

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1328 December 2016

係留施設の変状連鎖と点検診断に関する一考察

加藤 絵万・川端雄一郎・岩波 光保・横田 弘・山路 徹・藤井 敦
内藤 英晴・北澤 壮介・井上 博士・柏原 裕彦・末岡 英二・吉田 倫夫
山本 修司・中野 則夫・稲田 勉

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

| | |
|------------------------------|----|
| 要 旨 | 3 |
| 1. はじめに | 4 |
| 1.1 背 景 | 4 |
| 1.2 目 的 | 4 |
| 2. 変状連鎖図の改善点の抽出 | 4 |
| 2.1 変状連鎖の基本 | 4 |
| 2.2 既往の変状連鎖図 | 5 |
| 2.3 変状連鎖図の改善点の抽出 | 7 |
| 3. 変状連鎖図の改善 | 7 |
| 3.1 変状連鎖図の改善点への対応方針 | 7 |
| 3.2 変状連鎖図の改善 | 11 |
| 4. 変状連鎖に基づいた点検診断の項目と課題 | 15 |
| 4.1 変状連鎖と点検診断の項目の関係 | 15 |
| 4.2 変状連鎖に基づいた点検診断の課題 | 22 |
| 5. まとめ | 22 |
| 6. おわりに | 23 |
| 謝 辞 | 23 |
| 参考文献 | 23 |

Practical Approach to Maintenance of Mooring Facilities ~ Towards Practical Inspection based on Performance Degradation Chains~

Ema KATO*, Yuichiro KAWABATA**, Mitsuyasu IWANAMI***, Hiroshi YOKOTA****,
Toru YAMAJI*****, Atsushi FUJII*****, Hideharu NAITO*****,
Sosuke KITAZAWA*****, Hiroshi INOUE*****, Hirohiko KASHIWABARA *****,
Eiji SUEOKA*****, Michio YOSHIDA*****,
Shuji YAMAMOTO*****, Norio NAKANO*****, Tsutomu INADA*****

Synopsis

Achievement of the preventive maintenance in port and harbor facilities is currently one of the important issues to ensure structural performance such as safety and serviceability. Since 2013, therefore, regular inspection, which is one of the most important maintenance work for the preventive maintenance, has been enforced to be carried out. The performance degradation in the mooring facilities is a matter of utmost concern from the viewpoint of safety assurance of cargo handling work as well as of ship navigation. Since each degradation mechanism in structural components in a mooring facility interacts with other mechanisms, the appropriate inspection items, methods and procedures should be selected to achieve an efficient inspection and diagnosis by taking the concept of 'performance degradation chain' into account.

In this paper, the previous 'performance degradation chain' proposed in 1986 has been updated in detail with reference to current research activities. Then inspection and diagnosis items to detect each degradation state are summarized. These items are listed in the Guidelines for Inspection and Diagnosis of Port Facilities published by Ports and Harbours Bureau, MLIT. Finally, future perspectives for development of the inspection and diagnosis techniques based on 'performance degradation chain' are discussed to realize the preventive maintenance of port and harbor facilities.

Key Words: Performance degradation chain, inspection and diagnosis, open-type wharf, steel sheet pile type quaywall, caisson type quaywall

* Head, Structural Mechanics Group
** Senior Researcher, Structural Mechanics Group
*** Visiting Senior Researcher, LCM Research Center for Coastal Infrastructures
(Professor, Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology)
**** Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University
***** Head, Materials Group
***** Former Research Coordinator for Advanced Port Technology, Port and Harbor Department, NILIM
***** A Society of Maintenance Engineer for Maritime, Port and Harbor Infrastructure
***** Coastal Development Institute of Technology
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:katoh-e@pari.go.jp

係留施設の変状連鎖と点検診断に関する一考察

加藤 絵万*・川端 雄一郎**・岩波 光保***・横田 弘****・
山路 徹*****・藤井 敦*****・内藤 英晴*****・北澤 壮介*****・
井上 博士*****・柏原 裕彦*****・末岡 英二*****・吉田 倫夫*****・
山本 修司*****・中野 則夫*****・稲田 勉*****

要 旨

現在、港湾施設の設置者・管理者には、構造物の性能低下による施設機能の喪失を避けることはもちろんのこと、維持管理費用の縮減や最適化、また、大規模災害時における船舶の活用と安全な航行の確保の観点からも、予防保全的な維持管理を実施することが求められている。このためには、定期的な点検診断の実施が不可欠であり、各種構造形式の変状連鎖を踏まえて、対象とする構造物が置かれる環境や利用状況等に応じた適切な点検診断項目を選定することが重要となる。本論では、港湾施設の適切な点検診断項目の選定に資するため、係留施設を対象として、変状の発生が構造物の性能の低下へと繋がっていく過程を、予防保全的な観点から整理した変状連鎖図を提案した。また、各構造形式の変状連鎖と港湾の施設の点検診断ガイドラインに示される点検診断項目の関係について整理し、現状における係留施設の点検診断の課題についてとりまとめた。

キーワード：変状連鎖，点検診断，横棧橋，鋼矢板式係船岸，ケーソン式係船岸

* 構造研究領域構造研究グループ グループ長 ((併)ライフサイクルマネジメント支援センター 上席研究官)
** 構造研究領域構造研究グループ 主任研究官 ((併) ライフサイクルマネジメント支援センター 主任研究官)
*** ライフサイクルマネジメント支援センター 客員研究官 (東京工業大学大学院理工学研究科 教授)
**** 北海道大学大学院工学研究院 教授 (元 港湾空港技術研究所 研究主監)
***** 構造研究領域 領域長 ((併)ライフサイクルマネジメント支援センター 副センター長)
***** (元) 国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾新技術研究官
***** 海洋・港湾構造物維持管理士会
***** (一財) 沿岸技術研究センター
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 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

1. はじめに

1.1 背景

港湾の施設のうち、係留施設は、構造が比較的複雑で施設を構成する部材が相互に関連し合っているうえに、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・進行現象が複雑である。設計供用期間にわたって施設の要求性能を満足させるためには、施設を構成する部材の性能を要求水準以上に保つ必要がある。このためには、施設を構成する部材や構造物全体に発生する可能性があるすべての変状を対象に点検診断することが理想であるが、労力や費用の観点から現実的ではない場合が多い。したがって、施設の性能に及ぼす影響が大きい部材あるいは構造物全体の変状を点検診断の対象として、効率的に点検診断を行うことが求められている。

施設の性能に及ぼす影響が大きい部材あるいは構造物全体の変状の発生が、構造物全体の性能の低下へと繋がっていく過程は、「変状の現象とその原因との対応関係」として、1982年3月に初めて提案された¹⁾。その後、1986年10月に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によって、現在の形の変状連鎖図として整理された²⁾。これらの成果は、1989年の港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾に反映され、防波堤および係留施設の変状連鎖図の掲載とともに、これに基づいた点検項目の設定、評価の観点、対策選定の考え方などが示された。

1999年の港湾の施設の技術上の基準・同解説⁴⁾においては、第1編 総則として「港湾の機能を良好に保持し、施設の安全性の低下を防止するために、各港湾の特性に応じ、点検、評価、補修等の総合的な維持管理を行う」と維持管理に関する基本姿勢が示され、解説として、将来の維持管理方法を考慮しながら維持管理が容易となるような構造形式や材料を選定し細部設計に反映させる必要があることや、維持管理とは施設の変状を効率的に見つけ、それを合理的に評価し、効果的な対策を施すという一連のシステムを指すこと等が述べられている。また、防波堤および係留施設の維持管理の留意点や、変状連鎖図とこれに基づいた点検項目の設定等に関しては、同年6月に発刊された港湾構造物の維持・補修マニュアル⁵⁾にとりまとめられている。

2007年11月に発刊された港湾の施設の維持管理技術マニュアル⁶⁾は、上記の維持管理の基本事項と、それまでに蓄積された知見を取りまとめたものである。また、当該マニュアルでは、各構造形式の部位・部材別の点検診断項目と劣化度判定基準がはじめてとりまとめられた。

2014年7月に制定された港湾の施設の点検診断ガイドライン⁷⁾で示された各構造形式の点検診断の項目は、文献6)で提案された点検診断の項目を精査してとりまとめたものである。2013年度に全国的に実施された港湾施設の集中点検の結果⁸⁾を踏まえて、これまで、施設の性能に及ぼす影響が大きいことが認識されていなかった変状や、他と比較して発生頻度が高い変状について、点検診断項目および劣化度判定基準を改めて整理した形となっている。ただし、点検診断の実施に当たっては、ガイドラインに示された点検診断項目の全てを網羅する必要は無い。対象とする施設の特徴に応じて点検診断項目を選択するほか、必要に応じて新たな項目を追加する等して、施設の設置者が適切に定める必要があるとしている。

1.2 目的

現在、港湾施設の設置者・管理者には、港湾の施設毎に作成する維持管理計画や港湾単位の維持管理・更新計画を活用し、施設の集約や利用転換も考慮したストック全体の管理が求められている。施設毎に作成する維持管理計画では、一般に、施設を構成する部材あるいは構造物全体の性能低下による施設機能の喪失を避けることはもちろんのこと、維持管理費用の縮減や最適化、また、大規模災害時の船舶の活用と安全な航行の確保の観点からも、予防保全的な維持管理を実施することが有効とされている。このためには、定期的な点検診断の実施が不可欠であり、各種構造形式における変状の原因、変状の発生、および変状が性能低下にもたらす影響を整理した変状連鎖を踏まえて、対象とする構造物が置かれる環境や利用状況等に応じた適切な点検診断項目を選定することが重要となる。

