

SD-01 590MPa 級高張力鋼板を母材としたスポット溶接引張せん断継手の疲労寿命の分布特性

Statistical Distribution of Fatigue lives of spot-welded tensile shear joints based on 590MPa class high-tensile steel sheets

○江口諒<sup>1</sup>, 北山航大<sup>1</sup>, 高田実季子<sup>2</sup>, 富岡昇<sup>3</sup>, 岡部顕史<sup>3</sup>

\*Ryo Eguchi, Kota Kitayama, Mikiko Takada, Noboru Tomioka, Akifumi Okabe

In this study, statistical properties of fatigue life of spot welded joints under tensile shear loading were investigated. It was clarified that the fatigue life distribution of the joints using a 590Mpa class high-strength steel sheet as a base material follows a three-parameter Weibull distribution. The failure rate was a wear failure that increased with the number of cycles. These characteristics were also found in the mild steel joints.

1. 緒言

自動車車体の重要な締結要素であるスポット溶接の耐久性は、製造過程で生じる打点位置やナゲット径などのばらつきにより変動する。富岡ら<sup>(1)</sup>はスポット溶接構造の疲労寿命評価パラメータである公称構造応力に対して、ばらつき因子の感度を求める方法を提案し、この感度を用いて疲労寿命の変動を定量的に評価した。疲労試験により感度解析結果の実験的検証を試みたが、同じ形状・寸法の試験片を同一条件下で疲労試験を行っても、その結果にはばらつきが見られるため、良好な感度結果を得ることは困難であった。感度解析結果を実験的に検証するには、まずこの疲労寿命の分布特性を把握することが必要である。

本研究では、590MPa 級高張力鋼板を母材としたスポット溶接した引張せん断継手について、多数の試験片を用いて疲労試験を実施し、疲労寿命の統計的性質を調査し、軟鋼板 SPCE と比較検討した。

2. 疲労試験方法

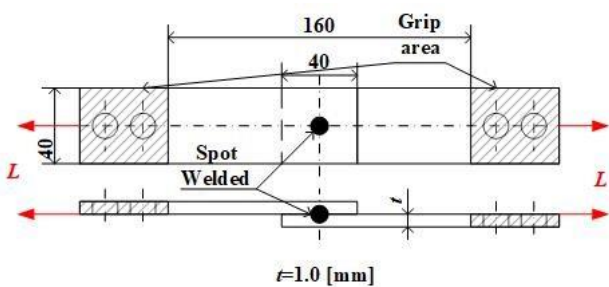


Figure 1. Spot-welded joints used for fatigue testing under tensile shear

疲労試験では、図 1 に示すように、スポット溶接し、ナゲットに引張が作用する試験片を作成した。用いた材質は高張力鋼板 SPFC590 と冷間圧延鋼板 SPCE、板厚は  $t=1.0\text{mm}$  である。スポット溶接には、SPFC590 には R 型電極を使用し、SPCE には電極先端直径  $d=6\text{mm}$  の C 型電極を使用した。溶接条件は、軟鋼板の標準条件を基準

とし表 1 のように設定した。負荷荷重は表 2 のように 2 段階に設定した。表中の  $\sigma_{ns}$  は疲労強度評価パラメータとして用いる公称構造応力の値である。荷重条件ごとに 20 本の試験片について、荷重制御、片振り（荷重比  $R=0.02$ ）で疲労試験を実施した。試験機に取り付けた試験片の様子を図 2 に示す。



Figure 2. Test specimen attached to fatigue testing

Table 1. Spot welding conditions

Electrode type	SPCE	SPFC590
Electrode force[kN]	2.4	3.4
Welding current[kA]	10.3	8.5
Weld time[cycle]	15	9

Table 2. Loading conditions

Quality of the material	Target diameter of nugget d[mm]	Loading ganges $\angle L$ [kN]	$\sigma_{ns}$ [Mpa]
SPFC590	6	2.06	628.7
		1.41	467.3
SPCE		2.06	682.0
		1.42	470.9

3. 疲労試験結果

図 2 に引張せん断継手の荷重疲労寿命  $\Delta L-N_f$  線図を示す。高張力鋼板 SPFC590 は軟鋼板 SPCE に比べて長寿命側にシフトしている。これは両者の寿命はほぼ等しいとの先行研究結果と異なる。本研究では試験片にき裂が発生・進展し、その変位振幅が一定以上増加した時を寿命としているため、変形抵抗の高い高張力鋼板が長寿命となったと考えられる。

