

## 木でつくる安全・安心な建築

五十田 博 (生存圏研究所 教授)



皆さん、こんにちは。ただ今ご紹介いただきました生存圏研究所、五十田でございます。「木でつくる安全・安心な建築」ということで30分ほどお話をさせていただきますが、まず私が所属している生存圏研究所を紹介しておきます。幾つか書かれておりますように、環境を知り、よりよい生存圏を創生していきましようということをやっています。環境を守る森林から、先ほど森林の話がありましたけども、そういう森林の話から環境に優しい材料をつくって、それで人の健康や安全・安心な生存圏、そして生活圏の形成をしていきましよう、というのが大きな流れです。木でつくる建物というのが環境にいいということもあり、今日はその辺の話をさせていただきます。ミッションがいくつかありますが、詳しくはホームページ等で確認をいただければと思います。

先ほど、既に私の紹介をいただいたところで、最近、いろんなところで講演をさせていただいております。先週も二度ほどさせていただいているところです。私の最近の話題は、地震被害の話、木材利用の話の2つです。先ほど森林の話がありましたので、それをどう使っていくかというのが私の最初のテーマです。

その後、その木材を使った建築物の安全・安心ということで地震被害、地震の話、この後に津波の話等あるかと思っておりますので、その辺をつなげる役目かなと思いつながら、今日は話をする次第ですし、あとは設計法だとか、審査と書いてありますが、やっぱり木材でつくる建築物というと、なかなか難しいところがあり、新しい構造物になりかねないというようなところがあります。例えば、ここ静岡県でというと、静岡市のほうになりますけども、大きな体育館が木造で建っております。一般的には、木造建築というと住宅が多かったりす



るわけですが、左の下ですが幼稚園も木造でつくられています。

静岡・浜松で、木でつくられているということだと、このような橋もあります。さらには木のデザインというので、こういう美しさを持った木の建築物というのが建てられているのが現状です。

今、日本の状況、さらにはこの辺の状況をお伝えしたところですが、じゃあ世界の話はなにかというと、今世界が注目しているのは高さです。いかに高さの高い建築物を木でつくるかというような話です。木材を高層建築にどんどん利用しようというような話です。

利用していくのに当たって10年ぐらい前までは、このような6階建て、10階建てというような建築物をどうやって建てるかを議論し、建ったぞというので、みんなで見学に行こうという時代がありました。

つい最近になって10階よりもっと高い建築物、こんなふうに20階建ての建築物が建つようになってきました。これが最初の話題で、もうちょっと後で詳しくさせていただきますが、なぜ木造？木造でどこまでできるか？そして、日本でこのような高層木造が建つか？安全なのかというところを話をさせていただきます。

もう一つの話は、地震被害というよう

なことを先ほど話をさせていただいたわけですが、既に3年ほど前になりますけども、熊本で大きな地震、震度7が二度発生をいたしました。静岡県も地震危険度が非常に高いといわれて久しいわけですが、そんな建築物の耐震化を図っていこうというような話です。

ちょっとビデオをご覧いただこうかと思いますが、普通に建てられているといえますか、建築基準の最低ラインを守って建てた建物に震度7の地震動を加えたときの映像です。

1回目の地震に対しては、こんなふうに倒壊をせずに耐えられることにはなりますが、研究ですし、とにかく壊すまで、倒すまでやらないと気がすまないところもありますんで、2回

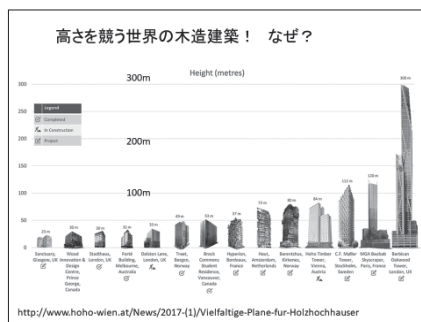


目の震度7が次の映像です。大分ほどよい感じで壊れてきたというと怒られますが、まだまだ実験は続けます。もう一度、同じ地震を加えようじゃないかというので、もう一度やりました。

