

面内ガセット溶接継手の長寿命疲労試験

名城大学 正 近藤明雅 ○ 平子浩士
名城大学 荻田泰司 島田信行 辻 寛太

1. まえがき

多くの鋼構造物の中において、橋梁、航空機、船舶およびクレーンガーターなどの構造物は、多数回の繰返し荷重を受けるため、その耐久性には疲労設計が必要不可欠である。また道路橋においては、死荷重に対して活荷重が小さいという特徴から、極端に低応力側に偏った変動応力が生じていることが知られている。

本研究では、低応力範囲、長寿命領域における疲労挙動に着目し、面内ガセット溶接継手を用いて、一定振幅荷重疲労試験および変動振幅荷重疲労試験を行い、両者の試験結果の比較、検討を行ったものである。

2. 疲労試験体

ガセット溶接継手試験体の形状・寸法を図1、図2に示す。板幅 70 mm の GS 試験体と板幅 100 mm の GL 試験体および板幅 200 mm の GLL 試験体の3種類の試験体を使用した。鋼板を所定の寸法に機械加工した後、ガセットプレート（図1参照）を完全溶け込みレ型開先溶接により、主板の側面に取り付けた。溶接止端部は非仕上げとした。鋼材は GL, GS 試験体が JIS G 3106 SM520B GLL 試験体が JIS G 3106 SM490A で降伏点 σ_y はそれぞれ 402MPa、426MPa である。

3. 疲労試験

(a) 一定振幅荷重疲労試験 载荷容量 294kN の電気制御式疲労試験機を用いて下限応力 $\sigma_{min} \cong 10\text{MPa}$ 、約 10Hz の繰返し速度で試験を行った。荷重の偏心により試験体に不均一な応力が作用して試験結果に誤差が生じることを防ぐため、試験体の表裏に貼った 4 枚のひずみゲージが示す値の5%以下となるように試験を行った。

(b) 変動振幅疲労試験 実働荷重の実測データを統計的解析により確率モデルに置き換えることを想定して、確率分布に従う変動振幅荷重を用いて行った。本研究では、図3に示すデータ分布の確率分布に従い、低応力範囲側に偏った振幅荷重を用いた。図中、実線はベータ分布の確率密度を示し、ヒストグラムは、1000 波の正弦波の変動振幅荷重（変動応力範囲）の頻度分布であり、区間 0 から 1 までを 50 等分して示した。図中に 1000 の変動応力範囲のうち最大値、最小値および次式で得られる等価応力範囲（3 乗平均値 RMC）を示す。

$$\sigma_{r,eq} = \left(\frac{\sum n_i \cdot \sigma_{ri}^3}{\sum n_i} \right)^{1/3} \dots (1)$$

ここに、 $\sigma_{r,eq}$ は等価応力範囲、 σ_{ri} および n_i は 50 等分した各区間の応力範囲と繰返し回数である。

4. 疲労試験結果

一定振幅荷重疲労試験では、GS 試験体で 8 体、GL 試験体で 10 体、GLL 試験体で 8 体の合計 26 体試験を行った。疲労試験結果を図4に示す。図中の□印は GS 試験体、△印は GL 試験体、○

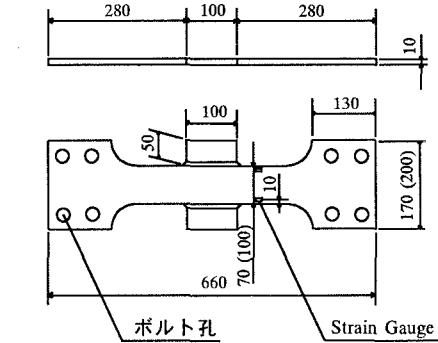


図1 ガセット溶接継手試験体 (GS, GL)

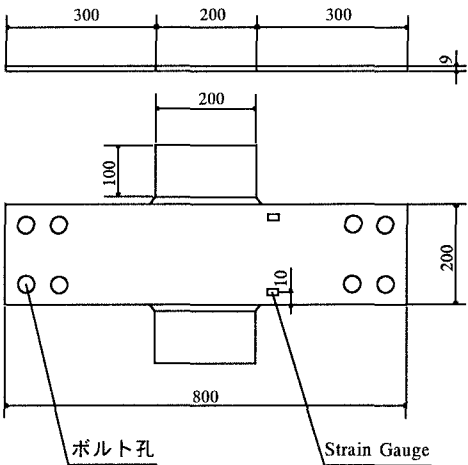


図2 ガセット溶接継手試験体 (GLL)

