

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

○池田義朋¹, 石間晴¹, 石岡佑介², 富岡昇³, 岡部顕史³

Yoshitomo Ikeda¹, *Haru Ishima¹, Yusuke Ishioka², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

In this study, two-step block amplitude loading fatigue test of single spot welded joints was conducted using mild steel sheet (SPCE) and high tensile steel sheet (SPFC590). The fatigue life of the cold rolled steel sheet in the tensile shear specimen increased when the cyclic number ratio of high and low loadings within one block was large. The cause of the increase is that the peak loading caused a large plastic region ahead of the crack tip, which resulted in a delay in the rate of crack propagation. Therefore, in order to investigate the occurrence of the crack propagation delay phenomenon like the tensile shear, a two-step block amplitude loading fatigue test was performed on the peeling specimen.

1. 緒言

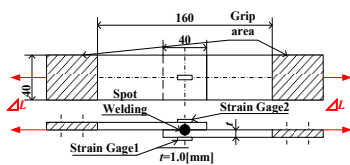
自動車車体構造の接合には非常に多くのスポット溶接が用いられている。車体の耐久性はスポット溶接の耐久性に依存しているため、疲労強度の的確な評価は必要である。

従来の研究において、高張力鋼板と軟鋼板を母材としたスポット溶接引張せん断継手の定振幅荷重疲労試験を行った結果、両母材の疲労寿命に差異が見られないことが明らかとなっている。しかし、二段多重変動振幅荷重疲労試験を実施した結果、1シーケンス内の高荷重に対する低荷重の繰り返し数が大きくなると、両母材では異なる疲労特性を示した。

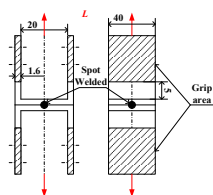
本研究では、この材料の違いによる疲労特性の原因について検討した。さらに、荷重形式の異なるはく離継手においても、引張せん断継手と同様の疲労特性が見られると推察し、実験的に調査した。

2. 疲労試験方法

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 $t=1.0\text{mm}$)と、はく離疲労試験片(板厚 $t=1.6\text{mm}$)をそれぞれ冷間圧延鋼板(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



(a) tensile shear



(b) peeling

Fig.1 Fatigue test specimens

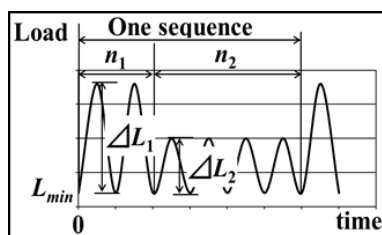


Fig.2 Repeating load waves used for fatigue test

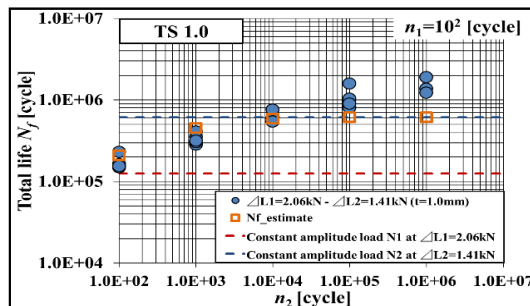


Fig.3 Variable amplitude loading fatigue test results (SPCE)

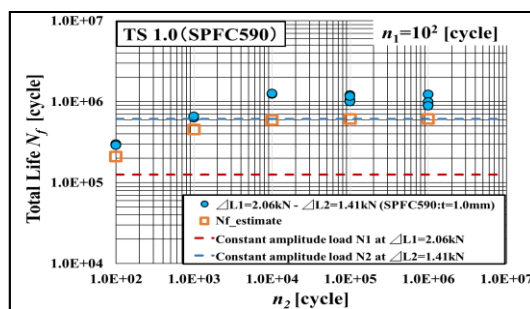


Fig.4 Variable amplitude loading fatigue test results (SPFC590)

範囲を ΔL_1 、低荷重範囲 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。高荷重範囲 ΔL_1 の振幅数 n_1 を 10^2 回で固定して、低荷重範囲 ΔL_2 の振幅数 n_2 を 10^2 、 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 回と変化させた。

