

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

The Use of Earthquake Prediction Information for Evaluating Cost-Benefit of Reinforcing Existing Building

吉村美保*・目黒公郎*

Miho YOSHIMURA and Kimiro MEGURO

1. はじめに

既存不適格構造物の耐震補強対策は、わが国の地震防災上の最大の課題である。しかし、特に一般住宅などの公的ではない建物の耐震補強は全然進んでいない。これには、耐震補強に要する費用の問題、耐震補強を行うことの煩わしさ、地震被害に対する認識の低さ、一般の人々にとって耐震補強の便益が見えにくいなどの要因があると考えられる¹⁾。補強実施の効果を、金額的な表現などによりわかりやすく伝えることができれば、補強効果をイメージしやすくなるため、耐震補強に取り組む人が増えるのではないかと予想される。

そこで本研究では、耐震補強の効果を表現するにあたり、補強効果が発現される対象地震の発生確率を考慮し、長期的に見た耐震補強の費用対効果を評価する手法を提案する。また、本手法を静岡県下の住宅へ適用し、住宅の耐震補強が東海地震に対して発揮しうる効果を評価し、利用可能性の高い予知情報の活用方法を検討する。

2. 対象とする長期地震予知情報

一般に地震予知情報は、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種類に分類される。本研究では、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する。

本研究は対象地域を静岡県（面積7,779 km²、人口377万人²⁾）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する地域となっている。地震調査研究推

*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

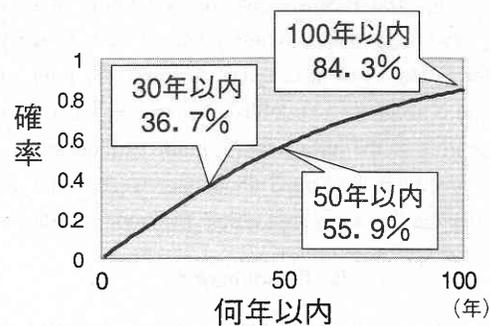


図1 東海地震の発生確率

進本部は、強い地震動に見舞われる確率を情報提供するため、全国的地震動予測地図の作成を目指しており、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が各々36.7%、55.9%、84.3%であるとの試算を行った³⁾(図1)。そこで、今回は、この試算結果を長期地震予知情報として利用し、2000年から2030年まで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. 想定地震動強度と木造住宅の分布

平成13年5月30日、静岡県は第3次地震被害想定⁴⁾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2のように推定されている。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全体の62.8%を占める。想定地表地震動・建築年代別の木造戸建住宅棟数を図3に示す。これより、面積的にはPGVが10~20 kineの地域が最も広い(図2)ものの、木造住宅の多く

