

香深港南外防波堤における港内消波工の有効性について

—現地観測による効果の検証—

稚内開発建設部 稚内港湾事務所 第3工務課 ○上野 皓平
三森 繁昭
株式会社アルファ水工コンサルタンツ 技術部 佐野 朝昭

香深港は、本土と礼文島を結ぶフェリーの定期航路が開設されており、離島の人流・物流及び観光業を支える重要な役割を果たしている。香深港の利用にあたっては荒天時において港内静穏度の問題が生じているが、フェリー入出港時の航路利用の利便性から外郭施設の延伸が制限されている。このため、港内の静穏度対策として、防波堤背後に消波工の整備を行った。

本稿は、静穏度対策として平成27年度から令和2年度に設置した港内消波工の有効性について、現地観測により検証した結果を報告するものである。

キーワード：静穏度対策、港内消波工、波浪観測

1. はじめに

香深港(図-1)は、本土と礼文島を結ぶ玄関口として人流・物流及び観光業を支える地域生活基盤という重要な役割を果たしている。しかし、N~NEの風向時には高波浪が発生しやすく、港口からの進入波が南外防波堤に沿って港内に伝達し、港内静穏度が悪化していた。特に耐震岸壁の前面水域では、港口からの進入波や防波堤からの反射波の影響を受け、港内の擾乱(写真-1)による利用障害が発生し、フェリー岸壁では船体動揺が生じている。

これらの利用障害を改善するため静穏度向上に向けた対策が求められていたが、フェリー入出港時においては、航路の利便性維持の観点から外郭施設の延伸が制限されていた。このため、防波堤延伸の抑制かつコスト縮減も



写真-1 耐震岸壁前面水域の擾乱状況

念頭に、港内の反射波に対する静穏度対策として、南外防波堤背後に消波工の整備を計画・検討し、平成27年度から令和2年度に整備を実施した。

本稿は、香深港における港内消波工の有効性について、港内消波工の設置前後において実施した波浪観測により検証した結果を報告するものである。

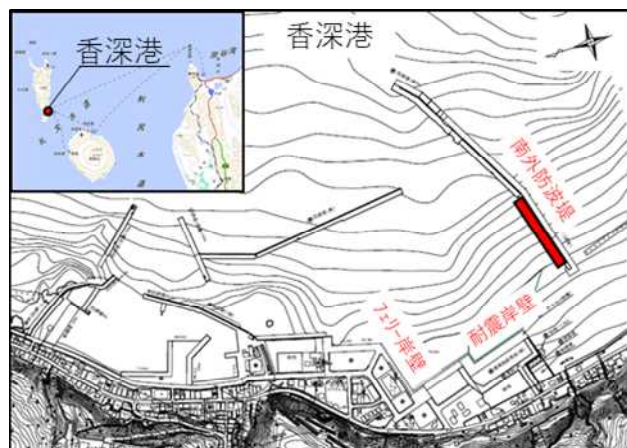


図-1 香深港位置図

2. 南外防波堤の港内消波工の概要

対策工法とした港内消波工は、南外防波堤に沿って進入する波や構造物からの反射波を減衰する効果がある。港内消波工の諸元は、上久保ら¹⁾による消波ブロック天端高と反射率に関する実験結果、工費比較により決定した。具体には、ブロックの天端高は水面として、①天端幅を消波ブロック5個並び(反射率0.4)、②天端幅を消波ブロック3個並び(反射率0.6)と設定し、耐震岸壁前



写真-2 南外防波堤 港内消波工設置状況

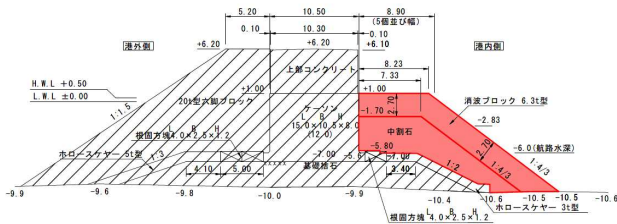


図-2 港内消波工標準断面図

面水域での波高を同程度に低減させる延長として、①の条件で延長 $L=200\text{m}$ とした場合と②の条件で延長 $L=300\text{m}$ とした場合の比較により、経済的であった天端幅消波ブロック5個並び（反射率0.4）延長 $L=200\text{m}$ の諸元を採用した。（写真-2、図-2）。

