

撮影画像を用いた鋼構造物の3次元点群モデル構築手法に関する一検討

A consideration on construction method of 3D point cloud model for steel structures from photographed images

北見工業大学工学部
北見工業大学
北見工業大学
北見工業大学
北見工業大学大学院

○学生会員
正会員
正会員
正会員
学生会員

ムンフジャルガルダンビーバルジル(Dambiibaljir Munkhjargal)
宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
齊藤剛彦 (Takehiko Saito)
山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)
鈴木紗苗 (Sanae Suzuki)

1. はじめに

近年、3次元点群データを施工土量の計測や景観の検討などに活用する事例が報告されている。橋梁分野でも、構造物を撮影した画像から3次元モデルを生成して、点検や維持管理業務に役立てる取り組みが進んでいる。これらの3次元モデルでは構造部材の腐食や損傷などを記録できても、現状では構造物の耐荷性能や内部の応力状態を定量的に評価はできない。そこで、著者らはデジタルカメラで撮影した画像から応力解析ができるFEMモデルを構築する手法について検討を進めている^{1),2)}。応力解析を精度よく行うためには、当然ながら3次元点群モデルを精度よく作成することが不可欠である。このため、鋼構造物の応力解析への適用を想定して、鋼構造物の高精度な3次元点群モデル構築のための手法について基礎的な検討を行ったため、その結果を報告する。

2. 小型供試体による基礎的検討

2.1 実験供試体と撮影方法

本研究ではデジタル画像から点群を生成するためAgisoft社のPhotoScan Pro³⁾を用いた。画像から点群モデルを作成する場合に、寸法の基準となる位置をマーカーで特定することができる。まず、実験室内でこのマーカーの大きさや設置方法について検討を行った。さらに、土木構造物は屋外に設置されるため、屋外実験で天候が異なる場合の点群モデルの精度や問題点を検討した。

使用した供試体は図-1のような小型のT形鋼で、図-2のようにフレーム内の木梁に設置した。図-2の寸法はノギスによる実測値である。

図-3のようにフレーム上に8枚のマーカーを設置してマーカーの中心の座標を0.02mmまで計測可能なノギスで計測した。また、屋内実験では照明を使用して、プル

シートで囲まれた空間内で撮影実験を行った。照明は撮影時に供試体に反射光が写り込まないように、レフランプ2個を天井から、アイランプ2個を水平から照らした。

撮影に使用したデジタルカメラはソニー社製のα6500であり、撮影画像はjpeg形式で保存し、記録画素数は



図-1 T型鋼実験供試体

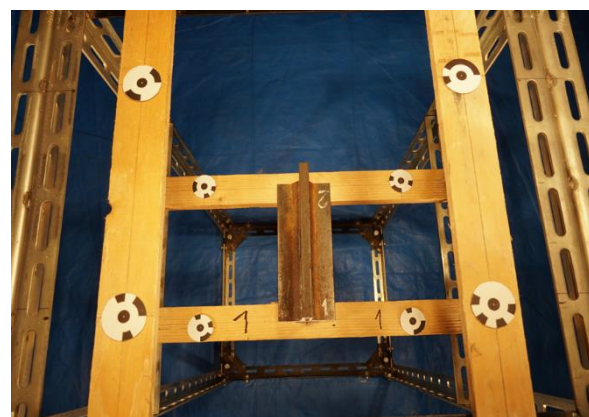


図-3 マーカーと供試体の位置

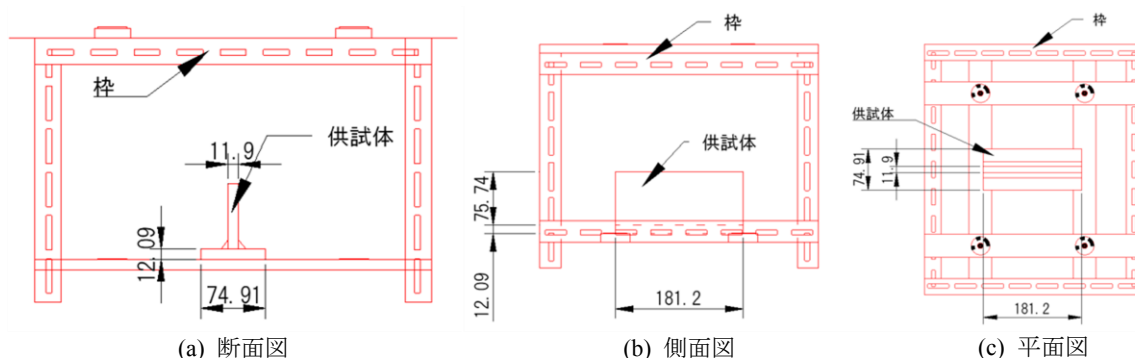


図-2 T型鋼供試体設置状況

表-1 カメラの設定 (T型鋼)

