

板曲げと軸力を受ける十字すみ肉溶接継手の疲労強度

法政大学大学院 学生会員 荒木 亨仁
法政大学 正会員 森 猛

1. はじめに

日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」(JSSC 指針)では、膜応力と板曲げ応力が作用する場合に、以下のように板曲げ応力範囲 $\Delta\sigma_b$ を膜応力範囲 $\Delta\sigma_m$ に補正する式が提案されている ($\Delta\sigma = \Delta\sigma_m + (4/5)\Delta\sigma_b$)。これは、疲労については、板曲げ応力成分の 8 割が膜応力と等価ということの意味している。また、上式は、板厚が 25mm 以下の継手についてのみ適用することとしており、それを超える継手については板曲げ応力範囲に乗じる係数を 1、すなわち、板曲げ応力は膜応力と等価であるとしている。このような考え方は、溶接継手の疲労寿命の大半は疲労き裂の進展過程で費やされ、き裂進展はき裂が発生する位置での応力だけではなく進展する断面での応力にも依存することによっている。また、このような補正の妥当性は、限られた疲労試験データによって確かめられているにすぎず、特に厚板に対する検討は十分と言えない。

本研究では、十字すみ肉溶接継手を対象として、軸力を受ける場合と板曲げを受ける場合の疲労強度の相違、またそれに対する継手板厚の影響を明らかにすることを目的とする。そのため、モデル試験体の軸力疲労試験と板曲げ疲労試験、試験体モデルと板厚の異なる継手モデルを対象とした疲労き裂進展解析を行う。

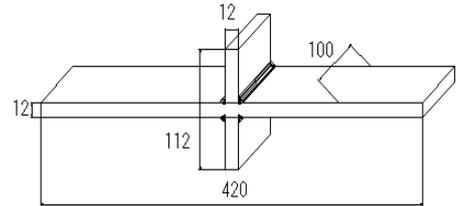


図1 十字すみ肉溶接継手試験体

2. 疲労試験

試験体は図1に示す板厚 12mm の荷重非伝達型十字すみ肉溶接継手である。供試鋼材は SM490YA である。疲労試験は軸力下と板曲げ下で行った。試験の状況を写真1に示す。図2に疲労試験結果を示す。図中の2本の実線は、それぞれ板曲げ疲労試験と軸力疲労試験で得られた応力範囲と疲労寿命の関係に最小2乗法を適用することにより求めた回帰直線である。これらの回帰直線から求めた疲労寿命 50 万回、100 万回、200 万回における板曲げの疲労強度は軸力の 1.22, 1.41, 1.64 倍となっている。



写真1 軸力疲労試験と板曲げ疲労試験

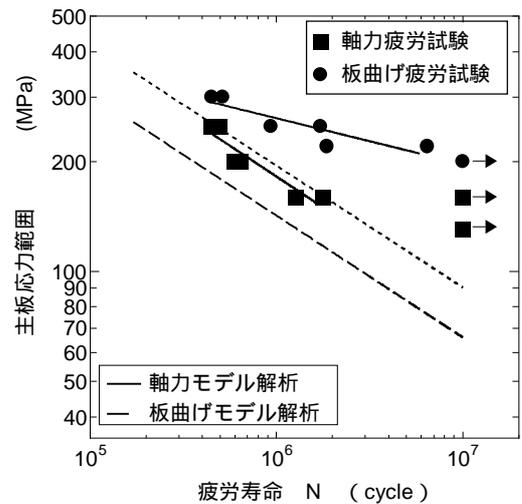


図2 疲労試験結果と解析結果

3. 疲労き裂進展解析

疲労き裂進展解析により試験体モデルの疲労寿命を求めた。解析には3次元き裂進展解析ソフトウェア ZENCRACK を用いた。ZENCRACK での解析手順を以下に示す。まず、有限要素法を用いて荷重点変位を求める。次に仮想き裂進展法を用いてエネルギー解放率が最大になる方向にき裂を進展させ、有限要素解析を行う。き裂進展前と後のエネルギー変化量からエネルギー

キーワード：十字溶接継手、疲労強度、板曲げ応力、板厚

連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部 TEL：042-387-6287

ギ-解放率 G を求め、応力拡大係数 K を算出する ($G=K^2(1-\nu^2)/E$)。求めた K を疲労き裂進展速度表示式 ($da/dN=3.0 \times 10^{-13} \cdot \Delta K^3$ da/dN : mm/cycle、 ΔK : $N/mm^{3/2}$) に代入し、想定したき裂が進展するのに必要な応力の繰り返し数 Δn を求める。以上の手順を初期き裂寸法から限界き裂寸法まで繰り返し、疲労寿命を求める。鋼材のヤング率は、 $2.0 \times 10^5 N/mm^2$ 、ポアソン比は 0.3 とした。初期き裂は深さ 0.1mm の半円形とし、限界き裂深さは板厚の 1/2 とした。モデル全体の要素分割図を図 3 に、き裂近傍の要素分割図を図 4 に示す。解析より求めた応力範囲と疲労寿命の関係も図 2 に破線で示している。深さ 0.1mm の初期き裂を与えているため、き裂発生寿命を無視することになり、解析で求めた疲労強度は試験結果よりも低くなっている。解析より求めた板曲げの疲労強度は軸力の 1.37 倍となっており、実験で得られた板曲げと軸力による疲労強度の違いをある程度再現している。

