

< 構造研究と材料研究は相互に何を求めるのか？ >

## 林産系の材料研究

足立幸司（東京大学 アジア生物資源環境研究センター）

### 1．はじめに

研究が深化・高度化するに伴い、専門分野の細分化が行われる。それぞれはより一層の発展を遂げる一方で、同じ学問領域であっても他の分野の現状・成果が把握できず、総合的・組織的な研究に対する弊害をもたらしている。林産学分野においても同様な問題が生じている、と考えるのは妥当である。構造研究と材料研究で感じられる障壁は、専門分野の細分化による情報不足を解決しさえすれば、それで十分なのだろうか？本稿では、木質材料研究の現状を紹介し、その志向について述べるとともに、構造研究との連携についての展望に触れたいと思う。

### 2．林産学分野の材料研究

一般に、科学技術の総合化を図るために、新たな総合領域や学際領域が開拓されると同時に、知識を社会で円滑に活用できない領域は統廃合の対象とされる。大学において既設の学部が、環境学部や理工学部へ組織の改編が進められているように、林産学系の研究分野も、名を変え、形態を変えて現在に至っている。「木質」や「森林」と組織に冠されること自体へのこだわりは個人的には強いが、それにしても、時代が林産学を求めているのだろうか？それとも、林産学が時代に応えられないのだろうか？林産学分野の材料研究者は、時代や体制の変化に柔軟に対応してゆく力を養っているのだろうか？

### 3．構造研究と材料研究の志向

材料研究には、材料科学(Materials Science)と材料工学(Materials Engineering)という2つの捉え方がある。研究対象は両者ともに同じであり、違いはそれに対する姿勢にある。前者は、生命や物質の本質を見据えることで自然の法則を追究し、後者は、実用社会の合理化に対する支援や生産技術の構築を志向する。換言するならば、材料科学は理学的側面、材料工学は文字通り工学的側面が強い。例えば、木質材料学にも、密度、形状、強度などの物理的性質を測定・評価して木質の本質に迫ることを意義とする木質材料科学がある一方で、安全性、信頼性、妥当性を見いだして木質の普及に貢献する木質材料工学がある、はずである。

林産学分野における木質材料学(材料研究)では、どちらの性格が強いのだろうか？また、木質構造学(構造研究)ではどうだろうか？そして、両者のスタンスの相違がどのような影響を及ぼしているのだろうか？

### 4．材料研究のための学問とは

木材とは、「切って種々の用にあてる材料の木」(出典：広辞苑)である。実用材料である限り、「どのように使われるか」、「どれだけ活用されたか」が研究成果として真っ先に問われるのが材料研究である。埋蔵資源の枯渇問題や地球環境問題が顕在化し、ECO (Environmental COncious) material、Sustainability、3R (Reduce, Reuse, Recycle) 等をキーワードにバイオマスが注目を浴び、“先端材料”として木材の社会的認知が高まる昨今、循環型社会の一端として材料研究も学際色を帯びていることを

意識しなければならない。また、金属やコンクリート、合成高分子材料などの工業材料との競合を課題とするならば、今後、木質材料研究にとって、木材物理学、木材組織学、高分子化学や材料力学に対する深い理解を有効活用し、信頼性工学、安全工学、品質管理学、プロセス工学などを配慮した総合的な材料設計に対する意識を強める必要がある。その理由として、木材はいろいろな材料のうちの一つに過ぎないということを認識した上で、林産学分野以外の研究者・利用者に対して競合材料との相違をより明確に示すことが、材料学として強固に確立される条件と考えるためである。

## 5 . Wood Science, Technology and Engineering

セル構造体、直交異方性や傾斜機能性といった進化を歩んだ機能性材料が木質である。他分野では、生物模倣材料、ハイブリッドマテリアルに代表される先端材料の研究対象ともなっている。取捨選択の過程を経てきた機能性材料をさらに多機能化・高性能化し、自然の激しい変化に対応すべく、恣意的にバラツキが付与された材質をどこまで制御できるのか、明確な展望を持つことが重要である。構造研究は、建物をつくるという明確な目的がある。目的に応じて手段を選ぶという工学の最たる分野である。材料研究は工学的に満足させることが必要な場があることを強く意識すべきである。

## 6 . 構造研究に求めること

筆者が木質材料学を中心に据える研究を始めてから 10 年が経とうとするが、根幹には常に WHY があった。「木材はなぜ？」という思考である。強度や寸法安定性の発現要因、接着のメカニズム、などの探究であり、研究を通じて木材の本質に迫る、という姿勢である。社会的要求や時代の流れを汲み取り、どのような材料設計をすれば良いのかという HOW 的な姿勢を学ぶ機会が少なかった。ここ数年、木質接合具開発や防耐火構造に関する共同研究を通じて構造研究の方々と関わりを深めるほど我が身の不足を痛感している。

材料研究では、「木質材料の開発を通じて、木材は何であるかを捉える」というように、手段が目的化している姿勢が時折感じられる。恥ずべきことに筆者自身も陥ってしまいがちである。「木材とは何であるのか」ということを常に見続けている材料研究は、限界性能を見極めるための能力は十分有している。要求性能を達成するための尽力は、今後必要である。従って、構造研究からは、「木材を使うこと自体が目的化する」などのように、目的と手段の混同をせずに木質材料に対する要求を明確に提示していただければ、と思う。

## 7 . おわりに

現状で我々が有する知見・技術をいかに組み合わせ、協力して現実問題に対処していくのか、社会に対してどのような価値を提供できるのか、というスタンスを共有して研究を進めることの重要性を強く感じている。本稿が、実質的な研究体系の総合化のために、構造研究—材料研究間の興味や理解を深める一助となれば幸甚である。

< 構造研究と材料研究は相互に何を求めるのか？ >

## 建築構造が求める木質材料とは

田中 圭（大分大学工学部福祉環境工学科建築コース）

はじめに

著者は、伸木会の会員のなかでも数少ない工学部建築学科出身で、現在も建築サイドの立場から研究を行っている人間である。今回は、使う立場から木材・木質材料及びその開発に対する要望を述べたいと思う。

・接合部の木質化への挑戦

### 1. 竹コネクタの開発

前述したように著者は建築構造の研究者である。が、ここ数年、いわゆる木質材料の開発に非常に近い研究を行ってきた。一連の「竹製接合具を用いた接合法開発」がそれである。この研究は、建設リサイクル法制定の動きと、うちのボスの思い付きから始まった。それまでわが研究室で開発を進めていた「接着剤と接合金物を併用した接合法」(以下コネクタ-接合)<sup>1)2)</sup>などにおいて、木材中に挿入された接合金物が建物解体のときに非常に厄介者になることと、「小径の竹(通称メダケ)の形状や寸法がコネクタ-接合で使用する接合金物にそっくりなので、代替品として利用できるのでは」というものである。そこで実験した小径竹の竹コネクタ-は、強度こそある程度は期待できるものの、ばらつきの問題、製品の確保など接合具として世に出せるものではなかった。

そこではじめたのが、竹を利用した「コネクタ-用」の素材開発であった。はじめは単純に竹の集成材を作ればよいと始めたものの、それには多くの課題があった。それを素人なりにホームセンターで買える市販の工具と接着剤を駆使して何とか解決し、利用可能な状況までたどり着いた。これが使用されたのが愛知万博・長久手日本館である(写真参照)。この辺の話は現在建築学会構造系論文集に投稿中であるので、採用されたら、ご一読頂きたい。



写真1 竹集成材接合具



写真2 長久手日本館全景



写真3 長久手日本館接合部

## 2. 材料研究者とのコラボレーション

その後、竹コネクタの更なる性能と生産性の向上のために研究を進めているのだが、万博以降の研究では大きな変化があった。それは材料分野の専門家である井上雅文先生（当時京大木研、現在東大アジア生物資源環境研究センター准教授）との出会いである。著者らが悪戦苦闘していた加工方法、温度、接着剤などの問題の大半が材料分野ではすでに解決済みの課題であり、アドバイスにより研究は大きく進展した。現在は鋼材のほぼ同等の引張強度を持つ竹製接合具を製造することが可能となっている。

この研究を延長・発展させた研究として、本日のパートナーである東大井上研究室足立氏、京大生存研、森氏らとの「接合具の木質化に関する研究」を進めている。



写真4 木質シアプレート(竹ひご)



写真5 木質ボルト(カシ)

## 3. 接合具として求められる新木質材料

まだ始めたばかりであるが、この「接合具の木質化」のプロジェクトの中で著者が気づいた“接合具に使用する”新しい木質材料の求められることをいくつか挙げたい。

スーパー・マテリアルは要らない：現在木質材料開発の最前線では、自動車や家電に使用される金属に取って代わるような超高性能の素材の開発が進んでいるようであるが、少なくとも木質構造用の接合具としての材料は、そのような超高性能は必要ないということがわかってきた。つまり、どんな高性能材料を使用しても、木質構造接合部ではその強度は大抵の場合、母材の木材の強度で決定してしまうので、鋼材の強度同等もあれば十分なのである。

変形性能は不足：これまでの研究で、ボルト、ピン、シアプレートなどの木質化の検討を行ってきたが、検討した木質材料の性能が鋼材に大きく劣るのは、その変形性能である。上述したように接合部の強度については、鋼材と大差ないものを作り出すことは、比較的簡単だ。しかし、木質構造の評価で重視される変形能力（エネルギー吸収能ともいう）で評価すると木質接合具をでは鋼材に大きく劣る結果となる。を総合すると、強度は鋼材と同等程度かそれより少し劣っていてもいいので、靱性が鋼材並みの材料が、今求めている理想の材料ということか？！

耐久性：これらの木質接合具を使った建築を、確認申請を通すには、何らかの耐久性についての担保が必要となることもわかってきた。ただし、現段階では必要項目の整理もできていない。木質材料（集成材や合板）と同等の基準をクリアすればいいのか、それとも金属製接合具と同等の耐久性を証明する必要があるのか、それすらはっきりとした指針はない。今後DOLやクリープの影響なども含めた包括的な議論が構造・材料両分野を通して必要となる。

