

K5-65

二段多重変動振幅荷重下のスポット溶接継手の疲労寿命評価

— 疲労限度以上の変動振幅荷重 —

Fatigue Life Evaluation of Spot-Welded Joint under Two Steps Variable Amplitude Load

- Under Variable Amplitude Load over Fatigue Limit -

大橋雅樹¹, ○松園俊介¹, 林大², 富岡昇³, 岡部顕史³Ohashi Masaki¹, *Matsuzono Shunsuke¹, Hayashi Masaru², Tomioka Noboru³, Akihumi Okabe³

In this paper, the possibility of fatigue life prediction of spot-welded joint under two steps variable amplitude load was investigated. The constant amplitude fatigue tests for the spot-welded tensile shear and peel, bend specimens were carried out and the results were arranged by using the nominal structural stress. As a result of prediction using Miner's rule, the fatigue life of spot-welded joint under two steps variable amplitude load could be estimated by Miner's rule considering mean load. Further, it was suggested to be able to estimate the fatigue life without depending on the joint form. Therefore, the nominal structural stress parameter showed the possibility of evaluating the fatigue life of spot-welded joint under variable amplitude load.

1. 緒 言

自動車車体は薄板スポット溶接構造体とみなすことができる。その疲労耐久性はスポット溶接部の耐久性に支配されている。ことから車体の疲労耐久性を確保するためにはスポット溶接部の疲労寿命特性やその評価法に関する多数の研究報告があるが、実働荷重下での研究報告例^{1,2)}は少ない。

富岡ら³⁾は、定振幅荷重下の疲労寿命は公称構造応力により推定できることを示した。このパラメータを実働荷重下の疲労寿命評価に適用するためには、変動振幅荷重下の疲労寿命評価の可能性を検討することが必要である。

本研究では、単点スポット溶接した引張せん断継手とはく離継手及び曲げ継手の二段多重変動振幅荷重疲労試験を疲労限度以上で実施し定振幅荷重下で得られた公称構造応力 - 疲労寿命線図を用いて、マイナー則より二段多重変動振幅荷重下の疲労寿命を推定し、継手形式によらず疲労寿命推定が可能であるか検討した。

($t=1.6\text{mm}$)及び曲げ疲労試験片($t=1.6\text{mm}$)を冷間圧延鋼板(SPCE)で作製し、定振幅・変動振幅荷重疲労試験を実施した。疲労試験は荷重制御、片振りで行い、疲労寿命は疲労き裂がナゲット端の接合面から発生し板外表面に現れ、ナゲット径程度成長した時とした。

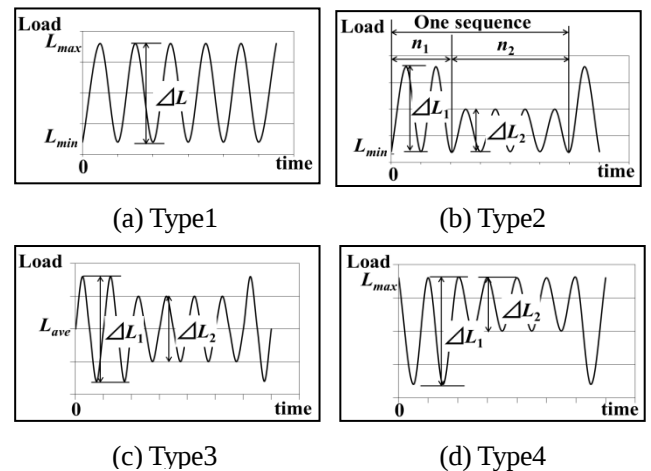


Figure 2. Repeating load waves used for fatigue test

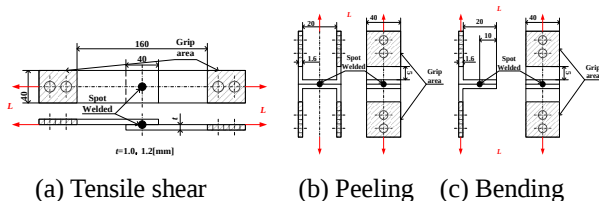


Figure 1. Fatigue test specimens

2. 概 要

2. 1 疲労試験概要

図 1 に示した単点スポット溶接した引張せん断疲労試験片(板厚 $t=1.0\text{mm}, 1.2\text{mm}$)、はく離疲労試験片

変動振幅荷重波形の模式図を図 2 に示す。(a)は定振幅荷重波形(b)~(d)は二段多重変動振幅荷重波形を表し、(b)は下限荷重、(c)は平均荷重、(d)は上限荷重をそれぞれ一定とした波形である。また、高荷重範囲を ΔL_1 、低荷重範囲を ΔL_2 、1 シーケンス内の ΔL_1 、 ΔL_2 の振幅数をそれぞれ n_1 、 n_2 と表す。

