

建築学科特集

－ 研究を通じた教育実践 －

木質構造研究室

中高層やスケルトン躯体、制振技術等を活用し、新しい木造建築の可能性を広げる

那須 秀行*

(2017年9月11日受理)

Timber Engineering Laboratory, Träteknik Laboratorium

Hideyuki Nasu

(Received September 11, 2017)

The main aim of our missions is to expand some possibilities for new wooden buildings by realizing middle to high-rise storey wooden buildings, skeleton frame wooden buildings, or by utilizing suppression effect against structural performance degradation with vibration control technologies for wooden shear walls, behavior control technologies for wooden joints, etc.

In our laboratory, students grow significantly by aggressive experimental research activities and daily team works.

1 はじめに

まず木質構造に関する自身の歩みを少し振り返ってみたい。木質構造の研究開発に関わりながら、早いものでもう30年余となった。この研究分野は世界的に見ても日本においても大きくはなく、むしろとても小さくアットホームな雰囲気があるように思う。色々な方々とお付き合いさせて頂きながらこの分野で続けてこられたのは、恩師である元明治大学教授の野口弘行先生、そして野口先生の師匠である東京大学名誉教授(元明大教授)の杉山英男先生をはじめ、多くの方々に愛情あるご指導を頂いてきたお陰である。1987年4月に工学部建築学科の4年生として野口研究室「木質構造研究室」に所属、これがこの分野でのスタートとなり、そのまま大学院修士課程に進み、構造実験やFEM解析などを学んだ。子供が親から母語を会得するように、ごく当たり前のように自然素材である木材特有の物理的な性質や木造建築の新たな可能性などを学び、そして多くの魅力に触れたように思う。当時から、共同研究等でご一緒させて頂いた住宅メーカーや建材メーカーなど多くの実業界の方々や他大学の先生方からも色々な面でご指導を頂いた。また、野口先生には学会委員会などにも同行させて頂いたことで、木質構造に関わる仕事で貢献していきたい、と思うようにもなった。その頃から長きに渡ってお付き合いさせて頂いている多くの方々に対し、この場を借りて感謝申し上げたい。

2 住宅メーカーでの業務

1990年3月に修士課程を修了、旭化成工業(現旭化成)に入社、住宅事業本部(現旭化成ホームズ)に配属され、木造住宅であるスクラムハウス(型式:旭化成HB)の開発に関わった。最も印象に残っているのは入社1,2年目の頃、建築基準法38条の大臣認定取得に向け試験棟建設(当時はシステム認定取得に50棟必要だった)のため九州のけやき台に滞在し、実にパワフルな地元の大工さん達と現場で連日汗を流した事である。その後、鉄骨ヘーベルハウスの開発にも関わりながら10年と少し旭化成で過ごした。

残念ながら、2000年に旭化成が木造から撤退。木質構造に関わる業界で研究開発を続けたいと住友林業に転職した。ちょうど「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が出た頃で、まずこれに関連する準耐力壁の認定取得業務等を進めながら、筋かいレス構法(マルチバランス構法MB-w)の



Fig.1 スウェーデン王立SP技術研究所でのプロジェクト

*建築学科

開発などを実施した。一方、木造の更なる自由度アップと高強度・高耐久化を両立すべく、木造ラーメン構造の開発を行おうと自ら企画し、構造システムのアイデアを出し、試作および実験をし特許等も出願した。開発の目途がたったところで筑波研究所に異動となり実棟検証も進めながら開発を進め、構造システムの大匠認定も取得した。技術的な難題も数多くあったが、共に開発プロジェクトを遂行した石山央樹氏(現中部大学)、小松秀彰氏をはじめ部品メーカーやプレカット工場の方々、社内外多くの人の努力によって木造ラーメン構法が完成、これがビッグフレーム構法(横綱白鵬関のCM)の誕生である。ウィーン工科大学のProf. Winter など欧州からも評価され、幾つか共同研究のオファーを頂いた中で、2007年4月~2009年9月迄の2年半、スウェーデン王立SP技術研究所に駐在した(Fig.1)。現地へは未知の世界へ冒険に漕ぎ出すような不安と共に飛び込み、日々奮闘しながら、結果的には1万キロ離れた所に第二の故郷ができた。ビッグフレーム構法は多くの方々の思いによって、今や同社の在来構法をはるかに上回る年間約7000棟を売り上げる主力商品となり、多くのお客様に喜んで頂いていると思う。住宅メーカー2社でそれぞれ10年強ずつ、計21年間の実務経験が自分にとっての幹であり、スウェーデンでの駐在経験と共に自身のアイデンティティであり、これらが今の仕事の貴重な引き出しにもなっている。

