

羽幌港における港内消波工による 静穏度対策について

留萌開発建設部 留萌港湾事務所 第1工務課 ○菊地 隆一
高橋 望
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 酒向 章哲

羽幌港では、天売・焼尻島への生活航路確保と離島観光振興を図るため、平成13年度より耐震強化岸壁を有する新フェリーふ頭の整備を進め、平成24年度に完成した。同整備では、外郭施設の延伸が制限される中での静穏度対策が最重要課題であったが、これに対して、防波堤港内側に消波工を設置して、多重反射に伴う港内擾乱を抑制する方法を採用した。港内消波工は平成23年から24年度にかけて整備を実施しており、本報告では同対策工の計画・設計から、整備実施後の現地調査による効果検証まで報告する。

キーワード：波浪、港内静穏度、港内消波工

1. はじめに

羽幌港は、天売・焼尻島への離島航路の玄関口として地域住民や観光客に利用されており、離島の人的交流・物流を支える地域生活基盤としての役割を担っている。また、好漁場である武蔵堆に近接した立地条件を活かし、エビ・タコなどに代表される水産業を支えている。現在、本港では、耐震強化岸壁を有する新フェリーふ頭を含む周辺施設の整備を進めており、地域住民と観光客との交流拠点としての活用が期待されている。

同岸壁では接岸時の安全、利用率の確保のために静穏度向上が求められた。一方で、出入港時の航路利用の利便性から、外郭施設の延伸は制限された。外郭延伸を抑制し、またコスト縮減も念頭に、港内の多重反射波に対する静穏度対策として、港内消波工の採用を計画・検討し、平成23年度から24年度にかけて整備を実施した。本報告では、施設計画から、整備実施後の現地観測による効果検証結果までを報告する。

2. 対策施設の計画

通常、消波工の形状は、本体工の天端高さまで十分に被覆されていることが一般的な構造形式である。一方で、目的の反射率が得られれば、消波工の天端高さを低くすることでコスト縮減に繋がる。現行の設計では、消波工の反射率は $Kr=0.4$ が使用されているが、上久保¹⁾の水槽実験では、ブロック天端高さが静水面付近で反射率が

極小傾向となり、同条件下では天端幅 B_0 と波長 L との関係で $B_0/L > 0.12$ で反射率は $Kr=0.3$ に漸近する結果が得られている。今回の静穏度対策では、先行研究の成果に基づき、現地への適用を試みた。

(1) 検討方法

施設配置の検討に際しては、静穏度解析を利用し、新フェリー岸壁での稼働率を指標に、最適な施設配置を検討する。羽幌港の現況を考慮した場合、任意の水深に適応可能で、浅水変形、屈折、回折、反射を考慮できる計算方法を設定する必要がある。本検討では非定常緩勾配不規則波動方程式²⁾を用いて、図-1に示す港形の静穏度

