

ISSN 1346-7301

国総研研究報告 第47号

平成 23 年 9 月

# 国土技術政策総合研究所 研究報告

RESEARCH REPORT of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.47

September 2011

---

潮位を利用したバルクキャリアの入港に関する考察

赤倉康寛・瀬間基広

A Consideration about Port Entry of Bulk Carrier with Using Tidal Level

Yasuhiro AKAKURA, Motohiro SEMA

**国土交通省 国土技術政策総合研究所**

---

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

## 潮位を利用したバルクキャリアの入港に関する考察

赤倉康寛\*・瀬間基広\*\*

### 要 旨

石炭、鉄鉱石、穀物等産業の基礎素材や食糧原料であるドライバルク貨物は、バルクキャリアにより輸入される。このバルクキャリアの船型は、継続的に大型化してきており、30万トン級の鉱石専用船や、パナマ運河拡張を踏まえた10万トン級の穀物輸送船が出現している。これらの大型化に対応すべく、我が国においては、国際バルク戦略港湾が選定され、今後、整備が進むこととなるが、東日本大震災が発生し、復旧・復興が優先される中では、整備完了までにある程度の期間を要するものと想定される。

大型船の入出港では、潮位の利用が一般的であるが、我が国港湾では統一した入港運用の基準が見当たらない。さらに、世界的には、航行時の余裕水深(UKC)を気象・海象データ等により管理するシステムを導入している例も多いが、我が国では固定的なUKCが採用されている場合がほとんどである。

以上の状況を踏まえ、本報告は、既存施設の運用において、我が国及び世界各港における潮位利用の実態を把握した上で、航路諸元算定プログラム J-Fairway を活用した効率的かつ合理的な入港運用の方法を提案する。また、我が国及び世界各国での航路計画における潮位利用の考え方を整理した上で、我が国の港湾計画における、潮位の利用を前提とした航路水深の設定について考察する。

キーワード：潮位，バルクキャリア，航路水深，最大喫水，UKC，J-Fairway

---

\* 港湾研究部 港湾計画研究室長

\*\* 港湾研究部 港湾計画研究室研究員

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5027 Fax：046-844-5027 e-mail: akakura-y2k9@ysk.nilim.go.jp

## **A Consideration about Port Entry of Bulk Carrier with Using Tidal Level**

**Yasuhiro AKAKURA\***  
**Motohiro SEMA\*\***

### **Synopsis**

Dry bulk cargoes such as coal, iron ore, grain are raw materials for many industries and foodstuffs for our daily lives, and are imported by bulk carriers. The sizes of bulk carriers are getting larger and larger. About 300,000DWT ore carriers and 100,000 DWT grain carriers go into services. In Japan, international bulk strategic ports have been already selected, and will be developed hereafter. But, because of the Great East Japan Earthquake Disaster, some delay of this development plan is assumed.

It is common that large ships use tidal level during port entry/departure. There are many ports that introduce UKC management system in the world. But, in Japan, there is no uniformed guideline for using tidal level during port entry/departure. Many ports use static UKC (Under Keel Clearance), such as 10% of maximum draft for large ship entry/departure.

Considering above mentioned conditions, after investigate the information of Japan and World ports, this paper proposes port entry procedure by using J-Fairway program to control under keel clearance. By this procedure, efficient and rational management of port entry will be enabled. Furthermore, this paper considers about the tidal level used in the waterway plan.

**Key Words:** Tidal Level, Bulk Carrier, Waterway Depth, Maximum Draft, UKC, J-Fairway

---

\* Head of Port Planning Division, Port and Harbor Department

\*\* Researcher of Port Planning Division, Port and Harbor Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5027 Fax : +81-46-844-5027 e-mail:akakura-y2k9@ysk.nilim.go.jp

## 目 次

1. 序論	1
2. 入出港基準	3
2.1 世界の主要港のデータ分析	3
2.2 日本の入出港基準	6
2.3 海外諸港の入出港基準	10
3. 効率的な潮位の利用方法に関する考察	14
3.1 Tidal Window	14
3.2 J-Fairwayの活用	14
3.3 考察	21
4. 航路計画に関する基準・ガイドライン	23
4.1 日本	23
4.2 PIANC	24
4.3 アメリカ	25
4.4 スペイン	26
4.5 中国	28
5. 潮位の利用を前提とした港湾計画に関する考察	29
5.1 現行基準の根拠	29
5.2 船舶大型化が運用効率に与える影響の分析	30
5.3 経済的分析	33
5.4 考察	34
6. 結論	36
謝辞	36
参考文献	37
付録	38



## 1. 序論

我が国は、世界有数のドライバルク貨物の輸入国である。石炭、鉄鉱石、穀物等のドライバルク貨物は、産業の基礎素材、食糧原料等であり、中国やインド等の新興国の発展により、世界的なバルク貨物の獲得競争が発生している中で、バルクキャリアによるこれらの貨物の海外からの輸送は、我が国の産業活動や国民生活の生命線であるとさえ言える。

そのため、国土交通省港湾局では、平成21年12月に「国際バルク戦略港湾検討委員会」を立ち上げ、大型船による一括大量輸送を可能とする港湾の「選択」と「集中」により、物資の安定的かつ安価な輸送を実現すべく検討が進められ、本年5月末には、戦略港湾10港が選定されたところである。今後、これらの戦略港湾において、大型船を受け入れるための施設整備が行われていくこととなる。大型化が急速に進む中では、できる限り速い整備が望まれるが、限られた財源の中で、さらに3月に発生した東日本大震災への復旧・復興が優先される中では、整備完了まで、ある程度の期間を要するものと想定される。

大型船による港湾の入出港においては、潮位の利用が一般的である。潮位を利用することにより、より大型の船舶を、施設の整備なく、受け入れることが可能となるためである。この潮位の利用では、利用可能となるまで港内外で待機する潮待ちが発生するが、特に、バルク貨物は、コンテナやフェリー貨物に比べて急がない貨物であり、バルクキャリアも船速が相対的に低速であり、不定期運航されているため、定期船に比べて潮待ちを許容しやすい。世界的には、潮位の利用により入出港可能な時間帯を示す Tidal Window を導入している港湾や、航行時の余裕水深 UKC を、気象・海象の予測値・実測値や船舶諸元等から管理することにより、より喫水の大きい船舶の航行を可能とするシステムを導入している例も多い。一方、我が国の港湾においては、一般的に、航路航行における潮位利用が可能となっているものの、統一した基準は見あたらない。いかなる気象・海象条件に対しても船舶の最大喫水に対して10%といった固定的な余裕水深 UKC の規定となっており、潮位を利用した入港方法に改善の余地があるものと考えられる。

また、国際バルク戦略港湾における大型船対応の整備計画において、潮位の利用を前提とする方法も考えられる。特に、現在において、大型船入港に潮位を利用している港湾では、同程度の潮位利用を港湾計画に盛り込むことは、議論としてあり得る。一方で、潮位の利用によ

る潮待ちの発生は、当該大型船に多額の滞船料の負担を強いるだけでなく、その後に入港が予定されている船舶の入港時間の遅れにも繋がり、港湾施設全体として運用効率を低下させることとなる。船舶が継続して大型化する場合には、将来的に運用効率が極端に悪化するか、小さな船型を選択せざるを得なくなる可能性もある。そのため、我が国の港湾の港湾計画においては、潮位を利用せずに対象船舶の入出港を可能とすることを基本としてきた。ただし、先行的にバースが整備された場合に、航路水深が浅い状態での運用は行われてきたが、あくまで暫定的な措置である。今後の国際バルク戦略港湾の整備において、この考え方を維持すべきなのかどうかについて、様々な観点からの検討が必要である。

以上の状況を踏まえ、本報告は、バルク貨物対応港湾を対象として、既存施設の運用において、我が国及び世界各港における潮位利用の実態を把握した上で、航路諸元算定プログラム J-Fairway を活用した効率的かつ合理的な入港運用の方法を提案する。また、我が国及び世界各国での航路計画における潮位利用の考え方を整理した上で、我が国の港湾計画における、潮位の利用を前提とした航路水深設定の可能性について考察する。以上の分析・考察により、本報告は、もって、国際バルク戦略港湾を念頭に、バルク貨物対応港湾の効率的な整備・運営に資することを目的としている。

以下、2. では、我が国及び世界各港での入出港における潮位利用の状況について、航路水深データや、各港の入出港等の基準等から整理し、分析する。

3. では、2. の結果を基に、我が国港湾におけるバルクキャリアの入港運用における潮位利用を効率化するために、Tidal Window の整備や J-Fairway の活用について考察する。

4. では、我が国及び世界各国での航路計画における潮位の利用の状況について、水域施設の整備基準・ガイドライン等から整理し、分析する。

5. では、4. の結果を基に、我が国のバルク貨物対応港湾の港湾計画での、潮位の利用を前提とした航路水深の設定可能性について、船舶大型化の影響、諸外国基準の目安値、経済的な分析等により考察する。

以下に、本報告で用いる用語について、整理を行っておく。

「バルク貨物」 船艙にばら積み（散積）される貨物のこと。液体ではないドライバルク貨物と、原油、石油製品、液化ガス（LNG、LPG）、液体化学薬品等のリキッドバルク貨物とに分類される。

「三大バルク貨物」 ドライバルク貨物の中で太宗を占める石炭、鉄鉱石及び穀物のこと。メジャーバルク貨物とも呼ばれる。

「バルクキャリア」 ばら積み貨物を大量に輸送する船舶。鉱石専用船も含む。

「船舶諸元」 船舶の大きさや主要寸法のこと。本報告では、主に以下を用いる。

DWT：載貨重量トン（Dead Weight Tonnage）

L<sub>OA</sub>：全長（Length Over All）

B：型幅（Breadth Moulded）

d<sub>full</sub>：満載喫水（Full Load draft）

「航路水深」 基準水面下での航路の水深のこと。本報告では、パスに離着岸するまでに通航する航路の中で、経路上、一番浅い部分とした。

「最大喫水」 航路を通航することが許容される船舶の静水状態における最大の喫水のこと。航路水深等より定められる。運用条件により変化するものであり、船舶の主要寸法ではないが、以下のとおり表記する。

d：最大喫水（Maximum draft）

「UKC（Under Keel Clearance）」 船舶の船体最下部（Keel）から海底までの垂直距離のこと。余裕水深。ここで、航路水深、最大喫水、潮位及びUKCの間には、以下の関係式がある。この場合、潮位は、基準水面からの水面の上昇分となる（図-1.1）。

$$\text{航路水深} + \text{潮位} = \text{最大喫水} + \text{UKC}$$

「Tidal Window」 特定の航路等について、潮位を利用することにより航行が可能となる時間帯のこと。または、航路航行可能時間帯を示した図表のこと。

「Squat」 航走中に船体が沈下すること。また、その船首沈下量。

また、潮位（潮汐）に関して、基本的な事項と用語を、以下にまとめておく<sup>1)・3)</sup>。

潮汐とは、海面の緩慢な周期的昇降のことであり、通常1日約2回（高潮から低潮までの周期が概ね12時間25分）であるが、場所によっては1日1回のところもある。潮汐の中で、天体の引力に起因する天文潮は規則的であるが、気圧や風向等の変化にともなって生じる気象潮や海水の密度変化等に起因する水面の昇降は一般的に不規則である。

天文潮による代表的な潮位の定義は、以下のとおり。

「平均水面（M. S. L. : Mean Sea Level）」 ある期間の海面の平均の高さに位置する面のこと。潮汐がないと仮

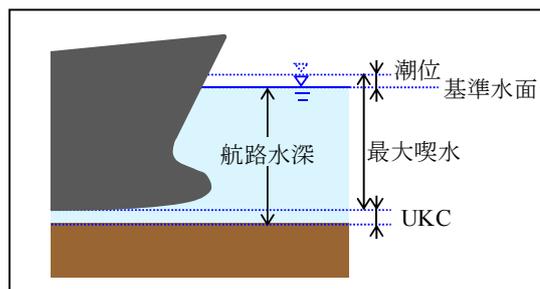


図-1.1 航路水深・最大喫水・潮位・UKCの関係

定したときの海面となる。実用上は、1ヶ年の潮位を平均して平均水面とする。平均水面は、水温、海水密度等の変化、気圧等の気象変化等により、徐々に昇降する。

「最低水面（C. D. L. : Chart Datum Level）」 平均水面から主要4分潮の振幅の和だけ低い水準面のこと。航海において使用される海上保安庁海洋情報部発行の潮汐表や海図は、この最低水面を基準としている。なお、海面が最低水面以下に下がる負潮位は、場所により、ごく希に発生することがある。

「天文最低低潮面（L. A. T. : Lowest Astronomical Tide）」 平均的な気象状況と一般的に考えられる天文状況の組み合わせの中で、推定される最も低い海面のこと。天文最低低潮面を潮位の基本水準面（海図において、水深を測る基準の面のこと）とすれば、負潮位は生じない。国際水路協会（IHO）は、各国に、基本水準面に天文最低低潮面を採用するか、そうでない場合、当該基本水準面と天文最低低潮面との差を潮汐表に記載するように勧告している。

「朔望平均満潮面（H. W. L.）」 月と太陽が地球からみて同一方向になった朔望の日から前2日後4日以内に現れる各月最高満潮面の平均した水面のこと。

「朔望平均干潮面（L. W. L.）」 朔望の日から前2日後4日以内に現れる各月最低干潮面の平均した水面のこと。

## 2. 入出港基準

### 2.1 世界の主要港のデータ分析

世界の主要なバルク貨物対応港湾において、入出港時の航路航行で潮位を利用しているかどうかを分析するため、各港湾のデータを整理・分析する。

#### (1) 使用データ

三大バルク貨物の世界の主要積出港及びアジアの主要荷揚港について、航路水深、最大喫水、航路航行における潮位利用の有無、当該品目の最大バース水深等のデータについて、収集・整理した。主要なデータ出典は、以下のとおり。

- ・ Guide to Port Entry (Shipping Guides)
- ・ Dry Cargo Port Database (G-Ports)
- ・ Ports of the World (LLI)
- ・ Port Guide Online (IHSF)
- ・ 日本の港湾 2010 (日本港湾協会)
- ・ Port Information (各港) 等

整理したデータの一覧を、表-2.1 に示す。航路水深データは、当該バースの離着岸までに通航する航路の中で、経路上、一番浅い部分である。そのため、特に穀物取扱港湾については、航路水深が、主要な航路に接続するまでの航路・泊地の水深となっている港湾もあるため、留意されたい。また、最大喫水は、各航路を航行可能な船舶の最大の喫水である。なお、日本以外のアジアの穀物荷揚港については、穀物バースから主要航路へ接続する航路・泊地のデータが入手できない場合が多かったため、港湾数が少なく、空欄が多くなった。

#### (2) 航路航行時の潮位利用に関する記載の状況

まず、航路航行時の潮位利用の可否に関する記載状況を確認した結果が、表-2.1 で「潮位利用の有無」である。航路水深や最大喫水の記載において、潮位の利用に関する記述があったかどうかである。潮位利用が可能である旨の記載が確認されたのは、61 港湾・バースであり、全体の約 6 割であった。国別に見れば、Mississippi 川流域の穀物港湾が中心となっているアメリカ以外は、いずれかの港湾で潮位利用が可能であった。一方、潮位の利用が不可能であるとの記載はほとんど見当たらなかった。そのため、空欄となっている港湾については、潮位の利用可否が判断できない。

次に、航路航行時に潮位が利用できる場合で、潮位の利用に限度が無く、最大限に利用できるかどうかを確認

した結果が、表-2.1 で「潮位最大利用」である。最大限利用可能な場合、最大喫水の記載が“航路水深+Tide-UKC”といった表記となる。潮位が最大限利用可能であることが確認されたのは、20 港湾・バースであり、潮位利用が確認された港湾のうち、約 3 割であった。うち、オーストラリアが半数を占め、オーストラリアの港湾・バースは全て潮位が最大限利用可能となっていた。一方、潮位利用が確認された港湾・バースのうち、約 7 割は潮位の最大利用が可能かどうか不明であり、利用潮位の限度が記載されていた港湾はほとんど無かった。

#### (3) 航路水深と最大喫水の関係

航路航行時の潮位利用の有無について、記載状況からは約 4 割が不明であったことから、全般的な傾向を確認するため、航路水深と最大喫水の関係を確認する。両者の関係を考える場合、UKC の深さを見積もる必要がある(図-1.1 参照)。ここで、UKC は、厳密には航走中の船首沈下 (Squat)、波浪による船体沈下量、海図の水深誤差等より設定される必要であるが、欧州水先人会や日本の港湾施設の技術上の基準・同解説<sup>3)</sup>(以下、「技術基準・同解説」という。)では、下記の目安が示されている。

##### UKC の目安

- ・ 港内航路：対象船舶の最大喫水の 10%
- ・ 港外航路：対象船舶の最大喫水の 15%
- ・ 外海航路：対象船舶の最大喫水の 20%

本報告の対象としている航路は、基本的には港内航路であることから、UKC は最大喫水の 1.1 倍となる。そこで、航路水深と最大喫水×1.1 とを比較したのが、図-2.1 である。データが確認できた 89 港湾・バースのうち、85% を超える 76 港湾・バースが 1.0 より大きく、全データの平均値は、1.13 であった。この結果より、大半の港湾・バースにおいては、入出港における航路航行時に、潮位利用が認められている可能性が高いと推察された。全港湾・バースの航路水深の平均値：15.3m、UKC を最大喫水の 10%と仮定した場合の利用潮位の平均値：1.9m であった。一方、一部の港湾において、1.0 未満となっていたのは、バース水深で最大喫水が決まっている場合や、波浪等の条件が厳しい港外や外海航路で、UKC を大きく確保する必要がある場合等と想定された。

#### (4) 航路水深とバース水深の関係

さらに、全般的な傾向の確認として、航路水深とバース水深の関係を確認した。ここで、バース水深の UKC は、技術基準・同解説<sup>3)</sup>にも示されているように、一般

表-2.1 バルク貨物対応港湾の航路水深・最大喫水・最大バース水深

品目	国	港湾	潮位利用の有無	潮位最大利用	航路水深(m)	最大喫水(m)	最大バース水深(m)
石炭	Australia	Newcastle	○	○	15.2	15.7	16.5
		Hay Point/Dalrymple Bay	○	○	14.9	17.8	19.1
		Gladstone	○	○	15.8	18.0	18.8
		Port Kembla	○	○	15.3	17.0	16.3
		Abbot Point	○	○	17.0	17.3	19.4
		Brisbane	○	○	14.0	13.6	13.5
	Canada	Vancouver(Roberts Bank)	—	—	—	21.0	22.9
	China	Qinhuangdao			14.0	16.5	17.0
	Indonesia	Tanjung Bara	○	○	18.0	19.3	17.3
		Balikpapan	○	○	13.0	14.3	15.0
		Pulau Laut(NPLCT)	○	○	14.0	15.3	18.0
		Bontang	○	○	13.0	13.5	
		Kota Baru(IBT/SPLCT)	○			14.5	14.5
	Russia	Vostochny			16.5	15.6	16.0
	South Africa	Richards Bay			22.0	18.0	19.0
	Japan	衣浦	○		12.0	11.8	12.0
		北九州(響灘)	○		13.5	12.2	17.0
		徳山下松(新南陽)	○		10.0	10.9	12.0
		徳山下松(徳山)	○		12.8	12.8	14.0
		徳山下松(下松)			19.0	15.3	19.0
		松浦				16.3	16.3
		宇部	○		11.0	12.7	14.0
		千葉(南袖ヶ浦)	○		14.0	13.0	14.0
		小名浜	○			12.3	14.0
		苫小牧			14.0	12.6	14.0
		室蘭	○		16.5	16.0	16.5
	四日市	○		14.0	14.0	14.0	
	China	香港	○	○	15.5	16.8	20.0
	Korea	三千浦	○		18.0	16.1	18.1
		仁川			14.0	15.0	16.0
		泰安			21.0	16.5	24.0
	Taiwan	高雄	○		16.0	14.5	16.5
台中				16.0		18.0	
麦寮		○		18.5	17.5	19.2	
鉄鉱石	Australia	Port Hedland	○	○	14.3	20.0	19.7
		Dampier	○	○	15.5	18.3	19.5
		Walcott(Cape Lambert)	○	○	15.6	19.6	19.4
	Brazil	Tubarao	○	○	22.5	21.3	22.5
		Ponta da Madeira/Itaqui	○	○	23.0	28.0	24.0
		Sepetiba/Guaiba Island terminal	○		20.4	18.1	18.6
		Ponta Do Ubu	○	○	19.0	18.0	18.7
	India	Mormugao(Goa)	○		14.1	14.0	14.1
		Visakhapatnam	○		16.5	16.5	
	South Africa	Saldanha Bay	○		23.2	21.5	23.0
	Japan	水島	○		16.0	16.5	17.0
		福山	○		16.0	16.0	17.0
		木更津	○		19.0	18.0	19.0
		大分	—	—	—	24.3	30.0
		鹿島	○		19.0	18.0	19.0
		東播磨(加古川)			17.0	16.5	17.0
		名古屋			14.0	12.7	14.0
北九州(戸畑)				17.0	16.0	17.0	
川崎				23.0	19.6	22.0	
千葉(千葉南部)				18.0	16.3	18.0	
和歌山下津			14.0	13.8	14.0		

\*) —は航路が必要ない港湾・バース, 空欄は不明.

