

せん断荷重下におけるスポット溶接打点位置の疲労寿命に及ぼす影響*

- 3点スポット溶接した等厚LL試験片による検討 -

小笠 紘太郎¹⁾, 小野 一登¹⁾, 河井 春樹¹⁾, 松崎 友哉²⁾, 岡部 顕史³⁾, 富岡 昇³⁾

Influence of Spot Welding Point Position on Fatigue Life under Shear Load

- Three spot-welded equal-thickness LL specimen -

*Kotaro Ogasa¹⁾, Kazuto Ono¹⁾, Haruki Kawai¹⁾, Yuya Matsuzaki²⁾, Akifumi Okabe³⁾, Noboru Tomioka³⁾

This paper describes the nominal structural stress (maximum principal stress) by the position of spot welding under the shearing force. The model used this study is the 3 points welded structure that consists of two L-shape thin plate with flange. Changing the position of center spot weld in the direction of flange width and flange length, the maximum principal stress that occurs at each spot weld was researched.

Key Words: (Standardized) materials, iron and steel materials, fatigue, (Free) Spot weld, Nominal structural stress, Fatigue life [D3]

1. 緒 言

CAEによるスポット溶接構造疲労寿命予測法の一つに、公称構造応力(Nominal structural stress)を評価パラメータとして用いる方法がある。また、粗いメッシュ分割したFEモデルの解析データ(ナゲット中心に生じる分担荷重とその周辺の変位)から、弾性学を用いて円板内の応力であるスポット溶接の公称構造応力を簡便かつ精度よく得ることのできる算出法が提案されている⁽¹⁾⁽²⁾。

本研究では、フランジ部で3点スポット溶接した等厚LL構造を対象とし、中央スポット打点位置の変化が疲労寿命に及ぼす影響を検討した。また疲労データには圧痕表面のひずみ値で補正を施した。

2. 公称構造応力算出法

公称構造応力算出法とは、ナゲットを中心として描いた任意直径 D の円形部を、これと同じ寸法・材質の円板に置き換えて、弾性学の板理論を用いて応力解析し、高精度な応力解を得ようとするものである。

実用的な粗いメッシュ分割FEモデルを作成し、解析の結果得られたナゲット中心に位置する分担荷重とその周辺の変位を荷重条件と変位境界条件として用いる。

弾性学の板理論を用いて円板の応力解析を行う場合、板面内

*2018年3月6日自動車技術会関東支部学術研究講演会において発表。

- 1)・3) 日本大学理工学部(101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)
- 2) 日本大学大学院(101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)

の荷重 F_x, F_y, M_z に対しては平面応力問題、面外荷重 F_z, M_x, M_y に対しては曲げ問題として扱い、それらの結果を重ね合わせることで応力や変位を求めることができる。

3. スポット溶接構造FEモデル

スポット溶接構造FEモデルのナゲット部は上下板間をナゲット相当の剛性をもつビーム要素で結合し、ナゲット半径上に剛体バー要素を配置した。

解析対象としたスポット溶接構造のLL構造を図1に示す。等厚のL形板2枚をフランジ部で3点スポット溶接したモデルで、上板の端部にせん断荷重 W を作用させ、下板の端部を拘束した。なお、フランジ幅は15[mm]とする。図1に示すように3点のスポット溶接部を、左スポット(Left)、中央スポット(Center)、右スポット(Right)と呼ぶことにする。

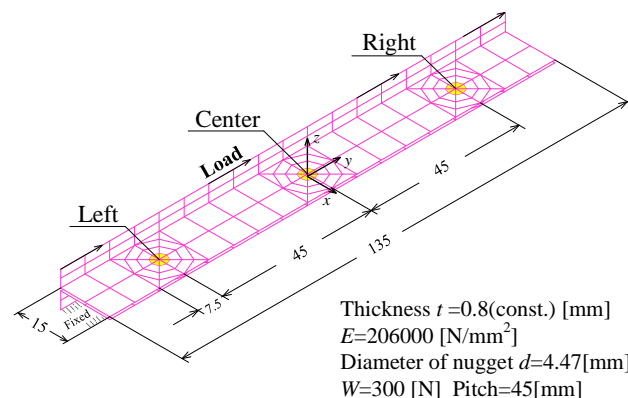


Fig. 1 Three spot-welded equal-thickness LL model

4. 中央スポット打点位置が公称構造応力に及ぼす影響

4.1 フランジ長さ方向の変化

図1のFEモデルにおいて左右2点のスポット打点位置を固定したまま中央スポット打点位置のみをフランジ長さ方向すなわち y 軸方向に $-30 \leq y \leq +30$ [mm] の範囲で変化させて解析を行い、3点のスポットに生じる最大主応力を求めた。フランジ幅方向には一定 ($x = 0$ [mm]) とした。図2に上板下面、下板上面におけるそれぞれのスポットの最大主応力値を示す。

