

### 3 計画法線（案）等の導入に伴う操船安全性の整理（操船シミュレーション結果）

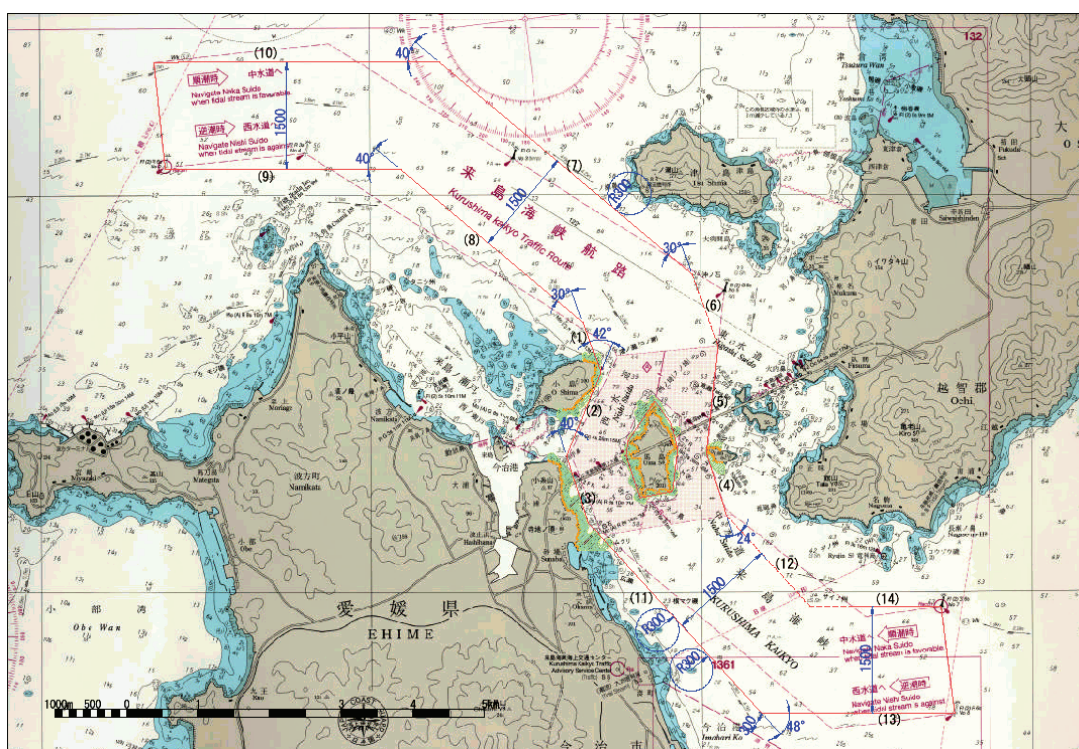
#### 3.1 操船シミュレーション方案

##### 3.1.1 操船シミュレーションの方針

計画法線（案）の形状に係る検討は、平成 14 年から 2 カ年にわたり（公社）日本港湾協会において検討がなされ、計画法線（案）は現状航路に比べて航路の屈曲を緩やかにし通航の安全性を高める効果の高いことが確認された。また、平成 25 年 1 月に実施した事前シミュレーション（四国地方整備局 松山港湾・空港整備事務所）においても操船者及び立会者の意見から計画法線（案）は現状の航路法線に比べて操船の安全性が高まるとの意見も出されている。

本シミュレーションの目的は、計画法線（案）を環境条件の一つとしてとらえ、その環境下において順中逆西の航法を解消した場合の操船の可能性と安全性を主眼に検討するものである。

現在、来島海峡航路では順中逆西の航法により北流時には右側通航、南流時には左側通航となっている。そのため、本シミュレーションにおいては、主な対象流況を南流時とし、順潮時の西水道航行または逆潮時の中水道航行を中心に検討する。



出典：公益社団法人日本港湾協会 平成 15 年度瀬戸内海航路計画調査成果報告書

参考：『海図 W104 来島海峡及び付近 平成 12 年 11 月刊行 海上保安庁』

図 3.1.1-1 計画法線（案）

操船シミュレーションにおける検討内容としては、以下に示すように、まずは西水道南流時における単独航行（1隻のみの航行）の可能性を十分に検討する必要がある。この単独航行の可能性は事前シミュレーションにおいても実施されていることから、その結果も踏まえた検討が望ましい。

また、実際の運航を見据えた通航可能性について検討する必要がある。すなわち、実際の通峽では他の船舶も通航しており、それらによる操船影響を考慮する必要がある。また、潮流の設定についても現実的な（将来的な）運用を踏まえた設定が必要になる。

さらに、上記検討結果を踏まえた航行支援設備の安全効果などについて検討する必要がある。このように、操船シミュレーションの条件は、これら検討段階を踏まえた設定が必要である。

表 3.1.1-1 操船シミュレーション検討内容

|  |  |                         |
|--|--|-------------------------|
| <p><u>単独航行の可能性</u><br/>操船者、船舶、潮流、夜間、<br/>(航路ブイ)<br/>⇒単独航行可能な潮流条件</p> | <p><u>実際の運航を踏まえた通航の可能性</u><br/>他の船舶の通航を考慮<br/>現実的な運用を踏まえた潮流設定<br/>⇒安全な航行に必要な運用対策</p> | <p><u>航行支援設備の検討</u></p> |
|--|--|-------------------------|

操船シミュレーションにおける条件を検討する際、来島海峡の流況はもちろんであるが、対象とする船舶や操縦性、交通環境、さらには操船者の技量なども考慮する必要がある。

表 3.1.1-2 操船シナリオを検討するうえで考慮すべき要素

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| 操船者 | 操船の技術／来島海峡における知識／通航経験 |
| 船舶  | 操縦性能／大きさ／種類           |
| 環境  | 自然環境／交通環境／航行支援        |

(1) 操船者（操船の技術／来島海峡における知識／通航経験）

事前シミュレーションでは水先人による操船を実施し、その結果、水先人の来島海峡における流況に関する知識、豊富な通峽経験にもとづく操船等により強潮流下においても通航することができた。しかしながら、水先人の乗船割合では、2万総トンの大型船においても、水先人が乗船しない船舶が2～3割を占める実態がある（1万～2万総トン：約8割）。したがって、シミュレーションの条件設定においては、このような実態を踏まえて1万総トン以上の大型船における一般船長の操船についても考慮する必要がある。

(2) 船舶（操縦性能／大きさ／種類）

船舶の操船性は、船の大きさや種類によっても異なることからシミュレーションにおいて想定する船種や船型については幅広く考慮する必要がある。事前シミュレーションでは風の影響や大型船の操船性など考慮し、自動車専用船と巨大船を想定したバルクキャリアで実施した。これら船舶の操縦性能は一般的に運航される船舶の性能を反映したものであるが、水先人によれば操縦性の劣る大型船のきょう導実績があることから、そのような実態を踏まえた船舶についても考慮

する必要がある。

### (3) 環境（自然環境／交通環境／航行支援）

シミュレーションにおいて想定する自然環境（風況、流況、昼夜間）は、検討の段階に応じて設定する必要がある。単独航行の可能性の検討においては、強潮流、強風など厳しい環境設定が必要であり、実際の運航を見据えた通航可能性の検討では、より現実的な潮流設定が必要である。

交通環境についても同様で、単独航行の可能性の検討では実態を反映した他船交通流の設定の必要はなく（事前シミュレーションでは臨場感を持たせるために設定）、現実的な運航を見据えた通航可能性の検討では、実態を踏まえた交通設定が必要である。

また、航行支援としての航行援助施設は、計画法線（案）に応じたものが望ましいことから、現行の設置基数を変更しない中央灯浮標の設置についても考慮する必要がある。

### 3.1.2 実施条件

上記に示す3要素からなるシナリオは、非常に多くの組み合わせが考えられるが、本シミュレーションでは、単独航行の可能性に主眼を置いた条件設定とする。

#### (1) 対象航路

計画法線（案）とする。

#### (2) 対象潮流

主に南流時とするが北流についても考慮する。

流速は、巨大船の通航制限となる3ノット、強潮流時を想定した6ノット、最強時とする。なお、流速値は潮流信号所の基準となる中水道の流速値とする。

※事前シミュレーションにおいて作成した流況を活用する。

#### (3) 対象水道

主に西水道における南航を対象とする。

中水道の逆潮航行時における操船の難易性も考慮する。

#### (4) 対象船舶

船舶の大きさ、種類、操縦性を考慮し、以下4船型を想定する。

##### ① VLCC

- 来島海峡航路を通峡する最大船型における西水道・中水道の航行検証

##### ② 操縦性の劣る大型船（20,000～30,000GTの貨物船もしくはバルカー）

- ※ オリジナル船の性能から舵面積3割減、舵応答速度2割減のモデルを想定

##### ③ 自動車専用船

- 一般船長による操船（水先人による事前シミュレーション時の操船結果との比較）

##### ④ 内航船（3,000～4,000GTのタンカー）

- 内航船長による操船
- 強潮時における中水道低速航行

表 3.1.2-1 モデル船の要目(1)

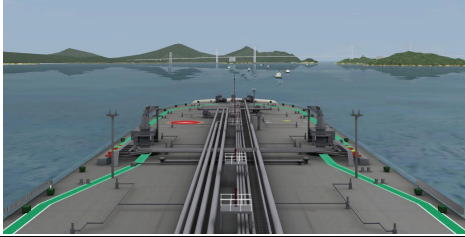
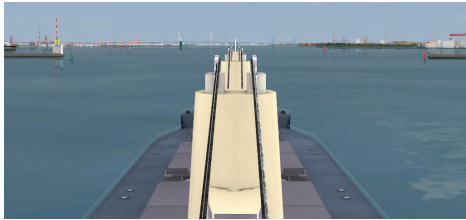
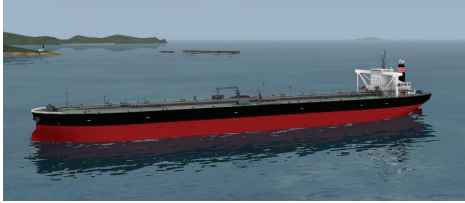
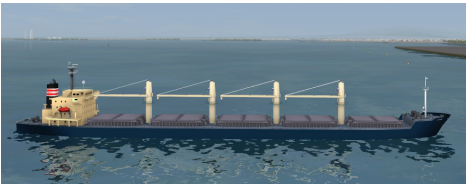
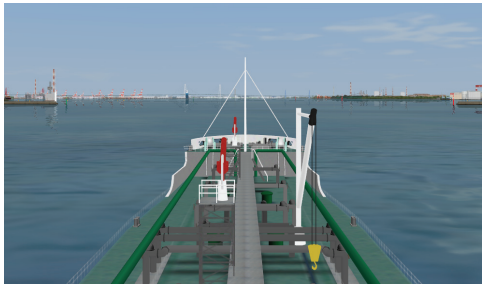
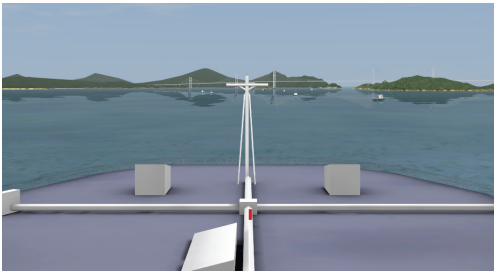


|         |   | VLCC                 | 操縦性の劣る船舶<br>(バルカー)   |
|---------|---|----------------------|--|
| 全長      |   | 330.0 m              | 187.9 m  |
| 型幅      |   | 60.0 m               | 32.26 m  |
| 喫水      | 船首  | 11.0 m               | 12.16 m  |
|         | 船尾  | 11.0 m               | 12.16 m  |
| 総トン数    |   | 152,139 GT           | 25,000 GT  |
| 排水量     |   | 177,936 MT           | 60,768 MT  |
| 受風面積    | 正面  | 1,535 m <sup>2</sup> | 471 m <sup>2</sup>   |
|         | 側面  | 6,305 m <sup>2</sup> | 1,864 m <sup>2</sup>   |
| 流圧面積    | 正面  | 671 m <sup>2</sup>   | 388 m <sup>2</sup>   |
|         | 側面  | 3,591 m <sup>2</sup> | 2,177 m <sup>2</sup>   |
| N. Full |   | 17.2 kts             | 14.7 kts   |
| Full    |   | 12.2 kts             | 10.6 kts   |
| Half    |   | 9.1 kts              | 7.8 kts  |
| Slow    |   | 5.6 kts              | 5.8 kts  |
| D. Slow |   | 3.6 kts              | 3.7 kts  |
| モデル船概観  |  |                      |  |
|         |  |                      |  |
|         |   |                      |  |
|         |   |                      |  |

表 3.1.2-2 モデル船の要目(2)

|         |   | 内航船<br>(5,000DWT タンカー) | 自動車専用船   |
|---------|---|------------------------|--|
| 全長      |   | 104.52 m               | 199.94 m   |
| 型幅      |   | 15.6 m                 | 32.26 m  |
| 喫水      | 船首  | 6.55 m                 | 9.0 m  |
|         | 船尾  | 6.55 m                 | 9.0 m  |
| 総トン数    |   | 3,478 GT               | 62,195 GT  |
| 排水量     |   | 6,938 MT               | 33,099 MT  |
| 受風面積    | 正面  | 185 m <sup>2</sup>     | 1,020 m <sup>2</sup>   |
|         | 側面  | 590 m <sup>2</sup>     | 5,927 m <sup>2</sup>   |
| 流圧面積    | 正面  | 101 m <sup>2</sup>     | 280 m <sup>2</sup>   |
|         | 側面  | 635 m <sup>2</sup>     | 1,370 m <sup>2</sup>   |
| N. Full |   | 14.3 kts               | 20.5 kts   |
| Full    |   | 12.3 kts               | 12.0 kts   |
| Half    |   | 9.2 kts                | 10.5 kts   |
| Slow    |   | 6.2 kts                | 8.0 kts  |
| D. Slow |   | 4.0 kts                | 5.7 kts  |
| モデル船概観  |  |                        |  |
|         |  |                        |  |

(5) 操船範囲

操船範囲は、図 3.1.2-1 に示すように来島海峡航路入口から水道部の屈曲部を通過するまでとする。

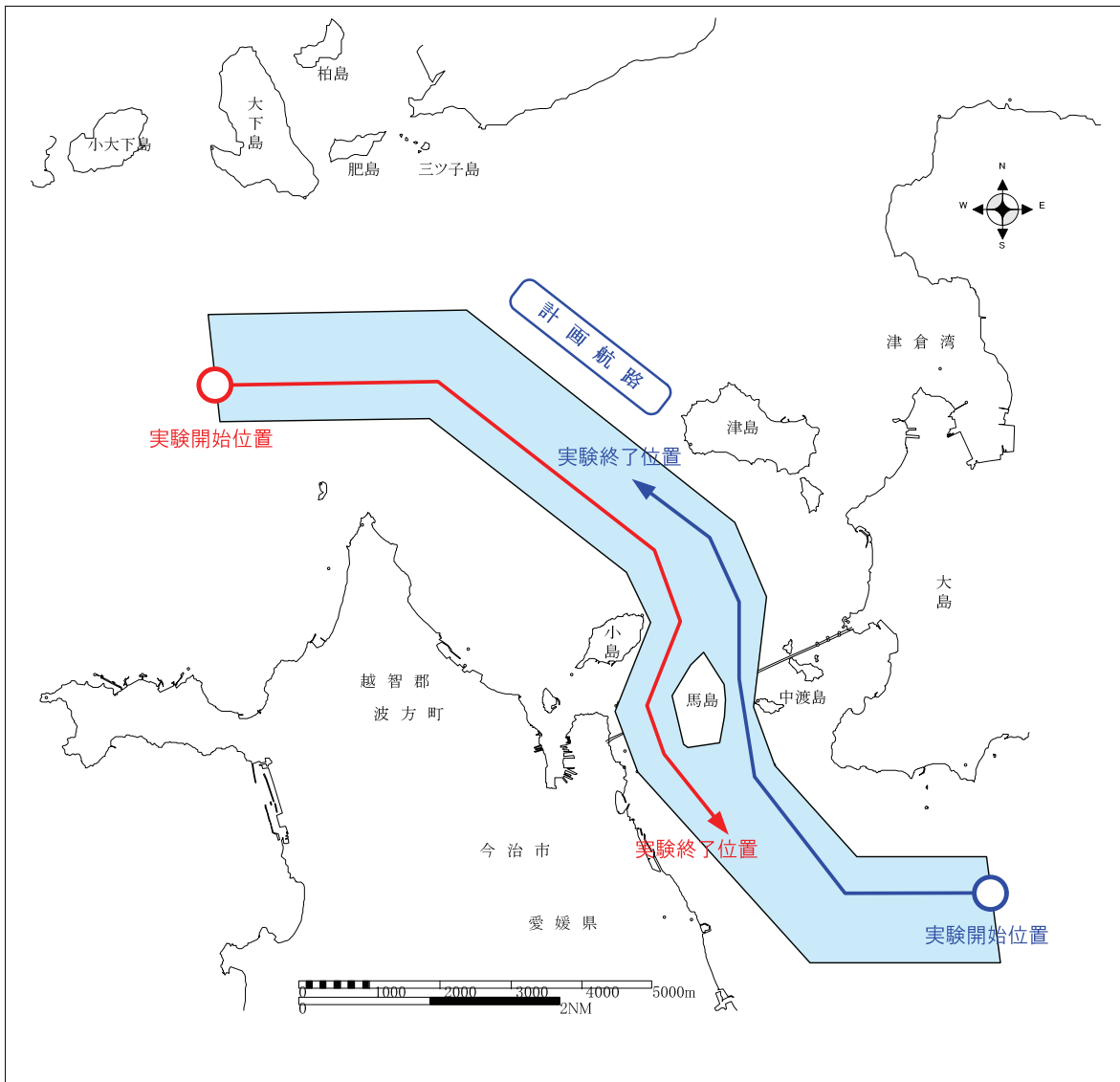


図 3.1.2-1 検証範囲

## (6) 航路標識

計画法線（案）を明示するための灯浮標は、図 3.1.2-2 に示すとおり、航路中央に設置して実施する。

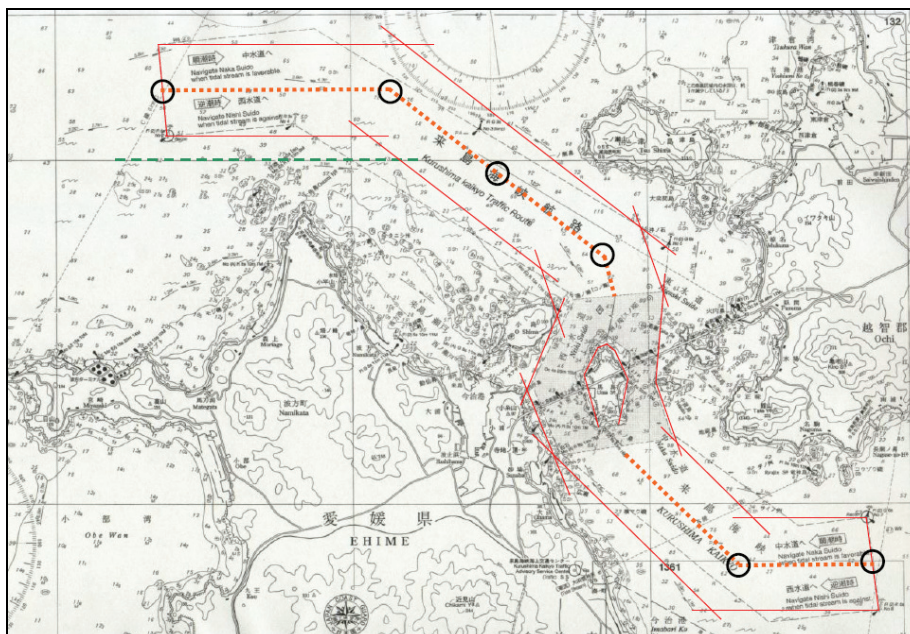


図 3.1.2-2 灯浮標位置図（航路中央設置）

## (7) 外力条件

### ① 風外力

本シミュレーションでは潮（順潮）による操船影響に主眼をおいた実験とするため、風況についてはパラメトリックに変更しないこととする。ここでは事前シミュレーションにおいて内海水先区水先人会で検討された風条件を踏まえ、NW、10m/sec（平均風速）の風を設定する。

### ② 潮流

流況の設定は、別途実施された潮流シミュレーションのデータ<sup>1</sup>に基づき、時々刻々変化する潮の流れ（流向・流速分布）を再現する。なお、流速値は表層 5m部とし、来島海峡における渦流や湧昇流など特殊な流況は、操船シミュレーションにおいて再現できないため、平面的な流況のみを対象とする。

#### a) 作成範囲

潮流の作成は来島海峡航路内を対象とし、メッシュ幅は、流況が複雑となる馬島周辺海域においては 100mとし、それ以外の海域については 200mのメッシュ幅で作成する。表 3.1.2-3 に潮流データの作成条件を示す。

<sup>1</sup> 平成 23 年度 来島海峡航路環境調査、松山港湾空港・整備事務所、平成 23 年 2 月



b) 流速条件

流速条件は、表 3.1.2-3 に示すとおり南流 3、6 ノット及び最強時ならびに北流 3、6 ノットとする。

表 3.1.2-3 潮流データの作成条件

| ケース | 潮流条件     | 備考                                 |
|-----|----------|------------------------------------|
| 1   | 南流 3 ノット | 最強時前後 1 時間 (計 2 時間分) を<br>1 分間隔に作成 |
| 2   | 南流 6 ノット |                                    |
| 3   | 最強時      |                                    |
| 4   | 北流 3 ノット |                                    |
| 5   | 北流 6 ノット |                                    |

※流速は中水道における値

図 3.1.2-3～図 3.1.2-7 に操船シミュレーションにおいて設定された流況 (変動流の一時  
間断面) を示す。

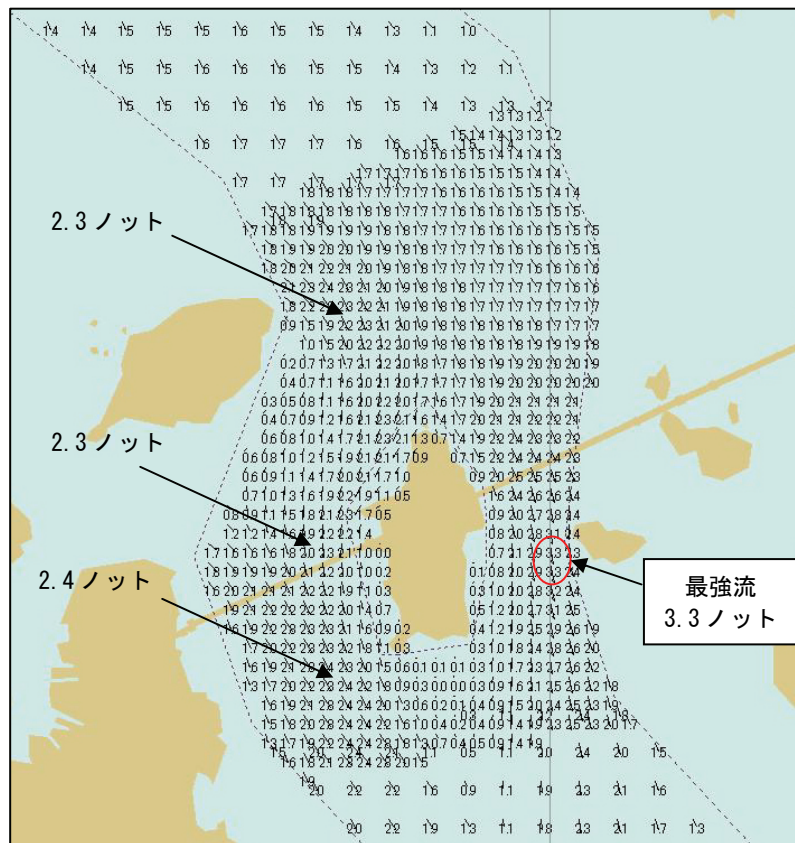


図 3.1.2-3 操船シミュレーションにおける最強時の潮流分布 (条件: 南流 3 ノット)