木材の風合いを残して：さらに贅沢をいえば、木質構造、建築の立場からは、あまり木材・竹材の風合い、質感を失って欲しくない。いくら原料が木質だからといって、見た目がプラスチックや金属と見分けがつかない材料では、ちょっとピンと来ない。

最終的にはコスト：現在は研究段階であるので、しょうがないが、将来的に実用化を考えるとライバルは鋼製の接合具である。溶かして再成形することのできる金属の最大の利点により、複雑な形をしたボルトやビスが数円~数十円/本で手に入る。いくら環境にやさしいことをアピールしても、価格が数倍、数十倍では使ってはもらえない。実はこれが実用化できるか否かを分ける最大の課題かもしれない。

#### ・ 建築構造に使用されるまでのたくさんのハードル

木質構造・材料を問わず、新しく開発したものを世に出すには、自動車や家電、家具などとは違う建築特有の課題や制度をクリアしないといけない。建築に使用する材料の中でも構造用材料には、他の木材用途（家具や建築仕上げ材料など）とは大きく異なる条件がいくつかある。このことを木質材料を研究・開発を行う方にも知っておいてもらいたい。

##### 1 . 木材は One of Them

まず大前提として、建築屋にとって「木材」はこういう認識であることを理解してもらいたい。木材は鋼材やコンクリート、ガラスといった多くの建築材料の中のひとつの選択肢に過ぎないのである。大部分の建築屋には、林業・木材関係者が持つような「木材に対する思い入れ」はないといっても過言ではない。これは木材や木質材料が鋼材やコンクリートと同じ土俵で比較されることを意味している。つまり、強度性能、耐久性など品質面は当然のこと、価格や流通（欲しい製品が欲しい量、すぐ手に入るか）も含めて比較され、他の材料に劣っていれば（と思われれば）、使ってもらえないのである。一方で、木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の選択は別として、細かい材料の選定権はエンドユーザーが持つことはまずなく、建築屋（設計者や施工者）にあるという現実を知っておいてもらいたい。特に構造用材については、この傾向がより顕著だ。

つまり、出来上がりの風合いや質感などは二の次で、設計や施工する上で使いやすいか（損しないか）が支配しているのである。

多くの大学の建築学科が木質構造や木質材料の講義を行ってないことで、建築屋に正しい木質材料・木質構造の知識が教育されていないことがこのことを助長している。我々にとって「当たり前」な、ばらつきや含水率の問題などが「当たり前」とは認識されてはいないのである。これについては、青木会長も参加している建築学会の小委員会が改善を目指して活動しているのでその成果を期待したい。

しかし個人的には、木材・木質材料側が他の材料と同じ土俵での勝負できるレベルになる（近づく）ことが一番の近道だと思うのだが・・・。

##### 2 . 建築は一品生産

ドームや体育館などの大型物件は当然だが、一般の住宅でも厳密に言えば、すべての建築物は一品ものである。大手住宅メーカーの住宅も一つ一つすべて「建築確認」という個別のチェックをクリアしなくてはならない。同じ仕様の建物でも、建てられる場所場所で審査する人間（建築主事という）は異なり、その異なる指摘事項に根気強く対応して説得しなければ建築許可がおりないのである。

##### 2 . 1 基準法 37 条の壁

特に構造部分については多くのハードルがある。まず、新しく開発された木質材料が引がかかるのが、これである。

建築基準法 37 条には、「建築物の基礎、主要構造部（中略）に使用する木材、鋼材、コンクリートその他の建築材料（中略）は、次の各号の一に該当するものでなければならない。

- 一 その品質が、(中略)日本工業規格又は日本農林規格に適合するもの
- 二 前号に掲げるもののほか、指定建築材料ごとに国土交通大臣が定める安全上、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたもの」

と書かれている。つまり、建築の構造部分に使ってもよい材料は JIS か JAS で規格化されているか、個別に大臣認定を取得したもの、その同等品に限られるのである。せっかく新しい材料を開発しても、「いいものができた」止まりでは、建物には使えないのである。規格化は特定の個人や法人製品については難しいし、大臣認定を取得できれば言うことはないのだが、最低でも建築主事に 37 条同等として納得させるだけのデータを揃えなくてはならない。ただ新しい木質材料については、主事の個別判断のためどんなデータを揃えれば同等の評価が得られるのかもはっきりしないのが現状である。

## 2.2 チャンピオンデータだけでは使えない

次に材料としてのチェックをクリアしても、それが構造体として設計どおりの性能を示すことを証明しなくてはならない。これはわれわれ構造分野の仕事であるが、「設計どおりの性能」というところで「材料分野」のデータが必要となる。つまり設計するには、信頼性のある材料定数が必要なのである。

著者も材料開発をかじっているのでよくわかるのだが、材料開発時は最大値(チャンピオンデータ)を得ることを求めがちだ。研究レベルではこれでいいのだが、いざ確認申請用の添付資料用データとなるとそうは行かない。実際にその建物に使用される材料(量産品)が本当にその性能以上であるかを証明しなければならない。いわゆる 95% 下限値を用いた基準値の算出が必要なのだ。これがあって初めて設計と構造実験とが一致しているかどうかの判定の議論となるのである。

これがその工法や材料が量産化する前の最初の建物でも求められるので、厄介である。

## 3. 姉齒事件の余波

さらに研究者や開発担当者に不利な方向の世の中が動いている。姉齒氏による構造計算偽装事件の余波で改正建築関連法令が、今年 6 月 20 日に施行された。これにより建築主事の責任が明確にされた。つまり建築許可を出した建物に耐震性の不足など不具合が生じた場合に、許可した建築主事にも責任があることが明記されたのである。これによって、今何が起きているかということ、木質構造に限らず、新しい工法、材料で規格化されていないものや認定のないものが次々と差し戻されているのである。つまり、建築主事では判断できない「あとで責任を取りたくないので「お上の認定とってないもの」は許可できない」というのである。

著者が直接関わったものでも数件、これを説得するのに論文のコピーや実験データの再集計など膨大な労力を使って説得用の資料を作った。中にはそれでも許可しない主事もおり、結局、工法を替えなければならなかった例もある。

このようにそれでなくても、面倒くさくややこしかったハードルはさらに高くなっている。これが法改正による過渡的なものか恒常的になるのかは、今のところ様子見といったところだ。

このように開発した新しい木質材料やそれを利用した工法を実際に使用して建築を建てるには、多くの関門をくぐり抜けなければならない。それには構造分野の人間だけでなく、材料分野の協力も不可欠であり、材料分野の方にも、建築が完成するまで連携してお手伝いしていただきたい。

おわりに

最初の章で著者の経験を述べたように構造屋が欲しい材料を自前で開発することは、大変な困難がある。一方で、実はその困難は材料の研究者にとっては、すでに解決済みの課題であるということが

多くある。また、材料の研究者が一生懸命開発した材料も建築構造からみれば、全く魅力のないものであることもある。

また、せっかく研究・開発した工法や木質材料を建築材料として世に出すには、多くの関門やハードルがあり、それは研究の次のステップとして、それぞれの専門性を持ち寄って協力しなければ、クリアできない。

このように構造分野と材料分野だけでも、これまでのコミュニケーションや連携の不足により、無駄になっていたことや、効率が悪かったことが多い。また、今後、より連携を強めなければ、せっかくの成果を世に出せない条件も出てきている。

今回のシンポジウムが、構造、材料、劣化などの研究分野間は当然のこと、建築と木材と森林、産・官・学など様々関係で連携をもつきっかけとなり、より効率的に、より社会の役に立つ研究・開発が進むことを願う。

#### 参考文献

- 1)井上正文，後藤靖，後藤泰男，衛藤善律：接着剤と接合金物を併用した木質構造継手接合部に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 489 号，pp.59-66, 1996.11
- 2)井上正文，後藤靖，後藤泰男，衛藤善律：接着剤と接合金物を併用した木質構造仕口接合部に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 498 号，pp.105-111, 1997.8

< 材料強度，接合強度と生物劣化は定量的評価が可能か？ >

## 木質構造物の生物劣化診断のこれから

築瀬佳之（京都大学大学院農学研究科 森林科学専攻）

### 1. はじめに

木造住宅をはじめ，多くの木質構造物は，そのおかれた環境によって，やがてはシロアリや木材腐朽菌などの生物による劣化を受け，そのため台風や地震などの物理的な外力によって倒壊あるいは大きな被害を受ける恐れがある．近年は特に各地で大きな地震が発生し，木造住宅が倒壊する光景を見ることが多くなっている．

これまでの生物劣化の診断は，リフォームやシロアリ防除作業の前段として，主に目視，触診，打診といった簡単な方法で，生物劣化の有無や種類，劣化の程度を判断するというものであった．したがって，有償による，より厳密な木質構造物の生物劣化診断は行われておらず，現場用の機器を用いた，非破壊で，より定量的な診断により，材料の強度（欠損率）や密度に関するデータ等を収集し，生物劣化の種類や程度を判定する技術が求められている．

そのような背景のもと，(社)日本木材保存協会では，平成 18 年度から，木材の生物劣化（腐朽と虫害）の診断技術を木材保存に関わる技術者に講習し，一定の知識と技術を取得したものに「木材劣化診断士」の資格を付与する制度が発足した．これによって，今後は，不動産売買やリフォームに際して，劣化診断の結果を考慮したり，点検に基づく住宅の維持管理等の流れが生まれる可能性もある．

本講演では，現在の機器を用いた生物劣化の非破壊診断技術を紹介するとともに，これまであまりデータが整理されていない，材料強度と生物劣化診断の結果との関係が，今後どのように明らかにされ，木質構造物の生物劣化診断に有効利用されていくのかについて議論できたらと考えている．

