

§5.まとめ

本編では、橋梁への歪・応力モニタリングの適用性について検討することを目的とし、はじめに、既存の歪・応力計測技術を計測原理、長所・短所、適用事例に着目して整理することとした。調査対象とした歪・応力計測技術は以下である。

- ・磁歪法
- ・応力聴診器
- ・ワイヤレスひずみ計
- ・赤外線サーモグラフィ
- ・応力発光体
- ・中性子イメージング
- ・3MA
- ・光ファイバセンサ
- ・音弾性法
- ・画像計測

次いで、これらの計測技術の中でも、特に適用が期待されている二つの計測技術について、個別検討課題として取り上げることとした。光ファイバセンサと磁歪法である。

光ファイバセンサの検討では、FBG タイプと PPP-BOTDA タイプの二種類のセンサを対象とし、鋼 I 桁の 4 点静的曲げ試験を通じて、計測精度、長所・短所、適用性について検討した。その結果を以下に記す。

- 1) FBG は、センサを配置した箇所のみひずみの測定であるため、測定時間が非常に短い。一方、PPP-BOTDA センサは、分布測定をするため、今回の実験規模で測定に約 2 分程度要する。
- 2) FBG センサは、エポキシ樹脂で母材に堅固に固定するが、PPP-BOTDA センサは、両面テープで母材に接着する。実橋での計測においては、接着方法の検討が別途必要と考える。
- 3) PPP-BOTDA センサにおけるひずみの分布計測では、着目測定箇所と、センサの位置関係を予め把握しておく必要がある。本実験では、冷却スプレーを用いて、故意にセンサに低温のひずみを与えることで、その箇所を把握している。この点は、FBG センサに比べると手間を要する。
- 4) 実橋計測で問題となる温度補正に関しては、ダミーセンサを用いることで両者ともに可能である。

磁歪法の検討では、まず、薄板にビード溶接を施した試験体を対象として機械式切断による応力解放法との比較を行い、次いで、光ファイバ試験への適用を通じて精度検証、適用範囲の把握を行うこととした。さらに、ある橋梁を対象として、工場製作の段階から現地架設までの各段階で実施した磁歪法による応力計測を実施して実橋への適用性について検討した。その結果を以下に記す。

- 1) 薄板の試験では、磁歪法の適用で問題となる、センサプローブと計測対象との距離であるリフトオフ量の把握を、リフトオフ量に依存しない校正曲線を作成することで解決した。磁歪法で計測された溶接残留応力分布は、機械式切断による応力解放法でひずみゲージによって計測された分布と非常に良い一致を示した。本試験で使用した鋼板の板厚は 10 mm であるが、磁場の浸透深さ、残留応力の板厚方向分布を考えても、この程度の薄板に対する磁歪法の適用性は問題がないといえる。
- 2) 第 3 章で実施した光ファイバ検証試験の鋼 I 桁の 4 点曲げ試験に磁歪法も適用して、精度検証を行った。磁歪法プローブの取付位置は、等曲げスパンの中央、板厚 16 mm の下フランジである。この

結果、応力レベル 180 MPa 付近まで、磁歪法の計測結果は、ひずみゲージの計測結果に対して ± 20 MPa 以内の誤差であった。ここで、 ± 20 MPa というのは、一般に言われている磁歪法の計測精度である。もともと、磁歪法は、塑性域では鋼材の磁性変化からその適用ができない。しかし、今回の試験体に用いた下フランジ鋼板の降伏応力は、317 MPa であることから、降伏応力の約 5 割までが、適用可能範囲となった。この理由として、試験体と同じ鋼材でキャリブレーションを行うことができなかった点、今回の実験では別の実験で降伏させた試験体を使用している点といった試験条件に起因する原因が挙げられる。前者に対してはキャリブレーションデータの十分な蓄積と適用性に関する検討が課題として挙げられ、後者に対してはモニタリングにおける計測点の適切な設定が挙げられる。

- 3) 実橋への適用に向け、ある橋梁を対象として、工場製作の段階から現地架設までの各段階で磁歪法による応力計測を実施した。計測対象とした鋼板は、板厚 45 mm 以上の厚板である。その結果、溶接後の鋼桁の応力分布が既往の残留分布形状と類似しており、電圧値による評価に留まってはいるものの、鋼桁架設後の死荷重による応力増加の傾向を捉えられた。ここから、磁歪法は非破壊で応力分布の傾向を把握することに対しては非常に良いツールと言える。磁歪法による応力計測の結果に誤差をもたらす要因としては、磁場の浸透深さ、応力感度曲線の精度、主応力差を分離するためのせん断積分法の精度など、様々な要因が複雑に影響し合っている。これらの要因を分離することは非常に難しい問題ではあるが、非破壊で残留応力を含む全応力を計測することができる磁歪法のメリットは大きい。今後とも、上記の計測誤差をもたらす要因を明確にしつつ、その対策を進める必要がある。