

ホットスポット応力による鋼管柱基部の疲労強度評価

名城大学 学 塚本 勝巳
名城大学 正 近藤 明雅

1. 序 論

各種溶接継手の疲労設計には、継手形式に応じて設定された設計 S-N 線図が使用されている。しかし、海洋構造物等で用いる鋼管継手などでは、継手形式が同一であっても構造寸法の違いにより応力集中率や疲労強度に差が生じるため、継手形式別の一本の設計 S-N 線で評価すると合理的な設計をするうえで難点となる。このような場合に疲労設計指針ではホットスポット応力を基準とした評価をするよう規定している。本研究は、支柱を鋼管で構成している道路照明柱や道路標識柱において疲労損傷が見られた鋼管柱基部に着目し、実験および FEM 解析により求めた応力分布に基づきホットスポット応力の定義方法を検討し、疲労試験データ¹⁾を基にホットスポット応力を用いて鋼管柱基部の疲労強度評価を行った。

2. ホットスポット応力について

図-1に溶接止端付近の応力分布の模式図とホットスポット応力の定義について示す。疲労亀裂が発生する溶接止端部に作用する応力は溶接止端部から離れた位置での応力（ここでいう公称応力）と継手形状に起因する応力の増加および溶接形状に起因する応力の増加の和として大別できる。ホットスポット応力はそのうち溶接形状による局所的な応力の増加を除外したものと定義され○印で示すA点、B点を通るような溶接止端部への直線外挿値として提案されている。しかし、この評価点A、Bをどの位置に定めるかがホットスポット応力を求める上で重要である。

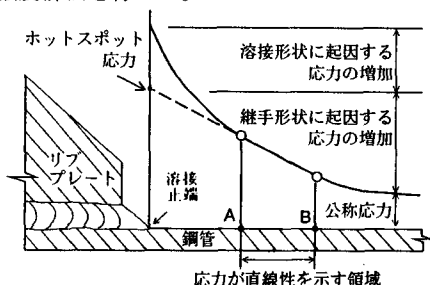


図-1 ホットスポット応力の定義

3. 鋼管柱基部の静的試験とFEM解析

疲労き裂が発生した溶接止端近傍の応力分布を得るために FEM 解析を行った。図-2 に疲労試験体として使われたベースプレート式パイプ継手の解析モデルを示す。モデルの要素には四辺形厚肉線形シェルを用い、溶接部を三角形要素で幾何学的に仮定した。最小メッシュ寸法は 1mm で溶接止端から管軸方向へ 30mm 付近まで細分割した。モデル寸法は図に示す寸法のほか、応力集中に影響を及ぼすと思われる D: 鋼管外径、PT: 鋼管板厚、BT: ベースプレート厚、RL: リブプレート長、RT: リブプレート厚の寸法にバリエーションを与えた。解析には引張および曲げ解析、引張解析では、全体の 1/4 モデルを用い、パイプ上端の管軸方向に等分布荷重を作用させた。支持条件としてボルト孔周辺節点の 3 方向の変位を拘束した。曲げ解析は全体の 1/2 モデルとし、パイプ上端に純曲げを作用させた。支持条件は、圧縮側となるベースプレート面に負の反力が存在する節点において管軸方向の変位を拘束し、他の条件は引張解析と同じとした。また、静的引張試験は疲労試験体¹⁾と同一のものを用いて溶接止端近傍のひずみを測定した。

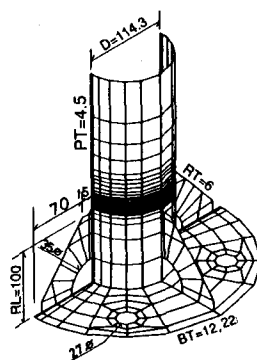


図-2 FEM解析モデル

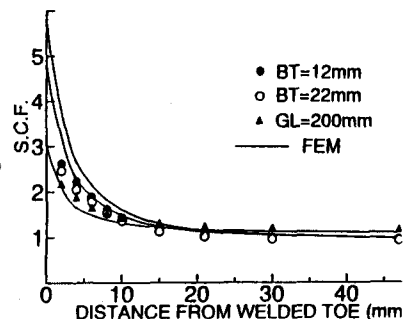


図-3 実験値と解析値の比較

4. ホットスポット応力の評価点の検討

FEM解析から得られた応力分布を基にホットスポット応力の評価点の検討をした。図-1で示したA点の評価方法として溶接形状の影響による局部応力の差が生じない位置をA点と仮定した。溶接形状による応力の差を表すために止端角 θ と止端半径 ρ をパラメータとして、 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の場合と $\rho=0\text{mm}, 1\text{mm}, 2\text{mm}$ の場合について解析した。図-4に解析結果を示す。溶接止端部から5mm程度離れた位置から溶接止端部に向けて局部的な応力集中の差が θ, ρ の両方において顕著に表れている。A点は先の仮定のもと θ, ρ の両方に共通して応力に差がない位置、この場合では溶接止端から7mmの位置をA点と仮定することができる。また、B点は継手形状に起因する応力の立ち上がり进行を考慮する事により、図-1に示す応力が直線性を示す領域内に定めることが適当である。実際に図-4で示した応力分布を用いた場合は溶接止端部から10mm離れた位置をB点とした。