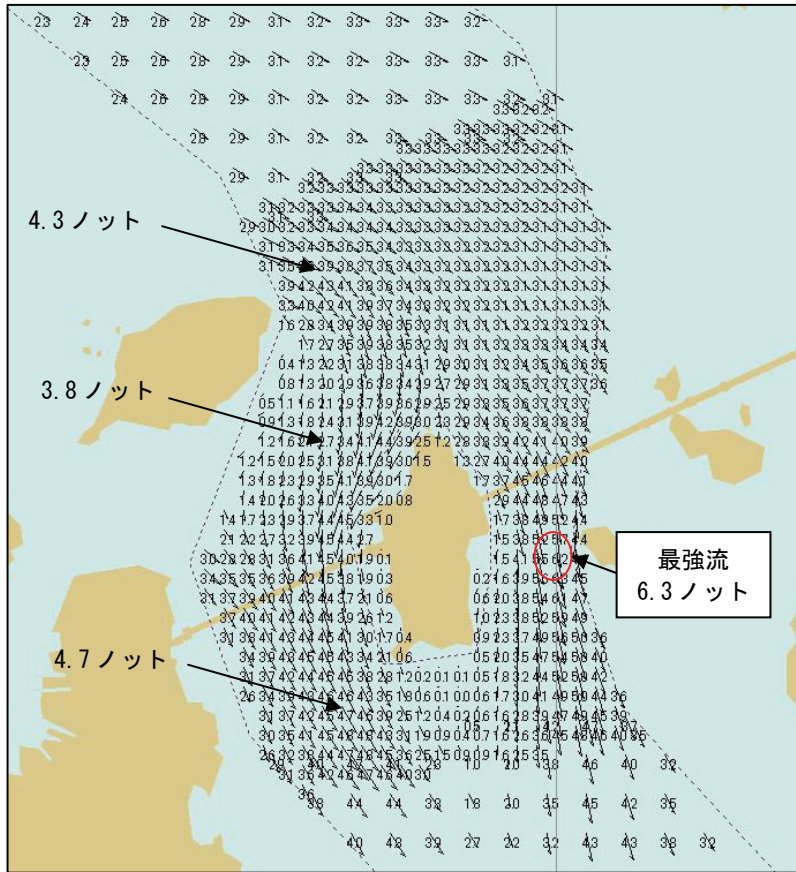


図 3.1.2-4 操船シミュレーションにおける最強時の潮流分布 (条件：南流6ノット)

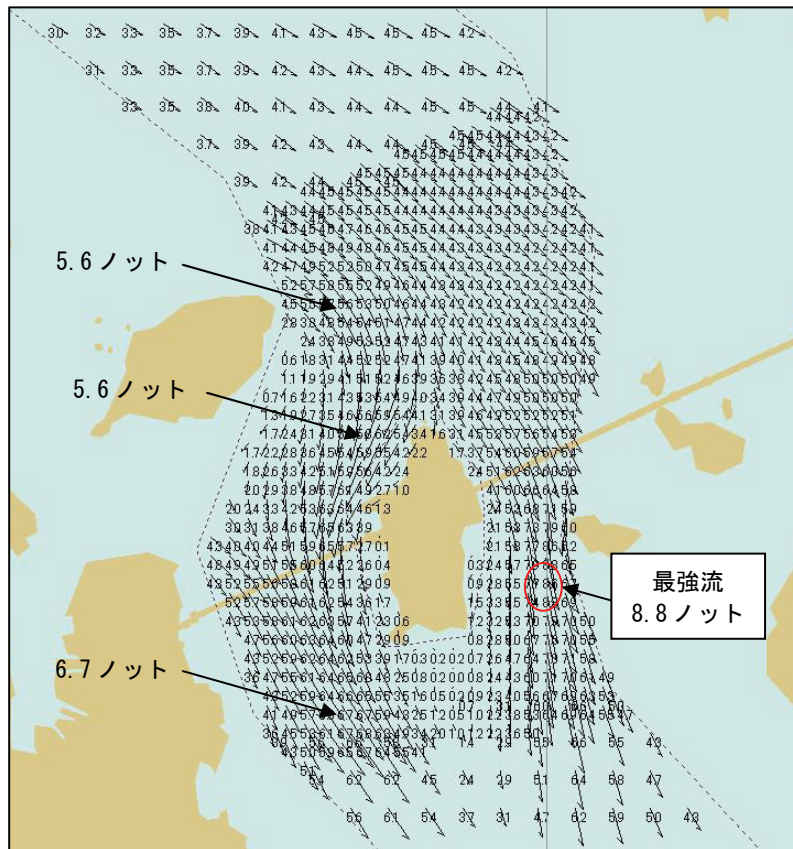


図 3.1.2-5 操船シミュレーションにおける最強時の潮流分布 (条件：南流最強時)

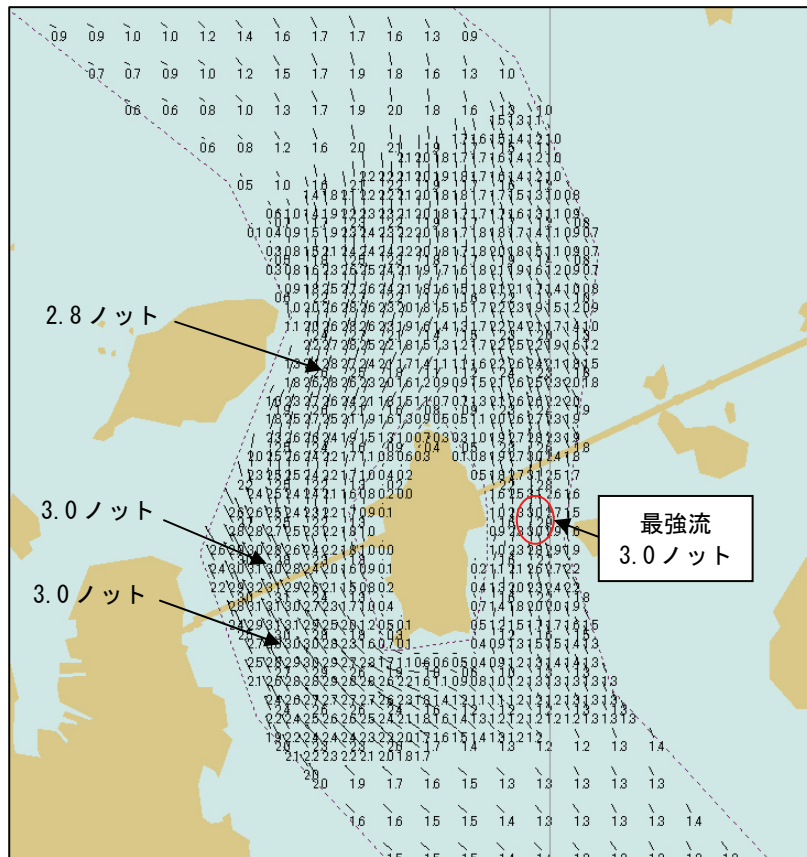


図 3.1.2-6 操船シミュレーションにおける最強時の潮流分布 (条件: 北流 3 ノット)

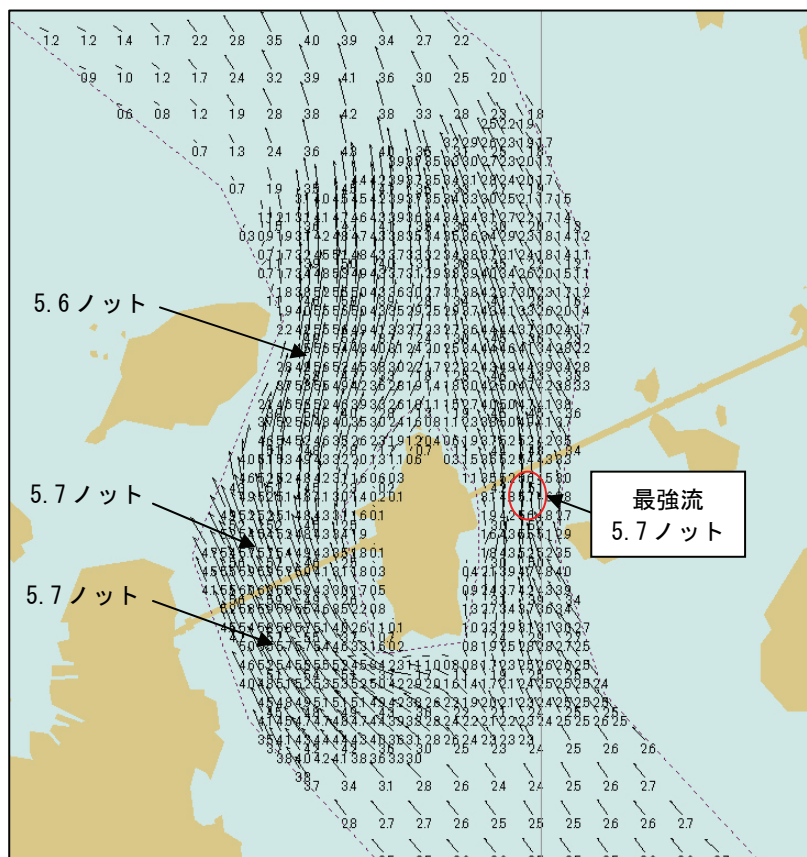


図 3.1.2-7 操船シミュレーションにおける最強時の潮流分布 (条件: 北流 6 ノット)



表 3.1.2-4 時間帯別通航隻数 (AIS 航跡データ 平成 24 年 11 月 7 日)

| 水道  | 方向 | 時刻 |    |    |   |    |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
|-----|----|----|----|----|---|----|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
|     |    | 0  | 1  | 2  | 3 | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| 西水道 | 西航 | 6  | 6  | 7  | 3 | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1  | 5  | 2  |  |
|     | 東航 | 0  | 0  | 0  | 2 | 5  | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 0  | 0  | 0  |  |
| 中水道 | 西航 | 0  | 0  | 0  | 3 | 5  | 5 | 1 | 5 | 3 | 3 | 2  | 0  | 0  |  |
|     | 東航 | 5  | 4  | 5  | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 3  | 3  |  |
| 合計  |    | 11 | 10 | 12 | 8 | 11 | 8 | 3 | 8 | 5 | 7 | 3  | 8  | 5  |  |

| 水道  | 方向 | 時刻 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
|     |    | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |  |
| 西水道 | 西航 | 2  | 1  | 5  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  |  |
|     | 東航 | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 5  | 4  | 3  | 8  | 7  | 7  |  |
| 中水道 | 西航 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 5  | 4  | 3  | 2  | 6  | 6  |  |
|     | 東航 | 3  | 4  | 7  | 5  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  |  |
| 合計  |    | 5  | 5  | 12 | 10 | 10 | 10 | 8  | 6  | 10 | 13 | 18 |  |

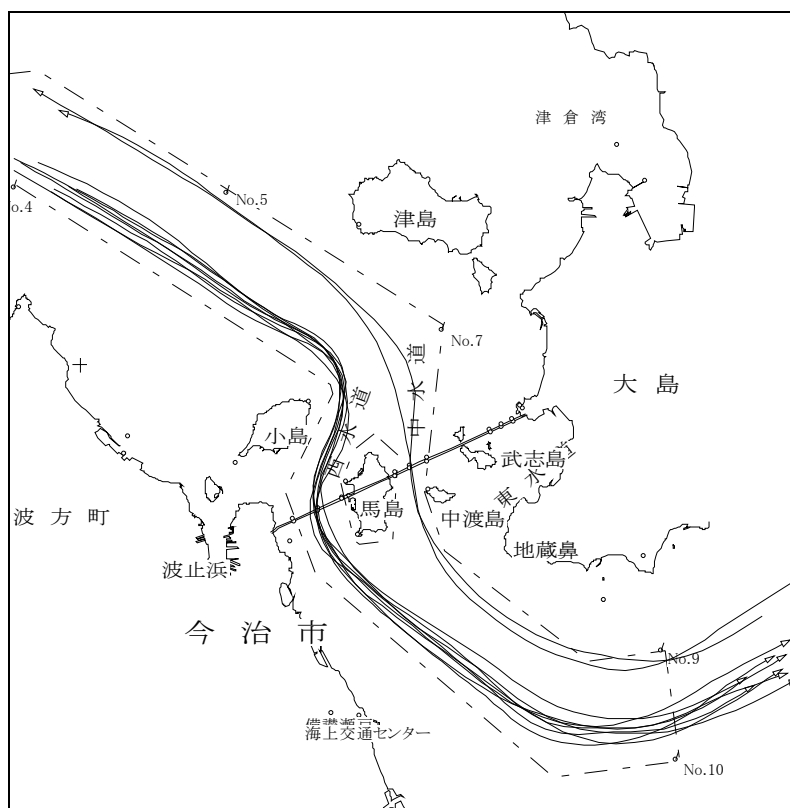


図 3.1.2-9 西水道輻輳 10 隻 (平成 24 年 11 月 7 日 2100~2200)

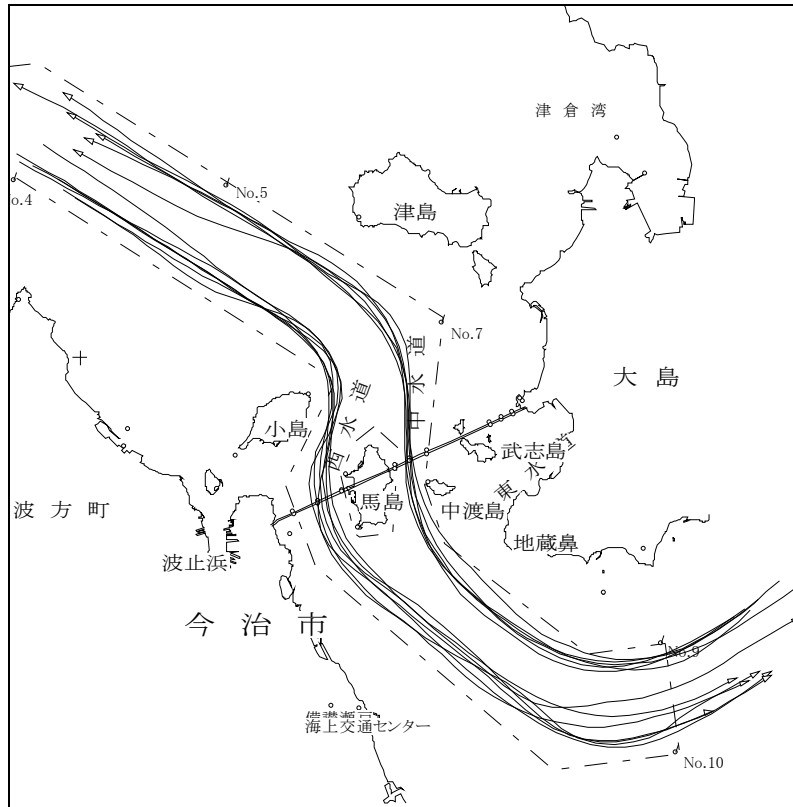


図 3.1.2-10 中水道輻輳 13 隻 (平成 24 年 11 月 7 日 2200~2300)

b) 総トン数 500 トン未満の交通データの作成

図 3.1.2-11 に船舶航行実態調査による 500 トン未満航跡 (48 時間) を示し、図 3.1.2-12 はそのうち西水道を東航し中水道を西航した航跡のみを示す。また、表 3.1.2-5 及び表 3.1.2-6 に各水道を航行した船の時間帯毎の通航隻数を示す。

西水道東航ケースは、西水道東航船が輻輳する時間帯とし、中水道西航ケースは中水道西航船が輻輳する時間帯を対象とした。

表より、西水道を東航する最輻輳時間は 11 月 10 日 21 時 (10 隻) となり、中水道を西航する最輻輳時間は 11 月 9 日 20 時 (10 隻) となる。

図 3.1.2-13 及び図 3.1.2-14 に 500 トン未満の最輻輳時間における航跡図を示す。

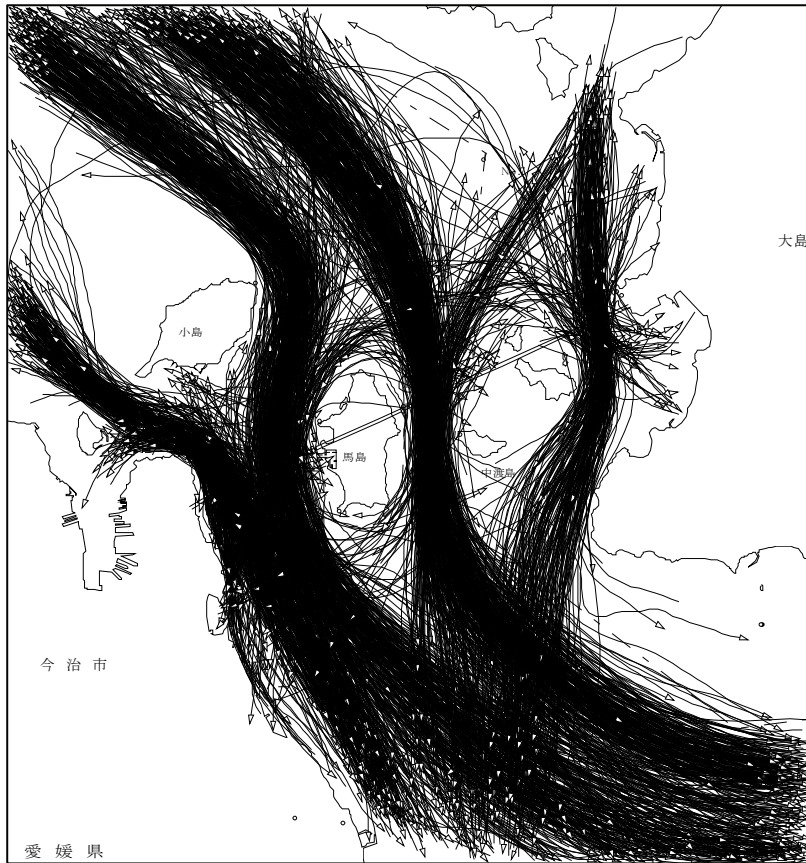


図 3.1.2-11 1994年11月9～11日 48時間 (1295隻)

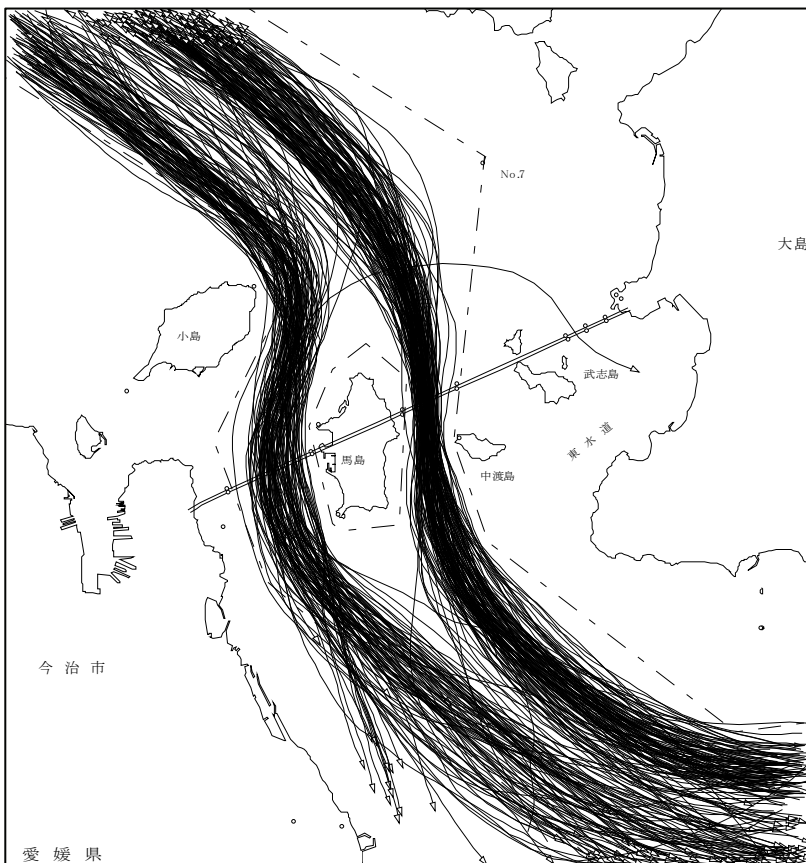


図 3.1.2-12 西水道東航及び中水道西航船のみ (西水道：102隻／中水道：124隻)

表 3.1.2-5 西水道東航船の通航隻数

|    |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 日付 | 11月9日  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 時刻 | 12     | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 隻数 | 0      | 0  | 0  | 2  | 3  | 6  | 7  | 2  | 2  | 4  | 0  | 0  |
| 日付 | 11月10日 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 時刻 | 12     | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 隻数 | 0      | 0  | 0  | 0  | 2  | 7  | 5  | 9  | 4  | 10 | 3  | 1  |

|    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 日付 | 11月10日 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 時刻 | 0      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 隻数 | 0      | 0 | 0 | 4 | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1  | 0  |
| 日付 | 11月11日 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 時刻 | 0      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 隻数 | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2  | 3  |

表 3.1.2-6 中水道西航船の通航隻数

|    |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 日付 | 11月9日  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 時刻 | 12     | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 隻数 | 0      | 0  | 0  | 1  | 9  | 6  | 5  | 9  | 10 | 5  | 0  | 0  |
| 日付 | 11月10日 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 時刻 | 12     | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 隻数 | 0      | 0  | 0  | 0  | 2  | 9  | 6  | 8  | 8  | 5  | 5  | 0  |

|    |        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|----|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 日付 | 11月10日 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 時刻 | 0      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 隻数 | 0      | 0 | 0 | 5 | 8 | 0 | 5 | 3 | 1 | 1 | 0  | 0  |
| 日付 | 11月11日 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
| 時刻 | 0      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 隻数 | 0      | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1  | 1  |



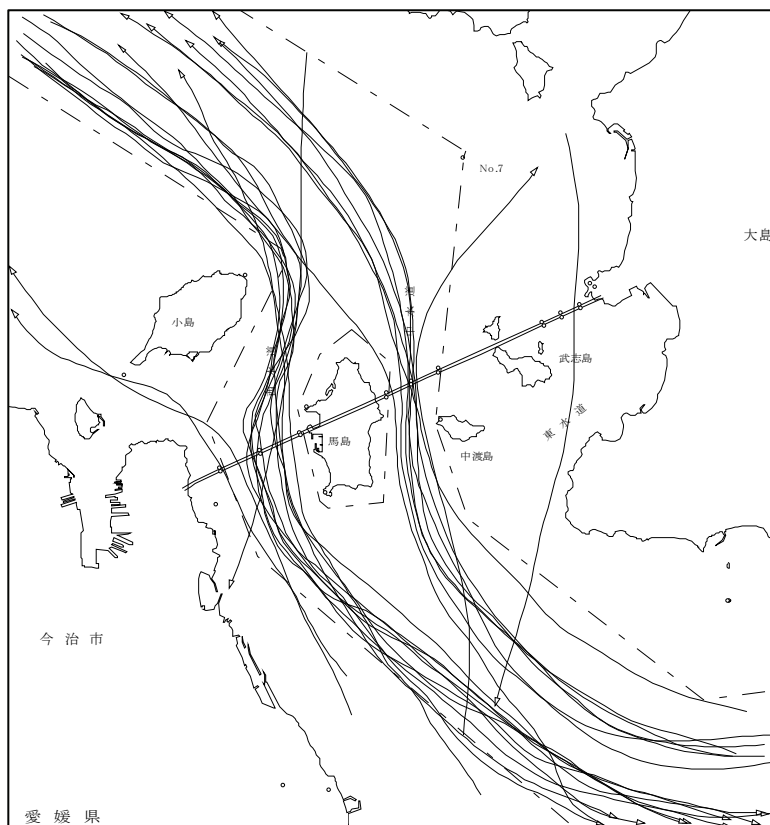


図 3.1.2-13 西水道輻輳時航跡 11月10日21時 (24隻)

