

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	バイスペクトルを用いた不規則励振系の非ガウス応答解析
Title(English)	
著者(和文)	伊藤大造
Author(English)	Daizoh Itoh
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12362号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中尾 裕也,早川 朋久,天谷 賢治,原 精一郎,高原 弘樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12362号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	システム制御	系
Department of, Graduate major in	システム制御	コース
学生氏名：	伊藤大造	
Student's Name		

申請学位(専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員(主)：	中尾裕也	教授
Academic Supervisor(main)		
指導教員(副)：		
Academic Supervisor(sub)		

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

風荷重や波荷重等の不規則で再現性のない入力を受ける構造物の応答解析には、確率論的な取り扱いが必要となる。特に、安全な構造物の設計を念頭においた不規則励振系の応答解析では、応答の確率密度関数の裾の重さや非対称性といった非ガウス性を正確に捉えることが重要になる。

不規則励振系の応答の非ガウス性の原因は、(i) 系が非線形特性を有する場合、(ii) 不規則励振が非ガウス性を有する場合、(iii) 不規則励振が係数励振の形で系に加わる場合の 3 種類に分類できる。各場合の課題と本論文での目的は次の通りである。

(i) 過渡応答分布を精度よく求める方法のひとつである複素非整数次モーメント(CFM)を用いた解析手法の課題として、実世界に数多く存在する非線形復元力特性を示す系に対して適用できないことが挙げられる。そこで、剛性と減衰の両方に非線形性をもつ不規則励振系に対して適用可能な CFM を用いた解析手法を開発する。

(ii) 先行研究から、確率密度関数とパワースペクトルの帯域幅パラメータから非ガウス確率過程を規定する Cai and Lin モデルで表現される非ガウス入力を持つ線形系に関して、入力パワースペクトルの帯域幅を支配するパラメータと、入力に起因した応答の確率密度関数に現れる非ガウス性の強さの対応関係は明らかになっているが、非ガウス性の入出力構造の詳細は、十分には明らかにされていない。本研究では非ガウ斯的な入出力の非対称性に注目し、その周波数領域における分布を可視化するバイスペクトルを用いて、周波数領域における非対称性の入出力構造を明らかにする。

(iii) 係数励振と外部励振を同時に受ける系において、実際の励振現象に即した場合を考えると、2 つの励振の非白色性と相関性を考える必要がある。しかし、これらの性質の両方を考慮した際の実非ガウス応答特性はほとんど明らかになっていない。そこで、係数・外部励振の非白色・相関性に依存した応答の非ガウス性、特に非対称性の変化傾向を調査し、応答の非対称性の発生機構をバイスペクトルを用いて解明する。

本論文の各章の概要は以下の通りである。

第 1 章: 緒論

前述の非ガウス応答の生じる 3 つの場合のそれぞれについて、既往研究の成果をまとめ、課題を示した。その後、本論文の構成と各章における研究目的を述べた。

第 2 章: 複素非整数次モーメントを用いた剛性と減衰に非線形性を持つ不規則励振系の過渡応答解析

ガウス性白色ノイズが加わる剛性と減衰の両方に非線形性をもつ系を考え、過渡応答の確率密度関数の近似解析手法を提案した。提案手法では、従来の CFM と確率平均化法を用いた近似解析手法に等価線形化法を組み合わせることで、従来手法では適用できなかった非線形剛性項を有する幅広い非線形系に対して容

易に適用可能な過渡応答解析手法を実現している. 性質の異なる 3 種類の非線形系の解析例を通して, 提案手法による確率密度関数の近似解が, その裾部を含めて高精度であることを示した.

第 3 章: バイスpekトルの定義と諸性質

第 4~7 章の研究で重要な役割を担うバイスペクトルの定義と性質を述べた.

第 4 章: バイスpekトルに着目した非ガウス性励振が応答の非対称性に与える影響の考察

Cai and Lin モデルで表現される非対称非ガウス性不規則励振を受ける 1 自由度線形系の応答を考えた. まず, Cai and Lin モデルのバイスペクトルの解析解を導出し, このモデルの帯域幅パラメータに依存した非対称性の周波数領域上の分布の変化を示した. 次に, 非対称性の周波数領域上の入出力関係を可視化するクロスバイスペクトルから, 入力帯域幅パラメータの変化にしたがって, 入力の非対称性の伝達を担う周波数成分や, 応答に伝達される入力の非対称性の大きさが変化することを明らかにした.

