

I-577 パイプライン曲がり部の大変形挙動特性

新日本製鐵(株) 正員 島 宏 正員 ○藤崎 恭功 川口 周作

はじめに 軟弱地盤地域等に埋設されているパイプラインにおいては、地震時地盤液化化に起因する地盤の地すべりの変位や沈下などにより大きな強制変位を受ける恐れのあることが、最近の調査・研究¹⁾により明らかにされつつある。これらパイプラインでは、直線部については十分な延長があれば全体分布ひずみによってかなりの地盤変位を吸収でき²⁾、また曲がり部もその角度が大きければ曲管のたわみ性により同様に変位吸収を期待できるが、角度の小さい曲がり部については、その変位吸収能力は小さく、結果として過大な力を受けて被害を生じる恐れがあると考えられる。そこで今回、角度の小さい曲がり部を対象として、口径200Aの熱間加工によるエルボと高周波曲げ加工によるバンドを用いた22 1/2°曲がり部について実験を行い、大変形時の挙動を調べるとともに FEM による解析を実施した。

実験 供試体は、200A×22 1/2°のバンドおよびエルボに直管を溶接したもので、長さは1600mmとし、両端に載荷治具をとりつけた(図-1,2)。バンド供試体は、曲げ半径3DR(648.9mm)と1.5DR(324.5mm)の2種類とし、管径分(216.3mm)の長さの袖管付きのものとした。各供試体 No. と主要な諸元を表-1 に示す。

実験は油圧サーボ式試験機による変位制御にて行い、変位・反力荷重・ひずみ・曲がり中央断面における断面変形(径変化量)・供試体端部角度変化等について計測した。荷重としては圧縮(CLOSING)側変位を与え、供試体の発生最大ひずみが5%に達するまで載荷した。

実験結果のうち、図-3 にそれぞれの供試体の反力荷重～変位($P \sim \delta$)関係、図-4 に曲がり中央断面部における径変化量～変位($D \sim \delta$)関係、図-5 に最大発生ひずみの絶対値～変位($|\varepsilon|_{\max} \sim \delta$)関係を示す。図-3 には、変位と発生ひずみレベルの関係も併せてプロットした。これらより、以下の事がいえる。① エルボに比し、バンドは変形初期の剛性が高い。最大反力荷重も6～8割ほど高く、それらは板厚差を考慮しても十分に大きい。またバンドでも、曲げ半径3DRの方が1.5DRよりも最大反力荷重は大きい。② バンド、エルボとも、最大反力荷重変位を超えても反力の低下は緩やかで、座屈等の不安定挙動を示さない。

③ 変位に対する断面変形率は、エルボにおける背～腹方向が最も大きいのに対し、バンドでは曲げ半径によらずほぼ同程度であり比較的偏平化しにくい。④ 変位に対する発生最大ひずみの関係は、最大反力荷重変位近傍まではバンド、エルボともほぼ同等であり、ひずみ量としては約2%であった。⑤ 最大反力荷重変位を超えてからのひずみの増加率は、エルボで最大、3DRバンドで最小であった。⑥ 最大ひずみは、バンドでは軸方向で発生し、エルボでは2%ひずみまでは軸方向で、それ以降は周方向で発生した。⑦ 最大ひずみは、3DRバンドでは曲がり中央断面の軸方向、1.5DRバンドでは曲げ加工の始点であるバンド曲がり端部(板厚急変部)の軸方向、エルボでは曲がり中央断面の周方向で発生した。

解析 実験と並行して、汎用有限要素法プログラム MARC を用いて解析を行った。解析モデルは対称性を考慮して1/4モデルとし、四辺形厚肉シェル要素を用いた(図-6)。バンド部のモデル化については、曲げ

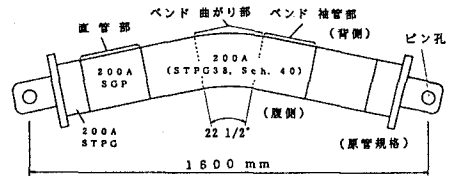


図-1 バンド供試体

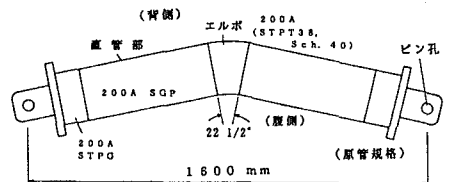


図-2 エルボ供試体

表-1 供試体諸元

供試体 No.	供試体種類	実測板厚 mm	(**) 偏肉率 %	(**) 偏平率 %	備考
No.1	3DRバンド	8.5 (*)	-10~+21	0.3	直管部(SGP)板厚は5.6mm
No.2	1.5DRバンド	8.2 (*)	-10~+62	1.8	No.1, No.2の袖管長は216.3mm
No.3	1.5DRエルボ	7.1	-	-	

