

わが国の地震防災上の最重要課題の解決に向けて —既存不適格建造物の耐震改修を促進させる 環境整備について—

目黒 公郎

1. はじめに

わが国の地震防災上の最重要課題は、既存不適格建物（1981年の耐震基準改定以前に建設された建物で耐震性が不十分なもの）が膨大に存在し、この耐震改修が一向に進んでいないことである。いかに充実した事後対応システムを持とうが、復旧・復興計画を準備していようと、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。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、発現してくる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建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。

地震直後の被害を軽減するには、地震が襲う前に建造物を強くしておく以外に術はない。すなわち、強度の不十分な施設の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。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、そのドライビングフォースとなるような制度/政策(案)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を示すとともに、新しい制度(案)を提案する。そしてさらに、長期地震予知情報を有効に活用することによって、既存

不適格建造物の耐震補強対策の優先順位づけとその効果を定量的に評価する手法を提示する。なおこの研究は、従来ほとんど実施されてこなかった不確実性を伴った予知情報を防災対策に有効活用するための研究の先駆けとしての意味も持っている。

2. 阪神・淡路大震災の被害の実態

神戸市内の犠牲者（地震から2週間後まで）を対象として、兵庫県南部地震による犠牲者の詳細な調査分析が、兵庫県監察医によって行われている[1]。これによると、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（約53.9%）や圧死（12.4%）、打撲・挫滅傷死（8.2%）、頭部や首・内臓の損傷死（6.6%）、外傷性のショック死（2.2%）などであり、これらが全体の約84%を占める。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。この比率は高度焼損死（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。兵庫県南部地震では、地震の発生時刻が早朝であったことから、自宅の被害によって亡くなった人が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（高度焼損死体を含め15.4%）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ている。自由に動き回れる状況であったにもかかわらず、適切な誘導がなかったために多数の死者を出してしまった1923年の関東大震災との大きな差がここにある。消防活動の問題を指摘する前に、建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。そしてこのような被害建物の多くが、最新の耐震基準の改定（1981年）よりも前に建設された建物で

めぐろ きみろう

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

〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1

あり、これがわが国の建物ストックの半数以上を占めていることも強く認識しなくてはいけない。そしてさらにいえば、古い建物の数と比率は大都市圏で大きく、この耐震改修が一向に進んでいない。

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…、内閣総理大臣に被害の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。さらに付け加えると、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こと、またこれを主因として発生した5500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れば、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。

3. 新しい提案制度とその効果の分析法

3.1 提案する制度(案)

兵庫県南部地震の経験を踏まえ、幾つかの自治体では耐震改修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子算措置を講じることが難しいという問題に突き当たる。この予算規模は、存在している既存不適格建物の数を考えると、自治体の規模によるが、100~200万円/棟の子算措置でトータル数千億円から数兆円規模となる。

ところでわが国では、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、直後の救命・救急活動から、避難所や仮設住宅、公的住宅などの整備、緊急物資の配給など、様々

表1 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 (㎡/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

な形で公的資金が使われる。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。

そこで私が提案する制度は、「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(人口19.2万人、面積14.8km²)を対象として、本制度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。なおこの地区を選択した理由は、構造種別・建築年代がバランスよく存在しているからである(表1)。

3.2 分析のためのデータ

(1) 建物被害額の算定

建物を建築年代(建築基準法の改正を境として)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当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/m²、非木造が30万円/m²、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[2]。

(2) 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、政策の有無による被害額の変化や投資効果を検討する。

(3) 仮設住宅・がれき撤去/処理費用の見積もり

仮設住宅については、兵庫県南部地震のデータから、初期建設経費 280 万円（神戸市はこの中の 13 万円/戸を負担）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、その後の改修費や撤去費を入れると仮設住宅関連の経費はずっと高くなる）[3]。がれきの撤去並びに処理については、神戸市の事例より、処理建物一棟につき 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[3]。

(4) 最適補強策の決定

耐震補強の効果を比較することにより、最適な補強案を決定する。本研究では、表 1 に示すように、構造物の築年を基準として、木造 3 分類・非木造 2 分類の合計 5 分類に分類し、それぞれの分類について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[4]を用いる（図 1）。

さてここでは、上で説明したような 5 分類の構造物に対して、以下に示す 3 ケースの対策（図 2）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

