

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.696

September 2012

## 超大型船に対応した航路幅員計画のためのパラメータの算定

安藤 和也・赤倉 康寛・安部 智久

A calculation of the parameters for planning of the width of fairway for very large vessels

Kazuya ANDOU, Yasuhiro AKAKURA, Motohisa ABE

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

## 超大型船に対応した航路幅員計画のためのパラメータの算定

安藤和也\* ・ 赤倉康寛\*\* ・ 安部智久\*\*\*

### 要 旨

一括大量輸送による輸送コスト削減を目的とした輸送船舶の大型化が進んでおり、我が国でも、国際バルク戦略港湾や国際コンテナ戦略港湾において超大型船に対応した港湾整備が検討されている。しかし、現行の技術基準では、航路幅員の性能照査において超大型船に対応した参考値が記載されていない。

以上の状況を踏まえ、本研究では、30万DWTクラスのVLCC、10万DWTクラスのバルクキャリア、1万TEUクラスのコンテナ船を対象として、船体諸元値を収集整理し、「技術基準」で規定されている算定手法に基づき、船体微係数等のパラメータを算定し、必要航路幅員の試算を行った。

キーワード：超大型船，航路幅員

---

\* 港湾研究部 港湾計画研究室 研究官  
\*\* 前港湾研究部 港湾計画研究室長（現京都大学 防災研究所 准教授）  
\*\*\* 港湾研究部 港湾計画研究室長

## **A calculation of the parameters for planning of the width of fairway for very large vessels**

**Kazuya ANDOU \***  
**Yasuhiro AKAKURA \*\***  
**Motohisa ABE \*\*\***

### **Synopsis**

Larger vessels have been deployed aiming at reducing transport costs by the utilization of economies of scale. In Japan, port development plans reacting to very large vessels have been examined at strategic international bulk ports and strategic international container ports. However, in the existing technical standard, reference values of the very large vessels for the performance verification regarding the width of fairway have not been described.

In this study, authors collected and analysed dimensions of three types of vessels : 300,000DWT class very large ore carrier, 100,000DWT class bulk carrier, and 10,000TEU class container ship. Authors also calculated vessel derivative and necessary width of fairway for the three types of vessel, based on the method of calculation are specified in the technical standards.

**Key Words:** Very large vessel, Width of Fairway

---

\* Researcher of Planning Division, Port and Harbour Department  
\*\* Former Head of Planning Division, Port and Harbour Department  
\*\*\* Head of Planning Division, Port and Harbour Department

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| 1. 序論 .....  | 1  |
| 2. 対象船型 .....  | 1  |
| 2.1 船体諸元値 .....  | 1  |
| 2.2 類似船階級における位置付け .....  | 1  |
| 3. 「技術基準」に基づく必要航路幅員の算定手法 .....                                     | 4  |
| 3.1 第2区分の性能照査における必要航路幅員 .....                                      | 4  |
| 3.2 基本操船幅員 $W_m$ の算定手法 .....                                       | 5  |
| 3.2.1 風と潮流及びヨーイングによる影響等に対応するための必要幅員 $W_m(\beta,y)$ の<br>算定手法 ..... | 6  |
| 3.2.2 横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ の算定手法 .....                         | 9  |
| 3.3 側壁影響対応幅員 $W_b$ の算定手法 .....                                     | 12 |
| 3.4 行き会い影響対応幅員 $W_c$ の算定手法 .....                                   | 15 |
| 3.5 追い越し影響対応幅員 $W_{ov}$ の算定手法 .....                                | 17 |
| 4. 必要航路幅員の試算結果 .....   | 19 |
| 4.1 基本操船幅員 $W_m$ の試算結果 .....                                       | 19 |
| 4.1.1 風と潮流及びヨーイングによる影響等に対応するための必要幅員 $W_m(\beta,y)$ の<br>試算結果 ..... | 19 |
| 4.1.2 横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ の試算結果 .....                         | 23 |
| 4.1.3 基本操船幅員 $W_m$ の試算結果 .....                                     | 24 |
| 4.2 側壁影響対応幅員 $W_b$ の試算結果 .....                                     | 24 |
| 4.3 行き会い影響対応幅員 $W_c$ の試算結果 .....                                   | 26 |
| 4.4 追い越し影響対応幅員 $W_{ov}$ の試算結果 .....                                | 28 |
| 4.5 必要航路幅員 $W$ の試算結果 .....   | 29 |
| 5. 結論 .....  | 30 |
| 謝辞 .....   | 30 |
| 参考文献 .....   | 30 |



## 1. 序論

新興国の経済発展に伴う海上輸送貨物量が増加してきた中で、一括大量輸送による輸送コスト削減を目的とした輸送船舶の大型化が進んでいる。また、太平洋と大西洋を結ぶ海上交通の要所であるパナマ運河では、船舶の大型化や通航量の増加に対応するため、2014年の完成を目標とした拡張事業が進められており、拡張後の運河を通航可能なポストパナマックスと呼ばれる10万DWT級の超大型バルクキャリアや積載可能コンテナ個数が1万TEU以上の超大型コンテナ船も多く竣工されている。

一方で、我が国の港湾施設は、高度成長期に整備されたものが多く、水深等の能力不足により輸送効率の低下を招いている。

このような背景のもと、国土交通省では、我が国産業の競争力強化及び国民生活の向上に不可欠なコンテナ貨物や資源・エネルギー・食料といったバルク貨物の輸送において、アジア主要港湾と遜色のないコスト・サービスを実現すべく、2010年8月に国際コンテナ戦略港湾、2011年5月に国際バルク戦略港湾をそれぞれ選定した。今後は、「民」の視点での港湾運営や企業連携の促進による貨物輸送の効率化と共に、超大型船に対応した港湾整備が進められる。

超大型船に対応した港湾整備においては、船舶の安全かつ円滑な航行を図るため、航路の増深及び拡幅が必要となる。2007年に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup> (以下、「技術基準」という。)では、港湾施設の性能規定が導入されたことに伴い、第4編第3章で、対象船舶及び航行環境を特定できる場合における航路の性能の照査方法が、第2区分における性能照査として規定されており、主要船型の算定例及び参考値が記載されている。

しかし、現行の「技術基準」が検討された当時には、前述した超大型バルクキャリアや超大型コンテナ船はあまり運航されていなかったこともあり、これらの船型についての算定例及び参考値は「技術基準」へ記載されていない。

以上のことから、本研究では、超大型船として、国際バルク戦略港湾において将来的な入港が計画されている、30万DWTクラスのVLOC (超大型鉱石運搬船) 及び10万DWTクラスのバルクキャリア、アジアと北米・欧州を結ぶコンテナ基幹航路への投入が増加している1万TEUクラスのコンテナ船、以上の3船型を対象として (以下、対象3船型という。) 船体諸元値を収集整理し、「技術基準」で規定されている、第2区分の性能照査による必要航路幅員の算定手法に基づき、船体微係数等のパラメータを算定し、必要航路幅員の試算を行った。

ここで、本資料では、流体力係数及び風圧抵抗係数・

風圧モーメント係数を船体微係数と定義することとする。

以下、第2章では、対象3船型の船体諸元値及び類似船階級における位置付けについて整理する。第3章では、「技術基準」で規定されている、第2区分の性能照査による必要航路幅員の算定手法について整理する。第4章では、船体微係数等のパラメータの算定結果及び必要航路幅員の試算結果について整理する。第5章では、本研究の結論をとりまとめる。

なお、現時点では、本資料で示す船体微係数のパラメータの算定結果は、「技術基準」に直ちに盛り込まれるものではないことに留意されたい。

## 2. 対象船型

### 2.1 船体諸元値

本研究で必要航路幅員の試算を行った対象3船型に係る船体諸元値を表-2.1に示す。なお、各船型ともに竣工船の実船データである。

ここで、ブロック係数とは、船体の太り具合や痩せ具合を表す係数で、式(1)により算定することができる。舵の干渉係数とは、舵により発生する力が船体運動に与える影響度を示す係数で、小瀬他<sup>2)</sup>による図-2.1より推計することができる。舵アスペクト比とは、舵の縦と横の長さの比 (縦/横) である。これらの値は、船舶の操縦性能を推定するために必要な値である。

$$C_b = DT / (L_{pp} B d \gamma) \quad (1)$$

ここに、

$C_b$  : ブロック係数

$DT$  : 対象船舶の排水トン

$L_{pp}$  : 垂線間長 (m)

$B$  : 船幅 (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)

$\gamma$  : 海水の密度 ( $t/m^3$ )

### 2.2 類似船階級における位置付け

対象3船型については明確な定義が存在しないことから、本研究ではこの船階級に関する条件を表-2.2に示すとおり仮定し (以下、類似船階級という。) 条件を満たすものを表-2.1として選定した。表-2.1に示した船体諸元値の類似船階級における位置付けについて整理したものを表-2.3～表-2.5に示す。なお、類似船型の諸元値はIHS-Fairplayの船舶諸元データ (2011年10月時点) から抽出したもので、建造中の船舶も含まれている。

この結果から、対象3船型は、類似船階級において特異な船型ではなく、概ね標準的な船型と捉えることができる。

表-2.1 対象3船型に関して本研究で対象とした船体諸元値

|              | 30万DWTクラス<br>VLOC    | 10万DWTクラス<br>バルクキャリア | 1万TEUクラス<br>コンテナ船     |
|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 全長           | 327.0 m              | 240.0 m              | 336.0 m               |
| 垂線間長         | 318.0 m              | 236.0 m              | 318.3 m               |
| 型幅           | 55.0 m               | 38.0 m               | 45.8 m                |
| 満載喫水         | 21.40 m              | 14.48 m              | 14.04 m               |
| 総トン数         | 151,094 GT           | 52,186 GT            | 98,799 GT             |
| 載貨重量トン数      | 297,736 DWT          | 98,681 DWT           | 99,563 DWT            |
| 満載排水量        | 333,679 t            | 113,516 t            | 135,000 t             |
| ブロック係数       | 0.8698               | 0.8528               | 0.6437                |
| 舵の干渉係数       | 0.72                 | 0.68                 | 0.32                  |
| 舵・軸数         | 1                    | 1                    | 1                     |
| 舵面積          | 88.8 m <sup>2</sup>  | 45.9 m <sup>2</sup>  | 72.4 m <sup>2</sup>   |
| 舵アスペクト比      | 2.09                 | 2.45                 | 2.06                  |
| 水面上投影面積（側面積） | 3,820 m <sup>2</sup> | 2,010 m <sup>2</sup> | 10,090 m <sup>2</sup> |
| 水面上投影面積（正面積） | 990 m <sup>2</sup>   | 610 m <sup>2</sup>   | 6,800 m <sup>2</sup>  |
| 備考           | -                    | -                    | 9,040 TEU             |

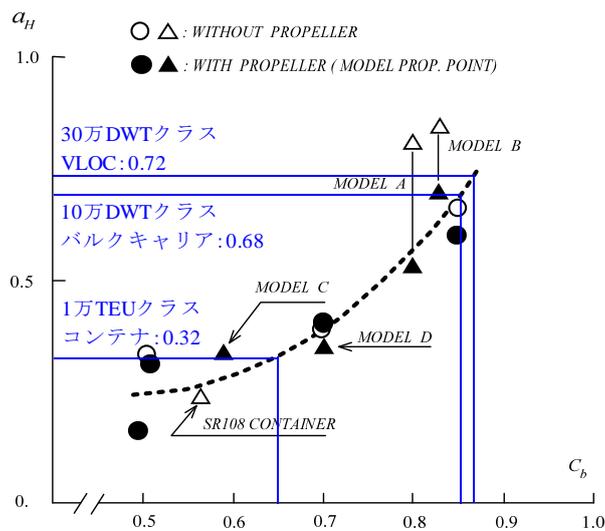


図-2.1 ブロック係数に基づく舵の干渉係数の推計<sup>2)</sup>

表-2.2 対象3船型の類似船階級に関する条件

| 対象船型                 | 船種                        | 載貨重量トン数<br>(DWT)       | 積載可能コンテナ<br>個数 (TEU) |
|----------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 30万DWTクラス<br>VLOC    | 鉱石運搬船<br>(Ore Carrier)    | 250,000以上<br>350,000未満 | -                    |
| 10万DWTクラス<br>バルクキャリア | バルクキャリア<br>(Bulk Carrier) | 90,000以上<br>120,000未満  | -                    |
| 1万TEUクラス<br>コンテナ船    | コンテナ船<br>(Container)      | -                      | 8,000以上<br>12,000未満  |

表-2.3 類似船階級における位置付け (30万 DWT クラス VLOC)

| DWT             | 隻数  | 累積(%) | LOA(m)      | 隻数  | 累積(%) |
|-----------------|-----|-------|-------------|-----|-------|
| 250,000~269,999 | 53  | 36%   | 300.0~309.9 | 0   | 0%    |
| 270,000~289,999 | 21  | 51%   | 310.0~319.9 | 1   | 1%    |
| 290,000~309,999 | 50  | 85%   | 320.0~329.9 | 71  | 49%   |
| 310,000~329,999 | 21  | 99%   | 330.0~339.9 | 69  | 97%   |
| 330,000~349,999 | 1   | 100%  | 340.0~349.9 | 5   | 100%  |
|                 | 146 |       |             | 146 |       |

| Beam(m)   | 隻数  | 累積(%) | Draft(m)  | 隻数  | 累積(%) |
|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|
| 52.0~53.9 | 1   | 1%    | 18.0~18.9 | 28  | 19%   |
| 54.0~55.9 | 41  | 29%   | 19.0~19.9 | 16  | 30%   |
| 56.0~57.9 | 63  | 72%   | 20.0~20.9 | 28  | 49%   |
| 58.0~59.9 | 25  | 89%   | 21.0~21.9 | 50  | 84%   |
| 60.0~61.9 | 16  | 100%  | 22.0~22.9 | 24  | 100%  |
|           | 146 |       |           | 146 |       |

※網掛けが本研究における対象船舶

表-2.4 類似船階級における位置付け (10万 DWT クラスバルクキャリア)

| DWT             | 隻数  | 累積(%) | LOA(m)      | 隻数  | 累積(%) |
|-----------------|-----|-------|-------------|-----|-------|
| 90,000~94,999   | 227 | 51%   | 210.0~219.9 | 0   | 0%    |
| 95,000~99,999   | 70  | 67%   | 220.0~229.9 | 111 | 25%   |
| 100,000~104,999 | 6   | 69%   | 230.0~239.9 | 149 | 59%   |
| 105,000~109,999 | 43  | 78%   | 240.0~249.9 | 77  | 76%   |
| 110,000~114,999 | 24  | 84%   | 250.0~259.9 | 92  | 97%   |
| 115,000~119,999 | 72  | 100%  | 260.0~269.9 | 13  | 100%  |
|                 | 442 |       |             | 442 |       |

| Beam(m)   | 隻数  | 累積(%) | Draft(m)  | 隻数  | 累積(%) |
|-----------|-----|-------|-----------|-----|-------|
| 34.0~35.9 | 0   | 0%    | 11.0~11.9 | 0   | 0%    |
| 36.0~37.9 | 19  | 4%    | 12.0~12.9 | 31  | 7%    |
| 38.0~39.9 | 223 | 55%   | 13.0~13.9 | 54  | 19%   |
| 40.0~41.9 | 6   | 56%   | 14.0~14.9 | 313 | 90%   |
| 42.0~43.9 | 194 | 100%  | 15.0~15.9 | 44  | 100%  |
|           | 442 |       |           | 442 |       |

※網掛けが本研究における対象船舶

表-2.5 類似船階級における位置付け (1万TEUクラスコンテナ船)

| TEU           | 隻数  | 累積(%) |
|---------------|-----|-------|
| 8,000～8,999   | 280 | 67%   |
| 9,000～9,999   | 79  | 87%   |
| 10,000～10,999 | 38  | 96%   |
| 11,000～11,999 | 18  | 100%  |
|               | 415 |       |

| LOA(m)      | 隻数  | 累積(%) |
|-------------|-----|-------|
| 280.0～299.9 | 22  | 5%    |
| 300.0～319.9 | 12  | 8%    |
| 320.0～339.9 | 279 | 75%   |
| 340.0～359.9 | 74  | 93%   |
| 360.0～379.9 | 28  | 100%  |
|             | 415 |       |

| Beam(m)   | 隻数  | 累積(%) |
|-----------|-----|-------|
| 41.0～41.9 | 0   | 0%    |
| 42.0～43.9 | 219 | 53%   |
| 44.0～45.9 | 159 | 91%   |
| 46.0～47.9 | 5   | 92%   |
| 48.0～49.9 | 32  | 100%  |
|           | 415 |       |

| Draft(m)  | 隻数  | 累積(%) |
|-----------|-----|-------|
| 12.0～12.9 | 0   | 0%    |
| 13.0～13.9 | 33  | 8%    |
| 14.0～14.9 | 285 | 77%   |
| 15.0～15.9 | 97  | 100%  |
| 16.0～16.9 | 0   | 100%  |
|           | 415 |       |

