

スポット溶接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 Spot Welded Joint

泉山秀晃¹, 加藤僚規¹, ○鷲尾将輝¹, 高塚千尋², 富岡昇³, 岡部顕史³
 Hideaki Izumiyama¹, Tomonori Kato¹, *Masaki Washio¹, Chihiro Takatsuka², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

In this study, the fatigue tests of single spot-welded joints with variation of spot welding location and nugget diameter under tensile shear and bending were investigated. The relationships between the nominal structural stress of the spot-welded joints and the amount 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 amount of eccentricity and the rate of increase was rising as the nugget diameter is smaller. In case of tensile shear specimen, Sensitivity S_{Ne} was large with increasing the amount of eccentricity. Also in case of bend specimen, it was small with increasing the amount of eccentricity. And sensitivity S_{Nd} was maximum value with a certain value.

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。特に分担荷重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¹⁾。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りせん断継手と曲げ継手について、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、感度解析より疲労寿命への影響を定量的に明らかにするとともに、引張りせん断継手の疲労試験を実施し、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。

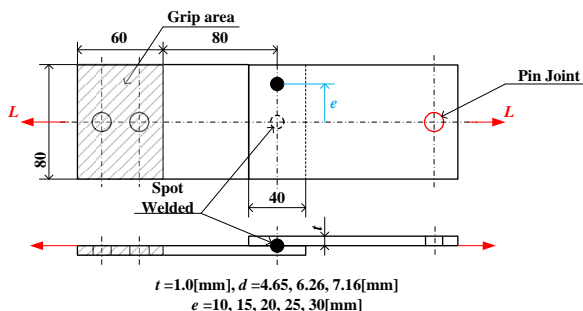


Fig.1 Spot-welded specimen under eccentric tensile shear

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 $e=10, 15, 20, 25, 30\text{mm}$ 偏心した位置を打点位置とし、また、ナゲット径が変動した場合の疲労寿命への影響を調べるために先端直径 $d = 4, 6, 8\text{mm}$ のC型電極を用いてスポット溶接し、各打点位置でナゲット

径が異なる種々の試験片を用意した。電極により生成されたナゲット径の平均実測値は4.65, 6.26, 7.16mmであった。

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。

疲労試験は荷重制御で行い、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。

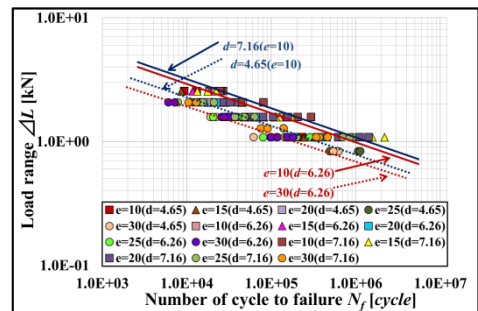


Fig.2 Load range - Number of cycle to failure

3. 公称構造応力による疲労強度推定

図1に示した引張りせん断継手について、公称構造応力算出法²⁾により求めた公称構造応力と打点位置の偏心量 e 、およびナゲット径 d の関係を図3に示す。

図3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、打点位置及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。

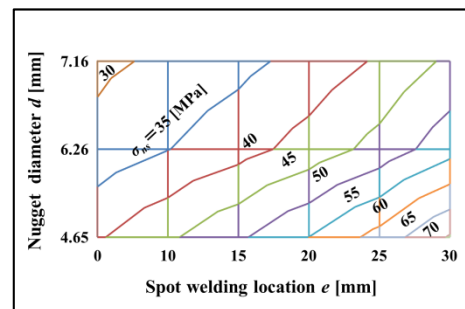


Fig.3 Contour diagram for the nominal structural stress

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

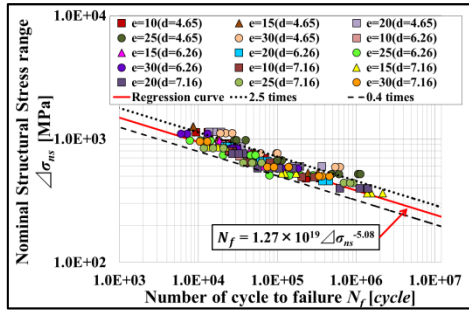


Fig.4 Nominal Structural Stress-Number of cycle to failure

図 4 は、公称構造応力を用いて図 2 の疲労試験結果を再整理した結果である。d=4.65mm, e=15, 20, 25, 30mm を除いた試験片の $N_f \leq 10^6$ の回帰曲線を求めると

$$N_f = 1.27 \times 10^{19} \sigma_{ns}^{-5.08} \quad (1)$$

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

$$\frac{N_f}{N_{f_st}} = \left(\frac{\sigma_{ns}}{\sigma_{ns_st}} \right)^{-5.08} \quad (2)$$

