

3.1.4.2 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

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 ヶ年の年次実施計画
- (e) 平成 15 年度業務目的

(2) 平成 15 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法と成果
 - 1) 萩市の軸組木造住宅耐震性能評価
 - 2) 「すまいのカルテ」点検法の改善
 - 3) 大阪市における戦前木造住宅の耐震性能調査
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成 16 年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 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

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
山口大学理工学研究科	助教授	村上ひとみ	hitomim@yamaguchi-u.ac.jp
大阪市立大学	助手	中村 仁	nakamura@urban.eng.osaka-cu.ac.jp
広島国際大学	教授	斉藤幸雄	saitouy@it.hirokoku-u.ac.jp
(元)損害保険料率算出機構	主任研究員	小嶋伸仁	nob-kojima@mvh.biglobe.ne.jp
大阪市立大学	大学院生	阪井健仁	libera@fh.freeseerve.ne.jp
京都大学防災研究所	大学院生	細入夏加	hosoiri@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
山口大学	大学院生	隅田浩司	sumida903@earth.csse.yamaguchi-u.ac.jp

(c) 業務の目的

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あるが、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特別プロジェクト - 4 の中でも鋭意研究が進められている。そこで、本研究では、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実践的な支援システムとして、住宅の持ち主、住まい手、設計者等が、耐震診断の方法、耐震補強の工法、補強による効果を理解しやすい文書、電子的マニュアルやハンドブックを開発することを目的とする。

(d) 5 カ年の年次実施計画

1) 平成 14 年度：

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地震安全性評価のための現地調査を実施した。すまいのカルテ調査を 23 棟について実施し、居住者の災害危険意識や住宅各部位の損傷劣化傾向を示した。構造詳細調査を実施した 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た。

2) 平成 15 年度：

初年度に萩市浜崎地区で実施した耐震性能評価の分析を進め、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、試算を行った。また、「すまいのカルテ」点検法を簡略化して改善をはかり、試行点検調査により効果を確かめた。次に大都市圏に位置して戦前木造住宅の密集する大阪市野田地区を対象として住宅の実測調査を実施し、典型的戸建て住宅と長屋建て住宅について耐震性能評価を行い、耐震補強法について検討した。

3) 平成16年度：

地域特性を考慮の上、実在住宅への耐震診断・補強実施事例を調査収集し、データベース化をはかる。すまいのカルテの点検による劣化度の相対評価手法を検討し、維持管理支援を目的とした情報ツールに発展させる。

4) 平成17年度：

耐震診断・補強事例のデータベースに基づき、補強支援情報を階層化するとともに、理解を促進する可視化ツールを開発する。耐震性能評価と耐震補強法の実践化支援マニュアル・ハンドブック試用版を作成する。

5) 平成18年度：

耐震性能評価と耐震補強法の実践化マニュアル・ハンドブックについて、住まい手など住民、建築技術者、自治体職員等による評価を行い、実用化にむけて改善をはかる。それをホームページに公開するとともに、講習会など地域で配布し啓発をはかる。

(e) 平成15年度業務目的

軸組木造住宅の地震安全性調査と耐震診断について、調査地域を萩市浜崎地区から大阪市野田地区に拡張し、地域特性と居住環境の差異に配慮した診断手法と補強法の検討を行う。すまいのカルテについて点検法の改善をはかり、信頼性の向上と健全なすまいの維持管理に資する支援情報システムについて検討する。

(2) 平成15年度の成果

(a) 業務の要約

研究グループは日本建築学会近畿支部木造部会を中心に構成されている。まず、初年度に萩市浜崎地区で実施した木造住宅の地震安全性調査に基づき、伝統的木造軸組構造町屋の構造特性と耐震性能の分析を進め、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、その効果を試算した。さらに、住宅の劣化・損傷度に関する「すまいのカルテ」点検法について、点検部位の重点化と損傷述語の簡略化による改善策を提案し、改訂版により点検試行調査を行い効果を確かめた。次に大都市圏に位置して戦前木造住宅の密集する大阪市野田地区を対象として住宅の実測調査を実施し、典型的戸建て住宅と長屋建て住宅について耐震性能評価を行い、耐震補強の方法とその効果について検討した。

(b) 業務の実施方法と成果

1) 萩市の軸組木造住宅耐震性能評価

a) 萩市浜崎地区の建物の特徴的な構造形式

山口県萩市の伝統的建造物群保存地区である、浜崎地区の木造住宅を対象とした現地調査¹⁾をもとに、限界耐力計算手法²⁾による耐震性能評価を行った。

調査を行った代表的な住宅として FJ 邸を図 1 に示す。屋根は切り妻平入で、2 階居室部は前面道路側に偏している。2 階管柱の真下の 1 階部分に柱がない住宅も見られた。1 階の階高は 2100mm ~ 3700mm で、2700mm 前後が多く、2 階の階高は 1900mm 程度であった。けた行方向(前面道路と平行方向)は開口が多く、土壁が少ない。一方、張り間方向(前面道路と直行方向)は建物の両側(外壁)が隣家と接しているため、ほとんどが土壁であった。また、2 階部分については、両方向とも、比較的土壁が多い。土壁の厚さは 60mm 程度であった。

