

操船シミュレーションを活用した工事航行安全性の検討について

與儀 成也¹・橋本 雷士²

1 平良港湾事務所

工務課長 (〒906-0012 沖縄県宮古島市平良字西里 7-21) ◎

2 平良港湾事務所

工務係長 (〒906-0012 沖縄県宮古島市平良字西里 7-21) ○

平良港では、複合一貫輸送ターミナル改良事業として、漲水地区に岸壁等港湾施設を整備している。これは、船舶の大型化に伴い冬季季節風の影響が顕在化していること等の実情を踏まえ、供用中の既存岸壁の前面を埋立拡張とともに、北北東風の影響を最小化するため岸壁法線を改善するものである。そのため、現在使用している岸壁の一部が使用不可となり、利用船舶に対しバースシフト(利用岸壁の変更)を求める必要が生じる。しかし、その際冬季季節風の影響により利用船舶の操船がいっそう困難になることが予想された。そのため、航行船舶の安全・工事の円滑化を確保する観点から、操船シミュレーションを実施し大型RORO船の航行安全性を検証するとともに、タグボート等大型RORO船が出入港・離接岸する際の支援船の必要性について検討した。

キーワード：船舶航行安全、操船シミュレーション、冬季季節風対策

1. はじめに

平良港は、沖縄本島の南西約300kmにある宮古島の西部に位置し、古くから宮古圏域における拠点港として、沖縄本島、石垣島を結ぶ国内海上ネットワークを形成する拠点として機能している。また、圏域内に生活物資を供給する産業が少ないとから、港を通じた海上輸送が圏域の生命線となっている。



写真-1 平良港漲水地区

注) RORO船：ロールオンロールオフ船。コンテナ貨物などを、クーンではなくトラックやトレーラーを使って積卸し(水平荷役)できる貨物船。荷役作業が短時間に行える利点がある。

2. 複合一貫輸送ターミナル改良事業

本事業については、安定的な海上輸送の確保、危険且つ非効率な荷役形態の改善、大規模地震時

防災拠点の形成など具体的には下記の目的で実施している。

- 1) 船舶の出入港時の安全性を確保するため、利用船舶が冬季季節風の影響を受けにくいよう岸壁を配置する。
- 2) 施設の老朽化による危険性解消や狭隘なふ頭用地による非効率な荷役作業を解消するため、安全且つ適切なふ頭用地面積を確保する。
- 3) 大規模地震等災害時の緊急物資の円滑な輸送に対応するため耐震強化岸壁を整備する。



写真-2 荷役機械が輻輳するふ頭用地

3. 航行安全上の問題点と対策

漲水地区では、冬季季節風の卓越方向(北北東(NNE))と船舶の接岸方向が直角となり、出入港・離接岸時に船舶が横風を直接受けることから操船が困難な状況にある。また、船舶の大型化に伴い受圧面積も大きくなるため、特に入港時にふ頭前

面で、減速のため⁷ ハペラの回転数を落としたことにより舵が効きにくくなる場合や回頭(船の向きをその場で回転させること)する場合などは、その影響が顕著となる(図-1 参照)。

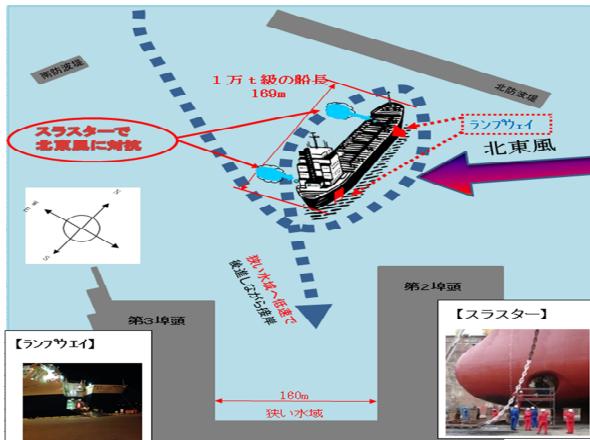


図-1 平良港操船困難の概念図

そのため、平良港では以下の問題を抱えている。

- ① 冬季季節風時には、上記のとおり操船上の困難性から、ふ頭への接触等海難事故の発生リスクが高まっている(写真-3 参照)。



写真-3 冬季季節風による船舶の接触事故

平良港及び類似の離島港湾における定期船の就航率(2010年)



