K5-67

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

○加藤大志朗 [1]，堀口凌太郎 [1]，鷲尾将輝 [2],冨岡昇 [3],岡部顕史 [3]
Daijiro Kato ,Ryotaro Horiguchi , Masaki Washio,Noboru Tomioka,Akihumi Okabe

In this study, the fatigue tests of single spot-welded joints with variation of spot welding location and nugget diameter under t 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.

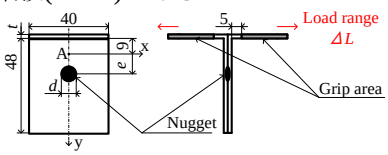
1. 緒　言

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．打点位置のばらつきに対して，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，ばらつきについて打点位置の変動と疲労耐久性能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同時に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曲げ継手と引張り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，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，疲労試験を実施し，その結果を検証した．

2. 疲労試験方法

スポット溶接継手の代表的なものとしては，引張せん断継手と十字型継手があり，前者はスポット溶接に主としてせん断が作用し，後者ははく離荷重が作用する．研究として，十字型継手を用いてスポット溶接部にはく離荷重が作用する場合について，これらのばらつきの影響を調べようとしたが，打点位置がラップ部中心からずれるとスポット溶接部の負荷状態は純粋なはく離荷重でなく，曲げ荷重が作用するようになり，打点位置のずれが大きくなると曲げが支配的になる．したがって，本研究では図 1 に示すように，2 枚の L 型の板を重ね，スポット溶接した曲げ継手を製作した．供試材料は板厚 1.6mm の冷間圧延鋼板(SPCE)である．



t= 1.6 [mm]　e = 0 , 2.5 , 5 , 7.5 , 10[mm]
d = 6 [mm]

Fig.1 Spot-welded specimens

曲げ継手の疲労寿命におよぼす打点位置のばらつきの影響を調べるために，溶接可能限界位置である，フランジ壁より 9mm の位置を基準点 A とし, 偏心量 e=0, 2.5, 5，7.5，10mm と打点位置を変えた試験片を作成した．基準点の位置はスポット溶接の際，本実験では打点位置のばらつきの影響のみに着目したため，ナゲット径は d= 6mm 一定とした．

試験片のグリップ部を疲労試験機の治具に完全固定して取り付けた. 疲労試験は荷重制御, 完全片振りで行い, 試験停止条件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．

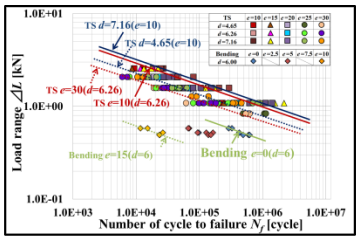


Fig.2 Load range - Number of cycle to failure

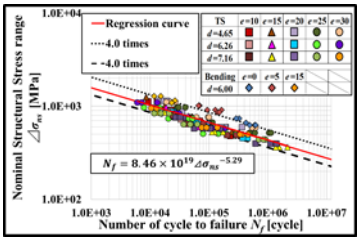


Fig.3 Nominal Structural Stress-Number of cycle to failure

3. 感度解析

曲げ継手の疲労試験結果を引張せん断継手の結果とともに図 2 に示す．図 3 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. $\Delta\sigma_{ns} - N_f$線図の回帰曲線は一般にα，βを係数とすると

$$N_f = \alpha \times \Delta\sigma_{ns}{}^{\beta} \tag{1}$$

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

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．

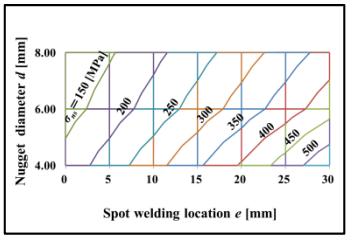


Fig.4 Contour diagram for the nominal structural stress

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

$$\frac{N_f}{N_{f_st}} = \left(\frac{\sigma_{ns}}{\sigma_{ns_st}}\right)^{\beta} \tag{2}$$

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，

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

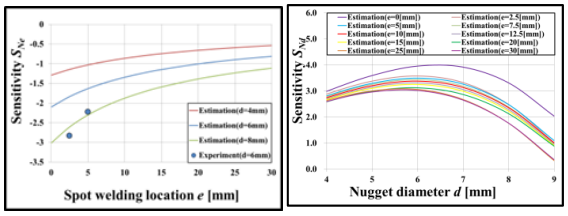
$$S_e = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e}\frac{d}{\sigma_{ns}}\ ,S_d = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d}\frac{d}{\sigma_{ns}} \tag{4}$$

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．

$$\frac{dN_f}{N_f} = \beta\frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = S_{Ne}\frac{de}{d} + S_{Nd}\frac{dd}{d} \tag{5}$$

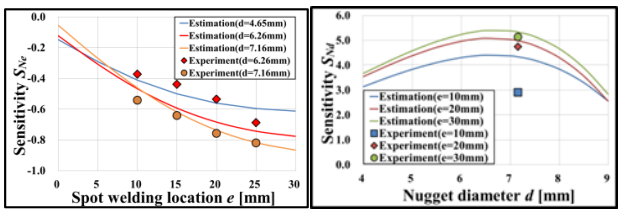
$$S_{Ne} = \beta\frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e}\frac{d}{\sigma_{ns}}\ ,S_{Nd} = \beta\frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d}\frac{d}{\sigma_{ns}} \tag{6}$$

感度解析の計算結果を図 5，6 に示す．図 5 から曲げ継手では，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，偏心量に伴い小さくなる．これは偏心量の増大に伴い，式(4)の応力値σ_{ns}が図 7 に示す微分値よりかなり大きくなるためである．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，同じオーダーである．これは図 6 に示すように，



(a) S_{Ne}　　(b) S_{Nd}

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



a) S_{Ne}　　(b) S_{Nd}

Fig.6 Sensitivity S_{Ne} and S_{Nd}　(TS)

$S_{Nd} > S_{Ne}$ となる引張せん断継手 [3]とは異なる．スポット溶接部に曲げ荷重が作用すると，せん断荷重の場合よりも打点位置の感度は大きくなる．すなわち，打点位置のばらつきが疲労寿命に与える影響は，曲げ荷重が主として作用するスポット溶接で大きい．

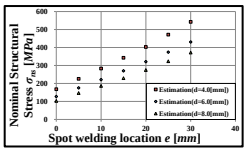


Fig.7　$d\sigma_{ns}/de$-e

曲げ継手の打点位置の感度の実験値は理論値より大きい．本研究では，公称構造応力算出法を用いて公称構造応力を算出したが，この算出法では板の接触が考慮されていない．図 1 の曲げ継手は，スポット溶接点より自由端側のフランジはお互いに接触をするが，これを考慮されていないため，実験値と理論値との間に差が生じたと考えられる．

4. 結　言

1 点スポット溶接した曲げ継手について，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) スポット溶接の打点位置が偏心するに伴い，疲労寿命は低下する．

(3) 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．両者の感度の値はほぼ同じオーダーである ．

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 PerformanceNo16-11(2012), pp.28-30

2) 岡部，冨岡，金子，スポット溶接構造の公称構造応力算出法ースポット溶接周辺の FEM モデルの検討ー,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)