

# 既存不適格建物の耐震補強推進策に関する基礎研究

System for promotion of retrofitting of existing pre code-revision structures

東京大学生産技術研究所  
都市基盤安全工学国際研究センター

目黒 公郎<sup>1</sup>, 高橋 健<sup>2</sup>

Kimiro MEGURO<sup>1</sup> and Takeshi TAKAHASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

<sup>2</sup>東京大学大学院 社会基盤工学専攻

Department of Civil Engineering, The University of Tokyo

Recent damaging earthquakes have clearly revealed that retrofitting of existing pre-code-revision structures is the key issue for earthquake disaster reduction in Japan. Unfortunately, this practice is not extended, especially for non-public use structures such as residential buildings. These weak structures will certainly suffer great damage and cause a negative impact when a big earthquake strikes our society. Why the retrofitting of residential buildings has not been implemented yet? We think that the reason for this is the lack of a proper law and a system by which retrofitting activities become popular among the population. Therefore, in this paper, we propose a new system/measures to promote retrofitting activities. In order to show the efficiency of the proposed system from the government and residents viewpoints, we introduce the results of simulations performed on the basis of the building damage data during Kobe earthquake and the building stock data in Nakahara ward of Kawasaki City.

**Key Words:** retrofit of existing pre-code-revision structures, earthquake disaster mitigation, temporally shelter, demolition of damaged structure,

## 1. はじめに

いかに充実した事後対応システムを持とうが、地震直後に発生する被害の量を減らす努力なしでは、地震被害を抜本的に軽減することはできない。図-1と表-1は兵庫県南部地震による犠牲者（神戸市内、地震後2週間まで）の死因と死亡推定時刻（兵庫県監察医による）を表している<sup>1)</sup>。ここからわかることは、兵庫県南部地震で直後に亡くなった人々の多くは、建物の崩壊（脆性破壊）や家具などの転倒/落下を原因とする窒息死や圧死、頭部や首・内臓の損傷、外傷性のショック死などであり、これが全体の約84%（神戸市内で）を占めることである。死亡推定時刻を見ると、地震直後の15分以内（監察医によれば実際は5分程度）で犠牲者の約92%が亡くなっている。この比率は火事で骨だけになってしまい、直接の死因や死亡時刻が特定できないなどのケースを除くと96%まで増加する。（なお、特別な訓練を受けていない一般の臨床医においては、死亡時刻の推定精度は低く、また死亡時刻とは無関係の遺体が搬入されてきた時刻が死亡時刻と記載されていたり、単に初日の記載だったりする例などもあ

る。）兵庫県南部地震のケースでは、地震の発生時刻が早朝であったことから自宅の崩壊によって亡くなった人が兵庫県下で87%にのぼる。これは、補修や補強を含めて、事前のハード対策がない限り、事後対策では救えない被害が人的被害の多くを占めていたことを示している。火事による焼死者についても、彼らの多くは倒壊した建物の中から逃げ出すことができずに犠牲者となったのである。自由に動き回れる状況であったにもかかわらず、多数の死者を出してしまった1923年の関東地震との大きな違いがここにある。消防活動の問題を指摘する前に、構造物の問題があったことを強く認識しなくてはならない。

地震後に繰り返し指摘された「もし、あの時に、災害情報システムがあったならば... 内閣総理大臣に情報がきちんと伝わっていたら... 自衛隊がもっと早く出動していたら、あるいは早く出動できる仕組みになっていれば...、犠牲者の多くを助けることができたのに、彼らの多くは死ななくてすんだのに」という見方は、状況認識が十分ではない。更に付け加えると、地震後に発生した「仮設住宅」「孤独死」「ゴミ処理」「PTSD」...、などの問題はいずれも膨大な数の構造物が被害を受けてしまった

表-1 兵庫県南部地震による犠牲者の死亡推定時刻  
(神戸市内, 兵庫県監察医による)

