

サロマ湖中番屋における簡易的な消波対策工効果の評価手法の検討

Examination of simple wave-absorbing countermeasure effect evaluation method in Nakabanya, Lake Saroma

北見工業大学	○学生員	松田まりの	(Marino Matsuda)
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	非会員	甲斐達也	(Tatuya Kai)
西村組	正員	旭 幸司	(Koji Asahi)

1. はじめに

サロマ湖内の中番屋では、アルファベットの F の形をした物揚場が利用されており、波浪による船の損傷を防ぐ構造となっている。図-1 に物揚場を示す。船は、波浪を抑える図-1 の内側に停留させることが望ましい。しかし近年は、船の増加に伴い、波浪を抑えられない図-1 の外側に船を停留している。このため、特に西風に起因する波浪により外側に停留している船が動揺し物揚場の岸壁に衝突してしまうという課題がある。船体の損傷対策については、船体と物揚場の岸壁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直接的に抑える対策については対策がなされていない。一般的な防波堤によって波浪を抑え船体の損傷を防ぐ対策が効果的だが、本現場では、より安価でかつ回収ができる対策が望まれている。

2019 年にブイを 16.8m 連結させた対策工を設置し消波効果の検討¹⁾が実施されている。画像解析により、有義波高が低く、風速が遅く、水面流速が遅い場合にのみ効果があることが推定された。さらに消波効果を高めるため、2020 年に対策工の長さ・重さを増やす対策工（ギ酸容器連結工）が検討²⁾された。本検討では、波高低減率で消波効果の評価を実施している。波高低減率の最大値は、西風の風速 4.5m/s の時で、約 83%である。4.5m/s 以上の風速となると波高低減率は低くなる。風向は、図-2 に示す西寄りの風が多く、これは外側に停留している船に損傷を与える波浪を発生させることが分かった。また、西寄りの風向は午前と午後では午前が多く、日中と夜間では日中が多いことが示された。サロマ湖中番屋周辺において、風速と波高には図-3 に示されるように、相関係数 0.612 程度の相関があることが分かった。風によって波が発生していることが示された。

本研究では、風速と波高の関係に関する既往の式の本現場への適用性を確認した。より効果のある対策工を検討するために、喫水深、波長に対する対策工の影響について定量的に評価する手法を試みた。具体的には、昨年度のデータから微小振幅波理論を用いて喫水深/波長の影響を評価した。

2. 2020 年度の現地観測結果

サロマ湖内中番屋で行われた 2020 年度の本実験²⁾では、ギ酸容器連結工の消波効果の検討をするために、2020 年 10 月 14 日(水)から 2020 年 11 月 30 日(月)まで現

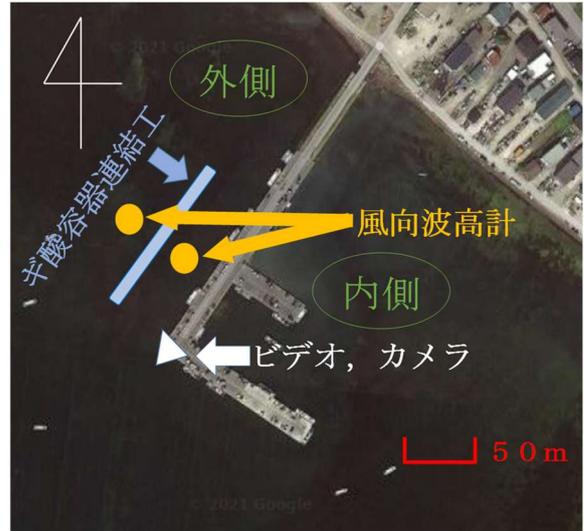


図-1 サロマ湖中番屋の物揚場 (平面画像, 出典: Google Map)

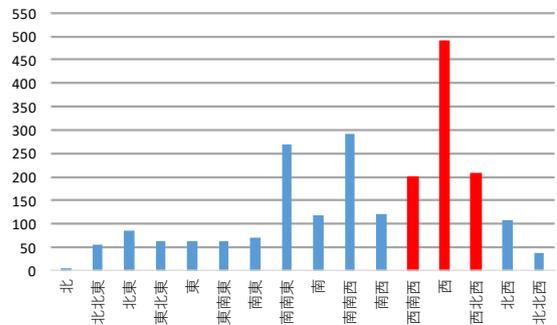


図-2 物揚場周辺の風向の頻度²⁾ (2020年10月14日14時30分～ 2020年11月30日13時)