図-2 港湾別定期船就航率の比較

- ② 冬季季節風の影響で、船社は平良への入港接岸が困難と判断した場合は、その途中段階でも入

港を断念し抜港(平良を欠航し次の目的地へ向かうこと)するため、年間を通じた定期船の就航率(88.8%)が、他の港湾と比較し低い状況となっている。(図-2 参照)

4. 工事期間中バースシフトする上ででの問題点

1) 港湾管理者等関係機関と協議の結果、バースシフト先は同じ第2ふ頭の北側、つまり現行の反対向きの岸壁を使用することとなった(図-3 参照)。

その際、以下の問題が懸念された。

【バースシフト先で懸念される問題点】

- ① 大型RORO船は一端接岸した場合、冬季季節風の程度によっては、船体への風圧で今度は離岸自体が出来なくなる可能性があるため、接岸そのものを見合わせる頻度が増加し、平良港の低い就航率はさらに悪化する。
- ② 大型RORO船が漲水地区入港時、船体が北風を追い風として受けるため、推力を落としても速度が低下しないだけではなく、推力を弱めていることで舵が効きにくい状態になることに加え、風圧流により工事区域まで急接近する危険性があった(図-4 参照)。

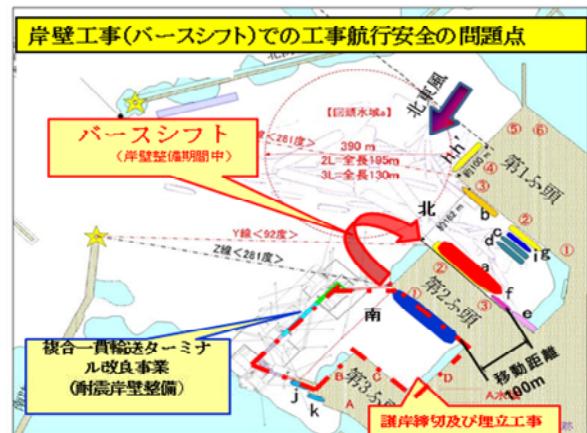


図-3 バースシフトの概念

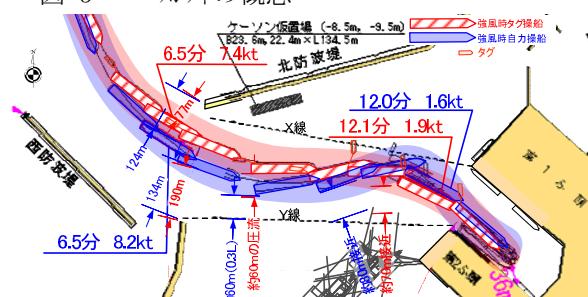


図-4 工事区域への圧流の危険性

以上より、バースシフト後においても最低限、従前の就航率(88.8%)を確保するとともに工事の円滑化を図る観点から支援船(タグボート等)の必要性、必要であるならばその規格、必要期間等条件を明確にするため、操船シミュレーションを実施し検証した。