最後は倒壊になりましたが、これは新築で建てられているものの耐震性能ということになります。のちほど、また詳しく紹介させていただきますけども、こういうビルものであっても1981年以前の建物は、地震危険度が非常に高いというふうにいわれています。これは浜松で建てられている建物ですが、有名建築家が建てられた建物を、それをこんなふうにも耐震補強するというようなものが見られています。

後半には耐震補強の話、新築の話、さらには木材利用の話を進めていきたいと思います。私、こんなふうに木材が好きで木造、さらには建築が好きで建築のことというのを、もともとは工学部の建築学科ということにおりましたけれども、今は農学部ということで木材関係のことをやっている研究者でございます。さて、世界では、どんどん高い建物が建っていますよというような話をしましたが、計画まで含めると、最近こんな高層木造があります。これはホームページ上で出ているようなものなんですけども、先ほど10階建てぐらいまでですという話をしました。10階建てって大体30メートルぐらいです。30メートルぐらい、一番上が300mです。途中の線が200mで、ここの線が100mということになります。木造は10階建てぐらいまでかなと思っているのですが、どんどん、どんどん高い建てよう、といって、ちょっと300mまでは実現するかどうかは難しいところもあるかもしれません。しかし、日本でも350mの木造建築を2041年に建てることをやろうと話が出ているところですけども、これはロンドン、イギリスですが、300mの計画をケンブリッジ大学の先生がつくられました。

何で、こんなふうにも木造建築を建てていくかという話なんですけども、クロス・ラミネーティッド・ティンバー (Cross-Laminated-Timber : CLT) というのが出てきます。このような材料を使う。これ、もともとティンバーですので木材です。山があって木材を使う、そんなもので家を建てたりする。それでリサイクルをしてエネルギー利用する。家を建てるのに使わない部分も



**Cross Laminated Timber (CLT) structures are becoming more and more popular in Italy over the last years, especially for low- to medium-rise residential buildings and for schools, due to the substantial advantages over more traditional structural systems like masonry or reinforced concrete:**

- Sustainability (持続可能性)
- Speed of construction (工事期間の短さ)
- Energy efficiency (エネルギー資源効率)
- Seismic safety (地震に強い)

• The transportation cost of the CLT panels from the factories of the main European producers (located in Austria and Germany) is relatively low in northern Italy

construction costs comparable to those of traditional masonry and reinforced concrete construction but with a better overall performance.

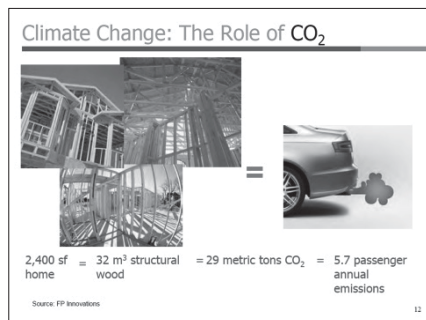
エネルギー利用する。その間に植林を進めていって、また使える材料が出てくる。

化石燃料と資源が枯渇をするということは将来的に考えられるわけですが、木材という資源は、いつまでも永続的に供給可能という材料であって、そういう材料を使うことが求められている。このスライドがなぜ英語かというと、イタリアの方からもらったスライドで、それをそのまま使っているものですから英語になっております。海外の事情ということで、こんな話をさせていただいておりますけども、サステナビリティ、持続可能性、さらにはスピード・オブ・コンストラクション、エネルギーエフィシエンシー、エネルギーの資源効率、サイズミックセーフティー、地震に強い、こういうような4つの項目を挙げてですね、木材は持続可能性がある、環境にいいんだと、こういう材料で、どんどん建築物をつくっていかうのではないかと、というような話です。

