

590MPa 級高張力鋼板を母材とするスポット溶接継手の単一過大荷重負荷後の疲労寿命特性
 Fatigue Life Characteristics of Spot-Welded Joints using 590MPa class High Strength steel
 as a Base Material after a Single overload

○渡邊貴哉¹, 富岡昇², 岡部顕史²

*Takaya Watanabe¹, Noboru Tomioka², Akifumi Okabe²

The effect of a single overload on the fatigue life and the existence of crack opening / closing phenomenon of spot-welded tensile shear joints and peeling joints using 590 MPa class high-tensile steel plate as the base material was experimentally investigated. (1) In both tensile shear joints and peeling joints, when the load ratio value is about 1.5 times or more, the fatigue life increases as the single overload increases. (2) A simple empirical formula for estimating fatigue life after a single overload was proposed, and good estimates were confirmed. (3) The existence of the crack opening / closing phenomenon due to a single overload was experimentally confirmed.

1. 緒言

スポット溶接は自動車車体に多く用いられ、車体構造全体の疲労耐久性はスポット溶接の耐久性に依存する。そのため設計段階での疲労強度の的確な評価が重要である。

大橋ら¹⁾は、強度の異なる軟鋼板 SPCE と 590MPa 級高張力鋼板 SPFC590 を母材とする引張せん断継手について、二段多重変動振幅荷重下では、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、疲労寿命特性が異なることを示したが、過大荷重の大きさを変えた詳細な検討がなされていない。

本研究では、SPFC590 を母材とするスポット溶接した引張せん断継手とはく離継手について、単一過大荷重の大きさを種々変えて疲労試験を行い、単一過大荷重が疲労寿命に及ぼす影響について実験的に調査し、単一過大荷重負荷後の疲労寿命を推定する実験式を提案した。また、単一過大荷重によるき裂進展遅延現象の一要因であるき裂開閉口現象の存在を、単一過大荷重負荷後の定振幅荷重の平均値を種々変えて疲労試験を行い、実験的に調査した。

2. 単一過大荷重負荷後の疲労試験

図 1 に単点スポット溶接した引張せん断継手とはく離継手試験片を示す。供試材料は SPFC590 で、板厚は 1.0[mm]とし、溶接条件は SPFC の標準条件に準じた。引張せん断継手の試験法は、定振幅荷重 $\Delta L_2=1.41$ [kN]を 5000 サイクル負荷した後、一旦停止し、単一過大荷重 ΔL_1 を 1 サイクル負荷した。その後、 $\Delta L_2=1.41$ [kN]の定振幅疲労試験を破断まで実施した。過大荷重 ΔL_1 は 2.06~3.50[kN]の間で変化させた。はく離継手については、 $\Delta L_1=0.54\sim 1.10$ [kN]、 $\Delta L_2=0.32$ [kN]として同様に行った。疲労試験は荷重制御（荷重比 $R=0.02$ ）、荷重は正弦波形、疲労寿命は疲労き裂がナゲット径程度に成長した時とした。

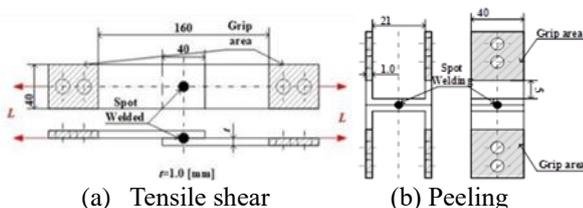


Fig.1 Fatigue test specimens

1: 日大理工・院（前）・機械 2: 日大理工・教員・機械

3. 単一過大荷重負荷後の疲労試験結果

単一過大荷重負荷後の疲労試験結果を荷重比 $\Delta L_1/\Delta L_2$ と疲労寿命比 $N_f/N_{f,const}$ の関係で表すと図 2 となる。

