

非線形複素ばねによる手の平に弾性体が 衝突する問題の FEM 動的応答解析

山口 誉夫 藤井 雄作 田北 啓洋 丸山 真一 富田 徳久 ○五十嵐 航太
(群馬大学) (群馬大学) (群馬大学) (群馬大学) (群馬大学院) (群馬大学院)

Transient response analysis for an Elastic Structure that is connected to a Viscoelastic Shock Absorber Using FEM and a Nonlinear Complex Spring Constant

Takao Yamaguchi Yusaku Fujii Akihiro Takita Shinichi MARUYAMA Norihisa TOMITA Kota IGARASHI
(Gunma Univ.) (Gunma Univ.) (Gunma Univ.) (Gunma Univ.) (Gunma Univ.) (Gunma Univ.)

粘弾性体の手の平は、比較的大きな衝撃荷重では非線形の復元力を持つ。また、手の平は動的特性の中に非線形のヒステリシスを示すことがある。

本論では、非線形の減衰を復元力に与えた非線形集中ばねの圧縮変形が増大するにつれて、減衰が増大する非線形減衰モデルを用いて、衝撃荷重が手の平に作用した場合の動的応答を解析した。

Key words : 衝撃応答, FEM, 弾性変形

1 緒 言

近い将来、介護ロボットなど様々なロボットの普及が予想されている。ロボットが身近なものになっていくと、人間と機械が直接接触する機会が増えると考えられる。そのため、安全性の問題から人体の力学的特性を知ることは重要である。

粘弾性体の手の平は、比較的大きな衝撃荷重では非線形の復元力を持つ。また、手の平は動的特性の中に非線形のヒステリシスを示すことがある。

Fujii らは、生きた人間の腕に、剛体ブロックから衝撃荷重を加えたときの過渡応答を Levitation Mass Method で計測する方法を提案している⁽¹⁾。また、Fujii らはその LMM を利用し、生体の手の平の復元力特性を計測している。本報告では手の平の実験結果をもとに手の平を挟んだ場合についての動的応答を数値解析する。その解析では、著者らが提案してきたヒステリシスを有する非線形集中ばねと構造物が接合された系の応答解析法^{(2)~(4)}を拡張して用いる。

非線形集中ばねを含む系の振動特性の研究は、従来からなされてきている。例えば Feeny らは、非線形集中ばねと集中質量を組み合わせた系について Proper Orthogonal Model (POM) を同定している⁽⁶⁾。非線形集中ばねで支持されたはりの振動特性を解析

した報告も見られる。近藤らは非線形支持されたはりが複数連結された構造の強制振動について、安定判別法を高速に実施する方法を提案している⁽⁷⁾。Shaw らは両端を単純支持したビームの中央を非線形集中ばねで支持された系について Nonlinear Model Analysis を行っている⁽⁸⁾。著者らは構造物を、線形有限要素を用いて弾性体でモデル化し、それを非線形集中ばねで支持した系の連成振動の解析を行ってきた^{(2)~(5)}。これらの解析では、線形固有振動形に対応する基準座標を導入して、応答の高速演算法を提案した。この解析方法を拡張し、線形ヒステリシス減衰を復元力に与えた非線形集中ばねが粘弾性構造物に接続される場合の高速応答計算法を定式化した^{(2)~(4)}。本論では、非線形の減衰を復元力に与えた非線形集中ばねの圧縮変形が増大するにつれて、減衰が増大する非線形減衰モデルを用いた。この方法で衝撃荷重が手の平に作用した場合の動的応答を解析した。

2. 実験方法及び実験結果の概要

図 1 は Fujii により提案された Levitation Mass Method の装置の模式図である。図中の剛なブロックはガイドに沿って z 方向にのみ並進運動