

### X線回折法を用いた高力ボルトの軸力計測法に関する実験

瀧上工業(株) 正会員 ○櫻井 勇太 正会員 松村 寿男  
 パルステック工業(株) 非会員 内山 宗久 非会員 藤井 通之  
 関西大学 正会員 石川 敏之

#### 1. はじめに

鋼橋の連結部に使用される高力ボルトは S10T, F10T が用いられることが多いが, 昭和 40 年代後半から 50 年代初頭に架設された鋼橋では, これらを超える強度を有する F11T や F13T が使用された事例がある. これらは, 締付けの一定期間後に突然破断する「遅れ破壊」が見受けられたことから, 使用されなくなっている. 現在, F11T 等の遅れ破壊が懸念される高力ボルトは, 点検用ハンマーを用いた打音検査や超音波による探傷検査<sup>1)</sup>を踏まえて, 適宜交換が実施されているが, 高力ボルトに導入されている軸力を設計値と検証することで非破壊検査にて検知し, 交換の必要性を判断することは困難である. 以上の背景から, 本報告では X 線回折法を用いて高力ボルト頭部表面の残留応力を計測することで, 計測値と軸力との相関性について検討を試みた実験結果について述べる.

#### 2. X線回折法を用いた残留応力計測

X 線回折法では, 原子が規則正しく配列した結晶格子で構成された多結晶金属材料の結晶粒に応力が作用し, 結晶格子面の間隔が変化したとき, 多結晶体に照射された入射 X 線がこの格子面間隔の変化を測定して残留応力を求めている. この X 線回折を利用した残留応力計測法として, 本実験では  $\cos \alpha$  法を用いた装置を利用した.  $\cos \alpha$  法は, 図-1 に示すように入射 X 線を中心に 360 度方向に回折したデバイ環全体を一度に取得し, 無応力試料を基準に測定試料のデバイ環との差から残留応力を測定する方法で, 計測機器自体を小型化・軽量化・可搬化できることに優位性がある.

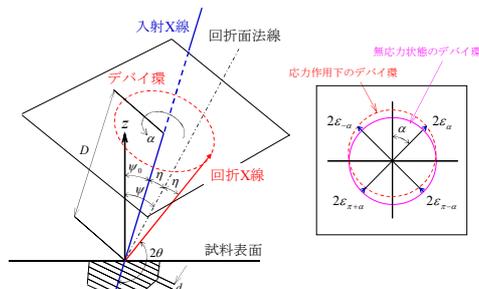


図-1  $\cos \alpha$  法の概要

#### 3. 実験概要

製造が中止された F11T 及び F13T 高力ボルトの入手が困難なことから, 鋼橋において連結部に主に使用される S10T 高力ボルトを用いることとした. 本実験では, S10T を  $\phi 24.5$  のボルト孔を設けた  $t=50\text{mm}$  の鋼板に締め付け, ポータブル型 X 線残留応力測定装置(パルステック工業(株)社製)を使用し, 写真-1 に示すように高力ボルト頭部中央に X 線を照射することで表面の残留応力の計測を行った. X 線照射位置には, 黒皮除去のため直径  $\phi 8\text{mm}$ , 深さ  $100 \mu\text{m}$  程度の電解研磨を施した. 高力ボルトメーカーの違い及び製造ロットによる残留応力のばらつきを含めて評価するため, 主要な高力ボルトメーカー 3 社(メーカー I ~ III)について製造ロットが 2 種類(ロット①, ②)となる S10T をそれぞれ 5 本(A~E)用意し, 合計 30 本について計測した. 計測した残留応力から高力ボルトの軸力の変化が検出可能であることを検討するため, 締め付け前, 一次締め後, 本締め直後, 本締め 1 週間後, 本締め 1 ヶ月後, 軸力開放後の段階毎に計測した. 一次締めは, 専用レンチを用いて約  $100(\text{N} \cdot \text{m})$  のトルクで実施し, 本締めはシャーレンチを用いた通常の管理により, ボルトのピンテールが破断することで所定の軸力が導入されたことを確認した.

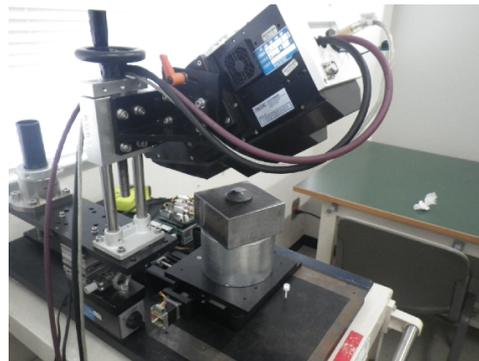


写真-1 残留応力計測状況

キーワード X線, 高力ボルト, 軸力, 残留応力, 非破壊検査

連絡先 〒475-0826 愛知県半田市神明町一丁目 1 番地 瀧上工業(株) TEL 0569-89-2103

### 4. 実験結果および考察

X線回折法を用いた各段階におけるボルト毎の残留応力計測結果を図-2に示す。図から分かるように、締め付け前(水色)の残留応力値は、全てのボルトで圧縮側(-7~-203N/mm<sup>2</sup>)の計測結果であった。これは、高力ボルトの製造工程である鍛造時の残留応力が検出されたものと考察する。一次締め後(オレンジ色)の残留応力値(-292~-544 N/mm<sup>2</sup>)から本締め直後(灰色)の残留応力値(-463~-758 N/mm<sup>2</sup>)は、平均して約1.5倍増加する結果となった。本締め直後(灰色)から1週間後(芥子色)(-437~-755 N/mm<sup>2</sup>)、1ヶ月後(青色)(-424~-757 N/mm<sup>2</sup>)までの残留応力値の変化は、ほとんど見られなかった。軸力開放時(紺色)には、ほとんどのボルトで本締め状態の残留応力値から締め付け前の残留応力値まで低減された結果(+91~-200 N/mm<sup>2</sup>)となった。以上の結果より、ボルト頭部表面の残留応力とボルトに導入される軸力には相関性があり、X線回折法により残留応力を計測することで、軸力の抜けを検知できる可能性があることが示唆される。

