

II-56

呼人漁港における傾斜板式防波堤の採用について

(株) アルファ水工コンサルタンツ	正員	林 克恭
(株) アクア		黒崎 亮三
北海道 土木部 小樽土木現業所		青木 稔
同 上 網走土木現業所		玉置 淳二
同 上 室蘭土木現業所		沼田 辰巳
同 上 札幌土木現業所	正員	鎌田 彰

1. はじめに

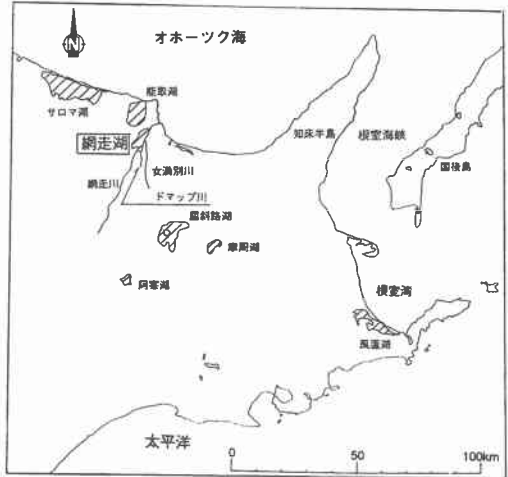
我が国の漁業を取り巻く情勢は、平成4年の「国連“環境と開発”会議（地球サミット）」の基本理念である「持続可能な開発」の定着、我が国では平成8年に発効した「国連海洋法条約」に伴う200海里排他的経済水域の設定等によって、大きな転換期を迎えている。これらを背景に、漁業根拠地である漁港の計画や建設においては、「資源管理型漁業」や「つくり育てる漁業」の推進への適合、さらには、沿岸域における水質保全や生態系への配慮が重要課題となっている。

本報告は、図一1, 2, 3 に示す網走市の網走湖内に位置する呼人（よびと）漁港の主防波堤である西防波堤の構造型式として、軟弱地盤や環境保全等を考慮した「傾斜板式消波構造」（Pile Supported Reef. 以下「PSR工法」という）の採用に至った経緯、PSR工法の紹介及び本工法の今後の課題について述べたものである。

2. 漁港周辺の自然条件と問題点等

(1) 網走湖と呼人漁港

網走湖は、網走国定公園内にある面積34.1km<sup>2</sup> 周囲46 km、最深部が16 mの海跡湖で、網走・女満別（めまんべつ）・ドマップの3河川が合流しているが、北東部で再び網走川として流出し、網走市内を貫入してオホーツク海に注いでいる。従って、湖の干満によって淡水と海水が混在する汽水湖で、ワカサギ、シラウオ、シジミ等を対象とした漁業が営まれている。特に、ワカサギは人工孵化によって稚魚が放流され、湖面が結氷する冬期間のワカサギ氷下漁や 開穴からのワカサギ釣りは湖の風物詩となっている。



図一1 網走湖位置図



図一2 呼人漁港位置図

The Design of Breakwater by “PSR” at YOBITO Fishery Harbor  
 by Katuyasu HAYASHI, Ryozeu KUROSAKI, Minoru AOKI, Junnzi TAMAOKI, Tatumi NUMATA and Akira KAMADA

呼人漁港は、図一2に示す湖東岸中央部の呼人半島南側基部に位置しており、利用範囲が地元の漁業者を主とする第1種漁港で、湖にある内水面漁業港である。図一3に示すように、第9次漁港長期整備計画（平成6～11年）の改修事業によって、西防波堤や2.0m物揚場等を整備することとなっている。なお、呼人の地名はアイヌ語「ヨピ・ト（yopi-to：親沼から別れ出ている・湖）」等に由来している。