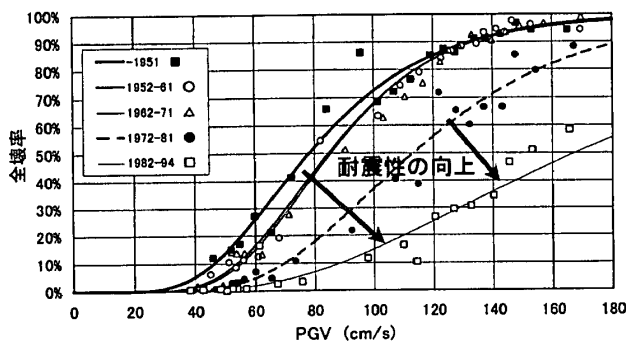


図 1 兵庫県南部地震の被害分析による被害関数例[5]（木造構造物の築年代別の全壊率、横軸の PGV は地表最大速度であり地震動の強さを表す。単位 cm/s は kine と同じ）

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 2 築年代別建物数と提案制度の場合分け

算し、最適な耐震補強案を求めた[5]。その際、床面積当たりの改修費用は、木造で 1.5 万円/m²、非木造で 4.0 万円/m² とする[2]。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、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。

3.3 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。今回は表 2 に示す「耐震補強費」、「家屋被害額」、「仮設住宅建設費」、「がれき撤去/処理費」、「家屋再建費」の 5 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、節 3.2 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が[4]、このケースで対象とする建物グループは地震防災上一番問題が大きい建物群である。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・がれき撤去/処理は行政負担とした。被害建物の補修費は事例に基づいて、新築の場合の 1/3、すなわち木造で 5 万円/m²、非木造で 10 万円/m² とした。

次に、本制度を適用することにより、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・がれき撤去/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。

表 2 提案制度の有無による対策費用分担主体の変化

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)がれき撤去	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。

4. 提案制度の効果のシミュレーション

4.1 シミュレーション結果

ここでは仮に耐震補強を行った建物が被害を受けた場合、全壊については300万円/棟（仮設住宅建設費相当）、半壊については150万円/棟の補助（この額は、1棟の床面積を100m²とした時に補強に要する費用であり、掛けた分のお金が戻ってくることに相当する）が行政からなされる場合の結果を示す。この時の行政側の負担は、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3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）別の行政負担額の変化を示したものである。このグラフより、提案制度の有無による行政の負担額の差は、想定地震動が大きくなるほど大きくなるのがわかる。また図4を見ると、地

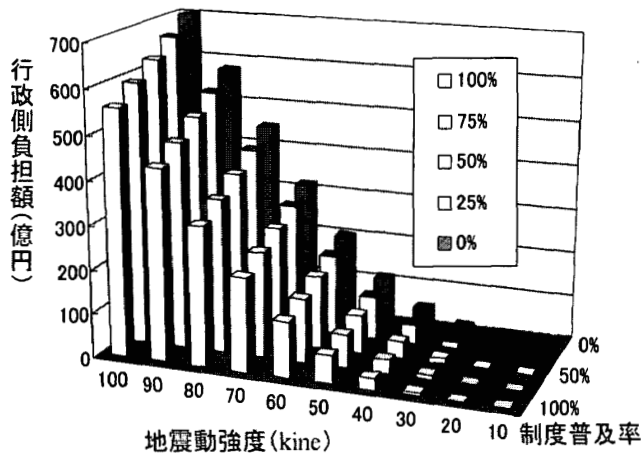


図3 耐震補強普及率と地震動別の行政の負担額の変化

震動が50kineの場合の制度あり・なしの例を比較すると、事前の耐震補強によって、行政の負担が減るだけでなく、全壊棟数は1830棟から750棟に大幅に減少することがわかる。全壊数が大幅に減少することは、発生する死傷者と必要となる仮設住宅の数を大幅に削減できるということである。仮設住宅に関していえば、首都圏ではその建設用地が非常に限られていることから、この意味は大きい。

次に本提案制度による住民側のメリットを見てみる。図5は、中原区全域の1971年以前の木造建造物を対象として、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、事前耐震補強費・家屋被害・家屋再建費を考慮している。また、提案制度の条件を満足する物件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こととした。図5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

