

サロマ湖における簡易的な波浪対策と画像を用いた風速推定手法の検討

Study on simple wave countermeasures and wind speed estimation method using images in Saroma Lake

北見工業大学 ○学生員 畠山凌 (Ryo Hatakeyama)
 北見工業大学 正 員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 福田水文センター 非会員 芳賀聖一 (Seiiti Haga)
 福田水文センター 正 員 甲斐達也 (Tatuya Kai)

1. はじめに

4月から11月の期間においてサロマ湖内では、物揚場の機能を持つ中番屋が利用されている。図-1に中番屋の状況を示す。中番屋はF型の施設であり、波浪が低減される図-1の内側に船を停留するのが望ましいが、近年の船の増加に伴い、図-1の外側に停留する船が増加している。このため、内側に比べて静穏ではない外側に停留する船において、特に西風に起因する波浪により船が動揺し岸壁に衝突して損傷するという課題がある。波浪を抑えて船の損傷を抑えることが可能な安価な対策が望まれている。

中番屋において船の損傷対策については、船と施設の間に緩衝材を設置する対策がなされている。一方で、西風に起因する波浪を抑える対策については対策がなされていない。一般的な対策として、浮防波堤¹⁾や消波フェンス²⁾による対策がある。浮防波堤とは構造物を海面に浮かべることにより沖からの波を抑えて海を静穏にするものである¹⁾。波のエネルギーを吸収して波を小さくする工夫がされており、多くは水産物の養殖場を内湾から沖合に移動させるときに使われる。消波フェンスとは大きくうねる長波を抑えることはできないが、白波の立つ短波を抑えることができる。海水浴場や競艇場の消波に用いられている²⁾。施工コストを抑えた対策としては、ダブルバリア円筒式浮き消波堤³⁾がある。鋼管を用いて消波性を高める工夫をしたもので、実際に和歌山県の公共事業で採用されている。

本研究では、波浪を抑える対策として、従来の対策よりもより安価な対策を採用し、本対策による波浪低減効果の検証を試みた。本研究の対策は、図-2に示す湧別漁業協同組合の所持物である直径1.2mの浮き(ブイ)を14個連結させて中番屋から30m離れたところに設置するものである。設置位置は、図-1の赤い部分となる。本論文では、本対策をブイ連結工と呼称する。本研究の目的は、現地観測により中番屋周辺の風向を把握し、ブイ連結工の効果の検証を行うことである。さらに、画像解析から風速を推定する手法の開発を試みた。

2. 現地観測

観測期間は、2019年10月7日から2019年11月21日である。現地観測に使用した機器は、風向風速計、波高計、カメラ、ビデオである。風向風速計、カメラ、ビデオの設置場所は、図-1の黄色丸印である。波高計の設置



図-1 サロマ湖内の中番屋の状況
(平面画像, 出典: Google Map)

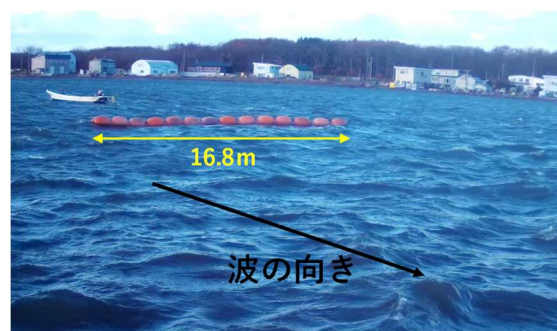


図-2 ブイ連結工の設置状況

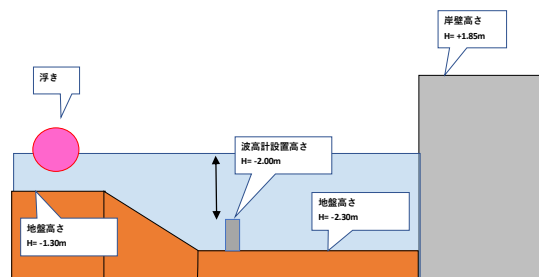


図-3 浮き(ブイ)と波高計の設置概要

場所は、中番屋から20m離れた水深2.0mである。波高計とブイの設置概要を図-3に示す。

風向風速計は Vantage VUE(ヴァンテージ ヴュー, 株式会社エーオーアル社製)を用いた。観測期間は10月23日11時30分から11月21日10時30分として、計測間隔は30分毎とした。

