

K5-70

スポット溶接構造の公称構造応力算出法

-スポット溶接部周辺の変位のみを用いる方法-

Method for Calculating Nominal Structural Stress of Spot-Welded Structure

- Merely using displacements around Spot Welding -

○田野 弘康¹, 町田 佳佑², 岡部 顕史³, 富岡 昇³

○Hiroyasu Tano, Keisuke Matida, Akifumi Okabe, Noboru Tomioka

The nominal structural stress calculation method for spot-welding can obtain the stress solution by solving the circular thin-plate problem using the displacements on the inner and outer circumference of disk as the boundary condition. In this study, using the nominal structural stress calculation method by merely using displacements around the spot welding, the accuracy of the stress in the disk was studied by using the FE model of nugget which is octagon and square. As a result of this research, it was found to be able to obtain accurately the stress in the disk.

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、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^[1]を算出する方法がある^{[2]~[4]}。この算出法は、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、弾性学を用いて円盤内の応力を精度よく得る手法である。またこの算出法は分担荷重のかわりにナゲット円周上の変位を用いて、円盤内の応力を得ることもできる。

本研究では、ナゲット演習場の変位を用いた場合について、公称構造応力算出法の応力解の精度の検討を行った。またスポット溶接部の FE モデル形状を 4 角形とした場合の検討を行った。

2. 公称構造応力算出法

スポット溶接の公称構造応力算出法は、弾性学の板理論を用いて応力解析し、応力解を得る手法である。この公称構造応力の算出法についての概要を図 1 に示す。この手法では、直径 d の剛体円、またナゲットを中心とするある直径 D 円板内の応力は以下のようにして得ることができる。

円板内外周上に変位 u, v が境界条件として与えられた際の問題を、平面応力問題として解き、円板内の応力解を得る。

基礎方程式は、

$$\Delta\Delta\phi = 0 \quad (1)$$

$$\text{where, } \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$$

で与えられ、これを満足する応力関数は一般に次のようになる。

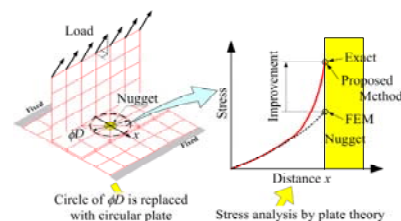
$$\begin{aligned} \phi = & a_0 \log r + b_0 r^2 + c_0 r^2 \log r + d_0 r^2 \theta + a'_0 \theta \\ & + \frac{a_1}{2} r \theta \sin \theta + (b_1 r^3 + a'_1 r^{-1} + b'_1 r \log r) \cos \theta \\ & - \frac{c_2}{2} r \theta \cos \theta + (d_1 r^3 + c'_1 r^{-1} + d'_1 r \log r) \sin \theta \\ & + \sum_{n=2}^{\infty} (a_n r^n + b_n r^{n+2} + a'_n r^{-n} + b'_n r^{-n+2}) \cos n\theta \\ & + \sum_{n=2}^{\infty} (c_n r^n + d_n r^{n+2} + c'_n r^{-n} + d'_n r^{-n+2}) \sin n\theta \end{aligned} \quad (2)$$

係数 $a_0 \sim d'_n$ は境界条件によって決まる未定係数である。

境界条件は、スポット溶接構造を FEM シェル解析し、ナゲット周辺の節点変位から与えられ、円板内周($r=d/2$)の変位境界条件と、円板外周($r=D/2$)の変位境界条件は次式のようにフーリエ級数で表す。この境界条件より、式(2)の未定係数はすべて求まり、円盤内の応力解が得られる。

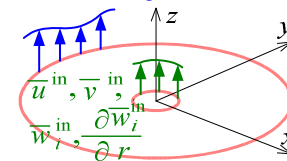
同様に円板内外周上にたわみ w とたわみ角 $\partial w / \partial r$ が境界条

件として与えられた際の問題を、板の曲げ問題として解き、円板内の応力解を得る。



Displacements on the circumference of diameter D

$$\bar{u}^{\text{out}}, \bar{v}^{\text{out}}, \bar{w}_i^{\text{out}}, \frac{\partial \bar{w}_i^{\text{out}}}{\partial r}$$