※網掛けが本研究における対象船舶

### 3. 「技術基準」に基づく必要航路幅員の算定手法

2007年に改訂された現行の「技術基準」では、港湾施設の性能規定が新たに導入され、航路幅員に関する性能規定が以下のとおり定められている。

【告示】(航路の性能規定) ※抜粋

|   |
|---|
| <p>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。</p> <p>一 航路の幅員は、対象船舶の長さ及び幅、船舶通行量、地象、波浪、水の流れ及び風の状況並びに周辺の水域の利用状況に照らし、船舶が行き会う可能性のある航路にあつては対象船舶の長さ以上の、船舶が行き会う可能性のない航路にあつては対象船舶の長さの二分の一以上の適切な幅を有すること。ただし、航行の形態が特殊な場合にあつては、船舶の安全な航行に支障を及ぼさない幅までその幅員を縮小することができる。</p> |
|---|

また、航路の性能照査においては、対象船舶及び航行環境の特定の有無によって、その照査方法が以下のとおり区分されている。

- 第1区分：対象船舶及び航行環境を特定できない場合
- 第2区分：対象船舶及び航行環境を特定できる場合

一般的な港湾では、第1区分の性能照査により航路計画を作成しているのが現状であるが、国際バルク戦略港湾等において、入港する船舶が特定できる場合には、第2区分の性能照査を採用することで、対象船舶の運動性能

や対象海域の環境条件を考慮した航路計画を作成することができる。

「技術基準」(第4編第3章 水域施設 P776～802)において規定されている第2区分の性能照査による必要航路幅員の算定手法を以下に示す。なお、第4章で示す必要航路幅員の試算結果は、この算定手法によるものである。

#### 3.1 第2区分の性能照査における必要航路幅員

第2区分の性能照査における必要航路幅員は、式(2)～式(4)により算定することができる(「技術基準」P771～772)。

- ①対象船舶の行き会いを想定しない航路

(図-3.1 単航路)

$$W = W_{b1} + W_{m0} + W_{b2} \quad (2)$$

- ②対象船舶の行き会いを想定する航路

(図-3.2 往復航路)

$$W = W_{b1} + W_{m1} + W_c + W_{m2} + W_{b2} \quad (3)$$

- ③対象船舶の行き会い及び追い越しを想定する航路

(図-3.3 追い越しが想定される場合の往復航路)

$$W = W_{b1} + W_{m1-1} + W_{ov1} + W_{m1-2} + W_c + W_{m2-1} + W_{ov2} + W_{m2-2} + W_{b2} \quad (4)$$

ここに、

- $W$  : 必要航路幅員 (m)
- $W_m$  : 基本操船幅員 (m)
- $W_b$  : 側壁影響対応幅員 (m)
- $W_c$  : 行き会い影響対応幅員 (m)
- $W_{ov}$  : 追い越し影響対応幅員 (m)

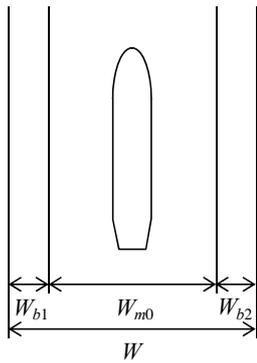


図-3.1 単航路

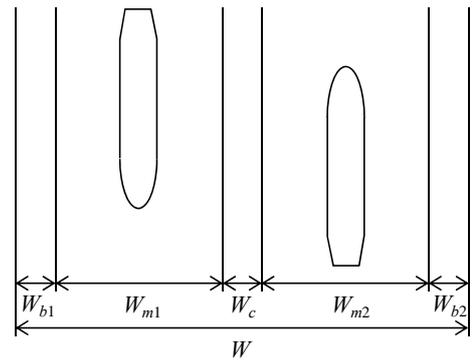


図-3.2 往復航路

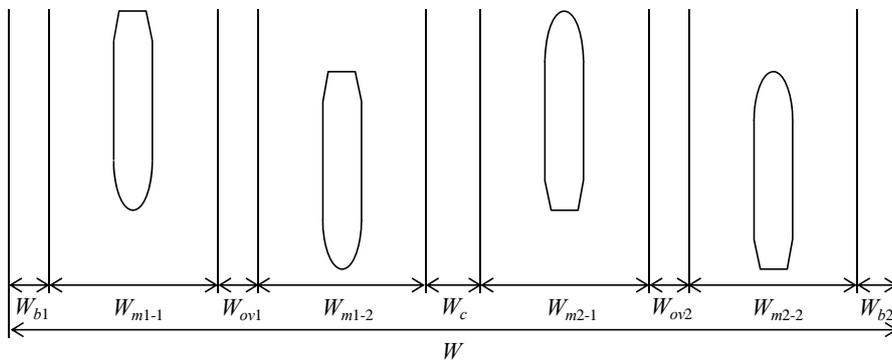


図-3.3 追い越しが想定される場合の往復航路

### 3.2 基本操船幅員 $W_m$ の算定手法

基本操船幅員  $W_m$  は、次の2つの要素から求めることができる（「技術基準」P772）。

- 1)  $W_m(\beta, \gamma)$  : 風と潮流及びヨーイングによる影響等に対応するための必要幅員
- 2)  $W_m(S)$  : 横偏位を認知するための必要幅員

ここで、基本操船幅員  $W_m$  は、中心線からの片側を対象とした幅員の最大量として、式(5)により算定することができる。

$$0.5W_m = W_m(S) + 0.5W_m(\beta, \gamma) \quad (5)$$

したがって、式(6)により基本操船幅員  $W_m$  を算定することができる。

$$W_m = 2W_m(S) + W_m(\beta, \gamma) \quad (6)$$

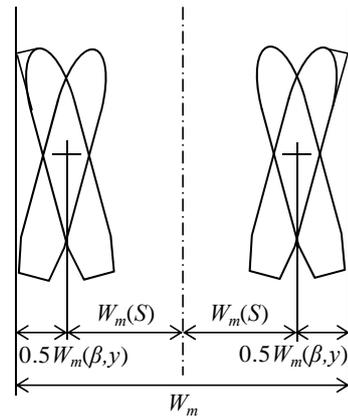


図-3.4 基本操船幅員の考え方

### 3.2.1 風と潮流及びヨーイングによる影響等に対応するための必要幅員 $W_m(\beta, \gamma)$ の算定手法

航行中の船舶が風や潮流といった外力の影響を受けながら直進の針路を確保するためには、図-3.5 に示すように斜航することで、その状態での船体流体力、舵力及び外力のバランスを取ることが必要である。ここで、航路中心線と斜航した船舶の船体中心線の成す角度が漂流角  $\beta$ 、漂流角  $\beta$  を発生させるために必要となる舵角が当舵角  $\delta$  である。この漂流角  $\beta$  を求めることにより、風と潮流による影響に対応するための必要幅員  $W_\beta$  を算定することができる（「技術基準」P773～780）。

なお、一般的な船舶における舵角の上限値は  $35^\circ$  であるが、上限値の  $35^\circ$  までを使用するのは緊急時の危機回避の場合であり、航行時の外力に抵抗する場合の舵角は  $15^\circ$  程度である。よって、当舵角  $\delta$  の上限値は  $15^\circ$  として、 $15^\circ$  を超える場合は入港条件としての最大風速等を再検討することが必要である。

また、外力を受けない場合でも、船舶は図-3.6 に示すように左右にヨーイングしながら航行する。そのため、ヨーイングによる蛇行量  $W_\gamma$  を必要航路幅員に加算する必要がある。

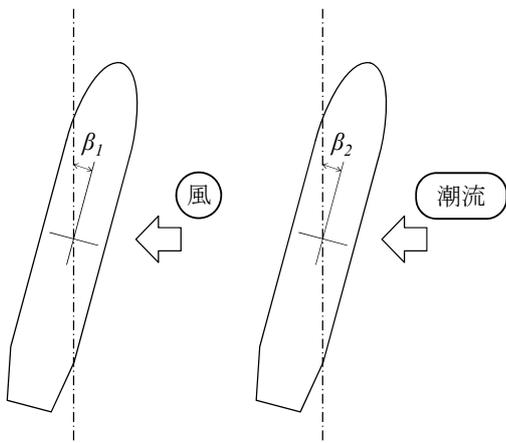


図-3.5 風と潮流による漂流角の考え方

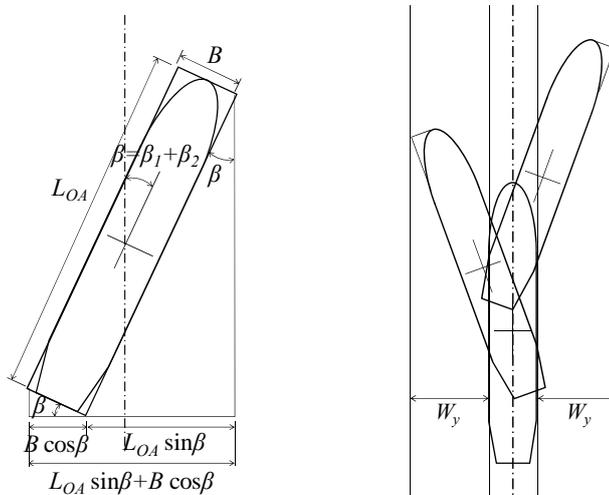


図-3.6 ヨーイングによる蛇行量

#### (1) 風影響による漂流角 $\beta_1$ の算定手法

風影響による漂流角  $\beta_1$  は、図-3.7 に示す段階的な計算により算定することができる。

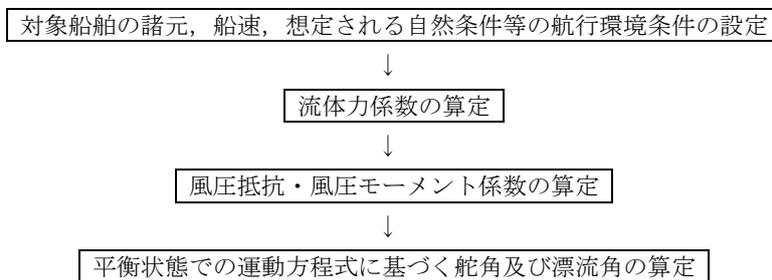


図-3.7 風影響による漂流角  $\beta_1$  の算定

a)流体力係数の算定手法

船体に関する流体力係数は、平野他<sup>3)</sup>により提案されている式を踏まえ、舵による安定効果を考慮して、式(7)により算定することができる。

$$\left. \begin{aligned} Y'_\beta &= \frac{\pi}{2} \frac{k}{\frac{d}{2D}k + \left\{ \frac{\pi d}{2D} \cot\left(\frac{\pi d}{2D}\right) \right\}^{2.3}} + 1.4C_b \frac{B}{L} - 0.4Y'_\delta \\ N'_\beta &= \frac{k}{\frac{d}{2D}k + \left\{ \frac{\pi d}{2D} \cot\left(\frac{\pi d}{2D}\right) \right\}^{1.7}} + 0.49(0.4Y'_\delta) \end{aligned} \right\} (7)$$

ただし、

$$k = \frac{2d}{L}$$

ここに、

$Y'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける横方向への反力係数 $Y'_\beta$ の無次元値

$N'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける回頭反力モーメント係数 $N'_\beta$ の無次元値

$D$  : 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)

$L$  : 垂線間長(= $L_{pp}$ ) (m)

$B$  : 船幅 (m)

$Y'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数 $Y'_\delta$ の無次元値

$C_b$  : ブロック係数

各軸各舵に対応した舵力に関する流体力係数は、藤井他<sup>4)</sup>により提案されている式を踏まえ、船体伴流、プロペラスリップ効果を考慮して、式(8)、式(9)により算定することができる。

(1軸1舵, 2軸2舵の場合)

$$\left. \begin{aligned} Y'_\delta &= -\frac{6.13\lambda_a}{(\lambda_a + 2.25)} \frac{A_R}{L_{pp}d} (1 + a_H) 1.1 \\ N'_\delta &= -0.5Y'_\delta \end{aligned} \right\} (8)$$

(2軸1舵の場合)

$$\left. \begin{aligned} Y'_\delta &= -\frac{6.13\lambda_a}{(\lambda_a + 2.25)} \frac{A_R}{L_{pp}d} (1 + a_H) 0.7 \\ N'_\delta &= -0.5Y'_\delta \end{aligned} \right\} (9)$$

ここに、

$Y'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数 $Y'_\delta$ の無次元値

$N'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する舵力モーメント係数 $N'_\delta$ の無次元値

$\lambda_a$  : 舵の有効アスペクト比 (舵の縦 $b$ と横 $c$ の長さの比 $b/c$ )

$A_R$  : 舵面積 (m<sup>2</sup>)

$A_R/(L_{pp}d)$  : 舵面積比

$a_H$  : 舵の干渉係数

b)風圧抵抗係数・風圧モーメント係数の算定手法

風圧抵抗係数・風圧モーメント係数は、山野他<sup>5)</sup>により提案されている式(10)により算定することができる。

$$\left. \begin{aligned} C_x &= C_{x0} + C_{x1}\cos\theta_w + C_{x2}\cos2\theta_w + C_{x3}\cos3\theta_w \\ &\quad + C_{x4}\cos4\theta_w + C_{x5}\cos5\theta_w \\ C_y &= C_{y1}\sin\theta_w + C_{y2}\sin2\theta_w + C_{y3}\sin3\theta_w \\ C_m &= 0.1(C_{m1}\sin\theta_w + C_{m2}\sin2\theta_w + C_{m3}\sin3\theta_w) \end{aligned} \right\} (10)$$

ここに、

$C_x$  : 正面風圧抵抗係数

$C_y$  : 側面風圧抵抗係数

$C_m$  : 船体中心周りの風圧モーメント係数

$\theta_w$  : 船首から図った風向角 (rad)

それぞれの係数は、 $A_y/L^2$ ,  $X_G/L$ ,  $L/B$ 及び $A_y/A_x$ と表-3.1の係数の積和によって与えられる。ただし、表中の記号は以下のとおりとする。

$L$  : 垂線間長 (=  $L_{pp}$ ) (m)

$A_x$  : 水線上正面投影面積 (m<sup>2</sup>)

$A_y$  : 水線上側面投影面積 (m<sup>2</sup>)

$X_G$  : 側面積の図心位置の前部垂線(F.P.)からの距離 (m)

c)平衡状態での運動方程式に基づく舵角 $\delta$ 及び漂流角 $\beta_1$ の算定手法

定常風下における舵角 $\delta$ , 漂流角 $\beta$ の船舶の平衡状態での運動方程式は式(11)によって表される。

$$\left. \begin{aligned} Y_\beta\beta + Y_\delta\delta + C_y \left(\frac{\rho_a}{\rho_w}\right) \left(\frac{A_y}{Ld}\right) \left(\frac{U_a}{U}\right)^2 &= 0 \\ N_\beta\beta + N_\delta\delta + C_m \left(\frac{\rho_a}{\rho_w}\right) \left(\frac{A_y}{Ld}\right) \left(\frac{U_a}{U}\right)^2 &= 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

この方程式に基づき、式(12)により、舵角 $\delta$ , 漂流角 $\beta$ を算定することができる。

$$\left. \begin{aligned} \text{舵角 } \delta &= -\left(\frac{\rho_a}{\rho_w}\right) \left(\frac{U_a}{U}\right)^2 \left(\frac{A_y}{Ld}\right) \left(\frac{C_m Y'_\delta - C_y N'_\beta}{Y'_\beta N'_\delta - Y'_\delta N'_\beta}\right) \\ \text{漂流角 } \beta &= \left(\frac{\rho_a}{\rho_w}\right) \left(\frac{U_a}{U}\right)^2 \left(\frac{A_y}{Ld}\right) \left(\frac{C_m Y'_\delta - C_y N'_\beta}{Y'_\beta N'_\delta - Y'_\delta N'_\beta}\right) \end{aligned} \right\} (12)$$

ここに、

$Y_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける横方向への反力係数  
 $Y'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける横方向への反力係数 $Y_\beta$ の無次元値  
 $N_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける回頭反力モーメント係数  
 $N'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける回頭反力モーメント係数 $N_\beta$ の無次元値  
 $Y_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数  
 $Y'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数 $Y_\delta$ の無次元値  
 $U$  : 航海速力 (m/s)

