

3 次元点群モデルの FEM データへの変換手法に関する一検討

Conversion of a 3-D point cloud data into a FE model for structural analysis

北見工業大学大学院 学生員 ○鈴木 紗苗 北見工業大学 正会員 宮森 保紀
北見工業大学 正会員 齊藤 剛彦 北見工業大学 正会員 山崎 智之

1. はじめに

2012年に国土交通省がCIMの試行業務を開始し、3次元モデルに関する研究開発がより盛んになっている¹⁾。橋梁点検では、ドローンにカメラなどの機器を搭載し、画像により作成した3次元モデルから腐食やひび割れを識別する事例も報告されている²⁾。しかしながら、現状の3次元モデルからでは構造物の耐力や応力状態を定量的に推定し、補修・補強による効果を評価することはできない。

著者らはこれまで、撮影画像から構築された3次元点群モデルを構造解析に活用する手法について基礎的検討を行っている³⁾。本研究では、撮影画像から作成した点群データからFEMモデルへ自動で変換する手法について検討した。まず、作成した点群モデルの大量の座標データを3次元格子中で平均化することによって点の総量を減らし節点へ変換した。作成した節点データに対して3次元デローニー分割によって4面体要素を作成した。このような手法で点群データから作成したFEMモデルに対して線形静的解析を行い、通常の方法で作成したFEMモデルによる解析結果と比較し妥当性を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

本研究は、構造物のFEMモデルを作成するにあたって、対象物の撮影画像から作成した点群モデルをFEMデータへ変換する手法を提案するものである。実験供試体は、SS400の鋼板である。実験室内で切断したため各辺に寸法差があるものの、それぞれ板厚(y方向)19mm、高さ(z方向)150mm、長さ(x方向)178mmである。図-1のように、供試体は金属製の枠上に2本の木の板を載せその上に設置した。また、点群モデル構築に必要な基準点は供試体を囲むように8点設置した。

2.2 撮影方法と3次元点群モデル作成方法

撮影に使用したデジタルカメラはニコン製E8800である。撮影画像はjpeg形式、記録画素数は3264×2448pixel、F値を2.8に固定した。供試体とカメラの距離は400mmまたは600mmとした。供試体をできるだけ多方向から、オーバーラップ60%以上としそれぞれの距離で170枚程度、合計で約350枚の写真を撮影した。

次にAgisoft社のPhotoScanを用いて撮影画像から点群を生成した(図-2)。基準点の座標はノギスと定規を用いて計測した値を使用した。モデルを作成する際に使用する写真に基準点を設置し、実寸とモデルを整合させた。8つの基準点のうち2つを検証点とした。作成した3次元点群モデルを図-2に示し、PhotoScanにおける精度を表-1に示す。

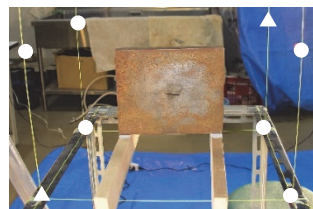


図-1 実験供試体

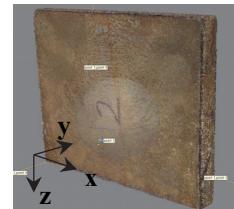


図-2 3次元点群モデル

凡例：●基準点 ▲検証点

表-1 鋼板供試体点群モデルの精度 (単位: mm)

検証点	x 方向誤差	y 方向誤差	z 方向誤差	3 方向誤差
1	0.782	1.085	1.257	1.835
2	0.634	1.277	1.040	1.765

3. 点群モデルからFEMモデルの構築手法

点群モデルをFEMモデルに変換するために本研究では以下の操作を行った。具体的にはPhotoScanから出力した点群の座標値を、汎用数値解析ソフトMATLABで作成したプログラムで読み込んで処理を行った。

