

木造住宅耐震補強工法選択のための意思決定ツールに関する研究

STUDY ON DECISION MAKING TOOLS FOR CHOOSING SEISMIC REINFORCEMENT METHOD OF WOODEN HOUSE

川端寛文 — * 1 花井 勉 — * 2
井戸田秀樹 — * 3 石井 渉 — * 4
河尻 出 — * 4

Hirofumi KAWABATA — * 1 Tsutomu HANAI — * 2
Hideki IDOTA — * 3 Wataru ISHII — * 4
Izuru KAWAJIRI — * 4

キーワード：
既存木造住宅, 耐震補強工法, コスト評価, 工法選択表, 低コスト

Keywords:
Existing wooden house, Seismic reinforcement method, Cost evaluation, Industrial method selection table, Low-cost

In this report, the decision making tools for choosing seismic reinforcement method of old wooden house is proposed. The tools evaluate the aseismic performance, cost, ease of construction and visual quality. The evaluated methods of reinforcement are nine newlyproposed method and four traditional method. All newly-proposed methods get certified from the Japan Building Disaster Prevention Association and the four traditional methods contains the method using plywood with opening for more convenient works. The proposed tools can help a rational decision for both structural designers and house owners, and can promote the aseismic reinforcement of old wooden house.

1. はじめに

現在、改修技術の中核となる木造住宅の耐震補強工法には、従来から用いられている在来工法だけでなく、新しいアイデアに基づいた様々な工法が提案されており、その多くが実用化されている。耐震補強工法のメニューが増えることは、住宅所有者の希望に合致した工法を、あるいはその建物にあった合理的な工法を選択する上で不可欠であるが、そのメニューの中から合理的な選択をするためには、各工法の様々な特徴を客観的な尺度を用いて比較した情報が必要である。

本報では現在までに公開されている耐震補強工法に、現場からの要請の高い部分開口を有する構造用合板を用いた耐震補強工法を加えて整理分析し、構造性能にコスト、施工性、見栄えなどの仕上性、施工時の居住性の観点でも相対的評価を加えて、合理的な耐震補強工法を選択するための意思決定ツールを提案する。

2. 提案手法の位置づけ

対象とする木造住宅の耐震補強工法を選択するために、まず公開されている情報を網羅的に調査した。都道府県実施の耐震補強工法のコンペに応募された工法のべ67件、建築の関連論文約600編、(財)日本建築防災協会、(財)日本建築センターなど公的機関の認定、都道府県で独自に定めた認定の評価書より204件、公開特許、実用新案より約600件、およびその時点で公開されていたホームページより約300件の耐震補強工法の情報(いずれも平成17年時点)を収集し、このうち、ある程度の実現性と具体性を持った工法104件を調査シートにまとめ、大まかに分類したのが図1である。基礎、接合

部補強、屋根補強など様々な部位に分かれるが、開口部を含む壁系の補強工法が約半分を占めていることより。壁面補強に対するニーズの高さが窺われる。

また、所有者としては、コスト、居ながら施工の有無、分かりやすい効果の説明、見栄えなどが意思決定の重要な情報となるため、本提案手法では次のような評価基準に基づいて評価する。

- ・ 低コストで施工可能な在来木造住宅用耐震補強工法を対象とする
- ・ 開口部を含む壁系の補強に限定する
- ・ 構造性能の定量的評価として耐震補強設計で一般的に用いられる壁強さ倍率¹⁾を用いる

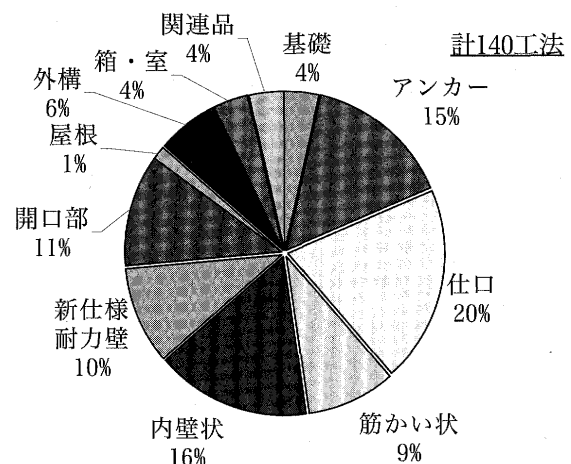


図1 耐震補強工法調査シート統計

本稿は、参考文献1)~2)を再構成し、加筆したものである。

*1 愛知県建築指導課
(〒460-8501 愛知県名古屋市中区三の丸3丁目1-2)
*2 えびす建築研究所 代表取締役・工博
*3 名古屋工業大学 准教授・工博
*4 日本システム設計

