

独立行政法人港湾空港技術研究所

港湾空港技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH
INSTITUTE

Vol.51 No.1 June 2012

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION,
PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

港湾空港技術研究所報告 (REPORT OF PARI)

第 51 卷 第 1 号 (Vol. 51, No. 1), 2012 年6月 (June 2012)

目 次 (CONTENTS)

1. 造波境界上の水深と方向スペクトルの空間変化を考慮した
多方向不規則波の造波とその特性
..... 平山克也, 岩瀬浩之, 加島寛章 3
(Generation and Characteristics of Random Waves for Distribution of Directional Spectra on Variable Bathymetry
..... Katsuya HIRAYAMA, Hiroyuki IWASE, Hiroaki KASHIMA)
2. 強震動を対象とした 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源モデル
..... 野津厚, 若井淳 23
(A Source Model for the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku, Japan,
Earthquake to Explain Strong Ground Motions
..... Atsushi NOZU, Atsushi WAKAI)
3. 係留施設の機能低下評価手法に関する研究
..... 加藤絵万, 川端雄一郎, 岩波光保 55
(Development of Evaluation Method for Functional Performance of Mooring Facilities
..... Ema KATO, Yuichiro KAWABATA, Mitsuyasu IWANAMI)

係留施設の機能低下評価手法に関する研究

加藤 絵万*・川端 雄一郎**・岩波 光保***

要 旨

係留施設の設置者および管理者は、施設の予定供用期間中、係留施設の安全性が失われることのないよう、また、利用上の障害が生じることのないよう、施設を構成する部材の全てについて、適切な維持管理を行わなければならない。しかし、施設の構造安全性については評価手法が多々検討されているものの、施設の利用上の障害を評価する手法についてはこれまで検討された例はない。そこで、本研究では、係留施設の利便性および利用上の安全性が失われることを、係留施設の機能低下と位置付け、エプロンや附帯設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響を定量的に評価する手法を構築することを目的とした。検討にあたって、港湾施設管理者および利用者を対象とした実態調査により、エプロンや附帯設備等（以下、設備等と称する）の変状と施設の機能低下の関連について現状を把握した。調査結果の統計分析により、各設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響の程度、および各設備等の劣化度と機能低下の関係を評価し、最終的に、係留施設の機能低下を定量的に評価する手法を構築した。

キーワード：係留施設、機能低下、劣化・変状、劣化度

* 構造研究領域 構造研究チーム 主任研究官

** 構造研究領域 構造研究チーム 研究官

*** 構造研究領域 構造研究チームリーダー

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 E-mail：katoh-e@pari.go.jp

Development of Evaluation Method for Functional Performance of Mooring Facilities

Ema KATO*

Yuichiro KAWABATA**

Mitsuyasu IWANAMI***

Synopsis

Non-structural components of mooring facility such as yard apron and ancillaries are important equipment for ensuring safe and smooth operation in the facility. They often suffer deterioration and deformation under severe environmental and usage conditions, however, quantitative evaluation method of decline in their functional performance has not been developed to date. The decline in functional performance of ancillaries would consequently become one of main causes of decrease in safety and serviceability of the mooring facility.

This paper reports the results of the factual investigation on the decline in functional performance of mooring facilities in Japanese ports with focusing on deterioration and/or deformation observed in face-line of wharf, yard apron and ancillaries, such as bollard and fender. The problems for developing quantitative evaluation method of functional performance from the viewpoint of safe and smooth operation in the facility were made clear from the investigated results. Applying the sensory evaluation technique, the influence degree on functional performance and the relationship between deterioration grades of each member and functional performance of the facility were evaluated statistically. Finally, quantitative evaluation method of functional performance was developed for achieving the strategic maintenance of mooring facility.

Key Words: Mooring facility, decline in functional performance, deterioration and deformation, deterioration grade

* Senior Researcher, Structural Mechanics Division, Structural Engineering Department

** Researcher, Structural Mechanics Division, Structural Engineering Department

***Head of Structural Mechanics Division, Structural Engineering Department

3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan Port and Airport Research Institute
Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 E-mail : katoh-e@pari.go.jp

目 次

| | |
|--|----|
| 要 旨 | 55 |
| 1. まえがき | 59 |
| 2. 係留施設の機能低下に関する実態調査 | 61 |
| 2.1 実態調査の概要と回答とりまとめの方針 | 61 |
| 2.2 設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響に関する調査の結果 | 63 |
| 2.3 係留施設の利用に支障が出始めるときの設備等の変状の状態に関する調査の結果 | 64 |
| 2.4 実態調査のまとめ | 65 |
| 3. 係留施設の機能低下評価手法の構築に向けて解決すべき課題 | 66 |
| 3.1 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度 | 66 |
| 3.2 設備等の劣化度と機能低下の関係 | 66 |
| 4. 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度の定量評価 | 66 |
| 4.1 「重み係数」の評価に関する既往の研究 | 67 |
| 4.2 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度 | 67 |
| 5. 各設備等の劣化度と機能低下の関係の定量評価 | 69 |
| 5.1 「劣化度」の評点化に関する既往の研究 | 69 |
| 5.2 各設備等の劣化度と機能低下の関係 | 69 |
| 6. 係留施設の機能低下評価手法の構築 | 72 |
| 7. まとめ | 74 |
| 8. あとがき | 74 |
| 謝辞 | 75 |
| 参考文献 | 75 |
| 付録 | 75 |

1. まえがき

港湾の施設は、構造が比較的複雑で構成部材が相互に関連し合っている上に、構造物に作用する外的要因が多様であるため、変状の発生・進展現象が複雑である。特に、他の社会基盤施設と比較すると、一般的に厳しい自然環境下に置かれていることから、材料の劣化に起因する部材の損傷等の変状により、供用期間中に施設の性能の低下が生じることが多い。今後、限られた投資の中で、港湾の施設を所要の期間にわたって供用し、有効に活用していくためには、施設が有すべき性能が要求水準を満たすように、適切に維持管理が実施されなければならない。

港湾の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が施行された。これによれば、技術基準対象施設については施設の設計時（既存の施設の場合には今後最初に実施する点検時）に維持管理計画書等を作成し、それに基づく維持行為を実施することが求められている。維持管理計画の策定にあたっては、対象とする施設全体および全構成部材の維持管理についての基本的な考え方をまとめた上で、維持管理に関する行為の一連の手順について定めておかねばならない。これに連動して、施設の維持管理計画書等の作成や維持管理業務についての技術的支援を目的として、平成19年10月に港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き¹⁾が、同じく平成19年10月に港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾が刊行された。

港湾の施設の維持管理に対する制度の充実や社会情勢を背景として、著者らは、ライフサイクルマネジメントの概念に基づく維持管理の実現を目指し、栈橋を対象とした維持管理計画策定支援プログラムを開発した³⁾。これは、栈橋の保有性能評価レベルの均一化を図りつつ、ライフサイクルマネジメントの概念に基づく維持管理計画の策定を目的としたものである。

ここで、栈橋本体に発生する代表的な変状は、下部工（鋼管杭）および上部工の劣化である。上部工は、鉄筋コンクリートあるいはプレストレストコンクリートといったコンクリート部材で構築されるが、上部工が曝される環境条件はコンクリート部材にとって極めて過酷であり、他の陸上構造物と比較してその劣化速度は極めて速い。また、上部工を支える鋼管杭の腐食による劣化は、直ちに他の構成部材の損傷に繋がるものであり、ひいては構造物全体の安定性の低下に繋がるものである。したがって、栈橋の維持管理にあたっては、環境条件が上部工および下部工の劣化の発生・進展に及ぼす影響を十分

に考慮しなければならない。このため、栈橋の維持管理計画策定支援プログラムでは、点検診断結果から上部工および下部工の劣化予測を行い、それらの補修計画・点検診断計画の策定を支援することに重点を置いた。そして、鋼矢板式および重力式係船岸など他の構造形式の係船岸についても、それぞれの構成材料の劣化・変状および施設の性能低下についての考えをまとめた上で、効率的な維持管理を現実的なものとしていくことが必要であることが再認識された。

鋼矢板式係船岸に発生する代表的な変状は、鋼矢板の腐食であり、その発生・進展現象は、その他の構成部材の変状の発生・進展現象とは独立して進行する。したがって、鋼矢板の腐食のみに着目すれば、施設全体の安定性の低下を明確に把握できるとされている。ただし、鋼矢板の腐食のみが「安定性の低下」に結びつくものであり、他の構成部材に発生する変状とその連鎖はすべて「機能の低下」に繋がるものとなっている（図-1.1）。これは、上部工および下部工を除いた栈橋の構成部材についても同様である（図-1.2）。

一方、ケーソン式係船岸では、全ての変状が「機能の低下」へと繋がっており、構造物の「安定性の低下」には繋がっていない（図-1.3）。つまり、ケーソン式係船岸では、構成部材の変状の進行により、構造物としての安定性を失う可能性は非常に低いということである。前述の維持管理計画策定の枠組みは、現状では、構成材料の劣化・変状による構造性能（耐荷性、変形性等）の低下により引き起こされる、施設の「安定性の低下」に主眼を置いて構築されている。しかし、特に、ケーソン式係船岸では、その供用期間中、ケーソン本体の構造性能を確保するための補修・補強等に係るコストを考慮して、施設全体のライフサイクルコストの最小化を目指すことの意義は小さい。この場合、施設の利用上の障害の排除、すなわち「機能の低下」の抑制に主眼を置いた維持管理を実施することが適切であると考えられる。

施設の「機能の低下」の抑制に主眼を置いた維持管理は、材料の劣化に対して効率的かつ効果的に維持管理を行う必要がある栈橋、および鋼矢板式係船岸に対しても同様に必要とされる。なぜなら、特に、係留施設の利用者にとっては、施設に利用上の障害が生じること、すなわち、利便性および利用上の安全性が失われることが問題であり、それは施設の構造形式にはよらないためである。係留施設の設置者および管理者は、施設の予定供用期間中、係留施設の利便性が失われることのないよう、また、あわせて施設の利用上の安全性が失われることのないよう、施設を構成する部材の全てについて、適切な