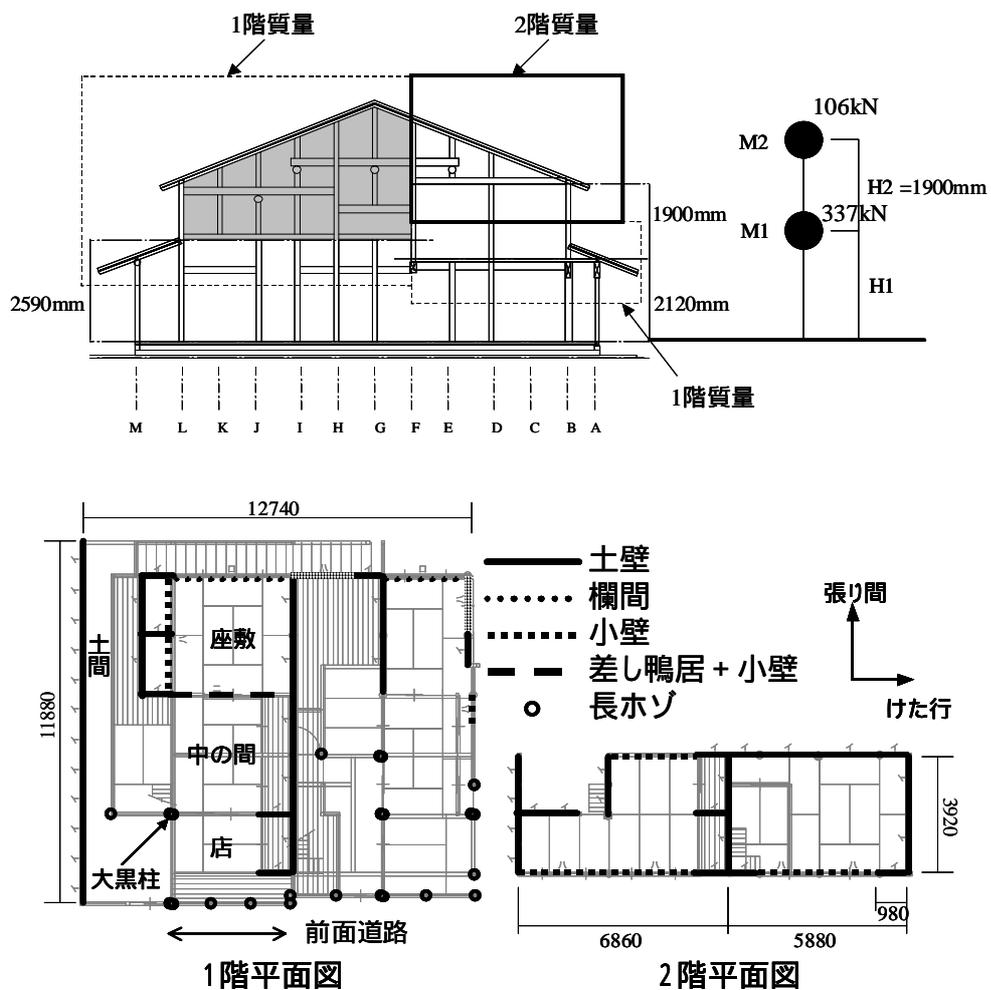


図 1 FJ 邸の平面図と断面図

b) 耐震性能評価の方法

2000年に改正された建築基準法施行令で、新たに加えられた限界耐力計算に準じた手法により検討を行う。限界耐力計算では、建物の耐力・変形能力・減衰能力・応答スペクトルによる地震外力を考慮し、地震時に建物がどの程度変形するかを算出する。

萩市の地震地域係数 Z は 0.8、地盤種別は第 3 種地盤である。ここでは萩市でのボーリングデータ、地盤の常時微動計測、堆積地盤の形成過程などを考慮して地盤モデルを作成し、告示に基づいて算定した加速度応答スペクトルを用いる。こうして算定した安全限界検証用の加速度応答スペクトルを 1/5 にした値を損傷限界検証時には用いる。

耐震性能の評価は、以下に示す伝統的な木造の耐震性能評価の一般的な判定基準を目安に行う。1/120rad の変形では、建物にほとんど損傷がなく、補修も必要でない、損傷限界である。1/60rad は、若干の補修が必要となるが、再使用可能限界であり、1/30rad は、筋かいやパネルに大幅な損傷、土壁には大きなひび割れの入る、補修・再使用可能限界である。1/15rad では、大きな残留変形が生じ、これを越える応答変形では倒壊に対する安全性の保障ができない、安全限界である。なお、耐震性能評価は、詳細調査を行った 7 棟のうち 5 棟について行った。

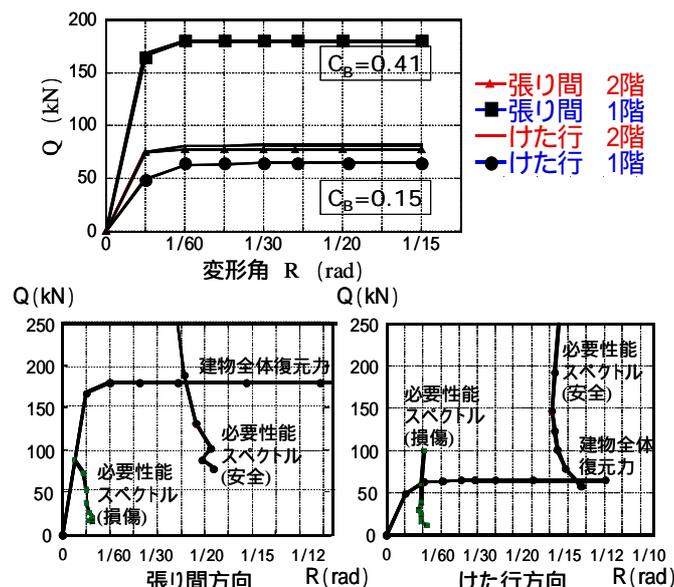


図 2 FJ 邸の復元力特性と性能評価結果

c) 5 棟の耐震性能評価結果

調査を実施した 5 棟では、けた行方向の土壁が少なく、張り間方向では外壁による土壁が多い。このため、張り間方向がけた行方向よりも安全限界時耐力が大きい結果となった。また、2 階については両方向とも土壁が比較的多いため、1 階より応答変形角が小さい傾向が見られた。

