

変動荷重下におけるガセット溶接継手の疲労寿命

名城大学 正会員 近藤明雅 名城大学
名城大学 深津信幸 名城大学

春山茂樹
渡辺陽一

1. まえがき

鋼構造物の中でも、橋梁、船舶、航空機およびクレーンガーダー等の構造物は、多数回の繰り返し荷重を受ける。このため、これらの構造物の耐久性には、疲労設計が不可欠となる。道路橋においては、死荷重に比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、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に示す。用いた鋼材は JIS G 3106 SM520B で、降伏点 σ_y は、420MPa であった。ガス切断された鋼板を所定の方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。

3. 一定振幅荷重疲労試験

疲労試験は、載荷容量 294kN の電気制御式疲労試験機を用いて約 10Hz の繰返し速度で試験を行った。疲労試験を行う前に偏心により荷重が試験体に不均一に作用し、試験結果の誤差が生じるのを防ぐため、試験体の表裏に貼った4枚のひずみゲージが示す値の差が5%以下となるように試験を行った。

疲労試験では、下限応力 $\sigma_{\min}$ を一定とし応力範囲を変えるケースと、上限応力 $\sigma_{\max}$ を一定として応力範囲を変えるケースとに分け、次の2つの系列の試験を行った。

- (a) 下限応力一定 (A シリーズ) $\sigma_{\min} \approx 20\text{MPa}$
- (b) 上限応力一定 (B シリーズ) $\sigma_{\max} \approx 260\text{MPa}$ ($0.65 \sigma_y$)

4. 変動振幅荷重疲労試験

実働荷重による疲労試験には、構造物で実測されたデータを直接利用する方法と実測データをモデル化して使用する方法がある。本研究では、後者の方法のうち、実測データの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による疲労試験を行った。

本研究ではベータ分布の確率分布に従う振幅荷重を用いた。図2に実験に用いた2種類のベータ分布の確率密度と変動振幅荷重の頻度分布を示す。実線は、確率密度を示す。Beta1 は、振幅荷重が高応力範囲側に偏った確率密度であり、Beta3 は振幅荷重が低応力側に偏っている。

ヒストグラムは、1000 波の正弦波の振動振幅荷重 (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3乗平均値 RMC を示す。高応力範囲側に偏った Beta1 の3乗平均値は $\text{RMC}=0.820$ 、低応力側に偏った Beta3 は $\text{RMC}=0.312$ である。

