

K-1

## スポット溶接した引張せん断継手の疲労寿命に与える単一過大荷重の影響

### Effect of Single Overload on Fatigue Life of Spot-Welded Tensile Shear Joints

○伊藤達也<sup>1</sup>, 岡部顕史<sup>2</sup>, 富岡昇<sup>2</sup>

\*Tatsuya Ito<sup>1</sup>, Akifumi Okabe<sup>2</sup>, Noboru Tomioka<sup>2</sup>

A single overload was applied to spot-welded tensile shear joints using 590 MPa class high-strength steel as the base metal, and the effect on fatigue life was investigated. When an overload range of 3.04kN was applied to a tensile shear joint, the fatigue limit doubled. A large bending deformation occurred near the nugget edge of the tensile shear joint due to a single overload, resulting in large compressive residual strain on the inner surface. This is the reason for the improvement of the fatigue limit. In the case of a constant amplitude load range of 1.60kN, a single overload increased the crack initiation life by 5 times and the crack propagation life by 2 times.

#### 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。スポット溶接の疲労特性を把握することは、疲労強度の的確な評価を行うために必要不可欠である。

田代<sup>1</sup>は、590MPa級高張力鋼板を母材とする引張せん断継手を対象とし、単一過大荷重を1サイクル負荷した後、一定振幅荷重を繰り返し負荷して破断まで疲労試験を実施し、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た。その結果、単一過大荷重をある一定値を超えて与えると、疲労寿命は長くなることを示した。

これは単一過大荷重負荷によりスポット溶接継手の疲労限度向上が計れる可能性を示唆している。疲労限度が向上すれば、車体構造の一層の薄肉化・軽量化に寄与できる。

本研究では、590MPa級高張力鋼板を母材とするスポット溶接した引張せん断継手を用いて、単一過大荷重による疲労限度向上の確認実験を行うとともに、その向上の要因について検討した。

#### 2. 実験方法

**2.1 単一過大荷重疲労試験** 試験片を図1に示す。供試材料はJSC590、板厚は1.0[mm]で、機械的性質と化学成分を表1、2に示す。スポット溶接条件は軟鋼板の標準条件に準じて設定した。荷重方法は、はじめに荷重範囲 $\Delta L_1=3.04\text{kN}$ （荷重比 $R=0.02$ 、3万回時間強度相当）の過大荷重を1サイクル負荷した後、種々の一定振幅荷重 $\Delta L_2$ を負荷して疲労試験を実施した（図2）。また、過大荷重無の一定振幅荷重疲労試験を行った。疲労試験は荷重制御、疲労寿命はき裂が圧痕径程度に成長した時とした。

**2.2 残留ひずみの測定** 単一過大荷重負荷による疲労寿命延命の要因として、疲労き裂が発生するナゲット端近傍の接合面に生じる圧縮残留応力が考えられる。引張せん断継手に荷重が作用するとナゲット及びその周辺に曲げ変形が起こるが、塑性変形を伴う大きな荷重が作用すると、除荷時にナゲット端接合面に大きな圧縮残留応力が生じる。曲げによって生じた材料表面の圧縮残留応力は疲労限度を向上させる<sup>2)</sup>。

接合面のひずみを測定するために、図3のようなラップ部の一部を切断した図1と同寸法の試験片を用意し、ナゲット中心から7mmの位置の内外表面に長

手方向に沿って単軸ひずみゲージを貼付した。

Table 1 Mechanical properties

YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EL (%)
465	641	27

Table 2 Chemical compositions (wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.02	1.90	0.016	0.002

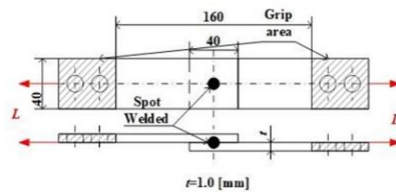


Fig.1 Fatigue test specimen

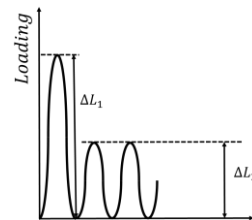


Fig.2 Single overload fatigue test loading type

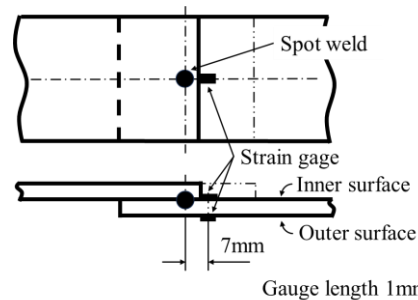


Fig.3 Strain gauge attached to specimen

#### 3. 単一過大荷重疲労試験結果

図4は図1および図3の試験片による単一過大荷重疲労試験結果を過大荷重無の結果と比較したものである。定振幅荷重 $\Delta L_2$ が約2.0kN以下になると、過大荷重有の疲労寿命が無の寿命に比して長くなる。一方、2.0kN以上では過大荷重による顕著な影響が見られな

い. 過大荷重無の疲労限度は 0.70kN, 過大荷重有の疲労限度は 1.40kN で, 3.04kN の単一過大荷重を負荷により疲労限度は 2 倍に向上した.

