

被害関数の不確定性評価と地震被害の逐次推定への適用

岐阜大学工学部

○神谷 篤

岐阜大学工学部

正会員

能島 暢呂

岐阜大学流域圏科学研究センター

正会員

杉戸 真太

岐阜大学大学院

木村 昌洋

岐阜大学大学院

学生会員

大野 朗義

1. はじめに

地震後の緊急対応を支援することを目的として、迅速性・正確性のバランスを考慮した意思決定支援システムが提案されている¹⁾。これは、地震動強度に基づく早期被害推定を初期情報として、実被害情報により被害推定を逐次更新し、推定精度を高める過程で、緊急対応の判断を下す形となっている。

本研究では、初期被害推定を行う際に用いる被害関数の不確定性を、被害統計データに基づいてより現実的に定量化し、被害推定の逐次更新モデルに適用することについて検討するものである。

2. 不確定性の定量化についての検討

2.1 被害関数の不確定性に関する従来の扱い

建物の地震被害推定を行うには、地震動強度と被害率を表す被害関数が用いられる。山口・山崎²⁾は、兵庫県南部地震の被災事例に基づいて、木造、RC造、S造を対象とした築年代別の被害関数を構築した。このような経験的被害関数は、地震動の入力値に対してばらつきをもったデータを正規分布や対数正規分布でモデル化し、最小二乗法や最尤推定法を適用することにより求められる。ところが、被害関数を適用する際には、その背後にある

不確定性について省みられることが少なく、平均的な傾向を表す被害関数が確定的に適用される場合が多い。本研究では、この被害関数の不確定性を定量的に評価する。

2.2 被害統計データに基づく不確定性の定量化

図1は、兵庫県南部地震の強震観測記録を基に1972年～1981年の木造、RC造、S造建築物について被害関数と被害統計値を示したものである²⁾。本研究では、被害関数と被害統計値の残差をとり、計測震度の幅を0.4として移動平均 μ と移動標準偏差 σ を求めた（例えば震度6.0に対しては震度5.8～6.2の範囲のデータを用いる）。

このようにして求めた μ と σ に基づいて、被害関数のばらつきをモデル化する。被害確率は0～1の上下限を持つため、次式のベータ分布でモデル化することとした。

$$f(x) = \frac{x^{p-1}(1-x)^{q-1}}{\int_0^1 u^{p-1}(1-u)^{q-1} du} \quad (1)$$

$$p = \mu \left\{ \frac{\mu(1-\mu)}{\sigma^2} - 1 \right\} \quad q = \frac{1-\mu}{\mu} p$$

