

構造物周辺における UAV を用いた波浪モニタリング手法の検討

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○鈴木 彰容
 東北学院大学工学部環境建設工学科 正会員 三戸部 佑太
 東北大学大学院工学研究科 フェロー会員 田中 仁

1. はじめに

近年 UAV を用いた波浪モニタリング手法の開発や適用が進んでいる。しかしいずれの手法も、周辺に構造物が無い海岸を対象としており、構造物によって発生する反射波が入射波と干渉する波浪場を対象とした手法は無い。また、UAV はその高い機動性故に、様々な位置から波を撮影することが可能であるが、波浪場に対する UAV の位置と波の写り方に関する定量的な評価は不十分である。そこで本研究では、UAV の撮影状態と波の写り方の関係性を明らかにするとともに、構造物によって反射波が発生している波浪場の解析手法について検討することを目的とした。

2. 対象地域

本研究では仙台北海岸の最北端部に位置する仙台塩釜港仙台北港の南防波堤周辺を対象とした。同領域は 1971 年 7 月に開港した掘り込み港湾である。既往研究として、例えば森下ら (1995) は防波堤からの反射波が基底部の侵食を引き起こしたと報告している。

3. 使用器具及び研究手法

本研究で用いた UAV は DJI 社の PHANTOM4Pro で、連続飛行可能時間は約 30 分、カメラの解像度は、動画撮影時で 4096×2160 に設定できる。撮影は図 1 に示した位置から、機首を防波堤の先端部へ向けて 10 分間行った。別途 RTK-GNSS 測量を行い十数点の地上基準点座標を取得した。取得された動画は、地上基準点を用いることで撮影時刻の潮位面に投影した。

4. 結果

(1) UAV の位置と波の写り方の関係

本研究では Holman et al.(2017) を参考に、数値実験を行うことで、UAV の位置と波の写り方の関係性について整理した。カメラが受け取る光は、散乱光の水表面で

の反射のみと仮定することで、フレネルの法則から反射係数 R を計算できる。

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

ここで、 γ は水表面に対する散乱光の入射角であり、 R_0 と λ はそれぞれ、6.2 と 0.02 である。次にカメラの光線ベクトル r_c と水表面の法線ベクトル r_n は、水位分布を η とすると、それぞれ次式で表現できる。

$$r_n = \left[-\frac{\partial \eta}{\partial x} \quad -\frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \sqrt{1 - \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^2 - \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right)^2} \right] \quad (2)$$

$$r_c = [-\sin(\tau) \cos(\alpha) \quad -\sin(\tau) \sin(\alpha) \quad \cos(\tau)] \quad (3)$$

ここで τ はカメラのピッチ、 α はカメラのヨーイングと波が作る角度である。入射角 γ はこれらの内積となる。

$$\cos(\gamma) = r_n \cdot r_c \quad (4)$$

式(1)と(4)から、ある水位分布 η を与えることで、反射係数分布を作成することができる。図 2 に結果を示した。この時の UAV は高度 100m で領域の中心に位置している。波浪場は、周期 12 秒、波高 0.5m、波長 135m、水深 15m とし、図の上から下に波が伝播する。左上から η 、 α 、 τ 、 γ 、 R の振幅であり、 α と τ が大きくなるにつれて、 R と R の振幅ともに大きくなり、これは波が視認しやすくなることを示している。図 3 は UAV によ



図 1 対象領域と UAV の撮影位置

キーワード UAV ビデオモニタリング 波浪特性

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市荒巻字青葉 6-6-06, TEL_022-795-7453, E-mail_akihiro.suzuki.q8@dc.tohoku.ac.jp