環境にいい一例として、こんなことが挙げられております。例えば、建築物を建てましょうという話です。これも単位がおかしくなっていますが、2400スクエアフィートの建物、住宅ぐらいのレベルのものを建てましょう。それに対して木材が、これぐらいの量を使いますよって、その木材の中には、二酸化炭素が固定化されている。木材は山に植えられているときには二酸化炭素を吸収して、酸素をつくる。ということは、その木材を燃やさない限り、この二酸化炭素、吸収した二酸化炭素は固定化されているということになります。燃やせば出ちゃいますが、燃やさないうちは、利用しているうちは、二酸化炭素が固定化されているということになります。

この固定化されている量が、どれぐらいに当たるかというと、この建物で、5.7人の人が乗っている車の1年間の排出量と同じだということなんです。木造建築をどんどん建てていくことによって、二酸化炭素を吸収し、さらに固定化、排出せずに済むのではないかと、というような話です。

世界的にも、そういうことが注目をされているものですから、皆さんもご存じの方、もう最近、ちょっとずつ浸透しているかと思いますが、2030年に向けて世界が合意した持続可能な開発目標の中に、「住まい続けられるまちづくりを」という中に、環境に優しい建物を建てていこうという話がありますし、気候変動に具体的な



Type of Construction	Height	# of Stories	Exposed Mass Timber	Sprinklers	Primary Frame Fire	Floor Fire	Steel Tower	Conditional Spaces
IV-HT (Existing)	85'	4-6	Fully Exposed	Yes	NR	HT	Mass Timber	Not Permitted
IV-C Proposed	85'	4-9	Fully Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV-B Proposed	180'	6-12	Partially Exposed	Yes	2 hours	2 hours	Mass Timber	Permitted
IV-A Proposed	270'	9-18	Fully Protected	Yes	3 hours	2 hours	Noncombustible	Permitted

ヨーロッパ アメリカ 18階建てまで可能に!

1990年 2000年 2010年 2020年 (推定)

5階建て以上  
 3-4階建て  
 2階建て以下  
 情報なし

Ostman B, Mikko E, Stein R, Frangi A, König J, Dhima D, Hakkarainen T, Bregulla J. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe, 210 pages. SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2010:19.

対策をということで、木材の利用を進めましょう、というような話があります。

このスライド、小さくて恐縮です。上がアメリカの建築基準になっています。下がヨーロッパの建築基準の変遷です。何が言いたいかということ、昔は2階建てぐらいの木造建築しか建てなかった、建てさせなかったんです。それが、どんどん、これ黒いところが5階建て以上を建てられる範囲ですが、5階建て以上を建てられる国の範囲が、こんなふうが増えてきていますよ、というような話です。

アメリカも先日、インターナショナル・ビルディングコードというのがありますが、その国が定めているモデルコードですけども、そのモデルコードが2年後ぐらいに変わりますよというのがアナウンスされました。もともとは6階建てぐらいの建築物しか建てられなかったんです、木造は。それを今度は18階まで建てていいですよ、というふうに法令が変わっております。

こういうように法令を変えただけでは、なかなか具体的には進んでいかないわけですけども、やはり新しい材料というのが出現したのが大きいところですよ。その新しい材料というのがクロス・ラミネーティッド・ティンバーという木材の塊のようなものです。こういう塊のようなものを工場で作って、それで工場で作ったものをトレーラーに載けて、現場では、こんなふうに、模型のようにつくっていく。そうすることによって、先ほどスピード・オブ・コンストラクションというのがありますが、早い施工の時間、工事の時間が少なくて済むというような優位な点があります。

さて日本は？という話です。ちょっと幾つか登場人物が出てまいります、もう既に5年ほど前になりますけども、首相が建築物の実証や建築基準の見直しなどを進めて、先ほど紹介したCLTですが、「CLTの活用普及に努めていきたい」というような話をされました。

