

呼人漁港における傾斜板式防波堤の建設 ～魚介類の生息環境に配慮したPSR工法の採用～

The Design of Breakwater by "PSR" at YOBITO Fishery Harbor

青山 和義*, 鎌田 彰**, 玉置 淳二***, 林 克恭****

Kazuyosi Aoyama, Akira Kamada, Junnzi Tamaoki, Katuyasu Hayasi

This Paper introduces, as a case study, the breakwater to be constructed at YOBITO Fishery Harbor in Hokkaido.

The west breakwater is constructed by "Pile Supported Reef", taking into account environmental condition of habitat conservation, soft ground and tranquility of waterway.

Keywords : environmental condition of habitat conservation, soft ground, Pile Supported Reef

1. はじめに

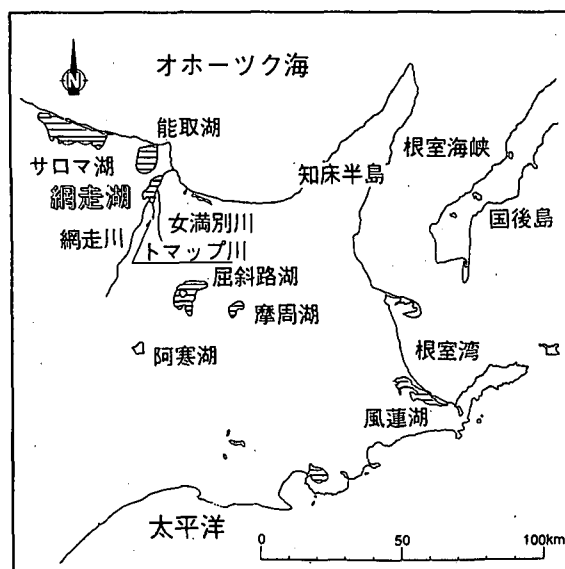
我が国の漁業を取り巻く情勢は、平成4年の「国連「環境と開発」会議（地球サミット）」の基本理念である『持続可能な開発』の定着、また、我が国では平成8年に発効した「国連海洋法条約」に伴う200海里排他的経済水域の設定等によって、大きな転換期を迎えている。これらを背景に、漁業根拠地である漁港の計画や建設においては、「資源管理型漁業」や「つくり育てる漁業」の推進への適合、さらには、沿岸域における水質保全や生態系への配慮が重要課題となっている。

本報告は、図一1, 2, 3 に示す北海道東部、オホーツク海に面した網走（あばしり）市の網走湖内に位置する呼人（よびと）漁港主防波堤（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および構造の概要、施工過程、さらに、PSR工法の今後の活用について述べたものである。

2. 網走湖および呼人漁港

網走湖は、網走国定公園内にある面積34.1km²、周囲46km、最深部が水深16mの海跡湖で、網走・女満別（めまんべつ）・トマップの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。中でも、ワカサギは人工孵化によって稚魚が放流され、特に、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（図一4参照）。

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を主とする第1種漁港である。本漁港は内水面漁業港で、最大5t未満の小型船舶が利用し、登録漁船数126隻、1日当りの利用漁船数延べ330隻余りと過密な状態となっている（平成7年港勢調査）。そこで、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、西防波堤や一2.0m物揚場等を整備することとなった。なお、地名の呼人はアイヌ語の「ヨピ・ト（yopi-to: 親沼から別れ出ている・湖）」に由来している。



図一1 網走湖位置図

* 北海道 水産部 漁港課

**正会員 北海道 土木部 札幌土木現業所

***正会員 北海道 土木部 網走土木現業所

****正会員 株式会社アルファ水工コンサルタンツ (〒063 札幌市西区発寒9-14-516-336)

3. 漁港周辺の自然環境と漁港計画検討上の問題点

(1) 波浪条件

有効吹送距離は最大でもW方向の3.83kmで、来襲波浪は風波となり、SMB法による波浪推算によって防波堤等の設計波諸元（30年確率波）は、波高 $H_{1/3}=1.0\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=3.0\text{sec}$ と求められた。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的である。

(2) ワカサギ稚魚の放流～問題点①

呼人地区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5億尾以上も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—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の吹送流によって、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。

(3) 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、本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。

