

## はじめ の1

「気象庁によりますと14日午後9時26分ごろ、熊本県熊本地方の深さ11キロを震源とするマグニチュード6.5の地震があり、熊本県益城町で<震度7>の激しい揺れを観測しました。」のNHKの報道に大変驚きました。M6.5クラスでも、直下型地震の真上では、気象庁の細かい観測ポイントのおかげで、<震度7>がすぐに捉えられるようになったのか。これは「耐震設計」の説明に困ることになるのだろうか、と同時に思いました。

震度階級は気象庁が決め、建物の耐震性を担うのは国交省なのですが、「耐震設計」は震度階級にリンクしていませんし、一方、気象庁の震度階級では、建物の崩壊をその説明に使っていますので、ニュースで家屋崩壊の写真をみた人は「うちの家は、震度7で壊れないように設計してくれ。」となりましょう。ここでは、うちの家、すなわち<木造住宅>が、キーワードとなりますが、木造による2階建て以下（第三章）には、「耐震設計」というような概念も、それを証明するための構造計算もなく、大工さんの伝統工法の中で作られることで長くOKとされていました。

昭和53年に、私は大工さん2階建ての木造住宅（母の家）を作ってもらいましたが、コンクリートによる布基礎と、金具を用いた筋交いの入った壁の位置のバランス、通し柱の位置を確認しましたが、昭和46年の規定<耐震基準>ではそこまでです。

## はじめ の2

「気象庁によると、16日午前1時25分ごろ、熊本地方を震源とする強い地震が発生した。最大震度は熊本市内の東区や西区、菊池市などで6強を観測した。14日夜に起きた最大震度7、マグニチュード6.5の地震よりも規模が大きく、同庁は会見で「今回の地震が14日以降発生した地震の本震と考えられる」とした。マグニチュード7.3は1995年の阪神・淡路大震災と同じ規模。」を深夜に知り、私は大興奮して手持ちの資料をひっくり返し、バタバタ。恥ずかしながら足首をひねってしまいました。私は、今までに多くの方に、構造設計者の代わりに「耐震設計」を説明していたのでした。これまた、「耐震設計」の説明に困ることになるなと思いました。

その後も、熊本市では震度6強は続いてあり、同一の建物が震度6以上の揺れを3回も受けていることとなります。建築基準法の<耐震基準>で定めた、「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる（震度6強クラスの）大地震では、建物は壊れつつも人命を守り、（震度5強程度の）建物が建っている間に何度か遭遇する可能性のある中地震には、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。」と、今回の地震は大きく違います。

「耐震設計」では、<震度7>は存在しないし、3日の間に続けて震度6強が来ることは想定していなく、この目標では建物が人命を守れるはずがない、ということになります。



### はじめ の3

今朝、4月20日の日経新聞では、「旧耐震基準 全壊目立つ。」  
 「新基準 熊本76%どまり、全国平均82%」と見出しにあり、昭和56年(1981年)の「建築基準法改正:新耐震」以後に建設された<木造住宅>ならば、今回の熊本地震でも大丈夫だ、と受け取れる記事にしています。本来の主旨「既存住宅の耐震補強を進めよう。」ということで名古屋大学の福和伸夫教授もコメントを出したのですが、「耐震設計」を行っているマンションと<木造住宅>は設計が全く違います。全国で82%もの新基準での住宅があるのでしょうか。日本の住宅の寿命は短く、30年を切っていますので、昭和56年以降に建設された住宅がほとんどということなのでしょうか。

熊本の被害状況を、時間をかけて詳しく調べ、国交省は<耐震基準>と「耐震設計」の違いを、正しく国民に明らかにしない事には、<木造住宅>の安全性を高めることはできないと思います。昭和27年に定められた建築基準法の法文は、地震がどれだけあっても変わりません。学者と構造設計者と役人で定める「構造設計 指針」及び施行令によって、国民が豊かになるに合わせ、建築基準法の定める「最低限」が引きあげられてきたのでした。

地震というわからない相手に、科学的に対応できないこともあります、「工学」としても、建築基準法の「最低限」に胡散臭いものを感じていた、私のこの40年でした。

お客様は「最低限」であっても、その「最低限」が変化していても、「建築基準法を守っておればよい。」として建物を注文していると思っていましたが、建築基準法のあれこれを気にし、「建築基準法を守っておればよい。」としていたのは、実は私の方であったのでした。

このところ、私は「名古屋城天守の木造化は建築基準法違反である。」と論を展開してきましたが、木造化を進めたい名古屋市長はもちろん、議員、役人も、そしてマスコミも、建築基準法なんて気にしていません。建築基準法のもつ曖昧さ、そして、わかりやすく説明できない私にも問題があると、本人は気づいてはいますが、どうも、うまくいきません。

ノート「熊本地震被害と名古屋城整備」を書いたのですが、やはり、わかりにくかったようです。その基礎的な説明にもなるのではないかと、以上「はじめ」に書いた<震度7><耐震設計><木造住宅><耐震基準>を、今、知る限り並べてみます。

私は<木造住宅>を設計したことはありませんし、構造設計者でもありません。今回の熊本地震は建築技術者の内輪だけで分かっている「耐震設計」の科学性を見直し、正しく広めるチャンスだとも思いましたが、私に科学的であると数式で示す力はないですし、また私が行う意味もないので、嫁が理解できる程度の言葉で行うように努めます。

