

実データに基づく耐震補強費用の実態と耐震性能向上効果

Cost Performance of Earthquake-Resistant Reinforcement Work for Wooden Housing Based on Actual Construction Data

狩谷 のぞみ¹, 村尾 修², 熊谷 良雄², 糸井川 栄一²

Nozomi KARIYA¹, Osamu MURAO², Yoshio KUMAGAI², and Eiichi ITOIGAWA²

¹ 日本電気株式会社 (前筑波大学 大学院 修士課程 環境科学研究科)

NEC Corporation (Former Graduate Student, Master's Program in Environmental Sciences, University of Tsukuba)

² 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

Faculty of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

One of the obstruction to reinforcement work for earthquake-resistant of wooden houses is unclear efficacy on the cost. To clarify the cost performance of the reinforcement work for wooden housing, the authors obtained actual construction data-sets cooperated with Japan wooden housing earthquake-proof reinforcing businesses cooperative and a construction company. Based on the data-sets and interviews, this paper presents 1) problems related to the government grants from the viewpoints of local governments, construction companies, and residents, 2) the actual situation and contents of the reinforcement work in Japan, 3) the relationship between the cost and improvement on its earthquake-resistant capacity, and 4) suggestions how the reinforcement work in Japan should be done.

Key Words : wooden houses, cost performance, earthquake resistant, reinforcement work

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

1995年に発生した阪神・淡路大震災では大量の建物倒壊と犠牲者が発生した。直接死約5,500名のうち、約9割が建物倒壊による窒息死や圧死が原因であったとされ、その大部分が建築基準法改正(1981年)以前の旧耐震設計基準で建てられた木造住宅であった¹⁾。近年においては、東海・東南海地震や首都直下地震等の大地震の発生も危惧されており、大地震発生時の住宅の被害軽減策として、1棟でも多くの住宅の耐震補強を実施し耐震性能を向上させていくことが急務といえる。

このことから、木造住宅の耐震化を重要課題として、国や自治体を中心に耐震診断や耐震補強に対する支援制度の設置等の対策が進められている。早くから取り組まれてきた事例として静岡県と横浜市が挙げられる。静岡県では1996年から、横浜市では1995年から、木造住宅を対象とした耐震診断の無料実施や耐震改修に対する補助や融資が実施されている。耐震補強工事に関しては、静岡県では一律30万円、横浜市では世帯の所得に応じて最大で450万円(補助率9/10)の補助を行っている。静岡県における制度の実施状況についてみると、静岡県に存在する住宅約108万棟のうち6割弱の60万棟が旧耐震基準で建てられた住宅である。この旧耐震基準の60万棟のうち2001年度から2003年度に「わが家の専門家診断」(耐震精密診断)を受けた住宅は約3万棟と旧耐震基準住宅の

5%にすぎない。さらに、耐震補強工事の実施棟数に関しては2002, 2003年度で1,061棟である²⁾。このように、制度は存在しても住宅の耐震化はなかなか進まないという現状である。

既往の調査結果³⁾によると、住宅の耐震化に対する様々な支援制度が存在しても、耐震診断や耐震補強が促進されない要因として、技術面、費用面、住民意識の問題が指摘されている。また、この他にも住宅の耐震化に対する住民意識の問題を扱った既往研究⁴⁾⁻⁸⁾から、耐震補強工事に対して「いくらかかるかわからない」、「どれだけの効果が得られるのかが不明」、そして「工事をするのが面倒」といった補強工事の実態と費用対効果の問題が耐震補強行動を阻害する要因として挙げられている。

このように住宅耐震化に対する制度の実態把握、制度に対する評価、そして住民意識調査をもとにした住宅耐震化行動の阻害要因の抽出などについての研究は数多く行われているが、実際の補強工事費用やその内容に着目した研究は少ない。

そこで本研究では、住民意識の阻害要因で挙げられている耐震補強工事の実態と費用対補強効果の問題に着目し、耐震診断・耐震補強を実施した住宅事例を用いて、補強工事の内容や費用と効果の関係を明らかにすることを目的とする。さらに、住宅の耐震化に関する現行の支援制度における対象住宅基準や制度の実施状況から、耐震補強を実施する際の住民の費用負担について検討し、住宅の耐震化促進策のための一助とすることを目的とす

る。

(2) 研究の方法

研究は以下の方法で実施した。

はじめに、住宅を耐震化する方法として耐震補強に着目し、耐震補強の必要性を判定する耐震診断法と必要とされる耐震補強工事の種類について整理する。次に、

日本木造住宅耐震補強事業者協同組合（以下、木耐協）から提供された約3万件の耐震診断データ、および木耐協の組合企業から提供された145件の耐震補強工事データを用いて、住宅特性と耐震診断結果、実施した耐震補強工事の内容と費用の実態を把握する。以上のデータから、耐震補強工事による費用対補強効果の関係を明らかにするとともに、全国自治体の支援制度基準との関連から支援制度に基づいて必要とされる住民の費用負担の程度について検討する。

2. 住宅の耐震化をめぐる現状

住宅の耐震化を進めていく上で、主に行政・建設業者・住民の3者の存在が不可欠である。その関係を図1に示す。本章では、3者の耐震化に対する意識、取り組みについて文献調査およびヒアリング調査によって現状把握を行い、耐震化行動の阻害要因について整理する。

(1) 行政の立場から

住宅の耐震診断・耐震補強の促進策に対して、国土交通省では建築基準法で耐震基準を規定し、住宅市街地総合整備事業等の補助事業の設置により対策を行っている。

一方、自治体では、耐震診断の無料実施や助成制度の設置、耐震補強に対する助成・融資制度の設置等を行っている。吉村ら⁹⁾によると、このような制度を設置している自治体は、全国の自治体のうちおよそ1/3程度で、先進的に対策を行っている自治体と行政主導の取り組みが進んでいない自治体とに大別される。

先進的に取り組みを行っている自治体である横浜市および静岡県の実施状況について池田・小澤²⁾による調査が行われている。池田・小澤²⁾によると、耐震診断・耐震補強の実施数は年々増加傾向にあるものの、2003年度までの実施状況では、耐震診断を行っているのは対象とする住宅の1割未満、耐震補強にいたってはさらに少なく、対象とする旧耐震設計基準住宅の5%に満たない。このように、現状では、住宅の耐震化行動はなかなか促進していないといえる。

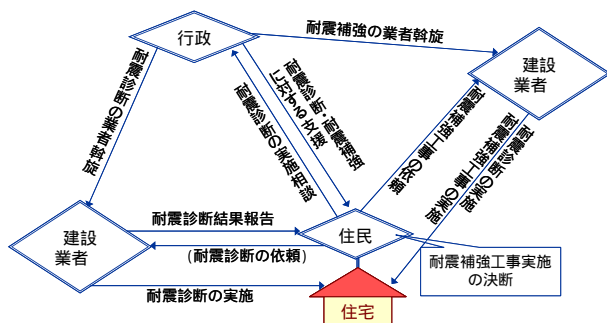


図1 耐震化に関する行政・建設業者・住民の関係^(注1)

