

## 低層戸建の地震被害率特性の検討 (その2)

地震動指標	被害率曲線	最尤法	正会員	諏訪 仁***	同	大井 昌弘*
対数正規分布	最大加速度	平均加速度応答	同	水谷 守**	同	野畑 有秀***
			同	山田 守***	同	藤原 広行*

## 1. はじめに

(その1)において、低層戸建建物を対象とした地震被害データを用いて、それぞれの被災度に対する条件付き被害率を検討した。その結果、被害率曲線を作成するとき、全ての被災度に対して同一の地震動指標を用いることには問題があることがわかった。本稿では、既に推定された地震動強さを利用して最尤法に基づき被害率曲線を作成し、異なる被災度に対して地震動指標を替えることの妥当性について検討する。

## 2. 被害率曲線の評価法

## 2.1 被害率の定義

(その1)と同様に、低層戸建建物の地震被害データとして、建築研究所が作成した建築物被災度集計結果データ<sup>1)</sup>を用いた。このデータベースでは、評価地点(町丁目単位)ごとの存在建物数と被害建物数が調査されているので、評価地点ごとの被害率を下式から求めた。ただし、存在建物数としては、火災による損傷および未調査・不明の建物を除いた建物数で定義する。

- ・ 軽微な損傷以上の被害率  $r_1 : (m_1 + m_2 + m_3) / M$
- ・ 中程度の損傷以上の被害率  $r_2 : (m_2 + m_3) / M$
- ・ 全壊または大破の被害率  $r_3 : m_3 / M$

ここで、 $m_1$ は軽微な損傷の棟数、 $m_2$ は中程度の損傷の棟数、 $m_3$ は全壊または大破の棟数を示している。

## 2.2 最尤法による被害率曲線の作成

被害率曲線の作成法として確率紙を用いた最小二乗法があるが、この手法は被害率そのものを用いて回帰をするため、被害率を計算する際の建物数の重みを考慮することができない。ここでは、被害率だけでなく建物数の重みも同時に考慮して被害率曲線を作成するため、二項分布を用いた最尤法を採用した。

ある評価地点において、地震被害データから存在建物数  $M$  と被害建物数  $m$  が与えられ、地震動強さ  $a$  が推定されたとする。このとき、個々の建物の被害発生が互いに独立であると仮定すると、 $M$ 棟中  $m$ 棟の建物が被害を受ける確率  $P(m)$ は、回帰をしたい被害率曲線  $F(a)$ を用いて二項分布の確率関数から算定される。

$$P(m) = {}_M C_m \times \{F(a)\}^m \times \{1 - F(a)\}^{M-m} \quad (1)$$

同様に、考慮される全ての評価地点に対して(1)式が成り立つ。各々の評価地点に対して算定された確率  $P(m)$ を全て掛け合わせて尤度関数を作成し、尤度を最大化する規範に基づいて被害率曲線のパラメータを推定した。被害率曲線の形状として、

変数が正の領域のみに分布しかつ単調増加関数であることが求められるので、以下の検討では  $F(a)$ として対数正規分布を用いることにした。

## 2.3 被害率曲線の誤差分析

地震被害データから得られた被害率と被害率曲線から推定された被害率との間の二乗誤差を計算し、被害率曲線のデータへの適合度を検証しておく必要がある。

ところで、誤差分析に評価地点ごとの被害率を用いると、たとえ被害率の値が同一でも評価地点内の存在建物数と被害建物数がそれぞれ異なるので、前節で指摘したように被害率の確からしさが違うことになる。従って、地震被害データから得られた被害率をそのまま誤差分析に用いるのではなく、一つのグループに含まれる存在建物数を均一にした条件のもとで新たに被害率を設定し直さなければならない。

