

耐候性鋼橋梁のさび表面形状の計測法について

長崎大学 工学部 学生会員 ○魚住 正春
 長崎大学 工学部 正会員 森田 千尋, 松田 浩
 長崎大学 工学部 非会員 白濱 敏行, 山下 務
 長崎大学 大学院 学生会員 原 栄二

1. 研究目的

現在, 耐候性鋼材の外観評価は目視による主観的評価とセロファンテープ試験により 5 段階に評価されている。目視は検査者により評価がばらつく恐れがあり, また, セロファンテープ試験は目視よりは客観性は若干高いが, 湿度やテープの貼り方・剥がし方の影響を受けやすい。そのため, 耐候性鋼材の表面を非接触で計測でき, 客観性に優れた手法が要求されている。

腐食鋼材表面を非接触で測定するには, レーザー変位計を用いる方法が考えられ, 高い精度での計測が可能である。しかし, 持ち運びに不便かつ高価なため, 現場への適用性は低い。一方, 安価で可搬型のデジタルカメラを用いた簡易で精度の良い計測方法¹⁾が提案されている。

過去の研究において我々は三次元写真計測システム「Kuraves」²⁾を用い, 十分な照度の下かつ近距離における写真計測で耐候性鋼橋梁のさび表面の粗さを数値化し, 定量化をすることにより外観評価を行った³⁾。しかしながら, 実橋に三次元写真計測を用いる場合は橋の架設状態, 天候, 周囲の植生等により様々な日照状態であり, さらに桁下に入るなど, 室内のように安定した照度が確保できない場合が多いと考えられる。また, 橋梁によっては検査路がなく, 桁端部まで近づけない場合があり, 近距離での撮影が困難な状況がある。

そこで, 本研究では三次元写真計測の実橋への適用可能性を検討することを目的とし, 写真計測に必要な照度の限界を明らかにするとともに, さび表面から, より離れた位置での計測が可能か焦点距離を変化させた三次元写真計測を行った。

2. 写真計測による数値化

本研究に用いる Kuraves は, 三角測量を基本とするステレオ法により, 撮影対象の三次元座標を算出することが可能である。

写真計測に用いる画像の撮影方法の概要を図 1 に示す。撮影は 710 万画素のデジタルカメラを用い, ズームを Wide 端, 焦点距離 h , 基線長を w とし, $h = 30\text{cm}$ として撮影を行った。この焦点距離は, ズームが Wide 端における Kuraves の推奨値である。基線長は $h = 2w$ を採用した。また, 精度を向上させるため 3 枚の異なる方向の画像をデータとした。この写真計測で得られた計測範囲内の計測点の三次元座標から, JIS B 0601-1994 に定義されている工業製品の表面粗さを表すパラメータである算術平均粗さ (Ra) を算出し比較する。算術平均粗さ (Ra) とは, 図 2 に示すような粗さ曲線からその平均線の方に基準長さを抜き取り, この抜き取り部分の平均線方向に x 軸を, 縦倍率の方向に y 軸を取り, 粗さ曲線 $y = f(x)$ で表した時に, 式(1)によって求められる値である。

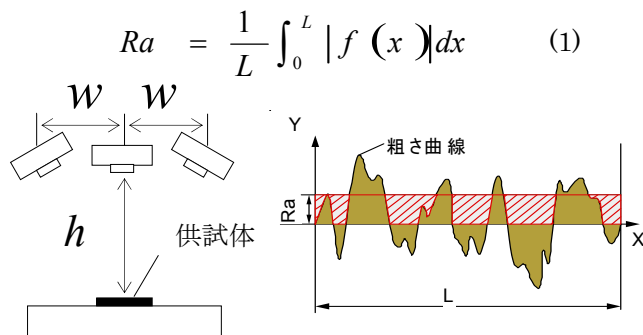


図 1 撮影概要

図 2 算術平均粗さ

3. さび状態評価の定量化の検討

3.1 さびサンプルの計測

計測に用いる供試体は図 3 に示すような(社)日本橋梁建設協会無塗装部会が作成した「さびサンプル携帯版」を使用した。計測範囲は $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ である。この範囲を 100×100 のメッシュ状に分割し, 約 10000 点の計測点を設定し計測を行う。さびサンプルは評点 1

