

UAV を用いた非砕波領域の波浪形状復元

東北学院大学工学部環境建設工学科 学生会員 ○鈴木悠矩

東北学院大学工学部環境建設工学科 正 会 員 三戸部佑太

1. はじめに

UAV は非常に安価で高頻度に高解像度の動画が撮影可能であり、上空から撮影する事で波浪の伝播を容易に観察可能なため、波浪特性を取得するために有効である。そのため UAV を用いた海浜地形変化の観測や波浪モニタリング手法について検討が進められている。一方で、波高は海岸における構造物の設計や海浜変形の予測に不可欠な情報であるが、波高まで含めた波浪情報を UAV により計測する研究例は限られている。木下・三戸部¹⁾では、UAV2 台で撮影した動画像をもとにステレオ解析を実施することで砕波帯における波浪形状を計測する手法について検討が行われた。砕波帯においては砕波により生じた気泡や複雑な水面変形により画像内における色の分布が決定される。一方で、砕波前の領域においては水面付近に気泡等が存在せず、その画像内における色の決定要因が異なる。本研究では、非砕波領域を対象として波浪形状を復元する方法を検討した。

2. 撮影方法

本研究で撮影に使用した UAV は DJI 社の Phantom 4Pro である。撮影場所は宮城県仙台市にある向洋海浜公園付近の海岸線付近である。2 台の UAV を海岸線に対して平行な位置関係になるように飛ばした。撮影は高度 40m, 80m, 140m で行い、2 台の UAV の間隔はそれぞれ 20m, 40m とした。撮影条件は、フレームレート 48fps, 解像度 3840×2160 に設定した。

3. ステレオ解析による波浪形状解析

本研究ではまず木下・三戸部¹⁾と同様に 2 台の UAV の動画像のペアから各フレームを静止画として抽出し、ステレオ画像解析による 3 次元形状解析を試み

た。特徴点マッチングに基づきカメラの相対的な位置関係の推定を行い、その後に領域ベースマッチングにより密な 3 次元点群を取得する²⁾。木下・三戸部¹⁾においては UAV から真下にカメラを向けて撮影を行っていたが、本研究では非砕波領域を含めるために俯角を変更して撮影を行った。これに伴い、対象領域から遠い水平線近くの領域は解析に含まないように除外した。

砕波帯においては木下・三戸部¹⁾と同様に概ね安定して 3 次元形状取得が可能であり、砕波波浪の伝播の様子が確認できる(図-1)。一方、砕波前の領域は波浪の伝播の様子は確認できなかった。

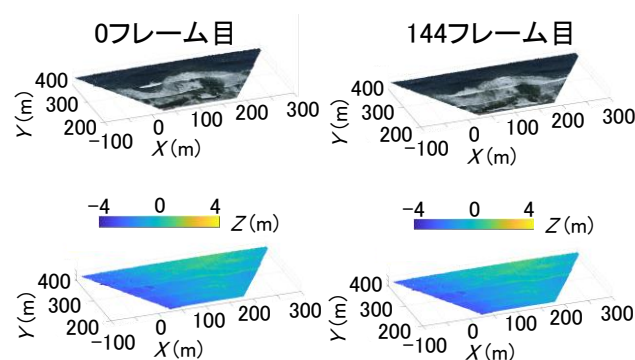


図-1 解析結果

4. 反射係数に基づく波浪形状復元

非砕波領域においては空の拡散光の水面における反射光が撮影されるが、その水面における反射係数が水面の方向に依存するため波浪による水面方向の変化に応じて画像の明るさが変化する。波による水面の法線方向の変化によりカメラに向かう光の水面における入射角(=反射角)が変化し、これにより水面における反射係数が変化する。フレネルの法則から反射係数と水面への入射角の関係は以下の式で表さ

UAV, 画像計測, フレネルの法則, 波浪モニタリング

連絡先 〒985-8537 多賀城市中央 1 丁目 13-1 東北学院大学工学部環境建設工学科 TEL022-368-7193

れる³⁾。

$$R(\gamma) = R_0 + (1 - R_0) \exp\left(\lambda \left[\gamma - \frac{\pi}{2}\right]\right) \quad (1)$$

