

スポット溶接した引張せん断継手の単一過大荷重負荷後のき裂開口荷重  
 Crack Opening Load of Spot-Welded Joints under Cyclic Tensile Shear Loading after a Single overload

○渡邊貴哉<sup>1</sup>, 富岡昇<sup>2</sup>, 岡部顕史<sup>2</sup>

\*Takaya Watanabe<sup>1</sup>, Noboru Tomioka<sup>2</sup>, Akifumi Okabe<sup>2</sup>

The effect of a single overload on the fatigue life and the existence of crack opening / closing phenomenon of spot-welded tensile shear joints using 590 MPa class high-tensile steel plate as the base material was experimentally investigated. (1) The crack opening load was obtained from the fatigue life ratio with a single overload, or not and load ratio. (2) The crack opening load decreases as the constant amplitude load increases. (3) The fatigue life after a single overload was estimated from the effective load range obtained from the crack opening load and the S-N curve, and it was confirmed that the estimated values were in agreement with the experimental values.

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<sup>1)</sup>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、また田代<sup>2)</sup>は、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、単一過大荷重の増大に伴い疲労寿命が長くなることを示した。これは単一過大荷重負荷によるき裂進展遅延現象に起因するが、その要因の一つである、き裂開閉口現象については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に単一過大荷重を負荷し、その後、平均荷重を種々変えた定振幅荷重を負荷して疲労試験を行い、き裂開口荷重 $L_{open}$ を実験的に調査した。

2. き裂開口荷重を求める実験方法

図1は単点スポット溶接した引張せん断継手に、単一過大荷重 $\Delta L_1$ を負荷した後、定振幅荷重 $\Delta L_2$ による疲労試験を行った結果である。単一過大荷重によってき裂の進展に遅延が生じ、その結果疲労寿命が長くなっていることを確認できる。

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ち裂材と見做せる。通常、き裂は図2(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、最大荷重で一番大きく開口し、荷重がゼロに戻ると同時に完全に閉口する。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1(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、き裂を開口させる有効荷重範囲 $\Delta L_{eff}$ 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。

そこで、図3に示すように定振幅荷重範囲 $\Delta L_2$ を一定とし、その平均荷重 $L_{2mean}$ を種々変化させて引張せん断継手の疲労試験を実施し、単一過大荷重有の疲労寿命 $N_{f,overload}$ と単一過大荷重無の疲労寿命 $N_{f,const}$ の比 $N_{f,overload}/N_{f,const}$ を取り、その値からき裂開口荷重 $L_{open}$ を求めた。

試験片を図4に示す。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。疲労試験は荷重制御で行い、疲労寿命はき裂が圧痕径程度に成長した時とした。

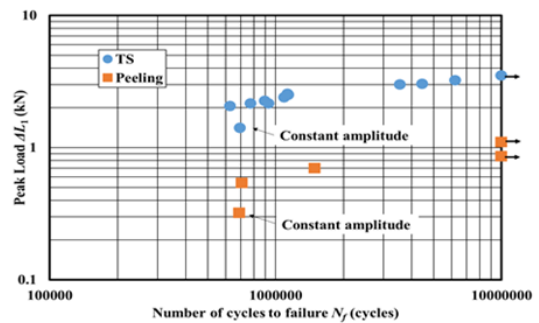
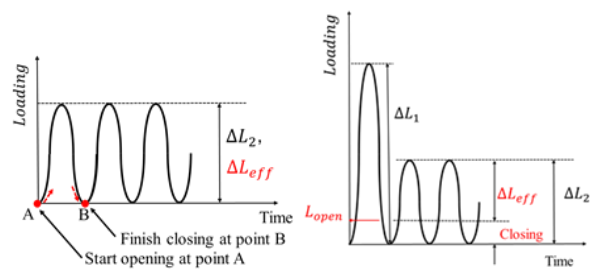


Fig.1 Peak load and Number of cycles to failure



(a) No crack closure (b) Crack closure

Fig.2 Crack opening / closing phenomenon

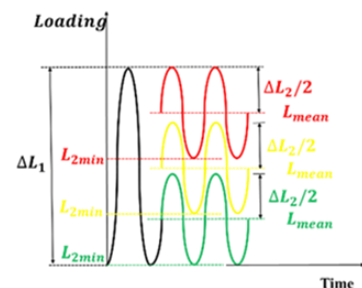


Fig.3  $\Delta L_2$  with different average loads

1: 日大理工・院 (前)・機械 2: 日大理工・教員・機械

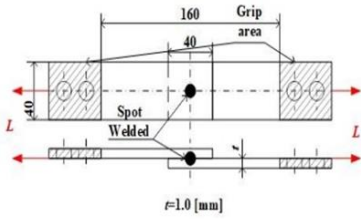


Fig.4 Fatigue test specimens

### 3. き裂開口荷重

単一過大荷重 $\Delta L_1$ は 3.04[kN]と一定とし、単一過大荷重負荷後の定振幅荷重 $\Delta L_2$ は 1.20[kN]と 1.41[kN], 1.60[kN]の 3 種類に設定した。

荷重比 $R$ と疲労寿命比 $N_{f,overload}/N_{f,const}$ の関係を図 5 に示す。  $\Delta L_2 = 1.20, 1.41, 1.60$ [kN]では荷重比 $R$ がそれぞれ、 0.55, 0.35, 0.27 の値より小さくなると、疲労寿命比 $N_{f,overload}/N_{f,const}$ は 1 より大きくなる。これらの荷重比の値がき裂開口荷重に相当すると見做せる。

