

# 高密度点群を用いた大型構造物の劣化診断 ～鉄塔の劣化判定～

電気通信大学 ○篠崎 有希, 増田 宏

## Diagnosing Deterioration of Large Structure Using High Density Point-Clouds

The University of Electro-Communications: Yuki SHINOZAKI, Hiroshi MASUDA

Large-scale infrastructures have to be repeatedly maintained in their long lifecycle. In a large steel tower, the degree of deterioration has been estimated by manual measurement. However, it is not realistic to investigate the entire steel tower by manual measurement, and therefore, it makes accurate diagnosis difficult. To precisely and efficiently investigate the entire steel tower, high dense point-clouds would be useful. In this research, we propose to a method for detecting the inclination of the steel tower using high-density point-clouds of the whole steel tower. Our method calculates the tilt of a steel tower by detecting the four main angle steels constituting the steel tower.

**Key words:** point-cloud, maintenance, point processing, deterioration diagnosis, terrestrial laser scanner.

### 1. 緒言

高圧送電線の鉄塔は、宅地や山間部などに多数設置されており、その多くは高さが 30～50m ある。古い鉄塔では、経年劣化や地盤沈下で傾くことがあるため、定期的を手計測によって傾きを計測し、必要に応じて補強を行っている。しかし、鉄塔全体の傾きを手計測で調べることは難しく、計測者によるばらつきや正確性が問題となっている。

3次元点群データから傾きが算出できるのであれば、鉄塔全体の傾きが定量的かつ正確に把握できるようになると考えられる。近年の測量用レーザスキャナでは、計測精度が向上し、点群密度も大きくなっている。そのため、30m 遠方の鉄骨でも、点群計測が可能になってきている。

本研究では、鉄塔の中央の地表にレーザスキャナを設置し、高密度で計測した点群を用いて、鉄塔の傾きを算出する手法について考える。

### 2. 手法の概要

まず、レーザスキャナは、Faro Focus 3D X330 を使い、2億点を計測するモードで点群を取得する。レジストレーションの誤差を避けるために、単一の位置から計測した点群のみを用いて傾きを算出する。

図1に本研究の手法の概要を示す。まず、点群から鉄塔上の点のみを抽出する。次に、鉄塔上の点群を連続領域に分割した後、各領域から平面要素を検出する。高圧線の鉄塔では、四隅の鉄骨はアングル鋼を用いているため、平面検出では、直交する2平面が検出される。そこで、直交する平面が隣接して存在している場合、それらの交線を計算する。鉄塔全体の交線集合から、四隅のアングル鋼の交線を抽出し、それらから鉄塔の中心軸を計算する。

### 3. 鉄塔の抽出

鉄塔の計測では、スキャナを鉄塔中心付近に設置する。そのため、計測点の座標系は、レーザスキャナの光源を原点とし、重力方向がZ軸になるように設定されている。鉄塔が存在している領域にはZ座標が大きい点群が存在する一方、鉄塔から柵までの間は背の高い設置物は存在しない。そこで、水平面上に格子を生成し、地面からの高さが 5m 以上となる点がある格子を選択することで、高さのある構造物が存在する範囲を算出する。ここでは、モルフオロジ演算を用いて格子の穴を埋めた後、一番外側の境界を算出して、連続的な閉領域を求めた。図2に全体から抽出された鉄塔を示す。次に、図3のように、地面を除去して鉄塔のみを抽出する。

### 4. 部材のコーナ検出

鉄塔では、四隅に縦に長いアングル鋼が全体の構造を支えている。そこで、鉄塔の傾き検出では、これらの四隅の鋼材を検出する。図1に示すように、レーザ光の方位角と仰角を用いて、点群を2次元の点群画像に写像し、この平面上で平面領域を探索する[1]。

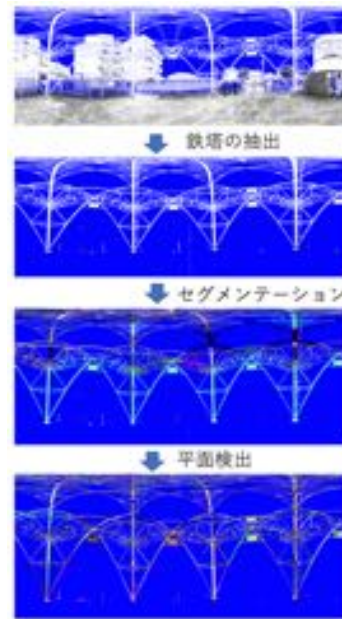


図1. 手法の概要

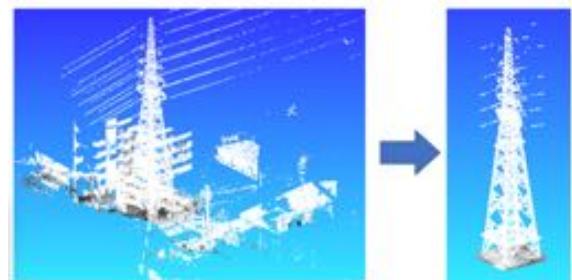


図2. 抽出された鉄塔

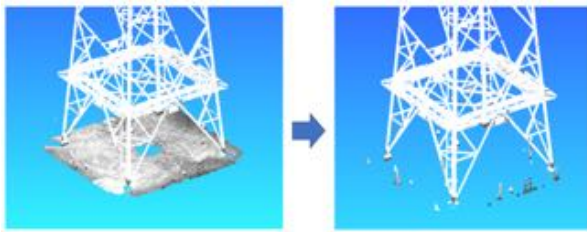


図3. 地面の除去

図4に平面検出した結果を示す。個々の平面は、異なる色で表示されている。本研究では、10m先の点間隔が 3.1 mm の高密度点群を用いているため、小さい平面や十分遠方の鋼材上にも十分な個数の点が乗り、多くの平面が検出できている。

