

全天候型バースの設計と施工

溝 口 郁 夫

1. はじめに

製鉄業の港湾設備の建設は、高度経済成長時代にあつては荷役量の増加・輸送コストの低減等に対応するための岸壁の大型化がその主体であつたが、近年、鉄鋼製品のニーズは多様化し、少量・多品種生産型の傾向が強まり、需要家へのジャスト・イン・タイムの出荷体制の整備が急務となっている。

当社室蘭製鉄所においても工場内での生産構造、製品物流の省力化・合理化に併せて製品の最終出荷設備である岸壁にも全天候型機能、即ち静穏度の高い水域の安定的確保が要請され、昭和61年6月から62年6月にかけて設備の増強工事を実施した。

今後、わが国の港湾も、例えば水産資源の養殖、海洋リゾート関係施設等の建設・整備の比重が増えていくものと思われる。これらは従来とは異なつた、より高い静穏性が要求されるものであるが、今回、発表する「全天候バースの設計と施工」も海面の静穏度を如何に確保するかに計画・設計上のポイントがあり、本報告がこれらの海洋施設の計画・設計・施工の参考になれば幸いである。

2. 業務基本計画

2.1 業務推進フローの策定

一般に港湾基本計画にあたっては、気象・海象・地勢等の自然条件、建設コスト・構造物の耐久性等の経済条件等を調査したうえで、設備能力・規模等の基本諸元が決定され、必要に応じこれらの裏付け・検証のため水理実験、環境評価等も併せて実施される。実験・評価の結果は適宜基本計画・設計にフィードバックされ設備能力・規模の変更がなされ業務は推進されていくことになる。

当バースの計画から設計・施工までの概略の業務フローを図-1に示した。

2.2 技術検討課題の抽出

当所のバース計画の基本条件は「荒天待機等により年間60%程度に留まっている現稼働率を、限りなく0にする」ことにあり、そのためには

- (1) 泊地内の波浪の影響除去（静穏度確保）

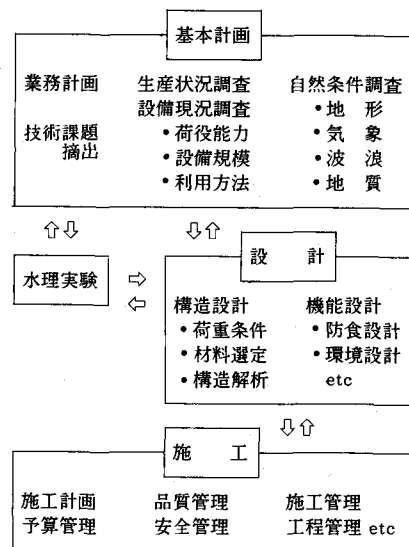


図-1 業務概略フロー

- ・消波形式およびその構造選定

(2) 風雪雨の影響の除去

- ・雨天、降雪からの製品の濡れ防止
- ・船舶出入口からの風雪の吹込み防止

の検討を行うと同時に、これ以外に下記についても検討した。

(3) 海上構造物の防食対策

- ・鋼管杭、鋼矢板の防食 ・建屋の屋根、壁材料の防食
- ・鉄筋コンクリートの防食

(4) 経済的なバースの施工方法

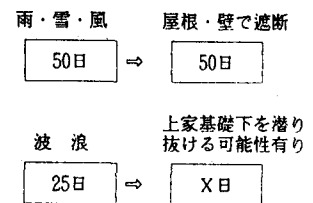
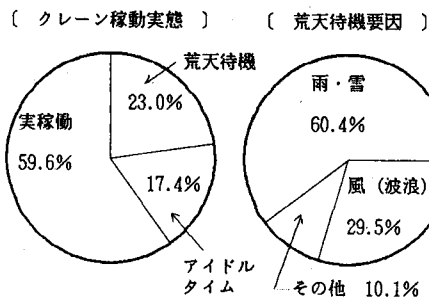
3. 事前調査

3.1 設備計画前提条件把握

(1) 現状の荷役稼働率

当所の岸壁クレーン

の荷役稼働率は、荒天
待機・アイドルタイム
を除くと60%に留ま
り、荒天待機の中で波
浪によるものが約30%
を占めているのが現状
である（図－2）。



図－2 当所の荷役稼働状況

(2) 対象荷役・対象船舶

今回、対象とする製品はコイル状の薄板・線材、棒状の線材であり、これらの製品は専用のパレット台車により岸壁まで運搬され、建屋の天井クレーンにより船積みされる。当所で扱う製品は一部を除き国内需要家向であり、今回対象とする船舶は2000 t（DWT）クラスが最大である。

