

札前漁港における潜堤付海水交換工法の効果に関する現地観測

川 口 毅*・三 島 豊 秋**・岡 野 崇 裕***

北海道札前漁港では、現在漁港泊地とは水域的に分離された共同利用蓄養施設が建設されており、そこには施設内での水質保全対策の一つとして潜堤付海水交換工法が導入されている。本研究では、札前漁港で導入されている潜堤付海水交換工法を対象にした現地観測を行うことにより施設内での流況特性および来襲波浪と施設内の流速との相関関係について検討すると同時に、通年の海水導入特性について解析することにより潜堤付海水交換工法による水質保全効果について検討した。その結果、施設内流速は有義波高および天端高を変数とする回帰式として定式化され、目的とする施設での水質保全効果が得られていることが明らかにされた。

1. 緒 言

漁港泊地は、漁獲物の水揚げおよび漁船の停泊のための水域であると同時に、漁獲物を出荷調整するための一時蓄養水域としても利用されている。近年における漁港の拡張は、漁船の停泊のための静穏水域面積の拡大には効果的であったが、一方で泊地の閉鎖性の増加による水質悪化が漁獲物の一次蓄養に支障を生じさせるようになってきた。これに対し、各地の漁港では以前から種々の海水交換工法(小田ら, 1996; 森田ら, 1999; 明田ら, 1996)が提案され、整備されてきている。

潜堤付海水交換工法は、山本ら(1987)により提案された工法である。この工法は潜堤上での碎波によって生じる水位上昇を利用し漁港泊地への外海水の導入を図る工法であり、3タイプの潜堤形状(井桁型、円弧型および段差型)が提案されている(山本ら, 1994; 山本ら, 1988; 大村ら, 1997)。北海道札前漁港では、漁港泊地とは水域的に分離された蓄養施設が建設されており、そこには施設内での水質保全対策の一つとしてこの潜堤付海水交換工法が導入されている。

本研究では、札前漁港で導入されている潜堤付海水交換工法を対象に現地観測を行い、その波浪および蓄養施設内の流速観測結果に基づき、施設内での発生流況特性および来襲波浪特性と施設内流速との相関関係を明らかにする。さらに、その結果より推定される年間を通しての施設内流速の発生頻度に基づく蓄養施設内における海水流入特性により、現地で導入されている潜堤付海水交換工法による水質保全効果について明らかにする。

2. 札前漁港における潜堤付海水交換工法の概要

札前漁港は北海道松前町に位置する泊地面積 17100 m²の第一種漁港である。この漁港には、泊地とは水域的

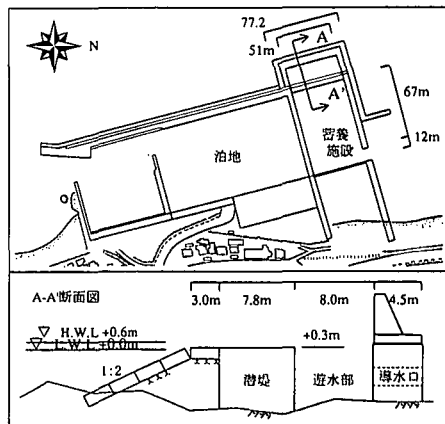


図-1 札前漁港の概要

に分離された専用の蓄養施設が平成 11 年度に整備されており、冬季のヤリイカを主対象に建設されている。施設利用は、施設内の棧橋完成後の平成 14 年度より段階的に行われることになっている。

図-1 に蓄養施設の概形を示す。蓄養施設は、水域面積 4029 m²および水深約 4~4.5 m であり、その水域には 3 基の棧橋が整備され、最大で 36 基の生簀が設置できる配置となっている。また、施設を囲む堤体前面の海水導入部の沖側には延長 77.2 m、天端幅 10.8 m および天端高 M.W.L. (DL.+0.3 m) の潜堤がある。海水導入部には 3 基の手動ゲート付導水口(高さ 2 m×幅 2 m)があり、この導水口を通じて施設内への外海水の導入が行われる。なお、現在この沖側には越波防止を目的とする天端幅 20.7 m、天端高 DL.-2.2 m の人工リーフが建設されている。