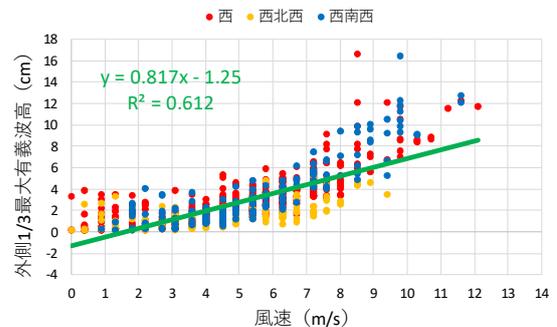


図-3 風速と外側 1/3 最大有義波高の関係²⁾ (2020年10月24日0時30分～)

地観測を実施した。図-4 に示すギ酸容器を 126 個連結させ、図-5 のように設置した。赤色の丸が波通過前、青色の丸が波通過後である。使用した観測機器は風向風速計 (Vantage VUE, 株式会社エーオーアール社製), 波高計 (水圧式メモリー波高計 JFE アドバンテック(株)製, AWH-USB), カメラ(HYKE カメラ SP2, 株式会社ハイク社製)である。風向風速計, ビデオ, カメラ, ギ酸容器連結工の設置位置は、図-1 に示す。風向風速計の観測期間は 2020 年 10 月 14 日(水)14 時 30 分から 2020 年 11 月 30 日(月)13 時 00 分として、測定間隔は 30 分毎とした。波高計は対策工の前後に 2 台設置した。波高計の設置概要を図-6 に示す。波高計の観測期間は、2020 年 10 月 21 日(水)9 時 00 分から 2020 年 11 月 28 日(土)10 時 30 分とした。

物揚場周辺の風向は、図-2 に示されるように、最も多い風向の西風が 490 回と全風向 2254 回のうち約 22% を占める。風向風速と波高の関係を明らかにするため、西、西北西、西南西の風向における観測データを用いて検討を行った。結果を図-3 に示す。風速の最大値約 12m/s で 1/3 最大有義波高は約 12cm である。1/3 最大有義波高の最大値約 17cm で風速が 8m/s を超える。サロマ湖内中番屋周辺において風向風速と波高には正の相関があり、風速が大きいと波高が高い波浪が発生することが示された。

風によって発生した波浪に対する消波効果を次式の波高低減率で評価した。

$$\text{波高低減率} = \frac{FW - BW}{FW} \times 100 \quad (1)$$

FW はギ酸容器通過前の 1/3 最大有義波高, BW はギ酸容器通過後の 1/3 最大有義波高である。昨年度の観測データより、波高低減率が最大値約 83 % となる場合、風向は西風、風速は 4.5m/s である。風速が増加するごとに波高が高くなり、波高低減率が増加し消波効果があると推定された。しかし、風速 10m/s 以上の風については、波高低減率が低下し、消波効果が小さくなる。なお、風向風速が同じで波高低減率が異なる場合や波高低減率がマイナスの値になる要因は、自然要因、周辺の船の航行の影響、物揚場からの反射波による影響と推定される。

3. 風速から波高の推定

2020 年度の本実験²⁾の観測データより、波高は風速に関係していることが分かった。ここでは、既往研究による風速と波高のウィルソンの式³⁾の適用性について検討を行った。

(1)ウィルソンの式を用いた F の算出

西、西北西、西南西の風向を対象に、風速と波高の関係を次式のウィルソンの式を用いて検討をした。

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2} = 0.30 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + 0.004 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^2 \right]^2} \right\} \quad (2)$$



図-4 ギ酸容器⁵⁾

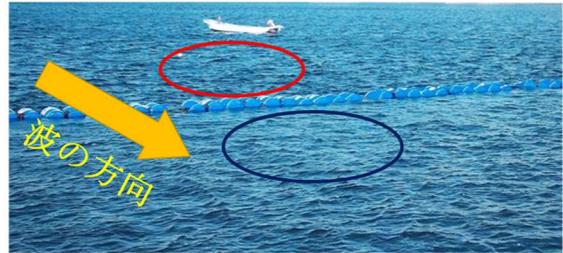


図-5 現地観測の状況
(2020 年 11 月 11 日 9 時 30 分)

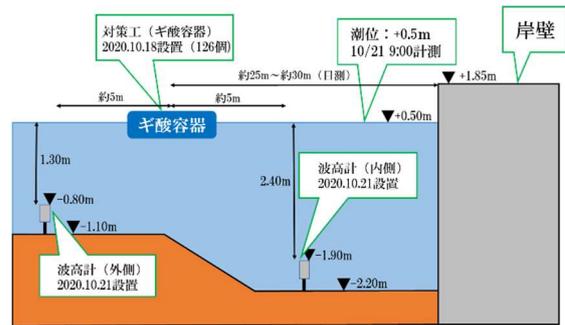


図-6 現地観測の断面図²⁾

g [m/s²]:重力加速度 9.8m/s², $H_{1/3}$ [m]:有義波高, U [m/s]:風速, F [m]:吹送距離である。吹送距離 F は、ウィルソンの式を展開した次式を用いて算出した。

$$F = \left[\frac{U \left(\sqrt{\frac{0.30U^2}{0.30U^2 - gH_{1/3}} - 1} \right)}{0.004} \right]^2 \times \frac{1}{g} \quad (3)$$