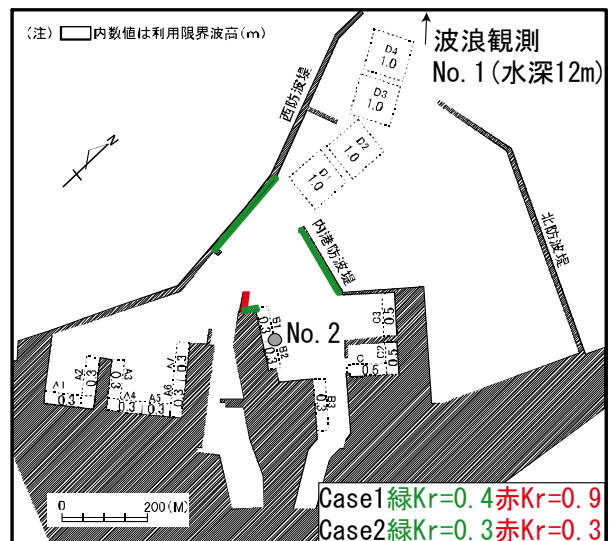


図-1 検討施設配置

を評価する。

静穏度解析では、図-1内の着色部に港内消波工の整備を想定し、反射率を変えて検討する。その他の反射率は一般的な概略値³⁾の範囲に従った。潮位条件は平均潮位(D.L.+0.12m)とし、使用する入射波条件は表-1に示す。解析結果に対し、岸壁毎に係船クラスに応じて荷役限界波高⁴⁾を設定し、目標稼働率97.5%を基準に評価する。稼働率算定時は、1994～1998年の5ヵ年統計での波高出現頻度表(留萌港観測値で精度検証を行った羽幌港沖の波浪推算値)⁵⁾を参照する。同表では波向SWが出現するが、出現率0.2%と僅かなため波向WSWへ統合して使用する。

表-1 常時波浪の入射条件

波向	WSW	W	WNW	NW	NNW
方向集中度 S_{max}	10	10	25	75	10
有義波高 $H_{1/3}$ (m)	1.0				
有義波周期 $T_{1/3}$ (秒)	8.0				

(2) 施設配置計画

a) 静穏度解析結果に基づく施設配置

解析結果より、検討2ケースでの波高比を図-2に示す。図内の水域番号(B1,B2)は図-1と対応し、航路を除くその他の水域は通常消波工のCase1で目標の97.5%を稼働率は超える。水域B1は高速船、B2はフェリーが使用予定である。通常消波工のCase1に対し、今回検討する港内消波工のCase2では、港口方向のNNWから卓越波向のWにかけて、波高比の低減効果が見られる。

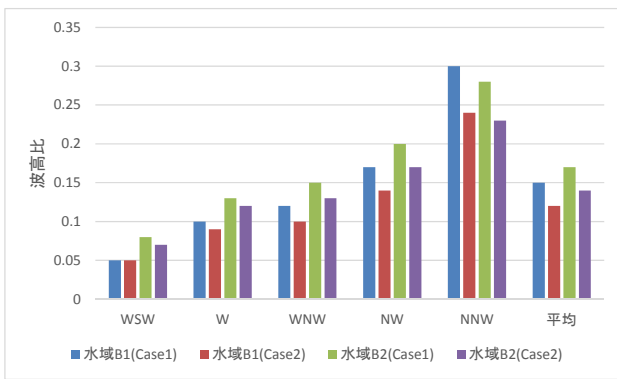


図-2 数値計算による波向別波高比の変化

次に波向別出現頻度を考慮した稼働率での評価を図-3に示す。対象となる新フェリー岸壁B1,B2は、通常消波工Case1では目標の荷役稼働率に達さないが、検討消波工Case2では稼働率の改善効果が見られる。主に水域B1では波向NWとNNWに対し、水域B2では波向WからNNWに対し稼働率の改善が見られる。出現率の高い波向(後述図-6内の平年値冬季参照)に対して、波高比の低減(図-2)が効率的に図られている。

