

木による建築の構築*

片 岡 靖 夫**

Construction Method of Wooden Buildings*

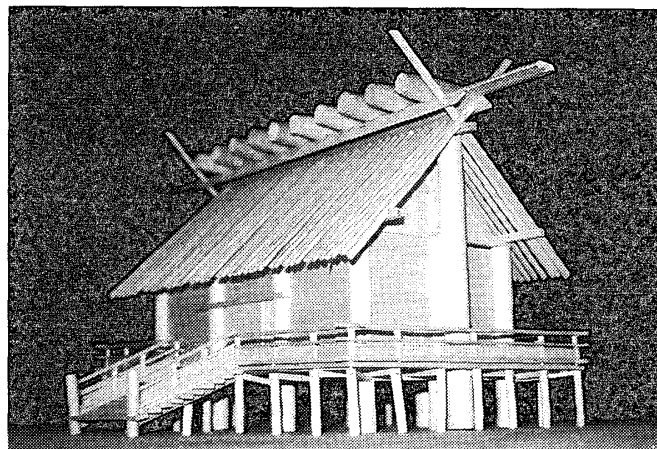
Yasuo KATAOKA**

(平成14年8月31日受理)

1. は じ め に

奈良時代にできた日本書紀神代第八段に「杉及び櫟樟、この両の樹は、以て浮寶とすべし。檜は以て瑞宮を爲る材にすべし。……」とあり、水に強い杉と楠は舟を作る材料とし、美しく耐久性のある檜は宮殿を造る材料として用いるべきと述べたもので、上古から木の特性を考えて工作物や建造物を造ってきたことがうかがえる。確かに宮殿などの国家的重要建築物は檜で建造されてきたが社寺建築を含め多くの建造物には檜以外に樺や杉が多用されてきた。石による建築の構築のない日本の伝統建築、ただひたすら木による建築の構築にこだわってきた2000年であった。

新しい木造建築に関しては、1988年に米国のシアトルで第1回の木構造国際会議 (World Conference



伊勢神宮内宮の正殿の構造模型

(本稿の掲載写真は一部を除き写真家 大野雅人氏の作品)

* 第57回木研公開講演会 (平成14年5月17日) において講演した。

** 木質環境研究部門客員教授 (Division of Wood-Environment Science, Visiting Professor)

中部大学工学部建築学科 (Department of Architecture, Faculty of Engineering, Chubu University)

Key words : Traditional Wooden Building, Construction Method, Mechanical Characteristic, Changes of Structure, New Wooden Structure

of Timber Engineering)が開催され各国の研究者と技術者が一堂に会して研究発表と技術交流がなされた。世界の木質構造はそれ以来様々な情報交換と技術交流が行なわれ現在に至っている。日本も新しい木質構造の動向に敏感に反応してその技術を高め様々な新しい木質構造の提案がなされている。本稿では木の特性に焦点を合わせて伝統木造建築と挽材による新しい木質構造の構築性について論じる。

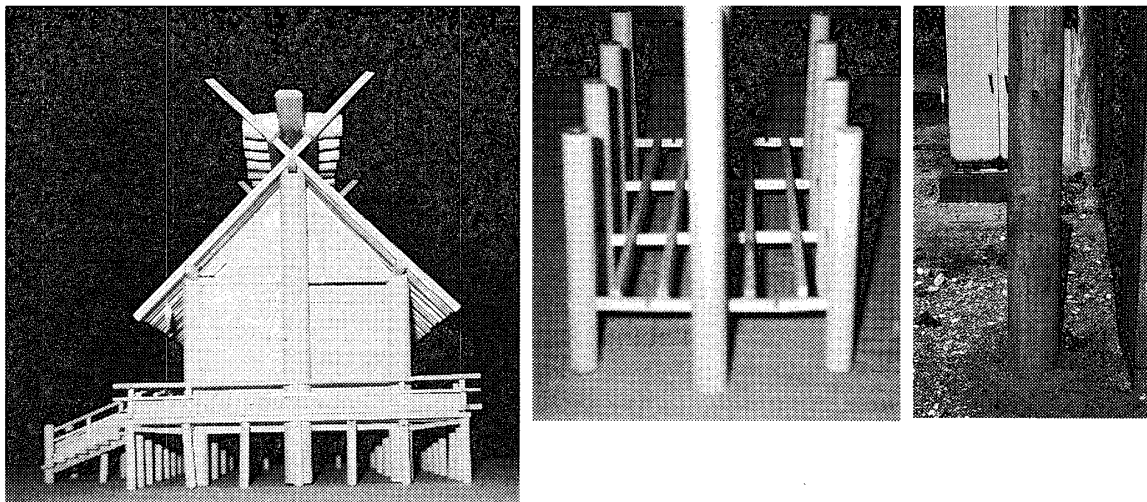
2. 伝統木造建築の構築性

伝統木造建築の構造的な構築性に関して、奈良時代と鎌倉時代に三つの大きな変化があった。はじめは掘っ立て柱の建物が礎石上の建物に変化したこと、そして鎌倉時代に貫構造が出現したものと桔木の発明があったことである。

地面に穴を掘って柱を埋め込み土で固めると地盤の受動土圧（土の反発力）で倒れなくなる。上古の建物は掘っ立て柱によるものであった。三重県伊勢市にある伊勢神宮正殿は掘立柱による建物であり、奈良時代からの建築様式と工法が現在まで継承されている。写真1は正倉院文書及び儀式帳をもとにした福山敏雄博士の皇大神宮正殿推定図^{1), 2)}をもとにして作製した伊勢神宮内宮の正殿の構造模型写真³⁾である。掘っ立て柱の地中部分は腐朽し、建物は不安定になるので伊勢神宮正殿は20年毎に建て替えられる。これを20年式年遷宮（造替）といい、天武天皇14年（685年）に定められ、内宮では1回目が持統天皇4年（690年）に行なわれた。20年式年造替は、建物の柱が腐朽するという理由だけでなく、工法と技術の伝承、そして檜の大樹の育成など様々な理由があったからといわれる。式年造替は、途中戦国時代に123年間の中断があり、工法の伝承が一時途絶えたといわれる。

写真1は、2本の檜の棟持柱と10本の側柱を掘立てた後、柱の間に板を落とし込み、ごひらの梁を架ける。現在の正殿は桁を渡して、その上に梁を架ける京呂組だが、和小屋の古くからの手法に合わせるため、外宮の正殿と同じように、梁を先に架けてその上に桁を渡した折置組とした。次に梁の上に叉首を組みその頂部に棟木を渡す。これが正殿の主要な軸組である。屋根は、棟木と桁にたる木を架け渡して茅を葺いたものである。棟に沿って鰹木（かつおぎ）が載っているが、これはたる木の撥ね上がりをおさえる働きをしている。

写真1 伊勢神宮内宮正殿の構造



（製作 山田裕彦）

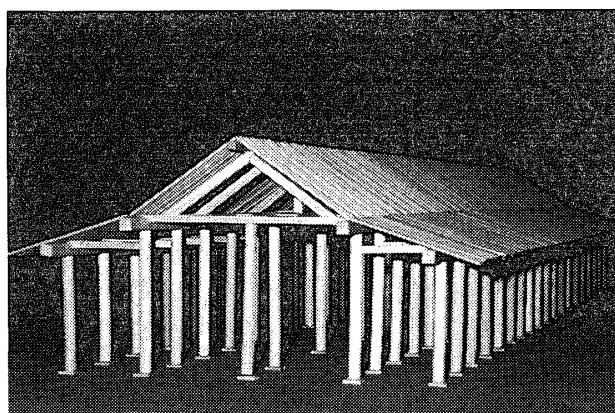
掘っ立て柱は地中の周囲の土によって拘束される。水平力が作用すると土に接する部分は土の受動土圧

を受けて水平外力と釣り合う。土の受動土圧は、はじめは線形性を有しており途中から弾塑性の性質を示すようになる。建物が水平力を受けて傾いても、受動土圧が線形の範囲にある間はその傾きは元に戻る。著者の掘っ立て柱の水平加力試験の結果⁴⁾によると伊勢神宮のこの正殿の掘っ立て柱は地震や台風などの水平力を上回る抵抗力を有している。