3 大学に着任して、授業など

2011年4月から本学、日本工業大学で研究室を持った。東日本大震災の直後で、3月25日まで被害調査に出張し、着任準備も殆どできない状況だった。4月1日に本学に来たものの、災害現場から戻った直後であり、建築の構造に長年関わってきた技術者としての悔しさ、何とも言えない無力感に苛まれていた。学内の桜がとても華やかだったが、それが現実なのか、不思議に見えたことをよく覚えている。途方に暮れる着任当初の私を救ってくれたのは学生達の笑顔だったかも知れない。準備もままならぬまま授業が始まり、研究室も学生達と少しずつ整備していった。



Fig.2 2×4木造建築工房 in Alberta, Canada

大学での勝手が掴めぬなか、事務の方々や他の先生方が何かと温かくサポートしてくれた。これを書きながら当時を思い出しているところである。

担当している授業は、木質構造の他、構造力学や構造実験演習などを受け持っている。教科書の内容を伝えるだけでなく、実務への繋がりや時には技術者としての哲学に言及することもあるが、受講生達も実に真剣に取り組んでくれている。特に木質構造については、これからの木質構造界を担ってくれる貴重な同志かも知れない、そういう思いで授業を行っている。また、建築英語や2×4木造建築工房といった他大学では珍しい科目も担当している。2×4木造建築工房では毎年9月に履修学生10名程をアルバータ州にある本学カナダキャンパスに引率する。春学期のうちに学生達自らが小規模な建物を設計し9月に渡航、現地の大工さん達と一緒にそれを施工する(Fig.2)。現地を離れる前夜、学生達それぞれが現地スタッフ達に向け英語でスピーチをして貰う。「英語を更に勉強したい、もっとコミュニケーションできるようになりたい、ありがとう」と言う姿は実に清々しく、感動的でさえある。これこそが教育者冥利というものであろう。

研究室名としては、恩師と同じく「木質構造研究室」という看板を掲げさせて貰っている。学生達は例年実にまじめでモチベーションも高く、実験主体の研究活動を積極的かつ主体的に実施している。毎年、学生達が作業着を造っており、背中には「Träteknik Laboratorium」スウェーデン語で「木技術研究室」(Fig.3)とありとても気に入っているようだ。



Fig.3 Träteknik Laboratorium

4 ゼミの運営(年間スケジュール概略)

当研究室のゼミ活動を年間スケジュール概略に沿って紹介させて頂くと、概ね次の通りである。

4月:新ゼミ生の配属。新4年生が希望する所属先を基本として配属される。建築学科は各学年約200名が在籍しているが、例年14名程度が新たに当研究室に所属する。かなり多い人数であるが、更にこれに加えて当研究室の

場合は大学院進学者も多く、例年6名程度の院生が所属している。従って、ゼミ全体として20名程度の大所帯となる。始めのうちは力学や木質構造、英語等の基礎的な勉強を進めながらゼミをスタートアップする。

5月:ゼミ合宿と研究テーマ決め。本学セミナーハウスや武道場等でゼミ合宿を行っている。院生が中心となり各チームの研究テーマの経緯や内容についてプレゼンテーションし、質疑応答する (Fig. 4, 5)。次に、新ゼミ生を中心に自分がどのテーマを進めたいのか、希望を出しながら重複しないよう調整をする。大切な事ゆえ全員が納得するまで、調整は夜中過ぎまでかかることもある。