$N_{f,const}$ は、単一過大荷重を負荷しない定振幅荷重 $\Delta L_2=1.41$ [kN]による疲労寿命である。両継手はほぼ同じ傾向を示し、 $\Delta L_1/\Delta L_2$ の値が約 1.5 以上になると疲労寿命は増大し始め、単一過大荷重の増大に伴い疲労寿命が増加する。

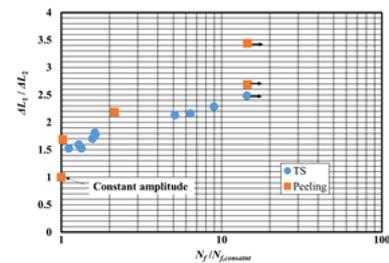


Fig.2 Relationship between load ratio $\Delta L_1/\Delta L_2$ and fatigue life ratio $N_f/N_{f,const}$

4. 単一過大荷重負荷後の疲労寿命の実験式

引張せん断継手とはく離継手の公称構造応力 σ_{ns} を求め、図 2 の疲労試験結果を別途求めた定振幅疲労試験結果に重ねて示したのが図 3 である。単一過大荷重疲労試験データは両継手とも同一曲線上に分布している。また、単一過大荷重疲労試験データを水平軸に関して反転し、平行移動すると、定振幅荷重のデータに重なる。そこで、単一過大公称構造応力を式(1)で変換し、変換後の公称構造応力と疲労寿命の対のデータを図 3 に示した。おおよそ定振幅荷重のデータに重なっていることが確認できる。つまり、単一過大荷重負荷後の疲労寿命の推定が可能であることを意味する。式(2)による推定結果を図 4 に示すが、良好な結果が得られている。

$$\sigma_{ns_equivalent} = \sigma_{ns,const} - 0.5(\sigma_{ns,overload} - \sigma_{ns,overload_start}) \quad (1)$$

$\sigma_{ns,const}$: 寿命増加開始時の定振幅荷重の時間強度

$\sigma_{ns,overload_start}$: 寿命増加開始時の単一過大荷重の時間強度

$\sigma_{ns,overload}$: 単一過大荷重の公称構造応力

$$N_f = 1.152 \times 10^{15} \sigma_{ns_equivalent}^{-3.515} \quad (2)$$

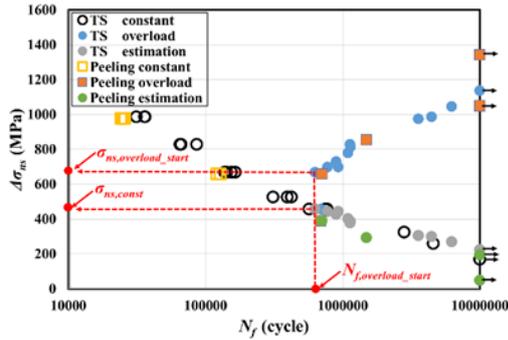


Fig.3 Constant amplitude load fatigue test results and fatigue test results after a single overload load

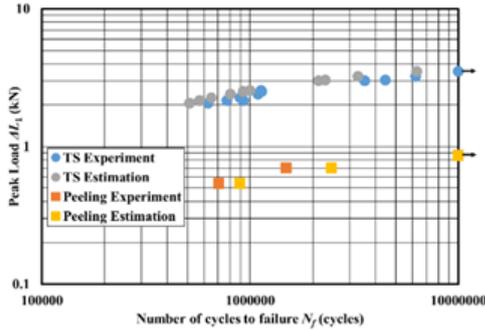
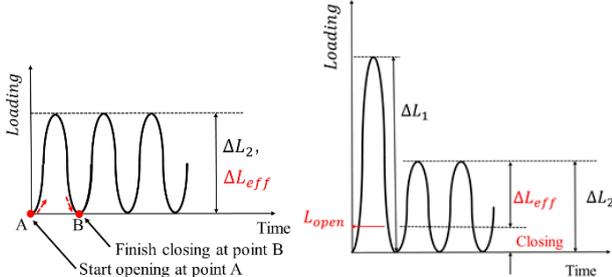