(2) 建設業者の立場から

耐震診断・耐震補強を積極的に進めている木耐協の加盟企業A社は、木耐協主導で無料の耐震診断を実施している。そして耐震補強が必要と判定された住宅に対して提案を行い、耐震補強を行うよう住民に勧めている。また、住宅リフォームの際に同時に耐震補強工事も実施するよう推奨している。

このような立場から挙げられる問題点として、一般的に耐震補強工事が住宅の改築・リフォーム工事と同等の工事メニューであると一般的には認識されてしまっている、という点が挙げられる。耐震補強工事は特殊な工事であるため割高になることが多く、これも耐震化が促進されない一要因と考えられる。さらに、悪質な耐震補強を行う悪徳業者の出現により、耐震補強を積極的に行っている企業に対する住民の不信感が募っている現状も耐震化が進まない要因であろう。

また自治体主導の耐震診断の無料実施により委託される業者は、耐震補強を行うことができない。その結果、住民が無料耐震診断の後、耐震補強を決意したとしても、補強を実施する業者はその責任上、再度耐震診断を自ら実施せざるを得ず、耐震診断の二度手間という問題が発生している。悪質業者対策により、耐震診断・耐震補強でそれぞれ異なる業者が実施することもある。

(3) 住民の立場から

既往研究⁴⁾⁷⁾で行われた住宅耐震化に対する住民意識調査では、耐震診断の実施率は調査対象世帯の10%未満、耐震補強の実施率は調査対象世帯の5%未満という結果であった。住宅・建築物の地震防災推進会議¹⁰⁾によると、全国の住宅ストックが約4,700万戸あるうち、現行の耐震基準（新耐震設計基準）に不適合な住宅は約1,150万戸、全体の約25%で存在すると推計されている。そのうちの大多数を木造戸建住宅が占め、少しずつ建替え・耐震補強が進んでいるものの、耐震基準に不適合な住宅が解消されるには20年以上も要すると予想されている¹⁰⁾。以上の住民意識調査をはじめとした調査結果からも、耐震化行動が進んでいない現状が読み取れる。

このように住宅の耐震化行動を阻害する要因として、以下に挙げられる問題が指摘されている³⁾⁶⁾。

- 心理的側面の問題（意識の低さ）
- 補強費用と補強効果の不透明性
- 補強工事による日常生活への支障や手間
- 支援制度上の問題、等

(4) 耐震診断・耐震補強が進まない要因

住宅の耐震化は、耐震診断、耐震性能に問題ありと診断された住宅の耐震補強や建替え、という過程で進められる。しかしながら現状では、耐震診断を実施し、さらに耐震補強工事までを実施している住宅はごく僅かである。前述したとおり、住宅の耐震化に関わる3者（行政、建設業者、住民）の意識や取り組みに対する現状より、耐震診断・耐震補強が進まない要因は以下のように要約される。

- 住宅耐震化に対する住民の意識の低さ
- 補強工事費用と補強効果の不透明性
- 耐震補強に関する工事種類が特殊であるため、補強工事単価が高額
- 補強工事による日常生活への支障や手間
- 支援制度等を設置している自治体の少なさ（対策を進めている自治体は1/3で、先進的に取り組んでいる自治体ですら実施数は非常に少ない）

・耐震診断の二度手間となる現状

本研究では、住宅耐震化行動の阻害要因となる諸問題の解消に向けての一助とすることを目的とし、上記の諸問題のうち、耐震補強工事の実態ならびに補強工事の実施による費用対補強効果の關係に着目しその実態を明らかにする。

3. 使用データの概要

本研究では、木造住宅における耐震補強工事の実態ならびに費用対補強効果の關係を把握するために、実際に行われた耐震診断・補強工事の住宅事例のデータを用いた。以下に本研究で対象とした耐震診断法、補強工事、および利用したデータについて概要を示す。

(1) 本研究で対象とする耐震診断法

耐震診断法^{11),12)}は、2000年の建築基準法の改正や住宅の品質確保促進等に関する法律の制定に伴い、2004年7月に耐震性能の評価基準の変更を加えて改定された¹¹⁾。しかし、ここで使用したデータは改定以前のものであるため、「木造住宅の耐震精密診断と補強方法」¹²⁾による従来からの評価方法を「耐震診断法」として取り扱った。

耐震診断法では、6つの項目からなる4種の評点(A「地盤・基礎」、B「壁の配置」×C「建物の形」、D「筋かい」×E「壁の割合」、F「老朽度」)をそれぞれ掛け合わせた結果を「総合評点」とし、住宅の耐震性を総合的に評価する指標としている。そして総合評点は表1に示すような判定基準を得る。

なお、本稿では補強工事による住宅の耐震性能の変化を耐震診断結果から得ているため「総合評点」に着目している。

(2) 耐震補強工事の定義

本研究では、耐震診断による総合評点を住宅の耐震性能評価の基準とする。そこで、建設業者に対するヒアリングと文献^{11),12)}に基づく耐震診断の判定基準から、補強工事の種類について以下のように定義する。

a) 補強工事

耐震診断の各評点による評価と關係し、補強効果の得られる工事を総称して「補強工事」と定義する。「補強工事」は以下の から に分類されるものとする。

地盤・基礎工事(Aと関連)：地盤改良，基礎ひび割れ補修，基礎改修，その他の基礎補強等

偏心率改善工事(BからEと関連)：壁(外壁・内壁)補強等

屋根軽量化工事(D,Eと関連)：屋根の葺き替え等

老朽化改修工事(Fと関連)：漏水補修，腐朽部取替え，床明日老朽化防止，防蟻等

その他補強工事：柱抜け防止金物補強，木部接合部補強等

b) 工事全体

a)に挙げた補強工事に加えて、リフォーム工事等の補強工事に含まれない改修工事(補強外工事)をも併せて行われた全体の工事内容を「工事全体」とする。

(3) 個別データ

a) データの概要と属性

本研究では補強費と耐震性能の關係を明らかにするために、木耐協の加盟企業A社が実施した145件分の住宅に

関する耐震診断結果ならびに補強工事見積りから得られたデータ(以下、個別データ)を用いた。

個別データは2000年1月から2004年5月までに実施された耐震診断に基づくもので、2階建以下の木造軸組構法の住宅145件分である。個別データ145件のうち、補強工事を実施した住宅は125件であった。

これらのデータには下記に示すような属性が備わっている。

表1 総合評点の判定基準¹¹⁾

総合評点	判定基準
0.7未満	倒壊・大破の危険性あり
0.7 - 1.0	やや危険
1.0 - 1.5	一応安全
1.5以上	安全

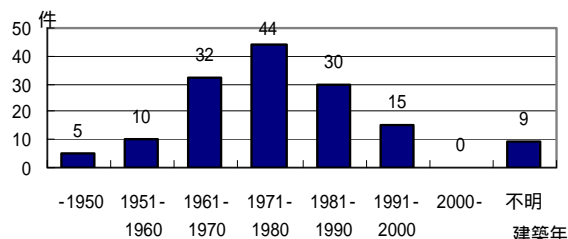


図2 建築年別住宅件数 (個別データ, n=145)

