

氏名	陳 鑫 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	工博甲第 407 号
学位授与の日付	平成 27 年 12 月 25 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	Analytical and Experimental Study on Anti-Loosening Performance and Fatigue Life Improvement for Bolt-Nut Connections Having Pitch Difference (ピッチ差を有するボルト・ナット締結体における緩み止めと強度に関する解析的及び実験的研究)
論文審査委員	主 査 教 授 水垣 善夫 " 野田 尚昭 " 幸左 賢二 " 松田 健次 " Patrick De Baets (ゲント大学) " Magd Abdel Wahab (") " Wim De Waele (") " Roumen Petrov (")

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、ボルト・ナット間にピッチ差（ナット側のピッチを大きく、ボルト・ナット間クリアランスよりも小さい程度）を与える方法により、耐緩み性能のみならず高疲労強度の両方を兼備したボルト・ナット締結体を研究・開発するものである。具体的には、実体ボルトの疲労破壊と緩みを実験的に再現すること、さらにそれを解析的にシミュレーションすることが、課題解決に不可欠と考えて体系的な研究を行っている。

本論文は全 6 章で構成されている。

まず、第 1 章では本研究の背景として、ボルト・ナットの締結体としての特徴、その歴史、ボルトの疲労破壊・緩み破損事故、本研究の目的及び研究方法を示している。

第 2 章ではボルト・ナット締結体のピッチ差付加に関する研究に絞って、耐緩み対策、疲労破壊及び疲労強度向上に関する文献調査を行っている。これまでの研究は主に緩みに関するものが多く、疲労強度に関するものは少ない。その理由として元々ねじ谷底には応力集中係数 $K_t=3\sim 5$ もの高い応力集中があるため、疲労強度の大幅な向上は難しいことが挙げられる。本研究で対象とする締結体は汎用のものと形状、製造法が同様であるため、緩み止めと疲労強度を両立させた上に安価に提供できる理想的なねじ締結体であること等が

示されている。

第3章ではボルトとナットにピッチ差を与えた場合の疲労強度への影響を考察している。その結果、適当なピッチ差を与えることで疲労寿命を向上できることを実験的に明らかにしている。その理由として、ピッチ差を設けることで通常ねじで破断しやすいナットかん合端第1ねじ谷の荷重集中が低減され、ナット後方のねじ谷に比較的大きな荷重分担をもたせるためであることを解析によって示している。

第4章ではピッチ差を与えたボルト締結体を用いて試験方法として基準化されたNAS規格に基づいた緩み試験を行い、緩み止め効果に最適なピッチ差を実験的に解明している。ピッチ差が小さいと緩み止め効果は十分ではなく、ピッチ差が大きすぎると本来のボルトに要求される締結力が低下することを明らかにしている。その結果、緩み止め効果に最適なピッチ差は疲労寿命向上に最適なピッチ差とは異なる範囲となることを明らかにしている。

第5章では疲労試験と有限要素法解析により、ピッチ差付加による疲労寿命向上のメカニズムを述べている。適当なピッチ差を与えた場合、き裂はナットかん合端第6ねじ谷を中心に発生し、ついで第5,4ねじ谷へと移行し、第1ねじ谷で最終破断することを示している。このようにき裂発生起点が順次移行していくために、各ねじ谷においてき裂の発生と伝播が繰り返され、全体としての寿命が通常のねじよりも広い範囲の応力レベルで1.5倍程度長くなることを実験的に明らかにしている。なお、き裂発生位置に関しては第1ねじ谷以外に生じている点は、有限要素法を用いた解析結果ともほぼ一致している。解析を容易にし、かつ計算時間短縮のため、ボルトのらせんねじに代わって軸対称周期溝を採用し、ナットの面取り考慮した新モデルの考察によって、疲労破壊を精度良くシミュレーションできることを示している。

最後の第6章では結論として、緩み止め効果と疲労寿命向上を両立させるピッチ差の範囲を議論するとともに本研究論文全体をまとめている。

学位論文審査の結果の要旨

本研究は、ボルト・ナット間にピッチ差（ナット側のピッチを大きく、ボルト・ナット間クリアランスよりも小さい程度）を与える方法により、耐緩み性能のみならず高疲労強度の両方を兼備したボルト・ナット締結体を研究・開発するものである。具体的には、実体ボルトの疲労破壊と緩みを実験的に再現すること、さらにそれを解析的にシミュレーションすることが、課題解決に不可欠と考えて体系的な研究を行っている。

