

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1268 March 2013

維持管理を考慮した栈橋の設計手法の提案

岩波 光保
加藤 絵万
川端雄一郎

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 設計時における維持管理の考慮の重要性	4
3. 研究の方法	5
3.1 港湾施設戦略的維持管理推進技術ワーキンググループの概要	5
3.2 栈橋の設計時における維持管理の位置付け	5
3.3 各構成部材に対する検討	6
3.4 維持管理の省力化に配慮した構造形式・構造細目	7
4. まとめ	7
5. あとがき	8
謝辞	8
参考文献	9
付録	9

Development of Structural Design Method of Piers Considering Maintenance Strategy

Mitsuyasu IWANAMI *

Ema KATO **

Yuichiro KAWABATA **

Synopsis

While almost all port and harbor facilities are designed to be in service for a period of 50 years or longer, it is not easy to maintain the required serviceability of the facilities such a long period of time under severe environments. Therefore, a maintenance plan should be prepared in advance so as to satisfy the performance requirements of the facilities during the service period. To ensure efficient and rational maintenance based on the life cycle management (LCM) concept, an appropriate maintenance strategy should be explicitly selected for constituent members at initial design stage. If a facility does not have sufficient durability in its design or construction, it is necessary to apply a high level of maintenance, resulting in increased maintenance cost. In order to achieve strategic maintenance based on the LCM concept, a maintenance plan should be formulated considering the appropriate maintenance strategies. 3 types of maintenance strategies are defined in the “Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan” published in 2007. In this study, a method to reflect the selected maintenance strategies into structural design was proposed for piers

Key Words: pier, life cycle management, maintenance plan, maintenance strategy

* Head, Structural Mechanics Division, Structural Engineering Department

** Senior Researcher, Structural Mechanics Division, Structural Engineering Department
3-1-1, Nagase, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan

Phone : +81-(0)46-844-5059 Fax : +81-(0)46-844-0255 E-mail: iwanami@pari.go.jp

維持管理を考慮した栈橋の設計手法の提案

岩波 光保*・加藤 絵万**・川端 雄一郎**

要 旨

平成 19 年 4 月に改正された港湾の施設の技術上の基準を定める省令により、施設の計画・設計・施工の時点から維持管理の合理化・省力化に配慮し、施設が保有すべき当初の性能レベルを付与することが明確にされた。施設の設計時点で施設にどのような性能を付与するかは、将来その施設をどのような維持管理を行って性能を確保していくかということに大いに関係する。しかし、維持管理の合理化・省力化に配慮した部材設計手法や、当初性能の付与とそれに基づいた適切な維持管理の方法について、これまで体系的に取りまとめたものはない。また、施設の設計時に部材毎に定める維持管理レベルの具体的な設定方法や設定された維持管理レベルを全うするための具体的な方法が示されたものはない。

そこで、本研究では、港湾施設のうち、維持管理に関する課題が多い栈橋を対象として、維持管理の合理化・省力化を考慮した構造設計手法を構築することを目的とした。具体的には、上部工および下部工の設計におけるライフサイクルマネジメント (LCM) の配慮に関する基本的な考え方 (維持管理レベル) について既存の技術的知見を整理し、設計へ反映する方法を検討した。また、これらをベースとして、LCM に配慮した栈橋の設計手法をマニュアルとしてとりまとめた。

キーワード：栈橋，ライフサイクルマネジメント (LCM)，維持管理計画，維持管理レベル

* 構造研究領域長

** 構造研究領域 構造研究チーム 主任研究官

〒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: iwanami@pari.go.jp

1. まえがき

港湾には、多くの土木構造物が建設され、それぞれが所要の機能を発揮しているが、これらが置かれる環境は極めて苛酷である。海水の作用により、鋼構造物の鋼材腐食や鉄筋コンクリート構造物の塩害が不可避であるだけでなく、作用する荷重レベルも大きく、かつ、ばらつきも大きい。防波堤ケーソンの穴あき事例のように、偶発荷重による構造物の損傷が発生しやすい。このような苛酷な環境下にある港湾施設の安全性を確保し、その機能を如何なく発揮させるためには、適切な維持管理が重要であることは言うまでもないが、施設の計画・設計時点から劣化や損傷といった変状の発生・進行による構造物の性能低下を直接的に考慮しておくことが望ましく、施工時においても必要な配慮が必要である。

港湾施設の戦略的維持管理の第一歩は、点検診断や維持補修といった維持管理に関する行為を計画的かつ継続的に実施していくことである。平成19年4月に施行された港湾の施設の技術上の基準を定める省令¹⁾によれば、技術基準対象施設については施設の設計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とされている。これは、施設の計画・設計・施工の時点から、供用開始後の維持管理の合理化・省力化に配慮しつつ、施設が保有すべき当初の性能レベルを付与し、性能レベルに応じた維持管理を確実に実現することを目的としたためである。

また、前述の省令では、維持管理計画は、当該構造物の管理者ではなく、設置者が定めることが標準とされた。これは、性能レベルに応じた維持管理には、設置者が主体的な役割を果たすべきであるという考えに基づいたものである。国有港湾施設の場合、施設の設置者と管理者が異なることが多い。施設の管理者は、そもそもその施設がどのような考え方で設計され、どのように施工されたのかを把握しておかなければ、施設に要求される性能の確保を目的とした維持管理は実現できない。したがって、施設の管理委託の際には、当初設計で部位・部材に付与した性能レベルと、それを保持するために必要な維持管理計画が、施設の設置者から管理者に引き継がなければならない。

施設の設計時点で構造物にどのような性能を付与するかは、部位・部材にどのような性能を付与し将来それをどのように保持していくかということに大いに関係する。したがって、設計段階には設計のみを、維持管理段階には維持管理のみをそれぞれ独立に考えることは得策ではない。つまり、非常に耐久性の高い材料を用いた施

設では、そのことを考慮した維持管理の方法が求められ、初期建設費の低減を目的として耐久性が必ずしも高くない施設を建設した場合には、維持管理に要する費用の増加や様々なリスクを考慮した維持管理計画が必要となる。

また、港湾施設の維持管理を行おうとした場合でも、施設を構成する構造物のほとんどが海中や土中に没しており、点検や補修が容易に行える環境にないことが特徴の1つである。土木構造物の維持管理の第一歩である目視調査をとってみても、港湾施設の場合、目視可能な部分は施設のごく一部分に過ぎない。また、沖合にある第一線防波堤のような施設では、船舶を利用しなければアクセスできないだけでなく、波浪や潮汐などの海象条件の制約から点検診断の実施が困難なことがある。したがって、施設の計画・設計時点から供用開始後の維持管理について省力化や合理化のための配慮を施しておくことが望ましい。

2. 設計時における維持管理の考慮の重要性

前述のとおり、施設の設計時点で施設にどのような性能を付与するかは、将来その施設の性能をどのような維持管理行為により確保していくかということに大いに関係する。しかし、維持管理の合理化・省力化に配慮した部材設計手法や、当初性能の付与とそれに基づいた適切な維持管理の方法について、これまで体系的に取りまとめたものはない。

2007年に施行された港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示¹⁾において、施設の設計と維持管理のリンクについて、「技術基準対象施設の設計に当たっては、施工及び維持を適切に行えるよう、必要な措置を講ずるものとする。」と規定されている。また、同年に発行された「港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾」においても、「効率的な維持管理を行うためには、構造物の設計・施工時において点検・調査方法、補修方法等をあらかじめ想定し、維持管理が容易に行えるように配慮することが望ましい。」と規定されている。これを具現化するための基本的な考え方として、維持管理レベルが導入されている。維持管理レベルは、レベルⅠ、レベルⅡおよびレベルⅢの3段階があり、表-1のように定義されている。維持管理レベルの設定にあたっては、当該施設の設置目的、供用期間及び要求性能を踏まえて、自然環境条件や利用条件といった当該施設を取り巻く諸条件、施設の構造形式やこれを構成する部材の構造特性等、使用材料の種類や品質等から、当該施設の有する性能の経時変化を予測して設定する。つまり、維持管理レベルは本来、施

表-1 維持管理レベルの定義

分類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベルⅠ (事前対策型)	高い水準の損傷劣化対策をあらかじめ行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベルⅡ (予防保全型)	損傷劣化が軽微な段階で、比較的小規模な対策を繰り返し行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベルⅢ (事後保全型)	要求性能が満たされる範囲内である程度の損傷劣化を許容し、設計供用期間に1~2回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

設全体に対して設定されるものであるが、施設全体の性能の経時変化を予測することが難しい場合やすべての部材や附属設備等に対して同一の維持管理レベルを設定することが合理的でない場合がほとんどである。したがって、当該施設を構成する部材の保有性能の経時変化に関する検討を実施し、この結果に加えて、点検診断及び維持工事等の難易度、当該施設の重要度等についても勘案しながら、当該施設全体としての維持管理のシナリオを描きつつ、施設を構成する部材ごとに適切な維持管理レベルを設定する。しかし、維持管理レベルの具体的な設定方法や設定された維持管理レベルを全うするための具体的な方法は示されていない。

そこで、本研究では、一般に供用開始後の維持管理に関する課題が多い栈橋を対象として、施設設計時に維持管理を考慮するための手法を提案した。具体的には、施設の計画～設計～施工～維持管理を一貫して検討するための概念であるライフサイクルマネジメント (LCM) の概念を栈橋の設計に取り込むための手法について検討を行い、既存の技術的知見を整理し設計へ反映する方法をマニュアルとして取りまとめた。本マニュアルは、新設の栈橋の設計を対象として取りまとめており、既存栈橋の改良等は基本的に対象としていない。ただし、本マニュアルの基本的な考え方は既存施設の改良にも適用できるため、本マニュアルの主旨を十分理解した上であれば、必要に応じて本マニュアルを準用することができる。

3. 研究の方法

3.1 港湾施設戦略的維持管理推進技術ワーキンググループの概要

港湾の施設の技術上の基準の改正により、維持管理計画等の策定、ならびに、維持管理計画に基づいた戦略的維持管理の実施が求められるようになった。今後、施設毎の維持管理計画書の作成 (新設・既設)、維持管理段階

での定期点検、施設の性能評価、ライフサイクルコスト評価に基づく対策の選定といった LCM の各段階において、各種の課題が発生すること考えられ、これらの技術的な課題に対して速やかにかつ適切に対応することが強く望まれた。

このような戦略的維持管理の推進にあたっての喫緊の課題に対して対応するとともに、各課題への対応について個別施設ごとの問題点等を議論し、技術上の課題を解決するため、平成 20 年度に港湾施設戦略的維持管理推進技術ワーキンググループが設置された。本ワーキンググループにおける検討課題は次のとおりである。

- ① 戦略的維持管理の推進に資する個別課題への技術的対応
- ② 「維持管理技術マニュアル」や「維持管理計画書作成の手引き」の適用・運用における課題の抽出・対応
- ③ 維持管理を考慮した設計マニュアル (案) の作成
- ④ 維持管理を考慮した設計事例の収集整理

本稿は、このうち、③に関する成果をとりまとめたものである。

3.2 栈橋の設計時における維持管理の位置付け

図-1 に、栈橋の設計を行う際の検討フローを示す。設計においては、施設の安全性、使用性、修復性などについて検討を行い、要求性能に対して照査を行うが、もともと厳しい塩害環境下に晒される栈橋では、設計供用期間中の性能低下が避けられないこともあり、維持管理の省力化・合理化への配慮が不可欠である。したがって、設計の作業に入る前に、当該栈橋に対する維持管理方針について十分に検討を行った上で、それを与条件として取りまとめておく必要がある。ここでの維持管理方針は、施設の重要度や代替性、想定される利用状況、維持管理に充てられる予算、維持管理の実施体制などを踏まえて、当該栈橋を予防保全型の維持管理を行っていくのか、事