(2) 波浪条件

有効吹送距離が最大のW方向でも3.83kmのため来襲波浪は風波である。SMB法による波浪推算の結果、防波堤等の設計波として用いられている30年確率波の諸元は、波高 $H_{1/3}=1.0\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=3.0\text{sec}$ となった。この値は、オホーツク海域の外洋波の $H_{1/3}=3\sim 5\text{m}$ 、 $T_{1/3}=6\sim 10\text{sec}$ と比べると、かなり小さいことが特徴である。

(3) 漁港周辺の地形と地質、土質条件～問題点②

1) 地形と地質：山地を構成する第三系、海岸段丘（現地形は河岸段丘）を構成する火砕流堆積物等の洪積層、低地を構成する沖積層に大きく区分される。呼人半島は頂部が平坦な標高40m程の海岸段丘で、漁港は、湖南部に流入する女満別川に沿って分布する沖積層低地と洪積層段丘との共存域に位置している。

2) 土質条件：西防波堤法線上のボーリング調査の結果を図一4に示す。地層は沖積層の粘性土(Ac)、砂質土(As)、洪積層の火山灰土(Dv)、第1砂質土(Ds1)、第2砂質土(Ds2)、第1粘性土(Dc1)、第2粘性土(Dc2)から成っているが、Dv、Ds1は防波堤基部のみである。防波堤の構造型式を選定する上で留意したのは、全孔において5～10m程の層厚で堆積が認められ、また、ロッドやモンケンが自沈したN値0のAc層であった。

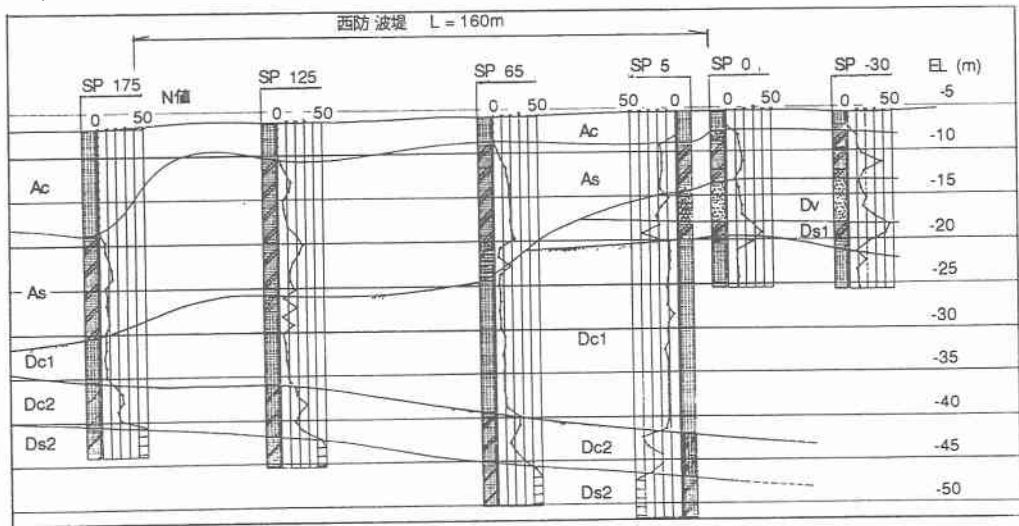
なお、湖底部には海跡湖特有のヘドロ堆積も認められた。

(3) ワカサギ稚魚の放流～問題点①

呼人ではワカサギの人工孵化が行われており、毎年、体長5mm程度に成長した5億尾以上の稚魚が放流されている。放流直後の稚魚は遊泳能力が殆ど無く、水面下0～1m付近を漂うように浮遊する。放流口は図一3に示すように漁港に近接しており、現地調査の結果、4～5月の放流時期に卓越する南風に伴う吹送流によって、稚魚が港内に流入して滞留し、へい死することが懸念された。



図一3 呼人漁港計画平面図



図一4 西防波堤法線におけるボーリング調査結果 [地質想定断面図、土質柱状図等]

