

住まいと電化

1

vol.18 2006
JANUARY

“変わるもの、変わらないもの”

安心して住まおう

災害から学ぶ住まいの安心とボランティアネットワーク

木造住宅の耐震リフォーム指南

安心して住まおう知恵—こんな住まいが危ない

ハイブリッド免震構法

制震構造の住宅

マンションの耐震性はここまで向上した!

電気の保安—震災対策を考える

家庭内事故対策

更なる安心の実現を目指すマンションセキュリティ“びかりモ”

地域への地震防災活動支援

指紋認証システム・指紋錠—あなたの指がカギになる





木造住宅の耐震リフォーム指南

「安心」の費用対効果

名古屋工業大学大学院 ◆ 井戸田 秀樹

古い木造住宅に住むMさんは、奥様と三人の子供、そしてお母さんの6人暮らし。最近日本各地で地震の被害が報告されるのを見聞きし、自宅のことがなんとなく気がかりにはなっていたが、知り合いが耐震リフォームをしたと聞き、診断だけでもしてみようという気になった。そこで、自治体が無料で実施している耐震診断（解説①）を受けたところ、総合評点が0.56、「倒壊の危険があります」と診断された（解説②）。これでは安心できないと思ったMさんは、さっそく普段からつきあいのある工務店に連絡し、建築士のKさんと耐震リフォームに向けて相談をすることになった。



M: 診断をしてもらったら、総合評点が0.56、「倒壊の危険があります」という結果でした。私の家は地震が来ても大丈夫なんでしょうか？補強をして安全にしたいんですが、いくらぐらい費用をかければ壊れないようになるのでしょうか？

K: ちょ、ちょっと待ってください。この診断結果をごらんになって心配なのは良くわかります。でも、耐震リフォーム工事をしようと思ったら、地震のこと、建物のことをもう少しよく考えなくてはなりませんよ。いいですか。まず、地震には震度5強、震度6弱のように様々な大きさがあります（解説③）。そんなことはご存じですよね。Mさんが対策をしたいと考えている地震はこのうちどの程度のものですか？

K: え？地震の大きさ？ん～、そう言われても…。あ、そういえば、自治体が配布していた東海地震震度予測マップがあったと思います。え～っと、これ、これです（解説④）。これを見ると、東海地震が起きたとき、このあたりは…「震度6弱」となっています。じゃ、

震度6弱程度の地震に対する対策をしておけば安心ですね。

K: わかりました。では、震度6弱程度の地震を想定したリフォームを考えていくことにしましょう。ただ、この地域を大きく揺らす地震は、東海地震の他に、東南海地震や南海地震もあります。また、発生の頻度は東海地震よりもずっと小さくなりますが、兵庫県南部地震や新潟県中越地震のような直下型の地震の可能性もあります。これらの地震は今想定している震度6弱よりもっと大きな震度になる可能性があることも理解しておいて下さいね（解説⑤）。

M: はい、わかりました。え～っと、では、地震の大きさを決めたから、次は、震度6弱でこの私の家が大丈夫なように耐震リフォームすることを考えるんですよね。震度6弱で大丈夫なようにするにはどの程度の補強をすればいいんですか？

K: Mさん、安心を求めているのはわかりますが、Mさんのおっしゃる「大丈夫」っていうのは、具体的にはどう

いうことなんですか？このことを考えていただくために、木造住宅が壊れるというのがどういうことなのかを少し説明させて下さい。

M: じゃあ、お願いします。あんまり難しい話しないで下さいね。

K: わかりました。地震の時に建物に作用する力を想定して、一般的な住宅を横から押してみても、押している力とそのときの横方向への変形の大きさの関係をグラフにしてみると、このようになります（解説⑥）。

押し始めた最初のうちは力と変形は比例の関係にあります。この比例の範囲では、押している力を取り除けばまた元の形に戻ってくれますから、建物の被害はほとんどありません。この限界が1の点になります。1の点を超えて押し続けると、比例の関係が崩れはじめ、押しても変形だけが大きくなって押している力は余り増えなくなります。2の点では、比例の関係をやや超え始めた点であり、被害としては、外壁や室内の仕上げに軽微なひび割れが入ったり、瓦屋根だと瓦がずれて一部が落ち

解説 1

Point

東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、三重県など、多くの自治体で無料の耐震診断サービスを行っています。愛知県の場合、建築士の診断員が2時間程度の建物調査を行い、数日後に診断結果が届けられます。基本的には外観だけの調査ですが、一部畳を上げたり天井裏を見たりする必要があります。詳細は各自治体窓口にお問い合わせ下さい。

