

京都大学	博士（工学）	氏名	村瀬 充
論文題目	建物連結用慣性質量ダンパーの入力エネルギー解析とクリギングを用いたロバスト最適設計		

建築構造物の制振機構の一つの形式として、固有周期等の振動特性の異なる複数棟の建物をダンパーやばねで連結する連結制振構造がある。本論文では、相対的に質量の大きい主構造と、質量の小さい副構造を慣性質量ダンパー（Inertial Mass Damper、以下、IMD）とオイルダンパーなどの減衰要素で連結した連結制振構造を対象とし、固有値解析、伝達関数解析、入力エネルギー解析、時刻歴応答解析等を用いて応答低減効果を解明している。また、クリギングを用いた独自の応答曲面近似手法を提案して、建物物性のばらつきに対するロバスト性を考慮したロバスト最適設計法を展開している。以下に論文内容の概要を示す。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた後に、既往の研究の調査を行い、本研究との関係について論じている。さらに、本論文の構成と概要を示している。

第2章では、本論文で想定する IMD の構成を示したうえで、主構造・副構造をそれぞれ1質点に置換した単純モデルを用いて、IMD 連結制振の基本特性について解析的に示している。また、エネルギー伝達関数を用いた入力エネルギー解析手法を示し、パルス性地震動と長周期地震動を模擬したダブルインパルスおよびマルチインパルスにおけるインパルス間隔（入力地震動周期の1/2に対応）に対して求められる入力エネルギーの最大値を最小化するダンパー量を最適ダンパー量と定義している。入力エネルギー解析を行い、最適ダンパー量は、従来の定点理論の最適ダンパー量に比べて、パルス性地震動や長周期地震動の応答低減に効果的であることを示している。また、記録地震動を用いた時刻歴応答解析により、入力エネルギー解析による最適ダンパー量の妥当性を示している。

第3章では、第2章の内容を、主構造・副構造のそれぞれを多質点とした連結モデルに拡張している。ここでは、副構造の層数について3ケースの解析モデルを使用し、副構造の最上層において主構造と単層連結した場合を想定している。第2章で用いた単純モデルと同様、入力エネルギー解析による最適ダンパー量は定点理論の最適ダンパー量に比べ、パルス性地震動や長周期地震動の応答低減に効果的であることを明らかにしている。従来の定点理論は、2つの1質点モデルを連結したモデルのみに適用可能であるのに対して、提案する入力エネルギー解析による方法では多質点系に対しても適用可能であることを明らかにしている。同時に、構造減衰を考慮した場合にも適用できることを示している。さらに、第2章と同様に、記録地震動を用いた時刻歴応答解析により、入力エネルギー解析による最適ダンパー量の妥当性を示している。

第4章では、第3章で用いた3ケースの解析モデルを使用し、複数層連結の場合を対象としている。さらに、幅広い周期帯の地震動に対する入力エネルギーの低減効果を期待して、入力エネルギーのダブルインパルス間隔に対する面積を最小化する連結ダンパー最適設計手法を提案し、従来の時刻歴応答解析結果を用いた方法や伝達関数を最小化する最適設計手法と比べて、地震動タイプのばらつきに対してロバストな設計が得られることを示している。また、これまでの検討では、主構造・副構造を弾性モデルとして解析を実施しているが、主構造を鉄筋コンクリート造集合住宅と想定し、主構造の材料非線形性を考慮した場合の検証を行っている。主構造の方が副構造より層数が多い場合、鞭振り現象により、連結前に比べ突出部の変形が増大する恐れがあることが予想される。そこで、入力エネルギーのダブルインパルス間隔に対する面積を最小化する提案手法に、地震時層