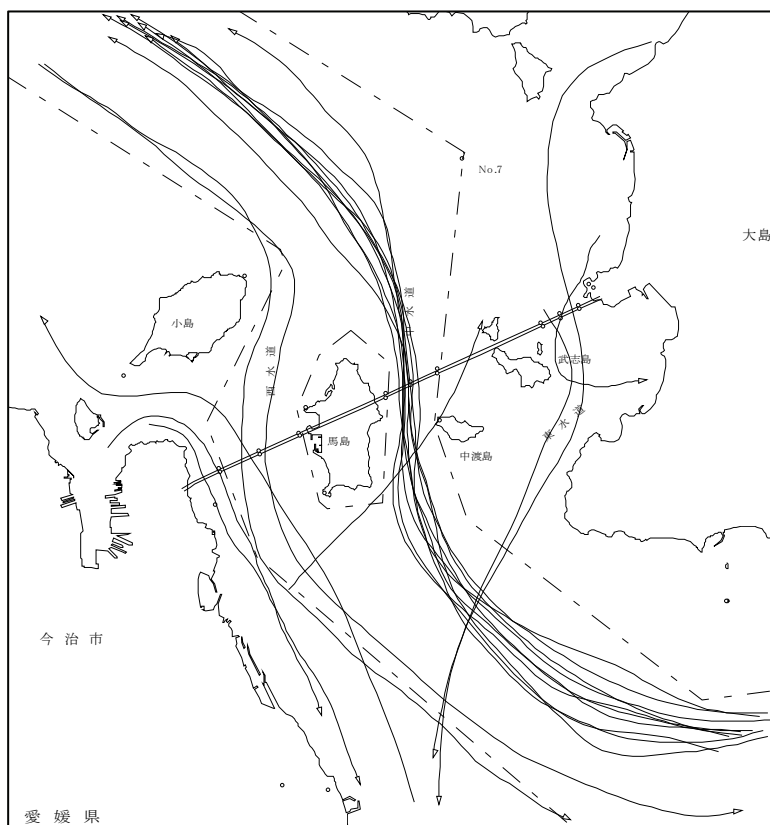


図 3.1.2-14 中水道輻輳時航跡 11月9日20時 (19隻)

## ② 交通データの作成（操船シミュレーションへの移植）

抽出された AIS 航跡及び実態航跡を合わせて操船シミュレーションデータに変換する。

図 3.1.2-15 及び図 3.1.2-16 に設定した他船交通を示す。

他船交通作成の際は以下の点を考慮した。

- イ) AIS 航跡及び実態航跡は異なる日時のデータであるため単純に重ね合わせると他船同士が衝突する可能性がある。そのため、重ね合わせた航跡を確認し衝突がないように位置及び速力を調整し、さらに対象船を配置した際に自船の操船に影響を及ぼさないよう周辺船舶の位置及び速力を調整する。
- ロ) 抽出した航跡は現状航路において航行したものであり、順潮逆西の航法にしたがった航跡結果である。したがって、計画法線（案）や実施する流速などを考慮して船舶の位置及び速力を調整する。
- ハ) 漁船（停船状態）は航行に支障のない範囲で赤丸個所に 4 隻ずつ配置した

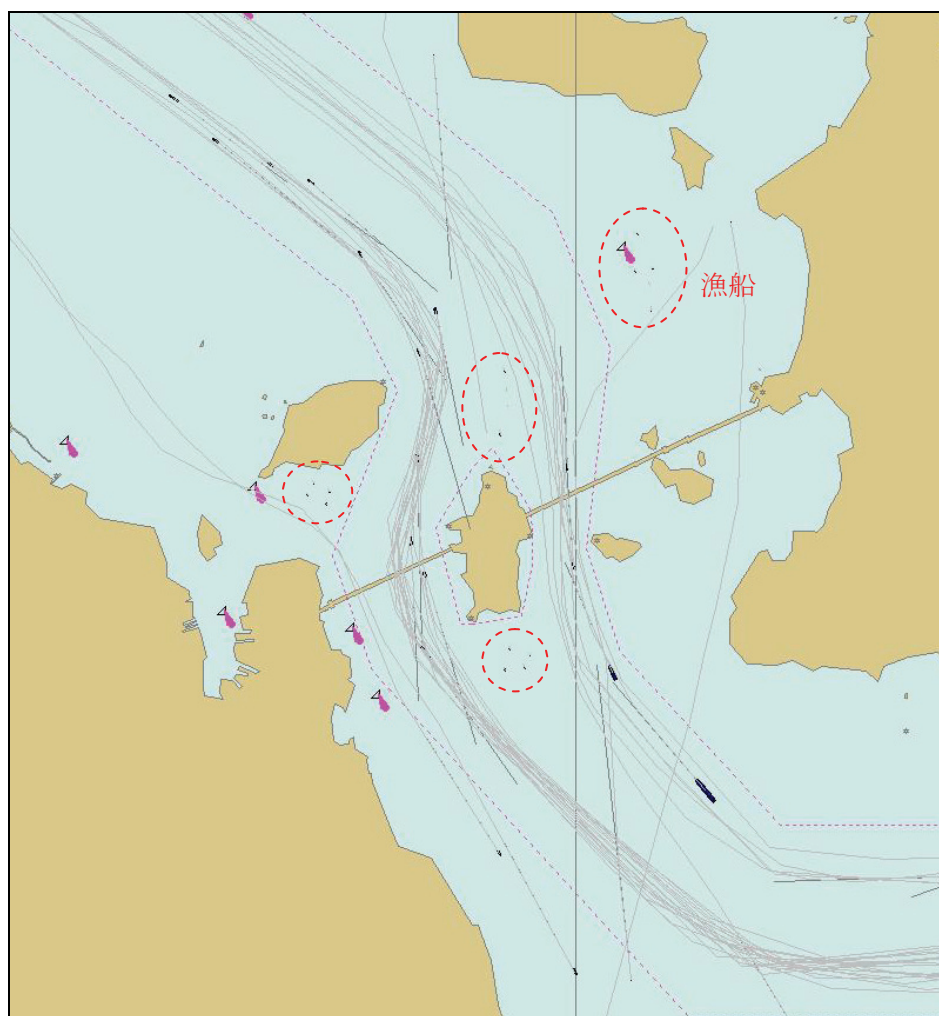


図 3.1.2-15 西水道東航ケースにおける他船交通

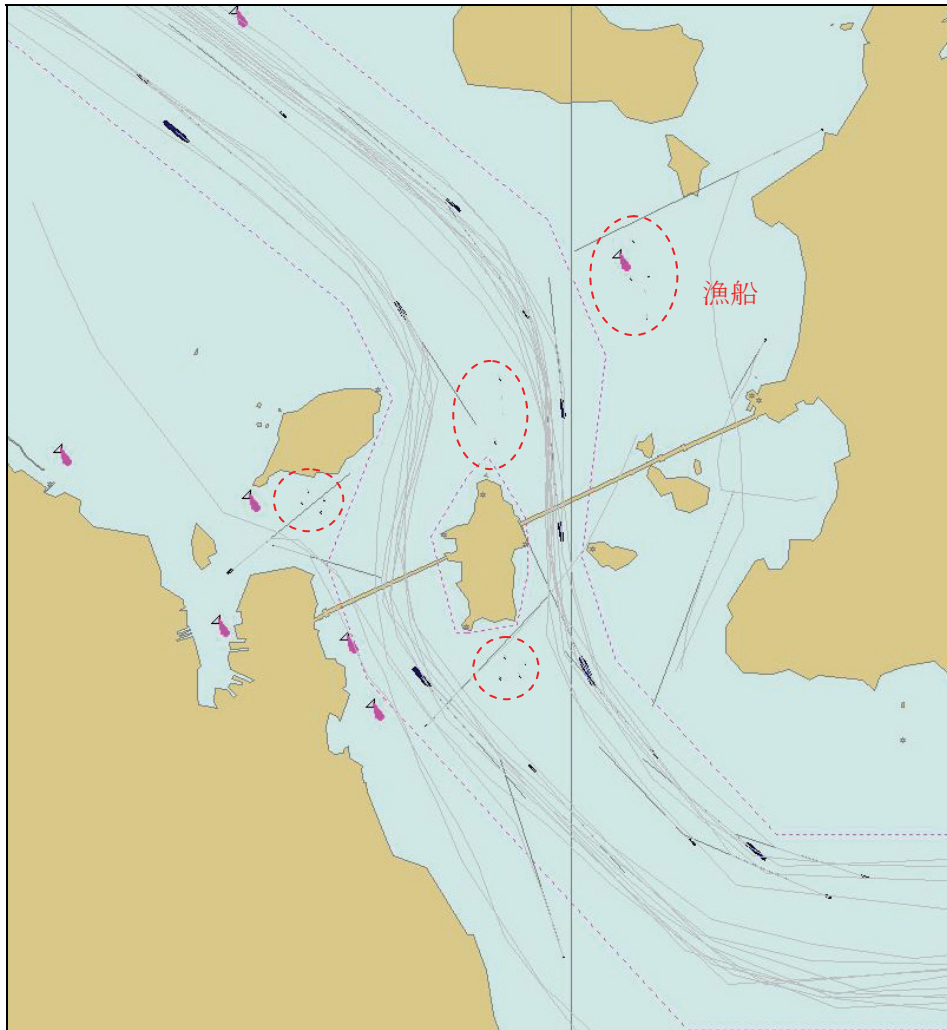


図 3.1.2-16 中水道西航ケースにおける他船交通

(9) 実施ケース (案)

実施ケース (案) を表 3.1.2-7 に示す。

表 3.1.2-7 実施ケース (案)

| ケース | 水道  | 対象船       | 流向             | 流速<br>※流速は中水道値 | 航行<br>方向 | 操船者                                    | 検証内容                           |
|-----|-----|-----------|----------------|----------------|----------|--|--------------------------------|
| 1   | 西水道 | VLCC      | 北流             | 3ノット           | 東航       | 水先人                                    | 来島海峡航路通航最大船型における順潮・逆潮時の西水道航行検証 |
| 2   |     |           | 南流             |                |          | 水先人                                    |                                |
| 3   |     | 操縦性の劣る大型船 | 北流             | 6ノット           |          | 水先人                                    | 操縦性の劣る船舶における順潮・逆潮時の西水道航行検証     |
| 4   |     |           | 南流             |                |          | 水先人                                    |                                |
| 5   | 西水道 | 自動車専用船    | 北流             | 6ノット           | 水先人      | PCCの西水道逆潮時航行の検証(事前シミュレーションの順潮操船結果との比較) |                                |
| 6   |     |           | 南流             |                |          |  | 大型船長                           |
| 7   | 中水道 | 内航船       | 南流             | 最強時<br>(約9ノット) | 西航       | 内航船長                                   | 内航船における順潮最強時の西水道航行検証           |
| 8   |     | VLCC      | 南流             | 3ノット           |          | 水先人                                    | 低速度で中水道を航行(逆潮)した場合の検証          |
| 9   |     | 操縦性の劣る大型船 |                |                |          | 6ノット                                   | 水先人                            |
| 10  |     | 内航船       | 最強時<br>(約9ノット) | 内航船長           |          | 内航船における逆潮最強時の航行検証                      |                                |

※風況は北西風(NW) 10m/sec

### 3.1.3 評価

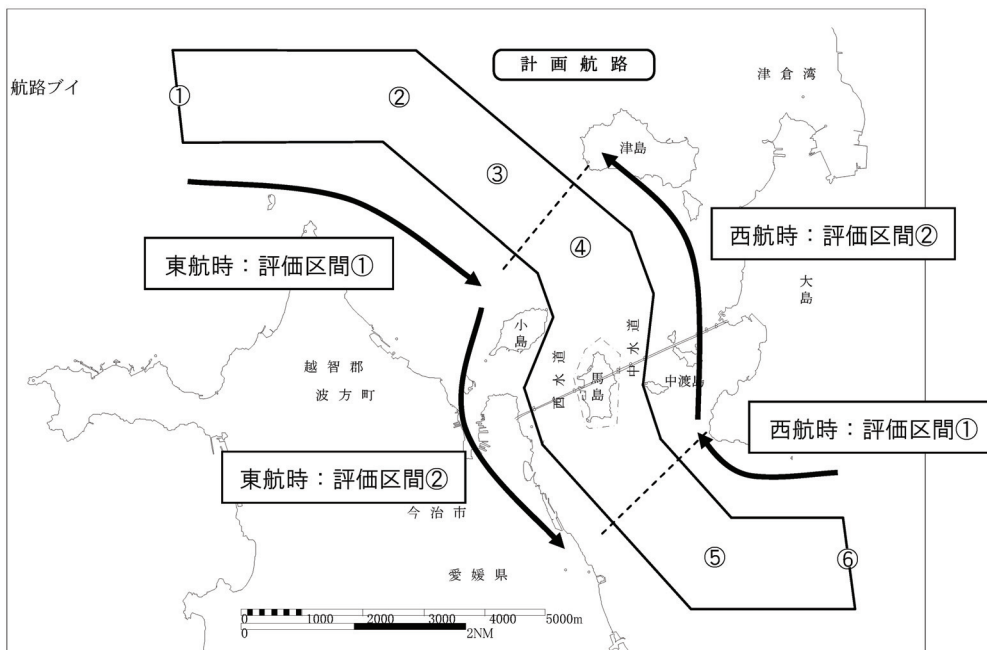
操船の可能性に係わる評価は、来島海峡航路通航時の船体状態量（航跡状況、横流れ、斜航角等）、舵や主機などの制御量から定量的に分析し、さらに実験にて操船した水先人や立会者の意見等を踏まえ総合的に評価する。以下に評価概要と表 3.1.3-1 にコメントシートを示す。

- 来島海峡航路通航時におけるライン取り（航跡状況）
- 通航時における速力制御
- 通航時における横流れ、リーウェイなど姿勢制御
- 航路周辺の浅所等への接近状況
- 先航船との離隔距離

表 3.1.3-1 コメントシート

ケース \_\_\_\_\_ 船種：VLCC・PCC・バルカー・内航タンカー 航行水道：西水道・中水道 方向：東航・西航  
 流向：南流・北流 流速：3ノット・6ノット・10ノット

※該当する条件に○を付けて下さい。



1) 操船の困難性 (1~5) ※該当する主観値を○で囲んで下さい。

|       | 困難 |   |   |   |   | 容易 |   |   |   |   |
|-------|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|
| 評価区間① | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 評価区間② | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |

2) 標識位置の有効性 (1~5) ※該当する主観値を○で囲んで下さい。

| 低い |   |   |   |   | 高い |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|
| 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 |

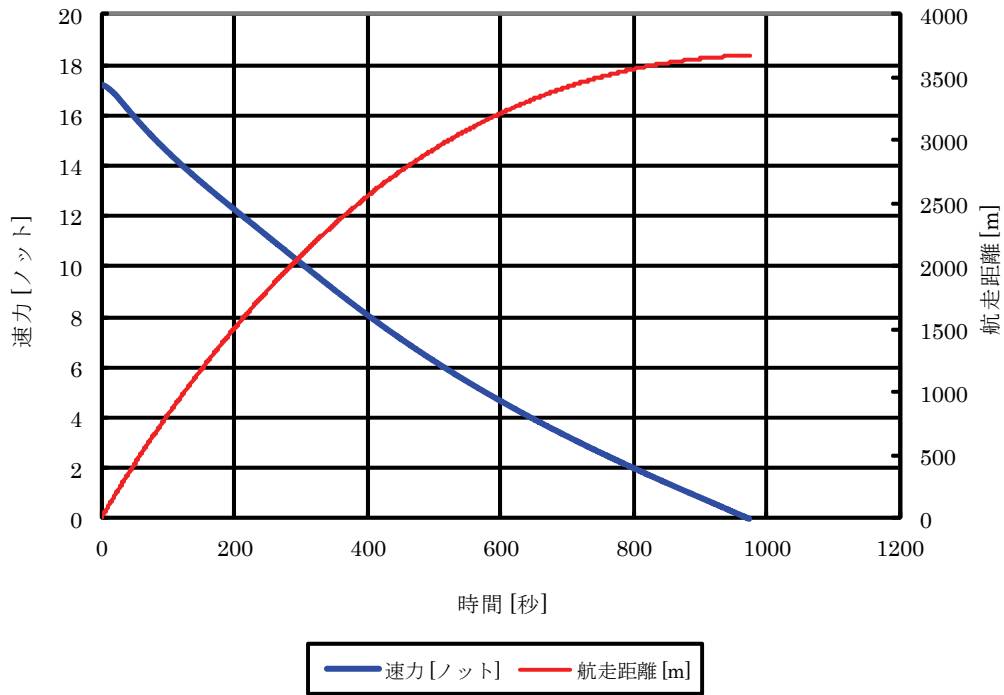
3) その他 (自由記述)

操船上の注意点、安全な操船に必要な対策・対応、ブイの設置位置、その他必要な航路標識などについて

### 3.1.4 モデル船の操縦性能

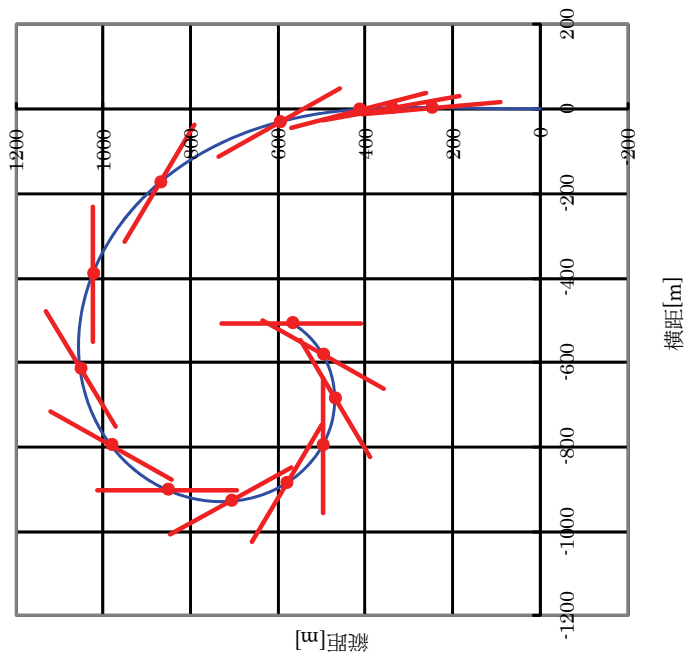
#### (1) VLCC

L=垂線間長(Lpp) : 319.00 [m]  
 型幅(B) : 60.00 [m]  
 喫水(draft) : 11.00 [m]                      風:        無風  
 初速(V) : 17.20 [ノット]                      潮流:    なし



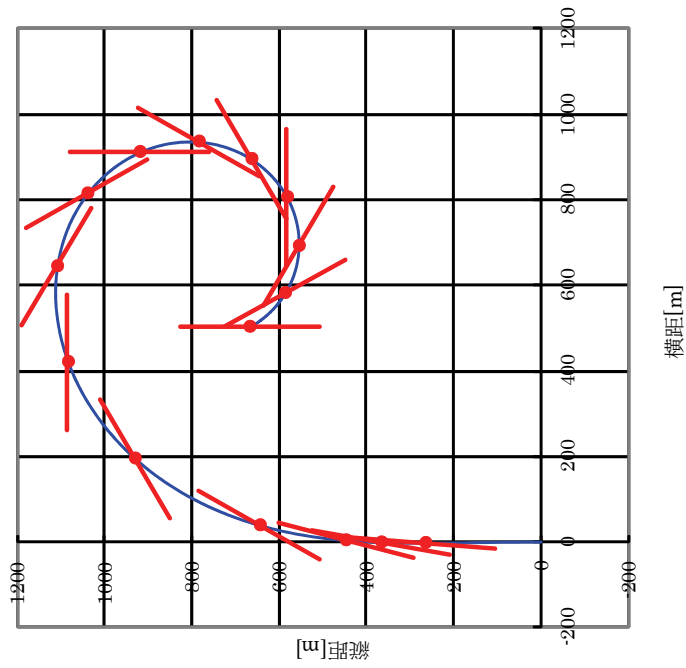
|       | 計算結果 |                |
|-------|------|----------------|
| 初速    | 17.2 | [ノット]          |
| 時間    | 975  | [秒]            |
| 航走距離  | 3681 | [m] (11.53L)   |
| IMO基準 | 4785 | [m] (15.00L未満) |

図 3.1.4-1 緊急停止性能 (N.Full → Full Astern)



| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 17.2    |
| 90°  | 159.0 | 9.7     |
| 180° | 306.4 | 5.5     |
| 270° | 458.2 | 4.1     |
| 360° | 605.5 | 3.4     |

| 計算結果 |                  | IMO基準       |        |
|------|------------------|-------------|--------|
| 旋回径  | 901 [m] (2.82L)  | 1,595.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回縦距 | 1023 [m] (3.20L) | 1,435.5 [m] | (4.5L) |



| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 17.2    |
| 90°  | 170.6 | 9.5     |
| 180° | 316.5 | 5.2     |
| 270° | 472.1 | 3.8     |
| 360° | 636.4 | 3.5     |

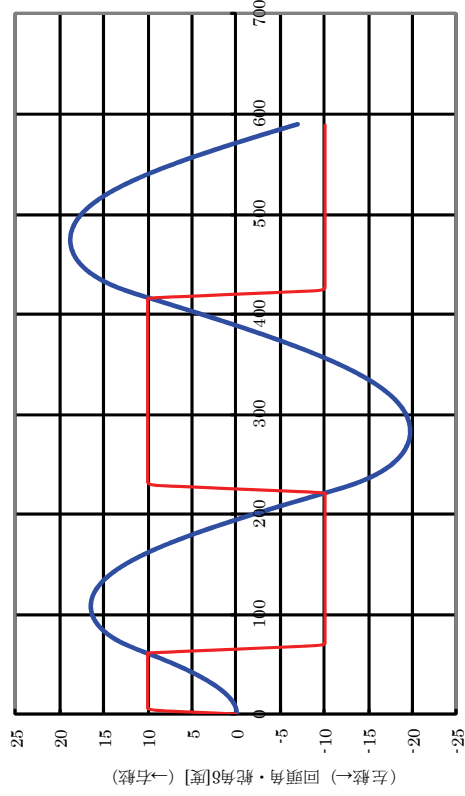
| 計算結果 |                  | IMO基準       |        |
|------|------------------|-------------|--------|
| 旋回径  | 911 [m] (2.85L)  | 1,595.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回縦距 | 1084 [m] (3.39L) | 1,435.5 [m] | (4.5L) |

図 3.1.4-2 旋回性能



L=垂線間長(L<sub>pp</sub>): 319.00 [m]  
 型幅(B): 60.00 [m]  
 喫水(draft): 11.00 [m]  
 初速(V): 17.20 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]

