

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するとともに、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つ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ことから、港を通じた海上輸送が圏域の生命線となっている。

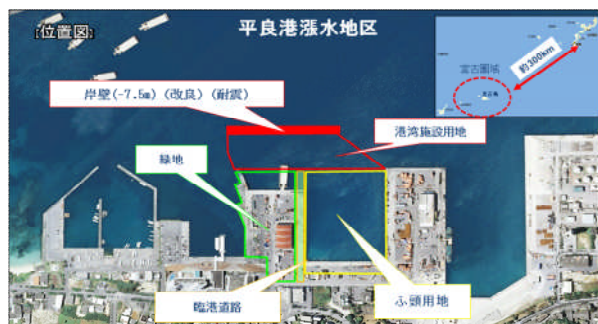


写真-1 平良港漲水地区

注) RORO 船：ローオンローオフ船。コンテナ貨物などを、クレ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。

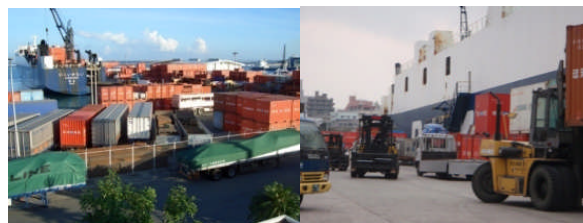


写真-2 荷役機械が輻輳するふ頭用地

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

The diagram illustrates the ship's approach and mooring process. A large blue arrow indicates the ship's path from the top right towards the bottom left. The ship is shown in the center, with a red dashed line indicating its intended path. A red circle highlights the ship's bow area, labeled "スラスターで北東風に対抗" (Using thrusters to counteract the northeasterly wind). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "1万t級の船長 160m" (Ship length 160m for 10,000-ton class). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "ランフウェイ 北東風" (Runway Northeasterly wind). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "第2埠頭" (2nd Wharf). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "第3埠頭" (3rd Wharf). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "北防波堤" (North Breakwater). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "狭い水域" (Narrow water area). A red dashed line also indicates the ship's path towards the mooring point, labeled "160m" (Ship length 160m).

City/Region	Percentage
函館市	97.4%
小樽市	96.4%
西郷選	98.4%
福江選	98.3%
郷ノ浦	99.7%
厳原選	97.7%
西之表	99.1%
名瀬選	98.4%
那覇選	97.3%
平良選	88.8%
石垣選	93.4%

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、年間を通した定期船の就航率(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)

- 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なく、推力を弱めていることで艀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)。

岸壁工事(バースhift)での工事航行安全の問題点

バースhift
〈岸壁整備(備期間中)〉

【旧貯水堀a】
20m
2L-全長195m
3L-全長130m

北緯風
北
南
Y線<82度>
Z線<281度>

第1ふ頭
第2ふ頭
第3ふ頭

移動距離
100m

複合一貫輸送ターミナル改良事業
(附設岸壁整備)

諸岸切及び埋立工事

図-4 工事区域への圧流の危険性

以上より、バース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(クボート等)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。

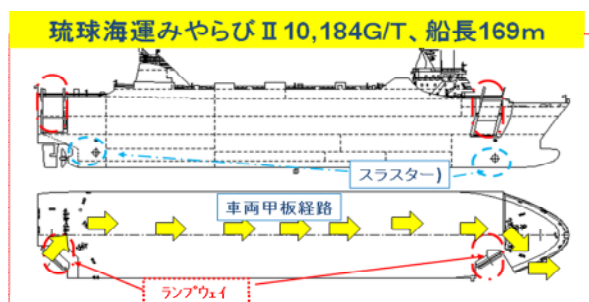


図-5 対象船舶「みやらびⅡ」

(2) 自然条件の設定

- ① 風速・風向は、過去1年6カ月の風速データをもとに、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を上限值とした。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クボート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-6のとおり設定した。

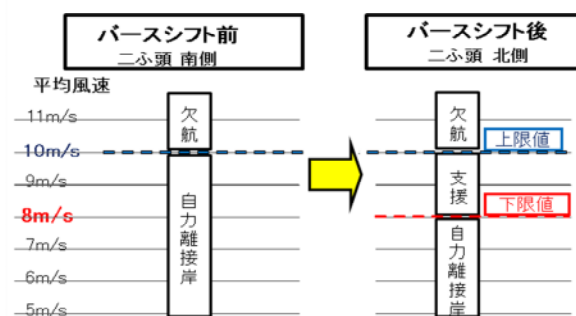


図-6 対象平均風速設定の概念図

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シ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。

