

こぎそ

平成17年1月1日発行(隔月1日発行)
昭和46年5月8日第3種郵便物認可
発行所：社団法人名古屋工業会
 〒466-0062 名古屋市昭和区狭間町4
 TEL(052)731-0780 FAX(052)732-5298
 ホームページ <http://www.nagoya-kogyokai.jp>
 Eメール gokiso@lime.ocn.ne.jp



新年を迎えて「名古屋工業大学創立100周年事業に協賛」……………市川日出男
 「新年のごあいさつ」……………松井 信行
 論 叢 中部を「モノづくり」のメッカに……………野村 政弘
 講 座 木造住宅の巨大地震対策……………井戸田秀樹
 随 筆 毛織物にコールドパーマをかけた話……………山村 晴男
 紀 行 イタリア建築旅行に参加して……………水野 良映
 文 芸 詩「あなたの声」……………竹村 誠二
 情報ネットワーク 支部報告・会員ニュース





木造住宅の巨大地震対策

名古屋工業大学しくみ領域
社会工学専攻/建築・デザイン工学科 井戸田秀樹 (A58)

1. 進まない耐震補強

図1をご覧ください。10年前の1月17日、午前5時47分に発生したあの「阪神・淡路大震災」における尊い犠牲者6,433名の死因です。83.7%という圧倒的多数の方が倒壊した建物や家具の下敷きで命を落とされています。災害の評価には様々な尺度がありますが、少なくとも災害を人の命で測るとすれば、倒壊する建物の下敷きになる人を減らすことが地震防災対策の最優先課題であることは疑いありません。

地震発生時間である未明、被災地の多くの方は自宅にいらっしゃいました。家族と家庭を守ってくれるはずの住宅が多くの人命を奪ったのです。倒壊した住宅の多くは木造住宅でした。特に、日本の風土にあった構法として古くから伝承されてきた在来軸組構法の木造住宅が大きな被害を受けました。発生が危惧されている東海・東南海地震に対しても、木造住宅の地震対策は最緊急課題として取り組まねばならない問題といえます。

現在、日本全国には約1,800万戸の既存不適格木造住宅(古い耐震基準で造られているため、現在の基準を満たさないもの)が存在するといわれています。このうち、現在までに耐震補強工事を実施した建物は数万棟と推測されており、残念ながら木造住宅の耐震改修はほとんど

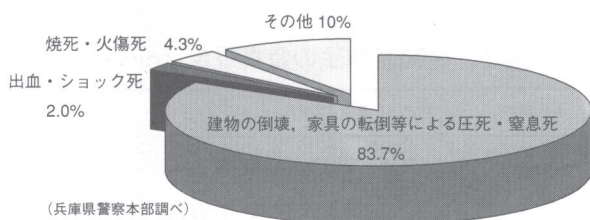


図1. 阪神淡路大震災における死因

進んでいないのが現状といえます。

耐震補強工事が普及しない理由には様々なものが考えられますが、主な理由は次の2点に集約できます。

- 1.住宅所有者が地震に対するリスクを実感していないこと
- 2.耐震補強工事の費用対効果がよくわからないこと

本稿では、一般の住宅所有者がこれらの問題点を解決し、耐震改修の普及につなげていくための方法について考えてみたいと思います。

2. 地震発生時のリスクの実感

図2は、東海地方に大きな被害を及ぼすと予想されている東海地震、東南海地震、南海地震の各震源位置と、過去の発生年を示したものです。これらの3つの震源は、過去には連動して周期的に大地震を発生させてきました。自然現象ですからもちろん正確な周期があるわけではありませんが、だいたい100年前後の周期で連動してきたことがわかります。ところが、東海

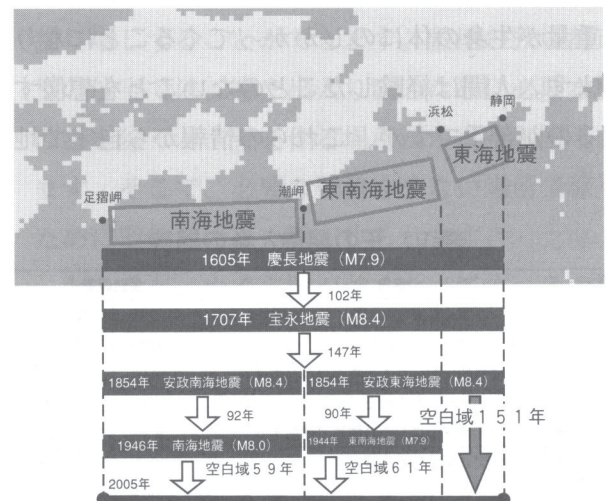


図2. 東海地震、東南海地震、南海地震の発生履歴

地震の震源域だけはもう150年ものあいだ地震を発生させていません。これが東海地震の発生が近いと危惧される理由です。

一般に発生が不確定な事象を考えるとときには、その確からしさの尺度として確率が用いられます。今までの地震履歴をもとに今から30年の間に地震が発生する確率を計算すると、東南海地震に対して60%、南海地震に対して50%程度と言われています。この確率情報から行動を起こすことがいま私たちに求められているのです。