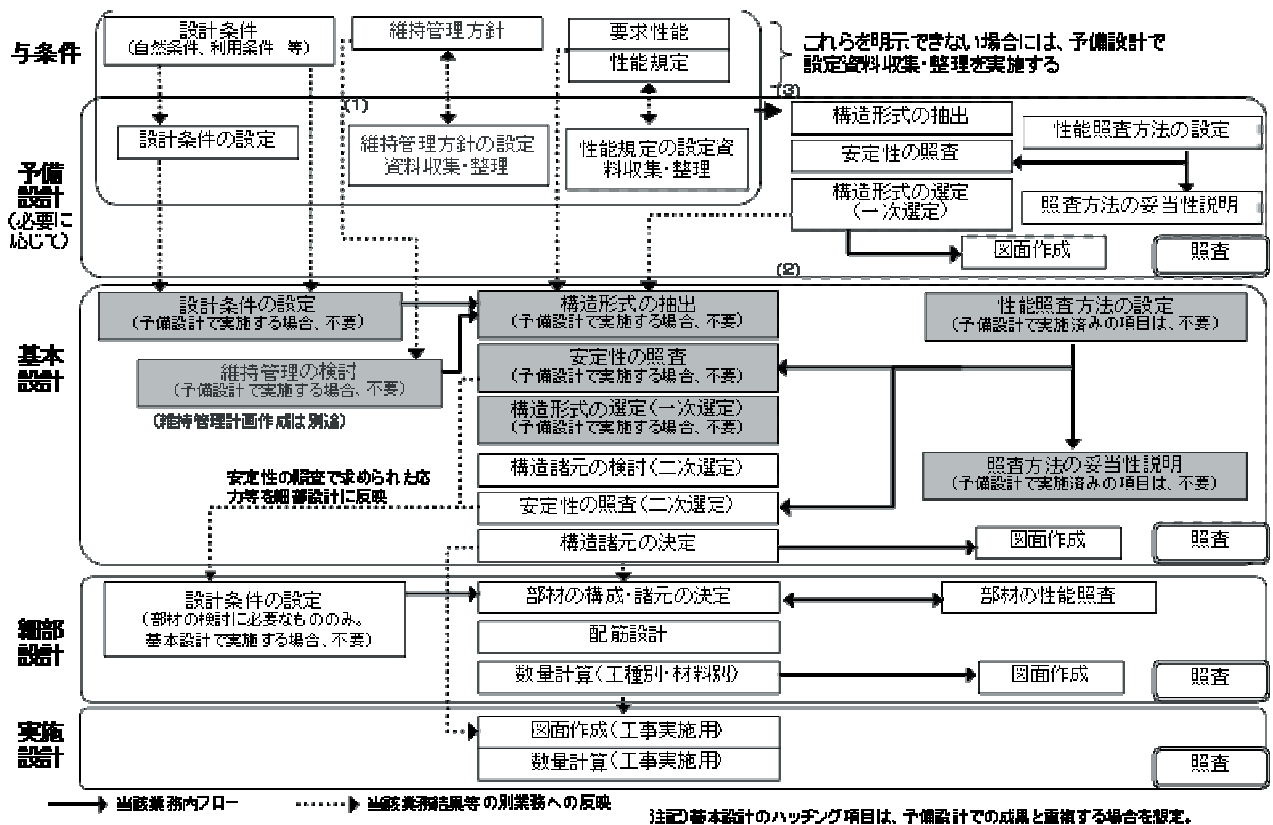


図-1 栈橋の設計フロー

後保全型の維持管理を行っていくのかといった維持管理に対する基本的な考え方を整理したもので、これを施設の構成部材ごとに維持管理レベル(表-1 参照)として表現しておくことが望ましい。

3.3 各構成部材に対する検討

(1) 上部工

栈橋の上部工は一般にコンクリート構造であり、海水面から非常に近い位置にあるので、海水中に含まれる塩化物イオンによる塩害が生じやすい。上部工のコンクリート部材の設計においては、断面破壊や疲労破壊などの終局限界状態、ひび割れ幅やたわみなどを指標とした使用限界状態などに対する照査だけでなく、塩害の発生・進行による部材の性能の経時変化に対する抵抗性についても適切に確認する必要がある。本来であれば、塩害による劣化や損傷等の変状に伴う部材の性能の経時変化を直接的に評価し、要求性能の照査に反映すべきであるが、現状の技術レベルでは難しいので、性能低下を生じさせる変状の発生を抑えることで、間接的に性能の経時変化を照査することとしている。本研究では、このた

めの方法を、より具体的に示すことを目的とした。すなわち、上部工においてコンクリート中の鉄筋腐食が生じなければ、構造性能に変化はないものと仮定して、従来通りの性能照査が可能となると考えている。

なお、一般の栈橋では、床版よりもはりの方が腐食環境が厳しいため、維持管理を考慮した上部工の設計にあたっては、床版よりもはりの維持管理レベルをより高度なレベルに設定する方法もある。例えば、後述するリプレイサブル栈橋上部工は、はりの維持管理レベルはⅠもしくはⅡとして、床版の維持管理レベルはⅢを設定することを前提とした工法である。しかし、リプレイサブル栈橋上部工や PC 栈橋のように、はりと床版を別々に施工する場合以外では、両者のコンクリートは一体的に打設されるため、はりと床版の維持管理レベルを変えることは必ずしも合理的でない。そこで、ここでははりと床版は区別せず、一般的な RC としての維持管理レベルを考慮した設計手法について解説した。

今後新設される栈橋については、予防保全的な維持管理を行うことを前提とするため、上部工に対して設定される維持管理レベルはⅠあるいはⅡとなる。

維持管理レベルⅠを設定した栈橋の上部工においては、かぶりやコンクリートの水セメント比を適切に選択することで、設計供用期間中に鉄筋の腐食が発生しないことを設計時点で確認しておく必要がある。かぶりや水セメント比の選択が鉄筋腐食発生時期に及ぼす影響については、Fickの拡散則に基づいてコンクリート中の塩化物イオンの侵入予測の計算を行う必要があるが、本研究ではこの計算に代わるノモグラフを作成した。なお、かぶりや水セメント比の選択によって設計供用期間中に鉄筋腐食が発生しないようにすることができない場合には、エポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋といった高耐久鉄筋の使用、高耐久性埋設型枠の使用、電気防食の適用などを検討しなければならない。具体的にどのような対策を取るかについては、ライフサイクルコストや施工性などを考慮して決定する必要がある。付録に示した「維持管理を考慮した栈橋の設計マニュアル(案)」では、これらの事前対策を施した栈橋の設計・施工事例を紹介している。

維持管理レベルⅡを設定した栈橋の上部工においては、Fickの拡散則に基づいてコンクリート中の塩化物イオンの侵入予測の計算を行って、鉄筋腐食発生時期を予測することで、供用開始後の維持補修計画を立案し、維持管理計画に反映させる。この予測のための計算を行う際に、上記のノモグラフを利用することで、必要なかぶりやコンクリートの水セメント比の目安を得ることができるため、設計時点における上部工の性能の経時変化に関する検討を省力化することができる。

(2) 下部工

栈橋の下部工は一般に鋼管構造であり、海水の作用による鋼材の腐食が避けられない。上部工と同様に、下部工においても、鋼材の腐食が生じなければ、構造性能に変化はないものと仮定して、従来通りの性能照査を行うこととしている。このために、港湾施設においては、電気防食と被覆防食の併用により鋼材の腐食を防止することを原則としている。したがって、設計時点では、どのような仕様の防食を施すのかを、当該下部工に対して設定された維持管理レベルに応じて選択する必要がある。

(3) その他の部材

栈橋において上部工や下部工以外の部材についても、栈橋の係留施設としての機能をいかに発揮させるためには、適切に維持管理しなければならない。具体的には、エプロン、防舷材や車止めといった附帯設備、給排水設備などである。維持管理の実際においては、これらの維持管理に費やす費用が問題なることも多いことから、施設の設計時点において、これらの附帯設備等の維持管

理が容易に行えるよう配慮しておくことが望ましい。例えば、定期的な交換を予定している場合には、交換作業が容易となるように配置や取付け方法を採用したり、供用開始後の維持管理が行いにくい箇所に設置される場合には、あらかじめ高耐久な材料・仕様を選択したりすることが考えられる。

3.4 維持管理の省力化に配慮した構造形式・構造細目

栈橋では部材の大部分が海水中あるいは飛沫帯に位置している。このため、供用期間中の点検診断が確実に実施できるよう、また、維持管理が容易に行えるよう、施設の設計段階からあらかじめ構造形式や構造細目を検討しておくことが有効である。例えば、

- ・点検孔や点検足場・歩廊などの設置
- ・モニタリングのためのセンサの設置⁴⁾
- ・補修等の対策を行うことが計画されている場合に、対策が容易に行えるような処置
- ・交換が必要な部材等で、交換作業が容易に行えるような処置

などが考えられる。

近年、施設の設計・施工の段階から維持管理に配慮した栈橋上部工の構造形式として、床版部分をプレキャスト化することで、供用中の床版の取り外しおよび交換ができる構造形式(リプレイサブル栈橋上部工)も提案されている⁵⁾。

4. まとめ

本研究では、LCMの概念を取り込んだ栈橋の設計手法を構築し、「維持管理を考慮した栈橋の設計マニュアル(案)」としてとりまとめた(付録)。さらに、同マニュアルの参考資料として、維持管理の合理化・省力化を目的とした部材の構造細目や仕様に関する事例をとりまとめた。

本研究の成果を踏まえて、維持管理レベルを適切に設定し、それに応じた設計が適切に行われることにより、設計と維持管理の両方で、設計供用期間中にわたって要求性能を満足させることができる。また、設計が適切に行われることに加えて、港湾施設の維持管理を効率的に行うためには、施設の設計時において点検・調査方法や補修方法をあらかじめ想定し、これらの作業が容易に行えるよう配慮しておくことが望ましい。港湾施設は部材の大部分が海水中あるいは飛沫帯に位置している。このため、供用期間中の点検診断が確実に実施できるよう、

また、維持管理が容易に行えるよう、施設の計画・設計段階からあらかじめ構造形式や構造細目を検討しておくことが有効である。施設の建設時に変状モニタリング用のセンサを埋設しておけば、供用開始後の維持管理において船上からの目視や足場の設置といったコストや労力のかかる作業を省略することができる。他にも、栈橋上部工コンクリートを対象とした工夫として、点検孔や点検足場などの設置が挙げられる。

5. あとがき

本稿で示した「維持管理を考慮した栈橋の設計マニュアル(案)」は、港湾施設戦略的維持管理推進技術ワーキンググループにおける検討の成果の一部である。今後、検討すべき事項としては、維持管理に配慮した構造設計に不可欠な部材の保有性能評価・予測手法の確立、ライフサイクルコスト試算に基づいた維持管理計画の策定手法の確立、また、それらを港湾の施設の維持管理計画策定の手引き³⁾、ならびに港湾の施設の維持管理技術マニュアル²⁾へ反映する方法、など多数残される。

本研究では、栈橋の設計時における維持管理の考慮方法として、特に、これまで具体的に示されたことが無かった栈橋の維持管理レベルの設定方法や、設定された維持管理レベルを全うするための施設設計および維持管理の具体的な方法を示した点で、今後の港湾施設の戦略的維持管理の実現に大きく寄与するものであると考えている。

(2012年11月9日受付)

謝 辞

港湾施設戦略的維持管理推進技術ワーキンググループ(平成20～24年度)のメンバーおよび関係各位に深く感謝の意を表す。以下に同ワーキンググループのメンバー構成を示す(敬称略)。

○平成20年度：

座 長：横田 弘 (港湾空港技術研究所)
座長補佐：岩波光保 (港湾空港技術研究所)
メンバー：加藤絵万 (港湾空港技術研究所)