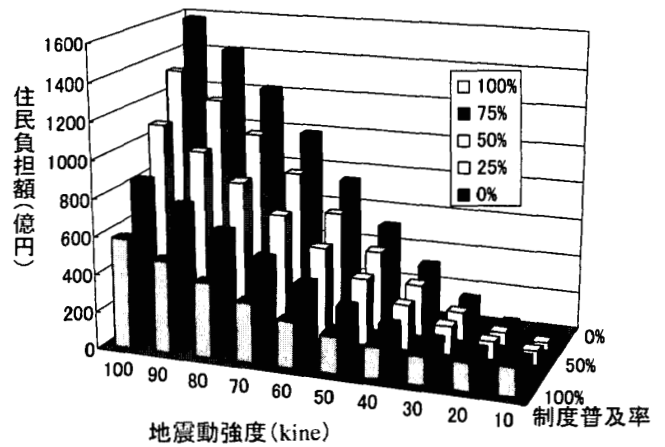


図5 提案制度普及率と地震動別の住民負担額の変化

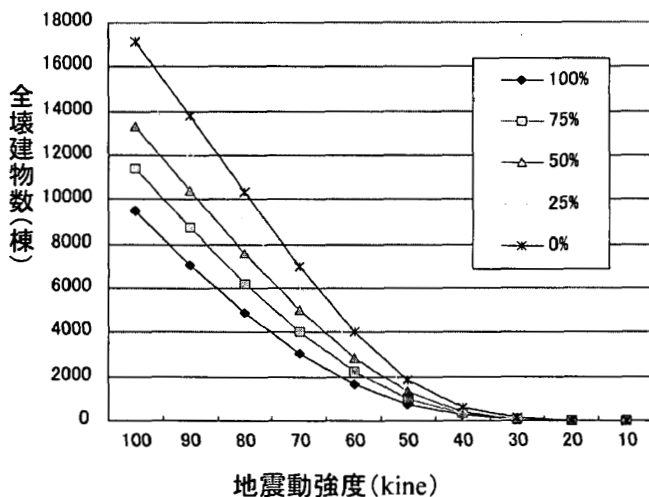


図4 提案制度普及率と地震動別の全壊建物数の変化

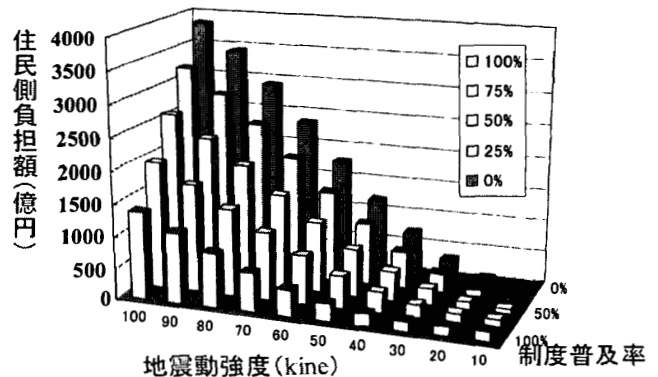


図6 提案制度普及率と地震動別の住民負担額の変化（家財の損失までを考慮した場合）

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、住民側から見ても大きなメリットがあることがわかる。地震動 30 kine は行政が地震対策として通常考えるべき地震動強度（例えば、建物被害の程度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[6]）であることから、この程度の地震動以上からはメリットが生じることの意味は非常に大きい。次に建物内の資産の損失[7]についても考慮すると、図 6 のように提案制度の効果はさらに高いことがわかる。

5. 地震予知情報を活用した場合の評価

5.1 用いる地震予知情報

ここでは静岡県を対象として、地震予知情報を有効活用することで、耐震補強対策の実施効果を評価する手法を提案するが、一般に地震予知とは、地震の大きさ、場所、発生時間を予知することである。また予知期間の長さに応じて、直前予知・短期予知・中期予知・長期予知という 4 種類がある。ここでは実現性の面から他に比べて可能性が高いと思われる数年から数十年以内の地震発生を予測する長期地震予知情報を対象とした。特に予知情報の対象期間内での地震発生確率情報に焦点を当て、この確率を用いて耐震補強対策の実施効果を評価する手法を提案するとともに、静岡県下の住宅への耐震補強対策が東海地震に対して発揮しうる期待損失軽減効果を予測し、有効性の高い予知情報の活用方法を検討する。なお静岡県下には、1999 年時点で、木造戸建住宅が約 84.6 万棟存在し、その中で 1981 年の新耐震以前に建築されたものが約 62.8%（約 53.2 万棟）を占めている。