### (5) 湖の水質～問題点③

湖は汽水湖のため水深5～6m付近に塩淡水境界がある2層構造となっており、下層は塩素量が急激に多くなっている。西防波堤法線の水深は5～6m程度であるが現地調査によると、湖底部の水質は無酸素状態に近かった。また、清浄海水では一般的には検出されない硫化物イオンが、5.0～7.5ppmという高濃度で検出された。

### (6) その他～問題点④

網走湖の漁船の多くが5t未満と小型で、航路も西防波堤に近接しており、防波堤からの反射波による障害が懸念された。また、既存の漁港は、湖面の結氷以前に港内が結氷し、漁船の利用を阻害していることから、新たな港の建設にあたっては港内の結氷時期の遅延対策を要望された。

## 3. 防波堤の機能と構造型式

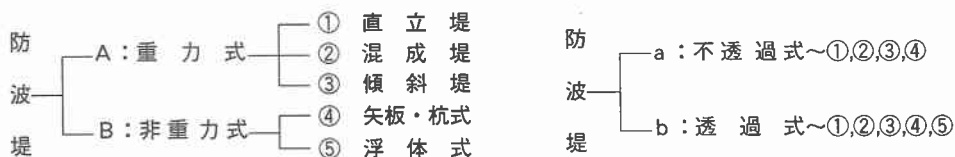
### (1) 防波堤の機能

防波堤は漁港を構成する最も重要な施設で、その機能は、①来襲波浪を遮って、航路や港内の静穏を確保したり、②漂砂や潮汐等の影響を防いで、③漁船の出入港や港内での操船・停泊・係留を容易にし、漁船の安全性を確保すると共に、漁獲物の荷揚げや出漁準備等の港内作業の円滑化を図ることである。また、④港内に蓄養や中間育成の施設の水面を確保したり、⑤岸壁、船揚場、背後用地等を防護し、合わせて種々の設計条件を緩和して、それらの工事費を低減することである。なお、近年はこれらの機能の他に、⑥周囲との景観の調和に対する配慮、⑦親水性の付加、⑧近接漁場等の自然環境との調和、⑨周辺環境への影響緩和(ミチゲーシオン)等も求められている。

### (2) 防波堤の構造型式

表一1に示すように、1)波浪に対する抵抗機構から、「A:重力式(自重で抵抗)とB:非重力式(鋼材等の応力、地盤の土圧や摩擦力等で抵抗)」、2)港内への伝達や海水交流の機構から「a:不透過構造とb:透過構造」とに大きく分類される。

表一1 防波堤の構造形式の分類



1) 波浪に対する抵抗機構

2) 港内への波浪伝達や海水交流の機構

## 4. 西防波堤に求められた機能と対策

西防波堤の構造の決定にあたっては、2.で述べた問題点①～④の対策を主眼に検討した。

(1) ワカサギ稚魚対策(①)：港内にワカサギ稚魚が流入することが懸念されたため、港内の水質を港外の水質と同程度に保全することが重要であった。このため、防波堤は海水交流の促進を図ることができる「透過構造」とすることとした。なお、ワカサギ稚魚は、水面付近を浮遊し移動するため、稚魚の港内滞留防止は、北護岸既部と西防波堤基部に「潮通し工」を配置することで対処した(図一3参照)。

(2) 軟弱地盤・ヘドロ対策(②)：③、④にも関連して「杭式」とすることにした。構造としては浮体式も考えられたが、浮体固定法、浮体製作ヤード確保、工事費等の面から不採用とした。

(3) 水質保全対策(③)：湖底面に壁体を有する構造物の場合、堤体前面の反射波や湧昇流によって湖底部の無酸素水、硫化水素、ヘドロ等の有害物質が上層や湖面に巻上げられて、水質環境が損なわれる恐れがあった。このため、「杭式」で「低反射構造」を採用することとした。また、港内結氷の遅延対策としては、「透過式」の採用が海水交流を促進という観点から有効であると考えられた。