(*) 袖管部平均板厚

(**) バンド中央断面での偏肉率・偏平率

加工による偏肉・偏平も考慮した。また、溶接部は余盛高さ・材質も考慮した。解析は供試体のNo.1～No.3に対応する解析モデル No.1A～No.3A について実施した。ここではその一例として No.1A の反力荷重～変位関係について、実験値との比較を図-7に示す。

解析より以下の結果が得られた。① 反力荷重～変位の関係では、全体的に解析値は実験値と比して剛性および反力が若干低めであるが、実験値とよい一致を示した。また、解析によってもバンドの方がエルボに比して実験と同程度の高い耐力を持つことが確認できた。

② 曲がり中央断面における変位～断面変形の関係においては、実験結果ほどには顕著な差はないが、同様な傾向を示し、解析においてもバンドの方がエルボよりも変形（偏平化）しにくいことが確認できた。③ ひずみの最大値の発生位置については、実験で非対称変形挙動を示したNo.2Aを除き、No.1A、No.3A では実験結果とほぼ一致した。No.1A、No.3A では、変位と最大発生ひずみの関係においても、No.1A の軸ひずみを除き、定量的にも妥当な結果を得た。

今回用いた解析手法は、局所的現象であるひずみについては十分とはいえないが、最大反力荷重や断面変形などの全体的挙動の評価については妥当ものと思われる。また、No.2 供試体にみられた曲がり端部の板厚急変部における局所的な応力（ひずみ）集中現象は、解析においてもバンド曲がり部と袖管部で材質・板厚等を変えることにより同様な傾向を示す事が確認できた。

まとめ 以上の結果より、以下の考察を得る。

- ① 曲がり部だけを考えればエルボもバンドも最大反力までの変位吸収量にそれほどの差は無いが、両側に接続する直線部での分布ひずみによる変位吸収を期待できるという点で、反力の大きいバンドの方がより有利と思われる。
- ② 地震時に埋設パイプラインに作用する荷重は変位制御型であり、最大反力を超えても崩壊（不安定）状態とはならず、従って最大反力変位を超えてからのひずみ増加の低い3DRバンドが、変位吸収能力という点では最すぐれていると考えられる。

参考文献

- 1) 浜田・安田・磯山・恵本 「液化化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究」 土木学会論文集第376号/III-6, 1986-12
- 2) (社)日本ガス協会 「ガス導管耐震設計指針」 1982

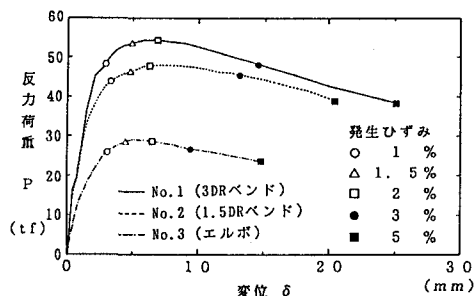


図-3 反力荷重～変位（実験値）

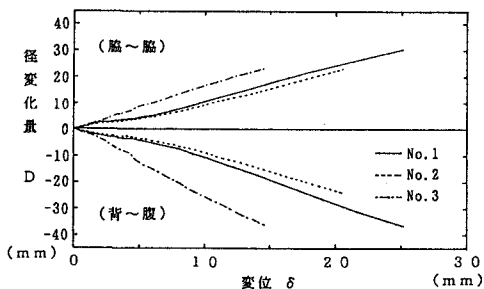


図-4 断面変形～変位（曲がり中央断面実験値）

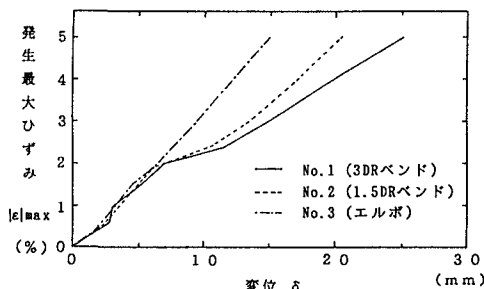


図-5 最大発生ひずみ～変位（実験値）

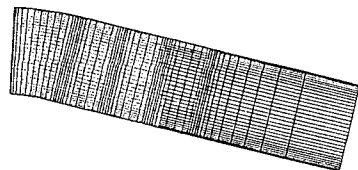


図-6 解析モデル（1/4モデル）

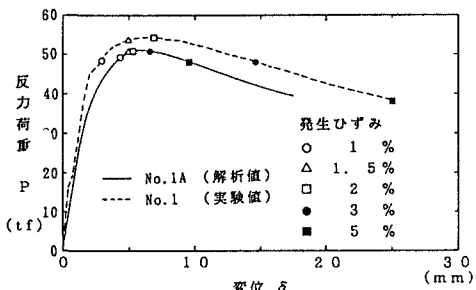


図-7 反力荷重～変位（3DRバンド）