

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1043

July 2018

係留施設における劣化予測の精度向上に関する一考察

菅原法城・井山繁・松本英雄・鈴木達典

Analysis on Accuracy Improvement for Deterioration Prediction of Mooring Facility in Port

Noriki SUGAHARA, Shigeru IYAMA, Hideo MATSUMOTO, Tatsunori SUZUKI

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

係留施設における劣化予測の精度向上に関する一考察

菅原法城*・井山繁**・松本英雄***・鈴木達典****

要 旨

近年、港湾分野においては、維持管理に関する法令の整備が進み、マニュアル類が作成されるとともに、数年前より、維持管理情報データベースが供用されたことで、点検診断結果などの維持管理情報の蓄積が急速に進んだ。

施設の維持管理の検討では LCC（ライフサイクルコスト）が重要な要素の一つであるが、劣化予測や維持管理費用の推計に港湾分野で用いられている LCC 計算プログラムにおいて、劣化速度を表現するマルコフ連鎖の遷移率は、根拠となるサンプル数が非常に限られているのが現状である。

これらの状況を踏まえ、本研究では、維持管理情報データベースに蓄積された全国の維持管理計画書の点検診断結果を使用し、マルコフ連鎖の遷移率の標準値の算出に用いる劣化予測モデルの精緻化、算出区分の細分化の検討を行い、新しい遷移率の標準値の提案を行った。

キーワード：港湾施設，維持管理，点検診断，維持管理情報データベース，劣化予測，マルコフ連鎖，LCC（ライフサイクルコスト）

*港湾研究部 港湾施設研究室 研究官（前 港湾施工システム・保全研究室 研究官）

**港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 室長

***輸出入・港湾関連情報処理センター株式会社ソリューション事業推進部 次長
（前 港湾研究部 新技術研究官）

****港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 交流研究員（東洋建設株式会社）

〒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-kikaku@ml.mlit.go.jp

Analysis on Accuracy Improvement for Deterioration Prediction of Mooring Facility in Port

Noriki SUGAHARA*

Shigeru IYAMA**

Hideo MATSUMOTO***

Tatsunori SUZUKI****

Synopsis

In recent years, in the port and harbor field, the introductions of laws and preparation of manuals concerning maintenance have advanced at the same time as, for several years, the “maintenance database” has accelerated the accumulation of maintenance information.

LCC (Life Cycle Cost) is one of the most important elements in facility maintenance. In the field of ports, deterioration prediction and estimation of LCC are executed using the “LCC Estimation Program”. -The standard transition probability of a Markov Chain, which means deterioration speed, is used in the program, but it was calculated using the limited number of data available at that time.-

Through this research, the improvement of the deterioration prediction model and the estimation categories were examined using of mass maintenance data which were stocked in the “maintenance database”. Finally, a new standard transition probability dependent on clear basis is proposed.

Key Words : port and harbor facilities, maintenance, inspection and diagnosis, maintenance database, deterioration prediction, Markov chain, LCC (Life Cycle Cost)

* Researcher, Port facility Division, Port and Harbor Department, NILIM

** Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

*** Deputy Manager, Solution Business Promotion Department, Nippon Automated Cargo and Port Consolidated System

****Exchanging Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM. (TOYO CORPORATION)

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 概要	1
1.1.2 法令の整備	1
1.1.3 マニュアル類の整備	1
1.1.4 維持管理情報データベースの整備	1
1.2 LCC（ライフサイクルコスト）計算プログラムの概要	1
1.2.1 開発の背景	1
1.2.2 現行のLCC計算プログラムにおける劣化予測	2
1.2.3 現行のLCC計算プログラムで使用している遷移率の標準値	2
1.3 研究の目的・内容	3
1.4 本研究で使用するデータ	3
2. 劣化予測モデルの精緻化の検討	4
2.1 検討の概要	4
2.2 検討の方法	4
2.3 現行の遷移率の標準値での予測値と実測値の乖離	7
2.4 予測精度の検討の結果	8
2.5 生じた課題	10
2.6 モデルの比較結果	10
3. 劣化予測区分（遷移率の区分）の細分化の検討	11
3.1 検討の概要	11
3.2 検討の方法	11
3.3 部材別の細分化の検討	13
3.4 地域別の細分化の検討	14
4. 遷移率の標準値の提案	17
5. まとめ	18
5.1 本研究で実施した内容、結果	18
5.2 課題と今後の展望	18
6. おわりに	19
謝辞	19

参考文献	19
付録A	20
付録B	25
付録C	26
付録D	27

1. はじめに

1.1 研究の背景

1.1.1 概要

港湾では、着実なストック整備が成されてきた一方で、高度経済成長期に集中的に整備した施設などで老朽化が進行している状況である。港湾施設には、水域施設、外郭施設、係留施設、臨港交通施設等の多様な施設がある。中でも、荷役や船舶への乗降で多くの人々に利用される係留施設は、重要な役割を果たしている。係留施設において劣化が進行し、エプロンの陥没等が発生すると、荷役を行う事業者や、フェリーやクルーズ船等の一般利用者を巻き込んだ深刻な事故に繋がることも懸念される。そのため、係留施設を適切に維持管理し、健全な状態に保つことは、非常に重要なことである。

係留施設の維持管理は、維持管理計画の下で行われ、維持管理計画書においては、点検、補修の実施時期・内容、LCC（ライフサイクルコスト）などの記載が求められている。点検、補修の実施時期・内容、LCC等は、点検診断の実施結果によって、更新されることが望ましい。実施時期・内容、LCC等を適切に設定するには、施設の劣化の進行を正確に予測することが必要である。そのようなことから、劣化の予測は、施設の適切な維持管理を実施するための根底的なプロセスといえる。

1.1.2 法令の整備

近年の、港湾分野における維持管理に関する主な法令の整備状況について記述する。港湾施設の計画的かつ適切な維持管理を推進するため、平成19年4月に「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」（以下、「基準省令」という。）が改正され、維持に関する事項が追加された。基準省令の改正に伴い、「技術基準対象施設の維持管理に関し必要な事項を定める告示」（以下、「維持告示」という。）が新たに制定され、当該施設の設置者による維持管理計画書の策定が標準化された。

その後、平成25年6月に港湾法が改正され、技術基準対象施設の点検が義務化された。これを受け、平成25年11月に基準省令、平成26年3月に維持告示が改正され、点検頻度等が規定された。

1.1.3 マニュアル類の整備

1.1.2に示した法令の整備と並行し、港湾管理者等における維持管理の実務を支援するためのマニュアル類の整備が進められた。平成19年10月に「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」¹⁾、「港湾の施設の維持管理計画書

作成の手引き」²⁾が発刊された。さらに、平成25年6月の港湾法の改正等に伴い、平成26年7月に点検診断の方法や項目について取りまとめた「港湾の施設の点検診断ガイドライン」³⁾が発刊された。さらに、平成27年4月には、「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン」⁴⁾が発刊された。法令の整備と併せて、これらマニュアル類の整備が進んだことで、港湾管理者等における維持管理の実務を支援する環境が整いつつある。

1.1.4 維持管理情報データベースの整備

1.1.2、1.1.3に示した法令やマニュアル類の整備が進む中、全国の港湾施設の維持管理情報を一元的に管理・保管できるシステムである、維持管理情報データベースを国土技術政策総合研究所が中心となり開発した。維持管理情報データベースが平成28年度に供用開始されたことにより、港湾分野では、点検診断結果をはじめとした維持管理に関するデータの収集・蓄積が急速に進んだ。

1.2 LCC（ライフサイクルコスト）計算プログラムの概要

1.2.1 開発の背景

岡元ら⁵⁾によると、現在、日本の港湾には、国及び港湾管理者が所有するものだけで約13,500の係留施設が存在している。港湾管理者は、1港湾に対して1者であり、その中には、係留施設だけでも200以上の施設を1つの港湾内で所有する港湾管理者も存在している。そのため、大規模な港湾を管理している場合や、複数の港湾を管理している場合などでは、1つの港湾管理者で多くの施設の維持管理を実施しなければならない。

上記のような状況から、ひとつひとつの施設に対して、多大な労力・費用をかけて精密にLCC（ライフサイクルコスト）の推計を行うことは現実的ではない。そのため、劣化予測やLCCの算出のための汎用的なプログラムが求められていた。一方で、係留施設をはじめとする港湾施設は、一般的な陸上の土木施設とは異なる構造を有し、塩害などの厳しい環境下に置かれるため、陸上の他の土木施設に対応したLCC算出のための既存プログラムをそのまま適用することも難しい。

そこで、港湾分野では、港湾管理者等が、施設の劣化予測やLCCの推計を行えるよう支援するため、港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所が協力し、LCC計算プログラムを開発した。本プログラムは、平成25年度より一般に提供しており、国土技術政策総合研究所のホームページ⁶⁾からダウンロードすることができる。なお、本プログラムは、提供開始後も、機能向上のため、随時、

改良を実施している。

1.2.2 現行のLCC計算プログラムにおける劣化予測

LCC計算プログラムを使用することで、国や地方公共団体等の担当者が専門的な知識を有さない場合であっても、簡易に劣化予測や将来の維持管理費用の推計を行うことができる。現行のLCC計算プログラムは、港湾施設のうち、係留施設（栈橋、矢板式、重力式）、防波堤（重力式）、水域施設（航路・泊地）、臨港道路橋に対応している。

現行のLCC計算プログラムでは、計算対象とする施設が、表-1に示す4段階の劣化度で評価された点検診断結果を有しているか否かで、劣化予測の方法が異なる。点検診断結果を有している場合は、得られている点検診断結果を基に、その施設固有の遷移率を算出し、劣化予測を行う。一方で、点検診断結果を有していない施設の場合は、プログラムに組み込まれている遷移率の標準値を使用して劣化予測を行う。遷移率の標準値を使用する場合（点検診断結果を有していない場合）としては、新設の施設の場合や、点検診断を一度も実施していない施設の場合などがある。

現行のLCC計算プログラムでは、図-1に示す1パラメータのマルコフ連鎖モデルを劣化予測モデルとして採用している。1パラメータのマルコフ連鎖モデルを使用した劣化の予測手法は、平成14年に小牟禮ら⁷⁾により提案されたものであり、港湾の施設の維持管理技術マニュアル¹⁾にも記載されている。マルコフ連鎖とは、「状態」と「推移」という2つの概念を用いて、物事がある「状態」から、ある「推移確率（遷移率） p 」で「次の状態」へと移行する様子を確率論的に捉えるものである。将来の状態が、現在の状態のみに依存すると捉え、過去の状態履歴とは独立に考えるものである。なお、本研究においては、遷移率は、1年での遷移の割合を表すこととする。

図-1に示した港湾で採用している劣化予測モデルでは、遷移率は、各劣化段階（劣化度d→劣化度c、劣化度c→劣化度b、劣化度b→劣化度a）で一定としている。

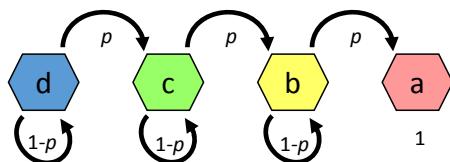


図-1 1パラメータのマルコフ連鎖モデル
(現行のLCC計算プログラムで採用)

表-1 部材の劣化度の判定基準

部材の劣化度	劣化度の判定基準
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	変状はあるが、部材の性能の低下がほとんど認められない状態
d	変状が認められない状態

表-2 劣化度の判定単位（点検診断ブロック）

構造形式	劣化度の判定単位（点検診断ブロック）
栈橋	上部工1ブロックごと
矢板式	上部工1スパンごと
重力式	ケーソン1函ごと

1.2.3 現行のLCC計算プログラムで使用している遷移率の標準値

現行のLCC計算プログラムで使用している遷移率の標準値を表-3に示す。現行の標準値は、約15年前、当時収集した点検診断結果を基にして（式-1）に示す近似的な算出式で、港湾空港技術研究所により算出されたものである。この近似的な算出手法は高橋ら⁸⁾などにより紹介されたものである。なお、現行の標準値の算出当時は、4段階（a, b, c, d）の劣化度を使用した評価は、まだ一般的となっていなかったが、港湾空港技術研究所は、試験的に4段階の劣化度で評価した一部の施設の点検診断結果を使用して遷移率の標準値を算出した。しかしこの遷移率の標準値は、根拠となるサンプル数が非常に限られていた。

