

船体動揺量を制約条件とした全天候型バースの稼働率の推算

上田 茂*・白石 悟*・河原俊哉**
赤星哲也***・杉浦 淳***

1. はじめに

鉄鋼業における物流は、海上輸送への依存率が非常に高い。その中で、鉄鋼製品の輸送は、近年の製品の多品種少ロット生産による荷役頻度の増大及びユーザーからの納期の厳格化要求に伴い、高い荷役稼働率が必要とされている。しかしながら、これらの輸送船舶は一般的に小型（最大2000 DWT）であり、波浪、雨、風等の自然要因による船舶の動揺が荷役に支障をきたし、荷役稼働率が抑えられている。

全天候型バースの設置目的は、このような波浪、雨、風の自然要因により荷役が中断することを少なくし、荷役稼働率を向上させることにある。この中で雨、風の要因に対しては、船舶を建家の中に引き込み、屋内作業環境を創出することにより、比較的容易に対処しうる。しかしながら、波浪に対しては船舶の動揺は波高、波向に関連するので、港湾のレイアウト、全天候型バースの構造形式・レイアウト等の複雑に影響しあう諸条件を適切に把握し、評価しなければ制御が困難である。また、将来、荷役設備の自動化が計画されていて、船体動揺量の許容値が今まで以上に厳しく制約される状況にある。したがって、全天候型バースの設備計画上では、波浪及びそれに影響を受ける船体動揺の性状を予測する必要がある。

本論文は、千葉県君津地区において計画されている全天候型バースの設備機能を評価する目的で、船体動揺量を制約条件とした荷役稼働率の推算及びその評価を行ったものである。

2. 全天候型バースの特徴

2.1 レイアウト

図-1に全天候型バースのレイアウトを示す。今回計画中の全天候型バースは、新日本製鐵(株)君津製鐵所西出荷岸壁の最奥部に設置を計画している。同製鐵所は房総半島中部西海岸の富津岬北方約5 kmに位置し、北

西方向に開口した泊地（港）を有する。西出荷岸壁はこの泊地の北東岸に位置する。波浪の特徴として、港外波は東京湾で発生した風波が支配的である。年間を通してみると、北方向からの波浪が卓越し、この方向からの波浪の泊地への回折波が荷役作業に大きく影響を与えているものと考えられる。これに対し、北東から東、南、南西にかけての方向からの波浪は吹送距離が小さいため波

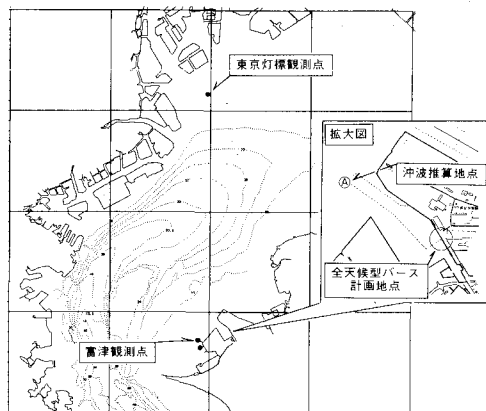


図-1 全天候型バースのレイアウトと風データ観測点

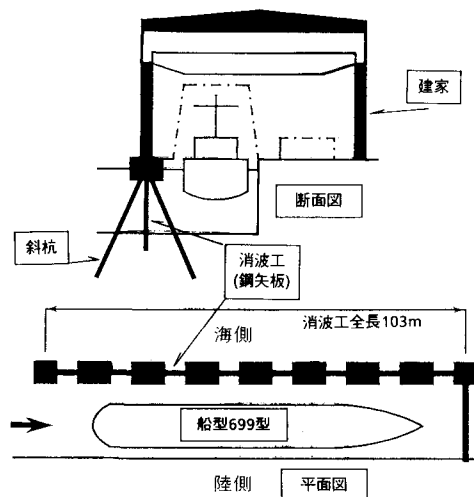


図-2 全天候型バースの構造形式

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 構造部

** 正会員 工修 新日本製鐵(株)設備技術センター 土木建築技術部

*** 正会員 (株)エコー 第一技術部

高が小さく、荷役にはほとんど影響していない。

2.2 全天候型バースの構造形式

図-2 に全天候型バースの構造形式を示す。全天候型バースは消波工と建家から成り立っている。消波工は海上部から海底面まで打ち込まれた鋼矢板とドルフィン(鋼矢板と建家を支持)から構成されている。消波工は波浪の進入方向に対して、それを遮蔽するように配置される。そのため、バース内は消波工により2方向、既設岸壁により1方向、計3方向を遮蔽される。また、船は唯一の開口部より、船首からロープシフトにより全天候型バース内に引き込まれる。

