

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特性  
 -高張力鋼板と軟鋼板の比較-  
 Fatigue Life of Spot-Welded Joint under Two Steps Variable Amplitude Load  
 - Comparison of high tensile strength steel sheet and mild steel sheet -

石岡佑介<sup>1</sup>, ○麻場友斗<sup>1</sup>, 大橋雅樹<sup>2</sup>, 富岡昇<sup>3</sup>, 岡部顕史<sup>3</sup>  
 Yusuke Ishioka<sup>1</sup>, \*Yuto Asaba<sup>1</sup>, Masaki Ohashi<sup>2</sup>, Noboru Tomioka<sup>3</sup>, Akifumi Okabe<sup>3</sup>

In this paper, the repeated two-step block amplitude load fatigue test of a single spot-welded joint was performed using a cold rolled steel sheet SPCE and a high strength steel sheet SPFC590. Furthermore, we compared the fatigue life difference between cold rolled steel sheet and high-strength steel sheet and examined the cause. As a result, it was found that the fatigue life becomes longer by the delay phenomenon of crack propagation in the cold rolled steel sheet. Therefore, in order to confirm the delay phenomenon, the hardness test was performed on the cross section of the welded portion.

1. 緒言

自動車車体構造の接合には非常に多くのスポット溶接が用いられている。車体の耐久性はスポット溶接の耐久性に依存しているため、疲労強度の的確な評価は必要である。

従来の研究において、高張力鋼板を母材とした単点スポット溶接した引張せん断継手に定振幅荷重を負荷したとき、その疲労寿命は母材強度の低い軟鋼板の疲労寿命と変わらないことが明らかになっている。一方、著者らは、二段多重変動振幅荷重下における両母材のスポット溶接継手疲労試験を実施した結果、高荷重の振幅数に対して低荷重の振幅数が多くなると、両母材の疲労寿命特性に差異が見られた<sup>1)</sup>。

本研究では、この差異は過大荷重による亀裂進展遅延が原因であると推察し、負荷の繰返し数による圧痕表面のひずみの変化を測定することで実験的に確認し、さらに亀裂進展遅延の原因と考えられている過大荷重による塑性域生成の有無を硬さ分布測定によって調査する。

2. 疲労試験概要

図 1 に示す単点スポット溶接した引張せん断疲労試験片(板厚  $t=1.0\text{mm}$ )を、冷間圧延鋼板(SPCE)及び高張力鋼板(SPFC590)で作製し、二段多重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。振幅荷重波形の模式図を図 2 に示す。高荷重範囲を $\Delta L_1$ 、低荷重範囲 $\Delta L_2$ 、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。

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結果を図 4 と図 5 に示す。

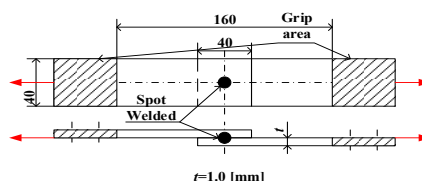


Fig.1 Fatigue test specimens

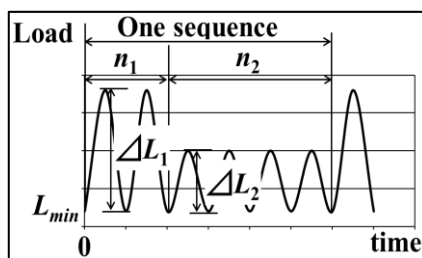


Fig.2 Repeating load waves used for fatigue test (Type2)

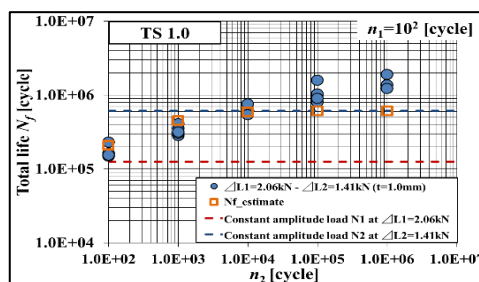


Fig.3 Variable amplitude load fatigue test results (SPCE)

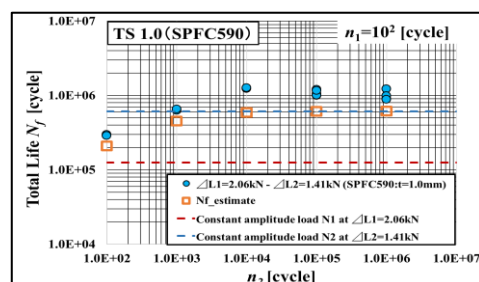


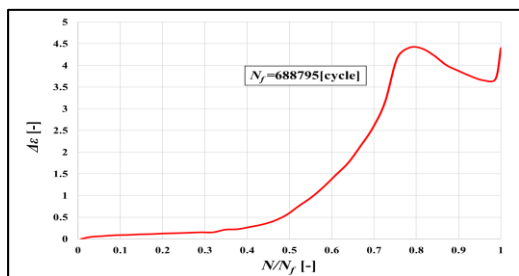
Fig.4 Variable amplitude load fatigue test results (SPFC590)