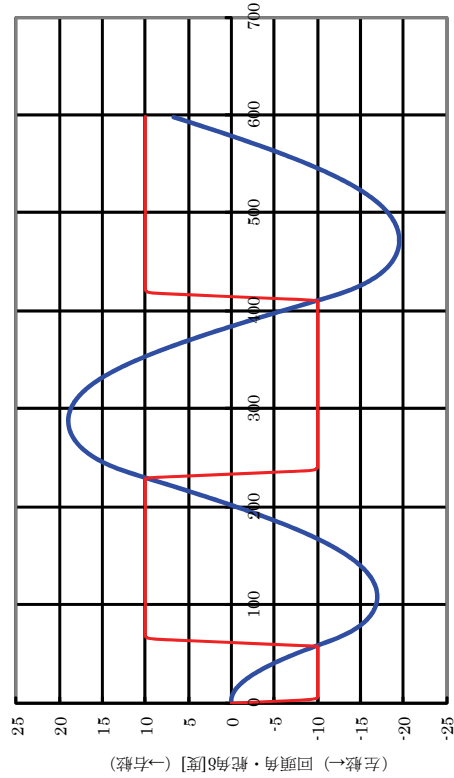


|          | 計算結果                 |           | IMO 基準               |          |
|----------|----------------------|-----------|----------------------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角             | 108.0 [秒] | 6.6 [度]              | 20.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 283.0 [秒]            | 9.7 [度]   | 40.0 [度]             |          |
| 航走距離     | 536.8 [m]<br>(1.68L) |           | 797.5 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Starboard)】

L=垂線間長(L<sub>pp</sub>): 319.00 [m]  
 型幅(B): 60.00 [m]  
 喫水(draft): 11.00 [m]  
 初速(V): 17.20 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]



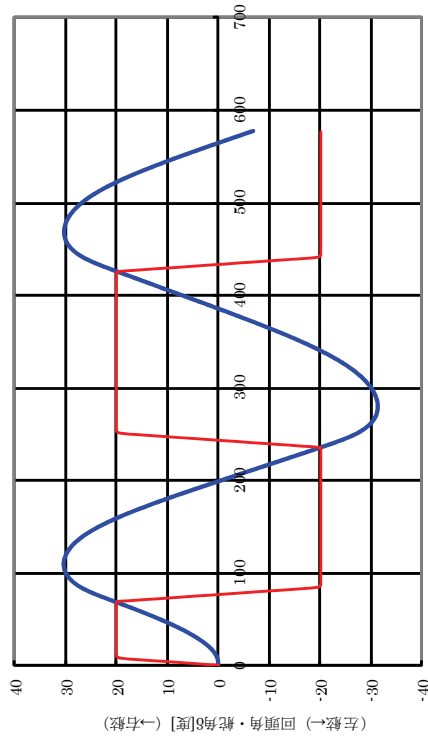
|          | 計算結果                 |           | IMO 基準               |          |
|----------|----------------------|-----------|----------------------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角             | 108.0 [秒] | 7.0 [度]              | 20.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 288.0 [秒]            | 9.0 [度]   | 40.0 [度]             |          |
| 航走距離     | 510.2 [m]<br>(1.59L) |           | 797.5 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Port)】

図 3.1.4-3 Z試験 (10度)

L=垂線間長(Lpp) : 319.00 [m]  
 型幅(B) : 60.00 [m]  
 喫水(draft) : 11.00 [m]  
 初速(V) : 17.20 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



時間 [秒]

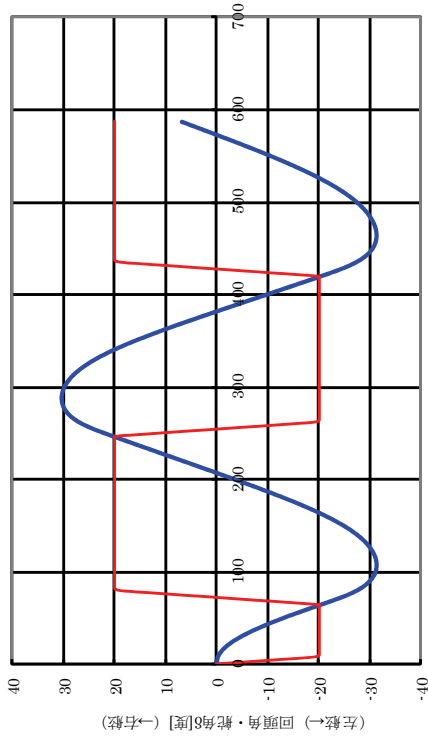


| 計算結果     | IMO 基準    |           |
|----------|-----------|-----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 110.0 [秒] |
| 第2次行き過ぎ角 | 280.0 [秒] | 11.3 [度]  |
| 航走距離     |           |           |

【20° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp) : 319.00 [m]  
 型幅(B) : 60.00 [m]  
 喫水(draft) : 11.00 [m]  
 初速(V) : 17.20 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



時間 [秒]



| 計算結果     | IMO 基準    |           |
|----------|-----------|-----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 108.0 [秒] |
| 第2次行き過ぎ角 | 288.0 [秒] | 10.4 [度]  |
| 航走距離     |           |           |

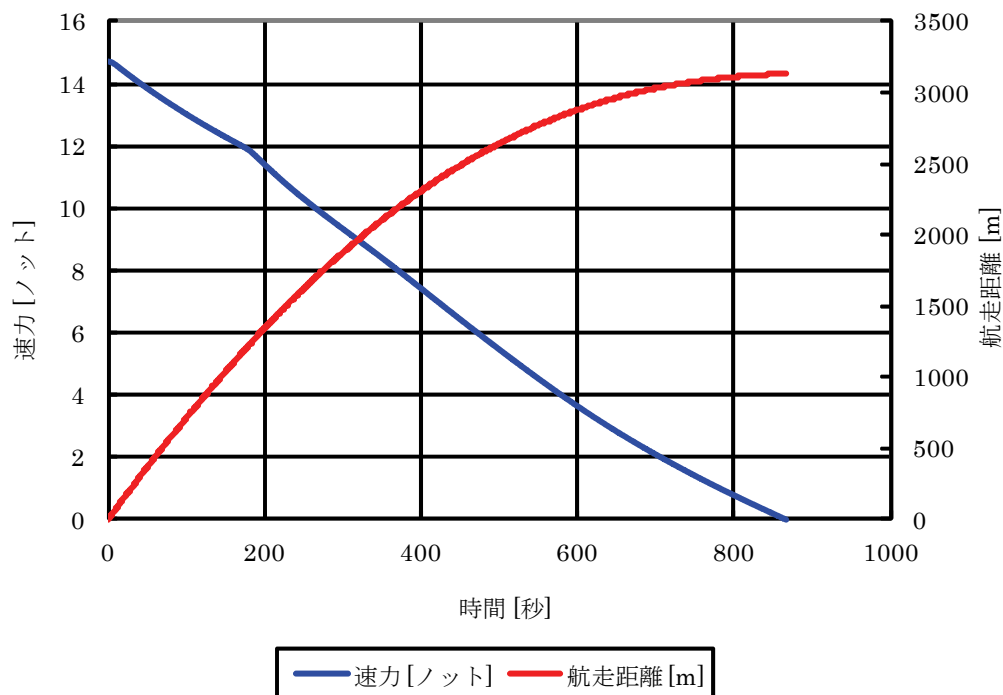
【20° Z (Starboard)】

図 3.1.4-4 Z試験 (20度)

(2) 操縦性の劣る大型船 (バルカー)

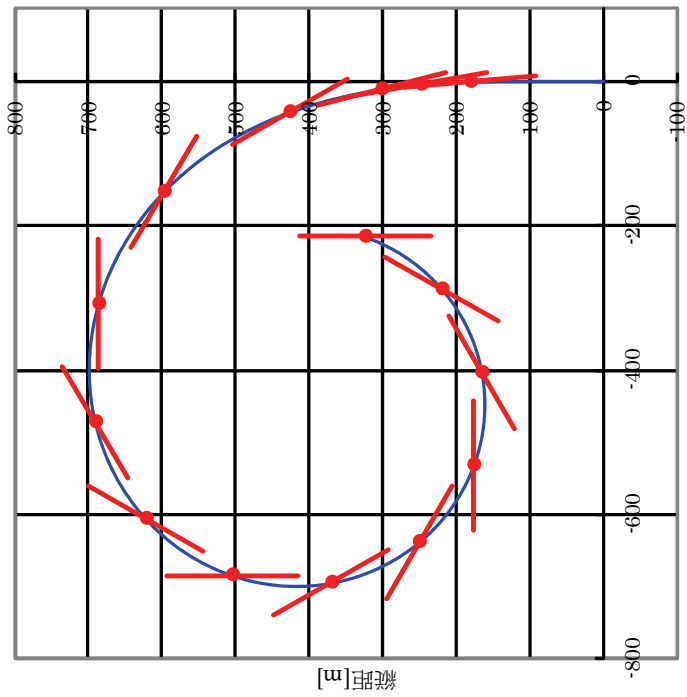
※オリジナル船の性能から舵面積3割減、舵応答速度2割減のモデルとした

L=垂線間長(Lpp) : 179.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 12.16 [m]                      風: 無風  
 初速(V) : 14.70 [ノット]                      潮流: なし



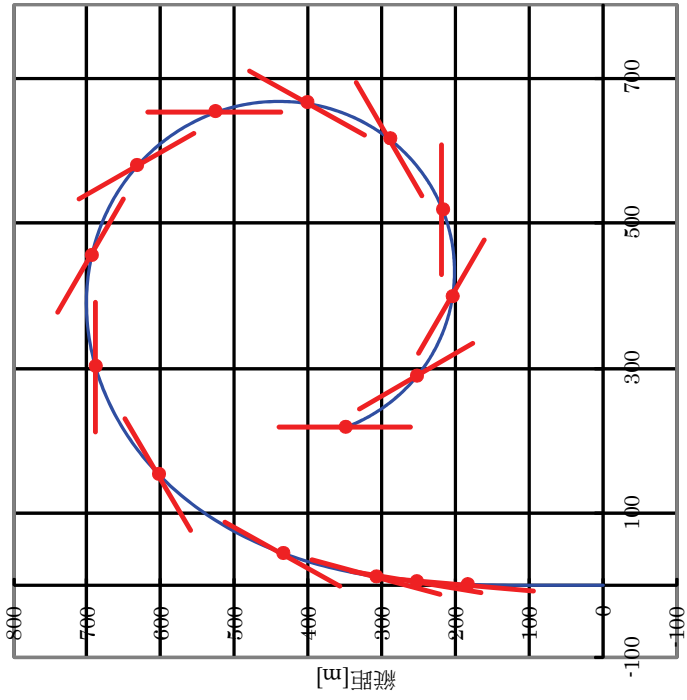
| 計算結果  |                     |
|-------|---------------------|
| 初速    | 14.7 [ノット]          |
| 時間    | 868 [秒]             |
| 航走距離  | 3135 [m] (17.51L)   |
| IMO基準 | 2685 [m] (15.00L未満) |

図 3.1.4-5 緊急停止性能 (N.Full → Full Astern)



| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 14.7    |
| 90°  | 121.4 | 9.7     |
| 180° | 233.6 | 6.1     |
| 270° | 372.0 | 4.8     |
| 360° | 526.3 | 4.5     |

| 計算結果 |                 | IMO基準            |
|------|-----------------|------------------|
| 旋回径  | 684 [m] (3.82L) | 895.0 [m] (5.0L) |
| 旋回縦距 | 686 [m] (3.83L) | 805.5 [m] (4.5L) |



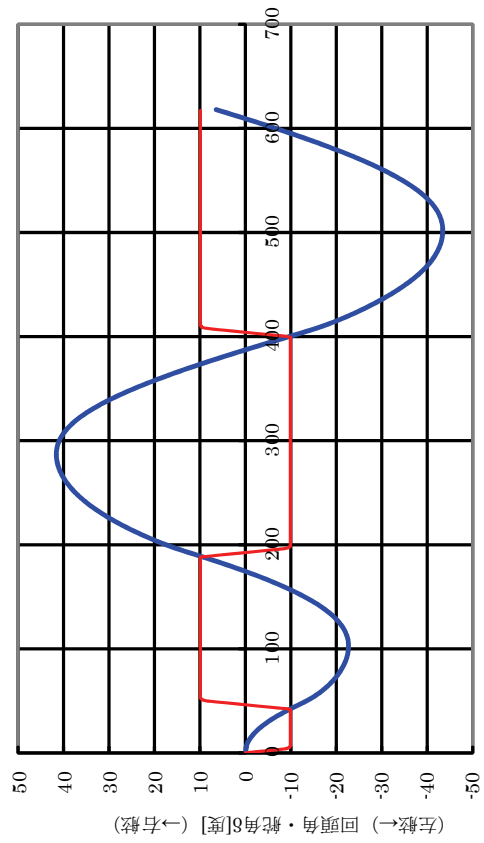
| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 14.7    |
| 90°  | 120.1 | 9.8     |
| 180° | 225.3 | 5.8     |
| 270° | 362.2 | 4.5     |
| 360° | 516.7 | 4.2     |

| 計算結果 |                 | IMO基準            |
|------|-----------------|------------------|
| 旋回径  | 653 [m] (3.64L) | 895.0 [m] (5.0L) |
| 旋回縦距 | 689 [m] (3.85L) | 805.5 [m] (4.5L) |

図 3.1.4-6 旋回性能

L=垂線間長(Lpp): 179.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 12.16 [m]  
 初速(V): 14.70 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]

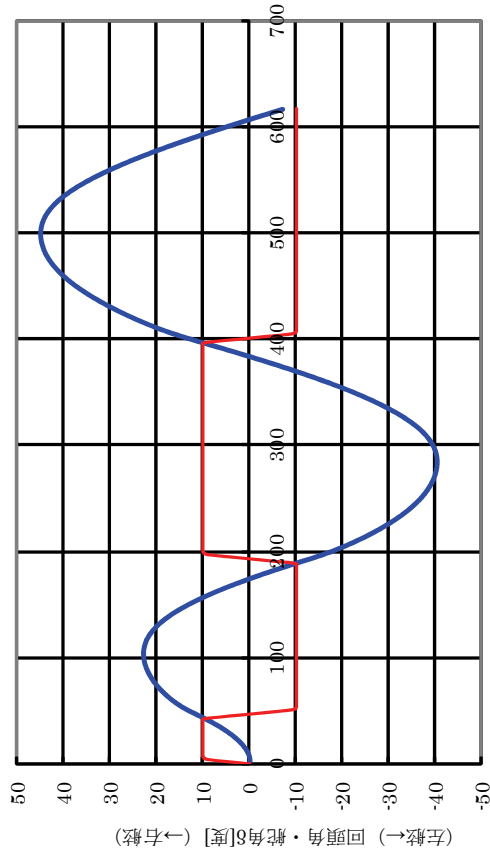


|          | 計算結果      |           | IMO 基準    |          |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 102.0 [秒] | 12.7 [度]  | 16.8 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 286.0 [秒] | 31.9 [度]  | 35.3 [度]  |          |
| 航走距離     | 314.8 [m] | (1.75L)   | 447.5 [m] | (2.50L)  |

【10° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp): 179.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 12.16 [m]  
 初速(V): 14.70 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]



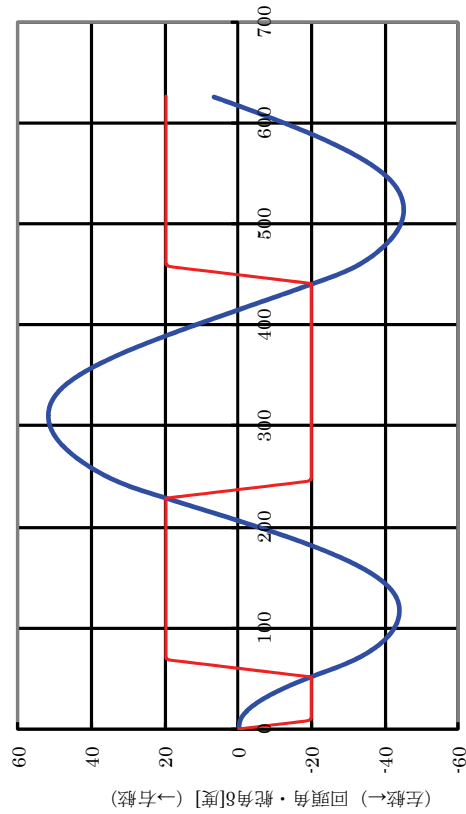
|          | 計算結果      |           | IMO 基準    |          |
|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 103.0 [秒] | 12.9 [度]  | 16.8 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 284.0 [秒] | 30.3 [度]  | 35.3 [度]  |          |
| 航走距離     | 320.4 [m] | (1.78L)   | 447.5 [m] | (2.50L)  |

【10° Z (Starboard)】

図 3.1.4-7 Z 試験 (10 度)

L=垂線間長(L<sub>pp</sub>): 179.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 12.16 [m]  
 初速(V): 14.70 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]

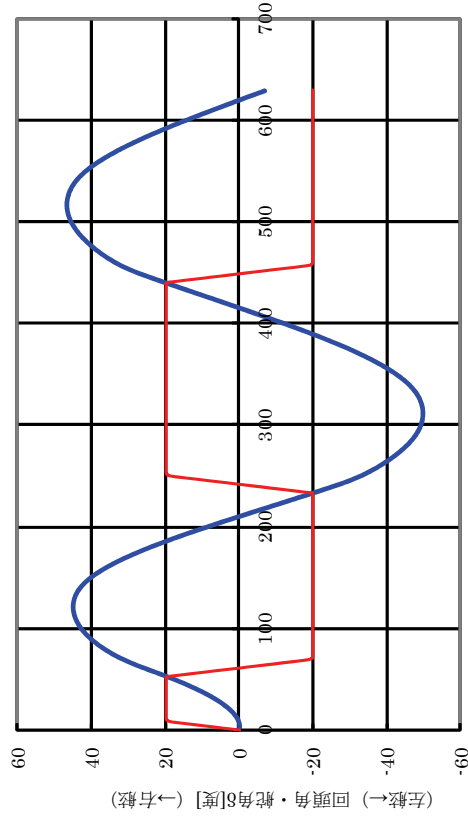


|          | 計算結果      |           | IMO 基準   |          |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 117.0 [秒] | 23.7 [度] | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 310.0 [秒] | 32.0 [度]  |          |          |
| 航走距離     |           |           |          |          |

【20° Z (Port)】

L=垂線間長(L<sub>pp</sub>): 179.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 12.16 [m]  
 初速(V): 14.70 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]



|          | 計算結果      |           | IMO 基準   |          |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角  | 121.0 [秒] | 25.1 [度] | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 311.0 [秒] | 29.6 [度]  |          |          |
| 航走距離     |           |           |          |          |

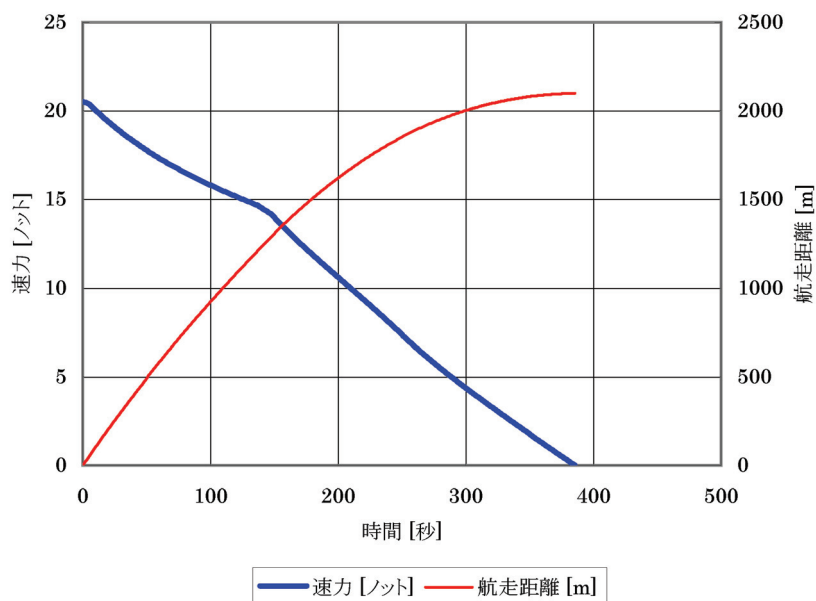
【20° Z (Starboard)】

図 3.1.4-8 Z 試験 (20 度)

(3) 自動車専用船

L=垂線間長(Lpp) : 190.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 9.00 [m]  
 初速(V) : 20.50 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし

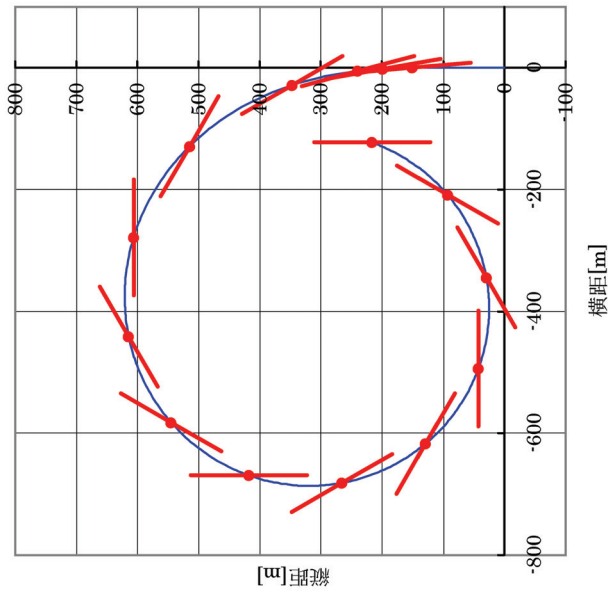


| 計算結果  |                     |
|-------|---------------------|
| 初速    | 20.5 [ノット]          |
| 時間    | 385 [秒]             |
| 航走距離  | 2099 [m] (11.04L)   |
| IMO基準 | 2850 [m] (15.00L未満) |

図 3.1.4-9 緊急停止性能 (N.Full → Full Astern)

L=垂線間長(Lpp): 190.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 9.00 [m]  
 初速(V): 20.50 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし

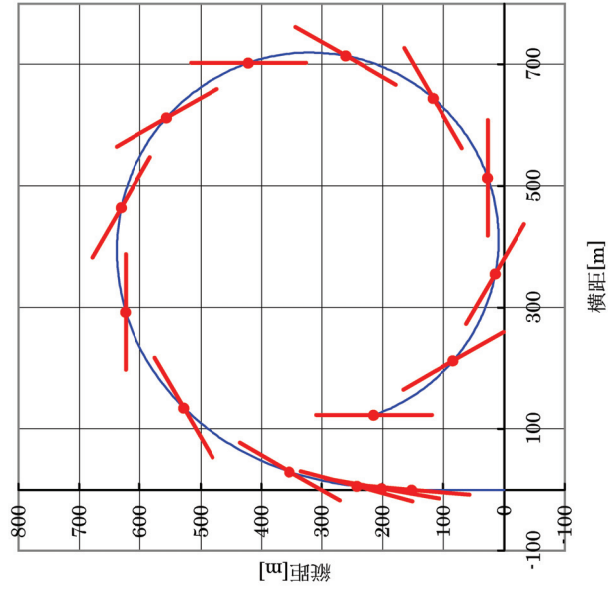


| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 20.5    |
| 90°  | 80.3  | 12.9    |
| 180° | 163.2 | 9.3     |
| 270° | 258.1 | 8.6     |
| 360° | 355.7 | 8.5     |

| 計算結果 |         |         | IMO基準     |        |
|------|---------|---------|-----------|--------|
| 旋回径  | 669 [m] | (3.52L) | 950.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回縦距 | 606 [m] | (3.18L) | 855.0 [m] | (4.5L) |

L=垂線間長(Lpp): 190.00 [m]  
 型幅(B): 32.26 [m]  
 喫水(draft): 9.00 [m]  
 初速(V): 20.50 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 20.5    |
| 90°  | 84.2  | 12.6    |
| 180° | 174.5 | 9.0     |
| 270° | 278.1 | 8.4     |
| 360° | 381.2 | 8.3     |

