

IV-1 耐震研究の地震防災対策への反映（事前対策）

研究代表者 目黒 公郎（東京大学）

1. 研究の目的

阪神・淡路大震災の教訓から、人的被害を軽減するには、建物の耐震性能の向上と家具や什器の転倒防止対策等が不可欠であると言えます。しかし市民の意識やコスト、とりまく制度面の課題などから、具体的な取り組みは充分進んでいるとは言えない状況です。本課題では木造個人住宅を中心に、a)簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発、b)室内の安全性向上、c)耐震補強を推進するための制度・システムの提案、の3つを目的として、研究に取り組みました。a)とb)の研究は、地震防災上最重要課題である既存不適格建造物の耐震補強を効果的に推進するc)に結びつける研究として位置付けられます。

2. 主要な成果

2.1 簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発

「1.1 耐震診断・補強方法の検討及び開発」では、①各種の耐震補強構法の性能評価、②耐震補強の実態把握、③既存木造住宅の耐震性能調査、④補強後診断を含む耐震診断法の提案、⑤提案された耐震診断法の精度検証という一連の研究を行い、耐震診断法の高度化を図るとともにE-ディフェンスでの震動実験と連携して提案する耐震診断・補強方法の適用性の検証と精度検証を行いました。

耐震診断の実施とその結果に基づく耐震補強の促進には、技術的な検討の他に、各種の制度的な検討が必要です。また制度的に耐震補強を推進する場合も、対象となる住宅の補強前、補強後の耐震性能について、より正確でわかりやすい評価が求められます。私たちは本研究の成果がその一助となってくれることを願っています。最後に、実際の補強に当たっては、住宅や住宅所有者の特性に応じて適切な補強方法を選択するための支援が必要です。今後の課題として、その支援方策の充実を図っていく予定です。

「1.2 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技」により達成された成果は以下のとおりです。住宅の耐震診断法に常時微動を用いることで、従来の診断法に比べて所要時間の短い簡便的な診断が可能となりました。また、この方法を応用することにより、一時的診断から継続性を持つ監視（モニタリング）システムとしての道が開けるとともに、建物の構造健全性の診断

のみならず居住者の地震時における死亡確率を監視する生命安全性モニタリングシステムとしての機能も付加されました。以上により、診断値が居住者および所有者へのリスク・コミュニケーションに十分に活用される情報価値を持つに至ったことが、大きな成果としてあげられます。

今後の課題は、モニタリングシステムを具体化し、世帯単独で行う現状のポイント・モニタリングから地域全体で情報を共有するエリア・モニタリングに展開し、地域全体の防災力向上を図っていくことです。

「1.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発」では、以下のような検討を行いました。常時微動や中小地震に対する建物の振動応答を簡易なワイヤレスセンサで計測することで、耐震性能と相関性の高い固有振動数、減衰定数、複雑性指標等を適切な信号処理によって求めることが可能です。本研究では、これらの指標を特徴ベクトルとして利用して、精度の高い診断が可能であることを示しました。この診断ではパターン認識手法のひとつであるサポートベクトルマシン（SVM）を用いました。これらの指標を総合的に用いることで、信頼性が高まること確認されましたが、最終的な適用可能なレベルについては、今後検証する必要があります。

2.2 簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発

「2.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発」では、3次元拡張個別要素法（3D-EDEM）を用いて、地震時の室内の様子をビジュアルに表現するシミュレーターを開発しました。さらにこれをWEB環境やVR環境で利用できるシステムを用意し、専門知識を持たない市民でも、様々な条件下での家具の挙動が比較できる環境を実現しました。これらのシステムによって、防災意識が向上し、建物に応じた家具の適切なレイアウト法や、効果的な転倒防止装置のあり方が理解されとともに、実際に家具を固定するなどの具体的な防災対策行動が促進され、室内被害の軽減につながるものと期待しています。今後は、これらのシミュレーターの普及を目指していきたいと考えています。

「2.2 室内総合安全診断ソフトウェアの開発」では、地震で室内が散乱することに伴う負傷危険度を、認識レベルから次の診断レベル、そして対策レベルに繋げるためのツールの開発を行いました。高機能版室内危

危険診断ソフトウェアと負傷発生軽減支援のための危険確率診断コンピュータプログラムに加え、WEB 簡易版室内危険度診断ソフトウェアをインターネット上で無償公開しました。公開からの1年間で約5万人に当該WEB を訪問して頂き、システムを体験してもらっています。一般の人々に室内安全対策を考える契機を提供できたと考えています。

2.3 耐震補強を推進するための制度・システムの提案に関する研究

「3.1 既存不適格建造物の耐震補強を推進する新しい制度やシステムの開発」では、まず既存の補強推進策のレビューを行うとともに、戸建て住宅の所有者を対象とした耐震補強工事に関するアンケート調査を実施しました。回答者に補強工事についての不安要因をたずねたところ、補強技術・診断技術の不確かさに関する不信感や、悪徳業者の存在に対する不安感が顕著に見られました。この結果に基づき、自発的な耐震補強を推進するためのドライビングフォースとして、公助（公的支援）・共助（互助）・自助（自助努力）の観点から、「自治体による保証に基づく耐震補強奨励制度提案制度、耐震補強実施者を対象とした共済制度、地震動による被害を免責とする新しい地震保険システム」という3つの新制度を提案しました。

将来発生が懸念されている地震被害を想定して提案制度の効果を検証したところ、これらの制度の導入により、補強したにも関わらず被災してしまった住宅所有者には、被災度のレベルに応じた十分な事後支援、例えば全壊被害を受けた住宅所有者であれば、新築の住宅再建が可能な額の手厚い支援が可能であることがわかりました。この結果は、住宅所有者に耐震補強実施への強いインセンティブを与えるとともに、行政や住宅メーカー、保険会社などに、新しい制度やサービスのあり方、ビジネスモデルを提供しました。

また、耐震補強前後での建物強度の向上を住宅所有者に簡単に理解してもらえる環境作りを目指し、建物模型を使った振動デモンストレーションにより、耐震補強効果を理解するための映像教材を作成しました。

今後はさらに、提案制度の普及を目指して、行政の政策決定者、住宅メーカー、保険会社、防災 NPO や NGO などのステイクホルダーへの働きかけを行っていく予定です。

「3.2 軸組木造住宅の耐震診断・補強の実践化システムに関する研究」では、伝統的建造物群保存地区である萩市浜崎地区の軸組木造住宅群を対象に実測調査を行い、終局耐力評価法による耐震性能評価と補強設計の手法等を検討しました。また住まいの維持保全を支援するシステムとして、「住まいの手帖」を提案し、有効性を確かめました。今後の課題

としては、伝統軸組木造住宅については、「わが家の耐震診断」のような簡易評価法の適用が未だ難しいので、住まい手にその診断法と補強法を分かりやすく解説する標準補強プランのメニュー化やコストの目安の提示が重要と思われます。

「3.3 不動産評価への防災災害リスクの導入」の研究成果は以下のようにまとめられます。

- ・住宅耐震改修は、特に都市部において公益性を伴う社会的課題であるので、その前提としての耐震診断は、個人の意思に委ねるのではなく、社会制度として推進すべきです。ユーザの意識も耐震診断の義務化を容認しているので、この考えに基づく制度は実現可能と考えられます。
- ・耐震診断の結果が必ずしも耐震改修に結びつかない現実があります。これは市民意識の低さに起因するのではなく、耐震補強工事に踏み出せない「支障的環境」があることを意味し、その解消が重要です。
- ・耐震改修に対する行政支援は、ユーザへの経済的支援と助成対象の持つ公益性の両面から必要です。公益性の明確化は市場における信頼性の担保という重要な意味を持ちます。信頼性の欠如は零細事業者業界の宿命であり、行政の支援システムの整備を通じた信頼の形成が耐震改修促進には不可欠です。

以上の成果を踏まえて、自治体の総合的な支援制度を提案することを今後の課題とします。

「3.4 保険デリバティブ制度の検討」では、保険デリバティブの住宅被害リスクへの適用を目的とし、次の5つの要素、地震リスクの定量化、損傷モデル、トリガ条件、耐震化促進、応用・汎用性について検討しました。その結果、建物分散配置による地震リスクの低減、個別の建物に適用可能な損傷評価システムの構築、センサを用いたトリガによる地震デリバティブの耐震化促進効果、という3つの知見と成果を得ました。今後の課題としては、実被害とデリバティブの補填額との差（ベース・リスク）をいかに小さくするかが挙げられます。

「3.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究」では、住宅の耐震性の促進と地震保険の普及のために両者によるインセンティブを働かせる社会システムを構築するための研究を実施しました。その結果、以下のことが得られました。

- ・米国カリフォルニア州と日本における地震保険は、現状では耐震性に応じた保険料率の割引を有するが、そのスキームと運営に関して、日米の差異があることを明らかにしました。
- ・米国連邦政府・洪水保険は、保険加入という手段を利用して、自治体に防災対策を実施させるというスキームにより、地域の防災対策を進展させるという手法を取っていることが明らかになりました。
- ・地震リスクの対応には、耐震補強等のリスクコントロールと地震保険等のリスクファイナンスの適切な融合が

必要不可欠です。自然災害のみを対象とする保険には限界があるため、他のリスクファイナンス手法も利用して、リスクマネジメントの観点から、リスクコントロールとリスクファイナンスの最適な組み合わせに関して明らかにしました。

・リスクファイナンスには、保険以外にも各種の手法があるし、地震等の対応には有効な手段になると思われます。しかし、実際にはあまり普及していません。その理由の一つに、証券化・デリバティブの持つベースリスクの存在があります。そこで、このベースリスクを最小にするデリバティブ構築の手法を明らかにしました。

今後は、リスクファイナンスの原資となる資金を市場から調達する際に、防災対策の有効性により調達コストに差が発生する透明性の高いスキームを開発する必要があります。

「3.6 防災性能と福祉を結合した既存住宅改修支援制度の創設に関する研究」では、既存木造住宅の耐震改修を中心とした防災対策の飛躍的な推進を目的として、以下に示すような一連の調査研究を行い、成果を得ました。

①情報・認識・意識改革に関して

- ・地域住民に対しては、地震や津波、その被害の予測について、正しい情報を繰り返し伝えることが重要です。
- ・自分の住宅の被害が、周辺地域の被害拡大につながる危険性を持つことを伝える必要があります。
- ・住宅を安全にすることが、自分や家族の生命・健康にとってきわめて重要であるだけでなく、地域の安全や持続性にとって重要であることを伝え、地震の時は助からなくても良いとする「あきらめ」を防止せねばなりません。

②耐震改修プログラム

- ・耐震化を促進するには、末端利用者にとっての経済的負担を軽減する資金援助システムが必要です。そのあり方は地域によって異なりますが、自治体の財政力によるアンバランスを平準化する方策が必要です。また、個々の住民の資金投資を促進するには、老後の不安を取り除く行政施策が必要です。
- ・耐震診断・改修制度の申し込みや工事のプロセスや実態が住民・利用者にとってわかりやすく、簡便であることが重要です。日常生活にとって支障が少ないこと等の情報を正確に伝えなければなりません。
- ・耐震改修工事の費用と効果が誰にも客観的にわかるシステムの開発が早急に必要です。
- ・耐震改修が、老後の生活など日常生活の向上に具体的に寄与するものとなる技術的システムの開発が必要です。

- ・悪質な業者の排除システムを構築する必要があります。と同時に、現行の診断士派遣制度は事業者にとってメリットが少なく、耐震化工事に進む上で必ずしも効果的でない面があります。この制度についても見直しを行い、改善する必要があります。

③地域ぐるみの取り組み

- ・上述の様々な課題を解決していく上では、行政と事業者の責務が大きいです。その上で末端の住民・利用者が被害軽減の行動をとるようするには、地域コミュニティの活動が不可欠です。
- ・自主防災組織や福祉関係のNPOなどが、地震や津波の被害軽減のための地域施策について、日常的に学習・討論を重ね、行政との連携を促進することが重要です。

今後の課題は、以下の2点です。第1は、耐震改修効果の判定システムなど、技術システムの探求を含めて、商品としてわかりやすく完成度の高い耐震改修プログラムの構築が必要です。第2は地域ぐるみの取り組みを促進するためのより精度が高く、住民にわかりやすいシュミレーションシステムと、地域連携システムの開発です。

1. 簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発

本課題では、地震被災度の高い既存木造建物の耐震安全性を高めるため、簡便で高精度な耐震診断技術の開発、耐震補強指針の開発、行政ならびに市民が容易に理解でき普及可能性の高い耐震補強技術の開発、耐震補強後の建物についての耐震補強診断技術の高度化を行いました。各々の成果は下記の通りです。

1.1 耐震診断・補強方法の検討及び開発

(1) 研究の概要

研究内容は、各種の耐震補強構法の性能評価、耐震補強の実態把握、既存木造住宅の耐震性能調査、補強後診断を含む耐震診断法の提案、提案された耐震診断法の精度検証から成ります。

耐震補強構法の性能評価については、典型的な補強方法4種類に対する構造実験及び制震装置を用いた壁の振動実験等を行い、性能評価を行うとともに標準的な試験法など性能評価法の提案を行いました。

また、耐震補強の実態把握としては、耐震補強を行った建物18棟について、耐震補強構法別の工期、コスト、耐震補強前後の振動特性などを比較しました。

一方、既存木造住宅の耐震性能調査としては、取り壊し予定の築40年程度を経過した市営の木造住宅10棟に対して、常時微動実験、起振機による振動実験を全棟実施し、引き倒し実験をそのうちの3棟について実施しました。

これらに基づき、補強後診断を含む耐震診断法の提案を行い、特に柱頭柱脚等の接合部破壊が耐震性能に及ぼす影響について技術的検討を行いました。

これらの成果に基づく耐震診断法及び補強方法の具体例を、平成17年度のE-ディフェンスで行う既存木造住宅試験体及び補強試験体に適用し適用性の検証を行いました。平成18年度には、再度E-ディフェンスの既存木造住宅再現試験体及び補強試験体に適用し、適用性の検証を行うとともに、住宅の特性や住宅の所有者の特性に応じて適切な選択が可能となるような、耐震診断、補強方法のメニュー化を行いました。

(2) 研究成果

1) 補強構法の性能評価法の開発

木造住宅の耐震補強構法には、近年様々な種類の提案がありますが、特に制震装置とラーメン構造については、当時の耐震診断法では想定していなかったこともあり、評価法試験法の提案を行いました。

制震装置つき壁の評価法については等価耐力の考え方を用いました。地震時の振動の減衰による加速度の低減係数 Fh は、建物の減衰定数を h として以下の式で示されます。

$$Fh = \frac{1.5}{1+10h} \quad [1]$$

建物の受ける地震力は(建物の質量)×(加速度)で表現でき、 Fh は地震力の減衰による低減率ともいえる。つまり、地震力が同じであれば、 h の減衰を有する建物は見かけ上、耐力が $(1/Fh)$ 倍に増加したと考えたものが等価耐力である。

ラーメン構造の問題点は面材系の壁と復元力特性が異なること、既存木造住宅との接合方法と基礎等への固定方法、鉛直荷重支持能力などと考えられます。しかし、ラーメンを構成する軸組が鉛直荷重を負担しないことを条件に、基本的には面材等を用いた耐力壁の試験法評価法を踏襲する方向で整理しました。なお、鉛直荷重を負担しないとは、ラーメンを構成している部材や接合部の崩壊によって、連鎖的に建物の崩壊に至らないことを担保しています。

以上の評価法、試験法を実験的に確認しました。まず性能評価を目的に構面等の加力試験を行い、ついで、評価された値に基づいて試験体を設計し、振動台実験によって安全性を確認しました。図1は任意の層間変形角を目標に任意の周波数で繰り返し加力試験を行って、耐力壁の等価粘性減衰定数 h を求めたものです。ダンパー系では15%を超え、オイルダンパーでは20%以上となります。仮に20%であれば $Fh=0.5$ であり、見かけの耐力は2倍に上昇するとみなされます。図2は振動台実験の結果を示したもので、大地震時の応答低減効果が顕著に見られます。

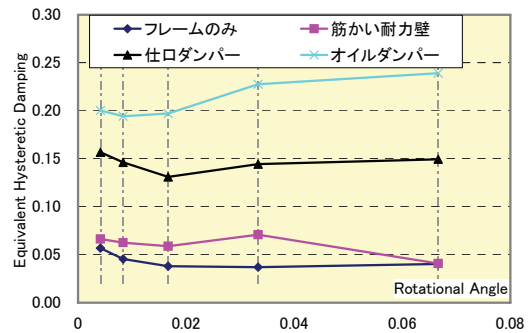


図1 実験結果1－等価粘性減衰定数

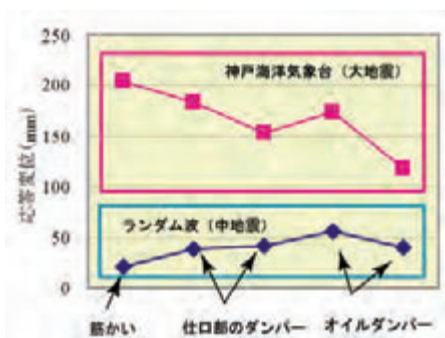


図2 実験結果2-最大応答変位

2) 耐震補強の実態把握

耐震補強の実態把握として、耐震補強を行った建物18棟の実態調査を行い、耐震補強構法別の工期、コスト、耐震補強前後の振動特性などを比較しました。図3に補強構法別の耐震補強前後固有振動数の変化を示します。これによると壁を新設したものは耐震補強の効果が固有振動数測定に反映されやすいが、既存壁を補強した場合、開口部を開口付耐震壁とした場合、外付け柱、開口補強など外付けタイプの補強は耐震補強の効果が固有振動数測定に反映されにくいことがわかりました。

