

UAV 画像情報に基づく構造物の傾斜評価

福井大学 学生会員 ○思川 奈津実
福井大学 正会員 鈴木 啓悟

1. 研究の背景と目的

地震や河川増水時の洗堀などによる土木構造物の傾斜、変状の発生はこれまで多数報告されている。このような災害は広範囲に影響を及ぼすことが多く、対象構造物へのアクセス方法が制限されやすい状況でありながらも、災害対応車両や緊急車両の通行の可不可など、構造物の迅速な使用性判断が求められる。以上を鑑み、省力的かつ高速な構造物の状態診断が必要である。そこで本研究では無人航空機(UAV)を用いて橋脚の傾斜を定量的に把握する手法について検討する。

2. 画像からの傾斜評価手法

本研究では、ハフ変換処理と機械学習、深層学習の3手法から柱状構造物の傾斜判定を試みる。

ハフ変換とは、画像変換手法の一種で、画像の中から直線や円の要素を持つオブジェクトを検出する方法である。画像からエッジを検出し、点群データにしたものをハフ変換処理することで、局所的に点の数が最大となる直線を抽出することができる。本研究では、ハフ変換処理により検出された直線の角度を用いて構造物の傾斜を把握する。

機械学習と深層学習は回帰問題として角度評価を行う。機械学習の分類器には Random Forest と Support Vector Machine を用いる。深層学習はCNN(畳み込みニューラルネットワーク)を用い、ILSVRC という画像認識コンペティションで優秀な成績を残した学習モデルである VGG16, GoogLeNet, ResNet に加え、VGG16 を用いた転移学習で実装し比較を行う。

3. 基礎実験

ハフ変換処理の適用性を確認するため、屋内での基礎実験を行った。基礎実験では図1の木壁試験体に水平力の繰り返し载荷を行い、载荷力が1サイクルで最大に達するごとに UAV(DJI Mavic 2 Pro)で撮影した。なお、評価は試験体の木柱のうち1辺について行った。正解値とする傾きは鉛直方向を 0° とし、高さレーザー墨出し器で投影した鉛直線から木柱上下端部の距離を金尺とノギスを用いて計測し、角度を算出した。

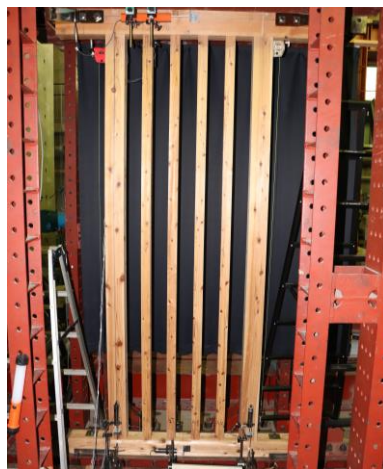


図1 木壁試験体

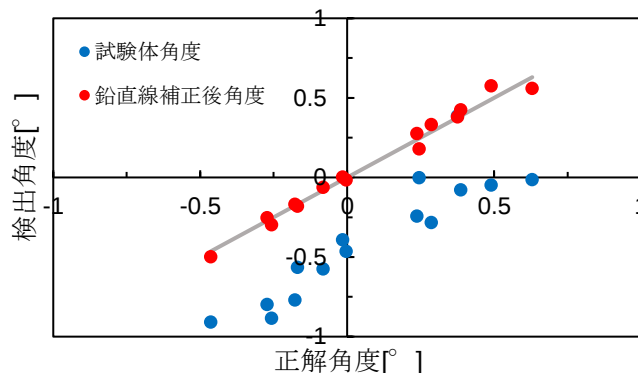


図2 基礎実験ハフ変換処理結果

3.1 ハフ変換処理結果と考察

基礎実験で得た計 89 枚、各ピーク 3～8 枚の画像を用いてハフ変換処理を行った。角度分解能は約 0.001° に設定した。結果を図2に示す。結果に用いている値は各ピークにおける試験体の検出角度の平均値である。鉛直線補正後角度は、レーザー墨出し器で投影した鉛直線の角度を試験体角度から差し引き、補正したものである。平均絶対誤差は試験体角度で 0.458° 、鉛直線補正後角度で 0.034° となり、最大誤差は試験体角度で 0.642° 、鉛直線補正後角度で 0.086° となった。鉛直線補正後角度は最大誤差でも 0.1° 以内に収まっていることからハフ変換処理が角度の定量的な把握に適していると考えられる。しかし、補正前の試験体の角度は補正後角度に比べて誤差が大きく、UAV のジンバルの揺れの影響を受けている可能性がある。実験は屋内で行ったため、UAV 飛行時にプロペラの風が周囲の物や壁に反射し、その影響を受けやすかったと考えられる。また、

キーワード UAV 橋脚 傾き ハフ変換 機械学習 深層学習

連絡先 福井大学 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL:0776-27-8596

試験体角度の誤差は負の方向に一定の傾向性がみられた。

4. 実橋脚を用いた傾斜評価

北陸地方にある鉄筋コンクリート橋を対象に実測評価を行った。対象橋梁は高さ約 2000 mm，直径約 400～500 mmの円柱橋脚を橋軸直角方向に計 10 本有しており，河川増水被害により橋脚の傾斜変状が確認されている。