図 6 に示した荷重比 $R$ と定振幅荷重 $\Delta L_2$ の最小荷重との関係より、荷重比 $R = 0.55, 0.35, 0.27$ に対する最小荷重を求めると、

$\Delta L_2 = 1.20$ [kN]の $R = 0.55$ に対し、1.44[kN]

$\Delta L_2 = 1.41$ [kN]の $R = 0.35$ に対し、0.81[kN]

$\Delta L_2 = 1.60$ [kN]の $R = 0.27$ に対し、0.54[kN]

となり、これらの値がき裂開口荷重 $L_{open}$ である。

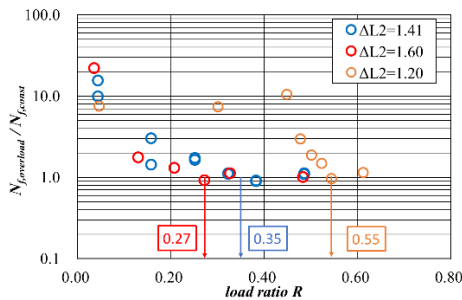


Fig.5 Load ratio and fatigue life ratios

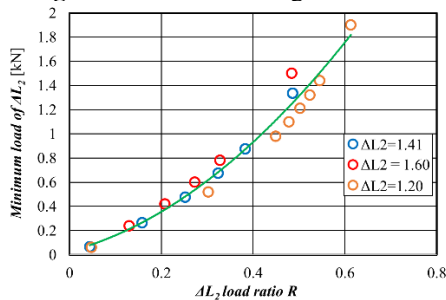


Fig.6 Load ratio and minimum load of  $\Delta L_2$

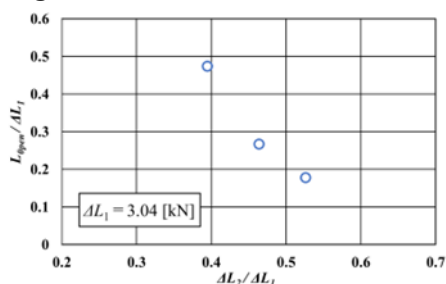


Fig.7 Crack opening load and constant amplitude load

### 4. き裂開口荷重の規則性

前章でき裂開口荷重 $L_{open}$ が得られた。図 7 に、単一過大荷重 $\Delta L_1$ で、き裂開口荷重 $L_{open}$ と定振幅荷重 $\Delta L_2$ を除いた値の関係を示す。定振幅荷重 $\Delta L_2$ が増加すると、き裂開口荷重 $L_{open}$ は減少する。

### 5. 単一過大荷重負荷後の疲労寿命の推定

単一過大荷重負荷後の定振幅荷重 $\Delta L_2$ の最小荷重値とき裂開口荷重 $L_{open}$ の関係で、有効荷重範囲 $\Delta L_{eff}$ が異なる。き裂開口荷重 $L_{open}$ の値が定振幅荷重の最小荷重値に比べて小さい場合、 $\Delta L_2$ の範囲が有効荷重範囲となる。対して、き裂開口荷重 $L_{open}$ の値が $\Delta L_2$ の最小荷重値に比べて大きい場合、 $\Delta L_2$ の最大荷重値を $L_{2max}$ として、有効荷重範囲 $\Delta L_{eff}$ は次式で表される。

$$\Delta L_{eff} = L_{2max} - \Delta L_{open} \quad (1)$$

この有効荷重範囲 $\Delta L_{eff}$ と、別途求めた引張せん断継手の S-N 曲線から、荷重比を考慮して単一過大荷重負荷後の疲労寿命 $N_{f,overload}$ を求め、実験値と比較して図 8 に示す。推定値は実験値とよく一致している。

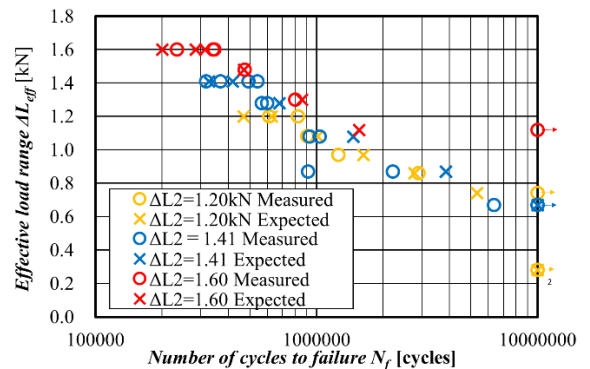


Fig.8 Estimated fatigue life after a single overloaded load

### 6. 結言

SFPC590 を母材とするスポット溶接した引張せん断継手について、単一過大荷重が疲労寿命に及ぼす影響およびき裂開口現象の存在を実験的に調査した。

- (1) 単一過大荷重有無の疲労寿命比と荷重比から、き裂開口荷重 $L_{open}$ を得ることができた。
- (2) 定振幅荷重の増加に伴い、き裂開口荷重は減少する。
- (3) き裂開口荷重から求めた有効荷重範囲と S-N 曲線から、単一荷重負荷後の疲労寿命を推定し、実験値と一致することを確認した。

### 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) 田代世傑:「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」, 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修士論文要旨集, 2021 年 3 月