

木造住宅の耐震リフォーム促進に向けた技術的課題

名古屋工業大学大学院 / 社会工学専攻 / 建築・デザイン工学科

井戸田 秀樹

idota@nitech.ac.jp

1. はじめに

阪神淡路大震災の被害調査報告¹⁾などから明らかにされているように、地震災害による死者の80%以上は家屋の倒壊による圧死、窒息死である。構造種別に被害を見ると、在来軸組工法による木造住宅、特に建築年代の古い既存不適格の木造住宅において被害が甚大であった²⁾。こうした事実から見れば、人命の観点で地震防災を考えるときの最優先課題は既存不適格木造住宅の耐震性向上である。

既存不適格木造住宅の所有者の大多数は一般市民である。したがって、それらの耐震化はその住宅所有者の判断に委ねられている。住宅所有者による耐震リフォーム工事促進のため、無料の耐震診断制度や耐震リフォーム費用の補助制度などが各自自治体により実施されているが、既存不適格木造住宅の耐震化率は依然きわめて低いのが現状である。

こうした現状を鑑みると、既存不適格木造住宅の耐震化を促進するための必要とされている技術を再点検し、その問題点を解決することが急務といえよう。本稿では、耐震リフォーム促進に向けた技術的な課題を再確認するとともに、その考察結果に基づいて提案されている住宅所有者のための意志決定支援ツールについて概説する。

2. 木造住宅の耐震リフォーム促進における技術的課題

既存不適格木造住宅の所有者が耐震リフォームに踏み出せない原因については、一般市民を対象としたインターネットアンケート調査³⁾や、構造技術者、地震災害被災者、建築士、保険関係者等を対象としたオーラルインタビューに基づく研究成果⁴⁾⁵⁾等が報告されている。これらの報告の中では、地震災害に対する一般市民の意識として、以下のような結果がまとめられている。

- 1) 大地震発生リスクは半数が認識している。
- 2) 大地震時の住宅への被害リスクは約7割が認識している。
- 3) 耐震リフォームの効果は約7割が認識している。
- 4) 耐震診断・改修に対しては約7割が消極的である。

耐震リフォームが進まない理由の一つとして、住宅所有

者の地震防災意識の低さが指摘されることが多い。1)の地震発生リスク認識が半数という結果がそのことを説明していると考えられる。一方、2)のように地震が発生した場合には7割が住宅に何らかの被害があると認識している。また、耐震リフォームによる効果もアンケート結果3)にあるように約7割が認識している。すなわち、地震の発生自体の実感が高まれば、耐震診断あるいは診断の必要性を意識する段階には抵抗なく進んでいくものと考えられる。

ところが、いざ耐震診断あるいは耐震リフォームを実施するかどうかの意志決定の段階になると、4)のように7割が消極的である。この理由として挙げられている主な回答は以下のようなものである。

- 1) 費用がかかるから。
- 2) 大地震による被害は避けられないから。
- 3) 耐震リフォームの効果が良くわからないから。
- 4) 適正な業者がわからないから

このうち、構造技術的な側面から対応していく必要があるのは1)と3)の2項目と考えられる。次章では、これら二つの項目について、具体的な技術的対応策を検討する。

3. 費用および効果に関する技術的対応策の検討

3.1 耐震リフォームの費用について

耐震リフォーム工事を実施する以上、費用は必然的に発生する。この費用が耐震補強工事实施の妨げになっているのは、所有者が費用に見合った効果を実感できていない点にある。費用対効果の問題については後述することとし、ここでは低価格の補強工事の可能性について検討する。

低価格の耐震リフォーム工事を実現するには、次の2つの可能性がある。

- 1) 低価格の補強工法を開発すること。
- 2) 補強の程度を軽微にすること。

低価格の補強工法を実現することはもっとも大きな技術的課題の一つと考えられる。一定の補強効果を確保する

ために必要となる工費を減らせば、耐震リフォームに対する抵抗感の最大理由である費用の問題を克服できることになる。ただし、現在一般的に行われている耐震補強工法でも、筋かい、合板、接合金物等の純粋な耐震補強工事関連の費用はきわめて低価格であり、改修費用の大部分は構造躯体を施工するために必要な仕上げ材の撤去・復元のために発生している。こうした理由を考えると、低価格の工法開発といっても単なる構造技術だけの問題ではなく、仕上材も含めた工法全体について検討することが重要である。