$U_a$  : 風速 (m/s)  
 $\rho_w$  : 海水密度 (t/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_a$  : 空気密度 (t/m<sup>3</sup>)  
 $d$  : 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)  
 $L$  : 垂線間長 (=  $L_{PP}$ ) (m)  
 $A_y$  : 水線上側面投影面積 (m<sup>2</sup>)  
 $C_y$  : 側面風圧抵抗係数  
 $C_m$  : 船体中心周りの風圧モーメント係数

ここで、風速/船速比 ( $U_a/U$ ) を  $K$  値とする。

表-3.1 回帰係数表

| $C_x$    | Const.  | $A_y/L^2$ | $X_G/L$ | $L/B$   | $A_y/A_x$ |
|----------|---------|-----------|---------|---------|-----------|
| $C_{x0}$ | -0.0358 | 0.925     | 0.0521  |         |           |
| $C_{x1}$ | 2.58    | -6.087    |         | -0.1735 |           |
| $C_{x2}$ | -0.97   |           | 0.978   | 0.0556  |           |
| $C_{x3}$ | -0.146  |           |         | -0.0283 | 0.0728    |
| $C_{x4}$ | 0.0851  |           |         | -0.0254 | 0.0212    |
| $C_{x5}$ | 0.0318  | 0.287     |         | -0.0164 |           |
| $C_y$    | Const.  | $A_y/L^2$ | $X_G/L$ | $L/B$   | $A_y/A_x$ |
| $C_{y1}$ | 0.509   | 4.904     |         |         | 0.022     |
| $C_{y2}$ | 0.0208  | 0.230     | -0.075  |         |           |
| $C_{y3}$ | -0.357  | 0.943     |         | 0.0381  |           |
| $C_m$    | Const.  | $A_y/L^2$ | $X_G/L$ | $L/B$   | $A_y/A_x$ |
| $C_{m1}$ | 2.650   | 4.634     | -5.876  |         |           |
| $C_{m2}$ | 0.105   | 5.306     |         |         | 0.0704    |
| $C_{m3}$ | 0.616   |           | -1.474  | 0.0161  |           |

(2)潮流影響による漂流角 $\beta_2$ の算定手法

潮流影響による漂流角 $\beta_2$ は、船速と正横成分潮流速度から、式(13)により算定することができる。

$$\beta_2 = \arctan(U_c/U) \tag{13}$$

ここに、

$\beta_2$  : 潮流影響による漂流角 (°)

$U$  : 航海速力 (m/s)

$U_c$  : 航路中心線に対する正横成分潮流速度 (m/s)

(3)風と潮流による影響に対応するための必要幅員 $W(\beta)$ の算定手法

風と潮流による影響に対応するための必要幅員 $W(\beta)$ は、風影響による漂流角 $\beta_1$ と潮流影響による漂流角 $\beta_2$ を合計した、風と潮流影響による漂流角 $\beta$ から、式(14)により算定することができる。

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 \tag{14}$$

$$W(\beta) = L_{OA} \sin \beta + B \cos \beta$$

ここに、

$W(\beta)$  : 風と潮流による影響に対応するための必要幅員 (m)

$L_{OA}$  : 全長 (m)

$B$  : 船幅 (m)

- $\beta$  : 風と潮流影響による漂流角 (°)
- $\beta_1$  : 風影響による漂流角 (°)
- $\beta_2$  : 潮流影響による漂流角 (°)

(4)ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(y)$ の算定手法

ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(y)$ は、式(15)でのヨーイングによる最大蛇行量(片側)により算定することができる。

$$W(y) = U \int_0^{T_y/4} \sin\varphi(t) dt = \frac{1}{4} U T_y \sin\varphi_0 \quad (15)$$

ここに、

- $W(y)$  : ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 (m)
- $U$  : 航海速力 (m/s)
- $T_y$  : ヨーイング周期 (s)
- $\varphi_0$  : 最大ヨーイング角度 (°)
- $\varphi(t)$  : 時刻  $t$  におけるヨーイング量
- $\varphi(t) = \varphi_0 \sin(2\pi t/T_y)$  (m)

(5)風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W_m(\beta,y)$ の算定手法

風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W_m(\beta,y)$ は、式(16)により算定することができる。

$$W_m(\beta,y) = W(\beta) + 2W(y) = L_{OA} \sin\beta + B \cos\beta + 0.5 U T_y \sin\varphi_0 \quad (16)$$

ここに、

- $W_m(\beta,y)$  : 風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 (m)
- $W(\beta)$  : 風と潮流による影響に対応するための必要幅員 (m)
- $W(y)$  : ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 (m)

### 3.2.2 横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ の算定手法

船舶は航路中心を航行することが一般的であるが、様々な要因により航路中心から外れる場合がある。その際に航路中心から外れていることを操船者が認識できる偏位量を、横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ とする。「技術基準」では、横偏位を認知するための主な手段が以下のとおり示されている(「技術基準」P780~785)。

①目視により航路両舷浮標を利用した横偏位認知

$$W_m(S) = W_m(\alpha)$$

②レーダにより航路両舷浮標を利用した横偏位認知

$$W_m(S) = W_m(R)$$

③GPSを利用した横偏位認知

$$W_m(S) = W_m(GPS) \text{ または } W_m(D \cdot GPS)$$

④道標(導灯)を利用した横偏位認知

$$W_m(S) = W_m(L)$$

(1)目視により航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(\alpha)$ の算定手法

目視により航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(\alpha)$ は、西日本港湾運航技術研究会<sup>6)</sup>による式(17)により算定することができる。

$$\left. \begin{aligned} \theta &= 2 \arctan \left( \frac{W_{buoy}}{2LF} \right) \\ \alpha_r &= 0.00044\theta^2 + 0.0002\theta + 0.55343 \\ \alpha_{max} &= 4\alpha_r \\ W_m(\alpha) &= LF \tan(\alpha_{max}) \end{aligned} \right\} (17)$$

ここに、

- $\theta$  : 本船と前方の航路両舷浮標との夾角 (°)
- $W_{buoy}$  : 前方と航路両舷浮標間距離 (m)
- $LF$  : 本船と前方の浮標までの距離 (m)
- $W_m(\alpha)$  : 目視により航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 (m)
- $\alpha_r$  : 中点目測誤差 (°)
- $\alpha_{max}$  : 中点目測最大誤差(操船者の99.8%が横偏位を認知できるとする最大誤差) (°)

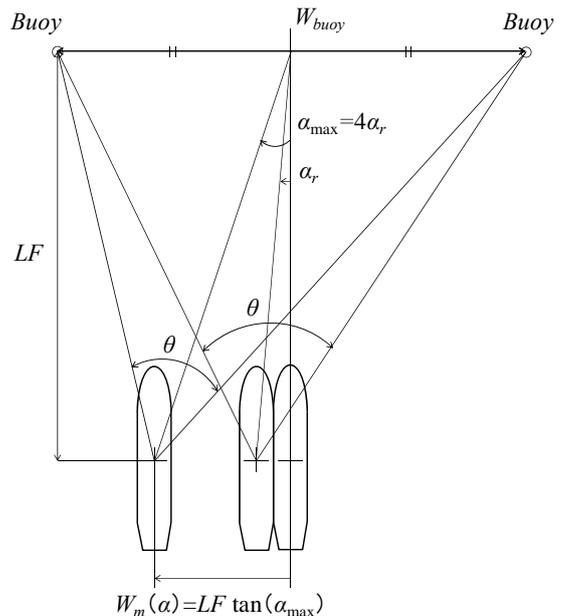


図-3.8 横偏位認知対応幅員 $W_m(\alpha)$ の考え方

(2)レーダにより航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(R)$ の算定手法

レーダにより本船の両側にある浮標を実測して差方位法で船位を確認する場合における左右方向の偏位最大誤差は、レーダの方位測定誤差を $2^\circ$ 又は $1^\circ$ とした場合に式(18)、式(19)により算定することができる。

$$W_m(R) = 0.0349 \frac{W_{buoy}}{\sin\theta} \quad (\text{方位測定誤差 } 2^\circ \text{ の場合}) \quad (18)$$

$$W_m(R) = 0.0175 \frac{W_{buoy}}{\sin\theta} \quad (\text{方位測定誤差 } 1^\circ \text{ の場合}) \quad (19)$$

ここに、

$W_m(R)$ : レーダにより航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 (m)

$W_{buoy}$ : 前方の浮標間距離 (m)

$\theta$ : 本船と前方航路両舷浮標との夾角 ( $^\circ$ )

$$\theta = 2\arctan\left(\frac{W_{buoy}}{2LF}\right)$$

(3)GPS を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(GPS)$ ,  $W_m(D \cdot GPS)$ の算定手法

GPS(単独 GPS)又はD・GPS(ディファレンシャル GPS)により横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(GPS)$ ,  $W_m(D \cdot GPS)$ は式(20)、式(21)により算定することができる。

$$W_m(GPS) = 0.5B + 30 \quad (\text{m}) \quad (20)$$

$$W_m(D \cdot GPS) = 0.5B \quad (\text{m}) \quad (21)$$

ここに、

$B$ : 船幅 (m)

(4)導標(導灯)を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(L)$ の算定手法

導標(導灯)を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(L)$ は、垂直角度 $\theta_v$ 、水平角度 $\theta_h$ に基づいて算定することができる。

a)垂直角度 $\theta_v$ の算定手法

本船の操船者と前方の導標(導灯)と後方の導標(導灯)による垂直角度 $\theta_v$ は、式(22)、式(23)により算定することができる。

$$\theta_v = \theta_{v1} - \theta_{v2} - \theta_{v3} \quad (22)$$

$$\theta_{v1} = \arctan\left(\frac{H_H - H_L}{L_H}\right)$$

$$\theta_{v2} = \arctan\left(\frac{H_L - H_h}{L_L}\right) - \arctan\left(\frac{H_H - H_h}{L_H}\right)$$

$$\theta_{v3} = \arctan\left(\frac{(1-k)L_D}{2R}\right) = 2.27 \cdot 10^{-4} L_D$$

} (23)

ここに、

$\theta_v$ : 本船の操船者と前方の導標(導灯)と後方の導標(導灯)による垂直角度(分)

$H_H$ : 後方の導標(導灯)の高さ(m)

$H_L$ : 前方の導標(導灯)の高さ(m)

$H_h$ : 本船の操船者の目の高さ(m)

$L_H$ : 本船から後方の導標(導灯)までの距離(m)

$L_L$ : 本船から前方の導標(導灯)までの距離(m)

$L_D$ : 後方と前方の導標(導灯)の間の距離(= $L_H - L_L$ ) (m)

$R$ : 地球の半径 6,360km

$k$ : 屈折係数 0.16

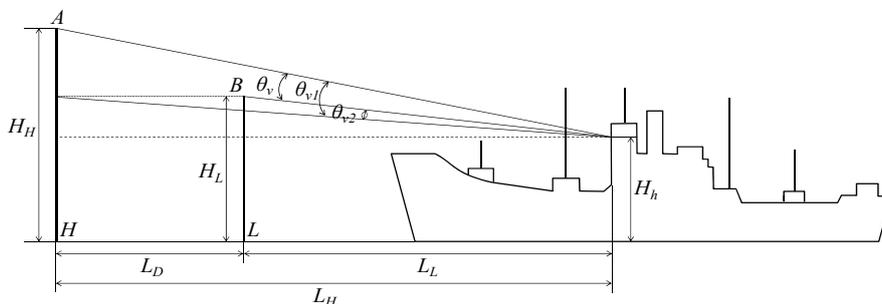


図-3.9 導標(導灯)と対象船舶との位置関係(立面図)

b) 水平角度 $\theta_h$ の算定手法

健全視力を持つ操船者が導灯（導標）の分解効果に基づき横偏位を認知できる水平角度 $\theta_h$ は、算定された垂直角度 $\theta_v$ から図-3.11を用いて読み取ることができる。

c) 導標（導灯）を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(L)$ の算定手法

導標（導灯）を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(L)$ は、図-3.11から読み取られた水平角度 $\theta_h$ に基づき、式(24)により算定することができる。

$$W_m(L) = \frac{L_H L_L \sin(\theta_h)}{L_D} \quad (24)$$

ここに、

$W_m(L)$ ：導標（導灯）を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員（m）

$L_H$ ：本船から後方の導標（導灯）までの距離（m）

$L_L$ ：本船から前方の導標（導灯）までの距離（m）

$L_D$ ：後方と前方の導標（導灯）の間の距離（ $=L_H-L_L$ ）（m）

$\theta_h$ ：健全視力を持つ操船者が導灯（導灯）の分解効果に基づき横偏位を認知できる水平角度（分）

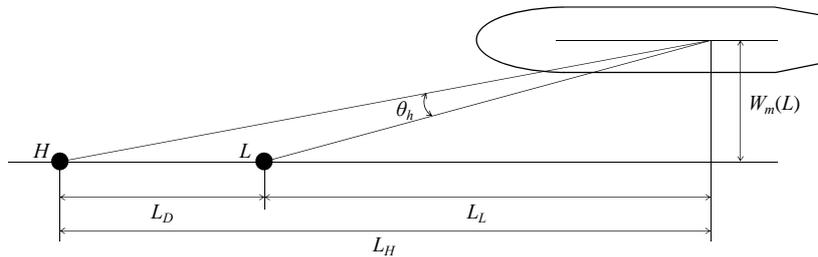


図-3.10 導標（導灯）と対象船舶との位置関係（平面図）

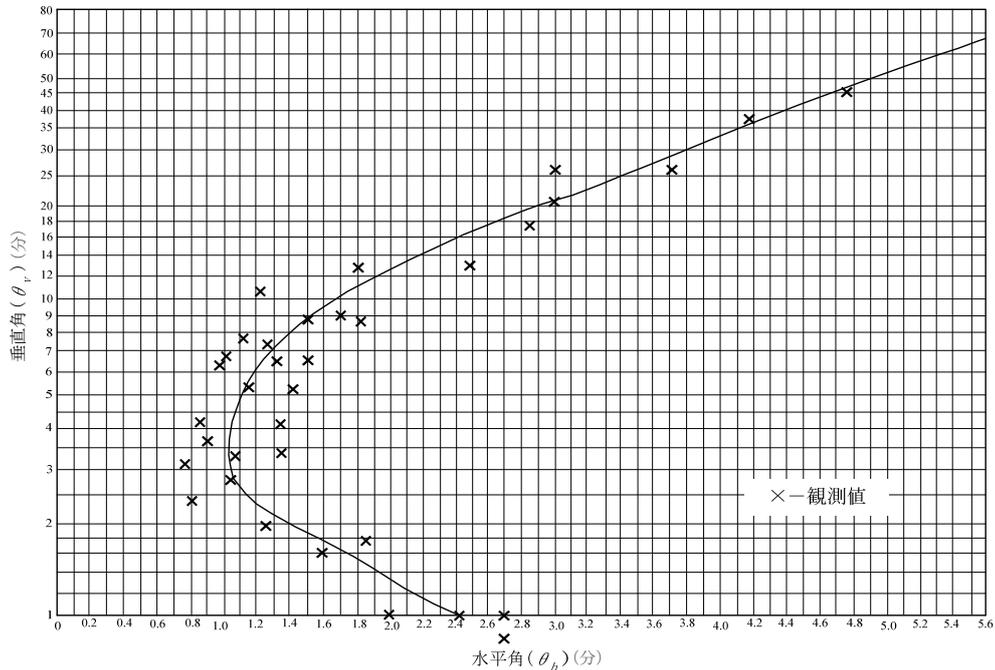


図-3.11 導標（導灯）と垂直角（ $\theta_v$ ）と水平角（ $\theta_h$ ）との関係図

### 3.3 側壁影響対応幅員 $W_b$ の算定手法

船舶が側壁の近くを航行する場合、図-3.12 に示すように、船舶に対して横力と回転モーメントの流体力が外力として作用する。そのため、この外力に対して当舵角  $\delta$  の上限値でバランスを取るために必要となる側壁からの距離

を側壁影響対応幅員  $W_b$  として算定する（「技術基準」P786～793）。なお、側壁影響は通常の外力と比べて長時間にわたり連続的に作用することから、当舵角  $\delta$  の上限値は通常の外力に対して用いる  $15^\circ$  よりさらに低い  $5^\circ$  とする。

