

せん断ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労強度に及ぼすばらつき因子の影響

Effect of Scatter factor on Fatigue Strength of Spot-Welded Joint under Shear Torsion

○角田遼¹, 亀卦川弘崇¹, 高田実季子¹, 比留間竜也², 富岡昇³, 岡部顕史³

*Ryo Kadota, Hirota Kikegawa, Mikiko Takada, Tatsuya Hiruma, Noboru Tomioka, Akifumi Okabe

In this study, statistical properties of fatigue life of spot welded joints under shear torsion loading were investigated. From the results, the analysis result of the nugget radius sensitivity was verified. The fatigue life distribution of the shear torsion joints was a composite type Weibull cumulative distribution. Experimental values of the nugget radius sensitivity of the shear torsion joints using the number of cycles to failure at a failure probability of 50% showed the same tendency as the theoretical values within the range of $d = 4$ to 6 mm.

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⁽¹⁾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、スポット溶接に主としてせん断とねじりが作用するせん断ねじり継手について疲労試験を実施し、疲労寿命の統計的性質を調査し、その結果を用いてナゲット径感度解析結果の検証を行った。

2. 疲労試験方法

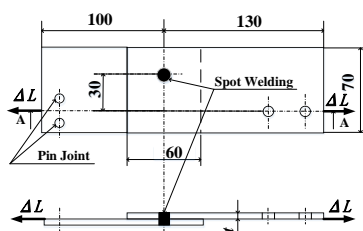


Figure 1. Spot-welded joints used for fatigue testing under torsion shear

疲労試験では、図 1 に示すように、荷重線より 30mm 離れた位置にスポット溶接し、ナゲットにねじりモーメントが作用する試験片を作成した。用いた材質は冷間圧延鋼板 SPCE を使い、板厚は $t=1.0\text{mm}$ である。その化学成分と機械的性質を表 1 に示す。スポット溶接には、電極先端直径 $d=4, 6, 8\text{mm}$ の 3 種類の C 型電極を使用し、異なるナゲット径を生成するようにした。溶接条件

は、軟鋼板の標準条件に準じて設定し、電極先端径が異なる場合、平均圧力と電流密度が同じになるように設定した(表 2)。

荷重条件を表 3 に示す。公称構造応力の値が同じになるように、目標ナゲット径 d ごとに荷重を設定した。荷重条件ごとに 20~25 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。試験片は図 2 のような治具を介して試験機に装着した。上端にある治具は、試験片がその面に垂直な軸周りに自由に回転出来るようになっている。

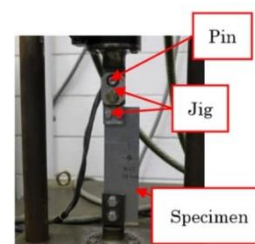


Figure 2. Test specimen attached to fatigue testing

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of the steel sheet (wt.%)

YS[Mpa]	TS[Mpa]	EL[%]	C	Mn	P	S	Si
157	302	47.3	0.001	0.1	0.01	0.004	0.01

Table 2. Spot welding conditions

Electrode type	C-4	C-6	C-8
Electrode force[kN]	1.2	2.4	4.0
Welding current[kA]	6.4	10.3	14.7
Weld time[cycle]	14	15	15

Table 3. Loading conditions

Target diameter of nugget d[mm]	Loading ganges ΔL [kN]	σ_m [Mpa]
4	1.38	679.4
6	1.76	
8	2.11	
4	0.96	471.6
6	1.23	
8	1.46	

3. 疲労試験結果

図 3 にせん断ねじり継手の荷重疲労寿命 $\Delta L-N_f$ 線図を示す。また、得られた疲労寿命データの累積分布を示すと図 4 となる。図には、式(1)で表されるワイブル分布の累積分布関数 $F(N)$ の値を実線、破線で示した。

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

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

ここで、 α は尺度パラメータ、 β は形状パラメータ、 γ は移動パラメータである。疲労寿命分布は $d=8\text{mm}$ 、 $\Delta L=1.46\text{ kN}$ のデータを除いてすべて複合型のワイブル分布となっている。最小二乗法により求めた α と β の値を表4に示す。移動パラメータはすべて $\gamma=0$ とした。式(1)の累積関数から故障率を求めた。典型的な例として、 $d=6\text{mm}$ 、 $\Delta L=1.23\text{ kN}$ と $d=8\text{mm}$ 、 $\Delta L=1.46\text{ kN}$ の二つの場合について、繰り返し数 $N=5000$ 回ごとの故障率の結果を図5に示す。 $d=8\text{mm}$ 、 $\Delta L=1.46\text{ kN}$ の場合、故障率は繰り返し数とともに単調に増加する磨耗故障である。 $d=6\text{mm}$ 、 $\Delta L=1.23\text{ kN}$ の場合、故障率ははじめ繰り返し数とともに単調に増加する磨耗故障、 $N_f \approx 200,000$ 以降は故障率が一定となる偶発故障である。疲労破壊は負荷の繰り返し数に伴い、き裂の生成過程、生成したき裂の成長過程を得て最終破断に至ることから、磨耗故障と考えられる。偶発故障となった原因は現段階では不明であり、その解明は今後の課題とし、以後感度を求める際には、磨耗故障を示す $N_f \approx 200,000$ 以下のデータのみを用いることにした。他の複合型ワイブル分布を示すデータについても同様な視点から選別してその一部を用いることとした。