γ は水面に対する光の入射角であり、 R_0 と λ はそれぞれ、0.02と6.2である。この水面における反射係数に比例して撮影輝度が変化するため、波浪の形状によって画像上の明るさの分布が決まる。本研究では、逆に画像上の明るさの分布から波の形状の復元を試みた。各画素の明るさ I_{ij} からその水面における反射係数 R_{ij} を $R_{ij} = I_{ij} \times C_{ij}$ と推定する。ここで C_{ij} は画素ごとに与える定数であり、時間平均画像と水面が水平である場合の反射係数の関係から決定した。推定した反射係数に基づいて式(1)から入射角 γ が推定できる。UAVの飛行位置に対して真っ直ぐ入射する波を考えた場合、入射角 γ 、カメラに向かう光と水平線との角度 θ および水平線と水面の間の角度 φ の3つの角度の関係は図-2のようになる。

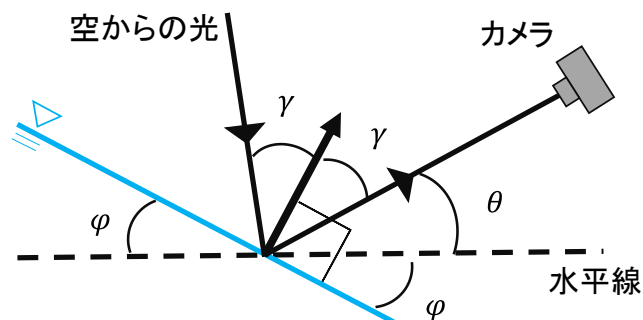


図-2 カメラに真っ直ぐ入射する波のイメージ図

従って水面の角度 φ は $\varphi = 90^\circ - \gamma - \theta$ により計算できる。角度 φ を繋げていく事で鉛直平面内における2次元の波浪形状を復元した。ただし沖側から入射するうねりについては屈折により概ね海岸線に垂直に入射するが、海岸線付近の風により異なる方向に進行する微小な波が存在するため、予め撮影画像に 1×100 の平均化フィルターをかける事で、その影響を除去し、解析を行った。

図-3と図-4は波浪形状復元を行った位置と波浪形状復元の結果である。青線が100フレーム目、赤線が2秒後の196フレーム目を表している。波浪のような水面変形やこれが岸側に向けて進行する様子が確認できる。複数の異なる撮影条件・日付について解析を行い、概ね安定してこのような波浪の伝播が確認できる結果が得られた。

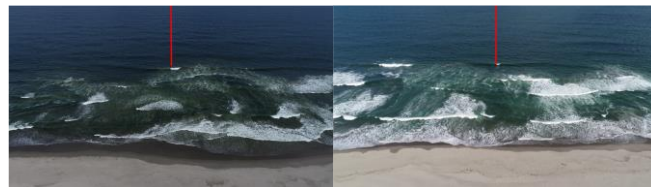


図-3 復元した波の位置 左9月10日 右9月21日

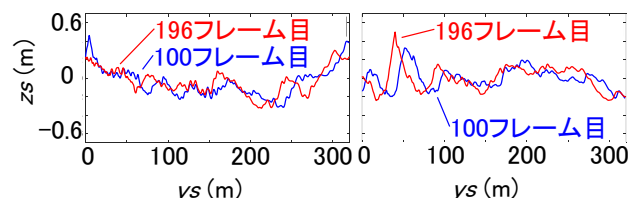


図-4 波の形の復元図 左9月10日 右9月21日

5. まとめ

本研究では波高を含めた波浪情報計測のため、ステレオ解析による波浪形状解析と反射係数に基づく波浪形状を復元する方法を検討した。

砕波帯においては木下・三戸部¹⁾と同様に概ね安定して3次元形状取得が可能であり、砕波波浪の伝播の様子が確認できる。一方で、砕波前の領域においては波浪の伝播の様子は確認できなかった。

反射係数に基づく波浪形状復元はUAVの飛行位置に対して真っ直ぐ入射する波は復元することができ、波浪のような水面変形やこれが岸側に向けて進行する様子が確認出来た。非砕波領域の3次元形状を復元するためには、更なる改良が必要であるが、反射係数と水面方向の関係から波浪形状を復元できる可能性を示す事ができた。

参考文献

- 1) 木下 黎泉, 三戸部 佑太: 2台のUAVによる3次元波浪形状計測への撮影高度および角度の影響, 令和2年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, II-93, 2021.
- 2) 三戸部 佑太, 新道 健人, 鈴木 彰容, 田中 仁: 二台のUAVによるステレオ画像を用いた波浪観測手法の基礎的検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_1273-I_1278, 2019.
- 3) 鈴木 彰容, 三戸部 佑太, 田中 仁: UAVを用いた構造物周辺における波浪モニタリング手法の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_1279-I_1284, 2019.