図2より $-22.5 \leq y \leq +22.5$ [mm] の範囲では中央スポットで公称構造応力が生じることが分かる。ここで公称構造応力とは構造全体における最大主応力値のことである。また、中央スポットが $y = +22.5$ [mm] 以上では、公称構造応力が左スポットの上板下面で生じる。なお図1のLL試験片は構造ならびに荷重・拘束条件において対称であることから、図2の最大主応力分布も $y = 0$ [mm] を境に対称となった。

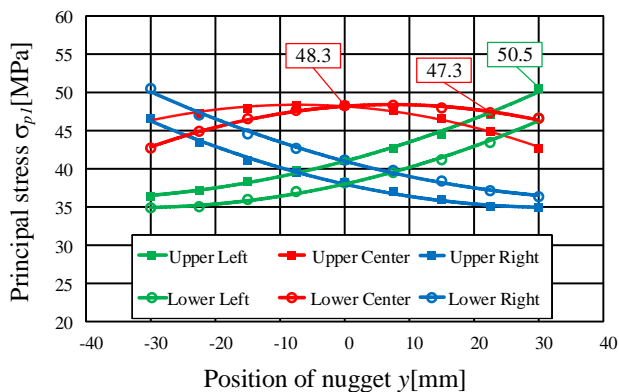


Fig. 2 Maximum principal stress of each spot (y-axis)

4.2 フランジ幅方向の変化

左右2点のスポット打点位置を固定したまま中央スポット打点位置のみをフランジ幅方向すなわち x 軸に $-2.7 \leq x \leq +2.7$ [mm] の範囲で変化させた際の下板上面における最大主応力を求め、以下の図3に解析の結果をまとめた。フランジ長さ方向は $y = 0$ [mm] 一定とした。

図3より中央スポットが自由端に近づくほど、中央スポットに生じる最大主応力は 50.2 [MPa] から 47.0 [MPa] へと若干小さくなり左右のスポットに生じる最大主応力は徐々に大きくなった。これは中央スポットが分担していた荷重が減少し、両端2点が受け持つ荷重が増加したためである。公称構造応力(構造全体での最大主応力)は常に中央スポットに生じ、中央

位置 $x = 0$ [mm] の応力値 48.3 [MPa] を基準に ± 4.0 [%] 以内の値となった。

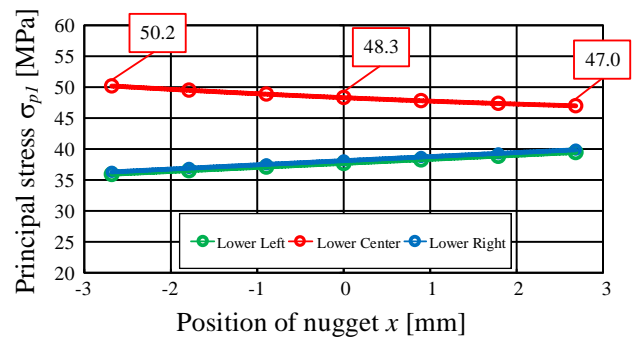


Fig. 3 Maximum principal stress of each spot (x-axis)

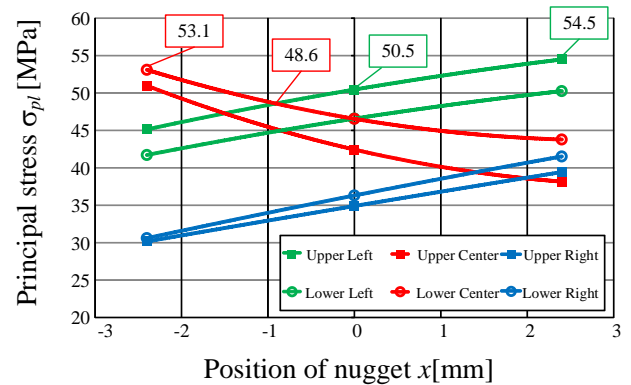


Fig. 4 Maximum principal stress of each spot (x,y-axis)

次に、中央スポットが $y = 30$ [mm] のとき、フランジ幅方向に $-2.4 \leq x \leq +2.4$ [mm] の範囲で変化させた際の最大主応力値を図4に示す。図4より $x \leq -0.9$ [mm] では中央スポットの下板上面で公称構造応力が生じ、 $x \geq -0.9$ [mm] では左スポットの上板下面に公称構造応力が生じる結果となった。

