

トピー工業 正員 深見智宏
名古屋大学 学正員 程 小華

名城大学 正員 近藤明雅
名古屋大学 正員 山田健太郎

1. まえがき

道路橋では、一般に死荷重に対する活荷重の割合が小さく低応力範囲に偏った変動応力が生じている。このため、合理的な疲労寿命評価を目指すならば実働荷重による疲労試験結果の利用が望ましい。本研究では、付加物が溶接された試験片を用いて、一定振幅荷重及び変動振幅荷重の疲労試験と疲労き裂進展寿命解析を行い、低応力範囲領域における疲労寿命を検討した。

2. 疲労試験と結果

試験片は、材質 SM520B のリブ十字すみ肉溶接継手とガセット溶接継手で、試験片の寸法を図-1に示す。溶接止端部は全て非仕上げとした。定振幅荷重試験では、作用応力範囲の下限応力 σ_{min} を 20MPa 一定にしたシリーズと、上限応力 σ_{max} を 260MPa 一定にしたシリーズにおいて実験を行った。繰返し速度は 600回/分である。変動荷重による疲労試験では、荷重振幅の頻度がベータ分布に従うものとしてモンテカルロシミュレーションにより発生させた変動荷重を用いた。図-2に実験に用いた2種類の荷重振幅の頻度分布を示す。

リブ十字継手の定振幅疲労試験結果を図-3に示す。図中の●印は下限応力 σ_{min} を一定、○印は上限応力 σ_{max} を一定にした疲労試験の結果である。200万回疲労強度は、 σ_{min} 一定の場合133MPa、 σ_{max} 一定で 118MPa であり σ_{max} 一定の方が σ_{min} 一定よりも約 12% 疲労強度が低い。同図に Pittsburgh 大学で行われたリブ十字継手 (A572鋼) の疲労試験結果を示す。◆印は $\sigma_{min}=14\text{MPa}$ 一定、◇印は $\sigma_{max}=290\text{MPa}$ 一定の結果である。本研究と同様に σ_{max} 一定の場合に疲労寿命が短い。図-4に、ガセット継手の疲労試験結果を示す。ガセット継手の試験では、き裂が板幅方向に 50mm 進展したときの繰返し回数を N_r とした。200万回疲労強度は σ_{min} 一定で 76MPa、 σ_{max} 一定で 67MPa であり σ_{max} 一定の方が σ_{min} 一定よりも約 12% 疲労強度が低い。

リブ十字溶接継手の変動荷重疲労試験結果を図-5に示す。等価応力範囲が $\sigma_{r,eq}=95\text{MPa}$ で荷重振幅の頻度分布が異なる試験の結果を比較すると、荷重振幅が低応力側 (Beta3) に偏った試験片が、繰返し回数 280万回で破断したのに対して、高応力側 (Beta1) に偏った試験片では繰返し回数 4000万回を越えても破断しなかった。また、低応力側に偏った試験片では、等価応力範囲 70MPa でも繰返し回数 2040万回で破断した。△、▲印は、Pittsburgh 大学で行われた変動応力疲労試験の結果を示す。実験に用いられた変動応力は、米国の道路橋で実測された応力頻度に基づいて求められたものである。この実験結果は、本研究の応力頻度分布 Beta3 の結果より長寿命側にある。

3. 疲労き裂進展解析

リブ十字継手では、初期き裂が板厚方向に進展し破断に至るまで

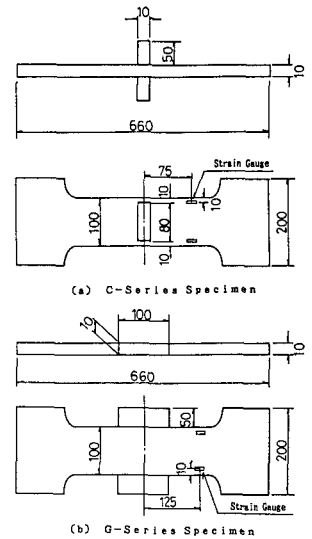


図-1 疲労試験片

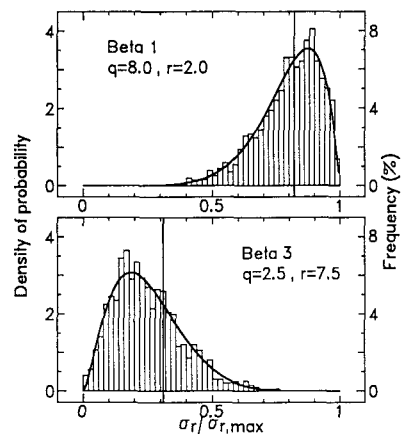


図-2 変動荷重振幅 (応力範囲) の頻度分布

半楕円き裂の進展解析で、ガセット継手では、半楕円き裂の幅が板厚(10mm)になるまで半楕円き裂、その後は貫通き裂の進展解析で疲労き裂進展寿命 N_p を求めた。解析には、次式を用いた。