死亡日時	死亡者数		
	監察医 累計	臨床医 累計	死亡者数累計
1/17	2,221	719	2,940 (80.5%)
-6:00	2,221 (91.9%)	719 (58.2%)	2,940 (80.5%)
-9:00	16 (2.23%)	58 (7.77%)	3,014 (82.6%)
-12:00	47 (2.28%)	61 (8.38%)	3,122 (85.5%)
-23:59	12 (2.29%)	212 (10.50%)	3,346 (91.6%)
時刻不詳	110 (2.40%)	84 (11.34%)	3,540 (97.0%)
1/18	5 (2.41%)	62 (11.96%)	3,607 (98.8%)
1/19	2 (2.41%)	13 (12.09%)	3,620 (99.2%)
1/20	2 (2.41%)	8 (12.17%)	3,630 (99.4%)
1/21	1 (2.41%)	6 (12.23%)	3,637 (99.6%)
1/22	1 (2.41%)	1 (12.24%)	3,639 (99.7%)
1/24	2 (2.41%)	1 (12.25%)	3,640 (99.7%)
1/25	1 (2.41%)	1 (12.26%)	3,642 (99.8%)
1/26	2 (2.41%)	2 (12.28%)	3,644 (99.8%)
1/27	2 (2.41%)	1 (12.29%)	3,645 (99.8%)
1/28	2 (2.41%)	1 (12.30%)	3,646 (99.9%)
2/4	2 (2.41%)	1 (12.31%)	3,647 (99.9%)
日付なし	2,416 (100.0%)	4 (12.35%)	3,651 (100.0%)
計	2,416	1,235	3,651

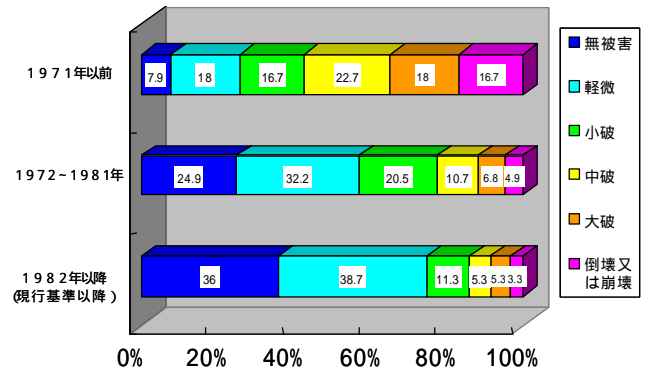


図-2 兵庫県南部地震による建物被害の特徴  
(神戸市中央区での調査, 建築震災調査委員会による)

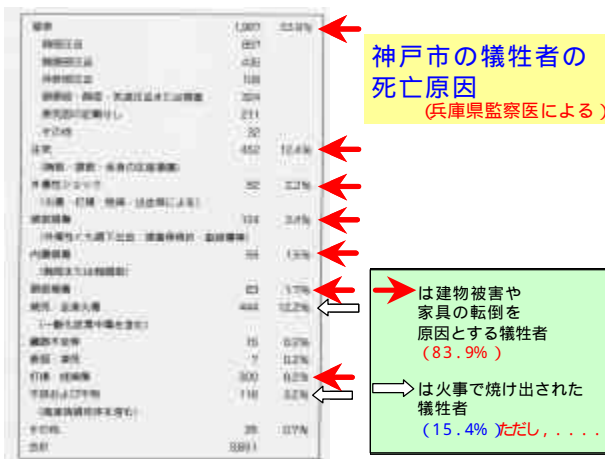


図-1 兵庫県南部地震による犠牲者の死因  
(神戸市内, 兵庫県監察医による)



図-3 わが国の建築構造物のストック  
(昭和56年以前に建築された建築物のうち, 耐震診断が必要と推定される建築物は, 住宅が1200万棟, 非住宅は220万棟と言われている.)

こと またこれを主因として発生した5,500余名の犠牲者によって引き起こされたものである。つまりこれらの問題は建物被害がもっと少なければ,あるいはもっと少なくする対策を事前にとっていけば,これほど重大な問題として顕在化しなかった可能性が高い。「ソフト」な対策は,「ハード」の機能が確保された上で初めて機能する。「ひとの生命」など最低限守らなければならないものは,ハードの対策で対応する以外にない。

兵庫県南部地震の最大の教訓は,「復旧・復興期までを含めて,発現した様々な問題の根本的な原因は,地震直後に発生した大量の構造物被害と,これを原因として生じた多数の人的被害であった」ことである。

