



建築分野における木材利用 いまとこれから

京大大学生存圏研究所 教授 五十田 博

はじめに 自己紹介

皆さん、おはようございます。ただいま御紹介いただきました京都大学の五十田でございます。

資料を用いて話をさせていただきます。今ほど御紹介をいただいたところですが、こちらでもプロフィールを用意していましたので、まずはそのお話をさせていただきます。私は今、生存圏研究所というところにおりますが、世界で生存圏研究所というのは1つしかありません。聞き慣れない名前だと皆さん思われますけれども、Sustainable Humanosphere、英語にするとそんな名前の研究所でございます。サステナブルは持続可能性とかそういう意味ですが、持続していく社会をどう構築していくかを念頭に置きながら研究を進めている研究所です。

それで具体的に私がやっていることは何かというと、木造の研究をしています。木造建築の構造をやっています。これまで木造建築は地震被害、あるいは、最近ですと土砂災害で被害を大きく受けてきているところです。そんな木造をどういうふう to 今後造っていくかというような研究を実施しており今日はその話をさせていただきます。それに加えて、最近の話題としては、やはり世界的に中高層の木造を建てようという動きがあるものですから、その辺の動きも話をします。

具体的研究としては、木造の中高層建築物の構造特性の把握であったり、他の構造と木材を用いた混構造の建築物の構造性能の把握であっ

たり、そのような建物を対象に実験や解析を実施しています。今、木材を使おうという動きが世界中、そして我が国でもおこっているところです。そういうような木材を使った建築物が、構造的にはどんな特性があるのか、その性能評価、つまり、木造は地震が来ると大きく被害を受けることが多いわけですが、振動台という人工的に地震を発生させる台の上で建物を揺らして、安全な建物をどうつくっていくか、そのような研究をしています。

また、センサーを用いて、地震が来たときにすぐに、この建物は入っていいですよとか、応急危険度判定という言葉聞いたことがあるかと思いますが、応急危険度判定を何とかセンサーによってオートマティカルにできないかというようなこともひとつの課題としています。

私の現在の所属ですが、工学ではなくて農学研究科というところにおります。木材を研究する上では非常に周りの先生方と交流を図れてよいなと思っています。もともとは建築畑、工学部の建築におりました。

最近どんな仕事をしているかをここに書かせていただいています。今日のように講演活動することがコロナの前までは非常に多かったです。年間50とか、多いときには100ぐらいの講演もさせていただいたりしておりましたが、コロナになってからその辺はぐっと減りまして、Youtubeに出たりもしていますけれども、講演活動は大分減っています。一方で建物の審査が

増えています。木造で建てようとなると、あるいは木材を使った混構造建築物を建てようとする、経験を持った方がいらっしやらないとか、どうやって建てていいんだろうとか、どう設計すればよいか、というような話になって、国立競技場なんかも木材が使われているわけですが、あれが一体安全なのかどうかというような評価が必要なわけですが、そのような建物の審査のお手伝いをする場面が増えております。

建築基準法、法令関係のお仕事もちょっとさせていただいております。これは平成9年に建設省建築研究所にいたことが背景にあります。例えば、最近の住宅関係の話題は、省エネ住宅の普及と思います。2030年から義務化をされていくことになりますが、省エネだから構造は関係ないということではなくて、構造も考慮すべきことがあります。今後、法令等も改正されていくかと思いますが、そんなお手伝いもさせていただきます。

また、設計を私やっておりますので、木材の利用方法とか情報提供、海外ではこんなものが建てられているよということを情報提供するのが私の役目かなというようなことを感じております。

1 講演内容のこれまでとこれから

講演活動を大分やっていますというような話をさせていただいたところですが、10年ぐらい前は、いまなぜ木造を建てなきゃいけないのか？という話をしていました。何で今さら木造なの、ということです。そして、世界では木造の高層化が競われている、この資料15に4つほど写真が載っておりますけれども、これはイタリア、ケベック、オーストラリア、イギリスというふうに、10階建てぐらいの建物が建てられるようになったのが10年ぐらい前になり

ます。世界でなぜ木造を建てるようになったか、そしてどんな木造が建てられているか、さらには、将来展望のような話をしていました。それが10年ぐらい前です。

最近どんな話をしているかという、実際に木造で建物がつくられ始めると、何でもかんでも木造で造るというのはコスト的にあるいは構造合理性という観点からなかなか難しきろうとい、るので、適材適所に木材を使った構造の話をしていただく機会が増えているように思います。高層建築だとしたらこんな構造形式がある、例えば混構造。中層であれば、木材を使って混構造にしなくても全ての構造部材を木材でも何とか建てることできるとか、そんなふうに高さや用途など建物の分類をしながら、木材を使える適材適所について話をさせていただいています。

将来的には、予想ですけども、もっとも適用範囲が拡大されて、実施例が増えていって、すそ野が広がるような話をさせていただくのだろ、うと思っているところです。

これまで、一言で木造といっていますが、木材を使った建築物の種類は非常に多くあり、住宅だと在来軸組構法、枠組壁工法、丸太組構法とか、パネル構法とかいろいろ構法があります。住宅以外、大規模なものについても様々な構造形式があります。ほかの構造、例えば鉄筋コンクリート造や鉄骨造ではそんな風に多様な構造というのはあまりみられません。ラーメン構造、壁式構造といったところです。木造は構法が多様である、それゆえに、分類整理をしたうえで話をしないと勘違いや変に混乱をきたすようなことがあるように思います。前述したように高層、中層、そして事務所、住宅、工場などで木材の使えるところが違っているというような話でもあります。

