-100

超音波衝撃処理(UIT)継手の疲労強度に及ぼす応力比の影響

新日本製鐵	正会員	○島貫	広志
新日本製鐵		大川	鉄平
新日本製鐵	正会員	田中	睦人

1. 緒言

鋼橋は大型車両の通行などにより繰り返し負荷を受けることから、疲労照査において疲労き裂発生防止対策の必要な部位については設計・施工の両面から各種対応がとられている。特に疲労き裂の発生が問題となる溶接止端部の疲労対策は一般にグラインダー処理で止端形状を滑らかにし、応力集中を緩和する方法が主流であるが、近年、処理速度が速く効果の大きい超音波衝撃処理(UIT)¹⁾による疲労対策がとられるケースが増加している。このメカニズムは先端に所定の曲率を有するピンで衝撃処理により止端曲率半径を大きくし、応力集中の緩和することに加え、溶接により発生した引張残留応力を圧縮側に反転させ、疲労き裂発生が懸念される部位に生じる局所的な静応力(構造物の死荷重による応力+溶接止端残留応力)を低下させることによって輪荷重等による繰り返し負荷時の局所的な応力比が下がることによる疲労き裂発生寿命の延長であることが、実験と解析から明らかになっている。²⁾

上記のことから明らかに平均応力の大きな部位では打撃処理による疲労性能向上代は相対的に小さくなることから、本報告では応力比による疲労性能向上代の変化を疲労き裂開閉口挙動解析を応用した疲労き裂進展解析により 予想し、実験により解析結果を検証した.

2. 解析方法

図1に示す十字溶接継ぎ手の疲労寿命推定を,図2にフローチャ ートで示した疲労寿命推定方法²⁾を用いて行った.この手法では疲 労き裂の起点となる溶接止端部に初期き裂を設定して,き裂の経路 の残留応力を考慮しながら,き裂開閉ロモデルによって疲労き裂の 進展を解析するもので,まずFEM解析結果や推定式を組み合わせ

て溶接止端部(溶接ままの溶接止端の曲率半径は 0.3mm, UIT処理では 3mmと した)の応力分布を詳細に計算し,これを基に進展中の疲労き裂の応力拡大係 数を算定.さらに、き裂結合力モデルを応用したき裂開閉ロシミュレーショ ン法³⁾を用いて有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} を基に式 1 に示す修正Paris-Elber 則を用いて,(ΔK_{eff})thについても考慮してき裂進展量da/dNを算定,これを累 積することで疲労き裂進展を予測した.

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

ただし、C=1.5×10⁻¹¹, m=2.75, (ΔK_{eff})_{th}=2.9MPa·m^{0.5}

式1で用いた疲労き裂伝播の定数は日本鋼構造協会の da/dN-ΔK 平均設計 曲線に基づいて設定した.





図2 疲労き裂伝播ジョレーション手順

解析の初期欠陥寸法はIIWの推奨値⁴⁾を参考にし,深さ 0.15mmの半円状,欠陥の設定位置・個数は試験片幅に対して等間隔に5 個設定.

き裂経路の残留応力については,溶接ままの場合,文献の方法²⁾を参考に溶接入熱(9kJ/cm)を溶接ビード全体に 同時に与え,1時間で放熱し試験片全体が室温まで下がるよう各種係数を設定した熱弾塑性FEM解析結果に基づい て決定した.この結果,溶接止端部の長手方向引張残留応力は試験片の幅中央で375MPa,板厚中央では40MPaで あった.なお,試験片溶接部幅端部では幅中央部とのバランスを保つための圧縮応力が発生した.

キーワード 疲労き裂,応力比,超音波衝撃処理,残留応力,き裂開閉口

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵(株)鉄鋼研究所 鋼材第二研究部

UIT 処理部については、中性子回折法により測定した溶接止端部の部分的な残留応力分布を参考に、UIT 処理に よりできた溝の底の中央での圧縮残留応力は降伏の 0.6 倍とし、深さ 2mm で残留応力が 0 となるよう深さに対して 直線的に変化するものとし、それより内部に発生する引張応力の値については表面側の圧縮応力とバランスがとれ るよう 2 次式により近似した値を与え、試験片幅方向に一様な分布とした.

また,解析上の試験片破断寿命は実験での破断とは異なり,板厚貫通までとした.

3. 実験方法

-100

実験は図1に示した試験片を容量 500KNの疲労試験機にて試験周波数 5~10Hzで疲労き裂による破断まで繰り返 し載荷試験を行った.試験片に用いた鋼材は板厚 12mmの橋梁用高降伏点鋼板SBHS500(降伏応力:575 N/mm²,引 張強度:665 N/mm²)であり,溶接金属はZ3313 YFW-C60FRのフラックス入りワイヤー,条件はCO₂ガス 100%で, 入熱:約 17kJ/cm,脚長が 8mmで隅肉溶接を行った.実験に用いた止端形状は溶接ままとUIT処理(太さ 3mm ϕ , 先端曲率半径 3mmのピンを使用し,溶接止端部に目視にて溶接止端の残留が確認できない程度まで打撃処理,深さ は約 0.2mm),グラインダー処理(先端曲率半径 3.2mmのバーグラインダーを使用,深さ 0.5mm以内を目安に処理) とし,UITとグラインダーでの耐疲労特性向上効果の比較も行った.

4. 実験解析結果

実験と解析の結果を図3に合わせて示す.溶接ま まの疲労試験は従来からの一般的知見通り,溶接止 端に高い引張残留応力が生じているため,試験体と しての応力比による影響をほとんど受けない結果 となった.これに対し,UIT処理試験片では応力比 によって S-N カーブが変わる結果となるが,3節で 述べた寿命予測方法によりこの傾向を大凡表すこ とができた.この結果は,用いた寿命予測手法の妥 当性を表すと同時に,UIT処理による疲労改善効果 は進展する疲労き裂の開閉口挙動に及ぼす溶接止 端部の残留応力と応力集中により決まることを示 していると言える.

また, グラインダー処理を施した試験片の結果は ⁵ 応力比 R=0.5 の条件の実験結果のみであるが, UIT 処理した場合の R=0.5 の結果とほぼ同程度の寿命となった.



5. まとめ

UIT処理を溶接止端部に施した隅肉十字溶接継ぎ手について応力比を変化させた疲労試験を行い,その結果を大 川ら^{2,3)}の疲労き裂進展解析方法を用いて予測した.この結果,用いた解析法によりUIT処理部の疲労寿命に及ぼす 応力比の影響をほぼ予想できることが明らかとなった.また,この方法はUITに限らず他の残留応力付与方法を用 いた疲労対策についても同様に適用可能と考えられ,鋼橋を始め各種鋼構造物においては部位により死荷重などに より高い応力比で疲労性能が必要となる場合があるが,そうした部位での疲労照査や疲労対策処理の選択における 有効なツールとなると考えられる.

参考文献

- 1) 例えば, 野瀬:疲労強度向上向け超音波ピーニング法,溶接学会誌,第77巻,第3号, 2008, pp.4-7.
- 2) 大川,島貫,野瀬,鈴木:溶接継ぎ手の高精度疲労寿命予測,溶接構造シンポジウム 2009 講演論文集, 2009), pp.483-486.
- T.Okawa, H.Shimanuki, T.Nose:2nd Int. Conf. On Material and Component Performance under Variable Amp. Loading, Proc. Vol. I, 2009, pp.433-442.
- 4) A.F.Hobbacher: The New IIW recommendations, Int. J. Fatigue, 31, 2009, pp.50-58.