3. 現地波浪観測

(1) 観測方法

港内消波工の効果検証を行うため、整備前後において波高計を用いた波浪観測を実施した。調査地点は、港内擾乱が発生している耐震岸壁前面（St.1）と港外（St.2）の2地点とした（図-3）。

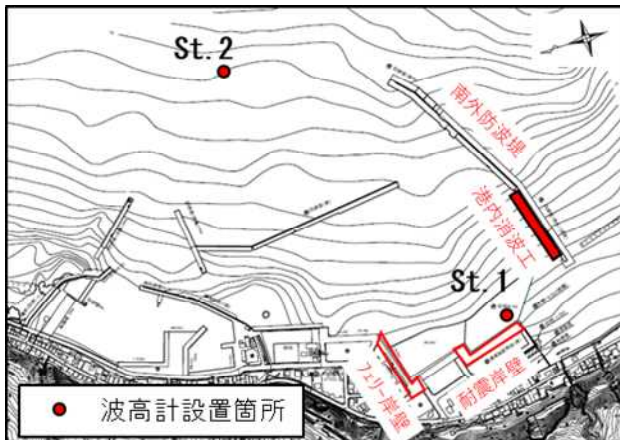


図-3 波高観測位置図

表-1 観測期間

	観測期間	観測日数
整備前	平成26年12月19日～平成27年1月26日	39日間
整備後	令和3年12月11日～令和4年1月24日	45日間

観測期間は、荒天時における港内の状況を把握するため冬の観測とし、整備前は平成26年12月19日から39日間、整備後は令和3年12月11日から45日間の2回実施した（表-1）。

なお、波浪観測には超音波式波高計を使用し、サンプリング間隔は0.5秒で観測した。

(2) 観測結果

a) 波浪の時系列変化

図-4は、港内消波工整備前（平成26年度）に観測した波高・周期及び波向の経時変化を示したものである。図中の緑色ハッチングは、St.2（港外）で波高 2m 以上の時化を示したものであり、観測期間中に2回観測した。この内、St.2（港外）での最大値は1月7日の波向NNE、波高 $H_{1/3}=2.55\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=9.0\text{sec}$ であった。一方、St.1（港内）での最大値は、1月7日の波向NNE、波高 $H_{1/3}=2.78\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=11.5\text{sec}$ であり、St.2（港外）より高い波浪を観測した。観測期間中におけるSt.2（港外）の波高 $H_{1/3}$ の平均は 0.74m 、波向はNからE方向が多く観測された。また、St.1（港内）の波高 $H_{1/3}$ の平均は 0.38m であり、波向は大部分がNNEであった。

図-5は、港内消波工整備後（令和3年度）に観測した波高・周期及び波向の経時変化を示したものである。図中の緑色ハッチングは、観測期間中にSt.2（港外）で波高 2m 以上の時化を示したものであり、観測期間中に3回観

