

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：13904

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20409

研究課題名（和文）3階微分方程式で表される粘弾性振動系をニューラルネットワークでどう同定するか

研究課題名（英文）Identification of viscoelastic vibration systems expressed by third-order differential equations using neural networks

研究代表者

田尻 大樹 (Tajiri, Daiki)

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：90944124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：材料工学で最も基本的に用いられる3要素モデルに質量を導入した数学モデルで粘弾性振動系を表現し、そのパラメータをニューラルネットワークにより同定する手法を開発した。数値シミュレーションでは、運動方程式から求めた定常応答をニューラルネットワークに入力し、線形パラメータと非線形力を同定し、妥当な結果が得られることを確認した。実験では、冷間圧延鋼板にウレタンゴムを貼り合わせたはりを対象系とし、計測した定常応答からパラメータを同定した。妥当なパラメータが得られたが、検証で扱ったゴムの剛性が大きく、非線形振動が生じることのない系であることがわかった。今後は柔らかい粘弾性材を用いて実験検証を進めていく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題は、機械や構造物の動的設計に関する研究であり、産業の基盤をつくることに役立つ技術課題である。学術的には、粘弾性材の動的特性をどのような数学モデルで表現するか、どのように部材特性を同定するかという課題を解決するもので、逆問題の研究に属する。本研究は対象とする系の応答から部材特性を同定するが、一意に同定することは非常に難しい。その困難を、対象系の特徴を適当に表現する数学モデルとニューラルネットワークにより解決している。社会的には、粘弾性材を含む制振鋼板が用いられる機械や構造物の動的設計において、材料工学と振動工学の数学モデルを共通化することで、部材特性の容易な評価が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We developed a method to represent a viscoelastic vibration system using a mathematical model that introduces mass into the three-element model most commonly used in materials engineering, and to identify its parameters using a neural network. In numerical simulations, the steady-response obtained from the equation of motion was input into the neural network, and linear parameters and nonlinear forces were identified, confirming that valid results could be obtained. In experiments, the target system was a beam made of cold-rolled steel plate with urethane rubber bonded to it, and parameters were identified from the measured steady-response. In this verification, parameters that seem correct were obtained, but the rubber used in the verification had high rigidity, and it was found that the system would not generate nonlinear vibrations. In the future, we will proceed with experimental verification using soft viscoelastic materials.

研究分野：振動工学

キーワード：粘弾性材 非線形 同定 ニューラルネットワーク 3階微分方程式

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我々は「振動」が常に身近に存在する中で暮らしている。機械や構造物を高減衰にして振動を抑える目的で、ゴムやゲルなどの粘弾性材の材料設計や、それを積極的に用いた機械設計が行われている。

材料工学では、粘弾性材の減衰性能を向上させるために、天然ゴムや合成ゴムへ各種配合剤・微粒子を調合する材料設計が進められている。材料設計の最終段階では、精製された粘弾性材を一般化 Maxwell モデルで表現し、引張・圧縮試験により計測した応力や歪みから部材特性（減衰・剛性）が同定される。

振動工学では、粘弾性材を制振材として用いた機械設計が進められている。例えば機械や構造物の機械設計の初期段階では、制振材としての部材特性をマス・ダンパ・バネモデルで表現し、振動試験により計測した時系列応答などの振動応答から、部材特性（質量・減衰・剛性）が同定される。

以上のように、材料設計と機械設計で形式の異なる数学モデルが使用されるため、同定される部材特性が異なる値を示す。その結果、機械設計では制振材をどの位置にどのくらいの量を設置するかを振動解析により定量的に算出すること（動的設計）が非常に難しい。動的設計の高度化を目指すためには、材料工学と振動工学の間のシームレスな設計を実現するための共通の数学モデルが必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、粘弾性振動系を表現する新たな数学モデルを構築し、ニューラルネットワークにより部材特性を同定・評価することである。

本研究の課題は、粘弾性材の動的特性をどのような数学モデルで表現するか、どのように部材特性を同定するか、である。

### 3. 研究の方法

はじめに、粘弾性振動系を表現する新たな数学モデルを構築する。次に、パラメータを同定するニューラルネットワークを開発する。最後に、製作した試験体の振動試験で計測した振動応答を用いて部材特性を同定する。具体的には、

Maxwell 要素と Voigt 要素を並列に繋いだ 3 要素モデルに質量要素を導入する。そうすると運動方程式が三階微分方程式となることが明らかになったので、従来振動工学で用いられる運動方程式に含まれない項を非線形項と見なす。

ニューラルネットワークの構築：数学モデルをもとに振動応答からパラメータを同定するニューラルネットワークを開発する。このとき、ニューラルネットワークへの入力には加速度、速度、変位の定常応答とし、目的値は外力とする。これらのデータの力のつり合いから、パラメータを同定する。

ゴムを減衰要素・剛性要素に用いた 1 自由度試験体を製作し、その試験体に対して振動試験を実施して、定常外力と定常応答を計測する。そして、計測したデータをニューラルネットワークに入力し、部材特性を同定し、その妥当性を評価する。

### 4. 研究成果

上記の方法に基づいて研究を実施した。研究の実施年度とともに、得られた成果を以下に整理する。

材料工学で用いられる最も基本的な 3 要素モデル（Maxwell 要素とばね要素を並列に繋いだモデル）に質量要素を導入して慣性力を考慮した 1 自由度系（図 1）を対象に運動方程式を導出し、その定常応答を数値シミュレーションにより求めた。対象とする系の運動方程式の特徴は 3 階微分方程式で表現されることであり、振動工学で通常使用される線形 1 自由度振動系の運動方程式とは形式が異なることである。（2022 年度）