低価格の耐震リフォーム工事を実現するためのもう一つの対策は、補強程度が軽微な改修も推奨することである。現在、自治体等による耐震リフォーム費用の補助は改修後の評点が1.0を超えるものが対象となっている場合が多い。したがって、評点が0.1、0.2といった極めて耐震性能の低い住宅を1.0まで補強しようとする改修費用が高額になり、結局改修工事の実施を断念して何の改修もされないという結果につながる。耐震性能の極めて低い住宅こそ耐震リフォームの優先順位が高いにもかかわらず、現実にはそれらが取り残されているのが現状である。

たとえば、評点0.1の住宅の耐震性能を評点0.3まで上昇させたときの効果を住宅所有者が理解し、改修費用がそれに見合うものだと判断すればその改修工事は実施されるべきである。ところが、表1に示すように、現在の耐震診断評価⁶⁾の中では、評点0.1と0.3の差を明確に説明できず、住宅所有者はこの0.2の補強効果を実感することができない。こういった問題点を解決するには、耐震リフォームの程度に様々なグレードを設け、1.0を超えるかどうかにかかわらず上昇した評点の大きさに応じた効果を具体的に説明するための技術が求められているといえる。

3.2 耐震リフォームの効果について

住宅設備や仕上げ、意匠、計画などに関連する改修はその効果が施工後すぐに実感でき、費用対効果も理解しやすい。ところが、耐震性能は希に発生する大地震に対してのものであるから、日常生活の中で効果を実感することはできない。したがって、住宅所有者に対し耐震リフォームの効果を実感を伴った形で説明するためには、木造住宅が地震によって損傷を受けるメカニズムをわかりやすく理解させ、その論理の中で耐震性能向上の効果を実感できるような工夫が必要である。

建築物の耐震性能は、外力である地震力の大きさや特性と、それに抵抗する構造躯体の耐力の特性の関係から定義され、その関係の中で地震時の損傷が決まる。したがって、木造住宅が地震によって損傷を受けるメカニズムから耐震リフォーム効果を実感させるためには、以下の3つの項目について説明することが必要である。

- 1) 対策すべき地震の大きさ
- 2) 目標とする耐力特性
- 3) 予想される損傷程度

表1 耐震診断評点の判定

(a) 耐震判定表（我が家の耐震診断と補強方法）⁶⁾

総合評点	判定	今後の対策
1.5以上～	安全です	-
1.0以上～1.5未満	一応安全です	専門家の精密診断を受ければ、なお安心です
0.7以上～1.0未満	やや危険です	専門家の精密診断をうけて下さい
0.7未満	倒壊または大破壊の危険があります	ぜひ専門家と補強について相談して下さい

(a) 総合評価（一般診断法および精密診断法1）⁷⁾

上部構造評点	判定
1.5以上	倒壊しない
1.0以上～1.5未満	一応倒壊しない
0.7以上～1.0未満	倒壊する可能性がある
0.7未満	倒壊する可能性が高い

まず1)に示したように、対策すべき地震の大きさを説明する最も身近な方法は、ある特定の地震に対して公開されている予想震度を利用する方法である。東海地方を例にとれば、近い将来の発生が確実視されている東海地震、あるいは東南海地震がその対象であり、そのときの住宅所在地の予想震度を対策すべき地震の大きさとするような説明は住宅所有者に対して説得力は高い。ただし、特定地震に対する予想震度を上回る地震が発生する可能性があることは同時に説明すべき項目である。また、さらにハイグレードな方法としては、海溝型地震と内陸活断層の影響も考慮した確率論的地震動予測地図⁸⁾を用いる方法がある。ある震度以上が発生する確率や、生起確率に応じた最大震度がマップに表現されており、確率的な情報に基づいた意思決定を選択する住宅所有者には有力な説明ツールである。