予防保全的な維持管理の実現に向けた点検診断では、変状連鎖において上流側に位置する変状を捉え、適切に対応する必要がある。本論では、港湾施設の適切な点検診断項目の選定に資するため、係留施設を対象として、変状の発生が構造物の性能の低下へと繋がっていく過程を、1982年からこれまでに蓄積された維持管理の知見や、現行の技術基準⁹⁾での要求性能を踏まえて、予防保全的な観点から整理することとした。また、各構造形式の変状連鎖と港湾の施設の点検診断ガイドラインに示される点検診断項目の関係について整理し、現状における係留施設の点検診断の課題についてとりまとめた。

2. 変状連鎖図の改善点の抽出

2.1 変状連鎖の基本⁶⁾

港湾構造物に発生する変状は、経年的に緩慢に進行する劣化と、台風や地震などの作用により突発的に発生する損傷などがある。適切な維持管理のためには、いずれの変状に対しても、その発生原因や発生機構を適切に推定しつつ、変状の程度を把握することが重要である。

港湾構造物に発生する変状は、その発生・進行過程の違いから、①鋼材の腐食やコンクリートの劣化、地盤の沈下など時間の経過とともに進行していく「進行型」、②発生頻度は小さいが、地震や波浪などの外力によって短期間に生じる「突発型」、③比較的大きい繰返し外力によって、時間の経過とともに徐々に進行していく「中間型」の3種類に大別される。

変状連鎖とは、変状の原因、変状の発生、変状がもたらす影響、そして構造物の性能低下へと変状が進行していく過程をいう。変状連鎖は、施設を構成する部材間の関連性という観点から次のように区別することができる。ひとつは、部材で発生した変状が独立して進行していくもので、鋼材の腐食、コンクリートの劣化などが代表的である。この変状は、部材そのものの特性のみに影響を与えるもので、その発生・進行過程は比較的単純である。もうひとつは、異なる部材で発生した変状同士が互いに影響し合いながら、次々と他の部材の変状へと波及していくものである。この場合、変状の発生・進行過程は、部材のみならず構造物全体の特性に影響を受けることと

なり、構造物全体の性能低下を招く規模の大きな変状の発生に繋がる傾向がある。

2.2 既往の変状連鎖図⁶⁾

図-2.1に横棧橋の変状連鎖を示す。棧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は、直ちに構造物の「安定性の低下」に繋がるものである。したがって、横棧橋の維持管理にあたっては、環境条件や使用材料の品質が上部工および下部工の劣化の発生や進行に及ぼす影響を考慮する必要がある。

図-2.2に鋼矢板式係船岸の変状連鎖を示す。鋼矢板式係船岸に発生する代表的な変状は、鋼矢板の腐食である。その発生・進行現象は、その他の部材の変状の発生・進行現象とは独立しており、構造物の「安定性の低下」に直結する。その他の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-2.1に示した横棧橋の変状連鎖も同様に、「材料の劣化」に起因する変状を除けば、すべての変状が「機能の低下」に繋がっている。

