

地震時の木造低層建物破壊に伴う人的被害の 推定手法に関する研究

学位論文内容の要旨

兵庫県南部地震では6,400名以上の甚大な死者が発生したが、大半が木造建物の倒壊が原因である。日本では地震時の人的被害の大半は建物とりわけ木造低層建物の倒壊に伴うものであり、人的被害の軽減に必要な防災対策を立案するためには、木造建物破壊を原因とした死者に関する精確な被害推定が必須となる。地震時の人的被害の推定は半世紀以上前の河角の研究に遡る。この50年余、人的被害の推定手法は自治体の地震対策の必要性もあり数多く提案されているが、大半は木造建物群の被害数(率)と地域死亡数(率)をいわば広域的に評価するものであり、その精度が高いとは言い難い。また、建物被害数を別途推定する必要があることや、マクロ的な評価式であるために、減災の向けた個別の建物に必要な対策(耐震補強や建替え)を施す指針を得るまでには至っていない。こうした問題点を憂慮し、本研究では、地震時における個別の木造建物被害の評価および木造損傷下における人的被害との関係を一貫して扱い、地震動入力が既知の状況で個別の建物被害とその建物被害下で予想される人的被害を評価する手法を提案することを主たる目的とする。1995年兵庫県南部地震で発生した膨大な木造低層建物の個々の被害とその建物で被災した死亡者の関係を定量化し、木造建物個別の破壊レベルと人命損失の関係を明らかにし、精緻な人的被害手法を提案するとともに、人的被害軽減のために必要な建物個々の耐震補強レベルを明らかにするために、個別の木造建物の地震時損傷を評価する関数を構築している。構築した個別建物の死亡リスクを評価する関数と個別建物の地震時損傷レベルを評価する関数を併用することで、想定される地震動強さにおける個別建物の損傷リスクと死亡リスクを評価でき、建物ユーザーや地方自治体の防災担当者が個別建物に対して必要な耐震補強レベルを把握するに供することが可能になり耐震補強の実施や助成を行うための意思決定に供することが可能となる。また勿論広域たとえば、市町村単位での建物・人的被害評価を可能にする他、地震調査研究推進本部(推本)がweb上で公開している地震ハザードを利用して建設サイトにおける確率的地震動入力を求め、予想される損傷度・損傷確率を評価することができ不動産価値評価に供することも容易となるなど、防災工学的利用法は幅広い。本論文は、7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

1章では、既往の研究および市町村の被害想定手法を概観し、地震時の建物被害おもに木造低層建物に伴う人的被害推定手法をレビューする。また地震時の建物群の被害評価を行う被害率関数、個別の建物の損傷度評価に関して既往研究を概観し、本研究の位置付けを示すとともに、本研究の構成を示している。

2章では、木造建物破壊による住民の死亡リスクを定量化するために、1995年兵庫県南部地震で被災した木造建物の内、主として人的被害が比較的多く発生した地域から1万3,000棟余りをサ

ンプリングして詳細な被害調査および人的被害の傾向を把握し、建物被害と人的被害の関係を解析している。現地調査を伴わない建物被害調査手法やその問題点、被害調査自体の精度、調査によって得られた建物被害レベルと詳細な人的被害記録との関係を考察している。航空写真による建物被害調査は建物傾斜が伴わない軽微な被害は判読が困難であったり、傾斜地および建物が密集する地域では判読の難度が上がるものの、建物が傾斜したり層破壊するなど人的被害の発生が懸念される被害レベルでは非常に判読の精度が高いことを既往研究の報告を補助に示した。得られた建物被害と人的被害の関係には密接な関係があり、建物被害レベルの上昇に伴い死亡率が急激に高まることが認められた。また、対象とする建物周囲の全壊率が高い程、同じ損傷レベル下でも対象建物における死亡率が高くなる傾向も認められた。建物が倒壊した際には周囲の住民によって救助されることが専らであるため、その周囲の住民が被災することによって死亡率が高くなるものと推察している。このような傾向と住宅形式の違いを踏まえ、個別建物における建物被害に伴う死亡リスクを評価するための評価式として、一戸建住宅と集合住宅別に建物損傷度・周辺全壊率を説明変数とした棟死亡率関数を構築している。汎用性の確認のため 2004 年新潟県中越の人的被害を再現し既存式よりも精度が高いことを示している。

3 章では、4 章・5 章の下準備として、既往研究で求められた兵庫県南部地震の推定地震動分布(最大地動速度)及び、2 章で得た詳細な木造建物被害の調査結果を用いて、神戸市内の木造建物群がもつ脆弱性を考慮した、木造低層建物の地震動強さに対する集団的被害を評価するための、被害率関数(最大地動速度-被害率または震度-被害率)を推定した。既往の研究では構築されていなかった、死亡危険性の非常に高い完全崩壊レベルまでの建物被害に対応する被害率関数を作成した。この高分解能を持つ被害率関数を本研究で初めて構築できたことは、今後の木造建物破壊を原因とする人的被害の評価に貢献するものと考えられる。

4 章では、2 章で作成した建物個別の死亡評価関数を防災工学的利用に供すために、地震時における木造低層建物個別の損傷評価を目的として、既往研究で得られている地震動強さ・建物強度・損傷度の 3 次の関係を表す建物損傷度関数を、3 章で作成した被害率関数を用いて、既往の方法に準拠しつつ、人的被害が発生する危険性が高い損傷レベルが精確になるように、修正を加えて作成している。

