

ボルト締結部における不可視き裂の発生・伝播挙動の超音波計測

Ultrasonic Measurement of Appearance and Propagation Behavior of Invisible Crack at Bolt Joints

プロジェクト代表者：加藤 寛 (理工学研究科・教授)

Hiroshi Kato (Professor, Graduate School of Science and Engineering)

1 はじめに

建設・建築物や大型機械類では各部材の結合にボルト締結やリベット締結が多用されているが、これらは応力集中部であり、繰り返し負荷による機械的疲労の他、接合部材間の摺動によりフレタリング疲労を生じるなど、き裂の発生源となる。このため多くの研究がなされているが、例えば、表面き裂あるいは損傷を超音波を用いて検出する方法に関して Kim ら、Shell らが報告している。また、Osegueda らや Chang と Mal によって、リベット穴に生じるき裂を検出する試みがなされている。しかし、締結部ではボルトヘッドあるいはリベットにより穴周囲が覆われており、疲労き裂の発生及び成長の初期過程を目視観察できない。目視観察できないき裂の場合、斜めに入射させた超音波を部材底面で反射させた後にボルト締結面に照射させる斜角探傷法で検出されている。この方法では各位置で反射する際に複数の反射波を生じ、き裂からの反射波を識別することは必ずしも容易ではない。

本研究では、機械的締結部に発生・成長する疲労き裂を非破壊的に検出するための技術の開発を目標として、アルミニウム合金A2024平板から深い切欠きあるいはボルト穴を有する試験片を製作し、疲労試験に供した。同時に表面弾性波を用いた超音波試験を行い、疲労き裂が発生・伝播していく際の超音波波形の変化を調べた。ここでは、ボルト締結部を有する試験片に対する成果について述べる。

2 実験方法

Al 合金 A2024-T3 平板 (板厚 : 4 mm) よりボルト穴を有する平板状試験片を製作し、2枚重ねて高張力鋼製のボルトで締結した。ボルト締結に際し、締結力を種々に変化させた。また、疲労試験時の面外曲げの影響を低減するため、試験機に取り付ける部分に当て板を貼り付けた。試験片を、周波数 10 Hz、応力比 0.1 (引張引張試験) で疲労試験を行い、破断までの荷重繰り返し数と応力振幅との関係 (SN 線図) を求めた。

所定の荷重繰り返し数ごとに試験片を疲労試験機から取り出し、超音波測定を行った。すなわち、試験片表面に表面弾性波を伝播させ、ボルト穴縁等からの反射波を観察した。

次いで、疲労試験を実施しながらその場超音波測定を行った。この際、水を満たしたゴム袋に超音波探触子を入れ、試験片に押し付けて測定した。これにより試験片表面に表面弾性波を生じさせ、切欠き底近傍からの反射波を計測した。

3 結果および考察

3.1 ボルト締結材の疲労特性

ボルト締結部を有する試験片および対比材としてボルト穴にピンを貫通させた試験片について得られた SN 線図を図 1 に示す。図より、ピンを貫通させた試験片の疲労寿命はボルト締結材に比べて短いことがわかった。また、ピン貫通試験片ではボルト穴縁から疲労き裂が発生・進展していったが、ボルト締結材ではボルト穴から 2~3 mm だけ負荷方向に離れた位置でき裂が発生していることがわかった。この位置はボルト締結に伴って

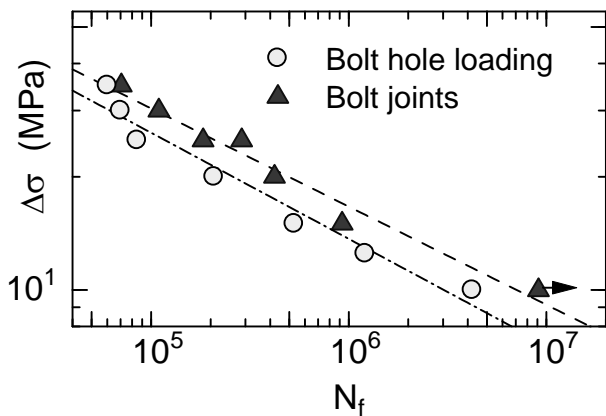


図1 S-N線図

両平板が密着している領域の端部に位置しており、フレットング損傷を受けていた。このことから、フレットング損傷に伴ってき裂が発生し、その後、疲労き裂として進展していくことが分かった。

