変動応力に対する打切り限界以下の低応力範囲が面外ガセット溶接継手の曲げ疲労強度に及ぼす影響

岐阜大学　　学生会員　○今村　明登
岐阜大学　　正会員　　木下　幸治

1. はじめに

鋼道路橋には低応力範囲に偏った変動応力が作用することから，低応力範囲，すなわち長寿命領域の変動応力下における疲労強度評価が必要である．その評価法として，打切り限界付き修正Miner則が一般的に用いられてきているが，長寿命領域の変動応力下における実験データの蓄積が少なく十分な検証が行われているとは言い難い．

本研究では曲げを受ける面外ガセット溶接継手を対象に長寿命域の変動応力下の疲労試験を実施可能にする疲労試験システムの構築，並びにその試験システムを用いた疲労試験を実施した．その上で，破壊力学に基づく疲労き裂進展解析により，打切り限界付き修正Miner則における打切り限界以下の低応力範囲の影響について検討した．

2. 変動荷重疲労試験システムの構築と試験方法

本研究で用いた面外ガセット継手試験体および板曲げ疲労試験機の概要図を**図-1** に示す．この試験機は試験体を片持ち梁式に固定した上で試験体の自由端側に偏心モータを設置し，偏心モータの加振により試験体に曲げ応力を発生させるものである．

本研究では試験荷重を自動的に変化させ，変動応力下での疲労試験を実施可能とするシステムおよび試験荷重の入力と出力を確認するためのレインフロー法のプログラムを導入した疲労試験システムを構築した．上述したように実際の応力頻度は低応力側に偏った分布となることから，長寿命域の変動応力下の疲労強度を求める上で，実際の構造物の応力頻度分布を再現することが望ましい．　Albrecht ら [1)]は 190 の実際の道路橋の応力頻度計測から**図-2** のような低応力側に偏った応力範囲頻度分布を算出してきていることから，本研究では Albrecht らの研究を参考に応力頻度分布から算出した変動ブロック載荷とした．なお，載荷ブロック順序は，乱数を発生させて，その乱数に基づいて順番を付けたものである．

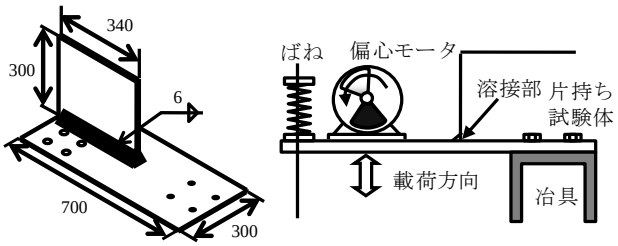

図-1　試験体および板曲げ疲労試験機概要図

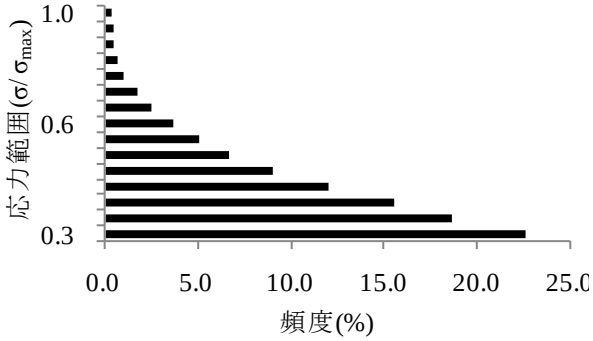

図-2　変動応力頻度分布 [1)]

3. 疲労き裂進展解析の概要

解析対象は**図-1** に示した面外ガセット継手試験体を設置した板曲げ試験とした．疲労き裂進展解析プログラムは鋼構造物の疲労設計指針・同解説に従い構築した．疲労き裂はガセットの回し溶接部前面の止端部から発生し半楕円状に進展すると仮定し初期き裂深さを a，初期表面長さを b とした．初期き裂深さは 0.1mm とし，初期き裂形状比 a/b を 0.2 と仮定した．き裂進展速度と応力拡大係数の変動範囲 ΔK との関係は疲労き裂進展下限界応力拡大係数 ΔK_{th} を考慮した次式で示される修正 Paris 則を用いた．

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

ここで，da/dN はき裂進展速度，C および m は材料定数である．材料定数 C,m および ΔK_{th} は鋼道路橋の疲労設計指針に最安全設計曲線および平均設計曲線が示されており，本研究では平均設計曲線を用いる

キーワード　面外ガセット　長寿命領域　変動応力　打切り限界
連絡先　　〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1　岐阜大学工学部　ＴＥＬ058-293-2424

