

画像計測技術を用いた疲労き裂発生寿命の測定

名古屋大学大学院 ○ 学生員 吉嶺建史 正会員 館石和雄

1. 背景

近年、社会基盤施設の設計はこれまでの仕様規定型の設計法から、性能照査型の設計法へと移行しようとしている。このような動きの中で、将来にわたり社会基盤施設の性能をいかに保証するかについて、その方法が問題となる。鋼橋に関して言えば、一般に将来にわたる性能を左右するのは疲労強度であると考えられることから、従来よりも高精度に疲労寿命を予測する手法の確立が望まれる。従来、疲労寿命を予測する際、溶接継手においては、疲労き裂発生寿命は疲労き裂進展寿命に比して小さいため無視され、疲労き裂進展寿命を疲労寿命と見なしてきた。しかし、実橋で発生するような低い応力範囲では疲労き裂発生寿命の占める割合は大きくなると考えられる。したがって疲労寿命を高精度に予測するためには、疲労き裂発生寿命を詳細に検討する必要がある。そこで本研究では、溶接継手の疲労き裂発生寿命に焦点をあて、0.1mm 程度の疲労き裂の発生を検知するためのシステムを画像計測技術を用いて構築し、このシステムを用いて、応力集中係数、鋼種、き裂発生位置などをパラメータとした疲労試験を行い、これらの要因が、疲労き裂発生寿命に与える影響について検討した。

2. 疲労試験

本研究で用いた試験体の形状を図-1 に示す。試験体は 1 枚の鋼板を
図-1 に示す形状に加工したもの（母材試験体）と、2 枚の鋼板を突合
せ溶接して図-1 の形状に加工したもの（突合せ溶接継手試験体）とし、母材試験体では
母材部、突合せ溶接継手試験体の溶接金属部、突合せ溶接継手試験体の熱影響部（以下、
HAZ）の計 3 種類の位置に切欠きを設けた。HAZ に切欠きを設ける際は、すべての試験
体について溶接部をエッチングさせ、HAZ の範囲を確認後、図-2 に示すようにその中心
に切欠き先端が位置するように加工した。また、き裂発生位置を限定するため片側 1 箇
所にのみ切欠きを設けた。鋼種は SM490 と HT80 を用い、切欠き半径は 0.6mm と 2.0mm
で、有限要素解析により求めた応力集中係数はそれぞれ 7.6 と 4.5 である。試験は動的能
力 $\pm 248\text{kN}$ の電気油圧サーボ式試験機を用い、公称応力を 105MPa で一定とし、繰り返し
速度を 5Hz で行った。

3. 疲労き裂発生検知システム

本研究では、0.1mm 程度のき裂の発生を検知し、自動的に試験機を停止させるシステムを画像計測技術を用いて構築した。そのシステムについて説明する。まず写真-1 に示すように試験体表面を倍率 200 倍のマイクロスコープで定点観察し、その画像（図-3 参照）を 1 分間隔でパソコンへ保存する。画像解像度は 320×240 pixel である。そして、図-3 内に四角で囲んだ部分を切欠き先端部の対象領域として抽出し、あらかじめ用意した 12×12 pixel のき裂のテンプレート（図-4 参照）とパターンマッチングさせ、相関係数を求める。なお、図-4 はテンプレートを見やすくするため拡大し