表-2.1 バルク貨物対応港湾の航路水深・最大喫水・最大バース水深

品目	国	港湾	潮位利用の有無	潮位最大利用	航路水深(m)	最大喫水(m)	最大バース水深(m)
鉄鉱石	China	寧波(北倫)	○		18.2	20.0	20.5
		舟山(馬迹山)			23.5	23.0	26.0
		青島			15.7	20.0	21.0
		日照	○	○	15.0	20.2	24.5
		上海(宝山)	○		7.5	9.5	12.5
		天津(新港)	○		19.5	18.3	20.8
		唐山(曹妃甸)			25.0	23.0	25.0
		湛江	○		19.3	20.0	23.0
		煙台			15.0	20.0	20.0
		坊城				19.0	19.5
	大連			21.5	23.0	23.0	
	Korea	光陽			20.8	22.5	22.5
	浦項			19.5	19.5	19.5	
Taiwan	高雄	○		16.0	14.5	16.5	
穀物	Argentina	Bahia Blanca	○		13.7	13.7	13.7
		Necochea/Port of Quequen	○		12.2	12.2	11.9
		Rosario			10.3	10.6	10.7
		San Lorenzo(-San Martin)	○		10.3	10.6	
	Australia	Fremantle(Kwinana)	○	○	14.7		16.8
	Brazil	Santos	○		12.0	12.8	13.7
		Paranagua			12.0	11.9	
		Rio Grande	○		12.2	12.2	12.2
	Canada	Vancouver	○	○	15.0	18.9	15.5
	USA	South Louisiana			13.7	14.3	15.2
		New Orleans			13.7	14.3	14.6
		Kalama			12.2	12.2	12.8
		Seattle	—	—	—	21.6	24.0
		Plaquemines			13.7	14.3	15.2
		Tacoma	—	—	—	21.3	22.3
		Portland			12.2	12.2	12.8
	Houston			12.2	12.2	13.4	
	Japan	鹿島	○		12.0	11.9	13.0
		神戸	○		11.9	11.9	12.5
		名古屋	○		12.0	11.9	14.0
		水島	○		12.0	12.4	14.0
		志布志			13.0	11.9	13.0
		千葉(千葉中央)	○		12.0	11.9	12.0
		博多	○		12.0	12.0	12.0
		衣浦	○		12.0	11.8	12.0
		鹿児島	○		12.0	11.9	14.0
		横浜	—	—	—	16.8	17.5
八戸				13.0	11.9	13.0	
釧路			12.0	11.0	12.0		
China	連雲	○		11.5	13.5	12.5	
	上海	○		7.5	9.5	9.0	
	大連			13.5		15.5	
	寧波(北倫)					14.5	
	日照					15.0	
	坊城	○				13.6	
Korea	仁川			14.0	11.8	14.0	
Taiwan	高雄	○				14.0	

\*) —は航路が必要ない港湾・バース, 空欄は不明.

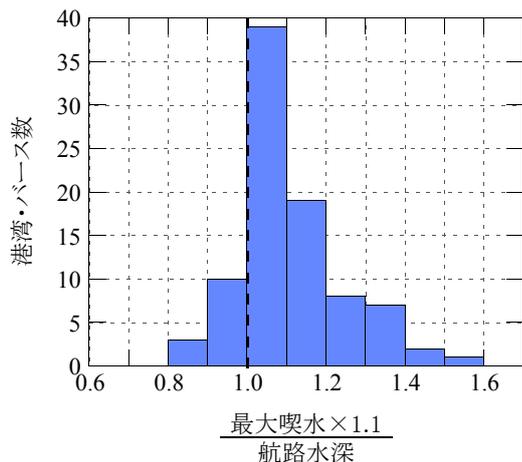


図-2.1 航路水深と最大喫水の関係

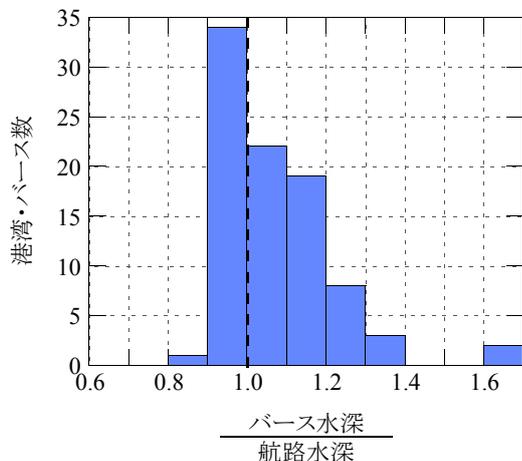


図-2.2 航路水深とバース水深の関係

に、最大喫水の10%とされている。すなわち、港内航路における UKC の目安値と同じである。そのため、航路水深がバース水深より浅い場合、航路航行時に潮位を利用している可能性が高いものと推察できる。

航路水深とバース水深とを比較した結果が、図-2.2 である。データが確認できた 89 港湾・バースのうち、6 割超の 54 港湾・バースが 1.0 より大きく、全データの平均値は、1.13 であった。16 港湾・バースがちょうど 1.0 であり、航路水深と最大喫水×1.1 との比較に比べて 1.0 より大きく潮位利用が想定される割合は減ったが、少なくとも 6 割超の港湾・バースで、潮位利用が認められているものと推察された。UKC をバース水深と同じと仮定した場合の利用潮位の平均値も、最大喫水からの推定値と同じ (1.9m) であった。なお、バルク貨物対応港湾では、バースにおいても潮位利用を前提とし、積出港であれば潮位が低下する前に出港、荷揚港であれば潮位が低下する前に荷揚げを行うとの運用が行われている場合がある

ことを確認している。1.0 未満となった港湾では、このようなバースにおける潮位利用や、波浪等の条件が厳しい港外や海外航路で、航路における UKC を大きく確保する必要がある場合と想定された。

## 2.2 日本の入出港基準

日本の港湾の運用における入出港基準について、まず制度面を確認した上で、いくつかの港湾の例について、ヒアリング等により情報収集した結果を整理する。

### (1) 入出港運用に関する各種制度

入出港運用については、①港湾管理者、②水先人、③港長の三者について、法令上の関与が見られる。

#### ①港湾管理者

港湾管理者は、各港の港湾管理条例に基づき、港湾施設の使用の可否を決定することができる。例えば、以下のとおり。

#### 東京都港湾管理条例

(使用の許可)

第六条 港湾施設（前条の規定により告示したものに限る。）のうち次に掲げる施設（以下「係留施設等」という。）を使用しようとする者は、知事の許可を受けなければならない。

- 一 別表第一に掲げる施設（臨港道路を除く。）
- 二 港湾法第二条第五項第十号に規定する港湾厚生施設及びこれに準ずる施設として都が設置したもの

したがって、公共バースの場合、係留施設の使用が許可される条件として、入出港の運用基準が存在することとなる。運用基準の重要項目である入出港喫水については、FAL 条約 (Convention on Facilitation of International Maritime Traffic : 国際海上交通簡易化条約) に定める入出港届には含まれないが、2005 年 11 月に条約締結を契機として定められた入港前手続様式に最大喫水が含まれており、これをもって、水深については、当該係留施設を使用可能かどうか判断することができる。参考までに、図-2.3 に入港前手続様式を掲載しておく。

一方、専用バースの場合、係留施設の使用許可ではなく、水域の占用許可の手続きとなる。この場合においては、占用条件として、当該バースの運用条件が規定され

### 入港前手続様式(その1)

【 港長、港湾管理者、地方運輸局、海上保安官署 共通様式 】

- 危険物荷役許可申請       停泊場所指定願       移動許可申請       係留施設使用許可申請  
 船舶運航動静通知       船舶油濁損害賠償保障法に基づく保障契約情報の通報  
 国際航海船舶及び国際港湾施設の保安の確保等に関する法律に基づく船舶保安情報

※ 国際航海船舶及び国際港湾施設の保安の確保等に関する法律に基づく船舶保安情報の通報、船舶油濁損害賠償保障法に基づく保証契約情報の通報、港則法に基づく危険物荷役許可申請、停泊場所指定願及び移動許可申請並びに港湾管理者の求める係留施設等使用許可申請、船舶運航動静通知にあたっては、この様式を用いることができる。

- 港長殿        
 港湾管理者殿        
 地方運輸局長殿        
 海上保安官長殿

船長氏名 \_\_\_\_\_  
 申請者名 \_\_\_\_\_  
 申請者住所 \_\_\_\_\_  
 担当者名・連絡先 \_\_\_\_\_

【 外航 ・ 内航 】

申請者コード				
船舶基本情報	船名		IMO番号(又は船舶番号・漁船登録番号)	
	船種	【 貨物船・コンテナ船・貨客船・客船・油槽船・漁船・その他 】 / 【 汽船・機船・機帆船・その他 】		
	国籍	船舶港		
	総トン数	国際総トン数	重量トン数	全長
	連絡方法	呼出符号(信号符号)      船舶電話番号、インマルサット電話番号、FAX番号その他連絡方法		
船主等情報	船主名(所有者名)・住所・電話番号又はFAX番号 (名前)			
	(住所)			
	(電話番号又はFAX番号)			
	運航者名・住所・電話番号又はFAX番号(運航者と船舶賃借人が異なる場合は、船舶賃借人名・住所・電話番号又はFAX番号を併記すること) (名前)			
	(住所)			
	(電話番号又はFAX番号)			
入港情報	入港予定港名		入港予定日時 月 日 時 分	
	停泊目的	希望びよう泊場所	びよう泊予定期間 月 日 時 分から 月 日 時 分まで	
	係留施設(希望船席)名称・場所		(コード)	
	着岸(予定)日時 月 日 時 分		離岸(予定)日時 月 日 時 分	
	移動前停泊場所		移動後停泊場所	
	移動理由	移動予定日時 月 日 時 分	移動後停泊予定期間 月 日 時 分から 月 日 時 分まで	
	運航区分 【 入港 ・ 移動 】	着岸舷側 【 左舷 ・ 右舷 】	(被)接舷船名	最大喫水(入港から出港まで) 〇.〇(m)
	航路名		【 優先指定 ・ 定期 ・ 不定期 】	
仕出港	前港	次港	仕向港	
特定海域の入域の位置及び入域の予定時刻 (入域位置)【 東京湾 ・ 伊勢湾 ・ 紀伊水道 ・ 豊後水道 ・ 関門海峡 】 (予定日時) 月 日 時 分				

図-2.3 入港前手続様式 (一部)

ることとなる。

## ②水先人

水先法に指定されている強制水先区では、水先引受基準が実質的に入出港基準となる。水先法の該当条文は、以下のとおり。

### 水先法

#### (強制水先)

第三十五条 次に掲げる船舶（海上保安庁の船舶その他国土交通省令で定める船舶を除く。次項において同じ。）の船長は、水先区のうち政令で定める港又は水域において、その船舶を運航するときは、第四条の定めるところにより当該船舶について水先をすることができる水先人を乗り込ませなければならない。ただし、日本船舶又は日本船舶を所有することができる者が借入れ（期間傭船を除く。）をした日本船舶以外の船舶の船長であつて、当該港又は水域において国土交通省令で定める回数以上航海に従事したと地方運輸局長（運輸監理部長を含む。以下同じ。）が認めるもの（地方運輸局長の認定後二年を経過しない者に限る。）が、その船舶を運航する場合は、この限りでない。

- 一 日本船舶でない総トン数三百トン以上の船舶
- 二 日本国の港と外国の港との間における航海に従事する総トン数三百トン以上の日本船舶
- 三 前号に掲げるもののほか、総トン数千トン以上の日本船舶

政令で指定される強制水先区は、全 35 水先区のうち、横浜・川崎区、横須賀区、東京湾区、伊勢三河湾区、大阪湾区、備讃瀬戸区、来島区、関門区、佐世保区及び那覇区である。また、強制水先区ではなくとも、ある一定規模以上の船舶の入出港には原則水先人の乗船が必要とされている場合、水先引受基準が実質的に入出港基準と同等のものとなる。

## ③港長

港則法において、港湾管理者は、港長へ、係留施設の使用の届出が必要となっている。

### 港則法

#### (びよう地)

## 第五条

5 特定港のけい留施設の管理者は、当該けい留施設を船舶のけい留の用に供するときは、国土交通省令の定めるところにより、その旨をあらかじめ港長に届け出なければならない。

### 港則法施行規則

#### (びよう地の指定)

## 第四条

4 法第五条第五項の規定により、特定港の係留施設の管理者は、当該係留施設を総トン数五百トン（関門港若松区においては、総トン数三百トン）以上の船舶の係留の用に供するときは、次に掲げる事項を港長に届け出なければならない。

- 一 係留の用に供する係留施設の名称
- 二 係留の用に供する時期又は期間
- 三 係留する船舶の国籍、船種、船名、総トン数、長さ及び最大喫水
- 四 係留する船舶の揚荷又は積荷の種類及び数量

法令上届け出ではあるが、届け出事項に係留する船舶の最大喫水との項目もあり、港湾管理者における係留施設使用許可の運用基準について、調整がなされるものと推察される。

## (2) 博多港の例

博多港の港湾管理者は、福岡市港湾局である。同港では、港湾管理者、港長及び利用者（水先人、代理店、荷役業者等）から成る安全対策協議会が共同で、「博多港船舶入出港及び岸壁利用基準」を定めている。同基準では、入出港時の UKC について、以下に定めている（抜粋）。

### 1 余裕水深の確保

- 1) 船舶は、入出港時の喫水に 10%の余裕水深を確保しなければならない。この場合、水深は海図記載のものとし、潮汐は加味しない。
- 2) 前項によりがたい船舶については、次の事項を考慮することができる。

① 入出港時の喫水に、潮汐を加味して、10%の余裕水深が確保されること。

② 入出港時の喫水が岸壁側傍水深を超えず、かつ岸壁係留中においては、係留期間中の最低潮時においても 50cm の余裕水深が確保できること。

穀物を扱うバースは、箱崎ふ頭 (-12m) 及び須崎ふ頭 (-11m→-12m 増深工事完了) であり、入出港時の航路は中央航路 (-12m, ただし平成 17 年の福岡県西方沖地震により-11.4m の部分があったが、復旧工事完了) となる。入港船の最大喫水は、「入出港及び岸壁利用基準」の規定に従い、箱崎ふ頭の水深である 12m まで認められている。喫水 12m での入港の場合、利用潮位は、1.2m となる。

潮位利用が必要な深喫水船の入港がある場合、代理店は、まず水先人に了解を得た上で、埠頭を管理・利用調整する博多港ふ頭公社へ深喫水船の利用申請（様式は特になし）を行う。ふ頭公社では、申請書より、実喫水と入港時の予定潮位から、UKC が実喫水の 10%以上確保されていることを確認している。

### (3) 徳山下松港の例

徳山下松港の港湾管理者である山口県は、公共の石炭取扱バースのある晴海埠頭及び新南陽埠頭について、航路水深・幅が、港湾計画に定める諸元に達していないことから、関係者間で暫定利用基準を策定・運用している。

晴海埠頭について、暫定利用基準での最大喫水の規定は、以下のとおり（抜粋）。石炭バースである晴海 9 号岸壁が水深 14m であるのに対し、徳山西航路は水深 12.8m である。UKC は、最大喫水の 10%が必要とし、船により喫水 12.8m まで潮位利用による入港が認められている。利用潮位は、最大 1.17m である。

### 第 7 条（最大着岸船舶及び喫水）

本基準は、各岸壁の最大着岸船舶及び喫水を表 3 のとおり定め、原則として、これを超える船舶の入出港は行わないこととする。

なお、適用船舶は、入港中の最大喫水が海図記載水深を超えてはならない。

表 3 各岸壁の最大着岸船舶及び喫水

岸壁名	船種	(略)	入港中の最大喫水
晴海 9 号岸壁 (-14m)	コンテナ船を除く船舶	(略)	12.72m*

\*：特定の船舶については、入港中の最大喫水を 12.80m までとすることができる。

新南陽埠頭についても、石炭バースである-12m 岸壁が水深 12m で、南陽航路の水深 10m に対し、喫水 10.90m

まで入港が認められている。これは、晴海埠頭の場合と異なり、海図記載水深 (=航路水深) を超えているが (利用潮位 : 1.81m), 利用企業や船舶が特定されることや、約 5 年間の暫定措置であることによる特例措置とのものである。

暫定利用に当たっては、安全対策協議会が設置されている。各船の入港に当たって、代理店は、規定のチェックリストにより、基準に基づいて船型、航行方法、新南陽埠頭については緊急離岸を想定した荷役スケジュールまでチェックして提出し、管理者が確認の上許可をする。また、岸壁利用後も、代理店は利用状況についての報告書を提出することとなっている。

### (4) 木更津港の例

木更津港は強制水先区にあるため、東京湾水先区水先人会の引受基準が入港基準となっている。入港基準において、最大喫水は 18m であり、喫水 17m 以上の場合、UKC に、最大喫水の 11%の確保が必要となっている。また、潮流も引受基準に含まれている。

鉄鉱石輸入を担うのは、新日鐵君津製鐵所の中央 7 号・8 号バースであり、バース水深は 19m である。入港航路である木更津航路も、水深 19m である。最大喫水 18m での入港の場合の利用潮位は、0.98m となる。

バースは同製鐵所専用バースであることから、新日鐵より港湾管理者である千葉県に水域占用許可申請が行われている。許可においては、港長の意見が確認され、最大船型 (DWT) に加え、最大喫水も条件となっている。

同製鐵所では、水先引受基準にある潮位と潮流の予測値を算定し、航路航行可能時間 (Tidal & Current Window) を示す「潮位・潮流予測システム」を開発し、運用している。図-2.4 に、画面例を示すが、最上段に喫水を入力すれば、潮流及び潮位の予測値から、最下段に、航路航行可能な時簡帯が表示される。同システムでの予測値は、過去のデータ等により高い精度があることが確認されている。実際の運用においては、木更津航路の航行には約 2 時間を要することから、概ね連続 3 時間以上航行可能な場合に入港している。

### (5) 水先引受基準

水先区となっている港湾においては、水先引受基準が実質的な入出港基準となっている場合が多いと推察される。そこで、各水先区の引受基準について、日本海難防止協会の資料<sup>4)</sup>より整理した。その結果が、表-2.2 である。39 水先区 (当時) のうち、潮位の利用が確認されたのが約半数の 18 水先区であった。その中では、潮位利用

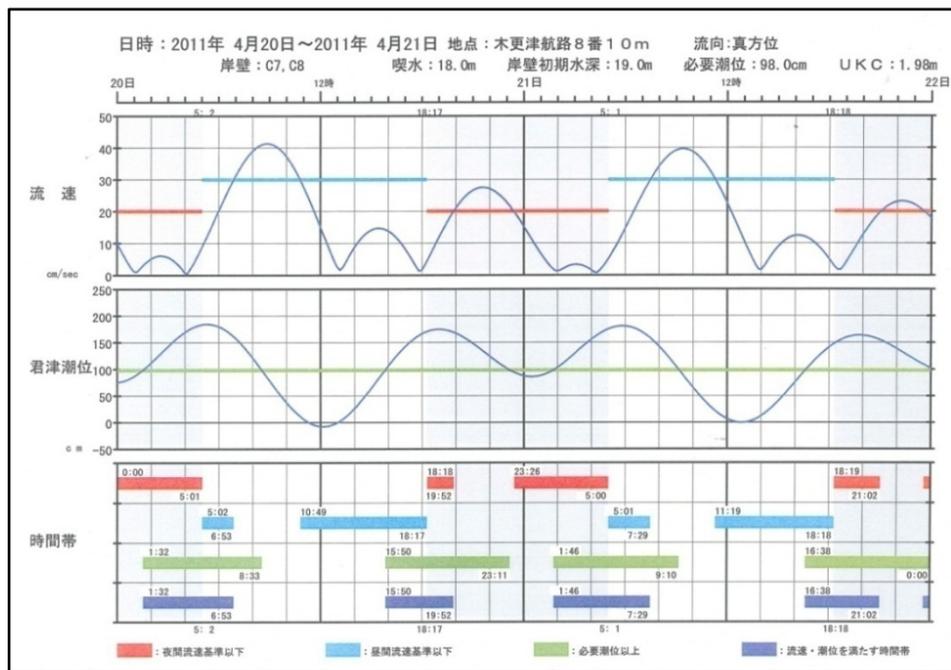


図-2.4 木更津港潮位・潮流予測システム

の制限が明記されていない水先区，最大喫水は海図上の水深まで利用可能とされている水先区及び 1.0m 等具体的な潮位利用限界が記載されている水先区の 3 種類が見られた。一方，潮位を利用しないとされたのは 2 水先区あった。なお，鹿島港については，現在は潮位の利用が認められているとの他の情報がある。

### 2.3 海外諸港の入出港基準

海外諸港の入出港基準について，各港 Port Information 等の文献調査により，情報を整理した。

#### (1) Tubarao Port の例

ブラジル鉄鉱石メジャーの Vale 社が管理・運営するブラジル最大の鉄鉱石積出港。鉄鉱石バースからの出港航路の諸元は，以下のとおり。

##### Tubarao Port Access Channel

- 航路長：3,800m
- 航路幅：285m
- 航路水深：22.5m (25.3m へ増深工事中)
- 最大喫水：20.0m+Tide (最大潮位 1.3m)

航路航行の最大喫水における潮位利用は，通常，10% の UKC 分を含めて使用する（例えば，1.0m の潮位に対し，最大喫水増分は $(1.0 \div 1.1)m$ となる）が，同港では潮位がそのまま利用できるようになっている。鉄鉱石積出