また、現行標準値を算出する際に使用している1パラメータのマルコフ連鎖モデルは、各劣化段階の遷移率 p を一定の値で設定しており、この点に関しても、実際の事象と合わない場合が多かった。1パラメータのマルコフ連鎖モデルを使用した劣化予測手法の妥当性に関する評価を行うことの必要性については、この手法を提案した小牟禮ら⁷⁾も指摘している。

さらに、表-3に示す遷移率の算出区分についても、構造形式毎に、算出区分を分けることの必要性の検討が必要であった。

表-3 現行の遷移率の標準値
(現行の LCC 計算プログラムで採用している数値)

上部工(栈橋)	0.045
上部工(矢板式, 重力式)	0.042
鋼管杭、鋼矢板 (無防食状態)	0.037
エプロン舗装	0.038
渡版	0.009

個別の遷移率 $p_n = \frac{\text{劣化度の推移数}}{\text{経過年}}$

遷移率標準値 $p = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N p_n$

(式-1)

n : 点検診断データ番号

N : 点検診断データの総数

1.3 研究の目的・内容

本研究は、根拠を明確にした、予測精度の向上に繋がる遷移率の標準値の算出・提案を目的として実施する。また、その目的に至る前段階の検討として、予測精度向上のための検討を実施する。予測精度向上のための検討としては、「劣化予測モデルの精緻化の検討」と「劣化予測区分(遷移率の区分)の細分化の検討」の2つを行う。本研究のフローは、図-2に示す通りである。

なお、算出した遷移率の標準値は、LCC計算プログラムに実装することを予定している。

また、劣化予測の精度が向上し、将来的な維持管理費用を含むLCCの把握がより正確に行えるようになることで、国や港湾管理者である地方公共団体等の予算、事業計画の適正化に繋がる。さらに、LCCが正確に把握できることで、設計段階で構造等を決める際のより確かな根拠情報とすることにも繋がる。

本資料における各章の構成を示す。

まず、2章「劣化予測モデルの精緻化の検討」において、現行のLCC計算プログラムで採用している1パラメータのマルコフ連鎖モデルを、3つの候補モデルと比較することにより、どのように劣化予測モデルを精緻化するのが望ましいか検討する。

3章「劣化予測区分(遷移率の区分)の細分化の検討」

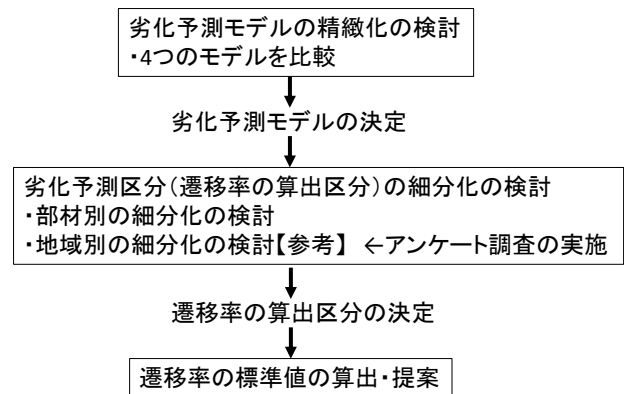


図-2 本研究のフロー

において、表-3に示した遷移率の現行の標準値の区分を部材別に構造形式の違いで細分化することを検討する。また、標準値の区分を地域別に細分化することについても試験的に検討を行い、地域の区分案と限定的な条件の下で得られた試算結果を参考的に記載する。なお、地域別の検討をする際には、地域区分を設定するためのアンケート調査を実施する。

4章では、2章、3章で記載する予測精度向上のための検討結果に基づき、遷移率の標準値を算出し、提案を行う。

1.4 本研究で使用するデータ

本研究では、「(1)平成29年度7月時点で維持管理情報データベースに登録されていた維持管理計画書より抽出した点検診断結果」を主として使用した。また、データを更に充実させるため、「(2)平成24年度に国土技術政策総合研究所が独自に収集した維持管理計画書から抽出した点検診断結果のうち、上記データには含まれない港湾のデータ」を(1)に加えた。

このデータに対して、以下の整理を実施し、分析対象データとして使用した。まず、本研究で算出する遷移率の標準値は、一般的な経年劣化の傾向を示すものであることが望ましいため、点検診断結果が、1施設内の全ての点検診断ブロックで劣化度 a、もしくは全て劣化度 d となっているデータは、特別な要因での劣化事例や、既に補修工事が行われた事例等であることが考えられるため、分析対象データから除外した。さらに、LCC 計算プログラムでは、鋼管杭、鋼矢板の遷移率は、無防食状態のものに限定して使用することから、鋼管杭、鋼矢板の点検診断データについては、防食工が施されていない施設のデータのみを抽出し、それ以外のデータを除外した。被覆防食については、施設本体の建設年と被覆防食自体

の施工年が異なる施設が多かったことから、被覆防食自体の施工年が明らかになっているもののみ抽出し、それ以外のデータを除外した。

データ整理の結果、本研究で使用した分析対象データ数（点検診断ブロック単位での点検診断結果数）は、点検診断ブロック単位で約 25,000 となった。

分析対象データの部材別の内訳を表-4 に示す。また、構造形式別の割合のグラフを図-3 に、部材別の割合のグラフを図-4 に示す。構造形式別では、重力式が最も多く過半数を占めており、続いて、矢板式、栈橋の順となっている。部材別では、上部工、エプロン舗装のデータ数が多く、ほとんどの割合を占めている。

なお、本研究では、各施設 1 回分の点検診断結果を使用した。港湾分野では、平成 25 年 6 月の港湾法改正から技術基準対象施設の点検診断が義務化された。今回使用した維持管理情報データベースに登録された維持管理計画書においても、2 回以上の点検診断結果が、点検診断ブロック単位での結果として記載されているものは 1% にも満たなかった。

表-4 分析対象データ数の内訳
(点検診断ブロック単位)

	上部工	鋼管杭・鋼矢板 (無防食状態)	被覆防食工	エプロン舗装	渡版	合計
栈橋	931	71	69	748	255	2074
矢板式	4094	390	46	3342		7872
重力式	8387			7346		15733
合計	13412	461	115	11436	255	25679

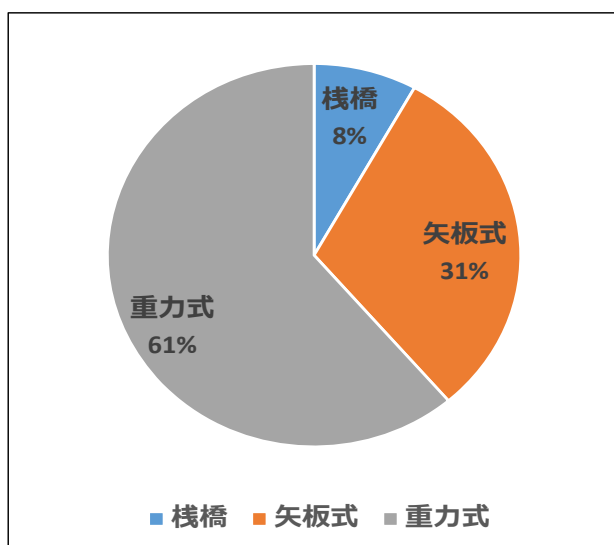


図-3 分析対象データの構造形式別の割合
(点検診断ブロック単位での割合)

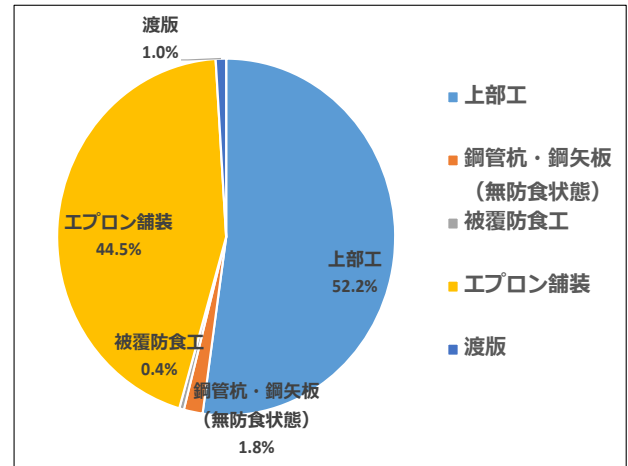


図-4 分析対象データの部材別の割合
(点検診断ブロック単位での割合)

2. 劣化予測モデルの精緻化の検討

2.1 検討の概要

本章では、予測精度向上のための検討の1つとして、劣化予測モデルの精緻化の検討を行う。2.2においては、検討候補とする各モデルの特徴や選定理由、比較検討の方法等を記載する。2.3においては、計算を行う前段階として、現行の遷移率の標準値での予測値を行った場合の実測値との乖離について紹介する。2.4においては、各モデルでの計算の結果とそれに基づく予測精度面での比較結果を記載する。2.5においては、計算の過程で生じた問題について紹介する。最後に、2.6においては、予測精度（実測値との乖離）、理解の容易さ、応用性などから総合的に評価し、採用モデルを決める。

2.2 検討の方法

本節では、検討候補とする各モデルの特徴や選定理由、比較検討の方法を記載する。

検討候補とする各モデルの特徴や選定理由について記述する。本研究においては、現行のLCC計算プログラムで使用している1パラメータのマルコフ連鎖モデルを含む4つのモデルを比較検討する。検討候補モデルとしては、現行モデルの考え方やパラメータ推定法を踏襲し、パラメータ増やしたことのみによる効果を確認するため、3パラメータのマルコフ連鎖モデル、6パラメータのマルコフ連鎖モデルを候補とし、本研究では、それぞれ【モデル①】、【モデル②】と表記する。もう一つは、道路分野

で既実績のある、津田ら⁹⁾が提案する、劣化過程をハザードモデルにより表現するモデルを候補とし、【モデル③】と表記する。【モデル③】は、劣化過程をハザードモデルで表現している点、非集計データを使用して計算する点、パラメータ推定法として最尤推定法を用いる点などで、【現行モデル】と異なっており、【現行モデル】や【現行モデル】の延長である【モデル①】、【モデル②】との違いを確認する目的で検討候補とすることとした。

ここで、【現行モデル】、【モデル①】、【モデル②】、【モデル③】の遷移率行列 P と特徴をそれぞれ以下に記載する。なお、2時点の劣化度分布の関係は、遷移率行列 P を用いて、(式-2)のように表記することとし、このように表記した場合の遷移率行列 P を、モデル毎に記載する。

$$y_t = Py_{t-1} \quad (\text{式-2})$$

y_t : t 年における劣化度分布 (列ベクトル)

【現行モデル】の遷移率行列と特徴

(遷移率行列)

$$P = \begin{pmatrix} 1-p & 0 & 0 & 0 \\ p & 1-p & 0 & 0 \\ 0 & p & 1-p & 0 \\ 0 & 0 & p & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式-3})$$

(特徴)

- ・パラメータ数 : 1
- ・パラメータ推定方法 : 最小二乗法

【モデル①】の遷移率行列と特徴

(遷移率行列)

$$P = \begin{pmatrix} 1-p_{dc} & 0 & 0 & 0 \\ p_{dc} & 1-p_{cb} & 0 & 0 \\ 0 & p_{cb} & 1-p_{ba} & 0 \\ 0 & 0 & p_{ba} & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式-4})$$

(特徴)

- ・パラメータ数 : 3
- ・パラメータ推定方法 : 最小二乗法
- ・各劣化段階の遷移率を異なる値として想定

【モデル②】の遷移率行列と特徴

(遷移率行列)

$$P = \begin{pmatrix} p_{dd} & 0 & 0 & 0 \\ p_{dc} & p_{cc} & 0 & 0 \\ p_{db} & p_{cb} & p_{bb} & 0 \\ p_{da} & p_{ca} & p_{ba} & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式-5})$$

但し、以下の条件式を満たす。

$$\begin{aligned} p_{dd} + p_{dc} + p_{db} + p_{da} &= 1 \\ p_{cc} + p_{cb} + p_{ca} &= 1 \\ p_{bb} + p_{ba} &= 1 \end{aligned} \quad (\text{式-6})$$

