

部材間の関係を考慮した大型構造物の形状再構成 (第2報)

電気通信大学 ○河崎 浩大, 増田 宏

1. 緒言

送電鉄塔などの大型構造物において、欠落のない完全な点群を取得することは困難である。欠落の多い点群を用いた場合、既存の形状再構成手法を適用しても、すべての部材の3Dモデルを得ることは難しい。そのため、不完全な点群からの3Dモデル生成においては、対象物に関する事前知識を用いた手法が必要となる。

本研究で対象とする送電鉄塔は、直交する2平面で構成されるアングル鋼を用いて組み立てられている。それらの鋼材は、以下の6つに分類することができる。(1)主材(構造を支える四脚を構成)、(2)斜材と(3)水平材(主材と接合され、主材を支える)、(4)斜方の補助材と(5)水平な補助材(1)~(3)の鋼材を支持する)、(6)対辺材(内部構造を支える)。

鋼材間はボルトで接合されており、重心や強度などの観点から、対称になるように組み合わせられる。また、鋼材の組み合わせ方には、いくつかの定型的なパターンが存在する。

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検討する。前報では、アングル鋼の主軸と構造の対称性を用いて、鉄塔鋼材の形状を再構成する手法を提案した[1]。本報では、再構成された鋼材を用いたボルト検出を行い、ボルトの接合関係を考慮して形状の詳細部を再構成することを検討する。

2. 鋼材検出

2.1 点群分割

図1(a)に鉄塔点群を示す。本手法では、対称性を考慮して、平面検出と四隅にある主材の検出を行い、鉄塔を5つに分割する。まず、図1(b)のように、既存手法[2]を用いて、点群から平面検出を行う。検出平面のうち、隣接し、直交する2平面の交線をアングル鋼の主軸として検出する。ここでは、この交線を鋼材の主軸線分と呼ぶ。主材は、垂直に近い主軸線分から距離の近いものをグループ化することで検出する。そして、得られた主材の主軸線分から、鉄塔を囲む4平面を考えて、これらの平面からの距離に関して点群を分割する(図1(c))。ここでは、この平面を鉄塔の主平面と呼ぶ。

2.2 鋼材検出と鋼材幅算出

得られた鋼材の主軸線分は、短いものを除いた後、z軸との角度により、垂直・水平・斜方に分類する。鋼材検出は、5つに分割された点群ごとに行う。

まず、鉄塔を囲む4枚の主平面のそれぞれに属する点群からの鋼材検出について考える。主平面上に属する主軸線分については、それらを主平面上に投影し、2次元平面上で、以下の鋼材検出を行う。

主材の主軸線分は、複数の線分として得られるため、図1(e)のように高さが最大と最小の端点を接続して、単一線分とする。

斜方線分についても、同一線分とみなせる場合にはそれらを統合した後、端点を延長して主材と接続する。主材と接続しない場合には、誤検出としてその線分を削除する。

ここで、平面検出において、アングル鋼の2面を得られず、検出できなかった斜方線分を補うために、鋼材が中心線に関して対称であることを用いる。対称な線分が存在しない場合には、対称な位置に主軸線分を追加し、端点位置の補正を行う。また対称な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。この処理によって、図1(f)の黒色の線分が補完される。加えて、4主平面間の対称性を考慮して、検出されなかった線分を追加する。

水平な鋼材については、主軸線分が検出されないことがほとんどであるため、1つの平面のみから線分を抽出する。水平な1平面から主成分分析によって線分方向を求めた後、近傍の線分と接続するように端点位置を補正する。図1(g)に検出された鋼材を示す。

水平な線分についても、4主平面間の対称性を考慮して、未検出の線分を図1(d)の橙色のように追加する。対辺材についても、主成分分析を行い、線分方向を求めた後、近傍の線分との位置関係によって、端点位置の補正を行う。

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。鋼材幅は、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用いて、分類された6種類ごとに計算する。鋼材幅は日本産業規格で定めるものを選択する。鋼材の3Dモデルは、種類ごとの3Dモデルを主軸線分に当てはめることで生成する(図1(h))。

