

スポット溶接継手の疲労強度に及ぼすナゲット径の影響

Effect of Nugget Diameter on Fatigue Strength of Spot-Welded Joints

○河田涼平¹ 栗原徹¹ 高須健史² 富岡昇³ 岡部顕史³

*Ryohei Kawata Toru Kurihara Takeshi Takasu Noboru Tomioka Akifumi Okabe

In this study, the specimen of fatigue testing to which the diameter of a nugget was changed was created, and fatigue testing was carried out and investigated about the influence for each diameter of a nugget. Additionally, the sensitivity of the diameter of a nugget to the nominal structural stress in the spot weld was analyzed, and knowledge with an experiment was verified. The main result was as follows. A fatigue life becomes long as the diameter of a nugget becomes large, in the case where tensile shear mainly works, a sensitivity analysis and fatigue testing found that there was no effect of the diameter of a nugget on standard deviations of fatigue life.

1. 緒言

スポット溶接は車体構造の多くの部位で用いられている重要な締結要素であり、車体構造全体の耐久性はスポット溶接部の耐久性に大きく依存している。板厚やナゲット径など幾何学的寸法のばらつきに対してロバストなスポット溶接構造設計が望まれるが、それにはばらつき要因が疲労強度に及ぼす影響を明らかにすることが求められる。

本研究では、ばらつき要因の中でスポット溶接部の疲労強度に及ぼす影響が最も大きいナゲット径に着目した。スポット溶接部の公称構造応力に対するナゲット径の感度解析を行ない、せん断荷重が主として働く場合のナゲット径の感度を明らかにした。また、ナゲット径を変化させて疲労試験片を作成し、ナゲット径ごとの疲労寿命への影響を引張りせん断疲労試験の実施後、ナゲット径ごとに疲労寿命の標準偏差の推定値を算出し、解析との知見を検証した。

2. 公称構造応力に対するナゲット径の感度解析

図 1 はスポット溶接継手の公称構造応力を求めるために提案された解析モデル³⁾である。これは中央にナゲット径に相当する直径 d の円形部を持つ円板で、その外周を変位完全拘束し、ナゲットには分担荷重（はく離荷重 F_z 、曲げモーメント M_x, M_y 、せん断力 F_x, F_y 、ねじりモーメント M_z ）が作用する。今回はせん断力 F_x 、曲げモーメント $M_y (=F_x/2)$ のみを作用させ実際の引張せん断疲労試験に近い荷重条件の下で解析を行なった。

板の弾性理論に基づいて応力解析を行い、スポット溶接部の公称構造応力 σ_{rs} を求め、 σ_{rs} に対するナゲット径 d の感度を解析した。

せん断力に対する公称構造応力 σ_{rs} は、

$$\sigma_{rs} = -C_{rs} (F_x \cos \theta + F_y \sin \theta)$$

$$C_{rs} = \left[\frac{3+\nu}{2} - \frac{1+\nu}{2} \frac{(1+\nu)^2}{2(3-\nu)} \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right] \frac{1}{\pi d t^2}$$

となる。

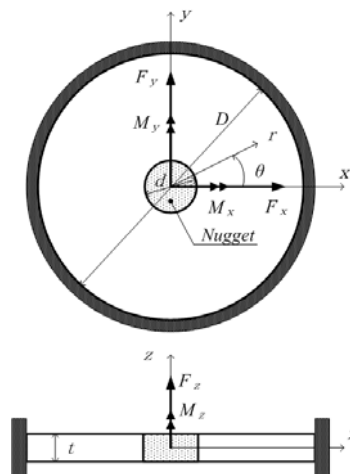


Fig 1. Circular plate completely fixed at the outer circle

σ_{rs} に対するナゲット径 d の感度は、変動を基準値に対する割合とするために基準値で標準化し、感度 S を用いて次のように表現すると、

$$\frac{d\sigma_{rs}}{\sigma_{rs}} = \left[\frac{\partial \sigma_{rs}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{rs}} \right] \frac{dd}{d} = S_d^{\sigma_{rs}} \frac{dd}{d}$$

$$S_d^{\sigma_{rs}} = \frac{\partial \sigma_{rs}}{\partial d} \frac{d}{\sigma_{rs}} = -1 - \frac{\left[\frac{(1+\nu)^2}{3-\nu} + 2 \left\{ \frac{1+\nu}{2} - \frac{(1+\nu)^2}{2(3-\nu)} \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right\} \frac{1}{1+\left(\frac{d}{D}\right)^2} \right] \left(\frac{d}{D}\right)^2}{\frac{3+\nu}{2} \left[\frac{1+\nu}{2} - \frac{(1+\nu)^2}{2(3-\nu)} \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right] \frac{1}{1+\left(\frac{d}{D}\right)^2}}$$

となり、これらの感度はナゲット径 d と円板直径 D の比の関数となっている。感度の値を計算すると図 2 のようになる。

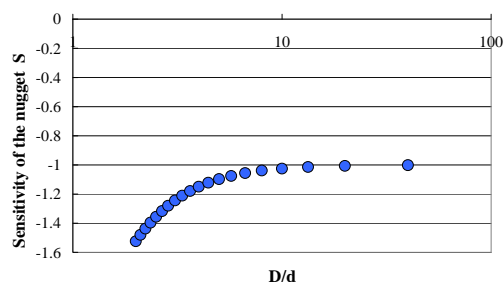


Fig 2. Sensitivity of nugget-D/d

3. 疲労試験

3. 1. 試験概要

感度解析の結果から D/d が一定の割合になると、感度が増えにくくなることがわかった。そこで、せん断荷重が主となる場合においてナゲット径の大きさを変えた際にどのような影響が生じるか引張せん断疲労試験を実施し、調査した。スポット溶接に用いた電極はC型で、ナゲット径の違いを見るためにその電極先端部の直径 ϕd を 4, 6, 8mm と変えた (図 3)。