Displacements on the circumference of diameter d of nugget

Fig.1 NSS calculation method using the displacements around the spot weld

3. スポット溶接部の FE モデル

解析対象としたスポット溶接構造の LP モデルを図 2 に示す。L型板と平板とをフランジ部で 3 点スポット溶接したモデルで、L型板の上端部に荷重 $W_{\phi-w}$ を作用させ、下板の両端を拘束した。

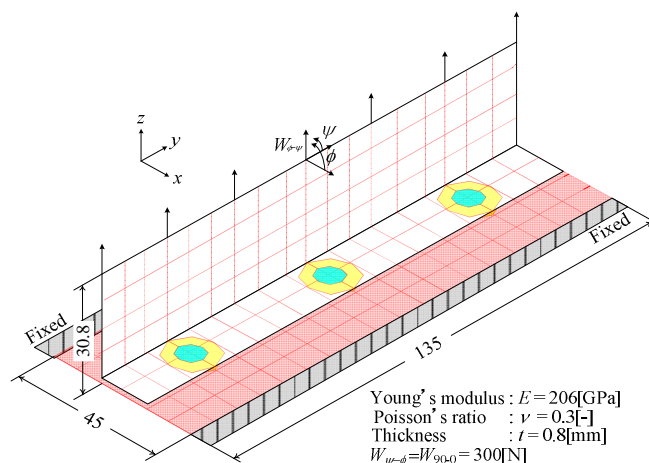


Fig.2 LP model

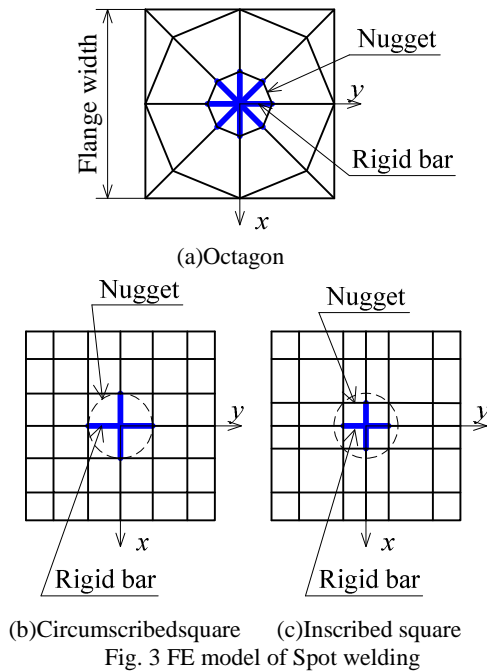


Fig. 3 FE model of Spot welding

図 3 はナゲット部の FE モデルを示す。図 3(a)はナゲット円に内接する 8 角形 FE モデルを示す。ナゲット部は剛体とするために、ナゲットを中心に放射上に剛体バー要素を設置した。

図 3(b)は、ナゲット円に外接するように、ナゲット直径と正方形の辺の長さが等しくなる 4 角形モデルであり、図 3(c)は、ナゲット円に内接するように、ナゲット直径と正方形の対角線の長さが等しくなる 4 角形モデルである。内接 4 角形モデルと呼ぶ、剛体バーは図 3(b)(c)のように設置した。

上下の板間の結合については、どのモデルともビーム要素を用いて結合した。

4. 解析結果

図 3(a)(b)(c)に示すナゲット部 FE モデルの LP モデルをそれぞれ作成し、図 2 に示すように下板の両端を拘束し、先端部に z 軸方向に荷重 $W_{y-\phi} = W_{90-0} = 300[N]$ を加え、FE 解析を行った。次に FE 解析から得られたスポット溶接部周辺の変位を用いて、公称構造応力算出法により円盤内の応力を算出した。応力解の精度を確認するために、ナゲット部の周方向ならびに半径方向を詳細にメッシュ分割した FE 解析解を図中に示す。

図 4 はナゲット円周上の主応力 σ_{p1} 分布を示す。

図 3(a)に示す 8 角形 FE モデルから得られた応力解は、詳細にメッシュ分割した FE 解析解と一致し、変位法を用いて応力解を精度よく算出できることがわかる。

