

スポット溶接部周辺の変位のみを用いた公称構造応力算出法  
 -スポット溶接された差厚構造への適用-

Nominal Structural Stress Calculation Method only using Displacements of Spot-Welded Structure  
 - Applying to Spot-Welded Joint Structure that consists of Steel Sheets of Different thickness -

○穂積 秀一<sup>1</sup>, 町田 佳佑<sup>2</sup>, 岡部 顕史<sup>3</sup>, 富岡 昇<sup>3</sup>

○Shuichi Hodumi, 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<sup>[1]</sup>を算出する方法がある<sup>[2]~[3]</sup>。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、差厚構造を対象とし、ナゲット付近の変位のみを用いた公称構造応力算出法によって得られる応力解の精度について検討を行った。

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、

$$\Delta\Delta\phi = 0 \tag{1}$$

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

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。

$$\begin{aligned} \phi = & a_0 \log r + b_0 r^2 + c_0 r^2 \log r + d_0 r^2 \theta + a'_0 \theta \\ & + \frac{a_1}{2} r \theta \sin \theta + (b_1 r^3 + a_1 r^{-1} + b'_1 r \log r) \cos \theta \\ & - \frac{c_2}{2} r \theta \cos \theta + (d_1 r^3 + c_1 r^{-1} + d'_1 r \log r) \sin \theta \\ & + \sum_{n=2}^{\infty} (a_n r^n + b_n r^{n+2} + a'_n r^{-n} + b'_n r^{-n+2}) \cos n\theta \\ & + \sum_{n=2}^{\infty} (c_n r^n + d_n r^{n+2} + c'_n r^{-n} + d'_n r^{-n+2}) \sin n\theta \end{aligned} \tag{2}$$

ここで  $a_0 \sim d'_n$  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、円板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。

これらの応力解を重ね合わせることで円板内の応力解を算出する。

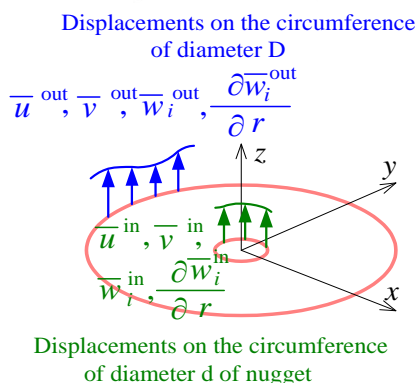
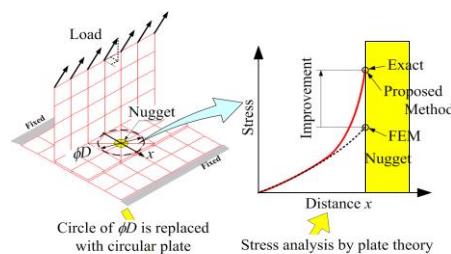


Fig.1 NSS calculation method using the displacements around the spot weld

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 に示す上部 L 形板(上板)と下部平板(下板)とをフランジ部で 3 点スポット溶接したモデルで、L 形板の上端部に荷重  $W_{\phi-\psi}$  を作用させ、平板の両端を拘束した。本研究では、下部平板の板厚  $t_1$  と上部 L 形板(上板)の板厚  $t_2$  とし、それぞれを 0.6[mm] から 1.4[mm] まで 0.2[mm] おきに変化させた(等厚を除く)構造について解析を行った。ここでは、一例として下板  $t_1=1.4$ [mm] 一定とし、L 板  $t_2=0.6, 0.8, 1.0, 1.2$ [mm] の構造について解析結果を示す。

図 3 はナゲット円に内接する正八角形状 FE モデルを示す。ナゲット部は四角形シェル要素で上板と下板の中央に位置するよう作成し、ナゲット半径上のシェル要素の辺に沿って剛体バーを設けた。

