

1. はじめに

一般社団法人日本非破壊検査協会（以降、JSNDI）は、2016年7月に、協会の一研究会として、「光3次元技術による非接触非破壊検査の評価と標準化に関する研究会」⁽¹⁾を立ち上げ、2年にわたって活動してきた。その研究をさらに押し進め、非破壊検査の現場で利用可能な手順ないしガイドラインを定めるため、2018年7月、JSNDIは検査部門の下に新たな研究会「**光3次元計測技術による非接触非破壊検査の標準化に関する研究委員会**」（略称「**光3次元計測技術研究会**」）を発足させた。本研究会は、近接目視の定量化のための光3次元計測装置利用方法の標準化、ないしガイドラインの策定を目標としており、**Time-of-flight**の原理を用いた、いわゆる土木測量用の光距離計は標準化対象外である。

本稿では、社会インフラ保守検査現場で、光3次元計測技術がどのように近接目視の定量化への貢献が可能であるか、事例を交えながら解説する。

2. 近接目視点検現場への適用と期待

光3次元計測技術の近接目視点検現場への適用可能分野は多岐にわたるが、代表的なものは以下の2分野である。

- 社会インフラ構造物の保守点検（橋梁、道路、トンネル、上下水道管、地下埋設物共同溝、ダムや港湾のコンクリート壁など）
- 生産設備の保守点検（石油化学コンビナートのプラント（圧力容器、配管、貯槽など）、ガス・石油のパイプライン

など）

これらの分野に光3次元計測技術を持ち込むことで、従来の主観に基づく近接目視点検から、データ（数値）に基づくより科学的な点検・保守作業へと変化させることができる。

主観的な手法では点検担当者の技量によってその評価結果が異なる可能性が大きいですが、データに基づく評価であれば、その結果は一定の誤差範囲内に収まること、さらに、事後の検証がいつでも実施可能になることが大いに期待される。

その結果として、安全性を担保しながら、あるいは安全性を高めながら、工期短縮、コスト圧縮に結びつけていける可能性が大きくなる。

次章以降では、耐候性鋼橋腐食の点検課題と、かかる点検において光3次元計測装置の利用がいかに効果的か、事例を元に解説する。

3. 耐候性鋼橋の外観性状によるさび状態の評価法に関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所（以降、国総研）は、「耐候性鋼橋の外観性状によるさび状態の評価法に関する研究」⁽²⁾と題した研究資料（国総研資料第828号、平成27年2月発行）を国土交通省のウェブページに公開した。「本研究は、耐候性鋼橋の診断を行う技術者とそれらの助言を受けて措置等の意思決定を行う道路管理者の双方に対して、診断や意思決定がよりの確なものとなるように、耐候性鋼橋に関する既往の様々な表面性状の事例や実橋のデータを収集・分析し、一般的に見られることの多いさび

状態の外観性状について体系的にとりまとめたものである」(参考文献(2)から抜粋)。

本研究資料のまとめにて、以下のように記載されている。

「耐候性鋼橋の診断のためにさびの状態を的確に評価するには(中略)、さびの平面形状のほか凹凸も考慮した立体形状と大きさ、および色調も組み合わせて正確に分類・評価した判定基準の確立の必要があると考えられる。」⁽²⁾

さらに、国土交通省近畿地方整備局は、「新都市社会技術融合創造研究会」の平成28年度～30年度のプロジェクトのひとつとして「海岸近接部において耐候性鋼材(無塗装仕様)を使用する橋梁の環境計測技術に関する研究」(プロジェクトリーダー：神戸大学大学院工学研究科准教授橋本国太郎)⁽³⁾を選定した。このプロジェクトでは、温湿度ロガーを用いた濡れ時間の予測や、3Dスキャナーによる鋼材表面腐食の画像計測結果から鋼材の補修要否の判定手法の提案を目的としており、前出国総研資料が取りあげた課題「さび性状判定基準の確立の必要」にも合致した取り組みとなっている。平成30年度の評価は、新都市社会技術融合創造研究会のウェブページにて公開されている⁽⁴⁾。

4. 従来のさび性状評価基準の課題

一般社団法人日本鉄鋼連盟と一般社団法人日本橋梁建設協会のまとめた資料「耐候性鋼の橋梁への適用」⁽⁵⁾において、耐候性鋼材表面に発生する腐食の目安を示した写真が公開されている。この目安は、レベル5(最も腐食の少ない状態)からレベル1(最も腐食の進んだ状態)の5段階に分類されている。保全の現場では、レベル5～3を補修不要(見守りレベル)、レベル2、1を補修が必要なレベルとされており、レベル3とレベル2の分け方が課題となってきた。一般的に、主観的な判断ではより保守的な