3. 来襲波浪と蓄養施設内における流況の現地観測

3.1 現地観測の概要

この蓄養施設は冬季のヤリイカを対象に設計されているものの、ヒラメやアワビといった種々の魚介類につい

* 正会員 工修 (社)水産土木建設技術センター

** 正会員 工博 (株)ニュージェック 河川・海岸部

*** 正会員 工修 (社)水産土木建設技術センター

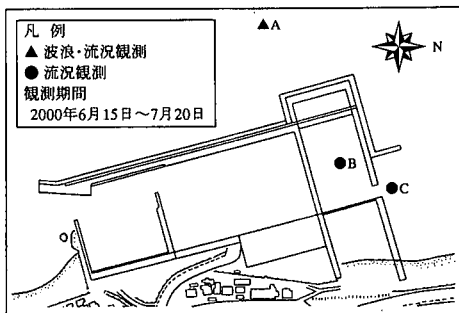


図-2 調査位置図

ても蓄養対象となっており、一般に海象が静穏になる春～夏季を含めた通年に渡る蓄養の実施が望まれている。

そこで、現地観測は、夏場の平成 12 年 6 月 15 日～7 月 20 日までの約 1 ヶ月間を対象に、来襲波浪および蓄養施設内の流速について実施した。図-2 に各観測地点を示す。波浪観測地点 (St. A) は、施設計画時の事前調査と同じ札前漁港沖の水深約 15 m 地点に設定されている。また、流況観測については施設内 (St. B) および施設排水口 (St. C) の各 1 地点に ADCP を設置した。ただし、St. C に関しては要因不明の速い一定流速が常時観測されていたために解析の対象から除外した。なお、今回の現地調査は人工リーフ建設前に行われている。

3.2 波浪観測結果

図-3 に蓄養施設沖 (St. A) における水位、有義波高 ($H_{1/3}$) および有義波周期 ($T_{1/3}$) の経時変化を示す。観測期間中の有義波高は 0.2～1.7 m 程度を示しており、特に 7 月 11 日以降は観測期間の中でも比較的波が高く有義波高 1 m 程度の波浪が断続的に来襲していた。

また、札前漁港の南東約 10 km に位置する松前港沖 (離岸距離 1,250 m, 水深 35 m 地点) では常時波浪観測が行われている。図-4 に松前港沖および St. A における観測期間中の波浪データをプロットしたが、波高および周期ともに有意な相関関係が見られた。また、ここでは示していないが、水位 (潮位) についても両地点で比較したところ、若干ばらつきがみられたものの波浪と同様に明確な相関関係が確認できた。

3.3 流況観測結果

図-5 に蓄養施設内 (St. B) における流速 (絶対値) の経時変化を示す。図-3 に示した波浪観測結果と比較すると、有義波高の大きい時期に対応して流速が速くなる傾向が現れている。したがって、高波浪時には導水口からの流れが St. B に伝搬しているものと思われる。

次に、蓄養施設内における流速の鉛直分布について図-6 に示した。高波浪時における目視観測の結果、導水口からは気泡を多く含んだ海水が概ね噴流に近い状態で

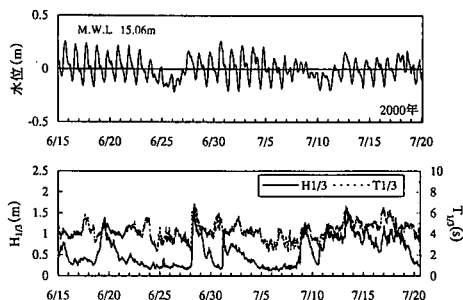


図-3 水位、有義波高および有義波周期の経時変化 (St. A)

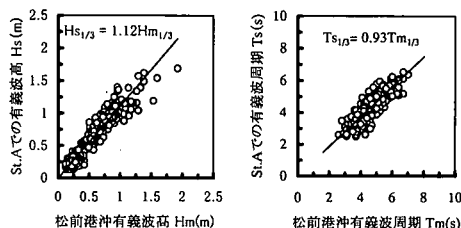


図-4 St. A と松前港沖における波浪の相関関係

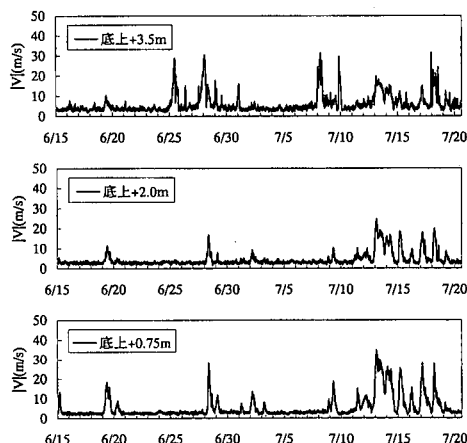


図-5 蓄養施設内 (St. B) における流速の経時変化

流入していた。図中では流速 v と深度 h_v についてそれぞれ同時刻における全深度中の最大流速 v_{max} および流速分布幅 W_v を用いて無次元化している。このとき、流速分布幅は流速がそれぞれ v_{max} および $v_{max}/2$ を示す深度の差を表している。また、ここでは観測点が導水口から離れていることもあり、流速の小さいデータについては無視し、導水口からの流れの影響を受けていると思われる海底上 0.5 m での流速が 15 cm/s 以上のものについて図示した。