### 2. 木材の腐朽（腐れ）の診断

木材腐朽菌による木材の劣化は，その初期腐朽段階を見つけることが非常に困難であり，多くは，菌糸が木材表面に現れ，すでに木材内部はかなり腐朽した状態で発見されます．外構材などでは，キノコ（子実体）が現れている場合もあり，現段階でも初期腐朽を見つける技術というものは，研究レベルでもなかなか進んでいない状況です．その理由としては，やはり目に見える腐朽というものが，すぐには現れないことだと考えられます．しかし，腐朽によって，木材の重量減少率が 5% ほどでも，曲げ強度が 50% 減少するという報告も以前からされていることから，できるだけ初期段階で腐朽を発見する技術の研究というものが必要である．そのような中で，実際に木材腐朽の診断として行われているのは，木材腐朽菌自体の発見ではなく，腐朽した木材の劣化程度の診断である．ピロディンや穿孔抵抗（レジストグラフ）は，木材にニードルを打ち込み，その打ち込み深さや抵抗値を，健全部分と腐朽部分で比較する方法で，特にピロディンに関しては，ニードルの打ち込み深さと木材強度との関係が，何件か報告されている．また，木材腐朽によって，木材内部が空洞化した部分や，局所的に高含水率になった部分を診断する方法として，超音波伝搬速度を測定する方法や，電磁波レーダを用いる方法があります．超音波伝搬速度を測定する方法は，伝播速度と強度との関係に関する報告が数件ありますが，電磁波レーダにいたっては，木材内部の空洞や高含水率部分の検出ができるというレベルの段階である．



### 3．木材穿孔昆虫シロアリの診断

木質構造物の構造部材に被害を与える木材穿孔昆虫のほとんどはシロアリといって過言ではない。そのシロアリによる木材の劣化の診断というのは、大きく二つに分けられる。一つは、木材中でのシロアリそのものの活動を発見することである。これには、アコースティック・エミッション(AE)モニタリングや電磁波を用いたものがあり、それぞれシロアリの活動の検出用として小型の計測機器が現場でも利用されている。ただし、これらの機器は、あくまでもシロアリの活動の有無と活動範囲の標定を主目的としており、被害木材の劣化の程度を診断するものではない。そして、もう一つが、シロアリによって被害を受けた木材内部の空洞(蟻道)の発見と被害程度の診断である。この二つの診断ではそれぞれ異なる計測機器が使われ、材料強度、接合強度と劣化の程度を議論する上では、後者の技術の進展が必要になってくる。そして、この空洞の発見や被害程度の診断をする後者の計測機器は、木材腐朽の診断で紹介したピロディンやレジストグラフ、超音波伝搬速度、電磁波レーダを用いることになる。上述の診断技術を利用した木材腐朽による劣化の程度と材料強度の関係については、何件の研究例はあるが、同じ診断技術を使ってもシロアリによる劣化と材料強度の関係についての研究はほとんどないといっている。

### 4．これからの生物劣化診断

簡単ではあるが、木材腐朽菌やシロアリによる木材の生物劣化の診断について紹介したが、現段階で、計測機器を用いた劣化診断というものは、目視、触診、打診といった方法による「生物劣化の有無」の判定を代わりに行うというものである。ただし、これまで行われてきた目視、触診、打診といった方法は、よほどの熟練技術者でない限り、木材腐朽にしてもシロアリ被害にしても、その生物劣化がかなり進行した状況でないとは判断できない状況であり、計測機器を使用することによって、もっと早期に「生物劣化の有無」を判定することが可能となる点では、これまでとは比べ物にならないほどの進歩だと考えられる。そして将来的には、それぞれの計測機器で得られた劣化の程度に関するデータと、その劣化した木質構造物の材料強度あるいは接合強度に関するデータとをつき合わせて行くことが当然必要になる。例えば、ある樹種の劣化診断で、ピロディンを使用した場合、ピロディンの打ち込み深さを知ることができれば、その材の強度がわかり、補強の必要性などがその場での提案が可能となる。この例を達成するためには、「どれぐらい劣化していたら、どれぐらい強度が低下しており、再びもとの強度を得るためにどのような補強をするのか」ということが、木質構造物に使用される様々な樹種について、定量的に判断できるだけのデータを、今後蓄積させていかなければならない。そして、木質構造物の生物劣化診断から、補強に関する提案ができるレベルまで達することが、現在動き始めた「木材劣化診断士」の制度の一つの到達点になるのではと考えられる。

また、これまでに紹介した技術は、局所的な劣化の程度を診断するものがほとんどであり、今後は非破壊で、できるだけ広い領域を一度に診断する技術の研究も必要になってくる。木材腐朽菌やシロアリによる木材の生物劣化のほとんどが、床下の空間を中心に発生するため、狭い空間の中で効率よく計測できる技術も、また必要になってくる。

#### 参考書籍

「実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル 現場診断・精密診断から補修・予防まで」改訂版、(社)日本木材保存協会、2007

< 材料強度、接合強度と生物劣化は定量的評価が可能か？ >

## 劣化診断と耐力評価の現状と課題

森 拓郎（京都大学 生存研究所）

### 1. はじめに

近年地震の被害調査に行く機会をいくつか得たが、そこで三つのことを感じた。一つ目は既存の建物を倒れないようにするためにはどのような補強方法があるだろうか？もう一つは倒壊は間違ったが耐力をかなり失ってしまった建物への補修・改修方法はどのような方がいいのだろうか？最後の一つが今回の検討項目にあたる生物劣化はどれほど建物の耐力に影響しているのだろうか？と言うことである。実際に、最近見た地震による倒壊現場では、多くの生物劣化を目の当たりにした。柱の端部の抜けや梁端部の抜けなど躯体の耐力を維持するために必要な接合部による被害も多く見られた。そこで、この三つ目の疑問について私の思ったことを少し述べて今回の要旨としたい。

### 2. 生物劣化に関する評価方法

今回この検討をおこなうにあたり、住木センターが出版している「木造住宅の耐久設計と維持管理・劣化診断」(以下、住木本)と日本木材保存協会が出版している「実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル」(以下、保存協本)を参考にさせてもらった。ここで、住木本は設計者の側から考えた耐久性の高い住宅を造るための解説書であり、劣化診断の方法に触れているものである。また、保存協本は生物劣化診断士の養成マニュアルであり、診断方法もかなり詳しく説明されている。これら二冊の本は近い目的で執筆されたように思われるが、実際には素人と玄人との違いがあるほど内容が異なっている。住木本ではかなりその診断については簡単に触れられており、その表現も曖昧であるのに対して、保存協本では詳しく説明されている。どのような腐朽菌が繁殖しているのか？その対処法はどのようにすればよいのか？が書かれており、シロアリについても腐朽菌ほどではないがそれらのことが説明されている。しかし、住木本では建築士の方が簡単に調べられるようにすることが目的のようで、直接目で見ることを対象としており、その道具は懐中電灯とドライバーとなっている。この程度のもので判断することが正しいのだろうか？ここで、保存協本で紹介されている劣化診断方法を紹介する。それは、衝撃ピン打ち込み(ピロディン)、超音波伝搬速度、穿孔抵抗(レジストグラフ)、電波やX線を用いた検査、AEモニタリングである。シュミットハンマーは取り上げられていない。それぞれ特徴ある診断方法であるが、次の点に注目して考える必要があると思う。もし、既存の建物ですでに被害が出ているものであれば、その度合いを調べ、度合いに応じてどのように対処するのか？まだ被害が出ていない、またはすでに対処をして被害のない状態になっているのであれば、早期発見をするにはどうしたらよいか？と言うことになる。これらの点から考えると、ピロディンはそのニードルの長さの問題はあるが、地道にニードルを打ち続ければ、どこまで被害が進んでいるかを判断することができる。しかし、早期発見にはむかない。超音波伝搬速度の測定は元の健全な状態がいるため、被害のない状態から始めることが必要となる。もしくは各樹種における一般的な速度を明示することも一つの方法となるかもしれない。レジストグラフはピロディンと同様であるが、そのうち込み長さが300mmほどあり、木造住宅のレベルであれば問題なく調べることができる。ピロディン以上に多くの穴を開ける必要があり、材にとって優しいかどうかは難しいところである。電波やX線を用いた検査は長さ方向、深さ方向などをいろいろ調べられるため便利であるが、機械を持ち込むのが難

しいなどの問題がある。最後に AE モニタリングであるが被害があるかどうかの調査に用いることは可能であるが、その被害度合いを調べるにはもう一工夫必要であると思う。と、これが筆者のそれぞれの機械について思っている感想である。多少間違えている部分があるかもしれないが指摘してもらえればと思う。また、できればこれらの測定装置の精度を診断本ではぜひ表記してもらいたい。実際に使ってみたが、なかなかこれという値が得られなかったものもあるので・・・。

### 3．劣化の評価方法と残存耐力の関係

前項で述べたように、木住本ではドライバーを用いて刺さるか刺さらないかで材の交換が必要かどうかを調べるようになってきているが、実際本当にその程度の評価でいいのだろうか？その被害度合いと残存耐力の関係については保存協本で多少触れられているが、どのような大きさの材を用いて調べたのかなどの記述もなく、実大材の結果がどうかもわからない。この値が最も重要なのではないかと思う。実際の建物で被害がないものについて、これからモニタリングをしていくのであれば、AE モニタリングや他の方法を用いてデータの蓄積を成していけば、何とかかなりそうな気もするし、今後これらのモニタリング自体が新しい仕事になったり、その装置を売るような業者が現れたりすると考えられるし、瑕疵担保の関係でハウスメーカーなどは当たり前に来てくれると思われる。しかし、既存の住宅は取り残されるのではないだろうか・・・。もちろん、文化財などについては最新の方法等が用いられて守られていくだろうが・・・。

そこで、この既存の住宅の生物劣化度を調べて、その劣化度合いと残存耐力の関係を明らかにすることが必要となると考える。これは、どのような対処法によって耐力を復活させるかなどの技術論以前の問題である。それは、どこで線引きをして、部材の交換に移るのか？どの補修方法や補強方法に移るのか？という部分が全くないため、実際は診断方法のみが一人歩きしている現状があるからである。そのため、これら、様々な診断方法とそのデータベースの構築が重要である。それぞれの材が固有に持っている値であるため、どこまでバラツキのないデータとして用いることができるかは今後の課題であるが、まず、どの値を示すようになった場合は、どのように対処すべきかを明確に示せる資料の構築が必要である。そして、この資料が発展することによって、診断士の人たちだけでなく、我々木質構造を研究している人間においても、多少の知識をもって判断できるようになっていけばすばらしいのではないかと思う。ただ、現在は全くと言って良いほどデータがないのが現状である。今後、これらのデータの蓄積が望まれる。

