

アーク溶接構造の疲労寿命予測手法

— 疲労破壊の位置と公称構造応力 —

Fatigue life prediction method of arc welding structure

— Position of fatigue failure and nominal structural stress —

○金子貴哉¹, 石川陽涼¹, 金子達彦², 岡部顕史³, 富岡昇³*Takaya Kaneko¹, Yosuke Ishikawa¹, Tatsuhiko Kaneko², Akifumi Okabe³, Noboru Tomioka³

Nominal structural stress (NSS) is one of the parameter for the fatigue life prediction method of the spot welded structure. There is the calculation method for accurately obtaining the nominal structural stress. In this study, the NSS calculation method was applied to the arc-weld test specimen, the position that nominal structural stress occurs was obtained. The position of fatigue failure was confirmed by the fatigue experiments. The possibility that the position of fatigue failure is obtained by nominal structural stress was shown.

1. 緒 言

自動車のシャシ構造に多用されるアーク溶接部について, CAE による疲労寿命予測手法の確立が望まれている. スポット溶接構造の公称構造応力算出法^{[1][2]}を用いた疲労寿命予測手法をアーク溶接構造に適用し, 疲労データを整理することができれば, 車体の開発設計段階において有用であると考えられる.

アーク溶接の疲労き裂は, 溶接止端部やコーナー部から発生する傾向にある. 本研究では片側アーク溶接した LAP 継手を対象とし, 公称構造応力(最大主応力)ビード幅の影響と疲労破壊位置について検討した. アーク溶接部の FE モデルは, 図 1 で示すようなビード幅を直径とする円柱ビーム要素と剛体バー要素から成るモデルを用いる.

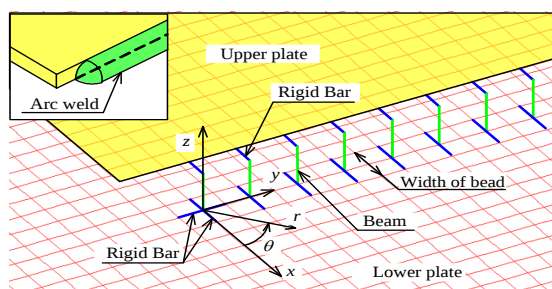


Fig. 1 FE model that consists of the beam elements and the rigid bar elements (Toe of arc weld)

2. アーク溶接構造の公称構造応力算出法

アーク溶接構造の公称構造応力算出法は, 図 2 のようにアーク溶接の評価部をスポット溶接のナゲットと見なし, 弾性学の板理論を用いて応力解を得る手法である. 評価部はビード幅を直径 d とする剛体円とする. また評価部を中心とする直径 D 円板内の応力は以下のようにして得ることができる.

1) 円板の中央に作用する荷重(分担荷重)を荷重条件,

円板円周上の変位を変位境界条件とする問題を, 板理論を用いて解き, 円板内の応力解を得る.

2) 内外周を固定した円板内に強制変位が生じた問題を板理論を用いて解き, 円板内の応力解を得る.

3) 上記 1)と 2)で得られた応力解を重ね合わせ, 円板内の応力解を得る.

ここで, 上記 2)の強制変位とはアーク溶接のビード部で生じる変位のことである.

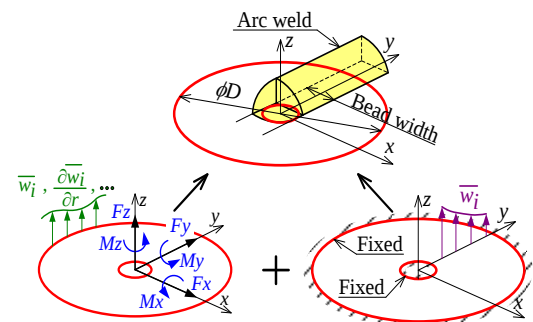


Fig. 2 Method for calculating the nominal structural stress

3. 解析・実験結果

実験で使用したアーク溶接継手を図 3 に示す. 図 3 は片側アーク溶接した板厚 $t=2.3[\text{mm}]$ の LAP 継手試験片である.

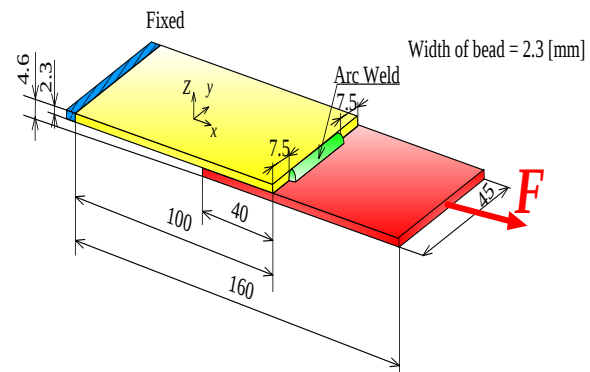


Fig. 3 Test specimen of arc welded LAP joint

図 4 に、図 3 の片側 LAP 継手試験片の FE モデルを示す。図 4 の LAP 継手の上板については、公称構造応力算出法で使用する評価部を中心とする直径 D 円周上の変位を取得するために、 x 軸方向に板を 20.8[mm]拡張した FE モデルとした。拡張板は他の部分と同等の剛性を持つもの($E=206$ [GPa], $t=2.3$ [mm], $\nu=0.3$)とした。

