

荷重伝達型溶接十字継手の疲労強度に対する寸法効果について

学籍番号 1070489

氏名 小川晃弘

1. はじめに

鋼構造物の溶接部の疲労設計に用いられる設計疲労強度等級は、その溶接継手をモデル化した小型溶接継手試験体の多くの疲労試験結果から求められている。これは、大型の実大試験体を用いると、コスト的にも時間的にも非常に大きくなってしまふことが大きな要因であるが、一般的には、溶接継手の疲労強度は、継手の形状・寸法が増大するに従い低下することが知られており、実構造物の疲労強度を正しく評価するためには、この疲労強度が継手寸法によって低下する現象、すなわち疲労強度の寸法効果を正しく考慮しなければならない。

今まで寸法効果の研究は多くなされている。例えば、荷重非伝達型十字溶接継手において板厚の 1/4 乗に反比例して疲労強度が低下する、いわゆる「1/4 乗則」が明らかになっており、疲労設計基準にも取り入れられている。しかしながら、この寸法効果の程度は継手形式によって異なることも知られている。一方、荷重伝達型十字溶接継手における寸法効果、特に止端部から疲労き裂が発生する場合の寸法効果に関する研究はあまりなされていないのが実情である。

溶接止端部の疲労強度の寸法効果の大きな要因としては、応力集中の増大、溶接残留応力の増大、及び溶接欠陥などが挙げられるが、応力集中の増大が最も影響が大きく、解析的な寸法効果の研究では一般的にこの応力集中の増大を用いて論じられることが多い。

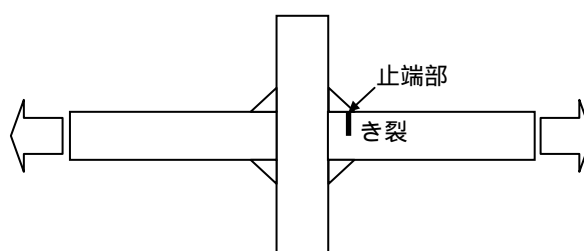


図-1 荷重伝達型十字溶接継手の止端部き裂
そこで、本研究では、荷重伝達型十字溶接継手の溶接止端部から疲労き裂が発生する場合の寸法効果を、応力解析と疲労き裂進展解析を用いて検討する。

2. き裂進展解析

ここでは、図-1 に示す荷重伝達型十字溶接継手の止端部に発生、進展する板幅方向貫通き裂を対象とし、き裂進展解析により寸法効果を検討した。き裂進展解析には修正 Paris 則を用いた。

$$da/dN = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$$

C, m は材料定数であり、日本鋼構造協会疲労設計指針で定める平均設計曲線である $C = 2.7 \times 10^{-11}$ 、 $m = 2.75$ を用いた。 ΔK_{th} は下限界き裂進展応力拡大係数範囲であり、JSSC では $2.9 \text{MPa}\sqrt{m}$ であるが、ここでは 0 として計算した。 ΔK は応力拡大係数範囲であり以下の式で求められる。

$$\Delta K = \Delta \sigma_n \sqrt{\pi a} F_s \cdot F_t \cdot F_g$$

F_s : 表面き裂に対する補正係数(1.12)

