

氏名(本籍)	山崎 崇寛 (香川県)
専攻	安全システム建設工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第168号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当者
学位授与の年月日	令和4年9月30日
学位論文題目	地震発生直後におけるインフラ企業が有する事務所建物を対象とした被害推定手法に関する研究
論文審査委員	(主査) 宮本 慎宏 (副査) 吉田 秀典 (副査) 梶谷 義雄 (副査) 地元 孝輔

## 論文内容の要旨

四国地域では南海トラフ地震により、大きな揺れに伴うインフラ設備の被害が広範囲で想定されている。地震による被害を軽減するためには事前対策に加えて、地震発生後にインフラ設備の早期復旧を行い、ライフラインの安定供給を行うことが重要である。インフラ設備の早期復旧のためには、拠点となる事務所建物の迅速な被害推定が必要となるが、既往研究で提案されている被害推定手法を実建物に適用するためには課題が多い。

本研究では、早期復旧作業において重要な役割を担うインフラ企業の事務所建物に対して「層間変形角による被害推定手法」と「面的被害推定手法」といった2種類の被害推定手法の構築を目的とする。「層間変形角による被害推定手法」は、対象建物の構造特性を考慮し予め作成した被害推定指標と、建物各階に設置した加速度計の観測記録を用いて被害を推定する手法であり、対象建物の各階における被害を詳細に推定できる。「面的被害推定手法」は、予め作成した対象建物の被害関数と、観測記録から算定される地震動強さ指標を用いて被害を推定する手法であり、多数の建物の被害推定を簡易的に行える。インフラ企業の事務所建物の重要度や棟数を考慮し、棟数は少ないが復旧対応本部となりうる支店建物には「層間変形角による被害推定手法」、棟数が多くかつ復旧対応の現場拠点となりうる営業所建物には「面的被害推定手法」の適用を考える。本研究では、これらの被害推定手法を構築するために、「層間変形角による被害推定手法」では加速度計測システムの開発および精度良く被害を推定できる被害推定指標の算定方法の構築、「面的被害推定手法」では精度良く被害を推定できる被害関数に用いる地震動強さ指標の提案を行う。

「第1章 序論」では、インフラ企業における被害推定手法の現状、既往研究における被害推定手法の課題について整理し、本研究の目的と検討内容について示した。

「第2章 無線式加速度計測システムの開発」では、「層間変形角による被害推定手法」

で必要となる加速度計測システムとして、MEMS 加速度センサを用いた新たな無線式加速度計測システムを開発した。開発した無線式加速度計測システムについて、建物内における通信試験、センサ間の時刻同期精度実験、加速度計測精度実験、層間変形角の算定精度実験および実建物内での運用試験を実施することにより、実建物を対象とした層間変形角による被害推定手法に適用可能な加速度計測システムであることを確認した。

「第 3 章 層間変形角による被害推定指標の算定方法の構築」では、既往の部材損傷度評価手法を用いた層間変形角による被害推定指標の算定方法について検討した。まず、新耐震基準で設計された曲げ破壊先行型部材で構成されている実大試験体を対象に、「耐震性能残存率」と「部材塑性率」を用いて被害推定指標をそれぞれ算定した。続いて、加振実験ケースごとに算定した各被害推定指標による被害推定結果と実大試験体の実被害との対応を検証することにより、「部材塑性率」を用いた被害推定指標が実被害を精度よく推定できることを確認し、曲げ破壊先行型部材で構成された実建物における被害推定指標の算定方法を構築した。また、提案した被害推定指標と既往の被害推定指標の差異が被害推定結果に与える影響について検討した。