図 3(b)に示す外接 4 角形 FE モデルから得られた応力解は、詳細にメッシュ分割した FE 解析解より小さな応力値となり、逆に、図 3(c)に示す内接 4 角形 FE モデルについては、大きな応力値となった。

この結果から、ナゲット部 4 角形 FE モデルについては、4 角形要素の大きさを変化させ、検討を行った。

図 5 に 4 角形シェル要素の大きさと公称構造応力の誤差の関係を示す。横軸は、ナゲット部の 4 角形の辺の長さとナゲット直径と関係を比で表し、外接 4 角形モデルのとき 1.0、内接 4 角形モデルのとき 0.7 であるとする。縦軸は詳細な FE 解析解との誤差を絶対値で示す。

図 5 より、外接円 4 角形 FE モデルの 0.8 倍にした 4 角形 FE モデルを用いれば、公称構造応力を変位法によって制度よ

く得られる可能性があることがわかった。

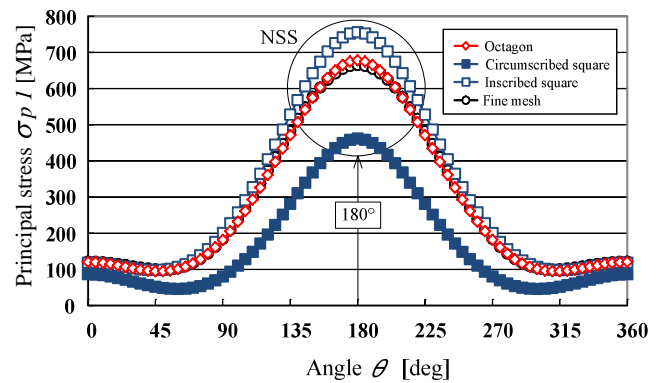


Fig. 4 Octagon and Inscribed square and Circumscribed square and Fine mesh

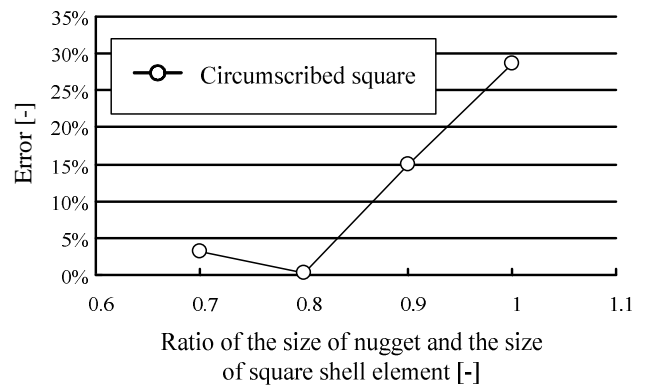


Fig. 5 Ratio between the element size of nugget and the error of nominal structural stress

5. 結 言

スポット溶接構造の疲労寿命評価パラメータの一つである公称構造応力を用いて、変位によって得られた値から求める解析手法を提案した。本研究によって得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 8 角形によるナゲット部の構造において、メッシュ分割した FE 解析解と変位を用いた方法で求めた値との間に応力の分布で違いが見られなかった。このことにより、変位を用いた方法でも応力の分布を算出できることがわかった。
- (2) 形状を 8 角形から 4 角形に変更しても、その 4 角形における外接円の倍率を 0.8 倍という適正な値に設定することで 8 角形の応力分布と同じような値を算出できることがわかった。

参考文献

- 1) Radaj, D : Design & Analysis of Fatigue Resistant Welded Structure, Abington Publishing, Cambridge(1990)
- 2) Radaj, D : Fatigue Assessment of Welded Joints by Local Approaches, Abington Publishing, Cambridge(1998)
- 3) 加藤,岡部,富岡,“アーク溶接構造の公称構造応力算出法”,自動車技術会論文集, Vol.39, No.2, pp.351-356, 2008
- 4) 久保,岡部,富岡,“スポット溶接構造の公称構造応力算出法—フランジ端近傍にあるスポット溶接の場合—”,自動車技術会論文集, Vol.39, No.2, pp.81-86, 2008