このため、それぞれの評価地点における存在建物数を全て合計し、これを  $n$ 分割して一つの階層に含まれる存在建物数を全ての階層に対して均一にする。この状態で、文献2)を参照して階層単位での地震動強さと被害率の関係を算定し、得られた被害データに対して誤差分析を行う。地震被害データから得られた被害率と被害率曲線から推定された被害率との間の二乗誤差を<sup>2)</sup>とすると、誤差の不偏標準偏差は次式から求められる。

$$S_{Y|x} = \sqrt{\Delta^2 / (n-2)} \quad (2)$$

## 3. 地震動強さの推定

兵庫県南部地震に対する評価地点の地震動強さとして、篠塚研究所が作成した REDReSS の推定手法<sup>3)</sup>を用いた。この手法による地表面の地震動強さは、表層地盤をモデル化した数種類の土柱モデルに対して既往の著名地震波を入力し、入力レベルに応じて加速度応答スペクトルの周期ごとの増幅係数を予め用意しておき、工学的基盤で推定されたスペクトル評価式にこれを掛け合わせることで算定される。

兵庫県南部地震の評価においては、ANNAKA(1988)の提案する工学的基盤でのスペクトル距離減衰式をもとに、22種類の表層地盤モデルをそれぞれの評価地点に当てはめることにより算定されている。ここで、REDReSS から得られた周期 0.02sec の最大加速度分布を、図1に示す。

ただし、被害率曲線を作成する際には、液状化したと推定される評価地点は排除している。

## 4. 検討結果

## 4.1 平均加速度応答の周期帯の設定

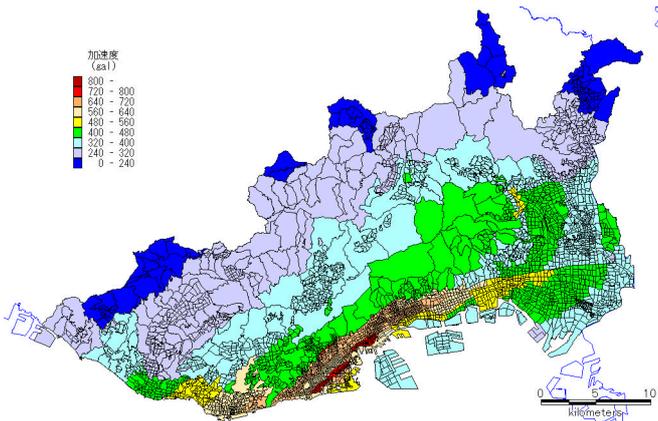


図1 REDReSSによる最大加速度(周期0.02sec)の推定結果<sup>3)</sup>

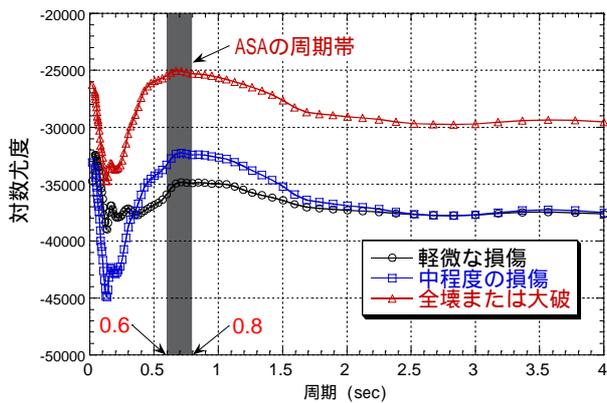


図2 周期と対数尤度の関係

評価地点の地震動強さが加速度応答スペクトルで与えられているので、最尤法に基づいて各々の周期に対して対数尤度（尤度の自然対数をとったもの）を計算した。そして、対数尤度が相対的に大きくなる周期帯（すなわち、対数正規分布を用いて全体的に地震動強さに対する建物の被害率を最も良く説明できる周期帯）について検討する。ここで、被災度別に周期と対数尤度の関係を図2に示す。対数尤度が最も大きくなる周期帯は、全ての被災度に対してほぼ0.6~0.8secなので、この周期帯の加速度応答を平均化した値を平均加速度応答と定義し、被害率曲線を作成する際の地震動指標として採用した。