2 今日の流れ

それで今日は、日本の高層木造の取り組みとここに至る経緯を話させていただきます。理解の前提として、木材の特性、さらには、最新の研究についての御紹介をさせていただきます。高層建築、事務所ものが今日話のメインになりますが、事務所が終わってくると、低層の住宅のほうにその技術が応用されていくのではないかと考えています。例えば、防火地域で2階建て以上は耐火構造が要件となりますが、木造では耐火構造はできないというような話が以前ありました。当然、中高層建築になれば耐火的な措置をしなければいけないので、耐火の技術開発が進んできています。その技術が住宅に応用されて、都市部、防火地域であっても2-3階建ての木造が増えてくるということも現在ありますし、今後も増えてくるのではないかと考えているところです。

3 なぜ木造を建てるのか

先ほど、これまで多くの被害を受けてきた木造という話をしました。資料4、どんな地震がこれまであったかというのをざっと並べているところですが、関東大震災1923年、来年で100年ということになります。1948年に福井地震が起こっております。その後しばらくあまり大きな地震が発生しなかったわけですが、1995年、左の下ですが、皆さんも御記憶あるところかと思いますが、兵庫県南部地震が発生して、大きな地震が来ると木造建築が倒れてしまう、というようなことを目の当たりにさせられました。そして、2004年、新潟県中越地震です。このときも大きな被害が木造住宅で見られました。最近では、2016年に熊本地震が発生して、右下になりますが、築3年の建物です。築3年で、

性能表示でいうと耐震等級2になりますが、耐震等級2の建物が残念ながら倒壊をしてしまいました。右の下の2つですが、1つは何とか倒れずに耐えています。その上の築3年の建物が倒壊をしてしまいました。

関東大震災を振り返ってみますと、実は地震が来た当初は、木造はあまり大きな被害を受けておりませんでした。火災が発生したこと、さらには台風が来ていて、その個別の火災から都市大火になってしまい、一面焼け野原のようになりました。下町で地盤の弱いところの社寺は、大きな被害を受けている建物が結構あるんですが、山手のほうにいて、戸建ての住宅はあまり大きな被害を受けていないということがわかっています。

皆さん記憶に新しいところですが、2011年の東日本大震災です。地震の名前でいうと、2011年、東北地方太平洋沖地震ということになります。振動の被害はあまりなかったんですけども、津波で家屋が流されて多くの被害が発生をしてしまいました。資料5、航空写真でこの白くなっているところが、もともと建物があったところで、ほとんどが流されてしまっているのがわかるかと思います。

右下のように木造建物、残った建物もあって、それで、メーカーさんなんかはうちの建物は津波にも耐えられるというような広告を打ったところもあります。実は、この写真の後ろ側に回してみると、鉄筋コンクリート造の学校などがあって、それによって津波の水圧が和らげられて、この建物が何とか残ったというようなところもあったりします。もっといえば、陸前高田では松がたくさん倒れ、1本だけ残り、奇跡の一本松とか言われていますが、その松がほかに比べて強かったという話ではないかと思っています。これはたまたま残っているだけです。木造建築というのは津波に対して耐え切れないといひます

か、脆弱なところを見せてしまうことが分かっています。

資料6は西日本豪雨の木造住宅の土砂災害です。2018年の防災国体で広島大学の三浦先生が報告された資料を私が頂いて、皆さんに紹介しています。最近でも熱海などをはじめとして多くの地域で土砂災害は起こっておるわけです。ハザードマップに基づいて、危険地域には木造建築は建てないという方向性も最近では国交省も出しているところですが、土砂、土石流に対して木造建築物は耐えることが難しいということが分かってきているところです。

ここ100年の大きな地震として、関東大震災、阪神・淡路大震災、など「大震災」という名前のつく被害を振り返ると、多くの方が亡くなっていることは共通していますが、その原因を見ていくと、様相がそれぞれで大きく異なっています。地震だけに耐えればよいという話ではない、火災だけに耐えればよいという話ではないというのが資料7の図からわかります。関東大震災では、火災が発生して、10万人の方のうち87%の方が火災によって亡くなられるというような状況でした。

阪神・淡路大震災では、建物が倒壊をして、地震動の揺れが木造に対して非常に厳しかったということなんです。建物が倒壊をして、その建物の下敷きになって亡くなっている方が83%おりました。6,000名を超える方が亡くなられたわけですが、そのうちの83%が建物の倒壊。さらに、焼死というのが12.8%、これは建物が倒壊をして逃げられなかったということが原因の1つというふうに考えられています。ですので、建物の倒壊によって亡くなられた方は、83.3%プラス12.8%だと思っています。つまり、96.1%、ほぼ全数ぐらいと言っていいかと思いますが、そういう方が建物の倒壊で、さらに、「建物」と一言で私は言っていますが、ほぼ大半が