(3) バースの建設位置

バースの建設場所は、本来、当地方に卓越する西から北西にかけての季節風を避けた位置とすべきであるが、物流経路の短さ・現製品倉庫との位置関係を優先せざるを得ず、現在の製品出荷バースの中間付近の風をまともに受ける11バースとした。

(4) バースの設備諸元

1) バース建屋

バースの設備諸元は対象船舶の大きさ、船廻し、荷役設備の能力等の要素および後述する風・波浪の影響評価を加味し決定されるが、当社でこれまで建設した屋根付きバースの形状をも参考にして、

バース建屋は桁行63m、梁間口32m、軒高28.5mの岸壁前面に張り出す形状とした（表－1、図－3、図－4）。

2) 消波設備の構造・寸法

バース延長87mの水中部分に直立式の消波工を設置し、消波工の水深方向の長さ、形状については水理実験で決定することとした。

3.2 地形・風・波浪条件の現状調査

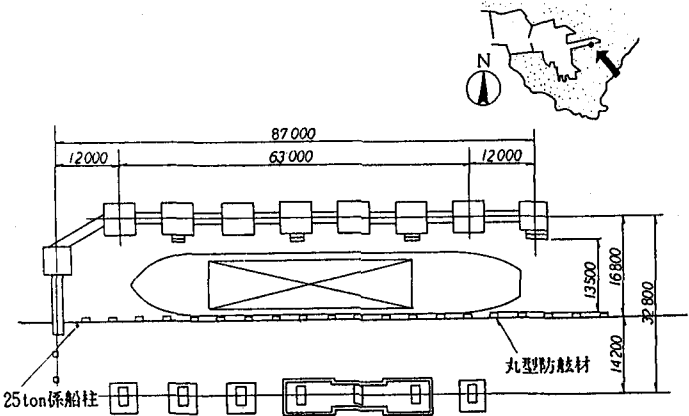
設備計画に必要とされる(1)地形 (2)風雪 (3)波浪条件について現状を調査した。

(1) 地 形

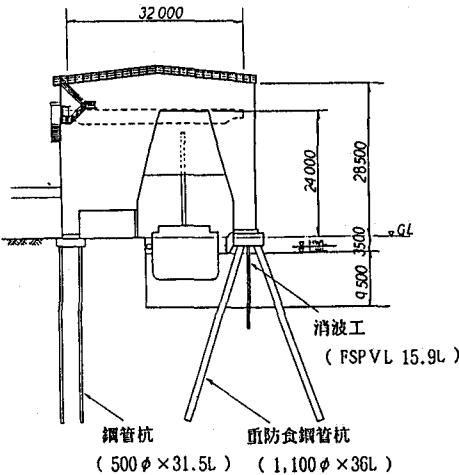
当所の泊地は、内浦湾の東側にある室蘭港の東隅に位置し、幅500m、長さ2000mの細長い形状をしている。室蘭港は西側に開口した袋状をなし、外防波堤から泊地入口まで6.5km、内防波堤から3.5kmの距離がある（図－5）。このため、防波堤外側から進入する波は港内で発生する風波

表－1 全天候バースの設備諸元

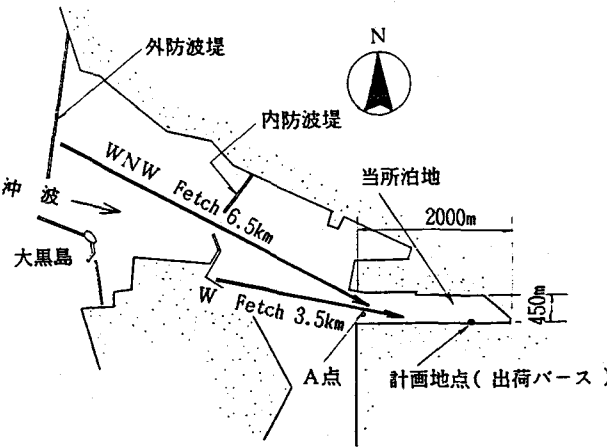
項 目	内 容
バース諸元	バース長：L＝87m バース水深：LWL－9.5m
上屋諸元	上屋構造、鉄骨造、屋根・外壁 長尺カラー鉄板 船舶出入口：幅13.5m 高さ24m
クレーン 諸元	形式：天井走行式 吊り荷重：20 ton