#### 4.2 被害率曲線の評価結果

地震動指標を地表面最大加速度（ただし、周期が0.02 secの値を用い、PGAと呼ぶ）と平均加速度応答（以下、ASAと呼ぶ）の二種類で与えたとき、地震被害データから得られた被害率と被害率曲線から推定された被害率との間の誤差分析を行った。ただし、2.3節で定義した階層数nは50に設定した。(2)式から得られる誤差の不偏標準偏差（以下、誤差と呼ぶ）を被災度別に計算すると、図3となる。軽微な損傷および中程度の損傷では、地震動指標としてPGAを用いた場合がASAと比較して誤差が小さくなるが、全壊または大破の場合にはASAを用いた方が誤差を小さくできることがわ

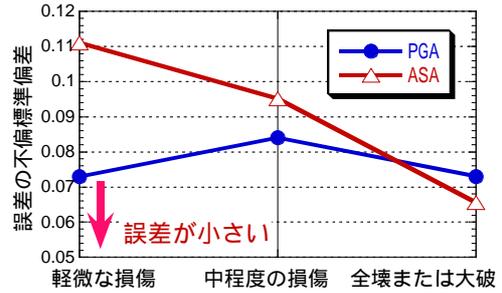


図3 被害率曲線の誤差分析

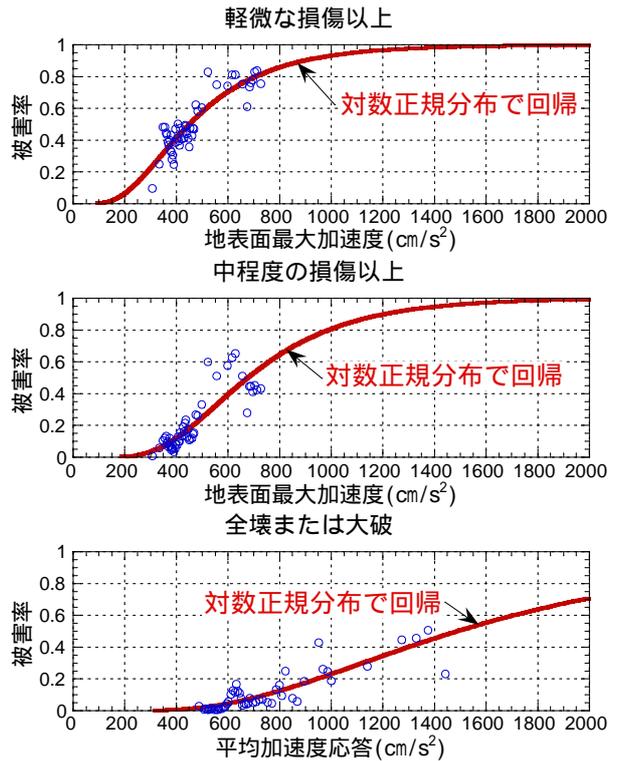


図4 被害率曲線

かる。以上の検討結果をもとに、地震動指標として、

- ・軽微な損傷以上および中程度の損傷以上の被害率：PGA
- ・全壊または大破の被害率：ASA

を採用したときの被害率曲線を図4に示す。

#### 5. まとめ

地震動指標をPGAとASAの二種類で与えて被害率曲線を作成し、各々のケースに対して誤差分析を行った。この結果、異なる被災度の被害率曲線を同一の地震動指標で表現すると誤差が大きくなる傾向があるので、各々の被災度に応じて適切な地震動指標を選択することが重要であることを示した。

#### 【参考文献】

- 1) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書 第編中間報告書以降の調査分析結果,1996
- 2) 諏訪,野畑,関：兵庫県南部地震の被災データベースを用いた既存建築物の地震リスク評価に関する研究,技術報告集,第12号,2001
- 3) 篠塚研究所：REDReSSによる兵庫県南部地震の地震動分布の推定

\* 独立行政法人 防災科学技術研究所

\*\* 独立行政法人 防災科学技術研究所 客員研究員

\*\*\* (株)大林組 技術研究所

\* National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

\*\* National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

\*\*\*Obayashi Corporation Technical Research Institute