4.3 中央スポット打点位置と公称構造応力の関係

図2, 3, 4より、中央スポット打点位置が $-2.7 \leq x \leq +2.7$ [mm], $-30 \leq y \leq +30$ [mm] の範囲で移動すると公称構造応力は中央位置 ($x = 0$ [mm], $y = 0$ [mm]) 48.3 [MPa] を基準に、最大で13%増 54.5 [MPa]、最小で3%減 47.0 [MPa] となった。また図4より中央スポットの位置によって公称構造応力が生じるスポット点が異なることが分かった。

構造全体において、公称構造応力値はほぼ一定となり、これよりせん断荷重下において中央スポット打点位置の変化は、疲労寿命に及ぼす影響が小さいと言える。

5. 疲労試験の実験

5.1 疲労試験条件

図1のLL試験片を作成して片振引張の疲労試験を行った。試験片の材質はSPCEとし、スポット溶接条件は加圧力2.20[kN]、電流9.1[kA]、通電時間11[cycle]、繰り返し周波数は10[Hz]と設定して溶接した。中央スポット溶接位置は初期位置固定とした。疲労試験終了条件は、溶接部のき裂を目視観察しながら荷変位をリミット値として設定した。

図5に実験に使用した疲労試験機を示す。フランジ2つのLL試験片を取り付け、下板を固定側(Fix side)とし上板の加振側(Force side)に荷重を加える。試験機の構造上左右の試験片には等しい力がかかるとし、加振機荷重値の半分が1つのLL試験片に負荷されるとした。

5.2 実験結果

図1に示す試験片を用いて疲労試験を行った。図6に公称構造応力で整理したS-N線図を示す。なお図6中には、参考としてフランジ幅45[mm]のLL試験片の中央スポット打点位置を変化させた疲労データ⁽³⁾を示し、また既知のスポット溶接試験片の疲労データ⁽⁴⁾も示した。フランジ幅45[mm]のLL試験片の疲労データは試験終了条件を荷変位1[mm]とし、得られた繰り返し回数をさらにひずみ測定によるき裂発生寿命推定法⁽⁵⁾を用いて補正したデータである。

フランジ幅15[mm]のLL試験片の疲労データは、フランジ幅45[mm]の疲労データと比較すると高寿命となった。これは

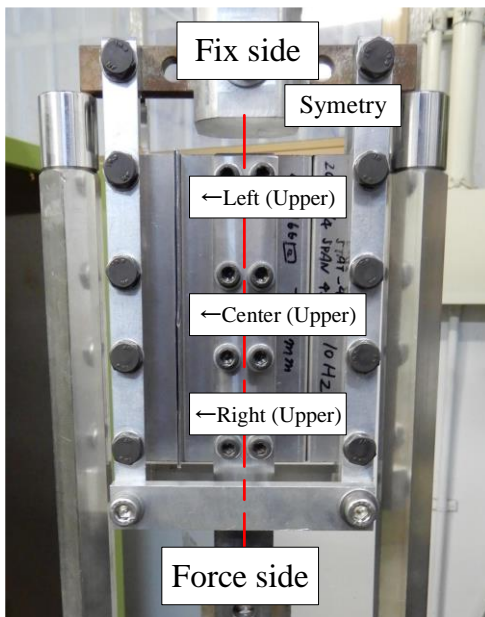


Fig. 5 Fatigue test device

初期き裂発生時の繰り返し回数を正確に得られていないためと推察される。

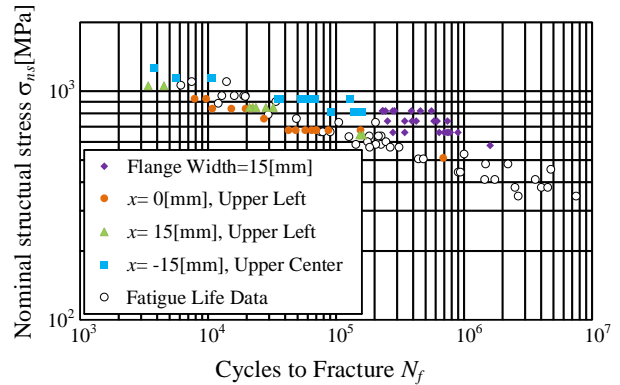


Fig. 6 Nominal structural stress σ_{ns} and number of cycles N_f ⁽³⁾⁽⁴⁾

6. 圧痕表面ひずみ値による疲労データ補正

図6よりフランジ幅15[mm]のLL試験片の疲労データはフランジ幅45[mm]のものに比べると高寿命であることが確認できる。これは本実験で使用した試験片が多スポット構造であり、このため耐久度が上がり初期亀裂発生時の繰り返し回数が正確に計測できなかったためであると考えられる。よってスポット溶接圧痕表面に貼り付けたひずみゲージからひずみの値を得て、この得られた1万回ごとのひずみの値の差が大きく変化した箇所を初期亀裂発生点とし、初期亀裂発生回数の補正⁽⁵⁾を試みた。