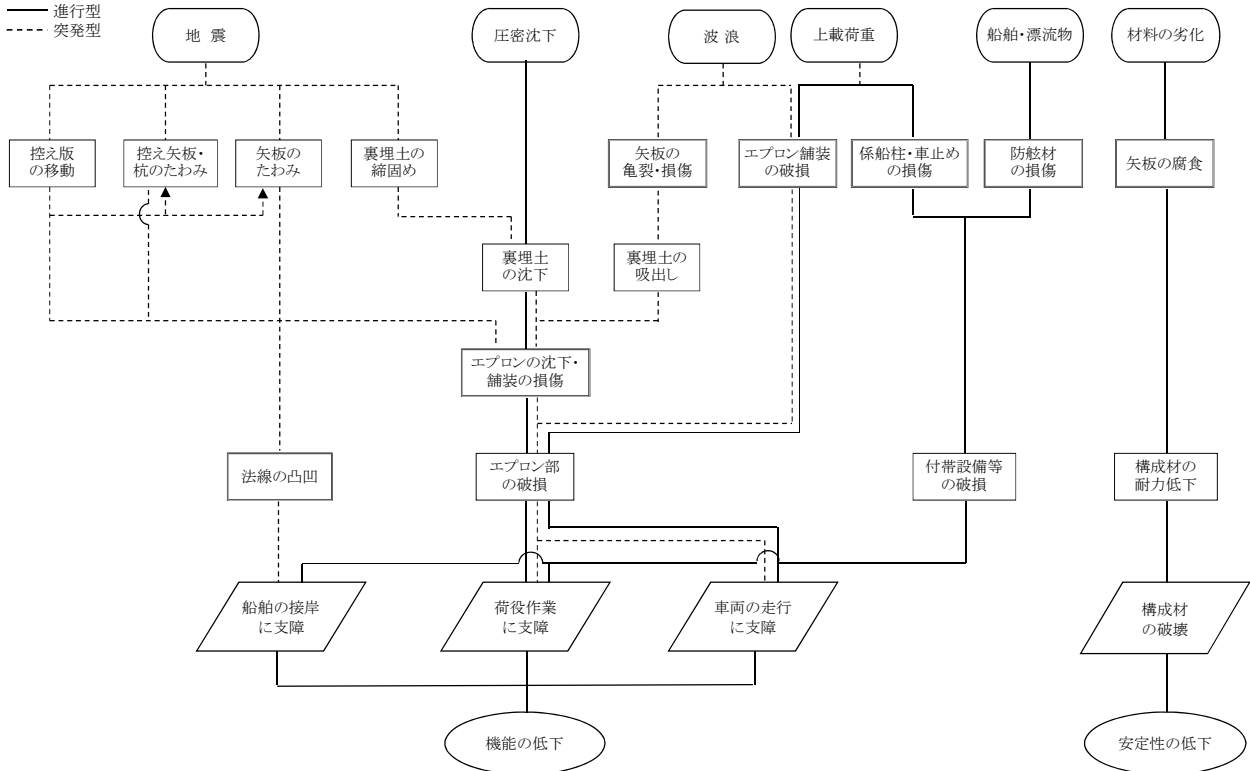


図-1.1 鋼矢板式係船岸の変状連鎖²⁾

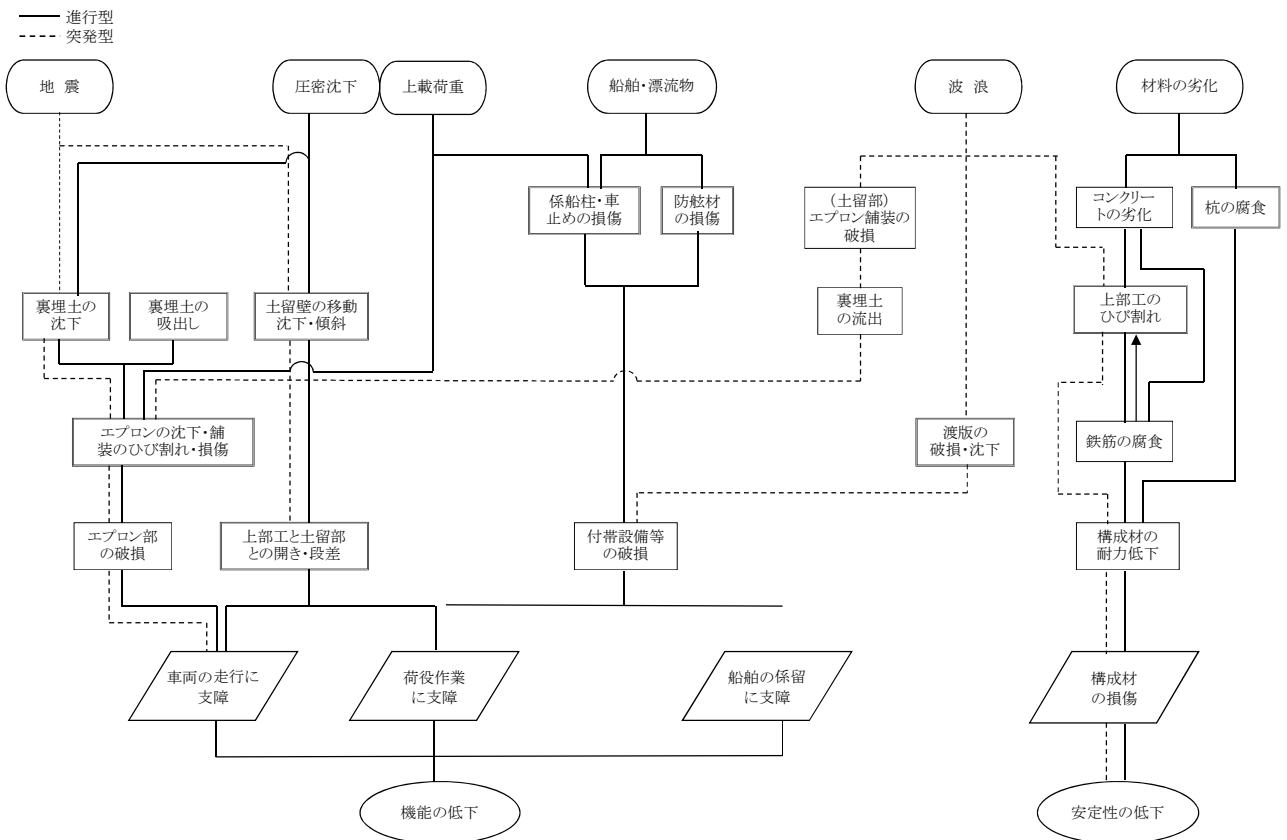


図-1.2 横棧橋の変状連鎖²⁾

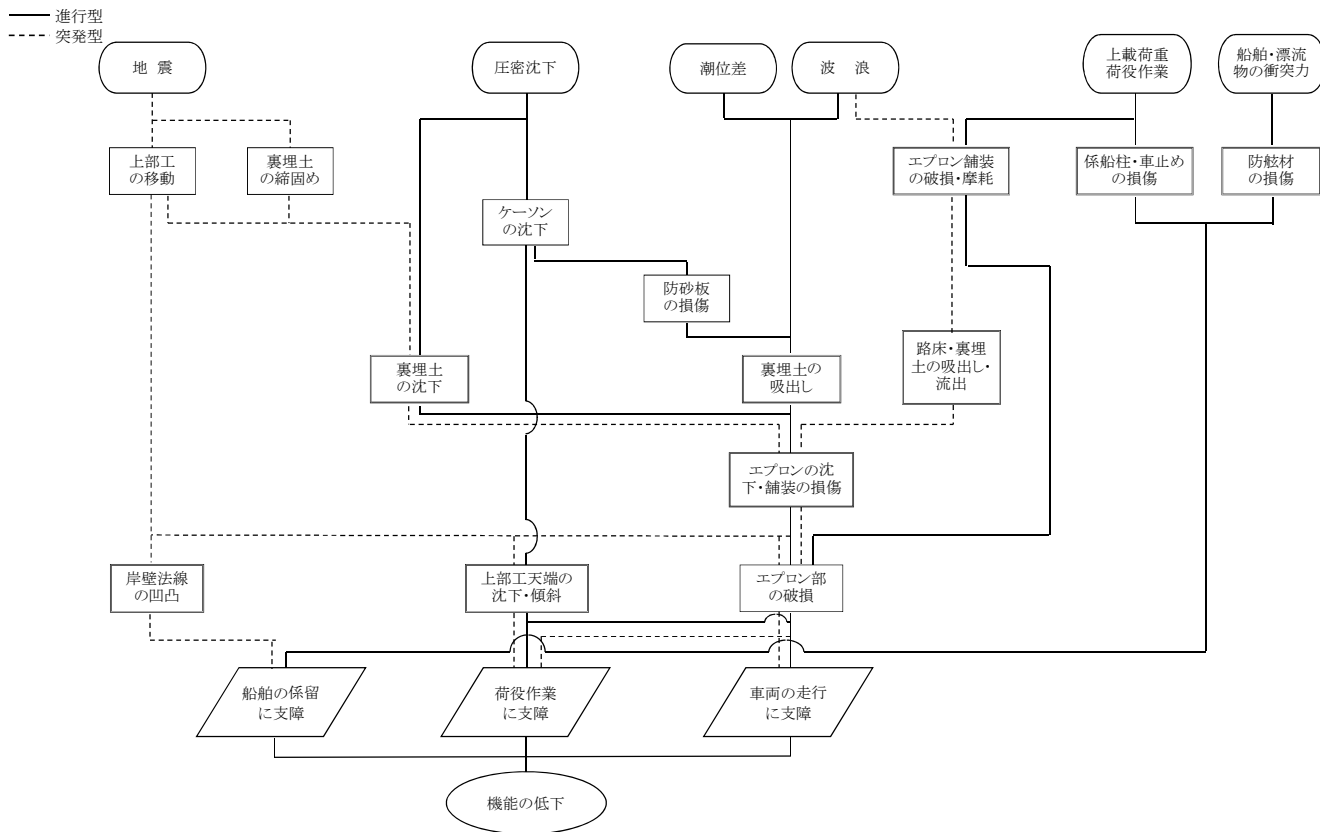


図-1.3 ケーソン式係船岸の変状連鎖²⁾

維持管理を行わなければならない。

港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾によれば、防舷材、係船柱などの船舶の接岸や、エプロンなど荷役に必要な設備については、係留施設の利用の観点から、日常点検に加えて適切な定期点検診断を行う必要がある。また、車止め、安全柵やはしごなどの附帯設備については、その損傷を放置した場合、人命にも関わる重大な事故や災害につながる恐れがある。そのため、日常点検に加えて、損傷の状況を定期的に点検診断する必要がある。このような観点から、エプロンや附帯設備等の変状は、係留施設の「安定性の低下」に影響を及ぼすことはないが、施設の利便性や荷役作業等の利用上の安全性に及ぼす影響は大きいといえる。しかし、その影響の程度は、データの不足により定量的に評価することは難しい。また、変状の程度と対策実施の必要性についても、定量的な判断材料がないのが現状である。

本研究では、係留施設の利便性が失われること、および利用上の安全性が失われることを、「係留施設の機能低下」と位置付け、エプロンや附帯設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響を定量的に評価する手法を構築することを目的とした。本研究では、図-1.1~1.3に示した各構造形式における変状連鎖図を参考として、変状が生じた場合、船舶の接岸に及ぼす影響が懸念されるものと

して、岸壁法線、防舷材、係船柱を検討の対象とした。また、変状が生じた場合、荷役作業の安全に及ぼす影響が懸念されるものとして、エプロンおよび車止めを検討の対象とした。

検討にあたり、まず、上記の各部位・部材および設備（以下、設備等と称する）の変状と施設の機能低下の関連について現状を把握するため、港湾施設管理者（以下、管理者）および利用者を対象として、アンケートによる実態調査を行った。そして、調査結果から、係留施設の機能低下の定量評価手法の構築に向けて解決すべき課題を抽出した。そのうえで、各設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響の程度、および港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾における各設備等の劣化度と機能低下の関係を評価した。以上の結果をもとに、係留施設の機能低下を定量的に評価する手法を構築した。

2. 係留施設の機能低下に関する実態調査

2.1 実態調査の概要と回答とりまとめの方針

(1) 実態調査の概要

実態調査は、平成22年10月~12月に国内の重要港湾および地方港湾を対象として実施し、係留施設の利用に支障が出始めるときの岸壁法線、エプロン、係船柱、防舷

表-2.1 調査項目

| |
|--|
| <p>施設の基本情報 ①管理者あるいは利用者, ②施設概要: 構造形式・供用年数等, ③利用形態: 積荷種類, ④利用頻度: 船舶の着岸回数等, ⑤荷役機械種類</p> <p>設備等の変状に関する影響度調査 1. 下記の設備等のうち, 変状(損傷・欠損・破損など)を発見する機会が多いものはどれか。(複数回答可) 2. 下記の設備等に変状が発生したり損傷した場合, 施設の利用に支障をきたすと考えられるものはどれか。(重要と思われる順に3つ選択) 3. 下記の設備等に変状が発生したり破損しても, 施設の利用に支障をきたすことはないと考えられるものはどれか。(影響がないと思われる順に3つ選択) (選択肢) 1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下, 3. エプロン(舗装)のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付け金具, 7. 係船柱, 8. 車止め 4. 施設の管理あるいは利用に関する自由意見(記入)</p> <p>設備等の変状の状態に関する認識調査 係留施設の利用に支障が出始めるときの下記の設備等の変状の状態について問う。(それぞれの設備等について1つの状態を選択) 1. 岸壁法線の出入りについて 2. エプロンおよび背後地について 2-1 エプロンの沈下 2-2 エプロン(コンクリート舗装およびアスファルト舗装)のひび割れ 2-3 エプロンおよび背後地の段差 3. 防舷材について 3-1 防舷材本体 3-2 防舷材取付け金具 4. 係船柱について 5. 車止めについて (理由) ※設備等の種類に応じて選択肢を設定 (例) 利用者の不安, 美観, 荷役作業の安全確保, 車両走行の安全確保, 船舶の接岸の安全確保, その他(記入)</p> |
|--|

材, 車止めの変状の状態, およびその理由に関して当該施設の管理者および利用者, それぞれの立場から回答してもらうこととした。このとき, 供用10年以上が経過した同一施設に対して両者から回答を得ることとし, 管理者により所管の施設から回答対象とする施設, および施設を利用し利用上の安全確保に注意を払っている利用者を回答者として選定してもらうこととした。

実態調査の項目を表-2.1に示す。調査にあたって, まず, 施設の構造形式や供用年数, また利用形態等の施設の基本情報を把握した。調査の内容は, 大きく分けて, 設備等の変状に関する影響度調査と, 設備等の変状の状態に関する認識調査の二つである。

「設備等の変状に関する影響度調査」では, 設備等の変状に係留施設全体の機能低下に及ぼす影響を把握するため, 変状を発見する機会が多い設備等, 施設の利用に影響を及ぼすと考えられる設備等, 影響を及ぼすことはないと考えられる設備等について意識調査を行った。

「設備等の変状の状態に関する認識調査」では, 係留施設の利用に支障が出始めるときの, それぞれの設備等

表-2.2 劣化度判定の基本的な考え方²⁾

| 劣化度 | 部位・部材の状態 |
|-----|--------------------------|
| 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 | 部材の性能低下はないが, 変状が発生している状態 |
| d | 変状が認められない状態 |

表-2.3 劣化度判定基準と選択肢の対応(エプロンの沈下)

| 劣化度 | 判定基準(重力式の場合) | 選択肢 |
|-----|----------------------|---|
| a | 車輛の通行や歩行に重大な支障がある | エプロンに陥没している箇所がある エプロンに50mm以上の沈下(段差)がある |
| b | エプロンに3cm以上の沈下(段差)がある | エプロンに30~50mm程度の沈下(段差)がある |
| c | エプロンに3cm未満の沈下(段差)がある | エプロンに10~30mm程度の沈下(段差)がある エプロンに10mm以下の沈下(段差)がある |
| d | 変状なし | — |
| — | — | その他(記入) |

表-2.4 劣化度判定基準と選択肢の対応(防舷材本体)

| 劣化度 | 判定基準 | 選択肢 |
|-----|--------------------------|--|
| a | 本体(ゴム): 欠落, 永久変形がある | 本体(ゴム)がない 本体(ゴム)が50%以上欠損している 本体(ゴム)が変形している |
| b | — | 本体(ゴム)が30%以上欠損している |
| c | 本体(ゴム): 欠損, 亀裂, チッピングがある | 本体(ゴム)が10%以上欠損している 本体(ゴム)に亀裂が生じている 本体(ゴム)にチッピングがある |
| d | 変状なし | — |
| — | — | その他(記入) |

表-2.5 劣化度判定基準と選択肢の対応(車止め)

| 劣化度 | 判定基準 | 選択肢 |
|-----|-----------------------------|--------------------------------|
| a | 欠損している 性能上支障となる損傷, 変形がある | 一部が破損している(全数のうち, 数個が無い状態) |
| b | — | 一部に変形が見られる(全数のうち, 数個が変形している状態) |
| c | 本体の損傷や変形, 塗装のはがれや腐食がある | 一部に欠損(角欠け)が見られる 塗装のはがれが見られる |
| d | 変状なし | — |
| — | — | その他(記入) |

の変状の状態について調査した。変状の状態に関する回答は原則として選択方式とし, 選択肢は港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾の一般定期点検診断様式における各項目の劣化度(a, b, c, d)に配慮して設定した。

表-2.2に劣化度と劣化度判定の基本的な考え方を示す。なお, 同マニュアルでは, 付帯設備の劣化度判定基準は劣化度a, c, dについて示されており, 劣化度bについては示されていない。しかし, 本調査では, 劣化度aと劣化