F_t : 有限板厚の補正係数

$$F_t = (1 - 0.025\lambda^2 + 0.06\lambda^4) \sqrt{\sec(\pi\lambda/2)}$$

$\lambda = a/T$ a : き裂長さ T : 板厚

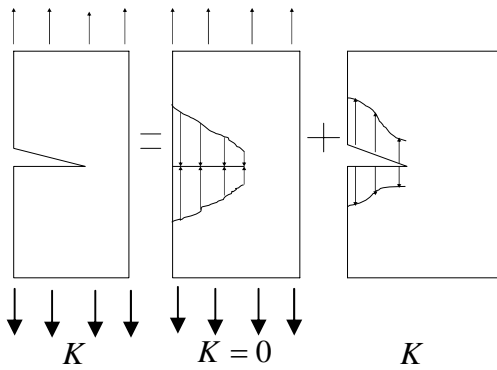


図-2 重ね合せの原理

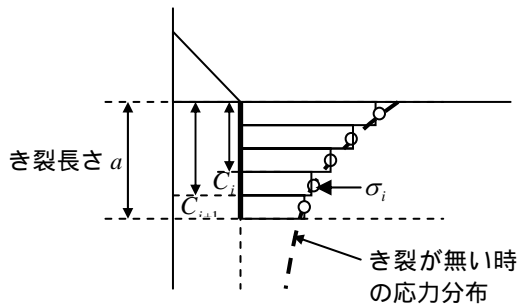


図-3 F_g の計算手法

F_g : 応力勾配に関する補正係数

補正係数 F_g は、図-2 に示す重ね合せの原理を用いて以下の式で計算を行った。計算式中の文字は図-3 を参照されたい(但し σ_n は公称応力範囲である)。

$$F_g = \frac{2}{\pi} \sum \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_n} \right) \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{C_{i+1}}{a} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{C_i}{a} \right) \right\}$$

3. 解析結果

3-1. 解析対象

荷重伝達型十字溶接継手の溶接ルート部の疲労強度には不溶着部長さ、溶接ギャップ、溶接脚長などが大きく影響することが知られているが、これらのパラメータは溶接止端部の応力状態にも大きく影響するものと考えられる。そこで、本研究では、溶込み率、溶接ギャップをパラメータとして寸法効果の検討を行った。

解析ケースを表-1 に示す。本研究では、脚長を 13mm と固定して検討を行った。応力解析には FEM-Code である COSMOS/M を用いた。解析は二次元モデルを用いているが、その一例を図-4 に示し、また同様に板厚 22mm

表-1 解析対象

主板厚	11,22,33mm
溶接脚長	13mm で固定
溶込み率	0, 27, 50, 63%
溶接ギャップ	0, 1.5, 3, 4.5mm

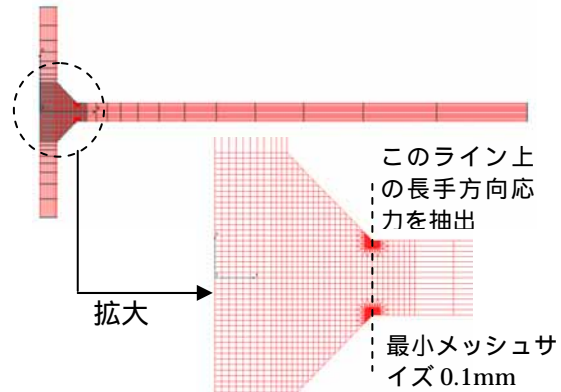


図-4 解析モデルの一例

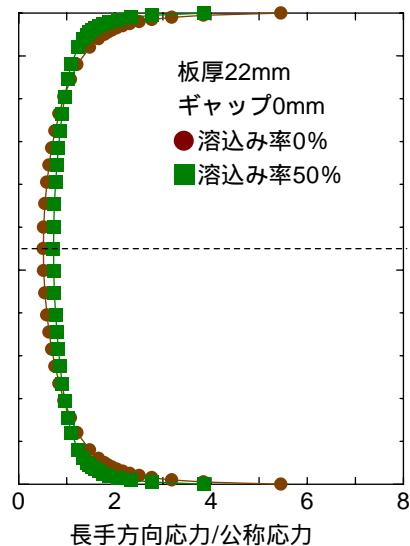


図-5 止端部を含む断面の長手方向応力分布

ギャップ 0mm の時の止端部を含む断面での長手方向応力分布を図 5 に一例として示す。

3-2. 止端部での応力の変化

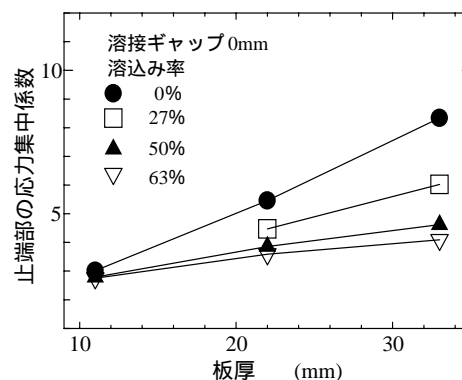
まず、溶接止端部での長手方向応力を各モデルで比較した。図-6 に溶接ギャップが 0mm 及び 3mm の時の、溶接止端部での長手方向応力を公称応力で除した、応力集中係数の変化を示す。応力集中係数は、板厚が増大するに伴い、大きくなっていることが分かる。また、溶込み率が小さいほど、すなわち隅肉溶

