

I-229 ホットスポット応力による鋼管柱基部の疲労強度評価

瀧上工業（株）正 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度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。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などの鋼管柱基部に着目し、FEMによる応力解析ならびに破壊力学の手法による疲労き裂進展解析から得られた結果を用いてホットスポット応力を基準とした疲労強度の評価を行った。

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。疲労き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止端形状による局部的な応力の増加を含まない応力として定義され、○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。

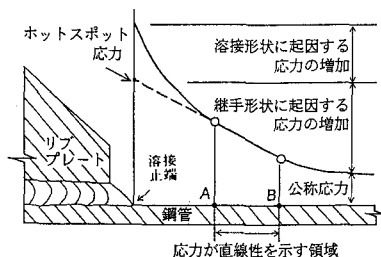


図-1 ホットスポット応力の定義

3. 鋼管柱基部の静的試験とFEM解析

疲労き裂が発生する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に照明柱基部をモデル化したベースプレート式鋼管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。モデル寸法は過去に行われた疲労試験体の寸法¹⁾のベースプレート板厚22mmを標準モデルとして、疲労強度に影響をおよぼすと思われるD:鋼管外径、PT:鋼管厚、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変化を与えた。解析は引張および曲げ荷重下の2種類について行った。また、解析値の妥当性を検討するうえで静的引張試験を行い、溶接止端近傍のひずみを測定した。静的試験に用いた試験体は、文献1)のベースプレートの板厚が22mmと12mmの鋼管継手2体とベースプレートのないガセット長200mmの鋼管継手1体の計3体を用いた。図-3に解析値と実験値の比較を示す。●○印はベースプレート式の実験値を示す。溶接止端から離れた位置では解析値によく一致しているが、止端付近では解析値がやや大きい傾向がある。▲印はガセット付の実験値であり、解析値とよく対応している。

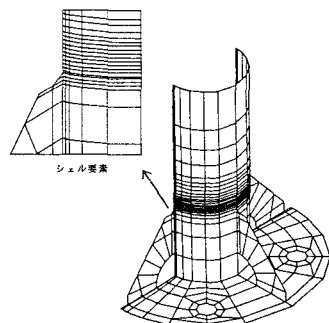


図-2 FEM解析モデル

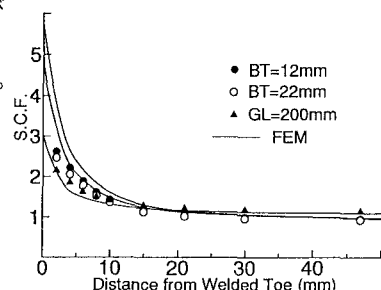


図-3 実験値と解析値の比較

4. ホットスポット応力の評価点の検討

ホットスポット応力は溶接止端形状に起因する応力の増加は含まないことから、止端形状がおよぼす応力の影響範囲を検討した。方法として溶接止端を構成する止端角 θ と止端半径 ρ をパラメータとした応力解析を行った。図-4に解析結果を示す。溶接止端部から5mm程度離れた位置におい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。すなわち、A点は溶接止端から5mm以上離れた位置に定めることが適当であると思われる。図-5はベースプレート式鋼管柱基部の部材寸法を変えた数ケースにおいて応力解析を行い、得られた溶接止端付近の応力分布である。ただし、各ケースについて疲労き裂進展解析を行い、200万回の繰返し回数で破断に至る応力を公称応力としている。各曲線において直線外挿した溶接止端位置での応力が、ある一点に収束するような評価点を定めることができれば、一本の設計S-N線図において疲労強度の評価ができる²⁾。評価点Aは先の仮定のもと溶接止端から5mm以上離れた位置に定めることが適当である。この位置を起点として応力が直線性を示す領域は止端から約12mmの範囲であると推察される。すなわち、この範囲内にA、B点を定めれば、各曲線から直線外挿したホットスポット応力の誤差はほとんど生じておらず、さらに、ホットスポット応力の一点収束性を考慮した上で溶接止端から7mm、10mmを評価点A、B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-6に疲労試験結果¹⁾を示す。○と◇印はベースプレート式鋼管継手の定振幅引張疲労試験結果で▽印は曲げ試験結果である。▲と△印はガセット付鋼管継手の定振幅引張疲労試験結果である。引張試験を対象とした2つの継手形式の4ケースにおいて疲労強度に差があり、200万回疲労強度を対象とした時、ベースプレート式はベースプレート板厚BT=22mmで71MPa、BT=12mmで61MPa、ガセット付では、ガセットプレート長GL=100mmで107MPa、GL=200mmで93MPaである。これらの疲労試験結果を評価点7mm、10mm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2.42、12mmで2.83、また、ガセット継手に評価点7mm、10mmを適用した時はGL=100で1.52、200mmで1.70であった。図-7にホットスポット応力で整理した結果を示す。200万回疲労強度は、ベースプレート式では14%から1%に減少し、ガセット付では13%から4%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による基準設計S-N線図である。ECCS(90)はやや安全側であるが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評価点7mm、10mmから直線外挿して求め、疲労試験結果を整理した結果、すべての試験体において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

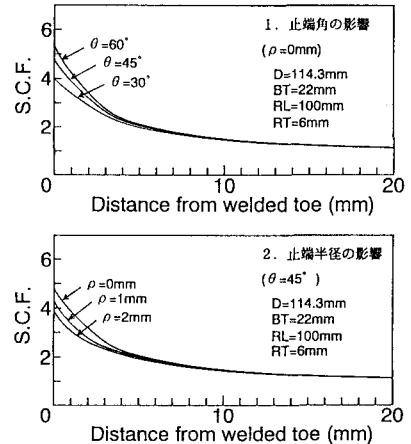


図-4 溶接止端の応力分布

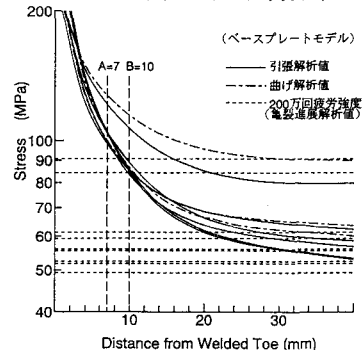


図-5 200万回で破断に至る応力を公称応力とした時の溶接止端の応力分布

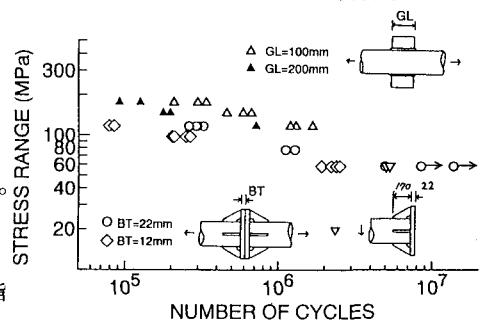


図-6 疲労試験結果

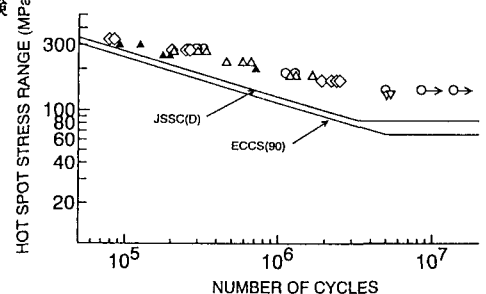


図-7 ホットスポット応力で整理した疲労試験結果