当時の国土交通大臣です。平成28年度早期を目処にCLTの建築基準を策定しようというので、「建築物の中にCLTが使える環境をつくっていきましょうよ」というような話がありました。下は林野庁長官です。「我が国でもCLTを普及させる」というような話があります。

さらに、いろんな登場人物が、実は出て



まいります、木を使った新しい建築材料、地方創生しましょうというので、国会議員の方々が「国をあげて木材利用」といっています。この写真は、CLTを見て、「ああ、こんな材料なのか」といってられる先生がいらっしゃいます。そんな見学会がなされたりしているところです。

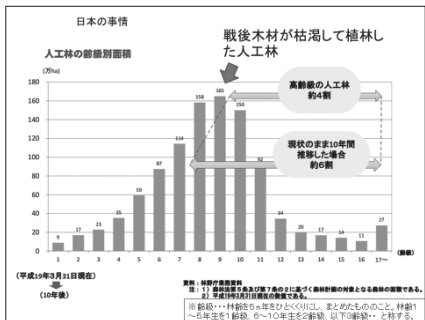
国を挙げてやっているわけですから、林野庁のほうでも、先ほど見ていただいた、あれはイタリアの方々から貰ったスライドなんですけども、似たようなものが出てまいります。木を切って、植えていって、その間に木材を利用していけばいいじゃないかというような話です。

今、日本は木材が非常に余った状態にあります。これ木材の年齢分布です。こちらが年齢が若い、こちらが年をとっているということです。これが全体的に、こちら側に来ると、それはそれで材積が増えていいのではないかと、思われるかもしれませんが、実は、やはり高齢化をすると、その木は腐るといふか、朽ちるといふか、立っていらなくなるというか、適齢期で使うというのが基本的なことなんです。現状のまま、10年間推移すると約6割になるといふのは、先ほど言ったように全てが利用されるわけではない、というような状況になってしまうわけです。

日本で5階建てぐらい建てましょう、という話になると、地震国なので、実験で耐震性を確認してから、というので、5階建て、CLTという材料を使った5階建てで、阪神・淡路大震災に耐えられるのか、というような実験を実施しております。

やはり日本では地震、そしてその後の火災というのがあるかと思えます。地震が起こった後の火災ということだと、関東大震災のときは、地震直後は、さほど建物が倒れているわけではないんですけども、そのあたりに火災が発生をして焼け野原になってしまって、多くの人命10万人に上るような人命が失われてしまいました。

火事にも強くて、地震にも強い、日本らしい高層、木材を使った高層建築を建てていこうというので、今、国を挙げてやっているところですし、そのお手伝いをさせていただいているところです。実際に建っている建物が、この真ん中の二つですね。右側にあるのは国を挙げてやっているプロジェクトの紹介でございます。



このような取り組みを報道してくれる新聞社も幾つかあり、教育面で「高層ビル、木で建てる」というので、うちの研究室を取材いただきました。

以上、「木材の可能性というのを今後考えていきたい、日本らしい木造建築というのを考えていこう」というのが一つ目の話題でした。

二つ目の話題にまいりたいと思います。静岡、きょうは浜松というところですが、地震が非常に逼迫した状況にあるところでございます。地震が発生をするということになると、建物に被害が出る、津波の被害が出る、土砂災害も起こる、液状化も起こる。きょうの私の話は建物被害です。さらにいうと木造建築の建物被害ということになります。