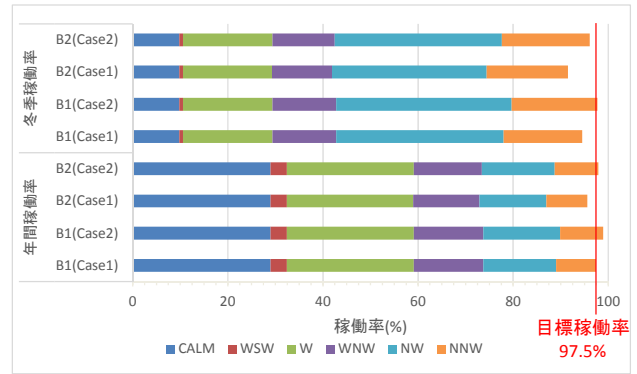


図-3 数値計算による波向別荷役稼働率(%)の結果

b) 構造設計および施工経緯

前述Case2での配置にて構造設計を検討する。目標反射率 $K_r=0.3$ を得るためには、①ブロック天端高さが静水面付近とする、②波長Lに対する天端幅 B_0 の比を $B_0/L > 0.12$ 以上の2点が必要となる。①の静水面は潮汐にて変動するが、②の波長Lは水深が浅くなると短くなる傾向がある(表-2)。②の条件を満たすことを優先して設計潮位は朔望平均満潮位H.W.L.(=D.L.+0.5m)に設定し、天端幅は $B_0=5.8m(>0.12L)$ と②の条件を確保し、天端高は設計潮位に揃えD.L.+0.5mとする。

表-2 設計周期から必要な天端幅の潮位変化

潮位	周期 T(秒)	水深 h(m)	h+潮位 h'(m)	波長 L(m)	天端幅 B_0 (m)
H.W.L.	8.0	3.5	4.0	47.98	5.76
L.W.L.	8.0	3.5	3.5	45.13	5.41

安定計算はハドソン式を使用する。斜面勾配4/3、Kd値8.3と仮定すると、設計波高 $H=2.5m$ に対しブロックの所要質量は $1.727t$ となる。洗掘防止工の検討を別途行い、図-4に示す断面を西防波堤改良の設計断面とした。

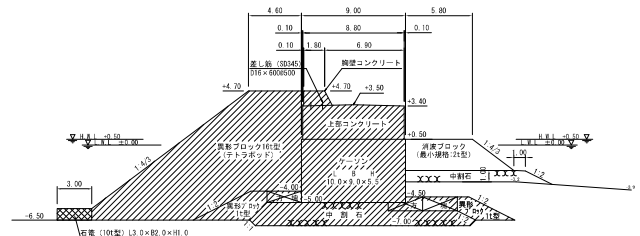


図-4 西防波堤の改良断面

内港防波堤の改良断面の設計も同様の手法にて行った。なお久保ら⁶⁾の既往研究では、ブロック天端高さを静水面とすることで波力増大を引き起こす危険に言及されているが、今回のケースでは港内波が対象のため設計波

高は港外側に比べ小さいこと、また港外側の消波工に裏込めとしての機能が期待されることから、波力増大は考慮していない。

西防波堤内側の港内消波工の計画延長210mのうち陸側より160mの延長と、新フェリー岸壁の埠頭先端部の消波工を平成23年度に施工した。西防波堤部の残り50mと内港防波堤内側の消波工80mは平成24年度に施工を完了した。

3. 現地観測での効果検証

(1) 観測方法

効果検証のために波高計を用いて現地観測を実施した。観測期間は、整備途中の平成23年12月から翌月と、整備終了後の平成24年12月から翌月の2回(各30昼夜)実施した。

波浪観測には超音波式波高計WaveHunter(株)アイオーテック社製を使用した。設置地点は、港口沖にNo.1(水深12m)、新フェリー岸壁中間部(図-1内B1とB2の間)の前面(20m離)にNo.2の計2地点である。現地での消波工の反射率の直接測定は困難なため、静穏度対策の対象岸壁前面での波高を測定することで、実際に静穏度が向上したか、また所期の目標を達成したか検証を行う。