木造住宅です。木造住宅の倒壊を原因に多くの人が亡くなりました。

東日本大震災、先ほども言いましたが、地震時に津波が発生をしました。2万人を超える方が亡くなっているわけですが、溺死をされている方が92.4%。建物、木造建築は大半が流されてしまったということです。

こんなふうに、被害を繰り返してきた木造建築なのです。それをなぜ建て続けるのかというのは、被害が出るたびに言われているところです。1959年に伊勢湾台風が来たときには、日本建築学会で木造禁止というような発議をしています。東日本大震災のときも、海岸地域には木造を建てるなというような動きもありました。阪神・淡路大震災のときは、耐震性能がこれだけ劣った木造建築物を建ててきた責任は誰が取るんだというような、研究者にも厳しい発言がありました。

こんなふうに被害を繰り返してきた木造建築、多くの方が不安に思うし、不信もあるかと思います。一方で、木材は資源循環材料として計画的に有効利用していこうという世界的な動きがあります。資源循環材料というのは植林→伐採→植林を繰り返すことにより永続的に枯渇を考えずに資源を供給できるということです。また、日本では戦後植林をした木材が豊富にあるというような背景があります。国家的に木材を使った建築物を建てていきましょうという動きがあるところです。

さて、脆弱な一面を持つ木造建築と資源として有効利用したい木材。この2つを両立させるに何が大事か。私は木材を正しく理解をする、木造建築について正しい理解を進めていく。何でもいから木造で建てればよいという話ではなく、将来、負の遺産になってしまうよというようなことがないように木材を利用するということと考えています。

4 木材の特性

では、木材ってどんな材料かというと、資料10、こういう教科書的に書いてあることとして長所と短所を書いてみました。軽い割には強いとか、資源が豊富にある、切削加工が容易、湿度調節機能がある、持続再生可能な材料、二酸化炭素固定能力というのが長所として挙げられています。では、短所はというと、燃える、くるいが生じる、腐る、強度的なばらつきが大きい、乾燥期間が必要ということです。

上に書かれている長所は、構造材料としてはあまり必要ではない。3番を除いてですね。加工が容易だというのは、構造材料として使うにはよいんです。1番の軽い割には強いという話も利点じゃないのと思われるかもしれませんが、コンクリートや鋼材も最近は高い強度の材料が開発されている。一方で、木材は自然材料なので、強度は変わらないわけです。ほかの材料の強度が高くなり、軽い割には強い、という表現もなかなか主張しづらいような状況になっています。構造材料として使おうということになると短所



のほうが目について、燃える、くるいが生じる、腐る、強度的なばらつきが大きい、こういうところで不信を持たれるということです。

乾燥期間が必要。これは意外と重要な話で、二酸化炭素固定能力があって、持続再生可能な材料であると言っているものの、実は、木材を使おうとしたときに一番エネルギーを使うのは何かというと、この乾燥です。乾燥のときにエネルギーが使われて、その乾燥さえやらなければ省エネという意味で非常によい材料だと思うんですが、乾燥しないとさらにくるいが生じます。といったように、あまりよい特徴は持っていない。

なお、湿度調節機能と書いてありますが、確かに木材は室内が非常に湿度が高い状態だったら水分を吸って、乾燥状態になったら蓄えている水分を吐き出すということをしますが、それを我々が感じるぐらいにするためにはどれくらい木材が必要かというと、もう木材をたくさん立てて、この部屋いっぱいいっぱい木材が入るぐらいにならないと、我々は感じる事ができない。湿度調整機能はありますが、その機能を実現するには実はなかなか難しいというようなどころがあります。

ちょっとビデオを1つ見てもらおうかと思いますが、これは木材です。25度で60%の環境に置いてあるものに対して、湿度をどんどん上げていく、という実験です。湿度を上げていくと、こんなふうに曲がっていきます。さらに、湿度を下げていくと、今度は反対側に曲がっていく。この木材はちょっと工夫をしているんですけど、こんな風に湿度に極端に反応するようにしようとすると、できるような材料ということです。湿気によって、今日のような雨が降っている日は曲がってしまって、冬場で晴れて乾燥していたときに逆に曲がってしまうなんていうことがある。非常に扱いにくい材料な

のです。こんなことが起こるのが木材です。

5 木材の腐朽

木材、よく腐るというような話があるわけですが、腐朽の要因はわかっています。栄養素、酸素、水、温度、この4つの条件がそろえば木材は腐朽が生じます。例えば、なぜ木杭が成立しているかというと、酸素が供給されない。木材自身の栄養素があって、水はある。そして、温度の条件がそろったとしても、酸素が供給されないので、木材が腐ることはないという話です。4つのうちのどれか1個でも抜いてしまえば、木材の腐朽は起こらないということが分かっています。このような科学的な観点から木材の扱いが必要と考えています。

先ほども話をしましたが、海外では、高層建築を含め木材を使った建築物がたくさんあります。資料12、海外の例としてバンクーバーを取り上げました。左側がバンクーバーの気候条件です。右側が東京です。