### 4．まとめ

これらの話は、シロアリと腐朽という部分に特化した形になっているが、これは筆者の知識の無さが理由であり、他の虫害では異なる性状を示すようなことがある場合はご意見をいただければと思う。また、今回の問題提議が、今後の研究発展の一助になれば幸いである。

< 国産材を住宅に使うためにクリアすべき問題点とは？ >

## 住宅の材積から国産材（杉）の活用を考える。

照井清貴 (株)ポラス暮し科学研究所

国産材を住宅に使うためにというテーマを考えるにあたり、現状について分析するために、ある住宅メーカーさんの数字を使って見てみることにします。

木造軸組み工法で使用する木材の材積について、資料1、資料2を使ってみていきます。

資料1: ある住宅メーカーのある月の材種別出荷量（単位：m<sup>3</sup>）

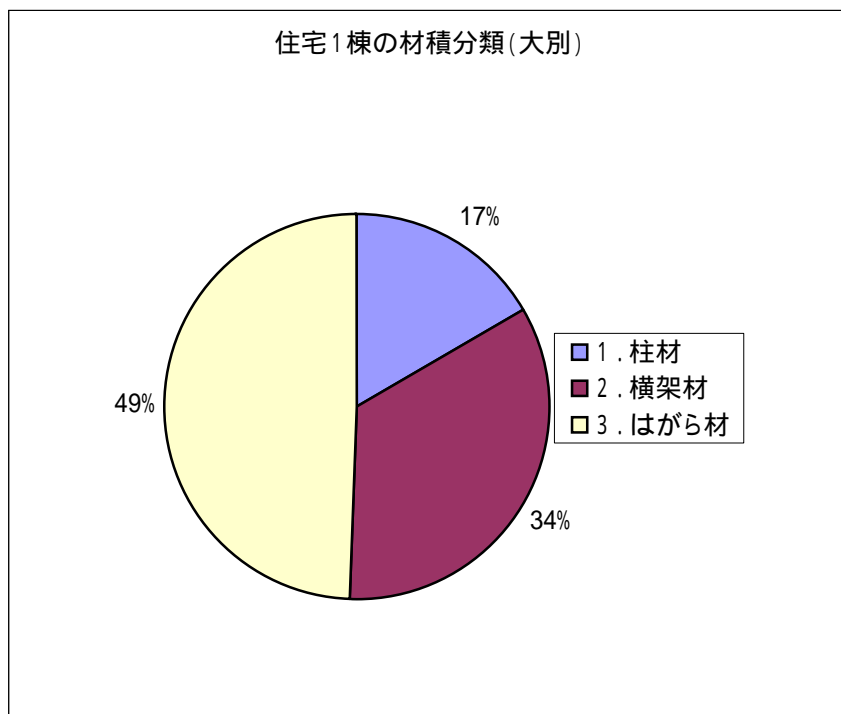
	構造材		はがら材		計	
赤松	5297.5	45.41%	1208.5	19.32%	6506.0	36.30%
ラーチ	523.1	4.48%	2620.4	41.89%	3143.5	17.54%
ホワイトウッド	2340.0	20.06%	695.8	11.12%	3035.8	16.94%
米樺	1252.7	10.74%	739.4	11.82%	1992.1	11.12%
米松	1584.3	13.58%	15.6	0.25%	1599.9	8.93%
杉	261.4	2.24%	324.8	5.19%	586.2	3.27%
LVL	86.5	0.74%	217.1	3.47%	303.6	1.69%
OSB	0.0	0.00%	259.7	4.15%	259.7	1.45%
米ヒバ	172.5	1.48%	0.4	0.01%	172.9	0.96%
桧	140.5	1.20%	0.0	0.00%	140.5	0.78%
SPF	0.0	0.00%	98.5	1.57%	98.5	0.55%
MDF	0.0	0.00%	58.0	0.93%	58.0	0.32%
ラワン	0.0	0.00%	14.1	0.23%	14.1	0.08%
青森ヒバ	7.3	0.06%	0.0	0.00%	7.3	0.04%
複合	0.0	0.00%	3.8	0.06%	3.8	0.02%
黒丹	0.2	0.00%	0.0	0.00%	0.2	0.00%
紫丹	0.1	0.00%	0.0	0.00%	0.1	0.00%
特殊	0.0	0.00%	0.0	0.00%	0.0	0.00%
花林	0.0	0.00%	0.0	0.00%	0.0	0.00%
	11666.1		6256.1		17922.2	

資料 2：住宅の部位別材積

モデル物件：2階建て 33坪（単位：m<sup>3</sup>）

資料 2-1：住宅の部位別材積（大別）

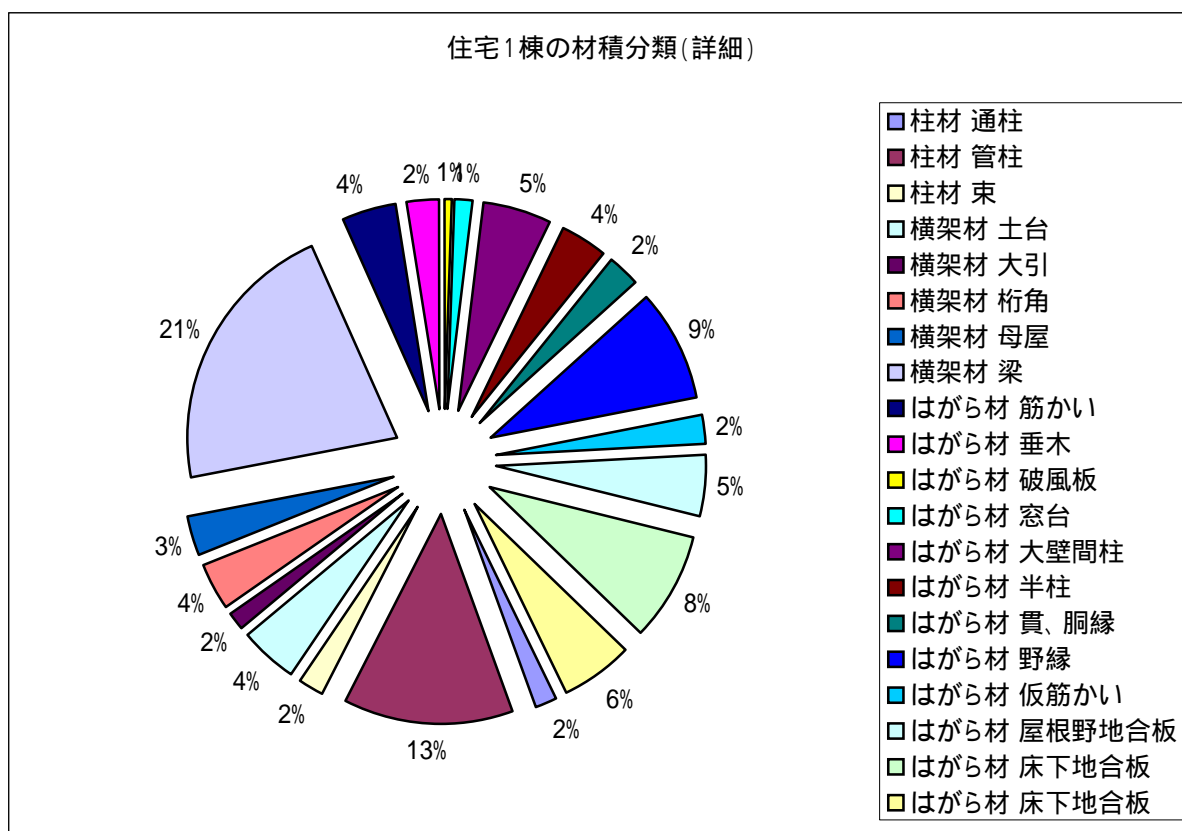
1．柱材	3.6225	16.73%
2．横架材	7.3397	33.89%
3．はがら材	10.6937	49.38%
合計	21.6559	



資料 2-2：住宅の部位別材積（詳細）

柱材	通柱	0.3456	1.60%
	管柱	2.8466	13.14%
	束	0.4303	1.99%
横架材	土台	0.9261	4.28%
	大引	0.3321	1.53%
	桁角	0.7938	3.67%
	母屋	0.6480	2.99%
	梁	4.6397	21.42%
はがら材	筋かい	0.8879	4.10%
	垂木	0.5400	2.49%
	破風板	0.1512	0.70%
はがら材	窓台	0.2679	1.24%

大壁間柱	1.1482	5.30%
半柱	0.8080	3.73%
貫、胴縁	0.5163	2.38%
野縁	1.8559	8.57%
仮筋かい	0.5103	2.36%
屋根野地合板	1.0136	4.68%
床下地合板	1.7887	8.26%
床下地合板	1.2057	5.57%



柱材・横架材は住宅一棟の中の使用量としては、個人的な印象で多いのではと考えていたのですが、はがら材が50%程度を占める数字となりました。

ただ、材種別で見ると全体の出荷量/月の中の2%に過ぎず、これについても個人的印象ではもとあったのではないかという印象です。

考えてみると、私が現場にいた頃は、柱には杉があたり前のように使われており、その他にも根太、間柱なども杉を使用しているのが一般的でした。

この10年の間に、他の材料の価格がこなれたことや、安価な住宅の供給を目的とした生産技術や材料の開発(ネタ無し床など)、度重なる地震による強度に対する一つの方法という流れの中で、使用量は4分の1以下になったのではないかと思います。

また、設計面からの現状として、現在、30代前後の住宅取得者の要求は、ここ数年の傾向としてスタイリッシュですっきりした空間のシンプルモダンのデザインを希望する方が多く、空間を幅広く取るために、部分的にはE140以上の材料を使用するケースもあります。このため、どうしても横架材で使用するには梁は役不足になる場面が多いです。

余談ですが、年配の方で樹種にこだわる方は桧を好まれます。

次に課題についてですが、仕入れの面として、まず、安定供給することができない（住宅メーカー側としては仕入れ量を安定供給（価格を一定）できるだけの量を確保できない）。また、価格面でも一般に、杉についてはあちらこちらにたくさんあり余っているというイメージが定着（マスコミの影響？）しているため、商売につながる相場が形成しにくい。