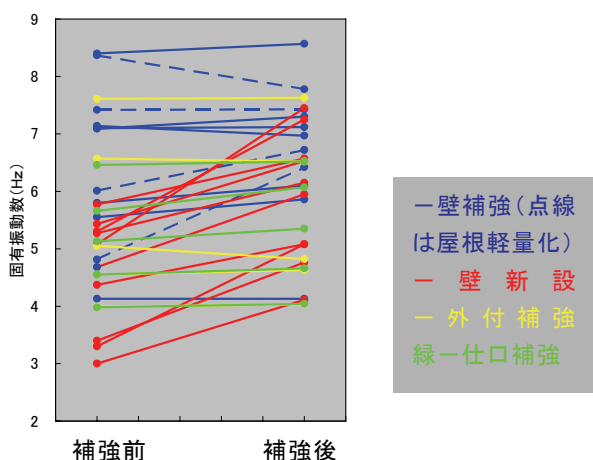


図3 補強構法別固有振動数の変化(耐震補強前後)

3) 既存木造住宅の耐震性能調査

既存木造住宅の耐震性能調査として、取り壊し予定の築40年程度を経過した市営の木造住宅10棟に対して、常時微動測定及び起振機による振動実験を全棟実施し、引き倒し実験をそのうちの3棟について実施しました。別途行われた他の2棟の水平加力実験の例も含めて、図4に荷重変形関係を示します。これによると、土壁と筋かいを併用した建物では、最大耐力がせん断力係数で0.6程度有り、また、実際に倒壊に至るのは3分の1を超える非常に大きな変形角に達してからであることがわかります。

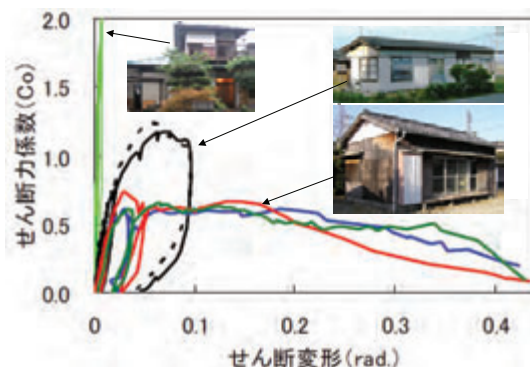


図4 既存住宅の引き倒し実験による荷重変形関係

4) 耐震診断法の提案

耐震診断法の精緻化を目的として、柱頭柱脚の接合部による耐力低減について解析的検討を行い、低減係数の提案を行いました。

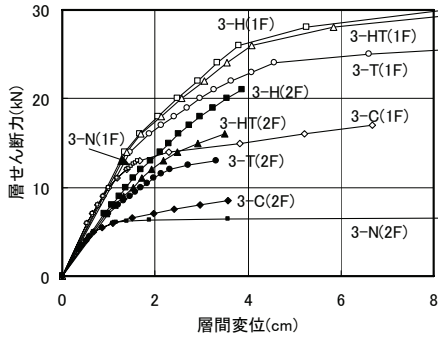
地震力に対する終局状態で、耐力壁の剪断破壊が生じる以前に周辺の接合部が先行破壊した場合、耐力壁の耐力が十分に発揮されずに層のせん断耐力が低下します。新築の住宅においては接合部を十分な耐力を有するよう設計すればよいが、既存住宅では接合部が十分な耐力を有するとは限らず、逆に不十分な接合仕様である場合にどれだけ建物の耐力が低下するかという評価方法が必要です。

このため、耐力壁耐力と接合部の仕様、通し柱の有無等をパラメータとしたいくつかの仕様に対する数値計算結果に基づいて耐力低下をあらかじめ算出し、耐力低減係数・剛性低減係数として導入することを提案しました。図5に長さ6.37mの2層構面について計算した結果の荷重変形関係の例、表1に低減係数の例を示します。これらの成果は、(財)日本建築防災協会発行の「木造住宅の耐震診断と補強方法」に反映され、広く一般に使われることとなりました。

5) 耐震診断法の精度検証

耐震診断法及び補強方法の具体例を、平成17年度にE-ディフェンスで震動実験を行った既存木造住宅試験体及び補強試験体に適用し適用性の検証を行いました。図6に震動実験結果の荷重変形関係と耐震診断での荷重変形関係を比較する形で示します。耐震診断の結果は、実験結果に比べてやや低い耐力を推定していることとなりますが、安全側の評価であり、診断としては概ね妥当であると判断できます。

平成18年度には、再度E-ディフェンスの既存木造住宅再現試験体及び補強試験体に適用し、適用性の検証を行うとともに、住宅の特性や住宅の所有者の特性に応じて適切な選択が可能となるような、耐震診断、補強方法のメニュー化を行いました。



壁倍率3.5、腰壁垂れ壁なしの場合
 H: 全ての箇所に引き寄せ金物使用、
 HT: 構面両端に引き寄せ金物、他はかど金物使用
 T: 全ての箇所にかど金物使用
 C: 金物なし(構面両端通し柱の場合)
 N: 金物なし(構面両端管柱の場合)

図5 接合部が不十分な場合の構面の荷重変形関係 (計算結果)

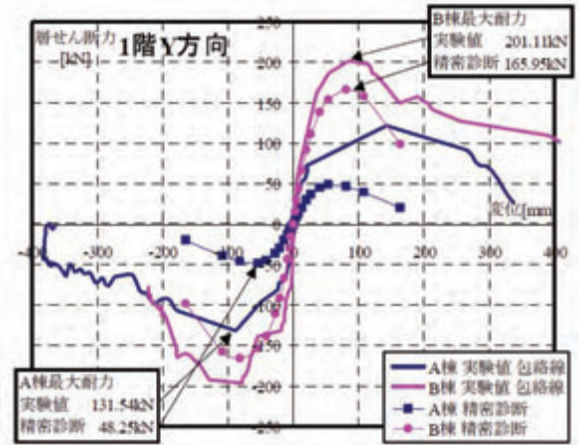


図6 震動実験と耐震診断による荷重変形関係の比較

表1 接合部仕様による耐力の低減係数(2階建ての1階、3階建ての1階及び3階建ての2階の場合)

壁のせん断耐力 (kN/m)	基礎の仕様	2.5 未満			2.5 以上 4.0 未満			4.0 以上 6.0 未満			6.0 以上		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
平 12 建告 1460 号に適合する仕様	接合部の仕様	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	1.0	0.85	0.7	1.0	0.8	0.6
羽子板ボルト、山形プレート VP、かど金物 CP-T、CP-L、込み栓	接合部の仕様	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.7	0.6
ほぞ差し、釘打ち、かすがい (構面の両端が通し柱の場合)	接合部の仕様	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
ほぞ差し、釘打ち、かすがい	接合部の仕様	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6

この表において、基礎の仕様 I～IIIは以下の通り。

- I 健全な鉄筋コンクリートの布基礎又はべた基礎
 - II ひび割れのある鉄筋コンクリートの布基礎又はべた基礎、無筋コンクリートの布基礎、柱脚に足固めを設けた玉石基礎
 - III その他の基礎
- ただし、2階建ての2階、3階建ての3階に対しては I の欄の数値を用いる。

1.2 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発

(1) 研究の概要

現状における木造住家の耐震診断は、専門家が基礎の強度や床の傾き・壁の筋交いの有無や屋根裏・床下まで建物を直接計測することで診断を行うため、診断に長時間を要し被診断世帯に大きな負担となります。本研究は建物の微動に着目し診断の簡便化を図りました。計測は地震計により行い、振動解析により建物の揺れの特徴を抽出することで耐震診断に繋がります。さらに、より計測が簡便なレーザードップラー振動計による屋外計測の方法も試みました。同方法による最大のメリットは屋外計測が可能なことであり、被診断世帯のプライバシーに触れることなく診断が可能のため、耐震診断の普及に弾みがつくことが期待されます。

さらに、耐震診断で算出された数値情報は、一般に素人には分かり難くリスク・コミュニケーションの立場から診断情報が十分に活用されているとは言い難い状況です。本研究では、

情報を居住者や住宅所有者に分かり易く提供することに加え、耐震診断を一時的な診断に留めるのではなく、耐震補強後も、また地震を経験した後も継続的に建物の構造的健全性を監視し、住宅の今の状況を正しく伝えるためのコミュニケーション・ツールに診断システムの機能を高める試みを行いました。

(2) 研究成果

1) 研究の目的

本研究の目的の一つは数分間の現位置計測で耐震診断を完了する技術開発を行うことであり、二つめは診断結果を分かり易い防災情報に変換しリスク・コミュニケーションのための支援技術開発を行うことです。これをもって診断の普及に弾みをつけると共に、建物の構造的健全性の一時的診断から居住者の生命安全性の継続的監視システムへの展開を目指します。

2) 簡易耐震診断技術の開発

①研究の方法

耐震性に関して様々な強さの住宅の振動記録を入手する必要があるため、現存する住宅(愛知県の住宅 57 棟、北海道の住宅 20 棟)を対象に実際に微動計測を行いました(図 7)。同時に、現状の目視計測による耐震診断も行い、結果比較を行いました。また、耐震性の極めて低い住宅の記録を入手する目的で、解体撤去予定の住宅 3 棟について、構造壁を順次取り去りながら振動計測を行いました(図 8)。さらに、実大の住宅モデルを試験体とし振動台を用いて大加速度を与えたときの損傷度と耐震診断値との結果比較のためのデータを入手しました(図 9)。



図7 愛知県の住宅と北海道の住宅の計測風景



図 7 解体住宅計測

図 9 振動台実験

②結果

建物の微動を振動解析することで、建物の揺れやすい周期(固有周期 T_0)と揺れの複雑性(濾波カオス度 C_f 、固有周期廻りカオス度 C_a)を計算し、それらを使って耐震診断値 y を求めるための変換式を以下に導出しました。

$$y = -3.49T_0 - 0.0529C_f = 0.669C_a + 4.00$$

この変換式を使うことで、建物の常時における微動を測定することだけで耐震診断値を求めることができます。

微動計測に基づく診断結果と現状の耐震診断法との比較を示します(図 10)。微動記録から算出される建物固有周期と数種類のカオス度は上記の変換式により耐震診断値に変換されますが、住人はそのような面倒な計算プログラムを意識する必要はなく、診断結果のみ提供を受けます。

本研究提案の診断法と現状の精密耐震診断との診断所要時間の比較を図 11 に示します。現状の診断法と比較し、地震計による方法は 1/3~1/10 に、ドップラー振動計による屋外診断法では 1/10~1/30 にまで診断所要時間の短縮が認められました。

3) リスク・コミュニケーション方策

①研究の方法

診断された耐震診断値の意味を住人に正しく分かり易く伝えるリスク・コミュニケーションのツールとしての機能向上を図るために、阪神淡路大震災の建物被害データ・死者データお

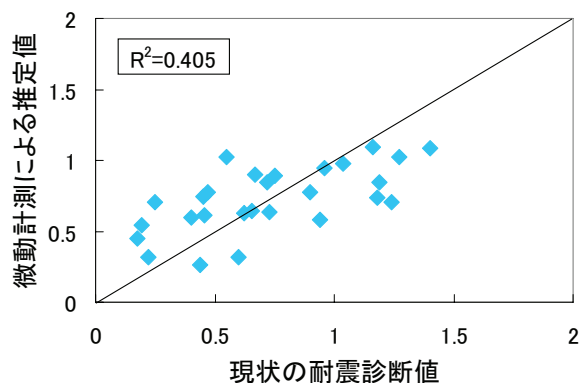


図 10 微動計測による推定値と現状の精密耐震診断値との関係

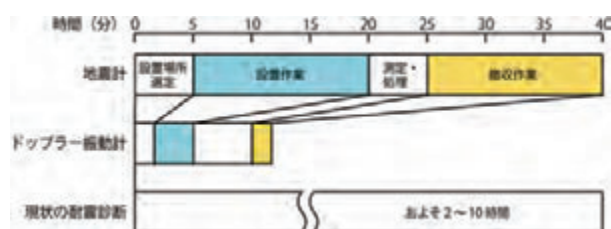


図 11 作業工程時間の比較

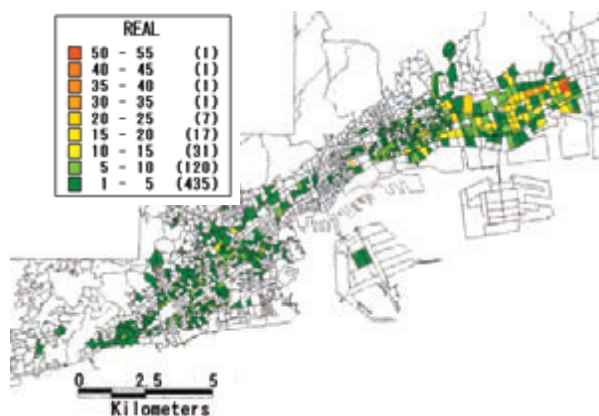


図 12 解析対象とした神戸市町丁目別死者数分布

よび耐震診断値データ等々を基に統計解析を行い、耐震診断値と被害との関係を直接繋ぐ関数群を構成しました。図 12 はそのために準備した建物被害と死者とのデータ分布です。兵庫県南部地震を対象に、被害建物数 13,129 棟、死者数 507 名を基礎データとして解析を行いました。

②結果

耐震診断値と地震の揺れ情報(ハザード情報)から建物の壊れ方(損傷度)を求める建物損傷度関数と、建物の壊れ方からその住宅における棟死亡率を求める人体損傷度関数の二つの変換式を導出しました(図 13)。これらの関数は複雑な数式で構成されているが、そこから導き出される診断結果は、素人にも分かりやすい明快な形(わが家が、診断された現状の耐震診断値ならば、想定される地震動を受けたときのわが家の破壊パターン図及びわが家の死亡率)で情報提供されます。これにより、地震時の自宅の被害が具体的にイメージされ、

改修・補修へのインセンティブを与えると共に、改修・補修効果も予測できます。

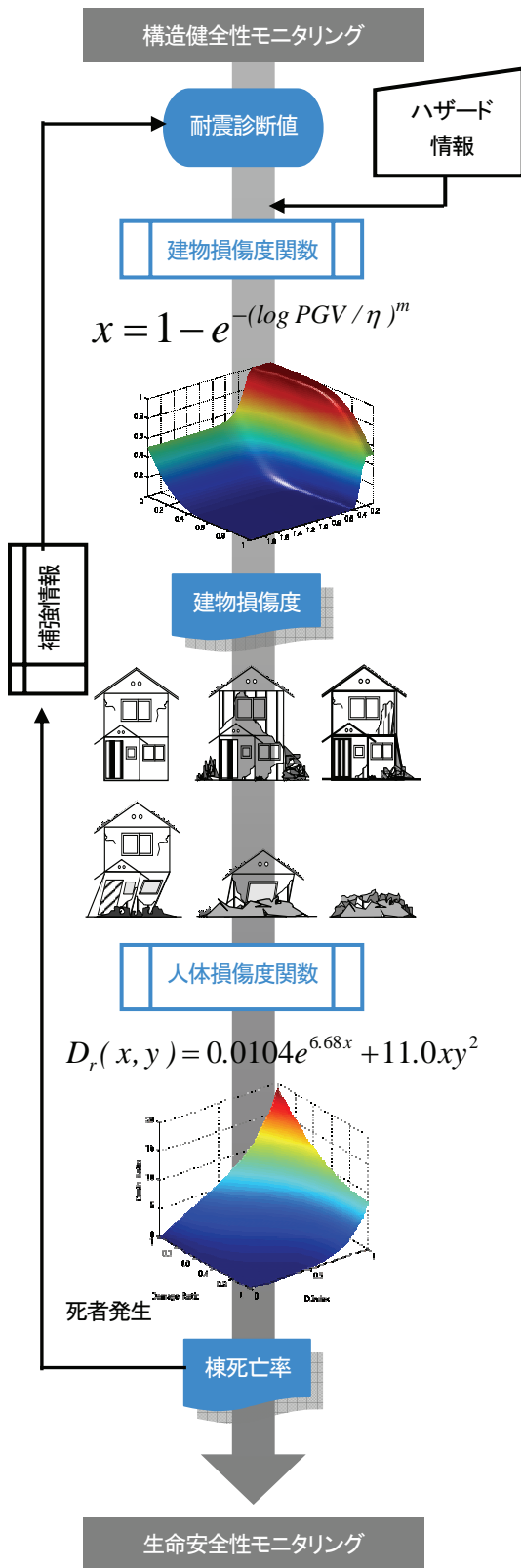


図 13 構造安全診断から生命安全性モニタリングへ

1.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発

(1) 研究の概要

SVM は、サポートベクトルマシン (Support Vector Machine) のことであり、パターン認識手法の一種です。センサによって得られる情報のパターンが耐震性能と関係が深ければ、そのパターンから耐震性能を定量的に診断できる可能性があります。こうしたことが可能であるとした場合、その診断手法の性能は、いかに耐震性能と関わりのある情報を取得するかによって依存します。本研究では、建物に加速度センサを設置して、常時微動などによる振動情報を記録し、建物の固有振動数や減衰定数をシステム同定手法によって求めて、SVM を適用し、その変化のパターンのみから、損傷の場所とその程度を推定することが可能であることを示しました。

また、複雑性の指標であるカオスが建物の強度と相関が高い、との研究に基づき、カオス度の利用についても検討しました。カオス度については、入力の特徴によってその値が大きく変わるものの、いったんシステム同定手法を介させて、振動を自由振動に変換してから算出すれば、安定的にカオス度の算出が可能であることが示されました。