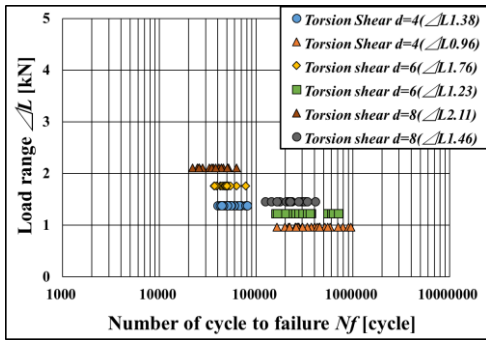


Figure 3. Load range-number of cycle to failure

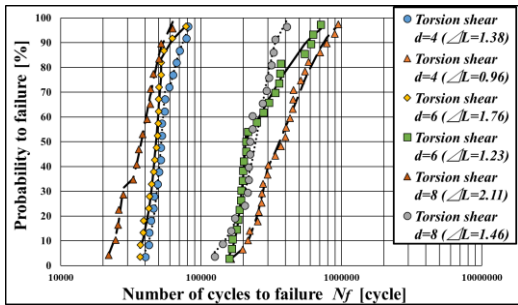


Figure.4 Probability to failure- Number of cycles to failure

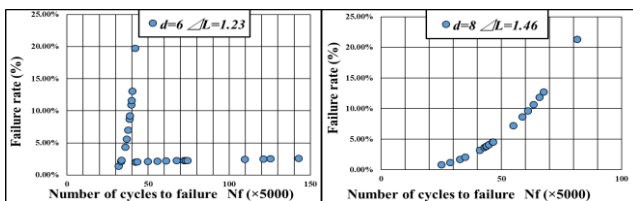


Figure 5. Failure rate-Number of cycle to failure

Table4. Scale parameters α and sharpe parameters β

d [mm]	ΔL [kN]	α	β	
4	1.38	54131	9.32	$N < 53809$
		55207	2.9	$N \geq 53809$
4	0.96	340946	4.89	$N < 294833$
		451637	1.67	$N \geq 294833$
6	1.76	49764	8.69	$N < 51954$
		35760	1.58	$N \geq 51954$
6	1.23	214959	10.46	$N < 207842$
		278570	1.2	$N \geq 207842$
8	2.11	31105	8.93	$N < 30327$
		41685	3.48	$N \geq 30327$
8	1.46	270370	3.74	

* All movement parameters $\gamma=0$

4. せん断ねじり継手のナゲット径感度の実験的検証
せん断ねじり継手のナゲット径の感度 S_d は公称構造応力 σ_{ns} を用いて次のように表せる。

$$\frac{d\sigma_{ns}}{\sigma_{ns}} = S_d \frac{de}{d} \quad S_d = \frac{\partial \sigma_{ns}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{ns}} \quad (2)$$

ナゲット径 d を変化させて公称構造応力 σ_{ns} の離散性を計算し、 $d - \sigma_{ns}$ 線図を作成して d と σ_{ns} の近似式から感度 S_d を求めた。感度解析結果を検証するために、破壊確率 50%の疲労寿命を用いて荷重疲労寿命線図を作成し、ナゲット径ごとに 10 万回の時間強度を求めると、ナゲット径と時間強度の近似式から感度の実験値を得られる。ナゲット径感度の理論値と実験値の比較を図6に示す。 $d=4 \sim 6\text{mm}$ の範囲内では、両者は同様の傾向を示すが、6mm 以上では異なる傾向を示した。また累積確率を変えると感度の実験値が変化し、特に $d=8\text{mm}$ の変動は大きい。

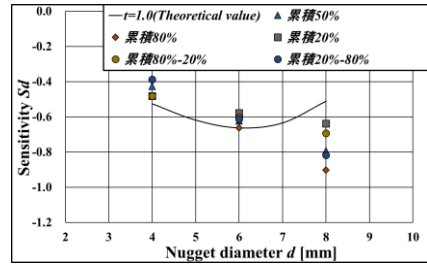


Figure6. Comparison between the theoretical and experimental values of sensitivity

5. 結言

スポット溶接したせん断ねじり継手の疲労寿命の統計的性質を調べ、その結果よりナゲット径感度の解析結果を検証した。

- (1)せん断ねじり継手の疲労寿命分布は複合型のワイブル累積分布となった。
- (2) 破壊確率50%の破断繰り返し数を用いたせん断ねじり継手のナゲット径感度の実験値は、 $d=4 \sim 6\text{mm}$ の範囲内では理論値と同様の傾向を示した。

参考文献 省略