

# 長期地震予知情報を利用した 既存不適格住宅の耐震補強促進策について

RETROFITTING PROMOTION SYSTEM FOR EXISTING LOW EARTHQUAKE  
RESISTANT STRUCTURES USING LONG-TERM EARTHQUAKE PREDICTION

吉村美保<sup>1</sup>・目黒公郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup>工学修士(社会基盤) 東京大学助手 生産技術研究所 (E-mail: yosimura@iis.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup>工学博士(社会基盤) 東京大学助教授 生産技術研究所 (E-mail: meguro@iis.u-tokyo.ac.jp)

東海地震の地震予知情報の公開体制は予知が「空振り」終わった場合に社会的影響が大きい事前対応を定め、結果的に予知の「空振り」が許容されにくい環境と不確実性の高い情報の公開を困難とする状況を生みだしている。現在、地震発生確率情報を伴う全国的地震動予測地図の作成が進められており、地震予知情報の活用方法の検討は社会的に重要な意味を持つ。本研究では、わが国の地震防災上の最重要課題が既存不適格構造物の耐震化であることを踏まえ、長期地震予知情報に着目し、地震発生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。そして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する効果を評価し、本手法が既存不適格構造物の耐震化促進に効果的に活用できる可能性を示す。

**キーワード：**東海地震，地震予知，耐震補強，建物被害想定，リスク

## 1. はじめに

わが国の地震予知情報の公開体制は、大規模な地震が高い確率で予知されることを前提としており、万一予知が空振りに終わった場合に社会的影響の大きい対応措置が定められている。その結果として予知の空振りが許容されにくい環境と不確実性の高い情報の公開を困難とする状況が生まれている。東海地域の大規模地震対策特別措置法に基づく体制はその典型である<sup>1)</sup>。一方、地震調査研究推進本部は、ある一定の期間内にある地域が強い地震動に見舞われる可能性を、確率を用いて予測した情報を示す全国的地震動予測地図の作成を目指している。この一環として、東海地震が30年・50年・100年以内に発生する確率を、各々36.7%、55.9%、84.3%と試算している<sup>2)</sup>。現状ではこれらの地震予知情報を工学的に生かす方法論はほとんど議論されていない。このような状況を考えると、今後は予知精度の向上を図るとともに、不確実性を伴った予知情報の活用方法を検討することが重要と考えられる。

そこで本研究では、わが国の地震防災上の最大の課題が既存不適格構造物の耐震化であることを踏まえ、地震予知情報を既存不適格構造物の耐震化促進へ利用する方法論の開発を目指す。地震予知には、対象とする期間の長短に応じて、直前予知・短期予知・中期予知・長期予知という4種類があるが、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、利用可能性の高い予知情報の活用方法を検討した。

## 2. 対象とする地震と長期地震予知情報

本研究は対象地域を静岡県(面積7779km<sup>2</sup>、人口377万人<sup>3)</sup>)とし、対象地震を東海地震とする。静岡県を含む東海地方は、1969年の地震予知連絡会による特定観測地域への指定以来、東海地震の発生の危険性が指摘されている。また1979年には、大規模地震対策特別措置法に基づき、地震防災対策強化地域に指定され、日本で唯一、警戒宣言発令体制を有している。

平成13年5月30日、静岡県は第3次地震被害想定を公開した。これによると、東海地震による静岡県下の地表最大速度(PGV)は図1のようになる。また被害の推計に用いられている1999年1月1日現在の建物データによると、木造戸建住宅は静岡県下に846,384棟存在し、1981年の新耐震以前に建築された建物は62.8%を占める。