接に近づくほど、応力集中係数は大きくなり、また、板厚増大に伴う応力の増加率は大きくなっている。逆に、板厚が 11mm の時には、溶込み率の差異は溶接止端部の応力集中係数には殆ど差異を及ぼしていないことが分かる。これは、溶接脚長(13mm)が、板厚より大きい状態であるために、不溶着部長さの変化が殆ど止端部応力に影響を及ぼさなかったものと考えられる。また、ギャップが 0mm と 3mm とで比較すると、ギャップが大きいほど、のど厚が減少し、止端部での応力集中係数が増加していることが分かる。応力集中係数の板厚依存性の傾向は、ギャップの大きさにそれほど依存しないが、溶込み率の差異による止端部での応力集中係数の差異には、板厚が大きいほどギャップの影響が現れている。

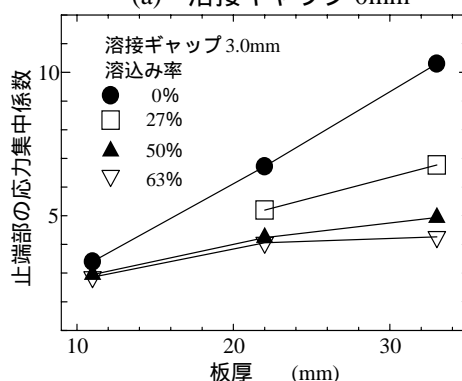
このように、主板厚、溶込み率、溶接ギャップは止端部の応力状態にも大きく影響するが、主板厚と溶接脚長も大きなパラメータであることが分かる。

3 - 3 き裂進展解析結果

溶接継手部の疲労寿命は、その殆どがき裂進展寿命であると言われる。従って、溶接継手部の疲労強度の差異は、止端部での応力集中係数の差異のみで論じられるものではない。そのため、疲労強度の寸法効果を論じるためには、き裂が進展する断面での応力分布を考慮して、疲労き裂進展解析を行い評価する必要がある。ここでは、2章で説明した疲労き裂進展解析を用いて検討を行った。本研究で行った疲労き裂進展解析では、初期き裂を深さ 0.5mm, 0.1mm の 2 ケースの板幅方向貫通き裂とした。疲労寿命は、板厚の 90% までき裂が進展するまでの繰返し回数と定義した。本報告では、疲労寿命が 10 万回になるときの公称応力範囲を 10 万回疲労強度と定義し、この

