K5-67

二段多重変動振幅荷重下のスポット溶接継手における疲労限度以下荷重による疲労損傷

Fatigue Damage due to Lower Load than the Fatigue Limit of Spot-Welded Joints under Multi Two steps Variable Amplitude Load

○松本拓也 [1]，峯岸恭一 [1]，林大 [2]，冨岡昇 [3]，岡部顕史 [3]
*Takuya Matsumoto[1], Kyoichi Minegishi[1], Masaru Hayashi[2], Noboru Tomioka[3], Akihumi Okabe[3]

Fatigue damage of spot-welded joints by loading range below the fatigue limit under multi two steps variable amplitude load is estimated by the degree of influence α, according to the modified minor's rule. However, the verifying by experiment is not sufficient. The crack growth rate of the high loading range under variable amplitude is equal to the crack growth rate in the constant amplitude. Therefore, the crack propagation length caused by the high load ranges is the same as that of the constant amplitude. In this study, the crack length in single spot-welded joints under constant amplitude was observed. As a result, fatigue damage due to loading range below the fatigue limit can be evaluated by using the degree of influence α.

１．緒言

スポット溶接は車体構造の多くの部位で用いられている締結要素であり，車体構造全体の耐久性はスポット溶接部の耐久性に大きく依存している．そのため，設計段階でスポット溶接の疲労強度を的確に評価することは重要である．

著者らは公称構造応力によるスポット溶接継手の疲労寿命予測の有効性を確認した．修正マイナー則から疲労限度以下の荷重範囲がスポット溶接に与える疲労損傷の割合は影響度αによって評価できるとしているが，実験の裏付けは十分とは言えない．菊川ら[1)]によると，高荷重範囲のき裂進展速度は一定振幅試験における同一荷重によるき裂進展速度に等しいので，高荷重範囲のき裂長さは負荷の繰り返し数が同じであれば一定振幅試験のき裂長さに等しいと言える．

本研究では，引張せん断荷重を受ける単点スポット溶接継手に対して，定振幅荷重によるき裂の長さを観測し，二段多重変動振幅疲労試験における疲労限度以下の低荷重範囲による疲労損傷が影響度αで表せることを実験的に検証した．

２．試験概要

図 1 に示す引張せん断疲労試験片(板厚 t=1.0 mm)を JISZ3138 に準じて作成し，疲労試験を実施した．供試材料は冷間圧延鋼板 SPCE である．

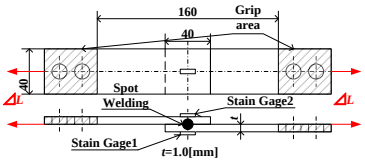


Figure1. The spot-welded joints under tensile shear

疲労試験では同一試験条件でも疲労寿命にばらつきが見られる．そこで，試験機停止時の寿命が破断寿命の何%であるかを知るために，スポット溶接部にひずみゲージを貼り，定振幅荷重範囲で疲労実験を行い，ひずみの値と荷重繰り返し数との関係を求めた．この結果を用いればひずみの値の変化を計測することにより，所定の疲労寿命比(繰り返し数 N と破断繰り返し数 N_fの比)で試験機を停止し，き裂長を測定することができる．これによりき裂長の測定を行った．

３．試験結果

３・１　定振幅疲労試験によるき裂長の測定

図 2 はひずみ ε と繰り返し数 N との関係である．N=5000 のひずみの値を基準とし，任意の繰り返し数 N までの変化量を縦軸としている．また荷重をそれぞれ 2.30kN，2.06kN，1.81kN とし，変化量を計測した．

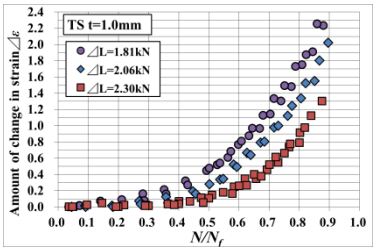


Figure2. $\Delta\varepsilon$- N/N_f

図 2 を用いて，各荷重の疲労寿命比ごとに試験機を停止し，き裂長Δaを測定した．き裂長と疲労寿命比の関係を図 3 に示す．横軸のN_fは，TS の定振幅荷重疲労寿命線図より求めた値である．これより，各荷重のひずみの変化量から疲労寿命を推定し，各疲労寿命ごとのき裂長を確認できた．一例として$N/N_f = 0.50$，0.70 の時の$\Delta L = 2.06$kNのき裂を図 4 に示す．

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

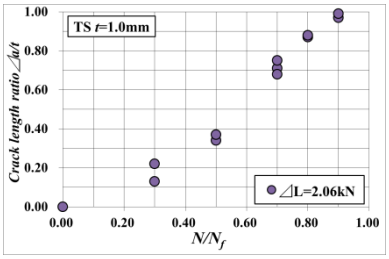
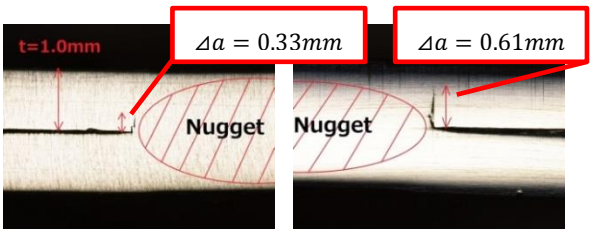


