

2021年 7月 5日

機械工学専攻	学籍番号	第 189103 号	指導教員	河村 庄造
氏名	田尻 大樹			足立 忠晴
				松原 真己

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	近接モードおよび高減衰特性を有する構造物を対象とした実験モード解析法の開発
---------	---------------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

機械構造物が発する振動や騒音を低減するためには、その対象物の振動特性を把握することが有効になる。その技術として、対象物の振動試験の応答から固有振動数、減衰特性、モード形状などのモード特性を同定する実験モード解析法が開発され、その技術はある程度確立されている。しかしながら今日では、機械構造物の特性の変化や要求の多様性ととともに、振動現象が複雑化し、減衰の大小を問わず多くの振動モードが広い周波数領域にわたって励起されるような新たな振動騒音問題が現れ、モード特性の同定においては、いくつかの解決すべき課題が現れてきた。

本研究では、周波数分解能に起因する課題、対象物が近接モードを有する場合の課題、高減衰特性を有する場合の課題を取り上げ、これらの課題を解決することを目的とする。本論文は6つの章で構成され、第1章で緒言を述べた後の各章の概要を以下に示す。

第2章では、振動系の運動方程式および周波数応答関数（以下、FRF）の定式化を行い、従来法であるハーフパワー法およびモード円適合法の周波数分解能に起因する課題を述べた。さらに、本研究における実験モード解析法の基礎となる直線フィット法の同定理論を説明し、従来法の課題を直線フィット法により解決できることを数値例により示した。

第3章では、対象物が近接モードを有し、対象外のモード成分がモード同定に悪影響を及ぼす課題を取り上げた。そして、比較的モードが近接するFRFを対象とする場合にも、モード特性を精度よく同定できる1自由度法を提案した。その方法は、FRFの実部と虚部の両方において、対象外のモード成分を振動数に関する多項式で近似し、直線フィット法の同定理論に導入するものである。その多項式の適切な次数を理論的なアプローチで定め、提案法の妥当性と適用性を数値例により検証したところ、良好な結果を得た。

第4章では、高減衰特性を有し、かつ二重曲率を持つ周期構造物への周方向縮約法の適用性の課題を取り上げた。初めに、数値例によって、二重曲率を持つ周期構造物の固有関数を三角関数で近似できることを明確にした。次に実験では、周方向縮約法を利用して、振動挙動に関して研究事例のほとんどない二輪車用タイヤを対象にモード特性を同定した。加えて、二輪車用タイヤと自動車用タイヤのモード特性を比較し、二重曲率を持つことに起因するモード特性の特徴を明確にした。

第5章では、高減衰特性を有する構造物を対象として、減衰の影響のみを小さくする加振法およびモード特性の同定法を提案した。具体的には、対象とする振動モードの減衰が小さくなるような速度フィードバック（以下、FB）加振の方法とゲインの決定方法を提案した。そのように決定したゲインを用いた速度FB加振により、FRFを低減衰化してモード特性を同定し、さらに、速度FB加振の影響を補正することで、構造物本来の減衰特性が把握できる方法を構築した。数値例では、高減衰特性を有する多自由度系を対象として提案法の適用性を検証したところ、良好な結果を得た。

第6章では、第2章から第5章で得られた成果を総括し、今後の研究の展望を示した。

Date of Submission (month day, year) :

7 5th, 2021

Department of Mechanical Engineering	Student ID Number	D189103	Supervisors	Shozo Kawamura Tadaharu Adachi Masami Matsubara
Applicant's name	Daiki Tajiri			

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Development of experimental modal analysis method for structures with close modes and high damping characteristics
-----------------	--

Approx. 800 words

In order to reduce the vibration and noise generated from mechanical structures, it is effective to understand the vibration characteristics of the object. As a technique for this end, the experimental modal analysis method has been developed to identify modal characteristics such as natural frequency, damping characteristics, and mode shape from the response of the vibration test of the object, and the technique has been established to some extent. However, today, along with changes in the characteristics of mechanical structures and diversification of requirements, the vibration phenomenon becomes complicated, and there is a new vibration and noise problem in which many vibration modes are excited over a wide frequency range regardless of the magnitude of damping characteristics. In the identification of modal characteristics, some problems to be solved have appeared.

The purpose of this study is to solve the problems caused by the frequency resolution, the problems when the object has close modes and high damping characteristics. This thesis is composed of six chapters, and the outline of each chapter is shown below.

In Chapter 1, the background of the research and the details of the tasks were represented.

In Chapter 2, the equation of motion of the mechanical structure and its frequency response function (FRF) were formulated, and the problems caused by the frequency resolution were described in the use of the conventional half-power method and mode circle adaptation method. Furthermore, the identification theory of the linear fit method, which is the basis of the experimental modal analysis method in this study was explained and showed that the problems of the conventional method could be solved by the linear fit method using numerical examples.

In Chapter 3, the problem that the mechanical structure has close modes and the non-target mode components adversely affect the mode identification was taken up. A new one-degree-of-freedom method that can accurately identify mode characteristics even when targeting FRFs whose modes are relatively close to each other was proposed. The method approximates the non-target mode components with

polynomials related to frequencies in both the real and imaginary parts of the FRF and introduces them into the identification theory of the linear fit method. The appropriate order of the polynomial was determined by a theoretical approach. The validity and applicability of the proposed method were verified by numerical examples, good results were obtained.

In Chapter 4, the problem of applicability of the circumferential reduction method to periodic structures with high damping characteristics and double curvature was taken up. First, it was clarified that the eigenfunctions of periodic structures with double curvature could be approximated by trigonometric functions by numerical examples. Next, in the experiment, the mode characteristics were identified for motorcycle tires, which have few research cases regarding vibration behavior, using the circumferential reduction method. In addition, the mode characteristics of motorcycle tires and automobile tires were compared, and the characteristics of the mode characteristics due to having a double curvature were clarified.

In Chapter 5, a new excitation method in which the damping characteristics of the target vibration mode can be reduced was proposed. Specifically, a velocity feedback (FB) excitation method and a gain determination method that reduce the damping of the target vibration mode were proposed. Using the velocity FB excitation method with the feedback gain determined above, the modal characteristics of the reduced damping structure can be identified, and then the original damping characteristics of the structure can be identified. In the numerical example, the applicability of the proposed method was verified for a multi-degree-of-freedom system with high damping characteristics, and good results were obtained.

Chapter 6 summarized the results obtained in Chapters 2 to 5 and presented the prospects for future research.