

VI-3 全天候バースの設計・施工について

新日本製鐵株式会社

富士和成

同上

村井秀人

同上

正員 山上佳範

1. はじめに

当社室蘭製鐵所の船舶による成品出荷率は、荒天待機等の要因により年間60%程度に留まっている。そこで、輸送部門の生産性向上・在庫量低減を狙いとした総合物流管理システムの中核として、荒天待機を0にすべく全天候バースの建設が計画され、昭和61年7月に着工、昭和62年6月に完成した。

全天候バースは、従来の風雨による荷役非稼働からの回避という機能に加え、波浪による影響をも回避する必要がある。このため、鋼矢板を用いた直立不透水壁消波工を設置し、船舶出入用開口部を除きバース内への波の進入を遮断している。

消波工の計画にあたっては、港内泊地の水理模型により波高の変化に焦点をおいた実験を室蘭工業大学の協力のもとに実施し、さらに消波工設置後、現地波浪観測を実施し性能の検証を行った。

本報告では、この消波工の計画と性能の検証について概要を述べる。

2. 全天候バースの概要

出荷稼働率を100%に近い水準まで向上させるには、荒天時にも荷役可能な全天候バースの設置は不可欠である(図-1)。

全天候バースは、2000DWT 船舶を対象とした桁行63m・梁間口32m・軒高28.5mの岸壁前面に張り出した上家である。船舶出入口は、雨雪の吹き込みを防止するためネットのシャッターを設けている。

バース長は87mあり、基礎は上家及び消波工の水平力を受けるため斜杭形式としている。消波工は、施工中の構造物の安定性や経済性から鋼矢板を用いた直立不透水壁形式としている。

防食に関しては、港湾構造物であることから、基礎にはエポキシ塗装鉄筋・ポリエチレン被覆重防食鋼管杭を使用し、消波工には経済性からタールエポキシ塗装と腐食代の併用方法とした。

(クレーン稼働実態)

(荒天待機要因)

雨・風・雪 → 屋根・壁で遮断

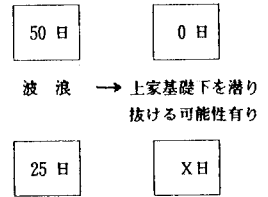
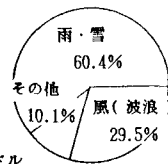
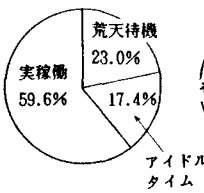
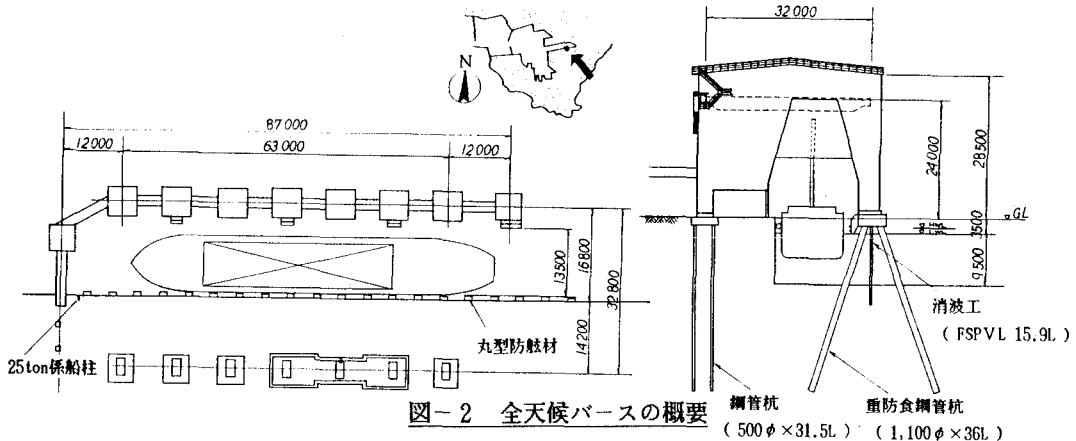


