

氏名	トクガ マサヒコ 徳永 真彦
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博 1 2 2 0 号
学位授与の日付	令和 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 建築学専攻
学位論文題目	中層鉄骨造建物の損傷度と変形角に基づく被災後の継続使用 評価に関する研究
審査委員	(主査) 教授 金尾 伊織 准教授 小島 紘太郎 教授 満田衛資 准教授 村本 真

## 論文内容の要旨

近年、東北地方太平洋沖地震や熊本地震をはじめ、建物に深刻な被害をもたらす大規模地震が多発し、東海地震や東南海・南海地震の発生も懸念されている。現行の耐震基準では、ある想定された地震力に対して倒壊しないことを求めており、建物が損傷しないことを保証するものではない。そのため、地震後、専門家である応急危険度判定士によって行われる「応急危険度判定」によって建物の使用可否が判定される。しかし、行政機関や病院などの災害拠点施設では、専門家の到着を待つ時間的余裕がなく、特に災害拠点病院では被災直後から医療活動を再開する必要があるため、専門家の到着までに、一般利用者が建物の使用可否を判断できることが望ましい。本論文では、専門知識を有しない一般利用者が建物の使用可否を判断する指標として残留変形に着目し、残留変形角と損傷度の関係について明らかにしている。

第 1 章では、本研究の背景および目的を述べ、研究対象とした医療施設の特徴についてまとめ、被災直後の迅速な安全確認が特に重要であることを示し、既往研究についてまとめている。

第 2 章では、現行耐震基準建物を対象に最大層間変形角、残留変形角、損傷度  $D$  の関係を明らかにし、これらの関係式を提案すると共に、その関係式に基づいた損傷度区分「安全」、「要注意」、「危険」、「崩壊」を判定する残留変形角による判定基準値として、「安全」1/197 未満、「要注意」1/197～1/121、「危険」1/121 以上を提案した。2 章で提案した判定値の方が、使用可否の判断において特に重要な「要注意」と「危険」の境界において、応急危険度判定による基準値よりも小さいことを示している。

第 3 章では、2 章で用いたデータからフラジリティ曲線を作成し、損傷確率から損傷度区分と変形角の関係を確率論的に整理している。目的に対応する損傷確率に基づいて、判定基準を設定できる可能性を示している。

第 4 章では、旧耐震基準建物を対象とした地震応答解析を行い、最大層間変形角、残留変形角、損傷度  $D$  の関係を明らかにし、これらの関係式を提案している。現行耐震基準建物と比較すると、旧耐震基準建物の部材断面が小さく剛性が低いため、残留変形角が大きくなることから、判定基準値が現行耐震基準建物よりも大きくなることを確認している。なお、旧耐震基準建物と現行耐震基準建物において、同じ損傷度区分、同じ損傷確率におけるベースシア係数は、旧耐震基準建

物の方が小さく、旧耐震基準建物の強度は低いことを説明している。

第5章では、現行耐震基準建物を比較し、旧耐震基準建物における「要注意」と「危険」の境界となる残留変形角は、現行耐震基準建物の約2倍も大きくなることを示し、耐震基準の違いを考慮した判定基準の必要性を示している。

第6章では、本研究で得られた結果について記載し、地震発生直後に専門家が到着するまでの間、一般利用者が残留変形角という簡易な指標を用いて建物の使用可否を判断できる可能性を示している。また、提案した安全性判定方法を特定の建物に適用することで、その建物固有の安全判定基準値を示すことができる。地震前にその判定基準値を示すことで、建物関係者が地震発生後に速やかに事業を再開できるシステムを構築できる可能性を示している。