5. 操船シミュレーションの実施

1) 操船シミュレーション入力条件

操船シミュレーションに用いる外力の入力条件は、平良港における冬季風浪の入港困難（一番条件の悪い）なものとし、下記の条件を設定した。

(1) 操船シミュレーション実施対象の船舶

平良港に就航する最大型で最も冬期風の影響を受けやすい「琉球海運：みやらびII」（図-5 参照）を対象とした。

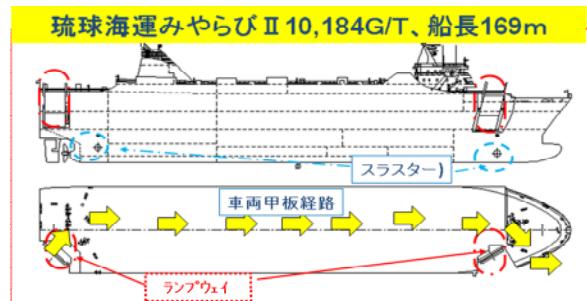


図-5 対象船舶「みやらびII」

(2) 自然条件の設定

① 風速・風向は、過去1年6ヶ月の風速データとともに、みやらびIIが抜港や出入港に大幅に時間を要すなど操船が困難であった風速、風向を算出し、日々の気象・海象等詳細なデータが記されている航海日誌との照合の上、入港限界値として欠航となる冬季季節風の北北東(NNE)の風（10月から1月）平均風速10m/sを上限値とした。また、入力風は変動風とし、より実態に近いものとした。

③ 波向は、沖合波浪観測地点での波向別波高出現

頻度を踏まえ波向を北北西(NNW)を設定した。

④ 波高は、岸壁前面における荷役限界波高である、

0.5m以下となるよう求め、沖波有義波高を1.5mとした。

⑤ 潮流は対象海域で微流のため考慮しないことと

した。

(3) 船舶諸元・性能に関する条件設定

主機関、舵、スラスター(横方向用補助プロペラ)については、造船所データをもとに出力を段階的に設置し、みやらびIIと同じ操船性能となる入力データに設定した。

(4) 検討する支援船の種類

支援船は、経済性及び冬季に調達可能という条件を考慮し平良港在港の工事用曳船1,300psと石垣港に在港するタグボート3,200psの2隻で検討した。

2) 支援船必要風速の設定

支援船の必要性を検討するにあたり、バースシフト前でも一定の風速では抜港(平良港欠航)が生じていることから、実績上明らかに出入港できない平均風速(10m/s超)は検討対象から除外する。また、前述のとおり、バースシフトにより風向・風速をこれまで以上に強く意識した操船をせざるを得ないなど離接岸の方法・難易度が非常に高くなる。よって、事業者としては、工事に伴いバースシフトしたことによる船社側の不利益分を解消することを目標とし、シフト前(工事前)の就航率88.8%を確保する観点から、対象平均風速を図-5のとおり設定した。

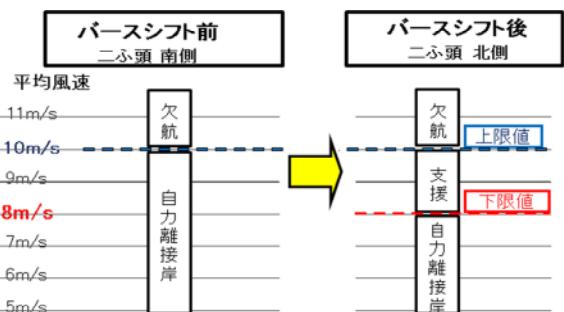


図-6 対象平均風速設定の概念図

なお、図-6において平均風速8m/sはバースシフト後でも自力離接岸可能な平均風速として予め操船シミュレーションにて確認した数値である。

3) 操船シミュレーション実施方法

操船シミュレーションは、次のフローチャートにより実施した。操船シミュレーション実施手順として、図-6で設定した風

速条件をもとに、大型RORO船のスラスター(横方向用補助プロペラ)のみで出入港・離接岸が可能かを、まずパソコン上での簡易な鳥瞰図版操船ミュレーションで検証、次に安全な出入港・離接岸が困難な場合は、支援船を使って操船可能かという手順で順次条件を変更し検証を行った。

