

I-128 溶接継手の長寿命域での疲れ試験結果

山口県 正員 ○重富 寿
名古屋大学 正員 山田健太郎
名古屋大学 篠田泰蔵

1. はじめに

道路橋では、低応力側に極端に偏った頻度分布の変動応力が生じていることが実橋における測定結果から知られており、低応力範囲すなわち長寿命域における溶接継手の疲れ挙動の評価が重要になってくる。従来行われてきた溶接継手の疲労試験では200万回疲れ強さ、あるいはそれに近い繰返し数が基準とされており、それ以上の長寿命域のデータは膨大な時間とコストがかかるため比較的少ない。そこで本研究では、ガセット付引張試験体2体、及びガセット付曲げ試験体2体に比較的低い応力範囲を作用させて疲れ試験を行った。さらにモンテカルロシミュレーションを用いた疲れ亀裂進展寿命解析を行い、試験結果と併せて設計S-N線図の定振幅疲れ限度について考察を行った。

2. 溶接継手の長寿命域における疲れ試験

試験体は、図.1に示すように引張試験体にはガセットが2ヶ所、曲げ試験体にはガセットが4ヶ所溶接されており、材質はいずれもSM50Aである。ガセットはいずれもレ型開先突合せ溶接で取り付けられており、溶接止端部はすべて非仕上げとした。初期亀裂は溶接止端部に貼った銅線が切れて試験機がストップした時とし、そのときの繰返し数を N_c とした。また最終亀裂は、止端部から10mmのところに貼った銅線が切れた時とした。過去に行われた試験¹⁾も含めて、ガセットについての σ_r - N_r 線図を図.2に示す。設計基準と比較するため、S-N線図の下限值(平均値-2s)を求め、さらに $\sigma_r = 39.2\text{MPa}$ で試験したガセット部4ヶ所から亀裂が発生しなかったことから、この応力を便宜上疲れ限度としてS-N線図を求めた。これによると 4×10^6 回付近が定振幅疲れ限度における繰返し数となった。ECCS疲労設計指針²⁾ではこのタイプのガセット継手の200万回疲れ強さを45MPa、 5×10^6 回における疲れ強さを定振幅疲れ限度としており、その値は33MPaとなっている。高応力下では試験結果の下限値とほぼ一致しているが、定振幅疲れ限度は実験値が20%程度高い値となった。

3. モンテカルロシミュレーションを用いた疲れ寿命解析

長寿命域の疲れ試験は、膨大な時間とコストを必要とするため、多くのデータを得ることは期待できない。したがって、長寿命域においては破壊力学等の手法も加えて総合的に検討する必要がある³⁾。本研究ではガセットに関して、亀裂発生部分の初期値を実測値に基づいてモンテカルロシミュレーションを用いて与え、破壊力学による疲れ亀裂進展寿命解析を行った。疲れ亀裂進展寿命 N_p は、亀裂が初期亀裂 a_0 から

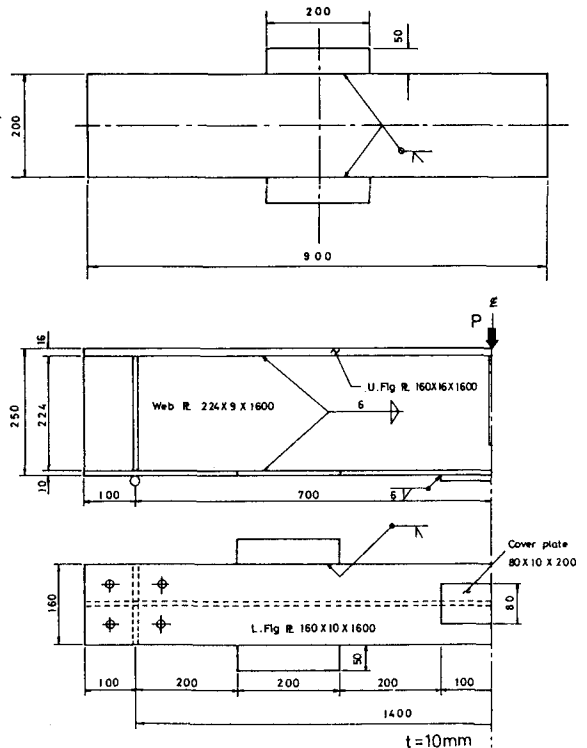


図.1 試験体形状：a)引張試験体(ガセット2ヶ所)，
b)曲げ試験体(ガセット4ヶ所)

最終亀裂 a_f まで進展するのに必要な繰返し数として破壊力学の手法を用いて以下の式で求めた。

$$N_p = \int_{a_0}^{a_f} \frac{1}{C (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)} da$$