## 論文審査の結果の要旨

近年、甚大な人的・経済的損害を与える大規模地震が多発し、早期復興の必要性が高まっている。そのような状況の中、行政機関や病院などの災害拠点施設は、速やかに事業を再開する必要がある。一般に、大地震発生後、余震による二次災害を防ぐために、資格を持つ応急危険度判定士による応急危険度判定が実施され、建物の継続使用の可否が判定される。しかし、災害時に専門家が到着するまでには数日かかるため、専門知識を有しない一般利用者が危険度を判断できることが望ましい。現行の応急危険度判定基準における残留変形角の判定基準値では、傾斜の生じている階より上の階が2階以上の場合、「危険」は $\delta/h > 1/50$  ( $\delta$ : 残留変形,  $h$ : 階高) と規定されているが、この基準値を再評価すれば、残留変形のみでの判断で、専門家が到着するまでの使用の可否を判定できる可能性があると考えられる。このような背景を受け、本論文では、一般利用者にも計測しやすい残留変形角に着目し、残留変形角のみから建物の使用可否を判断できる基準値の評価に取り組んでいる。

本研究では、まず、現行の耐震基準を満足する鉄骨造建物（6階建て2スパン・3スパン、3階建て2スパン）を対象に、気象庁等において震度6弱以上を記録した115地点の地震動を用いて地震応答解析を実施し、梁端部損傷度  $D$ 、最大層間変形角、残留変形角の関係を評価し、安全性および危険度判定基準に関する基礎的検討を行った。最大層間変形角、残留変形角、損傷度  $D$  の関係を明らかにし、最大層間変形角と損傷度  $D$  の関係を対数近似、最大層間変形角と残留変形角の関係を線形近似で近似し、それらの関係式を提案した。さらに既往の応急危険度判定基準や建物の崩壊余裕度評価との比較を行い、既存基準の妥当性と課題についても検討した。その結果、本論文では鉄骨造建物に対する新たな判定基準値として、「安全」1/197未満、「要注意」1/197～1/121、「危険」1/121以上を提案した。この判定基準値は、使用可否の判断において特に重要である「要注意」と「危険」の判定において、既存の応急危険度判定における基準よりも小さいことを示した。さらに、フラジリティ曲線を用いて損傷確率を評価し、損傷度区分と変形角の関係を確率論的に整理した。既存の判定基準値では、「要注意」と「危険」の境界では、「危険以上」の損傷確率が60%以上となることを確認し、損傷確率に応じた判定基準値を設定する方法を提示した。判定基準の目的に応じて損傷確率を調整し、判定基準を柔軟に設定できる可能性を示した。

続いて、旧耐震基準による鉄骨造建物（6階建て2スパン・3スパン、3階建て2スパン）を対

象として、同様の検討を行った。旧耐震基準建物では、設計用地震力が小さいため、部材断面が小さく、剛性が低くなる。そのため、現行基準の場合と比較して、大きな変形が生じやすいことから、大きな残留変形が発生することを示した。旧耐震基準建物においては、「安全」1/186未満、「要注意」1/186～1/87、「危険」1/87以上を提案し、新耐震基準建物よりも残留変形角の基準値が大きくなることを明らかにした。さらに、フラジリティ曲線を描くことで、それぞれの耐震基準において損傷が発生し始める地震力（ベースシア）の大きさが異なることを明示し、耐震基準が異なると、判定基準値もそれぞれ異なる基準値を設けるべきであることを示した。

以上より、本研究は、地震発生直後に専門家が到着するまでの間、一般利用者が残留変形などの簡易指標を用いて建物の使用可否を判断するための基礎的知見をまとめ、その可能性を示すことができた。また、提案した建物の安全性の判定方法は、特定の建物に適用してその建物固有の安全判定基準値を事前に示しておくことで、建物関係者が地震発生後に速やかに事業を再開できるシステムを構築できる可能性がある。

本論文は、審査を経た以下の2編の論文にその内容が発表されている。

- [1] 徳永真彦, 小島紘太郎, 金尾伊織: 被災後の継続使用評価のための中層鉄骨造建物の損傷度と残留変形角の関係, 日本建築学会構造系論文集, 第90巻, 第828号, pp.252-261, 2025.2 (2章)
- [2] 徳永真彦, 松林悠子, 小島紘太郎, 金尾伊織: 中層鉄骨造建物の損傷確率と層間変形角の関係に基づく損傷度判定に関する基礎的研究, 日本建築学会技術報告集, 第31巻, 第79号, pp.1361-1366, 2025.10 (3章)