

建物個別属性を利用した時刻歴応答解析手法と経験的手法による 建物被害予測の総合評価

正会員 ○本田理奈*1 同 大谷英之*2 同 永野康行*3

2. 構造— 2. 振動—e. 被害予測・地震防災 防災, 可視化, 応答解析, 防災計画

1. はじめに

想定南海地震への対策は必要性の高い問題である。通常、地震による建物の被害予測にはフラジリティカーブを用いた経験的手法が用いられている。この手法は過去に起こった地震の計測震度と建物の築年数・構造種別から求められる全壊確率を用いて被害建物棟数を概算する方法である。しかし、被害建物割合を算出する方法であるため、具体的にどの建物が被害を受けるかがわからず、災害準備を行うには情報が少ない方法である。一方で統合地震シミュレータ (IES) [1][2]を用いた時刻歴応答解析手法は仮想空間上に作成した都市モデルに地震波を与え、物理的な側面から被害予測を行う方法である。この手法は都市規模から建物一棟一棟に対する具体的な被害が予測可能であり、何万棟もの建物モデルの挙動が計算可能であるが、建物モデルを多質点モデルに変換し、建物の挙動を計算しているため、建物1棟1棟の個別特性を反映しきれていない点がデメリットともいえる。

本研究の目的は、時刻歴応答解析手法と経験的手法のメリットをいかし、デメリットを補い合うような視点から地震被害予測を新しい多角的な視点から実施する。本研究では、例題として兵庫県内でも被害が大きいことが予想される南あわじ市福良地区を一例とし、想定南海地震による経験的手法と時刻歴応答解析の2手法を用いてより多角的な建物被害予測を行う。

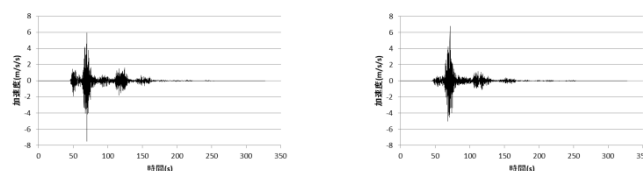
2. 被害想定対象地域

淡路島は兵庫県内の中でも想定される震源に特に近く、その海側に位置する南あわじ市福良地区は津波による被害が予想される。それに加えて南あわじ市は防災意識が高い。この地域での想定南海地震(陸

側ケース)をシミュレーションすることで現状の把握及び今後の具体的な対策・施策につながることを期待する。本研究では、建物構造種別や被害想定を可視化することで住民へ事前の対策の促進や地域の現状把握を目的とする。

3. 使用した地震波

本研究では津波による被害も発生すること、巨大地震と予想されること、将来確実に起こるとされていることを考慮して、想定南海地震波(陸側ケース)を採用した。対象となる福良地区での任意の建物における想定南海地震(陸側ケース)のNS方向の地表面加速度とEW方向の地表面加速度から作成した波形を図1((a)はNS方向、(b)はEW方向)に示す。



(a)NS 方向

(b)EW 方向

図1 加速度の時刻歴波形(福良地区)

表1 最大加速度

NS 方向の地表面最大加速度	7.48(m/s ²)
EW 方向の地表面最大加速度	6.78(m/s ²)

4. 建物分布

本研究で想定した福良地区における木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の合計 3,627 棟の分布はゼンリン電子住宅地図デジタルタウン兵庫県南あわじ市を基とする。これと国土地理院の基盤地図情報(メッシュ番号 513416, 513425, 513426, 513435, 513436)に基づく道路と海岸線を ESRI ジャパン社の ArcGIS によって重ね合わせた。作成したものを図2に示す。

図2に示すにおいて構造種別棟数を表2に示す。

表2 構造種別棟数(福良地区)

構造種	棟数 (棟)
木造	3,062
鉄骨造	447
鉄筋コンクリート造	118



図2 建物分布 (福良地区)