図－3 全天候バースの平面図



図－4 全天候バースの断面図



図－5 室蘭港の概要

と合成され泊地に到達する。到着した波は、岸壁がコンクリートケーソン、鋼矢板であるため反射波の影響が大きく、泊地内で複雑な波になると予想される。

(2) 波 向

室蘭港を代表する大黒島の風観測データと既往の室蘭港の港湾実験結果をベースに港全体の波浪を調査・解析した。

風向別の風発生頻度によると、全風速に対しては WNW・W・NW・ESE の風向が支配的であるが、波高への影響が強い風速10m/s 以上では WNW が卓越している。前述したように当所の泊地が西方に開口していることから、風向は WNW・W に限定した(図-6)。

(3) 風波の周期

風波の周期は主に風速と吹送距離とに支配される。SMB 法により求めた風速別周期をもとに、風観測データの WNW・W 方向の発生周期を求めると 4～6 秒が卓越している(図-7)。

(4) 波 高

泊地入口に到着する波は、港内での減衰を考慮した沖波の波高(H1)と港内発生波高(H2)を合成したもので、波高はエネルギー和として下式より求めた。この合成波は港内発生風波の占める割合が大きい。泊地入口に到着する波高の計算結果を図-8に示す。

$$H_i = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$$

ここで、H1：沖波の波高、H2：港内発生波高

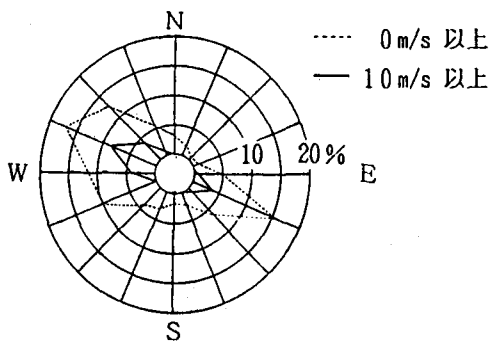


図-6 風向別発生頻度

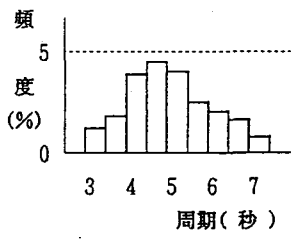


図-7 風波の発生周期分布

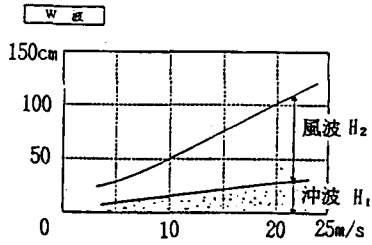


図-8 泊地入口の波高

4. 水理実験

4.1 水理実験の方法

泊地内の水理模型実験に当たり、①泊地が直線的である、②波の周期が比較的短い、③バース設置場所が泊地の奥から1/4の地点にあることから、泊地の模型は図-9に示す範囲とし、縮尺1/80とした。実験装置は、平面水槽模型(14.96m×6.285m)、造波板(幅5m)、造波機で構成されており、波高は容量式波高計で測定し、増幅器を通してペンオシログラフに記録した(図-9)。

実験波については、波に関する現象が一般的に重力に支配されることからFroudeの相似律に従った。実験波の諸元を表-2に示す。

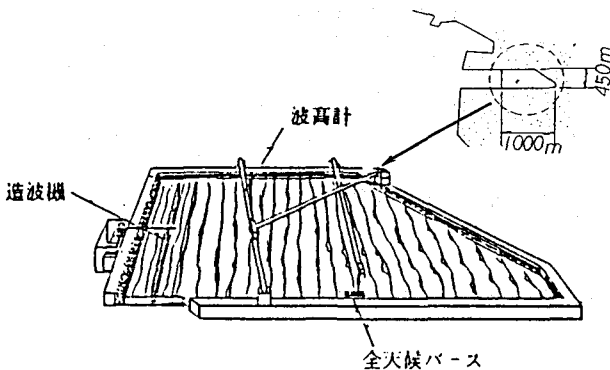


図-9 実験装置概要

表-2 実験波の諸元

	室蘭港	模型(1/80)
波 向	WNW W	WNW W
周 期	4 秒	0.45秒
	5	0.56
	6	0.67
	7	0.78
波 高	WNW 1.5m	WNW 1.8cm
	W 1.0m	W 1.2cm

4.2 水理実験結果

(1) 現状の波高実験

消波工のない状態(バース建設前)での出荷バース付近5ヶ所の波浪特性を波高比で評価した(図-10)。バース前面の波高は、WNW波の場合、入射波とほぼ同等で変化ないが、W波の場合、東側岸壁による反射・重複の影響を受け1.0~3.0に増幅される。その中でも全天候バース建設地点(11

