

## せん断荷重下におけるスポット溶接構造の圧痕表面ひずみ値による疲労実験

Fatigue experiment of Spot welded structure under Shear load by Strain value on Indentation surface

○櫻岡繁<sup>1</sup>, 大澤誠<sup>1</sup>, 加藤勇馬<sup>1</sup>, 小笠紘太郎<sup>2</sup>, 松崎友哉<sup>2</sup>, 岡部顕史<sup>3</sup>, 富岡昇<sup>3</sup>\*Makoto Ohsawa<sup>1</sup>, Yuma Kato<sup>1</sup>, Shigeru Sakuraoka<sup>1</sup>, Koutaro Ogasa<sup>2</sup>, Yuya Matsuzaki<sup>2</sup>, Akifumi Okabe<sup>3</sup>, Noboru Tomioka<sup>3</sup>

This paper described the nominal structural stress (maximum principal stress) due to the position of spot welding due to shear force. The model used in this study is a three-point welded structure composed of two L-shaped thin plates and a flange. The number of first crack occurred is investigated by strain test. In results, the number of first cracks at the spot welding was predicted.

## 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)を求めて、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<sup>[1]</sup>。

また多点スポット溶接構造の疲労試験において、初期き裂発生時の繰り返し回数を目視により求めることが困難である<sup>[2]</sup>。

本研究では、3 点スポット溶接 LL 試験片を用いて、せん断荷重下における疲労試験において、初期き裂発生時の繰り返し回数をスポット溶接圧痕表面のひずみ値で補正する試験を行い、疲労データの整理を試みた。

## 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 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 に示すように各スポット溶接を、中央スポット(Center)、左スポット(Left)、右スポット(Right)と呼ぶことにする。図 1 に示す LL モデルに 300[N]のせん断荷重を加えたときの公称構造応力を FE 解析により求めると、中央スポットで 48.3[MPa]の公称構造応力が生じることがわかった。

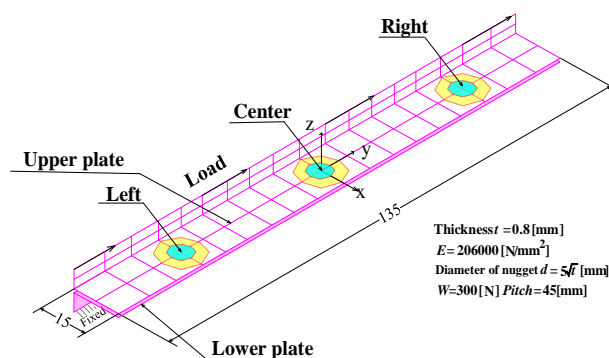


Figure 1. LL model (flange width=15[mm])

## 4. 実験条件

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]と設定して溶接した。疲労試験の周波数を 10[Hz]で行った。疲労試験終了条件は、まず溶接部のき裂を目視観察しながら負荷変位をリミット値として設定した。図 2 に実験に使用した疲労試験機を示す。

疲労試験終了時の試験片を確認すると中央スポットで、き裂長が最も長くなっており、このことから中央スポットで初期き裂が発生したことを推察できた。

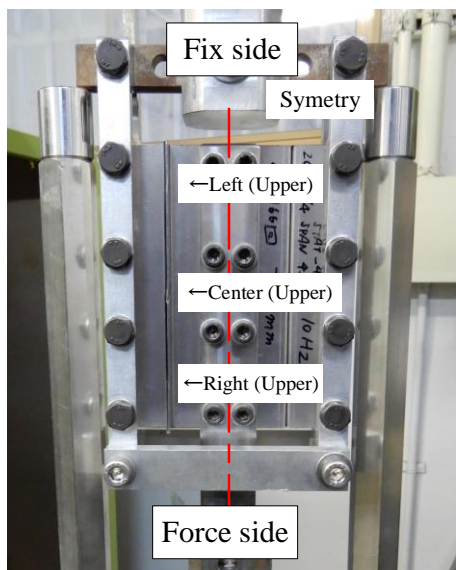


Figure 2. Fatigue test device

6. 圧痕表面ひずみ値による疲労データ補正

次に、疲労データを補正するためにスポット溶接圧痕表面にひずみゲージを公称構造応力が発生する方向で貼付し、1 万回ごとのひずみ値を計測した。これら隣り合うひずみ値の差を求め、この差が大きく変化した箇所を初期き裂発生点と見なし、疲労データを補正した。