観測で得られた風速、波高から未知数 F (平均値)を対策工前後それぞれ算出した。検討の結果、ギ酸容器対策工前(外側) $F=156.512$ [m], 対策工後(内側) $F=102.674$ [m]であり、対策工後(内側)の方が吹送距離は短い。吹送距離が長いほど波高は高くなるため、対策工後(内側)は、対策工前(外側)よりも、同じ風速に対して波高が低くなり、対策の効果があることが吹送距離の減少から推定できる。

算出した吹送距離 F の妥当性を確認するために、ギ酸容器対策工前(外側) $F=156.512[m]$ と風速からウィルソンの式を用いて計算した波高と、観測した波高(外側)を図-7に示す。関係式の傾きが 0.8568 であり 1 に近い。相関係数は 0.6106 である。

(2)風速と計算有義波高の関係

$F=156.512[m]$ としたウィルソンの式を用いて、風速を 0.01m/s 毎に増加させた場合の有義波高を求めた。結果を図-8に示す。ウィルソンの式による波高と風速の関係は紫色、観測データに基づき求めた波高と風速の関係は緑色で示した。2つの近似式の傾きは、0.95 と 0.82 とともに近い値である。次に、波高の観測値と計算値の誤差を次式により求めた。

$$1/3 \text{ 最大有義波高の誤差} = |H_o - H_c| \quad (4)$$

$H_o[cm]$:観測 1/3 最大有義波高, $H_c[cm]$:計算 1/3 最大有義波高である。誤差の最大値は、西風の風速 8.5m/s 時の 8.8cm である。この時の観測波高は、最大値の約 17cm である。誤差の平均値は 2.0cm である。

観測から得られた近似式の傾きとの比較、誤差の比較から、サロマ湖内中番屋において、ウィルソンの式の適用性は高いと推定できる。

4. 微小振幅波理論を用いた対策工効果の評価手法

2020 年度の研究²⁾では、消波効果を波高低減率で評価していた。本検討では、一般的な評価指標の透過率と波高低減率との関係を明らかにして、喫水深、波長との関係について検討を行う。なお、本検討の対象とする風速データは、風による波浪を対象とするため、1.5m/s 以上のデータとした。

4-1. 透過率 C_t と波高低減率の関係

既往研究²⁾では対策工の効果を波高低減率で評価したが、ここでは一般的な透過率との関係を明らかにする。

まず観測した波高、周期から次式により波速、波長を求めた。

$$C = \sqrt{gh} = \frac{L}{T}, \quad L = T\sqrt{gh} \quad (5)$$

$C[m/s]$: 波速, $h[m]$: 水深, $L[m]$: 波長, $T[s]$: 周期である。

次に対策工前後の速度ポテンシャルを次式から求めた。

$$\varphi = \frac{gH_{1/3}}{2\sigma} \times \frac{\cosh k(h + \frac{H_{1/3}}{2})}{\cosh kh} \quad (6)$$

σ : 角周波数 ($\sigma = 2\pi/T$), k : 波数 ($k = 2\pi/L$) である。2020 年度と同様に、西、西北西、西南西の風向において

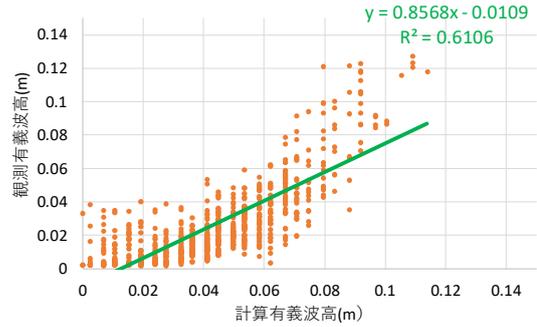


図-7 有義波高における計算値と観測値
(2020年10月24日0時30分～
2020年11月28日10時30分)

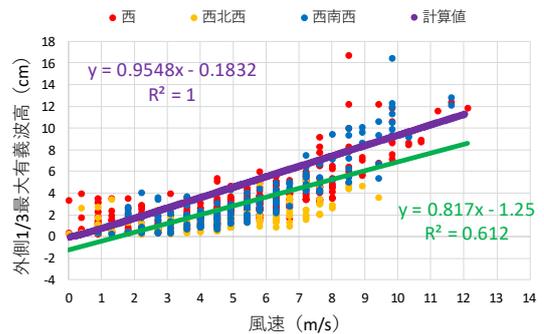


図-8 風速と計算有義波高の関係
(2020年10月24日0時30分～
2020年11月28日10時30分)