大地震の発生という事象は、一般には起きて欲しくない負の期待ですが、これと反対に起きて欲しい事象、つまり正の期待のいくつかを表1に挙げてみました。宝くじなどは20~30枚も買うとほとんど当たった気になっている人もたくさん見かけます。でもたとえ100枚買ったとしても当たる確率は0.001%、地震発生に比べたらはるかに小さいことがわかります。誰でも起きて欲しい事象に対してはわずかな確率に期待をかけますが、大地震のように起きて欲しくない確率の場合には発生しない確率のほうだけを見て安心しようとしみます。もう一度冷静に地震発生確率と比べてみて下さい。

一般的な木造住宅の2階部分の重量は少なくとも十数トン。2階の床を支えるのに5本の梁が使われているとしても、1階部分が地震で崩壊しどれか1本の梁の下敷きになれば数トンの重量が生身の体にのしかかってくることになりまます。人間は経験したことの無いことを想像するのが苦手ですが、これらの情報から自宅で地

表1. 正の期待と負の期待

	事象	生起確率	
正の期待	年末ジャンボ宝くじを100枚買って1等が当たる	0.001%	1/100,000
	半荘1回で天和を1回だけ和了る	0.002%	1/50,000
	ポーカ-で最初に配られた5枚がフルハウス	0.144%	1/700
	半荘1回で国士無双を1回だけ和了る	0.24%	1/420
	勝率7割の強竜ド○ゴズが開幕7連勝する	8.2%	1/12
負の期待	1年の間に交通事故で命を落とす	0.001%	1/10,000
	癌で一生を終える	30%	1/3.3
	30年以内に南海地震が発生する	50%	1/2
	30年以内に東南海地震が発生する	60%	1/1.7

震に遭遇したときのリスクをいかに実感できるかが大切だと思います。

3. 過去の地震被害をもう一度振り返って

地震発生時の切迫度が実感できたら、次は自宅の耐震性能を知ることが重要です。木造住宅の耐震性能は、耐震診断をすることによってわかります。しかし、手間のかかる耐震診断をしなくても過去の地震被害例を整理すると、どんな木造住宅が危ないのか、多くのことを知ることができます。ここでは、10年前の阪神淡路大震災と、昨年の新潟県中越地震の被害を見てみましょう。

3.1 壁の量

図3は、阪神淡路大震災で倒壊した木造住宅の割合を建築年代ごとに示したものです。建てられた年代、すなわち建物の古さと被害の程度には大きな相関関係が見られます。木材は古くなると腐ったり、白蟻にかじられたりします。もちろんこれらもこの結果を説明する理由の一つですが、一番の原因は法律の変遷です。

表2は建築基準法で決められている最低限必要な壁の量の規定(壁量規定)を法律の改正年度ごとに示したものです。例えば2階建て住宅の1階部分の壁量を見てみると、現在は33cm/m²の壁量が必要なのに対し、1950年にはその

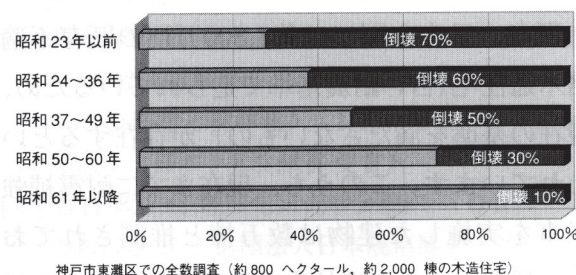


図3. 阪神淡路大震災における倒壊率と建築年代

表2. 建築基準法の壁量規定 (cm/m²)

建物	制定改正年次	平屋建	2階建		3階建		
			2階	1階	3階	2階	1階
壁の重い建物、屋根が重い建物(瓦葺きなど)、土蔵造	1950年	12	12	16	12	16	20
	1959年	15	15	24	15	24	33
	1980年	15	21	33	24	39	50
屋根が軽い(金属板、スレートなど)建物	1950年	8	8	12	8	12	16
	1959年	12	12	21	12	21	30
	1980年	11	15	29	18	34	46