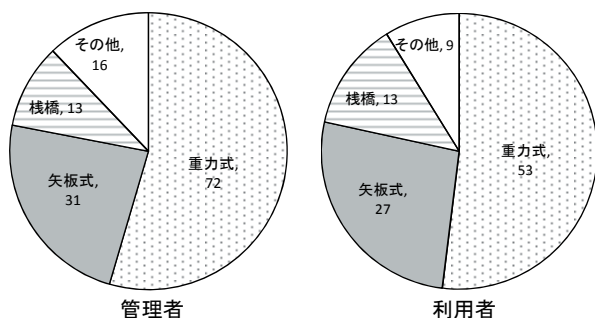


図-2.1 構造形式毎の回答数

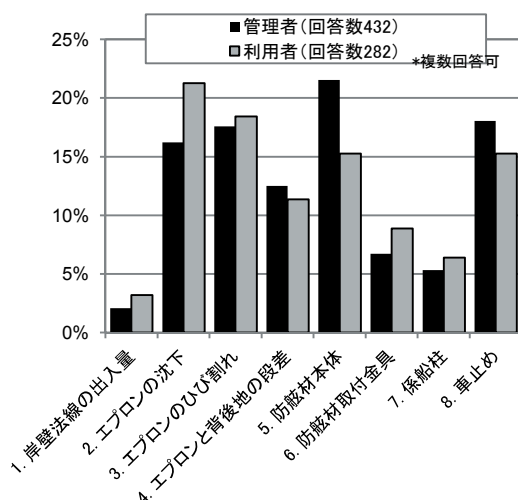


図-2.2 変状を発見する頻度が高い設備等

度cの判定基準の中間となる変状の状態を選択肢に含め、これを劣化度bの状態に対する回答として取り扱うこととした。

港湾の施設の維持管理技術マニュアルにおける劣化度判定基準と、本調査における選択肢の例として、表-2.3にエプロンの沈下について、表-2.4に防舷材本体について、表-2.5に車止めについて示す。

エプロンの沈下についての劣化度判定基準は、係留施設の構造形式により記述が異なる。しかし、劣化度は、係留施設の構造形式によらず統一的な判断基準に基づいて部材の性能低下の程度として表されていることから、認識調査の各項目における選択肢は、構造形式を意識せずに回答できるよう配慮しながら、それぞれの劣化度に対応するよう設定した。

防舷材については、防舷材種類に応じた劣化度の判定と機能低下度の判定方法がガイドライン⁴⁾に示されており、ガイドラインにおける劣化度判定の基本的な考え方は表-2.2と同様である。本調査では、選択肢の設定にあたって、機能低下度の判定基準として示された防舷材本体の欠損割合(%)を参考にした。

また、エプロン(舗装)のひび割れについては、コンクリートおよびアスファルト舗装を区別して調査を行うこととした。

(2) 調査数量と回答のとりまとめの方針

実態調査の回答を得た管理者数は54団体(91港湾, 132施設)、利用者数は85団体(102施設)である。利用者の業種は、陸運・海運業、倉庫・運輸関連、製造業、埠頭管理会社等であった。施設の構造形式の内訳を図-2.1に示す。回答は重力式係船岸が半数以上、鋼矢板式係船岸が4分の1程度となった。ここで、本調査の目的は、設備等の変状と係留施設の機能低下を関連づけることである。このためには、構造形式別に回答を分析することは必要でない判断し、以降では全ての施設に関する回答を総合して考察する。

また、同一の管理者および利用者から複数の施設に対する回答を得たが、施設の設置目的および構造形式毎に維持管理に対する基本的な考え方が異なる場合があるため、回答のとりまとめにあたっては、回答数を施設数としてカウントし、同一の管理者および利用者からの回答の重複については考慮しないこととした。

本来、施設の規模、利用形態、利用頻度、荷役機械の状況により、各施設の経済的あるいは社会的重要度が異なるため、施設の維持管理に対する基本的な考え方は異なるものとなる。しかし、ここでは、それらの詳細を区別せず、全ての施設に対して、設備等の維持管理に関する調査結果を統合して考察することとした。

2.2 設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響に関する調査の結果

(1) 変状を発見する頻度が高い設備等について

図-2.2に変状を発見する頻度が高い設備等についての意識調査の結果を示す。本設問は、実際に頻繁に変状が発生する設備等を把握するため、また、管理者と利用者間の施設の維持管理に対する着眼点の違いを把握するために設定した。

回答は設備等計8項目から複数を選択可能としたため、図中の縦軸は管理者および利用者の総回答数に対する、それぞれの設備等の回答割合として示した。有意水準を0.05として χ^2 検定を行った結果、管理者および利用者の全体的な回答の傾向に統計学的には差はないと判定された。しかし、管理者は防舷材本体の変状、利用者はエプロンの沈下に対する回答が最も多い。両者の管理あるいは利用に関する本来的な立場の違いを踏まえると、管理者は施設の維持管理費用に、利用者は施設の利便性と利用上の安全性の確保に意識が高いことが要因となってい

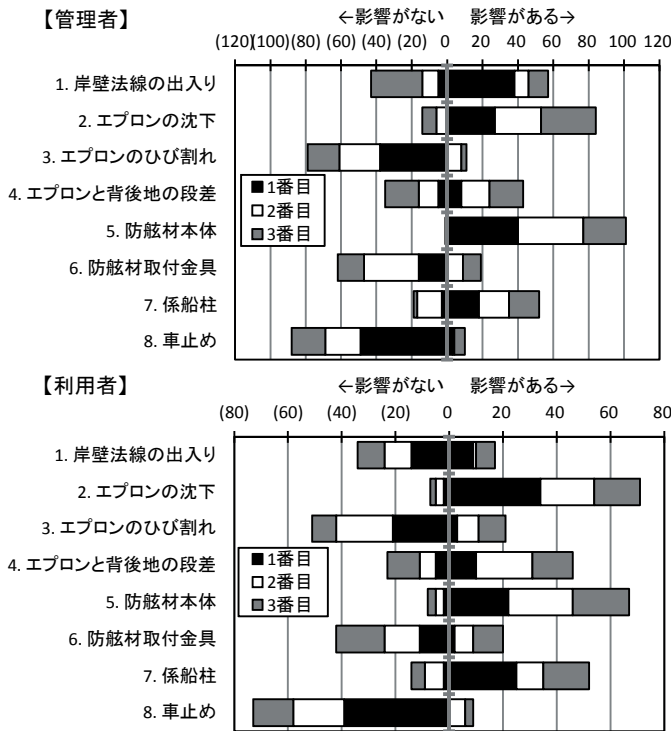


図-2.3 設備等の変状が施設の利用に及ぼす影響

表-2.6 順位毎の回答数

| 区分 項目 | 管理者 | | 利用者 | |
|----------|----------|-------|----------|-------|
| | 影響がある | 影響がない | 影響がある | 影響がない |
| 1 番目 | 134 | 116 | 105 | 96 |
| 2 番目 | 122 | 115 | 97 | 82 |
| 3 番目 | 121 | 110 | 101 | 74 |
| 回答数 | 132 (施設) | | 102 (施設) | |

るものと推察される。

(2) 設備等の変状が施設の利用に及ぼす影響について

図-2.3に設備等の変状に係留施設の利用に及ぼす影響に関する調査結果を示す。調査は、施設の利用に支障をきたすと考えられる設備等と、施設の利用に支障をきたすことはないと考えられる設備等、それぞれを計8項目から順に3つ選択することで行った。

ここで、表-2.6にそれぞれの順位についての回答数を示す。管理者および利用者ともに、それぞれの順位に対する回答数は異なり、特に、最も影響がある設備等に対する回答数は、調査の対象とした施設数を上回っている。これは、影響があると考えられる設備等を複数選択し、選択したもののすべてが最も影響がある（1番目）とした回答者がわずかではあるが存在したためである。本来であればこれらの回答の有効性について検討すべきと考えられるが、ここでは、簡便のため、図-2.3ではそれぞれの順位についての回答を総計して示すこととした。同図は

横棒が右側に長いほど影響があると考えられていることを示し、左側に長いほど影響がないと考えられていることを示す。

回答数の合計では、管理者および利用者ともに、防舷材本体の変状とエプロンの沈下が施設の利用に及ぼす影響が大きいと考えていることが分かる。しかし、順位別でみると、管理者は岸壁法線の出入りを、利用者はエプロンの沈下を最も影響が大きいとする回答が多かった。ここで、設定した選択肢のうち、岸壁法線の出入りについては、施設の本体工（主要部材）に関する項目であり、変状は施設の利用状況に依り難い場合が多い。また、変状が生じ補修が必要であると判断された場合、エプロンや附属設備と比較して、その費用は多大なものとなり、施設の供用停止等の措置が必要となることも考えられる。このため、施設の安全な利用を担保するための維持管理を効率的に行う観点から、岸壁法線の出入りに対する管理者の回答数が最も多くなったことが考えられる。一方、利用者は、施設の利便性や車輛走行等の利用上の安全性の確保の観点から、エプロンの沈下に対する回答数が最も多くなったことが考えられる。

変状が発生したとしても、施設の利用に支障をきたすことはないと考えられる設備等については、回答数の合計および順位別において、管理者および利用者ともに車止めが最も多く、次いでエプロン（舗装）のひび割れの順に回答が多かった。図-2.2に示したように、これらの設備等については変状を発見する頻度が両者共に高いと回答されている。このことから、車止めの変状とエプロンのひび割れについては、日常的に変状の発生が認識されているが、施設の利用の観点からはその変状によって利用に支障をきたすことは少ないという、施設利用の実状を表していることが考えられる。

2.3 係留施設の利用に支障が出始めるときの設備等の変状の状態に関する調査の結果

係留施設の利用に支障が出始めるときの、設備等5種、計9項目についての管理者および利用者の設備等の変状の状態に関する認識調査の回答を、変状の状態に応じて港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾に示される劣化度（a, b, c）として整理した結果を表-2.7に示す。表中の網掛け部は各項目で最大の回答割合となった劣化度を示している。

各項目に設定した選択肢は、劣化度として順序付けて表すことができる。このことから、各項目について、管理者および利用者のそれぞれの選択肢に対する回答数を対象として、有意水準を0.05としたMann-WhitneyのU検定

表-2.7 施設の利用に支障が出始めるときの設備等の劣化度

| 区 分 項 目\劣化度 | 管理者 | | | 利用者 | | |
|----------------|-----|----|----|-----|----|----|
| | a | b | c | a | b | c |
| 岸壁法線の出入り | 20 | 48 | 32 | 21 | 41 | 38 |
| エプロンの沈下・陥没 | 30 | 36 | 35 | 25 | 25 | 51 |
| コンクリートのひび割れ | 42 | 46 | 11 | 37 | 43 | 19 |
| アスファルトのひび割れ | 69 | 22 | 9 | 41 | 33 | 26 |
| エプロンと背後地の段差 | 3 | 27 | 70 | 9 | 13 | 78 |
| 防舷材本体 | 28 | 31 | 41 | 27 | 25 | 48 |
| 防舷材取付金具 | 75 | 21 | 4 | 68 | 24 | 8 |
| 係船柱 | 15 | 41 | 44 | 19 | 34 | 48 |
| 車止め | 38 | 39 | 22 | 33 | 30 | 37 |

項目毎の回答数に対する割合(%、小数点以下四捨五入)として表示

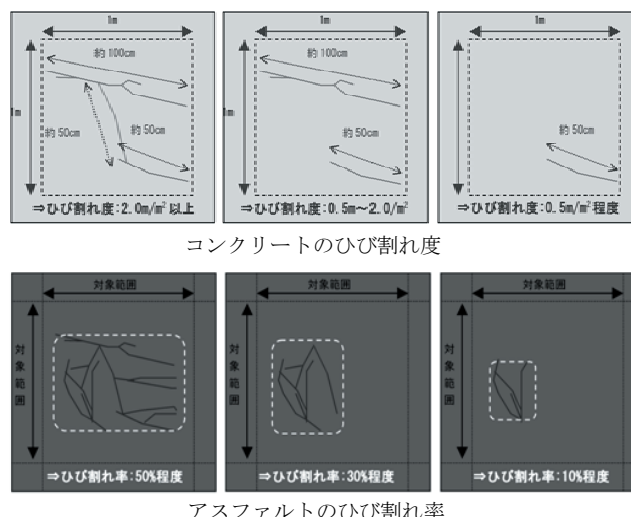


図-2.4 舗装のひび割れ状態のイメージ

を行った。その結果、アスファルト舗装のひび割れ以外の項目については、管理者および利用者の回答の傾向に統計学的には差はないと判定された。アスファルト舗装のひび割れについての回答割合は、管理者および利用者で劣化度aが最も大きくなったが、管理者の7割が劣化度aを選択しているのに対して、利用者は劣化度a, b, cともにほぼ同程度の回答割合となっている。本調査では、コンクリートおよびアスファルト舗装のひび割れに関する設問については、ひび割れ度およびひび割れ率について回答者が理解し易いよう、ひび割れ状態のイメージを図-2.4のように示した。アスファルトのひび割れについてのみ、管理者および利用者で傾向に差があると判定された理由は、アスファルトのひび割れに対する両者の点検頻度の違いや技術的な認識の差が要因となったことが考えられる。

各項目について、最大の回答割合となった劣化度に着目すると、特に、エプロンと背後地の段差については、7割以上の管理者および利用者が劣化度cの状態、施設の利用に支障が出始めると回答している。防舷材本体と係船柱についても同様に、4割以上が劣化度cで支障が生じるとの回答であった。つまり、係留施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみた設備等の変状の限界状態は、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾に示される劣化度a(部材の性能が著しく低下している)や劣化度b(部材の性能が低下している)として表される状態ではなく、設備等の種類によって異なることが分かる。

また、同マニュアル²⁾に示される点検項目では、エプロンの沈下・陥没、エプロンと背後地の段差の劣化度判定基準はひとつの枠内に記載されており、両者を総合して

ひとつの劣化度を判定するようになっている。しかし、表-2.7より、施設の利便性および安全性の確保の観点からみた両者の限界状態は異なることが考えられる。つまり、設備等の変状の限界状態は、設備等のどの箇所に着目して点検を行うか、また使用材料により異なるといえる。このため、エプロンの沈下・陥没と、エプロンと背後地の段差については、それぞれ個別の項目として評価する必要があることが考えられる。これは、コンクリートおよびアスファルトのひび割れ、防舷材本体と防舷材取付金具についても同様である。これらの項目については、今後、同マニュアル付録A²⁾として示される点検項目および判定基準の改訂を検討する必要があると考えられる。