先ほど、どれか1つの条件を取り除くと木材は腐らないよという話をしましたが、バンクーバーは、夏場は非常に乾燥しています。なので、水の条件がそろいません。栄養素は木材そのもののなのでいつもあり、酸素が供給されるという状況にあるわけですが、温度の条件、25度ぐらいを境に腐るか腐らないかということが起こりますけれども、20度から25度ぐらいの温度はあるわけですが、水が供給されないので、木材が腐ることがないということです。冬場になると、今度は降水量が非常に増えます。バンクーバーは、毎日のように雨が降っています。なので、栄養素と酸素と水の条件はそろうんですが、非常に寒い。温度の条件がそろいません。なので、木材は腐りません。

一方、日本はどうかということを見ていきま

す。今日のように雨が降っている、今日はちょっと寒いですが、「秋の長雨」というような言葉も聞かれるように、雨が降った状態で温度が高いというようなことがよく起こります。栄養素、酸素、水、温度、この条件がそろうということです。海外の方々と話をしていると、日本で木材を使って建てるのに一番大変なのは腐朽ですねと言われます。一方で、日本で木材を扱っている方々はあまりそういうことに関心を持っていないかな、というのが私の印象です。木が好きな人に限って、木材を屋外に使いたがる、そのような傾向は何とか解決をしていかなければいけないと思っているところでもあります。断熱材等で木材がくるまれてしまうと、息ができなくなって、それで木材が腐るんだと、そんなことをおっしゃる方もいらっしゃいます。私が木材を1000年保たせるようにしてください、と言われたら何をするかということ、ラップにくるんで冷蔵庫に入れてしまいます。木材は息をしてないです。吸放湿をさせないほうがいいので、ラップにくるんで、空気が入らないようにしてあげて、さらに水も入らないようにして、温度を上げないということをすれば、その木材は腐らず1000年もつということになります。そんな話をすると、何を言っているんだ、学者はわかってないなって言われたりします。

6 木材をベースにした新しい材料

資料13、海外で高層建築を可能にしたのは、マスティンバーという材料です。日本でも中高層建築に使おうという話をしています。住宅に対しても日本でも海外でも用途が広がってきています。この資料、英語で書かれてあって申し訳ないですが、マスティンバーの種類が整理されています。GLT、集成材は普通に使われるようになりました。CLTという材料が海外では高

層建築を可能としたといわれている材料です。これらは接着したのですが、接着をしないものとして、DLTとかNLTとかいろいろなものが海外を中心に考えられています。

日本では、新たな部材開発はあまり行われていないように思います。接着が木材をだめにするというような話もあるのかもしれませんが。海外では耐久性の確認をしながら、大きな断面の部材をつくって、大きな建築物を建てましょうという雰囲気があるように感じます。

資料 14、上 がアメリカの基準、IBC、International Building Code です。これも英語になっていて申し訳ないです。今まで木造で建てよいとしていたのが85フィートです。6階建てぐらいで、「Fully Exposed」と書いてあるのは、木材を見せられるか見せられないかという話で、Exposed は見せて使えるという意味です。6階建ての木造では木材を見せて使っていていいですよということです。ただし、ここに書いてあるようにマスティンバーを使えばということです。

マスティンバーでなぜ高い建物を建てれるようになったかということですが、それは断面が大きくなって、大きな力を支えられるようになったのと、大きな断面になって耐火性能が上がったということです。マッチ棒のような細い材料は火が付しやすい、そして、燃えるのも早いですが、大きな固まりになってくると燃やすのが非常に大変になるということです。これは皆さんも感覚的にお分かりいただけるかなと思います。さらに材がどんどん大きくなってくると、燃えるのがゆっくりになるということもわかっています。ゆっくり燃えていって、燃え尽きるまでに時間がかかる。その間に避難活動もできる。なので高層建築を建ててよいという話になりました。

7 海外で進む法令改正

耐火についての技術的な知見を Fire science と海外では呼んでいます。Fire science の進歩によって、高い建物を建てられるようになったということです。ここには、Proposed、Proposed、Proposed と書いてありますが、この資料が新しく提案がされたときに作った資料なので、Proposed、提案と書かれていますが、今現在はIBCに採用されています。まず、4階から9階建て Fully Exposed、つまり、木材をみせて建てていいですよというふうになりました。さらに、6階から12階建てであれば、部分的に木材を出して、逆に言えば、部分的には木材を隠して不燃の材料でカバーをしていれば建てていいですよ、と変わりました。さらに、9階から18階も、木材を主要構造材料として使ってよい。ただし、木材を不燃の材料でカバーしてです。というようにインターナショナルのビルディングコードを定めました。なお、IBCは、International Building Code です。各州で採用するか採用しないかを決めます。

下はヨーロッパにおいて木造で建ててよい階数を年代別に整理したもので、5年ほど前の研究論文です。ヨーロッパは、1990年ぐらいまでは、実は2階建て以下しか木造は許さない。住宅が多かったということかと思いますが、そういう状況でした。それが、2000年になって、黒いところ、これは5階建て以上です。5階建て以上を建ててよいとなりました。2010年になると、もっとその範囲が増えています。2020年推定、これは当時の論文なのでこんなふうにかかれていますが、ヨーロッパ全土で5階建て以上まで建ててよいというふうに法規制が変わるはずだと予想していたわけですが、このとおり5階建て以上建ててよいと状況は変わってきております。ちなみに、イタリアは地震が