波高計は、水圧式メモリー波高計 INFINITY-WH (JFE

アレック株式会社製)を用いた。観測期間は、10月7日9時00分から11月8日8時00分とした。計測間隔は10分間として、計測後は20分間休止して、その後10分間計測した。なお、観測期間中の1/3最大有義波高の最大値は0.29284m、最小値は0.00106m、1/3最大周期の最大値は4.493sec、最小値は0.8530secであった。

カメラ、ビデオは、HYKE カメラ SP2 (株式会社ハイク社製)を用いた。この機器は1200万画素の静止画及びフルHD動画の撮影が可能である。観測期間は10月8日10時20分から11月21日10時40分とした。撮影間隔は10分毎に10秒の動画を撮影して、10分毎に画像を撮影した。

3. 観測結果

3-1. 中番屋周辺の風向

図-4に中番屋周辺の風向の頻度を示す。図-4より、西北西の風が337回と一番多く、次に西の風が200回と多い。西北西と西風の合計値537回は、観測期間の10月23日11時30分から11月21日10時30分の間に観測された全風向1391回のうち38.6%となる。中番屋の外側に停留している船へ損傷を与える波浪を発生させると推察される風向(北北西、北西、西北西、西、西南西)の回数を合計すると797回となり、全風向中の57.3%を占める。北北西、北西、西北西、西、西南西の風が、いつ発生しているかを明らかにするために、0時～5時、6時～11時、12時～17時、18時～23時に区分して整理した図を図-5に示す。頻度の多い時間帯は、12時～17時が223回、18時～23時が205回である。0時～11時と12時～23時で分けると、0時～11時は369回で46.3%、12～23時は428回で53.7%であり、午後の方が多い結果であった。

3-2. ブイ連結工の波浪低減効果の検証

ブイ連結工による波浪の低減効果を検証するために、ブイ連結工を通過する前の水面と通過後の水面を対象として、画像解析により水面の乱れを数値化して検証を行った。具体的には、観測期間中に撮影した動画において、北北西、北西、西北西、西、西南西の風が吹いている条件において、動画の目測観測により波浪低減効果が有るものと無いものを合わせた20回分を抽出した。抽出したこれらの動画を対象にして解析を行った。

なお、本対策のブイ連結工とは、直径1.2mの浮き(ブイ)を水平方向の直線上に14個連結させた長さ16.8mのものであり、中番屋の岸壁から30m離れた場所に浮かべて設置したものである。ブイ連結工と湖底の鉛直方向の距離は約1mである。

(1) 目測観測と風速、有義波高の関係

動画の目測観測により水面の静穏状況から効果有り無しを判断した。任意に風速5.1m/sと1/3最大有義波高0.023mを基準にして、ブイ連結工の効果を整理した。整理した図を図-6に示す。図より、風速5.1m/s以上で1/3最大有義波高0.023m以上の場合、ブイ連結工による

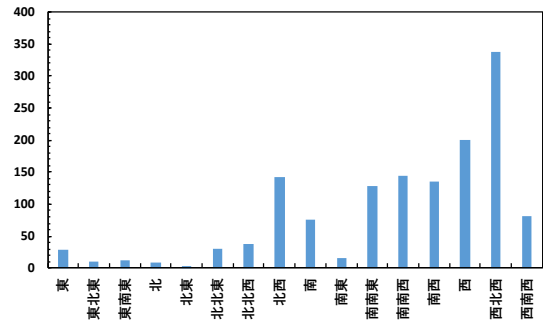


図-4 中番屋における風向の頻度

(2019年10月23日11時30分～2019年11月21日10時30分)

