

二段多重変動荷重振幅下のスポット溶接部の疲労寿命評価

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

高塚千尋¹, ○平岡直也¹, 吉田龍一¹, 清水啓祐², 富岡昇³, 岡部顕史³
 Chihiro Takatsuka¹, *Naoya Hiraoka¹, Ryuichi Yoshida¹, Keisuke Shimizu², Noboru Tomioka³, Akifumi Okabe³

In this paper, the possibility of fatigue life prediction of spot welds under multiple two steps variable load amplitude was investigated. The constant amplitude fatigue tests for the spot-welded tensile shear specimen were carried out and the results were arranged by using the nominal structural stress. As a result of prediction using Miner's rule, the fatigue life of spot-welded joint under two steps variable load amplitude could be estimated by Miner's rule considering the average load. Therefore, the nominal structural stress parameter showed the possibility of evaluating the fatigue life of spot welded joints under actual variable load.

1. 緒言

車体構造における耐久性問題は主にパネル部材, スポット溶接部, ボルト締結部が代表的だが, 中でもスポット溶接は車体構造の大多数の部位で用いられている重要な締結要素であり, 不具合の発生頻度も最も高いため, 車体の耐久性は, すなわちスポット溶接部の耐久性であるといえる. したがって, スポット溶接部の安定した耐久性の確保は重要課題である.

本研究では, 定荷重振幅下でのスポット溶接継手の疲労寿命を公称構造応力によって予測することにより, スポット溶接継手の疲労寿命評価パラメータとして用いることができることを示してきた.

本研究では, 定振幅疲労試験より求めた疲労試験データを公称構造応力で統合的に整理し, 公称構造応力を用いて変動荷重振幅下でのスポット溶接継手の疲労寿命が予測可能であるか検証する.

2. 疲労試験

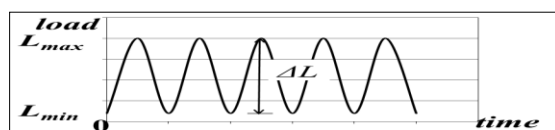
冷間圧延鋼板 SPCE, 板厚 1.0mm と 1.2mm のせん断荷重が主として作用する単点スポット溶接試験片を作成し, 定振幅・変動振幅疲労試験を実施する. 疲労試験は荷重制御で行い, 完全片振りとした. 疲労寿命は疲労亀裂がナゲット端の接合面から発生し板外表面に現れ, ナゲット径程度に成長した時とした.

スポット溶接に用いた電極は R 型で, 溶接条件を表 1 に示す.

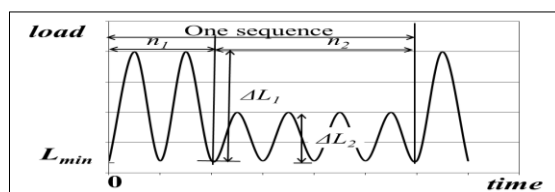
本研究では, 全て 50Hz の試験速度で疲労試験を行った. 荷重波形の模式図を図 1 に示す. 図 1(a)は定荷重振幅波形, 図 1(b)~(d)は二段多重変動荷重振幅波形を表し, (b)は下限荷重, (c)は平均荷重, (d)は上限荷重をそれぞれ合わせた. 二段変動荷重振幅の場合, 大きい方の荷重範囲を ΔL_1 , 小さい方の荷重範囲を ΔL_2 , 1シーケンス内の ΔL_1 , ΔL_2 の振幅数をそれぞれ n_1 , n_2 と表す.

Table1. Spot welding conditions used

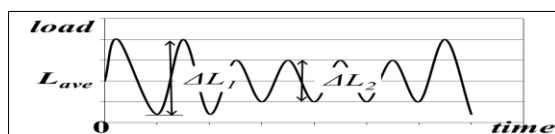
Sheet thickness t [mm]	Welding current [kA]	Electrode force [kN]	Weld time [cycle]
1.0	9.1	2.3	12
1.2	9.8	3.0	14



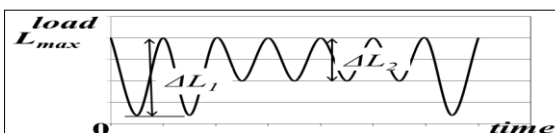
(a)Constant amplitude load waves (Type1)



(b)Constant minimum load waves (Type2)



(c)Constant average load waves (Type3)



(d)Constant maximum load waves (Type4)

Fig1. Repeating Load waves used for fatigue test

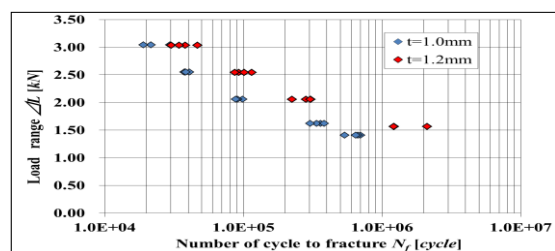


Fig2. Load range-Number of cycle to fracture

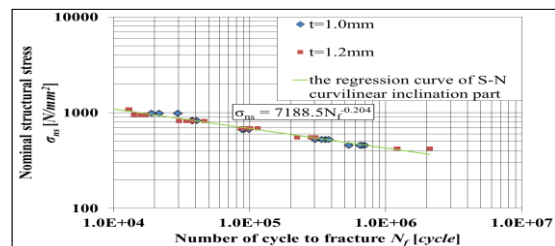


Fig3. Nominal structural stress-Number of cycle to fracture

3. 疲労試験結果

3.1. 定荷重振幅疲労試験結果

定荷重振幅疲労試験（荷重比 $R=0.02$ ）の結果を図 2 に示す。これをナゲット端に発生する最大主応力である公称構造応力で整理し図 3 に示す。板厚の異なる疲労データは統一的に整理されている。