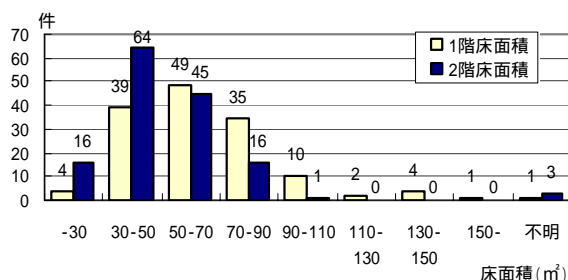


図3 床面積別住宅件数 (個別データ, n=145)

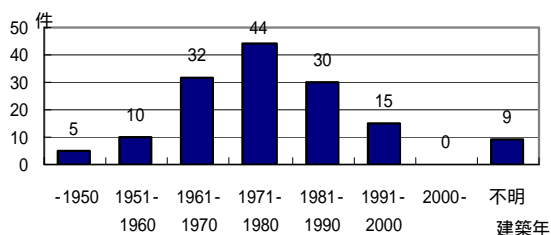


図4 建築年別住宅件数 (全国データ, n=30,396)

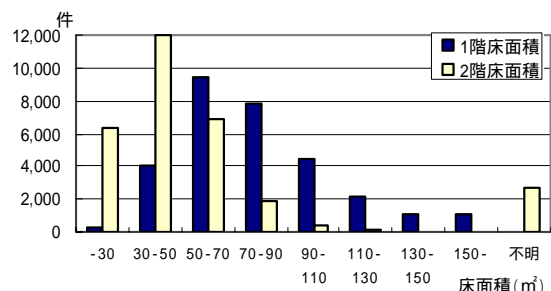


図5 床面積別住宅件数 (全国データ, n=30,396)

個人属性：年齢，性別，子供数，世帯人員
 住宅属性：階数，1階・2階床面積，建築年，増改築の有無，壁の種類，屋根の種類，屋根の形状，風力，浴室，地盤，基礎，老朽度，筋かいの有無
 耐震診断結果（補強工事前）：「耐震精密診断」により判定された総合評点および各評点
 補強工事：工実施期間，工事見積り
 耐震診断結果（補強工事後に確保される耐震診断結果）：「耐震精密診断」により判定された総合評点および各評点

b) 個別データからみる対象住宅の特性

個別データの対象となった住宅は，東京都，埼玉県，千葉県に立地している．中でも，世田谷区（18.6%），杉並区（17.2%），調布市（11.7%），狛江市（9.0%）など東京都西部に立地する住宅が多い．次にその傾向を示す．

図2は建築年別の住宅件数を示しており，平均築年数は約27年で，建築基準法改正（1980年）以前に建てられた住宅は全体の約7割であった．住宅規模についてみると，1階の平均床面積は64.8㎡，2階は49.1㎡であり，次節にて示す全国データの平均よりもやや狭い住宅が多い（図3）．

(4) 全国データ

a) データの概要と属性

本研究では（3）のデータの位置づけを確認するために，木耐協に加盟する全国の組合企業（2004年10月現在，約720社加盟）が実施した約3万件の耐震診断結果および補強工事総額のデータ（以下，全国データ）も使用した．これらは，1999年2月から2003年11月までの間に耐震診断が実施された30,396件分のデータである．

データの属性は，1・2階床面積，屋根の種類，地盤の種類，基礎の種類，建築年，住所（市区町村），耐震診断結果（総合評点，各評点）であった．そのうち，補強工事が実施されたのは7,025件であり，それらについては補強工事総額（補強工事に改築等の工事を含めた工事総額）が含まれているが，耐震診断結果との整合性はとれ

ていない．

b) 全国データからみる対象住宅の特性

木耐協の加盟企業は，全国で耐震診断を行っている．中でも，愛知県（6,539件），静岡県（4,808件），神奈川県（3,388件），東京都（2,502件）といった東海・東南海地震や首都直下地震の発生が危惧されている地域での実施件数が多く，半数以上を占めている．

図4には建築年別住宅件数を示しているが，耐震診断を実施した住宅のうち，33.6%が1970年代に建築された住宅で，1980年以前に建てられた住宅が半数を占めていることがわかる．また住宅規模についてみると，1階平均床面積は79.3㎡，2階平均床面積は44.8㎡であった（図5）．

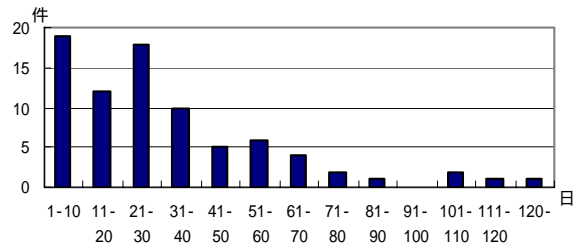


図8 工事日数の分布 (n=81)

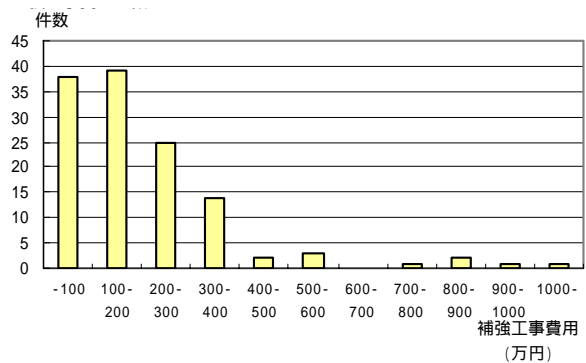


図9 補強工事費用の傾向 (n=125)

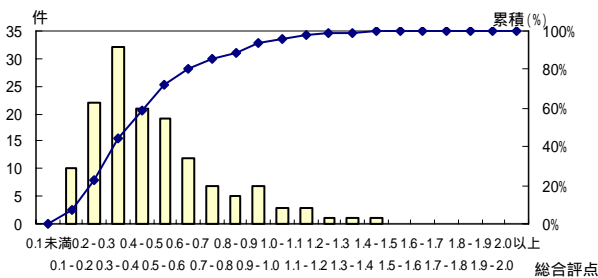


図6 総合評点の分布 (個別データ, n=145)

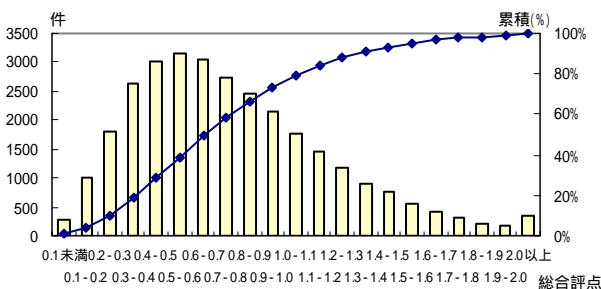


図7 総合評点の分布 (全国データ, n=30,396)