○平成21年度：

座 長：北詰昌樹 (港湾空港技術研究所)
座長補佐：岩波光保 (港湾空港技術研究所)
メンバー：阿部勝彦 (北海道開発局)
多田和正 (関東地方整備局)

白崎正浩 (中部地方整備局)
川内清光 (中国地方整備局)
池田高則 (九州地方整備局)
加藤絵万 (港湾空港技術研究所)
審良善和 (港湾空港技術研究所)
川端雄一郎 (港湾空港技術研究所)

○平成22年度：

座 長：北詰昌樹 (港湾空港技術研究所)
座長補佐：岩波光保 (港湾空港技術研究所)
メンバー：阿部勝彦 (北海道開発局)
西川丈博 (関東地方整備局)
白崎正浩 (中部地方整備局)
木原洋平 (中国地方整備局)
服部俊朗 (九州地方整備局)
山路 徹 (港湾空港技術研究所)
加藤絵万 (港湾空港技術研究所)
審良善和 (港湾空港技術研究所)
川端雄一郎 (港湾空港技術研究所)

○平成23年度：

座 長：菊池喜昭 (港湾空港技術研究所)
座長補佐：岩波光保 (港湾空港技術研究所)
メンバー：伊東公人 (北海道開発局)
西川丈博 (関東地方整備局)
澤田 玲 (中部地方整備局)
木原洋平 (中国地方整備局)
服部俊朗 (九州地方整備局)
山路 徹 (港湾空港技術研究所)
加藤絵万 (港湾空港技術研究所)
審良善和 (港湾空港技術研究所)
川端雄一郎 (港湾空港技術研究所)

○平成24年度：

座 長：山崎浩之 (港湾空港技術研究所)
座長補佐：岩波光保 (港湾空港技術研究所)
メンバー：伊東公人 (北海道開発局)
西川丈博 (関東地方整備局)
澤田 玲 (中部地方整備局)
木原洋平 (中国地方整備局)
服部俊朗 (九州地方整備局)
山路 徹 (港湾空港技術研究所)
加藤絵万 (港湾空港技術研究所)
川端雄一郎 (港湾空港技術研究所)

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，2007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，沿岸技術研究センター，2007年.
- 3) 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.
- 4) 岩波光保，加藤絵万，川端雄一郎：栈橋上部工コンクリートにおける鉄筋腐食モニタリング実証実験，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，第V部門，2010年，pp.691-692
- 5) 岩波光保，加藤絵万，横田弘：リプレイサブル栈橋上部工の構造性能評価手法に関する研究，港湾空港技術研究所報告，Vol.48，No.1，2009年，pp.3-53

付録 維持管理を考慮した栈橋の設計マニュアル (案)

維持管理を考慮した
棧橋の設計マニュアル
(案)

平成 24 年 12 月

港湾施設戦略的維持管理推進技術 WG

港湾施設戦略的維持管理推進技術 WG

構成メンバー 一覧

平成 20 年度

座長：横田 弘 (港空研 LCM研究センター長・研究主監)
座長補佐：岩波光保 (港空研 構造・材料研究チームリーダー)
メンバー：加藤絵万 (港空研 LCM研究センター主任研究官)

平成 21 年度

座長：北詰昌樹 (港空研 LCM研究センター長・研究主監)
座長補佐：岩波光保 (港空研 構造研究チームリーダー)
メンバー：阿部勝彦 (北海道開発局 港湾行政課 技術審査係長)
多田和正 (関東地方整備局 横浜技調 建設管理官)
白崎正浩 (中部地方整備局 名古屋技調 調査課長)
川内清光 (中国地方整備局 広島技調 調査第二係長)
池田高則 (九州地方整備局 下関技調 前任建設管理官)
加藤絵万 (港空研 構造研究チーム主任研究官)
審良善和 (港空研 材料研究チーム研究官)
川端雄一郎 (港空研 構造研究チーム研究官)

平成 22 年度

座長：北詰昌樹 (港空研 LCM研究センター長・研究主監)
座長補佐：岩波光保 (港空研 構造研究チームリーダー)
メンバー：阿部勝彦 (北海道開発局 港湾行政課 技術審査係長)
西川丈博 (関東地方整備局 横浜技調 建設管理官)
白崎正浩 (中部地方整備局 名古屋技調 調査課長)
木原洋平 (中国地方整備局 広島技調 建設管理官)
服部俊朗 (九州地方整備局 下関技調 前任建設管理官)
山路 徹 (港空研 材料研究チームリーダー)
加藤絵万 (港空研 構造研究チーム主任研究官)
審良善和 (港空研 材料研究チーム研究官)
川端雄一郎 (港空研 構造研究チーム研究官)

平成 23 年度

座長：菊池喜昭 (港空研 LCM研究センター長・特別研究官)
座長補佐：岩波光保 (港空研 構造研究チームリーダー)
メンバー：伊東公人 (北海道開発局 港湾行政課 技術審査係長)
西川文博 (関東地方整備局 横浜技調 建設管理官)
澤田 玲 (中部地方整備局 名古屋技調 調査課長)
木原洋平 (中国地方整備局 広島技調 建設管理官)
服部俊朗 (九州地方整備局 下関技調 前任建設管理官)
山路 徹 (港空研 材料研究チームリーダー)
加藤絵万 (港空研 構造研究チーム主任研究官)
審良善和 (港空研 材料研究チーム研究官)
川端雄一郎 (港空研 構造研究チーム研究官)

平成 24 年度

座長：山崎浩之 (港空研 LCM研究センター長・特別研究官)
座長補佐：岩波光保 (港空研 構造研究領域長)
メンバー：伊東公人 (北海道開発局 港湾行政課 技術審査係長)
西川文博 (関東地方整備局 横浜技調 建設管理官)
澤田 玲 (中部地方整備局 名古屋技調 調査課長)
木原洋平 (中国地方整備局 広島技調 建設管理官)
服部俊朗 (九州地方整備局 下関技調 前任建設管理官)
山路 徹 (港空研 材料研究チームリーダー)
加藤絵万 (港空研 構造研究チーム主任研究官)
川端雄一郎 (港空研 構造研究チーム研究官)

目 次

第1章 総 則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 適用基準	1
第2章 設計条件	4
2.1 一 般	4
2.2 設計供用期間	4
2.3 要求性能	5
2.4 維持管理レベル	6
第3章 上部工の検討	10
3.1 一 般	10
3.2 性能の経時変化に関する検討	10
3.3 維持管理レベルと許容する性能の経時変化の関係	11
第4章 下部工の検討	19
4.1 一 般	19
4.2 性能の経時変化に関する検討	19
4.3 維持管理レベルと許容する性能の経時変化の関係	19
第5章 その他の部材の検討	21
5.1 一 般	21
第6章 維持管理の省力化に配慮した構造形式・構造細目	23
6.1 一 般	23
参考資料	25
参考資料 1 唐津港岸壁（棧橋）の設計・施工事例	25
参考資料 2 羽田空港 D 滑走路棧橋部の設計・施工事例	27
参考資料 3 伏木富山港新港地区棧橋の設計・施工事例	29

第1章 総則

1.1 適用範囲

本マニュアルは、港湾施設として用いられる栈橋の設計のうち、維持管理への配慮に関する検討に対して適用する。

【解説】

栈橋の構造形式には、直杭式横栈橋、斜め組杭式横栈橋、ジャケット式栈橋、格点ストラット式栈橋等がある。本マニュアルでの記述は、このうち、鋼管杭を用いた直杭式横栈橋の維持管理に対する配慮事項を対象とするが、類似の施設についてもその特性を考慮した上で適用することができる。

栈橋の設計は、図-1.1.1 に示すフローのように、構造物の安全性、使用性、修復性などについて検討を行い、要求性能に対して照査を行うが、もともと厳しい塩害環境下に晒される栈橋では、設計供用期間中の性能低下が避けられないこともあり、維持管理の省力化・合理化への配慮が不可欠である。本マニュアルでは、この維持管理への配慮に関する検討に対して適用するものとする。

本マニュアルは、新設の栈橋の設計を対象としてとりまとめており、既存栈橋の改良等は基本的に対象としていない。ただし、本マニュアルの基本的な考え方は既存施設の改良にも適用できるため、本マニュアルの主旨を十分理解した上であれば、必要に応じて本マニュアルを準用することができる。

1.2 適用基準

本マニュアルに示していない事項については次の基準等による。

- (1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説；国土交通省港湾局監修，平成19年7月，(社)日本港湾協会発行（以下，省令，告示を指す場合は技術基準，解説部分を指す場合は技術基準・同解説という）
- (2) 港湾の施設の維持管理技術マニュアル；国土交通省港湾局監修，(独)港湾空港技術研究所編著，平成19年10月，(財)沿岸技術研究センター発行
- (3) 港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き（増補改訂版）；国土交通省港湾局監修，国土交通省国土技術政策総合研究所，(独)港湾空港技術研究所，(財)港湾空港建設技術サービスセンター編集，平成20年12月，(財)港湾空港建設技術サービスセンター発行
- (4) 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(2009年版)；平成21年11月，(財)沿岸技術研究センター発行
- (5) 2007年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕；平成20年3月，(社)土木学会

【解説】

本マニュアルは、(1)～(5)の基準類を基本にして作成した。したがって、本マニュアルに示していない事項については(1)～(5)の基準類によるものとした。また、これ以外の基準類を参考にした場合は、参考文献名を示した。

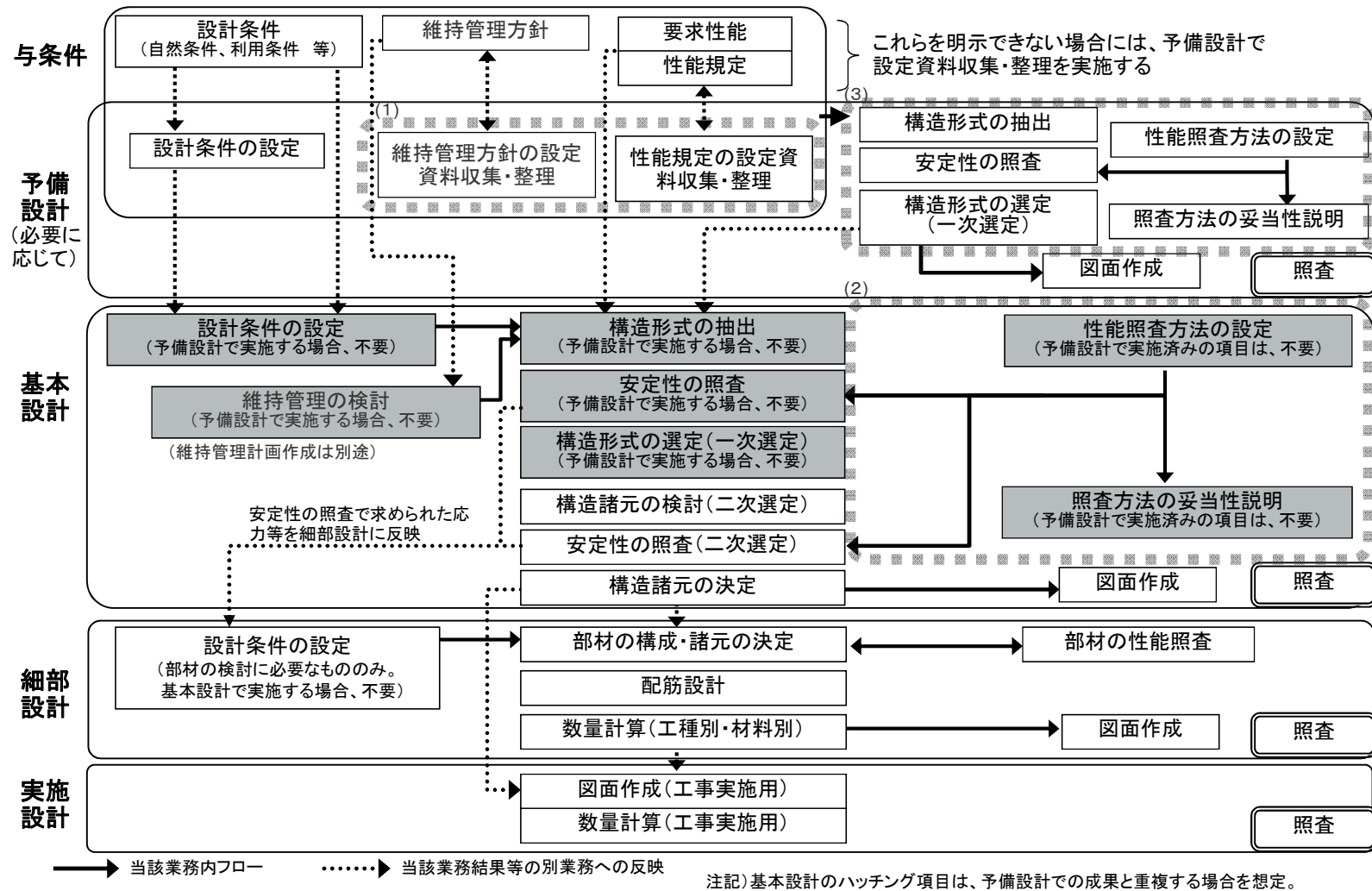


図-1.1.1 栈橋の設計フロー

第2章 設計条件

2.1 一般

栈橋の設計にあたっては、当該施設の設計供用期間を適切に定め、設計供用期間にわたり要求性能を満足するように、適切に設計しなければならない。これと同時に、供用開始後の維持管理を確実にを行うため、当該施設の維持管理計画等を適切に策定しなければならない。