(特徴)

- ・パラメータ数 : 6
- ・パラメータ推定方法 : 最小二乗法
- ・各劣化段階の遷移率を異なる値として想定

【モデル③】

(遷移率行列)

(式-5)と同じであり、(式-6)の条件式を満たす。

(特徴)

- ・パラメータ数 : 3
- ・パラメータ推定方法 : 最尤推定法
- ・劣化過程を指数劣化ハザードモデルで表現 (各遷移率は、(式-7)で表される)
- ・各劣化段階の遷移率を異なる値として想定
- ・劣化に影響を及ぼす要因を変数として遷移率を計算することが可能

$$p_{ii} = \exp(-\theta_i Z)$$

$$p_{ii+1} = \frac{\theta_i}{\theta_i - \theta_{i+1}} \{-\exp(-\theta_i Z) + \exp(-\theta_{i+1} Z)\}$$

$$p_{ij} = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k Z)$$

(式-7)

 p_{ij} : 劣化度*i*から劣化度*j*への遷移率 θ : ハザード率 Z : 経過年 (点検間隔)

各モデルの特徴とその選定理由について一覧表にまとめたものを表-5に示す。

表-5 各検討モデルの特徴と選定理由

	【現行モデル】	【モデル①】	【モデル②】	【モデル③】
パラメータ推定方法	最小二乗法	最小二乗法	最小二乗法	最尤推定法
パラメータ数	1	3	6	3
劣化段階毎に異なる遷移率を設定可能	×	○	○	○
使用するデータ (集計/非集計)	集計	集計	集計	非集計
選定理由	現行使用しているモデルであり、比較の基準とするため。	劣化段階毎に異なる遷移率を設定した場合の改善を確認するため。	劣化段階毎に異なる遷移率を設定し、更に【モデル①】より多くの遷移率パラメータを設定した場合の改善を確認するため。	非集計データを使用する、パラメータ推定方法等の異なるモデルを検討候補とすることで、他のモデルとの違いを確認するため。

ここで、【現行モデル】，【モデル①】，【モデル②】におけるパラメータの推定方法について記述する。推定方法は最小二乗法によるものし、(式-8)で与えられる“実測値”と“モデルでの予測値”の乖離の二乗値を最小化するように遷移率パラメータを推定する。この際、点検診断ブロック単位で得られている点検診断結果を、経過年毎に各劣化別 ($a \sim d$) の割合に集計し、集計データとして使用し計算を行う。本研究では、この集計データを実測値と表記する。

なお、上記の計算を行う際、各経過年のデータを1つの推定計算の中で使用するが、経過年毎にデータ数が異なる。本研究においては、計算が煩雑になることを回避するため、経過年毎のデータ数の違いに応じた重み付けなどは行わず、経過年毎のデータ数の違いを考慮せず推定を行うこととした。

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=d}^a (y_{t,j} - \sum_{i=d}^a y_{t-1,i} p_{ij})^2$$

(式-8)

 t : 経過年 $(T$ は、対象データの最大経過年)

$y_{(t)j}$: 時刻*t*における劣化度*j*の点検診断ブロックの割合

 p_{ij} : 劣化度*i*から劣化度*j*への遷移率 a, d : それぞれ劣化度*a*, 劣化度*d*

【モデル③】におけるパラメータの推定方法について記述する。パラメータの推定方法は、津田ら⁹⁾により提案された最尤推定法による方法を使用する。この方法では、(式-9)で与えられる対数尤度関数 $\ln[L(\theta)]$ を最大化するようにハザード率パラメータ θ を推定する。推定方法の詳細については、既存文献⁹⁾を参照することができる。

なお、【モデル③】におけるパラメータの推定では、点検診断ブロック単位で得られている点検診断結果をそのまま非集計で使用して推定を行う。この点でも、【現行モデル】，【モデル①】，【モデル②】での推定方法と異なる。

$$\ln[L(\theta)] = \sum_{k=i}^{J-1} \sum_{j=i}^J \sum_{k=1}^K \bar{\delta}_{ij}^k \ln[p_{ij}(Z^k; \theta)]$$

(式-9)

 k : 点検診断データの番号 J : 劣化度の最終段階 (港湾の場合は劣化度*a*)

$\bar{\delta}_{ij}^k$: ダミー変数 (劣化度*i*→劣化度*j*の劣化を表す時に1, それ以外の時に0をとる)

本研究におけるデータ整理・数値計算は、Microsoft Excelを使用して実施した。大量のデータを経過年別、劣化別などに振り分ける作業や、繰り返し計算が必要であったことから、本研究では、VBAで自作したプログラムを使用して作業を実施した。なお、パラメータの推定計算は、関数の最大化最小化問題に帰着させ、Microsoft Excelに搭載されているソルバーを使用して実施した。

本節の最後に、予測精度面での比較を含めた総合的なモデルの比較方法について記述する。比較は4つの指標を用いて行うこととした。一つ目として、予測精度を表す指標として、「実測値との乖離」を指標とした。実測値とモデルでの予測値の乖離の二乗値の各経過年の和をも

って、「実測値との乖離」を表す指標とした。本研究では、上記のような乖離の二乗値の各経過年の和を残差平方和と表記する。二つ目として、「理解の容易性」を指標とした。港湾管理者等における担当者が、専門的な知識を有していない場合にも、算出方法を理解して使用してもらうという観点からこのような指標を設定した。三つ目として、「応用性」を指標とした。劣化予測モデルについては、将来的な更なるデータの蓄積や今後の研究の発展を見据えた応用性の高いものが望ましく、このような指標を設定した。これらに加えて、四つ目として、「課題」という指標を設定した。この指標は、当初より想定していたわけではなかったが、計算の過程で課題が生じたため、「課題」という指標として取り扱い、マイナスの評価を与えることとした。上述の通り、本研究では、「実測値との乖離」、「理解の容易性」、「応用性」、「課題」の4指標を用いて採用モデルを決めることとした。

2.3 現行の遷移率の標準値での予測値と実測値の乖離

検討モデルにおけるパラメータ推定の計算に入る前に、現行の遷移率の標準値に基づく予測値と実測値との乖離について、本節で記述する。部材区分毎の乖離（残差平方和）の一覧を表-6に示す。表-6に示した残差平方和は、部材区分毎に使用しているデータ数が異なるため、部材区分間での比較は意味を持たないが、2.4で記載する算出結果と比較できるようにするため、現行の遷移率の標準値を使用して予測を行った際の残差平方和の一覧（表-6）を本節で示す。

ここで例として、上部工（栈橋）、上部工（矢板式）、上部工（重力式）の場合の、予測値と実測値の関係図を、図-4～6に示す。各図中の大きい点は実測値、線で結ばれた小さな点は予測値を示す。関係図は50年分のみ表記している。上部工（栈橋）の場合、年数が経過しないうちに、劣化が進んだ状態である劣化度aの割合が高い年などが見られるが、矢板式、重力式の場合は、ある程度年数が経過した段階で劣化度aが観測されることが多く、その割合は大きくないものが多い。また、現行の標準値は、1つだけのパラメータで表現しようとしているため、例えば、上部工（矢板式）、上部工（重力式）では、図-5, 6において、図中下部の劣化度aの実測値（大きい点）を予測値（実線）が表現できておらず、劣化度bに至った後、劣化度aにはなりづらい傾向が再現できていない様子が確認できる。

表-6 現行の遷移率の標準値で予測した場合の
残差平方和の一覧

部材	残差平方和
上部工（栈橋）	12.946
上部工（矢板式）	11.660
上部工（重力式）	20.204
鋼矢板（無防食状態）	7.858
エプロン舗装（栈橋）	18.178
エプロン舗装（矢板式）	13.020
エプロン舗装（重力式）	20.719
渡版	8.899

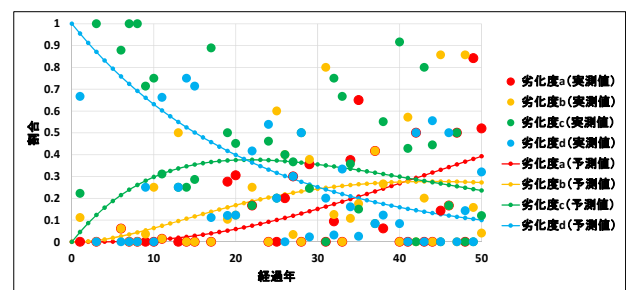


図-4 現行の遷移率の標準値を使用した場合の予測値と
実測値の関係【上部工（栈橋）】

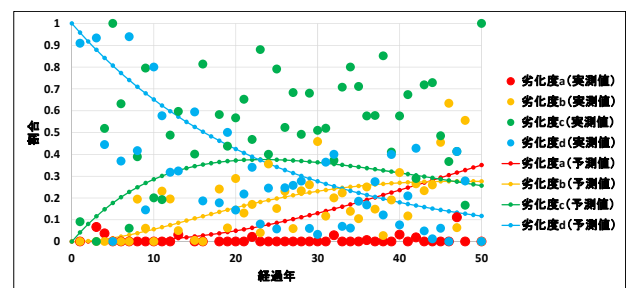


図-5 現行の遷移率の標準値を使用した場合の予測値と
実測値の関係【上部工（矢板式）】

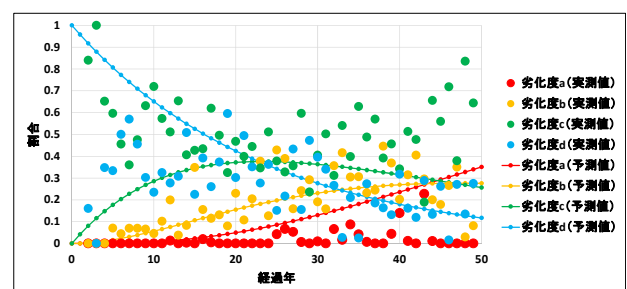


図-6 現行の遷移率の標準値を使用した場合の予測値と
実測値の関係【上部工（重力式）】

2.4 予測精度に関する検討の結果

本節では、各モデルでの計算の結果とそれに基づく予測精度面での比較結果を記載する。4つのモデルの計算結果（残差平方和）の一覧を表-7に示す。さらに、【現行モデル】からの改善率を分かりやすく示すため、【現行モデル】の結果を1とするように、表-7における各モデルの結果を【現行モデル】の結果で除して表記したものを表-8に示す。鋼管杭、被覆防食工（栈橋）、被覆防食工（矢板式）については、データ数が少なく、信頼性が十分でないと考え、単独の部材区分での算出は行わないこととした。そのため、表-8にも鋼管杭、被覆防食工（栈橋）、被覆防食工（矢板式）については、記載していない。

表-8において、【モデル①】、【モデル②】、【モデル③】の全ての結果が1を下回っており、このことから、【モデル①】、【モデル②】、【モデル③】の結果は、【現行モデル】より優れている。このことから、残差平方和という側面から検討した場合で、パラメータを増やすことの有効性が確認できた。

また、表-8において、【モデル②】、【モデル①】、【モデル③】の順で数値が小さくなっていることから、「実測値との乖離」の指標では、【モデル②】、【モデル①】、【モデル③】の順に優れている。

さらに、表-7において、【現行モデル】から【モデル①】の数値の減少幅に比べて、【モデル①】から【モデル②】の数値の減少幅が小さいことから、パラメータを1→3に増やした場合の改善効果に比べて、3→6に増やした場合の改善効果は小さい。

ここで結果の一例として、上部工（栈橋）、上部工（矢板式）、上部工（重力式）における、4つのモデルの計算結果での予測値と実測値の関係図を、図-7～18に示す。

図-7～18から視覚的に読み取れる効果の例について記載する。上部工（栈橋）においては、図-8, 9においては、図中左上の劣化度cの実測値（大きい点）を予測値（実線）が追えており、【モデル①】、【モデル②】では、建設後初期に観測された劣化度cの割合が大きい経過年のデータを再現できている。上部工（矢板式）、上部工（重力式）においては、図-12～14、図-16～18において、図中下部の劣化度aの実測値（大きい点）を予測値（実線）が追えており、劣化度bに落ちた後、劣化度aにはなりづらい特性を再現できている。