また、建物の振動計測を簡便に行うために、ワイヤレスセンサを試作して、そのセンサシステムを利用した実大建物の振動実験も行って、その有効性を確認しました。

(2) 研究成果

1) SVM を用いた耐震診断

各層ごとに同じ質量、同じ剛性のばねからなる5質点のせん断モデルを想定し、各層ごとにそのばねの剛性が 10%、30%、50%の剛性低下を想定し、固有振動数を求めました。その固有振動数の健全時との変化率ベクトルを算出し、その結果を図 14 に示します。この図から、各層の損傷の位置と程度と固有振動数の変化率ベクトルには特有のパターンがあることがわかりました。

それぞれの層に損傷が合った場合のみ、その程度を出力するサポートベクトルマシンを構築することで、損傷の程度を計測することが可能です。固有振動数を求めるには、自由振動実験が可能であれば、最上部に1つあれば十分である。常時観測が可能な場合には、中小地震の観測データを使うのが現実的と考えられます。

図 14 を特徴ベクトルとして、サポートベクトルマシンを構築したのち、テスト用のパターンを入力した。その結果を図 15 に示します。サポートベクトルマシンの出力は損傷程度と完全な線形ではないため、補償のためのフィルターを活用して精度を向上したものです。

層損傷ごとに構築したサポートベクトルマシンからの出力を正しい損傷レベルと重ねて図 15 に示していますが、損傷位置の推定はすべて正しく出力され、かつその損傷程度も実際の損傷にきわめて近いものであることがわかります。

ここに示したのは各層で単独の損傷があるケースを取り扱っていますが、複数の層で損傷がある場合でも、少し工夫をす

ることによって適用可能であることを確認しました。このように、固有振動数の変化率というごく単純な指標に、損傷の位置と高い相関を持つ情報が含まれており、SVM の活用によって、耐震診断に十分利用できることが判明しました。

2) カオス度の利用可能性について

生物の細胞では、癌細胞などが正常細胞に混じることによって、全体としての細胞の周期的な動きに乱れが生じ、動きが複雑になることが知られています。建築構造物の場合も、損

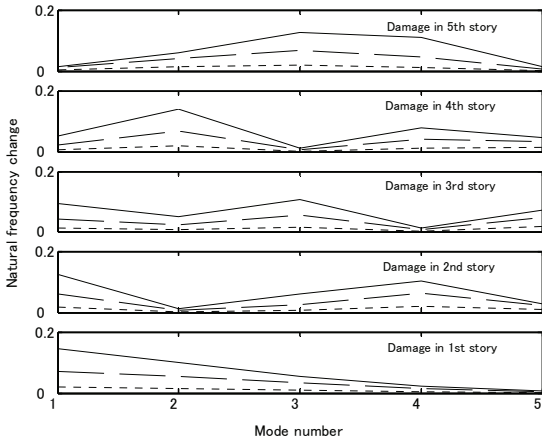


図 14 層の損傷と固有振動数の変化率の関係

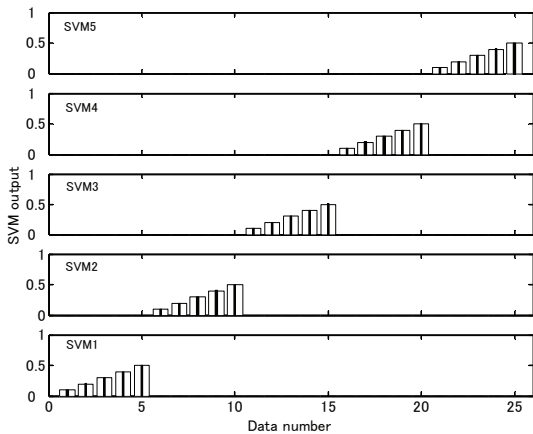


図 15 SVM からの出力結果

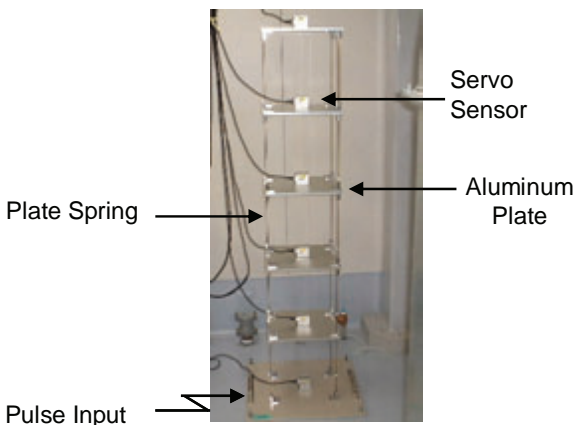


図 16 検証のための実験模型

傷や劣化があると、建物の振動がその非線形な特性によって複雑なものとなります。カオス度は、そうした振動の複雑性を測る代表的な指標です。実際、これまでの研究で耐震性能との相関が高い場合があることが報告されています。固有振動数や減衰定数に加えて、こうした複雑性の指標を付加的に活用するために、カオス度の特徴について検討しました。

2質点のシミュレーション用の建物モデルを作成し、減衰の有無をパラメータとしてインパルス応答およびホワイトノイズが入力した場合の応答を算出しました。それぞれの応答波形から算出したカオス度を表 2 に示す。この表から、減衰によって、カオス度が変化すること、インパルス応答よりもホワイトノイズが入力したときの応答のカオス度の方が高いことがわかります。したがって、カオス度は、入力によって大きく変動するので、その算出には注意が必要であることがわかりました。

そこで、入力の影響を除去するため、まずシステム同定手法の一種であるたとえば ARMA によって、建物を推定し、そのインパルス応答を求めました。そうすることですべての応答をインパルス応答に変換して入力の影響を除去することを考えました。図 17 に実大建物の自由振動試験での応答波形から求めたカオス度と、常時微動波形を使って ARMA モデルを使って求めたインパルス応答結果とそれぞれのカオス度を示す。入力の影響の除去がうまく実現できたことがわかる。

本手法は、応答の影響の除去をするために、線形のモデルである ARMA を用いているが、非線形の応答が顕著である場合には、そのまま適用することは困難である。その場合には、非線形のモデル化が可能な、たとえばニューラルネットワークを用いるなどのさらなる工夫が必要となる。

表 2 応答波形から算出したカオス度

	インパルス入力	ホワイトノイズ入力
減衰なし	2.97	13.95
減衰あり	2	15

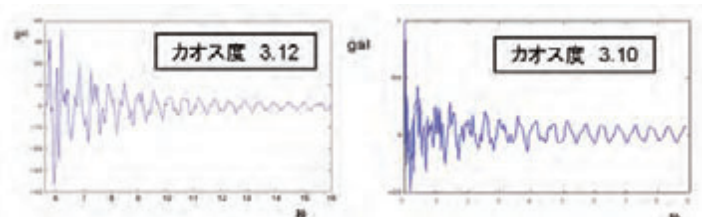


図 17 自由振動(左)と ARMA モデル(右)のカオス度

3) ワイヤレスセンサ

本研究では、簡易な耐震診断を行うために、加速度センサを建物に設置することを前提としています。しかし、通常のセンサでは、収録装置までケーブルが必要となり、特に住宅の屋内で計測するには取り扱いがめんどろで手間がかかることがわかりました。そこで、無線LANを利用した簡易なワイヤレスセンサを試作して、その実現可能性を確認した。プロトタイプとして構築したシステムを図 18 に示します。

このプロトタイプを元に、ワイヤレスセンサシステムを製作して、実大実験での実測に用いました。対象とした建物を図 19

に示します。同期性能はあまりよくないもの、固有振動数程度の情報獲得には威力を発揮します。



図 18 超小型センサシステム



図 19 実験対象建物

1.4 結論と今後の課題

「1.1 耐震診断・補強方法の検討及び開発」においては、①各種の耐震補強構法の性能評価、②耐震補強の実態把握、③既存木造住宅の耐震性能調査、④補強後診断を含む耐震診断法の提案、⑤提案された耐震診断法の精度検証という一連の研究を行い、耐震診断法の高度化を図るとともにEーディフェンスでの震動実験と関連して提案する耐震診断・補強方法の適用性の検証と精度検証を行いました。

耐震診断の有効活用や現実の耐震補強の促進には、これらの技術的な検討の他に、各種の制度的な検討が必要であることは言うまでもありませんが、制度的に耐震補強を推進するに際しても、対象となる住宅の補強前、補強後の耐震性能について、より正確な評価が求められることも確かであり、本研究がその一助となることを期待します。

また、実際の補強に当たっては、住宅の特性や住宅の所有者の特性に応じて適切な補強方法を選択するための支援が必要であると考えられます。今後の課題としてその支援方策の充実を図る考えです。

「1.2 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技」により達成された成果は以下のとおりです。住宅の耐震診断法に微動を用いることで、現状の診断法に比較し診断所要時間の短縮が可能となり診断が簡便化されたこと、この方法を応用することにより一時的診断が継続性を持つ監視(モニタリング)システムとしての道が開けたこと、加えて建物の構造健全性を診断するのみならず居住者の地震時における死亡確率を監視する生命安全性モニタリングシステムとしての機能も付加されたこと。以上により、診断値が居住者および所有者へのリスク・コミュニケーションとして十分に機能する情報

価値を持つに至ったことが、成果としてあげられます。

今後の課題は、モニタリングシステムを具体化し、世帯単独で行う現状のポイント・モニタリングから地域全体で情報を共有するエリア・モニタリングに展開し、地域の全体の防災力向上を図っていくことです。

常時微動や中小地震に対する建物の振動応答を簡易なワイヤレスセンサで計測することで、耐震性能と相関性の高い固有振動数、減衰定数、複雑性指標等を適切な信号処理によって求めることが可能です。「1.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発」においては、こうした指標を特徴ベクトルとして利用して、パターン認識手法のひとつであるサポートベクトルマシンを用いることによって、精度の高い診断が可能であることが示されました。そうした指標を総合して用いることで、信頼性は高まるが、どのレベルまで適用可能かについては、今後検証する必要があります。

2. 室内の安全性向上の実現に関する研究

家具や什器の転倒防止対策の普及状況を調査し、特別な技術がなくても簡単に家具を固定できるシステムを提案し、振動台による固定効果の検証実験を行いました。また、「地震時のあなたの部屋の家具の挙動」を提供することにより、自分の最も身近な環境における地震被害と適切な防災対策の効果に対するイメージング能力を向上させるシミュレーターの開発を行いました。地震時に直面する環境を疑似体験するとともに、転倒防止器具などの対策の効果をわかりやすく伝え、これらに対する認知を高め、市民の被害軽減行動を促進することを目指しています。

地震時において室内が家具転倒等により乱雑化することが原因の人的被害を軽減するための手法として、地震で揺れている最中及び避難時における安全空間／危険空間を居住者に事前に認知させ、安全空間確保のための室内診断そして改善のための室内利用計画支援のソフトウェアを開発しました。室内危険度は揺れの強さ・家具配置・居住者の災害対応行動能力・ライフスタイル等々の総合として測られるべきものです。本研究はそれらの総合性に斟酌した実用性の高いソフトウェアとして完成させました。

2.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

(1) 研究の概要

地震時の家具の動的挙動シミュレーターでは、3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)に基づいて、地震が起こった際の室内の家具の転倒状況をシミュレーションします。WEB環境やバーチャルリアリティ(VR)環境を利用することにより、専門知識を持たない方でも様々な条件での家具の挙動が比較でき、建物に応じた家具の適切なレイアウト法や効果的な転倒防止器具の設置方法を理解することができます。市販されている様々な転倒防止器具については、ミニチュアブロックと実大家具の双方による振動台実験を行い、強度の検証とシミュレーションへの反映を行いました。

市民にとっては、一つ一つの家具の挙動のみならず、家全体や室内全体で空間の安全性を理解することも重要です。そこで、地震時の木造建物の動的挙動シミュレーターもあわせて開発し、家屋全体の挙動を理解できるシステムを構築しました。また、過去の多数の地震動記録を用いてフロアの計測震度と家具の転倒率との関係を導き出し、転倒防止器具の有無に応じて室内全体の安全性を評価するシステムも開発しました。室内全体での家具の挙動もVRを使ってリアルに再現しており、利用者は地震時の室内の様子を容易にイメージすることができます。これら一連の研究の流れを図1に示します。

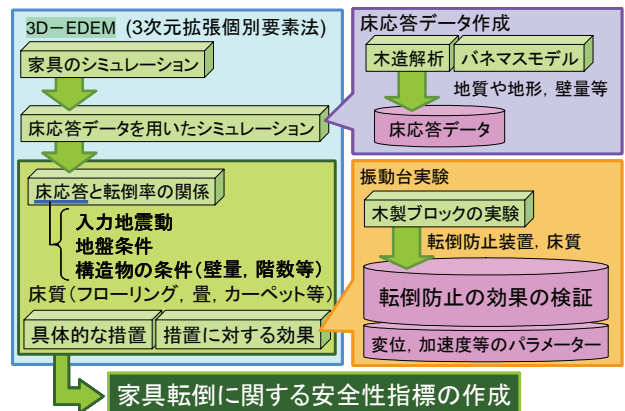


図1 研究の流れ

(2) 研究成果

1) 3次元拡張個別要素法を用いた地震時の家具の動的挙動シミュレーション手法の開発

家具の動的挙動を解析するため、3次元拡張個別要素法を用いたシミュレーション手法を開発しました。3次元拡張個別要素法は、対象の構成単位を直方剛体ブロックでモデル化することにより単体構造物や組積像構造物の挙動を三次元空間上で追跡することが可能な動的破壊解析法です。本手法では、対象の構成単位を直方剛体ブロックでモデル化し、各要素について運動方程式をたてて各要素の運動を追跡していきます。連続体から非連続体に至る挙動を統一的に解析することが可能であり、大規模な構造物の解析も低自由度のモデル化で行うことができます。家具(要素)の間には引張力に抵抗できるばね、間隙ばねを設定することによって対象物の連続性を表現します。クローゼットの挙動をシミュレーションした結果を図2に示します。

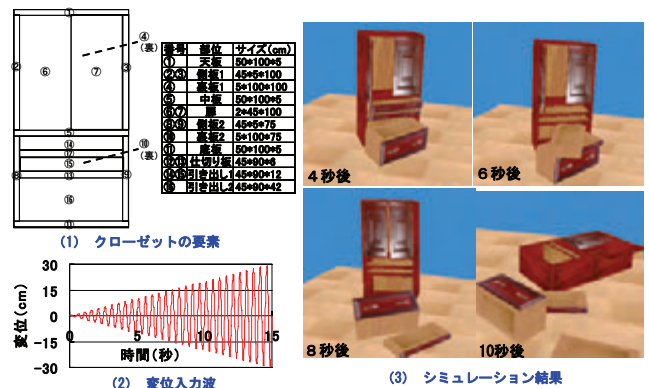


図2 クローゼットの挙動のシミュレーション

2) シミュレーションとVR・WEB技術の融合

家具の動的挙動シミュレーション結果をVR技術を使って表現することにより、市民がリアルに挙動をイメージできる環境が整いました。また、WEB環境を使って、自分の部屋の間取りや家具のレイアウトを入力した上で家具の挙動をシミュレーションできるシステムも構築しました。家具の動的挙動シミュレーターWEBシステムでは、自分の部屋の間取りや家具のレイアウトや転倒防止器具の有無、床の状況を入力した上で家具の挙動をシミュレーションできる。自分の部屋の状況を再現することにより、よりリアルな災害状況のイメージを促します。条件を変えた場合を比較することにより室内の問題点や転倒防止対策の効果を理解することもできます。

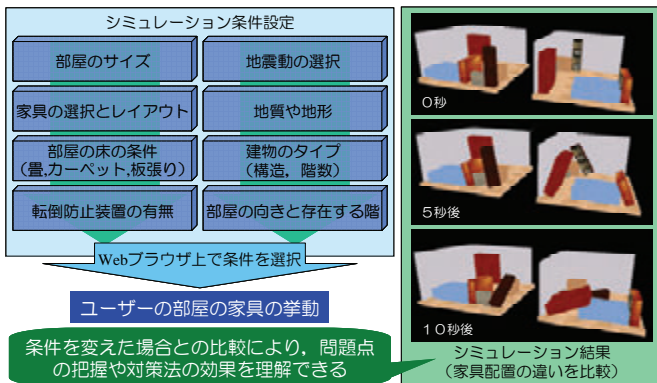


図3 WEBシステム上での家具情報の入力

3) 振動台実験による転倒防止器具の効果の検証

転倒防止器具(チェーン式, L字金具式, ストッパー式, マット式, ポール式, ハニカムボード)の強度を把握するため、ミニチュアブロックおよび実大家具を用いた振動台実験を行いました。図4は実大家具を用いた実験の様子です。これらの転倒防止器具がどの程度の地震動まで効果を発揮するのか、またそれらの地震時の挙動と破壊メカニズムを分析しました。



図4 実大家具での振動台実験の様子

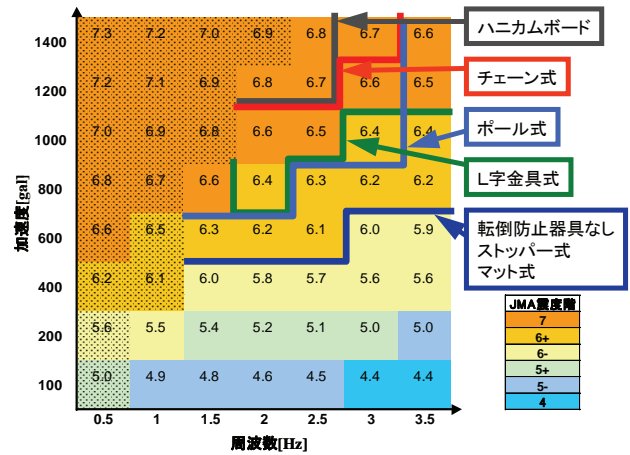
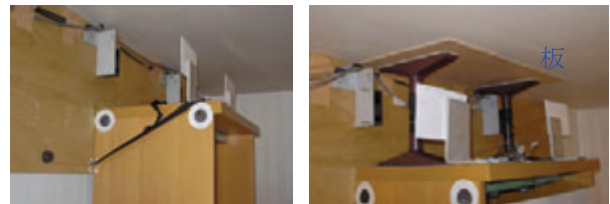


