

浮体を用いた消波対策工の消波効果に関する実験的検討

Experimental Study on the Effectiveness of Wave Dissipation Countermeasures Using Floating Bodies

北見工業大学	○学生員	角嶋未来	(Mirai Kakushima)
北見工業大学	正員	吉川泰弘	(Yasuhiro Yoshikawa)
北見工業大学	正員	白井秀和	(Hidekazu Shirai)
西村組	正員	徳野孔人	(Yoshihito Tokuno)
西村組	正員	加茂谷学	(Manabu Kamoya)

1. はじめに

北海道サロマ湖内の中番屋では、図-1に示すアルファベットのFを反転させた形の物揚場が利用されている。物揚場西側に停留している船は、西風に起因する波浪により、船が物揚場の岸壁に衝突するという課題がある。波浪を抑える方法として、防波堤や波除堤等による対策があるが、現場ではより安価で簡易に回収できる対策工が望まれている。

この課題に対して、島山ら¹⁾は、波浪を抑える安価な対策工の効果を現地で検証している。具体的には、直径1.2mの浮き(ブイ)を14個連結(全長16.8m)させたブイ連結工を湧別漁業協同組合のご協力により現地に設置した。この対策工の消波効果を画像解析を用いて検証した。その結果、有義波高が低く、水面流速が遅い場合にのみ消波効果があることを明らかにしている。村田ら²⁾は、対策工の消波効果を高めるために、農業で使用された直径58cm、長さ90cmのギ酸容器をリサイクルし、126個を連結(全長84.9m)させたギ酸容器連結工を湧別漁業協同組合のご協力により現場に設置した。この対策工の消波効果を波高データを用いて検証した。その結果、風速4.5m/sまでは波高低減率は高くなるが、それ以上の風速となると波高低減率は低くなるという結果を得ている。松田ら³⁾は、対策工の喫水深と入射する波の波長に対する対策工の消波効果への影響について、2020年の現地データから検証を実施した。対策工の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ことが有効であるという結果を得ている。一方で、これまで対策工を一行のみ配置した場合の消波効果について検討していたが、複数の対策工を配置した場合の効果については明らかになっていない。

本研究では、ギ酸容器を模した対策工の模型を製作して、実験水路内に対策工を設置した実験を実施した。実験データを基に対策工の配置等による消波効果の違いについて検証する。実験では、現地での波浪観測データを基に周期、波高の組み合わせをいくつか想定した入射波を与えると同時に、対策工の個数、対策工の配置方法等を設定し、それぞれのケースでの対策工の消波効果を検証する。

2. 実験概要

2.1 実験水路と対策工の模型

実験縮尺と模型縮尺は1/10とした。実験水路の平面図



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

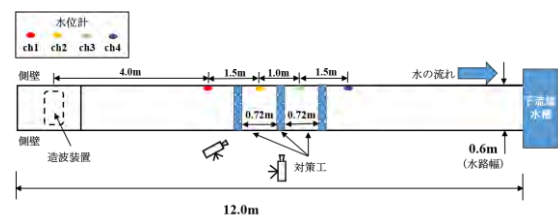


図-2 実験水路の平面図

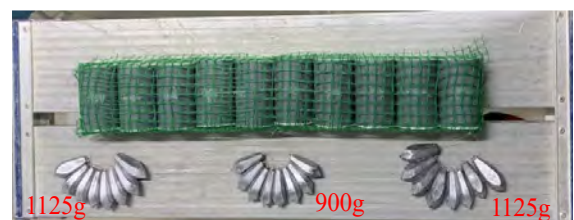


写真-1 消波対策工の模型 1セット
※写真下が水路床となる

を図-2に示す。水路延長は12.0m、水路幅は0.6mである。与える波については、図中の造波装置により造波させて与えた。対策工の変動と波の変動を把握するために、ハンドヘルドカメラ(DJI社製 Osmo Pocket)を図に示す位置に2箇所設置した。水深の時間変化は、図中の赤、黄、黄緑、紫で示す位置に設置した圧力センサー(STS社製 ATM.1ST)により圧力を測定し、水深に換算した。測定間隔は0.2sとした。初期水深は静水状態の15cmとした。

消波対策工の模型を写真-1 に示す。消波対策工の模型は、直径 5.8cm、縦 9.0cm の硬質ポリ塩化ビニル管、バランスウエイト Fe5 の重り 64.3g、砂(珪砂)153.4g、シリコーンシーラント 20g を用いて 1 個を製作し、1 セット 10 個として 3 セット製作した。具体的には、硬質ポリ塩化ビニル管の中にバランスウエイト Fe5 の重りと砂(珪砂)を入れてシリコーンシーラントで蓋をして固めた。水に安定して浮くように密度を 237.7kg/m^3 として、喫水深が模型の縦の長さ 9 割となるように設定した。また、実験中に流出しないように、対策工を緑の網で包み、両端に 1125g、中央に 900g の計 3 箇所に重りを付けた。