供試材料は冷延圧延鋼板 SPCE で、板厚は 1.0 mm である。スポット溶接条件は軟鋼板 1 mm の標準スポット溶接条件を基準とし、圧痕部に生じる圧縮応力が一定となるように電極先端径に応じ加圧力を調整し、チリ発生直前の溶接電流を最適条件とした (表 1)。それぞれの条件の下でのナゲット径をカードノギスで 4 箇所測定し、その平均値を求めた。また、最大-最小の幅を平均値との割合からナゲット径ごとに算出した (図 4)。

疲労試験は荷重制御で行い、完全片振り ($R=0.02$) とした。疲労寿命は疲労き裂がナゲット端の内部から発生し板外表面に現れ、ナゲット径程度に成長した時とした。

3. 2. 疲労試験

引張せん断疲労試験結果を図 5 に示す。ナゲット径が大きくなるにつれて疲労寿命は長くなり、スポット溶接継手の疲労強度がナゲット径の大きさに強く依存することが分かる。

この疲労試験結果を下に荷重、破断回数を両対数に取り、全ての数値の回帰曲線から疲労寿命の標準偏差の推定値をナゲット径ごとに算出し、比較を行なった。標準偏差の推定値を図 6 に、ナゲット径ごとの感度と応力の変化量の割合と標準偏差の推定値を表 2 に示す。

4. 結論

スポット溶接部の公称構造応力に対するナゲット径の感度解析を行い、引張せん断疲労試験を実施してその知見を検証した。主な結果を次に示す。

- (1) D/d の割合が大きくなると感度の変化量は少なくなり、感度が増えにくくなることがわかった。
- (2) ナゲット径を変化させると疲労寿命の長さに変化は見られたが、ナゲット径ごとの疲労寿命の標準偏差には大きな変化は見られなかった。

5. 参考文献

- (1) M. M.Rahman, et al : Fatigue Life Prediction of Spot-Welded Structures: A Finite Element Analysis Approach, European Journal of Scientific Research Vol.22No.3(2008),pp.444-456
- (2) 福本昌宏, 他 : 二点スポット溶接継手の疲労強度に及ぼすナゲット寸法の不均一性の影響, 日本機械学会論文集 (C 編) 53 巻 490 号 No. 86-1086B
- (3) 高橋雅之, 他 : CAE によるスポット溶接構造の「疲労寿命予測手法」の提案, 社団法人 自動車技術会 No. 06-00 JSAE SYMPOSIUM p19-25

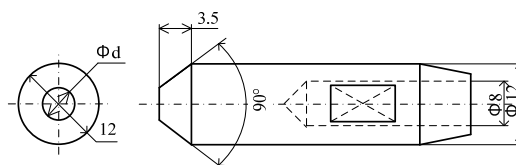


Fig 3. C Type electrode

Table 1. Welding conditions used

C type ϕd [mm]	Welding current [kA]	Electrode force [kN]	Weld time [cycle]
4	6.3	1.2	12
6	10.3	2.4	12
8	14.5	4.0	12

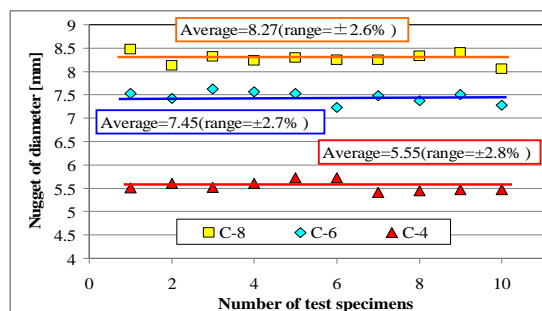


Fig 4. Electrode type and diameter of nugget

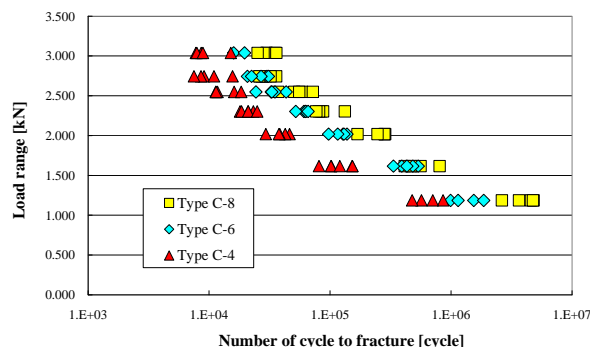


Fig 5. Load range-Number of cycle to fracture

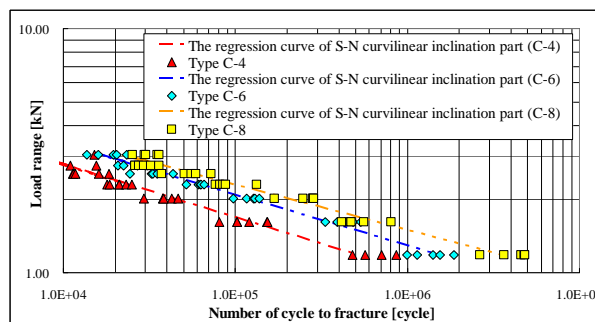


Fig 6 Estimator of standard deviation for tensile shear fatigue test

Table 2. Sensitivity and standard deviation

Electrode type	Sensitivity S	Change of stress [%]	Standard deviation σ (LogN)
C-4	-1.04	±2.91	0.116
C-6	-1.06	±2.86	0.089
C-8	-1.12	±2.86	0.124