せん断応力を受ける溶接継手と母材の疲労試験

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
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)　正会員　　山田　健太郎

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それらの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必ずしも明確になっていない。そこで本研究では、片面溶接継手あるいは母材に純粋なせん断応力を繰り返し作用させる疲労試験を実施し、せん断応力による溶接継手や母材の疲労耐久性やき裂進展の挙動を調べた。

２．せん断応力による疲労試験

試験体の仕様を表-1、図-1 に示す。試験体は H 形鋼(H-100×100×6×8,SS400)を加工して用いた。溶接試験体は腹板中央に 2mm の幅で長さ 500mm のルートギャップを設け、I 形開先またはレ形開先で片面溶接を施した。母材の試験体は深さ 3mm(腹板厚の 1/2)、長さ 500mm の溝を設けた。溶接は半自動 CO2 アーク溶接(下向き)で行い、溶接材料は YM55C(φ1.2)を用いた。

試験機の構成を図-2 に示す。荷重は片持ちの先端の振動モーター[2)]の加振力により載荷した。曲げによるせん断力 Q=P を与えて腹板中央にせん断応力τを作用させている。荷重 P はひずみゲージにより曲げの応力を測定し、せん断応力τはその荷重から計算した。

せん断応力範囲Δτはτの最大値と最小値の差と定義した。また、溶接試験体はのど厚 3mm を目標に製作したが、実測値と異なる場合はΔτを実際ののど厚で整理し直した。

表-1　試験体一覧

試験体	継手	ルート ギャップ (mm)	開先	目標 のど厚(mm)	溶接速度 (cm/min)
HWI2	片面溶接	2	I 形	3	15
HWG2	片面溶接	2	レ形	3	10
HN3	母材(溝加工)	3(溝幅)	-	3(板厚)	-
HN6	母材(溝加工)	6(溝幅)	-	3(板厚)	-

３．疲労試験結果

3-1 溶接試験体の試験結果

・I 形開先（HWI2）：2 体の試験体の疲労き裂を図-3（余盛残し）、図-4（余盛削除）に示す。図-3 のき裂はΔτ=72MPa、33.5 万回でモーター側溶接端部から水平方向に 200mm のき裂が発生した。き裂は不規則に蛇行しながら水平方向に進展した。また、端部から斜め上下方向のき裂が 3mm 発生した。モーター側の溶接端部付近の破断面を図-5 に示す。この溶接条件では目標のど厚 3mm を下回っている箇所が多く、S-N 線図上ではのど厚を 2mm とした場合のΔτで整理し直している。

・レ形開先（HWG2）：Δτ=70MPa、783 万回の時点でフレッチングと思われる支点部の下フランジの破断が発生した。この試験体はのど厚が目標値 3mm より大きいため、のど厚 6mm として整理し直している。

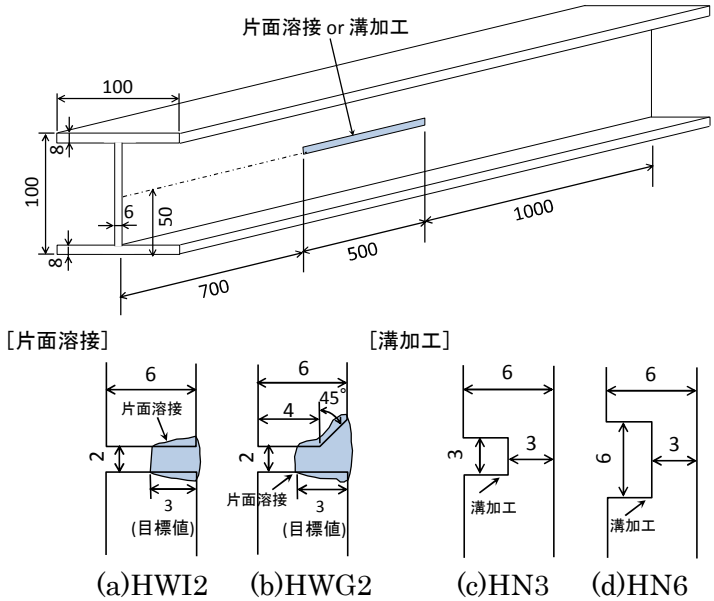

図-1　試験体の形状・寸法

キーワード　疲労、せん断応力、溶接継手、母材、応力集中
連絡先　　〒460-0003　名古屋市中区錦 1-8-11 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)　ＴＥＬ052-212-4774

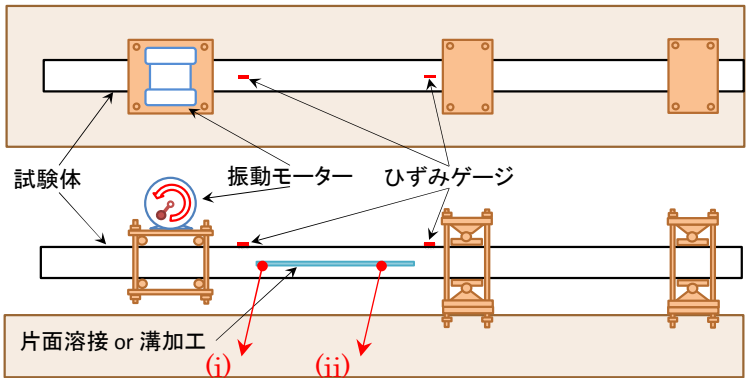

図-2　疲労試験の概要

図-5　HWI2-1 の溶接部断面

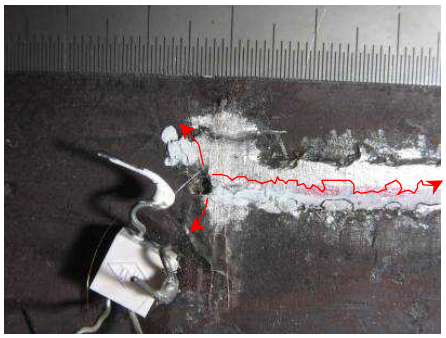

図-3　HWI2-1 (図-2(i)付近)

