

磁気異方性を利用した応力測定法の橋梁部材への適用検討

（財）首都高速道路技術センター 正員 矢作 樞 正員 高田 恭一
 NKK・技術研究所 正員○境 禎明 正員 藤澤 伸光
 NKK・橋梁建設部 正員 高久 達将 正員 北川 貴一

1. はじめに

設備保全の観点から既設構造物の安全性を評価するには、現在その構造物に働いている応力レベルを把握することが有効である。構造物における応力測定はひずみゲージ法によるものが一般的であるが、既存設備の負荷応力をひずみゲージ法で求めるためには、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。しかし既存設備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も限られている。このような背景から、NKKでは磁気異方性を利用した応力測定法（以下磁歪応力測定法と呼ぶ）に着目し、その開発とパイプラインを主とした現場適用を重ねてきた。今回新たな対象として、橋梁部材への適用を検討した。以下にその結果について報告する。

2. 測定原理

磁歪応力測定法では図1に示すような磁歪センサを測定対象物上に置いて測定する。いま図1に示すような応力状態にセンサが置かれている場合の動作原理を考えると、被測定物の透磁率は、引っ張り応力方向にこくわずかに大きくなり、磁気異方性が生じる。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直接E₂へ向かうが、E₁D₁間及びD₂E₂間はE₁D₂間及びD₁E₂間に比べ透磁率が $\mu_x - \mu_y$ だけ大きいために、一部は矢印で示す経路をたどる。そのためコアDに巻いたコイルには電圧が生じることになる。この電圧Vは、

$$V = M_0 \cdot (\mu_x - \mu_y) \quad \text{----- ①}$$

ただし、 M_0 ：励磁条件、コイルの条件、材料の特性などによる定数

と表すことができ、透磁率の異方性 $\mu_x - \mu_y$ は直交する2軸の応力差 $\sigma_x - \sigma_y$ に比例するため、結果として

$$V = M \cdot (\sigma_x - \sigma_y) \quad \text{----- ②}$$

となる。従って、比例定数にあたるM（以下磁歪感度と呼ぶ）がわかれば、磁歪センサの出力により応力差を求めることができる。また原理上センサを測定対象面上で回転させたときの出力は、 180° 周期のCosカーブとなり、最大になる方向が最大主応力方向のため、最大主応力方向、及び主応力差も求めることができる。

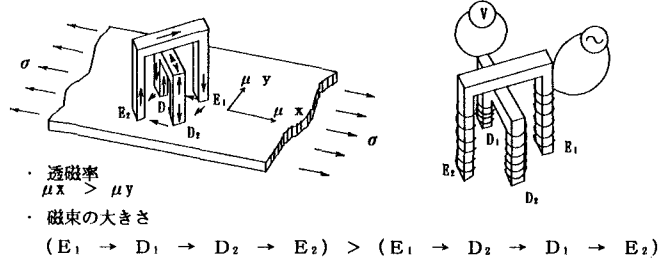


図1 磁歪センサの測定原理

3. 実験概要

実験はSS400材で製作した、2主桁の橋梁模型の両支点をピン支持し、試験器によって桁の中央に荷重を負荷して、このときウェブ及びフランジに発生する応力を、ひずみゲージ法及び磁歪法で測定し、対比・検討した。図2に実験の概要と測定点の詳細を示す。

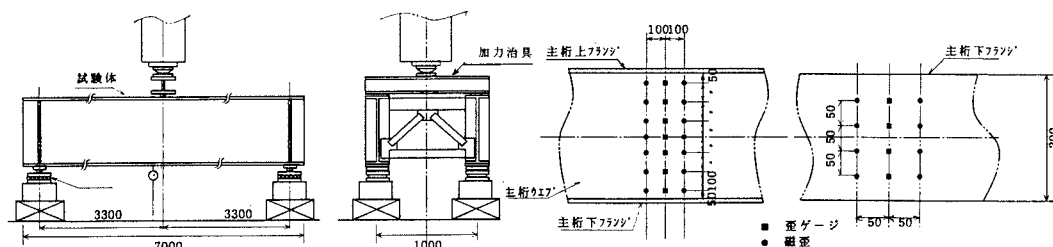


図2 実験の概要と測定位置

4. 実験結果

(1) 測定結果

図3にウェブの測定結果を示す。なお磁歪法で求めたデータは、別途求めた磁歪感度を用いて応力に換算されており、主応力差が示されている。これらによると磁歪法では、無負荷時のデータにおいても、主として溶接に起因した残留応力の影響があり、その大きさは場所によっては100MPa以上にもなっていることがわかる。またこの様な測定箇所でも負荷荷重が大きくなるにつれて、ひずみゲージで求めた主応力方向へと変化していることがわかる。

(2) 初期値減算結果

図4は磁歪法で得られた測定結果について、載荷状態での測定結果から無負荷状態の値を減算して、負荷応力の主応力方向成分を表示したものであるが、ひずみゲージで求めた測定結果と非常によく一致した結果が得られていることがわかる。また図5は同様に求めた磁歪法の測定結果と、ひずみゲージ法で求めた測定結果を対比表示したものであるが、両者の差はおおむね10MPa程度の範囲に収まっていることがわかる。

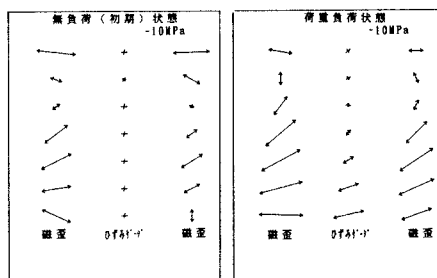


図3 ウェブの測定結果

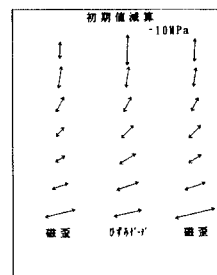


図4 ウェブの測定結果(初期値減算)

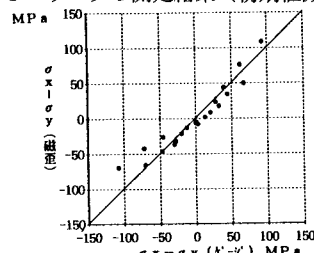


図5 磁歪法とひずみゲージ法の比較

5. まとめ

- (1) 磁歪応力測定法の測定結果によると、無負荷状態でも場所によっては100MPa以上の残留応力が存在する。
- (2) 高い残留応力を示した箇所も、荷重を負荷することによってその値に変化が現れる。
- (3) 無負荷状態の値を初期値として減算したものでは、ひずみゲージで求めた結果と非常によく一致し、その差はおおむね10MPa程度に収まっている。

6. おわりに

磁歪応力測定法の応用を橋梁の維持管理という観点で考えると、たとえば建設時から定期的に同一箇所を測定し、その変化によって橋梁の応力的な異常の有無を監視するという使い方や、既知の荷重を負荷し、特定部位の発生応力を測定することによって、橋梁全体の健全性を評価する使い方等が考えられる。いずれにしても、磁歪応力測定法の簡便性（測定時間が短い、1分/点程度）や、高い安定性（ひずみゲージの様な経年管理が不要）、さらに非接触測定が可能なこと（防食層の上からの測定が可能なこと）を考えれば、極めて有効な手法であるといえる。今後もその運用法、測定箇所の絞り込み等も含めて、さらに検討を進めていきたいと考えている。