計測，撮影は橋脚の 1 辺を上下 2 分割に分けて行い，最終的に計 26 辺，52 か所のデータを取得した。計測，UAV の撮影手法は基礎実験と概ね同様であり，三脚に設置したスチルカメラでの撮影も行った。

4.1 ハフ変換処理の結果と考察

各撮影位置で 5 枚ずつハフ変換処理を行い，平均値算出した。UAV 画像については正解角度，試験体角度ともに上下に分けた角度を高さ比率に応じて平均化し，橋脚全体の角度とした。また，同様にスチルカメラの画像からも角度検出を行った。ハフ変換処理の結果を図 3 に示す。平均絶対誤差は UAV 画像が 0.233°，スチルカメラ画像が 0.218°，最大誤差は UAV 画像が 0.613°，スチルカメラ画像が 0.649° となった。基礎実験では鉛直線補正により大幅な精度向上がみられたのに対し，実橋脚では精度に大きな差がみられないうえ，基礎実験のような誤差の傾向性もみられなかった。原因として屋外はスペースが広く，一定方向の自然風の影響はあるものの，反射風などによる多方向の風の影響は受けにくかったと考えられる。しかし，水平を保ったスチルカメラの検出角度でも基礎実験に比べ精度が劣る結果となった。原因として，木材よりもコンクリート表面のほうが凹凸が大きいこと，太陽光による画像の白飛びなどで背景との輝度の差が小さい画像があること，橋脚が曲線的に歪んでいる場所があることなどが考えられる。

4.2 機械学習，深層学習結果と考察

機械学習と深層学習に用いる画像は撮影位置ごとに振り分け，学習データに 273 枚，検証データに 35 枚，テストデータに 40 枚の画像を用いた。学習データは画面角中の橋脚の位置を水平に移動することで 13 倍の 3549 に拡張した。また，各モデルの実装は表 1 のパラメータに応じて行った。

図 4 に実装した機械学習と深層学習の中で最も平均絶対誤差が小さいモデルの結果をそれぞれ示す。平均絶対誤差は Support Vector Machine で 0.902°，VGG16(RGB,Adam)で 0.621°となり，最大誤差は Support

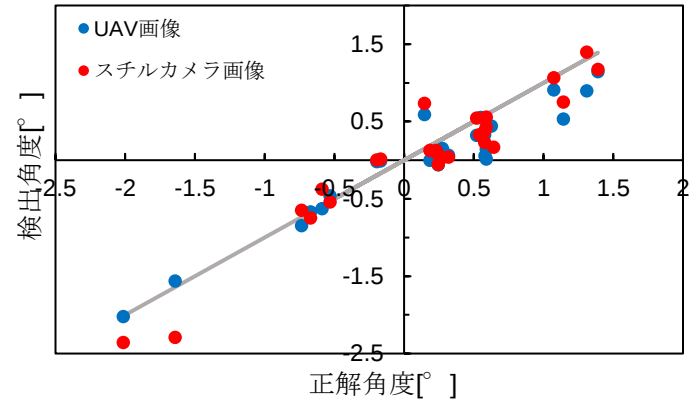


図 3 橋脚ハフ変換処理結果

表 1 ハイパーパラメータ設定

	機械学習	深層学習(CNN)
入力画像	グレースケール	グレースケール RGB
入力サイズ	512×512×1	128×128×1 128×128×3
エポック数	-	100
バッチサイズ	-	16
最適化 アルゴリズム	-	Adam SGD
学習率	-	0.0001

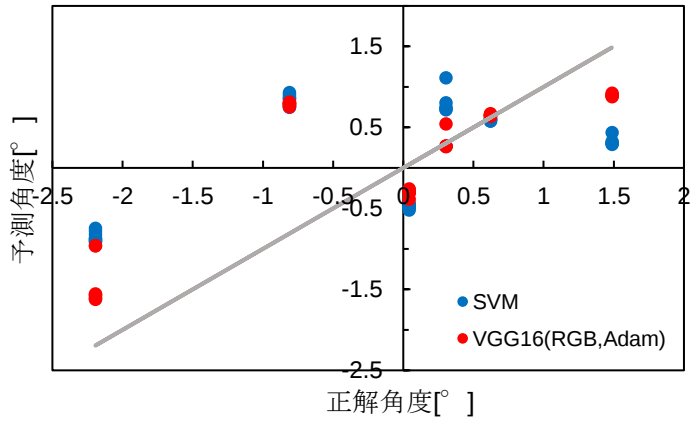


図 4 機械学習，深層学習結果

Vector Machine で 1.741°，VGG16(RGB,Adam)で 1.624° となった。図 4 からは機械学習よりも深層学習のほうが正解角度に近いことが分かるが，図 3 のハフ変換処理結果と比較すると正解角度との相関関係が弱いことが分かる。

5. 結論と今後の展望

円柱を対象としたドローン画像による傾斜評価について，機械学習，深層学習と比較するとハフ変換の誤差が小さく，有効な評価手法である可能性がある。本研究の対象橋脚では，ハフ変換を用いた評価により平均絶対誤差 0.233°，最大誤差 0.613°となり，傾斜の傾向性を把握することが出来た。今後は画像の増強を行い機械学習，深層学習による精度向上方策についても検討していく。