



# 木造建物の耐震性能を考慮した地震被災危険度評価に関する研究

堀江, 啓

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2006-03-25

(Date of Publication)

2014-06-16

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3563

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003563>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 301 】

氏 名・(本 籍)	堀江 啓	( 滋賀県 )
博士の専攻分野の名称	博士(工学)	
学 位 記 番 号	博い第399号	
学位授与の 要 件	学位規則第5条第1項該当	
学位授与の 日 付	平成18年3月25日	

【 学位論文題目 】

木造建物の耐震性能を考慮した地震被災危険度評価に関する研究

審 査 委 員

主 査	教 授	沖村	孝
	教 授	田中	泰雄
	教 授	安田	丑作

地震による人的被害を軽減するためには、人的被害発生の主要因として位置づけることができる建物被害の発生を未然に防止する必要がある。特に、1995年兵庫県南部地震では建物内の生存空間の損失を伴う被害形態である「層破壊」が木造住宅において多く発生し、尊い人命が失われたことが報告されている。したがって、住宅の耐震化を主体とした包括的な建物被害軽減策を展開していくことは急務な課題であり、そのためには地震に対する建物の被災リスクが適切に評価される必要がある。

本論文では、上記背景のもとに、地震による人的被害発生の主要因として位置づけることができる建物被害の発生に対して、効果的な被害軽減策を展開していく上で必要となる建物の地震被災リスク評価に焦点を当て、1)兵庫県南部地震による木造建物の被災経験に基づき建物損傷度を反映した被害関数を構築して被災事実を解明するとともに、2)一般に用いられている静的な耐震診断による住宅の構造特性に、常時微動による振動特性を評価要素とした被災危険度評価手法を構築することを目的とする。具体的には各章において以下の研究を行った。

第1章「序論」では、耐震化促進に必要な対策を講じるためには住宅の耐震性能や地震時の挙動を適切に評価し、被災危険度が高い地域や建物を事前に精度良く予測することが重要となることを踏まえ、現状の地震被災危険度評価の概要と課題を論述し、本研究の目的と位置づけを明確にした。

第2章「既往の研究ならびに本研究の構成」では、既往の研究として、1)建物被害評価尺度に関する研究、2)建物被害推定に関する研究、3)木造建物の耐震性能評価に関する研究、4)常時微動測定に関する研究、5)人的被害推定に関する研究をとりまとめ、本研究の構成と概要を述べた。

第3章「1995年兵庫県南部地震の被災経験に基づく建物被害関数の構築」では、建物被害の発生を予測・評価するための比較的簡便なツールとして建物被害関数に着目し、まず、被害統計データとして不足している層破壊被害の発生実態を明らかにするために、兵庫県南部地震時に撮影された11,426枚の被害写真をもとに建物の損傷度分類を行い、層破壊建物を同定した。次に木造建物の層破壊発生要因に着目し、代表的な地震動強さ指標である最大加速度、最大速度、およびスペクトル強度と層破壊被害の発生率の関係について検討した結果、PGVを被害関数構築のための最適な地震動強さ指標として設定した。また、木造建物の耐震性能評価指標として建物属性に着目して数値化Ⅱ類による分析を行った結果、建築年が被害発生に最も影響を与えていた因子であることが明らかとなり、住宅の変容過程を考慮した建築年代区分を設定した。以上の検討結果から建物属性を考慮し、層破壊被害を評価可能な損傷度別被害関数の構築を行い、その構築した被害関数について、兵庫県南部地震で実施された調査結果に基づいて作成された被害関数と比較することにより妥当性を確認した。

第4章「被害関数を用いた地震被災危険度評価手法の適用性に関する考察」では、前章で構築した被害関数を兵庫県西宮市および神戸市東灘区に適用し、兵庫県南部地震による木造建物の被害分布を推定した。西宮市に適用した結果からは、町丁目単位での面的な空間分布の推定、および総被害量の算定は、実被害と精度良く対応していることを確認した。さらに被害関数を構築した地域とは異なる神戸市東灘区へ適用し、実被害を精度良く推定可能であることを示した。この検討において、建物被害の推定精度は地震動評価結果に依存することを確認すると同時に、震源過程と地盤構造の複合作用および地盤増幅特性を考慮した理論的地震動シミュレーション結果を用いて良好な推定結果を得ることができることを併せて確認した。それらの成果から被害関数を用いて、兵庫県南部地震による神戸市街地の木造建物の層破壊被害分布を再現し、層破壊被害数を20,602棟と推定した。一方、1棟単位の層破壊建物の推定に関して、発生地域や密集度はよく表現しており、良好な結果が得られたが、厳密な1棟単位での層破壊発生建物位置の推定を行うためには、さらに、建物の耐力や変形特性などの耐震性能を直接的に評価可能な手法の開発やより詳細な情報が必要となることが課題となった。