【解説】

栈橋では、設計供用期間を通じて、その機能を損なわず、船舶、人、貨物等の使用が継続して安全かつ円滑に行われなければならない。栈橋は他の港湾構造物と同様に厳しい自然環境にさらされ、多種多様な荷重作用および環境作用を受ける。施工中および設計供用期間中に受ける荷重（永続作用および変動作用）および環境作用により、栈橋の正常な使用が不可能な状態にならないよう、設計時点から配慮しておく必要がある。

港湾施設の戦略的維持管理の第一歩は、点検診断や維持補修といった維持管理に関する行為を計画的かつ継続的に実施することである。このためには、設計段階において、あらかじめ供用中に必要となる維持補修対策に関するシナリオ（図-1.1.1における維持管理方針）を想定し、これに基づいた維持管理計画を策定しておくことが有効である。ここで、**技術基準**において維持管理計画等は、当該構造物の管理者ではなく、設置者が定めることを標準としている。これは、将来の維持管理に配慮しつつ構造物が保有すべき当初の性能レベルを設定し、それに応じた維持管理を実現するには、設置者が主体的な役割を果たすべきであるという考えに基づいたものである。構造物の設計時点で、構造物にどのような性能を付与するかは、将来それをどのように保持していくかということに大いに関係する。したがって、設計段階には設計のみを、維持管理段階には維持管理のみをそれぞれ独立に考えることは得策ではない。つまり、非常に耐久性の高い材料を用いた構造物では、そのことを考慮した維持管理の方法が求められ、初期建設費の低減を目的として耐久性が必ずしも高くない構造物を建設した場合には、維持管理に要する費用の増加や様々なリスクについて考慮した維持管理計画が必要となる。

2.2 設計供用期間

栈橋の設計供用期間の設定に関しては、目的、他施設などの周辺利用状況との関係など栈橋の利用状況等を適切に考慮するとともに、設計供用期間が性能照査における作用の設定および環境作用を考慮した材料の選定等に影響を及ぼすことに配慮する。

【解説】

栈橋の設計供用期間の設定にあたっては、ISO2394(1998)における設計供用期間の概念分

類を参考にすることができる。なお、栈橋の標準的な設計供用期間は 50 年（ISO2394—クラス 3）であり、本マニュアルにおいては 50 年を対象に記述している。

2.3 要求性能

栈橋の要求性能は、**技術基準**によれば、以下のとおり規定されている。

- (1) 船舶の安全かつ円滑な係留，人の安全かつ円滑な乗降および貨物の安全かつ円滑な荷役が行えること。
- (2) 自重，土圧，変動波浪，レベル 1 地震動，船舶の接岸および牽引，載荷重等の作用による損傷等が，当該栈橋の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。
- (3) 耐震強化施設である栈橋の要求性能に当たっては，レベル 2 地震動等の作用による損傷等が，軽微な修復によるレベル 2 地震動の作用後に当該栈橋に必要とされる機能の回復に影響を及ぼさないこと。ただし，当該栈橋が置かれる自然状況，社会状況等により，更に耐震性を必要とする栈橋の要求性能に当たっては，レベル 2 地震動の作用後に当該栈橋に必要とされる機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。

設計供用期間のいかなる時点においても，上記の要求性能を満たすためには，環境作用による材料の損傷が当該栈橋の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないことが求められる。

【解説】

要求性能とは，施設の目的を達成するために，栈橋が保有すべき必要な性能である。また，公共の観点から，栈橋が保有すべき最低限の性能である。

(1)～(3)は**技術基準**に記載のとおりであり，これらに関する性能規定については，**技術基準・同解説 4 編 5 栈橋**に準じることができる。

本来であれば，劣化，損傷等の変状に伴う構造物の性能の経時変化を直接的に評価し，要求性能の照査に反映すべきであるが，現状の技術レベルでは難しいので，性能低下を生じさせる変状の発生を抑えることで，間接的に性能の経時変化を照査することとしている。本マニュアルでは，その方法を，栈橋を対象として，より具体的に示すことを目的としている。すなわち，上部工においてコンクリート中の鉄筋腐食が生じなければ，あるいは，下部工において鋼材に腐食が生じなければ，構造性能に変化はないものと仮定して，従来通りの性能照査を可能としている。

2.4 維持管理レベル

- (1) 栈橋の設計供用期間や要求性能に基づいて、当該栈橋全体および当該栈橋を構成する部材の維持管理のあり方や想定されるシナリオ（維持管理方針）を十分に検討した上で、維持管理についての基本的な考え方を維持管理レベルに具体化して設定する。
- (2) 維持管理レベルは、当該栈橋の設置目的、設計供用期間および要求性能を踏まえて、自然環境条件や利用条件といった当該栈橋を取り巻く諸条件、栈橋を構成する部材の構造特性、使用材料の種類や品質、維持管理の技術レベル、維持管理の体制、初期建設費用から維持管理費用までをトータルしたライフサイクルコスト（LCC）等から、当該施設の有する性能の経時変化を予測して適切に設定する。

【解説】

(1)および(2)について

栈橋は一般に 50 年の設計供用期間が設定されるが、厳しい環境作用下でこのような長期間にわたって性能を十分に確保することは容易ではない。したがって、栈橋に求められる性能をどのように維持していくかについて、あらかじめ設計段階で使用材料の特性や構造形式に配慮するとともに、設計条件や設計内容を的確に踏まえて維持管理計画等を定める必要がある。栈橋の設置目的、設計供用期間、要求性能、施設の代替性等の観点から、維持管理の基本的な考え方として次の 3 つの維持管理レベルのうちのいずれかを定め、これに見合うような栈橋の当初性能の付与および維持管理計画の策定を図る必要がある。

維持管理計画を策定するにあたっては、設計時点における当該施設の要求性能を把握した上で、維持管理の前提となる維持管理レベル（維持管理シナリオとも考えられる）を設定する。維持管理レベルの設定にあたっては、施設が置かれる諸条件（自然状況、利用状況等）、設計供用期間、構造特性、材料特性、維持管理の技術レベル、維持管理の体制から当該施設を構成する「部材」の（保有）性能の経時変化を劣化予測等の方法により検討し、当該施設の重要度、点検診断及び維持工事等の難易度および初期建設費用から維持管理費用までをトータルしたライフサイクルコスト（LCC）等を勘案しながら、「部材」ごとに維持管理レベル I、II あるいは III を設定する。

維持管理において「予防保全」が基本的に有効ではあるが、対象施設を構成する様々な部材や設備の全てに「予防保全」を適用することは合理的ではない場合が多い。したがって、効果的かつ効率的な維持管理を実施するためには構造的に特に重要な「主要部材」と、二次的に重要な「その他部材」、それ以外の「附帯設備」に区分し、それぞれに「予防保全」、「事後保全」の考え方を踏まえた維持管理レベルを設定した上で計画を策定する。このため、維持管理計画の対象となるすべての部材について、主要部材、その他部材および附帯設備に区分し、それぞれについて維持管理レベルを設定する。

・維持管理レベル I

高い水準の損傷劣化対策を施設の建設時点で行うことにより，設計供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に変状の程度を留める．図-2.4.1 に示すように，設計時における部材の劣化・変状予測において，設計供用期間中に部材の性能に影響を及ぼす変状が十分に軽微な状態であること（維持管理上の限界状態に達しないこと．例えば，鉄筋コンクリート部材であれば，鉄筋の腐食が生じないこと）を照査した部材に対する維持管理レベルのことである．代表的な部材の例として，以下が挙げられる．

耐用年数が設計供用期間よりも長い材料を用いた部材

- ・耐腐食性の高い鋼材（ステンレス鉄筋，エポキシ樹脂塗装鉄筋等）を用いたコンクリート部材
- ・耐用年数が設計供用期間を超えるような電気防食を施した鋼管杭

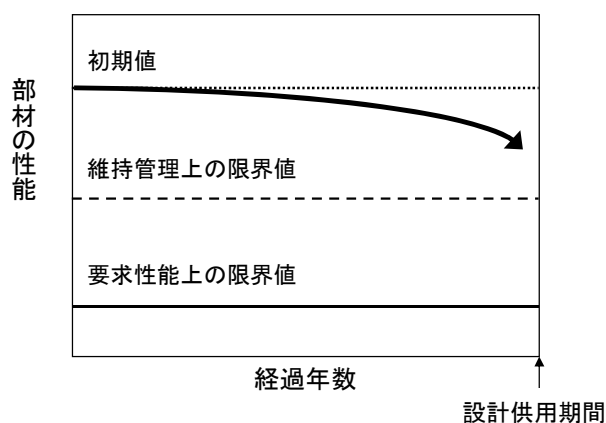


図-2.4.1 維持管理レベル I

・維持管理レベル II

損傷劣化が軽微な段階で，小規模な対策を頻繁に行うことにより，設計供用期間中に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する．図-2.4.2 に示すように，設計時における部材の劣化・変状予測において，設計供用期間中に部材の性能に影響を及ぼす変状の発生（維持管理上の限界状態）が予測されるが，維持管理段階において予防保全的な対策を実施することを設計時点から計画しておくことで，維持管理上の限界状態に至る前に維持補修が行えるよう配慮された部材に対する維持管理レベルのことである．代表的な部材の例として，以下が挙げられる．

耐用年数が設計供用期間よりも短い材料を用いた部材

- ・表面被覆等の補修を計画的に施すコンクリート部材
- ・供用期間中に陽極の交換が必要な電気防食を施した鋼管杭

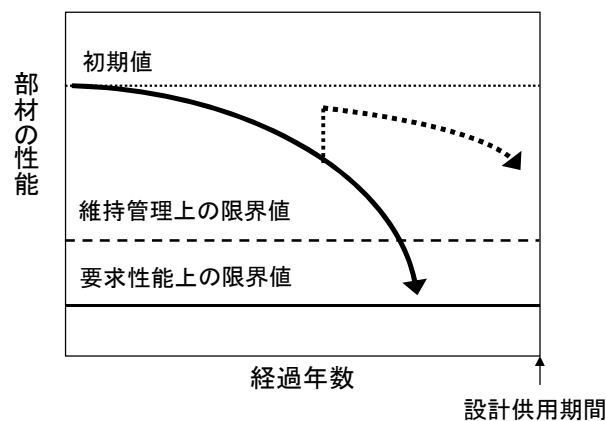


図-2.4.2 維持管理レベル II

・維持管理レベル III

要求性能が満たされる範囲内で，損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し，供用期間中に1～2回程度の大規模な対策を行うことにより，損傷劣化に事後的に対処する．図-2.4.3に示すように，設計時における部材の劣化・変状予測において，設計供用期間中に変状の発生により部材の性能低下が予測されるが，予防保全的な対策が困難あるいは不経済であることから，部材の要求性能が満足されなくなる前に事後保全的な対策を実施することを想定した部材に対する維持管理レベルのことである．代表的な部材の例として，以下が挙げられる．

