

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1264

January 2024

港湾利用に配慮した気候変動適応策に関する基本的検討 ：嵩上げと防潮壁設置を中心に

安部智久・伊藤直樹

A Basic Examination on Climate Change Adaptation Measures
from Port Users' Viewpoints: Focusing on Elevation and Seawalls

ABE Motohisa, ITO Naoki

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

港湾利用に配慮した気候変動適応策に関する基本的検討 ：嵩上げと防潮壁設置を中心に

安部智久*
伊藤直樹**

要 旨

今後港湾における気候変動適応策を検討・実施していくにあたっては、港湾利用への影響について配慮することが必要である。

本資料は平均海面水位上昇等を主な外力として係留施設とその背後施設における気候変動適応策における配慮事項について、嵩上げと防潮壁設置に着目しつつ港湾利用関係者へのヒアリングや関連する事例収集等を基に基本的な検討を行うものである。

キーワード：気候変動適応策，海面水位上昇，嵩上げ，防潮壁設置，マスタープラン

* 港湾・沿岸海洋研究部 港湾計画研究室 室長
** 港湾局 海岸・防災課 課長補佐
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

A Basic Examination on Climate Change Adaptation Measures from Port Users' Viewpoints: Focusing on Elevation and Seawalls

ABE Motohisa *

ITO Naoki**

Synopsis

It is significant to examine climate change adaptation measures under considerations of various influences on port uses.

In this technical note, basic examinations are conducted on the key issues to consider in such adaptation measures on port terminals, based on information such as interviews to port users or actual cases which are already conducted in relation to adaptation measures. Mean sea level rise is regarded as the main risk factor of climate change, and main focus is on elevation and setting of seawalls.

Key Words: Climate Change Adaptation Measures, Mean Sea Level Rise, Elevation,
Setting of Seawalls, Masterplan

* Head of Planning Division, Port, Coastal and Marine Department

** Deputy Director, Coastal Administration and Disaster Management Division, Ports and Harbours Bureau,
National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-44-5019 Fax : +81-468-42-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 関連事項と検討の視点	1
2.1 将来的な平均海面水位上昇	1
2.2 平均海面水位上昇と港湾利用	1
2.3 想定される対策と検討の視点	1
3. 港湾利用関係者へのヒアリング調査	3
3.1 ヒアリング調査の概要	3
3.2 船種毎のヒアリング結果	3
3.3 小括	5
4. 繋離船作業への影響に関する検討	5
4.1 検討の概要	5
4.2 繋離船作業の概要と特徴	5
4.3 気候変動適応策により想定される影響	8
4.4 気候変動適応策における配慮事項	8
5. 係留施設での防潮壁設置事例（神戸港）	9
5.1 事例調査の目的	9
5.2 対策の内容	9
5.3 港湾利用への影響の配慮	9
5.4 小括	9
6. 既存施設の改良工事事例（神戸港）	9
6.1 事例調査の概要	9
6.2 対策工事の内容	9
6.3 港湾利用への影響の配慮	11
6.4 小括	11
7. その他の気候変動適応策関連事例	14
7.1 高松港における防潮壁設置事例	14
7.2 海外コンテナターミナルにおける防潮壁設置事例	14
7.3 その他有益な検討事例	16
8. 港湾利用面からの気候変動適応策に関する基本的考察	21
8.1 嵩上げ・防潮壁設置の適性等に関する基本的考察	21
8.2 既往事例等から得られる気候変動適応策検討への示唆	21
9. まとめ	22
謝辞	23
参考文献	23

1. はじめに

港湾における気候変動適応策を検討・実施していくにあたっては、港湾利用への影響について配慮することが必要である。本資料は係留施設とその背後施設における気候変動適応策に関連した事例等の情報を提供するとともに、配慮事項について基本的な検討を行うものである。検討は港湾利用関係者に対するヒアリング調査、既往の文献収集、気候変動適応策と関連性のある対応事例の収集により行った。本資料での「防潮壁」は海岸保全施設のみでなく、海水の侵入を防ぐ壁の総称である。

2. 関連事項と検討の視点

2.1 将来的な平均海面水位上昇

気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の第6次評価報告書¹⁾によれば、世界平均海面水位は1901年から2018年の期間に0.20m上昇した。その平均上昇率は1901年から1971年の期間で1年あたり1.3mmであったが、1971年から2006年の期間で1年あたり1.9mmに増加し、2006年から2018年の期間で1年あたり3.7mmと更に急激に増加した。

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書²⁾によると、21世紀末（2081～2100年平均）における世界平均海面水位は、20世紀末（1986～2005年平均）に比べ4℃上昇シナリオ（RCP8.5）では0.71 m（0.51～0.92 m）、2℃上昇シナリオ（RCP2.6）では0.39 m（0.26～0.53 m）上昇する。世界平均海面水位の上昇は大気中の温室効果ガス濃度や気象変数の変化と比べ、遅れて影響が表れる。2℃上昇シナリオ（RCP2.6）でも、海面水位は、2050年以降も継続して上昇する。2050年頃までは、4℃上昇シナリオ（RCP8.5）でも2℃上昇シナリオ（RCP2.6）でも、海面水位の上昇に大きな差は見られないが、前者のシナリオでは21世紀後半から海面水位が加速度的に上昇する。現状の予測では2100年の段階で約40～70cm程度平均海面水位が上昇する可能性があるとの認識を持つことが妥当である。

気候変動適応策は地盤の沈下・隆起による影響を受ける。恵平ら³⁾は、北海道の港湾を対象に地盤変動を考慮した海面水位上昇の経年的変化について推計を行った。北海道の各港湾（検潮所）における地盤上昇率を推計し、これを考慮した上で各港湾の水位上昇を推計した。北海道東部の地域では地盤が沈下傾向にあることから見かけ上約14mm/yの割合で沈下しており、天端高が小さく設定されている小型船が利用する係留施設においては、30年程度で施設が浸水する可能性を指摘している。

2.2 平均海面水位上昇と港湾利用

将来的な平均海面水位上昇による影響として、船舶と係留施設とのやりとり（インターフェース機能）への影響が予想される。図-2.2.1はコンテナ船が着岸し荷役がされている状況である。インターフェース機能としては、

- ・係船（繫離船作業、係船柱・フェンダーの利用）
- ・船内荷役
- ・その他（船用品等の物資の移動、船員や荷役要員の移動、バンカリング・陸電供給等）

が挙げられる。平均海面水位上昇により船体が上昇した場合、コンテナ船のように垂直的に荷役がなされる場合、本船とガントリークレーンとの間の空間（揚程）が狭くなりこれが荷役に影響することが懸念される。また状況によってはエプロン付近まで浸水ないしは水しぶきが飛ぶ可能性があり、荷役機械の機能に影響が出る可能性がある。

図-2.2.2はクルーズ船が着岸している状況である。インターフェース機能としては、以下が挙げられる。

- ・係船（繫離船作業、係船柱・フェンダーの利用）
- ・乗客の乗降
- ・エプロンでの物品の仮置き
- ・その他（船用品等の物資の移動、船員の移動、バンカリング・陸電供給等）

クルーズ船の場合には人員や物資の移動が水平的になされる。平均海面水位上昇により船体が上昇した場合にはボーディングブリッジや物資移動のためのランプの傾斜が変わるなどの影響が想定される。

また平均海面水位上昇により受ける影響は、港湾を利用する船種その他、船型によっても影響が異なることが想定される。岸壁が高潮の影響を受けることを想定する場合には、インターフェース機能への影響に加え、背後のターミナルに設置された施設の浸水についても考慮する必要がある。

2.3 想定される対策と検討の視点

現時点で想定される気候変動適応策は3つに分かれる。第一は岸壁や背後ターミナルの嵩上げ、背後の主要施設（特に浸水に弱い電気関係設備等）の高位置化である。第二は浸水防止のための防潮壁の設置や非常時の土嚢の設置である。これらの対応が不可能な場合には、第三の選択肢として港湾機能の移転が必要となる。本研究ではこれらのうち岸壁等の嵩上げと防潮壁設置に検討の主眼を置く。

岸壁等の嵩上げ（図-2.3.1上）は荷役活動等への影響は生じにくい一方、水位上昇が顕在化するまでの間、低潮位時等の港湾利用に影響が出る可能性がある。既設施設を嵩上げする場合、工事の実施が港湾利用に影響することが予想される。

防潮壁の設置は、岸壁法線際ないしは背後側のエプロン側等の設置が想定される(図-2.3.1下)が、荷役活動をはじめとした港湾利用の妨げとなる可能性がある。このため

防潮壁と係船柱を一体化するなどの対応も考えられる。本資料では、気候変動が今後顕在化した場合においても、船舶と係留施設とのインターフェース機能が適切に維持さ

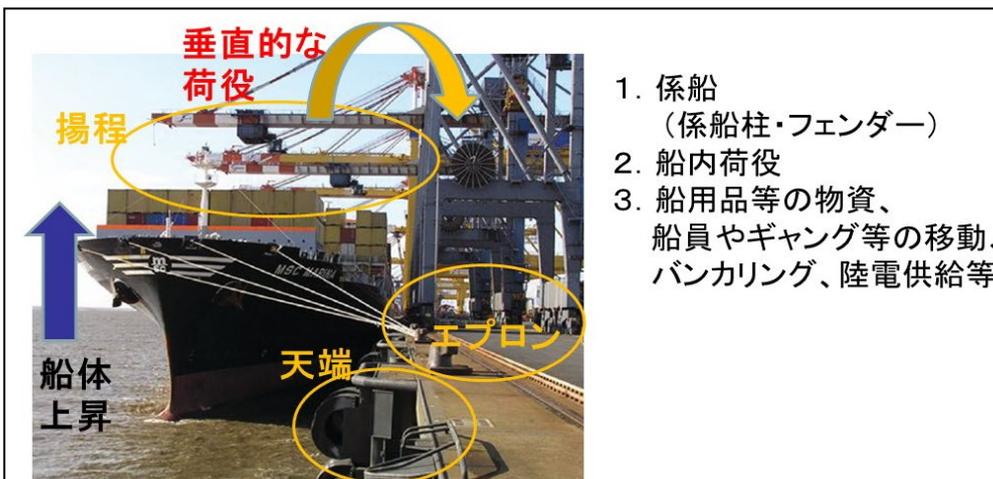


図-2.2.1 コンテナ船の着岸状況とインターフェース機能



図-2.2.2 クルーズ船の着岸状況とインターフェース機能

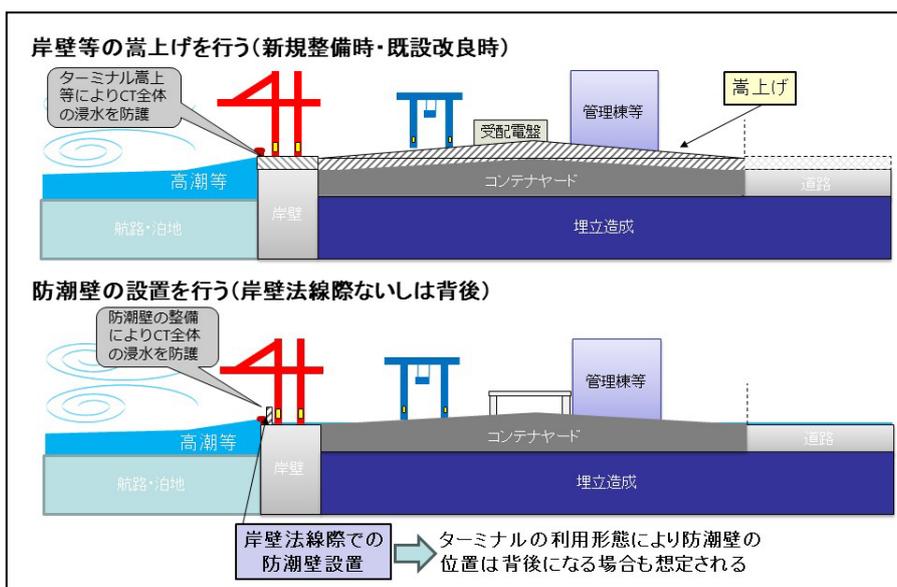


図-2.3.1 想定される気候変動適応策例(嵩上げと防潮壁設置)