バースは，Pier1 (South Side)，Pier1 (North Side) 及び Pier2 の 3 つあり，最大の Pier2 の諸元は以下のとおり。航路水深とバース水深は同じであった。

#### Pier2 (Iron Ore)

- バース長：365m (ドルフィンを含めると 400m)
- バース水深：22.5m
- 最大船型：365,000DWT
- 最大全長：365m
- 最大幅：66m
- 最大喫水：20.0m+Tide (最大潮位 1.3m)

同じく Vale 社が管理運営する Ponta de Madeira Port においても潮位の利用方法は同じであるが，同港の最大潮位は約 5m である。

#### (2) Saldanha Bay Port の例

南アフリカの鉄鉱石積出港。Transnet National Port Authority (国営港湾公社) が管理・運営している。鉄鉱石バースからの出港航路で一番水深の浅い部分の諸元は，以下のとおり。

##### Turning Basin

- 航路端からバースの間に位置
- 直径：580m
- 水深：23.2m
- 最大喫水：21.5m (潮位利用，常時出港可能喫水 20.5m)

表-2.2 水先引受基準における潮位利用

水先区名	引受基準における潮位利用に関する記述
釧路	通航時の潮高を利用可
苫小牧	潮高は加味しない
室蘭	—
函館	—
小樽	—
留萌	—
八戸	潮高を利用(最大喫水は、潮高を利用して、海図上の水深を原則とする)
釜石	—
仙台湾	潮高利用
秋田船川	潮汐利用可能なバース有り(10cm)
酒田	—
小名浜	潮高を加算
鹿島	余裕水深は潮高を含まない
東京	潮高を利用(海図又は港湾局測深図の水深まで)
東京湾	潮高を加減(最大喫水は原則として当該バースへの水路及びバース付近の海図上の水深とする。但し、水深が14mを超える場合の最大喫水は、当該バースが水深の変化しやすい水域にあるかどうかにより0.5～1.0mを減じたものとする。)
横須賀	潮高1.0mまで利用可能
新潟	—
伏木	—
七尾	—
田子の浦	潮高を利用(船型勘案のうえ、喫水が潮高に対応した乗船時間に設定する場合もある)
清水	潮高を利用した離着岸あり(日軽金岸壁:最大喫水11mに近い船は高潮時に離着岸)
伊良湖三河湾	構内外航路では、中山水道(野島沖経由)のみ潮高利用可能 港内水路及びバースでは、潮高利用可能
伊勢湾	潮高を利用可能(最大許容喫水は、海図記載の水深を超えない)
尾鷲	—
舞鶴	—
和歌山下津	—
大阪湾	潮高を利用可能
阪神	堺泉北港:記載なし 大阪港:潮高を利用することができるが、最大喫水は海図記載水深まで 神戸港:潮高を利用するときは、潮高の90%を水深の増加と見なし、該当時の潮高値に0.9を掛け、さらに1.1で除した数字を用いる
内海	—
境	—
関門	関門海峡:最大喫水10m40を越え11m40までは潮時、潮流を選ぶ 若松1～4区:若松1. 2. 3. 4.区に入出港する喫水8.0m以上の船舶は満潮時の前後2時 戸畑泊地・境川:入出港の潮時は水先人会に一任のこと 小倉区・門司区:入出港の潮時は水先人会に一任のこと
小松島	—
博多	入出港時の喫水に潮汐を加味できる
佐世保	—
長崎	—
島原海湾	潮汐を加味する 三池港:6千GT以上は、憩流時(満潮1時間前)に航路に入るよう、時間調整を行なっている
細島	潮高を考慮する
鹿児島	—
那覇	最大喫水を越える船舶の入出港については、港湾管理者、船舶代理店、那覇水先人会が潮汐、入出港時刻、荷役能力等を考慮し、協議のうえ引受の可否を決定する

潮位は、基準水面上 0.2m～1.9m となっている。鉄鉱石バースの諸元は、以下のとおり。

#### Iron Ore Jetty

バース長：630m  
 バース水深：23.0m  
 最大船型：320,000DWT  
 最大全長：無し  
 最大幅：58m  
 最大喫水：21.25m/21.5m

最大喫水については、同港は低気圧による予測の難しい大きなうねりが発生するため、適切な UKC を確保するために、Iron Ore Jetty からの出港船の最大喫水は 21.5m とするが、そのうち 0.25m 分は Port Captain の裁量に依るとされている。

#### (3) Tanjung Bara Port の例

インドネシア最大の石炭積出港。民間会社 PT Kaltim Prima Coal が所有・運営。石炭バースからの出港航路は、以下のとおり。

#### Departure Channel

航路水深：18.0m (バースから 50m 地点)  
 22.0m (Beacon No.4)  
 35.0m (Inner Shoal Beacon)  
 最大喫水：17.25m+Tide-1.25m (UKC)

潮位は、基準水面上 0.4m～2.8m となっており、Tubarao Port の場合と同じく、そのまま利用可能となっている。UKC は、入港時：0.75m、出港時：1.25m である。石炭バースの諸元は、以下のとおり。

#### TBCT

バース長：350m  
 バース水深：17.25m  
 最大船型：210,000DWT  
 最大全長：310m  
 最大幅：50m  
 最大喫水：17.25m+Tide-0.75UKC

同じインドネシアの石炭積出港でも、Balikpapan Port や North Pulau Laut Port の場合、潮位の利用は、UKC10% を考慮した値となっている。

#### (4) Port Metro Vancouver の例

Vancouver Fraser Port Authority が管理・運営するカナダ最大の港湾。同港には、Roberts Bank の石炭積出バース

も存在するが、ここでは、穀物積出バース及び出港航路について整理する。出港航路は、以下のとおり。

#### First Narrows

航路水深：15.0m  
 Lions Gate Bridge のクリアランスは 200ft (61m)

穀物バース (ターミナル) は、Richardson International, Cargill, Pacific Elevators, Alliance Grain Terminal, Cascadia の 5 箇所全て、Burrard Inlet に位置している。最大水深がある Cargill Terminal の諸元は、以下のとおり。

#### Cargill Terminal

バース長：230m  
 バース水深：15.5m  
 最大船型：制限無し  
 最大全長：制限無し  
 最大幅：制限無し  
 最大喫水：18.9m (Tidal Window より)

最大喫水については、Pacific Pilotage Authority が、Tidal Window を算定できるようにしている。その Web Page<sup>5)</sup> の概要が図-2.5 であるが、船舶、バース、離着岸、実喫水及び期間を入力すれば、通航可能な時間帯が算定される。例えば、実喫水 16.8m に対して、2011 年 6 月 1 日では、0:10～7:20 及び 15:50 以降に航行可能との結果である。また、最大喫水を求めたい場合には、実喫水の項目を空欄としておけば、自動的に算定される。なお、Burrard Inlet での最大水深バースが、この Cargill Terminal であることから、First Narrows の最大喫水も、Cargill Terminal 利用可能な最大喫水と同じものと判断される。

#### (5) Port Hedland の例

オーストラリア最大の鉄鉱石積出港で、Port Headland Port Authority が管理・運営する。鉄鉱石バースからの出港航路は、以下のとおり。

#### Main Shipping Channel

航路長：40km 以上  
 航路水深：14.3m (Hunt Point)  
 航路幅：183m (Newman and Goldsworthy Straight)  
 最大喫水：20.0m

同港では、長大な航路に加え、非常に大きい潮差 (大潮平均高潮面：Mean High Water Spring=7.6m) のため、1995 年より UKC を管理する DUKC (Dynamic Under Keel Clearance) システムを導入している。同システムは、UKC を固定的な数値 (最大喫水の一律 10%等) とするのでは

Tidal Window				
Ship	( 船名 )-LOA:287.30-BEAM:50.00-SUMMER DRAFT:18.75			
Location	CARGILL1	In/Out	Departure	
Agent	( 代理店名 )	Actual Draft	16.80 当該バースを使用可能な最大喫水を算定する場合には、空欄とする	
Date From	06/01/2011	Date To	06/14/2011	
Location Notes				

Day	Tidal Windows	Daylight Start	Daylight End	Draft
Jun 1	Jun 1 00:10 >> Jun 1 07:20			16.80
Jun 1	Jun 1 15:50 >> Jun 2 08:00			16.80
Jun 2	Jun 2 16:20 >> Jun 3 08:30			16.80
Jun 3	Jun 3 17:00 >> Jun 4 09:10			16.80
Jun 4	Jun 4 17:40 >> Jun 5 09:50			16.80
Jun 5	Jun 5 18:10 >> Jun 6 03:10			16.80
Jun 6	Jun 6 04:20 >> Jun 6 10:30			16.80
Jun 6	Jun 6 18:40 >> Jun 7 03:20			16.80

図-2.5 Port Metro Vancouver の Tidal Window<sup>5)</sup>の概要

なく、気象・海象、船舶諸元、船速、実喫水等により個別に算定するものである。この DUKC システムは、実航海での余裕水深を測定した結果により構築されている。システム導入により、同港では、最大喫水は平均 65cm 大きくなり、平均 8 千トンの追加積載が可能となった (Capesize) 他、航行可能時間帯 (Tidal Window) が広がったことにより、毎年、少なくとも 50 隻以上の船舶が余分に入出港できるようになったとされている<sup>6)</sup>。同港を、14m より大きい喫水で出港する鉱石船は、着岸後すぐに図-2.6 のデータ<sup>7)</sup>を Port Authority の Shipping Control Tower に提出する必要がある。出港 24~12 時間前に、DUKC による算定結果が連絡されることとなっている。オーストラリアの多くの港湾では、この DUKC システムが導入されている。

同港の鉄鉱石積出バースは、Nelson Point, Finucane Island 及び Anderson Point の 3 ターミナル・6 バースで、最大の Anderson Point の諸元は、以下のとおり。

Anderson Point Berths (AP1&2)

- バース長 : 760m
- バース水深 : 19.7m
- 最大船型 : 320,000DWT
- 最大幅 : 60m

THIS FORM <u>ONLY</u> TO BE COMPLETED BY IRON ORE VESSELS with DRAFT > 14m		
Vessel Name: _____		
IMO Number: _____		
Expected Departure Time/Date: _____ hrs ____/____/____		
What is the deepest draft your vessel wishes to sail at? _____ m		
CARGO INFORMATION		
Grades	Tonnage	算定に使用するSF値
	mt	
	mt	
	mt	
TOTAL	mt	
STABILITY INFORMATION:		
BEAM: _____ m	LBP: _____ m	LOA: _____ m
DEPARTURE DISP: _____ tonnes		VESSEL DWT: _____ tonnes
Fwd: _____ m	Midships: _____ m	Aft: _____ m
GM(s): _____ m	GM(f): _____ m	
KG: _____ m	KM: _____ m	
Master/Chief Officer Signature _____		
Date: ____/____/____		

図-2.6 Port Hedland における DUKC Input Form<sup>7)</sup>の概要

### 3. 効率的な潮位の利用方法に関する考察

#### 3.1 Tidal Window

潮位を利用した入港においては、安全に航行できる時間帯の把握が必要である。この際、2.2(4)の木更津港や2.3(4)のPort Metro Vancouverの例にあったように、Tidal Windowの作成は、特定の船舶が当該航路を航行可能な時間帯の把握を非常に容易にする。同様に、Tidal Windowが公表されている例として、Port of Hong Kongの例を挙げる。

Port of Hong Kongでは、Hydrographic Officeが、Ma Wan TransitのTidal Windowを、Webにて公表している<sup>8)</sup>。その概要を図-3.1に示すが、左方で日付・船種・船型（全長及び最大喫水）を選択すれば、即座に通航可能な時間帯（緑色：例えば、NORTH BOUND 06:30～08:30）と通航不可能な時間帯（赤色：例えば、NORTH BOUND 08:30～13:15）が表示されるようになっている。この表示は、当日だけでなく、2ヶ月先まで対応している。利用可能な時間帯の算定においては、潮位だけでなく、潮流も考慮している。このようなTidal Windowが整備されていると、各船は、自船の到着予定時刻を通航可能な時間帯に調整することが可能である。航行速度の変更による時間調整

は、潮待ち時間を大幅に短縮させることが、場合により可能となる。ただし、途中で航行管制水域や強制水先区がある場合には、到着予定時刻の算定が中々難しい場合もある。また、航路外での滞船が生じているような場合には、そもそも到着時刻の調整に意味がなくなる。

潮位を利用した入港が可能な我が国の港湾においても、関係者間において、利用基準に基づき、利用可能な時間帯の算定が可能となっているが、水先引受基準では、協議の上決定するとされている場合もあり、容易に判断可能となっているとは言い難い。潮位だけでなく、潮流等他の要素も含めて通航可能な時間帯を示すTidal Windowの整備は、大型バルクキャリアを効率的に入港させるために、有効な手段の一つと考えられる。

#### 3.2 J-Fairwayの活用

##### (1) 概要

国土技術政策総合研究所港湾研究部と（社）日本航海学会規格委員会では、次世代の航路計画基準<sup>9)</sup>として現行の技術基準・同解説<sup>3)</sup>の航路諸元の第2区分照査をとりまとめており、さらに、この照査方法に対応した算定プログラムJ-Fairwayを開発済みである。同プログラムでは、対象船舶の諸元や航路航行環境を入力すれば、航路

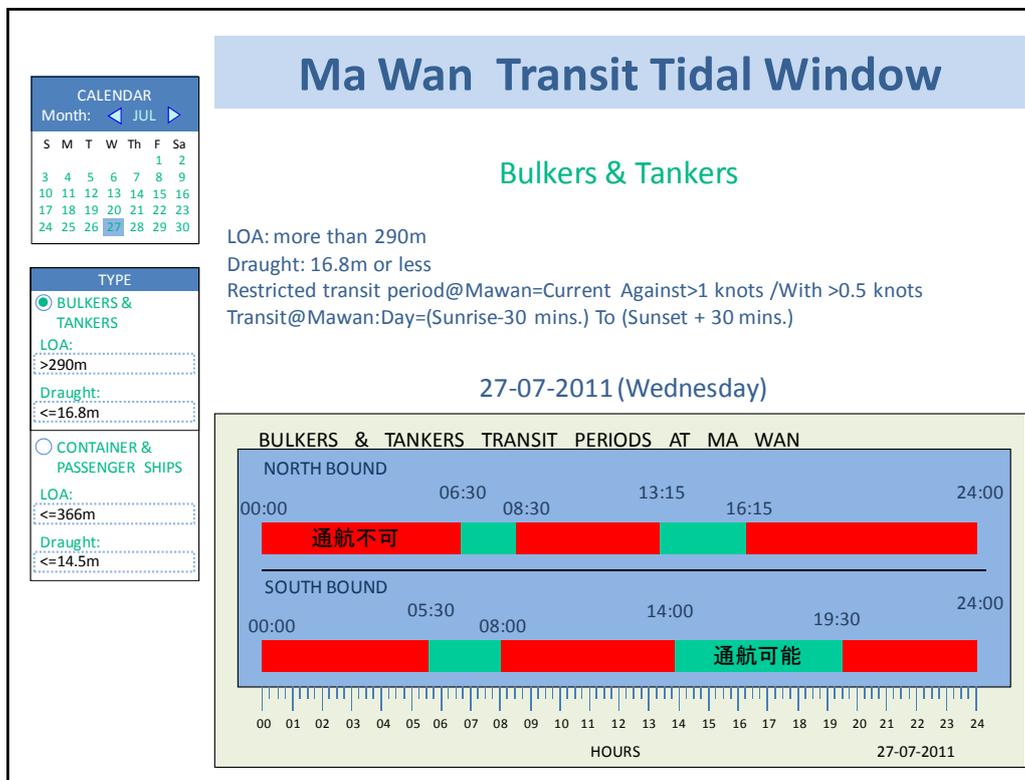


図-3.1 Ma Wan Transit, Port of Hong Kong の Tidal Window<sup>8)</sup>の概要

幅・水深や航路屈曲部の諸元が算定される。同プログラムは、港湾計画研究室の Web Site より入手可能となっている。

J-Fairway の活用方法として、当初より、港湾計画における航路諸元の算定だけでなく、既存航路への大型船の航行可否を判断する運用面での活用も想定されていた。すなわち、特定の船舶が特定の航行環境において入港するのに必要な航路幅・水深の算定値が、実際の既存航路の航路幅・水深以下の場合には、入港が可能と判断されるものである。本報告では、この考え方を、さらに Tidal Window の作成に適用する。すなわち、特定の航路における波浪等の予測値と潮位データを用いれば、J-Fairway による入港可否の判断が予め可能となり、この通航可能な時間帯の整理結果が、Tidal Window となる。

我が国の多くの港湾では、大型船に対する UKC としては、入港船の喫水に対する一定割合（10%等）と設定している（小型船に対しては、50cm, 80cm 等特定の値による設定も見られる）。これは、限界に近い航行環境において必要とされる UKC を、恒常的に必要としているものである。例えば、入港限界が平均風速 15m/s である場合、航路の計画においては、風速 15m/s にて通航可能な航路諸元を確保する。しかし、通常は、風速はもっと小さいため、そのような航行環境下においては、余裕がある。本報告では、この余裕分を J-Fairway によって特定することにより、安全性を損なうことなく航路航行可能時間を増加させることを提案するものである。

ここで、J-Fairway により算定される現行の技術基準・同解説<sup>3)</sup>の第 2 区分照査による航路水深  $D$  は、以下の通りである。

$$D=d+D_1+\max(D_2, D_3)+D_4 \quad (3.1)$$

ここに、

- $D_1$  : Squat による沈下量
- $D_2$  : 縦揺れによる船首沈下量
- $D_3$  : 横揺れによる船底ビルジ部沈下量
- $D_4$  : 余裕水深

このうち、縦揺れ及び横揺れによる沈下量  $D_2 \cdot D_3$  は、ある一定の波浪環境下においてのみ発生する。航行中に常時発生するのは、Squat による沈下量  $D_1$  である。なお、現行の航路水深算定手法全体については、港湾計画に関わる事項として、4. にて説明する。

(2) 検討手法

UKC を最大喫水の 10%とした場合（以降、「UKC10%」という）の通航可能時間帯と、J-Fairway によって算定した通航可能時間帯を比較する。検討対象とした港湾・対

表-3.1 検討港湾及び対象船型

港湾	品種	航路水深 (m)	対象船型 $L_{OA} \times B \times d_{full} / d$ (m)
小名浜	石炭	14.0	8.8万DWT幅広浅喫水型 230×38×13.8/13.8
鹿島	鉄鉱石	19.0	23万DWT・VLOC 327×52×18.1/18.1
木更津	鉄鉱石	19.0	33万DWT・VLOC 340×60×21.2/18.0
名古屋	穀物	12.0	7.5万DWT・Panamax 225×32.3×14.2/11.9
志布志	穀物	13.0	7.5万DWT・Panamax 225×32.3×14.2/13.0

象船舶は、表-3.1 のとおりであり、具体的な検討手法は、以下のとおり。

- ①各港の潮位予測値を入手
- ②UKC10%として、(最大喫水  $d \times 1.1$ ) と (航路水深+潮位予測値) とを比較することにより、通航可能時間帯を算定
- ③各港の波浪予測値を入手
- ④J-Fairway により必要水深を算定し、(航路水深+潮位予測値) と比較することにより、通航可能時間帯を算定

対象期間は、平成 23 年 6 月 14 日 (火) ~27 日 (月) の 2 週間、データピッチは 1 時間とした。通航可能時間帯の算定においては、航路通行に要する時間は考慮しなかった。すなわち、1 時間でも通航可能な時間が存在すれば、通航可能と判定した。実際には、例えば、木更津港では、2.2(4)に記載の通り、通航に 2 時間を要し、通航可能時間が連続 3 時間確保されなければ通航していないが、本試算では、各港湾において航路が一番浅い区域の航行に要する時間が明らかではなかったことから、便宜上、②UKC10%及び④J-Fairway のいずれの場合でも、同じく 1 時間でも通航可能と判定した。

潮位予測値については、海上保安庁海洋情報部 Web<sup>10)</sup>でのデータを用いた。海上保安庁海洋情報部では、潮汐表<sup>1)</sup>を刊行しており、各港の潮汐推算データが Web site にて入手可能である。実際には、潮位は、気象状況（気圧変化）によって変化する。そのため、当該予測値と実際の潮位の偏差について、海上保安庁海洋情報部 Web<sup>10)</sup>のリアルタイム検潮データを確認した。例として、平成 23 年 6 月 18 日における標準港での実測値と予測値の偏差を示したのが、図-3.2 である（各下図（緑色の O-P 線）が偏差）。気圧により上下するものの、港湾により“くせ”があるように見られ、銚子漁港・千葉港・油津港は偏差

が+（すなわち予測値より実測値が高い）の傾向がある一方、小名浜港と名古屋港は偏差が0の上下を行き来していた。本報告では、潮位予測値自体をもって検討を行ったが、実際においては、気圧変化により潮位変化があり、港湾によっては予測値より下回ることがあり得ることを踏まえておく必要がある。

また、波浪予測値は、(財)沿岸技術研究センターによる沿岸気象海象情報配信システム COMEINS Web の波浪ポイント予測データを用いた。当該データは、地方整備局等の委託を受け、同センターが気象庁による波浪 GPV（格子点地）データを基に、浅海域での波浪変形及びポイント付近での波浪観測値によるバイアス補正を行った予測値である。予測手法の詳細については、江口ら<sup>11)</sup>を参照されたい。本報告では、各地方整備局よりデータを