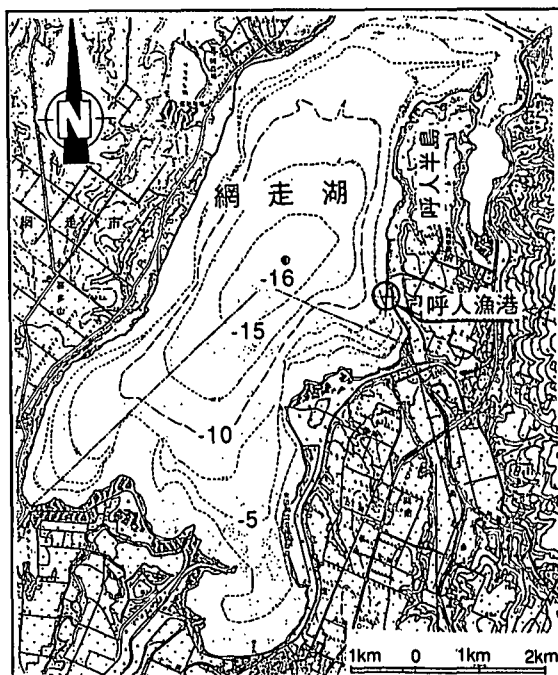
2) 土質条件：西防波堤法線上のボーリング調査の結果において、地層は沖積層の粘性土(Ac)、砂質土(As)、洪積層の火山灰土(Dv)、第1砂質土(Ds1)、第2砂質土(Ds2)、第1粘性土(Dc1)、第2粘性土(Dc2)から成っている。防波堤の構造型式を選定する上で留意したのは、ボーリング調査の全孔において5～10m程の層厚で堆積が認められ、また、ロッドやモンケンが自沈したN値0のAc層であった。なお、湖底部には海跡湖特有のヘドロ堆積が認められた。

(4) 湖の水質～問題点③

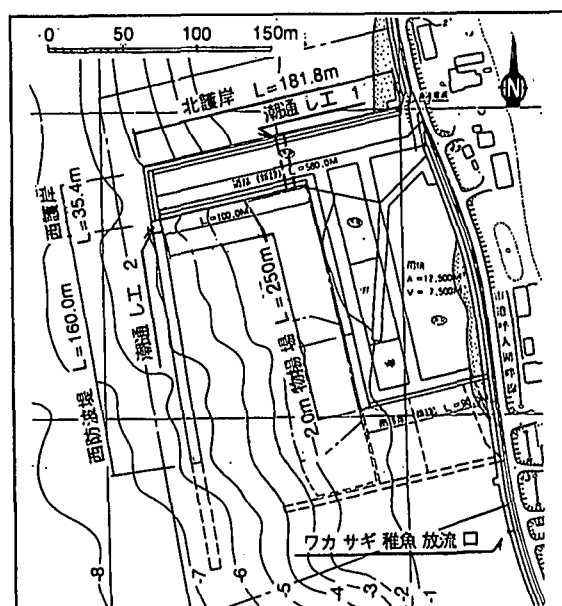
湖は汽水湖で、水深5～6m付近に塩淡境界がある2層構造となっており、下層は塩素量が急激に多くなっている。西防波堤法線の水深は5～6m程度であるが、現地調査によると、湖底部の水質は無酸素状態に近く、また、一般的に清浄海水では検出されない硫化物イオンが、5.0～7.5ppmという高濃度で検出された。

(5) その他～問題点④

本漁港の利用漁船の多くが5t未満と小型で、航路も西防波堤に近接しているため、防波堤の建設で反射波による漁船の航行障害が懸念された。また、既存施設では湖面の結氷以前に港内が結氷し、漁船の有効利用を阻害していることから、新たな漁港の建設においては、港内結氷時期の遅延対策を要望された。

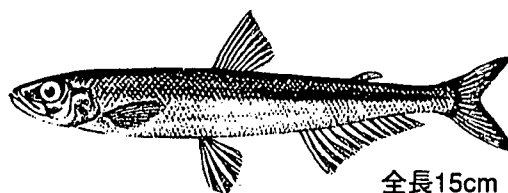


図—2 呼人漁港位置図



図—3 呼人漁港計画平面図

[わかさぎ科 (きゅうりうお科)]