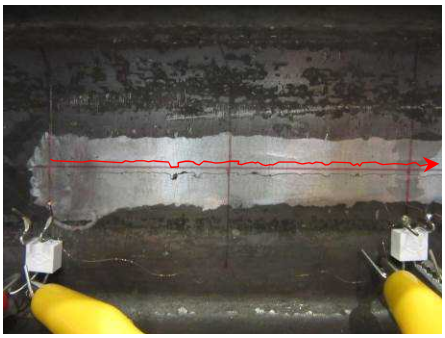

図-4　HWI2-2 (図-2(i)付近)

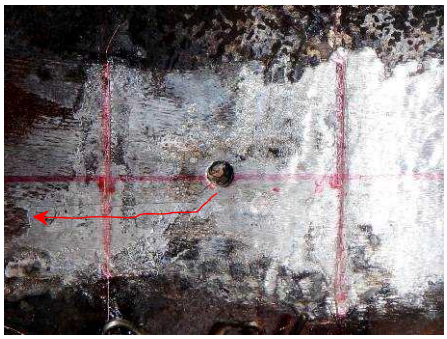

図-6　HN6(図-2(ii)付近)

3-2 母材の試験体の試験結果

・溝幅 3mm (HN3)：当該試験体は疲労き裂のスターターとして溝部にφ2.5 の円孔を開けた。Δτ=66MPa、1222 万回でフレッチングと思われる支点部の上フランジの破断が発生し、この時点では溝部や円孔からのき裂は発生しなかった。

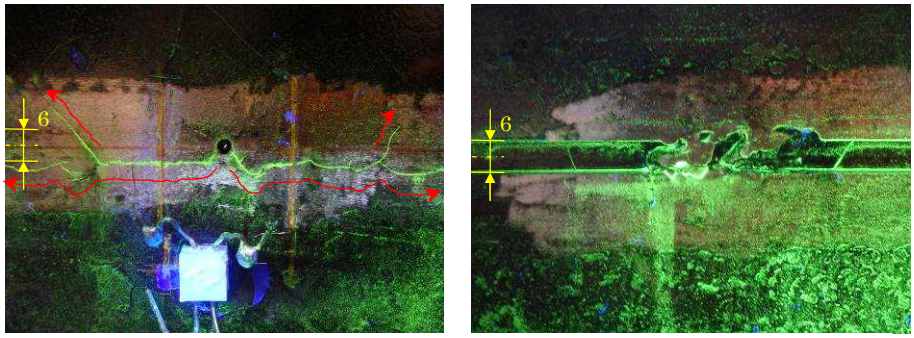

図-7　HN6 き裂進展(溝の反対側(左)とスポット溶接した側(右))

・溝幅 6mm (HN6)：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、さらに円孔近傍にスポット的に手溶接を行った。Δτ=82MPa、225 万回でφ2.5 の円孔からのき裂が発生した。図-6 にき裂を示す。また、さらに 90 万回継続させ、進展したき裂を図-7 に示す。き裂は円孔から左右斜め方向に溝幅まで進展した後、水平方向に進展した。また途中で斜め方向に分岐するき裂が発生し、このき裂は板厚を貫通した。

以上の試験結果を S-N 線図で図-8 に示す。

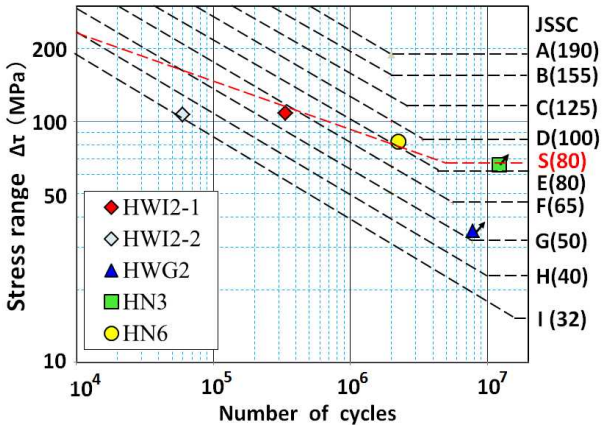

図-8 これまでの試験結果

4．まとめ

今回の試験より得られた知見は以下のとおりである。

・いずれの試験体も、せん断応力が大きくなる溶接・溝加工部の断面に沿って疲労き裂が進展する。

・疲労き裂は不規則に蛇行しながら進展し、途中で斜め方向に分岐するき裂が発生する場合がある。

・Ｉ形開先の溶接試験体について、疲労強度が S 等級を下回る場合がある。

参考文献　1) 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,渡辺直起,山田健太郎,小塩達也: 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)