

内 98-17

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

弾塑性建築物へのアクティブ・パッシブ併用  
制振システムの適用に関する研究

申請者

岩田範生  
Norio Iwata

建設工学専攻 建築構造研究

1998年11月  
(西暦)

本研究では、風や小地震に起因する日常的な揺れを低減することによって居住性や収容物の安全性を確保することと、大地震時の揺れを適切に制御することによって構造本体と居住者・収容物の安全を確保することを併せて建築物に対する総合的な耐震安全性の確保と位置づけ、この総合的な耐震安全性を特に弾塑性挙動を示す建築構造物に対して確保することを目的として、アクティブ制振装置とパッシブ制振装置を併用した新しい制振構造システムに関する検討を行ったものである。

本研究の背景として、大地震時の振動低減に対する制振装置の適用の重要性が認識されるに至った一方で、外乱や建築物の特性によらず優れた制振効果が得られる理想的な制振装置がいまだ存在しないことが挙げられる。例えばアクティブ制振装置では制御装置への供給エネルギー量やアクチュエーターのストローク長の制限などが大地震への対応を困難としている。また各種ダンパーを用いたパッシブ制振手法では基本的に同装置を建築物全層へ設置する事が必要となるため、建築計画上の問題から十分な量のダンパーを設置できない場合が考えられる。このように、各種制振装置にはそれぞれに弱点が存在するため、制振装置の使用による耐震安全性能の向上を意図した新しい耐震設計手法の実現を目指すには、異なる種類の制振装置を併用することによって相互の弱点を排除しつつ、それぞれの利点を活かし、目的とする耐震性能を得る新しい制振システムを構築することが必要と考える。

本研究では以上のような背景をもとに、強風や小地震に起因する日常的な小振動に対する居住性の改善から大地震時の耐震安全性の確保までを対象として総合的に耐震安全性を達成するために、アクティブ制振装置とパッシブ制振装置を併用して構成するいわゆるハイブリッド型の制振システムを提案し、その有効性の検討を行うものとする。同目的を達成するためのシステムとして、本論文では対象とする建築物の規模や条件の違いに応じた2つの制振システムを提案し、それぞれについてその有効性の検討を行うものとする。1)1つめのシステムとして、粘弹性ダンパーと加速度フィードバック同調質量ダンパーを併用した制振構造システムを提案し、その有効性の検討を行う。2)2つめのシステムとして、建築物の最下層をソフトストーリーとする設計手法と、切替式スライディングモード制御に基づくアクティブ/セミアクティブ制振システムを併用した制振構造システムを提案し、その有効性の検討を行う。3)提案した2つの制振構造システムそれぞれについてアクティブ制振装置の消費エネルギーの検討を別途加えることにより、制振システム装置をハイブリッド化する事の利点を明らかにする。以上3点を本研究の目的としている。

本論文は全5章より構成される。第1章は序論である。第2章、第3章は対象とする建築物の規模や特性に応じたハイブリッド制振システムの提案であり、目的の1)、2)に対応する。第3章は提案した制振システムにおける消費エネルギーに関する検討であり、目的の3)に対応する。最後の5章には本研究を通しての結論を載せた。以下、

各章の要約を記す。

第1章では、研究の背景と目的、および既往の研究の概要を述べる。なお研究の背景および目的に関しては上述の通りである。本研究に関連する既往の研究に関しては、アクティブ制振手法を特に弾塑性建築物へ適用した検討を、1)線形制御則を非線型・弾塑性系に拡張したもの、2)非線型制御則を使用したもの、2つに分類して述べた。