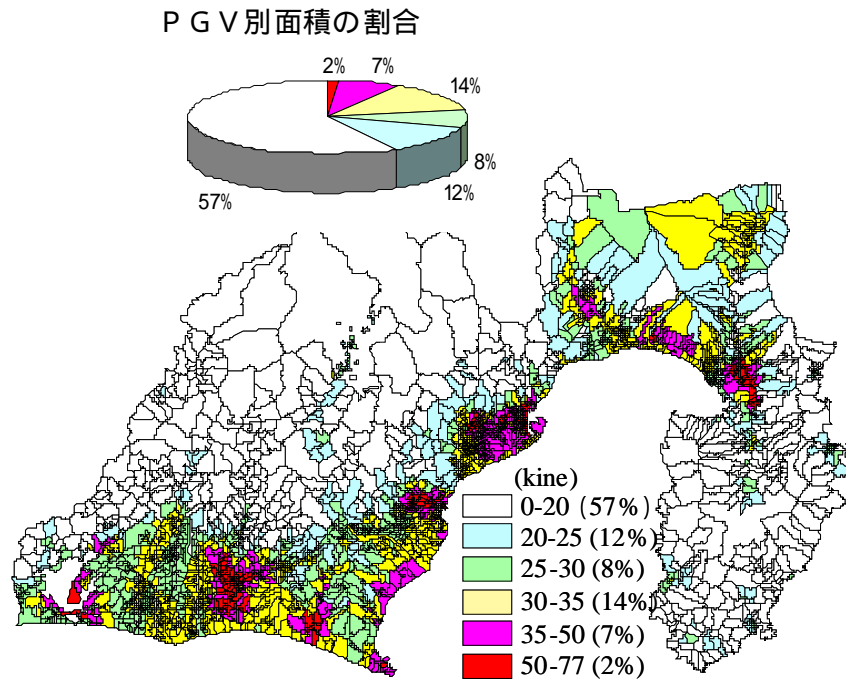


図1 東海地震のPGV分布

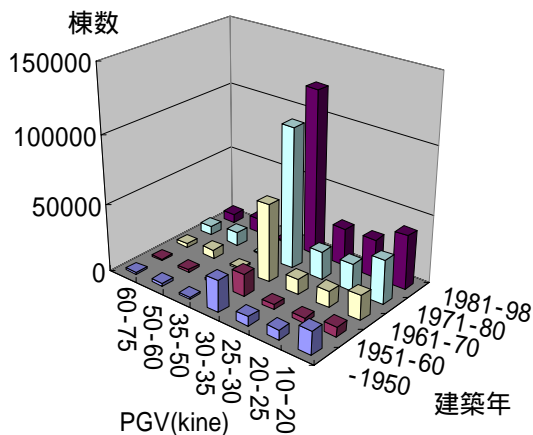


図2 地震動・建築年代別住宅棟数

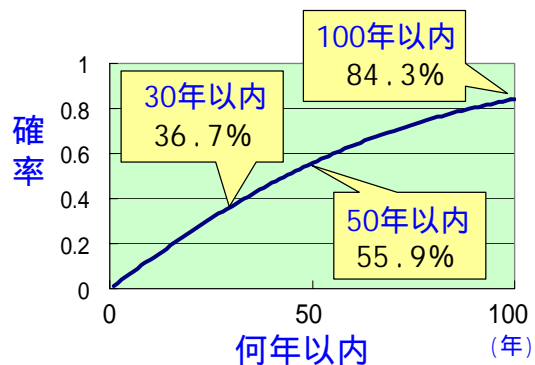


図3 東海地震の発生確率

想定地表地震動・建築年代別の木造戸建住宅棟数を図2に示す。これより、PGVが10~20 kineの地域の面積が最も大きい(図1)ものの、木造住宅の多くはPGVが30~35kineと予想される地域に立地している(図2)ことがわかる。

本研究では、長期地震予知情報として地震発生確率情報に着目する。地震調査研究推進本部は図3に示すような地震発生確率の試算結果を公表した<sup>2)</sup>。これによると、東海地震が30年以内に発生する確率は36.7%である。本研究では、2000年から2030年までの期間を対象として、前述の試算結果の地震発生確率が長期地震予知情報として公開され、その後に木造戸建住宅に対して耐震補強対策が実施されるというシナリオを想定する。

### 3. 耐震補強対策の実施効果の評価方法

#### 3.1 地震発生確率を用いた評価方法

耐震補強対策の実施による損失軽減効果を予測する際には、予知情報の対象期間とした2000年から2030年までの30年間における対策効果の期待値を算出することにより、地震発生確率を考慮した対策効果の数量表現を行う。30年間のある時点で地震が発生した時に発揮される耐震補強対策による損失軽減額は、式(1)に示すように、無対策時・有対策時の被害額の差と復旧費の差の合計額とする。この損失軽減額と各年度内に地震が発生する確率を用いて、30年間での対策効果の期待値、すなわち期待損失軽減額を式(2)のように求める。さらに、対策による費用対効果の期待値は、式(3)に示すように、対策による期待損失軽減額を対策費用で割ることで算出する。