半以下の16cm/m²の住宅が合法的に建てられていました。木造住宅が地震力などの横からの力に抵抗するのは壁の役目です。したがって、1950年以前には、現在の住宅の半以下の耐震性能しかない住宅が多く建てられており、これが図3の倒壊率となって現れました。

兵庫県南部地震を超える地表面加速度が記録された昨年の新潟県中越地震でも、多くの木造住宅が被害を受けました。ところが、記録された地震の大きさから想像するほど住宅の倒壊率は高くありませんでした。写真1は小千谷市内の木造住宅です。豪雪地帯である小千谷市では冬の寒さに備えて窓が比較的小さく、相対的に壁の量が多くなっています。このほか、鉄筋コンクリート製の高基礎を備えている住宅が多いこと、屋根には瓦を使わないため軽いことなど、風土の差が結果的に耐震性の高い住宅に結びついていたようです。



写真1. 窓の小さい住宅（小千谷市）



写真2. 狭小間口の木造住宅の被害（芦屋市）

3. 2 壁配置のバランス

また、壁の量だけでなく建物全体に渡ってバランス良く壁が配置されていることも大切です。いくら壁の量が十分に多くても、北側だけ、あるいは西側だけに偏って配置されていると耐震性能は高くなりません。関西ではかつて通りに面した敷地の幅で税金がかけられていた名残から、間口が狭く奥に長いいわゆる「うなぎの寝床」の敷地がたくさんあります。ここに住宅を建てる場合、幅の狭い南面に居間の窓と玄関を配置すると、もう壁を作る場所はありません。こんな狭小敷地の木造住宅が特に大きな被害を受けました（写真2）。壁のバランス良い配置は平成12年の建築基準法改正で初めて規定されたので、これ以前の木造住宅については壁配置のバランスについても十分注意する必要があります。

3. 3 金物の使用

もう一つ注意したい重要な点は、金物の適切な使用です。壁が耐震要素として十分な性能を発揮するには、壁を構成する柱と梁、あるいは筋かいと柱がしっかり緊結されていることが重要です。壁量を評価するときには、壁の性能に応じて定められた壁倍率を実際の壁長さに乗じて計算をします。つまり、筋かいがたくさん入ったり、構造用の合板を打ちつけてあったりという性能の高い壁は、実際の壁の長さを計算上割り増しすることができます。敷地の狭い都市型の住宅では、窓や出入り口のために必要な開口部を除くと、壁を作る場所がかなり制限されます。そこで、必要な壁量を少ない場所で稼ぐために壁倍率の高い壁が作られます。

ところが、いくら壁が強くなっても、その壁が土台や基礎としっかり繋がっていなければ壁だけが転倒して耐震の役目を果たすことはできません。これを防ぐのが金物の役割です。写真3は壁の転倒による柱の浮き上がりを防ぐホールダウン金物と、筋かいの端部を柱に緊結する



写真3. ホールダウン金物(左)と筋かい端部の金物(右)

金物です。法隆寺などの歴史的建築物に全く金物が使われていないことを引き合いに出し、金物不要を唱える人もいます。しかし、太い柱に貫を通す伝統建築と在来軸組の木造住宅とでは、耐震のメカニズムが全く違います。適切な金物の使用は不可欠であることを忘れないで下さい。

4. 安心への第一歩、耐震診断

地震リスクを実感し、過去の被害例を通して自分の住宅を見直したとき、もしも「不安」を感じたらまずは耐震診断をしましょう。現在、一般的な木造住宅の耐震診断法には、建築の専門家でなくても簡単に自分で診断ができる自己診断法¹⁾と、建築士などの専門家が行う精密診断²⁾の2種類があります。

自己診断法の存在意義は、一般の住宅所有者に耐震に関する興味を持って頂くことです。極めて簡便な診断法ですから、診断精度云々よりもまず目安として下さい。より精密な診断、耐震補強工事の目安となる診断が必要であれば、精密診断を行います。現在、愛知県内の昭和56年以前に建てられた在来工法木造住宅ならば無料で診断が受けられます²⁾。

自己耐震診断を行うと最終的に「総合評点」という点数が出ます。この点数に応じた判定結果と今後の対応については、現在の耐震診断法の中では表3のように住宅所有者に伝えられます。ところが、「安全」や「一応安全」といわれても具体性が無く、どうも実感が伴いません。地震には震度5強、6弱、6強、7のように、

