

## 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—松本ひかる<sup>\*1</sup>, ○吉田健志郎<sup>\*1</sup>, 大橋雅樹<sup>\*2</sup>, 松園俊介<sup>\*2</sup>, 富岡昇<sup>\*3</sup>, 岡部顕史<sup>\*3</sup>Hikaru Matsumoto<sup>1</sup>, Kenshiro Yoshida<sup>1</sup>, Masaki Ohashi<sup>2</sup>, Shunsuke Matsuzono<sup>2</sup>, Noboru Tomioka<sup>3</sup>, Akihumi Okabe<sup>3</sup>

In this paper, multi two step variable amplitude load fatigue testing of spot-welded joints was carried out, and experimental values and values obtained by minor's rule were compared. In addition, similar fatigue testing in high-tensile steel sheet SPFC590 was performed, and the possibility of fatigue life estimation by using the nominal structural stress was examined. (1) The experimental values of the fatigue life were greater than the estimated value if  $n_2/n_1 \geq 1000$ . It revealed experimentally that the factor was a delay phenomenon of the crack growth caused by peak load. (2) Fatigue test results of SPFC590 showed a different tendency from that of SPCE. The fatigue life is substantially constant when  $n_2/n_1 \geq 100$ , and were close to the estimated value using the nominal structural stress.

## 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、実動荷重下での研究報告例<sup>1,2)</sup>は少ない。

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推定値と比較し、実験値と推定値の差異の要因を考察、検討するとともに、自動車分野で用いられている高張力鋼板で同様の疲労試験を実施し、冷間圧延鋼板同様に疲労寿命が推定できるか検討した。

## 2. 概要

## 2.1 疲労試験概要

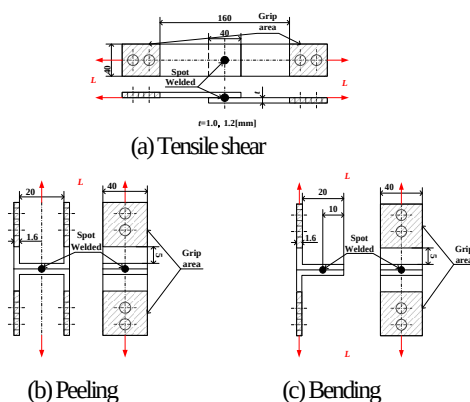
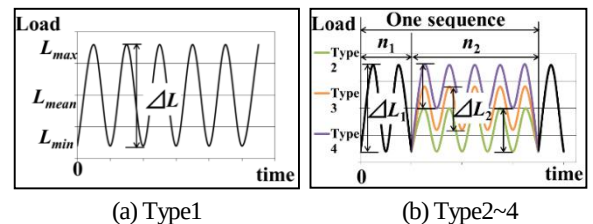


Fig.1 Fatigue test specimens

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( $t=1.6\text{mm}$ )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

したもの、引張せん断疲労試験片( $t=1.0\text{mm}$ )を高張力鋼板(SPFC590)で作製したものに定振幅・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。



(a) Type1

(b) Type2~4

Fig.2 Repeating load waves used for fatigue test

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)は二段多重変動振幅荷重波形を表し、Type2は下限荷重、Type3は平均荷重、Type4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 $\Delta L_1$ 、低荷重範囲を $\Delta L_2$ 、1シーケンス内の $\Delta L_1$ 、 $\Delta L_2$ 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、破断まで繰り返されたシーケンス数 $\gamma$ は $\gamma = N_{f\_total} / (n_1 + n_2)$ であるから、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、

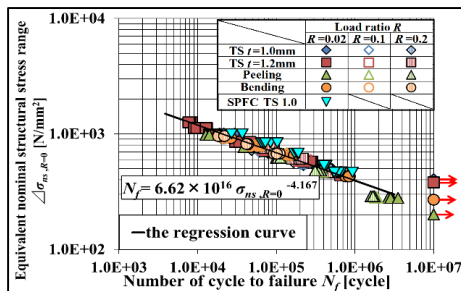
$$N_{f\_estimate} = \frac{N_{f\_total}}{\frac{\gamma n_1 + \gamma n_2}{N_1 + N_2}} = \frac{1 + \beta}{\frac{1}{N_1} + \frac{\beta}{N_2}} = \frac{N_1(1 + \beta)}{1 + \beta \frac{N_1}{N_2}} = \frac{N_1(1 + \beta)}{1 + \beta \left( \frac{\Delta \sigma_{ns2}}{\Delta \sigma_{ns1}} \right)^b} \quad (1)$$

