

磁歪応力測定法の曲管偏平応力評価への適用検討

東京ガス(株) 導管部 幹線メンテナンス技術グループ^{*1} 正会員 飯村 正一
 NKK エンジニアリング研究所 生産技術研究部^{*2} 正会員 ○ 境 禎明

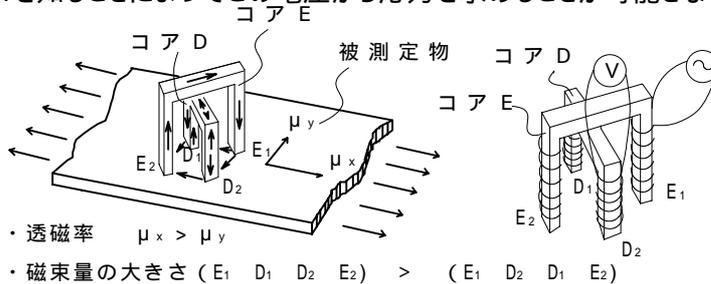
1. はじめに

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有効である。構造物に対する応力測定では、ひずみゲージ法(以下ゲージ法とよぶ)によるものが一般的であるが、既設パイプラインの応力状態をゲージ法で測定するためには応力解放作業を伴った、いわゆる破壊検査でないといふと難しい。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。このような背景から著者らは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]。今回曲管部の応力を磁歪法で測定し、Karmanの偏平応力理論を導入することによって、偏平応力及び作用モーメントを精度良く評価することに成功した。

以下にその結果を紹介する。

2. 磁歪法による応力測定の実験原理

磁歪法では図1に示すような磁歪センサを測定対象物上において測定する。被測定物の透磁率とよばれる磁気的な性質は引張応力方向に僅かに大きくなり、磁気的な異方性が生じる。このとき、コアEに巻いたコイルに電流を流すと、センサの足E₁から出た磁束のうち大部分は最短距離で直接E₂へ向かうが、E₁D₁間及びD₂E₂間はE₁D₂間及びD₁E₂間に比べて透磁率が $\mu_x - \mu_y$ だけ大きいために、一部は矢印の様にコアDの中を流れる。以上の磁気回路を交流磁界で形成すると、コアDに巻いたコイルには誘導電流が流れ、(1)式で表されるような電圧が生じることになり、比定数Kを知ることによってこの電圧から応力を求めることが可能となる。



$$V = K_0 \cdot (\mu_x - \mu_y) = K \cdot (\sigma_x - \sigma_y) \quad (1)$$

但し、

K_0, K : 励磁条件, 材料磁気特性等で決まる定数

図1 磁歪センサの動作原理

3. Karman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理論的に説明したものとして、Karmanの偏平応力理論(以下Karmanの式とよぶ)が知られている。Karmanの式は: 管の周方向角度とし、: ポアソン比、 R : 曲管の曲率半径、 r : 管半径、 t : 管厚、 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 σ_L 、 σ_C は、

$$\sigma_L = \frac{kMr}{I} \left\{ \sin \phi - \frac{6}{5+6\lambda^2} \sin^3 \phi + \frac{9v\lambda}{5+6\lambda^2} \cos 2\phi \right\} \quad \lambda = \frac{tR}{r^2} \quad \text{: パイプ係数} \quad (2)$$

$$\sigma_C = \frac{kMr}{I} \left\{ v \left(\sin \phi - \frac{6}{5+6\lambda^2} \sin^3 \phi \right) + \frac{9\lambda}{5+6\lambda^2} \cos 2\phi \right\} \quad k = \frac{10+12\lambda^2}{1+12\lambda^2} \quad k: \text{たわみ係数}$$

で表される。また(2)式をより高次にまで展開して解析精度を向上した修正式も提案されている^[2]。そこで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を磁歪法で測定し、測定結果を統計処理によって(2)式に回帰(本検討では修正式を使用、以下Karman分析とよぶ)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。

キーワード: 磁歪, 応力測定, パイプライン, 維持管理, 偏平応力, Karman

*1 〒105-8527 港区海岸1-5-20

TEL 03-5400-7542 FAX 03-3437-9177

*2 〒514-0393 津市雲出鋼管町1番地

TEL 059-246-3052 FAX 059-246-2790

4. 実験方法

API5L-X60 規格の肉厚 12.7mm、610mm のモノカエルボに袖管を溶接し、一方をフランジを介して定盤に取り付け、他方のフランジを油圧ジャッキで内曲げ、外曲げ方向に荷重を負荷した。測定位置はエルボの中央断面とし、エルボの外側を0度として、管周方向に5度ピッチで全周を磁歪法で計測した。また磁歪法の測定位置の近傍には、検証のためのひずみゲージを15度ピッチで取り付けた。実験の概要を図2に示す。

