

表面近傍の残留応力に及ぼす表面加工の影響 ～表面研磨とブラスト加工～

郡 亜美^{*1} 鈴木 優平^{*2} 高倉 大典^{*3} 上島 秀作^{*4}
Kohri Ami Suzuki Yuhei Takakura Daisuke Uejima Hidesaku

表面研磨の方法によっては残留応力が発生する場合があります、計測結果の正しい評価のためにはこれらの影響についての確認が必要である。種々の研磨方法とブラスト加工による残留応力を穿孔法により計測し評価した。

キーワード：残留応力、内部応力、穿孔法、インフラ、橋梁、ブラスト、研磨

1. はじめに

穿孔法は ASTM E837 規格にて標準化されている残留応力計測方法である⁽¹⁾。計測原理は、ドリルで小さな穴をあけ、これによって解放されたひずみをひずみゲージによって計測し、その値から応力を算出するという方法である。段階的に穴をあけていくことで、残留応力の深さ分布が計測できる。

穿孔法は計測部位に穴をあける手法であるが、穿孔サイズは $\phi 1 \sim 4\text{mm}$ 、深さは $0.5 \sim 2\text{mm}$ であり、橋梁のような大型構造物では穿孔の影響は小さいため準非破壊法に分類され、使用中の橋梁にも適用することができる。なお、穿孔法による応力測定技術は、国土交通省の道路分野における新技術導入促進計画に基づく「点検支援技術性能カタログ」の計測・モニタリング技術に2023年3月に登録された(技術番号：BR030051-V0023)。

対象部にひずみゲージを貼り付ける際、表面に^{さび}錆、凹凸、塗装等があるときは研磨が必要となるが、研磨の方法によっては表層部に残留応力が発生する可能性がある。計測結果の正しい評価のためにはこれらの影響についての確認が必要である。また、橋梁で使用されている部材は一般的に防錆のために塗装されており、防錆塗装前には、鋼材の黒皮(黒錆)を取除くために素地調整と呼ばれるブラスト加工がされている。ブラスト加工は表層部に比較的高い圧縮残留応力を発生させる。橋梁の応力計測において評価したいものが死荷重による応力の場合や、FEM解析値との比較を行うときは、ブラストの影響を受けている表面部分を除いて評価すべきである。

本稿では、種々の研磨方法とブラスト加工を行った鋼材の残留応力を穿孔法によって計測した結果について報告する。

*1：計測事業部 計測技術部 磯子グループ

*2：研究開発センター 研究開発グループ 博士(工学)

*3：計測事業部 計測技術部 磯子グループ グループ長

*4：計測事業部 計測技術部 部長 博士(工学) 技術士(建設部門)

2. 試験体

(1) 研磨の影響

試験体には一般構造用圧延鋼材のSS400のミガキ材を用い、事前に応力除去焼鈍(SR)を行った。寸法は幅80mm×長さ250mm×板厚16mmである。ひずみゲージの貼付け前には、サンドペーパー、リユーター、グラインダー等の方法で表面を研磨している。これら研磨の影響を明らかにするため、以下の5種類の試験体を用意し計測した。

①無加工(SRのみ)

試験体を図1に示す。通常の計測では、ひずみゲージを貼り付ける前にサンドペーパーで研磨するが、その影響が加わることを避けるため、本計測では研磨せずひずみゲージを貼り付けた。



図1 無加工試験体

②サンドペーパー

ひずみゲージ貼付け時に用いる#320のサンドペーパーで試験体の表面を研磨し、ひずみゲージを貼り付けた。サンドペーパーで研磨した試験体の表面状態を図2に示す。

③リユーター(フラップホイール)

