

全天候バースによる荷役稼働率向上性の研究

山上佳範*・矢崎 尚**・近藤俣郎***

1. はじめに

製鉄業における船舶荷役には、主に製鉄原料の受入れと製品の出荷がある。前者については、輸送船舶が一般に大型であることや、荷役物が雨・雪等で品質上問題にならないことから、荒天による荷役待機は少ない。しかし、後者の出荷については、鉄鋼製品の多様化による多品種少量輸送への移行に伴い船舶が小型化してきたことや、需要家への品質・納期保証のニーズが強くなってきたことで荒天の影響を受けやすくなってきており製品の濡れ防止や常時荷役可能な全天候型のバースが必須となっている。また、近年の労働者不足や高齢化に伴い、荷役作業の環境改善も強く要望されている(山上ら,1988)。

こうした中で、新日本製鐵(株)室蘭製鐵所においても、製品出荷は荒天による非稼働率が年間 23% にも及び、特に冬期間にこれらが集中していることから出荷体制の整備が急務となっていたが、今回、荒天時にも荷役が可能な全天候バースを昭和62年と平成2年にそれぞれ1バースずつ建設し、現在まで高い稼働率を確保している。

全天候バースは荒天待機要因となる風・雨・雪・波浪の排除低減が重要となるが、前者3要因については係留した船舶を覆う建家により比較的簡単に排除できるものの、波浪については気象・海象・地形の条件により大きく異なるため慎重な計画が必要である。

本論文は、この波浪低減に着目したバース構造について模型実験による解析と稼働率の評価を行い、現地波浪観測によりこれらを検証し、さらに稼働後の荷役状況を調査して、稼働率の向上性を明らかにするものである。

2. 全天候バースの概要

室蘭港は、半径約 50 km の円形の内浦湾の東端に位置しており、西に港口をもつ長さ約 6 km、幅約 2 km の袋状の地形をしている。防波堤は港口と港内中央にそれぞれ南北方向に延び中央部が開口している。当所の泊地は港内の東奥にあり、長さ 2000 m、幅 450 m のスリ

ット形状をして西に開口している。水深は、港口から当所泊地まで続く航路が 16.5 m あり、その他の区域は 7 ~ 12 m で奥にいくほど浅くなっている。

波浪条件の特徴は、港外波が殆ど内浦湾で発生する風波であること、港内でも風波が発達する吹送距離を有していること、両風波とも発達する方向が同じ西方向であること、さらにこの西方向は風の発生頻度も卓越していることが挙げられる。



図-1 室蘭港の概要

全天候バースは、対象船舶を 2000 DWT とし、船倉部を全て覆う建家と船舶出入り口と係留岸壁を除いた2面を海底まで遮断した鋼板壁体構造とで構成されている。この2面は風波の主方向である西面と北面で、開口部は東面としている。入港は隣の岸壁に着岸しロープシフトによりバース内に入り、出港は逆を辿る方法としている。バース内の船舶は4本の係留索にて岸壁のみから