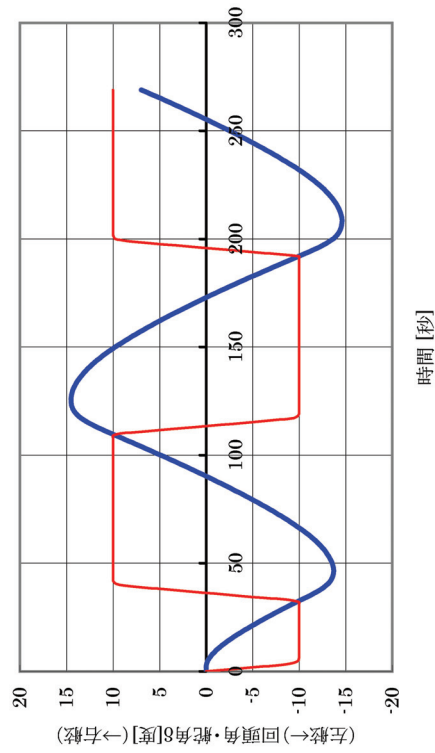
| 計算結果 |         |         | IMO基準     |        |
|------|---------|---------|-----------|--------|
| 旋回径  | 703 [m] | (3.69L) | 950.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回縦距 | 623 [m] | (3.27L) | 855.0 [m] | (4.5L) |

図 3.1.4-10 旋回性能



L=垂線間長(Lpp) : 190.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 9.00 [m]  
 初速(V) : 20.50 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



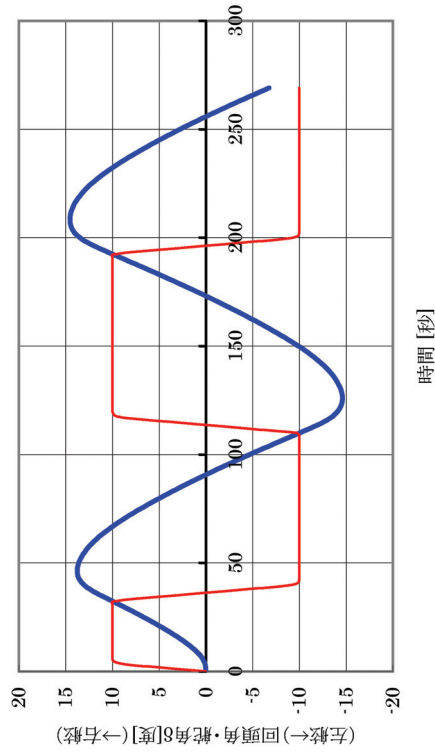
— 回頭角[度] — 舵角[度]

|          | 計算結果                 |                    | IMO 基準   |
|----------|----------------------|--------------------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角             | 第2次行き過ぎ角           |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 46.0 [秒]             | 3.7 [度]            | 14.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 126.0 [秒]            | 4.5 [度]            | 31.0 [度] |
| 航走距離     | 341.3 [m]<br>(1.79L) | 475 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp) : 190.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 9.00 [m]  
 初速(V) : 20.50 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



— 回頭角[度] — 舵角[度]

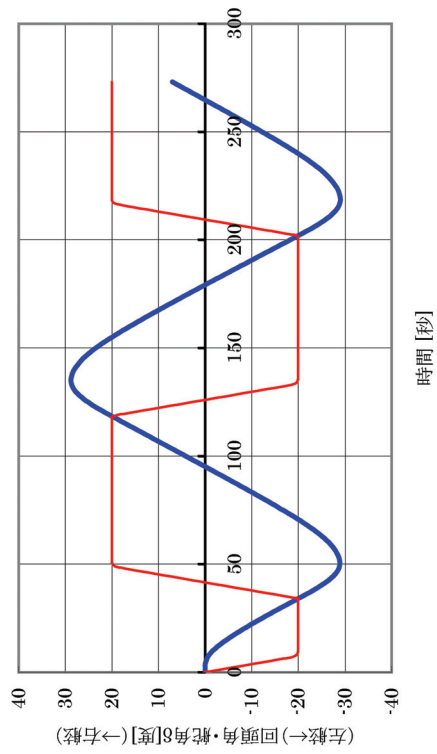
|          | 計算結果                 |                    | IMO 基準   |
|----------|----------------------|--------------------|----------|
|          | 第1次行き過ぎ角             | 第2次行き過ぎ角           |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 46.0 [秒]             | 3.7 [度]            | 14.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 126.0 [秒]            | 4.6 [度]            | 31.0 [度] |
| 航走距離     | 339.7 [m]<br>(1.78L) | 475 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Starboard)】

図 3.1.4-11 Z 試験 (10 度)

L=垂線間長(Lpp) : 190.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 9.00 [m]  
 初速(V) : 20.50 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



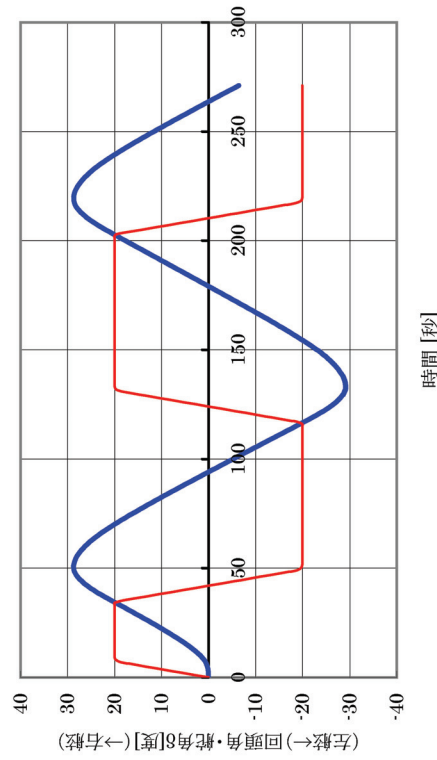
— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

| 計算結果     |           | IMO 基準   |
|----------|-----------|----------|
| 第1次行き過ぎ角 | 50.0 [秒]  | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 135.0 [秒] |          |
| 航走距離     | 8.8 [度]   |          |

【20° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp) : 190.00 [m]  
 型幅(B) : 32.26 [m]  
 喫水(draft) : 9.00 [m]  
 初速(V) : 20.50 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

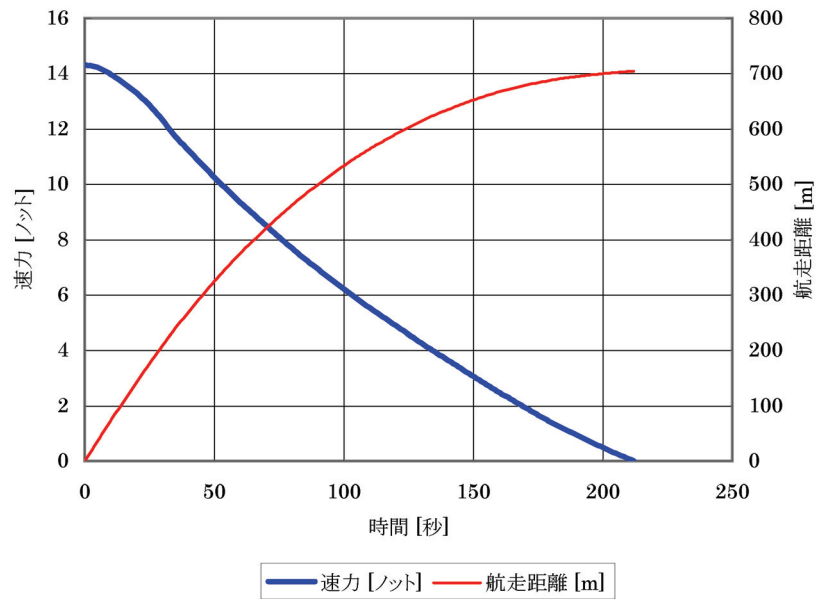
| 計算結果     |           | IMO 基準   |
|----------|-----------|----------|
| 第1次行き過ぎ角 | 51.0 [秒]  | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 133.0 [秒] |          |
| 航走距離     | 9.2 [度]   |          |

【20° Z (Starboard)】

図 3.1.4-12 Z 試験 (20 度)

(4) 内航タンカー

L=垂線間長(Lpp) : 97.00 [m]  
 型幅(B) : 15.60 [m]  
 喫水(draft) : 6.55 [m]                      風: 無風  
 初速(V) : 14.30 [ノット]                      潮流: なし

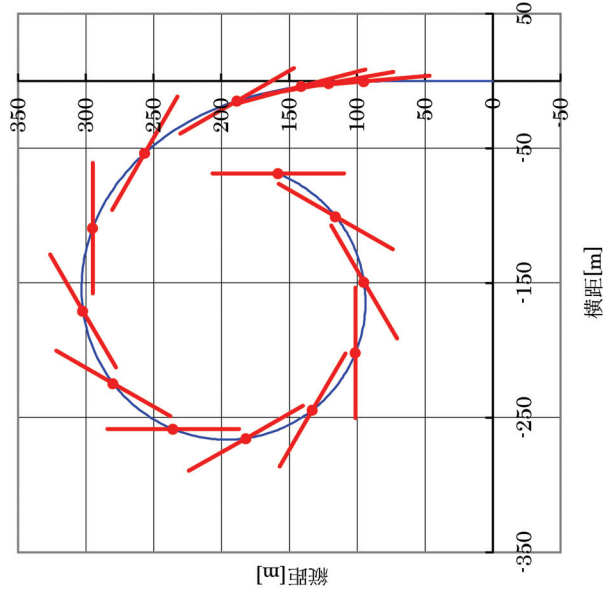


| 計算結果  |                     |
|-------|---------------------|
| 初速    | 14.3 [ノット]          |
| 時間    | 211 [秒]             |
| 航走距離  | 701 [m] (7.225L)    |
| IMO基準 | 1455 [m] (15.00L未満) |

図 3.1.4-13 緊急停止性能 (N.Full → Full Astern)

L=垂線間長(Lpp) : 97.00 [m]  
 型幅(B) : 15.60 [m]  
 喫水(draft) : 6.55 [m]  
 初速(V) : 14.30 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし

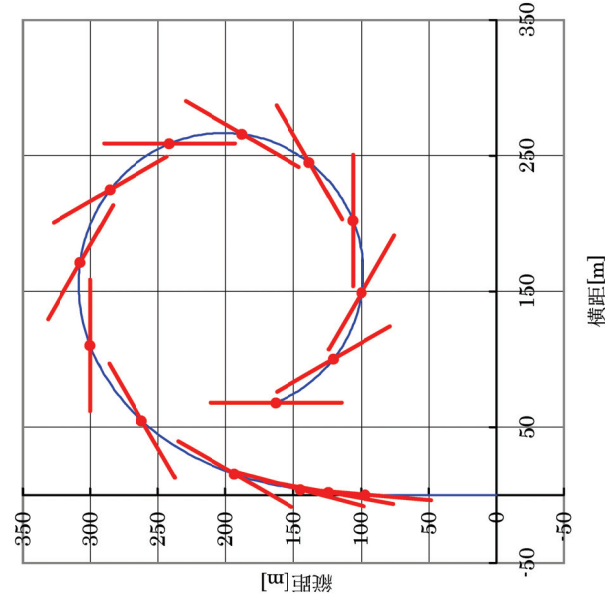


| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 14.3    |
| 90°  | 55.0  | 7.3     |
| 180° | 115.6 | 4.4     |
| 270° | 185.8 | 4.1     |
| 360° | 256.8 | 4.1     |

| 計算結果 |         |         | IMO基準     |        |
|------|---------|---------|-----------|--------|
| 旋回径  | 259 [m] | (2.66L) | 485.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回純距 | 295 [m] | (3.03L) | 436.5 [m] | (4.5L) |

L=垂線間長(Lpp) : 97.00 [m]  
 型幅(B) : 15.60 [m]  
 喫水(draft) : 6.55 [m]  
 初速(V) : 14.30 [ノット]

風 : 無風  
 潮流 : なし



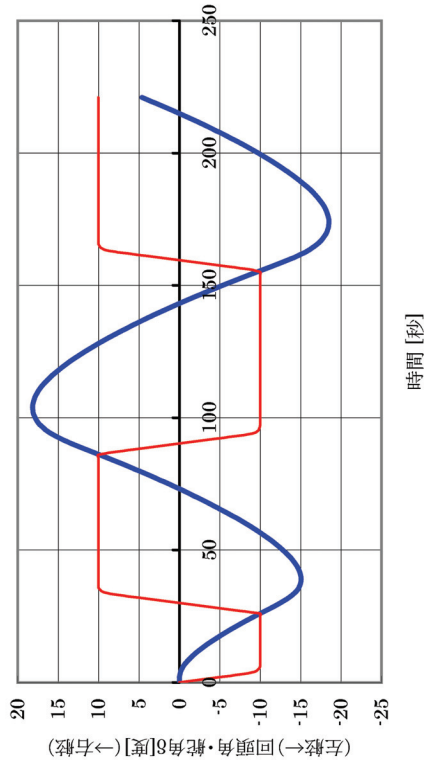
| 回頭角  | 時間[秒] | 速度[ノット] |
|------|-------|---------|
| 0°   | 0.0   | 14.3    |
| 90°  | 56.4  | 7.1     |
| 180° | 119.0 | 4.2     |
| 270° | 192.5 | 3.9     |
| 360° | 266.8 | 3.9     |

| 計算結果 |         |         | IMO基準     |        |
|------|---------|---------|-----------|--------|
| 旋回径  | 259 [m] | (2.66L) | 485.0 [m] | (5.0L) |
| 旋回純距 | 300 [m] | (3.09L) | 436.5 [m] | (4.5L) |

図 3.1.4-14 旋回性能

L=垂線間長(Lpp) : 97.00 [m]  
 型幅(B) : 15.60 [m]  
 喫水(draft) : 6.55 [m]  
 初速(V) : 14.30 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



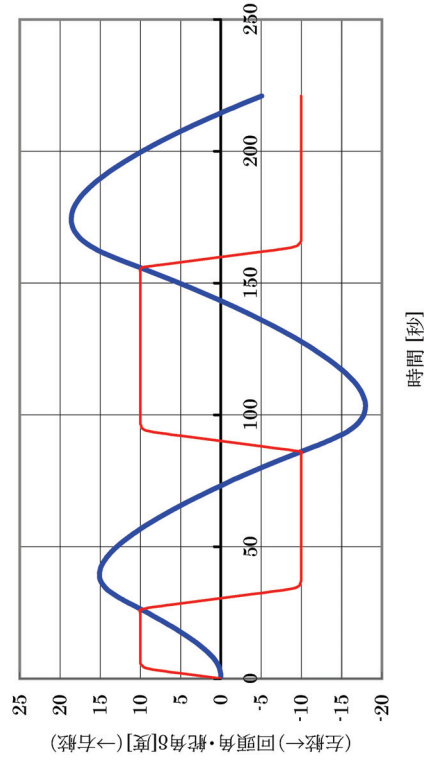
— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

|          | 計算結果                 |                      | IMO 基準   |
|----------|----------------------|----------------------|----------|
|          | 39.0 [秒]             | 5.0 [度]              |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 39.0 [秒]             | 5.0 [度]              | 11.6 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 103.0 [秒]            | 7.9 [度]              | 27.4 [度] |
| 航走距離     | 189.7 [m]<br>(1.95L) | 242.5 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp) : 97.00 [m]  
 型幅(B) : 15.60 [m]  
 喫水(draft) : 6.55 [m]  
 初速(V) : 14.30 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

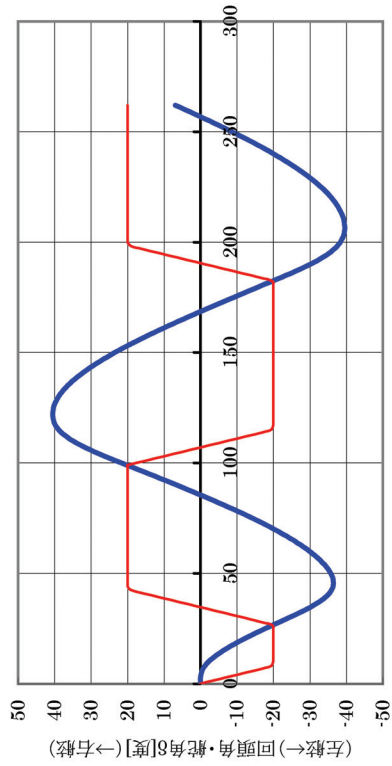
|          | 計算結果                 |                      | IMO 基準   |
|----------|----------------------|----------------------|----------|
|          | 39.0 [秒]             | 5.1 [度]              |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 39.0 [秒]             | 5.1 [度]              | 11.6 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 102.0 [秒]            | 7.7 [度]              | 27.4 [度] |
| 航走距離     | 191.6 [m]<br>(1.97L) | 242.5 [m]<br>(2.50L) |          |

【10° Z (Starboard)】

図 3.1.4-15 Z 試験 (10 度)

L=垂線間長(Lpp): 97.00 [m]  
 型幅(B): 15.60 [m]  
 喫水(draft): 6.55 [m]  
 初速(V): 14.30 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



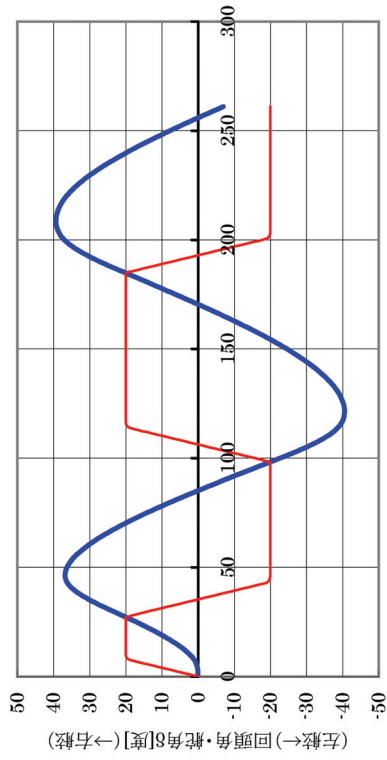
— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

|          | 計算結果      |          | IMO 基準   |
|----------|-----------|----------|----------|
|          | 46.0 [秒]  | 16.5 [度] |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 46.0 [秒]  | 16.5 [度] | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 122.0 [秒] | 20.5 [度] |          |
| 航走距離     |           |          |          |

【10° Z (Port)】

L=垂線間長(Lpp): 97.00 [m]  
 型幅(B): 15.60 [m]  
 喫水(draft): 6.55 [m]  
 初速(V): 14.30 [ノット]

風: 無風  
 潮流: なし



時間 [秒]

— 回頭角 [度] — 舵角 [度]

|          | 計算結果      |          | IMO 基準   |
|----------|-----------|----------|----------|
|          | 46.0 [秒]  | 16.8 [度] |          |
| 第1次行き過ぎ角 | 46.0 [秒]  | 16.8 [度] | 25.0 [度] |
| 第2次行き過ぎ角 | 121.0 [秒] | 20.6 [度] |          |
| 航走距離     |           |          |          |

【10° Z (Starboard)】

図 3.1.4-16 Z 試験 (20 度)

## 3.2 操船シミュレーション結果

表 3.2-1 に実施したケース一覧を示す。

表 3.2-1 操船シミュレーション実施ケース

| ケース | 水道  | 対象船           | 流向   | 風況            | 流速<br>※流速は中水道値 | 航行<br>方向 | 操船者  | 検証内容                           |   |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
|-----|-----|---------------|------|---------------|----------------|----------|------|--------------------------------|---|--|---------------|-------------------|------|------|-----|----------------------------|---|----|-----|------|--|--------|----|------|----|----------------|---|------|----------------------|------|--|-----|-----------------------|-----|-----|----------------|----|------|----------------------|----|------|----------------------|-----------------------|-----|------|-------------------|-----|-----|---------------|----|------|----------------------|----|-----|--------------------------------|-------------------|-----|-----|---------------|----|------|--|----|-----|
| 1   |     | VLCC          | 北流   | NW<br>10m/sec | 3ノット           | 東航       | 水先人  | 来島海峡航路通航最大船型における順潮・逆潮時の西水道航行検証 |   |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 2   |     |               | 南流   |               |                |          | 水先人  |                                | 3                                       | 西水道  | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流                | 6ノット |      | 水先人 | 操縦性の劣る船舶における順潮・逆潮時の西水道航行検証 | 4                                       | 南流 | 水先人 | 5    |  | 自動車専用船 | 北流 | 6ノット |    | 水先人            | PCC の西水道逆潮時航行の検証（事前シミュレーションの順潮操船結果との比較） | 6    | 南流                   | 大型船長 | 水先人が乗船する船舶において一般船長が操船した場合の検証（事前シミュレーションの水先人操船結果との比較） | 7   |                       | 内航船 | 南流  | 最強時<br>(約9ノット) |    | 内航船長 | 内航船における順潮最強時の西水道航行検証 | 8  | VLCC | 水先人                  | 低速度で中水道を航行（逆潮）した場合の検証 | 9   | 中水道  | 操縦性の劣る<br>大型船     | 南流  |     | 6ノット          | 西航 | 水先人  | 操縦性の劣る船舶における逆潮航行時の検証 | 10 | 内航船 | 内航船長                           | 内航船における逆潮最強時の航行検証 | 追11 | 西水道 | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流 | 3ノット |  | 東航 | 水先人 |
| 3   | 西水道 | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流   |               | 6ノット           |          |      | 水先人                            | 操縦性の劣る船舶における順潮・逆潮時の西水道航行検証              |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 4   |     |               | 南流   |               |                |          |      | 水先人                            |   | 5  |               | 自動車専用船            | 北流   | 6ノット |     | 水先人                        | PCC の西水道逆潮時航行の検証（事前シミュレーションの順潮操船結果との比較） | 6  | 南流  | 大型船長 | 水先人が乗船する船舶において一般船長が操船した場合の検証（事前シミュレーションの水先人操船結果との比較） | 7      |    | 内航船  | 南流 | 最強時<br>(約9ノット) |   | 内航船長 | 内航船における順潮最強時の西水道航行検証 | 8    | VLCC   | 水先人 | 低速度で中水道を航行（逆潮）した場合の検証 | 9   | 中水道 | 操縦性の劣る<br>大型船  | 南流 |      | 6ノット                 | 西航 | 水先人  | 操縦性の劣る船舶における逆潮航行時の検証 | 10                    | 内航船 | 内航船長 | 内航船における逆潮最強時の航行検証 | 追11 | 西水道 | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流 | 3ノット |                      | 東航 | 水先人 | 操縦性の劣る船舶における弱潮時（順／逆）の西水道航行追加検証 | 追12               | 南流  | 水先人 |               |    |      |  |    |     |
| 5   |     | 自動車専用船        | 北流   |               | 6ノット           |          |      | 水先人                            | PCC の西水道逆潮時航行の検証（事前シミュレーションの順潮操船結果との比較） |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 6   |     |               | 南流   |               |                |          |      | 大型船長                           |   | 水先人が乗船する船舶において一般船長が操船した場合の検証（事前シミュレーションの水先人操船結果との比較） |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 7   |     | 内航船           | 南流   |               | 最強時<br>(約9ノット) |          |      | 内航船長                           | 内航船における順潮最強時の西水道航行検証                    |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 8   |     |               | VLCC |               |                |          |      | 水先人                            |   | 低速度で中水道を航行（逆潮）した場合の検証                                |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 9   | 中水道 | 操縦性の劣る<br>大型船 | 南流   |               |                |          | 6ノット | 西航                             | 水先人                                     | 操縦性の劣る船舶における逆潮航行時の検証                                 |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 10  |     |               |      |               |                |          |      |                                | 内航船                                     |  | 内航船長          | 内航船における逆潮最強時の航行検証 |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 追11 | 西水道 | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流   |               | 3ノット           |          |      | 東航                             | 水先人                                     | 操縦性の劣る船舶における弱潮時（順／逆）の西水道航行追加検証                       |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |
| 追12 |     |               | 南流   |               |                |          |      |                                | 水先人                                     |  |               |                   |      |      |     |                            |   |    |     |      |  |        |    |      |    |                |   |      |                      |      |  |     |                       |     |     |                |    |      |                      |    |      |                      |                       |     |      |                   |     |     |               |    |      |                      |    |     |                                |                   |     |     |               |    |      |  |    |     |



