建設現場で行った。所謂、今日のプレカット構法である。現代木造と大きく異なる点は、嵌合して木組みするために接合部の形状が複雑で部材間に金物を使用しないことである。この接合部の作り方の違いが、木造構法ごとの建築物の構造性能に大きな影響を与えている。このような構法的な木造建築の様相について、建築物の高さの高低、面積の大小など建築規模を縦軸に、建設年が古い、新しいなど時間軸を横軸にして、日本の木造建築を図-2のように整理した。図中には今日の建築基準法を起点として捉えた既存不適格建物のゾーンを示し、文化財建物を含む歴史的木造建築物の保存・活用という今日的課題を視野に入れた表記になっている。

表－１ 複層斜交重ね板壁による歴史的木造建築物の耐震補強事例

建物名称	建設時期	建築用途	面積:建築/延べ床・階数	備考
中尊寺大長寿院庫裡	1863年頃	住宅	面積：197㎡/197 階数：1階	田の字型住宅
I 商店店舗	1870年頃、 1913年改築	店舗	面積：164㎡/164 階数：1階	商家
旧安田楠雄邸	1919年	住宅	面積：451㎡/598 階数：2階	数寄屋造り 東京都指定名勝
哲学堂公園・絶対城	1915年	図書館	面積：- ㎡/ 階数：2階	東京都指定名勝 中野区指定有形文化財
哲学堂公園・宇宙館	1913年	講義室	面積：- ㎡/ 階数：1階	東京都指定名勝 中野区指定有形文化財
奈良ホテル木造本館	1909年	ホテル	面積：- ㎡/約4,600㎡ 階数：2階	和洋折衷 大規模近代木造
横山大観旧宅及び庭園 (横山大観記念館)	1954年	住宅兼 アトリエ	面積：251㎡/308㎡ 階数：2階	数寄屋造り 国指定史跡及び名勝

(4) 日本の多種多様な木造建築

前節までに述べてきた日本の木造建築―歴史的背景を概観すると、以下の様な様相を呈していることが確認できる。

- ①木は、昔から現在に至るまで建築材料として使われてきた唯一の地上資源である。
- ②様々な技術・文化・構法が融合してきた結果、建築形態・空間の設えが多様化してきた。そして、耐震要素となる壁には軸組みとの取り合いにより、真壁造り、大壁造りの構法があり、それらに応じた木造意匠が工夫されてきた。
- ③建築面積の大きい建物から小さい建物、建築高さの高い低いなど様々な建築規模の木造建築物が建てられてきた。

2. 木造建築物の耐震壁と今日的課題

(1) 耐震壁の現状

木造建築物の主な構造耐力要素は、鉛直構面内に配置される構造耐力壁である。これらは、せん断系に分類される貫を内蔵した土塗り壁、木摺壁、落とし込み板壁、近年になって構造用合板による面材壁、軸部材の相欠きによる面格子壁、軸力系に分類される筋交いなどが一般的に用いられている。その中で、文化財指定木造建造物など伝統木造建築には、主に貫を内蔵した土塗り壁が用いられてきた。明治維新以降、欧米から伝わった木造構法により洋館、和風と洋風を折衷した和洋館などの木造建築には、日本の伝統木

造建築の設えを創出してきた真壁造りに代わり大壁造りが用いられ、筋交いを内蔵した木摺漆喰壁が多く用いられている。その後、筋交いは住宅を中心とした今日の現代木造建築には一般的に用いられる構造耐力壁となっているが、明治時代以前では筋交いや筋交いを土塗り壁の中に入れる考え方は一般的ではなく、その起源も定かでない。一方、今日では鋼材を利用した仕口金物、木造軸組の靱性を高めるために仕口部分に取り付ける仕口ダンパーなどが多く考案され使用されている。

ところで、木造建築物の構造性能を向上させるためには、稀に発生する地震時に建物全体の水平変位を小さく押さえるために高い初期剛性が求められる。そして、ごく希に発生する大地震時には高いせん断耐力と建物全体の変形に追従できる高い靱性能（ねばり強さ）が必要となる。このことは、木造建築物は地震時には建物全体の水平変位を許容しながら、その水平変位の増加とともに水平耐力も上昇する傾向があることを理解しておくことが重要である。先に述べた様に、木造建築物には多種多様な構造耐力壁が存在しているが、初期剛性、降伏耐力、最大耐力、靱性能など建物全体の変形性状を考慮して耐震性能を向上させる実用的な耐力壁が見当たらないのが現状である。

