K5-68

スポット溶接継手の疲労寿命に及ぼす打点位置ばらつきの影響

Influence of Variation of Spot Welding Location on Fatigue Life of Spot Welded Joint

○南尚輝[1]，比留間竜也[1]，加藤大志朗[2]，鷲尾将輝[2]，冨岡昇[3]，岡部顕史[3]
Naoki Minami, Tatuya Hiruma, Daijiro Kato, Masaki Washio, Noboru Tomioka, Akihumi Okabe

In this study, the relationship between the nominal structural stress, which is a fatigue life evaluation parameter, and spot welding location of the spot welded joints at three locations under repeated bending was examined. Using the results, the fatigue life sensitivity of spot welding location has been determined by the sensitivity analysis and fatigue tests were performed to verify the result. As a results, the sensitivity can quantitatively evaluate the effects of fatigue life due to variations in spot welding location. The sensitivity of spot welding location varies depending on the position, it decreases as the spot welding location approaches the free end of the flange.

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[1]. 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．

矢吹ら[2]は，引張せん断継手について打点位置とナゲット径のばらつきが疲労寿命に及ぼす影響を感度解析により定量的に表せることを示し，その結果を疲労試験で検証している．

本研究では，3点スポット溶接した曲げ継手について，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

代表的なスポット溶接継手に引張せん断継手と十字形継手がある．後者のはく離荷重が作用する場合について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は純粋なはく離荷重ではなく，曲げ荷重が作用するようになる．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 3 点曲げ継手を製作した．供試材料は板厚 1.0mm の冷間圧延鋼板(SPCE)である．中央の打点位置は両側のスポット溶接と 3 ㎜ずらし，疲労き裂の発生が常に中央スポット溶接に生じるようにした．

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 の位置を基準点とし，偏心量 e=0，2.5，5，7.5，10mm と 3 つの打点位置を同時に変えた試験片を

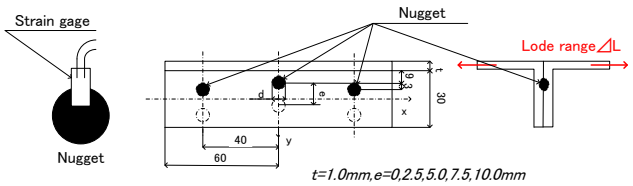

Fig.1 Spot-welded specimens

作成した．本実験では打点位置のばらつきの影響のみに着目し，ナゲット径は d=6mm 一定とした．

疲労試験は荷重制御，完全片振りで行い，試験停止条件は，圧痕端に貼付けした歪ゲージの出力がき裂発生に伴い急激に変化した時点を試験停止条件とした．

図 2 に疲労試験結果を示す．また比較のため引張せん断継手の結果も載せてある．曲げ継手は引張せん断継手と同様にスポット溶接の打点位置が基準点から離れるに従い，疲労寿命は低下している．図 3 は，曲げ継手の疲労試験結果を公称構造応力で再整理したものである．曲げ継手のデータは打点位置によらず統一的に整理されているが，引張せん断継手とは離れた位置にある．この原因は曲げ継手の疲労寿命の定義にあると考えられる．図 4 はナゲットに貼付したひずみゲージの出力値と負荷の繰り返し数との関係を示す. 2.5 万回付近でひずみの値が急激に変化したため，この時点で試験機を停止した．しかし，その後も継続してひずみを計測しその変化を確認したところ，変化前の値に戻っていることが分か