### 3.2 人ベースで見た補強対策効果の評価の流れ

前述のシナリオの下，静岡県における個人所有の木造戸建住宅1棟に対して耐震補強対策を実施した場合の効果を，式(1)の評価方法に従って見積もる．以下に，これらの流れ(図4)を具体的に記す．

木造戸建住宅の耐震補強対策効果は，住宅の建築年と予想入力地震動により異なる．そこでまず最初に，対象期間30年の各年度において地震が発生した場合の建物の被害率を予測する(図4のA)．ここでは住宅の建築年・構造種別等の建物特性や予想入力地震動に応じた建物被害関数を用いて，個々の住宅の被害率を算出する．なお建物被害関数の作成方法に関しては第4章に記す．

次にこの建物被害率を用いて，式(1)に従い，対策実施による家財と建物の全半壊被害軽減額と復旧費用の軽減額を足し合わせた損失軽減額を予測する(図4のB)．家屋の全壊被害額の推計には，新築の木造構造物の資産価値(表1)が25年間で50%の価値に減価償却される(年平均約2.7%)<sup>4)</sup>ものとして，各建築年の建物の資産価値を算出している．家財の全半壊被害額は，所有する家財が減価償却により再調達価格(表1)の半分の価値を有するものとして算出する<sup>5)</sup>．全壊時の家屋の再建費用には新築の建物資産価値を用いる．半壊時の家屋の補修費用は，新築費用の1/3とする．

最後に，予測期間30年間の各年度における地震発生時の耐震補強対策による損失軽減額と，各年度内の地震発生確率を用いて，式(2)にしたがって耐震補強対策による期待損失軽減額を算出する(図4のC)．また，式(3)にしたがって対策の費用対効果の期待値を算出する．なお式(1)から(3)の検討は，全て個人(戸建住宅であれば世帯，集合住宅であればそこに住む世帯群)を対象としている．損失軽減額の評価には，行政からの補助などは考えておらず，個々の建物の立地条件から決定される地震動と耐震性によってのみ決定される．

<ある時点での地震発生時の損失軽減額>

$$U = D_0^i - D_1^i + R_0^i - R_1^i \quad (1)$$

<対策による期待損失軽減額>

$$E(V) = \sum_{i=1}^N (D_0^i - D_1^i + R_0^i - R_1^i) * P^i \quad (2)$$

<費用対効果の期待値>

$$E(M) = \frac{E(V)}{C} \quad (3)$$

ただし， $D_1^i$  : i年目における有対策時の被害額，  
 $D_0^i$  : 無対策時の被害額， $P^i$  : i年目の地震発生確率  
 $R_1^i$  : 有対策時の復旧費， $R_0^i$  : 無対策時の復旧費，  
 $C^i$  : 対策費 (添え字のiはi年目の地震発生を示す)

### 4.劣化現象を考慮した建物被害関数

ここでは，住宅の被害率の算出に用いた建物被害関数

の作成方法と得られた関数について述べる．

耐震補強対策の効果を長期的に見るには，構造物の劣化現象を考慮に入れる必要がある．精度の高い既存の被害関数の一つとして兵庫県南部地震の被害分析に基づく村尾・山崎の被害関数<sup>6)</sup>があるが，この関数は建築年代区分ごとの関数であるため，年代区分内での建物強度差が評価されていない．よって本研究では，兵庫県南部地震における神戸市灘区の1棟ごとの建物被害データ(全建物30,544棟，木造建物22,710棟)を構造・建築年別に整理し，これにタイムウィンドウをかけて被害率を算出することにより，建築年，地震動強度(ここでは地表最大速度，PGV)，被害率を3軸に持つ建物被害関数の3次元曲面を作成した(図5)．この曲面の作成により，経年による劣化や建築基準法改正の被害率への影響を調べることができる．

図5はタイムウィンドウの年数幅を5年とした時の全壊率曲面である．図5(1)のグラフ(a)は，曲面を成す1本1本の被害率曲線を作成する際に用いたタイムウィンドウ内の建物棟数を表す．各々の被害率曲線の建築年とタイムウィンドウの中心建築年は一致する．グラフ(b)は各被害率曲線の相関係数を表す．これより，新しい建物ほど全壊率曲面が低下することから耐震性が高まっていること，1950年の建築基準法制定および1981年の新耐震設計法の実施以降には曲面上に不連続面が見られること(図5(1)中の矢印)，戦時中は新規建築数が減少し(図5(1)のa)，関数の相関係数が低下する(図5(1)のb)ため，曲面に凸凹が見られることなどがわかる．