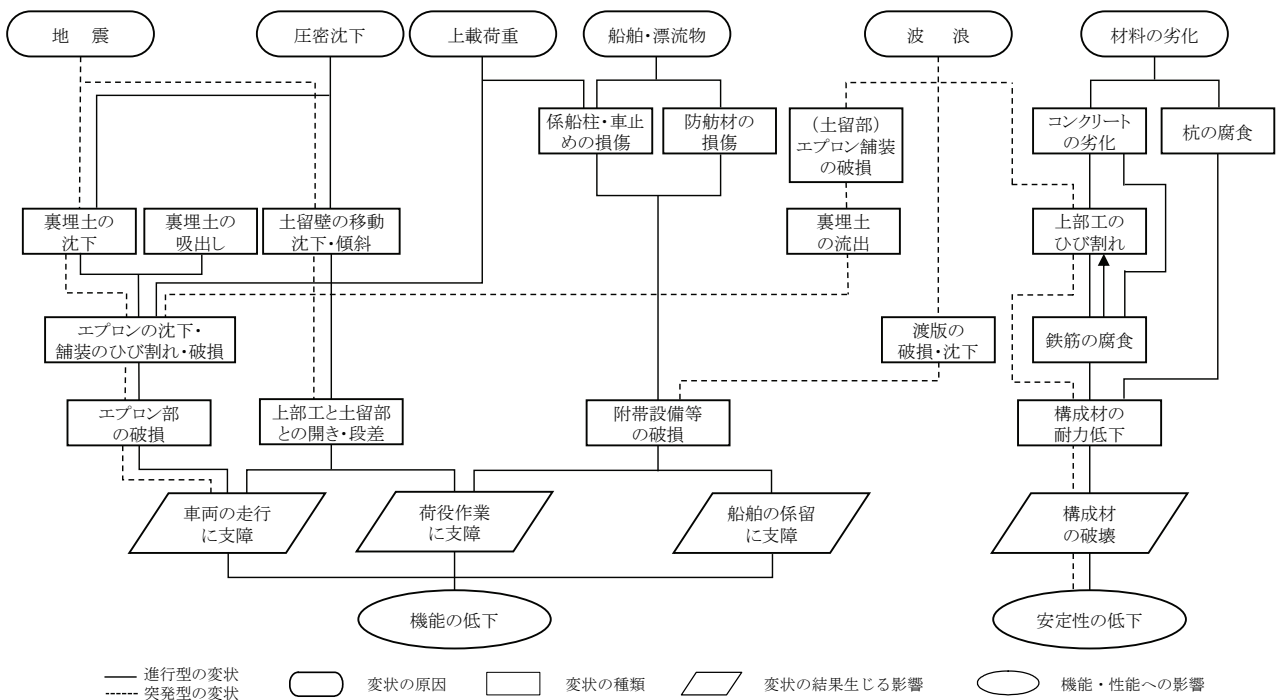


図-2.1 横棧橋の変状連鎖⁶⁾

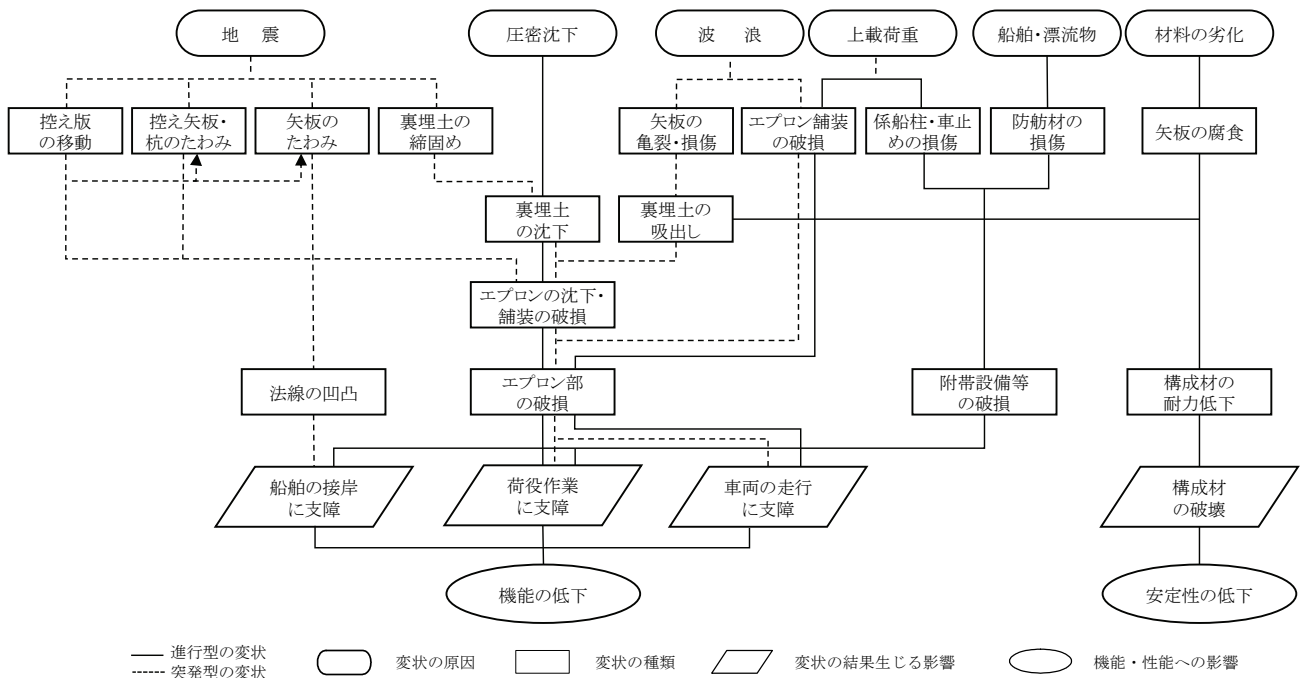


図-2.2 鋼矢板式係船岸の変状連鎖⁶⁾

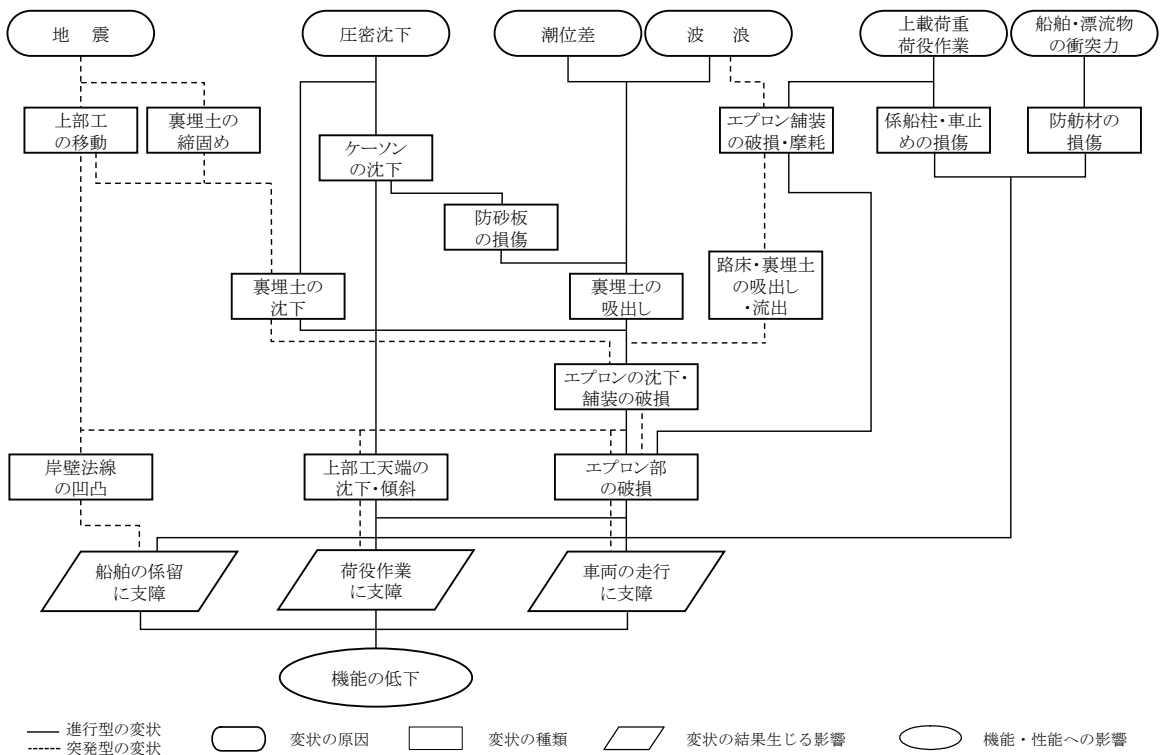


図-2.3 ケーソン式係船岸の変状連鎖⁶⁾

図-2.3 に示すケーソン式係船岸の変状連鎖では、すべての変状が「機能の低下」へと繋がっている。つまり、この変状連鎖図によれば、ケーソン式係船岸では、施設を構成する部材の変状の進行により、構造物としての「安定性の低下」が生じる可能性は非常に低いといえる。

2.3 変状連鎖図の改善点の抽出

以上の3構造形式の変状連鎖は、当時の直轄および港湾管理者への維持管理状況のアンケート結果に基づいて取りまとめられたものである²⁾。現状の施設についても、当時と構造形式が大きく変化していないことから、これまでも図-2.1~2.3 に示される変状連鎖に基づいて、各種の維持管理技術資料が作成されてきた。しかし、これを現行の技術基準⁹⁾で規定される施設の維持管理に適用し、より予防保全的な維持管理の実現に向けて点検診断を実行するにあたっては、以下の改善が求められる。

(1) 要求性能との関係の明確化

変状連鎖の結果である構造物の性能低下について、現状では、「安定性の低下」または「機能の低下」として示されている。しかし、いずれの用語も現行の技術基準においては規定されていない。そもそも、変状連鎖図が提案された当時における「機能」や「安定性」の概念と、現行の技術基準における「機能」や「性能」の概念が、完全に一致しているかどうか不明である。技術基準省令第26条に規定される岸壁の要求性能「船舶の安全かつ円滑な係留、人の安全かつ円滑な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。」の確保のため、なぜその部位・部材と発生する変状に着目する必要があるのか、現行の技術基準における構造物および部材の性能規定と変状の関係を明確化することが、適切な点検診断項目の選定に繋がると考える。

(2) 予防保全的な維持管理の実現のための項目の不足

点検診断技術の発展により、既往の変状連鎖図に示される前の時点で変状を捉えることが可能となった項目もある。適切な点検診断項目の選定のためには、点検診断で把握可能な時点での変状の状態を変状連鎖図の中に明示することで、より早期に変状を把握することが可能となる。例えば、2013年度の国有港湾施設の集中点検で全国的に多数発生していることが明らかとなったエプロン下の空洞化¹⁰⁾については、電磁波レーダや削孔調査により「エプロンの沈下・損傷」以前に検出できる可能性が高い。

また、現行の技術基準では、鋼部材に適切な防食工を施すことが標準とされている。このため、「鋼材の腐食」

以前に、被覆防食工や電気防食工の劣化・損傷が示されるべきと考えられる。

3. 変状連鎖図の改善

3.1 変状連鎖図の改善点への対応方針

2.で示した既往の変状連鎖図の改善点(1)および(2)を解決し、新たな変状連鎖図を提案する。改善点(1)および(2)の対応方針を以下に示すとともに、(3)として、変状連鎖図の改善のためのその他の対応を示す。

(1) 要求性能との関係の明確化への対応

現行の技術基準では、港湾の施設の要求性能として、使用性、修復性、安全性、供用性、施工性および維持管理性があげられている。これらの定義は以下のとおりである⁹⁾。

使用性：使用上の不都合を生じずに使用できる性能のことであり、作用に対して想定される施設の構造的な応答においては、損傷の可能性が十分に低いこと、又はわずかな修復により速やかに所要の機能が発揮できる程度の損傷に留まることである。

修復性：技術的に可能で経済的に妥当な範囲の修繕で継続的に使用できる性能のことであり、作用に対して想定される施設の構造的な応答においては、軽微な修復により短期間のうちに所要の機能が発揮できる程度の損傷に留まることである。

安全性：人命の安全等を確保できる性能のことであり、作用に対して想定される施設の構造的な応答においては、ある程度の損傷が発生するものの施設の構造安定上において致命的な状態には至らず、人命の安全確保に重大な影響が生じない程度の損傷に留まることである。

供用性：施設の供用及び利便性の観点から施設が保有すべき性能のことである。具体的には、施設が適切に配置されること、施設の構造的な諸元（施設の長さ、施設の幅、施設の水深、施設の天端高、施設の築造限界等）及び静穏度等が所要の値を満足すること、必要に応じて所要の附帯設備を有すること等である。

施工性：信頼性のある適切な方法を用いることにより、妥当な工期で工事の安全を確保しながら施工できる性能のことである。全ての施設に必要な性能として定めている。

維持管理性：施設の利用及び想定した作用による施設の劣化損傷に対して、技術的に可能でかつ経済的に妥当な範囲で補修・補強等を施すことにより、施設に必要な所要の性能を継続的に確保することができる性能のことである。