(2) 今日的課題

今日の耐震基準により中規模木造建築物を設計する時、大断面集成材を多用したラーメン構造に木造ブレースまたは鉄

骨ブレースを併用して耐震性を確保することが考えられる。また、免震構造にする提案も可能である。欧州で実用化が進められてきたCLTによる中規模木造建築物の設計・施工も試みられている。さらに、現代木造による中規模建築物の水平剛性と耐震強度を確保するために木造軸組と鉄筋コンクリート構造、木造軸組と鉄骨構造などの混構造による建築物が建設され、異種構造の接合方法や、木造軸組と他構造体との変形性状の違いによる構造的課題も検討されている。

一方、歴史的木造建築物を保存・活用しながら地域文化の伝承とともに地域活性化に向けた文化的活動が全国的に展開されている。日本古来の伝統木造建造物を広く公開しながら保存・活用するための取り組みである。歴史的、文化的、産業的な観点から今日まで原型を留めながら保存されてきた木造建築物の多くが国、地方自治体、市町村などから文化財指定を受け、それらの保存・活用が進められている。公開活用を目的とする場合、建築物の内部を含め広く公開することが求められるので、対象建築物の耐震性能を向上させることが絶対条件となる。なぜならば、これら建築物が建てられた時代においても木造構法の進化は認められるが、そこでは耐震技術の発展は無かったからである。しかし、当時の人々も大地震を恐れていたことは容易に想像できる。歴史的木造建築物の耐震安全性確保は、日本の木造文化継承において喫緊な課題といえる。