*1 Aichi Prefectural Office

*2 President, Ebisu Building Laboratory Co., Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

*4 Nihon System Sekkei

- ・ 施工コストは中立性の高い同一の基準で評価する
- ・ 施工性、見栄え、居ながら施工の有無についても評価する

3. 対象とする耐震補強工法とその構造的評価

対象とした工法は以下の3つに大別できる。

3.1 一般的な耐震補強工法

在来木造住宅の一般的な耐震補強工法としては、構造用合板による補強、二つ割筋かいによる補強が代表的である。各々の壁強さ倍率は5.2kN(大壁仕様)、6.4kN(たすき掛け)と定められている³⁾。

3.2 新しい材料を用いた耐震補強工法

図1の新しい材料を用いた壁系耐震補強工法のうち、今回は表1に示す壁強さ倍率の認定(財)日本建築防災協会)を取得している工法を対象とした。

表1 新しい材料を用いた耐震補強工法

仮称	特徴	壁強さ倍率
格子壁	通風、採光、デザイン	6.6 (kN/m)
外支柱	外構工事、居住性良	14.0 (kN/本)
無機面材	床天井解体無し	6.6 (kN/m)
木質面材	床天井解体無し	7.1 (kN/m)
制震鋼板	粘弾性体で制震効果	8.6 (kN/m)
制震壁	粘性体で制震効果	5.3 (kN/910巾)
開口耐震枠	開口部を耐力壁	3.4 (kN/910巾)
土壁パネル	パネル化で現場省力化	2.8 (kN/m)
仕口パネ	天井裏、床下配置	0.21 (kN/本)

3.3 構造用合板を用いた部分開口耐震補強工法

対象には耐震改修の施工現場から要請の高い構造用合板を用いた一部切り欠きを有する(以下、部分開口)耐震補強工法⁴⁾⁵⁾も加える。

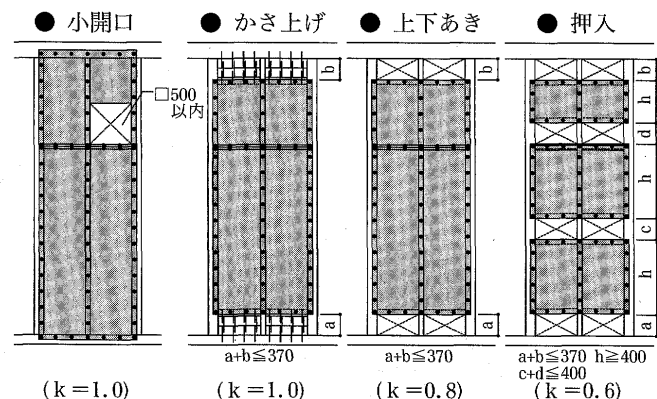


図2 構造用合板を用いた部分開口耐震補強工法

部分開口耐震補強工法としては図2に示すように、換気扇などの小窓が空く小開口対応工法、床天井を解体しないで梁と土台をかさ上げして対応するかさ上げ工法、かさ上げもしない上下あき工法、そして押し入れ奥を補強する場合に床天井に加えて中段の床も解体しない押し入れ対応工法の4種類とした。

いずれも開口の周囲には下地の胴縁を設置し、9mmの構造用合板を150mmピッチのN50くぎで止めた試験体を製作して、壁強さ倍率算定用実験を行い²⁾、図中()に示す壁強さ倍率低減係数kを設定した。

この仕様においては小開口対応、かさ上げ対応は標準の構造用合

板の構造性能を保持しているため、壁強さ倍率の低減は必要ないと評価した。上下あき対応で-20%、押し入れ対応では-40%の評価である。

4. コスト評価

壁系耐震補強工法のコスト比較のため、モデル住宅の一部を取り出した共通の構面を各工法で補強した場合のコストを算出する(図3)。新しい材料を用いた耐震補強工法については各開発メーカーから得た見積り回答を基に、工事単価を工法間で統一して見積額とし、コスト評価においては各工法により構面の壁強さ倍率のUP値が

