

I-640 初期変形を考慮した鋼製エルボの極低サイクル疲労強度

NKK 正員 鈴木信久 正員 谷村正人  
NKK 正員 那須 卓 正員 矢野達夫

1 はじめに 面内の外曲げ変形を受けた鋼製エルボの低サイクル疲労強度について、実管疲労試験および有限要素解析による検討を行った。そして前報<sup>1)</sup>で得られた内曲げ初期変形の場合の結果と合わせて、初期面内曲げ変形の低サイクル疲労強度への影響について検討した。

2 疲労実験の概要 供試体および試験装置の概要を図1に示す。供試体には、SGP150Aロングエルボ(配管用炭素鋼鋼管, 165.2mmφ×4.5mmt;以下単にエルボと呼ぶ)を使用した。実験では、まずエルボに面内の外曲げ変形を与えた後に、図2に示す振幅 $\Delta d$ を一定に保って繰返し変形を与えた。実験条件を表1に示す。 $\omega$ エルボの回転率で、有限要素解析から求めた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( $\phi, =90^\circ$ )との比( $\Delta\phi/\phi$ )であり、内曲げの場合は正、外曲げの場合は負である。実験条件として与えた $\omega_0$ (-0.122~0.118)は、別途行った埋設エルボの有限要素解析結果から、図3に示すように、一様な地盤ひずみ $\epsilon_g = -3\% \sim 6\%$ によって発生する初期曲げ変形に相当する。

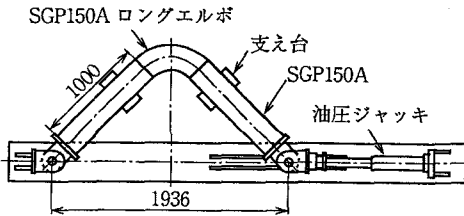


図1 供試体および実験装置概要

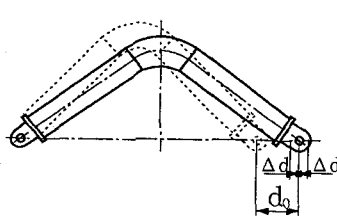


図2 初期変形と変位振幅

表1 実験条件

CASE	初期変形 $\omega_0$	角度振幅 $\Delta\omega$
1	0.074	0.035
2	0.074	0.065
3	0.118	0.048
4	0.000	0.050
5	0.074	0.048
6	-0.075	0.052
7	-0.122	0.053
8	-0.032	0.049

3 実験結果および変形解析  $\Delta\omega$ を一定(約0.05)とした場合のき裂貫通寿命 $N \sim \omega_0$ の関係を図4に示す。疲労強度は、初期変形が内曲げの場合には増加し、外曲げの場合には低下している。また、有限要素解析で得られた管内面のピークひずみ振幅( $\Delta\epsilon$ )と $\omega_0$ の関係を図5に示す。初期変形が内曲げの場合には、 $\omega_0$ の増加に伴って $\Delta\epsilon$ は線形的に漸減しているが、初期変形が外曲げである場合には、 $\omega_0$ の増加に伴って $\Delta\epsilon$ は線形的に増大している。一般に、材料強度的には初期ひずみは疲労強度に影響しないことが知られているが<sup>3)</sup>、それに関わらず本実験のように初期変形 $\omega_0$ が疲労強度に影響しているのは、図5に示したように、エルボ断面の残留変形によって一定 $\omega$ に対するピークひずみの値(ひずみ集中係数)が変化するためである。また、断面の残留変形によって繰返し変形にもなうひずみ挙動も変化する。

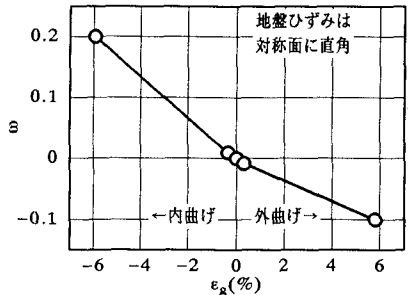


図3 地盤ひずみと $\omega$ の関係

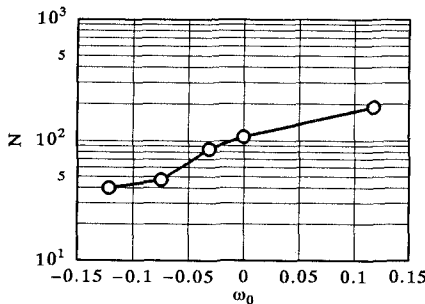


図4 初期変形と疲労寿命の関係

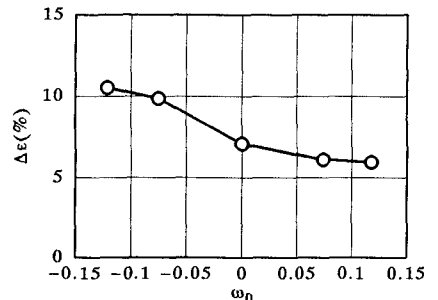


図5 初期変形とひずみ振幅の関係

4 初期変形のある鋼製エルボの疲労強度 はじめに、前報で示した $\Delta\omega$ と疲労寿命 $N$ の関係を式(1)に示す<sup>1)</sup>。

$$\Delta\omega = \frac{0.855 R}{\lambda^{1/3} r} * ((4.73 * N^{-0.426} + 0.0387) / 100) \quad (1)$$