5. 被害想定

被害想定を行うにあたり、5章で述べた範囲において、IESを用いて時刻歴応答解析を行った。解析結果の最大層間変形角を1/10,1/50(rad)の閾値を基に3種類に場合分けした。最大層間変形角 $\leq 1/50$ を緑、 $1/50 <$ 最大層間変形角 $\leq 1/10$ を黄、 $1/10 <$ 最大層間変形角を赤としたものを図3に示す。被害想定をの区分を表3に示す。

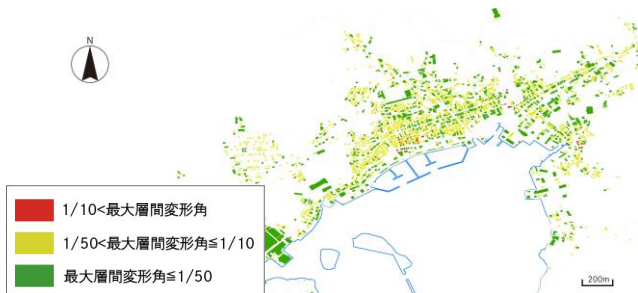


図3 最大層間変形角応答図

表3 最大層間変形角応答の区分

赤 : $1/10 <$ 最大層間変形角	場合によっては倒壊
黄 : $1/50 <$ 最大層間変形角 $\leq 1/10$	倒壊の可能性がある
緑 : 最大層間変形角 $\leq 1/50$	倒壊の可能性が低い

図3より、福良港北側に赤色が比較的集中しており、黄色も多くみられることがわかる。地震発生時

には建物の倒壊等によって避難経路が塞がれることも予想される。

6. 時刻歴応答解析手法と経験的手法との比較

従来、被害予測をする際に採用されている fragility curves を用いた経験的手法と時刻歴応答解析手法による被害予測の比較を行った。経験的手法による被害予測は南海トラフの巨大地震モデル検討会による地表震度分布図¹⁶⁾を用いた。福良地区の予測震度は6強と6弱であり、fragility curvesの全倒壊率は木造・非木造建築物の全壊率テーブル¹⁶⁾を用いて表4のように設定した。経験的手法による予測震度を図4に示す。図4,表4より震度・構造別の全倒壊数を表5に示す。

表4 震度別木造・非木造の全壊率設定値

震度	構造種別全壊率 (%)	
	木造	非木造
6強	80	15
6弱	10	5

表5 震度・構造別 全壊数

震度	構造種別棟数 (棟)	
	木造	非木造
6強	1,698	58
6弱	169	14

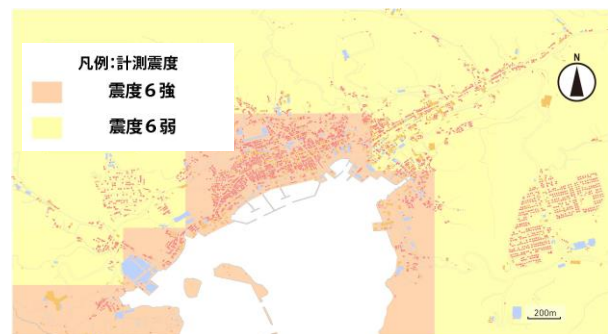


図4 経験的手法による予測震度 (福良地区)

また、図3および予測震度分布を重ねたものを用いて算出した全壊棟数を表6に示す。

表 6 時刻歴応答解析手法による予測震度別倒壊数

震度	倒壊の可能性がある(黄)	場合によっては倒壊(赤)
6 強	1,797	55
6 弱	885	1

表 5,6 より時刻歴応答解析手法による被害予測の全壊数の方が経験的手法による全壊数よりも少ないことがわかる。これは、経験的手法による全壊率の設定を震度の中央値とした為だと考えられる。

今回、6 強と 6 弱の二種類の震度によって全壊率の数値を定めたため、結果が正確であるとは言えない。そのため、より細かい計測震度を用いて倒壊数を算定することでより精度の高い被害予測ができるのではないかと考える。また、全壊率テーブルは築年数によっても変化するため、築年数といった個々の情報が付加されることでより精度の高い被害予測が可能になると考える。

