

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05863

研究課題名(和文) 快適空間創成のための作用外力および伝達内力の高精度同定に関する研究

研究課題名(英文) High accuracy identification of external and transferred force to generate comfortable environment

研究代表者

河村 庄造 (Kawamura, Shozo)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00204777

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、作用外力および伝達内力の高精度な同定方法を提案した。作用外力の同定法は、外力の作用位置が未知の場合に、質量が既知の重りを付加して応答を測定し、独立した方程式を増やすと共に、係数マトリックスの小さな特異値を打ち切って逆問題を適切化するものである。両端を弾性支持したはりを取り上げ、数値シミュレーションと実験によって、提案手法の有効性を示した。また内力同定に関しては、伝達経路解析において、周波数応答関数の反共振点の挙動を観察することで、経路設定の妥当性を判断できる手法を提案した。階層構造物を取り上げ、数値シミュレーションと実験によって、提案手法の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, high accuracy identification methods of external and transferred force were proposed. In the identification of external force for the case of unknown excitation points, the inverse problem of force identification is regularized by increase the number of frequency response function by adding a mass on the target structure. The identification method proposed was checked for the beam structure, and it was shown that the method was very useful for the actual application. In the identification of transferred force, for the case using missed transfer paths, even if the resonance frequencies could be identified, some significant differences were observed in the anti-resonance frequencies in the restored responses. Therefore, it was shown that the proper paths could be judged by noting the anti-resonance frequencies of the restored responses. The method was checked for the structure with two stories, and it was shown that the method was very useful for the actual application.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：外力同定 内力同定 逆問題 正則化 伝達経路解析 反共振点

1. 研究開始当初の背景

【作用外力の同定】

定常振動の場合の外力同定は、既に 1987 年にレビュー記事があるように、非常に古くから研究が行われている。その手法は、振動の測定値と作用位置での外力の大きさを伝達関数で関係づけ、最小自乗法などを利用して外力の大きさを同定するものであり、現在でも多くの研究がこの考え方に基づいて行われている。

しかし実際の機械・構造物では外力の作用位置が明確ではない場合が多く、現在の方法には限界がある。そこで、モード解析技術を利用して、全自由度の応答を近似的に求めて外力を同定する方法も考えられている。しかし、センサーと同じ数の固有振動モードで応答を表現するので、応答は比較的精度よく再現されていても、同定された外力は不明確である場合が多い。

申請者は、少ないセンサー数で作用位置が不明な場合の外力を同定する手法を提案しているが、複数の作用位置は同定できないこと、さらに作用位置のパターンを試行錯誤しなければならず、同定のための計算量が多いという問題点がある。この問題の根本原因は、逆問題を解くための独立な情報(方程式)がセンサーの数と同じ数しかないことであり、何らかのブレイクスルーが必要である。

【伝達内力の同定】

内力同定は伝達経路解析の一部である。伝達経路解析は、機械・構造物全体を駆動部と受動部に分けたとき、駆動部から受動部へ、伝達経路を通じて伝達される内力を同定するものである。現在の手法は、外力同定の場合と同様、伝達経路は既知としており、測定された応答が再現されるように伝達経路の内力が同定される。したがって、例えば伝達経路の見落としがあった場合でも、応答は比較的十分な精度で再現されてしまう。しかし誤った伝達経路に基づいて同定された内力は正しい内力とは異なるため、設計変更を行っても所望する改善効果が得られない可能性がある。したがって、伝達経路の設定の適切性を判断する手法が必要である。

2. 研究の目的

作用外力の同定に関しては、回転機械のつり合わせのために試し重りを付加する方法を参考にし、対象物に重りを付加して系の特性を変化させて独立な方程式を増やし、一度の解析で全自由度の外力を同定する方法を提案する。そして数値例及び実験によって、提案手法の妥当性、適用性を検証する。

