

# 点群データからの大型構造物の鋼材検出手法 第2報

電気通信大学 ○腹内 郁, 篠崎 有希, 増田 宏

## 1. 緒言

送電鉄塔などの大規模構造物は、変形などによる劣化が生じた場合に部材交換を行う。交換用の部材作成のための寸法計測は手作業で行われており、作業中の感電及び高所での作業による危険性や、測量に伴うコスト、部材寸法の数値が作業者によってばらつくといった問題点があった。これらの問題に対して、地上型レーザスキャナで取得した点群を用いて鋼材の寸法を算出することで、作業効率の改善や、安全性・寸法精度の向上が期待できる。

鉄塔は多数の鋼材がボルトで連結されて組み立てられている。そのため、交換部材を既存の鋼材と正確に連結させるためには、接合部であるボルト位置が重要となる。ボルト穴の位置や鋼材端部からボルト中心までの寸法を算出するためには、ボルトの径や中心位置、鋼材の境界を正確に求める必要がある。特に大規模点群を用いて鋼材の境界を求める場合、距離に応じて点群の密度やばらつきが大きく異なるため、隣接平面の境界を正確に分離する適切な閾値設定が難しい。

本研究ではこれらの問題に対応可能な手法の提案を目的とする。前報では、鉄塔を構成するアングル鋼の形状特徴を利用した閾値設定を用いて、鋼材平面を境界で正確に切り分け検出する手法を提案した[1]。本報では、平面検出を用いたボルトの検出手法を提案し、ボルト位置・寸法について評価を行う。

## 2. 鋼材検出

鋼材検出手法の概要を図1に示す。まず、取得した各点を照射したレーザの方位角と仰角をもとに2次元格子に対応付けさせ、2次元格子上で平面検出を行う。次に、図1(b)に示すように、隣接関係と3次元距離に基づいて連続領域のセグメンテーションを行う[2]。分割された領域ごとに、探索領域から任意に選択した3点を用いてRANSAC法による平面の計算を行うが、選択した3点が複数の鋼材に跨る場合、図1(c)中の青い丸で示す箇所のように鋼材平面の分離や一体化の問題が生じる。そこで、隣り合って検出された2平面のうち、それらが滑らかに接続するものを併合し、図1(d)に示すように分離した平面がない状態にする。次に、併合された平面に対し、2次元格子上で細線化を行い、図1(e)に示すように中心線付近の点を抽出する。この点を用いて、図1(f)のようにRANSAC法によって骨格線を検出し、各骨格線に属する中心線付近の点およびその近傍の領域をシード領域として平面の計算を行う。平面計算に用いた領域のうち、最も分散の小さい平面を与えたものを最適シード領域として、領域成長法による平面分割を行う。分割の結果を図1(g)に示す。

## 3. ボルト検出

鋼材上のボルト位置を算出するためには鋼材境界が正確に算出されていることが必要である。しかし、点群計測では鋼材上の点を離散的に計測していることに加え、端部ではスポット割れによる異常値が多く生じるため、鋼材端部を正確に計測することは難しい。一方、アングル鋼は2平面が垂直に交差しているため、2平面の交線を算出することで端部の欠落の問題を回避して正確な境界を求めることができる。そこで、本稿では2平面が計測され、交線が求められるアングル鋼を対象にボルト検出を行う。

### 3.1. アングル鋼の交線検出

アングル鋼は隣接し、ほぼ直交した2平面を算出する。アングル鋼の中心軸は、2平面の構成として計算できる。ただし、2平面の交

線付近にフィレットがかかっているため、境界付近では2平面のどちらに属するかの判定が不安定になり、平面の方程式がばらつき、交線位置がずれることがある。そこで境界部については、2平面からの距離を算出して平面領域の再判定を行う。その後、平面の方程式の再計算を行って交線を求め直す。この処理を繰り返すことで、図2(a)に示すように平面境界と交線が一致しない場合でも、図2(b)に示すように平面の境界部と交線をほぼ一致させることができる。ここでは、このように計算された直線をアングル鋼の中心軸とする。