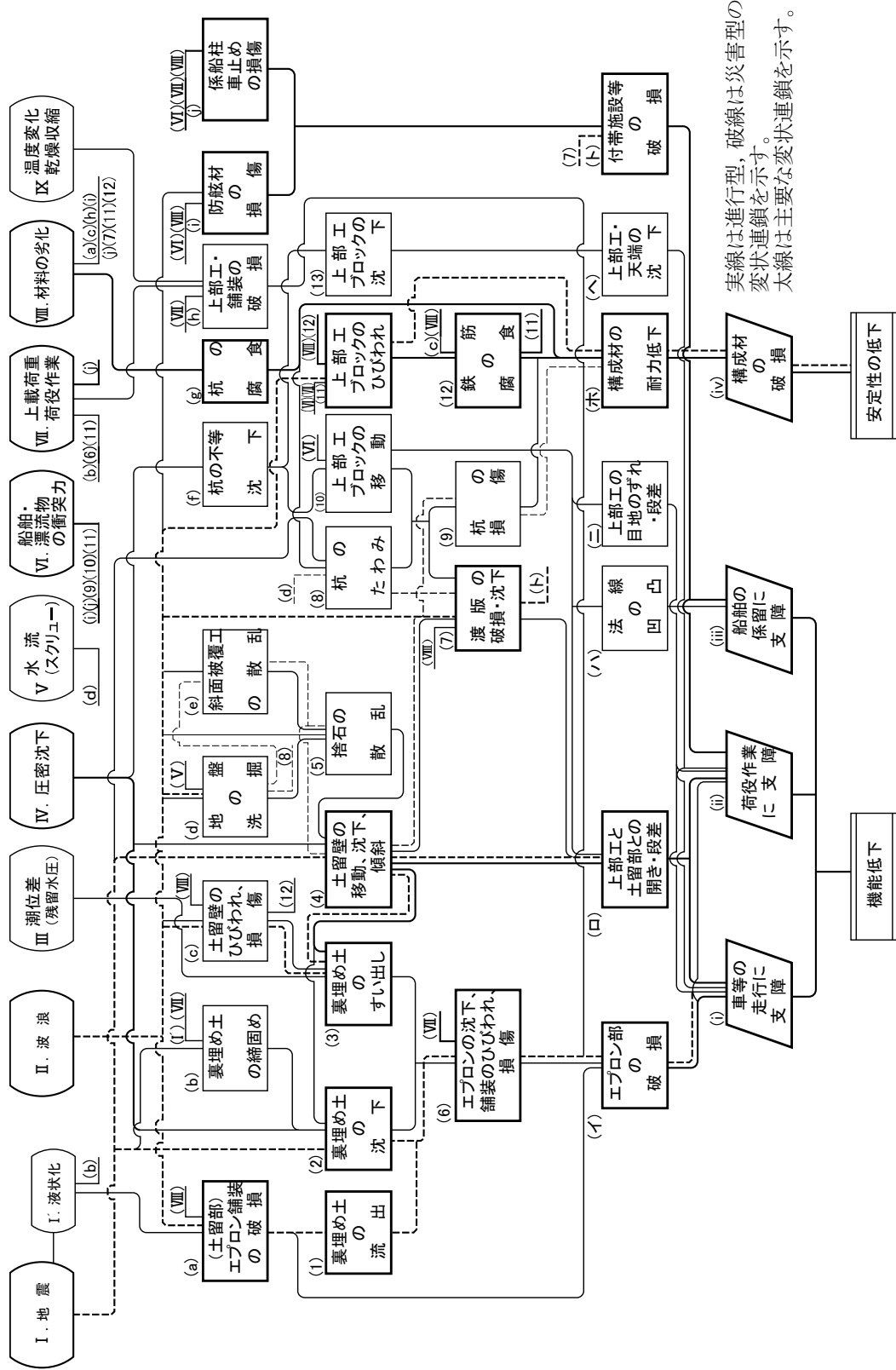


図-3.1 横棧橋の変状連鎖²⁾

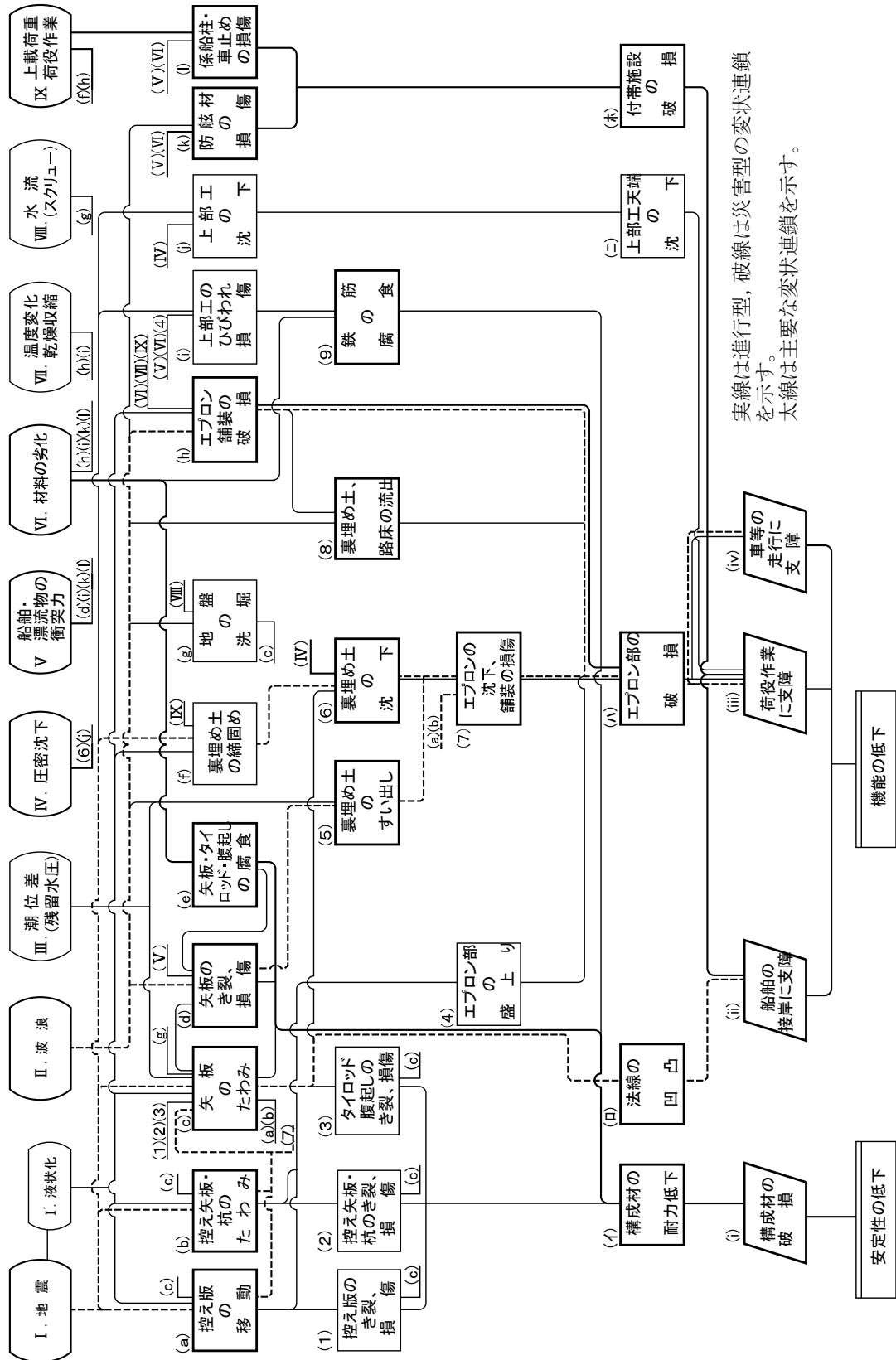


図-3.2 鋼矢板式係船岸の変状連鎖²⁾

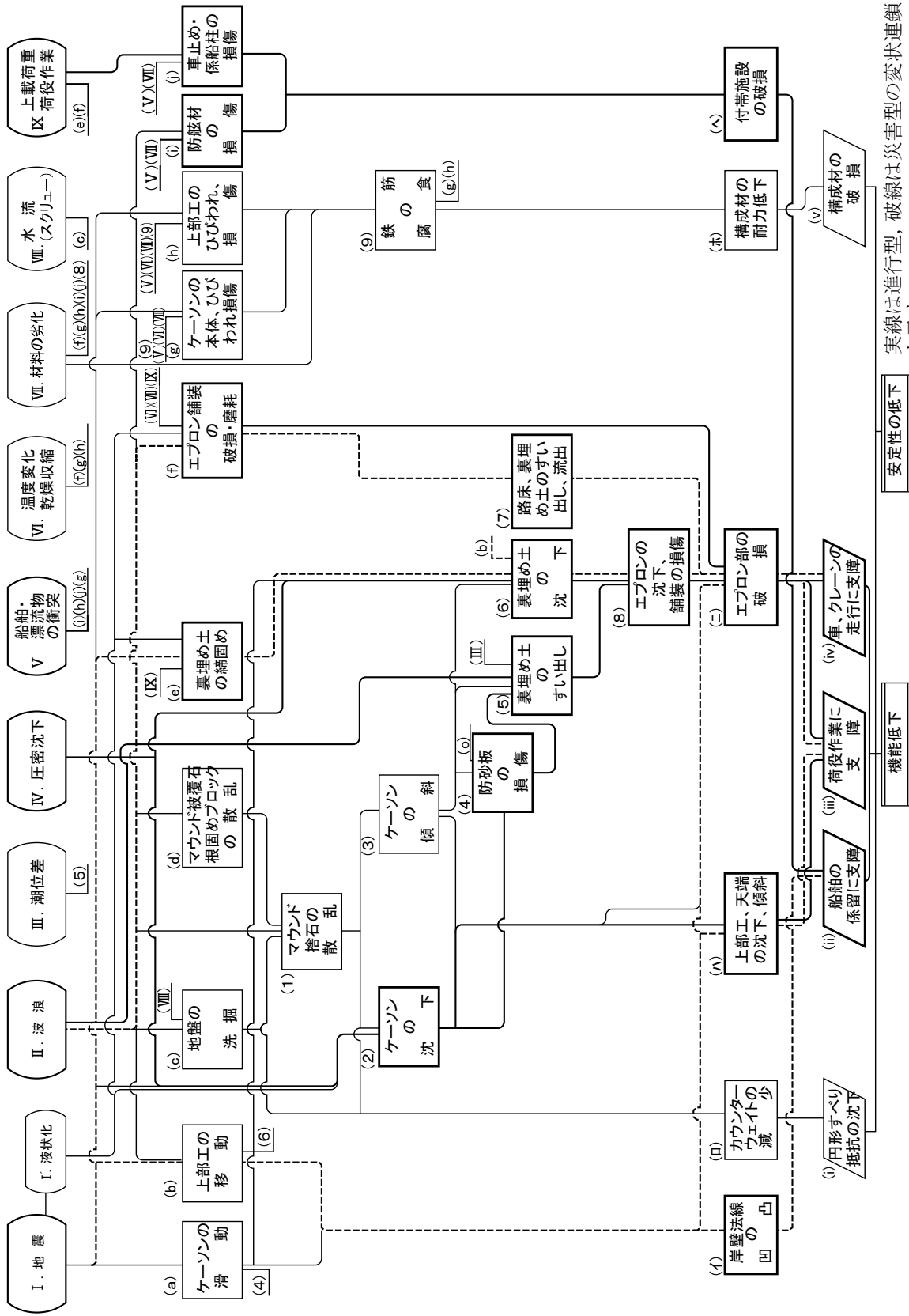


図-3.3 ケーソン式係船岸の変状連鎖²⁾

実線は進行型、破線は災害型の変状連鎖を示す。
太線は主要な変状連鎖を示す。

ある。全ての施設に必要な性能として定めている。

このうち、構造物全体あるいは部材の構造的な応答に関する性能は、許容される損傷の程度に応じて、使用性、修復性、安全性に分類され、許容される損傷の程度との関係は、安全性>修復性>使用性と示されている⁹⁾。本論では、既往の変状連鎖図における「安定性の低下」は、構造物全体あるいは部材の構造的な応答に関する性能に影響するものと捉え、「使用性・修復性・安全性の低下」に置き換えることとした。また、「機能の低下」については、上記の性能の定義をもとに「供用性の低下」に置き換えることとした。