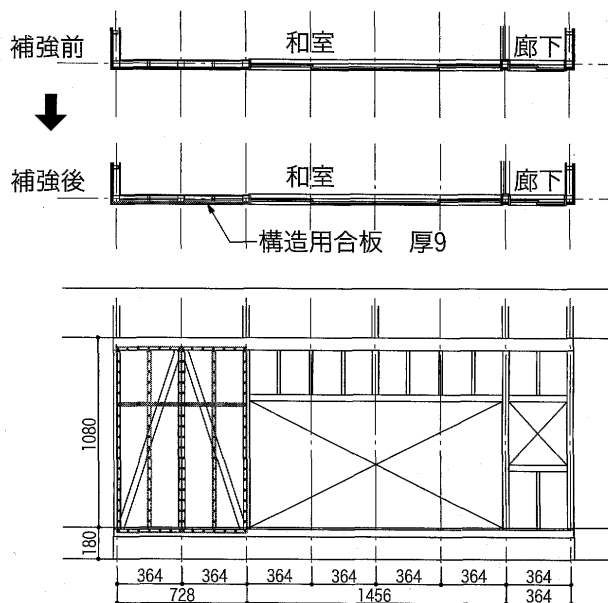


図3 コスト評価用モデル構面(構造用合板補強の例)

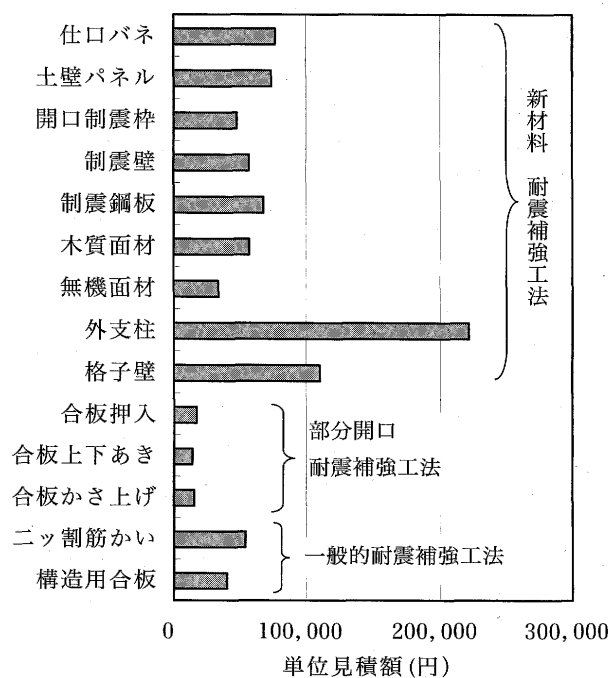


図4 耐震補強工法別単位見積額

違うため、UP値当たりの単位見積額で評価した。尚、ここでは接合部及び基礎の仕様による壁強さ倍率の低減はないものとしている。又、見積額には材料費の他、仕上復旧、廃材処理、人工、経費が含まれている。

図4に対象とした各耐震補強工法の単位見積額を示す。採光性、居住性に特徴のある工法はコストが高く、それ以外の工法は一般的工法より若干高めに位置することが分かる。又、今回新たに加えた構造用合板による部分開口耐震補強工法は条件があえばかなり低コストで耐震補強工事が出来ることを示している。

5. 耐震補強工法選択のための意思決定ツール

5.1 耐震補強工法評価シート

評価した工法の概要、特徴、仕様、説明図、およびサンプル構面でのコストをまとめて図5(最終項)のように評価シートを作成した。フォーマットが揃っているので、設計者の比較検討時、家主への説明時などに有効となる。

5.2 レーダーチャート

耐震補強工法選択の要因には、構造性能(ここでは壁強さ倍率:強度と表示)、コストの他に、居住したまま施工できるか、開口を閉鎖しないかなどの居住性、見た目はどうか、収まりの仕上がり具合はどうかなどの仕上性、施工のしやすさ、および特殊技能が必要かなどの施工性がある。

一般的な構造用合板による耐震補強を基準に、相対的評価の一例として各要因を表2の評価基準に従って点数をつけることとする。

各要因を5つの軸に割り振って、対象とした各耐震補強工法の相対的評価を図6のようにレーダーチャートで示す。標準とした一般的な工法構造用合板に比べ、各工法ともチャートのバランスに特徴が現れている。強度を優先するもの、居住性を優先するもの様々だが、グラフの面積からも構造用合板による部分開口補強工法の有効性が見て取れる。

