

せん断応力を受ける溶接と母材の疲労試験

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (株) 正会員 ○重原 大二朗

1. 概要

鋼構造物の溶接継手はその構造と荷重の条件により直応力、せん断応力あるいは組合せ応力を受ける。これまでに直応力に関する疲労寿命評価について多くの研究がなされてきた。しかし、せん断応力による疲労の研究は少なく、疲労設計指針¹⁾によればせん断応力による疲労強度等級はS等級の1種類のみで、記載された溶接継手以外のせん断応力における疲労寿命評価に関しては明確になっていない。そこで本研究では、溶接継手あるいは機械加工材にせん断応力を繰り返し作用させる基礎的な疲労試験を実施し、せん断応力による溶接継手あるいは母材の疲労き裂進展の挙動を調べた。

2. せん断応力による疲労試験

2-1 溶け込み不足を模擬した疲労試験体

試験体の仕様を表-1, 図-1に示す。試験体はH形鋼 (H-100x100x6x8, SS400) を加工した。

溶接試験体は腹板中央に幅 2mm あるいは 4mm, 長さ 500mm のルートギャップを設け, I 形開先またはレ形開先の片面から半自動 CO₂ アーク溶接(下向き)で1層行った。溶接材料はYM55C (φ1.2) を用いた。なお, 余盛はベルトグラインダで削除した。

母材に溝加工した非溶接の試験体も作成した。溝加工は腹板中央に幅 3mm あるいは 6mm, 深さ 3mm, 長さ 500mm の機械切削を行った。

2-2 疲労試験方法

図-2に疲労試験機と試験体の構成を示す。荷重は振動モーター²⁾による加振力を利用した。試験体を片持ち形式で固定し, 振動モーターを張り出し先端に取り付けた。荷重は正負交互の曲げを与える両振りの場合とプレローディング装置を用いて常に負曲げを与える片振り場合の2通りで行った。

せん断力は上下フランジのひずみゲージにより曲げ応力を測定し, 着目部のせん断応力 τ はせん断流理論により求めた値 (母材断面) を単純に t_0 / t_{ave} 倍した。ここで, t_0 は元の腹板厚, t_{ave} はのど厚 (機械切削した板厚) の平均値とする。ただし, 製作された試験体ののど厚 (機械切削した板厚) が設計値 3mm と異なったため, 破面から実際の数値を計測し, その平均値を t_{ave} としている。せん断応力範囲 $\Delta\tau$ は τ の最大値と最小値の差と定義した。

表-1 疲労試験体と着目部詳細の一覧

試験体	数	加工種別	開先形状	ルートギャップ (mm)	目標のど厚 (mm)	備考
HWI2	3	片面溶接	I 形	2	3	
HWG2	3	片面溶接	レ形	2	3	
HWG4	3	片面溶接	レ形	4	3	溶込み過大により切削
HN3	3	溝加工	—	3(溝幅)	3(板厚)	
HN6	3	溝加工	—	6(溝幅)	3(板厚)	

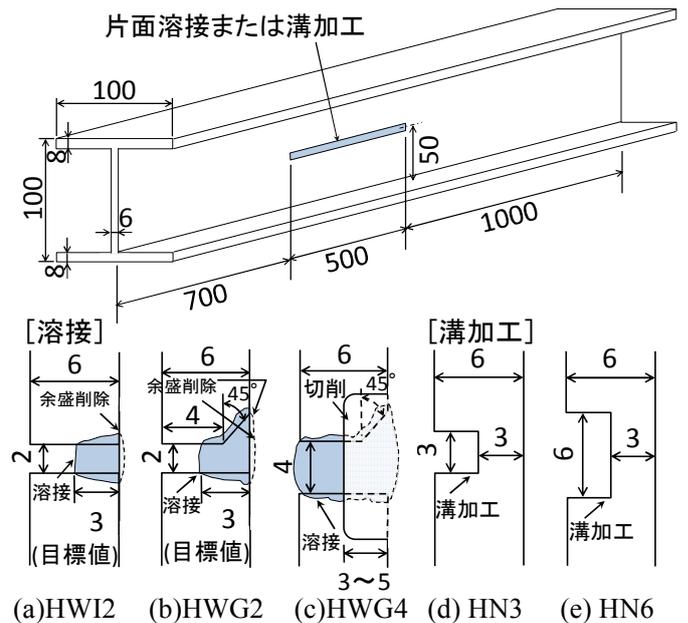


図-1 疲労試験体と着目部詳細図

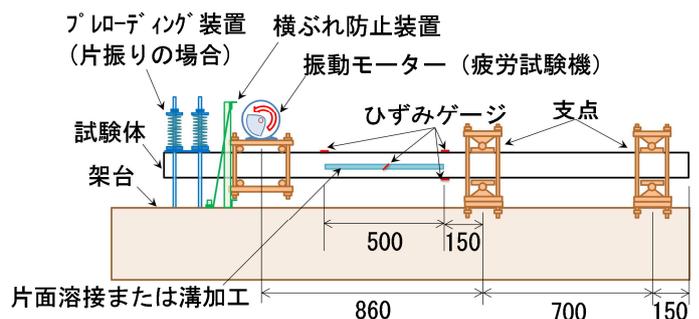


図-2 疲労試験機と疲労試験体への取り付け方法

3. 疲労試験結果

3-1 溶接試験体の試験結果

I形開先_片振り (HWI2) : 図-3 に疲労き裂を示す。Δτ=117MPa, N=148 万回で溶接に沿って 65mm のき裂を確認し, N=159 万回で溶接端部から斜め方向に大きく進展して試験を終了した。特にき裂が最初に確認された 65mm の部分では斜め 2 方向にジグザグしたき裂を確認した。