なお、係留施設の利用に支障が出始めるときの設備等の変状の状態に関しては、昭和58年に管理者を対象として類似の調査が行われている。付録Aにその概要と、本研究における調査結果との比較を示す。

2.4 実態調査のまとめ

設備等の変状の程度と係留施設の機能低下を関連付けることを目的として行った実態調査の結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 管理者および利用者ともに、防舷材本体の変状とエプロンの沈下が施設の利用に及ぼす影響が大きいと認識している。
- 2) 管理者は、利用者と比較して、岸壁法線の出入りが施設の利用に及ぼす影響が大きいと認識している。これは、施設の安全な利用を担保するための維持管理を効率的に行うことを重視しているためと考えられる。

- 3) 利用者は、管理者と比較して、エプロンの沈下が施設の利用に及ぼす影響が大きいと認識している。これは、施設の利便性や利用上の安全性の確保を重視しているためと考えられる。
- 4) 車止めの変状とエプロン（舗装）のひび割れは、日常的に変状の発生が確認されているが、施設の利用の観点からは、それらの変状が支障をきたすことは少ないと認識されている。
- 5) 施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみた、設備等の変状の限界状態に対する管理者および利用者の認識には明確な差は見られなかった。
- 6) 施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみた設備等の変状の限界状態を表す劣化度は、設備等の種類によって異なる。
- 7) 施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみた設備等の変状の限界状態は、設備等のどの箇所に着目するか、また使用材料により異なる場合がある。

3. 係留施設の機能低下評価手法の構築に向けて解決すべき課題

本章では、2. で示した実態調査の結果を基に、係留施設の機能低下の定量評価手法の構築に向けて解決すべき課題について述べる。

3.1 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度

港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾では、各部位・部材の点検項目について、施設の安全性に及ぼす影響の観点から表-3.1に示す3種類の点検項目分類が設定されている。なお、ここでいう安全性は、施設全体の構造上の安全性および安定性を対象としたものである。

表-3.2に本調査で対象とした設備等の点検項目の分類を示す。通常、点検診断により得られた各部位・部材の劣化度から施設全体の性能低下度を評価する際には、附帯設備（防舷材、係船柱、車止め）は点検項目分類として同一レベルとして考えられている。これは、附帯設備は施設の安全性に影響を及ぼすことはないためである。しかし、2.2より、施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からは、設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響は、設備等の種類により異なることが分かった。このため、施設の機能低下を定量的に評価するためには、それぞれの設備等の変状が施設全体の機能低下に及ぼす影響の程度を評価する必要がある。

各設備等の影響度の設定にあたっては、実態調査により得られた管理者および利用者それぞれの観点を踏まえ

表-3.1 点検項目の分類²⁾

| 分類 | 施設の性能に及ぼす影響 |
|------|---------------------------------|
| I類 | 劣化度 a が1個から数個あると、施設の安全性に影響を及ぼす。 |
| II類 | 劣化度 a が数多くあると、施設の安全性に影響を及ぼす。 |
| III類 | 施設の安全性に直接的には影響を及ぼさない。 |

表-3.2 設備等の点検項目の分類²⁾

| 項目 | 点検項目の分類 |
|---------------|---------|
| 岸壁法線の出入り | I類 |
| エプロン沈下・陥没 | I類 |
| エプロンと背後地の段差 | I類 |
| エプロン（舗装）のひび割れ | II類 |
| 防舷材本体 | III類 |
| 防舷材取付金具 | III類 |
| 係船柱 | III類 |
| 車止め | III類 |

る必要があるとともに、対象とする施設の規模、利用形態等の状況により異なる各施設の経済的あるいは社会的な重要度を踏まえることが重要であると考えられる。

3.2 設備等の劣化度と機能低下の関係

実態調査の結果、係留施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみたそれぞれの設備等の変状の限界状態は、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾に示される劣化度a（部材の性能が著しく低下している）や劣化度b（部材の性能が低下している）の状態には限らないことが分かった。特に、エプロンと背後地の段差については、7割以上の管理者および利用者が劣化度c（部材の性能低下はないが、変状が発生している）の状態、施設の利用に支障が出始めるとの回答であった。これは、劣化度判定基準が、部位・部材の安全性や耐久性などを含む総合的な知見に基づいて体系化されたものであることによる。設備等の点検診断結果（劣化度a, b, c, d）に基づいて係留施設の機能低下を評価するためには、設備等のそれぞれについて、劣化度と劣化・変状の発生による設備等の機能低下の程度を定量的に評価する必要がある。さらに、機能低下の程度の評価にあたっては、設備等の種類のみでなく、設備等のどの箇所に着目するか、また、使用材料によって個別に評価する必要がある。

4. 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度の定量評価

本章では、各設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響の程度を定量的に評価する手法について検討する。

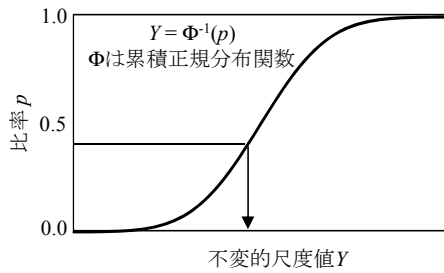


図-4.1 比率と尺度値の関係⁷⁾

4.1 「重み係数」の評価に関する既往の研究

港湾構造物に限らず、各種構造物はそれぞれ複数の部位・部材により構成されている。効率的な維持管理の実現を目指して、特に、対策実施の優先順位を決定することを目的として、各種部位・部材の劣化・変状が構造物全体の健全度に及ぼす影響を定量的に評価する手法については、これまでいくつか検討がなされている。例えば、橋梁を対象とした既往の研究⁵⁾では、「総合健全度」を評価する際に用いる各種部位・部材の「重み係数」について検討している。実橋の点検結果に基づいて、エキスパート10名が計480橋の「総合健全度」を評価し、それに数量化理論Ⅱ類を適用することで、「総合健全度」を評価する際の主桁や床版、基礎、支承等の各部材の重視度を尺度化している。

また、長崎県港湾施設（鋼構造物）維持管理ガイドライン⁶⁾においては、「施設健全度」の算出のため、点検診断の項目毎に、「部位・部材の性能」、「変状（連鎖）の特性」、「施設の要求性能への影響度」等を考慮した「重み係数」を設定している。この「重み係数」は、港湾構造物・鋼構造物の専門家等18名へのアンケート調査結果を、AHP（階層分析法）の一对比較（後述）に適用して、どちらがどの程度重要かを評価し、設定されたものである。これによれば、浮き栈橋の本体の亀裂・損傷・浸水については0.09、連絡橋・渡橋の移動の安定性・錆び・傷・塗装については0.30、係船柱の損傷・変形・塗装の状態については0.02等の「重み係数」が設定されている。

上記の「重み係数」算出の事例は、どちらも施設全体としての「健全度」を算出するために、各部材の変状の影響度を尺度化した例である。本研究ではこれらに習い、管理者54団体（91港湾、132施設）、利用者85団体（102施設）から得た実態調査の結果を統計的に分析することにより、各設備等の変状が係留施設の機能低下に及ぼす影響の程度を定量的に評価することとした。

4.2 設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響度

人の感覚を用いて対象物を評価する官能評価手法のひ

表-4.1 比較結果の比率（管理者）

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1. | | 0.45 | 0.73 | 0.58 | 0.35 | 0.70 | 0.54 | 0.78 |
| 2. | 0.55 | | 0.95 | 0.77 | 0.38 | 0.79 | 0.64 | 0.87 |
| 3. | 0.28 | 0.05 | | 0.19 | 0.06 | 0.39 | 0.22 | 0.57 |
| 4. | 0.42 | 0.23 | 0.81 | | 0.25 | 0.70 | 0.45 | 0.79 |
| 5. | 0.65 | 0.62 | 0.94 | 0.75 | | 0.97 | 0.72 | 0.97 |
| 6. | 0.30 | 0.21 | 0.61 | 0.30 | 0.03 | | 0.25 | 0.67 |
| 7. | 0.46 | 0.36 | 0.78 | 0.55 | 0.28 | 0.75 | | 0.90 |
| 8. | 0.22 | 0.13 | 0.43 | 0.21 | 0.03 | 0.33 | 0.10 | |

表-4.2 比較結果の比率（利用者）

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1. | | 0.19 | 0.55 | 0.30 | 0.16 | 0.56 | 0.25 | 0.73 |
| 2. | 0.81 | | 0.91 | 0.76 | 0.58 | 0.84 | 0.56 | 0.94 |
| 3. | 0.45 | 0.09 | | 0.25 | 0.18 | 0.44 | 0.28 | 0.63 |
| 4. | 0.70 | 0.24 | 0.75 | | 0.41 | 0.68 | 0.46 | 0.86 |
| 5. | 0.84 | 0.42 | 0.82 | 0.59 | | 0.90 | 0.58 | 0.90 |
| 6. | 0.44 | 0.16 | 0.56 | 0.32 | 0.10 | | 0.26 | 0.78 |
| 7. | 0.75 | 0.44 | 0.72 | 0.54 | 0.42 | 0.74 | | 0.93 |
| 8. | 0.27 | 0.06 | 0.38 | 0.14 | 0.10 | 0.22 | 0.07 | |

【項目】1. 岸壁法線の出入り、2. エプロンの沈下・陥没、3. エプロン（舗装）のひび割れ、4. エプロンおよび背後地の段差、5. 防舷材本体、6. 防舷材取付け金具、7. 係船柱、8. 車止め

とつとして、一对比較法がある。本研究ではThurstonの一对比較法⁷⁾を用いて、設備等計8項目が係留施設の利用に及ぼす影響度の尺度化を試みた。Thurstonの一对比較法は、複数の対象から二つを取り出して比較した結果（01型の測定値）を集計して比率を求め、比率を尺度値に変換する際に式(2)に示す標準正規分布の累積関数の逆関数を用いる手法である（図-4.1参照）。

$$Y = \Phi^{-1}(p) \tag{1}$$

$$p = \Phi(Y) = \int_{-\infty}^Y \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \tag{2}$$

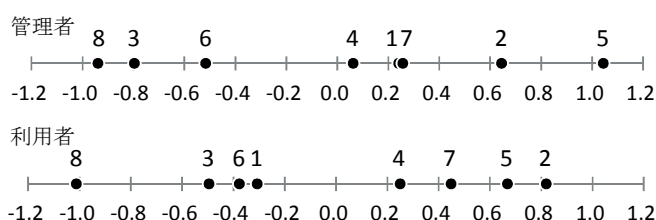
ここに、 p ：比率、 Y ：比率に対応する不変尺度値である。

本研究では、変状が生じた場合、施設の利用に支障をきたすと考えられる設備等と、施設の利用に支障をきたすことはないと考えられる設備等を、それぞれ順に3つ選択する調査を行った（図-2.3）。これより、8項目のうち上位、下位ともに1から3位まで、計6項目に対する順位付けを行うことができる。順位が付けられていない他2項目については、その2項目間では比較できないが、上位、下位の1から3位までと比較することは可能である。また、表-2.6に示したとおり、管理者および利用者ともに、選択した設備等のすべてが最も影響がある（1位）とした回答が存在したが、各設備等で比較が可能な組合せについ

表-4.3 尺度値の計算 (管理者)

| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 平均 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1. | | -0.12 | 0.6 | 0.21 | -0.39 | 0.52 | 0.1 | 0.77 | 0.24 |
| 2. | 0.12 | | 1.66 | 0.75 | -0.31 | 0.81 | 0.37 | 1.13 | 0.65 |
| 3. | -0.6 | -1.66 | | -0.87 | -1.57 | -0.29 | -0.76 | 0.18 | -0.80 |
| 4. | -0.21 | -0.75 | 0.87 | | -0.68 | 0.51 | -0.12 | 0.81 | 0.06 |
| 5. | 0.39 | 0.31 | 1.57 | 0.68 | | 1.84 | 0.58 | 1.96 | 1.04 |
| 6. | -0.52 | -0.81 | 0.29 | -0.51 | -1.84 | | -0.67 | 0.45 | -0.52 |
| 7. | -0.1 | -0.37 | 0.76 | 0.12 | -0.58 | 0.67 | | 1.29 | 0.26 |
| 8. | -0.77 | -1.13 | -0.18 | -0.81 | -1.96 | -0.45 | -1.29 | | -0.94 |

【項目】1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下・陥没, 3. エプロン (舗装) のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付け金具, 7. 係船柱, 8. 車止め



【項目】1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下・陥没, 3. エプロン (舗装) のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付け金具, 7. 係船柱, 8. 車止め

図-4.2 各項目の尺度値

では、可能な範囲で順位付けを行った。

以上の考え方に基づいて実施した8項目間の比較について、表-4.1および表-4.2に管理者および利用者それぞれの結果を比率で示す。例えば、表-4.1では、項目1. 岸壁法線の出入りよりも、項目5. 防舷材本体の変状の方が施設の利用に及ぼす影響が小さいとの回答比率は0.35、項目1よりも項目8. 車止めの方が影響が小さいとの回答比率は0.78であることを示している。逆に、項目1の方が影響が小さいとの回答比率は、項目5との比較の場合は0.65、項目8との比較の場合は0.22となる。

施設の利用に支障をきたす設備等の尺度値は、各回答比率について式(1)の変換を行い、それぞれの設備等の行平均を求めることで、全体の平均値が0.0となる場合の尺度値として算出できる⁷⁾。例として、表-4.3に管理者の場合の尺度値の計算過程を示す。

図-4.2に設備等計8項目の尺度値を図化した。尺度値が大きいほど、その項目の変状が施設の利用に及ぼす影響が大きいことを示し、項目間の尺度値の差(距離)は影響の度合いの差を示している。これによれば、管理者の場合は項目5. 防舷材本体、利用者の場合は項目2. エプロンの沈下についての尺度値が最も大きく、次点は両項目が入れ替わっている。そして、それらの尺度値の差は、