ある国ですが、イタリアでは木造建築の高さ制限はなくなりました。そんなふうに階数制限、高さ制限がなくなっている国が多くあります。

資料 15、冒頭のところで見ていただいた写真ですが、イタリア、ミラノ、メルボルン、ロンドンというところで、あとベクシェーですが、こんなところで 10 階建て程度の建物が建てられていくというのが、10 年ぐらい前です。最近では資料 16、20 階建てを超えるような建物が木造で建てられるようになってきています。カナダ、バンクーバー、先ほど見ていただいたところは左の建物になります。ノルウェー、真ん中ですが、右側がオーストリアのウィーンで、24 階建ての建物が、木材を使って建っています。

この高層木造の背景には何があるかということなんですが、資料 17、これは海外の方からもらった資料ですが、森林があって、その森林を建築用材として利用する。さらには、紙などに使う。リサイクル、リユースを進めて、最後は、右側になりますが、サーマル利用をしていく。リサイクルしつつ循環型の社会をつくっていきましょうという話です。木を切ったら、植えればまた再生できるという考えです。さらに、この木材を燃やさずに建物の中に固定化すると、二酸化炭素が大気中に放出されない時間が伸びて、それが車の排気量の何台分にあたるとか、そんな計算もされています。

高層木造を実現したのが前述したマスティンバーです。CLT という新しい Cross Laminated Timber という材料がマスティンバーの代表のようになっています。そして、資料 19 がその認知度についての調査です。お施主さんに対してあまり認知がされていない。建築の人たちはよく知っているんだけど、なかなか一般には普及をしていないので、この辺を増やしていかなければいけないと問題意識を持っているようです。

これは、木造建築、CLT 建築物とここではか

かれています、木造建築に置き換えても同じ話になると思っていますが、木造建築を建てていくのに対してどんなことが障害になるかという質問です。資料 20、左から「Large barrier」「May be a barrier」「Not a barrier」なので、大きな障害になるのが左側です。白くなっているところはちょっと障害になるかなというのです。右側を見ていただくと、右側のところは、これは障害にはなりませんと言っているところです。法令は半分ぐらいの方が障害だと思っています。海外でも厳しい法令等もありますので、その辺が障害になって建てにくいというような話もあるところです。とはいえ、やはり木材や CLT への誤解というのが「May be a barrier」まで含めると大きな障害になっているのではないかとと思っています。

木材はいろいろな性能がありますと、さきほど曲げた木材のビデオを見てもらって、木材ってこんなふうに、ある意味怖い材料ですよと皆さんに紹介したところです。この調査を見ると、性能についてはそんなに大きなバリアになるとは思っていない。正しい理解を進めれば、木造建築は建てられるんだというふうな理解をヨーロッパでもされているということです。私が最初に説明をさせていただいた正しい理解が重要という話です。

8 日本の木材の蓄積量

ここまで木材の話と、さらに海外の話をさせていただきました。ここから日本の話に移っていききたいと思います。資料 21、この分布は何を示しているかということ、齢級という木材の年齢みたいなものです。木材というよりは樹木ですが、樹木の年齢 5 年を一くくりにしていますので、1 齢級は 0 歳から 5 歳です。2 齢級というと、6 歳から 10 歳というふうに読んでいきます。8

齢級ぐらいになると、木材は建築用に使えるというふうに言われています。

戦中に木材をたくさん使ったので、さらには、戦後の高度経済成長のときに木材をたくさん使ったので、木材が山からほとんどなくなるといような状況になりました。それを危惧して、1966年ぐらいを取ってみると、こんなふう若い樹木が非常に多い。その後、それが高齢化してって、今、高齢化社会ができてるのが日本の樹木の事情です。

海外のところで、循環型社会を形成するために木材というのは非常にいい材料だというよう説明をしたところ。日本はそれに加えて、使わなければならない適齢期とさらに高齢級の木材がたくさんある、というよう特殊事情があります。つかえる木材を使っていかなければいけないという話です。この話をすると、よく、そのまま太らせて大きくしてしまえばいいじゃないというようことをおっしゃる方がいらっしゃいます。二酸化炭素を吸収し、酸素を放出するのは若い樹木ですし、手入れをせずにはっておくと、高齢級の木材は劣化をしていくというか、倒れてしまったりいろいろなことが起こるので、適齢期に使うということが本来必要なんです。今は適齢期を過ぎた木がたくさんあるというのが山の状況です。なので、日本は循環型社会の形成とともに特殊事情があるので、国産材、それも高齢級の木材を使っていきましょうというよう話になっています。循環型社会のためには国産にこだわる必要はないという方もいらっしゃいますが、それはもっともな話なのですが、今は使える国産材がたくさんある、という話です。

日本はよく木材資源が豊富というよう言い方をされることがあります。資料22、横軸を森林率に取っています。日本国土の70%が森林ですという話は聞いたことがあるかと思っています。

もうちょっと詳しく言うと68%になります。森林率、日本は68。赤いところ。一方、木材はどれくらいあるかということを考えていくのに、森林面積を人口で割ってみました。それが縦軸です。森林面積を人口で割ると、日本は0.2ha/人です。