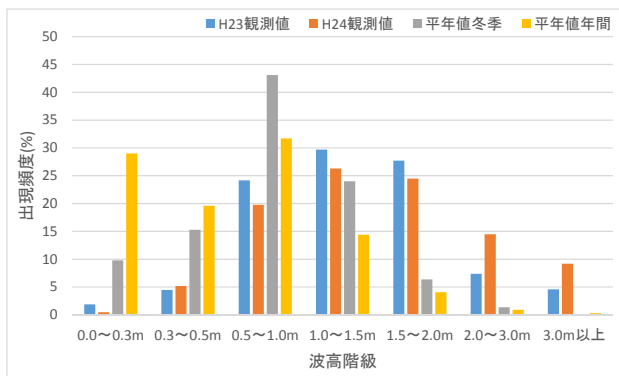


図-5 港口沖(No.1)での波高出現頻度分布

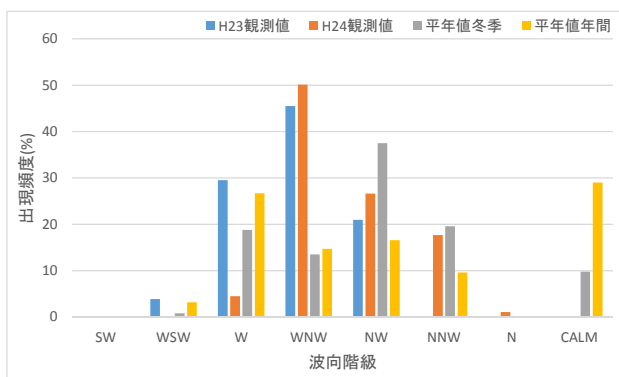


図-6 港口沖(No.1)での波向の出現頻度分布

(2) 観測結果からの効果検証

港口沖(No.1)での観測結果より、波高の出現頻度分布を図-5に、波向の出現頻度分布を図-6に示す。比較のため先の5カ年統計値を平年値として、冬季・年間の分布を図内に併せて示す。卓越波向は、観測ではH23年とH24年も波向WNWが卓越する。既往資料の冬季平年値では波向NWが卓越する。今回の調査でH23年ではW寄り、H24年ではNW寄りの分布を示す点は、観測年の気象海象状況に左右されていると見られる。

波高の出現分布は、平年値は0.5~1.0mの出現が最多だが、H23年は1.0mより上の階級での出現が平年より多く、高波浪が来襲する環境であったことが窺える。H24年は2.0mより上の階級での出現がH23年よりも更に多く、より厳しい波浪来襲環境であったと見られる。なおNo.1での観測最大有義波は、H23年は12/23の17:40に波向Wから $H_{1/3}=4.08\text{m}$ 、 $T_{1/3}=9.4$ 秒を、H24年は12/6の22:40に波向WNWから $H_{1/3}=5.32\text{m}$ 、 $T_{1/3}=11.2$ 秒を記録している。

一方、新フェリー岸壁前での観測地点No.2での観測最大有義波は、H23年は12/25の8:40に $H_{1/3}=0.64\text{m}$ 、 $T_{1/3}=6.7$ 秒、H24年は12/26の2:40に $H_{1/3}=0.55\text{m}$ 、 $T_{1/3}=6.2$ 秒とNo.1に比べると大きくない。ただし波高の出現頻度を見ると、荷役限界波高0.3m未満の頻度は、H23年で61.3%、H24年で83.9%となっている。施工中途のH23年に比べ、施工完了のH24年で静穏度向上の効果が見られたが、目標稼働率の97.5%に達さない結果であった。原因としては、図-5の波高出現頻度の平年値との比較から、来襲波浪はH23年はやや高め、H24年は高い傾向にあったためと考えられる。

観測年の来襲波浪の大小傾向に左右されずに、対策施設の効果を把握するため、観測結果より波高比を算出して詳細を検討する。(港口沖No.1での)波向別の波高比(No.1に対するNo.2の比)を近似直線として、H23年の結果を図-7に、H24年の結果を図-8に示す。

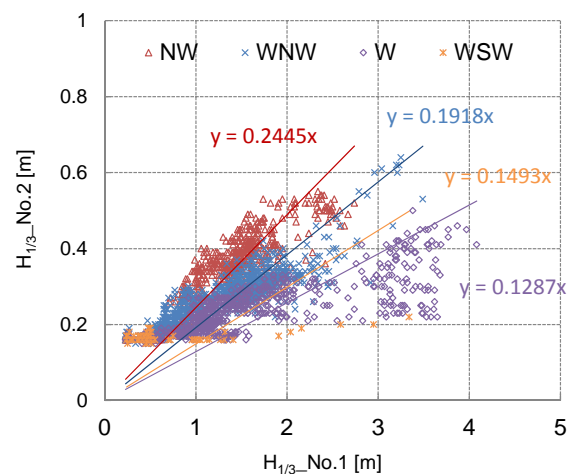


図-7 港口沖(No.1)での波向別の岸壁前(No.2)波高比(H23年)