表2 各補強工事の実施状況および平均費用

補強工事種類	実施数(件)	実施率(%)	平均費用(円)
(A)地盤・基礎工事	87	69.0%	268,128
(B-E)偏心率改善工事	65	51.6%	1,177,279
(D-E)屋根の軽量化工事	10	7.9%	1,335,838
(F)老朽化改修工事	75	59.5%	592,072
その他の補強工事	111	88.1%	637,276

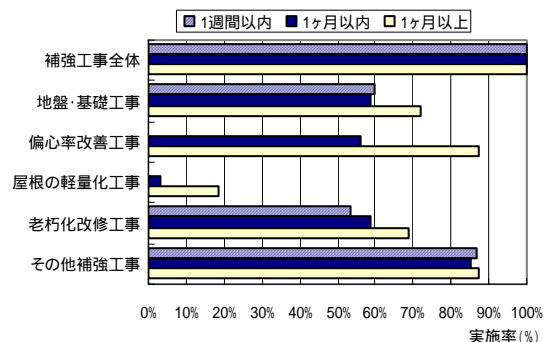


図10 工期別の各補強工実施率

4. 各住宅データの耐震性能と補強工事の実態

(1) 耐震性能の傾向

個別データ・全国データから読み取れる耐震診断による総合評点の分布は図6, 図7のような傾向が見られる。

個別データ(図6)では, 平均値は0.506で, 「倒壊・大破の危険性あり」と判定される0.7未満の住宅が81.0%を占める。また, 総合評点1.0未満の「やや危険」と判定された住宅を含めると全対象住宅の9割を超え, 耐震性に問題のある住宅が多いことがわかる。

図7より全国データの総合評点の分布を見ると, 平均値は0.782で, 0.7未満の「倒壊・大破の危険性あり」と判定された住宅は約半数を占める。このことから, 今回用いた個別データの住宅は, 全国データの住宅と比較して耐震診断の総合評点が低く, 倒壊の危険性のある住宅が多いといえる。

(2) 補強工事内容の実態

次に個別データに着目し, 補強工事が実施された125件の住宅の補強工事実態(期間, 費用, 内容)について考察する。

a) 工事期間の実態

工事日数の分布を図8に示す。補強工事実施住宅125件のうち, 工事にかかる日数(工期)が明確だったものは81件であった。そして, 工期は最短で1日, 最長で244日(約8ヶ月)であり, 平均日数は33.2日とほぼ1ヶ月程度で補強工事を行っていた。

b) 補強工事費用の実態

図9は補強工事費用を示している。補強工事にかかった費用は平均207万円で, 約6割の住宅で200万円未満で補強工事を実施していた。これらの住宅の中には, 柱抜け防止金具等の取り付けのみを行った10万円以下の安価な補強工事から, 壁や基礎の改修工事で1000万円以上を要した補強工事もあり, 費用面で大きな違いがある。

c) 各種補強工事の実施状況

各補強工事項目の実施件数や平均費用について表2に示す。平均100万円未満で行われた工事としては, 地盤・基礎工事(平均27万円)や老朽化改修工事(平均59万円)等が挙げられる。地盤・基礎工事を実施した住宅のうち, 約9割の住宅でひび割れ補修を行っていた。また, 老朽化改修工事の内訳は, 漏水の改修工事(平均約40万円)や腐朽部の取替え工事(平均約62万円)等であった。

一方, 100万円以上を要する高額な補強工事として, 壁改修をはじめとする偏心率改善工事や屋根の軽量化工事が挙げられる。これら2種の補強工事は, 耐震診断の評価基準である, B×C「壁の配置/建物の形」およびD×E「筋かい/壁の割合」の評点を上げるために必要な工事である。

さらに, 補強工事期間に着目し, 1週間以内, 1ヶ月以内, 1ヶ月以上の場合に分けて, 各期間の補強工事実施件数に対し, 実施された各種補強工事の実施率を図10に示す。1週間以内の短期で実施された補強工事には, 接合部の金具補強等のその他の補強工事や老朽化改修工事, 地盤・基礎工事が挙げられる。また, 1ヶ月以上の長期にわたって補強工事が行われた場合, 前述の短期の補強工事に加え, 壁の改修をはじめとする偏心率改善工事を実施している住宅が多いことがわかる。

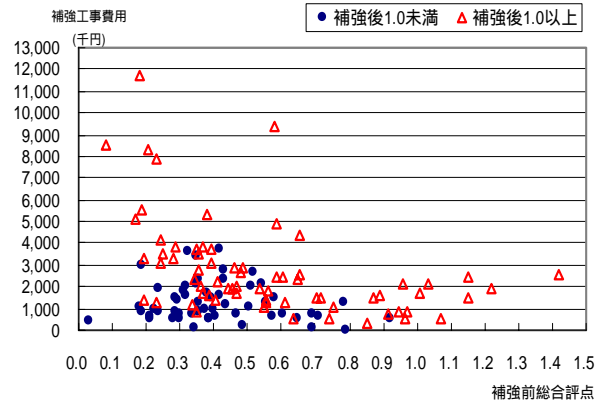


図11 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用の関係

表3 補強前総合評点別の補強工事費用 (E_a 1.0, n=69)

補強前総合評点	件数(件)	補強工事費用(万円)				
		~100	100~200	200~300	300~	平均
0.4未満	27	1	5	3	18	395.2
0.4~0.7	23	1	10	9	3	249.5
0.7以上	19	7	8	4	0	136.2
合計	69	9	23	16	21	275.3

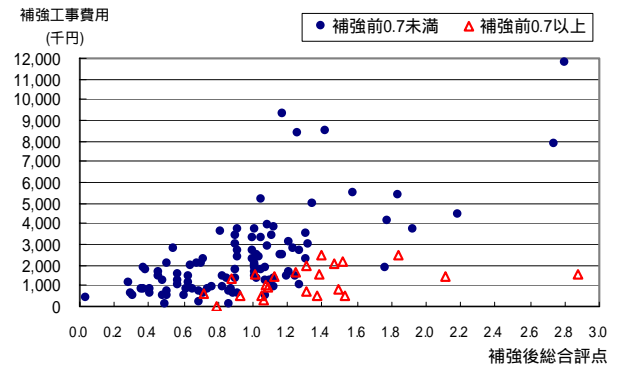


図12 補強後総合評点 (E_a) と補強工事費用の関係

表4 補強工事前後の総合評点別平均補強工事費用

補強後総合評点	件数	補強前総合評点			合計
		0.7未満	0.7-1.0	1.0以上	
0.7未満	31	-	-	-	31
	平均費用(万円)	110.0	-	-	110.0
0.7-1.0	21	4	-	-	25
	平均費用(万円)	167.3	62.4	-	150.5
1.0-1.5	42	10	-	-	52
	平均費用(万円)	284.4	94.1	-	244.8
1.5以上	8	2	7	-	17
	平均費用(万円)	558.4	184.7	182.4	356.0
合計	件数	102	16	7	125
	平均費用(万円)	228.7	97.5	182.4	208.2

