

# 被震下室内における負傷危険度評価手法の構築と それに基づく室内安全化基準の提案

## 学位論文内容の要旨

今日、一般住家の住人にとり、建物の倒壊危険性については耐震診断法の普及により耐震診断値という具体的数値評価が可能である。また、その値が耐震補強やリフォームなど対策実施の強いインセンティブとなっている。一方、室内の散乱に伴う負傷危険性についてそのような定量評価手法は見られない。その結果、対策方法は目標値の無い定性的な家具固定を声高に叫ぶのみとなり、かつその効果を計測できないために実施率は低い状況を招いている。

以上を踏まえ、本研究では「被震下室内における負傷危険度評価手法の構築」を第一の目的とし、次いで同方法により具体的に家具の転倒落下に伴う負傷危険度の定量評価を試み、それに基づき対策の具体的考え方から一般的規範を導出することを最終目標とした。本研究は全7章で構成され、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、関連する人的被害研究分野の発展概況を死者と負傷者に分けて比較し、死者発生問題に関する研究や法整備が進展する一方で負傷者に対するそれは希薄であることを示した。それは、研究データベースとなる実被害調査の困難性に起因していると考えられ、主として建物倒壊による死者発生問題は建物被害の外観調査といった広域、多数実施が可能な調査であることに比較して、室内散乱による負傷者発生問題は定量的な内観調査が極めて困難であることが挙げられた。また実際に負傷危険度評価に関する既往研究を概観すると、実被害データに基づく評価式の検証が不十分である点を指摘できた。

第2章では、前章を受け、十勝沖地震(2003)および新潟県中越地震(2004)で実施した室内被害の実態調査について言及した。調査方法は他の地震にも通用するようにかつ調査員の調査技量を問わず一定レベル以上の実態記載ができるように方法論の系統化に注力し、そのために独自の調査シートを開発しマニュアル化を徹底することで、室内被害に関して普遍的な調査法の提案ともなっている。また、負傷発生事象を整理する枠組みとして、被震下での人間行動と負傷要因およびその時間変化に着目した枠組みを設定し、実態調査の結果と既往の被害地震における調査研究を参照し、負傷発生事象の傾向を把握した。結果として、人間行動は「静止」が多く、「家具の転倒落下」を負傷要因とした「揺れ最中」の負傷危険性が指摘できた。

第3章では、評価モデルに基づく負傷危険度評価式を構築し、その検証を実被害データから行った。ここでは、前章より「揺れの最中」に「静止」した場合の「家具の転倒落下」に伴う負傷危険性を評価モデルとし、負傷発生は確率現象であるとの立場から評価式を構築した。具体的には、ある閉空間における家具の転倒落下領域率(家具転倒落下による床面積の減少割合)をその空間での負傷確率とする評価式を確率モデルに基づき構築した。確率モデルには実態的考え方に近い超幾何分布とその近似的考え方としてより扱い易い二項分布の2つを用い、前章の実態調査との比較から両評価式の妥当性を検証した。また、二項分布を用いた近似モデルの適用範囲を、人間密度(床面積当たり人数[人/m<sup>2</sup>])と近似誤差の関係から検討した。結果として、一般住家における人間密度

(約 0.2 人/m<sup>2</sup>) では近似誤差は極めて小さく、実用的な近似モデルの適用条件を十分満たすことが示された。

第 4 章では、前章評価手法の応用的展開として、応用評価式を構築した。ここでは、空間の負傷危険ポテンシャル (揺れの大きさを考慮しない潜在的な負傷危険性) の考え方を示し、さらにその簡易評価手法として家具密度 (床面積当たり家具数 [個/m<sup>2</sup>]) を用いた評価式を構築した。これは、家具密度が家具転倒落下領域率と概ね線形関係にあることを利用し、二項分布の評価式を家具密度で式変換したものである。これは、世帯の所有家具数には臨界値が存在する証明であり、この観点からの負傷危険性を減らすための対策へと繋がる考察である。また、統計値 (実数) に対応したマクロ評価式として、負傷の発生確率に着目し、二項分布を実数領域に拡張した評価式を構築した。これは、負傷危険の地域性を把握することを目的とした考察であり、室内の現場調査以外にも地域統計値を用いての危険性評価が可能となり、種々の住宅対策への適用を可能とさせる。一方、個別世帯に対応した評価手法としては、揺れの大きさ、すなわち家具の転倒確率を考慮した場合の負傷危険度評価式を構築した。これは、震度と家具転倒確率の関数化より、家具転倒落下領域率を確率的に扱うもので、これにより、揺れの大きさ (ハザード) に応じた負傷危険度が診断可能となる。