3. ボルト検出

次に、鋼材の接合部を検出するために、ボルト検出を行う。ボルトは、既存手法[3]を用いて検出した。この手法では、ボルトヘッドの平面が、鋼材面の上部にあり、ボルト径の規格を満たすことを利用している。また、ボルト平面上の点群に六角形のフィッティングを行うことにより、ボルト径とボルト中心位置を算出する。

ボルトが接合する鋼材の個数によって、接合のタイプを分類することができる。図2に、接合する鋼材数に応じて、検出されたボルトを異なる色で示す。ここでは、2つの鋼材を接合するボルトを赤色で、3つの鋼材を接合するボルトを桃色で示した。

一方で、緑色で示したように、ボルトがただ一つの鋼材上にある場合も存在する。このケースには、4隅の主材のように、同じ種類の部材を連結している場合と、図2(b)のように、強度を上げるために、複数鋼材を固定する補助板を用いて接合している場合がある。

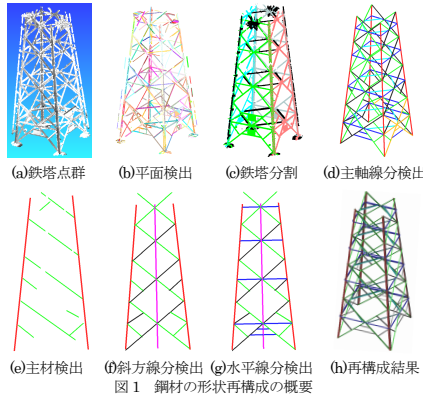


図1 鋼材の形状再構成の概要

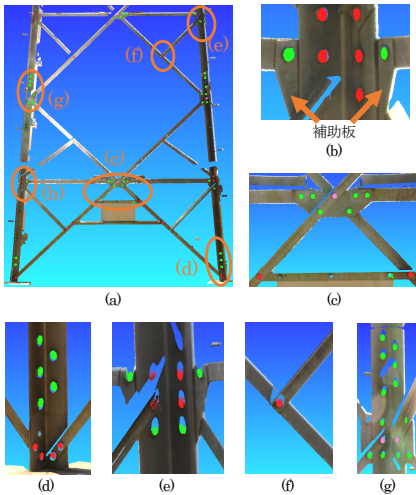


図2 検出されたボルト

4. ボルト接合関係を考慮した形状再構成

部材構成を反映した詳細な3Dモデルを生成するために、ボルトの接合関係を考慮する。まず、鋼材の接合部を取得するために、交差する鋼材の主軸線の交点を算出し、その近傍のボルトを検出する。得られた接合部は、鋼材の個数と種類に応じて分類する。

次に、各種類の接合部に関して、ボルト中心の相対位置を推定し、未検出ボルトを補完する。ここでは、同種類の接合部においては、各ボルト位置が相対的に保たれていることを用いる。2つ以上の鋼材上にあるボルト位置は、図2(a)のようにそれらの主軸線からの距離で与えることができる。そこで、接合部の種類別に鉄塔下部でボルトがよく検出されているものを複数選択し、未検出ボルトの中心位置を推定することによって、ボルトを補完する。

続いて、ただ1つの鋼材上にあるボルトについて考える。そのようなボルトは、多くの場合、補助板を介して、他の鋼材と接合されている。補助板の形状は定型的であり、ボルト位置が決まっている。そこで、本研究では、補助板として、5つのテンプレートを用意した。補助板テンプレートのボルト配置の全てでボルトが存在する場合には、その接合部には補助板が存在すると見做して、補助板を鋼材上に配置する。なお、図3(b)のように補助板上で既に取得されたボルトからの距離と主軸線からの距離を用いて、未検出ボルトの中心位置を推定し、ボルトを補完している。また、主軸線分の一致する水平材などでは、補助板を介して接合されていることがある。この場合には、ボルトを用いて、鋼材分割を行う。

次に、補助板上に存在せず、主材上のみにあるボルトについて考える。長い鋼材である主材は、図4に示したように、ボルトで接合されて連結しているため、ボルト位置を考慮して、複数の主材に分割する。なお、図5(d)のように高さの主軸線からの距離を用いて、未検出ボルトの中心位置を推定し、ボルトを補完している。