提供していただいた。予測精度は、予測の期間が短いほど高くなると考えられることから、対象日の前日午後16時に発表されたデータを用いた（ただし、6月25日16時～26日16時までの予測値更新がなかったため、それぞれ直近のデータを使用している）。それぞれの港湾における波浪予測地点は、図-3.3のとおりである。なるべく航路に近い地点のデータを採用した。また、波浪予測の精度については、江口ら<sup>11)</sup>において、有義波高で相関係数：0.82～0.97、周期で相関係数：0.70～0.91との高い精度が示されている。これに加え、本報告において、予測値と実測値を比較した結果が図-3.4である。COMEINSにより、予測値と実測値の両方が入手できるナウファス観測地点の中で、対象港湾に近い地点を選んだ（鹿島港は、現在、実測値が取得できていない模様）。例として、

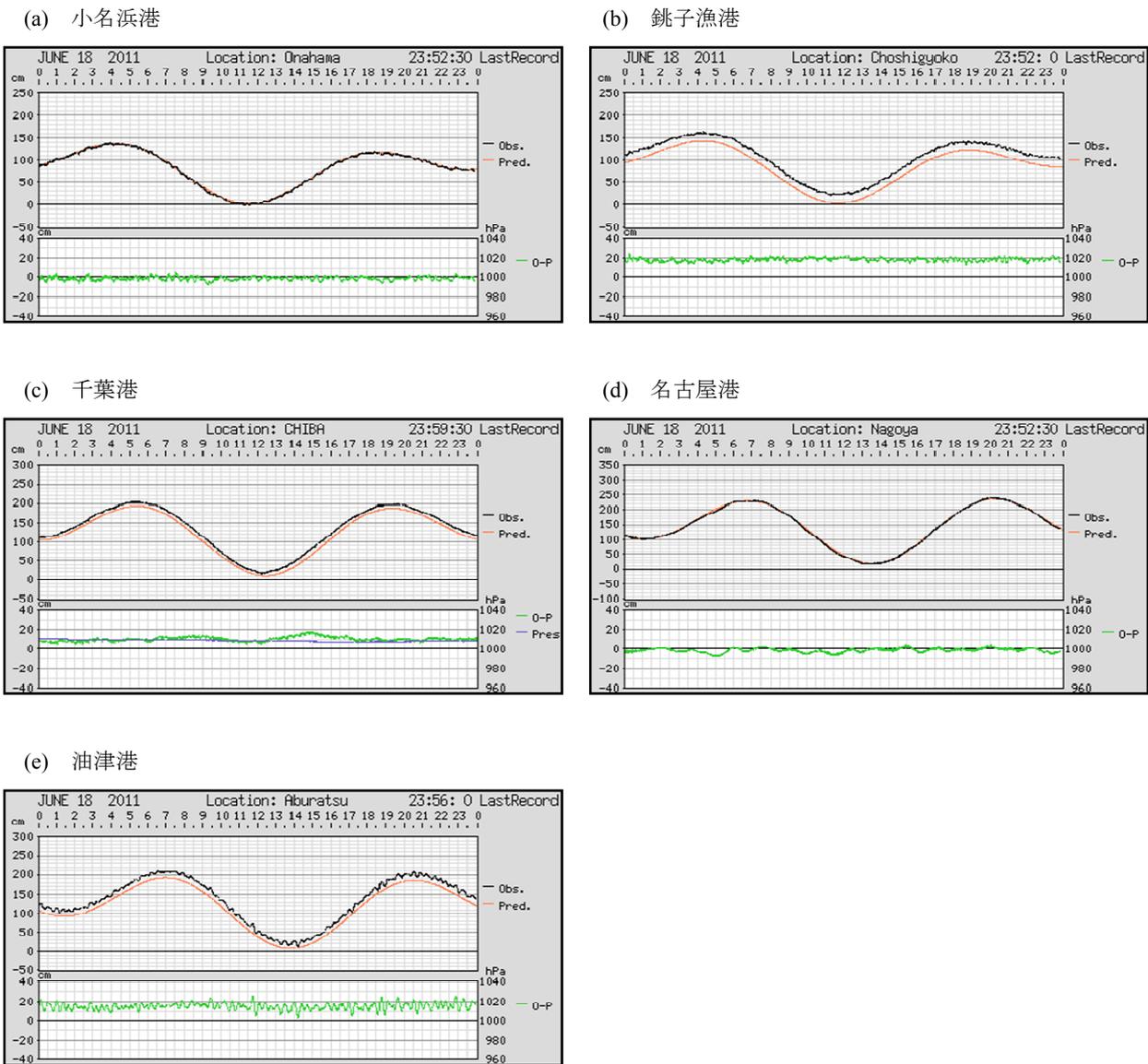


図-3.2 標準港における潮位偏差（平成23年6月18日）<sup>10)</sup>

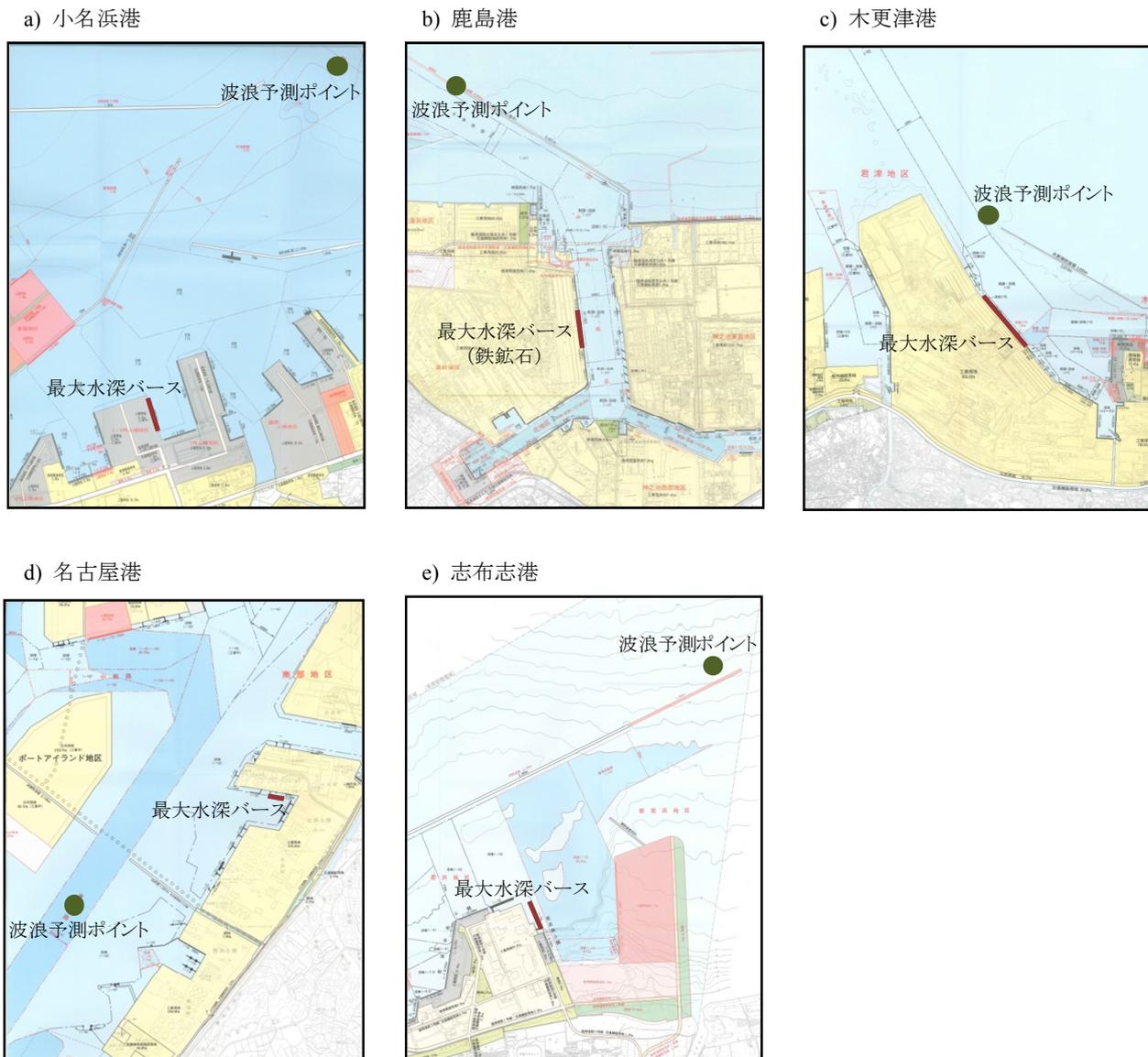


図-3.3 波浪予測地点と航路・バースの位置関係

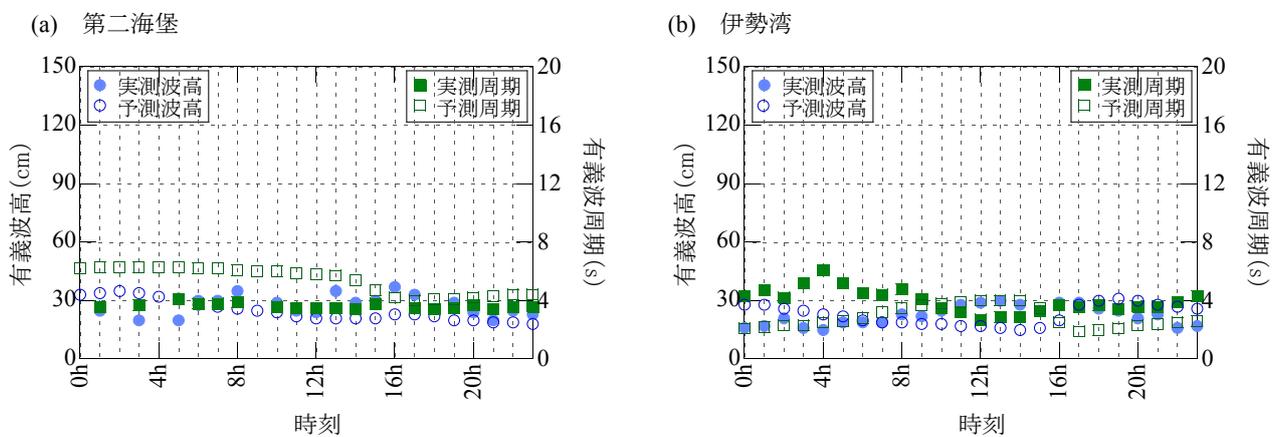


図-3.4 ナウファス地点における有義波高・周期の予測値と実測値 (平成 23 年 6 月 18 日)

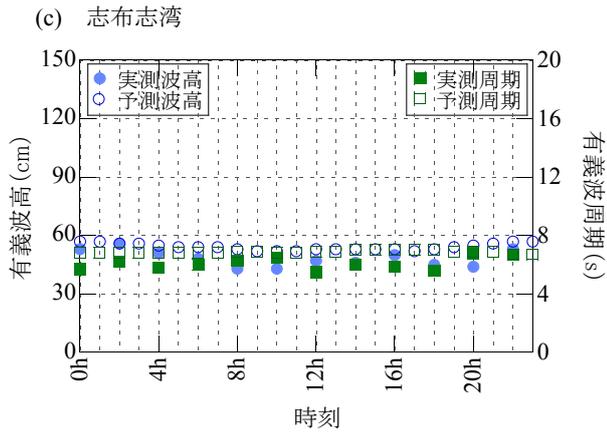


図-3.4 ナウファス地点における有義波高・周期の予測値と実測値（平成23年6月18日）

平成23年6月18日の一日間のデータを用いた。その結果は、3地点共に、有義波高・周期共に、一定程度の精度にて予測が出来ていた。少し乖離が見られたのは、伊勢湾の午前4時の周期で、実測値が予測値より3.6秒程大きくなっていった。なお、ナウファス（NOWPHAS：全国港湾海洋波浪情報網）については、（独）港湾空港技術研究所資料<sup>12)</sup>を参照されたい。

(3) 検討結果

各港における潮位と、UKC10%及びJ-FairwayによるTidal Window算定結果を示したのが、図-3.5である。各図下部の青色（上）の帯がUKC10%により航路航行可能な時間帯を、緑色（下）の帯がJ-Fairwayにより航路航行可能な時間帯を示す。検討した5港湾全てにおいて、

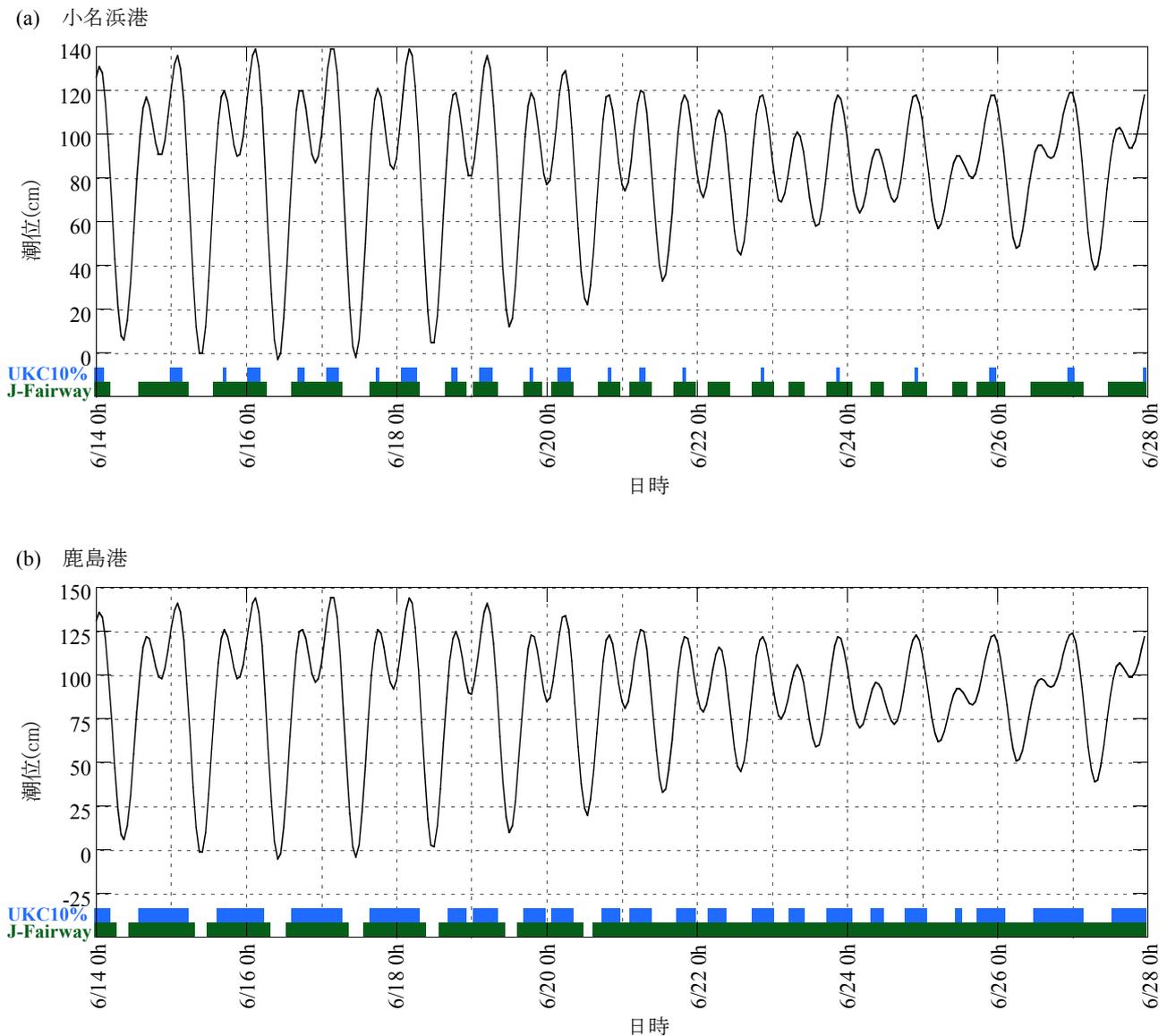


図-3.5 各港における潮位とUKC10%及びJ-FairwayによるTidal Window算定結果（平成23年6月14日～27日）

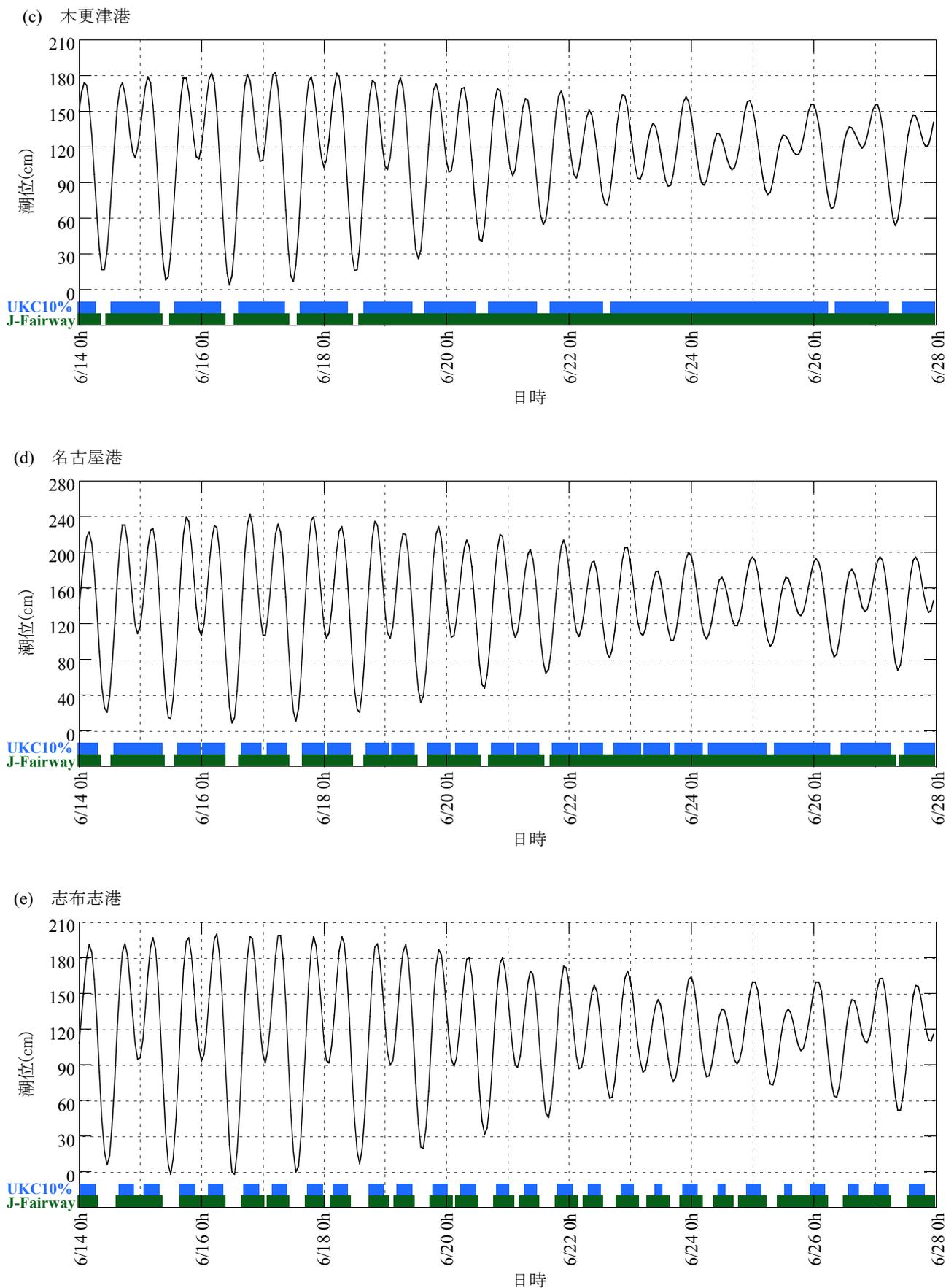


図-3.5 各港における潮位と UKC10%及び J-Fairway による Tidal Window 算定結果 (平成 23 年 6 月 14 日~27 日)

表-3.2 Tidal Window 算定結果のまとめ

港湾	航行可能時間率 (日当たり平均時間)		平均必要 水深差 (cm)	追積可能 トン数 (MT)
	UKC10%	J-Fairway		
小名浜	14.0% (3.4)	59.8% (14.4)	34	2,500
鹿島	56.5% (13.6)	91.4% (21.9)	60	9,000
木更津	83.0% (19.9)	96.1% (23.1)	55	11,200
名古屋	77.7% (18.6)	90.5% (21.7)	37	2,400
志布志	43.8% (10.5)	71.4% (17.1)	35	2,300

J-Fairway による航行可能時間の方が、UKC10%による航行可能時間より長かった。特に、小名浜港や志布志港では、その差が顕著であった。

この算定結果をとりまとめたのが、表-3.2 である。まず、航行可能時間率を比較すると、J-Fairway による算定が、UKC10%の算定より、46～13%ポイント高かった。これは、一日当たりの平均航行可能時間に換算すると11～3.1時間に相当する。潮待ちは、当該船の入港を遅らせるだけでなく、当該船の荷役・出港、さらには、同じバースを使用する後続船の遅れも導くため、この差は大きいと考えられる。もし、J-Fairway による入港運用を行うことが出来れば、安全性を損なうことなく航路・泊地や係留施設の利用効率の大幅な向上が期待できる。さらに、UKC10%の場合の必要水深と、J-Fairway による必要水深の差を試算すると、最大で60cm、最小で34cmであった。仮に、各港において、最大限まで潮位を利用でき、その中でUKC10%と同じ航行可能時間で運用するとした場合、各船の積載量を増加させることが出来る。その増加量が、表-3.2 の追積可能トン数であるが、Panamax クラスで2千トン超、VLOC では約1万トンの追加輸送が可能と試算された。この量は、満載輸送量の概ね3%に該当するため、輸送費に与える影響は大きいものと推察される。