破面観察⁴⁾によるとガセット端では3つのタイプの破面、すなわち亀裂が端部から発生進展するエッジクラック(TYPE1)、板の中央部から発生する楕円クラック(TYPE2)、板のコーナーから発生する4分楕円コーナークラック(TYPE3)が見られた。今回の解析ではこれら3つのタイプのクラックが1/3ずつ発生するとして、それぞれ表.1に示すように補正係数 F の値を与え、応力拡大係数範囲 ΔK を定義した。図.3にシミュレーションの結果をヒストグラム及び上限値、下限値の値で示す。高応力下では上限値及び下限値をそれぞれ平均値 $\pm 2 \times$ 標準偏差で示すことができるが、低応力下では右に大きく裾を引く形になるため、1000回のシミュレーション回数で25番目に小さい繰返し数を下限値、25番目に大きい繰返し数を上限値として示した。シミュレーションの下限値によると 5×10^6 回より低サイクルの領域では実験及びECCSの設計S-N線図の値をうまく表現できている。一方 5×10^6 回より高サイクルの領域では $\Delta K_{th} = 2.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ の値を用いたシミュレーションの値は定振幅疲れ限度が、実験結果あるいはECCSの設計S-N線図より小さくなっているが、 $\Delta K_{th} = 4.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ の値を用いた結果は下限値をうまく表せた。

4. まとめ

長寿命域におけるガセットの疲れ試験と、モンテカルロシミュレーションを用いた疲れ寿命解析を行った。実験結果から、長さ200mmのガセットの定振幅疲れ限度は、39.2MPaとなり、ECCSで指定されるものより20%程高くなった。また、ガセット継手について初期亀裂形状及び止端形状の実測分布に従う初期値をモンテカルロシミュレーションで与え、疲れ亀裂進展寿命解析を行って長寿命域での疲労挙動を検討した。

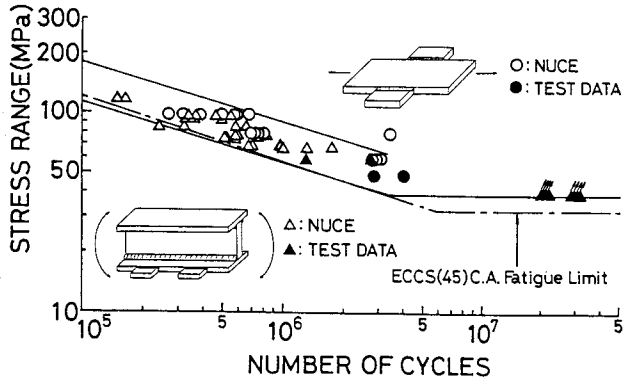


図.2 ガセットに関する σ_r - N_f 線図

表.1 ガセット溶接止端部に発生する亀裂の補正係数

	F_s	F_e	F_t	F_g
エッジクラック	1.12	1.0	1.0	$F_{g1} \times F_{g2}$
楕円クラック	$1.12 - 0.12a/b$	$1/E_k$	1.0	$F_{g1} \times F_{g2}$
4分楕円コーナークラック	1.38	$1/E_k$	1.0	$F_{g1} \times F_{g2}$

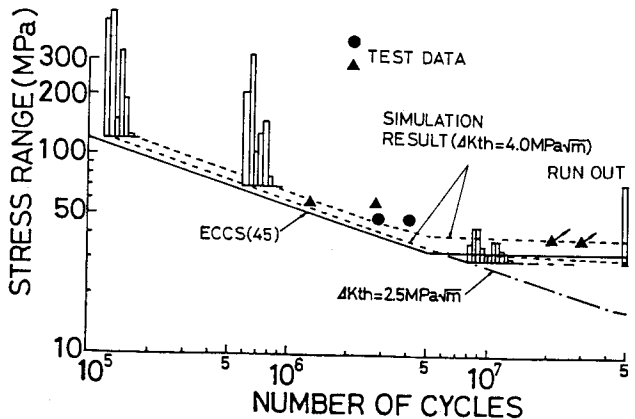


図.3 モンテカルロシミュレーションより得られた σ_r - N_f 線図

参考文献 1)山田ほか：ガセットを溶接した引張部材の疲れ強さとストップホールの効果，土木学会論文報告集第341号，1984年1月，pp129～136。

2)ヨーロッパ鋼構造協会連合(ECCS)，TC-6：鋼構造物の疲労設計指針，日本鋼構造協会。

3)永津ほか：破壊力学による溶接継手の疲れ寿命のばらつきの評価，構造工学論文集，Vol.34A(1988年3月)