

境界変位による公称構造応力算出法のスポット溶接した引張せん断差厚継手への適用

Application of Method for Calculating Nominal Structural Stress only Using the Boundary Displacements to a Single Spot-Welded joints with Different Sheet Thickness under Tensile Shear

向後直紀¹, ○齋藤慎太郎¹, 稲生博紀², 富岡昇³, 岡部顕史³
Naoki Kougo¹, Shintaro Saito¹, Hiroki Inoh², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

Abstract: This paper describes the application of method for calculating nominal structural stress only using the boundary displacements to a single spot-welded joint with different sheet thickness under tensile shear. The main results are as follows. (1)The finer mesh model of a single spot-welded joint with different sheet thickness is used in order to calculate the boundary displacements of circular plate by FEM in the proposed method. (2)In case of plate thickness, to be expected that fatigue life of different sheet thickness under tensile shear is longer than same sheet thickness has on the thin sheet thickness.

1. 緒言

CAE によるスポット溶接構造疲労寿命予測法の確立のために、著者らは評価パラメータとして用いるスポット溶接の公称構造応力を算出する方法を提案した^{(1)~(7)}。この算出法では、ナゲットの分担荷重とその周辺の変位を有限要素法(FEM)シェル解析より求める必要がある。実用性を考え、ナゲットのFEモデルを簡略化できるように、境界変位のみを用いる公称構造応力算出法を新たに提案し、等厚引張せん断継手に適用し、良好な解が得られることを確認した。

本研究では、新たに開発した公称構造応力算出法を差厚継手に適用し、解の精度および板厚と公称構造応力との関係について検討した。

2. 公称構造応力算出法

著者らが提案する公称構造応力算出法はナゲットを中心として描いた任意直径 D の円形部を、これと同じ寸法・材質の円板に置き換えて、弾性学の板理論を用いて応力解析し、高精度な応力解を得ようとするものである(図2)。この際、上述の実用的なFEモデルで得られるナゲット中心周辺の変位を変位境界条件として用いる。

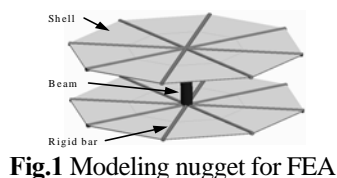


Fig.1 Modeling nugget for FEA

図3のように、変位境界条件として用いる直径 D の円周上の変位については、周方向に変位について、周方向に等間隔に選んだ8個の点の変位をFE解析で求めて、これらの離散値を周期スプライン関数で補間し、さらにこれをフーリエ級数で表す。

公称構造応力 σ_{ns} はナゲット端に生じる最大主応力 σ_p のことで、式(1)のように表すことができる。

$$\sigma_{p1}, \sigma_{p2} = \frac{(\sigma_{rsum} + \sigma_{\theta sum}) \pm \sqrt{(\sigma_{rsum} - \sigma_{\theta sum})^2 + 4\tau_{r\theta sum}^2}}{2} \quad (1)$$