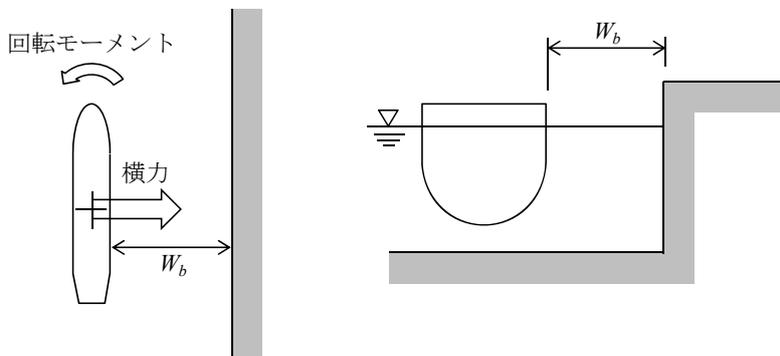


図-3.12 側壁影響対応幅員の考え方

#### (1) 算定手法及び算定式

側壁影響対応幅員  $W_b$  は、図-3.13 に示す段階的な計算により算定することができる。

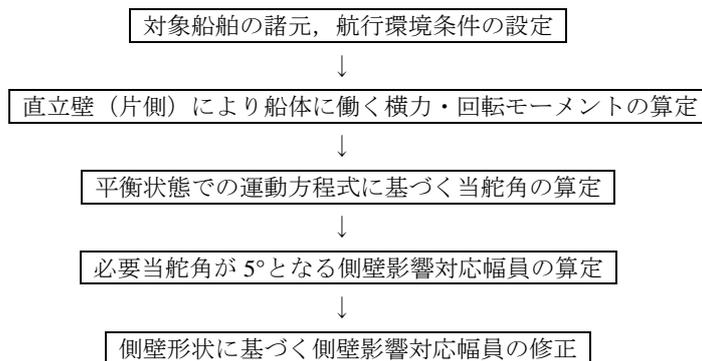


図-3.13 側壁影響対応幅員  $W_b$  の算定手順

a) 直立壁 (片側) により船体に働く横力・回転モーメントの算定手法

貴島他<sup>7)</sup>による図-3.14 から、それぞれの  $S_p/L$  ( $=S_{pb}/L$ ) 値に応じた側壁近傍を航行する船体に作用する横力  $C_F$  及び回転モーメント  $C_M$  値を読み取ることができる。ここで、 $C_F$  ( $=C_{Fb}$ )、 $C_M$  ( $=C_{Mb}$ ) は、式(25)により定義される値である。

$$\left. \begin{aligned} C_{Fb} &= \frac{F_b}{0.5\rho_w L d U^2} \\ C_{Mb} &= \frac{M_b}{0.5\rho_w L^2 d U^2} \end{aligned} \right\} (25)$$

ここに、

$S_{pb}$ : 船体中心線から側壁までの距離 (図-3.14 では  $S_p$ ) (m)

$L$ : 垂線間長 ( $=L_{pp}$ ) (m)

$F_b$ : 側壁近傍を航行する船体に作用する横力 (N)

$C_{Fb}$ : 側壁近傍を航行する船体に作用する横力の無次元値

$M_b$ : 側壁近傍を航行する船体の作用する回転モーメント (N・m)

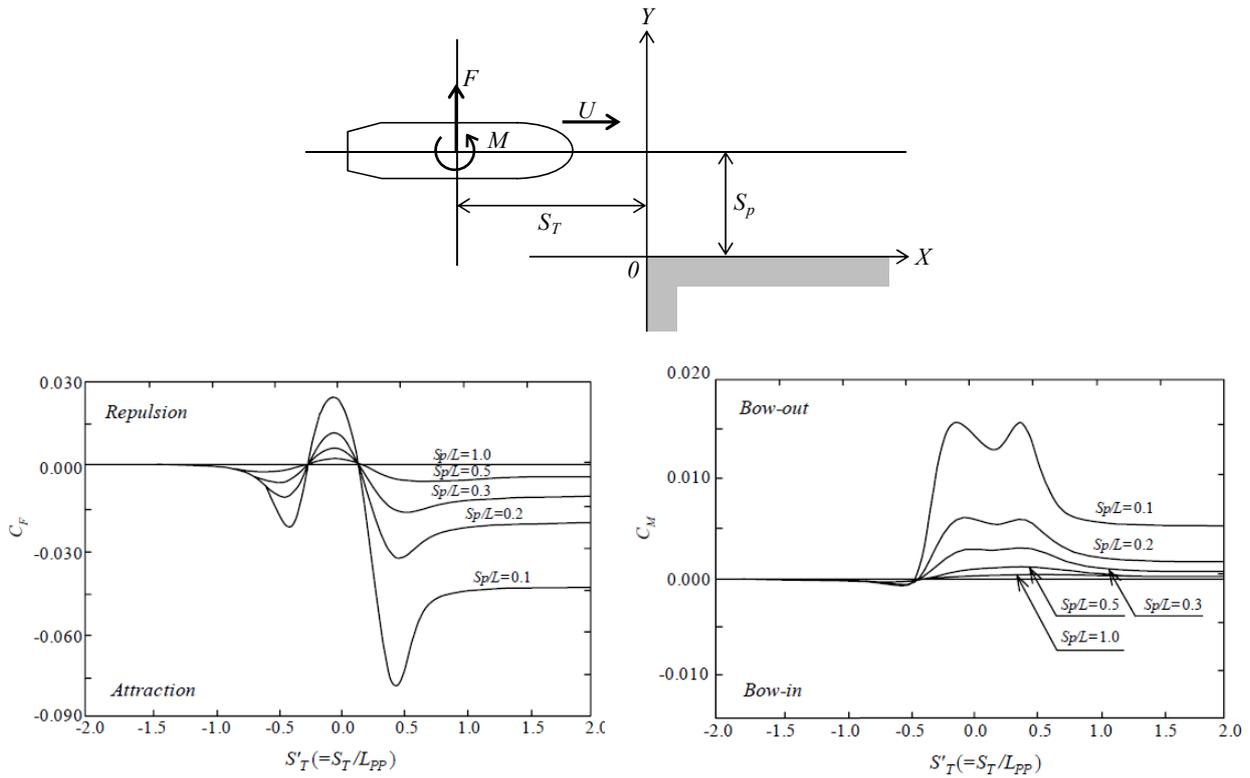


図-3.14 側壁近くを航行する船舶の吸引力及び反発モーメント<sup>7)</sup> (この図において $S_p = S_{pb}$ )

$C_{Mb}$  : 側壁近傍を航行する船体に作用する回転モーメントの無次元値  
 $U$  : 航海速力 (m/s)  
 $d$  : 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)  
 $\rho_w$  : 海水密度 (kg/m<sup>3</sup>)

b) 平衡状態での運動方程式に基づく当舵角 $\delta$ の算定手法

舵角 $\delta$ , 漂流角 $\beta$ において航行する船舶の平衡状態の運動方程式は, 図-3.14での座標系においては, 式(26)により示される.

$$\left. \begin{aligned} -C_{Fb} + Y'_\beta \beta + Y'_\delta \delta &= 0 \\ -C_{Mb} + N'_\beta \beta + N'_\delta \delta &= 0 \end{aligned} \right\} (26)$$

この方程式から, 式(27)により舵角 $\delta$ , 漂流角 $\beta$ を算定することができる.

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{C_{Mb} Y'_\beta - C_{Fb} N'_\beta}{Y'_\beta N'_\delta - Y'_\delta N'_\beta} \\ \beta &= -\frac{C_{Mb} Y'_\delta - C_{Fb} N'_\delta}{Y'_\beta N'_\delta - Y'_\delta N'_\beta} \end{aligned} \right\} (27)$$

ここに,

$\delta$  : 舵角 (rad)  
 $\beta$  : 漂流角 (rad)

$C_{Fb}$  : 側壁近傍を航行する船体に作用する横力の無次元値

$C_{Mb}$  : 側壁近傍を航行する船体に作用する回転モーメントの無次元値

$Y'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するとき流体から受ける横方向への反力係数 $Y'_\beta$ の無次元値

$N'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するとき流体から受ける回頭反力モーメント係数 $N'_\beta$ の無次元値

$Y'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数 $Y'_\delta$ の無次元値

$N'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する舵力モーメント係数 $N'_\delta$ の無次元値

c) 必要当舵角が5°となる側壁影響対応幅員 $W_b$ の算定手法

具体的な算定では, まず, 図-3.14から読み取った $C_F (= C_{Fb})$ 値,  $C_M (= C_{Mb})$ 値により,  $S_{pb}/L$ に対応した舵角 $\delta$ を算定する. 次に, 逆に舵角 $\delta$ を変数とする回帰式等を作成して $\delta = 5^\circ$ に対応した $S_{pb}/L$ を求める. さらに式(28)から $W_b$ を算定することができる.

$$W_b = S_{pb} - 0.5B \quad (28)$$

ここに,

$W_b$  : 側壁影響対応幅員 (m)

$S_{pb}$  : 船体中心線から側壁までの距離 (m)

$B$  : 対象船舶の船幅 (m)

$$W_{bi} = W_b h_f \tag{30}$$

ここに、

$W_{bi}$  : 側壁形状が直立壁ではない場合の側壁影響対応幅員 (m)

$W_b$  : 直立壁の場合に必要な当舵角が  $5^\circ$  となる側壁影響対応幅員 (m)

$h_f$  : 航路水深に対する航路外水深比率  $h_1$  に基づく修正係数

d)側壁形状に基づく側壁影響対応幅員の修正

i. 側壁形状が図-3.15 に示すような場合には、航路水深に対する航路外水深の比率 ( $h_1$  : 航路水深比率) に基づく修正係数  $h_f$  を設定することが必要である。この修正係数は貴島他<sup>8)</sup>による式(29)により算定することができる。

$$h_f = \exp\left(-2 \frac{h_1}{1-h_1}\right) \tag{29}$$

ここに、

$h_f$  : 航路水深に対する航路外水深の比率  $h_1$  に基づく修正係数

$h_1$  : 航路外水深比率 (=航路外水深/航路水深)

なお、図-3.12 の場合 : 0, 側壁のない航路の場合 : 0.9999

ii. 直立壁の場合での側壁影響対応幅員  $W_b$  に修正係数  $h_f$  を乗じることにより、航路外水深比率に対応した側壁影響対応幅員  $W_{bi}$  を算定することができる。

iii. さらに、側壁の法面勾配が緩やかな場合 ( $D_\theta \leq 45^\circ$ ) には、式(31)により航路外水深を修正した航路外水深比率とすることができる。

$$D_{out}' = 0.5(D + D_{out}) \tag{31}$$

ここに、

$D_{out}'$  : 修正航路外水深 (m)

$D$  : 航路水深 (m)

$D_{out}$  : 航路外水深 (m)

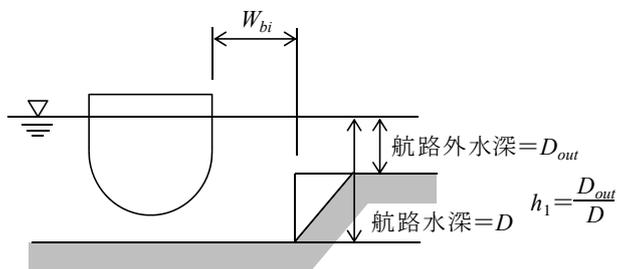


図-3.15 側壁形状に対応した側壁影響対応幅員の考え方

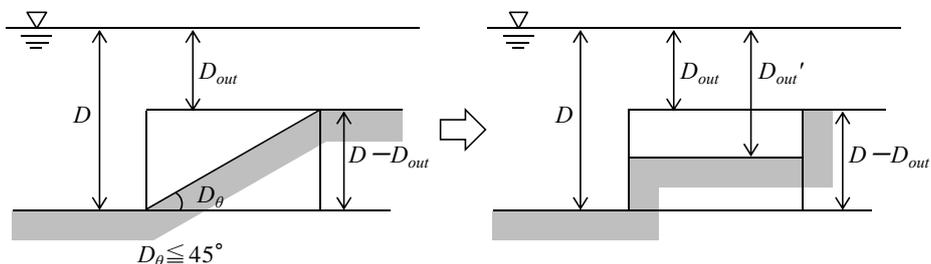


図-3.16 法面勾配が緩やかな場合 ( $D_\theta \leq 45^\circ$ ) における修正航路外水深

### 3.4 行き会い影響対応幅員 $W_c$ の算定手法

船舶が行き会う場合、図-3.17 に示すように、両船は相手船に対して流体力を及ぼし合う。そのため、この外力に対して当舵角  $\delta$  の上限値でバランスを取るために必要となる 2 船間の距離を行き会い影響対応幅員  $W_c$  として算定する（「技術基準」P794～796）。なお、当舵角  $\delta$  の上限値は  $15^\circ$  とする。

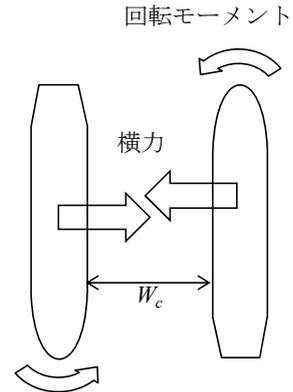


図-3.17 行き会い影響対応幅員  $W_c$  の考え方

#### (1) 算定手法及び算定式

同一船型且つ同一速度の船舶が行き会う場合の行き会い影響対応幅員  $W_c$  は、図-3.18 に示す段階的な計算により算定することができる。

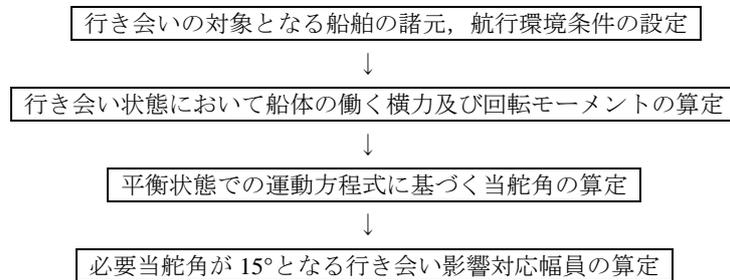


図-3.18 行き会い影響対応幅員  $W_c$  の算定手順

#### a) 行き会い状態において船体に働く横力及び回転モーメントの算定手法

貴島他<sup>9)</sup>による図-3.19 から、それぞれの  $S_p/L$  ( $=S_{pc}/L$ ) 値に応じた側壁近傍を航行する船体に作用する横力  $C_F$  及び回転モーメント  $C_M$  値を読み取ることができる。ここで、 $C_F$  ( $=C_{Fc}$ )、 $C_M$  ( $=C_{Mc}$ ) は、式(32)により定義される値である。

$$\left. \begin{aligned} C_{Fc} &= \frac{F_c}{0.5\rho_w L d U^2} \\ C_{Mc} &= \frac{M_c}{0.5\rho_w L^2 d U^2} \end{aligned} \right\} (32)$$

$M_c$  : 行き会い航行において船体に作用する回転モーメント (N・m)

$C_{Mc}$  : 行き会い航行において船体に作用する回転モーメントの無次元値

$U$  : 航海速力 (m/s)

$d$  : 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)

$\rho_w$  : 海水密度 (kg/m<sup>3</sup>)

ここに、

$S_{pc}$  : 船体中心線から側壁までの距離 (図-3.19 では  $S_p$ ) (m)

$L$  : 垂線間長 ( $=L_{pp}$ ) (m)

$F_c$  : 行き会い航行において船体に作用する横力 (N)