(4) その他の対策 (④) : 透過式としても、静穏度シミュレーションから得られた所要の港内静穏度を確保する透過率 ( $KT < 0.57$ ) を確保する必要があった。さらに、航路となる港外側への反射波を極力小さくする「低反射構造」とする必要があった。また、港内結氷の遅延対策としては、「透過式」の採用が海水交流を促進という観点から有効であると考えられた。

5. PSR工法 [ 傾斜板式消波構造 ] の防波堤

4. の検討から、西防波堤の構造としては、従来工法では図-5 1) に示す「カーテン式」が適しているが、一般に、鋼管杭上部に波浪遮蔽用の垂直板を設けているため、特に大水深では杭に大きな転倒モーメントが作用する。そのため、近年、同図2) に示すように垂直板を傾斜板にして、転倒モーメントのみならず、反射波をも軽減する工法が研究開発された。この工法は、水産庁所管の任意団体である「漁港新技術開発研究会」の第7部会で開発された「PSR工法」(Pile Supported Reef)で、次のような特徴がある。(図-6、7参照)

- ① 港内静穏度確保に必要な透過率 $KT$ を傾斜板の角度 $\theta$ と幅 $B$ の組み合わせで任意に設定できる。
- ② 反射率 $KR$ は垂直板構造よりもかなり小さい。
- ③ 透過構造のため、港内外の海水交流の促進が図れる。
- ④ 垂直板構造よりも水平波力が小さく、転倒モーメントを軽減できることから、特に大水深や軟弱地盤において経済的な断面となる。
- ⑤ 上部構造のプレキャスト部材使用が可能なることから、水上作業の工期短縮を図れる。

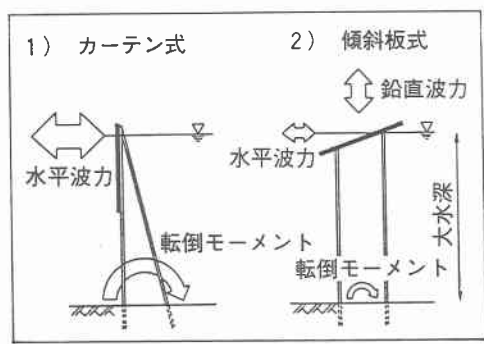


図-5 杭式防波堤の外力特性機構<sup>1)</sup>

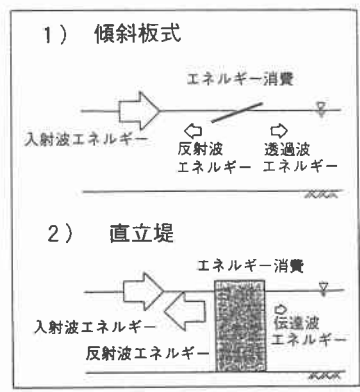


図-6 防波堤の消波特性機構<sup>1)</sup>

表-2 西防波堤のPSR工法による断面設計諸元

H.W.L.(D.L.+0.8m)の時の値		
入射波	波高 $H_i$ (m)	1.0
	周期 $T$ (sec)	3.0
	波長 $L$ (m)	14.0
傾斜	天端突出長 $h_T$ (m)	-0.4
	角度 $\theta$ (°)	20.0
斜板	水平幅 $B$ (m)	4.12
	下端水深 (m)	1.9
板	透過率 $KT$	0.55
	反射率 $KR$	0.18
	前面水深 $h$ (m)	7.0