3. 荷役稼働率の推算手法

船体動揺量を制約条件とした荷役稼働率の推算は図-3 に示すフローによって行う。

3.1 沖波の推算

沖波の推算は、波浪の実測値を用いるのが最も信頼性が高く、効率もよい。しかしながら、君津泊地に最も近い測定箇所(富津)でも5 km 離れており、また途中防波堤等の海上構造物が存在し、かつ欠測が多いため、実用に共さない。したがって、以下の手法により風データをを用い、沖波を推算した。

a) 風データの収集と整理

風データはデータの完備している東京燈標(東京都港務局所管)の観測値を基本とし、富津(東京電力所管)の観測値はそれを補完するものとして収集整理(期間:昭和63年1月~平成元年12月)した。図-1 に風データの観測点の位置を示す。

b) 推算方法

沖波は東京湾で発生する風波が支配的と考え、計算手法はパラメータ法を、出力方法は推算地点に到達する波浪エネルギーの時間変化を求める一点法を用いた。上記

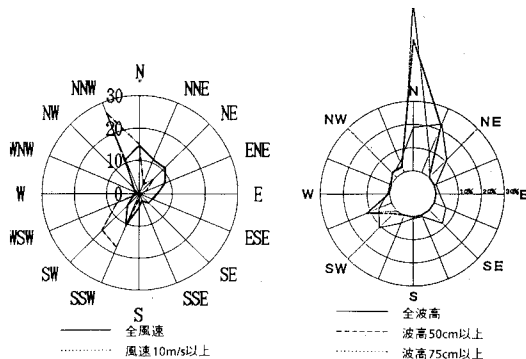


図-4(a) 風配図

図-4(b) 沖波の波向出現分布図

手法により、東京湾全域を計算範囲として、君津泊地沖(図-1のA地点)を推算地点とし、計算線を16方位に分割した。また、風は東京湾全域に一樣に吹くものと仮定して、沖波を推算した。ただし、事前に沖波の推算値と観測値を比較した結果、風データとして東京燈標データをを用いた推算値は観測値よりも小さく評価することが確認されたため、風向は東京燈標データを、風速は東京燈標データと富津データの平均値を用いることとした。

図-4(a)に風配図を示す。

c) 推算結果

図-4(b)に沖波の波向出現分布図を示す。波向きは、通年の波向出現分布によれば、NNEを中心としたN系の波向とSW系の波向が卓越している。N系の出現率はNNE, N, NEの3方向で全体の52.1%を占め、更に波高50 cm 以上の場合は、N方向のみで全体の50%以上を占める。この傾向は冬期(1~3月)に顕著である。また、N系についてSW系が卓越し、この傾向は夏期に顕著である。

全波向を対象とした場合、波高が25 cm 以下、50 cm 以下、100 cm 以下の出現確率はそれぞれ65%, 86%, 99%である。周期は、1~6秒の範囲に分布し、2秒以下、2~4秒、4~6秒の出現確率はそれぞれ57%, 42%, 1%である。

3.2 港内波浪変形計算

a) 計算手法

計算手法は、不規則波を対象とした波の屈折、浅水変形を求めるエネルギー平衡方程式を解く方法を基本とし、これに回折、反射及び碎波変形を取り扱えるものとした。

b) 計算条件

計算領域は、港口部を含む君津泊地全域が入るよう2.9 km×2.7 kmの矩形領域を設定し、計算格子点間隔は20 mとした。水深は海図から読みとり、それに平均潮位を

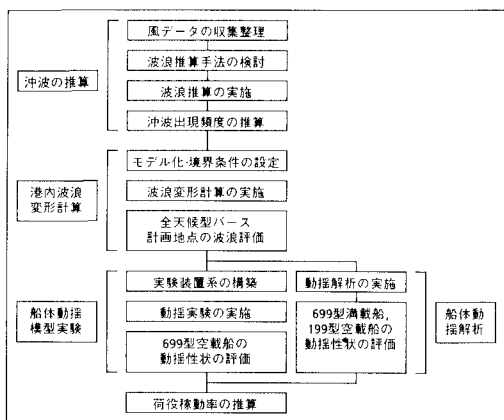


図-3 荷役稼働率の推算フロー

表-1 全天候型バース計画地点の波高

単位：m

港口部の波向		N		NW		SW	
港口部の波高 ($H_{1/3}$)		1.0 m	2.0 m	1.0 m	2.0 m	1.0 m	2.0 m
周 期 ($T_{1/3}$)	4.0 sec	0.48 (0.48)	0.96 (0.48)	—	—	0.50 (0.50)	—
	5.0 sec	0.45 (0.45)	0.91 (0.46)	0.68 (0.68)	—	0.50 (0.50)	—
	6.0 sec	0.43 (0.43)	0.86 (0.43)	—	—	—	—