### 3.2.1 西水道

#### (1) 巨大船 (VLCC)の航行

##### ① 北流 3 ノット (逆潮) : ケース 1

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、12.2 ノット、0.5 ノットの潮を右斜め前から受け、風を左斜め後方から受ける状態から航行をはじめ。小島北に至るまでは 1 ノット程度の潮をほぼ正面に受け、この間、20cm/sec 程度の横流れを持ちながら航行するが舵角 5~10 度で保針航行した。
- 開始後 20 分、小島北において右舵 15 度で変針をはじめ (対地速力 10 ノット)。水道部に入りはじめると潮流は急速に高まり、小島東 (22 分) では右斜め前から 2.6 ノットの潮を受け、対地速力は 9 ノットまで低下する。
- 小島の変針では、回頭に伴う横流れ (79.8cm/sec) とリーウェイ (9.4 度) を持ちながら変針し、左舵 10 度で当て舵制御した。
- 馬島西の第 2 屈曲部へは小浦埼 (オコラ埼) 付近で左舵 15 度で変針をはじめた。回頭に伴って 106cm/sec の横流れが生じるが、水道部における航跡はほぼ水路の中央を位置することができた。
- 水道部 (津島~地蔵鼻区間) における操船者 (水先人 C) の評価は 2 (1 : 困難 ~ 5 : 容易)、実験参加者全員の評価は 3.1 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント   |
|------------|--|
| 水先人 A (2)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 他船の動向が気にならない設定となっているが気になる。</li> <li>・ 法線変更後の見通しは西水道東航では余り差はないと思われる。</li> </ul>      |
| 水先人 B (2)  | 逆潮流のため保針性良好。西水道への変針のタイミングが良かった。橋下への変針も良好であったためスムーズな通峡であった。   |
| ◎水先人 C (2) | 小浦埼灯台での変針では西側に大きく膨らむ傾向が一般的にあるが、VLCC ではその傾向がさらに大きくなる (海士灯標に接近する感じがある)。小島東灯台での変針では逆潮で船首がハネられ回頭がしづらい感じがあるが、本シミュレーションでもその感じはあった。 |
| 内航船船長 (2)  | 3 ノット以下でも強風下では操船は困難と思われる。船首、船尾の受ける潮流が違うことに注意する。<br>(対策) 同航船と船間距離を離せば問題無い   |

◎ : 操船者 ( ) : 評価点

- 実験では航路標識を航路中央に設置して実施したが、水先人を含め有効であるとの評価が多く、主観評価点でも 3.9 (1 : 有効性低い ~ 5 : 高い) となった。

② 南流 3 ノット（順潮）：ケース 2

- 来島海峡航路西側入口において主機 Full Ah' d、12.2 ノット、0.5 ノットの潮と風を左斜め後方から受ける状態で航行をはじめ。流速は徐々に高まり小島北付近では約 2 ノットまで上がった。その間、20～30cm/sec の横流れが生じるが舵角 5～10 度で保針航行した。
- 開始 18 分、小島北で右舵 35 度、対地速力 12 ノット（対水 10 ノット）で変針し、回頭に伴い 119cm/sec の横流れと 12.5 度のリーウェイが生じる。
- 変針後、比較的潮の弱い部分を航行し、流速は一時的に 1 ノットまで下がるが、その後、再度 2 ノットに上がる。
- 小島変針後、馬島西（第 2 屈曲部）の変針に備え左舵 20 度で右回頭を止め、徐々に左回頭をつけはじめる。
- その後も約 10 度/分の左回頭を持ちながら航行し、来島海峡大橋を通過して左舵 20 度で変針をはじめ（回頭速度 20 度/分）。航跡は今治側に膨らむこととなったが、航路内にて変針を終了した。
- 水道部（津島～地蔵鼻区間）における操船者（水先人 A）の評価は 2（1：困難～5：容易）となり逆潮時と同じ値となった。実験参加者全員の評価では 2.6 となり、逆潮時に比べて低い結果となった（逆潮時：3.1）。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-2 に示す。

表 3.2.1-2 評価 2 以下のコメント

| 回答者       | 操船の困難性に係わるコメント   |
|-----------|--|
| ◎水先人 A(2) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 順流はやはり小島北側変針で馬島北浅瀬側へ圧流される（流速 3 ノットが限界かと思う）</li> <li>・ このため、橋下至近で大角度左変針を余儀なくされる（オコラ崎を航過するまで待つ必要があるため）</li> </ul> |
| 水先人 B(2)  | 順流を考慮し小島北から早目の大舵角での変針できた。橋下へ向首した後の左変針は舵角に比べてかなりおそい回頭になったと感じられた。船首尾に受ける流速・流向の違いのためであろう要注意。馬島をかわってからの圧流にも要注意である。実船でこのような大胆な操船が出来るか疑問である。                   |
| 水先人 C(1)  | 小島東灯標からうず鼻までの間、船尾方向からの潮を受けながら変針することになるが、変針のタイミングが少しでもズレれば回頭モーメントが傾き、舵を取られることになる危険が常に有る。  |
| 内航船船長(2)  |  |
| 委員 B(2)   |  |
| 委員 C(2)   | 全体的には不安はなかったが、小島を過ぎ馬島までが短く感じられ、早々進む感じである。小島を 2 ケーブル切ると余裕がなくなるであろう。西水道の中央を位置できた。  |

◎：操船者 （）：評価点

- 航路標識位置に係わる評価はケース 1 と同様に比較的高い値となった（3.9）。

(2) 操縦性の劣る船舶（2万総トンバルカー）

操縦性の劣る船舶の性能は、既存モデルの性能から、①舵面積 3 割減、②舵応答速度 2 割減の性能を想定した。

① 北流 6 ノット（逆潮）：ケース 3

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、10.6 ノット、ほぼ正面から 2 ノットの潮を受け、風を左斜め後方から受ける状態から航行をはじめ。
- 開始後すぐに主機を N. Full に上げ、徐々に速力が上がり約 12 ノットの対地速力で航行し、その間、20cm/sec 程度の横流れが生じるが舵角 5 度程度で保針航行した。
- 開始後 18 分、小島北において右舵 20～10 度、対地速力 12 ノットで変針をはじめ。水道部に入りはじめると潮流は急速に高まり、小島東（22 分）では正面から 5.6 ノットの潮を受け、速力は 10 ノットまで低下した。
- 回頭に伴う横流れ（85cm/sec）とリーウェイ（8.4 度）が生じるが、馬島北に寄せられることなく変針を終える。
- 小浦埼付近（24 分）にて馬島西の第 2 屈曲部に向けて左舵 35 度で変針をはじめ、右の回頭が止まらず、さらに潮を左前から受けるようになり、左の回頭がつかず右舷側に大きく圧流（189cm/sec）され、航路西側に膨らみ海士瀬に近づくこととなった。
- 主観評価は、西水道に入る前までは 3.5（1：困難～5：容易）となったが、水道部では操船者（水先人 B）の評価は 1、実験参加者全員でも 1.8 と低い結果となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-3 に示す。

表 3.2.1-3 評価 2 以下のコメント

| 回答者          | 操船の困難性に係わるコメント  |
|--------------|---|
| 学識経験者 A(1.5) | 舵効きを良くするため N. Full と増進したが、操縦性能からみて 6 ノットの潮流では困難である。   |
| 学識経験者 B(2)   |   |
| 学識経験者 C(2)   | 舵効きが悪いいためかハードポートでも右回頭のまま左回転に入らないため、操船がとても困難であったと感じた。  |
| 学識経験者 D(2)   |   |
| 水先人 A(2)     | この程度の操縦性不良船は内海水先区では時々あるのでパニックになれば座礁の可能性ありと思う。   |
| ◎水先人 B(1)    | 小島北の変針まではほぼ計画通りであったが橋下への変針がやや遅れたのか危うく航路外へ圧流され乗り揚げそうになった。機関回転数を上げていたにもかかわらずこのような状態にまでなるとは予想だにできなかった。 |
| 水先人 C(2)     | 操縦性能の劣る船舶での 6 ノット時来島航行は西水道の各変針点で潮流の影響が強く、舵が効かない状態が発生する。非常に危険で注意が必要。                                 |
| 大型船船長 A(1)   | 馬島で並んだあたりより左舷船首から潮による圧流が大きく制御不能となる。舵一杯、N. Full を用いている事より、他に船体をコントロールする方法が無い事より、本条件では非常に難しいものと考えた。   |
| 大型船船長 B(2)   | 舵効きの悪い船の場合、当然ながらコノ瀬灯標からカンネの鼻灯台間（5～6   |

|          |  |
|----------|--|
|          | ノット逆潮)の操縦の難しさは顕著であった。船の挙動の変化を早目に感知し、適切な操舵と早目の当舵が必須である。                   |
| 内航船船長(2) |  |
| 委員 A(2)  | 馬島の陰から出ると北流の影響で回頭応答が悪くなり航路右寄りとなった。早めの対応が必要と考える。強流時の航行はできる限り避けた方が良いと思われる。 |
| 委員 B(1)  |  |
| 委員 C(2)  | 舵効きが悪い分だけ西に流され気味であった。注意を要する箇所が2、3箇所あったが操舵のタイミングに留意する必要がある。               |

◎：操船者 ( )：評価点

この結果を受けて弱流時(3ノット)における検証を追加で実施した(ケース11)。

- 主機は Full として小島変針部を約 10 ノットの対地速力で進入した。右舵 15 度で変針をはじめ、西水道に入るにしたがって潮は徐々に高まり、小島東では 2.4 ノットの潮を正面から受ける状態となった。
- 回頭に伴い 50cm/sec ほどの横流れが生じるが水道のほぼ中央を航行し、小浦崎付近にて馬島西の第 2 屈曲部に向けて左舵 20 度にて変針をはじめ。流速 6 ノットのケースでは、左の回頭にかわらない状態が続いたが、潮流 3 ノットではすぐに左回頭に転じた。
- 水道部における操船者(水先人 C)の評価は 2(1:困難~5:容易)、実験参加者全体で 3.1 の評価となった。

表 3.2.1-4 評価 2 以下のコメント

| 回答者       | 操船の困難性に係わるコメント   |
|-----------|--|
| 水先人 B(2)  | 小島南への進入は容易であった。橋下での変針は潮流に船首が落とされたためか、かなり厳しいものがあつた。結果的にはスムーズな通峽となったが、余裕のある通峽とは言えない。狭い部分での漁船等の避航は困難であろう。 |
| ◎水先人 C(2) | 小島東灯標での変針は特に問題はなかつた。小浦崎での変針時、潮の影響で左回頭がしばらく舵角 20 度でも大きく膨らんだ。  |

◎：操船者 ( )：評価点

② 南流 6 ノット（順潮）：ケース 4

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、10.6 ノット、ほぼ真後ろから 2 ノットの潮と左斜め後方からの風を受ける状態から航行をはじめ。
- 大角鼻沖の屈曲部を右舵 10 度で変針し、変針と右後ろからの潮の影響もあって 120cm/sec の横流れと 10 度のリーウェイを持ちながら航行し、その後、主機を N. Full に上げて舵角 5～10 度で保針制御した。対地速力は主機を N. Full に上げたことで 14.8 ノットまで上がった。
- 開始後 18 分、小島北において右舵 10 度で変針をはじめ、小島東では 4 ノットの潮を右斜め船尾から受け、回頭によるドリフトと潮による圧流によって 165cm/sec の横流れが生じる。左舵 35 度を取り続けるも右回頭が止まらず、その間も馬島側に圧流され、若干膨らみながら馬島西の第 2 変針部に進入した。
- 馬島西の変針においては潮をほぼ真後ろから受ける状態となり、左の回頭を右舵 35 度で抑えて西水道を抜けた。
- 水道部における操船者（水先人 B）の評価は逆潮時と同様に 1（1：困難～5：容易）、実験参加者全員の評価は 1.8 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-5 に示す。

表 3.2.1-5 評価 2 以下のコメント

| 回答者          | 操船の困難性に係わるコメント   |
|--------------|--|
| 学識経験者 A(1.5) | 操船・操舵による精一杯の回頭力に対し、一時的にしても潮流・風による回頭力が勝る結果となるので非常に困難である。操縦性能のアップか潮流を下げる必要がある。   |
| 学識経験者 B(2)   | 舵効きの問題が大きい。但し、困難性はケース③よりも大きくない。  |
| 学識経験者 C(2)   |  |
| 学識経験者 D(2)   |  |
| 水先人 A(2)     | ①小島北側変針は行船法の研究で何とかクリアできそうであるが第 2 変針時に右船尾からの圧流受けたときの対応が不可の可能性あり。<br>②橋航過後に反対レーンへの進入可能性あり。<br>③他船や漁船の存在ないので全通峡で FULL SPEED 走れる可能性は小さいかと思われる。                                     |
| ◎水先人 B(1)    | この性能の船では保針もかなり難易度が高い。潮流図を参考にして流れの中心に乗って航行したつもりであるが小島をかわってからの変針にはハラハラした。非常に困難な状態であった。順流での航行時は一旦潮流中心帯から船首がはずれると船体には航路外へ向首させる潮流によるモーメントが加わり制御が困難となる。                              |
| 水先人 C(2)     | 小島灯標での変針後の当て舵がほとんど効かない状態が発生 (Hard のまましばらく回頭止まらず) これは危険である。   |
| 大型船船長 A(1)   | 変針開始時、舵効きも悪くなく、適当な回頭速度を以って回頭する事ができていたが、小島に並んだ辺りから右回頭の制御が難しくなった。正面の馬島をかわすためには右回頭を止める訳にはいかず、また一度ついてしまった右回頭速度は制御が難しく非常に大きなジレンマを感じるオペレーションであり、困難であると考え。毎回安全に航行できるオペレーションであるとは思えない。 |
| 大型船船長 B(2)   | 西水道の S 字湾曲部（コノ瀬～カンネ鼻間）に於いて舵効きの悪さのため、操船が難しくなるが、操船者がケース 3 での舵の応当性の悪さに対して慣れた事   |

|          |   |
|----------|---|
|          | もあって、それ程の危険性は感じなかった   |
| 内航船船長(2) | 操縦性能の良し悪しに係わらず、流速4ノット以下の航行を心掛けると安全であると思われる。                           |
| 委員A(2)   | 水道入口の右転時に右回頭の制御が困難に見受けられた上に左方(馬島側)へ圧流されていた。                           |
| 委員B(1)   |   |
| 委員C(2)   | ハードポートの取りっぱなしで左転させなければならなかった場面があった。舵効きの悪さの特徴と思うが、これだと通航は難しいと言わざるを得ない。 |

◎：操船者 ( )：評価点

航跡結果では潮の流れに乗った形となり、小島変針において若干膨らむ航跡となったがほぼ水道の中央付近を航行することができた。しかしながら、変針時における圧流影響が大きく最大舵角を取り続けながらの操船となり、逆潮時のケースと同様に馬島での変針タイミングを誤れば右船尾から強い潮を受けるようになり、第2屈曲部を変針しきれないおそれがある。本実験では潮の流れを見ながら操船したことで、このような状態にならずに通峡を完了することができたが、本実験前に行った慣熟操船では回頭しきれず航路を逸脱した。

以上のようなことを踏まえ、弱流時(3ノット)における検証を追加で実施した(ケース12)。

- 主機は Full として小島変針部を約 11 ノットの対地速力で進入した。右舵 35 度で変針し、小島東では 1.8 ノットの潮を右斜め後方から受けながら航行した。
- 小島変針における右回頭を左舵 35 度で抑え針路を安定させる。変針に伴う横流れが 87cm/sec 生じ、10 度のリーウェイ角を持ちながら馬島西の屈曲部に向けて航行し、馬島北西に位置する頃、左舵 20 度にて変針した。
- 水道部における操船者(水先人 C)の評価は 3(1:困難~5:容易)、実験参加者全体では 2.9 の評価となった。

表 3.2.1-6 評価 2 以下のコメント

| 回答者      | 操船の困難性に係わるコメント   |
|----------|--|
| 水先人 A(2) | ・ 角速度計や潮流の精細チェック等準備しなければ対応判断に遅れが生じるのは必定。<br>・ やはり西水道順流は変針回数多く、角度大であるので時間的余裕を得られない順流は危険が大と言わざるを得ない。 |
| 内航船船長(2) | 6 ノットと比較すると、操船上の安全は確保されていた。  |
| 委員 C(2)  | 操縦性能が悪いので大角度で舵を効かさなくてはならない。何度かハードで舵を切る場面があったが、その分余裕がなかったかに見える。しかし、早目の対応で今回は不安はなかった。                |

◎：操船者 ( )：評価点

### (3) 自動車専用船

#### ① 北流 6 ノット（逆潮）：ケース 5 ※水先人による操船

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、12.0 ノットの状態からはじめ、約 2 ノットの潮をほぼ正面に受け、風を左斜め後方から受ける状態から航行する。水道部に至るまでに 10～20cm/sec 程度の横流れが生じるが概ね 5 度程度の舵角で保針した。
- 開始後 20 分、小島北にて右舵 15 度で変針をはじめ（対地速力 11 ノット）。水道部に入ると潮流は急速に高まり、小島東（24 分）では 5.4 ノットの潮をほぼ正面から受けるようになり、対地速力は 8 ノットとなった。
- 回頭に伴って 77cm/sec の横流れと 8 度のリーウェイが生じるが、馬島北に寄せられることなく変針し、その後の馬島西の第 2 屈曲部に向けて緩やかに変針した（舵角 10～15 度）。
- 水道部（津島～地藏鼻区間）における操船者（水先人 C）の評価は 3（1：困難～5：容易）、実験参加者全員の評価は 3.3 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-7 に示す。

表 3.2.1-7 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント   |
|------------|--|
| 学識経験者 A(2) | 潮流を船首方向より受けるよう操船され、横・回頭モーメントを抑えようとされ評価できるが（風圧による影響が少しあったが、さほど問題でない）、馬島に接近し過ぎたきらいがある。橋渠に中央並びに左右等間隔標識があればよい。 |

◎：操船者（）：評価点

#### ② 南流 6 ノット（順潮）：ケース 6 ※大型船船長による操船

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、12.0 ノットの状態からはじめ、約 2 ノットの潮をほぼ真後ろから、風を左斜め後方から受ける状態から航行する。順潮によって速力は徐々に高まり小島変針前には 14 ノットとなる。
- 開始後 15 分、小島北にて右舵 10 度で変針をはじめ（対地速力 14.3 ノット）。水道部に入ると潮流は高まり、小島北東（18 分）では 4.1 ノットの潮を右斜め後方から受けるようになる。回頭によるドリフトと潮による圧流によって 180cm/sec の横流れが発生し馬島北に近づく航跡となった。
- その後、小浦埼付近にて馬島西の第 2 屈曲部へ向けて変針するが（舵角 20 度）、回頭速度が不足し航跡は膨らみ今治側に近寄る航跡となった。
- 水道部（津島～地藏鼻区間）における操船者（大型船長 A）の評価は 3（1：困難～5：容易）、実験参加者全員の評価は 2.3 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-8 に示す。

表 3.2.1-8 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント   |
|------------|--|
| 学識経験者 C(2) | 航路中央寄りのコース取りであったが、馬島西方～南方にかかるあたりで左に舵をきるタイミングが少しでも遅れると航路端に寄せられることになり、操船のタイミングがかなり難しいと感じた。   |
| 学識経験者 D(2) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小島を回るあたりから、左へ圧流され、若干馬島へ寄ってしまった。</li> <li>・ PCC の場合、風、潮とも影響大。</li> </ul>                                       |
| 水先人 A(2)   | <p>①順流西水道での小島北東変針は舵角や偏位判断の遅れがあれば直ちに浅瀬に接近する。</p> <p>②「①」での遅れは右舵の長時間使用と左変針の機会を遅らせて、大橋南方の浅瀬に接近する要因となる。</p> <p>③実船で舵の応答や操縦性が悪いとその対応判断の時間的余裕が逆潮に比べて小さい。</p> |
| 水先人 B(2)   | 小島南への変針もスムーズであった。うまく強潮流中心付近を航行したため余り左右に圧流されることもなかった。馬島小浦崎に 1 ケーブルまで接近した点はやや問題あるが、東寄りに船位がずれれば船首側が潮の弱い水域に入り回頭困難となる恐れがある。ウズ鼻からの<138>への変針がやや遅れ気味であった。      |
| 水先人 C(2)   | 小島東灯標の変針で馬島側への圧流が見られたが、特に危険な接近とはならなかった。多くの場合この傾向は現われると思われる。  |
| 大型船船長 B(2) | 西水道中程に於いて当て舵が長めだった事もあり（5 時方向からの圧流があった）馬島側に寄せられ気味（1 ケーブルまで）となったが、それ以外は問題のないレベルの操船であった。  |
| 委員 B(1)    |  |
| 委員 C(2)    | 操舵のタイミングが合っていたと思う。操船者の早目の対応というより、その時その時の安全な対応であった。大舵を取ることがなかったため、不安はなかったがその分、馬島に心もち近づいた。   |

◎：操船者（）：評価点



(4) 内航船 (5000DWT タンカー)

【南流最強ノット (順潮) : ケース 7】

- 来島海峡航路西側入口から主機 Full Ah' d、12.3 ノットの状態からはじめる。開始後すぐに主機を N. Full とし、さらに左後方からの風と約 3 ノットの順潮によって対地速力は 17 ノットまで上がる。
- 小島の変針に至るまで 50cm/sec 程度の横流れと 5 度程度のリーウェイ角が生じるが、5 度程度の舵角にて保針航行した。
- 開始後 13 分、小島北にて右舵 5 度で変針をはじめる (対地速力 17 ノット)。水道部に入ると潮流は高まり、小島北東 (15 分) では右斜め後方から 6 ノットの潮を受ける。回頭によるドリフトと右船尾からの潮によって 150cm/sec の横流れが生じるが、馬島北に近づくことなく変針を終える。
- その後、小島と馬島間は比較的潮流の弱い小島側の水域を航行し、小浦崎付近にて左舵 15 度で馬島西の第 2 屈曲部を変針する。回頭に伴って 110cm/sec の横流れが生じたが、今治側に膨らむことなく変針を完了した。
- 水道部 (津島～地藏鼻区間) における操船者 (内航船船長) の評価は 3 (1 : 困難～5 : 容易)、実験参加者全員の評価は 2.0 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.1-9 に示す。

表 3.2.1-9 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント  |
|------------|---|
| 学識経験者 A(2) | 左右の振れが大きく (リーウェイの Max12° ) 安定した操船ができるとは言い難い。  |
| 学識経験者 C(2) | 潮流の影響、海域ごとに異なる状況となるため、操船がかなり困難であると感じた。船の操船性能も高いため制御は可能であったと思うが、わずかな操船ミスや判断の遅れが入ると、リカバー不可能となる恐れがあると感じた。操船の余裕はほとんどないと感じた。 |
| 学識経験者 D(2) | 船速が速いことから操船者の負担はかなり大きいと考えられる。   |
| 水先人 B(1)   | 小島に接近するまでの保針さえ困難と感じられた。小島から橋下への変針は潮流の影響が非常に大であり、一つまちがえれば航路からの離脱の可能性が大きい。N. Full まで速力が上がっていた事及び舵効き良好のため無事通峡できたと思われる。     |
| 水先人 C(1)   | 航路内では常に回頭モーメントが働いており、当て舵の必要がある。舵効きは良いので何とか針路は維持できるが船によっては難しい場合も考えられるのでは？小島東灯標の変針では非常に強い右回頭モーメントが見られ小島方向へ船首が向けられ危険状態となる。 |
| 大型船船長 B(2) |   |
| 委員 A(1)    | 順流で速力が高い上、保針が良くない。見張りが不十分になる可能性があり、安全上問題があると考える。  |
| 委員 B(2)    |   |
| 委員 C(1)    | 全体的に安全というより余裕が持てない。角速度計が右 35～左 35 に短時間のうちに動いていた。舵の使用が多い回数大型船では考えられないほどの多さだった。   |
| 委員 D(2)    | 潮の影響がかなりあり。舵角のとり方が実際の操船では難しい。常に当て舵が必要。  |