ここに、 $R$ はエルボの曲率半径、 $\lambda$ はパイプ係数である。この式(1)は、ASMEの設計疲労曲線に表される $\epsilon \sim N$ の関係と、変形が線形域にある場合の $\omega$ とピークひずみの関係から導いたものである。塑性域における $\epsilon \sim \delta$ の関係を線形域における関係で表したのは、図6に示すように、繰返し変形過程における変位 $\sim$ ひずみの関係は、初期変形を与えた段階および線形域とはほぼ同じ勾配を持つためである。 $\Delta\omega$ で整理したエルボの疲労寿命線図を図7に示す。ここで、 $\nabla$ はASMEの最適疲労曲線から式(1)と同様にして得たものである。初期変形の無い場合(●および○)は線形関係にあり、 $\nabla$ と $\Delta$ (式(1))の間にある。また、初期変形が内曲げである場合(◎)は、○および●よりも安全側にある。一方、初期変形が外曲げの場合(⊙)の疲労強度は、変形量に比例して低下する。

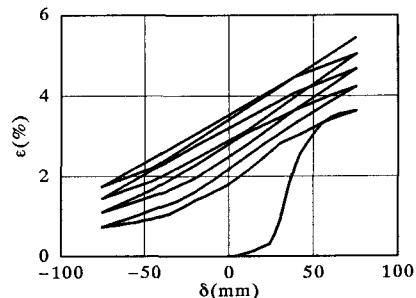


図6 外面ピークひずみの挙動

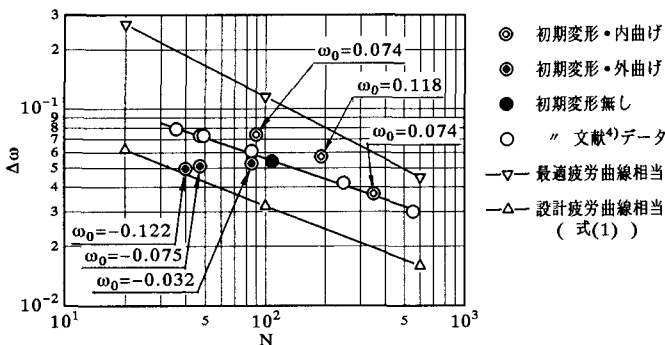


図7 初期面内曲げ変形の疲労強度への影響

### 5 初期変形量の疲労強度への影響

初期変形のある場合の疲労寿命 $N$ の、初期変形の無い場合の疲労寿命 $N_0$ に対する比( $N/N_0$ )と、 $\omega_0$ の関係を図8に示す。 $\omega_0$ が $-0.1 \sim 0.1$ の範囲で、 $N/N_0$ は $\omega_0$ と直線関係にあり、 $\omega_0$ が1%に対して疲労寿命が6.4%増減する。ただし外曲げでは、 $\omega_0$ が大きくなるに従って、 $N$ は $N_0$ の20~30%低下した値に漸近する。また図7において、式(1)( $\Delta$ )は初期変形の無い場合(○および●)に対して20~30%の疲労強度となっているので、 $\omega_0$ が大きくなると◎は $\Delta$ の線(式(1))付近まで低下すると考えられる。一方、図3に示したように、 $\omega_0 = 0.1$ となる大きさの外曲げの初期変形を与えるような様な地盤ひずみ $\epsilon_0$ は6%程度である。つまり、図7および図8から、6%程度の大きな地盤ひずみによって初期曲げ変形を受けても、疲労強度は設計疲労曲線相当までは低下しないと考えられる。これらのことから、式(1)で実用的に十分な範囲で疲労強度を推定することができる。

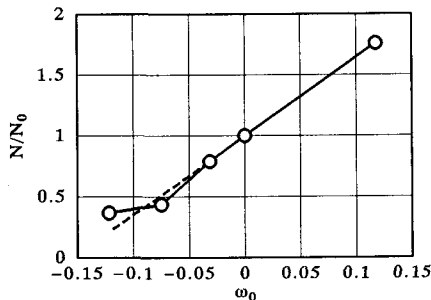


図8 初期変形の疲労寿命への影響

6 まとめ 本報告では実管試験および有限要素解析から、面内の初期曲げ変形の、鋼製エルボの低サイクル疲労強度への影響が明らかとなった。また、初期変形による疲労強度の低下があっても、実用的に十分な範囲で疲労強度を推定する実験式が得られた。今後は $\Delta\omega$ および管径の影響につき検討する予定である。

参考文献 1) 鈴木, 那須, 他: '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', H3年次講演会稿概集 I - p. 1246~1247; 2) 鈴木, 那須, 他: '地盤変状による初期変形を考慮した曲管の低サイクル疲労強度', 地震工学シンポジウム(H3年7月)講演概要, p. 317~p. 320; 3) 金澤, 飯田: '溶接継手の強度', 溶接全書17, 産報出版, 1979; 4) 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.