営業面では、同じようにお客様のイメージになってしまうのですが、杉を身の回りにおくとアレルギー（花粉症）になってしまうと考える方がおり進めにくい。

個人的にはカンナで仕上げた杉の表面は木らしい表面をもち良い艶がでて良いと思っているのですが他の方には勧めにくい部分があります。

品質面では、約束された品質の材料が入らないこともある。供給の量にウェイトをおくためか、取引の量が増えていくと品質のバラツキが大きくなっていくなどの問題があります。

別の品質面での課題としては、新JASにより杉材を含んだ形の構造用集成材も出てくるようですが、個人的には、品確法による構造の瑕疵のトラブルを防ぐためにも、接合部の性能に与える影響のある程度確認してから使いたいと考えています。

また、2000年以降の基準法改正の性能規定化の流れにのり、それなりの実験設備のある企業では独自で実験によるデータでの運用を行っています。（短期の実験データだけで主事の確認（判断）により運用するのもどうかと思うところもあります）その際の樹種が特定されているものもあるので、量を行っているところでは、樹種の変更自体が大きな投資の必要な案件になります。

次に今後の展望ですが、資料2の分類を見ると予想以上にはがら材の材積は多くその中でも間柱や野縁材の材積は1棟で見ると使用する材積も多く、強度性能も大きなものを要求しないこと、品質面でもねじれなどは困るが、構造材や化粧材ほど高い要求ではないと思います。

ただ、これも安定供給の課題だけは解決する方法を見出す必要があると思います。

最後に、木材を生業にする方には怒られると思いますが、木造住宅業界が、生産効率を追求し、その方法の一つとしてプレカットが大きく伸びて現在に至っている中で、木の癖を見て材料を適切に使うことのできる生産面での人材（私も含む）がいなくなっているように思います。いや、そういう経験のある職人に頼りたてた部分もあるため、業界で木材の基本的な部分を再度認識することが必要かと思えます。

国産材を住宅に使うためにクリアすべき問題とは？

## 国産材を低コスト安定供給するために必要なこと

久保山裕史（森林総合研究所林業経営・政策領域）

### 1. はじめに

日本の人工林資源は、成熟しつつあり、国産材時代の到来の気運は高まっている。事実として、素材生産量は2年連続して増加している。しかし、その増加量はわずかにとどまっており、森林の生長量に比べて圧倒的に少ない状況が続いている。本報告では、国産材の供給量が低下するに至った要因について、林業経営、素材生産を中心に説明し、加工段階についても言及する。

### 2. 森林資源と林業経営の現状

#### 2-1. 資源構成

戦後造林されたスギ・ヒノキ等の人工林は、面積合計が1000万haを超しており、そのうちの8割近くが民有林である。また、2000年センサスデータによれば、既に半分以上が40年生以上になっており、人工林が伐採利用しやすくなりつつあるといえる。今後徐々に素材生産が2020年までに3300万m<sup>3</sup>まで増加するシナリオの下で、森林資源がどの様になるかについて長期推計を行った結果、間伐材利用量は1000万m<sup>3</sup>まで大幅に増加し、皆伐面積は微増にとどまったため、蓄積は25%も増加した。他方、現在30~55年生に集中している人工林は、伐採されずに高齢化し、61年以上の林分が30%をしめるとともに、幼齢・若齢林分が極端に少ない年齢構成となった。

現在、人工林の年間生長量9000万m<sup>3</sup>(林野庁、2006)に対して、針葉樹素材生産量は1300万m<sup>3</sup>にすぎない。たとえ5000万m<sup>3</sup>程度伐採しても、4000万m<sup>3</sup>蓄積が増加するということであり、天然林の利用を考えれば素材生産量で5000万m<sup>3</sup>は十分可能であろう。しかし、一方で丸太換算の木材総需要量は、近年8900万m<sup>3</sup>(製材・合板用の需要は4757万m<sup>3</sup>)まで減少しており、今後も減少する可能性があることから、

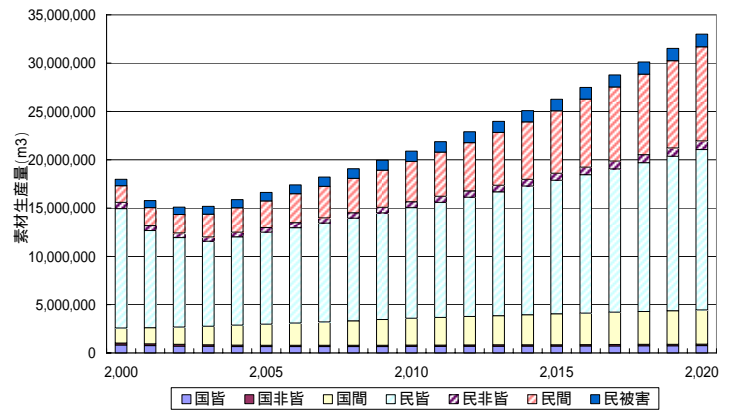


図12. 所有形態および伐採方法別の素材生産量の推移

伐採水準の上昇による供給過剰も懸念される。このことから、長期的には競争力を確保して、製品輸出を目指す必要がある。

#### 2-2. 林業経営の現状

日本の人工林の57%は私有林であり、このうちいわゆる林家が2/3を占めている。林家は素材供給の主要なアクターであるが、20ha未満が2/3と非常に零細な所有規模となっている。つまり、日本の人工林の25%以上は所有規模20ha未満層で占められているということができ、オーストラリア

表1. スギ50年生1haを間伐した場合の立木販売収入例

	収入または費用(万円)	備考(宮城県)
素材売り上げ	85	素材91m <sup>3</sup>
素材生産・運搬費	-107	11780円/m <sup>3</sup> スギ全国平均
補助金	19	
立木販売収入	-3	



の13%、フィンランドの20%と比べて零細といえる。

40年生以上の人工林が過半となったことを述べたが、関東地方の地位2のスギ林分では、蓄積400m<sup>3</sup>/ha、胸高直径は主25cm、副20cm、樹高19mに育っていることになる。だが、実際には間伐が遅れているために、収穫表の立木本数1000本弱に対して、1500本近く残存していることも多く、結果として、蓄積は400m<sup>3</sup>/haよりも大きい、胸高直径は25cmよりも小さいと考えられる。このように、単木材積が小さいことが伐出コスト低下を遅らせた1要因と考えられる。

近年、造林投資はやや集約度を低下させていると考えられるが、それでも植林に80万円/ha、下刈り9万円/ha×5年、除間伐20万円/ha×2の計165万円/ha前後が造・育林費として投じられている。成林した後は、35～60年生の間に収入(利用)間伐を行うことが想定されているが、50年生の間伐収入例を表-1に示した。宮城県の事例を参考に、素材生産・運搬費は全国平均値11780円/m<sup>3</sup>を用いて計算をすると補助金を入れても赤字となった。このことから、森林所有者は何もしないか、切り捨て間伐を選択しやすいと推察される。他方、南九州等では、間伐の代わりに皆伐を選択する所有者もあり、跡地の再造林放棄が問題となっている。ちなみに、50年生林分を皆伐した場合の収入を計算すると、立木代金は18万円しか残らないという結果となった。つまり、南九州のように伐出コストが低い地域では皆伐が選択され、他の地域では伐採利用に結びついていないのが現状と考えられる。

### 3．素材供給の現状と課題

#### 3 - 1．高い素材生産コスト

素材生産事業体の規模は、林野庁の素材生産費等調査報告書によれば、年間素材生産量が5000m<sup>3</sup>以下の事業体が70%と零細な構造となっている。複数の伐出班を持つ事業体もあることもあり、一人あたりの伐出生産性は3.3m<sup>3</sup>/人・日と低い。この要因としては、地域の素材生産量が落ち込んでいった、あるいは地域に安価な労働力が比較的豊富に存在していたために機械投資に踏み切れなかったことなどが考えられる。

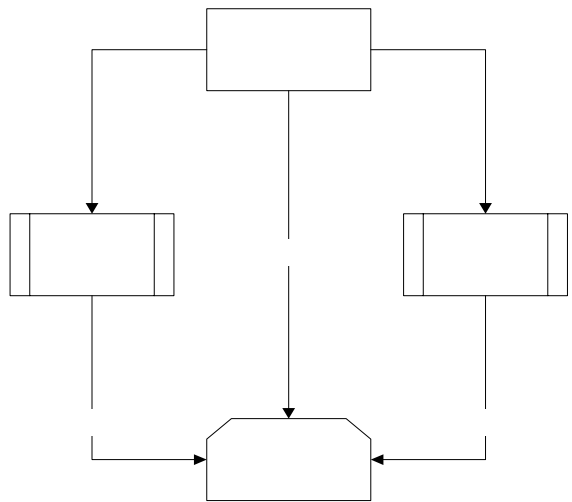
労賃の上昇に対して生産性がそれほど向上しなかったため、スギ皆伐の伐出・運材の全国平均コストは、1976年の9025円/m<sup>3</sup>からほとんど改善されず、2004年には8910円/m<sup>3</sup>と高止まりしている。間伐については過去のデータが乏しいが、2004年の伐出・運材コストは11780円/m<sup>3</sup>となっている。生産性の上がない要因としては、機械化の遅れの他に、伐区の零細性も指摘できる。1ヶ所の生産量が50m<sup>3</sup>と、500m<sup>3</sup>とでは、移動時間の問題だけでなく、機械1台の移動コストだけでも500円/m<sup>3</sup>以上違いうる。

#### 3 - 2．高い流通コスト

素材生産事業体は零細であり、5000m<sup>3</sup>のそれでさえ1日あたりの出荷量は25m<sup>3</sup>にとどまっていると推察される。このため、山での分別は困難となり、多様な規格の素材が混載することになりがちである。素材の規格は、末口直径で4種類、長さで5種類、品質で3つ程度あり、大きく分けても10種類近く存在する。

一方、国産材製材工場もまた零細であり、9000弱の工場数のうち、75kW未満(原木年間消費量2000m<sup>3</sup>以下)の工場が80%以上を占めている。また、各工場得意分野がある程度異なっているために、必要とする素材の規格が狭い範囲に限定されていることも多く、素材生産事業体と直接取引するのは困難である。

