

面外ガセット溶接継手ルート破壊の疲労強度評価法の検討

法政大学大学院 正会員 ○谷口 哲憲 法政大学 フェロー会員 森 猛
東日本旅客鉄道株式会社 遠藤 健太

1. はじめに

桁形式の鋼橋の横部材や水平補剛材の主桁ウェブへの接合に用いられる面外ガセット溶接継手の止端部にグラインダ処理を施すと、溶接ルートから疲労破壊が生じることがある。本研究では、ルート破壊した疲労試験データを収集し、それらの FE 解析を行った上で、面外ガセット溶接継手がルート破壊する場合の適切な照査応力とそれに基づいた疲労強度について検討し、疲労強度評価法を提示する。

表 1 収集した試験体の各寸法

試験体No.	板厚 t(mm)	主板側脚長 S _m (mm)	ガセット側脚長 S _g (mm)	溶け込み深さ (mm)
1	12	13.0	8.2	0.0
2	12	13.0	8.6	0.0
3	12	10.1	9.3	21.6
4	12	10.1	10.5	16.8
5	10	13.6	10.2	7.3
6	10	14.8	12.4	8.1
7	12	10.8	8.2	0.0
8	30	7.5	5.0	0.0
9	30	6.6	5.1	0.0
10	30	7.5	5.6	0.0
11	30	12.6	7.6	0.0
12	16	10.2	9.6	0.0
F-AW	10	7.5	8.2	2.4
F-LS	10	14.0	12.9	1.5

2. ルート破壊の疲労照査応力の検討

面外ガセット溶接継手がルート破壊する場合の疲労試験データを、文献調査から、16 の試験体シリーズ、計 60 収集した。試験体シリーズごとの各寸法を表 1 に示す。

著者らは昨年度の発表において、疲労照査応力としてルート先端から長手方向に 2mm 離れた位置の応力が適切であると示し、その際の疲労強度を E 等級とする疲労強度評価法を提案した(図 1)。この応力で整理した場合、主板公称応力、ホットスポット応力に比べて疲労試験データのばらつきが小さくなるという結果も示した。しかし、2mm 離れた位置の応力を疲労照査に用いる物理的根拠はない。

ここでは照査応力として有効切欠き応力を考え、それをを用いて疲労試験データを整理した。その結果を図 2 に示す。図 2 に示す疲労試験データは、図 1 よりもばらつきが大きい。有効切欠き応力はき裂発生点の応力を表すものであり、疲労強度は疲労き裂が進展する断面での応力分布にも影響されることから、応力勾配ごとにデータのマークを変えて整理してみた。その結果を図 3 に示す。応力勾配の算出には、き裂発生位置と、き裂発生位置から深さ 1mm 位置での応力を用いている。応力勾配が大きい試験体のデータほど上に位置する傾向がみられる。したがって、有効切欠き応力だけでなく応力勾配も考慮した疲労照査応力を用いれば適切な疲労強度評価が行えるとも考えられる。

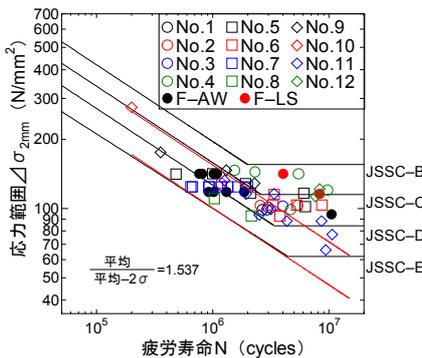


図 1 Δσ-N 関係 (参照点応力)

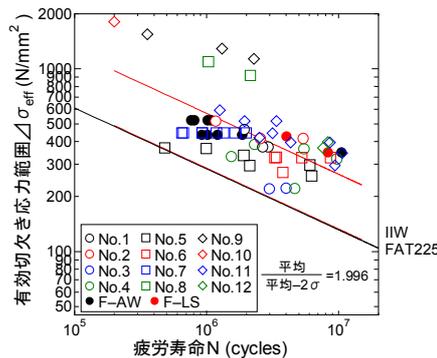


図 2 Δσ-N 関係 (有効切欠き応力)

