

面内ガセット溶接継手の長寿命疲労試験

名城大学 学生会員 ○平子浩士

名城大学 正会員 近藤明雅

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70mmのGS試験体と板幅100mmのGL試験体および板幅200mm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GS、GL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 載荷容量294kNの電気制御式疲労試験機を用いて下限応力 $\sigma_{\min}$ 10MPa、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) 変動振幅荷重疲労試験 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。

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

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、○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。 $\sigma_r = 80\text{MPa}$

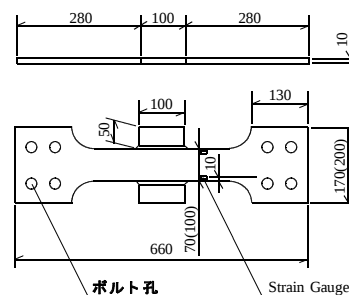


図1 ガセット溶接継手試験体(GS, GL)

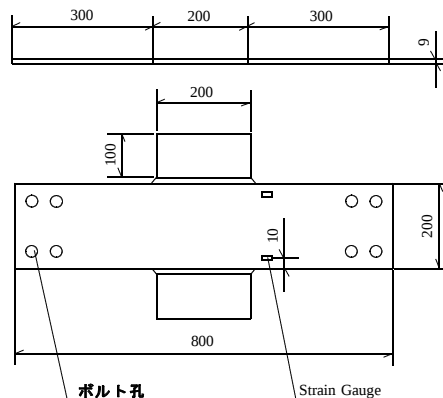


図2 ガセット溶接継手試験体(GLL)

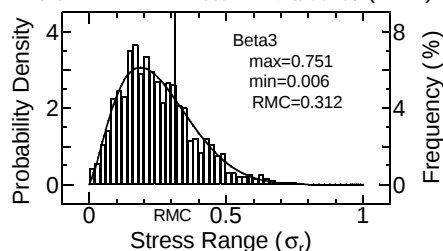


図3 変動振幅荷重の頻度分布

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程度だと思われる。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、11492万回で未破断であり、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2474万回で破断し、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返されると一定応力振幅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し未破断となる等価応力範囲は、 $\sigma_{r,eq} = 33\text{MPa}$ 程度となる。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し未破断となる等価応力範囲を求めると、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。

4. 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た。

(2) 一定振幅荷重試験の場合、疲労限はGS試験体で80MPa、GL試験体で60MPa、GLL試験体で23MPaとなり、GLL試験体の疲労限がJSSC-Hの一定振幅応力に対する応力範囲の打ち切り限界と同じ値となった。

(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%破壊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。無限大の繰返し数に対し未破断となる等価応力範囲を求めるとGLL試験体でおよそ10MPaとなり、JSSC-Hの変動応力に対する応力範囲の打ち切り限界に近くなった。

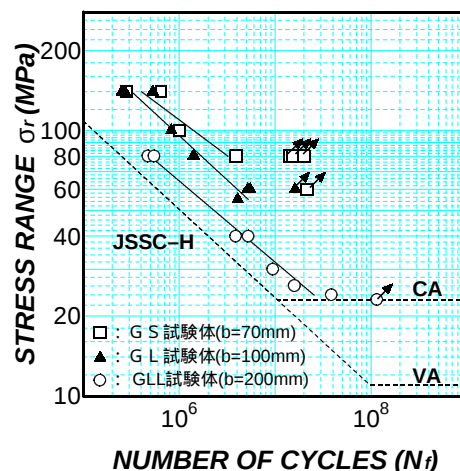


図4 一定振幅荷重疲労強度試験結果

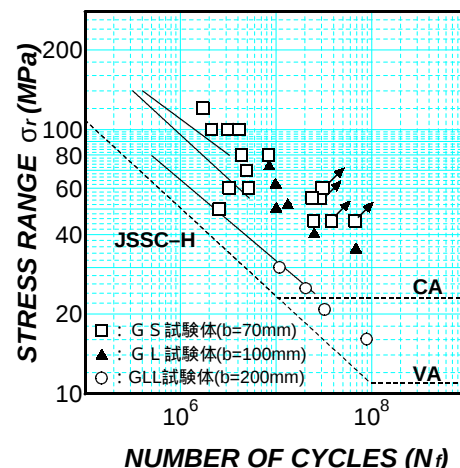


図5 変動振幅荷重疲労強度試験結果