Fig. 4 ゼミ合宿にて研究テーマの発表と担当決め



Fig. 5 研究テーマ決定後、合宿所前にて

6月:実験企画、パラメータ設定、試験体設定と発注。実験材料を早目に発注すべく、早々に研究概要を決める。当研究室では、ほぼ全てのテーマを外部との共同研究としている。私自身も学生時代に共同研究先の企業の方々とやり取りをさせて頂きとても勉強になった。ゼミ生達にもこうした経験をして欲しいと願っているからである。その為、挨拶から電話の取り方、メールのマナー、名刺 (ゼミ生全員が名刺を作成) の渡し方まで新入社員教育のような事まで当ゼミではやっている。実業界での20年以上の経験から、私はこれらも必要だと考えている。

7月:試験体製作、プレ実験、中間報告書作成。実験系の当研究室にとっては、授業で機材を使わない夏休み期間が研究実験を思う存分にできる繁盛期となっている。それに向けての実験準備等を次々に進める。この頃から当研究室に興味ある3年生の一部が自主的に実験室や研究室に入出入りし、実験準備の作業を手伝ってくれる中で少しずつ馴染んでいくようだ。

8月、9月:実験の実施、データ検証。当研究室としては最も忙しい時期。ゼミ生一人ずつが各研究テーマを持つが、実験自体は一人ではできない場合が多い為、機材操作や記録取りの面、そして何より安全面からコミュニケーションとチームワークが大切。お互いの作業を助け合いスケジュールを調整しながら最終的に全員のテーマが怪我なく実験終了できるよう皆が良く頑張っている。この時、共同研究先の企業の方々と一緒に実験作業をする事が間々あるが、ゼミ生達の頑張りや探求心に皆さん驚かされ、是非当社に来て欲しいと就職が決まるゼミ生が毎年数人いる。会社説明会や面接からは見えてこないお互いの実態を通じ、双方が安心して就職に繋がる、理想的な事だと思う。スウェーデンでは8月祭としてザリガニパーティーが開催されることに倣い、当研究室も毎年実施している。小さな伊勢海老のようで意外なほど美味しい。日本でも8月のみだがIKEAで入手できる。



Fig. 6 8月は恒例のザリガニパーティー

9月は例年、私が2×4建築工房でカナダに出張している為、各チームの大学院生が中心となってゼミを運営している。実験においては、必要に応じスカイプ等によるテレビ電話で確認したり議論したりという状況もある。

10月、11月:データ検証、考察、論文作成。実験実施までの作業系は皆モチベーション高く、目を輝かせて頑張るのだが、考察や執筆段階になるとパタッと筆が止まってしまうゼミ生が例年少なからずいる。ここで私も含めて生みの苦しみを味わうことになる。理系であっても国語力はやはり最も大切、普段から本を読むよう学生指導している。プロの文章はきちんと推敲してあり、まるで映像が思い浮かぶような、しかもスムーズな文章構成は論文執筆にもぜひ参考にしてほしい。最低限、主語と述語の関係、そして目的語や修飾語などは文章を書く時にきちんと意識して欲しいと思う。

12月:論文ほぼ完成。論文として体裁が整ってきても、折角得られたデータについて説明不足で他の人が見たら分からなかったり、きちんと考察が述べられていなかったり、論理的に飛躍し過ぎていたり、色々と不備が見つ

かる。図表の細かい体裁や位置バランス、文字フォントまで整合を取り始めると気に入らない部分も多く、学生との根比べの様相を呈する時期である。

1月:論文完成、発表用PPT作成、発表練習。やっと論文提出までたどり着いたものの、今度は発表会。学科の全教員と他の4年生や3年生を前に大教室で発表するのは学生達にとって大きな試練である。毎年殆どの学生達が原稿を見て発表し、時には棒読みになってしまうが、当研究室の卒業生は80名程、これまで一人たりとも発表時に原稿を読んだ者はいない。全員がそれぞれ差し棒やポインターを有効に使いながら、堂々と発表できるまで内容を深く理解し、何度も練習をしてきたからである。

