

歴史的建造物の三次元形状計測とその数値解析への適用

長崎大学大学院 学生会員 ○ 鶴田 聡
長崎大学工学部 非会員 山下 務

長崎大学工学部 正会員 松田 浩
長崎大学工学部 非会員 本郷真樹

1. はじめに

現在、既存建造物の維持管理に関する技術の必要性が高まり、建造物の調査、劣化診断、補修補強に関する研究が鋭意進められている。現在、補修補強を目的とした応力・変形状態の把握にはコンピュータによる数値解析が実施されている。数値解析を行う際に重要なことは適切なモデル化であるが、三次元の FE モデルの作成には膨大な時間と労力が必要となる。

そこで本研究では、建造物の調査、損傷程度の把握を目的として三次元形状計測技術を用い、建造物の三次元形状計測を行い建造物の三次元デジタル画像化を行った。さらに、取得した三次元データをもとに詳細な FE モデルを生成し、FE 解析への有用性および適用の可能性について検討した。

2. 三次元形状計測

三次元形状計測技術には画像計測、光学的計測、触針式計測があるが今回は三次元写真計測および、三次元レーザスキャナを用いて建造物の三次元データの計測を行った。

2.1 三次元写真計測

2.2.1 三次元写真計測の原理

三次元写真形状計測とは、デジタルカメラで撮影した二枚以上のデジタル画像データを用いて計測を行うものである。計測原理の概略を図 1 に示す。三角測量を基本原理として建造物の三次元データを取得する。

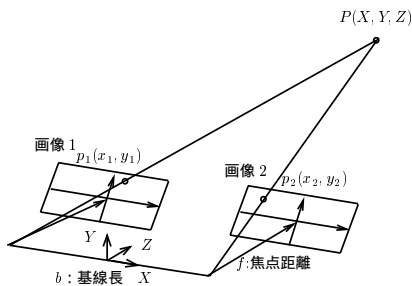


図 1. 写真計測概略図

2.1.2 点群データの作成

三次元写真計測により図 2(a) に示す長崎市山王神社にある片足鳥居の三次元形状計測を行った。撮影には 500 万画素のデジタルカメラ (Nikon 社製 D70) を用い、ズームを Wide 端に固定して撮影した。図 2(b) に示すように片足鳥居を 4 方向から計測し、それぞれにおいて三次元データを取得する。図 2(b) に示す計測位置①と④の計測位置において得られた点群データを、撮影した二枚のデジタル画像とともに図 3(a), (b) に示す。また、トランシットを用いて計測物の寸法を数箇所計測し、三次元写真計測を行ったデータに入力することによって計測精度の向上を図った。



(a) 片足鳥居



(b) 計測位置

図 2. 計測概要



画像 1



画像 2



点群データ

(a) 計測位置①



画像 1



画像 2



点群データ

(b) 計測位置④

図 3. 計測結果

2.2 三次元レーザスキャナ

2.2.1 点群データの作成

三次元レーザスキャナを用いて長崎市平和公園にある平和祈念像の三次元形状計測を行った。図 4 に示すように 8 方向から計測を行い、対象物の三次元データを取得する。図 4 に示す計測位置①と③の場所において計測し、得られた点群データを図 5 に示す。

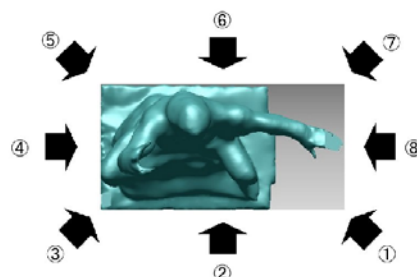
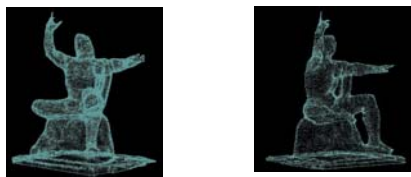


図 4. 計測位置



(a) 計測結果① (b) 計測結果③

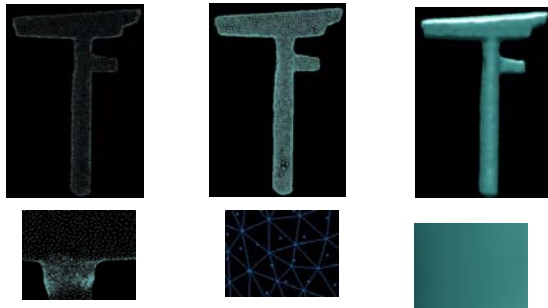
図 5. 計測結果

3. 三次元計測データ処理と FE メッシュの作成

本節では汎用の三次元計測データ処理ソフト (*RapidForm*) を用いて計測データから FE メッシュの作成を行う。点群データ欠損部分の補完やノイズ除去、または点群からポリゴン (三角形要素) を生成し、ポリゴン処理や効率化等、データの相互変換が可能であるといった点を活用し FE メッシュの構築を行う。