図-1 荷役作業状況



上家の設置により雨・風・雪の荷役阻害要因は比較的簡単に排除され、稼働率は93%までアップできるが、波浪の影響は依然として大きく、この波浪低減対策が本バースの機能上重要なポイントになる。

以下、この波浪低減対策に的を絞り、消波工の計画と性能の検証について述べていく。

3. 消波工の計画

波浪は気象・地形等地域特性により大きく左右されるため、計画にあたってはバース内の静穏性に焦点を当て、設置場所に適した消波工を以下のステップにより検討した。

① 波浪特性の現況把握

- 室蘭港全体（既往の観測データ等の解析）
- 出荷バース付近（水理模型実験）

② 波浪静穏度向上のための検討（水理模型実験）

③ 荷役稼働率の検討（上記①・②による評価）

3-1 波浪特性の現況

(1) 室蘭港全体の波浪特性

当所の泊地は、長さ2000m・幅450mの細長い形状を成し（図-3）、泊地に進入してきた波は岸壁で反射した波と重複しあい複雑な合成波となる。また、出荷バース付近においては、西方からの波浪の影響を受けやすい地点と予想されるため、室蘭港内で出現する波浪の特性（波向・周期・波高）を十分に把握する必要がある。そこで、水理模型実験の前提条件を決定するための事前検討として、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実験結果（参考文献1）をベースに港全体の波浪特性を解析した。

① 波 向

風向別風発生率（図-4）によると、全風速に対しては WNW, W, NW, SE の風向が支配的であるが、波高への影響度の強い風速10m/s 以上では、WNW が卓越している。よって、波向は当所泊地が西方に開口していることから WNW, W の方向に限定される。

② 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から WNW, W の方向の発生周期分布を求めると、4~6 秒が卓越する（図-5）。

表-1 全天候バースの仕様・諸元

項 目	内 容
設計条件	設計風速: $U_{50} = 27.2 \text{ m/s}$ 設計波高: $H = h/h_1$ $H_{1/3} = 2.28 \text{ m}$ 設計風速: $K_s = 0.2$ 対象船舶: 2,000WT
バース諸元	バース長: $L = 87 \text{ m}$ バース水深: $LWL = 9.5 \text{ m}$
上家諸元	上家構造: 鉄骨造、屋根・外壁 長尺カラー鉄板 船舶出入口: 幅13.5 m 高さ24 m
クレーン 諸元	形式: 天井走行式 吊り荷重: 20 ton

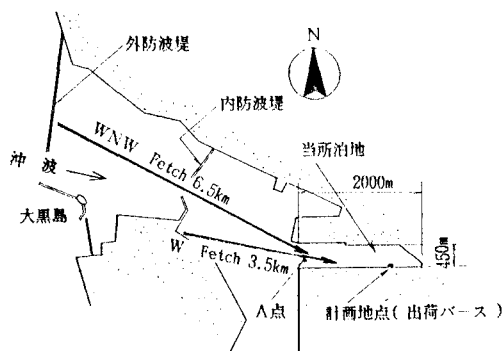


図-3 室蘭港の概要

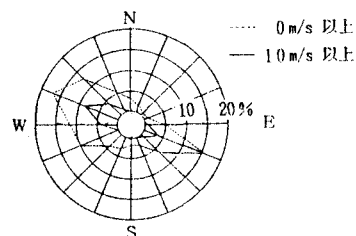


図-4 風向別風発生率

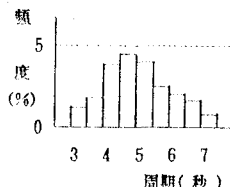


図-5 風波の発生周期分布

③ 波 高

当所泊地入口(図-3 A点)に達する波は、2つの波が合成されたもので、波高はエネルギー和として下式により求めた。

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

H_i : 泊地入口の波高

H_1 : 港内での減衰を考慮した沖波の波高

H_2 : 港内発生風波の波高

この合成波の波高は、港内発生風波の占める比率が大きいく(図-6)。

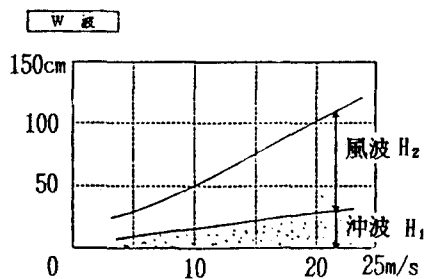


図-6 泊地入口の波高(W波)