わが国では過去の地震被害を教訓として,建物の耐震設計基準が繰り返し見直されてきた。その結果,いわゆる「新耐震」と呼ばれる1981(昭和56)年の基準改正以降に建設された建物は兵庫県南部地震の激しい地震動に対しても十分な耐震性を有していたことが報告されている(図-2)<sup>2)</sup>。しかし図-3にも示すように,わが国には「新耐震」以前の基準で建設された構造物が大量に存在しており,これが強い地震動に対して非常に脆弱であることが問題なのである<sup>2)</sup>。

地震直後の被害を軽減するには,強度の不十分なこれらの構造物を,地震が襲って来る前に強くしておく以外に術はない。すなわち,耐震性の低い構造物を選別し,耐

震補強を実施することである。しかし現実問題としては,耐震補強対策はなかなか進展していかない。特に公的ではない一般住家の耐震補強が全然進まず,これらが将来の地震発生時に大量の死傷者を出すことも確実視されている。

ではなぜ一般住家の耐震補強対策が進展しないのだろうか?

著者らには,この原因は耐震補強の技術的な問題というよりは,耐震補強対策をとりまく制度やシステムの問題ではないかと思われる。そこで本研究では,耐震補強の普及を目的として,そのリビングフォースとなるような制度/政策について考えてみたい。すなわち,補強対策の効果/便益が行政サイドからも市民サイドからも容易に理解できるデータと共に,新しい制度/政策(案)を提案する。

## 2. 提案する耐震補強推進制度/政策とその効果の分析法

### (1) 提案する制度/政策(案)

兵庫県南部地震の経験を踏まえ,政府は1995年10月27日に「耐震改修促進法」を公布した。これは,1981年以前の既存不適格建物の耐震診断・改修の促進を目的とし,現行基準以上の耐震性能の確保を目指したものである。

しかし法的強制力がないこと、対象建物がある一定規模以上の不特定多数が利用する施設(学校・病院・百貨店・ホテル・市場など)であることなどを理由として、耐震性の低さと数から言えば、より問題の大きい一般住宅の耐震促進には結びついていない。

このような状況を背景として、幾つかの自治体では耐震補強対策の推進を目的として、一般住家の耐震診断や耐震補強にかかる費用に対する補助制度や低利の融資制度を始めたが、これらの制度が有効に機能している自治体は見られない。原因は幾つも考えられるが、その1つに耐震補強対策の効果が見えにくいことがあげられる。一般の人々に耐震補強することの意義とその効果/便益を分かりやすく伝えることができれば、耐震補強対策に取り組む人の数は大幅に増えると考えられる。しかし上記の制度では、耐震補強対策に取り組む人が大幅に増えると、今度は財政上の問題が生じる。すなわち地震の前に、行政が地震対策に巨額の予算措置を講じることが難しいという問題に突き当たる。

ところで我が国では、自然災害に関しては「自力復興の原則」があり、地震による被災建物の建て替え・補修費用は基本的に個人負担である。しかし地震で建物が大きな被害を受けたり、家を失ってしまった被災者には、兵庫県南部地震の際でも明らかのように、直後の救命・救急活動から、避難所や仮設住宅の整備、崩壊家屋のガレキ処理、緊急物資の配給など、様々な形で公的資金が使われる(図-4)。これらの経費の多くは、建物が被害を受けなければ費やす必要のない公的資金である。