この算定においては、全ての港湾・日時において、J-Fairway による必要水深算定では、式(3.1)の各項目のうち、縦揺れによる船体沈下量  $D_2$  及び横揺れによる船体沈下量  $D_3$  のいずれも生じなかった。すなわち、必要とされたのは Squat による沈下量  $D_1$  と余裕水深  $D_4$  だけであった。これは、期間中に発生した有義波の周期 (= 波長) が、波浪沈下  $D_2$  もしくは  $D_3$  が生じる帯域より短かったためである。そこで、各港において、期間中の最大有義波の波高・周期と、波浪沈下が生じる下限値を整理したのが表-3.3 である。外海に面している小名浜港・鹿島港・志布志港では、有義波高が1mを超え、周期も6～9秒と

表-3.3 最大有義波と波浪沈下が生じる波周期下限値

港湾	期間中最大有義波		波浪沈下の下限 $T_{1/3}$ (s)	
	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	$D_2$ (縦揺れ)	$D_3$ (横揺れ)
小名浜	1.64	7.7	9.5	17.5
鹿島	1.80	6.3	13.6	20.4
木更津	0.36	2.6	14.1	22.0
名古屋	0.45	3.6	9.9	16.1
志布志	1.72	8.9	9.6	16.1

表-3.4 ナウファス観測地点での2009年有義波データ

ナウファス 観測地点	水深 (m)	2009年最大有義波		気象じょう乱 縦揺れ回数
		$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	
小名浜	23.8	5.22	10.9	9
常陸那珂	30.3	6.67	8.5	1
第二海堡	28.8	2.20	6.4	0
伊勢湾	26.9	2.54	5.0	0
志布志湾	35.0	3.44	16.0	3

注) 縦揺れ回数は、河合ら<sup>12)</sup>にて、顕著気象じょう乱(全16回)のうち、表-3.3の  $D_2$  (縦揺れ) 下限以上の周期の波が発生した回数。

長くなっていた。これに対し、湾奥の木更津港・名古屋港では、有義波高が50cmに満たず、周期も3秒前後と短かった。一方、波浪沈下が生じる下限である有義波周期は、各港の対象船型等により異なり、 $D_2$  で9秒以上、 $D_3$  で16秒以上となっていた。期間中の最大有義波の周期と、 $D_2$  が生じる周期下限値を比較すると、小名浜港及び志布志港では、両者の差が1～2秒程度と近くなっていた。その他の港湾については、期間中最大有義波の周期と、 $D_2$  が生じる周期下限値との間には、大きな差があった。

さらに、各港の沖合のナウファス波浪観測地点における有義波データを、河合ら<sup>12)</sup>のデータより整理したのが、表-3.4 である。鹿島港は観測がなされていなかったため、最寄りの常陸那珂港とした。観測地点は、いずれも沖合で、航路より随分と水深の深い地点であるため、波高も周期も、検討対象の航路上より、かなり大きいものと推察される。この点を踏まえつつ、データを確認すると、2009年に観測された最大有義波の周期は、小名浜港及び志布志港を除き、表-3.3 の波浪沈下が生じる下限値より短くなっていた。また、河合ら<sup>12)</sup>の、2009年中に発生した顕著な高波をもたらした気象じょう乱16回の最大有義波データについて、周期が、波浪沈下が生じる下限値より大きくなった回数を確認したところ、小名浜で9回、志布志湾で3回、常陸那珂(→鹿島港)で1回であった。外洋に面している小名浜港、志布志港及び鹿島港では、波浪沈下が生じる有義波が発生する可能性が、湾奥に位置する港湾より相対的に高いものと考えられる。

波浪沈下が生じた場合に、航路航行にどの程度の水深

表-3.5 最大波浪沈下発生時の必要水深試算

港湾	設定波高 H <sub>1/3</sub> (m)	最大D <sub>2</sub> 発生時		最大D <sub>3</sub> 発生時	
		T <sub>1/3</sub> (s)	必要水深(m)	T <sub>1/3</sub> (s)	必要水深(m)
小名浜	2.0	14.0	15.74	17.5	18.47
鹿島	2.0	20.0	20.21	20.4	23.69
木更津	1.0	43.0	19.82	22.0	20.35
名古屋	1.0	22.5	13.80	16.1	14.11
志布志	2.0	14.0	14.84	16.1	17.46

(潮位を含む)が必要となるのかを試算した結果が、表-3.5である。有義波高の設定値は、表-3.3の期間中最大有義波高と、鹿島港の水先引受基準が波高 2.0m 以下<sup>4)</sup>であることを参考に、外洋に面した港湾で 2.0m、湾奥の港湾では 1.0m とした。波向きは、対象期間中の予測の中で一番多かった方向とした。算定結果では、縦揺れによる沈下量 D<sub>2</sub>の最大値、横揺れによる沈下量 D<sub>3</sub>の最大値共に、UKC10%以上となっていた。もし、このような有義波の中での入港となれば、UKC10%では不足であり、安全性確保のため UKC を大きく取らなければならない。実際には、鹿島港の水先引受基準でも、波浪の波長は全長の 1/3 以下とされている<sup>4)</sup>ように、表-3.5 のような悪天候時の入港は想定されないが、波浪による船体沈下 D<sub>2</sub>・D<sub>3</sub>が発生するような条件下においては、安全性確保の観点で、UKC を最大喫水の 10%以上確保する必要がある場合がある可能性がある。本報告で提案する J-Fairway を活用した必要水深の算定手法を用いれば、このような場合においては、UKC を大きく取ることにより、一定の安全性確保が可能となる。すなわち、J-Fairway を活用した Tidal Window 作成により、通常時には、安全性を損なうことなく入港時間を長く確保することが可能であることに加え、悪天候時には、安全性確保のため、入港時間を短縮することや、数値に基づく合理的な入港不可の判断が可能となる。

### 3.3 考察

UKC を最大喫水の一定割合との固定値とせず、気象・海象条件や船舶諸元等により算定し管理する方法は、2.3(5)の Port Hedland の他にも数多く見られる。Port of Rotterdam では、1985 年より UKC 管理システム HARAP (HARbour Approach) が運用されている。同システムでは、各船が航路航行中に底触し軽微な損傷を起こす確率を算定し、その確率が航路の供用期間 25 年において 10% 以下 (237 年に一度) との基準で出入港運用を行っている<sup>13)</sup>。同港の Euro-Maas Channel は、総延長 57km、水深 23.4m に対し、36.5 万 DWT の鉱石専用船(最大喫水 22.6m)

が入港している。同システム導入以降、2005 年までの 20 年間において、潮位利用が必要な船の底触事故は起きていない<sup>14)</sup>。さらに、現在は、各種条件(海象条件や船型等)を階級値ではなく、分布形で直接評価し、底触事故の確率をモンテカルロシミュレーションで算定する PROTIDE (Probabilistic Tidal Window Determination System) を開発中である<sup>15)</sup>。開発においては、Port of Rotterdam 以外のオランダ港湾も参加をしている。

また、アメリカ合衆国においても、潜水艦や空母の入出港において、UKC を管理するために開発されたシステム EMOGS (Environmental Monitoring and Operator Guidance System) が運用されている。同システムでは、リアルタイムでの波浪や水位情報等も活用して、UKC を予測し、底触のリスクを評価するものであり、艦船だけでなく、商船にも対応している。さらに、同システムの活用により、Port of San Diego では、空母の入出港に必要な航路水深を、過去 20 年の気象・海象データを用いて評価し、従来の手法で 60ft (18.3m) 必要とされたところを、同システムでは 55ft (16.8m) が推奨され、5ft 分 : 1 千 6 百万ドルの浚渫費用が節減されている<sup>16)</sup>。

このような UKC 管理システムの導入は、多用な船種・船型、航行環境に対して、ある一定の安全性を確保した上で、通常時には、より深い喫水による入港、あるいは、より長い Tidal Window の確保が可能とする。本報告で提案している J-Fairway の利用もまさに同じ観点のものである。既存施設を、より有効に活用するために、新たな UKC 管理の手法は有用である。

また、UKC 管理システムの導入により、より深い喫水での入港が可能となれば、航路水深を超えた喫水での入港もあり得る。我が国港湾においては、現時点では、2.2(3)で収集した港湾・パースのデータ(表-2.1)の中では、航路水深を超えた喫水での入港が可能であったのは、31 港湾・パース中、4 港湾・パースであった。表-2.2 の水先引受基準に“海図記載水深まで”との記載が見られるように、多くの港湾では潮位が利用できるとしても、最大喫水が航路水深=海図記載水深までの範囲となっている。2.2(3)では、徳山下松港の新南陽埠頭において、航路水深 10m に対して、最大喫水が 10.9m まで通航可能であるが、利用企業・船舶が特定され、暫定利用における特例措置とのことであった。このように、潮位の利用が、基本的には航路水深までに限定されているのは、万が一航路上で航行が出来なくなっても、最大喫水が航路水深以下であれば、底触の危険性が無いためであり、4. で述べるように、我が国の技術基準・同解説<sup>3)</sup>でも同じ考え方を採っている。一方、世界的には、最大喫水が必ずし

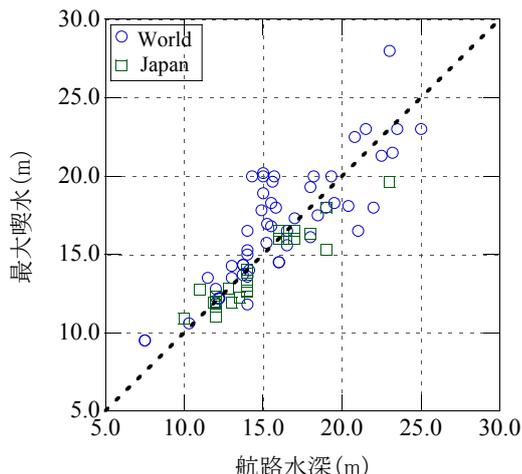


図-3.6 航路水深と最大水深の比較（日本・世界）

も航路水深までに限定されていない。図-3.6は、表-2.1の港湾・パスについて、航路水深と最大喫水とを比較した図であるが、日本は、ほとんどが航路水深と最大喫水が等しい直線以上か、やや航路水深の方が大きいのに対し、日本を除く世界諸港・パスでは最大喫水が大きい方が多かった。特に UKC 管理システムを導入しているオーストラリアでは、データが入手できた 8 港湾中、7 港湾において最大喫水が航路水深より大きく、Port Hedland では航路水深 14.3m に対し、最大喫水 20.0m にて運用されていた。2.3(5)で見たように、Port Hedland の航路は全長 40km 以上あるが、その全てが水深 14.3m となっているわけではない。そのため、特に水深の浅いポイントにおける潮位利用を管理し、万が一航行が出来ない状態になっても、水深の深い部分へタグによって曳航できるように、航行計画が組まれているものと想定される。同様に考えれば、同一水深に浚渫される部分が多い我が国港湾においても、万が一航行不能の状態になったとき、航路が短い場合には、タグにより曳航して航路外に出ることが出来れば問題がないし、航路が長い場合には、回避水域を設ける方法も考えられる。新たな UKC 管理システム導入の効果を大きくするためには、航路水深を超える最大喫水の船舶の航行を認め得るのかどうかの検討が必要である。

さらに、新たな UKC 管理システムにおいては、気象・海象条件の予測値が必要となる。気象・海象データの把握及び活用については、現在 PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure : 国際航路協会) の WG54 にて検討が進められている。最新の報告書(案)では、気象・海象情報の活用可能性の代表例の一つとして、航路における水深余裕が挙げられている。概要は、以下のとおり。なお、筆者による和訳である点、

さらに、報告書として確定されたものではないため、修正があり得る点には留意されたい。

---

最新のリアルタイム UKC 管理システムは、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ及びオランダで 20 年にわたり使用されてきた。これらの UKC 管理システムは、現在、さらに広範に使用されつつある。これは、以下の理由に依る。

- ・海象データの予測精度の向上
- ・導入による港湾利用者への経済便益の拡大
- ・導入による港湾・航路管理者への安全性や環境面での便益拡大

UKC 管理システムは、水位、波浪、潮流データの信頼性に特徴がある。このようなシステムでは、観測値に基づいて、数値モデルにより、航路上の UKC 管理ポイントにおいてデータを予測する。

バルク貨物の輸出港で、波浪等うねりの影響の強い航路の場合、うねりの状況を、36 時間程度先まで予測することは非常に重要である。このことにより、船長は、出港時において安全が確保される範囲で最大の喫水まで積荷をすることができる。輸入港では、パイロットに航行計画が手渡される数時間後までの予測値があれば良いので、輸出港に比べ予測の重要性は高くない。

---

世界的にも UKC 管理システムの導入が進んでいることが判る。既存施設の有効活用のために、我が国においても、J-Fairway を用いた同様のシステムの導入検討が必要である。

## 4. 航路計画に関する基準・ガイドライン

### 4.1 日本

我が国の港湾施設の計画・設計において参照される技術基準・同解説<sup>3)</sup>における航路水深の規定(抜粋)は、以下のとおりである。

#### 【告示】(航路の性能規定)

第三十条 航路の性能規定は、次の各号に定めるものとする。

二 航路の水深は、波浪、水の流れ、風等による対象船舶の動揺の程度及びトリムを考慮して、対象船舶の喫水以上の適切な深さを有すること。

#### 2. 1 一般

##### (5) 航路の性能規定

###### ①航路の水深(供用性)

###### (a) 対象船舶及び航行環境が特定できない場合

対象船舶及び航行環境を特定できない場合の性能照査に当たっては、対象船舶の最大喫水以上の適切な深さとして、以下の値を用いることができる。

(中略)

#### 2. 2 航路水深

##### 2. 1. 1 性能照査の基本

(1) 第1区分における必要な航路水深は、以下の値を用いることができる。

① うねり等の波浪の影響が想定されない港内等の航路 :  $D=1.10d$

② うねり等の波浪の影響が想定される港外等の航路 :  $D=1.15d$

③ 強いうねり等の波浪の影響が想定される外洋等の航路 :  $D=1.20d$

ここに、

$D$  : 航路水深 (m)

$d$  : 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)

(2) 第2区分における必要な航路水深は式により算定することができる。

$$D=d+D_1+\max(D_2, D_3)+D_4$$

ここに、

$D_1$  : 航走中の船首沈下量 (m)

$D_2$  : Heaving と Pitching による船首沈下量 (m)

$D_3$  : Heaving と Rolling による船底ビルジ部沈下量 (m)

$D_4$  : 余裕水深 (m)

##### (3) 共通事項

③ 航路水深  $D$  については、以下の点を考慮できる。

(a) 潮位：航行時点の潮位は一般に最低水面を超えており、この最低水面上の潮位は、実際の航路の利用において水深を増加させる要素として考慮できる。

(b) 水深精度：海図の水深データの誤差は危険側となる可能性があるが、浚渫が実施された場合は計画水深に対して一般的には余裕がある。このため、水深が十分に調査された結果において当該計画水深に対する余裕の水深分は実際の運用における水深を増加させる要素として考慮できる。

(c) その他：必要に応じて、気圧、海底面の底質、海底の障害物、海水比重等について考慮することが望ましい。

基準では、航路水深として船舶の喫水以上の適切な深さが必要とされているが、解説2. 1(5)より、この喫水とは最大喫水を指していることが判る。従って、我が国港湾の港湾計画における航路水深は、最大喫水以上でなければならない。具体的な航路水深の設定は、対象船舶及び航行環境が特定できない場合の第1区分と、対象船舶及び航行環境が特定できる場合の第2区分に照査方法が区分されており、それぞれに対応した方法を採用することが可能となっている。

潮位に関する記載は、航路水深全体に対する共通事項として、実際の航路の利用において考慮できるとの記載である。すなわち、港湾計画における航路水深の設定に当たっては、潮位を利用せず常時入港を確保するが、既存の航路の運用においては、潮位を利用することができることを基本としていると解釈される。

我が国港湾における港湾計画では、一番水深の深いバースの水深と航路の水深は、ほとんどが同じとなっている。バルク貨物を取り扱う主要な港湾における現行の港湾計画について、航路等水深とバース水深を整理したのが表-4.1 であるが、ほとんどの港湾において両者は同じであった。これは、現行より前の技術基準・同解説<sup>17)</sup>では、航路水深は、バース水深の設定に準拠することが基本とされていたからである。実際には、航路とバースの整備を一つの事業として実施し、バースの整備完了後に暫定供用させることがあり、この場合では、航路水深はバース水深より浅く、潮位の利用が必要となっている。

表-4.1 港湾計画における航路水深とバース水深

品目	港湾	航路水深 (m)	バース水深 (m)
石炭	衣浦	12.0	12.0
	北九州（響灘）	17.0	17.0
	徳山下松（新南陽）	12.0	12.0
	徳山下松（徳山）	14.0	14.0
	徳山下松（下松）	19.0	19.0
	宇部	13.0	13.0
	千葉（南袖ヶ浦）	14.0	14.0
	小名浜	13.0	13.0
	苫小牧	14.0	14.0
鉄鉱石	室蘭	16.5	16.5
	四日市	16.0	16.0
	水島	16.0	17.0
	福山	16.0	17.0
	木更津	19.0	19.0
	大分	—	27.0
	鹿島	19.0	19.0
	東播磨（加古川）	17.0	17.0
	名古屋	14.0	14.0
	北九州（戸畑）	17.0	17.0
穀物	川崎	23.0	22.0
	千葉（千葉南部）	18.0	18.0
	和歌山下津	14.0	14.0
	鹿島	13.0	13.2
	神戸	12.5	12.5
	名古屋	12.0	12.0
	水島	12.0	14.0
	志布志	13.0	13.0
	千葉（千葉中央）	12.0	12.0
	博多	12.0	12.0
	衣浦	12.0	12.0
鹿児島	14.0	14.0	
横浜	—	17.5	
八戸	13.0	13.0	
釧路	12.0	12.0	

\*) —は航路が必要ない港湾・バース

（内容が完全に一致しているとは限らない。以下、海外の基準類については同じ）。

## 5.2 航路設計

### 5.2.4 水深について考慮すべき事項

#### 潮位

もし、航路が潮汐作用の影響を受ける場合、潮位の一周期を通して使用可能であるかどうかの確認が必要である。もし、使えない時間がある場合、その経済的な損失も考慮の上、適切な Tidal Window が設定されなければならない。Tidal Window は、水深、船速及び Squat との相互関係を考慮しなければならない。Tidal Window の短縮は、船速を増加させ、Squat、直進性、航路幅余裕に問題を及ぼす可能性がある。

## 5.3 航路の設計手法

### 5.3.2 水深

航路水深は、以下の項目により算定される。

- ・対象船舶の静水状態における最大喫水
- ・航路航行中の潮位
- ・Squat
- ・波浪動揺
- ・底質による水深余裕
- ・海水密度及びその喫水への影響

上記の喫水、Squat、波浪動揺及び水深余裕の全ての数値を加算する。

## 4.2 PIANC

PIANC（The World Association for Waterborne Transport Infrastructure：国際航路協会）においては、航路の設計法について、IAPH（International Association of Ports and Harbors：国際港湾協会）と共同で1997年に“Approach Channels A Guide for Design”（WG30 報告書）<sup>18)</sup>をとりまとめている。また、2005年より、WG49“Horizontal and Vertical Dimensions of Fairways”において、WG30 報告書の改訂作業が進められている。両者について、航路水深における潮位の利用に関する記述を確認する。

### (1) Approach Channels A Guide for Design<sup>18)</sup>

航路水深の規定における潮位に関する記述は、以下のとおりである。なお、原文は英語であり、ここでの記載は、筆者が和訳をしたものである点に留意いただきたい

PIANC WG30 では、航路設計において、潮位の利用を前提とすることは可能ではあるものの、利用を前提とする場合には Tidal Window を適切に設定しなければならないとの規定である。Tidal Window の設定については、考慮すべき事項が列挙されているが、具体的な設定レベルの記載はない。

### (2) WG49 における検討状況

2005年より検討が開始された WG49“Horizontal and Vertical Dimensions of Fairways”では、現在、最終とりまとめの段階となっている。最新の報告書案における、航路水深の規定の中で、潮位に関連する部分の記載は、概略以下のとおり。なお、報告書として確定されたものではないため、修正があり得る点には留意されたい。

## 2.1 航路水深の各要素

航路水深は、水位レベル要素、船舶関連要素及び海底関連要素の3つから決定される。3要素は、お互いに関係がある。

### 2.1.1 水位レベル要素

水位レベル要素は、設計基準水面の選定と、これに対する潮位もしくは気象効果より構成される。

#### 2.1.1.1 基本水準面

基本水準面は、多くの場合、海図の基準水面が採用される。多くの国では、基準水面として、L. A. T.を採用している。

#### 2.1.1.2 設計基準水面

設計基準水面は、潮位及び気象効果だけでなく、対象船舶の喫水、航行環境、経済面、環境面及び潮流に依る。それゆえ、最適な航路水深の決定は、異なった設計基準水面の設定による反復計算となる。