—目次—

第一章 震度7

第一章 第1節 震度階級は人の感覚にあわせた「揺れ」

第一章 第2節 震度計により、即時、震度階級が発表されることになった

第一章 第3節 震度7の怪しさ

第二章 耐震設計

第二章 第1節 昭和56年（1981年）「新・耐震設計」

第二章 第2節 一次設計 許容応力度計算

第二章 第3節 平成12年（2000年）「限界耐力計算法」

閑話休題 益城町の被災写真

第三章 木造住宅

第三章 第1節 昭和47年から、昭和56年「新耐震基準」へ

第三章 第2節 平成12年（2000年）

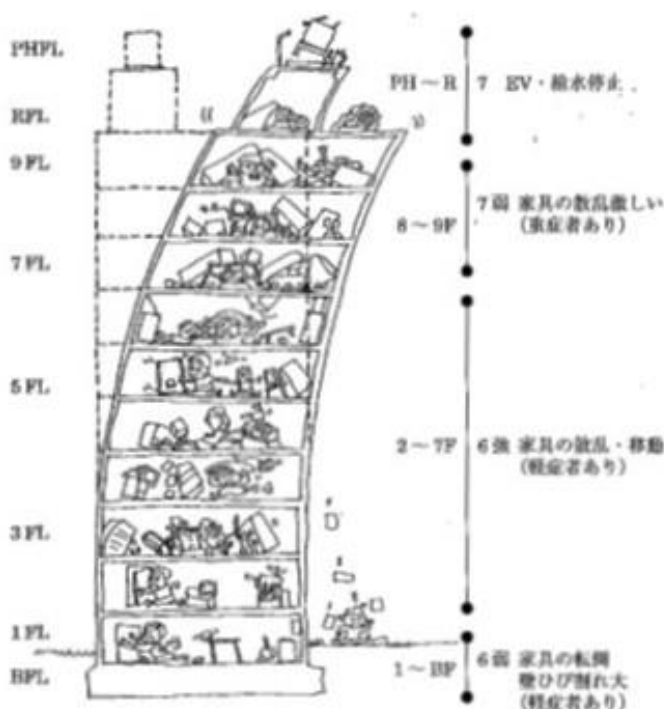
第三章 第3節 平成16年（2004年）「木造住宅の耐震診断と補強方法」

まとめ： 新たな耐震基準

第一章 震度7

気象庁は、20日に「益城町 16日深夜の地震は、震度6強ではなく、震度7であった。」と訂正した。

第一章 第1節 震度階級は人の感覚にあわせた「揺れ」



「大きな地震だった。」とは、その場にいる人には、マグニチュードで地震そのものの規模を表す数字より、人の感覚を数値化した「揺れ」の尺度の方がいいですね。

震度階級はそのようにして決められたのですが、震度6弱となると、立っていることができなくなり、家具も転倒し、恐怖にパニックになりますので、それ以上の震度6強も、震度7も「揺れ」の尺度としてはもうどうでもよくなります。地震の体験車で、一度パニック状態を体験しておくことをお勧めします。

左の絵は、震度階級とは、地表面を「揺れ」を

図4.14 高層建物の揺れ（地震震度6弱の場合）  
（日本建築センター、建築設備耐震設計・施工方針をもとに作成）

気象庁は示しているのであり、地表面で震度 6 弱でも屋上では震度 7 になるというイメージ図です。あくまでも模式図であり、コンクリート造、鉄骨造、建物それぞれ固有の周期でゆれますので、この数字の通りというわけではありません。

東日本大震災では、東京の超高層ビルは数m動いたという報告もあります。直下でないので加速度が遅く、家具も人も同時に動きますのでパニックにはならなかったようですが、今回の熊本市街のマンションでは大変だったと思います。

熊本城天守の瓦が落ちましたが、隣の小天守の瓦はそれほどでもなかったのは、このことによります。

#### 1996年9月30日以前

震度	周囲の様子と被害
0 (無感)	地震計 (震度計) が検知し、人は揺れを感じない。
1 (微震)	静止している人や特に注意している人だけに感じられる。
2 (軽震)	人に感じられ、障子などがわずかに動く。
3 (弱震)	家が揺れ、戸・障子などが音を立てる。
4 (中震)	家が激しく揺れ、8分目くらいまで入れた水が容器からあふれ出る。
5 (強震)	壁が割れ、煙突が壊れたりする。
6 (烈震)	家が倒れる割合が30%以下で、崖崩れ、地割れが起こる。
7 (激震)	家屋の30%以上が倒れ、山崩れや地割れができる。

私は、左の強震5、烈震6、激震7の方がなじみがあります。しかし、家が倒れるのが30%以下なんて、地震の時に、外に出て数えるのでしょうか。

震度7は、1948年(昭和23年)6月28日の福井地震の被害を、震度6では適切に表現できないのでは、という声が上がったからだとされています。

ようは、「大きな地震だ！」を訴えるために作られた震度なのでした。

でした。

福井地震では、家屋倒壊率90%を超えた地区があったので、震度7の判定は震度6までとは異なり、気象庁の機動観測班が後日行う実地調査に基づく判定に限られ、具体的には「家屋倒壊率30%以上」などの基準が設けられていたのです。この場合の家屋とは、当然、その頃の伝統的な大工さんによる木造軸組み工法の2階建て以下をさしています。

「揺れ」の大きさの尺度を、20年前までは、家屋の倒壊によって示していたのです。一方「耐震設計」は、この15年前の1981年(昭和56年)に定められ、震度7でも壊れない木造住宅が広まっていました。アメリカから入った大判木質パネル工法のツーバイフォーとか、プレハブの鉄骨造の住宅とかが、早かったです。大工さんの木造軸組み工法は、阪神大震災1995年に伝統木造住宅の倒壊による死者が5000人出た後に、「指針」作成に手間取り、2000年(平成12年)になってようやく出ました。国交省が「新耐震基準」を作成してから遅れること、19年です。

2016年4月時点で、気象庁震度階級の最大震度である震度7となったのは4例であり、計測の最大は2011年の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)の際に宮城県栗原市で観測された計測震度6.67の震度7でした。

今は気象庁が各地の震度計から自動的に震度を得ており、計測震度6.5以上を震度7と発表しています。

そして、震度7より上の震度階級はなく、震度7の「揺れ」大きさは、計測震度6.5以上無限大までを理屈上さすことになっています。ここが、建築屋として「震度7相当に耐える。」と、宣言しにくいところなのですね。まあ、「揺れ」の大きさの実態としては、歴史が示しているとおおり、計測震度8を私たちが気にすることは無いと思います。

地震のエネルギーの大きさを地表面だけの「揺れ」の尺度で示した事、「耐震設計」が地震エネルギーを直接相手にしないで行われている事（第2章）、気象庁と国交省との整合がはかられていない事が、＜震度7＞の中にありました。

1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では気象庁の「地震情報」の段階では震度6でしたが、当時の規定に基づき現地調査で判定が行われ、淡路島北部から阪神間の一部地域で震度7が適用されたのでした。（厳密には「観測」ではなく「適用」と呼んだ）。

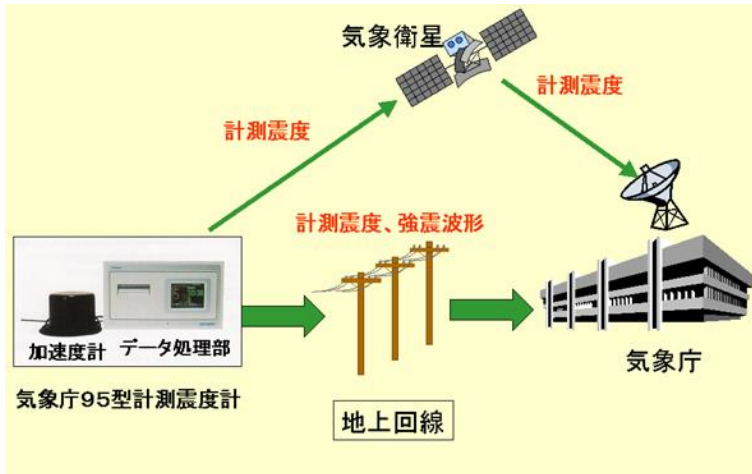
今回、熊本益城町では、一日置いて、震度7が2回続いたので、前代未聞の「大きな地震だ！」と、アピールできました。アピールというは被災された方に申し訳ないような感じですが、ようは震度7でも壊れない家があればよい事であり、震度階級を気象庁が訂正にしたことにクレームをつけることに意味はないということ、ここで言いたかったのです。震度7の益城町の木造住宅より、震度6強の熊本市街のマンションの高層階の方が「揺れ」は大きかったです。