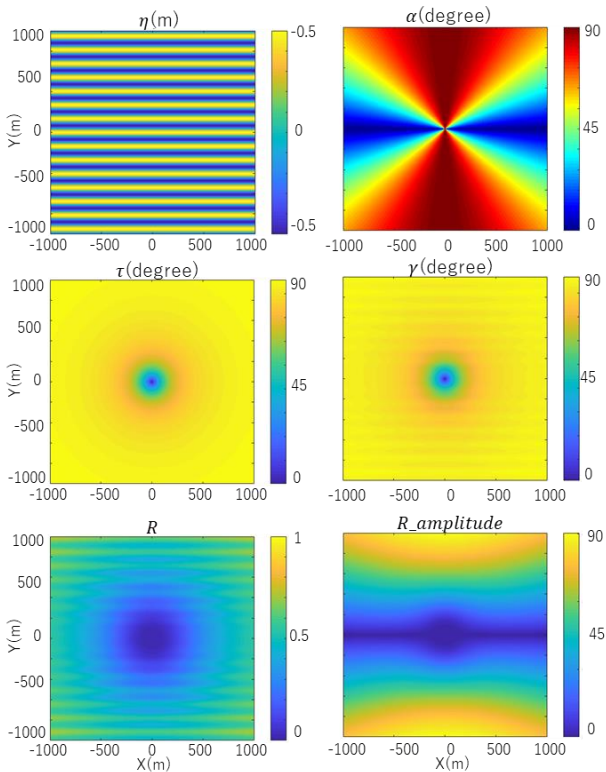


図2 数値実験結果（反射係数分布）



図3 UAVによって撮影された画像の例

て取得された画像であるが、(a)の方が(b)より波峰線を視認しやすく、また(b)は画像上部より下部の方が暗い。これは図2で示した結果と整合しており、カメラの撮影位置で波の写り方が決まることが分かった。

(2)波浪場解析手法の検討

構造物周辺では、同一周期の波が二方向から伝播しており、既往手法はこのような波浪場を対象としていない。そこで本研究では、このような領域におけるフー

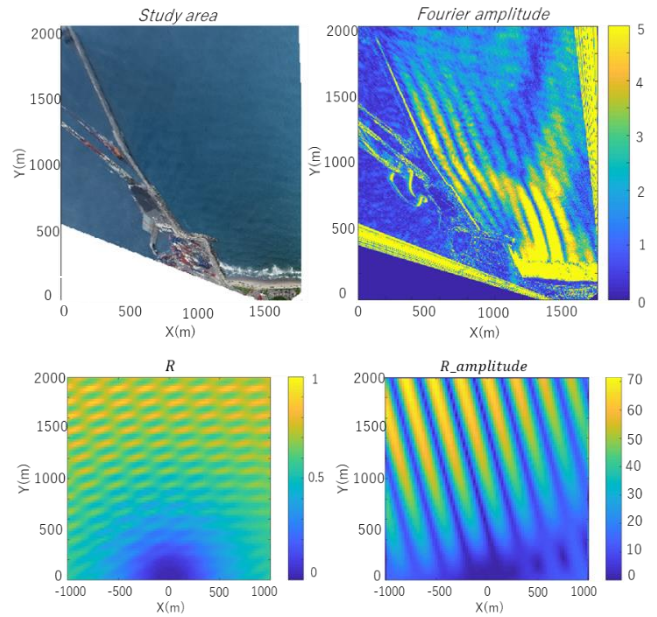


図4 上：対象領域のフーリエ変換の振幅図
下：数値実験のフーリエ変換の振幅図

リエ変換の出現の仕方について考察した。図4上段は対象領域のフーリエ変換（周期 10.25 秒）の振幅図である。これを見ると、沿岸方向に縦溝のようなものが見える。下段は図2と同じ条件の波を干渉させた時のフーリエ変換の振幅図である。これも同じような溝線が見られ、この角度は合成波の進行方向となることが分かった。従って、この縦線の角度を抽出することで、局所的な合成波の波向きを抽出することが可能となることが分かった。

5. 結論

本研究では、構造物周辺において UAV を用いた波浪モニタリング及びフレネルの法則に基づいた数値実験を行った。その結果、UAV の位置と波の写り方を整理することができ、またフーリエ変換の振幅図から合成波の波向きが抽出可能であることを示した。

6. 参考文献

- 1) 森下保壽, 高橋次郎, 川又良一, 酒井隆行, 片野明良: 構造物の反射波による海浜変形の制御効果, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.531-535, 1995
- 2) Rob A. Holman, Katherine L. Brodie, and Nicholas J. Spore, Jr : Surf Zone Characterization Using a Small Quadcopter: Technical Issues and Procedures, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol.55, No.4, April 2017