伝達内力の同定に関しては、伝達経路の設定の適切性を、反共振に着目して判定する方法を提案する。そして数値例及び実験によって、提案手法の妥当性、適用性を検証する。

3. 研究の方法

本研究は、

理論構築

数値例(単純構造物・実機想定構造物)による検証

実験(単純構造物・実機想定構造物)による検証

研究全体のまとめ

という流れで進める。特に理論構築は、単純構造物の数値例によって理論の検証を同時に行いながら進める。また実機想定構造物の数値例や実験において得られた知見を理論へ反映させながら 3 年計画で研究全体を完成させる。

4. 研究成果

【H27 年度の成果】

平成 27 年度は理論構築と、比較単純な数値例による検証を行った。加振試験によって修正された評価対象の機械・構造物の数学モデル(有限要素モデル)に対して伝達関数を作成する際、重りを付加した場合の伝達関数を効率よく求める必要があるため、付加重りを微小変動と見なした感度解析によって伝達関数を構築する手法を確立した。次に、外力の振動数と固有振動数の関係から、大きく励起されていると予想される振動モードを表現しやすいような付加重りの配置を提案した。数値例として両端固定はりを取り上げ、構築した方法によって作用外力の同定を行ったところ、応答の再現精度を調べることで、精度の良い同定結果が得られる条件を推定することができること、分布外力よりも集中外力の方が同定は難しいことがわかった。

また対象物の数学モデルを精度良く構築する必要があり、実際に機械・構造物を組み立てる際に重要になる減衰要素、例えばゴム材料の減衰特性を精度良く同定する手法を確立した。更に動的荷重が継続的に作用した場合は、結合部に微小な隙間が発生する可能性があり、そのような場合の振動特性を正確に把握する手法も確立した。

次に内力同定に関しては、伝達経路解析において、経路を見落としした場合、あるいは想定外の経路を有する場合に、同定された内力が受ける影響の解析、及び正しく経路が設定されていないことを検証するための方法を提案し、数値例によって妥当性を確認した。

【H28 年度の成果】

平成 28 年度は、作用外力の同定に関し、単純な構造物を対象とした実験を行った。理論の検証のための数値例は両端固定はりであったが、実験では両端を弾性支持されたはりとした。初めに導電型加振器による接触加振を行ったが、加振器取り付けの影響が大きかったので、加振器と対象物の間に柔らかい部材を挟み込んで加振した。比較的精度の良い周波数応答関数が得られたの

で、外力同定実験を進める。

内力同定に関しては、複数の平板の何力所かを弾性支持して結合した構造物を構築し、基礎加振あるいは一番上の平板を慣性力で加振し、必要な箇所の加速度測定の結果から結合部の内力を同定した。この際、伝達経路の見落としを想定して、受動系の伝達関数のサイズの変更等を行い、平成 27 年度の数値シミュレーションで見いだした、経路見落としの検証方法が採用できるかどうかを確認した。その結果、提案手法によって検証ができる場合と、検証が困難な場合があることがわかった。

【H29 年度の成果】

平成 29 年度は、作用外力の同定を中心に行った。加振方法をさらに改良し、電磁石による非接触加振を採用した(図 1)。そのためロードセルで直接外力を測定して検証することはできないが、分布外力を自然に作用させることができた。その結果、提案手法で分布外力が妥当な精度で同定できることが確認できた。結果の一例を図 2～図 4 に示す。