2000年から2030年までの各年度における，地震発生時の建物被害率の算出(図4のA)にあたっては，経年劣化に由来する建物強度の低下現象を，被害率曲面を経過年数分ずらした曲面を用いることにより表現する．この際，戦時中の被害率曲線は相関係数が0.5を下回り(図5(1)のb)，曲面に著しい凸凹が存在したため，周辺年のデータを用いてデータの補完を行った(図5(2))．また，耐震補強を行った建物は現行基準による構造物と同等の強度を有するものと考えた．

## 5. 静岡県下の住宅の耐震補強効果の評価

### 5.1 試算結果の地震発生確率を用いる場合

第3章の評価方法に従い，静岡県下の住宅への耐震補強対策の効果を評価した結果を以下に述べる．まず，2000年から2030年までの30年間に地震が発生する確率を文献2)の試算結果の通りに36.7%とした．この場合，1960年，1975年，1985年に建築された木造住宅を2000年に耐震補強した場合の対策による費用対効果の期待値は，住宅の所在地のPGVに応じて表2のようになった．費用対効果の期待値が1.0を下回るケースでは，この地震発生確率の場

合には耐震補強を実施する効果が高くないと考えられる。この表から、建築年が古いほど、大きな PGV が予想される地域に建つ住宅ほど耐震補強を実施した際の費用対効果の期待値が大きく、対策実施のメリットが大きいくことがわかる。新耐震設計法の施行前に建築された1960年建築の住宅は特に効果が高いといえる。

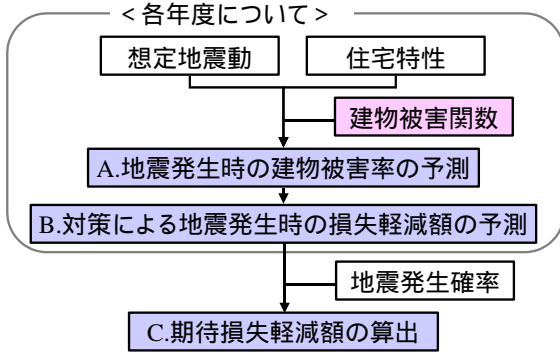


図4 補強対策効果の評価の流れ

表1 損失軽減額の算出に用いたデータ

項目	価格
耐震補強費用	1.5万円/m <sup>2</sup>
木造新築の建物資産価値 <sup>4)</sup>	15万円/m <sup>2</sup>
家財保有額(再調達価格) <sup>5)</sup>	1400万円

表2 耐震補強実施の費用対効果の期待値

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

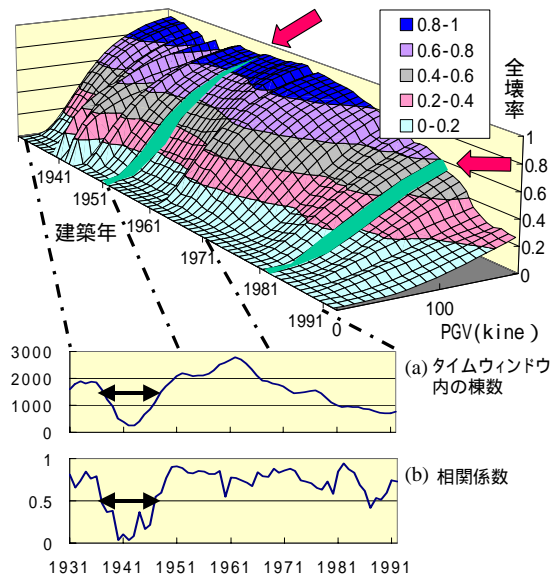
5.2 予知情報の不確実性を考慮する場合

文献2)の試算結果は不確実性を有している。耐震補強実施の意思決定を助けるための情報としては、試算結果の誤差も考慮した対策効果の予測が必要である。そこで次に、地震予知の対象期間と予知情報の精度に応じて、耐震補強の費用対効果の期待値がどのように変化するかを検討した。図6は2000年に耐震補強を行った場合に、地震予知の対象期間と地震発生確率に応じて耐震補強の費用対効果の期待値がどのように変化するかを、等高線グラフを用いて表現したものである。この図上で、地震予知の対象期間を示す横軸が30、地震発生確率を示す縦軸が36.7%のポイント(図6上の+印)の費用対効果の期待値は、表2の値に一致する。文献2)の試算結果の不確実性は、公表値(図6上の+印)周辺の費用対効果の期待値を参考にすることによって考慮される。この図を用いることで、地震予知情報