2月、3月:次年度へのプレ実験、共同研究等の実施。卒論や修論もひと段落、次のテーマの方向性を探る時期である。論文発表までは中々時間が取れないが、春休み期間中は実験用装置を自由に使える貴重な時期である。外部との共同研究にも集中できる時期で、国の研究機関や幾つかの大学が共同で進める大掛かりで国家的な実験にも院生達と共に参加する。

年間を通して:研究室の大学院生達がチームリーダーとなってゼミ生達を指導しながらそれぞれの研究が進められており、皆が本当によく頑張っている。少なくとも、彼らは私が学生の時よりも数倍頑張っているのは確か。今の若い者は…と人は言うけれど、彼ら中々立派である。

欧州とのコネクションが元で、概ね2年に1度当研究室に欧州からの大学院生が1ヶ月程滞在し一緒に実験や解析を進めてきた。これまでにイタリア人(ルンド大)とドイツ人(ルレオ工科大)の院生が滞在したが、今年11月に別のドイツ人博士課程学生(同じくルレオ工科大)が滞在予定である。

国際学会への投稿も積極的に行っており木質構造分野最大のWCTE(World Conference on Timber Engineering)においては、本学に着任以来欠かさず院生達の投稿も含め毎回複数本の論文を投稿してきた。国際学会などで旧知の研究者や実業界の方々と再会できるのはとても嬉しいし、研究開発活動へのモチベーション向上に繋がる。



Fig. 7 WCTE 2016(Vienna)のChairman Prof. Winterとの再会を喜び、当研究室から発表の院生達と

世田谷区の西端にある自宅から本学まで片道2時間半かけて通勤しているが、学内業務や学生対応、授業準備や研究活動の時間を捻出すべく、着任以来、週1回程度は大学に泊まっているような状態が続いている。自身の健康管理上、何とかせねばと思っはいるが。私はゼミ生達は元より在校生に対しても、木質構造の担い手になってくれるかも知れない、将来の木造業界を盛り上げてくれる若き技術者にバトンを渡しているのだ、という気持ちで接している。自分の学生時代を棚上し、つい過剰な期待をしているのかも知れないが、学生達の潜在能力を私は信じている。当研究室は、当初は「体育会」、その後「相撲部屋」、更には「軍隊」などと在校生から呼ばれる濃い研究室ではあるが、実際にゼミ室を覗いてみれば、明るく居心地良く楽しんでいる姿を見て貰えるだろう。

5 研究内容

ここでは研究テーマをご紹介します。機密保持契約により記載できない、或いは紙面の都合上記載しきれないテーマもあるため、一部代表的なものだけを紹介させて頂く。

5.1 Cross Laminated Timber に関する研究

CLT 接合部に関する研究として床壁接合部実験を行っている。また、ラミナの組み合わせ方をパラメータとしてCLT梁の曲げおよびせん断実験も行っている。更に、木造中高層化で発生する極大鉛直応力に対する脚部の強度や靱性向上を目指し、中径スクリーを活用した局所的な潰れを抑制する圧縮実験も行っている。また、局部座屈および全体座屈強度の向上を目指した実験や、CLT 接合部のスペック向上の引張実験も行っている。なお、CLT 試験体の製作は、各材料の素性(基本構造特性)を確認した上で、本学インテリアデザインラボを活用し、自ら各CLTを製作している。