3.1 片足鳥居

計測した 4 つの点群データを重ね合わせ、各データを合成することにより片足鳥居全体の表面三次元点群データを得る。三次元計測データ処理ソフトを用い、得られた点群データの近い 3 点を結び三角形 (ワイヤフレーム) を作成する。そしてこの三角形に面を貼り三次元表面形状データ (サーフェスモデル) を作成する。図 6 に点群データからサーフェスモデル作成までの手順を示す。

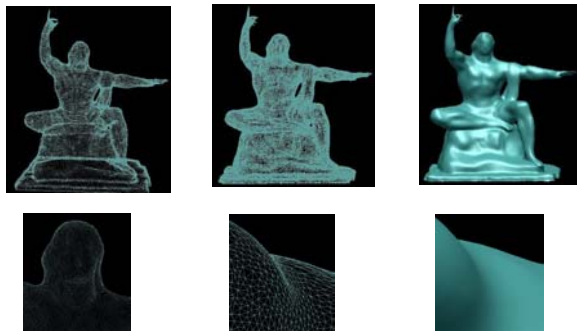


点群 ワイヤ サーフェス

図 6. サーフェスデータ作成手順

3.2 平和祈念像

3.1 と同様に、得られた 8 つの点群データを重ね合わせ合成し、平和祈念像全体の表面三次元データを得る。そして、三次元計測データ処理ソフトを用い、サーフェスデータを作成する。図 7 に点群データからサーフェスモデル作成までの手順を示す。

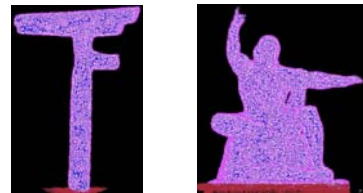


点群 ワイヤ サーフェス

図 7. サーフェスデータ作成手順

3.3 FE メッシュの作成

三次元形状計測の結果より作成したサーフェスデータを、三次元の座標データと法線ベクトルの情報を持つ STL ファイルに変換し、プリポストプロセッサに入力し FE メッシュを作成した。また、計測したデータは表面形状のみであるため、サーフェスデータを基にテトラ要素を構築することよりソリッドデータを作成した。作成した FE メッシュを図 8 に示す。

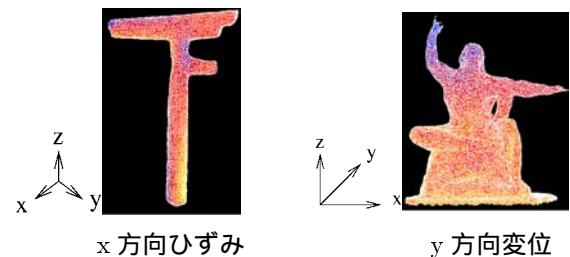


(a) 片足鳥居 (b) 平和祈念像

図 8. FE メッシュ分割図

4. FE 解析

3.3 により作成したソリッドデータの FE メッシュを用いて FE 解析を行った。境界条件は片足鳥居、平和祈念像ともに下端部を完全固定とし、片足鳥居には上部へ y 軸方向、平和祈念像は右腕側面に x 軸方向にそれぞれ等分布荷重を作用させた。FE 解析を行った結果を図 9 に示す。片足鳥居は x 方向のひずみ分布、平和祈念像は y 方向の変位分布である。



x 方向ひずみ

y 方向変位

図 9. FE 解析結果

5. まとめ

今回得られた結果を以下に示す。

- ・写真計測、三次元レーザスキャナともに精度良く構造物の概況をデジタル画像化することができた。
- ・三次元計測データ処理ソフトを用いることで、計測したデータを容易にサーフェスデータへ変換できた。
- ・ソリッドデータを STL ファイルに変換し、プリポストプロセッサに入力することで FE メッシュ分割として利用できることを確認できた。
- ・静的弾性 FE 解析のみであるが FE 解析を行うことができた。
- ・本研究では三次元形状計測から三次元デジタル化、三次元 FE 解析の一連の流れが容易に構築できることを確認できた。

今後は、補修補強を目的とし地震応答解析などの動的な解析を取り入れ、歴史的構造物の耐震評価などを行う予定である。