### 3.2. ボルト候補点の検出

鉄塔を計測した点群に対し、平面検出を行うとボルトの頭の平面も抽出される。そこで、検出された平面が(1)ボルト程度のサイズである、(2)平行な大きい平面が隣接している、(3)アングル鋼の中心線から十分に近い、という条件を満たす時、二つの平面に挟まれた領域にある点をボルトの候補点とする。図3にボルトの候補点を黄色で示す。この図では、平行な大きい近傍平面の輪郭を赤色で示している。

### 3.3. ボルトの検出

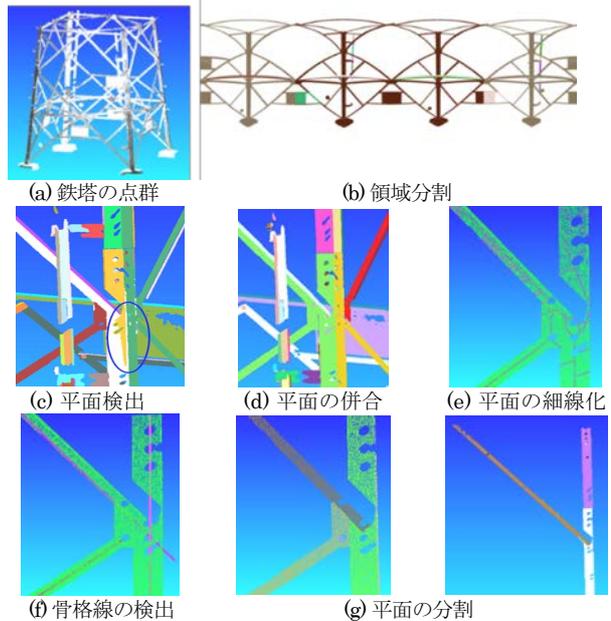


図1 鋼材検出の概要

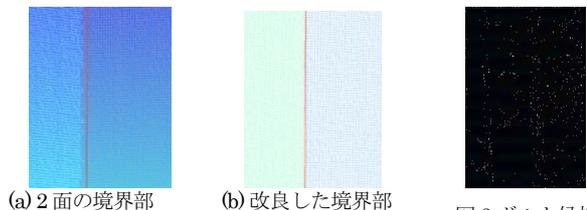


図2 交線の検出



図3 ボルト候補点



図4 ボルトの点群

ボルト検出においては、ボルトの中心を計算する必要がある。しかし、ボルトの幅は上面の六角形の向きにより寸法が異なるため、求めたボルト頭部の点群の幅がボルトの寸法になるとは限らない。また、ボルト上面の六角形の角にはフィレットがかかっており、ボルト正面以外からの点群計測では、図 4 に示すようにスキャナに対して奥側に位置する点が欠落する。そのため、ボルト点群の中心は真のボルト中心位置に対してスキャナ側にずれて算出される。

本研究では、ボルト点群に六角形をフィッティングさせることでボルトの検出を行う。図 5 に手法の概要を示す。まず、図 5(a)のようなボルト候補点を囲む直方体を生成する。直方体内部のスキャナ側は奥側と比較して点の欠落が少なく高密度である。そこで図 5(b)の赤枠で示したように直方体内部からスキャナ側の点群を取り出し、図 5(c)のようにメッシュに変換する。そして、図 5(d)の赤線で示すメッシュの境界を算出する。ボルトのサイズは規格で決まっているため、あらかじめ登録されたボルトの径の六角形をメッシュの境界の点にフィッティングさせ、六角形の境界線上に最も多くの点に乗る際のボルト径及びボルト位置を解として検出する。