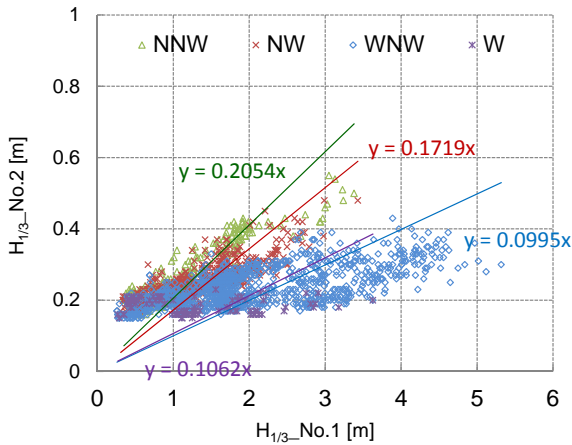


図-8 港口沖(No. 1)での波向別の岸壁前(No. 2)波高比(H24年)

H23年は波向NWからWSWにかけて、H24年は波向NNWからWにかけて波高比が減少する傾向にある。図-6でも述べたようにH23年とH24年では沖での出現波向の分布傾向に違いはあるが、波向NWやNNWで波高比が高くなる傾向は共通である。これは、NWからNNW方向に港口が開いている点と、波向WSW以西に対しては西防波堤が来襲波浪を効果的に遮蔽しているためである。

なお図-7と図-8では、観測波高全レンジでの近似直線に比べ、沖波(No.1)が0.5m未満となっても、港内(No.2)での波高が余り下がらない傾向がある。原因には、沖からを経由しない波浪、例えば港内発生風波等が考えられ、波高0.13~0.15m程度が生じているようである。

整備中途のH23年から整備完了後のH24年での変化を追うため、H23年とH24年の波向別波高比の比較結果を図-9に示す。図では所期の目標値として静穏度解析での波高比(B1とB2の平均)も併せて示す。整備完了後のH24年では、波向WからNWにかけてH23年より波高比が減少しており、波向WからNNWにかけてと全波向平均で静穏度解析値と遜色ない値に近づいていることが確認される。

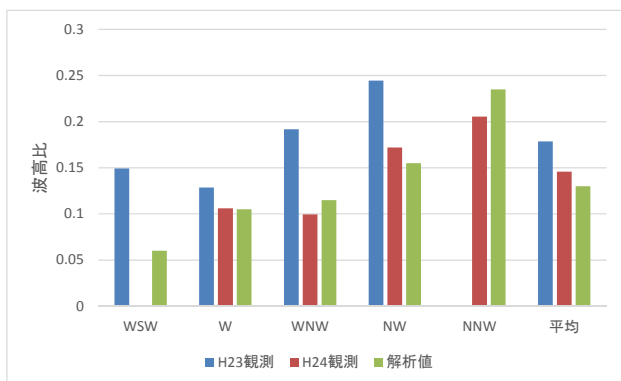


図-9 波向別波高比の観測結果

最後に、得られた観測波高比から荷役稼働率の評価を行う。稼働率の算出時には5ヵ年統計の波向別波高出現頻度表を使用するが、観測値は出現波向の偏りで欠測が有るため、H23年の波向NNWの波高比はH24年の波高比を、H24年の波向WSWの波高比はH23年の波高比を使用する。全体的にH24年の方が波高比が減少するため、上記の代用はH23年はやや過大な、H24年はやや過小な稼働率の評価となる。