(2) 実験前提条件

泊地内の水理模型実験を行うにあたり、①泊地が直線的である ②波の周期が比較的短い ③設置計画場所は奥から1/4の距離にあることから、模型は図-7に示す範囲について縮尺1/80とした。実験波は、前記の解析からFroudeの相似律に従って表-2のようにした。

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 5 6 7	0.45 秒 0.56 0.67 0.78
波 高	WNW 1.5m W 1.0m	WNW 1.8cm W 1.2cm

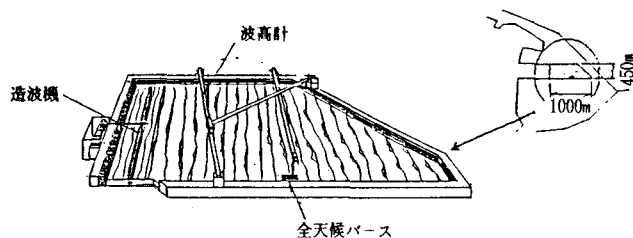


図-7 実験設備概要

(3) 実験から得られた現状バースの波浪特性

出荷バース付近の波浪特性を波高比で評価した(図-8)。各バースの波高(h)は、WNW波の場合入射波とはほとんど変わらないが、W波の場合は1.0~3.0倍増幅される。これはW波が東端岸壁で反射し重複するためである。全天候バース設置計画地点は、近傍バースと比較しても波高の低い場所である。

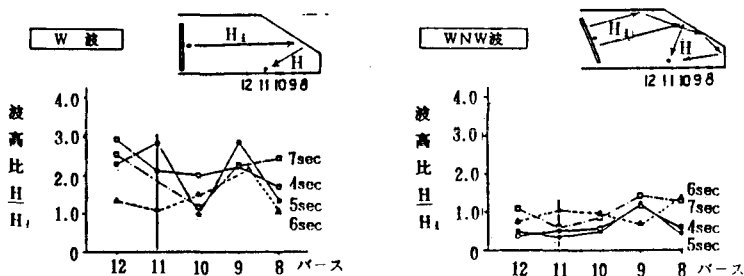


図-8 現状バースの波高比

計画地点の波高を図-8の波高比で換算し、風速別に整理した(図-9)。発生頻度の高い風速レベルで荷役限界波高50cm(W波で8m/s,WNW波で14m/s)を超えることから、何らかの波浪低減対策が必要となる。

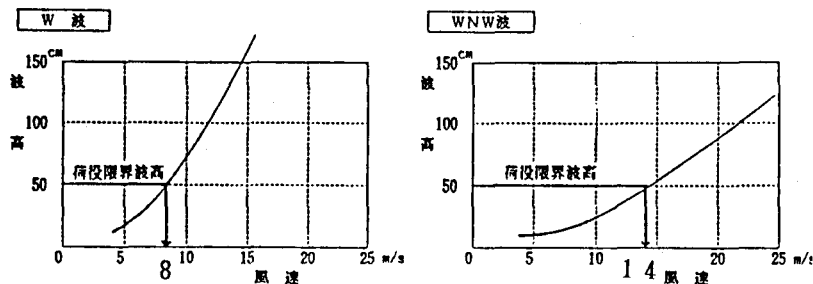


図-9 計画地点の波高(消波工の無い場合)

3-2 各種消波工の性能比較

全天候バース内の静穏度向上には、①バースそのものに直接消波工を設置する方法 ②岸壁からの反射波を消波する方法(消波ブロックの設置)がある。今回は、経済性から①の方法に絞り込み検討した。