表-7 4モデルでの算出結果（残差平方和）

		【現行モデル】	【モデル①】	【モデル②】	【モデル③】
栈橋	上部工	12.736	10.809	10.645	12.117
	エプロン舗装	17.942	9.737	9.659	12.032
	渡版	6.226	5.732	5.732	6.188
矢板式	上部工	10.994	6.551	6.411	6.919
	鋼矢板（無防食状態）	7.857	7.232	6.743	7.377
	エプロン舗装	12.656	7.447	7.245	7.627
重力式	上部工	16.835	12.484	12.357	13.222
	エプロン舗装	18.387	13.026	12.946	14.748

表-8 4モデルでの算出結果

（【現行モデル】の結果で各モデルの結果を除して表記した場合）

		【現行モデル】	【モデル①】	【モデル②】	【モデル③】
栈橋	上部工	1.000	0.849	0.836	0.951
	エプロン舗装	1.000	0.543	0.538	0.671
	渡版	1.000	0.921	0.921	0.994
矢板式	上部工	1.000	0.596	0.583	0.629
	鋼矢板（無防食状態）	1.000	0.920	0.858	0.939
	エプロン舗装	1.000	0.588	0.572	0.603
重力式	上部工	1.000	0.742	0.734	0.785
	エプロン舗装	1.000	0.708	0.704	0.802

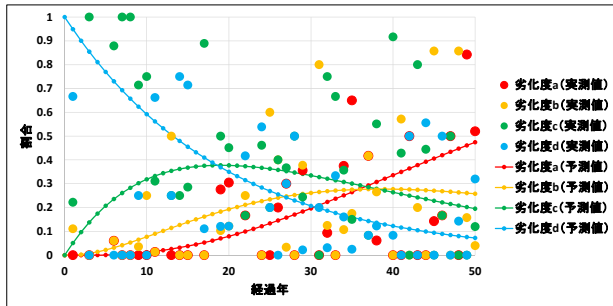


図-7 予測値と実測値の関係
(上部工 (栈橋) : 【現行モデル】)

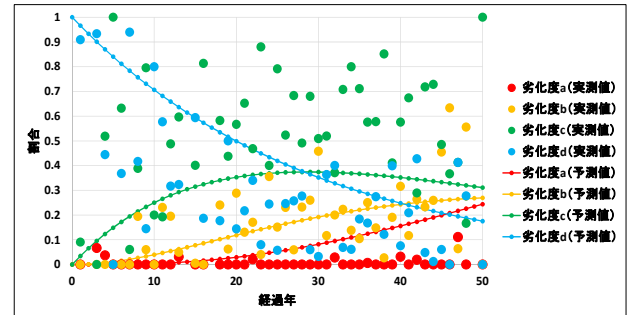


図-11 実測値と予測値の関係
(上部工 (矢板式) : 【現行モデル】)

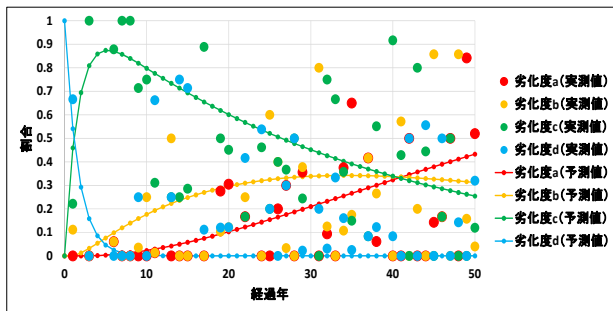


図-8 予測値と実測値の関係
(上部工 (栈橋) : 【モデル①】)

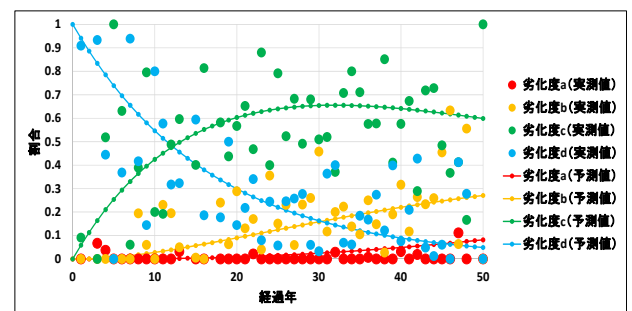


図-12 実測値と予測値の関係
(上部工 (矢板式) : 【モデル①】)

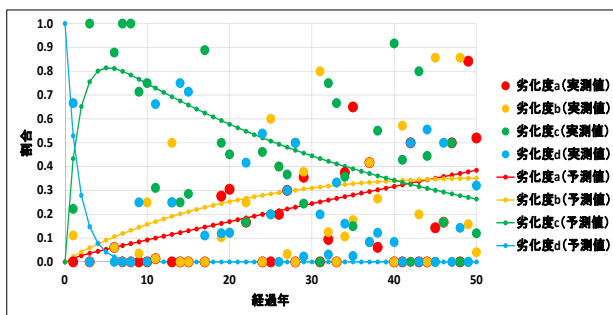


図-9 予測値と実測値の関係
(上部工 (栈橋) : 【モデル②】)

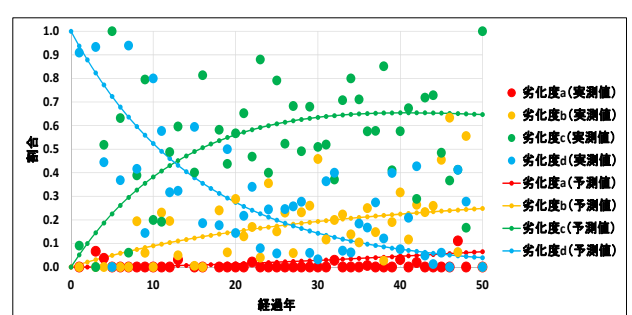


図-13 実測値と実測値の関係
(上部工 (矢板式) : 【モデル②】)

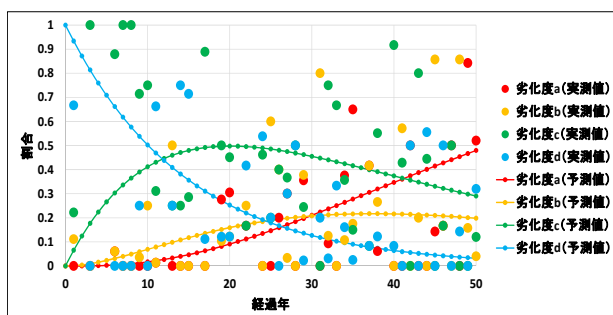


図-10 予測値と実測値の関係
(上部工 (栈橋) : 【モデル③】)

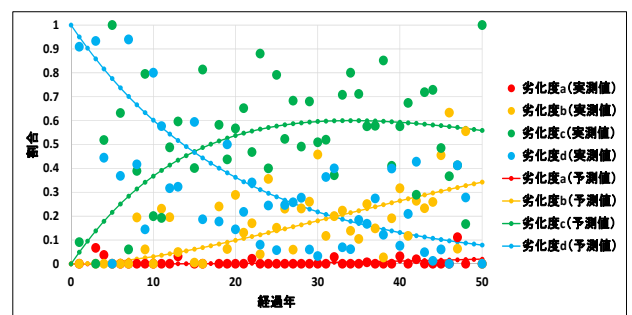


図-14 実測値と実測値の関係
(上部工 (矢板式) : 【モデル③】)

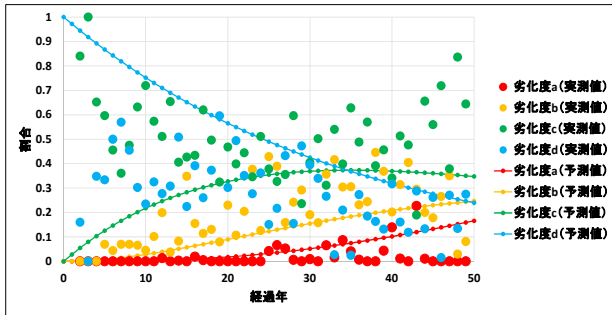


図-15 予測値と実測値の関係
(上部工（重力式）：【現行モデル】)

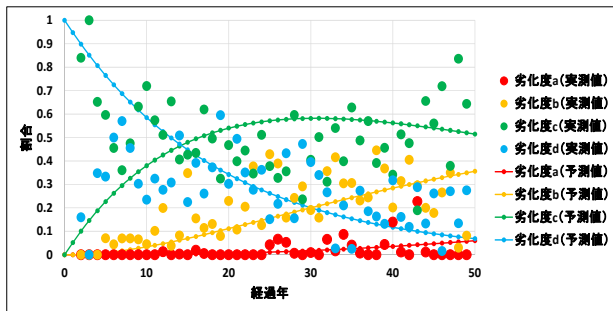


図-16 予測値と実測値の関係
(上部工（重力式）：【モデル①】)

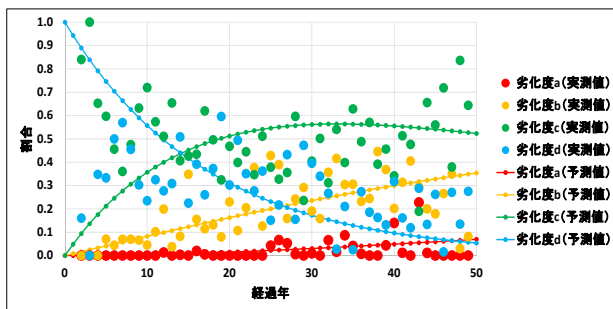


図-17 予測値と実測値の関係
(上部工（重力式）：【モデル②】)

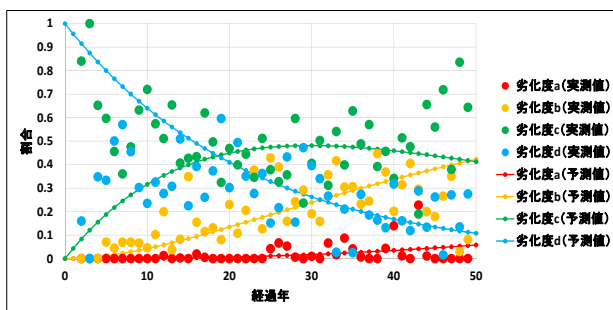


図-18 予測値と実測値の関係
(上部工（重力式）：【モデル③】)

2.5 生じた課題

本節では、予測精度を比較検討するための計算の過程で生じた課題について記述する。課題は、【モデル②】を使用して、各部材区分に対してパラメータ推定を行った結果として生じた。【モデル②】を使用した際の、パラメータの推定結果の一覧を表-9に示す。鋼矢板（無防食状態）、エプロン舗装（矢板式）においては、 $p(cb)$ と $p(ca)$ がともに、限りなく0に近い値をとる結果となった。さらに、エプロン舗装（矢板式）においては、 $p(ba)$ が限りなく0に近い値をとる結果となった。これらの推定結果のパラメータが示すのは、劣化度cもしくは劣化度bに至った際、それ以上劣化が進まず、その劣化度に留まる現象である。しかし、これは、本研究で想定している劣化過程と整合しない。そのため、このような推定結果が得られたことは、【モデル②】を使用した際の課題と捉え、4つ目の評価指標の「課題」として扱うこととする。

表-9 【モデル②】でのパラメータ推定結果の一覧

部材	$p(dc)$	$p(db)$	$p(da)$	$p(cb)$	$p(ca)$	$p(ba)$
上部工(栈橋)	0.434	0.022	0.015	0.018	0.008	0.013
上部工(矢板式)	0.052	0.011	0.000	0.006	0.000	0.008
上部工(重力式)	0.049	0.008	0.000	0.011	0.001	0.004
鋼矢板(無防食状態)	0.032	0.025	0.000	0.000	0.000	0.012
エプロン舗装(栈橋)	0.285	0.024	0.008	0.009	0.000	0.008
エプロン舗装(矢板式)	0.043	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000
エプロン舗装(重力式)	0.053	0.003	0.003	0.009	0.000	0.006
渡版	0.031	0.000	0.000	0.012	0.000	0.034