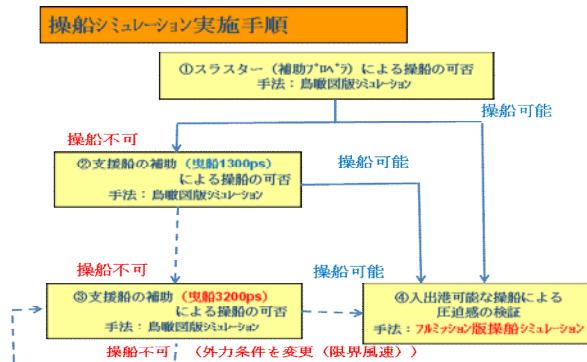


図-7 操船シミュレーション実施手順

鳥瞰図版操船シミュレーションで安全な操船が可能であったケースについては、フルミッション版操船シミュレーションという、より実際の船橋内や船橋から見る障害物の状況を再現し、鳥瞰図版では得られない操船時の圧迫感等も加味した手法で検証をした。

4) 鳥瞰図版操船シミュレーションの検証

表-1 鳥瞰図版操船シミュレーションの検討ケース

検討は、表-1 に示す 6 ケースで行った。基本的には、外力条件が対象船舶の船体運動に与える一般的な傾向について下記の観点から把握した。

- ・スラスター（横方向用補助プロペラ）のみで出入港・離接岸の可否を検証
 - ・出入港・離接岸時に支援船が必要な場合の規格の検証

5) 鳥瞰図版操船シミュレーションの結果

ケース3(図-8)については、平均風速10m/sで支

援船の補助なしの離岸時のシミュレーション結果である。

スラスターの出力 100%でも岸壁から離岸できず、主機関を使った前進でようやく船尾が岸壁から離れた。しかし、これにより当該船舶の前方に停泊する他船舶の 15m 手前迄接近するなど危険な離岸手法を取らざるを得なかった。また、回頭迄 15 分以上要し、平均風速 10m/s で自力による出港は困難と判断された。