「第 4 章 面的被害推定に用いる地震動強さ指標の提案」では、被害関数の地震動強さ指標について、地震動のスペクトル特性の差異を反映した指標の算定方法について検討した。新耐震基準で設計された鉄筋コンクリート造建物群の被害予測モデルを対象に、スペクトル特性が異なる地震動に対する被害関数を算定し、スペクトル特性の差異が被害関数に与える影響を検討した。検討結果より、スペクトル特性の差異を反映できる平均加速度応答スペクトルの周期帯の算定方法を構築し、算定した平均加速度応答スペクトルを被害関数に用いる地震動強さ指標として提案した。また、3 章の検討で用いた実大試験体を対象に提案した地震動強さ指標を用いて被害関数を算定した結果、スペクトル特性の差異を反映できることが確認でき、実建物への適用性を確認した。

「第 5 章 総括」では、本研究の総括として得られた知見とインフラ企業における被害推定手法の構築における本研究成果の位置づけについてまとめた。本論文では、新耐震設計基準の曲げ破壊先行型部材で構成された実建物を対象として、「層間変形角による被害推定手法」における無線式加速度計測システムおよび建物の構造特性を考慮した被害推定指標の算定方法を構築した。また「面的被害推定手法」における被害関数に用いるスペクトル特性の差異を反映できる地震動強さ指標の算定方法を構築した。

## 審査結果の要旨

四国地域では南海トラフ地震により、大きな揺れに伴うインフラ設備の被害が広範囲で想定されている。地震による被害を軽減するためには事前対策に加えて、地震発生後にインフラ設備の早期復旧を行い、ライフラインの安定供給を行うことが重要である。インフラ設備の早期復旧のためには、拠点となる事務所建物の迅速な被害推定が必要となる。

本研究では、早期復旧作業において重要な役割を担うインフラ企業の事務所建物に対して「層間変形角による被害推定手法」と「面的被害推定手法」といった 2 種類の被害推定手法の構築を目的とする。「層間変形角による被害推定手法」は、対象建物の構造特性を考慮し予め作成した被害推定指標と、建物各階に設置した加速度計の観測記録を用いて被害を推定する手法であり、対象建物の各階における被害を詳細に推定できる。「面的被害推定手法」は、予め作成した対象建物の被害関数と、観測記録から算定される地震動強さ指標を用いて被害を推定する手法であり、多数の建物の被害推定を簡易的に行える。本研究では、これらの被害推定手法を構築するために、「層間変形角による被害推定手法」では加速度計測システムの開発および精度良く被害を推定できる被害推定指標の算定方法の構築、「面的被害推定手法」では精度良く被害を推定できる被害関数に用いる地震動強さ指標の提案を行う。

「第 1 章 序論」では、インフラ企業における被害推定手法の現状、既往研究における被害推定手法の課題について整理し、本研究の目的と検討内容について示した。

「第 2 章 無線式加速度計測システムの開発」では、「層間変形角による被害推定手法」で必要となる加速度計測システムとして、MEMS 加速度センサを用いた新たな無線式加速度計測システムを開発した。開発した無線式加速度計測システムについて、建物内における通信試験、センサ間の時刻同期精度実験、加速度計測精度実験、層間変形角の算定精度実験および実建物内での運用試験を実施することにより、実建物を対象とした層間変形角による被害推定手法に適用可能な加速度計測システムであることを確認した。

「第 3 章 層間変形角による被害推定指標の算定方法の構築」では、既往の部材損傷度評価手法を用いた層間変形角による被害推定指標の算定方法について検討した。まず、新耐震基準で設計された曲げ破壊先行型部材で構成されている実大試験体を対象に、「耐震性能残存率」と「部材塑性率」を用いて被害推定指標をそれぞれ算定した。続いて、加振実験ケースごとに算定した各被害推定指標による被害推定結果と実大試験体の実被害との対応を検証することにより、「部材塑性率」を用いた被害推定指標が実被害を精度よく推定できることを確認し、曲げ破壊先行型部材で構成された実建物における被害推定指標の算定方法を構築した。また、提案した被害推定指標と既往の被害推定指標の差異が被害推定結果に与える影響について検討した。