解説 2

Point

表1に示すように、診断結果は点数がつき、4段階で評価されます。1.0以上の点数について「安心」という言葉が使われています。

表-1 | 耐震診断結果の総合判定

総合評点	判定
1.5以上	安全です
1.0以上1.5未満	一応安全です
0.7以上1.0未満	やや危険です
0.7未満	倒壊または大破壊の危険があります

できたりします。

それでもさらに押し続けると、押す力はもうあまり増えなくなり、変形だけが大きくなってきます。3の点はその住宅が持つ最大の力を発揮している点であり、これくらいまでくると外壁が大きく落ちたり、内装の仕上げも大きくはがれたりすることがあります。

もっと押し続けてみましょう。変形は増え続けますが、押す力はもう増えず、むしろ減少してきます。4の点あたりまで来ると建物の変形は顕著になり、目に見えて柱が傾いたりします。地震の揺れが収まったあとも大きな柱の傾きが残る、かなり大規模な補強をしないと住み続けることはできません。建て替えとなる住宅も多いでしょう。さらに押し続けられれば5の点、つまり倒壊に至ります。

住宅の耐震リフォームで重要なのは、対象とした地震に対し、この図にあるどの程度の破壊までで収めたいのかをはっきりとさせることです。建物に地震後も住み続けられるような財産価値を考えている人ならば1、あるいは2の

解説 3

Point

震度は震度計を用いて計測されますが、震度に実感を持ってもらうために表2のような震度ごとの現象を気象庁が発表しています。なお、各震度に記載された地表面加速度はあくまで参考値であり、加速度だけから震度が決まるわけではありません。震度の詳しい情報は、気象庁HP (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) を参考して下さい。

表-1 | 気象庁震度階級関連解説表(抜粋)と参考の地表面加速度

震度	通常発生する現象の例	地表面加速度 gal (参考値)
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覚ます。座りの悪い置物が倒れる。	25~80
5	弱多くの人が身の安全を図ろうとする。一部の人は行動に支障を感じる。耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものもある。	80~250
5強	非常な恐怖を感じる。タンスが倒れることがある。耐震性の低い住宅では壁や柱が破損したり、傾くものがある。	
6弱	立っていることが難しい。弱い住宅は倒壊するものがあり、耐震性の高い住宅でも壁や柱が破損するものがある。	250~400
6強	立っていることができず、はってしか動けない。弱い木造住宅の多くが倒壊し、耐震性の高い建物でも壁や柱がかなり破壊する。	
7	人は自分の意志で動けない。家具が大きく移動し、飛ぶものもある。耐震性の高い住宅でも傾いたり、大きく破壊するものがある。	400以上

解説 4

Point

ある震源を想定し、そこが揺れのエネルギーを発生させた状態をシミュレーションすると各地の震度が予想できます。多くの自治体で東海地震や東南海地震を想定した予想震度地図を配布していますので、参考にして下さい。また、郵便番号を入れると予想震度や液化化危険度を教えてくれるサイトもあります(岐阜大学地震工学研究室 <http://www.cive.gifu-u.ac.jp/lab/ed2/kensaku/>)

解説 5

Point

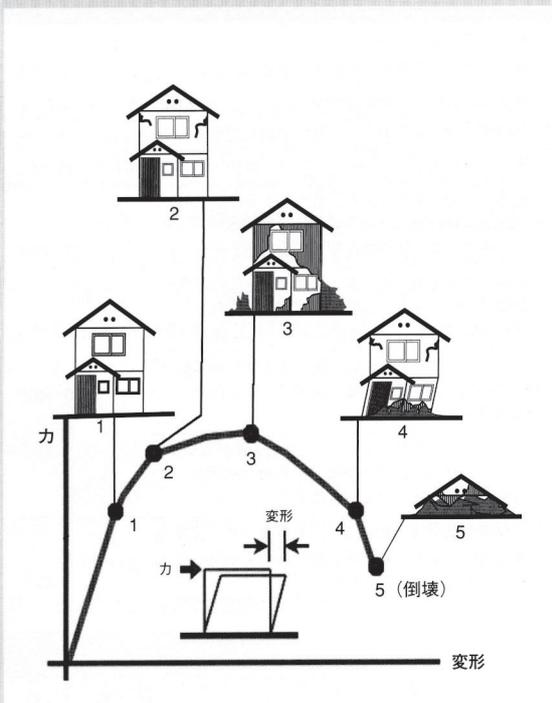
地震の発生は不確かな現象ですから、どのくらい起きやすいかは確率情報で与えられます。天気予報の降水確率と同じです。たとえば、今から30年の間に南海地震が発生する確率は50%、東南海地震が発生する確率は60%といわれています。兵庫県南部地震や新潟中越地震のような直下型の地震は、発生確率は小さいのですが、発生すると震源近くの震度は非常に大きいことが予想されます。