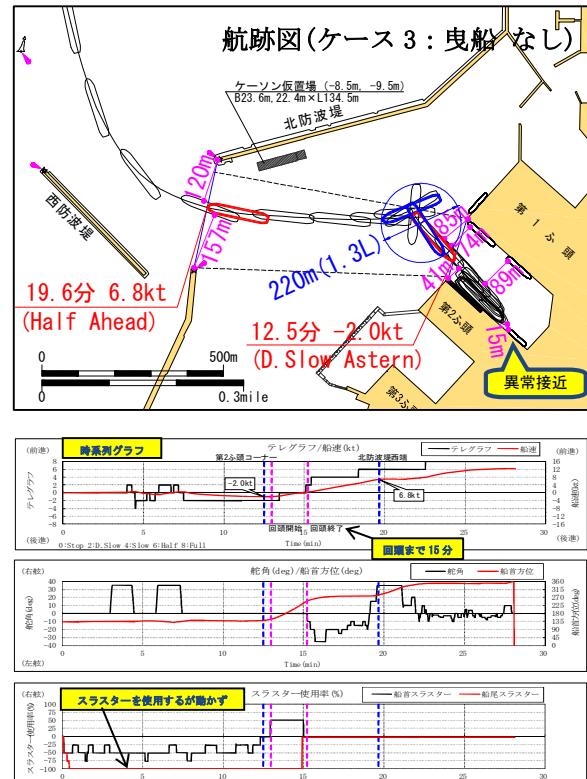


図-8 鳥瞰図版(矢-3) 航跡図及び時系列結果

表-2 は、鳥瞰図版操船シミュレーションの結果である。なお、その要点は以下のとおりである。

表-2 鳥瞰図版操船シミュレーションの結果

| 島嶼四版シミュレーション結果 各ケースの入出港時の評価（風速10m/s） | | 総合評価 | |
|--------------------------------------|---|--|---|
| | 入港時 | 出港時 | |
| 支援船なし (自力回航) | 【ケース 1】 ・かくして入港が可能となっているが、横移動が大きく、船体制御が難しい。 ・突風（思のいる風）には、工事場方面への圧流で懸念され、自力での対応は困難と考えられる。 | 【ケース 3】 ・自分で船体を操縦から離すこと自分が困難であり、非常に危険である。 突風（思のいる風）には、岸壁に接り付けて動かないを推定される。 ・さうに、離岸途中での突風（思のいる風）には姿勢制御が困難 | ・自力での離岸出港は困難。 |
| 支援船 あり (3,200PS) | 【ケース 2-1】 ・「[Slow(2/8) (微速) 引き」で常時安定した支援が可能であり、支援船の推力・重量も十分のため、安全性が高い。 | 【ケース 4-1】 ・「[Slow(2/8) (微速) 引き」で常時安定した支援が可能であり、支援船の推力・重量も十分のため、 安全性が高い。 | ・支援に必要なタグの性能を満足する。 突風（思のいる風）や生波時に船体姿勢制御のための「押し」や「横移動」も可能。 |
| 支援船あり (1300PS) | 【ケース 2-2】 ・「Slow-Half (4/8~6/8) 引き」で操縦となり、曳船推力に全水深のない状況となる。 ・常時曳船の実現性として「押し」と「およけ（横移動）」が不可能であるため、突風（思のいる風）時の工事場方面への圧流に対しては、対応が困難。 | 【ケース 4-2】 ・常時「Slow-Half (4/8~6/8) 引き」での支援となり、曳船推力に全水深のない状況となる。 突風（工事用気泡）の特性としまして「押し」とおよけ（横移動）」が不可能であるため、突風（思のいる風）時の工事場方面への圧流に対しては、対応が困難。 | ・ 支援船（工具用船舶）の能力に全く余裕がない 状況での支援となる。・突風（思のいる風）時には対応出来ない場合によると、内能波であり、安全性に懸念を残す。 ・以前、常駐船の接舷を用いることで、馬力が小ささえ（使いえない。（ヒアリング結果） |

- ◆ 上限値の平均風速 10 m/s では、スラスターのみでの離岸は不可能である。タグボート 3,200ps クラスの支援

船の補助があれば、シミュレーション上考慮できない突風の発生を見込んでも安全に離接岸が可能と判断した。

◆支援船を工事用曳船とした場合、推力に余裕のない状態で危険であるとともに、本来対応できない横方向に進行せざるを得ないなど、所々危険な操船を余儀なくされた。よって不可と判断した。

4) フルミッション版操船シミュレーション

障害物への圧迫感を含めた、より実際の操船状況を再現するため、フルミッション版操船シミュレーションを実施した。これは、実際の船橋と同様に操船装置や航海計器等を配置した模擬船橋と視界再現装置(プロジェクター及びスクリーン)を有し、船橋からみた景観がスクリーンに投影された状況下でシミュレートするものである(図-9 参照)。

そのため、単に船舶の能力に応じた可否だけでなく、ふ頭や防波堤及び工事仮設物(港内仮置ケージ)などの障害物に対する圧迫感などもリアルに受けながら操船することとなり、より現実的に近いシミュレーションを行うことが可能である。船舶は、操船命令に応じて、数学モデルによって組み込まれている船舶の運動性能に従って動作し、これにより操縦者は、実際の船舶を操縦するのと同様の感覚を得ることができる。このことから、バースシフトの対象大型RORO船と同等の船舶の操船経験をもつ船長が実際にシミュレーションを操作し、現実に限りなく同様の条件で検証した。

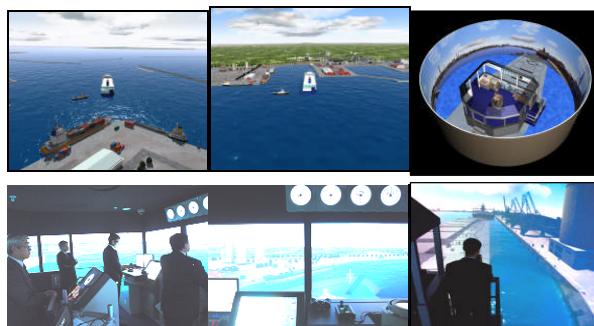


図-9 フルミッション版操船シミュレーションの状況

検討するケースについては、表-3 の 6 ケースで行った。その際の検討項目は、下記のとおりとし、操船者

の意見を取り入れつつ、操船時の圧迫感を含めた、より実際の操船状況の検証を行った。

- ・平均風速の上限値 10m/s での出入港・離接岸の検証。
- ・タグボート 3,200ps による支援で上限値 10m/s での出入港・離接岸の検証。
- ・平均風速の下限値 8m/s での入出港の検証。