京都大学	博士 (工学)	氏名	村瀬 充
<p>間変形応答の制約条件を加えることで上記の問題が改善できることを示している。</p> <p>第5章では、種々のばらつきに対してロバストな設計手法を展開するため、新しい確率的ロバスト性評価手法を提案している。確率的評価手法は信頼性設計に基づくものであり、ばらつき量の確率分布に対し応答のクライテリア満足率を算出する。提案手法は、応答関数の平均値から破壊点までの距離を表す信頼性指標 <math>\beta</math> を評価パラメータとするレベル2信頼性設計法とは異なり、応答関数が複雑な形状となる場合でも適用可能な破壊確率を直接評価パラメータとするレベル3信頼性設計法を採用している。レベル3信頼性設計法を確率的ロバスト最適設計法として採用するためには計算負荷の低減が重要となるため、クリギングを用いた応答曲面法で計算効率を高めている。本章では、2種類のベンチマーク関数を用いて提案手法の計算精度を確認するとともに、既存の手法に比べ計算負荷が小さいことを示している。</p> <p>第6章では、慣性質量ダンパーを用いた連結制振建物において、第5章で提案したクリギングを用いた独自の高精度で高効率な応答曲面近似手法により、建物物性のばらつきを考慮した連結ダンパー諸元の信頼性最適設計を行っている。建物物性のばらつきを考慮せずにノミナル応答値を最小化する連結ダンパーの最適解に比べ、建物物性のばらつきを考慮して応答値のクライテリアを満足する確率を最大化する連結ダンパーの最適解は、ロバスト性やコストの観点から優れていることを示している。また、確率的ロバスト最適化では性能（クライテリアを満足する確率）とコストのトレードオフ関係が明示できるため、従来の非確率的ロバスト最適化により得られる最適解を含む幅広い最適解群の中から設計目的に合致した解を選択するのに有効であることを示している。</p> <p>第7章では、論文全体の結論をまとめている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

建築構造物の制振機構の一つの形式として、振動特性の異なる複数棟の建物をダンパーやばねで連結する連結制振構造がある。本論文は、相対的に質量の大きい主構造と、質量の小さい副構造を慣性質量ダンパー（以下、IMD）やオイルダンパーなどの減衰要素で連結した連結制振構造を対象とし、固有値解析、伝達関数解析、入力エネルギー解析、時刻歴応答解析等を用いて基本特性、応答低減効果およびロバスト性を解明したものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. IMDによる連結を用いて、副構造の振動を主構造に同調させる連結 IMD の最適ダンパー量を導出した。従来のオイルダンパーを用いた連結制振では、ダンパーの設置で操作できない周波数伝達関数の定点が応答低減の妨げになっていたが、IMD を用いて連結することで定点の高さを下げることが可能であることを明らかにした。
2. エネルギーを用いた最適連結 IMD 量の導出手法を多質点連結モデルに拡張した。エネルギーを用いた手法は、対象建物の全層の応答に着目することができるため、特に低層部で連結した突出部を有する主構造に対して有効であることを明らかにした。また、連結 IMD はパルス性地震動の最大層間変位応答の低減効果は小さいが、後揺れ低減効果は大きいことを明らかにした。
3. 断層近傍地震動を模擬したダブルインパルスによる入力エネルギーに着目し、インパルス間隔に対して定義した入力エネルギーの面積を最小化する設計手法を提案した。これは、入力地震動の卓越周期の不確実性に対するロバスト性の評価を行うことに相当している。インパルス間隔に対する無次元化入力エネルギーの面積が小さくなるように設計すると、最大応答以後の後揺れ応答の低減に効果的であることを明らかにした。
4. 建物の性能ばらつきを表現するために用いられるクライテリア満足率を指標としたロバスト最適設計手法は、信頼性最適設計に分類される。従来の信頼性指標に基づく手法は、複雑な性能関数への適用が困難であることや、確率照査において計算負荷が大きいなどの困難点を有する。本論文では、クリギングを用いた独自の高精度高効率応答曲面近似手法を提案し、従来の非確率的ロバスト最適化により得られる最適解を含む幅広い最適解群の中から設計目的に合致した解を選択するために、その方法が有効であることを明らかにした。

以上の内容を要約すると、本論文は、振動特性の異なる2棟の建物を慣性質量ダンパーやオイルダンパーなどの減衰要素で連結する連結制振構造を対象として、ダンパーの最適なパラメータ値やロバスト性を解明するための独自の方法を提案したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年12月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。