

1. はじめに

デジタルカメラ画像による3次元形状復元は、簡便に構造物の3次元形状を記録できるため、土構造物の維持管理の効率向上に寄与できる可能性がある。さらに、デジタルカメラ画像による3次元形状復元のシステムの一部に、画像処理アルゴリズムであるSIFT(Scale Invariant Feature Transformation)¹⁾を用いると、画像解析の一部を自動化するため、作業時間を短縮できると考えられる。しかし、SIFTを用いた画像解析は、土構造物での利用を想定していないため、土構造物への適用性や形状復元精度は検証されていない。そこで、土構造物の維持管理に向けて、SIFTを用いた画像解析の各種土木材料への適用性実験を行った。同時に、SIFTを用いた画像解析が十分に機能するような撮影方法の検討も行った。

2. デジタルカメラ画像による3次元形状復元の原理

デジタルカメラ画像による3次元形状復元の流れは、3段階に分けられる。図-1にデジタルカメラ画像による3次元形状復元の流れを示す。まずは画像内の特徴点の検出である(図-1(a))。図-2に特徴点の例を示す。特徴点とは画像中のエッジやコーナーに与えられるものである。エッジやコーナーの3次元位置が得られることにより、形状の認識ができる。ここで、特徴点は手動で与えると、復元は容易に進行する。しかし、手動で特徴点を与える作業は大変である。そのため本実験では、自動で特徴点を検出する方法としてSIFTを用いる。SIFTはピクセルの輝度を用いて、特徴点の検出を行っている。次は、特徴点の対応付けである(図-1(b))。図-3に特徴点の対応付けの例を示す。対応付けとは、検出した特徴点がある他の画像ではどこにあるかを探すことである。それぞれの特徴点にはSIFT特徴量(特徴点の周辺ピクセルの情報)が与えられており、対応付けにはこのSIFT特徴量の類似性を用いる。そして最後は、対応付けられた特徴点の座標値を用いた、3次元形状復元である(図-1(c))。三角測量の原理を用いて、カメラから特徴点へ直線を引き、対応する特徴点を通る2本の直線の交点が復元した3次元点となる。なお、図-1に示すようなデジタルカメラ画像による3次元形状復元の各処理は、既存のフリーソフトで実施できる。

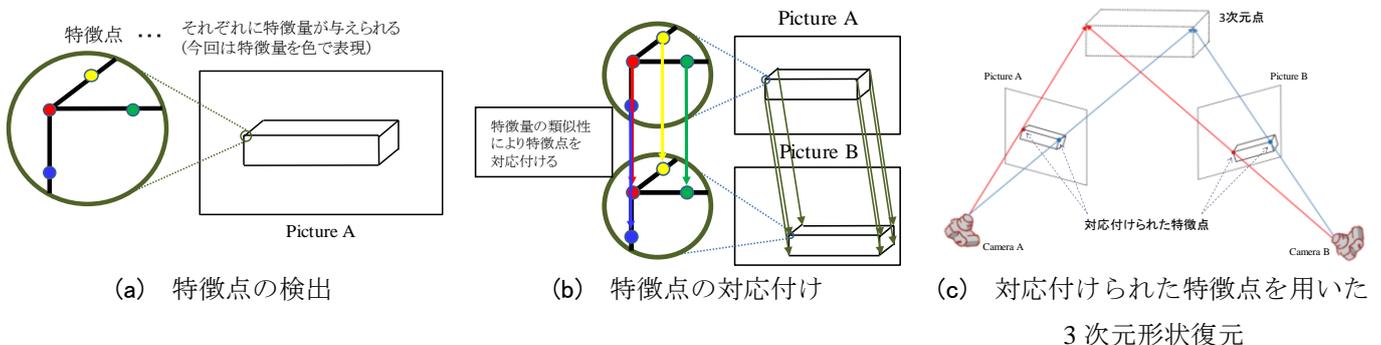


図-1 デジタルカメラ画像による3次元形状復元の流れ



図-2 特徴点の例²⁾(円の中心は特徴点の位置、円の大きさは特徴量の大きさを示す。)