5 棟の応答層間変形角を図 3 に示す。極めて稀に発生する地震に対する 1 階けた行方向の層間変形角は 1/20 ~ 1/10rad 程度であり、大きな被害を受ける可能性が高い。全般的に

1 階張り間方向は $1/30 \sim 1/20\text{rad}$ 程度とけた行方向に比べて変形が小さく、倒壊に至る可能性は低いと考えられる。しかし、一部の建物で見られたような、隣家に接した外壁が一部撤去されているような場合は、耐震性がやや低くなっているため、注意が必要である。2 階の層間変形角は一部で $1/20\text{rad}$ 程度を示すが、両方向とも $1/30\text{rad}$ 以下の建物が多かった。なお、SK 邸の変形角が小さいのは、屋根が鉄板葺きで建物重量が軽いためである。この建物は、風に対する安全性の検討が必要である。

また、図 3 に示す結果は各層を 1 質点にモデル化して検討した結果であるが、2 階居室部分と居室ではなく小屋組となっている部分を分けてゾーン別に検討すれば、2 階居室部があるゾーンの 1 階の層間変形角は各層全体を 1 質点として検討した場合よりも大きな変形角となる。

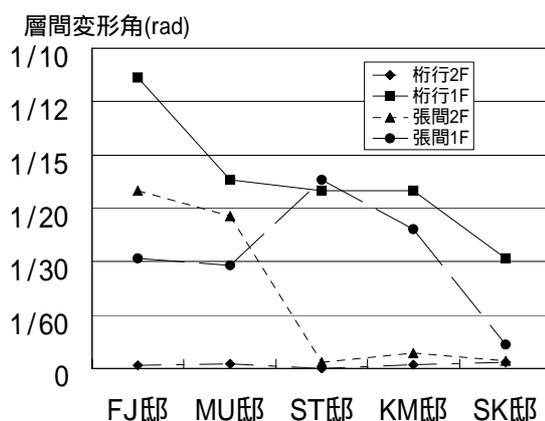


図 3 5 棟の限界耐力計算結果

d) 補強方法の提案

以上より、桁行方向で土壁がほとんど存在しない場合は、適切な耐震補強をすることが望ましいといえる。伝統的な木造軸組住宅の特長を生かす耐震補強として、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る。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る。屋根の仕様が葺き土有りの瓦の場合は、葺き土無しにして、建物重量を軽くすることも有効である。

これらの補強方法は、組み合わせが可能であり、組み合わせて用いることにより、増やすべき土壁量を少なくできる。例えば FJ 邸の建物に対して、土壁を増やす、土壁を増やしダンパーを入れる、土壁を増やしダンパーを入れ屋根葺土を撤去する、以上 3 通りの耐震補強を行う場合について安全限界時の応答層間変形角をできる限り $1/30\text{rad}$ に近づけることを目標に設計を行った事例では、いずれの場合も $1/10\text{rad}$ 近くある変形が、 $1/20 \sim 1/25\text{rad}$ 程度まで小さくなるという検討結果が出ている¹⁾。

e) まとめ

萩市浜崎における伝統的建造物群保存地区の建物の耐震性能評価を行った結果、1 階桁行方向の耐震性能が低いので、景観と地域特性を生かした耐震補強が望まれる。

2) 「すまいのカルテ」点検法の改善

a) はじめに

我々は、耐震・防災の面から見ても、安全な住宅確保のために、すまいを健全な状態に維持管理することが非常に重要である。住宅の品質確保の促進等に関する法律が改定され、既存住宅性能評価のための点検法が発表されているが、住まい手自身や地域住民が気軽に使えるものはない。本研究では、小嶋らが開発した「すまいのカルテ」⁴⁾を基に、点検項目の絞りこみと重点化により改訂版を提案し、改訂版を用いた試行調査を行い、改善効果を確認することを目的とする。

b) 「すまいのカルテ」の概要と問題点

「すまいのカルテ」は、安全・安心で長持ちするすまいを確保するために小嶋らが開発したシステムである。これは、平常時には維持管理のチェックシート、増改築・修繕時には被害状況チェックシートになるように構成されている。

「すまいのカルテ」チェックシートは A4 版全 6 ページから成り、住宅の立地環境条件、災害危険、周辺状況、基礎土台、外壁、屋根、部屋についてそれぞれ点検項目が記されている。部位項目と述語部が行列を構成しており、調査点検時には損傷の有無、また有ればその該当する状態のセルにチェックを入れる。なお、基本的な部位として 41 種類が挙げられ、部位の小区分・種類を合計すると 195 種類に上る。そして、状態を示す損傷述語も 30 項目と多い。

2002 年 12 月に日本建築学会近畿支部木造部会と伝建防災研究会は萩市浜崎地区において住宅の耐震安全性調査を実施した^{1), 5)}。その中で、23 棟の住宅を対象に「すまいのカルテ」を用いた調査が行われた。その調査結果を基に、195 箇所のうち、存在を確認された部位について、それに対応する損傷述語部の点検達成度を確認した。その結果(図 4)より、部位の有無は確認できて、それらがどのような状態にあるかを十分には確認できていないことがわかる。理由としては、調査対象部位が多く、損傷述語との行列が大きすぎる事が挙げられる(表 1)。

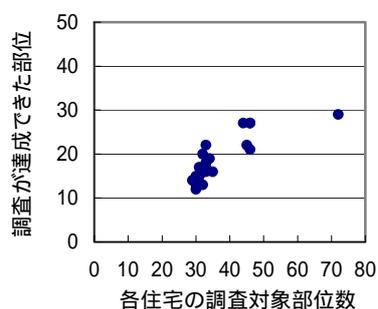


図 4 調査対象部位の点検達成度(浜崎)(N=23 件)

