

国土交通省 松村昭博 立命館大学[院] ○中村裕紀

長崎大学 小山敦弘 長崎大学 高瀬徹

広島大学 菅田淳 立命館大学 酒井達雄

A Study on Fatigue Properties of Tightened Bolts Made of Several Metals.

Akihiro MATSUMURA, Yuki NAKAMURA, Atsuhiko KOYAMA,

Toru TAKASE, Atsushi SUGETA and Tatsuo SAKAI

1 緒言

代表的な機械要素であるネジ・ボルトは古くから多くの機械構造物に使用されている。しかし、ネジ・ボルトの疲労破壊が近年の重大事故の原因となっている。最近の例としては2007年にエキスポランドで起きたジェットコースター脱線事故の原因がネジ部での疲労破壊によるものであった。また、2008年に東名高速道路で起きたタイヤ脱落事故もタイヤを固定していたボルトが疲労破壊したために起こったものとされている。このように、ボルトの疲労破壊によって死傷者を出してしまう悲惨な事故が近年多発している。

以上のような社会的背景を踏まえた上で、本研究では様々な鉄鋼製の締結ボルトの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、市販の軟鋼線材(SWRM10K)と、同じく市販のものであり高い引張強度を有するクロムモリブデン鋼(SCM435)のM6ボルトである。

試験片の形状及び寸法をFig.1に示す。供試材の化学成分と機械的性質をTable1, Table2にそれぞれ示す。SWRM10K材の試験片作成方法は転造であり、表面処理としてユニクロメッキが施されている。SCM435材の試験片作成方法は転造であり、表面処理として黒色酸化被膜が施されている。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。

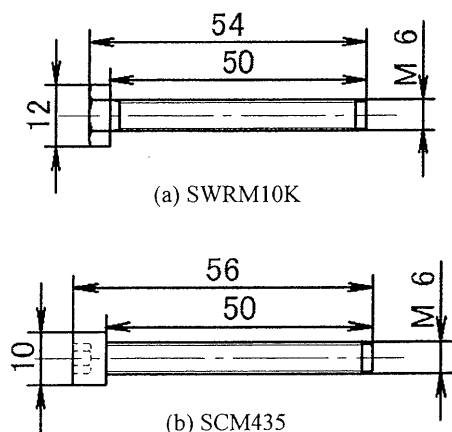


Fig.1 Shape and dimensions of specimens.

Table1 Chemical composition of materials (mass%).

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SWRM10K	0.08~0.13	-	0.30~0.60	≤0.04	≤0.04	-	-
SCM435	0.35	0.2	0.71	0.11	0.1	1.00	0.22

Table 2 Mechanical properties of materials.

Material	Tensile strength (MPa)	Proof stress (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
SWRM10K	507	343	32.5	26.9
SCM435	1419	1282	10.5	58.1

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・荷重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ス 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

材料による締付けの影響を調べた。SWRM10材とSCM435材を用いて、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。SWRM10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。

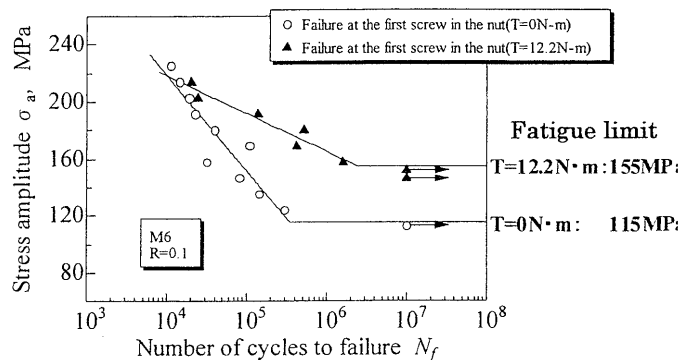


Fig.2 S-N characteristics for tightened bolts of SWRM10K.

Fig.2 より、ボルトは締付けを行うことで疲労限度が向上することがわかる。締付けを行うことにより疲労限度 34.8% 向上した。

締付けを行うことで疲労限度が向上したのは、ボルトと被締結体を締結することにより、ボルトだけでなく被締結体にも外力が負荷されるためであると考えられる。そのため、ボルトへの負荷荷重が減少し、疲労限度が向上したのと考えられる。

次に SCM435 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.3 に示す。

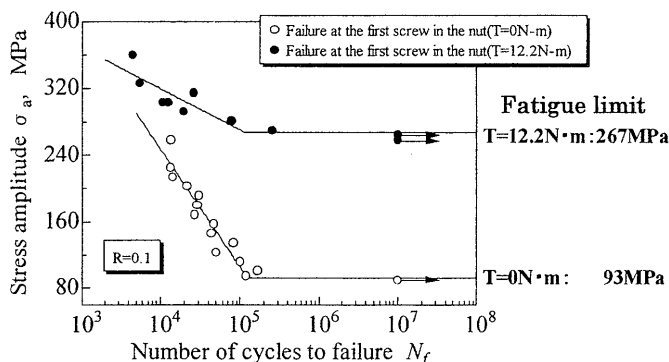


Fig.3 $S-N$ characteristics for tightened bolts of SCM435.

