

ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚の影響 Effect of Sheet thickness on Fatigue Strength of Spot-Welded Joint under Torsion

安池将人¹, ○松原幸治¹, 鷲尾将輝², 富岡昇³, 岡部顕史³

Masato Yasuike¹, * Kouji Matsubara¹, Masaki Washio², Noboru Tomioka³, Akihumi Okabe³

In this paper, the influence of plate thickness on fatigue strength of spot welded joints subjected to torsion was investigated. A sensitivity analysis for the torsional shear joints gave a quantitative variation of nugget diameter and sheet thickness on fatigue strength of the joint with $5\sqrt{t}$ nugget diameter. In addition, we have attempted to validate the results of sensitivity analysis by conducting fatigue testing. Fracture mode is the shear fracture in $d \leq 5.33t$ depending on the sheet thickness t and the diameter d of a nugget

1. 緒言

ナゲット径は一般に板厚の平方根の 5 倍を目標として溶接されるため、多くの論文で使用されている試験片は板厚と共にナゲット径も変わっている。

島谷ら^[1]は、引張せん断継手について、感度解析と疲労試験を行い、疲労寿命に対する板厚の影響を明らかにした。この板厚の影響はスポット溶接部に作用する荷重成分によって異なる。

本研究では、スポット溶接部に主としてねじりが作用するせん断ねじり継手について、感度解析を行い、ナゲット径 $5\sqrt{t}$ のスポット溶接継手の疲労強度に対する板厚による変動量からナゲット径成分を分離し、両者の変動量を明らかにした。さらに、疲労試験を実施し、感度解析結果の検証を行った。

2. 公称構造応力に対する板厚の感度解析

ナゲット径 $d=5\sqrt{t}$ としたときの板厚による公称構造応力の変動量のうち、板厚変動成分とナゲット径変動成分の割合はそれぞれ

$$\frac{S_t}{S_t + 0.5S_d}, \quad \frac{0.5S_d}{S_t + 0.5S_d} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 S_t , S_d はそれぞれ板厚感度、ナゲット径感度、 $S_t + 0.5S_d$ はナゲット径 $d=5\sqrt{t}$ としたときの板厚感度である。この計算結果を表 1 に示す。

ここで、 σ_{ns} の変動量のうち 52.4% が板厚変化に起因し、47.6% は

Table.1 Sensitivity of each Sheet thickness and Diameter of nugget

t [mm]	d [mm]	S_t	S_d	$S_t + 0.5S_d$	$S_t / (S_t + 0.5S_d)$ [%]	$0.5S_d / (S_t + 0.5S_d)$ [%]
0.8	5	-0.990	-1.91	-1.95	50.9	49.1
0.8	6	-0.990	-1.85	-1.92	51.7	48.3
0.8	7	-1.00	-1.82	-1.91	52.4	47.6
0.8	8	-0.990	-1.74	-1.85	53.0	47.0
1.0	5	-1.00	-1.91	-1.96	51.2	48.8
1.0	6	-1.00	-1.86	-1.93	51.8	48.2
1.0	7	-1.00	-1.83	-1.92	52.2	47.8
1.0	8	-1.00	-1.74	-1.87	53.5	46.5
1.2	5	-1.00	-1.90	-1.95	51.3	48.7
1.2	6	-1.00	-1.84	-1.92	52.1	47.9
1.2	7	-1.00	-1.79	-1.90	52.8	47.2
1.2	8	-1.00	-1.65	-1.83	54.8	45.2
1.6	5	-1.00	-1.91	-1.96	51.2	48.8
1.6	6	-1.00	-1.84	-1.92	52.1	47.9
1.6	7	-1.00	-1.77	-1.89	53.1	46.9
1.6	8	-1.00	-1.64	-1.82	54.9	45.1
Average		-1.00	-1.81	-1.90	52.4	47.6

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

3. 実験結果

3.1. 試験片および溶接条件

図 1 は疲労試験に用いたスポット溶接継手の模式図である。供試材料は冷間圧延鋼板 SPCE で、板厚 $t=0.8, 1.0, 1.2\text{mm}$ である。スポット溶接に用いた C 型電極は先端直径が $d=4, 6, 8\text{mm}$ を使用し、ナゲット径を変化させた。疲労試験は荷重制御で行い、片振りとした。

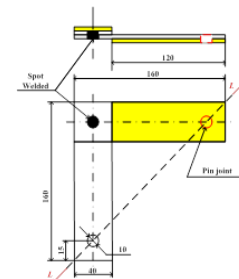


Fig.1 Spot-welded joints under torsional shear for

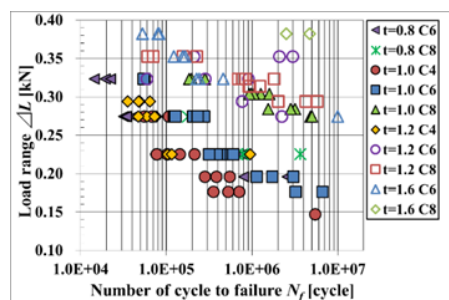


Fig.2 Load range-number of cycle to failure fatigue testing

3.2. 疲労試験結果

図 2 は荷重範囲と破断繰返し数の関係を示した図である。図には、島谷らの $t=1.2, 1.6\text{mm}$ のデータも載せた^[1]。破壊の形態を観察した結果、ナゲットの周囲で破断しナゲットが完全に抜けるプラグ破断、接合面でナゲットが破断するシャー破断、両者の混在する部分プラグ破断が見られた。これらを図 3 に、各試験片の破断形態を表 2 に示す。