フラップホイール(アルミナ^と砥材の研磨布)を用いたリユーターによる研磨は紙やすりでは除去できない凹凸や錆がある場合に使用している方

法である。今回は、粒度120を使用した。フラップホイールの写真を図3に、試験体の表面状態を図4に示す。

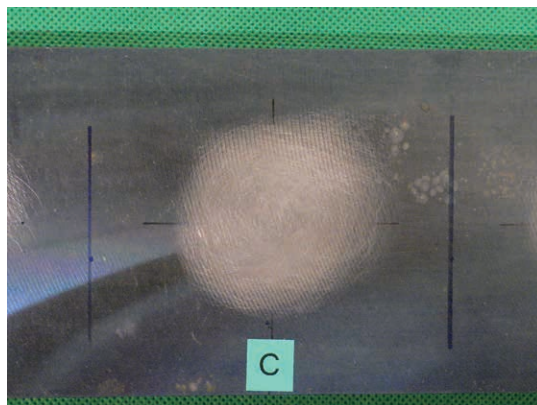


図2 サンドペーパーで研磨した試験体表面

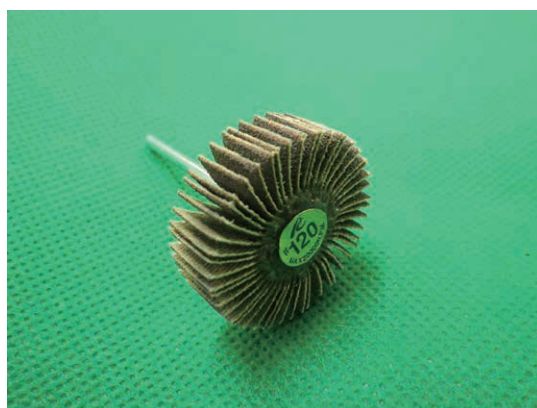


図3 フラップホイール

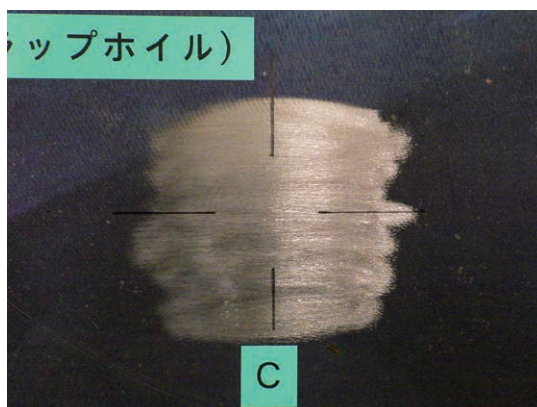


図4 フラップホイールで研磨した試験体表面

④リユーター（アルミナ質砥石）

アルミナ質砥石 (PA) の粒度 60 を用いた。砥石を図 5 に、試験体の表面状態を図 6 に示す。

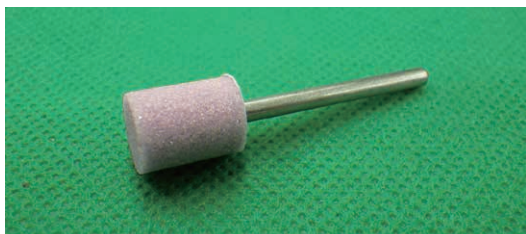


図 5 アルミナ質砥石

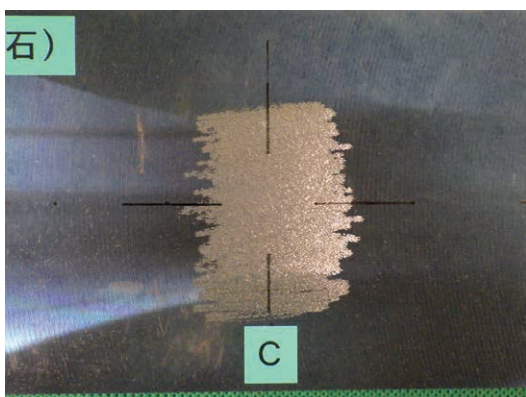


図 6 アルミナ質砥石で研磨した試験体表面

⑤グラインダー

グラインダーの砥石はスキルタッチ (AC) で粒度は 120 である。グラインダーで研磨した試験体の状態を図 7 に示す。

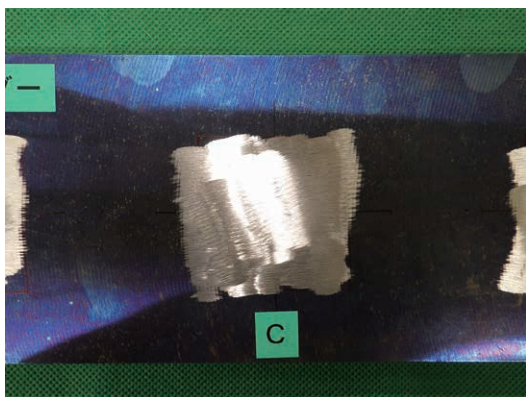


図 7 グラインダーで研磨した試験体表面

(2) ブラストの影響

SS400 の黒皮材に素地調整のためのブラスト加工⁽²⁾を施し、通常の計測時の前処理であるフラップホイールとサンドペーパーでの研磨後にひずみゲージを貼り付けた。ブラストの研削材はスチールグリットである。図 8 にブラスト加工した試験体の表面を示す。