5. 耐震補強工事による費用対補強効果の検討

(1) 補強効果の考え方

本研究では, 補強工事の実施によって耐震診断評点が上昇する場合に, 補強効果が得られるものと定義する。

補強工事を実施した個別データ125件のうち, 元々の耐震診断結果の総合評点 (E_b : 補強前総合評点) が0.7未満「大破・倒壊の危険あり」と判定された住宅は102件であった。この住宅102件のうち, 補強工事を実施し得られた耐震診断結果の総合評点 (E_a : 補強後総合評点) が1.0以

上「一応安全」「安全」の耐震性能を確保した住宅は50件であった。このように、補強工事を実施した住宅でも補強後の耐震性能に違いが見られる。

そこで本章では、補強前と補強後の耐震診断評点と要した補強工事費用 (C_i) の傾向の把握を行い、補強前総合評点 E_b 別に投入した費用 C_i と補強後総合評点 E_a との関係について検討していく。

(2) 耐震診断評点と補強工事費用の関連性

住宅の耐震補強による補強効果は、補強工事への投入費用と耐震診断評点の変化に影響すると考える。まず、補強前総合評点 E_b と投入した補強工事費用 C_i の関連について検討する。

a) 補強前総合評点と補強工事費用の関係

図11は、補強前総合評点 E_b と補強工事費用 C_i の関係を示している。さらに表3は、補強工事を実施した住宅のうち、補強後総合評点が1.0以上「一応安全・安全」のレベルを確保した住宅69件について、補強前総合評点 E_b と投入した補強工事費用 C_i の関係を表している。

全体的に補強前総合評点が低い住宅ほど高額な補強工事費用を要している住宅が多くなる傾向が読み取れる。また、表3より、補強前総合評点が「大破・倒壊の危険あり」と判定された住宅のうち、補強前総合評点 E_b が0.4未満の住宅で、補強工事により1.0「一応安全」以上のレベルを確保するために400万円近くもの費用を投入している。

一方、補強前総合評点 E_b が0.7-1.0「やや危険」の住宅では、1.0「一応安全」以上のレベルを確保するために投入した費用は平均136万円であった。

b) 補強後総合評点と補強工事費用の関係

図12は、補強後総合評点 E_a と補強工事費用 C_i の関係を示している。補強後総合評点 E_a が1.0以上「一応安全・安全」の耐震性を確保している住宅69件に投入された補強工事費用 C_i は平均275万円であった(表3)。図12の分布からも、補強後総合評点 E_a が1.0未満の住宅では、100万円未満で補強工事が行われた住宅も多かったことが読み取れ、その平均補強工事費用は約128万円であった。

(3) 補強前総合評点別の補強工事費用対補強効果の関係

補強前総合評点 E_b および補強後総合評点 E_a と補強工事費用 C_i の関係から、補強前総合評点と補強工事によって上昇する補強後総合評点が補強工事費用に深く関連しているものと考えられる。そこで、耐震診断の判定基準をもとに各住宅を補強後総合評点で4つの区分に分類し、各住宅が投入した補強工事費用との関係を把握していく。

表4のように補強工事前後の総合評点別平均補強工事費用を整理した。補強効果の高い住宅、つまり補強前総合評点が低く補強後総合評点が高い住宅ほど、平均補強工事費用が高く、0.7未満「大破・倒壊の危険あり」と判定された住宅では、1.0以上の耐震性を確保するために平均約328万円を要していることがわかる。

ここに示した傾向をより詳細に把握するために、下記の ~ の4分類別(図13から図16)に、補強前総合評点と補強工事費用の関係について考察する。

- E_a 1.5 : 「安全」
- 1.0 E_a 1.5 : 「一応安全」
- 0.7 E_a 1.0 : 「やや危険」
- $E_a < 0.7$: 「大破・倒壊の危険あり」

a) 補強後総合評点1.5以上「安全」の場合(, 図13)

補強後総合評点が「安全 (E_a 1.5)」となる場合、補強前総合評点 E_b が低いほど高額な補強工事費用を要していた。「安全 (E_a 1.5)」の判定を得るためには、「大

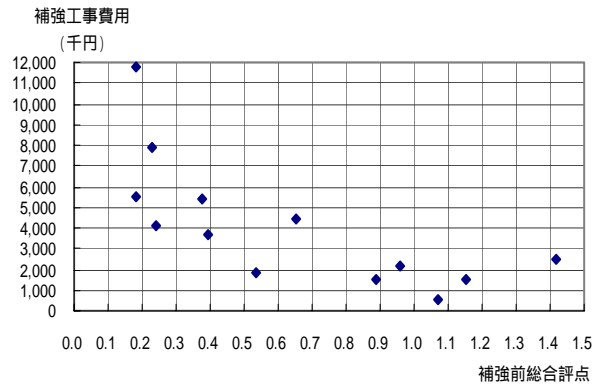


図13 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用 (ケース : E_a 1.5, $n=17$)

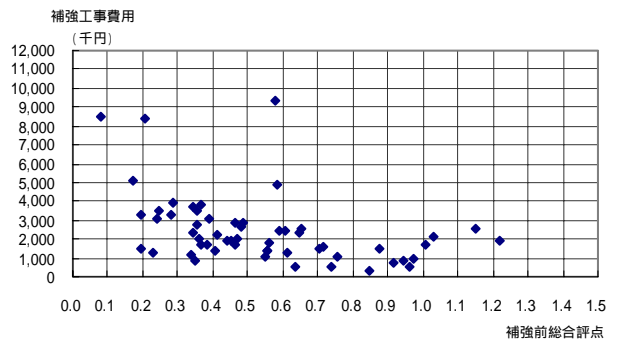


図14 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用 (ケース : 1.0 E_a 1.5, $n=52$)

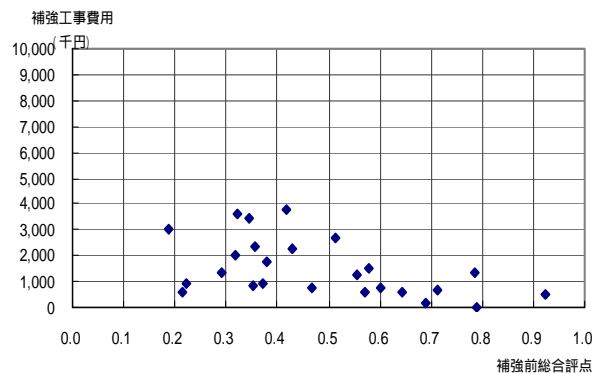


図15 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用 (ケース : 0.7 E_a 1.0, $n=25$)

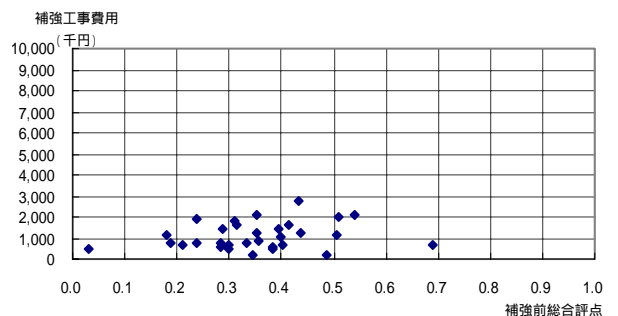


図16 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用 (ケース : $E_a < 0.7$, $n=31$)