対策すべき地震の大きさが設定されれば、その地震に対して住宅に与えたい耐力特性を説明しなければならない。一般の住宅所有者に対して説明性を持つ木造住宅の耐力特性の尺度は、木造住宅の耐震診断法の評点が唯一である。したがって、各評点が意味する耐力特性を外力との関係で住宅所有者に説明する必要がある。耐震診断法の評点は、建築基準法で定めるところの「極めて稀に発生する地震（震度6強～震度7）」の地震に対し、「倒壊しない」という限界に対して定められた数値といえる。したがって、耐震リフォームによって目標とする耐力特性を決めるには、評点に対して予想される住宅の損傷および耐震リフォームの費用との関連を明確にした説明が不可欠である。

予想される損傷の程度は、改修後の耐力特性と想定する地震の大きさから決定される。損傷の程度を表現する物理量は、最大応答変位、残留変位、被害調査等で用いるダメージインデックス⁹⁾、あるいは損害額¹⁰⁾などが考えられ、

住宅所有者の理解に応じた説明手段が必要である。

一般の住宅所有者が耐震リフォーム工事に対して持っている費用対効果に対する疑問を解決し、安心を実感する改修計画を実現するには、対策すべき地震、目標とする耐力特性、予想される損傷の3つを有機的に関連させ、改修実施のための意志決定を可能にする技術的な説明ツールが必要である。

4. 提案する意思決定支援ツールの概要

前章で述べたような技術的対応策の検討結果に基づき、ここでは一般住宅所有者が木造住宅の耐震リフォーム工事を実施するために提案されている意志決定支援ツール¹¹⁾¹²⁾の概要を説明する。

4.1 全体概要

改修後の耐震性能は、外力としての地震の大きさと、その結果発生するであろう被害との関係の中で説明するのがわかりやすい。この関係は、性能設計の概念で一般的に用いられている性能マトリクスと同様のものである。提案する意志決定支援ツールでも、改修後の耐震性能の説明には地震の大きさとそのときの被害程度の間を用いる。説明対象が一般住宅所有者であることを考えると、地震の大きさの尺度には原則として「震度階」を用い、必要に応じて最大加速度、再現期間などを説明に加える。また、被害

程度に関しては、イメージのしやすさを考慮して一般的な地震被害の尺度として用いられている「倒壊、大破、中破、小破」などの用語を用いる。ただし、最大応答変位や仕上材の損傷などと関連させた定義をしておくことが必要である。

以上のような性能マトリクスを、改修後の耐力特性と費用に合わせて提示することが必要となる。耐力特性は、現在用いられている精密耐震診断の評点を尺度として用いる。これらを表示するイメージを図1に示す。性能マトリクス上には改修前の評点に対応した性能レベル、および改修後の性能に対応した性能レベルが明示され、各性能レベルにはそのレベルまで耐震リフォームするための費用が明示される。また、縦軸の損傷欄には、評価尺度である「倒壊、大破、中破、小破」などの言語に対応した被害状況、損害額、層間変形角などが示される。横軸の地震の大きさは「震度階」で表現され、各震度階に対応した発生確率、再現期間、最大加速度などが補足的に示される。

なお、耐震診断の評点や震度階は当然力学特性を100%表現しうるものではないため、性能マトリクスはある範囲を持った提示、あるいは確率的な表現になることも考えられる。