図5 床面:フローリング, 供試体:1段における転倒レベル



ベルト式(30°下取り付け) ポール式+板

各加振, 設置状況による家具と転倒防止器具の挙動

器具なし	フローリング 畳	兵庫県南部地震			新潟県中越地震
		5強	6弱	6強	7
30°上	○	○	○	○	-
30°下	○	○	○	○	●
60°上	-	-	-	○	-
ポール式	板なし	○	○	○	●
	板あり	-	-	-	○

図6 転倒防止器具のより効果的な方法

図5は、ミニチュアブロックを用いた振動台実験の際に、入力地震動の特性に応じた転倒結果です。実線より上側が、転倒してしまう地震動の範囲を示しています。ハニカムボードを家具の上部の隙間につめる方法やチェーン式の転倒防止装置の効果が高いことがわかりました。ベルト式は一般的には斜め上30°方向に設置するが、斜め下30°方向に取り付けることで、家具を下方に押さえることができ、効果が高まります(図6)。ポール式では、家具上面の両端に設置したポールが落下して転倒に至りますが、ポールの上部に合板材を取り付け両面テープで固定することにより、新潟県中越地震の地震動を入力した場合にも家具の転倒を抑えることができました。

4) 3次元拡張個別要素法を用いた地震時の家屋の動的挙動シミュレーション手法の開発

室内だけでなく家屋全体での安全性の理解を目指して、3次元拡張個別要素法を用いた地震時の木造家屋の動的シミュレーション手法を開発しました。図7は、3次元拡張個別要素法を用いて耐震補強前後での地震時の木造軸組建物の挙

動をシミュレーションした結果です。新たに間隙バネに接合部・耐力壁のバネモデルを付与し、在来木造軸組住宅の耐力壁の静的水平加力実験結果との挙動の比較・キャリブレーションも行っています。耐震補強前では地震動により建物が倒壊してしまっていますが、補強により倒壊を回避できることがわかります。

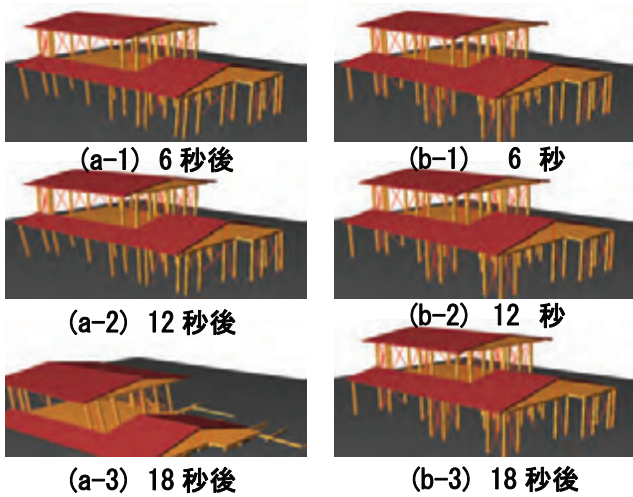


図7 耐震補強前(a)と後(b)での地震時の家屋の動的挙動の違い

5) 地震時の家具の動的挙動を考慮した生活空間の安全性評価

過去の多数の地震動記録を用いてフロアの計測震度と家具の転倒率との関係を導き出し、転倒防止器具の有無に応じて室内全体の安全性を評価するシステムを開発しました。この際、転倒防止器具の有無に応じた家具の転倒率は振動台実験での結果を用いています。室内全体での評価結果は、家具の転倒率で評価するだけでなく、VRを使ってシミュレーション画像としても表現します。図8は室内全体の動的挙動を表現した結果です。マンションでの剛性が方向によって異なる場合は、同じ間取りの部屋でも揺れ方に大きな差が生じます。本シミュレーターではこのような違いも確認することができます。

図9はVR体験の様子です。写真のようなヘッドマウントディスプレイを装着して自分が進む方向を操作することにより、室内を自由に歩き回ることができます。図8左は全体の様子、右は部屋内にいる住人の視点からのVR映像です。図10は、過去の多数の地震動記録を用いて算出したフロアの計測震度と家具の転倒率との関係です。(a)転倒防止器具の無い場合は、計測震度 6+を超えると急激に転倒の危険性が高まりました。(b)では、全ての家具にベルト式転倒防止器具を設置しているものの、器具が破断してしまい効果が得られません。ハニカムボードとベルト式を併用した(c)では、高い計測震度の場合にも転倒率を大きく下げることができ、効果が高いことがわかります。

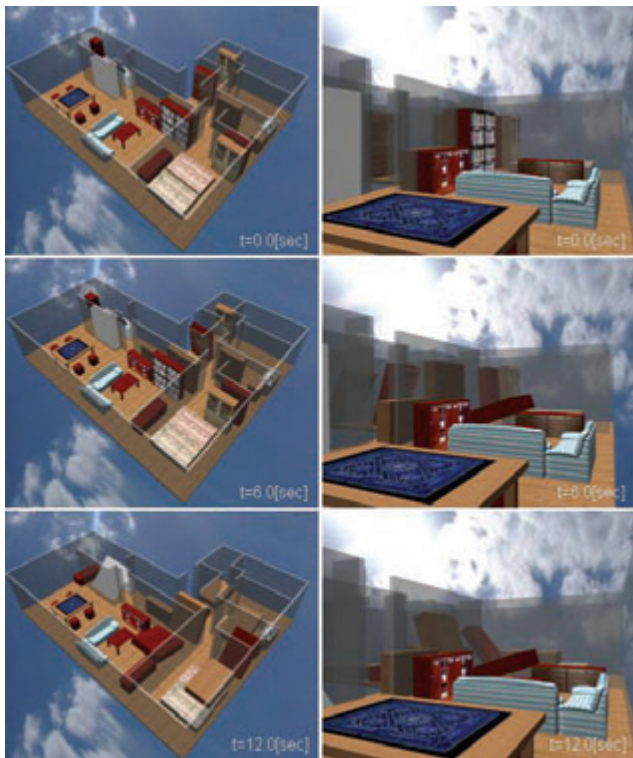


図8 マンション内での家具の挙動



図9 バーチャルリアリティ体験の様子

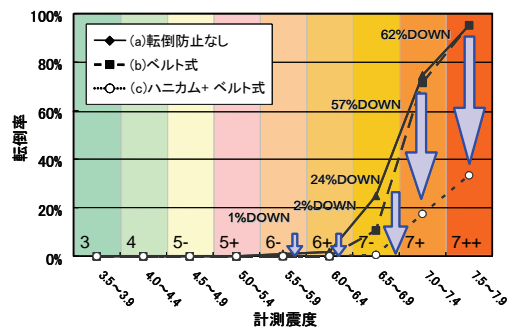


図10 計測震度と転倒率の関係

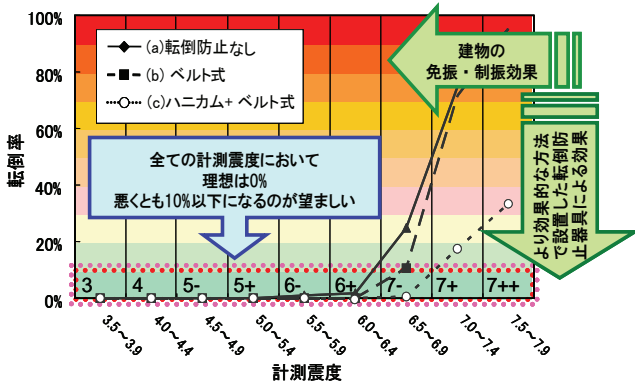


図 11 安全性考慮のための計測震度と転倒率の関係

生活空間内では、どのような計測震度の床入力においても、家具の転倒率はなるべく低く抑えることが望ましいと考えられます。建物に免震、又は制震装置がある場合には、(c)の措置によって、震度7+, 7++のような烈震においても家具の転倒率を0%に近づけることができます。また、免震、又は制震装置のない高層マンションの上部階では、ビルドインタイプの収納を基準とする規制なども検討すべきでしょう。

2.2 室内総合安全診断ソフトウェアの開発

(1) 研究の概要

地震時において室内が家具転倒等により乱雑化することが原因の人的被害を軽減するための手法として、地震で揺れている最中及び避難時における安全空間と危険空間を峻別し居住者に事前に認知させ、安全空間確保のための室内診断そして改善のための室内利用計画支援のソフトウェアを開発しました。ソフトウェアはその機能種別から高機能版と Web 簡易版室内危険度ソフトウェアの2種を開発しました。ホームページ上で無償公開した Web 簡易版は、ユーザの利便性や防災教育での活用性の向上を図るため、地震ハザードステーション J-SHIS や電子国土とも連携させ、地域で想定される地震の情報を容易に取得できるように工夫しました。更に、住家の簡易被害診断のソフトウェアもホームページ上で公開し、“防災お役立ちネット”として総合的な診断を行えるソフトウェアとして公開しています。また、負傷発生危険度低減対策として家具密度を押さえる必要性を支持し、その閾値を 0.3 個/㎡ (建物延べ床面積当たり 0.25 個/㎡、部屋床面積当たり 0.42 個/㎡) とする安全化規準を提案し、その理論的背景と閾値が意味するところを考察し、室内が散乱することによる負傷者発生を低減するための規準づくりの根拠を提示しました。

(2) 研究成果

1) 研究の方法

地震による室内散乱の状況と負傷者発生との関係は、被害実態の丹念な調査によりはじめて理解することができます。本研究グループはこれまで、1993 年釧路沖地震・1994 年北海道

東方沖地震・1995 年兵庫県南部地震・2000 年鳥取県西部地震・2003 年十勝沖地震・2004 年新潟県中越地震など、多くの地震で実態調査を進めてきました。調査は、実際に被災された世帯を訪ね、地震による室内状況の変化や居住者のその時の行動等を時系列で聞き取り、同時に室内の実測調査を行うものです。このようにして得られた数百世帯・数千人を基礎資料に、揺れの大きさと室内散乱の関数化・揺れの大きさと人間属性(年齢・性別等)との関係でみた居住者の避難行動能力の関数化を行い、それらの状況下における負傷発生をモデル化します(図 12)。以上の成果を総合し、世帯ごとの、そして居住者の属性別の負傷危険度を診断する「室内危険度診断ソフトウェア」を開発しました。これはパソコン上から診断する高機能版とインターネット Web で診断体験できる Web 簡易版があります。さらに、対策の方向性を示唆してくれる「負傷発生軽減支援のための危険確率診断コンピュータプログラム」として結実させました。

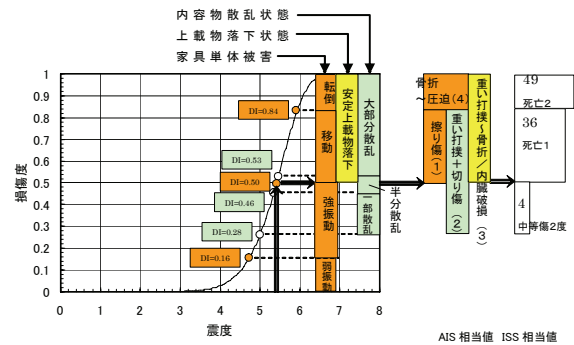


図 12 洋ダンス+内容物+不安定な上載物の人体損傷度関数

2) 高機能版室内危険度診断ソフトウェア

自宅の平面図をパソコン上で、簡単なマウス操作のみで作成することが可能です。住人の属性(年齢、性別、ライフスタイル等)を設定し、各室に家具をマウスドラッグで配置するのみの操作です。想定される揺れ(震度)を入力すれば、その揺れの大きさに応じて家具の散乱状況・負傷危険度(負傷内容・程度を示す ISS 値を色別表示)を任意設定の区画グリッドで、避難経路の危険性を避難所要時間で表示します(図 13)。これにより他者の介添えなしには避難できないような大怪我をする危険空間の位置を知ることができます。また、このシステムでは、家具の配置変更による危険度軽減の効果のみならず、地震の発生時間を変えることで昼夜の危険度の差を確認したり、住人の年齢設定を変えることにより、10 年後の危険度を知ることができるなどエイジングによる影響も調べることができます。

3) Web 簡易版室内危険度診断ソフトウェア

高機能版を基に、誰でもいつでも使用できるように、機能を制限し操作を極めてシンプルにした簡易版を、2005 年 9 月 1 日からホームページ上に無償公開しています(<http://www.hitachi-to.co.jp>)。2006 年 9 月 1 日からは、“防災お役立ちネット(図 14)”にバージョンアップし、地震ハザード

ドステーション J-SHIS や電子国土との連携機能も追加して、地域で想定される地震の概要も知ることが可能となり、更には、室内危険度診断だけではなく、住家の簡易被害診断(図 15 簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発 3 章「木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発」の成果)も行うことができるようになり、総合的な室内安全診断ソフトウェアとなっています(図 16)。

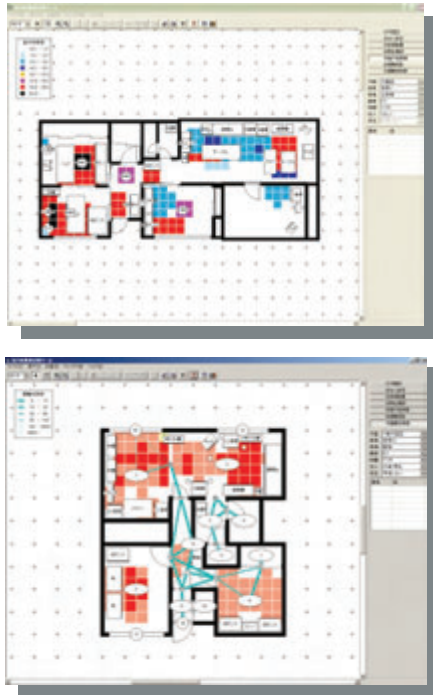


図 13 高機能版の診断画像例(上:負傷危険度表示、下:避難経路表示)



図 14 防災お役立ちネット

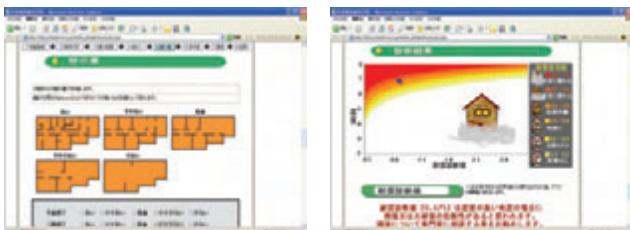


図 15 Web 版の住家簡易被害診断システム



図 16 Web 版の診断画像例

4) 危険確率診断コンピュータプログラム

具体的対策のための処方として、空間の持つ危険度(1人当たり負傷確率)に加え、各部屋の想定滞在者数に対する負傷者発生確率を、部屋別(床面別色表示)、そしてそれぞれの家具の寄与率(家具別色表示)として表現することにより、どの家具がどの程度危険なのかを数値で示すことが可能となりました。どの家具に対してどのような対策を行えばよいのか(廃棄すべきか、完全固定を行えばよいのか、別の場所に移動させればよいのか等々)など、対策の方向性を知ることができます(図 17)。

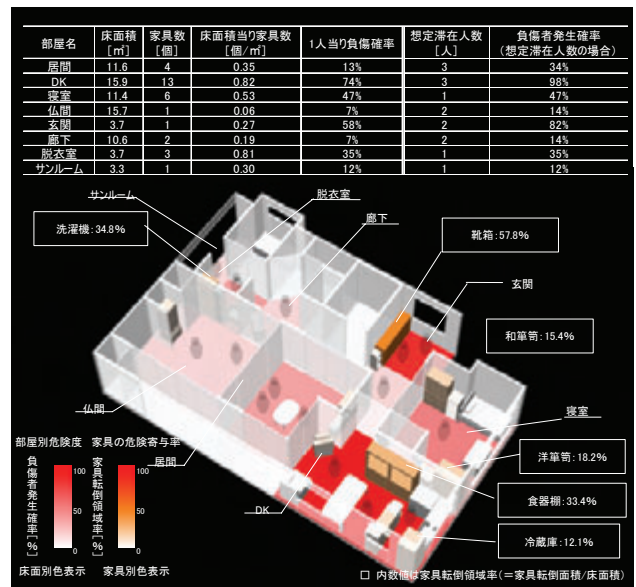


図 17 モデル住家の負傷発生確率算定例

5) 室内安全化規準

家具が転倒しその下敷きとなって負傷する状況は、家具を直方体でモデル化するとき、室内の床面積に対する家具が転倒して床面と接する面積は家具転倒領域率として定義され、居住者1人当たりの負傷確率(負傷ポテンシャル)に一致する。居住者が複数いる場合は、上記を負傷率とした二項分布で与えられます。家具転倒領域率の計算は煩雑なので、家具密度(床面積当たりの家具数)と家具転倒領域率の関係を調査事例で集計し、また平均世帯として日本の平均家族数と世帯当たりの平均延べ床面積を考慮し、負傷発生確率が50%となる家具密度を負傷発生の閾値と考えると、建物延べ床面積に対しては0.25個/m²、また一部屋に対しては0.42個/m²が求められます。これは世帯当たりの家具保有数に関する負傷回避規準としての意味を持ちます。

2.3 結論と今後の課題

「2.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発」においては、本研究では、3次元拡張個別要素法(3D-EDEM)を用いて地震時の室内の様子をビジュアルに表現するシミュレーターを開発しました。さらにこれをWEB環境やVR環境で利用できるシステムを用意し、専門知識を持たない市民でも、様々な条件下での家具の挙動が比較できる環境を実現しました。これらのシステムによって、防災意識が向上し建物に応じた家具の適切なレイアウト法や効果的な転倒防止装置のあり方が理解されるとともに、家具を固定するなどの具体的な防災対策行動が促進され、室内被害の軽減につながるものと期待します。今後は、これらのシミュレーターの普及を目指していきたいと考えています。