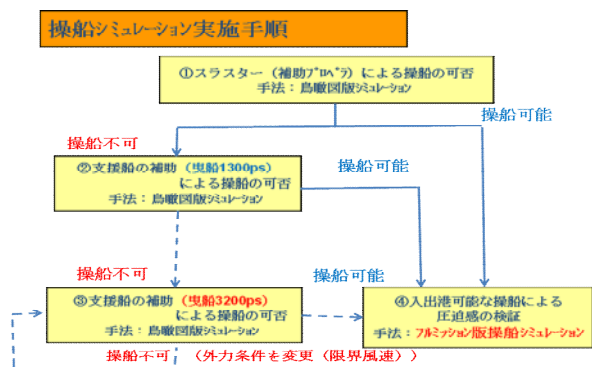


図-7 操船シミュレーション実施手順

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

鳥瞰図版操船シミュレーション各ケース							
No.	入出港(喫水)	着岸舷	風		波		曳船の有無
			風向	風速	波向	港外波高	
1	入港	入 船右舷付	NNE	10m/sec	NNW	1.5m	なし
2-1							3,200PS×1隻
2-2							1300PS×1隻
3	出港	入 船右舷付	NNE	10m/sec	NNW	1.5m	なし
4-1							3,200PS×1隻
4-2							1300PS×1隻

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。

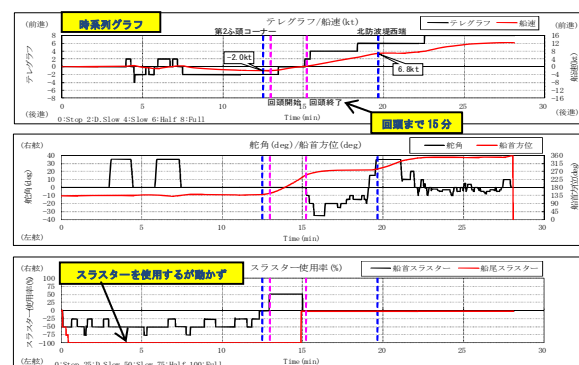
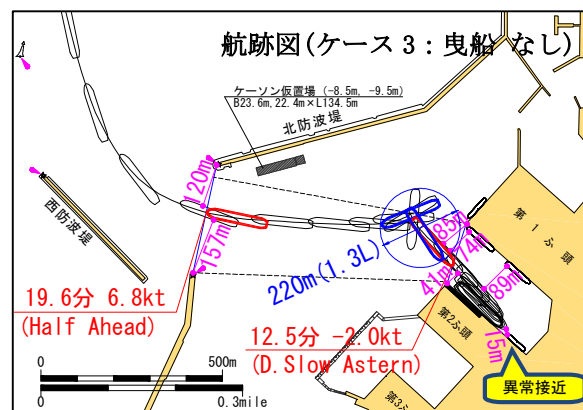


図-8 鳥瞰図版(ケース3) 航跡図及び時系列結果

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

鳥瞰図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)			
支援船なし(自力回頭)	支援船あり(3,200PS)	支援船あり(1300PS)	各ケースの入出港時の評価(風速10m/s)
<p>【ケース1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・かろうじ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(息のある風)には、工事区域方向への圧力が懸念され、自力での対応は困難と考えられる。 	<p>【ケース2-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「D.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。 	<p>【ケース4-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「D.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。 	<p>・自力での離岸出港は困難。</p> <p>・突風(息のある風)時には、岸壁に押し付けられ、回頭が困難。</p> <p>・突風(息のある風)時には、回頭が困難。</p>
<p>【ケース2-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「Slow~Half(4/8~6/8)引き」で機船となり、曳船推力に余裕のない状態。 ・工事用曳船の特性として「押し」および「微移動」が不可能であるため、突風(息のある風)時の工事区域方向への圧力に対しては、対応が困難。 	<p>【ケース4-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・常時「Slow~Half(4/8~6/8)引き」で機船となり、曳船推力に全く余裕のない状態。 ・支援船(工事用曳船)の特性として「押し」および「微移動」が不可能であるため、突風(息のある風)時の工事区域方向への圧力に対しては、対応が困難。 	<p>・支援船(工事用曳船)の推力に全く余裕がない状態での支援となる。</p> <p>・突風(息のある風)時には対応出来ない構造および性能であり、安全性に懸念が残る。</p> <p>・以前、常駐支援船を使用したことが小さく使えない。(ヒアリング結果)</p>	

◆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(港内仮置ケーソン)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、バースピットの対象大型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、現実に関わりなく同様の条件で検証した。

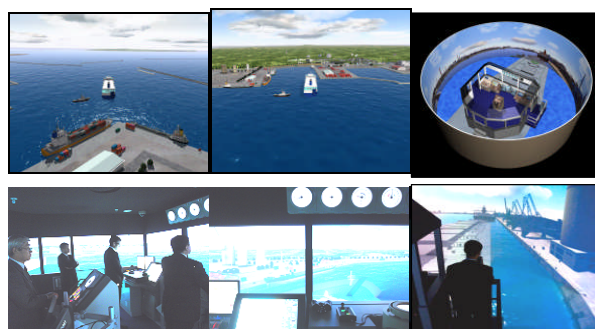


図-9 フルミッション版操船シミュレーションの状況

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。
- ・クワボート 3,200ps による支援で上限値 10m/s での出入港・離接岸の検証。
- ・平均風速の下限值 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

