

# 弾性体に直列非線形複素ばねを接合した系の FEM 動解析 (緩衝材で保護された生体の衝撃応答)

山口 誉夫    ○富田 徳久    藤井 雄作    福島 亨    田北 啓洋  
(群馬大)    (群馬大院)    (群馬大)    (群馬大院)    (群馬大)

## Dynamics Analysis Using FEM for an Elastic Body with Nonlinear Complex Springs Connected in Series (Impact Response for a Living Body Protected by Shock Absorbers)

Takao YAMAGUCHI    Norihisa TOMITA    Yusaku FUJII    Toru FUKUSHIMA    Akihiro TAKITA  
(Gunma University)    (Gunma Grad University)    (Gunma University)    (Gunma Grad University)    (Gunma University)

衝撃や振動を和らげたり，手指等の体の一部を守るために緩衝材は重要である．粘弾性の緩衝材や生体は，動特性の中に非線形の復元力及び非線形のヒステリシスを示す．本報告では，実験結果をもとに緩衝材及び緩衝材に生体の手指を挟んだ場合の動的応答を数値解析する．計算モデルとして非線形集中ばねと構造物が接合された系を用い，その非線形集中ばねの線形及び非線形ばね定数を複素数として，非線形のヒステリシスを表現した．

**Key Words** : 衝撃, 仮想モデリング, 非線形解析, FEM, 粘弾性材料

### 1. 結 言

自動車などの乗り物や建築物等のドアには，閉める際の衝撃や振動を和らげるために緩衝材が付いている．ドアが閉まったときの構造上の衝撃から手指等の体の一部を守るためにも緩衝材は大切である．緩衝材は主にゴム，フォーム材，樹脂等で作られており，一例として粘弾性のフォーム製のものがある．粘弾性フォーム材は衝撃を減少させる働きがある．衝撃緩衝材の現象を改良するために，フォーム材は様々な形をしており，それらの中のひとつは断面が中空になっている．粘弾性フォーム材が中空になっているものでは，座屈現象を利用して衝撃を効果的に減少させている．さらに，比較的大きな荷重では非線形の復元力を持つ．また，それらは動特性の中に非線形のヒステリシスを示すことがある．従って，衝撃荷重下における弾性構造体と接合された粘弾性体の衝撃緩衝材の非線形の動的特性を明らかにすることは重要である．

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<sup>(1)</sup>で計測する方法を提案している．また，Fujii らはその LMM を利用し，緩衝材復元力特性及び緩衝材に生体の手指を挟んだ条件の復元力特性を計測している<sup>(2)</sup>．本報告では緩衝材などの実験結果をもとに緩衝材及び緩衝材に手指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<sup>(3)~(6)</sup>を拡張して用いる．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．

著者らは，非線形複素ばねが構造物に接続される場合へと解析法を拡張し，生きた人間の腕に剛体ブロックが軽衝突した場合の過渡応答解析を行った<sup>(6)</sup>．その非線形ばねの復元力は，伸びのべき級数で表現され，一端が接地され他端が弾性構造物あるいは粘弾性構造物に接続される．その非線形ばねの線形ばね定数および非線形ばね定数を複素数で表現するモデルを提案した．これより，非線形集中