「2.2 室内総合安全診断ソフトウェアの開発」では、地震で室内が散乱することに伴う負傷危険度を認識レベルから、次の診断レベル、そして対策レベルに繋げるためのツール開発を行いました。高機能版室内危険度診断ソフトウェアと負傷発生軽減支援のための危険確率診断コンピュータプログラムに加え、Web簡易版室内危険度診断ソフトウェアをインターネット上で無償公開しました。公開から1年間で約5万人に当該Webを訪問して頂き、システムを体験してもらった。住人に室内安全対策を考える契機を与えました。

3. 耐震補強を推進するための制度・システムの提案に関する研究

全国の戸建木造住宅 2,450 万戸のうち、耐震性が不十分なものは約 1,000 万戸(40%)存在すると推計されています。これらの建物に対して、耐震補強や建て替えなどの対策を実施しない限り、今後発生する地震による犠牲者を減らすことはできません。本研究では、これらの建物の耐震補強と建替えを推進するための新しい制度や社会システムの開発を目的とします。研究成果の詳細を以下に記します。

3.1 既存不適格構造物の耐震補強を推進する新しい制度やシステムの開発

(1) 研究の概要

まず初めに、耐震補強工事にインセンティブを与えるために地方自治体等により実施されている既存の補強推進策のレビューを行いました。また、なぜ一般の住宅の耐震補強や建替えが進まないのかを把握するために、戸建て住宅の所有者に対するアンケート調査を行い、自発的な建て替えや補強工事を推進するために必要な要因に関する分析を行いました。

これらの結果に基づいて、住宅所有者による自発的な耐震補強を推進するためのドライビングツールとして、自助(自助努力)・共助(互助)・公助(公的支援)の観点から3つの新しい制度を提案しました(図 1)。提案制度が実地域で運用されたと仮定した場合の住民や自治体の費用負担の変化をシミュレーションし、制度を導入することによる被害や負担の軽減効果を分析しました。また、提案制度に対する住民意識も調査しました。

アンケート調査から得られた課題を踏まえ、耐震補強前後での建物強度の向上を住宅所有者に理解してもらい、安心して耐震補強計画を検討できる環境の整備も行いました。

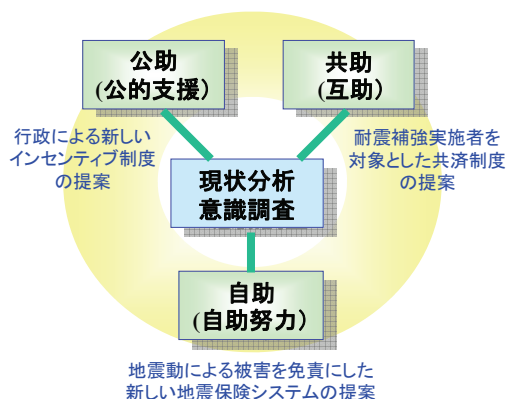


図1 耐震補強を推進させる3つの新制度

(2) 研究成果

1) 住宅の耐震補強工事に対するアンケート調査

関東地域に住む戸建て住宅所有者を対象として、耐震補強工事に対する30～69歳の居住者の意識調査を行い、住宅の安全性や継承に関する意識、耐震診断や耐震補強工事の実施意欲や判断理由に関する回答を得ました。これらの結果を世帯や住宅の様々な状況を踏まえて分析し、耐震補強工事の実施意欲に影響を与えるプラス要因とマイナス要因も明らかにしました。また、耐震補強工事に関する不安要因や情報の入手プロセスも分析し、自発的な耐震補強の実施を促すための方法についても検討しました。

1981年以前に建築された住宅に住む回答者に補強工事に関して不安に思う要因をたずねたところ、最も回答の多かった要因は「補強しても地震被害を受けるのではないか」であり、特に50～60歳代で多く挙げられました。「耐震診断結果は信用できるのか」も多く、補強技術・診断技術の不確定さに関する不信感是非常に強いと言えます。また、依頼する業者の信頼性に関する不安も大きく、耐震補強工事までのプロセスにおいて悪徳業者を排除する環境の必要性が確認されました。

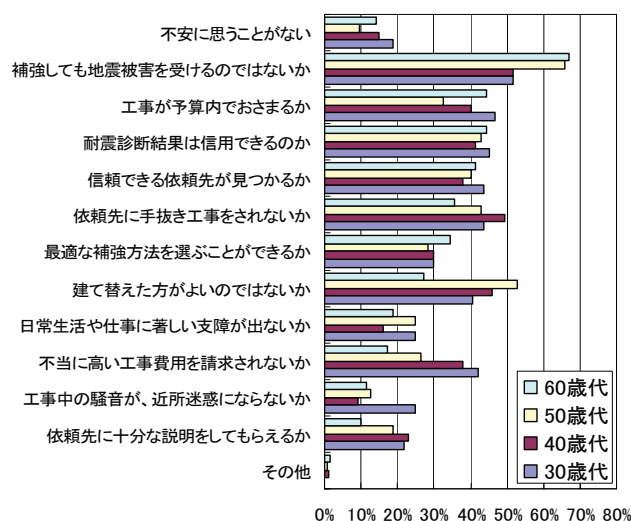


図2 耐震補強工事に対する不安要因

2) 耐震補強推進のための3つのドライビングフォース

①公助による推進:自治体による保証に基づく耐震補強奨励制度

公助(公的支援)により耐震補強を推進するための新

しい制度としては、「自治体による保証に基づく耐震補強奨励制度」を提案しました¹⁾。これは、「事前に耐震補強を行い、『しかるべき耐震補強を済ませた』と判断された建物について、その建物が地震被害を受けた場合に、行政が再建・補修費用の一部を支援する制度」です(図 2)。現在、都道府県や市町村の中には、耐震診断や耐震補強への助成や低利子融資制度を有しているところもあります。しかし、これらの制度は、地震の発生前に多額の財源を確保する必要があり、日本全国に 1,000 万戸を超える既存不適格建物が存在している現状を考えると、現実的な制度ではありません。「自治体による保証に基づく耐震補強奨励制度」は、事前の財源負担を要しない、補強状況を審査した上で耐震性能を保証するので、手抜き工事や悪徳業者を排除することができ、定期的に補強後の建物強度をチェックする仕組みづくりにも寄与しうるなどの、多くのメリットを有します。平成 17 年度までの研究成果により、住民が事前に耐震補強をしておいてくれば、その建物が全壊した時に 1,000 万円を超える支援をしてもトータルとしての行政側の負担金は減ることが示されました。

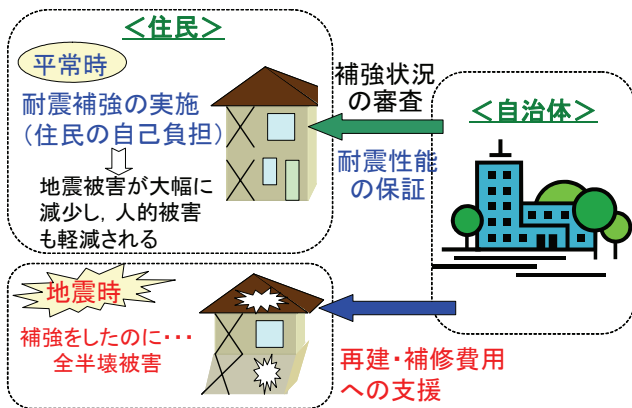


図 3 自治体による保証に基づく耐震補強奨励制度

②共助による推進:新築あるいは耐震補強実施者を対象とした共済制度

共助(互助)により耐震補強を推進するための新しい制度としては、「新築あるいは耐震補強実施者を対象とした共済制度」を提案しました²⁾。これは、公的支援に依存せず、住民同士の相互扶助によって耐震補強のインセンティブを高めると同時に、地震後の住宅再建を行うシステムです。現在心配されている巨大地震が発生しても、震度6以上の揺れに曝される地域に存在する建物は全国の建物の数%程度です。この地域内に存在する耐震性の高い建物が被災する確率は5%程度となり、全国比ではせいぜい数百分の一程度になります。つまり数百世帯の積み立てで被災世帯一軒を支援する割合です。平成 17 年度までの研究成果からは、

東海地震程度の被害を想定すれば、新築時(2~3 千万円の支払い時)、耐震改修時(100~150 万円の支払い時)に 2 万 2 千万円の積み立てを一回だけ行えば、全壊時に 1,000 万円、半壊時に 300 万円の支援を受けられることがわかりました(図 4)。

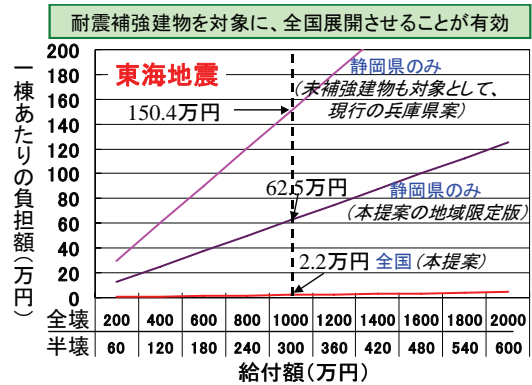


図 4 新提案の共済制度の効果

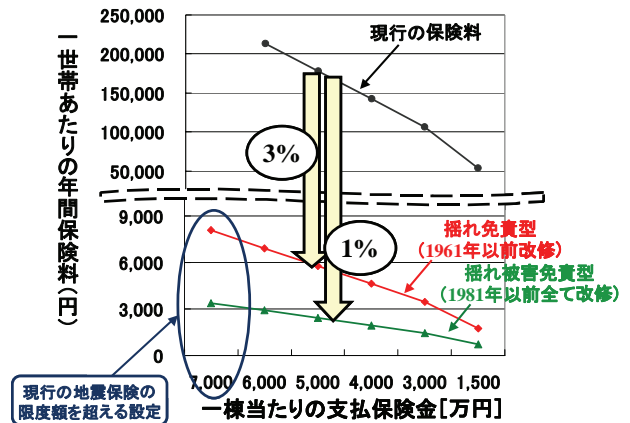


図 5 新提案の地震保険システムの効果

③自助による推進:地震動による被害を免責にした新しい地震保険システム

自助(自助努力)により耐震補強を推進するための新しい制度としては、「地震動による被害を免責にした新しい地震保険システム」を提案しました³⁾。既に耐震補強を実施した人たちは、地震動による建物被害を受ける可能性が低いだけでなく、既に説明した新しい「公助・共助」制度により、補強したにも関わらず揺れで被災した場合には、新築に十分な 2,000~3,000 万円という支援が行政と共済から得られます。残された問題は震後火災です。兵庫県南部地震は風の影響が少なかったとはいえ、揺れで被災した建物は全半壊で約 25 万棟、一部損壊はさらに 39 万棟以上でした。一方、延焼火災建物は 7,500 棟程度であり、この中にも多くの揺れによる被災建物が含まれます。建物の耐震性が高まると初期出火率が低下するだけでなく、消火活動の条件

が向上するので、延焼火災数はさらに減少します。関東大震災の延焼火災の調査等を踏まえると、揺れによる被災建物を免責にした場合の補償対象建物数は簡単に百分の一程度になります。平成 17 年度までの研究成果より、現行の地震保険のように再保険制度を前提にしなくても、年間十万円の保険料が千円程度になることがわかりました(図 5)。本提案では、補償の対象を地震による火災に限定することで、現行の地震保険よりも低廉な保険料によりシステムを運用できます。

3) 耐震補強の効果を理解するための環境づくり

本研究での意識調査では、住宅所有者が診断・補強技術の不確定さや悪徳業者の存在に対して強い不安を抱いていることがわかりました。これを踏まえて、建物模型を使った振動デモンストレーションにより耐震補強効果を理解するための映像教材を作成しました。

実験では、1/5 スケールの木造軸組建物の模型を作成し、筋交いを付ける前と後での揺れの違いをデモンストレーションしました。また、重い屋根と軽い屋根、壁量を変えた場合での揺れの違い、重量家具や浴室などを想定した過度な加重を与えた場合の建物の偏心もデモンストレーションしました。木造軸組建物は専用開発したミニチュア起振器により振動させるとともに、



図 6 振動台による木造軸組模型の加振の様子



図 7 起振器によるデモンストレーションの様子

生産技術研究所の実験施設である 3 次元振動台による加振も行いました。これらの映像は実験結果とともに、今後WEBなどの媒体を利用して市民向けに公表し、市民が耐震補強の効果や耐震性能の意味を目でみて理解できる環境作りに寄与する予定です。

3.2 軸組木造住宅の耐震診断・補強の実践化システムに関する研究

(1) 研究の概要

良質な材料と施工による伝統的な軸組木造住宅は築 100 年を超えて利用されており、環境保全に役立つなど有用な構法ですが、耐震診断評価法や耐震補強法は開発途上であり、大都市大震災軽減化プロジェクトⅡ-4「木造建物実験」の中でも鋭意研究が進められてきました。

本研究は、構造工学研究グループと緊密な連携をとりながら、軸組木造住宅の耐震診断・耐震補強を促進するための支援策として、住宅の持ち主、住まい手、設計者等が、耐震診断と耐震補強の必要性やその方法を理解しやすい説明文書を開発することを目的として実施してきました。

研究グループは主に日本建築学会近畿支部木造部会の委員から成り、都市防災や建築構法の研究者、軸組木造の設計者、施工者、リスクマネジメントと地震保険のコンサルタント等、住まいの安全に関わる多様な専門技術者や研究者が参加しています。研究会や軸組木造住宅の実態調査、木造密集市街地現地視察や住民とのワークショップ等を通じて、安全・安心で長持ちする住宅作りの現状と課題について討議を進めてきました。

(2) 研究成果

1) 軸組木造住宅の実測調査と耐震性能評価

萩市浜崎地区の軸組木造住宅群を対象に現地調査を実施しました(写真 1)。図 8 に間取り例を示します。構造詳細調査対象の 5 棟について限界耐力評価法による耐震性能評価を行い、梁間方向より桁行方向の壁量が少なく変形が大きいなど、構造特性と問題点を明らかにしました(図 9)

さらに耐震性能が低い傾向を示す 1 階桁行方向に対して、木造軸組住宅の変形性能を活かした耐震補強方法を提案し、試算を行いました⁴⁾。まず、耐力補強のためには土壁のように十分な変形能力も有する耐震要素を付加することが挙げられます(写真 2)。また、軸組部にダンパーなどの制震装置を取り付けることにより減衰性能を増大させ建物の揺れを小さくする方法もあります(写真 3)。葺き

土有りの瓦屋根の場合は、葺き土無しにして、建物重量を軽くすることも有効です。これらの補強方法は、組み合わせる用いることにより、増やすべき土壁量を少なくできます。

木造密集市街地である大阪市野田地区においても戦前に建てられた軸組木造住宅の調査をもとに、耐震性能の評価と補強方法の提案を検討しました。

2) 住まい維持保全の支援ツール「住まいの手帖」

住まいを長期にわたり適切に維持管理し、必要な修理や補強を施すことは、地震に対する安全安心を確保し、被害を軽減するために重要です。そこで、住宅の点検保全の支援ツールとして小嶋らが「住まいのカルテ」を提案し、萩市浜崎地区の伝統的軸組木造住宅の調査に活用し、その効用を検討しました。当初の「住まいのカルテ」は点検箇所が数十箇所

3) 京町家の居住者アンケート調査

京都市の歴史文化的街並みを構成する京町家の構造空間特性と耐震補強の必要性について把握しました。居住者の耐震改修に対する意識調査（90件配布、86件回収）から問題点を分析しました。怖い災害・被害を三つ選んでもらったところ、1番目が地震で回答率が火事の1.7倍になった。耐震診断支援の認知度と希望をみると（図11）、半数以