注. 上段の値は、計画地点の波高 ($H_{1/3}$)、下段 () 内の値は港口部の波高に対する計画地点の波高比である。

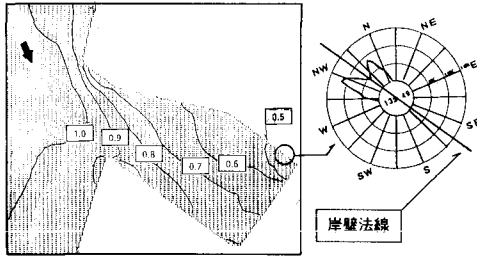


図-5 波高分布と全天候型バース計画地点の波向スペクトル (波向：N，波高：1m，周期4秒)

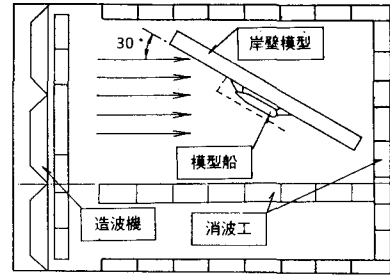


図-6 岸壁及びバース模型の水槽配置図

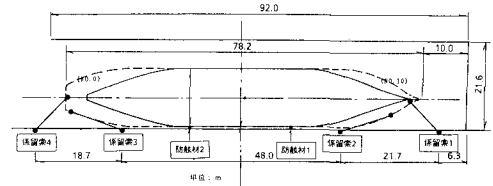
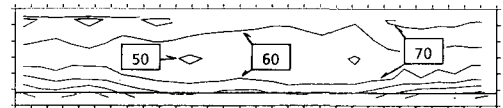
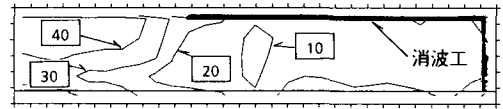


図-7 係船配置図



a) 現況バースの波高分布



b) 全天候バースの波高分布

図-8 全天候型バース計画位置での波高分布 (波向 30°, 周期 4 秒，波高 0.5 m)

考慮した。また、境界条件としての反射率は、岸壁部(鋼管矢板、鋼板) $K_R=0.9$ 、消波設備(傾斜板式消波構造物、ブロック式消波構造物) $K_R=0.3$ 、港外護岸及び小糸川河口部 $K_R=0.0$ とした。計算においては、プレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトル、光易型 ($S_{\max}=10$) の方向分布関数を与えた。

c) 計算結果

表-1 に全天候型バース計画地点の波高を示す。直接波である NW 方向の波高が比較的大きく、年間を通じた卓越方向である N 方向の波浪は回折して君津泊地に進出し、波高比 0.5 以下に減衰して到達している。さらに、砕波による波高減衰は極めて小さいことが考察された。また、N, NW, SW 以外の波向の波高比は、前記 3 方向の波高比を内挿することにより求めた。

図-5 に全天候型バース計画地点の波向スペクトルを示す。スペクトルのエネルギーは、岸壁法線から反時計回りに 20°~50°の範囲に分布し、卓越方向は約 30°である。したがって、波浪は、岸壁法線から比較的浅い角度で進入するため、全天候型バースの消波工をこれを遮蔽するよう設置すればバース内の静穏度を良好に保つことが可能であると考察された。