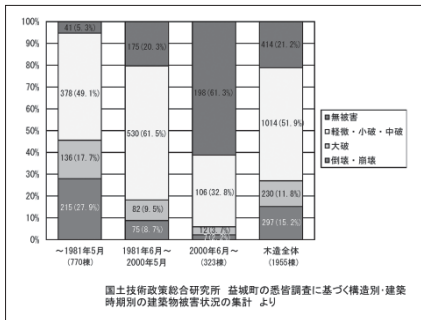
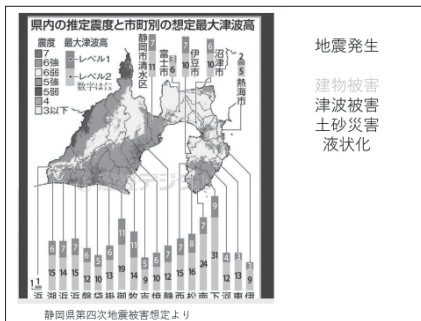
熊本地震のときに益城町という地域で、建物の悉皆調査、2500棟の調査をやりましょうということで、日本建築学会と国土交通省が協力をして実施をしました。赤が倒壊です。その次の上が大破をしている、大規模半壊というところでしょうか、あるいは全壊の建物です。その上、軽微、小破、中波というのが黄色です。無被害というのが青になります。

これは今の被害を年代別に分けてみたものです。1981年以前のは非常に多くの建物、3割ぐらいの建物が倒壊をしています。1981年から2000年までは、その3分の1ぐらい、9%ぐらいが倒壊をしてしまいました。残念なことに現在の基準を守っている建物も、7棟、倒壊をしてしまいました。

きょう、きっと「家をこれから建てるんだ」あるいは「我が家は大丈夫かな」と思わ

### 火事があっても倒壊しない木材を使った建築！

兵庫林家会館6階建て      宮崎県防災拠点庁舎      メガストラクチャーと木造



**1981年以前の木造住宅：大地震時の倒壊の危険性は極めて高い⇒補強**

**1981年～2000年：なかに倒壊の危険性が高いものがある⇒耐震診断でみつくて必要に応じ補強**

**2000年以降：概ね安心。継続使用するなら余裕のある設計かを確認。設計図書が残っていれば「壁量充足率」で確認を。**

れている方がきていらっしゃるかと思いますが、こういう話をいろんなところでさせていただいておりますけども、1981年以前の木造住宅は、「耐震診断をしてください」と案内がくるかと思いますが、性能が足りないことが多いので補強してください、と私はいっていません。

1981年から2000年までのもの、鉄筋コンクリート造や鉄骨造ですと、この範囲の建物は「安全です」といわれるところですが、木造ですと、ちょっと問題があるのがあります。なので、この範囲は耐震診断で問題を見つけてください。といいます。2000年以降は概ね安心です。ただし、地震の後に継続使用できるか、どうかというのは、どれぐらいの性能で建物を建てているかに依存するので、確認が必要です。

何で、こんなふうな年代別に被害が違うかという話ですが、建築基準法が変わっている、というのが背景です。建物を建てる時に順守しなければいけないというのが建築基準法です。例えば、4つの項目があるとします。倒壊した建物の下敷きになって死亡しない。家具の転倒によって怪我、死亡しない。建て替えをしなくていい住宅をつくる。損傷費用もほとんどかからない。余震に対しても安心して生活できる、というような4つの項目です。それで、建築基準が目指しているのは、実は1だけです。倒壊した建物に、とにかく倒壊しないように建物をつくらうと言っています。これは木造だけの問題ではなくて、鉄筋コンクリート造、こういう建物も同じです。

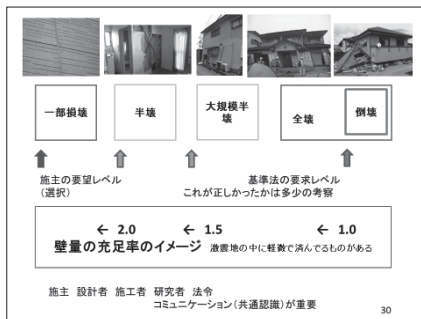
じゃあ、ほかの項目、余震に対して安心して生活できるようには、どうすればいいかというのは、これ皆さんが決めることなんです。基準法は、そこまでは考えていないというような話です。

