

角形鋼管を平板に溶接した継手の低サイクル疲労寿命予測

名古屋大学大学院 正会員 ○判治 剛 学生会員 寺尾 名央
フェロー会員 舘石 和雄 正会員 清水 優

1. 研究の目的

地震のような過大な外力が繰返し作用すると、溶接継手部で低サイクル疲労が問題となる。本研究では、低サイクル疲労領域での鋼材のき裂進展速度式¹⁾を用いて、溶接継手から生じたき裂の進展寿命予測を試みた。

2. 低サイクル疲労試験

試験体の形状および寸法を図-1に示す。角形鋼管が平板に溶接されている継手であり、発電所施設建屋内のケーブルトレイ用支柱を模擬したものである。鋼管と平板はすみ肉溶接、またはルートフェイス1mmのレ形開先を設けた部分溶込み溶接にて接合した。どちらもルートギャップは0mmである。角形鋼管は75×75mm, 100×100mm, 板厚3.2mmの一般構造用角形鋼管とした。幅厚比パラメータ R_f および細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ は、幅75mmでは $R_f = 0.544$, $\bar{\lambda} = 0.578$ であり、幅100mmでは $R_f = 0.731$, $\bar{\lambda} = 0.431$ である。引張試験により求めた供試鋼材の機械的性質を表-1に示す。

試験状況を図-2に示す。試験体下端を固定し、頂部に繰返し水平変位を与えた。一定振幅の正負交番载荷とし、変位は降伏変位の2倍とした。载荷方向を変更する際に磁粉探傷試験により溶接部からのき裂を確認した。载荷は試験体が破断分離するまで繰り返した。

3. 疲労試験結果

荷重-変位関係を図-3に示す。これは溶接部にき裂を確認するまでの結果である。载荷とともに最大荷重が徐々に低下しており、き裂を確認した時点では荷重が10~20%程度低下していた。き裂発見状況と破断面の例を図-4に示す。溶接方法の違いによらず、き裂は溶接ビード上に確認され、その長さは10~30mm程度であった。破面観察より、き裂は溶接ルートから発生し、ビードを貫通する方向に進展したことがわかる。

4. 繰返しJ積分 ΔJ の算出

試験体のき裂進展寿命を予測するために有限要素解析を実施し、き裂先端での繰返しJ積分を算出した。

図-5に解析モデルを示す。解析にはAbaqus-6.13を用い、対称性を考慮して1/2モデルとした。平板底面は完全拘束とし、実験での载荷位置に繰返し水平変位を

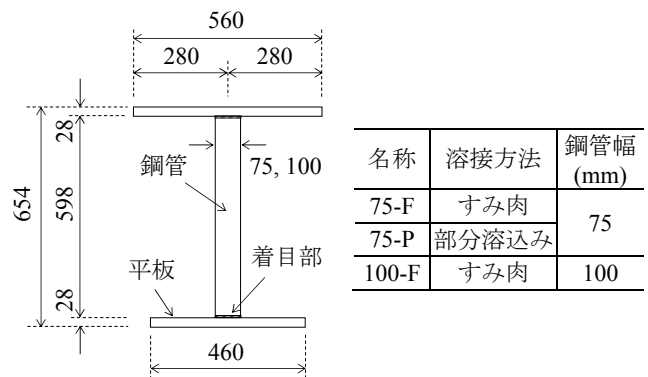


図-1 試験体 (単位: mm)

表-1 供試鋼材の機械的性質

鋼管幅 (mm)	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
75	395	478	39
100	398	495	35

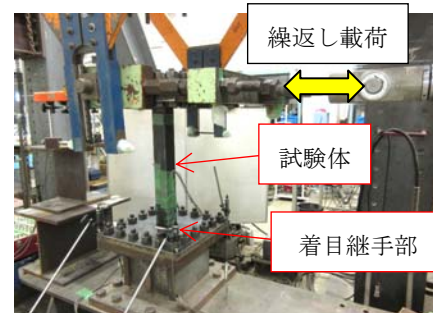


図-2 試験状況

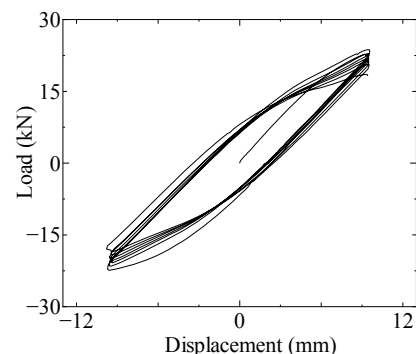


図-3 荷重-変位関係 (100-F試験体)

