

I - 235

ベースプレートに有する鋼管柱脚部のFEM解析と疲労挙動

名城大学 学 塚本 勝巳 名城大学 正 近藤 明雅

1. まえがき

一般道路や高速道路に設置される照明柱や標識柱は、車両交通の円滑な運行と事故の防止を目的とした重要な施設である。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、有限要素法によりベースプレート式鋼管柱脚部の変形挙動を明確にし、同時に疲労亀裂進展解析を行い、ベースプレートの板厚やリブプレート長の違いによって疲労寿命にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. FEM解析

(1) 解析方法 図-1に示すFEM解析モデルは照明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。解析は図-1に示すモデル寸法において、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。なお、リブプレートの寸法を200×85×6mmとした場合においても同様に行った。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。支持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、他の支持条件は引張解析と同じとした。

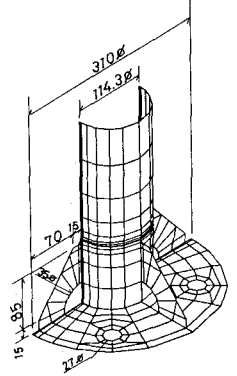


図-1 モデル寸法とメッシュ分割

(2) 解析結果 図-2に溶接止端位置における鋼管の断面変形を示す。引張解析において、リブプレート取付部では、鋼管の外側へ変形し、リブプレート間の中間部では、逆に内側へ変形している。これは鋼管柱脚部がベースプレートを有しているために、ベースプレート自体が曲げ変形し、リブプレートが管周直角外側方向に変形するため、リブプレート上端の溶接止端付近の管壁に局外面外変形が生じていると思われる。しかし、ベースプレート板厚を増すことによってベースプレートの曲げ変形が抑制でき面外変形量が減少する。曲げ解析では、引張応力側において全体的に鋼管の内側へ変形しているが、圧縮応力側では、逆に外側へ変形している。X軸上に示すリブプレート上端の溶接止端部の変形は引張応力側では、板厚の影響による変形量の減少が見られるが、圧縮応力側では余り差はみられない。図-3に溶接止端部の管壁の外面上における管周方向の応力分布を示す。応力分布は、引張や曲げ解析ともども溶接止端部で高く、止端から

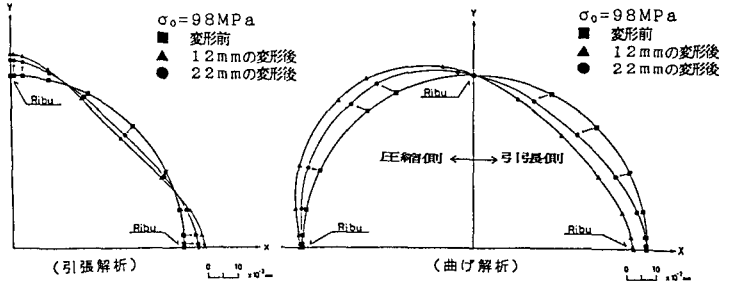


図-2 X-Y方向の変形図

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。なお、図上に示されていないが引張解析における管壁内面の応力分布において、止端部から約20mmを越える辺りから管壁内面の応力の方が管壁外面に比べ高いという結果が得られている。これは、図-2で示したようにリブプレート間の中間部においてリブプレート取付部の変形方向と逆方向に変形しているためと思われる。曲げ解析においても、外面と内面の差は引張解析ほどないが同様な傾向を示している。図-4にリブプレート溶接止端部における板厚方向の応力分布を示す。リブプレート長を200mmとした場合についても示した。引張解析の場合、リブプレート

長が 100mm の場合、ベースプレート板厚12mmでは、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が 17%減少する。一方、リブプレート長が 200mmの場合には、板厚12mmで4.39、板厚22mmでは4.31である。このように、リブプレート長を増すことで溶接止端部の応力集中が減少し、ベースプレート板厚の違いによる応力集中の差が小さくなる。曲げ解析の場合は、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割合が小さい。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。

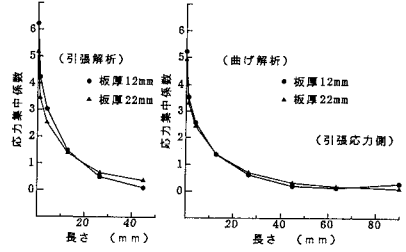


図-3 管周方向の応力分布

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、曲げおよび引張の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。解析には次式を用いた。

$$da/dn = C \cdot (\Delta K_m - \Delta K_{th})^m$$

ここで、 C, m は材料定数で科学技術庁金属材料技術研究所で求められた値（ $C=9.69 \times 10^{-9} \text{mm}/(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})^3$ 、 $m=2.9$ 、 $\Delta K_{th}=2.5(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$ ）である。応力拡大係数範囲 ΔK は $\Delta K = \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_s \cdot F_o \cdot F_t \cdot F_g$ で求めた。

σ_r は応力範囲、 a は亀裂深さ、 F_s, F_o, F_t, F_g はそれぞれ表面亀裂、亀裂形状、有限板厚、応力集中に対する補正係数である。解析では、亀裂が板厚を貫通するまでは半楕円亀裂、（初期亀裂深さ $a_0 = 0.05\text{mm}$ 、亀裂形状比 $a/b=1/3$ ）とし、その後は内部貫通亀裂として取り扱った。限界亀裂深さ $a_r=45$ とした。図-5に引張荷重が作用した場合の実験結果と解析結果を示す。実験結果と解析結果を比較すると、ベースプレート板厚が22mmの場合と鋼管にガセットを溶接した継手では、解析値は実験値の下限付近に位置している。これに対し、ベースプレート板厚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、解析値の方が低かった。なお、ベースプレートの有無において比較すると、ガセット長100mmを有する鋼管はベースプレート式に比べ疲労強度が高く、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。

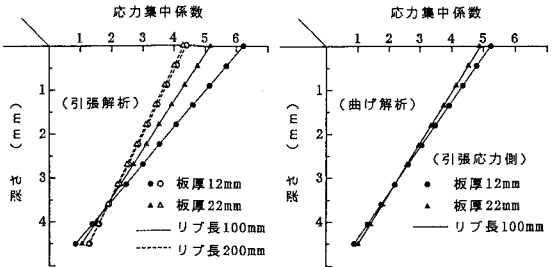


図-4 板厚方向の応力分布

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面外変形を誘起し溶接止端部の応力集中が高くなる。このため、ベースプレートを有すると疲労強度は低下する。
2. ベースプレートの板厚の減少に伴い、ベースプレートの曲げ変形と管壁の面外変形量が増加するため、リブプレート溶接止端部の応力集中が大きくなり疲労寿命もさらに短くなる。
3. リブプレート長を増すことにより溶接止端の応力集中が減少し、疲労寿命の向上がはかれる。

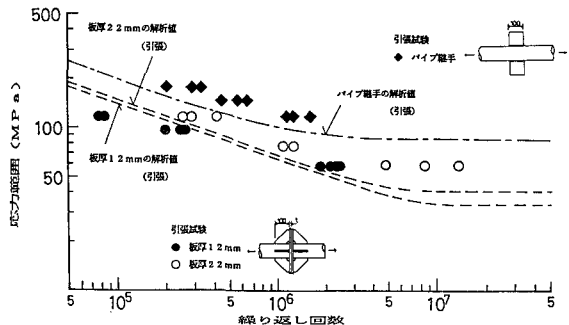


図-5 実験結果と解析結果の比較

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