添え字 sum は各分担荷重による応力の和を意味する。本研究では、この公称構造応力算出法を引張せん断差厚継手(以下 TS 差厚継手)に対し適用し解析した。

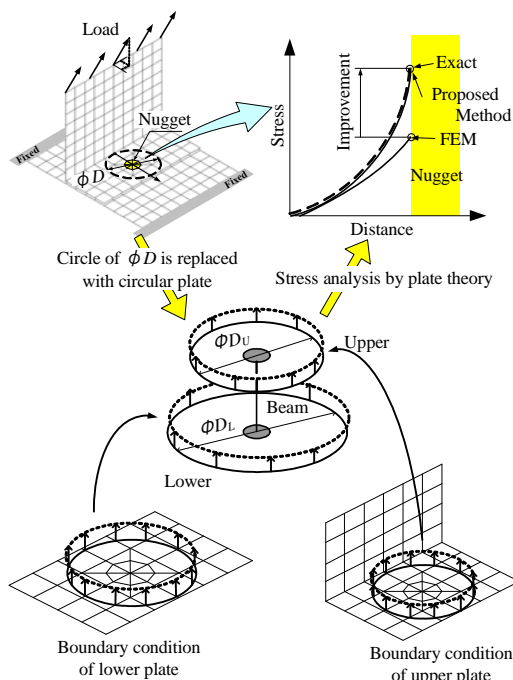


Fig.2 Method of calculating nominal structural stress

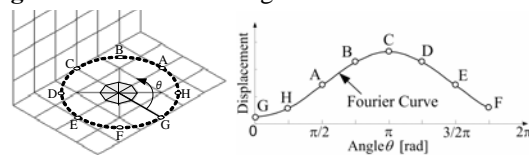


Fig.3 Fourier series of boundary displacement

3. 差厚継手における本手法の適用

3.1 差厚解析の解析精度

図4は、TS継手の模式図およびTS継手のFEシェルモデルで、板厚が異なる差厚モデルとして解析した。ラップ部(板の重ね合わせ部分)は40のメッシュに等分割している(図5)。板の組合わせを1.0mm-1.6mmとし、公称構造応力の算出に必要な境界変位データをFE解析より求め、2章の方法に従って応力解析し、その結果を有限要素法の解析結果と比較して、本手法の有効性を確かめた。その結果を図6示す。図の通り、ナゲット周辺に生じる垂直応力はほぼ同等の値を示している。

1) 日大理工・学部・機械 2) 日大理工・研究生・機械 3) 日大理工・教員・機械

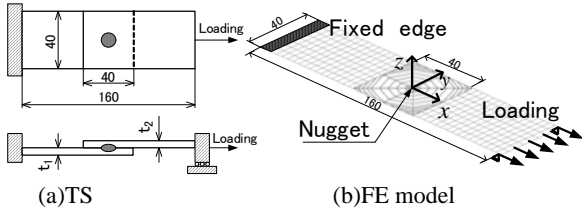


Fig.4 FE model of a spot-welded joint under tensile shear

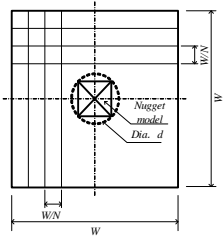


Fig.5 Division of mesh

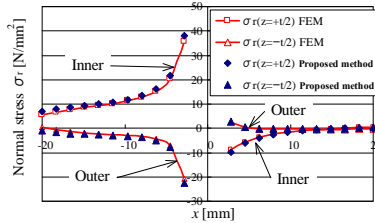


Fig.6 Normal stress on inner and outer surfaces of plate with thickness $t_1=1\text{mm}$ on along x axis

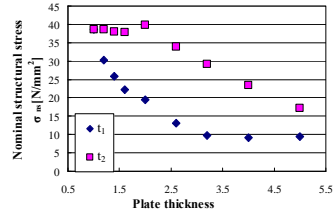


Fig.7 Nominal structural stress and plate thickness t_1

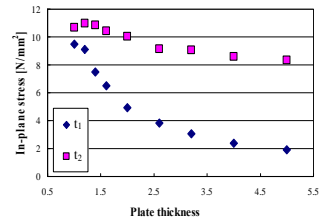


Fig.8 In-plane stress and plate thickness t_1

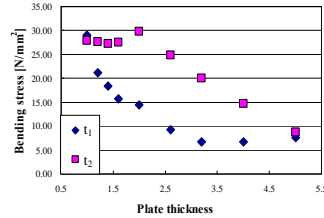


Fig.9 Bending stress and plate thickness t_1

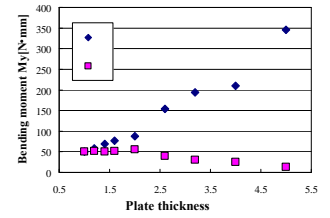


Fig.10 Bending moment and plate thickness t_1

3.2 板厚と公称構造応力の関係

TS 差厚継手において、片方の板厚を固定し、対となる板の板厚を変動させたときの公称構造応力の変動を調べる。板厚 t_2 を 1.0mm とし、対になる板の板厚 t_1 を、1.2mm, 1.4mm, 1.6mm, 2.0mm, 2.6mm, 3.2mm, 4.0mm, 5.0mm の八種類とし、公称構造応力を求めた解析結果を以下に示す。