2.2 実験条件

実験条件は、2020 年のサロマ湖で観測した波高、周期、波速、波長の現地データを基に設定した。入射波として与える波の波浪諸元に関する実験条件を表-1 に示す。この表に示すように、入射波の条件は現地で観測された波浪を基にフルード相似で設定した。現地では西風に起因する波浪での被害が懸念されることから、西、西北西、西南西の風向時の波浪を対象とした。Case1~6 は、風速の中央値 2, 4, 6, 8, 10, 12m/s の範囲で 6 つに区分し、それに応じた波浪条件を設定した。Case7 は、観測期間中での最大の有義波高 32.7cm、有義波周期 2.7s を基に設定した。Case8, 9 は、実験で設定できる最大の波高の 1/2、最大の波高にそれぞれ設定した。なお、このときの周期については、Case2~6 のデータを基にし、波高と周期の関係式 $T = 0.0446 H + 1.5233$ (H : 波高[cm], T : 周期[s], 決定係数 $R^2=0.998$) から設定した。

対策工の配置は写真-2~8 に示すように、対策工 1 は 1 列、対策工 2 は一定間隔を空けた 2 列、対策工 3 は一定間隔を空けた 3 列、対策工 4 は隣接した 2 列、対策工 5 は隣接した 3 列にした。対策工 6 は対策工 2 列の間にポリプロピレンの板を 2 枚、対策工 7 は対策工 3 列のそれぞれ間にポリプロピレンの板を 2 枚ずつ設置した。対策工を設置しないケースを対策工 8 とした。なお、対策工 2, 3 の対策工間の間隔は、Case1~6 の波長を参考に 72cm とした。対策工 6, 7 で使うポリプロピレンの板は、氷と同じ比重で質量 598g であり、1 枚の大きさは縦 24.8cm、横 24.8cm、高さ 1cm とした。

以上のように、本実験条件は、表-1 に示した波高と周期の入射波の 9 ケース、対策工の配置方法（無対策を含む）の 8 ケースとして、合計 72 ケースとした。なお、各 1 ケースに付き 2 回の実験を実施した。

2.3 対策工の波高低減率の評価方法

本検討の消波対策工効果の評価として次式を用いた。

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

F_W : 対策工(模型)通過前の最大波高、 B_W 対策工(模型)通過後の最大波高である。波高は 60s 間計測しており、実験水路の下流の壁面による反射波の影響を踏まえ、各 ch での期間 10s~40s の最大波高を用いた。ch1 と ch4、ch2 と ch3 の間において波高低減率を算出した。

表-1 実験条件

実験Case	実験			
	波高 cm	周期 sec	波速 cm/s	波長 cm
Case 1 風速2(1.5~2.4)	0.093	0.669	121.43	81.22
Case 2 風速4(3.5~4.4)	0.136	0.502	121.52	61.04
Case 3 風速6(5.5~6.4)	0.299	0.526	121.85	64.08
Case 4 風速8(7.5~8.4)	0.484	0.545	122.22	66.55
Case 5 風速10(9.5~10.4)	1.006	0.626	123.26	77.21
Case 6 風速12(11.5~12.4)	1.222	0.653	123.69	80.77
Case 7 現地最大	3.266	0.841	127.67	107.37
Case 8 実験最大の1/2	5.000	1.187	130.96	155.41
Case 9 実験最大	10.000	1.892	140.00	264.87



写真-2 対策工 1
1 列配置



写真-3 対策工 2
2 列配置: 1 波長間隔



写真-4 対策工 3
3 列配置: 2 波長間隔



写真-5 対策工 4
2 列配置: 隣接



写真-6 対策工 5
3 列配置: 隣接

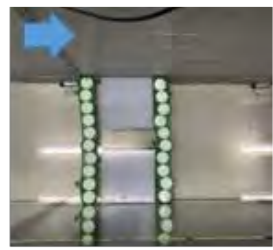


写真-7 対策工 6
2 列配置: 1 波長間隔+板



写真-8 対策工 7
3 列配置: 2 波長間隔+板

3. 実験結果

水深の経時変化の一例として、波高低減率が高く、水深経時変化が大きい対策工5(3列で隣接)のCase4の結果について、対策工前を図-3、対策工後を図-4に示す。この図に示すように、対策工を通過後に波が減衰しており、このケースでは、波高低減率は64%となった。対策工の通過前よりも通過後に波高が減衰した。

3.1 各対策工の波高低減率

それぞれの入射波条件(Case1~9)における各対策工の波高低減率を図-5に示す。図-5の波高低減率はch1とch4で算出しており、2回の実験データの平均値である。図-5より、本実験では既往研究^{1,2)}での対策工1列と同程度か、それ以上の波高低減率を確認することができる。対策工1列よりも波高低減率が低い複数列の配置もあるが、消波効果があることが分かる。