4.2 各評価尺度の関係

意志決定支援ツールの構築に当たっては、前節で示した各評価尺度間の定量的な関係を明示しておく必要がある。

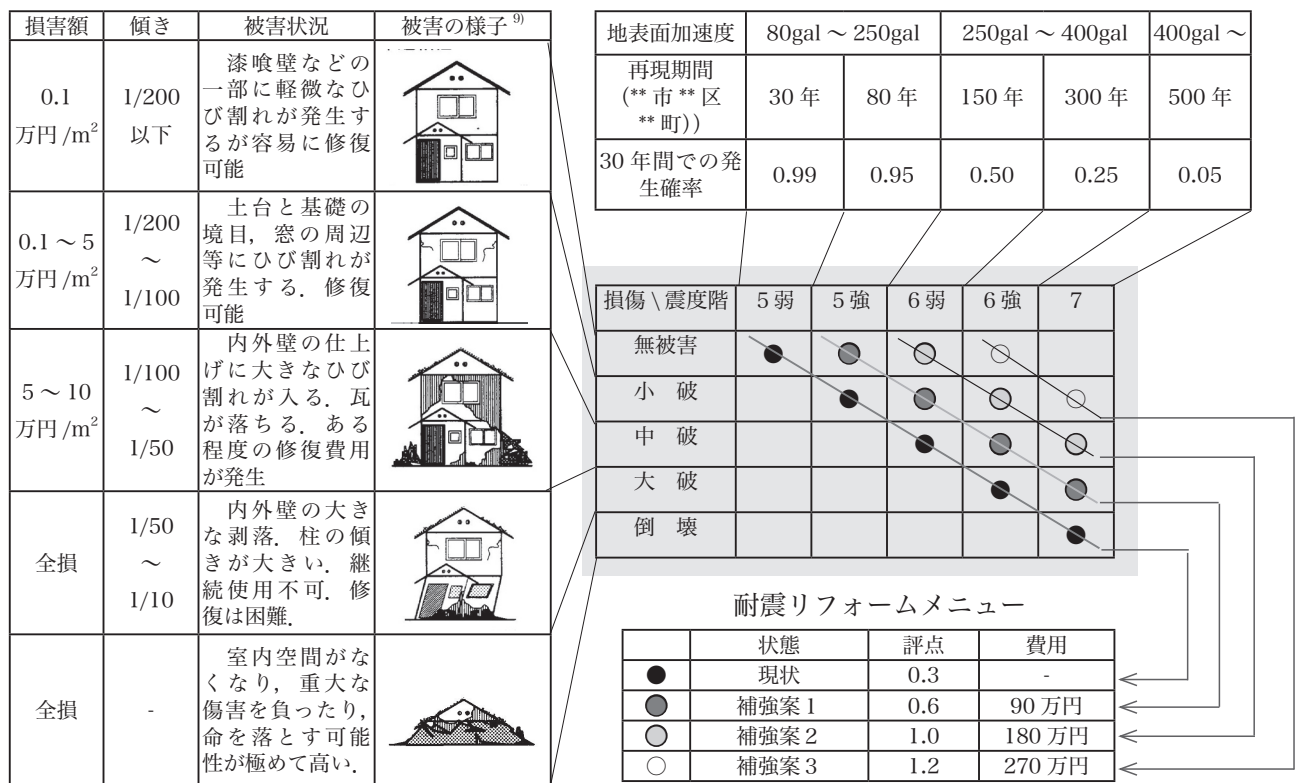


図1 耐震リフォーム促進のための性能マトリクス（表中の数値等は未検討である）

まず、「評点」と「損傷度」の関係については、既往の研究成果の中では明確にされていないのが現状である。したがって、現在用いられている耐震診断手法に基づく評点と、地震時の損傷度の関係を具体的に提示することは現在技術的に必要とされている最も重要な課題といえる。壁の性能に限定すれば、耐震診断の評点と力学的特性は壁量と偏心を用いて定量的に関係づけることができる。したがって、この力学特性を用いて各震度階と損傷度の関係を明らかにしていくことが求められているといえよう。

「評点」と耐震リフォーム費用の関係は、現在までに報告されているいくつかの情報によって、大まかな目安を求めることはできる。耐震リフォームによって上昇した壁の評点と改修費用の関係を示したもの¹³⁾や、耐震補強の具体的かつ詳細な実例と改修費用を明示した資料もいくつか公表されており^{14)~17)}これらを総合的に判断すれば評点と耐震リフォーム費用の関係を説明するための必要最低限の情報はすでに用意されていると考えてよい。

5. まとめ

以上、木造住宅の耐震リフォーム促進に向けた技術的課題を検討し、そのために有力と思われる意志決定支援ツールを紹介した。今後の展望も含め、本稿の内容を以下のようにまとめておく。