表-3 フルミッション版操船シミュレーションの検討ケース

| No. | 入出港 (奥水) | 着岸舷 | 風 | | 波 | | 曳船の有無 |
|-----|-------------|-----------|-----|---------|-----|------|------------|
| | | | 風向 | 風速 | 波向 | 港外波高 | |
| 1 | | | | 10m/sec | | | なし |
| 2 | 入港 | | | 8m/sec | | | 3,200PS×1隻 |
| 3 | | 入船 右舷付 | NNE | | NNW | 1.5m | なし |
| 4 | | | | 10m/sec | | | なし |
| 5 | 出港 | | | 8m/sec | | | 3,200PS×1隻 |
| 6 | | | | | | | なし |

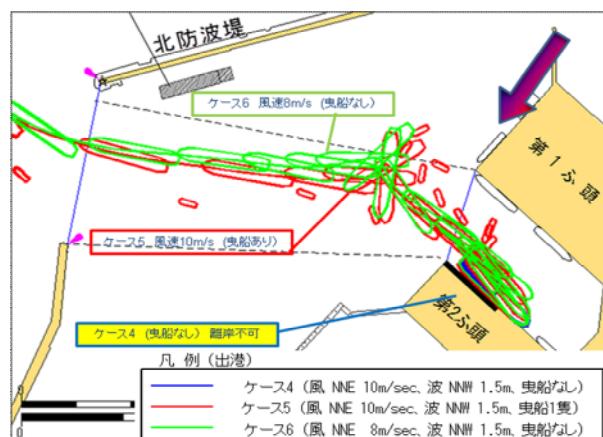


図-10 フルミッション版各ケース毎の航跡比較図

図-10 は、各ケースごとフルミッション版操船シミュレーション航跡の比較図である。

冬季の大型 RORO 船の離接岸時には、平均風速上限値の 10m/s では、安全に入出港が可能と考えられるのは、図-10、11 のケース 5 のタグボート 3,200ps を利用した場合のみであった。タグボート 3,200ps があることで、スラスター使用時間、回頭完了時間が短縮され、安全な回頭半径内で操船できることが確認できた。

図-10 ケース 4 の支援船なしの自力操船の場合には、平均風速 10m/s の場合は、離岸できず、出港は困難である。自力操船において出港可能な風速としては、図-10 ケース 6 の風速 8m/s 以下であることが確認された。第 2 ふ頭北側岸壁へバースシフトしたことにより、出入港する際に斜め後ろ方向からの

風を受け、船体が圧流されることから、バースシフトする前の第2ふ頭南側岸壁への入出港より困難な操船となっている。

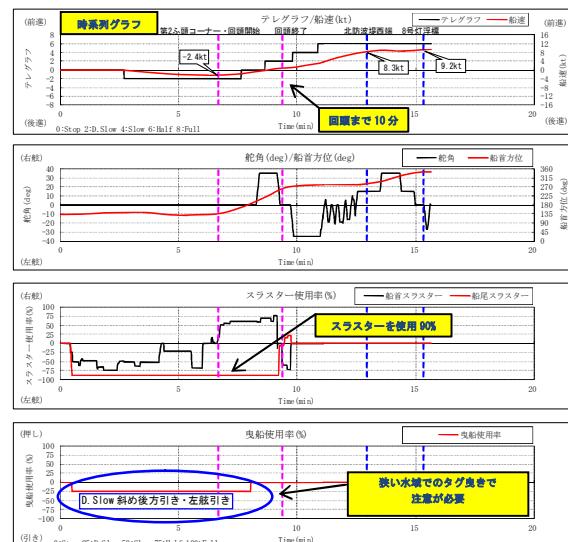
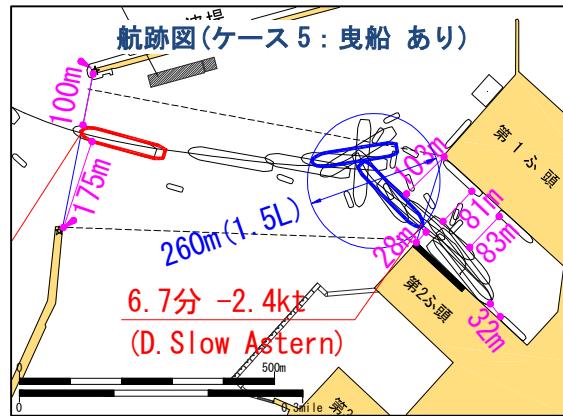


