

I - 246

亀裂を有する鋼板の孔を高力ボルトで締め付けた場合の疲労強度について

宇都宮大学 学生員 池川 真也
足利工業大学 正 員 阿部 英彦
トピー工業 西園 広之

1. はじめに

近年、鋼橋において疲労が原因と考えられる亀裂発生事例が数多く報告されているが、このような場合には適切な補修・補強が必要とされる。鋼構造物の疲労亀裂の進展を止めたり、遅らせるため亀裂の先端にストップホール（円孔）を開け、応力集中を軽減する方法がある。この場合、孔をボルト締めすると更にその効果が高まることは既に報じられているが¹⁾、今回、ストップホールから再び亀裂が進展し始めた場合を考え、これに対してボルト締めが応急的な処置としてどの程度有効であるか調べることにした。その結果、ボルト締めしないものに比べ疲労寿命が著しく伸びることが判った。

2. 試験体及び試験方法

試験体と高力ボルトの形状を図1に示す。試験体側面は残留応力除去の為に機械仕上げを行い、円孔は全試験体とも同一のドリルでφ24mmに開けた。鋼材と高力ボルトの機械的性質を表1に示す。疲労試験は電気油圧式サーボ型試験機を用い、応力波形は正弦波、繰り返し速度は7~9Hz、下限荷重を1.5tf（公称応力2.0kgf/mm²）の片振り引張とした。初期亀裂として3mmを標準とし、亀裂進展確認の為に孔縁から3mmの位置にひずみゲージを左右表裏に貼付し、いずれか1つが破断した時点をもって初期亀裂とした。亀裂が3mm進展するまでのS-N線図を図2に示す。なお、図の縦軸は孔控除断面に基づく公称応力範囲（以下、『応力範囲』と呼ぶ）を表す。ボルト締め付け軸力の種類は、10tf、15tf、20tf、22.5tf及び27tfとし、併せてボルト締め無しの試験も行った。締め付け軸力確認の為、ボルト首下10mmの軸部にひずみゲージを対称に貼り、座金の一部を欠いてゲージのリード線を取り出した。締め付け軸力に対応するトルク値とボルトひずみの値により軸力の管理を行った。その後、様々な引張力で繰返し荷重を加え、全断面破壊をもって疲労寿命とした。

3. 試験結果

3mm亀裂後、破断までのS-N線図を図3に示す。ボルトの締め付け

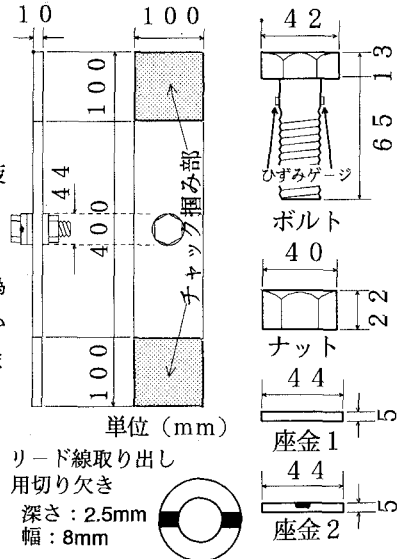


図1 試験体と高力ボルトの形状

表1 鋼材・高力ボルトの機械的性質

規格	降伏 応力 (kgf/mm ²)	引張 強度 (kgf/mm ²)	伸 び (%)
SS400	29	44	32
F10T-M22	104.0 (耐力)	109.1	18.7

