

スポット溶接構造の公称構造応力算出法における分担荷重成分 による主応力の分離法

The method of separating principal stress by each component of general loads in nominal structural stress calculation method for spot welded structure

○櫻井智康¹, 小谷野浩行¹, 大久保翔悟², 富岡昇³, 岡部顕史³
Tomoyasu Sakurai¹, Hiroyuki Koyano¹, Shogo Okubo², Noboru Tomioka³, Akihumi Okabe³

In this study, a method for separating the value of the nominal structural stress, which was obtained by the nominal structural stress calculation method, on the value of each general loads component of nugget has been proposed. Since the stress and displacement of the circular plate by peeling load is the axis of symmetry, the boundary displacements are constant in the circumferential direction. Boundary displacement caused by the torsion is only a circumferential component, which is a constant value. Focusing on these viewpoints, the value of the nominal structural stress was separated values for each general loads. The proposed method was applied to the LP model, which is a typical model of spot welded structure. As a result, the usefulness of this method has been confirmed.

1. 緒言

近年、自動車の車体の材料が多様化しており接合方法も多数考案されている。新接合を用いる場合、接合部の強度は重要になる。従来から接合部の強度特性評価にはクロステンションとラップシエア試験片が用いられている。しかし実際の車体構造の接合部には引張、せん断、曲げ、ねじりの4成分複合荷重がかかる。

ナゲット端の主応力分布、その周辺の変位分布、分担荷重に着目し、複合荷重を受ける簡易試験片を考案する際、スポット溶接継手の疲労寿命パラメータである公称構造応力が用いられてきた。しかし、半田らが提案した公称構造応力算出法^[1]の解析結果は曲げモーメントとはく離荷重、せん断荷重とねじりモーメントの二組までしか分離できず、各分担荷重成分による主応力の成分を見ることができない。

本研究では主応力の解析結果を各分担荷重成分による主応力に分離する方法を考案し、LPモデルを用いた解析によってその手法の妥当性を検証した。

2. 各分担荷重の分離法

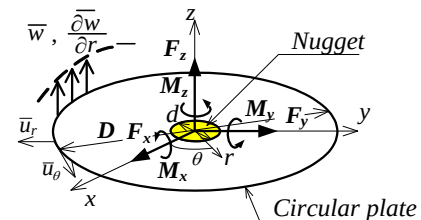
2. 1. 公称構造応力算出法^[1]

この手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。

実用的な FE シェルモデルを作成し、解析の結果得られたナゲット中心に位置する節点の節点力 6 成分（これを分担荷重と呼ぶ）とその周辺の変位を荷重条件と変位境界条件として用いる。（図 1）

図 1 に示すように、弾性学の板理論を用いて円板の応力解析を行う場合、面内荷重 F_x , F_y , M_z に対

しては平面応力問題、面外荷重 F_z , M_x , M_y に対しては曲げ問題として扱い、それらの結果を重ね合わせることで応力や変位を求めることができる。



In-plane loads P_l^{in} : F_x , F_y , M_z

Out-of-plane loads P_l^{out} : F_z , M_x , M_y

In-plane displacements u_l^{in} : $\bar{u}_r$, $\bar{u}_\theta$

Out-of-plane displacements u_l^{out} : $\bar{w}$, $\frac{\partial w}{\partial r}$

Figure1. Circular plate under general loads and displacement boundary conditions

FEM 解析により境界変位が面外成分、面内成分ごとに与えられるので、面外成分をはく離荷重と曲げモーメント、また面内成分をせん断荷重とねじりモーメントの成分に分離できない。

2. 2. はく離荷重と曲げモーメントの分離法

図 1 の円板中心にはく離荷重 F_z が作用した場合、軸対象問題と考えられるので、 F_z によって引き起こされる円板外周のたわみ $\bar{w}$ とたわみ角 $\partial \bar{w} / \partial r$ は周方向に一定と考えられる。はく離荷重による公称構造応力を求める際の境界条件として、FEM 解析で得られたたわみ及びたわみ角の平均値を用いる。そして、はく離荷重以外の分担荷重を全てゼロとして計算すると、はく離荷重のみの主応力が得られる。

曲げモーメントによる公称構造応力を求める際の境界条件として、FEM 解析で求めたたわみ及び

たわみ角から平均値を引き、曲げモーメント以外の荷重を全てゼロとして計算すると、曲げモーメントのみの主応力が得られる。

2. 3. せん断荷重とねじりモーメントの分離法

図 1 の円板中心にねじりモーメント M_z が作用した場合、それによって生じる円板外周の変位は、周方向変位 u_θ のみで、しかも、周方向には一定と考えられる。ねじりモーメントによる公称構造応力を求める際の境界条件として、FEM 解析で得られた周方向の変位 u_θ の平均値を用いる。そして、ねじりモーメント以外の分担荷重を全てゼロとして計算すると、ねじりモーメントのみの主応力が得られる。