◎ : 操船者 ( ) : 評価点

### 3.2.2 中水道

#### (1) 巨大船 (VLCC)

##### 【南流 3 ノット (逆潮) : ケース 8】

- 来島海峡航路東側入口から実験を開始するが、本ケースは低速で中水道を航行した場合の操船性を検証することが目的であるため、主機は Half Ah' d として 9.1 ノットから航行をはじめた。開始時、右斜め前からの風と約 1 ノットの逆潮により徐々に速力は低下し、さらに中水道へ向けた変針による速力低減のため、地蔵鼻付近 (16 分) での速力は約 6 ノットとなる。
- 地蔵鼻沖では右舵 20 度で変針を行い、中水道のほぼ中央に向けて針路を安定させる。
- 中水道に近づくにしたが潮も次第に強まり 3.3 ノットとなる。潮をほぼ真正面から受ける状態であったため潮に落とされる状況ではなかったものの、中水道に向首するにしがいい風を左舷側から受けるようになるため、中水道通航時には右舷側へ約 20cm/sec の横流れが生じた。
- 中水道を通過する間、速力は 5.4 ノットまで低下し右への横流れを持ちながら進航するが、舵角 20 度を適宜とりながら保針制御し、中渡島に著しく接近することなく通航した。
- 水道部 (地蔵鼻～中水道区間) における操船者 (水先人 A) の評価は 2 (1 : 困難～5 : 容易)、実験参加者全員の評価は 2.9 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.2-1 に示す。

表 3.2.2-1 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント   |
|------------|--|
| ◎水先人 A(2)  | ・ 実船では区間①終了時点で少なくとも S/B Full が使用出来る順番取が終わっており、非常時以外は希なケースであろう。<br>・ 西水道に比べ、中水道は容易であった。                                       |
| 水先人 C(2)   | 中水道に接近する際、中渡島側へわずかであるが圧流される動きがあった。中水道は可航幅が狭いため、コースから離脱許容は少なく難しい。   |
| 大型船船長 B(2) | 逆潮により中水道最狭部付近の航過時間が長くなる事が気になる。   |
| 内航船船長 B(2) | 前方に低速の同航船がいる場合、船間距離がつまるので、減速をした場合に操船が難しい様である。単独の場合は操船に問題ない様。   |
| 委員 C(2)    | 航路幅からしてゆとりがないので留意が必要である。逆潮では舵効きがよいと言えるが、VLCC では微調整が出来ないことと大舵を長く取れないので早目の対応が必要であろう。実際には逆潮を船首に受けると潮ののがれ場がないので船の重さは予測出来ない場合がある。 |

◎ : 操船者 ( ) : 評価点

- 実験では最初の屈曲部の航路中央に標識を設置して実施した。水先人を含め有効であるとの評価が多く、全体の主観評価点でも 3.9 (1 : 有効性低い～5 : 高い) となった。

(2) 操縦性の劣る船舶（2万総トンバルカー）

操縦性の劣る船舶の性能は、既存モデルの性能から、①舵面積 3 割減、②舵応答速度 2 割減の性能を想定した。

【南流 6 ノット（逆潮）：ケース 9】

- 来島海峡航路東側入口から主機 Full Ah' d、10.6 ノットの状態から実験を始めた。開始してから右斜め前からの風と潮を受けることによって約 90cm/sec の左舷側への横流れが生じ、5～10 度のリーウェイを持ちながら進航する。
- 最初の屈曲部では舵角 10 度を適宜取りながら変針し、ほぼ正面から約 4 ノットの潮を受ける状態となり、速力は 7.4 ノットに低下する。その後も水道部に近づくにしながら流速は高まり、地蔵鼻付近では約 5 ノットの潮流となる。
- 地蔵鼻での変針にしたがって風を左舷側から受けるようになり、さらに潮流も左舷やや前から受ける状態となり船首が落とされ、65cm/sec の右舷側への横流れが生じた。船位は航路東側に偏位し、航路側端（中渡島側）に接近することとなったが、主機を N. Full に上げて舵効を高めることによって進路を修正した。
- 水道部（地蔵鼻～中水道区間）における操船者（水先人 A）の評価は 1（1：困難～5：容易）、実験参加者全員の評価は 1.9 となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.2-2 に示す。

表 3.2.2-2 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント  |
|------------|---|
| 学識経験者 A(2) | 保針性が悪く、針路を安定させるのに苦労していた。結果、中渡島に近づきすぎた。通過時 5 ノットであったが、速力が低く、舵効が悪い。   |
| 学識経験者 B(2) | 潮の流れの向きにうまく合わせた操船をしないと困難な状況となる。   |
| 学識経験者 C(2) | 操縦性能の悪さが顕著に現われていると感じた。潮流の影響もあるが保針性能が低く、中渡島に近づき過ぎた事から評価を「2」とした。  |
| 学識経験者 D(2) | 舵効きの性能（特にオーバーシュート大）が悪い事から、圧流に対して戻すことが遅れるようである。  |
| 水先人 A(2)   | ①強潮流と操縦性能不良が重なると制御不能に近い状況が発生すると思われる。<br>②常に潮流に立てての航行が肝要かと思われる。  |
| ◎水先人 B(1)  | 中渡島接近までは比較的容易と感じられたが同島並航する前に潮流を正面に受けたコース（340°～345°）くらいで最狭部を通過すれば良かったと反省。一旦強潮流を船首・船尾どちらかにかたよって受けるとこの性能の船では制御不能といっても良い状態になる。逆潮流下の中水道航行には従来のコース取りとは全く異なったコースを考えなければならない。 |
| 水先人 C(1)   | 中水道接近時の中渡島への圧流が強く現われました。操縦性能の悪さから修正動作がスムーズにいかず中渡島へ大きく接近した。<br>対策：航路法線を流線に合わせる。できるだけ直線的にする（浅所の撤去）  |
| 大型船船長 B(2) | 中水道中部への向首変針が少し早目であった事もあって、中央部で中渡島へ接近し過ぎたが、何れにしても、舵効の悪い船では厳しい操船を強いられる。   |
| 内航船長(2)    | 同航船との船間距離を十分にとっておく。風潮流を予測し、早目の操船を心掛ける。  |
| 委員 A(1)    | 最狭部前後で船体が落とされる方向が反対となり、変わり目が判らないと非常に危険に感じた。舵の応答も悪い影響もあり船体姿勢の保持が相当困難と思料する。   |

|         |  |
|---------|--|
| 委員 C(2) | 舵効きが悪いのでふらついて航行していた。操舵性能が悪いと狭水道では難しい場面が出てくる。 |
|---------|--|

◎：操船者 （）：評価点

### (3) 内航船（5000DWT タンカー）

#### 【南流最強（逆潮）：ケース 10】

- 来島海峡航路東側入口から主機 Full Ah' d、12.3 ノットの状態から実験を始め、開始後すぐに N. Full に上げる。
- 最初の屈曲部に向けて針路 270 度で航行中、右斜め前からの風と 2~4 ノットの潮を受けることによって約 100cm/sec の左舷側への横流れが生じ、5~10 度のリーウェイを持ちながら進航する。
- 最初の屈曲部を舵角 10 度で変針し、その後、やや右前から潮を受けるようになり、地蔵鼻付近では流速は 6.4 ノットとなり、速力は N. Full であったが 8.7 ノットまで低下する。
- 地蔵鼻変針後は、ほぼ正面から潮を受けるようになり、中水道通過時には 8.3 ノットの流速となり、速力は 6.2 ノットまで低下する。中水道では風を左舷側から受けながら航行するため右舷側へ 40cm/sec ほどの横流れが生じたが、著しく偏位することなく通航した。
- 水道部（地蔵鼻～中水道区間）における操船者（内航船船長）の評価、実験参加者全員の評価も 3（1：困難～5：容易）となった。評価 2 以下のコメントのうち操船困難性に係わる記述を表 3.2.2-3 に示す。

表 3.2.2-3 評価 2 以下のコメント

| 回答者        | 操船の困難性に係わるコメント  |
|------------|---|
| 大型船船長 B(2) | 小刻みに適切な操舵をし、無難に通峡した（舵効が良い）  |
| 委員 A(2)    | 橋付近で船体に対する相対流向が反対となり落とされる方向が反対となった。順流時の傾向は不明だが、最狭部の通峡に際しては良い条件と環境ではないと思われる。 |
| 委員 C(2)    | 強潮流のため船が左右にゆれる。その分舵を取る回数が多い。不安はなかったが操船は難しいと思う。                              |

◎：操船者 （）：評価点

### 3.2.3 考察

#### (1) VLCC

##### ① 西水道

小島での変針では、北流、南流ケースで進入時の位置取りの違いは見られるものの、変針タイミングや変針後の船位はほぼ同じような結果となった。また、馬島西の2次変針では、北流/南流時ともに小浦崎（オコラ崎）を通過した付近から変針をはじめた。ただし、北流のケースでは小浦崎通過後に大きく変針したのに対して、南流のケースでは緩やかに左回頭をもたせながら進航し、来島大橋通過後に大きく変針する操船であった。

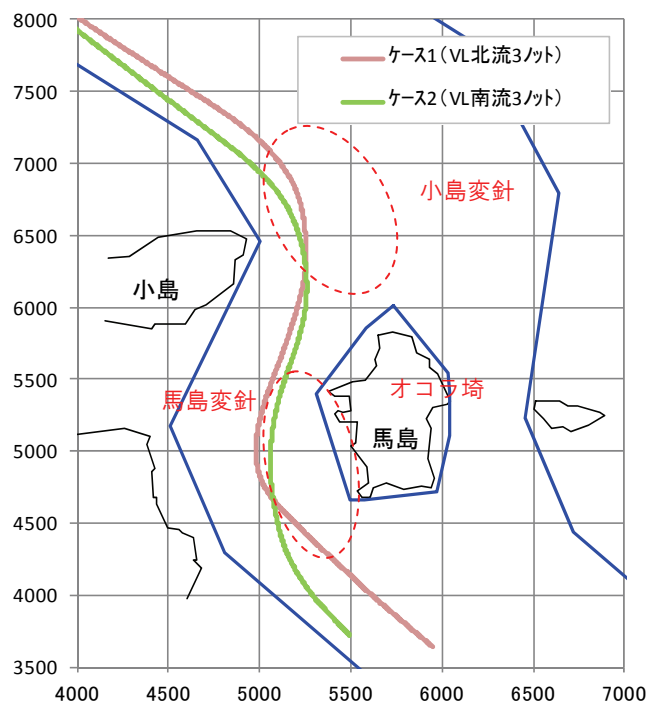


図 3.2.3-1 北流時/南流時における航跡ラインの比較

実験の結果、両流況とも単独航行における通峡は可能であった。ただし、順潮時には進入時の速力が大きくなることや、潮の流れを後方から受けることによる操縦性の低下などから以下のような特徴が表れた。

- ✓ 逆潮時に比較して通航速力が大きくなり（北流時：10.5ノット、南流時：12ノット）、そのため変針中のドリフトが大きくなる（北流時：79.8cm/sec、南流時：119cm/sec）。
- ✓ 操縦性が逆潮時に比べて低下するため、変針時の使用舵角が大きくなる（北流時：15度、南流時：35度）。

また、操船者の主観評価値においては、逆潮/順潮ともに2（1：困難～5：容易）となり同じ値となったが、順潮時のコメントでは以下のような操船の困難さを示す意見がより多く見られたことから、順潮時における操船の難易性は逆潮時に比べて高いも

のと推察される。

- ✓ 順流はやはり小島北側変針で馬島北浅瀬側へ圧流される（流速3ノットが限界かと思う）。このため、橋下至近で大角度左変針を余儀なくされる（オコラ崎を航過するまで待つ必要があるため）
- ✓ 馬島をかわってからの圧流にも要注意である。実船でこのような大胆な操船が出来るか疑問である。
- ✓ 変針のタイミングが少しでもズレれば回頭モーメントが傾き、舵を取られることになる危険が常に有る。

西水道を安全に通航するためには、適切なタイミングにおいて適切な速力と操作量で変針操作できることが重要であり、そのための対応（操船目標の整備、他船交通の整理など）が必要である。

## ② 中水道

事前シミュレーション（平成25年1月実施）で実施した巨大船（バルカー）による中水道の検証において単独航行の可能性が確認された。その際、中水道の通航速力が約9ノット（9～8.7ノット）を有していたため、さらに低速で通航した場合の影響について検証することが課題として挙げられた。

そこで、本実験では主機をHalf一定として航行し、中水道での通航速力を5.4ノット（対地速力）とした。（※来島海峡航路の優速規程は4ノット）

実験の結果、低速航行時においても単独航行における通峡は可能であったが、実験時のコメントでは、以下のような狭い中水道を逆潮で航行する際の困難さ示す意見も多く見られている。

- ✓ 中水道は可航幅が狭いため、コースから離脱許容は少なく難しい。
- ✓ 逆潮により中水道最狭部付近の航過時間が長くなる事が気になる。
- ✓ 前方に低速の同航船がいる場合、船間距離がつまるので、減速をした場合に操船が難しい様である。
- ✓ 航路幅からしてゆとりがないので留意が必要である。逆潮では舵効きがよいと言えるが、VLCCでは微調整が出来ないことと大舵を長く取れないので早目の対応が必要であろう。実際には逆潮を船首に受けると潮ののがれ場がないので船の重さは予測出来ない場合がある。
- ✓ 実船では区間①終了時点で少なくともS/B Fullが使用出来る順番取が終わっており、非常時以外は希なケースであろう。

逆潮での航行は、狭い水道内に位置する時間が長くなることからリスクが顕在化する可能性も高くなると考えられる。そのため、上記コメントにもあるように、このような巨大船が通航する際には、低速で航行することのないような対応（交通整理）が必要である。

## (2) 操縦性の劣る船舶 (2 万総トンバルカー)

### ① 西水道

実験では舵性能の劣る船舶として、舵面積を 3 割減、舵応答速度を 2 割減としたバルカーを想定した。

西水道のような S 字操船では、小島沖の 1 次変針を行い、その右回頭力を制御しながら馬島沖の 2 次変針に向けて左の回頭に転じる必要があり、そのタイミングと操作量を適切に制御することが重要である。舵力の劣る船舶では、この回頭を制御する力が不足するため、回頭タイミングを逸するおそれがあり、その場合、回頭が進み過ぎて潮を横方向から受けるようになり回頭を制御できずに漂流する危険がある。

実施した北流 6 ノットのケースでは、通常の操船タイミングで航行した場合、小島沖の 1 次変針に伴う右回頭力を制御することができなかった。南流時のケースでは北流時の結果を踏まえ潮を上手く利用して通航することができたが、潜在的には北流時と同じリスクをもっており、本実験前の慣熟操船では北流時と同じ状況となった。

実験では、この結果を踏まえて 3 ノットの弱潮時における追加検証を行った結果、北流／南流ともに通常の操船タイミングにて航行することができ、操船者の評価は 1 から 2 (1: 困難～5: 容易) となり、全体評価としても 1.8 から 3.1 に高まった。また、コメントにおいても 6 ノットの実験では、操船の困難性や危険性を示す意見が多く見られたが、3 ノットの実験ではこのような意見が減少した。

なお、現在このような操縦性の劣る船舶については、水先の引き受け基準において弱潮時を利用するような対応がなされている。

### ② 中水道

中水道は西水道のような S 字操船とはならず、ほぼ直線的に進入し通過することができる。実験においても中水道入口付近までのアプローチでは、操縦性劣化による影響は見られなかった。

中水道の最狭部では 6 ノットの強潮流をほぼ真正面から受ける状態となる。この受け角が風などによって船首が振れて少しでも斜めから受けることになると、潮による船首の回頭と圧流が発生する。通常は舵力によりこれを制御することができるが、舵能力の劣る船舶では即座にその運動を制御することができず、実験では船首が大きく回頭し中渡島に接近する状況が見られた。操船者の評価では 1 (1: 困難～5: 容易)、全体評価においても 1.9 となり困難さの高いことが窺える。

舵性能の劣る船舶の場合、船体の回頭運動を制御する力が不足しているため、一度大きな回頭力がついてしまうとそれを抑制することが難しくなるため、基本的には西水道と同様に弱潮流での航行を基本と考えるべきである。

### (3) 自動車専用船

#### ① 南流と北流の比較

事前シミュレーションにおいてすでに検証された南流時の操船結果と本実験結果（北流）を比較した。

小島での変針では、北流、南流ケースで進入時の位置取りの違いはあるものの変針タイミングや変針後の船位はほぼ同じような結果となり、馬島での変針では、南流時の航跡が北流時に比較して膨らむ航跡となった。

馬島での変針における航跡の膨らみは、VLCCの結果と同様で、順潮での操船は逆潮時に比較して進入速度が大きく、変針中の横流れ（ドリフト）が大きくなるためと考えられる。また、順潮での操船は操縦性の低下によって変針操作量も比較して大きくなった。

順潮においても単独航行における通航は可能であり、逆潮時とほぼ同じようなライン取りをすることができた。

自動車専用船に限らず西水道において安全に通航するためには、適切なタイミングにおいて適切な速力と操作量で変針操作できることが重要であり、そのための対応（操船目標の整備、他船交通の整理など）が必要である。

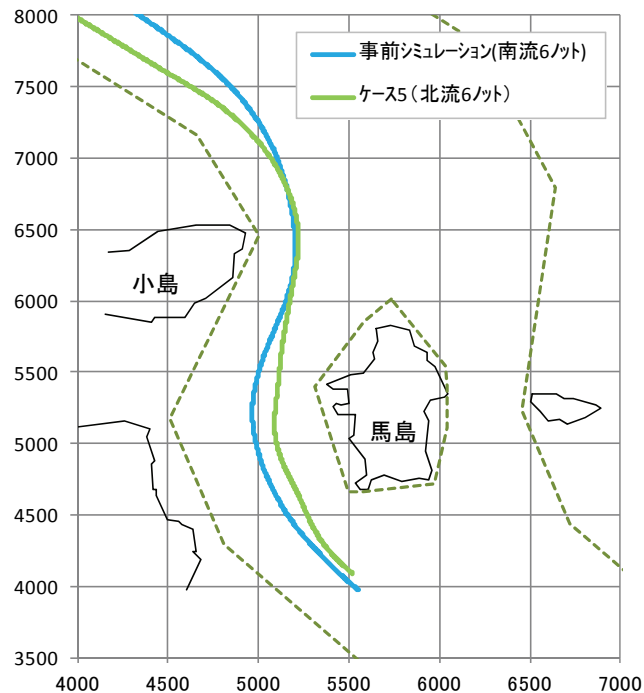


図 3.2.3-2 航跡ラインの比較（北流時／南流時）



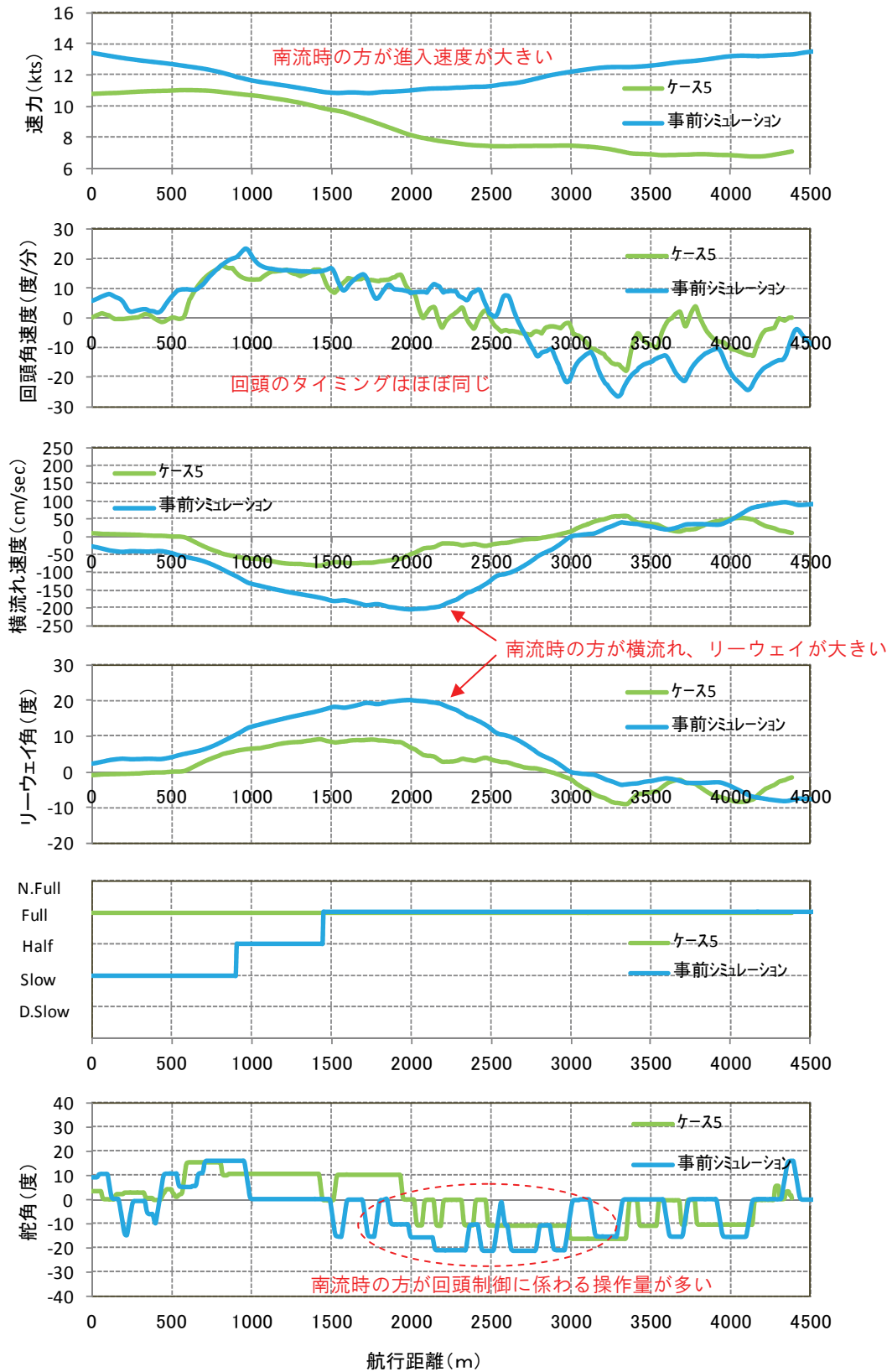


図 3.2.3-3 操船状況比較 (北流/南流)

## ② 操船者（水先人／大型船船長）による比較

事前シミュレーションにおいてすでに検証された水先人による操船結果と本実験結果（大型船船長による操船）を比較した。

航跡及び操船状況の比較に見られるように、大型船船長による操船では小島沖の 1 次変針での操作量が水先人に比較して不足したため航跡が膨らみ馬島に近づくこととなった。馬島への接近を避けるため再度右回頭速度を高めながら小浦埼の 2 次変針ポイントに向かうが、馬島側に寄って通航したことで右回頭速度を大きくもっていたことから 2 次変針のタイミングが遅れることとなった。その後の変針操作においても回頭量が不足し結果的に今治側に膨らむ航跡となった。