第 5 章では、前章の応用評価式を用いて評価を行った。簡易評価手法に基づく評価事例としては、実態調査世帯を対象に負傷危険ポテンシャルの簡易評価を行い、3 章の評価式との比較より簡易評価式の妥当性を検証した。次に、マクロ評価手法に基づき、統計資料 (全国消費実態調査、住宅・土地統計調査) から負傷危険ポテンシャルの都道府県別評価を行い、その地域性を把握した。結果として、北海道から北陸にかけては負傷危険ポテンシャルが 50% を下回るものの、関東・東海・近畿と九州地方では 50% を超えるという傾向が見て取れた。また、揺れの大きさを考慮した場合の評価事例としては、愛知県の集合住宅をケーススタディとした負傷危険ポテンシャルおよび想定地震動を考慮した負傷危険度評価を行った。

第 6 章では、前章の評価結果から得られる対策として、考え方や目標値に関する議論を展開した。対策の基本的考え方を、評価式の各パラメータ (床面積、家具数、家具転倒落下領域率等) の検討による確率値低減に据え、目標値としては、確率値 50% が負傷顕在化の閾値となることから、これを安全/危険空間の判別指標値とした。まず、簡易評価手法からは当評価手法の容易性に鑑み本邦の室内安全化規準を提示した。具体的には、簡易評価式と本邦の在宅・在室人数の平均値から負傷が顕在化する家具密度を求め (建物で 0.25 個/m<sup>2</sup>、居室で 0.42 個/m<sup>2</sup>)、実態調査の負傷発生事例がそれを超える建物・居室で発生していることを踏まえ、その家具密度を安全化規準として提示した。一方、マクロ評価手法からは、本邦の居住水準を防災的側面から検討し、安全・安心を考慮した住政策の提案を行った。具体的には、現行の全国一律の誘導・最低居住面積水準について、都道府県ごとに負傷危険ポテンシャルとの関係を精査した。結果として、大都市圏では誘導居住面積水準の達成により負傷危険ポテンシャルを顕在化の閾値以下に抑制できるものの、3 分の 1 近くの府県では誘導居住面積水準の達成では不十分であることを示し、安全獲得に必要な床面積を府県ごとに提示した。また、揺れの大きさを考慮した負傷危険度評価からは、家具固定による対策効果を低減される確率値から数値評価し、固定家具の選択に関する意思決定問題を家具の転倒確率や負傷危険性への寄与率の面から考慮した対策の考え方を示した。

第 7 章では、本研究を総括し、本研究の評価モデルでは考慮していない居住者の「行動」や負傷程度に関する評価、家具配置による影響を今後の課題として挙げた。また、本手法の応用として、死者発生危険性評価への確率モデルの適用可能性について言及した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 准教授 高 井 伸 雄

副 査 教 授 笹 谷 努

副 査 教 授 緑 川 光 正

副 査 教 授 岡 田 成 幸 (名古屋工業大学)

## 学 位 論 文 題 名

### 被震下室内における負傷危険度評価手法の構築と それに基づく室内安全化基準の提案

近年、耐震診断法の普及により建物の倒壊危険性については耐震診断値という数値評価が可能である。また、その値が耐震補強や改修など対策実施の強いインセンティブとなっている。一方、室内の散乱に伴う負傷危険性については、そのような定量評価手法は見られない。そのため、対策は目標値や効果が不明にも関わらず、家具固定の奨励が現状である。