2.6 モデルの比較結果

本節では、4つのモデルを予測精度、理解の容易さ、応用性などから総合的に評価し、採用モデルを決定した。

なお、評価は、予測精度（実測値との乖離）、理解の容易さ、応用性、課題の4指標で行った。それぞれの指標の評価内容及び指標とした理由については、2.2を参照できる。

4つのモデルの比較検討結果を表-10にまとめる。表-10から【モデル①】と【モデル②】が高い評価となった。予測精度の面では、【モデル②】が若干優れているものの、【モデル②】は、想定する劣化過程と合わない結果が生じるという課題を有していた。また、2.4で記載したように予測精度の面では、【現行モデル】→【モデル①】としたときの改善効果（残差平方和の減少幅）に比べ、【モデル①】→【モデル②】としたときの改善効果（残差平方和の減少幅）は小さかった。【モデル①】→【モ

デル②】とした際の改善が小さいため，【モデル②】のメリットは小さく，【モデル②】は課題を有していることで一定のデメリットを有している．そのため，本研究では，【モデル①】を採用することとした．

理解の容易さ

【モデル③】を他のモデルに比べ劣る評価とした．【現行モデル】，【モデル①】，【モデル②】は，実測値と予測値の乖離を小さくするようにパラメータ推定する．この手法は，平面上にプロットできる実測値に対して，予測値を近づけようパラメータを推定するもので，視覚的に捉えづらい「尤もらしさを表す“尤度”」を最大化するようにパラメータを推定する最尤推定法に比べて，計算過程でどのようなことを行っているのか，視覚的にイメージがしやすい．そのため，プログラムの利用者にとって，理解が容易である．また，【現行モデル】，【モデル①】，【モデル②】でのパラメータの推定手法である最小二乗法は，現行のLCC計算プログラムでも使用しており，現行のLCC計算プログラムに馴染みの深い利用者にとって理解がしやすい．一方で，【モデル③】については，最尤推定法，ハザード関数等の数学的知識が不可欠であり，遷移率を表す数式も複雑であるため，プログラム利用者が，これらの知識に馴染みのない場合は，理解が難しい．従って，「理解の容易さ」においては，【モデル③】を他のモデルに比べ劣る評価とした．

応用性

【モデル③】を他のモデルに比べて優れた評価とした．【モデル③】では，(式-10)のように，劣化要因を変数にとり，ハザード率を表す既存知見⁹⁾が得られている．(式-10)により，データの構造特性や使用環境，点検状況などが異なる異質な点検データを，異質性を劣化要因として変数にとり遷移率を推定できる．従って，将来的に，異質性を示す情報を有した点検データの蓄積が進めば，(式-10)を使用し，それらの異質性を考慮して遷移率を検討するような発展的な研究に繋がる点などで応用性が高い．

$$\theta_i^k = x^k \beta_i' \quad (式-10)$$

θ_i^k ：施設 k の劣化度 i のハザード率

x^k ：施設 k の特性の行ベクトル

β_i ：劣化度 i の未知パラメータの行ベクトル

記号'：転置操作を表す

他のモデルでも，何らかの方法で劣化要因を変数にとる形で遷移率を表現することも不可能ではないが，そのような手法を研究した文献が，今回調査した中では見つからず，知見が十分でない判断した．そのため，【モデル③】を他のモデルに比べ高く評価した．

実測値との乖離，課題

2.4，2.5に記載した通り，評価することとした．

表-10 モデルの比較結果

	【現行モデル】	【モデル①】	【モデル②】	【モデル③】
理解の容易さ	○ (視覚的にイメージが容易)	○ (視覚的にイメージが容易)	○ (視覚的にイメージが容易)	△ (最尤推定法、ハザード関数等の数学的知識が必要)
応用性	△	△	△	○ (直観パラメータの取り込みが容易)
実測値との乖離 (残差平方和)	4位	2位	1位	3位
順位 パラメータ数	1パラメータ	3パラメータ	6パラメータ	3パラメータ
課題	○	○	△	○
	-	-	特定の劣化度に至った際、次の劣化度に進まないようなパラメータ推計結果となるケースが生じた	-
検討結果		採用		

3. 劣化予測区分（遷移率の区分）の細分化の検討

3.1 検討の概要

本章では，劣化予測区分（遷移率の区分）の細部化の検討の内容及び結果について記述する．劣化予測区分（遷移率の区分）の細部化として，本研究では，部材別と地域別の二つの細分化を検討した．

3.2においては，検討の方法，3.3においては，部材別の細分化の検討の内容及び結果，3.4においては，地域別の細分化の検討の内容及び結果を記述する．

3.2 検討の方法

本節では，劣化予測区分（遷移率の区分）の細部化の検討の方法について記述する．

検討の手順は，以下に示す通りである．検討の手順中（3）において記載している，補修適用時期の設定方法である【方法①】，【方法②】についても，検討の手順

の下に記載する。

検討の手順

- (1) 細分化を検討する区分を設定する。
(例：A区分→B区分とC区分に細分化)
- (2) 設定した区分毎に劣化予測を行う。
(劣化予測には、【モデル①】を使用)
- (3) 劣化予測結果から、補修適用時期（予防保全，事後保全）をそれぞれ【方法①】，【方法②】で設定する。
- (4) 細分化を検討する2つの区分間で、設定した4つの補修適用時期（劣化度代表値，DP値でそれぞれ設定した予防保全，事後保全の適用時期）が，1つでも5年以上離れている場合，劣化特性の異なった区分と判断し，細分化を提案する。
※1区分→3区分に細分化することを検討する場合は，3組(${}_3C_2$)の2対比較を行う。

【方法①】劣化度代表値で補修適用時期を設定する

方法¹⁰⁾

(現行のLCC計算プログラムで採用している方法)

- ・I類の点検診断項目の場合は表-11，II類の点検診断項目の場合は表-12の基準に基づき，劣化度代表値を決定する。
- ・劣化度代表値が「b」となった時点を予防保全，劣化度代表値が「a」となった時点を事後保全の適用時期として設定する。

※点検診断の項目の分類（I，II，III類）の内容は，表-13に示す。

※港湾の施設の点検診断ガイドライン³⁾に従い，表-14の通り，対象とする部材区分の分類を設定する。

表-12 劣化度代表値の判定基準（II類の場合）

劣化度代表値 a	劣化度aの部材の割合 $\geq 30\%$
劣化度代表値 b	劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $\geq 30\%$
劣化度代表値 c	劣化度dの部材の割合 $< 70\%$ かつ 劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $< 30\%$
劣化度代表値 d	劣化度dの部材の割合 $\geq 70\%$

表-13 点検診断項目の分類

点検診断の項目の分類		
I 類	施設の性能（特に構造上の安全性）に直接的に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目	施設全体の移動や沈下、上部工、本体工、基礎工あるいは消波工等の変状に対するもので、構造上直接的に施設の性能（特に、構造上の安全性）に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目である。
II 類	施設の性能に影響及ぼす部材に対する点検診断の項目	鋼部材の防食等のように、その性能が低下により、直接的に直ちに施設の性能が低下するわけではないが、長期間その状態を放置すると施設の性能に影響を及ぼすものに対する点検診断の項目である。
III 類	附帯設備等に対する点検診断の項目	防舷材、係船柱、船舶役務用施設等のように施設の利用に影響を及ぼすおそれのあるもの、あるいは、車止め、安全柵、はしご等のように損傷等を放置した場合に人命に関わる重大な事故や災害につながるおそれがあるものに対する点検診断の項目である。

表-11 劣化度代表値の判定基準（I類の場合）

劣化度代表値 a	劣化度aの部材の割合 $\geq 10\%$
劣化度代表値 b	劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $\geq 10\%$
劣化度代表値 c	劣化度dの部材の割合 $< 90\%$ かつ 劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $< 10\%$
劣化度代表値 d	劣化度dの部材の割合 $\geq 90\%$

表-14 点検項目分類

		項目分類
栈橋	上部工(下面)	Ⅱ類
	鋼管杭	I類
	被覆防食工	Ⅱ類
	エプロン舗装	Ⅱ類
	渡板	Ⅱ類
矢板式	上部工	Ⅱ類
	鋼矢板	I類
	被覆防食工	Ⅱ類
	エプロン舗装	Ⅱ類
重力式	上部工	Ⅱ類
	エプロン舗装	Ⅱ類

【方法②】代表的劣化指標DPで補修適用時期を設定する方法^{11), 12)}

- ・施設の代表的劣化指標DPを(式-11)で算出する。
- ・DPが「1.7」となった時点を予防保全、「2.0」となった時点を事後保全の適用時期として設定する。

※既存文献¹¹⁾では、予防保全の推奨値が $1.7 \leq DP < 2.0$ 、事後保全の推奨値が $2.0 \leq DP < 3.5$ と記載されている。

$$DP = 4 \times a + 3 \times b + 2 \times c + 1 \times d \quad (\text{式-11})$$

a, b, c, d : 劣化度 $a \sim d$ の割合を示す

ここで、検討の手順の(4)においては、5年で閾値を設定したことについて補足する。地方公共団体等が作成している長寿命化計画が、5年～10年程度で見直されることが多いため、閾値を5年で設定した。

現在、インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議でとりまとめられたインフラ長寿命化基本計画¹³⁾に基づき、国や地方公共団体の各機関は、インフラの維持管理・更新等を着実に推進するための中長期的な取組の方向性を明らかにする計画として、「インフラ長寿命化計画(行動計画)」を策定することとされている。さらに、各インフラの管理者は、行動計画に基づき、個別施設毎の具体的な対応方針を定める計画として、「個別施設の長寿命化計画」を策定することとされている。「個別施設毎の長寿命化計画」は、港湾分野では、維持管理計画にあたる。

本節の最後に、本研究で、補修適用時期の設定方法に、DP値による設定方法(【方法②】)を、現行のLCC計算プログラムで使用している【方法①】に加えて、使用した理由について記述する。DP値は、(式-11)で示されるように、 $a \sim d$ の全ての劣化度の割合から決まる量である。そのため、劣化度 c の影響も考慮できる点において、各劣化段階の遷移率を異なる値として想定する【モデル①】を使用した場合と相性がよい。また、DP値は、小刻みな数値の設定が可能である点、区分別に異なる補修適用基準の閾値を設定できる点で利便性が高い。このような利便性による利点から、本研究では、DP値を補修適用時期の設定方法として使用することとした。

3.3 部材別の細分化の検討

本節では、部材別の細分化の検討の内容及び結果について記述する。部材別の細分化の検討にあたって、本研究では、表-15のように、遷移率の算出区分を細分化することを検討する。これは、上部工とエプロン舗装について、構造形式別に細分化するものである。

検討に先立ち、部材区分毎に算出した遷移率を使用して劣化予測を行い、【方法①】、【方法②】で、補修適用時期(予防保全、事後保全)を設定した。このようにして部材区分毎に設定した補修適用時期(予防保全、事後保全)の一覧を表-16に示す。また、表-16においては、現行の遷移率の標準値を使用し、【方法②】で設定した補修適用時期(予防保全、事後保全)を、表中右側に参考に示している。

なお、上部工(矢板式)、上部工(重力式)、渡版については、LCC計算プログラムにおいても、予防保全的補修を想定していないことから、本研究でも上部工(矢板式)、上部工(重力式)、渡版については予防保全的補修適用時期は設定せず、表-16において斜線としている。また、鋼管杭、被覆防食工(栈橋)、被覆防食工(矢板式)については、データ数が少なかつたため、今回、補

表-15 部材別の細分化の検討案

遷移率の区分(現行)		細分化検討区分	
上部工(栈橋)	0.045		上部工(栈橋)
上部工(矢板式、重力式)	0.042		上部工(矢板式) 上部工(重力式)
鋼管杭、鋼矢板(無防食状態)	0.037		鋼管杭、鋼矢板(無防食状態)
被覆防食工	0.065		被覆防食工
エプロン舗装	0.038		エプロン舗装(栈橋)
			エプロン舗装(矢板式)
			エプロン舗装(重力式)
渡版	0.009		渡版

表-16 設定した補修適用時期の結果の一覧

構造形式	部材種別	方法① (劣化度代表値)		方法② (DP値)		【参考】現行標準値 (劣化度代表値)	
		予防保全的 補修適用 時期	事後保全的 補修適用 時期	予防保全的 補修適用 時期	事後保全的 補修適用 時期	予防保全的 補修適用 時期	事後保全的 補修適用 時期
栈橋	上部工	15	38	2	5	25	43
	エプロン舗装	31	82	4	9	29	51
	渡版		87		43		100
矢板式	上部工		100		28		46
	鋼矢板(無防食状態)	17	40	17	27	15	31
	エプロン舗装	65	100	20	36	29	51
重力式	上部工		100		29		46
	エプロン舗装	49	100	18	31	29	51