Table 1 Results of calculating nominal structural stress

t_1 [mm]	Nominal structural stress σ_{n1} [N/mm ²]	
	t_1	t_2
1.0	38.55	38.55
1.2	30.32	38.59
1.4	25.87	38.06
1.6	22.22	37.93
2.0	19.42	39.79
2.6	13.13	33.96
3.2	9.73	29.12
4.0	9.16	23.35
5.0	9.47	17.11

Table 2 Components of Nominal structural stress

t_1 [mm]	In-plane stress [N/mm ²]		Bending stress [N/mm ²]		Bending moment My [N*mm]	
	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
1.0	9.47	10.66	29.08	27.89	50.76	50.76
1.2	9.12	10.98	21.2	27.61	58.90	51.98
1.4	7.51	10.84	18.36	27.22	69.09	50.86
1.6	6.53	10.43	15.69	27.5	76.60	51.98
2.0	4.93	10.05	14.49	29.74	87.30	55.52
2.6	3.81	9.13	9.32	24.83	153.89	39.60
3.2	3.05	9.08	6.68	20.04	193.89	30.13
4.0	2.39	8.61	6.77	14.74	210.41	25.39
5.0	1.9	8.35	7.57	8.76	345.34	12.97

表 1 は各板組における公称構造応力の解析結果であり、表 2 は表 1 の公称構造応力の成分である面内応力、曲げ応力、および曲げモーメントをそれぞれ表したものであり、図 7 ~ 図 10 はそれらをそれぞれグラフに表したものである。

(1) 厚板側は板厚が増すごとに公称構造応力およびその成分である各応力が減少する傾向が得られ、また、曲げモーメントは板間が広がるため増加するという傾向

が得られた。これは次のような要因による。スポット溶接に働く面内力は一定であるので板厚が増加すると断面積が増えるため面内の垂直応力は低下する。また、板厚の増加に伴い、曲げモーメントが増えると同時に板の曲げ剛性も大きくなるため、曲げ応力はある一定の値に近づく。このことから、面内応力と曲げ応力の和から求まる公称構造応力の値は減少する。

(2) 薄板側は対になる板の板厚 t_1 が 2.0 までは公称構造応力はほぼ変わらず、それ以降は減少していく傾向が得られた。また、公称構造応力の成分である各応力、曲げモーメントにおいても同様の減少傾向が見られた。

(3) 図 11 に示すように、TS 差厚継手の疲労寿命は、薄い方の板厚を持つ等厚継手の疲労寿命とほぼ同等となるとの認識が一般的である。しかしながら、上述の結果から、板組によってはこれとは異なる。板厚比が 2.5 以上であると、差厚継手が等厚継手より疲労寿命が長くなると予想される。

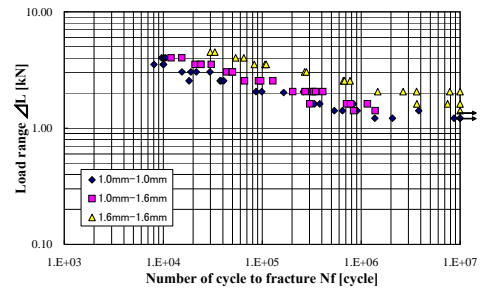


Fig.11 Load range-Number of cycles to fracture

4. 結論

スポット溶接周辺の変位データのみを用いる公称構造応力算出法を、差厚継手に適用し、良好な解が得られることを示した。また、板組によっては、TS 断差厚継手の疲労寿命は、薄い方の板厚を持つ等厚継手の疲労寿命より長くなると予想されることが分かった。

参考文献 省略