5.2 東海地震による各地の地震動と建物被害関数

歴史地震や断層の調査を含めて、地震予知研究の進んでいる地域では、発生する地震の大きさと場所に関しての予知/予測は信頼できる精度で可能であるし、それが発生した場合に各地がどの程度の地震動に見舞われるかも同様に評価できる。図 7 は静岡県による東海地震による各地の予想地震動（第 3 次想定）である。また地震動の程度に応じた建物被害量も過去の事例から評価できる。図 8 は兵庫県南部地震の建物被害データを基に、吉村・目黒によって求められた木造建物の建築年代別の被害関数[8]である。

問題は発生時間であるが、ここでは、地震調査研究推進本部による東海地震の長期予知情報（30 年以内に発生する確率 36.7%）を用いることにする。

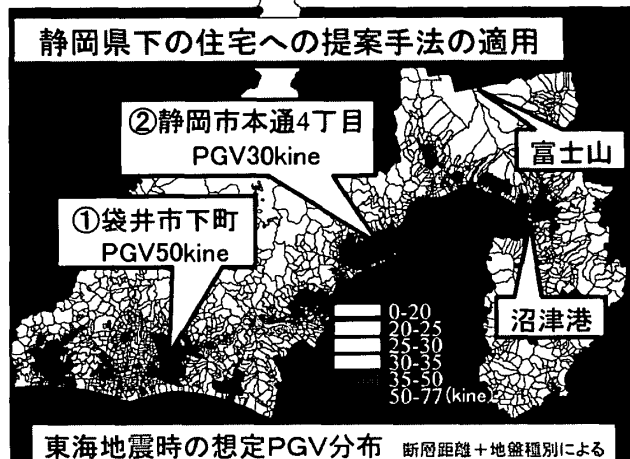


図 7 東海地震発生時に予想される各地の地震動（地表における最大速度分布）

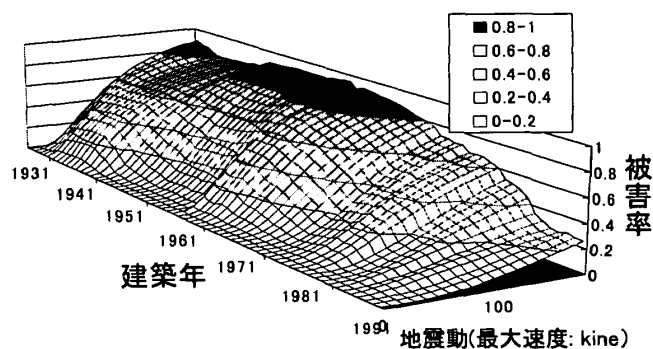


図 8 木造建物の築年別被害関数

5.3 耐震補強策の効果の評価法

地震発生までの猶予期間と発生確率をパラメータとして、耐震補強対策に要する費用と、その対策によって軽減される被害額の期待値の比をとり、これを費用対効果の期待値として定義し、この値を用いて、地域（地震動）別、建物別に耐震補強対策の効果を評価する。

5.4 耐震補強策の効果のシミュレーション

図 7 と図 8 から、評価対象建物の住所と構造タイプや築年がわかると、その建物が受けるであろう地震動とその地震動に応じた被害状況がわかる。この結果から、東海地震を対象として耐震補強対策の効果を評価したものが表 3 であり、地震の発生確率と予知期間に応じて評価したものが図 9 である。図 9 を用いることで、一軒一軒の建物に対して、地震発生までの猶予期間と発生確率をパラメータに耐震補強地震防災対策の効果を評価することができる。すなわち、建物のオーナーが、自分の建物の場所と建物の耐震性に応じて、いつの段階でいくらのお金を掛けることが、いくら

表3 東海地震に対する耐震補強対策の費用対効果（木造建物を対象として：地震動別，建築年別）

建築年	PGV(kine)				
	10	20	30	40	50
1960	0.23	1.18	2.56	4.34	6.28
1975	0.09	0.72	1.85	3.26	4.75
1985	0.04	0.30	0.72	1.23	1.80

