

K5-75

スポット溶接した引張せん断継手の疲労寿命に及ぼすナゲット径と打点位置変動の影響

Influence of Variation of Nugget Diameter and Spot Welding Location on Fatigue Life of Single Spot Welded Joints under Tensile Shear Load

矢吹賢洋¹, 山澤翔太郎¹, 栗原徹², 富岡昇³, 岡部顕史³

Takahiro Yabuki¹, *Shoutarou Yamazawa¹, Toru Kurihara², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

In this study, the fatigue tests of single spot-welded joints with variation of spot welding location and nugget diameter were conducted under tensile shear. The relationships between the nominal structural stress of the spot-welded joints and the mount of eccentricity of spot welding location and the nugget diameter were established by using the nominal structural stress calculation method. The values of the nominal structural stress were increased with the mount of eccentricity and the rate of increase was rising as the nugget diameter is smaller. The effects of the variations of welding location and nugget diameter on the fatigue life were larger with increasing the mount of eccentricity.

1. 緒言

自動車車体の製造過程において、スポット溶接の打点位置は目標から外れることがあり、スポット溶接部の疲労寿命に影響を与える。特に荷重分担が高いスポット溶接部では、打点位置の微小なずれが耐久性に影響する。打点位置のばらつきに対しロバストな構造とするためには、スポット溶接の打点位置の変動が疲労寿命に及ぼす影響を定量的に解明することが課題となる。しかし、疲労耐久性のロバスト性を直接研究されたものは無く、ばらつきについても打点位置の変動と疲労耐久性の変動の関係性を研究したものは見当たらない。

また、ナゲット径はスポット溶接部の疲労寿命に最も影響する因子であるため、打点位置とともにナゲット径もばらついた時の影響も検討する必要がある。

本研究では、1点スポット溶接した引張せん断継手について、疲労寿命評価パラメータである公称構造応力と打点位置、ナゲット径の関係を調べ、疲労寿命への影響を定量的に明らかにし、さらに疲労試験を行い、その結果を検証した。

2. 疲労試験

本研究で使用した試験片の模式図を図1に示す。供試材料は冷延圧延鋼板(SPCe)で、板厚 $t=1.0\text{mm}$ である。ラップ部中心にスポット溶接した試験片を標準試験片とし、板幅方向に中心から $e=10, 15, 20, 25, 30\text{mm}$ 偏心した位置にスポット溶接した試験片を用意した。また、C型電極を用いてスポット溶接を行い、ナゲット径を $d=5, 7, 9\text{mm}$ と変化させた。

試験片の下部は2本のボルトで完全固定し、上端は通しボルトを用いてピン結合とし、試験片が通しボルトの軸周りに自由に回転できるように試験機に取り付けた。

スポット溶接条件は軟鋼板の標準スポット溶接条件を基準とし、チリ発生直前の溶接電流を最適条件とした。

疲労試験は荷重制御で行い、完全片振り ($R=0.02$) とした。疲労寿命は疲労き裂がナゲット端の内部から発生し板外表面に現れ、ナゲット径程度に成長した時点とした。図2に $d=7\text{mm}$ の疲労試験結果を示す。スポット溶接の打点位置が振幅中心から偏心するに従い、