ることが必要との認識の下で、以下を検討の視点とした。

1) 平均海面水位上昇による港湾利用への影響

- ・船体上昇による荷役や旅客・車両の乗降への影響
- ・浸水による影響（エプロン付近での活動への影響）
- ・繋離船作業への影響

2) 気候変動適応策による港湾利用への影響

- ・対策施設の設置可否（荷役等の活動への影響，施設設計への影響）

- ・工事に対する港湾利用者による受容性

（オペレーション中断の可否，段階的対策実施の可否）

- ・繋離船作業への影響
- ・嵩上げが低潮位時の港湾利用に与える影響
- ・本船側が可能な対応の程度

以下、港湾利用関係者へのヒアリング調査等から現時点で考えるこれらの影響について把握した上で、既に実施されている対応に関する事例収集も踏まえつつ、気候変動適応策検討における配慮事項について基本的検討を行う。

3. 港湾利用関係者へのヒアリング調査

3.1 ヒアリング調査の概要

異なる船種・船型に関連した港湾利用関係者（船社、港湾関係のコンサルタント、港湾管理者）へのヒアリングを行い、平均海面水位上昇による港湾利用への影響並びに嵩上げ等の対策による港湾利用への影響について意見聴取を行った。調査は2022年の冬から2023年の夏にかけて行った。なおヒアリング調査については以下の条件で行われたことに留意が必要である。

- ・限られた数の関係者に対するヒアリング調査である。
- ・具体的な施設の諸元や海面水位上昇・浸水の程度、嵩上げ・防潮壁の高さなどの対策規模の想定をヒアリング対象者と共有していない。

3.2 船種毎のヒアリング結果

1) コンテナ船

コンテナ船の港湾利用関係者へのヒアリング結果を表-3.2.1に示す。同表でのコメントを以下に要約する。

- ・平均海面水位が上昇した場合でも係船への影響は少ない。またこれまで順次船型の大型化に対応してガントリークレーンを大型化しているが、この対応の規模と比較して平均海面水位の程度は小さく、揚程は確保できる。
- ・嵩上げについては、予め平均海面水位上昇を見越して天端を上げて低潮位時の利用への影響は想定されない。他方既存施設の改良としての嵩上げについて、工事中の荷役作業中断が懸念される。

- ・防潮壁設置については、岸壁法線際の場合には基本的に問題はないが繋離船作業への影響に配慮する必要性がある。他方エプロン背後での設置については車両通行への影響について懸念がある。

コンテナ船は大型化が進んでいるため、荷役作業については平均海面水位上昇の影響は受けにくいとみられる。対策を行う場合には、既存の施設の嵩上げについてオペレーションとの両立が課題である。

2) クルーズ船

クルーズ船の港湾利用関係者へのヒアリング結果を表-3.2.1に示す。同表でのコメントを以下に要約する。

- ・平均海面水位が上がった場合、船側のハッチによる乗客の乗降や荷役を行うが、これは船側のデッキに固定して設置されているため影響がある。またボーディングブリッジの傾斜が変わるため、乗客のバリアフリー対応に影響が出る可能性がある。
- ・嵩上げについて、予め平均海面水位上昇を見越して天端を上げると、低潮位時の利用に影響が出る可能性がある。
- ・岸壁法線際での防潮壁設置は荷役や乗降に影響する可能性がある。エプロン背後の防潮壁設置であれば問題はなく、この場合可能であれば車両の通行に配慮し可動式の陸閘等の設置が望ましい。

クルーズ船は乗客や物資の移動が水平的であることから水位変動の影響を受けやすいとみられる。ただし、船舶側のハッチは複数設けることも可能であり、気候変動適応策が一般化した場合、船側が対応を行うことも想定される。

3) フェリー（国内）

フェリー（国内）の港湾利用関係者へのヒアリング結果を表-3.2.2に示す。同表でのコメントを以下に要約する。

- ・フェリーは喫水調整で一定の潮位差に対応していることから、ある程度の水位上昇に対応でき、また事前の嵩上げを行っても運用は可能である。
- ・公共性の高い輸送であるため、既存施設の工事による輸送中断は避けるべきである。
- ・防潮壁設置については、内陸ヤード側の設置は駐車スペースを減らすことから岸壁法線際が望ましい。

ヒアリング対象としたフェリーは瀬戸内海を航路としており、一定の潮位差（水位差）は許容範囲であるとの認識である。また、防潮壁の設置に関する回答はフェリーのランプの位置・高さに関係があるとみられる。

4) RORO 船（国内）

RORO 船（国内）の港湾利用関係者へのヒアリング結果

表-3.2.1 ヒアリング調査により得られた意見（1）

船種		コンテナ船	クルーズ船
平均海面水位上昇による影響		<ul style="list-style-type: none"> ・ 繋離船作業への影響は少ない。 ・ 揚程は満潮位を基準に設定されているが一般的には水位変動分程度の余裕はある。 ・ 近年大型化しているコンテナ船のサイズに配慮して荷役機械を導入しているターミナルが一般的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 繋離船作業への影響は少ない。 ・ 船側に設けられたハッチから貨物や乗客の乗降を行うが、ハッチが決められたデッキに設置されていることが多く、船体上昇の影響は大きい。 ・ 乗客についてはブリッジの傾斜が大きくなりバリアフリー面で問題は発生し、また貨物についてはフォークリフトで持ち上げる高さが高くなり危険性が増す。 ・ 船側でハッチの数を増やす（複数デッキに設ける）対応を行えば、影響が軽減できる可能性がある。
対策と利用者の意向	平均海面水位上昇を見越した天端高で岸壁等の嵩上げ【新規整備】	事前対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予め平均海面水位上昇を見越した天端高としても、低潮位時の係留や荷役には一般的に影響はない。
	段階的な岸壁等の嵩上げ【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設ターミナルの場合には、通常のオペレーションへの影響が懸念される。 ・ 代替地が確保できれば対応可能。
	岸壁法線際への防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 問題はないが、係船柱と防潮壁の位置関係に配慮が必要。係船柱よりも防潮壁が海側に設置される場合には、係船索が防潮壁に擦れることに配慮が必要。
	エプロン背後での防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ エプロンより内陸側に防潮壁を設置する場合、車両の通行に支障が出る懸念がある。
			<ul style="list-style-type: none"> ・ 予め平均海面水位上昇を見越した天端高とした場合、低潮位時に貨物の出し入れに支障が出る可能性。 ・ 実際の平均海面水位上昇に合わせて段階的に天端高の高さを上げることが望ましいが、通常のオペレーションへの影響も想定される。 ・ 岸壁法線上に防潮壁がある場合、荷役や乗客の乗降に影響が出る。 ・ 問題はない。 ・ 車両の通行に配慮して可動式の陸開を設置している場合がある。

注：本表は船社等の港湾利用の関係者（それぞれ1者）に対して行ったヒアリング結果を整理したものである。

表-3.2.2 ヒアリング調査により得られた意見（2）

船種		フェリー（国内）	RORO船（国内）
平均海面水位上昇による影響		<ul style="list-style-type: none"> ・ 係船について係船索の張力が変わる可能性はあるが水位上昇1m程度であれば問題はない。 ・ バラスト調整により、現在でも一定の（3～4m程度の）潮位差に対応している。 ・ 車両乗降のランプについて水位上昇への対応はできるが、乗客乗降のブリッジについては傾斜が大きくなりバリアフリー面で影響が出る。 ・ 岸壁が浸水した場合の影響が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 係船については防舷材と船舶との位置関係が変わることに留意する必要がある。 ・ 車両乗降のランプについて水位上昇した場合車両の乗降に影響が出る可能性がある。ランプが凍結する地域の場合、乗降時の危険性が増す可能性がある。 ・ 荒天時の浸水リスクが高まる。
対策と利用者の意向	平均海面水位上昇を見越した天端高で岸壁等の嵩上げ【新規整備】	事前対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予め平均海面水位上昇を見越した天端高とする場合、ランプの位置が下がらずに岸壁に接触しないよう配慮する必要がある。
	段階的な岸壁等の嵩上げ【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設ターミナルの場合には、通常のオペレーションへの影響が懸念される。公共性の高い輸送のため、運航は止められない。 ・ 代替地が確保できれば対応可能だが、現在の港湾利用状況を勘案すると空間的に余裕はない。
	岸壁法線際への防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 問題はないが係船柱と防潮壁の位置関係に配慮が必要。 ・ すでにこのような対応を実施している港湾がある。防潮壁設置と合わせ電源設備などの位置を上げる。
	エプロン背後での防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・ エプロンより内陸側に防潮壁を設置する場合、駐車スペースが減少する。
			<ul style="list-style-type: none"> ・ ランプを用いた車両の乗降に支障が出る。 ・ エプロンより内陸側に防潮壁を設置することは可能だが、車両が通行できるよう一部をゲート式とする必要がある。

注：本表は船社等の港湾利用の関係者（それぞれ1者）に対して行ったヒアリング結果を整理したものである。

- を表-3.2.2に示す.同表でのコメントを以下に要約する.
- 平均海面水位が上昇した場合ランプの傾斜が大きくなり、車両の乗降に影響する可能性がある。
 - 事前の嵩上げについては、低潮位時にランプの位置が下がりすぎる可能性がある。
 - 防潮壁設置については、岸壁法線側はランプの利用に影響が発生する可能性があるため、車両通行に配慮した上でエプロンより内陸側が望ましい。
- フェリーと RORO 船は類似の船種であるが、今回のヒアリングでは異なる傾向の回答が得られている。これは船の運航形態やランプ等設備の位置、スペックによる相違によるものと考えられる。

5) バルク船 (石炭・穀物)

- バルク船の港湾利用関係者へのヒアリング結果を表-3.2.3に示す.同表でのコメントを以下に要約する.
- 平均海面水位が上昇した場合、アンローダによる荷役には影響はないが、棧橋下部の床板が浮力を受ける可能性がある。
 - バルクターミナルは荷役機械から背後の貯蔵施設までが一体的な固定装置として運用されており、運用開始後の嵩上げは難しい。防潮壁の設置が主な対策になるものと考えられる。
- 専用岸壁の場合、施設の構成や荷役方式は施設により異なることから、海面水位上昇による影響や適用可能な対策は異なるものと考えられる。一般的には、荷役機械から背後の貯蔵施設までが一体的な固定装置を構成しており、防潮壁の設置が主な対策になるものと考えられる。

6) 一般貨物船

- 一般貨物船の港湾利用関係者（主要な船舶の規模は499GT級）へのヒアリング結果を表-3.2.4に示す.同表でのコメントを以下に要約する.
- 荷役（移動式荷役機械または固定式荷役機械）については影響はないと考えられるが、フェンダーのあたる位置が変わり機能を果たさなくなる可能性がある。
 - 嵩上げの場合、低潮位時も含め荷役そのものへの影響はないが、船員や船倉での荷役作業員の上下船に影響が出る可能性がある。荷役のための施設は比較的シンプルであるため、既存施設の工事の場合でも代替バースが利用できる可能性がある。
 - 防潮壁設置については、大型船より乾弦の位置が低いため、防潮壁が船舶の側面に接触する懸念がある。防潮壁の高さに配慮するか、防潮壁の位置をやや内陸側にするといった配慮が必要である。