実験Case1~3では、対策工1列よりも複数列の波高低減率が低くなった配置もあった。原因として、設定した波高が0.093cm、0.136cm、0.299cmであり、造波の波が小さすぎるために結果が安定しなかったと推察される。このことから、安定した結果が出たCase4~9を対象にして、平均の波高低減率を求めると、対策工1が28%、対策工2が33%、対策工3が40%、対策工4が31%、対策工5が41%、対策工6が42%、対策工7が41%となった。この結果からも対策工が1列の場合よりも複数列の配置に、消波効果があると分かる。ここで、波高低減率の平均が30%~40%と40%以上の2つに分けて考察する。波高低減率の平均が30%~40%の対策工は、対策工2、4となった。この結果から、1列よりも2列の配置に消波効果があるが、高い波高低減率は期待できないと推察される。波高低減率の平均が40%以上得られた対策工は、対策工3、5、6、7となった。対策工3、5、7は対策工を3列使用している。対策工の数を増加させること、同じ数でも配置を変えることで、消波効果があると推察された。また、対策工6は2列の間にポリプロピレン板を設置したものであり、Case2、4の場合よりも間に水を模したポリプロピレンを入れることで、40%以上の波高低減率が得られ、より減衰効果があることが確認できた。

入射波条件(Case1~9)毎で波高低減率の平均を求めた。Case1が33%、Case2が12%、Case3が29%、Case4が49%、Case5が50%、Case6が47%、Case7が43%、Case8が20%、Case9が13%である。Case1~3では波高低減率が40%以下であり、特にCase2は12%と低い。Case4~7では40%以上の波高低減率であり、Case5が最も高い50%である。Case8~9では波高低減率が20%以下で、Case9が13%と低い。Case8~9の波高低減率はCase1~7よりも低く消波効果が低いことが分かった。本実験結果では、Case8、9のように波高が高いケースでは、波高低減率が低く、対策工での消波効果が得られなかった。Case8、9では、設定した波長は他のケースよりも長く、本実験の対策工の間隔よりも長い波長であることが、消波効果が得られない要因として推察される。このことから、波長の長さ対策工の配置を考慮することで、消波効果を高められる可能性がある。

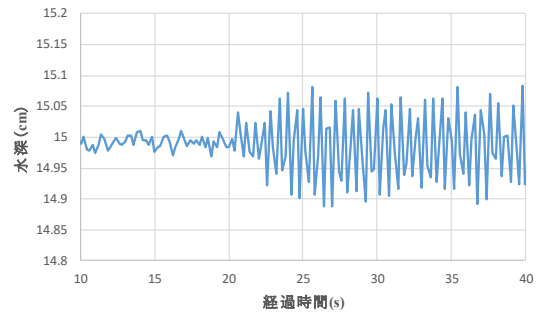


図-3 対策工前(ch1)の水深経時変化
対策工5, Case4

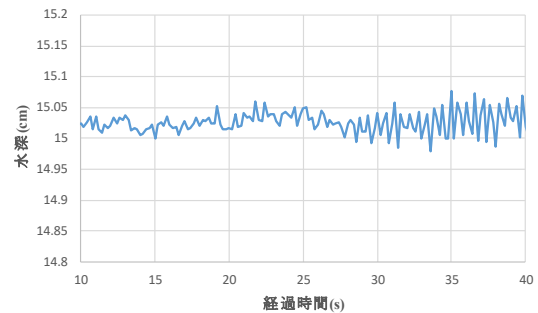


図-4 対策工後(ch4)の水深経時変化
対策工5, Case4

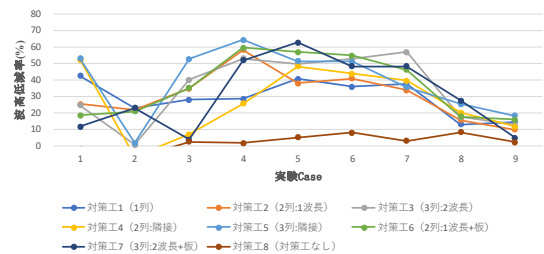


図-5 各 case における波高低減率(ch1 と ch4)

4. まとめ

本研究では、消波対策工の模型を設置した実験を実施し、消波対策工の配置等による消波効果について検討した。得られた結果と今後の課題を以下にまとめる。

- 本実験結果より、対策工1列と比較して対策工を複数列にすることで、より消波効果があることが分かった。
- 複数の対策工を用いるケースでは、対策工の間隔を一定として実験を行ったが、入射波毎の波長の長さを考慮することで、消波効果が高まる可能性が推察された。

2021年に、既往研究³⁾により対策工の喫水深を深くすることで消波効果が高まると推定されたため、喫水深を深くした対策工を設置した。しかし、対策工に加わる波の力が大きく、ギ酸容器を連結していた金具部が壊れる

結果となり、ギ酸容器の連結方法に課題が残されている。本実験では、製作した対策工の連結はロープに模した緑の網で包み固定している。本手法が現場で適用できるかの検証も必要となる。消波対策工の配置だけでなく、波長、波の力に耐えうる安価で設置撤去が簡易な対策工の開発が望まれる。

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) 松田まりの, 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簡易的な消波対策工効果の評価手法の検討, 土木学会北海道支部, 年次技術研究発表会論文報告集, 第78号, 2022.
- 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.