比較する消波工は、一般的な方式の他、船舶出入用開口部からの進入波の影響低減を意図した方式を考案し消波性能を比較した(表-3)。

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	開口率 $d/h=1$ 0% $d/h=0.5$ 50%	開口率 10%	開口率 10%	開口率 10%	鋼管径の1/3をラップ

W波の場合、フジツボ式はカーテンウォール式と同等の効果を示すが、半割管ブラインド・鋼矢板スリット・鋼管スリットは周期5秒付近で波高比が極端に高まる。これは、消波工が無い場合でも同様な傾向を示している。WNW波の場合、全てのケースで波高比は1.0以下である(図-10)。

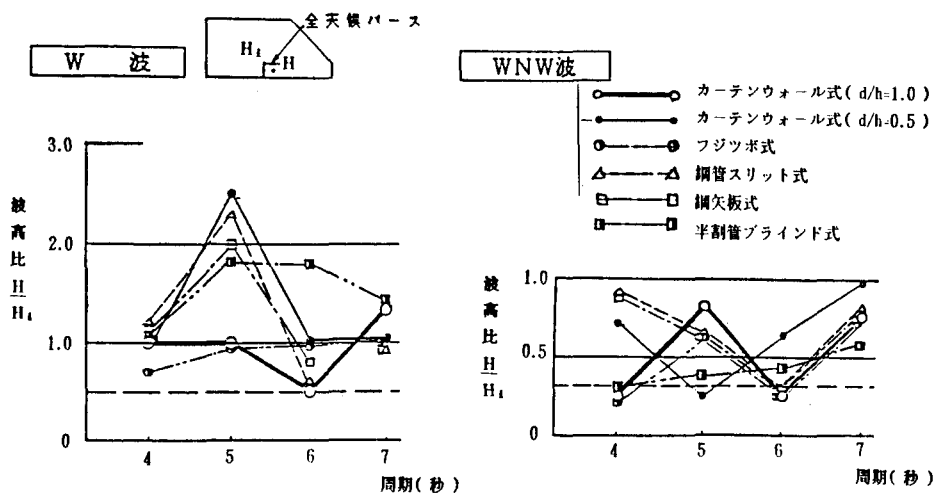


図-10 各種消波工の波高比

今回の設置場所に対しては、不透水壁式（カーテンウォール式の $d/h=1.0$ ）が現状の波高を一番低減できる消波工といえる。なお、5 秒周期で波高が大きくなるのは、全天候バースの幅と波長の比 $B/L=0.5$ となってバース内の水面が共振する傾向があると推定する。

また、不透水壁式については、船舶の動揺についても実験し、ローリング・ピッチング両角度とも消波工の設置により減少することがわかった（参考文献 2）。

3-3 消波工形式の決定

実験により得られた波高特性と港内の風向別風速発生率を用い、全天候バース内の静穏度を推定した。

表-4 荷役稼働率の向上効果

		消波工無し (現 状)	カーテンウォール 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 %

1500～2000_{DWT} 船舶の荷役限界波高 H= 50cm

荷役稼働率は全天候バースの建家により93%まで向上するが、不透水壁式消波工の設置により更に6 %（約20日間）向上し、98.4%に達する。残された非稼働率2 %（約6日間）についても、前工程のシステムに影響を与える継続時間（約24時間）を目安におくと、その発生頻度は年2回程度であるが、総合物流管理システムに大きな支障を与えるレベルではない（図-11）。

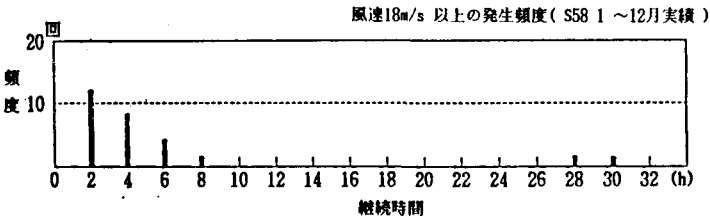


図-1 1 風の継続時間分布

以上の検討から、全天候バースには不透水壁式消波工を用いることにした。

4. 消波工性能の検証（現地波浪観測の結果）

消波工設置後、これまでの検討結果を検証するため現地に波浪観測を実施した。観測は全天候バース内外と泊地入口の3箇所、水圧式波高計を用い、波浪の高い冬期（昭和62年1月～2月）に実施した（図-12）。