なお、要求性能のうち、施工性については変状連鎖の対象にはなり得ない。また、対象とする構造形式の変状連鎖機構を理解し、可能な限り連鎖の上流側で変状に対応することが、施設に必要な所要の性能の継続的な確保に繋がる。このため、維持管理性についても変状連鎖の対象から省くこととした。

(2) 予防保全的な維持管理の実現のための項目の追加

既往の文献²⁾では、以下の①～④の手順を踏まえて図-2.1～2.3に示した各構造形式の主要な変状連鎖が整理されている。

- ① 各構造形式の「性能・機能」に影響を及ぼす可能性がある要因から発生する、施設を構成するすべての部材の変状連鎖図の作成（図-3.1～3.3）。
- ② 台風や地震を原因とする突発型の変状の発生頻度を、既往の被災例の調査報告書から検討。
- ③ 進行型の変状の発生頻度を、維持補修工事の実態調査、工事事例から検討。
- ④ 港湾管理者へのアンケートから抽出した、係留施設の維持補修費に占める割合が多い附帯設備の追加。

主要な変状連鎖は、当時の技術水準に基づいて、点検・評価の対象とすべき変状の抽出を目的として取りまとめられたものである。変状の発生原因や変状の結果として生じる性能の低下については、係留施設の基本構造に大きな変化はないため、当時と現在とで大きな違いはない。しかし、各種非破壊試験や測深等の点検診断技術の発展により、既往の変状連鎖図に示される変状の程度よりも前の（軽微な）段階で変状を捉えることが可能なものもある。そこで、図-3.1～3.3を基に、現状の技術で把握が可能であり、かつ2013年に実施された国有港湾施設の集中点検により全国的に発生していることが判明した「エプロン下の空洞化」と「海底地盤の洗掘」について、新たに主要な変状連鎖図に加えることとした。

また、変状連鎖図の修正にあたっては、「鋼材の腐食」

発生以前に、被覆防食工や電気防食工の劣化・損傷を示すこととした。電気防食工については、現在では、流電陽極方式が適用される場合が多い。このため、鋼材の腐食に繋がる変状として、流電陽極方式の犠牲陽極の消耗および脱落を加えることとした。なお、被覆防食工は、適用される被覆材料の種類によって変状発生メカニズムや点検診断時の着目点が異なるため、変状連鎖図中での詳細な記述は避けることとした。なお、各種被覆防食工の変状発生メカニズムや点検診断時の着目点等については、文献11)に詳述されている。

(3) 改善に向けたその他の対応について

前述のとおり、供用性は、施設の供用および利便性の観点から施設が保有すべき性能と規定されており、附帯設備等がこれに及ぼす影響は大きい。しかし、実際に、ある附帯設備の変状が、その他の部材や附帯設備の変状の発生に連鎖することは考えにくく、基本的には、変状が進行して附帯設備そのものに期待される機能を喪失した段階で取替えを行えばよい。このため、既往の変状連鎖図から「防舷材」、「車止め」、「係船柱」を削除し、その他の附帯設備等とあわせて、施設の供用性に影響を及ぼす変状の発生要因について、一覧表形式で示すこととした。

なお、文献12)では、既存の変状連鎖図のなかで「機能の低下」に影響を及ぼすとされているエプロン、防舷材、係船柱、車止めの変状が係留施設の供用および利便性に及ぼす影響について、港湾施設の管理者および利用者を対象とした実態調査を行い、各設備等の劣化度と供用性の低下の関係を定量的に評価する手法を提案している。

3.2 変状連鎖図の改善

横棧橋、鋼矢板式係船岸、ケーソン式係船岸の主要な変状連鎖を図-3.4～3.6に示す。また、附帯設備等の変状の要因を表-3.1に示す。

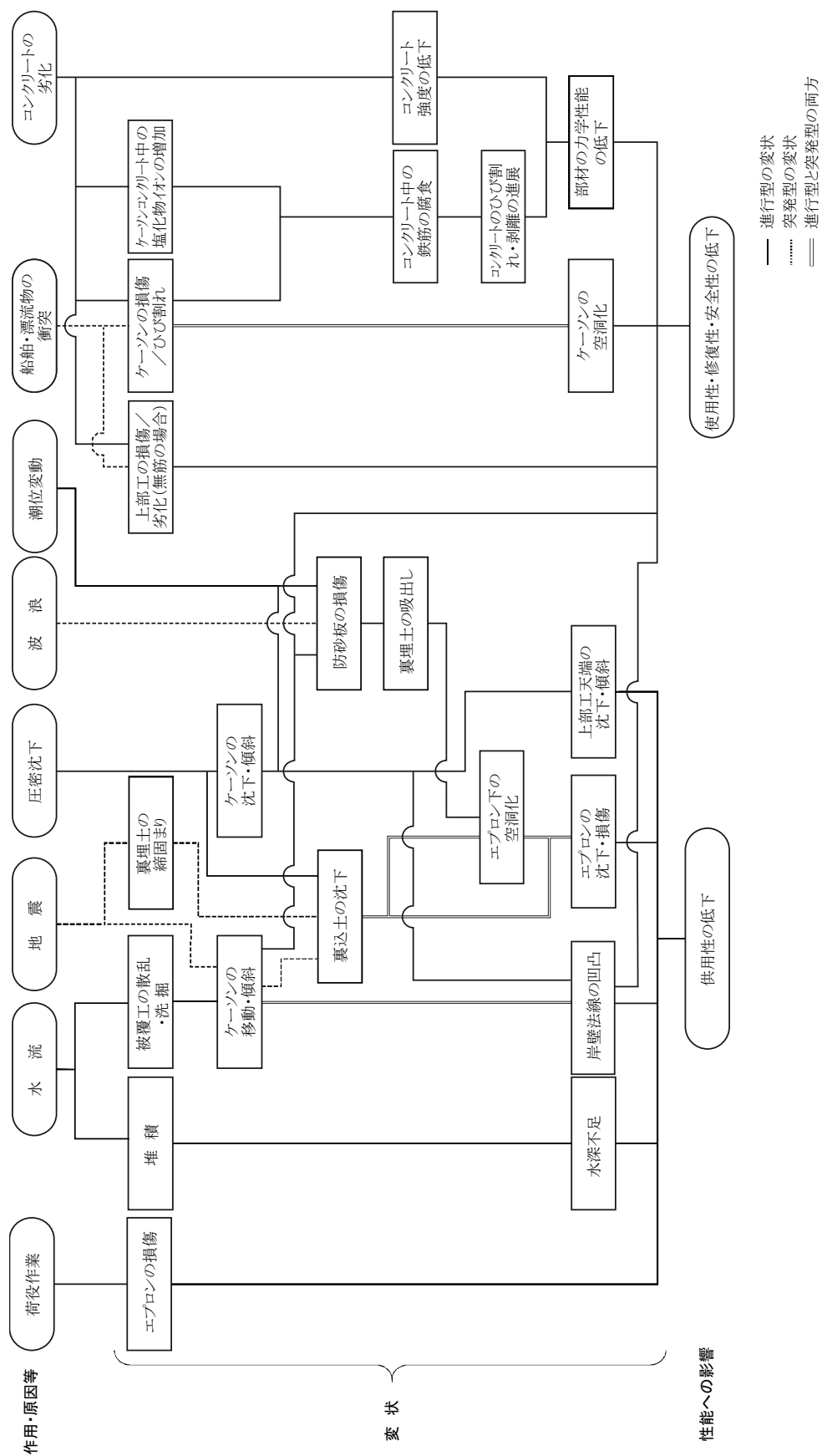


図-3.6 ケーソン式係船岸の主要な変状連鎖

表-3.1 附帯設備等の変状の要因

| | | 主要な作用・原因 | | | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|----|----|-------|
| | | 上載荷重・荷役作業 | 船舶・漂流物の衝突 | 地震 | 波浪 | 材料の劣化 |
| 附帯設備等 | 係船柱, 係船環 | — | ○ | — | — | ○ |
| | 防衝設備 | — | ○ | — | ○ | ○ |
| | 照明設備 | — | — | ○ | — | ○ |
| | 救命設備 | — | — | — | — | ○ |
| | 車止め | ○ | — | — | — | ○ |
| | 車両の乗降設備 | ○ | — | ○ | — | ○ |
| | 給水設備 | — | — | ○ | — | ○ |
| | 排水設備 | — | — | ○ | — | ○ |
| | 人の乗降設備 | — | ○ | ○ | — | ○ |
| | 柵, 扉, ロープ | — | — | — | — | ○ |
| | 監視設備 | — | — | ○ | — | ○ |
| | 標識等 | — | — | ○ | — | ○ |
| | エプロン | ○ | — | ○ | ○ | ○ |
| | 荷役機械の基礎 | ○ | — | ○ | — | ○ |

