

鋼構造物の点群モデルから FEM モデルを構築するための要素生成方法の改良に関する検討

A consideration on the improvement of an element generation method for FEM models from point cloud models of steel structures

北見工業大学 工学部 ○学生会員 吉田 明燁(Meiyo Yoshida)
 北見工業大学 工学部 正会員 宮森 保紀(Yasunori Miyamori)
 北見工業大学 工学部 正会員 齊藤 剛彦(Takehiko Saito)

1. はじめに

近年では DX の推進に伴い、画像解析や AI 技術は革新的な構造物の維持管理手法として期待されている。画像から対象の点群モデルを構築する SfM は、構造物を効率的に点検する技術として期待されている。一方、点群データは構造物の形状を把握できるが、応力状態は確認できない。現状では、点群データを構造解析可能な、有限要素モデルなどの計算モデルの作成や更新に適用する研究は少ない。そこで鈴木ら¹⁾は部材軸方向が一様な断面形状を持つ供試体、佐藤ら²⁾は橋梁の桁を模した供試体を対象とし、点群データから FEM データへの変換を行った。いずれも、部材接合部にリブ状の要素や扁平な要素形状が生成されたことと、表面要素が欠損していることや、画像枚数が増加することによって時間コストがかかるのが課題であった。そこで、本研究では、要素の欠損を解消するために、要素形状の種類を増やし、桁端部の腐食を再現した供試体を対象に点群モデルから FEM モデルへの自動変換を行い、線形静的解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 3次元点群モデルの構築

2.1 実験供試体と撮影条件

図-1 に実験供試体を示す。供試体は鉄道橋で使用されていた主桁の一部を切り出し、ソールプレートと端垂直補剛材を溶接して桁端部を模している。供試体長は 750mm、高さ 410mm、フランジ幅は 152mm、部材厚は上フランジと下フランジが 21.5mm、ウェブが 14mm、端補剛材が 6mm であり、材質は SS400 相当である。腐食を再現するために補剛材付近のウェブに孔を開けた。供試体に座標の基準となる直径 30mm のマーカー 19 枚を貼り付けた。実験供試体はチェンブロックを用いて吊り下げ、下フランジ下面の撮影を行うためソールプレートを台に乗せた。

カメラは SONYα6500 を用い、撮影モードはシャッタースピード優先とし、絞り値(3.5~5)を自動調整した。ISO 感度 100、焦点距離 18mm とした。

実験は間接的な照明で行うため、6 灯の照明ランプにランプシェードを取付けた。また、補剛材部が暗いため、カメラに LED ライトを取付け、光の反射を低減できるように、輝度を 50%、色温度を 5200K に設定した。

2.2 撮影方法

本研究では、既往研究³⁾で検討した立体的な構造物の点群モデルに適した撮影手法を参考にカメラ位置を設定した。なお、対象供試体は細長い部材であるため、5 つの撮影ブロックに分けてカメラ位置を設定した。

側面の撮影では、カメラの対物距離を変化させ、水平ラップ率を 60%として、床面に 30 箇所のカメラ位置を設定した。それぞれのカメラ位置で、鉛直方向のラップ率を 80%として、カメラの高さを変えながら 6 回撮影を行った。なお、撮影位置や高さの調節するためカメラに一脚を取付けた。上下面を撮影するカメラ位置は側面と同様である。供試体の上下フランジの縁から外側斜め方向、300mm の位置に右約 45°の角度をつけて 60 枚撮影した。全体で合計 240 枚の画像を撮影した。

2.3 構築した点群モデル

図-2 に構築した点群モデルを示す。具体的には Agisoft 社の Metashape(ver1.6.5.11249)を用いた。モデル構築に使用した画像枚数は 186 枚であり、撮影した画像に供試体がほぼ写っていない画像やボケている画像を 54 枚削除したため、撮影した画像枚数より少なかった。部材の寸法誤差は、約 1mm~2mm 程度であったが、供試体高の誤差は 5mm で大きかった。それは、供試体鉛直方向の撮影する枚数が少なかったためと考えられる。

