

円周溶接部を有するパイプラインの一方方向曲げ変形実験および有限要素法解析

東京ガス（株） 正会員 ○谷田部 洋
 東京ガス（株） 渡辺 孝仁
 東京ガス（株） 増田 智紀

1. 緒言

溶接接合されたパイプラインに地震や地盤沈下などによる外力が作用し、曲げや圧縮などの変形を受ける場合、直管部と比較して円周溶接部にはひずみが集中し易いことが知られている¹⁾。特に、微小な曲がり部にパイプラインを設置するために、接合する鋼管の間に角度を持たせた円周溶接（切り合わせ溶接）を施工する場合には、通常の円周溶接部に比べてひずみ集中が大きくなる可能性が高い。したがって、今後このような切り合わせ溶接を積極的に適用していく場合には、地震時の液化化側方流動のように数 m に及ぶ地盤変状に対する安全性を確認する必要がある。筆者らは既報²⁾において、通常の円周溶接部を有するパイプラインの大変形挙動に関する検討を行い、1MPa 程度の比較的低い内圧レベルでは上述のような地盤変状に対しても安全性が保たれることを確認した。本報では、切り合わせ溶接部を有するパイプラインの一方方向曲げ実験により、切り合わせ角度の有無による曲げ変形特性や限界性能の差異について定量的に把握することを試みた。さらに、有限要素法解析を実施し、その適用性について検討を加えた。

2. 実験方法

供試管は、口径 216.3mm、管厚 6.4mm（いずれも規格値）の JIS STPT370 である。表 1 に示すように通常の円周溶接部を有するものと切り合わせ角度 θ が 3° の円周方向溶接部を有するものを用意した。また、ガスパイプラインなどの操業時の状態を模擬するために供試管には水圧を付与した。

図 1 に実験装置を示す。供試管の両端には荷重治具を接合し、供試管の中立軸と油圧ジャッキの軸がずれるように実験装置に設置した。荷重治具と実験装置はピンによって接続し、一方を固定し他方に変位を付与することにより、供試管に曲げモーメントを载荷した。 $\theta=3^\circ$ のケースに関しては θ が増加する方向へ载荷した（内曲げ）。計測は、荷重 F 、曲げ角度 ω について実施した。曲げモーメント M は ω より算出される供試管中央部から荷重線までの距離に F を乗じた値とした。

3. 解析方法

実験条件をモデル化した有限要素法解析を実施した。図 2 に解析モデルの一例として、 $\theta=3^\circ$ のケースを示す。荷重条件の対称性を考慮して、解析対象の 1/4 部分をモデル化した。要素には 4 節点の低減積分 shell 要素を使用した。円周方向溶

表 1 実験条件

case	切り合わせ角度 θ (deg.)	荷重 方向	内圧 P (MPa)
1	0 (通常溶接)	曲げ	8.6
2	3	内曲げ	8.6

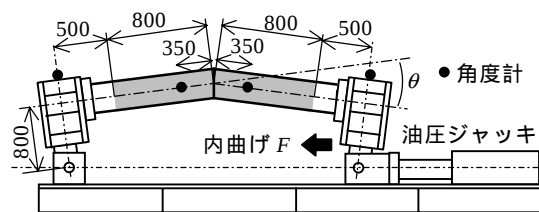


図 1 実験装置

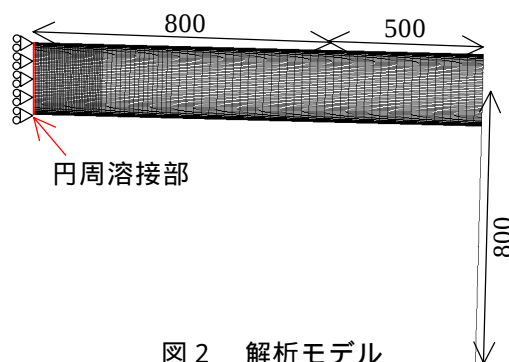


図 2 解析モデル

キーワード：パイプライン、切り合わせ溶接、大変形、有限要素法解析

連絡先：〒105-0023 東京都港区芝浦 1-16-25 TEL：03-5484-4635 FAX：03-3453-7583

接部の形状は実測に基づく管厚 9.4mm とすることでモデル化した。材料物性は直管部および溶接部の引張試験結果を基に設定した。最大曲げモーメント M_{max} 以降の挙動を再現するために、幾何学的非線形、有限ひずみを考慮した弾塑性大変形解析とした。解析には汎用の構造解析コードである HKS 社製 ABAQUS ver.5.7³⁾を使用した。