#### 2.1.1.3 潮位及び気象効果

水深は、天文潮の潮位と気象効果の影響を受ける。潮位は、時間及び空間により変化する。潮位データは、調査、分析、既存データからの推計により入手可能であり、また、数理モデルによる予測値や潮位表も入手可能である。気象効果は、大気圧の変化と暴風による水位の上昇・下降である。

潮位が容易に予測できる場合、もしくは、潮位の影響を受ける長い航路の場合、潮位の一周期全体で航路を利用可能とするのかの意志決定が必要となることがある。異なった喫水の多くの船舶により使用される航路の場合、適切な Tidal Window の設定が望ましい。最大喫水船に対する Tidal Window の大きさと、常時入港可能な船舶の喫水は、浚渫コストと環境影響に基づいて決定されなければならない。

入港船は、通常、上げ潮（満潮が港内に入って行く）に乗って航路を通航する。そのため、満潮の数時間前に航路に入れば、満潮時に港湾に到着する。最大喫水船が、潮位の影響を受ける長い航路を出港する場合、航路の設計にはより注意が必要である。この場合、潮位（港内に入ってくる満潮）に逆らって航行するためであり、航路航行中に異なった水深を航行することになる。例えば、上げ潮時に出港し、航路中央で満潮となり、干潮で海に到着する。航路の特定の部分の通航が、満潮になるのか干潮になるのかによって、航路水深に差を付けることも

あり得る。いくつかのハブ港湾では、非常に低い潮位における入出港の確保が、経済的に最も重要である。

航路航行船の船速の設定は、利用潮位と相互に関係するため、重要である。遅すぎる船速は、操縦性能を低下させる一方、速すぎる船速は、Squat と河岸問題（河岸からの反射波及び河岸の浸食）が増加する。

特定の潮位において、安全に航行することが出来ないほど強い潮流がある港湾もある。この場合、潮位の周期において、特定の時間の入出港が制限される（Current Window）。この場合、受容可能な航行不可時間の長さは、経済的分析に応じて決定されなければならない。

雨期と乾期による水流の大きな季節変動を受ける航路・河川がある。最後に、ここでは、地球温暖化による水面上昇に関する議論は含まれていないが、UKC と上方へのクリアランスの両方に影響がある要因である。

---

PIANC WG49 では、航路水深の基準となる設計基準水面は、必ずしも基本水準面（多くの場合 L. A. T.）でなくても良く、ここに潮位の利用を前提とするかどうかを考慮することとなっている。潮位の利用を前提とする場合に、適切な Tidal Window を設定すべきとの点については、WG30<sup>18)</sup>の報告と同じである。報告書案では、この後に、概念設計としていくつかの港湾における実際の設計例が示されているが、全ての例において水位レベル要素に関する記述がなく、潮位を利用せず、常時入港可能な設計となっていた。報告書案における“ハブ港湾”に該当するものと捉えることも可能である。なお、入港時と出港時の潮位の移動方向に対する差異については、欧州の河川港湾等長大な航路や河川を念頭にした記述と考えられる（航路航行時間：5時間の例が示されている）。

## 4.3 アメリカ

アメリカ合衆国においては、陸軍工兵隊（US Army Corps of Engineers）が水域施設の工事を行う。軍港湾の施設基準<sup>19)</sup>について、航路設計の規定の中で、潮位の利用に関連する部分は、以下のとおり。

### 5-6 港湾プロジェクトの設計—航路浚渫プロジェクト

#### 5-6.1.1.5 経済性

水深の要求については、経済性の考慮に重点を置かなければならない。潮差が大変大きく、特に航路が長い場合、最大喫水船の入港に潮位を利用することの可能性を

検討する。堅い海底が広がっており、浚渫コストが高い場合、特定の喫水の深い船については、深い水深の錨泊地もしくはドックを使用することを検討する。

#### 5-6.1.2 一般的な要求水深

(略) 水深を定める場合、次の要素を考慮する必要がある。

##### 5-6.1.2.1 静水時の最大喫水

##### 5-6.1.2.2 Squat

##### 5-6.1.2.3 波浪影響

##### 5-6.1.2.4 余裕水深

##### 5-6.1.2.5 水深の決定

例外を除き、航路水深は、大潮平均低潮面 (Mean Lower Low Water) に対して決定されなければならない。(略)

アメリカの軍港湾の基準においては、経済性の検討を行うべきとの記載はあるが、一般的な要求水深で考慮する事項には、潮位は含まれていない。潮位の利用を前提とした航路水深の設定は、潮差が大きく航路が長い特別な場合とみなされている。

また、上記の基準のうち、大型船に対する航路設計の部分で補完するガイドライン<sup>20)</sup>が示されている。このガイドラインは、商港も含め、陸軍工兵隊が行う全ての浚渫プロジェクトに適用される。その中で、潮位の利用に関する部分は、以下のとおり。

### 3 深喫水船

#### 3-12. 航行環境

設計航行環境の選定は、非常に重要である。対象船舶は、航路を、この環境下において安全に航行可能でなければならない。極端な天候、希な潮位や雪氷の流出事象、その他滅多に発生しない限られた状況は、通常、設計航行環境には含まれない。特定されなければならない要素は、以下のとおり。

- a. 適切な潮流状況
- b. 特定の風及び波の状況
- c. 視界 (日中、夜間、霧、かすみ)
- d. 水深の追加のための潮位の利用
- e. 交通状況 (単航路／往復航路、バージ、合流)
- f. 速度制限
- g. タグの支援
- h. 余裕水深

潮位の利用は、潮位の一周期における利用時間を限定

し、それゆえ、船舶が遭遇する潮流も決めることとなる。(略)

### 6 航路水深

#### 6-2. 経済分析

##### a. 最適化

深喫水船のための航路浚渫プロジェクトは、様々な計画と、安全性、効率性、環境影響を考慮した代替設計案についての費用便益分析による最適設計が必要となる。これらの分析は、様々な代替案による費用を考慮し、最も経済的で機能の高い航路形状と航路水深を決定する。航路水深は最も費用に関連する項目の一つであることから、一般的に、いくつかの航路水深の代替案が検討される。交通量の増加に応じた将来拡張への適応性も、考慮されなければならない。経済最適化分析は、浚渫、土砂処分、埠頭・防波堤・航行支援施設等プロジェクトにおける整備及び管理に係る様々な費用を考慮しなければならない。経済最適な航路は、計画の年間費用と年間便益を比較して選定される。

大型船に対する航路設計では、航行環境の設定において、潮位の利用を前提とするかどうかを決定することが明記されている。経済分析の中では、直接潮位について触れた部分は見当たらないが、航路水深について代替案を検討することから、潮位の利用を含めての分析となるものと想定される。

### 4.4 スペイン

スペインでは、開発省 (Ministerio de Fomento) に国営港湾公社 (Puertos del Estado) が属しており、その傘下で 28 の Port Authority が、46 港を管理・運営している。この国営港湾公社は、港湾・航路・泊地の設計に関するガイドライン<sup>21)</sup>を発行しており、このガイドラインにおける航路水深の記載の中で、潮位の利用に関係する部分の概略は、以下のとおり (全文については、付録参照のこと)。

#### 7.2. 航路・泊地の水深の決定

##### 7.2.4. 水位レベル要素

##### 7.2.4.1. 天文潮

潮位により、航行や操船を可能な期間 (Tidal window) が出現する一方、不可能となる期間も出現する。設計基

準水面を低い水位レベルに設定することは、航路や泊地が使用できる Tidal window が長くなるが、同時に必要とされる水深が増加する。

設計基準水面を L. A. T. とすれば、当該地域は永久的に利用可能となる。しかし、一般に、潮位のある、船舶が航行する海域においては、過度な要求である。なぜなら、浚渫し、維持するために必要とされる投資と、喫水の深い船舶の航行数予測値から、水深の制限により航行できない時間とをバランスさせるように、L. A. T. より高い水位を設計基準水面とすることが可能だからである。

7.2.4.6. 設計基準水面

船舶が位置する水域の設計基準水面の決定は、余裕水深と安全率を考慮の上で、基本的に、分析対象水域の運用レベルに依存する。もし潮差が大きい場合、少なくとも船舶が航行する水域においては、運用レベルを多少下げることにより多大な費用節減が可能であることを考慮し、最適化調査が推奨される。

表-4.2 は、とりまとめとして、この ROM が対象としている航路や泊地に適用される設計基準水面としての推奨水位レベルを与えるものである。船舶が停泊する水域（錨地、泊地、岸壁等）の設計基準水面は、全て、非常

に低い発生リスクに対応した極値に設定されている。一方、船舶が航行する水域に対しては、施設の運用レベルと経済性の関数を“最適化”した水位レベルとすることが定められている。これは、船舶が航行する水域は、サービスレベルを大きく下げることなく運用制限が課しやすいためである。

7.2.4.7. 設計基準水面及び必要水深の最適化基準

設計基準水面として、最低予測水位より高い値を採用することは、航路や回頭水域が大型船に対してある期間使用不可能となるリスクを負うことである。この設計基準水面が干潮位より高いことは、運用可能な期間である Tidal Window が確保される一方で、その他の期間では、操船が不可能となる。

通常、設計基準水面を定める際に考慮すべき事項は、次の通り。

- ・年平均運用停止時間
- ・各月、もしくは、最も好ましくない月の月平均運用停止時間
- ・最大連続停止時間

船舶が位置する水域の設計基準水面は、全ての船種、

表-4.2 スペイン基準 (ROM 3.1-99) <sup>21)</sup>における設計基準水面の推奨レベル

水域の特性	航路等航行水域	泊地・バース等停泊水域
天文潮の潮差が大きい港湾 (潮差 $\geq 1.00\text{m}$ ) - 河口影響がない場合 ・天文潮のみ ・天文潮+気象潮 - 河口影響がある場合 ・天文潮のみ ・天文潮+気象潮	最適化可能 最適化(-0.30m考慮)可能	L. A. T. L. A. T. - 0.30m
天文潮の潮差が大きい港湾 (潮差 $\leq 1.00\text{m}$ ) - 河口影響がない場合 ・天文潮のみ ・天文潮+気象潮 - 河口影響がある場合 (年最大流量-年最小流量 $\leq 1.00\text{m}$ ) ・天文潮のみ ・天文潮+気象潮 - 河口影響がある場合 (年最大流量-年最小流量 $> 1.00\text{m}$ ) ・天文潮のみ ・天文潮+気象潮	M. S. L. = 0.30m M. S. L. = 0.60m  年最小流量 - 0.30m 年最大流量 - 0.60m	M. S. L. = 0.50m M. S. L. = 0.80m  年最小流量 - 0.50m 年最大流量 - 0.80m
開門内	流下の際の水位	該当無し
遮蔽された水域	最適化可能	最適化可能

注) 河口影響とは、流量レジーム(河川を流下する水量の季節変動や渇水・洪水等の発生頻度等)のこと。年最大流量及び最小流量は、許容されるリスクに対応した流量である。

表-4.3 スペイン基準（ROM 3.1-99）<sup>21)</sup>における設計基準水面決定のための最低限の運用推奨レベル

水域の特性	最大運用停止時間	
	時間数	頻度
航路等航行水域 一般の港湾 - 全船種に対応 - 遊漁船のみ 避難港 - 全船種に対応 - 遊漁船のみ その他の港湾 特定のターミナル - 旅客船, コンテナ船, フェリー等定期船 対応のターミナル - バルクキャリア等不定期船対応のター ミナル	年100時間／月10時間 連続6時間 年10時間／月2時間 連続1時間 年150時間／月15時間 連続6時間 年10時間／月2時間 連続1時間 年200時間／月20時間 連続6時間 年100時間／月10時間 連続6時間 年200時間／月20時間 連続6時間	年10回／月1回 2回連続しない 年1回／月1回 2回連続しない 年15回／月2回 2回連続しない 年1回／月1回 2回連続しない 年20回／月2回 2回連続しない 年20回／月2回 2回連続しない 年20回／月2回 2回連続しない
泊地・バース等停泊水域 全港湾 特定のターミナル - 旅客船, コンテナ船, フェリー等定期船 対応のターミナル - バルクキャリア等不定期船対応のター ミナル	年20時間／月10時間 連続6時間 年100時間／月10時間 連続6時間 年200時間／月20時間 連続6時間	年2回／月1回 2回連続しない 年5回／月1回 2回連続しない 年20回／月2回 2回連続しない

注) 本表での運用停止時間は、水深の不足による停止時間だけであり、他の要因による停止は含まない。本表の数値は、対象船舶に対して総合的に利用率:30%となることを基本としている(水深の不足だけでなく、海象条件や夜間での運用停止も含む)。利用率:20%とする場合には、本表の数値を2倍に、利用率:40%とするには、本表の数値を1/2にすれば良い。

全ての運用条件に対して、一つである必要はない。設計基準水面の決定、すなわち、水域の公称水深の決定は、それぞれの場合における特性に合わせた経済性及び運用性の分析結果である。

スペインの港湾においては、経済最適化調査を省く統一的な基準として、設計基準水面は、表-4.3 の要求を満たすことが推奨される。ただし、適用された値は、推奨された要求を満たすが、最適値であるかどうかは保証されない。

スペインの基準においては、潮位の利用を前提とすることがどうかは、検討すべき重要事項として捉えられている。潮位の利用を前提としない常時入港可能な航路計画もあり得るが、特に潮差の大きい港湾では、潮位の利用を考慮すべきとされており、基本的な設計基準水面の設定が

表-4.2 に、そのうち最適化が必要とされた部分の運用推奨レベルが表-4.3 となっている。表-4.3 の数値を確認すると、運用停止時間は、コンテナ船等定期船対応ターミナルの航路で 100 時間／年、バルクキャリア等不定期船対応ターミナルの航路で 200 時間／年となっていることから、全体時間（約 8,700 時間／年）に占める割合はわずかであり、利用潮位高もそれ程高くはないものと推察される（5.にて分析する）。

#### 4.5 中国

中国交通運輸部の監修の下で、港湾施設の技術基準<sup>22)</sup>が出版されている。航路水深の記載において、潮位の利用に関する部分は、以下のとおり。

#### 4.8 入港航路

4.8.11 港内の航路及び泊地（バース・錨地前面を除く）において、あるレベルの潮位は設計航行水深として使用される。この航行潮位レベルは、技術的・経済的調査により、潮位により航行する船舶の頻度、潮位特性、浚渫量等を考慮して定めなければならない。

4.8.12 この航行潮位レベルは、船舶の当該潮位における入出港の所用時間を基に決定されなければならない。この所要時間に対応する潮位レベルについては、累積確率90～95%の潮位が選択されなければならない。

留意点：①気象潮により、潮位レベルの季節変動が激しい場合、航行潮位レベルの設定においては、潮位が低い月の航路能力について確認しなければならない。②確認においては、一年以上の潮位観測データが観測されなければならない。

4.8.13 特定の潮位における船舶の入出港に必要な所要時間は、以下の式により求まる。

$$t_s = K_r(t_1 + t_2 + t_3)$$

ここに、 $t_s$ ：特定の潮位における入出港所要時間

$K_r$ ：余裕率，1.1～1.3 を選択する

$t_1$ ：特定の潮位における航路航行に必要な時間，船舶間の間隔を考慮する

$t_2$ ：港湾内における回頭時間

$t_3$ ：離着岸に必要な時間

留意点：氷海域の港湾では、流氷の存在による航行・回頭・離着岸に必要な時間の追加を考慮しなければならない。

中国の基準においては、航路の水深設定において潮位の利用を前提とすることが可能となっている。その利用潮位高のレベルは、累積確率90～95%の潮位であるので、大半の時間においては利用可能な運用レベルが確保されている（対応する潮位高については、5.にて分析する）。

### 5. 潮位の利用を前提とした港湾計画に関する考察

#### 5.1 現行基準の根拠

我が国の港湾計画においては、4.1で確認したとおり、潮位の利用なく常時入出港（航路航行）可能とすることが基本とされている。その理由は、主に以下の3点と推察される。

- ①潮待ちによる運用効率低下の防止：入出港において潮位を利用することは、潮待ちを許容することである。潮待ちは、施設が稼働しない時間を作ることとなり、運用効率を低下させる。入港船が連続的に続く場合、潮待ちは、後続船の滞船をも導くことにもなる。このような運用効率の低下を防ぐこと。
- ②底触危険性の回避：潮位を利用した航路航行中において、何らかの理由により、機関が停止して航行不能となった場合でも、潮位の低下により底触危険性が生じないようにすること。
- ③将来の大型化への対応：①に関係するが、船舶が継続的に大型化する中で、供用開始時においては十分な運用時間が確保できたとしても、将来的には、潮待ち時間が多大となり、運用効率が大きく低下する可能性がある。対象とする船型の大型化を考慮して、将来においても一定の運用効率を確保する必要があること。

現行の技術基準<sup>3)</sup>は、②の底触危険性を回避するために、航路の水深は“喫水以上”必要であると規定されている。最大喫水以上の水深があれば、万が一航路内の留まらざるを得なくなったとしても、潮位の低下による底触は防げる。3.3で述べたとおり、実際の運用においても、水先引受基準（表-2.2）における、海図記載の水深までの規定は、同じ趣旨である。さらに、喫水以上の“適切な”水深として、同解説<sup>3)</sup>において、①及び③を考慮し、整備時には潮位を利用せず常時入港を確保することを基本としているものと考えられる。

一方、航路浚渫には多大な費用が必要とされる。もし、運用上にそれ程大きな支障が出ないとするならば、浚渫量を減らすことによって、整備費用の削減を図る方向性も、議論としてあり得る。そこで、以降においては、まず、5.2において、船舶の大型化が今後も進む場合において、潮位の利用を前提とした港湾計画が将来の運用効率をどれほど低下させるのかについて、各港の潮位データを基に検討する。さらに、5.3では、経済面の分析として、浚渫費用と潮位の利用を前提とした場合の滞船費用を比較する。これらは、いずれも、従来の入港運用を

前提とした検討であり、3. で提案した J-Fairway による入港運用が導入された場合については、5.4 の考察において分析を加える。

## 5.2 船舶大型化が運用効率に与える影響の分析

### (1) 船舶大型化のペース

バルクキャリアの船型は、経済の発展に伴う輸送量の増大や資源ソースの多様化による輸送距離の長距離化により、継続的に大きくなってきた。この点について、代表的な船型として、Capesize 及び Panamax の船型推移を確認する。データは、IHSF/LR-F の 2011、2000、1990 及び 1980 年の船舶諸元データである。Capesize は 1970 年代以降、Panamax は Handymax と船型が分離した 1980 年代以降を対象とした。建造年別に、5 年毎の船舶諸元値の平均値及び 75% 値(上位 25% 値)を整理した結果が、表-5.1 である。船型の変化を踏まえ、船型の判定基準自体も変更しており、例えば、Capesize では、全年代で、DWT : 20 万 t 以下かつ型幅 (B) : 33m 以上とした上で、DWT の下限値は、'71- : 8 万 t、'76- : 10 万 t、'91- : 12 万 t と変更している。表-5.1 より、Capesize も Panamax も、継続的に大型化していることが明らかである。

航路水深の設定に関わる満載喫水 (d) については、表-5.1 では、両船型ともに継続的に増加していたが、その増加ペースを確認するために、経過年数に対する水深の増加量をプロットしたのが、図-5.1 である。Capesize と Panamax の両船型の増加ペースに大きな差はなく、平均すると、10 年で約 44cm のペースであった。

### (2) 各港潮位データによる分析

(1) で算定した満載喫水の増加ペースが今後も続くものとして、港湾計画において、潮位の利用を前提としかどうかによる施設運用効率の相違を確認する。使用するのは、各港 10 年分 (2001 年～2010 年) の潮位予測データで、データ間隔は 10 分である。データは、UKHO (United Kingdom Hydrographic Office) が各国の担当部局より収集したものである。そのため、基準水面は国により異なっているが、概ね L. A. T.、もしくは、これに近い水位となっている。

ここで、UKC が最大喫水の 10% とすると、港湾計画策定時の航路水深  $D$  と最大喫水 (=満載喫水)  $d$  の間には、以下の関係式が成り立つ。

$$D + D_{T0} = 1.1d \quad (5.1)$$

ここに、 $D_{T0}$  : 港湾計画策定時の利用潮位

$n$  年後においては、最大喫水が増加し、これに対応する

表-5.1 Capesize 及び Panamax の船型大型化

#### a) Capesize

年	DWT (t)		LOA (m)		d (m)	
	平均	75% 値	平均	75% 値	平均	75% 値
'06-	177,564	180,157	291	292	18.1	18.2
'01-	174,548	177,173	289	289	17.9	18.0
'96-	166,247	171,978	285	289	17.6	17.7
'91-	153,457	161,010	273	280	17.3	17.5
'86-	158,553	179,658	276	290	17.3	17.9
'81-	149,923	166,871	278	290	16.9	17.5
'76-	129,276	135,830	266	270	16.6	17.0
'71-	124,775	131,260	267	272	16.4	16.9

#### b) Panamax

年	DWT (t)		LOA (m)		d (m)	
	平均	75% 値	平均	75% 値	平均	75% 値
'06-	78,702	82,191	226	229	14.3	14.4
'01-	75,441	76,598	225	225	14.0	14.1
'96-	72,822	74,009	225	225	13.7	13.9
'91-	70,697	73,095	221	225	13.4	13.8
'86-	67,865	69,611	224	225	13.2	13.3
'81-	65,143	66,764	229	230	12.9	13.2