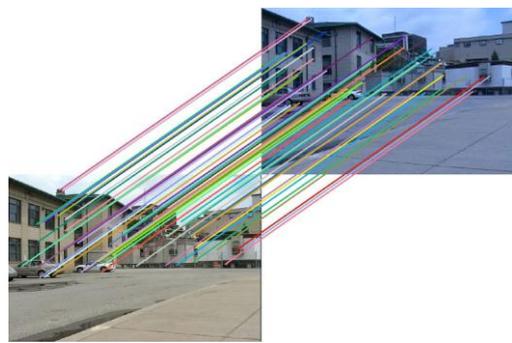


図-3 特徴点の対応付けの例²⁾

3. 各種土木材料における画像解析の適用性実験

各種土木材料の画像解析の適用性を評価するために、各種土木材料における 3 次元形状の再現性の相違に関する実験を行った。まず、写真-1 に示すような各種土木材料(計 14 種類)をデジタルカメラで撮影し、画像解析を行った。図-4 に画像解析により得られた 3 次元形状復元結果の一例を示す。なお、図-4 の形状復元結果は無次元の 3 次元点の集合であるが、座標変換によって各 3 次元点の座標値をメートル単位系で表すことができる。

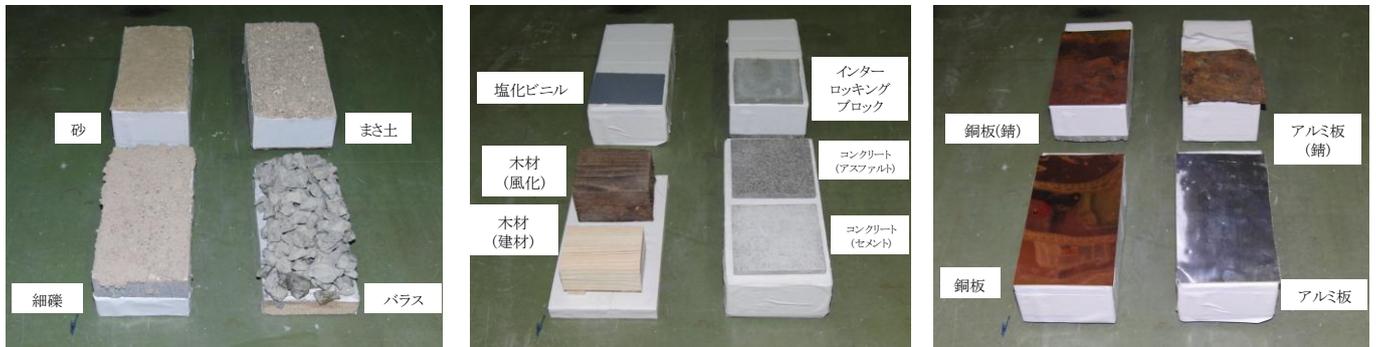


写真-1 実験で使用した材料

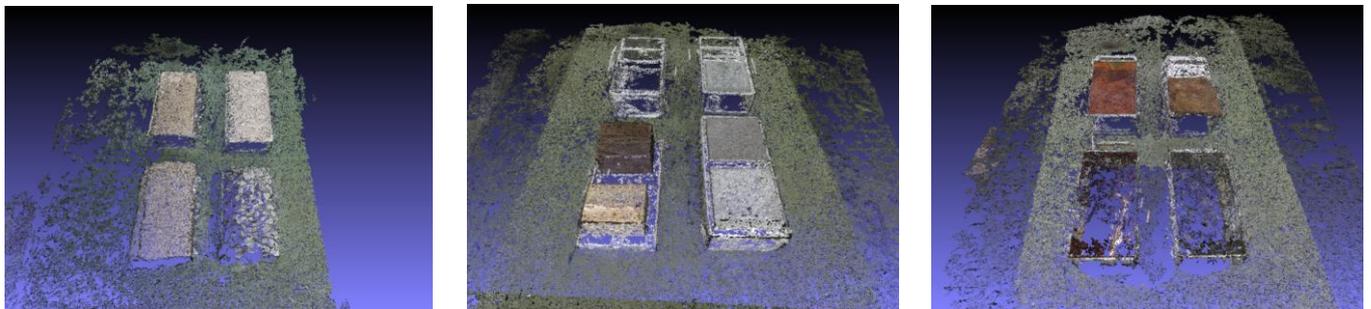


図-4 3次元形状復元結果

次に、図-4 に示すような 3 次元形状復元結果から各種土木材料の復元形状の高さを調べ、実測での高さと比較することにより復元精度を評価した。図-5 に各種土木材料の復元形状の高さ、図-6 に復元形状の高さの測定値(各土木材料につき 10 箇所測定)における標準偏差をそれぞれ示す。また、各種土木材料の復元形状における単位面積あたりの 3 次元点数(3 次元点密度)を比較することにより、復元形状の再現性も評価した。図-7 に各種土木材料の復元形状における 3 次元点密度を示す。

