

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論文題目

建物群の耐震計画策定における地震リスク評価の応用に関する研究

Application of Seismic Risk Analysis to Aseismic Planning for
Portfolio of Buildings

申請者

福島 誠一郎

Seiichiro FUKUSHIMA

2023年7月

我が国では地震、風水害、火山噴火などの様々な自然災害が発生しており、中でも、予測の困難さや被害が甚大かつ広域となる地震への対応が不可欠である。地震による被害を軽減し安全な社会を実現するためには社会を構成する建物の耐震計画が重要であり、耐震設計諸基準の整備、性能を基盤とした性能設計の導入、地震ハザードマップの作成、特定の建物に対する重要度係数の付与、耐震診断の実施等、建物単体に関する法整備や関連する技術開発が適時実施されてきた。

ところで、建物は単体として成立しているものばかりではなく、他の建物とともに建物群を構成するものもある。その場合、建物単体に関する法整備や技術開発は建物群に対しては不十分であり、機能の連関や地震動強度の空間相関を考慮した建物群の建設地点の選定、限られた予算の中での耐震投資の案分等、建物群固有の解決すべき課題も多い。

他方、近年では損害保険分野において複数建物を対象とした解析的なリスク評価が実施されるようになり、複数建物の地震リスク評価に資する計算環境の充実や、関連する技術開発が精力的に行われている。

本論文は、以上を背景として、複数建物を対象とする地震リスク評価手法に着目し、建物群の耐震計画の策定に応用することを目的とした先進的な研究である。

本論文は 5 つの章より構成されている。

第 1 章は序論である。本論文の背景と目的を述べるとともに、本論文全体の解析の基礎となるマルチイベントモデルと損失の考え方を整理している。さらに本論文に関係する既往文献と本論文との関係を明らかにし、本論文の構成を示している。

第 2 章は「地震ハザードの相関を考慮した代替建物の配置」と題して、建物群の配置計画について検討を行っている。災害時の対応活動を確実なものとするには、拠点建物が被災した場合に備えて代替建物を用意しておくことが望ましい。代替建物への機能移転の効率を考えるならば、拠点建物と代替建物の距離は小さいほど有利であるが、2 建物の同時被災の可能性を低減するには、両者の距離は大きいほど有利である。

本章ではこのような二律背反の条件に対する解決策として代替建物の条件付き地震ハザードを提案し、関東地方に立地する 21 棟からなるモデル建物群に適用することで、地震動強度の不確実性の地点間相関の評価が結果に大きな影響を与えること等を明らかにし、提案手法が妥当であることを示した。

次に、条件付地震ハザード曲線から得られる最大加速度（PGA）を用いて拠点建物位置のPGAに対する代替建物位置のPGAの比を規準化PGAとしてその空間分布を示すとともに、所与の拠点建物に対する代替建物の立地について考察を行っている。なお、代替建物の配置は必ずしも工学的な側面のみから決定されるものではなく、企業経営の方針や方策、地域経済に対する企業貢献といった複数の側面から意思決定されるものであることを示している。

本章で構築した手法は、「同時被災の回避」と「災害時移動の容易性」という相反する条件下で代替建物の配置を決定する上で極めて有効である。

第3章は「地震リスクに基づく建物群の耐震性能の設定」と題して、建物群への耐震投資の最適配分について検討を行っている。建物群のリスク低減効果としてリスク分散が挙げられることから、まず、最適配分を実現するための指標として、建物群の損失に対する建物群を構成する各建物の損失の寄与率とその評価方法を提案している。また、提案手法を関東地方に立地する20棟からなる建物群に適用し、寄与率が平準化するほど建物群の損失が小さいことを確認している。

さらに、得られた知見より、リスクマネジメント施策として、寄与率を平準化するように耐震施策対象建物と対策程度を決定する手順を提案し前記の建物群に適用して、その有効性を確認している。

本章で構築した手法は、恣意性を排除し限られた投資額の中で最適な投資案分を決定する際に大いに資するものである。

第4章は「周辺地域の被災程度に基づく耐震重要度係数の設定」と題して、拠点建物の保有すべき耐震性能について検討を行なっている。

周辺建物の状況を条件とした拠点建物の使用可能性を新たに定義した期待条件付供用確率によって定量化することを提案し、その算出手法を示すとともに、同手法を東京都庁位置に対象建物を置く建物群について適用し、提案した手法の実現可能性を確認している。

次に、提案手法を用いて周辺建物の状況に応じた拠点建物の期待条件付供用確率を求め、感度解析により評価における諸条件が期待条件付供用確率に与える影響を検討し、重要度係数の割増が有効でない場合においても、拠点建物や周辺建物の限界状態の変更といった諸条件の緩和によって期待条件付供用確率が向上することを明らかにしている。さらに、重要度係数と期待条件付供用確率の関係を概観し、期待条件付供用確率を目標とした重要度係数の設定方法を提案している。

本章で構築した手法は、地震時における拠点建物の使用可能性を判断できるとともに、必要な使用可能性を実現するための耐震性能の設定を可能とするものである。

第5章は結論である。前章までの成果をまとめるとともに、本論文で提案した各手法を実用に供するための今後の課題を示している。

以上より、本論文は、建物群の地震リスク評価手法を用いることで、代替建物の配置検討、建物群への耐震投資検討、周辺建物の被災状況を勘案した拠点建物の耐震性能検討といった建物群の耐震計画策定上の課題解決を可能にしている。本論文の成果は建築計画、耐震計画、都市防災といった広範な分野に及び総合学術としての建築学の発展に寄与するところ大であり、博士（建築学）早稲田大学の学位に相応しいものであり、価値あるものと認める。

2023年7月

審査員

主査 早稲田大学創造理工学術院教授 博士（建築学）早稲田大学

早部 安弘 署名 _____

早稲田大学創造理工学術院教授 博士（工学）早稲田大学

前田 寿朗 署名 _____

早稲田大学創造理工学術院教授 博士（工学）東京大学

吉中 進 署名 _____

早稲田大学創造理工学術院教授 博士（工学）早稲田大学

高口 洋人 署名 _____