Figure3. $\Delta a/t$ - N/N_f



(a) $N/N_f = 0.50$　　(b) $N/N_f = 0.70$

Figure4. Fatigue crack

３・２　二段多重変動振幅荷重疲労試験

また，図 1 の試験片を用いて，二段多重変動振幅荷重試験を行い，低荷重範囲の影響を調べた．試験では，高荷重範囲をΔL_1=2.55kN 一定とし，低荷重範囲を疲労限度以下に設定し，ΔL_2=0.6，0.8，1.0kN とする 3 つの荷重条件を用いた．　1.0kN の試験結果を，低荷重振幅数n_2と疲労寿命N_fの関係で図 5 に示す．　n_2/n_1≤1000 では，推定値は実験値と良い対応を示した．

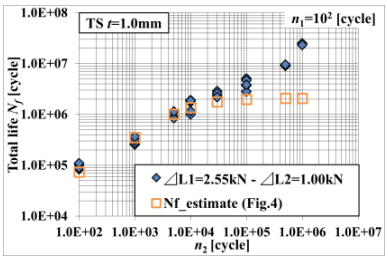


Figure5. Variable amplitude load fatigue test results

３．３　疲労限度以下の低荷重範囲による疲労損傷評価

二段多重変動振幅の疲労限度以下の低荷重範囲による疲労損傷割合について検討する．低荷重範囲ΔL_2がスポット溶接継手に対して与える疲労損傷の影響度をαとすると，修正マイナー則によれば次式のように表すことができる．

$$\alpha = \frac{\gamma n_2/N_{2,f_estimate}}{\gamma n_2/N_{2,f_estimate}+\gamma n_1/N_{1,f_estimate}} \qquad (1)$$

式(1)の分母は全荷重の疲労損傷，分子は低荷重の疲労損傷を表している．γは破断まで繰り返されたシーケンス数であり，γn_1，γn_2はΔL_1，ΔL_2が破断までに与えた回数である．また，高荷重範囲の影響度は$1-\alpha$となる．これにより，低荷重範囲がスポット溶接継手に与える疲労損傷度を検証する．

緒言より，二段多重変動振幅荷重のき裂進展速度は定荷重範囲のものと同じであることが知られている．したがって図 3 は二段多重変動振幅疲労試験による高荷重範囲の疲労寿命比$\gamma n_1/N_{1,f_estimate}$とき裂長比$\Delta a/t$と見做すことができる．そこで疲労寿命比$\gamma n_1/N_{1,f_estimate}$と影響度$1-\alpha$の関係と図 3 を重ねて表示すると図 6 となる．図 6 には図 5 の影響度をプロットしている．疲労寿命比$\gamma n_1/N_{1,f_estimate}$と影響度$1-\alpha$の関係は曲線の下部は高荷重範囲，上部は低荷重範囲の影響度となる．よって試験片が破断寿命に達した時，高荷重範囲では下部の比率だけき裂が進展し，低荷重範囲では上部の比率だけき裂が進展すると考えられる．図 6 より，き裂長比と影響度はほぼ一致し，疲労限度以下の低荷重範囲がスポット溶接継手に与える疲労損傷度は式(1)の影響度αで表せることが確認できた．

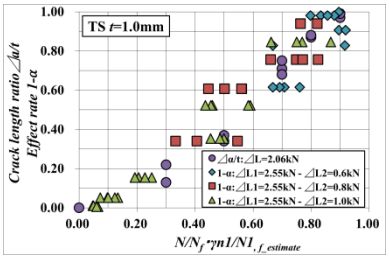


Figure6. $\Delta a/t$ - $N/N_f \cdot (1-\alpha)$- $\gamma n_1/N_{1,f_estimate}$

４．結語

引張せん断荷重を受ける単点スポット溶接継手に対して，定振幅荷重によるき裂の長さを観測し，二段多重変動振幅疲労試験における疲労限度以下の低荷重範囲による疲労損傷が影響度αで表せることを実験的に検証した．

(1) 定振幅荷重疲労試験において，スポット溶接の圧痕上に貼付したひずみの値の変化を測定することにより，疲労寿命比(繰り返し数Nと破断繰り返し数N_fの比)を推定できることを示した．

(2) 二段多重変動振幅における高荷重範囲のき裂進展長比とその影響度がほぼ一致することを示し，疲労限度以下の低荷重範囲によるスポット溶接継手に及ぼす疲労損傷の割合が影響度αで表せることを確認した．

５．参考文献

[1] 菊川真，城野政弘，近藤良之，「Kth レベルをはさむ 2 段変動荷重下の疲労き裂進展」，材料第 27 巻 302 号 pp.　1096-1102(1978)