7. 時刻歴応答解析と経験的手法を用いた相互的な被害予測

前章まで、時刻歴応答解析手法と経験的手法の手法それぞれを用いて被害予測を行った。時刻歴応答解析手法と経験的手法の 2 手法のどちらも相互的に活用した被害予測を行うことができれば、二手法のメリットを生かし、デメリットを補い合うような多角的な被害予測が可能となる。フローチャートを図 5 に示す。

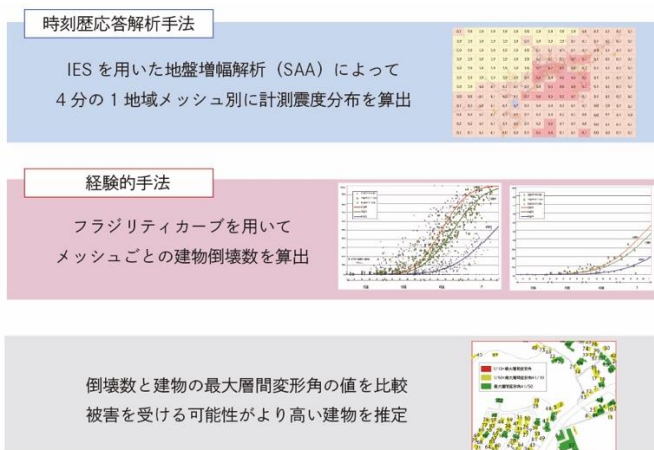


図 5 相互的な被害予測フローチャート

時刻歴応答解析による予測震度分布 (想定南海地震陸側ケース) を図 6 に示す。図 6 の赤枠で示す範囲 (予測計測震度 6.2) を今回例題として評価を行う。例題の地域と例題地域の最大層間変形角の値を示したものを図 7 に示す。



図 6 時刻歴応答解析による震度分布

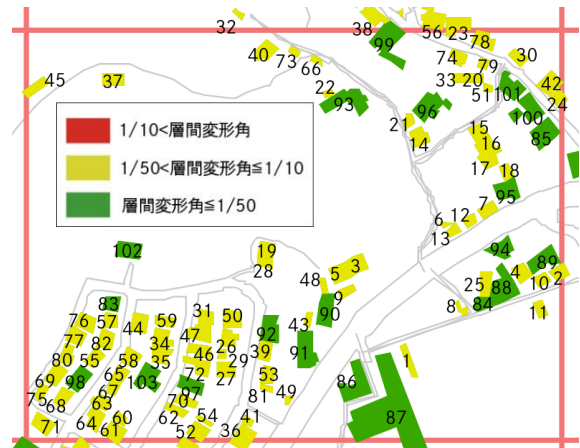


図 7 例題地域 (計測震度 6.2)

図 7 に示す建物の番号は最大層間変形角の大きいものから順番に番号を振ったものである。1 の建物が例題地域内でもっとも最大層間変形角の値が大きい。例題地域では最大層間変形角の値が $1/10$ よりも大きくなる建物は 0 棟であったが、最大層間変形角が $1/10$ よりも大きく、 $1/50$ 以下となる範囲では最大層間変形角が $1/11 \sim 1/18$ となる建物が 82 棟であった。番号 1 の建物は $1/11$ であった。5 章での時刻歴応答解析による被害想定では、最大層間変形角の値を閾値とし、倒壊の判定を設けた。しかし、実際の地震被害では最大層間変形角から倒壊するかどうかを決定

づけることは困難である。ここで、経験的手法の視点を取り入れる。例題の計測震度 6.2 の地域の経験的手法による倒壊率と倒壊数を表 7,8 に示す。

表 7 フラジリティカーブを用いた倒壊率

	木造	非木造
倒壊率	19.6	5.8

表 8 地域倒壊数

	木造	非木造
倒壊数	19	0

表 8 より、例題地域では倒壊数は 19 棟であることがわかる。例題地域の建物で最大層間変形角が 19 層目に大きい建物の最大層間変形角の値は 1/13 であった。そのため、最大層間変形角の値 1/13 はこの地域での建物被害の指標となると考えられる。