比較的小型の一般貨物船の場合、代替バースの確保の可能性がある一方、船型が小さいことによる影響（船舶の乾弦への防潮壁の接触）に配慮する必要がある。

3.3 小括

以上より港湾利用への影響に関する船種別の相違が確認された。ただし同じ類似の船種でも、船のスペック（ランプの位置等）や運用形態（喫水調整の程度等）によって、港湾利用等への影響が異なることに留意が必要である。さらに具体的な状況設定に基づいた検討が必要である。

4. 繋離船作業への影響に関する検討

4.1 検討の概要

船舶と係留施設とのインターフェース機能において、船舶を係留施設に固縛する繋離船作業は港湾利用における主要な作業の一つである。このような作業は通常人力を介して岸壁法線際において行われるため、安全対策が重要である。この観点から、西岡ら⁴⁾は係留施設の付帯施設（係船柱）等を整備する際の、繋離船作業の安全性向上に関する配慮事項をとりまとめている。これによれば、作業が行われる箇所において、極力平らな場所を確保しかつ十分なオープンスペースの確保が必要であることなどが示されている。気候変動適応策として防潮壁を設置するなどした場合、繋離船作業への影響も想定されることから、当該作業の関係者に対しヒアリング調査を実施した。具体的には作業の概要と特性について把握した上で、気候変動適応策による当該作業への影響等について考察した。以下の内容は関係者へのヒアリングを元に著者が整理したものである。

4.2 繋離船作業の概要と特徴

入港時岸壁に接近した本船側から放たれた係留索を作業船ないしは岸壁側で直接受け取り、陸側の作業員がこれを係船柱に掛け、本船側で係留索を巻き取ることで本船を係留施設に安全に固定するという作業である（写真-4.2.1）。この際、陸側の作業では大型船への作業で係留索が太い場合、ジープ（車両）を使用する場合もある（写真-4.2.2）。船首・船尾等において複数の係留索が配置される（図-4.2.1）。船種や船型に応じ作業には以下の相違がある。

- コンテナ船に代表されるように港湾において着岸している時間の短縮化が求められている場合には、繋離船作業についても迅速な対応が求められる。またコンテナ船は寄港頻度が高いため、同一港湾の中でも繋離船作業を行う回数が多い。
- 危険物を輸送するタンカーやバルク船の場合には、コン

表-3.2.3 ヒアリング調査により得られた意見（3）

船種		バルク船（石炭）	バルク船（穀物）
平均海面水位上昇による影響		<ul style="list-style-type: none"> ・アンローダーによる荷役に関し、揚程は水位変動分程度の余裕はある。 ・棧橋下部に水面があるが、水位上昇した場合に浮力が働くことで床版への影響が懸念される。 ・装置への影響は、それが設置された水面からの高さによるが、既存装置については問題はないと想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アンローダーによる荷役に関し、ある程度の水位の上下では荷役作業への大きな支障はないと想定している。 ・装置への影響は、それが設置された水面からの高さによるが、既存装置については問題はないと想定される。
対策と利用者の意向	施設の嵩上げ	<ul style="list-style-type: none"> ・荷役からコンベアを経て背後の貯炭場に至るまで輸送装置が一体化しており、一旦整備をしてからの嵩上げは容易にはできない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ある程度の水位の上下では荷役作業への大きな支障はないため、予め棧橋のみを嵩上げた場合でも荷役への問題はないと想定される。 ・荷役からコンベアを経て背後のサイロに至るまで輸送装置が一体化しており、一旦整備をしてからの嵩上げのためには大規模な工事が必要。
	防潮壁の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・貯炭場の浸水は許容されないため、これを防止できる適切な位置に防潮壁の整備が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・問題はないが、雨水の排水への配慮が必要。

注：本表は港湾関係者（2者）に対して行ったヒアリング結果を整理したものである。

表-3.2.4 ヒアリング調査により得られた意見（4）

船種		一般貨物船（499GTクラス）	
平均海面水位上昇による影響		<ul style="list-style-type: none"> ・フェンダーのあたる位置が変わり機能を果たさなくなる可能性がある。 ・荷役（移動式荷役機械または固定式荷役機械）については影響はないと考えられる。 	
対策と利用者の意向	平均海面水位上昇を見越した施設の嵩上げ【新規整備】	事前対策	<ul style="list-style-type: none"> ・予め平均海面水位上昇を見越した天端高とする場合、低潮位時も含め荷役そのものへの影響はないと考えられるが、船員や船倉での荷役作業員の上下船に影響が出る可能性。
	段階的な施設の嵩上げ【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・確実にフェンダーが機能し船舶の係留上の安全性が確保できるのであれば問題はない。 ・嵩上げ工事については、同一港湾の他の岸壁が代替施設として利用できるのであれば問題はない。特に移動式の荷役機械による荷役の場合、陸側の必要設備は比較的シンプルである。
	岸壁法線際への防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・大型船と異なり乾弦の位置が低いことから、防潮壁が船舶の側面に接触する懸念がありあまり望ましくない。防潮壁の高さに配慮するか、防潮壁の位置をやや内陸側にするといった配慮が必要。 ・防潮壁を船舶の側面に接触する高さをせざるを得ない場合には、防潮壁の強度を十分なものとして、緩衝材を用いることができるよう配慮が必要。
	エプロン背後での防潮壁の整備【既存施設の改良】	段階的対策（事後対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・トラック等による荷役作業への支障がなければ問題はない。

注：本表は船会社に対して行ったヒアリング結果を整理したものである。

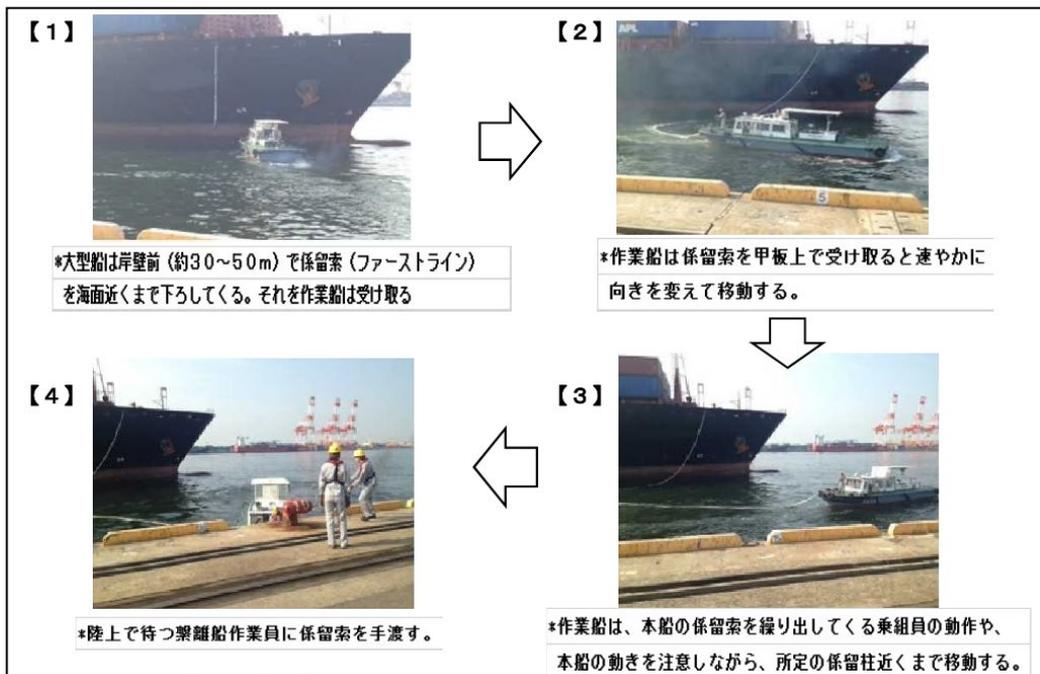


写真-4.2.1 繫離船作業の流れ

（出典：第6回繫離船作業に係る安全問題検討会資料）

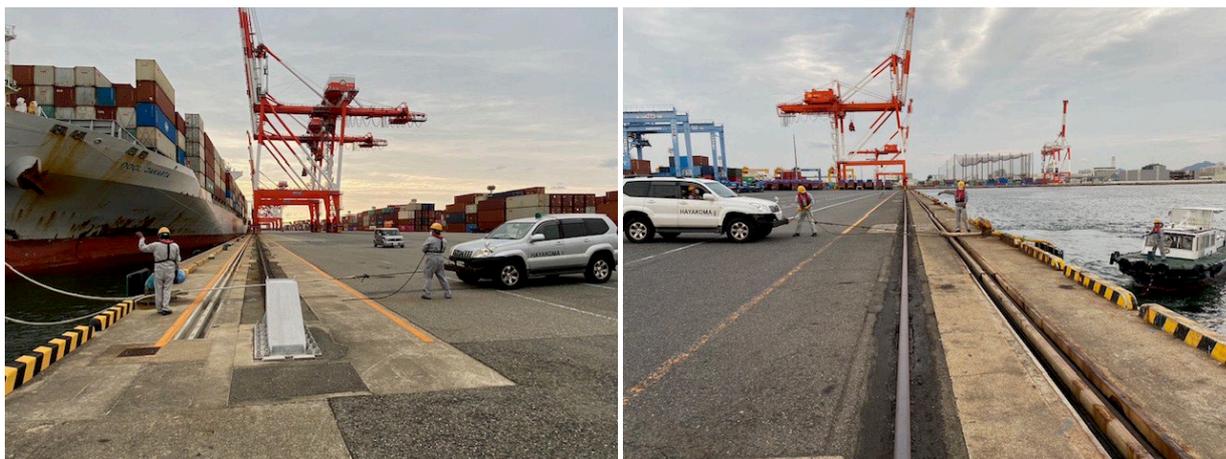


写真-4.2.2 車両（ジープ）による係留索引き上げ

（出典：日本繫離船協会）

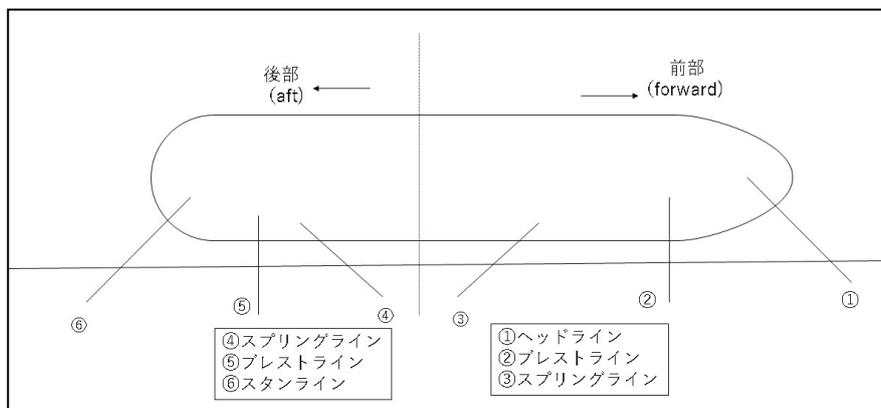


図-4.2.1 係留索の配置

テナ船程迅速な作業は求められず、安全対策の観点からタグボートの利用により本船の停止が確認された後に作業がなされる。岸壁に長期滞在し寄港の頻度が低い。

- ・ 繫離船作業の対象となる船が大型船の場合は太い係留索を使うため、ジープが必要になるとともに、係留索破断の場合のリスクが高い。係留索の数が多いため作業に要する作業員の人数は多い。本船からロープを受け取る際には作業船を用いる。
- ・ 繫離船作業の対象となる船が小型船の場合には人力のみで作業できる場合もあり必要人数も少ない。例えば人員の配置について 300～400 トン程度の船舶であれば作業員 3 名程度で船首と船尾を行き来して対応できる。他方、船長 200m 程度の大型船では船首と船尾の作業はそれぞれジープと作業員 3 名程度が必要になる。

