SfM を用いた土粒子観測のための 仮想画像生成手法の構築

1200127 平田千賀

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

土粒子観測のためのトレンチ調査において,トレンチ断面の土粒子の粒形をデータとして保存するためには, パノラマ画像の生成が求められる.本研究室では島内¹¹がSfM計測を用いて生成した点群モデルから,平面に投影 した画像を仮想的に生成する手法を構築した。しかしこの手法では,任意のカメラ位置・姿勢で仮想画像を生成 することが不可能である.そこで,本研究では仮想画像を生成する際,投影面の「カメラ位置・姿勢を任意で設定 できる」ように改良した.その結果,仮想上のカメラ位置をトレンチの断面へ平行に設定した仮想画像を生成でき た.また,原画像上へ格子点の投影を行い,土粒子の粒形の計測を可能にする画像の生成を行った.

Key Words: 粒形の計測, SfM, 仮想画像, 投影面の位置と姿勢

1. はじめに

土粒子観測のためのトレンチ調査において,土粒 子の粒形を計測し,断面の状態をデータとして保存 するためには,パノラマ画像の生成が求められる.し かし,現在のパノラマ画像の合成手法では,撮影時に カメラ位置を固定しなければならず,トレンチの断 面に対して平行なパノラマ画像の合成は不可能であ る.そこで,本研究では SfM による対象物の3次元形 状に基づいたモデルに対し,仮想的にカメラ位置を 移動させることでトレンチ断面に対し平行なパノラ マ画像の生成手法を構築する.SfM (Structure from Motion) (図-1)とは,撮影された複数枚の連続する 画像(以下,原画像)からカメラ撮影位置を推定し,三 次元形状を復元することができる技術である.

本研究室では,島内¹⁾がコンクリート構造物を対 象に,SfM 計測を用いて生成した点群モデルから,平 面に投影した画像を仮想的に生成する(以下,仮想画 像)手法を構築した.しかし,この手法では,仮想画像 を生成する際の投影面に実カメラ画像の撮影位置・ 姿勢を用いるため,任意のカメラ位置・姿勢で仮想 画像を生成することができない.そこで,本研究では, 仮想画像を生成する際,投影面のカメラ位置・姿勢を 任意で設定でき,仮想カメラ位置をトレンチの断面 へ平行に設定したパノラマ画像の生成を可能にする

手法を構築する. (図-2)



図-1 SfM のイメージ



図-2 仮想画像生成手法のイメージ

2. 对象地区·对象物

図-3, 図-4に対象地区の位置図を示す。対象地区 は高知海岸, 仁淀川河口左岸の文庫鼻付近の海浜部 である.本研究では, この海岸堤防からの距離約 30m の位置から約 15m×5m 掘削し, トレンチ調査を行っ た際の, トレンチの断面を研究手法の対象物として 仮想画像の生成を行った.



図-3 対象地区位置図



図-4 トレンチの詳細

3. SfMを用いた点群モデルの生成

本研究では、高知海岸のトレンチの断面を対象に SfM計測を用いて,点群モデルを生成した.点群モデ ルには,点群の座標と色情報(RGB)が格納されている. 連続画像の撮影は,対象物から約 50 cmの距離で動画 を撮影し,隣り合う画像のオーバーラップ率が 80% 以上になるよう,写真への切り出しを行った.その結 果,画像の総枚数は 663 枚となった.また,撮影機器 はアクションカメラを用いた.表-1 に撮影機器を,表 -2 に SfM ソフトウェア示す.また,図-5 に生成した 点群モデルのサンプルを示す.



図-5 生成した点群モデル

	表-1 撮影機器	
撮影機器	SONY FDR-X3000	
有効画素数	約 818 万画素	
焦点距離	2.6mm	
撮影形式	JPEG	

主_2	占理作式ソフ	1
⊼ ₹−Ζ	品秸ffFM ノノ	

本体	Agisoft Metashape Professional
Ver.	1. 5. 3. 8469

4. 原画像上への格子点の投影

土粒子の粒形を計測するには,基準となるスケー ルが必要である.そこで,本研究では SfM により生成 した3次元点群モデル上のトレンチ断面に設置した 等間隔の格子点を,原画像上へ投影することによっ て土粒子観測を可能にする.

まず,3 次元点群モデル上のトレンチ断面上に 2 つのベクトル**v**₁(*v*_{x1},*v*_{y1},*v*_{z1})*v*₂(*v*_{x2},*v*_{y2},*v*_{z2})を設定 し,式(a)を用いて等間隔の格子点を生成した.(図-6)そして,生成した点群を,式(b)を用いて点群モデ ルの座標を地上座標から原画像の画像座標へ変換し た.その後,式(c)の共線条件式により原画像への投 影を行うことで原画像上に点群が投影される.投影 された点群を原画像と重ね合わせることで,格子点 が原画像のどの部分に投影されているかを知ること が可能になる.また,原画像に投影される範囲のみで あれば土粒子の粒形を計測することが可能となる (図-7)しかし,実カメラ画像はトレンチ断面に対し て平行ではないため,歪みが生じる.