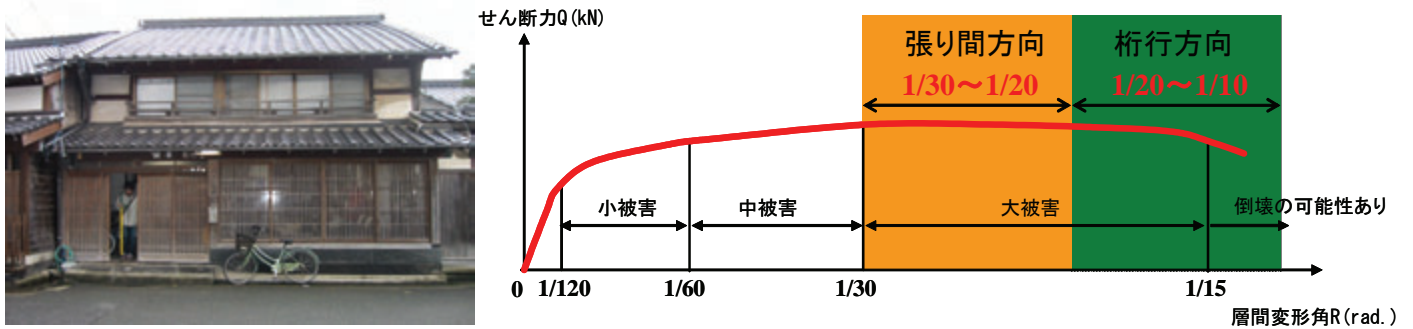


図9 層間変形角と被災度の関係、軸組木造住宅

写真1 萩市浜崎地区の軸組木造住宅

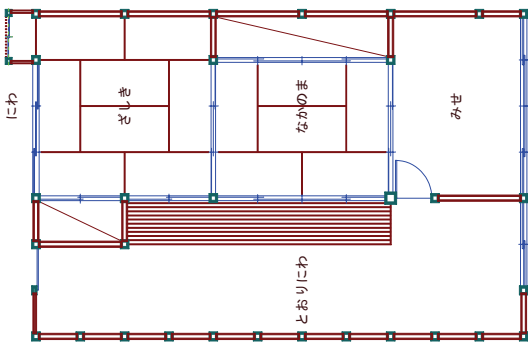


図8 浜崎地区の伝建木造住宅プラン例

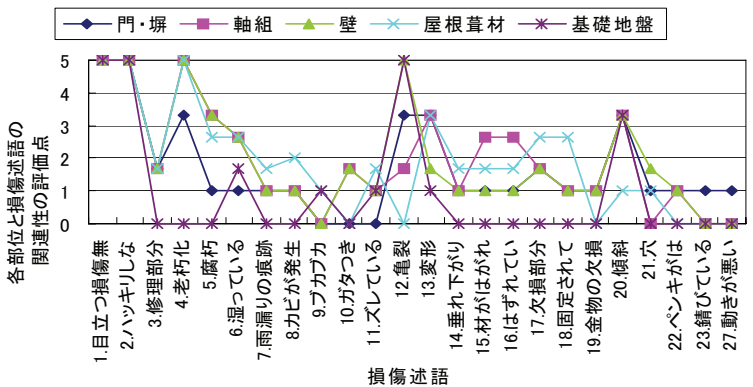


図10 住まいのカルテ損傷述語と点検部位の関連度合



写真2 荒壁パネル



写真3 仕口ダンパー

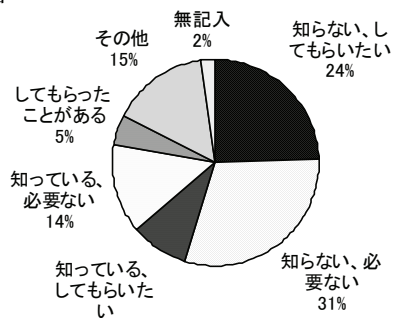


図11 行政の耐震診断支援の認知度と診断希望

上が行政による耐震診断の存在を知らず、あまり普及しません。また、約半数の人が必要ないと感じています。

その理由として「診断しても費用の点で改修できない」、「診断しなくても修繕の必要がわかる」、「借家なので大家さん次第」が挙がっています。主要構造部分は見えないため住まい手が意識しにくく、見える部分の腐朽や蟻害発見などの他は、老朽化していても劣化としては顕れにくいので、室内の改修時でも放置されやすい状況です。しかし変形性能を担う軸組部分は京町家の最も重要な耐震構造要素であり、簡便な構造部分の劣化診断手法の開発と住まい手へのわかりやすい説明法が必要です。

3.3 不動産評価への防災災害リスクの導入

(1) 研究の概要

今日、住宅の耐震性確保に関して制度面の社会システムは未形成であり、推進のための民間市場も顕在化していません。その中で、私的问题として(公的助成を含めて)耐震経費問題が突出して問われる状況にあります。既存住宅の補強・改修は緊急課題ではありますが、同時に建物の経年劣化を考慮すると永遠の課題でもあり、全住宅を対象とした官民連携の社会システムによる安全管理の持続的な取り組みが求められます。

このような観点から、現状において不動産評価に防災災害リスクが反映していない要因を、住宅流通事業者、自治体、住宅ユーザ、耐震補強工事事業者に対する調査から実証的に整理抽出するとともに、適切に市場原理を誘導するための総合的な社会システム(図12)を提示することを目的とします。

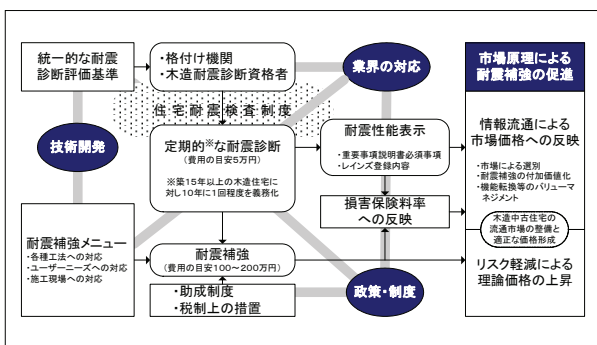


図12 耐震化促進に向けた仕組みのイメージ

(2) 研究成果

1) 不動産流通事業者アンケート調査

住宅ユーザに近い立場で販売・仲介業務を行っている大手不動産流通業者の販売担当者へのアンケートから、地震に対する住宅の安全性についてユーザの

関心は高いものの売主と買主では差が見られること、耐震診断・改修の現実的な費用として、診断5万円、改修100万円程度という目安を明らかにしました。また、住宅の耐震性能は取引価格にあまり反映していませんが、補強工事を行った場合ある程度は価格に反映するという回答を得ました。住宅の耐震性能を重要事項説明書の必須事項に加える、耐震診断・耐震性能表示制度の導入といった耐震化促進策に対しては、その必要性についての認識はあるものの、耐震性能に対する客観的・統一的な基準が確立していないことやその信頼性に対する疑問、費用負担や説明責任の問題など、今後解決すべき点について明らかにしました。

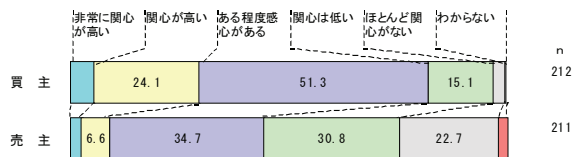


図13 「地震に対する住宅の安全性」への関心

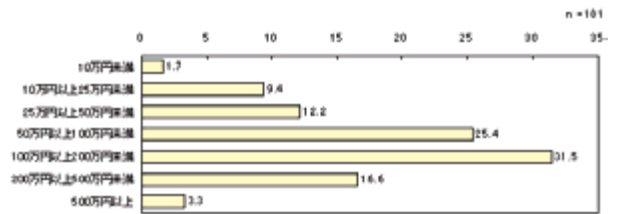


図14 耐震補強工事の現実的費用(上限)

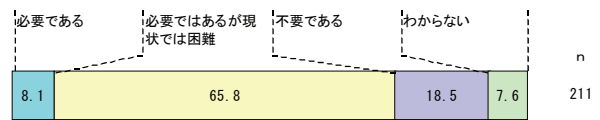


図15 耐震診断・性能表示制度導入の必要性

2) 固定資産税の減免が不動産価値に及ぼす影響

既存木造住宅の耐震化促進方策の一つである耐震改修に対する税の減免の効果について、モデルを用いて検証を行いました。想定不動産を用い、固定資産税を一定期間免除した場合と免除がなかった場合について不動産の理論価格(収益還元法による収益価格とした)の差を試算した結果、100万円の耐震改修費用の半額の不動産の理論価格の上昇を伴う建物固定資産税の免除期間は概ね6年間であるという結果を得ました。この結果から、市場に適切に情報伝達がなされれば建物固定資産税の減免措置は効果があると考えられます。

3) 住宅耐震検査制度の導入に関する試案

木造住宅の耐震化が進まない要因の一つとして、住宅の耐震性能に関する評価情報が十分に流通していない=社会化していないことがあります。耐震改修市場の顕在化やユーザの動機付けを図るなど、耐震化促進に向けた環境整備を行うことを目的とした「住宅耐震検

査制度」の導入を提案しました。その仕組みを試案として提示し、耐震改修促進法の改正、技術的問題の解決、資格者などの体制上の整備、自治体の事務など条件整備等制度導入のために必要な課題を整理しました。

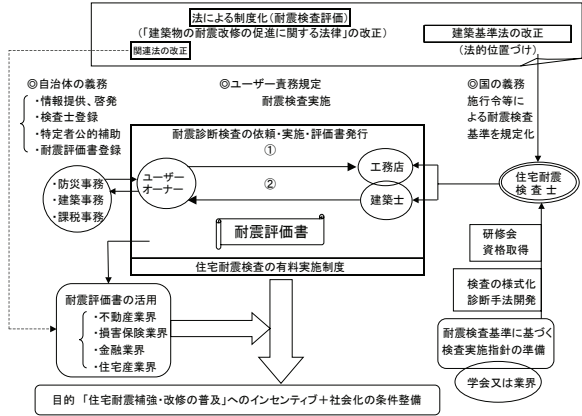


図16 住宅耐震検査制度の仕組み（社会システム）

4) 自治体アンケート調査

東京圏1都3県に宮城県、愛知県、静岡県を加えた1都6県の市区212団体に対し既存木造住宅の耐震化支援制度に関するアンケートを送付し、181団体から回答を得ました。耐震診断支援制度については143団体(79.0%)、耐震改修支援制度については110団体(60.8%)があると回答しています。最近制度を設けた団体が多く、ない団体のうち3割以上は導入を検討しています。具体の支援内容については、耐震診断費用の補助が76団体、診断士の派遣が69団体、耐震改修費用補助が98団体でした。耐震改修工事費用の公費支援については、「公益性」の観点から妥当という回答が最も多く、必要との回答が8割を占めました。また、耐震化促進上の課題として「市民の関心が低い」とした回答が約7割と最も多く、技術的な問題や制度の不備を挙げた回答も多くなりました。

5) ユーザーアンケート調査

エンドユーザーの実情と意識を把握するため、全国で耐震改修事業を展開している日本木造住宅耐震補強事業者協同組合の協力を得てアンケート調査を実施しました。対象は、自治体調査と同様の1都6県の過去耐震診断・耐震補強工事を実施したユーザとし、無作為抽出で2,007票を送付、1,191票を回収しました。世帯主の年齢60歳以上が7割近く、主たる所得として年金所得を過半が挙げており、高齢世帯が多いことを伺わせます。自治体の耐震診断支援制度を利用したという回答が3割弱、耐震改修支援制度利用は5%程度でした。制度を利用しない理由としては、制度がないが37%、知らなかった31%、補助条件に合わなかった20%と続きます。有効な支援策については税の減免や工事

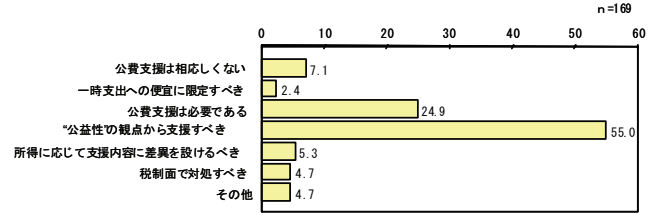


図17 工事費用への公費支援の妥当性（自治体）

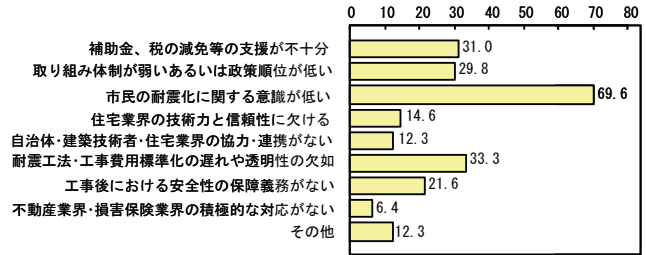


図18 耐震化支援制度促進上の課題（自治体）

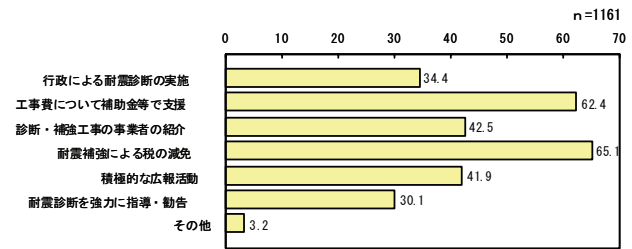


図19 耐震化に有効な行政の支援策（ユーザ）

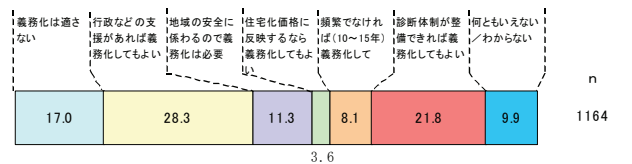


図20 耐震診断の義務化について（ユーザ）

費の補助を挙げていますが、耐震改修促進税制の認知度は低くなっています。耐震診断の義務化については、一定の条件で容認する回答が多いです。

6) 耐震補強工事業業者アンケート調査

ユーザ調査とあわせて耐震補強工事を実施している事業者の実情と意識を把握するために、日本木造住宅耐震補強事業者協同組合の協力を得てアンケート調査を実施しました。全国の組合員を対象とし、904票を送付、409票を回収しました。回答は全国にわたりますが大都市圏が多くなりました。社員数20人以下の事業所が8割を占め小規模事業者が多いです。自治体の耐震化支援制度については、必要という回答が耐震診断、耐震改修ともに8割を超えました。現在の耐震補強技術については、十分という回答が3割程度であったが、不十分という回答も3割弱あり、理由として技術水準の不安や施工業者による格差を挙げています。

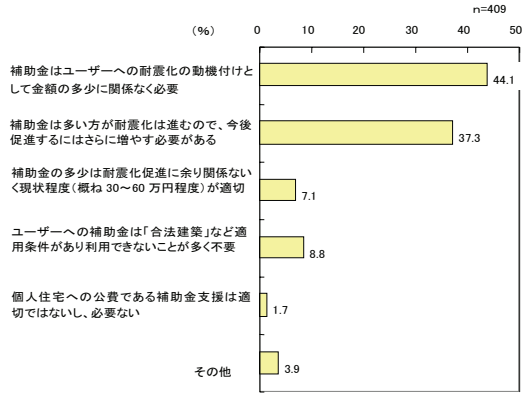


図 21 工事費用への行政支援の妥当性(事業者)

3.4 保険デリバティブ制度の検討

(1) 研究の概要

地震危険度が高い日本における地震保険は、国が再保険を担わなければ成り立たないシステムになっています。損害保険会社においても、地震保険自体の普及へのインセンティブがあまり働かない状況であり、兵庫県南部地震における地震保険の支払い額は、経済的被害全体の数パーセントに過ぎないものであります。このような現状に鑑み、これまで対象とされなかった住宅等の地震被害リスクを、近年注目されている保険デリバティブによってヘッジする仕組みについて検討しました。住宅に保険デリバティブを導入するための必要となる要素として次の5つを挙げ、検討しました。

- (1) 保険デリバティブ設計のための地震リスク定量化
- (2) デリバティブへの適用に適した損傷モデルの検討
- (3) トリガ条件を考慮したシミュレーション解析の実施
- (4) 耐震化促進に寄与する地震デリバティブの提案
- (5) 広く展開可能な保険デリバティブの仕組みの提案

(2) 研究成果

1) 建物分散配置によるリスク低減効果

横浜市日吉駅と京都駅の二地点の地震危険度解析と、建築物自体の解析双方を組み合わせることにより、建物の持つ地震リスクを比較検討しました。

地震リスクカーブにより2棟ずつ建築した場合と分散した立地の場合の建物危険度を比較した結果(図 22、図 23)、地震危険度の高い地域の建物の持つリスクも、他地域の建物が持つリスクとの組み合わせによって、リスクの低減を図ることが可能であることがわかりました。よって十分に立地を分散した建物群の地震リスクを証券化する事で、比較的 low コストでの地震リスクの転嫁が可能であることがわかります。

2) 個別の建物に適用可能な損傷評価システム

個別の建物評価に適した解析的損傷評価システムを

構築・提案し(図 24)、学校校舎を対象に本システムを検証しました。提案した損傷評価システムを用い、ある想定地震動に対し損傷度が一意に決まる損傷度曲線

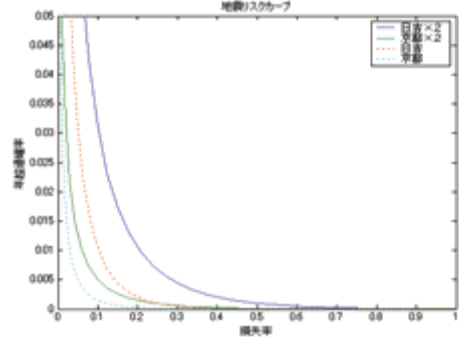


図 22 日吉京都各地区2棟建築評価

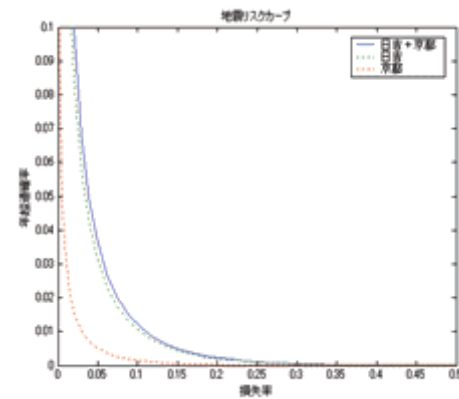


図 23 日吉京都地区分散立地評価

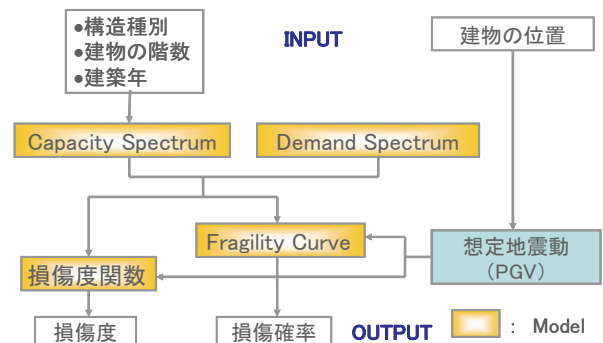


図 24 提案した損傷評価システム

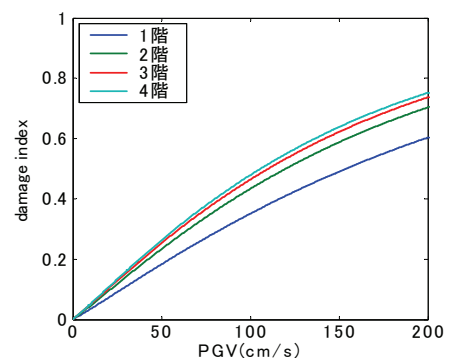


図 25 提案手法による損傷度曲線

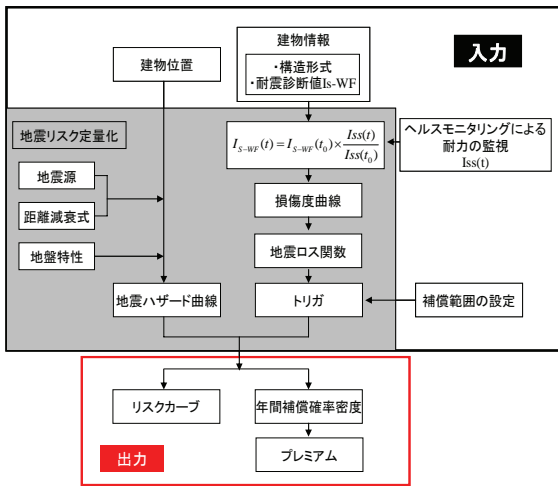


図 5.5 提案したプレミアム計量手法

を PGV のテーブルに基づき構築しました(図 25)。その結果、建築年が新しく、建物の高さが低いほど耐震性能に優れており、その有効性が確認されました。かつ、出力結果が、ある想定地震に対し値が一意に与えられるため、耐震性能の優劣判定が簡単にできることが確認されました。