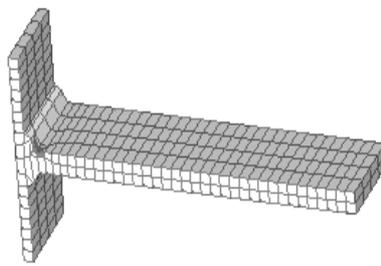


図 3 要素分割全体図

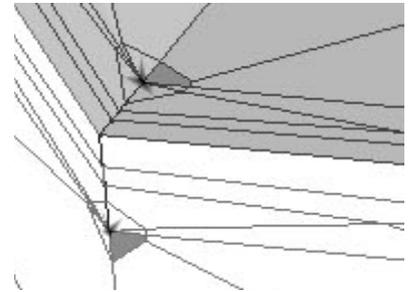


図 4 要素分割き裂先端図

4 . 板厚が板曲げ効果に及ぼす影響

解析モデルの模式図を図 5 に示す。ここでは溶接脚長と板厚の比 (H_s/t)、板幅と板厚の比 (W/t)、主板長と板厚の比 (L/t)、付加板高と板厚の比 (H/t) を一定とし、板厚 t を 9, 12, 16, 25, 36mm と変化させたモデルを作成し、前章で示した条件・方法で疲労き裂進展解析を行う。解析は、板曲げと軸力に加え、両者を混合させた荷重下でも行った。混合の割合を示すために、曲げ応力比 $\beta = (\text{上面の応力}) / (\text{下面の応力})$ を用いた。 $\beta=1.0$ で軸引張、 $\beta=-1.0$ で純板曲げとなる。解析より求めた 200 万回疲労強度と曲げ応力比の関係を図 6 に示す。いずれの板厚のモデルにおいても、疲労強度と曲げ応力比の関係は、ほぼ線形となっている。これらの関係から求めた板曲げ補正係数と板厚の関係を図 7 に示す。板曲げ補正係数は、板が厚くなるにしたがって大きくなるような傾向も認められるが、

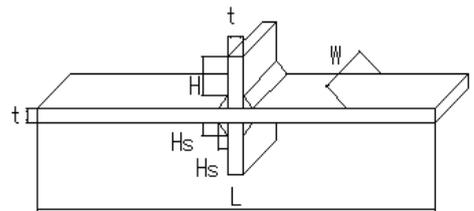


図 5 解析モデル模式図

0.76 ~ 0.77 と、ほぼ一定である。したがって、板曲げ補正係数に板厚の影響はほとんどなく、JSSC 指針で示されている補正係数 $4/5 (= 0.8)$ は妥当と言える。また板厚 25mm を超える継手についても補正係数 $4/5$ を用いることは妥当と言える。

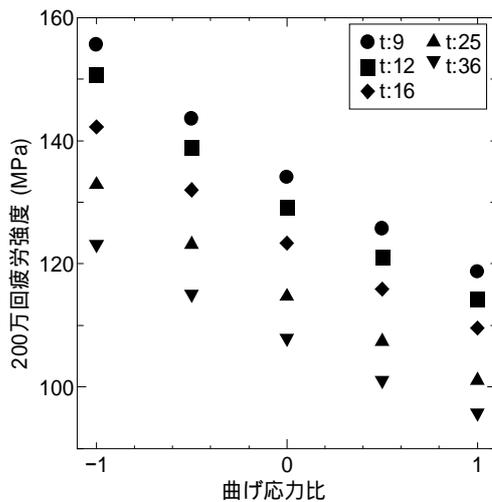


図 6 200 万回疲労強度と曲げ応力比

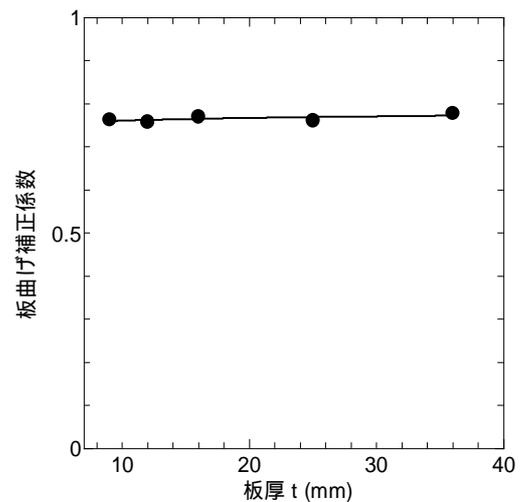


図 7 板曲げ補正係数と板厚

4 . まとめ

十字すみ肉溶接継手の疲労強度評価を行う際、板曲げ応力を膜応力に変換するために JSSC 指針で示されている補正係数 $4/5$ は妥当である。また、この補正係数は 25mm を超える継手についても適用できる。