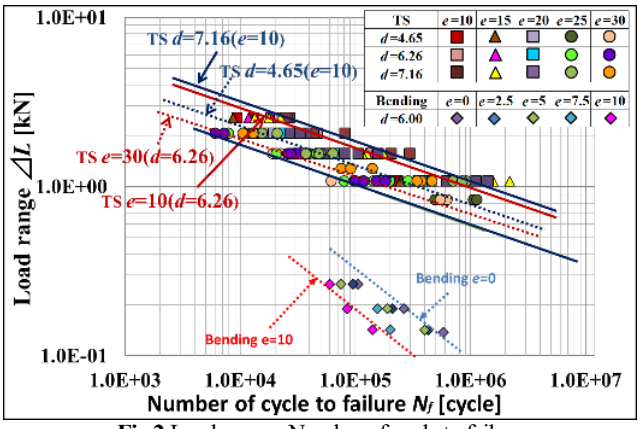

Fig.2 Load range - Number of cycle to failure

1：日大理工・学部・機械　2：日大理工・院(前)・機械

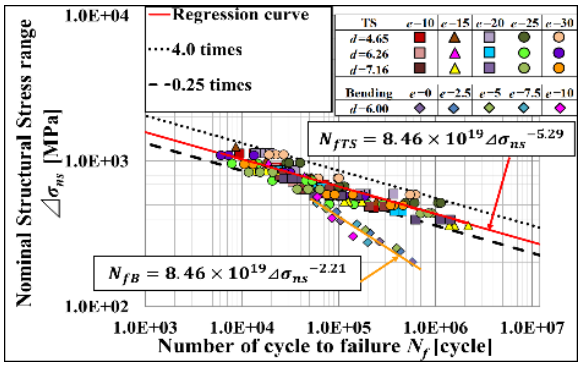

Fig.3 Nominal Structural Stress-Number of cycle to failure

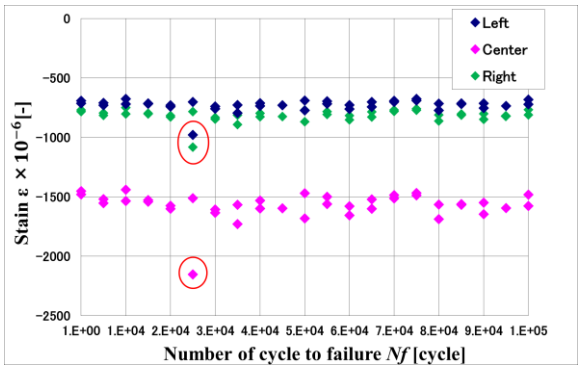

Fig.4 Relation between number of cycle and strain

った．ひずみが急激に変化した時点でき裂が発生しているかを確認し，試験停止条件を再考する必要がある．

3.感度解析

$\Delta\sigma_{ns} - N_f$線図の回帰曲線はα，βを係数とすると

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

となる。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，

$$\frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e}\frac{d}{\sigma_{ns}}\frac{de}{d} + \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d}\frac{d}{\sigma_{ns}}\frac{dd}{d} = S_e\frac{de}{d} + S_d\frac{dd}{d} \tag{2}$$

$$S_e = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e}\frac{d}{\sigma_{ns}} \quad , S_d = \frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d}\frac{d}{\sigma_{ns}} \tag{3}$$

となる．これに式(1)を代入すると，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．

$$\frac{dN_f}{N_f} = \beta\frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = S_{Ne}\frac{de}{d} + S_{Nd}\frac{dd}{d} \tag{4}$$

$$S_{Ne} = \beta\frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial e}\frac{d}{\sigma_{ns}} \quad , S_{Nd} = \beta\frac{\partial\sigma_{ns}}{\partial d}\frac{d}{\sigma_{ns}} \tag{5}$$

感度解析の計算結果を図 5 に示す．図 4 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が，図 6 に示す引張せん断継手よりも変化は小さい．打点位置の感度の理論値は式(5)で与えられるが，公称構造応力－疲労寿命線図の回帰曲線の値を用いる．先に述べたように，引張せん断継手と曲げ継手で回帰曲線が異

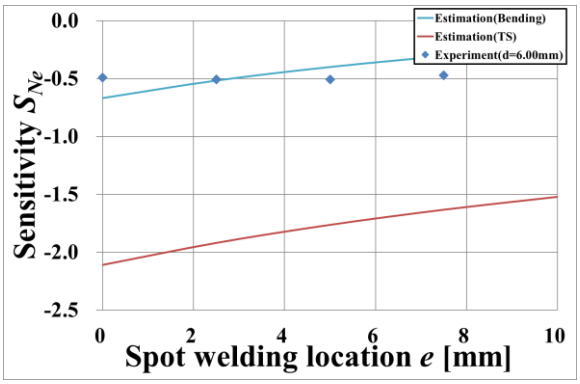

Fig.5　Sensitivity S_{Ne} (Bending)

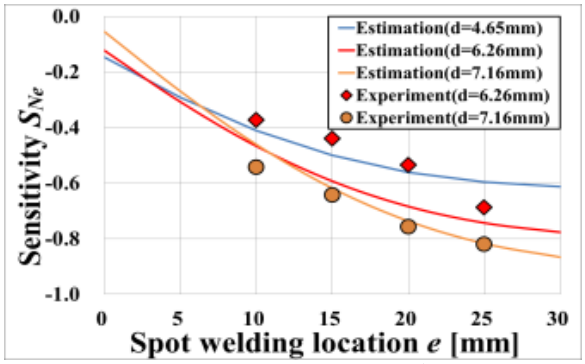

Fig.6 Sensitivity S_{Ne}　(TS)[3)]

なるので，両者の回帰曲線の値を用いて感度を計算した．実験値は曲げ継手のβを用いて求めた理論値に近い値となるが，傾向は若干異なる．

4. 結　言

3 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のばらつきによる疲労寿命への影響を感度解析で定量的に明らかにし，その結果を疲労試験により検証した．

(1)　打点位置のばらつきによる疲労寿命への影響は感度解析により定量的に表すことができる．

(2)　打点位置の感度はその位置によって異なり，打点位置がフランジの自由端に近づくにつれて減少する．

(3)　打点位置感度の理論値を検証する疲労試験を実施したが，その精度を高めるために疲労き裂の発生寿命を的確に把握する工夫が必要である．

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－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)