

アルミニウム合金製各種締結ボルトの 疲労特性解明に関する研究

国土交通省 松村昭博 立命館大学[院] ○中村裕紀

日東精工 石原雅和 日東精工 上野美光

立命館大学 酒井達雄

A Study on Fatigue Properties of Tightened Bolts Made of Several Aluminum Alloy.

Akihiro MATSUMURA, Yuki NAKAMURA, Masakazu ISHIHARA, Yoshimitsu UENO and Tatsuo SAKAI

1 緒言

現在ボルトは鉄鋼製のものが主流となっている。一方で近年の科学技術の発達によりアルミニウム合金製のボルトが開発・製造されている。しかし、アルミニウム合金製のボルトは疲労強度が非常に低いため、現段階ではそれほど実用化に至っていない。アルミニウム合金製ボルトが実用化されれば、様々な機械製品の軽量化が可能となる。最たる例に自動車挙げられる。自動車には数多くの鉄鋼ボルトが使用されているが、アルミニウム合金製ボルトに代替できれば、燃費向上に大きく貢献することができる。このように、アルミニウム合金製ボルトの実用化は産業界にとって不可欠なものとなりつつある。そのためには、高強度を有するアルミニウム合金製ボルトの開発および疲労特性の解明が急務であるといえる。

そこで、本研究では新たに開発された高い引張強度を有するアルミニウム合金製ボルトを多数用意し、長寿命域にわたる疲労強度特性を実験的に調査、解明している。

2 供試材

本研究で使用した供試材は、超々ジュラルミン系の A7050-T73 材と、A7050-T73 材と類似のアルミニウム合金でさらに強度レベルを改善した高強度アルミニウム合金の材の M6 ボルトである。材は特許の関係で仮の材料名で表記している。

試験片の形状及び寸法を Fig.1 に示す。供試材の機械的性質を Table1 に示す。A7050-T73 材、材とともに試験片作成方法は転造であり、表面処理は施されていない。A7050-T73 材の T73 とは溶体化処理後、過時効処理を行ったことを表している。過時効処理を行うことにより溶体化処理後の耐応力腐食割れ性を最大にすることができる。断面積は M6 ボルトの有効断面積の 20.1mm² を使用した。なお、応力集中係数および切欠係数は考慮していない。

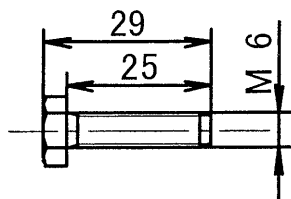


Fig.1 Shape and dimensions of specimens.

Table 2 Mechanical properties of materials.

Material	Tensile strength (MPa)	Proof stress (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
A7050-T73	566	518	18.0	-
				-

3 試験機および実験方法

試験機は油圧サーボ式疲労試験機を用いた。荷重負荷方向は軸方向である。試験機の容量は 20kN である。制御ユニットは島津製作所製のサーボパルサ 4830 形制御装置を用いた。試験速度は 30Hz、試験環境は室温・大気中である。ボルトの締付け方法は一般的に広く用いられているトルク法のトルクレンチで行った。なお、ボルト及びナットへの潤滑油の使用は行っていない。疲労試験実施時の打ち切り繰返し数は $N=10^7$ 回とした。

4 実験結果及び考察

材料による疲労強度の違いを調べた。A7050-T73 材とを用いて、締付けなしのもの ($T=0\text{N}\cdot\text{m}$) と締付けありのもの ($T=12.2\text{N}\cdot\text{m}$) で比較を行った。A7050-T73 材において締付けなしのものとありのものを比較した $S-N$ 特性を Fig.2 に示す。なお、以下に示す $S-N$ 曲線は日本材料学会の $S-N$ 曲線回帰プログラムを用いて回帰した。

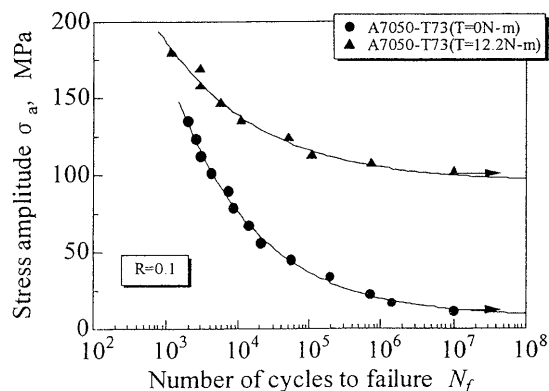
Fig.2 $S-N$ characteristics for tightened bolts of A7050-T73.