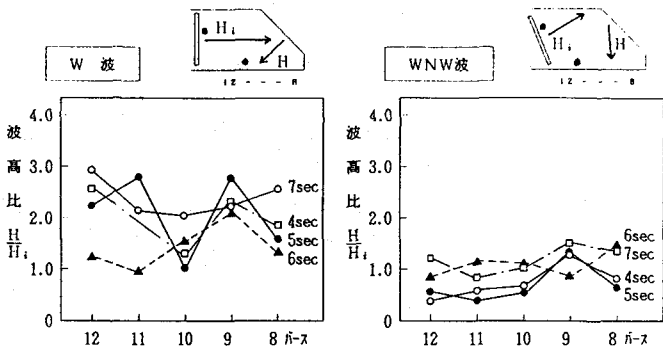


図-10 現状バースの波高比

パス)は、近傍のパスに比較しても波高が低く、波浪面では有利な場所であることがわかった。

パス計画地点での増幅後の波高を、上述の波高比(図-10)で換算し、風速別に整理した(図-11)。荷役限界波高50cmを超過する風速はW波で8m/s、WNW波で14m/sとなり、この風速レベルの出現は風観測データより、かなりの頻度であり得ることから波浪低減対策が必要と判断した。

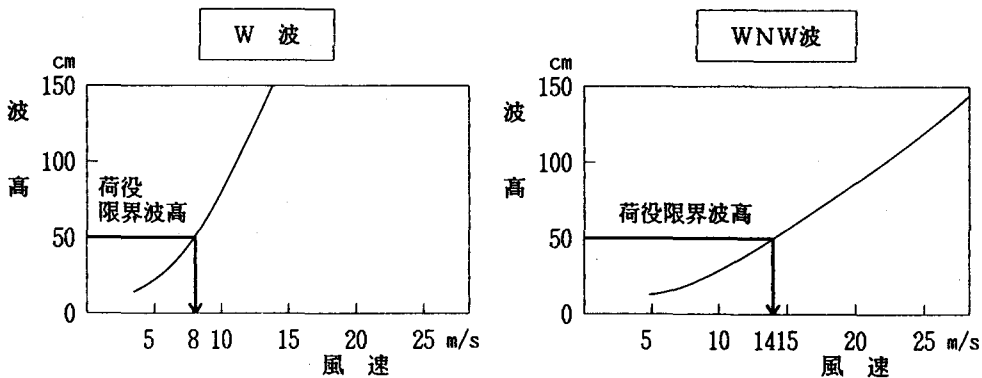


図-11 計画地点の波高(消波工無し)

(2) 各種消波工の比較実験

パス内の波高を低減する手段として下記のものが考えられるが、

- ①パスそのものを直接、波浪からガードする方法
- ②岸壁前面に消波ブロックを設置しパスに達する反射波を低減する方法

今回は、主に経済性の面から①に限定し実験した。

1) 消波構造形式と波高の関係

消波構造形式として、表面形状・開口率を変えた5種類(カーテンウォール型、フジツボ型、鋼管スリット型、鋼矢板スリット型、半割鋼管ブラインド型)を考案し試験した。ここで、カーテンウォール型以外のものは、パス開口部から進入する波のエネルギーを吸収することを意図したものである(表-3)。

波高変化の測定結果を図-12に示しているが、これより下記の現象を確認できた。

- ① W波の場合、壁状をしたカーテンウォール式(開口率0%)、フジツボ式はほぼ同様な波高

表-3 各種消波工の概要

	カーテンウォール	フジツボ	鋼管スリット	鋼矢板スリット	半割管ブラインド
概略図					
備考	$d/h=1$ 開口率 0% $d/h=0.5$ 50%	開口率 10%	開口率 10%	開口率 10%	鋼管の1/3をラップ