本論文は全6章で構成されている。

まず、第1章では本研究の背景として、ボルト・ナットの締結体としての特徴、その歴史、ボルトの疲労破壊・緩み破損事故、本研究の目的及び研究方法を示している。

第2章ではボルト・ナット締結体のピッチ差付加に関する研究に絞って、耐緩み対策、疲

劣破壊及び疲労強度向上に関する文献調査を行っている。これまでの研究は主に緩みに関するものが多く、疲労強度に関するものは少ない。その理由として元々ねじ谷底には応力集中係数 $K_t=3\sim 5$ もの高い応力集中があるため、疲労強度の大幅な向上は難しいことが挙げられる。本研究で対象とする締結体は汎用のものと形状、製造法が同様であるため、緩み止めと疲労強度を両立させた上に安価に提供できる理想的なねじ締結体であること等が示されている。

第3章ではボルトとナットにピッチ差を与えた場合の疲労強度への影響を考察している。その結果、適当なピッチ差を与えることで疲労寿命を向上できることを実験的に明らかにしている。その理由として、ピッチ差を設けることで通常ねじで破断しやすいナットかん合端第1ねじ谷の荷重集中が低減され、ナット後方のねじ谷に比較的大きな荷重分担をもたせるためであることを解析によって示している。

第4章ではピッチ差を与えたボルト締結体を用いて試験方法として基準化されたNAS規格に基づいた緩み試験を行い、緩み止め効果に最適なピッチ差を実験的に解明している。ピッチ差が小さいと緩み止め効果は十分ではなく、ピッチ差が大きすぎると本来のボルトに要求される締結力が低下することを明らかにしている。その結果、緩み止め効果に最適なピッチ差は疲労寿命向上に最適なピッチ差とは異なる範囲となることを明らかにしている。

第5章では疲労試験と有限要素法解析により、ピッチ差付加による疲労寿命向上のメカニズムを述べている。適当なピッチ差を与えた場合、き裂はナットかん合端第6ねじ谷を中心に発生し、ついで第5, 4ねじ谷へと移行し、第1ねじ谷で最終破断することを示している。このようにき裂発生起点が順次移行していくために、各ねじ谷においてき裂の発生と伝播が繰り返され、全体としての寿命が通常のねじよりも広い範囲の応力レベルで1.5倍程度長くなることを実験的に明らかにしている。なお、き裂発生位置に関しては第1ねじ谷以外に生じている点は、有限要素法を用いた解析結果ともほぼ一致している。解析を容易にし、かつ計算時間短縮のため、ボルトのらせんねじに代わって軸対称周期溝を採用し、ナットの面取り考慮した新モデルの考察によって、疲労破壊を精度良くシミュレーションできることを示している。

最後の第6章では結論として、緩み止め効果と疲労寿命向上を両立させるピッチ差の範囲を議論するとともに本研究論文全体をまとめている。

以上のように、本論文はボルト・ナット間にピッチ差を与えた場合のボルト・ナット締結体における緩み止めと疲労強度に関する特性を解析と実験の両面から詳細に示した上でその効果を明らかにしている。なかでも、き裂観察により、ピッチ差による疲労寿命向上のメカニズムを明らかにして、開発設計にも広く応用できる道を拓くことができた、といえる。その応用として、最適なピッチ差を有するボルト・ナット締結体の開発・提案は、耐緩み・高強度化を目指すボルト・ナット締結体の信頼性向上に貢献するものと期待される。よって本論文は博士(工学)の学位論文に値するものと認められる。

なお、本論文に関し、審査委員並びに公聴会出席者からは、締付け時と緩み時のトルクの関係、摩擦係数を変化させた場合の影響、耐久線図の算出方法、疲労試験中のき裂状態、プリベリントルクと耐緩み性能の関係等について詳細な質問がなされたが、いずれも適切な回答がなされた。

以上により、論文審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）に十分値するものであると判断した。