このように、確率的な考え方をを使うと、発生頻度や大きさの異なるものを総合的に考え合わせることができます。ある期間に発生する最大の地震の「ハザードマップ」というものも作成されています。特定の地震に対する情報だけでは安心できない方、確率的な情報からリスクコントロールを試みようと思われる方は、ぜひ地震ハザードマップの活用挑戦してみてください。ハザードマップの情報は、防災科学技術研究所のHP (<http://www.j-map.bosai.go.jp/j-map/index.html>) で詳しく知ることができます。

解説 6

地震の力を受けたときの木造住宅の力と変形の関係は、図1のようになります。また、各変形の様子に応じた土壁の被害状況を写真で示しました。Kさんが説明した1~5の点の状況とほぼ対応しています。柱の傾き具合や、壁のひび割れ具合などから、被害状況を具体的にイメージすることが安心を実感するには重要です。

図-1 | 木造住宅の力と変形の関係



(被害パターン図は、「岡田成幸、高井伸雄、地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、No.524、1999」より)

点くらいの被害にとどめたいかもしれませんが、立て替えになってもいいから、命を失うようなことにはならないようにしたいと考えている人は、5にならないような対策を考えることになります。

M: なるほど。私の家はもうかなり古くなっているし、地震の時には建て替えになっても構わないから、命を失うようなことにはならないような補強に重点を置きたいと思っています。じゃあ、震度6弱の地震で5の倒壊にならないためには、耐震診断の評点は何点あればいいんですか？というか、そもそも、耐震診断の評価の「安心」や「一応安全」というのは、どの程度の地

震に対するどの程度の被害に対していっているんでしょうねえ。

K: そう、この「安心」とか「一応安全」って、いろいろ勉強していくとなんのことかわからなくなりますよね。でも、ここまでくれば本当の安心を手に入れられるのももうすぐですよ。今のMさんの質問ですが、ちょっとこの図を見て下さい（解説⑦）。この図は、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

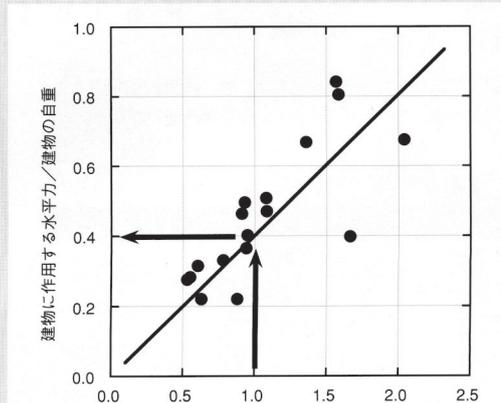
の自重で除した水平震度の値で示してあります。建物ごとに当然ばらつきはありますが、だいたい右上がりの比例関係になります。えいやあっと直線を引いてみると、「一応安全」と「やや危険」の境界になっている総合評点1.0が、ほぼ水平震度0.4に対応していることがわかります。つまり、総合評点1.0の建物は、自重の40%程度の横力でも「倒壊はしない」という尺度でつけられた点数と考えて良いでしょう。

M: そうですか。ここでいう「安心」というのは、「倒壊」に対する安心だったんですね。でも、今自重の40%の横力という力の大きさが出てきましたが、この自重の40%の横からの