1人当たりに木材を使って建築物を建てたり紙を作ったり、紙は最近あまり使われなくなっていますけれども、一人当たりの必要量はどれくらいかという、0.4ha/人と言われています。ですので、日本は確かに資源としては豊富にあるのかもしれませんが、1人当たりの森林面積で見ると、実はそんなに多くはないということです。戦後使い過ぎた、あるいは、戦中使い過ぎたのでなくなってしまうというのは、ある意味当たり前のことであつたかもしれません。

林野庁さんの木材自給率の目標は50%です。リーズナブルな線かなというよう話はここからも分かるかと思います。ただ、今は30%ですので、年々余っている状態になっていることは間違いがないということです。

一方、上のほう、森林率はそんなに高くないんですが、ロシア、オーストラリア、フィンランド、スウェーデンというところを見ると、1人当たりの森林面積、9ha/人ぐらいあつたりします。これは、この資源で商売しなきゃいけないという話ですね。余るのでどんどん海外に木材を出したいという気持ちになるのは当たり前かなと思います。

右側はこれまで説明してきた図を都道府県にしたらどうなっているかというものです。森林率が高いのは北海道とか高知とかです。森林面積だけじゃなくて現在の蓄積量、つまり、今どれくらい量を持っているかというのを見ていくと、もう圧倒的に多いのが高知です。なので、今、高知は木材をどんどん使いましょうと言っているところ。県を挙げてそれをやっています。

当たり前のことかなというふうにこの図からも読み取ることができます。さらには、ちょっと余計なことを言いますが、あまり産業がない都道府県でもあるかもしれないので、木材産業を発達させていきたいと思いますというのは、うなずけるところかと思います。

9 木造建築を正しく普及させるために正しい理解を

木材、いろいろ不安も不信もあるところですが、その不安、不信に対して、技術的に数値をもって説明することをやっていかなければならないとこれまでも言ってきました、そして、木造建築と言うと経験と勘というような言葉が付きまわっていたんですが、それはもうやめにして、技術をもって、ちゃんと理論で説明をしていくことが重要という話です。海外では、高層建築が建ったのはなぜかという、Fire scienceが発達したからだというような話もしました。地震被害は大丈夫なのかという、Seismic engineeringをやっているから大丈夫だというような話をします。木造だけでは不安な時は、他の構造等も組み合わせて、木材を使いながら耐震性能の高い建築物を建てていこうという動きがあります。

耐久性はどうかというと、これについては、先ほど4つのファクターの話をしました。木材の栄養素、これは取り除くことができませんが、木材の栄養素、温度、水分、さらには空気、酸素ですね、それが供給されたときに、木材は腐るんだと、その環境をつくらせないというのが大事ということです。

外に木材を使う、外観上木材が見えるように使う、ということがよくされますけれども、最初は見栄えがいいんですが、やはり何らかの保

護をしないと最後、朽ちていく。当たり前の話といえば当たり前です。何らかの処理をしなければ難しいので、海外では、メンテナンスをするということが当たり前にされます。腐らないよう手だてをする、ということです。日本はあまりメンテナンスをしない国なので、ガラスなどでまずは外気や雨水を遮断して使う。保護もなく外に使うのは難しいところはあるかなと思っています。

10 日本の耐火木造

Fire science という意味では、5年以上前に木造の3階建てを学校校舎で建てようというような話で火災実験をやっています。資料24、火災実験をして、地震時、避難をできる避難時間を稼ぐためにはどのような仕上げにしていけばいいとか、科学的な見地から検討をされてきています。

さらには、木材を使った耐火部材というもので、燃え止まり型の本質材料というのがあります。資料26、これは木材の中に鋼材がありますが、こうすることによって周辺の可燃物がなくなった後に木材自体が燃えにくくなる。さらに、自然鎮火するということが分かっています。これは大きな断面の木材の場合です。枠組壁工法で造ろうということになると、なかなか木材を見せて使おうというようなことは難しいわけですが、石膏ボードを外から張って、こんなふうに4階建ての耐火構造が建築できるようになってきているところです。

今の資料は2000年直後の話です。20年ぐらい前に建築基準法が改正をされて、それまでは、木造建築は3階建て以下までです、というような話でした。資料27、そこで2000年には性能規定化というのがされて、木造でも耐火性能を備えた部材を使っていれば、4階建て以上を建

てることは可能です、というふうに日本の法律が変わったということです。当時から、幾つかの耐火建築物が建てられるようになってきています。最近、増えてきているというようなこともあるかもしれません。

資料 28、さらには 2017 年から 2021 年に、国土交通省の総合技術開発プロジェクトで、「新しい木質木材を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発」を実施しています。今までスプリンクラーを使うことによる木造建築の特例みたいな話はなかったのですが、現在木材利用を促進している、なので海外でやっているようにスプリンクラーを使えば木材を見せる範囲を広げることができるような法令等の改正がなされました。改正がなされて、木造が建てやすい、防火もそうですし、構造もそうなんです、改正に向けて技術的な検討が日々なされているところです。

法令改正が行われて、事例の作成が行われて、設計法・施工法が改善をされる。資料 29、法令が変わって新しいのができて、でも、いろいろなところで問題点が発生をしているということも聞いているところです。それで改善がされて、さらに普及が図られていくのではないかと期待しています。