3.1 節点

3次元点群モデルの点群数はFEMモデルの節点数と比較しても膨大であり、点群モデルのすべての点をFEMモデルの節点に変換することは適切ではない。さらに、点群は物体の表面のみに生成され、内部には点が生成されない。このため、本研究ではFEMモデルの節点を構築するため、図-3の模式図で示すように、空間に一定間隔の格子を設定して、格子内に1つの節点を生成させるようにした。モデルの表面部の格子では格子内の点群の平均値が節点座標になる。モデルの内部には点群が無いが、格子ごとに1つの節点を有するように表面の節点座標に基づいて座標値を決定する。本研究では供試体の板厚を考慮して1辺5mmの格子を設定した。

3.2 ソリッド要素

FEMでは、構造体の応力とひずみの関係を計算するために要素分割が必要である。本研究ではFEMの要素としてソリッド要素を用いることとした。3次元FEMでは節点を包含した空間を多面体に隙間なく分割して要素群を構築する必要があるが、本研究では3次元デローニー分割によって4節点のソリッド要素を構築した⁴⁾。具体的には汎用数値解析ソフトMATLABのdelaunayTriangulationコマンドを用いた。

3.3 その他のFEMデータ

上述した節点と要素の構築に合わせて、材料物性や単位系などの情報も、FEMソフトウェアで外部からのインポート可能なテキスト形式で書き出す。本研究では、汎用FEMソフトのmidas Civil2010に対応したmctファイルを作成した。なお、境界条件と荷重については、FEMソフトで設定する。

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)

4. 線形静的解析

4.1 FEM モデルと解析条件

上記のような方法で作成したデータファイルを FEM ソフト midas Civil に読み込ませる。その際、26 要素が FEM ソフト上で生成できなかった。それらの要素はほとんど高さのない平面のような 4 面体となっており、形状が立体として認識されなかった可能性が高い。このためこれらの要素を除いて図4のような FEM モデルとした。図4では実際の供試体にある角を面取りした状態が反映したモデルとなっている。

上記のような方法で構築した点群 FEM モデルに対して引張試験を想定し、境界条件と荷重条件を設定した(図4)。境界条件は $x=0\text{mm}$ 側(図4 左側面)の供試体表面にある各節点の並進方向を固定し、荷重は反対側の供試体表面の各節点の x 方向に、全体で 100kN を 89 節点で等分割して与えた。

作成したモデルの断面積 A や x 方向の長さ L 、また節点や要素数、ソリッド要素の形状について表-2 に示す。

4.2 解析結果

前述の解析条件により、点群から作成した FEM モデル(以下、点群 FEM モデル)に対して、midas Civil 上で線形静的解析を行った。また、通常の方法で実測値から作成した FEM モデル(以下、比較 FEM モデル)に同様の解析条件を設定し比較対象とした。

解析結果として、供試体内部の $y=9.0\text{mm}$ の xz 平面における有効応力の分布を図-5 に示す。どちらのモデルでも供試体内部の応力は $30\sim 40\text{N/mm}^2$ となっており、点群 FEM モデルの応力が全体的に低い。これは表-2 で示した断面積の差によるものと考えられるが、荷重荷重を断面積で除した応力 35N/mm^2 とはおおむね整合している。 x 方向における供試体の伸びは、点群 FEM モデルは 0.032mm 、比較 FEM モデルは 0.036mm となった。

図-5 の点群 FEM モデルは応力分布にばらつきがあり、図右側の荷重点近傍では上下部では応力が大きく、中央部では応力が小さい。また、内部に対角線上に応力が小さい部分がある。これは点群モデルの節点は供試体表面の凹凸を反映して座標値が一定ではなく、図4のように固定点と荷重点が供試体の上下部に偏ったことが原因と考えられる。なお、上述のように FEM ソフトウェアにデータファイルを読み込んだ際に一部の要素が生成できなかったが、これらの要素は供試体の表面近傍に多く、解析結果に大きな影響は生じなかった。

以上より、点群モデルの点群の座標値を FEM モデルの節点に変換し、4 面体要素で FEM 要素を構築して静的解析を行った結果、応力と伸びの値はおおむね妥当な値であり、その分布については荷重状態を考慮すると妥当な結果となった。一方、表-2 では断面積や長さが点群 FEM モデルと比較 FEM モデルでは異なっており、また、表面の要素の形状も扁平なものが多いため、点群のモデルの作成方法や節点への変換処理の方法について今後検討が必要である。