また作業におけるリスク要因について以下のような指摘がなされた。

- ・ 作業時の事故要因として主なものは、係留索に関するものである。特に破断した係留索が作業員にあたる事態が危険である。この他作業員の海中への転落や作業船と本船との衝突等のリスクもある。
- ・ 急いで着岸しようとする本船が増加する傾向にある。また少ない作業員で作業を行う傾向にあるのに加え、安全への配慮に欠けた行為もみられる。荷役等の他の港湾関連の作業の機械化が進む中でも当面は人力による作業が必要であり、自動着岸装置はまだ一般化していない。
- ・ 作業のためのオープンスペースが十分でない場合に海中への転落リスクがある。また、係留索の破断の要因となるのが、港湾施設側もしくは本船の凹凸部分により係留索が接触することによる係留索の摩耗である。特に寄港が多いコンテナ船についてこの傾向がある。係留索の破断は頻繁に発生している。リスク回避のため、係留索を常に見ながら作業を行うこと、また係留索破断の前には独特の音がすることからその際に速やかに退避することが必要である。このためオープンスペースが必要である。

4.3 気候変動適応策により想定される影響

繫離船作業は岸壁法線際付近において人力と小型船・ジープを用いてなされるものであり、平均海面水位上昇や気候変動適応策の影響を受けやすいと考えられる。これらについては以下のような指摘がなされた。

- ・ 平均海面水位上昇によって繫離船作業そのものには殆ど影響はない。
- ・ 作業のための小型船を多数有しているが、気候変動によって強い台風の頻度が増加し高潮等が頻発する事態に備え、小型船の安全な係留場所の確保が必要である。

施設の嵩上げについては以下の点が示された。

- ・ 作業の観点では防潮壁の設置より嵩上げが望ましい。係船柱の高さを維持し周辺のみ嵩上げすることも想定されるが、このような場合においても係船柱周辺に十分な作業スペースがあることが必要である。
- ・ 平均海面水位上昇が顕在化する前に嵩上げを行った場合、作業船から岸壁側にロープを投げ入れる際の難易度が上がることが予想される。

防潮壁の設置については、防潮壁の設置は作業そのものの妨げになる可能性があり、また係留索破断時の退避や、ジープの利用に支障が出る可能性がある点が指摘された。

4.4 気候変動適応策における配慮事項

上記の影響を軽減するため、作業の安全性確保のため以下のような配慮について認識する必要がある。

1) 嵩上げを行う場合

嵩上げを行う場合には、係船柱周辺においても十分な作業スペースを確保する。

2) 防潮壁を設置する場合

第一に、事故防止の観点から速やかに作業員が退避できる作業環境を確保することが望ましい。このためには係船柱周辺のスペース確保や、防潮壁の高さの制限（作業員が容易に乗り越えられる高さとする）等の対応が考えられる。

第二に、ジープの利用に配慮し岸壁法線際から一定の幅のバックヤードを確保することが望ましい。ヒアリング調査では概ね 10m の幅が必要との指摘がされた。

第三に、陸開や防潮壁の一部を可動式とする等により、作業や作業時の移動の容易性を確保することが望ましい。

第四に、海外では防潮壁と係船柱が一体化し後者が前者の上に設置されている場合もある。これは係船柱周辺のオープンスペースを確保するためには適切であるが、作業員が係留索を持ち上げる高さが増大するため、係留索の重量と作業員への負担を考慮して導入の可否を検討することが望ましい。

ただし以上の配慮は内航船等の対象船舶の規模が小さい場合には緩和することも可能である。繫離船作業の対象となる船が小型船だまりに係留される規模の船舶や内航船の場合、岸壁法線際から背後 2m 程度の位置に防潮壁があっても係留索が細く軽いため、大きなリスクにはならない。

繫離船作業に対して防潮壁設置による影響はあるが、船種・船型や着岸の頻度によりその程度は異なる。気候変動適応策を講じようとする係留施設等の荷役作業の実態や繫離船作業へのリスク等を踏まえ、これらに配慮できる対応を関係者間で検討することが望ましいものと考えられる。

5. 係留施設での防潮壁設置事例（神戸港）

5.1 事例調査の目的

平成 30 年の台風襲来時の高潮被害を踏まえ、神戸港等において高潮対策が検討され、兵庫埠頭では当該埠頭全体を囲う係留施設に防潮壁を設置する対策が採用され既に整備されている。当該事例について港湾管理者より対策の内容や港湾利用への配慮事項等について事例調査を行った。

5.2 対策の内容

兵庫埠頭は堤外地ではあるが平成 30 年の台風襲来時に発生した高潮被害を踏まえ、近畿地方整備局主催の対策委員会の検討を契機に対策を講じることとしたものである。防潮壁は海岸保全施設ではない。当該地区においては物流関連企業の倉庫等が立地しており神戸港の物流の重要な役割を担っている（図-5.2.1）が、これらの倉庫については嵩上げを行うことは難しいと判断され、兵庫埠頭を囲う防潮壁の設置が選択された。当該地区を囲う防潮壁設置の他、排水設備（マンホールポンプ）が3か所整備され、また避難場所として地域内のグラウンドの嵩上げ、道路の嵩上げも実施されている。

防潮壁の設計に関しては、上記対策委員会において外力計算を行いその結果も踏まえて対象潮位を設定した上で、必要な構造計算を実施している。防潮壁による嵩上げ高さは地区内の箇所によって異なるが低い箇所で0.2m、高い箇所では1.5mとなっている。

5.3 港湾利用への影響の配慮

当該埠頭では、係留施設を介しての本船荷役活動は頻繁に行われておらず、船舶の大型化により本格的な本船荷役機能は既に他の埠頭へ移転している。

係留施設については一部規模の小さい内航船が重機、穀物を荷揚げすることがある他は、主に休憩バースとして利用されている。

防潮壁の設置に当たり、設置者と港湾利用者との調整状況と対応の状況は以下のとおりである（写真-5.2.1）。

- ・重機の輸送に配慮し、防潮壁を設置しない開口部を3か所設置した。開口部では高潮が予想される場合には土嚢で対応する。
- ・船側の事業者の要望を踏まえ容易に船員が行き来できるように一部階段を設置している。
- ・利用する船舶の規模が小さいため、繋離船作業は船員自らが行えるものと判断された。
- ・陸側の事業者については荷役設備との位置関係についての要請があり、防潮壁の位置を陸側にやらずらした箇所

がある。

- ・工事の段階では段階施工や代替地の提供などについて利用者と調整した。
- ・当該地区においてフェリーのランプに対応できる防潮壁の位置を検討したが背後が狭くこれを断念した。
- ・防潮壁設置後は荷役を行う前に事業者現地を見せ、荷役が可能かを確認してもらっているが、防潮壁設置後の荷役の実施はない。

5.4 小括

海岸保全施設とは別に港湾管理者（地方自治体）が独自で高潮対策として防潮壁を設置した事例である。当該地区では本船荷役機能は他地域に移転済みであり、荷役を行う場合でも利用船舶の規模が小さいため防潮壁でも対応可能と判断されたものと考えられる。

本船荷役が実施されている施設においては、当該港湾管理者は防潮壁の設置は困難と認識している。その理由として、第一に非常時の緊急輸送においてフェリー・RORO 船の受け入れが必要となるが防潮壁があるとこのような運用に支障がでること、第二に様々な船を受け入れるような係留施設の柔軟な運用を行おうとする場合、防潮壁の設置はその妨げとなりかねない点が指摘された。

6. 既存施設の改良工事事例（神戸港）

6.1 事例調査の概要

RC6-7 コンテナターミナル（図-6.1.1）は神戸港埠頭公社が整備した連続バースであり、供用開始以降 30 年程度経過した稼働中のターミナルである。当該ターミナルにおいては平成 26 年から耐震化工事が実施されており、近畿地方整備局が背後ヤードの液状化対策のための改良工事を行っている（図-6.1.2）。この工事等で発生する土砂の有効活用により背後ヤードの標高が高くなるため、高潮による被害軽減にも資するものである。今後気候変動適応策として既存施設の工事（嵩上げ）を行う際には、工事と荷役オペレーションとの整合性の確保が課題となる。本事例は、既に一定水準の稼働率で運用されている既存のコンテナターミナルにおいて背後ヤードを段階的に改良する工事であることから、段階的な施工の実施方法や関係者との調整方法等について事例調査を行った。以下の情報は近畿地方整備局へのヒアリングならびに文献⁵⁾によるものである。

6.2 対策工事の内容

耐震化工事は、水際線から 70m より背後の 220m までの背後ヤードを対象に、RTG が動くことのできる限界勾配



図-5.2.1 兵庫埠頭のレイアウトと対策範囲



写真-5.2.1 兵庫埠頭での防潮壁設置状況

(左上：一般部，左下：階段設置箇所，右上：係船柱設置状況，右下：開口部)

に配慮しつつヤードの液状化対策を行う。この工事後の結果、背後ヤードの標高が嵩上げされる。

コンテナターミナルのオペレーションを行いつつ工事をを行うため、工事は段階的に施工されている。具体的には、全体を16のブロックに分割し(リーファー対応のスロットとそれ以外のスロットは分けて分割)、毎年1ブロックを対象に工事を実施している。工事ブロックの範囲を細分化すると工事完了まで時間を要するが、このようにしてコンテナ蔵置個数を確保し、港湾機能を維持している。これ以外にも、地中障害物などの現状不一致等もあり10年にもわたり工事が継続している。1ブロックは概ね200m*50mの範囲であり、本コンテナターミナルではコンテナは4段積となっている。図-6.2.1は架空のターミナルレイアウトに区割り(ここでは13ブロック)のイメージを示したものである。

6.3 港湾利用への影響の配慮

工事に当たっての港湾利用への配慮・調整は以下のとおりである。

- ・代替エリアとして確保できる面積から施工面積を見積もり、実際に現場でオペレーションを行う際に支障が生じないかなどをユーザーと調整し、エリア分けや面積を決めるという手順を取っている。
- ・工事実施方法については、ターミナル利用者、工事実施会社、近畿地方整備局等で定期的に調整を行っており、現場レベルでも頻繁に進捗や工程について連絡調整している。
- ・一部背後ヤードが利用できなくなることから、コンテナターミナル外の土地を代替用地として確保し活用している。シャーシや空コンテナなどの置き場として活用している。
- ・工事を行う施行範囲は占用とし、工事用フェンスで囲う(写真-6.3.1)。

6.4 小括

本事例はオペレーションへの影響を最小限にしつつ、既存コンテナターミナルにおいて段階的に工事を行う際の方法を提示している。ただし、以下のような工事実施においての課題も指摘されている。

- ・毎年の予算制約と工事実施範囲との整合性の確保
- ・段階的整備によりターミナル内の動線が毎年変わることを前提とした、荷役に影響を与えない工事計画の作成と調整、トレーラードライバー等への関係者への周知
- ・工事完了時期の順守

工事実施のための計画については、関係者への調整や代

替地確保も含め、周到に作成することが必要である他、工期の厳守が求められる。このような対応を一定期間に亘り実施する必要がある。上記の点も含め、本事例における対応の課題と対応について表-6.4.1に整理する。多くの事項について、施工区域が変更になるたびに検討・対応が必要となっている。