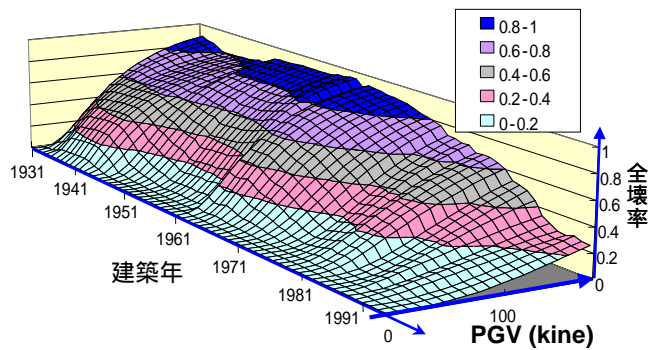
の不確実性も考慮した上で、耐震補強のメリットを考えることが可能となる。

住宅ごとの建築年と想定入力地震動に応じてこのような図を作成し、住宅所有者に情報として提供することにより、ある地震予知対象期間と地震発生確率を有した情報が公開された場合に、耐震補強実施により期待される費用対効果を住宅所有者自身が視覚的に把握することができる。また、公開値前後の地震発生確率の場合や時間経過により地震発生切迫性が変化した場合についても耐震補強効果を検討できるため、どの時点で自分が耐震化すべきかを判断する際の情報として有効利用できる。

次に、ここで試算した耐震補強効果の期待値が1.0を越える住宅所有者が、毎年5%の割合で耐震補強を実施してくれた場合に、将来の地震発生時にどのような違いが生じるのかを試算した。耐震補強効果の期待値が1.0を越える住宅所有者とは、耐震補強をすることが、現在発表されている長期地震予知情報の基で経済的な得をする人々であ



(1)兵庫県南部地震の被害から得られた建築年代別の全壊被害率



(2) 補正した建築年代別の全壊被害率

図5 全壊率曲面

る.ここでは,2020年に想定されている東海地震が発生した際の建物被害の変化と,それに伴う行政の公的費用の軽減額に着目した.

図7と表3に試算結果を示す.耐震補強を行った場合と行わなかった場合では,全壊数が20,614棟から12,461棟へと変化し,8,153棟の全壊が免れる.半壊の棟数まで合わ