解説 7

実在する木造住宅の平面プランを複数選び、それぞれについて耐震診断の評点（壁に関わる部分だけ）と水平耐力を計算し、その関係を図にしました。

図-2 | 木造住宅の耐震診断の評価と、水平震度の関係



解説 8

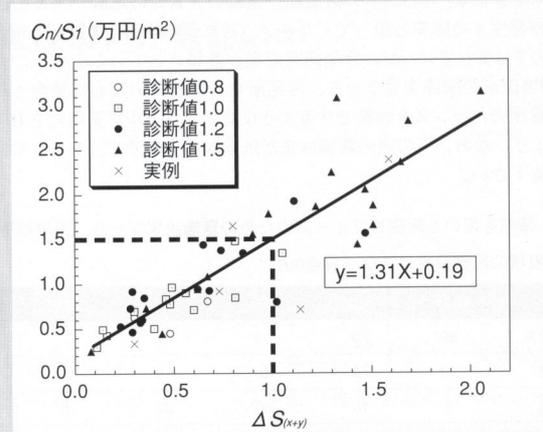
図2の関係を評点1.0以外にも拡張して考えると、震度5強に対する倒壊は評点0.6~0.7程度、震度5弱に対する倒壊は評点0.3~0.5程度とみることができます。ただし、この関係は地震の揺れ方の特性や、建物の特性にも大きく左右されることをご理解下さい。あくまで目安として考えていただきたいと思います。

解説 9

耐震リフォームの費用は、補強の程度に左右されるだけでなく、補強の方法や、建物ごとのばらつきも少なくありません。補強費用の目安に関しては、既存の在来木造住宅を対象とした研究成果として図3のような関係が報告されています。横軸は、補強によって上がった壁に対する評点（東西方向の評点上昇分と南北方向の評点上昇分を足しあわせたもの）、縦軸は1階の床面積1m²あたりの補強費用です。この関係を見ると、東西と南北の評点を合計で1.0上げるためには、1階の床面積1m²あたり約1万5千円の費用がかかることがわかります。ただし、ここでの金額は壁補強だけを対象とした耐震補強工事費と最低限の仕上げ復旧費しか含まれていないことに注意してください。壁補強に伴って、評点に現れない金物や基礎の工事が多くなる場合が多いので、それらの費用は別途計算する必要があります。最終的に支払う金額は、このグラフの金額の1.5~2.0倍くらいになる場合が多いと思われます。たとえば、1階の床面積が80m²の住宅を補強し、東西方向と南北方向ともに診断値を0.5上昇させたとします。すると、診断値の上昇分の合計は1.0ですから、グラフから読み取った横軸1.0のときの費用は1.5万円/m²となります。したがって、最低限の壁部分の改修費用は1.5万円/m²×80m²=120万円、実際に支払う費用は180~240万円程度が目安となります。

なお、耐震リフォームの様々な実例は、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.aichijishin.jp/before/guide.html>) あるいは、阿部正行著、「リフォーム工事の見積り」(財)経済調査会)などでご覧いただくことができます。ここではリフォームにかかった費用が各物件ごとに紹介されています。耐震リフォーム予算の目安の確認にご活用下さい。

図-3 | 耐震診断値上昇分 (x, y方向の合計) と補強費用の関係



(荒木雅也、井戸田秀樹：在来軸組工法住宅を対象とした耐震補強における費用対効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.139-140、2004年8月)



力というのは、どの程度の地震の時に生ずるんですか？

K: はい。自重の40%の横力が建物に作用するのは、建物が約400galの加速度 (gal=cm/sec²) で揺れ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、つまり地面の加速度の2倍から3倍の大きさになりますから、建物が400galで揺れるためには、地面が150~200galくらいで揺れたときということになります。

M: ええ？じゃあ、震度5弱か5強程度の地震に対して「安全」という言葉を使っているんですか？

K: いえいえ。ちょっと待って下さい。建物は地震力が最大耐力を超えたらす

ぐに倒壊するのかわかると、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、建物の揺れの加速度が400galの2倍程度以上にならないと診断値1.0の建物は倒壊しません。このことを考え合わせると、自重の40%の静的な横からの力に対応する地震の大きさは、加速度がおおよそ350galから400gal程度のものと考えられます。この加速度を気象庁の震度階(解説②)に照らし合わせると、だいたい震度6強程度となります。

M: なるほど！ということは、耐震診断の結果出てきた1.0という数値、つまり「安全」という言葉は、「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なんです。

K: その通り！ですから、たとえば総合評点が1.0を超えていても、もし震度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ないということです。いま、Mさんが対策の対象としている地震は震度6弱です。ですから、倒壊するかどうかの限界について考えるのであれば、評点1.0弱でよいでしょう。ただ、このあたりは地盤があまり良くないということも考慮して、評点1.0を目標として補強されてはいかがです

