

疲労限度以下の荷重によるスポット溶接継手の疲労損傷評価法

Fatigue Assessment Methods of Fatigue Damage due to Lower Loading

than the Fatigue Limit of Spot-Welded Joints

○濱野元稀¹, 坪田穂高¹, 南尚輝², 富岡昇³, 岡部顕史³

Motoki Hamano¹, Hotaka Tsubota¹, Naoki Minami², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

In this paper, the possibility of evaluation by Seki's proposed method on fatigue damage of spot welded joints due to loading below fatigue limit was examined. (1) The fatigue life due to the loading below the fatigue limit was determined by the two-stage multiple fatigue test results of the tensile shear joint and the minor rule, and a new S - N curve was created. (2) The fatigue limit of the new S-N curve is 70% of the conventional fatigue limit. (3) The fatigue assessment methods based on the minor rule using the new S-N curve are effective regardless of loading form. (4) Equivalent stress uniformly arranged the fatigue test results, regardless of sheet thickness, joint type and loading form.

1. 緒言

スポット溶接は車体構造の多くの部位で用いられている締結要素で、車体構造全体の耐久性はスポット溶接部の耐久性に大きく依存する。そのため、設計段階でスポット溶接の疲労強度を的確に評価することは重要である。

定振幅荷重下では、疲労限度より低い荷重は疲労損傷を与えないが、変動振幅荷重下では疲労限度以上の荷重と組み合わせると、疲労限度以下の荷重も疲労損傷を与える。実働荷重下では作用する荷重の多くは疲労限度以下の荷重であり、その疲労損傷を定量的に明らかにすることは重要である。関ら⁽¹⁾は二段二重および二段多重試験によって得られた S-N 曲線によって、疲労限度以下の荷重による疲労損傷を定量的に評価できることを示した。

本研究では、疲労限度以下の荷重によるスポット溶接継手の疲労損傷について、関の提案手法による評価の可能性について検討した。

2. 二段および三段多重変動振幅疲労試験

図 1 に示すスポット溶接した引張せん断疲労試験片(板厚 $t=1.0\text{mm}$)を JISZ3138 に準じて作成し、二段および三段多重変動振幅疲労試験(荷重比 $R=0.02$)を実施した。供試材料は冷間圧延鋼板 SPCE である。

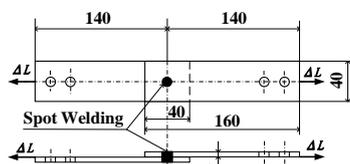


Fig.1 Spot-welded tensile shear specimen for fatigue testing

3章で述べるように、疲労限度以下の荷重による疲労損傷を評価する新しい S-N 曲線を作成するために、二段多重変動振幅疲労試験において、低荷重側の荷重の値を高荷重の値から順次下げ、特に疲労限度以下の荷重に重点的に設定した。新しい S-N 曲線による疲労損傷の定量的評価の普遍性を確認するために、二段と同様に荷重を設定し、三段多重疲労試験を行った。疲労寿命は疲労き裂がナゲット端の板内面から発生し、

板外表面に現れ、圧痕径程度に成長した時点とした。スポット溶接には R 型電極を使用し、溶接条件は軟鋼板のスポット溶接の標準条件を基準とした。

3. 疲労限度以下荷重による疲労損傷の定量的評価法

変動振幅荷重を受けるスポット溶接継手はマイナー側により、式(1)を満足するとき破断すると考える。

$$D = \sum D_i = \sum (n_i / N_i) = 1 \quad (1)$$

ここで、 D は疲労損傷度、 n_i は荷重 L_i を破断までに与えた繰り返し数、 N_i は相当する定振幅荷重の破断寿命である。二段多重疲労試験では、

$$n_1 / N_1 + n_2 / N_2 = 1 \quad (2)$$

となる。いま、疲労限度以上の荷重を ΔL_1 、疲労限度以下の荷重を ΔL_2 とすると、疲労限度以下の荷重による定振幅荷重の破断寿命 N_2 は以下のように与えられる。

$$N_2 = \frac{n_2}{1 - n_1 / N_1} \quad (3)$$

二段多重疲労試験を実施してその結果を式(3)に当てはめると、疲労限度以下の損傷を含めた新しい S-N 曲線が得られる。この曲線とマイナー側を用いると、疲労限度以下の疲労損傷を考慮した疲労寿命評価が可能となる。

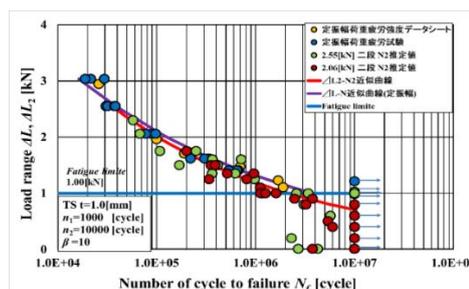


Fig.2 Loading fatigue life diagram, $\Delta L-N_f$

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

4. 新しい S-N 曲線

図 2 は二段多重変動振幅疲労試験の結果から新しく得られた荷重疲労寿命線図である。赤の実線が新しい S-N 曲線、紫の実線は定振幅疲労試験より得られた従来の S-N 曲線である。新しい S-N 曲線では従来の疲労限度以下の有限の疲労寿命も得られており、その疲労限度は 0.7 kN である。これは従来の疲労限度 1.0 kN の 7 割である。図 2 の荷重疲労寿命線図を公称構造応力疲労寿命線図 ($\sigma_{ns}-N_f$) に変換して、両曲線の回帰曲線を求めると下記となる。