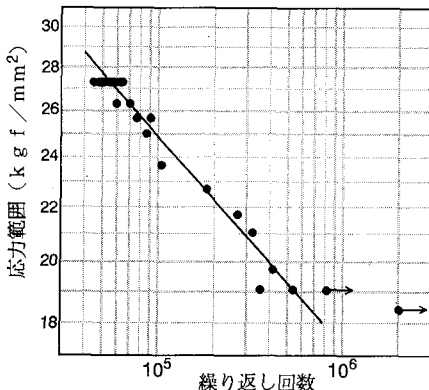


図2 3mm亀裂進展までのS-N線図

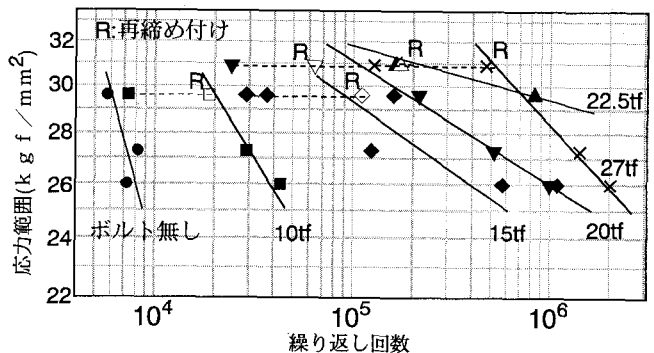


図3 3mm亀裂後、破断までのS-N線図

軸力が大きくなるほど疲労寿命は延伸する。特に、引張の応力範囲が低い場合、この傾向は顕著に現れる。

また、鋼板の孔縁が塑性変形を起こすような高い応力範囲の場合、まず初期塑性変形で板厚が減少することにより軸力も減少するが、所定のボルト軸力で再締め付けすることにより疲労寿命は伸びた（Rの字が付いた印は再締め付けの試験体を表している）。しかしながら、締め付け軸力を27tfにした場合、引張応力 30.9kgf/mm^2 で再締め付け無しの試験体は他と同様、孔縁から亀裂が発生して破断したが、 30.9kgf/mm^2 で再締め付けした試験体、 27.3kgf/mm^2 及び 26.0kgf/mm^2 のものでは3mm亀裂からの進展でなく、孔の上縁近くから別個に亀裂が発生して破断した。図4に鋼板の破断状況図を示す。

4. 考察

孔をボルト締めして試験体を引張る際に、ボルトの締め付け軸力が高いとボルトと鋼板とが一体化することにより孔縁付近の応力集中が軽減されるので、疲労の影響を小さくする効果がある。しかし、締め付け軸力が低いとボルトと鋼板の間にズレが起き易くなり、ボルト締めの効果が減少して疲労破壊が促進する。この時、座金と鋼板間の摩擦により試験中ボルト周辺は熱を発生している。図5にボルト締め付け時から疲労試験を経て破断に至るまでのボルトの軸ひずみと繰返し回数との関係の例を示す。試験開始時の軸ひずみの減少は引張りによる孔縁近辺での塑性に伴う鋼板厚の減少によるものであり、破断直前の軸ひずみの急激な減少は疲労亀裂進展によりボルト締め付け軸力が解放されたことによる。図6は同様の締め付け軸力・引張力で試験を行った際、初期塑性変形後に再締め付けを行った場合の関係図を示している。

締め付け軸力が27tfといった高い場合に亀裂の発生箇所が他の試験体と異なる原因としては、ボルトの過度の締め付けにより座金と鋼板の接触面で応力集中が著しくなり、疲労に対して厳しくなったためと考えられる。

5. 結論

- (1) 亀裂を有する鋼板の孔をボルト締めすることで、その後の疲労寿命は著しく向上する。ある程度迄は締め付け軸力が高いほど疲労寿命は伸び、また、低荷重域ほどこの傾向は顕著である。
- (2) 高荷重域では鋼板の塑性変形により弛んだボルトを再度締めつけることにより疲労寿命は増す。
- (3) ボルトをある程度以上に締め付けても疲労強度の向上は期待できない。この場合、低荷重域では3mmの初期亀裂からの進展でなく、別個に孔の上縁近くから亀裂が発生して破断した。

<参考文献>

- 1) 森 猛：ストップホールをボルト締めすることによる疲労亀裂の補修、構造工学論文集、Vol. 35A、

1989

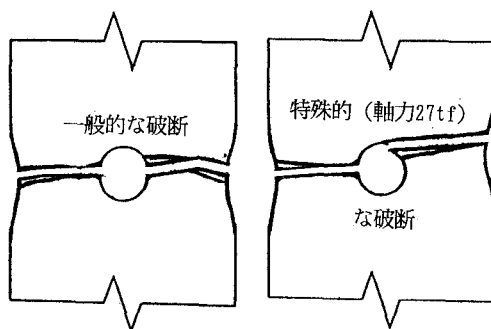


図4 疲労による破断状況

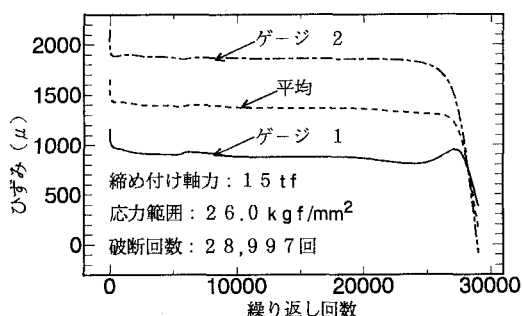


図5 ボルト軸ひずみ－繰返し回数線図

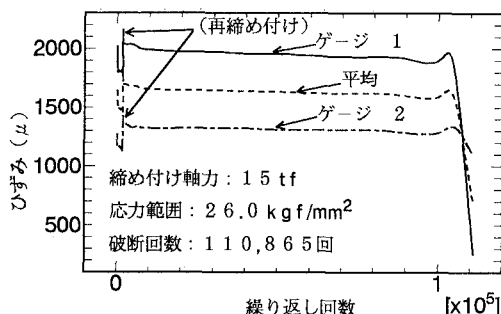


図6 ボルト軸ひずみ－繰返し回数線図