$C_{Fc}$  : 行き会い航行において船体に作用する横力の無次元値

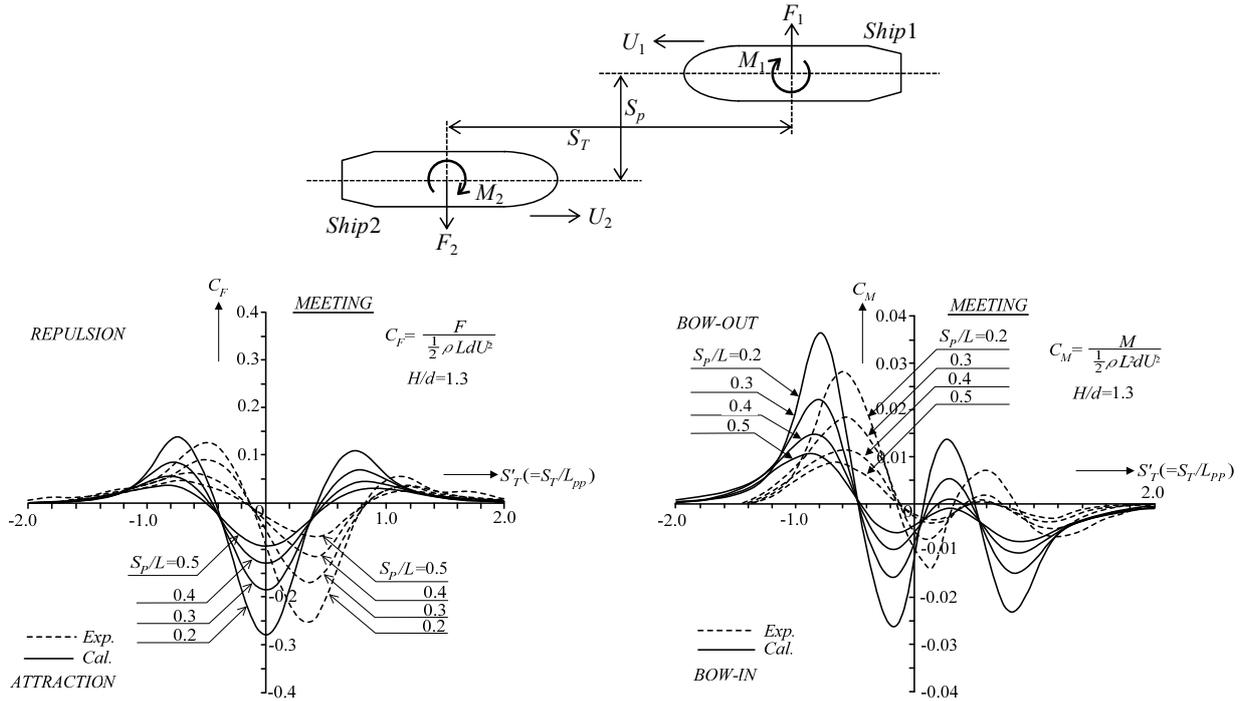


図-3.19 行き会い船舶の吸引力及び反発モーメント<sup>9)</sup> (この図において $S_p = S_{pc}$ )

b) 平衡状態での運動方程式に基づく当舵角 $\delta$ の算定手法

当舵角 $\delta$ 、漂流角 $\beta$ において航行する船舶の平衡状態の運動方程式は、図-3.19での座標系においては、式(33)により示される。また、行き会い影響の場合は、連続的な影響を受ける側壁影響の場合と異なり、影響を受ける時間が比較的短いことから、船舶が直進状態から急激に定常値の漂流角に達することは無いと考えられる。この場合、漂流角の発達は殆ど無いので、 $\beta = 0$  とすることで、式(34)により示される。

$$\left. \begin{aligned} -C_{Fc} + Y'_\beta \beta + Y'_\delta \delta &= 0 \\ -C_{Mc} + N'_\beta \beta + N'_\delta \delta &= 0 \end{aligned} \right\} (33)$$

$$-C_{Mc} + N'_\delta \delta = 0 \quad (34)$$

したがって、式(35)により当舵角 $\delta$ を算定することができる。

$$\delta = \frac{C_{Mc}}{N'_\delta} \quad (35)$$

ここに、

$\delta$  : 舵角 (rad)

$\beta$  : 漂流角 (rad)

$C_{Fc}$  : 行き会い航行において船体に作用する横力の無次元値

$C_{Mc}$  : 行き会い航行において船体に作用する回転モーメントの無次元値

$Y'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける横方向への反力係数 $Y_\beta$ の無次元値

$N'_\beta$  : 船体が漂流角 $\beta$ で斜航するときに流体から受ける回頭反力モーメント係数 $N_\beta$ の無次元値

$Y'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する横力係数 $Y_\delta$ の無次元値

$N'_\delta$  : 舵角 $\delta$ の場合において舵が発生する舵力モーメント係数 $N_\delta$ の無次元値

c) 必要当舵角が $15^\circ$ となる行き会い影響対応幅員 $W_c$ の算定手法

具体的な算定では、まず、図-3.19から読み取った $C_M (= C_{Mb})$ 値により、 $S_{pc}/L$ に対応した舵角 $\delta$ を算定する。次に、逆に舵角 $\delta$ を変数とする回帰式等を作成して $\delta = 15^\circ$ に対応した $S_{pc}/L$ を求める。さらに式(36)から $W_c$ を算定することができる。

$$W_c = S_{pc} - (0.5B + 0.5B) = S_{pc} - B \quad (36)$$

ここに、

$W_c$  : 行き会い影響対応幅員 (m)

$S_{pc}$  : 船体中心線間の距離 (m)

$B$  : 船幅 (m)

### 3.5 追い越し影響対応幅員 $W_{ov}$ の算定手法

船舶が他船を追い越す場合、図-3.20 に示すように、両船は相手船に対して流体力を及ぼし合う。そのため、この外力に対して当舵角  $\delta$  での上限値でバランスを取るために必要となる2船間の距離を追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  として算定する（「技術基準」P797～801）。なお、当舵角  $\delta$  の上限値は  $15^\circ$  とする。

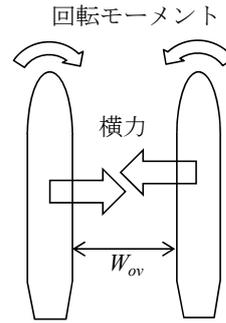


図-3.20 追い越し影響対応幅員の考え方

#### (1) 算定手法及び算定式

同一船型の船舶を対象とした場合の追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  は、図-3.21 に示す段階的な計算により算定することができる。

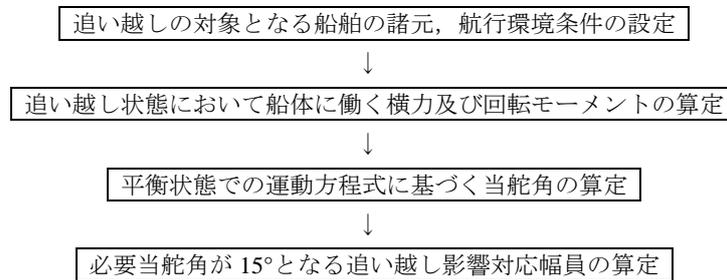


図-3.21 追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  の算定手順

#### a) 追い越し状態において船体に働く横力及び回転モーメントの算定手法

Lee and KIJIMA<sup>10</sup>及び追加計算資料による図-3.22 から  $S_{P12}/L_i (= S_{Pov12}/L_i)$  値に応じた、追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する横力  $C_{Fi}$  及び  $C_{Mi}$  値の大きな値の方を読み取ることができる。ここで  $C_{Fi} (= C_{Fovi})$ ,  $C_{Mi} (= C_{Movi})$  は、式(37)により定義される値である。

$$\left. \begin{aligned} C_{Fovi} &= \frac{F_{ovi}}{0.5\rho_w L_i d_i U_i^2} \\ C_{Movi} &= \frac{M_{ovi}}{0.5\rho_w L_i d_i U_i^2} \end{aligned} \right\} (37)$$

ここに、

$S_{Pov12}$ : 船体中心線間の距離 (図-3.22 では  $S_{P12}$ ) (m)

$L$ : 垂線間長 (=  $L_{PP}$ ) (m)

$F_{ovi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する横力 (N)

$C_{Fovi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する横力の無次元値

$M_{ovi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する回転モーメント (N・m)

$C_{Movi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する回転モーメントの無次元値

$U$ : 航海速度 (m/s)

$d$ : 対象船舶の係船状態等の静水状態における最大喫水 (m)

$\rho_w$ : 海水密度 (kg/m<sup>3</sup>)

#### b) 平衡状態での運動方程式に基づく当舵角 $\delta$ の算定手法

当舵角  $\delta$ 、漂流角  $\beta$  において航行する船舶の平衡状態の運動方程式は、図-3.22 での座標系においては、式(38)により示される。また、追い越し影響の場合は、行き会い影響と同様に、影響を受ける時間が比較的短いことから、船舶が直進状態から急激に定常値の漂流角に達することは無いと考えられる。この場合、漂流角の発達は殆ど無いので、 $\beta=0$  とすることで、式(39)により示される。

$$\left. \begin{aligned} -C_{Fovi} + Y'_{\beta} \beta_i + Y'_{\delta i} \delta_i &= 0 \\ -C_{Movi} + N'_{\beta i} \beta_i + N'_{\delta i} \delta_i &= 0 \end{aligned} \right\} (38)$$

$$-C_{Movi} + N'_{\delta i} \delta_i = 0 \quad (39)$$

したがって、式(40)により当舵角  $\delta_i$  を算定することができる。

$$\delta_i = \frac{C_{Movi}}{N'_{\delta i}} \quad (40)$$

ここに,

$C_{Fovi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する横力の無次元値

$C_{Movi}$ : 追い越し航行において船舶  $i$  の船体に作用する回転モーメントの無次元値

$Y'_{\beta i}$ : 船舶  $i$  の船体が漂流角  $\beta$  で斜航するとき流体から受ける横方向への反力係数  $Y_{\beta}$  の無次元値

$N'_{\beta i}$ : 船舶  $i$  の船体が漂流角  $\beta$  で斜航するとき流体から受ける回頭反力モーメント係数  $N_{\beta}$  の無次元値

$Y'_{\delta i}$ : 舵角  $\delta$  の場合において船舶  $i$  の舵が発生する横力係数  $Y_{\delta i}$  の無次元値

$N'_{\delta i}$ : 舵角  $\delta$  の場合において船舶  $i$  の舵が発生する舵力モーメント係数  $N_{\delta i}$  の無次元値

$\delta$ : 舵角 (rad)

$\beta$ : 漂流角 (rad)

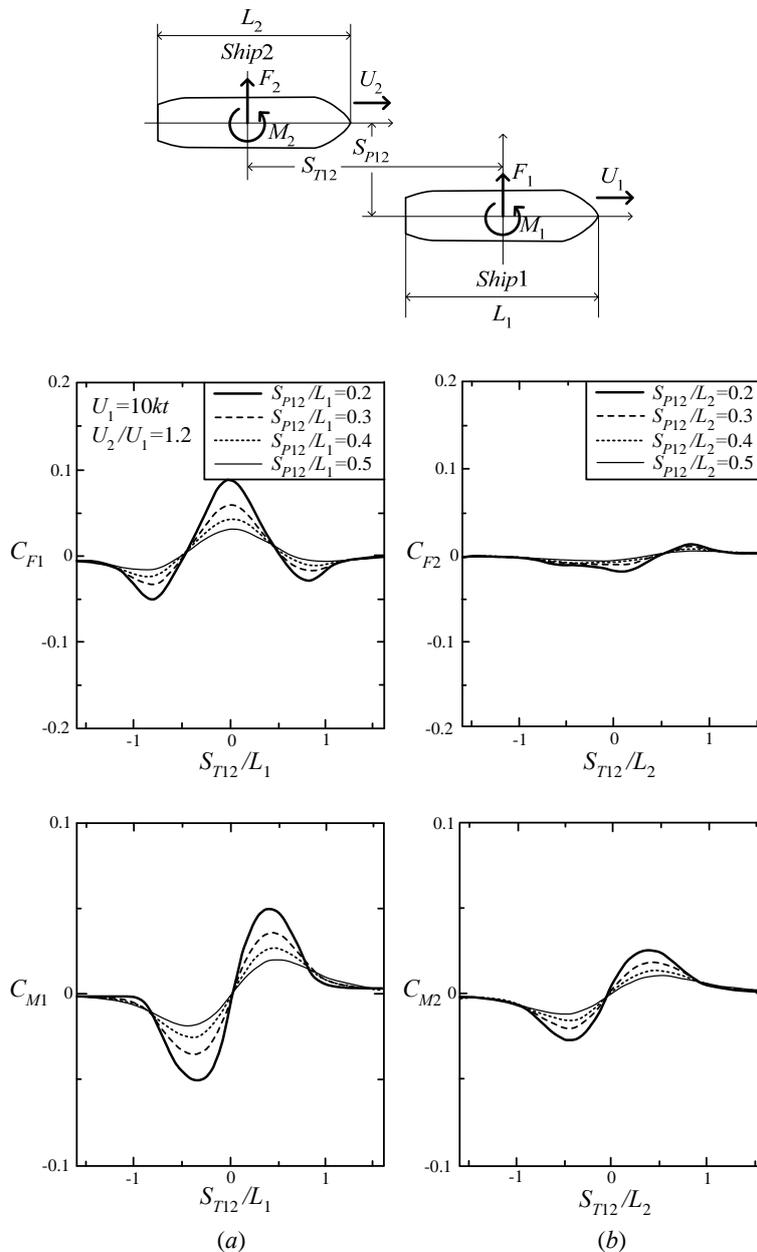


図-3.22 追い越し船舶の吸引力及び反発モーメント<sup>10)</sup> ( $h/d=1.2$ ,  $U_2/U_1=1.2$ )

c)必要当舵角が 15°となる追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  の算定手法

具体的な算定では、まず、図-3.24 から読み取った  $C_M (= C_{Mov})$  値により、 $S_{Pov}/L$  に対応した舵角  $\delta$  を算定する。次に、逆に舵角  $\delta$  を変数とする回帰式等を作成して  $\delta=15^\circ$  に対応した  $S_{Pov}/L$  を求める。さらに式(41)から  $W_{ov}$  を算定することができる。

$$W_{ov} = S_{Pov12} - (0.5B + 0.5B) = S_{Pov12} - B \quad (41)$$

ここに、

$W_{ov}$  : 追い越し影響対応幅員 (m)

$S_{Pov12}$  : 船体中心線間の距離 (m)

$B$  : 船幅 (m)

#### 4. 必要航路幅員の試算結果

第3章で示した算定手法による、対象3船型の必要航路幅員  $W$  の試算結果を以下に示す。ここで、本研究では、航行環境条件を、船速 7.5kt, 最大風速 12m/s (=23.3kt) 潮流 1.0kt, 航路水深は対象船型の最大喫水  $d$  の 1.2 倍 ( $D/d=1.2$ ) と仮定して試算を行った。なお、この設定値は特定の港湾を想定して設定したものではない。

##### 4.1 基本操船幅員 $W_m$ の試算結果

対象3船型の基本操船幅員  $W_m$  の試算結果を以下に示す。

##### 4.1.1 風と潮流及びヨーイングによる影響等に対応するための必要幅員 $W_m(\beta, \gamma)$ の試算結果

###### (1) 風影響による漂流角 $\beta_1$ の試算結果

###### a) 流体力係数の算定結果

式(7), 式(8)による、対象3船型の流体力係数の算定結果を表-4.1~表-4.3に示す。なお、比較対象として、「技術基準」に記載されている同船種(超大型バルカー(Capesize), 大型バルカー(Panamax), 6千TEUクラスコンテナ船)(以下、比較3船型という。)の値も表中に併記する。

###### b) 風圧抵抗係数・風圧モーメント係数の算定結果

式(10)による、対象3船型の各風向角度における風圧抵抗係数・風圧モーメント係数の試算結果を表-4.4~表-4.6に示す。

c) 平衡状態での運動方程式に基づく当舵角  $\delta$  及び漂流角  $\beta_1$  の算定結果

式(12)による、対象3船型の各風向角度における K 値 1~7 の場合の当舵角  $\delta$  及び漂流角  $\beta_1$  の算定結果を表-4.7~表-4.12に示す。なお、これらの表は、実務において式(12)を解くことなく必要航路幅員を算定できるようにするためのものであり、K 値は風速/船速比である。本研究における必要航路幅員の試算では、船速 7.5kt, 最大風速 12m/s (=23.3kt) と航行環境を仮定したため、K=3.1 の場合の当舵角  $\delta$  及び漂流角  $\beta_1$  を算定している。

表-4.1 流体力係数の算定結果(30万DWTクラスVLOC)

| 船型           | 30万DWTクラス<br>VLOC | 超大型バルカー<br>(Capesize) |
|--------------|-------------------|-----------------------|
| DWT          | 297,736           | 172,900               |
| $L_{OA}$ (m) | 327.0             | 289.0                 |
| $L_{PP}$ (m) | 318.0             | 279.0                 |
| B(m)         | 55.0              | 45.0                  |
| d(m)         | 21.4              | 17.8                  |
| $C_b$        | 0.8698            | 0.8042                |
| $\lambda_a$  | 2.09              | 1.85                  |
| $A_R(m^2)$   | 88.8              | 78.0                  |
| $a_H$        | 0.72              | 0.47                  |
| $Y'_\beta$   | 1.689             | 1.612                 |
| $N'_\beta$   | 0.585             | 0.562                 |
| $Y'_\delta$  | -0.0730           | -0.0699               |
| $N'_\delta$  | 0.0365            | 0.0350                |