表3. 耐震診断の総合判定

総合評点	判定	今後の対応
1.5以上	安全	安全と思われませんが、今後とも維持管理を十分に行ってください。
1.0以上1.5未満 0.7以上1.0未満	一応安全 やや危険	専門家による診断を受け、耐震性を確認して下さい。
0.7未満	倒壊の危険あり	専門家による診断を受け、耐震補強方法について相談して下さい。

いろいろな大きさがあります。また、住宅の被害も「外壁にひび割れが入る」程度の軽微なものから「倒壊」まで、様々なレベルがあります。ここでいう「安全」とはいったいどんな意味なのでしょう。

この点を具体的に検討したのが、図4です。図4は、実在する複数の在来軸組工法の木造住宅を対象とし、耐震診断の結果である総合評点と、計算から求めたその住宅が持っているであろう最大の強度との関係を見たものです。横軸が診断値、縦軸が最大の強度です。縦軸は、建物の大きさによる差をなくすため、建物の自重で除した水平震度の値で示してあります。建物ごとに当然ばらつきはありますが、だいたい右上がりの比例関係になります。えいやあっと直線を引いてみると、「一応安全」と「やや危険」の境界になっている総合評点1.0が、ほぼ水平震度0.4に対応していることがわかります。つまり、総合評点1.0の建物は、自重の40%程度の横力でも「倒壊はしない」という尺度でつけられた点数と考えると良いでしょう。

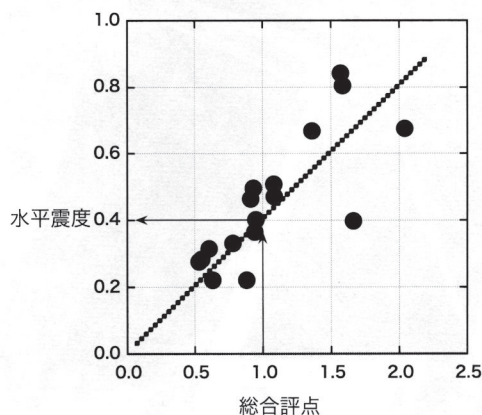


図4. 総合評点と水平震度

では、この自重の40%の横力というのはどの程度の地震の時に生ずるのでしょうか。自重の40%の横力が建物に作用するのは、建物が地震時に約400galの加速度（gal=cm/sec²）を受けたときに相当します。地震時に建物が受ける加速度は、地表面の加速度の2倍から3倍の大きさになります。したがって、建物が400galの加速度で揺れるための地震動は150gal～200galということになります。ところが、建物はこの150gal～200galの地震力を受けたらすぐに倒壊するかというと、必ずしもそうではありません。建物には最大耐力を超えてからも倒壊するまでの粘り強さがあるため、地表面の加速度が150gal～200galの2～3倍程度以上にならないと倒壊しません。この二つを同時に考え合わせると、自重の40%の静的な横力に対応する地震波の大きさは、おおよそ350galから400gal程度と考えることができます。この加速度を気象庁の震度階（表4）に照らし合わせると、だいたい震度6強程度となります。

つまり、耐震診断の結果出てきた1.0という数値は、「震度6強程度」の地震に対して「建

物が倒壊しない」という限界に対してつけられた点数と判断して下さい。いいかえれば、総合評点が1.0を超えていても、震度7の地震が来れば倒壊する可能性もありますし、逆に震度6弱以下の地震に対して対策をしたければ、もう少し低い総合評点でも問題ありません。

このように、建物の診断をしてそれを解釈するには、「地震の大きさ」と「被害の程度」をそれぞれ決めてやらなければなりません。つまり、住宅の地震対策を行うということは、「どの程度の地震に対して、どの程度の被害にとどめたいか」を住宅所有者自らが考え決めることなのです。ただし、これは簡単なことではありません。いろいろな情報を仕入れて考え、それによって得られる自分の安心を尺度にできるよう、基礎的な知識をぜひ身につけておいて下さい。