図—4 ワカサギの成魚について

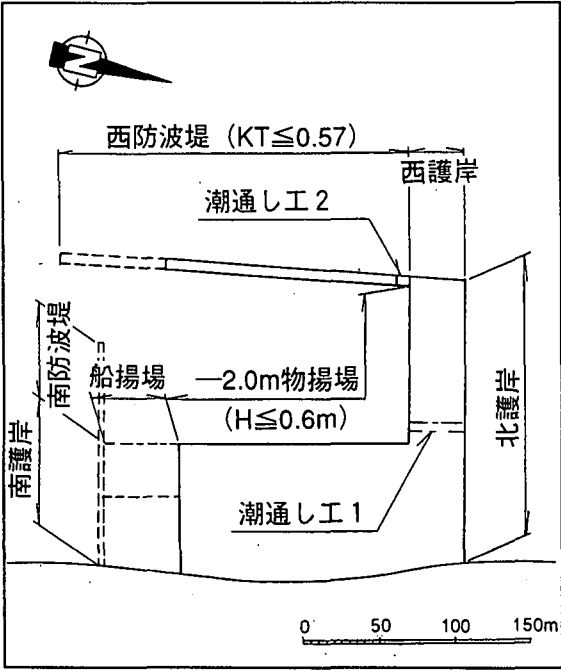
4. 漁港の外郭施設平面計画検討の概要

西防波堤の工法検討を行う前段で、ワカサギ稚魚の挙動と港内静穏度に留意した外郭施設平面計画を検討した。

ワカサギ稚魚は、漁港南にある稚魚放流口から4～5月に放流される。この時期の卓越風向は南風のため、稚魚が漁港内へ吹寄せられると考えられる。このため、ワカサギ稚魚をスムーズに漁港外へ流出させる外郭施設の配置を検討した。検討は、遊泳能力が殆どないワカサギ稚魚を浮遊物質と仮定し、流況拡散シミュレーションにより効果を確認する方法を用いた。計算の外力条件は、現地の流況調査結果をもとに、ワカサギ稚魚の浮遊水深0～1mの中間水深0.5mを基準として、流速値3.0m/secを与えた。なお、西防波堤は漁港内の水質保全のため当初から透過構造を基本としたが、本シミュレーションでは、ワカサギ稚魚の浮遊水深を考慮し、不透透境界として取り扱った。検討においては、数案の比較を行い、北護岸基部および西防波堤基部に潮通しを設けることで、短時間でワカサギ稚魚の流下が定常状態となる結果が得られ、この案によって外郭施設の建設が現在進められている。

次に、外郭施設平面計画の検討において、係留水域の波高を係船時許容波高以下に制御するため、西防波堤の透過率を決定する目的で港内静穏度の検討を行った。

静穏度の検討手法として、海底地形の影響を考慮できる数値波動解析法を用いた。波浪条件は、30年確率波（波向W、波高1.0m、周期3.0sec）である。係留水域の許容波高は、漁港計画における物揚場の標準的目安である0.6mとした。検討の結果、係留水域の許容波高を満足する西防波堤の透過率の上限値 $K_T=0.57$ を求めた。



図—5 漁港外郭施設平面計画案の模式図

5. 西防波堤におけるPSR工法の採用経緯および構造・施工

5. 1 PSR工法の採用経緯

(1) 一般的な防波堤の機能と構造型式

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（ミチゲーション）等も求められている。

一般的な防波堤の構造型式は表—1に示すように、1）波浪に対する抵抗機構から、「A：重力式」と「B：非重力式」、2）港内への波浪伝達や海水交流の機構から「a：不透透構造」と「b：透過構造」とに大きく分類される。

表—1 防波堤の構造型式の分類

防波堤

- A：重力式
 - ① 直立堤
 - ② 混成堤
 - ③ 傾斜堤
- B：非重力式
 - ④ 矢板・杭式
 - ⑤ 浮体式

1) 波浪に対する抵抗機構

防波堤

- a：不透過式～①,②,③,④
- b：透過式～①,②,③,④,⑤

2) 港内への波浪伝達や海水交流の機構

(2) 呼人漁港の西防波堤に求められた機能

西防波堤の工法の検討は、3. で述べた問題点①～④の対策を主眼に行った。

1) ワカサギ稚魚対策(問題点①)：稚魚の港内流入が懸念されたため、港内水質を港外水質と同程度に保全することが重要課題であった。このため、防波堤を海水交流の促進が可能な「透過構造」とすることにした。なお、稚魚は水面付近を浮遊移動するため、稚魚の港内滞留対策は前述のとおり、北護岸と西防波堤の基部に「潮通し工」を配置することにした(図-5参照)。