表2 壁系耐震補強工法 評価基準

項目	基準評点	算出式
強さ	3	壁強さ倍率×0.6
コスト性	3	見積り額/壁強さ倍率UP値 5点:2万円以下、4点:3万円以下、 3点:4万円以下、2点:6万円以下、 1点:6万円超
居住性	3	人が通れる:+2点、風が通る:+1点
仕上性	3	意匠性:+1点、機能性:+1点、床天井解体無し:+1点、納まりが壁より10mm以下の出:-1点、90mmの出:-2点
施工性	3	特殊技能:-1点、特殊工具:-1点、 特殊納まり:-1点、現場合わせ:-1点、 床天井解体無し:+2点

5.3 耐震補強工法選択表

設計者には相対的評価としてのレーダーチャートを参考に家主と相談して対象建物の耐震補強工法を選択してもらうことを想定しているが、設計者にとってさらに使いやすいうように評価軸のうち最も重要な強度とコストを行列に取り、その中に耐震補強工法を当て

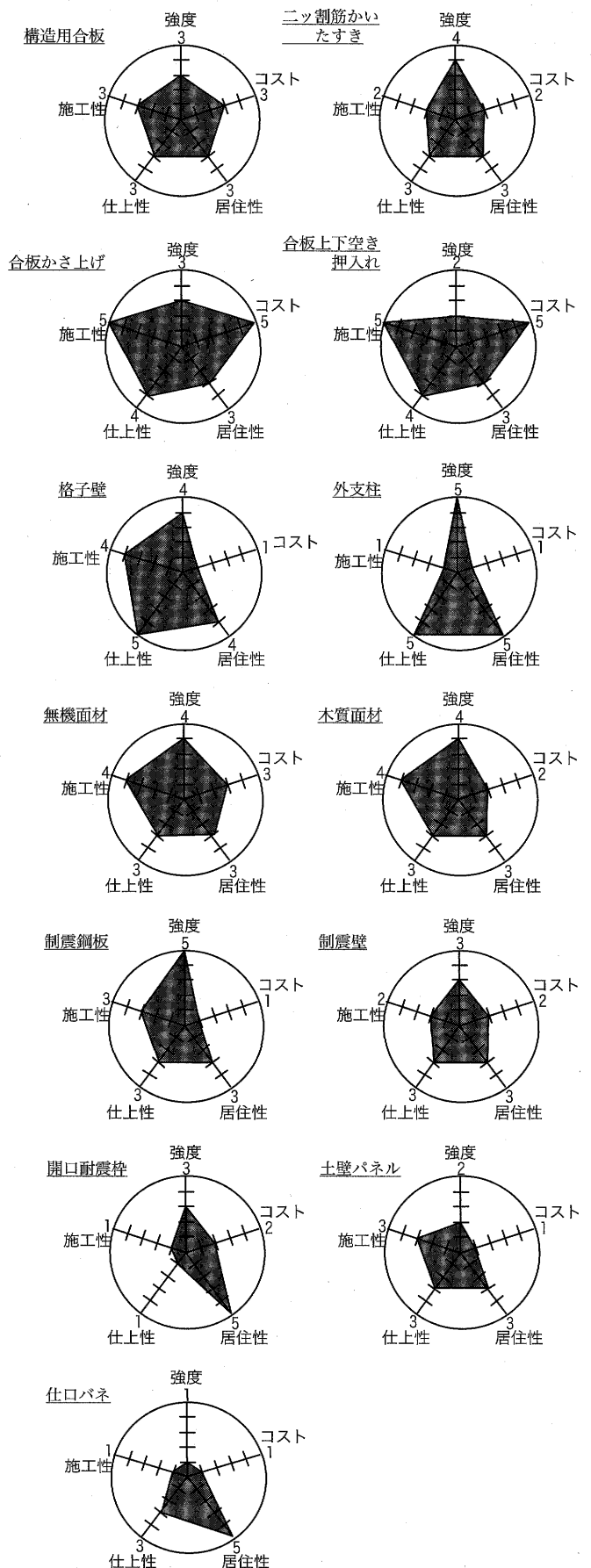


図6 耐震補強工法レーダーチャート

はめる表を作成する。表3は居住者にとってこだわりのある通風・採光の有無、天井・床解体の有無の欄も加えた耐震補強工法選択表である。一目で費用対効果の優劣が分かり、同一の列であれば低コストの欄よりその他の特徴を加味して選択していくことになる。