このため、小規模の事業者間の取引を公正かつ円滑に行うための場として、原木市場は機能してきた。左図は、素材生産事業者から製材工場に至る素材の流れを示したものであるが、平成 13 年時点では 56%は原木市場を経由していることがわかる。しかし、素材価格および製材価格が十分に高かった当時には、原木市場を経由するコストは相対的に安く、与信・適正価格の形成という意義は大きかったが、価格差の小さい並材の取扱が主体であることや材価の低下によって、立木価格に与える影響が無視できない状況になっている。



例えば、製材工場が原木市場から 12000 円/m<sup>3</sup> で素材を購入している場合、伐出・運材コストが 7000 円/m<sup>3</sup> であれば、工場に直送すれば立木価格は 5000 円/m<sup>3</sup> となるが、原木市場を経由した場合、運材コスト 2000 円/m<sup>3</sup> と手数料・はい積み料 1200 円/m<sup>3</sup> 程度が必要となるため、立木価格は 2800 円/m<sup>3</sup> へとほぼ半減することになる。

### 3 - 3 . 高い加工コスト

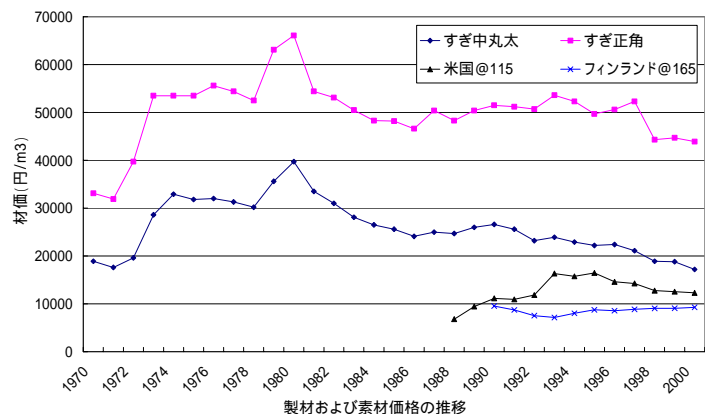
国産材製材工場の高い加工コストも国産材利用拡大の阻害要因である。岐阜県の G 製材工場では、歩留まり 60%で製品を 3240m<sup>3</sup> 生産しており、推定原木消費量は 5400m<sup>3</sup> である。この加工に 1 億 1 千万円を費やしているため、加工コストは 20,400 円/m<sup>3</sup> ということになる。未乾燥材生産にもかかわらずこのように高コストである要因の一つには、工場の稼働率が注文の減少とともに低下していることがあげられる。グリーン材生産を KD 材生産に転換することによって、販売量を拡大し、フル生産を通じて加工量を倍増できれば、単純計算で加工コストを半減することができる。さらに、設備増強によって加工量を増加させれば 5 千円/m<sup>3</sup> 程度にまで圧縮することも不可能ではあるまい。他方、加工コストを圧縮できれば、素材に高い買取価格を提示できるので集荷量を増やすことは十分可能であろう。

ただし、販売量を拡大するためには、プレカット工場や大手木材流通業者との取引を行う必要がある。そうした買い手のニーズ（品質、価格、量）に応えられるかどうかの問題となるが、乾燥の技術が大きなポイントとなると考える。

### 3 - 4 . 低下する木材価格

素材価格は、下図のようにかつての 3 万円/m<sup>3</sup> 前後から、2005 年には 12000 円/m<sup>3</sup> にまで低下している。この間、伐出・運材費が高止まりしたため、立木価格は急激に低下した。

ところで、フィンランドの製材工場の素材購入価格は 9200 円/m<sup>3</sup>@165 円/ユーロ、米国のそれは 12300 円/m<sup>3</sup>@115 円/ドルと計算できることから、近年ほぼ同じ価格水準にあるということが出来る。



このことは、外材製材品との競争の余地は拡大していることを示している。

製材品の価格は安定していたが、1998年以降大きく下落している。これには、平成不況の影響もあると思われるが、品確法によってグリーン材価格が下落したことも大きいと考えられる。つまり、製品価格が押さえられている中で乾燥材の生産を行う必要があったということである。

#### 4．低コスト安定供給のための条件

##### 4 - 1．出口の確保

「国産材は集まらないから使えない」と良く耳にするが、必ずしもそうではないことが合板原料利用によって実証された。宮城県石巻地区を例に挙げると、H13年に1万m<sup>3</sup>であった消費量はH17年には20万m<sup>3</sup>へと急拡大した。このような供給拡大が実現された大きな前提条件として、既存の針葉樹合板と比べて同等の性能と価格であることから確実に売れた（国産材の新たな出口が確保された）ということが指摘できる。同時に、山側に対して、末口径14cm上、材長は2mか4m、小曲可という平易な素材規格、原木代金は毎月現金決済、パルプ材よりは十分に高くかつ安定した価格（9000円/m<sup>3</sup>）、県森連や素生協を窓口とする取引の斡旋といった安心確実な条件が提示されたことが大きいと考えられる。これにより、素材生産事業体は積極的な機械投資を行うことができ、増産体制を整えるとともに伐出コストを低減している。

##### 4 - 2．林業コスト削減

国産材の供給を増やすためには、立木価格を引き上げる必要があるが、製品価格の上昇がなかなか見込めない中では、素材生産コストの削減が不可欠である。このために、高性能林業機械の活用が重要であることはいうまでもないが、稼働率を上げないとコスト削減には結びつかない。つまり、事業体の年間事業量を増やす（規模拡大の）必要がある。また、1伐区あたりの事業規模を大きくすると効率が上がるので、面積を大きくする、あるいは、間伐では蓄積伐採率を高くして、面積あたりの出材量を増やす必要もあろう。関連して、集団化による列状間伐の取り組みが行われている。

こうした規模拡大を実現すれば、素材の規格ごとに山土場で仕分けすることも可能になり、製材工場への直送は容易になろう。規模拡大は、製材工場に対する交渉力の向上にも寄与すると考えられる。

以上を通じて、主伐コストを9000円/m<sup>3</sup>から6000円/m<sup>3</sup>に削減できれば、18万円/haと見積もられた立木代金を140万円/haへと大幅に引き上げることができ、素材供給のインセンティブを拡大することができる。また、間伐コストを11800円/m<sup>3</sup>から8000円/m<sup>3</sup>に削減できれば、立木代金は-3万円/haから31万円/haとなり、放置あるいは切り捨てから利用間伐の実施へと変化させることができる可能性が高い。

造・育林コストが高いことを指摘したが、これもまた立木の伐採供給を阻害している一因と考えられる。従来であれば、立木販売収入から再造林費を捻出しても十分に手元に収入が残っていたものが、先述の通り、再造林するとマイナスとなってしまいうため、森林所有者は主伐を手控えている可能性がある。南九州では、再造林を放棄する動きが見られる。

これらを解決する方法の一つとして、造・育林コストの削減を指摘できる。例えば、現在3000本/ha程度植栽している苗木の本数を半減させれば、造林コストは半減する。また、除草方法を苗木の周囲の坪刈りに変更することで大幅に低減でき、除間伐も1回減らすことができるので、成林するまでの造・育林コストを165万円/haから80万円/haへと低減できると考える。また、天然更新の良好な林分においては、所有者の意向によっては簡単な管理の下に天然林へ誘導することも考えるべきであろう。

なお、1ha 以下の零細な林分においては、単体では事業採算がとれないことから、所有規模の拡大を促進する政策の展開も必要かもしれない。具体的な手法としては、証券化による所有と経営の完全分離、あるいは、資産保持のみの所有者に対しては固定資産税を強化し、有効利用をはかれる所有者へと移転させるための税制改正等が考えられよう。

#### 4 - 3 . 加工コストの削減

国産材製材の復権のためには、木材乾燥は避けて通れないことはいうまでもないが、コスト上昇につながることから、パークを熱源とする必要がある。その際、チップボイラーや乾燥機は規模の経済が働くので、ある程度の規模で行う必要がある。これは、製材加工過程の議論とも整合するので、ある程度の量産化が求められているといえよう。

また、品確法やクレーム対応の観点から、精度と強度が求められており、工業製品化が重要である。この点、急拡大しつつある集成材に無垢材がどこまで勝負できるかによって今後の国産材、特にスギ材供給の拡大が大きく左右されよう。集成材に対抗できれば、低コスト生産可能な無垢材は素材に対して高い買い取り価格を提示できるので、素材供給を容易に増やすことができよう。ちなみに、オーストリアでは、集成材価格は KD 製材価格の倍であり、一般住宅の構造材（屋根組みや根太等）としてはもっぱら無垢 KD 材が用いられている。

#### 5 . まとめ

国産材供給量が 2 年連続で増加し、利用拡大の兆しが見えつつあるが、その拡大幅はわずかにとどまっている。ここしばらくの取り組み次第で、このまま微増を続けるか、急拡大を始めるか、違いが出てくるものとする。ただし、森林所有者サイドと素材生産事業者、製材工場の 3 つの主体が連携を取りながら、従来のやり方を軌道修正していかないと、一部地域の局地的な素材価格高騰や皆伐放置(大面積)といった悪影響も出てこよう。

これを回避するためには、出口（販売先）の拡大と平行して、森林所有者のとりまとめ（主・皆伐の共同実施、経営移転）、素材生産事業者の規模拡大を通じた伐出コストの削減と流通コストの削減、量産による製材加工コストの削減、さらに 造・育林コストの削減を進める必要があることを指摘した。