稼働率の算定結果を図-10に示す。H24年観測結果の波高比から評価した稼働率は、H23年より大幅に向上し、年間稼働率は目標の97.5%に、冬季稼働率も事前の静穏度解析と同等の稼働を見込める結果が得られた。H23年からの稼働率の大幅な向上は静穏度対策工の整備が完了したことによると考えられる。また、静穏度解析結果と同様の結果が得られた点については、計画段階にて反射率 $K_r=0.3$ を想定した設計が妥当であったことを示す。

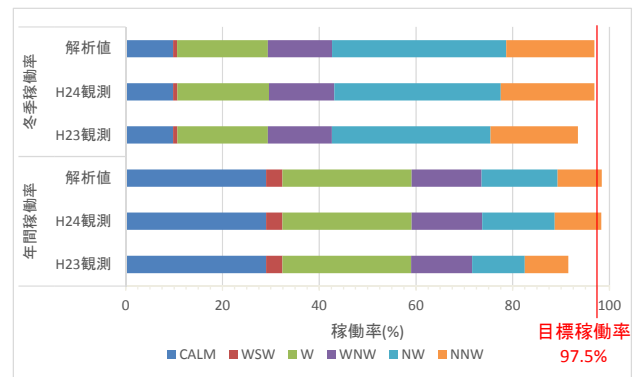


図-10 観測波高比を使用しての荷役稼働率(%)の評価

4. まとめ

整備後の波浪観測より、港内消波工の静穏度対策は当初設計で期待した効果が、現地にて発現していることが確認された。なお今回対象となった新フェリー岸壁はH25年4月より供用している。同航路は、時化が多い冬季は1日2便に減便されるが、離島の生活航路として重要な役割を担うため、出航可能な海象時には確実に岸壁が利用できることが期待されている。

供用開始半年後のH25年10月に、同港利用者に対するヒアリング調査を実施した。同岸壁での静穏度向上については、供用開始前とは利用者も(未知のため)比較は困難なようである。ただし、航走波(特に夏季に分散作業で頻繁に出入りするホタテ漁船)や反射波に対する効果が港口周辺航路で、フェリー会社を含む利用者の多くに実感されているところである。

残された課題としては、まだ供用初年度のため今後も新フェリー岸壁での運用状況をモニタリングしていく必要がある。運用状況においても、例えばフェリー欠航数

等は港外の海象状況に左右され指標とならないので、新岸壁での係留障害、付随して旧岸壁での臨時乗下船や避泊等の有無が注視点となる。また今回調査でも、観測年毎に波浪出現状況には高低があるため、長期統計資料とも比較しながらの議論が必要である。

今回の事業計画、施工、調査と一連の流れにおいて、既往水槽実験より想定した消波工の反射率の低減策が、現地観測からも効果が検証されたことは非常に有意義と考える。他港にて適用する際には、港内のためスペースの問題や、設計波が変わればブロックの安定検討等の課題は有るが、港内での多重反射波の問題に対して、利用面やコスト面等から外郭施設の拡張にて入射波低減を図れない場合等に、対策検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 上久保勝美・山本泰司・長谷一矢：港内消波工の天端幅及び高さが反射率におよぼす影響、第54回平成22年度北海道開発局技術研究会発表論文集。
- 2) 磯部雅彦：有理式近似に基づく非定常緩勾配不規則波動方程式、1993、第40回海岸工学講演会論文集、pp26～30。
- 3) 合田実實：耐波工学 港湾・海岸構造物の耐波設計、鹿島出版会、平成20年6月、P430。
- 4) 国土交通省港湾局 監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、平成19年7月、p.809。
- 5) 北海道開発局港湾空港部：港湾漁港波高出現率算定業務報告書、(財)日本気象協会、平成13年3月。
- 6) 上久保勝美・山本泰司・梅沢信敏・木村克俊・土井善和：消波工と本体工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の水理特性、海岸工学論文集、第48回、pp706-710、2001。