

## 学位論文題名

## 地域の地震被害予測のための国際汎用モデルの構築

## 学位論文内容の要旨

地震被害現象の特徴として希少性、不可知性、複合性が上げられるが、これらは地震危険度を事前に予測し、地震防災へと繋げて行く場合の大きな障害ともなっている。本研究は、これらの地震被害の特徴から生じる諸問題に対して一つの解答を与えようとするものである。被害地震が希にしか起きないための不都合に対する対策としては、国・地域の依存性をできるだけ排除した汎用性の高い被害予測モデルを構築することで、世界的に偏在する傾向にある被害資料の共有化を実現する。地震の発生を正確に予測できないこと(不可知性)に対しては、中・長期的な展望に立脚した地震防災対策のみならず地震直後の緊急対応にも役立てることができる被害予測モデルの適用方法を展開する。また、地震被害の複合性・多様性については、従来の実験式的な被害予測モデルのアプローチを避け、被災事象の発生メカニズムにできるだけ忠実な理論モデル・半実験式を構築することにより、他の被害項目や後続する被害項目への連結を可能とさせる。本論においては地震動の評価および建物の被害予測に主眼を置くが、それをもとに発生する死傷者の予測モデルへの連結についても扱う。

本論文は6章より成り、以下に各章の要約を述べる。

**第1章**では、希少性、不可知性、複合性のそれぞれについて、地震工学が抱える問題点と本研究で提案するモデルの特徴を述べ、本研究の位置付けを行うとともに、本論文の構成と概要を述べている。

**第2章**では、提案する地震危険度予測モデルが地震動入力評価モデルと建物被害評価モデルの2つから成ることを最初に述べ、次に、提案モデル構築のための準備作業として、それぞれの評価モデルに関係する既存資料を、できるだけ多くの国についてカバーできるように収集し、共通のフォーマットで整理している。

地震動入力評価については、主に、地域差が最も大きい距離減衰モデルに関して既存評価式を収集し整理している。既存評価式が存在する場合には代表的なものを選択し、無い場合には既往地震の震度分布図から距離減衰モデルを読み取るなどの2段階構えで資料収集を行い、23ヶ国についてカバーしている。

建物の被害については、建物種別・地域によって被害程度の記載方法が異なるという問題があるので、統一的な被害指標としてダメージ・インデックスを定義し、これをMM震度階の関数として表わす被害関数を共通のフォーマットとして提案している。この被害関数は建物の強さを表

す指標と靱性を表す指標で定義されている。13ヶ国について被災資料を収集・整理し、それぞれの国について建物種別ごとに被害関数を求めている。

**第3章**では、第2章で整理した距離減衰式および被害関数の資料を基に、それらがまだ得られていない国・地域、建物種別について距離減衰式あるいは被害関数を推定する手法を展開し、それらを統合する形で、全世界に適用できる汎用性の高い建物被害評価モデルをパソコン上に構築している。

まず距離減衰式の推定にあたっては、既存の距離減衰式をファジィ集合論におけるメンバーシップ関数に置き換えて数値の集合として扱うことにより、式の形が異なっても算定が可能となるように工夫し、資料の得られていない地域も含め評価できるようにしている。これに震央付近における震度の評価式および地盤による地震動増幅の評価式を繋げて、地震動入力モデルを構築している。

建物の被害関数を求めるにあたっては、まず耐震性能を考慮しながら建物種別を24種類に分類し、被害関数の2つの指標（強度と靱性）を建物分類ごとに決定している。2つの指標の値の決定は、第2章で求めた被害関数の整理結果を基本とし、既存資料の乏しい建物分類についても評価できるよう工夫している。すなわち、2つの指標の取り得る範囲を建物種別ごとにファジィ集合のメンバーシップ関数で表現し、さらに施工レベルや階高、築年などの建物の質にかかわる要因を指定することでその範囲が絞られていくようにしている。この絞り込みの部分ではファジィ推論を用い、定性的な評価の取り入れに役立てるとともに、所望の入力データに欠損がある場合でも、状況に応じて算定できるように配慮している。

以上の地震動入力評価と被害関数評価の2つモデルを統合する形でパーソナルコンピュータ上に構築している。地震のマグニチュード、震央距離、地盤種別、地域の建物種別に関するデータを入力することにより、既往地震被害資料の無い地域においても、震度および建物の被害率を推定できるようになっている。

**第4章**では、第3章で構築したモデルの検証を、1980年以降に発生した6つの被害地震について行っている。

検証の対象として、1980年アルジェリア地震、1980年イタリア南部地震、1988年アルメニア地震、1988年インド＝ネパール国境地震、1992年エジプト地震、1992年トルコ地震を選び、それぞれの地震について建物の被害を算定し実際の被害との比較を通じて、評価の対象となる国の地域特性が多様かつ精粗において様々であってもモデルが適用できることを示している。

**第5章**では、地震防災対策への適用方法を展開している。適用の対象都市として、耐震性の低い組積造家屋が大半を占め、地域地震防災が急務とされているトルコのブルサ市を選び、また、地域防災計画における諸施策の効果を評価するために、建物被害予測のみならず、これに、建物崩壊に伴う死者発生予測モデルおよび時間経過に伴う生存率の減少予測モデルを付加している。