- 一般の住宅所有者は、耐震リフォームの必要性や効果についてはある程度認識しており、地震発生という事象自体の認識を高めることが必要である。
- 耐震リフォームの効果は費用との関係の中で説明される必要があり、そのためには、耐震診断の評点とリフォーム費用の関係、および評点と損傷の関係を住宅所有者に実感を持った説明のできるツールが必要である。
- 本稿で紹介した意志決定ツールの媒体は、印刷物、インターネットウェブ、CD-ROMなどが考えられるが、いずれにおいても住宅所有者の視線に立ったわかりやすい説明¹⁸⁾が不可欠である。
- 耐震リフォーム業者との間において中立的な立場で発言できる意志決定アドバイザーを養成し、普及させることで極めて効果的な運用が可能になると考えられる。
- 耐震診断の評点とリフォーム費用の関係は、既往の情報の中である程度把握することができる。一方、評点と損傷度の関係は具体的には明らかにされておらず、評点に

対応した損傷度を時刻歴応答解析などによって明らかにしていくことが今後の重要な課題である。

【参考文献】

- 1) 厚生省大臣官房統計情報部人口動態統計課：『国民衛生の動向』、厚生統計協会、1996
- 2) 村上雅英ほか；阪神・淡路大震災にみる在来木造都市型住宅の問題点、日本建築学会構造系論文集、第481号、71-80、1996.3
- 3) 村山明夫、木場裕司、舟木貴久、城山英明、畑中綾子、阿部雅人、堀井秀之：既存不適格住宅の耐震性向上に係る社会技術の研究、社会技術研究論文集、Vol.1、pp.338-351、2003.10
- 4) 鳥澤一晃、水越 熏、宮村正光、石田 寛、日下彰宏、若村真佐代、石川孝重、伊村則子：リスク評価に基づく地震防災投資に関する研究、鹿島技術研究所年報、第51号、pp.197-204、2003.9
- 5) 水越 熏、小堀鐸二、石川孝重、他：リスク評価に基づく地震防災投資に関する研究 その1~その4、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造I、pp.59-66、2002.8
- 6) 日本建築防災協会、「木造住宅の耐震精密診断と補強方法（増補版）」、建設省住宅局監修、1995.8
- 7) 日本建築防災協会、「木造住宅の耐震診断と補強方法」、国土交通省住宅局建築指導課監修、2004.7
- 8) 地震調査研究推進本部、<http://www.j-map.bosai.go.jp/>
- 9) 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、第524号、pp.65-72、1999.10
- 10) 花井 勉、福和伸夫、森 保宏、皆川隆之：費用対効果を考えて木造住宅の耐震補強設計について、その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造III、pp.157-160、2003
- 11) 井戸田秀樹、森 保宏、嶺岡慎悟、既存不適格木造住宅の耐震改修促進のための意志決定支援ツールの開発 その1 支援ツールの目的と概要、日本建築学会東海支部研究報告集、第44号、2006年2月
- 12) 嶺岡慎悟、井戸田秀樹、梅村 恒、森 保宏、既存不適格木造住宅の耐震改修促進のための意志決定支援ツールの開発 その2 耐震診断の評点と損傷度の関係、日本建築学会東海支部研究報告集、第44号、2006年2月
- 13) 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、2004.8
- 14) 「プロジェクト「TOUKAI（東海・倒壊）-0」、木造住宅の耐震リフォーム事例集」、静岡県都市住宅部、2004.5
- 15) 「リフォームするなら強い家、木造住宅耐震改修ガイド」、愛知県建設部住宅企画課、2003.12
- 16) 愛知県木造住宅耐震改修マニュアル、愛知県建築指導課、2003.10
- 17) 阿部正行、「リフォーム工事の見積り」、(財)経済調査会、2004.9
- 18) 井戸田秀樹、「木造住宅の耐震リフォーム指南、『安心』の費用対効果」、住まいと電化、日本工業新聞、Vol.18、2006年1月号