

I-604

初期曲げ変形を考慮した鋼製エルボの低サイクル疲労強度

NKK 正員 鈴木信久 正員 那須 卓

NKK 正員 矢野達夫 費 中敏

1 はじめに 液状化に伴って発生する地盤の永久変位によって、埋設管路は大きな変形を受けることがあるが、溶接鋼管は延性に富むため、大きな塑性ひずみが発生しても直ちに破壊に至ることはない¹⁾。また、ある程度大きな変形を受けた管でも、続いて発生する地震の繰返し変形に耐えることができる。このような状況における埋設鋼管の強度について、本文では、面内の内曲げ初期変形を受けた鋼製エルボの低サイクル疲労強度を検討した。

2 疲労実験の概要

供試体には、SGP150A ロングエルボ(165.2mm ϕ $\times$ 4.5mmt;以下単にエルボと呼ぶ)を使用し、初期変形 d_0 の低サイクル疲労強度への影響について検討した。供試体および試験装置の形状および寸法を図1に示す。実験では、まずエルボに面内の内曲げ変形を与えた後に、図2に示す変位振幅 $\Delta d/2$ を一定に保って繰返し変形を与えた。

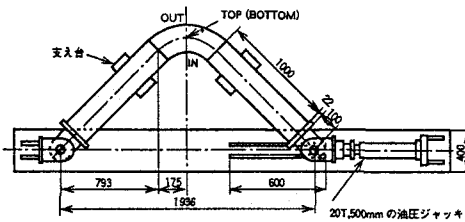


図1 供試体および試験装置概要

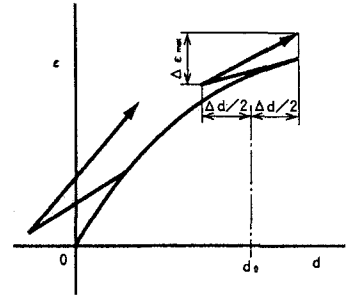


図2 ひずみと変位の関係

実験では、油圧ジャッキの反力荷重、シリンダの変位、エルボ外面のひずみを測定した。ひずみの測定にはひずみゲージを用い、特に、エルボ断面の偏平化により大きなひずみの発生する、エルボの脇の部分に密に測定した。また、あらかじめ供試体に0.1kgf/cm²の空気圧を与え、その空氣の漏れによってき裂の貫通を判定した。

変形設定条件を表1に示す。このうちCASE1～CASE4については、実験および次章で述べる有限要素解析の両方を行い、CASE5は解析のみ行った。

3 実験結果および変形解析 実験で得られた変位の繰返し数と最大ひずみの関係の一例を図3に示す。このように、ひずみ振幅はほぼ一定で安定しているが、平均ひずみは漸増する傾向にある。このデータを変位と最大ひずみの関係に置き換えて図4に示す。これによって、繰返し変形過程における変位～ひずみ関係は、初期変形を与えた段階の変位～ひずみ関係とほぼ一致していることが分かる。

変位量 d は実験装置の寸法に固有なパラメータであるため、エルボの曲げ変形に関する実験結果および解析結果を一般化して表すことはできない。したがって本文では、エルボの両端における相対回転角($\Delta\phi$)とエルボの曲がり角度(ϕ)からエルボの回転率 $\omega(=\Delta\phi/\phi)$ を定義する。これによって、 Δd に対応する ω の振幅 $\Delta\omega$ 、および初期変形 d_0 に対応する ω_0 を求めた。それらを表1に解析値として示す。

表1 変形設定条件

CASE	実験条件		解析値	
	初期変形 d_0 (mm)	変位振幅 Δd (mm)	初期変形 ω_0	角度振幅 $\Delta\omega$
1	110	55	0.0738	0.0347
2	110	100	0.0738	0.0650
3	175	75	0.1178	0.0477
4	0	75	0.0000	0.0497
5*	110	75	0.0738	0.0480

* CASE5は解析のみを行った

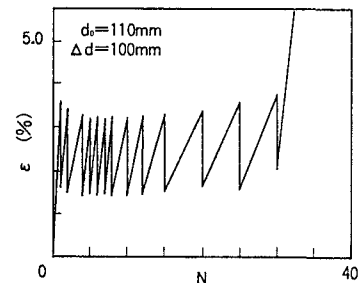


図3 繰返し変位数とひずみの関係

$\Delta\omega$ で整理したエルボの疲労寿命線図を図5に示す。○が本実験で得られた結果で、●は初期変形の無いエルボについて得られた曲げ疲労強度である⁵⁾。これらの実験結果(○および●)全体は、線形関係にあることが分かる。この結果から、初期曲げ変形を受けたエルボの疲労強度は、初期変形の無い場合の疲労強度と比較して、少なくとも同等以上あるものと考えられる。