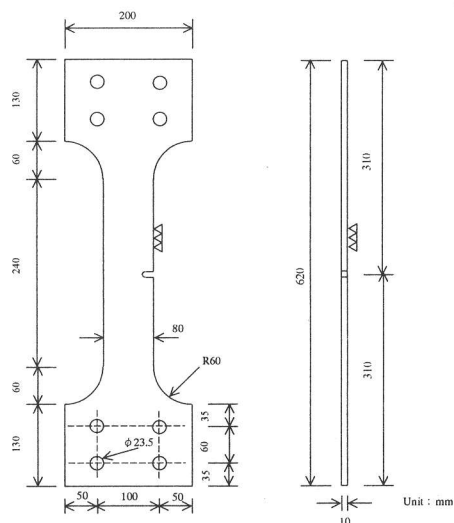


図-1 試験体（母材試験体）

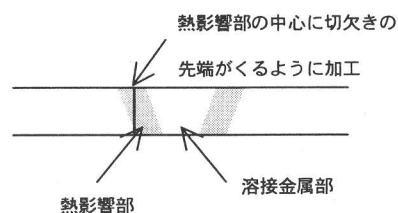


図-2 HAZ の切欠き位置

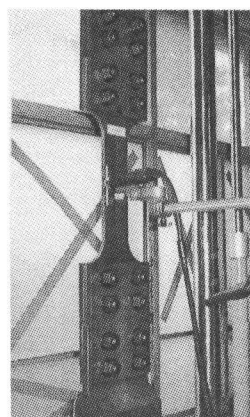


写真-1 試験状況

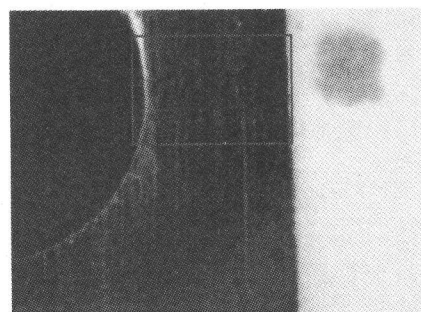


図-3 取得画像

て示してある。疲労試験中に画像を取得するため、試験体が上下に移動し常に画像内の同じ位置に切欠き先端があるとは限らない。そこで赤い点を付けた白い紙を試験体に貼り、それを一緒に写し込み、赤い点を参照点とすることで毎回、同じ部分を切欠き先端部の対象領域として抽出できるようにした。き裂のテンプレートは実際のき裂の画像をもとに作成した。このようにして求めた相関係数がある閾値を越えると、き裂が発生したと判断し試験機を自動的に停止させる。図-5は縦軸に対象領域とテンプレートとの相関係数、横軸に経過時間を取り、相関係数の推移を表したものである。図には3体の試験結果が含まれている。図中の55分及び、130分の位置にある線は、2体の試験体について、保存した画像から目視により確認した0.1mmのき裂の発生時を示している。まず左の線に着目し、線付近で立ち上がっている相関係数の推移を見ると、き裂発生時、相関係数は約0.6である。同様に右の線でも、き裂発生時、相関係数は約0.6である。またき裂が発生していない試験体では相関係数が0.6を越えていない。すなわち、閾値を0.6とすることでき裂の発生を検知できると考えられる。実際、本法により約0.18mmのき裂の発生を検知することが可能であった。また、き裂長0.1mm時の繰り返し数は、保存した画像からき裂が発生した時刻を確認し逆算して求めた。

4. 試験結果

試験結果を図-6に示す。縦軸は公称応力範囲に応力集中係数を乗じた応力範囲、横軸は0.1mmのき裂が発生するまでに要した繰り返し数である。SM490の母材試験体について見てみると、図より明らかなように、き裂発生寿命にも応力集中の影響があることが分かる。また、SM490とHT80の母材試験体の結果を比較するとHT80の方がき裂発生寿命が長く、溶接継手で見られるような静的強度の逆依存は認められない。母材試験体と突合せ溶接継手試験体では、鋼種によらず突合せ溶接継手試験体の方が寿命が長い結果となった。これは、溶接部の金属組織の違いがその要因の一つとして挙げられる。疲労き裂進展寿命は鋼種の影響、つまり金属組織の影響を受けないが、疲労き裂発生寿命はその影響を受け、金属組織が硬い方がき裂発生寿命が長いと言われている。一般に、溶接継手での硬さの分布は母材部が最も軟らかく、HAZで最も硬くなり、溶接金属部で再びその硬度が低下する。したがって、応力集中係数が等しければ、硬い溶接部の方がき裂発生寿命は長くなると言える。同様に、母材試験体においてもSM490よりHT80の方が硬いため、上述のような結果となったと考えられる。また、結晶粒径もき裂発生寿命に影響を与えることが明らかになっており、これらの点について材料試験を行い、より詳細に検討を加える必要がある。

5. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようなものである。

- 1) 画像計測により0.18mm程度のき裂の発生を検知することが可能であった。
- 2) 0.1mm程度のき裂発生寿命は母材部よりも溶接継手の方が長い結果とり、これは金属組織の影響がその要因の一つとして挙げられる。

今後は、疲労き裂発生寿命と疲労き裂進展寿命、疲労寿命との関係を明らかにし、従来よりも高精度に疲労寿命を予測する手法の確立を目指したい。

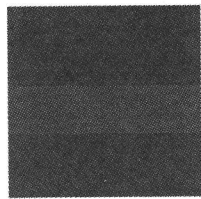


図-4 き裂のテンプレート

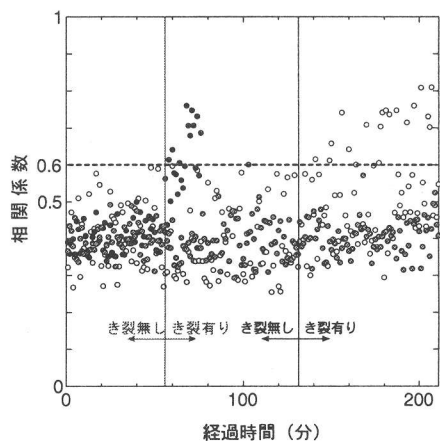


図-5 閾値の決定

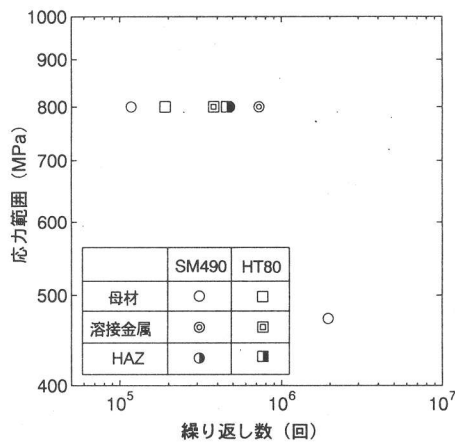


図-6 試験結果