Fig.4 Estimated fatigue life after a single overload load

5. き裂開閉口現象の確認試験

上記の結果より、単一過大荷重によってき裂の進展に遅延が生じることを確認した。この現象の一要因は、き裂開閉口現象であると考えられる。スポット溶接継手は、ナゲット周辺に環状き裂を持つき裂材と見做せる。通常なき裂は図 5(a)で示すように、荷重が作用し始めると同時に開口し始め (A 点)、最大荷重で一番大きく開口し、荷重がゼロになると同時に完全に閉口する (B 点)。しかし、単一過大荷重によってナゲット近傍の環状き裂縁に塑性域が生成されるため、図 5(b)に示すように、荷重が作用し始めても環状き裂は開口せず、ある荷重に達して初めて開口し始め、最大荷重で一番大きく開口し、その後除荷に伴い閉口していき、荷重がゼロになる前に完全に閉口するき裂開閉口現象が起こる。したがって、単一過大荷重によって、き裂を開口させるのに有効な荷重範囲 (有効荷重範囲) ΔL_{eff} が減少する。そのため単一過大荷重を負荷すると、疲労寿命が延びると考えられる。



(a) Common (b) Crack closure
Fig.5 Crack opening / closing phenomenon

そこで、図 6 に示すように定振幅荷重 $\Delta L_2 = 1.41$ [kN] を一定とし、その平均荷重 ΔL_{2mean} を種々変化させて

引張せん断継手の疲労試験を実施し、単一過大荷重有無の疲労寿命を比較した。

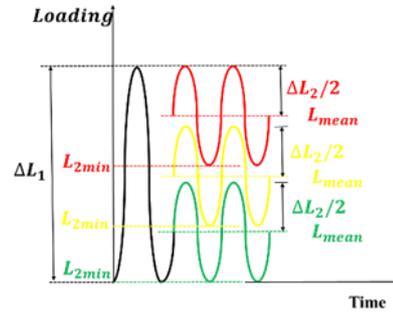


Fig.6 ΔL_2 with different average loads

試験結果を定振幅荷重の正弦波形の最小値 ΔL_{2min} と単一過大荷重の有無によって生じる疲労寿命の比 $N_{f,overload}/N_{f,const}$ の関係として、図 7 に示す。定振幅荷重の最小値が 0.73 [kN] 以上で寿命比の値はほぼ 1 となり、単一過大荷重の影響は無い。一方、0.73 [kN] 以下では寿命比が 1 よりも大きく、有効荷重範囲 ΔL_{eff} が ΔL_2 より小さくなる。つまり、単一過大荷重負荷後のき裂開閉口現象に有効な荷重の最小値 (き裂開口荷重) ΔL_{eff_start} は 0.73 [kN] である。

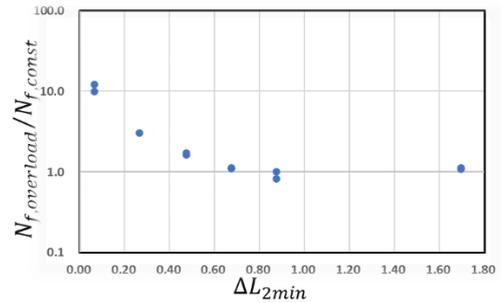


Fig.7 Relationship between minimum value of constant amplitude load and life ratio

6. 結言

SPFC590 を母材とするスポット溶接した引張せん断継手とはく離継手について、単一過大荷重が疲労寿命に及ぼす影響およびき裂開閉口現象の存在を実験的に調査した。

- (1) 引張せん断継手とはく離継手のどちらの場合も、荷重比の値が約 1.5 倍以上になると、単一過大荷重の増大に伴い疲労寿命は増大する。
- (2) 単一過大荷重負荷後の疲労寿命を推定する簡易的な実験式を提案し、良好な推定値を確認した。
- (3) 単一過大荷重によるき裂開閉口現象の存在を実験的に確認した。き裂開口荷重は 0.73 [kN] であった。

7. 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.