

コールドベンドの変形特性と耐震性

NKK 正会員 ○松山 英治 鈴木 信久 水上 剛志
NKK 正会員 河端 伸一郎 森 健

1. はじめに

溶接鋼管による埋設パイプラインに用いられる曲げ加工曲管は、熱間加工曲管（高周波ベンド）と冷間加工曲管（コールドベンド）に分けられる。特に曲げ角度 10° 前後までの角度の浅い曲管にはコールドベンドが用いられる場合が多い。コールドベンドにはその成形方法により、図1に示すような管軸方向および管周方向のひずみが残留している。これまで、曲げ角度 90° の高周波ベンド等に関しては実験・解析など多くの検討¹⁾がなされているが、コールドベンドのような角度の浅いベンドについて実験された例²⁾は少なく、検討も不十分である。

本論文では、コールドベンドの大変形に対する残留ひずみの影響を実験および解析により検討し、埋設状態のコールドベンドについてその耐震性能を検討する。

2. コールドベンドの曲げ変形特性

検討対象の鋼管は API-5L-X60 の 400A ($\phi 406.4\text{mm} \times 11.9\text{mm}$) とした。実験に用いた鋼管の管軸方向の材料強度は、降伏応力 4.87N/mm^2 、引張応力 5.76N/mm^2 である。

(1) 実験

400A コールドベンドの曲げ実験により、コールドベンドの変形特性について検討した。曲げ実験は、内圧 7MPa を水圧により負荷し、載荷部分の影響を少なくするために写真1に示す方法により実施した。この実験方法では、曲管中央部分に、軸圧縮力と曲げモーメントが同時に作用する。実験結果として荷重と変位の関係を図2に示す。

(2) FEM解析

図1に示すような曲げ加工による管軸方向と管周方向の残留ひずみを考慮したモデルにより有限要素法 (FEM) 解析を実施し実験結果と比較した。解析には全て 7MPa の内圧を負荷した。ここでは、残留ひずみが無いモデルによる解析結果も併せて示す。図2は載荷位置における荷重と変位の関係を示している。残留ひずみの無いモデルによる解析では、最大荷重点に達した時の変位を過大に評価する。最大荷重については、残留ひずみの有無による差はみられない。

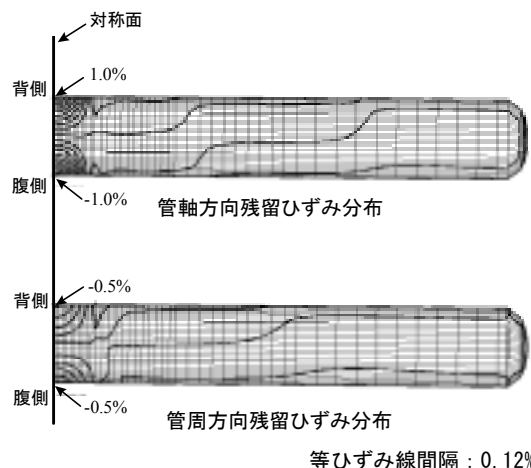


図1 残留ひずみを考慮したFEMモデル (1/4 シェルモデル)



写真1 実験前コールドベンド外観 (曲げ角度 1.2°)



写真2 実験状況

キーワード：パイプライン、冷間曲げ、残留ひずみ、耐震設計、塑性変形

〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-1 NKKエンジニアリング研究所 TEL. 044-322-6393 FAX. 044-322-6511

3. 耐震性検討

曲げ角度 1° および 3° のコールドベンドを対象として、埋設状態におけるコールドベンドの耐震性を検討した。

解析モデルは、図3に示すようなコールドベンドを含む配管系の管軸方向に地盤変位が作用する地震動モデルと図4に示すようなコールドベンドを含む配管系に、曲げモーメントが卓越する条件として、地盤の側方流動が管軸直角方向に作用する側方流動モデルとした。解析に用いた地盤ばね特性は、「高圧ガス導管耐震設計指針」³⁾に基き設定した。