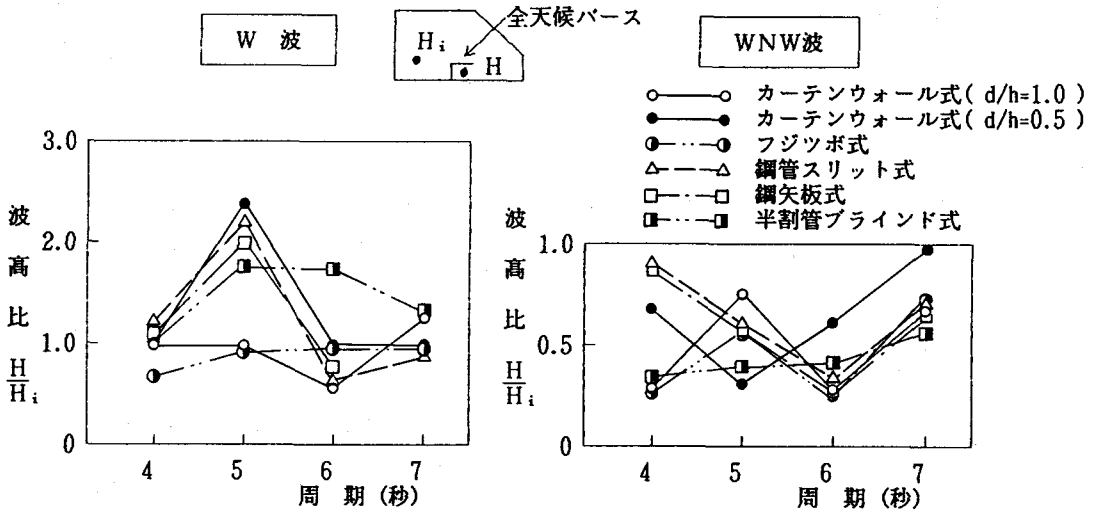


図-12 各種消波工の波高比

比の変化であった。

- ② カーテンウォール式（開口率50%）、鋼管スリット式、鋼矢板スリット式、半割鋼管ブラインド式は上記2方式よりも波高の低減効果は少なく、特に、周期5秒付近では波高が極端に高まる結果となった。この現象は消波工のない場合でも、観察された。

なお、周期5秒で波高が大きくなるのは、全天候バースの幅と波長の比（ B/L ）が0.5となり、バース内の水面が共振するものと推定している。

- ③ WNW波の場合、全てのケースで波高比は1.0以下となる。

以上より、今回のバース建設地点に対しては、不透水壁式（カーテンウォール式：開口率0%）が波高低減に最も効果のある構造と判断した。

2) 船舶の動揺試験

不透水壁式（カーテンウォール式）内に2000tクラスの船舶模型を係留させ、船舶模型を係留させ、船舶の動揺試験を実施したが、ローリング・ピッチングとも動揺角度は減少し、消波効果のあることが確認された。

4.3 消波実験結果とその検証

(1) 現地波高観測

基礎工事が完了し、鋼矢板消波工の効果が確認出来る段階となった62年1～2月の冬季に波高観測を実施した。測定はバースの内側・外側・泊地の入口の3ヶ所で、水圧式波高計を用いて実施した（図-13）。

(2) 波高観測結果

バースの内側と外側の波高測定値と風速の関係を図-14に示している。図中の上限値、平均値は観

測データを正規分布とみなし、 3σ (95%), X の値を意味している。これより下記のことがいえる (表-4)。

[WNW波の場合]

- ①バース内側の波高は外側より約20cm低下する。
- ②限界波高50cmとなる発生風速は13m/sとなり、水理実験での推定値18m/sよりも過少となった。これは消波工で反射した波が再び対岸で反射し来襲するためと思われる。

[W波の場合]

- ① W波の場合、限界波高50cmとなる風速は実験推定値と現場観測値ともほぼ同じとなった。

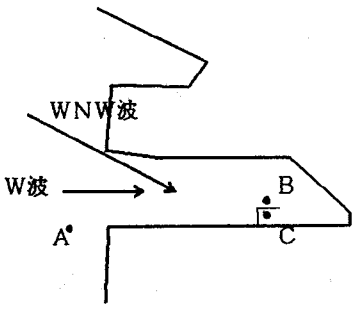


図-13 現地波浪観測地点

表-4 限界波高発生風の比率

風 向	測定位置	実験推定値	現場観測値
WNW波	バース外側	14 m/s	4 m/s
	バース内側	18	13
W 波	バース外側	8 m/s	8 m/s
	バース内側	18	22