表-4.2 流体力係数の算定結果(10万DWTクラスバルクキャリア)

| 船型           | 10万DWTクラス<br>バルクキャリア | 大型バルカー<br>(Panamax) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| DWT          | 98,681               | 74,000              |
| $L_{OA}$ (m) | 240.0                | 225.0               |
| $L_{PP}$ (m) | 236.0                | 216.0               |
| B(m)         | 38.0                 | 32.3                |
| d(m)         | 14.5                 | 13.5                |
| $C_b$        | 0.8528               | 0.8383              |
| $\lambda_a$  | 2.45                 | 2.00                |
| $A_R(m^2)$   | 45.9                 | 41.3                |
| $a_H$        | 0.68                 | 0.55                |
| $Y'_\beta$   | 1.591                | 1.587               |
| $N'_\beta$   | 0.543                | 0.553               |
| $Y'_\delta$  | -0.0794              | -0.0696             |
| $N'_\delta$  | 0.0397               | 0.0348              |

表-4.3 流体力係数の算定結果（1万TEUクラスコンテナ船）

| 船型          | 1万TEUクラス<br>コンテナ船 | 6千TEUクラス<br>コンテナ船 |
|-------------|-------------------|-------------------|
| $DWT$       | 99,563            | 77,900            |
| $L_{OA}(m)$ | 336.0             | 299.9             |
| $L_{PP}(m)$ | 318.3             | 283.8             |
| $B(m)$      | 45.8              | 40.0              |
| $d(m)$      | 14.0              | 14.0              |
| $C_b$       | 0.6437            | 0.6472            |
| $\lambda_a$ | 2.06              | 2.00              |
| $A_R(m^2)$  | 72.4              | 57.5              |
| $a_H$       | 0.32              | 0.35              |
| $Y'_\beta$  | 1.252             | 1.340             |
| $N'_\beta$  | 0.416             | 0.457             |
| $Y'_\delta$ | -0.0691           | -0.0720           |
| $N'_\delta$ | 0.0345            | 0.0360            |

表-4.4 風圧抵抗・風圧モーメント係数の算定結果（30万DWTクラスVLOC）

| 風向角(°)   | 0     | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90     | 105    | 120    | 135    | 150    | 165    | 180    |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 風向角(rad) | 0.000 | 0.262 | 0.524 | 0.785 | 1.047 | 1.309 | 1.571  | 1.833  | 2.094  | 2.356  | 2.618  | 2.880  | 3.142  |
| $C_x$    | 1.152 | 1.164 | 1.147 | 1.015 | 0.771 | 0.492 | 0.205  | -0.145 | -0.581 | -1.004 | -1.276 | -1.370 | -1.380 |
| $C_y$    | 0.000 | 0.126 | 0.282 | 0.471 | 0.668 | 0.820 | 0.880  | 0.828  | 0.682  | 0.487  | 0.295  | 0.134  | 0.000  |
| $C_m$    | 0.000 | 0.024 | 0.042 | 0.048 | 0.040 | 0.020 | -0.009 | -0.038 | -0.060 | -0.068 | -0.058 | -0.034 | 0.000  |

表-4.5 風圧抵抗・風圧モーメント係数の算定結果（10万DWTクラスバルクキャリア）

| 風向角(°)   | 0     | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90     | 105    | 120    | 135    | 150    | 165    | 180    |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 風向角(rad) | 0.000 | 0.262 | 0.524 | 0.785 | 1.047 | 1.309 | 1.571  | 1.833  | 2.094  | 2.356  | 2.618  | 2.880  | 3.142  |
| $C_x$    | 1.026 | 1.070 | 1.120 | 1.034 | 0.786 | 0.472 | 0.157  | -0.192 | -0.601 | -0.981 | -1.205 | -1.261 | -1.256 |
| $C_y$    | 0.000 | 0.131 | 0.286 | 0.467 | 0.650 | 0.789 | 0.845  | 0.798  | 0.664  | 0.484  | 0.300  | 0.139  | 0.000  |
| $C_m$    | 0.000 | 0.022 | 0.038 | 0.043 | 0.035 | 0.016 | -0.010 | -0.037 | -0.056 | -0.063 | -0.054 | -0.031 | 0.000  |

表-4.6 風圧抵抗・風圧モーメント係数の算定結果（1万TEUクラスコンテナ船）

| 風向角(°)   | 0     | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105    | 120    | 135    | 150    | 165    | 180    |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 風向角(rad) | 0.000 | 0.262 | 0.524 | 0.785 | 1.047 | 1.309 | 1.571 | 1.833  | 2.094  | 2.356  | 2.618  | 2.880  | 3.142  |
| $C_x$    | 0.820 | 0.805 | 0.730 | 0.571 | 0.386 | 0.268 | 0.210 | 0.093  | -0.160 | -0.472 | -0.693 | -0.771 | -0.778 |
| $C_y$    | 0.000 | 0.296 | 0.570 | 0.804 | 0.981 | 1.090 | 1.125 | 1.084  | 0.970  | 0.792  | 0.560  | 0.290  | 0.000  |
| $C_m$    | 0.000 | 0.056 | 0.098 | 0.116 | 0.106 | 0.070 | 0.018 | -0.035 | -0.076 | -0.093 | -0.083 | -0.048 | 0.000  |

表-4.7 平衡状態における当舵角 $\delta$ の算定結果 (30万 DWT クラス VLOC)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0       | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105   | 120   | 135   | 150   | 165   | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.012 | 0.035 | 0.072 | 0.119 | 0.164 | 0.195 | 0.202 | 0.184 | 0.147 | 0.100 | 0.050 | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.049 | 0.139 | 0.288 | 0.476 | 0.657 | 0.780 | 0.808 | 0.736 | 0.589 | 0.400 | 0.200 | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 0.111 | 0.314 | 0.647 | 1.070 | 1.479 | 1.755 | 1.818 | 1.657 | 1.324 | 0.900 | 0.449 | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 0.118 | 0.335 | 0.691 | 1.143 | 1.579 | 1.874 | 1.941 | 1.769 | 1.414 | 0.961 | 0.480 | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 0.197 | 0.557 | 1.151 | 1.903 | 2.630 | 3.120 | 3.232 | 2.945 | 2.354 | 1.600 | 0.799 | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 0.307 | 0.871 | 1.798 | 2.973 | 4.109 | 4.875 | 5.049 | 4.602 | 3.679 | 2.500 | 1.248 | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 0.442 | 1.254 | 2.589 | 4.281 | 5.917 | 7.020 | 7.271 | 6.627 | 5.297 | 3.600 | 1.797 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 0.602 | 1.707 | 3.523 | 5.828 | 8.053 | 9.555 | 9.897 | 9.020 | 7.210 | 4.900 | 2.446 | 0.000 |

表-4.8 平衡状態における漂流角 $\beta_1$ の算定結果 (30万 DWT クラス VLOC)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0       | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105   | 120   | 135   | 150   | 165   | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.002 | 0.005 | 0.008 | 0.010 | 0.012 | 0.012 | 0.010 | 0.008 | 0.005 | 0.002 | 0.001 | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.009 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | 0.046 | 0.046 | 0.040 | 0.030 | 0.019 | 0.010 | 0.004 | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 0.021 | 0.044 | 0.069 | 0.091 | 0.104 | 0.104 | 0.091 | 0.068 | 0.043 | 0.022 | 0.008 | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 0.022 | 0.047 | 0.073 | 0.097 | 0.111 | 0.112 | 0.097 | 0.073 | 0.045 | 0.023 | 0.009 | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 0.037 | 0.078 | 0.122 | 0.161 | 0.185 | 0.186 | 0.162 | 0.121 | 0.076 | 0.038 | 0.014 | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 0.059 | 0.123 | 0.191 | 0.251 | 0.289 | 0.290 | 0.253 | 0.189 | 0.118 | 0.060 | 0.022 | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 0.084 | 0.176 | 0.274 | 0.362 | 0.416 | 0.418 | 0.364 | 0.272 | 0.170 | 0.086 | 0.032 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 0.115 | 0.240 | 0.373 | 0.493 | 0.566 | 0.569 | 0.496 | 0.370 | 0.232 | 0.118 | 0.044 | 0.000 |

表-4.9 平衡状態における当舵角 $\delta$ の算定結果 (10万 DWT クラスバルクキャリア)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0       | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105   | 120   | 135   | 150   | 165   | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.014 | 0.036 | 0.070 | 0.112 | 0.153 | 0.180 | 0.186 | 0.170 | 0.137 | 0.094 | 0.047 | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.055 | 0.144 | 0.281 | 0.449 | 0.610 | 0.719 | 0.745 | 0.682 | 0.550 | 0.377 | 0.190 | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 0.124 | 0.325 | 0.632 | 1.011 | 1.374 | 1.618 | 1.676 | 1.534 | 1.236 | 0.848 | 0.426 | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 0.133 | 0.347 | 0.675 | 1.080 | 1.467 | 1.728 | 1.789 | 1.638 | 1.320 | 0.906 | 0.455 | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 0.221 | 0.577 | 1.124 | 1.798 | 2.442 | 2.877 | 2.979 | 2.728 | 2.198 | 1.508 | 0.758 | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 0.345 | 0.902 | 1.756 | 2.809 | 3.815 | 4.495 | 4.655 | 4.262 | 3.434 | 2.356 | 1.185 | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 0.497 | 1.299 | 2.529 | 4.045 | 5.494 | 6.473 | 6.703 | 6.138 | 4.946 | 3.392 | 1.706 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 0.677 | 1.768 | 3.442 | 5.505 | 7.478 | 8.810 | 9.123 | 8.354 | 6.732 | 4.617 | 2.322 | 0.000 |

表-4.10 平衡状態における漂流角 $\beta_1$ の算定結果 (10万 DWT クラスバルクキャリア)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0       | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105   | 120   | 135   | 150   | 165   | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.003 | 0.005 | 0.008 | 0.011 | 0.012 | 0.012 | 0.011 | 0.008 | 0.005 | 0.003 | 0.001 | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.011 | 0.022 | 0.033 | 0.043 | 0.049 | 0.050 | 0.044 | 0.033 | 0.022 | 0.012 | 0.005 | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 0.024 | 0.049 | 0.075 | 0.097 | 0.111 | 0.112 | 0.098 | 0.075 | 0.048 | 0.026 | 0.010 | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 0.025 | 0.052 | 0.080 | 0.104 | 0.119 | 0.119 | 0.105 | 0.080 | 0.052 | 0.028 | 0.011 | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 0.042 | 0.087 | 0.133 | 0.173 | 0.198 | 0.198 | 0.174 | 0.133 | 0.086 | 0.046 | 0.019 | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 0.066 | 0.136 | 0.208 | 0.271 | 0.309 | 0.310 | 0.272 | 0.207 | 0.135 | 0.072 | 0.029 | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 0.095 | 0.195 | 0.299 | 0.390 | 0.445 | 0.447 | 0.392 | 0.299 | 0.194 | 0.104 | 0.042 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 0.129 | 0.266 | 0.407 | 0.531 | 0.606 | 0.608 | 0.534 | 0.407 | 0.264 | 0.142 | 0.057 | 0.000 |

表-4.11 平衡状態における当舵角 $\delta$ の算定結果 (1万TEUクラスコンテナ船)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|--------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|        | 0       | 15    | 30     | 45     | 60     | 75     | 90     | 105    | 120    | 135    | 150    | 165    | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.113 | 0.245  | 0.406  | 0.593  | 0.787  | 0.956  | 1.063  | 1.070  | 0.958  | 0.723  | 0.389  | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.454 | 0.981  | 1.625  | 2.372  | 3.148  | 3.825  | 4.251  | 4.282  | 3.830  | 2.892  | 1.557  | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 1.021 | 2.208  | 3.655  | 5.336  | 7.082  | 8.607  | 9.564  | 9.634  | 8.618  | 6.506  | 3.503  | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 1.091 | 2.358  | 3.903  | 5.698  | 7.562  | 9.190  | 10.212 | 10.287 | 9.202  | 6.947  | 3.740  | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 1.816 | 3.926  | 6.498  | 9.486  | 12.591 | 15.301 | 17.002 | 17.127 | 15.321 | 11.566 | 6.227  | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 2.837 | 6.134  | 10.153 | 14.822 | 19.673 | 23.908 | 26.566 | 26.760 | 23.939 | 18.072 | 9.730  | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 4.086 | 8.833  | 14.621 | 21.344 | 28.329 | 34.428 | 38.255 | 38.535 | 34.472 | 26.024 | 14.011 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 5.561 | 12.022 | 19.901 | 29.051 | 38.559 | 46.860 | 52.069 | 52.450 | 46.920 | 35.422 | 19.071 | 0.000 |

表-4.12 平衡状態における漂流角 $\beta_1$ の算定結果 (1万TEUクラスコンテナ船)

| 風速/船速比 | 風向角 (°) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0       | 15    | 30    | 45    | 60    | 75    | 90    | 105   | 120   | 135   | 150   | 165   | 180   |
| K=1    | 0.000   | 0.030 | 0.057 | 0.077 | 0.088 | 0.091 | 0.086 | 0.075 | 0.061 | 0.045 | 0.029 | 0.014 | 0.000 |
| K=2    | 0.000   | 0.121 | 0.228 | 0.307 | 0.354 | 0.365 | 0.344 | 0.301 | 0.243 | 0.180 | 0.117 | 0.057 | 0.000 |
| K=3    | 0.000   | 0.272 | 0.512 | 0.692 | 0.796 | 0.821 | 0.775 | 0.677 | 0.547 | 0.404 | 0.263 | 0.129 | 0.000 |
| K=3.1  | 0.000   | 0.291 | 0.547 | 0.739 | 0.850 | 0.876 | 0.828 | 0.723 | 0.584 | 0.432 | 0.281 | 0.137 | 0.000 |
| K=4    | 0.000   | 0.484 | 0.910 | 1.230 | 1.415 | 1.459 | 1.378 | 1.203 | 0.972 | 0.718 | 0.467 | 0.229 | 0.000 |
| K=5    | 0.000   | 0.757 | 1.422 | 1.922 | 2.210 | 2.279 | 2.153 | 1.880 | 1.518 | 1.123 | 0.730 | 0.357 | 0.000 |
| K=6    | 0.000   | 1.090 | 2.048 | 2.767 | 3.183 | 3.282 | 3.100 | 2.707 | 2.186 | 1.616 | 1.051 | 0.514 | 0.000 |
| K=7    | 0.000   | 1.483 | 2.787 | 3.766 | 4.332 | 4.468 | 4.220 | 3.684 | 2.976 | 2.200 | 1.431 | 0.700 | 0.000 |

(2)潮流影響による漂流角 $\beta_2$ の試算結果

本研究における必要航路幅員の試算では、船速 7.5kt、潮流 1.0kt と仮定したため、潮流影響による漂流角 $\beta_2$ は、式(13)により 7.595°と算定される。

(3)風と潮流による影響に対応するための必要幅員 $W(\beta)$ の試算結果

式(14)による、対象 3 船型の風と潮流による影響に対応するための必要幅員 $W(\beta)$ の試算結果を表-4.13 に示す。なお、比較対象 3 船型の値も表中に併記する。

表-4.13 風と潮流による影響に対応するための必要幅員 $W(\beta)$ の試算結果

| 船型                 | $L_{OA}$ (m) | $B$ (m) | $\beta_1$ (°) | $\beta_2$ (°) | $W(\beta)$ (m) |
|--------------------|--------------|---------|---------------|---------------|----------------|
| 30万DWTクラスVLOC      | 327.0        | 55.0    | 0.112         | 7.595         | 98.4           |
| 超大型バルカー (Capesize) | 289.0        | 45.0    | 0.112         | 7.595         | 83.4           |
| 10万DWTクラスバルクキャリア   | 240.0        | 38.0    | 0.119         | 7.595         | 69.9           |
| 大型バルカー (Panamax)   | 225.0        | 32.3    | 0.090         | 7.595         | 62.1           |
| 1万TEUクラスコンテナ船      | 336.0        | 45.8    | 0.876         | 7.595         | 94.8           |
| 6千TEUクラスコンテナ船      | 299.9        | 40.0    | 0.560         | 7.595         | 82.1           |

(4)ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(y)$ の試算結果

対象 3 船型のヨーイング周期及び最大ヨーイング角度は不明なため、本研究における必要航路幅員の試算では、「技術基準」において記載されている安全側の値として、ヨーイング周期 12s, 最大ヨーイング角度 4°と仮定した。よって、ヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(y)$ は、式(15)により 0.8m と算定される。

(5)風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(\beta,y)$ の試算結果

式(16)による、対象 3 船型の風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(\beta,y)$ の試算結果を表-4.14 に示す。