レ形開先_両振り (HWG2) : 図-4 に疲労き裂を示す。Δτ=97MPa, N=393 万回で溶接に沿って 56mm と 45mm のき裂を確認し, N=468 万回でそれぞれ 95mm と 140mm に進展し, 溶接端部などから斜め方向に大きく進展して試験を終了した。HWG2 は HWI2 と比較して, 溶接線に沿って発生するき裂長さが比較的短い内に斜め方向に大きなき裂が発生する傾向を確認した。

また, 図-5 に 3 つの N 時点における疲労き裂の先端を定点撮影した写真を示す。矢印で示すき裂は既に発生したき裂とは独立に発生し, その後合流して 1 つのき裂が形成されていく様子が見られる。

3-2 溝加工試験体の試験結果

溝幅 6mm_両振り (HN6) : 図-6 に疲労き裂を示す。当該試験体は疲労き裂のスターターとして溝部に φ2.5 と φ5.5 の円孔を開け, さらに円孔近傍にショートビード溶接を施した。Δτ=94MPa, N=248 万回で φ2.5 の円孔付近から載荷側へ 25mm, 支点側へ 3mm のき裂を確認した。N=319 万回でき裂の全長は 375mm となり, 支点側の溝加工端部から斜め方向に大きく進展して試験を終了した。

3-3 S-N 線図

図-7 に着目部で疲労き裂が確認された疲労試験結果について S-N 線図に示す。

4. まとめ

- 1) いずれの試験体も溶接又は溝に沿ってき裂が進展し, 途中で斜め約 45 度に分岐するのを確認した。
- 2) 着目部のき裂がある程度の長さになった後, 斜め方向に大きく進展するき裂が発生した。
- 3) 溶接試験体において, き裂はひと続きに繋がらず, 独立して発生して合流するのを確認した。

参考文献 1) 一般社団法人日本鋼構造協会:鋼構造物の疲労設計指針・同解説,2012.6, 2) 山田聡ら: 簡易型振動疲労試験機の開発と適用試験,トピー鉄構技報 No.24(2008)

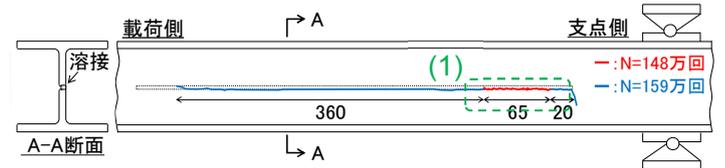


図-3 HWI2 (I形開先溶接、片振り)の疲労き裂

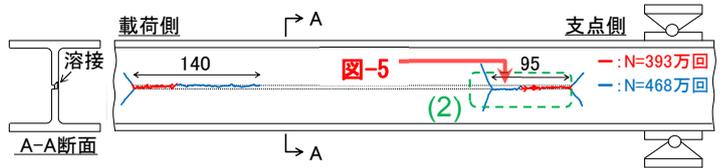


図-4 HWG2 (レ形開先溶接、両振り)の疲労き裂

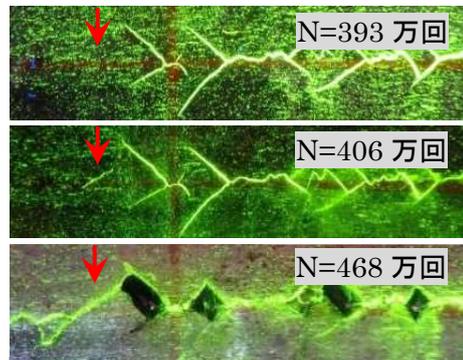


図-5 き裂の進展順序 (HWG2_両振り)

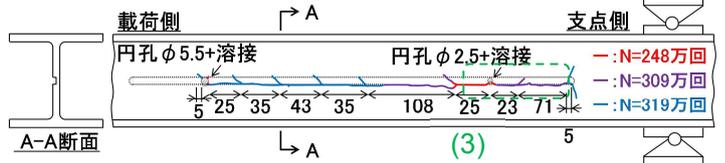


図-6 HN6 (溝加工、両振り)の疲労き裂

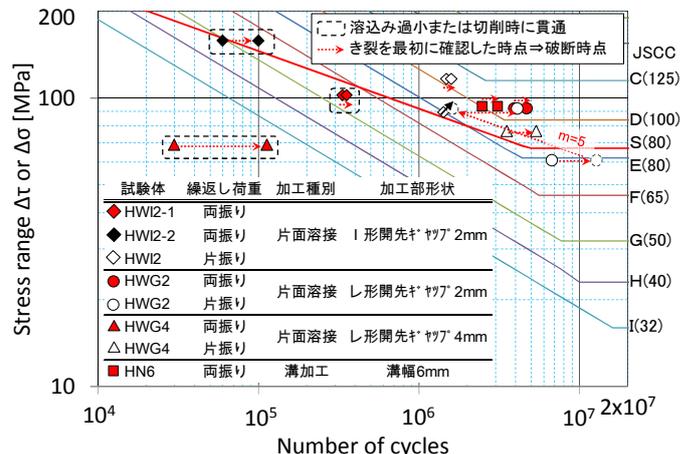


図-7 き裂確認時点と破断時点の疲労寿命