T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電磁結合による圧電振動子の励振を用いたボルト軸力の非接触測定に関する研究
Title(English)	A study on non-contact measurement of bolt axial force using excitation of piezoelectric resonator by electromagnetic coupling
著者(和文)	長谷部和彦
Author(English)	Kazuhiko Hasebe
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12819号, 授与年月日:2024年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 健太郎,德田 崇,沖野 晃俊,伊藤 浩之,佐藤 大樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12819号, Conferred date:2024/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

論文要約

電磁結合による圧電振動子の励振を用いたボルト軸力の非接触測定に関する研究

長谷部 和彦

第１章「序論」では，日本におけるインフラの老朽化と人手不足の問題を背景に，予防保全の重要性とその実現のための技術開発の必要性について述べ，検査の効率化に有効な UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）を用いた方式の将来展望を論じた。さらに，ボルトの残存軸力測定の重要性と既存の測定手法の課題を指摘し，その解決策として，非接触，低コスト，高耐久性を念頭に，圧電超音波方式と静電容量方式の２つをそれぞれ電磁結合による非接触法と組み合わせたボルト軸力測定法について，その実現法の提案と性能検証が本論文の目的であると述べた。また，軸力の測定誤差を 5%以下に収めることを目指した。

第２章「超音波式ボルト軸力センサー」では，非接触でのボルト軸力測定を実現する方法として，圧電超音波センサー内蔵ボルトを提案し，その実現性を電気等価回路解析と実験により検証した。この方式は，ボルト頭部に接着した圧電素子とコイルによって構成されており，引っ張り軸力によるボルト長の伸びと音速低下に基づくボルト先端での反射波の Tim-Of-Flight（TOF）の変化を，ボルト長さ方向の共振周波数変化として捉える。実験では，圧電素子のアドミタンスの周波数特性の変化を電磁結合によってコイルを介して非接触で測定し，ボルト軸力の変化を検出できることを電気等価回路解析と試作品の評価により示した。また，軸力測定のばらつきは 2.5%であり，目標を達成したとした。しかし，ボルト長さに応じた校正が必要であることが欠点であるとした。

第３章「静電容量式ボルト軸力センサー」では，非接触ボルト軸力測定のもう一つの方法として，静電容量式のセンサー内蔵ボルトを提案した。ボルト全長の伸びを捉える超音波式と比較して，この方式では，ボルト頭部の局所的な変形を静電容量変化として捉えるため，ボルト長さの影響を受けず，校正を不要にできる可能性があること，塗装や腐食，水滴などの影響を小さくできることなどの利点があると述べた。軸力に応じた静電容量変化により水晶振動子の固有周波数が変化する構成を考案して，有限要素法による変形解析と電気等価回路解析により提案方式の動作を検証し，試作装置の実測によって非接触で軸力測定が可能であること，得られた測定誤差は 1.3%以下であることを述べた。また，電気等価回路解析による検討で，部品の選定基準を明らかにした。

第４章「変位拡大機構による静電容量式センサーのばらつき抑制」では，静電容量式の課題である製造ばらつきの影響を抑制する方法として，変位拡大機構の導入を提案した。有限要素法による変形解析に基づいて変位拡大機構の設計方法を示した。そして，試作した変位拡大機構を用いた実験により，製造ばらつきの影響を約半分に低減可能なことを示した。

第５章「UAV を用いたボルト軸力測定の実証」では，UAV に搭載可能な小型・軽量な測定装置を開発し，UAV を用いた軸力測定の実証実験を行った。さらに，コイル形状と結合コイルどうしの位置決め誤差の影響を検討し，形状ごとの傾向を明らかにした。前章までに提案した超音波式および静電容量式の 2 方式の軸力センサー内蔵ボルトに対して，それぞれ実験を行い，UAV を用いた軸力測定がどちらの方式でも可能であることを実証した。

第６章「結論および今後の課題」では，本研究で得られた成果をまとめるとともに，今後の課題について述べた。以上を要するに，本論文はボルト軸力の測定に関して，ボルト長さや頭部の変形を超音波 TOF や静電容量から検出する機構とそれらを電磁結合により非接触で実現する方法を考案し，これらの２方式による測定を UAV に応用できることを実証したものある。