第2章では、構造物に対する総合的な耐震安全性を確保するための制振構造システムの1つとして、粘弹性ダンパーと加速度フィードバック同調質量ダンパーを併用した弾塑性構造用制振システムを提案し、その有効性の検討を行っている。始めに本システムの提案に至るまでの背景及び必要性について説明を行っている。次いで、主構造物に減衰が存在する場合の絶対加速度フィードバック同調質量ダンパーの最適パラメーターを導入してその精度の検証を行い、得られた最適解がほぼ満足できる精度を有すること、および提案した制振システムが弾塑性振動の制御に対して優れたロバスト性を有することを数値解析により示した。これらの結果を受け、2種類の解析モデルを対象として求めた最適パラメーターに基づく提案システムの有効性の検討を地震応答解析により行っている。その結果、提案した制振システムの使用によればアクチュエーターのストロークや最大制御力を過大にすることなく大地震時の弾塑性建築物の振動制御が可能となり、また同時に小入力に対しても優れた制振効果が得られることを確認した。

第3章では、総合的な耐震安全性を達成できる他の構造システムの1つとして、最下層をソフトストーリーとする建築物にアクティブ/セミアクティブ制振手法を併用した制振構造システムを提案し、その有効性の検討を行っている。はじめに本システムの提案に至るまでの背景と必要性について述べている。次いで、提案システムに対して要求する耐震安全性を満足するための切替式スライディングモード制御則の設計手順について述べている。すなわち大地震時における優れた加速度抑制効果を確保しつつ小入力時における1層部分の変位抑制効果を改善することを意図した、スライディングモード制御則の切替面を入力レベルに応じてシフトさせる手法の導出を行っている。続いて、導出したスライディングモード制御則とソフトストーリーを併用したシステムの有効性を検討するため、特に制御装置としてアクチュエーターを使用したアクティブ制御時、及び可変減衰装置を使用したセミアクティブ制御時の2つの場合を対象として、5層せん断モデルを用いた地震応答解析を行っている。これらの一連の数値解析により、スライディングモード制御則の切替面を入力レベルに応じてシフトさせることにより加速度応答の抑制効果を大きく阻害することなく特に小入力時の1層部分の変位抑制効果を改善する事が可能となることを示した。また制御装置として可変減衰装置を用いたセミアクティブ制振システムではアクティブ制振システムほどの制振効果は得られないものの、大地震時の加速度応答を内部収容物の移動、転倒が起こらないレベルに抑制しつつ、ソフトストーリーの変形を低減する事が

可能となることも併せて示した。最後に本章で提案したハイブリッド制振システムのエネルギー吸収能力に関する検討を行い、本章で提案したアクティブ、セミアクティブ制御手法では地震入力エネルギーを大幅に増大させることなく構造物上層へのエネルギー伝播を安定して抑制することが可能となることを示した。

第4章では2章、3章で提案したハイブリッド制振システムにおけるアクティブ制振装置のエネルギー消費に関する検討を通じて、アクティブ制振装置とパッシブ制振装置を併用してハイブリッド化する事の優位性の検討を行った。始めにアクティブ制振装置の消費エネルギーに関する考察を行うことの必要性を簡潔に述べた。次いで2章で提案した粘弹性ダンパーと加速度フィードバック同調質量ダンパーを併用したハイブリッド制振システムについてアクティブ制振装置の消費エネルギーに関する検討を行い、アクティブ制振装置とパッシブ制振装置を併用することの利点をエネルギーの面から検討を行っている。最後に3章で提案したソフトファーストストーリーとアクティブ制振装置を併用したハイブリッド制振システムについて同様の消費エネルギーに関する検討を行っている。これら一連の検討により、アクティブ制振装置単体の使用と比較してパッシブ制振装置を併用した場合には装置の消費エネルギーを大幅に低減できることを示した。しかしながら兵庫県南部地震クラスの大地震を対象とした場合には提案したハイブリッド制振システムによってもその消費エネルギーがやはり過大となるため、これを解決する方法として、可変減衰装置などのセミアクティブ制振装置を弾塑性建築物の振動制御に積極的に適用していくことの重要性を論じた。

第5章には、第2章～第4章で得られた結論を要約して述べた。