この中でも、工事車両ならびに荷役関係車両の動線の確保は重要で、特に関係者との調整に配慮が重要である。

工事の着手前には、ターミナル入り口から工事の施工範囲までの距離や荷役関係車両の輻輳箇所などを考慮し、工事車両の安全な通行のため必要に応じて仮設道路の整備も行いつつ、最適なルートの検討とターミナル利用者との調整が必要である。写真-6.3.1に架空のターミナルレイアウトでの工事車両の動線のイメージを示す。

工事の着手時ならびに完成後の供用の際にはターミナル内の荷役関係車両動線の切り替えも必要となる。この際ドライバーの混乱や事故を防止するため、ターミナル利用者と動線並びに安全対策を検討し、周知用の案内図を作成している。また、トラック協会への事前周知やターミナル入口ゲートにおいて上記の周知用の案内図の配布・周知を行っている。

既存施設の嵩上げは港湾利用関係者に対しても一定の影響が継続するため、当該対策の適用性についてはさらに検討を深める必要がある。

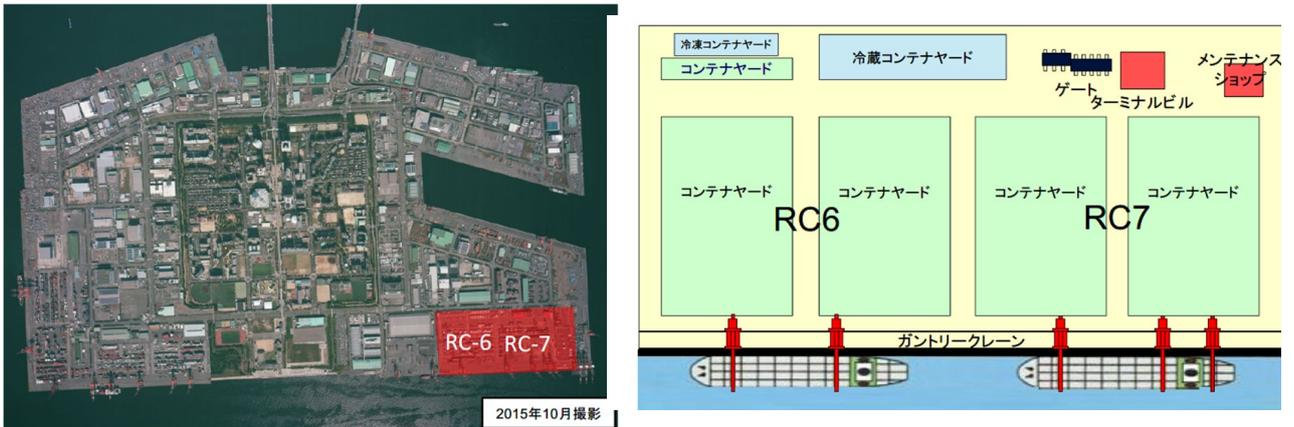


図-6.1.1 RC6-7 ターミナル概況



図-6.1.2 RC6-7 ターミナル改良工事

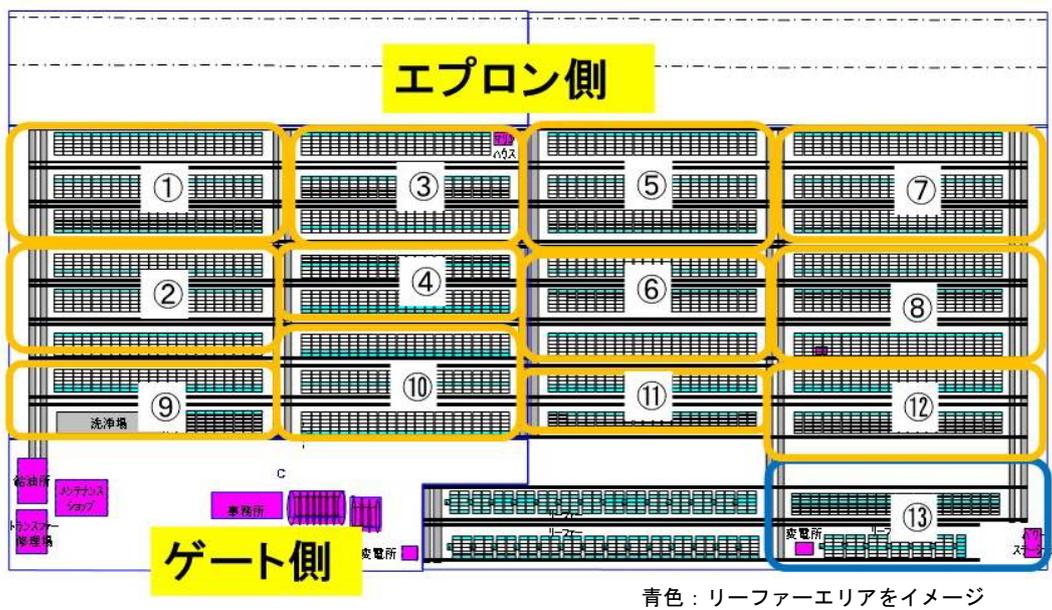


図-6.2.1 段階的工事の区割りイメージ (架空のターミナルについてのイメージ)



写真-6.3.1 改良工事の実施状況

表-6.4.1 工事実施上の課題と配慮事項

項目	課題	対応における配慮等
ヤード内施設配置・動線の検討	・ターミナルの生産性の維持	・ターミナル内での蔵置個数の確保やリーファーコンテナ蔵置エリアを確保した形での施工手順の検討と提案
	・コンテナヤード全体の供用性に配慮した動線の確保	・トレーラー、シャーシ、RTG動線の確保と関係者への周知
	・荷役機械（RTG）の動線の確保	・荷役機械（RTG）給油所やメンテナンス場所への動線の検討と提案
	・工事用車両の動線の確保	・工事用車両の動線と他の動線との交錯の防止
高さ・排水計画の検討	・嵩上げ完了済のエリアと完了前のエリアの間には段差ができることから、これを解消するための嵩上げ完了済エリアへのシャーシ通路の確保	・嵩上げ完了済エリアへの仮設スロープの提案
	・排水システムの確保	・既存排水管と嵩上げエリアの排水管との接続性の確保 ・降雨強度の更新

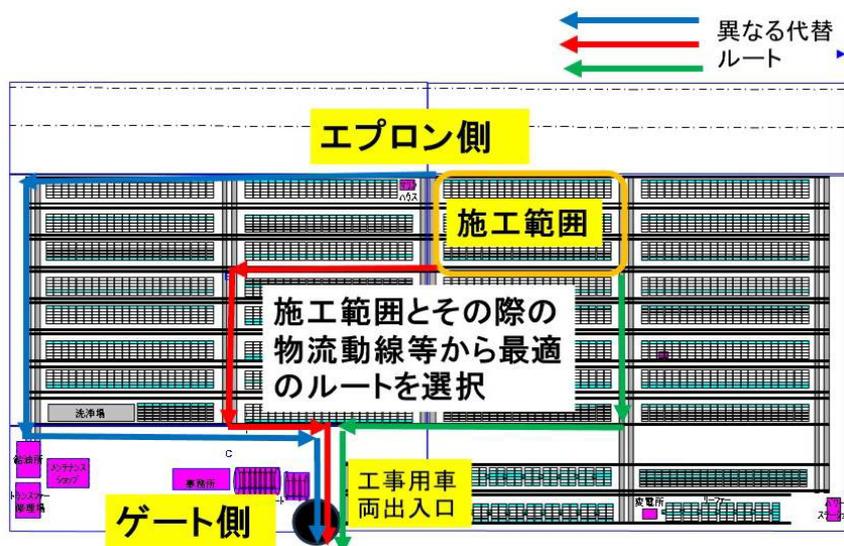


図-6.4.1 工事用車両の動線の検討イメージ（架空のターミナルについてのイメージ）

7. その他の気候変動適応策関連事例

7.1 高松港における防潮壁設置事例

高松港においては、南海トラフ等で発生する恐れのある地震による津波対策として、コンテナを取り扱う朝日地区等において岸壁法線際において防潮壁が設置されている（写真-7.1.1）。

防潮壁高さ（75cm）は津波の想定高さと同様の天端高を比較しその不足分を補うものとして設定され、岸壁の係船柱の背後ガントリークレーンのレールよりも海側に設置されている。写真のとおり一部は可動式となっている。

港湾利用関係者との調整は港湾関係者が対応したが、その状況は以下のとおりである。

- ・防潮壁の位置は荷役業者と調整した。岸壁法線際のほかターミナル背後の選択肢もあった。荷役事業者の意向として、コンテナの流出防止を図りたい意図もあり、岸壁法線際での設置となった。
- ・防潮壁の内外の行き来は階段により行い、陸側は設けていない。港湾利用関係者は防潮壁による繋離船作業の効率性低下や、階段で壁を乗り越えることによる危険性の増大について懸念を持っていた。
- ・防潮壁の設置によるコンテナクレーンによる荷役への影響は無い。

本船荷役を行うターミナルではあるが、防潮壁の高さが比較的低いことや、防潮壁の内外の行き来に配慮していることから、このような対策が実施可能と判断されたものと考えられる。

7.2 海外コンテナターミナルにおける防潮壁設置事例

ハンブルグ港のコンテナターミナルにおいては、岸壁法線際に防潮壁が設置されている箇所がある（写真-7.2.1）。当該港は河川港であり、洪水によるターミナル施設の浸水の可能性があるため、このような壁を設置している。ハンブルグ港の関係者に対して質問票を送付し、以下の概要に関する情報を得た。

- ・1980年代に洪水被害が発生し、当時建設されていた岸壁においては、岸壁法線際から30～40m程度内陸側に防潮壁が設けられた。これは、荷役作業等の妨げにならないためにこの位置とされたものである。
- ・他方、最近の大型船が接岸する新しい岸壁では、岸壁法線際1～2mの位置に高さ1.8mの防潮壁を設けている。係留作業のための小さな陸側と、コンテナブリッジ（ガントリークレーン等の本船荷役のためのクレーン）を沖側からターミナルに搬入するための大きな陸側が設けられている。

インドネシアのタンジュンエマス港のコンテナターミナルにおいても、岸壁法線際に防潮壁が設置されている（写真-7.2.2）。防潮壁の上に係船柱が一体的に設けられている点が特徴的である。現地 Sepuluh Nopember 工科大学のホームページ⁶⁾では、この地域のコンテナターミナルは地盤沈下しており、その対策としてこのような防潮壁が設置されていることが指摘されている。当該ホームページでは以下の情報も示されている。

- ・高さ約1mの防潮壁が設置されている。この位置は岸壁法線際にもっとも近い位置として設定された。この壁がなければ、潮位が高い時間帯にターミナルが浸水することになり、このような浸水は確実にターミナルオペレーションを阻害する。防潮壁の設置と合わせて、ターミナルの嵩上げもされており、嵩上げ前より1m地盤が高くなっている。

これらの事例は、コンテナターミナルの岸壁法線際に防潮壁が設置されている。港湾利用者との調整状況（繋離船作業における調整内容や安全対策等）についてさらに情報収集が必要である。

