

磁歪応力測定法の曲管偏平応力評価への適用検討(第2報)

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
JFEエンジニアリング(株) エンジニアリング研究所^{*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。本報告では前報^[1]に引き続き、高周波誘導加熱法によって製作された曲管(高圧ガス幹線用高周波バンド管)に荷重を负荷し、磁歪法で測定した応力分布をKarmanの偏平応力理論に基づいて処理することによって、偏平応力を精度良く評価できることを紹介する。

2. 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 ϕ :管の周方向角度とし、 ν :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、

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

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

で表される。また(1)式をより高次まで展開して解析精度を向上させ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応力を磁歪法で測定し、測定結果を統計処理によって(1)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。

3. 実験方法

API5L-X65規格の肉厚15.1mm、 $\phi 610$ mmの曲管に袖管を溶接し、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负荷した。測定位置は曲管の中央断面とし、曲管の外側を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1に示す。

4. 実験結果

測定結果の一例として、図2～図4に内曲げ時の磁歪法及びゲージ法(それぞれM-, G-で表示)で求めた応力分布を示す。本図ではゲージ法の測定応力と同結果をKarman分析したもの、及び磁歪法の結果と同結果をKarman分析したものを併記(それぞれ-Meas-, -Karmanで表示)してある。

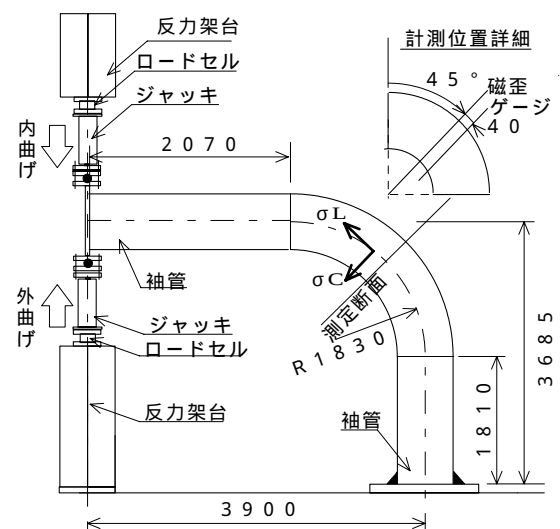


図1 実験の概要

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

図2は無負荷状態での測定結果であり、ゲージ法の測定値は当然ゼロである。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。但しこのレベルは十分に小さいものである。

図3は98kNの荷重を加えたときの測定結果であるが、磁歪法、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分析したものはゲージ法、磁歪法で若干の差がみられる。

図4は98kN負荷時のデータから無負荷時のデータを減算したものであるが、磁歪法とゲージ法のKarman分析結果はほぼ完全に一致している。

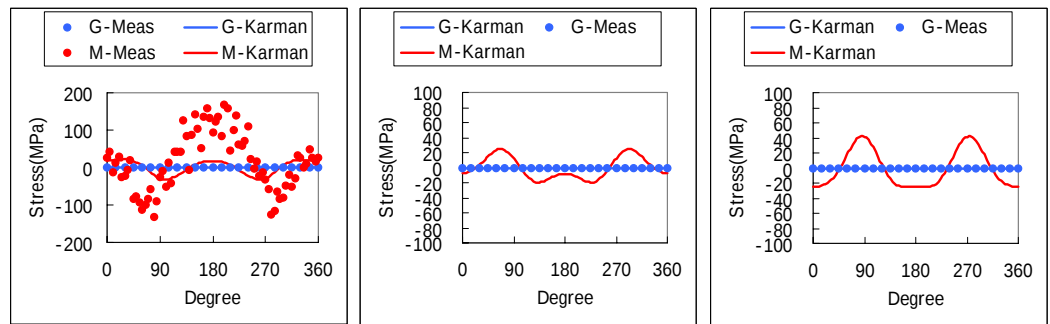


図2 無負荷時の測定結果(左: $\sigma_L - \sigma_C$, 中: σ_L , 右: σ_C)

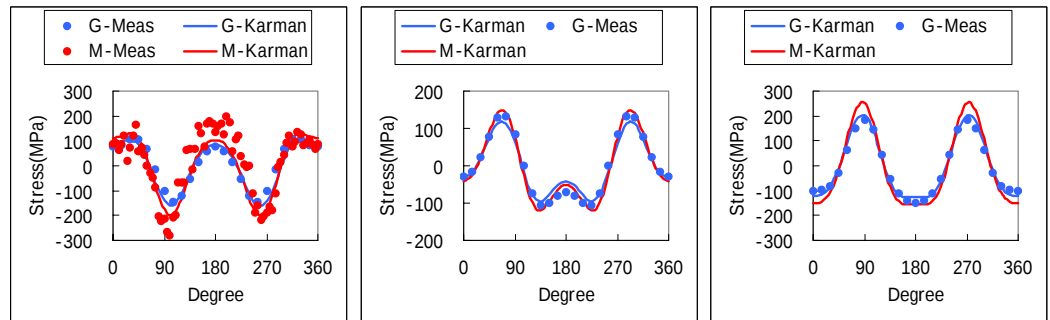


図3 98kN 負荷時の測定結果(左: $\sigma_L - \sigma_C$, 中: σ_L , 右: σ_C)

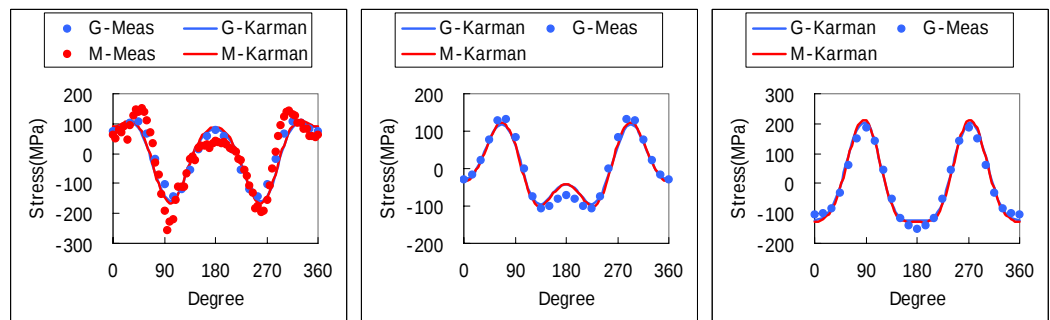


図4 98kN 負荷時の初期値減算結果(左: $\sigma_L - \sigma_C$, 中: σ_L , 右: σ_C)

供試管は直管を電磁誘導によって加熱しながら曲げて製造した「高周波バンド管」とよばれるものであり、曲げ加工時の残留応力が偏平応力分布として存在していると考えられる。一般に配管設計上は残留応力を考慮しないが、新設時に管の残留応力を把握しておくことができれば、供用後は残留応力を含んだ、より実際の応力を評価、管理することも可能である。

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。

- i. 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、残留応力のばらつきの影響を受けずに実用上十分な精度で偏平応力を抽出・評価できた。
- ii. 「高周波バンド管」では製造時の残留応力が偏平応力成分と同じ特性を持っており、磁歪法では残留応力成分を含んだ、より実際の応力評価が可能であることが分かった。

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] 飯村 正一, 境 禎明: 磁歪応力測定法の曲管偏平応力評価への適用検討, 第 57 回年次学術講演会講演概要集, 第 部門(2002), pp477-478
- [2] 鵜戸口英善, 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