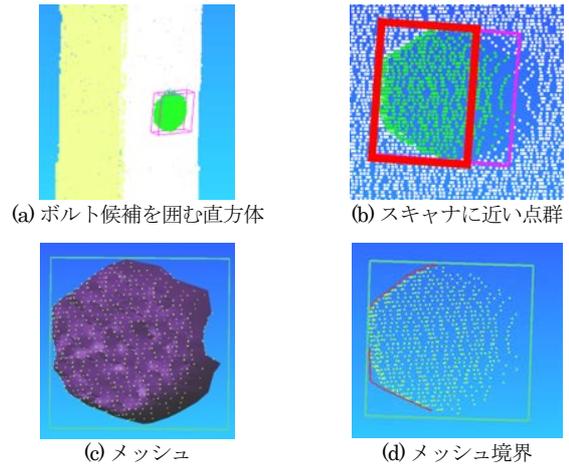


図 5 六角形フィッティングの概要

## 4. 評価実験

### 4.1. 鉄塔の点群による評価

まず、鉄塔を計測した点群を用いて評価を行った。鉄塔は、10m 先で 3.1mm ピッチとなる点群密度で計測を行った。計測点数は、約 1.7 億点である。この点群から、鉄塔の点群を抽出し、鋼材検出とボルト検出を行った。図 6(a) では、検出された鋼材の境界とボルトを示している。図 6(b) は、その拡大図である。検出されたボルトについては、鋼材の中心線と短辺からの距離を算出し、それらをボルト位置とした。この例題では、正解値が不明であるため、検出値の精度評価はできなかったが、図 6(b) の右上部に縦に並ぶ 3 個のボルトについて、鋼材中心線からの距離を算出した。その結果、上から、48.0mm、48.3mm、48.2mm となった。設計上は、これらの距離は等しいので、十分に整合性のある値と言える。

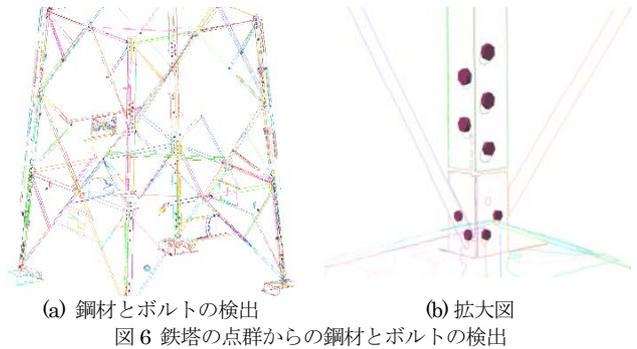


図 6 鉄塔の点群からの鋼材とボルトの検出

### 4.2. 試験材による評価

次に、ボルト位置の定量的評価を行うため、図 7 に示すアングル鋼を用いて、検証実験を行なった。図 7(b) の各番号はボルトを示す。ボルト径とアングル鋼の 2 面の交線からの図 7(b) に示される距離 1 の寸法を算出し、実測値との比較を行った。実測値はノギスを用いて計測した値である。評価実験の結果を表 1 に示す。実測値と算出値のずれは平均して 0.8mm であった。実際の測量は 1mm 単位で行っているため、鋼材中心からの距離については、十分な精度で寸法が算出できたと考えられる。

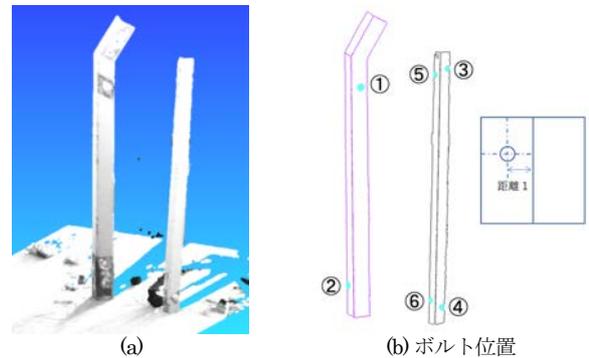


図 7 評価実験で用いた鋼材

表 1 ボルト検出による位置寸法実測値と算出値

ボルト番号	実測値[mm]	算出値[mm]	ずれ[mm]
①	45.5	47.0	1.5
②	44.2	44.6	0.4
③	38.9	38.8	0.1
④	37.5	35.3	2.2
⑤	30.6	30.5	0.1
⑥	30.6	30.4	0.2
平均	-	-	0.8

## 5. 結言

本研究では、鉄塔の鋼材交換を支援するために、鉄塔の計測した大規模点群から、鋼材とボルトを検出する方法を示した。また、提案したボルト検出手法の検証および評価実験を行い、ボルト位置が算出できる確認した。ただし、鋼材の短辺からの距離については、鋼材境界の正確な検出方法と、結果の検証方法について、今後、検討していく必要がある。

## 参考文献

- [1] 葭内 郁, 篠崎 有希, 増田 宏: 点群データからの大型建造物の鋼材検出手法, 精密工学会秋季講演会 2018  
 [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, 11(a), (2014), pp.150-152