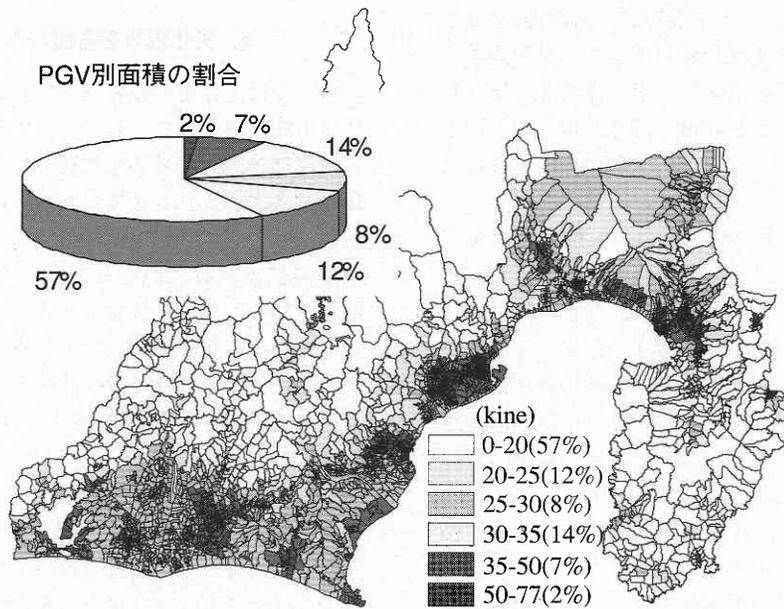


図2 静岡県下のPGV分布

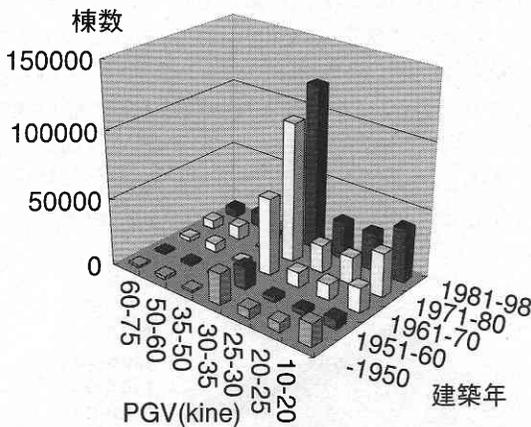


図3 地震動・建築年代別の木造戸建住宅棟数

は PGV が 30 ~ 35 kine と予想される地域に立地している (図3) ことがわかる。

4. 耐震補強対策の実施効果の評価方法

(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、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 (式1)。この損失軽減額

(式1) 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。

<ある時点での地震発生時の損失軽減額>

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

<対策による期待損失軽減額>

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

<費用対効果の期待値>

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

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)

(2) 戸建住宅の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は、(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

研究速報

想入力地震動により異なる。まず最初に、対象期間30年の各年度において、地震発生時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。建物被害関数の作成方法は第5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)。この損失額の予測に用いた諸データを表1に示す。家屋の全壊被害額の推計の際には、新築の木造建造物の資産価値を15万円/m²とし、この価値が25年間で50%に減価償却される(年平均約2.7%)ものとして各建築年の建物の資産価値を算出する⁵⁾。1家屋あたりの家財の再調達価格は1,400万円とし、所有する家財は減価償却により再調達価格の半分の価値を有するものとして家財の全半壊被害額を算出する⁶⁾。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。家屋の耐震補強費用は1.5万円/m²とする⁵⁾。

最後に、予測期間30年間の各年度における地震発生時の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)によ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。

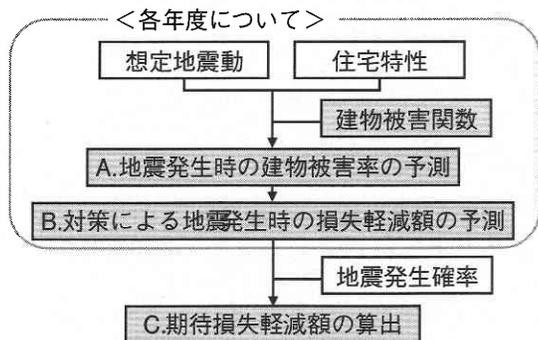


図4 評価の流れ

表1 シミュレーション条件一覧表

分類	項目	価格
家屋	木造新築の建物資産価値 ⁵⁾	15万円/m ²
	耐震補強費用 ⁵⁾	1.5万円/m ²
家財	家財保有額(再調達価格) ⁶⁾	1400万円

5. 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⁷⁾があるが、この関数は建築基準法の改訂年(1971, 1981)等を境とする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の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。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の下半分のグラフ(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であり、グラフ(b)は各被害関数を得る際の相関係数である。図5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と言える。また1950年の建築基準法制定、および1981年の新耐震設計法の実

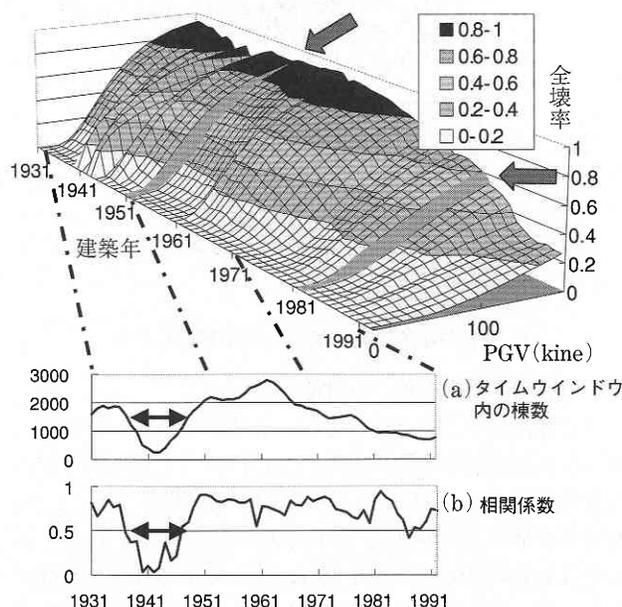


図5 全壊率局面

施以降には曲面上に不連続面が見られること(図5中の矢印)、戦時中は新規建築数が減少し(図5のa)、関数の相関係数が低下する(図5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、この期間に建築された建物数が他の期間に比べて著しく少ないことを主因として相関係数が0.5を下回り(図5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6)。なお、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仮定した。