表-4.14 風と潮流及びヨーイングによる影響に対応するための必要幅員 $W(\beta,y)$ の試算結果

| 船 型                   | $W(\beta)$ (m) | $W(y)$ (m) | $W(\beta,y)$ (m) |
|-----------------------|----------------|------------|------------------|
| 30万DWTクラス<br>VLOC     | 98.4           | 0.8        | 100.0            |
| 超大型バルカー<br>(Capesize) | 83.4           | 0.8        | 85.0             |
| 10万DWTクラス<br>バルクキャリア  | 69.9           | 0.8        | 71.5             |
| 大型バルカー<br>(Panamax)   | 62.1           | 0.8        | 63.7             |
| 1万TEUクラス<br>コンテナ船     | 94.8           | 0.8        | 96.4             |
| 6千TEUクラス<br>コンテナ船     | 82.1           | 0.8        | 83.7             |

4.1.2 横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ の試算結果

横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ は、目視またはレーダにより航路両舷浮標を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(\alpha)$ ,  $W_m(R)$ により算定するのが一般的であるが、その場合、実際の港湾における航路両舷浮標間距離 $W_{bow}$ の値が必要となる。また、導標（導灯）を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(L)$ を算定するためには、実際の導標（導灯）の高さや設置間隔の値が必要である。

そのため、本研究における必要航路幅員の試算では、これらの値は使用せず D・GPS を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(D \cdot GPS)$ を、横偏位を認知するための必要幅員 $W_m(S)$ として試算を行った。

式(21)による、対象 3 船型の D・GPS を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(D \cdot GPS)$ の試算結果を表-4.15 に示す。

表-4.15 GPS を利用して横偏位を認知する場合の必要幅員 $W_m(D \cdot GPS)$ の試算結果

| 船 型                   | $B$ (m) | $W_m(D \cdot GPS)$ (m) |
|-----------------------|---------|------------------------|
| 30万DWTクラス<br>VLOC     | 55.0    | 27.5                   |
| 超大型バルカー<br>(Capesize) | 45.0    | 22.5                   |
| 10万DWTクラス<br>バルクキャリア  | 38.0    | 19.0                   |
| 大型バルカー<br>(Panamax)   | 32.3    | 16.2                   |
| 1万TEUクラス<br>コンテナ船     | 45.8    | 22.9                   |
| 6千TEUクラス<br>コンテナ船     | 40.0    | 20.0                   |

#### 4.1.3 基本操船幅員 $W_m$ の試算結果

式(6)による、対象3船型の基本操船幅員  $W_m$  の試算結果を表-4.16に示す。なお、比較対象3船型の値も表中に併記する。

表-4.16 基本操船幅員  $W_m$  の試算結果

| 船型                    | $L_{OA}$ (m) | $B$ (m) | $W(\beta, \gamma)$ (m) | $W(S)$ (m) | $W_m$ (m) | $W_m/B$ |
|-----------------------|--------------|---------|------------------------|------------|-----------|---------|
| 30万DWTクラス<br>VLOC     | 327.0        | 55.0    | 100.0                  | 27.5       | 155.0     | 2.82    |
| 超大型バルカー<br>(Capesize) | 289.0        | 45.0    | 85.0                   | 22.5       | 130.0     | 2.89    |
| 10万DWTクラス<br>バルクキャリア  | 240.0        | 38.0    | 71.5                   | 19.0       | 109.5     | 2.88    |
| 大型バルカー<br>(Panamax)   | 225.0        | 32.3    | 63.7                   | 16.2       | 96.1      | 2.98    |
| 1万TEUクラス<br>コンテナ船     | 336.0        | 45.8    | 96.4                   | 22.9       | 142.2     | 3.10    |
| 6千TEUクラス<br>コンテナ船     | 299.9        | 40.0    | 83.7                   | 20.0       | 123.7     | 3.09    |

#### 4.2 側壁影響対応幅員 $W_b$ の試算結果

対象3船型の側壁影響対応幅員  $W_b$  の試算結果を以下に示す。なお、本研究では、側壁形状を直立壁（片側）と想定し、側壁形状に基づく側壁影響対応幅員の修正は行っていない。

(1) 直立壁（片側）により船体に働く横力・回転モーメントの試算結果

図-3.14より、 $S_{pb}/L=0.1, 0.2, 0.3$ に対応した  $C_F (=C_{Fb})$  値及び  $C_M (=C_{Mb})$  値は表-4.17に示すとおり読み取ることができる。ここで、読み取る値は、定常状態 ( $S'_T = S_T/L > 1.5$ ) を対象としている。

(2) 平衡状態での運動方程式に基づく当舵角  $\delta$  の試算結果

式(27)による、対象3船型の  $S_{pb}/L=0.1, 0.2, 0.3$  における当舵角  $\delta$  の試算結果を表-4.18～表-4.20に示す。

(3) 必要当舵角が  $5^\circ$  となる側壁影響対応幅員  $W_b$  の試算結果

ここで、側壁影響対応幅員  $W_b$  を求めるために必要となるのは、当舵角  $\delta=5^\circ$  に対応する  $S_{pb}/L$  の値であるが、表-4.18～表-4.20に示した  $S_{pb}/L$  に対応する当舵角  $\delta$  の試算結果は  $\delta=5^\circ$  となっていない。そこで図-4.1～図-4.3に示す回帰式を作成し、対象3船型の当舵角  $\delta=5^\circ$  に対応する  $S_{pb}/L$  を求めた。

さらに、その結果から式(28)により、側壁影響対応幅員  $W_b$  を算定した。その結果を表-4.21に示す。なお、比較対象3船型の値も表中に併記する。

表-4.17  $C_F (=C_{Fb})$  及び  $C_M (=C_{Mb})$  の読み取り値

|                 | $S_{pb}/L$ |        |        |
|-----------------|------------|--------|--------|
|                 | 0.1        | 0.2    | 0.3    |
| $C_F (=C_{Fb})$ | -0.044     | -0.021 | -0.012 |
| $C_M (=C_{Mb})$ | 0.0050     | 0.0012 | 0.0002 |

表-4.18 当舵角 $\delta$ の試算結果 (30万 DWT トンクラス VLOC)

|               | $S_{Pb}/L$ |         |         |
|---------------|------------|---------|---------|
|               | 0.1        | 0.2     | 0.3     |
| $C_{Fb}$      | -0.044     | -0.021  | -0.012  |
| $C_{Mb}$      | 0.0050     | 0.0012  | 0.0002  |
| $Y'_{\beta}$  | 1.689      | 1.689   | 1.689   |
| $N'_{\beta}$  | 0.585      | 0.585   | 0.585   |
| $Y'_{\delta}$ | -0.0730    | -0.0730 | -0.0730 |
| $N'_{\delta}$ | 0.0365     | 0.0365  | 0.0365  |
| $\delta$ (°)  | 18.773     | 7.860   | 4.041   |

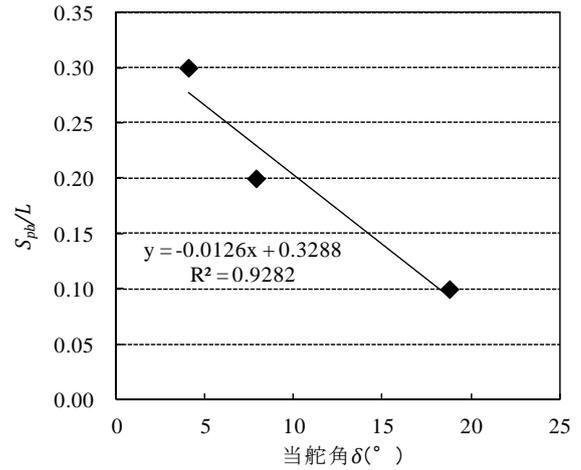


図-4.1  $S_{Pb}/L-\delta$  (30万 DWT クラス VLOC)

表-4.19 当舵角 $\delta$ の試算結果 (10万 DWT クラスバルク キャリア)

|               | $S_{Pb}/L$ |         |         |
|---------------|------------|---------|---------|
|               | 0.1        | 0.2     | 0.3     |
| $C_{Fb}$      | -0.044     | -0.021  | -0.012  |
| $C_{Mb}$      | 0.0050     | 0.0012  | 0.0002  |
| $Y'_{\beta}$  | 1.591      | 1.591   | 1.591   |
| $N'_{\beta}$  | 0.543      | 0.543   | 0.543   |
| $Y'_{\delta}$ | -0.0794    | -0.0794 | -0.0794 |
| $N'_{\delta}$ | 0.0397     | 0.0397  | 0.0397  |
| $\delta$ (°)  | 17.163     | 7.175   | 3.683   |

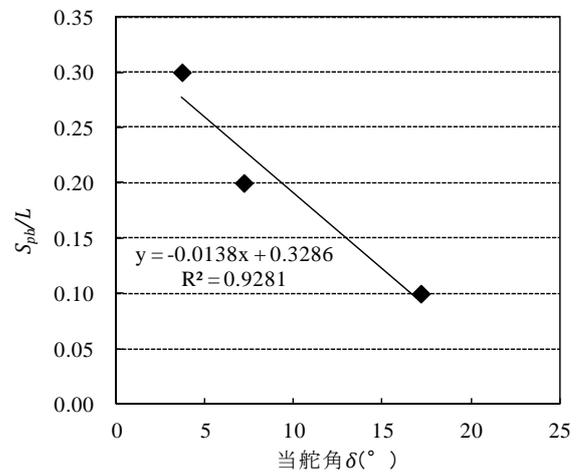


図-4.2  $S_{Pb}/L-\delta$  (10万 DWT クラスバルクキャリア)

表-4.20 当舵角 $\delta$ の試算結果 (1万 TEU クラスコンテナ 船)

|               | $S_{Pb}/L$ |         |         |
|---------------|------------|---------|---------|
|               | 0.1        | 0.2     | 0.3     |
| $C_{Fb}$      | -0.044     | -0.021  | -0.012  |
| $C_{Mb}$      | 0.0050     | 0.0012  | 0.0002  |
| $Y'_{\beta}$  | 1.252      | 1.252   | 1.252   |
| $N'_{\beta}$  | 0.416      | 0.416   | 0.416   |
| $Y'_{\delta}$ | -0.0691    | -0.0691 | -0.0691 |
| $N'_{\delta}$ | 0.0345     | 0.0345  | 0.0345  |
| $\delta$ (°)  | 19.558     | 8.153   | 4.175   |

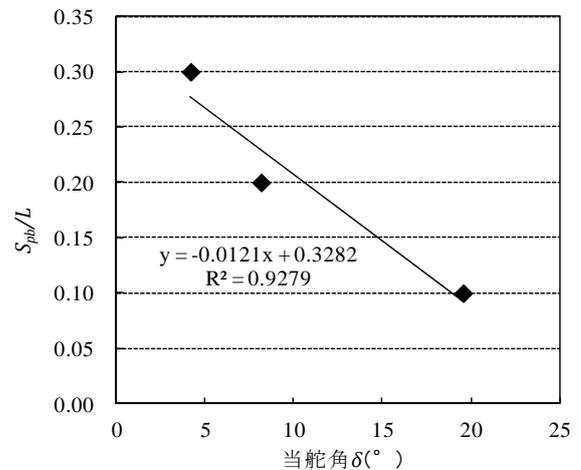


図-4.3  $S_{Pb}/L-\delta$  (1万 TEU クラスバルクキャリア)

表-4.21 側壁影響対応幅員 $W_b$ の試算結果

| 船型                    | $L_{PP}$ (m) | $B$ (m) | $S_{Pb}/L$ | $S_{Pb}$ (m) | $W_b$ (m) | $W_b/B$ |
|-----------------------|--------------|---------|------------|--------------|-----------|---------|
| 30万DWTクラス<br>VLOC     | 318.0        | 55.0    | 0.266      | 84.5         | 57.0      | 1.04    |
| 超大型バルカー<br>(Capesize) | 279.0        | 45.0    | 0.269      | 75.1         | 52.6      | 1.17    |
| 10万DWTクラス<br>バルクキャリア  | 236.0        | 38.0    | 0.260      | 61.3         | 42.3      | 1.11    |
| 大型バルカー<br>(Panamax)   | 216.0        | 32.3    | 0.269      | 58.1         | 41.9      | 1.30    |
| 1万TEUクラス<br>コンテナ船     | 318.3        | 45.8    | 0.268      | 85.2         | 62.3      | 1.36    |
| 6千TEUクラス<br>コンテナ船     | 283.8        | 40.0    | 0.266      | 75.5         | 55.5      | 1.39    |

4.3 行き会い影響対応幅員 $W_c$ の試算結果

対象3船型の行き会い影響対応幅員 $W_c$ の試算結果を以下に示す。

(1)行き会い状態において船体に働く横力及び回転モーメントの試算結果

図-3.19より、 $S_{Pc}/L=0.3, 0.4, 0.5$ に対応した $C_M(=C_{Mc})$ の最大値は表-4.22に示すとおり読み取ることができる。

(2)平衡状態での運動方程式に基づく当舵角 $\delta$ の試算結果

式(35)による、対象3船型の $S_{Pc}/L=0.3, 0.4, 0.5$ における当舵角 $\delta$ の試算結果を表-4.23～表-4.25に示す。

表-4.22  $C_M(=C_{Mc})$ の読み取り値

|                | $S_{Pc}/L$ |       |       |
|----------------|------------|-------|-------|
|                | 0.3        | 0.4   | 0.5   |
| $C_M(=C_{Mc})$ | 0.023      | 0.015 | 0.011 |

表-4.23 当舵角 $\delta$ の試算結果 (30万DWTトンクラスVLOC)

|              | $S_{Pc}/L$ |         |         |
|--------------|------------|---------|---------|
|              | 0.3        | 0.4     | 0.5     |
| $C_{Mc}$     | 0.023      | 0.015   | 0.011   |
| $Y'_\beta$   | 1.689      | 1.689   | 1.689   |
| $N'_\beta$   | 0.585      | 0.585   | 0.585   |
| $Y'_\delta$  | -0.0730    | -0.0730 | -0.0730 |
| $N'_\delta$  | 0.0365     | 0.0365  | 0.0365  |
| $\delta$ (°) | 36.106     | 23.547  | 17.268  |

(3)必要当舵角が $15^\circ$ となる行き会い影響対応幅員 $W_c$ の試算結果

ここで、行き会い影響対応幅員 $W_c$ を求めるために必要となるのは、当舵角 $\delta=15^\circ$ に対応する $S_{Pc}/L$ の値であるが、表-4.23～表-4.25に示した $S_{Pc}/L$ に対応する当舵角 $\delta$ の試算結果は $\delta=15^\circ$ となっていない。そこで図-4.4～図-4.6に示す回帰式を作成し、対象3船型の当舵角 $\delta=15^\circ$ に対応する $S_{Pc}/L$ を求めた。

さらに、その結果から式(36)により、行き会い影響対応幅員 $W_c$ を試算した。その結果を表-4.26に示す。なお、比較対象3船型の値も表中に併記する。

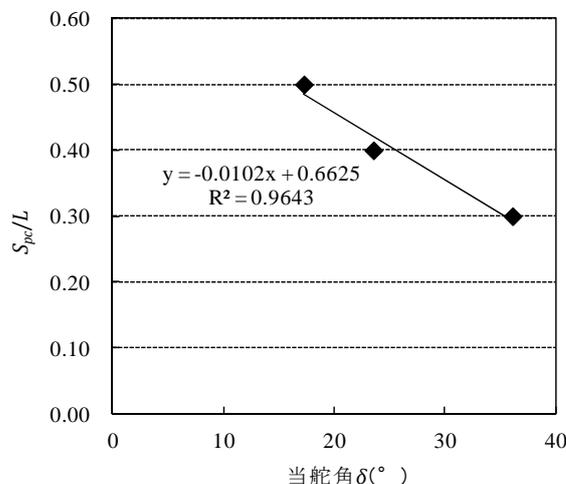


図-4.4  $S_{Pc}/L-\delta$  (30万DWTクラスVLOC)

表-4.24 当舵角 $\delta$ の試算結果 (10万DWTクラスバルクキャリア)

|               | $S_{Pc}/L$ |         |         |
|---------------|------------|---------|---------|
|               | 0.3        | 0.4     | 0.5     |
| $C_{Mc}$      | 0.023      | 0.015   | 0.011   |
| $Y'_{\beta}$  | 1.591      | 1.591   | 1.591   |
| $N'_{\beta}$  | 0.543      | 0.543   | 0.543   |
| $Y'_{\delta}$ | -0.0794    | -0.0794 | -0.0794 |
| $N'_{\delta}$ | 0.0397     | 0.0397  | 0.0397  |
| $\delta$ (°)  | 33.180     | 21.639  | 15.868  |