現在の震度階級は、人の感覚と、建築の壊れ方の両方を、以下のように示しています。震度4までは普通にありますので、震度5以上だけを抜き書きしました。

**1996年10月1日以降**

5弱	ほとんどの人が恐怖を感じ、身の安全を回ろうとする。歩行に支障が出始める。 天井から吊るした電灯本体を始め、吊り下げられた物の多くが大きく揺れ、家具は音を立て始める。重心の高い書籍が本棚から落下する。	木造：耐震性の低い家屋では筋交い・火打等の倍率が低い部位を中心に <b>圧力</b> が集中し、壁には亀裂が入り、柱の継手部分が破壊する。 RC造：耐震性を経っている家屋では柱や <b>梁</b> などの接合部分の軋む音が鳴る。
5強	恐怖を感じ、たいていの人が行動を中断する。 食器棚などの棚の中にあるものが落ちてくる。テレビもテレビ音から落ちることもある。一部の音が外れたり、閉鎖できなくなる。室内で落ちて来た物に当たったり、転んだりなどで負傷者が出る場合がある。	木造：耐震性の低い住宅では壁や柱が破壊するものがある。 RC造：耐震性の低い建物では、壁や柱に大きな亀裂が入るものがある。耐震性の高い建物でも壁に亀裂が入るものがある。
6弱	立っていることが困難になる。 固定していない重い家具の多くが動いたり転倒する。開かなくなるドアが多い。	木造：耐震性の低い住宅は倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも壁や柱が破壊するものがある。 RC造：耐震性の低い建物では、壁や柱が破壊されるものがある。耐震性の高い建物でも壁、梁、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。
6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	木造：耐震性の低い住宅は倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも壁や柱がかなり破壊するものがある。 RC造：耐震性の低い建物は倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁や柱が破壊するものがある。
7	落下物や揺れに振り回され、自由意思で行動できない。 ほとんどの家具が揺れにあわせて移動する。テレビ等、家電品のうち数キログラム程度の物が跳ねて飛ぶことがある。	耐震性の高い住宅・建物でも、傾いたり、大きく破壊されるものがある。

**第一章 第2節 震度計により、即時、震度階級が発表されることになった**



震度計は気象庁によって、全国 670 か所に置かれています。他の震度計を含めると、日本には 1 万台を超えと言われています。

気象庁は体感での「揺れ」を、1994 年から機械による自動計測に切り替えましたが、体感での「揺れ」を、機械による地震波の X・Y・Z 方向の加速度 gal の自動計測から算出するのに手間取り、阪神大震災

のあと、大幅に見直されました。

直下型の阪神大震災では、818 ガルの加速度で震度 6 強により、大被害を受けたのですが、海洋型の東日本大震災での加速度は 2930 ガルであっても、神戸のような被害を受けていません。よって、気象庁は、地表面での加速度を東日本大震災以降言わなくなりました。

震度計の設置場所、設置の仕方によってもその地震の加速度と体感が違ってきます。今は、多くの震度計によって、周囲と大きく違う震度計の異常値を排除しています。

重要な事は、加速度だけでなく、地震波の周期が地表面の「揺れ」に関係していたということです。

地震の波形を、一定の振幅で一定の周波数で数秒間継続すると仮定すれば、震度と加速度の対応関係を考えることができます。この仮定に従えば、周期と gal、震度の関係は下記の様になります。

- 周期 1 秒の場合：約 0.6gal 以上で震度 1、約 60gal 以上で震度 5 弱、約 320gal 以上で震度 6 弱、約 600gal 以上で震度 7
- 周期 10 秒の場合：約 2gal 以上で震度 1、約 200gal 以上で震度 5 弱、約 1100gal 以上で震度 6 弱、約 2000gal 以上で震度 7
- 周期が 0.1 秒の場合：約 2.6gal 以上で震度 1、約 250gal 以上で震度 5 弱、約 1400gal 以上で震度 6 弱、約 2600gal 以上で震度 7

地盤の固さ、特性を踏まえて「直下型地震波の短周期が危ない。」を説明するに、ちょっと難しくなりましたが、今の気象庁の震度計は、地震波の周期も考慮に入れて、自動的に震度階級を出せるようにしていますので、信じてよいと思いますよ。

もっとも、「海洋型巨大地震の長周期（2 秒～10 秒）も危ないぞ。」と近年言われています。東海沖地震が東京に伝わると、超高層ビルの固有周期と一致し大きく揺れるということですが、ここでは「アッにはかかわりのない事」としておきましょう。

※ガル (gal) は地震の揺れの強さを表すのに用いる加速度の単位のことです。1 ガルは毎秒 1cm の割

合で速度が増す事(加速度)を示しています。地球の重力加速度は980ガルとなります。地震の揺れは、地面に水平に縦、横(南北、東西方向)と上下方向の3方向で解析されますが、近年ではこれらすべてを合成して算出されたものを最大加速度としています。

### 第一章 第3節 震度7の怪しさ

気象庁が、20日に「益城町 16日深夜の地震は、震度6強ではなく、震度7であった。」と訂正したことが「怪しい」のではなく、「揺れ」の震度階級というものは以上のような歴史を背負って生まれたことがわかれば、<震度7>は、すでに起きてしまったことですので、「熊本益城町では、一日置いて、震度7が2回続いた。前代未聞の大きな地震だったのだ。」の感想・評価に用いることぐらいで良いのでした。

言い換えると、震度階級は、遠くにいる人にもニュースで大地震を伝えるのに有効な尺度です。

そして、「震度7の怪しさ」とは、震度7より上の震度階級はなく、震度7の「揺れ」大きさは、計測震度6.5以上無限大までを理屈上さすことになっていますので、建築屋として「震度7相当に耐える。」と言えないところと、相変わらず震度階級の目安に、建物は地震に耐えるように日々進化しているのにもかかわらず、20年前の1996年当時の建物の崩壊状態が使われているところが、「怪しい」のでした。今回の熊本地震による建築物の被害調査が待たれるところです。

#### ※マグニチュード

地震そのもののエネルギーの大きさを表す指標です。震度「揺れ」とは違いますが、大きなマグニチュードならば、震源地の震度「揺れ」は大きくなり、震源地から遠くまで大きな震度「揺れ」が伝わります。対数であわわされていることを覚えておきましょう。