奈良時代、寺院建築や宮殿等は礎石の上に柱を載せる工法をとるようになる。中国大陸からの仏教の伝来と共に様々な建築技術が日本に伝来し建築には画期的な変化が生じた。日本書紀⁵⁾の敏達天皇6年の記述に、百済の国から僧侶、寺工（寺院の匠）、鑪盤（ロバン）工、瓦工、畫家、が送られてきた、とあり、この時期に大陸からの寺院建築の技術移入が盛んに行われた様子が記録されている。この時代の建物や発掘される建物には礎石が使用されている。

柱が礎石の上に載ると腐りにくくなるが掘っ立て柱のように大きな自立性と水平抵抗力を有していない。礎石上の柱は不安定である。しかし、柱が太く、そして大きな圧縮力が作用していると安定する。柱は水平力の作用で傾こうとするが、柱には元に戻ろうとする力、すなわち、柱径と圧縮力の積に比例する巻き戻しのモーメントがそれを抑える。これを柱の復元力という。坂静雄博士⁶⁾はこの復元力の大きさを実験ではじめて示した。当時の建物の安定性は、この復元力に依存する割合が大きかった。そのためには大断面の柱の入手と、建物を重くすることが不可欠であった。写真2は柱が礎石上にある法隆寺東室大坊構造模型⁷⁾であり、その柱の太さと本数の多さがみてとれる。また前記の古文書⁵⁾の記述にある大陸からの瓦の技術の導入とその利用は建物を重くして礎石上の建物を安定させた。しかし、大径木の入手は当時でも容易なことではなく、瓦は高価なものでその量も限られていたので、それは宮殿や社寺建築など重要建築物に限定されていた。瓦屋根の建物は重いので、柱の復元力は大きくなり台風には強いが、地震に対しては有利でない。それは、地震の時、建物は重量に比例した大きさの水平力を受けるからである。礎石上の建物の出現後、天武天皇13年（西暦684年）の日本書紀に地震による寺院の被害が初見され、それ以後、地震被害の記述が多くなる。

写真2 法隆寺東室大坊構造模型



(製作 菊地 彰)

礎石上の建物の安定性は柱の垂直性と柱底面と礎石表面の密着度に影響を受ける。そのため、凹凸のある礎石の表面に合せて柱の下面を正確に加工する精密な技術が生まれた。これをひかり付けいう。さらにそのひかり付けした礎石表面の中心にほぞ穴を明け、柱のほぞを差し込み、柱のずれを防ぐ細工をしている。そして通風のためと思われる溝を付けているものもある。柱脚の劣化や腐朽を防ぐ工夫である。この柱と礎石のひかり付けとほぞは地震や台風に対する抵抗力を保持する重要な要素であった。し

片岡：木による建築の構築

かし地震に対する抵抗力はそれだけでは不十分であり、柱と横架材の組み手を工夫することによって軸組に水平変形抵抗性能を付加するようになる。地震や台風が頻繁にある環境や高温多湿という木材の保存には適さない風土が横架材の組み手の精巧な仕口の発達を促していく。

当時の建物で、建物を横方向の外力に対して安定性させるのは前記の柱復元力他に、柱と長押ならびに柱と頭貫の仕口回転拘束力が主要なものであった。現在の長押は意匠部材になっているが、上古の建物の長押は地長押も含めて構造的に建物を固める重要な構造部材であった。すなわち、柱に欠き込みが作られそこに長押が嵌め込まれるので、軸組みにラーメン効果が生じる。頭貫に関しては法隆寺金堂⁸⁾に見られるように、初期の段階では、頭貫は柱に大入れされているだけで柱を拘束する効果は小さい。時代を経るに従い柱内の頭貫先端は蟻状に勾配を設けたり柱と貫を互いに合い欠きにして組み手を造り仕口内での回転抵抗力を持たせるようになる。柱の長さ径比（細長比）と柱復元力は反比例するので、大断面の柱を有していない建物の水平変形抵抗力は主として柱と横架材によるラーメン効果に依存する。

鎌倉時代になると貫を使用した新しい構造が出現する。その時代の新しい建築様式の出現は中国の宋様式の影響を受けたものであり、浄土寺浄土堂、東大寺南大門の遺構に代表される大仏様がそれである。図1は東大寺南大門の構造軸組みアイソメ図であり、これは正治元年（1199年）に重源によって再建されている。東大寺要録の記述によると南大門は、應和2年（962年）と永祚元年（989年）に台風で倒壊したとあるので、その再建にあたっては水平力に対して強度の高い工法が要求されたことが推察される。台風や大地震に対して信頼性の高い巨大建築の構築法、大木を中心とした木材の調達、膨大な量の部材加工法、そして新しい工法の開発と、これまでの技術と技能の経験と踏襲では建設が不可能であったはずである。この大事業に取り組んだのが重源上人²¹⁾であり、1190年に建立した浄土寺浄土堂の経験を生かして前記の難問を見事に解決して成功を収めている。

柱に、貫の成より少し大きい穴を明ける。建て方の時、柱の穴に貫を通した後くさびを打ち込んで仕口を締めると、軸組は貫の回転剛度が増し半剛接架構になる。これを柱と貫によるラーメン効果ともいい、水平力に対してねばり強い構造になる。貫仕口は柱と貫の回転角が増大しても耐力は漸増を続けその低下はない。繊維に直行方向の圧縮力を受ける木材の性質が貫と楔の接触応力と変形の関係に表われるからである。鎌倉時代の貫構造は貫や肘木が柱を貫通し、それらが水平力抵抗部材としての明確な力

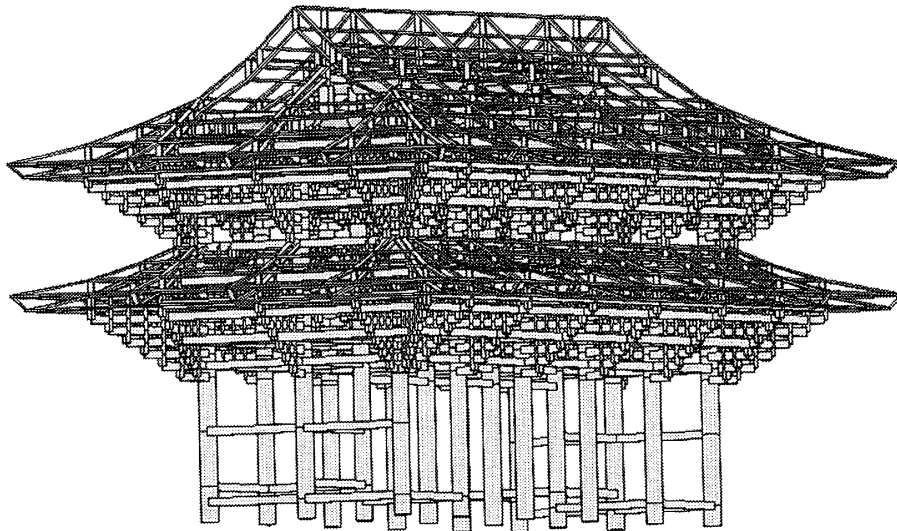


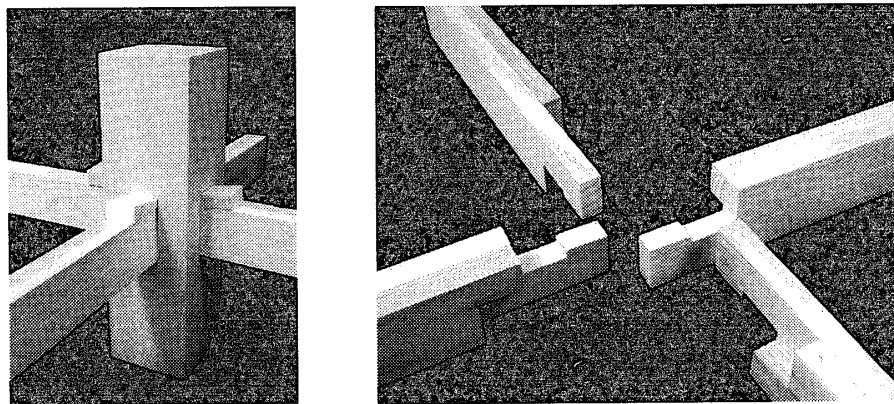
図1 東大寺南大門部材構築図（モデル化；小池久美子）

学的意味を持っていた。南大門はこの貫構造の典型的な例である。貫の使用は、大規模でかつ水平変形性能に優れた木造建築を可能にした。図1の南大門の構造アイソメ図は極めて複雑に見えるが、実は最小限まで絞り込まれた部材の種類、規格化した部材の大量生産、部材構築に深い経験を必要としない工法などは、それまでに継承されてきた技法の踏襲や、より優れた意匠を追及するという伝統工法の姿勢や常識を打ち破るものであった。池浩三博士はこの南大門の軸部の肘木と貫の部材構成に関して新しい見解を示し詳細な検討⁹⁾を行っている。