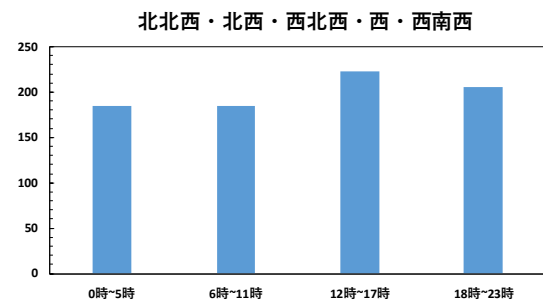


図-5 北北西、北西、西北西、西、西南西の風向が発生する時間帯

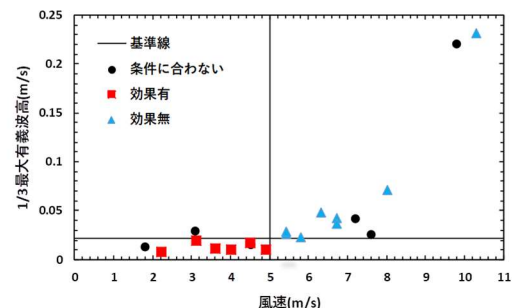


図-6 目測観測によるブイ連結工の効果有無と

効果は無い場合が多い。風速5m/s以下で1/3最大有義波高0.022m以下の場合、ブイ連結工の効果が有る場合が多い。一方で、この条件に当てはまらない観測データもあり、この要因の一つとして、太陽光の反射などによる目測観測の精度の低下が挙げられる。本検討から、ブイ連結工の効果が表れるのは、風速と有義波高が小さい条件であり、風速と有義波高が大きい条件では、その効果は小さくなることが推察された。

(2) ヒストグラムを用いた検討

ブイ連結工の画像奥の通過前と画像手前の通過後において、各区間を同面積でトリミングを行い、トリミングした画像をグレースケールに変換してヒストグラムを算出した。通過前と通過後の画像のヒストグラムの違いから、ブイ連結工の効果の検証を試みた。なお、画像解析には、Pythonのopencvを用いた。本検討は、動画の目視観測に拠らずに、画像データから数値的に静穏状況を

判断することが出来るかを試みたものである。

画像のヒストグラムの評価指標として歪度と尖度を用いた。歪度とは画像の分布が正規分布からどれだけ歪んでいるかを表す統計量で、左右対称性を示す⁴⁾。歪度の値が0よりも大きい場合は正規分布より左に偏った分布を示し、歪度の値が0よりも小さい場合は正規分布より右に偏る分布を示す。正規分布の場合には0になる。尖度は分布が正規分布からどれだけ尖っているかを表す統計量で、山の尖り度と裾の広がり度を示す。正規分布より尖った分布の時には正の値を示し、正規分布より平坦な分布の時には負の値を示す。正規分布の場合には0になる。グレースケールとは白黒の濃淡を表現した画像で、画素値を256階調(0~255=8bit)で表し、0に近づくとき黒、255に近づくとき白になる。

ヒストグラムの縦軸を画素数、横軸を256階調の濃淡で表すと、水面が静穏だと黒(ヒストグラムの0側)の個数が多くなり、水面が変動すると白(ヒストグラムの255側)の個数が多くなる結果であった。また、水面が静穏な場合は歪度と尖度は大きい値となり、水面が変動する場合は歪度と尖度は小さい値になる結果であった。

ブイ連結工の奥と手前の画像の歪度の数値を図-7に示す。グラフの比例線よりも傾きが大きくなると効果有り、傾きが小さいと効果無しという結果であった。言い換えると、奥の歪度よりも手前の歪度の値が大きくなると効果有りと言える。

本検討では、以下の式でブイ連結工の効果を評価した。

$$FS - BS = +S \quad (1)$$

$$FK - BK = +K \quad (2)$$

FS(front skewness)は画像手前のブイ通過後の歪度、BS(back skewness)は画像奥のブイ通過前の歪度であり、歪度の差+Sが正の場合はブイの効果有りと判断した。FK(front kurtosis)は画像手前のブイ通過後の尖度、BK(back kurtosis)は画像奥のブイ通過前の尖度であり、尖度の差+Kが正の場合はブイの効果有りと判断した。横軸に+S、縦軸に+Kとして図-8に示す。

画像のヒストグラムの歪度の差と尖度の差から水面の静穏を評価する手法を用いて、ブイ連結工の効果を検証した。その結果、効果有りは動画20本中8回であり、効果無しは動画20本中12回であった。目視観測によるブイ連結工の効果の有り無しの判断を基準にした、上記のヒストグラムによる効果有り無しの正答率は、効果有は8回中6回の75%であり、効果無しは12回中8回の66.7%であった。