Fig. 8 CLT 振動台実験

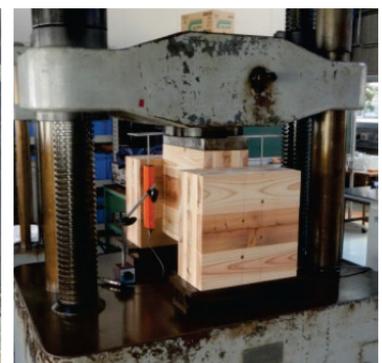


Fig. 9 CLT 床壁接合部実験

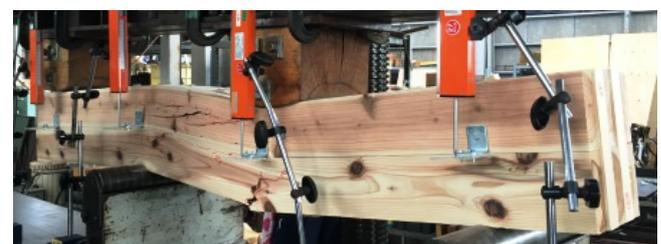


Fig. 10 CLT 梁の曲げせん断実験

5.2 木材の繊維方向に着目した接合部挙動の制御に関する研究

木材がもつ直交異方性を活かして接合部の挙動をコントロールできないかと考えており、初期剛性や最大耐力を殆ど犠牲にせずに靱性を飛躍的に向上させる研究である。木材の繊維方向をパラメータにメカニカル接合の引張実験を行っている。将来的には木材の繊維方向をうまく組み合わせることで、構造設計の要件に応じて初期剛性重視あるいは靱性重視など、接合部挙動を任意に制御できる技術を研究すべく進めている。なお、本研究は JSPS 科研費 (課題番号 24560696) ¹⁾ のテーマである。



Fig. 11 繊維方向の組合せに着目した接合部研究

5.3 木造耐力壁の制振効果に関する研究

僅かなコストで木造住宅の耐力壁に対して交通振動や大地震による劣化の抑制効果を発揮できる構法を開発している。粘性材料や摩擦材料を使い耐力面材とフレーム間に挟むことで交通振動等に起因する経年劣化を抑制し、かつ大地震時でも損傷を低減させ、地震後の修復費用を大幅に削減させることが目的である。起振機による交通振動の劣化促進や、振動台による大地震の再現で効果を検証している。本研究は京都大学防災研究所および京大大学生存圏研究所との共同研究 ^{2), 3), 4)} テーマである。また、JSPS 科研費 (課題番号 17K06653) ⁵⁾ のテーマでもある。



Fig. 12 交通振動を再現
起振機で劣化促進(日工大)



Fig. 13 大地震を再現
振動台実験(京大防災研)

5.4 開口部が及ぼす耐震性能に関する研究

スウェーデン式枠組壁工法において開口部の大きさや位置、開口隅角部の補強効果、設備開口についても耐力に及ぼす影響を検証している。また、フレームや合板、石膏ボード等の各耐力要素の加算則がどこまで成り立つかについても検証している。更に、内外壁材等の仕上げ材が構造性能に及ぼす影響についても検証を行っている。



Fig. 14 耐力壁の面内せん断実験(右奥)と
CLT 脚部の圧縮実験(左手前)を同時進行

5.5 木造住宅の高強度金物接合に関する研究

これまで大径ボルトを木材に埋め込むことで木造建築の剛接合を実現してきたが、現在、より汎用的な木造接合部に補強用の長ビスを施して強度アップさせると共に、地震エネルギーを安定的に吸収させるべく割裂防止による靱性の向上を目指している。補強ビスの位置や方向を最適化すべく接合部実験により検証を行っている。

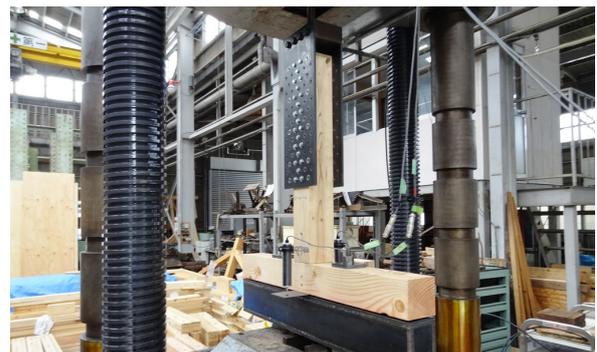


Fig. 15 汎用的な木造住宅の接合部を高強度化

5.6 束ね柱による座屈強度向上に関する研究

国産材の有効活用、地産地消を目指した研究である。建設地の地元で普及している柱材およびその普及寸法を活かし、それを束ねることで座屈強度を向上させようというもの。束ね方として、現場で施工しやすい長ビス、或いは応力集中を起こしにくいガラス繊維等を利用して束ね効果について、素材やピッチをパラメータとして座屈実験を行っている。