4. 変状連鎖に基づいた点検診断の項目と課題

4.1 変状連鎖と点検診断の項目の関係

港湾の施設の点検診断ガイドラインは、技術基準対象施設に必要とされる性能を適切に維持することを目的に、施設の管理者が実行可能な点検診断の方法、項目、頻度等の考え方を取りまとめたものである。ガイドラインでは、一般定期点検診断、詳細定期点検診断、点検診断項目の分類について、それぞれ下記のように定めている⁷⁾。

一般定期点検診断: 構造物の部材ごとに行うものであり、目視により変状を把握し、適切な基準により劣化度を判定することを標準とする。また、電気防食工を施している鋼部材については、電位測定を行うことを標準とする。一般定期点検診断を行うにあたっては、スケール、点検ハンマ、双眼鏡、クラックスケール等を使用するとよい。

詳細定期点検診断: 詳細定期点検診断は、潜水士等により水中部の変状を把握し、適切な基準により劣化度の判定を行うことを目的として実施する。その際、定量的なデータを得るため、機器等を用いた測定を行う場合がある。計測装置や非破壊試験機器等を用いる場合は、測定や試験の目的及びその結果の利用方法等を十分に理解した上で、適切に測定や試験項目を選定する必要がある。機器等を用いた場合には、取得したデータを分析することで、変状の原因やその進行の程度を推測できる。

点検診断項目の分類

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、本土工、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

II 類:【施設の性能に影響を及ぼす部材に対する点検診断の項目】

鋼部材の防食工等のように、その性能の低下により、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。

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。

図-4.1~4.3 に示した各構造形式の変状連鎖の着色部は、点検診断項目の分類 I 類および II 類のうち、現状の一般的な方法で点検診断が可能な変状を示している。図中に()で示す変状と、点検診断ガイドラインで示された点検診断項目の分類、点検診断の項目および点検方法は、表-4.1~3 のように整理でき、図-4.4~4.6 に示す部位・部材と対応している。

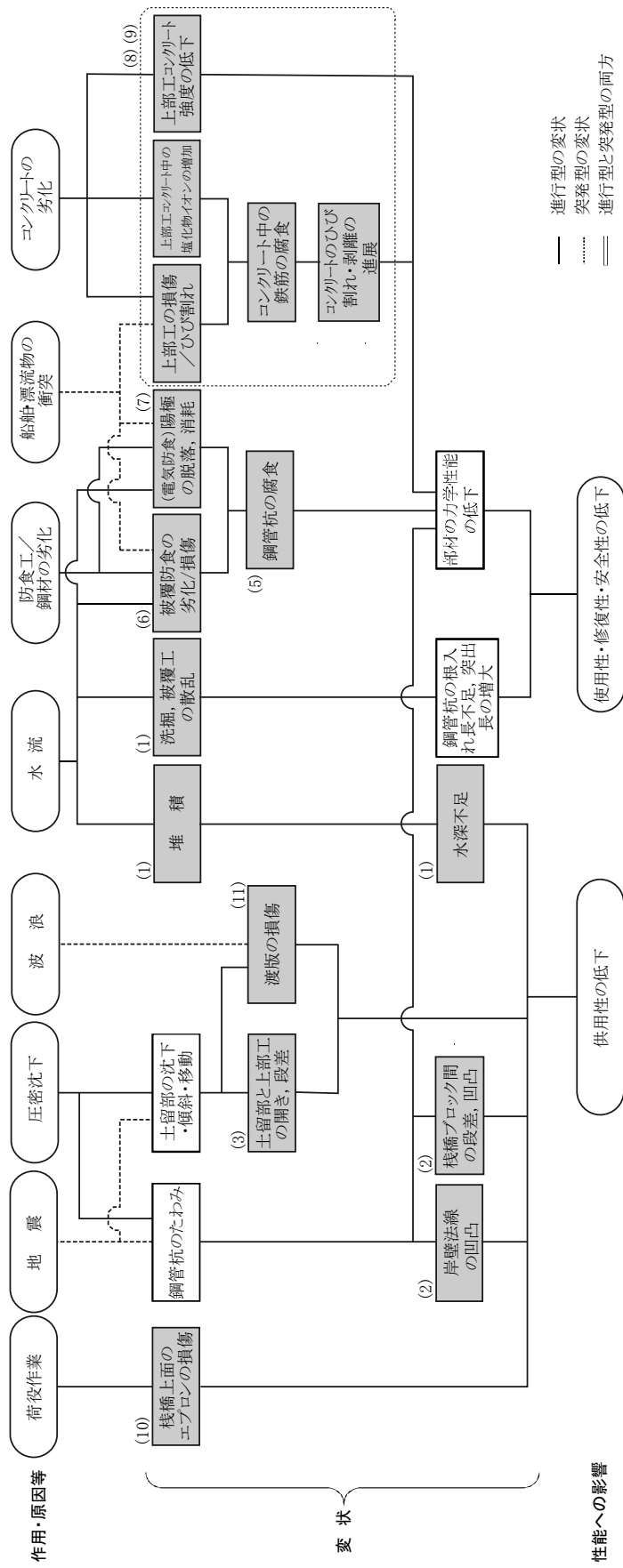


図-4.1 横栈橋の変状連鎖と点検診断項目
(土留め部の変状連鎖は、構造形式による)

表-4.1 横棧橋の点検診断の項目と点検方法

| No. | 分類 | 項目 | 一般定期点検診断 | | 詳細定期点検診断 | | |
|------|-----|--------------------|---|---|---------------|----------------------------------|---|
| | | | 点検診断の項目 | 点検方法 | 点検診断の項目 | 点検方法 | 必要に応じて選択する点検診断項目と点検方法 |
| (1) | I類 | 海底地盤 | — | — | 洗掘, 堆積 | 洗掘, 堆積 | 点検方法 水中部形状調査, 深淺測量等 |
| (2) | I類 | 棧橋法線 | 目視 移動量, 沈下量(隣接する上部工との比較) | — | — | — | — |
| (3) | I類 | 土留部背 後エプロン | 目視 段差(背後地との比較), 目地の開き | 目視 移動量, 沈下量(隣接する上部工との比較) | 目視 — | 電磁波レーダー 削孔による目視確認等 | 水準測量, 傾斜測量 |
| (4) | I類 | 土留部 | (土留め部の構造形式による) | — | — | — | — |
| (5) | I類 | 鋼管杭 | 鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 | 目視 開孔の有無, 表面の傷の状況 | 鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 | 潜水調査 開孔の有無, 表面の傷の状況 | 詳細調査 |
| (6) | II類 | 鋼管杭 | 被覆防食工(種類による) | 目視(船上) 被覆の劣化, 保護カバナー, ボルト, ナット等 | 被覆防食工(種類による) | 潜水調査 被覆の劣化, 保護カバナー, ボルト, ナット等 | 超音波厚み計 詳細調査 鋼材の腐食・露出, 被覆材の損傷, 保護カバナー等の状態 |
| (7) | II類 | 鋼管杭 | 電気防食工 (流電陽極方式の場合) | 電位測定 | 陽極 | 潜水調査 現存状況の確認(全数) | 電位測定 陽極 陽極消耗量測定 全体の3~5% 陽極電流測定 施設の両端, 中央部, 異常摩擦部 外観調査 テストピースの計量 |
| (8) | I類 | PC 上部工 (下面部) | コンクリートの劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れ, 錆汁の発生状況 | — | — | 詳細調査 ひび割れの発生方向, 本数, 長さ, 幅, 錆汁, かぶりの剥落, 鉄筋の腐食状況 |
| | II類 | RC 上部工 (下面部) | コンクリートの劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れの発生方向, 本数, 長さ, 幅, 錆汁, かぶりの剥落, 鉄筋の腐食状況 | — | — | 詳細調査 コンクリートの劣化, 損傷 かぶりの厚さ はつり, 電磁波レーダー等 自然電位測定 鉄筋の腐食状況 分極抵抗測定 コンクリートの分析 圧縮強度試験, 塩化物イオン含有量測定 |
| (9) | II類 | 上部工 (上・側面部) | コンクリートの劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れ, 剥離, 損傷, 鉄筋腐食, 劣化の兆候等 | — | — | (上部工(下面部)と同様) |
| (10) | II類 | エプロン | コンクリートまたはアスファルトの劣化, 損傷, 舗装等の段差, わだち割れ, ひび割れ | 目視 ひび割れ(ひび割れ度またはひび割れ率), 段差, わだち割れ | — | — | 詳細調査 |
| (11) | II類 | 渡版 | 本体の損傷, 塗装 | 目視 傷, 割れ, 塗装の状態, 移動 | — | — | — |
| (12) | I類 | 棧橋全体 | — | — | — | — | 移動距離測定, 水準測量, 傾斜計による測量等 |