11 マスティンバーが可能とした建築物

資料 30、CLT という材料でつくる建物ですが、やっとここまでできるようになったし、まだまだだし、海外の事例にたくさん学ぶところもあるなと思っています。CLT の設計・施工マニュアル、左の下ですが、これも今、改訂作業が進められているところです。もっともっと木材が使いやすい、CLT が使いやすくなるような環境整備がなされているという状況です。

資料 31、CLT で建てた建築物、日本で代表的

なものは何ですかと聞かれると、私、CLT だからできたという意味では、この「ぷろぼの福祉ビル」という奈良県に建っている建物をよく紹介します。これは壁がそれほど多くないんです。梁間方向に対して多くなくて、これは CLT だからできた建築物だというふうに思っております。

そのほかにも、先ほど高知という話をしましたが、資料 32、高知県自治会館、上のほうに行くところなふうに木材が使われた、木材が見えるような空間が構成をされています。こういう建築物、さらには高層のビルなんかも今計画がされているところです。

海外で地震がある国というと、イタリアであったり、ニュージーランドであったり、アメリカであったりします。資料 33、アメリカの TallWood プロジェクトというのに参加しておりまして、10 階建てを造って揺らします。地震に対して不安があるのでそれを払拭しようという話です。耐震安全性が確認されて、大地震が来ても安全なように技術的な資料ができていくという話です。

12 強い大きな版を使った構造

資料 35、左が日本で実施した実験ですけれども、5 階建てをこんなふうに造って、横から押してどれくらい性能があるかというのを確認しようというものです。時期を同じくして、こういう大きな版がつかれるんだったらこんな構造をつくってみようよというのが、アメリカとニュージーランド。同じようなプロジェクトが開始されたというのは非常に興味深いですね。こんなふうにちょっと大きな版を使ったらどんな構造をつくるかといったら、壁でこんな構造をつくりたい、とみんな思ったんだなということで、紹介をさせていただきます。

CLT という大きな版がつくれたら、それに見

合うだけのボルトとか金物とかをつけなきゃいけないという話になるんですが、実はそんなものなくたって十分、資料36、低層の建物、これは2階建てですが、2階建てぐらいなら、金物がなくたって地震に耐えられます、というのを証明した映像です。

木材の大きな版があって、横に滑らないようにしていますが、上に浮き上がるようにはなっています。その建物に基準法の1.5倍の地震動を加えるという実験をやると、このように浮き上がってしまうのですが、倒壊はしない。さらに、この版自体は非常に強いので、鉛直荷重も支え、横からの力に対しても耐えることができるというようなことが分かっています。

大きな版を使ってこんなふう背の高い壁をつくって、3階建ての実験もやっています。今日は時間があまりないので省略をしますが、5

階建てでも実験をやって、耐震性、安全性を確認しています。

13 木材を使った建築物

資料40、これはアメリカに建つ8階建ての建物になります。木材ってさっきばらつきがあるというような話をしましたし、割り箸を想像してもらおうと分かりやすいと思うんですが、割り箸を横方向に割くことはできて、横から潰すことは容易にできます。一方、縦に引っ張って割り箸を切るということは難しいですね。繊維の平行に対しては強いんだけど、繊維の横方向に対してはあまり強くないのです。ですので、高層建築では、繊維の方向に木材をつなぐ。柱はこんなふうに通しになっています。木材同士をつなげないなら鋼材でつなぎます。いろいろ



な工夫がされています。日本だとあまりこういう工夫がされないなという印象があります。

さらに、地震に耐えようという話になると、高層の木造ではこれまで実績もないこともあり、なかなか難しいところもある。先ほど、2階建てぐらいであれば、木造建築は容易に、金物がなくたってできる、と説明しました。高層、資料41は、18階の建物です。これは、鉄筋コンクリートが地震の力を負担しています。そこに木材が取りつくような構造物、つまり混構造として形成がされています。

日本では何で海外のような木造建築ができないのかというような質問をよく受けます。その理由、これは私が考えた理由ですけれども、日本では木材の適材適所を許してくれないという話です。木材でできると思っている人は、とにかく全部木材でやろうというふうに思います。そうするとコスト的に無理だったり技術的に無理だったりして、普及が図られない。1棟は建つんだけど2棟目が建たないというような話になります。木材はあんまり好きじゃない、木材では高い建物できないんじゃないのと思っている人は、もうはなから全て木以外の材料で建ててしまう。木材を使うに適した箇所があると思うのですが、日本ではなかなか適材適所を許してくれないということがあります。

2つ目は、慎重さや合議制を重んじているということです。新しい木質材料を使う、耐火構造の木造を造るという話になると、まずはルールづくりから始まります。法令上安全にできる建物はどういうものを網羅的に考えて、ルールが作られます。海外を見ていると、まずは建ててみましょうというような、ちょっと乱暴なのだなとも思いますが、建てて考えているのではないかとすら思います。日本はまず合議によるルールづくりから始まり、さらに各社が独自性を出すので、普及に時間がかかると感じてい

ます。

あとは、地震、火災などの外力が海外のそれとは異なっているところがあります。海外は大きな版がつかれるようになったので、これまで小さな材で5階建てまでしかできなかったんだけど、大きな板、厚い板がつかれるようになったので、そうしたら7階造れる、10階造れる、と言ってつくっているんです。日本は、なかなかそうはうまくいかない。高さが高くなれば外力が大きく違ったりするので、うまくはいかないという話もあります。冒頭のところでもちょっと話をしましたが、海外の人が日本で高層建築を建てするのに一番気にしていることは、高温多湿です。