南大門の構造的特徴は、部材の種類の少なさと建物を連続的に構築することを可能にする仕口の創案である。使用部材を見ると、横架材には差肘木、通し肘木、貫があり、それらはほぼ同一断面を有し、木材総量の35.5%を占めている。そして柱は20%、桁10%、枅9.3%、紅梁6%である。5種類の部材で建物の基本構造をすべて構築できるということは、同寸の部材の大量生産が可能であること、高度な技能を必要としないということ、そして正確な架構の構築が可能であることを意味する。これらの構造用部材は総木材量の約80%を占めており、巨大建築を構築するためにいかに構造材を多く必要としたかを示している。この構造は柱に貫と肘木を貫通させ楔で緊結し、これを全ての仕口に適用している。すなわち半剛接架構で建物を安定させる工法の出現である。それは巨大建築を短期間で精度良く完成させ、かつ強度と靱性を有する建物にするために創案された合力学的な構造である。

写真3の仕口は4パターンある仕口のうち中柱のものであり、回転剛度の実験用に作製したものである。この仕口は、柱の内部において4方向から集まる4本の貫が互いに噛合い、隙間を作らずさらには柱から抜けないようにになっている。この4本の貫の欠きこみの形状は同一である。これに4方向から楔を打ち込み緊結する。その組み方と楔による緊結法は、大断面の柱と細い貫の関係を利用したもので、断面の大きい柱に貫が貫通しても柱の断面欠損による強度低下が問題にならない。つまり柱と貫2本の曲げ強度比は断面欠損を考慮しても約7:1である。これは地震や台風などの水平力が作用した時、貫が先に降伏する梁降伏型の架構であり靱性のある構造である²²⁾。

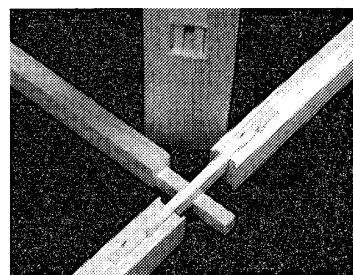
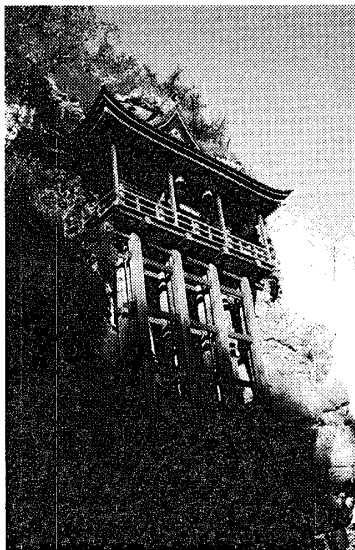
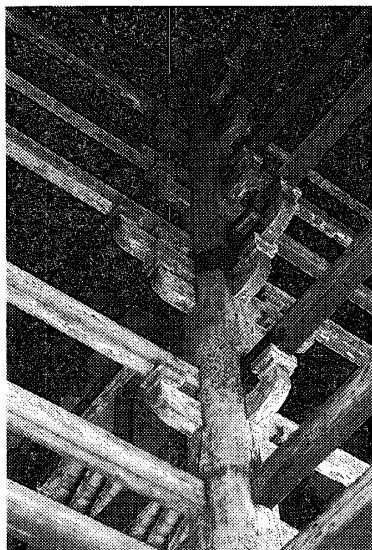
写真3 中柱の貫仕口と組手^{9)、10)}



(製作 川口直人,小池久美子 写真4 (右)の模型も)

片岡：木による建築の構築

写真4 貫構造による南大門（左）と釈尊寺の懸崖造り（中）



鎌倉時代の重源の考案した貫は構造の部材構成を正確に行うことを基本にしているが、力学的にも合理的な仕組みを有している。それ以降貫仕口には様々な形状のものが現れるが、重源の貫を超えるものはない。写真4の右の貫仕口は近世のものであるが、軸組みの組み立てを可能にするために車知栓などを併用したもので基本的には大差ない。貫構造は強度と靱性にとんだ建物なので傾斜地や写真4の（中）のような急峻な場所に造られる懸造り（懸崖造り）に用いられている。

写真5は東本願寺東山浄苑総門¹²⁾であり平成12年に落慶した。この建物は伝統工法による建物であり総檜造りの総門である。建物の軸組みを柱と腰貫及び飛貫で構築し、柱上部には台輪を架け渡して枅組みを載せる。台輪と枅組みの間には板壁を差し込み軸組み上部を固めている。山門などはトップヘビーの建物なので軸組みは靱性に富んだ構造でなければならず、応答解析を行って構築法を検討した。山門（三門）や総門に貫が多用されるが、柱と貫及び肘木だけからなる工法ではないので前記の大仏様とは異なる。鎌倉時代以降、社寺建築ばかりでなくほとんどの伝統建築は、貫の使用と和様の工法が併用されている。和様建築は仕口と継手のみで建物を構築して軸組みを固めていくので、仕口の形態の重要性和共に建て方の手順が重要になる。建物の軸組みを固める横架材は差し鴨居や長押などの仕上げ材も複合して機能する。

このように伝統建築は、構造部材と仕上げ部材の明確な区別はなく、仕上げ部材が構造材料として機能し、構造材料も意匠上重要な要素になっている。そのために、仕口や継手が美しく仕上がることが重要であり、構造的な必要性ばかりでなく意匠上の美しさが追及されてきた。建て方の時、部材はすでに仕上げかんながかけられており、工事の途中過程でも室内空間の意匠が表れている（写真5の室内写真）。部材は主として柱の中で接合され見かけ上は組み方が見えない。また、仕口表面の重なりに隙やずれが生じないように精度のよい加工技術が必須の条件である。そして木材の乾燥収縮による隙の発生をなくすために、乾燥材の使用と共に部材を実際の長さより若干大きめに加工し木材の可撓性を利用して打ち込む建前嵌めという技法もある。仕上げ材の境界部分に隙間を設けて施工誤差を吸収する現代の施工法と著しく異なる。

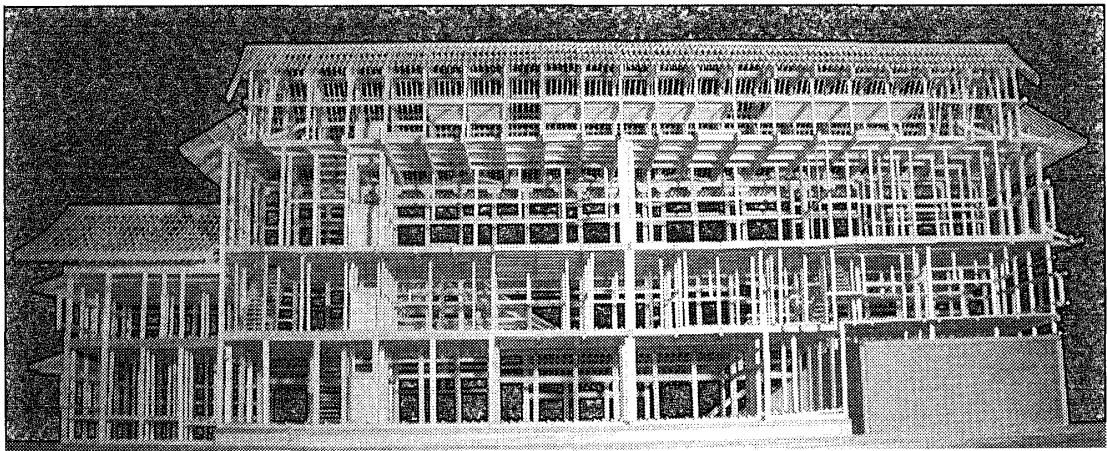
伝統建築がすべて地震や台風などに対して強いものとは限らない。古文書には地震による建物被害の記録は非常に多い。しかし、そのような条件があったからこそ巧みな構築性の追求がなされてきてそれが継承されてきたのであろう。