2) 軟弱地盤・ヘドロ対策(問題点②)：問題点③、④にも関連して「杭式」とすることにした。なお、他の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(問題点③)：湖底に堤体が接地する構造の場合、堤体前面の反射波や湧昇流によって湖水下層の無酸素水、硫化水素、湖底部のヘドロ等の有害物質が上層や湖面に巻上げられ、水質環境が損なわれる恐れがあった。このため、「杭式」で、しかも、「低反射構造」を採用するすることとした。

4) その他の対策(問題点④)：「透過構造」であっても、先の4. で述べたように透過率 K_T を0.57以下にする必要があった。また、利用漁船の主要航路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。なお、港内結氷の遅延対策としては、「透過構造」の採用が海水交流促進という観点から有効であると考えられた。

(3) PSR工法[傾斜板式消波構造]の防波堤

(2)の検討から、西防波堤の構造として、従来工法では図-6の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、同図の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-7参照)。

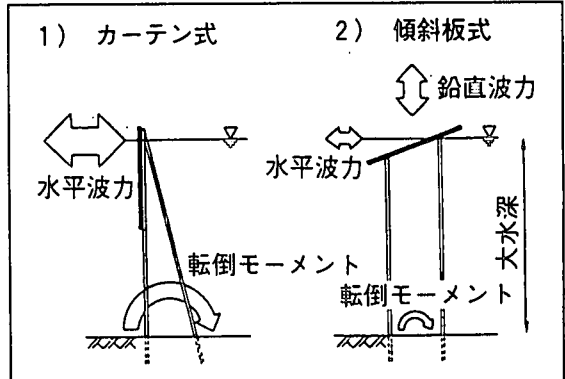


図-6 杭式防波堤の外力特性機構

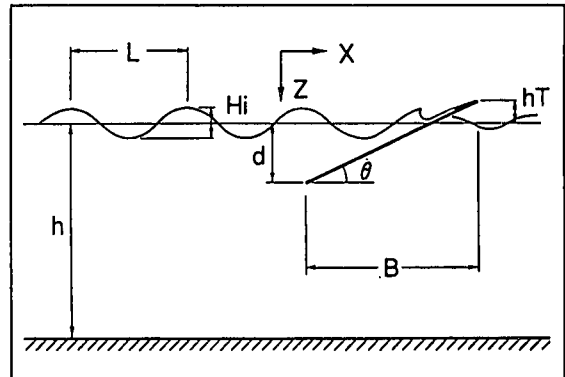


図-7 傾斜板式構造の各種諸元の説明

- ① 港内静穏度確保に必要な透過率 K_T を傾斜板の角度 θ と幅Bの組み合わせで任意に設定できる。
- ② 反射率 K_R 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ことから、水上作業の工期短縮を図れる。

