

時刻歴応答解析による建物の最大層間変形角を用いた
大規模地震災害における被害認定調査支援

正会員 ○祖父江俊介*1 同 浦川豪*2 同 永野康行*2

2. 構造—2. 振動—e. 被害予測・地震防災

時刻歴応答解析, 最大層間変形角, 罹災証明書, 被害認定調査, 地震建物被害

1. はじめに

我が国日本は地震大国として知られており、被災者の生活再建支援に関する制度は、大規模地震が発生する度にアップデートされてきた。被災者の早期生活再建に係る制度の中で重要なものの一つに、罹災証明書の交付が挙げられる。罹災証明書は、被災者即ち人に対する被害を建物の被害に置き換えて、その世帯に対し金銭的支援を行う上で証明となる書類である。建物の被害を判定するにあたって、被災地では被害認定調査が行われる。被災者の早期生活再建のため、国は災害発生から一か月程度での罹災証明書の交付を推奨している。罹災証明書の発行及び被害認定調査は出来る限り迅速に、かつ公平性を損なわないように行われる必要がある。

大規模な自然災害が発生した場合、調査件数が膨大となることに加え、処理する調査情報が膨大となることから、現場での悉皆調査には限界がある。そこで折橋ら¹⁾は、地震災害において用いられている調査手法について、調査の簡易化や現地調査数の間引きの可能性について検討した。災害対応実務者は被害認定調査を行うにあたって調査計画を策定する必要があるが、被災者の救命救助や応急仮設住宅の設営等、その他災害対応業務と並行して行う計画策定業務は困難を極める。被災自治体は災害発生前から被害認定調査における様々な手法を検討し、発災時に直面する複数のハザードや被害程度を想定した事前の議論が必要である。本研究の目的は、IES（統合地震シミュレータ）²⁾の計算結果から得られる構造物の最大層間変形角に閾値を設けて被害認定調査基準に適用し、GIS（地理情報システム）³⁾を活用して災害発生前の被害認定調査計画策定に活用される住家被害程度マップを作成することである。

2. 大規模地震災害に対する被害予測手法

大規模地震災害に対する被害予測に関して数多くの研究がこれまでに行われてきたが、それら研究での被害予測は二つの手法に大別される。

一つは、被害率曲線を用いた経験的手法である。過去に発生した地震の地震動による建物被害の情報を基にして、震度と全壊率の関係を構造種別や築年数毎に評価する。この手法は、比較的容易に都市全体の全壊率を推定することができる利点から、保険業や行政において広く用いられている。しかしながら、被害を受ける構造物を特定することは極めて難しく、被害認定調査計画を策定するにあたって情報不足になる可能性がある。

もう一つは、シミュレーションによる手法である。近年、このシミュレーションによる地震建物被害予測手法には、東京大学地震研究所と理化学研究所計算科学研究センター（R-CCS）総合防災・減災チームが開発した、統合地震シミュレータ（IES）²⁾が用いられつつある。IESでは実際の都市を参考にして仮想空間上に多質点系の都市モデルを構築する。モデルに対して地震動を入力することによって解析を行う。震源で発生した地震波は工学的基盤内を伝播して表層地盤まで到達する。IESは、地震波の表層地盤内での増幅過程、構造物振動の時刻歴の応答過程、構造物振動の可視化をシームレスに解析を行う。

3. 研究方法

本田ら⁴⁾は、2019年時点における兵庫県南あわじ市の都市モデルを対象に時刻歴応答解析を行った。本研究ではその解析結果を用いる。

3.1. 最大層間変形角に設ける閾値の設定

IESの解析結果から得られる住家の最大層間変形角に閾値を設けて被害認定調査基準に適用する。表 1

に、住家の被害程度とマップに描画する際の色区分、最大層間変形角に設けた閾値についてまとめたものを示す。

表1 災害に係る住家の被害認定基準⁵⁾







被害の程度	全壊	大規模半壊	中規模半壊	半壊	準半壊	準半壊に至らない(一部損壊)
色区分						
最大層間変形角	1/α	1/(α+5)	1/(α+10)	1/(α+15)	1/(α+20)	

表1に示すように、住家の被害認定基準は全壊、大規模半壊、中規模半壊、半壊、準半壊、準半壊に至らない(一部損壊)の六段階に分類される。罹災証明書は表1の被害認定基準を基に交付される。全壊と大規模半壊の閾値は、研究対象地域の公表する全壊棟数に合致するように設定する。以降の閾値は分母に5を加えて均等配分した。全壊棟数の公表値は各自治体が公表する被害想定ウェブサイトから入手可能である。