「第 4 章 面的被害推定に用いる地震動強さ指標の提案」では、被害関数の地震動強さ指標について、地震動のスペクトル特性の差異を反映した指標の算定方法について検討した。新耐震基準で設計された鉄筋コンクリート造建物群の被害予測モデルを対象に、スペクトル特性が異なる地震動に対する被害関数を算定し、スペクトル特性の差異が被害関数に与える影響を検討した。検討結果より、スペクトル特性の差異を反映できる平均加速度応答スペクトルの周期帯の算定方法を構築し、算定した平均加速度応答スペクトルを被害関数に用いる地震動強さ指標として提案した。また、3 章の検討で用いた実大試験体を対象に提案した地震動強さ指標を用いて被害関数を算定した結果、スペクトル特性の差異を反

映できることが確認でき、実建物への適用性を確認した。

「第 5 章 総括」では、本研究の総括として得られた知見とインフラ企業における被害推定手法の構築における本研究成果の位置づけについてまとめた。本論文では、新耐震設計基準の曲げ破壊先行型部材で構成された実建物を対象として、「層間変形角による被害推定手法」における無線式加速度計測システムおよび建物の構造特性を考慮した被害推定指標の算定方法を構築した。また「面的被害推定手法」における被害関数に用いるスペクトル特性の差異を反映できる地震動強さ指標の算定方法を構築した。

(在学中の学術論文審査)

審査申請者は、これまでインフラ企業が有する事務所建物を対象とした被害推定手法に関する研究を行っており、3編の学術論文(うち2編が筆頭著者)と1編の査読付き国際会議論文(筆頭著者)にまとめている。いずれも平成30年10月に社会人学生として本工学研究科博士後期課程への入学後の業績である。

以上の結果、当該審査に関わる本学位論文は香川大学大学院工学研究科博士後期課程修了の学位に相応しい内容と判断する。

## 最終試験結果の要旨

公聴会および最終試験(口述試験)を令和4年8月1日16:20より実施した。学位論文の内容に関する発表(約60分間)の後、質疑応答を約30分間行った。審査委員による質問に対し、審査申請者は全体的に正確に回答した。質問と回答の概要を以下に例示する。

・内陸型地震と海溝型地震に対する被害関数がほぼ一致する理由は何か?

回答: 等価卓越周期を指標として入力地震動を選定したが、結果的に建物の応答に大きな影響を及ぼす周期帯の加速度応答スペクトルの差異が小さくなったことが要因である。

・塑性率に基づく部材損傷度評価手法において、被災度区分を整数値で定めているが、この手法で問題ないのか?

回答: 既往の研究に基づいて設定しており、ある程度の幅はあるが実被害とも対応している。

・被害推定に用いる被害関数を1つにまとめる方がいい理由は何か?

回答: インフラ企業が有する建物は棟数が多いので、実際の運用を考慮すると一つにまとめる方が良い。

・被害関数は確率的な評価手法であるが、被害推定にどう生かすのか?

回答: 実際の運用では工学的判断を考慮して用いる。

・SwingMinderの観測記録から算定した変位はレーザー変位計と比較してどうか?

回答: 変形が小さい範囲はやや精度が悪いが、それ以外は概ね一致している。

・SwingMinderの観測記録から算定した変位の精度を実建物で検証したのか?

回答: 実建物では検証していないが、計測結果は妥当な値である。

公聴会終了後、審査委員による口述試験に移り、研究の背景、関連する専門知識および英語能力について、審査申請者の理解度を確認した（約 30 分間）。また、審査申請者は本研究の成果を踏まえた今後の研究展開についても明確なビジョンを持っていることを確認した。

以上の結果、当該審査に係わる本学位論文が香川大学大学院工学研究科博士後期課程修了の学位（博士（工学））に値するものであり、かつ審査申請者は、専門領域に関する十分な学識と研究能力を有するものと判断し、本最終試験の評価を合格とする。