表-4.4 各設備等の影響度 (管理者)

| 項目 | 全て | 計画水深 | | 荷役機械 |
|-----|------|--------|--------|------|
| | | -10m未満 | -10m以上 | あり |
| 回答数 | 131 | 72 | 59 | 69 |
| 1. | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.12 |
| 2. | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.19 |
| 3. | 0.05 | 0.03 | 0.06 | 0.04 |
| 4. | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| 5. | 0.29 | 0.30 | 0.29 | 0.30 |
| 6. | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.06 |
| 7. | 0.13 | 0.15 | 0.11 | 0.13 |
| 8. | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.05 |

表-4.5 各設備等の影響度 (利用者)

| 項目 | 全て | 計画水深 | | 荷役機械 |
|-----|------|--------|--------|------|
| | | -10m未満 | -10m以上 | あり |
| 回答数 | 101 | 50 | 51 | 73 |
| 1. | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.07 |
| 2. | 0.24 | 0.23 | 0.24 | 0.25 |
| 3. | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| 4. | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.14 |
| 5. | 0.21 | 0.22 | 0.20 | 0.19 |
| 6. | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.06 |
| 7. | 0.16 | 0.14 | 0.20 | 0.17 |
| 8. | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |

【項目】1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下・陥没, 3. エプロン (舗装) のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付け金具, 7. 係船柱, 8. 車止め

管理者の場合の方が大きくなっている。つまり、施設の利用に及ぼす影響が最も大きい項目の変状に対して、利用者よりも管理者の方がその重視の度合いが大きいことを示している。また、管理者、利用者の場合ともに項目8. 車止めが最も影響が小さいとの結果となったが、2番目に影響が小さい項目3. エプロン (舗装) のひび割れとの尺度値の差は利用者の方が大きい。これより、利用者は車止めの変状に対して、他の項目と比較して施設の利用に及ぼす影響は著しく低いと判断しているといえる。両方で尺度値に最も差が大きかったのは、項目1. 岸壁法線の出入り、最も差が小さかったのは、項目8. 車止めであった。項目1. 岸壁法線の出入りについては、前述のとおり、施設の本体工(主要部材)に関する項目であり、変状は施設の利用状況に依り難い。このため、施設の安全な利用を担保する立場にある管理者と利用者との設備等の変状に対する重視の度合いに差が生じたものと考えられる。

本研究では、それぞれの設備等の変状が施設全体の機能低下に及ぼす影響度を百分率で表現することを目的として、設備等8項目が施設の利用に及ぼす影響度を、各項目の尺度値を次式により多項ロジットのシェアに変換することにより算出した⁸⁾。

$$p_i = \exp Y_i / (\exp Y_1 + \exp Y_2 + \dots + \exp Y_8) \quad (3)$$

ここに、 p_i ：施設の利用に及ぼす影響度、 Y_i ：尺度値である。

以上により算出された係留施設全体の機能低下に及ぼす設備等計8項目の影響度を、表-4.4に管理者の場合について、表-4.5に利用者の場合について示す。ここでは、管理者および利用者それぞれの場合についての結果とともに、施設の規模による影響度の違いを比較することを目的として、施設の計画水深-10m未満と-10m以下における影響度の算出結果を示す。表中の回答数は、分析に用いたデータの総数である。また、表中の網掛け部は、影響度の算出にダミーデータを用いたものを示す。本研究で適用した一対比較法では、回答比率が1.0対0.0となる組合せについては、尺度値を算出することができない。例えば、計画水深-10m以上の管理者の回答では、項目5.防舷材本体と項目6.防舷材取り付け金具の比較において、項目5を重視する回答比率は1.0であったため、項目5および項目6の尺度化は、理論上、不可となる。このため、便宜的に、項目5に対する回答比率を0.99、項目6に対する回答比率を0.01と設定して、両項目の影響度を算出した。さらに、表-4.4および表-4.5には、陸上にガントリークレーンやフォークリフト等の荷役機械を有する施設における影響度の算出結果を示した。これは施設の荷役機械の有無による影響度の違いを比較することを目的としたものであるが、荷役機械の保有に対する回答が不明確であるものが多数存在したことから、陸上の荷役機械を有することが明確である施設についてのみ影響度を算出した。

表-4.4および表-4.5によれば、各設備等の変状に係留施設の機能低下に及ぼす影響度は、管理者の場合および利用者の場合で異なり、これは図-4.2に示したとおりである。しかし、両者ともに、各設備等の影響度を示す数値に微少な差はあるものの、各設備等の影響度の大小関係は計画水深によらず、ほぼ同様であった。また、荷役機械を有する施設についても、全てを統合した影響度の算出結果と大きな差異はなかった。

以上より、本研究の範囲では、各設備等の影響度は、管理者および利用者それぞれの立場で異なるが、対象とする施設の規模および荷役機械の状況は各設備の影響度には大きく影響しないことが考えられた。

5. 各設備等の劣化度と機能低下の関係の定量評価

本章では、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾における各設備等の劣化度と、施設の利便性および利用上の

安全性の低下の程度、つまり機能低下の関係を評価する手法について検討する。

5.1 「劣化度」の評点化に関する既往の研究

構造物の健全度評価や、それに基づいた対策実施の優先順位の決定を目的とした部位・部材の劣化度の評点化の事例については、これまで多数の報告がある。実際、劣化度を判定することは、劣化・変状の状態を格付けすることにほかならないため、劣化度を近似的に間隔尺度（距離の等価性が保証されている）とみなして、0, 1, 2, …の様に等間隔の評点を与える事例は多数存在する。例えば、橋梁の資産的価値の算出を目的とした既往の研究⁹⁾においては、部材の損傷度Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, OKについて、損傷による資産的価値の低下率を0.75, 0.50, 0.25, 0の評点を与えている。

等間隔でない評点の設定例としては、例えば、前出の長崎県港湾施設（鋼構造物）維持管理ガイドライン⁶⁾がある。これによれば、「施設健全度」の算出のために、点検診断の項目毎に判定したd, c, b, aの診断結果に対して、それぞれ100, 70, 40, 0の評点を与えている。また、既往の研究¹⁰⁾では、部材の構造性能の経時変化を評価するにあたって、劣化度d, c, b, aおよび劣化度aの下位に劣化度aaを設けた5段階の劣化度に対して、100, 99, 95, 80, 0の評点を与えている。これらは、工学的判断に基づいた評点の設定例である。一方、著者らは、長期間供用された既設港湾構造物から切り出した鉄筋コンクリート部材の載荷実験結果に基づいて、劣化度から確率論的に鉄筋コンクリート部材の構造性能を評価する手法を提案している¹¹⁾。これによれば、例えば、劣化度dにおける耐荷力を1.0とした場合、それぞれの劣化度で部材数の95%が示す耐荷力は、劣化度cの部材では0.72、劣化度bの部材では0.65、劣化度aの部材では0.35と推定される。これらの値は、部材の耐荷力の観点から定めた評点と捉えることができる。

以上のように、部位・部材の劣化度の評点化については、間隔尺度とみなす方法、工学的判断に基づく方法、確率論に基づく方法等があるが、これらの大多数は、部位・部材が構造物（施設）全体の構造上の安全性および安定性に及ぼす影響を対象として検討されたものである。本研究では、各設備等の劣化度d, c, b, aと、施設の機能低下の関係についての評価を試みた。

5.2 各設備等の劣化度と機能低下の関係

表-2.7に示した施設の利用に支障が出始めるときの設備等の劣化度の回答割合は、回答者各人の各設備等の劣

表-5.1 一対比較法による機能低下の評点の算出

| | | | |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| | 劣化度 a | 劣化度 b | 劣化度 c |
| 劣化度 a | | 劣化度 a の回答割合 | 劣化度 a の回答割合 |
| 劣化度 b | 劣化度 b の回答割合 | | 劣化度 b の回答割合 |
| 劣化度 c | 劣化度 c の回答割合 | 劣化度 c の回答割合 | |

表-5.2 計算例 (管理者, 岸壁法線の出入りの場合)

| | 回答割合 (表-2.7より) | | | 回答比率 | | | 尺度値 (式(1)による) | | |
|---|----------------|----|----|------|------|------|---------------|-------|-------|
| | a | b | c | a | b | c | a | b | c |
| a | | 20 | 20 | | 0.29 | 0.38 | | -0.54 | -0.29 |
| b | 48 | | 48 | 0.71 | | 0.60 | 0.54 | | 0.25 |
| c | 32 | 32 | | 0.62 | 0.40 | | 0.29 | -0.25 | |

表-5.3 劣化度と評点 (管理者, 岸壁法線の出入りの場合)

| | 尺度値 平均 Y_i | ロジット シェア | 評点 | 回答割合 (表-2.7) | 回答点 |
|---|--------------|----------|------|--------------|--------------------|
| a | -0.417 | 0.21 | 0.00 | 0.20 | 0.00 |
| b | 0.397 | 0.47 | 0.21 | 0.48 | 0.20 ^{*b} |
| c | 0.020 | 0.32 | 0.68 | 0.32 | 0.68 ^{*c} |
| d | | | 1.00 | | 1.00 |

*b=劣化度 a の回答割合

*c=劣化度 a + 劣化度 b の回答割合 = 1.0 - 劣化度 c の回答割合

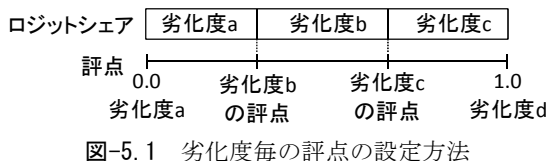


図-5.1 劣化度毎の評点の設定方法

化状態に関する認識を総合的に表した結果でしかない。つまり、仮に、施設の利用に支障が始まる状態の機能低下を評点0.0 (機能低下が著しい) として表した場合、ある設備等について劣化度cで施設の利用に支障が始まるとした回答者は、劣化度cの状態の評点0.0と表すことになる。しかし、本研究では、表-2.7の劣化度毎の回答割合の累積を、ある劣化度において設備等の機能低下が生じた割合と捉えて、これを基に設備等の機能低下を評点化することとした。

評点化にあたっては、4. で述べたThurstonの一対比較法を用いた。まず、それぞれの設備等の劣化度毎の回答割合を表-5.1に当てはめて回答比率を計算し、式(1)により比率を尺度値に変換した。例として、表-5.2に管理者の場合の岸壁法線の出入りについての計算結果を示す。その後、それぞれの劣化度における尺度値の行平均を求め、項目数 $i=3$ とした場合の式(3)により、各劣化度の多項ロジットのシェアを算出した。

本研究では、変状が見られない場合の劣化度dに対応する機能低下について評点を1.0 (機能低下は生じていな

い)、劣化度aに対応する評点を0.0 (機能低下が著しい) と設定することとした。ここで、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾では、例えば、車止めは「欠損している」、または「性能上支障となる損傷、変形がある」状態が劣化度aと判定される (表-2.5参照)。この状態の機能低下の評点を0.0とすることの妥当性については、今後の検討が必要であるが、ここでは簡便のため、全ての設備等について劣化度aに対応する評点を0.0と設定した。

劣化度cおよび劣化度bに対応する評点は、図-5.1に示す考え方に基づいて、以下のように算出した。

劣化度cに対応する機能低下 (評点)

$$= 1.0 - \text{劣化度cのロジットシェア}$$

劣化度bに対応する機能低下 (評点)

$$= 1.0 - (\text{劣化度c} + \text{劣化度bのロジットシェア})$$

例として、表-5.3に管理者の場合における岸壁法線の出入りについての劣化度と評点の計算結果を示す。なお、ロジットシェアから算出した劣化度bおよび劣化度cの評点と、表-2.7の劣化度cおよび劣化度bの回答割合を直接的に用いて算出した値 (岸壁法線の出入りの場合、表-5.3に示す回答点) との相関係数は、全ての設備等について0.99以上であった。

図-5.2に、各設備等の劣化度と機能低下の評点の関係を示す。各設備の劣化度は、表-2.2に示した基本的な考え方を基に定められたものである。図-5.2において、岸壁法線の出入りと防舷材本体の変状については、管理者および利用者ともに、外観から目視により判定される劣化度と機能低下の評点の関係がほぼ等分割で対応した。これは、変状の発生程度と設備等の機能低下の程度が一对一で対応していることを示していると考えられる。

上に凸となる関係を示したエプロン (舗装) のひび割れや防舷材取付金具については、外観から目視により判定される変状の発生程度以上に、機能低下は生じていないと判断される。一方、下に凸となる関係を示したエプロンと背後地の段差については、一旦、変状が発生した場合、その変状の程度が軽微であっても、設備等の機能低下に及ぼす影響は大きいと考えられているといえる。

2.3で述べたとおり、管理者と利用者の回答を比較したところ、アスファルト舗装のひび割れについては、回答の傾向に差があると検定された。アスファルト舗装のひび割れについては、利用者では劣化度と機能低下の評点がほぼ一对一で対応しているのに対して、管理者では外観から目視により判定される変状の発生程度以上には機能低下は生じていないと評価された。これについては、前述のとおり、両者の点検頻度の違いや技術的な認識の差が要因となったことが考えられるが、利用者の方が比