3.2. 配色

住家の被害程度を示すマップを描画する際、表1に示す色区分を用いて被害の程度を表現する。配色の基準には筒井らの論文⁶⁾を参照している。全壊を紫、大規模半壊を赤、中規模半壊を橙、半壊を黄、準半壊を薄緑、準半壊に至らない(一部損壊)を緑と設定する。

4. 例題

4.1. 研究対象地域と入力地震動

本研究の対象地域は兵庫県南あわじ市と設置した。また、本研究で活用した構造物の最大層間変形角の値は、南あわじ市の都市モデルに対して想定南海トラフ地震(最大クラス)の地震動を入力して得られたものを用いた。

想定南海トラフ地震は海溝型地震であることから、地震動による建物被害だけでなく、津波による建物被害も予想される。地震が発生した後、数分から数十分後に津波が到達するが、津波によって全壊と判定されるエリアに関しては、地震動による建物被害の大小を問わず一括認定をすることで調査対象から間引くことが可能である。内閣府が公表している水害による住家の被害を定めた被害認定フローにおいて、床上1.8m以上の浸水を全壊と判定している。本

研究では、GLから床上までの高さを0.2m程度として、2m以上の浸水域は全て全壊と一括認定と評価する。国土交通省の公表する津波浸水想定⁷⁾から津波の浸水域を描画した。

4.2. 閾値の設定

想定南海トラフ地震(最大クラス)における南あわじ市の全壊棟数の公表値は11,255棟である。この公表値に極めて近い値を取る閾値は1/12.5であったことから、兵庫県南あわじ市における全壊と大規模半壊の閾値は1/12.5とした。

表2 全壊・大規模半壊間閾値の設定

全壊・大規模半壊間最大層間変形角閾値	全壊棟数	市公表全壊棟数
1/11	4,808	11,255
1/12	8,884	
1/12.4	11,151	
1/12.5	11,708	
1/13	14,335	

表2は、南あわじ市全壊棟数公表値と閾値別全壊棟数を比較したものである。

5. 例題

海溝型地震は震源地が海底であることが多く、本研究の例題地域である兵庫県南あわじ市においても津波の被害が予測される。図1は南あわじ市福良の全壊判定とされる浸水域を表示した建物被害程度マップである。また、図2は、図1で示した津波浸水エリアを全壊とした場合における福良建物被害程度マップである。福良は、南あわじ市内で想定南海トラフ地震の推定震源地から最も近く、図のような津波による被害が予想されている。当然のことながら、被害認定調査が行われるのは発災から約1週間後であり、仮に地震動で建物が倒壊せず軽微な被害であったとしても、津波による浸水によって全壊と判定される住家は多数存在することが考えられる。そのため、津波による被害が予想されているエリアに関しては全壊と一括認定して間引くことで、災害対応実務者の現地調査に係る負担の軽減が期待できる。

本研究で作成したマップは、あくまでもシミュレーションの結果を活用したものであり、実際の被害を正確に表現しているとは限らない。誤解を招かない為、マップにおける建物被害を不鮮明に表現している。