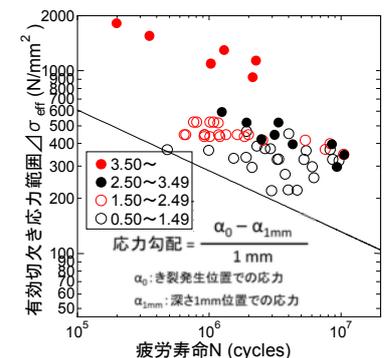


図 3 応力勾配ごとに整理した結果

3. ルート破壊の疲労強度評価法の検討

一般に切欠きを有する材料の疲労限は切欠き係数β(平滑材の疲労限σ_w/切欠き材の疲労限σ_{wk})で評価される。Siebel は、β が応力集中係数αと応力勾配χの関数で与えられるとしている。すなわち、α/β が応力勾配χの関数で与えられるとしている。ここでは、応力集中係数αをσ_{eff}/σ_n(σ_{eff}:有効切欠き応力, σ_n:主板の

キーワード : 面外ガセット, 疲労き裂, ルート破壊, 有効切欠き応力, 応力勾配

連絡先 : 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学大学院 鋼構造研究室 TEL 042-387-6287

公称応力)と定義し、 β を応力集中による疲労限の低下だけではなく、時間疲労強度の低下(疲労強度減少係数)にも適用できると仮定する。国際溶接学会 IIW には $\Delta\sigma_{eff}$ を照査応力とした場合の疲労強度(200万回疲労強度 225N/mm^2)が示されており、それを平滑材の疲労強度とみなせば、 α/β は式(1)で与えられる(図4)。各試験体の α/β と応力勾配の関係を示す。応力勾配 χ に対する α/β の回帰直線も図中に示している。

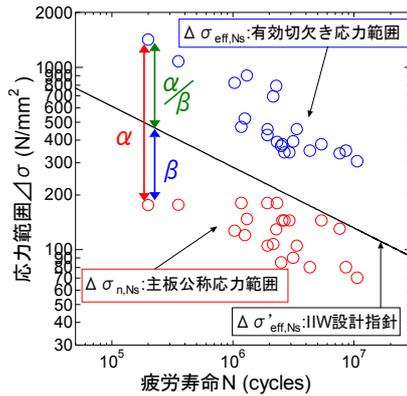


図4 α/β 算出の模式図

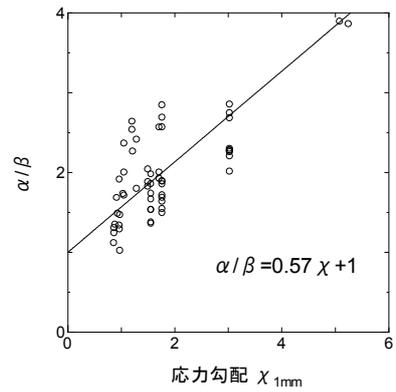


図5 α/β と χ の関係

$$\beta = \frac{\Delta\sigma'_{eff, N_S}}{\Delta\sigma_{n, N_S}} \quad \alpha = \frac{\Delta\sigma_{eff, N_S}}{\Delta\sigma_{n, N_S}} \quad \alpha/\beta = \frac{\Delta\sigma_{eff, N_S}}{\Delta\sigma'_{eff, N_S}} \quad (1)$$

$$\alpha/\beta = 0.57\chi + 1 \Leftrightarrow \beta = \frac{\alpha}{0.57\chi + 1} \quad (2)$$

式(2)を用いて $\beta \cdot \Delta\sigma$ (修正応力範囲, $\Delta\sigma$:主板の公称応力範囲)を求め、それを用いて疲労試験データを整理した結果を図6に示す。疲労試験データのばらつきは小さく、IIW 疲労設計曲線がデータのほぼ中央に位置している。なお、応力勾配 χ と応力集中係数 α とはほぼ直線関係にあり、 β は α を用いて以下の式で表示できることを確かめた。

$$\chi = 0.61\alpha - 0.07 \quad (3) \quad \beta = \frac{\alpha}{0.348\alpha + 0.960} \quad (4)$$