5.4 低コスト耐震補強設計フロー

作成したレーダーチャート、耐震補強工法選択表を用いた低コスト耐震補強のための設計フローを図7のように作成した。まず、大規模リフォーム、屋根の葺き替え、および基礎や接合部の全面的な補修・改修は大掛かりな改修工事であり、コストもかかることから専門家による個別補強設計で詳細に検討するものとする。次に耐震診断結果より必要壁強さ倍率を算出し、耐震補強工法評価シート、レーダーチャート、耐震補強工法選択表を参考に家主と相談しながら耐震補強壁（壁系）の配置計画を行なう。

補強設計での耐震診断値と概算コストで合意が得られたら、正式に工事見積りを依頼し、契約、施工への流れとなる。その際にも参考となる見積例と耐震補強工法ごとの施工シートを用意している。

5.5 設計例

低コスト耐震補強設計フローに沿って耐震補強設計をした事例を以下に示す。

PLAN1(図8):耐震診断の結果、1階両方向に補強が必要である。当面リフォームする予定は無く、屋根は軽量仕様であり、大げさな工事はしたくないとの家主の要望により、壁系での低コスト耐震補強を計画する。耐震診断評点より必要壁強さ倍率を算出して、耐震補強工法選択表で候補を選び出し、評価シート、レーダーチャートを用いて、どの補強工法であればどこに何箇所補強が必要かを説明していく。部屋内は工事せず外部からの補強にしたいとの家主の希望により、偏心に配慮して安価な一般的工法の構造用合板と二つ割筋かいで補強計画を行なう。評点が1以上となる補強案で、4章で求めた壁強さ倍率当りの工事単価に追加する壁強さ倍率をかけた概算コストを算出すると139万円となり家主の合意を得る。その後依頼した施工業者の正式な見積りでは、合理的な工事の効率が反映され86万円となった。

PLAN2(図9):上記プランを外観は変えずに部屋内で極力安価に補強した場合ということで、耐震補強工法選択表より床天井の解体をしない部分開口構造用合板補強の「上下あき」「押入れ」での補強計画を行なう。工事中の居住空間を考慮して2部屋を集中的に補強することとした。追加する壁強さ倍率から求めた概算コストは合計で51万円、正式な見積りでは積算条件が近かったため50万円となった。

PLAN3(図10):耐震診断の結果、1,2階ともX方向で補強が必要である。リフォームの予定は無く、外観は変えずに部屋内で補強箇所も出来るだけ少なくしたい、出来れば床天井もそのままにしたいとの家主の希望により、耐震補強工法選択表から耐力の高い無機面材と木質面材を候補とする。評点を1以上とする補強箇所数が少ない木質面材案が採用され、1,2階合わせた概算コストは170万円が家主の合意を得る。正式な見積りでは合理的な工事の効率が反映され125万円となった。

用意した意思決定ツールを用いることで家主の希望に沿った耐震補強工法を容易に選定でき、また、その場で概算コストを提示することは費用対効果の実感を伴った形で家主及びその家族の合意を

得る上で大変有効である。

表3 耐震補強工法（壁系）選択表

A: 通風採光なし

壁強さ倍率	2.5~4.0kN/m		4.0~6.0kN/m		6.0kN/m超	
床天井解体	有	無	有	無	有	無
2万円以下		押入れ		上下あき かさ上げ		
3万円以下						
4万円以下			構造用合板 制震壁			無機面材
6万円以下			土壁パネル 仕口パネ		筋かい	木質面材
6万円超					制震鋼板	

B: 通風採光あり

壁強さ倍率	2.5~4.0kN/m		4.0~6.0kN/m		6.0kN/m超	
床天井解体	有	無	有	無	有	無
2万円以下						
3万円以下						
4万円以下						
6万円以下					開口耐震枠	
6万円超			格子壁			外支柱

