

氏名	やま だ かず ひこ 山 田 和 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第3497号
学位授与の日付	平成12年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Aseismic Structural Control Theories incorporating Nonlinear Effects and Excitation Influence 非線形効果及び外乱の影響を考慮した構造物の制震理論

論文調査委員 (主査) 教授 上谷宏二 教授 河野允宏 教授 鈴木祥之

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、構造物に制御装置を組み込んで地震時応答の低減をはかる制震技術において、制御則に非線形特性を取り入れることと、非定常かつ不確実な性質を持つ地震外乱の影響を考慮に入れることによって効果的な制御を可能ならしめる制御則に関する理論を提示したものであり、10章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、課題、目的、基本方針を述べ、本論文の内容の概要を示している。

第2章では、制御装置を備えた構造物の地震時応答の基礎式を提示し、外乱をホワイトノイズと仮定した場合の線形最適制御則などの線形フィードバック制御則では、個別の地震外乱の効果を反映させることが不可能であることを明示している。その上で、外乱の効果を取り入れるには、状態方程式モデルの設定などにより、微小時間後の地震動を近似予測することが不可欠であり、この予測結果を用いれば、制御力を加える方式の制御装置や可変要素を用いた制御装置に対して、付加減衰、慣性力の反作用、及び、非共振化の効果を利用したフィードフォード型制御則が誘導できることを示している。また、種々の非線形制御則に対する安定化のための十分条件を誘導し、制御装置が取り付け位置の状態量をフィードバックする場合には安定化条件を容易に満たし得ることを明らかにしている。

第3章では、地震動の自己回帰モデルを作成することにより、計測から得られる加速度情報を用いて微小時間後の地動加速度を逐次予測する方法を提案し、同定時刻とモデル次数を適切に設定すれば0.05秒後の加速度情報を十分な精度で予測できることを実証している。

第4章では、種々の単純な非線形速度フィードバック則に従って制御される1自由度系モデルに対し、その応答の基本特性を明らかにすると共に、制御効果を等価減衰として評価する方法を示している。

第5章では、制御力の動特性を単純な非線形項を含む微分方程式で与えることにより、制御力と変形の関係が平行四辺形状の履歴曲線を描くような制御則を提案し、これを非線形マクスウェル型制御力と名付けている。この制御力は、小変形領域では構造物の動きに即時反応するばね要素のような働きをなし、変形が大きくなるに連れて減衰要素のように振動エネルギーの逸散効果を示すことを数値実験を通して明らかにしている。

第6章では、可変減衰装置を剛性要素を介して取付けた構造物について、その減衰係数の変化速度または増分を定める非線形制御則を提案している。可変減衰装置の制御による電力負荷は小さいが、第5章で示された制御力を加える方式と同程度の優れた制御効果が実現できることを示している。

第7章では、制御力を加える方式の制震装置に対し、第3章で提示した地震外乱の状態方程式モデルを用い、第2章で提示した方法に従って付加減衰、慣性力の反作用および非共振化の効果を呈するフィードフォード型制御則を定式化している。

第8章では、オン・オフで切替えられる複数の可変剛性装置を備えた構造物に対し、第3章の方法を用いて推定される地震外乱の下での応答を最小化するオン・オフ信号の組み合わせを求める制御則を提案し、その非共振化作用によって効果的

に応答が低減されることを数値実験により確認している。

第9章では、剛性要素を介して可変減衰装置を取付けた構造物に対し、第3章の方法を用いて推定される地震外乱下での応答の最適制御問題を設定し、最適解の1次近似解に基づいて装置の減衰係数を決定するフィードフォード型制御則を提案している。その結果、第6章の制御則と同等以上の大きな低減効果が得られることを示している。

第10章では、本研究の成果を総括し、今後の課題を指摘している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、構造物の地震時応答を制御装置を用いて低減せしめる制震技術において、制御則の非線形性と地震外乱の影響を積極的に取り込むことによって効果的な応答低減をはかることができる制御理論を展開したものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1) 線形フィードバック制御則では個別の地震外乱の効果を反映させられないことを証明し、この効果を取り入れるためには、状態方程式モデルの設定などの方法によって微小時間後の地震動を近似予測することが不可欠であることを明らかにした。

2) 可変装置による制御や、制御装置の容量を考慮する場合には、非線形制御則が有効であることを明示し、種々のタイプの非線形制御則に対し、安定化のための十分条件を誘導した。

3) 制御力の特性を単純な非線形項を含んだ微分方程式によって定義し、敏速な反応と顕著なエネルギー逸散効果を持つ平行四辺形状の履歴曲線を示すことを特徴とする制御則を提案した。さらに、この制御則と同程度の効果を実現できる非線形制御則を可変減衰要素を用いた制御系に対して提案した。

4) 逐次計測される加速度情報をもとに微小時間後の地動加速度を自己回帰モデルを用いて近似予測する方法を提案した。

5) 上記4)の成果に基づいて、微小時間後の地震動に対処できるフィードフォード型の制御則を、制御力を加える方式の装置、オン・オフ切替式の可変剛性装置、付随剛性要素を伴う可変減衰装置に対してそれぞれ提案し、それらの有効性を数値実験によって実証した。

以上要するに本論文は、制御則に非線形効果を導入することと、地震動の微小時間後の予測情報を取り入れることによって、構造物の地震時応答を効果的に低減し得る制御則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があるものと認める。また、平成12年1月24日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。