3) センサを活用した地震デリバティブのトリガ

正確な損傷モデルが得られることを前提として、デリバティブ加入者が耐震補強を行うインセンティブが与えられるプレミアム計量手法を提案し(図 26)、シミュレー

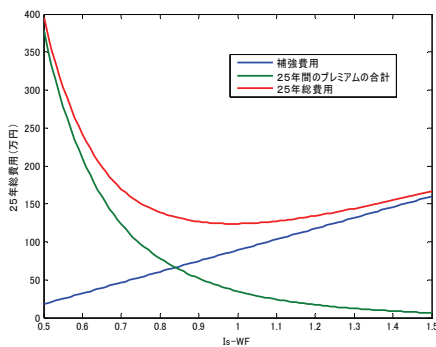


図 27 25年総費用とIs-WFの関係 (トリガ: 全ての損傷状態を考慮)

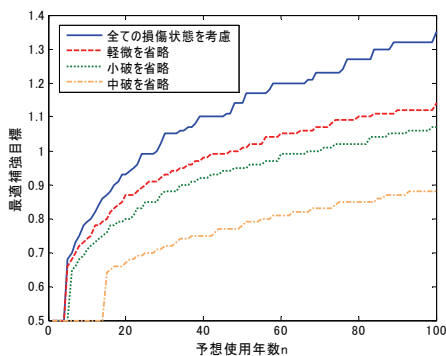


図 28 使用年数と最適補強目標の関係

ションで検証しました。提案した地震デリバティブでは、センサを用いたヘルスマニタリングによる耐力の監視によって、耐震強度に応じたトリガとそれに基づくプレミアム計量が可能になります。その結果、デリバティブ加入者ごとの建物使用年数によって、費用最小化となる耐震補強目標が得られます(図 27、図 28)。これにより、提案したプレミアム計量手法によって、耐震補強へのインセンティブが加入者に加わることが確認できました。

3.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

(1) 研究の概要

本研究では、現状の地震保険と耐震改修・耐震補強を推進する社会システムを実現するために、耐震診断・耐震補強の実施というリスクコントロール手法と地震保険等のリスクファイナンス手法による両者のインセンティブの働く社会システム構築に関して研究を行いました。

(2) 研究成果

1) 地震保険による補強のインセンティブに関する研究

日本と米国カリフォルニアにおける地震保険による耐震補強進展のための制度に関して調査を行いました。日本の地震保険による耐震補強による割引規定は、住宅の品質確保の促進等に関する法律に規定する耐震等級有することによる10%~30%の割引があります。一方、米国カリフォルニアでは Residential Retrofit Program を推進しており、保険引き受け機構が窓口になり、住宅所有者に住宅のインスペクション(検査)を行う専門会社を紹介し、その会社が行ったインスペクションの結果レポート(診断証明書)を基に住宅所有者が耐震改修を行えば地震保険料の5%割引を受けられます。このプログラムの利点は、保険引受け機構が耐震改修計画作成、建設業者紹介、診断証明書に基づく作業が実施されているかの確認作業、低利ローン案内という一貫したシステムを行う点です。日本の地震保険による耐震補強による割引規定は、住宅の品質確保の促進等に関する法律に規定する耐震等級有することによる10%~30%の割引があります。

2) 米国・洪水保険における防災対策のインセンティブに関する研究

地震災害における保険制度を利用した耐震補強等のリスクコントロールを推進する社会システムを構築するため、現在、米国で行われている国家洪水保険制度に関する実態の調査し、その制度の流れを明らかにしました。これは、米国国家洪水保険制度が、保険とリスクコントロールを上手くリンクさせた制度を確立している

とされています。文献調査、ヒアリングにより米国国家洪水保険制度を調査した結果、洪水危険地帯に新しく建てられる建物に対して、将来の洪水の危険性を軽減する処理を自治体が入れるならば、連邦政府は洪水被害に対する財政保護として、その自治体内での洪水保険に加入できることがわかりました。洪水保険への参加は、自治体単位が前提で、個人での参加は出来ません。これは誰かが洪水被害を減らす努力をしても、他の人の不注意な行為によってその効果が減少したり、消滅したりしてしまうため地域での対応を前提としています。自治体の行うリスクコントロール施策は、住民への洪水危険区域図の提供、それにリンクした洪水保険料率地図、洪水の流速に対応した被害を考慮した建築年代、最低床高さ等の数種類の事項であり、そして、それが洪水保険料率にリンクされるように設定されていることが明らかになりました。

3) リスクファイナンスとリスクコントロールの組み合わせに関する研究

保険等のリスクファイナンス手法を活用して、耐震改修・耐震補強をといったリスクコントロールを推進する社会システムを構築することは、リスクファイナンスとリスクコントロールの融合を如何に実施・推進できる社会を構築できるということにほかなりません。本研究は、リスクマネジメントの視点からリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ方法について、費用対効果を表す指標として所与の供用年間のライフサイクルコスト（以下、LCC）に着目し、LCC 最小化の原理に則ったリスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ最適化を検討し、リスクファイナンス設計の枠組みを構築する試みに関する研究を実施しました。さらに、関東地域に複数の建物を有するオーナーを設定し、リスクファイナンススキームの選択や設計水準の設定に関する検討を行いました。その結果、供用年数により採るべきリスクマネジメント手法が異なり、供用年数が高いほどリスクコントロール（設計水準の向上）が有利となり、短いほどリスクファイナンス（リスク移転）が有利となります。そして、構造被害による損失に対する全損失の比によっても採るべき手法は異なり、構造被害が小さければリスクコントロールのみで十分ですが、構造被害が大きくなるに従い、地震保険との併用、証券化との併用へと手法が切り替わります。なお、供用年数によっては、地震保険が採択されない場合もあることが明確になりました。

4) リスクファイナンスの問題解決に関する研究

リスクファイナンスの普及に障害となっている点のうちベースリスクに着目した地震デリバティブの設計に関する研究を行いました。具体的には、ベースリスクの低減に着目して、地震発生地域として設定されたグリッドを細分化し、細分化されたグリッド毎に地震規模と損

失への寄与率との関係を表した地震マグニチュードトリガーの設定をおこなうための合理的な手法に関して研究を行いました。

その結果、ベースリスクを考慮すると各グリッドに含まれる地震の活動度が異なるため、従来のように広範囲のグリッドと 1 つの元本没収関数を用いることの不合理性が明らかになりました。それは、大規模地震発生活動域に対応したグリッドが抽出され、従来のように建物群の配置に対してグリッドを設定することが必ずしも適切ではないことが示されました。また、ポートフォリオの損失に対する寄与の観点から、補填が不十分となるリスクの増大を避けながら、過度な補填となるリスクを小さく留めることができることが明らかになりました。

3.6 防災性能と福祉を結合した既存住宅改修支援制度の創設に関する研究

(1) 研究の概要

本研究は、既存木造住宅の耐震改修を中心とした防災対策を飛躍的に推進するための新しい制度を開発するために、防災対策を推進する新制度の開発・設計を行うことを目的としています。

この目的を達成するため、以下の 4 つのテーマに基づき、調査・研究を行いました。

- ①耐震改修支援制度の実態と問題点の把握
- ②福祉的観点から実施されている住宅改修と、耐震改修との連携可能性の探究
- ③工務店や建築士等のビルダーサイドから、耐震改修促進の阻害要因の解明
- ④防災行政と住宅福祉行政連携可能性の探究

調査研究方法は、以下のとおりです。

①耐震改修支援制度に関して

支援制度に関するアンケート調査を都道府県および政令都市、東京 23 区に実施しました。アンケート調査票は 82 通を配布し、73 通の回答を得ました。うち有効回答数は 73 通であり、回収率は 89.0% でした。また耐震改修支援に対して先駆的な取り組みを行う自治体に対してヒアリング調査も併せて実施しました。

②耐震改修および住宅改修の実施状況および住民の防災に対する意識に関して

このテーマに関しては、以下 2 つの調査研究を実施しました。第 1 に、和歌山県那智勝浦町および高知市浦戸・種崎地区を対象に、住宅事情および住宅の耐震化に対する意識を調査しました。どちらも地震と津波で大きな被害が予想されている地域です。那智勝浦町では、2002 年と 2003 年にアンケート調査を実施しました。02 年は、配布数 2027 通、回収数 412 通、回収率 20.3%、03 年は配布数 3078 通、

回収数 628 通、回収率 20.4%でした。高知市浦戸・種崎地区では、2003 年に 1396 通の調査票を配布、有効回答数は 1106 通、回収率は 79.2%でした。また、高知市の福祉部局職員に対して、高齢者や障害者向けの住宅改修についてヒアリング調査しました。第 2 に、高知市種崎地区における 2003 年のアンケート調査および現地踏査をもとに、住民の津波避難シミュレーションを行いました。

③ビルダーサイドの問題状況把握に関して

耐震改修の実績をもつ工務店に対して、耐震診断・改修を行う際の問題点についてアンケート調査を実施しました。アンケート調査は 2004 年に実施し、横浜市耐震改修事業登録事業者と静岡県「住宅直し隊」のうちの静岡市内の事業者と高知県耐震診断士のうち高知市内の事業者を対象とし、1030 通配布しました。また、同様の調査票を日本木造住宅耐震補強事業者協同組合加盟事業者にも 694 通配布しました。回収数は全部で 551 通あり、回収率は 32%でした。

④防災と福祉の連携可能性に関して

高知市防災対策課とケアマネジャーに対し、地震・津波被害予想地区の状況や高齢世帯の居住実態に関するヒアリング調査を実施しました。また、高知市長浜地区の住民を対象に、住宅耐震化の意識や災害弱者の有無、地域コミュニティの状況を把握するためのアンケート調査を行いました。調査実施は 2005 年、配布数は 912 通、回収数は 655 通、有効回収率は 69.1%でした。このアンケート調査と現地踏査をもとにして、災害弱者を考慮した地震津波被害軽減対策の被害軽減の可能性に関する GIS シミュレーションを実施しました。

(2) 研究成果

1) 耐震改修支援制度と住民の耐震化に対する意識

① 住民の住宅耐震化に対する意識

住宅が倒壊する可能性があるにもかかわらず、「安全対策をとらない」という層が存在します（図 29）。とくに高齢単身世帯では安全対策をとらないと回答した割合が高く、住宅の耐震化を促進していくためには、老後の不安解消対策（福祉施策）等と組み合わせた対策の検討が必要です（図 30）。

②住宅の耐震化を行う条件

アンケート調査の結果から、住民は住宅の耐震化を行うに当たって、「住んだまま工事ができる」、「補強工事に補助金がでる」、「費用が安い」ということを求めていることが明らかとなりました。つまり、「耐震改修工事」を、どれくらいの費用で、どの程度の改修ができるかが明確にわかるような商品にする必要があるといえます。

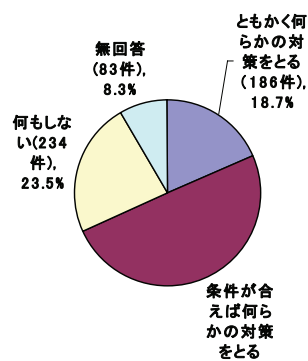


図 29 住宅が危険だとわかったときの対応（高知）

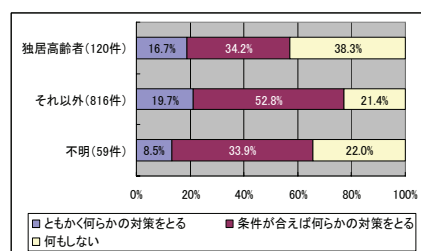


図 30 高齢独居世帯の住宅が危険だとわかったときの対応

③ 避難路の安全性

「安全対策をしない」という世帯でも、避難経路の安全性確保の必要性は認識しています（図 31）。自分の住宅の倒壊によって避難に支障が出ることを認識すれば安全対策を行う見込みもあると考えられます。

避難路の確保と住宅の耐震化をセットで考え、地域ぐるみで防災対策に取り組むことが、住宅の耐震化促進には重要であるといえます。

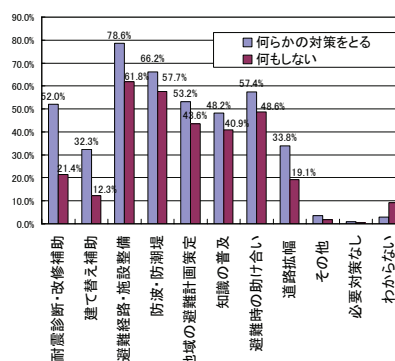


図 31 地域に必要な対策（高知）

2) ビルダーサイドから見た改修促進の阻害要因

アンケート調査の結果、以下の 4 点が明らかとなりました。第 1 に、悪質なりフォーム業者を排除する仕組みが不可欠であるということです。第 2 に、自治体の耐震診断制度が耐震化促進にブレーキをかけている側面があります（図 32）。自治体の耐震診断制度の下では、診断を行った事業者は住民に対して診断結果を伝えるだけで、耐震工事を勧めるこ

とは禁止されている場合が多いからです。確かに強引な勧誘は問題ですが、診断を行った事業者が、耐震工事の必要性や見積りなどを説明し、住宅所有者が自発的に行動を起こせるような環境整備が必要です。

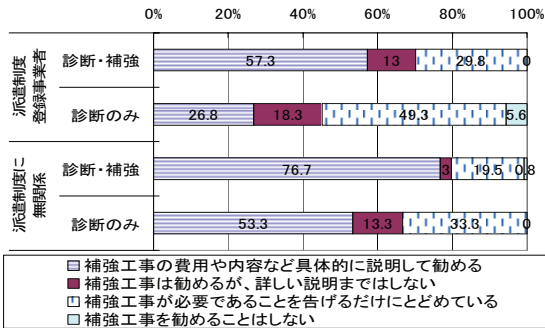
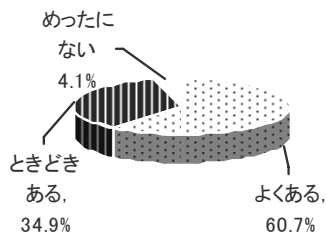


図32 診断士派遣制度登録・実績別にみる補強工事の勧め方

第3には、耐震化業務が業者にとってメリットのある仕事になりえていないことも耐震化を促進するうえでの課題であることが明らかとなりました。事業者にとっても適正な利益が保障される仕組みとなるように耐震化工法の更なる開発が必要です。第4に、リフォームに関わる事業者の多くが耐震化の必要性を感じており、リフォームが耐震診断や補強のきっかけになっています(図33)。この事実を踏まえると、リフォーム工事の際に耐震化を行うことを奨励することを普及させることも、耐震化促進を図る上で効果的であるといえます。

(N=278)



95.6%が必要と感じたことがあり、うち84%は耐震化を勧めたことがある。実際耐震化工事を行ったのは57.2%。

図33 リフォーム時に耐震化の必要を感じるか

3) 防災と福祉の連携可能性

高知市長浜地区の調査結果から、地域コミュニティが成熟している地域では、災害弱者の避難補助などの防災対策を地域ぐるみで進めていくことに対して積極的であることが明らかとなりました(図34~図35)。地域の実情を踏まえて、住宅の耐震化の重点的实施や効果的な避難ビルの配置を行えば、被害を効果的に低減することが可能であるといえます(図36~図38、表2)。しかし一方で、住宅の耐震改修促進という手段だけでは、地震・津波の最悪の被害を回避できない地域が存在することも明らか

となりました。高齢化と過疎化の著しい進行がその主要因です。こうした地域に対する支援策を具体的に検討することが早急に必要です。

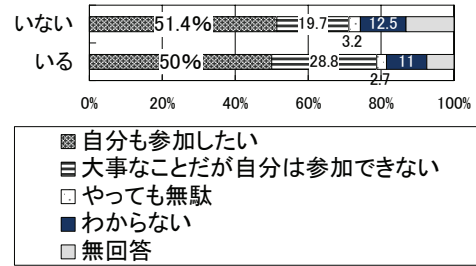


図34 地域住民の地震対策についての意向(要援護者の有無別)(高知)

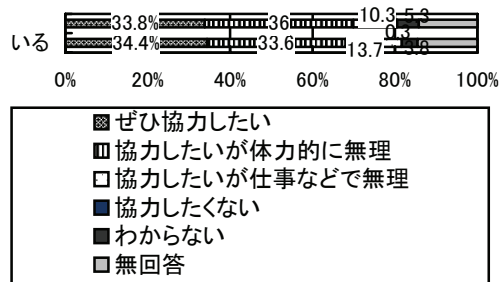


図35 避難困難者を助ける仕組みへの協力の意向(要援護者の有無別)(高知)