疲労寿命は低下している。

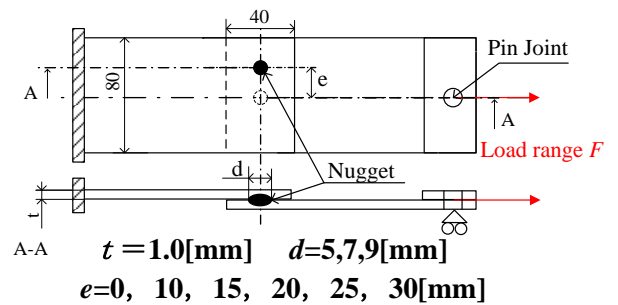


Fig.1 Spot-welded specimen under eccentric tensile shear

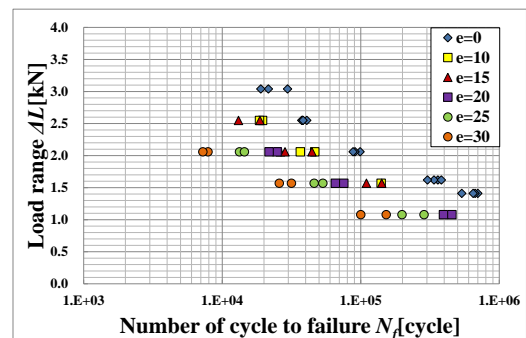


Fig.2 Load range - Number of cycle to failure ($d=7\text{mm}$)

3. 公称構造応力による疲労強度推定

図1の引張せん断継手について、偏心量 e と公称構造応力の関係をナゲット径 d をパラメータとして公称構造応力算出法により求めた結果を図3(a)に示す。

打点位置が偏心すると公称構造応力の値は単調増加し、ナゲット径が小さいほど偏心の影響を強く受ける。これは打点位置が偏心するとスポット溶接部に作用する分担荷重の内、ねじり成分が増加するためである。

図3(b)は偏心量をパラメータとして公称構造応力とナゲット径の関係を表した図である。ナゲット径の変動の影響は偏心量とともに大きくなる。

図4は公称構造応力の等高線図である。ナゲット径が減少し、偏心量が増加すると、等高線は密となり、打点位置およびナゲット径のばらつきの疲労寿命に対する影響が大きくなる。

1 : 日大理工・学部・機械

2 : 日大理工・院 (前) ・機械

3 : 日大理工・教員・機械

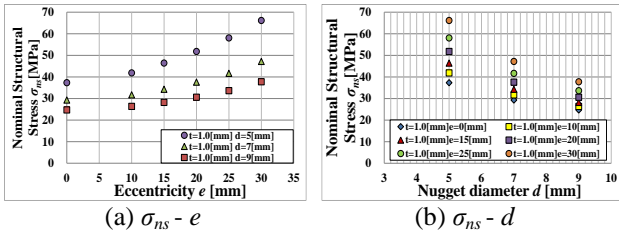


Fig.3 Nugget diameter and eccentricity to the nominal structural stress

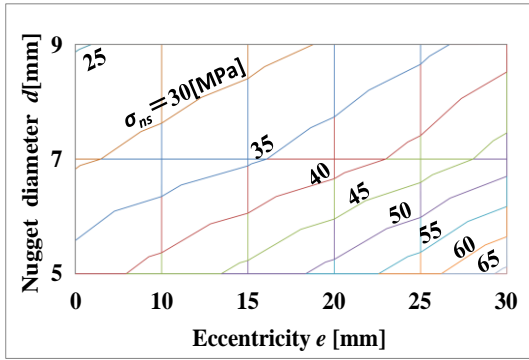


Fig.4 Contour diagram for the nominal structural stress

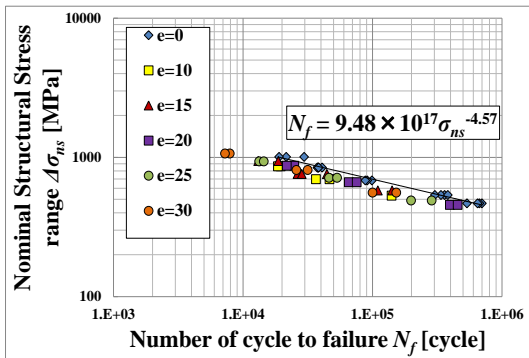


Fig.5 Nominal Structural Stress-Number of cycle to failure

図 5 は、図 2 の疲労試験結果を公称構造応力を用いて再整理した結果である。標準試験片の $N_f \leq 10^6$ の回帰曲線を求めると

$$N_f = 9.48 \times 10^{17} \sigma_{ns}^{-4.57} \quad (1)$$

となる。標準試験片の疲労寿命及び公称構造応力をそれぞれ N_{f_st} , σ_{ns_st} で表し、これを基準とした公称構造応力比 $\sigma_{ns}/\sigma_{ns_st}$ と疲労寿命比 N_f/N_{f_st} の関係は式(1)より

$$\frac{N_f}{N_{f_st}} = \left(\frac{\sigma_{ns}}{\sigma_{ns_st}} \right)^{-4.57} \quad (2)$$