8. おわりに

本研究では時刻歴応答解析手法と経験的手法それぞれの手法で被害予測を行い、2 手法のメリットとデメリットを補い合えるような被害予測を行うために両手法を用いた相互的な評価方法について提案を行った。例として福良地区内の 4 分の 1 地域メッシュのうち 1 つを対象とし、フラジリティカーブを用いた経験的手法による被害棟数と IES を用いた時刻歴応答解析手法による結果から建物一棟一棟の最大層間変形角の値の比較を行った。

4 分の 1 地域メッシュ範囲で建物一棟一棟に着目すると最大層間変形角が 1/10 より大きくなる建物は 0 棟であったが、最大層間変形角が 1/10 よりも大きく、1/50 以下となる範囲では最大層間変形角が 1/11~1/18 となる建物が 82 棟であった。5 章では閾値を決めて被害予測判定を行ったが、しかし、実際の地震被害では最大層間変形角から倒壊するかどうかを決定づけることは困難である。

今回、時刻歴応答解析手法と経験的手法の 2 手法を用いて建物一棟一棟について着目を行うこと

で被害想定指標となるような値を算出可能となった。今回は 4 分の 1 メッシュ範囲に限って建物の最大層間変形角の値の比較を行ったが、被害予測において着目する範囲を隣り合う建物数棟のみ、または近隣分区や地震時の避難経路の範囲や近隣住区など変化させることで必要な情報の入手することができ、避難計画の立案や、地区防災、都市防災へ生かすことが可能であると考えられる。

謝辞

本研究は日本鉄鋼連盟による 2021 年度「鋼構造研究・教育助成事業」の研究助成を受けた。(本田理奈「鋼構造建築物特性を利用した地震応答解析手法と経験的手法による新しい減災復興モデルの構築」2021)

本研究の成果の一部は、令和 3 年度文部科学省「地震・火山観測データを活用した減災・復興モデルの構築とリスクコミュニケーションに資する事例収集(課題番号:HYG01、研究代表者:阪本真由美(兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科・教授))」により遂行した。ここに記し謝意を表す。

参考文献

- [1] 藤田航平, 市村強, 田中聖三, 堀宗朗, Lalith MADDEGEDARA:『3 次元地盤振動解析と多変数シナリオの構造物応答解析による都市地震シミュレーション』土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.4(地震工学論文集第 34 巻), I_680-I_688, 2015
- [2] 堀宗朗, 田中謙吾, Sobhaninejad Gholamreza, 市村強, 小国健二:『自然災害シミュレーションのための GIS から都市モデルへの汎用的データ変換』土木学会論文集 A, Vol.60 No.1, pp.1-12, 2010.1
- [3] ゼンリン:『ゼンリン電子住宅地図デジタルタウン兵庫県加古川市』2019.10
- [4] 国土地理院:「基盤地図情報」
- [5] 内閣府:南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告) 追加資料,(2021 年 3 月 3 日参照) http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120905_13.pdf
- [6] 内閣府:平成 22 年版 防災白書 図表 1-2(1) 木造建築物の全壊率テーブル,(2021 年 3 月 3 日参照) <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h22/bousai2010/html/zuhyo/zuhyo017.htm>, (2010).

*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所 博士前期課程
 *2 理化学研究所計算科学研究センター 研究員
 兵庫県立大学大学院情報科学研究科 准教授・博士(工学)
 *3 兵庫県立大学大学院情報科学研究科 教授・博士(工学)

Graduate Student Grad. Sim. Studies, University of Hyogo
 Research Scientist, RIKEN Center for Computational Science.
 Assoc. Prof., Grad. Sch. Info. Sci., University of Hyogo, Dr. Eng.
 Prof., Grad. Info. Sci., University of Hyogo, Dr. Eng.