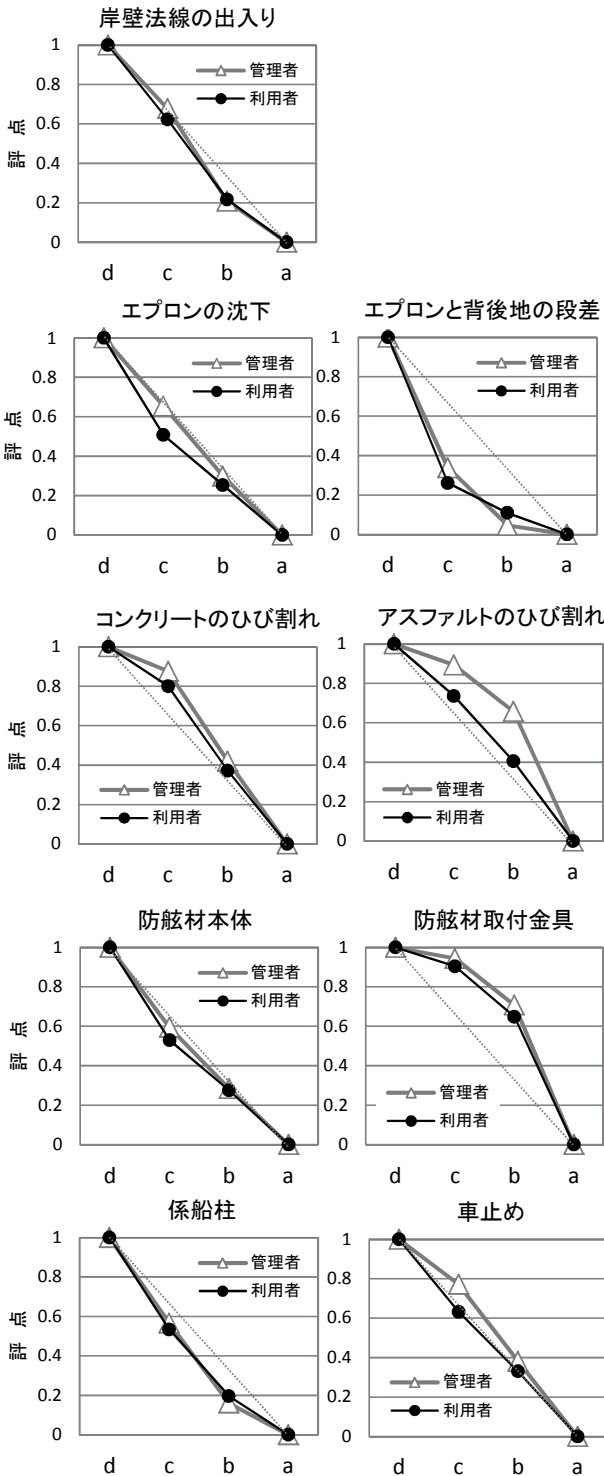


図-5.2 各設備等の劣化度と評点の関係

較的ひび割れの発生に対して敏感に反応していることも考えられる。

各設備等の劣化度と評点の関係に、対象とした係留施設の規模が影響しているか確認するため、管理者および利用者の回答を計画水深-10m未満と-10m以上に区別し、それぞれの選択肢に対する回答を対象として、有意水準

表-5.4 検定結果

| | 管理者 | | | 利用者 | | |
|-----|-----|--------|--------|-----|--------|--------|
| | 検定 | 有効回答数 | | 検定 | 有効回答数 | |
| | | -10m未満 | -10m以上 | | -10m未満 | -10m以上 |
| 1. | N | 63 | 45 | OK | 33 | 34 |
| 2. | N | 63 | 52 | N | 44 | 44 |
| 3-1 | OK | 59 | 46 | OK | 32 | 33 |
| 3-2 | OK | 35 | 29 | OK | 20 | 26 |
| 4. | OK | 51 | 51 | OK | 35 | 32 |
| 5. | N | 65 | 56 | OK | 37 | 45 |
| 6. | N | 62 | 57 | OK | 34 | 46 |
| 7. | OK | 64 | 56 | OK | 35 | 44 |
| 8. | OK | 64 | 54 | OK | 38 | 46 |

【項目】1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下・陥没, 3-1. コンクリート舗装のひび割れ, 3-2. アスファルト舗装のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付金具, 7. 係船柱, 8. 車止め
【検定】OK:傾向に差はない, N:傾向に差がある

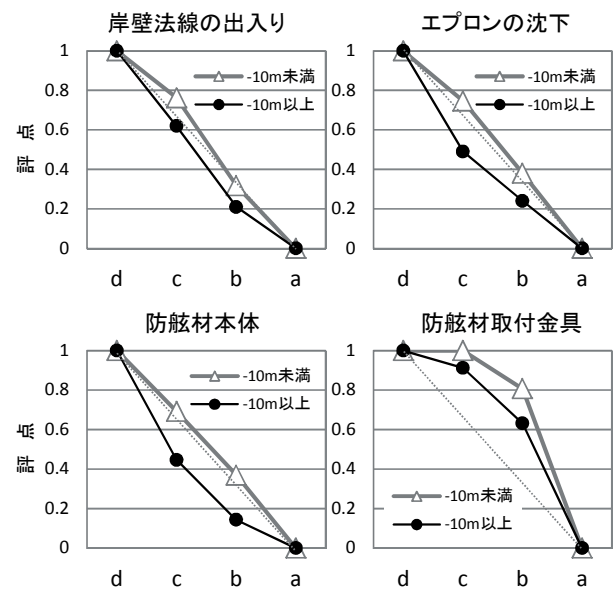


図-5.3 各設備等の劣化度と評点の関係 (管理者, 計画水深の違い)

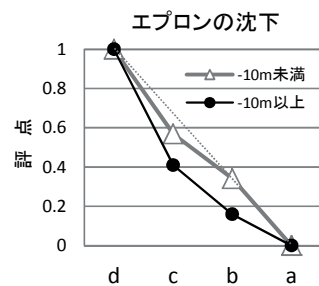


図-5.4 設備等の劣化度と評点の関係 (利用者, 計画水深の違い)

を0.05としたMann-WhitneyのU検定を行った。管理者および利用者の回答の検定結果と有効回答数を表-5.4に示す。これによれば、いずれの項目についても、計画水深毎の有効回答者数に大きな差はないが、管理者の場合は計4項目について、利用者の場合は1項目についてのみ、施設の計画水深で回答の傾向に差があるとの結果となった。

計画水深で回答の傾向に差があるとされた各設備等の劣化度と機能低下の評点の関係を、図-5.3に管理者の場合について、図-5.4に利用者の場合について示す。管理者の場合、岸壁法線の出入り、エプロンの沈下および防舷材本体について、計画水深-10m未満の施設では劣化度と評点の関係が一对一で対応しているのに対して、-10m以上の施設では外観から判断される劣化度に対する機能低下の程度は小さいとの結果となった。防舷材取付金具については、どちらも上に凸となる関係を示しているが、いずれの設備等においても、計画水深-10m以上の施設を対象とした回答の方が、劣化度に対する設備自体の機能低下の程度は小さい。利用者の場合、計画水深で回答の傾向に差があった設備等はエプロンの沈下のみであるが、これについても劣化度と評点の関係は、計画水深-10m以上の施設の方が厳しい判定となっている。

以上のことから、係留施設の規模によりこれらの各設備等の劣化度と機能低下の関係は異なり、施設の規模が大きくなるほど、設備等の劣化が設備自体の機能低下に及ぼす影響は大きくなることが考えられる。

なお、エプロンの沈下が施設全体の機能低下に及ぼす影響度は、表-4.4および表-4.5に示したように、管理者の場合、利用者の場合ともに大きく、特に、利用者については1/4の割合を示していた。利用者は、施設の利便性や車輛走行等の利用上の安全性の確保の観点から、エプロンの沈下に対する影響度が大きく、劣化度と機能低下の関係についても厳しい判定となったことが考えられた。

6. 係留施設の機能低下評価手法の構築

本章では、4.において検討した各設備等の変状に係留施設の機能低下に及ぼす影響度、および5.において検討した各設備等の劣化度と機能低下の関係（評点）を用いて、係留施設の機能低下を定量的に評価する手法について提案する。

本研究で提案する機能低下評価手法は、基本として、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾における一般点検診断の各設備等の劣化度を用いるものとした。これは、あえて施設の機能低下に主眼を置いた点検診断を実施するのではなく、施設の部位・部材の構造上の安全性および安定性に着目した通常点検診断の結果を利用して、効率的に機能低下評価を行うことを目的としたためである。

ここで、栈橋のライフサイクルマネジメント手法の構築を目指した著者らの既往の研究³⁾では、表-3.1に示した点検項目の分類ⅠおよびⅡに対して、劣化度の代表値を

算出する方法を提案している。これは、各部位・部材の劣化・変状の進行は、実際には、個々で広範にばらつくものであるが、効率的な栈橋の維持管理を実施する観点から、評価単位毎に各部材の劣化度の代表値を求め、代表値を基準として最適な対策実施時期と補修工法を選定するためである。

本研究で対象とした各設備等の劣化・変状についても、栈橋の各部材と同様、個々で広範にばらつくことが考えられる。しかし、効率的な維持管理を実施する観点、特に、通常、施設の機能低下を評価する際には、各設備等の個々の状態ではなく設備等毎に統合的な判定を行うことが考えられる。このことから、本研究で提案する機能低下評価手法では、1評価単位毎、具体的には点検診断結果に基づいて行われる評価の標準的な実施単位である1バース毎に各設備の劣化度の代表値を求め、これらを統合することによって評価対象とする施設の機能低下を定量的に評価することとした。

防舷材、係船柱、車止めが属する点検項目Ⅲ類の設備等の劣化度の代表値については、点検項目Ⅰ類およびⅡ類の部材の劣化度の代表値の導出方法と同様に、これまで収集した国有港湾施設の点検診断結果の分析、および工学的判断に基づいて、下記のとおり導出することとした。なお、港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾には、点検項目Ⅲ類に位置付けられる設備等に劣化度bの判定基準は設けられていない。しかし、劣化度の代表値にはa, b, c, dの4段階の状態が考えられるとして、ここでは劣化度の代表値bの導出方法を定めた。

以下に、Ⅰ～Ⅲ類の点検項目に対する劣化度の代表値の算出手法を示す。なお、現段階では、全ての点検項目分類における劣化度の代表値の導出方法の妥当性について、今後の点検診断データの蓄積による検証が必要である。

■Ⅰ類の点検項目に対する劣化度の代表値³⁾

- 劣化度a：劣化度aの部材の割合 $\geq 10\%$
- 劣化度b：劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $\geq 10\%$
- 劣化度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d：劣化度dの部材の割合 $\geq 90\%$

■Ⅱ類の点検項目に対する劣化度の代表値³⁾

※維持管理上の限界値を劣化度bに至る以前とする場合

- 劣化度a：劣化度aの部材の割合 $\geq 30\%$
- 劣化度b：劣化度a + 劣化度bの部材の割合 $\geq 30\%$
- 劣化度c：劣化度dの部材の割合 $< 70\%$,

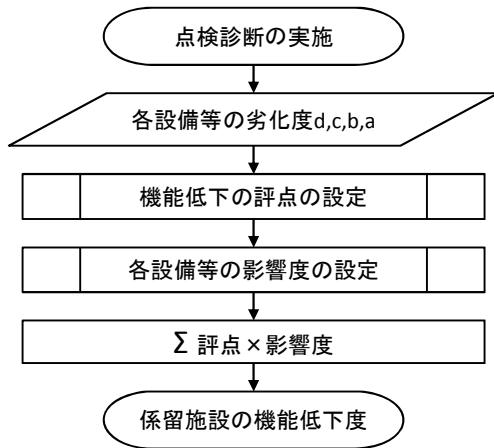


図-6.1 係留施設の機能低下評価フロー

かつ劣化度a + 劣化度bの部材の割合 < 30%
 劣化度d : 劣化度dの部材の割合 ≥ 70%

■ III類の点検項目に対する劣化度の代表値

※原則として、劣化度aから劣化度dの順に評価を行い、劣化が進行している方の劣化度（判定）を代表値として求める。

劣化度a : 劣化度aの部材の割合 ≥ 50%

劣化度b : 0% < 劣化度aの部材の割合 < 50%,

かつ劣化度c+劣化度dの部材の割合 < 50%

劣化度c : 0% < 劣化度cの部材の割合,

かつ劣化度c+劣化度dの部材の割合 ≥ 50%

劣化度d : 劣化度dの部材の割合 ≥ 50%

図-6.1に本研究で提案する係留施設の機能低下評価のフローを示す。各設備等の劣化度の代表値は、5.2に示した劣化度と機能低下の関係を用いて、評点化して表すことができる。また、各設備等の劣化・変状が係留施設全体としての機能低下に及ぼす影響はそれぞれ異なるが、これについては、4.2により各設備等の影響度として考慮できる。このことから、係留施設の機能低下の程度（機能低下度とする）は、各設備等の評点に各設備の影響度を乗じ、それらを総計することによって定量的に評価することが可能となる。

本研究で提案する係留施設の機能低下評価では、各設備等の劣化度を基本データとして用いることから、各設備等の劣化の進行を予測することにより、将来の施設の機能低下を予測することが可能となる。しかし、各設備等の劣化・変状については、それらの仕様や施設の使用状況等により大きく異なるため、明確な予測手法は存在しない。このため、現状では、点検診断により得られた劣化度を入力値として、下式に示すマルコフ連鎖モデル²⁾

表-6.1 各設備等の影響度および劣化度の評点と遷移率

| 項目 | 影響度 | 劣化度の評点 | | | | 遷移率* |
|-----|------|--------|------|------|------|-------|
| | | d | c | b | a | |
| 1. | 0.13 | 1.00 | 0.68 | 0.21 | 0.00 | 0.016 |
| 2. | 0.19 | 1.00 | 0.65 | 0.30 | 0.00 | |
| 3.1 | 0.11 | 1.00 | 0.88 | 0.42 | 0.00 | 0.038 |
| 4. | 0.05 | 1.00 | 0.34 | 0.05 | 0.00 | |
| 5. | 0.29 | 1.00 | 0.59 | 0.28 | 0.00 | 0.068 |
| 6. | 0.06 | 1.00 | 0.94 | 0.71 | 0.00 | |
| 7. | 0.13 | 1.00 | 0.57 | 0.16 | 0.00 | 0.042 |
| 8. | 0.04 | 1.00 | 0.77 | 0.38 | 0.00 | 0.060 |

【項目】1. 岸壁法線の出入り, 2. エプロンの沈下・陥没, 3.1 コンクリート舗装のひび割れ, 4. エプロンおよび背後地の段差, 5. 防舷材本体, 6. 防舷材取付け金具, 7. 係船柱, 8. 車止め

*遷移率の算出に用いたデータ数=1: 1,380 データ, 2~4: 1,089 データ, 5,6: 1,035 データ, 7: 1,049 データ, 8: 1,011 データ

