

部材間の関係を考慮した大型構造物の形状再構成

電気通信大学 ○河崎 浩大, 峯村 晃平, 増田 宏

1. 緒言

点群からの形状再構成においては、これまで多くの手法が提案されてきた。それにより、点群の欠落がなければ、現実に即した3Dモデルの作成が可能になっている。しかし、大型構造物では、欠落のない完全な点群を取得することは困難である。欠落のない点群計測には、足場を組んでの計測や UAV による空撮など、膨大な時間とコストが必要となる。そのため、不完全な点群を用いた大型構造物の3Dモデル作成手法が求められている。

インフラ設備などの大型構造物においては、多くの場合、標準部材が使用され、構成される部材間には、接続方法に関する規則性、設計上の理由で生じる平行や直角などの幾何制約や対称性といった様々な関係が存在している。そこで本研究では、送電鉄塔を対象として、鋼材間の関係を考慮した形状再構成手法を提案する。

2. 手法の概要

本研究では、鉄塔中央付近の地上に設置されたレーザスキャナで取得された点群からの形状再構成を考える。送電鉄塔を構成する鋼材は図 1 のように取得されるアングル鋼であり、それらは (1) 構造を支える四脚を構成する主材、(2) 主材と接合される水平材、(3) 主材と接合される斜材、(4) 主材と斜材に接合される斜方の補助材、(5) 斜材に接合される水平な補助材、(6) 水平材と接合される対辺材、の6つに分類できる。



図 1 アングル鋼

図 2 に本手法の概要を示す。まず、図 2(a) の鉄塔点群から、図 2(b) のように、四隅の主材を抽出し、隣接する2つの主材を通る4個の平面を算出する。ここでは、この平面を鉄塔の主平面と呼ぶ。

本手法では、図 2(b) のように、全体を主平面上の部材と、それ以外の部材に分けて考える。アングル鋼は、直交する2平面で構成されるので、主軸を2平面の交線として算出できる。この際、2平面が検出できないときは、交線は得られない。欠落した交線については、図 2(c) のように、鋼材間の関係を用いて補完する。最後に、得られた鋼材の主軸に鋼材の3Dモデルを当てはめて、図 2(d) のような3Dモデルを算出する。

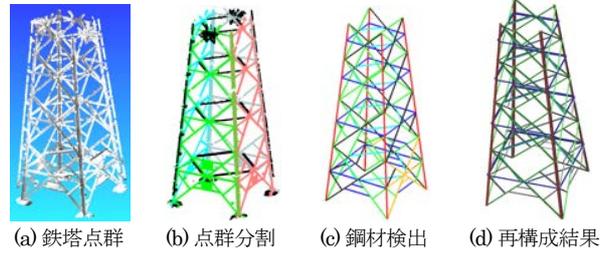


図 2 形状再構成手法の概要

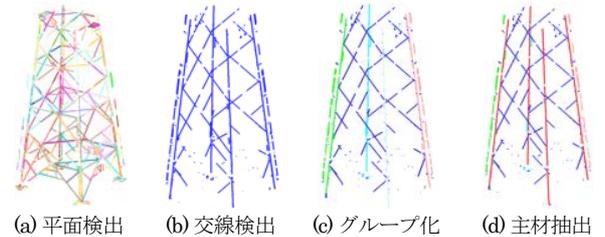


図 3 主材の交線検出

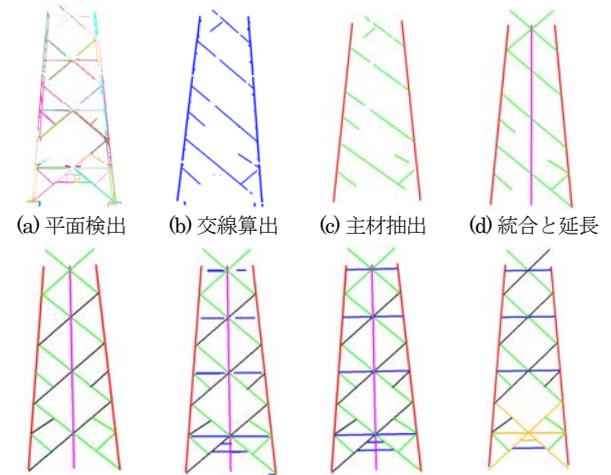


図 4 鋼材の主軸検出と対称性を用いた補完

3. 形状再構成手法

3.1 主材の検出と点群の分割

アングル鋼の検出には、既存手法を用いた[1]。この手法では、レーザの方位角および仰角を用いて生成された2次元の点群画像上で平面検出を行なう[2][3]。図 3(a) に、検出された平面を示す。これらの平面のうち、点群画像上で隣接し、ほぼ直角で交わる平面から、アングル鋼の主軸となる交線を検出する(図 3(b))。ここでは、この交線を、鋼材の主軸線分と呼ぶ。

主材の検出では、得られた主軸線分から、垂直に近い角度のものを選択し、図 3(c) に示すように距離の近いものをグループ化する。そして、グループ化された線分集合が十分に長いとき、四隅の主材とみなし、図 3(d) の赤線のように主軸線分として抽出する。