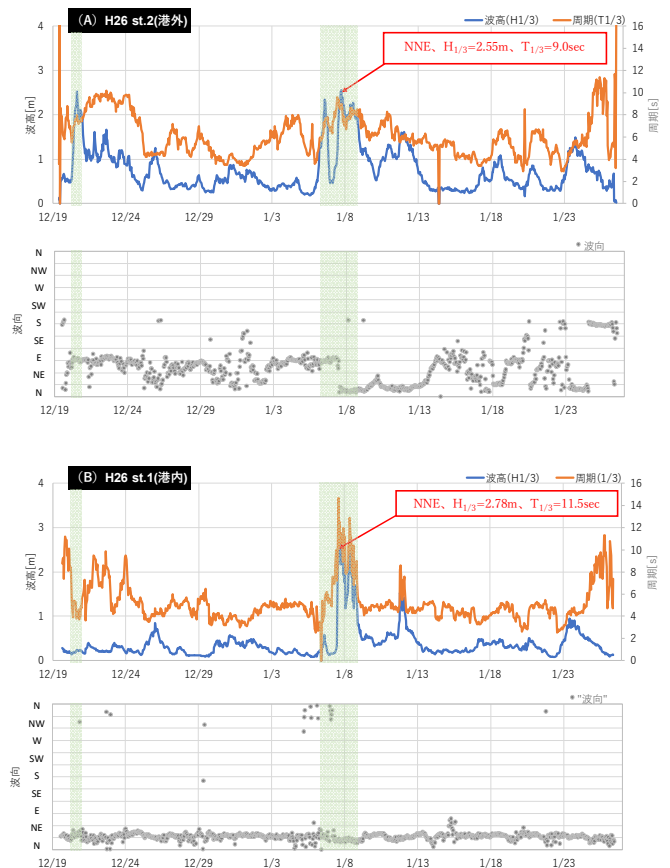


図-4 波浪の時系列変化（整備前：平成26年度）

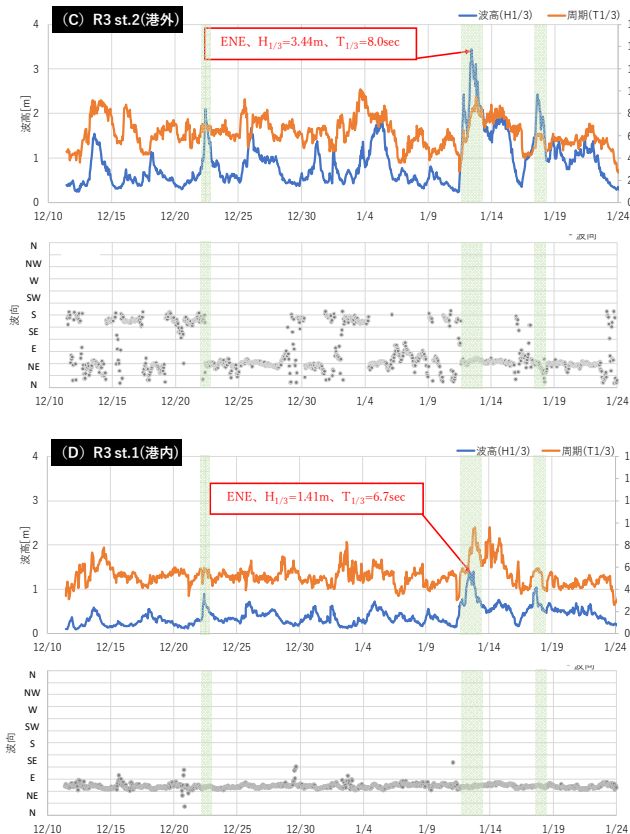


図5 波浪の時系列変化 (整備後：令和3年度)

測した。この内、St.2 (港外) の最大値は1月12日の波向ENE、波高 $H_{1/3}=3.44\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=8.0\text{sec}$ であった。一方、St.1 (港内) での最大値は、1月12日の波向ENE、波高 $H_{1/3}=1.41\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=6.7\text{sec}$ であり、St.2 (港外) より6割程度低い波浪であった。観測期間中におけるSt.2 (港外) の波高 $H_{1/3}$ の平均は 0.87m であり、波向はNEとS方向が多く観測された。また、St.1 (港内) の波高 $H_{1/3}$ の平均は 0.39m であり、波向は大部分がENEであった。

b) 波向別波高出現率

図-6は、整備前 (平成26年度) の波向別波高出現率を示したものである。St.2 (港外) の波向別波高出現率はNNE~Eが全波向の88.9%を占め、この内NNEが24.0%、NEが11.8%、ENEが18.0%、Eが35.1%と比較的均等に出

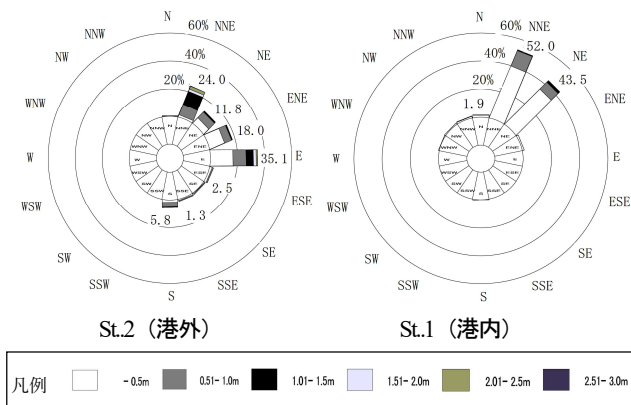


図-6 波向別波高出現率 (整備前：平成26年度)