破・倒壊の危険あり ($E_b < 0.7$)」と判定された住宅においては、558万円もの高額な費用がかかる傾向にある。

b) 補強後総合評点1.0-1.5「一応安全」の場合 (, 図14)

補強前総合評点が「大破・倒壊の危険あり ($E_b < 0.7$)」の場合、補強前総合評点 E_b が低いほど補強工事費用が高い傾向にあることがわかる。また、補強前総合評点が「やや危険」以上 ($0.7 \leq E_b$) の場合、1.0以上「一応安全・安全」の耐震性を確保するために投資する補強工事費用は補強前総合評点に依存せず、さらなる耐震性向上を目指す住宅では補強工事費用が投入される傾向にあることが考えられる。

c) 補強後総合評点0.7-1.0「やや危険」の場合 (, 図15)

補強前総合評点が「大破・倒壊の危険あり ($E_b < 0.7$)」の場合、補強前総合評点が低い住宅ほど補強工事費用が高額になる傾向にある。

d) 補強後総合評点0.7未満「大破・倒壊の危険あり」の場合 (, 図16)

a) , b) , c) と比較して、投入された補強工事費用は全体的に安く、100万円未満で実施している住宅が多い。

e) 費用対補強効果の全体的な傾向

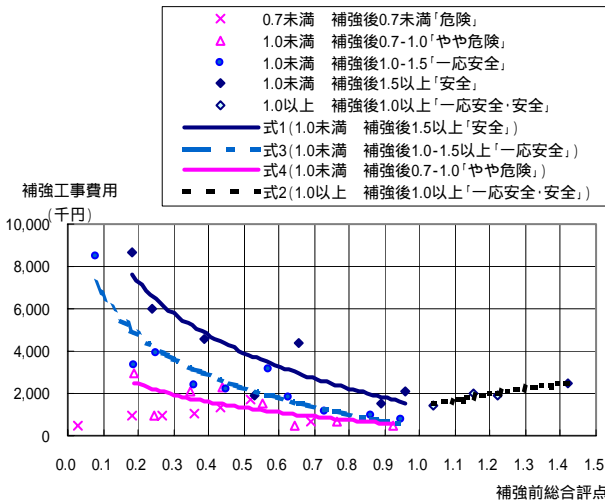


図17 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用 (近似式)

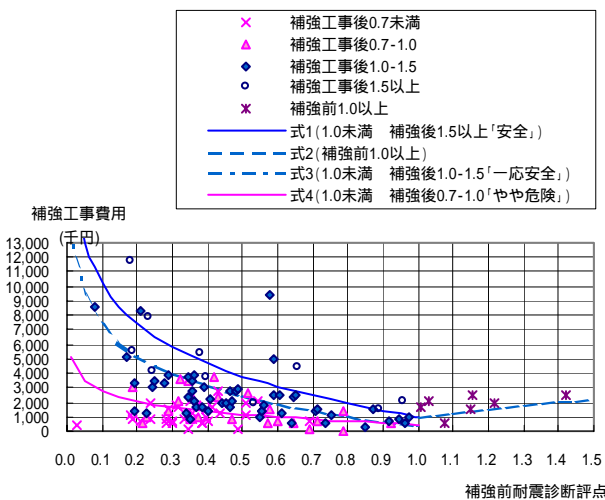


図18 補強前総合評点 (E_b) と補強工事費用の関係

図13から図16により、補強効果の高い住宅は補強前総合評点が低いほど補強工事費用が高い傾向にある。一方、補強効果の低い住宅においては、補強前総合評点に関係なく投入費用は100万円程度であることが読み取れる。しかし、同程度の補強前総合評点でも住宅1件ごとに要した補強工事費用にはばらつきが見られた。

そこで、より全体的な傾向を探るために、～で分類したグループごとに、補強前総合評点0.1単位ごとに平均補強工事費用を算出し、図17のように示した。ここでは、建物が被害を受けても死者が発生する確率が低い基準である「一応安全」を確保する1.0を目標値とした場合を考えている。

全体的な傾向として1.0を確保するために補強前総合評点が低いほど、0.1の補強効果を得るための費用が多くかかるという傾向がみられた。また補強前総合評点が1.0「一応安全」を既に超えている住宅については、(例えば1.5「安全」を目指す場合などのように)さらに補強するために費用がより多くかかることがわかった。

これらの実データから以下のような近似式が得られた。以下にそれらの近似式と実測値の分布 (図18) を示す。

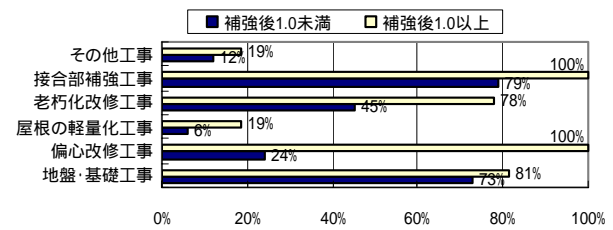


図19 各補強工事实施率 ($E_b < 0.4$, n=126)

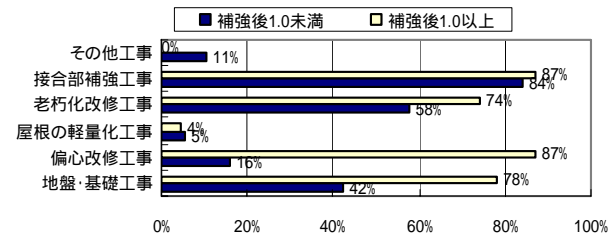


図20 各補強工事实施率 ($0.4 \leq E_b < 0.7$, n=126)

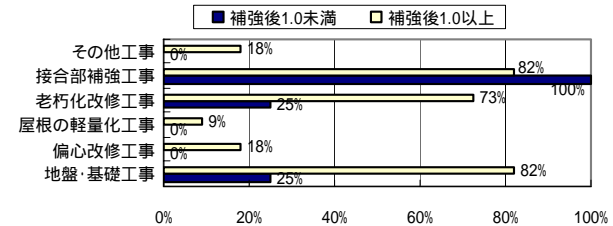


図21 各補強工事实施率 ($0.7 \leq E_b < 1.0$, n=126)

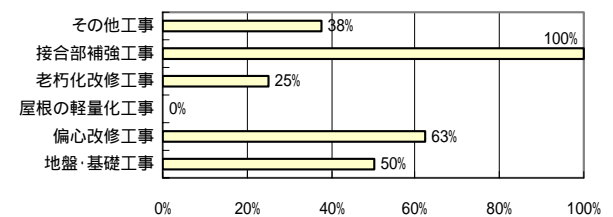


図22 各補強工事实施率 ($E_b \geq 1.0$, n=126)