マグニチュード7は、6の30倍であり、マグニチュード5の1000倍となります。

益城町と同じ震度7でも、マグニチュードでいうと、「14日の地震の16個分の地震が16日に起きたのだ。16日はとってとても大きな地震だったのだ。」と、なります。

大雑把にいて、5未満なら地震の被害はない。5から7未満なら中地震。7が大地震。8が巨大地震。9が超巨大地震です。このように書くと震度と同じような「怪しさ」を感じますね。そう、やはり人の作った尺度ですので、そうなりましょう。

マグニチュードは、通常の地震では「飽和」してしまい、7.3より大きくなることはありません。ですので、16日の地震は最大規模の地震と言えます。「飽和」の説明は、地震波が地表面だけでなく深いところでも伝わるということ、地震波の周期が長くなると減衰しにくく、一つのエネルギーとしてまとめにくいことがあるというぐらいにしておきます。

私も計算式はよくわかりませんが、東日本大震災の例で言いますと、気象庁マグニチュードを発生当日に速報値で7.9、暫定値で8.4と発表しましたが、発生2日後に地震情報として発表されたマグニチュードは9.0でした。「飽和」してしまうので、算出方式を巨大地震用に変えて、「大地震7の1000倍の地震が起きたのだ。」です。「気象庁マグニチュード」も、一つの尺度ですので、

この計算式に目くじらを立てても意味はないと思っています。

## 第二章 耐震設計

「耐震設計」と＜耐震基準＞をまとめて説明します。

### 第二章 第1節 昭和56年（1981年）「新・耐震設計」

#### 建築基準法の耐震基準の概要

##### ○許容応力度計算（一次設計）

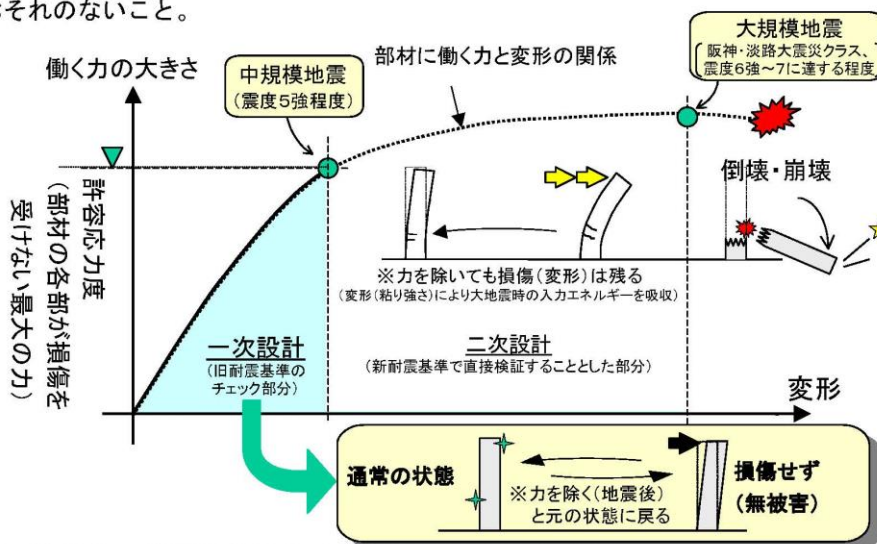
特徴「中規模の地震動でほとんど損傷しない」ことの検証を行う。（部材の各部に働く力≦許容応力度）

⇒建築物の存在期間中に数度遭遇することを考慮すべき稀に発生する地震動に対してほとんど損傷が生ずるおそれのないこと。

##### ○保有水平耐力計算（二次設計）※

特徴「大規模の地震動で倒壊・崩壊しない」ことの検証を行う。（保有水平耐力比  $Q_u/Q_{un} \geq 1$ ）

⇒建築物の存在期間中に1度は遭遇することを考慮すべき極めて稀に発生する地震動に対して倒壊・崩壊するおそれのないこと。



※ 二次設計には、保有水平耐力計算の他、より略算的な許容応力度等計算やより高度な構造計算方法である限界耐力計算等がある。

国交省の現在のホームページから取ってきましたが、これで分かりますかね。これは1981年（昭和56年）に「新耐震」と騒がれたときから、以来35年全く変わりません。私は、今回の熊本地震の調査によって、気象庁と国交省の話し合いがもたれ、多くの学者先生の努力によって変わることを期待しています。どこがおかしいかは、すでに「はじめの2」と＜震度7＞ですでに書きましたが、もう一度、ゆっくり進めます。

タイトルは＜耐震基準＞の概要ですね。「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる大地震では、建物は壊れつつも人命を守り、建物が建っている間に何度か遭遇する可能性のある中地震には、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。」が、＜基準＞です。震度5強、震度6強～7は、わかりやすくするためにあとから入っていますが、これらが示す震度階級の「揺れ」は、「耐震設計」のなかには取り入れられていません。旧耐震基準では「震度設計」などと、紛らわしく「震度」を使っていますが、気象庁の震度階級とは全く違うものです。



巷でいわれている「耐震設計がされている。」とは、「1981年以降に設計されている。」と、読み替えてよいです。このとき、日本中で、一斉に建物の構造計算が変わり「二次設計 保有水平耐力計算」がそれまでの「一次設計 許容応力度計算」に加わりました。ただし、耐震設計をしなければならないのは建築基準法※に決められており、木造住宅には法的には構造計算を求めています。

グラフの説明で、直線部分を「一次設計」とカーブ部分を「二次設計」としていますが、これはそもそも何を示す線なのでしょう。横軸が「変形」縦軸が「力の大きさ」とありますが、これでは説明不足ですね。「壊れ方」を示すグラフなのです。木材、コンクリート、鉄骨など、建築材料は様々ですが、力をうけて「破壊」に至るまでに、材料の「変形」を注目すると、どの材料でもこのようなグラフになります。直線部分（数学用語では線形）は「弾性域」と呼び、カーブ部分（数学用語では非線形）は「塑性域」といいます。

弾性とは、ゴムをイメージしてください。手で引っ張ると伸びますが手を放すともとに戻る。何回やっても元に戻る「域」なのです。長く引っ張り続けたり、ガンガン繰り返しかえし引っ張るとゴムは疲弊しますが、中程度（震度5強）の地震ですので、その建物の一生のあいだに、そんなには来ない（数度）として弾性域を定めています。

少し脱線します。日本の建物寿命は短く、国交省の2004年のデータによると約30年です。法律ではコンクリート造建物の耐用年数は50年としていますが、建物の社会性価値が失われると、日本人は壊して新品に変えてしまいます。地震で壊れ、火事で燃えてしまう木造で育てられた日本人ならではの感性なのでしょう。コンクリート造建物の耐用年数はアメリカでは100年、イギリスでは140年ですので、弾性域は30年限定ということではありません。木材での最長は法隆寺の1300年ですが、手を尽くしての事であり、別格ですね。雨風、虫でも木材は傷んでしまいます。以上、ごまかしにかかっているのは、細かくは材料によって違うからでした。