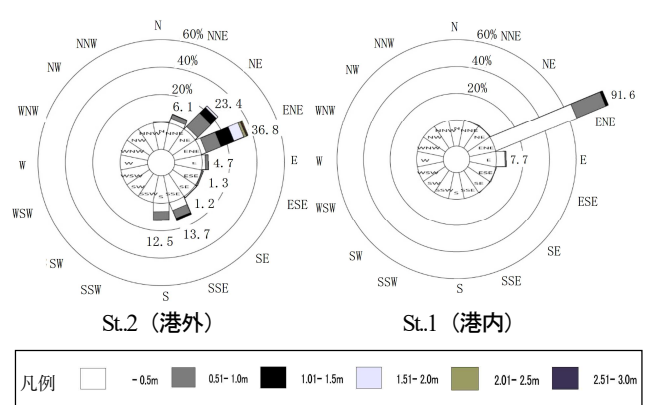


図-7 波向別波高出現率 (整備後：令和3年度)

現していた。St.1 (港内) の波向別波高出現率はNE方向に港口があるため、NNE~NEが全波向の95.5%を占めており、NNEが52.0%、NEが43.5%であった。

図-7は、整備後 (令和3年度) の波向別波高出現率を示したものである。St.2 (港外) の波向別波高出現率は、NNE~Eが全波向の71%であった。この内NNEが6.1%、NEが23.4%、ENEが36.8%、Eが4.7%であり、特にNE~ENEに集中していた。また、SSEが13.7%、Sが12.5%と南側からの頻度も多く出現していた。St.1 (港内) の出現頻度はENEが卓越しており91.6%であった。

c) 階層別波高出現率

図-8は、整備前 (平成26年度) と整備後 (令和3年度) の観測期間中におけるSt.2 (港外) の階層別波高出現率を示したものである。観測時期は表-1のとおりであり、季節的にはほぼ同時期の観測であるため比較を行った。1m未満の出現率は整備前 (平成26年度) は75%、整備後 (令和3年度) は69%であった。また、1.5m以上の出現率に着目すると、整備前 (平成26年度) は全体の7%であったのに対し整備後 (令和3年度) は13%であり、整備前 (平成26年度) よりも厳しい海象条件であったと考えられる。また、観測された2.0m以上の波高は、全てENEであった。

図-9は、整備前 (平成26年度) と整備後 (令和3年度) の観測期間中におけるSt.1 (港内) の階層別波高出現率を示したものである。整備前 (平成26年度) は1.5m以上

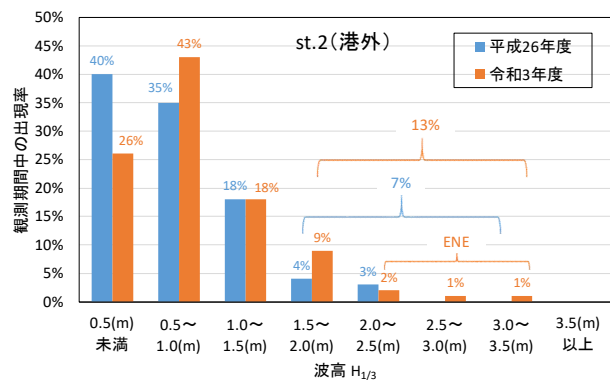


図-8 階層別波高出現率 (港外)

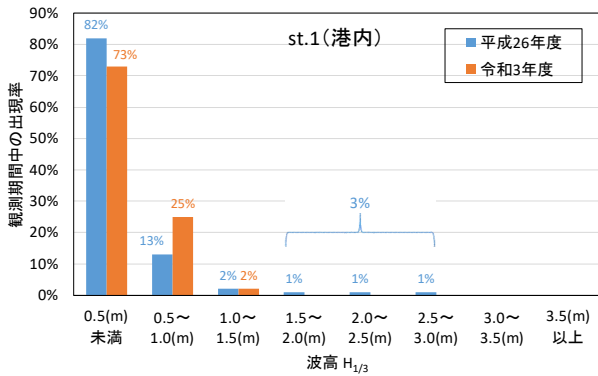


図-9 階層別波高出現率 (港内)