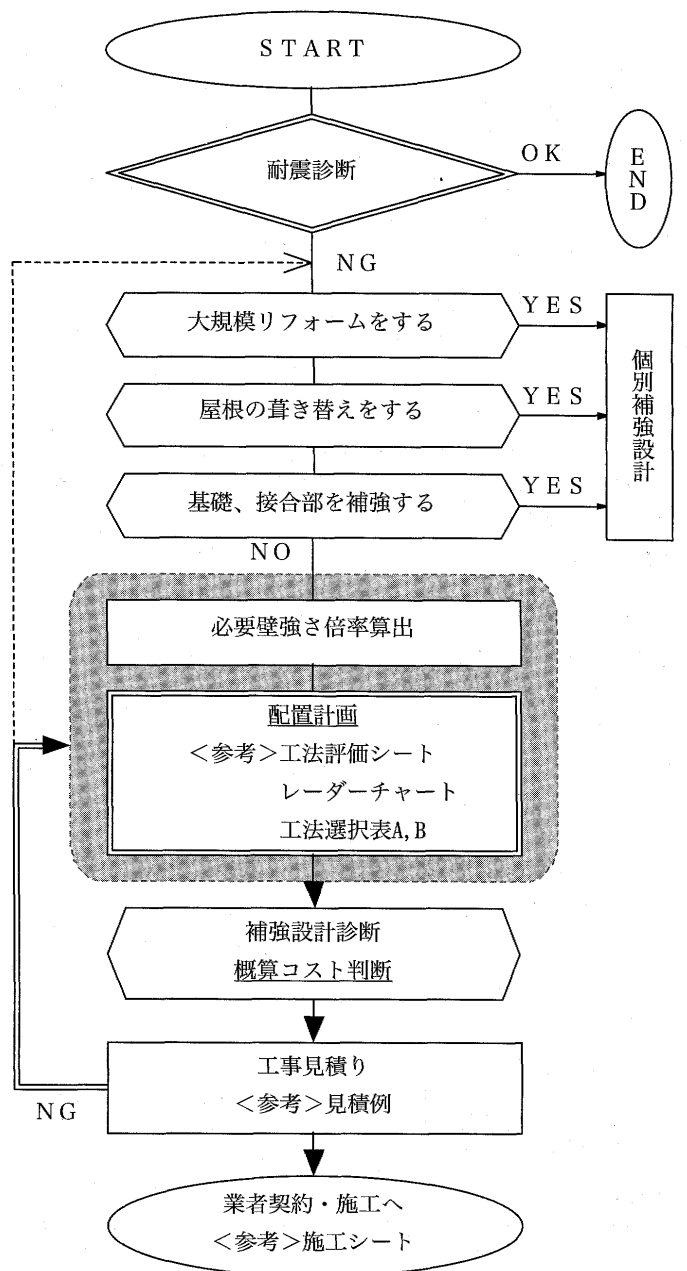


図7 低コスト耐震補強 設計フロー

6. まとめ

木造住宅の耐震改修の普及に繋がる耐震補強工法選択手法確立のため、対象とする耐震補強工法をニーズの高い壁系の低コスト耐震補強に絞込み、客観的な尺度を用いてその構造性能評価とコスト評価を行ない、各工法の評価シートを作成した。また、施工性、仕上性及び居住性の相対的評価も加えてレーダーチャート、耐震補強工法選択表を作成し、これを用いた低コスト耐震補強設計フローを提案した。

設計例に見られるように、客観的、相対的に評価された耐震補強工法とコストが結びつくことで、瞬時に希望する補強設計での概算コストが提示できるため、意思決定が容易となり、耐震改修の促進につながるものと期待する。

謝辞

本研究は、愛知建築地震災害軽減システム研究協議会（会長：相山女学園大学，小野徹郎教授）の活動の一環として実施した。貴重な意見を賜った関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 川端寛文、花井勉、井戸田秀樹、石井渉、河尻出：木造住宅耐震補強工法選択のための意思決定手法に関する研究 その1 提案手法の位置づけと耐震補強工法の評価方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008投稿中
- 2) 花井勉、井戸田秀樹、川端寛文、石井渉、河尻出：木造住宅耐震補強工法選択のための意志決定手法に関する研究 その2 意志決定手法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008投稿中
- 3) 日本建築防災協会：木造住宅の耐震診断と補強方法，2004
- 4) 城殿準一郎、井戸田秀樹、山崎和浩：面材に開口部を有する木造耐力壁の耐震性能に関する実験的研究 その1 実験概要と実験結果，日本建築学会東海支部研究報告集，第46号，pp209-212，2008年2月
- 5) 山崎和浩、井戸田秀樹：面材に開口部を有する木造耐力壁の耐震性能に関する実験的研究 その2 耐震性能評価，日本建築学会東海支部研究報告集，第46号，pp213-216，2008年2月

