

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 田尻 史郎

本研究では、地震動による柱脚の滑り量を考慮した最大応答変形性能を再現することを目的として、震動台実験に用いられた実大伝統構法木造住宅の試験体を対象とした時刻歴応答解析を DEM (個別要素法 : Distinct Element Method) で行い、実験結果の再現を試みた。そして、観測地震波による DEM と、本研究で提案する「柱脚滑り応答スペクトル法 C_{slip} 」の精度検証を、11 種類の建物モデルと巨大観測地震 5 波、及び 3 種類の動摩擦係数別の計 224 ケースによる DEM と比較検証した。さらに、復元力特性作成時の増分解析における、計算の演算時間と容量が膨大となる実務的ではない課題について、「定点変位固有変形モード法」を適用した C_{slip} を提案し、DEM と比較検証した。また、上部構造のみならず、柱脚滑り層の滑り量クリアランスを簡易に算出可能とする定式化を試みた。柱脚滑り応答スペクトル法を拡張させた提案手法「柱脚滑り応答スペクトル法 C_{base} 」について論じ、11 種類の建物モデルに適用した C_{base} の精度検証を、動摩擦係数別、巨大観測地震波による DEM と比較検証した。最後に、提案する C_{slip} のアスペクト比と摩擦係数による Rocking 効果を検証し、損傷制御設計可能な適用範囲を明らかにすることを目的とする。

1 章では、建築物に要求される性能として、地震動が 1G を超越するような巨大地震動レベル、繰返し地震動に対しても、損傷制御設計の概念が重要であることを示した。伝統構法で言えば石場建て構法に代表される「基礎を滑動」させる方法により、地震力を軽減させることが可能である。即ち、鉛直方向の柱脚の浮上り、水平方向の滑動による 3 次元動的安定挙動性を備えた基礎構造形式により、入力地震動には上限が生まれ、上限を超越する様々な周波数特性の巨大地震動から免れることの可能性を言及した。

2 章では、基礎と柱脚の緊結に関する既往の研究を示した。基礎と土台の緊結について、戦前は現在とは全く逆で、「基礎は固定すべきではない」というのが建築構造界の一致した見解であった。佐野利器や武藤清、真島健三郎をはじめ錚々たる構造学者が異口同音に提唱し、戦前期には、「木造建築の基礎と土台とは緊結すべからず」というのが、建築構造学界の共通認識であった。一方、実大震動台実験で、耐震的剛木造の極みともいえる 200 年住宅、長期優良住宅が激しく倒壊した。その理由を考えるうえでも『基礎と土台の緊結』問題は多くの教訓を与えてくれるため悉皆調査を整理した。

3 章では、個別要素法の概要を示した。実物大の木造建築を用いた大規模な震動台実験で実際の地震動による損傷程度を実験観測値として得る研究も最近行われるようになってきたが、非常に多くのコストと時間がかかるため、本研究で検証しようとする提案法の実験観測値を得ることは極めて不可能に近い。このような問題を解決する 1 つの大きな武器・ツールになるのが数値解析法である。ここに、DEM を用いて連

連続体から非連続体に至るまでの破壊現象のシミュレーションを行う意義が生まれる。本章では DEM に関する概要や解析理論、数値解析手法について概要を示した。

4 章では、柱脚滑り挙動を伴う上部構造の応答推定手法を提案した。地震動による柱脚の滑り量を考慮した最大応答変形性能を再現することを目的として、震動台実験に用いられた実大伝統構法木造住宅の試験体を対象とした時刻歴応答解析を DEM で行い、実験結果の再現を試みた。そして、観測地震波による DEM と、本研究で提案する C_{slip} の精度検証を比較した。柱脚別に摩擦係数が違う場合や、異なる復元力特性を有する建物モデルに対しても、各階の変形量は地震波によらず概ね近似値を示し汎用性を明らかにした。貫板壁構法は応答変形角が $1/60\text{rad}$ 以下であり、修復可能な損傷変形角である「損傷制御設計」を可能としている。提案する C_{slip} により、手計算レベルでも精度の高い応答値が得られ、実務レベルでも非常に有益であることを示した。

5 章では、柱脚滑り挙動を伴う基礎滑り量の推定手法を提案した。上部構造のみならず、柱脚滑り層の「滑り量クリアランス」を簡易に算出可能とする定式化を試みた。柱脚滑り応答スペクトル法を拡張させた提案手法 C_{base} について論じ、11 種類の建物モデルに適用した精度検証を、摩擦係数別、巨大観測地震波による DEM と比較した。 C_{base} 、不規則振動理論から導き出される剛体モデル簡易柱脚滑り量予測式の 2 手法を提案し、複数の巨大観測地震波による DEM と比較検証した。柱脚滑りクリアランス量として 1m を設計クライテリアとすれば、概ね過去の巨大地震動による DEM 解析結果も包含することを示した。

6 章では、本研究の結論について述べた。アスペクト比が高くなるとロッキング現象が顕著となるため、アスペクト比が 1.0 を超える木造建築に対し、提案する C_{slip} 、 C_{base} の精度検証を行う必要性が生じる。そのため、アスペクト比と摩擦係数による Rocking・Sway 効果を検証し、損傷制御設計可能な適用範囲を考察した。アスペクト比・摩擦係数をパラメータとし、各種巨大地震波に対する各種建物モデルの応答について、DEM による比較検証を行った。アスペクト比が 2.61 では摩擦係数が 0.3 以上から、アスペクト比が 1.79 では摩擦係数が 0.5 以上から、DEM ではロッキングにより生じる回転変形が顕著となり、回転変形を減じた層間変形と比較することにより提案手法の汎用性を示した。各種巨大地震波に対して、いずれも応答変形角が $1/60\text{rad}$ 以下の値を示し、本研究で提唱している『損傷制御設計』の実現可能性を示した。 C_{slip} および C_{base} を検討することで、動的解析を実施せずとも建物の滑り効果に伴う上部構造の応答と、柱脚滑り量が簡易に計算できることを明らかにし、従来には存在しなかった新しい実務的な手法であることを示した。柱脚滑り挙動を有し、せん断力係数 (C_{slip}) を向上可能な貫板壁構法等は、あらゆる極大地震動に対しても損傷を制御する強度型耐震構造のフェールセーフ設計が可能であり、極大地震動の特性や上限を本質的に気にしない、「損傷制御設計」の可能性を秘めていることを明らかにした。

以上、本研究は、地震動による柱脚の滑り量を考慮した最大応答変形性能を再現することを目的として、「定点変位固有変形モード法」を適用した C_{slip} を提案し、柱脚滑り層の滑り量クリアランスを簡易に算出可能とする定式化を試み、損傷制御設計可能な適用範囲を明らかにしたものとなっており、木造建築物の耐震設計分野に新たな知見を加えたものであり、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって審査員一同は、本論文が博士（農学）の学位論文として価値のあるものと認めた。