そこで、著者らが提案する制度は、「しかるべき耐震補強を済ませた建物が被災した場合に、建て直しを含めて

制度なし		制度あり
住民	耐震補強	住民
住民	建物被害	住民
行政	仮設住宅建設	行政
行政*	(建物の)ガレキ撤去	行政*
住民	建物再建	

\*:兵庫県南部地震の事例に準拠。  
:基本的には住民負担。  
但し、耐震補強を済ませた建物が被災した場合には、行政による補助が受けられる。

図-4 提案制度の有無による対策費用分担主体の変化

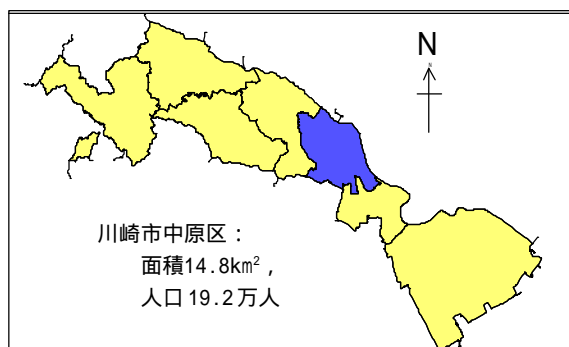


図-5 対象地域として選択した川崎市中原区の位置

被災建物の補修費用の一部を行政が負担することを保障する」というものである。もちろん、「しかるべき耐震補強」を済ませた物件か否かを判定する中立な組織をつくるなど、確認システムの整備は不可欠である。この制度は以下で説明するような幾多のメリットが、行政サイドからも市民サイドからも期待される。ここでは、川崎市中原区(図-5)を対象地域として、本提案制度の耐震補強対策(図-6)の有無による地震被害の違いをシミュレーションし、その有効性を示すことを試みる。以下で詳細を説明するが、図-7に全体の流れを示す。なお、今回取り上げた地域は、表-2にも示すように、建物の構造種別や建築年代に著しい偏りの無い地域である。

## (2) 分析の準備

### a) 建物被害額の算定

建物を建築年代・耐震設計基準の改正を境としてごとに分類し、それぞれのグループごとの地震被害関数(フラジリティークーブ)から、想定地震動の強度に応じた全壊数・半壊数を見積もる。被害量は金額として評価するが、その際には構造別の床面積(1m<sup>2</sup>)あたりの資産額を算定することにより金額への変換を図る。また構造物資産価値は、新築で木造が15万円/m<sup>2</sup>、非木造が30万円/m<sup>2</sup>、また減価償却については、木造は25年間(年平均約2.7%の償却)、非木造は40年間(年平均約1.7%の償却)で価値が50%になるものとする<sup>3)</sup>。

### b) 耐震補強による被害額変化の見積もり

ここで耐震補強策を考慮し、施策による建物の耐震性の上昇、及び被害額の減少を評価する。耐震補強策の実施費用は、単位面積当たりで構造別に設定する。耐震補強率に応じて被害建物数が変化するため、耐震補強実施率及び地震動別のシミュレーションを行い、政策の有無

表-2 対象地域の建物の分類

構造種別	建築年代	棟数	平均床面積 (m <sup>2</sup> /棟)	資産率 (%) (新築に対する割合)
木造	1971年以前	14,031	72.3	34.0
	1972-1981年	8,416	80.3	53.3
	1982年以降	8,317	107.9	75.7
非木造	1981年以前	10,490	207.9	64.1
	1982年以降	11,703	287.3	85.8

木造			非木造	
~1971年	1972~1981年	1982年~	~1981年	1982年~

Case 1 :1971年以前の木造を耐震補強 1.40万棟  
Case 2 :1972~1981年の木造を耐震補強 0.84万棟  
Case 3 :1981年以前の非木造を耐震補強 1.05万棟

図-6 建築年代別建物数と提案制度の場合分け



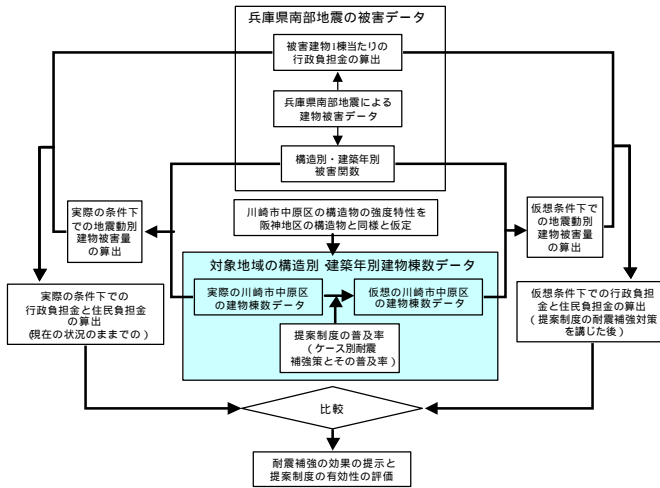


図-7 耐震補強の効果と提案制度の有効性評価の流れ

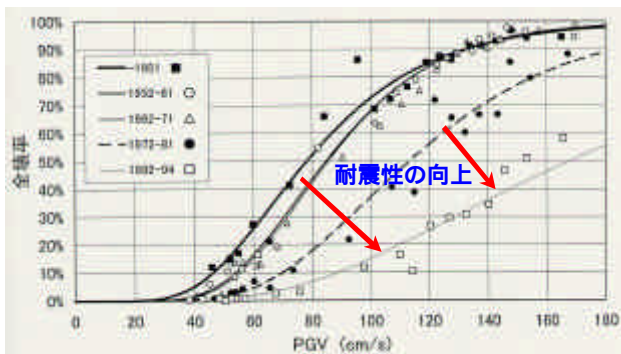


図-8 兵庫県南部地震の被害分析による被害関数例<sup>5)</sup>  
(木造構造物の築年代別の全壊率、横軸のPGVは  
地表最大速度であり地震動の強さを表す)