図-6 をみると、表層に比べて底層のほうが流速が大きい傾向にあることがわかる。また、海底面付近ではデー

タのバラツキが小さく一定の流速分布形状になっているが、表層では波浪の影響のためかデータのバラツキが大きくなっている。

また、平面的な流れを調べるため、平成12年11月28～29日にかけてフロートを用いた流況調査を行った(図-7)。調査はおおよそ潮の止まる干潮時に行い、導水口付近を起点として10分毎に各フロートの位置を記録した。図中の凡例に示す()内の数字は、フロートから水中に吊した抵抗板までの深さであり、1～3.5 mまでの数深度に分けて調査を行っている。

図-7をみると、導水口直後の表層付近では反流的な流れが生じているためか、深度1 mに抵抗板を吊したフロートについては起点からあまり移動せず海水導入口側に留まっていた。しかしながら、その他のフロートの動きから、蓄養施設内における平面流況は概ね導水口から排水口へ向かう反時計回りの大きな循環流になっているものと推測される。

3.4 波高と施設内流速の関係

蓄養施設における海水交換工法の効果を検討するためには、導水口からの海水の流入状況を評価する必要がある。ここでは、森口ら(1992)による導水量の算定方法を参考に、来襲波浪および水位に対する蓄養施設内での発生流速について検討した。蓄養施設内において発生する流速は、来襲波浪の波高が大きい程速くなるが、潮汐による水位変動の影響も受けている。特に、小さな波高の場合にはその影響は顕著に現れる。図-8は、潮汐による水位と有義波高との比($\eta/H_{1/3}$)に対して蓄養施設内での流速の関係を示したものである。流速のピークは若干プラス側へシフトしているが、概ね $\eta/H_{1/3}$ が0を示すところにある。これは、潮汐による水位が潜堤の天端高さとはほぼ等しいときに効率良く導水されることを表している。また、おおよそ $-0.25 < \eta/H_{1/3} < 0.6$ の範囲において流速が有意な値を示すことが確認できる。

次に、蓄養施設内の流速 v (m/s)とそれらを水深方向に積分して求められる単位幅流量 q ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)について、それぞれ有義波高 $H_{1/3}$ (m)および天端水深 h (m)を用いて定式化した。図-9は観測値とその関係式を示したものである。なお、流速データには導水口からの流れの影響が有意に現れている海底上0.5 m～1.5 mのものについて解析対象とした。

関係式をそれぞれ以下の(1)および(2)に示す。蓄養施設内の流速 v および単位幅流量 q は、有義波高および天端水深を用いた $0.66H_{1/3}-h$ の関数として表され、この値が0.3～0.4(m)以下になるとゼロとなる。

$$v = 0.268(0.66H_{1/3} - h) - 0.101 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$q = 0.712(0.66H_{1/3} - h) - 0.279 \quad \dots\dots\dots (2)$$

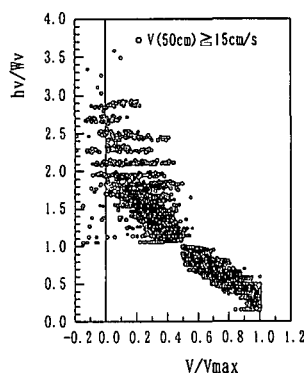


図-6 蓄養施設内 (St. B) の流速の鉛直分布

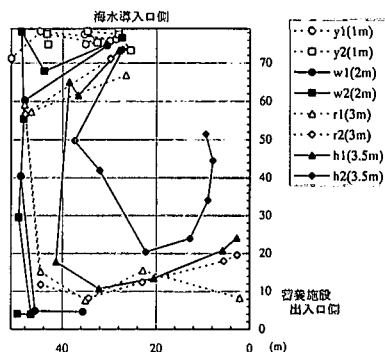


図-7 フロートによる流況調査結果 (11/29 10:35～11:45)