(3) 水面流速を用いた検討

ブイ連結工の画像奥の通過前と画像手前の通過後において、画像解析から各区間の水面流速の違いを算出することにより、ブイ連結工の効果の検証を試みた。

解析方法は、動画を用いてSTIV解析⁵⁾により水面の流速を求めた。STIV解析とは撮影した動画から連続し

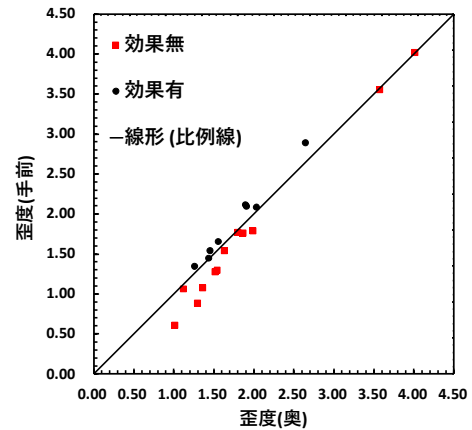


図-7 ブイ連結工の効果有無と歪度(奥, 手前)

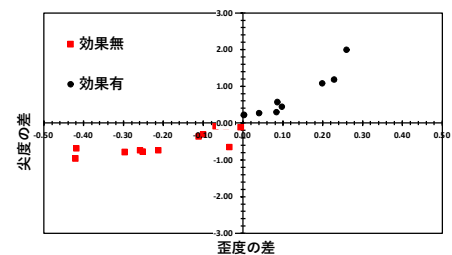


図-8 ブイ連結工の効果有無と尖度の差, 歪度の差

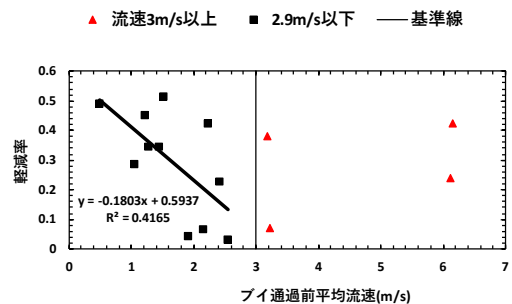


図-9 ブイ通過前平均流速と軽減率

た画像を取得し、画像上に設置した検査線上の輝度分布の時間発展を時空間画像(STI)で表し、時空間画像の勾配パターンから流速を算出する方法である。これは、画素サイズの大小関係なく計測できる⁵⁾。STIV解析が可能となる条件は、水面の流れに凹凸が発生していること、検査線の流れ方向に設置することである。水面の流れの凹凸については、本研究では波の波高となる。検査線の設置は風向及び動画から流れ方向を決め、ブイ前後に検査線を任意に配置した。検査線の間隔は3mに配置した。また、水面上検査線の長さは場所によりスケールが異なるため画像のスクリーン座標と水面に相当する物理座標を事前に求めた。ただ、STIV解析には時空間画像にノイズが含まれていた場合の処理パラメータの与え方に任意性があり、自動計測システムへの適用には若干の問題がある。そこで、自動解析できなかった検査線はFFT(二次元高速フーリエ変換)解析を併用して求めた。FFT解析は画像を解析して得られるスペクトル画像(波数空間の画像)から必要な部分だけ用いることで、周波数を取

捨選択して周波数空間にフィルタを施す解析方法である。⁹⁾ STIV 解析を用いてブイ連結工の通過前の検査線 5 本の平均流速と通過後の検査線 5 本の平均流速を算出し、ブイ連結工の効果を検証した。解析の結果、通過後に平均流速が遅くなった場合の効果有は、20 回中 15 回であった。

水面の静穏状況を画像濃度分布の標準偏差で表現して、平均流速の軽減率を[ブイ通過前の平均流速－ブイ通過後の平均流速]÷[ブイ通過前の平均流速]として、図-9 に示す。図-9 より、ブイ連結工通過前の平均流速が 2.9m/s 以下では、平均流速が高くなるにつれ軽減率が低くなる。平均流速 3m/s 以上では、ブイ手前平均流速と軽減率の関係性が明確ではない。

3-3. 画像を用いた風速推定手法の検討

画像から水面の静穏状況を数値化し風速との関係を調べた。水面の静穏状況を表現した数値と風速との関係が明らかにできれば、水面の動画のみで風速を推定できるため、波浪対策の評価やコスト面で有効である。