※ $h_T$ は、水面より上は正、下は負

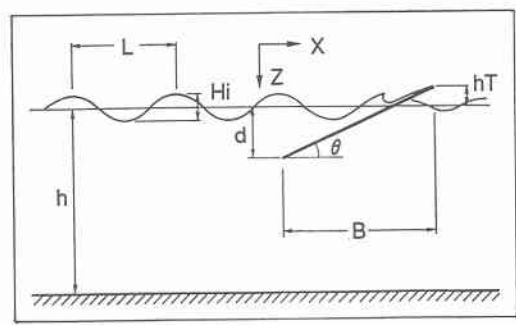


図-7 傾斜板式構造の各種諸元の説明<sup>2)</sup>

## 6. 西防波堤の断面決定と施工

4.と5.の検討から西防波堤の構造として、鋼管杭式で傾斜板式消波構造のPSR工法を採用した。断面決定においては、まず、静穏度シミュレーションからの条件である透過率  $KT < 0.57$  を満足する傾斜板構造諸元を表-2に示すとおり求めた。なお、設計外力については、波力と湖結氷時に生じる環境力も考慮し、図-8に示す標準断面を決定した。この傾斜板の構造諸元では、反射率は  $KR=0.18$  であり、数多く採用されている消波工付の不透過式防波堤の一般的な値 ( $KR=0.4$ ) と比べると半分以下で、かなりの低反射構造といえる。また、標準断面図で斜線を施した上部デッキ及び傾斜板部分はプレキャスト部材として工場等で製作している。水上施工については、湖のため通常の作業船の使用が不可能なことから、組立式フローター台船に150t吊クローラークレーンを搭載して行った。平成7年度の完成部分を写真-1, 2に示す。

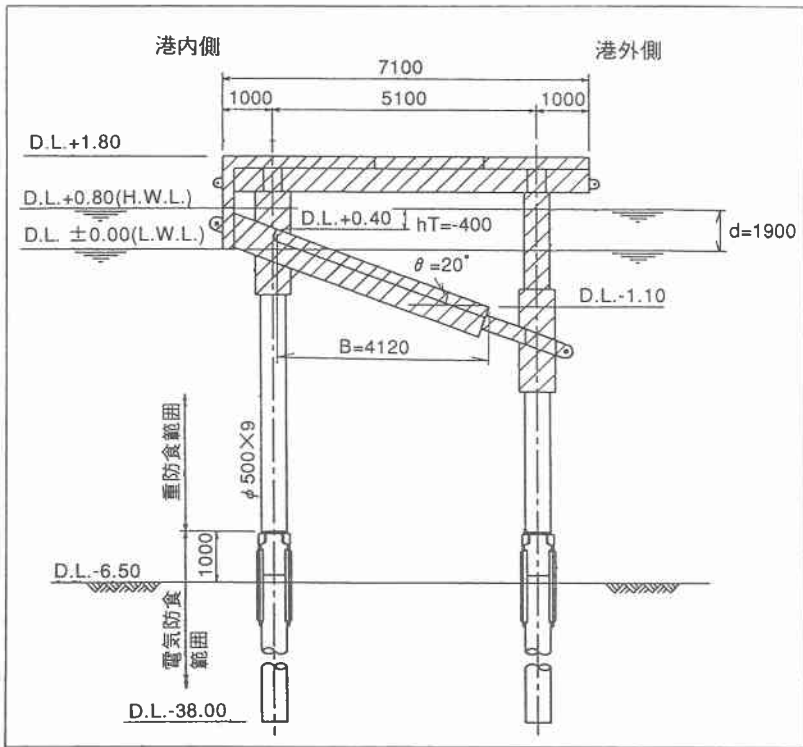


図-8 呼人漁港西防波堤の標準断面図 [ 係船タイプ ]

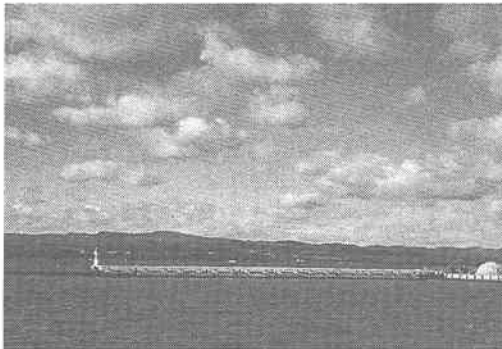


写真-1 西防波堤全景  
(平成7年度施工；港内側)