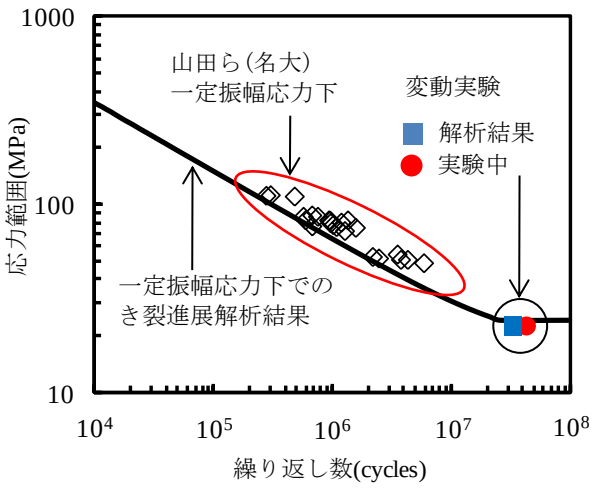

図-3　疲労試験および解析結果

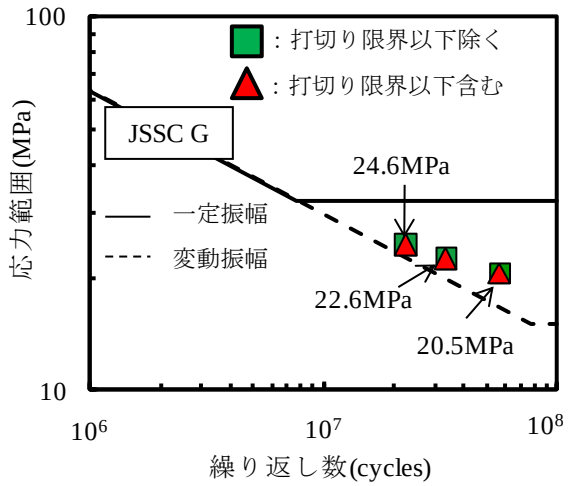

図-4　変動応力下での疲労強度

こととし，C =1.5×10^{-11}，m =2.75，ΔK_{th}=2.9($MPa\sqrt{m}$)とした．き裂の進展方向における ΔK および補正係数は F_e，F_s，F_t は，次式により求めた．

$$K = F_e \times F_s \times F_t \times F_g \times \sigma\sqrt{\pi a}$$

$$F_e = 1/\sqrt{1+1.464\,(a/b)^{1.65}}$$

$$F_s = 1.12 - 0.12\,(a/b)$$

$$F_t = (1-0.025\,\lambda^2+0.06\,\lambda^4)\sqrt{\sec(\pi\lambda/2)}$$

ここで，λ は深さ方向の場合 a/t，幅方向の場合 $2b/w$ であり，t は主板厚，w は板幅である．補正係数 F_g は，FEM 解析によりき裂が無い場合のき裂面に作用する応力分布をき裂面に作用させたときの応力拡大係数範囲から求めた．ΔK は，深さ方向と幅方向別々に求め，それぞれの方向の疲労き裂進展を求めた．限界き裂長は回し溶接部から板幅方向に 10mm 進展した時と仮定した

4.　疲労試験とき裂進展解析の比較

図-3 に解析より得られた疲労強度曲線を示す．なお，図中には名古屋大学の山田らの実験により得られた一定振幅応力下での試験結果，および実験条件の解析結果と現在実施中の実験データを示す．**図-3** より本解析結果は山田らが行った試験結果の下限に位置しており，また変動荷重下の実験の疲労強度を安全側に評価できていると考えられることから，十分な精度を有していると考えられる．

5.　変動応力下での低応力範囲の影響

図-4 に疲労き裂進展解析により得られた等価応力範囲 24.6MPa，22.6MPa，20.5MPa の打切り限界以下の低応力範囲が含まれる場合と除いた場合の疲労強度を示す．図中には比較のために面外ガセット継手の強度等級である G 等級の一定振幅応力下と変動応力下での疲労設計曲線を示している．図より，打切り限界以下の低応力範囲を多く含まれても，それらの有無は疲労強度に殆ど影響しないことがわかる．一方，疲労設計曲線は各プロットよりも低い位置にあるとともに，等価応力範囲が小さくなるに従い徐々に疲労設計曲線とプロットとの差が大きくなることがわかる．これより，打切り限界付き修正 Miner 則によって変動応力下の溶接継手部の疲労強度を安全側に評価可能と言えるが，打切り限界以下の低応力範囲が多くなるに従い，かなり安全側の評価を与える可能性が高いと言える．

6.　結論

1)板曲げ疲労試験機を用いた変動応力下での疲労試験を実施可能とする試験システムを構築した．また，き裂進展解析と疲労試験結果はよく一致した．

2)本研究で対象とした応力範囲 24.6MPa，22.6MPa，20.5MPa において打切り限界以下の低応力範囲の有無は疲労強度に殆ど影響を及ぼさない．

3)打切り限界付き修正 Miner 則によって変動応力下の溶接継手部の疲労強度を安全側に評価可能であるが，打切り限界以下の低応力範囲が多くなるに伴い，かなり安全側の評価を与える可能性が高い．

参考文献

1) Albrecht, P. and Friedland, I.M. : Fatigue-Limit Effect on Variable-Amplitude Fatigue of Stiffeners, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.105, No.ST12, pp.2657-2675, 1979.