部位の多さに対する削減策として、「戸別点検調査」、「地域住宅群調査」という 2 種類の目的別に点検対象部位を絞ることを提案する。「戸別点検調査」は、1 戸の住宅を居住者あるいは専門家が定期的に調査する方式であり、「地域住宅群調査」は、自主防災活動や街並み保全のために住宅群を調査する方式である。

c) 「すまいのカルテ」改訂のためのアンケート調査

「すまいのカルテ」の改善のために、2003年12月にアンケート調査を実施した。調査対象としては、前述の萩市浜崎地区の調査に参加した調査員のうち、建築専攻以外の学生等を除く6名に協力を依頼し、5名から回答を得た。

アンケートの質問1「点検部位の優先度」の結果より、「戸別点検調査」では、1戸の家を念入りにみるということから、優先度の高い部位が多く、「地域住宅群調査」は、調査範囲を狭めて簡潔な調査の意図から、優先度の高い部位が少なかった。

質問2「点検部位と損傷述語部の関連性」の平均値分布(図5)より、閾値を2.7として損傷述語を削減した。なお、質問3「損傷の有無と度合いの評価」の回答より、度合いでの確認が求められているが、現段階での度合いによる調査の導入は難しいので、今後の課題としていく。アンケート結果を基に「すまいのカルテ」を改訂した結果を示す(表1)。

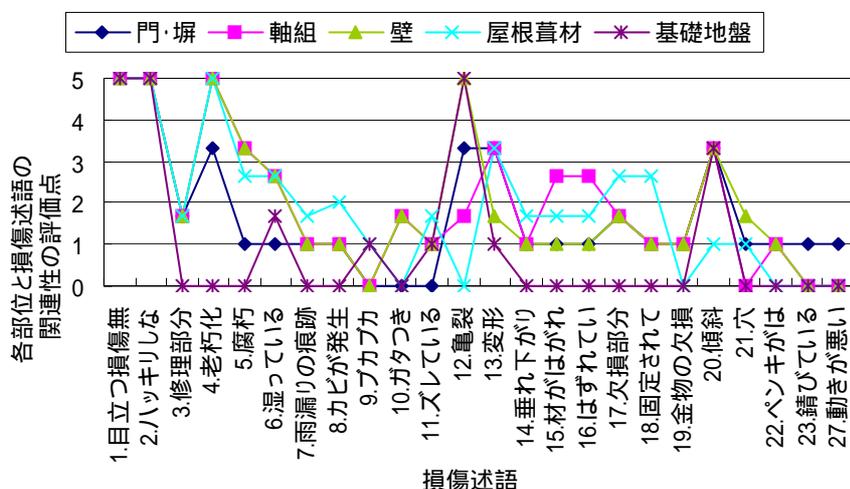


図5 部位と損傷述語の関連性評価点(5:関連性が強い、3:あまり強くない、1:殆ど無い)

表1 「すまいのカルテ」の比較

カルテ種別	部位	部位区分	損傷述語
既存カルテ	41	195	30
改訂版 戸別点検調査	28	106	18
改訂版 地域住宅群調査	24	96	18

d) 住宅点検の試行調査

改訂版の「すまいのカルテ」がどのように改善されたかを評価するために、2004年2月、宇部市西岐波の住宅33戸を対象に改訂版カルテを使用した地域住宅群調査を実施した。調査は2班計4名がそれぞれ23戸、22戸に対して行った。その内10戸については、点検結果検証のため、両班がそれぞれ独立に調査を行った。

まず、調査の点検達成度を図6に示す。横軸は「すまいのカルテ」の「地域住宅群調査」で調査すべき部位項目から、無い部位を除いたもので、縦軸は調査対象部位のうち、実際に損傷有無または程度を確認できた数である。今回の調査では室内に入らなかったため、

各住宅の調査対象部位数は少なかったが、調査の達成度を示す平均の傾きは、浜崎調査(図4)より今回の方が大きいといえる。

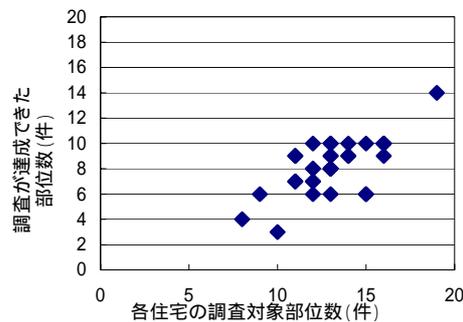


図6 調査対象部位の点検達成度(西岐波)(N=33件)

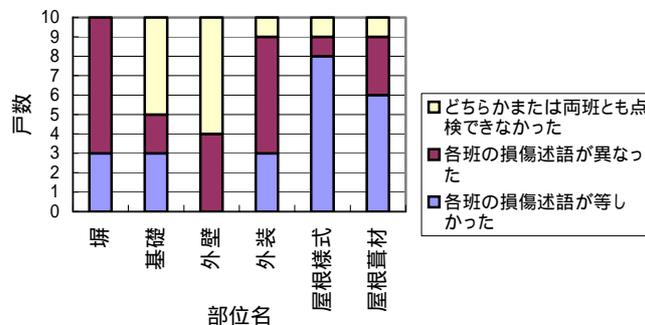


図7 各班の点検結果比較(N=10件)