Fig.2 より、アルミニウム合金製ボルトの $S-N$ 特性は素材の $S-N$ 特性と同じく、連続低下型となることがわかった。また、A7050-T73 材は締付けがない場合、高い引張強度を有し

ているにも関わらず、疲労強度が非常に低いことがわかる。一方、締付けを行うことで疲労強度が大幅に向上している。しかし、締付けた場合でも、素材が高い引張強度を有していることを考えると、疲労強度は予想されるものよりかなり低い結果となった。これは、締付けの有無に関わらず、切欠感度係数が関係しているものと考えられる。切欠感度係数とは、切欠に対する敏感性のことである。切欠感度係数が高いと、切欠部での応力集中は大きくなる。Fig.3 に切欠感度係数の一例を示す。Fig.3 より、アルミニウム合金は切欠感度係数が高いことがわかる。つまり、アルミニウム合金は切欠に非常に敏感であり、ねじ底で大きな応力集中が起こってしまう。結果、アルミニウム合金製のボルトは引張強度が上昇しても、切欠感度の影響により疲労強度の上昇が相殺されてしまう。このため、A7050-T73 材の疲労強度は低くなってしまったものと考えられる。

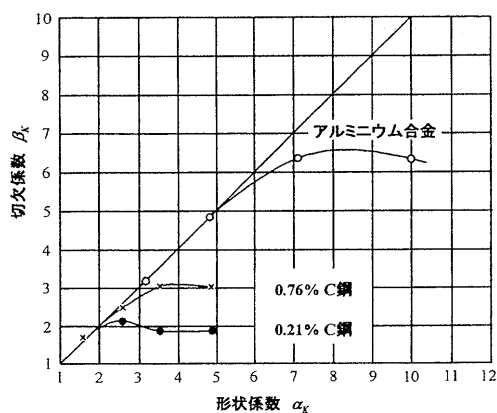


Fig.3 Comparison of fatigue notch sensitivity factor.

次に、材において締付けなしのものとありのものを比較した $S-N$ 特性を Fig.4 に示す。

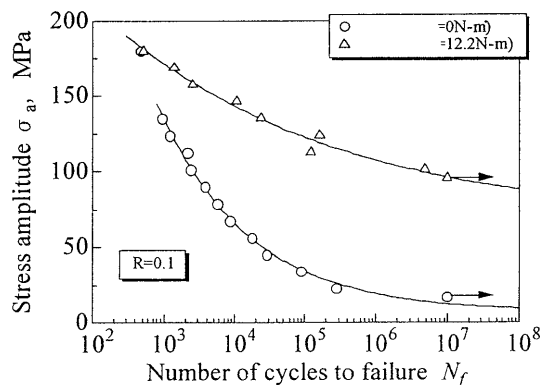


Fig.4 $S-N$ characteristics for tightened bolts of

Fig.4 より、A7050-T73 材と同様に、締付けがない場合疲労強度が非常に低く、締付けを行うことで疲労強度が大幅に向上している。しかし、材においても素材が高い引張強度を有していることを考えると、疲労強度はかなり低い結果となった。これは、材においても前述の切欠感度係数が関係しているものと考えられる。

次に材料による疲労強度の違いを調べるため、A7050-T73 材と材において締付けなしのものと締付けありのものを比較した $S-N$ 特性を Fig.5 に示す。Fig.5 において●および▲は A7050-T73 材を、○および△は材をそれぞれ表している。

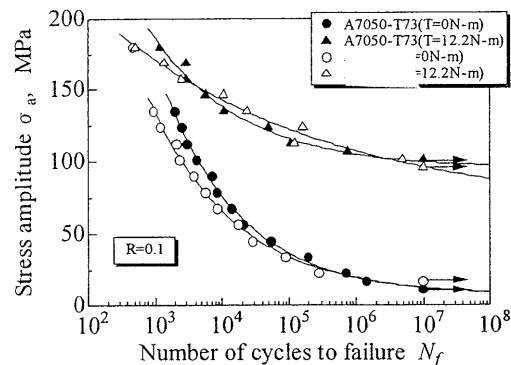


Fig.5 Comparison of $S-N$ diagram for A7050-T73 and

Fig.5 より、A7050-T73 材と材の疲労強度は締付けの有無に関わらず、ほとんど変わらないことがわかる。引張強度では材の方が A7050-T73 材より 200MPa ほど高いにも関わらず、締付けなしとありの両条件下で疲労強度はほぼ同じになってしまった。これは、材の破断伸びが小さいことが要因の 1 つとして考えられる。材は素材そのものの破断伸びが小さいことにより、靱性が小さくなった可能性が考えられる。靱性が小さくなると材料は脆性的になり疲労強度が低くなってしまうものと考えられる。したがって、材は破断伸びが小さいため、靱性が小さくなり、疲労強度が低下してしまったのではないかと考えられる。他には、アルミニウム合金製のボルトであることが要因として考えられる。前述したようにアルミニウム合金製のボルトは切欠感度係数が非常に高いため、引張強度の上昇が無視されるほどの高い応力集中が起こっているのではないかと考えられる。このため、今後は A7050-T73 材や材よりも引張強度が低いジュラルミン系のボルトを疲労試験することにより考察を深めていく必要がある。

以上の実験から、アルミニウム合金製ボルトにおいては素材の引張強度が高くて、必ずしもボルトの疲労強度が高くなるわけではないことがわかった。そのため、高い引張強度を有するアルミニウム合金が開発されても容易に実用化せず、慎重に疲労強度特性を調べていく必要がある。

5 結言

- (1) アルミニウム合金製ボルトの $S-N$ 特性は素材の $S-N$ 特性と同じく、連続低下型となることがわかった。
- (2) アルミニウム合金製ボルトは切欠に非常に敏感であるため、素材がより高い引張強度を有していても、疲労強度レベルはほとんど変わらなかった。

<参考文献 省略>