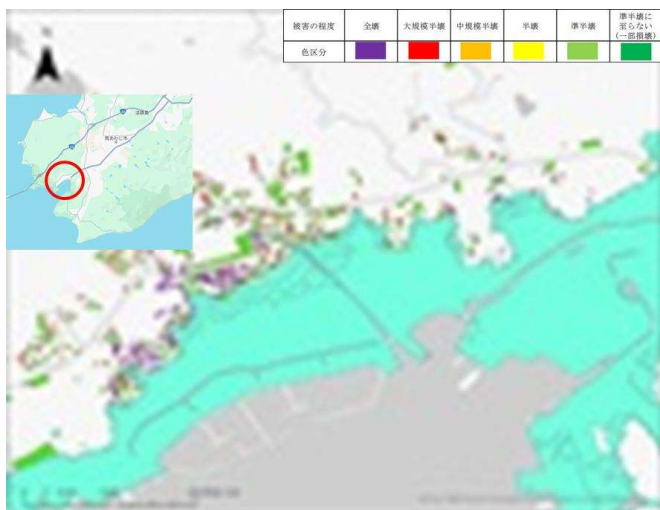


図1 福良建物被害程度マップ全壊浸水域

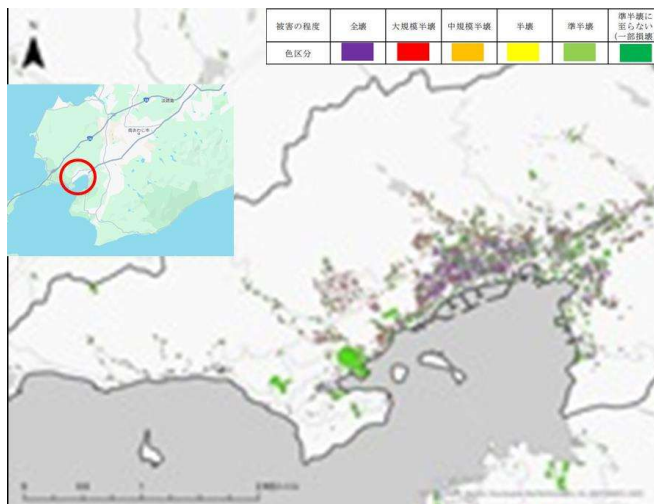


図3 福良建物被害程度マップ

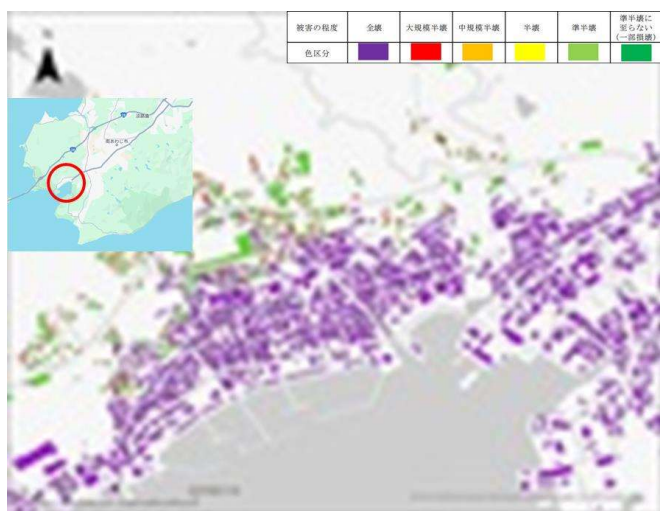


図2 福良建物被害程度マップ
(浸水エリアを全壊とした場合)

表3 福良建物被害棟数

被害の程度	全壊	大規模半壊	中規模半壊	半壊	準半壊	準半壊に至らない (一部損壊)
該当棟数	1,663	1,318	35	2	1	1,004
色区分	■	■	■	■	■	■
最大層間変形角	1/12.5	1/17.5	1/22.5	1/27.5	1/32.5	

図4に複列の地震動による建物被害程度マップを示す。また、表4に被害程度別の建物被害棟数を示す。

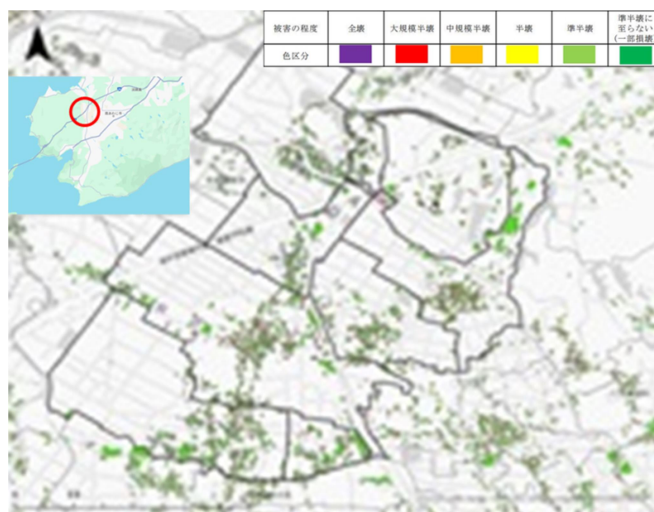


図4 複列建物被害程度マップ

表4 複列建物被害棟数

被害の程度	全壊	大規模半壊	中規模半壊	半壊	準半壊	準半壊に至らない (一部損壊)
該当棟数	477	1,130	13	0	0	1,544
色区分	■	■	■	■	■	■
最大層間変形角	1/12.5	1/17.5	1/22.5	1/27.5	1/32.5	