4. 実験および解析結果

図 3 に実験および有限要素法解析によって得られた各ケースの曲げモーメント M と曲げ角度 ω の関係を示す。ケース 2 ($\theta=3^\circ$) では、最大曲げモーメント M_{max} およびその際の曲げ角度、すなわち座屈開始曲げ角度 ω_b ともにケース 1 (通常の円周溶接部) と比較して減少し、 M_{max} で 5%、 ω_b で 25%程度小さい値となった。つまり、切り合わせ角度の存在により耐荷能および座屈までの変形能ともに低下することが確認できた。また、座屈後も載荷を続け、 $\omega=80^\circ$ までの変形を付与したが、両ケースともに漏洩は確認されなかった。なお、実験におけるケース 1 の $\omega=68^\circ$ 、ケース 2 の $\omega=64^\circ$ 付近では、 ω の増加に伴い M が若干増加した現象が確認できる。これは、局部座屈による変形により円周溶接部付近において管内面または外面に接触が生じたため、一時的に供試管の剛性が増加したことに起因すると考えられる。

一方、図 3 より M_{max} 、 ω_b ともに実験および解析結果が良く一致したことが確認できる。また、図 4 に示すように、溶接部近傍における局部座屈の様子についても実験と解析が良く一致した。したがって、本解析手法により円周溶接部を有するパイプラインの座屈以降までの一方向曲げ変形特性を再現することが確認できた。

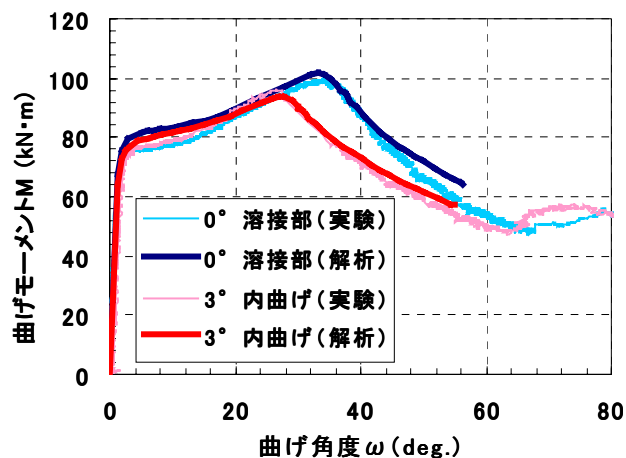


図 3 実験および解析結果

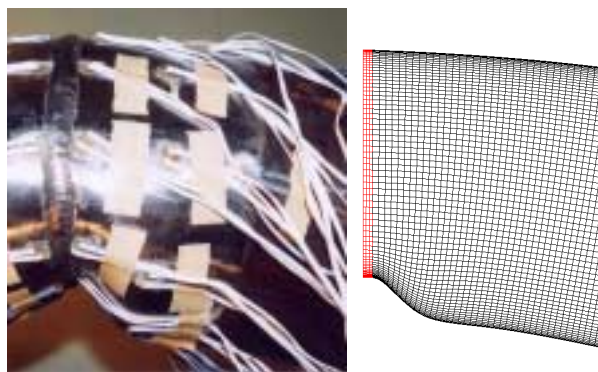


図 4 供試管の変形状況 ($\theta=3^\circ$ 内曲げ $\alpha=35^\circ$)

5. 結言

円周溶接部を有するパイプラインの一方向曲げ変形実験および有限要素法解析を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 切り合わせ角度を大きくする方向への曲げ変形 (内曲げ) では、通常の円周溶接部の曲げ変形と比較して最大曲げモーメントおよび座屈開始曲げ角度ともに低下したものの、局部座屈部に接触が生じる変形量を上回る曲げ角度 80° まで漏洩は確認されなかった。
- (2) 円周溶接部を有するパイプラインの一方向曲げ変形に対して、座屈以降の変形特性まで精度良く再現できる解析手法を確立した。

最後に、一方向曲げ実験および有限要素法解析の実施に多大なる協力をいただいた東京ガス(株)の福田直樹氏、東京理化学検査(株)の六谷英樹氏、(株)日本オープンシステムの毛塚貴美子氏に謝意を示す。

参考文献

- 1) 例えば, ASME SECTION DIVISION —Subsection NB—3653.2, SI—13.
- 2) 谷田部洋, 渡辺孝仁: 小口径鋼製直管の曲げ変形特性, 構造工学論文集, Vo1.47A, pp.697-704, 2001.
- 3) Hibbit, Karlson and Sorensen, Inc.: ABAQUS Standard User's Manual, ver. 5.7, 1999.