部材特性を同定するためのニューラルネットワークを構築した。具体的には、非線形 1 自由度振動系の力のつり合いから、応答に含まれる線形成分と非線形成分を線形サブネットワークと非線形サブネットワークにより一旦分離し、線形パラメータ（質量・減衰係数・ばね定数）と非線形特性を同時に同定するニューラルネットワークを構築した（図 2）。このニューラルネットワークの考え方のポイントは、通常の形式では現れない 3 階微分項などを非線形成分と見なして対象とする系の特性を同定することである。（2022 年度）

試験体と試験装置を製作し、実験による妥当性の検証を行った。具体的には、冷間圧延鋼板にウレタンゴムを貼り合わせたはり（図3）を対象に定常応答を計測し（図4）、提案手法に基づいてパラメータを同定して部材特性を評価した。このとき、同定した部材特性の妥当性は、その同定値から再構築した周波数応答と計測した周波数応答が一致することを確認することで評価した。実験から妥当な特性値が得られたが（図5）、検証で扱ったゴムが所望の粘弾性材よりも剛性が大きく、所望の非線形振動が生じることのない系であることがわかった。（2023年度）今後は剛性が小さい粘弾性材を対象に取り上げ、実験検証を進めていく。

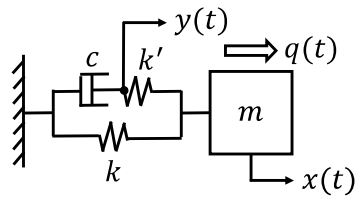


図1 構築した数学モデル

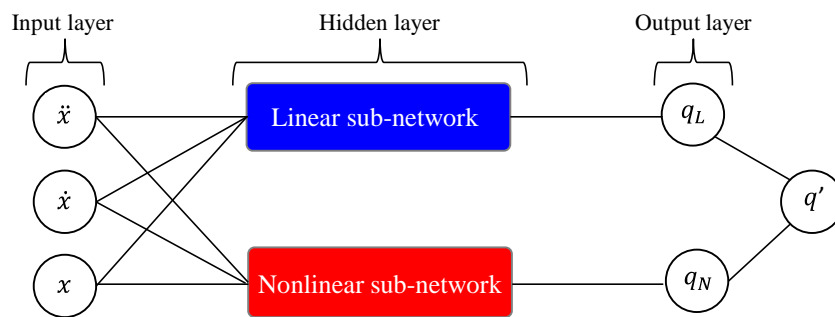


図2 構築したニューラルネットワーク

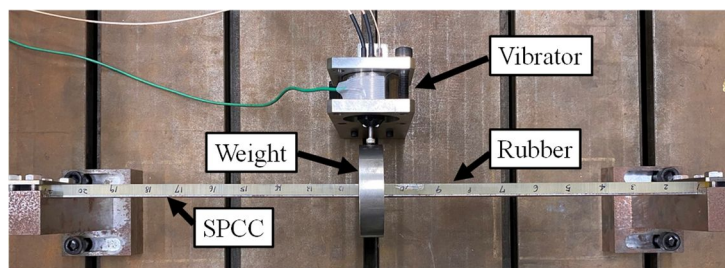


図3 試験体と試験装置

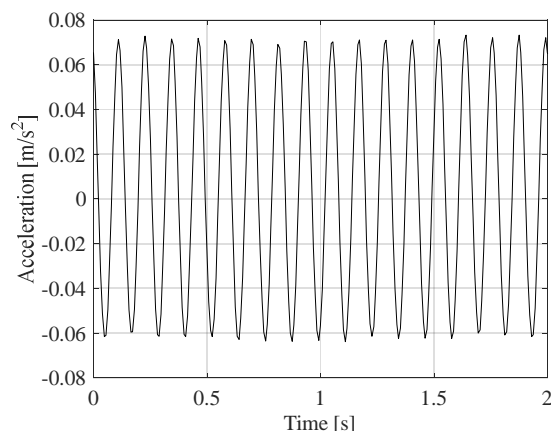


図4 計測した定常応答（加速度）

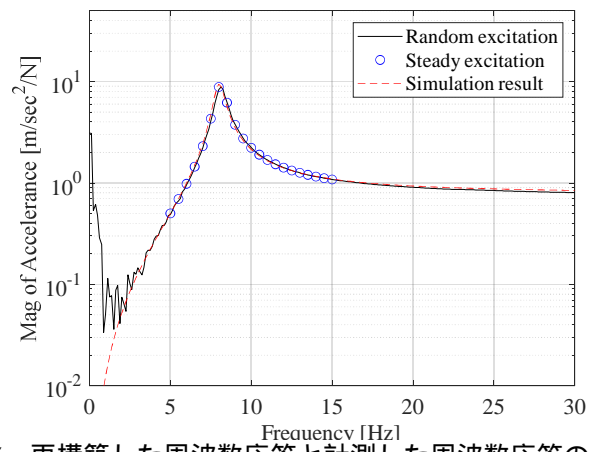


図5 再構築した周波数応答と計測した周波数応答の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田尻大樹, 池田将基, 松原真己, 河村庄造
2. 発表標題 ニューラルネットワークによる非線形振動系の同定の基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2023
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊橋技術科学大学 機械ダイナミクス研究室 研究テーマ <a href="https://dynamics.me.tut.ac.jp/topics.html">https://dynamics.me.tut.ac.jp/topics.html</a>
---

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関