本研究では地震動による建物被害程度マップを作成した。地勢の特徴を考慮して、海岸部と内陸部から一ヶ所ずつ選定した。海岸部は福良、内陸部は複列を対象とした。

図3に福良の地震動による建物被害程度マップを示す。また、表3に被害程度別の建物被害棟数を示す。図3は福良における地震動による建物被害を示したものである。地震災害における被害認定は悉皆調査により行われることが多いが、福良のように明らかに全壊の建物が多い地域に関しては、近年航空写真による判定が用いられつつある。航空写真により被害区域を一括認定することで、調査員の現地調査を間引くことが可能である。

榎列は、榎列掃守、榎列西川、榎列小榎列、榎列山所、榎列下幡多、榎列松田、榎列上幡多、榎列大榎列、榎列松田外を総称したものであり、南あわじ市の北方内陸部に位置する。福良と同様に震度分布図において震度7の範囲が一部存在し、極めて強い揺れが予想される。榎列の全建物棟数は3,164棟であり、支援金の対象となる中規模半壊以上の建物棟数は1,620棟である。この建物棟数は榎列全体の約51%を占める。福良のように、明らかに全壊棟数が多い場合は航空写真による一括認定方式が用いられる場合があるが、榎列の場合全壊地域が密集しておらず、被害程度の大小も疎らである。その為、現場では悉皆調査による判定が適切であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、兵庫県南あわじ市を例題として、想定南海トラフ地震の地震動を入力した時刻歴応答解析結果を活用し、構造物の最大層間変形角を被害認定調査基準に適用して、GISを用いて描画した。

近年、風水害における建物被害認定調査手法には、浸水域の全壊一括認定や自己判定方式等による簡易化手法が用いられつつある。一方、地震災害による建物被害は、地質条件や建築物の耐震性といった要因が複合的に影響し、同震度でも地域ごとに被害の差が生じることから、簡易化手法の適用について検討を重ねる必要がある。小規模の地震災害である場合は調査件数が少ないため、被災自治体の現地悉皆調査による判定で対応可能であることが考えられる。しかし、本研究で例題としている想定南海トラフ地震のような大規模災害の場合、調査対象となる件数が膨大となることが予想される。迅速かつ公平な調査業務のために、災害対応実務者は平時から発災時の建物被害をイメージしておくことが望ましい。本研究の成果を、災害対応実務者の平時におけるイメージトレーニングや机上訓練に活用することで、復興過程における業務効率化が期待できる。

謝辞

本研究の成果の一部は「理化学研究所(関西地域を対象とした都市防災の計算科学研究-地震津波と集中豪雨被害のハザードマップ作成-)」である。ここに記し、謝意を示す。

参考文献

- 1) 折橋祐希、浦川豪：風水害における住家の被害認定調査の簡易化手法の現状と課題の考察-被災自治体職員へのヒアリング調査を通して-、自然災害科学 第41巻、特別号、pp237-pp252、2022
- 2) 細 政貴、飯山かほり、石田 孝徳、藤田 航平、山崎 義弘、市村 強、WIJERTHNE Lalith、盛川 仁、堀 宗朗、山田 哲、坂田 弘安、山中 浩明、廣瀬 壮一：統合地震シミュレータ(IES)の仮想構築モデルに導入するMSSモデルとその応用に関する基礎研究、日本地震工学会論文集 第15巻、第7号(特集号)、pp295-pp305、2015
- 3) esri ジャパン、GIS(地理情報システム)とは、<https://www.esri.com/getting-started/what-is-gis/>、(参照日：2024年2月18日)
- 4) 本田理奈、大谷英之、永野康行：想定南海地震における都市規模の建築物被害予測-行政データ情報に基づく鋼構造建築物を対象として-、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.17-18、2022.9
- 5) 内閣府、内閣府防災情報のページ、災害に係る住家の被害認定基準運用指針【令和3年3月】第1編 地震による被害、https://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/r303shishin_2.pdf (参照日：2023年9月24日)
- 6) 筒井寛太：建築物の用途に応じた架構形式に基づく地震時安全性評価、2022年度兵庫県立大学大学院情報科学研究科修士論文、pp.60-61、2023.3
- 7) 国土交通省、国土数値情報ダウンロードサイト 国土数値情報 津波浸水想定データ、<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A40.html> (参照日：2023年12月14日)

*1 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 修士学生 Graduate Student, Sch. Dis. Res. And Gov., Univ. Hyogo

*2 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 教授・工博 Prof., Grad.Sch. Dis. Res. And Gov., Univ. Hyogo, Dr.Eng