6. 静岡県下の住宅の耐震補強効果の評価結果

(1) 試算結果の地震発生確率を用いる場合

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。ここでは、文献3)の試算結果に従い、2000年から2030年までの30年間に地震が発生する確率を36.7%とした場合について説明する。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低いと考えられる。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ことがわかる。特に、新耐震設計法の施行前に建築された1960年建築の住宅では効果が高いと言える。

(2) 予知情報の変化を考慮する場合

(1)の評価は文献3)の地震発生確率の場合のみの評価である。しかし更に、地震発生確率が試算値前後である場合や予知情報公表後に地震発生切迫性が変化する場合についても、事前に補強実施の効果を把握することが有用である。

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7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ている。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7上の+印)の費用対効果の期待値は、表

<データ補完後>

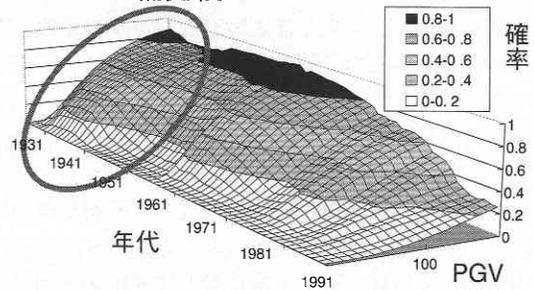


図6 データ補完後の全壊率曲面

表2 費用軽減額算出に用いた諸データ

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

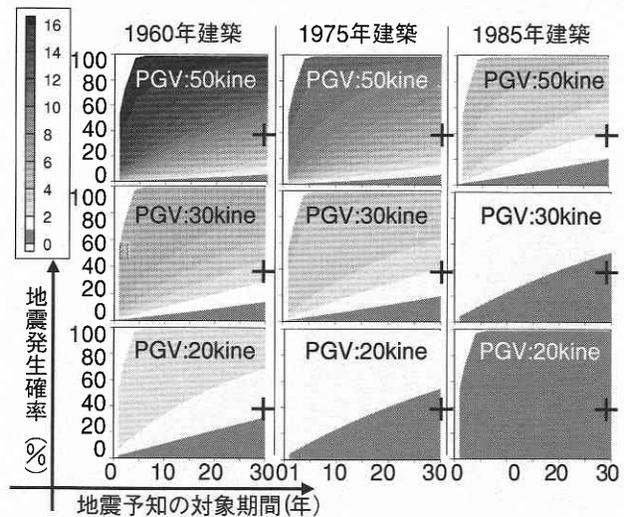


図7 費用対効果の期待値の変化

2の値に一致する試算値(図7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り、地震予知情報が変化した場合についても耐震補強のメリットを定量的に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同様の図を作成し提示することにより、住宅所有者は自らの住宅に対する耐震補強の実施効果を把握することができる。これにより、住宅所有者は、地震予知情報の対象期間と情報の精度に応じて、どの時点で自分が耐震補強を実施すべきかを

研 究 速 報

合理的に検討することができる。また、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ため、補強効果を容易にイメージすることが可能となる。

7. お わ り に

本研究では、地震の発生確率を考慮して耐震補強の費用対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する効果を評価し、本評価手法が既存不適格建造物の耐震化促進に効果的に活用できる可能性を示した。

この手法は、各住宅所有者の耐震補強効果に対する理解を促進し、耐震補強の実施時期を検討する際の大きな手助けになると考えられる。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。またこの評価は、建物が構造種別・建築年別の平均的な強度を有するとの仮定に立っているため、個々の建物のさらに詳細な強度特性を考慮した評価を検討する予定である。

(2001年9月11日受理)

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 of 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) 目黒公郎・高橋健：既存不適格建物の耐震補強促進策に関する一考察，生産研究 Vol. 52, No. 12 pp. 24-27, 2000. 12.
- 2) 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，2001. 5. 21.
- 3) 地震調査研究推進本部：（改訂試案）長期的な地震発生確率の評価手法について，1998.
- 4) 静岡県：第3次地震被害想定結果，2001. 5.
- 5) 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.
- 6) 安田火災海上保険株式会社 HP. <http://www.yasuda.co.jp/insurance/katei/hokentyo.html>
- 7) 村尾修，山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第 527 号，pp. 189-196, 2001. 1.