

公称構造応力を用いたスポット溶接継手の疲労寿命の統計的分布の推定

Estimating the Statistical Distribution of Fatigue Life of Spot Welded Joints using Nominal Structural Stress

○飯島 柊<sup>1</sup>, 富岡昇<sup>2</sup>, 岡部 顕史<sup>2</sup>

\*Shu Iijima<sup>1</sup>, Noboru Tomioka<sup>2</sup>, Akifumi Okabe<sup>2</sup>

In this study, the possibility of fatigue life distribution estimation for spot welded joints was investigated by applying the fatigue life distribution estimation method proposed by Shimokawa et al. In this study, the model of the converted stress distribution was assumed to be a two-matrix Weibull distribution, and the variation of the fatigue life distribution of the reference specimen was estimated. The estimated value agreed well with the experimental value, and the validity of the model of the converted stress distribution was demonstrated. It was also possible to estimate the fatigue life distribution of joints with different thicknesses.

1. 緒言

スポット溶接の疲労耐久性は自動車車体全体の耐久性を大きく左右する。製造過程で生じる板厚やナゲット径など幾何学的寸法のばらつきにより疲労耐久性は変動する。ばらつき要因による疲労寿命の変動を評価するには、同一荷重条件における疲労寿命分布について調べることが必要である。

疲労寿命分布の推定に関して、下河ら<sup>(1)</sup>はS-N曲線で疲労寿命のばらつきを応力のばらつきに換算し、その統計的性質を検証することで、寿命分布を予測することを行っている。

本研究では、下河らが提唱した疲労寿命分布推定法を適用し、スポット溶接継手の疲労寿命分布の推定の可能性について検討した。

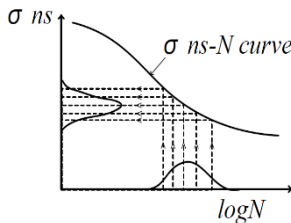


Fig. 1 Calculation procedure of equivalent stresses from the date of fatigue life distribution

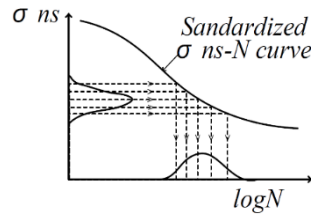


Fig. 2 Calculation procedure of equivalent stresses from the estimated population of equivalent stresses

2. 換算応力による疲労寿命分布の推定<sup>(1)</sup>

下河ら<sup>(1)</sup>は、疲労寿命のばらつきを設定応力の誤差に換算して考え、この換算応力分布を評価し、この結果から導かれる換算応力分布モデルを仮定し、順序統計学の知識を応用して、S-N曲線とから寿命分布を導いた。本研究では、スポット溶接継手の疲労寿命のばらつきを推定を以下のようにして行った。

- (1) まず、スポット溶接した引張せん断継手試験片を用いて多数の疲労試験を実施し、実験により得られた中央値寿命 $\tilde{N}$ によって $\sigma_{ns} - \tilde{N}$ 曲線を決める。ここでは、荷重に代えて公称構造応力 $\sigma_{ns}$ を用いた。
- (2) この $\sigma_{ns} - \tilde{N}$ 曲線と実験で得られた疲労寿命分布から、図1のように各々の寿命に対する換算応力を求める。この換算応力分布が、例えば分布形はワイブル分布で形状パラメータが応力によらず

一定、尺度パラメータは応力と線形関係にある等の性質を示すかを検討する。

- (3) 評価の結果、この分布モデルが有効であると判断された場合、得られた形状パラメータ、尺度パラメータより換算応力分布モデルを仮定し、図2のようにして $\sigma_{ns} - \tilde{N}$ から疲労寿命分布を導く。
- (4) 基準試験片データから得られた換算応力分布モデルを、継手寸法の異なる引張せん断継手に適応し、同様に疲労寿命分布のばらつきを推定する。

3. 疲労試験

図3に示すようにスポット溶接に引張せん断が作用する試験片を作成した。供試材料は板厚1.0mmの高張力鋼板SPFC590と板厚1.2mmの高張力鋼板SPFC440である。t=1.0mmの試験片を基準試験片とし、引張せん断継手の疲労寿命のばらつき分布およびその換算応力分布を調べた。t=1.2mmの試験片は基準試験片の換算応力分布モデルによって寸法の異なる継手の疲労寿命のばらつきを推定できるかを確認するためのものである。

基準試験片の荷重は $2 \times 10^4$ 回時間強度と $10^6$ 回時間強度の間を6段階に設定した。また、板厚1.2mmの試験片の荷重は基準試験片の公称構造応力 $\sigma_{ns}=683\text{Mpa}$ と一致するように2.47kNに設定した。試験片は各20本とした。疲労試験は荷重制御で行い、完全片振り(R=0.02)とした。

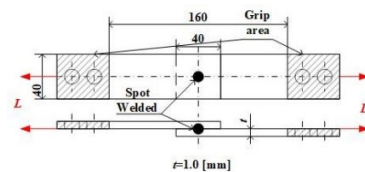


Fig. 3 Spot-welded joints used for fatigue testing under tensile shear

4. 寿命分布とS-N曲線から求めた換算応力分布

図4は基準試験片の疲労試験結果である。各荷重の中央値寿命 $\tilde{N}_f$ を用いて $\sigma_{ns} - \tilde{N}$ 曲線を作成し、その近似式を求めると次式となる。

$$\sigma_{ns} = 1.401 \times 10^4 N_f^{-0.2505} \tag{3}$$

式(3)と疲労寿命の実験値から得られた換算応力の累積分布を図5に示す. 図中の実線または破線は2母数ワイブル分布による累積確率である. 換算応力の累積確率は2母数ワイブル分布に従っている. また表1に換算応力分布の係数 $\alpha$ ,  $\beta$ , 平均値, 標準偏差と変動係数を示す.  $\alpha$ の値は設定応力 $\sigma_{ns}$ にほぼ等しい.  $\beta$ は高応力 $\sigma_{ns}=1216[\text{Mpa}]$ ,  $1051[\text{Mpa}]$ とその他の4つの応力 $\sigma_{ns}=885\sim 467[\text{Mpa}]$ の2つのグループに分かれ, それぞれのグループではほぼ等しく, 前者は後者より大きな値である.