図-6 点群モデル上に設置した等間隔の点群



図-7 原画像上へ投影された格子点 $\begin{cases}
x = x_0 + v_x t \\
y = y_0 + v_y t \\
z = z_0 + v_z t
\end{cases}$ (a)

$$\begin{pmatrix} u_p \\ v_p \\ w_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ z_p - z_0 \end{pmatrix} (b)$$

$$\begin{cases} u = -\frac{fl}{w_p} u_p \\ v = -\frac{fl}{w_p} v_p \end{cases}$$

(c)

 x_0, y_0, z_0 : カメラ位置座標 x_p, y_p, z_p : 点群座標

u_p, *v_p*, *w_p*: 画像座標 *a*₁₁~*a*₃₃: カメラ回転行列 *u*, *v*: 投影面の画像座標 *f* l: 焦点距離

5. 仮想画像の生成

仮想画像の利点は、仮想投影面の位置と姿勢を任 意で設定することである。よって、仮想画像を生成す ることで、4の手法よりさらに広範囲で土粒子の粒形 計測を行うことができる.なお、本研究では仮想画像 の生成手法は島内¹⁾の手法を使用する.

5-13次元点群からの仮想画像生成

3次元点群からの仮想画像生成手法は,まず仮想画 像投影面の,投影中心と画像座標の延長線を伸ばし, 延長線から半径5ピクセル以内に存在する点群モデ ルの中で最も近い点を取得する.取得した点の座標 を,式(b)を用いて点群モデルの座標を地上座標から 画像座標へ変換し,式(c)の共線条件式で変換した点 群座標と焦点距離の比で画像への投影を行う(図-8). しかし,点群モデルは図-9のように拡大すると粗く なるという欠点がある.



図-83次元点群からの仮想画像イメージ



図-93次元点群からの仮想画像

5-2 原画像の参照による仮想画像生成

5-1 で生成される仮想画像より,更に高分解能な仮 想画像を生成するために,原画像から色情報の参照 を行う.まず,5-1 と同様の手法で取得した延長線か ら最も近い点群モデル上の点を求める.そして,仮想 画像の投影中心から延びる延長線上の,点群モデル 上の点と直交する位置を求め,対象物位置とする. (図-10)その後,対象物位置が対応する原画像の画像 座標を算出し,色情報(RGB)を取得することで仮想画 像を生成した.(図-11)



図-10 原画像からの仮想画像



図-11 原画像からの仮想画像

6. 任意地点での仮想画像生成と原画像選定の 自動化

島内¹⁾の手法では,仮想画像を生成する際の投影 面に実カメラ画像の撮影位置・姿勢の値を用いる.し かし,実カメラ画像はトレンチ断面に対して平行で はないため,任意で撮影位置・姿勢を設定し,トレン チ断面に対して平行な仮想画像を生成した.

6.1 任意地点での仮想画像生成

トレンチ断面に対して平行な仮想画像を生成するためにまず,点群編集ソフトの Cloud Compare 上でトレンチの断面上に 図-12 のように任意で 3 点 $P_0 \sim P_2$ を取得する. そして,仮想カメラ位置を平行に移

動させる際の始点に設定する原画像を任意で選択し $Q(x_0, y_0, z_0)$ とした. 仮想カメラ姿勢については, 取 得した $P_0 \sim P_2$ の座標から arctan により回転角を求 め, 式(e)の回転行列を用いて計算を行った. 仮想カ メラ位置については, 原画像のカメラ位置

Q(**x**₀, **y**₀, **z**₀)を任意で1点取得し,取得した点**Q**を始 点とする**v**₁に平行な直線**v**(**v**_x, **v**_y, **v**_z)を設定する.そ して,式(f)を用いて直線**v**上に,仮想カメラ位置を等 間隔に移動させた.(**図**-12)この時,複数個所から生 成した仮想画像を合成するために,媒介変数を用い てカメラ位置を調節した.作成された仮想画像を**図** -13, **図**-14 に示す.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & \sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} (e)$$

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t \\ y = y_0 + v_y t \\ z = z_0 + v_z t \end{cases}$$



図-12 任意地点での仮想画像生成のイメージ



図-13 生成された,点群からのパノラマ仮想画像



図-14 生成された,原画像からのパノラマ仮想画像

原画像からの仮想画像は,画像によっては断層が 真横になっておらず、SfM によって得られる原画像 の姿勢のパラメーターが絶対座標に固定されていな いことが考えられる.

7. 考察

本研究では, SfM から作成した点群モデルを用いて, 土粒子の粒形を計測可能な画像を生成し, 土粒子観 測のための仮想画像生成を行った

等間隔の格子点を原画像上に投影し,土粒子の大きさが計測可能となり,仮想カメラをトレンチ断面に平行に設置することで土粒子観測のための3次元点群による仮想画像を生成できた.

原画像からの仮想画像は、投影面が断面に平行になっておらず、仮想カメラ姿勢に課題が残る.また,影や光の影響によって土粒子の色が変わってしまうため,色補正やカゲ補正を行っていくことが今後の課題である.

参考文献

- 島内尚之:SfMを用いた仮想画像生成による 構造物の変位量抽出(2018 年度学士論文)
- 2) 高木方隆:国土を測る技術の基礎