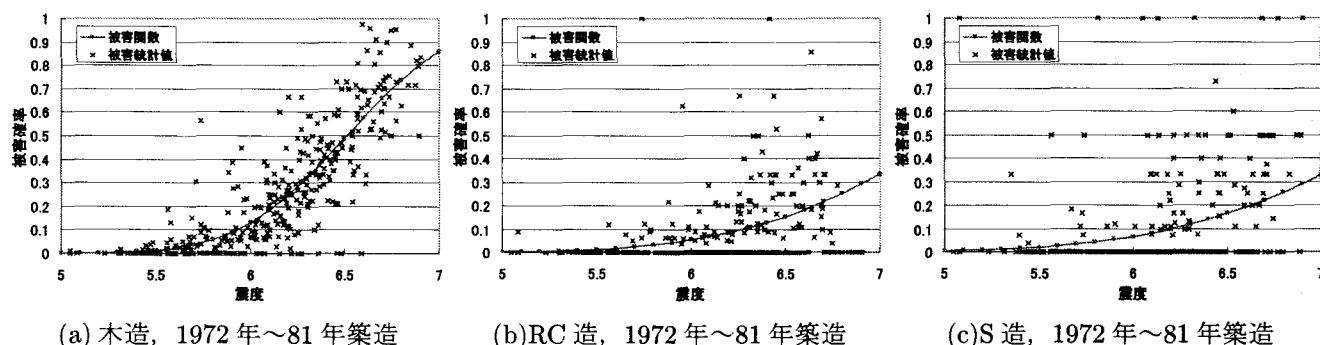


図1 被害関数と被害統計値

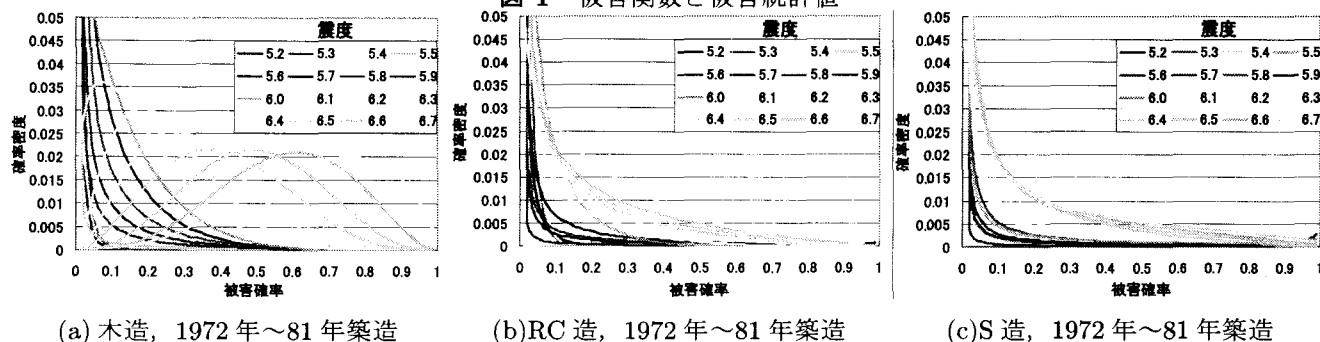


図2 被害関数の不確定性を表すベータ分布

図2は、震度5.2～6.7の範囲で被害関数の不確定性を表示したものである。これらの図を見ると、震度ごとのばらつきから、不確定性に高低があることがわかる。

2.3 従来の不確定性との比較とその具体的な検討

冒頭に述べた意思決定支援システムでは、初期被害推定の不確定性の程度は、「仮設的事前標本」と呼ばれる M'_0 という指標で表現されている¹⁾。これは「 M'_0 棟の調査が行われた」という形で推定精度の統計的確からしさを表現したものであり、被害率の初期推定の平均値 μ と標準偏差 σ から次式で得られる。

$$M'_0 = \frac{\mu(1-\mu)}{\sigma^2} - 4 \quad (2)$$

現行のモデルでは暫定的に $M'_0 = 10$ と与えられている。図3は、木造建築物の初期被害確率について、 $M'_0 = 10$ とした場合と図2(a)の結果を比較したものである。これより現行の $M'_0 = 10$ では、ばらつきが過小評価されていることがわかる。

そこで、2.2において求められた移動平均 μ と移動標準偏差 σ を式(2)に代入して0.1刻みの震度ごとに M'_0 の値を求め、平均化処理を行った結果を表1に示す。この結果を踏まえて、初期被害推定における即時情報を $M'_0 = 3$ としてシステムに導入することとした。

被害関数に基づく初期被害推定の確からしさに関しては、従来の検討³⁾においては、具体的な根拠を持たせることができないでいたが、この検討結果により、定量的基準が得られたことになる。