冷間圧延鋼板は振幅数 $n_2$ が増加するに伴い疲労寿命も増加するが、高張力鋼板は $10^4$ 回以降になると一定値となり、定振幅荷重の疲労寿命に近い値となった。図4より低荷重範囲の振幅数 $n_2 = 10^6$ における疲労寿命 $N_f$ は100~200万回となっており、高荷重範囲が負荷された後、低荷重範囲による一定振幅負荷状態と考えられる。したがって、冷間圧延鋼板には単一過大荷重負荷による亀裂進展現象<sup>2)</sup>が起きていると考え、次節ではこの検証実験を行った。

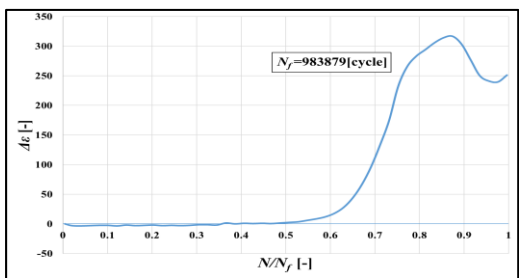
### 3. 単一過大荷重疲労試験結果

高荷重が作用した際の疲労寿命の変化について、試験片の圧痕表面に負荷方向に歪ゲージを貼付し、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5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歪の増加時期が遅れていることから、過大荷重によって亀裂の進展に遅延が生じ、定振幅荷重よりも疲労寿命が伸びていると考えられる。



(a) Constant amplitude load



(b) Single peak overload

Fig.5 Strain at Single peak overload (SPCE)

### 4. ビッカース硬さ試験結果

図6は軟鋼板 SPCE の母材の引張試験を行い、公称応力と硬さの関係を求めた結果である。公称応力が大きくなると硬さの値も大きくなるのが分かる。これより、スポット

溶接継手に過大荷重が作用したときに生じる塑性域の有無を硬さ測定で調べることが可能であると言える。

スポット溶接継手の発生亀裂付近の硬さ分布を図7に示す。過大荷重 $\Delta L=2.06\text{kN}$  負荷後、定振幅荷重 $\Delta L=1.41\text{kN}$ を30万回(破断寿命の約50%)負荷し、試験機を停止してスポット溶接部をナゲット中心で負荷方向に切断し、亀裂から約0.1mmの位置を板厚方向に硬さ測定を行なった。過大荷重後の硬さは無負荷時の硬さより大きな値となっており、過大荷重によって塑性域が生成されていることが確認できる。

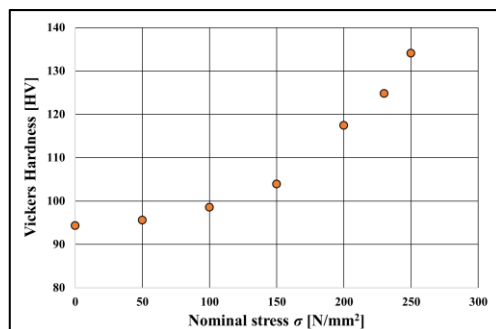


Fig.6 Relationship between nominal stress and hardness (SPCE)

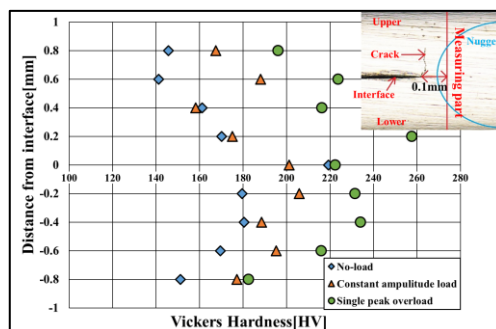


Fig.7 Vickers Hardness test results (SPCE)

### 5. 結言

高張力鋼板及び軟鋼板を母材とした単点スポット溶接した引張せん断継手の二段多重変動振幅荷重下における疲労寿命特性の差異について考察した。これは過大荷重による亀裂進展遅延が原因であることを圧痕のひずみ測定で明らかにし、また過大荷重による塑性域生成を硬さ分布測定によって確認することができた。

### 参考文献

[1] 大橋雅樹, 松園俊介, 富岡昇: 「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」, M&M2016 材料力学カンファレンス 講演論文集, No.16-3, pp.823-825  
 [2] 機械工学便覧基礎編 α 3, 材料力学, 日本機械学会, pp.127-128 (2007)