

氏名	WANG Biao (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第528号
学位授与の日付	令和3年9月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	How to Improve both Fatigue Strength and Anti-loosening Performance of Pitch Difference Nut (ピッチ差付きボルト・ナット締結体における疲労寿命向上と緩み防止性能向上の両立)
論文審査委員	主査 教授 野田 尚 昭 " 赤 星 保 浩 " 松 田 健 次 " 山 田 宏 名誉教授 西 田 新 一 (佐賀大学)

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

機械要素や構造物の締結に、ボルト・ナットは広範囲に使用されているが、荷重変動による疲労破壊や使用中のナットの緩みがしばしば大事故の原因となっている。ナットとボルトの間に適切なピッチ差を導入する方法は、疲労強度と緩み止め性能の両者を向上させる可能性がある。しかし、疲労強度を向上させる適切なピッチ差は、緩み止め効果を発揮させる適切なピッチ差より一般に小さい。すなわち、ピッチ差を導入するだけで、疲労寿命と耐緩み性能の大幅な向上を、同時に達成することは難しい。そこで、本研究では、ナット高さを標準ナットより大きくすることで、比較的小さいピッチ差でも緩み止め効果が得られるように工夫している。また、その耐緩み性のメカニズムをユニカー緩み試験の実験と解析で確認するとともに、疲労強度を向上させるため、ねじ山谷底の半径の影響を明確にしている。本論文は全5章からなり、以下のように構成されている。

第1章では、締結体の歴史と代表的な破損事例を紹介するとともに、ボルト・ナット締結体の疲労寿命と緩み止め性能の改善に関する、これまでの取り組みをまとめている。また、ピッチ差付きナットに関する先行研究の成果をまとめて研究の目的を説明している。

第2章では、ピッチ差付き締結体のユニカー緩み試験を行い、耐緩み性のメカニズムを考察している。DIN25201に対応した耐緩み性判定基準「振動回数 $n=1500$ で軸力 80% を維持すること」に基づくと、ピッチ差 $\alpha=40\mu\text{m}$ と $\alpha=50\mu\text{m}$ は耐緩み性の基準を満たすが、 $\alpha=35\mu\text{m}$ は基準を満たさない。しかし、 $\alpha=35\mu\text{m}$ も繰返数 $n=1500$ で初期締結力の 27% を維持しており、実質的には耐緩み性を有することを説明している。次に、締付力 F の繰返数 n による波形を調べており、 $\alpha=35\mu\text{m}$ では繰返数 $n \leq 50$ の範囲では

締結力 F が低下するけれども、締結力 F の低下のない $\alpha=40\mu\text{m}$ と同様に、特徴的波形が確認されるなど類似性があることを説明している。次に、ユニカー式緩み試験の FEM シミュレーションを実施し、 $\alpha=35\mu\text{m}$ と $\alpha=40\mu\text{m}$ の波形が同じであることが解析でも確認できるとしている。すなわち $\alpha=35\mu\text{m}$ と $\alpha=40\mu\text{m}$ で同様の機構が作用することを明らかにしており、緩みが停留する理由について、緩み試験条件下における力と滑りの関係を $\alpha=0$ の通常ナットと比較して議論している。

第 3 章では、疲労強度を向上させるためボルト谷底の曲率半径の影響を議論している。標準の曲率半径 $\rho = \rho_0$ から 2 倍の $\rho = 2\rho_0$ にすることで、応力集中が減少し締結体の疲労強度が 30% 以上向上できるとしている。特に、 $\rho = 2\rho_0$ の締結体に適切なピッチ差を導入することで、疲労強度をさらに 25% 向上させることができるとしている。また、この締結体は、緩み止めの指標となるプリベリングトルクや残留プリベリングトルクが他の特殊ナットと同程度であることを指摘している。すなわち、本章では、ボルトの谷底半径を適切なピッチ差で大きくした場合、緩み防止性能を損なわず疲労強度を向上させることができることを実証している。

第 4 章では、耐緩み性能と疲労寿命の両立を実現するため、ナットの高さの影響を考察している。まず、締結力 F と締付けトルク T の $F-T$ 関係は、ねじ込み・締め付け・緩ませ・ねじ戻しの全ての過程において FEM 解析と実験でほぼ一致するので、解析により $F-T$ 関係を予測できることを指摘している。そして、ナット高さとピッチ差を種々に変えた $F-T$ 関係や緩み防止特性は、ピッチ差とねじ数の積によって決まることを明らかにしている。これから、比較的小さいピッチ差でもナット高さを大きくすることで良好な緩み止め効果が得られるとしている。また、ピッチ差が $25\mu\text{m}$ 未満では、ナットの高さを 10.5mm から 14.0mm に大きくしても、疲労強度は一定である。すなわち、本章では、ナットの高さを大きくし、同時にピッチ差を小さくすることで、疲労強度と緩み止め性能向上の両立が可能であることを確認している。

第 5 章は総括であり、本研究で得られた主要な結論を要約している。

学位論文審査の結果の要旨

本論文では、適切なナット高さとピッチ差を与えることで、疲労強度向上と緩み止め効果の両者を低価格で実現する方法を提案している。耐緩み止めのメカニズムをユニカー緩み試験の実験と解析で検証するとともに、疲労強度を向上させるため、ねじ山谷底の半径の影響を明確にしている。得られた知見は、工業上ならびに機械工学の分野に寄与するところ大であり、博士（工学）の学位論文に値するものとして認められる。なお、本論文に関し、調査委員並びに公聴会出席者からは、緩み止めのメカニズム、ねじ山の荷重分担率や応力集中、ユニカー緩み試験の実験結果と解析結果の違い、適切な要素サイズ、解析条件及び解析精度等について質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。