Table.2 Fatigue fracture mode

t [mm]	d [mm]	Nugget diameter d [mm]		
		4	6	8
0.8				
1.0				
1.2				
1.6				

● : Plug
▲ : Partly Plug
■ : Shear



Fig.3 Shapes of fatigue fracture in and around the nugget
(a) Plug fracture (b) Partly plug fracture (c) Shear fracture

4. 破断形態の推定

ナゲットの解析モデルをナゲット径 d を直径とする長さ $2t$ の円柱とした。スポット溶接継手の界面に位置する円断面に生じる最大せん断応力は、円柱の両端にねじりモーメント M_t が作用するとして、

$$\tau_{z\theta max} = \frac{M_t \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16M_t}{\pi d^3} \quad (2)$$

となる。母材と接するナゲットの側面に発生するせん断応力は、側面に一様に分布すると仮定すると、

$$\tau_{r\theta max} = \frac{M_t}{\pi d t \frac{d}{2}} = \frac{2M_t}{\pi t d^2} \quad (3)$$

となる。

プラグ破断およびシャー破断は、せん断強度 τ_s に依存し、ミーゼスの関係 $\tau_s = \sigma_s / \sqrt{3}$ 、ビッカース硬さ H_v と引張強度 σ_s の関係 $\sigma_s = 3.2H_v$ より、 $\tau_s = 1.85H_v$ となり、せん断強度はビッカース硬さより求まる²⁾。

スポット溶接部における硬さ分布は、本実験で使用した軟鋼板の場合、ナゲットのせん断強度は母材のせん断強度の 1.5 倍となる。従って、

$$\frac{\tau_{z\theta max}}{\tau_{r\theta max}} \geq 1.5 \quad (4)$$

が成立するとき、疲労破壊モードはシャー破断となる。

式(4)に式(2)(3)を代入して整理すると、

$$t \geq 0.188d \quad (5)$$

となる。スポット溶接継手の板厚とナゲット径の間に式(5)を満足する関係が存在するとき、疲労破壊はシャー破断となる。この関係を図示すると図 4 となり、ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労破壊モードは式(5)によって判別できる。

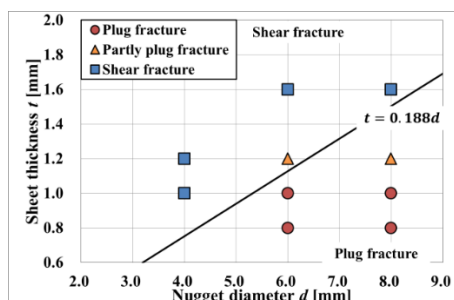


Fig.4 Distinction of fracture mode

5. 疲労強度の板厚・ナゲット径効果

図 5 はプラグ破断である、 $t=0.8$, 1.0mm , $d=6$, 8mm の疲労試験データを公称構造応力で整理したものである。板厚、ナゲット径によらず統一的に整理されている。ここでは、回帰曲線を得る関係上、破断繰返し数が 200 万回以下のデータを用いた。プラグ破断の疲労試験データは公称構造応力で評価できるので、これらのデータを用いて引張せん断継手の場合^[1]と同様にして、疲労試験データから 10 万回の時間強度の板厚効果とナゲット径効果を求めると、それぞれ 41%, 59% となり、表 1 の理論値に近い値となる。

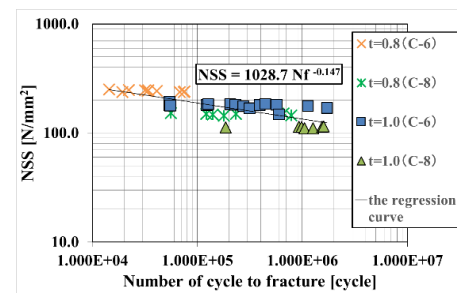


Fig.5 Nominal structural stress-Number of cycle to fracture

6. 結言

ねじりを受けるスポット溶接継手について、感度解析を行い、疲労強度に対する板厚およびナゲット径の変動量を明らかにした。さらに、疲労試験により感度解析結果を検証した。

- (1) 感度解析により、ねじり疲労強度の変動量のうち 52.4% が板厚変化に起因し、47.6% はナゲット径の変化によるものである。これらに相応する実験値はそれぞれ 41%, 59% となり、理論値は実験値に近い値となっている
- (2) ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労破壊モードは板厚とナゲット径の組み合わせにより、プラグ破断、シャー破断、部分プラグ破断の 3 つの破壊モードとなる。

7. 参考文献

- [1] 島谷, 斉藤, 三田, ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚の影響, 日本大学理工学部機械工学科論文集, (2013)
- [2] 富士本, 福井, 岡村, 宮原, 中山, 高張力鋼板スポット溶接継手の強度と破断形態の検討, 住友金属工業株式会社論文集
- [3] 秦, 小島, ねじりを受けるスポット溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚の影響, 日本大学理工学部機械工学科論文集, (2015)