本論文は、これを踏まえ、地震時の室内における負傷危険度として、家具の転倒落下に伴う負傷危険度の定量評価と、それに基づく評価・診断手法を構築し、さらに現状から対策後の効果評価を行うとともに、室内安全化のための対策基準を導出している。

本研究は全7章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、将来的な負傷発生問題の重要性を指摘しつつ、定量的な室内被害実態調査の困難性がデータ蓄積や関連研究分野の停滞要因となっていることを指摘している。

第2章では、2003年十勝沖地震および2004年新潟県中越地震で実施した室内被害実態調査について言及している。調査方法の他地震への適用を踏まえ、汎用性向上の為に調査方法論の系統化を行い、独自の調査シートを開発しマニュアル化を徹底することで、室内被害に関して普遍的な調査法の提案をも行っている。当調査結果と既往の被害地震調査を基に負傷発生事象を整理し、人間行動は「静止」が多く、「家具の転倒落下」を負傷要因とした「揺れ最中」の負傷危険性を指摘している。なお、実態調査データは第3～5章での解析にも用いている。

第3章では、静止した場合の家具の転倒落下に伴う負傷発生を確率現象と見なし、ある閉空間における家具の転倒落下領域率(転倒落下家具による床面積の減少割合)を負傷確率とする評価式を確率モデルに基づき構築している。確率モデルには実態に近い超幾何分布と、その近似としてより扱い易い二項分布の2つを用い、前章の実態調査との比較から両評価式の妥当性を示している。これにより二項分布を用いた確率モデルが負傷確率を適切に表現できることを明らかにしている。

第4章では、前章の二項分布を用いた評価式を利用し、地震動入力を持定しない場合と特定する

場合の負傷危険度の評価・診断手法を構築している。また、その応用として計測が簡便な家具密度を用いた簡易マクロ評価手法に展開させており、これにより全国の地域における個別世帯の家具数等の特性から負傷危険度評価が可能となっている。

第5章では、個別世帯の被害解析として前章までで開発した手法の適用事例を示している。特に、マクロ評価手法に基づき、統計資料から負傷危険度の地域性を概観し、北海道から北陸にかけて負傷危険度が低く、関東・東海・近畿と九州地方では高いという傾向を指摘している。

第6章では、前章の評価結果を基に、取り得る対策に関する議論を展開している。対策の基本的考え方は、評価式の各パラメータ(床面積、家具数、家具転倒落下領域率等)を変化させることで負傷確率値の低減を目指すものである。目標値としては、確率値 0.5 が負傷顕在化の閾値となることから、これを安全/危険空間の判別指標値とし、室内安全化基準を提示している。具体的には、在宅・在室人数の平均値から負傷が顕在化する家具密度を求め、実態調査の負傷発生事例がそれを超える建物・居室で発生していることを踏まえ、その家具密度を安全化最低基準として提示している。また、本邦の居住水準を負傷危険度から検討し、安全確保を考慮した住政策の提案を行っている。これは、現行の全国一律の誘導・最低居住面積水準について、都道府県ごとに負傷危険度との関係を精査し、大都市圏では誘導居住面積水準の達成により負傷危険度を顕在化の閾値以下に抑制できるものの、3分の1近くの府県では誘導居住面積水準の達成では不十分であることを示し、安全獲得に必要な床面積を府県ごとに提示したものである。最後に、本提案手法を用いた評価から対策後の効果評価までを愛知県の集合住宅をケーススタディとして行い、現状の負傷危険度評価を行い、家具固定による対策効果を低減される確率値から数値評価し、家具固定の効果評価を行っている。

第7章では、本研究を総括し、本研究の評価モデルでは考慮していない居住者の「行動」や負傷程度に関する評価、家具配置による影響を今後の課題として挙げ、本手法の応用として、死者発生危険性評価への確率モデルの適用可能性について言及している。

これを要するに、著者は、地震時の室内安全性に対する評価・診断手法に関しての新知見を得たものであり、本論文の地震防災学、建築防災学、都市防災学への寄与するところは大なるものがある。また、本論文の提案する手法は、今後の地震時の負傷者軽減施策に対して貢献するところも大なるものがある。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があるものと認める。