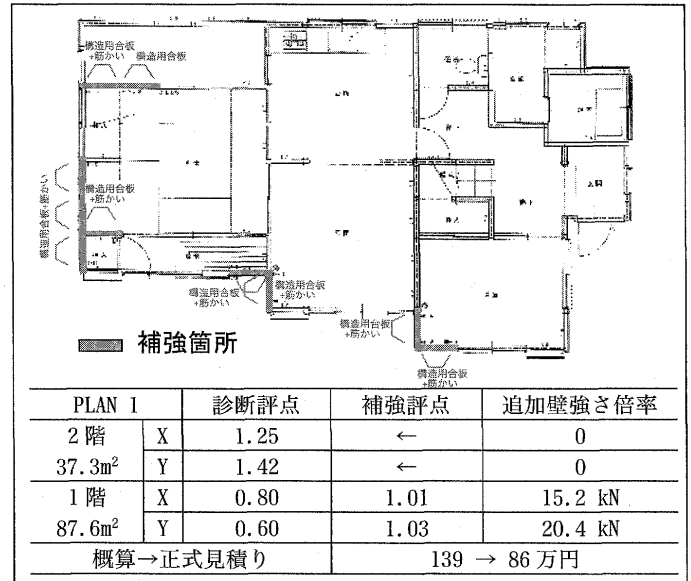


図8 設計例_PLAN1

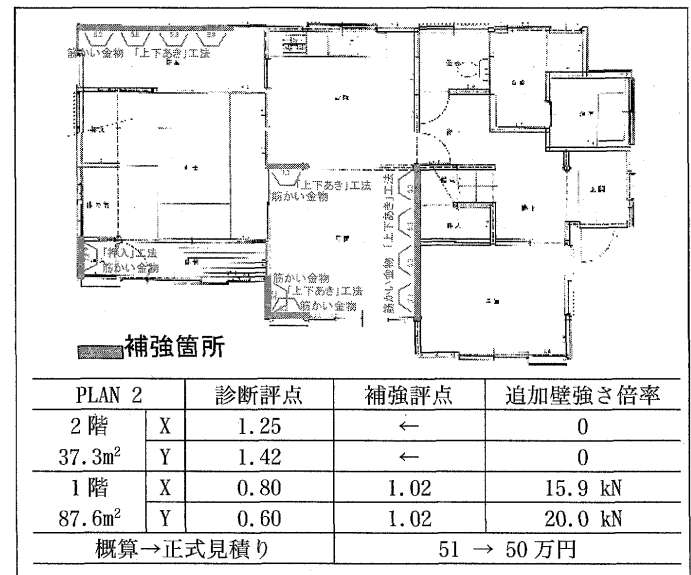


図9 設計例_PLAN2

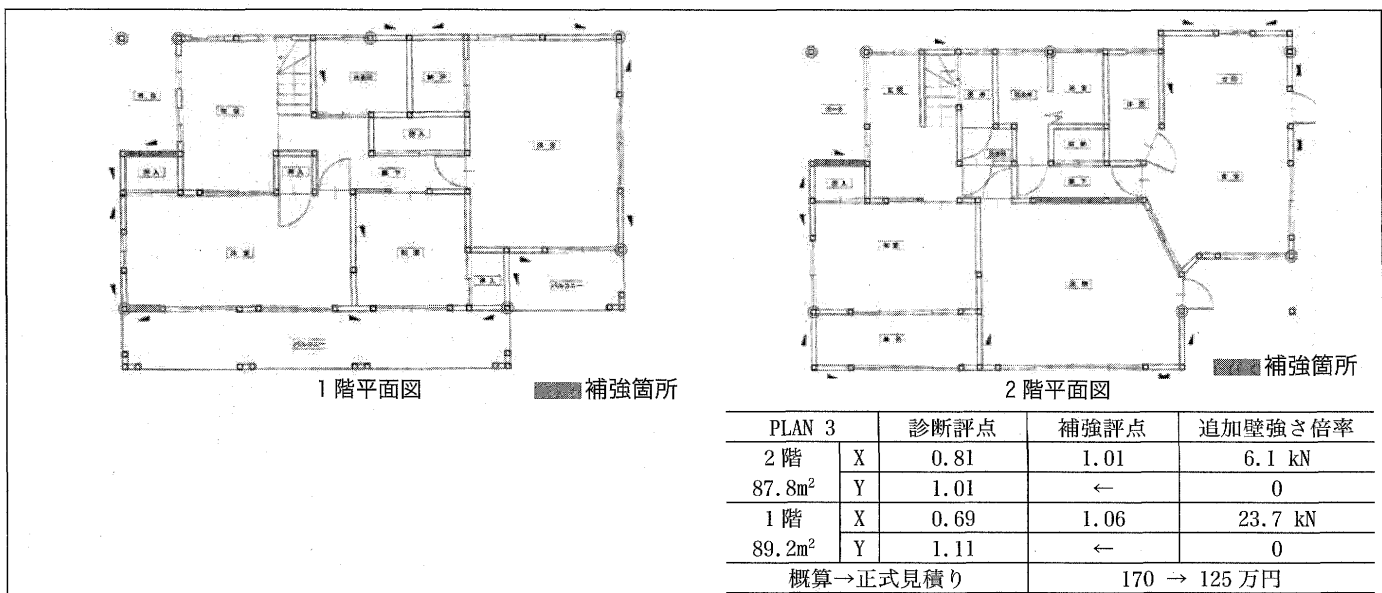


図10 設計例_PLAN3

評価シート

耐震	部位	壁	分類	通風・採光型	評価推薦日	平成 20 年 3 月 26 日	評価番号	W-012	
評価技術名称 「格子壁」					連絡先	〇〇〇	http://www. 〇〇〇		
					〒	〇〇〇			
					電話	〇〇〇	Fax	〇〇〇	
概要	技術概要 FRP(ガラス繊維強化プラスチック)面格子材による木造住宅用耐力壁。採光や通風が可能な耐力壁で、光を取り込みながら壁量を確保できる。施工はサイド金物を使用して、柱に直接固定。柱抜け防止金物も付属。 既存木造住宅の既存の床・天井を壊さずに補強できる。								
	技術の特徴 <ul style="list-style-type: none"> 耐震性を確保しながら採光、通風が可能。 インテリア性が高く、居住性を改善できる。 面材のFRP(繊維強化プラスチック)を3分割にし、施工時の搬入、取扱が簡易。 火気使用室には原則使用禁止。 						コスト		
							サンプル構面	110,568	
							モデルプラン	調査中	
