

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21031

研究課題名（和文）建物のさらなる超高層化・制振化に向けた高精度の簡易解析法の構築

研究課題名（英文）Development of Simplified Analysis Method for Super-Tall Buildings of Increasing Height and Use of Vibration Control Dampers

研究代表者

笠井 和彦（Kasai, Kazuhiko）

東京工業大学・科学技術創成研究院・特任教授

研究者番号：10293060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：超高層建物の各層の部材を集約して格段に少ない自由度で構造を表す簡易モデルは迅速に解析でき、実務にとって極めて重要である。様々な架構形式、非制振・制振の場合を包括する高精度の簡易モデル化法を構築した。対象は、ラーメン架構、ラーメン架構+コア、ラーメン架構+コア+アウトリガー、単純支持架構+コア+アウトリガー、およびそれらにダンパーをとり付けたものも含む。

研究成果の学術的意義や社会的意義

簡易モデル化の方法に関する研究論文は少なく検証も不十分な状態である。実務でよく用いられる武藤の簡易モデル化法は、全ての鉛直部材の軸力と軸変形に基づき曲げ変形を評価するもので本手法に較べ労力を要すること、構造部材別にモデル化の作業が異なるため煩雑であること、技術者の判断にゆだねる部分もあること、建物の各モード特性を必ずしも正確に再現しないことなどから、改善が必要である。本手法によりモデル化と構造解析が迅速かつ正確に行われるようになり、世界で着々と進む超高層化の実務および学問に重要な貢献ができる。

研究成果の概要（英文）：Simplified analytical model that significantly condenses degrees of freedom of super-tall building enables rapid computation, and is extremely important to practice. We have developed the modeling method for a variety of frame types with or without attachment of passive control dampers. The frame types considered are; moment frame alone, moment frame with core walls, moment frame with core wall and outrigger, simple frame with core wall and outrigger, and all these with dampers attached are considered.

研究分野：構造工学

キーワード：超高層建築 簡易解析法 制振 部材構成モデル 曲げせん断モデル 高次モード コア アウトリガ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2011年東日本大震災での東京の超高層建物群の揺れ、内閣官房による「国土強靱化基本計画」、国土交通省による大振幅地震動を考慮した検討の技術的助言、および機能継続ガイドラインなどから、今後の超高層建物に対する性能要求が高まっている。揺れを軽減するため日本では超高層建物の制振化は当然になったが、その設計法・解析法には、これまで申請者が扱った20層(80m)以下の建物という大多数のケースとは異なる視点が必要である。

すなわち、上層ほど制振ダンパーの効果が著しく減少する原因は、建物の曲げ変形によるせん断変形の減少、および上層ほど著しい各構面ごとの変形の違いにあると思われるが、まだ把握されていない。高精度の簡易解析モデル化には、これらの極力正確な再現が必須だが、20層を超える制振建物のモデル化に関し文献がない。また、非制振の超高層建物の分野でも国内外で文献が数少ない。

### 2. 研究の目的

地震国日本でも、約100層、高さ約400mの超高層建築が実現する日は近い。その設計では、柱、梁、壁など1万以上の構造部材と接合部を模擬して「部材構成モデル」を作成するが、地震などの揺れの動的(時刻歴)解析では、データが膨大となり時間がかかり過ぎるため、迅速に解析ができる「簡易モデル」が必要となる。地震後の被災度緊急判定のための解析や、都市全体の地震被害シミュレーションなどでも、超高層建物の簡易モデルは重要である。

過去に申請者は、高次までの振動モードを正確に再現する意味で世界初の簡易モデル化法を、架構形式が最も基本的かつ弾性の超高層建物について提案した。本研究は、その簡易モデル化法を様々な架構形式、弾性・弾塑性架構、非制振・制振の場合へと拡張するものである。国内外の実務で簡易モデル化がよく行われるが、その研究論文は少なく検証も不十分である。本研究はこの重要な分野に大きく貢献できると考えられる。