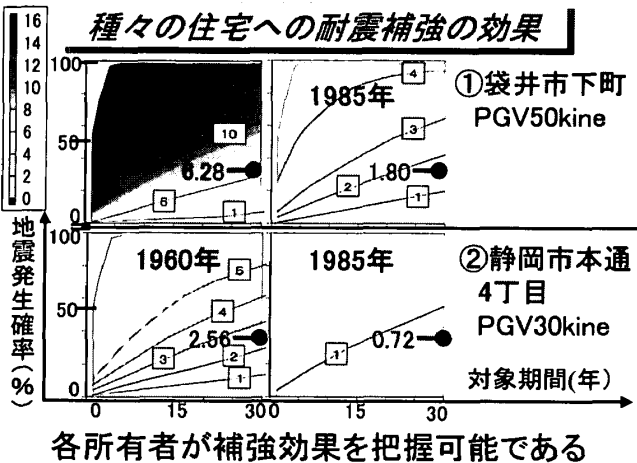


図9 木造建物の地域（地震動）別，建物別耐震補強効果

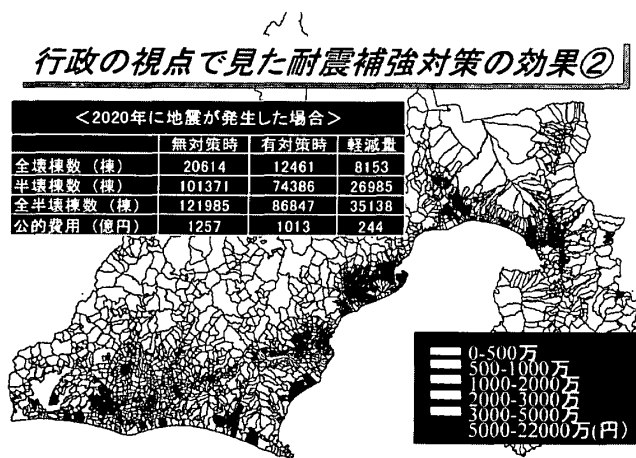


図10 行政の視点からの地域別耐震補強効果

効果として現れるかが個別対応で評価できる。

次に図9の結果に基づいて，耐震補強効果の高い建物のオーナーが耐震補強を実施してくれた場合に，行政が地域別にどの程度の便益を得るかを評価したものが図10である。この例は，2010年から2020年にかけて，耐震補強対策の費用対効果の高い（1.0を超える）建物オーナーの5%が毎年耐震改修をしてきたことを条件として，2020年に東海地震が発生した場合を想定した例である。このケースでは，耐震改修を

したにもかかわらず，全・半壊したオーナーに，行政が受けた便益の半分を保証金として払い戻すことを考えた場合，その額の比を全壊(2)：半壊(1)とすると，それぞれの保証金は2400万円，1200万円となる。この額は多すぎると思われるが，耐震補強のメリットが行政の視点から非常に高いことはよくわかる。

6. おわりに

本稿では，わが国の地震防災上の最重要課題である既存不適格構造物の耐震改修の推進制度を提案するとともに，提案制度が行政と市民の両者の視点から効果的であることを示した。また長期地震予知情報を有効活用することによって，地域別・建物別に耐震改修の効果を定量的に評価する手法も紹介した。著者は紹介したような研究成果によって耐震改修が大きく推進することを願ってやまない。

提案制度は，「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。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」制度であるが，より具体的な長所を以下にまとめておくと，

- ・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。
- ・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（人的・物的）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である。
- ・現状の『やりっぱなし』の体制から『継続的な品質管理』の方向へ」の動きが生まれ，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，災害援護資金の貸付，災害復興公営住宅等の供給，自力住宅再建等の支援，さらに住宅再建にかかわる低利融資，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.

参考文献

- [1] 西村明儒・井尻厳・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] 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.
- [3] 神戸市: 阪神・淡路大震災—神戸市の記録, 1996.1.
- [4] 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, 2000.1.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 安田火災海上保険株式会社 HP (世帯主年齢・家族人数別家財再調達価格の平均を用いた).
- [8] 吉村美保・目黒公郎: 既存建物の耐震補強に対する費用対効果評価に関する地震予知情報の利用法, 生産研究, 東京大学生産技術研究所, 第53巻11・12号, pp.16-20, 2001.12.