ISO 感度	400
絞り値	8
焦点距離(mm)	18
シャッタースピード	優先

表-3 実験条件 (屋内・屋外比較実験)

枠に貼ったマーカの直径(mm)	34
枠に貼ったマーカの中心直径(mm)	0.7
供試体に貼ったマーカ(mm)	34
写真枚数	96

表-2 屋内実験の実験ケースと結果

実験 ケース	写真枚数	96					
	枠に貼ったマーカの直径(mm)	34	60				
	枠に貼ったマーカの中心直径(mm)	0.7	0.7	0.7	0.5	1.0	2.0
	供試体に貼ったマーカ(34mm)	有り	無し	有り	有り	有り	有り
結果	基準点の誤差(mm)	0.55	2.7	0.55	0.64	0.59	0.63
	実測と点群モデルのウェブ厚の差(%)	2.1	1.70	1.68	1.40	2.13	1.40

4240×2832 ピクセルに設定した。T形鋼を撮影した際のカメラの設定を表-1 に示す。

撮影は供試体を囲むように、オーバーラップ 60%以上を確保した。具体的には、供試体と同じ水平面内で供試体を囲むように 30° ずつ 12 枚撮影する。次に水平面に対して約 12° 上方から 12 枚撮影する。同様に仰角を約 12° ずつ変化させながら、それぞれの高さの水平面内で 12 枚ずつ撮影。全部で 96 枚の画像を取得した。

撮影した画像を PhotoScan に読み込ませ、写真が撮影された位置を特定 (アライメント) し、マーカを検出させた。そのうえで高密度ポイントクラウドを構築した。

2.2 マーカの比較実験

マーカは円形で、周辺部の白黒パターンは全てのマーカで異なる。中心部は黒い円の中心に小さな白い円がある。このマーカの直径と中心の白円の直径を変化させ、点群の寸法精度を比較した。実験ケースはマーカの直径を 2 種類、中心の直径を 4 種類設定し、表-2 のように組み合わせた。また、フレームだけでなく供試体のウェブの両面に直接マーカを設置した場合についても検討した。検討項目は、実際の基準点の座標と点群モデル上の基準点の座標の差の総和と、ウェブ厚に関する実測と点群モデルの寸法差とした。

実験結果を表-2 に示す。まず、供試体上のマーカの有無については、供試体にマーカを貼らない場合、供試体の断面ずれが発生し、基準点の誤差が 2.7mm と大きくなっている。マーカや中心の直径については、いずれも明確な差は生じなかった。このことから撮影画像から点群モデルを適切に構築するためには、対象構造物上にマーカを設置する必要があることが分かった。

2.3 屋内と屋外の比較実験

屋内実験で使用した供試体とフレームを大学構内の屋外に移動し、同様の撮影実験を行った。実験ケースは曇天と晴天の 2 つの日照条件を設定し、晴天は 2019 年 8 月 29 日の 12 時半から 13 時 10 分の間、曇天は 2019 年 8 月 29 日の 16 時半から 17 時 10 分の間に撮影した。実験条件を表-3 に示す。検討項目は、屋内実験と同様の基準点の誤差とウェブ厚の寸法差に加え、点群モデルを構成する点の数も比較した。これは点の数が多いほど緻密なモデルとなるためである。

実験結果として、各実験で構築された 3 次元点群モデ

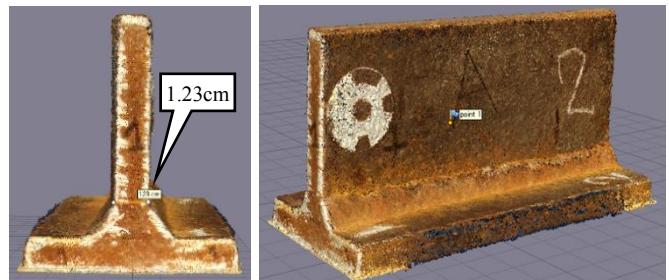


図-4 3次元点群モデル(屋内)

