

I - B450

曲管の面外曲げ変形特性

NKK 正員 那須 卓

NKK 正員 松山英治

NKK 内田佳邦

1. はじめに

地盤の不同沈下や地震時の地盤変状により埋設管が変形する場合、配管と地盤を梁とばねでモデル化して変形や発生ひずみについて解析的に検討する手法が一般的である。本文では、曲管の面外曲げ変形挙動を定量的に評価することを目的とし、曲管の面外曲げ剛性(撓み係数)を曲管形状により評価する実験式について検討した。

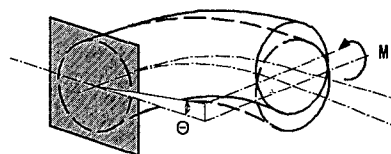


図1 曲管の面外曲げ変形

2. 曲管の面外曲げ実験

図1に示すような曲管の面外曲げ変形挙動について、実験的に検討した。実験方法の概要を図2に示す。実験には、呼び150Aの配管用炭素鋼鋼管(SGP:外径165.4mm,管厚5.0mm)を用い、曲管に接続した直管に曲管の曲り面に垂直な強制変位を与えた。また、汎用構造解析コードADINAを用い、有限要素解析により実験結果を検証した。解析モデルを図3に示す。解析モデルはシェル要素により離散化し、鋼の材料特性は2直線近似(弾性係数206GPa,降伏応力289MPa,降伏後の接線係数1.44GPa)とした。載荷点における荷重Pと変位δの関係を図4に示す。○が実験値、実線が解析値である。弾性域での同一変位に対して解析値は実験値よりも

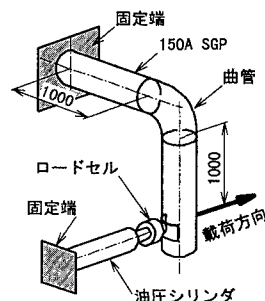


図2 実験方法概要

2.2%大きい、全体の傾向は実験結果と解析値は良い一致を示しており、シェル要素による解析モデルは供試体の変形を良く再現していることが分かる。また、曲管の断面変形を考慮しない場合(全体を梁要素でモデル化した場合)のP~δの関係を、図4に破線で示す。実線と破線の差が断面変形による曲管の剛性低下を表し、面内曲げ同様に面外曲げでも曲管断面の局部変形により曲げ剛性が低下することが分かる。

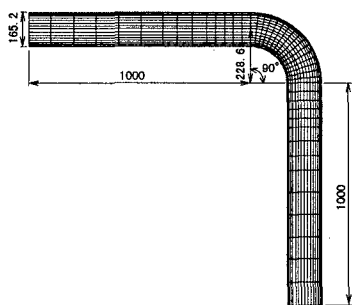


図3 解析モデル

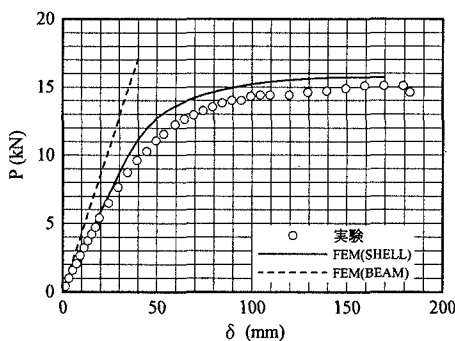


図4 P~δの関係

3. 曲管の面外曲げ変形

曲管の面外曲げ角度 θ と面外曲げモーメントMを、図1に示すように定義する。撓み係数を考慮しない場合、90°曲管の中心軸上の端から θ の位置での曲り面外への撓み量w、面外曲げ角度 θ_s 、およびMの関

キーワード:パイプライン, 曲管, 面外曲げ, 撓み係数 連絡先: NKKエンジニアリング研究所 TEL. 044-322-6240

係は、次式で表される¹⁾。Rは曲管の曲率半径、EIは曲げ剛性、 ν はポアソン比である。

$$w = \frac{R^2}{EI} \cdot \frac{2+\nu}{2} \cdot M \cdot \theta \cdot \cos \theta + \frac{R^2}{EI} \cdot \frac{2(1+\nu)}{\pi} \cdot M \cdot \theta - \frac{R^2}{EI} \cdot (1+\nu) \cdot M \cdot \sin \theta \quad \dots (1)$$

$$\Theta_s = \frac{d}{d\theta} w \Big|_{\theta=\frac{\pi}{2}} \quad \dots (2)$$

100A~300Aを対象として、前章と同様曲り角度90°の曲管の一端に曲り面外の曲げモーメントが作用する場合の変形について有限要素解析により検討した。検討モデルの寸法諸元を表1に示す。 λ はパイプ係数である。