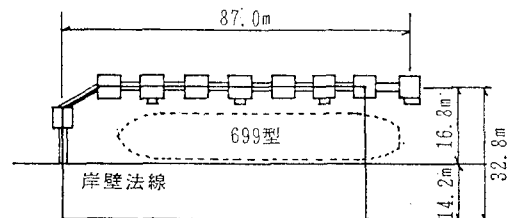


図-2 全天候バース平面図

* 正会員 新日本製鐵(株)室蘭製鐵所設備部
 ** 工修 新日本製鐵(株)室蘭製鐵所設備技術室長
 *** 正会員 工博 室蘭工業大学教授 建設システム工学科

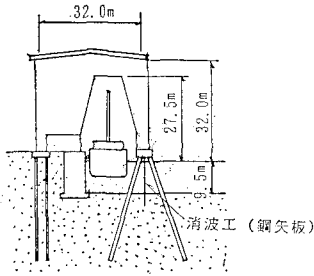


図-3 全天候バースの側面図

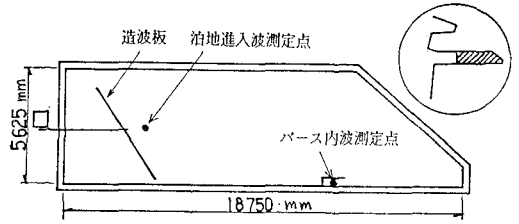


図-4 模型実験の概要

係留している。バースの位置は、第1バースが泊地の南側岸壁の奥から500mに、第2バースはさらに220m西にある。

3. 模型実験

(1) 実験の方法

泊地への進入波は、港外風波と港内風波の合成波となり、かつ港外風波の防波堤による回折等による低減率は既往の実験結果を用いることから推算が可能である。したがって、模型は泊地のみを対象とし、直進性を考慮して全長の3/4の範囲を1/80に縮尺した歪みなし平面水槽とした。実験波は規則波とし、波向を風発生確率の高いW・WNWとした。周期は、港外波の実測結果に基づき4～6秒とした。実験は、泊地内の回折・反射によるバース到達波高の変化率をみるため波高比で評価した。尚、実験波波高は風速20m/s時のSMB法による推算値とした。

実験は、バースに設ける直立壁体の4種類の消波工について行い、最も低減効果の高いものを選定した。この4種類の消波工は、バース出入り口から進入する波の再反射を低減するために設けた開口の構造を変えたものである(溝口, 1988)。

(2) 実験結果

実験結果を図-5に示す。全周期の平均波高比でみると、消波工を設置することでWNW波で約70%、W波で約50%に低減される。消波工タイプで比較するとカーテンウォールのd/h=1.0が最も低減効果があり、バースを出入り口を除き全面遮断することが最良であることがわかった。これは、壁体の開口部は、当初予想した出入り口から進入した波の再反射を防止する効果より泊地進入波のバース内への直接進入の影響が大きいためである。また、周期別でみると、5秒が他周期より波高比が高い。これはバース内水面形状が長方形のためスリップ幅Bと波長Lの比B/L=0.5となっており、バース内で共振する傾向にあることによる。

以上の実験結果から、バースには全面遮断型の壁体構造が最も消波効果のあることがわかった。

表-1 消波工実験ケース

	カーテンウォール d/h=1.0	カーテンウォール d/h=0.5	細管スリット	円筒突出
略 図				

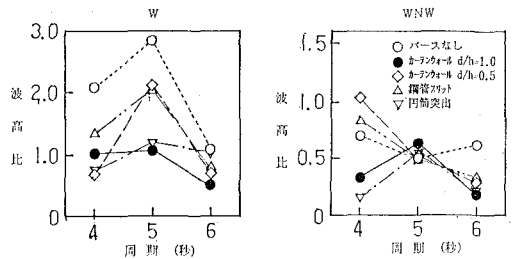


図-5 模型実験の結果

この結果に基づきバースの稼働率を推定することとした。港外波・港内波とも風波で、最も風波の発達する方向が西方向であることに着目し、泊地進入波までの波高を各々SMB法で推算し、下式により合成した。尚、港外波の港内での低減率は既往の実験結果を採用した。

$$H = \sqrt{\alpha H_0^2 + H_1^2}$$

ここに、Hは合成波高、H₀は港外波高、H₁は港内波高、αは港内低減率である。次に、先述の実験結果を用いバースに到達するまでの波高変化を計算した。これにより、バース内の波高は風速で表すことができ、これを図-6に示す。

一方、荷役作業の可否は最終的に船舶動揺量で決まるが、これまでの非稼働時の波浪状況に基づく経験的判断から、限界波高を50cmとした。

以上により、荷役が不可となる限界波高に達する風速を限界風速とすると、WNW波ではバースなしで14m/sがバースありで18m/sに、W波では8m/sが18m/sに向上することがわかった。