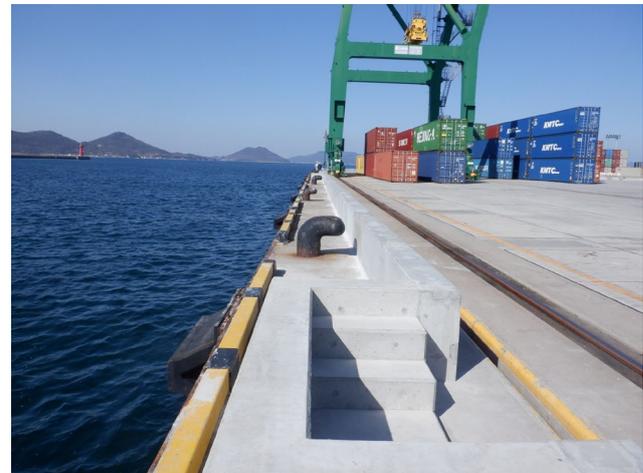
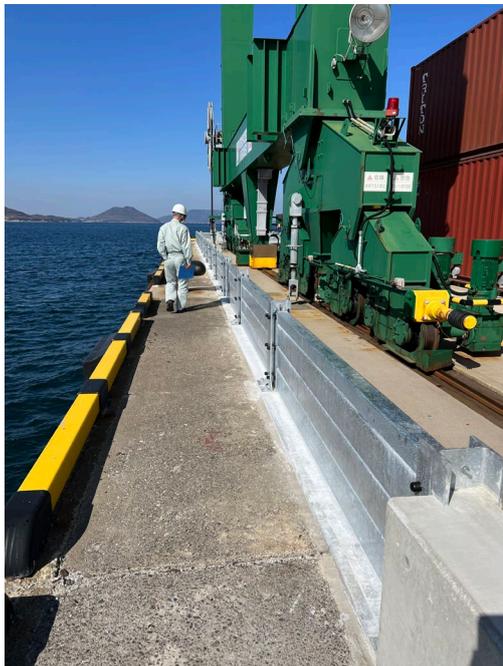


写真-7.1.1 高松港での防潮壁設置状況

(左上：一般部，左下：可動式部分
右上：一般部高さ，右下：階段設置個所)

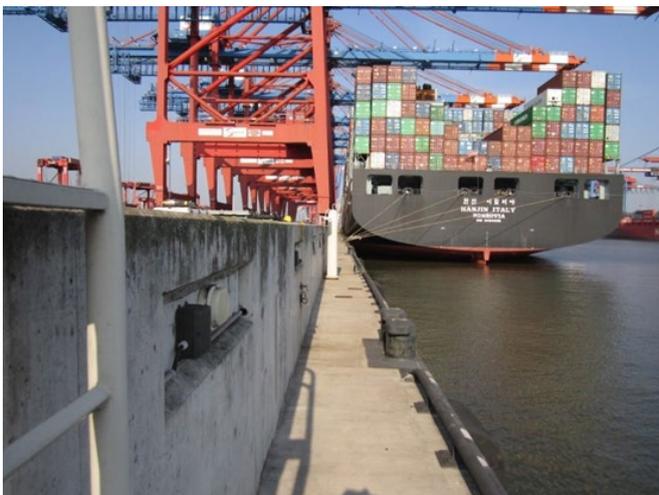


写真-7.2.1 ハンブルグ港での防潮壁設置状況事例

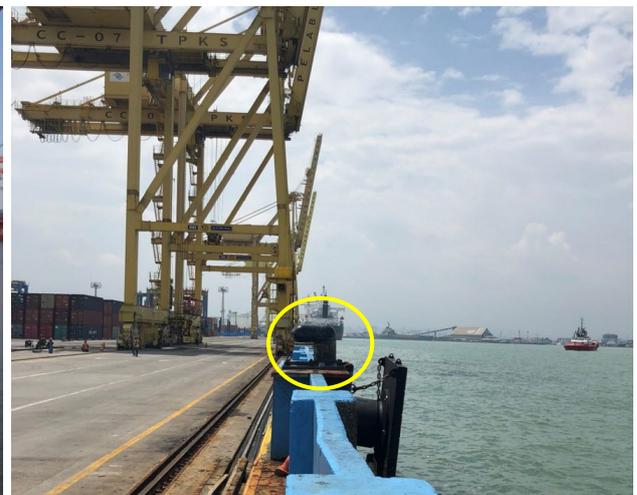


写真-7.2.2 タンジュンエマス港での防潮壁設置状況事例
円内は防潮壁上に設置された係船柱

7.3 その他有益な検討事例

1) PIANC (国際航路協会) ワーキングレポート

PIANC (国際航路協会) は気候変動対策の実装に関するワーキングレポート⁷⁾を公表しているが、これは実装における検討の視点や手順を概観する内容となっている。特徴的な内容を以下に示す。

第一に、気候変動によるリスクを概観するため、世界の港湾で想定されている気候変動シナリオ事例について紹介する(表-7.3.1)とともに、気候変動要因(本資料では「気候パラメータ」と称される)が港湾機能に与える影響について網羅的に示している(図-7.3.1)。後者については、平均海面水位上昇のみでなく他の気候変動要因が港湾から背後輸送までを含む一連の機能に及ぼす影響を整理しており、気温上昇や降水量増加なども含まれている。

第二に、施設の対策の必要性有無評価の考え方をマトリクスで示している。(表-7.3.2)において4色で区分されているのは施設が利用不可能となった場合の影響度であり、これに気候変動要因による影響や施設の残存機能(維持管理費用)を考慮して、施設の気候変動への脆弱性を評価する考え方を示している。例えば(表-7.3.3)の右の欄でバツがついているものは、気候変動への既存での適応性が低く、何らかの対策検討が必要と評価されるものである。

第三に、気候変動に対する適応計画の検討手順を4つのステージに分けて示している。港湾施設とその利害関係者の特定から始まり、気候情報の活用とそれを踏まえた脆弱性・リスク評価、そして適応策の実行についての検討が必要であり、これらを継続的にPDCAサイクルとして実施する考え方が示されている(図-7.3.2)。

2) ロスアンゼルス港における対策マスタープラン

米国西海岸のロスアンゼルス港においては、気候変動適応策に関するマスタープランを港湾単位で検討している⁸⁾。NRC (National Research Council)による平均海面水位上昇量(SLR: Sea Level Rise)に基づく予測値(表-7.3.4)と高潮偏差を対象に浸水予測を行い施設の脆弱性を評価した上で、気候変動適応策を検討している。図-7.3.3は浸水予測の例である。港湾内の施設については網羅的に検討対象とされている(ふ頭、臨港交通施設、その他施設)。

脆弱性評価の結果を踏まえ、平均海面水位上昇量のシナリオ毎に適応策を整理し各適応策の実施計画を「Immediate (5年以内)」「Soon (2030年まで)」「Future (2030年以降)」の3パターンで分類している。気候変動適応策としては防潮壁の整備や嵩上げ等とされているほか、計画面や他の組織との連携面にも配慮されている(図-7.3.4)。

マスタープランの検討においては、関係者から構成され

るワークショップが活用されたとの記載がある。

3) 気候変動による物流への影響評価事例

Raghda⁹⁾らは、モロッコのタンジェ港を対象に、将来的な気候変動が物流に及ぼす影響を試算している。当該港のコンテナターミナル等の複数のターミナルを対象として、外力は平均海面水位上昇(IPCCによるRCP4.5, RCP8.5ならびに確率は低い想定される最大値であるHES: High End Scenario)に荒天時の高潮偏差を加えたものとしている。ターミナル稼働可能日はROM(スペイン港湾基準)で示される必要最低Freeboard量(水面と岸壁天端との間の垂直距離)が対象ターミナルで確保できる期間と仮定している。

このように年間の稼働可能・非稼働日数を評価することとで気候変動による貨物・交通量への影響が評価される(表-7.3.5)が、これは今世紀末になって顕在化すると結果となっている。また気候変動適応策の実施コストの試算も行っている(図-7.3.5)。適応策の候補として防潮壁の設置とターミナル全体の嵩上げ、他の場所への移転があったが、荷役作業等への影響や移転コストを勘案しターミナルの嵩上げが採用されている。ターミナルごとに嵩上げのための必要コストが算定されているが、表面積の最も大きいコンテナターミナルが最も高いという結果が得られている。

4) ロングビーチ港における対策マスタープラン

ロスアンゼルス港に隣接するロングビーチ港においても、気候変動対策のマスタープランが港湾単位でまとめられている¹⁰⁾。主要な内容は以下のとおりである。

- ・気候変動により港湾に影響を及ぼすストレス要因が網羅的にレビューされており、これには平均海面水位上昇と高潮のみでなく、気温の上昇並びに降水量の変化、海洋酸性化が含まれる。これらは港湾の運営に対して影響を及ぼす可能性があるために考慮されている。
- ・検討の対象となる港湾施設等の資産が網羅的にリスト化されている。ここには、岸壁やターミナルといった基幹的な施設のみでなく、鉄道・道路といった臨港交通施設、背後に立地する民間企業や港湾関連主体の施設、港湾地域に通常蔵置されている貨物まで含まれる。
- ・当面のリスク評価の外力として平均海面水位上昇と高潮が選定され、港湾全体の浸水予測マップが作成されている。ここでは、最も軽微なケース(16インチ水位上昇のみ)と最悪ケース(55インチ水位上昇と100年に一度の高潮)が対象となっている。この結果により、主要な港湾施設や臨港交通ネットワーク、防波堤、水道や電気等のサービスに対する脆弱性が評価されている。

評価された脆弱性に対応するための適応策が最後に示

表-7.3.1 想定される気候変動シナリオの事例 文献⁷⁾より作成

港	項目	想定するシナリオ(外力)
ロンドン	気温	2080年代までに平均+3~4℃
	海面水位	2100年までに+0.2~0.9m(最大+2.7m)
	降雨量	2080年代までに冬期+10~20% 夏季-20~30%
	霧	2080年代までに+20%アップ(冬季の頻度)
コロンビア	気温	2050年代までに+1.2~2.2℃、2080年代までに+1.7~3.7℃ (ダウンスケールモデルでは2050年代までに+6℃)
	海面水位	2100年までに+0.5m(観測データによる予測) 上位シナリオでは2100年までに+1.3m
	降雨量	0.6%/年で降雨日が増加(観測データによる予測)
	風	2020年代までに+0.2m/s、2050年代までに+0.5m/s 3~10m/sの風速の発生頻度上昇
ロングビーチ (アメリカ)	気温	2050年までに+0.6~6.4°F、2100年までに+4.1~8.6°F 2050年までに95°F以上の日の頻度が2~3倍
	海面水位	2050年までに+0.13~0.61m、2100年までに+0.43~1.68m
	降雨量	2050年までに総降雨量-9%、日降雨量-13% 2100年までにハリケーンによる降雨量+10~25% 2100年までに20年確率ハリケーンが4~15年確率に変化
	酸性化	2050年までに0.5pH
ヘルギー	気温	2100年までに+3.7~7.2℃、年間2~9回の熱波
	海面水位	2100年までに+0.6m、最大+2.0m
	波浪	1mの海面上昇量に対して波高+4.0m
	降雨量	冬期:2030年までに+3%、2100年までに+12% 夏季:2030年までに-4%、2100年までに-15%



図-7.3.1 気候パラメータと港湾機能への影響

文献⁷⁾より作成

表-7.3.4 LA 港での平均海面水位上昇量の想定 文献⁸⁾

Year	Range	POLA SLR Study
2030	2-12 inches	12 inches
2050	5-24 inches	24 inches
2100	17-66 inches	37 inches 66 inches