2. 2 疲労寿命評価

変動振幅荷重がスポット溶接継手に作用した時、その破断繰返し数を $N_{f, total}$ とすると、破断まで繰返されたシーケンス数 γ は、

$$\gamma = \frac{N_{f_total}}{n_1 + n_2} \quad (1)$$

となる。マイナー則を用いて算出した疲労寿命推定値を $N_{f_estimate}$ とすると、

$$N_{f_estimate} = \frac{N_{f_total}}{\frac{\gamma n_1}{N_1} + \frac{\gamma n_2}{N_2}} = \frac{1+\beta}{\frac{1}{N_1} + \frac{\beta}{N_2}} = \frac{N_1(1+\beta)}{1+\beta \frac{N_1}{N_2}} = \frac{N_1(1+\beta)}{1+\beta \left(\frac{\Delta \sigma_{ns2}}{\Delta \sigma_{ns1}} \right)^b} \quad (2)$$

となる。ここで、 N_1 、 N_2 は荷重範囲 ΔL_1 、 ΔL_2 における定振幅荷重下の疲労寿命であり、 β は振幅数比 n_2/n_1 である。

3. 疲労試験結果

3. 1 定振幅荷重疲労試験結果

変動振幅荷重下での疲労寿命をマイナー則より推定するために、定振幅荷重疲労試験を実施した。

公称構造応力は、平均荷重の影響を次式によって補正した等価公称構造応力範囲 $\Delta \sigma_{ns,R=0}$ である。

$$\Delta \sigma_{ns,R=0} = 2 \frac{\sigma_{nsa} + c \sigma_{ns m}}{1+c} = \frac{1+c \frac{1+R}{1-R}}{1+c} \Delta \sigma_{ns} \quad (3)$$

式(3)はグッドマン線図の直線を表す。定数 C は実験定数であり、 σ_{nsa} は応力振幅、 $\sigma_{ns m}$ は平均応力、 $\Delta \sigma_{ns,R=0}$ は完全片振り $R=0$ の等価公称構造応力である。等価公称構造応力により定振幅疲労試験データは荷重形式、荷重比、板厚によらず統一的に整理された。

3. 2 変動振幅荷重疲労試験結果

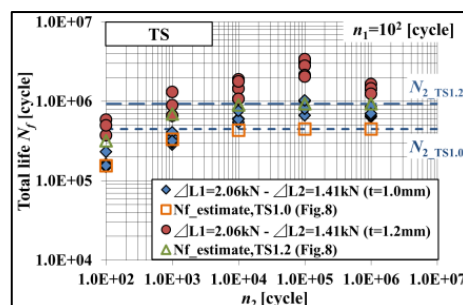
高荷重範囲 ΔL_1 の振幅数 n_1 を 10^2 回一定とし、低荷重範囲 ΔL_2 の振幅数 n_2 を 10^2 、 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 回と変えて疲労試験を実施した。一例として引張せん断継手の実験結果を図 3 に示す。

振幅数 n_2 と疲労寿命 N_f との関係から $n_2=10^4$ 回 ($n_2/n_1=100$) までは、 n_2 の増加に伴い疲労寿命も増大していくが、それ以降については寿命はほぼ一定となる。またマイナー則による疲労寿命推定値と実験値では、おおむね差異の少ない結果が得られたが、Type2 の $n_2=10^5$ について他の値と比べて大きなばらつきがみられた。また、はく離継手と曲げ継手についても同様な結果が得られた。

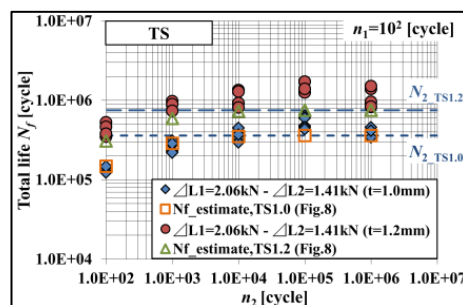
4. 結 言

各試験片について公称構造応力-疲労寿命線図を用いてマイナー則から二段多重変動振幅荷重下でのスポット溶接継手の疲労寿命が推定可能かを検討した。そ

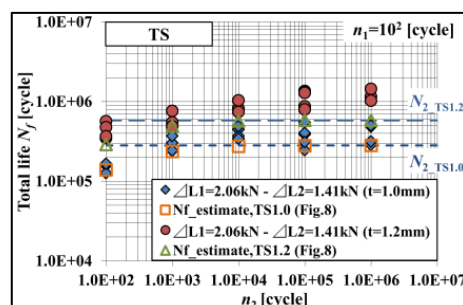
の結果二段多重変動振幅荷重下の疲労寿命推定が可能であると言える。



(a) Constant minimum load waves (Type2)



(b) Constant mean load waves (Type3)



(c) Constant maximum load waves (Type4)

Figure 3. Variable amplitude load fatigue test results (TS)

参考文献

- 1) Abe, H., Yokomine, T., Nakaoka, T., and Satoh, T. : On the Fatigue Life of Single Spot-Welded Joint under 2-Steps Repeating Load —Comparison of Results for Mild Steel with Ones for High Strength Steel—, *Quarterly Journal of The Japan Welding Society*, 11(2), (1993), pp.313-320
- 2) H.-F. HENRYSSON., Effects of mean stress and crack closure on fatigue life of spot welds, *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 25, pp.1175-1185(2002)
- 3) Okabe, A., Tomioka, N., Kaneko, T., A Method of Calculating Nominal Structural Stress of Spot Welding Structure, *Transactions of JSAE*, Vol.36, No.6, pp.145-150(2005)