

IV-399

レール溶接部の曲げ疲労試験

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 溝田敏夫

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 阿部則次

(財)鉄道総合技術研究所 若月 修

1. まえがき

一般的にロングレール区間におけるレール寿命は、接触疲労傷を除くと、溶接部の寿命で決定される。これまで、レール溶接部の寿命評価は、溶接部自体の疲労強度に溶接部に作用する内力を考慮して行われてきた¹⁾が、溶接部自身の疲労強度として、現在日本で使用されている4種類の溶接部のうち、最も疲労強度が低いとされているゴールドサミット溶接部（以下、「GSW」と称す。）のSN曲線が用いられていた。そのため、レール寿命が過小評価され、必ずしも経済的なレール寿命評価となっていなかった。そこで、より適正なレール寿命評価を可能にするため、現状、疲労強度が未解明であったエンクローズアーク溶接、ガス圧接、フラッシュバット溶接部（以下、「EAW」、「GPW」、「FBW」と称す。）の曲げ疲労試験を行った。ここでは、試験方法、試験結果の取扱いおよび各溶接部のSN曲線解析法について述べる。

2. 試験方法

レール曲げ疲労試験機に、図1に示す状態に溶接部を中心にスパン1,300mmの試験片を据え付け、片振り曲げ疲労試験を行った。なお、本試験では溶接部底部の曲げ引張応力が広範囲で一定となるように、荷重点間隔150mmの4点曲げとし、また、荷重点および支点でのフレットング疲労を防止するため、各接点は回転可能なローラーとしている。試験条件を表1に示す。

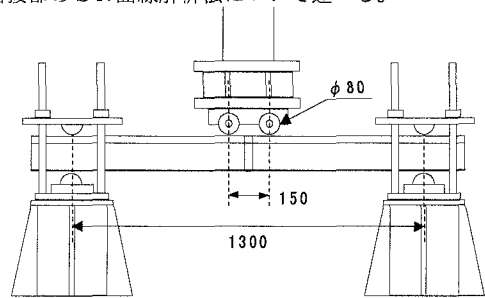


図1 試験状態図

3. 試験結果の検討

本試験は試験片のばたつきを抑えるため、最小荷重41.4kN（底部応力換算 30N/mm^2 ）を載荷した片振り試験であったが、実際のレール溶接部は、荷重0kNからの片振り状態である。そこで、試験結果を実状に適應させるため、図2に示す算定式により修正を行った。また、破断した試験片のうち、フレットング疲労によるものは未破断として取扱った。

表1 試験条件

項 目	
試験方法	片振り曲げ
最小荷重	41.4kN
環 境	常温、大気中
速 度	2.0~5.0Hz

$$\sigma_{N0} = \frac{\sigma_{N1}}{\sigma_1 - \sigma_{min}} \sigma_1$$

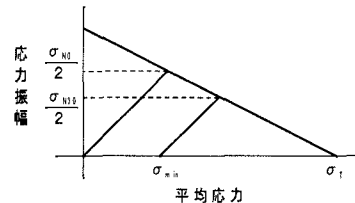
 σ_{N0} : 繰返し回数Nでの疲労強度（修正値） σ_{N50} : 繰返し回数Nでの疲労強度（試験値） σ_1 : 真破断強度EAW:1048, GPW:1110, FBW:986(N/mm²) σ_{min} : 試験時最低応力 (30N/mm²)

図2 修正計算方法

キーワード：ロングレール、溶接部、小標本プロビット法、疲労

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-28

Tel:042-573-7275 Fax:042-573-7432

4. 各種溶接部のSN曲線の推定

上記の試験結果を、多重中途打ち切り順序統計¹⁾の概念を用いた小標本重み付きプロビット法により解析した。なお、解析に際し、各種溶接部の破断強度に相当するデータを10本分考慮するとともに、各繰返し回数における疲労強度は変動係数一定の正規分布とみなした。また、SN曲線の推定は、曲線が疲労強度の最小の点を必ず通るという条件の下、重み付き最小二乗法により、マイナー則に適用した曲線に当てはめた。解析の流れを図3に示す。以上の解析の結果から求めた、各種溶接部のSN曲線を表2および図4に示す。この結果、EAW、GPWおよびFBWは、従来考えられていたとおり、GSWに比べ疲労強度が大きく、疲労限度で1.6～1.9倍程度であることが明らかとなった。

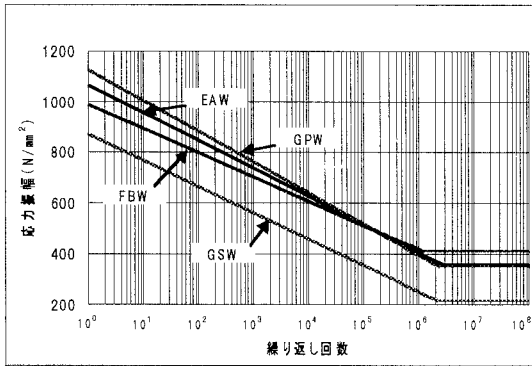


図4 各種溶接部SN曲線

① 変動係数一定として、各繰返し回数における時間強度を推定

$$\hat{S}_n = \frac{\sum w S^2}{v \sum w u S + \sum w S} \quad (1) \quad w = \frac{n Z^2}{P(1-P)} \quad (2)$$

$\hat{S}_n$: 時間強度の推定値
 u : 時間強度の正規偏差
 S : 試験における時間強度
 w : 試験に伴う誤差を考慮した重み
 P : u における確率(計算値)
 Z : u における確率密度

② 下記の(3)式により正規偏差を修正しながら(1)式を計算し、もっとも確からしい時間強度を決定

$$u = u_0 + \frac{p - P(u_0)}{Z(u_0)} \quad (3)$$

u_0 : 前回計算時における時間強度の正規偏差
 p : 多重中途打ち切り順序統計の概念を適用した、試験における各繰返し回数での破壊確率

③ 上記の繰返し計算により決定された各繰返し回数における時間強度をマイナー則に適用した曲線に当てはめ、(4)式の V が最小となるようなSN曲線を決定

$$V = \sum w (\hat{S}_n - y)^2 \quad (4)$$

V : 重み付き残差平方和
 w : 時間強度のばらつきを考慮した重み
 y : マイナー則に適用した曲線

図3 解析の流れ

表2 各種溶接部の推定SN曲線

溶接種別	推定SN曲線	折点回数 (回)	疲労限度 (N/mm ²)	変動係数
EAW	$Y = -110 \log X + 1065.0$	2.7×10^4	357.5	0.06
GPW	$Y = -122 \log X + 1127.1$	2.3×10^4	351.0	0.07
FBW	$Y = -95 \log X + 988.1$	1.2×10^4	410.6	0.07
GSW	$Y = -103 \log X + 869.2$	2.1×10^4	218.0	0.07

5. 結論

一連の試験により、各種溶接部のSN曲線が明らかとなった。その結果、EAW、GPWおよびFBWは、従来考えられていたとおり、GSWに比べ疲労強度が大きく、疲労限度で1.6～1.9倍程度であることが明らかとなった。今後は、この結果を従来のレール寿命予測シミュレーションに組み込み、より経済的なロングレール寿命評価を行う予定である。

(参考文献)

- 1): レール溶接部曲げ疲労に与える軸力の影響、第51回土木学会年次講演会IV-267、1996-9
- 2): 小標本疲労データの統計解析、日本機械学会論文集、46-412