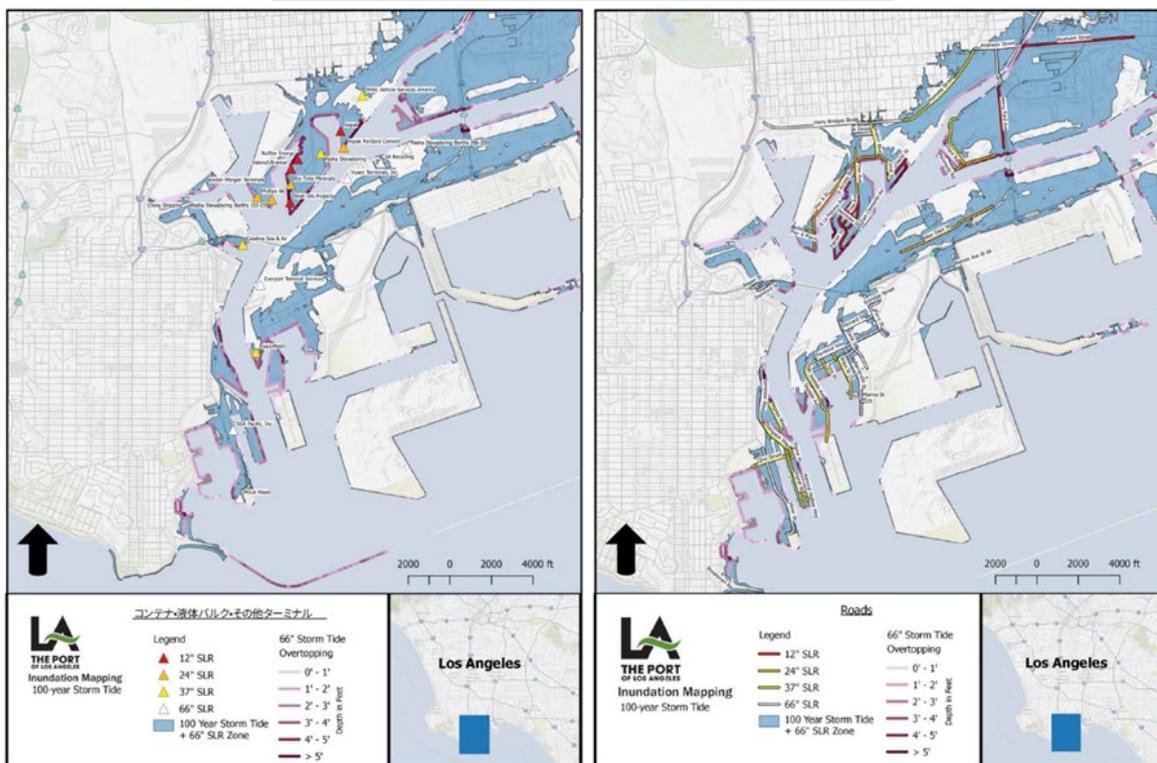


図-7.3.3 浸水予測図と港湾施設（左：ターミナル施設、右：道路） 文献⁸⁾

海面上昇に対する基本計画の例			ふ頭の気候変動適応策の例																																
対象シナリオ	適応策	時目標	対象シナリオ	適応策	時目標																														
全シナリオ	海面上昇の影響に関する適応策を検討 1.港湾マスタープラン 2.エンジニアリング設計ガイドライン(2009年) 3.LAウォーターフロントデザインガイドライン(2011年)	Immediate	30cmの海面上昇 + 高潮	約91cmの浸水からバルクターミナルを防護するように防潮壁を整備(延長約152m)	Immediate																														
94cmの海面上昇	脆弱性ゾーンマップを作成 最も可能性が高い予測である37インチの海面上昇シナリオに基づくマップの作成を推奨	Immediate	94cmの海面上昇 + 高潮	防潮壁を約61cm嵩上げ(延長約152m)	Future																														
全シナリオ	港湾計画・設計の手順書に海面上昇の可能性の影響と適応戦略に関する内容を記載	Immediate	重要施設の気候変動適応策の例 <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象シナリオ</th> <th>適応策</th> <th>時目標</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>61cmの海面上昇 + 高潮</td> <td>電気設備を約2.7m嵩上げ</td> <td>Soon</td> </tr> <tr> <td>94cmの海面上昇 + 高潮</td> <td>約2.7mの嵩上げで約0.9mの浸水</td> <td>Future</td> </tr> </tbody> </table>			対象シナリオ	適応策	時目標	61cmの海面上昇 + 高潮	電気設備を約2.7m嵩上げ	Soon	94cmの海面上昇 + 高潮	約2.7mの嵩上げで約0.9mの浸水	Future																					
対象シナリオ	適応策	時目標																																	
61cmの海面上昇 + 高潮	電気設備を約2.7m嵩上げ	Soon																																	
94cmの海面上昇 + 高潮	約2.7mの嵩上げで約0.9mの浸水	Future																																	
全シナリオ	パンフレット作成・配布など、海面上昇に関する周知を実施	Immediate																																	
全シナリオ	5年毎に海面上昇に関する科学的知見を確認し、必要に応じて脆弱性評価を見直す	Immediate																																	
海面上昇に対する地域連携の例 <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象シナリオ</th> <th>適応策</th> <th>時目標</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>全シナリオ</td> <td>個別に気候変動に関する研究を実施しているPOLB、ロサンゼルス市、ロングビーチ市が協力し、情報交換や費用分担を実施</td> <td>Immediate</td> </tr> <tr> <td>全シナリオ</td> <td>地域連携 - 太平洋気候変動作業部会への参加。</td> <td>Immediate</td> </tr> <tr> <td>全シナリオ</td> <td>CAPA(カリフォルニア州港湾局協会)の海面上昇グループに参加</td> <td>Immediate</td> </tr> <tr> <td>全シナリオ</td> <td>海面上昇に対する適応策に関するワーキンググループを立ち上げ</td> <td>Immediate</td> </tr> <tr> <td>全シナリオ</td> <td>海面上昇に対する天然資源・生息地(湿地など)の防護・適応戦略を策定</td> <td>Immediate</td> </tr> </tbody> </table>			対象シナリオ	適応策	時目標	全シナリオ	個別に気候変動に関する研究を実施しているPOLB、ロサンゼルス市、ロングビーチ市が協力し、情報交換や費用分担を実施	Immediate	全シナリオ	地域連携 - 太平洋気候変動作業部会への参加。	Immediate	全シナリオ	CAPA(カリフォルニア州港湾局協会)の海面上昇グループに参加	Immediate	全シナリオ	海面上昇に対する適応策に関するワーキンググループを立ち上げ	Immediate	全シナリオ	海面上昇に対する天然資源・生息地(湿地など)の防護・適応戦略を策定	Immediate	輸送・交通の気候変動適応策の例 <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象シナリオ</th> <th>適応策</th> <th>時目標</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30cmの海面上昇 + 高潮</td> <td>Water St.を約0.9m嵩上げ(延長約52m) Nissan St.を約0.9m嵩上げ(延長約69m) Yacht St.を約0.9m嵩上げ(延長約299m) ⇒ 消防署へのアクセスを確保</td> <td>Immediate</td> </tr> <tr> <td>61cmの海面上昇 + 高潮</td> <td>Water St.を嵩上げ(延長約511m増大) Nissan St.を嵩上げ(延長約62m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)</td> <td>Soon</td> </tr> <tr> <td>94cmの海面上昇 + 高潮</td> <td>Nissan St.を嵩上げ(延長約56m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)</td> <td>Future</td> </tr> </tbody> </table>			対象シナリオ	適応策	時目標	30cmの海面上昇 + 高潮	Water St.を約0.9m嵩上げ(延長約52m) Nissan St.を約0.9m嵩上げ(延長約69m) Yacht St.を約0.9m嵩上げ(延長約299m) ⇒ 消防署へのアクセスを確保	Immediate	61cmの海面上昇 + 高潮	Water St.を嵩上げ(延長約511m増大) Nissan St.を嵩上げ(延長約62m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Soon	94cmの海面上昇 + 高潮	Nissan St.を嵩上げ(延長約56m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Future
対象シナリオ	適応策	時目標																																	
全シナリオ	個別に気候変動に関する研究を実施しているPOLB、ロサンゼルス市、ロングビーチ市が協力し、情報交換や費用分担を実施	Immediate																																	
全シナリオ	地域連携 - 太平洋気候変動作業部会への参加。	Immediate																																	
全シナリオ	CAPA(カリフォルニア州港湾局協会)の海面上昇グループに参加	Immediate																																	
全シナリオ	海面上昇に対する適応策に関するワーキンググループを立ち上げ	Immediate																																	
全シナリオ	海面上昇に対する天然資源・生息地(湿地など)の防護・適応戦略を策定	Immediate																																	
対象シナリオ	適応策	時目標																																	
30cmの海面上昇 + 高潮	Water St.を約0.9m嵩上げ(延長約52m) Nissan St.を約0.9m嵩上げ(延長約69m) Yacht St.を約0.9m嵩上げ(延長約299m) ⇒ 消防署へのアクセスを確保	Immediate																																	
61cmの海面上昇 + 高潮	Water St.を嵩上げ(延長約511m増大) Nissan St.を嵩上げ(延長約62m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Soon																																	
94cmの海面上昇 + 高潮	Nissan St.を嵩上げ(延長約56m増大) Yacht St.を嵩上げ(延長約11m増大)	Future																																	

Immediate: 5年以内
Soon : 2030年まで
Future : 2030年以降

図-7.3.4 LA 港湾マスタープランでの気候変動適応策 文献⁸⁾ より作成

表-7.3.5 種類別の貨物量・交通量の損失 (HES)

文献⁹⁾より作成

予測年次	コンテナ貨物 (TEUs)	車両	炭素系貨物 (Tons)	一般貨物 (Tons)	旅客
2080	3,183		155	27,140	3,552
2090	197,187		9,276	1,839,703	241,481
2100	1,970,448		89,842	19,908,179	2,619,264

注：車両、旅客の単位は原典に記載がないが、それぞれ「台」「人」と考えられる。

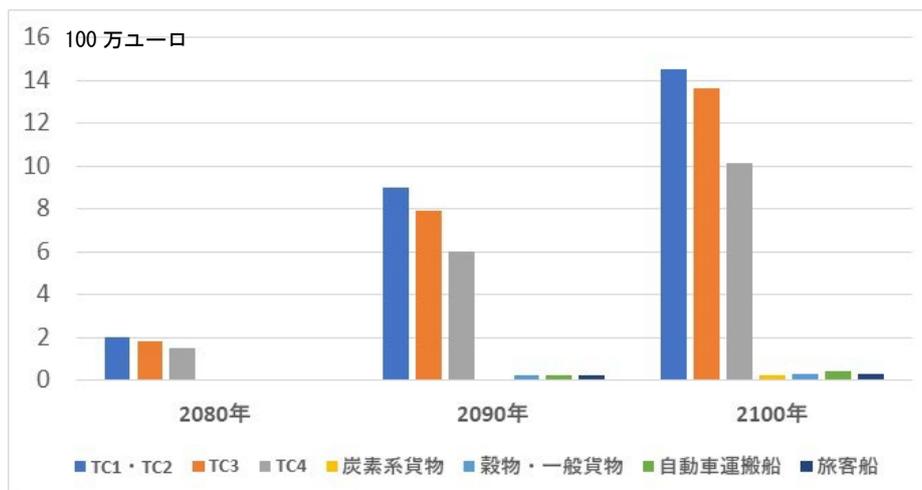


図-7.3.5 ターミナルごとの適応策の対策費用 (HES)