このように一般的な概念に反した実験結果が得られたのは次の理由が考えられる。このため、 $\Delta\omega$ を一定とした $\Delta\varepsilon \sim \omega$ 関係を図6に示す。このように、エルボの曲げ変形(ω_0)の増加に伴って最大ひずみの振幅($\Delta\varepsilon$)は線形的に漸減しているため、初期変形が大きなエルボの方が疲労強度が大きくなるのである。

また、ここで○は管表面で測定された最大ひずみをプロットしたもので、△は有限要素解析で得られた管内面の最大ひずみを表している。また、このように○と△の間に3~4倍もの大きな差が認められるので、エルボの疲労強度を精度良く推定するためには、本来ならば内面のピークひずみ把握しなければならないことも重要な点である。

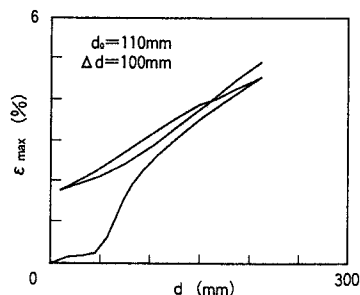


図4 変位と最大ひずみの関係

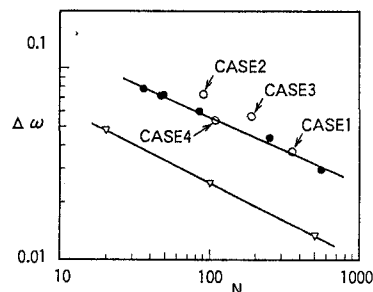


図5 エルボの疲労寿命線図

4 初期変形のある鋼製エルボの疲労強度 設計疲労曲線で表される ε と N の関係から求めた、 $\Delta\omega$ と疲労寿命 N の関係を式(1)³⁾に、式(1)による値を図5中に▽で示す。この▽で表される直線が、材料の疲労寿命線図における設計疲労曲線に相当する。

$$\omega = \frac{0.855}{\lambda^{1/3}} \frac{R}{r} (4.73 \cdot N^{-0.426} + 0.0387) \quad (1)$$

ここに、 R はエルボの曲率半径、 λ はパイプ係数である。

実験結果(○および●)は、設計疲労曲線(▽)よりも、同一 N に対しては ω が4~5倍大きく、また同一 ω に対しては、 N が約10倍以上の余裕がある。したがって、エルボの疲労強度は、式(1)よりも十分安全側にあることがわかる。

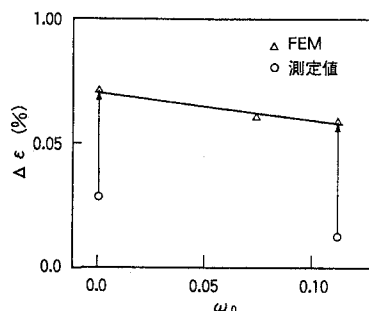


図6 初期変形とひずみ振幅の関係

5 まとめ 初期曲げ変形を受けたエルボの疲労強度は、少なくとも初期曲げ変形の無いエルボと同等以上であることが実験的に明らかになった。また、エルボの変形と疲労強度の関係は式(1)で評価しても十分に安全側の評価であり、さらに ω には2倍程度は余裕を見込んでよいことが確かめられた。これらのことから考えて、初期曲げ変形を受けた鋼製エルボの低サイクル疲労強度を評価する場合には、局所的な材料の疲労強度から考えるのではなく、エルボの回転率 ω を用いて考えられることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 浜田, 安田, 磯山, 恵本: '液化化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究', 土木学会論文集Ⅲ, 1986.
- 2) 鈴木, 浜田: '埋設管の地震被害と管路網の変形特性', 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991.
- 3) 鈴木, 大場: '埋設パイプライン曲管部の低サイクル疲労強度', 構造工学論文集, Vol. 36A, 1990.
- 4) Iida, K. & Kakimi, T.: 'Very Low Cycle Fatigue Strength of Ship Structure Steel', The 2nd ISPDS, 1983.
- 5) 平瀬, 北尾, 川原, 鈴木: 'エルボの面内曲げ疲労特性', 圧力技術, Vol. 24, No. 5, 1986.