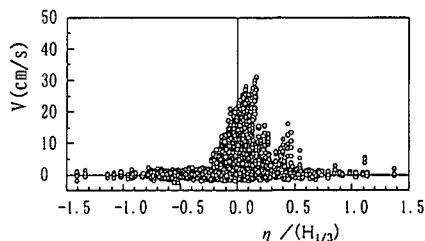


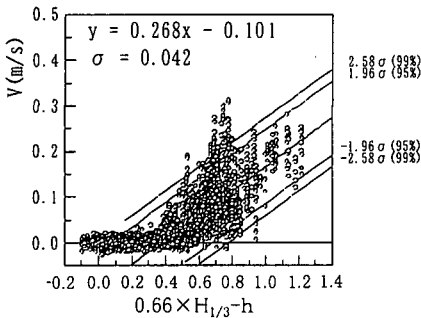
図-8 相対水位 ($\eta/H_{1/3}$) と蓄養施設内の流速との関係

なお、図中に示した破線は、関係式による推定値と実測値との残差の幅を表している。

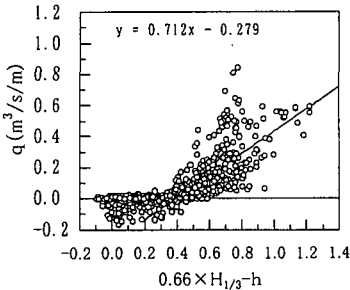
4. 蓄養施設内への導水特性と効果

4.1 施設内への導水の発生頻度

蓄養施設を利用する場合には、通年に対する海水導入の発生頻度などについて検討しておく必要がある。ここでは、式(1)に松前港沖における波浪および潮位データを適用することにより、札前漁港蓄養施設内における年間の流速発生頻度、すなわち海水の流入頻度について検討した。なお、波浪および潮位データには平成8～11年までの4年間の観測記録を用いている。



(1) 有義波高と流速の関係



(2) 有義波高と単位幅流量の関係

図-9 有義波高と St. B での流速および流量との相関関係

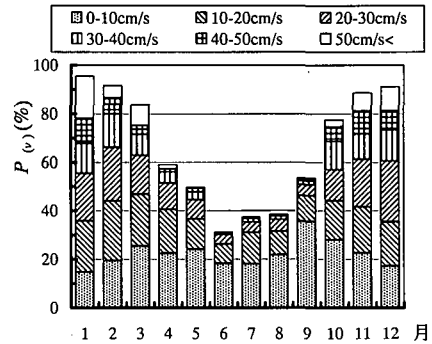


図-10 蓄養施設内の流速発生頻度

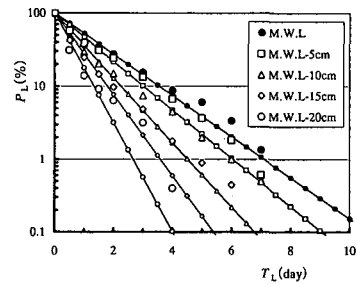


図-11 天端高別にみた連続日数の超過確率 (夏季)

図-10 には月別に見た蓄養施設内における流速の発生頻度の推定値が示されている。これをみると、年間を通じて海水導入に伴う流速が発生し難い月は6月であり、流速の発生頻度は30%程度である。言い換えれば月の約70% (20日程度) は海水交換が期待できないことを意味している。一方、流速の発生頻度が最も高い月は1月であり、この月には95% (ほぼ毎日) の確率で海水交換が期待できる。また、年間を通して蓄養施設内に発生する流速の最大値は3月における130~140 cm/sであった。

4.2 施設内への導水の連日数

蓄養施設を利用する上で重要な海水交換特性には、海水導入の発生頻度と並んで、導水から次の導水が起こるまでの連続日数がある。波浪エネルギーを利用した潜堤付海水交換工法による導水は、来襲波浪の波高との相関が高く、一定値以上の波高が長期にわたって来襲する場合には蓄養施設内へ連続的に導水される。逆に、波高が一定値以下の場合には導水されない日が連続することになり、その期間での水質変化が問題になる。ここでは、導水から次の導水が起こるまでの連続日数の確率分布に次式の指数分布を仮定することにより、導水が期待できない連続日数について検討した。

$$p(x)dx = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right) dx \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)に示す x 、 p および λ は、導水が期待できない連続日数、その確率密度関数および平均連続日数である。

図-11 には、最も連続日数が長くなる夏季に対して天端高ごとの連続日数の超過確率 (P_L) が示されている。また、図中には式(3)の指数分布で表される連続日数の超過確率も示されている。連続日数が長いところではデータ不足が原因と考えられる相違が現れていたが、それを除けば式(3)で表される連続日数の確率密度と実測値との対応は良好であった。現状の天端高に対する平均連続日数は3~8月にかけて比較的長く、最も長くなるのは7月の2.34日であった。現状での夏季の連続日数の超過確率は、3日、5日および7日以上に対してそれぞれ14%、3%および1%となっているが、天端高を5 cm下げた場合には、それぞれ10%、2%および0.5%まで下げられると推定される。今後、施設内での蓄養規模が増大し、現状での施設で対応できなくなった場合の対策として、現状の潜堤天端高を下げることににより、海水交換されない連続日数を短くすることができると考えられる。