5. 疲労試験結果

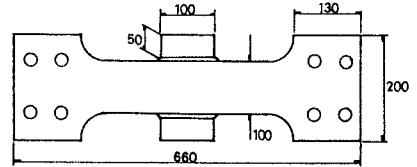


図1 ガセット溶接継手試験体

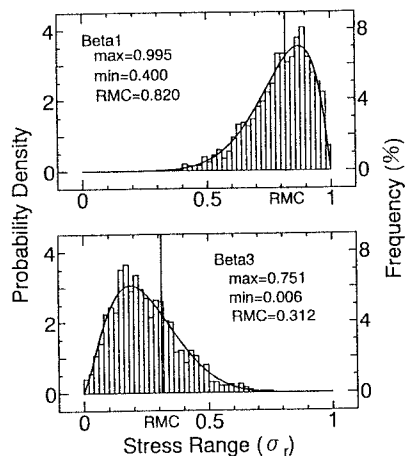


図2 変動振幅荷重の頻度分布

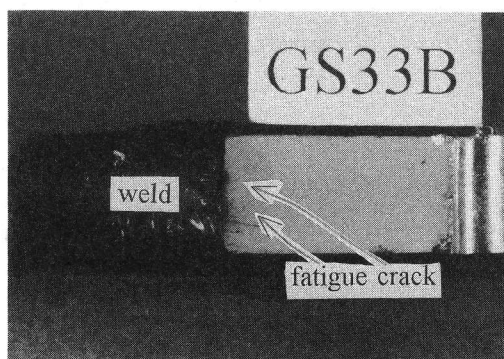


写真 1 疲労破面

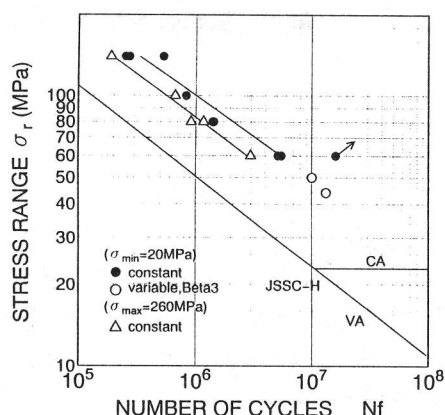


図 3 疲労試験結果

図 3 にガセット溶接継手の疲労試験結果を示す。図中、●印は下限応力 $\sigma_{min}=20\text{MPa}$ 一定とした A シリーズ、△印は上限応力 $\sigma_{max}=260\text{MPa}$ 一定とした B シリーズの一定振幅荷重疲労試験の結果である。A シリーズでは 8 体のうち 7 体が疲労破断した。 $\sigma_r=60\text{MPa}$ で試験した 3 体のうち 2 体は繰返し回数が 549 万回と 514 万回で破断し、1 体は 1614 万回を越えても破断しなかった。これより、A シリーズの疲労限は 60MPa 程度と思われる。B シリーズは 5 体の試験体すべてが疲労破断した。繰返し回数 N_f は、疲労き裂が試験体の板幅の 1/2 (5cm) に到達した時のものである。200 万回疲労強度で比較すると σ_{min} 一定で 77.4MPa、 σ_{max} 一定で 66.9MPa であり σ_{max} 一定のほうが σ_{min} 一定よりも約 14 % 低い。

低応力側に偏った頻度分布 (Beta3) による変動振幅荷重疲労試験結果を○印で示す。縦軸の応力範囲は、等価応力範囲を示し、すべての応力範囲とその繰返し回数を 3 乗平均して求めた。これまでに 2 体の変動試験のデータが得られており、 $\sigma_r=45\text{MPa}$ の時 1330 万回で、 $\sigma_r=50\text{MPa}$ の時 1006 万回で破断している。下限応力 $\sigma_{min}=20\text{MPa}$ の場合の一定振幅荷重疲労試験結果の 50% 破壊確率線の延長線上にプロットされている。

図中、実線は JSSC 鋼構造物の疲労設計指針に示されているガセット溶接継手の設計 S-N 線図 JSSC-H であるが、すべての実験データはこの JSSC-H を満足している。

6. 疲労波面の観察

本実験では、溶接止端部に発生する疲労き裂の形状およびき裂の進展状況を把握するために、疲労試験の途中で適当な繰返し数の時期に浸透性のよい塗料を溶接止端部に塗布し、それまでに生じていたであろう疲労き裂をマークするダイチェック試験を行った。写真は、溶接止端部に 2 個の半楕円き裂がマークされた例である。疲労き裂の進展に伴い 2 個の半楕円き裂は合体して溶接止端に広がり板厚方向に貫通し、その後は貫通き裂が板厚方向に進展して破断にいたるとと思われる。

7. まとめ

(1)一定振幅荷重による疲労試験結果から、200 万回疲労強度は下限応力 $\sigma_{min}=20\text{MPa}$ の場合に 77.4MPa、上限応力 $\sigma_{max}=260\text{MPa}$ の場合に 66.9MPa となった。 $\sigma_{min}=20\text{MPa}$ と比べて、 $\sigma_{max}=260\text{MPa}$ の場合は疲労強度が約 14 % 低い。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 を満足している。

(2)下限応力 $\sigma_{min}=20\text{MPa}$ の A シリーズの一定振幅荷重疲労試験の疲労限は約 60MPa である。

(3)低応力側に偏った (Beta3) の変動振幅荷重を载荷した 2 体の試験体はすべて疲労破断した。一定振幅荷重疲労試験の疲労限は 60MPa を下回る。