その後、四脚の部材のコーナ検出を行うため、アングル材を構成する面のペアを算出する。平面  $P_1$  と  $P_2$  に乗っている点が、点群画像上で隣接するピクセルであるとき、平面  $P_1$  と  $P_2$  は連結すると見做す。連結する2面が、ほぼ直角に交わる時、2平面の交線を計算する。交線の長さは、2平面の共通部分とする。このような計算をすべての平面に対して行い、アングル材のコーナの直線を検出する。図4では、交線を赤で示している。

### 5. 鉄塔の傾き検出

図5(a)は、鉄塔全体から算出された交線である。鉄塔の傾きを求めるために、鉄塔の四脚の部材の直線を算出する。四脚の部材は、垂直に近い角度で立っているため、垂直からの角度が閾値以下の直線を検出する。図5(b)に、抽出した直線分の例を示す。

次に、近接した線分のグループ化を行う。グループ化は、方向が等しく、線分間の距離が閾値以下であるときに同じグループになるようにする。各グループには図5(c)のように複数の線分グループが存在し、四脚の部材以外に部材の付随物や他の部材などが含まれる。ここでは、四脚の部材のみを抽出するために、グループごとに直線検出を行い、直線上の線分が最も長い区間になるような線分集合を検出する。図5(d)に、検出された線分集合を示す。これらを四脚の部材とする。

その後、鉄塔の中心線を算出する。まず、図6(a)のように、水平面と四脚のラインとの交点を算出し、4個の交点の中心を求める。このような中心点を、水平面の高さを変えながら、多数算出し、それらの点を結ぶ線分を中心線とする。図6(b)に算出された中心線を示す。鉄塔の傾きは、中心線が垂直からのずれによって算出する。レーザスキャナによる計測においては、重力方向が Z 軸となるように補正がされているので、中心線が Z 軸からどれだけずれているかを求めることで、鉄塔の傾きを算出できる。

図7(a)は、この例題において算出された四脚のラインと、中心線を Z 軸方向から見た図である。中心線は、水平面上のほぼ1点に収束している。X, Y 方向のずれの平均は、30mにつき、それぞれ 9mm と 3mm であった。このことから、この鉄塔は、傾きのない正常な鉄塔であると判定できる。一方、傾いている鉄塔についても計測を行った。本手法を適用した結果を図7(b)に示す。この例題においては、中心線のずれは、X 方向に 40mm, Y 方向に 105mm となった。この例題では、地盤沈下によって鉄塔が傾いていることが知られており、本手法によって、鉄塔に傾きが定量的に示せている。

### 6. 結言

本研究では、地上からのレーザ計測によって鉄塔全体の高密度の点群を取得し、鉄塔の傾きなどの形状的な特性を算出する手法を提案した。四脚の部材の直線検出を行うことで鉄塔の中心軸を算出し、鉄塔の傾きを推定することができることを確認した。今後はアングル鋼の歪みの検出手法などの検討を行っていく。

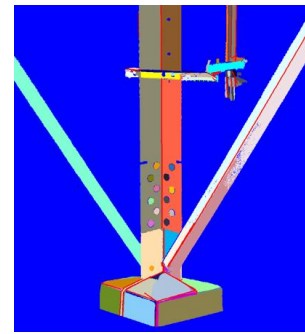


図4. 検出された平面と交線

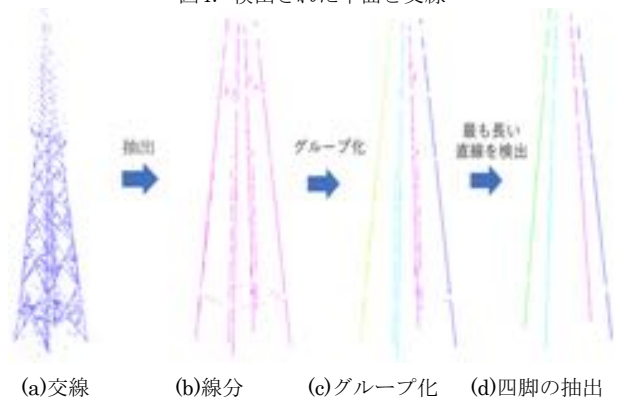


図5. 四脚の部材検出

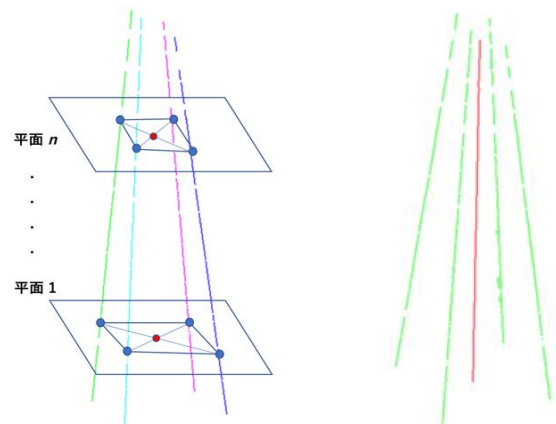


図6. 中心線の算出

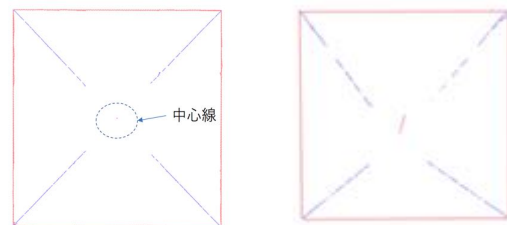


図7. 四脚のラインと中心線

### 参考文献

- [1] 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