そこで、ボルト締結力の違いによるき裂発生機構の違いを調べるため、応力振幅を25 MPa一定として種々のボルト締結力の試験片の疲労試験を行った。結果を図2に示すが、疲労寿命は締結力の増加に従って次第に増加していき、最大値に達した後に、減少していくことがわかった。疲労破面を観察した結果、締結力が小さく疲労寿命の増加する範囲では、疲労き裂はボルト穴縁で発生し伝播していった。これに対し、締結力が高く疲労寿命が低下する範囲では、ボルト穴から2 mm以上離れた位置にフレットング損傷に伴う微小き裂が発生し、伝播していくことがわかった。このことから、ボルト締結力の違いにより疲労き裂の発生機構に違いを生じること、最適なボルト締結力の存在すること、が明らかとなった。

次に、所定の荷重繰り返し数ごとに疲労試験機を停止し、表面弾性波を試験片表面に伝播させた。その結果、図3に示すように、測定された強度分布には、試験片端部、ボルト穴縁からの反射波の他に、ボルト締め付け端部からの反射波が観察された。また、疲労の進展に伴って、ボルト穴縁の前方に新たな反射波が観察されるようになったが、試験片表面の観察と比較することにより、新たな反射波は疲労き裂の発生に対応することがわかった。

4 結論

ボルト締結部を有するAl合金試験片の疲労寿命はボルト締結力の増加に従って増加していき、最大値の後は低下することがわかった。これに伴って疲労き裂の発生機構に違いのあることがわかった。また表面弾性波を用いて、疲労き裂の発生・伝播状況を検出可能であることを示した。

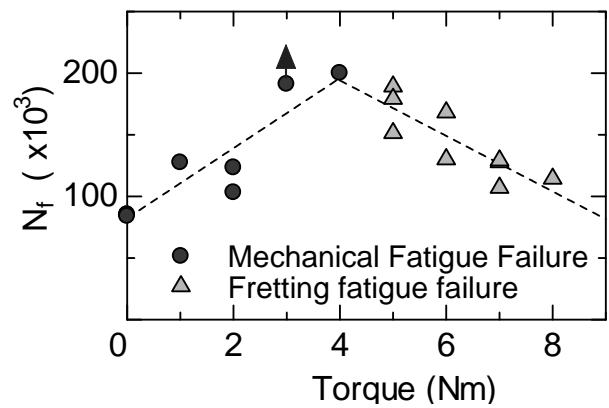


図2 疲労寿命とボルト締結力との関係

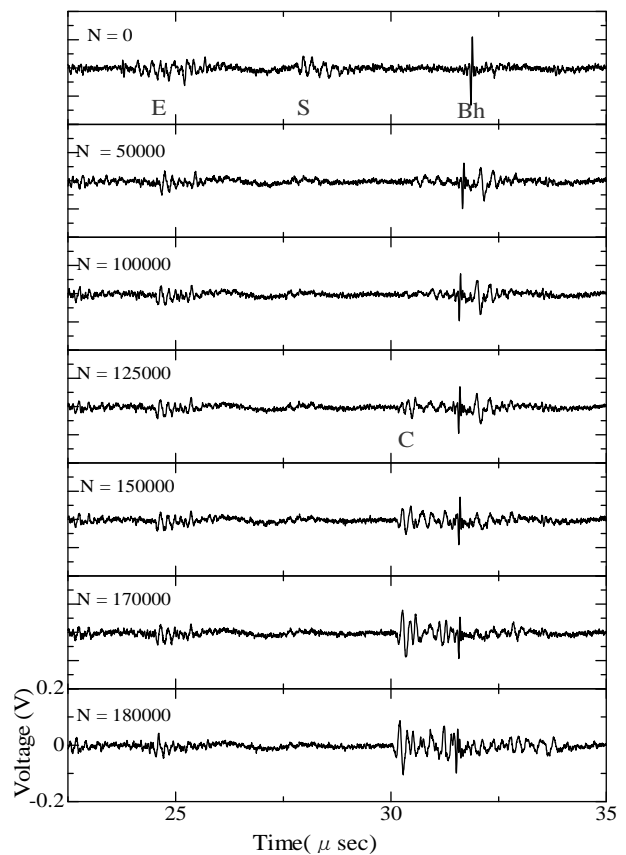


図3 疲労繰り返し数に伴う超音波波形の変化