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、 $\beta$ 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定振幅荷重疲労試験を実施した結果を図3に示す。

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

## 3. 2 変動振幅荷重疲労試験結果

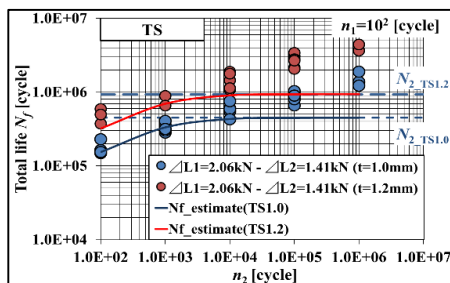


Fig.4 Variable amplitude load fatigue test results (SPCE)

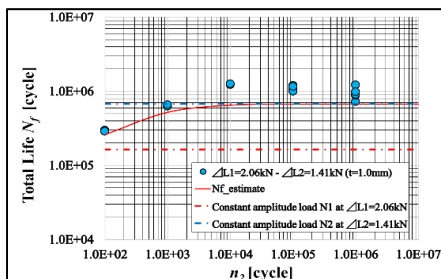


Fig.5 Variable amplitude load fatigue test results (SPFC590)

高荷重範囲 $\Delta L_1$ の振幅数 $n_1$ を $10^2$ 回一定とし、低荷重範囲 $\Delta L_2$ 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。図4、図5にType2での冷間圧延鋼板と高張力鋼板の張せん断の試験片での疲労試験結果をそれぞれ示す。

冷間圧延鋼板の試験片での疲労寿命 $N_f$ は振幅数 $n_2$ の増加に伴い疲労寿命 $N_f$ も増大していき、 $n_2$ が $10^5$ 以降になると(2)式より求めた疲労寿命の推定値より大きくなった。

理由の検討のために高荷重が作用した際の疲労寿命の変化について、引張せん断継手のスポット溶接部に歪ゲージを貼付し、引張せん断継手( $t=1.2\text{mm}$ )での低荷重範囲での定振幅荷重の場合と1[cycle]だけ高荷重範囲で荷重を加えた後に低荷重範囲で定振幅荷重疲労試験を行い、破断するまで20000[cycle]ごとに試験機を一時停止し歪を測定した。

測定結果を図6に示す。1[cycle]だけ過大荷重を加えると疲労寿命が増加し、過大荷重を加えた後に低荷重による疲

労試験を行うと、定振幅荷重のみの場合に比べて疲労寿命に対して歪の増加時期が異なることから、過大荷重によってナゲット部の亀裂の進展に遅延が生じそれによって定振幅荷重よりも疲労寿命が延びていると考えられる。

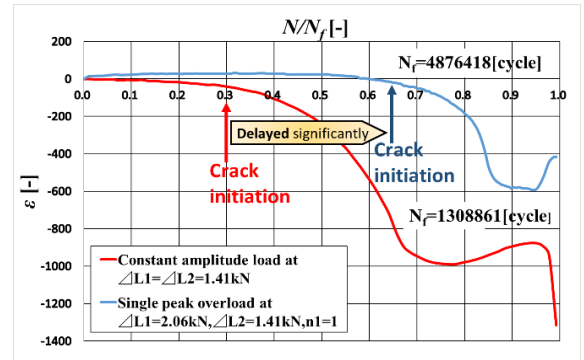


Fig.6 Strain at Single peak overload

一方、図5の高張力鋼板の振幅数 $n_2$ が $10^4$ 回以降になると疲労寿命 $N_f$ が増加せず推定値と同様の傾向を示した。これより公称構造応力から疲労寿命を推定することが可能と考えられる。

## 4. 結 言

マイナー則による疲労寿命推定値と実験値の差異について考察し、高張力鋼板での公称構造応力による疲労寿命推定の可能性について検討した。

(1) 低荷重範囲の振幅数が高荷重範囲の1000倍以上になると、疲労寿命の実験値は推定値より大きく上回るが、この要因は、過大荷重によるき裂の進展の遅延現象であることを実験により明らかにした。

(2) 高張力鋼板 SPFC590 の二段多重変動振幅疲労試験結果は、冷間圧延鋼板とは異なる傾向を示し、低荷重範囲の振幅数が100倍以上では疲労寿命はほぼ一定となり、マイナー則による推定値と近い値となった。

## 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, pp.1175-1185(2002)
- (3) Abe, H., Yokomine, T., Nakaoka, T., and Satoh, T., Fatigue life of single spot-welded joints under a cyclic load: Comparison of mild steel and high-strength steel, *Welding International* 1994 8(1)16-22