## 木造軸組工法の位置付けと構造計算

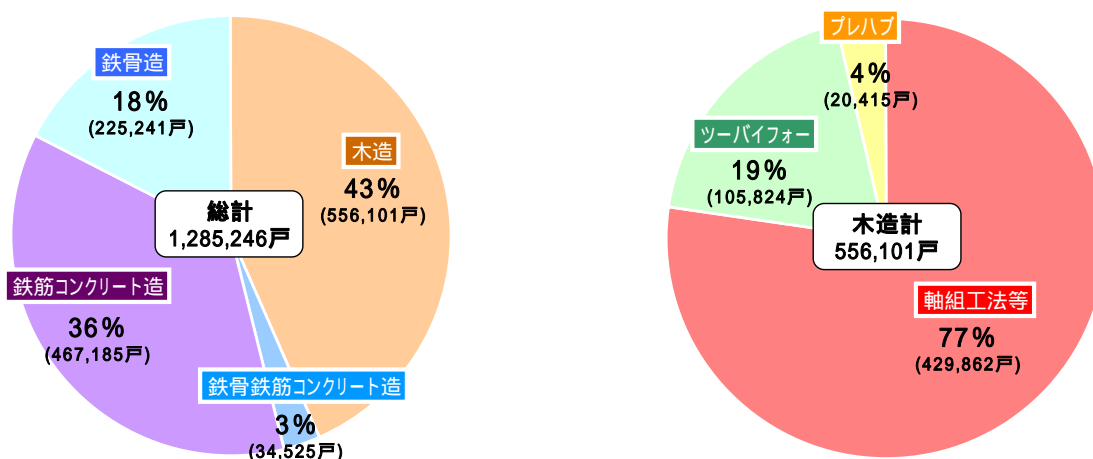
矢永 国良（中国木材株式会社）

### 1. 木造軸組工法住宅の位置付け

私が日常業務上で関わっているのは、一般的な木造軸組工法住宅である。この木造軸組工法は住宅着工数・木材使用量の面で非常に大きなウェイトを占めている。そこで、まずは木造軸組工法の位置付けについてのデータを以下に示してみる。

#### 1.1 住宅建築に対する木造軸組工法の割合

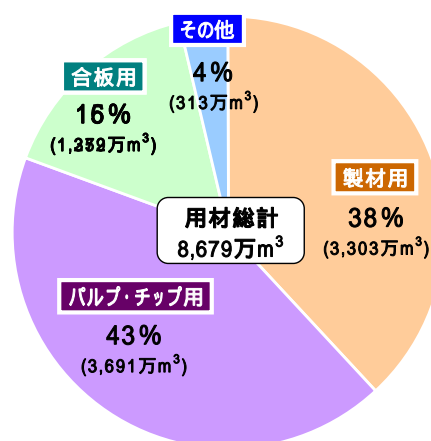
国土交通省の建築着工統計調査によれば、平成 18 年度の新設住宅着工戸数は 1,285,246 戸である。これらを構造別にみると総数の約 43% (556,101 戸) が木造であり、この木造の中の約 77% (429,862 戸) を軸組工法が占めている。つまり、新設住宅の約 33% が軸組工法ということになる。



国土交通省「建築着工統計調査」の平成 18 年度住宅着工統計より

#### 1.2 木材需要量に対する木造軸組工法での木材使用割合

林野庁の平成 18 年木材需給表によれば、平成 18 年における用材の総需要量は 8,679 万 m<sup>3</sup> で（丸太換算）、その内の約 38% (3,303 万 m<sup>3</sup>) が製材用である。林野庁試算では、製材用材のうち 8 割が建築用で、このうち 7 割が軸組工法住宅に使用されている。つまり、木材（用材）総需給量の約 21% (1,850 万 m<sup>3</sup>) が軸組工法で使用されているということになる。



林野庁「平成 18 年木材需給表」より

### 2. 木造軸組工法住宅の構造計算

木造軸組工法住宅の構造計算は（他の工法も同じかも知れないが）、大きく分けると「部材（梁など）の検定」、「耐力要素（鉛直構面・水平構面など）の配置」、「接合部（柱脚金物など）の検定」などから成る。木造軸組工法の構造計算が他の工法と比べて難しい点は、鉛直荷重の流れが複雑であること

や、プラン的に耐力要素の配置が制限されること、部材の評価方法が必ずしも定まっていなかったり、などである。そこで、研究という視点からは少しズレていると思うが、構造計算実務の中で私がしばしば頭を悩ませる点について幾つか挙げてみる。

## 2.1 梁の断面欠損の評価

木造軸組工法では多くの場合、梁同士の接合部に継手・仕口を設ける。そのため、図1のような欠損が随所に生じてしまう。木質構造設計規準・同解説には曲げ応力度の算定に際しての有効断面係数の考え方が示されているが、

- ・想定しているのが幅方向に全欠きした場合のみ
- ・仕口やホゾにはオス材が嵌まってくる
- ・断面寸法によって仕口寸法が変わってくる etc.

などの理由でそのまま適用することが難しい場合が多い。さらに、剛性に対する評価方法についてはほとんど触れていないという問題もある。ちなみに、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」では架構状況に応じてI、Zを一律に低減する方法が示されている。

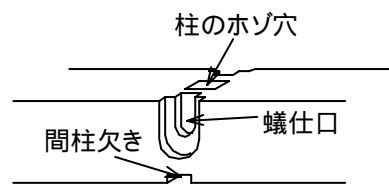


図1 梁の断面欠損

## 2.2 土台のめり込み検定

3F建の隅部に図2のように耐力壁を配置した場合、水平力により短期的に生じる軸力は  $(2.5 + 5 + 5) \times 1960 \times 2.7 = 66150(\text{N})$  となる。柱・土台を  $120 \times 120$  柱ホゾを  $30 \times 60$  と仮定すると土台に生じるめり込み応力は  $66150 / (120 \times 120 - 30 \times 60) = 5.25 (\text{N/mm}^2)$  となる（実際には固定・積載荷重も軸力に加算されてさらに大きくなる）。これより土台に必要なめり込み基準強度  $F_{cv}$  を逆算すると  $F_{cv} = 5.25 \times 3 / 2 / 0.8 = 9.8 (\text{N/mm}^2)$  となる。設計上の主な選択肢は次の3つになるが、どれも選択し難いものがある。

- ・耐力壁の配置を変える
- ・必要な強度をもった広葉樹の土台を用いる
- ・短期のめり込み検定は行わない

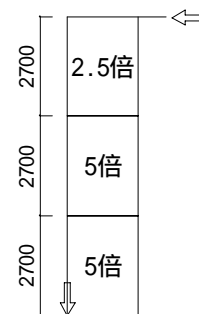


図2 耐力壁配置例

## 2.3 耐力壁の幅・高さ制限

木造軸組工法の耐力壁の寸法に関しては、私が知らないだけかもしれないが、「木造軸組工法の許容応力度設計」の“筋かい耐力壁の[高さ/幅] 3.5”だけが公式に明示されているようである。そのためか、図3のような筋かい耐力壁が特に指摘も受けず、壁倍率2 or 4として同一物件内で混用されていることが多々ある。面材耐力壁の場合は面材自体の寸法制限から幅の最大値はおのずと決まるが、最小値に関しては曖昧となっている。

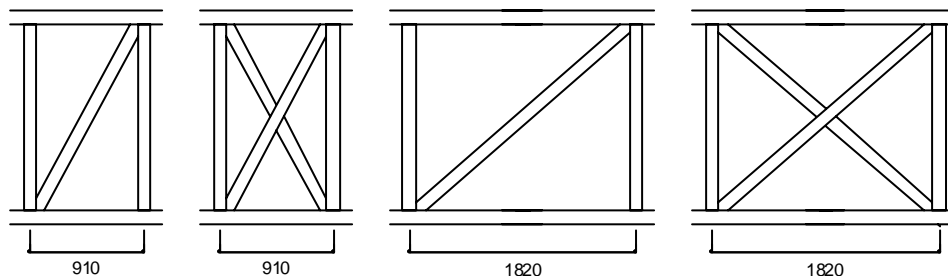


図3 筋かい耐力壁の使用例

筋かい耐力壁について付け加えれば、筋かいは重要な構造部材のはずだが、材料に関しては何の規定も無いのも不思議である。

## 木質材料・木質構造関連法規等の現状と今後の研究課題

青木謙治（森林総合研究所 構造利用研究領域）

### 1．はじめに

1995年の兵庫県南部地震から現在までの12年ほどで、建築基準法の改正や関連告示の制定、木質構造設計規準の改訂、緑本やグレー本を始めとする各種技術書の発行など、木造建築物の設計法・施工法に関する状況は大きく様変わりしてきた。それらの背景には、木質材料研究、木質構造研究に携わる研究者が飛躍的に増加したことによって様々な研究・検討が行われ、新しい知見が得られたことが挙げられる。しかしながら、研究成果の蓄積にも拘わらず未だに解決していない重要なテーマや、十分な実験的検討・解析的検討がなされないままに適用されている各種法令・規格、時代の変遷と共に新たに生じてきた新規課題など、今後我々が解決していかなければならない研究テーマは数多く存在すると考える。

そこで本稿では、兵庫県南部地震以降の木質材料・木質構造関連法規等の変遷を振り返ると共に、現在の木質構造設計体系の進んでいる方向性と今後の研究課題を考えてみることにしたい。

### 2．木質構造関連法規等の変遷

表1に、兵庫県南部地震以降の木質構造に関連した法規等の変遷を纏めた。なお、この表は2006年11月の日本木材学会 木材強度・木質構造研究会シンポジウム「木質構造研究の現状と課題 Part.3」の資料、及び2007年8月の日本建築学会大会 PD（木質構造研究の現状と課題）資料から重要部分を抜粋し、一部加筆したものである。

建築基準法の改正は2000年と2007年の2回行われているが、木質構造にとって最も大きな改正は2000年であろう。それと同時にH12 建告1352号、H12 建告1460号等が制定され、従来まで仕様規定だった軸組構法住宅の壁量計算による構造方法が、ある程度性能規定化されることとなった。これ以降、住木センターや日本建築センター等から設計手法や構造計算手法等の解説本が相次いで発刊され、木質構造の設計手法・構造計算手法は良くも悪くも複雑になってきている。

このような法令関係の動きについては、大学にいとあまり意識しないのが普通だと思われるが（私も以前はそうだった）、木質構造研究の最終目的が「安心して安全な木質構造物を建てる」ことにあるのならば、もう少し意識してもいいのではないだろうか。自分が関わっている研究テーマに関しては技術書や解説書などを読んである程度情報を得ていると思うが、何故その研究が必要なのか、最終目的はどのような意味を持つのか、研究成果によってどのように木質構造の設計体系に貢献できるのかということ、現在の法規等と絡めて考えることが重要である。