3.2. 変動荷重振幅疲労試験結果

高荷重範囲 $\Delta L_1=2.06kN$ の振幅数 n_1 を 1.0×10^2 回一定とし、低荷重範囲 $\Delta L_2=1.41kN$ の振幅数 n_2 を 1.0×10^2 , 1.0×10^3 , 1.0×10^4 , 1.0×10^5 , 1.0×10^6 回と変え、低荷重振幅数 n_2 と疲労寿命との関係を探ると図 4 となる。図 4(a) の下限荷重を一定とした変動荷重振幅では、 $n_2=1.0 \times 10^4$ 回 ($n_2/n_1=100$) までは、低荷重振幅数 n_2 の増加に伴い疲労寿命も増大するがそれ以上では寿命はほぼ一定である。図 4 (b) の平均荷重一定、図 4 (c) の上限荷重一定の場合も同様な傾向が見られる。

図 3 に示す公称構造応力で整理した定荷重振幅疲労試験結果をもとに、マイナー則を用いて疲労寿命を予測した値を図 4 に示す。図 4(a) の下限荷重を一定にした変動荷重振幅の場合、マイナー則による疲労寿命推定値と実験値とがよく一致したことから、マイナー側によって下限荷重を一定とした二段多重変動荷重振幅下の疲労寿命を精度良く推定することが可能であると言える。

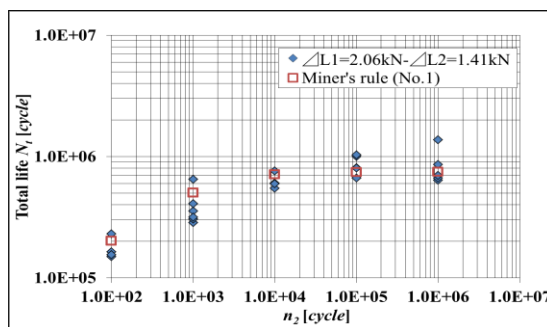
一方、平均荷重を一定した図 4(b) と上限荷重を一定とした図 4(c) ではマイナー則による推定値は実測値よりも長寿命となっている。これは、図 4(b)(c) の低荷重範囲 $\Delta L_2=1.41kN$ の平均荷重はそれぞれ $1.07kN$, $1.39kN$ であるのに対し、図 2 の定荷重振幅疲労寿命線図における $\Delta L=\Delta L_2$ の平均荷重 $0.73kN$ より高いためである。

定荷重振幅疲労試験において荷重振幅 ΔL が同じでも平均荷重により疲労寿命は変わる。そこで、平均荷重は $1.07kN$, $1.39kN$ とし荷重範囲 $\Delta L=1.41kN$ の定振幅荷重疲労試験を行った。この結果を表 2 に示す。平均荷重が高くなるに伴い疲労寿命は短くなっている。これらの値を用いてマイナー則による変動荷重振幅の疲労寿命推定を行い、その結果を図 4(b)(c) に示す。推定値は実測値と良い対応を示している。

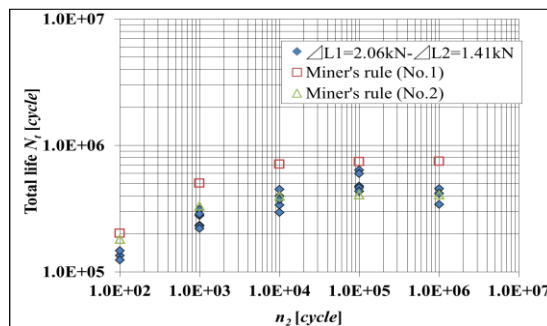
以上より、二段多重変動荷重振幅の疲労寿命は、定荷重振幅の疲労寿命線図をもとに、平均荷重を考慮したマイナー則より寿命推定が可能といえる。

4. 結言

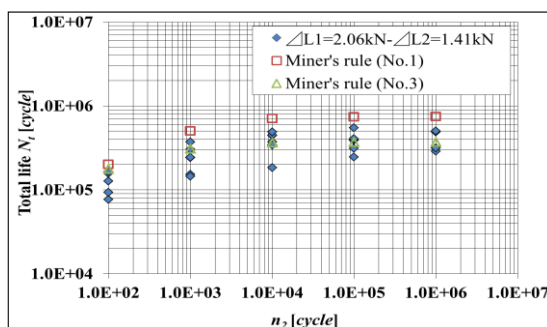
定振幅疲労試験データを公称構造応力で整理し、これをもとにマイナー則を用いて、二段多重変動荷重振幅下でのスポット溶接部の疲労寿命の予測可能性を検討した。その結果、二段多重変動荷重振幅の疲労寿命は、公称構造応力で整理した定荷重振幅の疲労寿命線図をもとに、平均荷重を考慮してマイナー則より推定できることが明らかとなった。公称構造応力の実働荷重下のスポット溶接継手の疲労寿命評価パラメータとしての可能性が示唆された。



(a) Constant minimum load waves (Type2)



(b) Constant average load waves (Type3)



(c) Constant maximum load waves (Type4)

Fig4. Variable load amplitude fatigue test results

Table2. Number of cycle to fracture under constant load amplitude varying averaged load

No.	L_{max} [kN]	L_{min} [kN]	L_{ave} [kN]	R [-]	Average N_f [cycle]
1	1.44	0.03	0.73	0.02	746638
2	1.78	0.37	1.07	0.21	406566
3	2.10	0.69	1.39	0.33	372054

5. 参考文献

- (1) 阿部博司ほか, 溶接学会論文集, 第 11 巻(1993) 第 2 号, pp.313-319
- (2) 岡部顕史, 富岡昇, 金子恒昭, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.6, pp.145-150(2005)