

## X80 高周波ベンド管の面内曲げ変形特性

東京ガス（株） 正会員 谷田部 洋 福田 直樹 増田 智紀  
大阪大学 豊田 政男

### 1. 緒言

地震等により想定される地盤変位に対して適切な安全性を確保するために、国内のパイプラインは種々の指針[1]に基づく耐震設計が行われている。これらの設計指針は国内での使用実績がある材料グレードの鋼管を対象としており、API 5L X65 以下のグレードのパイプライン用鋼管を用いた研究成果[2]が反映されている。一方、諸外国では X80 のような高グレード鋼管が実用され始めているが、高強度化に伴う機械的性質の変化により鋼管の塑性変形能力が低くなる可能性が指摘されている[3]。そこで本研究では、実験および数値解析によって、特に変形が集中し易いとされるベンド部を対象に高グレード鋼管の変形性能を評価した。面内曲げ変形実験は呼び径 750A（公称外径 762mm）の X80 高周波ベンドを用いて実施し、既往の研究で確立された手法[2]に則ってその限界性能を X65 以下の従来グレードと比較した。

### 2. 実験および解析方法

#### 2.1. 供試管

供試管は外径  $D_0=762\text{mm}$ 、管厚  $t_0=20\text{mm}$  の UOE 鋼管を加工した中心角  $2\alpha_0=90^\circ$ 、曲率半径  $R_0=2286\text{mm}$  ( $=3D_0$ ) の API 5L X80 高周波ベンドである。図 1 に供試管の形状および各部の名称を示す。表 1 に供試管と同条件で加工した高周波ベンドの加工部中央断面における管周方向の機械的性質を示す。なお、実験に際しては高周波ベンド部の偏平を拘束しないために、3m 程度の直管を袖管端部に溶接接合した。

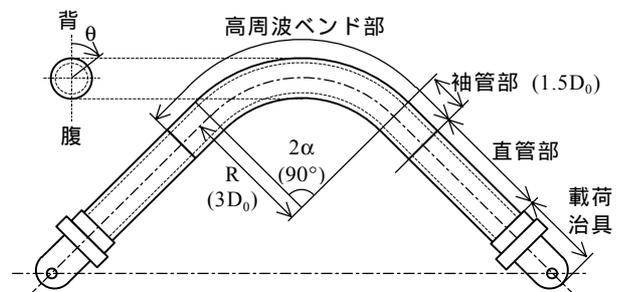


図 1 供試管の形状および各部の名称

表 1 加工部の機械的性質  
(8.9mmφの API 丸棒試験片を使用)

	YS (MPa)	TS (MPa)	Y/T (%)	El. (%)
No .1	575	650	88	28
No .2	591	677	87	25

#### 2.2. 実験方法

図 2 に実験装置の概要および曲げ方向の定義を示す。荷重方向はベンドの中心角が小さくなる方向を内曲げ、大きくなる方向を外曲げと定義し、実験は各曲げ方向について実施した。なお、既往の研究[2]より除荷過程にてき裂の発生が確認されていることから、内曲げ実験ではピーク曲げモーメント  $M_{\max}$  に達した曲げ角度の整数倍の曲げ角度毎に油圧ジャッキの拘束を解除し除荷を行った。荷重中は作業時のガスパイプラインを想定して、内圧による周方向応力が X80 の規格降伏応力の 40%程度に相当する 10MPa を水圧にて付与した。

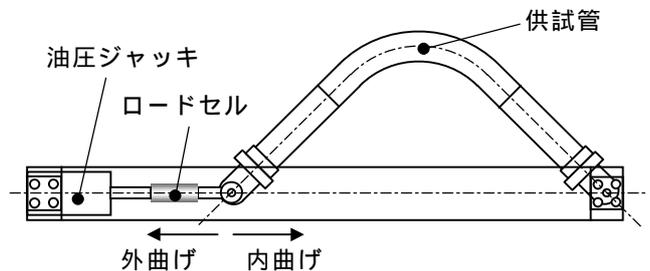


図 2 実験装置

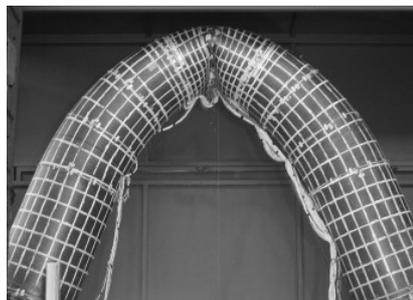
#### 2.3. 解析方法

実験条件をモデル化した有限要素法（以下、FEM）解析を実施した。変形特性に影響を及ぼすと考えられるベンド加工部の管厚分布や曲率半径変化については実測値に基づき詳細に入力した。材料物性については供試管各部の引張試験結果を基に設定した。ピーク曲げモーメント  $M_{\max}$  以降の挙動を再現するために、幾何学的