表2 災害弱者を考慮した津波避難シミュレーション結果(高知)

設定	全区域による避難不可	道路閉塞による避難不可	避難所要時間(t)				避難先				
			t≤5	5<t≤10	10<t≤15	15<t	A	B	C	D	E
対策前	18	0	340.2	10.8	2	0	22.4	172.3	9.4	15	51.1
(i)	15.4	0	344.9	9.4	1.4	0	22.3	180.4	10.7	13.9	50.7
(ii)①	11.7	0	348.8	9	1.5	0	22.6	180.9	9.2	14.3	51.1
(ii)②	2.2	0	358.7	8.2	2	0	22.3	181.1	10	14.3	50.3
(ii)③	0	0	360.2	8.5	2.3	0	22.9	182.5	10.3	13.5	48.9

注) 対策前：耐震改修などの地震対策をしない場合
(i)は避難経路に面する建物の耐震改修をした場合
(ii)①、(ii)②、(ii)③はそれぞれ昭和26年以前、昭和46年以前、昭和56年以前の木造を全て耐震改修した場合
耐震改修を行った建物棟数は(i)27棟、(ii)①19棟、(ii)②76棟、(ii)③101棟

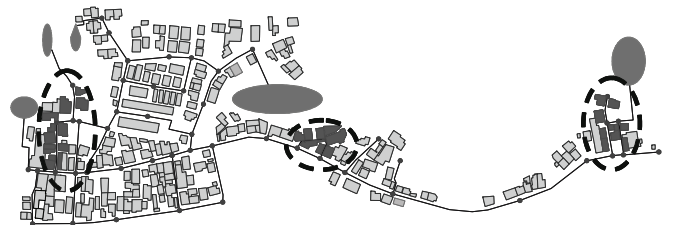


図38 災害弱者を考慮した津波避難シミュレーション:一部の住宅を耐震改修した場合(高知)

注) 閉塞確率が0%でなかった区間経路を抽出し、そのうち地図上で避難経路として重要である区間と判断した道路の両脇の建物の耐震改修を行ったと設定した。図10中の点線囲いが倒壊確率の高い経路とその周辺の住宅である。

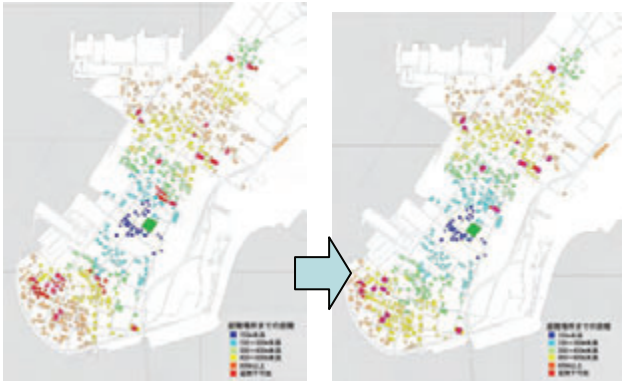


図36 耐震改修の津波避難に対する効果：一部の住宅を耐震改修した場合（高知）

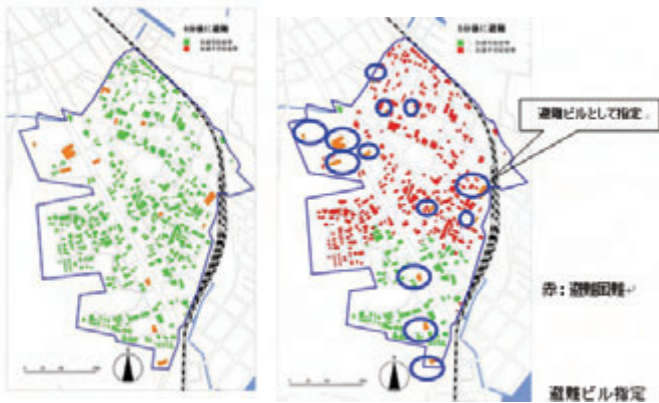


図37 避難ビル設置の効果：既存建物を避難ビルとして指定した場合（和歌山）

3.7 結論と今後の課題

「3.1 既存不適格建造物の耐震補強を推進する新しい制度やシステムの開発」においては、まず、既存の補強推進策のレビューを行うとともに、戸建て住宅の所有者を対象とした耐震補強工事に関するアンケート調査も実施しました。回答者に補強工事についての不安要因をたずねたところ、補強技術・診断技術の不確定さに関する不信感や、悪徳業者の存在に対する不安感が顕著に見られました。この結果に基づき、自発的な耐震補強を推進するためのドライビングツールとして、公助(公的支援)・共助(互助)・自助(自助努力)の観点から3つの新制度を提案しました。将来発生が懸念されている地震被害を想定して提案制度の効果を検証した結果、これらの制度の導入により補強したにも関わらず被災してしまった住宅所有者に手厚い支援を提供し、補強実施へのインセンティブを与えることができると考えられました。また、建物模型を使った振動デモンストレーションにより耐震補強効果を理解するための映像教材を作成しました。提案制度の普及を目指して、今後も引き続き、政策決定者などのステイクホルダーへの

働きかけを行っていく予定です。

「3.2 軸組木造住宅の耐震診断・補強の実践化システムに関する研究」においては、伝建地区の軸組木造住宅を対象に実測調査を行い、終局耐力評価法による耐震性能評価を実施し、補強設計の手法等を検討しました。また住まいの維持保全を支援するシステムとして「住まいの手帖」を提案し、有効性を確かめました。今後の課題としては、軸組木造住宅についてはわが家の耐震診断のような簡易評価法が未だ難しいため、住まい手にその診断法と補強法を分かりやすく解説するために、標準補強プランのメニュー化やコストの目安提示が重要と思われます。

「3.3 不動産評価への防災災害リスクの導入」においては、耐震診断の結果が必ずしも耐震改修に結びつかない現実があり、市民意識に低さのためではなく耐震補強工事に踏み出せない「支障的環境」の解消が重要であると指摘されました。耐震改修に対する行政支援は、ユーザの経済的支援と助成対象の持つ公益性の両面から必要と考えられます。

「3.4 保険デリバティブ制度の検討」においては、保険デリバティブの住宅被害リスクへの適用を目的とし、5つの要素、地震リスク定量化、損傷モデル、トリガ条件、耐震化促進、応用・汎用性について検討しました。その結果、建物分散配置による地震リスク低減、個別の建物に適用可能な損傷評価システムの構築、センサを用いたトリガによる地震デリバティブの耐震化促進効果、という3つの知見と成果を得ました。今後の課題としては、実被害とデリバティブの補填額との差(ベースリスク)をいかに小さくするかが挙げられます。

「3.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究」においては、リスクコントロールとリスクファイナンスの最適な組み合わせに関して検討を行いました。リスクファイナンスには、保険以外の各種手法があり地震等の対応には有効な手段になりますが、あまり進んでいません。その理由の一つに証券化・デリバティブの持つベースリスクの存在があるため、このベースリスクを最小にするデリバティブ構築の手法を明らかにしました。今後は、リスクファイナンスの原資となる資金調達を市場から集める際に防災対策の有効性により調達コストに差が発生する透明性の高いスキームを開発する必要があります。

「3.6 防災性能と福祉を結合した既存住宅改修支援制度の創設に関する研究」においては、地域住民へ正しい情報を伝えることの重要性、耐震改修を進めるために住民の老後の不安を取り除く行政施策が必要である点、耐震改修工事の費用と効果が誰にも客観的にわかるようなシステムの必要性、現行の診断士派遣制度は事業者にとってメリットが少なく改善の必要がある点、地域コミュニティや自主防災組織、福祉関係 NPO などの参加による地域ぐる

みの活動が重要である点が指摘されました。今後の課題は、第1に、耐震改修効果の判定システムなど、技術システムの探求を含めて、商品としてわかりやすく完成度の高い耐震改修プログラムの構築です。第2により精度が高く、住民にわかりやすいシミュレーションシステムの開発と、地域連携システムの開発です。

3.8 謝辞

「4.2 軸組木造住宅の耐震診断・補強の実践化システムに関する研究」での住宅実測調査やアンケート調査にあたり、萩市浜崎地区、大阪市野田地区、東広島市黒瀬町の住民には多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

「4.6 防災性能と福祉を結合した既存住宅改修支援制度の創設に関する研究」での調査にご協力くださった和歌山研那智勝浦町と高知市の住民および関係者の皆様に深く感謝いたします。

3.9 参考文献

- 1) 吉村美保・目黒公郎：既存不適格建造物の耐震改修を推進させるインセンティブ導入制度に関する一考察，建造物の安全性・信頼性 JCOSSAR 2003、Vol.5, pp.83-90, 2003.11
- 2) 中嶋朋子・吉村美保・目黒公郎：耐震補強を誘導する共済による新しい被災者支援システムの研究，第60回土木学会年次学術講演会講演概要集，CD-ROM, 2005.9.
- 3) 國吉隆博・吉村美保・目黒公郎：既存不適格建物の耐震補強を促進させるための新しい地震保険制度の検討，土木学会第60回年次学術講演会，CD-ROM, 2005.9.
- 4) 細入夏加・他：萩市浜崎地区の伝統木造建物の耐震性能評価と耐震補強（その2）構造特性と耐震性能評価，日本地震工学会大会，pp.28-29, 2003.
- 5) 根上彰生・他：不動産流通業者の意識調査をとおした木造中古住宅の耐震化促進策の検討ー不動産評価への防災災害リスクの導入に関する研究ー，第48回日本大学理工学部学術講演会講演論文集，2004.
- 6) 根上彰生・他：不動産流通の実情を踏まえた既存木造住宅の耐震化促進に関する検討ー東京圏の不動産流通事業者を対象としたアンケート調査の分析ー，日本地震工学会大会ー2004 梗概集，pp.72-73, 2005.
- 7) 浅利隆文・他：既存木造住宅の耐震補強促進に資する不動産評価からの一考察ー建物固定資産税の

減免が及ぼす価値の増加を通してー，日本地震工学会大会ー2004 梗概集，pp.74-75, 2005.

- 8) 中村八郎・他：木造住宅の耐震化促進を目的とした動機付けと市場形成のための「住宅耐震検査制度」導入に関する試案の考察，日本地震工学会大会ー2004 梗概集，pp.76-79, 2005.
- 9) 星野裕・他：地方自治体の既存木造住宅の耐震診断及び耐震改修制度の実態ー東京圏の自治体を対象としたアンケート調査を通してー，第50回日本大学理工学部学術講演会講演論文集，2005.
- 10) California Earthquake Authority：Rate Manual with rates for base limits and supplemental limits, pp3-9, 2003.
- 11) 福島誠一郎，矢代晴実：地震リスクの証券化における条件設定に関する解析，日本建築学会計画系論文集，No.555, pp.295-302, 2002.5.
- 12) 福島誠一郎，矢代晴実：地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価，日本建築学会計画系論文集，No.552, pp.169-176, 2002.2.

研究実施体制

研究代表者

目黒 公郎（東京大学）（H14年8月～18年3月）

1. 簡便・高精度な耐震診断技術および耐震補強技術の開発

1.1 耐震診断・補強方法の検討及び開発

岡田 恒（独立行政法人 建築研究所）
 五十田 博（独立行政法人 建築研究所、
 信州大学（平成16年10月～））
 河合 直人（独立行政法人 建築研究所）
 槌本 敬大（独立行政法人 建築研究所）
 腰原 幹雄（東京大学）

1.2 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発

岡田 成幸（名古屋工業大学）
 谷口 仁士（名古屋工業大学）
 城 攻（北海道大学）
 高井 伸雄（北海道大学）
 平井 卓郎（北海道大学）
 植松 武是（北海道立北方建築総合研究所）
 林 勝朗（松本建工株式会社）
 石山 祐二（日本データサービス株式会社）
 井戸田 秀樹（名古屋工業大学）
 後藤 康明（北海道大学）
 北野 敦則（北海道大学）
 戸田 正彦（北海道立林産試験場）
 野田 康信（北海道立林産試験場）
 大橋 義徳（北海道立林産試験場）
 松田 健志（松本建工株式会社）
 佐藤 克己（佐藤商事株式会社）
 坪井 利弘（株式会社永楽）
 田畑 直樹（北海道大学大学院）
 名知 典之（北海道大学大学院）
 島田 佳和（北海道大学大学院）
 磯部 信宏（名古屋工業大学大学院）
 松下 哲明（名古屋工業大学大学院）
 横山 卓見（名古屋工業大学大学院）
 山田 圭祐（名古屋工業大学大学院）
 上野 幸代（名古屋工業大学大学院）
 山崎 賢二（名古屋工業大学大学院）
 青木 量介（名古屋工業大学大学院）
 中嶋 唯貴（名古屋工業大学大学院）
 石田 隆司（名古屋工業大学大学院）

糟谷 明史（名古屋工業大学）
 小川 正洋（名古屋工業大学）
 岡本 和也（名古屋工業大学）
 日登 輝（北海道大学）

1.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発

三田 彰（慶應義塾大学）
 平田 京子（日本女子大学）
 薛 松濤（近畿大学）
 萩原 宏美（慶應義塾大学大学院）
 岩澤 修（慶應義塾大学大学院）
 土方 一弘（慶應義塾大学大学院）

2. 室内の安全性向上の実現に関する研究

2.1 地震時の家具の動的挙動シミュレーターの開発

目黒 公郎（東京大学）
 吉村 美保（東京大学）
 柳田 充康（東京大学大学院）
 伊東 大輔（東京大学大学院）
 佐藤 芳仁（東京大学大学院）

2.2 室内総合安全診断ソフトウェアの開発

岡田 成幸（名古屋工業大学）
 村上 仁（(株)日立東日本ソリューションズ）
 佐藤 俊也（(株)日立東日本ソリューション）
 阿部 郁男（(株)日立東日本ソリューション）
 高梨 勝敏（(株)日立東日本ソリューション）
 小野 さおり（(株)日立東日本ソリューション）
 黒田 誠宏（北海道大学大学院）
 菅 正史（北海道大学大学院）
 田村 篤（北海道大学大学院）
 名知 典之（北海道大学大学院）

3. 耐震補強を推進するための制度・システムの提案に関する研究

3.1 既存不適格建造物の耐震補強を推進する新しい制度やシステムの開発

目黒 公郎（東京大学）
 吉村 美保（東京大学）
 小檜山 雅之（慶應義塾大学）
 國吉 隆博（中央大学大学院）
 中嶋 朋子（東京大学大学院）
 月本 光栄（中央大学大学院）

中島 奈緒美（中央大学大学院）

3.2 軸組木造住宅の耐震診断・補強の実践化システムに関する研究

村上 ひとみ（山口大学）
 中村 仁（大阪市立大学）
 斉藤 幸雄（広島国際大学）
 橋本 清勇（広島国際大学）
 小嶋 伸仁（損害保険料率算出機構）
 野島 千里（鴻池組）
 小笠原 昌敏（小笠原・林建築研究室）
 奥田 辰雄（木四郎建築設計室）
 長能 正武（災害リスクマネジメント研究所）
 細入 夏加（京都大学防災研究所）
 阪井 健仁（大阪大学）
 隅田 浩司（山口大学）
 佐藤 昌志（山口大学）
 波多野 雅之（山口大学）

3.3 不動産評価への防災災害リスクの導入

根上 彰生（日本大学）
 小嶋 勝衛（日本大学）
 三橋 博巳（日本大学）
 宇於崎 勝也（日本大学）
 川島 和彦（日本大学）
 浅利 隆文（株式会社 不動産市場科学研究所）
 生田目 裕（社団法人 東京都宅地建物取引業協会）
 中村 八郎（NPO法人 環境・防災対策研究所）
 池田 太一（株式会社 全国不動産鑑定士ネットワーク）
 野田 悠介（日本大学大学院）
 長谷川 玄（日本大学大学院）
 近江 大輔（日本大学大学院）
 小泉 佳典（日本大学大学院）
 加藤 竜一（日本大学大学院）
 立唐 寛之（日本大学大学院）
 中村 豪（日本大学大学院）
 羽場 なつみ（日本大学大学院）
 菊池 通（日本大学大学院）
 齋藤 真理（日本大学大学院）
 徳江 明宏（日本大学大学院）
 中島 祐介（日本大学大学院）
 岩田 知久（日本大学大学院）
 杉山 遥佳（日本大学大学院）
 遠藤 哲也（日本大学大学院）
 星野 裕（日本大学大学院）
 本間 章久（日本大学大学院）
 足立 大介（日本大学大学院）
 加藤 陽平（日本大学大学院）

3.4 保険デリバティブ制度の検討

三田 彰（慶應義塾大学）
 楠本 和緒（慶應義塾大学大学院）
 神田 亜希子（慶應義塾大学大学院）
 田村 仁志（慶應義塾大学大学院）
 宮本 龍（慶應義塾大学大学院）

3.5 住宅の耐震性を促進させる社会システムと保険制度のあり方に関する研究

矢代 晴実（東京海上日動リスクコンサルティング株式会社）
 坪川 博彰（元損害保険料率算出機構）
 松本 優（東京海上日動リスクコンサルティング株式会社）
 林 孝幸（東京海上日動リスクコンサルティング株式会社）

3.6 防災性能と福祉を結合した既存住宅改修支援制度の創設に関する研究

塩崎 賢明（神戸大学）
 堀田 祐三子（神戸大学）
 北尾 真哉（神戸大学大学院）
 寺村 省吾（神戸大学大学院）
 松尾 紘子（神戸大学大学院）
 白田 文昭（神戸大学大学院）
 稲垣 正教（神戸大学大学院）
 福本 えりか（神戸大学大学院）
 石川 路子（神戸大学大学院）
 竹山 清明（京都府立大学）
 児玉 善郎（日本福祉大学）
 大塚 毅彦（明石高等工業専門学校）