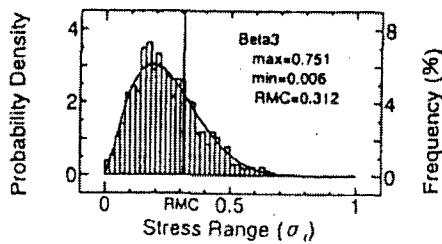


図3 変動振幅荷重の頻度分布

印は GLL 試験体を示す。GS 試験体では 8 体のうち 4 体が破断した。 $\sigma_r = 80\text{MPa}$ で試験した 4 体のうち 1 体が 393 万回で破断し、3 体が 1429 万回、1549 万回、2000 万回を越えても未破断であった。このことから、GS 試験体の疲労限は 80MPa 程度と思われる。GL 試験体は 9 体のうち 8 体が破断した。 $\sigma_r = 60\text{MPa}$ で試験した 3 体のうち 2 体が 549 万回と 514 万回で破断し、1 体が 1614 万回で未破断であったことから GL 試験体の疲労限は 60MPa 程度と思われる。GLL 試験体は 8 体のうち 7 体が破断した。 $\sigma_r = 26\text{MPa}$ と 24MPa で試験した 2 体はそれぞれ 1585 万回と 3863 万回で破断し、 $\sigma_r = 23\text{MPa}$ の 1 体は、5345 万回で未破断であり、疲労限は 23MPa 程度と思われる。試験体の板幅が広がるほど疲労限は低下するが、すべての実験結果は非仕上げのガセット溶接継手の設計 S-N 線図 JSSC-H より高い疲労強度となっている。実験値の 50 % 破壊確率に相当する S-N 線図から計算した 200 万回疲労強度は、GS 試験体で 91.0MPa、GL 試験体で 75.8MPa、GLL 試験体で 51.9MPa となった。すなわち、GL 試験体は、200 万回疲労強度が GS 試験体より約 18 % 低く、GLL 試験体は GS 試験体より約 43 % 低い結果となった。

変動振幅荷重疲労試験では、縦軸の応力範囲は式 (1) で求めた等価応力範囲を用いた。GS 試験体 16 体、GL 試験体 6 体、GLL 試験体 4 体の合計 26 体の試験を行った。疲労試験結果を図 5 に示す。GS 試験体は、16 体のうち 12 体が疲労破断した。 $\sigma_{r,eq} = 45\text{MPa}$ で試験した 3 体のうち 1 体が 2474 万回破断し、2 体が 3829 万回と 6741 万回を越えても未破断であった。したがって GS 試験体の 7000 万回程度の繰返し数における疲労限はおよそ 45MPa と思われる。しかしながら、変動振幅荷重が作用している場合、作用応力範囲の最大値が一定振幅荷重の疲労限より大きいときは、疲労き裂が発生・進展することが予想される。前述の $\sigma_{r,eq} = 45\text{MPa}$ で試験した未破断試験体に対して、さらに長期間の疲労試験を行えば、疲労破断することも考えられる。この荷重頻度分布が無限に繰り返されると、一定応力範囲の疲労限を越える応力範囲の数が多くなり破断に至る。 $\sigma_{r,max}$ は $\sigma_{r,eq}$ の約 2.41 倍であることから、無限大の繰返し数に対する理論上の疲労限は、 $\sigma_{r,eq} \div 2.41 \approx 33\text{MPa}$ 程度が $\sigma_{r,eq}$ で表したときの疲労限となる。GL 試験体は 6 体全てが破断した。このうち $\sigma_{r,eq} = 40\text{MPa}$ と 35MPa で試験した 2 体は 2524 万回と 6860 万回で破断した。GLL 試験体は 4 体全て破断した。 $\sigma_{r,eq} = 16\text{MPa}$ の 1 体は 8920 万回で破断した。無限大の繰返し数に対する疲労限を求めると、GL 試験体でおよそ 25MPa、GLL 試験体でおよそ 10MPa となる。図中の実線は、一定振幅荷重試験の 50 % 破壊確率線であり、GS、GL、GLL 各試験体の実験値はその延長線付近にプロットされている。

5. まとめ

(1) 一定振幅荷重による疲労試験結果から、200 万回疲労強度は GS 試験体の 91.0MPa に比べて GL 試験体は 18%、GLL 試験体は 43% 低い結果となった。しかしながら、すべての実験結果は非仕上げガセット溶接継手の設計 S-N 線図 JSSC-H より高い疲労強度となっている。

(2) 一定振幅荷重疲労試験の場合、疲労限は GS 試験体で 80MPa、GL 試験体で 60MPa、GLL 試験体で 23MPa となった。

(3) 低応力範囲側に偏った変動振幅荷重による疲労試験結果は、一定振幅荷重試験結果の 50 % 確率線の延長線付近にプロットされている。変動振幅荷重下においても、一定振幅荷重の場合と同様に実験結果は設計 S-N 線図 JSSC-H より高い疲労強度となっている。

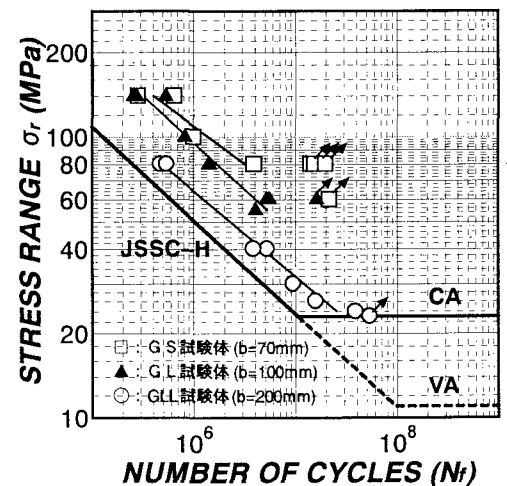


図 4 一定振幅荷重疲労強度試験結果

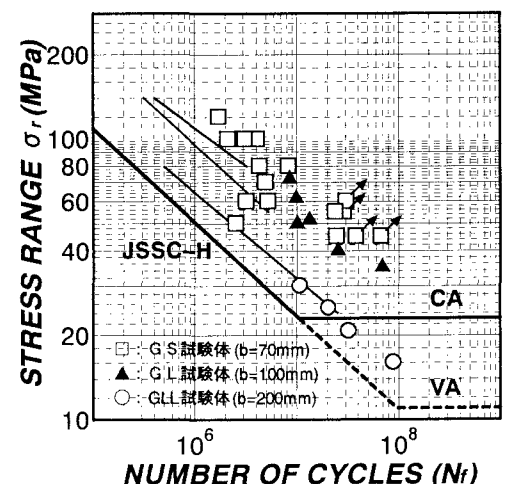


図 5 変動振幅荷重疲労強度試験結果