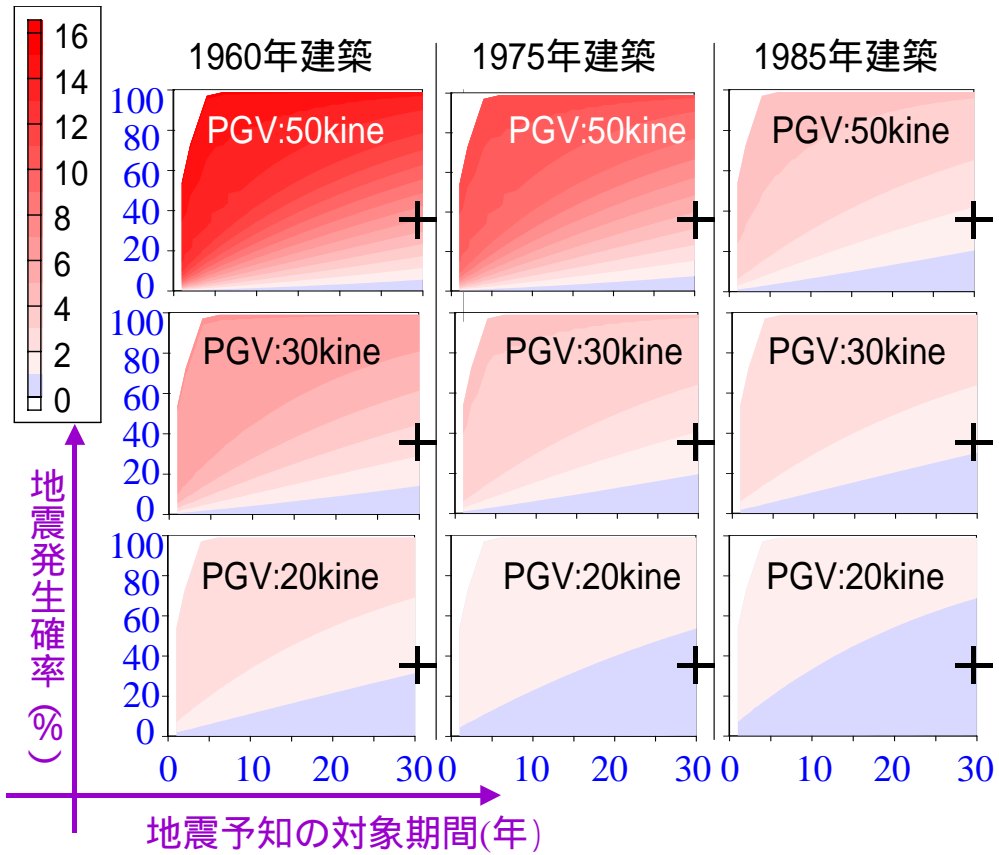


図6 費用対効果の期待値の変化

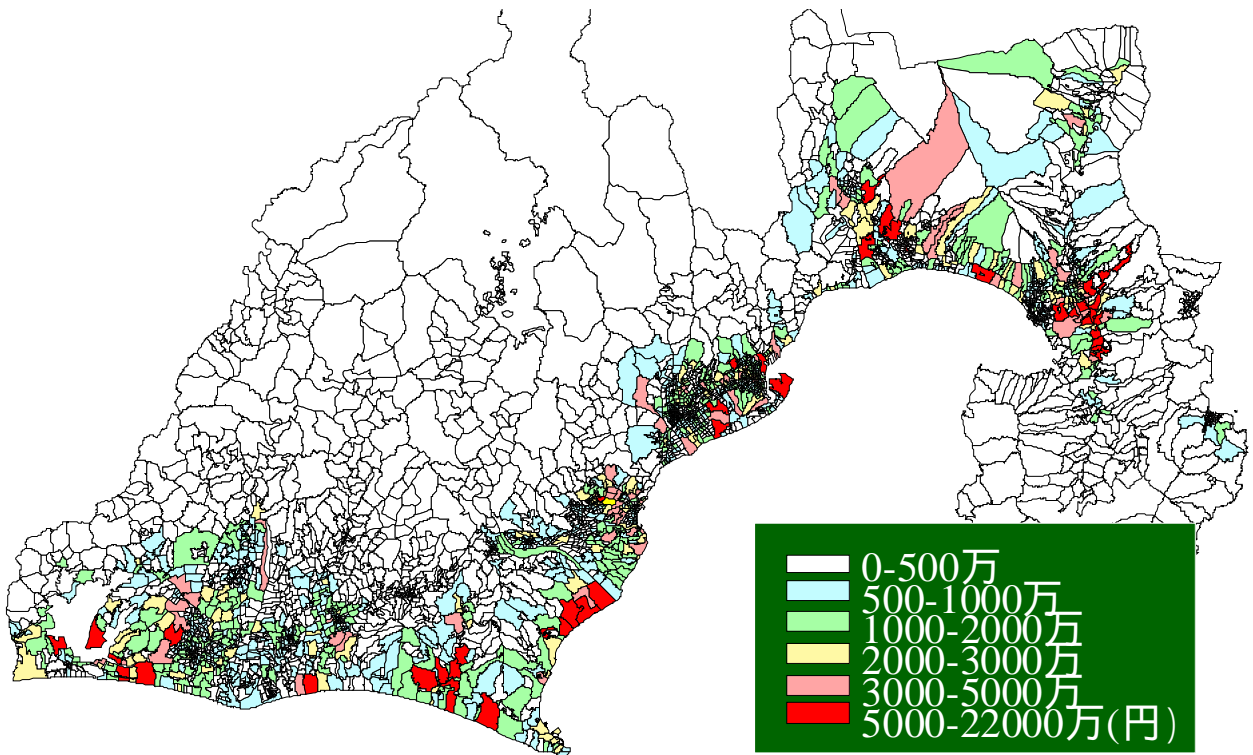


図7 行政の視点から見た耐震補強の効果(2020年の地震発生を想定した場合の公的費用の軽減額の分布)

