

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 -

○會田航大介¹, 林大¹, 高塚千尋², 富岡昇³, 岡部顕史³
*Kosuke Aita¹, Masaru Hayashi¹, Chihiro Takatsuka², Noboru Tomioka³, Akifumi 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 actual variable 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、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。このことから、車体の疲労耐久性を確保するために、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、実際の車体に作用する荷重は時々刻々変化するランダムな荷重状態であるにも関わらず、それらが継手の疲労特性に及ぼす影響や疲労寿命評価法について検討した研究報告例⁽¹⁾⁽²⁾は少ない。

岡部ら⁽³⁾は、定振幅荷重下の疲労寿命を公称構造応力により推定することができることを示した。このパラメータを実働荷重下のスポット溶接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。

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 $t=1.0\text{mm}$ と $t=1.2\text{mm}$)、はく離疲労試験片(板厚 $t=1.6\text{mm}$)及び曲げ疲労試験片(板厚 $t=1.6\text{mm}$)を冷間圧延鋼板(SPCE)で作成し、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、ナゲット径程度に成長した時とした。

振幅荷重波形の模式図を図 2 に示す。図 2(a)は定振幅荷重波形、図 2(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。

図 2(b)~(d)の場合、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。

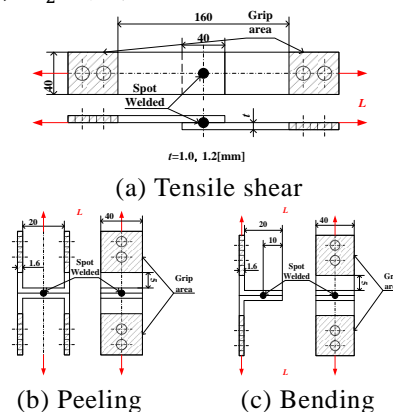


Fig.1 Fatigue test specimens

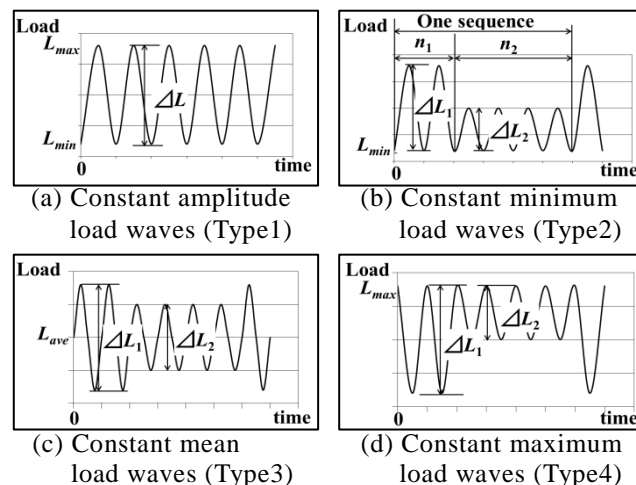


Fig.2 Repeating load waves used for fatigue test

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、破断まで繰り返されたシーケンス数 γ は、

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

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

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,

$$N_{f_estimate} = \frac{N_{f_total}}{\frac{\gamma n_1}{N_1} + \frac{\gamma n_2}{N_2}} = \frac{1 + \beta}{\frac{1}{N_1} + \frac{\beta}{N_2}} = \frac{N_1(1 + \beta)}{1 + \beta \frac{N_1}{N_2}} \quad (2)$$

となる. ここで, N_1, N_2 は荷重範囲 $\Delta L_1, \Delta L_2$ 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

変動振幅荷重下におけるスポット溶接継手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. その結果, 疲労限度は引張せん断継手の場合, 1.22kN ($t=1.0\text{mm}$) と 1.36kN ($t=1.2\text{mm}$) であり, はく離継手の場合 0.420kN, 曲げ継手の場合 0.216kN である.

疲労試験結果を公称構造応力算出法⁽³⁾によって求めたナゲット端に発生する最大主応力である公称構造応力で整理した結果を図 3 に示す. これにより, 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ている. なお, 図 3 の公称構造応力は, 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.

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

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, 本研究では, せん断の場合 0.1, はく離の場合 0.04, 曲げの場合 0.04 とした. σ_{nsa} は応力振幅, σ_{nsm} 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.

3.2 変動振幅荷重疲労試験結果

高荷重範囲 $\Delta L_1=0.540\text{kN}$ の振幅数 n_1 を 10^2 回一定とし, 低荷重範囲 $\Delta L_2=0.320\text{kN}$ の振幅数 n_2 を $10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$ 回と変え, マイナー則式(2)を用いて, 振幅数 n_2 と疲労寿命との関係を求めると図 4 となり, ここでは, 曲げ疲労試験の代表例として, 上限荷重を一定とした場合の結果を示す. $n_2=10^4$ 回 ($n_2/n_1=100$) までは, 振幅数 n_2 の増加に伴い疲労寿命も増大するがそれ以上では寿命はほぼ一定である. そして, マイナー則による疲労寿命推定値と実験値では, $n_2=10^5$ 回以降は異なる傾向が見られたが概ね良い対応を示した. このことより, 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. また, 変動振幅荷重疲労試験の疲労寿命推定値と実験値を比較したものを図 5 に示す. この結果, 実験値は疲労寿命推定値の 0.4~2.2 倍の範囲内に存在し, この範囲内の精度で板厚や継手形式によらず疲労寿命推定が可能であると示唆される.

4. 結 言

定振幅荷重疲労試験データを公称構造応力で整理し, これをもとにマイナー則を用いて, 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推定が可能であるか検討した.

その結果, 疲労寿命は, 平均荷重の影響を考慮した等価公称構造応力を用いて整理して得られる疲労寿命線図をもとに, 継手形式によらずマイナー則より推定できることが明らかになり, 公称構造応力は, 変動振幅荷重下のスポット溶接継手の疲労寿命評価パラメータとしての可能性が示唆された.

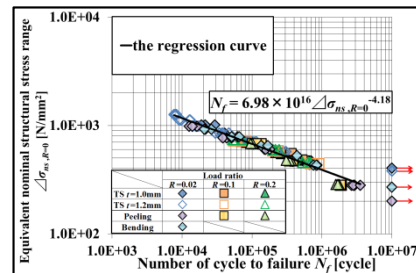


Fig.3 $\Delta\sigma_{ns,R=0} - N_f$

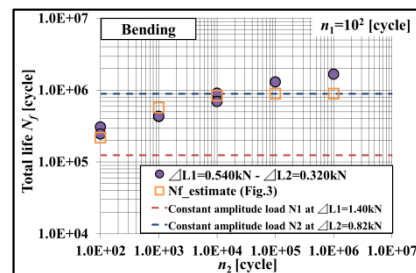


Fig.4 Variable amplitude load fatigue test results (Constant maximum load waves)

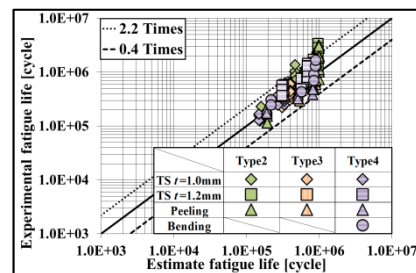


Fig.5 Experimental fatigue life-Estimate fatigue life

5. 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, (2002), pp.1175-1185
- (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, (2005), pp.145-150