※単位：年後

※補修適用時期が100年後を超える場合は、「100」としている。

修適用時期の設定を行わず、表-16においても記載していない。

表-16において、【方法①】と【方法②】の補修適用時期の設定結果を比較すると、ほとんどの区分において、【方法②】で設定した補修適用時期の方が早くなる結果となった。また、現行の遷移率の標準値を使用し、【方法②】で設定した補修適用時期との比較では、部材区分によって、時期が早くなる区分と遅くなる区分が分かれる結果となった。

なお、補修適用時期の設定結果においては、一部、補修適用時期が現実と合わない結果となる検討区分が存在した。建設後数年で補修適用となったり、建設後100以上経過しても補修適用とならない設定結果は、現実の劣化現象と合わないと考えられる。

このような結果が生じた原因は、補修適用時期の設定を、全部材区分に対して一律に設定してしまっていることにありと考える。劣化度代表値での補修適用時期の設定においては、全区分に対して一律に、「b」となった時点が予防保全、「a」となった時点が事後保全の適用時期と設定した。また、DP値での補修適用時期の設定でも、全区分に対して一律に「1.7」となった時点が予防保全、「2.0」となった時点が事後保全の適用時期と設定した。このように、全区分に対して一律に補修適用基準を設定していることについては、全区分で一律な設定のままでよいのか、それとも区分毎に閾値を変えるべきか、今後検討が必要であると考えられる。

一方で、本研究においては、劣化度代表値、DP値を、あくまで補修適用時期の違いを比較するための指標として使用するため、閾値の見直しまでは踏み込まず、一律の基準で補修適用時期を設定し、検討を行った。

本節の最後に、部材別の細分化の検討結果を表-17に示す。検討の方法や細分化必要性の判断(表-17における「分

割判定」)は、2.2で記載した検討の手順に従った。検討結果として、エプロン舗装の算出区分を栈橋、矢板式、重力式で細分化するのが望ましいとの結果となった。また、上部工(矢板式、重力式)の算出区分を矢板式、重力式で細分化することは、必要でないとの結果となった。従って、本研究では、エプロン舗装のみ新たに栈橋、矢板式、重力式で細分化し、残りの区分は現行区分で、遷移率の標準値を算出することとした。

3.4 地域別の細分化の検討

本節では、地域別の細分化について、試験的に検討を行い、地域の区分案と限定的な条件の下で得られた試算結果を参考的に記載する。

まず、地域別の検討に至った背景を記述する。気温、潮汐、波浪、降雪(融雪剤の散布)、地盤特性等の違いが原因で、施設が所在する地域や場所で、劣化特性に差が生じることが想定される。一方で、設計や施工の段階で、地域特有の環境への対策がなされていることも可能性として考えられるが、それらを含めても、全国一律の遷移率を仮定して良いか検討が必要である。

なお、LCC計算プログラムで使用している遷移率の標準値においても、全国統一の値を使用しており、劣化特性が全国一律であることを前提としている。

検討は、地域の区分案を決めることから始めた。適切な地域の区分は、劣化特性に差が生じる区分であることが必要条件である。一方で、区分を細かく設定しすぎると利用上煩雑になることが懸念される。よって、適切な地域の区分であるためには、劣化特性に差が生じる区分で、かつ利用上煩雑になるほど細かすぎない区分であることが必要十分条件である。

本研究においては、地域区分を決める際の参考とするため、平成29年度に海洋港湾構造物・維持管理士会の会員29名に対してアンケート調査を行った。アンケート調査は、劣化の進行に差が出るような地域区分について問う内容とした。本アンケート調査の詳細は、付録Cに示す。

アンケート調査の集計結果を、表-18に示し、その割合のグラフは図-19に示す。「地方整備局(旧地方港湾建設局)での区切り(35%)」、「干満差が似た地域での区切り(28%)」、「太平洋側、日本海側での区切り(10%)」の順で、回答数が多い結果となった。

アンケート調査の設問では、選択肢を選んだ理由を求めており、上記の選択肢を選んだ理由として主だったものを記載する。「地方整備局(旧地方港湾建設局)での区切り」を選択した理由としては、工事・業務発注時の

表-17 部材別の細分化の検討結果

	構造形式	部材種別	方法① (劣化度代表値)				方法② (DP値)				分割判定 (○の場合は 分割が望まし い)
			予防保全的 補修適用 時期	実施時期の差	事後保全的 補修適用 時期	実施時期の差	予防保全的 補修適用 時期	実施時期の差	事後保全的 補修適用 時期	実施時期の差	
比較①	矢板式	上部工			100	0			28	1	×
	重力式	上部工			100				29		
比較②	栈橋	エプロン舗装	31	34	82	18	4	16	9	27	○
	矢板式	エプロン舗装	65		100		20		36		
比較③	栈橋	エプロン舗装	31	18	82	18	4	14	9	22	○
	重力式	エプロン舗装	49		100		18		31		
比較④	矢板式	エプロン舗装	65	16	100	0	20	2	36	5	○
	重力式	エプロン舗装	49		100		18		31		

表-18 地域区分に関するアンケートの集計表

年代	人数
①地整	10
②太平洋・日本海	3
③降雪	0
④寒冷	2
⑤干満差	8
⑥その他	3
未回答	3
計	29

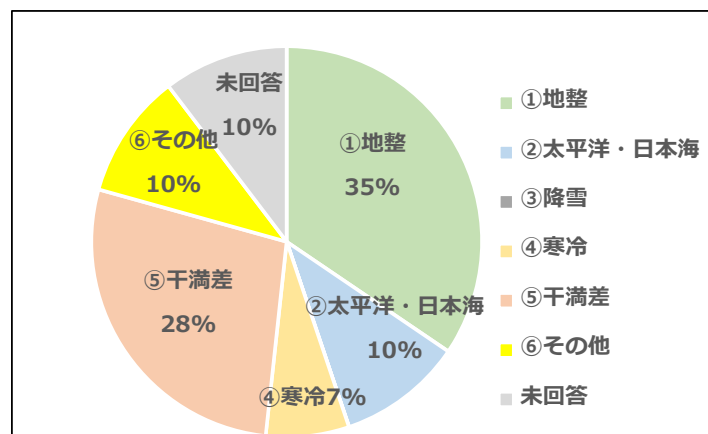
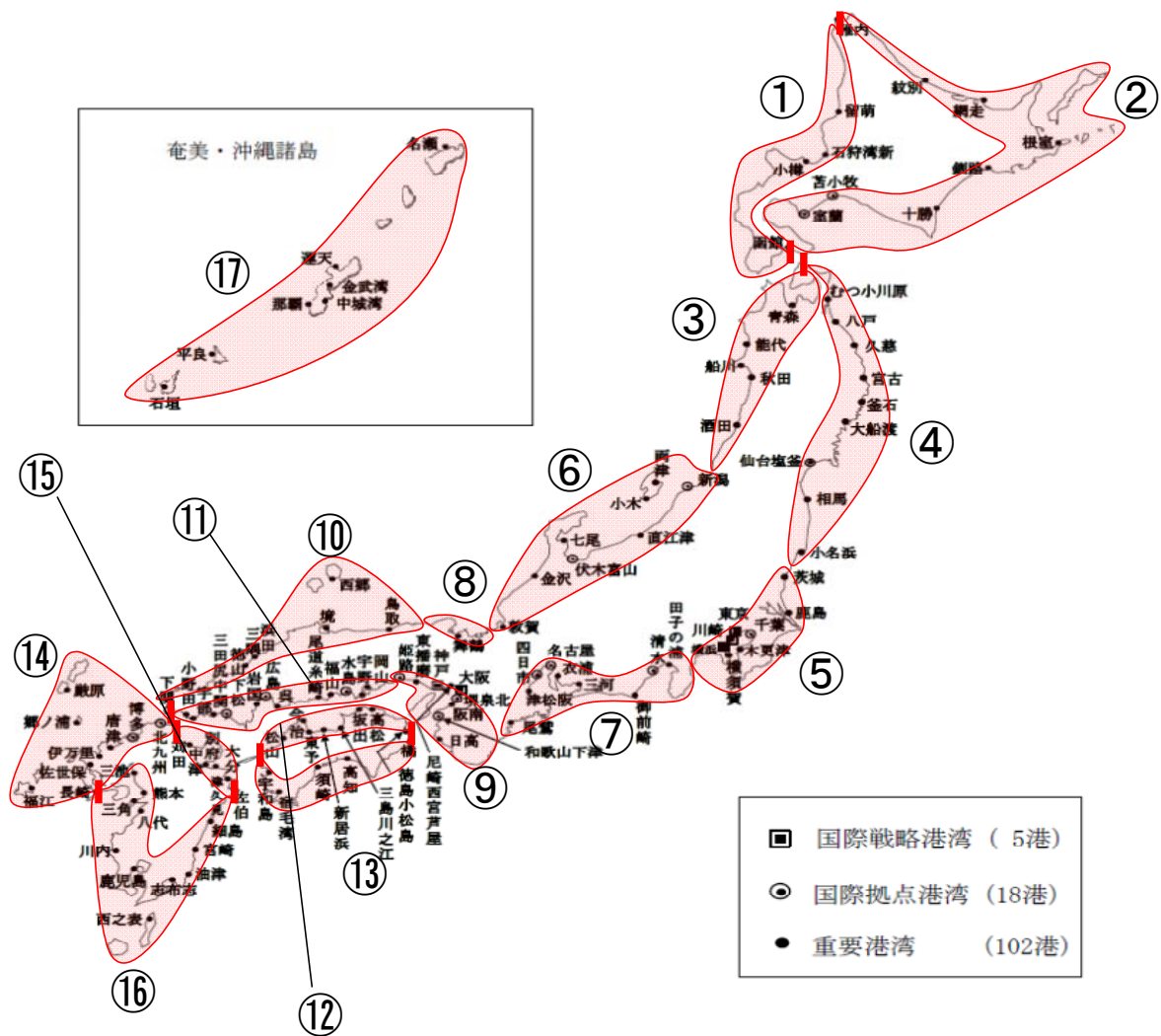


図-19 地域区分に関するアンケートの集計グラフ



1. 北海道（日本海側）
2. 北海道（太平洋側）
3. 東北地方（日本海側）
4. 東北地方（太平洋側）
5. 関東地方
6. 北陸地方
7. 中部地方
8. 近畿地方（日本海側）
9. 近畿地方（瀬戸内海・太平洋側）
10. 中国地方（日本海側）
11. 中国地方（瀬戸内海側）
12. 四国地方（瀬戸内海側）
13. 四国地方（太平洋側）
14. 九州地方（日本海側）
15. 九州地方（瀬戸内海側）
16. 九州地方（太平洋側）
17. 沖縄

図-20 地域の区分案（17区分）

有効活用に繋がることや、整備局単位でまとめないと管理ができないなど、実用面に配慮した意見が目立った。

「干満差が似た地域での区切」を選択した理由としては、干満帯の劣化が特に激しいと予測されるためなどが挙げられた。

「太平洋側、日本海側での区切り」を選択した理由としては、潮位条件や塩分濃度、風などが大きく違うという理由が挙げられた。瀬戸内海等の内海も区切りとして必要ではないかとの意見もあった。

アンケートの結果や、想定した地域特性を踏まえ、本研究では、図-20に示す通り、日本全体を17に分割する区分案を作成した。

図-20に示した区分案の考え方としては、地方整備局の区割りでまず分割し、その上で、日本海側、太平洋側、瀬戸内海側で区分することとした。干満差は、地方整備局の区割りで考えた場合、日本海側、太平洋側、瀬戸内海側で大きく異なっていることが多い。従って、このように区分することで、干満差についても類似した地域で区分が出来ていると考える。なお、近畿地方（瀬戸内海・太平洋側）は、瀬戸内海側と太平洋側にまたがる地域であるが、太平洋側のデータが少なかったため、1つの区分として扱うこととした。沖縄についても、一つ一つの島の面積が大きくなり、日本海側、太平洋側で区分する必要性は小さいと考え、1つの区分として扱うこととした。