写真5 東本願寺東山浄苑総門¹²⁾

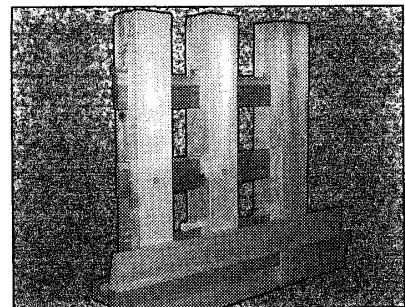
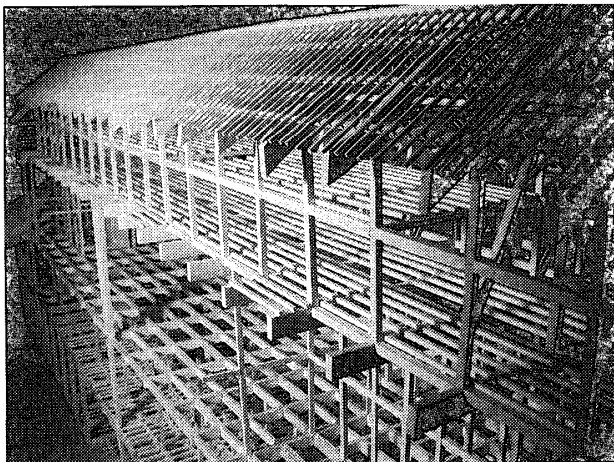


写真6は永平寺七堂伽藍の一つである大庫院の構造模型であり、その建物の小壁の軸組み¹³⁾と共に示した。著者等の分析¹⁴⁾によると大庫院の水平力抵抗機能は、柱と貫を含めた横架材による軸組み、土壁、そして小壁である。特に軸組みの水平抵抗力は土塗りをした小壁の軸組拘束効果に依存する割合が大きい。小壁の軸組みは、柱、釣り束、長押、貫、そして差し鴨居で構成され楔と車知栓及び込栓で緊結され構築される。その構成の過程を写真7¹³⁾に示した。

写真6 永平寺七堂伽藍大庫院構造模型と小壁軸組み¹⁴⁾



(製作 上杉真也、小川晃司、大丸隆)



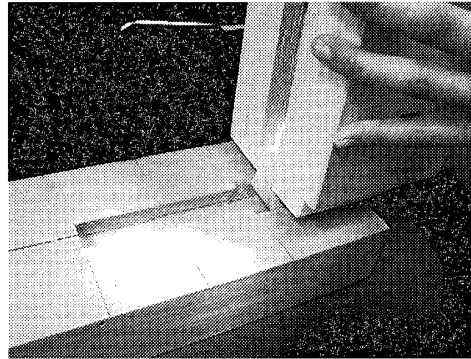
(製作 永平寺棟梁 大久保利二)

