

I-123

応力集中部材の残留応力場における疲れき裂進展解析

三菱重工業（株） 正 員 ○大野 貴史 名古屋大学工学部 正 員 山田健太郎
トビー工業（株） 正 員 青木 尚夫 名古屋大学工学部 学生員 石黒 幸文

1. はじめに

比較的応力集中の大きいガセット付加プレートを用いて、残留応力のない場合および引張、圧縮残留応力場から発生する疲れき裂の進展挙動を、き裂開閉口挙動に基づいて観察し、その結果に基づき、簡便な疲れき裂進展寿命解析法を提案した。

2. 疲れき裂進展実験

実験には残留応力分布の異なる3種類の試験体を用いた。試験体の材質はSM50A、降伏点は348MPaである。1) Aタイプ試験体（A-1, A-2）は、図1に示すような、ガセットを主板にレ形開先でグループ溶接したもので、き裂を発生させる溶接止端部には、放電加工により微小なノッチを導入した。2) Nタイプ試験体（N-1, N-2, N-3）は、Aタイプ試験体に噴流液体窒素冷却法によって、き裂発生箇所の溶接止端部近傍に、圧縮残留応力を付加したものである。

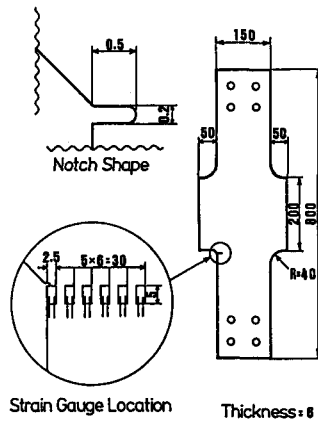


図1 試験体

3) Cタイプ試験体（C-1, C-2）は、残留応力のない素材試験体として、A, Nタイプと同様の形状になるように一枚の鋼板から切り出したものである。各試験体には、き裂の開閉口挙動を測定するため、図1に示す位置にひずみゲージを貼り付けた。A, Nタイプ試験体の残留応力分布を、ひずみゲージ（ゲージ長 $L=1\text{mm}$ ）を用いて作用荷重と直角方向に切断して測定した。その結果を図2に示す。図中のNR-1はN-1の、AR-2はA-2の、NR-2はN-2とN-3の分布に相当する。各試験体の応力範囲は96MPa（A-1のみ85MPa）とし、応力比を零または0.3とした。き裂開閉口挙動は、き裂先端位置に最も近いひずみゲージを用いて、き裂進展のほぼ1mmごとに測定した。その際、き裂の進展に合わせて、き裂先端付近にひずみゲージを追加していった。

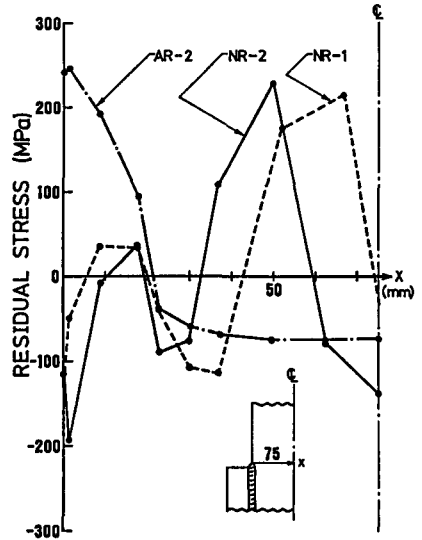


図2 試験体の残留応力分布

同じき裂長さに対する繰返し数は、き裂発生部の残留応力の影響から、N, C, Aタイプの順で多くなった。応力比Rの影響は、今回の試験条件では、C, Aタイプでは小さく、Nタイプでは顕著であった。C-2およびN-2, N-3の開口比とき裂長さの関係、およびき裂がない場合のノッチ先端から板幅方向の疲れ試験時の応力分布を図3に示す。この疲れ試験時の応力分布は、板幅方向に配置した1次元完全弾塑性棒要素に、試験体の残留応力分布を考慮して、FEMで求めた応力集中率分布を用いて求めたものである。一般にC-2に見られるように残留応力がない場合

3. 疲れき裂進展実験結果

同じき裂長さに対する繰返し数は、き裂発生部の残留応力の影響から、N, C, Aタイプの順で多くなった。応力比Rの影響は、今回の試験条件では、C, Aタイプでは小さく、Nタイプでは顕著であった。

C-2およびN-2, N-3の開口比とき裂長さの関係、およびき裂がない場合のノッチ先端から板幅方向の疲れ試験時の応力分布を図3に示す。この疲れ試験時の応力分布は、板幅方向に配置した1次元完全弾塑性棒要素に、試験体の残留応力分布を考慮して、FEMで求めた応力集中率分布を用いて求めたものである。一般にC-2に見られるように残留応力がない場合