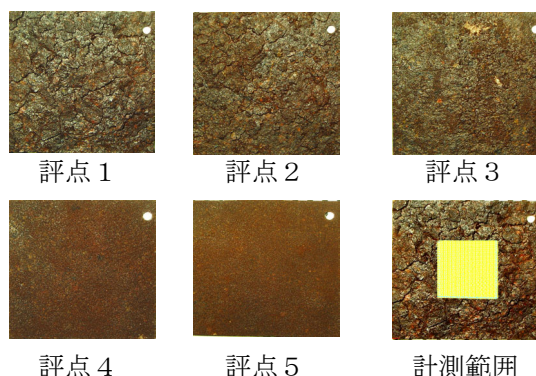


図 3 さびサンプルとその計測範囲

表 1 計測結果(さびサンプル携帯版)

		写真計測	触針試験	誤差
評点 1	No.1	1.10	1.04	0.06
	No.2	1.11	1.12	0.01
	No.3	1.36	1.42	0.06
評点 2	No.1	0.81	0.83	0.02
	No.2	0.70	0.65	0.05
	No.3	0.80	0.85	0.05
評点 3	No.1	0.41	0.37	0.04
	No.2	0.43	0.37	0.06
	No.3	0.49	0.50	0.01
評点 4	No.1	0.28	0.28	0.00
	No.2	0.28	0.20	0.08
	No.3	0.28	0.33	0.05
評点 5	No.1	0.27	0.20	0.07
	No.2	0.21	0.20	0.01
	No.3	0.13	0.13	0.00

(単位:mm)

から評点 5 までを各 3 枚ずつ No.1~No.3 とし、計 15 枚で計測を行った。写真計測の精度の確認には触針試験⁴⁾を用い、それぞれにおいて数値化した結果は表 1 の通りである。

算術平均粗さの値の誤差は最大でも 0.08mm 程度であった。評点 3 と評点 2 は検査後の処置の目安が大きく異なるため両者の境界を明確にすることが重要だと考えられる。表 1 からどのさびサンプルもこの境界に大きな数値の差が見られ、写真計測により両者の判別が明確に行えると考えられる。よって、以下取り扱うさびサンプルは評点 2 と評点 3 のものとする。

3.2 照度変化撮影による計測

実橋における桁下等では十分に照度が得られない場合がある。そこで、写真計測に必要な照度の限界を明らかにするため、自然光のみで照度を 100 未満と 100~200, 200~400, 400 以上と変化させて写真計測を行った。計測結果と触針試験の算術平均粗さの比較を表 2 に示す。

表 2 より、100lx 未満ならば大幅な誤差が生じてしまい、信頼性に乏しい結果となった。そこで、自然光で 100lx 未満であるとき、蛍光灯を使用して再度、写真計測を行った。結果を表 3 に示す。

表 3 より、表 2 の触針試験結果と比較すると誤差 0.07 mm 以下という精度が得られた。よって、蛍光灯を用いて 100lx 以上の照度の下であれば評点 2 と評点 3 の判断が比較的高い精度で可能であると考えられる。

3.3 焦点距離の異なる撮影による計測

橋梁によっては桁端部まで近づけない場合があり、近距離での撮影が困難な状況がある。様々な地形に存在する橋梁に対応するため焦点距離を 1.0m と 2.0m, 4.0m にしたときの撮影における計測が可能か検討を行った。なお、撮影に用いたカメラは 610 万画素のレンズ交換式一眼レフデジタルカメラで、交換レンズは最大 300mm の望遠ズームのものを使用した。まず、表 4 に示すとおり、算術平均粗さの数値の誤差は 0.04mm 以下という妥当な結果を得られた。また、計測結果をより詳細にした評点 2 の任意断面における凹凸分布についてそれぞれ写真計測結果と触針試験を比較したものを図 4 に示す。