による被害額の変化や投資効果を検討する。

c) 仮設住宅・がれき撤去/処理費用の見積もり<sup>4)</sup>

仮設住宅については、兵庫県南部地震のデータから、神戸市負担分相当の13万円/戸の費用が、予想される仮設住宅数に応じて発生するものとする(ちなみに仮設住宅1棟の建設費はトータル約280万円。ただし、この費用には仮設住宅の住環境の改善のために追加的に投じられた予算は入っていない)。ガレキの撤去並びに処理については、神戸市の事例より、発生したガレキの量とその処理費として行政が支払った予算額の関係から、処理建物1棟につき327万円の費用が、予想される建物解体棟数について発生するものとする。

d) 最適補強策の決定

図-6に示すような構造別・建築年代別の耐震補強策の効果を比較することにより、最適な補強案を決定する。耐震補強効果の検討には、兵庫県南部地震の被害分析結果に基づいて得られた被害関数(図-8)<sup>5)</sup>を用いる。これは構造物の建築年を基準として、木造3分類・非木造2分類の合計5分類に分類して得られたものである。ところで、村尾・山崎による文献<sup>5)</sup>の地震被害関数は、現在最も精度の高いと思われる提案式の1つであるが、一方でこれを用いると言うことは、阪神地域の建物の強度特性と対象地域である川崎市中原区の建物の強度特性が同等であると仮定していることになる。故に、この点は今後

対象地域の構造物の強度特性を良く吟味した上で改良すべき余地がある。

さてここでは、図-6に示す3ケースの対策を想定し、それぞれについて単位費用当たりの減災効果を計算し、最適な耐震補強案を求めた<sup>6)</sup>。すなわち、耐震補強を行うことによって建築年の古い建物が現行基準の構造物と同等の強度を有し(図-8)、その結果としての被害額の減少と、耐震補強を行うに当たっての投資費用を比較することにより効果を求める。その際、床面積当たりの改修費用は、木造で1.5万円/m<sup>2</sup>、非木造で4.0万円/m<sup>2</sup>とする<sup>3)</sup>。

(3) 提案制度の効果の分析法

提案制度の有無により、地震を受けた際の行政・住民の負担が変化する。まずは、家屋被害、仮設住宅建設、がれき撤去/処理、家屋再建の4要素について考えてみる。また本研究では、提案制度による耐震補強は、2章(2)において最も効果の高かったCase 1(1971年以前の木造を対象)の補強を施すこととする<sup>6)</sup>。図-4でも示したように、提案制度が適用される以前においては、家屋被害と家屋再建(被害建物では補修費、大破建物では新築費)は個人負担、仮設住宅・ガレキ撤去/処理は行政負担とした。被害建物の補修費は実例に基づいて、新築の場合の1/3、すなわち木造で5万円/m<sup>2</sup>、非木造で10万円/m<sup>2</sup>とした。

次に、本制度を適用する事により、地域住民の一部が耐震補強を実施することを仮定する。補強の実施により、家屋被害が減少し、その結果、仮設住宅設置・ガレキ撤去/処理費用が減少する。既に説明したように、事前に耐震補強策を講じ、「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は、その建物の被害については再建費用の一部を行政が負担することとなる。以上の要素を総合的に判断して、本制度の有効性を判定する。

3. シミュレーション結果と考察

(1) シミュレーション結果

ここでは仮に耐震補強済みの建物が被害を受けた場合、全壊では300万円/棟(仮設住宅建設費相当)、半壊では150万円/棟の補助(床面積100m<sup>2</sup>の木造建物1棟の補修費、掛けた費用が地震後に戻ってくることに相当)が行政から支給される場合の結果を示す。このときの行政側の負担は、上記の補助に加え、被害規模に応じた仮設住宅の設置と倒壊建物のがれき撤去及びその処理費となる。