$$N_f = 9.0 \times 10^{18} \sigma_{ns}^{-4.91} \quad (4)$$

$$N_2 = 2.62 \times 10^{17} \sigma_{ns}^{-4.40} \quad (5)$$

5. 変動振幅荷重疲労試験の実験値と推定値の比較

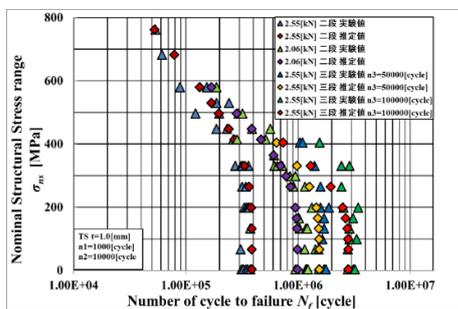


Fig.3 Relationship between σ_{ns} corresponding to lower loading and fatigue life under variable amplitude loading

図 3 は引張せん断荷重を受ける二段多重、三段多重変動振幅疲労試験の実験値と推定値の比較である。二段多重は高荷重 ΔL_1 を 2.55kN と 2.06 kN の 2 種類、低荷重 ΔL_2 を ΔL_1 以下の値に設定した結果である。三段多重は高荷重 $\Delta L_1=2.55\text{kN}$ 、中荷重 $\Delta L_2=1.22\text{kN}$ 、低荷重 ΔL_3 を ΔL_2 以下の値に設定した結果である。図中の n_1, n_2, n_3 は 1 シーケンスの繰り返し数である。縦軸の σ_{ns} は低荷重の公称構造応力である。二段、三段多重共に、3 章で述べた評価手法による推定値は実験値と良い対応を示している。

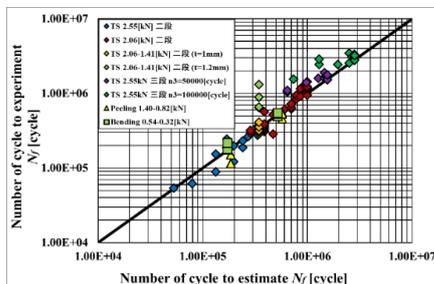


Fig.4 Comparison of predicted and experimental values of the fatigue life under variable amplitude loading

図 4 は変動振幅疲労試験の実験値と推定値の比較である。両者の値は概ね良い一致を示している。図中には、はく離荷重と曲げ荷重による結果も記載してある。引張せん断荷重で得られた新しい S-N 曲線は継手形式の異なる継手の疲労寿命も評価可能である。

以上の結果より、二段多重試験によって得られた新

しい S-N 曲線を用いたマイナー則による疲労寿命評価法は有効であると言える。

6. 等価応力範囲と疲労寿命の関係

図 2 の新しい S-N 曲線の回帰式(4)を次式のように書き改める。

$$\Delta\sigma^m \cdot N = C \quad (6)$$

式(6)を式(1)に代入すると、疲労損傷度 D は

$$D = \Delta\sigma_e^m \cdot \sum n_i / C \quad (7)$$

$$D = \sum (\Delta\sigma_i^m \cdot n_i) / C \quad (8)$$

となる。等価応力 $\Delta\sigma_e$ は

$$\Delta\sigma_e = \sqrt[m]{\sum (\Delta\sigma_i^m \cdot n_i) / \sum n_i} \quad (9)$$

となる。 $\Delta\sigma_i$ は応力範囲レベル、C は実験定数である。

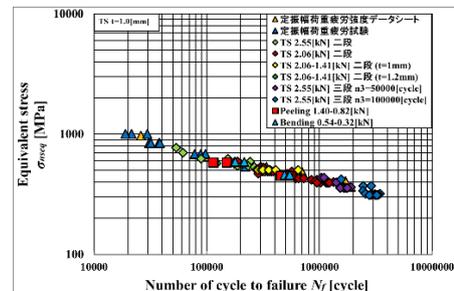


Fig.5 Equivalent stress-Number of cycle to failure N_f

図 5 は等価応力で整理した疲労寿命線図である。板厚と継手形式、また定振幅荷重と変動振幅荷重に依らず統一的に整理されている。

7. 結言

疲労限度以下の荷重によるスポット溶接継手の疲労損傷の評価手法について検討した。

- (1) 引張せん断荷重を受ける二段多重疲労試験結果をマイナー則に適用し、疲労限度以下の荷重に対する疲労寿命を求め、新しい S-N 曲線を作成した。
- (2) 新しい S-N 曲線の疲労限度は従来の疲労限度の 7 割である。
- (3) 新しい S-N 曲線とマイナー則による疲労寿命評価法は、二段多重のみならず、異なる荷重形態の変動振幅疲労寿命評価に適用可能である。
- (4) 等価応力を用いると、板厚、継手形式、荷重形態に依らず、疲労試験結果を統一的に整理できる。

参考文献

- (1) 関護雄, 田中道七, 出納真平, 日本機械学会論文集(第 1 部), 36 巻 287 号, pp.1037-1044(1970)
- (2) 高塚千尋, 河田涼平, 富岡昇, 岡部顕史, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.3, pp.693-698(2015)
- (3) 自動車技術会疲労信頼性部門委員会, スポット溶接継手疲労強度データ集(1987)