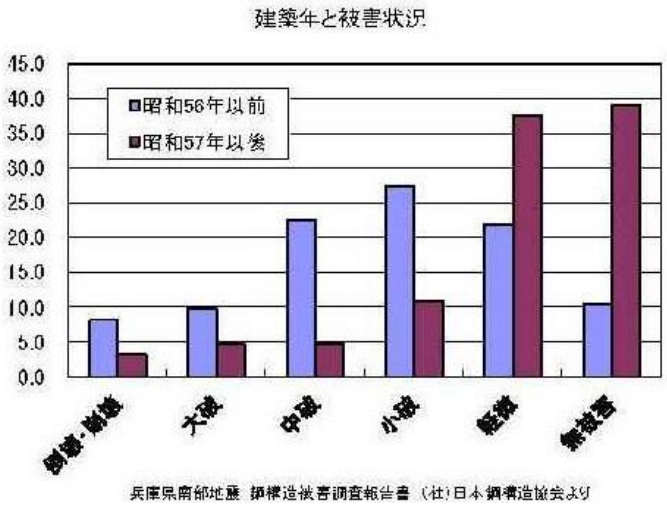
塑性とは、飴をひっぱって、切れる前に留め置いたイメージです。押ししたり引いたりしたあと、その力のあとがそのまま形に残ってしまう「域」です。飴でなく弾性の材料を建築では用いますので、弾性域を超える力が加えられたが、その力で壊れてしまう（降伏点と言います）前までの「域」です。

この事例は生活の中で目に見えない事象なので理解しにくいですが、実験によって確かめられており、このグラフでは塑性域が小さく示されていますが、弾性域とおなじ大きさの塑性域が、壊れてしまうまでの間にあり、それを活用して、数百年に一度という大地震（震度6強）に遭遇しても、人命を守ることを構造計算によって確かめておこうというのが「二次設計」でした。ただし、崩れないことで人命は守られても、ひずみは残ったままなので、建築物としての財産価値は失われています。いっそ壊して作り直すのか、補強をしてなおも使い続けるのか、いずれにしてもお金がかかります。

ここで「はじめの2」で指摘した問題にもどります。〈耐震基準〉によると数百年に一度の震度6強が、たった3日間で3回も来ました。塑性域で持ちこたえた建物を「偉い！」と褒めてあげるだけでなく、「ひずみ」をチェックしないと、今後も安心して建物を使えません。調べてみたら、意外と弾性域だ

けで持ちこたえていたのかも知れません。なら、「安全率が高かったのだ！」と、安心して住み続けることができます。国も学者も、国民にここをごまかしては今後の「耐震設計」がなりたちません。調査には時間もお金もかかりましょうが、是非やらないといけないことだと考えます。

左図は、阪神大震災で行われた大調査の結果です。



「昭和57年以降の建物は、「震度7」の大地震でも持ちこたえた、それも無被害=弾性域でも持ちこたえたのが、3分の1もあった。」です。

このような調査は東日本大震災でもおこなわれましたが、震度6のわりに建物被害が少なく、簡単に「壊れたのは、昭和56年以前の建物、および施工ミスによるもの。」で片づけられています。

このような表でしか、「耐震設計」の成果は証明できないこと、すなわち、地震エネルギーの姿をとらえて「耐震設計」は、されていないことを次節で説明します。

※「耐震設計」を行うべき建物

設計者が構造計算を行い、申請をして、建築主事の確認を得なくてはならないものを、建築基準法20条で定めています。申請の実態は構造計算のルートが複雑でわかりにくいのですが、大まかに示しておきます。<木造住宅>は4号建築であり、構造計算を求められていません。その代り<耐震基準>に従った「仕様規定」で、縛られています。

1号建築（超高層ビル）：高さが60mを超える建築物では技術的基準に適合し、荷重及び外力によって連続的に生じる力及び変形を把握し、構造計算によって安全性を確かめること。（時刻歴応答解析）

2号建築（大規模）：高さが60m以下の建築物で、特定構造物では、技術的基準に適合し、荷重および外力によって連続的に生じる力及び変形を把握し、構造計算で、大臣が定めた方法または認定プログラムによって安全性を確かめること（ルート2許容応力度計算、ルート3保有水平耐力計算、限界耐力計算）。

3号建築（中規模）：高さが60m以下の建築物で、特殊構造物（石造、レンガ造、コンクリートブロック、無筋コンクリート造などで、高さが13mまたは、軒の高さが9mを超えるもの）では、構造耐力上主要な部分ごとに応力度が許容応力度を超えないことを構造計算で、大臣が定めた方法または認定プログラムによって安全性を確かめること。（ルート1許容応力度計算+屋根ふき材の構造計算）

4号建築（小規模）：構造計算不要。仕様規定（建築基準法施行令36条～80条の3）に適合させる。

## 第二章 第二節 一次設計 許容応力度計算



こんな難しげな計算方法について、私は説明する能力を持っていませんし、できませんが、地震エネルギーの姿をとらえることなく構造計算が行われていた、そして、今も行っていることを、歴史をさかのぼって説明します。

明治になって、西洋から煉瓦づくりや、木造のトラス構造の技術が入ってきましたが、1923年の関東大震災では、木っ端みじんでした。もとより地震のない国から輸入された技術でしたので、「日本は独自の耐震設計を行なわなくてはならぬぞ、どうしようか。」と、建物の被害状況を調べました。

(地震があるたびに調査をして、耐震性能を引き上げて行くのが、上図のように耐震設計の進化の歴史であり、今回の熊本地震でも同じことを行わなくてはなりません。)

中心人物は佐野利器という建築界の大親分でした。彼が設計した鉄骨造の丸善は火事もあり全壊でしたが、サンフランシスコ地震（1906年）の被災地に日本から派遣された調査団によって、鉄筋コンクリート造の耐震設計法として建物自重に比例した水平力に対して建物が耐えるかどうかを検証する方法が持ち込まれており、その建物が関東大震災で無傷であったのでした。

当時、建物高さ100尺、9階建てまでを前提に、耐震建築に良いのは、重くて固い「剛」か、軽くて柔らかい「柔」か、激論がされましたが、「剛」を選択し、鉄筋コンクリート造の建物に、その建物の重さの1割の水平力を与え、上層階に行くほど水平力は減衰することで、建物が耐えられるかどうかを検証することとなりました。これを「水平震度0.1」の震度設計と言いました。1948年の福井地震で見直しがされ「水平震度0.2」となりました。