曲げモーメントMおよび解析で得られた最大ひずみ $\varepsilon_{\max}$ と面外曲げ角 Θ_b の関係を図5に示す。

変形初期の撓み易さを表す接線係数として、図5からモーメントと面外曲げ角度 Θ_b との比M/ Θ_b を求め、(1)式のMと曲げ角度 Θ_s との関係を用いて撓み係数 K_{out} を次式(3)のように定義する。また、同様に初期の弾性変形域で、ひずみ集中係数 C_{out} を次式(4)のように定義する。 $\varepsilon_{\max}$ はモーメントMによる曲管の最大ひずみ、Zは断面係数である。

$$K_{out} = \frac{M/\Theta_s}{M/\Theta_b} \quad \dots (3) \quad C_{out} = \frac{\varepsilon_{\max}}{M/Z} \quad \dots (4)$$

K_{out} と λ の関係を図6に、 C_{out} と λ の関係を図7に示す。また、ASME²⁾に示されている曲管の面内曲げ変形に関する撓み係数 K_{in} およびひずみ集中係数 C_{in} を図6、7に合わせて示す。ASMEの関係式との対比から、図より K_{out} および C_{out} と λ との関係は次式で近似される。面外曲げの撓み係数は面内曲げの約2/5、ひずみ集中係数は面内曲げの約3/5である。

$$K_{out} = 0.69/\lambda \quad \dots (5) \quad C_{out} = 1.22/\lambda^{2/3} \quad \dots (6)$$

4. まとめ

90°曲管の面外曲げ変形について有限要素解析および実験により検討し、面外曲げでも面内曲げ同様に曲管の曲げ剛性が低下することを確認した。また、面外曲げ変形の撓み係数およびひずみ集中係数を求める実験式(5,6)を提案した。

参考文献：1) 構造工学公式集, p199, 土木学会編, 1988

2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Subsection NB-3680~NB-3686.5, SI-137~150, 1983

表1 検討モデル諸元

管の呼び	100A	150A	200A	300A
外径D (mm)	114.3	165.2	216.3	318.5
管厚t (mm)	4.5	5.0	5.8	6.9
曲率半径R (mm)	152.4	228.6	304.8	457.2
$\lambda (=Rt/(D/2)^2)$	0.210	0.168	0.151	0.124

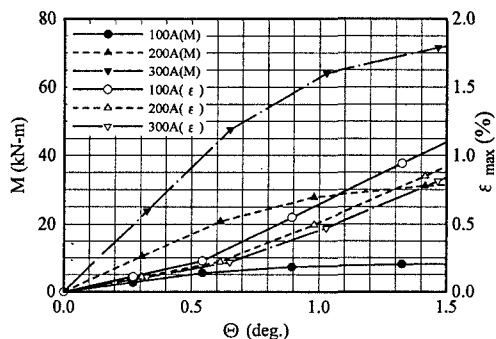


図5 M, $\varepsilon_{\max}$ と Θ の関係

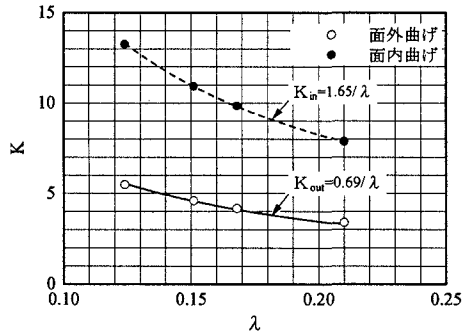


図6 Kと λ の関係

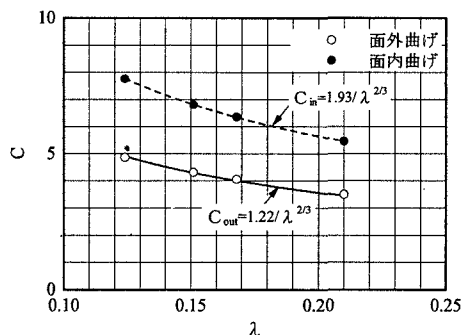


図7 Cと λ の関係