の波高が3%出現していた。この結果とSt.2 (港外) の観測結果を踏まえると、整備後 (令和3年度) は整備前 (平成26年度) よりもSt.2 (港外) で高い波高 (ENE) が観測されているのに対し、St.1 (港内) では整備前 (平成26年度) よりも低減していた。これは、ENE方向からの進入波に対して、港内消波工が有効に機能しているものと推察される。

d) 周波数スペクトル解析

港外 (St.2) から港内 (St.1) への波の伝搬特性を把握するため、整備後 (令和3年度) の観測データを用いて

表-2 算出ケース

	観測期間	波高 $H_{1/3}$	周期 $T_{1/3}$	波向
CASE.1	令和4年1月16日	1.03m	4.2s	E
CASE.2	令和4年1月12日	3.44m	8.0s	ENE

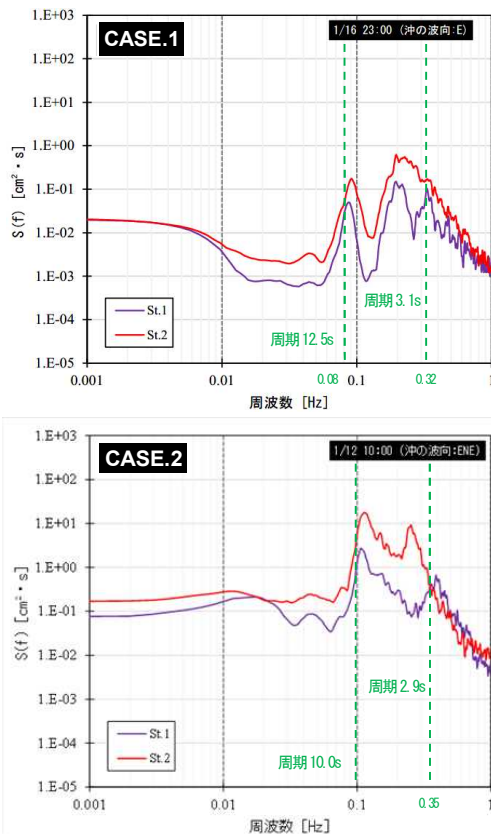


図-10 周波数スペクトル解析

周波数スペクトル解析を行った。表-2は、周波数スペクトルの算出ケースを示している。CASE.1は令和4年1月16日の港外 (St.2) の観測データ (波高 $H_{1/3}=1.03m$ 、周期 $T_{1/3}=4.2s$ 、波向E) であり、港外 (St.2) と港内 (St.1) の波高比 (=St.1/St.2) が最も大きい波向のケースとして選定した。また、CASE.2は令和4年1月12日の港外 (St.2) の観測データ (波高 $H_{1/3}=3.44m$ 、周期 $T_{1/3}=8.0s$ 、波向ENE) であり、整備後 (令和3年度) に現地観測した中で最も波高が大きかったケースである。

図-10は、周波数スペクトル解析の結果を示している。CASE.1では、観測した実測周期4.2s (周波数0.24Hz) に対し、低減効果が大きいと考えられる範囲は、周期3.1sから12.5s程度 (周波数0.32Hzから0.08Hz) であった。CASE.2では、実測周期8.0s (周波数0.125Hz) に対して、低減効果が大きいと考えられる範囲は、周期2.9sから10.0s程度 (周波数0.34Hzから0.10Hz) であった。この結果から、CASE.1、CASE.2ともエネルギーの減衰が顕著に見られ、外郭施設や南外防波堤の港内消波工が有効に機能していると推察される。

e) 波高比による効果検証

港内消波工の整備前後における波向別の波高比 (=St.1/St.2) の比較による効果の検証を行った。図-11はNNE、図-12はEの整備前後の波高比を散布図で整理したものであり、切片=0とした1次回帰式の傾きを波高比とした。図-11 (NNE) は、整備前 (平成26年度) の波高比0.7265に対し、整備後 (令和3年度) は0.5259となり、0.2程度低減している。一方、図-12 (E) は、整備前 (平成26年度) の波高比0.224に対し、整備後 (令和3年度) 0.5518となり0.3程度増加している。これは、整備前 (平成26年度) の観測値が大きくばらついていること、整備後 (令和3年度) はE方向の観測値に1m未満のデータしかなく、極端にデータ数が少なかったことなどによるものと考えられる。加えて、整備前 (平成26年度) の波向E