4. 応力集中係数 α の算定式の検討

基準モデルの応力集中係数を基準として各パラメータの影響を基準モデルでの応力集中係数に乗じることにより算定式を構築するため、FEMによるパラメータ解析を行い、各パラメータの影響を次のように定式化した。表2に各パラメータの値を示す。ゴチックの数値(赤文字)が基本モデルの寸法を示している。

$$F_s = 0.617(S/t_m)^2 - 1.905(S/t_m) + 1.948 \quad (5)$$

$$F_{P_{wl}} = -0.305\log(P_{wl}/t_m) + 0.524 \quad (6)$$

$$F_{P_{wt}} = -0.161(P_{wt}/t_m)^2 - 0.046(P_{wt}/t_m) + 0.996 \quad (7)$$

$$F_{t_m} = -0.052(t_m/10)^2 + 0.359(t_m/10) + 0.700 \quad (8)$$

$$F_{t_g} = 0.048(t_g/t_m) + 0.902 \quad (9)$$

$$F_{wr} = 0.116wr + 0.902 \quad (0.5 \leq wr < 1) \quad (10)$$

$$F_{wr} = 0.220wr^2 - 0.948wr + 1.728 \quad (1 < wr \leq 2) \quad (11)$$

$$\alpha = F_s \times F_{P_{wl}} \times F_{P_{wt}} \times F_{t_m} \times F_{t_g} \times F_{wr} \times \alpha_{st} \quad (12)$$

α_{st} : 基準モデルの応力集中係数 (4.03)

式(12)と式(4)を用いて疲労試験データを整理した結果を図7に示す。

5. まとめ

面外ガセット溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度評価は式(12)から求めた α を用いて、照査応力範囲を(公称応力範囲) $\times \beta$ (式(4))とし、200万回疲労強度 130N/mm^2 の疲労設計曲線を用いることを提案する。

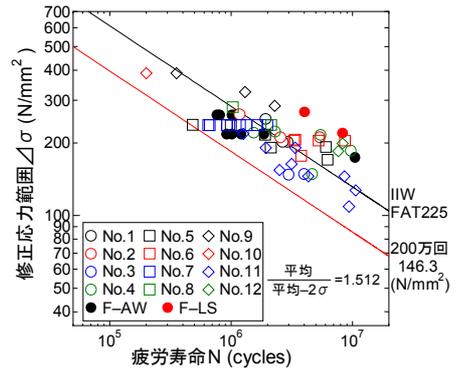


図6 $\Delta\sigma$ -N関係(β 補正後)

表2 各パラメータの設定値

パラメータ	設定した数値
溶接サイズS(mm)	4.5、6.0、9.0、12.0、15.0
長手方向溶け込み量 P_{wl} (mm)	0、0.5、2.5、5.0、10.0、 15.0、20.0、30.0、40.0
軸方向溶け込み量 P_{wt} (mm)	0、4.0、10.0、12.0、14.0
板厚 t_m (mm)	10.0、16.0、24.0、36.0
ガセット厚 t_g (mm)	10.0、16.0、20.0、24.0
溶接脚長比wr = S_m (主板側脚長)/ S_g (ガセット側脚長)	6/12、6/9、6/6、9/6、12/6

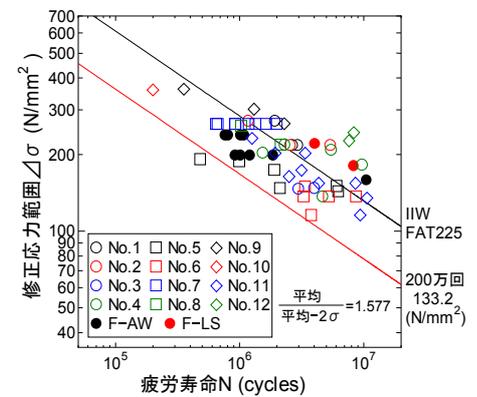


図7 $\Delta\sigma$ -N関係(α_{cf} を使用)