### 3. 研究の方法

簡易モデル化の方法に関する研究論文は少なく検証も不十分な状態である。実務でよく用いられる武藤の簡易モデル化法は、全ての鉛直部材の軸力と軸変形に基づき曲げ変形を評価するもので本手法に較べ労力を要すること、構造部材別にモデル化の作業が異なるため煩雑であること、技術者の判断にゆだねる部分もあること、建物の各モード特性を必ずしも正確に再現しないことなどから、改善が必要である。本手法で用いる曲げ・せん断モデル自体は、武藤のモデルほか従来からのモデルと同様であるが、その設定方法は独自のもので、力学特性も異なるものである。即ち、断面保持を仮定する曲げ・せん断モデルの全体変形モードが、複数のスパンからなり、シアラグ効果、コアとラーメン架構の相互干渉などから断面保持が起こらない部材構成モデルの全体変形モードを正確に模擬することが必要であり、本研究ではそのための設定方法を開発した。層の曲げ・せん断変形に対する各構面変形の関係を様々な架構形式について明らかにした。また、その応用として、同じ制振ダンパーをどの構面に配置するかで制振効果が異なる点を、簡易モデルに反映させることで、ダンパーの効果を再現できる曲げせん断モデルを提案した。ダンパーが取付く構面の変形に対するダンパー変形を評価する必要があるが、それには申請者が過去に提案した状態N/R法を用いた。また、既往の曲げせん断モデル化法では、部材構成モデルの静的弾塑性解析から得る全体変形の塑性成分を、全てせん断部分で模擬するのが典型である。これは、柱は曲げを軸力と同時に受けるため柱端部で塑性化し、よって柱全体の軸変形ひいては架構全体の曲げ挙動の非線形性は著しくないのであると推測できるが、詳しい文献は見当たらない。

この点を、本提案手法の弾塑性領域への拡張のため検討中である。米国で進められた非線形モード解析の研究からは、建物の塑性化で1次モードは変化するが2次、3次モードは弾性時とほぼ同等という見解が出ている。申請者の曲げせん断モデル化法は、既往手法と異なり高精度でモードを再現するため、これらについても緻密かつ包括的な検証を行う。

### 4. 研究成果

超高層建物の設計では、柱、梁、壁など1万以上の構造部材と接合部を模擬して「部材構成モデル」を作成するが、地震などの揺れの動的(時刻歴)解析では、データが膨大となり時間がかかり過ぎる。特に設計の概要を決める大切な初期段階では、むしろ各層の部材を集約して迅速に解析ができる「簡易モデル」が重要である。

本研究では、高次までの振動モードを正確に再現する意味で世界初の簡易モデル化法を、架構形式が最も基本的かつ弾性の超高層建物について提案し、その顕著な拡張として、様々な架構形式、架構が弾性・弾塑性の場合、非制振・制振の場合を包括する高精度の簡易モデル化法を構築している。断面保持を仮定する曲げ・せん断モデルの全体変形モードが、複数のスパンからなり、シアラグ効果、コアとラーメン架構の相互干渉などが複雑に影響する部材構成モデルに対し、その全体変形モードを単純な断面保持型に理想化した曲げ・せん断モデルで模擬する方法を開発

した。

査読付論文、大会論文も順調に発表している。また、これまでは構造システムとしてラーメン架構、ラーメン架構+コア、ラーメン架構+コア+アウトリガーを考慮していたが、欧米の超高層建物に多い、単純支持架構+コア+アウトリガーのシステムを追加した。これら様々な構造にダンパーをとり付けた場合の制振効果も検討し、かつ、それぞれの簡易モデル化も終えた。少なくとも2編の査読論文として投稿する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 渡井一樹, 前田周作, 笠井和彦, 佐藤大樹, 鈴木庸介	4. 巻 86
2. 論文標題 建築物のさらなる超高層化に向けた等価質点モデル化手法 (その2): 新たな曲げせん断モデルを用いた建物応答の曲げ・せん断分離手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.86.21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 K. Kasai, K. Watai, S. Maeda, D. Sato, Y. Suzuki
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF BENDING-SHEAR MODEL FOR SIMPLIFIED ANALYSIS OF SUPER-TALL BUILDINGS
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE (国際学会)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 K. Watai, K. Kasai, S. Maeda, D. Sato, Y. Suzuki
2. 発表標題 APPLICATION OF NEW BENDING-SHEAR MODEL FOR SIMPLIFIED ANALYSIS OF VARIOUS SUPER-TALL BUILDINGS
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE (国際学会)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 前田周作, 渡井一樹, 笠井和彦, 佐藤大樹, 鈴木庸介, 飯野夏輝
2. 発表標題 鋼材・粘性ダンパー混在型のパッシブ制振設計法 その1 等価1質点系の性能曲線
3. 学会等名 日本建築学会2020大会論文梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡井一樹、前田周作、笠井和彦、佐藤大樹、鈴木庸介、飯野夏輝
2. 発表標題 鋼材・粘性ダンパー混在型のパッシブ制振設計法 その2 多質点系へのダンパー分配方法と設計精度の検証
3. 学会等名 日本建築学会2020大会論文梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関