(1) 地盤震動モデル

地盤震動モデルは、地盤周期 1.0sec および 1.5sec の 2 水準のレベル 2 地震動を想定した外力条件で検討した。

表1に検討結果を示すように、コールドベンドに発生する管軸方向のひずみは 1%未満である。

(2) 側方流動モデル

側方流動モデルは、パイプラインにとって厳しい条件となるように、幅を 10m、最大変位量を 2m とし、地盤剛性の低減は考慮していない。

表1に示すとおり、コールドベンドに発生するひずみは 3%未満であり、座屈は発生しなかった。

4. まとめ

コールドベンドの大変形に対する残留ひずみの影響について 400A 鋼管を対象に実験および解析により検討した。さらに、埋設状態のコールドベンドについてその耐震性能を検討した。結果をまとめて以下に示す。

(1)残留ひずみを考慮した F E M解析は実験結果と良い対応を示している。また、残留ひずみの無いモデルでは、最大荷重点に達した時の変位あるいは最大モーメント点に達した時の曲げ角度を過大に評価する。最大荷重あるいは最大モーメントは残留ひずみの有無による差は見られない。

(2)レベル 2 地震動に対する耐震性検討として、埋設状態における 1° 、 3° の曲げ角度のコールドベンドに地盤震動が作用した場合の解析の結果、コールドベンドに発生する管軸方向の圧縮ひずみは 1%未満である。

(3)側方流動に対するコールドベンドの変形解析では、コールドベンドに座屈が発生するようなひずみは発生しない。

参考文献

- 1) 鈴木信久, 那須卓, 矢野達夫, 費中敏: 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, 第 21 回地震工学研究発表会講演概要集, 土木学会耐震工学委員会, pp.317-320, 1991.
- 2) Yoshizaki, K., Hamada, M. and O'Rourke, T. D.: Large deformation behavior of low-angle pipeline elbows, Proceedings of the Seventh U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, Technical Report MCEER-99-0019, pp.453-466, 1999.
- 3) 日本ガス協会: 高圧ガス導管耐震設計指針 (改訂版), 2000.1.

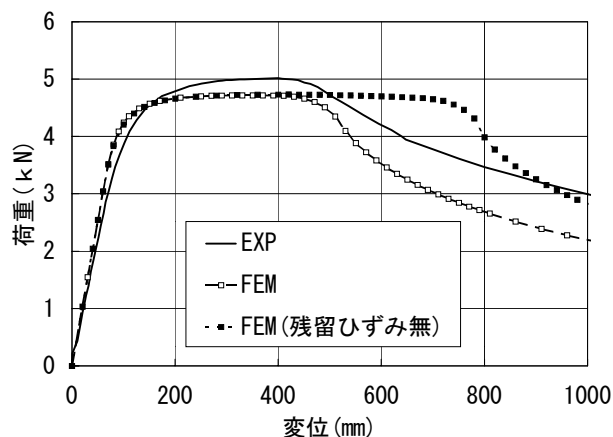


図2 曲げ実験結果と解析結果(1.2°)

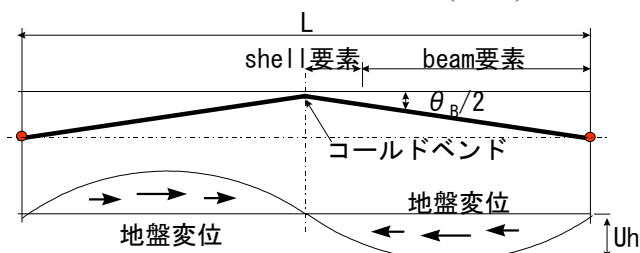


図3 耐震性検討モデル (地震動)

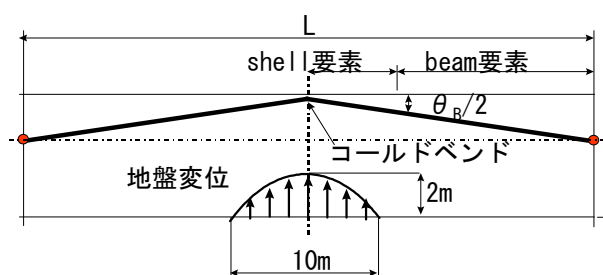


図4 耐震性検討モデル (側方流動)

表1 耐震性検討結果

解析モデル	曲げ角度	地盤周期	最大圧縮ひずみ
地震動	1°	1.0sec	0.09%
	1°	1.5sec	0.26%
	3°	1.0sec	0.38%
	3°	1.5sec	0.41%
側方流動	1°	—	2.4%
	3°	—	1.2%