耐用年数が設計供用期間よりも短い材料を用いた部材

- ・使用性が損なわれた際に打ち替えを実施するエプロン舗装
- ・劣化・変状が顕著となった際に取り替えを実施する附帯設備（防舷材，車止め等）

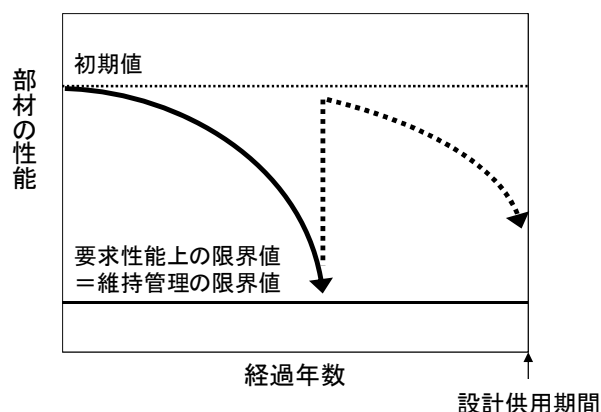


図-2.4.3 維持管理レベル III

効率的かつ合理的な維持管理を行うためには、維持管理の取組みに加えて、当初設計において栈橋および栈橋を構成する部材にどのような維持管理レベルを設定するかということが重要である。設計供用期間中の耐久性の低下（劣化、損傷等の変状の進行）に伴う性能低下に配慮せずに設計された栈橋にレベルの高い維持管理を計画しても、結果的に維持管理コストが増大して合理的ではないことが多い。このように、今後新しく設計され整備される栈橋では、本マニュアルの考え方を反映して当初の性能付与が行われることが必要である。

また、これ以外にも、供用期間中の維持管理が容易に行えるような工夫をしておくことも有効である。詳細については、本マニュアル第6章に記す。

また、栈橋の設計においては、別途規定されている施工基準に基づいた施工がなされることを前提として各種の照査や検討が行われるため、施工の不具合による初期欠陥等が生じないように十分に配慮しなければならない。これは、補修等の対策工の施工においても同様である。

第3章 上部工の検討

3.1 一般

- (1) 上部工の性能照査にあたっては、設計条件として、当該施設に求められる性能および栈橋の置かれる状況に応じて、作用および材料強度条件等を適切に設定する必要がある。
- (2) 上部工の性能照査は、要求性能に応じた限界状態を施工中および設計供用期間中の構造部材ごとに設定し、設計で仮定した形状・寸法・配筋等の構造詳細を有する構造部材が限界状態に至らないことを確認することで行う。また、設計供用期間中、構造部材の保持する性能が環境作用による材料の損傷等により損なわれないことを確認するものとする。

3.2 性能の経時変化に関する検討

性能の経時変化に関する検討は、上部工を構成する各コンクリート部材に対して行うものとする。ただし、特別な場合を除き、塩化物イオンの侵入による鋼材腐食のみを行えばよい。

【解説】

上部工の性能の経時変化に対する検討は、コンクリートおよび鉄筋やPC鋼材などの鋼材に対して、**技術基準・同解説第4編第2章 1.1.7 性能の経時変化に対する検討**によれば、以下の項目について行うこととされている。

- 1) 中性化による鋼材腐食
- 2) 塩化物イオンの侵入による鋼材腐食
- 3) 凍結融解作用
- 4) 化学的浸食
- 5) アルカリ骨材反応

ただし、栈橋の場合、過去の劣化実態、置かれる環境条件、劣化の進行速度などの観点から、塩化物イオンの侵入による鋼材腐食のみを行えば一般的な条件においては十分である。

なお、一般の栈橋では、床版よりもはりの方が腐食環境が厳しいため、維持管理を考慮した上部工の設計にあたっては、床版よりもはりの維持管理レベルをより高度なレベルに設定する方法もある。例えば、後述するリプレisable栈橋上部工は、はりの維持管理レベルはⅠもしくはⅡとして、床版の維持管理レベルはⅢを設定することを前提とした工法である。しかし、リプレisable栈橋上部工やPC栈橋のように、はりと床版を別々に施工する場合以外では、両者のコンクリートは一体的に打設されるため、はりと床版の維持管

理レベルを変えることは必ずしも合理的でない。そこで、ここでははりと床版は区別せず、一般的な RC としての維持管理レベルを考慮した設計手法について解説した。

3.3 維持管理レベルと許容する性能の経時変化の関係

上部工の性能の経時変化に対する検討は、設定された維持管理レベルを考慮しながら適切に行う必要がある。

- (1) 維持管理レベル I の部材の性能照査は、原則として、設計供用期間中にコンクリート中の鋼材に腐食が生じないことを確認することで行う。
- (2) 維持管理レベル II の部材の性能照査は、原則として、設計供用期間中にコンクリート中の鋼材にいつの時点で腐食が発生するかを確認し、それを踏まえた予防保全的な対策を維持管理計画書に記載することで行う。
- (3) 維持管理レベル III は、原則として設定しない。

【解説】

維持管理レベルは、上部工を構成する部材の維持管理のあり方や想定されるシナリオを十分に検討した上で設定する。したがって、上部工の性能の経時変化に対する検討は、設定された維持管理レベルに応じて、確認すべき劣化・変状の進行の状態が異なることに留意しなければならない。

(1)について

維持管理レベル I の場合、設計供用期間中にコンクリート部材の性能に影響を及ぼす塩化物イオンの侵入による鋼材腐食が生じないことを確認する。

現段階では、設計供用期間中のコンクリート部材の保有性能を直接的に評価する手法は確立されていないため、コンクリート中への塩化物イオンの侵入により鋼材腐食が発生しないことを確認することで、設計供用期間中の部材の保有性能を担保することが望ましい。この場合、コンクリート中への塩化物イオンの侵入を建設当初から予防する、あるいは塩化物イオンが侵入したとしても鋼材腐食が発生しないよう建設当初から事前対策を施すことが重要である。

図-3.3.1 に、維持管理レベル I を設定したコンクリート部材における事前対策を簡易に選定するためのフローを示す。RC 部材および PC 部材で、維持管理レベル I の部材に対する事前対策の選定の考え方は異なるものとなる。これは、次の理由による。

PC 部材では、腐食の進行により PC 鋼材に破断が生じた場合、プレストレスが減少し部材の耐荷性が急激に低下する危険性があるため、原則として、腐食の発生を許容しない。また、一般に、PC 部材の補修工法として断面修復工法が適用されているが、母材除去後の断面にプレストレスが集約されるため、断面修復工法の適用が可能な範囲は限定される。さらに、断面修復を施した箇所にはプレストレスは導入されない。このため、理論上、補修後は RC 断面として取り扱う必要がある。

以上のことから、設計供用期間中、PC 部材を維持管理レベル I として取り扱うことが不可能である、あるいは、理論上は可能であるが部材諸元や施工性の観点から実現が不可能であると判断されたときには、部材を RC に変更して再度検討を行うこととした。

なお、近年、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材を用いた PC 部材の設計施工指針（案）^{3.1)}が土木学会より刊行された。今後、高耐久材料の使用により PC 部材についても維持管理レベル I を容易に満足するような設計が可能になることが期待される。

図-3.3.1 のフロー上流では、H.W.L.からコンクリート表面までの距離を設定する。H.W.L.からコンクリート表面までの距離は、フロー下流の上部工の形状・寸法、部材の諸元に密接に関わることとなるため、隣接バースのレベルや施設の利用等による当該栈橋の設置状況を加味しながら、適切に設定することが重要である。

