

プロジェクト名：ボルト締結部における不可視疲労き裂の実時間超音波測定

プロジェクト代表者：加藤 寛（理工学研究科・教授）

1 緒言

機械・構造に多く用いられるボルト締結部が繰り返しの負荷を受けるとボルト穴近傍でフレットング損傷を生じ、場合によっては疲労破断に至る。このため、疲労き裂の早期発見は重要であるが、疲労き裂は締結面に発生することから、外から目視することはできない。申請者は、このような不可視き裂を表面弾性波を用いて検出する方法の開発を行ってきており、平成 21 年度には総合研究機構プロジェクト経費の支援の下で研究を実施し、疲労き裂の早期検出の可能性を示した。また、超音波の同期測定により、疲労サイクル 1 周期中の超音波波形の変化を測定するとともに、疲労き裂の開閉口挙動との関係を示して、き裂長さの評価方法を提案した。しかし、同期測定では疲労サイクル 32 回目の平均的な挙動を測定しており、必ずしも疲労サイクル 1 周期中の挙動と一致するとは限らない。

そこで本研究では、非常に低周波数での疲労試験を行いながら、疲労サイクル 1 周期中に疲労き裂からの反射波を実時間で測定し、同期測定の結果と比較することにより、同期測定の有効性を検証した。

2 実験方法

厚さ 4 mm のアルミニウム合金 A2024-T3 平板から矩形形状の試験片を切り出し、ボルト締結した。その後、応力振幅 15 MPa、応力比 0.05（引張-引張型）、周波数 10 Hz の条件で疲労試験を行った。

図 1 に示すように探触子を配置し、疲労試験中、3 種類の超音波測定を行った。すなわち、所定の疲労回数ごとに、同期測定、停止測定及び実時間測定の順で表面弾性波（SAW）の測定を行った。同期測定は周波数 10 Hz の疲労試験中に疲労サイクルに同期させた SAW 測定、停止測定は試験機を停止させた状態での SAW 測定であり、実時間測定では周波数 0.001 Hz の疲労試験の疲労サイクル 1 周期中にその場 SAW 測定を行った。

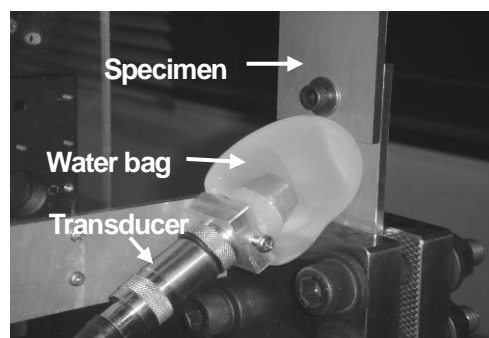


図 1 疲労試験中の超音波測定

3 実験結果

測定された SAW には、ボルト穴縁からの反射波のほかに、疲労試験中に擦れ合った領域（擦れ領域）からの散乱波が観測され、疲労回数の増加に伴って、擦れ領域からの散乱波の前にき裂からの反射波が出現し、増大していった。図 2 に、疲労回数の増加に伴う反射波強さの変化を示すが、同期測定及び実時間測定による SAW 波形中にき裂からの反射波が出現した後、停止測定におけるき裂からの反射波が観察され、疲労き裂の検出に同期測定及び実時間測

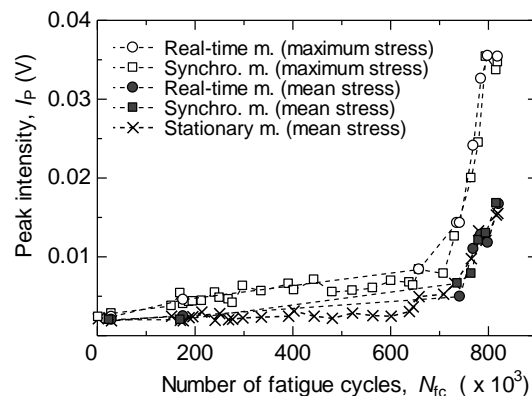


図 2 疲労回数に伴う反射波強さの変化

定が有効であることが確認された。

同期測定及び実時間測定において、疲労サイクル 1 周期中の応力変化に対応した SAW 波形の変化を測定した。各測定で得られた疲労サイクル 1 周期中の反射波強さの変化を、応力変化とともに、図 3 に示す。両測定の結果とも、疲労回数が少ない段階では、反射波強さは応力の変化に従って正弦波状の変化を示すのに対し、疲労回数が多くなると、反射波強さはステップ状の変化を示した。このことは、疲労過程の進行に伴って、疲労き裂の開閉口挙動が変化していくことを示唆している。