鉄筋コンクリート造の選択には、火事に強く、材料のセメントが国産で手に入りやすいということもありました。鉄はすべて輸入ですし、火に接すれば柔らかくなってしまいます。

超高層ビル、免震ビルと、コンピュータの進化によって、地震波を入力してシミュレーションを行い、構造計算をする「柔」が、今や当たり前のように思えますが、いまでも、震度5強までの一次設計と、建築基準法20条3号建築の設計は、許容応力度計算の「剛」のまま、手計算で行っています。もう手計算は少なくなりましたので、手計算でもできる方法だと言いなおしておきましょう。そこでは、地震波の姿はとらえていないので、地盤、地域、剛性、偏心などによって、余裕の安全率がみられています。

余裕の安全率は確かにあるのですが、個々の設計ではバラツキもあるので、阪神大震災後のように、大調査をかけ、統計的な処理をして、35年前の「新・耐震設計」を見直していかないとはいけません。

### 二次設計 保有水平耐力計算

水平力をさらに2倍、建物荷重の4割をかけて、塑性域で耐えるかどうかと検討します。1981年当時は、これも手計算で行うことを前提としていましたが、今はコンピュータソフトが使われています。塑性極限解析法、極限解析法、増分解析法、部材全塑性モーメント決定法などと並べても、さっぱりわかりませんが、どの計算法を使うかによって得られる保有水平耐力も異なってきます。構造設計者が、その建物の壊れ方までを想定しないとイケないので、バラつきが多くなります。よって、これにも安全率が相当程度乗ってきています。

安全側であれば、お客様も方も問題ないので良いかというのと、建築することで金儲けをしたいお客様は建築基準法の「最低限」のレベルでOKとすることを構造設計者に求めてきます。2005年の姉歯構造計算書偽造事件が、この延長で生まれました。震度5強で壊れるマンションを作ってしまいました。

## 第二章 第三節 平成12年（2000年）「限界耐力計算法」

「時刻歴応答解析」という、超高層ビルで使われる地震波の姿をとらえた高度で複雑な動的計算方式を簡略化し、静的計算で導き出せるようにしたものです。やはり、コンピュータソフトを用いて計算します。

姉歯事件の時、偽装された構造計算書にもとづき「限界耐力計算法」を用いて計算したら、なんと、OKとなってしまうと、問題となりました。「時刻歴応答解析」もそうですが、高度で複雑な計算をすると、安全率が「正しく」下がるのです。面倒な計算をしたのだから、ボーナスということなのでしょう。私は良くないことだと思います。

35年前の許容応力度計算と保有水平耐力計算の組みあわせの方が、16年前の「限界耐力計算法」より安全率が高く、今回のように震度6強が3日間で来た場合には、やはり、、壊れない方が良いですね。

もはや、この差を安全率という表現でなく、震度6強が建築の一生の間に繰り返されることを<新・耐震基準>として、やはり、「塑性域で人命を守る。」いや、「弾性域で建築物を財産として保持できる。」という選択肢ができる、一般の方にも分かりやすい新たな構造計算方式が欲しいものです。

2000年に「性能設計」という概念がうまれました。建築基準法は「最低限」で一律の縛りですが、それ以下も条件が付いて、お客様がOKならば認めるという概念です。耐震設計で言うと、震度5強もそんなにないので、「塑性域」も使って、震度5強に耐えようです。建設費が安くなりますが、それではマンションは売れませんし、その程度の安さではうまみがないと、使われていません。

直下型地震は1000年～1万年の頻度で、日本中どこで起きるのかわかりませんが、どこでも起きる地震です。もはや、地震学者は、地震予想の「想定外」と言いません。東日本大震災までは「東海沖地震」など、確率で予測をしていましたが、東日本大震災で凝りました。地震は「未知」といいます。「どこでも起きる」です。

地震予測ができないならば、おのずと建築基準法の「最低限」の意味も変わってきて、その判断を私たちに与えるように、学者と国には努力をしてもらいたいものです。

### 閑話休題 益城町の被災写真

17日の朝の益城町の写真です。14日、16日の2回の震度7を受けています。左の崩れた建物は築50年以上でしょう。痛ましい写真です。右側一番奥は、2階建てが崩れて1階建てになったように見えます。避難所に向かうのでしょうか、車が出ていますが、道幅が広いのは防災のかなめですね。大震災では火事が怖いのですが、夜遅く、火を使っている時間でなくてよかったです。



(c) Masaya NODA

阪神大震災で5000人の方が亡くなりましたが、ほとんどが木造住宅の倒壊による圧死でした。今回50人の方が、亡くなられましたが、木造住宅の被害者はどうなのでしょう。阪神大震災のあと、名古屋で同じ地震が来たら、1万人の犠牲差が出ると名古屋大学の先生が発表していましたが、親の家をそ

のまま使う子供がいなく、急速に減っているように思います。建て替えだけでなく、伝統木造住宅の良さを生かし、耐震補強をしているかたもいましょう。

正面と、右側の2階建ての建物の水平垂直は、大丈夫のように見えます。屋根は軽い石綿板か、セメント板でしょうか、外壁とサッシの取り付け方から2000年以降の建物にみえます。新しい建物なら地震強いのは間違いがないですね。

電子柱が傾いています。電力会社は危険ですので、元から電気を送れません。一週間で電気は回復したそうなので、電柱はよく揺れますが、埋めてあるだけなので回復も早いのでしょうか。

名古屋でも住宅街に電柱がありますが、ヨーロッパ、アメリカの町では、最近のアジアでも、都市と呼ばれるところでは電線は地中に埋められています。町の景観も電柱がなくなれば、スッキリときれいになりますので、電気も自由化になりましたので、電柱を無くしていきたいですね。

### 第三章 木造住宅

構造計算を求められていない木造住宅が、どのように耐震性を高めていったかを見ます。

#### 第三章 第一節 昭和46年から、昭和56年「新耐震基準」へ

以下に、簡単に並べます。

昭和46年（1971年）の「仕様規定」

●基礎はコンクリート造又は鉄筋コンクリート造の布基礎とすること。

これ以前は、柱の下には礎石をおいて独立して立っていたが、地面に近い水平材は、大引きから土台になった。木造住宅の箱化が始まった。

●風圧力に対し、見附面積に応じた必要壁量の規定が設けられた。

昭和56年（1981年）

<新・耐震基準>が作られました。木造住宅においても、「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる大地震では、建物は壊れつつも人命を守り、建物が建っている間に何度か遭遇する可能性のある中地震には、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。」です。

●床面積あたりの必要壁長さや、軸組の種類・倍率が改定された。（単位 cm/m<sup>2</sup>）

建築物の種類	平屋	2階建て		3階建て		
		1階	2階	1階	2階	3階
屋根及び壁の重い建築物	1.5	3.3	2.1	5.0	3.9	2.4
屋根の軽い建築物	1.2	2.1	1.2	3.0	2.1	1.2