となる。式(2)を用いて公称構造応力比から疲労寿命が推定できる。

図 3 から公称構造応力比を求め、これを式(2)に代入して求めた疲労寿命の推定結果と偏心量との関係を図 6 に示す。打点位置が 30mm ずれると、疲労寿命は約 90% 減少する。図 6 には図 2 の疲労試験結果から求めた疲労寿命比を併記している。推定値と実験値とは良い対応を示している。

偏心量 e とナゲット径 d の σ_{ns} に対する感度 S_e, S_d は、

$$\frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e} \frac{d}{\sigma_{ns}} \frac{de}{d} + \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{ns}} \frac{dd}{d} = S_e \frac{de}{d} + S_d \frac{dd}{d} \quad (3)$$

$$S_e = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e} \frac{d}{\sigma_{ns}}, \quad S_d = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{ns}} \quad (4)$$

となる。影響因子の N_f に対する感度は次のようになる。

$$\frac{dN_f}{N_f} = -4.57 \frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = S_{Ne} \frac{de}{d} + S_{Nd} \frac{dd}{d} \quad (5)$$

$$S_{Ne} = -4.57 \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e} \frac{d}{\sigma_{ns}}, \quad S_{Nd} = -4.57 \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{ns}} \quad (6)$$

これらの感度の計算結果を図 7 に示す。偏心量 e の感度 S_{Ne} 、すなわち打点位置の微小量のばらつきによる疲労寿命の変動は偏心量に伴い大きくなる。ナゲット径の感度 S_{Nd} はナゲット径のある値で極大となる。また、両者の感度を比較すると、 $S_{Nd} > S_{Ne}$ である。

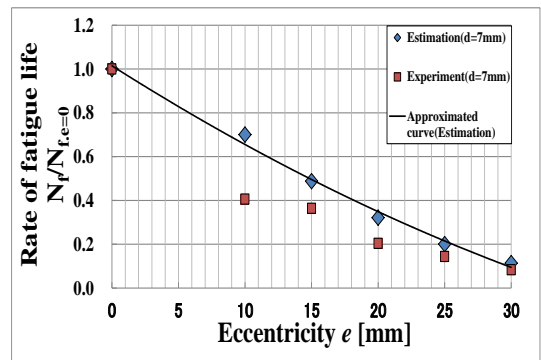


Fig.6 Fatigue life ratio-Eccentricity

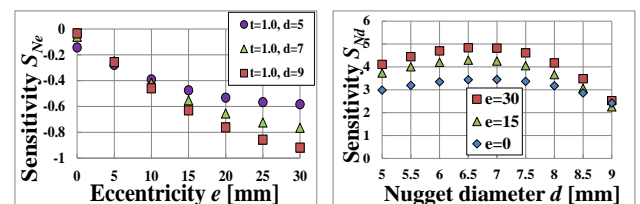


Fig.7 Sensitivity S_{Ne} , S_{Nd}

4. 結 論

1 点スポット溶接した引張せん断継手について、打点位置、ナゲット径のばらつきによる疲労寿命への影響を定量的に明らかにした。

- (1) 打点位置が偏心するに伴い公称構造応力の値は増加し、その増加率はナゲット径が小さいほど大きい。また、ナゲット径の変動の影響は偏心量とともに大きくなる。
- (2) 感度解析により、疲労寿命に対する打点位置のばらつき感度 S_{Ne} は偏心量が増加するに伴い大きくなる。また、ナゲット径感度 S_{Nd} はある値で極大となり、偏心による差も最大となる。両者の感度を比較すると、 $S_{Nd} > S_{Ne}$ である。