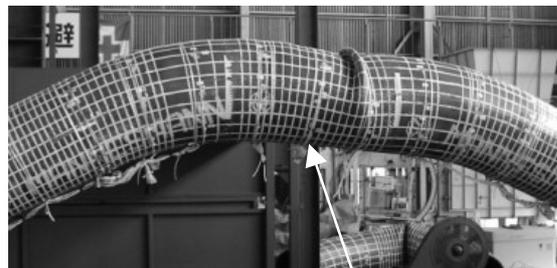
キーワード：パイプライン、API 5L X80、高周波ベンド、変形性能、FEM 応力解析

連絡先：〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 1-7-7 TEL：045-505-7309 FAX：045-521-1451

非線形、有限ひずみを考慮した弾塑性大变形解析とした。要素には4節点のshell要素を使用した。解析には汎用の構造解析コードであるABAQUS ver. 6.2[4]を使用した。



(a) 内曲げ



(b) 外曲げ

図3 実験後の供試管

### 3. 結果および考察

図3に実験終了後の供試管の変形状態を示す。内曲げでは加工部中央断面に発生した偏平に変形が集中し、曲げ角度 $\omega_{cr}=55^\circ$ からの除荷過程において同断面の脇腹付近にき裂が発生した。一方、外曲げでは中央断面より $\alpha=11.25^\circ$ 離隔した断面の背側に屈服が発生し、 $\omega_{cr}=47^\circ$ に達した時点で屈服部に貫通き裂が生じた。従って、曲管と直管の境界部近傍の背側に屈服が発生し、その断面の腹側においてき裂が発生するという三木らの報告[2]とは異なる変形モードとなった。また、同報告にて提案されている評価式によると、本供試管と同形状のX65高周波ベンドの限界曲げ角度は内曲げで $\omega_{cr}=48^\circ$ 、外曲げで $\omega_{cr}=25^\circ$ と算出されることから、本研究で用いたX80高周波ベンドはX65以下のグレードと同等の限界性能を有することが確認できた。

図4に実験およびFEM応力解析によって得られた曲げモーメントMと曲げ角度 $\omega$ の関係を示す。载荷方向によらず実験と解析は良く一致しており、FEM応力解析は高グレード高周波ベンドの大変形性能評価手法として有効であることが確認できた。

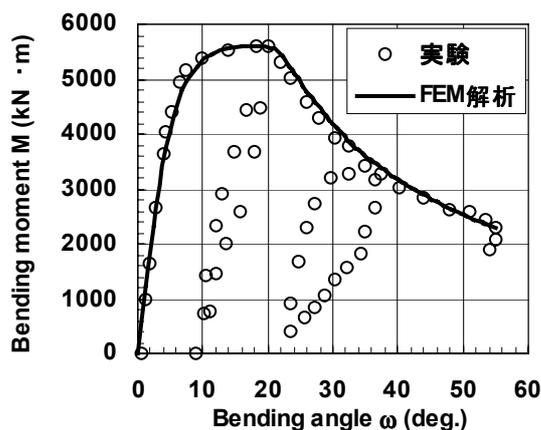
### 4. 結言

X80高周波ベンドの面内変形実験およびFEM応力解析を実施し高グレード鋼管の変形性能を評価した結果、以下のことがわかった。

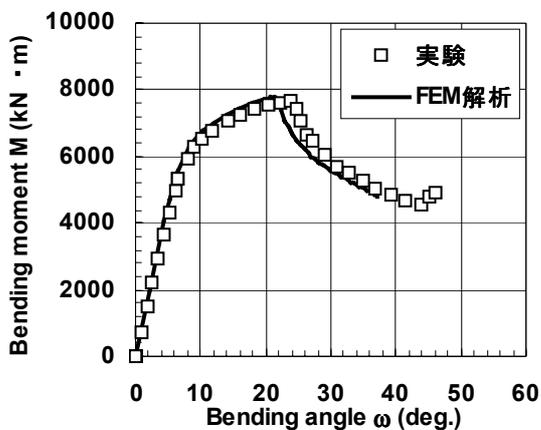
- (1) 本研究で用いたX80高周波ベンドは従来のX65グレードと同等の限界性能を有することが確認できた。
- (2) FEM応力解析は高グレード高周波ベンドの大変形性能評価手法として有効であることが確認できた。

### 参考文献

- 1) 例えば、高圧ガス導管液状耐震設計指針，(社)日本ガス協会，2002。
- 2) 例えば，三木ら，鋼製曲管の面内曲げ変形特性，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 897-900，2001。
- 3) 例えば，Yatabe H. *et al*，Effect of the Mechanical Properties on the Deformability of the High Grade Linepipe，*Proc. OMAE*，MAT-3102，2001。
- 4) Hibbit, Karlson and Sorensen, Inc.，ABAQUS Standard User's Manual, ver. 5.7, 1999。



(a) 内曲げ



(b) 外曲げ

図4 曲げモーメントと曲げ角度の関係