5. ホットスポット応力で整理した疲労試験結果

図-5に疲労試験結果¹⁾を示す。●○印はベースプレート式パイプ継手でベースプレートの板厚の違いにおいて区別してある。▲△印はガセット付パイプ継手でガセットプレート長さの違いにおいて区別してある。2つの継手形式の4ケースにおいて疲労強度に差異があり、200万回疲労強度を対象とした時、ベースプレート式はBT=22mmで71.2MPa、BT=12mmで61.3MPa、ガセット付では、GL=100で106.5MPa、GL=200で92.8MPaである。これらの疲労試験結果をホットスポット応力で整理した。すなわち、先の方法により求めたホットスポット応力集中率（公称応力で除した値）を公称応力範囲に乗ずることで整理した。ホットスポット応力集中率はベースプレート式のBT=22mmで2.49、12mmで2.71、ガセット付のGL=100で1.82、200mmで1.99であった。図-6にホットスポット応力で整理した結果を示す。200万回疲労強度において、ベースプレート式の板厚による差が14%から6%に減少し、ガセット付では15%から5%に減少した。また、実線は疲労設計指針に規定されているホットスポット応力で評価する設計S-N線図である。ECCS(90)はやや安全側を取っているがJSSC(D)は実験結果のほぼ下限をおさえている。

6. 結論

・ホットスポット応力を本研究で示した方法で求め、疲労試験データを整理した結果、各鋼管継手の示す疲労強度がほぼ同レベルになった。

参考文献

- 1) 山田、近藤、小林、荒木：鋼管柱基部の疲労強度、構造工学論文集、VOL. 38A、1992. 3
- 2) 三木、館石、山本：局部応力を基準とした疲労評価手法に関する一考察、構造工学論文集、VOL. 38A、1992. 3

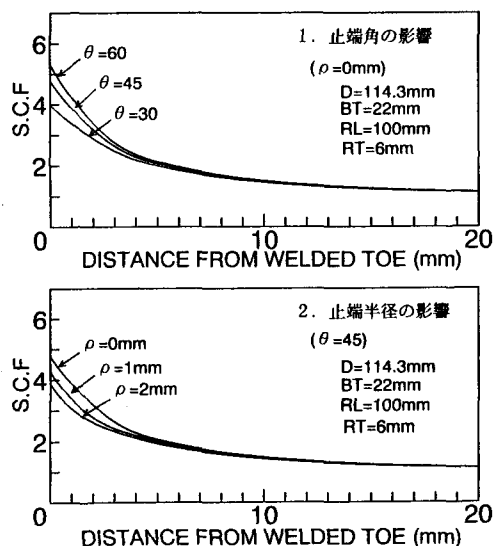


図-4 溶接止端の応力分布

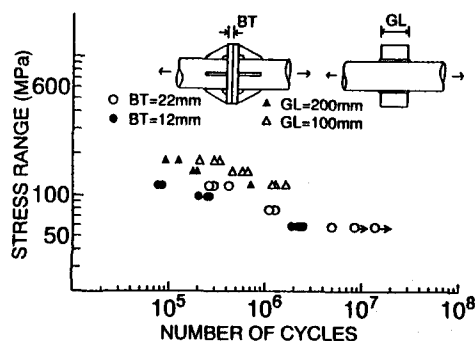


図-5 文献1)の疲労試験結果

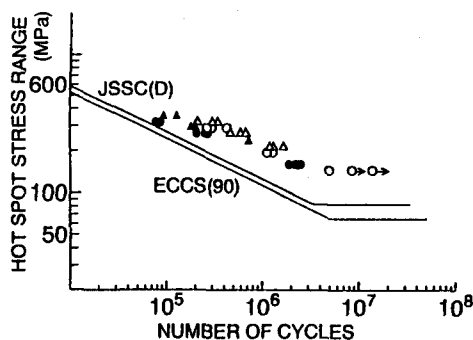


図-6 ホットスポット応力で整理した
疲労試験結果