一部損壊、半壊、大規模半壊、全壊というのがあって、全壊した後に倒壊ということが起こります。建築基準が目指している

### 必要最小限の建築基準法

1. 倒壊した建物の下敷きになって、死亡しない。
2. 家具の転倒によって怪我、死亡をしない。
3. 建て替えをしなくていい住宅をつくる = 損傷費用もほとんど掛からない。
4. 余震に安心して生活できる。

建築基準法（建物を建てる際に守らなければならない法律）が目指しているのは1だけです。逆というと基準法の背景にあることを含め遵守すれば、倒壊は免れる可能性が高い。鉄骨も鉄筋もおなじです。そのほかの項目は 皆さん が決めるのです。





のは、ここなんです。大規模な地震、大きな地震がきたときに、全壊はもう仕方ないよという話です。倒壊だけしないようにすればいいということです。「こんな話、初めて聞いた」という方が、結構いらっしゃるんじゃないかと思いますが、益城町というところに行くと、残っている住宅は多くはありません。ほぼ激震地で被害が小さかった住宅は、基準法の倍ぐらいの性能で建てられているという建物でした。基準を最低守っているだけの建物は倒壊をせずに人命を守れたかもしれませんが、継続して使用できるものではありませんでした。

2倍ぐらいの性能で建てるといって、建築コストも2倍になるんじゃないと思われる方もいらっしゃるかもしれませんが、そんなことはありません。建築コストは幸いなことに数%、10万円ぐらいで、普通の建物であれば2倍ぐらいの性能を確保することが可能だというふうに思われています。

それぐらいの性能を持たせた住宅の実験をした映像がありますので、それをご覧いただくかと思います。熊本地震のときの地震波を入力しております。

熊本地震の前震を入れたら、その後に本震を入れる。さらには阪神・淡路大震災のときの地震を入れる。いろんな地震を入れて損傷があまりないというようなことを確認した実験です。テレビコマーシャルでもいろいろ出てまいりますよね。どこのメーカーさんとは言いませんが、こんなふうに損傷しないというレベルを目指して震度7、60回って、大地震60回は、なかなか来ないと思いますが、一つの地域で。さらには建物が壊れやすい震度7に耐えるというような報道もされているかと思います。こんな建築物を選んでいただければ、大地震があったとしても倒壊をするだけではなくて、安全な安心に住まえるものだと思います。これも、どこの会社がわからないように、名前を消していますが、せっかく浜松に来たので、40年を迎えている会社さんですが、いい住宅、「建物は性能、家は性能」というので、性能で売っている会社さんです。こういうような勉強をされているメーカーさんを選んでいただければ、十分安全な建物が建てられるかと思います。

私の二つの提案というのがこれです。まず、新築するなら、激震地にあっても損傷を防げる基準法の2倍とかの性能の高い家、10万円ぐらいでできますよ、というような話をさせていただきました。特殊なものを除きです。



そして、今住んでいる家があり、うちは大丈夫なの？って人への提案です。映像を見てもらおうかと思いますが、左側が耐震補強をしていない建物です。右側が耐震補強をしました。震度7の地震動を加えるとどうなるか、という映像です。1981年以前の建物ということになると左側の建物くらいの性能が大半だと思われます。その建物、同じ年代に建てられたものを耐震補強しているのが右です。無被害とは言いませんが、倒壊をせずに耐えるということができたわけです。二つ目の提案は、1981年以前の地震危険度の高い、地震が来たときに倒壊してしまうような可能性の高い既存の住宅は、激震地にあっても人命を損なわない、基準法の最低ラインでいいから、そのラインに改修をしていきましょう、というものです。そういう建物に改修すれば、激震地でなければ、激震地から離れていれば、建て替えをしなくてもいい住宅になるはずですよ。では何をすればいいかというと、耐震診断をやって、補強して耐震の点数、評点1.0の住宅を目指してください、ということです。