表-4.2 鋼矢板式係船岸の点検診断の項目と点検方法

| No. | 分類 | 項目 | 一般定期点検診断 | | | | 詳細定期点検診断 | |
|-----|-----|----------|---|--------------------------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| | | | 点検診断の項目 | 点検方法 | 点検診断の項目 | 点検方法 | 点検診断の項目 | 点検方法 |
| (1) | I類 | 海底地盤 | — | — | 洗掘, 堆積 | 潜水調査 海底面の起伏 | 洗掘, 堆積 | 水中部形状調査, 深淺測量等 |
| (2) | I類 | 岸壁法線 | 凹凸, 出入り | 目視 移動量, 沈下量(隣接する上部工との比較) | — | — | — | — |
| (3) | I類 | エブロン | 沈下, 陥没 | 目視 段差(前後地との比較), 目地の開き | 吸出し, 空洞化 | 電磁波レーダ 削孔による目視確認等 | 沈下量(段差), 傾斜量 | 水準測量, 傾斜測量 |
| | | エブロン | コンクリートまたはアスファルトの劣化, 損傷, 舗装等の段差, わだち掘れ, ひび割れ | 目視 ひび割れ(ひび割れ度またはひび割れ率), 段差, わだち掘れ | — | — | コンクリートまたはアスファルトの劣化, 損傷 | 詳細調査 |
| (4) | I類 | 鋼矢板等 | 鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 | 目視 開孔の有無, 表面の傷の状況 | 鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 | 潜水調査 開孔の有無, 表面の傷の状況 | 鋼材の腐食, 亀裂, 損傷 | 詳細調査 超音波厚み計 |
| (5) | II類 | 鋼矢板等 | 被覆防食工(種類による) | 目視(船上) 被覆の劣化, 保護カバナー, ボルト, ナット等 | 被覆防食工(種類による) | 潜水調査 被覆の劣化, 保護カバナー, ボルト, ナット等 | 被覆防食工(種類による) | 詳細調査 鋼材の腐食・露出, 被覆材の損傷, 保護カバナー等の状態 |
| | | 鋼矢板等 | 電気防食工 (流電陽極方式の場合) | 電位測定 | 陽極 | 電位 | 電位測定 | 電位測定 |
| (7) | II類 | 上部工 | コンクリートの劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れ, 剝離, 損傷, 鉄筋腐食, 劣化の兆候等 | — | — | コンクリートの劣化, 損傷 かぶりの厚さ | 詳細調査 はつり, 電磁波レーダ等 |
| | | | | | | | コンクリートの分析 | 圧縮強度試験, 塩化物イオン含有量測定 |
| (8) | I類 | 矢板式係船岸全体 | — | — | — | — | 移動量, 沈下量, 傾斜量 | 移動距離測定, 水準測量 傾斜計による測量等 |

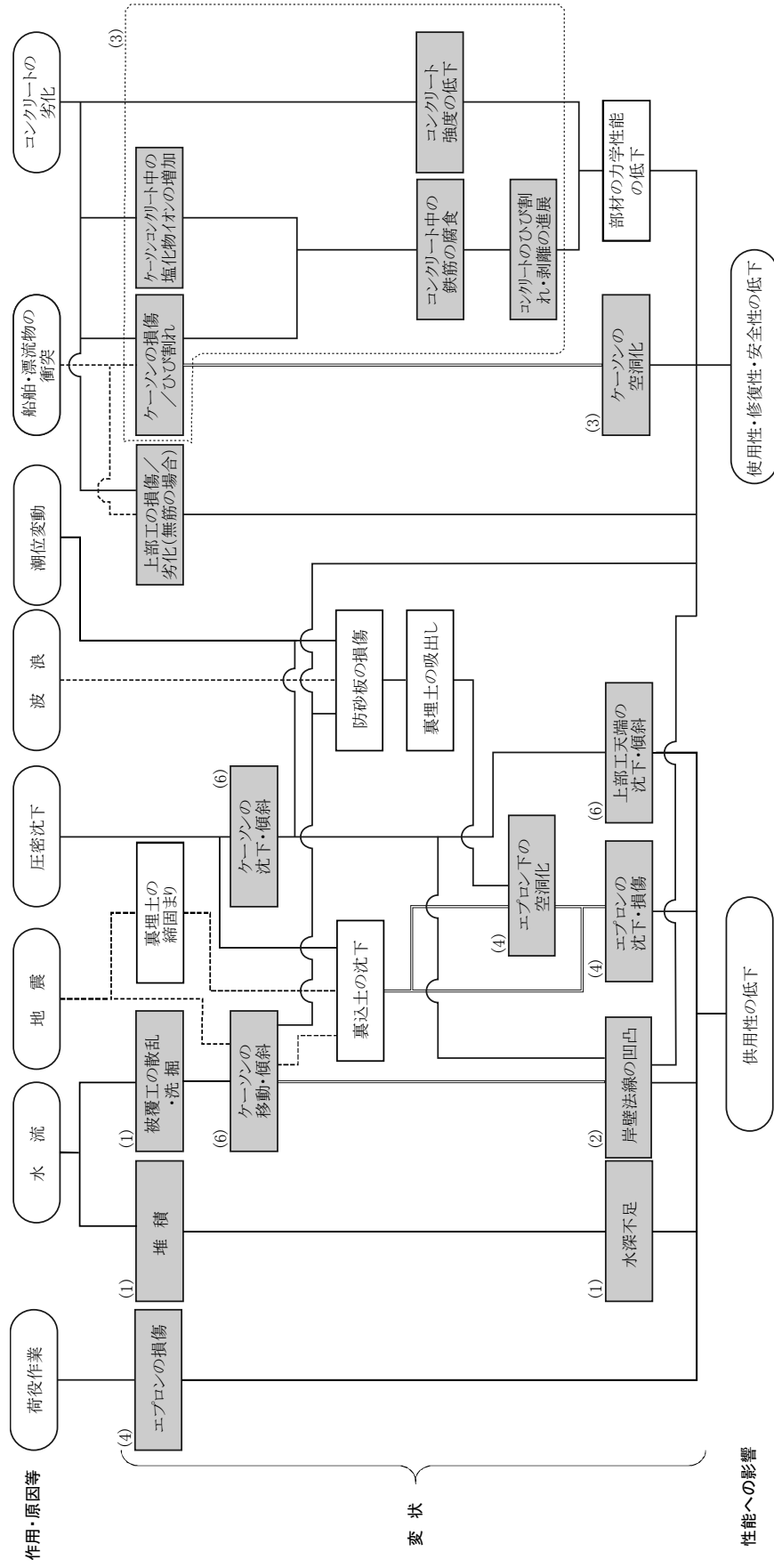


図-4.3 ケーソン式係船岸の変状連鎖と点検診断項目

表-4.3 ケーソン式係船岸の点検診断の項目と点検方法

| No. | 分類 | 項目 | 詳細定期点検診断 | | | | 詳細定期点検診断 | |
|-----|-----|------------|---|--|---------------|---|--|---|
| | | | 点検診断の項目 | 点検方法 | 点検診断の項目 | 点検方法 | 必要に応じて選択する点検診断項目と点検方法 | 点検方法 |
| (1) | I類 | 海底地盤 | — | — | 洗掘, 堆積 | 潜水調査 海底面の起伏, 洗掘, 堆積 被覆工の散乱 | 洗掘, 堆積 | 水中部形状調査, 深淺測量等 |
| (2) | I類 | 岸壁法線 | 凹凸, 出入り | 目視 移動量, 沈下量(隣接する上部工との比較) | — | — | — | — |
| (3) | I類 | ケーソン | 側壁の劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れ, 剝離, 損傷, 鉄筋腐食, 劣化の兆候等 | コンクリートの劣化, 損傷 | 潜水調査 ひび割れ, 剝離, 損傷, 欠損, 鉄筋の露出, 劣化の兆候等 | コンクリートの劣化, 損傷 かぶりの厚さ コンクリートの分析 ケーソンの空洞化 | 詳細調査 はつり, 電磁波レーダ等 圧縮強度試験, 塩化物イオン含有量測定 上部工の削孔による目視確認等 |
| (4) | I類 | エプロン | 沈下, 陥没 | 目視 段差(背後地との比較), 目地の開き | 吸出し, 空洞化 | 電磁波レーダ 削孔による目視確認等 | 沈下量(段差), 傾斜量 | 水準測量, 傾斜測量 |
| (5) | II類 | エプロン | コンクリートまたはアスファルトの劣化, 損傷, 舗装等の段差, わだち掘れ, ひび割れ | 目視 ひび割れ(ひび割れ度またはひび割れ率), 段差, わだち掘れ | — | — | コンクリートまたはアスファルトの劣化, 損傷 | 詳細調査 |
| | | 上部工 | コンクリートの劣化, 損傷 | 目視(船上) ひび割れ, 剝離, 損傷, 鉄筋腐食, 劣化の兆候, 欠損等 | — | — | コンクリートの劣化, 損傷 かぶりの厚さ コンクリートの分析 | 詳細調査 はつり, 電磁波レーダ等 圧縮強度試験, 塩化物イオン含有量測定 |
| (6) | I類 | ケーソン式係船岸全体 | — | — | — | — | 移動量, 沈下量, 傾斜量 | 移動距離測定, 水準測量, 傾斜計による測量等 |