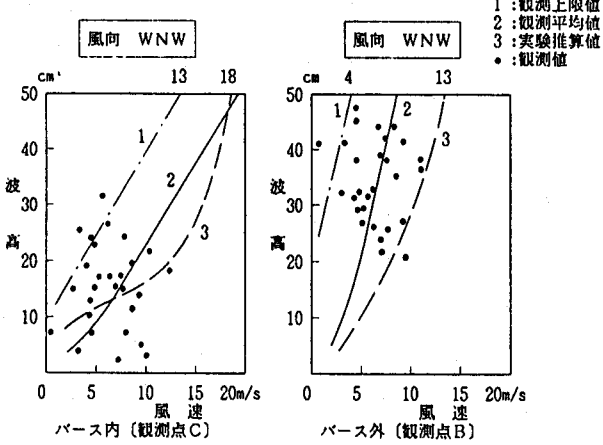


図-14 バース内外の観測値

4.4 荷役稼働率の推定

(1) 消波実験結果による稼働率の推定

前述した4.2実験結果より得られた波高特性と港内の風向別風発生頻度を用い、全天候バース内の静穏度 (バース内波高50cm以下) をから右記の稼働率を推定した (表-5)。

表-5 荷役稼働率の向上

		消波工無し (現 状)	カーンウォール 式
非稼働率	WNW	4.9 %	1.4 %
	W	1.8 %	0.2 %
	合 計	6.7 %	1.6 %
	日 数	25 日	6 日
稼 働 率		93.3 %	98.4 %

1500~2000DWT 船舶の荷役限界波高 H= 50cm

- ①荷役稼働率はバースに上屋が設置されることにより、92.4%まで向上する。
- ②不透水壁の消波工の設置により、更に稼働率は6%（約20日相当）向上し98.4%に達する。

残された非稼働時間

1.6%（約6日）について

では次の様に整理した。

バースでの荷役作業より

前にある諸作業に許される

荷役停止継続期間は約

24時間である。バース建

設予定地において荷役限界波高となる風速18m/s

以上の風が継続して24時間吹く確率は計算上年

2回/年であり（図-15）、操業に支障となるレベ

ルでないとした。

(2) 波高現場測定結果による稼働率の推定

前述した4.3の現場測定結果より得られる限界

波高発生風速をもとに、風発生頻度（図-16）か

ら、荷役稼働率を推定すると98.6%となる。室内

での消波試験にもとづく稼働率推定値98.4%とほ

ぼ同様となった。

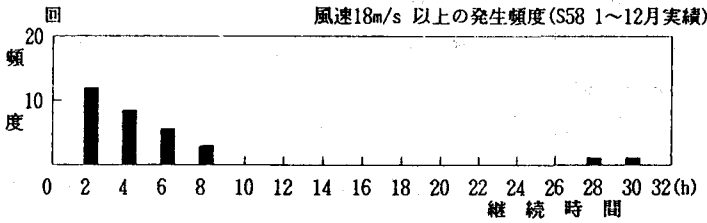


図-15 荷役非稼働継続時間分布

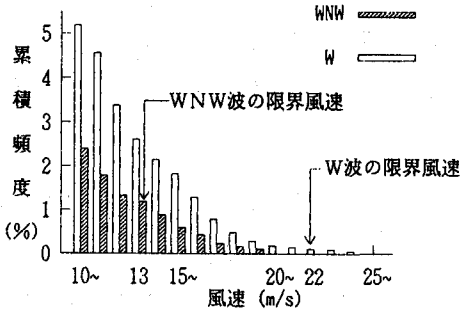


図-16 風向別風速発生頻度

5. 設計

今回の全天候バースの設計も「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）」に準じて実施した。同基準に設計条件の考え方、材料および各種構造物の設計方法について詳述されているので、ここでは、バースを構成する基礎・建屋の基本的な構造設計と機能設計について概説する。なお、上部の建屋は建築基準法の適用を受けるため、これに準拠し設計した。

5.1 構造設計

(1) 基礎杭

構造設計に用いた荷重条件の前提を表-6に示している。海上部の基礎フーチングの上部には、建屋からの上載荷重および風荷重と波力の横荷重が集中してかかり、かつ、水深が9mあることから、その曲げモーメントに抵抗するため鋼管杭の斜杭形式とし、傾斜角度は船舶のローリング角度を考慮して18度とした。杭は引抜力に抵抗させるため摩擦杭とし、打止め層はLWL-30m付近にあるN値25~40の

表-6 全天候バースの設計条件

項目	内容
設計風速	$U_{50} = 27.2 \text{ m/s}$
設計波高	$H = h/h_i \quad H_{1/3} = 2.28 \text{ m}$
設計震度	$K_k = 0.2$

比較的堅固な洪積層とした。

(2) 消波工

消波工には、施工中の波力に対しても充分な強度が必要なこと、また表面に凹凸があるため若干でも消波効果の期待できる鋼矢板を採用した。

5.2 機能設計

(1) 雨・雪の吹込み対策

船舶の出入り口はバース東側に設けたが、東からの風の発生頻度もかなり高く（図-6），雨，雪の吹き込みは免れない。また，船舶のマスト等により $LWL + 16m$ までは開口しておく必要があり（それより上の $12m$ は遮断可能）完全密閉は出来ない状況であった。