片岡：木による建築の構築

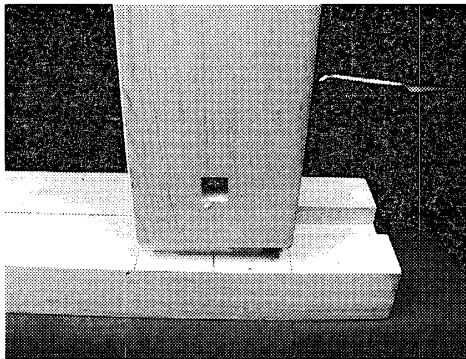
写真 8 小壁の構築過程



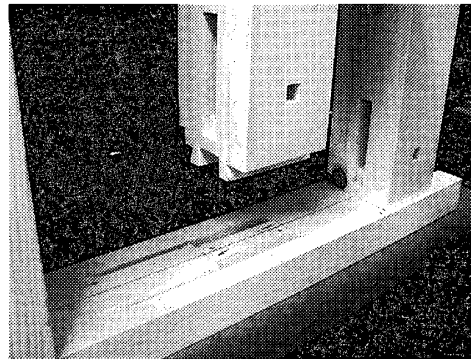
1. 柱に鴨居を取り付ける



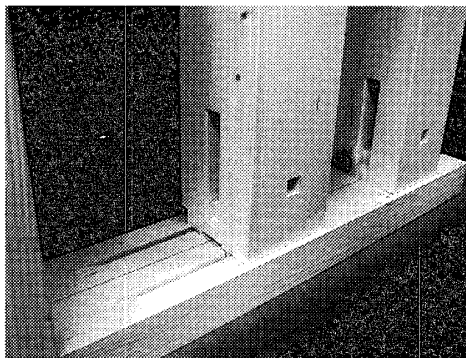
2. 釣束の蟻衾を逃げ穴に差し込む



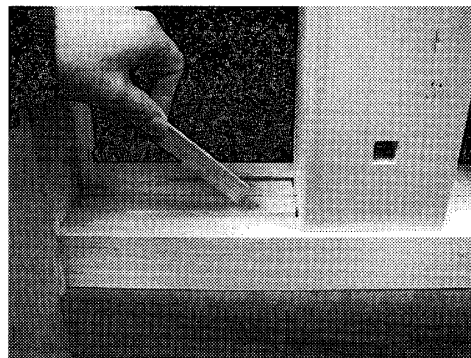
3. 逃げ穴から蟻穴に平行に移動させる



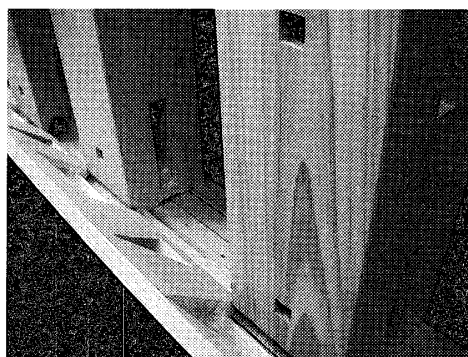
4. 釣束と衾穴と社知道



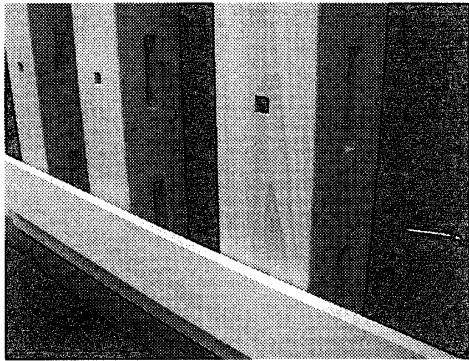
5. 衾を衾穴に差し込む



6. 車知道に車知栓（篠差し栓）を差し込む



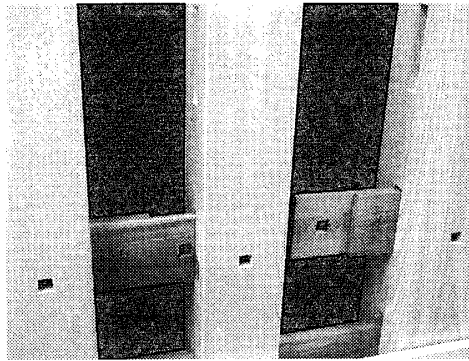
7. 長押を柱に差し込む



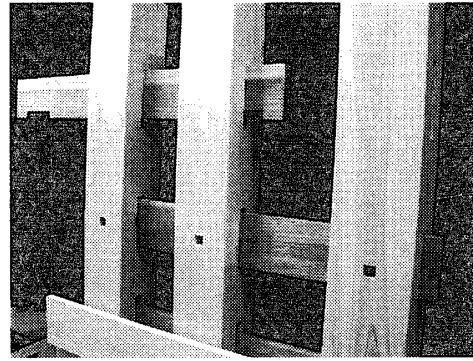
8. 長押を完全に留めるために裏に釘を打つ



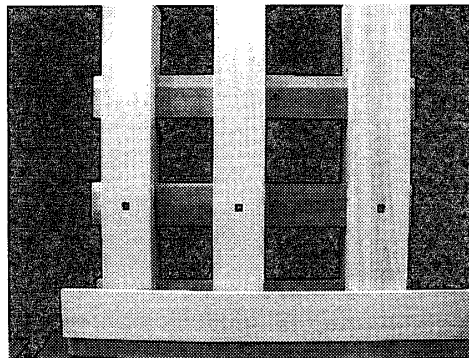
9. 下段の貫を通す



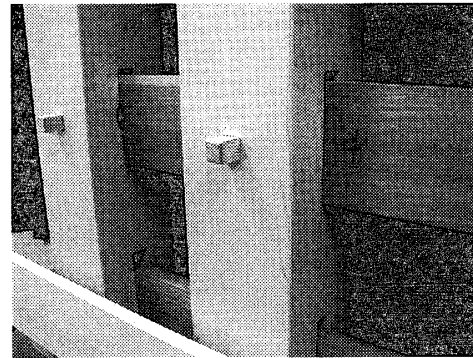
10. 両側から相欠きの貫を通し中央の柱内部で接合する



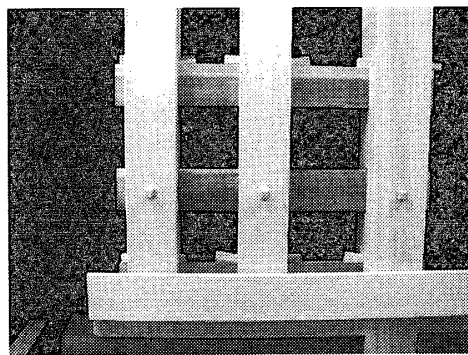
11. 上段の貫を通す



12. 調整をする



13. 込栓を打つ

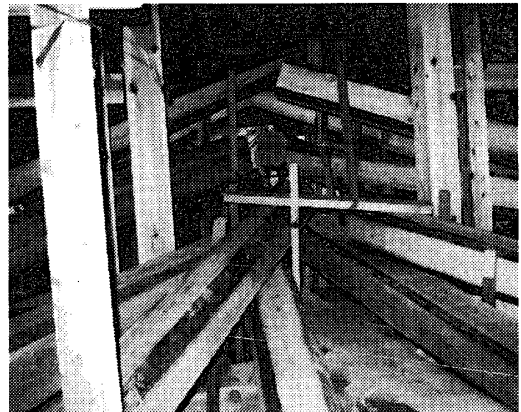
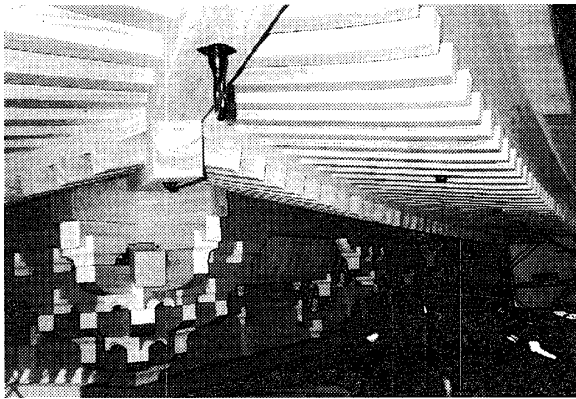


14. 楔を打つ

片岡：木による建築の構築

屋根構造は小屋組と桔木を併用して構築¹⁵⁾されている。屋根の深い軒の出と軒の美しい反りは、小屋組み内に挿入した桔木の構築で可能になる。桔木は13世紀以降に日本の伝統建築の屋根構造に用いられるようになった工法で、社寺建築はもとより大型の書院造や庫裏あるいは大規模な民家や商家にも見られる。桔木は梃子の原理を利用して軒の荷重を支持するものであり、桁桔、天秤梁、あるいは禅宗様の尾垂木も桔木の種類である。その中で桔木は軒の出を大きくし軒の反りを正確に造り出すための、小屋組とは力学的に独立した構造要素である。

写真9 軒の美しい反りと桔木の構成¹²⁾



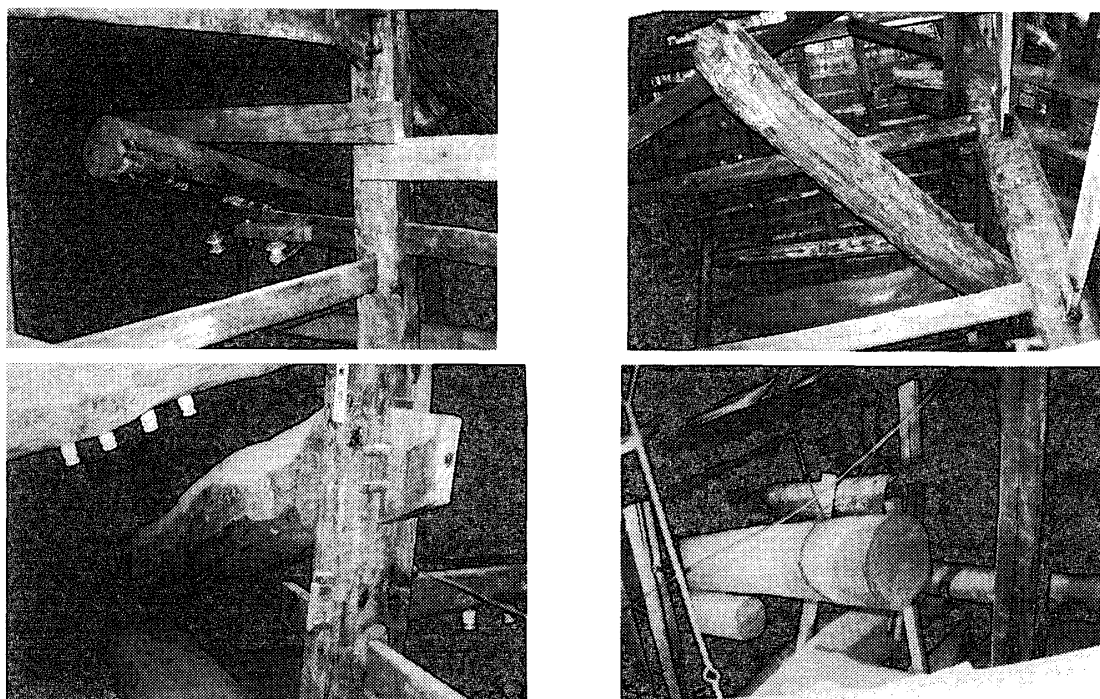
古建築の桔木の当初材には丸太の松が使用されている例が多い¹⁶⁾。しかし、修理による取替え材は松と共に檜も使用される。桔木の元口は軒先へ向け末口が小屋組の中に送り込まれる。曲げ性能の高い方を片持梁にすることが主たる理由であろうが、さらには小屋組内は小屋組部材と多数の桔木によって混み入るので、末口を小屋組内とした方が建方上有利である。桔木の末口方向は木の自然の反りを利用して小屋部材をかわしながら巧みに配置される。それぞれ勝手な曲がりを持つ材の方が直材より配置調整が容易である。自然の反りを有する丸太材を使用する理由であろう。桔木は桔木尻からの出と桔木尻までの長さの比が大きいほど丸桁や桔木尻支持部の負担が軽く有利である。それは桔木尻の反力を低減しその結果丸桁への荷重の増分割合を低くする。さらに軒先内での桔木配列に関し化粧垂木と野垂木の懐の制約を受けにくいからである。

桔木は屋根構築上の機能と構造的な機能を有している。桔木は小屋組みの部材構成とは独立した部材であり建て方が修了するまでは力学的に不安定である。軒の反りの線が定まった後、桔木尻を留め静定部材になる。化粧垂木と野垂木の間の空間に適当に配置される桔木は長さも太さも一定でない。化粧垂木や野垂木の配置に関しては正確な木割がある一方、桔木の配置は小屋組みとの間に定まった位置関係はない。