ひずみ試験はフランジ幅を15[mm]、中央スポット溶接位置を $x=0$ [mm]、 $y=0$ [mm]で固定して疲労試験を行った。ひずみゲージは公称構造応力が生じると予測される中央スポット位置の上下面に、公称構造応力が発生する方向で貼付した。図7はひずみの変化量 $\Delta\varepsilon$ と繰り返し回数 N_f の関係を示したものである。 $\Delta\varepsilon$ は繰り返し回数を i 万回とした際、 $\Delta\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$ で算出した値である。図7より N_f が8万回るときひずみに変化が見られる。今回は N_f が8万回るとき初期亀裂が発生したと考え、以下の(1)式で繰り返し回数を補正した。

$$N_F = \frac{80000}{220000} N_f = 0.364 N_f \quad (1)$$

図8にひずみ値で補正したS- N_F 線図を示す。図8よりひずみ補正した繰り返し回数 N_F を用いることで、他の試験片の疲

労データとともにまとめられることが確認できた。以上より、ひずみ値で補正した繰返し回数と公称構造応力値により、スポット溶接の疲労データを整理できる可能性を示した。

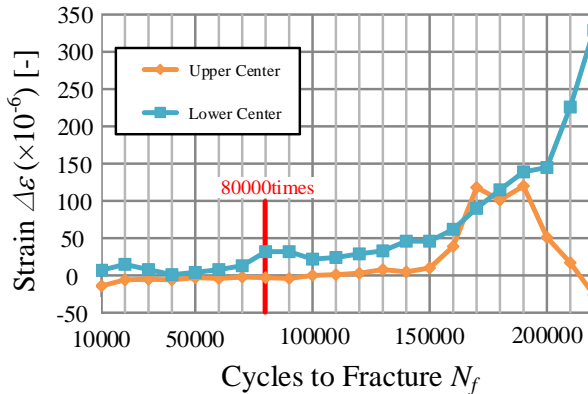


Fig. 7 Strain $\Delta\varepsilon$ and number of cycles N_f

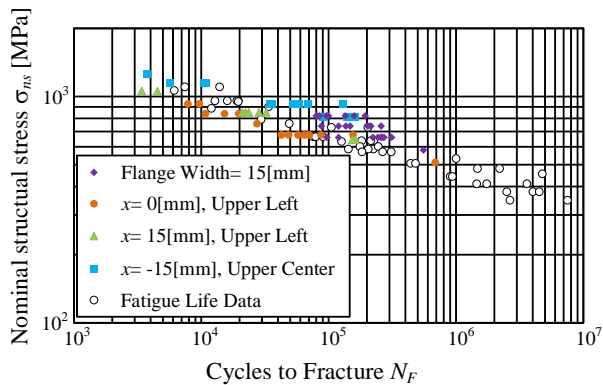


Fig. 8 Nominal structural stress σ_{ns} and number of cycles $N_f^{(3)(4)}$

7. 結 言

等厚 LL 構造を対象として、せん断荷重下におけるスポット溶接構造の溶接打点位置と公称構造応力の関係ならびに疲労寿命への影響について検討した。得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 数値解析より中央スポット打点位置によって公称構造応力が生じるスポット点が異なることを示した。
- (2) 中央スポット打点位置は、公称構造応力発生位置には影響を与えるが、構造全体の疲労寿命には影響が小さいことを示した。
- (3) ひずみ値で補正した繰返し回数と公称構造応力値でスポット溶接の疲労データを整理できる可能性を示した。

参 考 文 献

- (1) 岡部顕史, 富岡昇, 金子恒昭: スポット溶接構造の公称構造応力算出法—スポット溶接周辺の FEM モデルの検討—, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.6, p.145-150 (2005)
- (2) 富岡昇, 半田武弘, 岡部顕史: ばらつき要因によるスポット溶接の疲労寿命変動, 自動車技術会論文集, Vol.43, No.4, p.969-974 (2012)
- (3) 畠山駿斗, 松崎友哉, 岡部顕史, 富岡昇: せん断荷重下でのスポット溶接打点位置におけるばらつきの影響, 自動車技術会 2016 秋季大会学術講演会講演予稿集, 20166067, p.354-357, (2016)
- (4) (社)自動車技術会 疲労信頼性部門委員会 薄板接合構造信頼性分科会: スポット溶接継手疲労強度データ集, (1987)
- (5) 阿部博司, 佐藤次彦: スポット溶接継手の疲れき裂の非破壊検出方法, 溶接学会論文集, Vol. 4, No. 4, p.666-673 (1986)