公的機関による技術評価・性能証明 機関名 財団法人 日本建築防災協会 評価番号 住宅等防災技術評価 DPA-住技-14 評価取得日 2007年5月14日					実験実施機関 自社実験				
					その他 長野県既存建築物耐震化評価				
仕様	構法	木造在来軸組工法							
	規模	3階建て以下、延べ面積 500㎡以下							
	基礎、地盤	特になし							
	適用部位	内部壁							
	その他	梁とFRPとの隙間は 200mm以下、土台とFRPとの隙間は 150mm以下であることが必要							
	要 成 部 の 仕 様 面材:FRP								
	耐震補強性能 壁強さ倍率(柱間距離 900mm~1005mm)								
	施工仕様	壁の上下に開口を有するFRP。柱へサイド金物をコーチスクリューにて留め付ける。							
	壁強さ倍率(kN/m)	柱 105 角	6.6						
		柱 90 角~柱 105 角未満	6.3						
法 ①柱接合部による低減 取付部位が健全であることが前提。 ②劣化による低減 取付部位が健全であることが前提。									
施工 〇〇〇が開催する研修会。									
その他 特になし									

・図

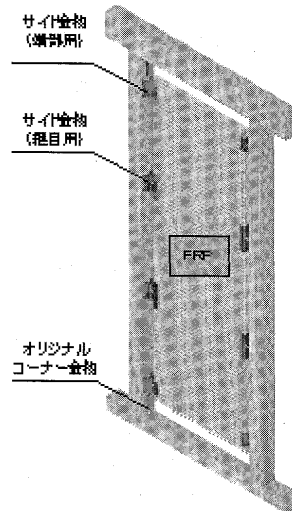


図 5 評価シート例

[2008年6月20日原稿受理 2008年8月12日採用決定]