

K5-71

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

○齊藤佑允<sup>1</sup>, 島谷肇<sup>1</sup>, 三田潤<sup>1</sup>, 東田晋平<sup>2</sup>, 富岡昇<sup>3</sup>, 岡部顕史<sup>3</sup>

Yusuke Saito<sup>1</sup>, Hajime Shimaya<sup>1</sup>, Jun Mita<sup>1</sup>, Shinpei Touda<sup>2</sup>, Noboru Tomioka<sup>3</sup>

In this paper, the influence of sheet thickness to the fatigue strength of the spot-welded joints is investigated. Since a standard spot welding condition sets target of diameter of nugget to  $5\sqrt{t}$ , the effect of nugget size on fatigue strength was included into the S-N curves of spot-welded joints with various sheet thickness. In this study, the spot welding condition was adjusted so that the size of a nugget of each sheet thickness is the same. The fatigue tests for these specimens were conducted and the effect of nugget size and sheet thickness on the fatigue strength was cleared.

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重要な締結要素であり、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している。板厚やナゲット径など幾何学的寸法のばらつきに対してロバストなスポット溶接構造を設計するには、疲労強度に及ぼすばらつき要因の影響を明らかにすることが求められる。

スポット溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚の影響を実験的に調べた論文は多く見られる。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、これらの実験で使わ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。これらの疲労試験結果にはナゲット径の影響も含まれ、純粋に板厚のみの影響を見ていることにはなっていない。

本研究では、各種板厚の試験片を作成し、これらを疲労試験し、ナゲット径も変えた通常の試験片による結果と比較し、疲労強度に及ぼす板厚の影響を調べたので、その結果を報告する。

2. 公称構造応力に対する板厚の感度解析

引張せん断継手の場合、板厚感度とナゲット径 ( $d=5$  mm) 感度を計算すると、それぞれ  $S_t = -1$ ,  $S_d = -0.660$  となる。公称構造応力の板厚変動成分と、ナゲット径変動成分はそれぞれ、

$$\frac{S_t}{S_t + 0.5S_d} = 0.752 \quad \frac{0.5S_d}{S_t + 0.5S_d} = 0.248$$

となる。

感度  $S_t$ ,  $S_d$  は板厚に対してほぼ一定となることから、 $\sigma_{ns}$  の変動量は 75.2% が板厚変化、残りの 24.8% はナゲット径変化に起因するものである。

ねじりせん断継手の場合、板厚感度とナゲット径 ( $d=5$  mm) 感度を計算すると、それぞれ  $S_t = -1$ ,  $S_d = -1.81$  となる。公称構造応力の板厚変動成分と、ナゲット径変動成分はそれぞれ、

$$\frac{S_t}{S_t + 0.5S_d} = 0.525 \quad \frac{0.5S_d}{S_t + 0.5S_d} = 0.475$$

となり、 $\sigma_{ns}$  の変動量は 52.5% が板厚変化、残りの 47.5% はナゲット径変化に起因するものである。次章では引張せん断継手、ねじりせん断継手の疲労試験を実施し、これを検証する。

3. 実験結果

3.1. 試験片及び溶接条件

図 1 は疲労試験に用いた引張せん断継手とねじりせん断継手の模式図である。供試材料は冷間圧延鋼板 SPCE で、板厚は 1.0 mm, 1.2 mm, 1.6 mm の 3 種類である。

スポット溶接での電極は R 型, C 型の  $\phi 4, 6, 8$  を使用した。軟鋼板のスポット溶接の標準条件を基準とし、溶接電流は引張せん断強度が最大となるチリ発生直前の値とした。この条件では板厚ごとにナゲット径が異なる。板厚 1.2 mm と 1.6 mm のナゲット径を板厚 1.0 mm と合わせるために、溶接電流を調整した。溶接条件を表 1, 表 2 に示す。

