

画像の撮影条件が三次元点群データに与える影響

熊本大学大学院 自然科学教育部 学生会員 ○安宅直希

熊本大学大学院 自然科学教育部 正会員 松村政秀

熊本大学大学院 先端科学研究部 正会員 森山仁志

1. 研究背景および目的

鋼部材の残留変形を簡易な手法で計測でき、計測結果に基づいて 3D 解析モデルが精度良く作成できると、損傷した鋼部材の残存性能の評価や補修、補強の妥当性の検討に有効といえる。例えば、複数の画像から三次元座標データ（以下、点群データ）を取得する三次元画像計測技術は、航空写真を用いた地形取得などに多く用いられている。しかし、この手法を立体物の形状計測に適用する場合の画像の撮影条件が形状の同定精度に与える影響は明確でない。そこで本研究では撮影条件をパラメータとして点群データによる形状同定精度について検討した。

2. 撮影条件と点群データの精度検証方法

検討フローを図-1 に示す。撮影対象は板厚 3.2 mm、幅 50 mm、高さ 100 mm の鋼管とし、鋼管の軸直角方向からデジタルカメラ（有効画素数 2432 万画素）を用いて撮影する。このとき、図-2 に示す撮影角度間隔 θ と撮影距離 L に着目し、 θ は $L = 25$ cm の条件で、 1° 刻みで $1 \sim 10^\circ$ 、 L は $\theta = 5^\circ$ の条件で、5 cm 刻みで 25~50 cm に変化させた。カメラ位置の推定や点群データの作成には Agisoft 社の Metashape を、点群データの位置合わせやノイズ除去には、オープンソースソフトウェアの CloudCompare を用いた。精度検証の指標は、式(1)を用いて算出される、点群データから最小二乗法を用いて求めた近似直線との隔たりに関する変動係数を用いる。

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{v}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}}{\bar{v}} \quad (1)$$

ここに、 CV : 変動係数、 σ : 標準偏差、 v_i : 各データ値、 $\bar{v}$: 平均値、 n : データ数

図-3 に精度検証を行うための点群データの抽出範囲を示す。抽出範囲は任意の一面で z 軸方向は 1 mm 幅の範囲とした。このとき、点群データの x 軸座標は正規分布に従うと仮定し、超過確率 5% の範囲 1.96σ と道路橋示方書¹⁾の圧縮板の製作誤差の最大値 $b/150$ (b : 板幅) である 0.3 mm を比較し、精度検証を行った。

なお、画像の RGB 値の変化が大きい部分を特徴点と

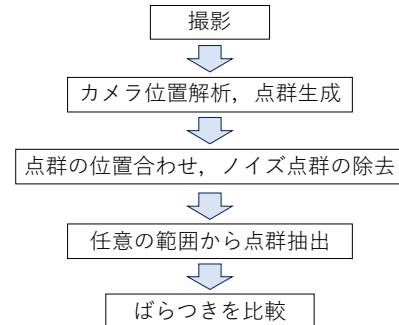


図-1 検討フロー

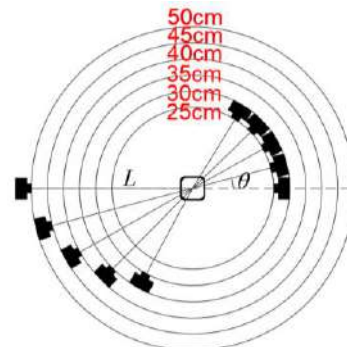


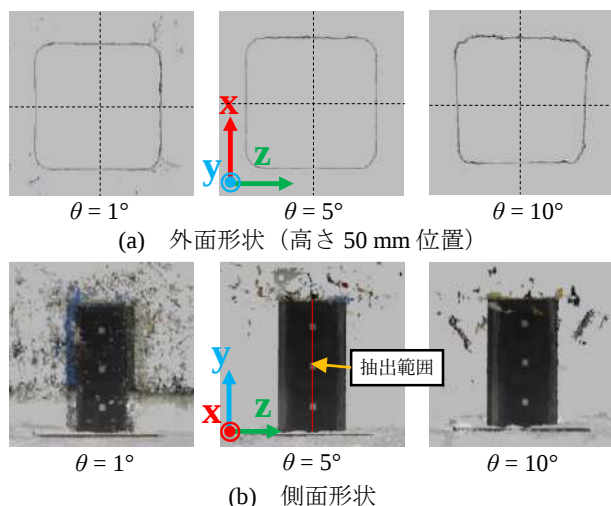
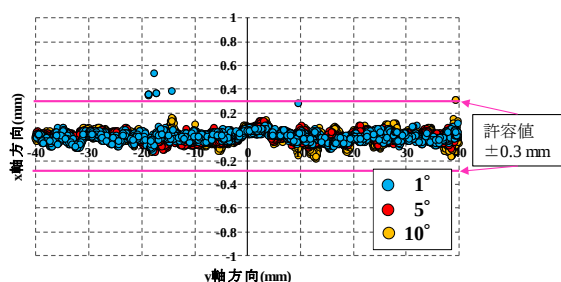
図-2 撮影位置パラメータ