上記の手法で得られた四隅にある4本の主材の主軸線分から、鉄塔の外側から見て左側と右側をペアとして、鉄塔を囲む4個の平面を考えることができる。これらの平面からの距離が閾値以内の点の集合を、その平面に属する点群とする。また、4平面のいずれにも属さない点の集合を、鉄塔の内側の点群としてグループ化する。

3.2 鋼材の交線の検出と補完

部材検出は、分割された点群ごとに行う。図 4(a) のように、それぞれのグループから検出された平面から、図 4(b) のように、アングル鋼の主軸線分が検出される。その後、短い線分をノイズとして削除した後、主軸線分を垂直・水平・斜方に分類する。垂直と水平な線分は、z軸との角度が0度と90度から閾値以内の線分として検出する。それ以外を斜方とする。主平面上に属する点群から得られた主軸線分は、主平面上に投影する。

主材の主軸線分は、図 3(d) では複数の線分として得られているが、高さが最大と最小の端点を接続して、単一の線分を生成する。また、

図 3(d) の緑のように、主材の近くに、保全作業用の細い鋼材が検出されることもあるが、長い方を主材とする。

また、主材以外の主軸線分についても、同一直線上にあり、かつ端点が近い場合には、それらを統合した線分を生成する。また、斜方線分を延長して主材と交わる場合には、端点を主材上まで延長する。斜方線分が2本の主材と交わる場合には、その交線を斜材であると判定し、1本の主材のみと交わる場合には斜方の補助材とする。主材と接続しない斜方交線については、誤検出として削除する。

以上の処理で検出される交線を図 4(d) の緑で示す。この図から明らかのように、欠落する交線も多く存在する。これは、アングル鋼が鉄塔の外側から接合された場合で、地面に接地したレーザスキャナからは、2面を得ることが困難なため、主軸線分が検出できない。

これらについては、鋼材が中心線に関して対称であることを利用して補う。中心線は、図 4(d) の赤で示したように、主平面の2本の主材から算出する。中心線に関して、対称となる線分が存在せず、対称な位置付近に検出平面が存在する場合には、対称な位置に主軸線分を追加する。主軸線分を追加した後、線分の端点が、主材の近くに存在する場合には、線分を延長して交差させる。また中心線に関して、対称となる線分が存在する場合には、両方の線分を比較し、端点の位置を補正する。図 4(e) に補完した交線を黒色の線分として示す。

なお、以上の手順においても、補完できない鋼材が存在することがある。そこで、4主平面のいずれかで検出された斜方線分を用いて、他の主平面で検出できなかった交線を追加する。

水平な鋼材については、今回計測した鉄塔では、アングル鋼の2面が地面から見えず、主軸線分が算出できなかった。この場合のように、4主平面のすべてにおいて主軸線分が検出できない場合には、1つの平面のみから鋼材検出を行う。

1平面からの鋼材検出では、隣接する面が存在しない平面のうち、閾値以上の点を含む平面から、主成分分析によって鋼材の方向を求める。方向が水平に近い場合には、水平な鋼材とみなして、図4(f)の青で示すように、鋼材の主軸線分を算出する。その際、近傍の線分と接続するように、線分位置を補正する。また、斜方線分との接続関係を調べ、中心線付近で交わる場合は水平材、それ以外は水平な補助材とする。図4(g)に検出された鋼材を示す。水平な鋼材についても、4主平面間の対称性を考慮して、検出できなかった鋼材を追加する。追加された鋼材を橙色で図4(h)に示す。なお、水平な補助材については、平板取り付けのために用いられ、4主平面のすべてには存在するわけではないので主平面内の鋼材の対応関係も考慮する。

対辺材については、図5のように主成分分析を行って鋼材方向を算出した後、周囲の鋼材との位置関係を補正して端点処理を行う。また、水平材と接続不可能なものを誤検出として削除する。



図5 主成分分析

4. 鋼材の3Dモデル生成

検出された鋼材の3Dモデルを生成するために、点群から鋼材幅を算出する。鋼材幅の計算では、鋼材の同一平面上の点集合を平面に射影する。主軸線分を等間隔に区切り、各区間の点群から主軸線分までの最大距離を求め、その中央値と射影された平均距離から算出する。なお鋼材幅の計算には、主材について主軸交線よりも中心線に近い点や、主材以外の鋼材について主軸交線から主材幅以上に離れた点はいない。鋼材幅は分類された6種類の用途ごとに計算し、その値から日本産業規格で定める鋼材幅を推定する。図6に算出された3Dモデルの例を示す。