調査結果から、「塀」、「外壁」、「外装」に多く損傷が現れていること、また、「屋根」に関する部位に目立った損傷は無いことがわかった。次に、両班が独立に調査を行った10戸について、各部位に対する両班の調査結果の一致状況を示す(図7)。「塀」、「外装」は点検しやすい項目であるが、その損傷程度を判断する際に個人差が出ることがわかる。「屋根」についての点検は一致したが、「基礎」、「外壁」については外観目視では点検ができないものがあった。

e) まとめ

本研究では、専門家へのアンケート調査結果を基に点検対象部位を絞りこみ、損傷述語として関連の強いものを選ぶことにより、「すまいのカルテ」改訂版を作成した。また、「すまいのカルテ」改訂版を用いて宇部市西岐波地区で点検試行調査を実施したところ、点検達成度の改善がみられ、住宅の各部位への損傷程度を確認ができた。今後の課題として、「すまいのカルテ」点検のあいまいさを下げる工夫や、損傷述語についての得点化に向けた改善が挙げられる。

謝辞 小笠原昌敏(小笠原・林建築設計室)、武田憲明(京都大学大学院)の両氏にはアンケート実施にあたり、また、宇部市西岐波校区自主防災会には点検調査にあたり協力していただいたことに謝意を表す。

3) 大阪市における戦前木造住宅の耐震性能調査

a) 調査の目的

平成 10 年（1998 年）住宅・土地統計調査によると、大阪市には、第 2 次世界大戦終戦以前（1945 年以前）に建築された木造の戸建て住宅が 19,100 戸、長屋建て住宅が 36,600 戸、合わせて 55,700 戸存在する。

大阪市は、1999 年に、地震時に大きな被害が予想される市街地として、約 3,800ha（地域の約 17%）を「防災性向上重点地区」に指定しているが(図 8)、その多くは、戦前木造住宅が集積する地区である⁶⁾。

本調査の目的は、大阪市における戦前木造住宅集積地区の地震安全性向上の観点から、戦前木造住宅の典型例をモデルとして耐震性能評価を行い、耐震補強設計案を検討することである。



図 8 大阪市の防災性向上重点地区と福島区野田地区の位置

b) 調査の方法

大阪市の「防災性向上重点地区」に該当する福島区野田地区（図 8）において、戦前木造住宅（10 棟）の実測調査を行い、実測調査の結果から、戸建て住宅の典型 1 棟、長屋建て住宅の典型 1 棟を選定して耐震性能評価を行い、耐震補強設計案を検討した。

戦前木造住宅は、基本的に伝統的な軸組構法で建築されており、耐震性能評価では、伝統的な軸組構法の建築物に適した手法である「限界耐力計算法」を用いた。

c) 実測調査の結果

2003年9月～11月に、大阪市福島区野田地区において、住民の協力が得られた戦前木造住宅（10棟）を対象に実測調査を行った。実測調査は、2～5名のグループで、1棟につきおおむね半日をかけて行い、耐震性能評価に必要なデータ（平面図・断面図・軸組図、耐震要素の寸法・仕様、増改築・維持管理の状況など）を把握した。

10棟のうち、戸建てが5棟、長屋建てが5棟である（表2）。ただし、長屋建てについては、同じ棟のすべての住戸を調査することが不可能であったため、実測調査をした住戸以外は、推測にもとづいている。

表2 実測調査を実施した戦前木造住宅の概要

住宅形式	建物名	階数	住戸数	延床面積 (㎡)	主たる壁の仕様	屋根の仕様
戸建て	II邸	1階建て	1戸	53	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
	YN邸	2階建て	1戸	57	ボード	トタン葺き
	WN邸	2階建て	1戸	187	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
	WT邸	2階建て	1戸	192	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
	KK邸	2階建て	1戸	263	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
長屋建て	HM邸	2階建て	2戸	183	土壁	瓦葺き(葺き土なし)
	MI邸	2階建て	3戸	216	ボード	瓦葺き(葺き土あり)
	NN邸	2階建て	4戸	245	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
	ID邸	2階建て	4戸	320	土壁	瓦葺き(葺き土あり)
	NM邸	2階建て	5戸	407	ボード	瓦葺き(葺き土あり)

実測調査の結果から、壁の配置の特徴をみると、戸建て、長屋建てともに、梁間方向（間口と垂直の方向）は壁が多い傾向にあるが、桁行方向（間口と並行の方向）は、壁が極端に少ない傾向にある。これは、伝統的な町家などと同じ傾向を示している。

また、どの住宅も増改築を行っていたが、延床面積が200㎡前後の戸建て住宅（3棟）では、既存の間取りを大きく変更せずに居室やベランダなどの増築を行っているケースが多かった。一方、延床面積が100㎡に満たない狭小な戸建て住宅（2棟）や長屋建て住宅（5棟）では、構造体のみを残した全面的な改修、柱や壁の位置の変更といった、比較的大規模な増改築が多くみられた。とくに長屋建ての場合は、建物の一部が切断されて、独立した住戸として建替えられているケースが5棟中3棟みられた。

柱は、すべての住宅において、そのほとんどが、3寸5分（105mm）角の杉材である。

壁は、土壁が主流だが、改築で土壁を除却して、ボード貼りとしているケースもあった。すべての住宅において、増築部分の壁はほとんどがボード貼りである。土壁の上にボードを貼っていると推測されるケースも多い。

