

ベースプレート式照明柱脚部の疲労挙動

名城大学 学 塚本 勝巳
名城大学 正 近藤 明雅

1. まえがき

道路照明や道路標識は、交通の円滑な運行と事故の防止を目的として道路上に設置される施設である。ところが橋梁などの高架構造物に設置される照明柱、標識柱は、橋の振動や風圧の乱れなどの影響で疲労損傷が発生したという事例が報告されている。そこで本研究では、ベースプレート式照明柱脚部に着目し、有限要素法による応力解析と疲労亀裂進展解析を行い、ベースプレートの板厚が疲労寿命にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 照明柱脚部の応力解析

2.1 解析モデル 図-1に示すFEM解析モデルは照明柱、標識柱脚部をモデル化したものであり、文献1)の疲労試験体と同一寸法である。要素には4辺形厚肉線形シェルを用い、最小メッシュ寸法を1.0mmとした。解析はベースプレートの板厚12mmと22mmについてそれぞれ引張解析と曲げ解析を行った。引張解析の解析モデルは全体モデルの1/4とし、パイプ先端の管軸方向に等分布荷重を作用させた。支点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。曲げ解析の解析モデルは全体モデルの1/2とし、パイプ先端の管軸方向に三角形分布荷重（純曲げ）を作用させた。支点条件として圧縮側となるベースプレート面において負の反力が存在する節点の管軸方向の変位を拘束し、他の拘束条件は引張解析と同じとした。

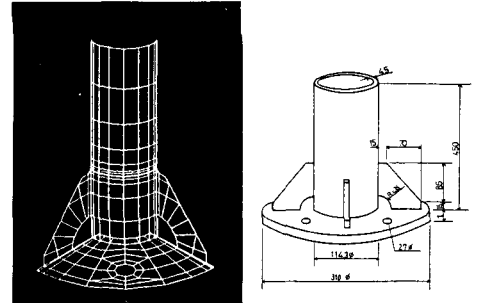


図-1 解析モデルとメッシュ分割

2.2 解析結果 図-2に引張解析におけるリブプレートを含む面の管軸と管軸直角方向の変形を示す。ベースプレート板厚12mmの場合には、ベースプレート自体の曲げ変形によりリブプレートが管周直角外側（X軸）方向に変形し、リブプレート溶接止端部付近の管壁に局外面外変形が発生していることがわかる。

22mmの場合には、板厚の増加に伴い剛性が高くなり、ベースプレートの曲げ変形が抑制され管壁の局外面外変形量が減少している。図-3に溶接止端部位置における鋼管の断面変形を示す。リブプレート取付部では鋼管の外側に変形し、リブプレート間の中間部では反対に内側に変形している。変形前には円の形状を示していたものが矩形状に変形している。リブプレート溶接止端部の管壁面外変形量はベースプレート板厚12mmの場合に 7.086×10^{-2} mm、22mmの場合に 4.909×10^{-2} mmであった。図-4に溶接止端部の管壁の外と内側における管周方向の応力分布を示す。管外面の応力分布は、溶接止端で高く、止端から離れるに従い小さくなり、止端から約20mmを越えると1より小さくなる。これに対して管内面では、止端からわずかに離れた位置で圧縮応力が認められる。止端から離れるに従い引張応力となり約20mmをこえると1より大きくなる。これは、図-3に示すようにリブプレート間の中央部は溶接止端の変形方向と逆方向に変形しているためと思われる。図-5にリブプレート溶接止端部から鋼管の板厚方向の応力分布を示す。ベースプレート板厚

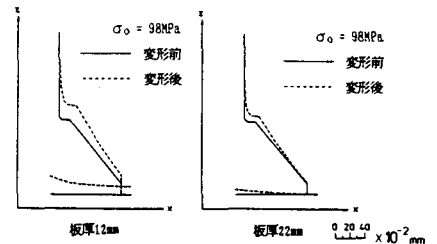


図-2 X-Z方向の変形図

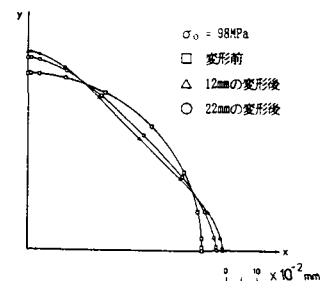


図-3 X-Y方向の変形図

12mmの場合、溶接止端における応力集中係数は6.22、板厚22mmでは5.16となり、板厚の増加により応力集中係数が17%減少することがわかる。曲げ解析では、引張応力側において板厚12mmの応力集中係数は5.22、板厚22mmでは4.92となり、板厚の増加により6%減少するが引張解析に比べて減少の度合いが小さい。圧縮応力側の応力集中係数は板厚12mmで5.59、22mmで4.75であった。