せると、約3万5千棟の建物被害が軽減される。またこの建物被害の軽減によって、瓦礫処理(330万円/棟)や仮設住宅建設費(280万円/棟)など、行政が出費しなくてはならない公費が244億円軽減される。この公費の軽減額の地域別分布を表したものが図7であり、この図からは、地域別の耐震補強の効果がわかる。

ところで、耐震補強の効果によって軽減された公費244億年の約50%(120億円)を、自助努力で耐震補強したにもかかわらず被災した建物所有者に、支援金として払ってあげてを想定すると、全壊:半壊=2:1として、全壊家屋の所有者には2400万円、半壊所有者には1200万円を支払うことができる。著者らは、これまでも耐震補強を推進するための様々な制度を提案し、耐震補強の重要性とその効果の高さを強調してきている<sup>7)</sup>が、ここで示した2400万円、1200万円という支援金も同様の意味を持っている。すなわち、この額は支援金としては大きすぎると思われるが、耐震補強対策が公的資金の有効活用の点からも、いかに効果的であるかを示す良い材料となっている。

表3 2020年の地震発生を想定した場合の被害と公的費用の軽減効果

<b>&lt; 2020年に地震が発生した場合 &gt;</b>			
	<b>無対策時</b>	<b>有対策時</b>	<b>軽減量</b>
<b>全壊棟数 (棟)</b>	<b>20614</b>	<b>12461</b>	<b>8153</b>
<b>半壊棟数 (棟)</b>	<b>101371</b>	<b>74386</b>	<b>26985</b>
<b>全半壊棟数 (棟)</b>	<b>121985</b>	<b>86847</b>	<b>35138</b>
<b>公的費用 (億円)</b>	<b>1257</b>	<b>1013</b>	<b>244</b>

## 6. おわりに

本研究では、地震発生確率を用いて耐震補強効果を評価する手法を提案し、静岡県下の住宅への耐震補強対策の効果を評価した。本評価方法を用いて、一般住宅の各所有者が自分の所有する建物を耐震補強する効果を理解することにより、耐震補強の実施時期を検討する際の大きな手助けを得ると考える。今後は、県下の住宅所有者に対し評価結果に関する意識調査を行い、より実践的な情報の活用方法を検討したい。

謝辞: 本研究で用いた静岡県下の地震動データ、建物データは、静岡県第3次被害想定データのデータを使わせていただいた。記して深謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 日本総研: Japan Research Review, Vol.5, No.3, pp.68-87, 1995.
- 2) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会: (改訂試案) 長期的な地震発生確率の評価手法について, 1998
- 3) 静岡県企画部: 平成13年度記者提供資料. 静岡県の推計人口(平成13年5月1日現在). 2001. 5. 21
- 4) 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.
- 5) 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)
- 6) 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, 東京大学博士論文, 1999.
- 7) 目黒公郎・高橋健: 既存不適格建物の耐震補強推進策に関する基礎研究, 地域安全学会論文集, 地域安全学会, No. 3, pp.81-86, 2001.11.

---

## RETROFITTING PROMOTION SYSTEM FOR EXISTING LOW EARTHQUAKE RESISTANT STRUCTURES USING LONG-TERM EARTHQUAKE PREDICTION

Miho YOSHIMURA<sup>1</sup> and Kimiro MEGURO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.S. (Civil Eng.) Research Associate, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
(E-mail: yosimura@iis.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup>Dr. Eng. (Civil Eng.) Associate Professor, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
(E-mail: meguro@iis.u-tokyo.ac.jp)

Among various issues on countermeasures for earthquake disaster reduction, retrofitting of existing low earthquake resistant structures, especially timber houses is the key issue in Japan. We propose a new methodology which encourages house owners to retrofit their own houses by using information on long-term earthquake prediction, earthquake resistance capacity of individual house and expecting ground motion of each site. With the methodology proposed, effect of retrofitting can be given to every house owner based on seismic capacity of his/her house and its location, probability of duration of earthquake prediction. This methodology is applied to discuss and evaluate the effects of retrofitting of structures using building stock data in Shizuoka-Prefecture, where 'Tokai Earthquake' is predicted to come.

**Key Words:** earthquake prediction, reinforcement, building damage estimation, risk