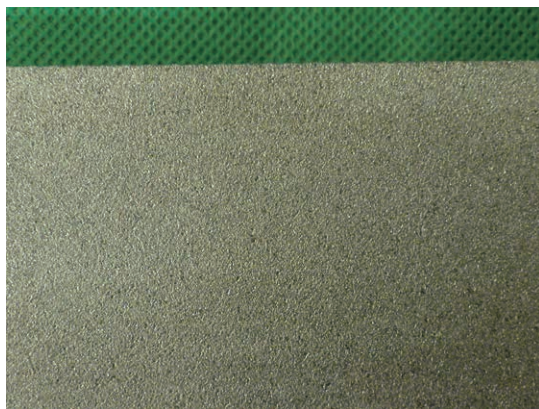


図 8 ブラスト加工した試験体表面

3. 計測条件

穿孔法残留応力計測の条件を表 1 に、穿孔装置を図 9 に示す。各試験体の計測位置は図 10 に示すように 3 箇所、左端部から 40mm (L)、125mm (C)、210mm (R) の位置である。試験体の長手方向の応力が σ_x 、その直交方向の応力が σ_y となるようひずみゲージを貼り付けた。

表 1 計測条件

穿孔装置	MTS3000 (SINT Technology)
ひずみ測定器	MX440B (HBM)
ひずみゲージ	FRS-2 (東京測器研究所)
計測深さ	1.0mm
計測ピッチ	0.050mm
穿孔径	2mm



図9 穿孔装置一式

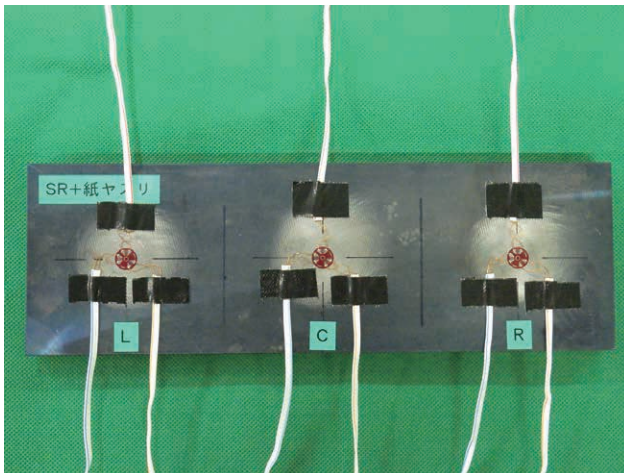


図10 ひずみゲージ貼付後の試験体

4. 結果

各計測結果を表2に示す。

(1) 研磨の影響

①無加工 (SRのみ)

3箇所とも、 σ_x 、 σ_y ともに最表面の残留応力が最も高く、その値は40～70MPaであった。引張残留応力は表面から中に入ると小さくなり、深さ0.275mm以深は0MPa付近で一定であった。