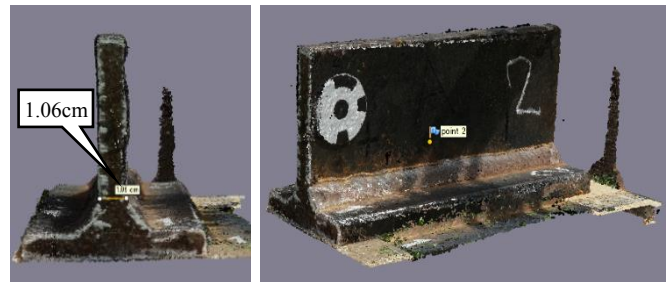


図-5 3次元点群モデル(晴天)

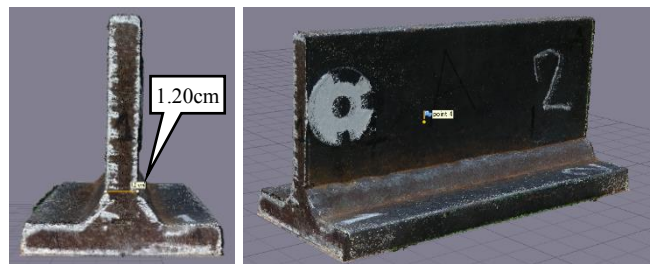


図-6 3次元点群モデル(曇天)

表-4 実験結果 (屋内・屋外比較実験)

	屋内	晴天	曇天
基準点の誤差(mm)	0.55	4.7	0.58
実測と点群モデルのウェブ厚の差(%)	2.1	10.86	1.38
点群数(ポイント)	970,680	764,251	728,285

ルを図-4～図-6 に示し、検討項目の結果を表-4 にまとめた。また、図-4～図-6 の断面方向からの図では点群モデル上でのウェブ厚の計測結果も示す。晴天で撮影した図-5 では、モデルの断面にずれが発生し正しい形状が再現できていない。晴天では日射が表面の光沢のある箇所

反射したり、撮影中にフレームの影が移動したりするため、同じ個所を撮影しても異なる画像となったことがずれの原因と考えられる。また、影が穴としてモデル化される場合もあった。表-4でも晴天では、基準点の誤差、ウェブ厚の寸法差がともに大きく不適切な結果となっている。一方、曇天の場合は屋内実験とほぼ同等の結果となっている。表-4の点群数については、屋内が最も多くなっているが、これは照明によって十分な明るさが確保されたためと考えられる。

図-4～図-6のウェブ厚は、点群モデル上で3回計測した平均値を示しているが、屋内と曇天では実測値の11.9mmをおおむね再現できている。晴天では寸法差が大きいことに加えて、断面形状自体も乱れている。これらの結果から、屋外での撮影は曇天が適していることが分かった。

3. 実構造物における撮影実験

3.1 対象構造物と撮影方法

屋外に設置している実構造物を対象として3次元点群モデルを作成し、点群モデルの精度を検討する。本実験では、旧ふるさと銀河線から北見工業大学オホーツク地域創生研究パークに移設した図-7、図-8の旧万川橋梁を対象とした。本橋はデッキプレートガーダー形式でリベット接合が用いられている。枕木とレールは無く、支持台のパット型ゴム支承上に設置されている。

撮影方法はT型钢の撮影と同様、オーバーラップ60%以上で撮影することを前提とするが、供試体が大型のため、近距離の撮影で所定のオーバーラップを確保すると、撮影枚数が膨大になる。このため写真の撮影距離を0.5mから5mまで4段階で変化させ、遠距離からはオーバーラップを高く撮影し、近距離からは低いオーバーラップで撮影し、画像を組合せて3次元点群モデルを作成した。撮影高さは0.3m～3mまで11段階で変化させながら供試体を囲むように撮影した。高さ約2m以上の撮影では可動式の高所作業台を使用した。また、橋梁の下面は上述の撮影距離が確保できなかったため、0.3mでも撮影した。

