

第 1 部門 圧縮荷重下での疲労き裂進展挙動の実験的検討

京都大学大学院 学生員 ○原田 智彦 京都大学大学院 正会員 松本 理佐

京都大学大学院 正会員 北根 安雄 京都大学大学院 正会員 五井 良直

大阪大学大学院 正会員 堤 成一郎 Osaka University Pengjun LUO

1. はじめに

構造物に発生する疲労損傷は、溶接部から発生することが多い。その原因のひとつとして溶接部に発生する引張の残留応力が挙げられる。残留応力の改善工法としては、溶接部に圧縮残留応力を導入するピーニング処理や、残留応力を消失させる焼鈍が挙げられる。しかし、その効果を定量的に評価することはできず、定性的な評価にとどまっている。その原因は、例えばピーニング処理では、残留応力の改善効果だけではなく、鋼材の材料特性の変化、止端形状の変化等複数の要因が重複しているからである。そこで、本研究では、溶接ままの試験体の平均応力を変化させて、平均応力がき裂発生寿命およびき裂進展速度に与える影響を、最大荷重が圧縮となる条件の疲労試験によって明らかにした。

2. 疲労試験

2.1. 実験概要

図 1 に、疲労試験で使用した面外ガセット試験体の概要と、ひずみゲージの貼付位置を、図 2 には用いた板曲げ疲労試験機の様子を示す。公称応力範囲は、ゲージ B, C のき裂発生前のひずみ範囲の平均値と D, E のき裂発生前のひずみ範囲の平均値の比に、D, E のひずみ範囲の平均値と弾性係数を乗ずることで算出した。

2.2. 疲労試験結果

2.2.1 き裂発生寿命

き裂発生寿命を表 1 に示す。試験体名は、[最大公称応力 / 最小公称応力]としている。き裂の発生寿命は、ゲージ A の平均ひずみが、初期の平均ひずみから 5% 変化したときの繰り返し回数とした。载荷回数が 1000 万回に達しても、き裂が発生せず試験終了に至らなかった試験体は Runout として扱っている。

表 1(a)の結果から、公称応力範囲 80MPa では、最大公称応力が-40MPa 以上の時にき裂が発生し、-60MPa 以下ではき裂が発生しなかった。表 1 (b)の結果を見る

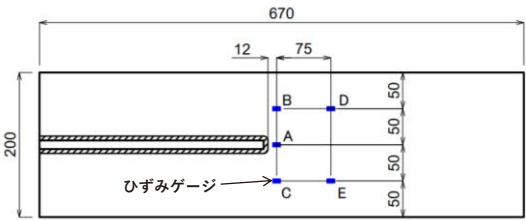


図 1 疲労試験体の平面図（単位：mm

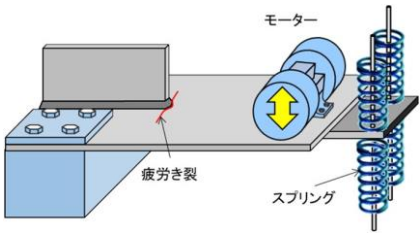


図 2 板曲げ疲労試験機

表 1 き裂発生寿命

(a) 応力範囲 80MPa

試験体名	き裂発生寿命(万回)
[80/0]-1	11.77
[80/0]-2	18.39
[-40/-120]-1	37.45
[-40/-120]-2	39.24
[-60/-140]	runout
[-80/-160]	runout

(b) 応力範囲 100MPa

試験体名	き裂発生寿命(万回)
[100/0]	5.50
[-40/-140]	22.03
[-80/-180]	102.3

と、公称応力範囲 100MPa はすべてのケースで疲労き裂が発生した。また、最大公称応力が小さいほど、き裂の発生寿命が大きくなる傾向があった。

2.3. き裂進展速度

図 3 に繰り返し回数と表面き裂長の関係を示す。図

3(a)からわかるように、公称応力範囲 80MPa の場合、き裂が発生した後のき裂進展速度は、最大作用応力に関わらず、顕著な差がなかった。

図 3(b)からわかるように、公称応力範囲 100MPa の場合も同様に、き裂が発生した後のき裂進展速度は、最大作用応力に関わらず、顕著な差はなかった。

図 4 に、き裂の発生した試験について、JSSC の疲労設計指針[1]より算出した応力拡大係数と、き裂進展速度の関係を示す。図 4(a)は、応力拡大係数算出時の溶接止端に生じる応力集中係数として、止端表面に生じる応力集中係数を用いた。図 4(b)は、応力拡大係数算出時の溶接止端に生じる応力集中係数として、1mm 法[2]を用いて算出した応力集中係数を用いた。