3. 解析結果と実験結果の比較

FEM解析結果を基に、破壊力学の手法を用いてベースプレート式照明柱脚部の疲労亀裂進展解析を行い、解析結果と実験結果の比較をした。ベースプレートの有無の比較を得るために鋼管にガセットを溶接したパイプ継手についても解析を行った。亀裂進展速度式 da/dn (mm/cycle) として次式を用いた。

$$da/dn = C \cdot (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad \Delta K_{th}: \text{下限界応力拡大係数範囲}$$

材料定数は科学技術庁金属材料技術研究所により求められた値 $C = 9.69 \times 10^{-9}$ (mm/cycle)、 $m = 2.9$ 、 $\Delta K_{th} = 2.5$ (MPa $\sqrt{m}$)を用いた。定荷重振幅の場合には、疲労亀裂進展寿命は上式を初期亀裂 a_0 から最終亀裂 a_f までを数値積分して求められる。応力拡大係数範囲 ΔK は次式で表される。

$$\Delta K = \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_s \cdot F_e \cdot F_t \cdot F_g$$

σ_r : 応力範囲、 a : 亀裂長さ、 F_s : 自由表面補正係数、 F_e : 亀裂形状補正係数、 F_t : 有限板厚補正係数、 F_g : 応力集中補正係数である。なお、 F_e と F_t は亀裂進展過程において溶接止端から板厚を貫通するまでを半楕円亀裂に対する補正係数を用い、それ以降は貫通亀裂に対する補正係数を用いた。 F_g に対しても板厚を貫通するまでは板厚方向の応力分布を用い、貫通後は管周方向の応力分布を用いた。解析に必要なパラメータである初期亀裂長さ a_0 およびアスペクト比 a/b は明確な値として決める根拠がないことから過去に行われた例を参考にし $a_0 = 0.05, 0.1, 0.2$ (mm) の3ケースと $a/b = 1/2, 1/3$ の2ケースの合計6ケースの値を用いて解析した。図-6にベースプレートの板厚12mm、22mmとガセット長100mmのパイプ継手の実験結果及び解析結果を示す。図より実験結果と解析結果の比較において板厚12mmの場合は、高応力範囲で実験値の方が疲労強度が低く、逆に低応力範囲では解析値の方が低い。全体的に実験結果と解析結果を比較すると解析値の方が下回っている傾向がある。ベースプレートの有無において比較するとベースプレートを有することで大きく疲労強度が低下する。このことは、上述で示したようにベースプレート自体が曲げ変形する事でリブプレート溶接止端の応力集中が高くなることに対応している。ところが、ベースプレートの板厚の増加により曲げ変形が抑制されることでリブプレート溶接止端の応力集中が軽減され疲労寿命が向上していることがわかる。

4. まとめ

1. ベースプレートを有することでベースプレートの曲げ変形がリブプレート溶接止端付近の管壁に局部面外変形を起こし溶接止端部の応力集中が高くなる。
2. ベースプレートの板厚の増加により、ベースプレートの曲げ変形が抑制され、管壁の変形量が減少されるので、リブプレート溶接止端部の応力集中が減少し、ベースプレート式の溶接継手において疲労寿命の向上がはかれる。

参考文献

- 1) 山田、近藤：鋼管柱基部の疲労強度、構造工学論文集、VOL. 38A、1992. 3

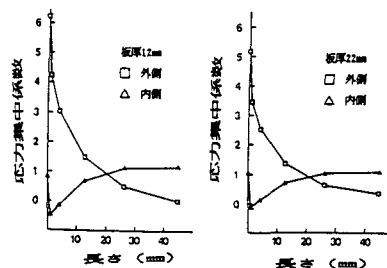


図-4 管周方向の応力分布

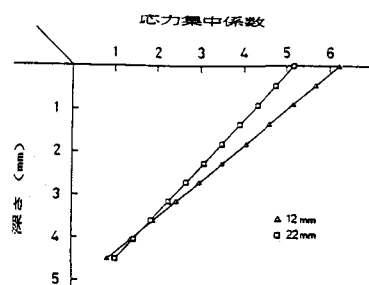


図-5 板厚方向の応力分布

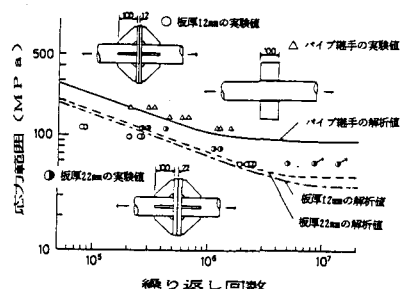


図-6 実験結果と解析結果の比較