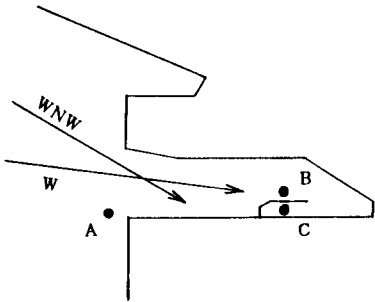


図-1 2 現地波浪観測位置

(1) 波高と風速との関係

強風(10m/s以上)出現頻度の高い風向に関して限界波高(50cm)発生風速をみると、W波については実験値とほぼ一致したが、WNW波については観測値の方が小さい(表-5、図-13)。これは、消波工にて反射した波が再び対岸で反射して来襲するためと推定する。

表-5 限界波高発生風速の比較

		観 測 値	実 験 値
設置後	WNW	13 m/s	18 m/s
	W	22	18
設置前	WNW	4	14
	W	8	8

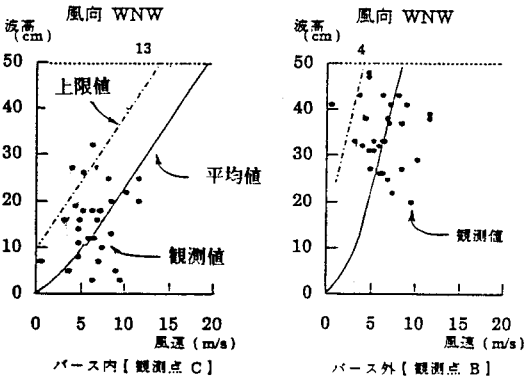


図-13 バース内外の観測値

(2) 荷役稼働率の検証

限界風速をもとに、風出現頻度から荷役稼働率を求めると観測値では98.6%となり計画値98.4%を満足することがわかった(表-6、図-14)。

表-6 荷役稼働率の比較

	観測値からの推算	実験値からの推算
消波工無し	70.0%	93.3%
消波工有り	98.6	98.4

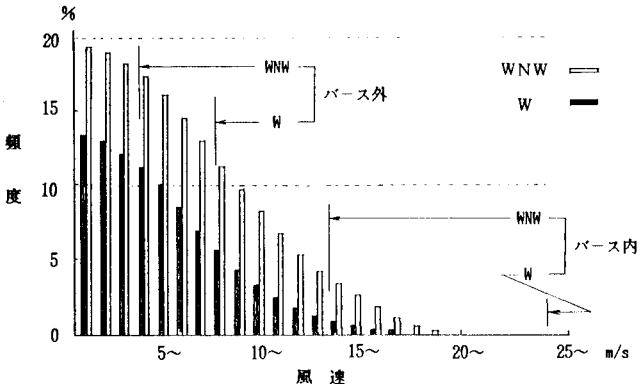


図-14 風向別発生頻度

5. おわりに

荒天待機をほぼ0にする全天候バースに不可欠な消波工を建設するにあたり、水理模型実験を行い計画地に適した消波工形式を選定し、さらに設置後現地波浪観測を実施しその検証を行い、要求される機能を充分満足することを確認できた。

最後に、今回の実験及び波浪観測に御協力していただいた室蘭工業大学土木工学科の近藤教授を始め、河海工学研究室の諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献 1 室蘭港外防波堤模型実験報告書(昭和44年 北海道開発局)
 2 スリップ内における係留船舶の動揺に関する基礎的実験
 (昭和60年度 土木学会北海道支部論文報告集 近藤他)