

2 主桁供試体の点群 FEM モデル構築アルゴリズムの開発

北見工業大学 大学院博士前期課程 ○学生会員 吉田明燐

北海道大学 大学院工学研究院 正会員 宮森保紀

北見工業大学 工学部 正会員 齊藤剛彦

北見工業大学 工学部 正会員 門田峰典

1. はじめに

国土交通省は道路構造物の点検業務の効率化を図るため、3次元データなどの活用を定めている。3次元データについては点群データの活用が有力視されている。しかし、点群データの活用は構造物を定性的に評価するものがほとんどであり、応力などを定量的に評価する手法は確立されていない。そこで、著者らは構造物の点群データをFEMモデルに変換するアルゴリズムを検討してきた。本研究では、部材が交差する点群データにセグメンテーションを適用し、材片が交わる座標を自動で抽出するようにした。実橋梁に近い2主桁供試体を対象として、点群データから変換したFEMモデル(以下、点群FEMモデルと称す)に対して静的解析を行い応力状態を把握した。本稿は、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

本研究では、FRP製のH形供試体を主桁、角形供試体を端横桁として、接着剤で結合し2主桁供試体を製作した。材料特性は強度試験で得た値を用いた²⁾。ヤング率は35GPa、ポアソン比は0.221、降伏応力は200MPa、引張強度は350MPaである。主桁は長さ1600mm、ウェブ寸法200mm×14mm、フランジ寸法140mm×10mmで、横桁は長さ800mm、断面は□130mmである。

2.2 SfMによる点群モデルの構築

本研究ではSfM(Structure from Motion)を用いて、点群モデルを構築する。画像の取得はデジタルカメラSONYα6500を用いた。オーバーラップ率80%を確保して、供試体を囲むように撮影を行った。また、部材隅角部の点群密度を確保できるようにカメラを隅角部に近づけ撮影をした。合計で952枚の画像を取得し、Agisoft社のMetashape(ver1.6.5.11249)を用いて点群モデルを構築した。

図-1に点群モデルを示す。点群モデル全体では、供試体の形状を再現できた。表-1に供試体と点群モデルの板厚の比較、および点群モデルの板厚と後述する点群FEMモデルの板厚の比較を示す。点群モデルの下フラ



図-1 実験供試体の点群モデル

ンジの板厚は実寸より厚いが、これは点群モデルの表面やエッジ部に背景に由来するノイズの点が生じた影響である。上フランジとウェブでは、ノイズの影響が少なく差が1mm以内であった。

3. 点群 FEM モデルの構築アルゴリズム

3.1 概要

点群データをFEMデータに変換するために、点群の座標値をテキストファイルに書き出し、MATLABで独自に開発したプログラムを用いた。まず点群モデルを材片に分割し、材片ごとで節点を作成する。続いて節点で部材断面の輪郭を作成してから、ソリッド要素を生成する処理を行う。最後に材片を連結させる。本研究では、全体座標系は図-1に示すXYZ方向、部材座標系はxyzで表わし、部材軸方向をx、軸直角方向をy、鉛直方向をzとしている。

3.2 材片の分割

図-2に分割した材片を示す。色分けしたように部材をフランジ、ウェブ、横桁の8材片に分割した。具体的には、主桁は点群データのXY平面の法線を持つ点群をすべて抽出し、抽出した点群に対してユークリッド距離に基づいてセグメンテーションを行い、ウェブの点群を抽出した。それから、ウェブのz座標の最大、最小値を求め、最大値より上を上フランジ、最小値より下を下フランジ、中間をウェブとした。横桁はYZ平面の法線を持つ点群を抽出し、主桁と同様にセグメンテーションを行い、y、z座標によって決定した。

3.3 節点の作成

膨大な点群データのすべての点をFEMモデルの節点に変換するのは困難であるため、yz空間内に格子を設定し、格子内の点に対してグリッド平均ダウンサンプリング法で平均点を計算し、各格子内に1つの節点を生成した。なお、格子の間隔はメッシュサイズに相当する¹⁾。本研究では、メッシュサイズを10mmとした。

3.4 断面の輪郭の作成

断面の輪郭は最外縁の節点を連続することによって形成した。輪郭の作成には、MATLABのboundaryを用

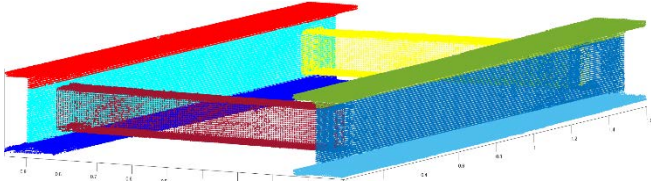


図2 分割した材片

表-1 板厚の比較(X=中央断面)

	A 供試体(mm)	B 点群モデル(mm)	C 点群 FEM モデル(mm)	差(A-B)(mm)	差(B-C)(mm)
上フランジ	10.0	10.9	10.8	-0.9	0.1
ウェブ	14.0	13.1	13.6	0.9	-0.5
下フランジ	10.0	14.8	15.4	-4.8	-0.6

キーワード SfM, 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 齊藤剛彦 TEL: 0157-26-9477

い、アルファ形状によって、断面の凹部も含んだ境界を検出する。この時、境界で囲まれる範囲の面積の小ささは、縮小係数で制御される。本研究では、縮小係数は材片ごとに試行錯誤的に決定した¹⁾。

3.4 ソリッド要素の作成

図-3 に 2 次元デローニー分割とソリッド要素を生成する方法のイメージを示す。まず、メッシュサイズによって分割したすべての断面で節点と輪郭を作成し、2 次元デローニー分割を行い断面を三角形要素に分割する。例えば図のようにソリッド要素は、S 断面で分割された三角形要素の各節点 N1, N2, N3 と、S+1 断面で最も近接する節点 N4, N5, N6 から生成した。