$$da/dN = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$$

ここで、 C , m は材料定数で、科学技術庁金属材料研究所で求められた値 ($C = 9.69 \times 10^{-12} \text{ m}/(\text{MPa} \sqrt{\text{m}})^3$, $m = 2.9$, $\Delta K_{th} = 2.5 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$) である。また、応力拡大係数範囲 ΔK は、 $\Delta K = F_s \cdot F_o \cdot F_t \cdot F_a \cdot \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a}$ で求めた。 a は亀裂深さ、 σ_r は応力範囲、 F_s , F_o , F_t , F_a はそれぞれ表面亀裂、亀裂形状、有限板厚、応力集中に対する補正係数である。解析では、初期き裂深さ a_0 を 0.05mm、限界き裂深さ a_r をリブ十字継手では 8.5mm、ガセット継手では 50mm とし、き裂形状比を $a/b = 1/3$ とした。溶接止端形状は止端角 θ を 45° 、止端半径 ρ を 0.2mm とした。また、変動応力の解析では、応力振幅として実験と同様の2種類のデータを用いた。

リブ十字溶接継手の解析結果を図-3, 5に示す。高応力範囲での疲労寿命は一定振幅応力と変動応力のどちらも同じであったが、疲労限を比較すると、一定振幅応力では 70MPa、作用応力が高応力側 (Beta1) に偏った変動応力では 58MPa であった。作用応力が低応力側 (Beta3) に偏った変動応力では、繰返し回数 1 億回で疲労限 (29MPa) は現れなかった。ガセット継手の解析結果を図-4 に示す。高応力範囲での解析結果は、一定振幅応力でも変動応力でも同じであり、実験値の下限付近にプロットされる。また、疲労限は一定振幅応力で 39MPa、変動応力 Beta 1 の場合は 32MPa、Beta 3 の場合には 16MPa であった。

4. まとめ

- (1) 一定振幅荷重を受ける場合、応力範囲 σ_r が同一ならば、上限応力 σ_{max} が大きいほど疲労寿命が短くなる。
- (2) リブ十字溶接継手が変動振幅荷重を受けるとき、等価応力範囲 $\sigma_{r,eq}$ が同一ならば荷重振幅の頻度が高応力側に偏った場合より、低応力側に偏った場合の方が疲労寿命が短くなる。
- (3) 疲労き裂進展解析の結果、リブ十字溶接継手およびガセット溶接継手とも、変動応力が作用したときの疲労限は、定振幅応力の場合より低くなる。また、作用応力の頻度が低応力側に偏った変動応力の場合の疲労限は、高応力側に偏った場合より低くなった。

参考文献

Melhem, H. G and Klippstein, K. H : A Study on Variable Amplitude Load Fatigue, Work-in Progress, Research Report No. ST-6, January, 1990

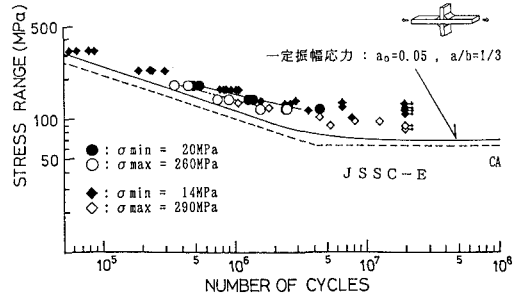


図-3 リブ十字溶接継手の試験結果(一定振幅荷重)

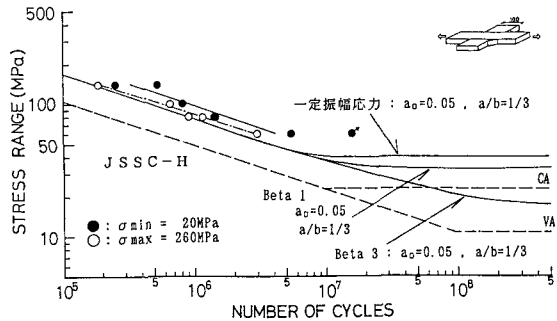


図-4 ガセット溶接継手の試験結果(一定振幅荷重)

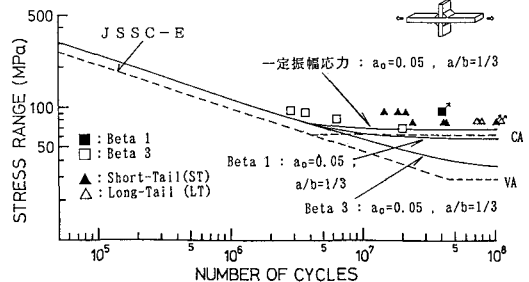


図-5 リブ十字溶接継手の試験結果(変動振幅荷重)