5 章では、4 章で作成した簡易な損傷度関数に、より現実的を持たせるために、損傷不確定性を考慮に入れた地震時の個別建物損傷評価関数の必要性を説明し提案している。地震動入力に対して特定の耐力を持つ建物の損傷がばらつく原因について述べ、建築年代に関する統計資料や全国木造住宅の耐震精密診断値に関するデータ、既往研究で得られた兵庫県南部地震の神戸市内丁目別の推定最大地動速度分布および 4 章で構成した損傷度関数を用いて、地震動強さ・建物強度・損傷度・損傷確率の 4 次の関係を表す確率論的損傷度関数の導出を遂行した。これにより、地震動強さが既知の状況における建物の損傷リスク(損傷度・損傷確率)を容易に評価することが可能となった。

6 章では、2 章で提案した木造低層建物の破壊に伴う人的被害評価関数と、3・4・5 章で提案した木造低層建物の損傷評価関数を用いた、各種の震害推定事例を示し、木造低層建物における地震リスクの軽減に関する、住民及び、行政への利用の便について議論している。

7 章は、総括であり各章のまとめと今後の課題・展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鏡 味 洋 史

副 査 教 授 緑 川 光 正

副 査 教 授 後 藤 康 明

副 査 助 教 授 高 井 伸 雄

副 査 教 授 岡 田 成 幸 (名古屋工業大学大学院

工学研究科)

学 位 論 文 題 名

地震時の木造低層建物破壊に伴う人的被害の 推定手法に関する研究

日本においては1923年関東地震、1948年福井地震などこれまで多くの地震で木造建物の倒壊により多数の死者が発生している。福井地震以降しばらくは死者千人を超えるような被害地震はなかったが1995年兵庫県南部地震では6,400人を越える死者が発生しその大半が木造建物の倒壊によるものであり、日本においては木造建物の倒壊による死者発生危険性が依然高いことが再認識された。地震による人的被害の軽減は地震防災の基本であり自治体の防災計画の基本となる将来の地震に対する被害想定の中で人的被害の推定は重要な課題である。人的被害の推定式は過去の被害事例の統計解析から求めた1950年代の河角の推定式が先駆的であり、その後、多くの修正式が提案され各自治体での被害想定に用いられている。しかし、これらの実験式は地域の木造建物の倒壊率をもとに死者の発生率を求めるものであり、被害統計資料に基づくマクロな評価であり推定精度は必ずしも高いものではなかった。すなわち、説明変数に地震動そのものでなく結果である建物被害を間接的に用いていることから精度の向上が望めないこと、さらに建物の破壊の物理的モデルに立脚していないため減災のための具体的な方策に結び付け難いなどの問題点があった。

本研究では、地震時の個別の木造建物の被害の評価および被災建物のなかでの人的被害の発生状況の関係を一貫して扱い、地震動入力を与えた場合の木造建物の被害の評価とそれに基づく人的被害を評価する手法の提案を行っている。

本論文は、7章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

1章では、既往の研究および市町村の被害想定手法を概観し、地震時の木造低層建物に伴う人的被害推定手法をレビューしている。また地震時の建物群の被害評価を行う被害率関数、個別の建物の損傷度評価に関して既往研究を概観し、本研究の位置付けを示すとともに、本研究の構成を示している。

2章では、木造建物破壊による住民の死亡リスクを定量化するために、1995年兵庫県南部地震で被災した木造建物のうち、主として人的被害が比較的多く発生した地域から13,000棟余りにつ

いて航空写真の立体視による被害判定を行い、詳細な人的被害記録と対応させ、建物被害と人的被害の関係を解析している。建物被害レベルの上昇に伴い死亡率が急激に高まるとともに、対象とする建物周辺の全壊率が高い程、同じ損傷レベル下でも対象建物における死亡率が高くなることを新たに指摘している。このような傾向と住宅形式の違いを踏まえ、個別建物における建物被害に伴う死亡リスクの評価式として、一戸建住宅と集合住宅別に建物損傷度・周辺全壊率を説明変数とした棟死亡率関数を構築している。2004年新潟県中越地震に適用し既存式よりも精度が高いことを示している。

3章では、既往研究で求められた兵庫県南部地震の推定最大地動速度及び、2章で得た詳細な木造建物被害の調査結果を用いて、建物群の被害率を求める被害関数を推定している。既往の研究では構築されていなかった、死亡危険性の非常に高い完全崩壊レベルまでの建物被害に対応する被害率関数を新たに提案している。

4章では、既往研究で得られている地震動強さ・建物強度・損傷度の関係を3次元で表現する建物損傷度関数を、3章で作成した被害率関数を用いて提案している。既往の方法に準拠しつつ、人的被害が発生する危険性が高い損傷レベルでの精度の向上が図かれたものとなっており、地震時における木造低層建物個別の損傷評価として、地震防災への応用性が高いものとなっている。

5章では、地域の地震危険度確率との融合を睨み、4章で作成した損傷度関数に損傷不確定性を考慮している。地震動入力に対して建物の損傷がばらつく原因について述べ、建築年代に関する統計資料や全国木造住宅の耐震精密診断値に関するデータを加え、地震動強さ・建物強度・損傷度・損傷確率の4次の関係を表す確率論的損傷度関数の導出を行っている。これにより、地震動強さが既知の状況における建物の損傷度・損傷確率を容易に評価することを可能にしている。

6章では、本論で提案した木造低層建物の破壊に伴う人的被害評価関数、木造低層建物の損傷評価関数を用いた、各種の震害推定事例を示し地震防災への展開を行っている。

7章は、総括であり各章のまとめと今後の課題・展望について述べている。

これを要するに、著者は地震時の木造低層建物破壊に伴う人的被害発生のメカニズムを明らかにし、より適用性の高い評価手法を提案したものであり、地震工学、建築構造学、地震防災学の分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。