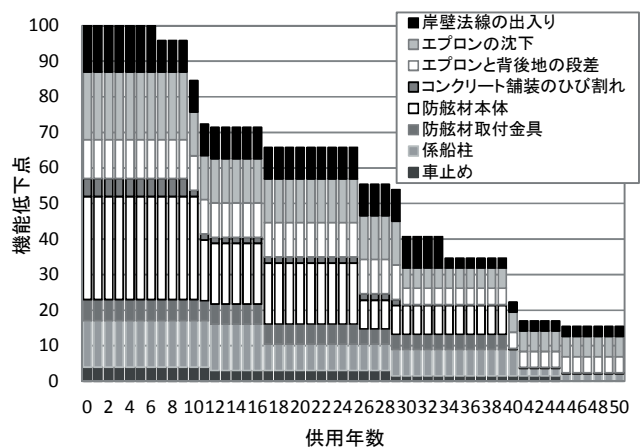


図-6.2 係留施設の機能低下評価の例

により劣化の進行を確率的に取り扱いながら将来予測を行う手法が最も有効であると考えられる。

$$\begin{pmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-p_x & 0 & 0 & 0 \\ p_x & 1-p_x & 0 & 0 \\ 0 & p_x & 1-p_x & 0 \\ 0 & 0 & p_x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここに、 p_x : 遷移率, t : 経過年数である。なお、遷移率 p_x は劣化速度を表す指標であり、検討期間中、一定値とみなして計算を行った。

係留施設の将来の機能低下評価の例として、表-6.1に示す各設備等の影響度、劣化度毎の評点、および各設備等の遷移率を用いて算出した機能低下度の推移を図-6.2に示す。各設備等の影響度および劣化度毎の評点は、表-4.4および図-5.2に示した港湾施設管理者の場合の算定値である。また、各設備等の遷移率は、平成14~15年に国有港湾施設を対象として行われた点検診断結果のうち、劣化度c, b, aと判定された結果の平均的な遷移率を用いた。なお、当時の点検診断項目では、エプロンの沈下、エプロン（舗装）のひび割れとエプロンおよび背後地の段差、および防舷材本体と防舷材取付け金具については区別されていないため、これらについては同じ遷移率を用

いて劣化進行予測を行った。図-6.2においては、係留施設において一般的に行われる防舷材本体のローテーションやエプロンの部分打替え等、維持管理行為の詳細は考慮していない。また、機能低下度の下限値については、施設の重要度や利用形態等が影響するため、現段階では言及できない。しかし、本研究で提案する手法により、係留施設における各設備等の劣化・変状予測に加えて、それらを考慮した施設の機能低下評価を実施できる可能性を示すことができた。本研究で提案する係留施設の機能低下評価手法の妥当性については、係留施設の点検診断データおよび利便性や安全確保の観点からみた機能低下評価データの蓄積や、港湾施設管理者および利用者へのヒアリング等により、今後、検証していかねばならない。

7. まとめ

本研究により得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 係留施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からは、設備等の変状が施設の機能低下に及ぼす影響は、設備等の種類により異なる。係留施設の機能低下を定量的に評価するためには、それぞれの設備等の変状が施設全体の機能低下に及ぼす影響の程度を明確にする必要がある。
- (2) 係留施設の利便性および利用上の安全性の確保の観点からみたそれぞれの設備等の変状の限界状態は、設備等の種類により異なるため、設備等の劣化度と機能低下の関係を明確にする必要がある。
- (3) 実態調査の結果の統計分析により、各設備等の変状が係留施設全体に及ぼす影響度、および各設備等の劣化度と機能低下の関係を評点化し、係留施設の機能低下評価手法を提案した。

8. あとがき

平成19年の港湾基準の改正に伴って刊行された、港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き¹⁾や港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾は、施設の構造安定性に主眼をおいた構成となっている。また、これまでは、施設の構造安定性の低下に対する対策工法および時期の組合せにより、可能な限りライフサイクルコストを低減させるための検討が多々なされてきた^{例えは3)}。しかし、係留施設の維持管理実務においては、施設の利便性の低下や利用上の安全性の低下に対応するための比較的小規模な維持行為は、施設の構造安定性の低下に対応するための大規模

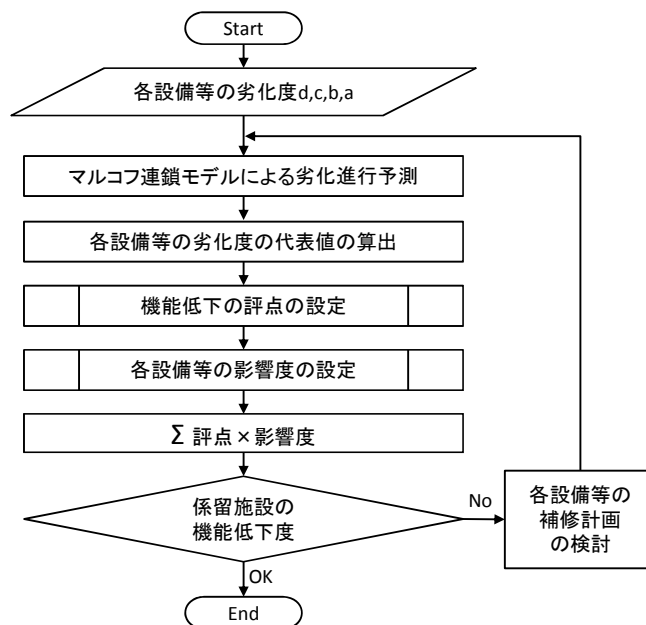


図-8.1 係留施設の機能低下評価プログラムの流れ

な維持行為よりも頻度は高く、施設の供用期間中に複数回、施設の利用状況によっては毎年のように必要となる場合もある。可能な限りライフサイクルコストを低減するためには、構造安定性の低下のみでなく、施設の利便性の低下や利用上の安全性の低下の観点からの維持管理を戦略的に行うことが必要である。

本研究では、これまでその必要性は認識されつつも、基本的な考え方が示されることはなかった、施設の利便性の低下や利用上の安全性の低下の観点からの維持管理について言及し、係留施設の機能低下として評価する手法を提案した。本研究で提案した係留施設の機能低下評価手法の妥当性については、点検診断データおよび利便性や安全確保の観点からみた機能低下評価データの蓄積や、港湾施設管理者および利用者へのヒアリング等により、今後、検証していかねばならない。しかし、本研究における先駆的な取組みは、ライフサイクルマネジメントの概念に基づく港湾施設の戦略的な維持管理の実現に貢献するものと確信している。

本研究で提案した係留施設の機能低下評価手法については、「係留施設の機能低下評価プログラム」として取りまとめた。プログラムの流れを図-8.1に示す。当該プログラムは、係留施設の機能低下評価および機能低下予測に基づいて、エプロンや附帯設備等の変状対策の内容とその実施時期を検討する構成とした。

また、係留施設の戦略的な維持管理の実現に向けた取組みの一環として、既往の研究³⁾で検討した栈橋のライフサイクルマネジメントシステムの考え方を踏襲し、構成

部材の構造安全性の確保に主眼を置いた「維持管理計画策定支援プログラム【鋼矢板式係船岸版】」および「同プログラム【重力式係船岸版】」を作成した。付録Bにその概要を示す。

(2012年1月27日受付)

謝辞

実態調査の実施にあたっては、港湾施設管理者および利用者各位に多大なるご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

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計画書作成の手引き（増補改訂版），港湾空港建設技術サービスセンター，2008年。
- 2) 港湾空港技術研究所編著：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，沿岸技術ライブラリーNo. 26，沿岸技術研究センター，2007年。
- 3) 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，Vol. 48，No. 2，2009年，pp. 3-35。
- 4) 沿岸技術研究センター：ゴム防舷材の維持管理ガイドライン，沿岸技術ライブラリーNo. 38，沿岸技術研究センター，2010年。
- 5) 大島俊之，三上修一，山崎智之，丹波郁恵：供用健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析，土木学会論文集 No. 675 / I -55，2001年，pp. 201-217。
- 6) 長崎県土木部港湾課：長崎県港湾施設（鋼構造物）維持管理ガイドライン，http://www.doboku.pref.nagasaki.jp/~kouwan/2010_03/business02/ijikanri/guidelines_steel.pdf，2010年。
- 7) 君山由良：一対比較法のモデル，統計解説書シリーズC-05，データ分析研究所，2010年。
- 8) 君山由良：心理測定の基礎と調査での応用，統計解説書シリーズC-04，データ分析研究所，2009年。
- 9) 大島俊之，三上修一，丹波郁恵，佐々木聡，池田憲二：橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析，土木学会論文集 No. 703 / I -59，2002年，pp. 53-65。
- 10) 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，No. 29，2006年。
- 11) 加藤絵万，川端雄一郎，岩波光保，横田弘：港湾RC構造物の確率論に基づく保有性能評価の試行，土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造），Vol. 67，No. 1，

2011年，pp. 150-159。

付録A. 設備等の変状の状態に関する認識調査結果の比較

付録B. 維持管理計画策定支援プログラムの概要

付録 A. 設備等の変状の状態に関する認識調査結果の比較

係留施設の利用に支障が出始めるときのそれぞれの設備等の変状の状態の調査項目の設定にあたっては、港湾施設メンテナンス技術ワーキンググループ報告書^{付A1)}を参考にした。これは、維持管理（補修）基準の作成を目標として、昭和57年から5カ年にわたって、当時の維持管理に関する点検手法、変状の評価手法、対策方法等の技術を取りまとめたものであり、係留施設の変状に関するアンケート調査は、当時の重要港湾以上の管理者を対象として、昭和58年に行われている。

本研究で行った調査のうち、岸壁法線の出入り、エプロンの沈下、エプロンと背後地の段差、エプロンのひび割れについては、過去に行われた調査と内容が類似している。ここでは、上記の設備等の変状について、過去および現在の管理者間で認識に変化はあるのか、比較を行うこととした。

ここで、昭和58年に行った調査では、全ての設備等について、調査項目の選択肢となる変状の数値を「程度」と表現している。しかし、平成22年の調査では、港湾の施設の維持管理技術マニュアルに配慮し、設備等に応じて選択肢を設定した。両調査の選択肢の例として、付表-A.1に岸壁法線の出入りについて、付表-A.2にエプロンの沈下について示す。

付図-A.1に、昭和58年および平成22年に管理者に対し

て行った、施設の利用に支障が出始めるときの設備等の変状の状態についての調査結果を示す。付図-A.1は、各調査における選択肢（数値）を横軸に、回答者の累積割合を縦軸としている。横軸の数値の設定方法は、付表-A.1および付表-A.2中に「付図-A.1上のプロット」として示したとおりである。また、凡例中の括弧内の数字は、両者の総回答数を示す。

付図-A.1によれば、アスファルトのひび割れ率は50%以上、コンクリートのひび割れ度は2.0m/m²以上において、9割以上の管理者が施設の利用に影響が出始めると回答しており、回答割合の累積の増加程度とひび割れ程度の関係についても、昭和58年と平成22年でほぼ同様の傾向を示した。したがって、これらに関しては、過去および現在の管理者間で、施設の利用に支障が出始めるときの程度認識に差はないといえる。

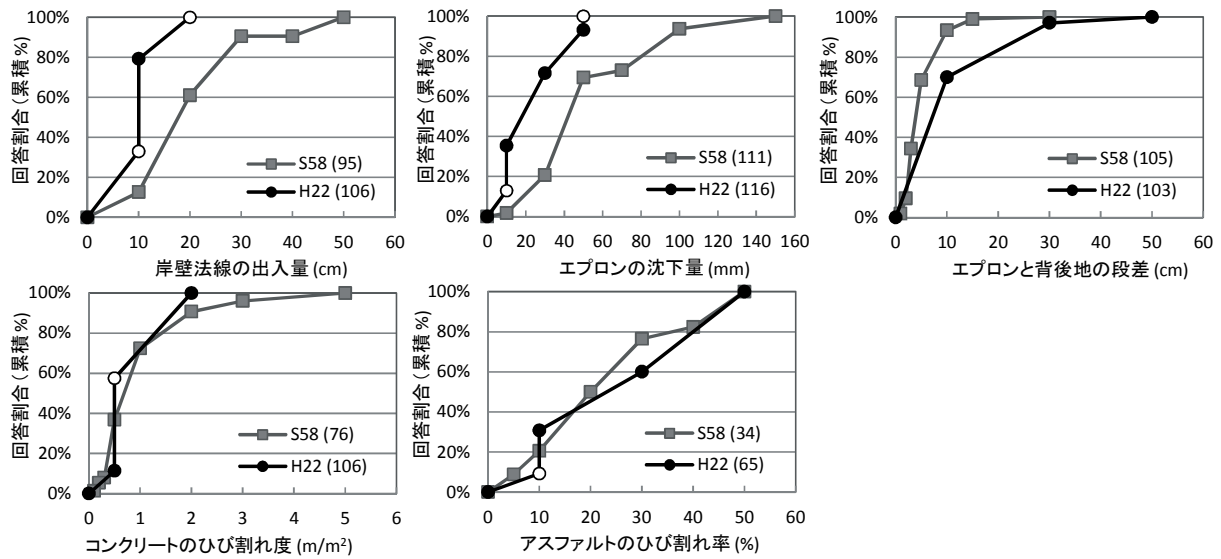
岸壁法線のずれ、エプロンの沈下量およびエプロンと背後地の段差について、最も回答数が多かった各選択肢（数値）を付表-A.3に示す。最多回答数を示す数値は両者で特に大きな差は見られず、施設の利用の観点から見た一般的な変状の供用限界値は、過去および現在の管理者間で認識に差はないといえる。しかし、付図-A.1に示したとおり、回答割合の累積の増加程度では、両者に差が見られた。累積回答数で9割以上の管理者が施設の利用に影響が出始めると回答した数値をみると、岸壁法線のずれについては過去の管理者は30cm、現在の管理者は20cm、同様にエプロンの沈下量については100mmと40mm、エプロ