してカメラ位置の推定や点群データの生成を行うため、対象鋼管の角部を研磨し、色彩変化を持たせた。

3. 検証結果

(1) 撮影角度間隔 θ による影響

得られた点群データの外面形状（高さ 50 mm 位置）と側面形状を図-3 に示す。また、 $\theta = 1, 5, 10^\circ$ の点群データを重ね合わせて図-4 に、 θ の変化に伴う諸量を表-1 に示す。なお、図-4 は、見やすさのため $\bar{v}$ を 0 に合わせている。表-1 の画像密度は任意の範囲の画像枚数で、 θ が 360° の時を 1 としている。図-4 および表-1 に示すように、このとき抽出データの分布や統計量は θ によらず、大きく変化はない。しかし、図-3 によると $\theta = 10^\circ$ の場合、点群データによる形状は実際の鋼管とは異なっている。これは、画像密度が小さく、Metashape による撮影カメラ位置推定に誤差が生じるためである。実形状を正しく得るためには、画像密度が高くなる撮影条件を選択することが重要である。一方 $\theta = 1^\circ$ の場合、対象物周辺にノイズが生成され、解析時間および作業時間をかけても点群データの同定精度は必ずしも改善

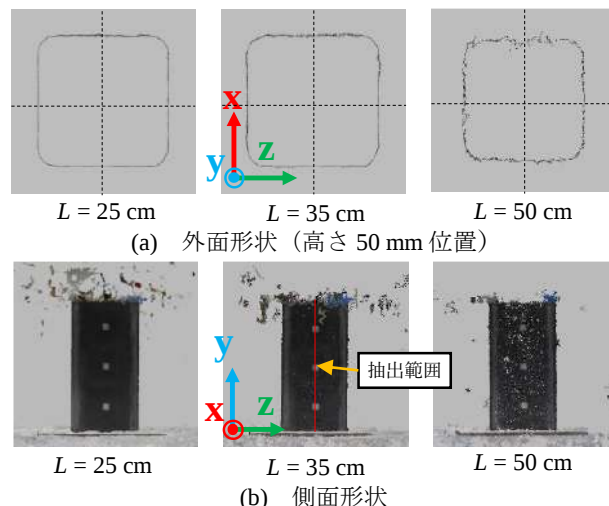
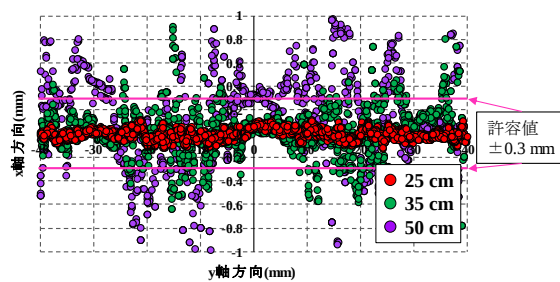
図-3 θ を変化した時の点群データ図-4 θ の変化に伴う抽出範囲の点群データのばらつき表-1 θ の変化に伴う諸量

θ (°)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
画像密度(枚/360)	1.00	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10
解析時間(sec)	11,000	3,821	1,799	1,008	629	432	323	248	192	160
σ	0.041	0.038	0.043	0.042	0.037	0.044	0.038	0.043	0.054	0.048
1.96σ	0.081	0.075	0.083	0.082	0.073	0.086	0.075	0.084	0.106	0.094
$\bar{v}$	25.400	25.310	25.656	25.342	25.566	25.445	25.626	25.117	25.442	25.406
$CV(1.0 \times 10^{-3})$	1.627	1.503	1.657	1.658	1.454	1.722	1.494	1.704	2.123	1.887

していない。本稿の検討範囲では、画像密度 0.2 程度が効率的な撮影条件となった。

(2) 撮影距離 L による影響

得られた点群データの外面形状（高さ 50 mm 位置）と側面形状を図-5 に示す。また、 $L = 25, 35, 50$ cm の点群データを重ね合わせて図-6 に、 L の変化に伴う諸量を表-2 に示す。図-6 も図-4 同様に、 $\bar{v}$ を 0 に合わせている。表-2 の解像度は鋼管の単位長さあたりの画素数 (pix/mm) を示す。表-2 に示すように、 $1.96\sigma < 0.3$ mm を満たしているのは $L = 25, 30$ cm の場合であり、 L が大きくなり、解像度が下がることでばらつきが大きくなっている。例えば、 0.9 pix/mm の場合、鋼管の面外方向の点群データのばらつきが許容値の 4 倍以上となった。本研究では対象物が小さいため、 $L < 25$ cm の条件で撮影していないが、解像度の違いと点群データのばらつきとの関連が確認できた。したがって、画像に占める対象物の割合が小さいほど形状の同定精度が不良となると

図-5 L を変化した時の点群データ図-6 L の変化に伴う抽出範囲の点群データのばらつき表-2 L の変化に伴う諸量

L (cm)	25	30	35	40	45	50
解像度(pix/mm)	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9
解析時間(sec)	629	416	289	268	208	169
σ	0.037	0.068	0.253	0.174	0.675	0.653
1.96σ	0.073	0.134	0.496	0.341	1.322	1.280
$\bar{v}$	25.859	24.678	25.354	25.659	25.385	25.464
$CV(1.0 \times 10^{-3})$	1.454	2.771	9.985	6.790	26.573	25.641

いう当初の予測と近い結果を得ることができ、精度の良い形状データを得る上で変動係数を用いる検証手法は有効と考えられる。

4. まとめ

本研究では、三次元画像計測技術により立体物の形状を得る場合の、画像の撮影条件について検討した。その結果、画像密度はカメラ位置の推定に、解像度は点群データのばらつきに与える影響が大きいことがわかった。画像密度 0.2、解像度 1.7 pix/mm で撮影した場合の変動係数は 1.454×10^{-3} と最も小さく、 1.96σ は 0.3 mm より小さいため、形状同定に望ましい撮影条件の一つと考えられる。今後、レーザー計測などの他の計測方法との比較や対象物の一部の画像のみからの形状データを取得する手法の有効性に関する検討を進めたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：日本道路橋示方書，Ⅱ鋼橋・鋼部材編・同解説，2017。