第 5 章: 同一な非白色ノイズによる係数・外部同時励振下の系の応答非対称性のバイスペクトル解析

本章では, 係数励振と外部励振の相関性として最も単純な, 2 つの励振が同一の波形の場合を考えた. まず, モンテカルロシミュレーションにより, 入力のパワースpekトル形状に依存して, 応答の非対称性が複雑に大きく変化することを示した. その後, 摂動法を用いた応答バイスペクトルの高精度な近似解析手法を提案した. さらに, 得られた近似解から次の知見を得た.

- 応答の非対称性の変化は, 入力のパワースpekトル形状に依存した応答バイスペクトルのピークの大きさや符号の変化によって引き起こされる.
- 応答の非対称性の向きに大きな影響を与えるバイスペクトルのピークの符号の変化は, 系の位相遅れに起因する.

第 6 章: 任意のクロスpekトルを考慮した係数・外部同時励振系の応答バイスペクトル解析

本章では, 第 5 章よりも広いクラスの励振として, 係数励振と外部励振が任意のクロスpekトルを有する場合を対象に, 入力のフーリエ級数展開近似と摂動法を組み合わせた応答バイスペクトルの近似解析手法を提案した. 性質の大きく異なる 3 組の励振に対して提案手法を適用し, 近似解析解とモンテカルロシミュレーションによる数値解を比較することで, 提案手法の有効性を示した. また, 応答の非対称性は, 係数励振が存在することで生じるが, 係数励振よりも外部励振のパワースpekトルからより大きな影響を受けることを近似解から明らかにした.

第 7 章: 係数励振と外部励振の相関係数が応答歪度に与える影響の調査

係数励振と外部励振の相関係数に着目し, その大きさ・符号が応答の非対称性に与える影響を調べた. 前章の提案手法により得たバイスペクトルの近似解を用いて, 応答の 2 次の統計量と 3 次の統計量では, 相関係数の及ぼす影響が大きく異なることを示した. また, 応答歪度は, 相関係数に対して概して線形に変化すること, その直線の傾きは, 第 5 章で求めた 2 つの励振が同一な場合の応答歪度で近似でき, 結果として, 傾きの値は入力のパワースpekトル形状に依存して様々に変化することを明らかにした.

第 8 章: 結言

本論文を通して得られた知見を整理し, 本研究の結論とした.

備考: 論文要旨は, 和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか, もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意: 論文要旨は, 東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので, 公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	伊藤大造		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	中尾裕也 教授	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this thesis, non-Gaussianity in the response of randomly excited systems was studied.

Chapter 1 provided a review of the previous studies and stated the purpose of this thesis.

In Chapter 2, an analytical method using complex fractional moments was proposed to obtain the transient probability density of a dynamical system with nonlinearity in both stiffness and damping excited by Gaussian white noise. An equivalent linearization technique enabled the treatment of stiffness nonlinearity. The validity of the proposed method was illustrated by comparing it to the Monte Carlo simulation results.

Chapter 3 described the definition and properties of the bispectrum.

In Chapter 4, a linear system under an asymmetric non-Gaussian excitation was considered. Firstly, the bispectrum of the excitation was derived, and its asymmetric properties in the frequency domain were shown. Secondly, the cross-bispectrum, which provides the input-output relation of the asymmetry in the frequency domain, was calculated. The cross-bispectrum and bispectrum revealed which frequency components transfer the excitation asymmetry to the response.

In Chapters 5 to 7, a system under correlated Gaussian parametric and external excitations with a non-white power spectrum was analyzed.

In Chapter 5, the simplest case, i.e., the case where the two excitations are identical, was considered. The results of Monte Carlo simulations showed that the response asymmetry changes drastically depending on the shape of the excitation power spectrum. Then, an approximate analytical method for the response bispectrum with high accuracy was proposed based on the perturbation method. From the analytical solutions, it was shown that the peaks of the response bispectrum vary with the shape of the excitation power spectrum and that the response asymmetry could be explained by the properties of the peaks.

In Chapter 6, the case of an arbitrary cross-spectrum between the two excitations was considered. An approximate analytical method for the response bispectrum based on the perturbation method was proposed. Its effectiveness was demonstrated by comparing it to the simulation results.

In Chapter 7, the correlation coefficient between the two excitations was introduced and its effects on the response asymmetry were investigated. The analytical solutions derived in chapter 6 revealed that the response skewness is proportional to the correlation coefficient.

The conclusion of this thesis was given in Chapter 8.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).