となる。式(2)を用いることで公称構造応力比から疲労寿命が推定できる。

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、

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

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

となる。影響因子の疲労寿命 N_f に対する感度は次のようになる。

$$\frac{dN_f}{N_f} = -5.08 \frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = S_{Ne} \frac{de}{d} + S_{Nd} \frac{dd}{d} \quad (5)$$

$$S_{Ne} = -5.08 \frac{\partial \sigma_{ns}}{\partial e} \frac{d}{\sigma_{ns}}, S_{Nd} = -5.08 \frac{\partial \sigma_{ns}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{ns}} \quad (6)$$

式(6)を用いて、図 1 に示す引張せん断継手の感度の計算結果を図 5 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。理論値は実験値と概ね良い対応を示している。

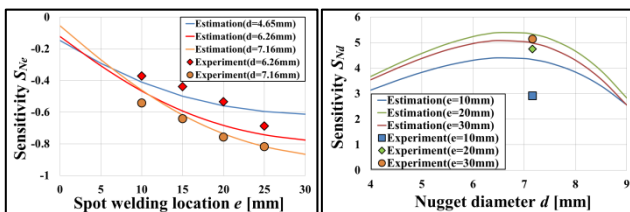


Fig.5 Sensitivity S_{Ne} and S_{Nd} (Tensile shear)

次に図 6 に示す曲げ継手について、同様に感度の計算した結果を図 7 に示す。基準点 A 点より偏心した場合、感度 S_{Ne} は偏心量に伴い小さくなる。また、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り、図 5(b)と同様の傾向を示している。

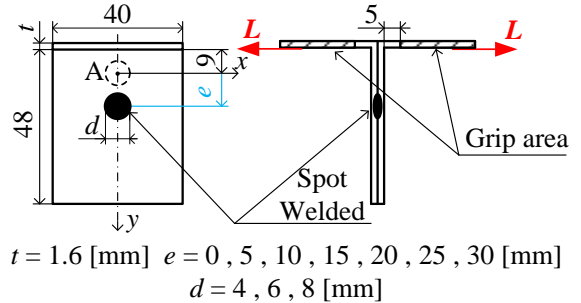


Fig.6 Spot-welded joints for fatigue bending test

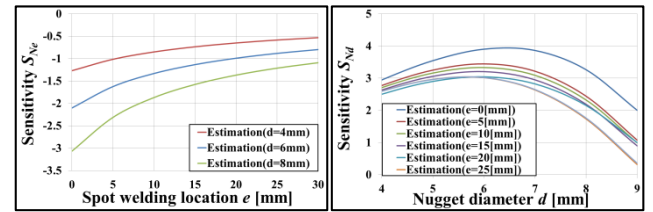


Fig.7 Sensitivity S_{Ne} and S_{Nd} (Bending)

4. 結 言

1 点スポット溶接した引張りせん断継手と曲げ継手について、ばらつき要因である打点位置、ナゲット径の変動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大きくなる。また、ナゲット径が小さくなるに伴い公称構造応力の値は大きくなる。さらに、打点位置が偏心してナゲット径が小さくなると公称構造応力は急激に増加する。
- (2) 引張せん断継手の感度解析により、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る。両者の感度を比較すると、 $S_{Nd} > S_{Ne}$ である。
- (3) 曲げ継手では、偏心量 e の感度 S_{Ne} は偏心量に伴い小さくなる。また、ナゲット径感度 S_{Nd} は、ある値で極大となる傾向を示している。

5. 参考文献

- (1) Tamaki, K. et al., Outline of Study on Robustness of Vehicle Body Durability, Robust Design of Car Body for Collision and Durability Performance No.16-11(2012), pp.28-30
- (2) 岡部, 富岡, 金子, 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, pp.145-150 (2005)
- (3) 矢吹, 山澤, スポット溶接した引張り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, 日本大学理工学部機械工学科卒業論文集, (2014)