

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13712

研究課題名(和文) 多様な尖度を考慮した非ガウス性不規則励振を受ける系の解析手法開発と応答特性の解明

研究課題名(英文) Response analysis of dynamic systems subjected to non-Gaussian random excitation with a wide range of kurtosis

研究代表者

土田 崇弘 (Takahiro, Tsuchida)

東京工業大学・工学院・助教

研究者番号：50707578

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ガウス分布に比べて裾の広い確率分布にしたがう非ガウス性不規則励振が種々の工学分野に存在する。確率分布の裾部は大励振の発生確率を決定するため、その裾形状を適切に考慮した解析の実現と、裾形状が系の応答に与える影響の解明が求められている。このような背景を受け、本研究では、確率分布の裾形状を特徴づける尖度に着目して次の3つの研究を行った。1. 分布の尖度を多様に調節できる非ガウス性励振モデルの開発。2. その非ガウス性励振モデルを用いた系の応答解析手法の開発。3. 励振の尖度および帯域幅・卓越振動数が応答特性に及ぼす影響の解明。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実在する非ガウス性不規則励振は多様な尖度をもつため、尖度を広い範囲で調節できる励振モデルとそのモデルを用いた系の応答解析手法の開発が求められていた。本研究では、これらのニーズを満たし、従来のように励振のガウス性を仮定すると見逃す恐れのある大励振の影響を適切に考慮した解析手法を完成させた。これは、学術的課題を解決するだけでなく、励振の分布の裾を考慮したより信頼性の高いものづくりの実現につながる基礎的成果としても意義があると考えられる。また、広範囲の尖度を包括的に考慮することで、単一の尖度を扱った研究では知り得なかった、尖度の変化による応答特性の変化を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Non-Gaussian random excitations with heavy-tailed probability distributions exist in various engineering fields. Since the tails of the distribution determine the probability of occurrence of large excitation, it is important to take the tail shape into account appropriately and to clarify the effect of the tail shape on the system response. This study focused on the kurtosis that characterizes the tail shape of the probability distribution and conducted the following three studies: 1. Development of a non-Gaussian random excitation model with a wide range of kurtosis; 2. Development of a response analysis method for the system under the above non-Gaussian excitation model; 3. Elucidation of the effects of the kurtosis, bandwidth and dominant frequency of the excitation on the response characteristics.

研究分野：不規則振動

キーワード：不規則振動 確率力学 非ガウス性不規則励振 確率論的応答解析 応答分布推定 確率密度関数 尖度 等価非ガウス励振化法

1. 研究開始当初の背景

ガウス分布に比べて裾の広い確率密度関数にしたがう非ガウス性不規則励振が様々な工学分野で報告され、近年、その裾の広がりを適切に考慮した応答・信頼性解析が注目されている。確率密度関数の裾の広がりに対応する大励振の発生確率の上昇は、それを受ける系の安全性や信頼性あるいは快適性の低下につながる。これを防ぎ、高い快適性や信頼性を実現するべく、自動車や流通などの工学分野では、このような分布の裾の広がりを考慮した解析・設計や振動試験の必要性が指摘されている。これ以外にも、土木・海洋工学では、建築・海洋構造物に作用する風圧や波浪の確率密度関数が裾の広い非ガウス確率密度関数となるため、その裾の広がりに起因して現れる応答特性の把握が重要視されている。

このような背景から、不規則励振の非ガウス性、とりわけ確率密度関数の裾の広がりが系の応答に与える影響を解明することが、不規則振動における重要な課題となっている。しかし、その課題を達成する上で、以下の2つが大きな問題となっている。

1. 既存の非ガウス性励振モデルでは、確率密度関数の裾形状を限られた範囲でしか調節できない。
 2. 非ガウス性励振を受ける系の汎用的な応答解析手法が存在しない。
- これらが支障となり、確率密度関数の裾形状の系の応答への影響については未だ詳細に調べられていない。

2. 研究の目的

確率密度関数の裾の広がりを特徴づける尖度に着目し、上記の問題を克服する新しい非ガウス性励振モデルと応答解析法を開発する。そして、それらを利用し、応答特性に関する新たな知見の獲得を目指す。具体的には次の3つを目的とする。

1. 確率密度関数の尖度とパワースペクトルの帯域幅・卓越振動数、地震動などに見られる振幅非正常性を多様に調節できる非正常非ガウス性励振モデルの開発
2. 1.の非ガウス性励振モデルを用いた系の応答の確率密度関数と統計量の解析手法の開発
3. 励振の尖度および帯域幅・卓越振動数が系の応答特性に及ぼす影響の解明

3. 研究の方法

1. 非定常非ガウス性励振モデルの開発

励振のパワースペクトルの帯域幅と卓越振動数が系の挙動に大きな変化を与える重要なファクターであることを確認したため、確率密度関数の裾の広がりを表す尖度だけでなく、それら2つも可変なモデルを考える。さらに、多方面への応用・発展も視野に入れ、振幅非定常性も考慮する。これら全てを広い範囲で柔軟に調節できる励振モデルを、申請者らが提案した定常非ガウス確率過程モデルをもとに開発する。具体的には、励振モデル $F(t)$ を、振幅非定常性を表す確定包絡関数 $e(t)$ と上記の定常非ガウス確率過程モデル $U(t)$ の積 $F(t) = e(t)U(t)$ で表す。 $U(t)$ は観測データの尖度に一致する非ガウス確率密度関数と、観測データと同じ帯域幅・卓越振動数をもつパワースペクトルの2つにしたがう。