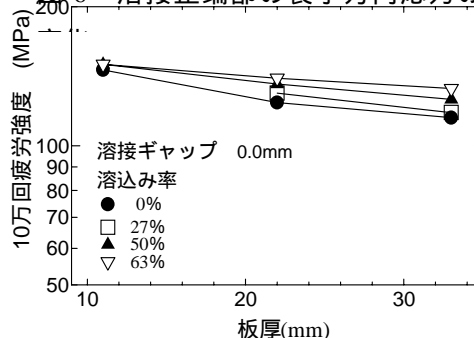


(a) 溶接ギャップ 0mm

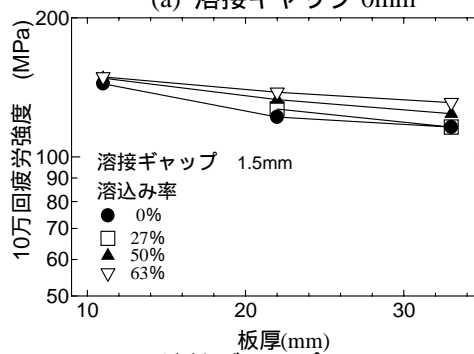


(b) 溶接ギャップ 3mm

図-6 溶接止端部の長手方向応力の



(a) 溶接ギャップ 0mm



(b) 溶接ギャップ 1.5mm

図-7 10 万回疲労強度と板厚の関係

10 万回疲労強度を用いて疲労強度の寸法効果を検討した。図-7 に溶接ギャップが 0mm、1.5mm、3.0mm 及び 4.5mm の時の板厚増加に

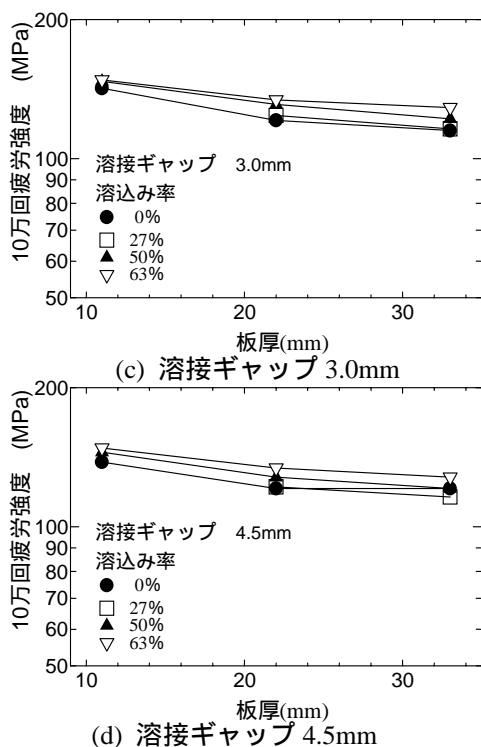


図-7 10万回疲労強度と板厚の関係
 伴う10万回疲労強度の変化を示す。

疲労強度は板厚が増大するに伴い、小さくなっていることが分かる。また溶込み率が大きくなるほど、疲労強度は大きくなり、また、板厚増大に伴い、溶込み率の疲労強度に与える影響は大きくなっている。疲労強度の板厚依存性の傾向は、ギャップの大きさにそれほど依存しない。図-8に、初期き裂0.5mmと0.1mm時の板厚11mmの時の10万回疲労強度を基準として、板厚増加に伴う疲労強度の低下率を示した。溶込み率の違いはここでは考慮せず、ギャップの違いのみでマークを分類している。また、図中には、いわゆる1/4乗則を示す曲線も示している。

本研究の範囲では、初期き裂0.5mmの場合、荷重伝達型十字溶接継手の溶接止端部の疲労強度の寸法効果は、1/4乗則よりも若干小さかった。また初期き裂0.1mmでは止端部の応力集中の影響を大きく受けるため、寸法効果の影響が大きくなっていった。

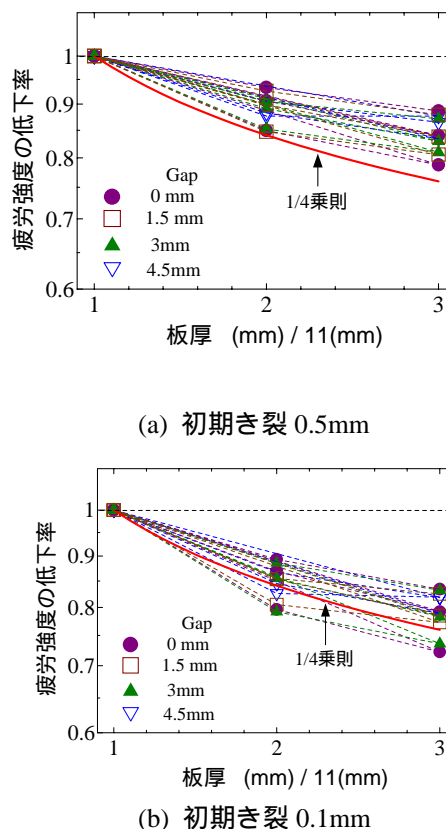


図-8 板厚増加に伴う疲労強度低下率

4. まとめ

1. 荷重伝達型十字溶接継手止端部においても板厚増大に伴い疲労強度が低下する板厚効果が見られたが、その程度は溶込み率や溶接ギャップに依存する。
2. 溶込み率の溶接止端部の疲労強度への影響は本研究のように溶接脚長を固定した場合、板厚が大きいほど大きく現れていた。
3. ギャップが大きいと、応力集中係数が増大し疲労強度が低下するが寸法効果の程度にはあまり影響しない。
4. 寸法効果の程度は設定する初期き裂長に依存するため今後、実験結果を整理するなど、更に検討する必要がある。