屋根は、10棟のうち8棟が、瓦葺き（葺き土あり）である。葺き土を取って瓦を葺き替えたケースも1棟ある。

なお、過去の災害時における被害履歴をみると、1950年のジェーン台風や1961年の第2室戸台風における浸水被害が7棟で確認できた。1995年の兵庫県南部地震の被害については、壁に小さなヒビが入る、屋根瓦がずれるといった比較的軽微な被害が、戸建てで3棟、長屋建てで4棟の計7棟で確認できた。

d) 戦前戸建て住宅の耐震性能評価と耐震補強設計案の検討

実測調査の結果をふまえ、戦前に建築された戸建て住宅の耐震性能評価の対象として、WN邸を選定した。

）建物概要

対象建物（WN邸）の外観を写真1に示し、天井裏の状況を写真2に示す。



写真1 WN邸（戦前戸建て住宅）の建物外観



写真2 WN邸の2階天井裏

）耐震性能評価の検討方針

限界耐力計算法によって現況の耐震性能を評価する。損傷限界検証用および安全限界検証用の入力地震動に対する応答層間変形角を計算する。建物が所要の耐震性能を有さない場合、基本耐震補強設計案を提案し、補強効果を検討する。

対象建物は築後約70年が経過しているが、手入れが行き届いており、調査可能な範囲では、構造材等の損傷は認められなかった。計算時には経年劣化による耐力の低下を考慮しない。また、柱は全て礎石に達しており、大引の上には立てられていないと仮定する。床面と屋根面には剛床仮定が成立するとし、2質点系モデルとして解析する。

計算にあたり、建物の各種耐震要素の復元力特性に関しては、単位架構について作成されたそれを補正して用いることとする。ただし、土壁が横架材に達していないような架構については復元力特性を厳密には設定できない。また、1階台所、2階増築部の耐震要素は判然としない。そこで、ケーススタディを実施して建物の耐震性能を定性的に検討する。

耐震安全性の判断基準として、損傷限界レベルの入力地震動に対する所要の耐震安全性のクライテリアを層間変形角で設定し、それを1/120rad.とする。また、安全限界レベルの入力地震動に対するそれを各階1/15rad.とする。

固定荷重に関しては、建築基準法、および日本建築学会荷重設計指針を参考にし、積載荷重に関しては、2階床に600N/m²を仮定する。積雪荷重は考慮に入れない。対象建物の総重量は、第1層が263kN、第2層が178kNで、単位面積あたりの重量は、それぞれ2.68kN/m²、1.98kN/m²であり、葺土を有する瓦屋根の建物重量としては平均的な重量である。階高は、1階が2,880mm、2階が2,700mmである。

建物敷地の地盤に関しては、沖積層が厚く、良好な状態ではないと考えられる。観測地震動と模擬地震動の応答スペクトルから判断して、ここでは2種地盤の応答スペクトルを用いて検討する。

）現況の耐震性能

X方向（＝桁行方向）1階の主要な耐震要素は小壁と土壁であり、全構造耐力に占める小壁と土壁の耐力の寄与分はそれぞれ50%、37%である。2階については土壁が主要な耐震要素である。

Y方向（＝梁間方向）の主要な耐震要素は土壁であり、小壁が構造耐力に占める割合は小さく、1階の復元力は2階のその約1.7倍である。

対象建物の1/30rad。時のベースシア係数は、X方向が0.21、Y方向が0.43である。

計算結果から、Y方向に関しては、全てのケースについて、損傷限界・安全限界の両レベルの地震動に対する応答層間変形角が1、2階ともに前述の所要値を満足し、したがって耐震性に問題は無いと推察される。

一方、X方向1階に関しては、ケースの違いに関わらず、損傷限界・安全限界両レベルの地震動に対する応答層間変形角が所要値を満足しない。X方向1、2階の応答変形角はケースの違いによってばらつく。安全限界レベルの地震動に対する1階の応答変形角は最大で1/11radになると考えられ、これは、建物が倒壊する危険性が高いことを示す。

以上のことから、対象建物のX方向1階には耐震補強を施す必要があると判断できる。

）耐震補強設計の検討方針

耐震補強は、建物の耐力増大を図るとともに、減衰性能を向上させて建物の振動を抑制する方針とする。補強後の耐震性能については、損傷限界・安全限界レベルの地震動に対する応答層間変形角が所要値を満足するために、必要最小限の耐震補強を行うこととする。

耐力増大に関しては、まず、既存土壁と横架材の隙間を壁土にて閉塞し、土壁が地震に対して十分に抵抗できるようにする。つぎに、部材の新設を行う。

耐力増大のためのデバイスについては、荒壁パネルを採用する。これは、靱性能を保持しながら耐力増大が図れるデバイスである。また、減衰性能向上のためのデバイスについては、建物の使用、内装、外観等に影響を及ぼさないことを考慮に入れ、仕口ダンパー(20cmタイプ)を採用する。さらに、地震時に柱が礎石から外れることがないように補強を行う。

）補強設計案の耐震性能

対象建物のX方向1階について、補強前と補強後（設計案）の耐震性能の比較を図9に示す。



図9 WN邸（戦前戸建て住宅）の補強前後の耐震性能比較

損傷限界・安全限界レベルの地震動に対する応答層間変形角は、補強設計目標である1/120rad.以下、1/15rad.以下となっている。ベースシア係数は0.25(1/30rad.時=1/15rad.時)であり、これは補強前の約1.2倍である。等価粘性減衰定数は0.07(1/120rad.時)であり、補強前(0.05)と比べて1.4倍に増大している。

1階の補強によって、1階の応答層間変形角は補強前と比べて小さくなったものの、2階のそれは補強前と比べて大きくなっている。これは、建物の変形が1、2階で平均化されているためである。すなわち、建物に入力された地震動に対し、1、2階でバランスよく応答している。

以上のことから、荒壁パネルと仕口ダンパーの設置によって耐力の増大と減衰性能の向上が図られ、応答層間変形角も設計目標値を満足できることが確認できた。

ただし、ダンパー設置、壁の新設に関しては、柱・梁接合部や構面の状況等を詳細に調査する必要がある。

e) 戦前長屋建て住宅の耐震性能評価と耐震補強設計案の検討

実測調査では、長屋建てについては、個々に特殊な増改築がなされており、典型的な建物を選定することが困難であった。そこで、NN邸をベースとして、増改築の一般的な傾向を反映した長屋建て住宅モデルを新たに作成し、耐震性能の評価を行った。