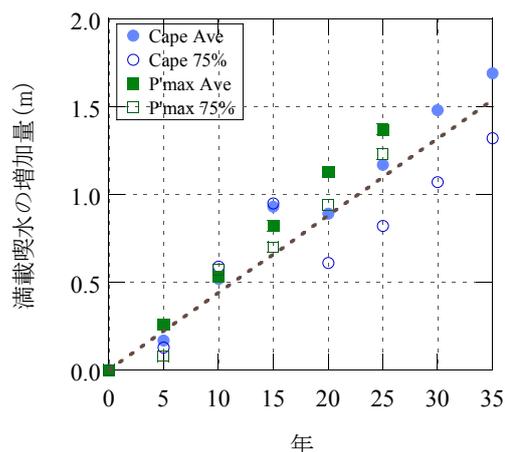


図-5.1 Capesize 及び Panamax の水深増加ペース

ための潮位が必要となる。

$$D + D_{T0} + D_{Tn} = 1.1(d + d_n) \quad (5.2)$$

ここに、 $D_{Tn}$  :  $n$  年後の利用潮位

$d_n$  :  $n$  年後の最大喫水増加量 (=  $0.044 \times n$  (cm))

式(5.2)に式(5.1)を代入すると、 $n$  年後に入港に必要な潮位  $D_{T0} + D_{Tn}$  が、次式より求まる。

$$D_{T0} + D_{Tn} = 1.1d_n \quad (5.3)$$

すなわち、最大喫水の増加量の 1.1 倍の潮位が確保されればよいこととなる。

以上の考え方により、港湾計画において潮位を利用せず常時入港可能とする場合と、潮位 1.0m の利用を前提とした場合について、供用開始後の経過年数による、航路航行可能時間 (Tidal Window) の割合を算定した結果が、

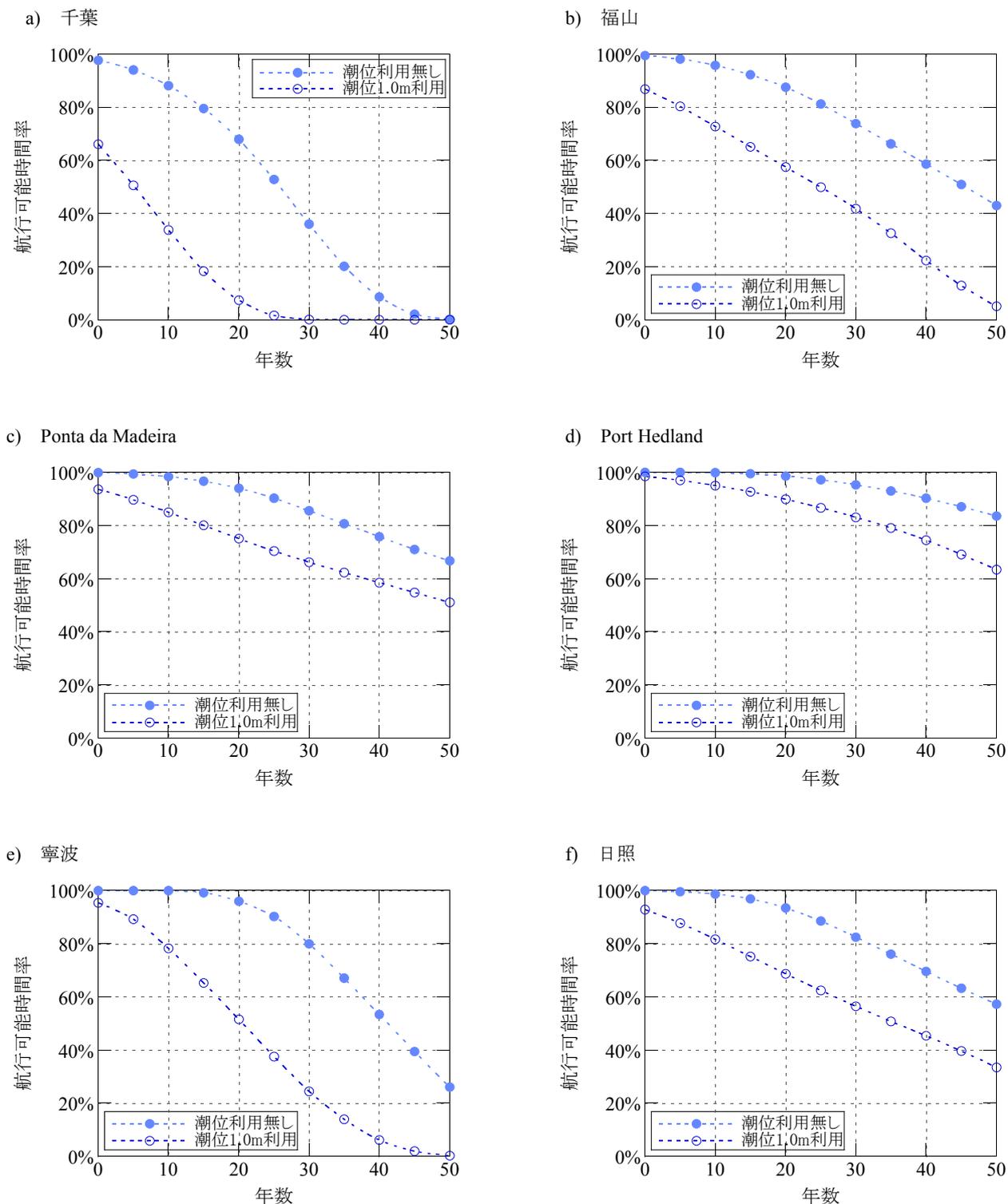


図-5.2 港湾計画での潮位利用の有無による航路航行可能時間率と整備後の経過年数の関係

図-5.2 である。供用期間は、日本の港湾施設（バース、航路、防波堤）の標準的な期間として、50年とした<sup>3), 23)</sup>。

図-5.2 a)千葉港では、港湾計画で潮位を利用せず常時入港を確保する場合でも、供用期間の最後には、航行可能時間率が0%近くとなっていた。b)福山港では、潮位を

利用せず常時入港を確保する場合は、供用期間の最後まで航行可能時間率：50%程度は確保されていたが、港湾計画で1.0mの潮位利用を前提とすると、供用期間の最後には、航行可能時間率が0%近くとなっていた。ここで、技術基準・同解説<sup>3)</sup>においては、対象船舶の諸元の標準

値が示されているが、これは、基準改訂時点において、10年後にも就航していると想定される若年の船舶（貨物船であれば船齢15年以下）のカバー率75%の船舶諸元を基に設定されているものである。この標準値を用いて設定された航路であれば、若年・75%値の部分に、全体・平均的な船型に対しての余裕が含まれている。また、一般に、日本の港湾においては、航路水深の端数処理を行う。例えば、計算上の航路必要水深が15.6mである場合、航路水深の設定が通常1mピッチであることから、計画水深は16mとなる。従って、実際には、今回の算定に加えて、船型設定や端数処理による余裕分＝水深の上乗せがあることになる。仮に50cm程度の上乗せがあった場合、概ね10年程度、グラフが右に平行移動することとなる。

c)Ponta da Madeira及びd)Port Hedlandは、非常に潮差の大きい港湾であるため、年数の経過に対して、航行可能時間率は大きくは低下していなかった。港湾計画で1.0mの潮位利用を前提としても、供用期間の最後においても、航行可能時間率：50～60%確保されていた。e)寧波港とf)日照港は、同じ中国であるが、潮差の大きさに差があり、潮差の大きい日照の方が、相対的に、年数の経過に対して、航行可能時間率が確保されていた。

航路航行可能時間率については、バースを運用する立場の方へのヒアリングにおいては、最小でも60～70%程度は必要であるとの声が聞かれた。この点を参考に、港湾計画における潮位利用の有無に対して、航行可能時間率が、少し低めの60%、50%及び40%となる供用開始後の経過年数を算定したのが、表-5.2である。日本の港湾については、前述の通り、端数処理により10年程度の上乗せが想定されるが、その上乗せをしたとしても、潮位を利用せず常時入港を確保する場合で、供用期間の最後に航行可能時間率：50%を超えたのは、6港中、福山港だけであった。潮位の1.0m利用を前提とすると、航行可能時間率が確保される年数は、軒並み供用期間の半分以下となった。継続的な船舶の大型化を前提とする場合、港湾計画における潮位1.0mの利用の前提は、供用期間中に大型化への対応が厳しくなることが示唆された。

鉄鉱石や石炭の積出港（ブラジル、オーストラリア及びインドネシア）について、潮差の小さいTubaraoやNew Castleでは、港湾計画で潮位1.0mの利用を前提とすると、当初から航行可能時間率：50%を確保できなかった。一方、潮差の大きいPonta da MadeiraやPort Hedlandでは、港湾計画で潮位1.0mの利用を前提とした場合でも、供用期間の最後でも、航行可能時間率：50%以上が確保されていた。このような港湾では、港湾計画時における潮位

表-5.2 港湾計画での潮位利用の有無による航行可能時間率に応じた船舶大型化への対応可能年数

港湾	利用率			潮位1.0m利用		
	60%	50%	40%	60%	50%	40%
日本						
鹿島	18	20	22	0	0	1
千葉	23	26	29	2	5	8
名古屋	26	30	33	5	9	12
福山	39	46	50	18	25	31
徳山下松	33	38	43	13	17	22
志布志	22	25	28	1	4	7
積出港						
Tubarao	14	16	19	0	0	0
Ponta da Madeira	50	50	50	38	50	50
Port Hedland	50	50	50	50	50	50
New Castle	18	21	23	0	0	3
Hay Point	50	50	50	39	48	50
Banjarmasin	24	28	31	4	7	10
中韓台荷揚港						
寧波	38	41	45	17	21	24
青島	43	50	50	22	30	37
日照	48	50	50	27	36	45
浦項	2	2	3	0	0	0
仁川	50	50	50	50	50	50
高雄	11	12	13	0	0	0
台中	44	50	50	24	34	45

\*) 50年以上は、供用期間50年との仮定から、50と記載した。

の利用は、容易であり自然である。中国・韓国・台湾の荷揚港においても、港湾により状況が大きく異なり、浦項港のように、潮差がほとんど無く、潮位利用なしでも数年で航行可能時間率が40%を切ってしまうような港湾では、当初から余裕を持った航路水深の設定が必要と考えられる一方、仁川港のように潮差が非常に大きく、港湾計画で潮位1.0mの利用を前提とした場合でも、供用期間の最後でも、航行可能時間率：60%が確保されるような港湾では、潮位の利用が想定される。

実際の運用においては、専用的に利用する船舶の造船時はもちろんのこと、用船においても、当該港湾に入港可能かどうかを確認されることから、船舶の大型化が即座に利用効率を低下させるものではない。しかし、現時点で12万DWTクラスのCapesizeや6万DWTクラスのPanamaxが既に存在しないように、継続的な大型化を想定しておかないと、満載入港可能な船型の用船ができなくなり、足切りでの入港となり、さらには、いずれかの段階において、港湾計画で対象とした船型より小さい船型にしか対応できなくなる可能性がある。日本の港湾は、世界的に見れば、潮差の大きい方ではないため、船舶の大型化が想定される場合において、潮位の利用を前提とした航路を港湾計画に位置付ける場合には、慎重な検討が必要と考えられる。

5.3 経済的分析

(1) 費用便益分析

4. における各国基準においては、日本を除き、航路計画における利用潮位については、経済的分析を基本としていた。そこで、日本の港湾を対象として、浚渫費用と潮待ち費用の比較による簡易な費用対効果分析を行った。検討条件、検討対象港湾及び対象船型は、表-5.3 のとおりであり、簡易な設定として航路延長は一定、航路幅は対象船全長の1.5倍として、1.0mの潮位利用を前提とする場合と、潮位を利用せず常時入港を確保する場合の比較を行った。すなわち、1.0m浚渫の費用便益分析である。潮待ちは対象船型のみとし、他の船舶への影響は考慮しなかった。ヒアリングでは、前節で述べたとおり航路航行可能率は最低60~70%程度は必要との声であったが、ある程度は減載して足を上げることにより対応可能であることも考慮し、50%までは当該船型を使い続け、それより低下すると、一つ小さな船型に切り替えるとの設定とした。なお、木更津港については、UKHOによる潮位データが存在しなかったため、隣接の千葉港の潮位データを利用している。

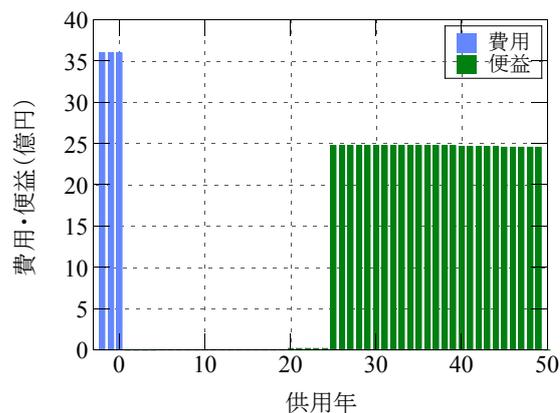
分析結果のうち、割引前の福山港の例について示したのが、図-5.3である。(a)船舶大型化有りの場合、潮待ちによるコスト削減の額はそれ程大きくないが、25年目からは、大型化により、浚渫しなかった場合には一つ小さな船型(Capesize)での輸送に切り替わることから、大幅なコスト差が生じていた。一方、(b)大型化無しの場合、潮待ち時間によるコスト削減はわずかで、供用期間中にその変化もなかった。

算定結果に、社会的割引率(4%)を適用し、B/Cを整理した結果が、表-5.4である。船舶大型化有りの場合、いずれも、B/Cが1.00を超えていた。一方、大型化無しの場合、いずれもコスト削減はわずかであった。実際には、入港隻数や航路延長、浚渫単価等が港湾によって大きく異なっている。入港隻数の変化は、航路航行可能時間率の下限値にも影響を与えるし、減載足切りで対応できる範囲も運用状況により異なる。さらに、同じバースに着岸する小型の船舶も、大型船の潮待ちの影響を受ける。このように、個別の港湾での検討にはより詳細な設定と分析が必要であるが、基本的には、船舶の大型化を考慮しなければならない航路においては、港湾計画で潮位利用せず常時入港を確保の方が経済的であるとの結果となった。一方、船舶の大型化を考慮しなくて良い航路においては、港湾計画で潮位の利用を前提とする方が、経済的であるとの結果であった。

表-5.3 費用便益分析の検討対象条件・港湾及び船型

検討条件				
<ul style="list-style-type: none"> <li>・航路浚渫プロジェクト(1.0mの増深)</li> <li>・航路長:5km, 供用期間:50年</li> <li>・対象船の年間入港隻数:52隻</li> <li>・日当たり滞船料:文献(24)の方法により算定</li> <li>・潮待ち時間は、後続4隻まで影響(時間は漸減)</li> <li>・航行可能時間率:50%以下で、小さい船型に切替</li> <li>・浚渫期間:3年間(費用は、1/3ずつ)</li> <li>・浚渫単価:4千円/m<sup>3</sup>, 浚渫土量:体積の1.2倍</li> </ul>				
港湾	品種	対象船型	L <sub>OA</sub> (m)	航路幅設定(m)
木更津(千葉)	鉄鉱石	30万DWT級 VLOC	340	510
名古屋	穀物	10万DWT級 New Panamax	245	370
福山	鉄鉱石	20万DWT級 VLOC	300	450
徳山下松	石炭	17万DWT級 Capesize	290	435
志布志	穀物	10万DWT級 New Panamax	245	370

(a) 船舶大型化有り



(b) 船舶大型化無し

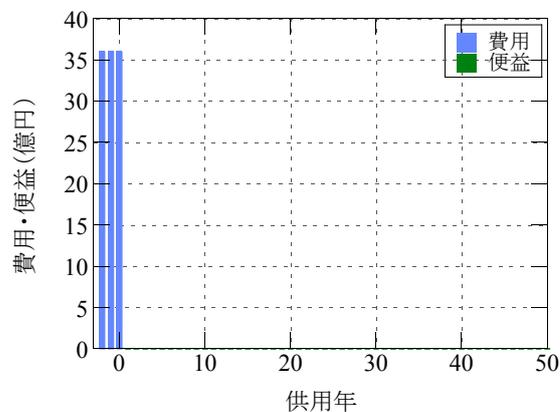


図-5.3 費用・便益の試算結果(福山港)

表-5.4 1.0m 浚渫の費用便益比 (B/C) の試算結果

港湾	船舶大型化 有り	船舶大型化 無し
木更津(千葉)	2.82	0.04
名古屋	1.55	0.02
福山	1.28	0.01
徳山下松	1.57	0.01
志布志	1.95	0.03

(2) スペイン・中国基準の簡易目安値

4. で確認をした各国基準の中で、スペイン基準<sup>21)</sup>と中国基準<sup>22)</sup>については、航路計画で前提とする潮位について、基本は経済的分析に依るとされているものの、併せて簡易な目安値も示されていた。そこで、各国港湾について、これらの目安に照らした場合に航路計画（港湾計画）で前提とする潮位を試算した結果が、表-5.5 である。スペイン基準<sup>21)</sup>については、図-4.2 のバルクキャリア用のターミナルの欄に記載された目安のうち、年間航行不可：200 時間及び連続航行不可：6 時間以内の二つの条件で算定した。年間航行不可：200 時間は、航行可能時間率：97.7%に相当するため、小さな値となる傾向があったのに対し、連続航行不可：6 時間は、港湾によっては 3m を超える非常に大きな数値となった。一方、中国基準<sup>22)</sup>については、累積確率：90～95%の潮位とされていることから、それぞれ対応した潮位を算定したが、基準水面の高さと潮差を反映した数値となり、比較的安定した結果となった。

日本の港湾については、計画で前提とする潮位の試算値が 1m を超えたのはスペイン基準の連続航行不可時間の福山港・徳山下松港だけであった。中国基準の試算値は、概ね 0.2m～0.8m の範囲となった。積出港では、スペイン基準の試算値は非常に大きな幅があったが、中国基準の試算値では、潮差の大きい Ponta da Madeira, Port Hedland, Hay Point では 1m を超える潮位となった。中国・韓国・台湾の荷揚港では、やはり、スペイン基準の試算値は非常に大きな幅があったが、中国基準の試算値では、潮差の大きい日照港（累積確率：90%）・仁川港で 1m を超え、青島港・台中港でもこれに近い潮位となっていた。また、基準水面が高い（各年の最低干潮面が平均 0.4m）寧波港でも、潮位が 1m を超えていた。

スペインや中国の基準が、船舶の大型化を考慮したものなのかどうかを含めて、どのような考え方により、この目安値を定めたのかは不明である。また、基準水面も国によって異なっている。そのため、この試算結果は評価が難しいが、両国の目安値は、共に、潮差の大きい港

表-5.5 スペイン・中国基準の目安値による航路計画で前提とする潮位の試算結果

港湾	基準		中国基準 <sup>22)</sup>	
	航行不可 年200h	連続不可 最大6h	累積確率 95%	累積確率 90%
日本				
鹿島	0.10	0.38	0.22	0.36
千葉	-0.02	0.33	0.19	0.42
名古屋	0.23	0.78	0.40	0.60
福山	0.29	1.46	0.54	0.85
徳山下松	0.34	1.12	0.53	0.78
志布志	0.11	0.60	0.26	0.45
積出港				
Tubarao	0.10	0.51	0.20	0.30
Ponta da Madeira	0.59	3.05	0.89	1.23
Port Hedland	1.13	3.47	1.48	1.96
New Castle	0.34	0.82	0.42	0.51
Hay Point	0.95	2.97	1.20	1.52
Banjarmasin	0.17	0.47	0.30	0.48
中韓台荷揚港				
寧波	0.86	1.32	1.02	1.22
青島	0.46	1.65	0.70	0.98
日照	0.64	1.92	0.87	1.15
浦項	-0.04	-0.02	-0.02	0.00
仁川	0.64	3.94	1.08	1.64
高雄	0.21	0.24	0.26	0.32
台中	0.43	2.10	0.66	0.98

\*) 単位はm.