付表-A.1 選択肢の例（岸壁法線の出入り）

| 昭和 58 年調査 | | 平成 22 年調査 | |
|--|---------------|---|---------------|
| 係船岸の利用に支障が出始めるときの岸壁法線の出入量（1バースあたりの凹凸最大差） | 付図-A.1 上のプロット | 係留施設の利用に支障が出始めるときの岸壁法線の出入量（1バースあたりの凹凸最大差） | 付図-A.1 上のプロット |
| 10cm 程度 | 10cm | 隣接する上部工との間に 10cm 未満の凹凸がある | 10cm（白抜き） |
| 20cm 程度 | 20cm | 隣接する上部工との間に 10～20cm 未満の凹凸がある | 10cm |
| 30cm 程度 | 30cm | 隣接する上部工との間に 20cm 以上の凹凸がある | 20cm（白抜き） |
| 40cm 程度 | 40cm | | |
| 50cm 程度 | 50cm | | |
| 70cm 程度 | - | | |
| 100cm 程度 | - | | |

付表-A.2 選択肢の例（エプロンの沈下量）

| 昭和 58 年調査 | | 平成 22 年調査 | |
|-----------------------------|---------------|---|---------------|
| 係船岸の利用に支障が出始めるときのエプロン上の凹の深さ | 付図-A.1 上のプロット | 係留施設の利用に支障が出始めるときのエプロンの沈下量（凹み、わだち掘れを含む） | 付図-A.1 上のプロット |
| 1cm 程度 | 10mm | 10mm 以下の沈下（段差）がある | 10mm（白抜き） |
| 3cm 程度 | 30mm | 10～30mm 程度の沈下（段差）がある | 10mm |
| 5cm 程度 | 50mm | 30～50mm 程度の沈下（段差）がある | 30mm |
| 7cm 程度 | 70mm | 50mm 以上の沈下（段差）がある | 50mm |
| 10cm 程度 | 100mm | 陥没している箇所がある | - |
| 15cm 程度 | 150mm | | |
| 30cm 程度 | - | | |



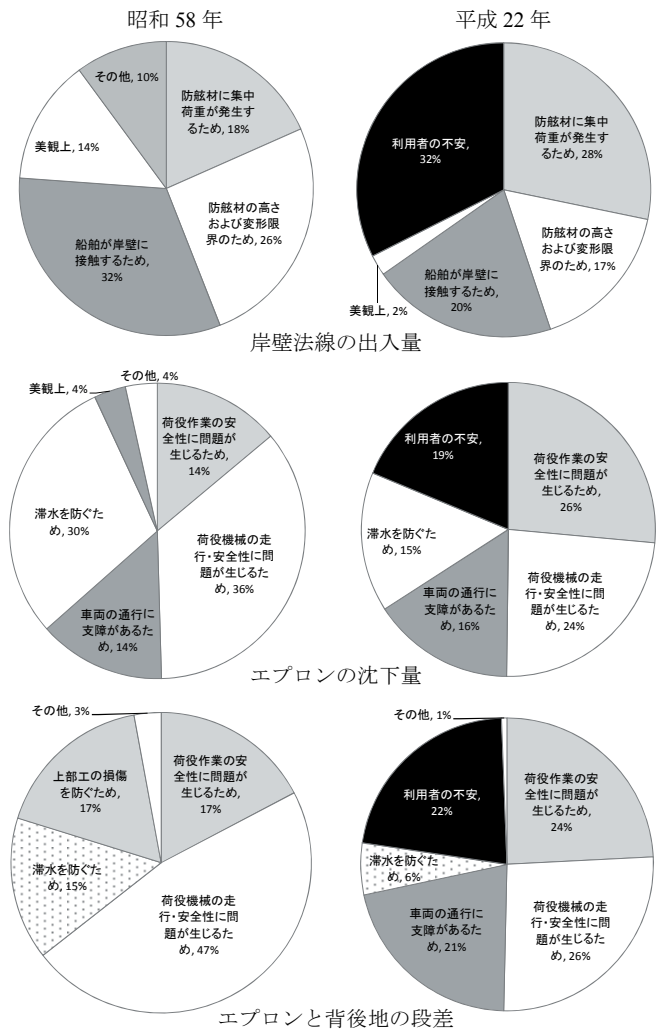
付図-A.1 施設の利用に支障が出始めるときの設備等の変状の状態 (管理者)

付表-A.3 回答数が最も多かった選択肢

| 項目 | 昭和55年 | | 平成22年 | |
|-------------|--------|-----|-----------|-----|
| 岸壁法線の出入量 | 20cm程度 | 48% | 10~20cm程度 | 46% |
| エプロンの沈下量 | 50mm程度 | 48% | 30~50mm程度 | 36% |
| エプロンと背後地の段差 | 5cm程度 | 34% | 10cm程度 | 70% |

ンと背後地の段差については10cmと30cmとなっている。これについては、付表-A.1および付表-A.2に示したとおり、過去および現在の調査で選択肢の設定が異なることが影響を及ぼしていることが考えられるが、それ以外にも回答の差に影響を及ぼした要素はあるのかを探るべく、付図-A.2に両者の回答の理由を参考までに整理した。なお、回答の理由については、昭和58年の調査では自由記入方式、平成22年の調査では複数選択方式としている。このため、付図-A.2では、過去の調査については類似の理由を取りまとめて整理し、現在の調査については、ひとつの回答に対する理由の選択数の合計が1.0となるよう調整した値を用いて結果を整理した。

岸壁法線のずれについては、両者ともに4割以上が防舷材の管理の観点からの回答であるが、施設の利用の観点からの回答は、過去の調査では3割であるのに対して、現在の調査では5割以上となっている。エプロンの沈下量については、ほぼ全てが施設の利用の観点からの回答であったが、現在の調査においては、利用者の不安によるとの回答がそのうち約2割を占めていた。エプロンと背後地の段差については、現在の調査ではほぼ全てが施設の利用の観点からの回答であるのに対して、過去の調査では



付図-A.2 回答の理由 (管理者)

約2割が施設（部材）の管理の観点からの回答となっていた。これより、過去と現在の管理者を比較すると、現在の方がより施設の利用の観点から、特に、利用者を意識した回答となっているといえる。この理由は定かではないが、施設の管理あるいは利用に関する自由意見から、平成22年の調査では供用10年以上が経過した係留施設を対象として調査を実施したため、実際に施設に変状が発生したことにより利用者の施設に対する要求が過去と比較してより具体的となったことや、昨今の維持管理に対する予算上の制約なども影響したことが推察された。

参考文献

付A1) 運輸省港湾局研究協議会：港湾施設メンテナンス技術ワーキンググループ報告書，1986年。

付録B. 維持管理計画策定支援プログラムの概要

著者らは、既往の研究において、栈橋を対象としたLCM要素技術を体系的に取りまとめ、「維持管理計画策定支援プログラム【栈橋版】」を開発した^(付B1)。本研究では、【栈橋版】の基本的な考え方とプログラム構成を踏襲しながら、鋼矢板式係船岸および重力式係船岸の維持管理計画の策定に必要な機能を追加した【鋼矢板式係船岸版】および【重力式係船岸版】を開発した。

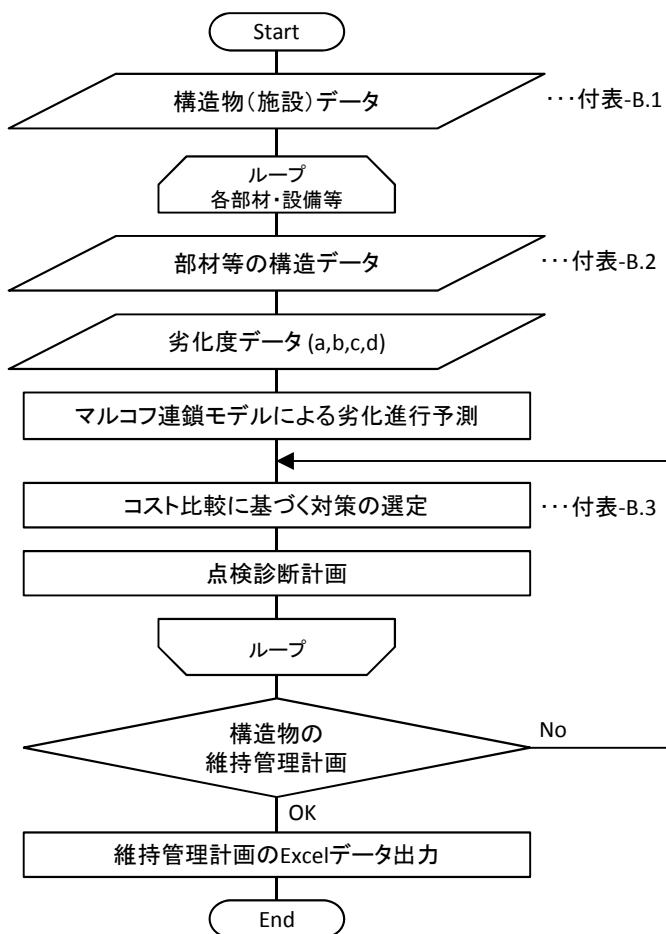
【鋼矢板式係船岸版】および【重力式係船岸版】は、鋼矢板またはケーソン本体・上部工・エプロン・附帯設備について変状・劣化予測を行い、施設の全体的な維持管理計画を策定するためのものである。プログラムは、①施設の現況を統一的な基準に基づいて判定した点検診断結果の入力、②点検診断から判断される部材の変状・劣化予測、③その結果に基づいて必要に応じて実施する対策工の選定、④点検診断計画の検討という流れで構成される。両プログラムにおいては、矢板式係船岸の主要

部材である鋼矢板、重力式係船岸の主要部材であるケーソン本体以外に、上部工やエプロン等附帯設備の変状・劣化予測および対策選定も対象とした。これは、本編で述べたとおり、エプロンや附帯設備の変状・劣化が少なからず施設の機能低下に影響を及ぼし、これが原因となって施設の補修が施される場合が想定されるためである。

維持管理計画は、構造物の重要度や維持管理の難易度などに応じて設定された維持管理レベルに応じて計画的な維持管理を行い、供用期間中の施設の性能を確実に保持するために策定されるものである。そこで、【栈橋版】と同様に、設定した部材・附帯設備それぞれの維持管理レベルに応じて、維持管理の行為の一連の計画策定を自動制御する機能を設けた。また、プログラムでは、マルコフ連鎖モデルに基づいて、部材間の劣化度のばらつきを考慮しながら確率的に変状・劣化進行予測を行う機能を設けた。

ここで、既設構造物では、部材の点検診断結果に基づいて劣化予測を行い、以降の維持管理計画を策定するが、新設構造物では設計段階の情報によってのみ維持管理計画を策定しなければならない。このため、新設構造物の各部材・附帯設備については、使用材料の耐用年数から劣化度と経過時間（供用期間）の関係を定め、それに基づいて対策の選定を行うことを基本とした。

プログラムの流れを付図-B.1に示す。また、構造物（施設）データにおいて選択する各部材等の維持管理レベルと限界値を付表-B.1に、部材等の構造データの入力項目を付表-B.2に、対策の選定における部材等毎の対策の種類を付表-B.3に示す。



付図-B.1 維持管理計画策定支援プログラムの流れ

参考文献

付B1) 加藤絵乃, 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, Vol. 48, No. 2, 2009年, pp. 3-35.

付表-B.1 各部材等の維持管理レベルと限界値

| 部材等 | 維持管理レベル | 限界値 (劣化度) |
|--------|------------|---|
| 鋼矢板 | I, II | Iの場合, dのみ IIの場合, d or c |
| ケーソン本体 | Iのみ | dのみ |
| 上部工 | I, II, III | Iの場合, dのみ IIの場合, d or c IIIの場合, bのみ |
| エプロン | II, III | IIの場合, Cのみ IIIの場合, bのみ |
| 防舷材 | III | bのみ |
| 係船柱 | III | bのみ |
| 車止め | III | bのみ |

付表-B.2 各部材等の構造データの入力項目

| 部材等 | 入力項目 |
|--------|--|
| 鋼矢板 | 鋼矢板の情報（種類，杭天端レベル，幅，長さ，枚数） 被覆防食の種類・耐用年数，電気防食の種類・耐用年数 |
| ケーソン本体 | 総函数，寸法，天端レベル，過去の補修間隔・面積 |
| 上部工 | コンクリートのW/C，セメント種類，面積，過去の補修間隔・面積 |
| エプロン | コンクリート舗装，アスファルト舗装，ブロック数，1ブロックあたりの長さ・幅 |
| 防舷材 | 仕様，長さ，吸収エネルギー，反力，期待耐用年数 |
| 係船柱 | 仕様，直柱・曲柱，設計牽引力，期待耐用年数 |
| 車止め | 仕様，数量 |

付表-B.3 各部材等の対策の種類

| 部材等 | 選択項目 |
|--------|--|
| 鋼矢板 | 被覆防食：ポリエチレン被覆，ウレタンエラストマー被覆，超厚膜形被覆，水中硬化型エポキシ樹脂被覆，ペトロラタム被覆（耐食性金属カバー），ペトロラタム被覆（樹脂カバー），クラッド鋼，モルタル被覆（FRPカバー併用） 電気防食：耐用年数5，10，15，20，30，40，50年 |
| ケーソン本体 | 断面修復（大断面，小断面），表面塗装（断面修復との併用），ひび割れ注入 |
| 上部工 | 断面修復（大断面，小断面），表面塗装（断面修復との併用），ひび割れ注入 |
| エプロン | コンクリート舗装：打換え工法，表層打換え工法，ひび割れ注入工法 アスファルト舗装：打換え工法（アスファルトあるいは半たわみ性），オーバーレイ工法 |
| 防舷材 | 取り替え |
| 係船柱 | 取り替え，塗装の塗り直し |
| 車止め | 取り替え，塗装の塗り直し |

※プログラムにおいては，いずれの部材等についても工法を直接入力することが可能

港湾空港技術研究所報告 第51巻第1号

2012.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2012) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

CONTENTS

1. Generation and Characteristics of Random Waves for Distribution of Directional Spectra on Variable Bathymetry
.....Katsuya HIRAYAMA, Hiroyuki IWASE, Hiroaki KASHIMA 3

2. A Source Model for the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku, Japan,
Earthquake to Explain Strong Ground Motions
.....Atsushi NOZU, Atsushi WAKAI 23

3. Development of Evaluation Method for Functional Performance of Mooring Facilities
.....Ema KATO, Yuichiro KAWABATA, Mitsuyasu IWANAMI 55