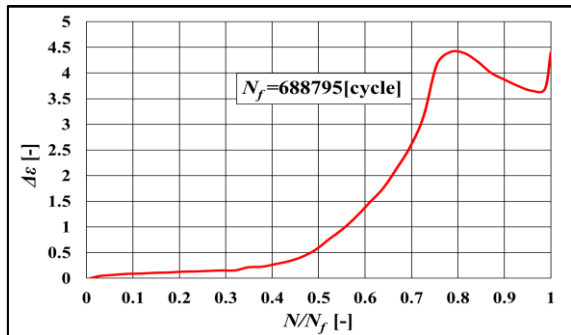
3. 疲労試験結果

疲労試験結果を図3と図4に示す。冷間圧延鋼板は振幅数 n_2 の増加に伴い疲労寿命は増加するが、高張力鋼板は 10^4

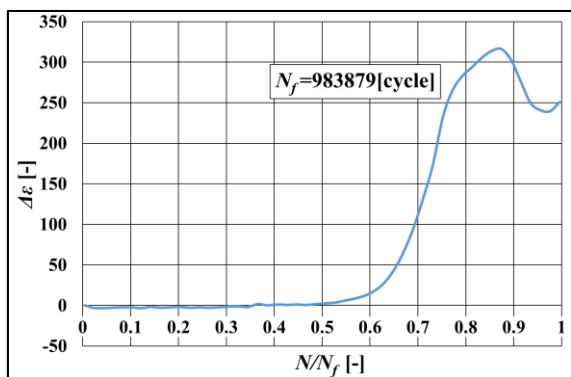
回以降になると一定値となり、定振幅荷重の疲労寿命に近い値となった。両母材で顕著に異なる $n_2 = 10^6$ の疲労寿命について考察する。図 3 より低荷重範囲の振幅数 $n_2 = 10^6$ における疲労寿命 N_f は 100~200 万回となっており、高荷重範囲が負荷された後、低荷重範囲による一定振幅荷重状態と考えられる。つまり、冷間圧延鋼板には単一過大荷重による亀裂進展現象²⁾が起こっていると考え、次節でこの検証実験を行った。

4. 引張せん断単一過大荷重疲労試験結果

低荷重範囲による定振幅荷重の場合と 1[cycle]だけ高荷重範囲を負荷した後、低荷重範囲による定振幅荷重疲労試験を実施した。スポット溶接の圧痕表面に荷重方向に歪ゲージを貼付し、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。その結果を図 5 に示す。亀裂の成長に伴う歪の増加時期が、定振幅荷重疲労試験では約 $N/N_f = 0.3$ であるのに対し、単一過大荷重疲労試験では約 $N/N_f = 0.5$ と遅れている。また、破断寿命も定振幅荷重疲労試験の約 1.4 倍である。以上から、過大荷重による亀裂進展遅延現象が生じていると言える。



(a)Constant amplitude load



(b)Single peak overload

Fig.5 Relationship between fatigue life ratio and strain on surface of indentation (SPCE)

5. はく離疲労試験結果

図 6 に軟鋼板の二段多重変動振幅荷重疲労試験の結果を示す。 $n_2 = 10^4$ から理論値と異なる傾向を示し、寿命が増加している。はく離試験においても過大荷重による亀裂進展遅延現象が起きていると考えられる。

そこで単一過大荷重疲労試験を行い、過大荷重による亀裂進展遅延が生じているのか調べた。その結果を図 7 に示

す。高張力鋼板では、 $\Delta L = 0.32$ [kN]の結果を見ると、定振幅疲労試験と単一過大荷重疲労試験では両者の寿命に差異は見られない。一方、軟鋼板では、 $\Delta L = 0.54$ [kN]の定振幅疲労試験の寿命 N_f は 70,000[cycle]であるのに対し、単一過大荷重試験では未破断となった。

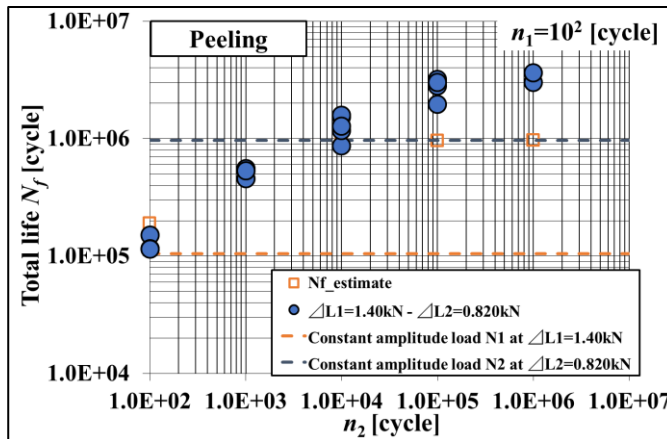


Fig.6 Variable amplitude load fatigue test results (SPCE)

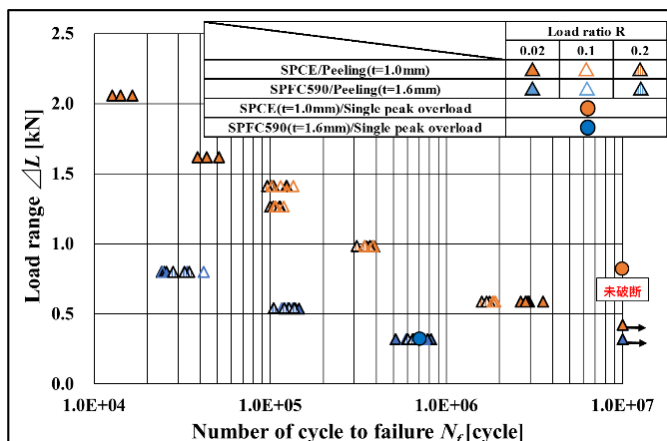


Fig.7 Load range-Number of cycle to failure

6. 結言

高張力鋼板と軟鋼板を母材とした、引張せん断試験片とはく離試験片の二段多重変動振幅荷重下の疲労寿命特性について調査した。引張せん断試験片において、高張力鋼板では理論値と同様の結果が得られ、軟鋼板では亀裂進展遅延が過大荷重による塑性域生成によって生じた。はく離試験片においても両母材で同様の傾向があることを明らかにした。今後ははく離試験片のナゲット部の硬さ試験および亀裂の観察で更に詳細に調査していく予定である。

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)