Fig. 16 ビス補強束ね柱



Fig. 17 アラミド繊維

5.7 木質材料の変位・破壊挙動に関する研究

接合部の挙動、特に最大耐力の向上と靱性確保においては、木材の割裂防止がキーポイントである。木材の割裂兆候を定量的に非破壊で動的連続に、しかも低コストで把握できれば、挙動検証や改良がより合理的にできる。現状、こうした検証を行うには通常、歪ゲージを用いて材料実験がされているが、当研究室では2台のCCDカメラを活用し、非接触かつ動的な応用を視野に画像処理により歪みと応力を安価に計測できる手法を研究している。



Fig. 18 CCDカメラ2台による歪測定と割裂検出の研究

5.8 木造ビル用壁柱ラーメン構造に関する研究開発

先進国を中心にCO₂削減のため大型木造建築に期待が注がれている。5.1に示す技術、CLTによる中高層木造の研究プロジェクトや委員会活動もその一環である。一方、壁式となるCLT構造ではなく、別のアプローチとして、より設計自由度の高いラーメン構造にて大型ビル建築を実現すべく、企業と共同研究を積極的に進めている。



Fig. 19 木造ビル用の壁柱ラーメン構造の開発

6 まとめ

仕事をするうえで最も大切なのはモチベーションだと思う。学生も個々にみれば皆それぞれに何かしら得意な事、まだ眠っている潜在能力がある。そのスイッチを入れる、これこそが教育者の役割である、と思っている。私自身も理解が早い方ではないが、それ故つまずくポイントや解らない人の気持ちは分かるつもりである。

また、当研究室は普段からコストを大切にしている。以前、卒業設計でコストを論じるのはアカデミズムに対する冒瀆だと憤慨された事がある。しかし、コスト意識を伴わない設計はもはや工学ではなく建築絵画だと思う。師匠野口先生の口癖を借りれば、「我々は工学をやっている。実用に足るか、製造技術やコストも含め工学としてバランスが大切である」と。ゼミ生達には普段から実験費用の他、何が技術的なアドバンテージでそれはコストに見合うか等、折に触れ実用化を意識し問いかけている。

最後に。当研究室は共同研究等できるだけ外部の方々とゼミ生が直接やりとりをさせて頂くようにしている。それによって相手先に失礼もあろうかと思う。しかし、それ以上に私はゼミ生自らの気づきに期待をしている。私も学生時代や社会人になりたての頃によく失敗し恥をかき少しづつ気づくようになった。将来、木質構造界で活躍してくれる筈の若者への教育という意味合いも含めお付き合いとご指南の程、よろしくお願い申し上げたい。

謝辞

記載した研究には次の競争的な公的助成金等を受けています。

- 1)平成 24～26 年度 科学研究費助成事業学術研究助成基金助成金 基盤研究(C) JSPS 科研費「課題番号 24560696 木材繊維方向の組合せにより接合部剛性・強度および靱性を確保し制御する研究：研究代表者 那須秀行」
- 2)平成 26～27 年度 京都大学 防災研究所 一般共同研究「26G-10 制振素材による木造住宅の劣化抑制に関する研究：研究代表者 那須秀行」
- 3)平成 26～27 年度 京都大学 生存圏研究所 木質材料実験棟共同利用研究「26WM-15, 27WM-18 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究：研究代表者 那須秀行」
- 4)平成 28～29 年度 京都大学 生存圏研究所 木質材料実験棟共同利用研究「28WM-10, 29WM-07 テープ状制振素材又は塗布状制振素材による木造制振耐力壁の効果に関する研究：研究代表者 那須秀行」
- 5)平成 29～31 年度 科学研究費助成事業学術研究助成基金助成金 基盤研究(C) JSPS 科研費「課題番号 17K06653 塗布状制振素材及びテープ状制振素材による木造制振耐力壁の開発と実棟3次元挙動解析：研究代表者 那須秀行」

参考

研究室 HP <http://leo.nit.ac.jp/~nasu.hid/>
Facebook Timber Engineering Lab.