### 3．日本建築学会の役割と現在の方向性

おそらく伸木会メンバーの全員が会員であると思われる日本建築学会であるが、その出版物である「木質構造設計規準・同解説」は時代の流れや研究の進展と共に改訂が重ねられている。学会の中に設けられている学術委員会では、各分野のトップの人々が運営委員会を組織して、その傘下の小委員会を纏めながら各分野の方向性を定め、各種出版物の編集や改訂、講習会の実施などを行っている。

運営委員会内に実務者がほとんどいないため、設計規準などは若干難しくなりすぎている感もあるが、現在の木質構造の設計体系の根幹をなしていることは間違いなさだろう。ここでは、現在の木質構造運営委員会がどのような方向に向かっているのかを各小委員会の活動を通して見ていきたい。

小委員会名から見えてくる主題は、終局耐力設計法の導入、動的性能評価法の確立、木質構造教育の充実、実務的な接合部設計手法の提案、耐力壁構造の問題解決、伝統構法の構造設計手法の提案、となる。次節の研究課題とも重なる部分は多いが、特に接合部の終局破壊を予測する手法の確立は重要なテーマであろう。現在の木質構造設計規準における接合部の章では基本的には降伏耐力を元にした許容耐力設計体系になっているが、一部終局耐力を考慮する部分が盛り込まれている。北米等の LRFD (Load and Resistance Factor Design) や限界状態設計法の考え方を参考に、我が国の木質構造設計体系も許容応力度設計から終局耐力設計への転換が図られるものと見られ、接合部や構造要素の終局耐力予測とその評価方法の確立は重要なテーマになっていくものと思われる。

#### 4 . 今後の研究課題

以下、個人的に重要だと考えている研究テーマについて、幾つか解説を付けたい。

##### (1) 木質材料および木質接合部の耐久性評価

本シンポジウムのテーマ2で取り上げているので詳しくは書かないが、木質構造研究に残された大きな課題の一つであることは間違いなさ。既存木造住宅の耐震補強の重要性が唱えられてから、構造部材の非破壊的な耐久性評価と残存強度評価の結びつけが幾つか試みられているもの、なかなか実用的なレベルの成果にまでは集約されてこない。促進劣化手法と実際使用環境下における生物劣化との対応、目視評価と非破壊的評価手法の関係、構造部材・接合部に要求される性能を保持しているかの判断など、いくらでも検討課題は存在する。

なお、耐久性評価というと一般的には生物劣化(木材腐朽菌、シロアリ)のことを思い浮かべる人が多いようだが、水分による劣化(温湿度、使用環境、事故的水掛かり等)も忘れてはならない。結構この分野のデータが不足しているので何とかしてほしいという声を聞く。筆者も取り組んでいるテーマの一つである。

##### (2) 接合部のクリープおよび DOL

木材および木質材料のクリープに関しては多くの実験がなされているが、接合部のクリープに関しては少ない。また DOL に関しては、元々無欠点小試験体による実験結果を元にしたマディソン・カーブを参考にして日本での長期短期の比率が決められていたが、AII 木質構造設計規準の 2002 年改訂版より荷重継続期間 250 年を基準強度 1.0 として、短期を 2.0、長期(50 年)を 1.1 とする方式に改められた。しかし、この値は木材・木質材料のクリープ特性によって変わってくる値のため、木材の樹種、集成材や LVL などの木質材料によって異なる値を取ることが想像される上に、実大材による評価もまだまだ進んでいない。

また、AII 木質構造設計規準 2006 年改訂版からは、接合部の荷重継続時間影響係数として、材料で定めた係数(長期 1.1、中長期 1.43、中短期 1.6、短期 2.0)を取り入れた。これは、接合部のクリープ特性が木材のクリープ特性に依存する場合にのみ適用可能であると但し書きがされており、それ以外の場合は実験的に求めるよう記述されているが、そもそも接合部の DOL 試験は過去に例が無く、多くの実験的検証が必要であると強く感じている。



### (3) 材料性能に応じた接合部・構造要素の設計

現在、様々な木質材料が使われているが、それらの規格は JIS・JAS・37 条認定と様々であり、要求される性能も異なっている。この様々な規格をクリアして製造された木質材料の力学的性能を、より適切に構造設計に生かすためには、解決していかなければならない問題はまだまだ多いと考える。

たとえば面材系耐力壁の性能は、告示で定められた仕様以外に、面材の樹種・密度・厚さ、軸材の樹種・密度などによって簡単に変えることができる。しかし、用いる軸材や面材の種類に合わせて倍率をチェックして柱脚柱頭の金物を適切に変更する人などはいないだろうし、許容応力度設計の標準計算法でも壁倍率を元にした剛性・耐力を使って計算をしている。これで本当に安全と言えるのだろうか？

また、対称異等級構成集成材を用いた柱梁接合部では、ヤング係数の異なるラミナに多数のボルト等が打ち込まれる場合があるが、その接合部の性能を評価する際にラミナ 1 枚ごとのヤング係数を考慮して設計することはなく、ラミナのヤング係数の平均値もしくは最低値を使って計算するのが通常だろう。このあたりは研究者サイドから合理的な計算方法を提案していかなければならない。

### (4) 接合部・構造要素の終局耐力評価

前章でも少し触れたが、現在の木質構造の設計体系は、基本的に降伏耐力を元にした許容耐力設計であり、AIJ 木質構造設計規準の内容もそうになっている。しかし、2006 年改訂版の接合部の設計では、一部終局耐力設計法の考え方が取り入れられた。それは、接合部全体の基準許容せん断耐力を求める際に、接合部全体の基準終局せん断耐力と各種係数を掛け合わせて求める方式を採用した点である。その中で、基準終局せん断耐力の算定には木材の割裂破壊に対するチェックを求めている。さらに、接合部の集合型せん断破壊の終局耐力も求めることが可能になっている。

AIJ 委員会でも、2006 年改訂版の次の改訂において終局耐力設計法へ転換することを視野に、海外の文献や日本へ導入する際の問題点などをチェックしているところである。しかし、割裂破壊の算定式ですらまだ不完全な式と思われ、更なる実験的・理論的検討を続けていくべきであるし、金属接合具を用いた様々な接合方法、耐力壁や水平構面などの構造要素等に関しても、終局耐力設計法の考え方を取り入れた設計法・評価法を検討していかなければならないだろう。また、変形量の算定や異種接合法を複合する際の加算則に関する検証なども必要になってくる。

### (5) 木造建築物の動的性能評価

動的性能の評価は古くから行われているが、未だに解決していないテーマは多い。私はあまり詳しくはないが、履歴モデルの適合性や減衰の評価などはこれまでも様々な提案がされているものの、結論には至っていない。また、地震波の種類による応答の違いや、同じ地震波でも 1 方向、2 方向、3 方向入力の違いだけで倒壊するか否かが変わってくるなど、構造体の振動問題はまだまだ奥が深い分野である。

構造体だけでなく、接合部や耐力壁などの速度依存性や動的性能評価もまだ結論づけられたテーマではない。

### (6) 木造建築物の倒壊限界

5 年間の大型プロジェクト「大大特」でお馴染みとなった倒壊実験であるが、既存木造住宅の評価は非常に難しい。建物の建設年代、腐朽・劣化の程度、耐力壁の仕様、金物の量と配置などによって建物の性能は大きく異なってくるため、どの程度の耐力を有するのか、どの程度まで変形が許容され

るのかなどの定量的評価は難しい。実験の規模が大きいこともあり難しい分野ではあるが、地道に研究を続けていくテーマであろう。

## 5 . 最後に

様々な課題は残っているが、研究目的を明確にし、法令や規格などとの関係を意識しつつ、地道に続けていくことが重要である。テーマによっては協力体制を築くことも必要であろうし、工学系 / 農学系、構造系 / 材料系 / 保存系などの連携によって新しい展開が開ける可能性もあるだろう。

今後の木質材料・構造研究の進展にとって、本資料がその一助となれば幸いである。

表1 木質構造関連法規等の動き

西暦	平成	地震	法令関係の動き	学会、協会、団体等の出版物
1995	7	兵庫県南部地震		AIJ:木質構造設計規準・同解説 AIJ:木質構造設計ノート
1996	8		日本農林規格、日本工業規格の改定(SI単位の導入)	
1997	9			
1998	10		改正建築基準法公布	
1999	11		品確法公布	
2000	12	鳥取県西部地震	品確法施行 改正建築基準法施行(性能規定化) 建設省告示1352号(4分割法) 建設省告示1446号(指定建築材料) 建設省告示1452号(基準強度) 建設省告示1460号(継手・仕口)	
2001	13	芸予地震	国交省告示1540号、1541号(2×4工法) JAS改正(針葉樹の構造用製材、造作用製材など)	BCJ:建築物の構造関係技術基準解説書 住木:木造軸組工法住宅の許容応力度設計
2002	14		国交省告示411号(丸太組構法)	AIJ:木質構造設計規準・同解説 - 許容応力度・許容耐力設計法 - 2×4: 枠組壁工法建築物構造計算指針
2003	15	宮城県北部地震	JAS改正(構造用集成材、集成材、構造用LVL、LVL、合板、構造用パネル) JIS A 5905(繊維板)、JIS A 5908(パーティクルボード)改正	BCJ:丸太組構法技術基準解説及び設計・計算例 AIJ:木質構造限界状態設計指針(案)・同解説
2004	16	新潟県中越地震		木住協:木造軸組工法住宅の構造計算の手引き 住木:土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書 住木:木造軸組工法住宅の許容応力度設計(第3版) 建防協:木造住宅の耐震診断と補強方法
2005	17	福岡県西方沖地震	JAS改正(枠組壁工法構造用製材、同たて継ぎ材)	住木:3階建て混構造住宅の構造設計の手引き 住木:木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き
2006	18		改正建築基準法公布	AIJ:木質構造設計規準・同解説 - 許容応力度・許容耐力設計法 - (改訂版) 住木:木造住宅のための住宅性能表示 - 基本編・構造編・申請編 -
2007	19	能登地震 新潟県中越沖地震	改正建築基準法施行 JAS改正(集成材、製材)	BCJ:2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書 2×4: 枠組壁工法建築物構造計算指針改訂版(10月下旬発行予定)
2008	20			AIJ:木質構造接合部設計法ノート 発行なるか?

メモ