図-9は、提案制度による耐震補強の普及率と想定地震動強度(地表速度:kine)別の行政(川崎市)負担額の変化を示したものである。このケースでは、川崎市の仮設住宅建設費の負担額を、神戸市の事例に従って初期建設費全体の5%弱(13万円/280万円)と仮定している。図-9より、提案制度の有無による市の負担額の差は、想定地震動が大きくなるほど拡大することがわかる。またこの図をもう少し詳しく見ると、地震動が50kineの場合の制度の「ある・なし(普及率100%と0%)」の比較からは、市の負担額に一見大きな差は見られないが、事前の耐震補強によって、全壊棟数が図-10に示すように1830棟から750棟に大幅に減少することが分かる(ちなみに60kineでは4020棟から1640棟)。またその結果として、図-11に

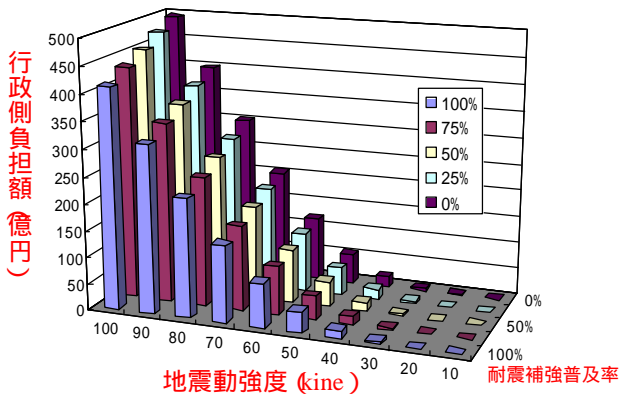


図-9 耐震補強普及率と地震動別の川崎市の負担額の変化

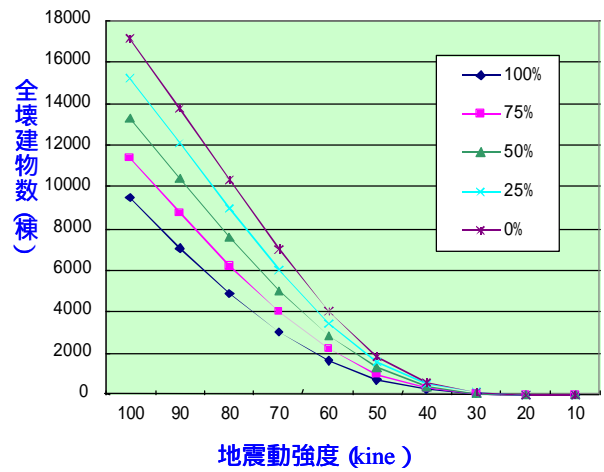


図-10 提案制度普及率と地震動別の全壊建物数の変化

も示すように必要とされる仮設住宅の数も大幅に削減(例えば,50kineで半数以下になる)できるが,この点は仮設住宅の建設用地の確保が困難な首都圏の状況を考えると大きな意味を持っている。また図98の結果を,国・県を含めた行政全体として考えると,負担額の差は図-12に示すように提案制度の「ある・なし」でさらに大きくなる。