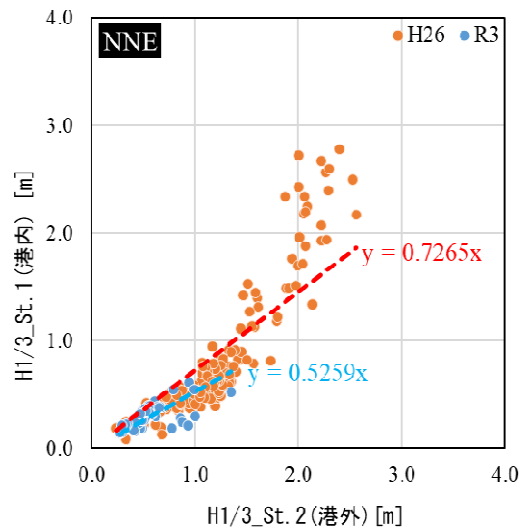


図-11 波高比 (波向: NNE)

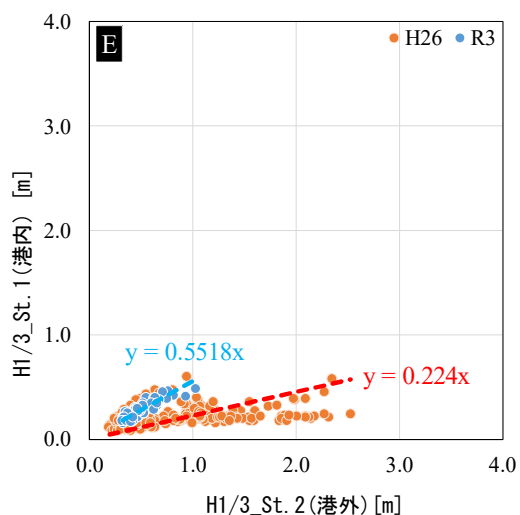


図-12 波高比 (波向: E)

の波高比0.224は、南外防波堤の遮蔽効果がより期待できるESEの波高比0.494よりも著しく小さく信頼性が低いと考えられるため、参考値として扱う。

表-3は、図-11、図-12と同様な方法で算出した港内消波工の整備前後における波向別波高比 (= St.1/St.2) と波高比の低減率を示したものである。

香深港の港口から南外防波堤に沿って直接進入する波

表-3 波高別波高比と低減率

	①H26 (整備前)	②R3 (整備後)	③差 (=②-①)	④低減率 (=-③/①)
NNE	0.727	0.526	-0.201	27.6%
NE	0.601	0.455	-0.146	24.3%
ENE	0.476	0.408	-0.069	14.4%
E	0.224	0.552	0.328	-146.3%
ESE	0.494	0.497	0.003	-0.6%
SE	0.662	0.433	-0.228	34.5%
SSE	0.605	0.355	-0.249	41.2%
S	0.593	0.463	-0.131	22.0%

向の低減率は、NNEが27.6%、NEが24.3%、ENEが14.4%であり、港内消波工の設置前後で低減していた。また、S系の波浪についても、SEが34.5%、SSEが41.2%、Sが22.0%であり低減効果を確認した。

以上より、港内消波工の設置前後で、14.4%~41.2%と低減効果を確認することができ、このことから港内消波工が有効に機能しているものと推察される。

5. まとめ

以下に本稿のまとめを示す。

- ①波向別波高出現率より、整備後（令和3年度）はNE（23.4%）からENE（36.8%）に集中しており、南側（SSE 13.7%、S 12.5%）の出現率も高かった。
- ②階層別波高出現率より、整備後（令和3年度）は整備前（平成26年度）よりも厳しい海象条件であったが、港内（St.1）の1.5m以上の波浪が改善されていた。
- ③周波数スペクトル解析のCASE.2より、実測周期8.0sのケースでは、周期2.9s~10.0sの波浪に対してエネルギーの減衰が顕著に見られた。
- ④波高比は波向毎に低減率の差は見られるが、14.4%~41.2%の低減効果を確認した。
- ⑤以上の結果より、南外防波堤の港内消波工は香深港港内の静穏度向上に対して、有効に機能していることが確認できた。

参考文献

- 1)上久保勝美・酒井和彦・林誉命：港内消波工の反射波特性について、第54回（平成25年度）北海道開発技術研究発表会
- 2)上久保勝美・酒井和彦：港内消波工の水理特性について—消波工の天端幅および高さが反射率におよぼす影響—、寒地土木研究所月報NO763（2016.12）