解説 10

地震の大きさが不確定であったのと同様に、建物の強さも限られた調査の中では不確定な点もたくさん存在します。これらの不確かさを確率という数値で表現することができれば、建物が倒壊する確率と費用の関係を表3のように表すことができます。表3の中の数値は、横軸の大きさの地震が来たとき、縦軸の被害が発生する確率とと思ってください。これらの数字はまだ十分検証できていないものではありませんが、今後研究成果が蓄積されていくことにより、費用-評点-倒壊確率の関係を見ながら、住宅所有者が自分の安心に見合った補強の程度と費用のバランスを判断できるような便利なツールが実用化されていくことでしょう。なお、下の表の数値はまだ未検討のものです。あくまで参考値としてご覧ください。

表3 | 確率を用いた耐震リフォームのための意志決定ツール（倒壊確率の例）

(a) 現状の地震被害リスク（評点0.5）

	4以下	5弱	5強	6弱	6強	7
無被害	80	20	10	0	0	0
小破	20	70	20	10	0	0
中破	0	10	60	20	10	0
大破	0	0	10	50	20	10
倒壊	0	0	0	20	70	90

(b) 耐震リフォームによって評点を0.8まで上げたときの地震被害リスク（改修費用：150万円）

	4以下	5弱	5強	6弱	6強	7
無被害	95	80	20	10	0	0
小破	5	20	70	20	10	0
中破	0	0	10	60	20	10
大破	0	0	0	10	50	20
倒壊	0	0	0	0	20	70

(c) 耐震リフォームによって評点を1.0まで上げたときの地震被害リスク（改修費用280万円）

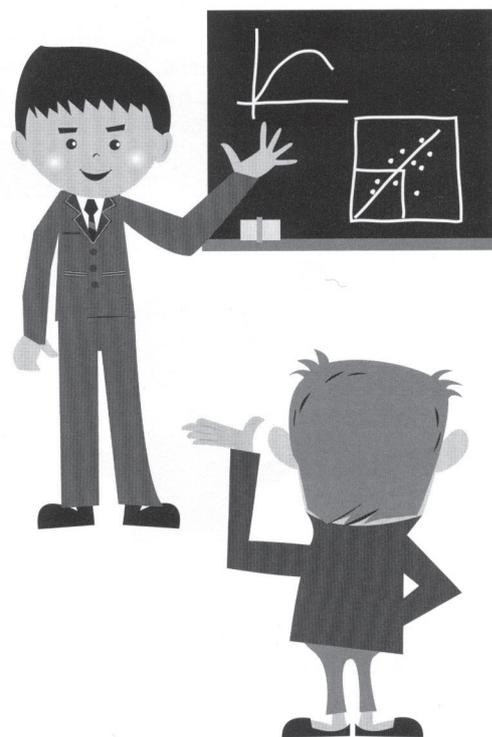
	4以下	5弱	5強	6弱	6強	7
無被害	100	95	40	30	20	10
小破	0	5	55	40	30	20
中破	0	0	5	25	35	40
大破	0	0	0	5	10	20
倒壊	0	0	0	0	5	10

井戸田 秀樹 ◆ Idota Hideki

名古屋工業大学大学院
助教授

〒466-8555
名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学大学院
社会学専攻/建築・デザイン工学科
FAX: 052-735-5517
e-mail: idota@nitech.ac.jp

P R O F I L E



か？（解説⑧）

M: 良くわかりました。では、我が家の「安心」は「評点1.0」を目指すことにします。で、次はいよいよ補強に必要な費用を相談させて下さい。いま、私の家は総合評点が0.56です。1.0まで上げるのにいくらかかるんですか？

K: 費用については、家の大きさや補強箇所数、仕上げの程度などによってかなり変わってきますので、まずはMさんのお宅の場合について見積もりを

出させていただきます。それをご覧いただきながら相談させて下さい（解説⑨）。

M: では、予算に応じて目標とする補強の程度を変えることになるかもしれませんが、補強後の評点が0.8、1.0、1.2の3つのケースについて見積もりを出して頂けませんか？

K: 承知しました。では、後日3つの補強パターンについて見積もりをお持ちします（解説⑩）。

M: よろしくお願ひします。

その後、Mさんは無事耐震リフォーム工事を終え、安心した生活を送っている。このように、耐震リフォームを行うにあたっては、どの程度の地震に対して、どの程度の被害に抑えたいかを具体的に考えることが大切である。

このことによって、得られる安心の程度が実感でき、費用対効果の理解につながる。また、このような話のできる業者を選ぶことが、失敗のない良い業者選びにもつながるであろう。