試験片の片側を固定し、先端部に $F_x=1000$ [N]の荷重を作用させた。

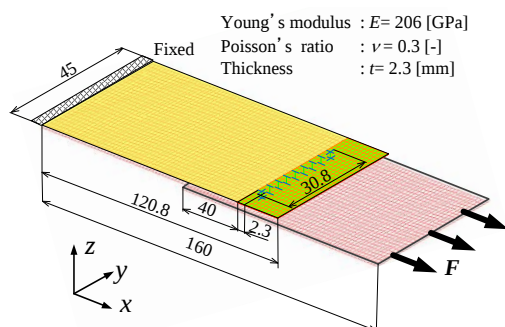


Fig. 4 FE model that extended the upper plate (LAP joint)

実際の試験片はビード幅が不均一であったため、ビード幅を全体的に変化させた場合の影響を検討した。公称構造応力は上板で生じることから、上板のみ解析を行い、また評価部直径 d は 2.3mm 一定とした。図 5 に公称構造応力算出法により得られた上板のアーク溶接止端部円周上主応力分布を示す。公称構造応力(最大主応力)が生じる位置は、どの幅でも角度 $\theta=190^\circ$ 付近となった。公称構造応力値も、20%増のビード幅では 0.93%程度、80%増のビード幅では 1.45%程度小さくなるだけであった。これよりビード幅の変化に対する影響はあまりないことが分かった。

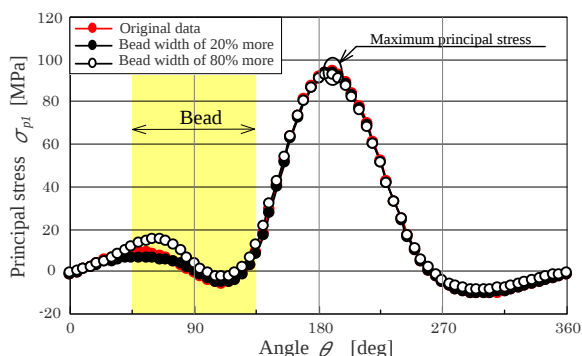


Fig. 5 Principal stress σ_{p1} on the circumference of arc weld toe (upper plate)

疲労試験は振動数 20[Hz]とし、表 1 に示す実験条件で各 3 回行った。振幅値は荷重が圧縮方向に作用しないように、平均荷重より 0.05[kN]だけ小さくした。試験片の材質は SPHC である。

Table 1 Load conditions of experiment

No.	Mean load[kN]	Amplitude[kN]
1	4.50	4.45
2	4.00	3.95
3	3.50	3.45
4	3.00	2.95

疲労試験を行った結果、すべての試験片がルート部からの破断であった。S-N 線図を図 6 に示す。S-N 線図より近似曲線を求めると式(1)のようになる。実験値と近似曲線はよく一致した。

$$N_f = 1.62 \times 10^{16} \sigma_{rs}^{-4.63} \quad (1)$$

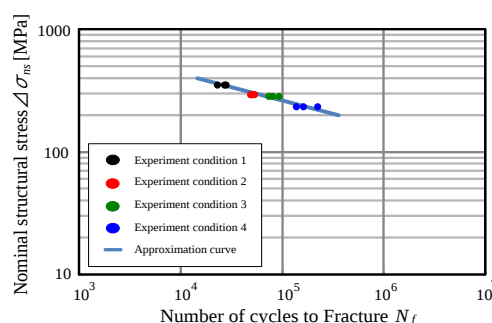


Fig. 6 S-N diagram of arc weld specimens

図 5 の解析結果からも上板における公称構造応力が生じる位置がルート部となることが分かり、ルート部から疲労き裂が発生し、破断が生じたと考えることができる。

今後、他の試験片についても疲労試験を実施し、公称構造応力から疲労寿命を予測する手法を検討する。

4. 結 言

片側アーク溶接した LAP 継手を対象に、ビード幅の影響と疲労破壊位置について検討した。主な結果を以下に示す。

- (1) アーク溶接止端部に生じる公称構造応力は、ビード幅を変化に対して影響がない可能性があることを示した。
- (2) 破断については、解析と疲労試験の両方から、ルート部破断であることが確認できた。

参 考 文 献

- [1] 岡部 顕史, 富岡 昇, 澤村 崇, “面内荷重に対するスポット溶接構造の公称構造応力算出法”, 自動車技術会論文集 Vol.35, No.3, p.187-192 (2004)
- [2] 岡部 顕史, 富岡 昇, 金子 恒昭, “スポット溶接構造の公称構造応力算出法—スポット溶接周辺の FEM モデルの検討—”, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.6, p.145-150 (2005)