3.5 材片の連結

図-4 に材片連結のイメージを示す。主桁では、まずは z 座標によって xy 断面で節点を抽出する。具体的には材片 A, B を連結する場合は、材片 A の z 座標が最小となる全節点と、材片 B の z 座標が最大となる全節点を抽出した。次に、抽出した節点に対して、断面輪郭を作成し、2 次元デローニー分割を行った A 側と B 側のそれぞれの断面に対して、最近傍点の節点を検索し、ソリッド要素を生成した。横桁も同様に連結させた。

3.6 構造解析ソフトウェアへの読み込み

以上の処理で得た点群 FEM モデルの節点と要素に、材料物性値を加え、要素座標系を設定し、構造解析ソフトにインポートが可能な nas ファイルを作成した。nas ファイルは構造解析ソフト Nastran に対応しているテキストファイル形式だが、本研究では構造解析ソフト midas NFX に読み込ませた。さらに、静的解析に必要な境界条件と荷重条件は midas NFX 上で設定した。

4. 点群 FEM モデルと線形静的解析

図-5 に点群 FEM モデルと解析条件を示す。主桁全体では要素の欠損がほぼなく、横桁も要素の欠損がなかった。板厚については、表-1 で示すように点群 FEM モデルの板厚は点群モデルの板厚と概ね一致し、点群モデルの精度を保ちながら FEM モデルに変換できた。線形静的解析は桁右端の全節点の 6 自由度を完全固定とし、左端の横桁中央 169 節点に計 50kN の集中荷重を与え、弾性範囲内で解析を行った。

図-6、図-7 に X, Y 方向の垂直応力を示す。主桁は上面に引張応力、下面に圧縮応力が生じ(図-6)、横桁は上面に圧縮応力、下面に引張応力(図-7)が生じたため、力学的に妥当である。また、図-6 では主桁の最小応力が降伏応力を超えているが、これは不規則な節点配置によって扁平やねじれた要素形状が生成され、応力集中が生じたと考えられる。しかし、弾性域を超えた要素は全体の 0.1% であるため、応力評価に大きな影響はないと考えられるが、今後は要素形状の改善が必要である。全体的に横桁からの応力を伝達できたことを確認できたため、点群データから FEM モデルを構築できたと考えられる。

5. まとめ

本研究では 2 主桁供試体を用いて点群データを FEM モデルに変換した。点群データにセグメンテーションを適用し、部材を材片に分割した。材片ごとの軸方向でのソリッド要素を生成し、再度結合することで、点群 FEM モデルを構築できた。点群 FEM モデルについて静

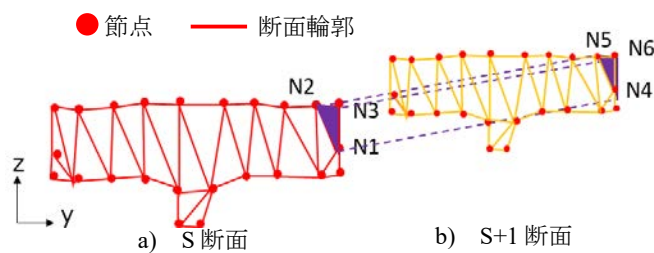


図-3 2次元デローニー分割とソリッド要素生成方法

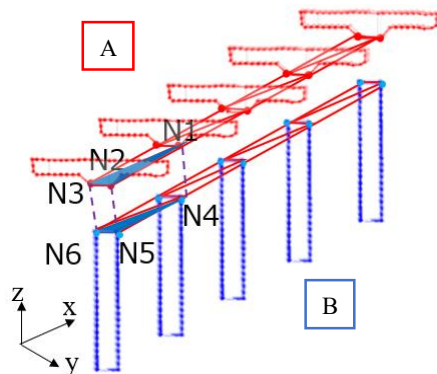


図-4 材片連結処理

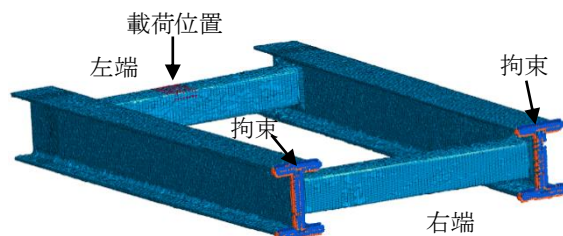


図-5 点群 FEM モデルと解析条件

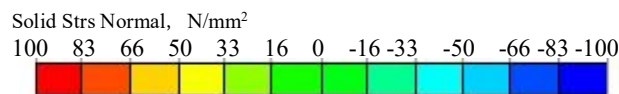


図-6 垂直応力(X方向) (N/mm²)

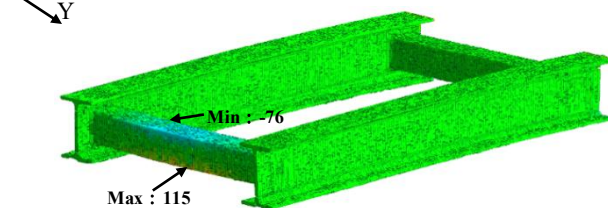


図-7 垂直応力(Y方向) (N/mm²)

的解析を行い、力学的に妥当な応力分布を把握できた。

今後の課題は、点群モデルのノイズの除去方法を検討し、要素形状の改善を行い、実構造物に適用する。

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。

参考文献: 1) 吉田ら: 鋼部材の点群データから FEM データへの変換における部材隅角部の要素生成に関する検討, 土木情報学シンポジウム講演集, I-3, 2022. 2) 増田ら: ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)接合部の強度特性に関する研究, 土木学会第 57 回年次学術講演会, I-669, 2002.