一般に，風の吹き込みに対し開口部を 100% 遮断しても良好な遮断効果があるとは限らない（図-17，図-18）。遮断率と風速減衰比との関係より，最適遮断率を 60% とした。なお，遮断材料としては，メンテナンス・耐久性からポリエステル樹脂製のネットを用いた。

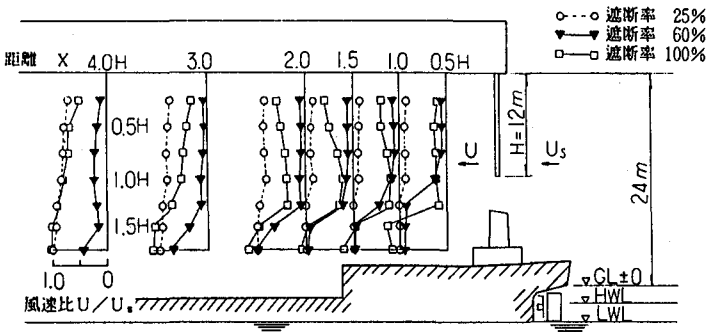


図-17 遮断率による風速減衰の違い

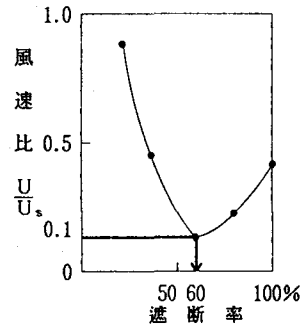


図-18 遮断率と風速減衰比

(2) 防食対策

1) 建屋の防食

建屋の柱はバース建屋の内部に位置するため，海水飛沫の影響は少ないとみなし，一般的な防食材料であるカラー型タールエポキシ樹脂塗装 $150\mu m$ の3回塗りとした。

2) 基礎鉄筋コンクリートの防食

当所の既設岸壁の鉄筋コンクリート部分には，北国特有の凍結融解作用をうけたと思われる損傷・劣化が進行し，コンクリートがヒビワレ，脱落したため，鉄筋が露出・発錆している現象がみられる。今回はかぶり厚を大きくしても長期的に不安の残ることから，防食効果の期待できるエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用した。

3) 基礎鋼管杭・鋼矢板の防食

海中の鋼構造物の腐食速度は大気部・飛沫帯・干満帯・海中部・海底土中部により異なるといわれ

ており、防食設計の考え方にも腐食代を見込むもの、塗装、電気防食によるもの等各種方法があるが、今回は経済性、施工性、メンテナンス性の面から、低密度ポリエチレンを鋼管に被覆した杭（NS－PAC鋼管杭）を用いた。

また、消波工に用いる鋼矢板は機能的に波を遮断するだけでなく、構造強度はそれほど必要ないことから、飛沫帯・干満帯部分はタールエポキシ塗装とし、海中部分は腐食代で対処した。

表－7 全天候バース工事規模

工程	数 量
鋼管杭	φ500 ～1100×36 [＊] ×78本
鋼矢板	FSP V L型: 15.9 [＊] ×225 枚
コンクリート	1,000m ³
鉄筋	146 t（うち塗装鉄筋 106t）
鉄骨	475 t
屋根・壁	屋根: 2,800m ² 壁: 5,400m ²

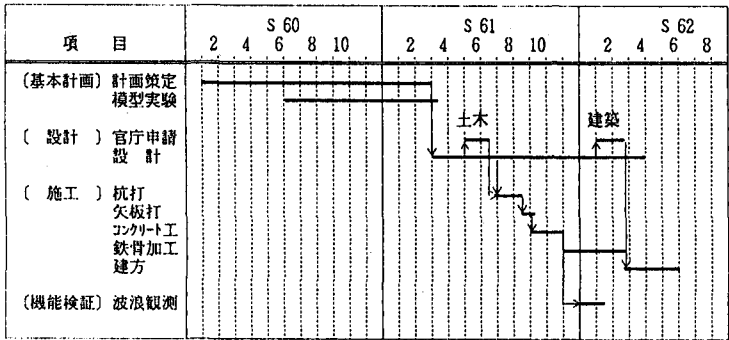
6. 施 工

6.1 工事概要

(1) 工事規模

バースの基礎および建築設備の規模を表－7 に示す。

表－8 エンジニアリング実績工程



表－9 各工事の工事費用比

土 木	杭打工事	14
	矢板打工事	8
	コンクリート工事	31
建 築	鉄骨加工	19
	建方工事	28
合 計		100 %

(2) 工 程

本バースの計画・調査から設計・施工までの工期は2年5ヶ月を要した。また、現地の工事期間は冬季の工事中断期間を含め12ヶ月であったが、実質的には基礎工事4.5ヶ月、建屋工事3.5ヶ月の8ヶ月となる（表－8）。