方向に偏る傾向があり、本来レベル3とすべきところもレベル2と判定され、必要以上の補修がなされている場合がある。そのため、新都市社会技術融合創造研究会では、レベル3とレベル2の判定手段をより定量化したいと考えていた。図1は前出資料「耐候性鋼の橋梁への適用」で記載されたレベル3の腐食の見本写真、図2はレベル2の腐食の見本写真を示す。



図1 耐候性鋼に発生したレベル3の腐食



図2 耐候性鋼に発生したレベル2の腐食

当該資料では各腐食レベルの目安として以下の指標が記載されている。

- レベル3：さびの大きさは1mm～5mm程度で粗い。さび厚約400μm未満
- レベル2：さびの大きさは5mm～25mm程度のうろこ状。さび厚約800μm未満

実際のさび性状はこの中間状態になることも多く、それをレベル3とするのか、レベル2とするのか、評価者によってまちまちとなる可能性が大きい。

5. 耐候性鋼橋腐食への光3次元計測の適用

光3次元計測装置として本稿で採用した機材は、株式会社セイコーウェーブ製の3DSL-Rhino-02⁶⁾である。その代表的な仕様を表1に示す。

表1 3次元計測装置の主な仕様

項目	仕様
対象物までの距離	160mm~250mm
一括計測画角	80mm x 140mm
平面分解能	200 μ m
奥行き分解能	30 μ m
計測所要時間	80ms
計測方式	構造化光・位相シフト法

この装置を使うことで、評価対象表面の凹凸性状を瞬時にデータ化し、計算で求められた凹凸の標準偏差値（平均高さからのばらつき具合）から、腐食レベルの判定を現場で迅速に行うことが可能となった。ここで、腐食レベル判定に使った指標は以下の通りである。

- レベル5, 4, 3 : 標準偏差値 0.2mm 未満
- レベル2 : 標準偏差値 0.2mm 以上、0.4mm 未満
- レベル1 : 標準偏差値 0.4mm 以上

標準偏差の分布は平均値の両側に広がるため、資料「耐候性鋼の橋梁への適用」で記載されたさび膜厚の半分をレベル分けの指

標とした。

図3は、表1記載の光3次元計測装置で計測した耐候性鋼鋼材表面腐食の3Dデータであり、熟練者がレベル2の腐食と判定した腐食事例である。図4は、この3次元データをソフトウェアで解析し、さび高さ(=さび膜厚)の分布を0.1mm単位でヒストグラム図にし、標準偏差を求めたものである。この事例は、熟練者の判定と同じく、レベル2の判定となった。