湾ほど、明確に航路計画で前提とする潮位が大きくなっていた。

5.4 考察

世界的には、航路計画において潮位の利用を前提とするかどうかは、経済的分析により、浚渫に要する費用と、潮待ちを軽減できる便益を比較することにより決定するが基本となっていた。一方で、我が国では、港湾計画では潮位を利用せず常時入港を確保することを基本としてきた。この点について、本報告において、我が国港湾を対象として、簡易な費用便益分析を行ったところ、船舶の大型化を考慮しなければならない通常の公共バスにおいては、港湾計画で潮位を利用せず常時入港を確保する方が経済的となっていた。一方、船舶の大型化を考慮する必要のない港湾では、潮位の利用を前提とする方が経済的であった。この結果を、国際バルク戦略港湾にあてはめると、以下のとおり。

穀物：輸入港湾に合わせて船舶が建造されることは想定されないため、取引形態等が変更されない限り、船舶大型化を考慮しなければならない。

石炭：一部の石炭火力発電所においては、輸入港湾に合わせた船型が建造され、運用されている（例：幅広浅喫水型）。この場合、船舶の大型化をさせないとの判断が可能である。一方、その他の港湾では、短期的な用船等もあり、船舶大型化を考慮しなければならない状況にある。

鉄鉱石：製鉄所においては、輸入港湾に合わせた船型が、建造・運用されることが多い。従って、船舶の大型化をさせないとの判断が可能である。

着岸する船舶を大型化させない場合には、経済的には、潮位の利用を前提とした港湾計画の方が良いこととなる。一方で、そのような港湾計画とした場合に、供用期間中に、船舶の大型化を図るためには、新たな整備が必要となる。なぜなら、既に、一定程度の潮位を利用しているため、更なる潮位利用は、航路の利用効率を大きく低下させることになるためである。大型化をさせないとの判断が可能である鉄鉱石＝製鉄所についても、実際には、高度成長期以降、世界的な鉱石輸送船の大型化に対して、航路浚渫や既存のバースの改良等により対応してきているのが現実である。現行の技術基準<sup>3)</sup>における航路の性能規定では、航路水深は“対象船舶の喫水以上の適切な深さ”とのみ規定されている。適切であるかどうかを判断する上で、特に入港が不定期なバルク貨物対応港湾については、将来の大型化をどう考えるのか、その上で、潮位の利用を前提とすることが経済的であるのかどうかを検討することが必要であると考えられる。

また、3. では、入港運用について、J-Fairway の活用により、気象・海象が穏やかな状況においては、潮位の利用高を少なくすることが可能であることを示した。3. での試算結果では、UKC10%と J-Fairway 活用との間には、30～60cm の必要水深差があった。そこで、J-Fairway を活用した入港運用を図るとの条件下において、港湾計画で 1.0m の潮位利用を前提とすることが経済的であるかどうかの費用便益分析を行った。具体的には、前節の算定において、J-Fairway により一律 45cm の UKC 低減が出来るとの仮定を適用した。その結果が表-5.6 であるが、大型化有りのケースであっても、UKC の低減により、大型化が見かけ上遅くなることから、B/C が、福山港では 1.0 を切り、名古屋港や徳山下松港でも概ね 1.0 となった。前述したとおり、各港の条件による詳細な検討が必要ではあるが、場合によっては潮位の利用を前提とした方が経済的との結果であった。ただし、J-Fairway を活用した場合であっても、気象・海象が穏やかではない状況では、UKC が低減されない。そのため、実際には、船舶の縦揺

表-5.6 J-Fairway の導入を前提とした 1.0m 浚渫の費用便益比 (B/C) の試算結果

港湾	船舶大型化有り	船舶大型化無し
木更津(千葉)	2.63	0.01
名古屋	1.04	0.01
福山	0.64	0.00
徳山下松	1.04	0.00
志布志	1.30	0.01

\*) 縦揺れ・横揺れが全く生じないと仮定した場合の結果

れ・横揺れが生じるような有義波が発生する確率と、その際の入港待ちを考慮しなければならず、その結果は、浚渫の B/C が大きくなる方向になる。以上より、J-Fairway 導入を前提とすれば、船舶の大型化を考慮しなければならない状態であっても、港湾によっては、潮位利用を前提とする港湾計画が経済的となる可能性があるが、当該港湾の対象船舶や航行環境等の条件に加え、利用潮位高を様々に設定して、より詳細な分析が必要である。潮位利用を前提とする場合には、供用後に、大型化により潮位の利用高が大きくなれば、海図水深を超えた喫水の船舶の利用が想定されるため、場合により、退避水域を設ける等の対応も必要と考えられる。

アメリカ合衆国においては、3. 3 で述べた UKC 予測・管理システム EMOGS による Port of San Diego の航路計画の経験を経て、航路計画における水深評価ツール CADET (Channel Analysis and Design Evaluation Tool) が開発され、現在では、陸軍工兵隊において、同国における全ての港湾での航路最適水深の計画決定に使用されている<sup>16)</sup>。オーストラリアやニュージーランドでの DUKC についても、同様の使用方法が既に行われている<sup>25)</sup>。J-Fairway においても、UKC 予測・管理との運用面での活用が進めば、将来的には、同様のシステムへの発展も考えられる。

## 6. 結論

本報告は、バルク貨物対応港湾を対象として、既存施設の運用において、我が国及び世界各港における潮位利用の実態を把握した上で、航路諸元算定プログラム J-Fairway を活用した効率的かつ合理的な入港運用の方法を提案したものである。さらに、我が国及び世界各国での航路計画における潮位利用の考え方を整理した上で、我が国の港湾計画における、潮位の利用を前提とした航路水深設定の可能性について考察した。本報告で得られた結論は、以下のとおり。

入港運用について：

- (1) 世界の主要なバルク貨物対応港湾の入港運用の記載や、航路水深と最大喫水／バース水深との比較より、多くの港湾で、航路航行時の潮位が利用されていると推察された。
- (2) 日本の港湾では、港湾管理者への係留施設使用許可、水域占用許可、水先人の水先引受基準及び港長への係留施設使用届により入出港基準が定められ、運用されている。UKC は、最大喫水の 10%程度が多い。
- (3) オーストラリアの主要港や Rotterdam 港等では、UKC を固定値とせず、対象船舶や気象・海象条件によって変動させる UKC 管理システムを導入していた。
- (4) J-Fairway を活用した UKC 管理システムの導入について、5 港湾で行った試算では、UKC を最大喫水の 10% とした場合に比べ、大幅に、航行可能時間が増加した。導入により、効率的かつ合理的な入港運用が可能となる。

港湾計画について：

- (5) 日本の技術基準・同解説では、港湾計画の航路水深の設定において、潮位を利用せず常時入港を確保することが基本となっていた。一方、海外の基準では、潮位の利用について、浚渫費用と潮待ち費用との経済分析を行うことを基本としていた。
- (6) 船舶大型化が、過去と同じペースで続くとした場合日本では、港湾計画で 1.0m の潮位利用を前提とした場合に供用期間の最後において航行可能時間率：50% が確保される港湾はなかったが、海外では存在した。

- (7) 日本の 5 港湾における簡易な経済分析では、船舶大型化が、過去と同じペースで続き、その船舶大型化を考慮しなければならない場合、従来の入港運用方法では、港湾計画で潮位を利用せず常時入港を確保する方が経済的であった。一方、船舶大型化を考慮しなくて良い場合には、港湾計画で潮位の利用を前提とした方が経済的であった。J-Fairway による UKC 管理システムを導入する場合、大型化を考慮しなければならない場合であっても、港湾計画で潮位の利用を前提とした方が経済的となる可能性があった。

我が国の港湾では、入港において潮位の利用が認められている場合が多いものの、その運用について統一的な基準やシステムは見当たらない。一方で、世界の主要港では、UKC を個別に管理するシステムが既に運用されている。UKC を管理することにより、既存の港湾施設をより効率的、かつ、合理的に利用可能となる。既存施設の活用のため、我が国においても、J-Fairway を活用して、UKC を管理するシステムの導入を早急に検討すべきである。特に、不定期で急がない貨物であるバルクキャリアの入港に当たっては、システムの有効性は高いものと考えられる。

また、バルクキャリアの大型化に対応した新たな港湾計画においては、船舶大型化を考慮しなければならない状況にあるのかどうかによって、潮位の利用を前提とすることが経済的であるかどうか分かれていた。今後の国際バルク戦略港湾での港湾計画の検討においては、より詳細な分析の上で、港湾計画時の潮位の利用について判断をしていく必要がある。

(2011 年 8 月 31 日受付)

## 謝辞

本報告の作成にあたっては、鈴木武港湾研究部長を始め、関係の方々から様々なご助言をいただきました。

また、入港基準について、博多港では、福岡市港湾局港湾振興部港湾管理課の橋本輝久港営第二係長、那須亮一係員、計画部計画課の荒巻成己港湾計画係長及び博多港ふ頭株式会社港湾事業部ふ頭運営課の古森一章課長代理（バース担当）に、徳山下松港では、山口県土木建築部港湾課計画振興班の杉山滋調整監、末廣智昭主任及び梅田高正主任技師に、木更津港では、新日鐵君津製鐵所総務部の大浦芳弘部長、製鉄部の川口卓也原料体質強化グループリーダー、生産業務部の葛西直樹出荷工程管理

グループリーダー、桂正興出荷工程管理グループ・マネージャー、日鐵物流君津株式会社の倉田勝行港湾管理室長及び海洋興業株式会社君津支店の野崎健郎顧問に、それぞれご協力をいただきました。水先引受基準については、情報の入手に当たり、国土交通省港湾局海岸・防災課の土井博総括災害査定官(前日本海難防止協会調査役)にご協力いただきました。

波浪予測値の利用に当たっては、(財)沿岸技術研究センター波浪情報部の岡田弘三調査役にご協力いただくと共に、東北地方整備局、関東地方整備局、中部地方整備局及び九州地方整備局の港湾空港部よりデータを提供していただきました。また、PIANC Marcom WG54での検討状況については、同WGメンバーの(独)港湾空港技術研究所河合弘泰海洋情報研究領域長に情報をいただきました。

これらのご協力に対し、ここに記し、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 海上保安庁：平成二十三年潮汐表，第1巻，2010.
- 2) 天然社辞典編集部編，浅井英資・横田利雄監修：航海辞典，1970.
- 3) (社)日本港湾協会，国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成19年7月)，2007.
- 4) (社)日本海難防止協会：2002水先区情報(全国版)，2002.
- 5) Pacific Pilotage Authority Canada：Tidal Window，Web，2011.
- 6) MCL Media Ltd.：Clearing the Way for a Safe Passage under Keel Clearance Bulk，World Port Development，December 2007，pp.27-28，2007.
- 7) Port Hedland Port Authority：DUKC Input Form，DUKC Information，Operations，Web，2011.
- 8) Marine Department，Hydrographic Office，The Government of the Hong Kong Special Administrative Region：Ma Wan Transit Tidal Window，Web，2011.
- 9) (社)日本航路学会規格委員会・国土技術政策総合研究所港湾研究部：国土技術政策総合研究所資料No.110，2003.
- 10) 海上保安庁海洋情報部：潮汐・潮流リアルタイム情報，Web，2011.
- 11) 江口一平・松浦邦明・松藤絵理子・本橋昌志・三嶋宣明・岡田弘三：NOWPHAS沿岸波浪観測値の沿岸波浪予報へのリアルタイム同化による予測精度の向上ー沿岸気象海象情報配信システム(COMEINS)の高度化ー，海洋開発論文集，Vol.25，pp.885-890，2009.
- 12) 河合弘泰・佐藤真・川口浩二・関克己：全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2009)，港湾空港技術研究所資料No.1226，2011.
- 13) R.Ph.A.C. Savenije：Safety Criteria for Approach Channels，ISOPE'98，Vol.IV，pp.484-491，1998.
- 14) Ruud Bouw：Admittance Policy Tidal Bound Ships，AVV Transport Research Center，2005.
- 15) The Dutch Ministry of Transport，Charta Software and Amarcon：PROTIDE，Web，2011.
- 16) Andrew Silver・Jon Etxegoien：Environmental Monitoring and Operator Guidance System and Channel Analysis and Depth Evaluation Tool，Seaframe，Vol.6，Issue 1，pp.14-16，2010.
- 17) (社)日本港湾協会，国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成11年4月)，1999.
- 18) Working Group PIANC and IAPH，in cooperation with IMPA and IALA：Approach Channels A Guide for Design，Final Report of Working Group II-30，1997.
- 19) Department of Defense，United States of America：Military Harbors and Coastal Facilities，UFC 4-150-06，2001.
- 20) US Army Corps of Engineers：Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects，EM 1110-2-1613，2006.
- 21) Puertos del Estado，Ministerio de Fomento，Gobierno de España：Design of the Maritime Configuration of Ports，Approach Channels and Harbour Basins，ROM 3.1-99，2007.
- 22) Editorial and Translation Working Group：Sector Standards of the People's Republic of China，Technical Codes For Port Engineering，2000.
- 23) 港湾事業評価手法に関する研究委員会編，(財)港湾空間高度化環境研究センター：港湾投資の評価に関する解説書，2004.
- 24) 赤倉康寛・瀬間基広：我が国への三大バルク貨物輸送船の大型化に向けた考察，土木学会論文集D，Vol.66，No.3，pp.369-382，2010.
- 25) Peter W O'Brien・Dr. W. T O'Brien・Ken Wahren：UKC and Dredging Management at Ports through DUKC Methodology，PIANC2006，2006.

## 付録

スペイン基準ROM3.1-99<sup>21)</sup>における航路水深の規定の中で、潮位の利用に関する部分（抜粋・和訳）

### 7.2. 航路・泊地の水深の決定

#### 7.2.4. 水位レベル要素

##### 7.2.4.1. 天文潮

7.2.4.1.2. 航路や泊地における潮位の存在は、実際に利用できる水深が時間により変化することを意味する。航行や操船を可能とする満潮の期間《windows》が出現する一方、不可能となる干潮期間も出現する。低い水位レベルを設計基準水面とすることは、航路や泊地が使用できる《windows》が長くなることを意味するが、一方で、同時に必要とされる水深が増加することとなる。

設計基準水面を L. A. T. とする場合、この条件に関する限り、当該地域は永久的に利用可能となる。一般に、潮位のある海域の場合、前述の条件は、少なくとも船舶が航行する区域においては、過度な要求である。なぜなら、水深を増加し、維持させるために必要とされる投資と、喫水の深い船舶の航行数の予測から、水深の制限により航行できない時間とをバランスさせるように、L. A. T. より高い水位を設計基準水面とすることが可能だからである。

操船される海域（入出港口、泊地、岸壁）の長さが 5km 未満であれば、代表地点の潮位によって、全体を示しているとすることが出来る。もし、逆に、航路のように、長さが 5km 以上の場合、潮位は、地点によって異なっていることとなり、少なくとも、ある地点と他の地点の間ではタイムラグが生じる。この場合、操船可能となる《window》の期間は、タイムラグがない場合に比べて、減少したり、増加したりする。

潮位係数が既知の場合で、設定した基準水面に対する《window》の算定を容易にする目的で、潮位が正弦波で概ね仮定できるスペインの沿岸部においては、潮位の推移を示す無次元グラフを作成することが推奨される。正弦波の仮定下においては、無次元化の潮位は同じ波の繰り返しになり、算定が容易になる。もし、タイムラグがある 2 つの潮位によって代表される地域であれば、図において、波のタイムラグ分だけ、右もしくは左に移動することとなる。

設計基準水面の設定により、水位が基準水面以上となる《window》の幅、すなわち、当該水深を必要とする船舶が航行できる運用期間が算定できることを指摘しなければならない。しかし、操船に必要とされる時間自体より運用期間を短縮することは、効果的ではない。操船を

始める時点において、必要な水深が確保されている間に操船が終了することを確かめるため、運用時間は、操船の最初から最後までまでの時間分必要である。効果的な運用時間を定める分析においては、操船は、運用限界船速より低い船速で行われることを考慮しなければならない。

全ての潮位係数に対する波の形状を確認し、当該地域における年平均の潮位分布を確認することにより、適切な潮位係数（設定には、連続した 3 年間以上の潮位と潮流表があれば十分）の関数として、ある水位の出現確率、すなわち、ある水位における年平均の《windows》の運用期間を得ることの出来る曲線を作成することができる。この情報は、船舶運用にかかる設計基準水面を選択するための経済分析を容易にする。この手法は、水位に対する平均累積確率曲線が既知の場合には、必要ではない。

##### 7.2.4.6. 設計基準水面

船舶が位置する水域の水位レベルの決定は、余裕水深と安全率を考慮の上で、基本的に、分析対象水域の運用レベルに依存する。もし、当該水域が恒久的に運用可能とする必要がある場合であって、他に考慮すべきことがない場合、設計基準水面は、予測最低極値とすれば十分である。この場合、水位レベルの変動量は重要ではない。もし水位レベルの変動量が大きい場合、少なくとも船舶が航行する水域においては、運用レベルを多少下げることにより多大な費用節減が可能であることを考慮し、最適化調査が推奨される。

表-4.2 は、とりまとめとして、この ROM が対象としている航路や泊地に適用される設計基準水面としての推奨水位レベルを与えるものである。この表で用いられている“最適化可能 Optimizable”の単語は、予測最低極値より高い水位を採用し得ることを意味している。

この表においては、船舶が停泊する水域（錨地、泊地、岸壁等）に計画される設計基準水面は、全て、非常に低い発生リスクに対応した極値に設定されている。ただし、開門の中の水域は、恒常的に使用可能なため、例外である。しかし、船舶が航行する水域に対しては、非常に小さい潮位差・流量レジームである場合を除き、施設の運用レベルと経済性の関数を“最適化”した水位レベルとすることが定められている。

基準におけるこの相違は、船舶が航行する水域においては、船舶が停泊する水域に比べ、サービスレベルを大きく下げることなく運用制限が課しやすいことが原因である。にもかかわらず、もし、船舶が停泊する水域において、最適化した水位レベルが求められる場合、運用制限の中で損失（この損失は、定常的な自然変動を考慮し

た上で事後的ではないもの)を防ぐ方法が明確に設定される必要があるものの、同様の方法により設定が可能である。

この表では、水位の垂直偏位(LAT:最低天文潮, NM:平均水位等)に代表される決定論的基準を採用している場合もある。それゆえ、この場合には、そのような代表値を知るだけのために、統計データが必要となる。その他の場合では、最適化において、一般に多くの統計データの使用が必要な、流量レジームの極値や平均値に関する調査が必要とされる。

指摘しておかなければならないのは、このROMで参照している水位レベルは、基本的に、運用基準に関するものであり、他のROMで定められている構造設計基準とは必ずしも一致しないことである。

#### 7.2.4.7. 設計基準水面及び必要水深の最適化基準

7.2.4.7.1. 船舶が位置する水域における設計基準水面として、最低予測水位より高い値を採用する可能性は、航路や回頭水域が大型船に対してある期間使用不可能となるリスクを負うことである。

もっと一般的な場合として、気象潮やその他の潮位の代表値が分析されている水域においては、必要水深 $h$ は、設計基準水面から厳密に決定される。この設計基準水面が干潮位より高いことは、運用可能な期間である《window》が確保される一方で、その他の期間では、必要水深が確保されないために、操船が不可能となる。

潮位波の相違が感知できるほど水域が長い場合、運用可能時間は、水域の出発点における潮位から、水域の到着点における潮位により設定され、その運用可能時間は、船舶が航行する向きにより異なることとなる。

上記の考え方が最も一般的であるが、そうではない場合も考慮に入れる必要がある。例えば、比較的あり得る場合として、船舶が入港し、荷を卸し、出港する様な利用形態の場合、荷卸しの結果、必要とされる水深が変化することとなる。

7.2.4.7.2. もし、単独の潮位に対してではなく、連続する潮位(もしくは、関連する流量レジーム)が対象となる場合、運用可能時間の評価は、採用される設計基準水面の関数となる。通常、設計基準水面を定める際に考慮すべき事項は、次の通り。

- ・年平均運用停止時間:潮位曲線,もしくは、潮位による水位の年平均出現確率から算定される
- ・各月,もしくは、最も好ましくない月の月平均運用停止時間:月別の潮位曲線,もしくは、潮位による水位

の年平均出現確率から容易に算定される

- ・最大連続停止時間:《連続停止時間》の発生頻度関数,もしくは、連続発生数が明らかである必要がある

7.2.4.7.3. 指摘しなければならないのは、天文潮しかないタイプの水域の場合、水位はランダムな変数ではなく、前もって推定可能であり、それゆえ、不確実なリスクを負うことはない。天文潮だけでなく気象潮が生じる場合でも、この不確実な状況は生じない。そして、気象潮による潮位値は最大極値とすることと定められた。これは、スペインの海岸と水域では、気象潮が大きな影響を及ぼさないことから推奨される方法である。この場合、水域の運用停止時間の評価は、単に天文潮のみに影響されるものとみなすことが出来る。

水位に影響を与える要素がいくつか(天文潮,気象潮,流量レジーム)ある、より複雑な場合においては、前述した停止時間に関するパラメーターが水位レベルの関数として使用可能なように、年平均,月平均及び平均連続停止時間が入手できなければならない。このような場合、もし、水位レベルの変動リスクが前もって予測できない場合、船舶が位置する水域の評価に必要な複数の変数に対し、より詳細な調査が行われなければならない。

7.2.4.7.4. 船舶が位置する水域の設計基準水面は、全ての船種,全ての運用条件に対して、一つである必要はない。船舶が使用する水域について、場合により、異なった基準水面を適用しても(例えば、潮位差の大きい場合、もしくは、より小さい波の場合における、最も好ましくない船舶の運用レベル),同じ最低要求水位レベルになることもある。すなわち、7.2で定義した $H_1$ (船舶関係要素)と $H_2$ (水位レベル要素)は相互に関係し、対象船舶の制限運用条件下における最低運用レベル,もしくは、異なった船種のそれぞれの運用レベルを定めることとなる。設計基準水面の決定,結果として水域の公称水深の決定は、それぞれの場合における特性に合わせた経済性及び運用性の分析結果である。にもかかわらず、統一的な基準とするため、設計基準水面は、最低でも、表-4.3の要求を満たすことが推奨される。この表にある最低要求レベルを、設計基準水面,そして結果として水深を決定するための基準として適用することは、経済最適化調査を省くことが可能となる。適用された値は、推奨された要求を満たすが、最適値であるかどうかは保証されない。加えて、後に述べるように、制限運用条件を超えた状況による運用停止時間の算定と、通常の条件下での算定結果との比較が推奨される。

---

国土技術政策総合研究所研究報告

RESEARCH REPORT of NILIM

No. 47                      September 2011

編集・発行    ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〔 ̄239-0826    神奈川県横須賀市長瀬3-1-1  
管理調整部企画調整課    電話:046-844-5018 〕