

京都大学	博士（工学）	氏名	樋口 匡輝
論文題目	応答加速度と応答変位のバランスを考慮した最適擬似負剛性震動制御に関する研究		
(論文内容の要旨)			
本論文は、土木構造物の動的応答のアクティブ・セミアクティブ制御の問題において、応答加速度と応答変位のバランスを考慮することにより、構造物の底面反力を増大させない範囲において最大の制御効果を発揮できる最適擬似負剛性制御の概念とそれに基づく制御パラメータ設定法を提案するとともに、各種の構造モデルおよび動的外力を対象とした数値計算および実験によりその有効性および妥当性を検証したものであり、6章からなっている。 第1章は、序論である。構造物に対するセミアクティブ制御の研究の展開の概観と既往の研究を述べた上で、その中で発展してきた手法の一つとして位置付けられる擬似負剛性制御の利点を挙げる一方で、この手法において、最大荷重などのダンパーへの要求能力が、単純化された制御目標を前提として土木構造物への適用を想定した場合は極めて大きなものになるため、要求性能の問題はダンパーの発揮性能を勘案して制御パラメータを設定することで扱われてきており、その際の理論的根拠の明確さが不足していたことについて論じている。このような背景に基づき、擬似負剛性制御においてダンパー能力や構造物側の制約を明確に考慮に入れた上で制御パラメータを設定する方法が、従来明らかにされていなかったという極めて重大な問題点を指摘している。本論文においてはこの問題点の解決を目的として、ダンパーに構造物の応答加速度と応答変位のバランスを基準とした荷重特性を与える方法論に着目し、その理論的展開を行うとともに、各種の構造モデルおよび動的外力を対象とした数値計算および動的試験装置を用いた実験によりその妥当性を検討することを説明した上で、論文の構成について述べている。 第2章は、まず擬似負剛性制御の理論的基礎となる負剛性制御における制御パラメータ設定法について論じたものである。構造物に生じる絶対加速度－変位関係に基づき、負剛性制御が構造物の絶対加速度応答の低減に効果的となる理論的根拠、およびスカイフック制御との比較に基づき制御効果の評価および設定を行う考え方について述べた後、負剛性制御の負剛性パラメータと粘性減衰パラメータの間に関係が存在することと、その理論的意味について論じている。さらに、この考え方を自由度数が複数の場合に適用した場合の有効性についても、数値計算を通じて検討している。 第3章は、擬似負剛性制御における制御パラメータ設定法に関する理論を述べたものである。前章の負剛性制御についての加速度－変位関係と同様の考察を行うことで、セミアクティブ制御に起因する制約条件のため制御パラメータの各々に対応して定まる最大加速度を等しくすることで、制御効果を応答変位振幅の中で最大とする考え方を、最適擬似負剛性制御として新たに提案した。この原理に基づく制御パラメータの算出法と数値計算により得られる具体的なパラメータを示すとともに、近似の仮定に基づくパラメータ理論解の導出を行い、数値計算結果を十分に説明できることを示している。さらに、最適擬似負剛性制御に基づく制御パラメータは、最大ダンパー荷重			

の制約の中で応答低減効果が最大になることを示す検証結果を得ており、提案する制御パラメータ設定法の理論的意義も大きいことを示している。非定常性の大きい地震動入力の場合についても最適擬似負剛性制御が有効であることを示した上で、想定した地震動入力に基づいて制御パラメータを容易に得ることのできる簡易推定手法を理論的に展開した。数値計算例に基づき、提案した制御パラメータ推定法の妥当性と限界を示している。

第4章では、実際の可変減衰ダンパーを用いた最適擬似負剛性制御の検証実験について述べている。油圧シリンダとピストンに電気油圧サーボバルブを組み合わせた可変減衰ダンパーに擬似負剛性制御を実装した制御装置を対象として、構造物に設置した場合の構造物の応答を検証するための慣性力載荷試験装置を用いて動的載荷実験を行うシステムを構築した。前章で提案した最適擬似負剛性制御の理論解を設定して加振を行った場合、理論的に予測される応答低減効果はほぼ妥当であったが、理論と異なる挙動も計測された。制御対象となる構造物の減衰および可変ダンパーの持つ最小減衰の2つを考慮するよう理論式を修正することで、制御パラメータ設定の信頼性を高め、より妥当性の高い理論式が得られることを示している。

第5章では、多自由度系でモデル化される構造物への最適擬似負剛性制御の適用について検討している。橋梁などの土木構造物への適用を想定したダンパーの設置をモデル化してパラメータ設定理論式を適用し、地震動入力の場合について数値計算を行ったところ、最適擬似負剛性制御は加速度応答の低減の観点からは最適な条件と見なせることを示している。一方、ダンパーの設置条件を複雑なものとした場合の適用性には課題が残ることを数値計算例から論じている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、土木構造物の動的応答のアクティブ・セミアクティブ制御の問題において、応答加速度と応答変位のバランスを考慮することにより、構造物の底面反力を増大させない範囲において最大の制御効果を発揮できる最適擬似負剛性制御の概念とそれに基づく制御パラメータ設定法を提案するとともに、各種の構造モデルおよび動的外力を対象とした数値計算および実験によりその有効性および妥当性を検証したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 加速度－変位関係に基づく両者のバランスの考察より、セミアクティブ制御に起因する制約条件のために、制御パラメータの各々に対応して定まる最大加速度を等しくすることで、制御効果を変位の中で最大とする考え方を最適擬似負剛性制御として提案した。この原理に基づく制御は、非定常性の大きい地震動入力の場合についても有効であることを明確に示した
2. 最適擬似負剛性制御に基づく制御パラメータの近似的理論解と、想定した地震動入力に基づいて制御パラメータを容易に得ることのできる簡易推定手法を導出し、提案した。これらの妥当性を数値計算に基づき明らかにした。
3. 実験的検証を通じて、制御対象となる構造物の減衰および可変ダンパーの持つ最小減衰の2つを考慮するよう理論式を修正することで、より妥当性の高い理論式を提案した。
4. 橋梁などの土木構造物への適用を想定したダンパーの設置をモデル化した多自由度系構造モデルに対して、最適擬似負剛性制御を適用する方法を提案し、その妥当性と限界を示した。

本論文は、土木構造物の地震対策をセミアクティブ制御により実現するために適用しえる一つの方法論の可能性を提示するものであり、学術上、實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、平成22年2月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。