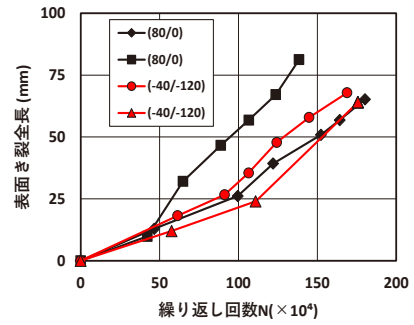
図 4(a), (b)を比較すると、溶接止端の応力集中係数として、解析値をそのまま用いる場合（図 4(a)）よりも、1mm 法を用いた場合（図 4(b)）の方が、試験値のばらつきが小さくなることがわかる。図 4(b)をみると、すべての試験体で、き裂の進展速度に顕著な差は見られないことがわかる。また、試験結果が JSSC の平均設計曲線におおむね一致していることがわかる。

3. まとめ

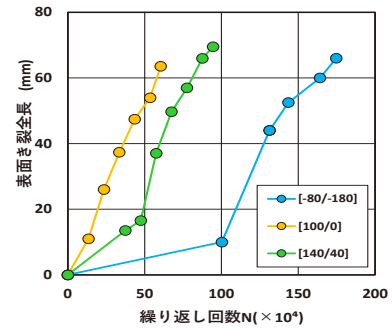
最大荷重が圧縮となる条件での疲労試験を行った結果、き裂の発生寿命に関しては、最大公称応力が小さいほど、大きくなる傾向があった。また、き裂の進展速度については、平均応力が異なる場合でも、顕著な差はみられなかった。また、JSSC に記載の簡便式により応力拡大係数範囲とき裂進展速度の関係を調査した結果、溶接止端に生じる応力集中係数を 1mm 法で評価することにより、平均設計曲線と試験結果が概ね一致した。

4. 参考文献

- [1] 日本鋼構造協会, 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 -付・設計例, 2012.
- [2] 松本理佐, 河本隆史, 石川敏之, 服部篤史, 河野広隆: 板曲げを受ける面外ガセット溶接継手のき裂への当て板接着による疲労寿命延命効果の評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.3, pp.330-348, 2018.

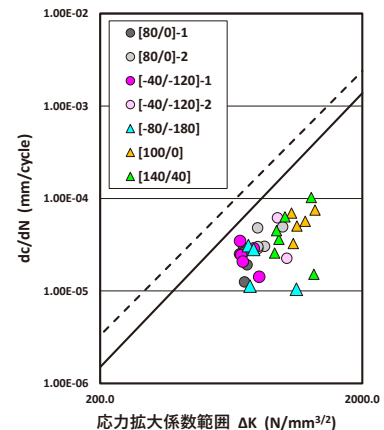


(a) 公称応力範囲 80MPa

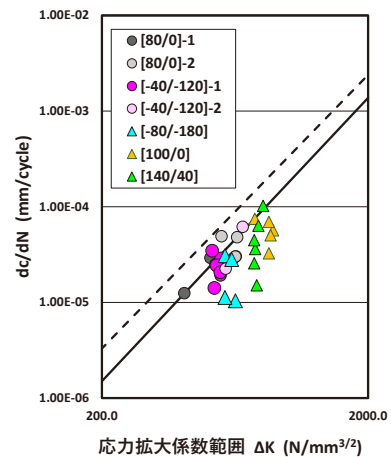


(b) 公称応力範囲 100MPa

図 3 き裂長さとし繰り返し回数の関係



(a) 止端表面の応力集中係数



(b) 1mm 法

図 4 応力拡大係数範囲 ΔK とき裂進展速度の関係