(1) 解析方法

10 秒間の動画を 300 枚の画像に分割し、画像 300 枚を二値化処理することで画像の白い部分と黒い部分の時系列の面積を求めた。二値化する際に波以外の外的要因を取り除くため、空、建物、ブイ連結工はトリミングし、図-10 のような画像を作成した。水面の静穏状況を表現する方法は、連続する 2 つの画像の白い部分の面積の差を変化量として算出して、時系列の白い面積の変化量を用いて標準偏差を算出した。算出した標準偏差と風速の関係を検討した。

二値化とはグレースケールで表された画像を黒(0)と白(1)のみに変換すること。元画像を二値化するためには閾値(Threshold)を設ける必要があり、閾値を 0 と 1 に各ピクセルが振り分けられたものを二値化画像という。今回の二値化処理には、大津の二値化を使用した。大津の二値化は画像のヒストグラムを基に自動的に閾値を決定してくれる手法⁷⁾である。画像の二値化、動画の分割には Python の opencv を使用した。

(2) 解析結果

解析結果を図-11 に示す。風速と標準偏差は弱い正の相関にあり、相関係数は 0.275 と低い。相関が低い要因として、天候により水面の明るさが異なることが挙げられる。

4. まとめ

本研究による観測期間中の中番屋周辺の風向は西寄りの風が多いことが分かった。

波浪対策としてのブイ連結工の効果を検証した。検証方法として、目測観測、画像のヒストグラム、画像の水面流速を用いた方法を試みた。これらの方法による検討を整理すると、有義波高が低く風速が遅く水面流速が遅い場合にブイ連結工の効果は有るが、有義波高が高く風速が速く水面流速が速い場合には効果が無いことが推定



図-10 水面のみをトリミングして二値化処理した画像

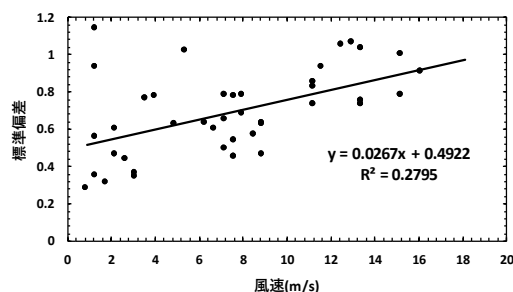


図-11 風速と標準偏差

された。一方で、各方法の課題も明らかとなった。

また、画像から風速を推定する手法を検討した。課題は残るものの画像データから風速を推定できる可能性が示された。

今後、ブイ連結工をより効果的にするためには、連結の長さを長くすることや、連結する列を増やすことが考えられる。

謝辞：本研究は、湧別漁業協同組合、西村組の旭幸司様、高橋伸次郎様より現地調査等のご協力を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 大隈正登, 江河直人, 中野敏彦, 加藤英夫: 浮防波堤の動揺特性と消波性能に関する現地実験, 海岸工学講演会論文集, 第 32 巻, pp. 520-524, 1985.
- 2) JOS 日本海洋整備: JOS 消波フェンス, URL: <http://www.kaiyouseibi.co.jp/syohinn/josyouha.html> (参照日 2019 年 11 月 22 日).
- 3) 建設技術・工法動画サイト: ダブルバリア円筒式浮消波堤, URL: <https://cpds.kentsu.co.jp/technology/detail?id=3> (参照日 2019 年 11 月 22 日).
- 4) 岸根卓郎: 理論・応用 統計学, 株式会社養賢会, 訂正第 2 版, pp. 68-74, 1968.
- 5) 藤田一郎: 河川流速・流量の画像計測における遠赤外線カメラの活用, ながれ 32, pp. 347-352, 2013.
- 6) 原浩紀, 藤田一郎: 時空間画像を用いた河川表面流解析における二次元高速フーリエ変換の適応, 土木学会, 水工論文集, 第 54 巻, pp. 1105-1110, 2010.
- 7) 田中成彦, 北澤豪人, 藤原孝幸, 舟橋琢磨, 奥水大和: 濃度共起ヒストグラムを用いた大津の判別分析法, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011), IS1-3:93-96, 2011.