文献⁹⁾より作成

表-7.3.1 5つの適応策の概要

文献¹⁰⁾より作成

対策名 (カテゴリー)	概要
適応策1：気候変動適応策の政策・計画・ガイドラインによる実施 (ガバナンス)	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動対策の各種ガイドラインへの反映 (港湾開発戦略ならびに技術基準類) 港湾戦略計画、リスク評価マニュアル、プロジェクト実施マニュアル、設計指針マニュアル等
適応策2：港域での開発許可における海面水位上昇の配慮 (ガバナンス)	<ul style="list-style-type: none"> 湾域での開発許可プロセスに海面水位上昇の影響を追加 港湾における湾域のハザードマップを作成し、開発許可において参照
適応策3：Aふ頭並びにBふ頭における複合的影響の評価 (イニシアチブ)	<ul style="list-style-type: none"> 平均海面水位上昇と増加が予想される洪水による複合的なリスクを評価 浸水予測により影響を受ける可能性がある施設を特定
適応策4：Sふ頭での水際線防御方法の検討 (インフラ)	<ul style="list-style-type: none"> 化学物質が貯蔵されているSふ頭の防御方法を検討 既存の防潮壁の改良が適切であると評価
適応策5：Sふ頭での変電所に対する複合的な対策の検討 (インフラ)	<ul style="list-style-type: none"> 港湾機能にとって重要なSふ頭変電所に対する対策を検討 短期的には仮設的な施設 (土嚢やフェンス等) で対応し、長期的に影響が恒常的になった場合には壁等の設置で対応

されている。これらはガバナンス（計画と技術基準）、インシアチブ（関係者間の情報共有）、インフラ（施設面での対策）といった3つの区分によるものとなっている。この区分に基づき、5つの戦略が具体的な気候変動適応策として示されている（表-7.3.4）。

8. 港湾利用面からの気候変動適応策に関する基本的考察

8.1 嵩上げ・防潮壁設置の適性等に関する基本的考察

事例調査等を踏まえると、気候変動適応策（嵩上げないしは防潮壁）の選択は例えば船種毎といった区分で一律に設定できるものではなく、現地の状況を勘案してケースバイケースで検討する必要があると考えられる。このような検討を行う際の視点として、気候変動適応策のメリット・デメリット、導入の適性、デメリットを緩和するために配慮すべき事項を以下に整理する。

1) 嵩上げの実施

メリット

- ・施設の設置を行わないためスペースが確保しやすく港湾利用（荷役作業、繫離船作業等）の妨げになりにくい

適性

- ・背後施設が比較的簡素な構成となっており、工事に長期の時間を要しない場合、ないしは代替施設が確保しやすい船種（一般貨物船等）が利用する施設において行いやすい

デメリット

- ・既存施設の場合の工事による影響が大きい（工事計画を綿密に作成した上で、長期にわたる慎重な工程管理が必要となる、港湾利用関係者からみてオペレーションの中断がある）
- ・クルーズ船等の船種ならびに小型船舶では荷役や旅客・物資の移動に関して水平位置の不整合が生じる（平均海面水位上昇が顕在化する前に嵩上げた場合の低潮位時の利用への影響、ランプ勾配の変化等）

デメリットを緩和するための配慮事項

- ・新規施設整備の段階での嵩上げを予め行う
- ・既存施設の工事における工夫（段階的工事の実施等）を中長期的な視点で時間をかけて行う

2) 防潮壁の設置

メリット

- ・比較的簡易に工事ができる
- ・段階的な整備（防潮壁高さの段階的変更）が可能である

適性

- ・背後の施設・装置が複雑で嵩上げ工事が容易でない場合

に適している

- ・クルーズ船等の船種や小型船舶など水平位置の不整合が生じる船種でも導入の可能性がある

デメリット

- ・港湾利用・作業の妨げになる場合がある（荷役、繫離船作業、大型荷役機械や重機等の海側からの搬入等）

デメリットを緩和するための配慮事項

- ・防潮壁の位置について工夫する（岸壁法線と防潮壁との間の距離、防潮壁と係船柱との距離の確保等）
- ・防潮壁の高さを可能な限り低くする
- ・防潮壁の一部を可動式とする、陸閘を設ける、開口部を設ける、壁の乗り越しのための階段を設ける
- ・繫離船作業等の関係者との調整を行う（安全対策についての検討、係留索の破断を防止するオペレーションの実施、防潮壁設置時の位置や形状の調整、荷役作業との整合性等）

8.2 既往事例等から得られる気候変動適応策検討への示唆

我が国では港湾利用に配慮した気候変動適応策の検討はこれから長期にわたり実施されることとなるが、上記で示した海外事例の取り組みや国内での事例等から得られる示唆を以下に示す。

第一に、単体の係留施設とその背後施設を気候変動適応策の検討単位とするのではなく、港湾全体ないしは一定のまとまりのある地区・範囲を一体的に扱うことが有益であると考えられる。例えば海外事例で示したロスアンゼルス港の気候変動マスタープランでは、同一の気候変動シナリオを設定の下で、港湾内の主要な地域別に浸水リスクの評価や対応が示されている。

隣接するターミナルが異なった気候変動に対して適応すべき性能の水準（以下「適応水準」）において気候変動適応策を取った場合には適応水準の異なる施設が混在し、耐浸水性の違いや、段差が生じること等により港湾利用における利便性が低下する可能性がある。例えば適応水準の低い施設から浸水が発生しその被害が他の適応水準の高い施設に及ぶような事態はその地区全体での利便性を低下させるが、一定のまとまりのある地域を検討の対象とすることでこれを防ぐことが可能となる。

第二に、平均海面水位上昇のみでなく、可能な範囲で多様な気候変動要因を同時に考慮することが有益と考えられる。高潮、波浪の変化といった海側の要因に加え、気候変動による他のリスク要因（降水量増加等）もあり得る。例えば防潮壁の設置を行う場合、ターミナル施設の排水性が低下する可能性があり、降水量増加に対して脆弱となりえ

る。また平均海面水位の上昇はターミナルでの排水性を低下させる。これを防ぐためターミナル全体の排水システムについて、海側からの浸水と降水量の双方を対象に行うことが効率的と考えられる。

本研究で紹介した PIANC によるワーキングレポートでは、多様な気候パラメータが紹介されている。

第三に、係留施設とその背後のターミナル施設が港湾利用の観点から重要であるが、港湾の接続性を確保するため背後の輸送システム（臨港交通施設）まで含めた検討を行うことが必要であると考えられる。さらには、港湾運営に必要な水道や電気等の供給まで広げて考えることも必要となる。

例えば海外事例で示したロスアンゼルス港並びにロングビーチ港の気候変動マスタープランでは、港湾全体の資産や機能の維持にも着目した検討がなされている。

第四に、気候変動適応策としては嵩上げ・防潮壁が想定されるが、本研究の第3章のヒアリングでもみた通り、港湾の利用形態や港湾利用関係者への影響、施設の状況には多様性があり、これらに配慮した適応策の選択とその具体的なスペック等の検討を行う必要がある。今後は個別の係留施設・ターミナルにおいて、施設の状態や利用状況、想定すべき外力とその程度などの具体的な状況を設定しつつ、官民間問わず関係者協調の下で平均海面水位上昇等によるリスク評価、ならびに気候変動適応策の検討を行うことが必要と考えられる。

第五に、港湾利用関係者間の情報共有と調整の必要性である。港湾の利用者は多様であるが、気候変動適応策を実施しようとした場合、関係者各々への影響が異なることが想定される。このため関係者が一堂に介し、気候変動適応策の実施について合意形成することが有益であると考えられる。

例えば本研究では防潮壁の設置による繋離船作業への影響を考察したが、防潮壁の位置を背後に置いた場合には荷役作業への影響が生ずる可能性がある。現地作業の関係者が調整を図りつつ、適切な位置や形状を決める必要があるものと考えられる。また PIANC によるワーキングレポートにおいても、利害関係者の特定がプロセスの一つとして示されている。

第六に、気候変動適応策は長期に亘って検討・実施されるものであり、気候変動の影響が顕在化してきた場合、新たな技術開発によってその影響を緩和できる可能性もある。このような技術開発の動向をフォローアップし、適応策に取り入れることも有益である。

本研究での情報を踏まえ現時点では、自動係船装置の導入や繋離船作業と荷役作業との両立が可能なターミナル運

営方法の検討、水位上昇に柔軟に対応できる船側のランプ等の設備の開発、等が想定される。

9. まとめ

本研究は、今後の気候変動適応策の港湾利用面からの検討に資するため、関係者へのヒアリングや事例・文献収集を中心に想定される影響や対策に関する情報を整理し、基本的な考察を行ったものである。主要な成果は以下の通りである。

第一に、港湾利用関係者に対して気候変動による影響やその適応策の実施による影響等に関するヒアリング調査を行い、船種別の相違の傾向や、繋離船作業への影響について把握した。

第二に、気候変動適応策として想定される嵩上げ並びに防潮壁設置に関連のある事例を収集・整理した。

第三に、港湾でのマスタープラン策定事例等の海外での検討事例について情報収集・整理した。

第四に、上記の事例収集等を踏まえて、嵩上げ・防潮壁の比較や、気候変動適応策の検討における配慮事項について基本的考察を行った。

今後の課題等を以下に示す。

第一に、気候変動適応策の検討を行うにあたり、施設の状況、利用状況、想定される外力等、検討の条件は対象とする施設によって異なる。このため、個別具体的な施設における検討を行って当該施設での対策を進めるとともに、対策事例の蓄積を行うことで、気候変動適応策導入の考え方を一般化していくことが必要である。気候変動による影響は長期にわたり顕在化するもので、また不確実性も大きいことから、このような検討を継続的に実施していくことが必要と考えられる。

第二に、以下のような事項についても中長期的に検討していく必要がある。

- ・気候変動のモニタリングによる港湾利用への影響把握
- ・気候変動適応のためのマスタープランの具体的な内容や検討方法
- ・気候変動の適応策に係るコストや物流途絶影響の評価方法の検討と、これらの事前対策ないしは順応的対策の選択への適応
- ・施設等の高さを考慮した港湾の計画手法の検討

本資料は国総研のホームページでカラー版 PDF がダウンロード可能である。

(2023年11月15日受付)

謝辞

本調査の実施にあたっては、港湾利用関係者の皆様からヒアリング調査等でご協力いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) <https://www.env.go.jp/content/000127495.pdf>
(2023年9月14日アクセス)
- 2) https://www.env.go.jp/earth/ipcc/special_reports/srocc_spm.pdf
(2023年9月14日アクセス)
- 3) 恵平寿輝・水口陽介・羽原大生：地盤変動を考慮した北海道沿岸の海面水位の経年変化，北海道開発技術研究発表会論文，2022.
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/slo5pa000000vlyj-att/slo5pa000000vmcc.pdf>
(2023年9月14日アクセス)
- 4) 西岡悟史・井山繁・宮田正史・米山治男・辰巳大介・木原弘一：係留施設の付帯設備等の整備における繫離船作業の安全性向上への配慮事項，国総研資料 No.957, 2017.
- 5) <https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/theses/2019/ol9a8v000004c3nk-att/anzen1-01.pdf>
(2023年9月27日アクセス)
- 6) <https://www.its.ac.id/seatrans/port-on-the-north-coast-of-central-java-prone-to-sink/>
(2023年9月14日アクセス)
- 7) Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways, PIANC WG Report No. 178, 2020.
- 8) Port of Los Angeles, Sea Level Rise Adaptation Study, 2018.
https://kentico.portoflosangeles.org/getmedia/29acdb3a-c9a1-4e9c-a233-0a4e74438a3c/2018_Sea_Level_Rise_Adaptation_Study
(2023年9月14日アクセス)
- 9) Raghda, J. et al., Assessment of Harbor Inoperability and Adaptation Cost due to Sea Level Rise, Application to the Port of Tangier-Med (Morocco), Applied Geography Vol138, Elsevier, 2022.
- 10) Port of Long Beach, Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan, 2016.
<https://www.slc.ca.gov/wp-content/uploads/2018/10/POLB.pdf>
(2023年9月14日アクセス)

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1264 January 2024

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料

No.1264

港湾利用に配慮した気候変動適応策に関する基本的検討
…嵩上げと防潮壁設置を中心に

January 2024