表-5にカメラの設定を示す。画像のノイズを軽減させ



図-7 旧万川橋梁

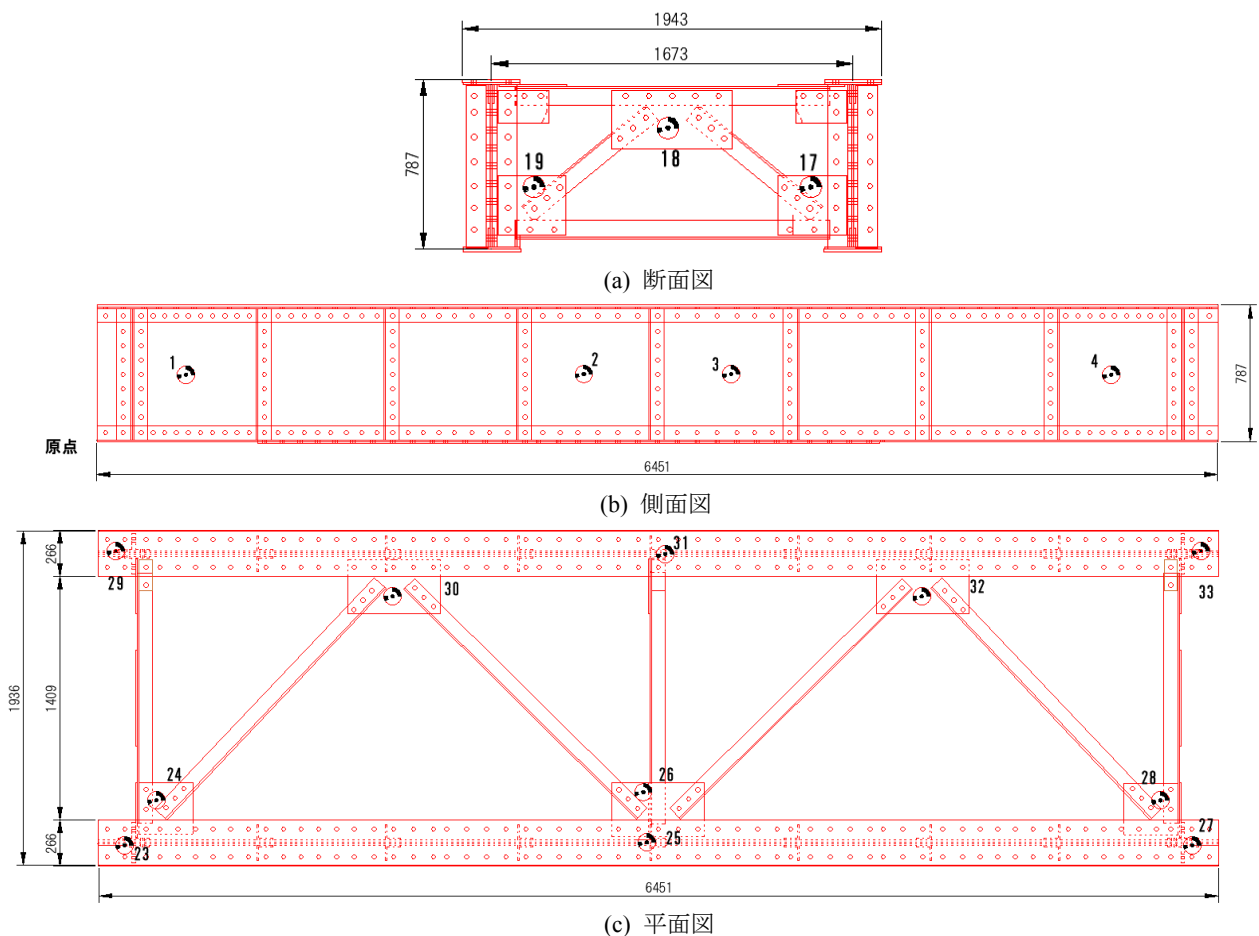


図-8 橋梁一般図（数字はマーカ番号を表す）

るため、T型鋼を対象とした場合からISO感度を変更している。撮影は曇天だった2019年11月7日と11月18日に行った。撮影した写真の枚数は2377枚である。供試体には図-8のように37枚のマーカーを貼り付けた。マーカーの直径は100mmで中心直径は2mmとした。

3.2 点群モデルの作成と計測結果

PhotoScanを用いてT型鋼供試体と同様に点群モデルを作成した。作成した3次元点群モデルを図-9に示す。点群モデルの点群数は支持台の上部を含めて4,932,629点であった。設置した基準点の誤差は27mmだが、モデルの全長に対して0.4%程度と構造全体に対しては高精度にモデル化ができた。

図-10は点群モデル上で橋梁各部の寸法を計測した状況で、表-6は構造各部の実測値と点群モデル上で4回計測した平均値の比較である。構造全体の寸法を表わす桁長と幅員については1%未満の誤差である。桁高はやや精度が低下したが、これは撮影条件が悪かった下面の形状がやや乱れたためである。部材の寸法では誤差がやや大きくなるものの、上フランジは2%未満の精度でモデル化ができた。一方、垂直補剛材は誤差が大きく、特に補剛材幅は適切なモデル化ができなかった。これは、近距離からの撮影で補剛材を真横からしか撮影しておらず、幅が分かるような方向で撮影していなかったためである。このような場合、部材を斜め方向から撮影した画像も加えることで、適切なモデル化が可能になると考えられる。