第5章「耐震診断と常時微動に基づく木造建物の耐震性能評価」では、前章までに構築した統計的手法に基づく建物被害関数は過去に発生した被災事実を記述する点で優れているが、異なる地域や他の地震災害への適用については、さらに建物の耐震性能や地震動特性を考慮し、建物被害の発生メカニズムを解明する必要がある。そこでまず、建物の耐震性能を明らかにするために、一般的な耐震診断による評価と、常時微動を用いた動的な振動特性評価に関する検討を行った。具体的には兵庫県神戸市域を中心として、耐震診断を受診した戸建木造住宅を対象とした常時微動計測を行い、振動特性として固有周期は常時微動の測定位置の影響を受けずに安定して測定可能な点に着目し、建築年や耐震診断結果との関係を分析した。その結果、建築年が古いほど固有周期が長くなる傾向や、固有周期が長くなると耐震簡易診断結果の総合評点が小さくなる傾向が見られ、耐震性と無関係ではないことが示唆された。とくに、耐震簡易診断におけるD×E評点(水平抵抗力の評価)と固有周期の相関が他の評点に比して高く、固有周期から簡易に壁の割合を推定することが可能であることを示した。そこで、より精密な診断手法である一般診断を実施し、固有周期と地震応答解析の主要なパラメータとなる降伏時のベースシア係数について比較検討を行った。その結果、1階と2階の質量比や剛性比を考慮して、常時微動に基づく固有周期から降伏時のベースシア係数を求める関係式の定式化を行った。また、補強過程で常時微動測定を行うことにより、振動特性の変化を捉えることができることを確認した。

第6章「地盤のサイト特性を考慮した建物への入力地震動評価」では、地盤のサイト特性を考慮した建物への入力地震動評価を行った。建設地点毎に地震動特性を評価するためには、1)震源特性、2)波動伝播特性、3)地盤増幅特性の3要素が考慮される必要がある。そこで、兵庫県南部地震を対象として、工学的基盤面までの地震動を長周期帯は3次元有限

(氏名：堀江 啓 NO.3 )

差分法によって推定された地震動に、短周期帯は兵庫県南部地震の震源パラメータやスペクトル特性を反映させた統計的予測モデルによる推定結果を合成し、工学的基盤から地表までの地震動の増幅については非線形解析手法を用いて設定した解析測線上の地震動推定を行った。また、地表面の最大速度(PGV)に着目した推定地震動の妥当性を検証するために、構築した損傷度別被害関数を用いて建物被害分布を推定した結果、PGV分布では確認できなかった建物被害の大きい震度7の帯域を精度良く推定可能であることを明らかにした。さらに西宮市における建物種別および損傷度別の死者発生率を算定し、この死者発生率を用いて東灘区における死者数および死者発生分布を推定した結果、良好な推定結果を得た。その上で、各解析測線上の死者発生数を推定した結果、本研究によるPGVはいずれの測線においても実被害を説明可能な推定結果を与え、妥当な地震動推定結果が得られていることを確認した。

第7章「応答解析に基づく木造建物の地震被災危険度評価」では、地震応答解析に基づく木造建物の地震被災危険度評価手法を構築するために、第5章から得られた常時微動計測による固有周期を用いて木造建物群のモデル化を行った。木造建物群のモデル化は、在来軸組構法による2階建ての住宅を対象として、1)常時微動計測結果を基に求められた降伏ベースシア係数Cyの分布を考慮したモデルおよび2)固有周期の他に耐震診断結果から得られた2層建物の質量比、剛性比をパラメータにしたモデルを提案した。この木造建物群の建物1棟毎に、地盤のサイト特性を考慮した地震動を入力して地震応答解析を行い、最大応答変形角から被害率の算定を行った。常時微動に基づくモデルと、構造特性を考慮したモデルを比較した結果、被害率は同程度の評価精度であったが、建物1棟単位の挙動に着目すると、構造特性を考慮したモデルの方が耐震的に有利となる場合や不利となる場合があり、その結果、応答値が大きくなる建物が存在することを示した。さらに既構築の損傷度別被害関数を用いた推定結果に適合するような最大応答変形角Rを求めた結果、損傷度D5(層破壊)はR=1/10rad, D4(全壊)は1/25rad, D3(半壊)は1/26rad, D2(一部損壊)は1/32rad, D1(一部損壊)は1/84radとなり、この最大応答変形角Rと建物損傷度の関係を用いることにより、地震応答解析を基に木造建物の層破壊被害までを推定可能な手法を示した。以上の検討結果から、常時微動の利用可能性について考察し、単独で用いた場合は診断の簡便性を高め、現行の診断システムと併用した場合は信頼性、客観性の向上や補強効果を住民に対して明示できる利点があることを指摘した。