本研究は、3.3での検討のように、部材区分毎に劣化特性が異なっていることを前提としているため、地域比較を行う際も、同一の部材で比較すべきであったが、今回使用したデータでは、同一の部材のみで、図-20の地域に分けて地域比較を行うにはデータ数が少なく困難であった。一方で、図-20の地域区分より区分数を減らした場合、効果的な検討が行えないと考えた。そのため、部材を全て混ぜた状態で使用し、図-20の地域区分で検討することとした。

検討する地域区分毎に、設定した補修適用時期（予防保全、事後保全）の一覧を表-19に示す。なお、部材混ぜて使用したデータのうち、ほとんどがⅡ類の点検診断項目のデータであったことから、劣化度代表値での補修適用時期の設定はⅡ類の点検診断項目に対する基準で行った。

表-19の関東地方の結果においては、建設後1年で既に事後保全的補修が適用される結果となった。これは、パラメータ推計の結果、 $p(dc)$ が1と推定されたためである。このように、 $p(dc)$ が著しく大きな値をとった際、DP値で補修適用時期を判断すると、極端に早い時期に補修が適用される結果となることがある。この点は、DP値を使用

するにあたり、注意が必要である。

前述の通り、今回使用したデータでは、部材別に分けて、図-20の地域区分で検討を行うことはできなかった。従って、地域別の検討の結果としては、地域区分の案（図-20）の提示と、試験的に全部材を混ぜて計算し、設定した補修適用時期の一覧（表-19）を参考的に記載することにとどめることとする。

表-19 算出した地域別の補修適用時期（単位：年後）

地域	方法① (劣化度代表値)		方法② (DP値)	
	予防保全的 補修適用 時期	事後保全的 補修適用 時期	予防保全的 補修適用 時期	事後保全的 補修適用 時期
1. 北海道(日本海側)	28	100	17	26
2. 北海道(太平洋側)	32	100	13	22
3. 東北地方(日本海側)	47	100	23	36
4. 東北地方(太平洋側)	67	100	30	50
5. 関東地方	21	82	1	1
6. 北陸地方	40	99	15	25
7. 中部地方	43	97	18	30
8. 近畿地方(日本海側)	32	40	13	20
9. 近畿地方(瀬戸内海・太平洋側)	46	80	7	15
10. 中国地方(日本海側)	-	-	-	-
11. 中国地方(瀬戸内海側)	24	90	8	14
12. 四国地方(瀬戸内海側)	46	80	16	27
13. 四国地方(太平洋側)	61	98	15	27
14. 九州地方(日本海側)	45	88	20	32
15. 九州地方(瀬戸内海側)	18	57	1	3
16. 九州地方(太平洋側)	33	82	13	21
17. 沖縄	24	59	14	21
全国	43	100	18	30

※10. 中国地方（日本海側）は、劣化度がaまで落ちているデータがなかったため、【モデル①】で計算が行えず、「-」と表記している。

4. 遷移率の標準値の提案

本章では、遷移率の算出結果について記述し、新たな標準値として提案する。

遷移率の標準値の算出は、2. の検討結果に基づき、【モデル①】を劣化予測モデルとして使用し、3. の検討結果に基づき、エプロン舗装の区分を栈橋、矢板式、重力式に新たに細分化して算出を行った。算出した遷移率の一覧を表-20に示す。本研究では、表-20の遷移率を新たな標準値として提案する。

表-20においては、劣化段階毎の遷移率である $p(dc)$ 、 $p(cb)$ 、 $p(ba)$ が異なる数値となっているものがほとんどであり、劣化予測モデルにおいて、パラメータを増やしたことによる効果といえる。

また、上部工（栈橋）における $p(dc)$ は、大きな値をとっている。栈橋上部工では、図-8に示されるように、経

過年が短いうちに、劣化度cの割合が大きいデータが多くあったため、このような結果となった。

表-20 提案する遷移率の標準値

部材	$p(dc)$	$p(cb)$	$p(ba)$
上部工(栈橋)	0.459	0.028	0.033
上部工(矢板式、重力式)	0.054	0.016	0.008
鋼管杭、鋼矢板 (無防食状態)	0.049	0.024	0.017
エプロン舗装(栈橋)	0.289	0.013	0.015
エプロン舗装(矢板式)	0.050	0.008	0.019
エプロン舗装(重力式)	0.054	0.012	0.012
渡版	0.031	0.012	0.034

5. まとめ

5.1 本研究で実施した内容、結果

本研究は、根拠を明確にした、予測精度の向上に繋がる遷移率の標準値の算出・提案を目的に実施し、その目的に至る前段階の検討として、予測精度向上のための検討を実施した。予測精度向上のための検討としては、「劣化予測モデルの精緻化の検討」と「劣化予測区分(遷移率の区分)の細分化の検討」の2つを実施した。「劣化予測モデルの精緻化の検討」の結果として、【モデル①】の通り、パラメータを合計3つに増やすように予測モデルを精緻化することが望ましいと結論づけた。「劣化予測区分(遷移率の区分)の細分化の検討」の結果として、エプロン舗装の区分を新たに、栈橋、矢板式、重力式で細分化するのが望ましいと結論づけた。なお、「劣化予測モデルの精緻化の検討」においては、地域別の細分化の検討も実施したが、地域の区分案の提案と、限定的な条件の下での試算結果を参考的に記載するに留めた。最後に、予測精度向上のための検討結果に基づき遷移率(表-20)を算出し、新たな標準値として提案した。

5.2 課題と今後の展望

本節では、本研究を実施する過程で見えた課題と、その課題に対する今後の展望について記述する。

今回検討を行った中で、データの不足から、十分な検討を実施できない内容があり、データの不足が依然として課題となった。

本研究中では実施しなかったが、付加的な情報を有したデータが十分に得られていれば、検討することができた内容も存在した。以下に、その例を紹介する。

一つ目として、実施した補修工事の詳細な情報を有した、補修工事実施直前の点検診断結果が存在すれば、部材や補修工法毎に、適切な劣化度代表値やDP値の基準値を検討することができる。部材や補修工法毎に、適切な劣化度代表値やDP値の基準値が設定できれば、より精緻なLCCの算出が可能となる。

二つ目として、材質や施工方法の情報を有した点検診断結果が存在すれば、材質や施工方法ごとの遷移率を検討することができる。材質や施工方法ごとに算出した遷移率で劣化予測を行い、材質や施工方法ごとのLCCの違いを定量化することで、良い材質や施工方法を採用することの根拠とすることができる。今後、このようなデータが得られれば、プレキャストPC工法、エポキシ樹脂塗装を施した鉄筋などについて、その効果を検証する予定である。

データ数の不足を解消し、付加的な情報を有した形式で、大量のデータを一元的に保管するには、維持管理情報データベースが今後重要な役割を担うと考える。維持管理情報データベースは、現状の機能でも、補修工事履歴等の付加的な情報を保管する機能を有している。維持管理情報データベースは、平成28年度に供用されたばかりであるが、既に大量なデータを蓄積しており、今後も更なるデータの収集・蓄積が期待できる。港湾管理者や地方整備局の職員等が、直接アクセスして、点検診断結果を保管できることが、維持管理情報データベースの大きな利点である。維持管理情報データベースを活用することで、全国的な調査を定期的に行わなくとも、恒常的にデータが収集・蓄積できる。

一方で、現行の維持管理情報データベースには、まだ課題がある。特に、十分なデータ登録のない施設や、データ更新がなされていない施設が多いことは課題である。データの登録に多くの時間や労力を要し、港湾管理者等にとって負荷となっていることが、上記の課題の主な原因である。このような港湾管理者等の負荷を軽減させることが、今後更なるデータの収集・蓄積を進めるためには必要である。港湾管理者等にデータの登録を促すには、データを登録することによるインセンティブを示すことも重要である。維持管理情報データベースの登録データを基に、研究を行い、成果を港湾管理者に還元することも1つのインセンティブに繋がると考える。

今後、港湾分野では、維持告示に基づき一般定期点検診断が、一定の間隔で実施され、点検診断データが継続的に得られる。一般定期点検診断の実施頻度は、通常点検診断施設の場合は5年、重点点検診断施設の場合は3年とされている³⁾。そのため、今後、この頻度で点検診断

結果が得られることになるが、データ量が膨大で、効率的に収集・蓄積を行うには維持管理情報データベースが有効である。なお、参考に、通常点検診断施設、及び重点点検施設の考え方を付録Dに示す。

6. おわりに

本研究の成果をLCC計算プログラムに搭載することで、新設の場合や点検診断をまだ一度も実施していない等の場合で点検診断結果を有していない施設に対して、劣化予測の精度を向上させ、精緻なLCCの算出を行うことが可能となる。なお、この場合の劣化予測の精度が向上するとは、より全国的な実測データに近い予測ができることを意味する。

最後に、本研究の成果を使用する上での注意点について記述する。本研究における遷移率の算出の過程では、簡略化のため、いくつかの仮定や条件を設けた。そのため、本研究の成果を部分的に使用して、劣化予測やLCC推計を行うことは望ましくない。LCC計算プログラムへの反映にあたっては、本研究の仮定、条件を踏まえた適切な成果利用を行うよう留意が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたっては、国土技術政策総合研究所港湾研究部をはじめ、多くの方々に助言を頂きました。特に、沿岸海洋・防災研究部沿岸防災研究室の本多和彦主任研究官、港湾空港技術研究所LCM支援センターの山路徹副センター長、加藤絵万上席研究官、田中豊研究官には、多くのアドバイスを頂きました。また、海洋・港湾構造物維持管理士会へのアンケートの実施にあたっては、港湾施工システム・保全研究室の吉田英治交流研究員にご協力頂きました。末尾ながらここに記して深く感謝いたします。

(2018年5月31日受付)

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，財団法人 沿岸技術研究センター，2007.
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き，財団法人 港湾空港建設技術サービスセンター，2007.
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン，2014.
- 4) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン，2015.
www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000051.html
2018年5月29日アクセス
- 5) 岡元渉・竹信正寛・宮田正史・井山繁・菅原法城：係留施設における構造形式等の基礎的データに関する整理，国土技術政策総合研究所資料 第1019号，2018.
www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000051.html
2018年5月29日アクセス
- 6) LCC計算プログラムダウンロードページ
(国土技術政策総合研究所ホームページ)
http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sekou/lcc.htm
2018年5月29日アクセス
- 7) 小牟禮建一・浜田秀則・横田弘・山路徹：RC 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発，港湾空港技術研究所報告 041-04-01，2002.
- 8) 高橋宏直・横田弘・岩波光保：港湾施設のアセットマネジメントに関する研究－構造性能の低下予測とアセットマネジメントの試行例－，国土技術政策総合研究所研究報告 第29号，2010.
- 9) 津田尚胤・貝戸清之・青木一也・小林潔司：劣化予測のためのマルコフ遷移確率の推定，土木学会論文集No. 801/ I -73，pp.69-82，2005.
- 10) 加藤絵万・岩波光保・横田弘：栈橋のライフサイクルマネジメントシステムの構築に関する研究，港湾空港技術研究所報告 048-02-01，2009.
- 11) 谷拓歩・横田弘・橋本勝文・古谷宏一・北里新一郎：複数の係留施設の維持管理における最適な補修優先度と年間予算に関する検討，土木学会論文集F4（建設マネジメント），Vol. 70.No. 4，pp. I_73-I_82，2014.
- 12) 古谷宏一・横田弘・橋本勝文・花田祥一：マルコフ連鎖モデルを用いた係留施設の劣化進行予測の信頼性評価，土木学会論文集F4（建設マネジメント），Vol. 67.No. 4，pp.I_159-I_168，2011.
- 13) インフラ長寿命化基本計画
(国土交通省ホームページ)
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/sosei_point_mn_000010.html
2018年5月29日アクセス