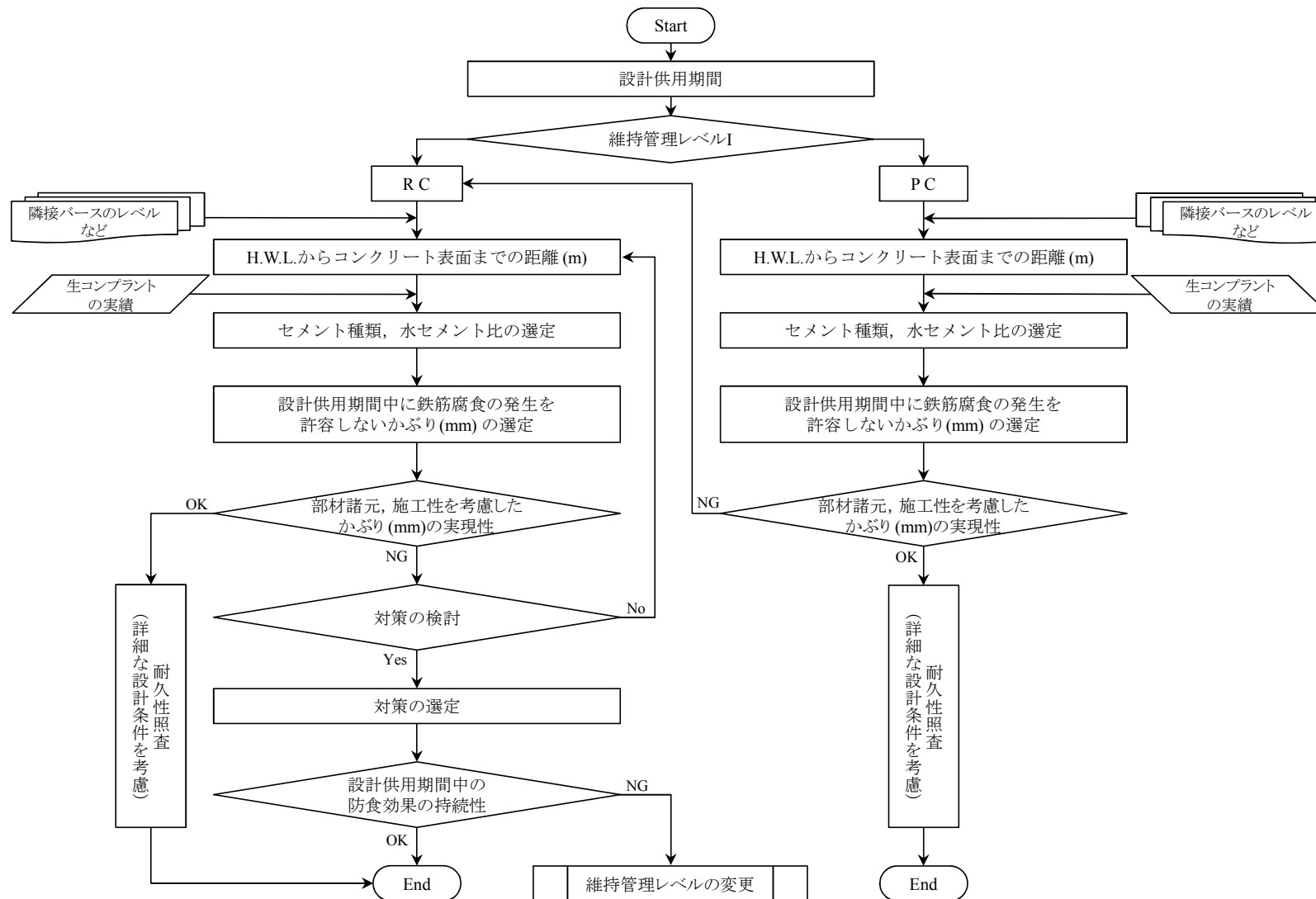


図-3.3.1 維持管理レベルIのコンクリート部材の事前対策選定フロー

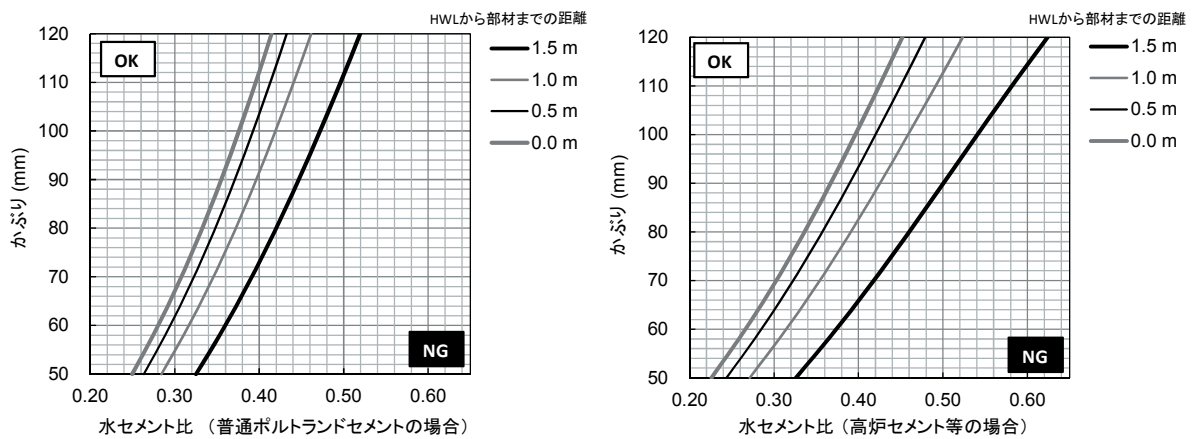


図-3.3.2 水セメント比と最小かぶりの関係 (RC 部材)

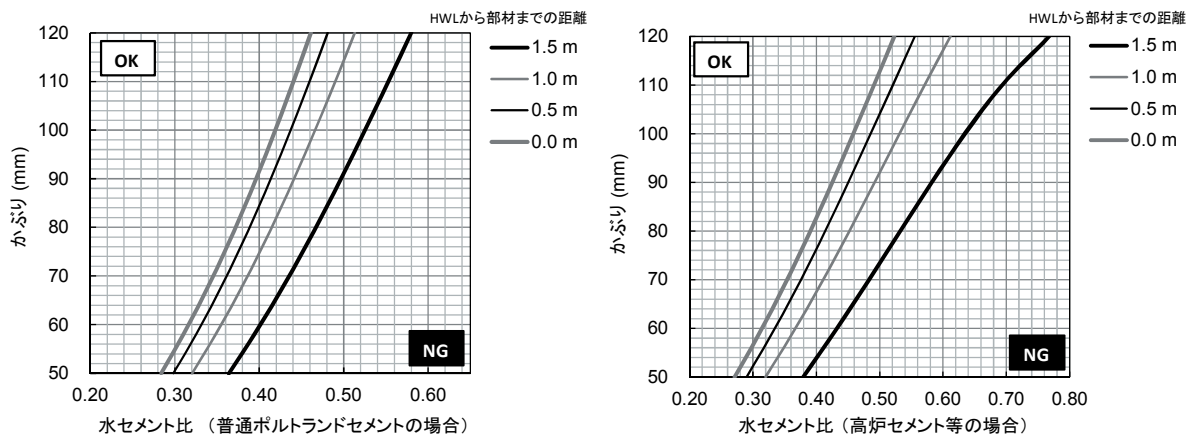


図-3.3.3 水セメント比と最小かぶりの関係 (PC 部材)

セメント種類と水セメント比の選定については、当該栈橋が置かれる地域のコンクリートプラントでの出荷実績等を調査し、適切に選定することが重要である。

設計供用期間中に鉄筋の腐食を許容しない必要かぶり (mm) は、RC 部材は図-3.3.2 により、PC 部材は図-3.3.3 により、それぞれ使用するセメント種類毎に簡易に選定することが可能である。

図-3.3.2 および図-3.3.3 は、設計供用期間 50 年中に塩化物イオンの侵入による鋼材腐食の発生を許容しないための水セメント比と最小かぶりの関係を、H.W.L. から部材までの距離が 0.0m, 0.5m, 1.0m および 1.5m の場合について示したものである。ここでは、設計供用期間 50 年中に塩化物イオンの侵入による鋼材腐食が発生しないことを、50 年後に鋼材位置におけるコンクリート中における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度 (2.0kg/m^3) に到達しないことと考えている。選定した水セメント比とかぶりの関係が、H.W.L. から部材までの距離により決定されるラインの右下に位置する場合は「NG」、すなわち設計供用期間中に鋼材腐食が発生する、左上に位置する場合は「OK」、すなわち設計供用期間中に鋼材腐食は発

生しないと判定されることとなる。

図-3.3.2 および図-3.3.3 の水セメント比と最小かぶりの関係は、次の方法により算定したものである。

$$C_d = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1c}{2\sqrt{D_d t}} \right) \right)$$

ここに、 C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_0 : コンクリート表面での塩化物イオン濃度 (kg/m^3)。下式により算出した。

$$C_0 = -6.0x + 15.1 \geq 6.0$$

x : H.W.L.からコンクリート表面までの距離 (m)。ただし、 $0 \leq x \leq 2$ 程度とする。

D_d : 塩化物イオンの見かけの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)。下式により算出した。

$$D_d = D_k \gamma_c \beta_{cl}$$

β_{cl} : ひび割れの影響を考慮した係数で、RCの場合は1.5、PCの場合は1.0とした(ひび割れを許容しないため)。

D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 ($\text{cm}^2/\text{年}$)。下式により算出した。

$$D_k = \gamma_p \alpha D_p$$

D_p : 普通ポルトランドセメントを使用する場合、

$$\log D_p = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5$$

高炉セメントやシリカフェームを使用する場合、

$$\log D_p = -3.0(W/C)^2 + 5.4(W/C) - 2.2$$

α : 換算係数で、普通ポルトランドセメントを使用する場合は0.65、高炉セメントやシリカフェームを使用する場合は1.0とした。

γ_p : D_p の精度に関する安全係数で、1.0とした。

erf : 誤差関数

c : かぶり (mm)。施工の際に適切に管理・検査されることを前提として、かぶりに対する施工誤差は考慮しないこととした。

t : 設計供用期間で、50年とした。

ここでは、簡便のために、コンクリートのひび割れの影響を拡散係数の特性値を1.5倍することで、設計供用期間中に鉄筋腐食が生じないかぶりを計算している。ひび割れの影響をより正確に評価するためには、技術基準・同解説に記載された方法によらなければならない。

ない。本マニュアルで示した方法は、あくまでも設計の便を考慮して、簡易に必要なかぶりを概略で求めるためのものである。最終的には、図-3.3.1のフロー中の「耐久性照査（詳細な設計条件を考慮）」において、**技術基準・同解説**に記載された方法により、ひび割れの影響を考慮するとともに、部分係数を導入して、耐久性の照査を正確に行わなければならない。

かぶりは、コンクリート構造部材の照査の前提である鉄筋とコンクリートとの付着強度を確保するとともに、耐久性に大きな影響を及ぼす。よって、かぶりは、必要な耐久性、施設の機能、施工誤差等を考慮して適切に定める必要がある。

上部工は、一般に、特に厳しい腐食性環境に位置している。このため、**技術基準・同解説**においては、上部工コンクリートを含む技術基準対象施設を構成する部材のうち、特に厳しい腐食性環境にある鉄筋コンクリート部材のかぶりは、一般に70 mm以上と記載されている。ただし、100mmを超えるかぶりを採用する場合には、ひび割れ幅の制御に十分留意する必要がある。よって、一般に必要なかぶりの限界値は、100 mm程度と考えてよい。

部材諸元や施工性の観点から、選定されたかぶりの実現が可能であると判断された場合、**技術基準・同解説**で示す方法にしたがって耐久性照査を行う。実現が不可能であると判断された場合、設計供用期間中の鋼材腐食を予防するための事前対策を検討することとなる。対策の検討を行わない場合は、フロー上流から再度検討を行う。

事前対策は、設計供用期間中のコンクリート中の鋼材腐食の発生を確実に防止できる方法で行うことが重要である。表-3.3.1に、コンクリート部材の塩害防止対策として有効な工法と、各工法に関する設計・施工指針、および栈橋上部工での適用事例を示す。エポキシ樹脂塗装鉄筋およびステンレス鉄筋は鋼材自体を高耐久化する目的で、高耐久性埋設型枠はコンクリートへの塩化物イオンの侵入を抑制する目的で、電気防食工法は電気化学的作用により鋼材の腐食を防止する目的で適用する。いずれの工法においても半永久的に鋼材腐食の発生を防止するものではないため、高耐久鋼材自体の耐久性、高耐久性埋設型枠への塩化物イオンの侵入予測、電気防食に用いる犠牲陽極の耐用年数等を確認し、設計供用期間中の防食効果を確実なものとするのが重要である。これに満たない場合は、上部工の維持管理レベルを変更する必要がある。

表-3.3.1 事前対策工法と参考文献・事例

事前対策工法	指針類，設計・施工事例
エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用	<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針^{3.2)} ・土木学会：コンクリート標準示方書に基づく設計計算例〔栈橋上部工編〕^{3.3)} ・適用事例：唐津港岸壁（栈橋）（参考資料1）
ステンレス鉄筋の使用	<ul style="list-style-type: none"> ・土木学会：ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設

	計施工指針(案) ^{3.4)}
FRP 補強材の使用	・鉄筋の代わりに、CFRP ロッド等を補強材として用いる。
超高強度繊維補強コンクリートの使用	・土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案) ^{3.5)} ・適用事例：羽田空港 D 滑走路（参考資料 2）
高耐久性埋設型枠の使用	・土木学会：コンクリート標準示方書に基づく設計計算例〔栈橋上部工編〕 ^{3.3)} ・適用事例：伏木富山港伏木富山港新湊地区（参考資料 3）
電気防食工法の適用	・土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針(案) ^{3.6)}

(2)について

維持管理レベル II の場合、設計供用期間中にコンクリート中の鋼材腐食の発生が予測されるが、維持管理段階において予防保全的な対策を実施することを設計時点から計画しておくことで、設計供用期間中のコンクリート部材の性能を満足させる。

鋼材腐食の発生が予測されることから、いつごろ、どのような予防保全的な対策が必要であるかを、設計時点での想定を維持管理計画書に書き込んでおかなければならない。

上部工の性能の経時変化に対する検討は、コンクリートおよび鉄筋や PC 鋼材などの鋼材に対して、**技術基準・同解説第 4 編第 2 章 1.1.7 性能の経時変化に対する検討**に準じて行う。また、対策の実施時期および工法については、劣化・変状の進行予測に基づいて計画するものとし、施設の利用状況や対策に要するコストの観点から、適切な時期および工法を選定する。これについては、**技術基準・同解説**のほか、**港湾の施設の維持管理技術マニュアル**、**港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き**を参照するとよい。

(3)について

維持管理レベル III では、損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し、供用期間中に 1～2 回程度の大規模な対策を行うことを前提としている。すなわち、栈橋の場合、上部工コンクリート中の鉄筋腐食が相当に進行し、部材の性能低下、たとえば、耐荷力の低下が発生することとなる。栈橋における安全で円滑な荷役作業を保証するためには、栈橋上部工において、維持管理レベル III の設定は原則として認めない。

第 3 章の参考文献

- 3.1) エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案) —内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線—、—プレグラウト PC 鋼材—、コンクリートライブラリー133、土木学会、2010 年
- 3.2) エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針、コンクリートライ

