

ルート破壊を対象とした未溶着部の変位による疲労強度評価法

名古屋大学 フェロー ○館石和雄 学生会員 早田直広
正会員 判治 剛 正会員 清水 優

1. はじめに

本研究では、ルート破壊に対する疲労照査手法として、未溶着部の変位を用いることを試みる。過去の疲労試験結果を、有限要素解析から得られる未溶着部の変位で整理することで、その妥当性を検討する。

2. 未溶着部の変位の解析

十字すみ肉溶接継手を対象として、ルート周辺の要素サイズ、板厚、脚長、溶込み量、ルートギャップ、载荷パターンをパラメータとして有限要素解析を行い、未溶着部の変位を求めた。未溶着部の変位として、ここでは次式で算出される変位 d に着目する。

$$d = \sqrt{u^2 + 3v^2}, \quad u = |(u_B - u_{B0}) - (u_A - u_{A0})|, \quad v = |(v_B - v_{B0}) - (v_A - v_{A0})| \quad (1)$$

各記号の意味は図-1 に示す通りであり、 u は未溶着部先端の弾性変形を除いた開口変位、 v はせん断変位である。これは Mode I と Mode II の混合モード条件下での応力拡大係数の考え方を参考に定めた変位である。荷重伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労試験結果によれば、ルートき裂は荷重に直角な方向に進むとは限らず、ある角度をもって溶接ビード内を斜めに進展する場合がある。これは、溶接ビード内の主応力方向が必ずしも荷重方向と直角ではないためである。よって、開口変位のみでは、斜めに進展するルートき裂に関する適切な指標とはならない可能性があるため、上記の変位に着目した。

未溶着部の変位の解析結果の例を図-2 に示す。変位は要素サイズが小さくなるほどある値に収束する。すべての解析結果を観察した結果、要素サイズを 1mm として解析を行った場合の、ルートから 1mm 位置での変位は、継手寸法や载荷モードによらず収束値の 0.9 程度であった。そこで、この変位を疲労強度評価のための指標とする。

3. リガメント長の影響

溶接止端から発生するき裂の疲労寿命は、き裂が短いうちに費やされる寿命がほとんどを占めるため、板厚やリガメント長が全体の疲労寿命に与える影響は小さい。それに対して、ルートき裂の場合、未溶着部が初期き裂となり、き裂が長い状態から進展を開始することになるため、板厚が疲労寿命に大きく影響する。この点を考慮するために、以下のような補正を行うこととした。

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\sec(\pi a/t)} \quad (2)$$

ここで、 a はき裂の半長、 t は板厚である。これを用いると、き裂進展速度と応力拡大係数範囲との関係により、疲労寿命は以下ようになる。

$$N = \frac{(\xi_i \sec \xi_i)^{3/2}}{C(\Delta K_i)^3} \frac{t}{\pi} \int_{\xi_i}^{\xi_c} \left(\frac{1}{\xi \sec \xi} \right)^{3/2} d\xi \quad (3)$$

ここで、 ΔK_i は初期き裂に対する応力拡大係数範囲、 $\xi = \pi a/t$ 、 $\xi_i = \pi a_i/t$ 、 $\xi_c = \pi a_c/t$ 、 a_i は初期き裂長、 a_c は限界き裂長である。き裂長が板厚の半分以上の領域では、上式の被積分関数が 2 次関数で近似できることなどを使うと、次式が得られる。

$$\left(\Delta K_i / b^{1/3} \right)^3 N = C' \quad (4)$$

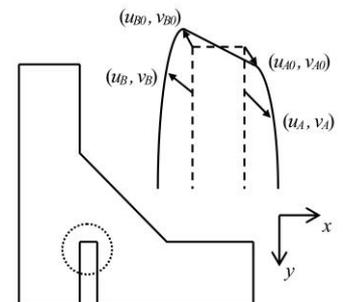


図-1 変位の定義

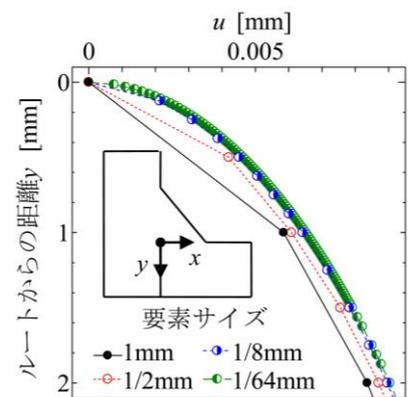


図-2 未溶着部の開口変位

キーワード ルート, き裂, 変位, 疲労強度

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学部 9 号館 6 階 629 号室 TEL:052-789-4514