次に,本制度による住民側のメリットをしてみる。図-13は,中原区全域の1971年以前の木造構造物を対象として,本提案制度による耐震補強の普及率と想定地震動強

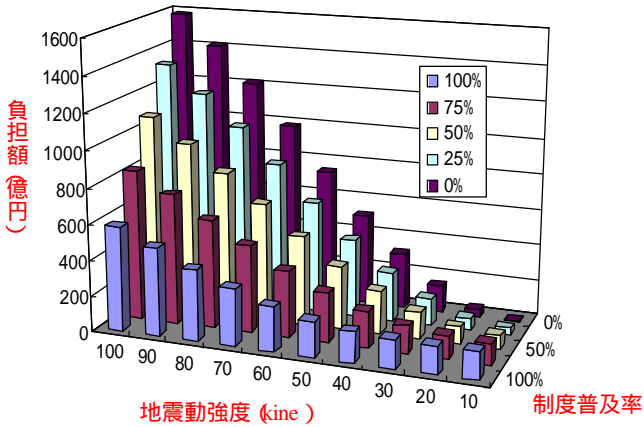


図-13 提案制度普及率と地震動別の住民負担額の変化

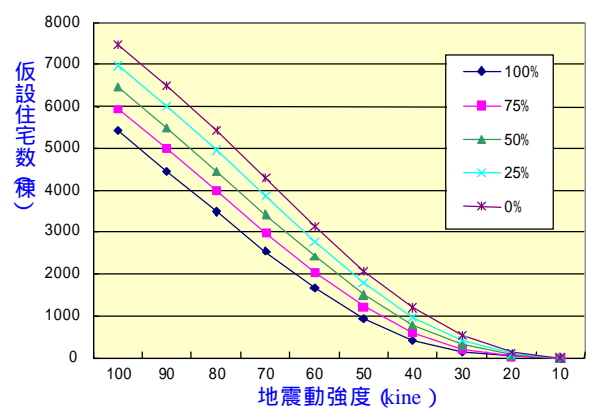


図-11 提案制度普及率と地震動別の必要仮設住宅数の変化(神戸の例に準拠して被害家屋数から算出したもの)

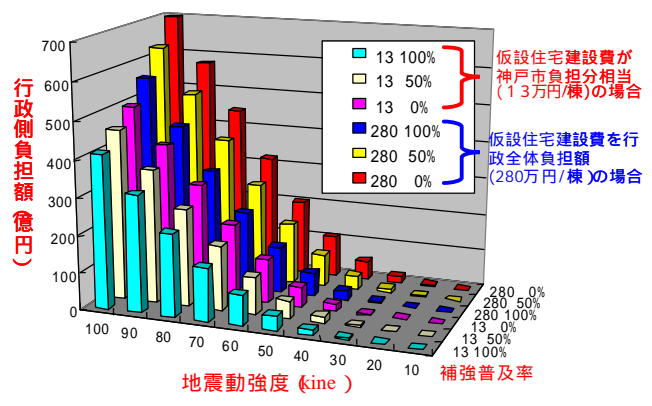


図-12 耐震補強普及率と地震動別の行政の負担額の変化

度(地表速度:kine)別の住民負担額の変化を比べたものである。ここでは,住民側の負担額としては,「家屋被害」,「事前耐震補強費」,「家屋再建費」を考えている。また,提案制度の条件を満足する物件(補強済み建物)が地震被害を受けた際には,その建物の再建には行政からの補助が得られる。図-13を見ると,想定地震動30kineを境として,それより大きな地震動においては,提案制度により事前に耐震補強を行っておくことが,住民側から見てもメリットがあることが分かる。地震動30kineは行政が地震対策として通常考えるべき地震動強度(ちなみに

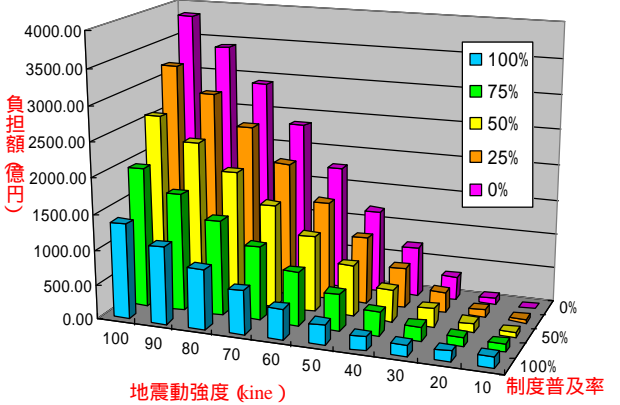


図-14 提案制度普及率と地震動別の住民負担額の変化(家財の損失までを考慮した場合)

図-8でも示したように、建物被害から推定された兵庫県南部地震における地震動の強かった地域の地表最大速度は150 kine以上<sup>7)</sup>であることから、この程度の地震動からメリットが生じることの意味は非常に大きい。

また図-13では、家財など建物内の資産の損失については考慮していないが、建物被害に応じてこれらの資産損失が大きく変化すること、特に「倒壊」の状況では建物内の資産がほぼ全滅することを考慮すれば、提案制度による耐震補強対策の効果がより高く評価されることになる。図-14にその例を示すが、家財の損失までを考慮すると提案制度が有利になる地震動強度が小さくなり(20kine)、この制度が更に有利になることがわかる。家財の損失についての試算の根拠は文献<sup>8)</sup>による。