また、鋼材では、図5(a)のように、鋼材の端とボルト間の距離はほぼ等しい値を取るというルールが存在する。このことを用いて、主材以外の鋼材について、鋼材端で接合するボルトで鋼材端部を修正する。そのようなボルトが存在しない場合には、接合位置を鋼材面の中心軸の交点として、その位置にボルトを追加する。

したが、部材検出という観点からは、適切な形状再構成が行えた。本研究では、対称性とボルトの接合関係を用いて形状の補完を行っているため、鋼材面やボルトの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ている。

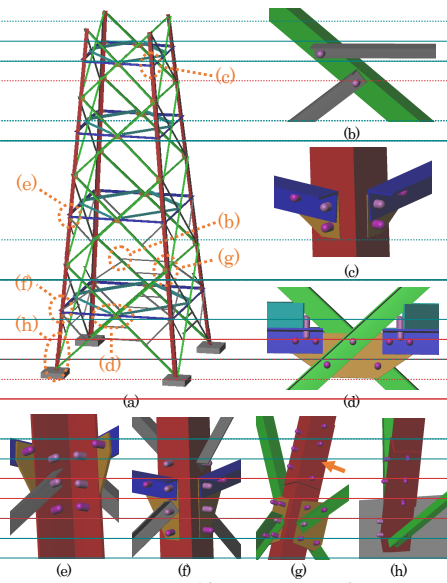


図6 形状再構成(高さ10 mまでの点群)

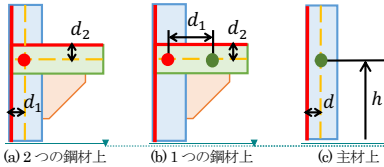


図3 ボルト中心位置の算出



図4 主材の連結

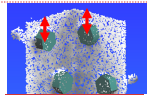


図5 端部までの距離

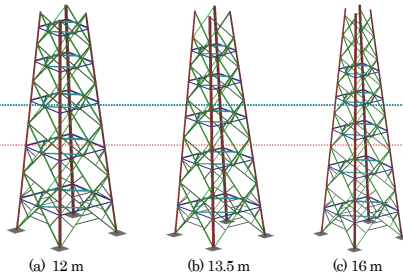


図7 複数の高さまでの形状再構成

5. 評価実験

全高約 27 m 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、提案手法で形状再構成を行い、評価を行った。

まず、高さ約 10 m までの点群に対して、形状再構成を行った結果を図 6 に示す。この場合、点群の欠落部や遮蔽部を補いつつ、点群に適合した形状再構成が行えた。生成された 3D モデルにおいて、ボルトは適切な位置に存在している。図 6(c)~(g) では、ボルト位置から補助板が検出され、補助板テンプレートをボルト補完が行われている。図 6(d) では、水平材が、補助板のボルト配置を用いて、分割され、また、検出できなかった水平材と対辺材を接合するボルトが追加されている。図 6(g), (h) では、推定されたボルトにより、主材が分割されていることが確認できる。なお、図 6(g) では、主材の分割に用いるボルト 1 つが未検出であった。

鉄塔の点群では、高い位置ほど点群密度が低下し、形状再構成が難しくなる。そこで、異なる高さまでの点群から、形状再構成を行った。図 7 に、12 m, 13.5 m, 16 m の高さまでの形状再構成結果を示す。上部でのボルト未検出のため、部材分割が行えない箇所が存在


6. 結言

本稿では、構造の対称性とボルトの接合関係を考慮して、地上型レーザスキャナで取得された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、送電鉄塔を構成する鋼材、ボルト、そして補助板を補完しながら抽出し、各々の 3D モデルを作成・配置することが可能であった。

今後は、補助板のテンプレートを増やした後、異なる構造の送電鉄塔に形状再構成手法を適用し、検証を行いたい。

参考文献

- [1] 河崎 浩大, 峯村 晃平, 増田 宏: 部材間の関係を考慮した大型構造物の形状再構成, 精密工学会秋季講演会 2021
- [2] 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
- [3] 霞内 郁, 篠崎 有希, 増田 宏: 点群データからの大型構造物の鋼材検出手法第 2 報, 精密工学会春季講演会 2019