5. まとめと今後の課題

本研究では、まず、供試体の撮影画像を用いて 3 次元点群モデルを作成した。そして、点群データを 3 次元の格子を用いて供試体表面の節点座標へ変換し、さらに内部に節点を自動で生成した。そして、節点データに対して 4 面体を自動で構築し、構造解析モデルを作成し線形静的解析を行った。

- 1) 点群の座標データに対して 3 次元格子を設定し、格子内の平均値を 1 つの節点座標へ置き換えることによって大量の座標データを節点へ変換することができた。

- 2) ソリッド要素の構築では、作成した節点から構成される 4 面体をデローニー分解によって作成した。供試体の表面付近では扁平な要素形状となってしまう、FEM ソフトウェアで読み込めない要素や、支点や荷重点の配置に偏りが発生したため改善が必要である。
- 3) 点群 FEM モデルの線形静的解析の結果はおおむね妥当であったが、点群モデルの寸法精度や節点への変換手法について精度向上のための改善が必要である。

参考文献

- 1) 矢吹信喜：CIM 入門－建設生産システムの変革－，理工図書，2016。
- 2) 例えば、沢崎直之：二輪型マルチコプタを用いたジオタブ付接近画像を取得可能な橋梁点検支援ロボットシステムの研究開発，SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 インフラ技術総覧，pp.126-127，2019。
- 3) 鈴木紗苗，宮森保紀，齊藤剛彦：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。
- 4) 谷口健男，森脇清明：3 次元 FEM のための自動要素分割法，森北出版，2006。

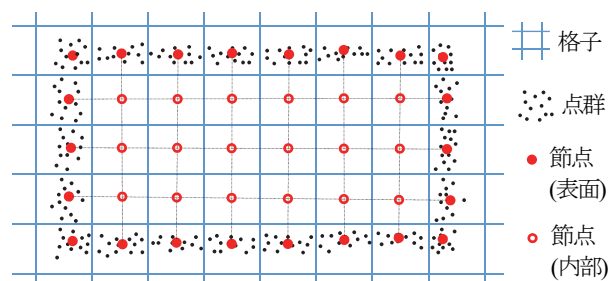


図-3 点群と節点

表-2 解析条件

	比較 FEM モデル	点群 FEM モデル
yz 平面断面積: $A(\text{mm}^2)$	2905.8	3102.5
x 方向長さ: $L(\text{mm})$	177.5	184.0
ソリッド要素の形状	立方体	4 面体
節点数(個)	5580	5880
要素数(個)	4200	36933

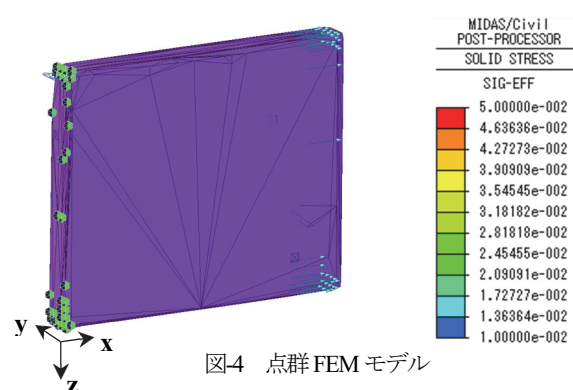
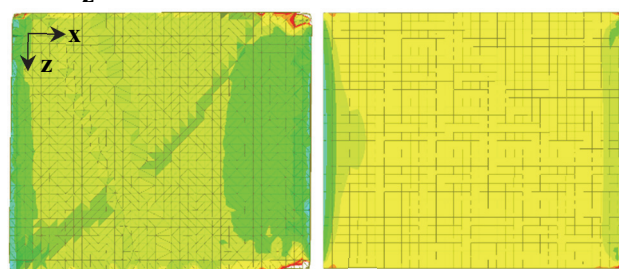


図-4 点群 FEM モデル



(a) 点群 FEM モデル (b) 比較 FEM モデル

図-5 有効応力の分布 (xz 平面, $y=9.0\text{mm}$)