4. おわりに

本研究では鋼構造物を対象として、デジタルカメラを用いて取得した画像から3次元点群モデルを作成する方法について検討した。本研究で得られた知見を下記にまとめる。

- 1) 供試体自体にマーカーを貼ることで、断面ずれが発生せず点群モデルが構築できる。マーカーの寸法や中心径は精度に大きな影響は与えない。
- 2) 屋外の撮影は、晴天時は影や光の反射によって断面ずれや穴が発生する恐れがあるため、曇天時に撮影することが望ましい。
- 3) 長さ6m程度の橋梁を対象として実験では、本研究の方法によって、構造全体に寸法に対しては十分な精度でモデル化ができた。一方、写真の撮影方向によっては部材の形状が正しく表現できない場合がある。

点群モデルをFEMモデルに変換して応力解析を行うには、部材の板厚を十分な精度で確保する必要があり、今後さらに検討が必要である。

謝辞

本研究は、科学研究費 基盤(C)課題番号 18K04317 の助成を受け実施しました。また、橋梁の寸法は2018年度に中野慎人氏(研究当時 北見工業大学 4年)が計測した値を用いました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木紗苗, 宮森保紀, 齊藤剛彦: 高密度点群デー

表-5 カメラの設定(万川橋梁撮影時)

ISO感度	100
絞り値	8
焦点距離(mm)	18
シャッタースピード	優先

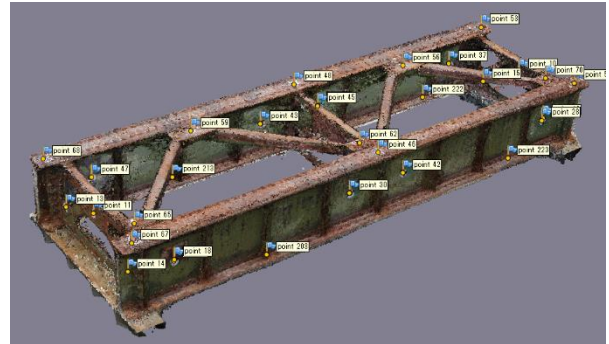
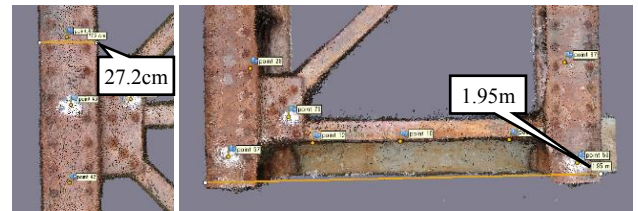
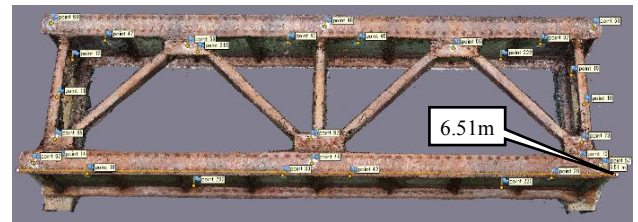


図-9 橋梁3次元点群モデル



(a)上フランジ幅

(b)橋梁幅員



(c)桁長

図-10 橋梁各部の計測

表-6 実測と計測の比較(mm)

	実測	点群モデル	誤差(%)
桁長	6451	6500	0.75
幅員	1943	1936	0.33
桁高	787	795	1.11
上フランジ幅	266	261	1.83
上フランジ厚	22.12	22.57	1.94
垂直補剛材幅	88.90	35.40	60.18
垂直補剛材厚	9.52	10.24	7.53

タの構造解析モデルへの変換に関する基礎的検討, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.43, pp.25-28, 2018.

- 2) 鈴木紗苗, 宮森保紀, 齊藤剛彦, 山崎智之, ムンフジャルガルダンビーバルジル: 鋼構造部材の3次元点群モデル構築とFEMデータへの自動変換に関する検討, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.44, pp.53-56, 2019.
- 3) クウサツ・ドットコム: Agisoft PhotoScan Professional Edition Version1.3 日本語ユーザーマニュアル Ver.1.0, 2017.