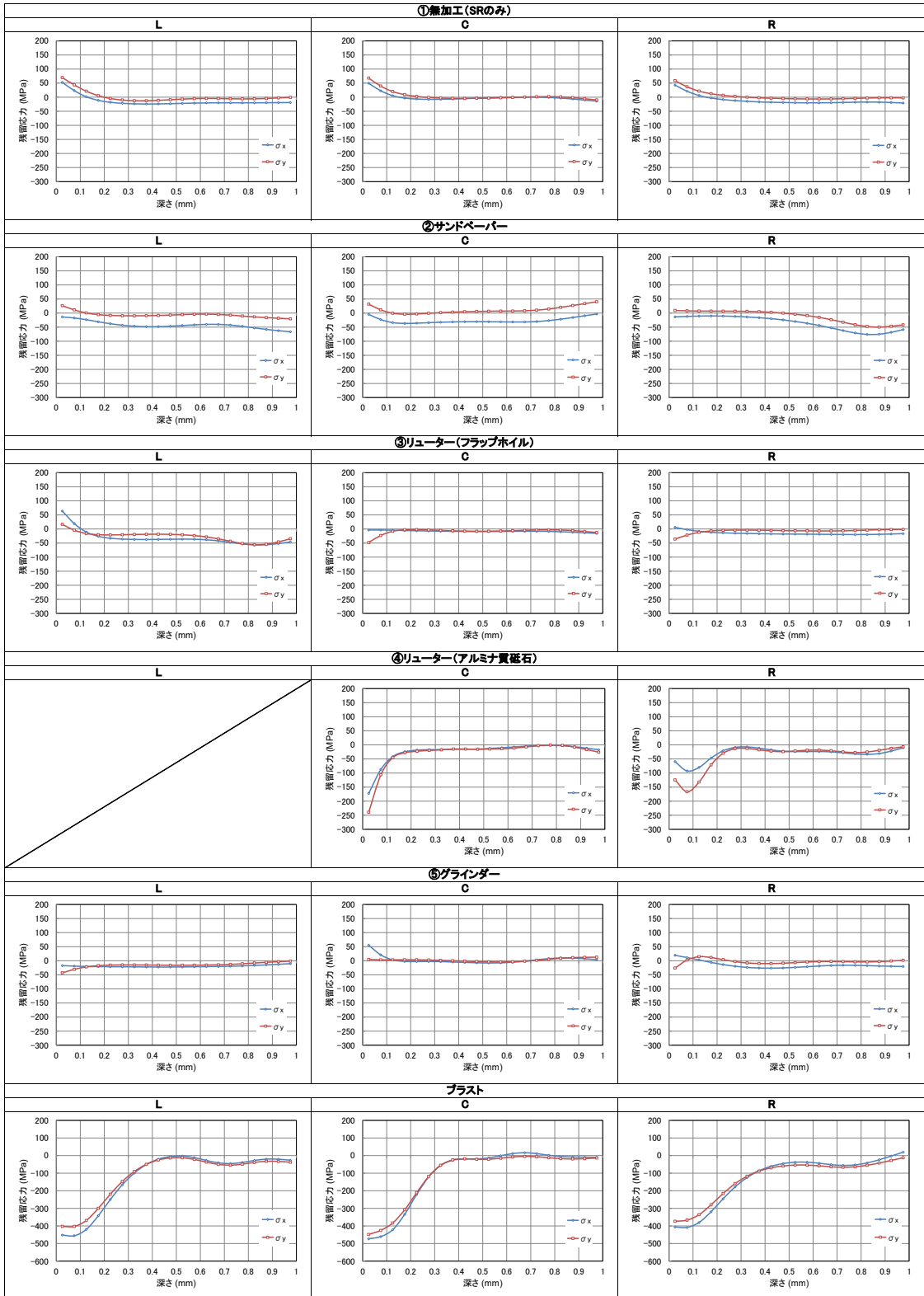
②サンドペーパー

表面付近の残留応力の変化に着目すると σ_x 、 σ_y ともにその傾きは小さくなっており、0.125mmで残留応力の低下は収まっている。このことから、サンドペーパーによる研磨は、表面の残留応力に影響を与えずに研磨できる方法であると考える。

③リユーター (フラップホイール)

無加工の試験体は σ_x と σ_y は深さによらず同等の値であったが、フラップホイールで研磨した表面の残留応力は、3箇所とも σ_x の方が高く

表2 各計測結果



なっている。また、C、Rの箇所は σ_y が約-50MPaあり圧縮側に高くなっている。深さによる残留応力変化は3箇所とも0.225mm付近で飽和したことから、フラップホイルによる研磨の影響は0.2mm程度であることがわかった。

④リユーター（アルミナ質砥石）

計測位置Lは、計測中にドリルが破損したため計測不可となった。 σ_x 、 σ_y とも表面は-100MPa以上と高い圧縮残留応力になっている。圧縮残留応力は深さ0.3mm以深で0MPa付近に落ち着いていることから、砥石による研磨の影響は0.3mm程度であることがわかった。

⑤グラインダー

3箇所ではばらつきはあるが、最表面の残留応力の値はリユーター砥石よりも小さく、影響が入っていると考えられる深さも0.225mm程度であった。

(2) ブラストの影響

3箇所とも最も高い圧縮残留応力は表面～0.075mmであり、その値も-400MPa前後と場所によるばらつきが小さかった。深さに伴う圧縮残留応力の減少は0.4～0.5mm程度で落ち着いており、ブラストの影響は0.5mm程度まで及ぶことがわかった。

5. まとめ

種々の研磨方法、ブラスト加工による残留応力の影響について、穿孔法の計測により定量的に評価することができた。ひずみゲージ貼付けの際に行う、サンドペーパーによる研磨は表面の残留応力にはほぼ影響しないことがわかった。また、残留応力計測の際の表面の錆、凹凸、塗料等の研磨には、表層の残留応力への影響が比較的小さいフラップホイルやグラインダーによる研磨が好ましいことがわかった。

橋梁において死荷重による応力を計測する場合や、FEM解析値との比較を行う場合は、ブラスト加工の影響を受けている部分の結果は使用せず、深さ0.5mm以深の結果を用いて評価する。

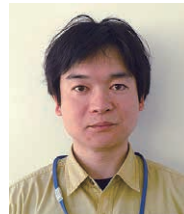
参考文献

- (1) ASTM E 837-20 : Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole Drilling Strain-Gauge Method、2020
- (2) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、平成26年3月



計測事業部
計測技術部
磯子グループ
郡 亜美

TEL. 045-759-2085
FAX. 045-759-2119



研究開発センター
研究開発グループ
博士(工学)
鈴木 優平

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



計測事業部
計測技術部
磯子グループ グループ長
高倉 大典

TEL. 045-759-2085
FAX. 045-759-2119



計測事業部
計測技術部 部長
博士(工学) 技術士(建設部門)
上島 秀作

TEL. 045-791-3518
FAX. 045-791-3541