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

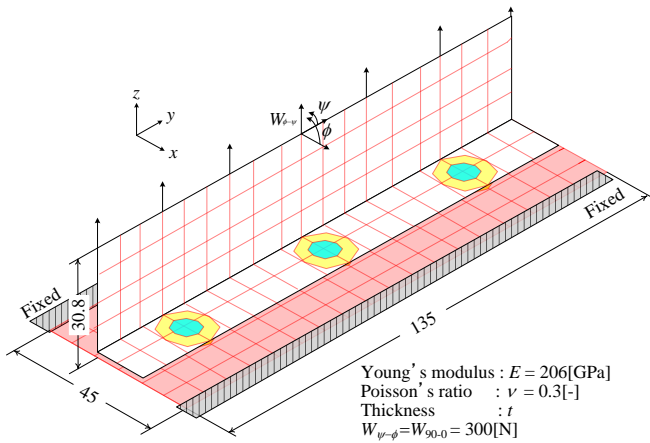


Fig. 2 LP model

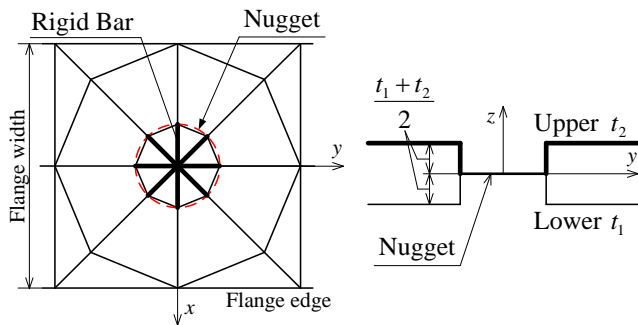


Fig. 3 FE model of nugget (Octagon)

#### 4. 解析結果

図3に示す正八角形状FEモデルから得られた変位データを用いて公称構造応力算出法によって算出した応力解の精度について検討した。図4は下板  $t_1=1.4$  [mm], 上板  $t_2=0.6$  [mm] の構造について, 荷重  $W_{\phi-\psi}=W_{90-90}=300$  [N] を加えたときの公称構造応力算出法によって得られたナゲット円周上の主応力  $\sigma_{p1}$  解と, 詳細にメッシュ分割した FEM 解析解との比較を示す。

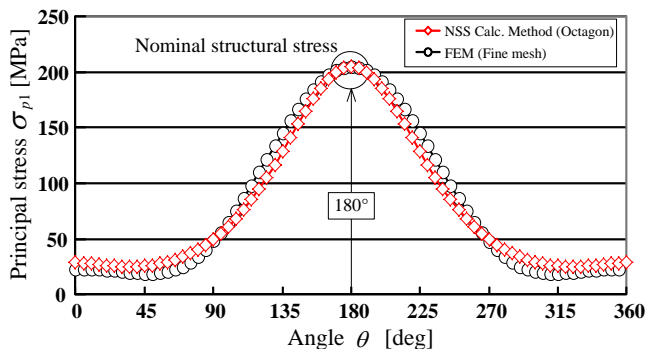


Fig. 4 Octagon and Fine mesh ( $W_{\phi-\psi}=W_{90-90}=300$  [N])

表1~3では下板 1.4 [mm] とし, 上板 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 [mm] とした構造について, 面外荷重が主となるよう荷重方向を  $W_{\phi-\psi}=W_{90-90}$ ,  $W_{45-90}$ ,  $W_{135-90}$  として加えたときの公称構造応力算出法から得られた公称構造応力値と詳細にメッシュ分割した FEM 解析解から得られた公称構造応力値を示す。

表1~3より, どの構造においても精度よく公称構造

応力の値が求められることが分かる。

Table 1 Values of nominal structural stress under  $W_{90-90}=300$  [N]

Thickness [mm]	NSS Calc [MPa]	FEM [MPa]	Error [%]
0.6	204.6	205.0	-0.18
0.8	203.3	202.2	0.53
1.0	199.9	197.8	1.05
1.2	195.0	191.9	1.60

Table 2 Values of nominal structural stress under  $W_{45-90}=300$  [N]

Thickness [mm]	NSS Calc [MPa]	FEM [MPa]	Error [%]
0.6	316.4	315.3	0.34
0.8	317.9	313.5	1.39
1.0	316.7	310.4	2.03
1.2	313.7	305.7	2.62

Table 3 Values of nominal structural stress under  $W_{135-90}=300$  [N]

Thickness [mm]	NSS Calc [MPa]	FEM [MPa]	Error [%]
0.6	245.8	249.0	-1.27
0.8	233.1	236.1	-1.26
1.0	215.1	217.6	-1.17
1.2	193.7	195.2	-0.79

また同様に, 下板の板厚  $t_1$  を 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 [mm] の構造においても, 面外荷重が主となるよう荷重方向を加えたときでは, 公称構造応力算出法によって精度よく応力解が得られることが分かった。

#### 5. 結言

差厚構造を対象とし, ナゲット付近の変位のみを用いた公称構造応力算出法によって得られる応力解の精度について検討を行った。

面外荷重が主となる荷重方向である場合, 粗いメッシュ分割した正八角形状FEモデルを用いて, 精度よく公称構造応力値が得られることを示した。

#### 参考文献

- [1] Radaj, D : Design & Analysis of Fatigue Resistant Welded Structure, Abington Publishing, Cambridge, 1990
- [2] 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
- [3] 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