14 適材適所の利用、日本らしい高層木造

これから木造で6階建て以上を建てることもあるかと思いますが、6階建て以上で普及する木造は私はいわゆる木造建築ではないんじゃないかなと思っていますし、全ての部材が木材ではないなと思っています。“あらわし”で用いられないかもしれない。逆に木造に造ってしまうと、全部木にすると木造では“あらわし”は造れない、と思っています。

これからは、新たな思想や設計供給体制、そして、何度も言っているところですが、技術的、科学的なデータをもって建てる新たな木材を使った建築物ではないかという話です。資料45、今まで、木材大好きで木造建築大好きだという人にはなかなか受け入れてもらえないところもあるんですが、これから木造をやりたいと思われる建設会社さんには、この思想は注目をいただいているところです。

既に建っているもので話をさせてもらいます。これは日本の木造の1つの形だと思っています。兵庫県林業会館、5階建ての建物です。構造は

鉄骨です。鉄骨フレームですが木材が外からこんなふうに見えます。似たような建築物が宮崎防災拠点施設。長崎市庁舎で19階建てです。長崎市庁舎は鉄筋コンクリート造ですが、鉄筋コンクリート造と木材を組み合わせた構造物で19階建てです。

こんな実験もやって、鉄筋コンクリート造と木材と合わせた構造の性能を確認しています。先ほど紹介をした海外の事例も、実は鉄筋コンクリート造だったり鉄骨造だったり、さらには、24階建ても中に鉄筋コンクリート造が入ったりして、混構造として形成をされているということなんです。10階建てくらいなら木造ですべてというのも見られますが、20階建てになると、ほかの構造との組合せが多いし、そうなるのが自然かなと感じます。

資料49、1999年ごろに実施した総合技術開発プロジェクトの実験です。このような混構造はこれまでなかなか普及が進みませんでした。海外では、鉄筋コンクリート造と木を組み合わせた床で合理的に高耐震化を図るというようなことが普通にされています。日本でもこれから一般化していったほうがいいように思います。音の問題や火の問題もありますので、木床だけではなくて、木床の上に鉄筋コンクリートの床を複合して使うことによってそれらの問題はある程度クリアされると思っています。

これからの木造、海外でも木を見せたいという気持ちはほとんど変わらない。日本でも木を見せたいという気持ちは変わらない。日本の木材の利用方法は、今はちょっと無理をしているけれども、海外もちょっと危なっかしいものもありますが、大分検討が進んできている印象です。そして、コストはどうかという話なんです。海外では、木造建築で建てるのは高級だという感覚を持たれています。なので、ちょっとぐらい高くなったってよいという感覚がありま

す。日本はその感覚はまだまだないですね。資材としては高い。ウッド・ショックって、最近木材が高騰したという話を御存じだと思いますが、そんなこともあって、なかなか資材としては高い。これは国産材を使ういい機会かなと思っています。海外でも、資材としてのコストはそこそこ高い。だけれども、軽量化ができるとか工期が短縮されるだとかそういうことで補っているとも聞いています。

15 木材を使った改修

最後になりましたが、資料53は、最近こんなことが海外では行われているという事例です。コロナはまだ収まってはいないものの、海外出張ができるようになりました。それで、最近、海外に行くと、日本も省エネ、ZEH、ZEBされているわけですが彼らは、Energy renovation and multi-residential building using wood-based construction system と言っていますが、そのようなことが盛んにおこなわれています。何を言っているかという、今まであった鉄筋コンクリート造の建物に木材を貼り付けてエネルギーリノベーションしようという話です。木材はそれなりに断熱性能が高いので、リノベーションしよう。さらに、さっき見てもらったように、壁として使うとそれなりに強いんです。なので、そういう壁をつくっていったって、耐震改修もしよう。実は前にもあったのですが、最近特に注目を浴びているということです。

資料54は古い4階建ての建物なんです。この4階建ての建物に外から木材を貼り付けています。もともと4階建ての建物ですが、この建物が上に木造が2層足されます。6階建てになるという話です。部分的に床が取り払われて木の床になる。木の耐震の壁が増やされてもいる。全体的に重量を軽くして強くもしたので、上に

2層分ぐらい足すというような話です。

何でこんな話をしているかというと、さっきから ZEB だとか ZEH だとかと省エネという話をして、さらに資源循環だと言って木材をという話をしているわけですが、新築で使える量はたかだか知れているし、新築を何とかしたとしても、既存の建物が9割以上あって、その9割がエネルギーを消費するわけですよ。そこを何とかしていかなければいけないということを考えると、やっぱり改修という話になります。こんなふうに4階建てだった建物が6階建てに。

そして外装も大きく変わって、改修がされる。日本ではなかなかこういうのが、すぐに造られるとは思えないところもありますけれども、海外はこんな動きが起こっているということで紹介をさせていただきました。新築の話が中心でしたが、スクラップアンドビルドを繰り返さず木を使った改修についても今後考えていかなければならないということです。

以上で私の話を終わりにします。御清聴どうもありがとうございました。