3.3 船体動揺模型実験

a) 実験方法

実験は運輸省港湾技術研究所の平面水槽で行った。造

波機は固定式なので波向の変更は模型装置を変更して行った。図-6 に水槽平面と模型配置を示す。模型縮尺は既往の実験例から考えて 1/25 とし、フルード則に従うものとして各物理量を決定した。模型船は 699 型船 (2000 DWT) の空載状態とし、重心、慣性モーメントを調整した。また、防舷材、係船索の模型化も留意した。図-7 に係船配置図を示す。測定装置系では、船体動揺は 6 自由度運動計測装置、防舷材反力はロードセル、係船索張力は小型張力計を用いて計測した。

b) 入射波の設定

波向は全天候型バース計画地点における波向スペクトルの結果より、岸壁法線から反時計回りの角度で 30°, 45°, 165°の 3 ケースで検討している。また、波向 30°, 45°については有義波周期 4, 5, 6 秒，有義波高 0.3, 0.5, 0.7 m，波向 165°については有義波高 0.1, 0.2, 0.3 m とした。

c) 実験結果

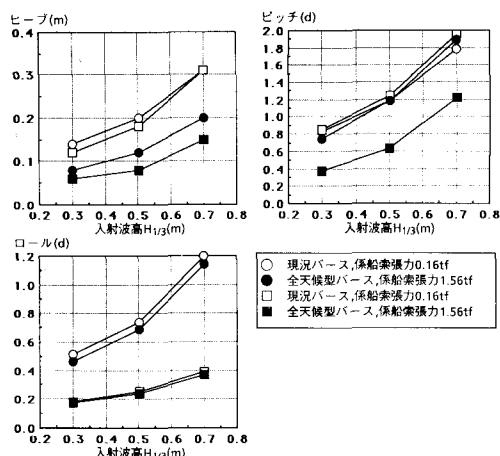


図-9 入射波高と動揺有義両振幅 (波向 30°, 周期 4 秒)

船体動揺量測定に先立ち、全天候型バース計画位置での波高を測定した。その結果を図-8に示す。船体重心位置における波高は、全天候型バース（消波工）の設置により 1/3 以下に低減し、高い消波効果を発揮していることが確認され、荷役稼働率の向上が期待できることが考察された。

当該バースにおける鋼材の荷役については、作業に影響する動揺成分はヒープ、ロール、ピッチの3成分と考えられるので、それらについて以後検討を行う。図-9に入射波高と動揺有義両振幅の関係を示す。入射波高の増加と共に各動揺成分はほぼ線形的に増加する。更に、全天候型バースの設置により、各動揺成分は 1/2~1/3 に抑えられている。また、これらの動揺成分については、係船索張力の違いによる動揺有義両振幅の差異は顕著に認められない。

模型実験は、入船時の動揺量が稼働率を支配しやすいことを考慮し、699 型船の空載状態で行ったが、更に積載状態及び船型による動揺性状の相違及び稼働率を評価するため、699 型船満載状態及び 199 型船空載状態で船体動揺解析を行った。

4. 荷役稼働率の推算

4.1 実績稼働率の整理

全天候型バース計画位置における現状の作業は、露天状態にて人力による玉掛作業により、船積が行われている。作業状態は、日誌に克明に記載されており、作業が中断した場合の要因及び時間を読み取ることで、荷役中断率を整理することができる。表-2は年間の荷役中断率を算出したもので、3 要因のいずれかによる中断を考慮すれば稼働率は 84.4%、波浪要因のみによる中断を考慮すれば稼働率は 92.5% となる。