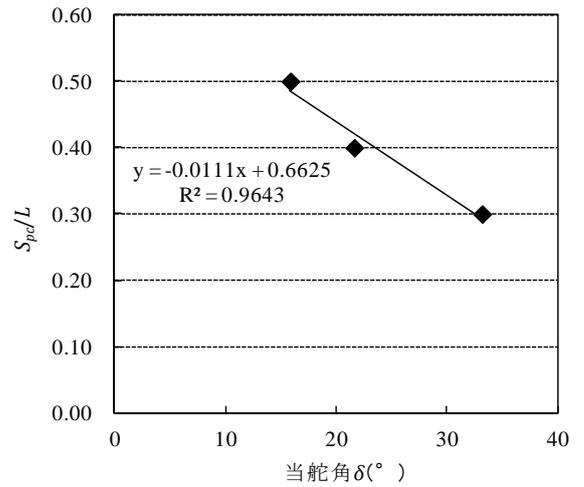


図-4.5  $S_{Pc}/L-\delta$  (10万DWTクラスバルクキャリア)

表-4.25 当舵角 $\delta$ の試算結果 (1万TEUクラスコンテナ船)

|               | $S_{Pc}/L$ |         |         |
|---------------|------------|---------|---------|
|               | 0.3        | 0.4     | 0.5     |
| $C_{Mc}$      | 0.023      | 0.015   | 0.011   |
| $Y'_{\beta}$  | 1.252      | 1.252   | 1.252   |
| $N'_{\beta}$  | 0.416      | 0.416   | 0.416   |
| $Y'_{\delta}$ | -0.0691    | -0.0691 | -0.0691 |
| $N'_{\delta}$ | 0.0345     | 0.0345  | 0.0345  |
| $\delta$ (°)  | 38.152     | 24.882  | 18.246  |

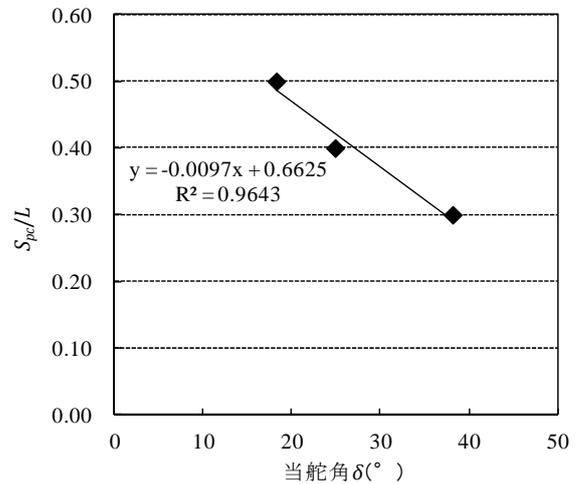


図-4.6  $S_{Pc}/L-\delta$  (1万TEUクラスコンテナ船)

表-4.26 行き会い影響対応幅員 $W_c$ の試算結果

| 船型                | $L_{PP}$ (m) | $B$ (m) | $S_{Pc}/L$ | $S_{Pc}$ (m) | $W_c$ (m) | $W_c/B$ |
|-------------------|--------------|---------|------------|--------------|-----------|---------|
| 30万DWTクラスVLOC     | 318.0        | 55.0    | 0.510      | 162.0        | 107.0     | 1.95    |
| 超大型バルカー(Capesize) | 279.0        | 45.0    | 0.516      | 143.8        | 98.8      | 2.20    |
| 10万DWTクラスバルクキャリア  | 236.0        | 38.0    | 0.496      | 117.1        | 79.1      | 2.08    |
| 大型バルカー(Panamax)   | 216.0        | 32.3    | 0.516      | 111.3        | 79.0      | 2.45    |
| 1万TEUクラスコンテナ船     | 318.3        | 45.8    | 0.517      | 164.6        | 118.8     | 2.59    |
| 6千TEUクラスコンテナ船     | 283.8        | 40.0    | 0.511      | 145.0        | 105.0     | 2.63    |

#### 4.4 追い越し影響対応幅員 $W_{ov}$ の試算結果

対象3船型の追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  の試算結果を以下に示す。

(1) 追い越し状態において船体に働く横力・回転モーメントの試算結果

図-3.22より、 $S_{Pov}/L=0.5, 0.6, 0.7$ に対応した $C_M(=C_{Mov})$ 値は表-4.27に示すとおり読み取ることができる。

(2) 平衡状態の運動方程式に基づく当舵角 $\delta$ の試算結果

式(40)による、対象3船型の $S_{Pov}/L=0.5, 0.6, 0.7$ における当舵角 $\delta$ の試算結果を表-4.28~表-4.30に示す。

(3) 必要当舵角が $15^\circ$ となる追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  の試算結果

ここで、追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  を求めるために必要となるのは、当舵角 $\delta=15^\circ$ に対応する $S_{Pov}/L$ の値であるが、表-4.28~表-4.30に示した $S_{Pov}/L$ に対応する当舵角 $\delta$ の試算結果は $\delta=15^\circ$ となっていない。そこで図-4.7~図-4.9に示す回帰式を作成し、対象3船型の当舵角 $\delta=15^\circ$ に対応する $S_{Pov}/L$ を求めた。

さらに、その結果から式(41)により、追い越し影響対応幅員  $W_{ov}$  を試算した。その結果を表-4.31に示す。なお、比較対象3船型の値も表中に併記する。

表-4.27  $C_M(=C_{Mov})$ の読み取り値

|                 | $S_{Pc}/L$ |         |         |
|-----------------|------------|---------|---------|
|                 | 0.5        | 0.6     | 0.7     |
| $C_M(=C_{Mov})$ | -0.0190    | -0.0144 | -0.0111 |

表-4.28 当舵角 $\delta$ の試算結果 (30万 DWT トンクラス VLOC)

|              | $S_{Pov}/L$ |         |         |
|--------------|-------------|---------|---------|
|              | 0.5         | 0.6     | 0.7     |
| $C_{mov}$    | -0.019      | -0.014  | -0.011  |
| $Y'_\beta$   | 1.689       | 1.689   | 1.689   |
| $N'_\beta$   | 0.585       | 0.585   | 0.585   |
| $Y'_\delta$  | -0.0730     | -0.0730 | -0.0730 |
| $N'_\delta$  | 0.0365      | 0.0365  | 0.0365  |
| $\delta$ (°) | 29.826      | 22.605  | 17.425  |

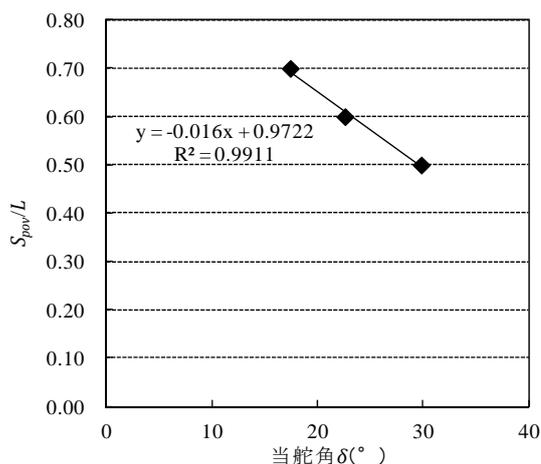


図-4.7  $S_{Pov}/L-\delta$  (30万 DWT クラス VLOC)

表-4.29 当舵角 $\delta$ の試算結果 (10万 DWT クラスバルクキャリア)

|              | $S_{Pov}/L$ |         |         |
|--------------|-------------|---------|---------|
|              | 0.5         | 0.6     | 0.7     |
| $C_{mov}$    | -0.019      | -0.014  | -0.011  |
| $Y'_\beta$   | 1.591       | 1.591   | 1.591   |
| $N'_\beta$   | 0.543       | 0.543   | 0.543   |
| $Y'_\delta$  | -0.0794     | -0.0794 | -0.0794 |
| $N'_\delta$  | 0.0397      | 0.0397  | 0.0397  |
| $\delta$ (°) | 27.409      | 20.773  | 16.013  |

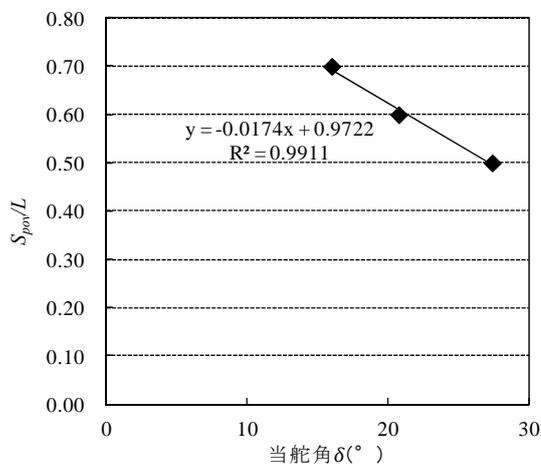


図-4.8  $S_{Pov}/L-\delta$  (10万 DWT クラスバルクキャリア)

表-4.30 当舵角 $\delta$ の試算結果 (1万TEUクラスコンテナ船)

|              | $S_{Pov}/L$ |         |         |
|--------------|-------------|---------|---------|
|              | 0.5         | 0.6     | 0.7     |
| $C_{mov}$    | -0.019      | -0.014  | -0.011  |
| $Y'_\beta$   | 1.252       | 1.252   | 1.252   |
| $N'_\beta$   | 0.416       | 0.416   | 0.416   |
| $Y'_\delta$  | -0.0691     | -0.0691 | -0.0691 |
| $N'_\delta$  | 0.0345      | 0.0345  | 0.0345  |
| $\delta$ (°) | 31.517      | 23.886  | 18.412  |

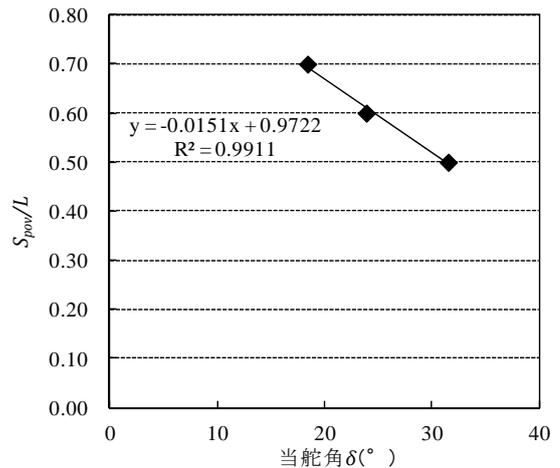


図-4.9  $S_{Pov}/L-\delta$  (1万TEUクラスコンテナ船)

表-4.31 追い越し影響対応幅員 $W_{ov}$ の試算結果

| 船型                 | $L_{PP}$ (m) | $B$ (m) | $S_{Pov}/L$ | $S_{Pov}$ (m) | $W_{ov}$ (m) | $W_{ov}/B$ |
|--------------------|--------------|---------|-------------|---------------|--------------|------------|
| 30万DWTクラスVLOC      | 318.0        | 55.0    | 0.732       | 232.8         | 177.8        | 3.23       |
| 超大型バルカー (Capesize) | 279.0        | 45.0    | 0.743       | 207.2         | 162.2        | 3.60       |
| 10万DWTクラスバルクキャリア   | 236.0        | 38.0    | 0.711       | 167.8         | 129.8        | 3.42       |
| 大型バルカー (Panamax)   | 216.0        | 32.3    | 0.744       | 160.7         | 128.4        | 3.98       |
| 1万TEUクラスコンテナ船      | 318.3        | 45.8    | 0.746       | 237.4         | 191.6        | 4.18       |
| 6千TEUクラスコンテナ船      | 283.8        | 40.0    | 0.737       | 209.1         | 169.1        | 4.23       |

4.5 必要航路幅員 $W$ の試算結果

式(2), 式(3)及び式(4)による, 本研究で仮定した航行環境条件における対象3船型の必要航路幅員 $W$ の試算結果を表-4.32に示す. また, 現行の「技術基準」に記載されている比較3船型の参考値を用いて試算した結果も併記する.

1万TEUクラスコンテナ船では, 本研究での試算結果と比較3船型の参考値による試算結果は同程度であった. 一方で, 30万DWTクラスVLOCと10万DWTクラスバルクキャリアでは, 本研究での試算結果が若干小さな値となった.

表-4.32 必要航路幅員 $W$ の試算結果 (上段: 本研究での試算結果, 下段: 比較3船型の参考値による試算結果)

| 船型               | $L_{O4}$ (m) | $L_{PP}$ (m) | $B$ (m) | $d$ (m) | 単航路     |            | 往復航路    |            | 往復+追い越し航路 |            |
|------------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|------------|---------|------------|-----------|------------|
|                  |              |              |         |         | $W$ (m) | $W/L_{O4}$ | $W$ (m) | $W/L_{O4}$ | $W$ (m)   | $W/L_{O4}$ |
| 30万DWTクラスVLOC    | 327.0        | 318.0        | 55.0    | 21.4    | 269.0   | 0.82       | 531.0   | 1.62       | 1,196.6   | 3.66       |
|                  |              |              |         |         | 283.4   | 0.87       | 559.2   | 1.71       | 1,265.7   | 3.87       |
| 10万DWTクラスバルクキャリア | 240.0        | 236.0        | 38.0    | 14.5    | 194.0   | 0.81       | 382.5   | 1.59       | 861.1     | 3.59       |
|                  |              |              |         |         | 208.0   | 0.87       | 410.4   | 1.71       | 931.3     | 3.88       |
| 1万TEUクラスコンテナ船    | 336.0        | 318.3        | 45.8    | 14.0    | 266.9   | 0.79       | 527.8   | 1.57       | 1,195.3   | 3.56       |
|                  |              |              |         |         | 267.6   | 0.80       | 528.3   | 1.57       | 1,196.4   | 3.56       |

## 5. 結論

本研究は、超大型船を対象として、船舶諸元値を収集整理し、「技術基準」で規定されている、第2区分の性能照査による必要航路幅員の算定手法に基づき、船体微係数等パラメータの算定及び必要航路幅員の試算を行ったものである。本研究の結論は以下のとおり。

(1)30万 DWT クラス VLOC, 10万 DWT クラスバルクキャリア, 1万 TEU クラスコンテナ船の3船型について、航路諸元の算定に必要な船体諸元値を収集し、その船型が類似船階級において概ね標準的なものあることを確認した上で、船体微係数等のパラメータの算定を行った。

(2) 上記(1)の算定結果を用いて必要航路幅員の試算を行い、対象3船型について、第2区分の性能照査が可能となることを確認した。

今後の課題としては、本研究の成果を基に、超大型船の入港が見込まれる国際バルク戦略港湾等を対象とした、実際の港湾における航行条件や自然条件等を考慮したケーススタディが必要である。また、航路計画においては、航路幅員の他に航路水深や航路法線（屈曲部）の検討も必要であることから、これらについても、超大型船に対応した算定手法を検討することが必要である。

以上のケーススタディ等を経て、今後「技術基準」に掲載する超大型船についての算定例及び参考値を決定する予定である。

(2012年8月31日受付)

## 謝辞

本研究に際して、株式会社日本海洋科学の中村コンサルタントグループ統括部長、伊藤コンサルタントグループ計画部長には船舶諸元データの収集にご協力を頂きました。また、東京海洋大学の大津特任教授、岡崎准教授、北海道大学の芳村教授、東海大学の津金主任教授、港湾空港技術研究所の高橋特別研究官からは貴重なご助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

1) (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

- 2) 小瀬邦治, 湯室彰規, 芳村康男: 操船運動の数学モデルの具体化 [船体・プロペラ・舵の相互干渉とその表現], 日本造船学会第3回操縦性シンポジウムテキスト, p35, 1981
- 3) 平野雅祥, 高品純志, 森谷周行, 中村喜昭: An Experimental Study on Maneuvering Hydrodynamic Forces in Shallow Water, 西部造船学会々報, 第69号, 1985
- 4) 藤井斉, 津田達夫: 自航模型船による舵特性の研究(2), 造船協会論文集, 第110号, 1961
- 5) 山野惟夫, 斉藤泰夫: 船体に働く風圧力の一推定法, 関西造船協会誌, 第228号, 1997
- 6) 西日本港湾運航技術研究会: 航路計画調査 (長大航路における航路幅員決定法について), 1977
- 7) 貴島勝郎, 何青: 側壁近くを航行する船の操船運動, 日本造船学会論文集, 第162号, 1983
- 8) 貴島勝郎, 野中晃二: 制限水域における船の操縦性, 日本造船学会第3回操縦性シンポジウム, 1981
- 9) 貴島勝郎, 安川宏紀: 狭水路中を航行する船の操船性能, 日本造船学会論文集, 第156号, 1984
- 10) Chun-Ki LEE and Katsuro KIJIMA: On the Safe Navigation Including the Interaction Force Between Ship and Ship, 西日本造船会々報, 第104号, 2002
- 11) 国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部: 次世代の航路計画基準 (2007), 2007

---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 696                      September 2012

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:046-844-5019