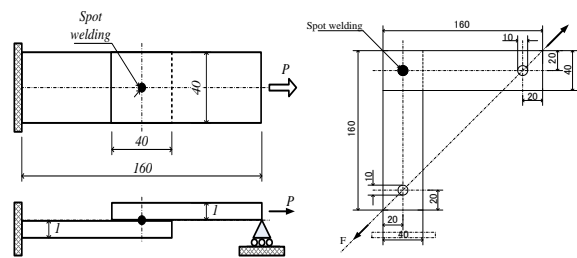


Fig.1 Spot welded joints for fatigue testing of tensile shear and torsional shear

Table1 Welding condition (tensile shear)

	t=1.0mm			t=1.2mm				t=1.6mm		
	C-4	C-6	C-8	C-4	C-8	R(d=7.0)	R(d=7.3)	C-4	R(d=7.0)	R(d=8.0)
Electrode type	C-4	C-6	C-8	C-4	C-8	R(d=7.0)	R(d=7.3)	C-4	R(d=7.0)	R(d=8.0)
Electrode Force[kN]	1.2	2.4	4	2.2	5	3	3	2.42	4	4
Welding Current[kA]	6.3	10.3	14.5	6.1	14.7	9.8	10.1	7.2	9.2	10.4
Welding time[cycle]	12	12	12	14	14	14	14	15	15	15

※d はナゲット径

Table2 Welding condition (torsional shear)

	t=1.0mm	t=1.2mm	t=1.6mm
Electrode type	C-6	C-6	C-6
Electrode Force[kN]	2.2	2.2	2.2
Welding Current[kA]	10.3	10.5	11.2
Welding time[cycle]			

疲労試験は荷重制御で行い、完全片振り (R=0.02) とした。疲労寿命は疲労き裂がナゲット端の内部から発生し板外表面に現れ、ナゲット径程度に成長した時とした。

3. 2. 疲労試験結果

図2は引張せん断継手の疲労試験で得られた荷重—破断寿命線図である。また、表1の溶接条件の下で生成されたナゲット径の平均値を表2に示す。板厚，ナゲット径ごとに、図2の荷重疲労寿命線図の近似曲線を求め、 $N_f=100,000$  回の時間強度を求めると表2のようになる。このナゲット径と時間強度の関係を表したのが図3である。

図3より、ナゲット径  $d$  一定の下で板厚を変化させたときの時間強度および板厚と共にナゲット径  $d=5\sqrt{t}$  と変化させたときの時間強度を求めた結果を表3に示す。

板厚が厚くなると時間強度は増加するが、ナゲット径一定のときの増加量  $b$  及びナゲット径  $5\sqrt{t}$  と変化するときの増加量  $a$  を表3から求めると表4となる。 $b$  は板厚変化に起因する時間強度の増加量 ( $a-b$ ) はナゲット径変化による時間強度の増加量である。表4から、時間強度の増加量の内、板厚に起因する割合は 66.7~78.5%，ナゲットに起因する割合は 33.3~21.5%で、これらは前章で求めた  $\sigma_{ns}$  の変動量に対する割合と近い値となっている。

図4はねじりせん断継手の疲労試験で得られた荷重—破断寿命線図である。図4より板厚が 1.0mm, 1.2mm のとき、ほとんどがボタン破断となった。また、引張荷重が大きいとき破断繰返し数が小さくなり反比例していることがわかるが、1.6mm の場合は全てシャー破断したため、変則的な結果を示した。これは板剛性によるもので、ナゲット径を大きくすればボタン破断となり、1.0mm, 1.2mm のときと同様に破断繰返し数が予測できると考えられる。今後、ナゲット径の大きさを変えて疲労試験を実施する予定である。