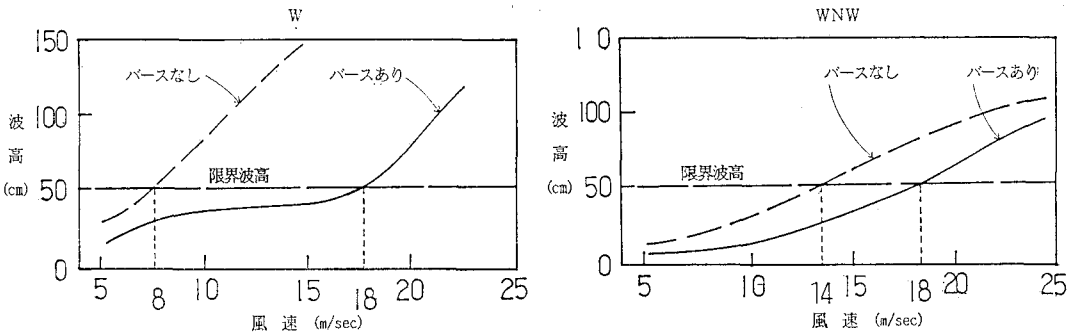


図-6 バース内波高と風速との関係 (実験値)

この限界風速値と各風向毎の発生確率から波浪による非稼働率を計算し、これより稼働率を求めた。尚、W・WNW 波以外は発生確率および吹送距離から限界波高に達する頻度は極めて低いと判断し無視した。この結果、波浪要因による非稼働率は6.4%から1.4%に低減し、したがって、建家により雨雪は完全に排除できるので、稼働率はバースなしの77%から98.4%に向上することがわかった。この波浪要因による非稼働率値は、実験値に対し実績値が約7%であることから実験結果は妥当性のあるものと考えられる。

4. 現地波浪観測

(1) 観測方法

第1バースの建設後に波浪観測を実施した。現地観測は実験結果との比較を行うため実験時の泊地進入波・バースなしの波浪・バースありの波浪の測定を実施した。しかし、バースなしの波浪は、バース建設後のため不可能であることから、泊地幅が450mに対しバース幅が17mであることに着目し、バース外側10mでも大差がないと判断し、そこを測定点とした。また、泊地進入波も航路上の制約から中央点でなく南端に測定点を設けた。

波浪観測は海底設置型の水圧式波高計を用いた。測定は120分間隔で10分間行い、その波形を処理し有義波を求めた。観測期間は冬季の1月に実施した。

また、港外波浪については北海道開発局で観測した結果を用いることにした。

(2) 観測結果

港外波・泊地進入波・バース内波について実測した有義波周期を比較した結果を図-7に示す。泊地進入波の発生周期は3~6秒で実験波とはほぼ一致していた。港外波と泊地進入波とを比較すると後者の周期が長く、泊地進入波とバース内波はほぼ一致する傾向にある。これは港外波が港内での回折効果で短周期成分の低減効果が大きいためと考える。

次に、泊地進入波の波高と風速との関係について実測

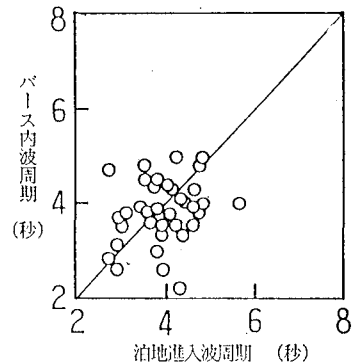
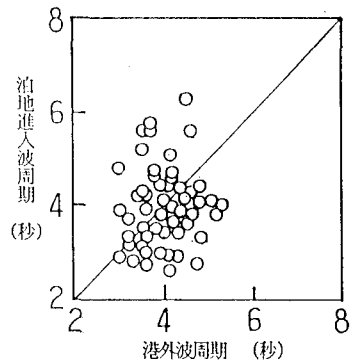