鉄塔の3Dモデルは、算出された鋼材の種類に応じて生成された3Dモデルを、検出された主軸線分に当てはめることで生成する。

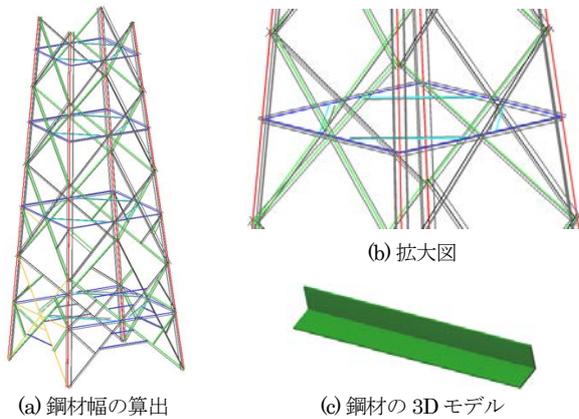


図6 鋼材幅の算出

5. 評価実験

全高約27mの送電鉄塔を地上型レーザスキャナ(Faro Focus 3D X330)で計測した約1.7億計測の点群を用いて評価を行った。

評価実験では、まず、高さ約10mまでの点群に対して、形状再構成を行った。鋼材が交差する箇所に関して、地面から高さの異なる3箇所での形状再構成の結果を図7に示す。

図7の下方に示した地上から約2mの箇所では、点群が密に取得されており、鋼材の3Dモデルが問題なく作成できた。また、鋼材の向きと位置は、点群と良く一致していることが確認できた。より高い位置での事例として、図7の中央に示した地上から約5mの箇所では、前面にある部材の点が取得できていない。この場合でも、正しく形状再構成が行えた。図7の上方に示した地上から約10mの箇所では、他の2箇所よりも点群密度が低下し、欠落も大きかった。この場合には、鋼材の接続関係を用いて、形状再構成が行えた。い

ずれの場合も、点群と3Dモデルを重ね合わせて確認したところ、鋼材幅が合致していることが確認できた。

次に、より高い範囲までの点群を用いて、形状再構成を行った。図8に、12m、13.5m、16mの高さまでの形状再構成結果を示す。いずれの場合でも、十分に適切な形状再構成が行えた。対称性を用いて形状の補完を行なっているため、部分的に点群が取得できていない箇所でも、正しい形状再構成が行えた。ただし、点群が疎になる高さ16m付近では、一部の鋼材に、位置のずれた鋼材が重なるといった不適切な形状再構成が発生したことを確認した(図9)。これは4主平面間の対称性を用いた斜方線分の追加が適切に行われず、過剰に追加された主軸線分によって生じたと考えられる。

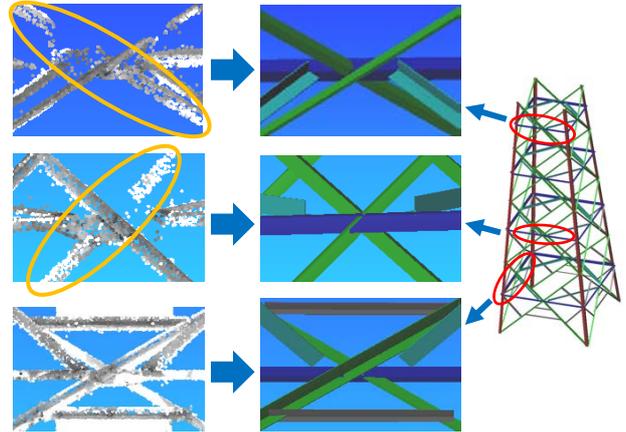


図7 形状再構成(高さ10mまでの点群)

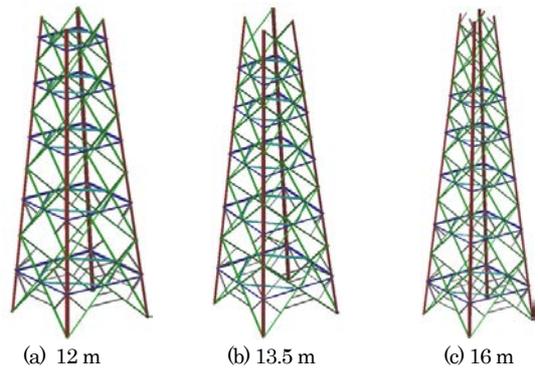


図8 複数の高さまでの形状再構成



図9 不適切な形状再構成の事例

6. 結言

本研究では鋼材間の関係を用いることによって、鉄塔点群から形状を再構成する手法を提案した。手法を適用した結果、点群の欠落部分や遮蔽部分を補いつつ、点群に適合した形状再構成が可能であった。今後は、交線以外にもボルトによる接合関係等を考慮することによって、より現実に即した形状再構成を行いたいと考えている。また、鋼材の種類がより複雑な送電鉄塔についても適用可能な形状再構成手法を検討していきたい。

参考文献

- [1] 篠崎 有希, 増田 宏: 高密度点群を用いた大型建造物の劣化診断～鉄塔の劣化判定～, 精密工学会春季講演会 2018
- [2] A. Chida, H. Masuda, Reconstruction of Polygonal Prisms from Point-Clouds of Engineering Facilities, Journal of Computational Design and Engineering, Vol. 3, No. 4, pp. 322-329, 2016
- [3] H. Masuda, T. Niwa, I. Tanaka, R. Matsuoka: Reconstruction of Polygonal Faces from Large-Scale Point-Clouds of Engineering Plants, Computer-Aided Design and Applications, 12(5), pp. 555-563, 2015