春季から夏季にかけての蓄養施設の具体的な利用計画はまだ立てられていない。しかしながら、この時期に陸揚げされる主要魚介類に対して蓄養施設設計時のヤリイカの蓄養率などを仮定すると、溶存酸素に着目した場合には図-11 に示されている連続日数の超過確率下でも

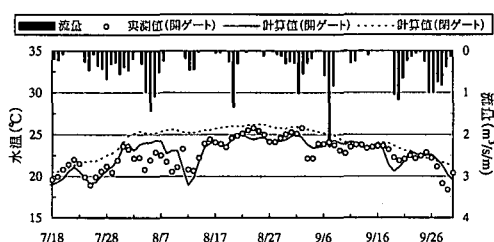


図-12 水温の予測計算結果

それらの魚介類の蓄養は十分可能であると推定されている。図-11に示されているような連続日数は、今後のこの時期の施設利用計画を立てる場合に想定されている以上の量の蓄養を行う場合に問題になると考えられる。

4.3 導水による施設内の水温上昇への効果

推定された施設内への導水の発生頻度および連続日数を考慮すると、蓄養施設への海水導入はこの水域での水質保全に十分効果があると推測される。ここでは、蓄養施設内での水温の連続観測結果を用いて、蓄養施設内の水温変化に対する海水導入の効果を検討した。なお、対象とする水温データは、平成11年7月18日～9月30日の観測結果（施設中央部の水深2 m）である。

この水温データは、導水口に設置されている手動式ゲートが全開状態のときのものである。ここでは、その観測データに対してゲートが全閉状態の場合に対する水温変化を予測することで海水交換工の効果について検討した。適用したモデルは蓄養施設内を1つのボックスとする1ボックスモデルである。導水口からは、対象期間における波浪および潮位データを用いて式(1)より求められる導水量の推定値を時々刻々を与え、蓄養施設内での水量の連続関係が満たされるように排水口での流量を設定した。

図-12には蓄養施設内での水温変化の観測値および予測結果が示されている。これより、海水交換工法がない場合には25°C以上の水温の日が継続することが予測される。この海水交換工法の設置によって、継続的な水温上昇のピークが押さえられていることが確認できる。

5. 結 語

本研究では、札前漁港の蓄養施設に設置されている潜

堤付海水交換工法を対象とする現地観測より、その導水特性および蓄養施設利用への効果について検討した。

- (1) 導水口からは気泡を多く含んだ海水が概ね壁面噴流に近い状態で流入しており、蓄養施設内では来襲波浪特性に合わせ間欠的に流速が発生している様子が観測された。
- (2) 松前港沖での波浪観測データから蓄養施設内への導水の発生頻度および連日数について検討したところ、冬季にはほぼ毎日導水が期待できるものの、夏季には月の約70%について導水が期待できないことが分かった。
- (3) 蓄養施設の利用の上では、導水量だけでなくその連日数についても考慮することが重要と思われる。
- (4) 蓄養施設内の水温に対して海水交換工法による効果を検討したところ、導水口のゲートを開けた場合、継続的な水温上昇のピークが押さえられていることがわかり、海水交換工法の効果が確認できた。

参 考 文 献

- 明田定満・山本泰司・谷野賢二・木村克俊・小野寺利治 (1996): 浦河港水中荷捌場における海水交換特性について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1221-1225.
- 大村智宏・中山哲蔵 (1998): 潜堤付き海水導入工の適用範囲拡大に関する研究, 水産工学研究所技法, 第20号, pp. 1-11.
- 小田一紀・真栄平宜之・山上雅実・田中彬夫 (1996): 水面にパイプ孔を有する透過堤の波浪誘起導水量に関する理論的研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1231-1235.
- 森田修二・出口一郎 (1999): スロープ水路を有する透過性防波堤に関する研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1101-1105.
- 森口郎彦・藤原正幸・山本正昭・田中輝男 (1992): 潜堤付孔空き防波堤の実海域での導水特性と泊地内水質予測, 海岸工学論文集, 第39号, pp. 886-890.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一・池田正信 (1994): 志賀島漁港外港の導水工による環境改善に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1096-1100.
- 山本正昭・中泉昌光・間辺本文 (1987): 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 675-679.
- 山本正昭・間辺本文・中泉昌光 (1988): 潜堤付孔あき防波堤による海水導入, 第33回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp. 67-99.