図-7 実測有義波周期の比較

値と計算値とを比較したものを図-8に示す。実測値は港外風波と港内風波とを合成した波高とは一致せず、港外風波のみの波高に近い傾向を示した。

以上の周期および波高の実測結果から、実験時に設定した港外波と港内波との単純な合成は実情に合わないことがわかった。

次に、周期と同様に3点の波高比較を風速と波高比の関係で行った結果を図-9に示す。港外波と泊地進入波の波高比は0.2~0.7となり泊地進入波の波高は低いが、風速が大きくなるほど波高比が低下する傾向を示すことがわかった。また、泊地進入波とバース内波の波高比は0.1~3.0の範囲にばらついているが、風速15m/s

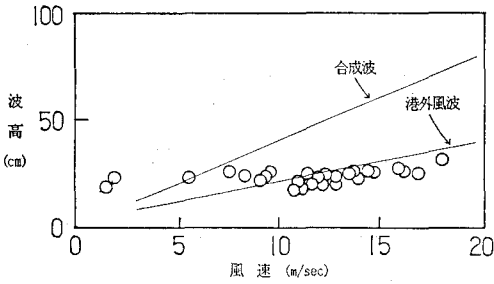


図-8 泊地進入波の波高と風速の関係

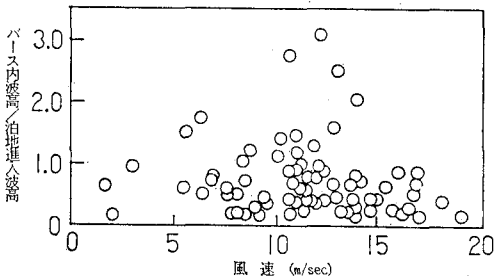
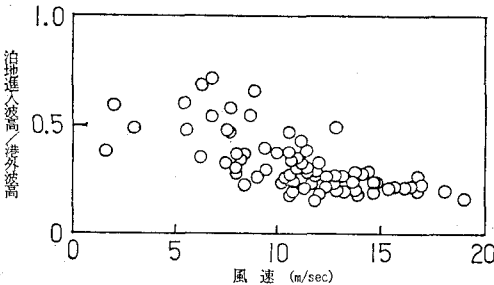


図-9 実測有義波高の比較

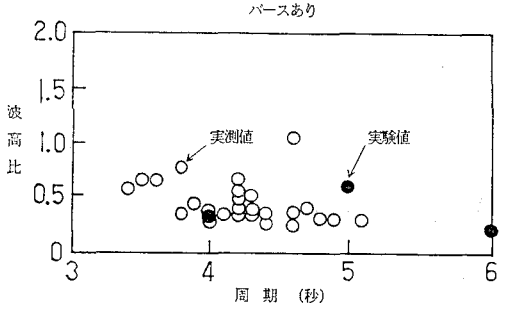
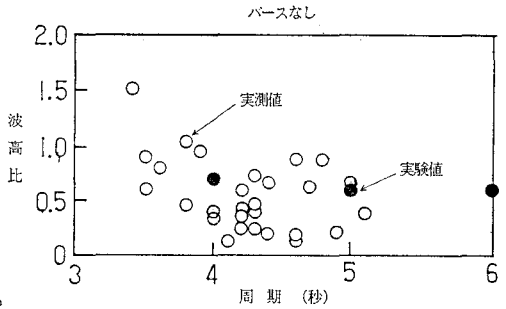


図-10 周期別波高比

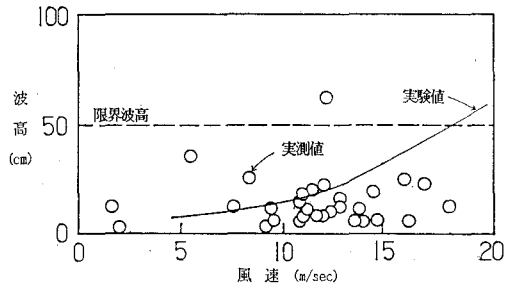


図-11 バース内の波高と風速との関係 (実測値)

以上では1.0 以下となる傾向を示した。

次に、周期と波高比の関係について実測値と実験値を比較した結果を図-10に示す。バースなし・バースありとも実測値のばらつき範囲内に入っているが、バースなしの方が実験値は実測平均値より高い傾向となった。これは実測の位置がバースの外側のため、バースの張り出し分が影響したものと考える。