表-2 要因別の荷役中断率

要因	荷役中断率
波浪	7.5 %
雨	7.6 %
風	6.7 %
波浪・雨・風	15.6 %

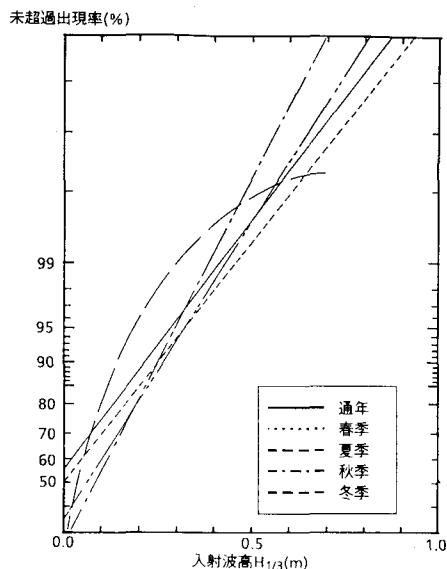


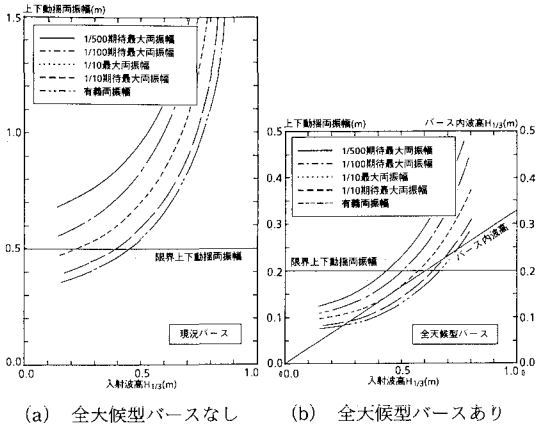
図-10 入射波高と未超過出現率

4.2 荷役稼働率の推算

図-10は3.における沖波の推算及び港内波浪変形計算の結果から評価した、入射波高（全天候型バース計画地前面）とその未超過出現率の関係である。通年の出現率に比較して、夏季の出現率に大きな相違がみられる。この理由は、夏季において、波高の高い沖波の出現頻度が通年に比較して小さく、この傾向が全天候型バース計画地前面に到達する波浪にも影響し、入射波の未超過出現率が大きくなるためである。また、図-11は船体動揺模型実験から求めた入射波高と船体上下両振幅との関係を示したものである。図-11から船体動揺上下両振幅に対する入射波高を求めることができる。更に図-10から、この波高に対する未超過出現率、すなわち荷役稼働率を推算することができる。

4.3 荷役限界動揺量の定義

荷役限界動揺量は一義的に設定することは難しいが、荷役中断時の目視による船体動揺観測、現場作業員への聴取結果から判断すると、699 型船相当でほぼ 50 cm とされている。今、荷役限界動揺量が有義両振幅で与えられているものとする、4.2 に示した方法を用いて、限界



図一11 入射波高と船体動揺上下両振幅

動揺量 50 cm に対する現況バースの荷役稼働率は 99 % となる。これは 4.1 で示した実績稼働率 92.5 % よりも高い。つまり、実績でいう動揺量 50 cm は有義値より大きな値とみなすのがよい。そこで、これを 1/10 最大両振幅とみなすと、荷役稼働率が 91.0 % と推算され、実績稼働率とよく一致する。以上により、荷役限界動揺量を 1/10 最大両振幅で与えるものとする。

4.4 全天候型バースの荷役稼働率

先に述べたように、荷役限界動揺量 50 cm を 1/10 最大両振幅で定義すると、全天候型バース設置後の荷役稼働率は、対象船舶 699 型船、199 型船について、いずれも 99 % となる。なお、全天候型バースにおいては荷役設備の自動化が検討されており、これが導入された場合には荷役限界動揺量は現在以上に小さい数値となる。システムによりその限界値は異なるが、仮に荷役限界動揺量を 20 cm とすると、荷役稼働率は 699 型船、199 型船についてそれぞれ 99 %、97 % となる。このように全天候型バースの設置は荷役の自動化にとっても有用なものとなる。

5. 結 論

本研究によって得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 全天候型バースの消波工は図一2に示す現計画の構造及びレイアウトによって、高い消波機能を発揮すること、したがって、荷役稼働率 99 % を確保できることが確認された。これは、現況より 8 % 向上するもので、全天候型バースに要求される設備機能である荷役稼働率 97 % 以上を十分満たすものである。
- 2) 今回対象とした荷役作業条件下では、荷役限界動揺量は、1/10 最大両振幅で与えられることがわかった。つまり、作業者は最大値に近い動揺量に基づいて荷役を実施していることがわかった。
- 3) 本推算手法は船体動揺を制約条件とした全天候型バースの設備機能の評価に使用しうることが確認された。

6. おわりに

本研究では、船体動揺を制約条件とした荷役稼働率の推算手法を構築した。そして、これを用いて計画中の全天候型バースの設備機能の評価し、その妥当性を検証するという成果を得た。今後は、荷役限界動揺量の設定及び代表値の定義に関して、新たに実測、解析を加えて、その精度を高め、かつ全天候型バースの完成後は、実操業の追跡調査を実施し、本推算手法の評価、検証を行う予定である。

参 考 文 献

- 上田 茂 (1983): 係留船舶の動揺計算法とその評価, 港湾技術研究所報告, 22 巻, 4 号, pp. 185-193.
 高石敬史 (1979): 船舶に働く横揺れ減衰力について, 船舶技術研究所報告, 16 巻, 5 号, pp. 243-253.
 高山知司 (1991): 砕波および反射を考慮した波浪変形計算, 港湾技術研究所報告, 30 巻, 1 号, pp. 21-67.
 山上佳範 (1991): 全天候バースによる荷役稼働率向上性の研究, 第 38 回海岸工学講演会論文集, pp. 966-970.