(3) 工事費

工事費総額は材工で5.4億円であり、基礎53％、建築47％の比率であった。また、工事種別毎の工事費比率を表－9 に示す。

6.2 各種工事の施工上の要点

(1) 杭打ち工事

海上部分の鋼管杭の施工にあたっては、表－10に示す船団構成をとった。杭打ちにはジーゼルハンマーを使用した。台船と杭との接触防止のため、まず岸壁に直角配置となっている斜杭を打設し、その後岸壁に平行している外側の斜杭を打設した（写真－1）。

杭の位置決めにあたっては、工事中隣接バースへの船舶の出入が多いことから、海上に測量台を設

置出来ず、陸上からトランシット2台による交会法を採用した。

また、今回の杭はポリエチレン被覆していることから下記の点にも細かな注意を払った。

①玉掛け用ワイヤーの取付け部分にゴム板製保護具を使用する

②杭打機の杭のガイドローラーをゴム製のものに取替える

(2) 矢板打ち工事

鋼矢板の施工にあたっては表-11に示す船団構成を

とった。矢板はクレーン船によるパイプロハンマー打ちとした。H型鋼の導材により打設精度を確保し、導材を利用したゴム製ガイドローラーにより鋼矢板の防食塗装部を保護した。

また、隣接矢板の沈下いわゆる共下がりを防止するため、鋼矢板を導材に溶接固定した。

(3) コンクリート工事

海上の基礎工事にあたっては、打設した杭を利用し、ネジつき鉄筋を吊り材とした吊り足場をつくり型枠・コンクリート作業をおこなった。設計時点で、基礎底面のレベルをHWL以上としたため、特別な架設等は必要なく施工出来た。なお、コンクリートは陸上よりポンプ車で打設した。

鉄筋に今回はエポキシ塗装鉄筋を用いたが、鉄筋曲げ加工時の塗膜損傷防止のため、バンディングローラーにウレタンゴム被覆を施す工夫を行い良好な結果を得た。

(4) 建屋建方工事

建屋の柱・張り・小屋組み等は150 tトラッククレーンを利用し陸上から吊り上げた。壁は高さ方向に3分割し組み立てた(写真-2)。

7. おわりに

水理模型実験をはじめとする諸検討のもとに建設された全天候バースは所期の静穏度が得られ、目下、順調に稼働中であり、また、鋼管杭・鋼矢板に各種防食対策を講じているが、現在のところ問題となっていない。

表-10 杭打ち船団構成

杭打ち船：リーダー長さ40m ラム重量 6t	1台
クレーン船：90t吊り	1台
台船：800t	1台
曳船・揚繰船・警戒船	各1台

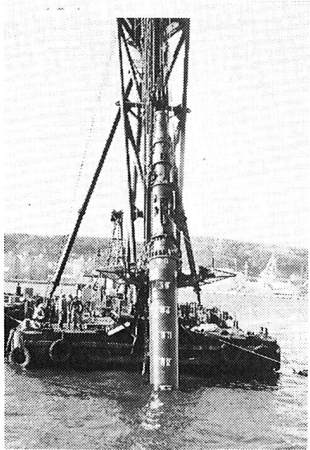


写真-1 海上杭打ち状況

表-11 矢板打ち船団構成

パイプロハンマー 40KW	1台
クレーン船：50t吊り	1台
台船：350t	1台
曳船・揚繰船・警戒船	各1台

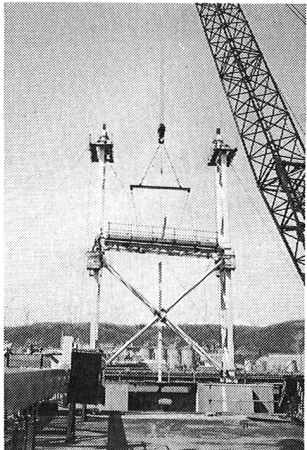


写真-2 鉄骨建方状況

最後に、今回の実験および波浪観測に御協力をいただいた室蘭工業大学土木工学科の近藤教授を始め、河海工学研究室の方々に深く感謝いたします。