上記のPSR工法の特徴は、(2)で述べた西防波堤に求められた機能を満足するものであったことから、鋼管杭式で傾斜板式消波構造のPSR工法を採用した。

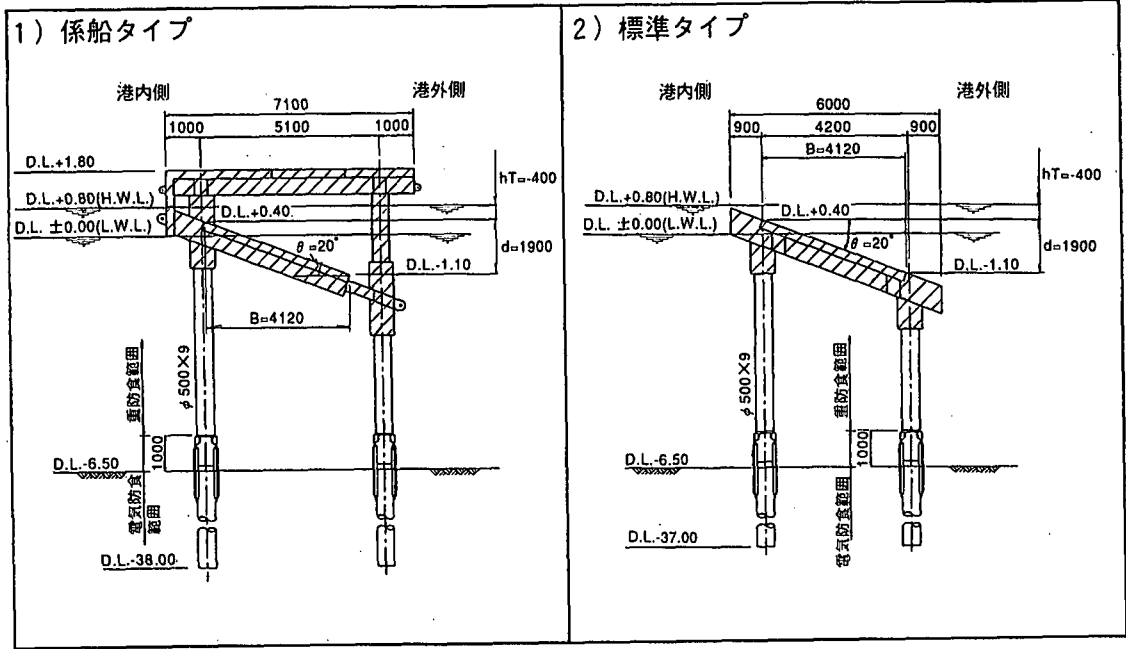
5. 2 西防波堤(PSR工法)の構造と施工の流れ
断面決定においては、まず、透過率 K_T を0.57以下に満足する傾斜板の構造諸元を求めた(表-2)。なお、設計外力としては、波力および湖面結氷時に生じる環境力も考慮し、図-8に示す標準断面を決定した。この傾斜板の構造諸元では、反射率は $K_R=0.18$ であり、数多、採用されている消波工付の不透過式防波堤の一般的な値($K_R=0.4$)と比べると半分以下で、かなりの低反射構造といえる。また、図-8に示した標準断面図で斜線を施した上部デッキ及び傾斜板部分については、プレキャスト

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
傾斜板	天端突出長 h_T (m)	-0.4
	角度 θ (°)	20.0
	水平幅 B (m)	4.12
	下端水深(m)	1.9
	透過率 K_T	0.55
	反射率 K_R	0.18
	前面水深 h (m)	7.0