は、開口比 U がほぼ一定値を示すことから、本実験結果および工学的な仮定から U と R の関係式を定義した。また $N-2$ 、 $N-3$ でも、 U の分布と疲れ試験時の応力分布の形状がよく一致していると考えられ、 $C-1$ 、 $N-1$ においてもこの傾向が認められた。Aタイプではほとんどの測定領域で U の上限値 1 となるため、必ずしもこの傾向は見られない。しかしながらすべての試験体について、この疲れ試験時の応力分布から U を推定することが可能と考えられた。

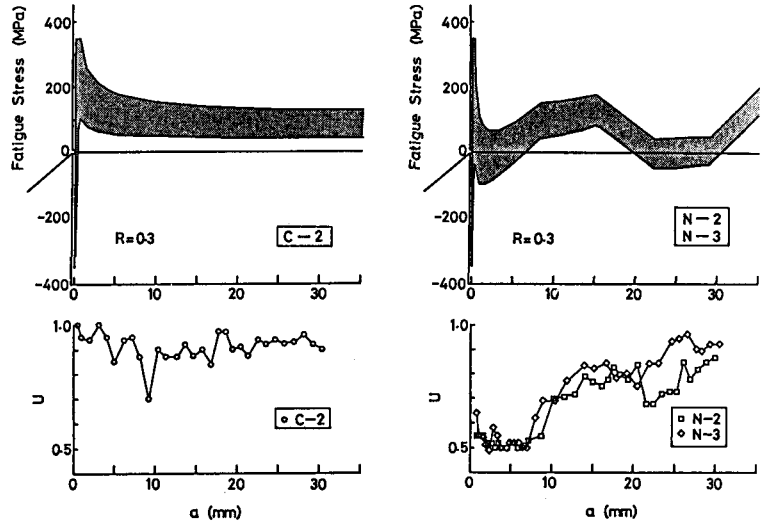


図3 疲れ試験時の応力分布とき裂開口比の分布

4. き裂進展寿命解析

本研究では、以下のような手法で、疲れき裂進展寿命を計算した。1) 試験体のき裂がない状態での疲れ試験時の応力分布を求める。2) この分布を構成する要素ごとに残留応力がない場合の開口比 U と応力比 R の関係式を適用し、要素ごとの開口比 U_i を求め、有効応力範囲 $\sigma_{r\text{ieff}}$ を算出する。3) $\sigma_{r\text{ieff}}$ を応力拡大係数の形状補正係数 F_g を求める式に代入して、応力集中および残留応力、Elber 効果などを考慮した新たな補正係数 $F_{g\text{eff}}$ を算出する。4) $F_{g\text{eff}}$ およびその他の補正係数を用いて有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} を算出する。5) ΔK_{eff} を用いて、 $\Delta K_{\text{eff}th}$ を考慮したき裂進展速度式からき裂進展寿命を算出する。

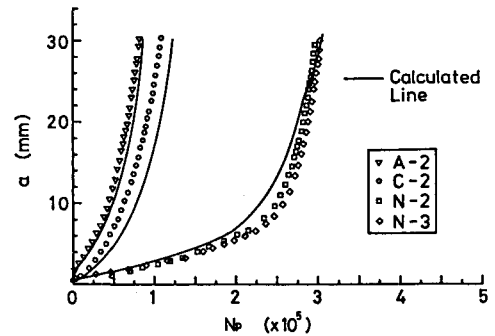


図4 き裂進展寿命解析結果

今回の解析では、き裂進展速度式の各定数として、実験から得られた $C = 2.95 \times 10^{-5}$ 、 $m = 2.8$ および仮定した $\Delta K_{\text{eff}th} = 2.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}$ を採用した。図4にA-2、C-2、N-2、N-3について解析値と実験値を示した。いずれも解析値と実験値はよく対応した。

5. おわりに

本研究から応力集中や残留応力の影響を受ける場合であっても、き裂がない状態での疲れ試験時の応力分布を用いて疲れき裂進展寿命を予測できることがわかった。

参考文献

- 1) 酒井吉永、青木尚夫、藤枝幸二、渡辺正紀：噴流液体窒素ガス冷却によるガセット溶接継手の疲労強度向上に関する研究、第41回年次学術講演会講演概要集(1986)、I-272。
- 2) P. Albrecht and K. Yamada: Rapid Calculation of Stress Intensity Factors, Proc. of ASCE, Vol. 103 No. ST2 (1977), pp. 377-389。