ブラリー112, 土木学会, 2003 年

- 3.3) 土木学会コンクリート標準示方書に基づく設計計算例 [栈橋上部工編], コンクリートライブラリー116, 土木学会, 2005 年, pp.96-110
- 3.4) ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案), コンクリートライブラリー130, 土木学会, 2008 年
- 3.5) 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー113, 土木学会, 2004 年
- 3.6) 電気化学的防食工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー107, 土木学会, 2001 年

第4章 下部工の検討

4.1 一般

- (1) 下部工の性能照査にあたっては、設計条件として、当該施設に求められる性能および栈橋の置かれた状況に応じて、作用および材料強度条件等を適切に設定する必要がある。
- (2) 下部工の性能照査は、要求性能に応じた限界状態を施工中および設計供用期間中の基礎杭に設定し、設計で仮定した形状・寸法等の構造詳細を有する部材が限界状態に至らないことを確認することで行う。原則として、**技術基準・同解説第4編第5章5.2直杭式横栈橋および5.3斜め組杭式横栈橋**に準じるものとする。
- (3) 下部工の性能照査においては、設計供用期間中、基礎杭の保持する性能が環境作用による材料の損傷等により損なわれないことを確認するものとする。

4.2 性能の経時変化に関する検討

下部工の性能の経時変化に対する検討は、適用する電気防食法および被覆防食法に対して行うものとする。

【解説】

下部工である基礎杭は、原則として、腐食の発生を許容しないため、下部工の性能の経時変化に対する検討は、適用する防食法に対して適切に行うものとする。

電気防食法および被覆防食法は、対象施設の規模や設置環境、および維持管理の難易度などを考慮して選定する。これについては、**港湾鋼構造物防食・補修マニュアル第II部**を参照するとよい。

4.3 維持管理レベルと許容する性能の経時変化の関係

下部工の性能の経時変化に対する検討は、設定された維持管理レベルを考慮しながら適切に行う必要がある。

- (1) 維持管理レベルⅠの部材の性能照査は、原則として、設計供用期間中、適用する防食法の効果が持続することを確認することで行う。
- (2) 維持管理レベルⅡの部材の性能照査は、原則として、設計供用期間中、適用する防食法の効果の消失により基礎杭の腐食が生じることがないことを確認することで行う。
- (3) 維持管理レベルⅢは、原則として設定しない。

【解説】

維持管理レベルは、下部工に適用された防食法の維持管理のあり方や想定されるシナリオを十分に検討した上で設定する。ここで、防食法のうち、特に被覆防食法については、用いられる被覆材および取り付け方法によって、劣化機構が大きく異なるものであり、劣化の進行メカニズムについては、現状では未だ明確でない場合が多い。したがって、下部工の性能の経時変化に対する検討は、設定された維持管理レベルに応じて防食効果の期待耐用年数を定め、それに対応する防食法を適切に選定することにより行うこととする。

(1)について

維持管理レベル I の場合、設計供用期間中に補修・更新を行うことがない防食法を選定する。

被覆防食法については、**港湾鋼構造物防食・補修マニュアル第 II 部第 3 章 表-1.3.2**に掲載されている工法と期待耐用年数、ならびに、**港湾鋼構造物防食・補修マニュアル第 II 部第 3 章 表-1.3.5**に掲載されている飛沫帯における代表的な被覆防食法の暴露試験結果を参考にすることができる。現状では、維持管理レベル I を達成できる被覆防食として、ステンレス鋼被覆が挙げられる。これは、大井ふ頭栈橋や羽田空港 D 滑走路（**参考資料 2**）において実績がある。

港湾鋼構造物に適用する電気防食法は、一般に、アルミニウム合金陽極を用いた流電陽極方式が採用されている。この場合、設計供用期間以上の防食効果が期待される陽極を選定するとともに、その配置や必要数量についても検討することが必要である。詳細については、**港湾鋼構造物防食・補修マニュアル**を参考にすることができる。

(2)について

維持管理レベル II の場合、設計供用期間中に補修・更新を行うことを前提とした防食法を選定する。

被覆防食法については、**港湾鋼構造物防食・補修マニュアル第 II 部第 3 章 表-1.3.2**に掲載される工法と期待耐用年数を参考にすることができる。

電気防食法では、設計供用期間中に交換を行うことを前提とした陽極を選定する。

(3)について

維持管理レベル III では、損傷劣化に起因する性能低下をある程度許容し、設計供用期間中に 1~2 回程度の大規模な対策を行うことを前提としている。すなわち、栈橋の場合、下部工である鋼管杭に腐食が発生し、部材の性能低下、たとえば、耐荷力の低下が発生することとなる。栈橋の安全性を担保するためには、鋼管杭には当初の想定腐食量を上回る一切の腐食は許されないことから、栈橋下部工においては、維持管理レベル III の設定は原則として認めない。

第5章 その他の部材の検討

5.1 一般

- (1) その他の部材の設計にあたっては、当該施設に求められる性能および栈橋の置かれた状況に応じて、作用および材料強度条件等を適切に設定する。
- (2) その他の部材の設計は、**技術基準・同解説第4編第5章5.2直杭式横栈橋、5.3斜め組杭式横栈橋および9.係留施設の附帯設備等**により行う。
- (3) その他の部材については、設計供用期間中の施設の利用条件等を考慮しながら、各部材の維持管理レベルを適切に設定する。

【解説】

ここでいうその他の部材とは、土留護岸、海底地盤、エプロン、附帯設備等を指す。

栈橋の土留護岸は、構造的に重要な部材であることから、その構造形式に応じて適切に設計を行うとともに、維持管理計画を定める必要がある。矢板式の場合には、鋼矢板の腐食が最も懸念されることから、栈橋の下部工（鋼管杭）と同様な考え方を適用して、維持管理レベルⅠあるいはⅡを適用する。一方、重力式の場合には、現時点では劣化予測項目の設定や劣化予測は容易ではなく、予防保全的な対策を施すことも容易ではない。しかし、適切な材料を用いて、確実な施工により建設された重力式構造物は、一般に50年程度の耐用年数があることがこれまでの知見・経験で明らかとなっているため、これらを条件として、維持管理レベルⅠを設定してよい。

また、エプロン、ならびに、防舷材や係船柱などの附帯設備に関しても、維持管理レベルⅠおよびⅡとして定義される予防保全対策を施すことは必ずしも得策ではないことが多い。ただし、施設の利用条件や構造・材料特性によっては、予防保全的な対策を当初から講じることが有利になることがある。たとえば、コンテナヤードにおけるエプロン舗装については、小規模な補修を計画的に行うことで、大規模な補修の実施に伴う施設の長期間の供用停止を避けることができるよう、当初より補修を計画しておくことが必要となる場合がある。また、土留護岸の不同沈下や地震作用等により、渡版と土留護岸あるいは栈橋上部工との間に、設計時には想定されなかった隙間が生じることがある。これは、車両の繰り返し走行等による渡版の損傷を進展させるため、結果として、設計供用期間中に取り替えや補修等の対策を余儀なくされることとなる。このため、設計当初から、必要な遊間を確保しておく、変形に対する追従性を有する構造とする、あるいは取り替えや補修等が容易に行える構造とする等の対策を講じておくことよい。さらに、栈橋では、給水管や給油管、電源供給のための配管などを上部工の下に吊ることが多い。これらの配管は、上部工構造部材と同様に過酷な腐食環境に曝されるため、腐食の進行等により設計供用期間中に補修や取り替え等の対策が必要となることがある。したがって、配管等の設備についても、補修や取り替えが容易に行える構造や配置とする、あるいは耐久性に富む材料を予め選定する等の対策を講じることが、維持管理上、有利となる場合がある。

いずれの部材・設備等についても、定期的な点検診断を着実に実施し、変状の発生に伴う性能低下を速やかに発見して、効率的かつ効果的な対策を講じることが不可欠である。

第6章 維持管理の省力化に配慮した構造形式・構造細目

6.1 一般

栈橋の効率的な維持管理を行うためには、栈橋の設計時において点検・調査方法や補修方法をあらかじめ想定し、これらの作業が容易に行えるよう構造形式や構造細目に配慮しなければならない。

【解説】

今後、設計・建設される栈橋については、施設に求められる性能を設計供用期間中にどのように維持していくかについて、設計段階で維持管理計画を検討する。維持管理計画では、点検診断の種類、点検診断で対象とする部位・部材、調査の方法などについて、各部材の維持管理レベルを踏まえながら、具体的に記述する必要がある。

他の多くの港湾構造物と同様に、栈橋では部材の大部分が海水中あるいは飛沫帯に位置している。このため、供用期間中の点検診断が確実に実施できるよう、また、維持管理が容易に行えるよう、設計段階からあらかじめ構造形式や構造細目を検討しておくことが有効である。例えば、

- ・点検孔（写真-6.1.1～2）や点検足場・歩廊（写真-6.1.3～4）などの設置
- ・モニタリングのためのセンサの設置^{6.1)}
- ・補修などの対策を行うことが計画されている場合に、対策が容易に行えるような処置
- ・交換が必要な部材などで、交換作業が容易に行えるような処置

などが考えられる。

近年、設計・施工の段階から維持管理に配慮した栈橋上部工の構造形式として、床版部分をプレキャスト化することで、供用中の床版の取外しおよび交換ができるリプレイサブル栈橋上部工が提案されている^{6.2)}。リプレイサブル化によるメリットとして、プレキャスト化による工期の短縮と部材品質の確保、点検診断時に床版を取り外すことで床版だけでなくはりの点検診断が容易になること、部材交換による対策となることから対策実施期間が短縮できることなどが挙げられ、今後、実工事での採用と広範な普及が期待される。

第6章の参考文献

- 6.1) 岩波光保，加藤絵万，川端雄一郎：栈橋上部工コンクリートにおける鉄筋腐食モニタリング実証実験，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，第V部門，2010年，pp.691-692
- 6.2) 岩波光保，加藤絵万，横田弘：リプレイサブル栈橋上部工の構造性能評価手法に関する研究，港湾空港技術研究所報告，Vol.48，No.1，2009年，pp.3-53



写真-6.1.1 点検孔
(高知港防波堤)



写真-6.1.2 点検孔
(羽田空港 D 滑走路)

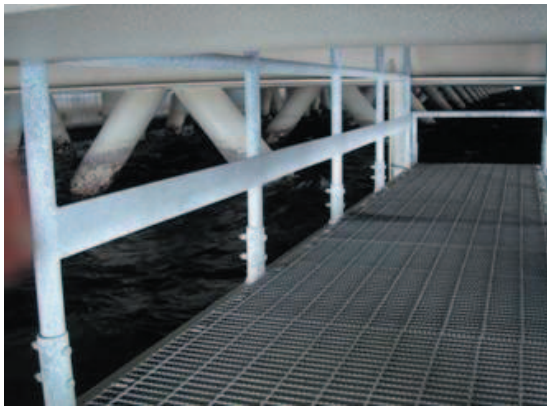


写真-6.1.3 点検足場
(名古屋港飛島埠頭)