多様な工学問題に応用可能な汎用励振モデルを開発するため、性質の全く異なる2種の非ガウス性観測データを用いて、モデルの妥当性と汎用性を検証する。

2. 非ガウス性励振モデルを用いた系の応答解析手法の開発

1. 非ガウス性励振モデルを入力とする1自由度系について、申請者らが考案した応答の統計量解析法(等価非ガウス励振化法と確率密度関数解析法(混合ガウスモデルを利用した方法))を応用し、応答の確率密度関数・統計量を求める解析手法を開発する。この方法では、まず等価非ガウス励振化法を用いて、対象系の応答の統計モーメントを支配する方程式を導出し、これを解いて、応答の4次までのモーメントを得る。次に、その応答モーメントの情報をもとに、混合ガウスモデルのパラメータ(混合比、平均ベクトル、共分散行列)を決定し、応答の確率密度関数の近似解を求める。実在の励振を参照しながら、励振についての複数の解析条件(尖度、帯域幅、卓越振動数、振幅非定常性)を設定し、解析手法の結果とモンテカルロ・シミュレーションの結果を比較することで、解析手法の有効性と適用できる励振のパラメータ領域を検証する。

3. 励振の尖度および帯域幅・卓越振動数が応答特性に及ぼす影響の解明

1自由度線形系を対象として、励振モデルの尖度、帯域幅、卓越振動数の3つを広範囲で変化させながら、2.で開発した解析手法を用いて、応答の確率密度関数と統計量を求める。この結果を基に、1) 励振の尖度が応答に与える影響と、2) その影響度合いが帯域幅・卓越振動数の変化によりどのように変化するかを定量的に評価し、知見を体系的にまとめる。

4 . 研究成果

まず, 1 つ目の目的であった非定常非ガウス性不規則励振モデルの開発については, 上で述べた方法によって, 所望のモデルを実現した. 1. 強地震動と 2. 凹凸路面を走る台車に生じる加速度(走行車に生じる加速度を模擬)という全く異なる 2 種の非ガウス性振動の観測データを用いて, モデルの妥当性と汎用性を検証した. これらの観測データとモデルから生成した標本データの確率密度関数およびパワースペクトルは, いずれの場合でも良く一致し, 開発したモデルが実在する多様な非ガウス性励振を正確に表現できることを確認した.

次に, 上記の非定常非ガウス性励振モデルを入力とする 1 自由度系の応答の確率分布・統計量を求める解析手法を開発した. 実在の非ガウス性励振を参照して設定した複数の解析条件において, 解析手法の結果とモンテカルロ・シミュレーションの結果を比較することで, 幅広い非ガウス性励振に対して, この解析手法の有効性を確認した.

最後に, 1 自由度線形系を対象として, 励振モデルの尖度, 帯域幅, 卓越振動数の 3 つを広い範囲で変化させながら, 開発した応答解析手法を用いて, 応答の確率密度関数と統計量を求め, その結果を基に, 1) 励振の尖度が応答に与える具体的な影響と, 2) その影響度合いが帯域幅・卓越振動数の変化によってどのように変化するかといった点について詳細な調査を行い, 知見を体系的にまとめた.

上記の研究成果を取りまとめ, 学術誌への査読付き論文投稿ならびに学会での発表を行い, 本研究成果の発信を行った. 今後の研究の展開として, 本研究を通して明らかとなった非ガウス性不規則励振を受ける系の応答特性に関する知見を踏まえた, 系の信頼性評価手法の開発が挙げられる. これが達成されることで, 工学諸分野に見られる非ガウス性不規則励振下の系の信頼性を従来よりも正確に評価できるようになるため, 関連する機械・構造物の一層の高信頼性化の実現に貢献できると考える.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 福島英人, 土田崇弘	4. 巻 87
2. 論文標題 帯域幅を考慮した非ガウス性不規則入力を受ける線形系の過渡応答特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 伊藤大造, 土田崇弘
2. 発表標題 バイスpekトルに着目した非ガウス性不規則励振が線形系の応答に与える影響の考察
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第28期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前山浩輔, 土田崇弘
2. 発表標題 非ガウス性不規則励振を受ける振動系の結合応答分布に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第28期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤大造, 土田崇弘
2. 発表標題 高次spekトルを用いた非ガウス性不規則入力を受ける線形系の応答特性に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島英人, 土田崇弘
2. 発表標題 入力の高次自己相関関数を用いた非ガウス性不規則入力を受ける線形系の過渡応答統計量の解析
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daizoh Itoh and Takahiro Tsuchida
2. 発表標題 Response analysis of a system with a nonlinear spring under random excitation via complex fractional moment
3. 学会等名 The 15th International Conference on Motion and Vibration (MoViC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福島英人, 土田崇弘
2. 発表標題 非対称な確率分布に従う非ガウス性不規則入力を受ける線形系の過渡応答特性
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門Dynamics and Design Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土田崇弘, 菅野康平
2. 発表標題 等価非ガウス励振化法による非ガウス性不規則励振を受ける線形系の過渡応答解析
3. 学会等名 日本機械学会 機械力学・計測制御部門Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Tsuchida and Kohei Kanno
2. 発表標題 Analysis of transient response moment of a SDOF system under non-Gaussian random excitation by the equivalent non-Gaussian excitation
3. 学会等名 18th Asia-Pacific Vibration Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Tsuchida and Kohei Kanno
2. 発表標題 Transient response moment analysis of a linear system subjected to non-Gaussian random excitation by the equivalent non-Gaussian excitation method
3. 学会等名 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Tsuchida and Koji Kimura
2. 発表標題 Response distribution of a single-degree-of-freedom linear system subjected to non-Gaussian random excitation by using cross-correlation function
3. 学会等名 13th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野康平, 土田崇弘
2. 発表標題 等価非ガウス励振化法を用いた非ガウス性不規則励振を受ける1自由度線形系の過渡応答モーメント解析
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第25期総会・講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------