#### (2) 考察

前節で紹介したような結果から、提案制度による耐震補強促進対策は、行政サイドからも住民サイドからも大きなメリットのある制度であることが分かった。すなわち、行政側の視点からは、地域の防災ポテンシャルを具体的に高め、地震発生時の被害を大幅に軽減する効果的な対策であり、公的資金の効果的な運用という観点からも優れていると判断される。住民側からは十分想定しうる規模の地震動においても、負担額の軽減に大きく貢献する事が確認された。

以下に提案制度の長所をまとめておく。

- ・現状の耐震診断・耐震補強の助成制度と違い、行政は地震の前に巨額な資金を用意する必要がない。被害建物の補償についても、地震の後であれば予算措置の難しさは、地震前よりも圧倒的に低い。
- ・国レベルで考えても、提案制度は地震直後の被害軽減に対する公的資金の有効利用になる。
- ・公的資金の個人資産への運用を伴うが、行政として当然想定すべき地震動強度の地震発生時に、被害を大幅に軽減する効果が期待でき、結果として公的資金の有効活用が実現される。
- ・地震直後の被害軽減への貢献は、事後対応の量と困難さを大幅に軽減する点で重要な意味を持つ。
- ・十分想定できる地震動強度レベルから、事前対策費と地震後の負担金額の比較から住民サイドからも経済的に優れた政策であることが確認された。
- ・人的被害の多くが、地震直後の構造物被害によって発生していることを考えると、経済的な問題に加えて、家族の人命を守ると言う観点から、事前対策を推進する本制度の効用は、住民にとって非常に大きい。
- ・被災時に援助する仕組みが、現状の「やりっぱなし」の耐震改修の支援/補助体制から「持続的な品質管理」の方向への動きを生み、建物ストックの品質維持につながる。
- ・今回考慮しなかった災害弔慰金等の支給、災害援護資金の貸し付け、災害復興公営住宅等の供給、自力による住宅再建等の支援、さらに住宅再建に係る低利融資、住宅被害に直結する税収の減少(減免含む)などの費用までを考えると、提案制度の有効性はより高く評価される。

・本提案制度と地震保険との決定的な差は、地震保険契約を結ぶことは地震直後に発生する被害を軽減することには直接結びつかないが、提案制度は地震被害を軽減することに直結している、など。

#### 4. まとめ

本研究では、わが国の地震防災上の最重要課題である既存不適格建物の耐震補強対策を推進するための制度/政策(案)を提案し、その効果について考察した。その結果、想定地震動と発生確率の関係、被害建物への適正な補償システム/金額の設定、第3者耐震補強評価システム/機関の設立など、検討すべき点もあるが、本提案制度は、我が国が抱える地震防災上の最大の課題である既存不適格構造物の耐震性能の向上に向けて、有効に機能する可能性を持っていることが確認された。すなわち従来なかなか進展しなかった一般住家の耐震補強対策を推進させるドライビングフォースとして機能する可能性を有する制度である。

また今回は、行政の必要経費としては、仮設住宅の建設費とガレキ処理費のみを考慮した試算を行ったが、実際にはこれらの他に、以下のような経費が計上される。災害弔慰金等の支給、災害援護資金の貸し付け、災害復興公営住宅等の供給、自力による住宅再建等の支援、さらに住宅再建に係る低利融資、住宅被害に直結する税収の減少(減免含む)など。これらの費用を考えると、提案制度の有効性はより高く評価される。

#### 参考文献

- 1) 西村明儒・井尻巖・上野易弘：<特集> 集団災害救急 - 死体検案より - ，救急医学別冊，へるす出版，1995。
- 2) BELCAパンフレット，1995。
- 3) 建築行政研究会：建築物の耐震改修の促進に関する法律の解説，大成出版社，1996.5
- 4) 神戸市：阪神・淡路大震災 - 神戸市の記録，1996.1
- 5) 村尾 修：兵庫県南部地震の実被害データに基づく建物被害評価に関する研究，東京大学学位(博士)論文，1999.11。
- 6) 高橋 健・目黒公郎：活用性の高い地震被害想定 / 支援システムに関する基礎的研究 - 川崎市を対象として - ，第54回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(B)，土木学会，pp.80-81，1999.9。
- 7) 山口直也・山崎文雄：1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定，土木学会論文集，No.612/I-46 pp. 325-336，1999。
- 8) 安田火災海上保険株式会社 HP(<http://www.yasuda.co.jp/insurance/katei/hokentyo.html>)，世帯主年齢・家族人数別家財再調達価格の平均を用いた)