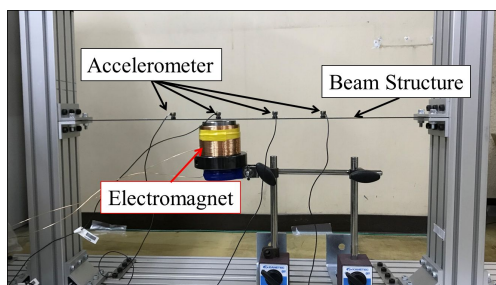


図 1 実験対象の両端弾性支持はり

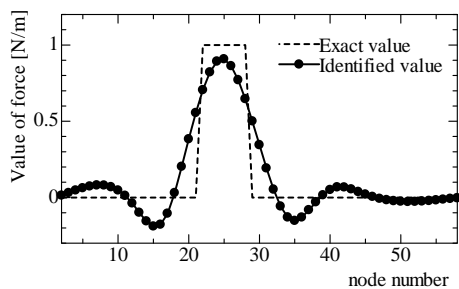


図 2 数値例における外力の同定結果

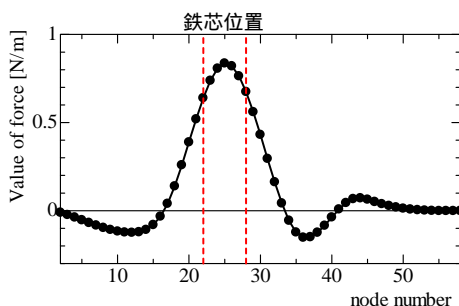


図 3 実験における外力の同定結果

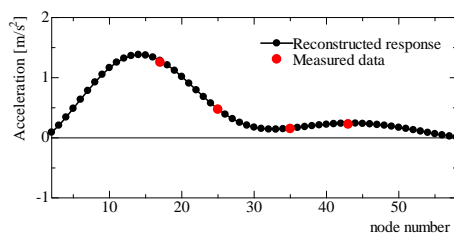


図 4 再現応答と測定値の比較結果

また構造物の健全性評価や、免震装置の設計に対して、外力同定の考え方を応用した研究も行った。

【まとめ】

本研究では、作用外力の同定に関して、新しい手法の提案と実験による適用性の検証、伝達内力の同定に関して、伝達経路の見落としを発見できる手法を提案すると共に、実験によって適用性の検証を行った。いずれの課題も当初の目的を達成することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 10 件)

Shozo KAWAMURA, Ryosuke ISODA and Masami MATSUBARA

Evaluation of dynamic characteristics of the rubber element with and without constraint

Proc. of the 16th Asia Pacific Vibration Conference, 査読有り, 2015, pp.307-311.

Shozo KAWAMURA, Kyosuke IMAMURA and Masami MATSUBARA

Dynamic Behavior of Cantilever Beam with Slightly Gapped Support under Random Excitation

Proc. of the 16th Asia Pacific Vibration Conference, 査読有り, 2015, pp.32-36.

Shozo KAWAMURA, Kota ITADANI and Masami MATSUBARA

Proposition of a Judgment Method of Proper Paths in the Transfer Path Analysis

Proc. of the 16th Asia Pacific Vibration Conference, 査読有り, 2015, pp.312-317.

河村庄造，平原直人，伊勢智彦，松原真己
機械・構造物に作用する外力の同定に関する研究(質量付加によって逆問題を正則化させる同定手法の提案)
TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2016 USB 講演論文集，2016.

河村庄造，平原直人，伊勢智彦，松原真己
機械・構造物に作用する外力の同定に関する研究(質量付加を利用した同定手法の提案)
日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2016 USB 論文集，2016.

河村庄造，喜多雅人，伊勢智彦，松原真己
支持特性を考慮したはり構造物のモード特性同定に関する研究
日本機械学会 第15回評価・診断シンポジウム講演論文集，2016，pp.132-135.

河村庄造，宮城祥，伊勢智彦，松原真己
ひずみ測定による層状構造物の健全性評価に関する研究
日本機械学会 東海支部第66期定時総会講演会 USB 論文集，2017.

河村庄造，宮城祥，伊勢智彦，松原真己
ひずみ測定による層状構造物の健全性評価，
日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017 USB 論文集，2017，Paper No.520.

河村庄造，平原直人，伊勢智彦，松原真己
機械・構造物に作用する外力の同定に関する研究(質量付加によって逆問題を正則化させる手法の検証)
日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017 USB 論文集，2017，Paper No.437.

河村庄造，野村幸一，伊勢智彦，松原真己
長周期地震動に対応した免振装置の設計に関する研究，
日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2017 USB 論文集，2017，Paper No.236.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
該当なし

〔その他〕
該当なし

(1)研究代表者
河村庄造 (KAWAMURA SHOZO)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・
教授
研究者番号：00204777

(2)研究分担者
該当なし

(3)連携研究者
該当なし

(4)研究協力者
該当なし