水先人と大型船船長が行った操船状況では、変針時の横流れやリーウェイなどの圧流状況に顕著な違いはなかったものの、ライン取りには両者に違いが表れた。この違いは変針操作量や変針タイミングの違いによるものであり、とくに小島沖での 1 次変針のライン取りを誤ると次の小浦埼での 2 次変針タイミングに影響を及ぼすことになる。操船者の主観評価は 3（1：困難～5：容易）としているが、コメントでは以下に示すような潮の厳しさのほか、変針タイミングの遅れが馬島への接近などにつながることも指摘されている。自動車専用船に限らず西水道において安全に通航するためには、適切なタイミングにおいて適切な速力と操作量で変針操作できることが重要である。

- ✓ 小島は問題無く航過ぎしたものの、次のコースへのアクションが遅れ、かつ、潮に圧流されたため、陸とのクリアランスに気を取られ、馬島とのクリアランスが思いのほか近くなってしまった。次に馬島とのクリアランスを維持するため、想定コースより右に取り、その他、馬島航過時、大きくオーバーライドした。場所により舵効きが極端に変わるので非常に難しい操船となった。

なお、通常はこのような大型船においては水先人が乗船することになり、また、水先人の乗船が免除される船舶においては豊富な通航経験を有する船長が操船することになるため、実験で想定したような状況は起こり難いものと考えられる。ただし、個々の操船者による知識や経験の差もあることから、どのような操船者においても適切なライン取りができるような対応（操船目標、標準操船、交通整理等々）が必要なものと考えられる。

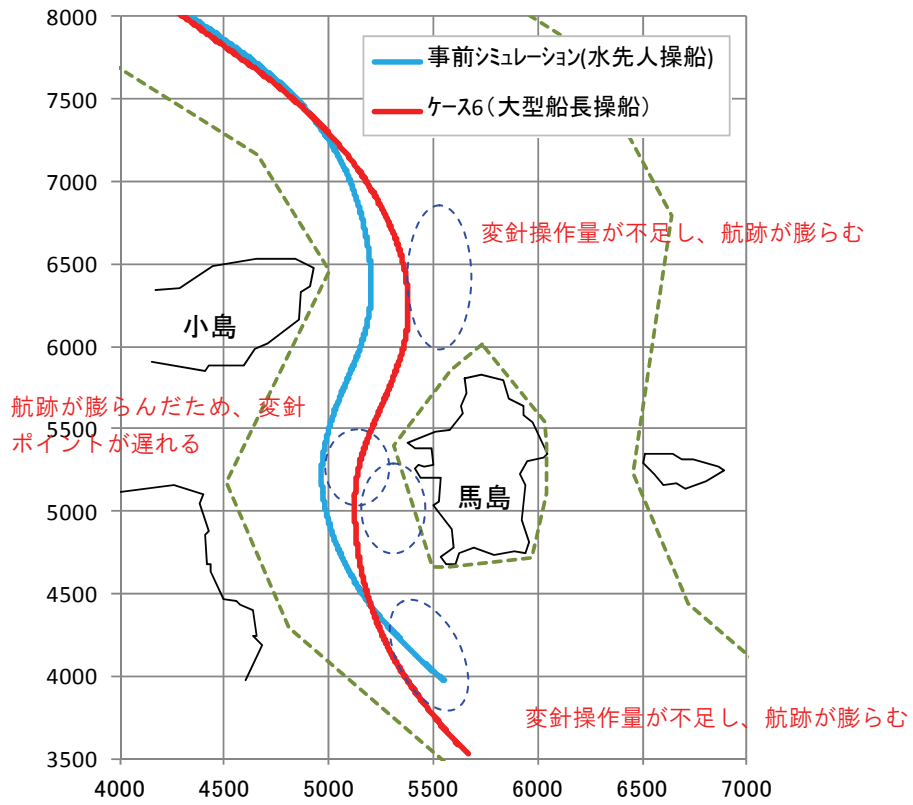


図 3.2.3-4 航跡ライン (水先人操船/大型船長操船)

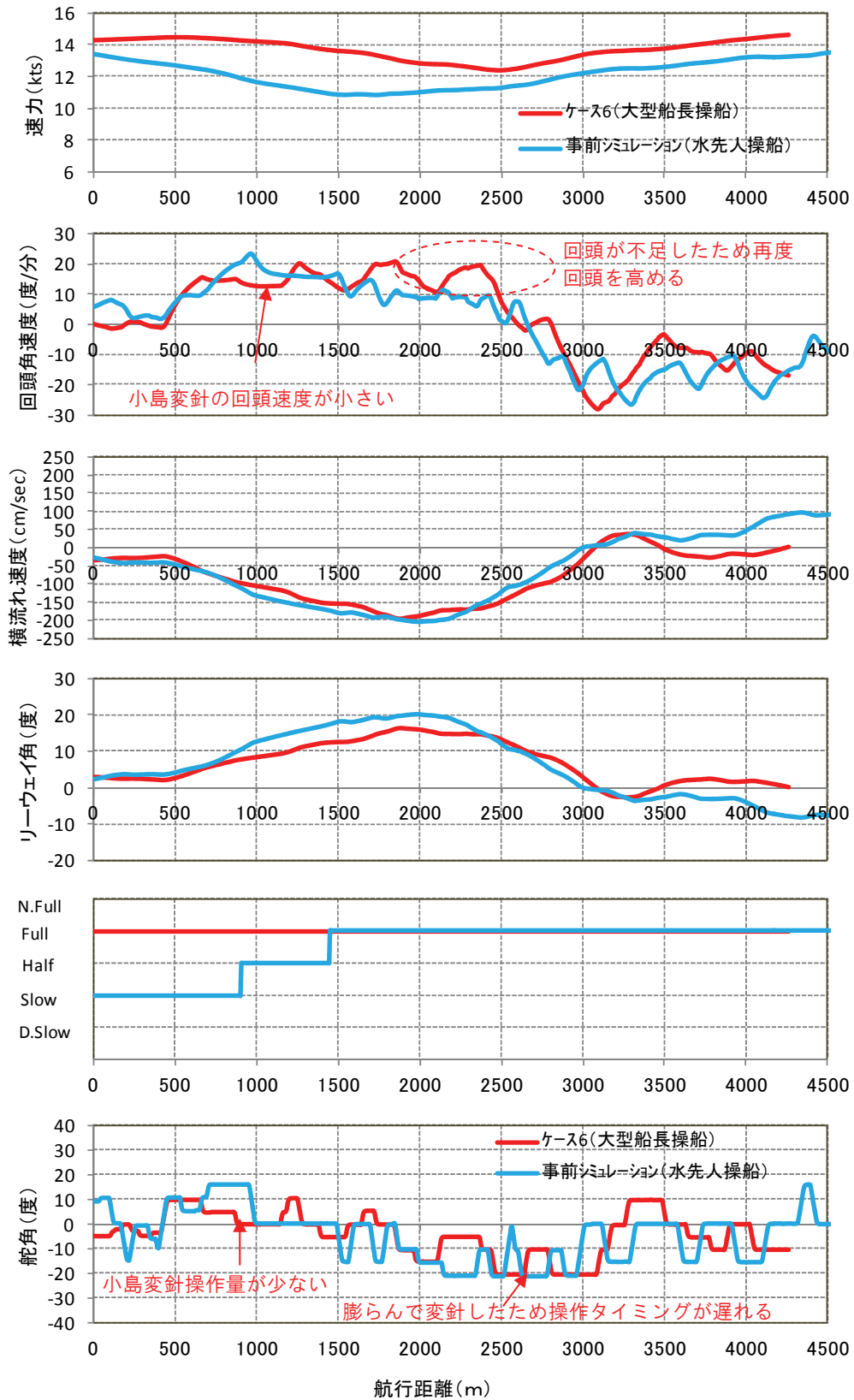


図 3.2.3-5 操船状況比較 (水先人操船/大型船長操船)

#### (4) 内航船

##### ① 西水道

操縦性能が良い内航船では、最強流（約 9 ノット）を想定した流況においても、潮を上手く利用しながら通航することができた。とくに小島東の屈曲部から馬島西にかけての通航は潮流が比較的弱い個所を狙って航行しており、操船者のコメントにおいても「強潮流下では細やかな操船で想定しているコースを保持する」との意見もあり、このような操船は、来島海峡の流況を熟知していなければできない操船とも言える。

通峡時の操作量は大舵角を取り続ける状態ではなく、操船者の主観評価は 3（1：困難～5：容易）であり、単独航行における操船は可能であるものと考えられるが、立会者の意見では、以下のような強潮流下での操船に対する困難さも指摘されており、安全に通航するための潮流条件や強潮流時の運用等について検討することが必要である。（通常は最強時や転流時は避けるように航行している）

- ✓ 左右の振れが大きく（リーウェイの Max12°）安定した操船ができるとは言い難い。
- ✓ かなりの潮の影響をうけるも内航船なので立て直しが比較的容易であった。操船の余裕がなくなるので最強時の通航は避けた方が望ましい。
- ✓ 船の操船性能も高いため制御は可能であったと思うが、わずかな操船ミスや判断の遅れが入ると、リカバー不可能となる恐れがあると感じた。操船の余裕はほとんどないと感じた。
- ✓ 小島から橋下への変針は潮流の影響が非常に大であり、一つまちがえれば航路からの離脱の可能性が大きい。
- ✓ 小島東灯標の変針では非常に強い右回頭モーメントが見られ小島方向へ船首が向けられ危険状態となる。

##### ② 中水道

中水道通航においては、主機を N.Full として対地速力 6.2 ノットとして通航した。最狭部通航時、風上への切り上がりで 40cm/sec ほどの横流れが生じるが、舵により制御し陸岸等に著しく接近する状況はなかった。操船者の主観評価も 3（1：困難～5：容易）となり、単独航行における操船は可能であるものと考えられるが、操船者のコメントでは以下のような指摘もあることから、通航時の船間距離のコントロール、低速船の対応など管制の運用について検討することが必要である。また、潮目を見ながら航行するとの意見があることから、夜間における対応についても検討が必要である。

- ✓ 中水道南側で潮流が最大となるので、追い越し禁止区間のラインを越えたあたりで急な減速となる。船間が近い場合には後続船（先航船）との急接近が予想される。
- ✓ 日中の操船ならば潮流を把握しやすいので、強潮流付近を避ければ操船は容易である。
- ✓ ③ブイ付近から船速の遅い船との並列関係が生まれるが、全体的に右に圧流され

るのでブイに接近することはない（西水道向けは逆にブイに寄る）。

(5) 航路標識の効果

実験では図に示すような6基の航路中央標識を設置して実施した。

航路標識に関するコメントでは、操船目標として有効であるとの意見が多く、主観値評価においても平均では3.9、評価4以上の割合では81.3%となった。

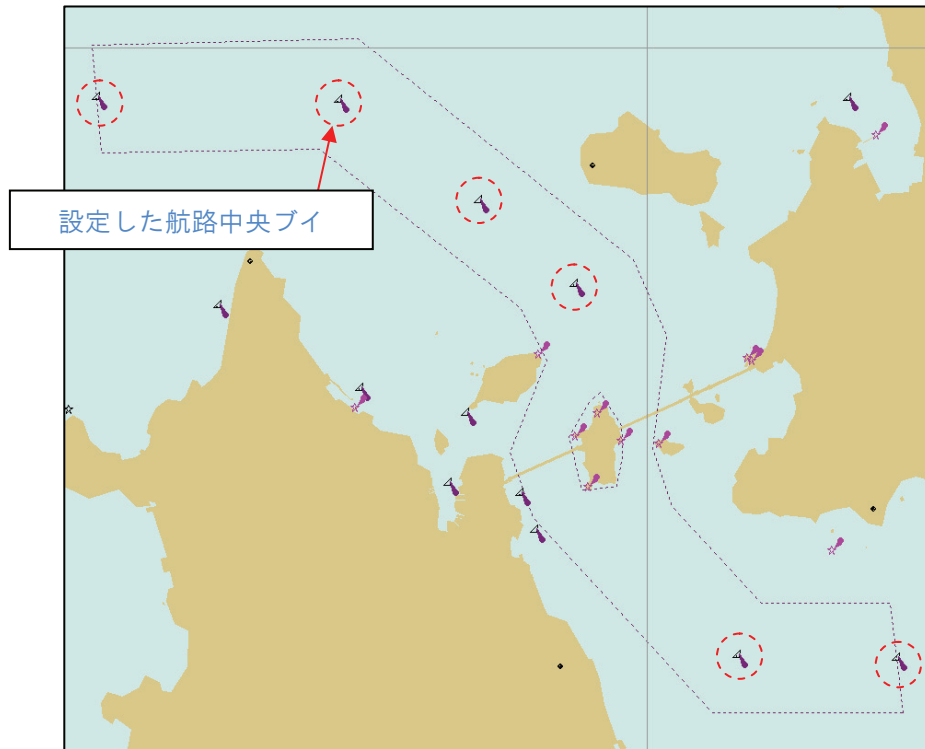


図 3.2.3-6 シミュレーションにおける航路標識位置

表 3.2.3-1 航路標識に関する主観値

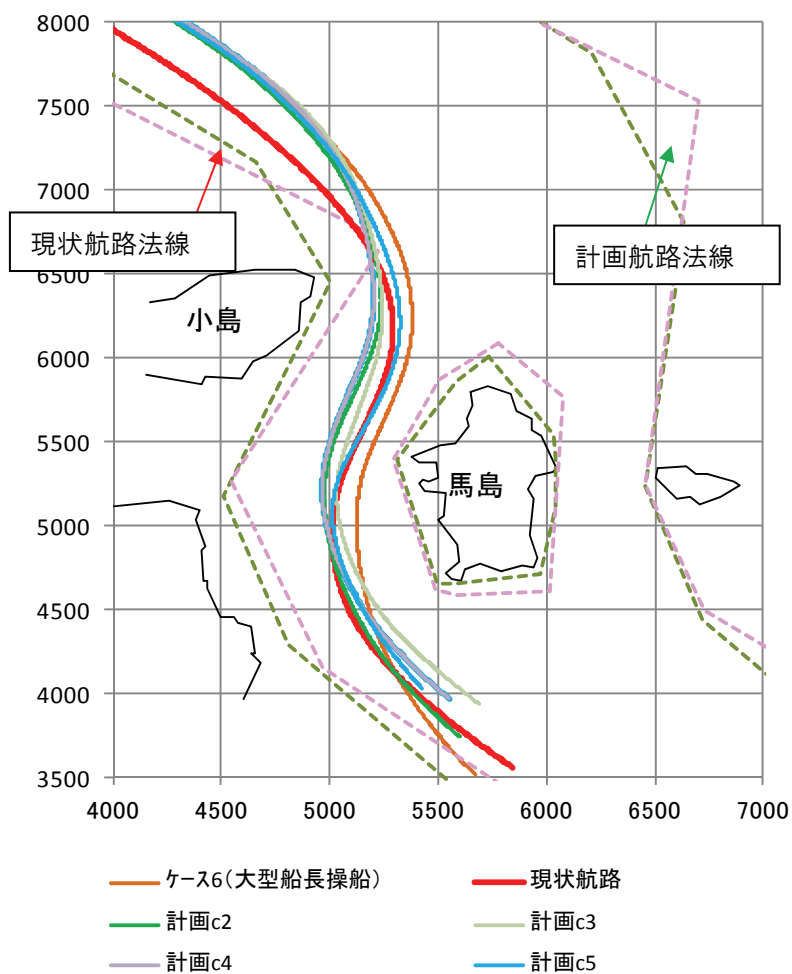
| ケース | 水道         | 船種         | 方向／流況     | 評価値 (平均)  |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|
| 1   | 西水道        | VLCC       | 東航／北流 3kt | 3.9       |
| 2   |            |            | 東航／南流 3kt | 3.9       |
| 3   |            | 操縦性の劣るバルカー | 東航／北流 6kt | 3.8       |
| 11  |            |            | 東航／北流 3kt | 4.0       |
| 4   |            |            | 東航／南流 6kt | 3.9       |
| 12  |            |            | 東航／南流 3kt | 4.1       |
| 5   |            | PCC        | 東航／北流 6kt | 3.9       |
| 6   |            |            | 東航／南流 6kt | 4.1       |
| 7   |            | 内航船        | 東航／南流最強   | 3.7       |
| 8   |            | 中水道        | VLCC      | 西航／南流 3kt |
| 9   | 操縦性の劣るバルカー |            | 西航／南流 6kt | 4.1       |
| 10  | 内航船        |            | 西航／南流最強   | 4.0       |

|               |       |
|---------------|-------|
| 全ケース平均        | 3.9   |
| 全ケース評価値4以上の割合 | 81.3% |

#### (6) 現状航路法線との比較

事前シミュレーションにおいて検証された自動車専用船における操船結果と本実験結果を比較した。

- 計画法線(案)では小島沖での1次変針への進入角が緩やかになったことから、風況や操船者の違いにかかわらず、どのケースにおいても現状航路法線時に比較して緩やかな航跡となった。
- 現状航路法線では小島沖の屈曲部が東側に深く切れ込んでおり、航路に沿って航行しようとする90度以上の変針を要することとなる。旋回径の大きい大型船等では現実的には図の航跡に見られるようにショートカットする形となり、そのため航路側端にせって走ることとなる。計画法線(案)では屈曲部に隅切りが設けられているため、同等の位置においても航路側端との距離を持って航行することが可能となる。
- 現状航路法線における航跡では、小島沖での1次変針が大角度となったため、変針中の航跡が膨らみ、その結果、次の馬島での2次変針のタイミングが遅くなり変針角も比較して大きくなっている。計画法線(案)における航跡では、1次変針を緩やかに進入することができるため、小浦埼付近での変針が可能となり、その後の航跡の膨らみも緩やかなものになっている。



|       |          |                               |
|-------|----------|-------------------------------|
| 現状航路  | 現状航路法線   | 南流 6 ノット / 無風                 |
| 計画 c2 | 計画法線 (案) | 南流 6 ノット / 無風                 |
| 計画 c3 |          | 南流 6 ノット / NW10m/sec          |
| 計画 c4 |          | 南流 6 ノット / NW10m/sec          |
| 計画 c5 |          | 南流 10 ノット / 無風                |
| ケース 6 |          | 南流 6 ノット / NW10m/sec ※大型船船長操船 |

※現状航路及び計画 c2～c5 は事前シミュレーション実施ケース

図 3.2.3-7 現状航路法線と計画法線 (案) における航跡比較



### 3.2.4 まとめ

巨大船を想定した VLCC では潮流 3 ノット、大型船を想定した自動車専用船及び操縦性の劣るバルカーでは潮流 6 ノット、内航船を想定した 5000DWT 級のタンカーでは最強流（約 9 ノット）を想定して実験を行い、昨年実施した事前シミュレーションを含め全 22 ケースの検証を行った（表 3.2.4-1）。

本検証では、他船交通は考慮したものの自船の操船に影響を及ぼすような設定ではなかったため、順潮での西水道航行、逆潮での中水道航行について単独航行の技術的可能性を検証したものと考えられる。実際の運用では他船交通のほか、夜間の問題、漁船の操業など様々な要因が自船の操船に影響を及ぼすことになるため、本結果をもって右側通航の可否を言及することは難しい。ただし、検証の結果、巨大船や操縦性の劣る船舶にあっては 3 ノット程度の潮であれば順潮においても技術的に航行が可能であり、大型船や内航船ではさらに強潮下での航行が可能であることが確認されたものと考えられる。

また、操縦性の劣るバルカーによる潮流 6 ノットのケースを除外して操船者の主観評価結果をまとめると以下(1)及び(2)の事項が明らかとなった。

#### (1) 水道部前の海域

西水道及び中水道の全てのケースにおいて、操船者の主観評価結果は 3～5 であった。このことは、水道部に比べて広い操船空間が確保されていることや潮流の影響が小さいことに加え、他船による横切りや行き会い等による針路交差の発生や追い越し等が無い航行環境を設定したことによると考えられる。

#### (2) 水道部

現状の順中逆西の通航方法によって北流時に西水道を航行するケース（ケース 1、5 及び 11）の操船者の主観評価結果は 2～3 であった。また、右側通航を想定し南流時に西水道を航行するケース（ケース 2、6、7 及び 12）の操船者の主観評価結果も同様に 2～3 であった。加えて、右側通航を想定し、南流時に中水道を航行したケース（ケース 8 及び 10）についても評価結果は同様であった。

このことは、現状の通航方法（順中逆西）でも本質的にこの水道部が操船者にとって「操船困難な海域」であることを示唆している。ただし、実験時のコメントでは、順潮航行時の操船困難性を指摘する意見も多くあったことから、順潮における西水道航行、逆潮における中水道航行については、種々の航行環境の整備や通航可能な流速条件等についてさらなる検討が必要なものと考えられる。

さらに、操縦性の劣るバルカーによる潮流 6 ノットのケース（ケース 3、4 及び 9）と 3 ノットのケース（ケース 11 及び 12）の水道部における操船者の主観評価結果を比較すると、前者が全て 1 であるのに対して後者は 2～3 となった。すなわち、流速条件を適切に設定することによって水道部における操船の困難性を下げる効果があることを示している。順中逆西、右側通航に限らず S 字に屈曲した狭隘な水道を安全に通航

するためには、船舶の特性に対応した適切な流速設定により操船者の負荷を軽減する運用が必要であると考えられる。

以上のように、来島海峡における右側通航を想定した西水道及び中水道の技術的な単独航行の可能性については、操船者の負荷を軽減する運用が必要であるものの概ね確認できたものと考えられるが、右側通航を判断する材料としては不十分であり、今後、夜間において視認性が低下した状態における航行の可能性や、実態を踏まえた交通環境下における航行の可能性や本実験で想定しなかった船種／船型における航行の可能性など、さらに検証を重ねる必要がある。

表 3.2.4-1 実施ケース一覧

|            | ケース  | 航路 | 水道   | 対象船           | 流向<br>流速 | 風況            | 航行<br>方向 | 操船者  |
|------------|------|----|--|---------------|----------|---------------|----------|------|
| 事前シミュレーション | 1    | 現状 | 西水道<br><br><br><br><br><br><br><br><br>中水道 | 自動車専用船        | 南流 6kt   | 無風            | 東航       | 水先人  |
|            | 2    | 計画 |  |               |          | NW<br>10m/sec |          |      |
|            | 3    |    |  |               |          |               |          |      |
|            | 4    |    |  |               |          |               |          |      |
|            | 5    |    |  |               |          |               |          |      |
|            | 6    | 現状 |  | 巨大船<br>(鉦石船)  | 南流 3kt   | 無風            |          |      |
|            | 7    | 計画 |  |               |          | NW<br>10m/sec |          |      |
|            | 8    |    |  |               |          |               |          |      |
|            | 9    |    |  |               |          |               |          |      |
|            | 10   |    |  |               |          |               | 西航       |      |
| 本シミュレーション  | 1    | 計画 | 西水道  | 巨大船 (VLCC)    | 北流 3kt   | NW<br>10m/sec | 東航       | 水先人  |
|            | 2    |    |  |               | 南流 3kt   |               |          | 水先人  |
|            | 3    |    |  | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流 6kt   |               |          | 水先人  |
|            | 4    |    |  |               | 南流 6kt   |               |          | 水先人  |
|            | 5    |    |  | 自動車専用船        | 北流 6kt   |               |          | 水先人  |
|            | 6    |    |  |               | 南流 6kt   |               |          | 大型船長 |
|            | 7    |    |  | 内航船           | 南流 9kt   |               |          | 内航船長 |
|            | 8    |    | 中水道  | VLCC          | 南流       |               | 水先人      |      |
|            | 9    |    |  | 操縦性の劣る<br>大型船 |          |               | 西航       | 水先人  |
|            | 10   |    |  | 内航船           |          |               | 内航船長     |      |
|            | 追 11 |    | 西水道  | 操縦性の劣る<br>大型船 | 北流       |               | 東航       | 水先人  |
|            | 追 12 |    |  |               | 南流       |               |          | 水先人  |