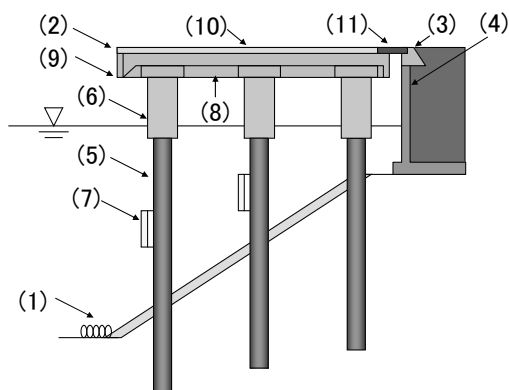


図-4.4 点検診断項目と部位・部材の対応（横栈橋）

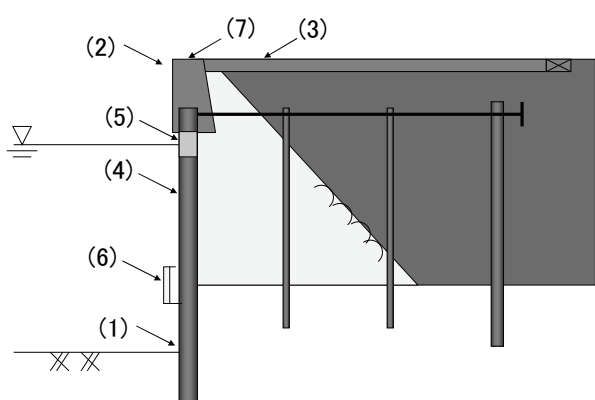


図-4.5 点検診断項目と部位・部材の対応
（鋼矢板式係船岸）

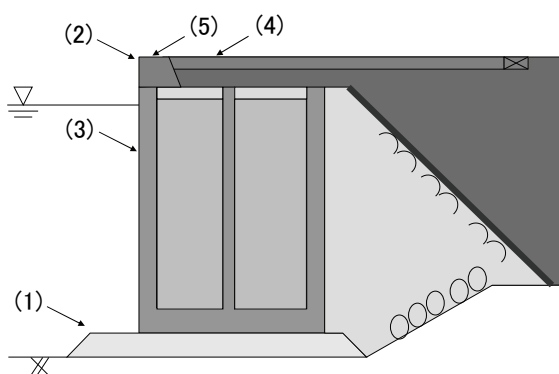


図-4.6 点検診断項目と部位・部材の対応
（ケーソン式係船岸）

4.2 変状連鎖に基づいた点検診断の課題

4.1 で示した変状と点検診断の項目の関係から、係留施設の点検診断について、2つの課題が明らかになった。

ひとつ目は、現状の点検診断において、目視調査を適

用せざるを得ない変状が多いことである。特に、船上からの目視が必要とされる点検診断項目については、調査の実施が気象・海象条件や施設の利用状況に左右されるといった問題がある。また、従来から指摘されているように、目視調査による点検診断では、調査者の主観に依存する部分が多く、構造物・部材の変状を客観的に診断することは難しい。

この対応として、現在、目視調査の効率化を図るためのマルチコプタの利用検討や^{例えば、13)}、海上または海中部の調査機器の開発^{14)、15)}が進められている。また、データの客観性を確保するためのセンサや^{16)、17)}、センサ等のデータを遠隔地からモニタリングするシステム^{18)、19)}についても、その活用が期待される場所である。さらに、栈橋および鋼矢板式係船岸の鋼部材の肉厚測定効率化を可能とする機器の開発や²⁰⁾、計測機器の現場適用も検討されているところである^{21)、22)}。また、文献²³⁾では、目視調査のみならず機器等を用いた詳細調査の実施の省力化を可能とする、点検歩廊や点検孔等、設計時の維持管理上への配慮事例が紹介されている。

ふたつ目は、**図-4.1~4.3**の無着色の変状が示すとおり、現状では点検手法が存在しない変状あるいは部位・部材があることである。無着色部は、鋼矢板式係船岸およびケーソン式係船岸の地中部および海中部にある不可視部材に多い。大規模な掘削調査により変状を目視調査で確認できる部材もあるが、施設の利用調整や調査に係る費用の観点から、調査の実施はきわめて難しい。現状では、既設の係留施設に対しては、可能な限り変状連鎖の上流側で変状の発生を把握し、変状の進行を食い止めるための適切な事前対策を実施する以外の対応はないものと考えられる。今後、設計・施工される係留施設については、部位・部材に設定した維持管理レベルが合理的に実現されるよう設計がなされていること、また、設定した維持管理レベルに対応した点検診断が円滑に実施されるよう、設計時から施工および維持管理への適切な配慮がなされる必要がある。

5. まとめ

本論では、変状の発生が横栈橋、鋼矢板式係船岸、ケーソン式係船岸に要求される性能の低下へと繋がっていく過程を、予防保全的な観点から整理した変状連鎖図として提案した。また、各構造形式の変状連鎖と現状の点検診断項目の関係について整理し、点検診断の課題についてとりまとめた。

6. おわりに

現在、港湾構造物を含む社会基盤構造物の点検診断に関して、開発された各種調査技術の維持管理の現場での活用を支援するサイトが開発されているほか²⁴⁾、国や民間等の研究機関、大学等、さまざまな機関で点検診断に関する新技術の開発が行われている状況である^{例えば、25)}。これらの技術開発により、今後、社会基盤構造物の保有性能の評価や性能低下予測に資する点検データが効率的に得られることや、構造物中の不可視部材の点検診断が容易となることが期待される。

ただし、これらの調査技術や点検診断技術を港湾構造物で活用する際には、対象とする構造形式への適用性や技術の妥当性、得られる結果の精度等を十分に検討することが必要不可欠である。なお、技術基準対象施設の維持管理にあたっては、維持管理に関する専門的知識及び技術または技能を有する専門技術者の関与が求められる²⁶⁾。新たな点検診断技術の適用性や妥当性等の検討に専門技術者が関与することが、より効率的かつ効果的な港湾構造物の点検診断の推進に繋がるものと期待される。

(2016年8月26日受付)

謝 辞

本論は、海洋・港湾構造物維持管理士会、(一財)沿岸技術研究センター、港湾空港技術研究所ライフサイクルマネジメント支援センターの三者の連携・協力協定のものととりまとめたものである。ここに記し、関係各位に心より感謝申し上げます。

なお、本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人：JST)によって実施した。

参考文献

- 1) 柳生忠彦, 村田利治, 上田寛: 港湾構造物の変状現象点検手法, 港湾技研資料, No. 409, 1982.
- 2) 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: 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. (内部資料)
- 3) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1989.
- 4) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 5) 港湾技術研究所編著: 港湾構造物の維持・補修マニュアル, 1999.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 港湾施設の集中点検結果について, http://www.mlit.go.jp/report/press/port5_hh_000061.html, 2013.12.
- 9) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- 10) 佐藤徹, 加藤絵万, 川端雄一郎, 岡崎慎一郎: 港湾施設の空洞化調査に関する報告, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, p.L-552-L-557, 2014.
- 11) 沿岸技術研究センター: 港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル (2009年版), 沿岸技術ライブラリーNo. 35, 2009.
- 12) 加藤絵万, 川端雄一郎, 岩波光保: 実態調査に基づく係留施設の機能低下評価手法の提案, 土木学会論文集F4, Vol. 68, No. 3, pp.220-233, 2012.
- 13) 野上周嗣, 山本幸治, 加藤絵万, 田中豊: マルチコプターを利用した港湾施設・海岸保全施設の点検に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1325, 2016.
- 14) 田中敏成, 加藤絵万, 野上周嗣, 平林丈嗣: 栈橋上部工点検用 ROV の提案と現場実証試験によるその運用支援機能の検証, 港湾空港技術研究所資料, No. 1303, 2015.
- 15) 五十嵐匡, 国島英樹, 柳沢雄二, 長瀬禎, 大西明夫: コンクリート構造物水中部劣化診断システムの開発, 寒地土木研究所月報, No.687, pp.30-38, 2010.
- 16) 岡崎慎一郎, 加藤絵万, 川端雄一郎, 岩波光保: 埋設型センサによる栈橋上部工RC部材の鉄筋腐食モニタリングに関する研究, 港湾空港技術研究所資料, No. 1294, 2014.
- 17) 加藤絵万, 山本幸治, 川端雄一郎, 岩波光保: 港湾構造物のヘルスマニタリングの導入に関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No. 1307, 2015.
- 18) 網野貴彦, 園部了, 羽瀧貴士: コンクリート構造物の維持管理支援システム「SAMSWING」, 電力土木, No.322, pp.104-107, 2006.
- 19) 網野貴彦, 川島仁, 羽瀧貴士: 電気防食工法の維持管理支援システムと栈橋上部工PC桁への適用, 電力土木, No.332, pp.77-81, 2007.
- 20) 白井一洋, 平林丈嗣, 松本さゆり: 超音波非接触式肉厚測定装置の計測精度向上と現地試験, 港湾空港技術研究所資料, No. 1311, 2015.
- 21) 秋山哲治, 森晴夫: 非接触型の渦流探傷装置と超音波厚み計による岸壁鋼矢板肉厚測定での適用性比較, 土木学会第70回年次学術講演会, VI-117, 2015.

- 22) 野上周嗣, 加藤絵万, 白井一洋, 田中敏成, 虻川和紀: 超音波非接触式肉厚測定装置による港湾鋼構造部材の肉厚測定に関する検討, 土木学会第71回年次学術講演会, II-183, 2015.
- 23) 岩波光保, 加藤絵万, 川端雄一郎: 維持管理を考慮した栈橋の設計手法の提案, 港湾空港技術研究所資料, No. 1268, 2013.
- 24) NETIS維持管理支援サイト, <http://www.m-netis.mlit.go.jp/>
- 25) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/7_infura.pdf
- 26) 技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示の一部を改正する告示 (国土交通省告示第三百九十四号, 平成26年3月28日)

港湾空港技術研究所資料 No.1328

2016. 12

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 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 © (2016) by MPAT

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

この資料は、海上・港湾・航空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、複写は海上・港湾・航空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。