5. 安心の実現、耐震補強

5.1 どの程度補強すればよいか

診断の結果、必要な耐震性能に足りないことがわかれば補強を行います。ところが、補強工事にはそれなりの出費が伴うため、工事实施の

表4. 気象庁震度階

震度	通常発生する現象の例	地表面加速度
0	揺れを感じない。	0.8以下
1	屋内にいる人の一部がわずかな揺れを感じる。	0.8-2.5
2	眠っている人の一部は目を覚ます。つり下げものが揺れる。	2.5-8
3	恐怖感を覚える人もいる。棚の食器類が音をたてる。	8-25
4	眠っている人のほとんどが目を覚ます。座りの悪い置物が倒れる。	25-80
5弱	棚の食器類や本が落ち、家具が移動することがある。窓ガラスが割れ、弱い壁に亀裂が生じる	80-250
5強	棚の多くのものが落ちる。タンスが倒れることがある。弱い家屋は破損し、耐震性の高い建物に亀裂が生じることがある	
6弱	立っていることが難しい。多くの建物が移動、転倒する。弱い住宅は倒壊するものがあり、RCでも壁や柱に亀裂が生じる。	250-400
6強	立っていることができず、はってしか動けない。弱い木造建物の多くが倒壊し、耐震性の高い建物でも壁や柱が破壊する。	
7	人は自分の意志で動けない。ほとんどの家屋が大きく移動し、飛ぶものもある。耐震性の高い建物でも傾いたり、大きく破壊するものがある。	400以上

決心をするためには費用とそれに見合った効果の情報が不可欠となります。車や電化製品を買うのであればカタログを並べて自分の欲しい性能に見合ったものを値段との兼ね合いの中から選択すればよいのですが、耐震補強工事の場合そう簡単にはいきません。また、耐震補強工事の方法にも様々なものがあります。

こんな時、意思決定の目安となるのが、「今住んでいる家に対する資産価値をどう考えているか」と、「今の家にあとどのくらい住み続けるか」です。もしも、「大地震時には家を建て替えることになっても構わないが、命だけは守りたい」と考えるのであれば、倒壊しないような限界を目安に補強を考えればいいでしょう。また、「大地震後も家の資産価値を残し、建て替えずとも軽微な修理だけで住み続けられるようにしたい」と考えるのであれば、もっと高い限界を設定しなくてはなりません。どの程度まで補強するのかを考えるには、まずはこのような点から一つずつ整理していきましょう。

5. 2 補強方法の選択

また、壁の量を増やしたり、基礎を補強したりといった一般的な強度上昇型の補強方法を用いる場合、4章で説明した診断方法を使って補強後の総合評点を計算することができます。しかし、揺れを制御する制振ダンパーや、開口部分を残したまま耐震性能を上げるラーメン型の補強方法を用いた場合、4章の耐震診断方法を使うことはできません。したがって、このような補強方法を選択した場合には、耐震診断とは全く異なった方法で性能の検証を行うことになります。この性能検証方法を詳細に理解するには、かなり建築構造の専門知識を必要とする場合も多いのですが、業者任せにせず、補強による性能上昇分の評価について納得のいくまでわかりやすい説明を求めることが必要です。また、この説明をきちんとしてくれるかどうか、安心できる業者選びにも繋がってきます。

なお、耐震補強方法の紹介や具体的な補強事例はホームページ等でたくさん公開されています。補強費の公開されているものもありますので、ぜひ参考にして下さい³⁴⁾。

6. 住宅所有者の責任

木造住宅の巨大地震対策についていろいろ考えてきた内容を振り返ってみると、住宅所有者にも地震防災に対していろいろな責任があるのだということがわかります。この責任は、4つほどの項目にまとめられると思います。

1) 住宅使用者との地震リスクの共有

「地震で死んでも構わないから、耐震補強なんてしたくない」とおっしゃる方もたくさんいます。でも、一緒に住んでいるご家族も皆さん同じことを考えていますか？

2) 耐震診断による住宅の耐震性能の理解

2章で述べたとおり、大地震時に自宅がどうなるかを実感しておくことが大切です。

3) 住宅に対する安心レベルの策定と決定

「不安」が生じたら、それを「安心」に持っていくことを考えなくてはなりません。しかし、人任せで「安心」は手に入りません。安心を判断できるような地震、耐震、補強の情報を仕入れましょう。

4) 耐震補強効果の理解と補強の決断

不確定な情報から判断しなければならないことがいくつかありますが、「安心」のための手がかりが得られたら、あとは実行です。

本稿が耐震補強の普及につながり、地震犠牲者の減少に少しでも結びつければ幸いです。

1) 愛知県建築指導課ホームページ

<http://www.pref.aichi.jp/kenchikushido/2/bousai1.htm#03>

2) 愛知県建築物地震対策推進協議会（無料診断制度、耐震改修費補助制度等の案内）

<http://www.aichi-jishin.jp/before/yushi.html>

3) 静岡県「耐震ナビ」

<http://www.taishinnavi.pref.shizuoka.jp/>

4) 愛知県建築物地震対策推進協議会、「リフォームするなら強い家」

<http://www.aichi-jishin.jp/before/guide.html>