引張せん断継手の疲労寿命の分布特性を調べるためにメジアンランク法により累積確率を求めた。その結果を図 3 に示す。また、図中には、(1)式で表されるワ

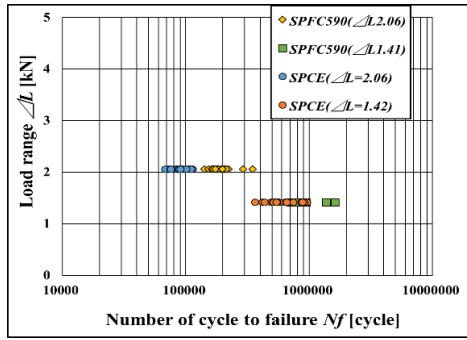


Figure 2. Load range-number of cycle to failure

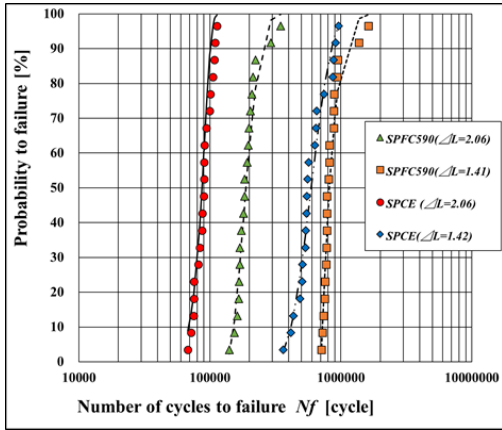


Figure3. Probability to failure- Number of cycles to failure

ワイブル分布の累積分布関数  $F(N)$  の値を実線または破線で示した。

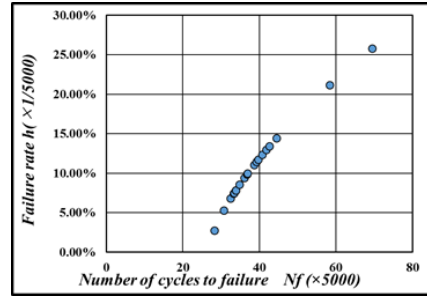
$$F(N_f) = 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{N_f - \gamma}{\alpha} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$  は尺度パラメータ、 $\beta$  は形状パラメータ、 $\gamma$  は移動パラメータである。各パラメータの値は相関係数法により求めた。その結果を表 3 に示す。引張せん断継手の疲労寿命分布は高張力鋼板と軟鋼板ともに 3 母数ワイブル分布にはほぼ従っている。

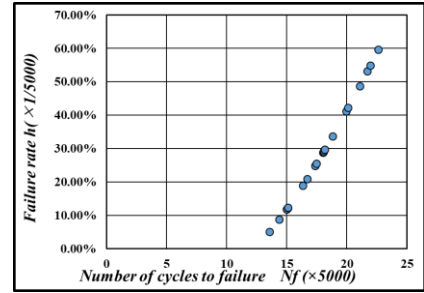
(1) 式の累積関数から故障率を求めた。一例として繰り返し数  $N=5000$  回ごとの故障率の結果を図 4 に示す。また破壊確率関数についても同様に求めた結果を図 5 に示す。図 4 の故障率は、すべて時間と共に増加する磨耗故障である。疲労過程は損傷が蓄積されていく過程であるから、これらは疲労現象を良く表している。図 5 の確率密度関数は両母材とも正規分布のような形状である。

Table3. Coefficients  $\alpha, \beta, \gamma$

Material	$\Delta L$ [kN]	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\eta$
SPFC590	2.06	68000	1.66	134179	0.624
	1.41	158315	1.02	707035	0.982
SPCE	2.06	33999	2.29	55971	0.463
	1.42	339805	1.87	314035	0.559

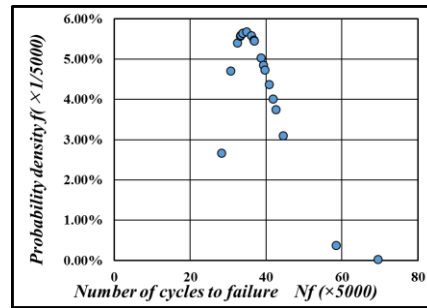


(a) SPFC590 ( $\Delta L=2.06$ kN)

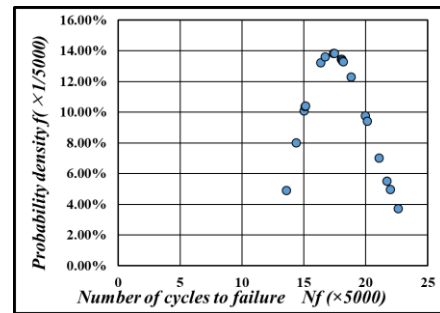


(b) SPCE ( $\Delta L=2.06$ kN)

Figure 4. Failure rate-Number of cycle to failure



(a) SPFC590 ( $\Delta L=2.06$ kN)



(b) SPCE ( $\Delta L=2.06$ kN)

Figure 5. Probability density-Number of cycle to failure

#### 4. 結 言

スポット溶接した引張せん断継手の疲労寿命の統計的性質を調べた。高張力鋼板 SPFC590 を母材とした継手の疲労寿命分布は 3 母数ワイブル分布に従うことが明らかとなった。これは軟鋼板 SPCE も同様であった。今後は、ナゲット径を変えた時の疲労寿命分布特性を調べ、ナゲット感度を実験的に求める予定である。

参考文献 省略