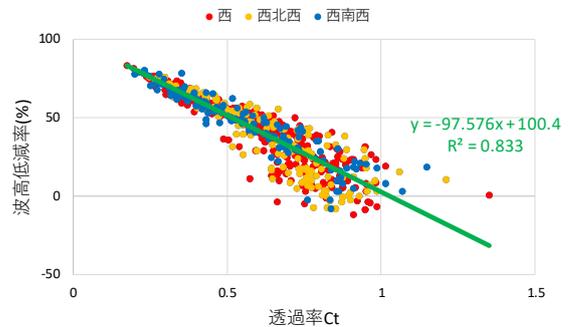


図-9 透過率と波高低減率
(2020年10月24日0時30分～
2020年11月28日10時30分)

て、風により発生する波浪に対する消波効果を検討した。消波効果は、次式の透過率で評価した。

$$C_t = \left| \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right| \quad (4)$$

C_t : 透過率, φ_1 : 対策工前の速度ポテンシャル, φ_2 : 対策工後の速度ポテンシャルである。横軸を透過率、縦軸を波高低減率として図-9に示す。透過率と波高低減率には負の相関があり、相関係数は 0.8561 である。透過率

が大きくなると波高低減率が低くなる。なお、透過率が1を超える値になる要因として、自然要因に加えて、対策工周辺の船の航行の影響、物揚場からの反射波による影響と推定される。

4-2. 透過率 C_t と喫水深/波長

既往研究^{4,5)}では、透過率と喫水深/波長の関係を明らかにしている。本検討において、透過率とギ酸容器連結工を通過する前の波長で喫水深を割った値($d/L1$)を用いて検討を行った。2020年度の本実験では、ギ酸容器内に約9割を目標にして水を入れた。ギ酸容器を横にした際の鉛直長さが58cmであるため、検討に用いる喫水深を $d=58\text{cm} \times 0.9=52.2\text{cm}$ とした。喫水深の影響を検討するため、縦軸を透過率、横軸を $d/L1$ として評価した。検討結果を図-10に示す。関係式の相関係数は、0.3337である。喫水深を大きくするほど、波長が小さくなるほど、透過率が低くなり消波効果が大きい。本検討より、透過率と喫水深/波長に関係があることが推察された。

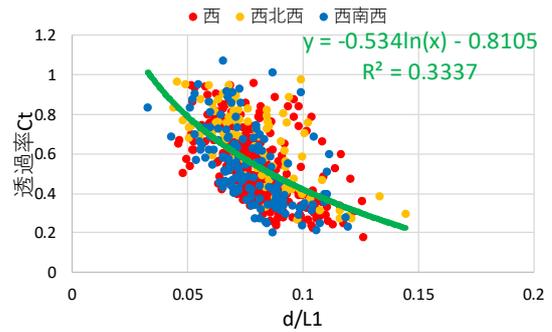


図-10 $d/L1$ と透過率
(2020年10月24日0時30分～
2020年11月28日10時30分)

5. まとめ

本研究で得られた知見は以下となる。

風速と波高の関係に関するウィルソンの式の本現場への適用性を確認した。観測から得られた近似式の傾きとの比較、誤差の比較から、本現場においてウィルソンの式の適用性は高いと推定できた。また、本現場における吹送距離を明らかにした。

透過率と既往研究²⁾で評価している波高低減率は、負の相関があることを確認した。

透過率と喫水深/波長との関係を検討した。消波効果を高めるためには、喫水深/波長の値を大きくする対策が推察された。

謝辞：本研究は、湧別漁業協同組合より対策工の設置撤去等のご協力を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 畠山凌, 吉川泰弘, 芳賀聖一, 甲斐達也: 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, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第76号, 2020.
- 2) 村田義貴, 吉川泰弘, 芳賀聖一, 甲斐達也, 旭幸司: サロマ湖中番屋におけるギ酸容器対策工による消波効果に関する検討, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第77号, 2021.
- 3) Wilson, B.W.: Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959, Deut.Hydrogr. Zeit, Jahrgang 18, Heft 3, pp.114-130, 1965.
- 4) 中村孝幸, 井手善彦: 波の逸散現象を考慮した隅角物体まわりの波変形と作用波力の算定法, 海洋開発論文集, 第13巻, pp.177-182, 1997.
- 5) 中村孝幸, 神川裕美, 河野徹, 棋本一徳: 透過波と反射波の低減を可能にするカーテン防波堤の構造形式について, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.786-790, 1999.