

審査の結果の要旨

氏名 福田 隆介

本論文は、エネルギー回生機構をもつセミアクティブオイルダンパを考案し、その振動制御能力を理論的に解明するとともに、実大装置を試作して動作原理や力学モデルの妥当性を確認し、さらに耐震設計上の有効性を明らかにしたものである。本論文は6章から成り、本文を補足する6つの付録A~Fから構成されている。

1章では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成について示してある。Maxwell モデルで表現される通常のオイルダンパの有効性と限界について述べ、その性能をさらに向上させる方法として、エネルギー回生技術を導入したセミアクティブ型オイルダンパのアイデアを提案している。

2章では、本論文で提案するエネルギー回生型オイルダンパの比較対象となる減衰係数固定型オイルダンパと減衰係数可変型オイルダンパについて、その機構と特性について整理している。前者は減衰係数を一定としたオイルダンパで、一般的に普及しているものである。後者は、その改良型で、Maxwell モデルの剛性条件下でエネルギー吸収効率を最大化する ON/OFF 制御機能をもつオイルダンパである。

3章では、本論文で提案するエネルギー回生機構を備えた高性能オイルダンパの振動制御能力について論じている。エネルギー回生機構は回生タンクと制御弁から構成される。オイルダンパの力学モデルは、減衰係数可変型 Maxwell モデルと直列にエネルギー回生機構を表す減衰係数可変型 Voigt モデルが接続した 4 要素モデルで表されることを示している。振動エネルギーの回収と再利用というエネルギー回生の動作プロセス、及びエネルギー吸収効率に与える装置部剛性（ブレース剛性とシリンダ内封油剛性の直列和）に対する回生タンク内封油の剛性の比の影響を力学モデルによる理論的検討により明らかにしている。さらに、1 質点系に設置されたエネルギー回生型オイルダンパの振動制御能力が、荷重制限がある場合を含め、「見かけ上の装置部剛性の向上」として統一的に解釈できることを明らかにしている。

4章では、エネルギー回生の原理を具現化した実システムについて論じている。

試作したシステムは、エネルギー回生機構の制御方式としてセミアクティブ方式を採用している。ダンパ本体や制御系の構成部品は、実用化されてから15年以上経過するオイルダンパと共通とすることにより信頼性を確保し、内蔵センサの情報のみを用いた自律分散型制御方式を採用することにより、実建物における施工性やロバスト性を向上させている。さらに、制御系の異常に備える多重の監視機能を設け、異常時にはパッシブ型の従来切替型オイルダンパと同等の油圧回路に切り替わるフェイルセーフ機構を内蔵していることが示されている。実大試作装置を用いた動的加力実験を実施し、エネルギー回生機構が計画どおり適切に動作し、理論的に予測されたエネルギー吸収効率を実際に発揮することを確認している。4要素モデルを用いたシミュレーション結果は、エネルギー回生に伴う圧力移動の様子を含めて、実験結果と非常によく一致しており、提案した力学モデル及び数値解析手法が実現象を適切に追跡できることを明らかにしている。

5章では、エネルギー回生型オイルダンパを多層建物に適用した場合の応答低減効果と付加減衰定数について考察している。実際の装置特性を反映した数値解析モデルを用いた時刻歴応答解析により、代表的な既存の制震装置と比較して、エネルギー回生型オイルダンパがより高い応答低減効果と減衰付加能力を発揮することを示している。また、エネルギー回生型オイルダンパの付加減衰定数推定式の有効性を多層建物に対して検討した結果、1次モードが支配的な自由振動だけでなく、高次モードを含む地震応答に対しても有効であることを明らかにしている。

6章では、論文全体のまとめと今後の課題が示されている。

付録Aは等価線形剛性の定式化、付録Bは制御弁開閉順序に関する検討結果、付録Cはエネルギー回生型オイルダンパのリリーフ機構作動時のエネルギー吸収量の定式化、付録Dは実システムにおける最大減衰係数の同定方法、付録Eは3章の根拠となった地震応答解析の全結果、付録Fは5章の多層建物の地震応答解析の全結果とともに、同調式回転慣性質量ダンパを用いた場合の結果を掲載している。

以上のように、本論文はエネルギー回生機構を導入することにより、Maxwellモデルで表現される従来のオイルダンパの限界効率をさらに上回るエネルギー吸収効率を発揮する簡潔で信頼性の高い制震システムが実用化できることを明らかにしている。本論文で提案されたエネルギー回生機構はこれまでのオイルダンパの限界をブレイクスルーする画期的な技術であり今後の発展も期待できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。