

ポータブル 3D スキャナーを用いた鋼橋桁端部の板厚計測に関する基礎的研究

山口大学大学院 学生会員○中尾圭佑
 エム・エムブリッジ 正 会 員 田島啓司
 山口大学大学院 正 会 員 麻生稔彦

1. はじめに

近年、我が国では老朽化した鋼橋が増加し、これらの腐食損傷が問題となっている。腐食した鋼橋の耐荷力を診断する際に鋼部材の残存板厚を把握する必要があるが、ノギスやキャリパーを用いた従来の計測方法では腐食が激しい箇所での計測が困難となるため、十分な板厚情報を取得できない。そこで本研究は物体の表面形状を座標データとして計測可能なポータブル 3D スキャナーによる計測に着目した。測定対象を小型の I 型鋼として計測精度、計測条件を調査した既往研究¹⁾は存在するが、実橋梁での適用性は未確認であることから、実物大模型を測定対象として計測し、計測方法が板厚算出時に及ぼす影響について検討する。

2. ポータブル 3D スキャナー・測定対象

本研究ではパターン光を対象物に投影し、三角測量の原理から座標データを取得する光学式ポータブル 3D スキャナー(図-1, GO!SCAN 50™)を使用した。測定対象は鋼橋において腐食が激しい桁端部²⁾を模擬したスチレンボード製の実物大模型(図-2, B300×H800×L900mm)とした。またスキャナーに自身の位置を認識させるターゲットシールを模型上に設置した。

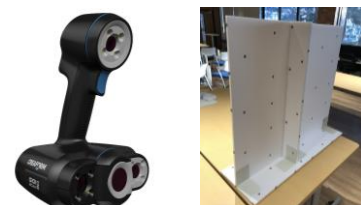


図-1 GO!SCAN 50™ 図-2 模型外観

3. 計測手法・計測ケース

計測手法は図-3 に示すように実物大模型の表から裏面までを連続的に計測する一括計測と、多方面から複数に分割して計測したデータを合成処理する分割計測の 2 通りとした。一括計測では多角測量における閉合トラバースの要領で、計測データの起点と終点を一致させるようにウェブ上端を計測する閉合ケースと、床版を考慮しウェブ上部を計測しない開放ケースを設定した。分割計測における合成処理は、下フランジ両端のコバ部にターゲット球(鋼球 Φ30mm)を設置後、模型とともに計測し、取得した分割データを球の中心座標同士が一致するように座標変換する要領とした。

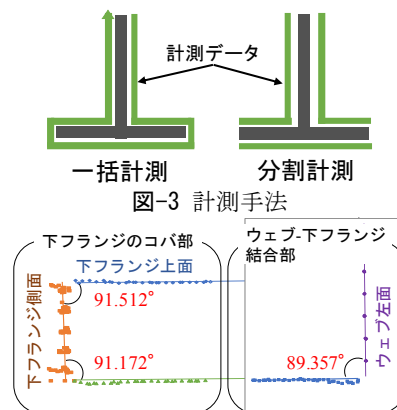


図-4 近似直線の交角に生じたずれ

表-1 全計測ケース

ケース名	計測手法	ターゲットシール	
		コバ部	結合部
ケース1	一括(開放)	少	少
ケース2		多	少
ケース3		少	多
ケース4		多	多
ケース5	一括(閉合)	少	少
ケース6	分割	ターゲット球	少

コバ部：少(13枚/900×10mm²)、多(21枚/900×10mm²)
 結合部：少(5枚/300×200mm²)、多(10枚/300×200mm²)

また事前計測の結果から、計測時に方向ベクトルが急変するウェブ-下フランジの結合部と下フランジのコバ部において、取得した点群データの近似直線の交角にずれが生じる状況が確認された(図-4)。そこでコバ部と結合部に設置するターゲットシールの枚数が多いケースと少ないケースを設定し、交角のずれが改善されるか検証を行った。全計測ケースを表-1 に示す。

4. 計測精度の確認方法

取得した計測データから板厚を算出するため、座標データにおける模型の表裏面に共通の格子点を 10mm 間隔で設け、その格子点の前後左右±5.0mm の矩形範囲に含まれる計測データの平均値から板厚を算出した。なお、計測データには格子点からの距離に応じた重みを付加した。

板厚計測の概要については模型の末端から 90mm 地点のウェブ、下フランジについてそれぞれ端部から 10mm 間隔で行い、スキャナー計測によって評価した板厚からキャリパーで直接計測した板厚を差し引いた計測誤差により評価した。また計測精度の基準値は、部材の板厚の 10%程度である±1.0mm とした。

キーワード ポータブル 3D スキャナー 実物大模型 点群データ

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-26-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9328

5. 板厚の計測結果

計測誤差を算出した結果を図-5、図-6に示す。一括計測、分割計測の違いによる影響は明確には確認されず、計測誤差はウェブにおいてケース4、5のみ、下フランジにおいては全ケースが基準値を満足した。