みんなで性能の高い家をつくれば建築物の地震被害は最小限化できますというので、きょうの話はここまでなんですが、幸いなことに、ちょっと時間ができました。というのは、既に私の講演の前に、なぜか質問が来ました。私の講演を聞かないのに何で質問ができるのかなと思っていますけれども、せっかくなんで、それにたいする回答をちょっとさせていただきます。[家を建てたいんですが、誰に頼めばいいですか]という質問です。それで用意したスライドが3枚あります。「大地震に対する経験と勘」という話です。

木造住宅は、大工さん、職人さんが、経験とか勘で建てているんだから間違いないんだとおっしゃる方が多いですけども、大地震に関しては、職人よりも学者が言っていることのほうが正しいです。学者が言っているんだから間違いありません。

今年大雪が降って、軒先が壊れて、断面を大きくして壊れないようになるかなと思ったら、また壊れて、それで、また補強の仕方を変えて、新しい方法で補強することになると、いずれ壊れなくなっていくことになりまして、その時点で経験と勘が蓄積をされるといことになります。

大地震ということになると、その人の一生から見ると非常に長いんですね。熊本で地震が、あの地域で起こるといのは2000

### 提案する2つの方向性

- 新築するなら(あるいは建てたばかりで建て替えるの予定がない) 激震地にあっても損傷を防げる(=建て替えしなくていい)住宅をつくる。  
→基準法の2倍とか性能の高い住宅
- 1981年以前の地震危険度の高い既存の住宅なら 激震地にあっても人命を損なわない住宅に改修する=激震地から離れていれば、建て替えしなくてもいい住宅。  
→耐震診断して評点1.0の住宅

### 大地震に対する経験と勘

- 大地震に関しては職人よりも学者のほうが言っていることは正しい。
- 今年大雪が降って軒先が壊れた。断面を大きくして直した。次の年にまた壊れた。また直す方法を変えた。壊れた。→壊れなくなった。(経験と勘が蓄積される)
- 大地震が起こる頻度は人間の一生から見ると長い。学者はこれまでたくさん実験を実施している(医者でいえば臨床(現場)で症例を見て対処している。未知の病気には様々な薬を投与して症状を見る)大地震が起こる頻度を考えると、1人の職人は薬を1回しか投与できない。

年後だそうですから、当時2000年後といわれたので、今は1997年後かもしれませんが、そのぐらいの時間を要するので、一つの地域で建てている大工さん、職人さんは、経験と勘というのを蓄積するのはなかなか難しいかと思います。

先ほどから見ていただいているように振動台実験というのをやって、どういうふうにすれば建物が壊れなくなるかということ、研究してきています。地震が来ると新聞紙上に、こんなのが、まず最初に出ますね、「経験したことの無い揺れ」という話です。やっぱり経験したことがないんです。なので、誰に頼めばいいかという話に移っていきますが、大手ハウスメーカーさんは、実はいろんなところで建物を建てています。なので、ある程度経験が積まれているといってもいいかと思います。だから、標準仕様を耐震等級3という非常に高いレベルのものにしているところもあります。基準法ぐらいのレベルで建てていると、地震が来たときに大きな被害を受けてしまうということを知っているからです。地方で経験しているのは、ごく一部です。熊本は今、耐震先進県だと思っています。ものすごく強い建物が一般的に建てられています。

地震を経験したので、経験ができて、当たり前の話ですが、それで建物が強つくられていくということになります。それで、質問に対する答えは、経験とか勘の不足分を、勉強して補っている業者さんに頼んでください、です。でも誰に頼めばいいか、よくわからないという話になるので、例えばというのでここに書いてありますが、私、年間、耐震の話で50回ほど、いろんな地方を回らせていただいております。五十田の話聞いたことがある人かどうか、確認してみてください。聞いたことがあるよという人は多分大丈夫だと思えます。そういう業者さんを選んでいただければと思います。

最後は、ちょっと変な話になってしまいましたが、ご清聴どうもありがとうございました。以上で私の話を終わります。