第8章「結論」では本論文の総括ならびに建物被害軽減に向けた今後の課題を示した。

以上のように本論文の成果として、兵庫県南部地震の被災経験に基づき、人的被害発生の主要因となった木造建物の層破壊被害を定量的に分析し、建物の耐震性能を考慮して統計的手法および地震応答解析手法による被災危険度評価方法を提案した。

(以上)

(別紙1)

論文審査の結果の要旨

氏名	堀江 啓		
論文題目	木造建物の耐震性能を考慮した地震被災危険度評価に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	沖村 孝
	副査	教授	田中 泰雄
	副査	教授	安田 丑作
	副査		
			印

要旨

地震による人的被害を軽減するためには、人的被害発生の主要因として位置づけることができる建物被害の発生を未然に防止する必要がある。特に、1995年兵庫県南部地震では建物内の生存空間の損失を伴う被害形態である「層破壊」が木造住宅において多く発生し、尊い人命が失われたことが報告されている。したがって、住宅の耐震化を主体とした包括的な建物被害軽減策を講じていくことは急務な課題であり、そのためには地震に対する建物の被災リスクが適切に評価される必要がある。

本研究では、上記背景のもとに、建物の地震被災危険度評価手法の確立とその予測精度の高度化に向けて、1)兵庫県南部地震による木造建物の被災経験に基づき建物損傷度を反映した被害関数を構築するとともに、2)耐震診断による住宅の構造特性に加えて、常時微動による振動特性を評価要素とした地震応答解析による被災危険度評価手法を構築することを目的として、以下のような研究にまとめられている。

第1章「序論」では、耐震化促進に必要な対策を講じるためには住宅の耐震性能や地震時の挙動を適切に評価し、被災危険度が高い地域や建物を事前に精度良く予測することが重要となることを踏まえ、現状の地震被災危険度評価の概要と課題を論述し、本研究の目的と位置づけを明確にしている。

第2章「既往の研究ならびに本研究の構成」では、既往の研究として、1)建物被害評価尺度に関する研究、2)建物被害推定に関する研究、3)木造建物の耐震性能評価に関する研究、4)常時微動測定に関する研究、5)人的被害推定に関する研究をとりまとめ、本研究の構成と概要を述べている。

第3章「1995年兵庫県南部地震の被災経験に基づく建物被害関数の構築」では、まず、兵庫県南部地震時の被害写真から建物の損傷度分類を行い、被害統計データとして不足している層破壊被害の発生実態を明らかにしている。次に木造建物の層破壊発生要因を究明するため、地震動強さや建物属性との関係について分析を行い、被害関数構築のための最適な地震動強さ指標を提案し、また数量化Ⅱ類を用いた層破壊被害への影響度分析結果から、建築年が最も影響を与えていた因子であることを明らかにしている。以上の検討結果から、層破壊被害を評価できる損傷度別被害関数を構築し、兵庫県南部地震時の建物被害調査結果に基づく既往の被害関数と比較を行い、構築した被害関数の妥当性を示している。

第4章「被害関数を用いた地震被災危険度評価手法の適用性に関する考察」では、前章で構築した被害関数を兵庫県西宮市および被害関数の構築地域とは異なる神戸市東灘区に適用し、町丁目単位での面的な空間分布および総被害量の算定結果は、実被害と精度良く対応していることを示している。この検討において、建物被害の推定精度は地震動評価結果に依存することを指摘し、震源特性と地盤構造の複合作用および地盤増幅特性を考慮した理論的地震動シミュレーション結果を用いて良好な推定結果を得ることができることを示している。以上の結果から、本研究では被害関数を用いて、これまでに明らかにされなかった兵庫県南部地震による神戸市域の木造建物の層破壊被害分布を推定している。しかし、厳密な1棟単位での推定精度の向上を図るためには、さらに、個々の建物の耐力や変形特性などの耐震性能を考慮することが必要となることを課題として指摘している。