フルミッション版操船シミュレーション各ケース							
No.	入出港 (喫水)	着岸舷	風		波		曳船の有無
			風向	風速	波向	港外波高	
1	入港	入 船 右舷付	NNE	10m/sec	NNW	1.5m	なし
2				8m/sec			3,200PS×1隻
3				10m/sec			なし
4	出港	入 船 右舷付	NNE	10m/sec	NNW	1.5m	なし
5				8m/sec			3,200PS×1隻
6				10m/sec			なし

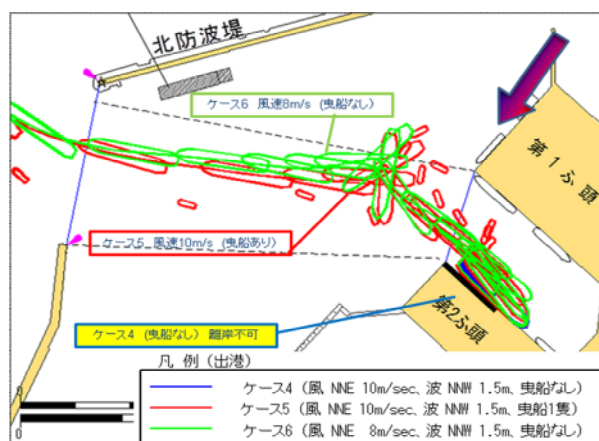


図-10 フルミッション版各ケース毎の航跡比較図

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、安全に出入港が可能と考えられるのは、図-10、11 のケース 5 のクワボート 3,200ps を利用した場合のみであった。クワボート 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ピットしたことにより、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。

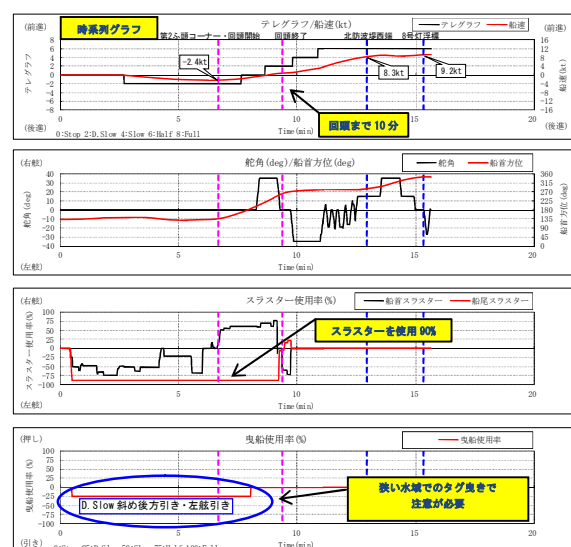
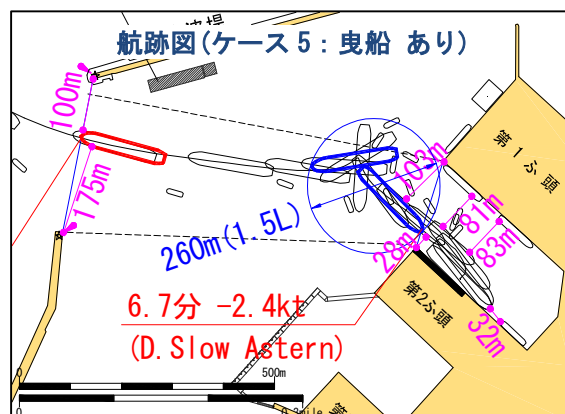


図-11 フルミッション版時系列操船結果

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、スピ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、スピードを落とせるが、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				
風速	入港時	出港時	総合評価	
支援船なし (自力回頭)	10m/sec ・入港は問題なく可能である。 ・ただし、第2埠頭コーナーを曲がる時は減速も緩んでいるため、突風(暴風)が危険。	11分間岸壁から約10m程度しか船尾が離れなかった。 ・風速10m/sでも突風のため、一時的に風がおさまると船尾が離れるものの、風がまた押し戻されるの繰り返し。 ・船尾が岸壁から30m程度離れないとAsternがかけられないため、自力での離岸を断念。	・自力での離岸出港は困難。	
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曳きとなることから、タグの強く方向に注意が必要である。 ・支援船ライン30mが限界だと思われる。 ・支援船があれば問題ない	・支援に必要な支援船の性能を満足する。	
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。	・NNW8m/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。	・自力での離岸出港可能。	

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きたい。

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