各応力段階において両測定で得られた SAW 波形を比較して図 4 に示すが、両波形は非常に類似していた。図中、C 及び Bh は、それぞれき裂及びボルト穴からの反射波を示す。

同期測定及び実時間測定で得られた反射波強さを比較して図 5 に示すが、両測定で得られた反射波強さは各応力段階でよく一致していた。

実時間測定では周波数 0.001 Hz の非常にゆっくりした（準静的な）変動の下での疲労サイクル 1 周期中の変化を測定したが、同期測定は周波数 10 Hz の急速な変動の下での疲労回数 32 回の超音波測定結果を平均した。両者の測定結果が良好に一致したことから、10 Hz の疲労試験中の疲労き裂の開閉口挙動は 0.001 Hz の疲労試験中の疲労き裂の開閉口挙動とほぼ同一であることが分かった。

4 結言

今回の測定結果より、同期測定及び実時間測定で得られる SAW 波形は波形及び強さともによく一致しており、周波数 10 Hz の疲労試験における疲労サイクル中の疲労き裂は準静的な変化過程にほぼ一致する開閉口挙動を示すと結論された。

本研究は、平成 22 年度総合研究機構プロジェクト研究費の他、文部科学省科学研究費補助金（課題番号：21560077）の補助のもとで実施された。

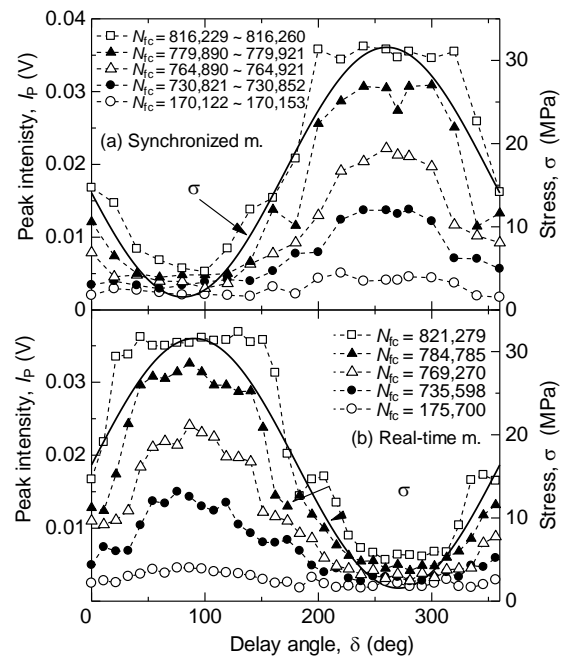


図 3 疲労サイクル 1 周期中の反射波強さの変化

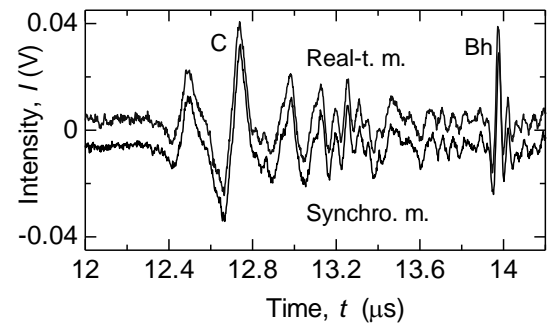


図 4 同期測定及び実時間測定で測定された SAW 波形の比較

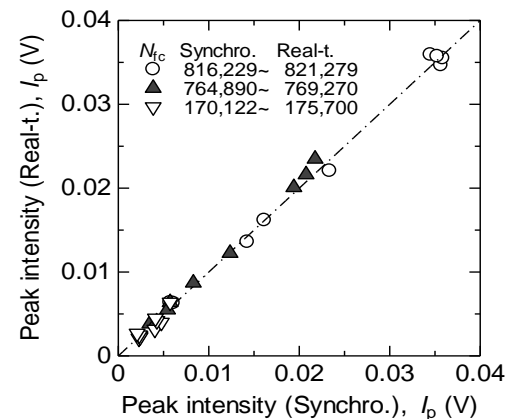


図 5 同期測定及び実時間測定におけるき裂からの反射波強さの比較