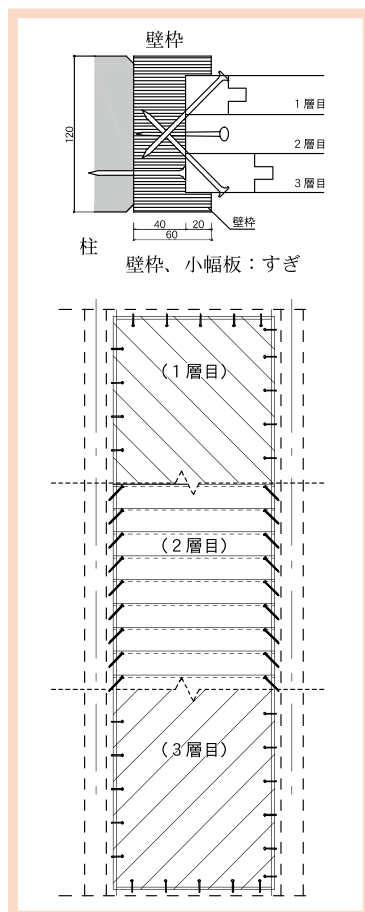


図-3 小幅度3層・壁枠タイプ

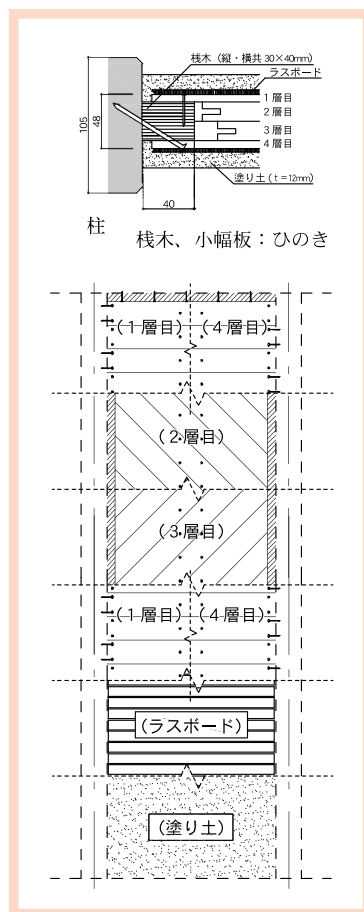


図-4 小幅度4層・桧木タイプ

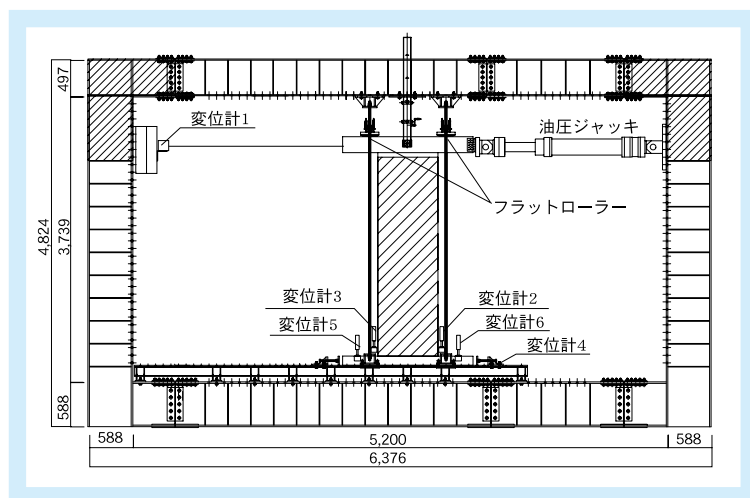


図-5 載荷装置と試験体設置図

3. 汎用性の高い木造耐震壁の開発

(1) 開発の経緯

日本の木造建築物は、様々な技術、文化、構法が融合し合いながら、多くの建築用途、建築規模で建設され建築形態や建築空間の設えが多様化してきた。架構は柱部材、梁部材といった断面形状が矩形の線材で構築する軸組み構法で建設され、壁に着目すると軸組みを表す真壁造り、軸組みを覆う大壁造りの2種類があ

り、それぞれの意匠がある。

そこで、これら木造軸組構法を対象として建築用途、建築規模、壁仕様（真壁、大壁、仕上げなど）に可能な限り使用制限の無い木造耐震壁を考案した。その名称は、構造・構法・材料の特色を表現して“複層斜交重ね板壁”とした。そして、試験体による構造実験、そこで得られた実験データを用いた歴史的木造建築物の耐震補強設計、複層斜交重ね板壁の製作方法および耐震補強工事における施工方法など一連の検討を設計・施工に関わり



写真-1 載荷装置と試験体設置状況

ながら進めてきた。複層斜交重ね板壁の代表的な適用事例を表-1に示す。

(2) 複層斜交重ね板壁の概要

既存建物、新築建物を問わず木造軸組み建築物の耐震性能を向上させることができる無垢材による木造耐震壁構法を考案した。

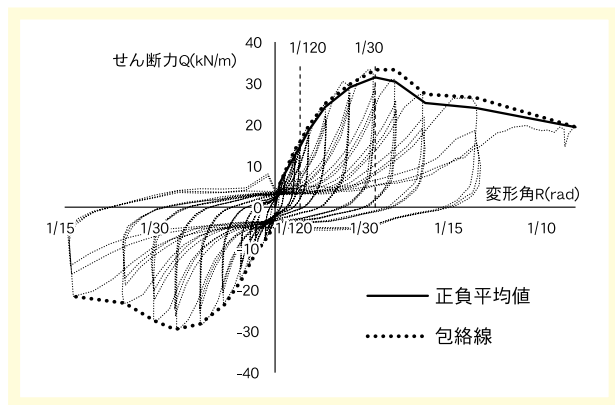
本構法は、最初に無垢材の小幅度を実効ぎ継ぎまたは相欠き継ぎで単面材を形成する。次に、単面材を構成する小幅度が互いに斜交するように単面材を3層または4層に重ね合わせて複層の面材を軸組み内に構成する構法である。軸組構法では、床組や小屋を構成する水平構面と壁を構成する鉛直構面から建築空間が形成される。本構法は、鉛直構面の壁面を構築するものであるが、水平構面の床組を構築することも可能である。小幅度を用いた構法的特長は、以下の通りである。

＜小幅度で構成された複層斜交重ね板壁の構法的特長＞

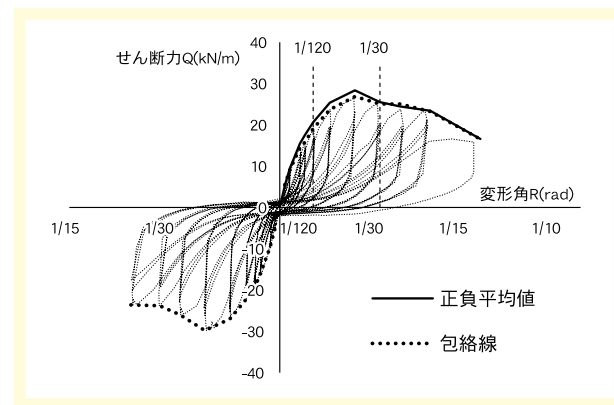
- ①木を無駄にしない。⇒小幅度を多用する。（製材ロスを抑えられる）
- ②木の長所を活かす。⇒小幅度を圧縮材で使用する。（木の高い圧縮強度を発揮できる）
- ③木の役割を明快に。⇒小幅度を斜交に重ねて使用する。（壁面を効率良く活用できる）
- ④木の技術を活かす。⇒小幅度を伝統技術で継ぐ。（簡易な伝統技術で製作できる）