) 建物概要

野田地区における戦前長屋建て住宅の町並みを写真3に、長屋建て住宅モデルのベースとしたNN邸の建物外観を写真4に示す。

想定した長屋建て住宅モデルは、商店街沿いに多い店舗併用タイプであり、1階店舗部分の開口部が大きく、桁行方向に壁がほとんど存在しない。



写真3 戦前長屋建て住宅の町並み



写真4 NN邸（戦前長屋建て住宅）の建物外観

）耐震性能評価の検討方針

限界耐力計算法によって現況の耐震性能を評価し、損傷限界検証用および安全限界検証用の入力地震動に対する応答層間変形角を計算する。建物が所要の耐震性能を有さない場合、基本耐震補強設計案を提案し、補強効果を検討する。

耐震性能評価の基本的な検討条件は、戸建て住宅の場合と同様とする。なお、長屋建築の場合、一般的には隣棟間隔が極めて狭いが、ここでは隣棟間隔については十分に確保されていると仮定する。

対象建物の総重量は、第1層が 358kN、第2層が 282kN、単位面積あたりの重量は、それぞれ 2.61kN/m²、2.60kN/m²、階高は、1階が 2,960mm、2階が 2,750mmである。

）現況の耐震性能

X方向（＝桁行方向）1階の主要な耐震要素は、土壁と構造用合板小壁であり、両者の耐力が全構造耐力に占める割合は 1/30rad.時に約 61%である。構造用合板の限界変形角は 1/30rad.であるため、それより大きい変形では建物全体の耐力が低下する。2階については土壁と小壁が主要な耐震要素であり、両者の耐力が全構造耐力に占める割合は 1/30rad.時に約 82%である。

Y方向（＝梁間方向）の主要な耐震要素は、土壁である。1/30rad.以下のとき、1、2階の復元力はほぼ等しい。しかし、1/30rad.以上のとき、2階の復元力は1階のその約 0.83倍である。これは、構造用合板小壁と石膏ボード壁の復元力特性に起因する。

対象建物の 1/30rad.時のベースシア係数は、X方向が 0.12、Y方向が 0.36である。

建物の偏心率は 0.21であり、現行の建築基準法による $Re < 0.3$ と照らし合わせても、過大ではない。

ボード等の壁の仕様が不明なために仮定を設定してケーススタディによる評価を行っているが、計算ケースの違いによる構造耐力の評価にばらつきが 10～50%認められ、X方向でそれが顕著である。対象建物のように耐震要素が比較的少ない建物の場合、ボード貼

り壁等の仕様によって、構造耐力に大きな差が生じる。

計算結果から、Y方向に関しては、全てケースについて、損傷限界・安全限界の両レベルの地震動に対する応答層間変形角が1、2階ともに所要値を満足し、したがって耐震性に問題は無いと推察される。

一方、X方向1階に関しては、ケースの違いに関わらず、損傷限界・安全限界両レベルの地震動に対する応答層間変形角が所要値を満足しない。前述のように、計算ケースの違いによって構造耐力には大きな差が現れるものの、応答層間変形角に基づく建物の耐震性能には差が現れていない。これは、建物の構造耐力が絶対的に不足しているからである。

以上のことから、対象建物のX方向1階には耐震補強を施す必要があると判断できる。

）耐震補強設計の検討方針

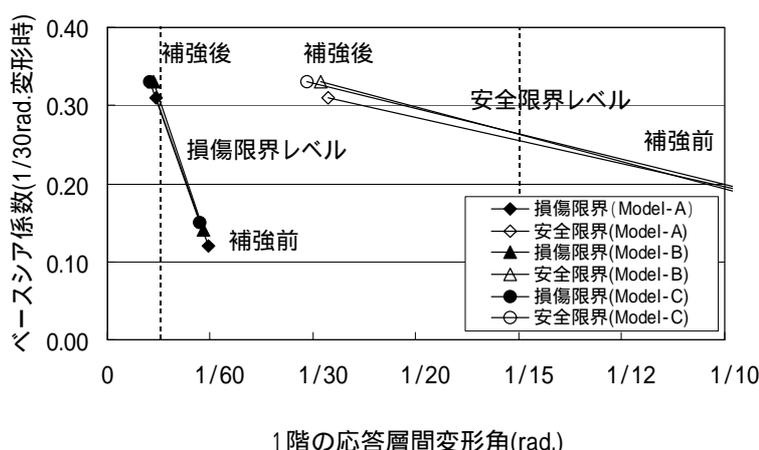
耐震補強の方針は、建物の構造耐力を確保するとともに、減衰性能を向上させて建物の振動を抑制することである。補強後の耐震性能については、損傷限界・安全限界レベルの地震動に対する応答層間変形角が所要値を満足するために、必要最小限の耐震補強を行うこととする。

耐力確保については、まず、既存土壁と梁の隙間を壁土にて閉塞し、土壁が地震に対して十分に抵抗できるようにする。つぎに、構造用合板壁を撤去して土壁を設置し、1/30rad.以上の変形性能を確保する。それでもなお不足する耐力については壁材の設置によって解消する。さらに、減衰性能の向上によって地震応答の抑制を図る。