キーワード 低サイクル疲労, 溶接継手, 疲労き裂, き裂進展速度, 疲労寿命予測

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 TEL: 052-789-4618

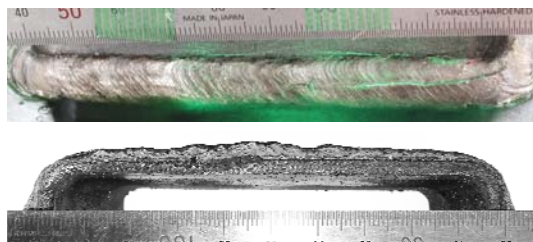


図-4 き裂発見状況（上段）と破面（下段）

与えた。载荷点と鋼管頂部は剛体要素により結合した。要素は8節点ソリッド要素とし、溶接部のき裂周辺での要素サイズは0.2mm程度である。溶接部の脚長と未溶着部寸法には実測値を用いた。未溶着部およびき裂面は二重節点とし、境界には接触条件を与えた。接触面の摩擦は考慮していない。構成則には引張試験結果を用い、硬化則は移動硬化則とした。ひずみ分布などを実験値と比較し、解析の妥当性は確認している。

き裂先端の繰返しJ積分は既往の研究¹⁾と同様の方法により求めた。繰返しJ積分には、経路依存性を確認した上で、き裂先端から0.2~0.8mmの経路の平均値を用いた。き裂進展量はフランジ幅方向で異なるが、今回は幅方向で進展量を一定と仮定し、き裂前縁を矩形でモデル化した。なお繰返しJ積分の最大値は、き裂前縁を曲線とした場合とほぼ同程度であった。既往の研究¹⁾と同様に、き裂長が異なるモデルをいくつか作成し、き裂長と繰返しJ積分の関係を求めた。き裂進展経路は破面観察結果を基に決定し、この経路に沿ってき裂長を変えたモデルを作成した。引張側と圧縮側でき裂進展方向および進展量は同じとしたが、これは両者で繰返しJ積分の差異が小さかったためである。

5. き裂進展寿命予測

き裂長と繰返しJ積分の関係と低サイクル疲労領域でのき裂進展速度式を用いて進展解析を行い¹⁾、き裂進展寿命を求めた。予測値と実験値の比較を図-6に示す。なお限界き裂長は、実験でのき裂発見時の最大荷重低下率と解析でのそれが一致するときのき裂長と定義した。図中には角溶接継手に対する結果¹⁾も併記している。角溶接継手と同程度のばらつきで、鋼管と平板の溶接部から生じるき裂に対しても精度よく疲労寿命を予測できているといえる。

6. まとめ

角形鋼管を平板に溶接した継手に対して低サイクル疲労試験を実施し、き裂の発生および進展挙動を明らかにした。さらに、低サイクル疲労領域において提案したき裂進展速度式に基づく進展解析を行い、疲労寿命の予測結果が実験結果とよく一致することを示した。

謝辞 本研究は、中部電力株式会社 原子力安全技術研究所 2014 年度 公募研究（一般）（代表：舘石和雄）によるものであります。ここに記して深謝します。

参考文献 1) 判治ら：鋼構造論文集，Vol.23，No.89，pp.85-95，2016。

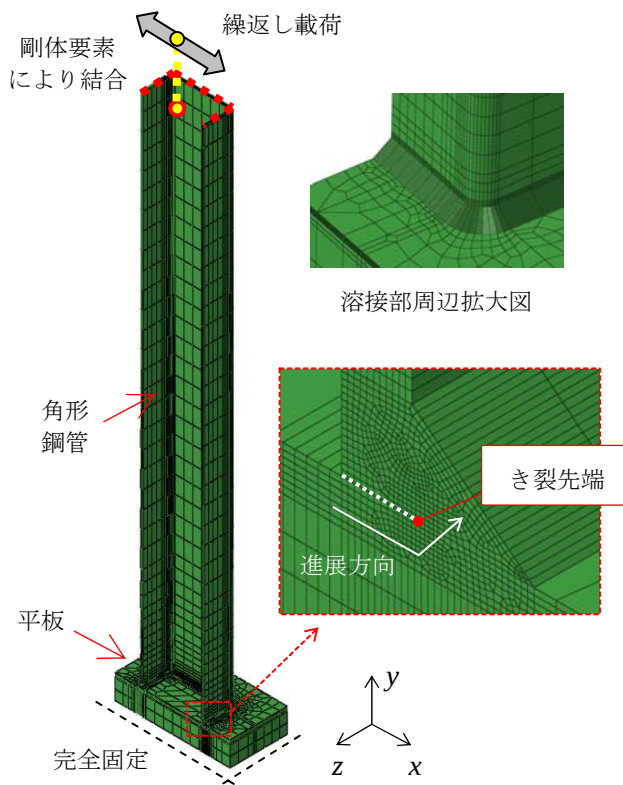


図-5 解析モデルの例

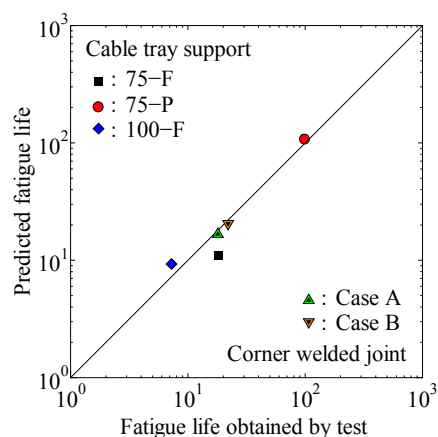


図-6 き裂進展寿命の予測結果