6. 考察

計測誤差はウェブ高さに比例して増大し(図-5)、下フランジのコバ部から結合部にかけて増減していた(図-6)。この変化が線形であることから、計測誤差はコバ部における交角のずれ $\Delta\theta_{FL}$ 、 $\Delta\theta_{FR}$ と、結合部における交角のずれ $\Delta\theta_{WL}$ 、 $\Delta\theta_{WR}$ に起因すると考えられる。そこで、コバ部における $\Delta\theta_{FL}$ と $\Delta\theta_{FR}$ の和を $\Delta\theta_F$ 、結合部における $\Delta\theta_{WL}$ と $\Delta\theta_{WR}$ の和を $\Delta\theta_W$ 、コバ部、結合部で生じたずれの総和を $\Delta\theta$ とし、図-7に示すウェブ最頂部における板厚の計測誤差を下記の算出式で求めた。表-2に各ケースの $\Delta\theta_F$ 、 $\Delta\theta_W$ 、 $\Delta\theta$ を示す。なおこれらの真値は 0° である。

$$\delta_F \equiv H \times \sin\Delta\theta_F \quad (1)$$

$$\delta_W \equiv H \times \sin\Delta\theta_W \quad (2)$$

$$\delta = \delta_W + \delta_F \equiv H \times \sin\Delta\theta \quad (3)$$

ここで H はウェブ高さ(mm)、 δ_F 、 δ_W はコバ部および結合部における交角のずれによる計測誤差(mm)、 δ は計測誤差の総和(mm)を示す。

図-8に式(3)による算出値とスキャナーによる実測値の比較を表す。全ケースで差は0.5mm以内と概ね一致したことから、板厚の計測誤差はコバ部、結合部における交角のずれに起因することが確認された。

また基準値($\delta=\pm 1.0\text{mm}$)を満足する $\Delta\theta$ は上記の算出式より $\pm 0.07^\circ$ 程度であることから、 $\Delta\theta_W$ 、 $\Delta\theta_F$ は基準値として $\pm 0.035^\circ$ 以内となる必要がある。しかし $\Delta\theta_W$ 、 $\Delta\theta_F$ は表-2に示すように全ケースで基準値を超過しており、ケース1~4の比較から $\Delta\theta_W$ 、 $\Delta\theta_F$ はターゲットシール数が増量しても改善されないことが示された。

$\Delta\theta$ の基準値を満足しているケース4、5の計測精度については、まずケース4はウェブ上端で計測データが閉合されず誤差補正もされないため、常に良い結果が得られるとは限らない。一方ケース5では、 $\Delta\theta_W$ 、 $\Delta\theta_F$ が $\pm 0.035^\circ$ を超過しても、閉合誤差が補正されるため $\Delta\theta$ の基準値を満たす結果が得られやすい。よって板厚の計測精度向上には交角のずれがより生じにくい計測方法の適用、または閉合計測のように交角のずれを補正する対策の適用が必要であることが明らかとなった。

7. まとめ

実物大の模型を計測対象としてポータブル3Dスキャナーによる計測を行った結果、コバ部と結合部で生じる交角のずれが原因となって誤差1.0mm以内の基準値を満足できないことが明らかとなった。板厚計測の精度を向上させるためには、交角のずれを抑制する対策又は補正する対策が必要となる。今回実施した閉合計測は補正する対策に該当し、計測誤差の基準値を満足する計測結果が得られた。

参考文献

- 1) 川島将太, 田島啓司, 麻生稔彦, 携帯型三次元形状計測器を用いた腐食形状計測に関する基礎的研究, 第70回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, I-3, 2018.
- 2) 日本橋梁建設協会, 保全委員会, 保全技術小委員会, 鋼橋の維持管理に配慮した設計・施工の留意点 2009年

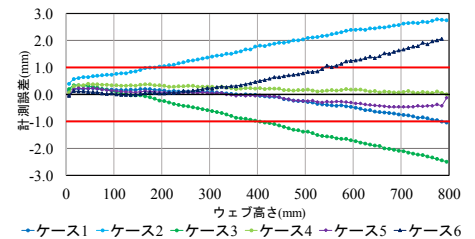


図-5 板厚の計測誤差(ウェブ)

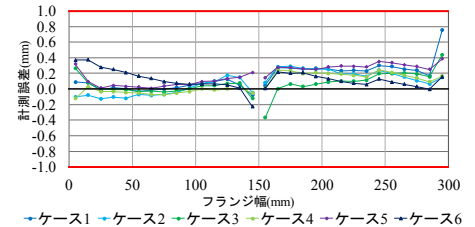


図-6 板厚の計測誤差(下フランジ)

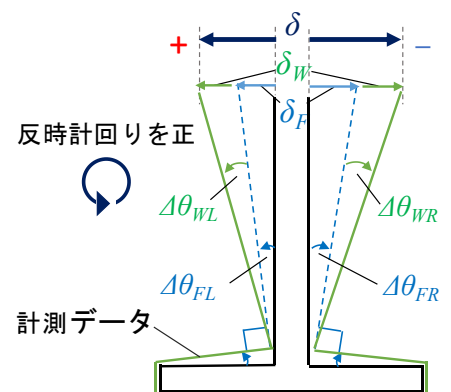


図-7 ウェブ最頂部での計測誤差の算出

表-2 各計測ケースにおける角度のずれ

ケース名	計測手法	$\Delta\theta(^{\circ})$	$\Delta\theta_W(^{\circ})$	$\Delta\theta_F(^{\circ})$
ケース1	一括(開放)	-0.095	-0.324	0.229
ケース2		0.228	-0.236	0.464
ケース3		-0.211	-0.331	0.120
ケース4		-0.023	-0.384	0.361
ケース5	一括(閉合)	-0.045	-0.326	0.281
ケース6	分割	0.145	-0.165	0.309

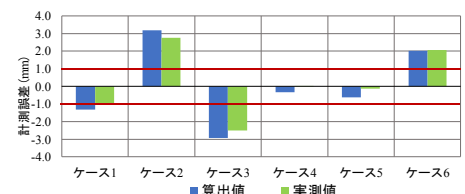


図-8 算出値と実測値の比較