E_a 1.5: 「安全」の場合
 $C_i = -4.0 \cdot E_b^6 \cdot \ln(E_b) \cdot + 1.0 \cdot E_b^6$ ($R^2 = 0.81$) [1]

1.0 E_a 1.5: 「一応安全」の場合
 補強前総合評点 (E_b 1.0) の場合
 $C_i = 3.0 \cdot E_b^6 \cdot \ln(E_b) + 1.0 \cdot E_b^6$ ($R^2 = 0.93$) [2]

補強前総合評点 ($E_b < 1.0$) の場合
 $C_i = -3.0 \cdot E_b^6 \cdot \ln(E_b) + 400,767$ ($R^2 = 0.85$) [3]

0.7 E_a 1.0: 「やや危険」の場合
 $C_i = -1.0 \cdot E_b^6 \cdot \ln(E_b) + 469,338$ ($R^2 = 0.52$) [4]

以上の結果より、補強前総合評点が「大破・倒壊の危険あり」で0.2未満の場合、0.7以上「やや危険」の耐震性を確保するためにはおよそ200万円、1.0以上「一応安全」とするためにはおよそ500万円、さらに1.5以上「安全」とするためにはおよそ750万円もの投資が必要という傾向が見られた。また、補強前総合評点が0.2から0.7の場合は、補強後総合評点0.7を確保するために100 - 200万円、1.0以上とするには150-500万円程度の投資が必要とする傾向が見られた。

なお、補強後総合評点0.7-1.0「やや危険」の場合は、補強後総合評点1.0以上「安全・一応安全」の場合と比較して、補強前総合評点と補強工事費用との関連性は低い ($R^2=0.52$)。さらに、補強後総合評点0.7未満「大破・倒壊の危険あり」の場合は、補強前総合評点と補強工事費用に関連性が見られなかった。以上から、補強後総合評点が1.0以上「一応安全・安全」の判定を得るためには、補強前総合評点が低いほど高額な補強工事費用を投資するという関連性が式[1]、[2]よりいえる。

(4) 補強前評点別の補強工事種類と補強効果の検討

次に実施した補強工事の種類とそこから得られる補強効果の関係を把握するために、各種補強工事の実施状況を補強前総合評点別に検討する。

図19-図22は、補強前総合評点別に各補強工事の実施率をグラフ化したものである。ここでは、補強前総合評点 E_b の0.7未満「大破・倒壊の危険あり」を2つに分類し、 $E_b < 0.4$ と $0.4 \leq E_b < 0.7$ の2グループに分けて考察を行っていく。さらに、補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」と $E_a < 1.0$ の場合で実施される補強工事に違いがあるかについて検討を行う。

a) $E_b < 0.4$ の場合 (図19)

全体的にどの補強工事も工事実施率は高い。

補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」のグ

ループでは耐震診断評点に反映される工事で実施率が高く、中でも $E_a < 1.0$ のグループと比較して偏心改修工事の実施率に大きな差がある。

また、接合部補強工事と地盤・基礎工事は補強後総合評点1.0以上のグループだけでなく、1.0未満のグループでも多数の住宅が実施していた。

b) 0.4 $E_b < 0.7$ の場合 (図20)

補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」のグループでは、a)と同様、耐震診断評点に反映される工事で実施率が高い。また、補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」のグループは、偏心改修工事と地盤・基礎工事の実施率が $E_a < 1.0$ のグループと比較して高い。

屋根軽量化工事の実施率は補強後総合評点1.0以上と1.0未満で差はない。

c) 0.7 $E_b < 1.0$ の場合 (図21)

補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」のグループは、 $E_a < 1.0$ のグループに比べて、老朽化改修工事 (73%)と地盤・基礎工事 (82%)の実施率が高い。補強後総合評点1.0未満のグループでは屋根軽量化工事・偏心改修工事を実施した住宅は0件であった。

d) 1.0 E_b の場合 (図22)

接合部補強工事は、補強工事を実施した全ての住宅で実施されているほか、偏心改修工事 (63%)や地盤・基礎工事 (50%)を実施している住宅が多い。

(5) 考察

以上の分析をまとめると以下ようになる。

耐震補強工事による費用対補強効果は、元々の住宅の耐震性能によって投入費用と得られる補強効果に違いがあるといえる。補強前総合評点が低い住宅ほど、基礎補強工事と壁補強工事を組み合わせて実施する等、各補強工事を網羅的に実施している住宅が多い。これらの住宅は、投入する費用も平均的に高額な傾向にある。

補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」の耐震性を確保するような補強工事を行うには、補強前総合評点が低い住宅ほど高額な費用を投資する傾向にあり、 $0 < E_b < 1.0$ の範囲において負の対数関数に近似する傾向にある。また、偏心率改善工事を実施していた住宅では、補強後総合評点が「一応安全・安全 (E_a 1.0)」となるような補強効果を得ていた。さらに、補強前総合評点が「一応安全 (E_b 1.0)」の住宅では、更なる安全性の向上を確保するための投資効果は比較的低い傾向にあると

表5 耐震診断結果と補強工事実施による費用対補強効果の関係

耐震診断結果		耐震診断評点別、「一応安全」レベルを確保する平均補強工事費用			助成制度適用ケース別による住民負担分の補強工事費用 (「一応安全」レベルを確保する場合)				全国データ (30,396件) の耐震診断結果		
		補強工事実施で1.0以上となる場合	予測式より推定した補強工事費用 (円)	例1) 静岡県助成制度	例2) 横浜市助成制度	例3) 補強工事に補助金支給の場合					
判定	総合評点	平均補強工事費用 (円)	補強後1.0以上確保	補強後0.7を確保	30万円補助	最大450万円補助	50万円補助	100万円補助	該当件数	割合	累積確率
倒壊・大破の危険あり	0-0.1	8,515,920	9,733,000	3,493,000	9,433,000	5,233,000	9,233,000	8,733,000	271	0.9%	0.9%
	0.1-0.2	5,432,266	6,437,000	2,395,000	6,137,000	1,937,000	5,937,000	5,437,000	989	3.3%	4.1%
	0.2-0.3	4,424,584	4,905,000	1,884,000	4,605,000	405,000	4,405,000	3,905,000	1,817	6.0%	10.1%
	0.3-0.4	2,740,897	3,895,000	1,547,000	3,595,000	0	3,395,000	2,895,000	2,621	8.6%	18.7%
	0.4-0.5	2,181,804	3,141,000	1,296,000	2,841,000	0	2,641,000	2,141,000	3,027	10.0%	28.7%
	0.5-0.6	3,027,786	2,539,000	1,095,000	2,239,000	0	2,039,000	1,539,000	3,138	10.3%	39.0%
	0.6-0.7	2,255,788	2,038,000	928,000	1,738,000	0	1,538,000	1,038,000	3,061	10.1%	49.1%
やや危険	0.7-0.8	1,140,825	1,609,000	-	1,309,000	0	1,109,000	609,000	2,737	9.0%	58.1%
	0.8-0.9	1,133,800	1,233,000	-	933,000	0	733,000	233,000	2,451	8.1%	66.2%
	0.9-1.0	1,028,520	900,000	-	600,000	0	400,000	0	2,154	7.1%	73.3%
一応安全・安全	1.0-	1,824,089	-	-	-	-	-	-	8,130	26.7%	100.0%