- 削除: 鋼材…に関して、ボルト中心の相対位置を推定し、未検出ボルトを補完するする … [1]
- 書式変更: インデント: 最初の行: 0 字
- 書式を変更 … [2]
- 削除: 5
- 書式を変更: フォント: 太字 (なし)
- 削除: 高さの最も低い位置にあるものを選び、同一のボルトごとにボルト
- 削除: する。そして各鋼材上に、推定された中心位置 … [3]
- 書式を変更: フォント: 太字 (なし)
- 削除: 推定された…ルトが存在する場合には、その接 … [4]
- 削除: 5
- 削除: , …補助板上で既に取得されたに推定された…ルト … [5]
- 削除: 等…, の鋼材について…助板を介して接合され … [6]
- 削除: 推定された…ルト位置 … [7]
- 削除:  … [8]
- 削除: ここで…補助板上に存在せず、主材上のみにある … [9]
- 削除: ボルト中心位置の推定には、…5(c)のように … [10]
- 削除: 加えて…た、鋼材では、図 54…のように … [11]
- 削除: を
- 削除: 除く…材について、鋼材端で接合する推定され … [12]
- 削除: 位置
- 削除: で端部
- 削除: そのようなボルトが検出できない…合位置部… … [13]
- 書式変更: 中央揃え
- 書式付きの表
- 削除: <オブジェクト><オブジェクト><オブジェクト> … [14]
- 削除: <オブジェクト><オブジェクト><オブジェクト> … [15]
- 削除: <オブジェクト><オブジェクト><オブジェクト> … [16]
- 削除: 5
- 書式変更: 行間: 1 行
- 書式付きの表
- 書式変更: 行間: 1 行

ページ 2: [1] 削除 k1810188 2022/01/21 18:54:00

ページ 2: [1] 削除 k1810188 2022/01/21 18:54:00

ページ 2: [2] 書式を変更 k1810188 2022/01/21 21:45:00

フォント:太字(なし)

ページ 2: [2] 書式を変更 k1810188 2022/01/21 21:45:00

フォント:太字(なし)

ページ 2: [3] 削除 k1810188 2022/01/21 20:04:00

ページ 2: [3] 削除 k1810188 2022/01/21 20:04:00

ページ 2: [3] 削除 k1810188 2022/01/21 20:04:00

ページ 2: [4] 削除 k1810188 2022/01/21 20:14:00

ページ 2: [4] 削除 k1810188 2022/01/21 20:14:00

ページ 2: [4] 削除 k1810188 2022/01/21 20:14:00

ページ 2: [5] 削除 k1810188 2022/01/22 1:43:00

ページ 2: [5] 削除 k1810188 2022/01/22 1:43:00

ページ 2: [5] 削除 k1810188 2022/01/22 1:43:00

ページ 2: [6] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:17:00

ページ 2: [6] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:17:00

ページ 2: [6] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:17:00

ページ 2: [7] 削除 k1810188 2022/01/21 20:20:00

ページ 2: [7] 削除 k1810188 2022/01/21 20:20:00

ページ 2: [8] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:26:00

ページ 2: [9] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:18:00

ページ 2: [9] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:18:00

ページ 2: [9] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:18:00

ページ 2: [10] 削除 k1810188 2022/01/21 20:22:00

ページ 2: [10] 削除 k1810188 2022/01/21 20:22:00

ページ 2: [10] 削除 k1810188 2022/01/21 20:22:00

ページ 2: [11] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:28:00

ページ 2: [11] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:28:00

ページ 2: [11] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:28:00

ページ 2: [11] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:28:00

ページ 2: [12] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:29:00

▲ ページ 2: [12] 削除 Masuda Hiroshi 2022/01/21 18:29:00

▼ ▲ ページ 2: [13] 削除 k1810188 2022/01/21 21:12:00

▼ ▲ ページ 2: [13] 削除 k1810188 2022/01/21 21:12:00

▼ ▲ ページ 2: [13] 削除 k1810188 2022/01/21 21:12:00

▼ ▲ ページ 2: [13] 削除 k1810188 2022/01/21 21:12:00

▼ ▲ ページ 2: [14] 削除 k1810188 2022/01/21 20:45:00

▼ ▲ ページ 2: [15] 削除 k1810188 2022/01/21 20:48:00

▼ ▲ ページ 2: [16] 削除 k1810188 2022/01/21 20:50:00