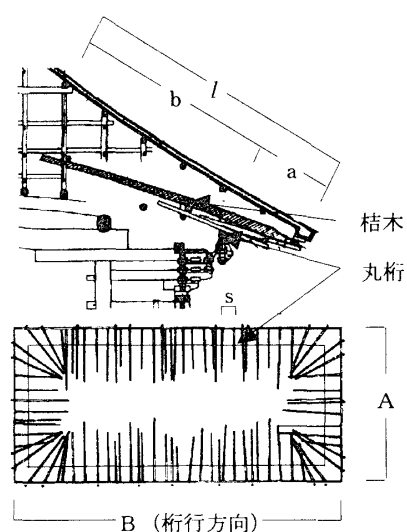
桔木は底を支えると同時に桔木尻の微調整で底の反りを正確に造り出す機能を有している。桔木尻の留め方は、著者の調査¹⁶⁾した限りでは定まった方法は見られず桔木尻の小屋組みの構成に応じて決められている(写真10)。瓦の重量は大きく軒の変形に対して支配的な荷重である。そのため小屋組の建て方が終了し瓦が載ってからでないと軒の正確な反りをだすことできない。木割術と正確な小屋部材の加工組み立て技術を持った工法の中に、精度と規則性を全く持たない様々な部材寸法とあいまいな配列の桔木を組み込むことで、精緻な軒の造りを可能にしている。これは、荷重に対する変形の予測の困難な軒構造にのみ成立する手法であろう。この桔木は、瓦の修理や取替え、あるいは軒の補修などの時にも有効に機能する。つまり小屋組を解体せずに桔木の再調整で修復が可能だからであり、小屋組と独立した部材の重要な機能になっている。

図2に重要文化財工事報告書をもとにして求めた桔木の寸法関係を示した。建物の大きさと桔木の長さの相関はあるものの、配列法や断面寸法、あるいは桔木尻の止め方には特に定まった方法はない。勝手な反りを有するあいまいな部材の使用とあいまいな部材配列が桔木構造の大きな特徴であり伝統工法の精密な加工技術と正確な部材構成法に比較すると極めてファジーな手法である。しかし、このあいまいさが軒のそりの美しさを創出し小屋組内に多くの部材配列を可能にしている。

写真10 小屋組み内の桔木尻の各種の留め方



建築名 (屋根葺材)	再建年	屋根寸法 (m)	桔木 本数	平均間隔 s (m)	長さ l (m)	出 a (m)	入 b (m)	出:入 a:b	末口径 (cm)	元口径 (cm)
志度寺本堂 (瓦葺)	寛文10年 1670	A 16.8 B 23.3	17 30	1.98 1.55	5.79 5.53	2.24 2.48	3.55 3.05	1:1.31 1:1.23	18 15	30 28
善光寺本堂 (桧皮葺)	宝永4年 1707	A 28.0 B 58.4	24 61	2.33 1.91	10.21 10.27	4.27 4.13	5.94 6.14	1:1.39 1:1.49	24 24	32 35
大徳寺経蔵 (本瓦葺)	寛永13年 1636	A 13.3 B 13.3	18 18	1.48 1.48	5.69 5.69	2.06 2.06	3.63 3.63	1:1.75 1:1.75	12 12	20 20
萬福寺天王殿 (本瓦葺)	寛文9年 1669	A 18.0 B 26.2	17 29	2.12 1.80	6.36 7.56	2.76 2.76	3.60 4.80	1:1.30 1:1.74	24 21	27 27
四天王寺元三大 師堂 (瓦葺)	元和9年 1623	A 14.2 B 14.2	14 14	2.03 2.03	5.93 5.85	2.25 2.21	3.68 3.64	1:1.64 1:1.65	21 21	21 21
園城寺大師堂 (桧皮葺)	慶長3年 1598	A 9.3 B 10.4	8 4	1.95 1.95	4.68 4.86	1.74 1.74	2.94 3.17	1:1.69 1:1.82	12 12	14 14
竹林寺本堂 (板葺)	永正8年 1511	A 13.9 B 14.1	12 12	2.32 2.35	6.90 6.90	2.85 2.75	4.05 4.15	1:1.42 1:1.51	15 15	25 25
大神神社 (瓦葺)	弘安8年 1285	A 23.3 B 22.0	25 24	1.86 1.83	4.50 6.33	1.08 2.15	3.42 4.18	1:3.16 1:1.94	16 17	18 17



出典：文化財建造物保存技術協会編、
重要文化財修理工事報告書¹⁶⁾

図2 桔木の寸法関係

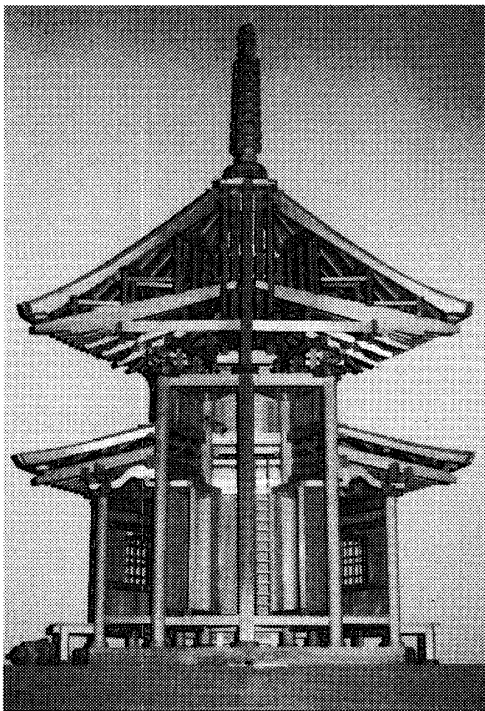
片岡：木による建築の構築

写真11は、六角形の平面形を有する永平寺納経塔（伊藤平左エ門設計）であり、写経百万枚を収納する建物として平成8年に落慶した。伝統工法による塔建築で昭和以降に建設された層塔は35基、宝塔系が42基であり、そのほとんどが方形である。本塔のような多角層塔は3基でありその数は極めて少ない。

この建物は永平寺が所有する山に自生する杉の適材が切り出されたて造られた。杉は直径45~50cmのものが伐採され、6~8ヶ月の葉枯しと自然乾燥がなされた後製材され加工された。ただし、組み物には檜を使用した。それは組み物の構成部材には繊維方向と直行方向の圧縮力が作用すること、そして片持梁として曲げモーメントが発生することから弾性定数と強度が大きい檜とした。適材適所を配慮したものである。

建設は永平寺専従の大久保利一棟梁を中心とした宮大工によってなされた。この塔は2重の塔に見えるが、下層部は裳腰階なので多層塔ではない。建物の規模は塔身母屋部分の柱間一辺寸法6尺、裳階のそれは10尺である。細部意匠は禅宗様式を用い上の軒組物は二重尾垂木、三手組、二軒、扇垂木であり、下の軒組物は出三升、一軒、扇垂木である。ただし、写経収納のための塔であるので、湿気を避けるために床は禅宗様土間床を排し板床とした。したがって外部に落縁を廻らしている。建物の高さは地盤面より床高さ3.25尺、塔心母屋柱天まで19.91尺、露盤天まで35.35尺、相輪13.6尺、軒の出は柱心より上の屋根7.5尺、裳階屋根3.5尺である。写真11の左は塔の縮尺模型であり、設計や部材構築のための検討のために作製された。伝統建築は部材と部材の組み手の連続なので、構築過程を検討し確認するために原寸図の作成や模型の制作が必要になる。模型の段階では上層の心柱は天井の上の梁から立ち相輪を支えている。これは多宝塔の構造形式であるが、本塔では通しの心柱を基壇の上から立ち上げ上層の相輪を支えている方法としている。

写真11 永平寺納経等塔



（模型製作 杉村幸次郎氏）



著者はこの建物の構造解析を行って力学的な合理性を確認し、同時に建設過程ごとの自由振動実験を行って動的な特性を求めたが¹⁷⁾、塔状木造建築の固有周期は構造体の特性と共に仕上げ材の影響も受ける。