5. 実験結果

測定結果の一例として、図3～図5に内曲げ時の磁歪法及びゲージ法で求めた管周方向応力の分布を示す。本図ではゲージ法での測定応力と同結果を Karman 分析したもの、及び磁歪法の結果を Karman 分析したものを併記してある。図3は無負荷状態での測定であり、ゲージ法の測定結果は当然ゼロである。これに対して磁歪法では、原理的に絶対的な応力が測定されるために、管のもつ残留応力のばらつきによって偏平応力分布が算出されている。但しこのレベルは無視できるほど十分に小さいものである。図4は78kNの荷重を加えたときの測定結果であるが、ゲージ法の測定結果に偏平応力分布が現れている。しかしながら同結果を Karman 分析したものとは若干の差異がある。これは Karman の式の限界、及び袖管部に取り付けたフランジによる断面拘束の影響によると考えられる。一方、磁歪法の結果を Karman 分析したものは、ゲージ法の分析結果とほぼ完全に一致しており、磁歪法においてもゲージ法と同等の精度が得られているといえる。図5は118kNの荷重を加えたときの測定結果であるが、磁歪法の Karman 分析結果はゲージ法の分析結果よりもピーク値が小さくなっている。一般に磁歪センサの出力は高応力領域で鈍化する性質があり、この影響によると考えられる。

図6はロードセルで計測された荷重から求めた負荷モーメントと、磁歪法の結果を Karman 分析して得られたモーメントを比較したものである。両者の結果は最大荷重負荷時を除いてよく一致しており、磁歪法の測定結果から負荷モーメントを推定することが可能であるといえる。

6. まとめ

今回の検討から得られた知見をまとめると以下となる。

- A) 曲管部の応力を磁歪法で測定し、Karman 分析を行うことによって、残留応力の影響を受けずに実用上十分な精度で偏平応力を評価できた。
- B) 上記手法で曲管部の作用モーメントを精度良く推定することができた。

7. おわりに

磁歪法は供用下のパイプラインの応力を非破壊的に評価できる唯一の技術である。今後は直管部から曲管部まで、パイプライン全体の安全性を評価できるツールの1つとして本技術の開発、改良を進めていきたいと考える。

【参考文献】

- [1] 境 禎明, 他: 磁気異方性を利用した応力測定システムの開発, 第23回応力・ひずみ測定シンポジウム講演論文集 pp132-137(1991)
- [2] 鶴戸口 英善, 他: 薄肉彎曲部の応力と変形について, 高圧力第6巻第3号(1968), pp1329-1336

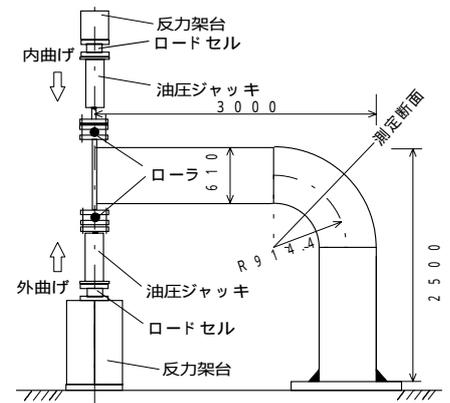


図2 実験の概要

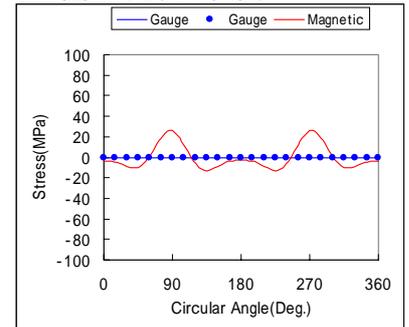


図3 C 分布測定結果(0kN)

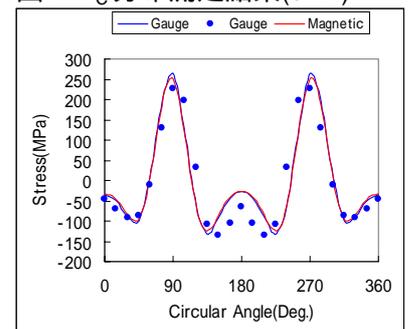


図4 C 分布測定結果(78kN)

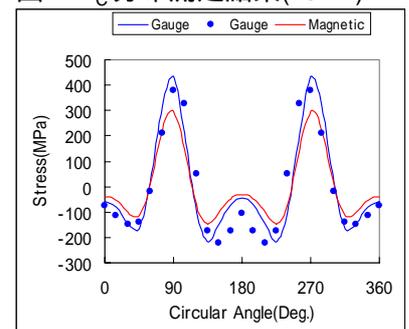


図5 C 分布測定結果(118kN)

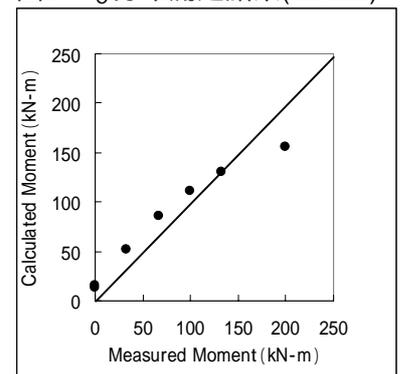


図6 モーメントの比較