せん断荷重による公称構造応力を求める際の境界条件として、 r 方向の変位は FEM 解析で求めた値を用い、 θ 方向の変位は FEM 解析で求めた値からその平均値を引き、せん断荷重以外の分担荷重を全てゼロとして計算すると、せん断荷重のみの主応力が得られる。

3. 考案した手法の妥当性の検証

前節にて述べた手法の妥当性を検証するため、図 2 に示す LP モデルを用いて解析を行った。これは、L 字型の板と平板をスポット溶接で接合した試験片である。材質はスチールでナゲット径 $d=4.46[\text{mm}]$ 、板厚 $t=0.8[\text{mm}]$ である。また、解析を行ったのは上板(L 字型の板)中央のナゲットである。荷重は上板の上辺に F_y または F_z を一様に作用させた。

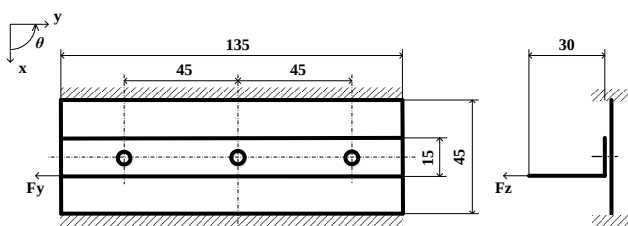


Figure2.LP model

図 3 に、 $F_z=100[\text{N}]$ を作用させた場合の公称構造応力算出法によって得られた面外荷重成分による主応力と前節で述べた方法で分離して得た主応力を比較した結果及び主応力の主成分である σ_r の結果を示す。また、図 4 に、 $F_y=100[\text{N}]$ を作用させた場合の公称構造応力算出法によって得られた面内荷重成分による主応力と前節で述べた方法で分離して得た主応力を比較した結果及び主応力の主成分である $\tau_{r\theta}$ の結果を示す。

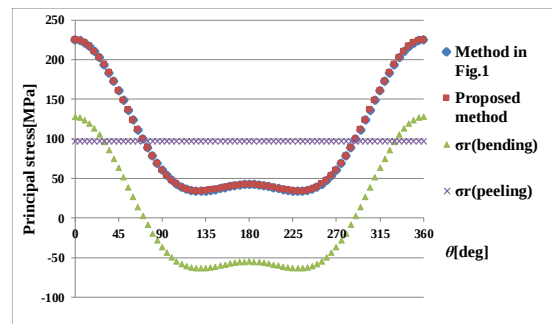


Figure3.Separating the stress value due to out-of-plane load on the value of each bending moment and peeling load

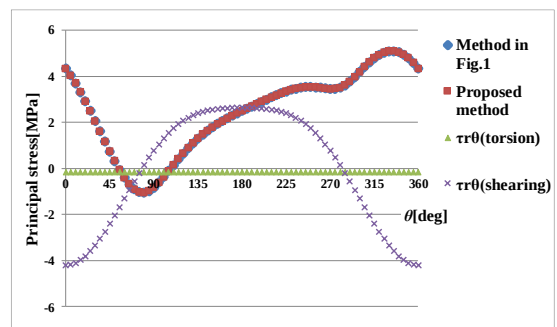


Figure4.Separating the stress value due to in-plane load on the value of each shearing load and torsional moment

図 3、図 4 より、公称構造応力算出法によって得られた主応力と前節で述べた手法によって分離した分担荷重による主応力成分を用いて求めた主応力の結果が良い一致を示していることから、考案した手法は有用であるといえる。

4. 結語

本研究では、公称構造応力算出法によって得られた公称構造応力の値を、ナゲットに作用する分担荷重 4 成分ごとの値に分離する方法を提案した。

- (1) はく離荷重が作用した場合は軸対称問題であるので境界変位は周方向に一定、ねじりの場合、境界変位は周方向成分のみであることに着目し、主応力を分担荷重ごとに分離した。
- (2) スポット溶接構造として LP モデルを取り上げ、この手法の妥当性を検証したところ、本手法が有用であることが明らかとなった。

5. 参考文献

- [1] Handa, T., et al., Sensitivity Analysis Method of Sheet Thickness to Fatigue Life of Spot Welding, Journal of Automotive Engineering Vol.43, No.4, July 2014, pp.963-968.