3. FEM モデルへの変換

3.1 点群 FEM モデルの構築原理

本研究では点群モデルから構築した FEM モデルを点群 FEM モデルと称する。まず図-3 に節点と要素の構築方法を示す。FEM モデルには節点が必要だが、大量の点群をすべて節点に変換することは困難なため、空間中に一定間隔の格子を設定して格子内に存在する点群



図-1 実験供試体



図-2 点群モデル

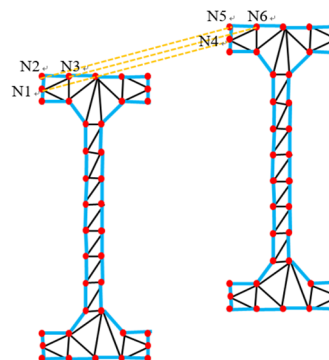


図-3 節点と要素の作成方法

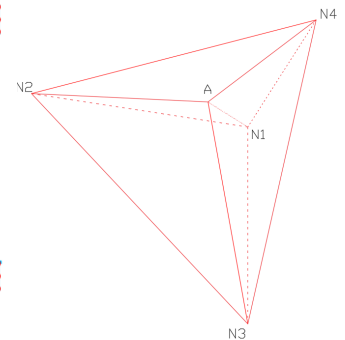


図-4 生成する要素形状

キーワード 点群モデル, FEM モデル, 線形静的解析

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地 TEL0157-26-9472 (宮森保紀)

の平均座標値を1つの代表節点とし、FEMモデルの節点を生成する。格子間隔のサイズが要素のメッシュサイズに相当する。本研究では補剛材厚を再現するため、補剛材部分のメッシュサイズを3mm、その他の範囲を6mmとした。節点をつないでモデル断面の輪郭を作成する。作成した断面の輪郭に対して、2次元デローニー分割を行うことでx座標値ごとに部材断面が三角形の要素で分割される。この処理を隣接する断面でも順に行い、隣接する断面の最近傍の点同士N1-N4、N2-N5、N3-N6を結ぶことでソリッド要素を構築する。物性値と得られた節点や要素情報を構造解析ソフトウェアmidas NFXに対応したnasファイル形式を出力した。ファイルをソフトウェアに読み込ませ、境界条件や荷重はソフトウェア上で設定し、モデルを構築した。

3.2 ソリッド要素生成の改良

図-4にソリッド要素の生成例を示す。点群FEMモデルは点群データから節点を生成しており、節点の座標にバラつきがあるため、2つの節点が1つの最近傍の点を共有することがある。既往研究では、節点が共有する最近傍点のケースに重複があったため、要素の欠損が生じた。そこで、本研究では最近傍の点を共有するケースを補足、改良した。例として図-4のように、節点N2、N3の最近傍の点と同じであるときN1-N4、N2-A、N3-A(N5=N6=A)となる。生成する要素形状は不規則な6面体である。この他にも、N4=N5=N6、N4=N5、N4=N6のケースがある。なお、N5=N6=Aのような要素形状ではnasファイル形式に対応していないため対応している三角錐形状に分割し、出力した。

3.3 点群FEMモデル

図-5に構築した点群FEMモデルを示す。要素生成のアルゴリズム上、腐食を再現した孔の部分では、孔の内部の節点をつないで要素が生成される。そのために、孔の内部の要素を手動で取り除き、孔があいたモデルを再現した。

構築した点群FEMモデルではウェブ要素形状の欠損なく、補剛材の厚さも確認できた。しかし、腐食モデルも部材接合部におけるリブ状の要素や、扁平な要素形状の改善ができず、部材接合部の要素生成アルゴリズムや節点の算出方法の改良が必要と考えられる。

4. 線形静的解析

点群FEMモデルの解析結果と比較するため、従来の方法でもFEMモデルを作成して線形静的解析を行う。解析条件はソールプレート下面を3方向固定とし、上フランジ上面の各節点に下向きに合計50kN荷重をかける。