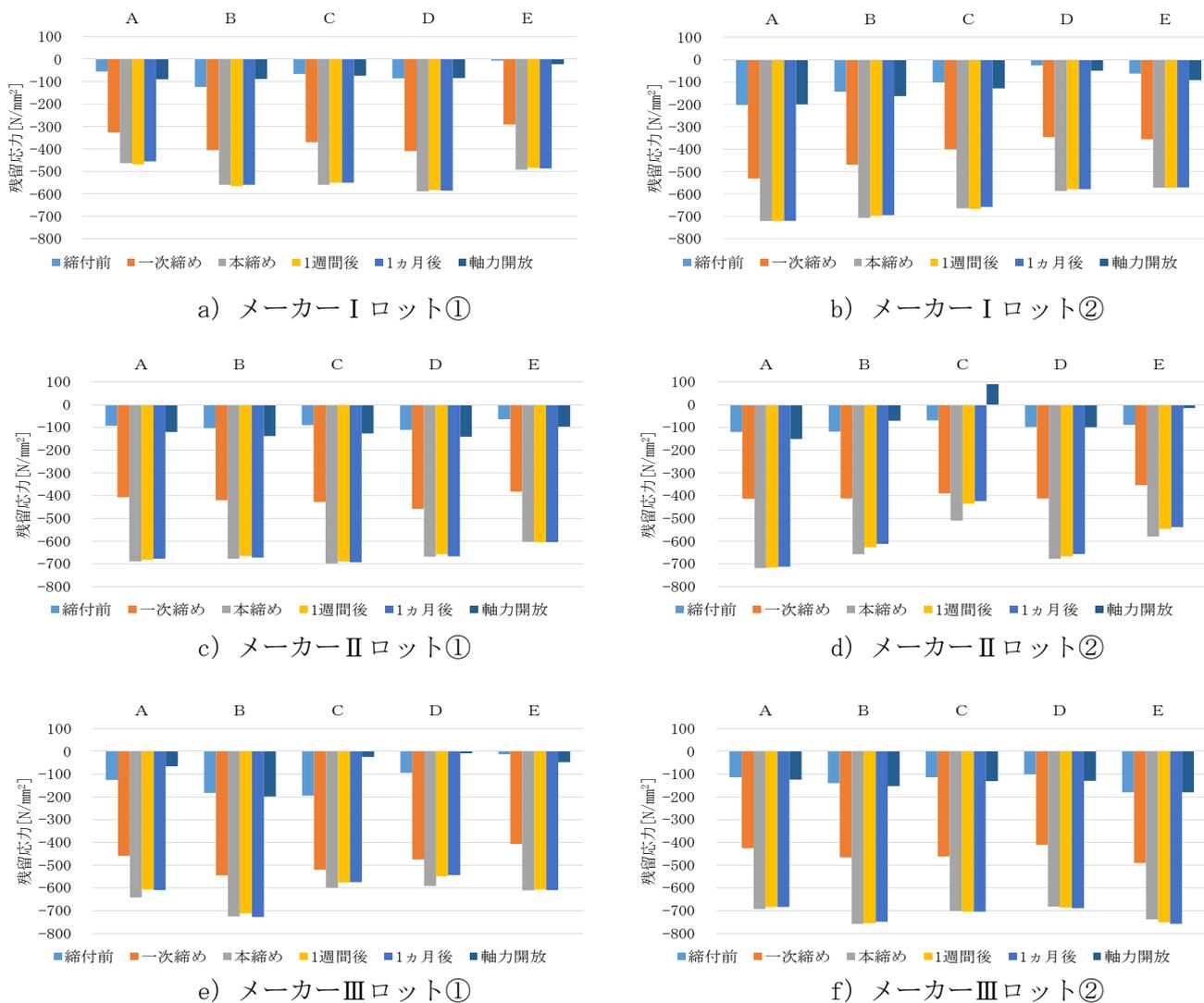


図-2 残留応力計測結果

### 5. まとめ

本実験では、X線回折法により S10T 高力ボルト頭部の締め付け段階毎の残留応力を計測した。その結果、固体毎に残留応力の計測値にばらつきがあるが、一次締めから本締めへとボルトに導入される軸力が増加するとともに、ボルト頭部の残留応力が圧縮側に増加する傾向を示した。また、軸力開放とともにボルト頭部の残留応力も減少しており、およそ締め付け前の残留応力に戻る傾向を示した。今後は、残留応力とボルト軸力のおおよその範囲を算出することが課題となる。

### 参考文献

1) 細谷他：高力ボルト継手の遅れ破壊調査・補修工法，横河ブリッジ技報 No. 22，1993. 1