第5章「耐震診断と常時微動に基づく木造建物の耐震性能評価」では、建物の耐震性能を明らかにするために、一般的な耐震診断による評価と、常時微動を用いた動的な振動特性評価に関する検討を行っている。具体的には兵庫県神戸市域を中心として、耐震診断を受診した戸建木造住宅を対象として常時微動計測を行い、振動特性として得られた固有周期に着目して建築年や耐震診断結果との関係を分析している。その結果、建築年が古いほど固有周期が長くなる傾向や、固有周期が長くなると耐震簡易診断結果の総合評点小さくなる傾向が見られ、固有周期は耐震性と無関係ではないことを指摘している。特に、耐震簡易診断におけるD×E評点(水平抵抗力の評価)と固有周期の相関が他の評点に比して高く、固有周期から壁量の簡易推定が可能であることを示している。さらに、より精密な診断手法である一般診断を実施し、

氏名 堀江 啓

固有周期と降伏時のベースシア係数の関係について検討した結果、常時微動に基づく固有周期から2層建物の質量比と剛性比を考慮して降伏時のベースシア係数を算定する関係式の定式化を行い、第7章で述べる建物の振動解析モデルの構築に適用することを提案している。また、耐震補強過程で常時微動測定を行うことにより、振動特性の変化を捉えることができることを指摘している。

第6章「地盤のサイト特性を考慮した建物への入力地震動評価」では、建設地点毎の地震動特性を評価するために、1)震源特性、2)波動伝播特性、3)地盤増幅特性を考慮した地震動推定手法を提案している。具体的には、兵庫県南部地震を対象として工学的基盤面までの地震動は、長周期帯は3次元有限差分法による推定地震動に、短周期帯は統計的グリーン関数法による推定結果を合成し、地表面までの増幅特性については非線形解析手法を用いた地震動推定を行っている。また推定地震動の妥当性検証のために、地表面最大速度に着目して、第3章および第4章において構築した損傷度別被害関数を用いて神戸市域に設定した解析測線上の建物被害分布を推定し、さらに西宮市における建物種別および建物損傷度別の死者発生率を用いて死者数を推定した結果、各測線における被害推定結果は実被害を精度良く説明しており、妥当な地震動推定結果が得られていることを示している。

第7章「応答解析に基づく木造建物の地震被災危険度評価」では、在来軸組構法による2層住宅を対象とした解析モデルとして、1) 常時微動による固有周期から求められた降伏時のベースシア係数の分布を考慮した建物群モデル(A)、および2) モデル(A)に加えて構造特性として耐震診断から得られた2層建物の質量比、剛性比を考慮した建物群モデル(B)を提案している。この木造建物群の1棟毎に、第6章で推定した地震動を入力波とした地震応答解析を行い、最大応答変形角について考察した結果、モデル(B)はモデル(A)に比較して最大応答変形角の範囲が大きくなり、構造特性を考慮することにより建物の挙動の評価精度が向上することを指摘している。さらに既構築の損傷度別被害関数を用いた推定結果と比較することにより、最大応答変形角と建物損傷度の関係を明らかにし、この関係を用いて地震動特性と耐震性能を考慮した地震応答解析により、軽微な被害から層破壊のような甚大な被害までを推定可能な手法を提案し、被災危険度が高い地域や建物进行评估できることを示している。以上の検討結果から、耐震化促進に向けた常時微動の利用可能性について考察し、常時微動を単独で用いた場合は壁量の簡易推定のように診断の簡便性を高め、現行の診断システムと併用した場合は診断員の目視による判断に信頼性や客観性を付加し、住民に対しては想定地震に対して予想される損傷度や補強前後の測定から得られる補強効果を明示できる利点があることを指摘している。

第8章「結論」では本論文の総括ならびに建物被害軽減に向けた今後の課題を示している。

以上のように、本研究は住宅の耐震化を主体とした包括的な建物被害軽減策を講じるために必要な木造建物の地震被災危険度評価について、その評価手法を確立し、予測精度の高度化を図ることを目的として、兵庫県南部地震の被災事実を定量的に分析し、建物の属性や構造特性、振動特性、および地震動特性と建物損傷度の関係を総合的に研究したものであり、人的被害発生 の 主要因となった木造建物の被害発生メカニズムについて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者の堀江 啓は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。