3. 具体的な適用例

関ヶ原～養老断層地震(M7.7)を想定地震として、図4に示す岐阜県大垣市内のあるメッシュの被害推定を行った例を示す。このメッシュの全住家棟数は293棟で震度6.0と推定されている。被害関数より初期被害確率は23.3%と求められ、その後の被害調査で、調査棟数30棟($M_0 = 30$)の時点で、実被害が6棟($n_0 = 6$)確認されたものとする。図5は、実被害情報が入る前(a)と入った後(b)の推定被害確率の確率密度を示したものであり、表2はその確率密度の代表値をまとめたものである。(a)の初期情報の場合を見ると、標準偏差は0.16と大きい。確率密度は非対称性が強く、平均値と最頻値の差が0.13と大きな値となっている。一方、(b)の実被害情報入手後においては、標準偏差は0.07に低減されており、実被害情報の入手により確からしさが向上したことがわかる。確率密度のピークは高く左右対称な形状に近くなり、平均値と最頻値の差が0.02となった。

4. まとめ

本研究で示したように、初期被害推定値を確定的に扱うのではなく、そのばらつきを適切に考慮することで、その後に入手される実被害データを取り込みながら、推定値を逐次更新していくことが可能となる。これまで暫定的に与えていた M'_0 を、被害関数の元データに基づいて求めたことで、本システムにおける即時情報として適用することが可能となった。

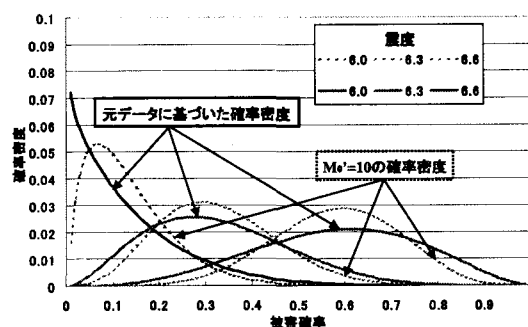


図3 初期被害確率の不確定性評価(ベータ分布)の比較

表1 築年代別 M'_0 の値とその平均値

築年代	1951	1952-61	1962-71	1972-81	1982-	M'_0 (平均)
木造	0.77	2.88	7.37	3.07	2.79	3.38
RC造	—	—	2.95	-0.58	4.74	2.37
S造	—	—	-2.38	-1.89	0.65	-1.21

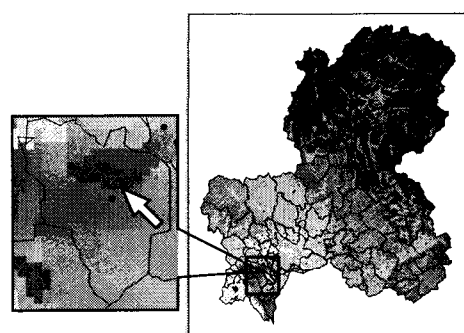
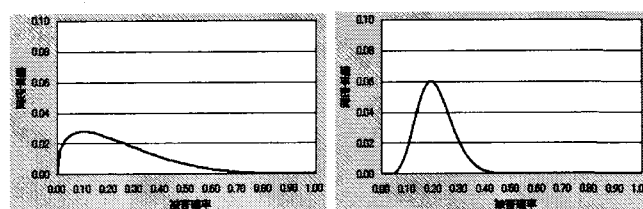


図4 岐阜県の建物被害推定分布



(a) $M_0 = 0, n_0 = 0$

(b) $M_0 = 30, n_0 = 6$

図5 推定被害確率の確率密度の推移

表2 確率密度の代表値

	平均値	標準偏差	最頻値	中央値
(a) $M_0 = 0, n_0 = 0$	0.23	0.16	0.10	0.20
(b) $M_0 = 30, n_0 = 6$	0.21	0.07	0.19	0.20

参考文献

- 1) 能島暢呂・杉戸真太・金澤伸治：地震動情報と実被害情報の統合処理による緊急対応支援の数理モデル，土木学会論文集，No.724/I-62，2003.1，pp.225-238.
- 2) 山口直也・山崎文雄：西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築，地域安全学会論文集，No.2，2000.11，pp.129-137.
- 3) 大野朗義・能島暢呂・杉戸真太：地震被害推定における不確定性の扱いに関する基礎的検討，土木学会中部支部平成16年度研究発表会講演概要集，2005.3，I-10，pp.19-20.