図-6にモデルごとの側面の有効応力分布を示す。FEMモデルの応力分布は孔の周辺で応力の値が大きく、周辺部では扇形に小さくなる分布となっている。点群FEMモデルでも同様だが、孔の右側の補剛材周辺はFEMモデルより小さな値となっている。孔から離れたウェブ全体の応力を8箇所を確認したところ、点群FEMモデルの応力がやや大きく、その差は最大で4.7N/mm²だった。これは、点群FEMの要素生成の際にウェブの厚さが実寸法より厚くなったためである。

応力が大きな孔周辺では、FEMモデルは、ソールプレート端部に近い、孔の左下の応力が最大で141N/mm²となりモデル全体でも最大値である。点群FEMモデル

で同一箇所での応力は95N/mm²となり小さくなっている。孔の左上の箇所では、FEMモデルで100N/mm²、点群FEMモデルで95N/mm²となりその差はウェブ全体の差と同様になっている。孔左下で点群FEMモデルの応力が小さい原因は、点群FEMモデルではウェブとフランジや補剛材の接合部に実際の寸法より大きなリブ状の要素が生成され、断面が大きくなることで応力が小さくなったためである。前述した補剛材周辺の応力が点群FEMモデルで小さいのも同様の理由である。なお、点群FEMモデルの最大応力は孔右側の補剛材上で135N/mm²であったが、これは補剛材の要素形状がいびつで局所的に応力値が大きくなったためである。

5. まとめ

本研究では、点群からFEMモデルを生成する点群FEMモデルについて、従来から要素形状の生成アルゴリズムを改良し、要素の欠損がない点群FEMモデルが構築できた。線形静的解析の結果、モデル全体で従来のFEMモデルに近い応力が得られた。一方、部材接合部付近で実際とは異なる形状の要素が生成されることや、板厚の精度に改善の余地があるため、さらにアルゴリズムの改善が必要である。

謝辞: 本研究は、科学研究費基盤(C)課題番号21K04230の助成を受けて実施しました。ここに記し感謝いたします。

参考文献

- 1) 鈴木ら：高密度点群データの構造解析モデルへの変換に関する基礎的検討，土木情報学シンポジウム講演集，Vol. 43，pp. 25-28，2018.
- 2) 宮森ら：鋼1桁供試体の3次元高密度点群モデルからFEMモデルへの自動変換手法の改良，土木情報学シンポジウム講演集，Vol. 46，pp137-140，2021.
- 3) 吉田ら：立体的な構造物の3次元点群モデルを構築するための撮影手法に関する基礎的検討，土木学会北海道支部論文報告書，第78号，2022.

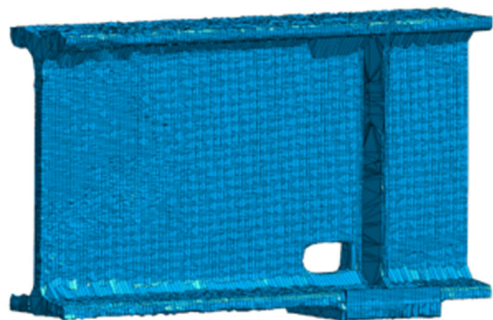


図-5 点群FEMモデル

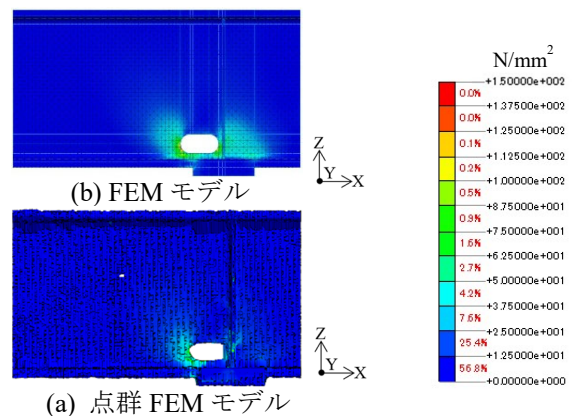


図-6 有効応力分布