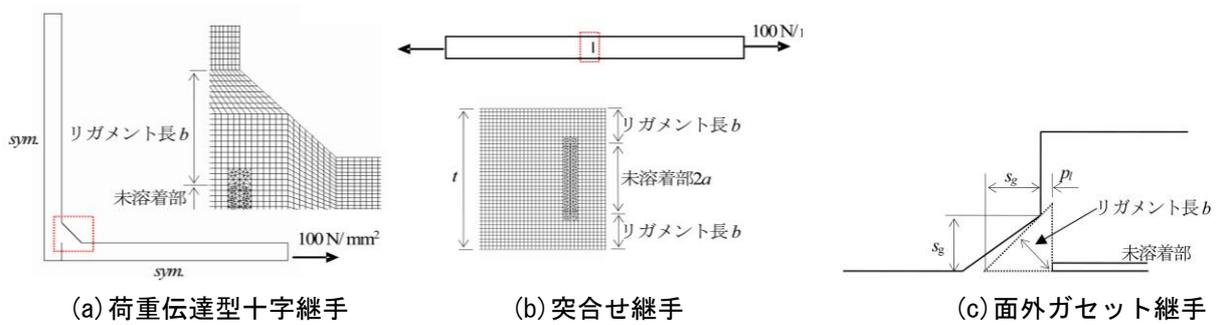


図-4 リガメント長のとり方

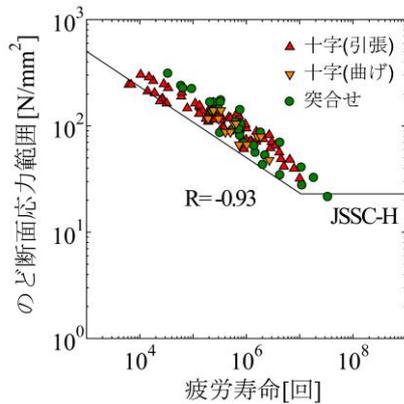


図-3 のど断面応力による整理

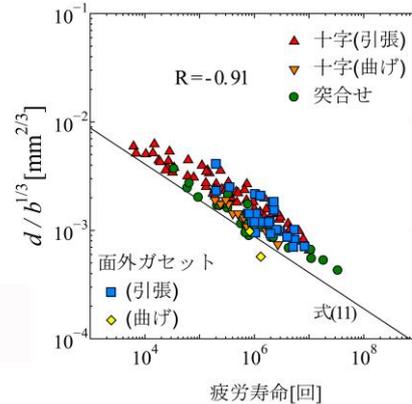


図-5 $d/b^{1/3}$ による整理

ここで、 b はリガメント長である。すなわち、応力拡大係数を $b^{1/3}$ で除すことで、板厚の影響を考慮することができる。応力拡大係数と変位とは比例関係にあることから、本研究では変位を $b^{1/3}$ で除した値 $d/b^{1/3}$ を用いて、疲労試験結果を整理することとした。

4. 疲労試験結果による検証

過去に行われた荷重伝達型十字継手、横突合せ継手、面外ガセット継手に対する疲労試験のうち、ルートき裂によって破壊した試験結果を収集した¹⁾⁻¹³⁾。個々の試験体ごとに解析モデルを作成し、疲労試験と同じ境界条件を設定して解析することで、未溶着部の変位を求めた。試験体の寸法は、文献から得られる中で最も正確と思われるもの(例えば計測結果の平均値)を用いているが、ルートギャップについて文献中に記載がない場合は 0mm とした。また、溶込み量について記載が無く、すみ肉溶接とわかる試験体については溶込み量を 0mm とした。

公称のど断面応力が定義できる荷重伝達型十字継手と横突合せ継手について、公称のど断面応力によって疲労強度を整理した結果を図-3 に示す。疲労試験結果は H 等級を下限とする位置に分布している。リガメント長 b を図-4 のようにとり、 $d/b^{1/3}$ で疲労試験結果を整理した結果を図-5 に示す。面外ガセット継手のように、公称のど断面応力が定められない継手も含め、 $d/b^{1/3}$ で整理することによって、ほとんどの結果が狭いばらつきの範囲内に収まり、全データから得られる相関係数は、のど断面応力によって整理した場合と同等となった。

以上より、要素サイズ 1mm の解析モデルから得られる、ルートから 1mm 位置の変位 d を $b^{1/3}$ で除した値を用いることで、ルートき裂を対象とした溶接継手の疲労寿命が、これまでと同等の精度で予測できることが明らかとなった。

謝辞：本研究の実施にあたっては文部科学省科学研究費補助金(課題番号 25420481)の援助を受けた。

参考文献 1)金属材料技術研究所：十字溶接継手の疲れ特性データシート, No.18, 1980. 2)森ら：溶接学会論文集, Vol.17, No.1, 1999. 3)森ら：土木学会論文集, No.501, 1994. 4)森ら：土木学会論文集 A, Vol.66, No.3, 2010. 5)木下ら：鋼構造論文集, Vol.18, No.69, 2011. 6)永井ら：日本造船学会論文集, No.148, 1980. 7)穴見ら：構造工学論文集, Vol.54A, 2008. 8)森ら：土木学会論文集 A1, Vol.70, No.1, 2014. 9)金ら：土木学会論文集, No.703/I-59, 2002. 10)森ら：鋼構造論文集, Vol.11, No.42, 2004. 11)谷口ら：第 69 回年次学術講演会, I-481, 2014. 12)三木ら：土木学会論文集, No.710/I-60, 2002. 13)下川ら：構造工学論文集, Vol.33A, 1987.