磁歪応力測定法の曲管偏平応力評価への適用検討(第4報)

東京ガス㈱ 導管部 幹線グループ*1 正会員 飯村 正一 ㈱ジャパンテクノメイト 技術部 構造技術室*2 境 禎明

1.はじめに

維持管理の観点からパイプラインの安全性を評価するためには応力状態を知ることが必要である。構造物に対する 応力測定では、ひずみゲージによる測定が一般的であるが、既設パイプラインの応力状態をひずみゲージを用いて測 定するためには切断等の応力解放作業を伴った、いわゆる破壊検査でないと難しい。一方、供用下のパイプラインの 多くはこのような破壊検査を行うことは不可能であり、自ずとその適用範囲は限られていた。以上のような背景からパイ プラインの応力を非破壊的に、かつ簡便に測定・評価できる手法として、磁気異方性を利用した応力測定法(以下磁 歪法とよぶ)に着目し、その利用技術を開発してきた^[1]。本報告では第1報から第3報^[2]引き続き、高圧ガス幹線用のマ ンドレルエルボに面内曲げと面外曲げが同時に作用した場合について検討した結果を報告する。

2. Rodabaugh&George の偏平応力理論

モーメントが作用する曲管に発生する偏平応力を説明したものとして、Karmanの偏平応力理論が知られているが、本検討ではKarmanの式を発展させたRodabaugh&George(以下R&Gと略す)の理論式を用いた。R&Gの式では、

: 管の周方向角度とし、 : ポアソン比、*R*: 曲管の曲率半径、*t*: 板厚、*I*: 管の断面 2 次モーメント、*M*: 曲管の作用モーメントとすると管軸、管周方向応力 」、 。は、

$$\sigma_{il} = \frac{k_p M_i r}{I(1-v^2)} f_1(\phi) \quad \sigma_{ic} = \frac{k_p M_i r}{I(1-v^2)} f_2(\phi) \quad \sigma_{ol} = \frac{k_p M_o r}{I(1-v^2)} f_3(\phi) \quad \sigma_{oc} = \frac{k_p M_o r}{I(1-v^2)} f_4(\phi)$$
(1)

但し、添え字の *i* は面内曲げを,*o* は面外曲げを示す。

と表される。また k_{ρ} はたわみ係数とよばれ、 $\lambda = tR/r^2\sqrt{1-v^2}$ とおくとと内圧Pの関数である。 f_1 (), f_2 (), f_3 (), f_4 ()は、

$$f_{1}(\phi) = (1 + \frac{3m_{1}}{2})\sin\phi + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty} \{m_{n}(1 - 2n) + m_{n+1}(2n + 3)\}\sin(2n + 1)\phi \pm \frac{\nu\lambda}{2}\sum_{n=1}^{\infty} m_{n}(2n - 8n^{3})\cos 2n\phi$$

$$f_{2}(\phi) = \nu(1 + \frac{3m_{1}}{2})\sin\phi + \frac{\nu}{2}\sum_{n=1}^{\infty} \{m_{n}(1 - 2n) + m_{n+1}(2n + 3)\}\sin(2n + 1)\phi \pm \frac{\lambda}{2}\sum_{n=1}^{\infty} m_{n}(2n - 8n^{3})\cos 2n\phi$$

$$f_{3}(\phi), f_{4}(\phi) \models f_{1}(\phi), f_{2}(\phi) \oplus \sin \exists b \lambda \leftarrow \cos \exists b \lambda \neq \lambda h \notin 3 \subset \exists k \models \Xi$$

$$(2)$$

となる。ここで、*m_nもk_pと*同様に内圧*P*の関数となるが、これらについての説明は煩雑になるのでここでは省略する。また*n*を何次の項までとればよいかについては、 >0.1 であれば3次までで十分とされている。したがって外力、あるいはモーメントによって偏平応力が発生している曲管部の表面応力を磁歪法で測定し、測定結果を統計処理によって(1),(2)式に回帰することによって、偏平応力分布を評価することが可能となる。

3.実験方法

JIS-PT370sch40 規格の肉厚 10.3mm、呼び径 300A、曲率半径 1.5DR(45.72cm)のマンドレルエルボ(=0.22)に袖 管を溶接したものを供試体とした。一方の袖管の端部には荷重を負荷し易くするためのフランジ板を溶接した。もう一 方のフランジ板は供試体を鉛直面から 30 度傾斜させて床に固定するために袖管とは傾けて溶接により取り付けた。荷 重は図1に示すようにフランジ板に油圧ジャッキを鉛直上下方向に押し当てて与えた。これにより、曲管には面内およ び面外曲げ荷重が同時に作用することができる。曲管の中央断面付近には検証のための2軸ひずみゲージを 15 度 ピッチで全周に取り付け、直近において円周方向に 5 度ピッチで磁歪測定を行った。

キーワード	磁音	至,応力測定	Ε,パイプライン,維持管理,	偏平応力,Karman,	Rodabaugh&George
連絡先	*1	〒105-8527	東京都港区海岸1-5-20	TEL 03-5400-7542	FAX 03-3437-9177
	*2	〒514-0302	三重県津市雲出伊倉津町 14-1187	TEL 059-246-3026	FAX 059-246-3367

4.実験結果

6 - 132

図2にジャッキ荷重が無負荷のときの磁歪法による測定結果を 示す。同図の実線は R&G による理論式に回帰した曲線で上段が面 内曲げ、下段が面外曲げの理論式への回帰結果を示す。製造時に 発生した±100MPaに達する応力が残留しているマンドレルエルボ であるが、残留応力の位相と外力によって発生する応力の位相が 異なることから、回帰式によるフイルタリング効果で残留応力の

Stress(MPa)

影響を排除できていることが分かる。

図3にジャッキの押し下げ荷重25kN のときのひずみゲージによって測定さ れた応力、および磁歪法で測定された 応力差を R&G による面内曲げの理論式 に回帰して得られた曲線を実線および 破線で示す。丸印はひずみゲージによ って測定された応力を示す。最大応力 は円周方向に発生しているが、ひずみ ゲージの値の回帰曲線と磁歪法の値の 回帰曲線はほぼ一致しており、磁歪法 による測定値に含まれている曲管製作 時の残留応力の影響はほとんどなく、 外力による応力のみが抽出されている とみなされる。

図4は同様にひずみゲージによる応 力と磁歪法による応力を R&G の面外曲 げの理論式に回帰した結果を示す。

図5は、図3で得られた回帰曲線と 図4で得られた回帰曲線を、軸方向お よび周方向応力についてそれぞれ重ね 合わせた結果を示す。ひずみゲージに よる応力の回帰曲線と磁歪法による応 力の回帰曲線は良い一致がみられる。

5. おわりに

応力低減を目的として3次元構造の配 管ユニットとして用いられることが多い曲 管であるが、磁歪法による測定値を面内 曲げと面外曲げの応力分布理論式に独



図5 25kN 負荷時の合成曲げ解析結果

立して回帰し、これを重ね合わせることによって実用的には十分な精度での応力評価が可能なことが明らかになった。 参考文献

図4 25kN 負荷時の面外曲げ解析結果

- [1] S. Limura, Y. Sakai: Non-destructive method for the measurement of stress in bent pipes, 3rd. Int. Conf. Emerging Technologies in Non-Destructive Testing, Greece, pp.219-224, 2003.
- [2] 飯村正一,境 禎明:磁歪応力測定法の曲管扁平応力評価への適用検討(第3報),第59回土木学会全国 大会年次学術講演会講演概要集,第 部門, pp.205-206, 2004.