また、バース内波高と風速の関係について実験値と実測値とを比較した結果を図-11に示す。実測の方が波高は低い、これは先述の泊地進入波高の違いによるものとする。実測値の風速範囲は 20 m/s 以下であるが、今回の結果から限界風速を推定すると、25~30 m/s と考えられる。

5. 荷役状況調査

第1バース稼働後から1年間の荷役状況について実態を調査した。その月別の荷役稼働率を図-12に示す。荒天待機は従来と同様に冬季に多く、この荒天待機のみを差し引いた稼働率(実働時間+付帯作業・入出航時間)

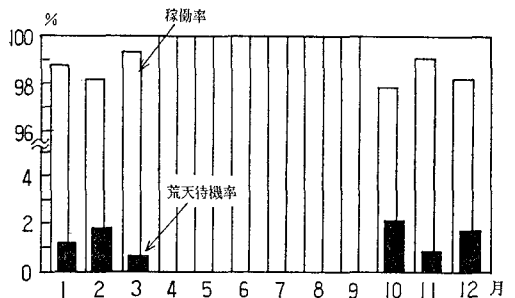


図-12 月別荷役稼働実績

は年間 99.3% となり、実験による計画値 98.4% を1ポイントと上回った。

次に、同時期の風速別発生累積時間を表-2に示す。荒天待機時間と発生累積時間がほぼ一致する時の風速を限界とすると、24~25 m/s となる。これは先述の現地

表-2 風速別発生累積時間 単位: 時間

月	1	2	3	10	11	12	
荒天待機時間	8.9	12.5	4.6	16.0	6.5	13.3	
風速別発生累積時間	20m/s~	118	46	62	66	91	83
	21	79	39	35	46	69	66
	22	61	36	29	36	61	48
	23	32	27	17	28	48	31
	24	23	18	12	16	40	18
	25	11	11	8	5	27	11
	26	6	6	3	1	16	7
27	1	6	0	0	11	3	

観測結果から予想された 25~30 m/s とほぼ一致することがわかった。

以上より、今回建設した全天候バースについては、実験・現地観測および荷役学績調査から、稼働率は99%程度を確保できるものとする。

6. 結 論

荒天時にも荷役を安全で円滑に行えることを狙いとした全天候バース建設にあたり、計画時の実験的解析と建設後の波浪観測による検証および稼働後の荷役実績の調査を行い、以下のことがわかった。

- (1) 実験の結果、港外・港内で高頻度で発生する西方向の風波に対し船舶出入りを除いた全面を海底まで遮断する鋼矢壁体構造とすることにより、50~70%の波高低減ができる。これより、限界波高を50

cm として風発生頻度から稼働率を推定すると 98.4%に向上する。

- (2) 現地観測の結果、港外波の短周期成分は港内での回折により低減されて泊地進入波の周期は4~6秒となったことから、港外風波と港内風波の合成は周期を考慮する必要があると考える。
- (3) 周期別波高比は実測値と実験値はほぼ合ったが、風速と波高の関係については泊地進入波高の合成方法の違いから一致しなかった。
- (4) 現地観測および稼働実績調査の結果、限界風速は24~25 m/s と予想され、99%の稼働率を確保できる。

7. おわりに

現在、第2バースでも波浪観測を実施して波浪観測データを蓄積しているとともに、今回経験的に判断した限界波高の設定についても定量的に把握するために船舶動揺観測を実施している。これについては、別途報告していく予定である。

謝辞：本研究にあたり実験とデータの整理には当時室蘭工業大学河海研究室学生の太田一広・児玉幸博両君の協力を得た。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 山上佳範・村井秀人・富士和成 (1988): 全天候バースの設計施工について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第44号, pp. 645-650.
- 溝口郁夫 (1988): 全天候バースの設計・施工, 第24回水工学に関する夏期研修会講義集 B コース, pp. B-8-1-13.