図-11 フルミッション版時系列操船結果

フルミッション版操船シミュレーション結果と操船後の船長意見の整理と結果を表-5と下記に示す。

- (1)接岸時は、ズボードを落とすと圧流(風に流される)されるため、風速8m/sでは、ズボードを落とせるが、風速10m/sの場合は、接岸直前までの減速できないまま接岸することになる。
- (2)北側岸壁へバースシフトしたことにより、離岸した後に回頭することとなり、操船が困難となった。
- (3)自力操船で風向北北東(NNE)、風速8m/sを超えると、船が風に押され離岸が不可能である。入出港時で風の状態が変化し入港が可能でも出港が不可能な状況が生じることが、バースシフトで非常に困る。
- (4)支援船があれば出入港しやすく、安心感がある。

表-5 フルミッション版操船シミュレーション結果

| フルミッション版操船シミュレーション結果 船長コメント及び総合評価 | | | |
|-----------------------------------|---------|---|--|
| | 航速 | 入港時 | 出港時 |
| 支援船なし (自力回頭) | 10m/sec | ・入港は問題なく可能。 ・ただし、第2埠頭コーナーを曲がる時は速度も落としているため、突風(風のある風)が危険。 | ・11分間岸壁から約10m程度しあが船尾が離れた。 ・風速10m/sでも船舶風のため、一時的に船首が離れるものの、風でまた押し戻される繰り返し。 ・船尾が距離から30m的程度離れないといAsternがかけられないと、自力での離岸を断念。 |
| 支援船あり (3, 200ps) | 10m/sec | ・支援船があれば安心感はある。 ・支援船があれば入港に問題なし | ・狭い水域での支援船負きとなることから、タグの奥く方向に注意が必要である。 ・支援船ライン30mが限界だとと思われる。 ・支援船があれば問題ない |
| 支援船なし (自力回頭) | 8m/sec | ・自力での着岸可能である。 ・風速10m/sの場合と比較して余裕あり。 | NW8m/secであったので、船首尾スラスターのみで離岸できた。(自力出港可能) ・風速8m/sec程度であれば、曳船なしでも離岸出港できる。 ・スラスターは、まだ余裕あり。 |

6. 結論

以上の検討結果から得られた結論の概要を以下に示す。

- ◆バースシフトにより第2ふ頭南側より北側に移動した場合、従来可能であった平均風速8~10m/sでは安全な出入港・離接岸が困難と判明。
- ◆よって、シフト先での安全な出入港・離接岸に加え、入港時隣接する工事区域への接近に備えるには、タグボート(3, 200psクラス以上)の支援が必要。
- ◆バースシフト前の就航率(88.8%)を最低限確保するためには、平均風速8.0m/sを超える場合、支援船の対応が必要。但し、10m/s超の場合は従来より欠航していたため、対応は不要。

7. 今後の課題

今後、必要とされた支援船の配備については、港湾管理者等関係機関との連携を図りつつ検討していくたい。

なお、複合一貫輸送ターミナル改良事業は、平成28年度末供用を目標に工事を進めている。工事は、一般航行船舶の往来が激しく且つ狭隘な水域での作業であることから、バースシフト期間中の就航率確保に加え、船舶航行安全に十分努めていきたい。



図-12 平良港漲水地区 将来完成イメージ