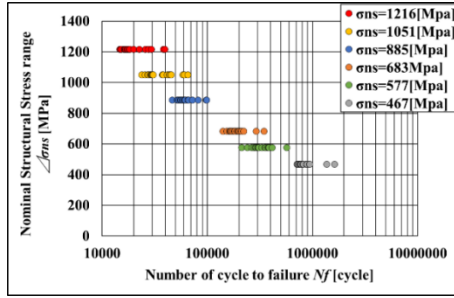


Fig.4  $\sigma_{ns}$  range-number of cycles to failure of tensile shear

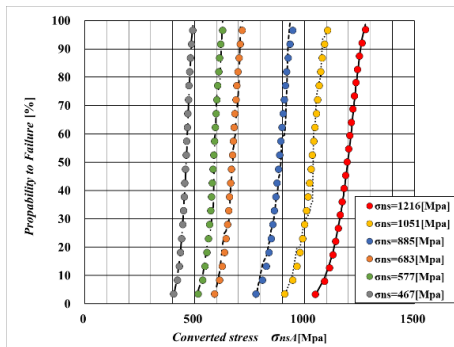


Fig.5 Converted stress distribution

Table1 Typical value of converted stress and degree of dispersion

$\sigma_{ns}[\text{Mpa}]$	$\alpha$	$\beta$	$\bar{\sigma}_{ns}[\text{Mpa}]$	SA	$V_N$
1216	1212.83	16.65	1176.7	86.8920	0.0740
1051	1049.70	15.88	1017.0	78.5999	0.0774
885	898.44	24.39	879.6	44.9186	0.0511
683	681.30	22.97	666.2	36.0566	0.0542
577	595.99	22.06	582.3	32.7718	0.0564
467	467.56	24.56	457.9	23.2144	0.0508

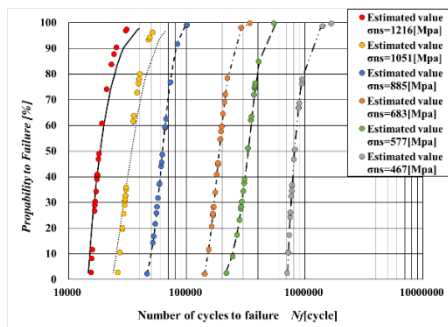


Fig.6. Fatigue life distributions (Experimental value and Estimated value)

### 6. 換算応力分布モデルから導いた疲労寿命

前章の結果から, 本研究では換算応力分布のモデルは2母数ワイブル分布であり,  $\beta$ は $\sigma_{ns}=885\sim 467[\text{Mpa}]$ の平均値 23.5,  $\alpha$ は設定応力 $\sigma_{ns}$ とする. 換算応力分布モデルは次式の2母数ワイブル分布となる.

$$F(\sigma_{ns}) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sigma_{ns}}{\alpha}\right)^{23.5}\right\} \quad (4)$$

式(4)の換算応力分布モデルを用いて, 任意の累積確率に対して換算応力 $\sigma_{ns}$ を求める. さらに, 式(3)から, 疲労寿命 $N_f$ を計算し, ワイブル分布の累積確率(破壊確率)を求めた. その結果を図6に示す. 図中には図5の実験値による破壊確率を実線または破線で示した. 推定値は実験値とよく一致しており, 式(4)の換算応力分布モデルの有効性が示された.

板厚の異なる引張せん断継手の疲労寿命分布の推定結果を図7に示す.

Table2. Typical value of life and degree of spraying obtained in the experiment( $t=1.2\text{mm}$ )

$\Delta\sigma_{ns} [\text{Mpa}]$	$N_f[\text{cycle}]$ (Median)	$\tilde{N}_f$	SA	$V_N$
683	187310	214916	54186	0.2521

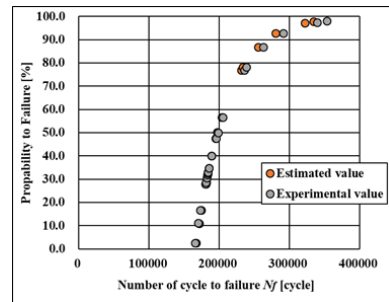


Fig.7 Fatigue life distributions (Experimental value and Estimated value)

図7より, 板厚の異なる継手に対しても, 公称構造応力で表現した換算応力分布モデルより疲労寿命分布が推定することができた.

### 7. 結言

本研究では, 下河らが提唱した疲労寿命分布推定法を適用し, スポット溶接継手の疲労寿命分布の推定の可能性について検討した. 本研究では換算応力分布のモデルは2母数ワイブル分布とし, これから基準試験片の疲労寿命分布のばらつきを推定すると推定値と実験値がよく一致しており, 換算応力分布モデルの有効性が示された. また, 板厚の異なる継手に対しても, 疲労寿命分布を推定することができた.

### 8. 参考文献

- (1) 下河利行・浜口泰正, 航空機用アルミニウム合金2024-T4 切欠き材( $R_t=8.25$ )における疲れ寿命のばらつきとS-N曲線との関係, 航空宇宙研究所(1975)