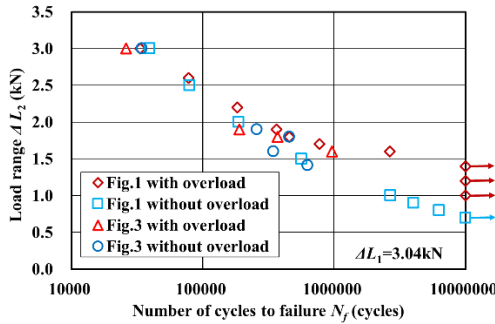


Fig.4 Comparison of fatigue test results with and without overload

#### 4. ひずみ測定結果

図 5 は接合面に貼付したひずみの出力値と荷重の関係である. 以下の①~③の順で静的に負荷除荷した. ①一定振幅荷重範囲  $\Delta L_2=1.41\text{kN}$  の最大荷重 1.45kN までの負荷除荷(Before overload)②過大荷重範囲  $\Delta L_1=3.04\text{kN}$  の最大荷重 3.10kN までの負荷除荷(Overload)③1.45kN までの負荷除荷(After overload). ①の過程では, ひずみは荷重に比例してほぼ同一経路に沿って増減するが, 除荷後に若干の圧縮ひずみが生じた. ②の過程では, ①の除荷経路に沿ってひずみは増し, 1.45kN を超えると非線形な関係となる. 除荷時は荷重に比例して減少し, 除荷後大きな圧縮残留ひずみが生じた. ③の過程では, ②の除荷経路に沿ってひずみは増減した.

ひずみは板厚方向に線形分布すると仮定して, 接合面ひずみ  $\varepsilon_{in}$  と外表面ひずみ  $\varepsilon_{out}$  より, 以下のように軸ひずみ  $\varepsilon_a$  と曲げひずみ  $\varepsilon_b$  に分離した.

$$\varepsilon_a = (\varepsilon_{in} + \varepsilon_{out})/2, \varepsilon_b = (\varepsilon_{in} - \varepsilon_{out})/2 \quad (1)$$

その結果を図 6 に示す. 軸ひずみは上記の①②③の過程を通して荷重に比例しているが, 曲げひずみは図 5 と同様な傾向を示し, 除荷後の残留ひずみは曲げひずみが支配的であることが分かる. 引張せん断継手のナゲット付近で塑性変形を伴う大きな曲げ変形が起こり, このため圧縮残留ひずみが生じたと考えられる. 圧縮残留応力は疲労き裂の発生および進展を遅らせ, 結果として疲労寿命を延命するとの報告がある<sup>2)</sup>. 図 4 に示した過大荷重による疲労寿命の延命もこれが要因と考えられる.

引張せん断継手の疲労試験中にひずみの推移を破断まで計測した結果が図 7 である. 図中のひずみは荷重範囲の最大最小荷重相当のひずみである. 図中の 0.00kN のひずみは除荷後の残留ひずみである. ひずみの出力値はき裂が発生するまではほぼ一定, き裂が発生すると大きく変化する. この転換点の繰り返し数がき裂発生寿命と考えられる. 荷重範囲 3.04kN では, ひずみの推移は過大荷重有無に顕著な差は見られない. 一方, 荷重範囲 1.60kN では, 両者のひずみ分布

に明確な差がみられ, 単一過大荷重の負荷によってき裂発生寿命は約 5 万サイクルから 40 万サイクル, 進展寿命は約 25 万サイクルから 50 万サイクルへと大きく延び, 発生寿命は 5 倍, 進展寿命は 2 倍となった.

#### 5. 結論

590MPa 級高張力鋼板を母材とするスポット溶接した引張せん断継手の単一過大荷重を負荷し, 疲労寿命に与える影響を調べた. 主な結論は以下の通りである.

- (1) 引張せん断継手に単一過大荷重範囲 3.04kN を負荷すると, 疲労限度は 2 倍となった.
- (2) 引張せん断継手のナゲット端付近には単一過大荷重負荷により大きな曲げ変形が生じ, その結果接合面に大きな圧縮残留ひずみが生じた. これが疲労限度向上の要因である.
- (3) 定振幅荷重範囲 1.60kN の場合, 単一過大荷重負荷によりき裂発生寿命が 5 倍, 進展寿命が 2 倍となった.

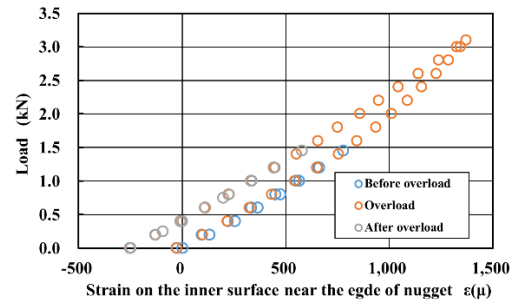
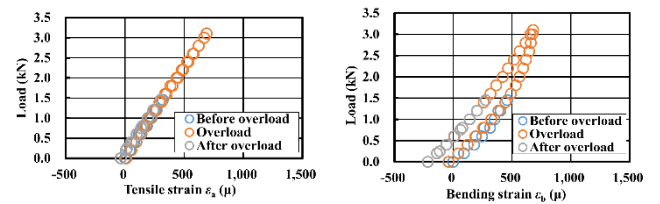
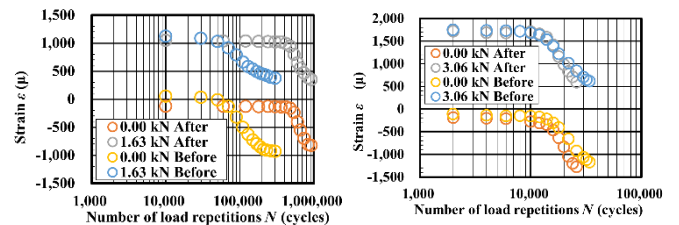


Fig.5 Relationship between load and strain on inner surface



(a) Axial strain (b) Bending strain

Fig.6 Axial strain and bending strain



(a)  $\Delta L_2=1.60\text{kN}$  (b)  $\Delta L_2=3.04\text{kN}$

Fig.7 Variation of strain with number of load cycles

#### 参考文献

- 1) 田代世傑, 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
- 2) 北条恵司他3名, 日本機械学会論文集(A編)78巻793号, pp.1266-1274, (2012-9)