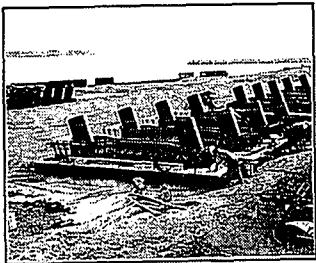
※ h_T は、水面より上は正、下は負

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。現地での施工の流れを、写真一1に示す。

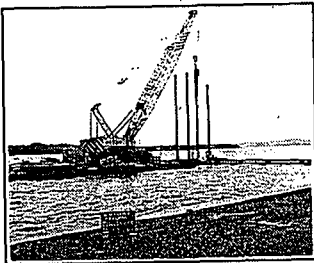


図一8 西防波堤の標準断面図

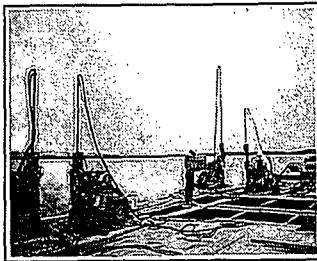
① 傾斜板・上部デッキの組立



② 鋼管杭の打ち込み



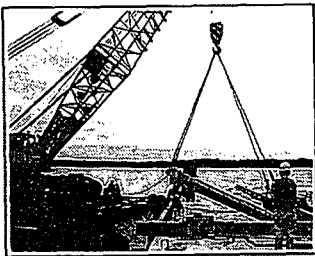
③ 地盤改良



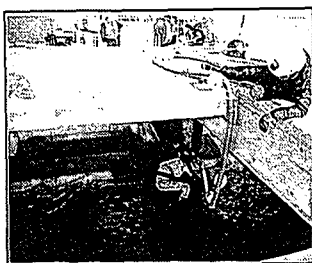
④ 電気防食陽極取り付け



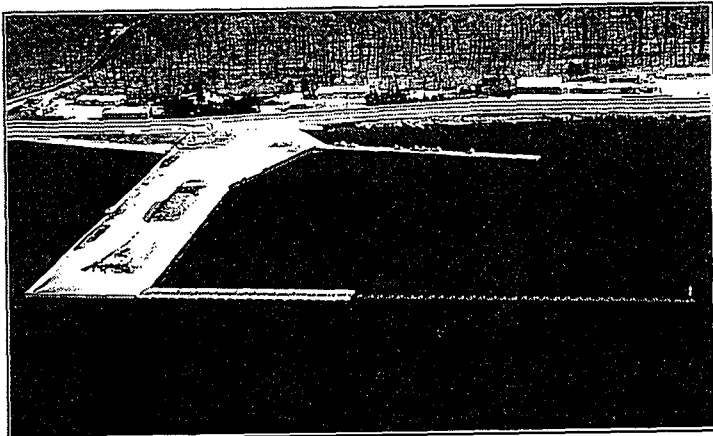
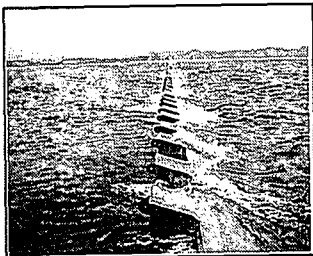
⑤ 傾斜板・上部デッキの構築



⑥ 二重管部グラウト注入



⑦ 完成

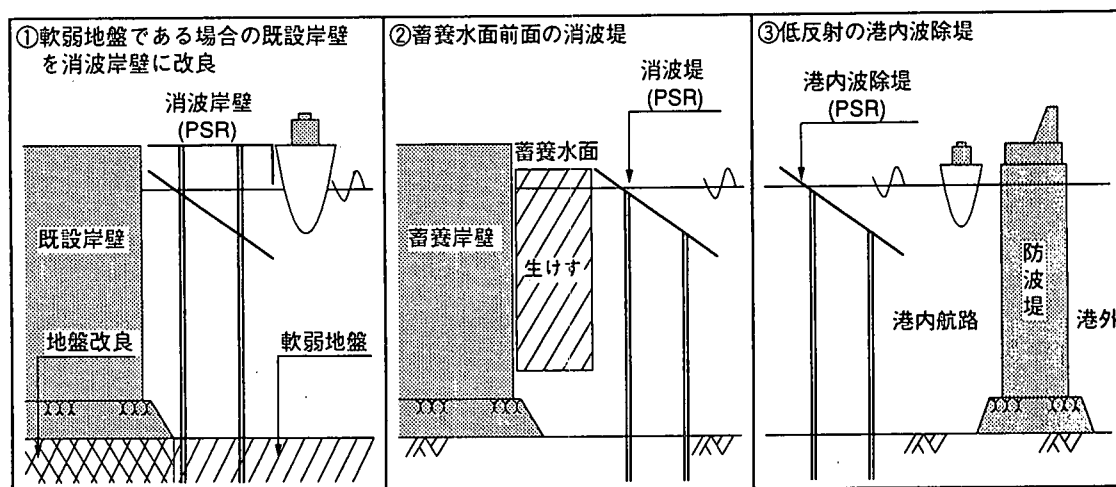


写真一1 西防波堤の現地施工の流れ

6. PSR工法の今後の活用についての提案

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。PSR工法は、本漁港以外で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、上記の①、②のニーズにも合致する。このため、防波堤のみならず消波岸壁や消波構造物等として、次に示す施設等への利用が可能と考えられる。

- ① 港内が軟弱地盤の既設岸壁を地盤改良無しで消波岸壁に改良する場合
- ② 海水交流を必要とする蓄養水面前面の消波堤
- ③ 港内の航走波の影響を軽減するための低反射波除堤



図—9 PSR工法の今後の活用例

7. おわりに

本報告は軟弱地盤への適応と自然環境に配慮した工法として、呼人漁港の西防波堤について、「魚介類の生息環境保全」、「軟弱地盤対策」、「小型船舶の航路への影響対策」等が可能なPSR工法の採用に至った経緯、施工の流れ、および今後の活用について述べた。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求められており、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し、本報告が参考になれば幸いである。

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。

主な参考資料

- 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学会議，pp.73～128，1996（平成8）年2月