付録A 本研究での計算に使用した、経過年毎のデータ数の一覧

表-A.1 経過年毎の使用データ数

【上部工（栈橋）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	9	51	0
2	0	52	0
3	14	53	0
4	0	54	0
5	0	55	0
6	33	56	0
7	16	57	4
8	12	58	0
9	28	59	0
10	4	60	0
11	74	61	0
12	0	62	0
13	4	63	0
14	4	64	0
15	35	65	0
16	0	66	0
17	36	67	0
18	0	68	0
19	58	69	0
20	82	70	0
21	0	71	0
22	12	72	0
23	0	73	0
24	13	74	0
25	5	75	0
26	5	76	0
27	30	77	0
28	4	78	0
29	45	79	0
30	0	80	0
31	5	81	0
32	32	82	0
33	9	83	0
34	56	84	0
35	40	85	0
36	0	86	0
37	24	87	0
38	49	88	0
39	0	89	0
40	24	90	0
41	28	91	0
42	4	92	0
43	30	93	0
44	9	94	0
45	7	95	0
46	12	96	0
47	10	97	0
48	21	98	0
49	19	99	0
50	25	100	0

表-A.2 経過年毎の使用データ数

【上部工（矢板式）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	11	51	12
2	0	52	0
3	15	53	13
4	27	54	0
5	6	55	0
6	57	56	0
7	33	57	0
8	36	58	19
9	83	59	0
10	10	60	0
11	26	61	0
12	82	62	0
13	161	63	0
14	0	64	0
15	202	65	0
16	59	66	0
17	0	67	0
18	79	68	0
19	48	69	0
20	97	70	0
21	69	71	0
22	47	72	0
23	25	73	0
24	45	74	0
25	139	75	7
26	65	76	0
27	101	77	0
28	112	78	0
29	50	79	0
30	214	80	0
31	77	81	0
32	35	82	0
33	130	83	0
34	65	84	0
35	239	85	0
36	304	86	0
37	135	87	0
38	74	88	0
39	173	89	0
40	158	90	0
41	239	91	0
42	159	92	0
43	103	93	0
44	81	94	0
45	33	95	0
46	30	96	0
47	63	97	0
48	36	98	0
49	0	99	0
50	10	100	0

表-A.3 経過年毎の使用データ数

【上部工（重力式）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	48
2	25	52	12
3	40	53	12
4	23	54	0
5	57	55	0
6	90	56	0
7	172	57	0
8	244	58	1
9	76	59	11
10	132	60	0
11	157	61	0
12	231	62	71
13	263	63	10
14	352	64	0
15	178	65	36
16	258	66	0
17	192	67	18
18	252	68	0
19	225	69	0
20	235	70	0
21	168	71	44
22	171	72	0
23	130	73	0
24	174	74	53
25	119	75	27
26	226	76	0
27	208	77	0
28	161	78	18
29	72	79	0
30	215	80	0
31	253	81	0
32	289	82	10
33	185	83	47
34	138	84	0
35	121	85	0
36	289	86	0
37	221	87	0
38	92	88	0
39	114	89	0
40	208	90	0
41	261	91	0
42	42	92	0
43	132	93	0
44	90	94	50
45	84	95	0
46	64	96	0
47	240	97	23
48	67	98	0
49	160	99	0
50	0	100	0

表-A.4 経過年毎の使用データ数

【鋼矢板】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	0
2	0	52	0
3	0	53	0
4	0	54	0
5	0	55	0
6	0	56	0
7	0	57	0
8	0	58	0
9	0	59	0
10	0	60	0
11	0	61	0
12	0	62	0
13	0	63	0
14	0	64	0
15	0	65	0
16	0	66	0
17	0	67	0
18	0	68	0
19	0	69	0
20	0	70	0
21	0	71	0
22	0	72	0
23	8	73	0
24	0	74	0
25	57	75	0
26	0	76	0
27	0	77	0
28	0	78	0
29	12	79	0
30	23	80	0
31	0	81	0
32	18	82	0
33	0	83	0
34	0	84	0
35	10	85	0
36	15	86	0
37	0	87	0
38	48	88	0
39	29	89	0
40	18	90	0
41	46	91	0
42	35	92	0
43	9	93	0
44	39	94	0
45	12	95	0
46	0	96	0
47	0	97	0
48	11	98	0
49	0	99	0
50	0	100	0

表-A.5 経過年毎の使用データ数

【鋼管杭，鋼矢板】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	0
2	0	52	0
3	0	53	0
4	0	54	0
5	0	55	0
6	0	56	0
7	0	57	0
8	0	58	0
9	0	59	0
10	0	60	0
11	0	61	0
12	0	62	0
13	0	63	0
14	0	64	0
15	0	65	0
16	0	66	0
17	0	67	0
18	0	68	0
19	0	69	0
20	0	70	0
21	0	71	0
22	0	72	0
23	8	73	0
24	0	74	0
25	57	75	0
26	16	76	0
27	0	77	0
28	0	78	0
29	39	79	0
30	23	80	0
31	0	81	0
32	18	82	0
33	0	83	0
34	0	84	0
35	10	85	0
36	15	86	0
37	24	87	0
38	48	88	0
39	29	89	0
40	22	90	0
41	46	91	0
42	35	92	0
43	9	93	0
44	39	94	0
45	12	95	0
46	0	96	0
47	0	97	0
48	11	98	0
49	0	99	0
50	0	100	0

表-A.6 経過年毎の使用データ数

【エプロン舗装（栈橋）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	24	51	0
2	0	52	4
3	14	53	0
4	0	54	0
5	0	55	0
6	33	56	0
7	6	57	0
8	19	58	0
9	21	59	0
10	21	60	0
11	70	61	0
12	18	62	0
13	0	63	0
14	4	64	0
15	0	65	0
16	22	66	0
17	82	67	0
18	1	68	0
19	26	69	0
20	12	70	0
21	30	71	0
22	21	72	0
23	1	73	0
24	3	74	0
25	7	75	0
26	36	76	0
27	20	77	0
28	0	78	0
29	60	79	0
30	0	80	0
31	18	81	0
32	0	82	0
33	9	83	0
34	2	84	0
35	0	85	0
36	15	86	0
37	24	87	0
38	4	88	0
39	10	89	0
40	3	90	0
41	29	91	0
42	0	92	0
43	21	93	0
44	0	94	0
45	12	95	0
46	19	96	0
47	8	97	0
48	0	98	0
49	19	99	0
50	0	100	0

表-A.7 経過年毎の使用データ数

【エプロン舗装（矢板式）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	1
2	0	52	0
3	15	53	13
4	25	54	0
5	6	55	0
6	35	56	0
7	33	57	0
8	0	58	2
9	6	59	0
10	10	60	0
11	26	61	0
12	67	62	0
13	140	63	0
14	12	64	0
15	168	65	0
16	49	66	0
17	0	67	0
18	48	68	0
19	36	69	0
20	53	70	0
21	68	71	0
22	27	72	0
23	34	73	0
24	34	74	0
25	138	75	0
26	65	76	0
27	101	77	0
28	93	78	0
29	50	79	0
30	214	80	0
31	68	81	0
32	45	82	0
33	134	83	0
34	62	84	0
35	230	85	0
36	219	86	0
37	111	87	0
38	89	88	0
39	120	89	0
40	107	90	0
41	158	91	0
42	169	92	0
43	83	93	0
44	82	94	0
45	33	95	0
46	23	96	0
47	15	97	0
48	15	98	0
49	0	99	0
50	10	100	0

表-A.8 経過年毎の使用データ数

【エプロン舗装（重力式）】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	9
2	25	52	12
3	40	53	12
4	43	54	0
5	69	55	0
6	50	56	6
7	181	57	0
8	289	58	0
9	56	59	17
10	107	60	34
11	123	61	0
12	170	62	22
13	181	63	0
14	345	64	0
15	145	65	36
16	230	66	0
17	178	67	18
18	165	68	15
19	205	69	0
20	197	70	0
21	148	71	10
22	193	72	0
23	139	73	0
24	124	74	53
25	88	75	26
26	217	76	1
27	182	77	0
28	153	78	0
29	37	79	0
30	202	80	0
31	223	81	0
32	261	82	10
33	159	83	0
34	132	84	0
35	59	85	0
36	238	86	0
37	232	87	0
38	91	88	0
39	108	89	0
40	160	90	0
41	318	91	0
42	39	92	0
43	132	93	0
44	90	94	50
45	97	95	0
46	0	96	0
47	159	97	23
48	10	98	0
49	188	99	0
50	14	100	0

表-A.9 経過年毎の使用データ数
【渡版】

経過年	データ数	経過年	データ数
1	0	51	0
2	0	52	0
3	0	53	0
4	0	54	0
5	0	55	0
6	0	56	0
7	0	57	0
8	0	58	0
9	0	59	0
10	1	60	0
11	30	61	0
12	50	62	0
13	0	63	0
14	0	64	0
15	0	65	0
16	0	66	0
17	7	67	0
18	0	68	0
19	0	69	0
20	25	70	0
21	0	71	0
22	6	72	0
23	0	73	0
24	0	74	0
25	0	75	0
26	0	76	0
27	0	77	0
28	8	78	0
29	7	79	0
30	0	80	0
31	13	81	0
32	0	82	0
33	8	83	0
34	4	84	0
35	7	85	0
36	0	86	0
37	0	87	0
38	0	88	0
39	0	89	0
40	0	90	0
41	20	91	0
42	0	92	0
43	21	93	0
44	5	94	0
45	12	95	0
46	12	96	0
47	0	97	0
48	0	98	0
49	19	99	0
50	0	100	0

付録B 本研究の分析データを使用し、（式-1）で過去と同様の近似的算出を行った場合の遷移率

表-B.1 本研究の分析データを使用し、（式-1）で過去と同様の近似的算出を行った場合の遷移率

	今回の分析データで近似的に算出した遷移率	現行標準値
上部工(栈橋)	0.063	0.045
上部工(矢板式、重力式)	0.042	0.042
鋼管杭、鋼矢板 (無防食状態)	0.032	0.037
エプロン舗装	0.044	0.038
渡版	0.040	0.009

付録C 海洋・港湾構造物維持管理士会の会員に対して、実施したアンケート調査

本研究においては、地域区分を決める際の参考とするため、平成29年度にアンケート調査を行った。アンケート調査の対象は、維持管理の現場の意見を把握する目的で、海洋・港湾構造物維持管理士の資格を有している海洋・港湾構造物維持管理士会の会員29名とした。海洋・港湾構造物維持管理士とは、一般財団法人沿岸技術研究センターが、海洋・港湾構造物の適切な維持管理に貢献するため、維持管理業務に係わる技術者に対して、その専門的知識、技術、技能について審査の上、維持管理に関する資格を認定しているものであり、港湾の維持管理における専門技術資格である。

アンケート調査における、本研究に関わる「問い」と「選択肢」を以下に抜粋して示す。劣化の進行に差が出るような地域区分について問う内容とした。なお、本アンケート調査は、港湾におけるICT導入について調査することを主目的にしていたため、劣化の進行に差が出るような地域区分について問う設問中にも、一部、ICT導入に関する記載を含んでいる。

【問い】

3次元モデル導入にあたり、維持管理に有効な情報として、所在地域の情報を保管することが想定されます。劣化の進行に差が出るような地域区分を考える場合、区切り方として、これまでの経験の中でもっとも適当と思われるものを1つ以下から選んで、その理由を以下にお書きください。なお、その他を選択した場合は、その内容を併せて記載してください。

【選択肢】

1. 地方整備局（旧地方港湾建設局）での区切り
2. 太平洋側、日本海側での区切り
3. 降雪地域、非降雪地域での区切り
4. 寒冷地域、非寒冷地域での区切り
5. 干満差が似た地域での区切り
6. その他

付録 D 通常点検診断施設、重点点検診断施設の設定の考え方

	設定の考え方
通常点検診断施設	重点点検診断施設以外の技術基準対象施設
重点点検診断施設	当該施設の損壊に伴い、人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を及ぼすおそれのある施設のうち、以下の例を参考に、変状の進行の程度を勘案して総合的に決定 (重要度が高いと考えられる施設例) ① 経済活動に重大な影響を及ぼす施設(幹線貨物輸送施設, 危険物取扱施設, 主要な航路に面する特定技術基準対象施設 等) ② 防災上重要な施設(耐震強化岸壁, 津波防波堤 等) ③ 損壊が人命に重大な影響を及ぼす施設(旅客が使用する施設 等)

※「港湾の施設の点検診断ガイドライン」³⁾より

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1043

July 2018

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-kikaku@ml.mlit.go.jp