●構造用合板や石膏ボード等の面材を張った壁などが追加された。

壁が地震に効くと認識され、このころから伝統工法の土壁から、合板、石膏ボードに代わってきたので、規定に加えた。

昭和62年（1987年）

- 市街地の有効利用を図るために、準防火地域において木造3階建ての住宅の建設が解禁となった。

平成07年（1995年）

- 接合金物等の奨励

### 第三章 第二節 平成12年（2000年）

ようやく、1995年の阪神大震災での木造家屋での圧死5000人の反省から「仕様規定」ができました。昭和56年に定めた規定による新しい木造住宅も、筋交い(耐力壁)が横からの大きな力に耐えようとするため、柱（接合部）が引き抜かれてしまい倒壊した例が続出していました。

- 接合部の金物補強、耐力壁の配置等が規定される。

このとき、木造住宅の「使用規定」の全体が見直され、飛躍的に木造住宅の耐震性能が飛躍的に高まりました。ようやく、木造住宅も19年遅れて、第二章 第1節 昭和56年（1981年）「新・耐震設計」にたどり着きました。

1) 地耐力に応じて基礎を特定。地盤調査が事実上義務化に。(建築基準法施行令 38 条)

#### 改正の要点

- ・地耐力に応じた基礎構造が規定され、地耐力の調査が事実上義務化となる。
- ・地耐力 20kN 未満・・・基礎杭  
20～30kN・・・基礎杭またはベタ基礎  
30kN 以上・・・布基礎も可能

2) 構造材とその場所に応じて継手・仕口の仕様を特定。(建築基準法施行令第 47 条 告示 1460 号)

#### 改正の要点

- ・筋かいの端部と耐力壁の脇の柱頭・柱脚の仕様が明確になる。
- ・壁倍率の高い壁の端部や出隅などの柱脚ではホールダウン金物が必須になる。

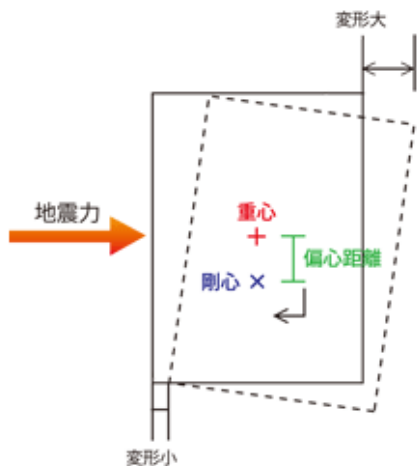
3) 耐力壁の配置にバランス計算が必要となる。(簡易計算、もしくは偏心率計算 (施行令第 46 条 告示 1352 号))

#### 改正の要点

- ・壁配置の簡易計算（四分割法、壁量充足率・壁率比）、もしくは、偏心率の計算が必要となる。
- ・仕様規定に沿って設計する場合、壁配置の簡易計算を基本とする。

今まで、地耐力とか杭などは大工さんには、ありませんでした。





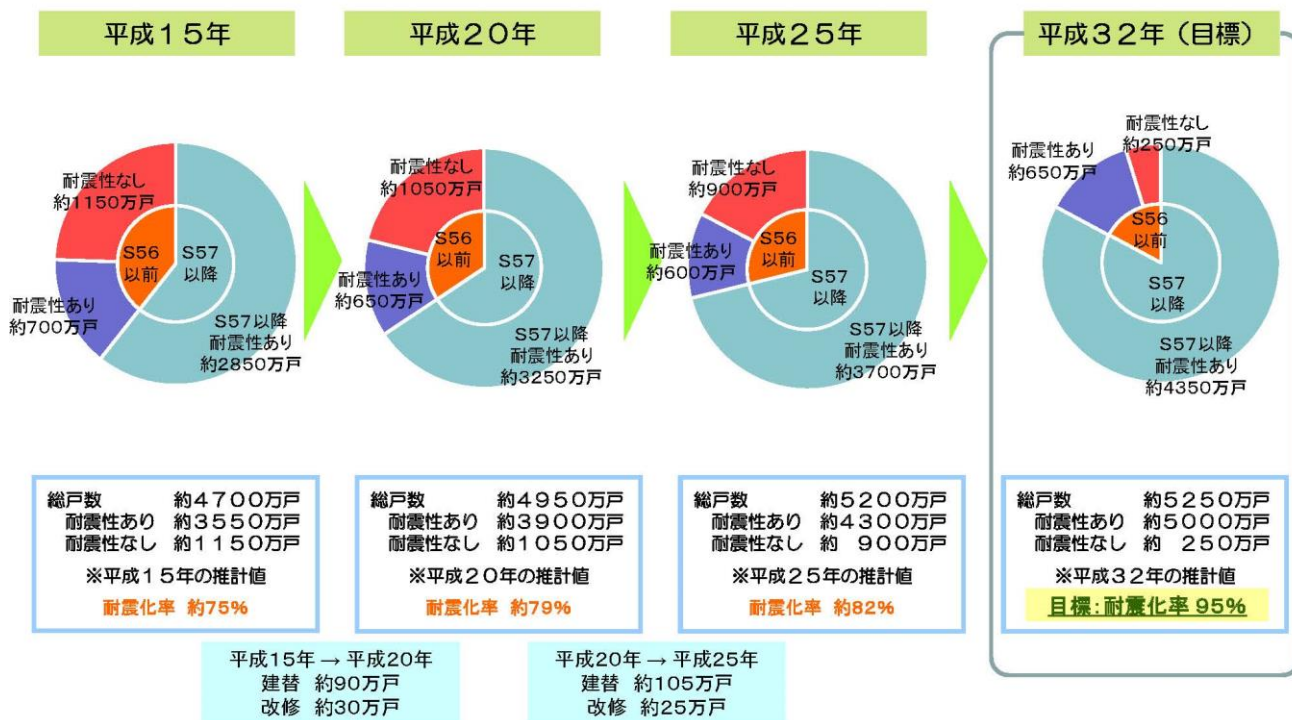
大工さんのノミを使ったほぞ穴の紙一枚入らない接合よりも、技術の差が出にくい金物が多用されるようになりました。

壁量には、偏心率などの計算がいろいろになりました。偏心率は、昭和56年の新耐震設計において、構造計算が必要な建物のカギとなる耐震指標でした。これが、木造住宅にも適用されることになりました。地震波は、建物のどちらから来るかわかりません。変形を抑えるためにはバランスの良い建物であることが重要です。