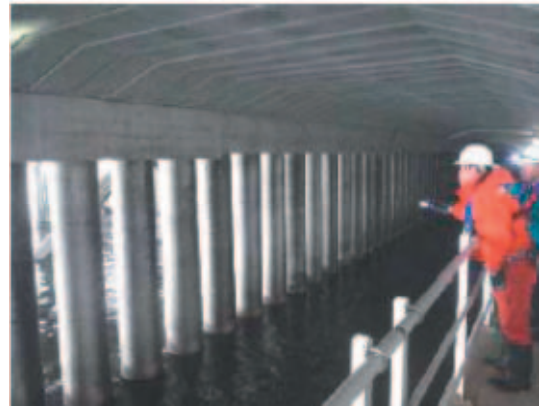
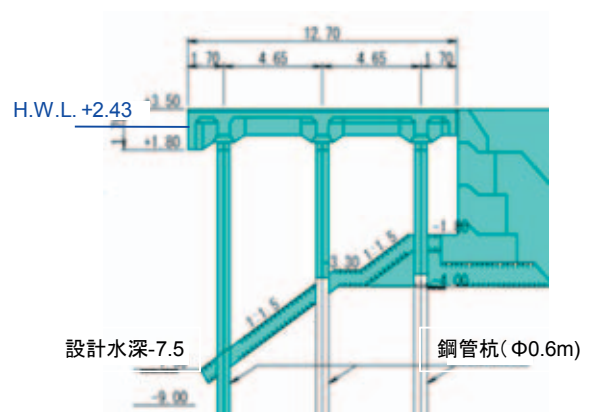


写真-6.1.4 点検歩廊
(羽田空港 D 滑走路)

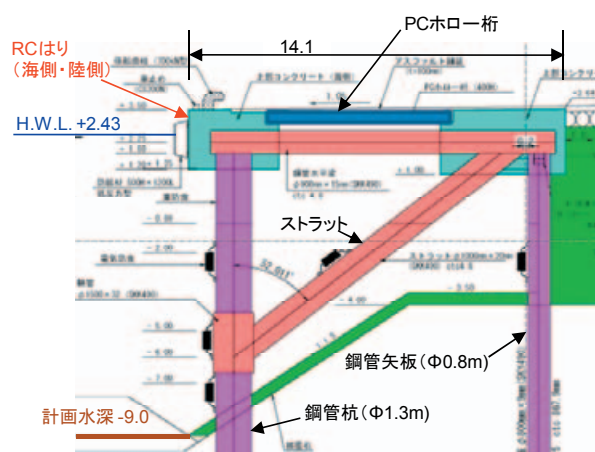
参考資料

参考資料 1 唐津港岸壁（栈橋）の設計・施工事例

唐津港岸壁（栈橋）の構造図を図-参 1.1 に示す。従来構造では耐震性が不足したため、耐震補強を目的とした改良工事が実施された。改良前は直杭式の栈橋構造であったが、改良後は鋼管ストラットを用いた構造となっている。なお、改良前の上部工は干満帯から飛沫帯に位置していたため激しい塩害劣化を受けていた。



(改良前)



(改良後)

図-参 1.1 唐津港岸壁（栈橋）の構造図

RC はり部に関する鉄筋腐食照査結果を表-参 1.1 に示す. 従来の標準的な仕様(水セメント比 W/C=0.5, かぶり 100mm)の場合, NG (50 年の間に腐食発生) となったため, エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用を検討することとした. 土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]」を用いて照査を実施した結果を表-参 1.1 に示す. この場合の照査結果は OK (50 年の間に腐食発生しない) となっている.

写真-参 1.1 はコンクリート打設前の状況であり, 水色の鉄筋がエポキシ樹脂塗装鉄筋である. なお, 2010 年度までに RC はり部の施工が終了し, PC ホロー桁部の施工が 2011 年度に実施された.

表-参 1.1 鉄筋腐食照査結果 (RC はり部)

	検討項目	無対策	エポキシ樹脂塗装鉄筋
構造物基本データ	設計供用年数(年)	50	50
	セメント種類	N	N
	W/C	0.50	0.50
	かぶりの期待値c(mm)	100.0	100.0
	構造物係数 γ_c	1.0	1.0
	拡散係数の予測値 D_a (cm^2/y)	1.33	1.33
	予測精度に関する安全係数 γ_e	1.0	1.0
	補正係数 α	0.65	0.65
	拡散係数の特性値 D_a (cm^2/y)	0.86	0.86
	コンクリートの材料係数 γ_g	1.0	1.0
仕様	ひび割れの影響を表す定数 D_0 (cm^2/y)	200	200
	鉄筋応力の増加量 σ_{sa} (N/mm ²)	25.82	25.82
	鉄筋のヤング係数(N/mm ²)	200000	200000
	ϵ'_{csd}	0.00015	0.00015
	ひび割れ幅とひび割れ間隔の比w/l	0.00084	0.00084
	ひび割れ幅の制限値 w_a (mm)	0.385	0.385
	ひび割れ幅w(mm)	0.095	0.095
	拡散係数の設計値 D_a (cm^2/y)	0.87	0.87
	HWLから部材表面までの距離(m)	-1.23	-1.23
	表面塩化物イオン濃度 C_a (kg/m ³)	15.1	15.1
	γ_{cl}	1.0	1.0
	エポキシ樹脂塗装内の厚さの期待	-	0.22
	塩化物イオンに対する見かけの拡散係数の設計用値 D_{app} ($cm^2/年$)	-	0.000002
	鉄筋位置の塩化物イオン濃度の設計値 C_a (kg/m ³)	4.3	0.13
	鉄筋腐食発生限界濃度 C_{lim} (kg/m ³)	2.0	2.0
	γ_{C_a}/C_{lim}	2.15	0.07
	判定	NG	OK



写真-参 1.1 施工状況

参考資料 2 羽田空港 D 滑走路棧橋部の設計・施工事例

設計供用期間を 100 年とした羽田空港 D 滑走路の入札においては，設計・施工一括発注方式の契約に加え，入札時に請負者が提案した維持管理計画に基づく当初 30 年間の維持管理業務も含めた契約方式が採用されている．また，構造物に必要とされる要求性能を満足することを要件とした設計・施工・維持管理一体の性能規定発注方式の契約でもあり，設計・施工段階から維持管理を想定した基本構造・計画の策定，材料・仕様の選定などが求められた．

羽田空港 D 滑走路における維持管理を考慮した構造部材・材質の採用に関しては，棧橋部の下部工（ジャケット）に対して，干満帯から飛沫帯にかけての被覆防食工法として，ステンレス鋼被覆を採用している（写真-参 2.1）．また，ジャケットと上部工の接合部については，上部工の下方にチタンカバープレートを設置して，上部工とチタンカバープレートとの間の空間は除湿を行うことで，腐食環境を緩和している（写真-参 2.2）．



写真-参 2.1 ステンレス鋼被覆を施した
ジャケット



写真-参 2.2 上部工とチタンカバー
プレートの間の空間

コンクリート構造物においては塩害を主たる劣化要因とし，コンクリート標準示方書に従ったコンクリート中の塩化物イオン濃度の照査を行って，100 年後の鋼材位置での塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達しないよう材料，配合，かぶりなどを決定した．そのため，腐食性環境下にあるコンクリート部材については，普通鋼材では必要かぶりが大きくなることから，エポキシ樹脂塗装を施した鋼材を使用した（写真-参 2.3）．また，PC 構造を積極的に採用し，活荷重載荷時の部材応力をひび割れ発生応力度以下に抑えてひび割れを生じさせないようにすることで高耐久化を図った．さらに，超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を用いた床版（写真-参 2.4）を多用することで，高耐久化を図るとともに，上部工の軽量化を実現することで，下部工断面をスリムにしてコストダウンを図っている．



写真-参 2.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の
使用例



写真-参 2.4 超高強度繊維補強
コンクリート床版

D 滑走路の維持管理においては、点検診断を継続的に容易かつ確実に実施できることが基本であることから、施設へのアクセスが可能な点検通路を設けている。栈橋部や連絡誘導路橋梁では、チタンカバープレートが作業足場としての機能を有しており、上部工の PCa 床版や UFC 床版の目視点検が可能である（写真-参 2.5）。また、埋立／栈橋接続部の消波護岸の遊水室内部や PC 渡り桁の支承部分にも点検歩廊が設けられている（写真-参 2.6）。また、ジャケットの鋼桁上にある PCa 床版間の間詰め部は、水の浸入などにより劣化が進行しやすい懸念があるとともに、構造上も重要場部位である。しかし、直接目視ができないことから、棒状スキャナを挿入して鋼桁上の間詰めコンクリートのひび割れの発生状況を確認できる点検孔（直径 20mm）を設けている箇所もある。



写真-参 2.5 チタンカバープレート上
での点検診断状況

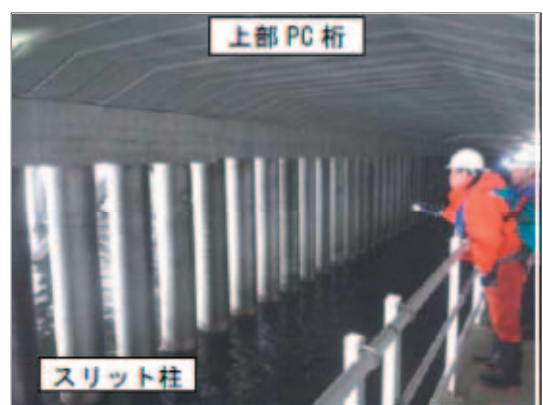


写真-参 2.6 点検歩廊

参考資料 3 伏木富山港新港地区棧橋の設計・施工事例

伏木富山港新湊地区では、30,000 DWT のコンテナ船の利用を想定した計画水深-14m 岸壁の延伸工事が行われている。延伸部-53m の構造形式は、既存部と同様、棧橋である。当該施設の規模を考慮すれば、周辺施設で代替することは困難であるため、供用を長期間停止するような維持工事の実施は不可能である。このため、高い水準の損傷・劣化対策を建設時点で施し、予定される供用期間中（50 年）に性能低下を生じない範囲に構成部材の損傷・劣化を留めるよう配慮がなされた。

棧橋 RC 上部工は海水飛沫の影響を受けるため、陸上 RC 構造物と比較して極めて劣化の進展速度が速い。このため、現行の設計基準では、棧橋上部工に用いるコンクリートの配合および鉄筋のかぶり厚は、設計時に部材の耐久性照査を行うことにより決定されることとなっている。当該棧橋上部工について試算を行った場合、通常、港湾施設に用いられるコンクリートを適用すると、かぶり厚が 190mm 以上であれば設計供用期間中の鉄筋腐食の発生による性能の低下を防ぐことができるという、現実的ではない結果が得られた。このため、当該施設周辺の気象および海象条件を考慮した施工性、経済性および維持管理性の観点から各種防食工法の適用が検討された。

経済性の観点からは、これまで採用例も多いエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用が有利であった。しかし、当該棧橋は、平均満潮面+0.5m に対してはり下端+0.3m で計画されているため、脱型が水中作業となるだけでなく、冬期は支保工や型枠の破損が懸念されること、また、厳しい作業環境のなかエポキシ樹脂塗装を損傷させないように施工を行うことが困難であること等の理由により、事前対策として高耐久性埋設型枠が適用されることとなった（写真-参 3.1~4）。

高耐久性埋設型枠は、陸上構造物では既に多くの使用実績があるが、今後は、港湾構造物においても棧橋 RC 上部工等への使用が拡大していくものと期待される。



写真-参 3.1 はり底型枠の設置状況



写真-参 3.2 はり側面型枠の組立状況

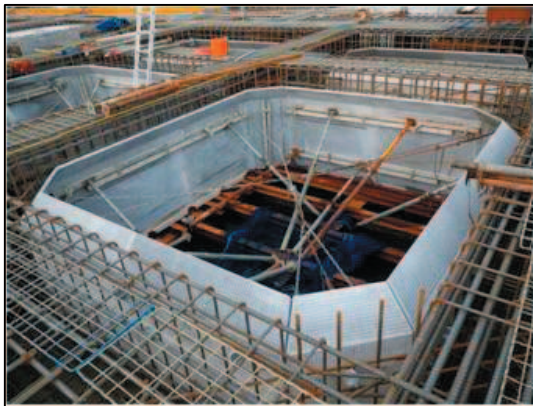


写真-参 3.3 はり側面型枠の設置



写真-参 3.4 はり底面型枠の設置

港湾空港技術研究所資料 No.1268

2013.3

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 © (2013) 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。



古紙配合率70%再生紙を使用しています