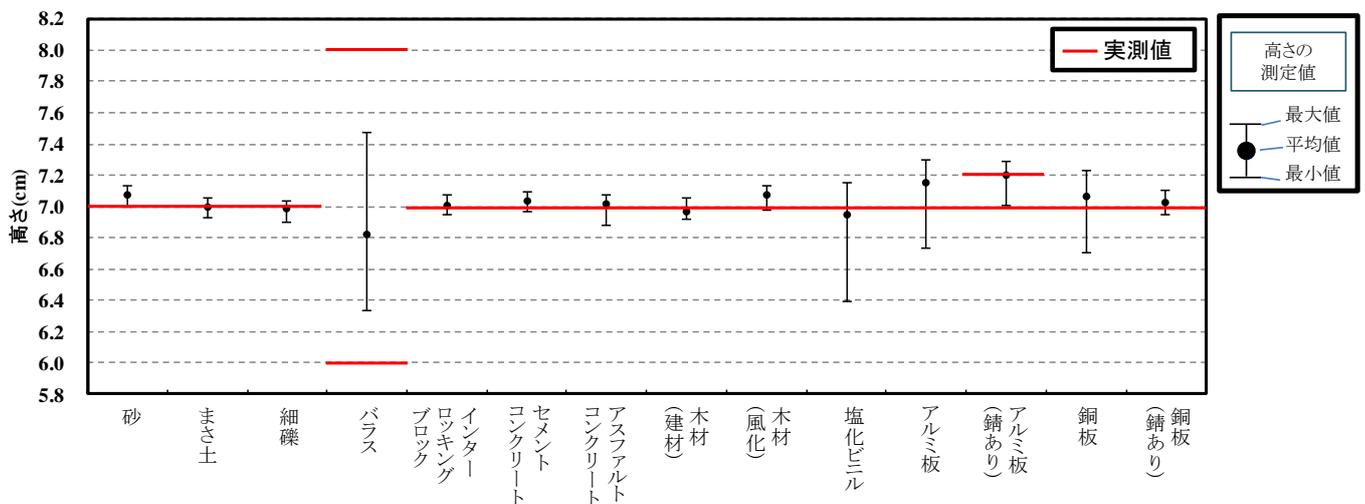


図-5 各種土木材料の復元形状の高さ

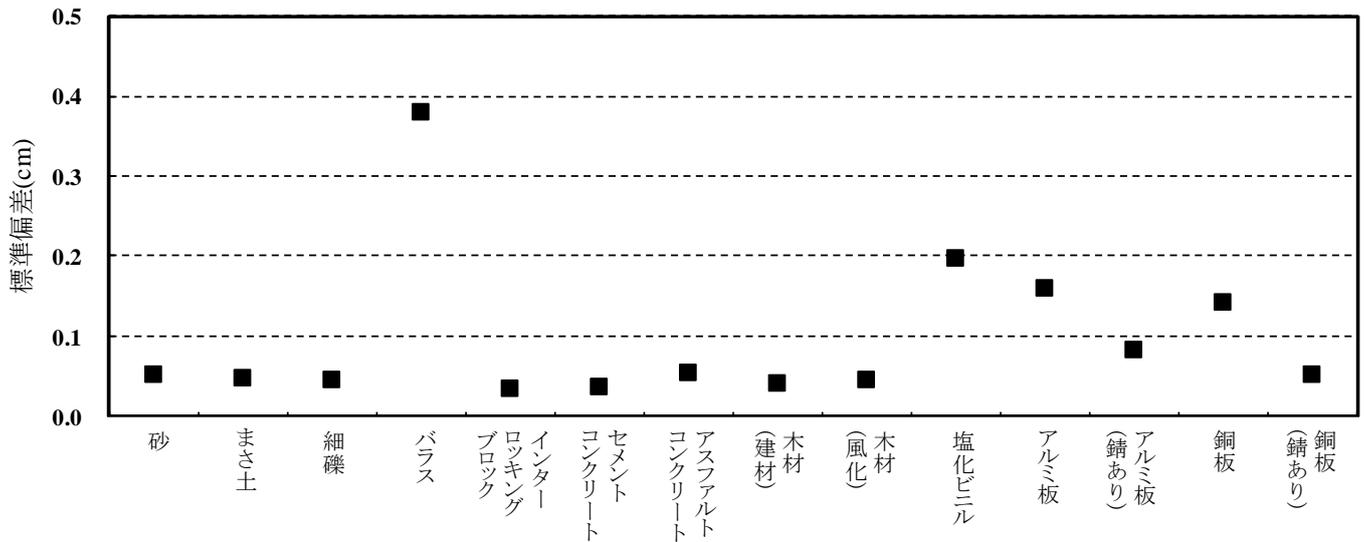


図-6 復元形状の高さの測定値における標準偏差

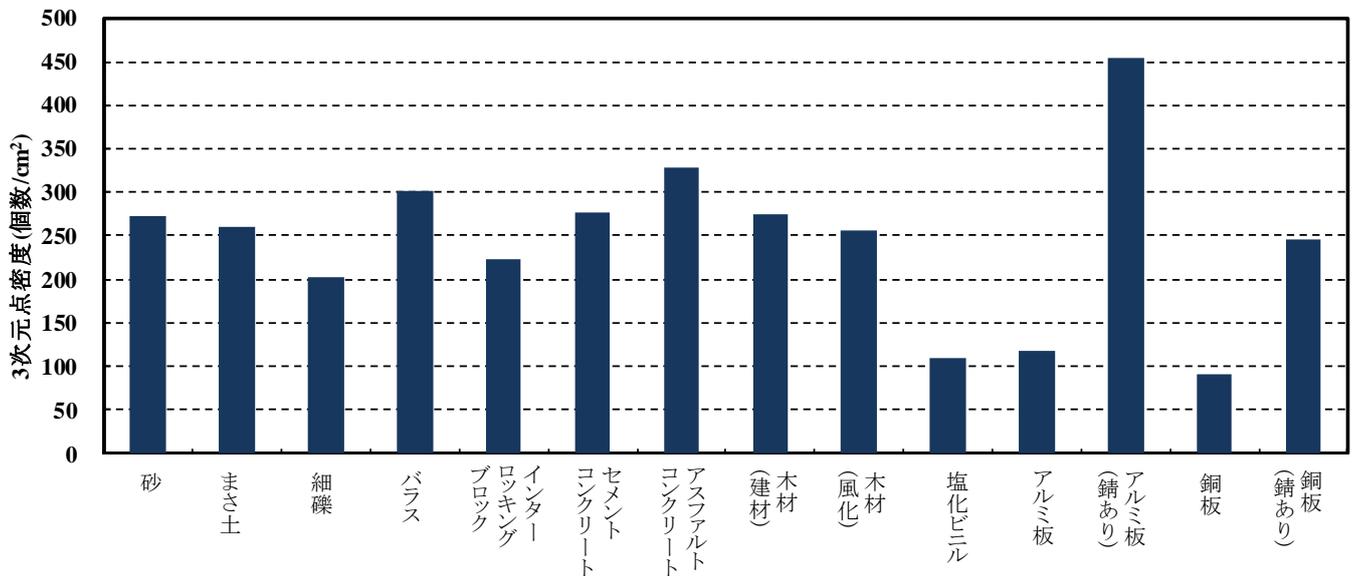


図-7 各種土木材料の復元形状における3次元点密度

図-5に示すように、多くの土木材料では、高さの実測値との差が $\pm 0.2\text{cm}$ であり、復元形状が高精度で評価できている。また、同じ模様連続であることから、特徴点の対応付けの誤りが起きやすいと考えられていたバラスのような材料も、復元形状が比較的高精度で評価できている。しかし、塩化ビニルやアルミ板、銅板のように材料表面に光沢やツヤがある材料は、図-6に示すように、他の材料と比べて標準偏差の値が大きだけでなく、図-7に示すように、3次元点密度も小さい値となっている。この理由として、材料表面の光沢によって画像中の特徴点の検出や対応付けに失敗し、形状復元がうまく行われなかったことが考えられる。そのため、材料表面に光沢やツヤがある土木材料には、画像解析を適用しづらい可能性が高いものの、土構造物に用いられる材料には、画像解析が比較的適用しやすいと考えられる。

4. 画像解析にとって最適な撮影角度の検討

画像解析が十分に機能するような撮影方法に関する検討の一つとして、撮影角度に関する実験を行った。まず、被写体にインターロッキングブロック(ブロック)を用いて、カメラの撮影角度を10度から170度まで、10度ごとに1枚ずつ撮影を行い、解析に用いる入力画像とした。写真-2に各撮影角度で撮影したブロックの画像を示す。写真-2に示すような撮影角度の異なる画像を基に、3枚の画像の組み合わせ(計120通り)で画像解析を行い、撮影角度による3次元形状復元結果への影響を評価した。図-8に解析に用いる画像の撮影角度の定義(入力画像3枚)、図-9に復元の可否の分布図をそれぞれ示す。図-9に示すように、画像解析に用いる画像の撮影角度の組み合わせは対象物の3次元形状復元の可否に影響を与えることが分かる。