図 4 より、2.0m と 4.0m どちらの写真計測も触針試

表 2 計測結果(自然光のみ) 表 3 計測結果(蛍光灯使用)

照度(lx)	評点2	評点3
400以上	0.67	0.36
200~400	0.78	0.39
100~200	0.72	0.32
100未満	1.10	0.85

触針試験	0.65	0.36
------	------	------

照度(lx)	評点2	評点3
400	0.67	0.38
200	0.70	0.40
150	0.70	0.34
100	0.72	0.36

表 4 計測結果(さびサンプル)

焦点距離h	評点2	評点3
1.0 m	0.89	0.52
2.0 m	0.80	0.53
4.0 m	0.80	0.53
触針試験	0.85	0.50

(単位:mm)

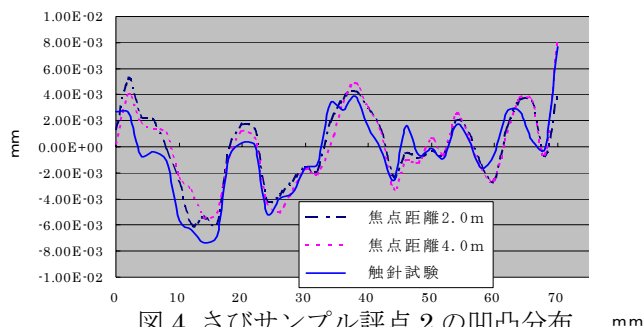


図 4 さびサンプル評点 2 の凹凸分布 mm

表 5 計測結果(実橋)

ウェブ内側	下フランジ上側
0.40	0.60

(単位:mm)

表 6 計測結果(実橋)

焦点距離h	計測結果
0.3m	1.15
1.0m	1.16
2.0m	1.21

験結果とよく一致していることがわかる。これらの結果より、最大 4.0m の焦点距離でも望遠ズームが優れたレンズを用いて行えば高い精度で計測可能であり、評点 2 と評点 3 の判別も可能であると考えられる。

4. 実橋への適用

三次元写真計測の実橋への適用可能性を検討するために、まず、佐賀県に実在する橋梁のウェブ内側、下フランジ上側の自然光のみでは約 0~50lx の暗所において写真計測を行った。計測結果を表 5 に示す。また、長崎県に実在する橋梁のウェブ外側を焦点距離を変化させて写真計測を行った。計測結果を表 6 に示す。これらの結果を表 1 のさびサンプルの計測結果に照らし合わせてみると佐賀県の橋梁のウェブ内側は評点 3 程度、下フランジ上側は評点 3 に近い評点 2 程度、長崎県の橋梁のウェブ外側は評点 1 程度だといえる。表面のさびの状態を目視とセロファンテープ試験により検討すると、今回の写真計測の結果は妥当であり、実橋に対しても適用可能であると考えられる。

5. まとめ

室内で橋梁における暗所を想定した場合、照度が 100lx 以上ならば計測可能である。また、100lx 未満であっても蛍光灯を用いて 100lx 以上とすれば比較的高い精度での計測が可能であった。また、橋梁の都合上、近距離による撮影が困難な状況を想定した場合、最大 4.0m の焦点距離で、精度の高い計測が行え、評点 2 と評点 3 の判別が可能であった。以上の結果を基にし、実橋への適用を行った結果、耐候性鋼橋梁のさび状態の評点判別を明らかにすることができた。しかしながら、現在はまだデータが不足しているため、今後は詳細な定量化を行うための数値データを蓄積していく予定である。

・参考文献

- 1) 館石和雄, 柴田憲吾, 判治剛: デジタルステレオグラフィによる腐食鋼材表面形状の簡易計測手法, 鋼構造論文集, Vol.12, No.46, pp.27-34, 2005.6
- 2) 倉敷紡績株式会社エレクトロニクス事業部
- 3) 森田千尋, 眞鍋裕之, 松田浩ほか: 写真計測による耐候性鋼橋梁の外観評価に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol.15, pp591-596, 2007
- 4) ローランド ディー. ジー. 株式会社