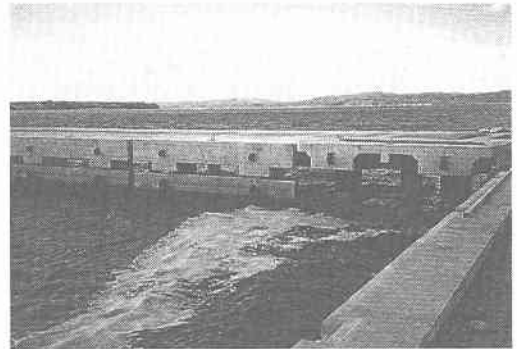


写真-2 西防波堤近景  
(港内側、右側は潮通し工)

## 7. PSR工法の今後の課題

近年、防波堤や岸壁等には港内の蓄養施設や中間育成施設に関連した新たな機能として、①港内水質保持のための海水交流、②港内波低減のための低反射構造等が求められている。呼人漁港以外の施工例としてPSR工法は、新日鐵君津製作所（千葉県）の護岸において、隣接する小糸川漁港の航路幅の確保と反射波低減のために採用されている。このように、PSR工法は、施設の前後面（港内外）で有効な機能を発揮するもので、上述の①、②のニーズにも合致しており、防波堤のみならず消波岸壁や消波構造物等としての採用も可能である。

ただし、参考資料1)に示されているが、長周期の波浪が来襲する箇所では、大規模な断面となり実用的ではない。従って、湖内や湾内のような閉鎖性水面、あるいは、第2線防波堤や港内のような波浪が小さい箇所での採用が適すると考えられる。

## 8. おわりに

本報告は、軟弱地盤及び自然環境に配慮したPSR工法によって、施工された呼人漁港西防波堤について、①海水交流促進、②反射波低減、③湧昇流防止等が可能なPSR工法の採用に至った経緯、工法の紹介及び今後の課題等について述べた。漁業根拠地である漁港においては、良好な漁場環境を維持しつつ沿岸域の高度利用を図っていくため、漁港内外において自然環境との調和や周辺環境への環境緩和に適した工法による施設整備が急務であるが、PSR工法はその一翼を担う工法といえる。今後、適所において本工法が採用されることを期待する。

なお、西防波堤の設計外力である湖結氷に伴う環境力の評価については、北海道大学工学部 佐伯 浩教授に御指導いただいたこと、また、水産庁漁港部並びに北海道水産部漁港課の方々に、PSR工法の採用にあたって有益な御助言を頂いたことに対し深く謝意を表します。

## 参考資料

- 1) 高木伸雄・根本清英・木村秀雄：大水深・軟弱地盤に造る新しい防波堤～傾斜板式防波堤の開発～、第36回全国漁港建設技術発表会講演集、pp.74～84、1991（平成3）年9月
- 2) 木村秀雄・根本清英・山本正昭・高木伸雄・堀越伸幸：傾斜板式消波構造物の建設と現地波浪観測、海岸工学論文集第38巻、（社）土木学会、pp.571～575、1991（平成3）年11月
- 3) 高橋陽一・盛高裕生・磯部雅彦・渡部晃：傾斜板を用いた波浪制御構造物に関する研究、海岸工学論文集第36巻、（社）土木学会、pp.519～523、1989（平成元）年11月
- 4) 青木 稔：地域を生かす漁港づくりと新工法について―魚類の生息に配慮した漁港計画および新型防波堤PSR工法の採用、平成7年度土木技術研究発表会報告集（治水部会）、北海道土木部治水担当部会議、pp.73～128、1996（平成8）年2月
- 5) 編集 漁港漁村研究会：漁港計画の手引き（平成4年度改訂版）、（社）全国漁港協会、pp.38～39、1982（平成4）年11月
- 6) 北海道網走土木現業所：平成6年度 呼人漁港改修工事（西防波堤細部設計）報告書、1995（平成7）年1月