ここで、図-9中の3次元形状復元できた画像の組み合わせによって得られた復元形状は、再現性と復元精度の評価を行った。図-10に撮影角度による復元の可否および撮影可能範囲を示す。図-10に示す再現率とは、3次元形状復元できた画像の組み合わせにおける復元形状での3次元点の分布を表したもので、再現率100%の場合、対象物の形状が欠損なく再現され、かつ復元精度も高いことを意味している。つまり、この再現率100%における撮影角度の組み合わせ(図-10中の斜線部)が画像解析を十分に機能させることを示している。

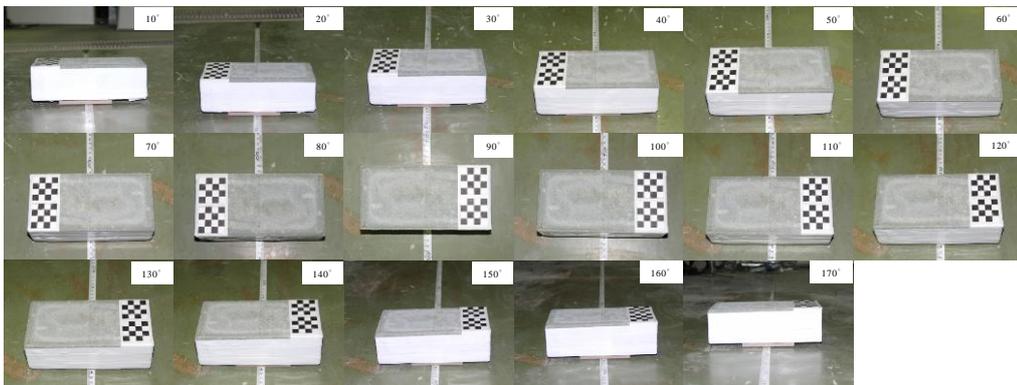


写真-2 各撮影角度で撮影したブロックの画像

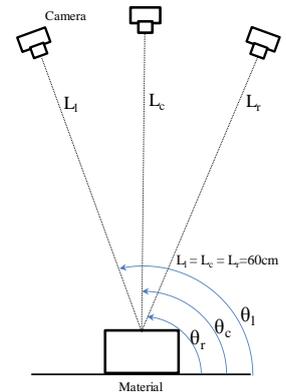


図-8 解析に用いる画像の撮影角度の定義

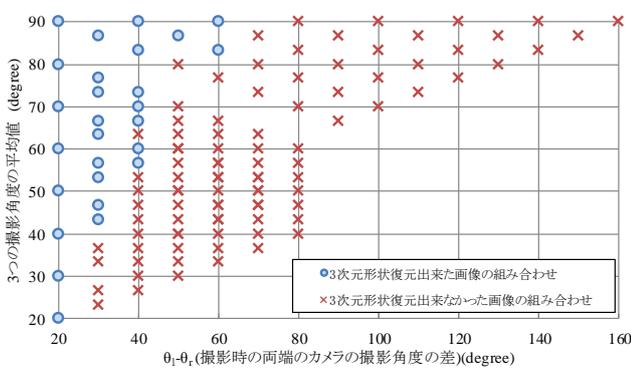


図-9 復元の可否分布図

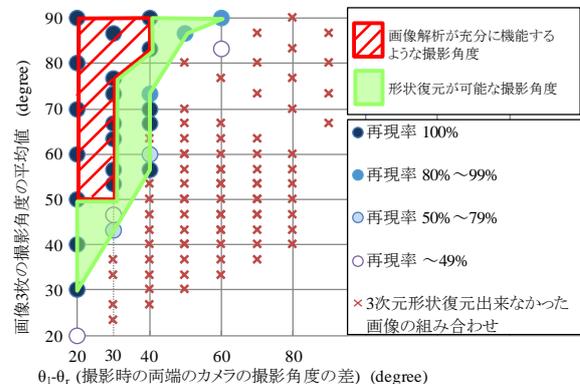


図-10 撮影角度による復元可否および撮影可能範囲

5. まとめ

- 1) 砂や石のように、土構造物において一般的に使用されている多くの材料は、SIFTを用いた画像解析が適用しやすいことが分かった。
- 2) 撮影角度の変化を30度以内に抑え、かつ撮影距離の平均値を50度以上、150度以内にして対象物を撮影することが、土構造物の維持管理において、SIFTを用いた画像解析が十分に機能するような撮影方法となり得る。

参考文献

- 1) David Lowe : Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- 2) 藤吉弘亘: Gradient ベースの特徴抽出 - SIFT と HOG -, 情報処理学会研究報告 CVIM 160, pp.211-224, 2007.