建物を正確に構築するために部材構成に規則性が必要である。伝統建築における三重塔や五重塔の美しさは頂部へ向かう塔身幅の減少と屋根意匠のバランスによって生み出されている。この塔身幅の減少は心柱を除き各層の柱間の減少によって生み出されている。このように建築を構築するための寸法を決める手法は奈良時代からあったといわれる。当時は論治垂木を境にして配付垂木の間隔が乱れていた。上層の柱は垂木上の柱盤の上に据えられその間隔は垂木の間隔を基準にして決められる。これを枝割りという木割の一種として成立したのは鎌倉時代中期である。それは垂木の幅と成の和を一枝として、これを基準寸法にして各部材の間隔等を決める方法である。層塔のように重層建築の場合、垂木の間隔に規則性がないとその上に載る柱間隔に規則性を持たせることができない。木割法は層塔の構築上重要なものとして認識され発達したものであろう。長亮3年(1489)の「三代巻」は建築のある一つの部材寸法を基準として建物を構築する手法を示したものである。

中国には北宗の時代、1100年に李明仲が著した築造方式¹⁸⁾があり建物を構築するための様々な技法や規則、そして使用材料の量、さらには功限といって建物を構築するために必要な人工(にんく)や手間に至るまでを系統的に示している。

伝統建築の構築方法は継承されつつ、時代の変遷と共に変化し改良され江戸時代に完成する。伝統建築の様々な技術、特に部材構成全般にわたる木割りは桃山時代の平内家伝来の匠明5巻(慶長13年—1608一、平内政正信著「匠明」)がある。伊藤平左エ門博士は木割りに関して記した匠明五巻考¹⁹⁾において柱の幅を基準にして部材寸法を決めていることを様々な検証を行って示している。そして、柱幅を基準として各部の寸法を比例関係によって表わしている。そこでは柱幅を基準にした理由については言及していないが、柱の断面寸法は数種類に限定されており基準寸法にすることが可能である。一方横架材は建物を固める材であるため、柱間や建物の用途によって断面寸法が一定でなく、基準寸法にするのに適していないからであろう。前記の枝割において垂木の幅と成を基準にしたのは、垂木は他の部材に比較して一定の寸法を有していたからと推測する。

3. 新しい木質構造の構築

このような伝統木造建築の長い歴史があるにもかかわらず、現代になると在来木造住宅を除き伝統木造建築の再生、新木造建築の提案はこの十数年前までなされなかった。現代建築は鉄筋コンクリート構造であり、鉄骨構造である、といった固定概念が建築教育界、建築家、クライアント、行政、施工業界など建築界に定着していた。日本の近代化、工業化のための必然性とも考えられるが、木造建築の可能性が置き去りにされていた事実は否めない。唯一、昭和49年に枠組壁建築(ツーバイフォー工法)の技術基準(告示1019号)が制定されたのが例外的な新しい動きであった。

木は燃える材料ということで、延焼の可能性のある部位に不燃材料を使用することで法律はひたすら木を排除してきた。鉄骨や鉄筋コンクリートの強度や剛性は木に比べて格段に優れているといった考えは新しい木造建築の進展を遮ってきた。そして、昭和初期に定められた壁量の規定は伝統工法的な木造建築の設計の道を極めて狭いものにしてしまった。さらに、大学における建築教育は鉄筋コンクリート構造と鉄骨構造が中心であり、木造建築は日本建築史で学ぶ伝統建築であり、建築材料学の一部としての木材に限られていた。これは、現在の建築教育のカリキュラムにおいても大差ない。木造建築を建築設計と構造設計の立場から教授できる教育者が少なかったからである。

片岡：木による建築の構築

こういった背景があったために木造構造の研究が活発にならず、その結果木造建築を推進するための建築基準法、政令、告示といった建築の法体系の整備を遅らせた。

しかし、この十数年にわたって様々な集成材による建築の構築という新しい展開が見られた。これは集成材に関する品質、規格、接合法、耐火性能といった基礎研究の進展と昭和62年の建築基準法の改正及び技術基準の整備、そして集成材の集成技術と生産システム及び加工技術の進展がその背景にある。さらに大断面部材（最小寸法15cm、断面積300cm²以上）による大空間建築の様々な提案が可能になったが、大断面部材が火災の時も強度を保持できることが確認され、燃え代計算（火災による断面欠損が建物の崩壊に至らないことの確認計算）の考え方が導入されたことによる。これまで木構造と呼ばれていた用語も木質構造という名前が使われるようになった。木質構造を構築するためには部材相互の接合が設計の要点になる。伝統木造建築を除き、接合部には金物を併用することが多い。張弦材などを用いたハイブリッド型の部材構成を必要とする場合もある。異種材料との組み合わせは、木材だけでは実現できない新しい構造形式の建物や、木材だけでは不可能に近い規模の建物を可能にする。建築学会の木質部門の研究と木材学会の活発な建築関連の研究の成果が大いに貢献してきた結果である。

ただ、信頼できるのは集成材や人工的に改良された木質材料であって、挽材は品質のばらつきや耐久性の問題で信頼性の低い材料として評価されている。これは、挽材が集成材と比較して劣っているのではなく、多様な性質を持っている材料であり、これをうまく活用して挽材で建築を構築する試みも多くなりつつある。

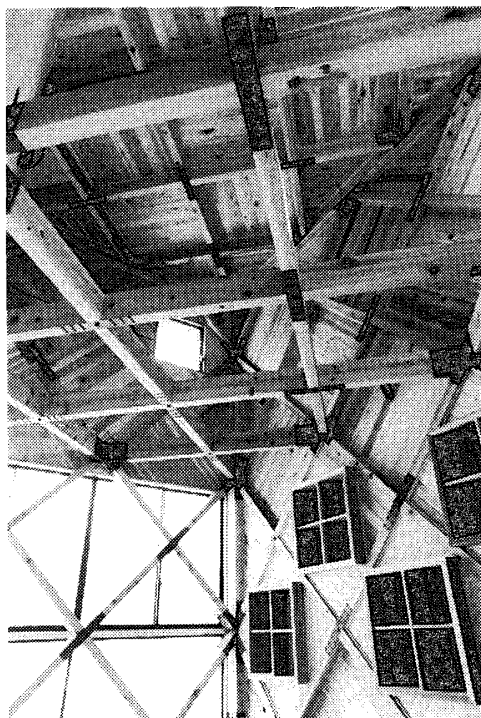
木材は日本がまかなえる重要な資源であり用材としての森林資源を育成し、そこから供給される国産材を建築に活用すること、これは幾度も聞かされたスローガンであるがなかなか建築生産の奔流とはならない。生産、流通、安定供給、経済性など、長い間、鉄筋コンクリートや鉄骨による建築が形成してきた建築生産システムに並ぶ力まで高まらない。しかし、地域における地場産の木材の利用、人間にやさしい住宅、環境共生、木造建築への愛着、あるいは木に対するノスタルジーも含め、木への関心は確実に高まっているようである。

ここでは、筆者がかかわった国産スギ材を活用するプロジェクトで三河材流通加工センター諸施設²⁰⁾の構造設計例をもとにして愛知三河産杉による新しい木造建築の構築について述べる。三河材流通加工センターは地元産の木材の集積、流通、加工、仕上げまでを行う13棟から成る総合施設であり、そのうち一期工事の管理棟と会議棟を例にして述べる。

大スパンの建築を構築する時、自重を含め建物に作用する力を部材や構造の持つ強さで制圧する方法と、鋼材など木材以外の材料を併用して力学の理にかなった構築性で外力に抵抗する方法がある。国産材の杉を建築に用いることは古くから行われてきたことであるが、スパンの大きい新しい木造建築の場合、杉の挽き材だけで構築するより鋼材を併用する方が合理性に富んだ設計が可能になるし構造の信頼性と経済性も高まることが多い。

写真12は管理棟であり杉の挽材に鋼材を組み合わせて設計した建物である。建物の柱、壁、床のすべてを斜交格子梁で構築している。斜交格子梁は、長方形床と壁見附け面に対してすべての部材を斜めに組んだものをいう。正方形に近い床を格子梁で構築すると力は2方向に伝達するので部材寸法が通常の部材に比較して小さくなる。杉は弾性係数が他の木材より小さいので格子梁は杉による構造に適している。しかし、部材の交点が多くなるので、接合部の扱いに工夫が必要となる。この建物の場合は、交点において部材を相欠きにして断面欠損部に鋼板をあててラグスクリューでとめた。写真に見るように、格子梁の交点にはプレートが見える。この建物の意匠では、接合鋼板を茶色に定めているので鋼板がさらに強調されて見える。無論、鋼板を見せない接合法も可能である。鋼板の厚さ以上の欠き込みを梁に入れて鋼板を深くし埋木をすればよい。この場合断面欠損により断面性能は低下する。この建物は、柱