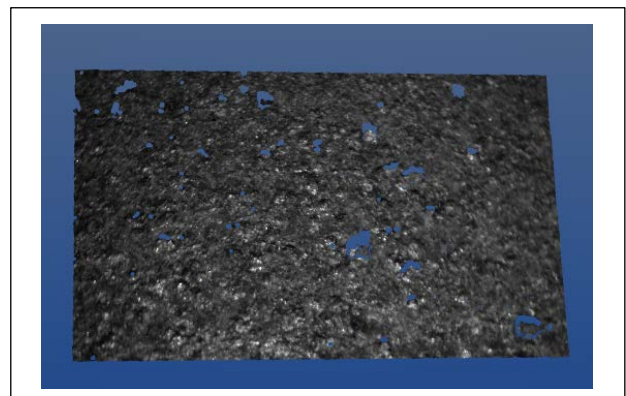


図3 光3次元計測装置で計測した耐候性鋼材のレベル2の表面腐食の3次元データ

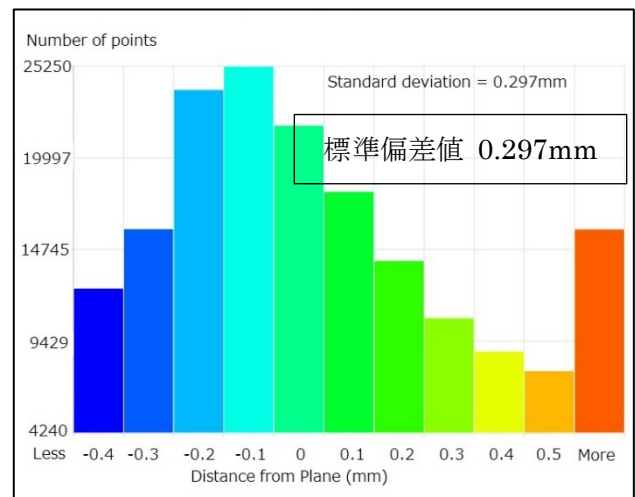


図4 図3の腐食の3次元データをソフトウェアで解析したさび高さの分布

図5は、熟練者がレベル3と判定した腐食事例の3次元データである。これを図4と同様にソフトウェアで解析したものが図

6に示されている。図6の解析結果としての標準偏差は0.140mmとなり、判定指標からレベル3と判定され、熟練者の判定と一致した。



図5 光3次元計測装置で計測した耐候性鋼材のレベル3の表面腐食の3次元データ

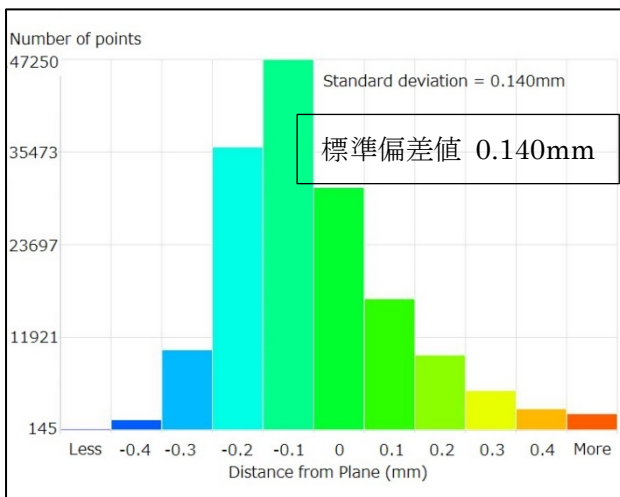


図6 図5の腐食の3次元データをソフトウェアで解析したさび高さの分布

図7は、本稿で採用した3次元計測装置を使い、緑枠で指定された範囲を計測している様子を撮った写真である。本装置はケーブルでパソコンと接続され、図3～図6で図示されたような解析をその場で即時に実行し、腐食レベルを現場で判定することが可能となる。



図7 光3次元計測装置を用いた実際の耐候性鋼の計測の様子

6. さいごに

本稿では主に耐候性鋼橋腐食計測と判定への適用事例を述べたが、これ以外にも、コンクリート壁の亀裂検出、浮き検出、鋼構造物の変形、塗装橋の塗装の浮き、高張力ボルト・ナットの腐食計測と供用性の評価、など多方面での応用が可能である。

これらの応用を容易にするため、それぞれの応用に特化したアプリソフトウェアを計測ソフトウェアに組み込んでいく予定である。

[参考文献]

- (1) 一般社団法人日本非破壊検査協会：
光3次元計測技術による非接触非破壊検査の評価と標準化に関する研究会、
<http://www.jsndi.jp/sciences/index1.html>
- (2) 国土技術政策総合研究所、国総研資

料 828 号 ISSN 1346-7328、平成 27 年 2 月、

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0828pdf/ks0828.pdf>

- (3) 国土交通省近畿地方整備局、平成 28 年度新規プロジェクト選定結果、
http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/2016shiryo/20160615_1.pdf

- (4) 国土交通省近畿地方整備局、平成 30 年度中間事後評価一覧表、
http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/2018shiryo/20180627_04.pdf

- (5) 社団法人日本鉄鋼連盟、社団法人日本橋梁建設協会、耐候性鋼の橋梁への適用、
http://www.jisf.or.jp/business/tech/bridge/result/pdf/tai_panf.pdf

- (6) 株式会社セイコーウェーブ、光 3 次元計測装置 3DSL-Rhino-01、3DSL-Rhino-02、
http://seikowave.jp/Doc/RhinoSpec_E2.pdf



著者紹介 (新村 稔)

1982 年東北大学工学部電気系卒業、同年、セイコーエプソン入社。米国向けパーソナルコンピュータの設計・半導体設計などに従事。2007 年同社退社。2010 年株式会社セイコーウェーブ創業。現在副社長として、装置の開発、日本・アジア・オセアニア市場開拓に従事。(〒181-0001 東京都三鷹市井の頭 3-12-11 KS-5 ビル 202 号)

<http://www.seikowave.jp>