図 2, 3 は振幅荷重が 4.6[kN]及び 5.1[kN]の際、前後のひずみ値の変化量 $\Delta\epsilon$ と繰り返し回数  $N_f$  の関係を示したものである。 $\Delta\epsilon$ は繰り返し回数を  $i$  万回とした際、 $\Delta\epsilon = \epsilon_i - \epsilon_{i-1}$  で算出した値である。図 3 より  $N_f$  が 26 万回するとき中央スポットにひずみに変化が見られ、図 4 より  $N_f$  が 8 万回するとき中央スポットにひずみに変化が見られた。今回は  $N_f$  それぞれの場合で以下の(1)式を用いて補正值を出し、平均した値を基に繰り返し回数を補正した。

$$N_F = A N_f \quad (A \text{ は修正係数}) \quad (1)$$

上式より各荷重の修正係数は  $A_{4.6}=0.622$ ,  $A_{5.1}=0.551$  となった。各修正係数を用いて補正した S-N 線図を図 5 に示す。なお、図 5 中にはフランジ幅 45[mm]の疲労データと既知のスポット溶接疲労データを示した。

図 5 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、各荷重で修正係数を求め、ひずみ値で補正した繰り返し回数  $N_F$  と公称構造応力値により、スポット溶接疲労データを整理できることが確認できた。

7. 結言

3 点スポット溶接等厚 LL 試験片を対象として、せん断荷重下におけるスポット溶接構造の疲労寿命について

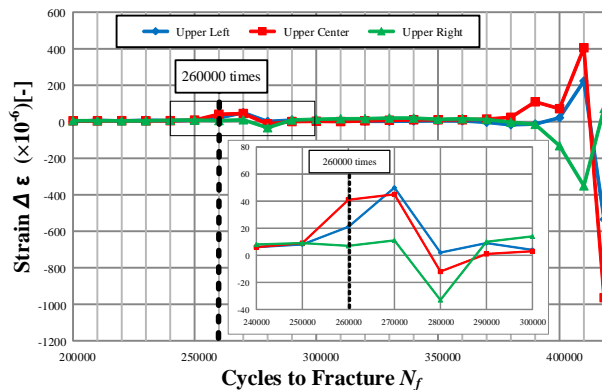


Figure 3. Strain  $\Delta\epsilon$  and number of cycles  $N_f$  (4.6[kN])

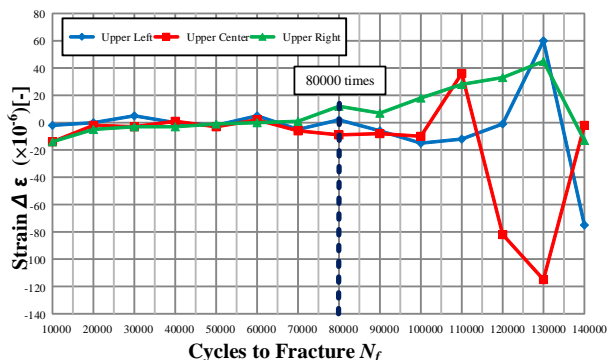


Figure 4. Strain  $\Delta\epsilon$  and number of cycles  $N_f$  (5.1[kN])

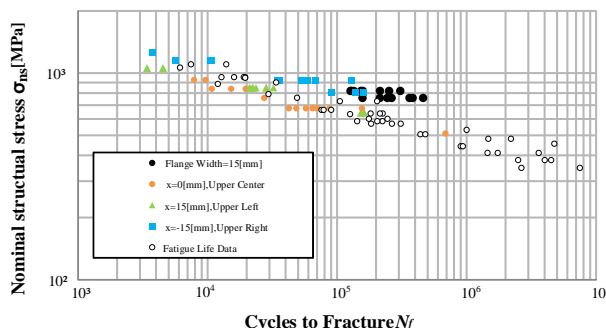


Figure 5. Nominal structural stress  $\sigma_{ns}$  and number of cycle  $N_F$

て検討した。フランジ幅 15[mm]の試験片においても、スポット溶接圧痕表面のひずみ値で補正することで、疲労データをまとめることができた。

参考文献

[1] Yuya Matsuzaki, Akifumi Okabe, Noboru Tomioka, “Spot welding position and Fracture position of the spot welded structure under shear loading condition”, 6th PACME, M-C2-01 (2017)  
 [2] 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)