いえる。

6. まとめ

(1) 本研究の結論

本研究では、住宅の耐震診断・耐震補強行動を阻害している要因の一つとして挙げられている、耐震補強工事に対する費用対補強効果の関係の不透明性に着目し、これらの実態について検討した。

a) 住宅の耐震診断・耐震補強と住宅特性の実態

本研究で扱った個別データは、住宅規模が小さく、耐震診断評点も0.7未満の「大破・倒壊の危険あり」と判定された住宅が8割を超えるような地震による倒壊に対する危険性の高い住宅が対象となった。

既往研究⁴⁾による住宅耐震化に対する投資費用を尋ねた意識調査結果より、100万円未満であれば補強工事を実施しても良いと半数以上の住宅で回答が得られていた。しかし、本研究で扱った個別データにおいて100万円未満で補強工事を実施した住宅は全体の約3割で、実施する補強工事の種類によって要する費用にも大きく違いが生じることがわかった。このことから、現状として、100万円未満で耐震補強工事をするとともに条件が限られているといえる。

b) 耐震補強による費用対補強効果の検討

耐震補強工事による費用対補強効果について、実データを用いて耐震補強工事の実態を調べた。その結果、補強前総合評点で判定される元々の耐震性能によって、補強効果を得るために必要な補強工事費用に大きな違いがあることが明らかになった。その結果を表5のように整理した。

また、実施した補強工事の内容によっても、費用対補強効果に違いが見られた。基礎のひび割れ補修などの基礎補強工事等は比較的安価に行うことのできる補強工事であり、また壁の改修工事等は大規模な補強工事となるため100万円を超える費用がかかる。しかし、どちらの補強工事も「一応安全・安全」のレベルの耐震性を確保するためには必要な補強工事といえる。

(2) 現状における住民の自己負担費用の検討

本研究における費用対補強効果の傾向および表5をもとに、自治体の助成制度を適用した場合の住民負担の推定費用について検討する。

表5より、総合評点0.7未満「大破・倒壊の危険あり」と判定された住宅は約3万件的全国データでも半数に上るが、総合評点「やや危険」レベルの耐震性を確保するのに90万円以上、「一応安全」以上の耐震性能を持たせるためには200万円以上の投資が必要となる。

そこで現在、実施されている代表的な支援制度を設けている自治体として、横浜市に着目した。横浜市による支援制度の適用を受け、最大で450万円の助成を受けられた場合、補強前総合評点が0.2以上の住宅では、40～50万円以下の自己負担となる。しかし、0.2未満の住宅では補強工事費用に200～500万円以上の投資が必要となる。このことから、著しく耐震性能の低い住宅に対しては建て替え支援等の方が有効な対策であると考えられる。

また、高額な補強工事を実施することで、高い補強効果が得られる傾向が明らかとなったが、現状の問題として補強工事は特殊で単価が高価な工事が多いため、全体的に高額になる一因とも考えられる。

このことから、耐震性能の低い住宅の耐震補強行動を

促進させるために取り組むべき課題として、耐震補強工事に要する費用の見直しとともに、耐震補強工事がリフォーム工事等の一般的な工事として認識されることが必要と考えられる。

(3) 今後の課題

本研究の結果から、以下のように今後の課題を挙げる。

a) 費用対補強効果の実態に基づく住民の耐震化に対する意識の把握

本研究を通じて明らかとなった費用対補強効果に基づき、住民自身が耐震補強に対してどれだけの投資意思を持っているのかについて意識調査を行うことで、補強工事の実態と住民の投資意思との関係が明らかとなると考えられる。これにより、住民の投資意思費用に対して現在の補強工事にかかる費用が高額とされるのか適度なものとされるのかの関係が明らかとなり、住宅耐震化に対する支援策の中でも、どれだけ住民に支援すべきか、工事単価などの費用を下げる必要があるのかといった対策を具体的に提言することも可能と考えられる。

b) 補強効果の指標としての耐震診断結果の扱い方

本研究では、耐震性能の指標として旧来の耐震診断結果のデータを用いている。旧来の耐震診断では、現実には耐震性能の向上が見込まれる接合部補強等の補強工事による補強効果は評価されない。2004（平成16）年7月に改訂された耐震診断法では接合部の耐震性能も評価対象となっているため、新耐震診断法を用いることで接合部補強による補強効果が加味され、費用対補強効果の傾向に変化がみられる可能性も考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたって、木造耐震補強事業者協同組合 西生健氏、株式会社新夢建築企画 永井幸雄氏には、多くの示唆をいただき、また貴重な資料を提供していただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書、1995。
- 2) 池田浩敬・小澤徹：木造住宅耐震化支援制度に関する利用者ニーズの分析、地域安全学会論文集 No.6, 17-23, 2004。
- 3) 小檜山雅之、石原裕紀、山崎文雄：住宅耐震性能評価に関わる制度の整備状況と地震リスク低減行動を促す制度の合理化、地域安全学会論文集 No.5, 113-122, 2003。
- 4) 財団法人日本建築防災協会：住宅の耐震改修推進調査報告書、2001。
- 5) 国土交通省住宅局：密集住宅地における耐震改修の推進に向けて - 丈夫な家は街を救う - , 2001。
- 6) 加藤孝明、小宮充豊、亀野弘昭、佐伯琢磨、村尾修、山崎文雄、小檜山雅之：墨田地区と世田谷地区を対象とした居住者の地震リスク認識の地域特性の理解、第11回日本地震工学シンポジウム論文集、2423-2428, 2002。
- 7) 損害保険料率算出機構：建物耐震性能等の実態に関する調査研究、地震保険研究 3, 2003。
- 8) 吉井博明：住宅耐震化に関する促進・阻害要因の分析 - 焼津市・掛川市における専門家診断及び耐震化工事世帯調査の結果 - , 東京経済大学コミュニケーション学部, 2004。

- 9) 吉村昌宏, 山口亮, 鈴木拓, 手塚将芳: 住宅地震被害軽減に繋がる自治体の地震防災施策実施状況調査, 地域安全学会論文集 No.6, 1-10, 2004.
- 10) 住宅・建築物の地震防災推進会議: 住宅・建築物の地震防災対策推進のために, 2005.6
- 11) 財団法人日本建築防災協会木造住宅の耐震診断と補強方法 - 木造住宅の耐震精密診断と補強方法(改訂版) -, 2004.
- 12) 財団法人日本建築防災協会, 社団法人日本建築士連合会編: 木造住宅の耐震精密診断と補強方法, 建設省住宅局監修, 1985.

補注

- (1) 図 1 は行政が耐震診断を助成している場合を設定しているが, 行政による支援制度がない場合は直接住民から建設業者 I に依頼することになるため, 住民から建設業者 I にも矢印を引いている.

(原稿受付 2005.5.26)