写真12 三河流通架構センター管理棟



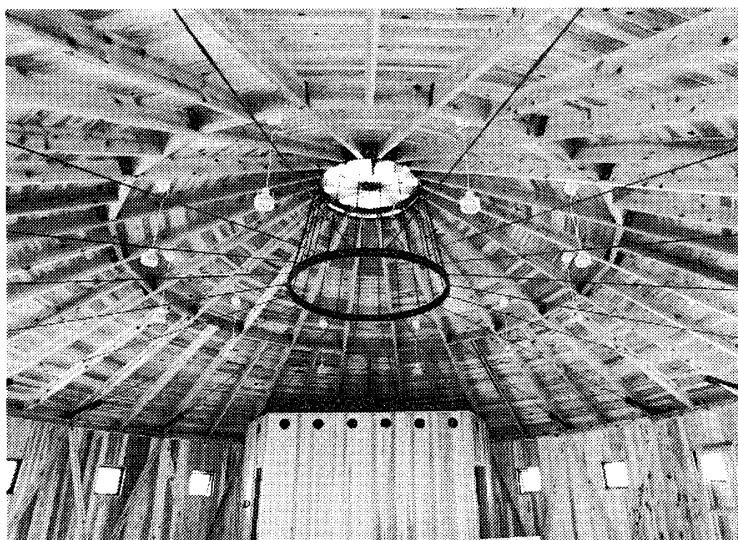
も梁もすべて格子梁としたが、それは格子梁が地震や風圧力に対する抵抗要素として機能するような構造計画としたからである。

写真13は同センターの会議棟である。この建物は、円形平面を有しており、屋根構造は頂部から垂木を放射状に円形の梁に架け渡している。こういう構造において、屋根周囲の円形状の梁の応力は一般に引張力なので、鉄筋を張弦材として組み込みこの引張力の発生を抑えた。張弦材を用いないでもこのような構造は可能であるが、垂木の寸法が大きくなり、さらに円形状の梁の引張力処理が必要になる。スパンの大きい空間を大断面集成材で構築する工法もあるが、小断面の杉挽き材でも十分に構築可能であることを示した。この構造は、木材が圧縮力と曲げモーメントに抵抗して鋼材は引張力を負担するというメカニズムである。木材と鉄筋の機能分担を考慮したものである。鋼材は長期応力の範囲では歪の変動はないが、木材はクリープ変形が発生するので、長期間にわたると木材と鉄筋の相互作用によって初期の力の釣り合い状態と異なった状態になることがある。これは鉄筋の応力緩和を起し、その結果木材の応力の増大につながることである。したがって、ハイブリッド型の構造を構築する時には、後で鋼材の締め直しが可能なような仕組みを構造に組み込んでおく必要がある。この建物では鉄筋の梁との接合金物と引張りリングの位置で鉄筋を締め直すことができるようにしてある。

木材は加工性に最も優れた材料であり、様々な新しい構築性を有する建物の提案がなされるようになっていく。これからもさらに新しい木質構造の展開が期待されるが、その時、品質の安定した集成材の活用は無論のことであるが、建物の建設を考える時まず挽き材の積極的な活用を考えその可能性を追求するという習慣が建築家、あるいはクライアントに育つことが期待される。

片岡：木による建築の構築

写真13 三河流通架構センター会議棟



4. お わ り に

伝統建築の工法を基にした建築も、新しい工法による建築も、木の特性を考慮して構築することに関しては同じである。しかし、伝統工法による建築を作ること、文化財の解体修理などを除いて一般には基準法の関係で長い間閉ざされてきた。しかし、平成12年の法改正により今後は伝統建築の復活や伝統建築の工法を応用した新しい木造建築の設計も可能になるであろう。また、集成材を活用した建築、あるいはハイブリッド型の新しい工法による木造建築の提案はより活発になるであろう。その場合それを作る職人にその工法を深く理解してもらう努力を必要とする。特に力学の理論をもとにして創作した新しい構造は、結果としてその構築性が理解しがたいものになる。在来工法の大工職人は、技能は極めて高いが経験のない新しい方法に対して消極的な姿勢を示す場合がある。しかし一度理解してくれると予想していた以上の精度のものに仕上げてくれることが多い。新しい木の建築の構築は、良いアイデアとそれを作る人との相互理解、そして共同作業として根気のいる行為である。

新しく提案された建築は、はじめは提案者の意図するものに近い建物として完成することが多い。しかし、それが反復して作られていく間に当初持っていた建物の特徴と構築性の理解が薄れていき問題を生じるようになる。継続的に良い建物を構築していくためには、高い技術や技能の継承と共に、高邁な精神を設計者も施工者も受け継いでいかなくてならない。日本の伝統建築の技術で現在も木造建築の構築に多くの影響を与えているものは、その継承者の精神の高さがあったからであろう。平成12年度、建築基準法に建築構造の限界耐力設計法が制定された。そこでは設計用の仕様規定の多くが除外されたので、伝統工法も含めて設計者の能力と責任によって木造建築の構築性に関して新しい提案がなされることが期待される。

(引用文献、参考文献)

- 1) 福山敏雄、稲垣栄三、村瀬美樹、胡朝鶴醇之：神宮、小学館、昭和50年
- 2) 福山敏雄：神社建築の研究、中央公論美術出版、昭和59年
- 3) 山田裕彦：伊勢神宮の構造的研究、中部大学建築学科卒業研究、1990
- 4) 菊地重昭編著：建築学構造シリーズ 建築木質構造、オーム者出版局、平成13年12月
- 5) 坂本太郎、家永三郎、井上光定、大野晋、校注：日本書紀下巻、岩波書店、昭和40年
- 6) 坂静雄：社寺骨組みの力学的研究、建築学会大会論文集、1941
- 7) Yasuo Kataoka : Characteristics and Structural Evaluation of Japanese Traditional Wooden Frame Structures, International Timber Engineering Conference, Oct., 1990
- 8) 文化財建造物保存技術協会：文化財建造物伝統技法集成（上、下）、昭和61年
- 9) 池浩三、鈴木樹、片岡靖夫：東大寺南大門の部材構成（軸部の肘木と貫）、日本建築学会計画系論文報告集、453号、1993
- 10) 東大寺南大門修理晃司事務所：東大寺南大門史昭和修理要録、1930
- 11) 小木曾潔、片岡靖夫、池浩三：伝統工法による軸組構造の構造特性（東大寺南大門の構造特性）、日本建築学会学術講演梗概集、1993
- 12) 伊藤平左エ門建築事務所、設計（井上説子）、構造解析（片岡靖夫）
- 13) 永平寺棟梁 大久保利二氏製作
- 14) 大丸隆、片岡靖夫、小川晃司：永平寺大庫院軸組の部材構成、日本建築学会大会学術講演梗概集、2002
- 15) Kataoka, Y., Itoh, H., Inoue, S. : Investigation of Fuzzily Arranged 'Hanegi' in Traditional Wooden Building, World Conference on Timber Engineering, WCTE2000, British Columbia, Canada
- 16) 文化財建造物保存技術協会：重要文化財大神社修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財志度寺本堂修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財善光寺本堂修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財大徳寺経蔵修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財四天王寺元三太子堂修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財萬福寺天王殿修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財園城寺大師堂修理工事報告書
文化財建造物保存技術協会：重要文化財竹林時本堂修理工事報告書
- 17) 桜井裕美己、片岡靖夫、伊藤平左エ門：永平寺納経塔の設計と構造特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997
- 18) 竹島卓一：榮造方式の研究(一、二、三)、中央公論美術出版、1970
- 19) 伊藤要太郎著：匠明五巻考、鹿島研究所出版会、昭和46年
- 20) 総合計画、意匠 設計：今井・滝川アーキテクツJV
- 21) 南都佛教研究会編：重源上人の研究、南都仏教研究会、1955
- 22) Kitamori A., Komatsu K., Kato Y., Kataoka Y. : Effect of the Degree of Wedge Fixation on the Rotational Behavior of Beam-Column "NUKI" Timber Joint, The 7th World Conference on Timber Engineering, Ang. 2002