耐力増大のための新設デバイスについては、荒壁パネルを採用する。また、減衰性能向上のためのデバイスについては、粘弾性仕口ダンパー（20cmタイプ）を採用する。

）補強設計案の耐震性能

対象建物のX方向1階について、補強前と補強後（設計案）の耐震性能の比較を図10に示す。



(図注)
ここでは、建物全体（住宅4戸モデル、Model-A）のほか、参考として、一部解体を想定した2戸モデル（Model-B）および1戸モデル（Model-C）を検討している。ただし、モデル間で結果に大きな差はない。

図10 戦前長屋建て住宅（NN邸モデル）の補強前後の耐震性能比較

図10から、損傷限界・安全限界レベルの地震動に対する応答層間変形角は、補強設計目標である1/120rad.以下、1/15rad.以下となっていることが分かる。ベースシア係数は

0.31 (1/30rad.時) ~ 0.36 (1/15rad.時) であり、これは補強前の約 2.5 倍である。等価粘性減衰定数は 0.07 (1/120rad.時) でありことが分かり、減衰性能は補強前 (0.05) と比べて 1.4 倍に向上している。

1 階の補強によって、1 階の応答層間変形角は補強前と比べて小さくなったものの、2 階のそれは補強前と比べて大きくなっている。これは、建物の変形が 1、2 階で平均化されているためである。すなわち、建物に入力された地震動に対して 1、2 階でバランスよく応答している。

以上のことから、既存壁の撤去・土壁新設、および荒壁パネルと粘弾性仕口ダンパーの新設によって耐力、靱性および減衰の向上が図られ、応答層間変形角も設計目標値を満足できることが確認できた。

ただし、ここで示した補強案は、柱の直上に梁が存在し、壁およびダンパーの設置が可能であると仮定している。ダンパー、壁の新設にあたり、柱・梁接合部や構面の状況等を詳細に調査する必要がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

萩市浜崎で調査した軸組木造住宅の耐震性能評価を行い、複数の補強法による効果を検討した。すまいのカルテについては、専門家に対するアンケートに基づき点検項目と損傷述語の簡略化をはかり、点検法の改善が可能となった。さらに、大阪市野田地区の軸組木造住宅について実測調査を進め、典型的戸建て住宅と長屋住宅について耐震診断を実施したことにより、住宅の地域性把握がすすんできた。今後の課題としては、住宅の地域特性把握と、診断方法・性能評価結果のすまい手に判りやすい表現方法の検討が挙げられる。すまいのカルテについては、損傷劣化の閾値や度合いを判りやすくして点検の客観性を増すこと、劣化損傷の部位ごと相対評価を検討することが重要である。

(d) 引用文献

- 1) 日本建築学会近畿支部(木造部会)：木造住宅の耐震性能・耐震補強調査 - 萩市浜崎伝統的建造物群保存地区における調査報告 - ， 148pp., 2003.
- 2) 木造軸組構法建物の限界耐力計算による耐震設計法 編集委員会：木造軸組構法建物の限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計マニュアル, 2003.7.
- 3) 細入夏加, 鈴木祥之, 林康裕, 斎藤幸雄, 村上ひとみ, 野島千里, 須田達：萩市浜崎地区の伝統構法木造住宅の限界体力計算による耐震性能評価, 日本建築学会大会梗概集, 印刷中, 2004.
- 4) 小嶋伸仁, 吉田博昭, 鈴木祥之：すまいのカルテ, 木構造と木造文化の再構築, pp.109 - 125, 2001.10.
- 5) 村上ひとみ・他：萩市浜崎地区における軸組木造住宅の地震安全性調査 - 概要 - , 日本建築学会梗概集, 2003.
- 6) 大阪市計画調整局：大阪市の防災まちづくり計画, 1999.
- 7) 阪井健仁：密集市街地まちづくりにおける戦前木造住宅の耐震改修の可能性と課題 - 大

阪市福島区野田地区の事例研究 - , 平成 15 年度大阪市立大学大学院工学研究科修士論文, 2004.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
村上ひとみ (編集)	木造住宅の耐震性能・耐震補強 調査 - 萩市浜崎伝統的建造物 群保存地区における調査報告 -	日本建築学会近畿支部(木 造部会)	2003年6月
Murakami, H., Y. Suzuki, et al.	Seismic risk assessment of traditional timber frame dwellings - A case study of historical architecture district in Hagi city, Japan-	The third DPRI-IIASA International Symposium on Integrated Disaster Risk Management, Kyoto	2003年7月
Nakamura, J.	Prewar tenement houses as risk factors and cultural assets of the densely built-up areas in Osaka City	The third DPRI-IIASA International Symposium on Integrated Disaster Risk Management, Kyoto	2003年7月
村上ひとみ、 小嶋伸仁、他	「すまいのカルテ」点検法改善 の提案 - 萩市浜崎地区におけ る軸組木造住宅の地震安全性 調査(その2) -	日本建築学会(北海道)学 術講演会	2004年8月

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成16年度業務計画案

地域特性を考慮の上、近畿圏及び中国地方を中心に自治体等が支援して実施している実在木造住宅への耐震診断実施状況を調査収集し、診断方法とその結果等についてデータベース化をはかる。補強工法等についても、その工法の特徴と効果について資料を収集し比較検討する。

すまいのカルテにおける劣化・損傷度の点検方法客観化の工夫を講じ、実在住宅の外観目視による耐震診断調査と合わせて試行する。損傷劣化度の相対評価手法を導入し、耐震診断への反映を検討するとともに、すまいの維持管理支援ツールに発展させる。

なお、本業務にあたって、日本建築学会近畿支部木造部会の委員を中心とする研究分担者が協力して研究を進める。同部会や京都大学防災研究所における木造軸組構造の振動台実験、構造解析、耐震性能評価法の改善に関する研究グループの成果に関する情報提供を随時受けて、その知見や研究成果を有効に活用して耐震補強を促進するための社会的、地域的課題について討議する。