まず始めに、ブルサ市の地震危険度評価を短・中・長期的展望に立って行なっている。つまり死者予測モデルを構築して提案モデルに接続し、1985年現在の同市の建物および死者の地震危険度が2000年までにどのように変化するかを示し、地震危険度のマイクロゾーニングを建物被害と

死者について行い、優先的に改善すべき危険地区を指摘している。そして、それに対して土地利用の制限や建築基準の改正を行った場合の効果を、異なる4つのシナリオについて評価し、それぞれの減災効果を比較している。

さらに、地震直後の緊急対応に役立てるために、倒壊建物に閉じ込められた人々の生存率が時間経過と共に変化する様子を予測するモデルを構築し、提案モデルに連結してブルサ市の事例に適用している。地震直後の緊急活動の参考資料として、事後経過日数ごとの救命可能性を具体的な数字で出力している。

**第6章**は結論であり、各章の要約を総括している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 ・ 教 授 鏡 味 洋 史  
副 査 教 授 石 山 祐 二  
副 査 教 授 城 攻  
副 査 助 教 授 岡 田 成 幸

## 学位論文題名

### 地域の地震被害予測のための国際汎用モデルの構築

地震による今世紀の死者は既に150万人を超えており、近年においても地震発生度に多数の死者が発生している。これは、先進国においては都市を中心に被害の様相が複雑になってきていること、発展途上国では建物の耐震化がなかなか進まないことなどによる。これらの災害を軽減するための地震防災計画の策定には将来発生が懸念される地震に対する被害想定が基本となる。そのために既往の被災事例が参照されるが、地震の発生は地域を限定した場合希有な事象であり、地震災害に関する地域依存性も著しく、世界各国に同一基準で適用できる予測モデルの構築が困難であった。本論文では、この点に着目し、地震工学的データの整備されていない国にも適用できるような汎用性の高い地震被害評価モデルを提案しており、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究で提案するモデルの特徴を述べ、本研究の位置付けを行うとともに、本論文の構成と概要を述べている。

第2章では、提案する地震危険度予測モデルが地震動入力評価モデルと建物被害評価モデルの2つから成ることを最初に述べ、次に、提案モデル構築のための準備作業として、それぞれの評価モデルに関係する既存資料を、それぞれ23ヶ国、13ヶ国について収集・整理している。

第3章では、第2章で整理した地震動の距離減衰式および構造種別ごとの被害関数の資料を基に、それらがまだ得られていない国・地域、建物種別について距離減衰式あるいは被害関数を推定する手法を展開し、全世界を適用対象とする汎用性の高い建物被害評価モデルをパソコン上に構築している。まず距離減衰式の推定にあたっては、既存の距離減衰式をファジィ集合論におけるメンバーシップ関数に置き換えて数値の集合として扱うことにより、式の形が異なっても統一

的な扱いが可能となるように工夫し、資料の得られていない地域も含め評価できるようにしている。建物の被害関数を求めるにあたっては、まず耐震性能を考慮しながら建物種別を24種類に分類し、被害関数のパラメータの取り得る値の範囲を建物分類ごとにメンバーシップ関数で表現し、さらに施工レベルや階高、築年などの建物の質に関する要因を指定することでその範囲が絞られていくように工夫している。この絞り込みの段階ではファジィ推論を用い、定性的な評価項目の数値化に役立てるとともに、所望の入力データに欠損がある場合でも、状況に応じて算定できるようにしている。以上をコンピュータ上に具体的に実現し、入力データとして想定地震のマグニチュードと震源位置、地域データとして対象地域の表層地盤種別、建物の属性を指定することにより、予想される地域の震度および建物の被害率を出力するようなモデルを構築している。

第4章では、第3章で構築したモデルの検証を、1980年以降に発生した6例の既往被害地震について行っている。検証の対象として、1980年アルジェリア地震、1980年イタリア南部地震、1988年アルメニア地震、1988年インド＝ネパール国境地震、1992年エジプト地震、1992年トルコ・エルジンジャン地震を選んでいる。それぞれの地震について建物の被害を算定し実際の被害との比較を通じて、評価の対象となる国の地域特性が多様かつ入手可能なデータが精粗において様々であってもモデルが適用できることを示している。

第5章では、建物の倒壊により発生する死傷者の発生過程を時系列でモデル化して提案モデルの拡張性を示し、さらに本モデルを具体的な都市に適用して地震防災対策への多面的な適用可能性を示している。具体的には、適用の対象都市として、耐震性の低い組積造家屋が大半を占め地域地震防災が急務とされているトルコのブルサ市を選び、1985年現在の同市の建物および死者の地震に対する危険度が2000年までにどのように変化するかを評価し、それらの地域分布を示し、優先的に改善すべき危険地区を指摘している。さらに、それに対して土地利用の制限や建築基準の改正を行った場合の効果を、異なる4つのシナリオについてそれぞれ評価・比較している。また、地震直後の緊急対応に役立てるために、倒壊建物に閉じ込められた人々の生存率が時間経過と共に変化する様子を予測するモデルを提案モデルに連結してブルサ市の事例に適用し、地震直後の緊急活動の参考資料として、事後経過日数ごとの救命可能性を具体的な数字で出力している。

第6章は結論であり、各章の要約を総括している。

以上のように本論文は、地域の地震被害予測法に関して、国・地域を越えた汎用性を有する統一モデルを提案・構築しており、地震工学の進歩に寄与するところ大である。

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があるものと認める。