### 第三章 第三節 平成16年（2004年）「木造住宅の耐震診断と補強方法」

「はじめ 3」で、新聞に載っていたデータを国交省のホームページから持ってきました。

## 住宅の耐震化の進捗状況



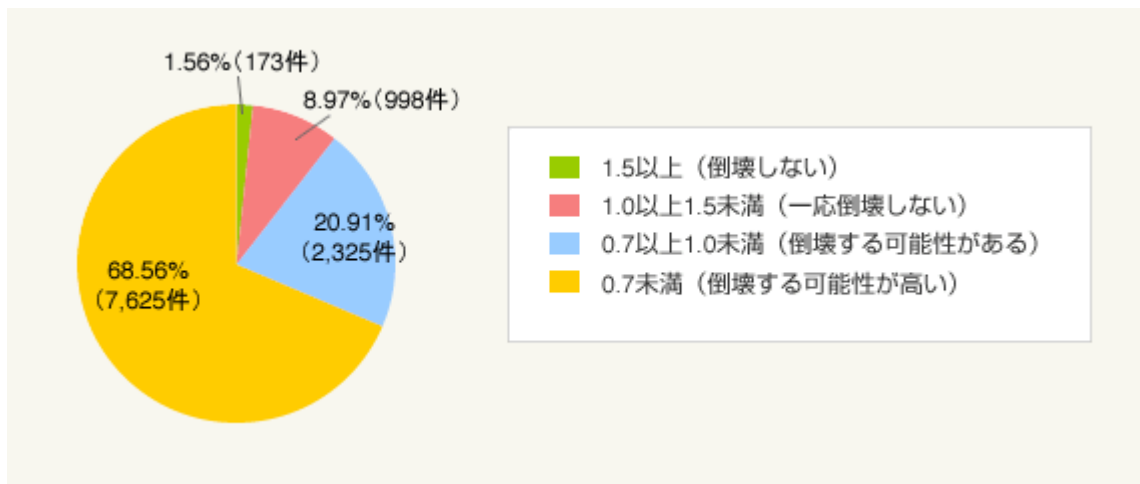
「住宅」ですので、木造住宅だけでなく、鉄骨造のアパートもコンクリート造のマンションも含まれています。

そして、今まで見てきたように、＜耐震基準＞にあった木造住宅は平成12年（2000年）以降でないといけません。



## 現在の耐震基準を満たさない木造一戸建て住宅が約9割

資料出典：日本木造住宅耐震補強事業者協同組合 「木造住宅の耐震診断に関する調査データ」



しゅって

「日本木造住宅耐震補強事業者協同組合（以下、木耐協）はこのたび、「木造住宅の耐震診断に関する調査データ」を発表した。木耐協が平成18年4月1日～平成22年11月30日に実施した耐震診断のうち、結果の詳細を把握している1万1,121件について分析を行ったもの。

### 木造一戸建て住宅の89%、昭和55年以前では96%が現在の耐震基準を満たさず

耐震診断の対象となるのは、昭和25年～平成12年5月までに着工された2階建て以下の木造一戸建て住宅。

診断の結果、現在の耐震基準に適合しない住宅が89.47%を占める結果となった（図1）。前回調査時（調査期間は平成18年4月1日～平成22年6月30日、1万5,352件）は85.52%で、木耐協では、耐震基準を満たさない建物が増えた原因を「劣化による評点の悪化などが考えられる」と見ており、「住宅をより長く、よりよい状態で使うためにも、定期的なメンテナンス等の実施が必要」としている。診断対象の住宅を、建築基準法が改正された昭和56年で分けてみると、改正前の昭和55年以前に着工された建物については96.38%が、改正後の昭和56年以降でも82.14%の建物が、耐震性に問題ありという結果になった。

耐震診断の結果を受けて、耐震補強工事を実施した場合の平均施工金額は約148万円で、前回調査時の約149万円から大きな変化はなかった。」

全く、話が違ってきました。国交省は、木造住宅には興味がないようです。イケマセン。

このような、データが出るようになったのは、

平成16年（2004年）「木造住宅の耐震診断と補強方法」のおかげです。

「必要耐力」と「保有耐力」という言葉を使い、「必要耐力」<「保有耐力」であればよいという計算をします。しかし、構造計算ではなく「仕様規定」の中の内です。中学生レベルの数学で、加減乗除だけで算出できます。おためしあれ。 <http://jutaku.homeskun.com/taishin/>

## まとめ： 新たな耐震基準

35年前から現在までの<耐震基準>は、

「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる大地震では、建物は壊れつつも人命を守り、建物が建っている間に何度か遭遇する可能性のある中地震には、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。」ですが、今回の熊本地震では、これを覆す地震、震度6強が3日間に3回も起きてしまいました。

したがって、<新・耐震基準 A>

「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる大地震（震度6強～7）でも、建物が建っている間に何度か遭遇する可能性のある中地震（震度5強）と同じく、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。」とするのか、

それとも、<新・耐震基準 B>

「その建物が建っている間に遭遇するかどうかという極めてまれな地震、数百年に一度起こる大地震（震度6強～7）では一回だけ、建物が建っている間に遭遇する可能性の高い中地震（震度5強）には数回、建物という財産を守る。すなわち、建物を使い続けられるのが目標。大地震（震度6強～7）が、複数回来たら、建物は壊れつつも人命を守る。」とするのか、気象庁、地震学者、建築学者の間で、議論されましょう。

35年前の「耐震設計」には、余裕の安全率が確かにあるのですが、個々の設計ではバラツキもあるので、阪神大震災後のように、今回大調査をかけ、統計的な処理をすることが第一です。

4月23日の新聞では、「建物の応急危険判定士が、熊本県益城町と熊本市の計3233棟を判定した。結果は、危険が1702件（52・6%）、立ち入る際には十分に注意する必要がある要注意が920件（28・5%）、調査済みで使用可能が611件（18・9%）であった。」なのだそうです。熊本県と大分県を合わせると、1万戸以上あるでしょうが、応急だけでなく、じっくり調査をかけることを望みます。取りあえず、この数字を正しいとすると、震度6強が3回起きているのに、2割は持ちこたえていたということになります。阪神大震災では、震度6～7は1回きりですが、きちんと調べた結果、3割が無傷、すなわち「弾性域」でとどまっていました。

阪神大震災では、地盤の悪さが大きく作用していましたので、地盤調査に基づき、木造住宅でも地盤改良を行うことを設計基準に入れることも必要でしょう。

そして、<新・耐震基準 A> <新・耐震基準 B> <新・耐震基準 C>とか、「性能設計」の考え方でお客様が選択できるのが良いと思います。

ダンパーで、「揺れ」を吸収する「耐震設計」がありますが、震度6強が来たら、積極的に壊れて建物全体を守り、ダンパーだけを新たに交換して、、、今回のように、連続してきては無理ですね。

こんなところで、まとめとします。はたして、理解できましたでしょうか？