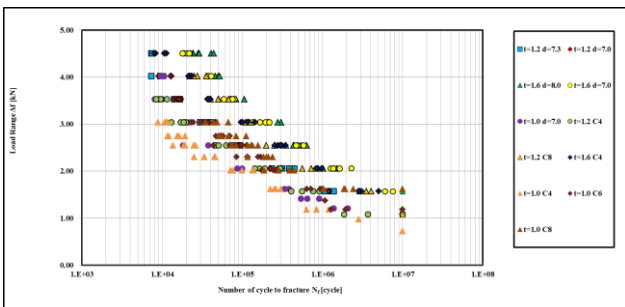


Fig2. Load range-number of cycle to failure for tensile shear

Table3 Average values of diameter of a nugget generated by spot welding and the fatigue strength at 100,000 cycles

Electrode type	t=1.0[mm]			t=1.2[mm]			t=1.6[mm]			
	C-4	C-6	C-8	C-4	C-8	R(d=7.0)	R(d=7.3)	C-4	R(d=7.0)	R(d=8.0)
Nugget diameter[mm]	4.89	6.77	8.51	5.29	7.05	7.32	8.41	6.17	6.96	8.01
Fatigue strength[kN]	1.91	2.39	2.57	2.25	2.52	2.58	3.09	3.04	3.38	3.58

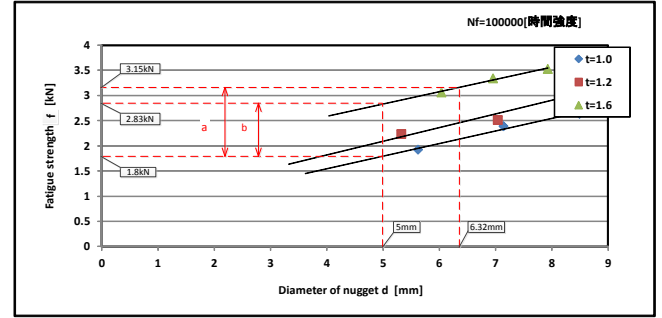


Fig.3 Relationship between the diameter of a nugget and the fatigue strength at 100,000 cycles

Table4 Fatigue strength at 100,000 cycles at the same diameter of nugget and  $d=5\sqrt{t}$

Nugget diameter[mm]	1.0-1.2[mm]		1.0-1.6[mm]		1.2-1.6[mm]	
	t=1.0 [mm]	t=1.2[mm]	t=1.0 [mm]	t=1.6[mm]	t=1.2 [mm]	t=1.6[mm]
$5\sqrt{t}$		$5\sqrt{t}$	$5\sqrt{t}$		$5\sqrt{t}$	$5\sqrt{t}$
	5	5	5.48	5	5	6.32
Fatigue strength[kN]	1.8	2.09	2.22	1.8	2.83	3.15

Table5 Influence of sheet thickness and nugget diameter

1.0-1.2[mm]		1.0-1.6[mm]		1.2-1.6[mm]	
a	b	(a-b)/a	b/a	a	b
0.42	0.28	0.333	0.667	1.35	1.02
				0.244	0.756
				0.93	0.73
				0.215	0.785

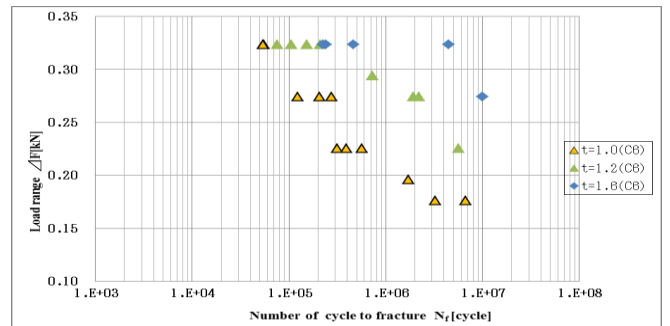


Fig4. Load range-number of cycle to failure for torsion shear

4. 結論

スポット溶接継手の疲労強度に及ぼす板厚の影響について調べた。

表5より、時間強度の増加量の内、板厚に起因する割合は 66.7~78.5%，ナゲットに起因する割合は 33.3~21.5%で、これらは感度解析により求めた  $\sigma_{ns}$  の変動量に対する割合と近い値となっている。

5. 参考文献 省略