Fig.3 より、SWRM10K 材と同様に SCM435 材においても締付けを行うことで疲労限度が向上することがわかる。締付けを行うことにより疲労限度は大幅に向上し、向上率は 187.1%であった。

次に材料による締付けの影響を調べるため、SWRM10 材と SCM435 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.4 に示す。Fig.4 において□および■は SWRM10K 材を、○および●は SCM435 材をそれぞれ表している。

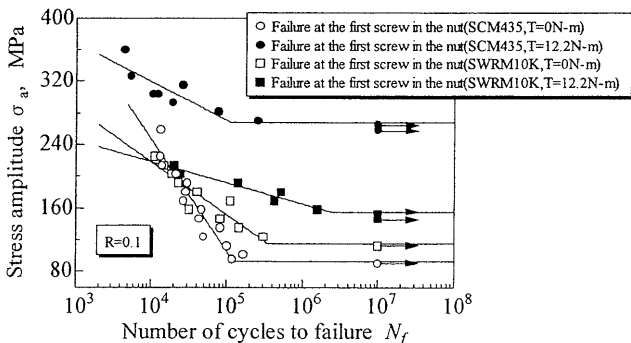


Fig.4 Comparison of $S-N$ diagram for SCM435 and SWRM10K.

Fig.4 より、ボルト自体の疲労強度は高い引張強度を有する SCM435 材の方が低くなるという結果が得られた。これは切欠感度の違いによるものと考えられる。切欠感度とは、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.5 に切欠感度係数の一例を示す。一般的に高強度鋼ほど切欠感度係数が高いといわれている。つまり、高強度鋼は切欠に敏感であり、引張強度

が高くてもねじ底で大きな応力集中が起こってしまう。結果、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限度の上昇が相殺されてしまう。このため、ボルト自体の疲労強度は高い引張強度を有する SCM435 材の方が低くなってしまったものと考えられる。

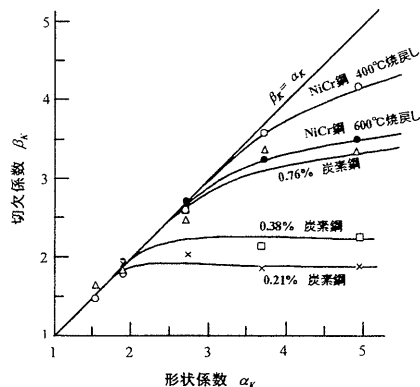


Fig.5 Comparison of fatigue notch sensitivity factor.

また、Fig.4 より締付けありのものの疲労強度は高い引張強度を有する SCM435 材の方が高くなっていることがわかる。しかし、両材料の引張強度のような明確な差は現れず、SCM435 材のボルトの疲労限度は平滑材で予想されるほど大きくはならなかった。引張強度上昇の影響を明確化するため、Fig.4 を標準化したものを Fig.6 に示す。

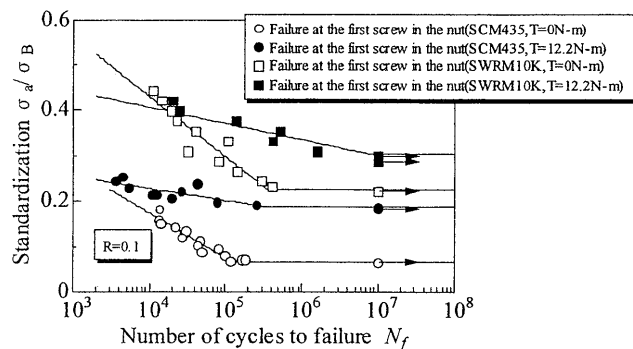


Fig.6 Standardization for SCM435 and SWRM10K.

Fig.6 より、ボルト締結の有無に関わらず、両材料で明確な違いが現れた。これは、前述の切欠感度係数がボルト締結時であっても効果を發揮しているためであると考えられる。このことから、材料の静的強度が大きくなっても、ボルトの疲労限度は平滑材で予想されるほど大きくはないということがわかった。

5 結言

- (1) ボルトは締付けを行うことで疲労限度が向上した。ボルトと被締結体を締結することにより、ボルトだけでなく被締結体にも外力が負荷されるためである。
- (2) 材料の静的強度が大きくなっても、ボルトの疲労限度は平滑材で予想されるほど大きくはない。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限度の上昇が相殺されてしまうためである。

<参考文献 省略>