(3) 複層斜交重ね板壁の構成

建築規模、壁仕様（大壁、真壁）に対応する小幅度3層により構築する壁枠タ



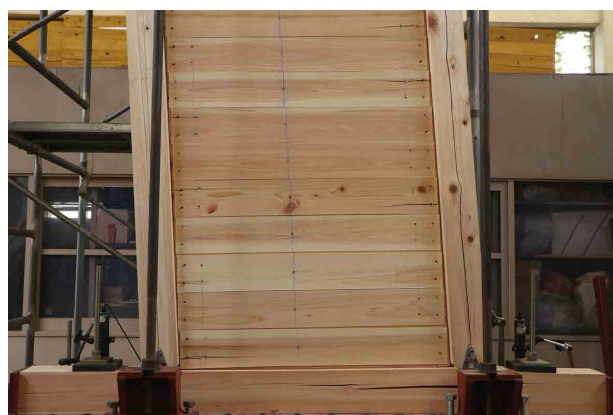
図ー6 セン断力・層間変形角関係（小幅度3層・壁枠タイプ）



図ー7 セン断力・層間変形角関係（小幅度4層・桧木タイプ）



写真ー2 層間変形角1/15rad時の状況



写真ー3 層間変形角1/15rad時の横張板の状況

タイプ、小幅度4層により構築する桧木タイプを考案した。それぞれの構成を図ー3, 4に示した。各図とも柱芯々間距離を910mmで作図している。

①壁枠タイプ（図ー3）

柱幅と寸法法の壁枠を設けてその壁枠に小幅度3枚を挿入して壁枠を軸組みにビス留めする。

柱幅4寸以上の軸組みに適用する事を想定している。大壁仕様に適している。

②桧木タイプ（図ー4）

柱幅内に桧木を設けて桧木幅内に斜め板2枚を配置し、その外側に横板をビス留めする。

柱幅4寸以下の軸組みに適用する事を想定している。真壁仕様、大壁仕様ともに適している。

真壁仕様で仕上げる場合は、ちり幅を確保しながら仕上げの選択肢が多くなる。数寄屋造りの土塗り壁では、土塗り壁を桧木タイプに置き換え、柱のちり幅を確保しながら土塗りで仕上げる事ができる。

4. 複層斜交重ね板壁の耐震性能

建築基準法施行令第46条第4項表ー1の（八）に基づく木造軸組耐力壁の試験方法に準じたタイロッド式を採用して構造実験を実施した。そこでは、載荷装置に壁試験体を固定して、正負繰り返しせん断力載荷実験を実施して耐震性能を評価した。載荷装置と試験体設置状況を図ー5、小幅度4層・桧木タイプ試験体を写真ー1にそれぞれ示す。

小幅度3層・壁枠タイプ（柱120mm角材、壁枠幅120mm、小幅度幅120mm）、小幅度4層・桧木タイプ（柱105mm角材、壁板厚48mm、小幅度幅120mm）のせん断力・層間変形角関係を図ー6, 7にそれぞれ示す。

小幅度4層・桧木タイプの層間変形角1/15rad時の破壊状況を写真ー2, 3に示す。層間変形角1/15radの大変形時において、引張り側柱脚（写真ー2、右側柱）の土台に引き裂きを確認できる。横張り小幅度の状況から、内側に斜交さ

せた2層の斜め板は面内の桧木位置に留まり、それぞれ圧縮材として働いていることが確認できる。斜交させて配置した小幅度は、大変形時でも面外に外れなければ圧縮材として働き、木造耐力壁の耐震性能向上に寄与していることがわかる。

5. おわりに

無垢な小幅度を柱と同じように圧縮材として活用した木造耐震壁を紹介した。新築および既存を問わず、多種多様な木造建築物に適用できると考えている。木造建築物の耐震性能向上にひと役担うことができれば幸甚である。